

日本大学学術研究戦略プロジェクト  
日本大学 N. 研究プロジェクト

# ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求

平成 21 年度－平成 25 年度

報告書

研究代表者：大月穰（日本大学理工学部教授）



Nihon University Strategic Projects for Academic Research

Nanotechnology Excellence, Nihon University

— Nanomaterial-based Photonic, Quantum and Bio Technologies —

2009 — 2013

Final Report

Principal Investigator: OTSUKI, Joe  
Professor of College of Science and Technology, Nihon University

日本大学 N. 研究プロジェクト発行物第 15 号

[http://www.nihon-u.ac.jp/research/n\\_research\\_project/project01/Nproject21.html](http://www.nihon-u.ac.jp/research/n_research_project/project01/Nproject21.html)

## 目次 / Contents

日本大学 N. 研究プロジェクトまとめ .....	1
メンバー .....	2
研究課題要旨 .....	4
研究体制 .....	4
研究代表者による報告 .....	5
班の報告 .....	28
研究者の報告 .....	53
Nihon University N. Research Project - Summary .....	114
Members .....	115
Overview of the Project .....	117
Research Groups .....	117
Report by the Project Leader - Project Overview - .....	118
Final Reports of Groups .....	139
Final Reports of Individual Researchers .....	165
業績 / Publications and Achievements .....	223
外部評価委員による評価 / Reviews by the Advisors .....	304
参考資料 / Supplementary Materials .....	307

## 日本大学 N.研究プロジェクトまとめ

2008（平成 20）年度の計画研究を経て、2009（平成 21）年度に指定研究として「日本大学 N.研究プロジェクト」に採択された私達の課題研究「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」が5年目の最終年度を、ついに、終えようとしている。健やか未来を実現するために解決しなければいけない大きな3つの問題---日本人の死因の1/3を占める癌、化石資源の枯渇と大気中の二酸化炭素濃度の急速な増加、および情報の記録、通信の大容量化の課題---の解決に貢献することが、私達のプロジェクトの目的であった。一見多岐にわたる問題であるが、技術的な視点からたどると、どれも共通の「ナノ物質」の科学や技術に根拠があることが見えてくる。「光」とナノ領域の物質との「量子力学」的な相互作用の科学とそれに基づく技術の最先端に焦点を当て、日本大学の理・工系と医・薬系の5学部の研究者が共同してこの学際的な研究を進めてきた。

プロジェクト研究開始当初に設定した目標は、すべてではないものの、多くが達成された。磁気記録では、超高速書き込み速度の可能性を実証しただけではなく、書き込みのさらに新しい原理を発見した。記録密度では目標を超える小さな記録スポットを達成し、量子情報でも、単一光子検出器や量子もつれ光源の性能において当初の数値目標を達成し、世界トップクラスの実証実験に成功した。エネルギー分野では、燃料電池の目標性能を示す新材料の探索に成功したが、太陽電池の効率向上はまだ途上である。創薬化をめざす PI ポリアミドは、癌に対する、細胞、マウスレベルの実験は継続中であるが、先行して癩痕の抑制薬として、軟膏化、哺乳動物実験が開始され、実用化へ向けて大きく進展した。

この間の研究は、Nature およびその姉妹誌である Nature Photonics, Nature Communications, Nature Materials をはじめ、J. Am. Chem. Soc.など一流誌を含む多くの雑誌に論文として発表され、また、新しい技術として31件の特許出願などにつながった。この間、メンバーの受賞が12件あった。

学部連携の効果として、当初の計画の想定を超えた、学部を超えた共同研究がいくつも始まりました。文理学部の焼結体合成手法が理工学部で応用され、ナノレベルの構造が制御された高品質薄膜材料が作られるようになり、プラズマを医療に応用することを目指す、理工学部と医学部の共同研究も開始された。

このプロジェクトでは、最先端研究を通じた若手および次世代研究者の養成にも重点をおいた。研究員、博士研究員、そしてリサーチアシスタントとして、プロジェクトの経済的支援を行った。この間、若手のポスター賞や発表賞が23件あり、若手の励みになったものと思われる。

このプロジェクトが契機となって、理工学部・文理学部では新たに本年度より私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「超短時間光・物質相互作用の理解・制御が切り開く新材料・物性・デバイスの探索と創生」に採択された。「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」の後継研究拠点として、さらに大きく研究が発展することを期待する。

\*\*\*\*\*

「日本大学学術研究戦略プロジェクト」、通称「日本大学 N.研究プロジェクト」を構想し実現した学術研究戦略会議の先生方、研究推進部の方々の構想力に敬意を表し、努力に感謝します。評価委員の先生方には評価、激励をいただき、感謝します。そして、本大型プロジェクトを5年間実施させていただいた日本大学の方々にお礼申し上げます。本プロジェクトの成果が「低炭素健康社会」の実現へ寄与し、「健やか未来」へつながる一助となることを願いつつ、最後の報告書をつくりました。

2014年2月7日 研究代表者 大月穰

## メンバー

### 研究代表者

大月 穰 理工学部 超分子・自己組織, エネルギー

### 研究者

浅井 朋彦	理工学部	ナノ物質・ナノデバイス
浅田 泰男	理工学部	エネルギー
阿部 修	医学部	医療 (2012年4月-2013年3月)
阿部 克己	医学部	医療 (2010年4月-2012年7月)
伊掛 浩輝	理工学部	超分子・自己組織【班長】
石田 浩	文理学部	量子理論・計算
伊藤 彰義	理工学部	超分子・自己組織, 情報記憶 (-2013年3月)
井上 修一郎	理工学部, 量子科学研究所	量子情報 (-2013年3月)
岩田 展幸	理工学部	ナノ物質・ナノデバイス
大貫 進一郎	理工学部	量子理論・計算
加野 浩一郎	生物資源科学部	医療
草深 竹志	医学部	医療 (2009年4月-2010年8月)
桑本 剛	理工学部, 量子科学研究所	量子情報【班長】
越永 従道	医学部	医療 (2009年9月-)
佐甲 徳栄	理工学部	量子理論・計算【班長】
十代 健	文理学部	ナノ物質・ナノデバイス (2011年4月-)
鈴木 薫	理工学部	ナノ物質・ナノデバイス【班長】
相馬 正義	医学部	医療 (2011年4月-)
高野 良紀	理工学部	ナノ物質・ナノデバイス
高橋 悟	医学部	医療
高橋元一郎	医学部	医療 (2009年4月-2010年3月)
茶圓 茂	文理学部	ナノ物質・ナノデバイス
塚本 新	理工学部	超分子・自己組織, 情報(記憶)
中川 活二	理工学部	情報記憶【班長】
永瀬 浩喜	千葉県がんセンター	医療
行方 直人	理工学部, 量子科学研究所	量子情報 (2013年4月-)
西宮 伸幸	理工学部	エネルギー
羽柴 秀臣	理工学部, 量子科学研究所	ナノ物質・ナノデバイス, 量子情報
橋本 拓也	文理学部	ナノ物質・ナノデバイス, エネルギー【班長】
福田 昇	医学部, 総合科学研究科	医療【班長】
藤川 和男	理工学部, 量子科学研究所	量子理論・計算 (-2013年3月)
藤原 恭子	医学部	医療 (2010年9月-)
舩廣 善和	生物資源科学部	医療 (2011年4月-)
松下 祥子	東京工業大学	超分子・自己組織, エネルギー
松本 宜明	薬学部	医療
望月 章介	文理学部	ナノ物質・ナノデバイス (-2012年5月)
山崎 恒樹	理工学部	量子理論・計算

### アドバイザー

齋藤 烈	日本大学工学部次世代工学技術研究センター (NEWCAT)	全般, 医療
有賀 克彦	物質・材料研究機構, 超分子グループ, ディレクター	ナノ物質
末宗 幾夫	北海道大学電子科学研究所附属ナノテクノロジー研究センター	情報
三宅 淳	大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻	エネルギー

Allan Balmain University of California, San Francisco  
木村 政司 日本大学藝術学部デザイン学科

医療  
広報

### 研究員

今村 賢司	理工学部 (佐甲 徳栄)
岩松 寛	理工学部 (大貫 進一郎)
佐藤 康宏	理工学部 (浅井 朋彦)
島村 信	理工学部 (浅井 朋彦)
東條 正	理工学部 (大月 穰)
室賀 嘉夫	理工学部 (伊掛 浩輝)
渡部 隆義	理工学部 (大月 穰)
P. Kalimuthu	理工学部 (大月 穰)
Qing Lin Wu	理工学部 (井上 修一郎)
五十嵐 潤	医学部
Mairepati Palati	医学部
木村 真	医学部
渡辺 めぐみ	医学部
丹羽 栄貴	文理学部 (橋本 拓也)
杉本 隆之	文理学部 (橋本 拓也)

### PD

Agustín Jiménez Aquino	理工学部 (大月 穰)
Gary James Richards	理工学部 (大月 穰)
長谷川 雄一郎	理工学部 (西宮 伸幸)
信末 博行	生物資源科学部 (加野 浩一郎)
齋藤 孝輔	医学部

### RA

梅津 光一郎	理工学部 (藤川 和男)
岸本 誠也	理工学部 (大貫 進一郎)
小出 優一郎	理工学部 (伊掛 浩輝)
相良 拓也	理工学部 (鈴木 薫)
佐藤 哲也	理工学部 (塚本 新)
篠崎 喜脩	理工学部 (大月 穰)
諏訪 和也	理工学部 (大月 穰)
竹内 嵩	理工学部 (大貫 進一郎)
陳 敏	医学部
井口 晃史	医学部
池田 友紀博	医学部
植草 省太	医学部

### 事務

大見 陽太郎	2008年4月-2009年3月
黒須 理栄	2009年4月-2009年9月
利根 真美	2009年9月-2014年2月

## 研究課題要旨

本研究は、社会から最も深刻な技術的要請がある、情報、エネルギー、医療分野について、国内トップクラスの実績がある我々のナノ物質を用いた光・量子技術を、学部連携に基づいてさらに発展させることにより、

- 重点課題1ー情報：超高速・超高密度記録および量子情報処理技術の極限、
- 重点課題2ーエネルギー：ナノ構造による太陽光エネルギー利用技術の極限、
- 重点課題3ー医療：医療応用のためのナノバイオ技術の極限

を追求し、新規高度化技術として応用をはかる。

これらの重点課題追求のために必要な共通の科学技術基盤を確立するために、

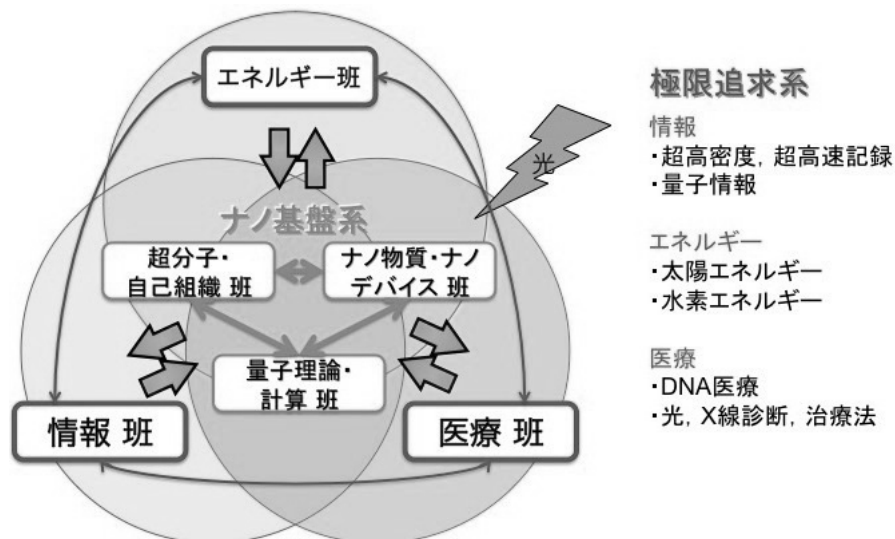
- 基盤課題：ナノ物質系と光・量子融合領域の未踏科学開拓と新規技術創出

を併せて推進する。すなわち、超分子、自己組織、ナノ物質、ナノデバイス、そして量子理論と計算を融合した学際研究によって、ナノ物質系と光の相互作用を科学的に解明し、情報、エネルギー、医療のためのナノ材料、技術を開発し、さらに革新的な技術シーズを創成する。

これらの成果を、学際領域の新しい科学、新しい技術として社会に提供し、その過程で社会に活力を与える人材を輩出し、高度情報化・持続可能次世代社会へ貢献する。

## 研究体制

課題ごとに班を編成するが、各班はナノ基盤系課題を共通項として緊密に連携し、一体となって研究を推進する。



## 研究代表者による報告

- はじめに
- 研究構想
  - 情報
  - エネルギー
  - 医療
  - ナノ物質基盤
- 研究経過と成果
  - 情報：超高速・超高密度記録
  - 情報：量子通信の鍵技術
  - エネルギー：太陽エネルギーと水素
  - 医療：遺伝子認識創薬
  - ナノ物質基盤
  - 超分子・自己組織によるナノ構造
  - ナノ物質の合成，ナノデバイスの作製と特性解析
  - 量子理論とナノ構造電磁界のシミュレーション
- 業績のまとめ
  - 課題と達成状況一覧
  - 業績データ一覧
  - 受賞
- プロジェクトの活動
  - 若手支援：研究員，リサーチ・アシスタント
  - 社会への発信：専門的な発信
  - 社会への発信：一般向けの発信
- 今後の発展



## はじめに

2008（平成 20）年のはじめごろ「日本大学・学術研究戦略プロジェクト」の募集があった。離ればなれに存在している日本大学の各学部が、力を合わせて一つのことをやれば、存在感を示すことができるし、それによって、国の科学技術政策や社会的ニーズにこたえ、他の国・公・私立大学との競争にも勝ち抜いていくことにつなげよう、という意欲的な構想であったと思われる。

私達はそれから学部横断のチーム作りを始めた。理工学部ではそれまで伊藤彰義教授を中心として、COE やグローバル COE への応募を行っていたので、そのグループがあり、また、私の属する物質応用化学科を中心とした文科省の「ハイテク・リサーチ・プロジェクト」として、2008 年度を最終年度とする「アトムテクノロジーを指向したナノ構造融合材料の創製」が進行していた。それらのメンバーを中心にチームをつくり、さらに文理学部、医学部に声をかけて、三学部の共同研究チームとしてミーティングを重ね、研究計画を練り、2008 年 5 月、「計画研究」に応募した。書類審査、ヒアリングを経て、五つの計画研究チームのうちの一つとして採択された。その後、生物資源科学部、薬学部から新たにメンバーを迎え入れ、さらに研究説明会、計画書提出、ヒアリングを経て、2008 年 10 月に唯一の「指定研究」として採択された。2009 年度から本格的に始動する準備として、2009 年 2 月に熱海の温泉でリトリート（合宿）を行い、朝から晩まで研究計画発表とディスカッションを行ったのは懐かしい思い出である。

## 研究構想

提出した研究課題要旨は、以下のようなものである。

---

本研究は、社会から最も深刻な技術的要請がある、情報、エネルギー、医療分野について、国内トップクラスの実績がある我々のナノ物質を用いた光・量子技術を、学部連携に基づいてさらに発展させることにより、

□重点課題 1—情報：超高速・超高密度記録および量子情報処理技術の極限、

□重点課題 2—エネルギー：ナノ構造による太陽光エネルギー利用技術の極限、

□重点課題 3—医療：医療応用のためのナノバイオ技術の極限

を追求し、新規高度化技術として応用をはかる。

これらの重点課題追求のために必要な共通の科学技術基盤を確立するために、

□基盤課題：ナノ物質系と光・量子融合領域の未踏科学開拓と新規技術創出

を併せて推進する。すなわち、超分子、自己組織、ナノ物質、ナノデバイス、そして量子理論と計算を融合した学際研究によって、ナノ物質系と光の相互作用を科学的に解明し、情報、エネルギー、医療のためのナノ材料、技術を開発し、さらに革新的な技術シーズを創成する。

これらの成果を、学際領域の新しい科学、新しい技術として社会に提供し、その過程で社会に活力を与える人材を輩出し、高度情報化・持続可能次世代社会へ貢献する。

---

テーマの設定は、それまでにメンバーの実績のある内容であり、それを格段に発展させることという観点から行った。また、社会の問題の解決に貢献し、ニーズに答えるために、情報、エネルギー、医療というもっとも重要な対象に正面から取り組もうとした。一見非常に幅広いテーマにみえ、実際にもそのとおりであるが、技術的な側面をたどると、それぞれに関わる物質の性質を決めているのは、原子のつながりかたや、光との相互作用のしかたとい



う極微な世界の性質であるので，そこから解明して技術を作り上げていく必要があることに気づく．そして，原子や分子が集まった程度のサイズであるナノメートルの科学や技術が共通のテーマとして浮かび上がってきた．ナノメートル（nm）は，

$$1 \text{ nm} = 0.000 \ 000 \ 001 \text{ m}$$

である．

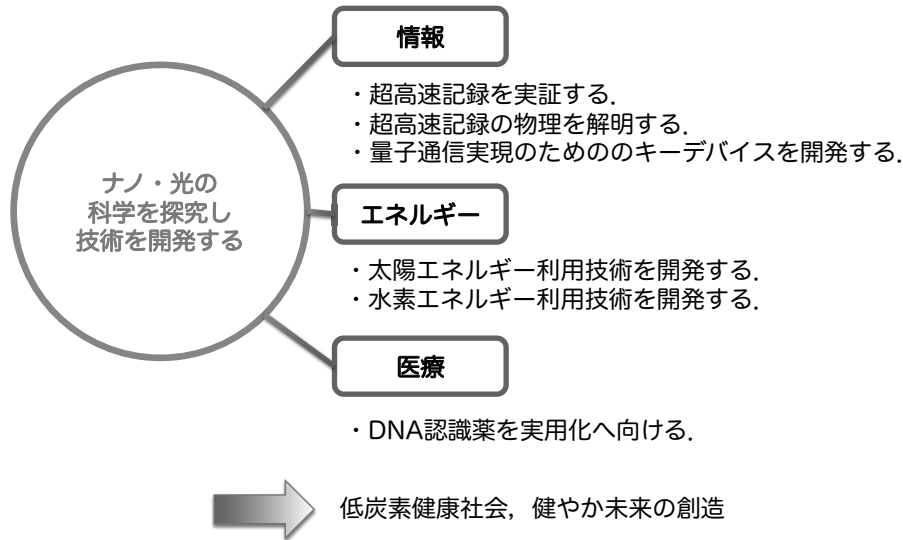


図. 本研究プロジェクトの研究目標

**情報** ますます大容量化する情報社会に対応するためには，より多くの情報をより速く，より小さな領域に書き込む，あるいは読み出す新しい方式が求められる．また，大容量通信の安全性も保証されなければならない．本プロジェクトでは，より速く，より小さく，より安全に，をめざして研究を進めた．

**エネルギー** 人類数千年の文明の歴史の中で，化石資源を中心としたエネルギーを大量に使って生活しているのはごく最近の 100 年間の人たちだけである（図参照）．研究開始時にはもちろん予想していなかったが，2011 年 3 月 11 日福島原発の重大事故があった．その後シェールガスの開拓もあるが，将来にわたって持続可能なエネルギーは太陽エネルギーだけである．本プロジェクトでは，太陽エネルギー利用とエネルギーキャリアとしての水素エネルギーのより有効利用をめざして研究を進めた．

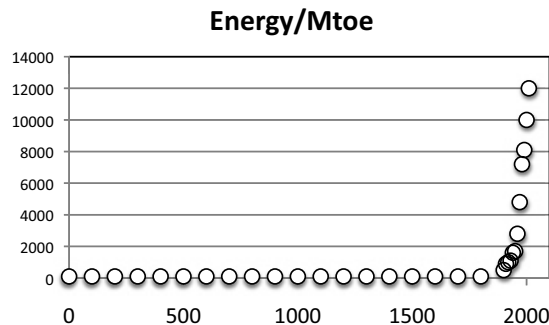


図. 人類のエネルギー使用量（縦軸単位は megaton oil equivalent, 横軸は西暦，データは国連，BP, WEO)

**医療** 日本人の死因の 1 / 3 は癌である。癌は遺伝子の発現が異常をきたして、細胞の増殖がコントロールできなくなった状態であるので、遺伝子の発現をコントロール下に置くことができれば、その治療の可能性が高くなる。日本大学医学部ではしばらくピロールイミダゾールポリアミドという遺伝子の配列を認識できる人工化合物の研究の蓄積があった。本プロジェクトでは、この化合物をもちいた創薬をめざして研究を進めた。

**ナノ物質基盤** 上記の課題のいずれも、ナノ物質を基盤とした科学と技術を必要としている。ナノ領域の少しでも小さい範囲に情報を書き込む必要があり、太陽電池は光を電子の流れに変換するナノ領域の物質の特性が効率を握っており、DNA 認識化合物は、ナノ領域の DNA の形や特性を識別する。これらのナノ物質の科学、技術への独自のアプローチも行った。

ナノサイズの物質を作るためには、半導体加工で有名なトップダウン方式と生命が実現しているような自己集合によるボトムアップ方式がある。本プロジェクトでは、トップダウンを得意とする研究者とボトムアップを得意とする研究者の両方が一緒に研究を進めた。また、光や電磁場とナノ物質との相互作用を理論的に予測、シミュレーションすることも重要であり、実験と合わせて、理論的な研究も進めた。

## 研究経過と成果

本プロジェクトの研究成果の、科学としてのインパクトの大きさ、新しさ、意義は、Nature および Nature の姉妹紙である Nature Communications, Nature Photonics, Nature Materials を始め、J. Am. Chem. Soc.などの一流紙に論文が掲載されたことが示している。一方で、技術的な新しさは、31 件の特許出願等が示している。研究員や学生を含めての受賞が 35 件あり、若手育成にも貢献できたことがわかる。

ここでは主な研究成果の概略を紹介する。より詳細な内容については、後に述べる班ごとの報告、および各メンバーの報告を参照されたい。

**情報：超高速・超高密度記録** ハードディスクは、微小な磁石が並んだような性質をもっており、その一つ一つの磁石（「磁化」という）が「上向き」か「下向き」かによって「0」か「1」かというデジタル情報が記録される。したがって、記録するためには磁化の向きを反転させなければならない。現在の技術では、磁場を与えて磁化を反転させており、速度は 1 秒間に 0.25 Gbit である（0.25 Gbit = 250 000 000 個のゼロか 1 の情報）。本プロジェクト開始前、塚本、伊藤らはオランダの大学のグループなどと共同で、物理学的に新しい現象を発見し、注目されていた。光は振動する電磁波であり、電磁場が右回りや左回りに回転する光を「円偏光」というが、円偏光のパルスで塚本らの材料に照射すると、磁化が反転するという現象である<sup>123</sup>。この現象を塚本らは「光誘起超高速磁化反転」と名付けた。この方式は、磁化を反転させる今までの方法と全く異なる新しい方法であり、原理的に、現在の 10 万倍の速度で情報が書き込めることになる。

ところが、新しい現象なだけに、なぜそのようなことが起こるのか物理的な機構が不明であった。そこで本プロジェクトでは、実際の書き込みに使うことを念頭におきつつも、そのメカニズムの解明に取り組んだ。

塚本、伊藤らはまず、パルスで磁化を一時的に壊して向きを反転させ、次のパルスで磁化

<sup>1</sup> 塚本、伊藤ら、*Phys. Rev. Lett.* **2007**, 99, 217204.

<sup>2</sup> 塚本、伊藤ら、*Phys. Rev. Lett.* **2007**, 99, 047601.

<sup>3</sup> 塚本、伊藤ら、*Phys. Rev. Lett.* **2007**, 98, 207401.

の向きを読み出すことに成功した<sup>4</sup>。この全プロセスにかかった時間が 30 ps (0.000 000 000 03 秒) であり、すでに現在の技術を凌駕している。この結果は、アメリカ物理学会の *Physics* 誌の *Spotlighting Exceptional Research* (2009, 2, 73), *Nature* 誌の *Research Highlights* (2009, 461, 318), また、*Nature Photonics* 誌の *Research Highlights* (2009, 3, 606) として取り上げられた。

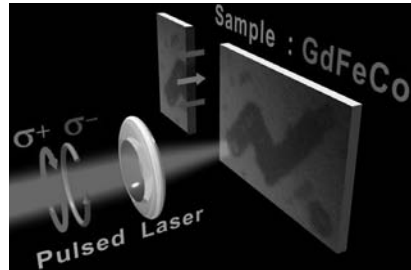


図. 「光誘起超高速磁化反転」によって書いた「エヌドット」

そして、極短時間で磁化が反転する挙動を計測することに成功した<sup>5</sup>。鉄とガドリニウムからなる材料にレーザーパルスを照射すると鉄の磁化は 300 fs (0.000 000 000 000 3 秒) で反転し、ガドリニウムの磁化はそれより遅い 1.5 ps (0.000 000 000 001 5 秒) で反転することを明らかにした。このような早い時間の磁化の挙動はほとんど知られておらず、科学的に新しい発見である。

さらに新しい磁化反転の機構として、ピコ秒以下のレーザーパルスを吸収することによる超高速加熱によって磁化が反転することを見いだした<sup>6</sup>。

X 線レーザーを用いることによって、磁化反転を極短時間領域だけでなく空間的にも極微小領域の挙動を明らかにすることに成功した<sup>7</sup>。その結果、ガドリニウムが多いナノ領域と鉄が多いナノ領域との間に磁気的な相互作用がはたらき、磁化の変化が影響をうけていることが明らかとなった。したがって、物質のナノ構造を制御することによって、磁化の挙動のコントロールが可能となることが期待される。

光で情報を書き込むことができると超高速にはできるが、一方で光は、その波としての性質から波長程度以下には絞れないという問題がある。可視光だと波長が 500 nm 程度なので、最大でも 500 nm 四方に 1 bit という情報密度になる。そこで「近接場光」による集光の検討を始めた。ナノサイズの金属に光を照射すると、あたかもそこに光が集中するような状態になり、これを近接場光という。近接場光によって波長よりはるかに小さい領域に光を照射したのと同じ状況をつくりだせるので、超高密度記録を実現できる可能性がある。実験と理論、計算（シミュレーション）の両面からこの問題にアプローチした。現在までに、62 nm × 67 nm の最少の磁区（磁化の上向きした向きが揃っている領域）を生成することに成功した。

**情報：量子通信の鍵技術** 記録とともに通信の情報量も指数関数的に増加しているが、プライバシーの保護などその安全性は、現在のところ、暗号化技術によって保たれている。これは現在のコンピューターが素因数分解の計算が苦手である（つまり時間がかかりすぎる）という特徴を利用している。ところが最近 200 桁を超える数の素因数分解が報告されるようになり（NTT, 2010 など）、暗号の安全性に危機感が強まっている。

そこで原理的に盗聴や解読が不可能な、量子力学の原理に基づく「量子暗号通信」に期待

<sup>4</sup> 塚本, 伊藤ら, *Phys. Rev. Lett.* **2009**, 103, 17201.

<sup>5</sup> 塚本, 伊藤ら, *Nature* **2011**, 472, 205.

<sup>6</sup> 塚本, 伊藤ら, *Nat. Commun.* **2012**, 3, 666.

<sup>7</sup> 塚本ら, *Nat. Mater.* **2013**, 12, 293.

が寄せられている。その実現のためには多くの技術的課題が残されているが、行方、井上らのグループは

- ・国内初の既設ファイバー（学内 LAN）を通じた量子暗号実験<sup>8</sup>
- ・世界最高速の単一光子検出器（通信波長帯用）<sup>9</sup>
- ・世界最高速の量子暗号実験<sup>10</sup>

というように、世界トップクラスの実績をあげていた。本プロジェクトではさらにキーとなるデバイス技術の開発を進め、性能の実証実験を行った。



図. 国内初、理工学部キャンパスの LAN を利用した量子暗号実験。

量子情報のための最重要基盤技術は単一光子検出器である。光は波であると同時に粒子であり、1個、2個と数えられる。量子情報では光のこの粒子としての性質を利用するので、光子が1個到着した、ということを検出しなければならない。そして、その検出を高速にできなければならない。

行方、井上らは、光検出器である「なだれフォトダイオード」に独自の工夫をすることで、繰り返し周波数が、従来の3桁近い改善となる2 GHz（1秒間に2 000 000 000回）で動作する「単一光子検出器」を開発した<sup>11</sup>。さらに光子が何個到着したかを数える性能の良い「光子数識別器」を開発し、従来の100 kHz（1秒間に100 000回）を桁違いに上回る80 MHz（1秒間に80 000 000回）を達成した。それをを用いて量子情報処理のデモンストレーションとして「非ガウス状態」の生成に成功した<sup>12</sup>。

開発したデバイスを用いて、量子暗号の「量子鍵」配送実験を行った。長距離の鍵配送（160 km）や、高速の鍵配送（1 Mbps = 1秒に1 000 000回）を実証した<sup>13</sup>。さらなる長距離の通信を実現するために必要な「量子中継」技術の開発も行った。量子中継に必要な技術のひとつに、「量子もつれ光子対」を発生させること、そしてそれをを用いた「量子もつれ交換」がある。通信波長帯の波長（1550 nm）の光を用いた実験において、それまでの記録（約0.75）を大きく更新する高い「量子もつれ純度」約0.9を実現した。また、量子受信機で「ビット数誤り率」の限界を打破する結果を得た<sup>14</sup>。この成果は、より長距離の通信につながるものと期待される。

<sup>8</sup> 行方、井上ら、*Opt. Express* **2005**, *13*, 9961.

<sup>9</sup> 行方、井上ら、*Opt. Express* **2006**, *14*, 10043.

<sup>10</sup> 行方、井上ら、*Appl. Phys. Lett.* **2007**, *91*, 011112.

<sup>11</sup> 行方、井上ら、*IEEE Photo. Tech. Lett.* **2010**, *22*, 529.

<sup>12</sup> 行方、井上ら、*Nat. Photon.* **2010**, *4*, 655.

<sup>13</sup> 行方、井上ら、*Opt. Express* **2011**, *19*, 10632.

<sup>14</sup> 井上ら、*Phys. Rev. Lett.* **2011**, *106*, 250503.

これらの結果は社会的にも注目を集め、多くの新聞などに取り上げられた（巻末参照）。

- ・日刊工業新聞 2010年2月12日
- ・日刊工業新聞 2010年7月8日
- ・Laser Focus World 2011年6月28日
- ・Fuji Sankei Business i 2011年6月28日
- ・日刊工業新聞 2011年5月16日
- ・電経新聞 2012年2月27日
- ・電波タイムズ 2012年3月5日

量子中継の実現のためには、上記の量子もつれ交換に加えて、量子メモリが必要になる。これに関する桑本らの「ボーズ・アインシュタイン凝縮」に関する論文が *J. Phys. B.*の Highlights of 2011 に選出された<sup>15</sup>。

**エネルギー：太陽エネルギーと水素** エネルギー分野では、太陽光のエネルギーを用いるエネルギーシステムの構築を目標にした。太陽光を利用した発電や水素発生、水素の貯蔵、そして水素から発電する燃料電池、という、「太陽光」と「水素」をキーワードとして、図に示す太陽光利用サイクルのエネルギー変換、貯蔵に関するそれぞれの要素プロセスの研究を進めた。

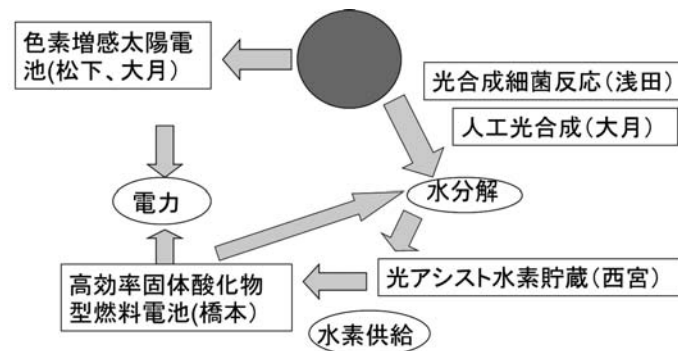


図. 太陽（赤丸）光エネルギー利用サイクルの要素プロセス

太陽光による発電では、「色素増感型太陽電池」とよばれる太陽電池が次世代太陽電池として期待されている。これはシリコン太陽電池と異なり、最初に光を吸収するのは分子であるので、分子構造の設計ができ、吸収波長や電位などのチューニングができるという特徴がある。この特徴をいかした新規色素の開発では、「ペリレンジカルボン酸ジイミド」という化合物の誘導体を系統的に検討し、分子構造と効率の関係を明らかにした。なおこれまでの色素で得られた太陽電池としての最大効率は3.1%であった。

また、「フォトニック結晶」による発電効率の向上の検討を行った。その結果、フォトニック結晶を用いることで、近接場光の効果によって、色素分子1個あたりの光電変換効率が向上するというシナリオを実証するデータを得ることができた。

太陽光を一旦電力にかえずに、貯蔵できるエネルギーとして水素を生産するという方式も考えられる。合成分子による触媒を用いる方法と、光合成細菌を利用する方法の両方を検討した。合成化合物による方法では、光吸収部位と触媒となる部位が自発的に集合するような設計を行い、自発的な集合のない従来の系よりも水素発生効率が2倍になることを見いだした<sup>16</sup>。光合成細菌による水素発生では、系内に水素貯蔵合金を共存させるという方法によ

<sup>15</sup> 桑本ら, *J. Phys. B* **2011**, *44*, 075302.

<sup>16</sup> 大月ら, *Chem. Commun.* **2010**, *46*, 8466.

って、細菌からの水素発生量が増加することを見いだした<sup>17</sup>。湿気の高い環境中で劣化しない水素吸蔵合金の技術を用いた結果である。

水素からの電力生産には「燃料電池」が用いられる。燃料電池にはいくつかタイプがあるが、「固体酸化物型」は高い変換効率をもつ素子として期待されている。この実用化のためには現状の作動温度の 800°C から 1000°C を 600°C から 800°C に低下させることが必要とされている。そのためには、従来と異なる新しい材料が必要であり、本研究ではその開発を行った。

橋本らは、新しい材料の探索を、ナノスケールで原材料が十分混ざりあう「ペチーニ法」による材料合成によって系統的に詳細な組成の検討を行い、当初の目標をクリアする特性をもつ材料を見いだした。燃料電池には「空気極」と「水素イオン導伝体」が必要であるが、空気極は、 $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  の組成をもつ材料<sup>18</sup>、水素イオン導伝体は  $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  の組成をもつ材料が最適であった<sup>19</sup>。これらの材料を用いて燃料電池を試作し、性能を評価している。

**医療：遺伝子認識創薬** 遺伝情報は、4種類の塩基の配列として DNA という巨大分子に保存されている。ディスタマイシンは、ピロールという一つの窒素（N）を含む五角形構造をもつ分子で、DNA と結合することが知られていた。1990年頃 Dervan らによって、ピロールに加えてイミダゾールという二つの窒素を含む五角形構造を分子内に導入した人工分子（ピロールイミダゾールポリアミド、以下 PI ポリアミド）が、DNA の塩基配列を区別して結合することが明らかにされた。医学部では本プロジェクト開始前から、PI ポリアミドの研究を進めていたが、本研究では、PI ポリアミドを臨床に応用することを目指し、さらに進展させた。

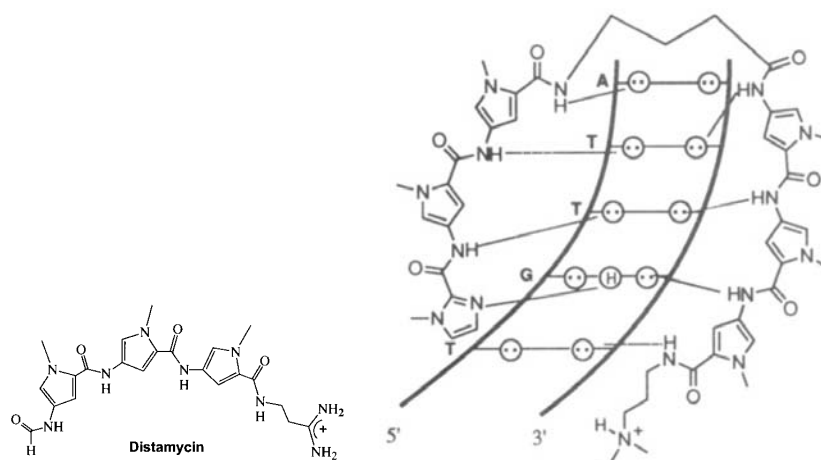


図. ディスタマイシン（左）と PI ポリアミドの例（右）。

ヒト骨肉腫、慢性骨髄性白血病、ヒト BWS 繊維芽などの細胞株に PI ポリアミドを投与し、遺伝子発現および細胞増殖の検討を行い、遺伝子発現抑制、細胞増殖抑制を確認した。さらにマウス皮下に移植したヒト骨肉腫の成長についても調べ、PI ポリアミドの抑制効果を確認した。PI ポリアミドの体内での薬物動態についても検討した。相馬、福田、松本らの PI ポリアミドに関する論文が、日本薬学会誌平成 24 年優秀論文に選出された<sup>20</sup>。

「トランスフォーミング増殖因子 TGF」というタンパク質は、遺伝子に結合してその遺伝

<sup>17</sup> 浅田，西宮ら，特願 2011-124597.

<sup>18</sup> 橋本ら，*Solid State Ionics*, **2010**, *181*, 1771.

<sup>19</sup> 橋本ら，*Solid State Ionics* **2012**, *206*, 91.

<sup>20</sup> 相馬，福田，松本ら，*Biol. Pharm. Bull.* **2012**, *35*, 2028.

子の発現を制御する。TGF は大別して  $TGF\alpha$  と  $TGF\beta$  に分けられる。  $TGF\beta$  は、細胞の成長と発生を調節する蛋白質であり、種々の組織で産生され、細胞の増殖、細胞外マトリックスの形成、免疫能の調節作用をもつ。福田らは「 $TGF\beta 1$ 」の DNA 結合部位に結合する PI ポリアミドを種々設計し、リード化合物を決定した。創薬を促進するために、まず手術後などに行ける「皮膚肥厚性瘢痕」の治療薬としての検討を開始した。哺乳動物であるマーモセットで試験を行い、瘢痕形成の抑制を認めた。さらにこの化合物を軟膏化し、塗り薬としても瘢痕が抑制されることが認められた。この結果は日本経済新聞（2013 年 10 月 18 日）に取り上げられた（図、拡大判は巻末）。



図. PI ポリアミドによる瘢痕抑制の動物実験（日本経済新聞，2013 年 10 月 18 日）。

PI ポリアミド以外にも、加野らが見いだした脱分化脂肪細胞 Dedifferentiated fat cells (DFAT)や舩廣らが見いだしたタンパク質の安定性を向上させる Stablon というアミノ酸 16 個からなるオリゴペプチドなどに関する、オリジナリティの高い研究も進展した。さらに、加野らは脂肪細胞の分化のさいの遺伝子発現と細胞の形の変化の関係を明らかにした<sup>21</sup>。大月、藤原、永瀬らの合成化合物「ポルフィリン」類の癌の光線力学療法への試験、浅井、福田らのプラズマの医療への応用も合わせて検討した。

また、永瀬らは、遺伝子発現ネットワークの解明を行い、腫瘍感受性や皮膚の炎症に関わる遺伝子の関連を明らかにした<sup>22</sup>。

**ナノ物質基盤** プロジェクトに参加した多くの研究者がそれぞれの分野で実績のある「得意技」をもっている。本プロジェクトでは、それらの研究者が密に情報交換することによって、互いの共同研究を進展させること、さらに、情報、エネルギー、医療分野へ、知識、材料、技術を提供することを狙った。

内容によって次の三つの班からなる研究体制をとった。

**超分子・自己組織班**：ボトムアップ手法によるナノ物質，ナノ構造の構築と特性

**ナノ物質・ナノデバイス班**：トップダウンを含めたナノ物質，ナノ構造の合成と物性

**量子理論・計算班**：ナノ物質と光の関わる量子力学やシミュレーション

ここでは、本研究で得られたさまざまな「ナノ」構造やその特性について紹介する。それ

<sup>21</sup> 加野ら, *Nat. Commun.* **2014**, in press.

<sup>22</sup> 永瀬, Balmain ら, *Nature* **2009**, 458, 505.

単独で科学的に興味深いものから、情報、エネルギー、医療への応用が図られるものまで幅広い成果が得られた。

**超分子・自己組織によるナノ構造** 大月らは、分子の自己集合構造の構築とその分子レベルでの構造解明を行っていた。図に示すのは「ポルフィリン」という化合物であるが、分子構造を変えてあり、「水素結合」という他の分子と相互作用する部位を分子構造の中にもたせてある。この水素結合部位の位置の違いによって、分子を二列に並べせたり、あるいはジグザグに並べせたりなど、二次元的な構造を制御できることを見いだしていた<sup>23</sup>。本プロジェクトでは、更に三次元的な分子からなる構造制御を検討した。

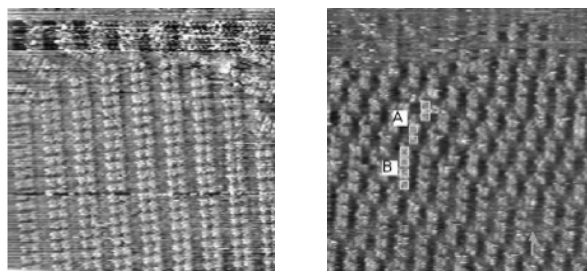


図. 分子構造の違いにより二列（左）あるいはジグザグ（右）に配列したポルフィリン分子。

天然の光合成では、「クロロフィル」という分子が集合体をかたちづくって光エネルギーを集める「光捕集アンテナ」として働いている。大月らは、クロロフィルの分子構造を改造し、自己集合構造を検討した。ある種の改造クロロフィルは、DNA を思わせる二重らせん構造に集積することがわかった<sup>24</sup>。第一に、ナノ物質をこのような三次元的に複雑な形にくみ上げられたことに意義がある。それだけではなく、このようなクロロフィルの集合構造を構築できたということは、光捕集アンテナとして望みの構造体を構築するためのヒントが得られたということでもある。

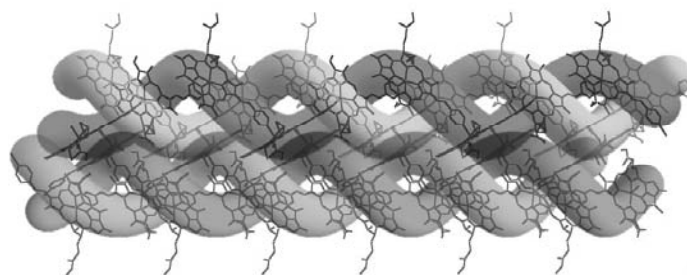


図. 改造クロロフィルの二重らせん集合構造。

分子の動きを1個1個のレベルで観察するために、「ダブルデッカーポルフィリン錯体」という分子を合成した。この分子は分子内のセリウム原子1個の周りに回転することが予想されたので、この分子を基板上に配列させ、走査トンネル顕微鏡で観察した。その結果、分子が時間とともに向きを変える様子を記録することができ、この種の分子運動を初めて「可視化」することに成功した成果となった<sup>25</sup>。

<sup>23</sup> 大月ら, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 10400.

<sup>24</sup> 大月ら, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 5262.

<sup>25</sup> 大月ら, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 6870.



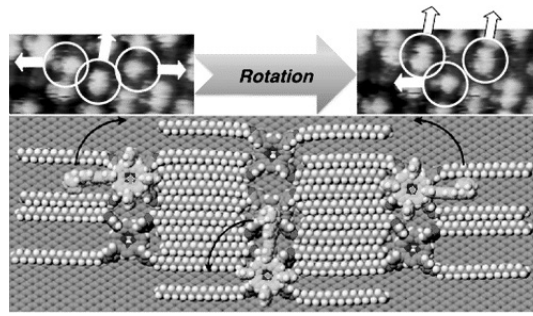


図. 分子回転を単一分子レベルで捕らえた像.

伊藤，塚本らは，超高密度磁気記録媒体作製のために，5 nm 程度のサイズのシリカの球や孔を配列する方法を開発し，それを利用して磁性ナノ粒子からなる材料を作製することに成功した．得られた密度は目標を超える 5.4 T particle/inch<sup>2</sup> (1 平方インチあたり 5 400 000 000 000 000 粒子) である．松下らはボトムアップ手法に局所的な熱変形を促す新しい方法によって，「星型」や「リング」などのナノ構造体の作製に成功した<sup>26</sup>．伊掛らは，植物由来の高分子材料であるポリ乳酸について，立体異性体を複合化することによって透明性の高いフィルムが得られることを見いだした．

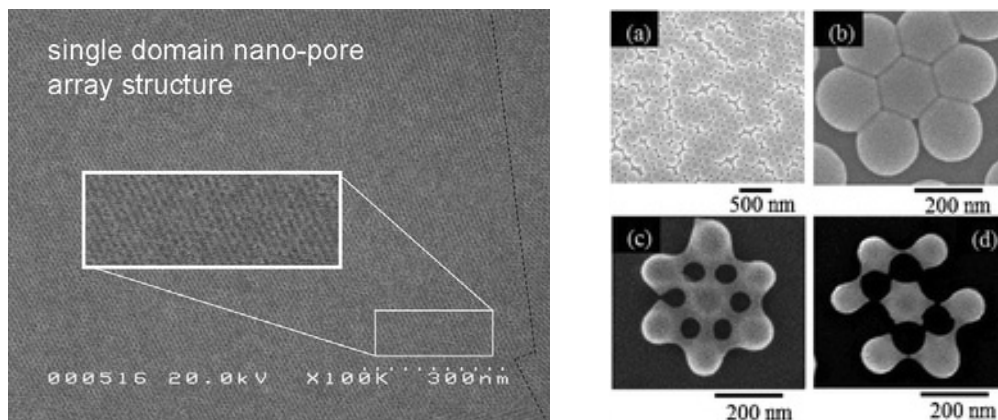


図. 伊藤，塚本らのナノ孔配列（左）と松下らの「六芒星」（右）．

**ナノ物質の合成，ナノデバイスの作製と特性解析** 本プロジェクトメンバーにはそれぞれ独自の合成，作製，評価，解析手法をもつ研究者が集まっている．例を挙げると，手法としては，電子線および X 線回折による精密結晶構造解析，超伝導特性評価，単一光子検出，プラズマ制御，一分子ナノ計測，材料としては，超伝導を示す二次元層状物質，金属酸化物ナノ粒子，カーボンナノチューブ，カーボンナノロッド，ヘテロ構造半導体などがある．

これらの材料と手法を生かした研究を共同研究によって格段に発展させるとともに，情報，エネルギー，医療分野への応用を図ることを目標として研究を進め，以下のようなナノ物質，ナノ構造，ナノデバイスを作製し，その特性，物性を評価した．

- ・強磁性金属（磁石）を内部に含むカーボンナノチューブ．
- ・カーボンナノチューブ（ナノロッド）とダイヤモンド状炭素によるダイオード
- ・水素吸蔵合金の薄膜
- ・高結晶性酸化亜鉛薄膜
- ・鉄ヒ素系超伝導体の中で 1111 系および 111 系超伝導体

<sup>26</sup> 松下ら，*Chem. Commun.* **2012**, 48, 1668.

- ・ペチーニ法を用いた超高密度ターゲット
- ・超高密度ターゲットを用いた超格子
- ・自由電子レーザー照射によるカイラリティの制御された単層カーボンナノチューブ
- ・色素増感太陽電池効率向上のための酸化チタンのフォトニック結晶
- ・「銀トリルアセチリド」分子のナノリボン
- ・酸素吸蔵物質のフォトルミネッセンス特性

以下の装置, 手法を開発した.

- ・歯周病菌殺菌用のプラズマ照射装置
- ・ナノバブル発生装置<sup>27</sup>
- ・磁化同軸プラズマガンによる高融点金属の合金薄膜生成法<sup>28</sup>
- ・腫瘍治療のための大気圧プラズマ装置
- ・THz 帯単一光子検出器
- ・筋肉の分子運動と ATP 分解反応の分子レベルでの機構解明
- ・生きた細胞の走査型電子顕微鏡観察手法

**量子理論とナノ構造電磁界のシミュレーション** 実験グループと共同して, 量子理論・計算グループは, 理論的な検討とシミュレーションを行った. ナノメートルサイズのような微小な領域では, 物質は「量子力学」という原理に従ってふるまう. したがって, ナノ物質の挙動を理解するためには, 量子力学の未解決問題を解決すること, そして, ナノ物質に光が当たったときにナノ物質と光がどのように相互作用するかシミュレーションによって予測できることが同様に重要である. 本プロジェクトでは, これらの課題に取り組んだ.

ナノ物質は量子力学に従って振る舞うが, 量子力学自身にもまだ理解されていない問題点がある. その内の一つにフント則がある. これは, 二つの異なる軌道にそれぞれ電子が一つずつあるとき, それぞれの電子の「スピン」は同じ方向を向いた状態が安定であり, 逆を向いた状態はより不安定である, という規則である. 佐甲らは, スピンが逆を向いた電子対には存在できない空間があることを見つけ, その結果エネルギーが上昇し不安定になることを明らかにし, 長年の謎であったフント則の起源を解明した<sup>29</sup>. この仕事は英国物理学会が選出する IOP セレクトに選ばれ, 欧州物理学会が発行する *Europhysics News* で紹介された.

応用の観点からも重要な系に固体表面がある. 表面は本質的にナノスケールであり, その特性は表面に量子力学を適用することで得られるはずである. 石田らは以下のような表面を対象として量子理論的解明を行った<sup>30,31,32</sup>.

- ・金属と「Mott 絶縁体」の界面
- ・金属電極を架橋する単一分子
- ・金属結晶表面

本プロジェクト情報分野では, 上述したように, 近接場光を利用して局所的に情報を書き込むという課題に取り組んでいる. 大貫, 中川らは, シミュレーションからその課題に取り組んだ. 従来法に比べて 100 倍以上高速であり, また高精度な電磁界時間応答解析法を開発した<sup>33</sup>. また種々のナノ構造をもつフォトニック結晶についてシミュレーションを行い光閉込め効果を検討した.

<sup>27</sup> 鈴木ら, 特願 2012-204982.

<sup>28</sup> 浅井, 鈴木, 西宮ら, 特願 2012-195690.

<sup>29</sup> 佐甲ら, *Phys. Rev. A* **2011**, 83, 032511.

<sup>30</sup> 石田ら, *Phys. Rev. B* **2010**, 82, 045107.

<sup>31</sup> 石田ら, *Phys. Rev. B* **2012**, 85, 045112.

<sup>32</sup> 石田ら, *Phys. Rev. B* **2012**, 86, 205115.

<sup>33</sup> 大貫, 中川ら, *J. Electromagn. Waves Appl.* **2012**, 26, 997.

電磁波がナノ物質との相互作用をシミュレートするために、大貫、佐甲らは、電磁波の方程式である Maxwell 方程式と物質の方程式である Shrödinger 方程式を同時に解く手法を開発した<sup>34</sup>。ナノサイズのプレートに光が照射された状況は、従来の手法では正しい解を得られず、提案手法でのみ正確な解析が可能であることを見いだした。

## 業績のまとめ

**課題と達成状況一覧。** 以下、本プロジェクト開始時に掲げた班別の具体的な目標と達成度の概略の一覧を示す。

**表. 重点課題 1 —情報：(1) 超高速・超高密度記録技術の達成目標。**

項目	現状	◇ 本研究の独創的技術によって ◇	目標
①書き込み速度	0.25 Gbits/s	光直接磁化反転	25000 Gbits/s (10 万倍)
②媒体記録密度	0.2 Tbits/inch <sup>2</sup>	自己組織転写ナノ磁性体	2 Tbits/inch <sup>2</sup> (10 倍)
③書き込み密度	0.6 μm <sup>2</sup> /bit	熱近接場書き込み	0.003 μm <sup>2</sup> /bit (200 倍)

- ① 40 fs の単一パルスで磁化反転を実証した = 250000 Gbits/s 相当. 連続記録が課題.
- ② 粒子密度 5.4 Tbits/inch<sup>2</sup> (目標の 2.7 倍) を達成. 粒子サイズ, 特性の均一化が課題.
- ③ 0.004 μm<sup>2</sup>/bit を達成. さらに微細化を検討中.

**表. 重点課題 1 —情報：(2) 量子情報処理技術の達成目標。**

項目	現状	◇ 本研究の独創的技術によって ◇	目標
①単一光子源	発生効率<10%	量子ドットによる単一光子発生	30%
②単一光子検出器	量子効率 1%, 暗計数~10 <sup>-8</sup>	超電導細線による単一光子検出	50%, 10 <sup>-8</sup>
③光子数識別器	分解能 0.2 eV, 繰返 100 kHz	超電導転移端センサでの光子数識別	0.2 eV, 1 MHz
④量子もつれ交換実験	忠実度<0.7	高忠実度量子もつれ交換	忠実度>0.9
⑤量子メモリー	1 ms	極低温原子集団・ボース凝縮体	10 ms
⑥量子ビットデバイス	量子効率~1%, <0.3K	THz 帯光プラズマ励起量子ビット	>5%, 室温-1.8 K

- ① 単一光子発生を確認した段階.
- ② InGaAs/InP-APD で検出効率 6%, 暗計数 10<sup>-8</sup> を達成.
- ③ 効率>80%, 分解能 0.2 eV, 繰返し 80 MHz (目標の 80 倍) を達成.
- ④ 忠実度~0.9 を達成.
- ⑤ ~0.3 ms の保存時間と 100%の保存効率を達成.
- ⑥ 1.1 K 以上の動作が期待できる結果. 検出器の受光感度は従来より 1 桁向上.

<sup>34</sup> 大貫, 佐甲, 中川ら, *Int. J. Numer. Model.* **2013**, 26, 533.

表. 重点課題2—エネルギー：ナノ構造による太陽光エネルギー利用技術の達成目標.

項目	現状	◇ 本研究の独創的技術によって ◇	達成目標
①超分子水の完全光分解	存在しない	光吸収, 酸化, 還元触媒を超分子化	初めて実現
②光アシスト水素吸蔵	概念から新しい	独自に発見した光脱離現象	量子収率>0.1, >6質量%
③高強度燃料電池	破壊強度 60 MPa, 作動温度 900 °C	マイクロ・ナノ粒子からの新合成プロセス	強度 2 ~ 5 倍, 600°C
④安価な色素の色素増感太陽電池	エネルギー変換効率 3%	ナノ構造による光閉込め効果を利用	5%
⑤光合成細菌利用光反応	速度 34 nmol/h/mg	遺伝子導入光合成細菌	1桁上昇させる

- ① 超分子化で水素発生の効率 2 倍. 完全光分解は未達成.
- ② 量子収率 0.01 程度, 2 質量%の合金で容量 2 倍化達成. 3 質量%の合金へ適用中.
- ③ 有望なカソード材料, 電解質材料を発見. テストセル評価装置完成の段階.
- ④ 光閉込め効果で色素あたりの光電変換効率は 1.7 倍を確認.
- ⑤ アナベナ-ZrVFe 系で 7 倍の水素増収を達成.

表. 重点課題3—医療：医療応用のためのナノバイオ技術の達成目標.

項目	現状	◇ 本研究の独創的技術によって ◇	達成目標
①癌探索プローブの開発	候補検討中	癌特異的生体物質認識化合物の同定	初めて実現
②生体蛍光・発光物質の開発	安全性, 感度に関する問題	独自に高感度の低波長蛍光物質を合成, さらに安全性の高いものを開発	癌特異的生体物質の化合物による検出
③ex vivo 診断検査系の確立	診断率が低い	高感度で高特異性癌診断検査法を開発	診断率 80%以上, 擬陽性率 10%以下
④in vivo 画像診断検査系への応用	癌早期診断は困難	癌早期画像診断技術の向上と安価な検査機器の開発への道を開く	生体に使用可能な化合物候補を合成
⑤癌治療他の難治性疾患への応用	非癌部へ影響, 対象疾患検討	癌特異的な殺細胞物質の誘導, 生活習慣病・難治性疾患の診断治療	臨床前試験の開始

- ①, ② 研究推進中.
- ③ テロメア標識技術が共同研究者により確立. 実用化研究推進中.
- ④ 動物実験で腫瘍細胞の蛍光発色が可能に. 診断への応用には更に研究が必要.
- ⑤ 実験動物レベルでの前臨床試験で期待されるデータ. 臨床応用は今後. 癒痕治療薬としては, 軟膏化し, 哺乳動物実験で効果確認.

**業績データ一覧.** 以下, 表に論文, 著書, 特許出願, 学会発表, 受賞, 外部資金獲得についてまとめた. カッコ内の数値 (A, B) は, A が複数のメンバーの共著研究, B が学部を超えたメンバー間の共著研究である. また, 共同研究の相関をネットワーク図に示した. 密な共同研究がデータとして示されていることがわかる. また, 特許出願等の一覧も示した.

表. 研究成果

	2009	2010	2011	2012	2013
論文	117(20,6)	108(15,4)	121(20,3)	112(22,5)	128(18,11)
特許出願等	8(1,0)	9(4,1)	8(2,0)	3(2,0)	3(1,0)
招待講演等	80	45	66	29(5,2)	68(6,2)
学会発表	323	327(51,10)	281(57,6)	277(126,16)	391(104,29)
著書	17	11	19	5	17
受賞	4	4	5	9	13
外部資金	30(11,0)	33(13,2)	27(10,2)	27(7,1)	30(3,0)

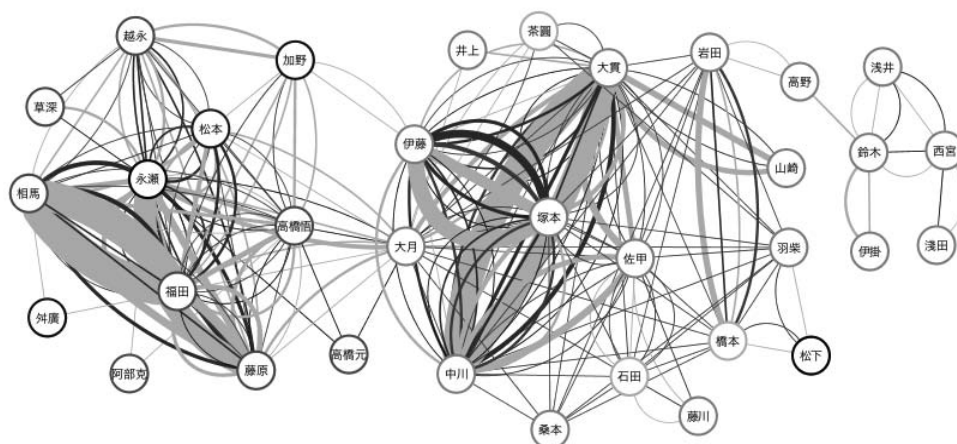


図. 共同研究相関. 線は共同研究を表し, 太さが件数に対応する. 黒線: 論文, グレー線: 特許, 学会発表, 外部資金. カラーデータでは, メンバー (理工: オレンジ, 医: 緑, 文理: 黄緑, 薬: 紫, 生物資源科学: 青, 他: 黒) と共同研究 (論文: 赤, 特許: 青, 学会発表: 緑, 外部資金: ピンク) の区別がある.

表. 特許出願等一覧.

発明の名称	出願番号等	発明者
ドライバーオンコジーンの遺伝子変異を標的にアルキル化する新規アルキル化剤	2013-214044	永瀬
新規PIポリアミド	2013-048126	高橋悟, 藤原
磁化同軸プラズマ生成装置	2013-138533	浅井
新規PIポリアミド	2012-106382	高橋悟, 藤原, 福田
微小バブル発生装置、微小吐出孔ノズル及びその製造方法	2012-204982	鈴木
合金薄膜生成装置	2012-195690	浅井, 鈴木, 西宮
タンパク質療法や抗体療法に応用可能なプロテアソームによるタンパク質分解を阻害する酸性アミノ酸からなるモチーフの確立	2011-514288	舛廣
シアノバクテリアが産生する水素の水素吸蔵合金による効率的回収方法および水素の増収方法	2011-124597	西宮, 浅田
消霧方法及び装置	2011-234153	鈴木
定常プラズマ生成装置	2011-068129	浅井
プラズマ光源とその紫外光発生方法	2011-501691	浅井
標的遺伝子特異的ヒストン修飾制御剤	特許番号 4873510	永瀬

MYC下流遺伝子を標的とした配列特異的発現調節剤、及びMYC下流遺伝子の標的又は標的群を決定する方法	2011-503644	永瀬
DNA配列特異的結合化合物を含む局所用眼科疾患治療薬	2011-503643 US 13/256012	永瀬, 福田
HIGH-SPEED PULSED HOMODYNE DETECTOR IN OPTICAL COMMUNICATION WAVELENGTH BAND	WO/2010/035533	井上, 行方
組立式の分光器用型紙	意匠 2010-026455	浅井
磁性体内包CNTの析出装置、磁性体内包CNTの析出方法、磁性体内包CNT、磁気力顕微鏡、スピン・トランジスタ、スピン・ダイオード、スピン電界効果トランジスタ、スピンpinダイオード	2010-198325	鈴木
情報記録ヘッド、情報記録装置、情報記録方法及び光デバイス	2010-161996, PCT/JP2011/066148	中川, 大貫, 伊藤, 塚本
血中HDL増加剤または抗動脈硬化剤	2010-146985, PCT/JP2011/064696	福田, 永瀬
ポルフィリン誘導体および放射線力学療法におけるその使用	2010-029205, PCT/JP2011/053054	永瀬, 高橋 (元), 高橋 (悟), 大月
標的遺伝子特異的ヒストン修飾制御剤	2010-519093, PCT/JP2009/062054	永瀬
増殖性疾患の検出方法	2010-508220, PCT/JP2009/057524	永瀬
マトリックスメタロプロテナーゼ9遺伝子選択的発現抑制剤	2010-508268, PCT/JP2009/057801	永瀬
タンパク質療法や細胞の分化/未分化制御、抗体療法に応用可能な細胞内でのタンパク質の安定化を可能にする酸性アミノ酸からなるモチーフの確立	PCT / JP2009 / 070081; N002P08005	舩廣
タンパク質療法や抗体療法に応用可能なプロテアソームによるタンパク質分解を阻害する酸性アミノ酸から成るモチーフの確立	2009-122552	舩廣
レチノイン酸受容体 $\alpha$ を含む融合タンパク質	2009-077375	舩廣
Myc 下流遺伝子群を標的とした配列特異的 DNA 結合化合物による疾患治療薬候補探索と疾患治療化合物	2009-061321, PCT/JP2009/066111	永瀬, 草深
CO <sub>2</sub> 固定化方法及びCO <sub>2</sub> 固定化用藻類培養装置	2009-185042	浅田
カーボンナノチューブのカイラリティ制御	2009-131857	岩田
LFプラズマジェット生成方法及びLFプラズマジェット生成装置	2009-080683	浅井
同軸磁化プラズマ生成装置	2009-171864	浅井

**受賞** 以下、メンバーあるいはメンバーの研究室でプロジェクト研究に携わった研究員、学生の受賞記録である。メンバー受賞 12 件、若手研究員、学生の受賞 23 件であった。

表. メンバーの受賞.

受賞者	賞	年月日
大貫進一郎	平成 25 年度日本大学理工学部学術賞	2013 年 11 月 21 日
伊藤彰義, 大貫進一郎, 塚本新, 中川活二	平成 25 年度日本磁気学会論文賞	2013 年 9 月 4 日
山崎恒樹	電気学会優秀論文発表賞 (基礎・材料・共通部門表彰)	2013 年 9 月
松下祥子	平成 25 年度日本化学会コロイドおよび界	2013 年

	面化学部会科学奨励賞	
伊藤彰義, 中川活二	静電気学会進歩賞	2012年9月13日
大貫進一郎	電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ活動功労賞	2012年3月21日
相馬正義, 福田昇, 松本宜明	日本薬学学会誌平成24年優秀論文	2012年
松下祥子	第86回日本セラミックス協会優秀論文賞	2012年
青山隆彦, 松本宜明	「TDM研究」優秀論文賞	2011年6月18日
浅井朋彦	平成22年度日本大学理工学部学術賞	2011年5月
山崎恒樹	電子情報通信学会学術奨励賞	2010年3月
伊藤彰義, 塚本新	MORIS2009, Best Poster Awards	2009年6月

表. 研究員, 学生の受賞.

受賞者	賞	メンバー	年月日
吉川大貴	Best Poster Awards, 国際会議 MORIS2013	塚本	2013年12月
石原隆一	放電学会優秀ポスター発表賞, 放電学会若手セミナー	鈴木	2013年11月30日
岸本誠也	平成24年度電気学会優秀論文発表賞	大貫	2013年9月12日
杉本隆之	日本セラミックス協会第26回秋季シンポジウムベストポスター発表賞	橋本	2013年9月4日
影山雄一	平成25年度電気学会東京支部学生優秀発表賞	大貫	2013年9月3日
長澤和也	平成25年度電気学会東京支部学生優秀発表賞	大貫	2013年9月3日
加藤司	電子情報通信学会平成24年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞	大貫	2013年6月14日
竹内嵩	平成24年度電子情報通信学会学術奨励賞	大貫	2013年3月20日
竹内嵩	平成24年度電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞	大貫	2013年3月20日
加藤司	平成23年度電気学会優秀論文発表賞(基礎・材料・共通部門表彰)	大貫	2012年9月20日
岸本誠也	電子情報通信学会平成23年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞	大貫	2012年5月25日
竹内嵩	電子情報通信学会平成23年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞	大貫	2012年5月25日
岸本誠也	平成23年度電子情報通信学会学術奨励賞	大貫	2012年3月21日
加藤司	平成23年度電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞	大貫	2012年3月21日
杉本隆之	第27回日本セラミックス協会関東支部研究発表会優秀賞	橋本	2011年9月29日
北岡優弥	平成22年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞	大貫	2011年5月28日
平野正樹	平成22年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞	大貫	2011年5月28日
Joji Kato	Korea-Japan Joint Forum, Excellent Student Poster Award	松下	2010年8月22-25日
岸本誠也	電子情報通信学会平成21年度電磁界理論研究会	大貫	2010年5月29日

	学生優秀発表賞		
野々村光浩	第 10 回レーザー学会東京支部研究会ポスター講演優秀賞	鈴木	2010 年 3 月 3 日
高村絢子	2009 年放電学会年次大会優秀ポスター発表賞	鈴木	2009 年 11 月 14 日
望月崇久	電子情報通信学会平成 20 年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞	大貫	2009 年 5 月 23 日
岡田辰一郎	電子情報通信学会東京支部学生奨励賞	大貫	2009 年 5 月 23 日

## プロジェクトの活動

各年度ごとに、全員で集まるイベントとして、年度始めに研究計画報告会、年度中盤に公開シンポジウム、年度末に研究成果報告会を開催した（下記表参照）。それ以外に理工学部先端材料科学センター主催の若手フォーラムの共催、理工学部学術講演会での特別セッションの開催を行った。その他随時、講演者を招いての講演会などを開催。

表. 共同研究促進・成果発信企画一覧.

2008 年度	2 月 27 日	平成 21 年度計画報告会（リトリート，熱海）
2009 年度	9 月 7 日	平成 21 年度中間報告会（理工学部）
	9 月 18 日	第 1 回シンポジウム（医学部）
	10 月 31 日	サイエンスアゴラ（お台場）
	11 月 28 日	学術講演会特別セッション（理工学部）
	1 月 15 日	平成 21 年度成果報告会（理工学部）
2010 年度	2 月 13 日	先端材料科学センター若手フォーラム（理工学部）
	5 月 10 日	平成 22 年度計画報告会（理工学部）
	9 月 8 日	第 2 回シンポジウム（理工学部）
	1 月 8 日	平成 22 年度成果報告会（理工学部）
2011 年度	2 月 5 日	先端材料科学センター若手フォーラム（理工学部）
	5 月 27 日	平成 23 年度計画報告会（理工学部）
	8 月 24 日	平成 23 年度中間報告会（理工学部）
	11 月 26 日	学術講演会特別セッション（理工学部）
	1 月 7 日	平成 23 年度成果報告会（理工学部）
2012 年度	1 月 28 日	先端材料科学センター若手フォーラム（理工学部）
	2 月 20 日	第 3 回シンポジウム（本部）
	5 月 26 日	平成 24 年度計画報告会（理工学部）
	9 月 15 日	第 4 回シンポジウム（文理学部）
	11 月 28 日	学術講演会特別セッション（理工学部）
2013 年度	1 月 12 日	平成 24 年度成果報告会（理工学部）
	2 月 9 日	先端材料科学センター若手フォーラム（理工学部）
	5 月 18 日	平成 25 年度計画報告会（理工学部）
	6 月 11 日	JST 新技術説明会（科学技術振興機構 JST）
	12 月 21 日	第 5 回シンポジウム（本部）
	2 月 15 日	先端材料科学センター若手フォーラム（理工学部）



**若手支援：研究員，リサーチ・アシスタント** 若手支援，そして研究推進のための戦力として，研究員，ポストドクトラル（PD）研究員を雇用した．また，多くの大学で博士後期課程の学費の減免が行われている中，博士後期学生を，経済的支援として，リサーチアシスタント（RA）として雇用した．プロジェクトの研究グループ中から，学術振興会 DC に採択された者が 2 名いる．

表. 研究員およびリサーチ・アシスタント

	2009	2010	2011	2012	2013
PD 等研究員	3	7	9	10	10
RA（博士後期学生）	5	5	3	4	5

既に契約が終了した研究員，学生は，以下のように，世界の大学，企業，医療機関などで活躍している．

Gandhigram Rural Institute 准教授（インド），チッソ（株），内科開業，阿伎留医療センター，日本大学文理学部若手研究員，益川塾特任研究員，日本大学文理学部助手 A，千葉県がんセンター，筑波大学助教，慶応大学医学部特任助教，Alcaliber（スペイン）

**社会への発信：専門的な発信**

**シンポジウム** 毎年，公開シンポジウムを行なった．2009 年初回は英語で国際会議，2010 年第 2 回は若手講演を中心に行い，2012 年第 4 回は文理学部の私立大学戦略的基盤形成支援事業「構造制御および電子状態制御に基づく新物質の開発」と共同で開催，2013 年最終シンポジウムは一般向け企画として高校生とのクロストークを行った（社会への発信：一般向け参照）．



図. シンポジウムポスター（2009-2013）.

**新技術説明会** 科学技術振興機構（JST）は，大学，公的研究機関および JST の各種事業により生まれた研究成果の実用化を促進するため，「新技術説明会」を開催している．本プロジェクトの成果を発信するために，2013 年 6 月 11 日，プロジェクトの特許技術 6 件の説明会を開催した．

発表した特許出願技術は以下の通り．

- ・局所円偏光を利用した超高速磁気記録 （中川）
- ・ナノ・マイクロバブルの粒径を均一に可変制御する吐出ノズルと発生装置の開発 （鈴木）
- ・磁化プラズモイドの繰り返しパルス生成による新奇製膜法の提案 （浅井）
- ・水素吸蔵合金カプセルの共存による生物的水素生産の効率化 （西宮）

- ・タンパク質の寿命を延ばす方法の開発  
～遺伝的に安全かつ簡易な iPS, 分化細胞誘導法の開発に向けて～ (舩廣)
- ・新規バイオ医薬ピロール・イミダゾールポリアミドの創薬開発 (福田)

新技術説明会の開催に関しては、研究推進部・研究推進課、知財課、Nubic にお世話になりました。



図. 新技術説明会(2013).

**研究ジャーナル** 理工学部発行の論文誌「日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル」に理工学部メンバーの解説記事を掲載した。この論文誌は、J-Stage を経由して無料で全文閲覧可能である。内容は以下の通り。

- ・超短パルスレーザーによる超高速磁化制御と計測  
塚本, 伊藤, No. 122, p. 25-33
- ・量子暗号通信の実用化を目指した単一光子検出器の開発  
井上, 行方, No. 123, p. 1-10
- ・Fiddling with Electrons and Photons Using Metal Complexes at the Molecular Scale  
大月, No. 124, p. 26-35

**日本化学会年会特別企画** 日本化学会では、産・官・学の意見交換、新分野・新領域の開拓、他分野への発展、学際領域を積極的に開拓、研究最先端のトピックスなどの企画を公募している。メンバーが企画責任者となって2件の特別企画を開催した(1件は予定)。

- ・2009年3月27日, 第89春季年会  
持続可能な「健やか未来」を構築する化学 □総合力の中心をになう□ (西宮)
- ・2014年3月27日, 第94春季年会  
光と物質の相互作用: 基礎から光材料・デバイスへ (大月)

### 社会への発信: 一般向けの発信

**ホームページ** ホームページを作製し、日本大学本部のトップページにバナーを作ってもらい、そこをクリックすると見られるようにした。随時、一流誌への論文掲載や受賞やなどのニュース、シンポジウム、セミナーなどのお知らせを掲載した。

**サイエンスアゴラ** プロジェクト開始年である2009年、お台場で開催された「サイエンスアゴラ」で藝術学部・木村政司教授デザインのパネル展示を行った(図、拡大判は巻末に掲載)。サイエンスアゴラは、日本最大級のサイエンスのイベントであり、一般の人たちがサイエンスをテーマとして集う広場として毎年開催されている。

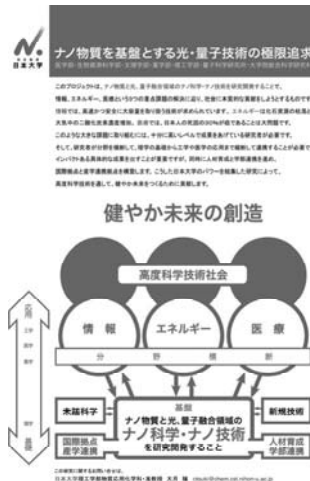


図. サイエンスアゴラ (2009) .

**高校生とのクロストーク** 2013年12月21日、最終シンポジウムに合わせて、高校生とのクロストーク「科学の素晴らしさと研究という仕事」を行った。メンバーの研究者（大月、塚本、松下）が研究内容を紹介し、附属高校の生徒4名がステージ上で対談、会場からの質問もあり、という企画を行った。（高校生の参加者23名、シンポジウム全体で144名）。このショーは、藝術学部木村政司教授、研究推進課大和田恭成課長によって企画された。司会は藝術学部学生の栗原萌子さん。

**出版** このプロジェクトで、「ナノ物質」という共通のキーワードで研究した情報、エネルギー、医療分野について、それぞれの研究の内容や研究者の思いを、高校生にもわかりやすくサイエンスライターが取材してまとめた本を出版する（2014年3月発行予定）。

「未来への6つの約束～日本大学N.研究物語～」，リバネス出版

- ・究極のマイクロマシンをつくり上げる（大月）
- ・プラズマを安定化させ、エネルギー問題を解決する（浅井）
- ・量子の世界と光の世界が手をつなぐ（佐甲）
- ・人の輪を広げ、次世代を担うメモリー技術と人材を育む（中川）
- ・新物質のレシピで夢を叶える（橋本）
- ・次世代創薬研究で、難病で苦しむ人を救う（福田）

**メディア** 日本大学の外のメディアへの発信を以下に紹介し、コピーを巻末に載せた。なお、多くのメディア発信は、研究推進部（研究推進課ならびに知財課、Nubic）のお世話になりました。

- ・2009年、日刊工業新聞 2009年4月17日号
- ・2009年、東洋経済 2009年6月29日号
- ・2010年、2011年度版卓越する大学、大学通信
- ・2013年、大学の約束、リクルート



**日本大学**

〒118-8501 東京都千代田区文京4-24 学務部入学課 TEL: 03-5278-8001 http://www.nihon-u.ac.jp

**研究力** 日大ならではの総合力を発揮し 世界へ向けて先端研究を発信

日本大学は、14学部11学科・短期大学部を擁する、わが国屈指の規模を誇る私立総合大学です。人文・社会科学から自然科学まで、多岐にわたる専門分野で構成された学部・学科は、あらゆる学際領域を網羅しています。その日大の「総合力」を発揮して誕生したのが「日本大学学術研究戦略プロジェクト」です。自主財源による大型プロジェクトの実現は、まさに日本大学ならではのスケールと言えるでしょう。複数の学部間をまたぐ「超学際連携」により、社会のニーズに応えた世界最先端レベルの研究を推進。日大独自のインパクトある研究成果の社会への還元が、大いに期待されています。

大田 雅彦 学術研究戦略プロジェクト

拠点から事業化し経営、理工学部物質化学科の月俵教授を代表者とする「ナノ物質を基盤とする次世代ナノテクノロジー」の分野

日本大学 | ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求

ナノテクノロジーで世界の先端を走る 世の中を変える研究が 低炭素で健やかな未来を創造する

図. 日本大学 N.研究プロジェクトの記事

大学内への発信 2010 年には、学内の新聞である日大新聞にプロジェクトの特集を組んでいただき、プロジェクトの各分野の記事を学生記者に取材してもらって掲載された（図参照. 拡大判は巻末）。

その他、日大広報や各学部の冊子など随時掲載された。



図. 日大新聞 2010 年, 4, 5, 6, 7, 8 月号.

## 今後の発展

本プロジェクトの目標の一つに、5年間の研究成果をつぎに活かすことによって、研究拠点を形成することを挙げた。その意味で、理工学部のプロジェクトメンバーを中心として、平成 25 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」（代表・塚本）に採択されたので、

研究拠点として資金的、人的にも継続して、さらに新しい研究を、今後4年間、進められることになった。また、メンバーが新しく大型の研究プロジェクトに参画することになったので紹介しておく。

文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
機関：日本大学，期間：2013年度～2017年度 研究課題「超短時間光・物質相互作用の理解・制御が切り開く新材料・物性・デバイスの探索と創生」研究代表者：塚本
文部科学省科学研究費補助金「新学術領域」
期間：2013年度～2017年度 研究課題「分子アーキテクトニクス：単一分子の組織化と新機能創成」 計画班班員：石田，佐甲
経済産業省再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発（エネルギーキャリアシステム研究）
期間：2013年度～2017年度 熔融塩を用いた水と窒素からのアンモニア電解合成 研究参画：西宮

## 班の報告

➤ 情報（記憶）班 .....	29
➤ 情報（量子情報）班 .....	33
➤ エネルギー班 .....	37
➤ 医療班 .....	39
➤ 超分子・自己組織班 .....	42
➤ ナノ物質・ナノデバイス班 .....	44
➤ 量子理論・計算班 .....	49

情報（記憶）班：超高密度超高速記録の基盤

中川活二\*, 伊藤彰義, 塚本新

1. 研究目的

情報（記憶）班では、省エネルギーで高効率情報記憶のために、超高密度超高速記録の極限追求のための基盤研究を推進する。

2. 平成 21 年度（2009 年度）の目標と成果

2.1 磁性金属における光誘起磁化現象応答物質，発現条件の探索

- ・磁気光学感受率の大きな材料として、フェリ磁性希土類遷移金属合金に着目。
- ・磁気光学効果による超短時間応答の計測が可能である事を確認。
- ・光誘起磁化応答を検討するうえで不可欠となる、GdFeCo 膜の角運動量補償現象に起因する実効的磁気回転比，実行的ダンピング定数の増大効果を確認。(Fig. 1)
- ・光誘起超高速磁化反転現象発現条件の理論・実験結果を Physical Review Letters 誌に発表。

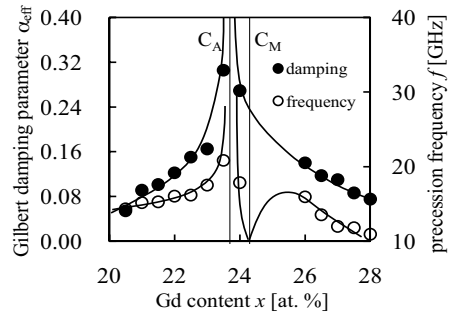


Fig. 1 Compositional dependence of damping parameter  $\alpha$  and precession frequency  $f$

2.2 超短パルス光利用極時間磁化応答のスペクトロスコピック計測

- ・超短パルス光源部を中心にスペクトロスコピック計測可能なシステムへと総合的改良実施。
- ・非線形光学効果利用による波長変換用 OPA を導入し、235 nm～1600 nm の波長範囲で半値全幅 100 fs の高輝度超短パルス光を出射可能とした。
- ・システム改良で磁化動特性のポンプ・プローブ計測が可能である事を確認。
- ・GdFeCo 試料に対しプローブ波長 420nm での実験を進行。

2.3 近接場光利用記録

- ・記録媒体昇温過程の記録媒体構造依存性をシミュレーションにて検討。
- ・粒子状媒体配列構造で、記録部とその他領域の温度差を 65% とすることが可能。
- ・記録時の近接場光発生アンテナと記録粒子との位置関係と昇温条件を調査。(Fig. 2)
- ・表面プラズモン共鳴の円偏光モードを形成可能な 4 回対称性のアンテナ提案。

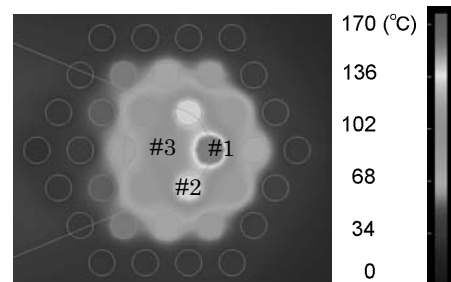


Fig. 2 Temperature increase of metallic particles heated surface plasmon antenna.

2.4 磁気微粒子形成

- ・作製したテンプレート基板を用いて平均粒子直径 14.8 nm，粒子数密度 0.74 T particles/inch<sup>2</sup> を実現した。

2.5 トピックス

- ・H21 年 6 月塚本，伊藤らが MORIS2009 において Best poster Awards を受賞。
- ・H21 年 9 月 11 日付けで，塚本，伊藤らの執筆論文が，PHYSICAL REVIEW LETTERS 誌 (Vol. 103, P. 117201) に採録。
- ・同上の論文は「Selected for a Viewpoint in Physics」に選出された。
- ・同上の論文は，Riccardo Hertel 氏執筆による解説記事 “For faster magnetic switching—destroy and rebuild” が American Physical Society 発行 “Physics -spotlighting exceptional

research-”誌 Viewpoints に掲載された

- ・ H22 年 1 月 29 日開催日本磁気学会 第 170 回研究会「光と磁気のシナジー技術」～次世代ストレージ・光機能磁性デバイス実現のための新技術動向～において、伊藤彰義と塚本新がそれぞれ独立に招待講演。

### 3. 平成 22 年度（2010 年度）の目標と成果

#### 3.1 磁性金属における光誘起磁化現象応答物質，発現条件の探索

- ・ 超短パルス光励起偏光顕微鏡装置を構築し光誘起磁化反転現象を確認するとともに (Fig. 3)，磁性層厚 20nm の超薄膜 TbFeCo 材料で垂直磁気異方性を発現する組成域において光誘起磁化反転現象が発現することを明らかにした。

#### 3.2 超短パルス光利用極短時間磁化応答のスペクトロスコピック計測

- ・ サブピコ秒時間領域での光学応答現象計測の縦プラズモン応答評価装置整備完了。
- ・ フェムト秒パルスレーザー光源によるポンプ・プローブ時間分解計測システムを構築。
- ・ 磁化動特性については、磁気ファラデー効果、磁気カー効果で計測。
- ・ 電子温度解析は、電子温度依存誘電率変化に伴う透過率、反射率の変化率で計測。

#### 3.3 近接場光利用記録

- ・ 大貫准教授の協力で、ナノスケール分散性媒質電磁界過渡解析手法を確立。  
→三次元任意形状物体のプラズモン共鳴周波数推定や過渡応答解析が可能。
- ・ 円偏光モード発生アンテナ構造を複数抽出。
- ・ 十字形アパチャーと粒子記録媒体との組み合わせで局所的な円偏光モード生成可能。(Fig. 4)

#### 3.4 磁気微粒子形成

- ・ 空孔を有するシリカ薄膜の、広範囲にわたる稠密規則化および単層化を Pt および Fe 上で実現する基礎実験に成功した。
- ・ 超微小シリカ粒子配列膜の作製を実現。
- ・ 超微小シリカ粒子配列膜をマスクとした ICP エッチング、熱酸化 Si 基板上への転写構造の作製に成功。

#### 3.5 トピックス

- ・ 本プロジェクトの成果を出願（特願 2010-161996）。
- ・ 上記内容を、国際会議（55th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials, 14-18 November 2010, Atlanta, Georgia, USA）にて発表（GE-08）。

### 4. 平成 23 年度（2011 年度）の目標と成果

#### 4.1 磁性金属における光誘起磁化現象応答物質，発現条件の探索

- ・ 超短パルス光照射後数十 ps に渡る光・磁気応答の層構成依存性より高速エネルギー伝達機構に導電金属層の存在が重要な働きを担う事を解明。

#### 4.2 超短パルス光利用極短時間磁化応答のスペクトロスコピック計測

- ・ モーションコントロールシステムで微動機構を導入。

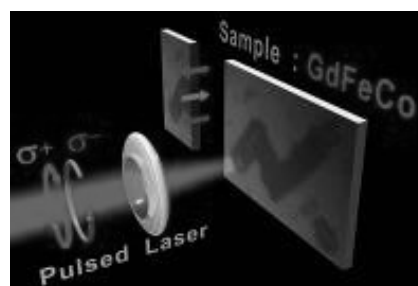


Fig. 3 The demonstration of all-optical information recording on magnetic media.

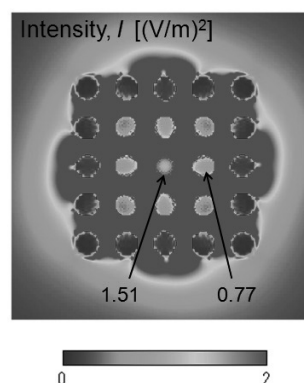


Fig. 4 A simulation result as a generated circularly polarized light into a center particle.



- ・ポンピングとプロービングの位置制御を高精度で走査実験可能とした.
- ・レーザシステム同期で、磁場印加可能な微小コイルシステム試作.

#### 4.3 近接場光利用記録

- ・磁性記録膜上針状アンテナを配置によるフェムト秒光パルスで記録実験を開始.
- ・同上の構造で、電磁界・熱伝導シミュレーション計算を実施.
- ・十字形開口やクローバー形開口で粒子記録材料に円偏光を生成する構造を見いだした.
- ・直線偏光による円偏光を生成十字形アンテナの検討実施.

#### 4.4 磁気微粒子形成

- ・金属膜上にシリカナノ構造を形成し、各種エッチングガス種・条件による加工実験に着手.

#### 4.5 トピックス

- ・国際会議 (MORIS2011, June 21-24, 2011, Nijmegen, The Netherlands) において、理論・計算 Gr.の大貫准教授との連名発表を含めて、熱アシスト記録実験、高速磁化反転ダイナミクス、局所円偏光生成に関して4件の発表.
- ・磁気微粒子媒体作製及び高速磁化反転ダイナミクスに関して、国際会議 (Moscow International Symposium on Magnetism, Aug. 21-25, 2011, Moscow, Russia) で2件の招待講演.
- ・プラズモン励起の過渡応答現象解析手法の成果を国際会議 (IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and CNC/USNC/URSI Radio Science Meeting, July 5-6, 2011, Spokane, Washington, USA) 等で発表.

### 5. 平成 24 年度 (2012 年度) の目標と成果

#### 5.1 磁性金属における光誘起磁化現象応答物質、発現条件の探索

- ・フェリ磁性 GdFeCo を用いて、極短時間の熱エネルギー供給のみで磁化反転可能な新規スピンドダイナミクスを見出した. (Fig. 5)

#### 5.2 近接場光利用記録

- ・世界初のフェムト秒レーザによる近接場熱アシスト磁気記録実証実験に成功.
- ・166 nm × 120 nm の記録マークを実現.
- ・エネルギー伝搬効率を向上するプラズモン利用光学系を提唱. (Fig. 6)
- ・上記構成でも円偏光生成を実現できることも新たに見いだした.

#### 5.4 磁気微粒子形成

- ・急速昇温結晶化処理による高磁気異方性 FeCuPt 規則合金微粒子単結晶化を検討.
- ・ナノ磁性粒子化後、適切な追加熱処理で単結晶 FeCuPt 規則合金微粒子が形成可能.

#### 5.5 トピックス

- ・国際会議 (ICM2012, July 8-12, Pusan) にて高磁気異方性材料の成果を発表.
- ・国際会議 (ICAUMS2012, Oct. 1-5, 2012, Nara) において、世界初のフェムト秒熱アシスト近接場光記録の成果を含め、高速磁化反転ダイナミクス、記録媒体、局所円偏光生成に関して6件の発表.

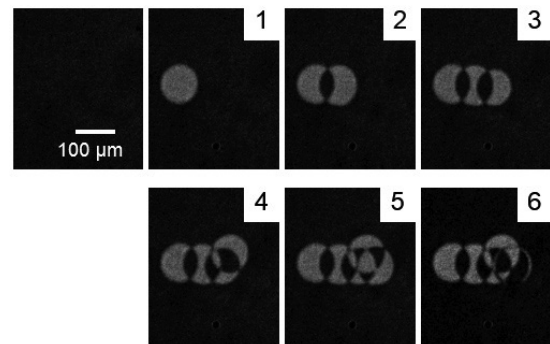


Fig. 5 Magneto-optical image of magnetic domains after single pulse laser irradiations.

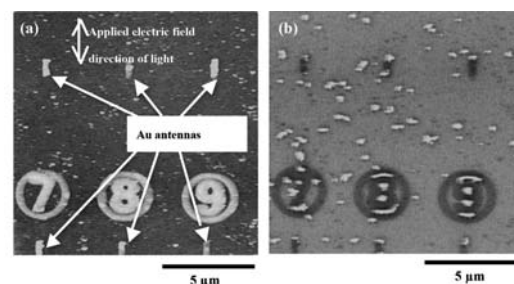


Fig. 6 Surface morphology (a) and written magnetic domains (b) observed by magnetic force microscope for rod plasmon antennas.

## 6. 平成 25 年度 (2013 年度) の目標と成果

### 6.1 磁性金属における光誘起磁化現象応答物質, 発現条件の探索

- GdFeCo フェリ磁性体における光誘起磁化現象の内, 円偏光フェムト秒パルスレーザーによる偏光依存全光型磁化反転現象 (AO-HDS: all-optical light helicity-dependent magnetic switching) は, 正味の磁化ではなく副格子磁化に相関がある事を見出し, さらに, 円二色性に基づく AO-HDS の説明を導いた.

5.1 節で述べたように, フェリ磁性体への超短時間加熱により副格子磁化構造に起源を持ち磁化反転を誘起する事が可能である. 本研究結果は, 副格子磁化構造を有する磁性体が MCD による偏光依存光吸収特性により, 偏光依存磁化反転を生じるものと考えたと実験事実と対応する事を示している. さらに, 高磁気異方性を有する TbFeCo 磁気記録媒体においても超短パルス円偏光により磁化反転が可能である事を明らかにした.

### 6.2 近接場光利用記録

- 前年度記録を更新し, 最小磁区  $62 \text{ nm} \times 67 \text{ nm}$  を得て, プロジェクト最終目標 ( $77 \text{ nm} \times 77 \text{ nm}$ ) を越える結果を出し, 目標を達成した. (Fig. 7)
- 十字形アンテナ, 十字形アパチャー, クローバー形アパチャーが円偏光生成に最適.
- 電子ビーム露光による十字形アパチャーの試作に着手し, これを継続.

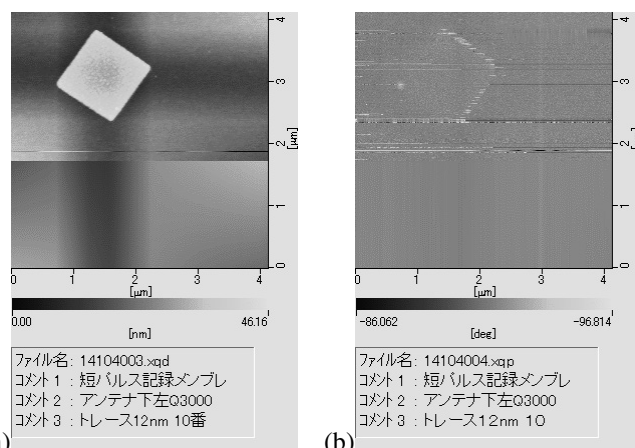


Fig. 7 Surface morphology (a) and written magnetic domains (b) observed by magnetic force microscope for square plasmon antennas.

### 6.3 磁気微粒子形成

- 急速昇温加熱法を用いた高磁気異方性 FeCuPt 規則合金微粒子形成において, 自己組織/集積形成ナノテンプレート基板を用いる事で, 完全孤立磁性微粒子の面内粒子数密度を著しく増大し,  $5.4 \text{ T particles/inch}^{-2}$  を得た. また, 急速昇温加熱法の詳細検討から, 所望の体積の孤立磁性微粒子を形成する際, 製膜熱処理プロセスを複数回に分ける事により, 微粒子化, 高粒子数密度化が可能である事を見出し, 平坦熱酸化 Si 基板上でも平均粒径約  $10 \text{ nm}$  において面内粒子数密度約 4 倍の増加により  $3.2 \text{ T particles/inch}^{-2}$  を得た.

### 6.4 トピックス

- 中川, 芦澤, 塚本, 伊藤, 大貫が, 日本磁気学会誌 (J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 37, 119-122 (2013)) に発表し, 平成 25 年度の論文賞を受賞した.

## 情報（量子情報）班

桑本剛\*, 羽柴秀臣, 行方直人

## 1. 研究目的

量子情報班では、従来の限界を超えた大容量の通信やスーパーコンピュータを遙かに凌ぐ極限高速計算、原理的に盗聴や解読が不可能な極限暗合通信の実現を目指して、量子力学の原理に基づく情報処理技術の極限追求を研究目的に据えた。量子情報処理は非常に高いエネルギー効率を実現できるという側面もあり、本研究は情報通信におけるグリーンイノベーションに大きく貢献できるものである。具体的な研究内容としては、光子検出、量子鍵配送、量子メモリ、量子ドットデバイスなどの開発・高度化を行った。以下に各研究開発の成果を述べる。

## 2. 研究の進捗および成果

## (1) 光子検出技術の開発

量子 ICT において最重要基盤技術は光子検出技術であり、既設光ファイバ網を利用するためには、光ファイバの最小光損失波長帯である 1550 nm 帯における高感度かつ低雑音な光子検出技術が必須となる。我々は光検出器としての nGaAs/InP なだれフォトダイオード (APD) の簡便性および実用性に着目し、単一光子検出器として用いるための開発を行った。本素子の最大の弱点は高いアフターパルス雑音と低い繰り返し周波数である。独自に考案した「正弦電圧ゲート動作」(以下 SG) により、この問題を克服した。繰り返し周波数は従来の 3 桁近い改善となる 2 GHz を達成し、アフターパルス確率 $\sim$ 3%, 単一光子検出効率 10% 以上、暗計数確率  $10^{-7}$  を達成した (*IEEE Photo. Tech. Lett.* 2010; *Opt. Express* 2011)。

SG 手法をシリコン APD にも応用し極めて高いなだれ降伏確率 (97.6%) を実現した。これは、可視域領域における超高効率光子検出に繋がる成果である。(*Appl. Phys. Lett.* in press).

高度な量子 ICT では、同時入射される光子数を識別することが要求されるが、上記の単一光子検出器は光子数識別能を持たない。我々は産総研と共同で光子数識別能を有する光子検出器、「光子数識別器」の開発も行った。チタン薄膜を用いた超伝導転移端センサを開発し、1550 nm 帯における 80% 以上の検出効率、0.2 eV 以下の高光子数分解能を達成した。開発した光子識別器を用い、通信波長帯における非ガウス状態の生成に成功した (*Nature Photonics*, 2010, 図 1)。

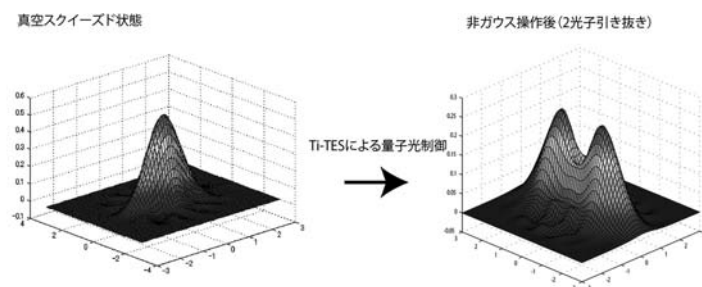


図 1 非ガウス状態の Wigner 関数

## (2) 量子鍵配送実験

SG 手法によって動作させた InGaAs/InP-APD を用いた量子鍵配送実験を実施した。量子鍵配送系には NTT 物性科学基礎研が開発した差動位相シフト量子鍵配送 (DPS-QKD) システムを用いた。システム動作速度は開発した光子検出器の最大繰り返し周波数である 2GHz とした。本系で量子鍵配送実験を行ったところ通信可能な距離は 160km であることが解り、これまでの InGaAs/InP-APD による量子鍵配送実験において最大となった。距離 100km の通信実験においては安全鍵配布率 24 kbps を記録し、超伝導素子を用いた記録 (17 kbps, 2007 年) を塗り替えることに成功した (*Opt. Express*, 2011)。また、10 km の短距離であれば 1

Mbps を超える高速量子鍵配送も可能であることも明らかにした。

本実験により都市圏光ファイバネットワークを用いた量子鍵配送が可能となった。しかし、今回用いたような単一光子伝送による量子鍵配送方式では、理論的にさらなる長距離伝送 (> 400km) は困難であることが判明している。そこで、長距離量子鍵配送が可能となる、量子もつれ光子対を用いた量子鍵配送システム（量子中継技術）の開発も行った（図 2）。

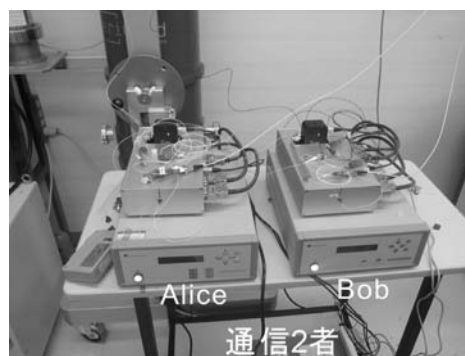


図 2 偏波量子もつれ量子鍵配送システム

### （3）量子中継技術の開発

長距離量子鍵配送を実現するためには量子中継技術が必須となる。量子中継は、量子もつれ交換、量子メモリ（ストレージ、バッファ）、量子非破壊測定の 3 つの要素技術からなる。先ず、高忠実度量子もつれ交換技術の開発を行った。これまでに可視光領域における原理検証実験に関する報告は多数あるものの、光ファイバ通信への応用を前提とした実験的研究は数例のみである。それは強い識別不可能性を持つ通信波長帯量子もつれ光子対発生とその検出技術の困難さに起因する。本研究では、それら技術的課題を克服し、高忠実度量子もつれ交換技術を通信波長帯で実現することを試みた。

周期分極反転ニオブ酸リチウム(Type-II 型位相整合)をフェムト秒レーザーで励起することで、時間的、空間的、スペクトルの(中心波長:1550 nm, 帯域幅:5 nm)に識別不可能な量子もつれ光子対の発生に成功した。その量子もつれ光子対発生系を 2 つ用意し、量子もつれ交換実験を実施した。量子もつれ交換後の量子もつれ純度 $\sim 0.9$ を実現し、これまでの通信波長帯における記録( $\sim 0.75$ )を大きく更新した (*J. Phys. B*, 2013)。また、その量子もつれ純度は量子もつれ交換を通した後も量子鍵配送が可能となる水準であり、長距離量子鍵配送実現に向け大きく前進したと言える。

前述の実験では、量子もつれ交換成功確率は  $10^{-6}$  と非常に低く、その高効率化が大きな課題である。量子メモリ（ストレージ、バッファ）技術がそれを克服するための鍵となる。今回、ファイバースワッチによる単一光子バッファの開発に着手した。図 3 に示されるように光ファイバと低損失光学素子によって構成されるため、非常に簡素かつ低損失であり、能動的な操作なしに量子状態（偏波）を保持したままプログラマブルな時間遅延を与えることが可能である。

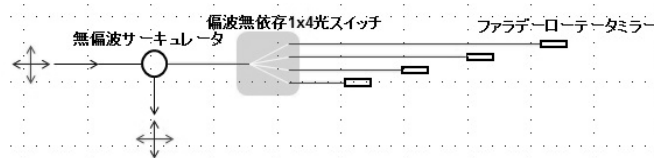


図 3 光スイッチを用いた単一光子バッファ

### （4）量子メモリの開発

#### （4-1）直交偏光光子対生成装置の開発

量子もつれ状態は直交偏光光子対を用いて生成する。また、原子中へ光を保存するためには、その波長が原子の特定の遷移に共鳴し、かつ線幅が遷移スペクトル幅程度である必要がある。我々が用いる  $^{87}\text{Rb}$  原子の場合、遷移波長は 795 nm であり、遷移スペクトル幅は 6 MHz 程度である。これらの波長・線幅をもつ直交偏光光子対を生成するために以下の開発研究を行った。

波長 795 nm の直交偏光光子対は、非線形結晶（type II PPKTP）に波長 397.5 nm のポンプ

光を入射し、自然パラメトリック下方変換を起こさせて生成した。ポンプ光は、非線形結晶 (type I PPKTP) を蝶ネクタイ型共振器内に設置し、波長 795 nm, パワー60 mW のレーザー光を入射し発生させた。ポンプ光の出力は 6 mW であり、共振器を用いない場合の 3 倍の出力を得た。数 THz 程度ある直交偏光光子対の周波数広がりを見窄化するために、複数の光学フィルターおよび 2 枚のエタロンを用いた。

直交偏光光子対の量子性を確認するために、二光子干渉測定を行った (図 4)。量子性の指標であるビジビリティを求めたところ 97.4% であり、高品質な直交偏光光子対が生成できた。さらに、直交偏光光子対の周波数広がり程度を確認するために、直交偏光光子対を原子に共鳴吸収させる実験を行った。Rb ガス温度が 95°C のとき約 97% の光子対が吸収された。これにより、光子対の周波数は、セル中 Rb 原子の吸収スペクトルのドップラー広がり程度 (約 500 MHz) まで見窄化されていることが確認できた。

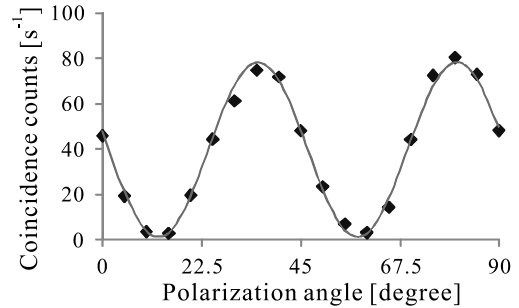


図 4 直交偏光光子対の二光子干渉

(4-2) 光保存装置の開発

原子を用いた光の保存では、電磁誘起透明化と呼ばれる現象を利用する。この現象では、3 準位原子に波長の異なる 2 種の共鳴光を入射し、一方の光 (コントロール光) の強度を操作することで、もう一方の光 (プローブ光) を原子中に保存することができる。3 準位原子として基礎データが豊富な <sup>87</sup>Rb を用い、簡便な装置構成にするために、ガラスセルに封入した原子サンプルを採用した。

プローブ光およびコントロール光として、波長 795 nm の 2 台の外部共振器型半導体レーザーを用いた。コントロールレーザーは Rb 原子の共鳴線に周波数ロックし、線幅を 1 MHz 以下に抑制した。プローブレーザーはコントロールレーザーと光位相同期させることで、2 台のレーザーの相対周波数揺らぎを抑制した。光保存の妨げとなる地磁気等の外部磁場を排除するため、Rb セルを 3 重のパーマロイ製の磁気シールド内に設置した。また、磁場を発生させないために温水セル温度制御システムを導入した。

プローブレーザー光とコントロールレーザー光を同軸に伝搬させ Rb セルに入射し、コントロールレーザー光を瞬時に遮断することで、プローブレーザー光を Rb 原子内に保存する。一定の時間が経過したのち再びコントロールレーザー光を入射すると、プローブレーザー光が再生される。図 5 に保存時間 5 μs の場合の光保存・再生の実験結果を示す。レーザー光の再生効率は 85% であり、高効率の光保存・再生システムが構築できた。

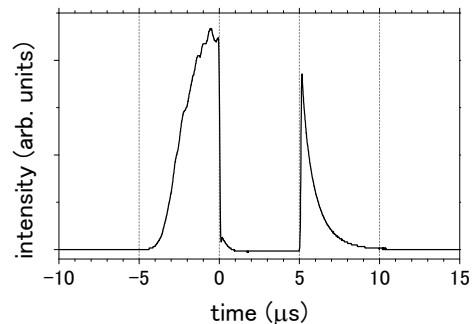


図 5 レーザー光の保存・再生。右側ピークが 5 μs 保存したのち再生された光。

直交偏光光子対の強度は極めて微弱であり、現行の実験系でこれを保存できるかを検討する必要がある。通常のレーザー光を用いてどこまで微弱なレーザー光の保存が現行システムで可能かを検証した。プローブレーザー光パワー2.6 nW のとき、再生光がほぼ確認できなくなった。直交偏光光子対は pW レベルのパワーと考えられるので、現行システムでの直交偏光光子対の保存・再生は難しいと考えられる。

### (5) 量子ドットによる量子デバイスの開発

単一光子源としてのコロイダル CdSe 量子ドット, シリコン (Si) 及び金 (Au) 微細導波路, 単一光子測定素子を 1 基板上にパッケージ化させた, 他に類を見ない室温動作光量子理論回路を実現することを目的とし, 2 つの部分課題, (1) Si 微細導波路の開発, (2) CdSe 単一光子源の開発を追及した. ICP による SOI 基板の加工を行い, 波長 630 nm の入射光子のシングルモード条件を満たした断面 320 nm 角, 長さ 1 mm 以上の Si 微細導波路の作成を目指した. この導波路のサイドウォールラフネスは 10 nm 程度と見積もられる. しかしながら次の技術的検討課題が明らかになり, 本プロジェクト期間中での改善は難しい. 電子線フィールド繋ぎ描画による Au 薄膜導波路およびストライプ結合構造をもつ素子の作成において, 繋ぎ精度が約 100 nm と大きく, 1 mm 以上の測定可能な素子の作成は難しいことがわかった. しかし手動でのマーク検出を用いた描画では繋ぎ精度を 50 nm 以下に抑えることがわかり, 現在観測可能な素子の作成を急いでいる. これは Au ナノストライプ方向性結合器の作成でも問題となっている. 上記と平行して, 単一光子源に用いる CdSe コロイダル量子ドットの導波路とのカップリングを想定した一次元配列化に着手した. 電子線レジストを用い, 量子ドットを幅 50 nm 程度の準一次元上に 1.5  $\mu\text{m}$  の長さでアレイ状に並べることに成功した. 現状ではアレイ状の量子ドットは一次元構造をとっていないが, 導波路とのカップリングには十分と考える. また, この量子ドットは 37 nm 厚の Au 薄膜からのポンプ光起源エバネッセント光と量子ドットへのカップリングを確認した.

### (6) フォトニック結晶の開発

我々は色素増感型太陽電池の高効率化のために TiO<sub>2</sub> 二次元フォトニック結晶を FTO 基盤上に作成することを目指し, 電子線レジスト上の微細マスクへの TiO<sub>2</sub> 微細構造の直接製膜技術の開発と評価を目的とした. TiO<sub>2</sub> フォトニック結晶構造の作成における核心技術である TiO<sub>2</sub> スパッタ製膜法の Ar:O<sub>2</sub> ガスの混合比を 2:1 とすることにより, 酸化チタンの組成をコントロールできるばかりでなく, 微細 EB レジストマスクを壊さない低温下での TiO<sub>2</sub> 製膜に成功した (図 6 上). この TiO<sub>2</sub> 微細構造を 500 度で焼成させることにより, アモルファスからルチル・アナターゼへの結晶化を確認し, またその外形は目立った変化が無いことを確認した (図 6 下). これは PMMA などの高温耐性を持つプラスチックなど温度条件の厳しい基板上にも TiO<sub>2</sub> 微細構造作成が可能なことを示し, 広範囲な応用が期待できる.

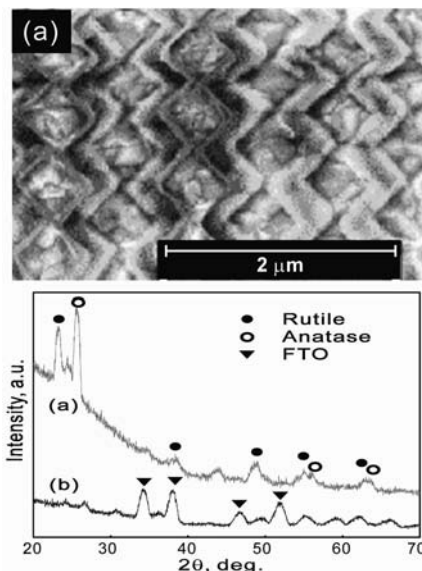


図 6 (上) TiO<sub>2</sub> 二次元フォトニック結晶. (下) 焼成後の TiO<sub>2</sub> の XRD 測定. 焼成によってルチル及びアナターゼのピークが現れた.

## 3. 班活動

各年度 3 回程度の班会議を行い, 進捗状況報告および研究方針について議論した. また必要に応じて, メール等を使った情報交換を行った. グループ外の本プロジェクトメンバーとの共同研究も進めた. 量子中継技術を実現する新規デバイスとして表面プラズモンポラリトン利用の多チャンネル単一光子発生デバイスを提案し, これに用いるコロイダル量子ドットの作成に関して物質応用化学科の大月氏と検討を重ねた. デバイス設計に必要なシミュレーションに関し電気工学科の大貫氏と議論を行った.

## エネルギー班

橋本拓也\*, 大月穰, 松下祥子, 浅田泰男, 西宮伸幸

### 1. 目的

エネルギー班では「ナノ」という共通キーワードの下に「健やか社会の構築」を目指して新エネルギーシステムに繋がる材料開発を実施してきた。「健やか社会」には十分なエネルギー供給が必要であるが、現在のところ主力となっている化石燃料システムは燃料枯渇の懸念、地球温暖化の原因となる排気ガスの増大などの問題がある。また原子力発電システムは福島事故で明らかになった通り、取り返しのつかない環境破壊や廃燃料の放棄方法に大きな問題を抱えたままである。

本研究では太陽光のエネルギーを用いるエネルギーシステムの構築を目標に、(1)太陽光から直接発電する素子として「ナノ構造」あるいは1種のナノ構造である「分子構造」を制御した材料を利用する色素増感太陽電池の開発(松下、大月)(2)太陽光からH<sub>2</sub>Oを直接光分解して、温室効果ガスフリーでクリーンなエネルギーソースである水素を生産するプロセスの開発。手法としては「分子構造」を制御した材料を触媒とする方法(大月)およびアナバナなどの生物を用いる方法(浅田)(3)輸送・貯蔵に問題がある水素を安全に貯蔵するため、材料中のナノ空間設計を利用した水素吸蔵合金の開発。(西宮)(4)得られた水素を利用してクリーンな発電を実施するための燃料電池材料の開発。(橋本) ナノプロセスであるペッチーニ法を用いて高機能性の材料合成を実施する、を行ってきた。最終的な目標としてはFig.1に示すように、各々が有機的に関連した太陽エネルギー・水素エネルギーシステムの構築を目指しており、そのために各々の技術の高度化を主に行った。

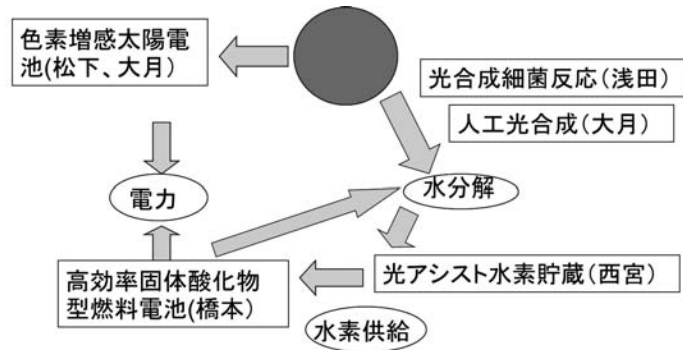


Fig. 1 開発目標とする太陽・水素エネルギーシステムの概念図。赤丸は太陽を示す。

### 2. 研究計画・結果・成果

詳細は各々の研究報告に譲り、本項では概要のみを記す。

#### (1) ナノ構造を利用した色素増感太陽電池の高効率化(松下)

「自己組織化」を利用して作製したフォトニクス結晶を電極として用いた太陽電池では、1分子の色素あたりの変換効率が向上していることが示唆された。これを明確にするためには酸化チタンの微細加工が必要であるが、この技術は確立されていなかった。本プロジェクトでは酸化チタンの光・電子リソグラフィ技術が確立でき、フォトニクス結晶の有効性を実証する準備を整えることが出来た。

#### (2) 新たな色素の開発による色素増感太陽電池の高効率化(大月)

色素増感太陽電池の高効率化のために新たな色素の開発を試みた。ペリレンカルボン酸無水物誘導体の有機色素とルテニウムのシクロメタル型錯体を検討し、長波長の光でも光電変換できることを実証し、効率3.1%を実現した。また新たなタイプの錯体の合成にも成功、実際に太陽電池用材料として働くか否かを検討している。

#### (3) H<sub>2</sub>O光分解用新触媒材料の開発(大月)

H<sub>2</sub>O光分解用新触媒材料として光増感分子が自動的にコバルトイオン周辺に集合する分子を作成し、それが従来の材料より2倍近い水素発生能を持つことを実証した。

#### (4) バイオ水素増収のための水素吸蔵合金の利用(浅田、西宮)

アナバナやスピルニナなどのシアノバクテリア類は、水分解により水素を排出することが

知られており、これを効率よく収集できれば、エネルギー生産に革命的な効果が起こる可能性が高い。本プロジェクトではバクテリアによる水素製造系に、カプセル化して耐久性を高めた水素吸蔵合金を添加したところ、水素収集率が最高で 6 倍程度と大きく上昇することを発見した。

(5) 光による合金への水素吸蔵および合金からの水素放出の制御（西宮）

水素吸蔵合金では吸蔵量の増大は勿論であるが、必要な場合に水素を簡単に放出する機能が要求されている。従来は温度上昇などで水素を放出させることが多かったが、本研究では一部の合金の水素吸収・放出特性が紫外線照射によって制御できることを発見した。特に酸化タングステンなどの光触媒を共存させると、水素放出温度を紫外線照射により下げることができることがわかった。

(6) 水素解離を促進する金属の開発（西宮）

水素をより多く吸蔵させるためには、水素分子を原子状に解離させて吸着させることが有効と考えられている。本プロジェクトでは吸着時に採用される温度 77K において、水素を原子上に解離させる能力を持つ金属として Pt が有効であること、Cr-Fe 合金などが有望であることを明らかにした。

(7) 中低温作動固体酸化物形燃料電池の新材料の開発（橋本）

固体酸化物形燃料電池は環境に優しいとされているが、現在の作動温度は 800°C 以上であり安定性や長期信頼性が課題となっている。作動温度が 600°C 程度になれば安定性の大幅な向上が期待できるが、そのためには全く新しい材料の開発が必要である。本プロジェクトでは従来採用されていたマイクロメータースケールのプロセス、固相反応法に代わってナノメータースケールプロセスである液相法の一つ、ペチーニ法を用いて新たな固体電解質材料と電極材料を提案することに成功した。現在、これらを組み合わせて燃料電池セルを試作、特性解析を試みている。

### 3. 班としての活動および他の班との協力

本プロジェクトではエネルギー班内での共同研究のみならず、ナノ班などとも協力して成果を挙げることができた。

まずエネルギー班内での共同研究として、バイオ水素を専門にしていた浅田と水素吸蔵合金を専門にしていた西宮の間で前項の(4)の研究が遂行でき、特許共同出願に繋げることができた。また色素増感太陽電池については、自己組織化で作製した電極の変換効率測定および近接場共鳴効果と変換効率向上の対応は当時文理学部に在籍していた松下が主となり文理学部の橋本が一部をサポートした共同研究であり、論文を各々 *J. New Mat. Electr. Sys.* と *J. Porous Mater.* に掲載させることができた。

他の班との共同研究としては、ナノ班の理工学部・羽柴と本班の松下が色素増感太陽電池の電極材料である酸化チタンの光・電子リソグラフィ技術を確立することに成功、*Jpn. J. Appl. Phys.* に論文発表を行った。橋本は液相法の一つ、ペチーニ法による新物質の合成を実施しているが、本手法のノウハウをナノ班の理工学部・岩田に提供したところ、本手法はレーザーアブレーションによる酸化物薄膜作製のターゲット合成に最適であることを発見した。



## 医療班

### 医療班メンバー

班長：医学部・千葉県がんセンター 永瀬浩喜；総合科学研究科 福田昇

班員：医学部小児外科：草深竹志、越永従道；泌尿器科：高橋悟、大日方大亮；放射線科：高橋元一郎、阿部克己、阿部修；医学部総合内科 相馬正義、藤原恭子、齋藤孝輔、五十嵐潤；薬学部：松本宜明、青山隆彦；生物資源科学部：加野浩一郎、舛廣善和；理工学部・千葉県がんセンター 渡部隆義

石橋直也、川島弘之、篠島由一、長谷川了、増子亜耶、王曉斐

### 研究概要

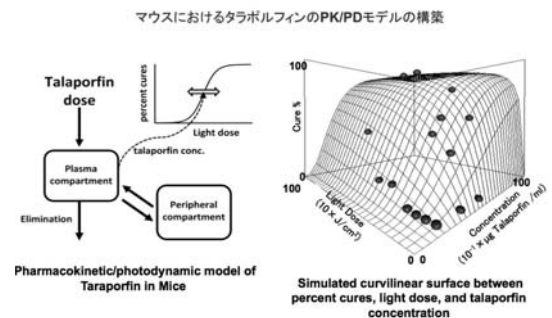
医療班は「化学と生物の融合による新規がん治療戦略」をテーマに理工学部、文理学部のグループで開発するナノ構造を用いた独創的先駆的技術を融合させ新しいバイオ技術として癌の診断法開発，医療応用を目指した。さらにゲノム化学に基づき、癌や進行性腎障害など難治疾患の新規バイオ医薬開発として「遺伝子制御薬ピロール・イミダゾール(PI)ポリアミドの創薬開発」を行った。

### 研究内容

1) **癌探索プローブの開発**：癌でコピー数が増加する遺伝子にプローブとしての PI ポリアミドの設計・合成を行った。神経芽細胞腫でコピー数が増える NMYC 増幅領域でヒトゲノム上でユニークな配列に特異的に結合する PI ポリアミドの合成に成功した。さらに理工学部大月グループとの共同研究でピロール基に 2 種類の蛍光物質を付加し、FRET 反応を利用した蛍光物質間のエネルギーの移動により近距離に存在するときのみに特定波長の蛍光を発するプローブを作成した(永瀬)。癌治療への応用として、光力学療法への応用によるがん治療法を放射線を利用し深部の癌にも有効にする方法の開発で、ポルフィリン環構造を持つ化合物の候補を大月グループとともに作成し、癌細胞の放射線感受性の増大効果を確認した(永瀬、阿部、阿部、藤原、相馬)。

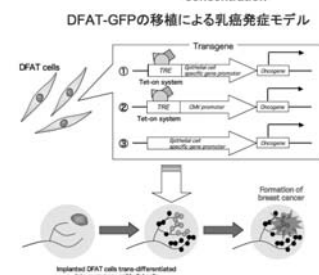
### 2) 光線力学治療化合物の薬物体内動態/薬効解析

(松本、青山)：腫瘍親和性および放射線増感作用を期待し大月班により合成された新規化合物 CT101019a の HPLC による血漿中濃度測定系を確立し、ラットにおける体内動態を検討し、ヒトでの薬物動態のシュミレーションを確立した。



### 3) 多能性前駆細胞 DFAT 移植による乳癌発症モデルマウスの作製 (加野)：乳腺上皮細胞へ転換する DFAT-GFP

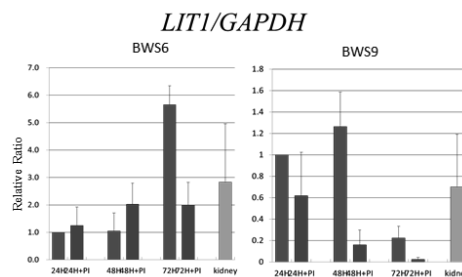
に癌原遺伝子を導入し、その発現をコンディショナルに調節することによって、より自然な乳癌の発生および進行を誘導可能な新規の乳癌発症モデルマウスの開発を行った。これを利用して軟部組織に対する薬剤により放射線感受性を向上させ、腫瘍細胞死を誘導できることを確認した。



4) MYC 結合 E-box に対する PI ポリアミドの開発 (藤原、永瀬)：E-box 配列 CACGTG を完全にまたは部分的に認識する PI ポリアミドはヒト骨肉腫細胞株、慢性骨髄性白血病細胞

株に対し増殖抑制効果を示す事を確認した。骨肉腫細胞株においては、増殖能、コロニー形成能、細胞移動能を低下させた。マウス皮下に MG63 を移植して作成した Xenograft の成長も Myc-6 の尾静脈投与により有意に抑制された。

5) 小児癌に対する新規抗癌 PI ポリアミド開発 (越永): ヒト BWS 線維芽細胞株 (BWS6, BWS9) に対して, LIT1 遺伝子プロモーター領域の CAAT box に結合するよう作成した PI ポリアミド (h-CCAAT1, h-CCAAT3) を投与し p57<sup>KIP2</sup> 遺伝子の発現抑制を確認した。



6) PI ポリアミドを用いた新規前立腺癌治療薬の開発 (高橋悟、大日方): 前立腺癌において、Break Fusion Site による、融合遺伝子形成は ERG の発現量に重要な役割をはたし、細胞増殖、遊走能に関係していることが認められた。本研究では切断配列に結合する PI ポリアミドが融合遺伝子および ERG の発現を抑制し、さらに細胞増殖能、遊走能を抑える事が証明された。現在前立腺癌治療薬の開発を目指し、同 PI ポリアミドの in vivo での効果をヌードマウスを用いた腫瘍接種実験にて確認した。

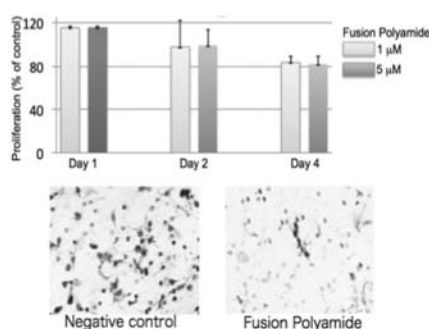
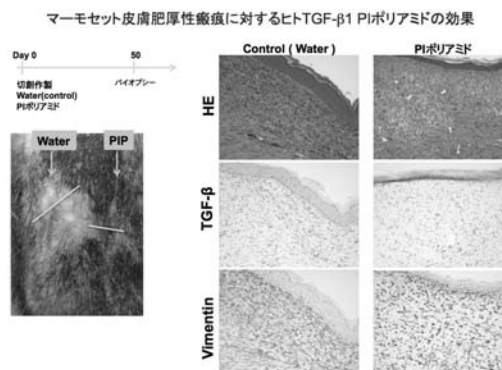
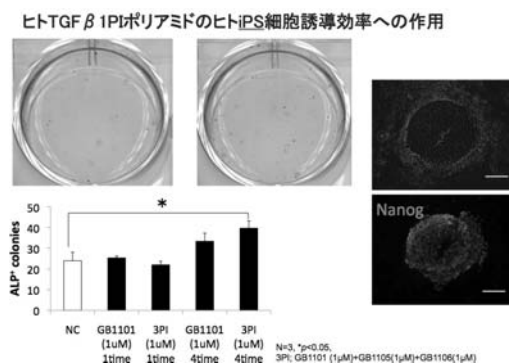


Fig.2 Effect of fusion polyamide on cell migration and anchorage-independent growth. Cell migration assay was performed to analyze the motility of fusion polyamide treated LNCaP cells and control cells. Migrated cells were stained with Giemsa staining solution

7) ヒト TGF-β1 に対する PI ポリアミドの前臨床試験 (福田、五十嵐): リード化合物としてヒトおよびマーマセット線維芽細胞で GB1101 をリードと決定した。実験動物中央研究所においてマーマセットに皮膚肥厚性瘢痕を作成し、ヒト TGF-β1 に対する PI ポリアミド GB1101 の瘢痕形成抑制を肉眼的、組織学的にも認めた。さらにヒト TGF-β1 PI ポリアミドをソルベースで軟膏化して皮膚組織への浸達と皮膚瘢痕抑制を認めた。

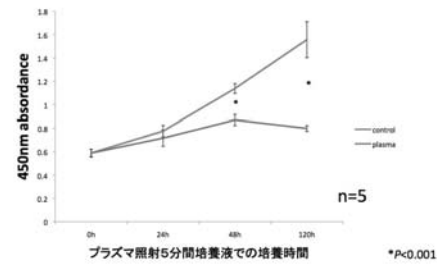


8) PI ポリアミドによる iPS 細胞誘導 (齋藤、舩廣、福田): ヒト TGF-β1 PI ポリアミドが PMA による EMT を抑制する事を確認下。センダイウイルスベクターを用いたヒト iPS 細胞誘導時に初期化因子とともに、もしくはフィーダー細胞にリシードした時にヒト TGF-β1 PI ポリアミドにより iPS 細胞の誘導効率が 180%増加したことを認めた。さらに舩廣の技術としてスタビロンでの初期化因子の細胞内導入による、ウイルスやプラスミドの無い日本大学方式の iPS 誘導法の開発を試みている。



9) プラズマによる皮膚悪性黒色腫の治療法開発 (齋藤、福田、理工浅井) : 皮膚悪性黒色腫に存在するメラノーマ幹細胞をターゲットに、メラノーマ幹細胞の活性酸素種耐性 CD44 を抑制する全トランスレチノイン酸(ATRA) を投与し、プラズマからの活性酸素種による、悪性黒色腫の治療法開発研究を行い、プラズマ照射細胞培養液にてメラノーマの増殖抑制を確認した。

プラズマ照射後のメラノーマ細胞の増殖抑制



### 医療班としての活動

- 1) 医学部にて毎週 1 回N.研究プロジェクトのミーティング
- 2) 生物資源科学部とのPIポリアミドおよびスタビロンによる日本大学方式iPS細胞誘導法のミーティングを月 1 回開催
- 3) 工学部戦略的研究基盤形成支援事業報告会でN.研究プロジェクト医療班成果を報告
- 4) 医学部内にてN.研究プロジェクト合同ミーティング (癌遺伝、放射線科、泌尿器科、小児外科) を開催、現在の研究プロジェクト進捗内容、研究計画の話し合いを開催
- 5) N.研究プロジェクト医療班成果および理工学部、生物資源科学部との共同研究を平成23年12月の第7回、平成25年11月の第8回日本大学先端バイオフィオーラムで報告
- 6) 平成24年度からPIポリアミドの軟膏化の為、医学部附属板橋病院薬剤部製剤室と共同研究
- 7) 平成24年、25年度 : 実験動物中央研究所とマーモセット実験施設として契約し共同研究
- 8) 医療班PIポリアミド開発メンバーと京都大学との共同研究
- 9) 平成25年11月 : バイオ医薬としてのPIポリアミドを J S Tにおける新技術説明会で発表
- 10) 平成25年12月 : ヒトTGF-β1に対するPIポリアミドを大阪にて 8 社の製薬会社に発表

## 超分子・自己組織班

伊掛浩輝\*, 伊藤彰義, 大月 穰, 塚本 新, 松下祥子

### 1. はじめに

本研究プロジェクトにおいて、基盤的な位置づけにある超分子・自己組織班では、基盤課題として、「ナノ物質系と光・量子融合領域の未踏科学開拓と新規技術創出」をテーマに、社会が持続的に発展をする上で欠かせない重要なテーマについて検討し、さらには本プロジェクトのアウトプットである三本の柱の「情報」、「エネルギー」、「医療」班と連携を密に、各分野のニーズに応じた材料設計をナノメートルレベルで行い、分野ごとに役立つ新規高性能高機能性材料の開発を行った。以下に各グループの5カ年の活動を振り返る。

### 2. 5カ年の取り組みと研究成果

#### ・超高密度記録媒体の開発(伊藤・塚本グループ)

未踏領域となる 2Tbit/inch<sup>2</sup> 以上の超高密度記録媒体を開発するためには、媒体の作製方法やそのための適切な材料の開発が必要である。伊藤・塚本グループでは、超高密度記録媒体の開発に向けて、テンプレート開発から稠密磁性薄膜の作製に至るテーマで検討を行った。

高分子ミセルの自己組織/集積化現象を利用して、シリカ微粒子が3次元的に規則配列した稠密基板を作製した(図1)。その後、この基板を用いることで、ナノ構造金属材料を得るためのテンプレートの開発に着手し成功した(図2)。超高密度記録には、高い磁気異方性を有する単結晶が必要であるが、本研究では、FeCuPt 規則合金微粒子を作製し検討した。超高密度記録には、磁性微粒子の粒子サイズだけでなく、L1<sub>0</sub> 規則相の単結晶かつ磁化容易軸(c 軸)が膜面垂直であることが必要であるが、急速昇温加熱によって作製することで、膜面に対し c 軸配向した単結晶 FeCuPt 規則合金微粒子の形成ができ、完全孤立磁性微粒子の面内粒子数密度を著しく増大させ、5.4 T particles/inch<sup>2</sup>を得た。また、製膜及び急速昇温加熱による熱処理プロセスを複数回に分けることで、微粒子化、高粒子数密度化ができ、平坦熱酸化 Si 基板上でも平均粒径約 10nm、面内粒子数密度約 3.2 T particles/inch<sup>2</sup>を得た。

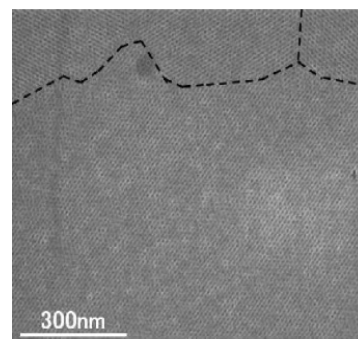


図1 走査型電子顕微鏡 SEM 面内観

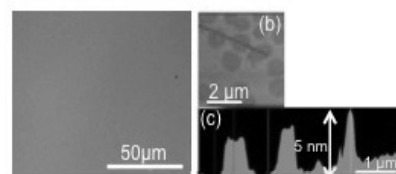


図2 SEM及び原子間力顕微鏡

#### ・自己集合化現象を利用したナノ分子系の光・量子機能の開拓(大月グループ)

分子運動のダイナミクスを単一分子レベルで捉えるために STM を用いて、分子一つの回転運動の可視化に成功した(図3)。また、単一分子の発光を検出することで、この発光を利用した分子の配向、回転を電極で制御するシステムについて検討している。また、単一光子源として量子ドットを波長間隔以上離れて2次元的に規則配列した構造体の作製も試みている。次に、超分子による光エネルギー変換系の構築として、これまでピリジリル基をもつクロロフィル誘導体が自己集合して二重らせん構造を形成することを単結晶 X 線構造解析により明らかにした。この構造は、DNA のような二重らせんを想起させるユニークな分子組織体で、オキサゾール基をもつクロロフィル誘導体では階段状の集合構造を形成することがわかった。また、種々のクロロフィル誘導体を合成し、分子構造と集合構造の関係を明らかにし、光捕集アンテナ構築のための基礎的知見を明らかにした。その他、色素増感太陽電池の有機光増感剤の改良として、構造を系統的に変化させた色素について、構造と特性、効率との関係を明らかにした。加えて、増感剤としての新たな錯体

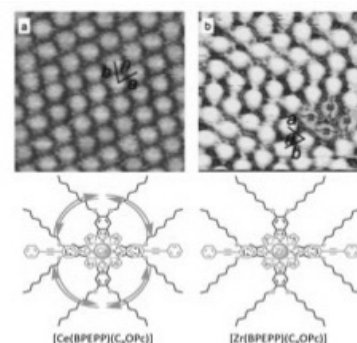


図3 分子の回転運動の可視化。

合成を行い、金属錯体色素でも高効率化を図った。新規色素の合成として、癌をターゲットとした光線力学療法をめざして、プローブへの応用について検討している。耐光性に優れた新規発光性色素を合成し、これらの色素をピロール・イミダゾールポリアミドに結合させて、ターゲットとなる DNA を選別し、DNA との相互作用、細胞内での分布などについて検討している。

#### ・微粒子自己集積体・フォトニック結晶による光学デバイス作製(松下グループ)

フォトニック結晶を用いた光デバイスの構築に向けて、光電変換効率が構造界面でどのように影響されているのか、また、入射光によって励起した電子の寿命はどのように変化しているのかを検討してきた。自己組織/集積化現象を利用して、シリカなどの 3 次元緻密集積体を作製し、その後、フッ化水素でエッチングすることで可視光線領域でのプラズモン制御に必要な規則的な突起構造を持つ微粒子が作製できた(図 4)。また、平面波展開法を用いてフルフォトニックバンドギャップ並びにコンプリートフォトニックバンドギャップが存在する酸化チタン-電解液フォトニック結晶体を計算上発見した。また、演算の因子に酸化チタンの屈折率の波長分散を組み込むことで、新たなフォトニックバンド図を作成するとともに、演算結果についても汎用性を持たせることができた。次に、これらの演算結果に基づいて、酸化チタン単結晶を作製し、フォトニックバンド図を反射スペクトル法によって作製した。これらの結果を利用し、新たな発光抑制する光電気化学フォトニック結晶として、2 次元面内で完全に光を閉じ込めるコンプリートフォトニックバンドギャップを持つ規則構造体の作製ができた。作製したフォトニック結晶については色素増感型太陽電池に組み込み、結晶構造が一色素、一光子当たりの光電変換効率の向上に寄与していることがわかった。

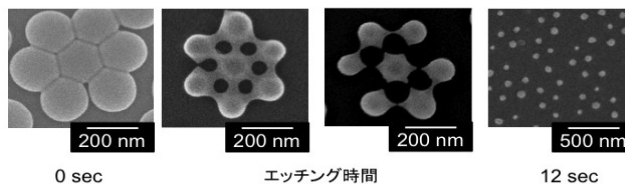


図 4 フッ化水素水溶液による等方性エッチ

#### ・バイオベースポリマーとしてのポリ乳酸系フィルムの光学材料開発(伊掛グループ)

生分解性機能を有し、結晶性高分子であるポリ-L-乳酸(PLLA)の光学的性質への新たな試みとして PLLA 配向フィルムの作製を行った。本報では、磁場の透過性の良さを利用し、10T の磁場照射下で PLLA フィルムを作製した。その際、磁場照射及び熱処理条件を適宜調整することで高結晶化、高配向化が促進されることを見出した。続いて、配向フィルムの光学的性質として、He-Ne レーザ(波長 632.8nm)を用いてレーザ透過強度とフィルムの回転角との関係について検討した。その結果、レーザ透過強度が 90° 周期的に変化し、配向フィルムの偏光特性が見出された。次に、光学材料に要請される力学的性質及び耐熱性に優れた新たなポリ乳酸の開発に着手した。PLLA とキラリティの異なるポリ-D-乳酸(PDLA)から形成されるステレオコンプレックス(sc)結晶を有する sc-PLA を用いた光学フィルムを作製した。sc-PLA は PLLA 単独に比べて力学強度や耐熱性に優れ、キャスト溶媒を適宜選別することで、sc 結晶のサイズが調整でき、図 5 に示すように溶媒に 1,4-ジオキサランを用いると結晶サイズが大きくなり不透明であるが、クロロホルムでは sc 結晶が微細なため 400~800nm の可視光線を 85%以上も透過するような透明なフィルムとなった。また、一方で、sc-PLA フィルムの使用後のリサイクル方法についても検討を行った。さらに、sc-PLA の耐熱性の向上を目的に、シランカップリング剤によって PLA 両末端にトリエトキシシリル基を導入したプレポリマーを合成し、これとシリカとをゾル-ゲル法によってハイブリッド化した。ハイブリッド化しても sc 結晶の形成には影響なく、ナノメートルサイズでシリカが複合化していることがわかった。また、複合したシリカによってハイブリッドは 3 次元ネットワーク構造を形成しており、sc-PLA よりも耐熱性が高く、高温域でゴム弾性挙動を示すなど優れた性能を発現することがわかった。

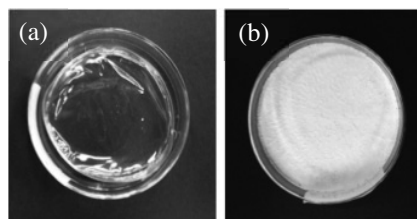


図 5. キャスト溶媒の異なる sc-PLA フィルムの写真。(a) クロロホルム、(b) 1,4-ジオキサラン。

## ナノ物質・ナノデバイス班

鈴木薫\*, 高野良紀, 浅井朋彦, 岩田展幸, 羽柴秀臣, 茶園茂, 十代建, 故望月章介

## 1. 研究目的

ナノ物質・ナノデバイス班では、「超分子」、「フォトニック結晶」、「高分子配列」、「生体分子モーター」、「二次元層状物質」、「ナノカーボン」、「広バンドギャップ半導体」、「ヘテロ構造半導体」、「量子ドット」、「金属接合単分子」等を対象として、化学合成、自己組織化、ナノ構造転写、プラズマプロセス、その他独自の手法による物質合成法、構造作製法を開発する。これらのナノ物質群について、構造解析、物性計測実験と量子力学理論によるモデル構築、計算とが一体となって光・量子物性を解明する。このナノ物質系と光・量子融合領域の科学的解明を共通基盤として、本研究の重点課題として推進する。情報、エネルギー、医療に利用するための、機能材料、計測法、理論、シミュレーション法を開発する。さらに、新規フォトニック材料、高温超伝導材料、光ガス（酸素、水素）貯蔵／放出材料、ナノセンサーアレイなど、すでに高い見込みがある独自の材料、デバイス開発に加えて、新しい科学開拓に基づく革新的な技術シーズを創成する。

## 2. 研究計画

**ナノ物質：** ①電子回折、放射光X線回折による高温・各種ガス下での精密結晶構造解析を実施し、微小な結晶構造の変化や相転移が電気特性や磁気特性に与える影響を解明し、【エネルギー班】の高強度燃料電池材料を中心とした材料の高機能化のための構造制御の指針を明らかにする。②超伝導体が見つかった、希土類-遷移金属-オキシニクタイト系二次元層状物質について、良質な単相試料および単結晶試料を作成し、元素置換や電子ドーピングによってより高い超伝導転移温度を目指し、超伝導発現機構を解明する。この物質群について物質構造、電子構造、機能の相関を解明する。さらに、【情報班】の単一光子発生／検出デバイスへの応用のための基礎データを得る。③金属酸化物ナノ粒子における紫外光に誘起された欠陥生成・価数変化を伴った酸素の解離吸着・会合脱離現象を光学的手法によって解明し、光制御酸素貯蔵・放出デバイスを開発する。

**ナノデバイス：** ①新しいナノ構造作製法を開発し、デバイス作製への展開をおこなう。ナノセンサーアレイ作製の基礎技術として、カーボンナノチューブやナノロッドを平面や立体的に配線する技術を確立する。②主要なナノ構造形成技術として利用されるプラズマについて、分光トモグラフィ法によるプラズマの空間構造の瞬時定量可視化を実現し、プラズマ生成・制御法を確立する。③磁化プラズマにおける量子光学現象を実証し【量子理論・計算班】と協力して、量子光学の未解決問題を解明する。④ヘテロ構造半導体を用いた半導体または超伝導半導体量子ドットを組み込んだ THz 帯光プラズマ励起量子ビットデバイスを開発し、【情報班】の量子情報デバイスに応用する。⑤近接場光技術、単一光子検出技術をもつ【情報班】とも協力し、究極のナノデバイスである生体分子モーターが一方方向だけに運動する機構を一分子ナノ計測技術で解明する。

## 3. 班の活動

高野により超伝導性が見い出された希土類-遷移金属-オキシニクタイト系二次元層状物質について、良質な単相試料および単結晶試料から鈴木がパルスレーザー堆積法により薄膜を作成する。このとき、バルクよりも薄膜の方が元素置換や電子ドーピングが容易となるため、より高い超伝導転移温度を目指す。さらに、羽柴や【情報班】の単一光子発生／検出デバイスへの応用のための基礎データを得る。浅井が開発した磁化プラズマにより【エネルギー班】の西宮と協力して水素吸蔵合金を薄膜化し、鈴木が成膜した可視光照射型水素発生触媒膜と組み合わせでデバイス化を計る。また、望月が開発した光誘起酸素吸蔵・脱離材料や橋本が開発した Cr 系酸化物ナノ微粒子をインターコネクターとして燃料電池デバイスへの応用を

目指す。鈴木が開発した金属内包カーボンナノチューブや岩田が開発したカイラリティ制御半導体/導体カーボンナノチューブ及び十代が開発したナノらせん構造をセンサーや電界効果トランジスタなどへデバイス化する。また、茶圓のバイオモーターとの融合を探索する。

#### 4. 研究結果

鈴木は ①磁気力顕微鏡用のプローブを加工するために、エタノール中に浸したシリコン基板に直流通電を行う際の陰極に強磁性金属箔を挟み、カーボンナノチューブに強磁性金属を内包させた。Ni 内包 CNT は直線的で、直径 10~80 nm・長さ 100~800 nm の高アスペクト比で高密度に生成された。ステンレス (SUS304) 合金においては層状構造の内包 (A 層: 結晶性  $Fe_{2(1-x)}Cr_{2x}O_3$ , B 層: 多結晶性  $Fe_{2(1-x)}Cr_{2x}O_3$ , C 層: 結晶性  $Fe_{(1-x)}Cr_x$ ) が確認された。②カーボンナノチューブ/ロッド・ダイヤモンド状炭素によるダイオードの作製では図 1 の様にリンをドーピングした直線状カーボンナノチューブ/ロッドが森林状に群生し、1 本を折りガリウムイオン ( $Ga^+$ ) を集束させて注入することでダイオードを作製した。またバックゲートを取り付けることにより n 型の CNT になっていることが判明した。③ランタンやストロンチウムをヘビードープした酸化チタンをレーザー誘起前方転写法によりフレキシブルな高分子フィルム上に成膜した。また、エネルギー班の西宮教授が研究中の水素吸蔵複合材料を浅井准教授が研究中の磁化同軸プラズマ源により成膜した。④酸化亜鉛薄膜の赤外光支援パルスレーザー堆積法による p 型化において、YAG レーザの第 2 高調波である波長 532 nm よりも短い波長でレーザー

アニールすることで結晶性が改善され、第 4 高調波である波長 266 nm により結晶性が最も向上することを見出した。⑤低周波大気圧低温プラズマによる歯周病菌の殺菌について検討し、プラズマを噴出させるノズルの直径を  $500\mu m$  と細くすることによって歯周ポケットへのプラズマ照射を可能にする方法を開発した。また、レーザー照射によるミミズの破片分離・再生と土壌元素モニタリングセンサーについて研究している。⑥レーザーと集束イオンビーム加工でナノノズルを圧電素子に穿孔させることにより、ナノ・マイクロバブルの粒径制御に成功し、バブルの直径を数百  $\mu m$  ~ 数  $\mu m$  の範囲において一定で直線的に噴出させることに成功 (図 2) し、時間の経過によりマイクロバブルが圧壊してナノバブルになることを確認した。

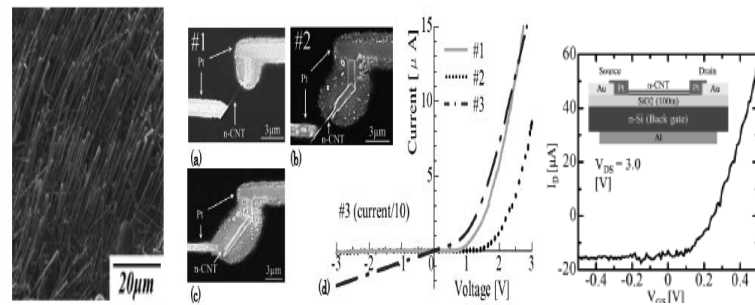


図1 CNTフォレスト ダイオード 電圧-電流特性 バックゲート特性

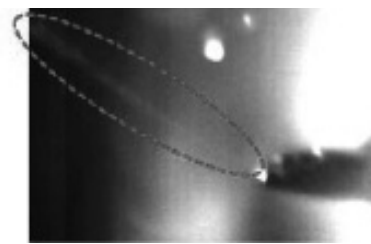


図2 ナノ・マイクロバブルの噴出

高野は鉄砒素系超伝導体の中で主に 1111 系および 111 系とよばれる超伝導体に着目し、以下の研究を行った。

- (1)  $La_{1-x}OFeP$  における La 欠損による超伝導
- (2)  $Sr_{1-x}R_xFeAsF$  ( $R=La, Pr, Nd, Sm$ ) の結晶構造と超伝導特性
- (3)  $SrFeAsF_{1-x}$  の作製と電気伝導特性
- (4)  $Sr_{1-x}R_xFeAsF_{1-y}$  ( $R=La, Nd, Sm$ ) の常伝導及び超伝導特性
- (5)  $LaFe_{1-y}Zn_yAsO$  の結晶構造と電気伝導特性
- (6)  $LiFe_{1-x}Co_xAs$  および  $Li_{1-x}Y_xFeAs$  の作製と電気的性質
- (7)  $SrFFe_{1-x}Ni_xAs$  の電気的性質

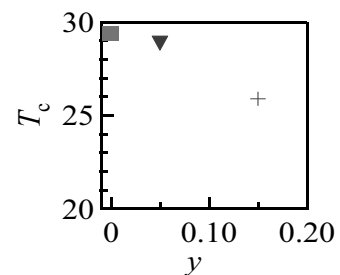


図3  $Sr_{0.6}La_{0.4}FeAsF_{1-y}$  における  $T_c$  と  $y$  の関係

(8)  $\text{Sr}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{FeAsF}$  超伝導線材応用への基礎物性評価

(9)  $\text{Ca}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}$  ( $\text{R}=\text{Nd}, \text{Sm}$ ) の超伝導特性

(1)において、従来報告されている超伝導転移温度のバラつきが試料の非化学量論性によることを明らかにした。(2)において、初めて  $\text{R}=\text{Nd}$  とした資料を作成し、その超伝導特性を明らかにした。(8)において、その線材応用の可能性を調べた。(3)および(4)において、フッ素欠損による電子ドーピングは  $\text{LaFeAsO}$  の酸素欠損に伴う電子ドーピングあるいは  $\text{SrFeAsF}$  における希土類置換による電子ドーピングとは本質的に異なることを明らかにした。図3は  $\text{Sr}_{0.6}\text{La}_{0.4}\text{FeAsF}_{1-y}$  における  $T_c$  と  $y$  の関係を示す。

浅井は磁化同軸プラズマガン (MCPG) や逆磁場テーパピンチ法 (FRTP) により生成される磁化プラズモイドの特性の理解と応用を目指し、鈴木・西宮と共同で提案し開発を進めて来た、MCPG を用いた高融点金属の合金薄膜生成法について NUBIC を通して出願した (特願 2012-195690)。堆積速度はスパッタ法などと同程度の  $0.1\text{nm/s}$  程度を、石英基板上に生成したアルミ薄膜では真空蒸着法に対し約 4.2 倍となる臨界剥離荷重 (42mN) を実現 (図4) した。さらに、炭素系薄膜への応用研究を展開し、水素フリーダイヤモンド様炭素薄膜や高硬度薄膜などの応用について、企業との共同研究を開始した。大気圧 LF ジェットの医療応用について医療班との検討を進め、癌腫治療のための基礎実験用の大気圧プラズマ装置の開発を終え、プラズマによって癌幹細胞の細胞死を誘導するための手法について、検証を進めている。磁化プラズモイドの超アルヴェン速度移送実験装置の開発を進め、初期プラズマの生成に成功、ミュオン触媒核融合 ( $\mu\text{CF}$ ) の新規炉心シナリオの原理検証のための基礎実験・ $\mu\text{CF}$  に必要なテラ級超強磁場高応答キッカーシステムを検証し、米国 TriAlpha Energy 社との間で、委託研究費の受け入れを含む共同研究契約を締結、装置開発を開始した。

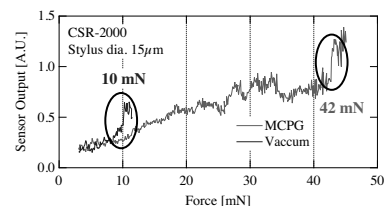


図4 Al 薄膜の付着強度評価

岩田は原子レベルで平坦な界面を有する酸化物人工超格子を作製することで、電界で磁気特性を制御する超低消費電力デバイス、強誘電性と強磁性の複数の長距離秩序を持つ多機能マルチフェロイックデバイスの開発として、超格子作製には原理レベルで薄膜成長を制御する非常に高度な成膜技術を必要とするため、超高密度ターゲットの作製技術、層状成長技術、精密結晶構造解析後、 $\text{ABO}_3$  ( $\text{A}=\text{Ca}, \text{La}, \text{B}=\text{Fe}, \text{Mn}$ ),  $\text{REMO}_3$  ( $\text{RE}=\text{La}, \text{Bi}, \text{M}=\text{Fe}, \text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x$ ) を用いて超構造作製技術の開発を探求した。エネルギー班・橋本との共同研究により、ペッチーニ法を用いた超高密度ターゲットの作製に成功し、 $\text{LaFeO}_3$  (LFO) : 95.5%、 $\text{CaFeO}_x$  (CFO) : 96.4%、 $\text{BiFeO}_3$  (BFO) : 95.2%、 $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  (BFMO) : 96.6%を得た。 $\text{ABO}_3$ 、 $\text{REMO}_3$  をパルスレーザー堆積 (PLD) 法によって交互積層した。X 線回折 (反射)、逆格子マップにより、すべての超格子は Cube-on-Cube で成長し、超格子サテライトピーク、ラウエ振動を観測し、結晶性の良い超構造が作製できたことを確認した。超構造の面内シート抵抗、ホール抵抗の温度依存性および磁場依存性から界面の磁氣的交換相互作用が温度の低下と共に増加することを確認した。[CFO/BFMO]超格子では、図5のように  $\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x$  1 個に対する磁化は 300K において  $0.055\mu_B$  でバルク値の約 4 倍となった。キュリー温度も約 450K と室温以上を確認した。究極に小さい 1nm オーダーの FET 作製のため、自由電子レーザー (FEL) 照射および表面処理技術、基板表面原子配列を利用して、電気特性、成長位置、配向性を同時制御した単層カーボンナノチューブ (SWNT) の選択成長を試みた。SWNT はエタノールをカ

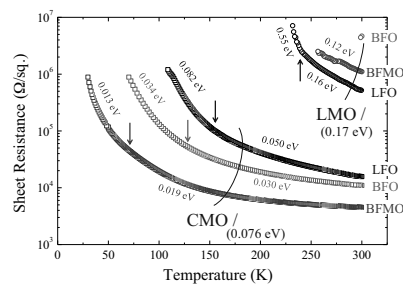


図5 人工超格子に関するシート抵抗の温度依存性



一ボンソースとし、化学気相成長(CVD)法によって、酸化膜付き Si 基板、サファイア、人工水晶基板上に成長させた。サファイア基板上にはバンドル化した SWNT が配向した。特に波長 800nm の FEL を照射すると 4 種類のカイラリティを持った半導体性 SWNT 成長に限定された。FEL 未照射では、合計約 30 種類のカイラリティを持った金属性・半導体性 SWNT が成長した。FEL の波長可変性、数百フェムト秒の鋭いマイクロパルスが選択成長に有効に働いた結果で、成長中カイラリティ制御に成功した初めての報告例である。さらに、電極間のみを親水処理することによって、カイラリティ制御された SWNT を所望の位置に選択成長させることに成功した。

羽柴は量子ドットのプラズマ励起を用いた THz 単一光子検出のために、半導体量子ドット(QD)を用いた THz 帯単一光子検出器の検出効率の向上と、QD の高次プラズマ励起の様相を明らかにし高温動作への可能性を探索した。この検出器は THz 光子吸収により QD がプラズマ励起すると 1 電子をトンネルバリアを介して排出する。このポテンシャルバリア形状を排出方向に長くすることで、2次元電子系上の熱揺らぎによるトンネル効果を抑制しダークカウントの低下に大きく寄与する事を示した。多くの入射光子による高次プラズマ励起頻度が電子の排出レートより大きい場合、励起エネルギーは量子ドット中の電子温度の上昇に寄与しドットは熱浴として働く事を示唆することが明らかになり、検出器の受光感度を示す NEP が $\sim 10^{-19} \text{ WHz}^{-1/2}$ と、従来より一桁良い値を得た。色素増感太陽電池の高効率化のために  $\text{TiO}_2$  二次元フォトリソニック結晶を FTO 基盤上に作成することを目指し、電子線レジスト上の微細マスクへの  $\text{TiO}_2$  微細構造の直接製膜技術の開発と評価(図6)した。 $\text{TiO}_2$  スパッタ製膜法の  $\text{Ar}:\text{O}_2$  ガスの混合比を 2:1 とすることにより、酸化チタンの組成をコントロールできるばかりでなく、微細 EB レジストマスクを壊さない低温下での  $\text{TiO}_2$  製膜に成功した。この  $\text{TiO}_2$  微細構造を 500 度で焼成させることにより、アモルファスからルチル・アナターゼへの結晶化を確認し、またその外形は目立った変化が無いことを確認した。

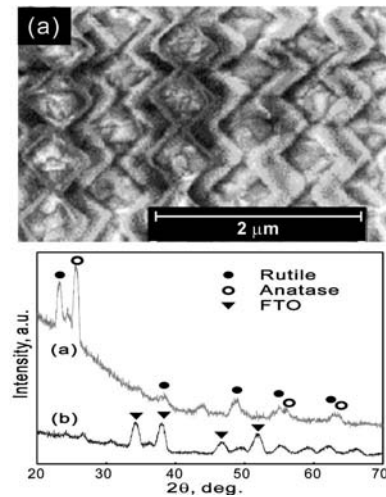


図6  $\text{TiO}_2$ 二次元フォトリソニック結晶

茶園はバイオナノマシン反応サイクルにおいて、それら1個1個の反応サイクルが同期しているわけではないので従来の測定の前段階としての多分子イメージングによる生体分子モーター作動原理の研究と1分子イメージングによる細胞膜上受容体蛋白の研究を行った。まず多分子イメージングによる生体分子モーターの作動原理の研究では種々の滑りの活性化エネルギーの計測からミオシン分子の動きが熱揺動エネルギーでなされていることを示唆し、ATP 分解反応をイメージングすることによりミオシン分子の動きが ATP 分解反応に影響することを明らかにした。細胞膜上の上皮成長因子受容体蛋白の1分子イメージングにおいて、最適な蛍光ラベル蛋白を見いだした。更に、図7に示すカーボン隔膜による走査型電子顕微鏡で生きたままの細胞をナノメートルオーダーの空間分解能で観察する技術を開発した。

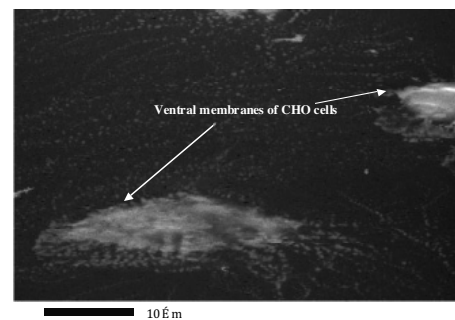


図7 培養細胞のSEM写真

十代はキラル中心を持たないアキラルな分子からキラルなナノ構造体であるナノらせん構造を得る分子に着目し、キラル発現の機構およびらせん化の制御を目指し研究を行い、銀トリルアセチリドがキラル中心を持たないアキラルな分子であるのにも係らず、その結晶がナノらせん構造になることを見出した。再結晶を行う溶媒を系統的に変化させることで、捻じれたナノらせん構造と捻じれていないナノリボン構造を制御して作成することに成功（図 8）し、キラル発現の機構解明に対して足掛かりを得た。

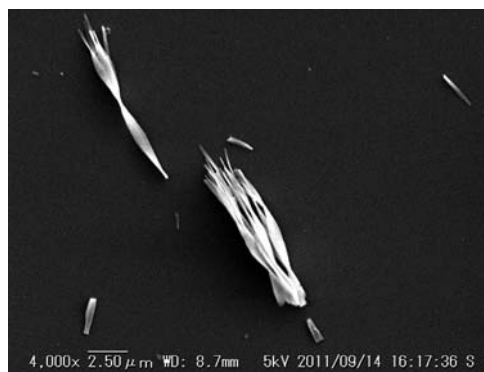


図 8 銀トリルアセチリドナノリボン構造

望月は酸化セリウム  $\text{CeO}_2$  とこれをベースとした酸素吸蔵物質として知られている  $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$  固溶体を対象にして、これらの物質の固体、薄膜、ナノ粒子等について、光学的性質と紫外レーザー光に誘起された酸素放出・吸蔵現象及びフォトメモリー現象等の実験的研究を行い、これら物質のフォトルミネッセンス特性を明らかにした。また、新規の長残光性高輝度白色発光物質を探索すべく  $\text{NiO}$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{NiO-ZrO}_2$  オトルミネッセンスの基本特性を明らかにした。

## 5. アピール・トピックス

論文は *J. Am. Chem. Soc.* や *Nanotechnology* および *BIOPHYSICS* など 92 件、著書は「先端固体レーザー」や「クラスター伝導体—銅アセチリドナノワイヤー—」表面技術など 4 件、知的財産：特許出願は「合金薄膜生成装置」特願 2012-195690 や「微小バブル発生装置、微小吐出孔ノズル及びその製造方法」特願 2012-204982 など 8 件、外部資金の獲得状況：獲得研究費は科学研究費補助金や（財）カシオ科学振興財団および財団法人双葉電子記念財団など 22 件、受賞・メディア等は日本希土類学会賞（塩川賞）や日本大学理工学部学術賞および科学技術振興機構の「日本大学 新技術説明会」など 11 件であった。

## 6. 結論

以上のように各々の研究成果は研究目的を達成する結果を得た。ナノ物質としては ①鉄砒素系超伝導体の 1111 系二次元層状物質 ( $\text{La}_{1-x}\text{OFeP}$  や  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}$  ( $\text{R}=\text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$ ) など) 単相・単結晶試料 ②色素増感太陽電池用二次元  $\text{TiO}_2$  フォトニック結晶 ③水素発生用光触媒のランタン・ストロンチウムをヘビードープした酸化チタンや高効率発光素子用の p 型酸化亜鉛薄膜 ④アキラルな分子からキラルなナノ構造体である銀トリルアセチリドナノリボン構造を制御 ⑤酸素吸蔵物質の  $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$  固溶体を生成した。また、ナノデバイスとしては ⑥磁気力顕微鏡用の強磁性金属ニッケルまたはステンレス合金内包カーボンナノチューブプローブや直線状カーボンナノチューブ/ロッドダイオードおよび 4 種類のカイラリティを持った半導体性 SWNT ⑦多機能マルチフェロイックデバイス用の  $\text{ABO}_3$  ( $\text{A}=\text{Ca}, \text{La}, \text{B}=\text{Fe}, \text{Mn}$ )、 $\text{REMO}_3$  ( $\text{RE}=\text{La}, \text{Bi}, \text{M}=\text{Fe}, \text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x$ ) 超構造や  $[\text{LaFeO}_3(\text{LFO}) / \text{CaFeO}_x(\text{CFO}) / \text{BiFeO}_3(\text{BFO}) / \text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3(\text{BFMO})]$  超格子 ⑧半導体量子ドット ( $\text{GaAs}/\text{AlGaAs}$ ) を用いた THz 帯単一光子検出器を作成した。さらに、装置やシステムとしては ⑨磁化同軸プラズマガンや磁化プラズモイドおよび大気圧 LF ジェットの成膜・医療応用 ⑩ナノ・マイクロバブルの粒径制御による水浄化 ⑪ATP 分解反応のイメージングによるミオシン分子の動作・細胞膜上の上皮成長因子受容体蛋白の 1 分子イメージングにおける最適な蛍光ラベル蛋白の探索・カーボン隔膜による走査型電子顕微鏡で生きたままの細胞を観察する技術を開発した。

## 量子理論・計算班

石田浩, 大貫進一郎, 佐甲徳栄\*, 山崎恆樹

## 1. 班としての研究成果の総論

量子理論計算班は、光と物質の相互作用の本質およびナノ物質の物性を理論的に解明することを目的として、量子力学・電磁気学理論および大規模数値計算を駆使した研究を推進した。研究成果のハイライトは以下の通りである。

## 2. 固体表面と吸着ナノ分子系の電子・スピン物性 (石田浩)

微細加工技術の進歩により、結晶表面上に分子を自由に配列させたり、原子膜を一層ずつ成長させることが可能になった。こうしたナノ構造やヘテロ界面においては、エネルギー準位の離散化、対称性の低下、波動関数の境界条件の変化、強い電子間相互作用、スピン軌道相互作用、外部の電磁場等により、新奇な量子現象が発現し、それらを用いた電子・スピンデバイスの開発も進んでいる。こうしたナノサイズのデバイスの開発や新物質の探索において、実験を予想・解析するための理論計算の重要性が高まっている。本研究では、「表面・界面での電子相関による多体効果を扱う」、「半無限の結晶表面・界面を扱う」という二点に重点を置いて、従来の理論計算とは一線を画した固体、ナノ物質、表面・界面系の電子構造計算手法の開発と整備を進めた。

## (2-1) 金属/Mott 絶縁体界面の電子状態

デバイス応用の観点から重要な問題は、トンネル接合などデバイスの絶縁体層を強電子相関から生じる Mott 絶縁体で作成したとき、通常のバンド絶縁体と同様にデバイスが動作するかということである。強相関を扱う理論手法として、動的平均場理論 (DMFT) が広く用いられている。バルク結晶に関しては、隣接サイト間の電子相関をも考慮したクラスター DMFT 計算が標準的になりつつあるが、これまで表面・界面系の計算は、単一サイト DMFT に限られていた。我々は、本研究において表面・界面系の電子構造をクラスター DMFT により初めて計算した。その結果、電極に挟まれた原子層の金属/絶縁体転移の様子や電気伝導率が、単一サイト DMFT の場合とは定性的に異なることが分かった。また、半無限金属表面に吸着した Mott 絶縁体の単原子吸着層の電子構造を計算した結果、単一サイト DMFT では、吸着層は金属との近接効果により容易にフェルミ液体になるが、クラスター DMFT の計算から、吸着層がより低温まで非フェルミ流体にとどまることが分かった。

## (2-2) ハバード分子のクーロンブロッケードと近藤効果

金属電極間を架橋する単一分子の電気伝導度の測定が可能になった。理論サイドでは、密度汎関数法 (DFT) と Landauer 公式を用いて、単一分子のバリスティック伝導率が容易に計算されるが、必ずしも実験との一致はよくない。原因の一つは、DFT では記述できない分子内のクーロン反発力による電子相関である。これらの多体効果を調べるため、半無限 2 電極を架橋するサイトの Hubbard 分子を考え、この分子のバイアス電圧 0 極限 (熱平衡状態) での電子構造を、厳密対角化法により系の Green 関数を計算することにより、温度の関数として調べた。例として 3 サイトの直鎖分子の場合、分子の状態密度は、3 分子軌道から生じる 3 ピークからなるが、Coulomb ブロッケードにより各ピークは 2 つに分裂する。更に温度が低下すると、近藤共鳴準位が出現して、Coulomb ブロッケードによる擬エネルギーギャップが消失する様子が計算で得られた。

## (2-3) 金属表面バンドの Rashba 効果

結晶表面において、スピン軌道相互作用が電子構造に重要な役割を果たす場合がある。一つは、トポロジカル絶縁体のバルクバンドギャップを横切る表面局在バンドであり、もう一つは、Au や Bi など非磁性体の表面局在バンドのスピン分極である。後者は、Rashba 効果と呼ばれている。DFT による Rashba 効果の第一原理計算は、従来、結晶表面を薄膜モデルで

近似して行われた。しかし、薄膜モデルでの計算では表面局在バンドや表面共鳴バンドの詳細は調べられない。そこで我々はエムベディッド Green 関数法に基づく半無限結晶表面の第一原理 DFT 計算により、結晶表面の Rashba 効果を調べた。例として光電子分光により Rashba 効果が初めて観測された Au(111)表面と、Ag(111)表面上に Bi が吸着した系の表面バンド構造の計算結果を図 1 に示す。図 1 は表面原子の原子球における  $k$  分解状態密度  $\rho(\epsilon, \mathbf{k})$  の強度マップを、横軸に  $k$ 、縦軸に  $\epsilon$  を取って描いたものである。暗い領域はバルクエネルギーバンドを表面に射影したときのエネルギーギャップである。このギャップ内に、表面での空間反転対称性の欠如により、クラマース縮退が解かれてスピン分極した表面局在バンドが現れるのが分かる。

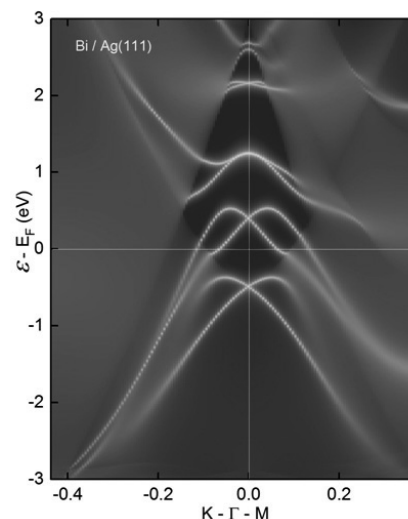


図 1 Bi/Au(111)表面の Rashba 効果

### 3. ナノ電磁界シミュレーションによる光と物質の相互作用の解析 (大貫進一郎)

ナノスケールの対象物に光が入射した場合の光-物質間相互作用を高速かつ高精度に数値解析できるシミュレーション法を開発し、本プロジェクトの超高密度磁気記録や量子通信に利用する光デバイスの設計を行った。これらの研究成果は、平成 25 年度理工学部学術賞や日本磁気学会より 2013 年論文賞として表彰された。

#### (3-1) 積分方程式法に基づく電磁界時間応答解析

積分方程式法と数値逆ラプラス変換法を併用した高速かつ高精度な電磁界時間応答解析法を開発した(J. Electromag. Waves and Applic., 2012)。提案手法は、計算誤差の制御が容易であり、任意の時間刻み幅および解析時間が選択可能である。また、提案手法に高速アルゴリズムと並列計算を併用することで、従来法に比べて 100 倍以上の高速化に成功した。高密度光直接記録用のプラズモニックアンテナの設計に適用し、ナノサイズの局所的な円偏光の生成を検証した。

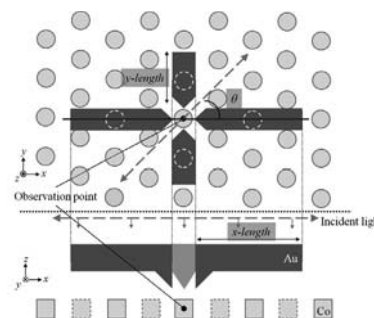


図 2 光直接記録による高密度記録方式

#### (3-2) 超高密度磁気記録に向けたプラズモニックアンテナと粒子媒体の設計

光直接記録方式による超高密度磁気記録の実現に向け、情報班の中川教授と共同で、局所的な円偏光を高効率に生成できるプラズモニックアンテナと多数の粒子から成る記録媒体を設計した(電気学会論文誌 A, 2014)。図 2 のアンテナは 2 組のダイポールアンテナから構成され、それぞれのアンテナに誘起される表面プラズモンの位相差が 90 度となるようにアンテナ長を選定した。このアンテナに直線偏光を入射した場合、アンテナギャップ間の記録粒子一つにのみ局所的な円偏光が生成できることを確認した。提案した記録方式では、光直接記録を用いた 2Tbit/inch<sup>2</sup> の高密度記録が可能となる。

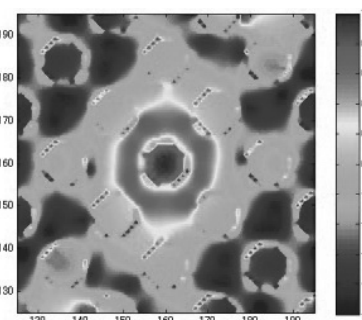


図 3 粒子状記録媒体中の円偏光度

また、情報班の塚本准教授と共同で、マイクロマグネティクスシミュレーションにより、粒子媒体中の磁化反転現象も併せて解析した。図 3 の解析例は、印加した外部磁界により磁化ベクトルが反転する様子を示す。

(3-3) レーザ場中におけるナノ物質のマルチフィジクス解析

FDTD 法に基づくマックスウェル - シュレディンガー混合数値解析法を量子理論・計算班の佐甲准教授らと共同で開発し、レーザ場中におけるナノプレートのマルチフィジクス解析を行った(Int. J. Numer. Model., 2013). ポテンシャル構造に起因するトンネル効果が、薄膜内の電流密度および近傍の電磁界に与える影響を検討し、従来の古典的な数値解法と比較することで提案手法の有用性を明らかにした. 図 4 は薄膜内の電流密度の計算例で、提案手法でのみ正確な解析が可能となる. また、光による電子状態の制御を目的とし、光パルスの新しい設計法を提案した. ナノチューブ内の電子に、提案法により設計した光パルスを照射することで、高効率に電子を目的状態へ制御できることを明らかにした(図 5, 6).

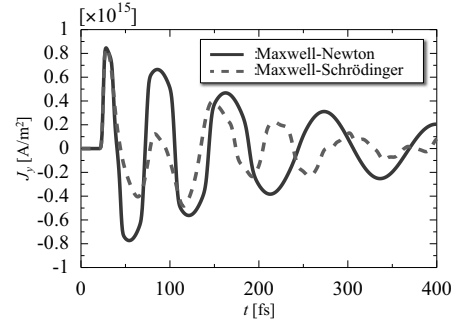


図 4 ナノプレート内電流密度の時間応答

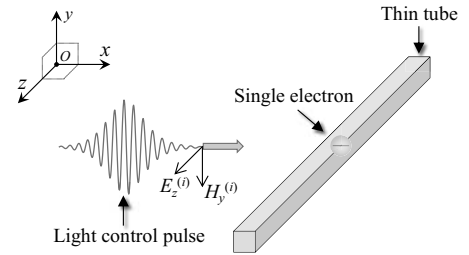


図 5 ナノチューブと座標系

(3-4) 高感度光検出器に向けたプラズモニック導波路の設計

金属ストライプとニオブ細線により構成される光検出器を設計した. 本デバイスは、電磁エネルギーを金属ストライプ近傍に集中し、この電磁エネルギーをニオブ細線内で熱エネルギーに変換することで、高効率な光検出を行う.金属ストライプを用いることで、ニオブ細線内のジュール熱が 50 倍程度高くなることを明らかにした.

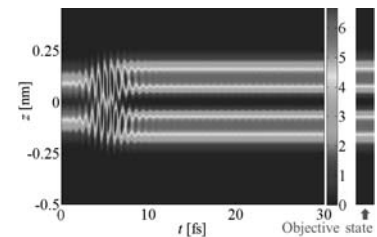


図 6 光パルスによる電子状態の制御

4. 人工原子および自然原子におけるフントの規則と角度相関の起源 (佐甲徳栄)

少数の電子をナノスケールの人工的な低次元ポテンシャル井戸に閉じ込めた人工原子（量子ドット）は、量子力学原理に基いて動作する次世代ナノデバイスの基本素子としての大きな役割が期待されており、その量子構造の解明は最も本質的な研究テーマである. 本プロジェクトでは、人工原子および自然原子における電子スピン配列を決定する「フントの規則」に着目し、その起源の解明に取り組んだ. そして、スピンの反平行な一重項状態の波動関数において共役フェルミ孔と呼ばれる空孔が存在することを見出し、この共役フェルミ孔の存在によってフント則の起源が説明できることを明らかにした.

(4-1) フント則の起源

前期量子論の時代に原子分光學の分野で経験的に導かれたフントの規則は、同じ軌道配置を有し、異なるスピンを持つ状態間のエネルギー順序を予言する三つの規則であり、特にスピンに関する第一規則については、原子のみならず、分子、さらには人工原子についても成り立つことが知られている. 一方、この規則が成り立つメカニズムについては、一電子演算子と二電子演算子の相対的な重要性に関する、数十年に及ぶ長い議論の歴史にも関わらず、未だ統一した理解が得られていない. このため本研究では、He 様原子系および対応する 2 電子人工原子を対象として、このフントの第一規則が成り立つ起源の解明に取り組んだ.

人工原子あるいは量子ドットは、少数の電子をナノスケールの低次元ポテンシャル井戸に閉じ込めた有限多電子系であり、多くの場合近似的に 2 次元調和ポテンシャル中に束縛された複数電子としてモデル化される. 本研究では、この人工原子と He 様原子の詳細な比較を行うために、2 次元調和ポテンシャルおよび 2 次元クーロンポテンシャルに束縛された 2 電

子系の固有エネルギーおよび波動関数を完全 CI 法によって計算した。得られた CI 波動関数から、二電子の相関を完全に記述する「内部波動関数」を抽出しその構造を調べた。その結果、閉じ込めが強い極限において、スピンの平行な三重項状態のみならず、スピンの反平行な一重項状態においても、波動関数の確率密度が零となる「共役フェルミ孔」と呼ばれる空孔が存在することが初めて見出された (図 7, *Phys. Rev. A* 2011)。そして、この共役フェルミ孔の存在によって、一重項状態の波動関数は三重項状態よりも空間的に広がり、そのため、より高いエネルギー値を持つこと、すなわちフントの第一規則が成り立つことを明らかにした (*J. Phys. B* 2012)。この論文は英国物理学会が選出する IOP セレクトに選ばれ、また欧州物理協会が発行する *Europhysics News* で紹介された。またこの成果により、日本物理学会からの依頼を受けてフント則の起源について解説記事を執筆し、2013 年の学会誌に掲載された (*日本物理学会誌* 2013)。

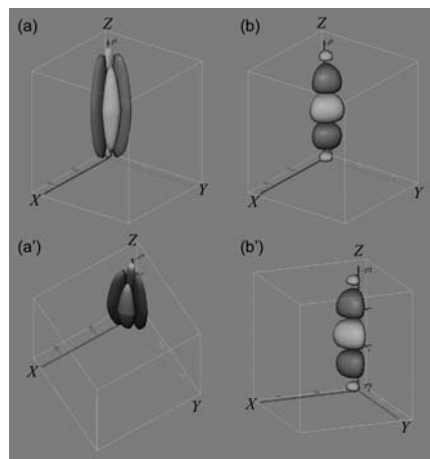


図 7 二電子の内部空間における共役フェルミ孔 (赤) と通常のフェルミ孔 (ブルー)。

## 5. フォトニック結晶導波路のスイッチング効果と欠陥部へのエネルギー効率 (山崎恒樹)

フォトニック結晶構造は光の波長程度をもつナノ領域の光回路デバイスとして近年注目を集めている。特に、フォトニック結晶構造を用いたスイッチング効果や光閉じ込め効果へのデバイス応用が期待されている。本研究では、多数の周期的円柱配列からなる中間層に様々な誘電体構造(誘電体角柱, 誘電体円柱, 誘電体ひし形柱)等を内蔵し、散乱問題と導波問題を解析する事により、光スイッチング効果や光閉じ込め効果を得られる最適な誘電体構造について検討した。

### (5-1) 誘電体角柱を内蔵した場合のスイッチング効果

中間層内部に内蔵した誘電体角柱の誘電率を変化した場合について、入射角  $\theta_0$  を変化した時の 0 次電力透過係数  $|T_0|^2$  を計算した。その結果、TM 波では  $\theta_0 \cong 9^\circ (\epsilon_3/\epsilon_0 = 3)$ , TE 波では  $\theta_0 \cong 26^\circ (\epsilon_3/\epsilon_0 = 2)$  でスイッチング作用が得られることがわかった。また規格化周波数  $p/\lambda$  を変化した場合について調べたところ、TM 波では低周波 ( $0.58 < p/\lambda < 0.66 (\epsilon_3/\epsilon_0 = 2,3)$ ) と高周波領域 ( $1.2 < p/\lambda < 1.3 (\epsilon_3/\epsilon_0 = 2,3)$ ) の 2 か所でスイッチング作用が得られ、TE 波の場合には、低周波領域 ( $0.53 < p/\lambda < 0.55 (\epsilon_3/\epsilon_0 = 2,3)$ ) でスイッチング作用が得られることが示された。

### (5-2) 様々な誘電体導波路構造における光閉じ込め効果

誘電体円柱とエアホール円柱配列で構成した欠陥部を有する誘電体導波路について、光閉じ込め効果を検討した。誘電体円柱配列およびエアホール円柱配列の従来構造を含めた誘電体導波路の構造の中から、各構造における伝搬特性とエネルギー分布を精度よく解析した。中間層に内蔵した誘電体構造による欠陥部のエネルギー閉じ込め効果について、TE mode の最適な構造を探索した結果、構造(B)の欠陥部に対するエネルギーは、構造(A)の従来型に比べて集中している事が見出された (図 8)。

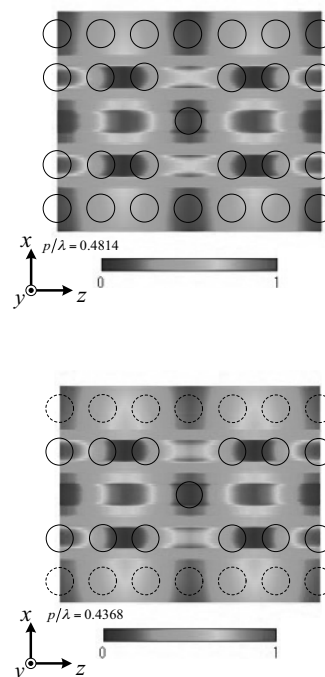


図 8 構造 A (上) と B (下) に対する伝搬域中でのエネルギー分布

## 研究者の報告

<b>1. 浅井朋彦</b> (ナノ物質・ナノデバイス班) .....	55
自己組織化磁化プラズモイドの理解とナノ材料, 医療への応用	
<b>2. 浅田泰男, 西宮伸幸</b> (エネルギー班) .....	57
水素吸蔵合金を用いたバイオ水素の増収方法	
<b>3. 伊掛浩輝</b> (超分子・自己組織班) .....	59
バイオベースポリマーとしてのポリ乳酸フィルムの開発とその新規機能開拓	
<b>4. 石田 浩</b> (量子理論・計算班) .....	61
固体表面と吸着ナノ分子系の電子・スピン物性	
<b>5. 岩田展幸</b> (ナノ物質・ナノデバイス班) .....	63
ナノ構造作製・制御による多機能発現および極微細デバイス応用	
<b>6. 大月 穰</b> (超分子・自己組織班, エネルギー班) .....	65
自己集合超分子系の開拓と, エネルギー, 医療, 情報技術への応用	
<b>7. 大貫進一郎</b> (量子理論・計算班) .....	67
ナノ電磁界シミュレーションによる光と物質の相互作用の解析	
<b>8. 加野浩一郎</b> (医療班) .....	69
成熟脂肪細胞に由来する多能性前駆細胞 DFAT の移植による新規の乳癌発症モデルマウスの作製に関する研究	
<b>9. 桑本 剛</b> (量子情報班) .....	71
原子への量子光保存のための研究開発	
<b>10. 越永従道</b> (医療班) .....	73
KCNQ10TI 遺伝子を標的とした pyrrole-imidazole polyamide の新規抗癌薬剤としての可能性の検討	
<b>11. 佐甲徳栄</b> (量子理論・計算班) .....	75
自然原子および人工原子におけるフントの規則と角度相関	
<b>12. 十代 健</b> (ナノ物質・ナノデバイス班) .....	77
クラスター・分子集合体からの機能発現	
<b>13. 鈴木 薫</b> (ナノ物質・ナノデバイス班) .....	79
広バンドギャップ半導体ナノチューブ/ロッドデバイスの作成	
<b>14. 相馬正義, 藤原恭子</b> (医療班) .....	81
PI ポリアミドを用いた抗腫瘍薬の開発	
<b>15. 高野良紀</b> (ナノ物質・ナノデバイス班) .....	83
層状構造を持つ鉄砒素系超伝導体の超伝導機構解明と新超伝導物質探索	
<b>16. 高橋 悟, 大日方大亮</b> (医療班) .....	85
ピロール・イミダゾールポリアミドを用いた新規前立腺癌治療薬の開発	

17. 茶園 茂 (ナノ物質・ナノデバイス班)	87
バイオナノマシンのイメージング	
18. 塚本 新, 伊藤彰義 (情報記憶班, 超分子・自己組織班)	89
ナノ構造自己集積化基板と超高密度情報記録媒体	
19. 塚本 新 (情報記憶班, 超分子・自己組織班)	91
光誘起超高速磁化反転と超高速情報記録	
20. 中川活二 (情報記憶班)	93
超高密度超高速記録の基盤研究 -近接場光利用による熱アシスト磁気記録-	
21. 永瀬浩喜 (医療班)	95
化学、生物学、物理学の融合による新規癌治療戦略	
22. 行方直人 (量子情報班)	96
高度量子情報通信に向けた要素技術の開発	
23. 西宮伸幸 (エネルギー班)	98
革新的水素貯蔵用ナノ複合化技術の開発	
24. 羽柴秀臣 (量子情報班, ナノ物質・ナノデバイス班)	100
金属、半導体による単一電子・光子物性のデバイス応用	
25. 橋本拓也 (エネルギー班)	102
ナノプロセスによる中低温作動用固体酸化物形燃料電池材料の作製・開発	
26. 福田 昇, 五十嵐潤, 齋藤孝輔 (医療班)	104
ゲノム化学に基づくPI ポリアミドの創薬開発とプラズマによる癌治療法開発	
27. 舩廣善和 (医療班)	105
分解耐性型細胞膜透過性タンパク質による遺伝的に安全な細胞分化調節法の開発	
28. 松下祥子 (超分子・自己組織班, エネルギー班)	107
自己集積・自己組織化現象を利用したデバイス作製の試み	
29. 松本宜明, 青山隆彦 (医療班)	109
新規光線力学療法候補化合物およびPI ポリアミドの薬物体内動態解析	
30. 山崎恒樹 (量子理論・計算班)	111
ホトニック結晶導波路のスウィッチング効果と欠陥部へのエネルギー効率	



## 自己組織化磁化プラズモイドの理解とナノ材料, 医療への応用

浅井朋彦

ナノ物質・ナノデバイス班

内部電流により閉じ込め配位を形成する自己組織化プラズモイドは、温度・密度などのパラメータ領域の広さやその制御の柔軟性から幅広い応用が期待される。本研究では、汎用的に利用可能なプラズマ源を開発し、高融点金属を含む機能性合金薄膜の高速生成法や極端紫外光源などへの応用を実証するとともに、医療技術やミュオン触媒核融合など、その発展的な応用について検討を進めた。

### 1. 磁化同軸ガンを用いた機能性合金薄膜の高速生成法の開発

イオンビームアシスト法を用いた真空蒸着など、その方法が限定される Ti-Fe 系薄膜の生成などへの応用を目指し、磁化同軸プラズマガン (Magnetized Coaxial Plasma Gun: MCPG) 技術を用いた高速製膜法 (Magnetized Coaxial Ion Gun: MCIG) の開発を進めた。複合材料による中心電極を用いたプラズマ生成の初期実験を完了し、この結果、高融点金属を含む合金薄膜について、スパッタ法に匹敵する 0.1nm/s 程度の成膜速度を実現した。SiO<sub>2</sub> 基板上に Al 薄膜を形成し、JIS R 3255 に準拠したスクラッチ試験によって、膜付着強度を測定したところ、一般的な真空蒸着法により作製された試料に対して、約 4.2 倍の臨界剥離荷重を示し、従来の手法より膜付着強度が高いことが確認された (Figure 1)。これは、溶発粒子を主に熱運動で輸送する従来の成膜法に比べ、MCIG ではイオンが電磁加速されるため、溶発粒子の基板への入射エネルギーが高く、付着強度が向上したものと考えられる。本研究により開発された手法および装置構成については NUBIC を通して出願された (名称：合金薄膜生成装置, 発明者：浅井朋彦, 鈴木薫, 西宮伸幸, 高津幹夫, 出願日：2012 年 9 月 6 日, 出願番号：特願 2012-195690)。

また、平成 24 年度からは、同手法の歯科材料や記録媒体開発への応用に関する基礎実験を開始した。

(電気工学科 鈴木薫教授, 物質応用科学科 西宮伸幸教授, 歯学部歯科保存学教室 升谷滋行教授らとの共同研究)

### 2. 硬質炭素薄膜生成を目的とした炭素電極同軸イオンガン成膜装置の開発

平成 25 年度より、合金薄膜の高速生成を目的に開発を進めた MCIG (Figure 2) をベースに、おもに炭化水素系のガス中での放電やスパッタにより生成される DLC (ダイヤモンド様炭素) について、より硬質 (硬度 (HV) > 4000) で、水素含有量を調整可能な、新規製膜法の開発に着手した。DLC と呼ばれる薄膜は、さまざまな機能性を有することから多岐に应用されている。おもにプラズマを用いて生成される DLC は、その製膜法により異なった結晶構造と機能を発現し、その性能はおもに基板への炭素の衝突エネルギーと薄膜の水素含有量に依存する。

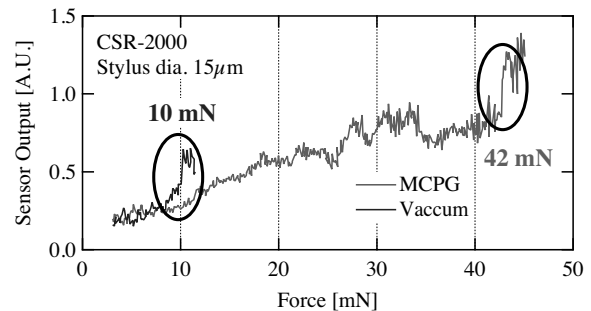


Figure 1. スクラッチテストによるアルミ薄膜の付着強度評価

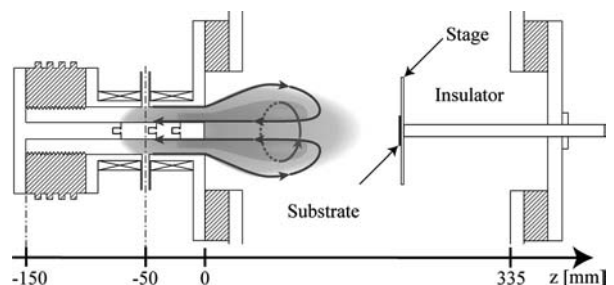


Figure 2. MCIG 製膜装置の概念図

MIPG におけるイオンの電磁加速を利用することで、炭素のエネルギーを制御し DLC 膜の硬度制御性を行う。炭化水素系ガスが必須ではない本技術では、水素含有量などのパラメータを、プラズマを生成するガス種やその混合比によって制御できる可能性を有する。現在、企業と共同で、製膜法の工業化には必須である (1) 低熱負荷、(2) 水素含有量の制御、(3) 高い膜厚制御性、(4) 低ドロップレットを実現する新規製膜法の実証と、高い生産性と高品質な DLC を精製できる装置の開発を目指している。

(ナノテック株式会社 平塚傑工氏等との共同研究)

### 3. 大気圧 LF ジェットプラズマの医療応用

これまでに本プロジェクト内において、材料の表面処理などへの応用研究を進めて来た大気圧 LF ジェットプラズマについて、医療技術への応用に関する研究を開始した。大気圧 LF ジェットにより供給される高エネルギーの電子やイオンは、生体への直接的な作用の他、化学平衡を制御するツールとしての利用が期待される。本プロジェクトにおいては、特に癌腫治療への応用を目的としたプラズマ生成装置の開発を進め、癌幹細胞を対象としたプラズマ照射実験を開始した。プラズマ照射による細胞死は、細胞内における活性酸素の発生によって引き起こされると考えられるが、癌幹細胞は正常細胞に比べ活性酸素抵抗性が高い。プラズマによる液相中の活性酸素の発生のメカニズムは未だ解明されておらず、より効率の高い細胞内活性酸素の発生手法の開発が実用化への重要な課題である。

(医学部 福田昇教授、藤原恭子助教、齋藤孝輔研究員、産業技術総合研究所 小口治久主任研究員等との共同研究)

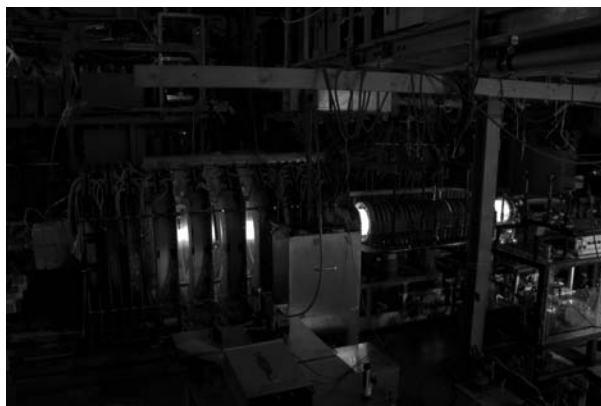


Figure 3. FAT 装置

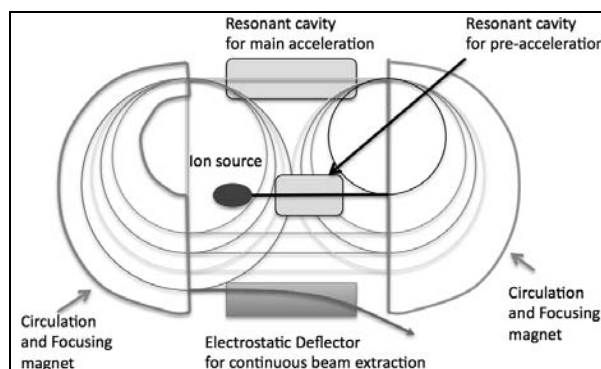


Figure 4. 高エネルギーハドロン加速用定常磁場加速器の概念図

### 4. ミュオン触媒核融合の効率化に関する研究

ミュオンを用いて原子核中の原子間距離を制御することより、ミュオン原子中での核融合反応を発生させる「ミュオン触媒核融合 (Muon Catalyzed Fusion:  $\mu$ CF)」について、 $\mu$ CF 方式の効率化のため、磁場反転配位 (Field-Reversed Configuration: FRC) プラズマの超音速移送と水素アイスレット入射法を組み合わせた新たな炉方式を提案、ミュオン生成専用の加速器建設も含めた実験の実現へ向け、基礎的研究を開始した。また、この原理実証を目指した新しい装置 FAT (FRC Amplification via Trans-lation/-former) の開発を平成 24 年度までに終え、本装置における FRC 移送実験を船橋校舎物理実験 A 棟において開始した。

また、平成 25 年度からは、本研究に関連して、テスラ級の超強磁場・高応答キッカーシステムの開発と省電力高効率粒子線入出射法の実現に関する研究について科研費 (基盤 (B)) を獲得し、パルス磁場コイルの評価試験を物理実験 A 棟において開始した。さらに、FRC による  $\mu$ CF 方式核融合炉の実現のため、核融合駆動用加速器のコンパクト化に関する設計研究を進めている。Figure 4 にその概念図を示す。

(高エネルギー加速器研究機構 中村英滋講師等との共同研究)

## 水素吸蔵合金を用いたバイオ水素の増収方法

浅田泰男、西宮伸幸  
エネルギー班

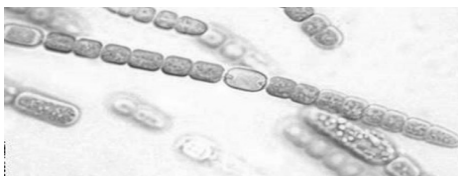
バイオ水素、いわゆる生物的水素生産は、その再生可能性および環境調和性から長く研究が続けられている。水素を生成できる微生物には様々な種類があるが、大きく分けて、有機物の嫌氣的分解（非光合成）、ならびに光合成能力を有する緑藻などの微細藻類、シアノバクテリア（藍藻）、光合成細菌などが特定の条件で水素を生成する場合がある。酵素のレベルでは、水素生産は、本来窒素固定酵素であるニトロゲナーゼまたは、ヒドロゲナーゼのどちらかである。ただし、1個の微生物全体としては、例えば窒素固定バクテリアであっても取り込みヒドロゲナーゼを有しておりニトロゲナーゼによって生産された水素を再吸収するなど、水素の代謝は単純ではない。

我々は、カプセル化した水素吸蔵合金を、上記のような各種微生物による水素生産系に導入すると水素の増収が見いだされることを発見した（特願2011-124597）。これまで、1. ニトロゲナーゼによる水素生産を有するシアノバクテリアであるアナベナ（*Anabaena cylindrica*）、2. ヒドロゲナーゼによって、光合成で蓄えたグリコーゲンを嫌気暗条件下で分解するスピルリナ（*Spirulina platensis*）、3. 通性嫌気性でありグルコースから水素を嫌気発酵するエンテロバクター（*Enterobacter aerogenes*、非光合成）、などに適用した。ニトロゲナーゼによる水素生産をおこなう光合成細菌（浅田他、エネルギー協会誌）についても現在検討中である。

以下、1. と2. を中心に述べる。

### 1. アナベナによる水素生産

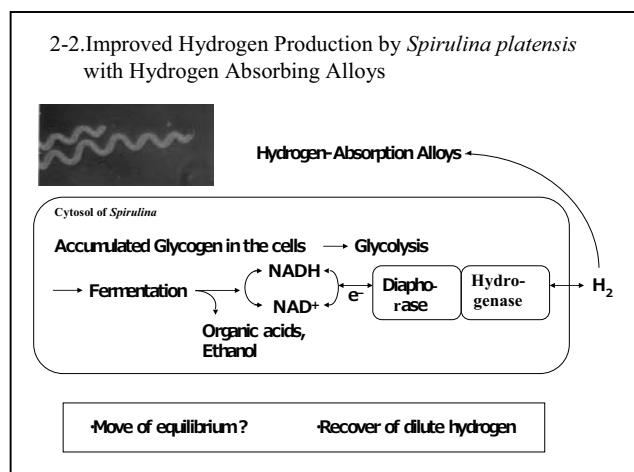
シアノバクテリアによる水素生産系（約13mlの密封小型瓶に、培養液を2.5ml入れ、ガス相をアルゴン置換）に、SSG水素吸蔵合金を小型チューブに入れて水素生産を行わせた。ガス相の水素と吸蔵合金に吸収された水素を合計して比較すると、水素の増収効果が観察された。特に、アナベナの場合、吸蔵合金の効果は大きく、吸蔵合金の非存在下の約6倍に達した。これは、アナベナの場合、窒素固定酵素が生産した水素を再吸収する取り込みヒドロゲナーゼ系が水素分圧の低下でヒドロゲナーゼ系によって抑制されたためではないかと推論される。



(アナベナ)

### 2. スピルリナによる水素生産

スピルリナ（アルスロスピラ）属のシアノバクテリアは、自然界では高塩濃度や汽水表面に増殖する糸状性で、気泡によって湖表面に群落を形成する。窒素固定能はない。我々は、人工培養スピルリナを窒素源（硝酸塩）制限条件下で増殖させると、菌体内グリコーゲン含有率が上昇し、これを嫌気暗条件下に保つと水素ガスが生成し、同時に、有機酸、アルコール等を副生することを発見した。このような水素生産系に、カプセル化したZrVFeを共存させるとやはり、水素の増収効果が確認された。



ただし、アナベナに比べ、増収効果は、約 1.5 から 2 倍程度にとどまった。スピルリナのヒドロゲナーゼ系は右図のように推定されるが、検討の余地がある。

以上のように、水素吸蔵合金によって、おそらく菌体懸濁液の水素濃度を下げることで生物的水素生産が促進されるという現象が発見できた。現状では、これで 1 つの段階であると考え。今後の課題は、より低分圧で、速い吸収速度で機能する水素吸蔵合金の開発ならびに水素生産の効率の改善であろう。

### 3. 光合成細菌によるイソオキサゾールなどの不斉還元 (浅田単独研究)

シアノバクテリア、*Synechococcus* PCC7942 生菌体が、イソオキサゾールやアセトフェノン類を変換することが見いだされていた。しかし、その酵素については、アルコール脱水素酵素が想定されていたが、詳細は不明であった。浅田らは、全ゲノム配列が決定されていた、*Synechococcus* PCC6803 より 3 種類の短鎖アルコール脱水素遺伝子をより生育の速い光合成細菌、*Rhodobacter sphaeroides* RV (アルコール脱水素酵素を持たない) へ導入し、不斉還元反応に関与する酵素をあきらかにするとともにシアノバクテリアよりも 1 桁高い、不斉還元をめざした。まず、3 種類のアルコール脱水素酵素遺伝子を RP4 由来の接合伝達ベクターにつなぎ合わせ、RV 株に導入することには成功した。それぞれの接合伝達転換株の無細胞抽出液は、エタノールやブタノールに活性を示した。また、新たに、アルコール資化性の *Rhodospseudomonas viridis* No.7 にもイソオキサゾールなどの不斉還元活性を見だし、アルコール脱水素遺伝子を取りだし、RV 株に導入し、アルコール脱水素酵素活性を見いだした。

しかし、これらの形質転換体を用いて、実際にイソオキサゾールやアセトフェノンを還元することができなかった。理由は、これらの形質転換体を保持するために、経代培養を繰り返したために、接合伝達プラスミドが脱落するか、何らかの変異を起こしたためと思われる。当初、無細胞培養液に存在したアルコール脱水素酵素活性も著しく低下した。

本計画の達成率は半分以下である。イソオキサゾール類を分析頂いた本学部一般教育伊藤賢一講師、形質転換を行って頂いた生産工学部神野英毅教授には厚く御礼を申し上げます。なお、本研究より派生した研究として、アセトアルデヒド脱水素酵素遺伝子を上記と同様な方法で導入した RV 株が、酢酸から水素を生産する効率が上昇した (Kobayashi, 2012) という結果が得られた。

## バイオベースポリマーとしてのポリ乳酸フィルムの開発とその新規機能開拓

伊掛浩輝

超分子・自己組織班

持続可能な社会を支える新たな高分子材料として、植物などの再生可能な資源から合成されたバイオベースポリマーが挙げられる。とり分け、デンプンの乳酸発酵から得られた乳酸の重合体であるポリ乳酸(PLA)は、生分解性高分子として縫合糸や食品容器などに使われ、我々の生活に深く関わる高分子である。また、PLA は結晶性でもあることから PLA 結晶を、ナノ分散化させた材料では、PLA の耐熱性を損なうことなく透明な材料となったり、また、この結晶配向したフィルムでは偏光フィルムとなったり、さらには、結晶配向化による新たな電気化学的特性が創生される。本研究では、PLA のナノ構造と機能との関わりを念頭に、この 5 ヶ年、PLA の合成から、PLA の成型加工、そして PLA モルフォロジー解析を行い、PLA の新規機能探索と使用後のリサイクル法までも含めたトータルな材料設計を行った。

### 1. 平成 21 年度: 結晶性バイオベースポリマーとしてのポリ-L-乳酸の合成とキャラクターゼーション

微生物によるデンプンの乳酸発酵によって得られる L-乳酸をモノマーに、脱水、重縮合反応させることで PLLA を得た。PLLA は、粘度平均分子量が約  $3.4 \times 10^4$  で、結晶化度が約 60 ~ 70%程度の白色粉末であった。また、 $^{13}\text{C}$  型核磁気共鳴測定から、光学異性体である D 型 PLA(PDLA)の混在がほとんど無いことがわかり、目的される PLLA の合成に成功した。

### 2. 平成 22 年度: ポリ-L-乳酸フィルムのモルフォロジー制御と精密構造解析

はじめに、PLLA フィルムのモルフォロジー制御に必要な熱処理条件について検討した。種々の溶媒で試験を行ったが、PLLA の相溶性の観点からクロロホルムを溶媒にフィルムを作製した。フィルムの熱処理温度を 100, 120, 140 及び 180°C で各々 2 時間行った。キャストしただけのフィルムでは、結晶化度が 52.5%であったが、熱処理することで、53.8, 55.4, 61.6 及び 63.7%と結晶化度が約 10%も増加した。そこで、高エネルギー加速器研究機構において、これらのモルフォロジー解析を行ったところ、PLLA 結晶間の間隔は 15.7 ~ 20.1nm, また、結晶厚みは 8.4 ~ 12.8nm と熱養生により結晶サイズが大きくなることがわかった。

#### 電場・磁場中でのポリ乳酸フィルムの結晶配向化

作製した PLLA フィルムの熱処理中、即ち、結晶成長期に電場(理工学部電気工学科鈴木薫教授との共同研究)または磁場(東北大学金属材料研究所高橋弘紀先生との共同研究)照射することで、電場や磁場方向に対して一定方向に配列した構造体が作製できないかと各々機関との共同研究をスタートさせた。

#### 汎用化を指向したポリ乳酸/シリカハイブリッド材料の作製

PLA がこれまで産業界に大きく貢献できなかった背景として、従来の汎用性高分子と比べて PLA の耐熱性、及び機械強度が劣ることに原因があると考えられる。そこで、合成した PLA と環境負荷が比較的小さいシリカとをナノメートルオーダーで複合化したナノハイブリッドを作製することで、これらの要請を克服したいと挑戦した。我々の研究グループでは、高分子にシランカップリング剤を用いてハイブリッド化する手法を早くから構築しており、PLA マトリックス中にシリカをナノ分散させることで、透明性優れた材料の創生を試みた。

#### 高性能ポリ乳酸ステレオコンプレックスフィルムの作製

PLA には光学異性体が存在するが、天然における存在割合が L 型、D 型ともほぼ同程度存在するという珍しい高分子の一つである。また、これらの構造体の対称性が良く、ステレオコンプレックス(sc)に特徴付けられる緻密な構造体を形成する。sc 構造を有する PLA(sc-PLA)は物理的性質に優れ、結晶性である PLLA よりも高融点、高弾性率で多くの関心が持たれている。我々の研究グループでは、sc 構造を形成する際に溶媒種や攪拌時間などを適宜選択することで構造体のサイズや分散状態が異なることから、これらを最適化することで耐熱性に優れ、さらには透明性にも優れた材料が創生できる可能性が見つけられた。

### 3. 平成 23 年度: ポリ乳酸フィルムの結晶配向化と高機能化, そしてリサイクルへ

#### 電場誘起によるポリ乳酸フィルムの作製と結晶配向化

ナノ物質・ナノデバイス班鈴木薫教授の研究グループと共同で, 電場誘起による PLLA フィルムの高結晶化, 高配向化について検討した. 1kV/m の電場中で PLLA を熱処理し, 融解及び結晶成長プロセスの温度と時間について検討したところ, 融解温度 170°C, 結晶成長温度 140°C で各々 1 時間とすることで, 結晶化度 74%, 配向度 60% となるフィルムが得られた.

#### 光学材料と指向したポリ乳酸ステレオコンプレックスフィルムの作製

sc 晶を形成する際の溶媒種, 調製条件を適宜選別することで, sc 晶サイズや分散状態を任意に制御できることを見出した. 我々の研究成果から, クロロホルムを溶媒に 2 時間攪拌しキャストしたフィルムが, sc-PLA の力学特性や耐熱性を保持しながらも, 400 ~ 800nm の可視光線を 85% 以上も透過するような透明性を有することがわかった.

#### 環境調和型ポリマーを見据えたポリ乳酸ステレオコンプレックスフィルムのリサイクル

sc 晶の安定性からリサイクルが困難で, さらに回収物には L 及び D 型 PLA が混在し, 分別することは困難である. そこで, 回収後の再利用を想定して, L, D 体がランダムに共重合した PDLA を用い, その高機能化に挑戦した. PDLA は, 無定形高分子で力学強度や耐熱性が低下する. そこで, この欠点を補うためにシリカをナノ分散させ補強したナノコンポジットを作製した. その結果, 400 ~ 800nm の可視光線が 80% 以上と透明性があり, 150°C 付近まで 10MPa オーダーの弾性率が持つハイブリッドフィルムが作製できた.

### 4. 平成 24 年度: ポリ乳酸フィルムの結晶配向化と高機能化, そしてリサイクルへ II

10T の磁場印加中で, PLLA の融解温度と等温結晶化プロセスの時間を制御することで, PLLA の結晶化度と配向度を適宜コントロールできることが示された. 融解温度を 185°C とした時の残留結晶に対して磁場照射することで, PLLA 結晶の配向化が促進され, また, 140°C で等温結晶化させ, 保持時間に応じて PLLA 結晶が成長することがわかった. また, 電場誘起の場合, 電場の強さに応じて PLLA 結晶の配向化が促進されることが示唆された.

#### ポリ乳酸ステレオコンプレックスの崩壊とその低分子量化

sc-PLA のリサイクルとして新たなプロセスについて検討した. PLLA と PDLA が混在する sc-PLA を回収する場合, sc 晶の安定性が良いことから, コンプレックス構造を壊すことが困難な上, その後の分別が大変難しい. そこで, sc 晶を解しつつキラルカラムで分別可能なサイズまで低分子量化をめざした. sc 晶を解すために 1,1,1,3,3,3-ヘキサフルオロイソプロパノール(HFIP)を溶媒に用い, 並行して, 水酸化ナトリウム添加によるアルカリ加水分解を行った. Arrhenius プロットから, 加水分解への温度条件について検討したところ, 温度を高くすることで sc 構造が解れやすく, PLA の加水分解も速やかに進行することがわかった.

### 5. 平成 25 年度: バイオベースポリマーとしてのポリ乳酸の高機能化

#### 高磁場照射によるポリ乳酸フィルムの結晶配向化と光学的性質

これまで作製した PLA 配向フィルムの光学的性質として, He-Ne レーザ(波長 632.8nm)を用いてレーザ透過強度とフィルムの回転角との関係について検討したところ, レーザ透過強度が 90° 周期的に変化し, 配向フィルムの偏光特性が見出された.

#### ポリ乳酸ステレオコンプレックスの崩壊挙動とその低分子量化

HFIP 中における PLA 鎖の拡がりや X 線小角散乱装置で調べたところ, 溶解時間とともに回転半径  $R_g$  が大きくなり sc 晶が解れていることがわかった. また, 温度上昇とともに速度定数は増加し, 50°C では PLA ホモポリマーと同程度の速度を示した. これら知見から, 本データが sc-PLA の分別回収に有益な情報となり得るものと思われる.

#### 高性能化ポリ乳酸ステレオコンプレックス/シリカハイブリッド材料の作製

シランカップリング剤を用いて PLLA 及び PDLA 両末端にトリエトキシシリル基を導入し, その後, これら同士の sc 化とシリカとのハイブリッド化を行った. ハイブリッド化しても sc 晶の形成は阻害されず, また, ナノメートルサイズでシリカが複合化していることがわかった. また, 複合したシリカによってハイブリッドは 3 次元ネットワーク構造を形成しており, sc-PLA 単独よりも耐熱性が高く, 高温域でゴム弾性挙動を示し, 優れた性能を有した.

## 固体表面と吸着ナノ分子系の電子・スピン物性

石田浩

量子理論・計算班

### 1. はじめに

微細加工技術の進歩により、結晶表面上に分子を自由に配列させたり、原子膜を一層ずつ成長させることが可能になった。こうしたナノ構造やヘテロ界面においては、エネルギー準位の離散化、対称性の低下、波動関数の境界条件の変化、強い電子間相互作用、スピン軌道相互作用、外部の電磁場等により、新奇な量子現象が発現し、それらを用いた電子・スピンデバイスの開発も進んでいる。こうしたナノサイズのデバイスの開発や新物質の探索において、実験を予想・解析するための理論計算の重要性が高まっている。本研究では、「表面・界面での電子相関による多体効果を扱う」、「半無限の結晶表面・界面を扱う」という二点に重点を置いて、従来の理論計算とは一線を画した固体、ナノ物質、表面・界面系の電子構造計算手法の開発と整備を進めてきた。

### 2. 金属/Mott 絶縁体界面の電子状態

デバイス応用の観点から重要な問題は、トンネル接合などデバイスの絶縁体層を強電子相関から生じる Mott 絶縁体で作成したとき、通常のコールド絶縁体と同様にデバイスが動作するかということである。強相関を扱う理論手法として、動的平均場理論 (DMFT) が広く用いられている。バルク結晶に関しては、隣接サイト間の電子相関をも考慮したクラスター DMFT 計算が標準的になりつつあるが、これまで表面・界面系の計算は、単一サイト DMFT に限られていた。我々は、本研究において表面・界面系の電子構造をクラスター DMFT により初めて計算した。

図 1 は、金属電極/Mott 絶縁体/金属電極サンドイッチ構造の計算に用いたモデルであり、破線で囲われた  $N$  原子から成る一次元鎖を DMFT の不純物クラスターに選んで、面垂直方向の隣接原子間の電子相関を取り入れた。ここで系は 1 バンドの強結合ハミルトニアンで表し、絶縁体層にのみ Hubbard タイプのクーロン反発エネルギーを取り入れた。計算の結果、電極に挟まれた原子層の金属/絶縁体転移の様子や電気伝導率が、単一サイト DMFT の場合とは定性的に異なることが分かった。また、図 2 のように半無限金属表面に吸着した Mott 絶縁体の単原子吸着層の電子構造を計算した。ここで、面内の隣接 4 原子 (原子 1-4) をクラスターに選ぶことにより、面内の隣接 2 原子間の電子相関を取り入れた。単一サイト DMFT では、吸着層は金属との近接効果により容易にフェルミ液体になるが、クラスター DMFT の計算から、吸着層がより低温まで非フェルミ流体にとどまることが分かった。

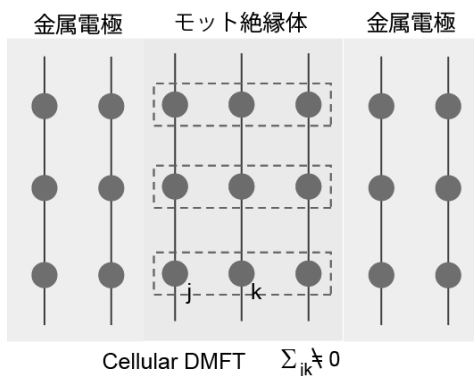


図 1

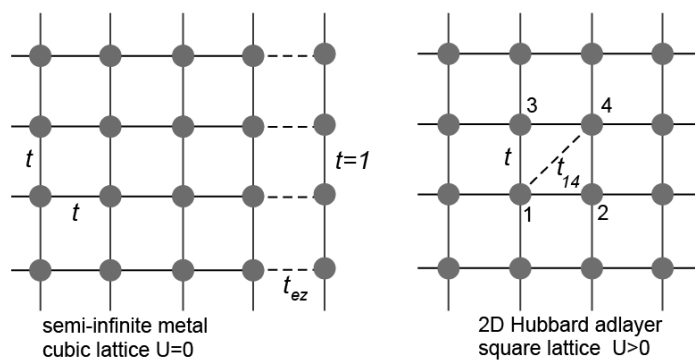
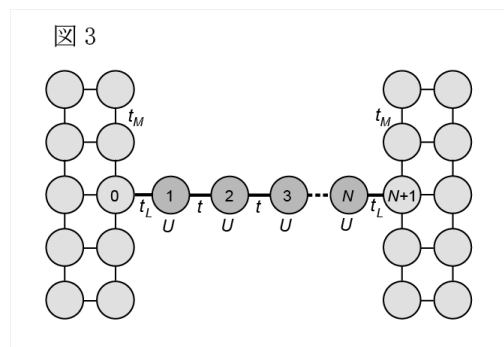


図 2 Lateral View

Top View

### 3. ハバード分子のクーロンブロッケードと近藤効果

金属電極間を架橋する単一分子の電気伝導度の測定が可能になった。理論サイドでは、密度汎関数法 (DFT) と Landauer 公式を用いて、単一分子のバリスティック伝導率が容易に計



算されるが、必ずしも実験との一致はよくない。原因の一つは、DFT では記述できない分子内のクーロン反発力による電子相関である。これらの多体効果を調べるため、図3のように半無限2電極を架橋する  $N$  サイトの Hubbard 分子を考え、この分子のバイアス電圧 0 極限（熱平衡状態）での電子構造を、厳密対角化法により系の Green 関数を計算することにより、温度の関数として調べた。ここで、 $U$  はクーロン反発エネルギー、 $t_L$  は分子-電極間の遷移積分、

$t_M$  は電極内の遷移積分、 $t=1$  は分子内の隣接サイト間遷移積分である。例として3サイトの直鎖分子の場合、分子の状態密度は、3分子軌道から生じる3ピークからなるが、Coulomb ブロッキングにより各ピークは2つに分裂する。更に温度が低下すると、近藤共鳴準位が出現して、Coulomb ブロッキングによる擬エネルギーギャップが消失する様子が計算で得られた。

#### 4. 金属表面バンドの Rashba 効果

結晶表面において、スピン軌道相互作用が電子構造に重要な役割を果たす場合がある。一つは、トポロジカル絶縁体のバルクバンドギャップを横切る表面局在バンドであり、もう一つは、Au や Bi など非磁性体の表面局在バンドのスピン分極である。後者は、Rashba 効果と呼ばれている。DFT による Rashba 効果の第一原理計算は、従来、結晶表面を薄膜モデルで近似して行われた。しかし、薄膜モデルでの計算では表面局在バンドや表面共鳴バンドの詳細は調べられない。そこで我々はエムベディッド Green 関数法に基づく半無限結晶表面の第一原理 DFT 計算により、結晶表面の Rashba 効果を調べた。例として光電子分光により Rashba 効果が初めて観測された Au(111)表面と、Ag(111)表面上に Bi が吸着した系の表面バンド構造の計算結果を図4に示す。図は表面原子の原子球における  $\mathbf{k}$  分解状態密度  $\rho(\epsilon, \mathbf{k})$  の強度マップを、横軸に  $\mathbf{k}$ 、縦軸に  $\epsilon$  を取って描いたものである。暗い領域はバルクエネルギーバンドを表面に射影したときのエネルギーギャップである。このギャップ内に、表面での空間反転対称性の欠如により、クラマース縮退が解かれてスピン分極した表面局在バンドが現れるのが分かる。

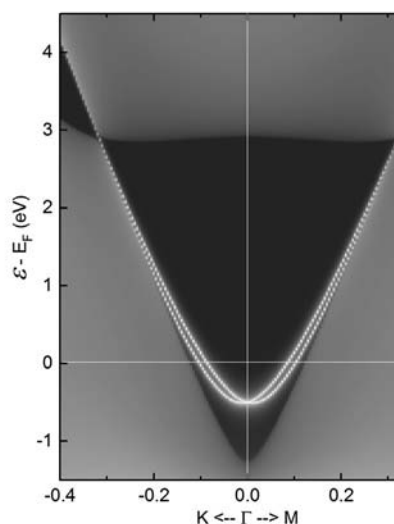


図4(a) Au(111)表面のRashba効果

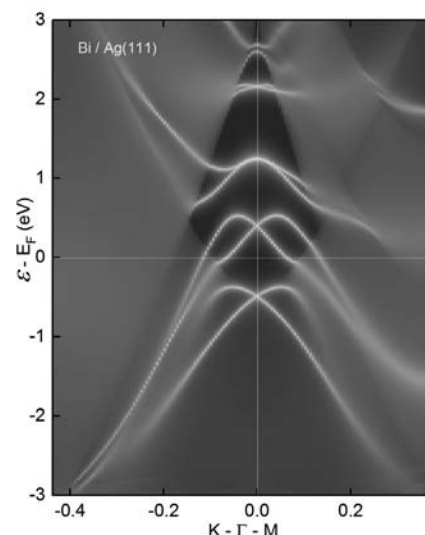


図4(b) Bi/Ag(111)表面のRashba効果

#### 参考文献

- (1) Ishida, H.; Liebsch, A.; *Phys. Rev. B* **2010**, 82, 045107.
- (2) Ishida, H.; Liebsch, A.; *Phys. Rev. B* **2012**, 85, 045112.
- (3) Ishida, H.; Liebsch, A.; *Phys. Rev. B* **2012**, 86, 205115.



## ナノ構造作製・制御による多機能発現および極微細デバイス応用

岩田展幸

ナノ物質・ナノデバイス班

ペロブスカイト系酸化物による人工超格子および強磁性金属/ $\text{Cr}_2\text{O}_3$  積層膜において、電界で磁気特性を制御する巨大電気磁気効果を室温で発現させること、さらに人工超格子においては、強誘電性・強磁性が同時に存在する多機能マルチフェロイック特性を発現させることを目的とした。また、自由電子レーザー照射による電気特性の均一化、基板表面処理による成長位置制御および基板表面原子配列を利用した配向成長を達成し、単層カーボンナノチューブを用いた nm オーダーの極微細トランジスタの作製、さらに、 $\text{C}_{60}$  を用いたトップダウン・ボトムアップ手法の融合による極微細・高機能フレキシブルトランジスタ作製を目的とした。

## 1. ペロブスカイト系酸化物人工超格子による多機能発現

原子レベルで平坦な界面を有する酸化物人工超格子を作製することで、電界で磁気特性を制御する超低消費電力デバイス、強誘電性と強磁性の複数の長距離秩序を持つ多機能マルチフェロイックデバイスの開発を目的とした。超格子作製には原理レベルで薄膜成長を制御する非常に高度な成膜技術を必要とするため、超高密度ターゲットの作製技術、層状成長技術を達成し、精密結晶構造解析を行ったのち、超構造作製技術の開発を探究した。用いた材料は、 $\text{ABO}_3$  ( $\text{A}=\text{Ca}, \text{La}, \text{B}=\text{Fe}, \text{Mn}$ )、 $\text{REMO}_3$  ( $\text{RE}=\text{La}, \text{Bi}, \text{M}=\text{Fe}, \text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x$ ) とした。極限追求系・エネルギー班・橋本教授(文理学部)との共同研究により、ペッチーニ法を用いた超高密度ターゲットの作製に成功した。通常 95% 以上の高密度ターゲットの作製は非常に難しいが、それぞれ、 $\text{LaFeO}_3$  (LFO) : 95.5%、 $\text{CaFeO}_x$  (CFO) : 96.4%、 $\text{BiFeO}_3$  (BFO) : 95.2%、 $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  (BFMO) : 96.6% を得た。 $\text{ABO}_3$ 、 $\text{REMO}_3$  をパルスレーザー堆積 (PLD) 法によって交互積層した。X 線回折 (反射)、逆格子マップにより、すべての超格子は Cube-on-Cube で成長し、超格子サテライトピーク、ラウエ振動を観測し、結晶性の良い超構造が作製できたことを確認した。超構造の面内シート抵抗、ホール抵抗の温度依存性および磁場依存性から界面の磁氣的交換相互作用が温度の低下と共に増加することを確認した。図 1 に [CFO/BFMO] 超格子 (a) 表面像、(b) 反射型高速電子線回折 (RHEED) 像を示す。約 80nm の膜厚においても、ステップテラス構造が明確に確認でき、RHEED 像は 2 次元平坦性を示した。図 2 に同超格子の飽和磁化の温度特性を示す。Brillouin 関数を用いてフィッティングした結果、強磁性キュリー温度は約 450K と室温以上であった。図中に

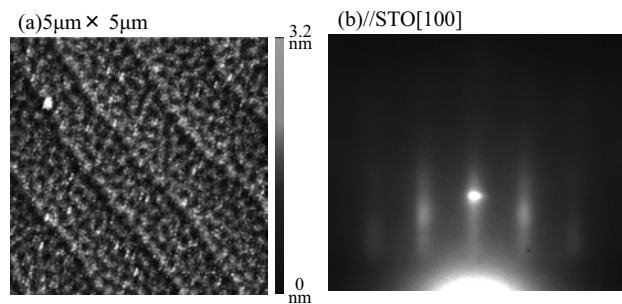


図 1: [CFO/BFMO] 超格子の (a) 表面像、(b) RHEED 像。電子線入射方向は [100] である。超格子作製後も基板同様ステップ-テラス構造を確認した。(b) ではストリークパターンを確認し、表面が 2 次元平坦性に優れていることを確認した。

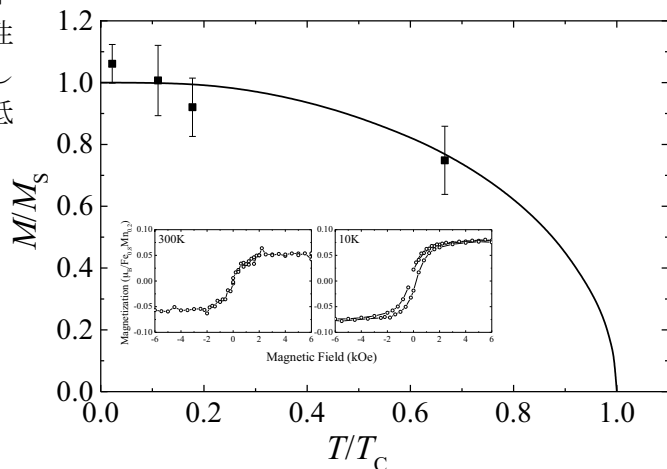


図 2: [CFO/BFMO] 超格子に関する飽和磁化の温度依存性。■が実測値である。 $M_s$  は 0K での飽和磁化  $M$  は各温度での飽和磁化である。 $T_c$  はキュリー温度、 $T$  は磁化の測定温度である。実線は Brillouin 関数を用いて実験値にフィッティングした計算値である。

300K、10K での磁化曲線を示す。Fe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> 1 個に対する磁化は 300K において 0.055μ<sub>B</sub> でバルク値の約 4 倍となった。非常に平坦な人工超格子界面を作製することによって、人工的に強磁性特性をバルクに対して改善することに成功した。

## 2. 単層カーボンナノチューブによる極微細トランジスタの作製

究極に小さい 1nm オーダーの電界効果型トランジスタ(FET)作製のため、自由電子レーザー(FEL)照射および表面処理技術、基板表面原子配列を利用して、電気特性、成長位置、配向性を同時制御した単層カーボンナノチューブ (Single-Walled Carbon Nanotubes : SWNTs)の選択成長を目的とした。SWNTs はエタノールをカーボンソースとし、化学気相成長(CVD)法によって、酸化膜付き Si 基板、サファイア、人工水晶基板上に成長させた。FEL 波長は 0.3~6μm と可変で、数百フェムト秒のマイクロパルスから形成される。よって、分子を熱的に破壊することなく、FEL 波長に依存し共鳴吸収する SWNTs を選択的に成長させることができる。FEL 波長によって半導体性 SWNTs のバンドギャップを選択可能(カイラリティ制御)と考える。表面処理を行い、触媒担持位置を制御することで、SWNTs 成長位置を選択できる。単結晶基板は配向成長に利用した。

サファイア基板上にはバンドル化した長さ約 500nm の SWNTs が配向した。図 3 に 800nm-FEL を照射して作製した SWNTs のラマンスペクトルを示す。スペクトルは図中画像に示した電極間上の直径 1μm 領域で取得した。(a)Radial Breathing Mode(RBM)では、励起波長 785nm で測定したスペクトルのみにピークが現れた。G/D 比は 88 を示した。電極間から離れた箇所では G ピークは現れなかった。以上の結果は、欠陥の少ない高品質 SWNTs が成長しており、カイラリティは半導体的性質を持つ (14,0),(13,2),(10,6),(5,7)の 4 種類に限定されることを示している。FEL 未照射では、合計約 30 種のカイラリティを持った金属性・半導体性 SWNT が成長したことを考慮すると、FEL 照射によるカイラリティ制御は非常に有効であることがわかった。また、表面処理が有効に働き、成長位置が制御出来ていることを立証した。図 4 に G/D 比の SWNTs 直径依存性を示す。約 1.7nm の SWNTs における G/D 比は 400 以上となり最も高品質であった。同成長条件で 800nm-FEL を照射し SWNTs を作製すると、約 1.1nm の SWNTs のみが成長した。さらにその直径付近での G/D 比も増加した。つまり、FEL 照射はカイラリティ制御に加え、直径制御と品質向上にも寄与していることがわかった。FEL 照射および表面処理によって、電気特性、成長位置を同時制御した SWNTs の作製に成功した。特に成長中のカイラリティ制御は世界で初めての成功例である。

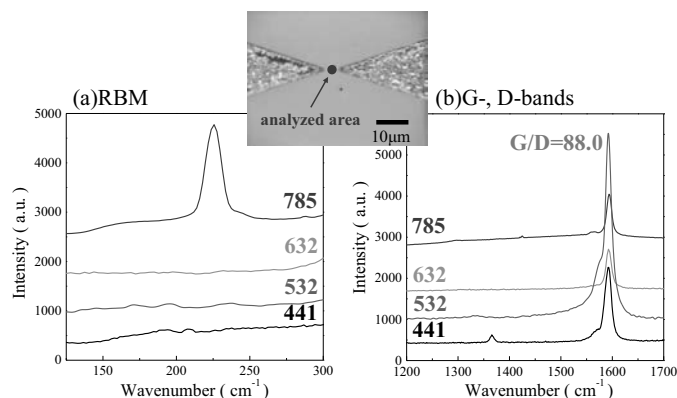


図 3 : 800nm-FEL を照射しながら電極間上に作製した SWNTs の(a)RBM、(b)G ピーク、D ピーク付近のラマンスペクトル。図中に示した 441,532,632,785 はラマンスペクトル測定に使用した励起波長である。単位は nm である。電極間上のみに関水処理を施した。

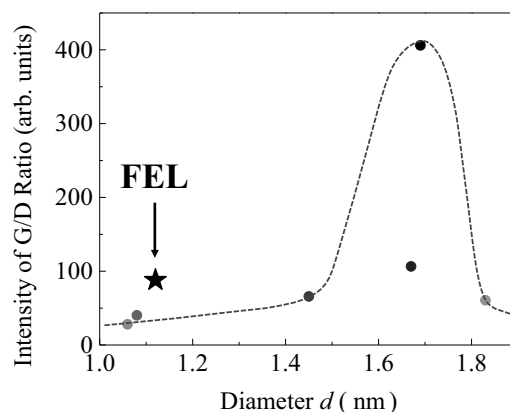


図 4 : FEL 未照射で成長させた SWNTs 直径に対する G/D 比。直径は 1.0~1.9nm の範囲で分布した。G/D 比が高いほど欠陥が少なく高品質である。直径約 1.7nm で最も高い値を示した。FEL を照射して SWNTs を成長させた場合(★)、直径約 1.1nm の SWNTs が選択的に成長し、G/D 比も増加した。

## 自己集合超分子系の開拓と、エネルギー、医療、情報技術への応用

## 大月 穂

## 超分子・自己組織班, エネルギー班

適切に設計された分子の自己集合は、ナノ構造を構築するための有力なボトムアップ的手法である。本研究では、新しい分子の自己集合系を開発し、分子レベルでの自己集合構造、そのダイナミックな挙動を明らかにした。特に、クロロフィル誘導体が二重らせん構造へ組み上がることを見つけたこと、ダブルデッカーポルフィリン錯体の回転を初めて可視化したことが特筆したい成果である。また、分子および分子集合体の、エネルギー、医療、情報への応用を検討した。

## 1. 分子組織体の構築と制御、そして動的挙動

ポルフィリンは、光合成で中心的役割を担うクロロフィル分子と親戚の分子群で、光・電子機能に優れた分子ユニットとして利用される。ポルフィリンに導入する側鎖が分子集合構造に与える効果を走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いて、単一分子レベルで明らかにした<sup>1</sup>。側鎖が長い場合には、分子-グラファイト基板間相互作用が勝り、1枚ずつのポルフィリン分子が基板に平行に張りつくようにして配列するが、側鎖が短い場合には分子間相互作用が優先し、分子どうしがスタッキングして一次元カラムを形成することがわかった (図 1 a)。また、亜鉛クロロフィル骨格に人工的にピリジル基を導入した「人工クロロフィル」を合成し、その集合構造を調べた<sup>2</sup>。この亜鉛クロロフィルは、溶液中ではかなり安定な環状の四量体を形成することが推定された。一方、結晶中では、ピリジル基が次の分子の亜鉛に次々に配位した配位ポリマーとなり、さらにこのポリマーが二重らせんを形成することが明らかとなった (図 1 b)。以上のようなポルフィリンやクロロフィルの集合構造はエネルギーや電子伝達ワイヤとして興味もたれる。

亜鉛ポルフィリン-ピリジル基間の結合を光によって制御する系を構築した (図 1 c)<sup>3,4</sup>。光によってシス・トランス異性化するアゾピリジンを含むボウル状の覆いの内側に取りつけたこの分子では、ピリジル基が、トランス状態ではボウルから頭を出す、シス状態ではボウルの内側に向く。トランス体の亜鉛ポルフィリンとの結合定数はシス体のそれより 20 倍ほど大きい系を見いだした。

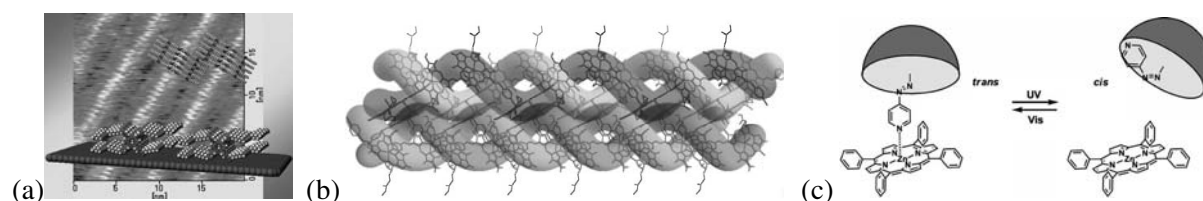


図 1. ポルフィリン集合体の構造と制御. (a) 一次元ポルフィリンカラム. (b) クロロフィル二重らせん. (c) 集合状態の光制御.

ポルフィリン環 2 枚が一つの金属イオンをはさみこんだダブルデッカーポルフィリン錯体の自己集合挙動と回転運動を、STM によって単一分子レベルで可視化した。あるセリウムダブルデッカー錯体は回転が早いために円形に観察され、ジルコニウムダブルデッカー錯体は回転が遅いために楕円体として観察された (図 2 a)<sup>5</sup>。このように、回転運動の違いが分子レベルでの像の違いとして現れることを明らかにした。正形状のポルフィリン分子の一边にだけ置換基を導入し、「向き」のわかるダブルデッカーポルフィリン錯体を合成し、基板に配列させて観察を続けると、時間とともに方向を変えた分子が観察された (図 2 b)<sup>6</sup>。これは、ダブルデッカー錯体の回転を可視化した初めての例となった。

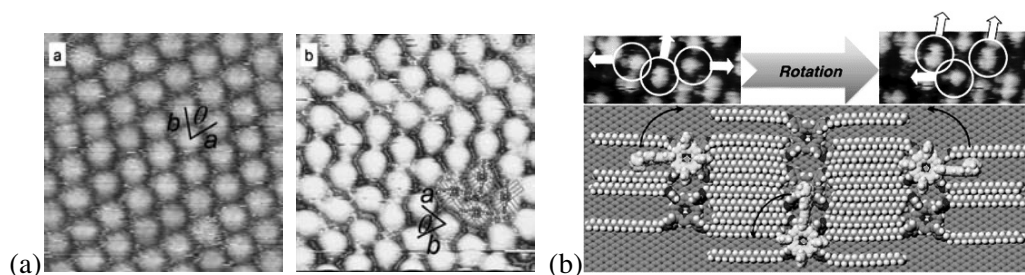


図 2. ダブルデッカーポルフィリン錯体. (a) 回転の違いによる像の違い. (b) 向きの変化.

## 2. 分子系による光エネルギー変換

光エネルギーを利用した分子系による水分解の還元側に関していえば、光を吸収する分子（光増感分子）から水の還元触媒へ電子を効率よく受け渡す必要がある。そのため、自動的にコバルトイオンの周囲に光増感分子が集まる超分子型の光触媒を合成した（図 3a）<sup>7</sup>。光照射による水素発生量は、自己集合しない系と比べて、約 2 倍に増加することを見いだした。

色素増感型太陽電池は次世代太陽電池として期待が持たれている。そのための新しい色素として、有機色素とルテニウムのシクロメタル型錯体を検討した。有機色素に関しては、安定性、チューニングの容易さ等の観点からペリレンジカルボン酸無水物誘導体を用いた。まず、分子に電子ドナーを導入する効果を検討した<sup>8</sup>。ドナーは色素の最低非占有軌道 LUMO のエネルギーを十分高くにするために有効であることがわかった。また、図 3b に示した色素を合成し、側鎖の効果を検討したが、結論からいうと、側鎖をもたない色素が最も効率が良かった（3.1%）<sup>9</sup>。より長波長まで光電変換できたことが理由だが、その原因は、色素どうしの相互作用によって吸収が長波長側まで広がったことであると考えられる。一般に色素どうしの凝集は光電変換効率を下げると思われるが、系によってはそうではないことがあることを示している。シクロメタル型錯体については、新しいタイプの錯体 3 種を合成し、その結晶構造、分光特性、酸化還元特性を明らかにした<sup>10</sup>。今後、電池用の錯体を合成し、光電変換特性を明らかにしていく。

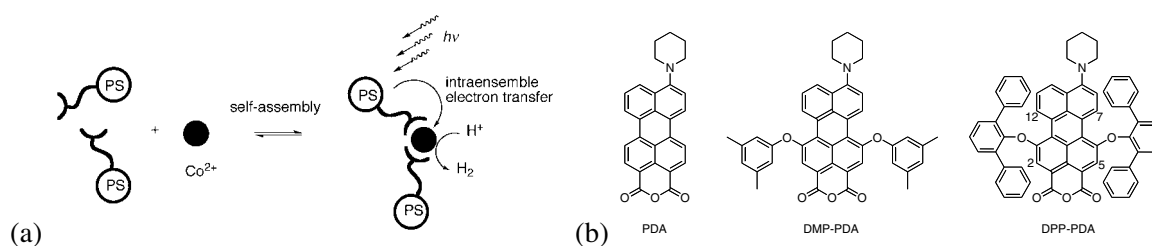


図 3. (a) 自己集合型光触媒. (b) 色素増感太陽電池用色素，ペリレンジカルボン酸無水物.

## 3. ナノ物質とその応用

上記以外にも、グラフェン<sup>11,12</sup>やナノ粒子<sup>13</sup>などのナノ物質に関する検討を進めた。また、クロロフィル誘導体に関しては、医学部・藤原らと協同で光線力学療法への応用、色素に関して、文理学部・茶園らと蛍光顕微鏡を用いた単一分子の挙動、量子情報デバイスへの応用に関して、量子科学研究所・行方らとナノ粒子の自己集合に関する研究をそれぞれ進めた。

(1) *Chem. Lett.* **2009**, 38, 570. (2) *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, 135, 5262. (3) *J. Phys. Chem. A* **2010**, 114, 884. (4) *Tetrahedron Lett.* **2009**, 50, 2106–2108. (5) *Chem. Lett.* **2011**, 40, 717. (6) *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, 132, 6870. (7) *Chem. Commun.* **2010**, 46, 8466. (8) *Adv. OptoElectron.* **2011**, 2011, Article ID 860486. (9) *Chem. Lett.* **2013**, 42, 450. (10) *J. Organomet. Chem.* **2014**, 749, 312. (11) *Appl. Nanosci.* **2013**, 3, 477. (12) *Appl. Surf. Sci.* **2012**, 259, 460. (13) *ACS Nano* **2013**, 7, 9997.

## ナノ電磁界シミュレーションによる光と物質の相互作用の解析

大貫進一郎

量子理論・計算班

ナノスケールの対象物に光が入射した場合の光-物質間相互作用を高速かつ高精度に数値解析できるシミュレーション法を開発し、本プロジェクトの超高密度磁気記録や量子通信に利用する光デバイスの設計を行った。これらの研究成果は、平成 25 年度理工学部学術賞や日本磁気学会より 2013 年論文賞として表彰された。

### 1. 積分方程式法に基づく電磁界時間応答解析

積分方程式法と数値逆ラプラス変換法を併用した高速かつ高精度な電磁界時間応答解析法を開発した (*J. Electromag. Waves and Applic.*, 2012)。提案手法は、計算誤差の制御が容易であり、任意の時間刻み幅および解析時間が選択可能である。また、提案手法に高速アルゴリズムと並列計算を併用することで、従来法に比べて 100 倍以上の高速化に成功した。高密度光直接記録用のプラズモニックアンテナの設計に適用し、ナノサイズの局所的な円偏光の生成を検証した(図 1, 2)。

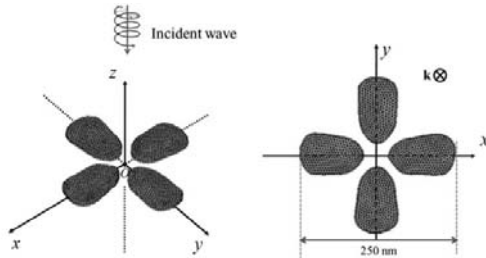


図 1 光直接記録用プラズモニックアンテナの設計例

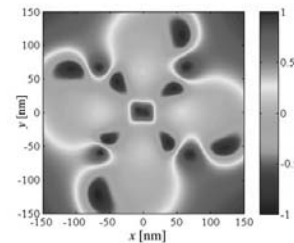


図 2 局所的円偏光の検証

### 2. 超高密度磁気記録に向けたプラズモニックアンテナと粒子媒体の設計

光直接記録方式による超高密度磁気記録の実現に向け、情報班の中川教授と共同で、局所的な円偏光を高効率に生成できるプラズモニックアンテナと多数の粒子から成る記録媒体を設計した (*電気学会論文誌 A*, 2014)。図 3 のアンテナは 2 組のダイポールアンテナから構成され、それぞれのアンテナに誘起される表面プラズモンの位相差が 90 度となるようにアンテナ長を選定した。このアンテナに直線偏光を入射した場合、アンテナギャップ間の記録粒子一つにのみ局所的な円偏光が生成できることを確認した (図 4)。提案した記録方式では、光直接記録を用いた 2Tbit/inch<sup>2</sup> の高密度記録が可能となる。

また、情報班の塚本准教授と共同で、マイクロマグネティクスシミュレーションにより、粒子媒体中の磁化反転現象も併せて解析した。図 5 の解析例は、印加した外部磁界により磁化ベクトルが反転する様子を示す。

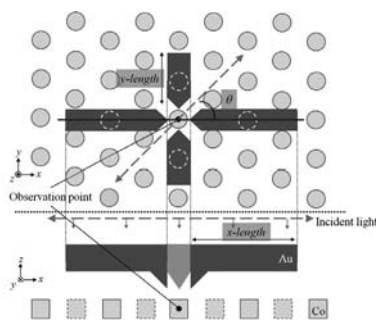


図 3 光直接記録による高密度記録方式

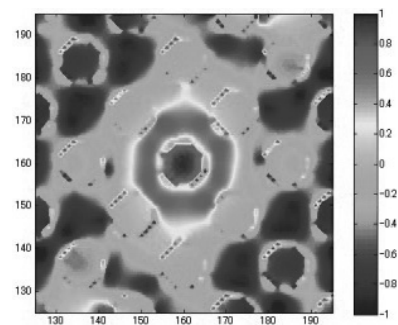


図 4 粒子状記録媒体中の円偏光度

### 3. レーザ場中におけるナノ物質のマルチフィジクス解析

FDTD法に基づくマックスウェル - シュレディンガー混合数値解析法を量子理論・計算班の佐甲准教授らと共同で開発し，レーザ場中におけるナノプレートのマルチフィジクス解析を行った (*Int. J. Numer. Model.*, 2013). ポテンシャル構造に起因するトンネル効果が，薄膜内の電流密度および近傍の電磁界に与える影響を検討し，従来の古典的な数値解法と比較することで提案手法の有用性を明らかにした. 図6は薄膜内の電流密度の計算例で，提案手法でのみ正確な解析が可能となる.

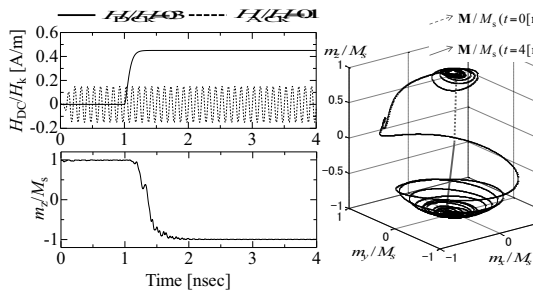


図5 マイクロマグネティクスシミュレーションによる磁化反転の検証例

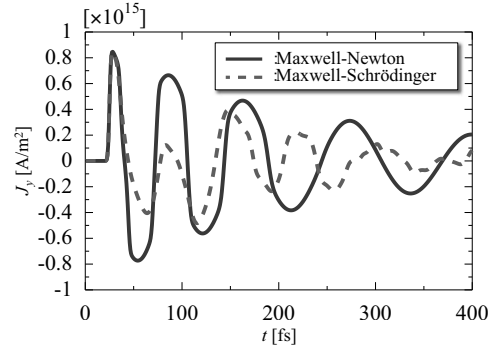


図6 ナノプレート内電流密度の時間応答

また，光による電子状態の制御を目的とし，光パルスの新しい設計法を提案した. ナノチューブ内の電子に，提案法により設計した光パルスを照射することで，高効率に電子を目的状態へ制御できることを明らかにした (図7, 8).

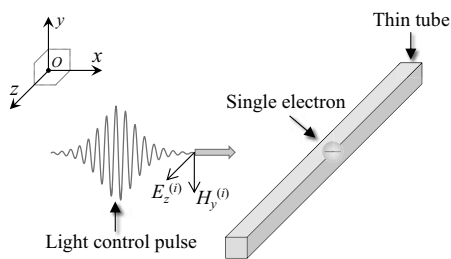


図7 ナノチューブと座標系

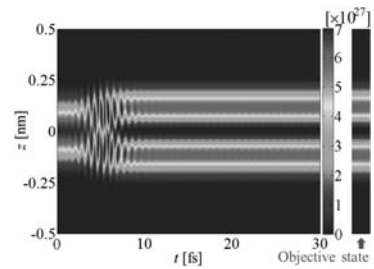
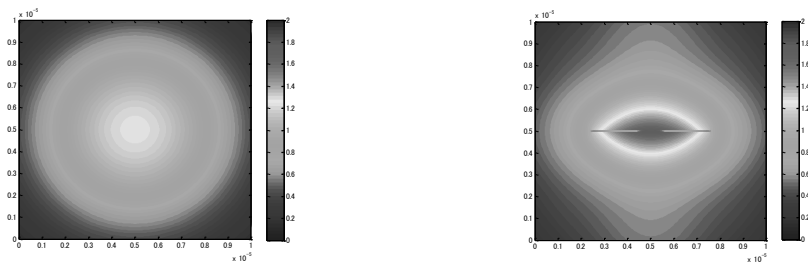


図8 光パルスによる電子状態の制御

### 4. 高感度光検出器に向けたプラズモニック導波路の設計

金属ストライプとニオブ細線により構成される光検出器を設計した. 本デバイスは，図9のように電磁エネルギーを金属ストライプ近傍に集中し，この電磁エネルギーをニオブ細線内で熱エネルギーに変換することで，高効率な光検出を行う. 金属ストライプを用いることで，ニオブ細線内のジュール熱が50倍程度高くなることを明らかにした.



(a) 金属ストライプなし

(b) 金属ストライプあり

図9 金属ストライプ近傍の電界強度

## 成熟脂肪細胞に由来する多能性前駆細胞 DFAT の移植による 新規の乳癌発症モデルマウスの作製に関する研究

加野浩一郎  
医療班

これまで、乳癌にかかわらず癌の発症モデルマウスは、すでに癌化した細胞を移植することによって作製されている。しかし、この方法では体内において細胞がどのような過程を経て癌細胞に分化し、腫瘍塊を形成するかを解析するには限界があると考えられる。我々は健康な状態の乳腺上皮あるいは周辺細胞に癌原遺伝子をコンディショナルに発現させる乳癌発症モデルマウスの作製を目的として研究を行なった。すなわち、コンディショナルに発現する癌原遺伝子を多能性細胞である DFAT に導入したのち乳腺組織に移植し、正常な乳腺上皮細胞あるいは周辺細胞に分化させる。その後、マウスに発現誘導物質を投与して癌原遺伝子を発現させることによって乳癌を発症するモデルマウスを作製することを試みた。

### 1. 成熟脂肪細胞に由来する多能性細胞 DFAT-GFP は体内において乳腺実質細胞に分化転換する

妊娠前および妊娠初期のマウス乳腺組織は、そのほとんどが脂肪細胞から構成されており、乳腺実質（乳腺上皮細胞および筋上皮細胞）はそれら脂肪細胞に埋もれた状態で存在する妊娠後期から分娩直後では、組織のほとんどが実質細胞で占められていることが知られている。乳腺上皮の発達は、乳腺上皮細胞が増殖することによって起こるとされているが、組織内に豊富に存在し、上皮の発達を支持する間質細胞の動態については知られていない。これまで我々は、乳腺組織の発達過程において間質細胞が実質細胞に分化転換するとの仮説を立て、実験を行ってきた。その結果、妊娠後期から泌乳期のマウス乳腺組織における脂肪細胞の動態を経時的に観察すると、組織中の脂肪細胞のほとんどは泌乳 5 日後には消失していた。また、いずれの時期においてもアポトーシスを起こした脂肪細胞は認められなかった。次に、乳腺実質を除去した GFP マウスを作製したのち、野生型マウスの乳腺実質を移植した。その結果、移植した実質は GFP マウスの組織内に定着し、正常に伸長および分枝した。また、乳腺上皮細胞分化マーカーである E-Cadherin または  $\alpha$ -SMA と共陽性を示す GFP 陽性の乳腺細胞が多数観察された。これらのことは、乳腺発達過程において脂肪細胞を含む間質細胞が実質細胞へと発達することを強く示唆している。

GFP マウスの脂肪組織から単離した成熟脂肪細胞を脱分化誘導することにより、単一な細胞株 DFAT-GFP (de-differentiated from fat cell of GFP mice) を樹立したことを報告してきた (Nobusue et al., 2008 ; Nobusue and Kano, 2010)。DFAT-GFP を同系統の C57BL/6N 雌マウスの乳腺組織内に移植すると、追跡が可能であり、移植 14 日後には移植部位において脂肪細胞へと分化し、発達した白色脂肪組織を形成した。また、分化した脂肪細胞に沿うように発達した血管網が観察された。

マウス乳腺組織に移植した DFAT-GFP が脂肪組織を形成したのちに、乳腺発達の刺激に伴って、乳腺実質細胞へと分化転換するかを明らかにする目的で行なった。プレコンフルエントの DFAT-GFP を 5 週齢の C57BL/6N 雌マウスの乳腺組織内へ移植した。移植 4 週間後に交配し、分娩 1 日後で組織を採取した。パラフィン包埋切片を作成したのち、移植細胞マーカー (GFP)、脂肪細胞マーカー (Perilipin)、上皮細胞マーカー (E-Cadherin) および筋上皮細胞マーカー ( $\alpha$ -SMA) の発現について免疫蛍光抗体法を用いて調べた。移植 4 週間後、DFAT-GFP は乳腺組織に生着し、塊状となって脂肪組織を形成した。また、一部ではレシピエント組織内に遊走したのち脂肪細胞へと分化した。分娩 1 日後、移植細胞塊内およびその周囲において GFP および E-Cadherin 陽性の乳腺細胞が観察された。また、乳腺細胞を裏打ちする筋上皮細胞も GFP 陽性を示した。以上の結果から、成熟脂肪細胞に由来する DFAT-GFP は、体内において外胚葉由来である乳腺上皮細胞あるいは筋上皮細胞に分化転換することが

明らかとなった。本研究の成果は、細胞・発生生物学的な意義だけでなく、有用遺伝子を導入したヒトあるいはブタ DFAT (Matsumoto et al., 2008; Nobusue and Kano, 2010) の移植による医療および創薬分野への応用にも貢献すると考えられる。

## 2. DFAT の脂肪細胞分化メカニズムの解明 -アクチンストレスファイバーの崩壊は MKL1 の制御による脂肪細胞分化を誘導する-

我々は、妊娠時における乳腺組織の発達過程において、脂肪細胞を含む間質が乳腺上皮細胞など実質細胞に分化転換することを明らかにしてきた (Nobusue et al., 2011)。また、成熟脂肪細胞由来の多能性細胞 DFAT を乳腺組織に移植すると脂肪細胞などの間質細胞、さらには乳腺上皮細胞や筋上皮細胞など実質細胞に分化することも明らかにしてきた (Sumikawa et al., 2012)。これらの結果は、成熟した哺乳類の組織において間葉系由来の細胞が外胚葉由来の乳腺上皮細胞および筋上皮細胞へと分化転換することを示している。しかし、乳腺組織の発達および退行過程において、乳腺間質細胞および実質細胞それぞれが相互に分化転換する機構は明らかでない。本研究では、DFAT の脂肪細胞分化機構の一端を明らかにする目的で、脂肪細胞分化過程におけるアクチン細胞骨格の変化とその役割について検討を行なった。DFAT は分化誘導 24 時間以内にアクチンファイバーを崩壊させ、48 時間後でファイバーを完全に消失させ、脂肪細胞特有の表層アクチンを形成した。一方、脂肪細胞分化のマスターレギュレーターである PPAR $\gamma$ 2 の発現は 48 時間後から認められた。また、DFAT にアクチン脱重合タンパク質であるコフィリンの siRNA を導入し、脂肪細胞へと分化誘導すると、アクチンファイバーの崩壊が阻害され、PPAR $\gamma$ 2 の発現および脂肪滴の蓄積が有意に減少した。次に、アクチンファイバーの形成を制御する低分子量 GTP 結合タンパク質の RhoA およびそのエフェクターである ROCK が、脂肪細胞分化においてアクチン細胞骨格の再構築を制御し、PPAR $\gamma$ 2 の発現に関与するかを確かめた。DFAT は分化誘導後 24 時間以内に内因性 RhoA の活性が減少した。さらに、DFAT に活性型 RhoA を強制発現させたのち、脂肪細胞へと分化誘導し、アクチン細胞骨格の変化および PPAR $\gamma$ 2 の発現について経時的に調べた。その結果、活性型 RhoA を発現した細胞では分化誘導後もアクチンファイバーが維持され、PPAR $\gamma$ 2 の発現は抑制されたが、これに ROCK 阻害剤である Y-27632 さらにはアクチン重合阻害剤であるサイトカラシン D (CytD) を添加するとアクチンファイバーは崩壊し、その結果 PPAR $\gamma$ 2 の発現は回復した。以上より、DFAT において RhoA/ROCK シグナルの不活性化がアクチンファイバーの崩壊を促し、PPAR $\gamma$ 2 の発現および脂肪細胞分化を直接的に誘導することが強く示唆された。アクチン結合性転写活性化因子である MKL1 は、G-アクチンが直接結合することによって核移行が阻害され、標的遺伝子のプロモーターに結合できないためにその転写活性化を阻害する。また、アクチン重合に伴って G-アクチン量が減少すると、MKL1 はアクチンから解離したのち、核内に移行し、標的遺伝子の転写活性を促進する。そこで、我々はアクチン細胞骨格の動態が脂肪細胞分化を直接制御する機構を明らかにするために、DFAT の脂肪細胞分化過程における G-アクチンおよび MKL1 の発現および局在の変化について調べた。その結果、MKL1 は分化誘導前まではほとんどが核に局在したが、誘導 24~48 時間後にかけて細胞内の G-アクチン濃度が急激に増加し、MKL1 の核移行が阻害された。また、DFAT に CytD あるいは Y-27632 を添加すると、G-アクチンの細胞内濃度が増加し、MKL1 の核移行が阻害され、分化誘導剤なしでも PPAR $\gamma$ 2 の発現が誘導され、脂肪細胞へと終末分化した。さらに我々は、DFAT において MKL1 を発現抑制するだけで、分化誘導剤がなくても脂肪細胞へと分化誘導されることを見出した。以上の結果を纏めて Nature Communication 誌に投稿し、掲載予定<sup>1</sup>である。

(1) Nobusue H, Onishi N, Shimizu T, Sugihara E, Oki Y, Sumikawa Y, Chiyoda T, Akashi K, Saya H, Kano K, Regulation of MKL1 via actin cytoskeleton dynamics drives adipocyte differentiation, Nat Commun, 2014 in press.



## 原子への量子光保存のための研究開発

桑本剛

情報（量子情報）班

量子情報通信および量子コンピューティングは、高度情報社会を発展させていくための極めて重要な次世代技術であると目されている。量子メモリは、この技術を実現するための必要不可欠な基盤的要素技術である。本研究は、中性原子気体を利用した量子メモリの実現化・実用化を目指した基礎研究を行うことを目的とした。具体的には、偏光量子もつれ状態を  $^{87}\text{Rb}$  原子中に長時間保存することを目指した。これを実現するために、(1)  $^{87}\text{Rb}$  原子に共鳴する狭線幅直交偏光光子対の生成およびそれを利用した偏光量子もつれの生成、(2) 電磁誘起透明化を利用した高効率光保存装置の開発、(3) 両者を統合し、偏光量子もつれの原子中への保存、を企図した。

## 1. 直交偏光光子対生成装置の開発

量子もつれ状態は直交偏光光子対を用いて生成する。一方、原子中へ光を保存するためには、その波長が原子の特定の遷移に共鳴し、かつ線幅が遷移スペクトル幅程度である必要がある。我々が用いる  $^{87}\text{Rb}$  原子の場合、遷移波長は 795 nm であり、遷移スペクトル幅は 6 MHz 程度である。これらの波長・線幅をもつ直交偏光光子対を生成するために以下の開発研究を行った。

波長 795 nm の直交偏光光子対は、非線形結晶 (type II PPKTP) に波長 397.5 nm のポンプ光を入射し、自然パラメトリック下方変換を起こさせて生成した。ポンプ光は、非線形結晶 (type I PPKTP) を蝶ネクタイ型共振器内に設置し、波長 795 nm、パワー 60 mW のレーザー光を入射し発生させた。波長 795 nm レーザーの周波数揺らぎは、レーザー周波数制御システムによって 1 MHz 以下に制御した。ポンプ光の出力は 6 mW であり、共振器を用いない場合の 3 倍の出力を得た。発生させた直交偏光光子対の周波数広がりには数 THz 程度あり、原子に保存するためにはこれを 10 MHz 程度に狭窄化する必要がある。複数の光学フィルターおよび 2 枚のエタロンを用い直交偏光光子対の周波数狭窄化を行った。

直交偏光光子対の量子性を確認するために、二光子干渉測定を行った (図 1)。これより量子性の指標であるビジビリティを求めたところ 97.4% であり、高品位な直交偏光光子対が生成できたと言える。

一方、直交偏光光子対の周波数広がり程度を確認するために、直交偏光光子対を原子に共鳴吸収させる実験を行った。原子サンプルとしては、ガラスセルに封入した Rb ガス ( $^{87}\text{Rb}$ :28%,  $^{85}\text{Rb}$ :72%) を用いた。図 2 に光子対の原子への吸収率の Rb ガス温度依存性を示す。Rb ガス温度が 95°C のとき約 97% の光子対が吸収された。これにより、光子対の周波数は、セル中 Rb 原子の吸収スペクトルのドップラー広がり程度 (約 500 MHz) まで狭窄化されていることが確認できた。

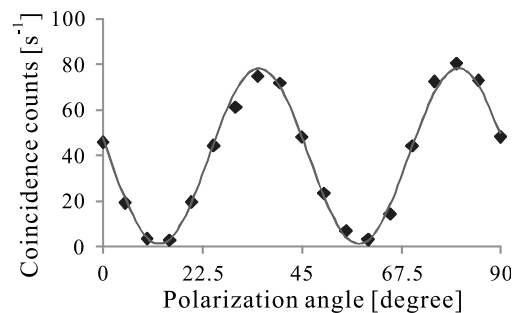
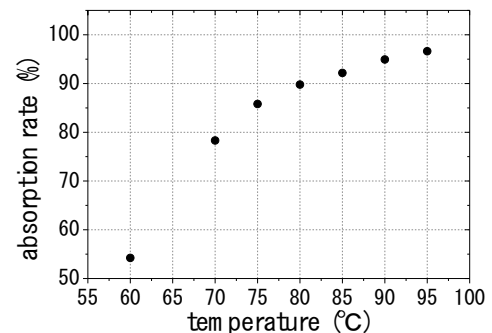


図 1 直交偏光光子対の二光子干渉

図 2 直交偏光光子対の  $^{87}\text{Rb}$  原子による吸収率の Rb ガス温度依存性

## 2. 光保存装置の開発

原子を用いた光の保存では、電磁誘起透明化と呼ばれる現象を利用する。この現象では、3 準位原子に波長の異なる 2 種の共鳴光を入射すると、片方の光（プローブ光）にとって原子が透明な媒質となる。さらに、もう一方の光（コントロール光）の強度を操作することで、プローブ光を原子中に保存することができる。本研究では 3 準位原子として基礎データが豊富な  $^{87}\text{Rb}$  を用いた。また、簡便な装置構成にするために、ガラスセルに封入した原子サンプルを採用した。

プローブ光およびコントロール光として、波長 795 nm の 2 台の外部共振器型半導体レーザーを用いた（2 台のレーザーは約 6.8 GHz の周波数差がある）。コントロールレーザーは Rb 原子の共鳴線に周波数ロックし、線幅を 1 MHz 以下に抑制した。またプローブレーザーはコントロールレーザーと光位相同期させることで、2 台のレーザーの相対周波数揺らぎを極力抑制した。Rb セルは光保存の妨げとなる地磁気等の外部磁場を排除するため、3 重のパーマロイ製の磁気シールド内に設置した。また、光保存の効率を上げるためにはより高密度の Rb ガスが有利であるため Rb セルを暖める必要があるが、磁場を発生させないために温水でセル温度を制御するシステムを導入した。

プローブレーザー光とコントロールレーザー光は同軸に伝搬させ Rb セルに入射する。コントロールレーザー光を瞬時に遮断することで、プローブレーザー光は Rb 原子内に保存される。その後一定の時間が経過したのち再びコントロールレーザー光を入射すると、プローブレーザー光が再生される。図 3 に保存時間 5  $\mu\text{s}$  の場合の光保存・再生の実験結果を示す。レーザー光の再生効率は 85% であり、高効率の光保存・再生システムが構築できた。

直交偏光光子対の強度は極めて微弱であり、現行の実験系でこれを保存できるかを検討する必要がある。通常のレーザー光を用いてどこまで微弱なレーザー光の保存が現行システムで可能かを検証した。光検出器として単一光子検出器を用いた。プローブレーザー光パワー 2.6 nW のときの結果を図 4 に示す。このとき再生光はほぼ確認できなかった。直交偏光光子対は pW レベルのパワーしかないと考えられるので、現行システムでの直交偏光光子対の保存・再生は難しいと考えられる。

### まとめ

原子を用いた量子メモリ（量子光の保存）の実現を目指し、直交偏光光子対生成装置および光保存システムの開発を行った。500 MHz 程度の線幅をもち、二光子干渉において高いビジビリティを示す直交偏光光子対を得られた。今後、光子対の線幅を原子に保存しうる 10 MHz 程度に狭窄化する必要がある。光保存システムに関しては、コヒーレント光の高効率の保存・再生は実現できた。しかしながら、極めて微弱な直交偏光光子対の保存には、レーザー冷却された高密度原子集団を用いる必要があると考えられる。

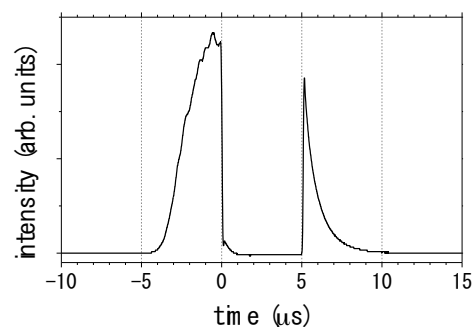


図 3 レーザー光の保存・再生。右側のピークが保存したのち 5  $\mu\text{s}$  後に再生された光。

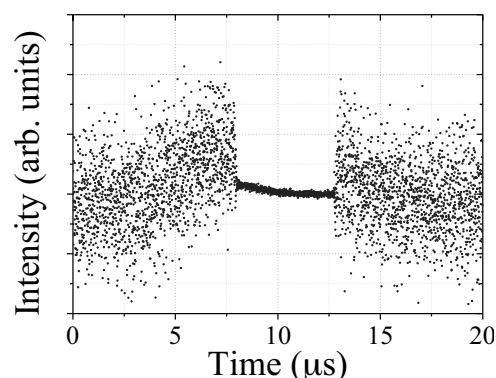


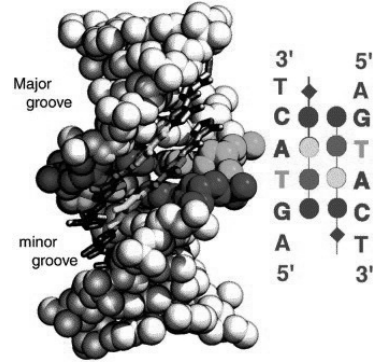
図 4 微弱レーザー光 (2.6 nW) の保存・再生実験。

## KCNQ1OT1 遺伝子を標的とした pyrrole-imidazole polyamide の 新規抗癌薬剤としての可能性の検討

越永従道

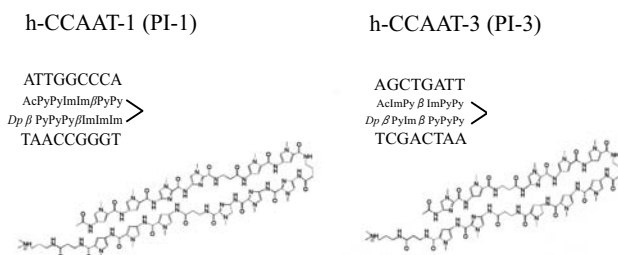
医療班

Beckwith-Wiedemann 症候群(BWS)は臍帯脱出、巨舌、巨体を三主徴とする先天性過形成症候群であり、10%と高率に胎児性腫瘍（主に腎芽腫、肝芽腫）を合併する。原因遺伝子座は染色体 11p15.5 であり、この領域に存在する刷り込み現象調整領域である KvDMR, H19DMR におけるメチル化異常や遺伝子欠失、paternal uniparent disomy (UPD)による片親発現調整遺伝子群の相対的絶対的な発現上昇または低下が発生に関与しているとされる。KvDMR で脱メチル化または UPD が生じると周辺遺伝子の発現抑制を行う long non-coding RNA である *KCNQ1OT1* が発現上昇する。正常では母型アレルの *KCNQ1OT1* promoter 領域は脱メチル化しているが、父型アレルではメチル化している。母型アレルで *KCNQ1OT1* promoter 領域が脱メチルまたは UPD が生じると、両アレルで *KCNQ1OT1* が発現するため周辺遺伝子の発現は両アレルで抑制される。抑制される遺伝子群には腫瘍抑制遺伝子 *KIP2* が含まれ、*KCNQ1OT1* promoter 領域の脱メチル化および *KIP2* の発現低下は大腸癌や肺癌など成人腫瘍の多くで報告されている。これらより *KCNQ1OT1* の過剰発現を改善することが腫瘍発生のメカニズム解明および腫瘍抑制効果の発現につながると考えた。



Pyrrole-imidazole polyamide (PIP)とは、N-methylpyrrole 基、N-methylimidazole 基を組み合わせた化合物で、その組み合わせにより任意の DNA 塩基配列を特異的に認識し結合することができる (Im/Py または Py/Im は G-C または C-G, Py/Py は A-T または T-A を認識・結合する)。この性質を利用し、標的遺伝子の転写調節領域に対して配列特異的に PIP を合成すると、転写因子に対して競合的拮抗をすることで遺伝子発現を抑制することが可能となる。PIP は、特殊な drug-delivery system を必要とせず容易に核内へ移行し、また生体内での安定性も高く、遺伝子特異的発現抑制物質として非常に有用である。我々は、*KCNQ1OT1* promoter 領域に対する PIP として、h-CCAAT-1 (PI-1)と h-CCAAT-3 (PI-3)を合成し、その発現の抑制による抗腫瘍効果を検討した。

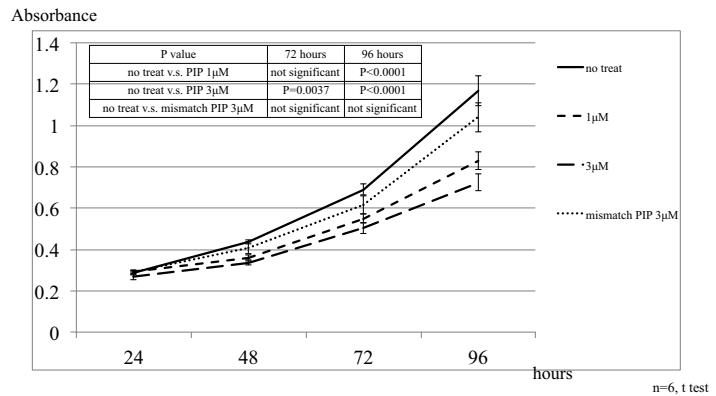
まず、PIP をヒト由来 BWS 線維芽細胞株 (BWS6, 9) に投与して共培養したところ、real time RT-PCR にて *KCNQ1OT1* の有意な発現抑制を認めた (P<0.05)。また、*KCNQ1OT1* promoter 領域が低メチル化であり、*KCNQ1OT1* の発現増加を認めた腎芽腫細胞株 (G401) に対しても同様に *KCNQ1OT1* の有意な発現抑制を認めた (P<0.05)。さらに、G401 において、*KIP2* 蛋白の増加を Western Blot で確認した。また、WST-8 により、PIP 投与に



よる腫瘍細胞増殖抑制効果を確認できた。これは Fluorescence-activated cell sorting により, apoptosis の増加によって生じることが確認された。

以上より, KvDMR が低メチル化であった腎芽腫細胞株 (G401) において *KCNQ1OT1* 遺伝子 promoter 領域を標的とした PIP を投与することで *KCNQ1OT1* 遺伝子の発現を抑制すると, KIP2 蛋白が増加し, これ

が腫瘍細胞に apoptosis を誘導し, 腫瘍抑制効果を生じることが確認された。KIP2 蛋白はミトコンドリア経路 apoptosis を誘導することが報告されており矛盾しない結果であった。また, この PIP は, KvDMR が低メチル化である他の腫瘍に対しても抗腫瘍効果を認める可能性が示唆され, 新規抗腫瘍薬剤として PIP の創薬開発に大きく寄与すると考えられた。



## 自然原子および人工原子におけるフントの規則と角度相関

佐甲徳栄

量子理論・計算班

少数の電子をナノスケールの人工的な低次元ポテンシャル井戸に閉じ込めた人工原子（量子ドット）は、量子力学原理に基いて動作する次世代ナノデバイスの基本素子としての大きな役割が期待されており、その量子構造の解明は最も本質的な研究テーマである。本プロジェクトでは、人工原子および自然原子における電子スピン配列を決定する「フントの規則」に着目し、その起源の解明に取り組んだ。そして、スピンの反平行な一重項状態の波動関数において共役フェルミ孔と呼ばれる空孔が存在することを見出し、この共役フェルミ孔の存在によってフント則の起源が説明できることを明らかにした。

## 1. フント則の起源

前期量子論の時代に原子分光学分野で経験的に導かれたフントの規則は、同じ軌道配置を有し、異なるスピンを持つ状態間のエネルギー順序を予言する三つの規則であり、特にスピンに関する第一規則については、原子のみならず、分子、さらには人工原子についても成り立つことが知られている。一方、この規則が成り立つメカニズムについては、一電子演算子と二電子演算子の相対的な重要性に関する、数十年に及ぶ長い議論の歴史にも関わらず、未だ統一した理解が得られていない。このため本研究では、He 様原子系および対応する 2 電子人工原子を対象として、このフントの第一規則が成り立つ起源の解明に取り組んだ。

人工原子あるいは量子ドットは、少数の電子をナノスケールの低次元ポテンシャル井戸に閉じ込めた有限多電子系であり、多くの場合近似的に 2 次元調和ポテンシャル中に束縛された複数電子としてモデル化される。本研究では、この人工原子と He 様原子の詳細な比較を行うために、2 次元調和ポテンシャルおよび 2 次元クーロンポテンシャルに束縛された 2 電子系の固有エネルギーおよび波動関数を完全 CI 法によって計算した。得られた CI 波動関数から、二電子の相関を完全に記述する「内部波動関数」を抽出しその構造を調べた。その結果、閉じ込めが強い極限において、スピンの平行な三重項状態のみならず、スピンの反平行な一重項状態においても、波動関数の確率密度が零となる「共役フェルミ孔」と呼ばれる空孔が存在することが初めて見出された（図 1, *Phys. Rev. A* 2011）。そして、この共役フェルミ孔の存在によって、一重項状態の波動関数は三重項状態よりも空間的に広がり、そのため、より高いエネルギー値を持つこと、すなわちフントの第一規則が成り立つことを明らかにした（*J. Phys. B* 2012）。この論文は英国物理学会が選出する IOP セレクトに選ばれ、また欧州物理協会が発行する *Europhysics News* で紹介された。またこの成果により、日本物理学会からの依頼を受けてフント則の起源について解説記事を執筆し、2013 年の学会誌に掲載された（*日本物理学会誌* 2013）。

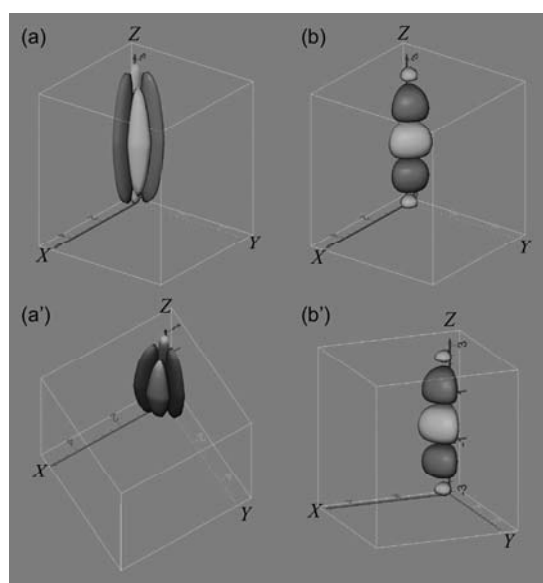


図 1. 2 電子の内部空間における共役フェルミ孔（赤）と通常のフェルミ孔（ブルー）. (a) および (b) はそれぞれ  $1s(2s)$  および  $1s(2p)$  の電子配置の場合を表す.  $x, y, z$  座標はそれぞれ、電子の動径座標  $s_1, s_2$ , および 2 電子の相対角に対応する. (a') および (b') は (a) および (b) を別の視座から見た図を表す.

## 2. 共役フェルミ孔の存在と角度相関

He 原子は電子相関を解明するための最も基本的な系として、古くから多くの理論および実験研究がなされている。特に、He 様原子の一電子励起状態における角度相関については、フントの第一規則が成り立つメカニズムの解明と関係して、1970~80 年代に集中的に研究されており、特に Thakkar らは角度相関係数の計算により、(1s)(2p) 電子配置においては核電荷  $Z_n$  の増加とともに、二電子角度の異方性が増大することを見出している。一方、よく知られているように、核電荷の増大に従い電子間反発ポテンシャルの寄与は実効的に小さくなるため、 $Z_n$  が増加するにつれて、波動関数はハートリー・フォック法に基づく独立電子模型に近づいていく。すなわち、Thakkar らの結果は、「波動関数の独立電子モデルからのずれ」という意味においての電子相関は、 $Z_n$  増大とともに零に収束していくにも関わらず、(1s)(2p) 状態の確率密度分布は強い二電子角度依存性を持つことを示唆している。本研究では、この He 様原子およびにおける一見矛盾した角度相関の振舞いの原因を明らかにすることを目的として、二電子の内部空間における波動関数の節構造の詳細を調べ、さらに「独立電子模型」が意味する電子の振る舞いの本質を探った。

内部空間における確率密度を動径座標で積分した二電子角度密度分布を、基底(1s)<sup>2</sup> 状態および、(1s)(2p)電子配置の一重項 <sup>1</sup>P 状態および三重項 <sup>3</sup>P 状態についてそれぞれ計算した結果を図 2 に示す。図 2 の(a)および(b)は、 $Z_n = 2$  および 20 の結果に対応する。図中の薄い灰色の三角形状分布は、二電子の確率密度分布が統計的な場合を表し、この分布からのずれが確率密度の異方性、すなわち二電子の角度相関の存在を表す。図 2 赤および緑で表される(1s)(2p)電子配置の場合には、基底状態の結果とは反対に、一重項・三重項状態ともに、 $Z_n = 2$  の場合には密度分布は統計分布とほぼ重なり、 $Z_n = 20$  の場合には大きな異方性を示す。さらに、 $Z_n = 20$  の場合に見られる異方性は、一重項・三重項状態間で大きく異なり、一重項は二電子が核の同じ側に平行に並ぶ配置( $\phi = 0, \pm\pi$ )に密度分布のピークを持ち、一方、三重項の場合には、二電子が互いに反対側に来る配置( $\phi = \pm\pi/2$ )にピークを持つ結果を示している。

核電荷が大きく、それ故電子間反発の効果非常に小さい  $Z_n = 20$  の場合における、この(1s)(2p)電子配置の奇妙な振舞いを理解するために、 $Z_n = \infty$ の極限における一重項・三重項状態の確率密度の差で定義されるフェルミ孔と共役フェルミ孔の構造を調べた。その結果、(1s)(2p)電子配置のフェルミ孔と共役フェルミ孔は、それぞれ  $\phi = 0, \pm\pi$  および  $\phi = \pm\pi/2$  を中心として  $\phi$  軸に沿って交互に並び、それぞれ、三重項状態および一重項状態の確率密度分布の節点と対応すること、あるいは逆に言えば、それぞれ一重項と三重項状態の確率密度分布のピークと対応することが示された。すなわち、核電荷が大きい場合に現れる確率密度分布の異方性は、(1s)(2p)電子配置が生来持っているフェルミ孔および共役フェルミ孔が現れたものであることがはじめて明らかとなった (Phys. Rev. A, to be submitted)。

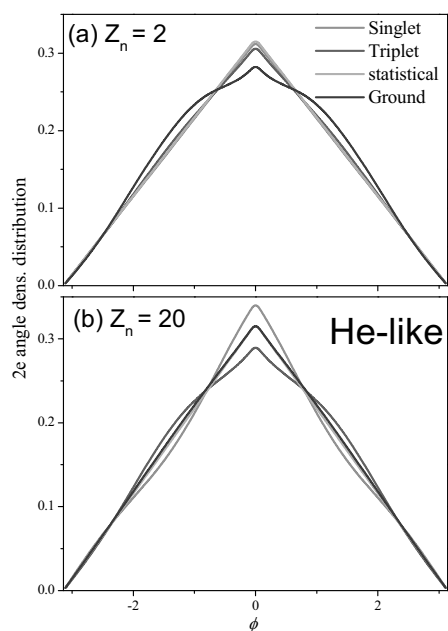


図 2. He 様原子における確率密度分布の 2 電子角度依存性 : (a)  $Z_n = 2$ , (b) :  $Z_n = 20$ . 図中の青, 緑, 赤線はそれぞれ, 基底 (1s)<sup>2</sup> <sup>1</sup>S 状態, 一重項 (1s)(2p) <sup>1</sup>P 状態, 三重項 (1s)(2p) <sup>3</sup>P 状態を表す. また, 薄い灰色の三角形状の分布は, 二電子の空間分布が角度相関を持たない統計的な場合を表す.

## クラスター・分子集合体からの機能発現

### 十代健

ナノ物質・ナノデバイス班

分子の自己集合・自己組織化でナノ構造を構築するには、分子の性質を正しく理解し、分子間の相互作用を巧みに利用し、目的のナノ構造を構築する必要がある。本研究では、生体内の遺伝子 DNA の 2 重らせん構造やタンパク質の  $\alpha$  ヘリックス構造など生体内の多様な構造であるナノらせん構造に着目し、そのモデル化合物として銀トリルアセチドならびにアセチルサリチル酸のナノ構造に関して研究を行った。また、自己集合によりナノワイヤー構造を構築する銅アセチドに対して、ナノ構造の性質を生かして新規な炭素材料作成に繋げる研究も行った。

#### 1. 分子集合体のナノらせん構造の起源

銀トリルアセチドは、光学活性中心を持たない分子である。しかし、溶液中での再結晶により、1 種のらせん構造である捻じれたナノリボンを生成することが判明した。らせん構造は、光学活性な構造であり、単一分子では光学活性のないアキラルな分子が分子集合体へと集積する際に、どのように光学活性が成形されるのか、キラルの起源に向けた研究として取り組んだ。再結晶させる際の溶媒をメタノール・エタノール・1-プロパノール・1-ブタノールと系統的に変化させると、再結晶速度の速いメタノール等ではリボン構造が捻じれ、逆に、1-ブタノール等では捻じれていないナノ構造体となった。再結晶溶媒によって、らせんと非らせんを制御できること、また、結晶化速度、つまり、結晶化速度により生じる結晶の質によってナノリボンが捻じれたり、捻じれなかったりすることが判明した (*J. Nanosci.*, in 2013)。

さらに、再結晶中に光照射を行うと、溶液の色が赤く変化し、ナノリボンの捻じれが増強されることも判明した。光照射により銀トリルアセチドの分解・2 量反応が進行することで赤色に呈色し、分解生成物が結晶中に取り込まれることにより、結晶の捻じれが誘発されると考えている。

銀トリルアセチドの場合は X 線回折による結晶構造の決定が困難であったため、他の分子でも同様にナノらせん化する分子を探索した。アセチルサリチル酸は古くから知られている分子であり、不斉炭素を持たないアキラルな分子であるが、結晶構造が捻じれることが判明している。アセチルサリチル酸を 5 mg 程度をプレパラートに置き、上からカバーガラスを被せ、135°C に加熱したホットプレート上で融解させた。その後、室温で冷却し、再結晶させた。図 2 には、クロスニコルの条件で観測を行った偏光顕微鏡像を示した。500  $\mu$ m 程度の間隔で周期的な模様が観測されている。クロスニコル条件の偏光顕微鏡では、複屈折率の差と結晶の厚さに依存して透過光が観測される。カバーガラスを被せているため、結晶の厚みに関しては、周期的な変動は考えにくく、複屈折率の差が変化していると考えられる。一方、再結晶を行ったのは、アセチルサリチル酸のみであることを考えると、結晶が回転しながら成長したと考えるべきである。つまり、アセチルサリチル酸は、ナノらせん同様に結晶が捻じれ回転しながら再結晶が進み、そのため結晶面の 1 回転もしくは半回転ごとに

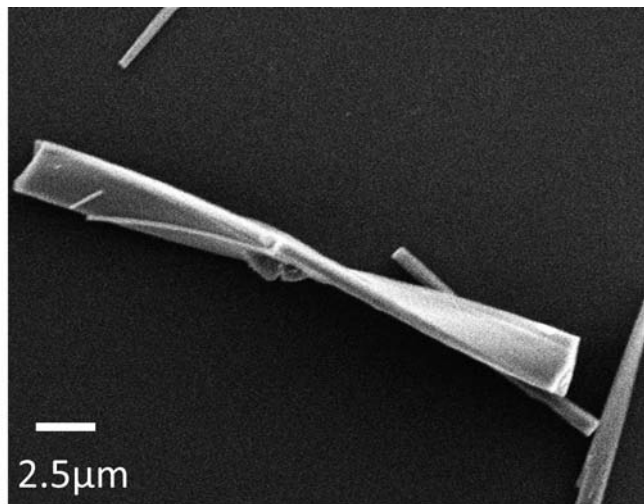


図 1 銀トリルアセチドの走査型電子顕微鏡像

複屈折率の値が周期的に変化するため図2のような偏光顕微鏡像を与えたと結論できる。

一方、アセチルサリチル酸は古くから知られており、結晶構造が既知な分子である。図2の周期的な偏光顕微鏡像を与えるサンプルに対して、粉末X線回折を測定したところ、既に報告されている単斜晶系の  $P2_1/c$  の対称性をもつ結晶群で完全に一致した。しかしながら、 $P2_1/c$  は、対称心をもつ対称性であり、アキラルな分子のみに許されるアキラルな空間群である。つまり、結晶の対称性は、右捻じれと左捻じれの違いを全く説明することができない対称的な空間群であるといえる。しかし、実際は右か左かに捻じれた状態（右と左の捻じれの数と同数のラセミ状態）として観測されているので、今後、詳細にナノらせん構造発現の機構解明を研究していく必要がある。

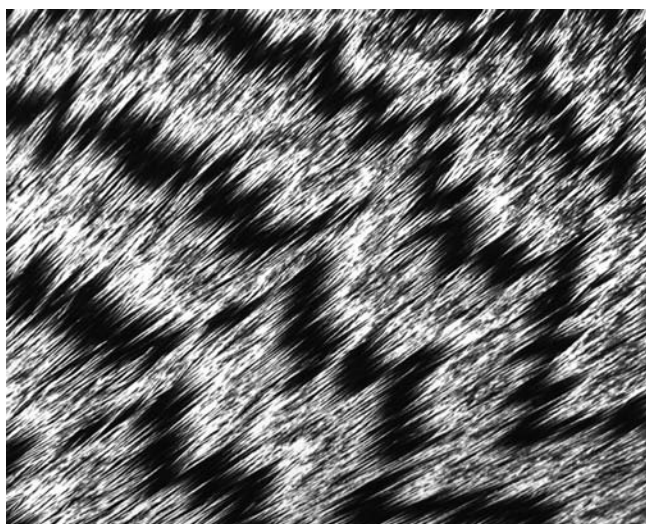


図2 アセチルサリチル酸の偏光顕微鏡像

2. ナノ構造による爆発性を制御した新規炭素材料作成法

銅アセチリドや銀アセチリドは爆発性を有する物質として有名である。しかし、ナノ物質へと結晶を小さくすると、熱伝導が遮断され爆発の連鎖反応が進行しにくくなると予想できる。ナノ物質として、その性質を利用した炭素材料の開発に取り組んだ。一般的なアモルファスカーボンの製法は、有機物質を高温で炭化させる方法であり、高温のため炭素はグラファイト化してしまう。本方法は、アセチリドのもつ本来爆発性の活性な性質を利用し、ナノ化することで爆発を抑制し、低温でもアモルファス炭素へと変換可能とした。

図3は、銅アセチリドのナノ物質を低温で加熱しアモルファス炭素に変換後、酸処理で銅成分を除去した炭素材料のラマンスペクトルである。本年度、既存の分光器

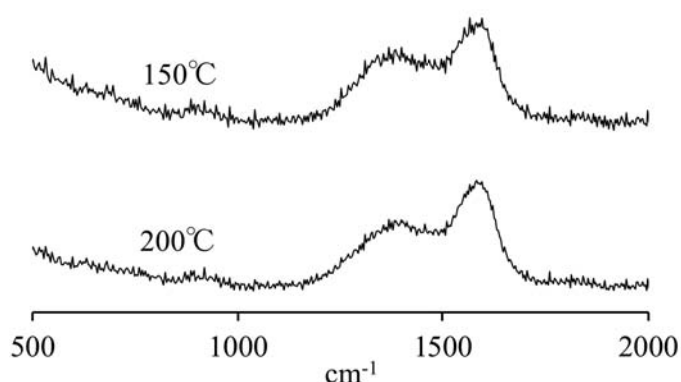


図3 アセチリドからの炭素材料ラマンスペクトル

にラマン用フィルターなど光学部品を購入し、ラマン分光を研究室で実施できる環境を整えた。典型的な炭素材料のラマン分光と同様に  $1600\text{cm}^{-1}$  近傍に G バンドに帰属されるピークと  $1380\text{cm}^{-1}$  程度の D バンドが観測された。本方法により生成した炭素材料は、一般的な炭素材料より遥かにピーク幅が広く、G バンドと D バンドが完全に重なって観測されている。このような特徴は、ダイヤモンドライクカーボンと呼ばれる炭素材料のラマンスペクトルと類似しており、低温におけるアモルファス炭素の新しい製法として利用できることをラマン分光より示した。また、加熱温度を  $150^\circ\text{C}$  まで低下させても同様の炭素材料が得られており、低温での炭素材料作成の可能性を示すことができた。



## 広バンドギャップ半導体ナノチューブ/ロッドデバイスの作成

鈴木薫

ナノ物質・ナノデバイス班

ナノ物質系として、「カーボンナノチューブ/ロッド」、「広バンドギャップ半導体」などを対象として、レーザ・プラズマプロセス、その他独自の手法による物質合成法、構造作製法を開発した。デバイスへの応用を目的として、磁気力顕微鏡のプローブを開発するためにカーボンナノチューブに強磁性金属を内包させた。またダイオードやトランジスタを作製するためにカーボンナノチューブやダイヤモンド状炭素に不純物の添加やイオン注入しデバイス化を試みた。広バンドギャップ半導体としては発光素子への応用を目的として酸化亜鉛のp型化を、光触媒としては酸化チタンのフレキシブルな高分子基板への転写を、水素吸蔵合金としては磁化熱プラズモイドにより高速なイオン注入を行った。バイオやグリーンサイエンスのために、低周波大気圧フレッシュプラズマによる歯周病菌の殺菌やナノ・マイクロバブルの粒径制御による水の浄化について検討した。

1. 金属内包カーボンナノチューブ(CNT)の磁気力顕微鏡用プローブ加工：エタノール中に浸したシリコン基板に直流通電を行う際の陰極に強磁性金属箔を挟み、カーボンナノチューブに強磁性金属を内包させた。ニッケル (Ni) 内包 CNT では長軸に[100]・側面に[110]面の結晶性を有し、直線的に内包され、直径10~80 nm・長さ100~800 nmの高アスペクト比で高密度に生成された。(Appl. Surf. Sci., DOI 10.1016/j.apsusc.2013.11.056, 特願2010-198325) ステンレス (SUS304) 合金においては図1に示す層状構造の金属内包 (A層：結晶性  $\text{Fe}_{2(1-x)}\text{Cr}_x\text{O}_3$ , B層：多結晶性  $\text{Fe}_{2(1-x)}\text{Cr}_x\text{O}_3$ , C層：結晶性  $\text{Fe}_{(1-x)}\text{Cr}_x$  が確認された。(JPS Conf. Proc.2014)

2. カーボンナノチューブ/ロッド・ダイヤモンド状炭素(Appl. Phys. A, 101, 723-725)によるダイオード・トランジスタの作製：気化したエタノール中のシリコン基板に直流通電しジュール加熱とレーザ支援によるカイラリティ制御を行うことで、リンをドーブした直線状カーボンナノチューブ/ロッド(Appl. Surf. Sci. 255, 9655-9658)が森林状に群生し、1本を折りガリウムイオン( $\text{Ga}^+$ )を集束させて注入する(J. Nanoele. Optoele., 7, 275-278) ことでダイオードを作製した。またバックゲートを取り付けることによりn型のCNTになっていることが判明した。

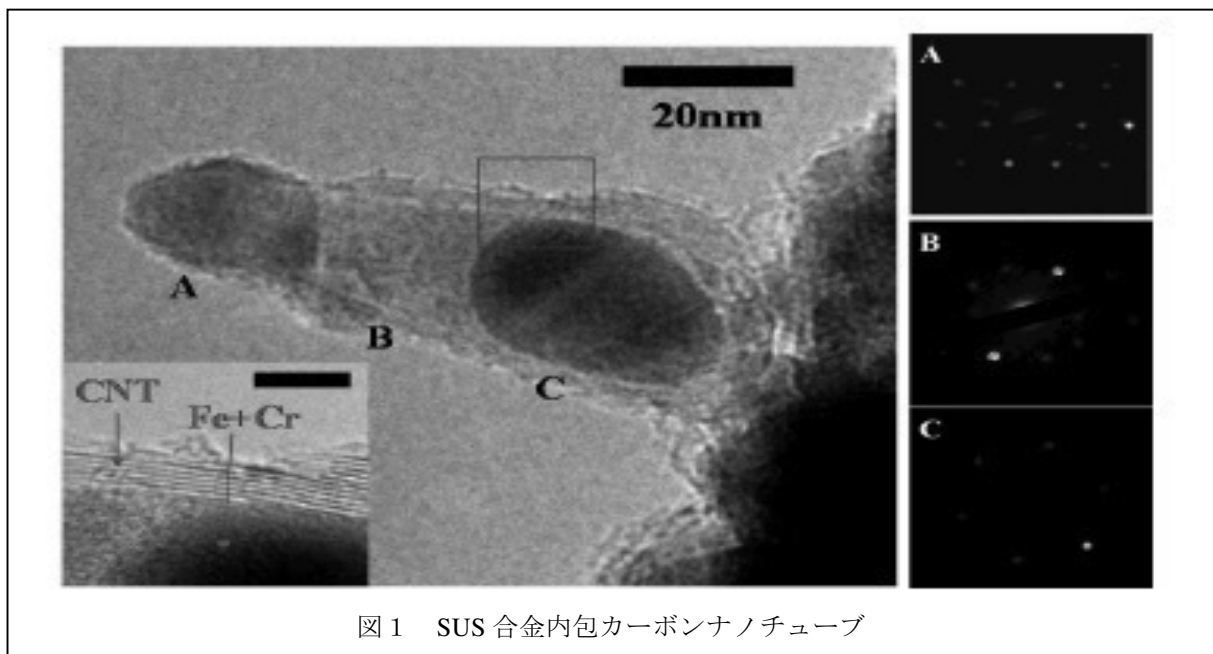
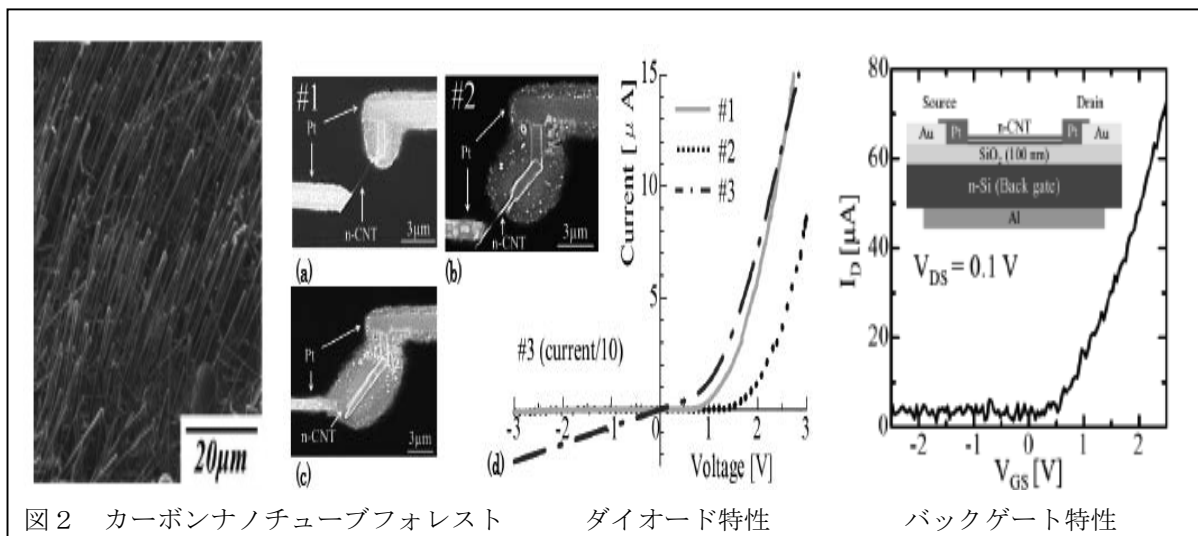


図1 SUS合金内包カーボンナノチューブ

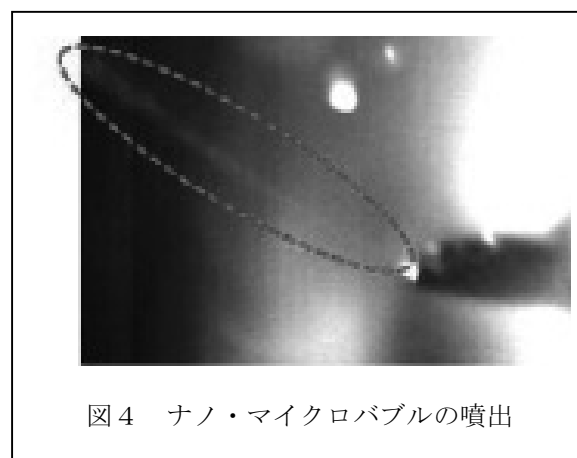
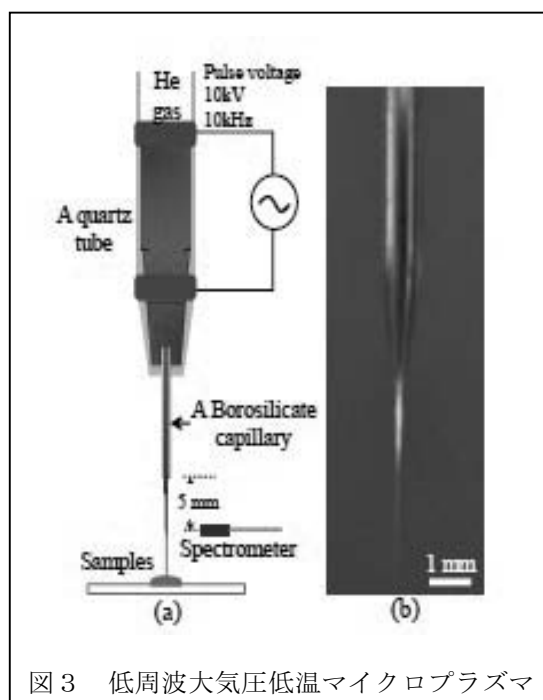


3. 水の光分解による生成と水素・酸素の吸蔵回収を一体で行う複合材料の開発：ランタンやストロンチウムをヘビードープした酸化チタン (Appl. Surf. Sci., 255, 9688-9690)をレーザ誘起前方転写法によりフレキシブルな高分子フィルム上に成膜した。(Appl. Mech. & Mat., 481, 125-128)また、エネルギー班の西宮教授が研究中の水素吸蔵複合材料を浅井准教授が研究中の磁化同軸プラズマ源により成膜し、膜の均質性や硬質基板へのアルミニウムの打ち込み効果や酸化について評価した。(JPS Conf. Proc. 2014, 特願 2012-195690)

4. 酸化亜鉛薄膜の赤外光支援パルスレーザ堆積法による p 型化 (Appl. Phys. A, 110, 963-966)において、YAG レーザの第 2 高調波である波長 532 nm よりも短い波長でレーザアニールすることで結晶性が改善 (Appl. Phys. A, 101, 723-725)され、第 4 高調波である波長 266 nm により結晶性が最も向上することを見出した。

5. 低周波大気圧低温プラズマによる歯周病菌の殺菌について検討し、プラズマを噴出させるノズルの直径を 50 μm と細くすることによって歯周ポケットへのプラズマ照射を可能にする方法を開発した。(JPS Conf. Proc. 2014,) また、レーザ照射によるミミズの破片分離・再生と土壌元素モニタリングセンサ (FEL Appl., ISBN978-3-95450-123-6, THPD06, 559-562)について研究している。

6. レーザと集束イオンビーム加工でナノノズルを圧電素子に穿孔させることにより、ナノ・マイクロバブルの粒径制御に成功し、バブルの直径を数百 μm ~ 数 μm の範囲において一定で直線的に噴出させることに成功し、時間の経過によりマイクロバブルが圧壊してナノバブルになることを確認した。(Adv. Mater. Res., .871, 338-341, 特願 2012-204982)



PI ポリアミドを用いた抗腫瘍薬の開発

相馬正義、藤原恭子

医療班

ピロールイミダゾール(PI)ポリアミドは芳香族アミノ酸 *N*-methylpyrrole(Py) および *N*-methylimidazole(Im) で構成され、DNA に配列特異的に結合することが報告されている。Im と Py の組み合わせ次第で多様な配列の DNA に結合させることが可能であることから、遺伝子プロモーター領域の転写因子結合部位を認識する PI ポリアミドは、転写因子の結合を競合阻害し、目的遺伝子の転写阻害を行うことが期待できる。特別な Drug Delivery System を必要とせず、生体内でも安定であることから、PI ポリアミドは新規の転写阻害剤として期待される分子である。これまでに我々は、

疾病の原因となる遺伝子の発現を抑制する PI ポリアミドを設計し、そのいくつかは疾病状態の改良効果を示すことを培養系および動物実験系を用いた実験で証明し、報告してきた。

多くのヒト悪性腫瘍において MYC 遺伝子のゲノムレ増幅や発現上昇が確認され

ている。MYC は basic-helix-loop-helix leucine zipper 型転写因子であり、MAX 蛋白質と二量体を形成し、DNA の E-box 配列に結合する。MYC により発現が制御されている遺伝子は 4 千以上にのぼり、それらの多くは細胞の成長、増殖、代謝、アポトーシス、分化に関与し、細胞の形質変化を促進している。腫瘍の増殖抑制を目的として、MYC もしくは MYC 下流遺伝子の機能や発現量を効果的に制御するために様々なアプローチが試みられてきたが、手技の煩雑さ、生体内への輸送の難しさなどの問題があり実用化には至っていない。

そこで我々は、E-box 配列 CACGTG を完全にまたは部分的に認識する PI ポリアミドを複数作成し(図 1)、腫瘍増殖抑制能の有無を検討した。その結果、5 種類の E-box 認識ポリアミドのうち Myc-6 がヒト骨肉腫細胞株、慢性骨髄性白血病細胞株に対し有意な増殖抑制効果を示

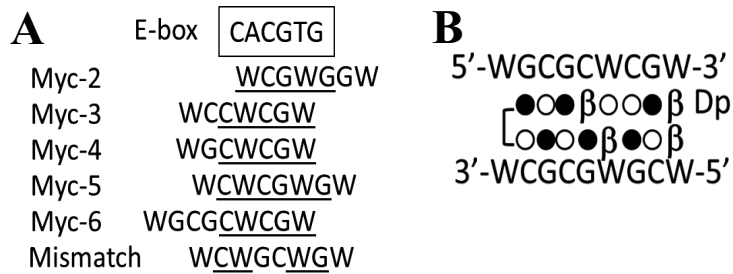


図 1 E-box 認識ポリアミド

A. 各ポリアミドの DNA 認識配列 B. Myc-6 の構造

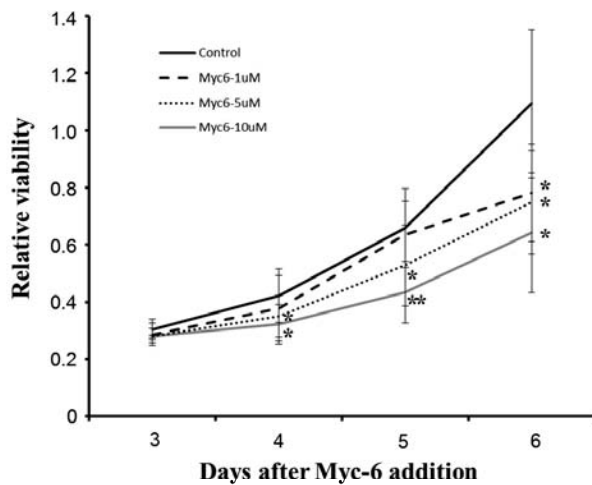


図 2 Myc-6 投与後の MG63 細胞の増殖曲線

す事を確認した。骨肉腫細胞株 MG63 においては、1 $\mu$ M より増殖能 (図 2)、コロニー形成能を有意に抑制し、細胞周期の解析を行ったところ、Myc-6 投与群の細胞では S 期、M 期の細胞数の割合が減少し、逆に G0/G1 期にある細胞の割合が非投与群と比べて有意に上昇していた。さらに Myc-6 投与により、初期アポトーシスのマーカーである phosphatidyl serine の細胞膜外側への露出が上昇し、さらに後期アポトーシスのマーカーである切断型 Caspase3 の出現が観察された。次にマウス皮下に MG63 を移植して Xenograft 作成し、Myc-6 を 1 ヶ月間にわたり週一回の頻度で尾静脈投与を行ったところ、非投与群と比較して有意な腫瘍増殖抑制された。以上の結果から、Myc-6 は *in vitro*, *in vivo* の両方において腫瘍の増殖を抑制することが確認できた。

さらに Myc-6 の詳細な作用機序を解明するために Myc-6 ポリアミドにより発現が変化する遺伝子について DNA マイクロアレイを用いて網羅的に調べたところ、10  $\mu$ M の Myc-6 投与後有意な発現低下を示した 18 の遺伝子のうち、長鎖 non-coding RNA の一つである MALAT1 遺伝子の上流 1000bp 以内に、E-box 類似配列があることが判った。Myc-6 がこの配列に特異的に結合することがゲルシフトアッセイにより確認され(図 3)、また siRNA により MG63 における MALAT1 の発現をノックダウンした結果、有意な増殖抑制効果が観察された(図 4)。この結果より MALAT1 が Myc-6 の直接の標的の一つであり、Myc-6 による細胞増殖抑制に関与している可能性が強まった。現在、より効果的なポリアミドの開発、他の抗がん剤との併用プロトコルの確立を目指している。

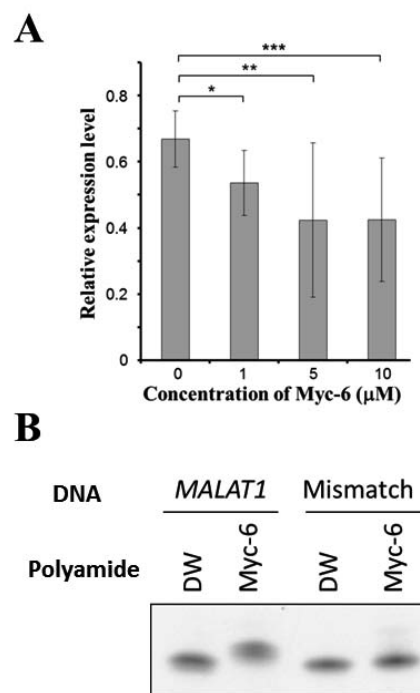


図 3 Myc-6 による MALAT1 の発現制御

A. Myc-6 の投与により MG63 細胞における MALAT1 の発現量が濃度依存的に抑制された。

B. ゲルシフトアッセイにより Myc-6 が MALAT1 上流に結合することを確認。MALAT1 上流の E-box 様配列を含む DNA 断片と Myc-6 ポリアミドを混合して電気泳動するとバンドシフトが見られた。

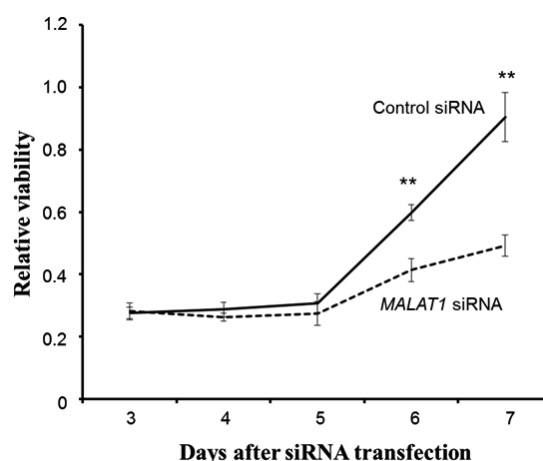


図 4 MALAT1 のノックダウンと細胞増殖抑制効果

MG63 細胞における MALAT1 の発現を siRNA により抑制し、細胞生存率を WST8 アッセイによって継続的に定量した。

## 層状構造を持つ鉄砒素系超伝導体の超伝導機構解明と新超伝導物質探索

高野良紀

ナノ物質・ナノデバイス班

## 1. はじめに

2006年にLaFePOが約4Kで、2008年にはLaFePOと同じ結晶構造を持つLaFeAsOの酸素の一部をフッ素で置換したLaFeAsO<sub>0.89</sub>F<sub>0.11</sub>が約26Kで超伝導を示すことが見出された。これを契機として、多くの鉄砒素系超伝導体が発見された。これらの超伝導体の共通点は鉄の2次元正方格子を持つことであり、構成元素の比から1111、111、122、11系の4つに大別されている。2008年にはLaFeAsOと同じ1111系のSrFeAsFのSrの一部をLaで置換したSr<sub>0.6</sub>La<sub>0.4</sub>FeAsFが約26Kで、Smで置換したSr<sub>0.5</sub>Sm<sub>0.5</sub>FeAsFが約56Kで超伝導を示すことが報告された。また、2010年には酸素欠損したLaFeAsO<sub>0.89</sub>が約28Kで超伝導になるという報告もなされた。我々は鉄系超伝導体の発見以前からLaZnPnO (Pn=P, As, Sb)の物性評価を行っており、その経験を活かして主に1111系超伝導体に関する研究を行った。

## 2. 実験結果および考察

2.1 La<sub>1-x</sub>OFePにおけるLa欠損による超伝導

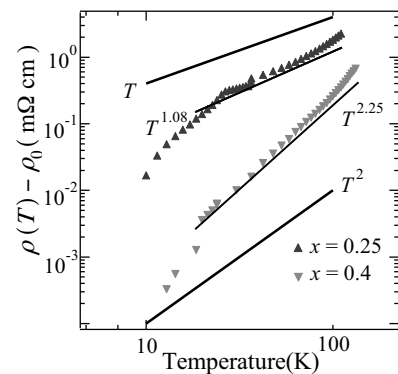
LaOFePの超伝導転移温度 $T_c$ は約4Kであると報告されたが、その後の研究ではLaOFeP自身の $T_c$ に0から7K程度とばらつきがみられていた。そこで、その原因を明らかにするために、LaOFePの化学量論性に着目し、キャリア密度に最も大きな影響を与えると考えられるLaの欠損した試料を作成し、その効果について調べた。我々はほぼ単相のLa<sub>1-x</sub>OFeP ( $0 \leq x \leq 0.20$ )を作製することに成功した。 $x=0$ であるLaOFePの $T_c$ は4.7Kであることがわかった。 $x$ が増加すると $x=0.10$ までは $T_c$ は増加し、 $x=0.10$ で最高の $T_c=7.0K$ を示し、その後減少した。このことから、従来の $T_c$ のばらつきは、試料の非化学量論性によるものであることを明らかにした[1]。

2.2 Sr<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>FeAsF (R=La, Pr, Nd, Sm)の結晶構造と超伝導特性

SrFeAsFのSrの一部を希土類元素R=La, Smで置換することにより高い $T_c$ が得られることが報告されていたが、Ndで置換した報告はなかった。また、Prは+3価と+4価を取る可能性があるため、他の希土類で置換したものと異なる変化を示す可能性があった。そこで、すでに報告のある物質も含めてSr<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>FeAsF (R=La, Pr, Nd, Sm)を作成し、結晶構造と超伝導特性を調べた。Sr<sub>1-x</sub>Nd<sub>x</sub>FeAsFについては微量のSrF<sub>2</sub>やFeAs<sub>2</sub>などの不純物を含むものの、 $0 \leq x \leq 0.5$ の範囲で、ほぼ単相の試料を作成することに成功した。置換量 $x$ の増加とともに $T_c$ は増加した。最高の $T_c$ はSr<sub>0.5</sub>Nd<sub>0.5</sub>FeAsFの49Kであり、従来報告されているSm置換の $T_c$ に匹敵する値が得られた。また、 $T_c$ における上部臨界磁場の温度勾配( $dH_c2/dT$ )は-1.5T/Kであり、0Kにおける上部臨界磁場を見積もったところ、約75Tという非常に高い値を示した[2]。一方、R=Prの試料の格子定数や $T_c$ が他のRと大きく異なっており、Prが+3価になっていない可能性がある。

2.3 SrFeAsF<sub>1-x</sub>の作製と電気伝導特性

酸素欠損により電子ドーピングしたLaFeAsO<sub>1-x</sub>が高い $T_c$ を示すことから、フッ素欠損したSrFeAsF<sub>1-x</sub>においても電子ドーピングにより超伝導の発現を目指した。電気抵抗率の絶対値は $x$ の増加により減少したが、3K以上で超伝導にはならなかった。電気抵抗率の温度依存性を $\rho(T) = \rho_0 + AT^n$ で解析した(図2)。他の物質では $n$ が1~2の範囲に存在する場合に超伝導性を示すが、本系では $x=0.25$ で $n=1.08$ であったが超伝導性を示さなかった。

図2  $\log(\rho(T) - \rho_0)$ と $\log T$ の関係

## 2.4 $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$ (R=La, Nd, Sm)の常伝導および超伝導特性

最適に希土類イオンを置換した  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}$  (R=La, Nd, Sm) においてフッ素欠損を導入した  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  を作成した。フッ素欠損は希土類置換と同様に系に電子ドーピングを導入するはずであるが、欠損量の増加とともに  $T_c$  は減少した。常伝導領域の電気抵抗率の温度依存性を冪乗則  $\rho(T) = \rho_0 + AT^n$  を用いて解析した。図3は  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  における指数  $n$  と F 欠損量  $y$  の関係を示す。フッ素 F 欠損量  $y$  が増加すると指数  $n$  は増加している。これは酸素欠損で得られている結果とは反対の傾向を持っている。図4は  $n$  と  $T_c$  の関係を示す。この場合には  $n$  が減少すると  $T_c$  は増加する。同様の傾向は他の鉄系超伝導体においても見出されている。すなわち、 $n \sim 2$  を示す通常の Fermi 液体からずれ、量子臨界点に近づく超伝導が発現する。 $n$  と  $T_c$  の関係で特徴的なのはこれが希土類元素に依存しないことである。 $T_c$  の比較的低い  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  では  $y = 0.15$  まで超伝導が見出されているが、 $T_c$  の高い  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  (R = Nd, Sm) では  $y = 0.05$  で超伝導が消失する。これは  $n$  と  $y$  の関係からも確認され、 $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  では  $n$  は  $y$  とともに徐々に増加するが、 $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  (R = Nd, Sm) では  $y$  の小さな領域で急激に増加する。

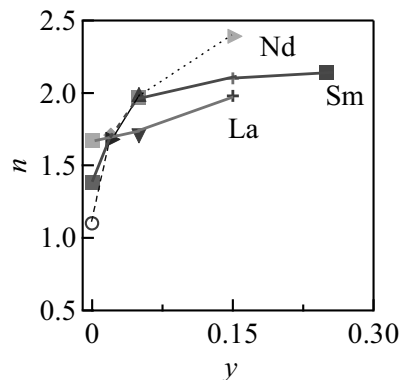


図3  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  における指数  $n$  と  $y$  の関係

## 2.5 $\text{LaFe}_{1-y}\text{Zn}_y\text{AsO}$ の結晶構造と電気伝導特性

$\text{LaFe}_{1-y}\text{Zn}_y\text{AsO}_{1-x}\text{F}_x$  では、最高の  $T_c$  を示す  $y$  の値が  $x$  の値によって変わるとの報告がなされた。そこで、全率固溶  $\text{LaFe}_{1-y}\text{Zn}_y\text{AsO}$  の作製を試みたが、中間組成では  $\text{LaFeAsO}$  と  $\text{LaZnAsO}$  の混晶になった。 $y \leq 0.2$  では単相の試料が得られており、格子定数  $a, c$  はいずれも  $y$  とともに増加した。

## 2.6 $\text{LiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$ および $\text{Li}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeAs}$ の作製と電氣的性質

111 系の  $\text{LiFeAs}$  は他の鉄系超伝導体とは異なり、置換をしない状態で  $T_c$  が 18K の超伝導を示す。そこで、我々は、 $\text{LiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$  と  $\text{Li}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeAs}$  の作製をした。現在までに作製している置換量の範囲内では 111 相が主相として得られている。 $\text{LiFeAs}$  の  $T_c$  は 10.8K であり、文献値より低い、これはリチウム欠損の可能性が考えられる。 $\text{LiFe}_{0.98}\text{Co}_{0.02}\text{As}$  の  $T_c$  は 9.5K であり、コバルト置換量とともに  $T_c$  は減少した。

## 2.7 $\text{SrFFe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{As}$ の電氣的性質

$\text{SrFFeAs}$  では  $\text{FeAs}$  層の  $\text{Fe}$  の一部を直接  $\text{Co}$  で置換しても、約 4K で超伝導になると報告されている。超伝導の発現が  $d$  電子数の増加による電子ドーピングによるとすれば、 $\text{Co}$  よりも  $d$  電子数が多い  $\text{Ni}$  の方が効率的であると考えられるため、 $\text{SrFFe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{As}$  を作成した。 $0 \leq x \leq 0.2$  の範囲でほぼ単相の試料を作成することに成功した。置換量  $x$  の増加とともに構造相転移による電気抵抗率の急激な落ち込みを示す温度は低温側に移動し、金属的な電気抵抗率の温度依存性を示したが、3K 以上で超伝導を得ることができなかった。

## 2.8 $\text{Sr}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{FeAsF}$ の超伝導線材応用のための基礎物性評価

$\text{Sr}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{FeAsF}$  の上部臨界磁場の温度依存性の測定によれば、現在  $\text{MgB}_2$  丸線材の中で最高の臨界電流密度を持つ Hyper Tech Reserch Inc. 製のものよりも高い値が得られた。

[1] X. Jin, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, *J. Alloys and Compounds* **2009**, 488, L14-L16.

[2] R. Sukanuma, Xinzhe Jin, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, *J. Physics Conference Series* **200** (2010) 012193.

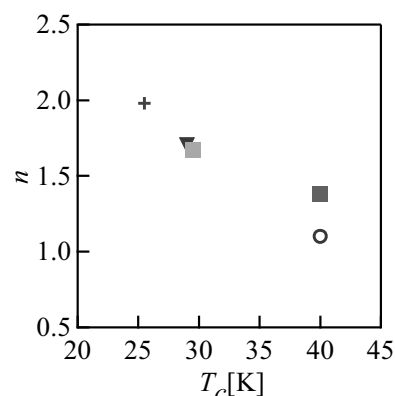


図4  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  における指数  $n$  と  $T_c$  の関係

## ピロール・イミダゾールポリアミドを用いた新規前立腺癌治療薬の開発

大日方大亮, 高橋悟  
医療班

前立腺癌は、食生活の欧米化ならびに近年の高齢化社会の到来とあいまって、本邦における罹患者数は増加している。米国では、前立腺癌罹患率は 30 年以上前から男性癌の中で最も高く、25 年前より男性がん死亡原因の第 2 位を維持しており、社会問題となっている。前立腺癌においてステロイドホルモンの一つである男性ホルモン(アンドロゲン)とその受容体であるアンドロゲンレセプター (Androgen receptor; AR) は重要な役割を担っている。臨床的に汎用される前立腺癌治療法の一つにアンドロゲン除去療法がある。これは AR 作用の抑制を介して前立腺癌の進行を抑制させるものであるが、治療経過とともに、癌細胞の形質が変化し、アンドロゲン除去療法が無効 (去勢抵抗性: castration-resistant) になり、その後の治療に難渋することが多い。しかし驚くべき事に去勢抵抗性前立腺癌細胞内において、アンドロゲン濃度は上昇しており、また増殖、進行においてアンドロゲンレセプターは依然として重要であることが近年判明している。前立腺において染色体再配列によりアンドロゲン応答遺伝子 TMPRSS2 と癌原遺伝子 ERG が融合し、細胞の癌化、または癌の悪性度およびアンドロゲン感受性が変化し、去勢抵抗性の獲得が生じることが報告され、注目されている(Tomlins SA et al, Science 310:644-648, 2005)。また両遺伝子が融合する際に、アンドロゲンレセプター(AR)がゲノム上の AR 結合配列に結合後、両遺伝子共通の特定配列を切断し、染色体再配列を発生させることが過去の論文で報告されている。これらのアンドロゲン応答遺伝子、転写協調因子および融合遺伝子の発現によって起こる ERG 遺伝子の過剰発現に対し、干渉性 RNA やアンチセンス核酸を投与して、発現を不安定化することによって前立腺癌を治療する方法等が発明され、報告されいている。しかし、干渉性 RNA やアンチセンス核酸は生体内で分解され易く、安定性が低い。そこで、我々は現在前立腺癌の治療に有効であり、かつ、安定で安全な物質を得るために PI ポリアミドに着目した。

PI ポリアミドは芳香族アミノ酸 N-methylpyrrole(Py)および N-methylimidazole(Im) で構成される分子であり、DNA に配列特異的に結合することが報告されている (Cho J et al.PNAS 92:10389-10392, 1995)。Im/Py ペアは G・C を、Py/Py ペアは T・A および A・T を認識する。PI ポリアミドと DNA への結合は、DNA 結合蛋白と DNA の結合に相当する親和性を持ち、Im/Py と Py/Py の組み合わせ次第で、多様な配列の DNA に結合させることができる。siRNA などと比べて安定性も高いことから、分子標的治療薬として大きく期待される化合物であり、腫瘍で高発現している遺伝子を標的とした PI ポリアミドが抗腫瘍効果を持つ事が複数の細胞株にて確認されている(Wang,et al, Cancer Sci 101:759-766,2010)。

### 1. 融合遺伝子抑制 PI ポリアミドによる前立腺癌細胞に与える影響

我々は去勢抵抗性の一因となっている TMPRSS2-ERG 融合遺伝子の発生を抑制する PI ポリアミドを合成し、新規治療薬の開発を行った。切断される特定配列に結合し、TMPRSS2-ERG 融合遺伝子の発生を抑制する PI ポリアミドを医療班福田、相馬、藤原らと共同で設計し、細胞増殖/遊走能に与える影響を、前立腺癌細胞(LNCaP 細胞)を用いて検討した。LNCaP 細胞はアンドロゲン刺激を行わないと融合遺伝子が発生しないことが知られている。

まずゲルシフトアッセイを用い、上記配列に対する PI ポリアミド(以下 Fusion ポリアミド)の結合能を検討した。Fusion ポリアミドは切断される特定配列に結合しないネガティブコントロールポリアミドと比べ、有意に結合が認められた。ヒト前立腺癌細胞株 LNCaP を、Fusion ポリアミド、ネガティブコントロールポリアミド投与群に分け、TMPRSS2, ERG 特異的プローブを用いて染色体の 50 細胞あたりの転座陽性細胞率を計測した。Fusion ポリアミド群は他の群に比べ、転座陽性細胞率が有意に減少していた。

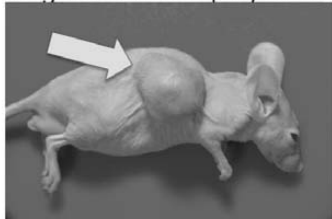
前立腺癌細胞株 LNCaP に対しそれぞれ、切断配列に Fusion ポリアミドとネガティブコントロール PI ポリアミドを加え、アンドロゲン刺激を行い、TMPRSS2-ERG 遺伝子の発現を RT-qPCR にて測定したところ、Fusion ポリアミド処理群で、有意に融合遺伝子の発現が減少した。Fusion ポリアミド添加による細胞増殖能、および遊走能への影響を MTS assay、Cell migration assay にて検討したところ、Fusion ポリアミド添加細胞においては増殖能と遊走能が有意に抑制された。以上の結果より、前立腺癌細胞において、Break Fusion Site による、融合遺伝子形成は ERG の発現量に重要な役割をはたし、細胞増殖、遊走能に関係していることが認められた。続いて、in vivo における影響を見るために、7 週令雄ヌードマウスの皮下に LNCaP 細胞を投与した腫瘍接種モデルを用いて検討した。接種した LNCaP 腫瘍のサイズがある一定まで増大したことを確認した後、各 10 匹ずつ Fusion ポリアミド投与群、およびネガティブコントロールポリアミド投与群に分けて、経静脈的に週一回投与を行った。投与開始から 4 週間後にそれぞれの腫瘍径を測定したところ、Fusion ポリアミド投与群で有意に腫瘍の増大が抑制された。上記結果を元に NUBIC を通じて特許申請を行った(学校法人日本大学, 新規 PI ポリアミド, 特開 2013-234135 2013-11-21)。

## 2. AR 転写協調因子抑制 PI ポリアミドによる前立腺癌細胞に与える影響

AR はリガンド依存性核内受容体である。AR はリガンド (アンドロゲン) と結合後核内に移行し、AR 転写補助因子と協調しながら標的遺伝子のプロモーターおよびエンハンサー領域内の ARE に結合し、標的遺伝子の発現を調節する。AR 転写補助因子は GATA2, Oct1, FoxA1 があるが、この中で我々は、Oct1 が AR の転写活性を増強させ、前立腺癌の予後に影響を与えることを報告した(Obinata D, Takahashi S, et al, Int J Cancer, 2012)。つまり、Oct1 等の転写補助因子は AR の感受性/転写活性を増強させ、アンドロゲン除去療法下の低アンドロゲン状態においても、AR 依存性の癌原遺伝子を発現させる働きがあると推測される。このことから、AR 転写協調遺伝子を抑制することが従来の治療抵抗性前立腺癌の新たな治療方法になる可能性が考えられる。よって、Oct1 がアンドロゲン応答遺伝子の転写開始点上流に位置するエンハンサー領域に結合する配列に特異的に結合するポリアミドを作成し、上記研究成果と同様の実験手法を用いて検討を行った。今回、クロマチン免疫沈降(ChIP-chip)解析により、アンドロゲン応答性を有している脂質代謝遺伝子 ACSL3 の転写開始点上流に新規 AR 結合部位を発見し、その応答機構と同遺伝子の前立腺癌における発現について検討した。さらにその応答機構を標的とした PI ポリアミドを開発し、ACSL3 を抑制させることにより前立腺癌に与える影響を検討した。前立腺癌細胞株 LNCaP を用いて新規 AR 結合部位内の配列について、AR 応答に必須の配列の同定を試みた結果、AR 結合配列とその近傍に存在する転写協調因子 Oct1 結合配列が重要な影響を及ぼしていることが認められた。そこで、同配列に特異的な PI ポリアミドを開発し、LNCaP に投与したところ、ACSL3 の発現が有意に低下し、遊走能と増殖能が抑制されていた。動物モデルを用いた抗腫瘍効果の検討においては、腫瘍サイズの有意な縮小が見られた。本研究結果も上記結果を元に NUBIC を通じて特許申請を行った(学校法人日本大学, 新規 PI ポリアミド, 特願 2013-048126)。

本研究期間中に開発された PI ポリアミドを提供することによって、前立腺癌の予防、治療に有用かつ安全で安定した薬剤を開発することが容易となり得る。生体内での安定性が高く、組織、細胞への移行性も高い、本発明の PI ポリアミドを有効成分とする薬剤は、前立腺癌の予防、治療に効果的な薬剤となると考えられた。

Negative control polyamide



Fusion polyamide



図 1 Fusion ポリアミド投与による抗腫瘍効果の検討 LNCaP 細胞を 7 週令ヌードマウスの右腋窩に接種し、一定のサイズに増大した後、週一回尾静脈注射にてそれぞれポリアミドを投与した。4 週間経過した代表的なマウスを示す。



## バイオナノマシンのイメージング

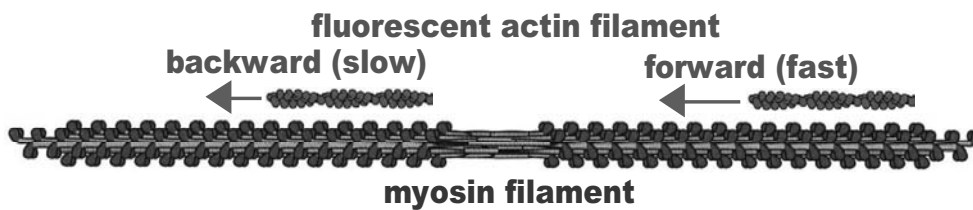
茶園 茂

ナノ物質, ナノデバイス班

従来のバイオナノマシンの研究では、少なくとも 100 兆個の分子の平均値を測定する生化学、あるいは生物物理学的手法が主流であった。しかしながら、100 兆個のバイオナノマシンと ATP との反応サイクルにおいて、それら 1 個 1 個の反応サイクルが同期しているわけではないので平均値はバイオナノマシンの真のコンフォメーションを現していない。したがって、1 分子計測が必要となる。ここでは 1 分子イメージングの前段階としての多分子イメージングによる生体分子モーター作動原理の研究と 1 分子イメージングによる細胞膜上受容体蛋白の研究を行った。

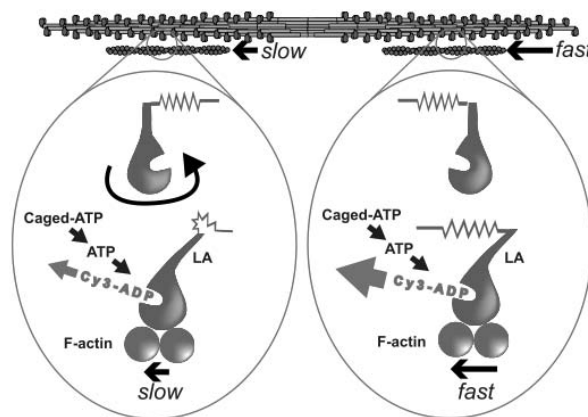
### 1. 多分子イメージングによる生体分子モーター作動原理の研究

ミオシンフィラメント上を滑る蛍光標識アクチンフィラメントの動きを蛍光イメージング法で解析した。図のようにアクチンフィラメントはミオシンフィラメントの端から中央に向かって (forward) は速く滑り、中央から端に向かって (backward) はゆっくり滑ることがわかっている。しかし、その理由はわかっていなかった。ここでは、滑り速度の温度依存性を調べ、アレニウスプロットからそれぞれの活性化エネルギーを計算した。その結果、forward と backward の活性化エネルギーはそれぞれ 44k kJ/mol, 79 kJ/mol であった。これらの結果は 180° ひねられたミオシンの頭がアクチンフィラメントを逆方向に動かすと仮定すると、ミオシンの頭がひねられる遷移は熱揺動エネルギーでなされていることを示唆している (Biochem. Biophys. Res. Commun. 2010, 396, 593-542)。



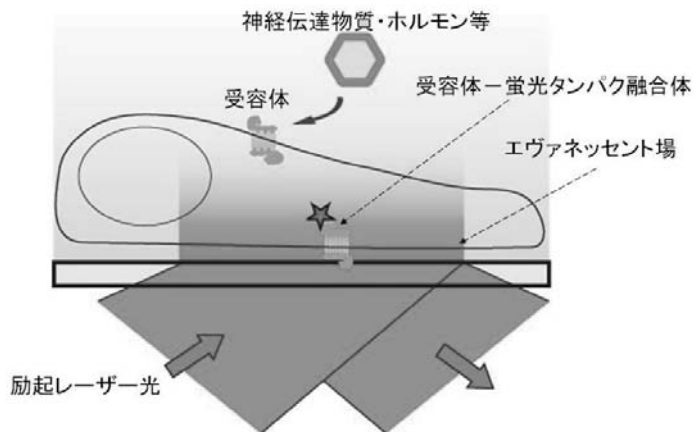
### 2. 生体分子モーターATP 分解反応のイメージング

上記 1 の結果から 180° ひねられたミオシンの頭がアクチンフィラメントを逆方向に動かしており、ひねられることによって ADP 遊離速度を低下させ、ATP によるミオシンのアクチンからの解離を遅くしているために滑り速度が減少していることが示唆された。しかしながら、ADP 遊離速度が backward で遅くなっているかどうかは明らかになっていない。本研究ではミオシンに結合した蛍光 ADP を CagedATP の光分解による ATP により chase する実験装置を開発し、chase される速さをイメージングした。結果は forward では速く、backward では遅い蛍光強度の減少を示し、ADP 遊離速度が backward で遅くなっている結果を得た (BIOPHYSICS 2013, 9, 13-20)。



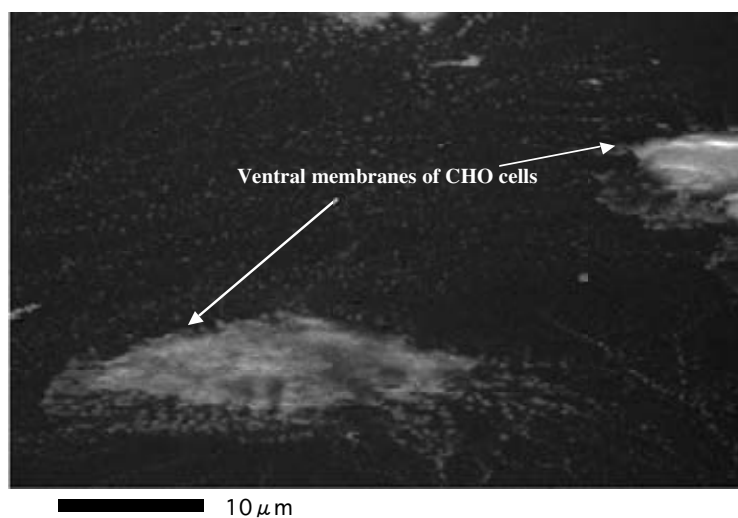
### 3. 1分子イメージングによる細胞膜上の上皮成長因子受容体蛋白の研究

上皮成長因子(EGF)は細胞膜上の受容体(EGFR)に結合し、細胞の成長と増殖の調節に重要な役割を果たす。この EGFR の変異は調節不可能な細胞分裂を起こし、がんを発生させると言われている。この EGFR の細胞膜上の動態を明らかにするために1分子解析をおこなった。生体内観察 (*In Vivo*) では細胞や組織が強い自家蛍光を持っているため背景光を減少させることが難しい。また、細胞や組織は均一でないためノイズ除去が難しい、観察対象分子が自由にブラウン運動しているために空間分布が時々刻々と変化する、等の困難がある。これらの困難を解決するため、より高コントラストを実現する光学系の構築と GFP (緑色蛍光タンパク質) に代わる蛍光ラベル化剤の探索を行い、最も S/N 比が高く、なおかつ蛍光色素の寿命が最も長い蛍光タンパク質として mPlum を見いだした。



### 4. カーボン隔膜による走査型電子顕微鏡で生きたままの細胞をナノメートルオーダーの空間分解能で観察する技術の開発

電子顕微鏡は電子線を試料に照射して、試料の電子線透過率の違い (透過型電顕の場合) や試料から放出される二次電子や反射電子を検出 (走査型電顕の場合) することで像を結んでいる。したがって、電子線が試料へ到達するのを妨げ、二次電子の検出を妨げるような物質が資料周囲に存在しているので観察は困難になる。そのため、電子顕微鏡管内は 10-4Pa 以下の高真空が保たれ、試料に対しては水分を樹脂で置換する等、特段の前処理が必要になる。このような条件下では当然、生きている細胞はもちろんのこと酵素活性を保ったタンパク質などを溶液中で観察することはできない。そこで、我々は生きている細胞やタンパク質の溶液中での挙動を電子顕微鏡で観察可能にすることを目的として、カーボンを真空蒸着して作製した厚さ 20nm の薄膜を高真空環境と大気圧環境の圧力差に耐える隔膜として利用し、その大気圧側表面で細胞を培養し観察することを試みた。図にカーボン隔膜上で培養した細胞を生きているまま走査型電子顕微鏡で観察した像を示す。



## ナノ構造自己集積化基板と超高密度情報記録媒体

塚本新, 伊藤彰義

情報班, 超分子・自己組織班

超高密度記録に関する急激な発展により, 1Tbit/inch<sup>2</sup> の高密度記録の研究が活発化しつつあるが, その実現には今までに無い多くの困難がある. 本研究は, これを解決し, 更なる高密度記録の実現, すなわち 5 Tbit/inch<sup>2</sup> 以上の未踏領域に挑戦するものである. 近年, 大規模情報記録に関する研究分野において, ナノ構造を有する磁性記録媒体が注目されている. 本研究ではナノスケール配列構造を有する磁性媒体を得る手法として, 自己組織/集積化現象を利用し形成した超高密度なナノ構造を表面に有するテンプレート基板の利用を提案し, 検討するものである.

### 1. 自己組織化/集積化現象を離床したナノ・テンプレート基板の形成

「ナノサイズ凹凸周期(15nm 以下)の表面構造を有するテンプレートの作成」を具体目標とし, 図 1, 2 に示すよう, トリブロックコポリマーの自己集積化現象により得られるナノ球状ミセルをスピコート法および自己集積現象により薄膜内にて稠密構造状に配列する事により周期的ナノ凹部を表面に有する基板 (Nano Dent Array: NDA), 図 3, 4 に示すよう, ディップコート法およびナノ球状シリカ粒子の自己集積現象により薄膜・稠密配列化する単層自己集積ナノシリカ球 (Self-Assembled spherical small Silica Particles layer:SASP) からなる 2 種のナノ構造基板につき検討した.

#### 1-1 周期的ナノ凹部構造の形成

1-1-1: 内部に空孔を有するシリカ薄膜の, 広範囲にわたる稠密規則化

トリブロックコポリマーの重合数の調整により, 図 2 に示すナノ空孔径を約 8 nm から約 5 nm にまで減少するとともに, 主に溶液調合手順の見直しにより, 形成される連続した規則配列領域の面積を約 1 μm<sup>2</sup> (8.8×10<sup>5</sup> nm<sup>2</sup> 以上) にまで増大した. 図 5 参照.

1-1-2: 内部に空孔を有するシリカ薄膜の, 薄膜化

多孔質シリカ膜の作製に用いる要素のうち, 高分子ミセルを形成するトリブロックコポリマー(A)・多孔質シリカの主成分であるテトラエトキシシラン(B)・および塩酸+水(C)の比を一定とし, 主に乾燥時に蒸発するエタノール(D)の量を増加する事で空孔 1 層相当の膜厚にまで薄膜化を行った.

2-2: 空孔を含むシリカ薄膜と双対なナノ表面構造の作成

空孔を含むシリカ薄膜と双対なナノ表面構造として, ディップコート法による超微小シリカ粒子 (粒子径約 10 nm~18 nm) 配列膜の作製とそれをマスクとした ICP エッチングにより, 熱酸化 Si 基板上への転写構造の作製に成功した.

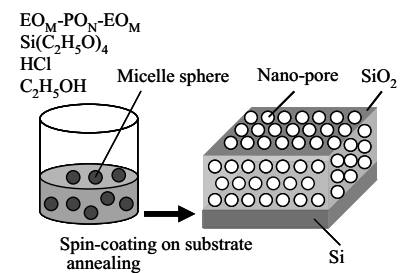


Fig. 1 Fabrication of SiO<sub>2</sub> thin films having self-assembled nano-pores.

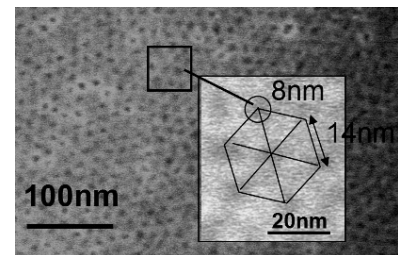


Fig. 2 SEM image of NDA (Nano Dent Array) surface.

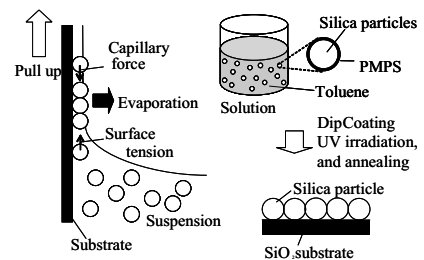


Fig. 3 Fabrication of SASP (Self-Assembled spherical small Silica Particles) layer.

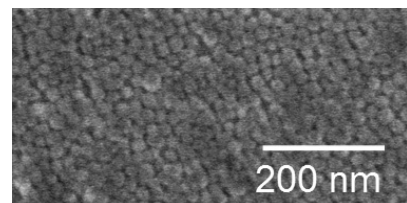


Fig. 4 SEM planer view of SASP (Self-Assembled spherical small Silica Particles) surface.

## 2. 急速昇温加熱処理法による孤立ナノ磁性微粒子形成

熱酸化 Si 基板上へ成膜した Fe/Pt, Fe/Cu/Pt 多層膜に急速昇温熱処理 (Rapid Thermal Annealing:RTA)を行う事により,  $L1_0$  型規則合金化した孤立微粒子結晶 (最小粒子径約 7 nm) が得られること, また, 前述のように自己組織/集積化現象を利用し作成した多孔質 Si 基板を下地として利用し面内粒子数密度を著しく増大できる事を報告した. 一方, 結晶粒の再結合による粒径増大を抑制するため RTA の後, 新たに急速冷却過程を導入し多結果, 結晶粒サイズの増大を抑制が可能な一方, XRD プロファイルにおいて不規則相に相当する新たなピークが出現する事, 単一粒子の電子線回折より c 軸配向した  $L1_0$  規則合金を核として微粒子が形成されている事を明らかとなった. そこで, 本提案急速昇温結晶化処理による高磁気異方性 FeCuPt 規則合金微粒子形成手法につき, 詳細微細構造観察により明らかとなった課題である単結晶化についても検討を行った.

高い磁気異方性を有する垂直磁気記録媒体として, FeCuPt 磁性微粒子には粒子サイズだけでなく,  $L1_0$  規則相の単結晶かつ磁化容易軸 (c 軸) が膜面垂直である事が望まれる. そこで  $L1_0$  規則合金を核とした粒子内部で原子拡散を起こし, 単結晶化を誘導することを目的に, 追加熱処理を行った. 熱処理は RTA と同様の真空雰囲気中で, Fe の拡散距離に留意し  $600\text{ }^\circ\text{C}$ , 1 h にて行った. 追加熱処理前後の XRD プロファイルを図 6 に示す.  $L1_0$  規則相の存在を示す(001)超格子ピーク強度の増大とともに(002)ピークの対称性が良くなり, 低角側に存在したショルダーピークの強度が減少した. また追加熱処理前後において平均粒径の変化が約 0.5 %であり, 粒子結合のような表面形状の変化はほとんど見られなかった. さらに単一磁性微粒子の詳細構造の検討を行った. 図 7 に追加熱処理後の面内 TEM 像及び電子線回折像を示す. 4 回対称の{200}および{110}超格子に属する同一グループをなす回折スポットのみが存在することが確認された. これらより, 広域計測である XRD 計測および局所計測である電子線回折の相補的結果より, これら粒子は  $L1_0$  規則相を有する単結晶であり, 膜面に対し c 軸配向している事が分かる. 上記より, ナノ磁性粒子を形成した後, 適切な追加熱処理を行う事で単結晶 FeCuPt 規則合金微粒子が形成可能である事を見出した.

## 3. 高面内磁性微粒子密度の達成度

急速昇温加熱法を用いた高磁気異方性 FeCuPt 規則合金微粒子形成において, 自己組織/集積形成ナノテンプレート基板を用いる事で, 完全孤立磁性微粒子の面内粒子数密度を著しく増大し,  $5.4\text{ T particles/inch}^{-2}$  を得た. また, 急速昇温加熱法の詳細検討から, 所望の体積の孤立磁性微粒子を形成する際, 製膜熱処理プロセスを複数回に分ける事により, 微粒子化, 高粒子数密度化が可能である事を見出し, 平坦熱酸化 Si 基板上でも平均粒径約 10nm において面内粒子数密度約 4 倍の増加により  $3.2\text{ T particles/inch}^{-2}$  を得た.

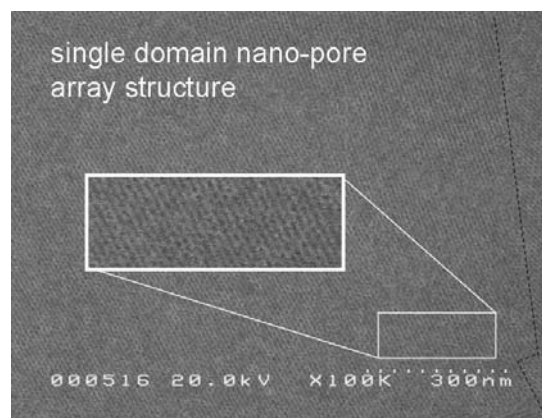


Fig. 5 SEM image of sirica thin film having nano dent array structure.

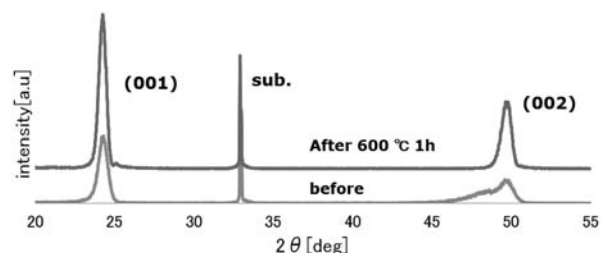


Fig. 6 XRD profiles of before and after the additional annealing

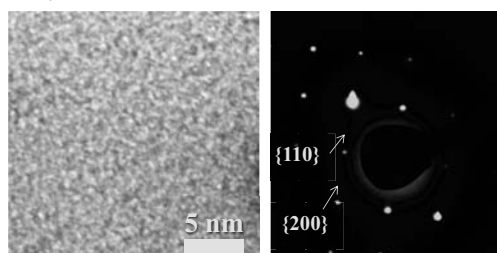


Fig. 7 Bright field image of TEM and Electron diffraction pattern for an isolated grain after additional annealing.

## 光誘起超高速磁化反転と超高速情報記録

塚本新

情報班, 超分子・自己組織班

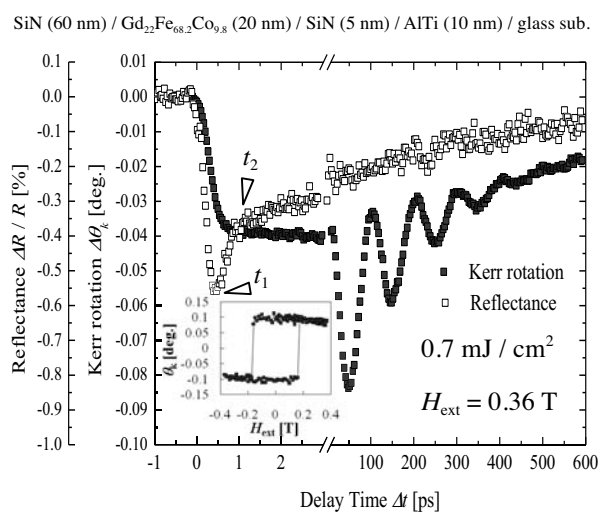
近年, 大規模情報記録に関する研究分野における最も重要な課題の一つとして記録スピードの高速化が挙げられる. ハードディスクに代表される磁気記録では, 磁性記録媒体内の集団スピンである磁化の向きを磁界によりスイッチングすることで情報記録を行うが, 既に物理的に不可避な強磁性共鳴限界と呼ばれる高速化の限界に迫り, 根本的解決策がないまま模索が続いている. 従来主として短時間磁場パルスや電流パルスにより磁化反転が駆動されているが, 遥かに短い時間スケールの超短パルス光照射が, 磁化反転を誘起するトリガーとなり得る事につき検討を行ってきた. これは, 飛躍的超高速記録への可能性を示すものである. 本研究では, このような光と磁気の相互作用を積極的利用し, 新規な超高速スピン制御法, 情報記録原理を明らかにする事を目的とする.

### 1. 超短パルスレーザーによる磁気記録媒体の超高速減磁効果

従来型のナノ秒パルスレーザーを用いた光照射加熱による光磁気記録において, 加熱・冷却過程の時定数は多層媒体構成に起因した熱散逸特性に大きく依存する. これら加熱・冷却特性の速度限界を明らかにする事は, 高速熱アシスト磁気記録において重要な課題の一つである. フェムト秒パルスレーザーは上記熱拡散時定数に比べ非常に短時間の光照射で磁性体を励起することが可能である. 本研究では, 20 nm 厚 GdFeCo 磁性薄膜に対し, 中間誘電体層, 熱拡散金属層の有無等種々の層構成からなる媒体を対象とし, 超短時間レーザー照射誘起超高速減磁現象の層構成依存性につき検討した. レーザー光照射後, 磁気応答の様子から二つの時間領域を見出した. 光照射直後の急峻な階段状減磁過程および, それに続く歳差運動を伴う磁化回復過程である. 図1は超短パルス光照射による 20 nm 厚 GdFeCo 磁性膜の超短時間磁化応答を全光型ポンプ・プローブ法により計測した結果である. 磁性層内磁化状態に相当する Kerr 回転角の変化と同時に電子温度の時間変化をモニターするため反射率変化率  $\Delta R / R$  を計測した.  $\Delta R / R$  より, 電子温度は図中  $t_1$  ( $\Delta t \sim 0.5$  ps) で最大となり,  $t_2$  ( $\Delta t \sim 1.1$  ps) で格子温度と平衡状態に至る. 階段状減磁過程はほぼ層構成に依存せず, 時定数は約 100 fs, いずれもサブ ps で準安定状態へ達する事を確認した. この時間スケールは, 強磁性共鳴周期 (例として, 共鳴周波数 1 GHz において周期 1 ns) に比べ非常に短いものである. 一方, 続く数百 ps 時間領域での歳差運動過程においては層構成依存性を生じた (*J. Magn. Soc. Jpn.*, 2012). 上記現象は, 電子系から格子系への熱 (エネルギー) 拡散時定数よりも短いレーザー光照射により生じた非平衡非断熱過程によると考えられる. また, 単一超短パルスレーザー照射のみで, 熱磁気記録が可能であることを実証した.

### 2. 超短パルスレーザーによる全光型磁化反転磁化反転現象

フェムト秒パルス・レーザーにより励起されたフェリ磁性 GdFeCo 合金におけるスピンドイナミクスの詳細検討により,



**Fig. 1** Time-evolutions of the change of magneto-optical Kerr rotation  $\Delta\theta_K$  and the normalized change of reflectivity  $\Delta R / R$  of 20nm thick  $Gd_{22}Fe_{68.2}Co_{9.8}$  alloy films. Inset figures show the magneto-optical Kerr effect hysteresis loops of each sample measured by same time-resolved observation set-up without pump laser.

予期せぬスピン反転過程を見出した(*Nature* 2011). 基底状態で反強磁性的に結合した副格子スピン集団が反転する過程において過渡的強磁性状態が出現する現象である. 強い非平衡下での新奇なスピンドायナミクスが発見により, 新奇な磁化反転機構をもたらす可能性が期待される. 上記検討では直流磁場印加のもと, 磁化補償点を越える超短パルス加熱により誘起される磁化反転過程を詳細に検討したが, さらに検討を進めた結果, 磁化反転に磁場は必要なく熱エネルギーの供給のみで達成できる過程が存在する事が明らかとなった(*Nature communications* 2012). 今日まで, 加熱は(ベクトルで表現されない)磁化反転を補助する事はあっても, それ自体で決定論的な磁化反転を引き起こすことは無いものと一般には考えられてきたが, 超高速加熱のみにより, 決定論的な磁化反転を引き起こす新奇な磁化反転現象である. これまで同様対象材料として GdFeCo 磁性薄膜を用いた. パルス長 90 fs の単一パルス光を照射する毎に照射位置を移動しながら観察した照射前後の磁気光学像を図 1 に示す. 複雑な構造の初期磁区状態においてもパルス光照射により円形領域内の磁化方向が逆転した磁区構造が形成されるのを確認した. また, (円偏光) 偏光によらず本現象を引き起こせる事を確認した. 技術的応用上重要な点として, このような反転現象が室温環境下で生じ得ることを実証した事である.

### 3. 偏光依存全光型磁化反転現象の起源

本研究計画の核をなす GdFeCo フェリ磁性合金において実証実験を行った外部印可磁場を必要としない偏光依存全光型磁化反転現象 (AO-HDS: all-optical light helicity-dependent magnetic switching) は, 今日の磁性物理研究分野における激しい議論のテーマとなった. 最も明らかと思われた逆ファラデー効果 (IFE: inverse Faraday effect) による説明では, これまで観察した種々の特徴を定性的にしか説明できず, AO-HDS の起源は長く未解明であった.

本研究において, GdFeCo フェリ磁性体における円偏光 (CP: circular polarized light) フェムト秒パルスレーザーによる AO-HDS は, 正味の磁化ではなく副格子磁化に相関がある事を見出し, さらに, 円二色性 (MCD: magnetic circular dichroism) に基づく AO-HDS の説明を導いた. フェムト秒パルスレーザー励起と磁気光学顕微鏡により,  $Gd_x(Fe_{87.5}Co_{12.5})_{100-x}$  に対する AO-HDS の組成依存性(X:22~27)を観察した. その結果, 反転した正味の磁化方向と照射光のヘリシティの関係は, 磁化補償組成  $C_M$  (X~24.5)を挟み符号が反転するのを見出した. また, フェムト秒パルスレーザー光に対する MCD の符号も  $C_M$  を挟み反転する事を確認した. これは, IFE により CP 光が実効的磁場パルス ( $H_{OM}$ ) として働くという仮定では説明できない. 正味の磁化に働く  $H_{OM}$  の方向は入射光のヘリシティにより決定されるため, 上記結果は IFE による描像とは一致しない. 一方, 第2節で述べたように, フェリ磁性体への超短時間加熱により副格子磁化構造に起源を持ち磁化反転を誘起する事が可能である. 上記の結果は, 副格子磁化構造を有する磁性体が MCD による偏光依存光吸収特性により, 偏光依存磁化反転を生じるものと考えたと実験事実と対応する事を示している. (*Springer Verlag*, 2014)

これまで GdFeCo 金属フェリ磁性体への円偏光照射により, 全光型の磁気情報記録が可能であることを示してきたが, さらに, 高磁気異方性を有する TbFeCo 磁気記録媒体においても超短パルス円偏光により磁化反転が可能である事を明らかにした.

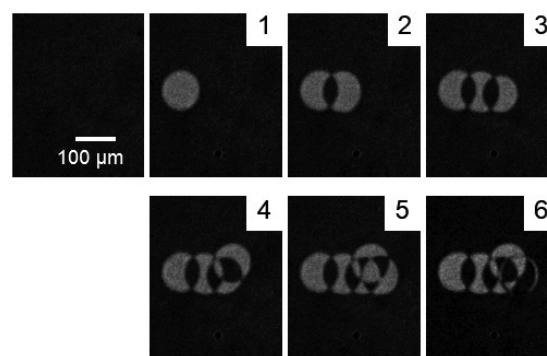


Fig. 2 Magneto-optical image of magnetic domains after single pulse laser irradiations.

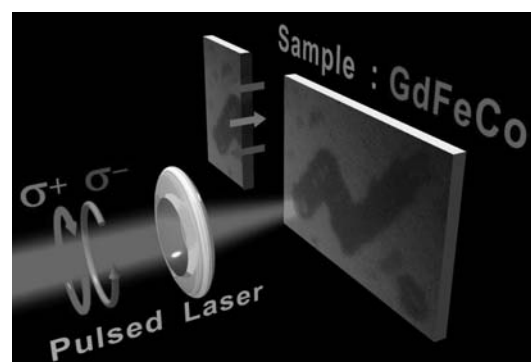


Fig. 3 The demonstration of all-optical information recording on magnetic media.

超高密度超高速記録の基盤研究  
-近接場光利用による熱アシスト磁気記録-

中川活二  
情報（記憶）班

近代を支える情報インフラストラクチャでは、情報処理、情報通信と同時に情報記憶が重要な要素である。本研究では、如何に空間的に高密度に情報を記憶するかについて研究を行い、近接場光を使った次世代磁気記録の手法として、熱アシスト磁気記録の研究を行った。この研究成果は、高速記録の機能を備えた特許出願 2010-161996 に結びついただけでなく、2013 年には日本磁気学会で論文賞としても表彰された。

1. 熱アシスト磁気記録

熱アシスト磁気記録方式では、近接場光による加熱によって熱安定性の高い媒体に記録を行うものである。記録ビットサイズが近接場光に強く依存するため、アンテナの形状や記録媒体構造を適切に設計する必要があり、また媒体温度の空間分布と加熱・冷却過程を把握することが極めて重要である。そこで本検討では、直線偏光入射の近接場光による加熱方式における媒体の温度分布及び加熱・冷却過程の解析を行った。

孤立した磁性ドット微粒子が規則的に配列した構造の媒体（BPM: Bit patterned medium）を用いることにより、数十ナノメートル程度の粒子のみを効率良く加熱可能であることを示した。従来の薄膜状の媒体構造（CM: Continuous medium）では局所的に加熱することが困難であった。近接場光発生アンテナを用いて 1 ns 加熱した各媒体（CM と BPM）の温度分布を Fig. 1 に示す。CM では最大 10°C 程度しか昇温しておらず、分布もブロードである。一方、BPM においてはアンテナ先端部直下の X = 0 [nm] 近傍において、最高 140°C 程度まで加熱されている。また温度分布は、粒子構造を反映したステップ形状を示し、粒子径に対応して急峻な変化が得られている。媒体平面内における温度分布を Fig. 2 に示す。近接場発生アンテナの先端部直下の粒子のみが効率よく加熱されている。

粒子を直方形状に配列させた BPM にお

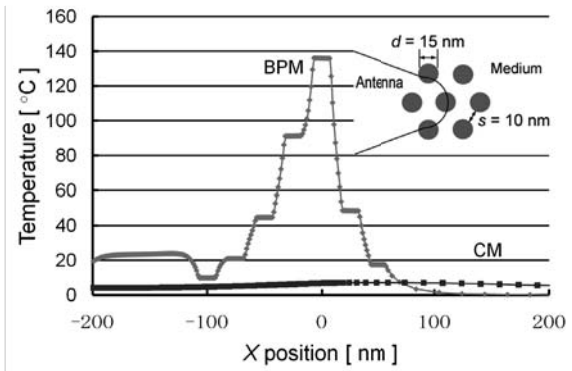


Fig. 1 Temperature distributions of continuous medium (CM) and bit patterned medium (BPM).

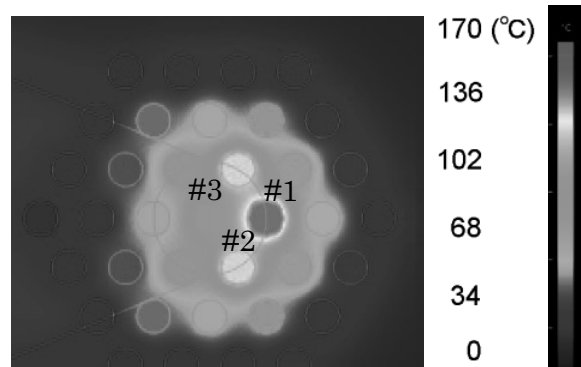


Fig. 2 Temperature distributed diagram parallel to X-Y plane of bit patterned medium (BPM).

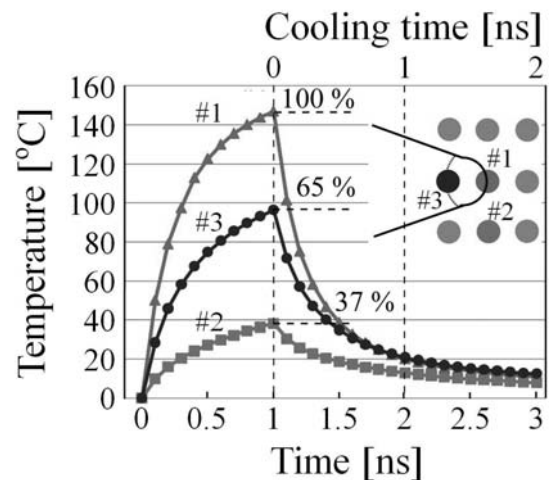


Fig. 3 Temperature of three columns (#1, #2, and #3) as a function of time. Media was BPM with rectangular arrangement.

けるアンテナ先端部周辺粒子の昇降温変化を Fig. 3 に示す. 記録粒子は 140°C 程度まで加熱されているのに対し, 隣接する粒子の温度はその 65% 程度の 100°C 以下に抑制されている..

## 2. 熱アシスト磁気記録実験

磁気記録媒体上に 5nm の誘電体膜を介して近接場アンテナを配置し, プロジェクトメンバー (塚本) の協力により, フェムト秒レーザ加熱による記録実験を行った.

Fig. 4 は, 棒状のプラズモンアンテナを配置してフェムト秒レーザで記録した結果で, 棒状アンテナの端部や数字マークの上下の部分に, 局所表面プラズモンによる近接場光で記録された磁区が観察される. この成果は, プロジェクトメンバーである中川, 芦澤, 塚本, 伊藤, 大貫の連名で, 日本磁気学会誌 (J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 37, 119-122 (2013)) に発表し, 平成 25 年度の論文賞を受賞した.

上記の最小記録磁区サイズは, 166 nm × 120 nm であり, さらに記録サイズを低減するため, プロジェクトメンバー (羽柴) の協力を得て電子ビーム露光技術を向上し, より小さな正方形プラズモンアンテナを形成した実験を重ねた. Fig. 5 に新に行った実験結果を示す. 観測された最小磁区は 120 nm × 84 nm であり, プロジェクト目標の 60% を達成した. さらに目標値まで微細化を実現できることがシミュレーションにて解明されており, 今後も実験を重ねる.

## 3. 光誘起超高速磁化反転記録

プロジェクトメンバーである塚本・伊藤らが見いだした光誘起磁化反転現象は, 磁気記録の記録速度を 10 万倍高速化できる未来の超高速磁気記録を実現できる. この手法を高密度化する研究を大貫准教授と協同で進め, 近接場光を用いて金属電極と記録媒体との間に局所的に円偏光を発生させる方法を見いだした. 4 回対称性の十字アパチャを用いることで, アパチャ中心位置に局所的に円偏光を形成することができる. また, 媒体構造を従来の連続構造ではなく, 立方配置に整列させた孤立微粒子媒体とすることにより, 粒子媒体内に円偏光を伝搬可能であることを示した. さらに, 十字アパチャの形状を改善したクローバアパチャを考案し, 記録を行う粒子と周辺粒子との電界強度差を拡大し, 記録を行う粒子のみに高い強度の円偏光を生成可能であることを示し, 特許申請した (特許出願 2010-161996). (図 6 参照)

シミュレーションによる表面プラズモン励起の過渡応答現象の解析手法を検討し, 大貫准教授の協力により, ナノスケールの分散性媒質に適用可能でかつ計算精度の保証が可能な電磁界過渡解析手法を開発した. これにより, 三次元任意形状物体のプラズモン共鳴周波数の推定や過渡応答解析を可能とした.

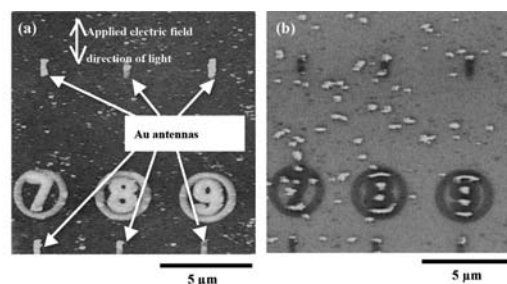


Fig. 4 Surface morphology (a) and written magnetic domains (b) observed by magnetic force microscope for rod plasmon antennas.

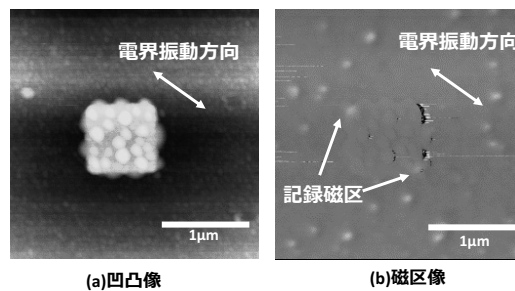


Fig. 5 Surface morphology (a) and written magnetic domains (b) observed by magnetic force microscope for square plasmon antennas.

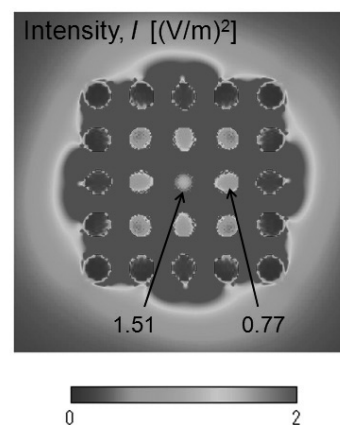


Fig. 6 One of simulation results calculating optical intensity distribution for patterned media.



## 化学、生物学、物理学の融合による新規癌治療戦略

永瀬浩喜  
医療班

我々は、医療班福田グループと理工学部の大月グループとの連携によりケミカルバイオロジーを利用した疾病特にがんの診断・治療の試みを行ってきた。以下に取り組みを記載する。

### 1. MYCN 下流遺伝子を標的としたピロール・イミダゾール (PI) ポリアミドによる神経芽腫治療

神経芽腫は脳腫瘍に続いて小児で頻度の高い固形腫瘍であり、その予後は未だ不良である。予後不良群では MYCN 遺伝子の増幅や発現上昇がみられ神経芽腫の治療標的として注目されてきた。我々は MYCN が制御する下流遺伝子の発現を抑制する薬剤を開発することで神経芽腫の治療ができると考え、*N*-methylpyrrole(P) および *N*-methylimidazole(I) で構成され DNA の 2 重らせんのマイナーグループに結合する PI ポリアミドを MYC 遺伝子が結合する E-BOX 配列に複数設計し、その効果を検討した。E-Box とその周囲配列を認識する 5 種類の PI ポリアミドを合成し検討したところ、神経芽腫に対する著名な効果を示す化合物は得られなかったが、MYC5 は、リンパ腫細胞株で腫瘍増殖抑制効果を示し、MYC の下流遺伝子である E2F4G や Cyclin D の発現抑制を示し、マウス移植腫瘍で有意な腫瘍増殖抑制と細胞死の誘導が確認された。この成果はアメリカ癌学会の *Molecular Cancer Therapeutics* 誌で査読中である。

### 2. PI ポリアミド-SAHA 融合分子による標的領域特異的なヒストン修飾の調節

遺伝子は配列情報に加え DNA のメチル化やヒストン修飾が変化するエピジェネティクスにより制御されている。癌細胞においてもエピジェネティクスな変化が癌関連遺伝子の発現を調節し重要な役割を演じていると考えられている。我々は、京都大学の杉山弘教授グループとの共同研究でヒストン脱アセチル化酵素 (HDAC) 阻害剤と PI ポリアミドの複合体を合成し、HDAC 阻害剤である Suberoylanilide hydroxamic acid (SAHA) を p16 のプロモータゲノム領域に送達させ、標的 p16 のプロモータ配列領域近傍のヒストン H3 蛋白質のアセチル化を誘導することを明らかにした (*Tetrahedron Letter* 50 (52): 7288-7292, 2009.)。ヒト子宮頸癌細胞株への投与により細胞増殖を抑制する事が確認され、標的配列にヒストンアセチル化を効果的に誘導した。PIP-SAHA の特定のゲノム領域を選択的にアセチル化する性質を利用し、さらに皮膚細胞から幹細胞 iPS 細胞を作成することに取り組んでいる。

### 3. がん遺伝子の活性化点変異を標的にした DNA 結合型 PI ポリアミドアルキル化剤

大腸がん治療における現在最も問題となっていることが KRAS がん遺伝子の変異を持つ大腸がんに対する治療である。FDFR からのシグナル伝達パスウェイは大腸がんで重要であり、実際に EGFR に対する抗体薬セツキシマブは、KRAS 野生型の細胞で増殖抑制効果を示す。ところが KRAS 変異を持つがん細胞では逆にセツキシマブは増殖抑制を見せるところか増殖を促す傾向が見られている。KRAS 変異は転移症例に多くみられ特に頻度の高い G12D,G12V の変異は全体の 50%以上を占め、米国での類推で年間 3 万人を超え、日本でも大腸がん患者は増加見込みである。

そこで KRAS のコドン 12 を標的とした PI ポリアミド secoCBI を合成し、G12D の変異をヘテロに持つ細胞株 (LS180 細胞 12D・Wt および 12D・Wt) で KRAS 変異アレル特異的な発現抑制と細胞老化および細胞死が誘導されることを確認した。さらに異種移植マウスにおいて、LS180-および G12V 変異をホモにもつ細胞株 SW480 に対し、PIP-セコ CBI による統計的に優位な腫瘍増殖抑制をしめした。このことは、がんドライバー遺伝子の変異を標的にした様々な治療薬の開発が可能であることを示唆し、今後研究の発展に期待している。

## 高度量子情報通信へ向けた要素技術の開発

行方直人  
情報班

現代物理学の基礎である量子力学に基づく新しい情報通信技術は量子 ICT (Information & Communication Technology) と呼ばれ、(1) 将来のどんな技術でも解読できない情報安全性保障の実現と (2) 低電力による大容量伝送の実現を目指している。(1) は量子暗号通信により実現できる。(2) は既存の光通信技術に量子計算を組み込むことにより実現でき、究極のエネルギー効率と帯域効率で最大の情報量を伝送するグリーン ICT の最終形態と言える。これら 2 つの情報通信技術は、急速に発展する高度情報化社会に生きる我々の生活基盤となる。本研究では、量子 ICT の基盤技術の開発を行った。

### 1. 光子検出技術の開発

量子 ICT において最も重要な基盤技術は光子検出技術である。既設光ファイバ網を利用した量子ネットワークを実現するためには、光ファイバ最小光損失波長帯である 1550 nm 帯における高感度かつ低雑音な光子検出技術が必須となる。簡便かつ実用的な化合物半導体素子である InGaAs/InP のなだれフォトダイオード (APD) を用いた。InGaAs/InP-APD を用いた光子検出器の最大の弱点は高いアフターパルス雑音計数と低い繰り返し周波数である。本研究では、ゲート用電圧に正弦電圧を用いる「正弦電圧ゲート動作」(以下 SG) 手法を提案し、それによる低アフターパルス雑音計数かつ高繰り返し周波数を実現した。最終的に、(ゲート) 繰り返し周波数は従来の 3 桁近い改善となる 2 GHz を達成し、アフターパルス確率 $\sim$ 3%、単一光子検出効率 10%以上、暗計数確率  $10^{-7}$  を達成した (*IEEE Photo. Tech. Lett.* 2010; *Opt. Express* 2011)。また、SG 手法はシリコン (Si-) APD にも応用し、極めて高いなだれ降伏確率 (97.6%) を実現した。本結果は、Si-APD による可視域単一光子検出において、光子検出効率を決定する量子効率以外の要因を極めて高効率化できることを意味し、超高効率光子検出の可能性を示唆している。(*Appl. Phys. Lett.* in press)。

高度な量子 ICT では、同時入射される光子数を識別することが要求されが、上記の単一光子検出器は光子数識別能を持たない。よって、我々のグループは産総研と共同で光子数識別能を有する光子検出器、「光子数識別器」の開発も行った。チタン薄膜を用いた超伝導転移端センサ (Ti-TES) を開発し、1550 nm 帯における 80%以上の光子検出効率、0.2 eV 以下の高光子数分解能を達成した。開発した Ti-TES は連続量子状態の量子光制御 (測定誘起高次非線形操作) へ応用し、通信波長帯における非ガウス状態 (2光子引き抜きスクイーズド状態) の生成に成功した (*Nature Photonics*, 2010, 図 1)。

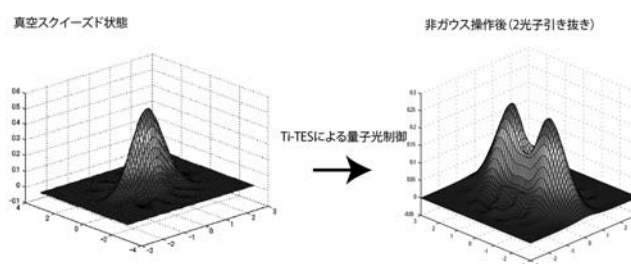


図 1. 非ガウス状態の Wigner 関数

### 2. 量子鍵配送実験

前述のように SG 手法によって動作させた InGaAs/InP-APD は高速、高効率かつ低雑音な通信波長帯単一光子検出を実現する。それを用いた量子鍵配送実験を実施した。量子鍵配送系には NTT 物性科学基礎研が開発した差動位相シフト量子鍵配送 (DPS-QKD) システムを用いた。システム動作速度は開発した光子検出器の最大繰り返し周波数である 2GHz とした。本系で量子鍵配送実験を行ったところ(実験結果を図 2 に示す)、通信可能な距離は 160km であることが解り、これまでの InGaAs/InP-APD を用いた光子検出器による量子鍵配送実験に

においては、最大となった。100km 通信実験においては安全鍵配布率 24 kbps を記録し、2007 年に超伝導素子を用いることによって得られた 17 kbps という記録を塗り替えることに成功した (*Opt. Express*, 2011)。また、10 km と短距離であれば 1 Mbps を超える高速量子鍵配送も可能であることも明らかとなった。

本実験により都市圏光ファイバネットワークにおいては実用的なシステムによって量子鍵配送が可能となったことが明らかとなった。その一方で、今回用いたような単一光子伝送による量子鍵配送方式はさらなる長距離伝送 (>400km) が理論的にも困難である。よって、後述する量子中継技術を用いて長距離量子鍵配送が可能となる量子もつれ光子対を用いた量子鍵配送システムの開発も行った (図 3)。

### 3. 量子中継技術の開発

長距離量子鍵配送を実現するためには量子中継技術が必須となる。量子中継は、量子もつれ交換、量子メモリ (ストレージ、バッファ)、量子非破壊測定 の 3 つの要素技術からなる。

まず、高忠実度量子もつれ交換技術の開発を行った。これまでに可視光領域における原理検証実験に関する報告は多数あるものの、光ファイバ通信への応用を前提とした実験的研究は数例のみである。それは強い識別不可能性を持つ通信波長帯量子もつれ光子対発生とその検出技術の困難さに起因する。本研究では、それら技術的課題を克服し、高忠実度量子もつれ交換技術を通信波長帯で実現することを試みた。

周期分極反転ニオブ酸リチウム (Type-II 型位相整合) をフェムト秒レーザーで励起することで、時間的、空間的、スペクトルの (中心波長:1550 nm, 帯域幅:5 nm) に識別不可能な量子もつれ光子対の発生に成功した。その量子もつれ光子対発生系を 2 つ用意し、量子もつれ交換実験を実施した。量子もつれ交換後の量子もつれ純度  $\sim 0.9$  を実現し、これまでの通信波長帯における記録 ( $\sim 0.75$ ) を大きく更新した (*J. Phys. B*, 2013)。また、その量子もつれ純度は量子もつれ交換を通した後も量子鍵配送が可能となる水準であり、長距離量子鍵配送実現に向け大きく前進したと言える。

前述の実験では、量子もつれ交換成功確率は  $10^{-6}$  と非常に低く、その高効率化が大きな課題である。量子メモリ (ストレージ、バッファ) 技術がそれを克服するための鍵となる。今回、ファイバパススイッチによる単一光子バッファの開発に着手した。図 4 に示されるように光ファイバと低損失光学素子によって構成されるため、非常に簡素かつ低損失であり、能動的な操作なしに量子状態 (偏波) を保持したままプログラマブルな時間遅延を与えることが可能である。

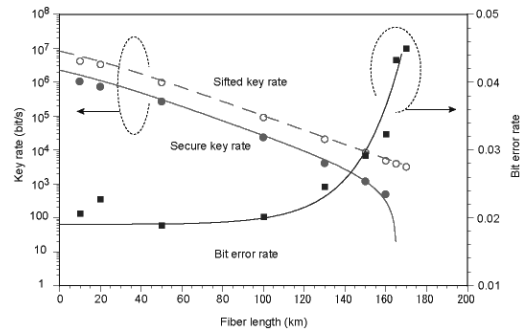


図 2. 通信距離と鍵配布率の関係

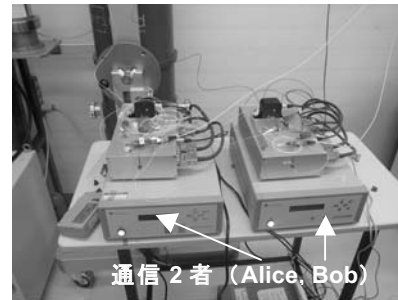


図 3. 偏波量子もつれ量子鍵配送システム

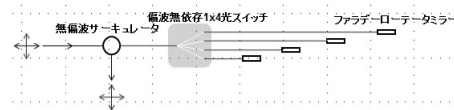


図 4. 光スイッチを用いた単一光子バッファ

まとめ

光子検出器の高性能化を基礎として量子鍵配送、量子光制御、量子もつれ光子対生成、量子もつれ交換など量子 ICT に必須となる基盤要素技術の開発を広範に行った。

## 革新的水素貯蔵用ナノ複合化技術の開発

西宮伸幸

エネルギー班

水素吸蔵合金は、原子状に解離された水素をその格子間空隙に取り込む機能を有するが、その空隙を適切に設計したり、空隙に水素が収容される前段階の表面吸着部位を光などの外部刺激で活性化したりすることにより、従来にない革新的な水素貯蔵挙動の発現が期待される。また、空気に触れると失活し、時には自然発火することもある水素吸蔵合金を、伸縮性のある水素選択透過膜で被覆すると、混合ガスとして産生される水素を選択的に回収することが可能となり、再生可能エネルギー由来の水素の活躍の場が広がる。本研究では、水素吸蔵合金のナノ空間の設計を意識したナノ複合化技術を開発し、N.研究プロジェクトの研究者との連携によって、エネルギー分野への応用を検討している。

### 1. 空気や水が共存する環境への耐久性を水素吸蔵合金に付与するカプセル化処理の応用

水素分離膜としての機能を有するシリカ膜にシリコン前駆体をブレンドし、これを水素吸蔵合金の表面に 20 nm 程度の厚みで塗布することにより、耐環境性を有する水素吸蔵複合体を作成した。水素吸蔵合金は水素吸蔵時に 20%ほどの体積膨張を起こすが、シリコン成分の共存効果により、表面皮膜の割れが防止できる。ZrVFe 合金を用い、常圧の爆鳴気を室温で吸蔵させ、真空中で加熱して水素を脱離させると、カプセル化処理合金は繰り返し 3 回の水素吸蔵-放出サイクルで全く変化を見せなかったが、カプセル化処理を施していない合金では 2 回目以降水素吸蔵が見られなかった。酸素に対する水素吸蔵合金の耐久性の差は歴然としている。

シアノバクテリアが水素を産生する現場にカプセル化処理を施した水素吸蔵合金を共存させると、気相の水素分圧は合金非共存のときよりも低下する (図 1, 19th WHEC, 2013)。実際、図中の点線よりも下方にシフトした分以上の水素が合金に吸蔵されており、吸蔵分を真空加熱抽出法で定量して気相の分と合算すると、合金共存時の水素量は非共存時の 7 倍を超える。バイオ水素生成反応の生成系から水素を除去したことによって、水素生成反応の平衡が水素生成側に移動したためと考えている。

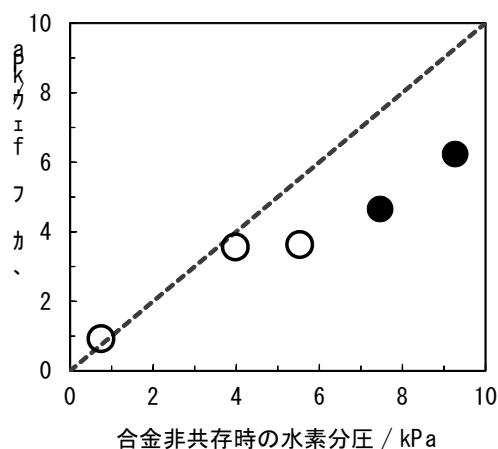


図 1 バイオ水素産生時の水素分圧に及ぼす合金の効果

●:アナベナー-ZrVFe 系

○:スピルリナー-(Ti<sub>0.5</sub>Zr<sub>0.5</sub>)(Fe<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>)<sub>1.5</sub>系

### 2. 光刺激水素吸蔵・光刺激水素放出

(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.8</sub>)(Fe<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>)<sub>1.5</sub>のような六方晶合金に 352 nm の紫外線を空气中で照射すると、室温、1 MPa における水素吸蔵量が 20%程度増加した。紫外線照射時に酸化タングステンを共存させると増加率が 60%程度となり、雰囲気を変えるとさらに増加率が増すことから、光照射によって合金表面に含窒素官能基が生成して水素の取り込みを促進しているものと考えている。

真空中で加熱脱水素させる際に紫外線照射を行うと、LiBH<sub>4</sub>および MgH<sub>2</sub>では単体の時でも水素放出温度が低温化されるが、酸化タングステンなどの光触媒を共存させるとその低温化の程度が強くなる。(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.8</sub>)(Fe<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>)<sub>1.5</sub>のような六方晶合金の場合は、単体では紫外線照射効果が認められないが、特定の光触媒と組み合わせると低温化が起こる。

水素放出温度の低温化は触媒添加でも実現することができ、たとえば MgH<sub>2</sub>に Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>触媒を加えると、もともと 130°Cおよび 400°C付近から 2 段で開始していた水素放出が 60°Cおよび 200°Cへ低下するが、さらに酸化タングステンを加えて紫外線照射すると低温側の水素放

出が見られなくなる。Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>触媒による低温化効果を紫外線照射によって打ち消すことが可能ということになり、触媒機能の ON/OFF を光によって行うことの端緒が得られたと言える。

### 3. 液体窒素温度での水素のスピルオーバー

高比表面積材料に水素を低温で物理吸着させて貯蔵する場合、水素は 1 分子あたり 0.1575 nm<sup>2</sup> の面積を占める。グラフェンの片面でこのような規則正しい吸着が起こると、組成は C<sub>6</sub>H<sub>2</sub> となり、水素貯蔵密度は 2.7%となる。もし、水素が原子状で吸着すれば、表面組成は C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> となることが期待され、水素貯蔵材料として有望である。水素を原子状に解離することができれば、スピルオーバーによって表面に拡がることは容易であると考えられるため、液体窒素温度 (77 K) のような低温で水素を解離させる金属が強く求められる。

トーチアーク法による単層カーボンナノチューブ合成、対向電極アーク法による金属修飾ナノカーボン類の合成、ハマーズ法によるグラフェンの生成と金属修飾、メタノール CVD (化学蒸着成膜) 法による炭素修飾金属の合成、およびエレクトロスピニング法で得た金属修飾繊維の焼成による金属修飾ナノカーボン類の合成などを行った結果、Ni, Pd および Pt の中では Pt が最良の水素解離性能を有することがわかった。これは、湿式合成で得た BN, CN および BCN にマトリックスを変更しても同様である (*J. Alloys and Compounds*, 2013)。資源的制約およびコスト面からは Pt の使用を避けたいため、3d 遷移金属主体で代替物を探索した結果、Cr-Fe 合金およびインバー合金 (Fe-Ni-Mn) に可能性があることを見出している。探索の過程で合金の水素吸蔵等温線を測定した際、従来の水素吸蔵理論とは異なる挙動を示す合金が見つかった。項を改めて詳述する。

### 4. 合金格子間の水素貯蔵と液体窒素温度での吸着の重畳

合金による水素吸蔵は原子状の水素が合金格子に取り込まれる形で起こるため、水素吸蔵量は圧力の 1/2 乗に比例する (Sieverts の法則) のが一般的である。ところが、(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.8</sub>)(Fe<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>)<sub>1.5</sub> の水素吸蔵量は、室温 (26°C) では圧力の 1/4 乗に比例し、低温では圧力の 1 乗に比例する結果となった (図の○)。圧力の 1 乗ということとは Henry の法則に従うということであり、水素は分子のままで合金に溶解していることになる。圧力の 1/4 乗に比例する現象は、水素 1 分子が合金に取り込まれる際、2 原子の水素とそれと同量の空孔を生成するという過程が存在すれば成立する。

確認のために、この合金をまず室温で水素吸蔵させ、1 MPa で 0.634 mass% 吸蔵したところで系を 77 K まで冷却し、真空排気後、再度 77 K で水素吸蔵させた (図の▲)。室温で予備吸蔵していないときとほぼ同様の直線的な水素吸蔵が認められた。ここで、77 K での水素吸蔵は完全に可逆的に起こり、真空排気で吸蔵量がゼロになることを事前に確かめている。また、室温で吸蔵させた水素が 77 K での真空排気で脱離しないことも別途確かめている。

以上の現象および 77 K での吸蔵の平衡水素圧が室温での平衡水素圧よりも高いという逆転現象を考え合わせると、合金格子間の水素貯蔵 (室温での水素吸蔵) と液体窒素温度での溶解機構による吸着とが別々の場所で起こっている可能性が高い。あるいは、液体窒素温度での溶解は、合金格子間位置または合金格子間位置と繋がった空孔のどちらかで起こっている可能性もある。今後、合金型水素貯蔵と高比表面積材料型の水素貯蔵の両方の能力を持つ新材料という分野が拓ける可能性がある。

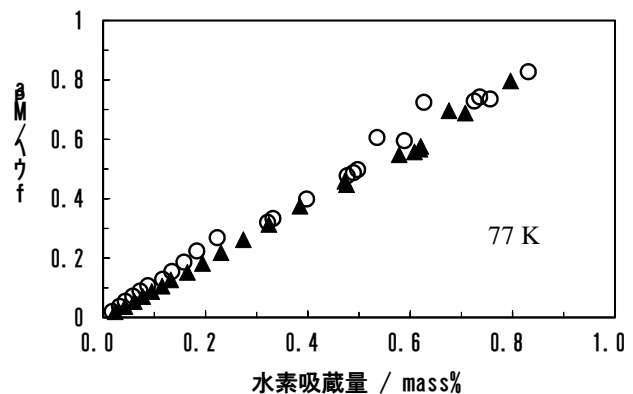


図 2 (Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.8</sub>)(Fe<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>)<sub>1.5</sub> への水素吸着等温線  
○: 77 K で吸着  
▲: 室温で吸着後、引き続き 77 K で吸着

## 金属、半導体による単一電子・光子デバイスの創製

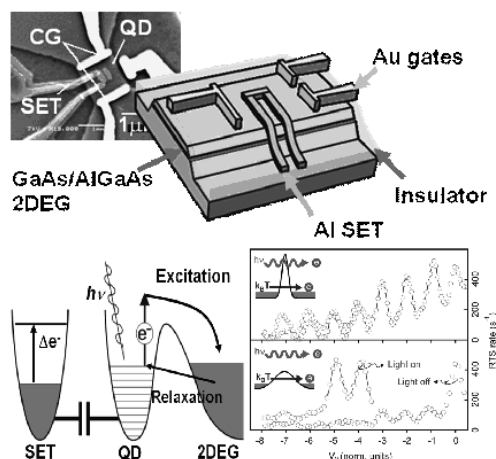
羽柴秀臣

ナノ物質班, 量子情報班

本研究では、量子光通信を実現する微細光導波路回路、半導体フォトニック結晶による色素増感型太陽電池、高温動作型 THz 帯単一光子源、2nm 分子ローターの電極操作の四課題を追求する。プロジェクト内の共同研究に、東京工業大学 松下祥子先生との TiO<sub>2</sub> フォトニック結晶、理工学部 大月穰先生との 2nm 分子ローターの電界操作がある。

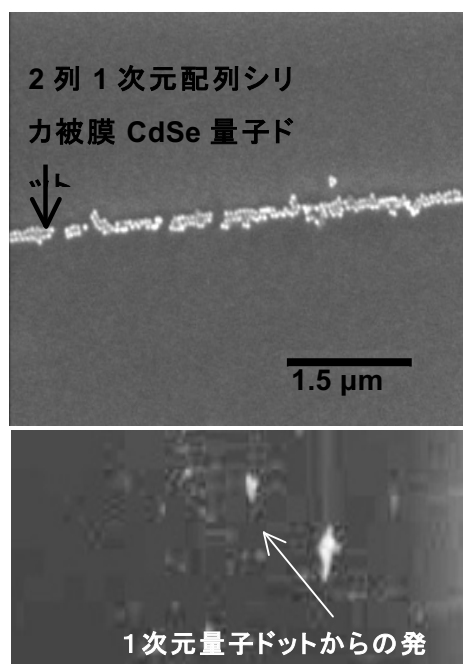
### 1. 量子ドットのプラズマ励起を用いた THz 単一光子検出

半導体量子ドット(QD)を用いた THz 帯単一光子検出器の検出効率の向上と、QD の高次プラズマ励起の様相を明らかにし高温動作への可能性を探る事が目的である。この検出器は THz 光子吸収により QD がプラズマ励起すると 1 電子をトンネルバリアを介して排出する。このポテンシャルバリア形状を排出方向に長くすることで、2次元電子系上の熱揺らぎによるトンネル効果を抑制しダークカウントの低下に大きく寄与する事を示した。多くの入射光子による高次プラズマ励起頻度が電子の排出レートより大きい場合、励起エネルギーは量子ドット中の電子温度の上昇に寄与しドットは熱浴として働く事を示唆することが明らかになった。電子温度の低下を狙った測定系の改良、測定プログラムの改良、微細加工技術の向上により、検出器の受光感度を示す NEP が $\sim 10^{-19}$  WHz<sup>-1/2</sup>と、従来より一桁良い値を得た(論文 1 件、講演 1 件、ポスター発表 2 件)。



### 2. Si 微細導波路, 低損失 Au ナノストライプ方向性結合器, CdSe 量子ドットによる量子素子の開発

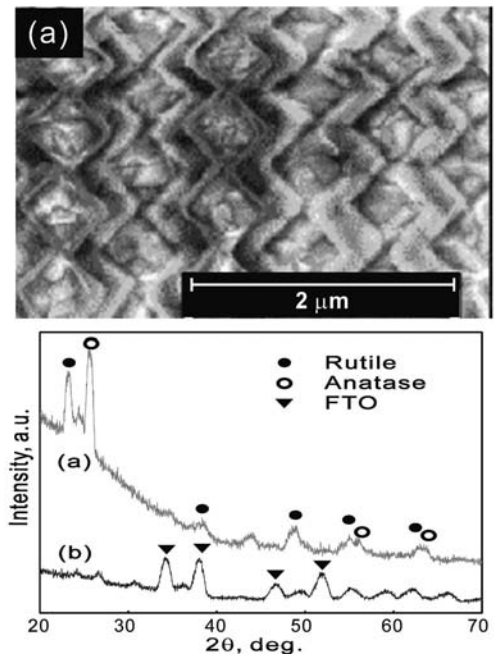
本研究は単一光子源としてのコロイダル CdSe 量子ドット, シリコン (Si) 及び Au 微細導波路, 単一光子測定素子を 1 基板上にパッケージ化した, 他に類を見ない室温動作光量子理論回路を実現する事を目的とし, 2 つの部分課題, Si 微細導波路の開発, CdSe 単一光子源の開発を追及した。ICP による SOI 基板の加工を行い, 波長 630 nm の入射光子のシングルモード条件を満たした断面 320 nm 角, 長さ 1 mm 以上の Si 微細導波路の作成をした。この導波路のサイドウォールラフネスは 10 nm 程度と見積られる。しかしながら次の技術的検討課題が明らかになり, 本プロジェクト期間中での改善は難しい。電子線フィールド繋ぎ描画による Au 薄膜導波路およびストライプ結合構造をもつ素子の作成において, 繋ぎ精度が約 100 nm と大きく, 1 mm 以上の測定可能な素子の作成は難しいことがわかった。しかし手動でのマーク検出を用いた描画では繋ぎ精度を 50 nm 以下に抑えることがわかり, 現在観測可能な



素子の作成を急いでいる．これは Au ナノストライプ方向性結合器の作成でも問題となっている．上記と平行して，単一光子源に用いる CdSe コロイダル量子ドットの導波路とのカップリングを想定した一次元配列化に着手した．電子線レジストを用い，量子ドットを幅 50 nm 程度の準一次元上に 1.5 mm の長さでアレイ状に並べることに成功した．現状ではアレイ状の量子ドットは一次元構造をとっていないが，導波路とのカップリングには十分と考える．また，この量子ドットは 37 nm 厚の Au 薄膜からのポンプ光起源エバネッセント光と量子ドットへのカップリングを確認した．（ポスター発表 1 件）

### 3. 色素増感太陽電池へ使用する二次元 TiO<sub>2</sub> フォトニック結晶の作成

我々は色素増感型太陽電池の高効率化のために TiO<sub>2</sub> 二次元フォトニック結晶を FTO 基盤上に作成することを目指し，電子線レジスト上の微細マスクへの TiO<sub>2</sub> 微細構造の直接製膜技術の開発と評価を目的とした．TiO<sub>2</sub> フォトニック結晶構造の作成においての核心技術である TiO<sub>2</sub> スパッタ製膜法の Ar:O<sub>2</sub> ガスの混合比を 2:1 とすることにより，酸化チタンの組成をコントロールできるばかりでなく，微細 EB レジストマスクを壊さない低温下での TiO<sub>2</sub> 製膜に成功した．この TiO<sub>2</sub> 微細構造を 500 度で焼成させることにより，アモルファスからルチル・アナターゼへの結晶化を確認し，またその外形は目立った変化が無いことを確認した．これは PMMA などの高温耐性を持つプラスチックなど温度条件の厳しい基板にも TiO<sub>2</sub> 微細構造作成が可能なことを示し，広範囲な応用が期待できる．（論文 2 件，ポスター発表 1 件）



## ナノプロセスによる中低温作動用固体酸化物形燃料電池材料の作製・開発

橋本拓也

エネルギー一班

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は環境に優しく、高い変換効率を持つエネルギー発生素子として注目されている。この実用化のためには現状の作動温度 800~1000°C を 600~800°C に低下させることが必要とされており、そのためには低温で動作可能な全く新しい空気極、固体電解質材料の開発が必要とされている。本研究では以下の物質群について新たな燃料電池材料としての可能性を検討した。またこれらの物質を、ナノレベルでの混合・合成が期待できる液相法で合成することを検討し、燃料電池材料としての高性能化が可能か否かを評価した。さらにこれらを組み合わせて燃料電池を作製し、評価する態勢を構築することを行った。以下に主に開発した物質群を紹介するとともに、燃料電池評価装置開発の経過について記す。

1. 新空気極材料  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  の合成手法・焼結温度の最適化および低酸素下での安定性

$\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ , 特に  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  は従来材料では空気極に含まれている Sr が無いため、固体電解質との化学反応性が小さく、安定な空気極材料候補として期待されてきた。しかしながら本物質の電極としての合成条件の最適化や SOFC 作動温度・ガス雰囲気下における導電特性の検討は充分とは言えず、実用化の可能性は判定されてはいなかった。

本研究では従来合成方法として採用されてきた固相反応法に代わり液相法の一つ、ペチーニ法の採用により焼成温度の低下に成功した。低温での合成に成功したため 3+ の Ni の還元を防止できたことにより、Ni 量が多い均質な空気極材料の合成に成功した。(Solid State Ionics 2011) また走査型二次顕微鏡による観察やエネルギー分散型 X 線測定、比表面積測定や細孔分布測定により、ペチーニ法で合成した  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  は 1050°C で焼結すると燃料電池の空気極として理想的な焼結密度・高い比表面積・均質細孔分布を持つ材料となることを明らかにした。(J. Amer. Ceram. Soc. 2012) さらに固相法で作製した試料ばかりでなく、他の液相法で合成した  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  焼結体との比較を実施したところ、ペチーニ法で合成した試料では焼結が低温で進むため、焼結密度・表面積ばかりでなく細孔分布も均質に制御しやすいことを明らかにした。(Mater. Res. Bull. 2013) また空気極は実際に電流を流すと、実効的に低酸素ポテンシャル下に置かれることが知られており、高温では酸素不定比性が発現することが考えられる。酸素不定比性は還元膨張や導電率変化の原因となり得るため、熱天秤を用いて酸素不定比性測定および酸素分圧制御下での導電率測定を実施、 $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  の燃料電池作動環境下での特性解析・評価を試みた。まず熱天秤を用いて酸素不定比量  $\delta$  を評価したところ、300-700 °C, 酸素分圧  $1\sim 10^{-4}$  atm 中で  $\delta=0.10\pm 0.01$  であることが明らかになった。SOFC 作動条件では本物質中には酸素欠損が 3 % 以上入っていることとなり、ホールばかりでなく酸素拡散係数も大きいことが示され、空気極として向いていることが示唆された。また Sr を含んでいる他の空気極材料よりも、酸素分圧による  $\delta$  の変化が小さく、化学的に安定であることが示された。SOFC 作動条件下において導電特性を評価したところ、酸素分圧低下に伴う酸素不定比量発生によるキャリア減少は観測されたものの、700 °C 以下では酸素分圧  $10^{-4}$  気圧下でも  $130 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$  を超える高い電気伝導率を示すこと、酸素欠損量発生によるホールの移動度の変化は小さいことを明らかにした。(ECS Transactions 2013)。

以上より  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  が空気極材料として優れた特性を持つことが明らかになったばかりでなく、空気極として優れた性能を持つ多結晶焼結体を合成する方法も明確にすることができ、本物質が新たな電極材料候補と十分なり得ることを明らかにできた。

2. 新水素イオン導電体  $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  の溶液法による合成および導電特性評価

現在、固体酸化物型燃料電池の心臓部ともいえるイオン導電体は酸化物イオン導電体であるイットリア安定化ジルコニアが主に用いられている。本物質は化学的な安定性や強度が優



れるという利点はあるものの、実用に耐える酸化物イオン伝導のためには 900 °C 以上の高温が必要であることが問題となっていた。本研究では酸化物イオンのような大きなイオンの移動には必然的に高温が必要であるものと考え、作動温度低温化のためには水素イオン導電性セラミックスを検討すべきとの結論に達した。

水素イオン伝導体として従来から注目されていたのは SrZrO<sub>3</sub> や BaZrO<sub>3</sub> などペロブスカイト構造を持つ物質である。BaZrO<sub>3</sub> の Zr サイトに Y など異種原子価イオンを部分置換して酸素欠損を導入したものは高いプロトン導電特性を示すことが知られている。しかしながら本物質系は難焼結性であるため、固体電解質としてガスリークのない焼結体の合成が非常に難しいことが問題となっていた。SrZrO<sub>3</sub> の Zr サイトに Y など異種原子価イオンを部分置換して酸素欠損を導入したのも高い水素イオン伝導を示す事が報告されており、しかも焼結が比較的容易であることが分かっていた。しかしながら本物質中には室温～燃料電池作動温度で 3 種もの構造相転移があり、機械的安定性が問題となっていた。本研究では両者の固体溶体である Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>ZrO<sub>3</sub> をペッチーニ法で合成することに成功し、高温 X 線回折、走査型熱量計、示差熱分析、熱膨張計を相補的に用いて相転移挙動を明らかにした。Sr サイトに Ba を置換していくと相転移温度を低温化でき、Ba 量 0.6 以上で室温～作動温度まで一次相転移のない物質を合成することに成功した。(Thermochim. Acta 2012, IOP Conf. Series, Mater. Sci. and Eng. 2011) さらに固相反応法および液相混合法の比較を行い、液相法で合成した試料の方が高い焼結密度を示すことを明らかにした。これは液相法で合成した方が固相法で合成したものより結晶粒が規則的に成長、facet が生じたことと対応している。

また構造相転移の影響が少なく、焼結特性も良好な Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>ZrO<sub>3</sub> について Zr サイトに Y を置換した試料の合成も実施し、電気伝導特性も評価した。Y を置換しても相転移挙動および焼結特性に変化はなく、Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Zr<sub>0.9</sub>Y<sub>0.1</sub>O<sub>3-δ</sub> が高い焼結特性を持ち、相転移によるダメージが少ないことを明らかにした。Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Zr<sub>0.9</sub>Y<sub>0.1</sub>O<sub>3-δ</sub> の電気伝導特性を評価したところ、現在までに報告されている BaZr<sub>1-x</sub>Y<sub>x</sub>O<sub>3-δ</sub> や SrZr<sub>1-x</sub>Y<sub>x</sub>O<sub>3-δ</sub> に比べて高い電気伝導特性を示すことを明らかにした。(Solid State Ionics 2012)

### 3. 新材料を用いた新固体酸化物形燃料電池作製のトライアル

固体電解質として Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Zr<sub>0.9</sub>Y<sub>0.1</sub>O<sub>3-δ</sub> の高いポテンシャルが示せたので、本材料を用いた燃料電池の作製を試みた。ペッチーニ法により本物質単相の粉末材料を合成、一軸プレス成型で円盤状にした後に静水圧プレスを実施した後、1500 °C で焼結を行った。焼結密度 95 % 以上と固体電解質としては十分な焼結体を得ることが出来た。電解質と電極材料およびガスシール材料としてのパイレックスガラスとの接着性の向上のために表面を機械的に研磨し、鏡面に仕上げた。電極材料としては白金ペーストを固体電気質の両側に塗布し、900 °C で焼き付けを実施した。またパイレックスガラスリングを上下に装着して 900 °C で一旦熔融させた後に冷却してガラスを固化し燃料ガスと空気ガスが固体電解質の上下に分かれて供給できるようにした。このようにして作製した燃料電池の心臓部の写真を Fig. 1 に示す。白金電極と固体電解質の接着の良否および空気と燃料が混合していないことは走査二次電子顕微鏡ならびにガスを実際に流して確認した。現在のところ 500~600 °C での発電を目指して実験が進行中である。また電極材料を代えての発電実験も検討している。

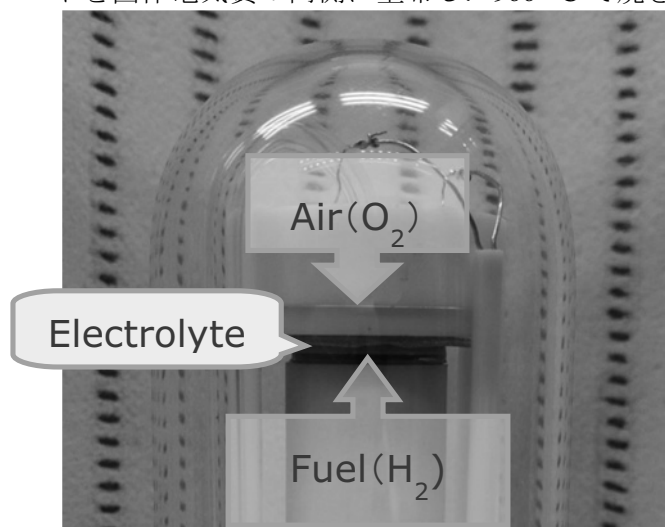


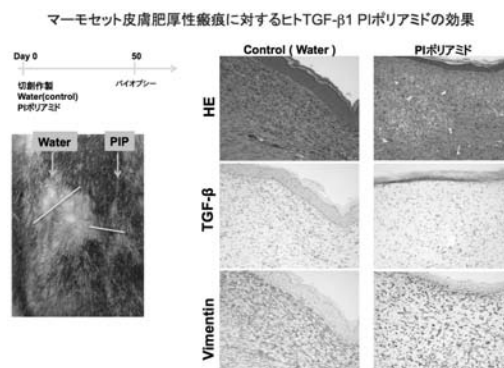
Fig. 1 試作燃料電池の写真

## ゲノム化学に基づく PI ポリアミドの創薬開発とプラズマによる癌治療法開発

福田昇, 五十嵐潤, 齋藤孝輔  
医療班

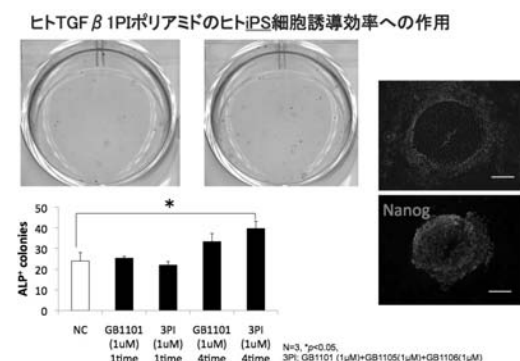
### 1. 新規バイオ医薬ピロール・イミダゾール(PI)ポリアミドの創薬開発

新規バイオ医薬 PI ポリアミドは塩基配列特異的に 2 本鎖 DNA のマイナーグループに強力に結合する低分子有機化合物で、転写因子の結合を阻害し遺伝子転写活性を抑制する。核酸医薬と異なり DDS 無く組織、細胞に取り込まれる。我々は腎障害、皮膚癬痕、肝硬変、肺線維症などの線維性疾患に対しヒト TGF- $\beta$ 1 に対する PI ポリアミドを創薬開発した。前臨床として実験動物中央研究所との共同研究で霊長類マーモセットゲノムにおいて TGF- $\beta$ 1 プロモーター構造はヒトゲノムと高い相同性を認めた。マーモセットに TGF- $\beta$ 1 を責任分子とする皮膚肥厚性癬痕モデルを作成し、ヒト TGF- $\beta$ 1 に対する PI ポリアミドの効果を確認した。更にシクロスポリン A にてマーモセットに腎疾患モデルを作成し、前臨床試験としての薬物効果、毒性、発癌性、特異性を確認、検討した。今後、GMP グレードでの安価な大量合成を行い、臨床第 I 相試験を行う。



### 2. ヒト TGF- $\beta$ 1 遺伝子発現抑制剤 PI ポリアミドを用いた iPS 細胞誘導法の開発

ヒト乳腺上皮細胞株 MCF10A に Phorbol 12-myristate 13-acetate (PMA) を投与し EMT の誘導が認められ、ヒト TGF- $\beta$ 1 PI ポリアミドにて TGF- $\beta$ 1、SNAI1 の mRNA 発現量が減少し E-カドヘリンの有意な増加が認められ、EMT が抑制された。次にセンダイウイルスベクターにより iPS 誘導初期化因子を導入し、フィーダー細胞に播種したヒト繊維芽細胞に対してヒト TGF- $\beta$ 1 PI ポリアミドを投与し、ヒト iPS 誘導培養液で培養しアルカリフォスファターゼ陽性コロニー数が 180% 増加し、それらのコロニーは未分化マーカーの発現が認められた。



### 3. 皮膚悪性黒色腫に対する低温大気圧プラズマ技術の応用

低温大気圧プラズマが生体に作用し、止血、血管新生、臓器癒着防止、細胞増殖促進などの多岐に渡る効果を示すことが報告されている。我々は理工学部との共同で大気圧 LF プラズマジェット装置を用い、複数の皮膚悪性黒色腫細胞株へのプラズマ照射を行い、効果的に細胞死を誘導できる照射条件について検討し、効果的なプラズマ治療法の確立を行った。プラズマ照射細胞培養液で酸化種の増加を認め、悪性黒色腫細胞株の生細胞数の低下を認めた。

### 4. 環状 PI ポリアミドの薬物効果、創薬開発

これまでの PI ポリアミドの構造はヘアピン型で 2 本鎖 DNA への結合が不安定になることが問題であったが、環状 PI ポリアミドは安定な結合で、10-100 分の 1 の濃度で結合する。京都大学との共同で環状 PI ポリアミドの合成に成功した。そこで今回、サークル PI ポリアミドの薬効、薬物動態をヘアピン PI ポリアミドに比較検討し、創薬開発を開始し、環状のヒト TGF- $\beta$ 1 PI ポリアミドはヘアピン PI ポリアミドに対し、より低濃度で PMA 刺激 TGF- $\beta$ 1 mRNA 発現を抑制した。

## 分解耐性型細胞膜透過性タンパク質による遺伝的に安全な細胞分化調節法の開発

舩廣善和  
医療班

再生医療に iPS 細胞を使用するためには遺伝的に安全であることが重要である。しかし、現在の iPS 誘導法はウイルスを使用した方法が主流であり、これらの方法は遺伝的な変異を生じる可能性がある。それ故に、今後はタンパク質や試薬を用いた誘導方法が期待される。

### 1. 分解耐性型細胞膜透過性マウス山中因子の作成

細胞膜透過性タンパク質を用いた iPS 誘導法は既に 2 つのグループによって報告されているが、これらの誘導効率は極めて悪く、そして、多くの問題（操作と準備が極めて大変である）がある。この理由に対しては、細胞透過性タンパク質が早期に細胞内で分解する原因ではないかと考えられる。それ故に、本研究において我々は、細胞内においてタンパク質分解に抵抗性をもつ iPSCs 誘導因子（Oct4、Sox2、Klf4、Glis1）の開発に取り組んでいる。我々は、自身の研究室で独自に見出したタンパク質分解耐性能を持つ Stablon モチーフ（タグとして融合）の応用に取り組む（Arakawa, T, Masuhiro, Y, et. al. 2010, BBRC ; 特許出願中）。以前の研究において、Stablon が Sox2 と Glis1 に極めて有効であったことから、これらのタンパク質については Stablon 融合と非融合体を作成した。また、発現量と精製の簡易さから、我々はこれらのタンパク質を大腸菌の封入体に発現させることにした。我々はこれらの山中因子を pET28a 発現プラスミドにクローニングし、BL21(DE3)株に形質転換した。



BL21(DE3)株において 1L の LB 培地当たり Oct4;3mg、Sox2;3mg、Sox2-Stablon;3mg、Klf4; 4.5mg、Glis1;1.2mg と Glis1-Stablon;1.2mg 発現した。これに加え、我々は封入体からグアニジン塩酸と尿素（変性条件下）の下でこれらのタンパク質を精製して、透析によってリフォールディングを行った。これらの変性タンパク質は、Oct4;30%、Sox2;10%、Sox2-Stablon;30%、Klf4;5%、Glis1;0%と Glis1-Stablon;5%の効率で巻き戻しができた。更に我々は、Sox2 と Sox2-Stablon について、Gel シフト分析によって DNA 結合能を確かめることができた。

### 2. 分解耐性型細胞膜透過性ヒト山中因子の作成

次に我々は、遺伝的に安全なヒト iPS 細胞を作成するために、分解耐性型細胞膜透過性ヒト山中因子タンパク質の発現系開発に取り組んだ。現在までに、Oct4、Sox2、Klf4、Glis1 の全てについて Stablon 融合体と非融合体を作成し、BL21(DE3)株で良好な発現株を構築した。今後、正常ヒト繊維芽細胞に導入し、iPS 誘導を試みる予定である。

### 3. 分解耐性型細胞膜透過性細胞分化因子の作成

iPS 細胞から分化細胞の効率的な誘導系確立も重要である。本研究では、成熟白血球（顆

粒球)、Treg 細胞、肝細胞を誘導可能なタンパク質の発現系構築を試みた。成熟白血球分化系は急性前骨髄球性白血病のタンパク質療法として細胞膜透過性 RAR $\alpha$  (核内レチノイン酸受容体) の発現系を構築した (特許出願中)。

Treg 細胞に関しては、アトピーや喘息が改善するタンパク質療法として、細胞膜透過性 Foxp3 (Treg 細胞のマスター遺伝子) の発現系を構築した。肝細胞の再生医療としては、肝細胞の分化を促進する Sox17 と HNF3 $\beta$  の発現系構築を行った。いずれのタンパク質も Stabilon の融合体も作成した。

RAR $\alpha$  に関しては、DNA 結合能、細胞膜透過性、転写活性可能、患者由来の NB4 細胞を有為に成熟白血球に分化させることを確認した。Foxp3 についても、細胞膜透過性、転写活性可能を確認した。



自己集積・自己組織化現象を利用したデバイス作製の試み

松下祥子

超分子・自己組織班, エネルギー班

本研究では、自己集積・自己組織化現象による光・量子融合領域の未踏科学開拓と新規技術創出を目的とし、2つのテーマを行った。具体的には1) フォトニック結晶による色素増感型太陽電池効率向上の解明(超分子・自己組織班, エネルギー班)、2) 微粒子自己集積体による光学デバイス作製(超分子・自己組織班)である。

1. フォトニック結晶による色素増感型太陽電池効率向上の解明

本プロジェクトを通じ、材料の結晶構造、入射光量、電気化学抵抗値、蛍光寿命、フォトニックバンド図の総括的な議論が行え、色素増感型太陽電池の一色素あたりの光電変換効率向上に近接場共鳴の効果が影響している可能性が明確に示された(Fig. 1、*J. Porous Mater., in press.*)。この近接場共鳴の効果に対し、バンド理論との整合性を得るためには、リソグラフィによる酸化チタン加工が必須である。そこでプロジェクトでは酸化チタン-電解液フ

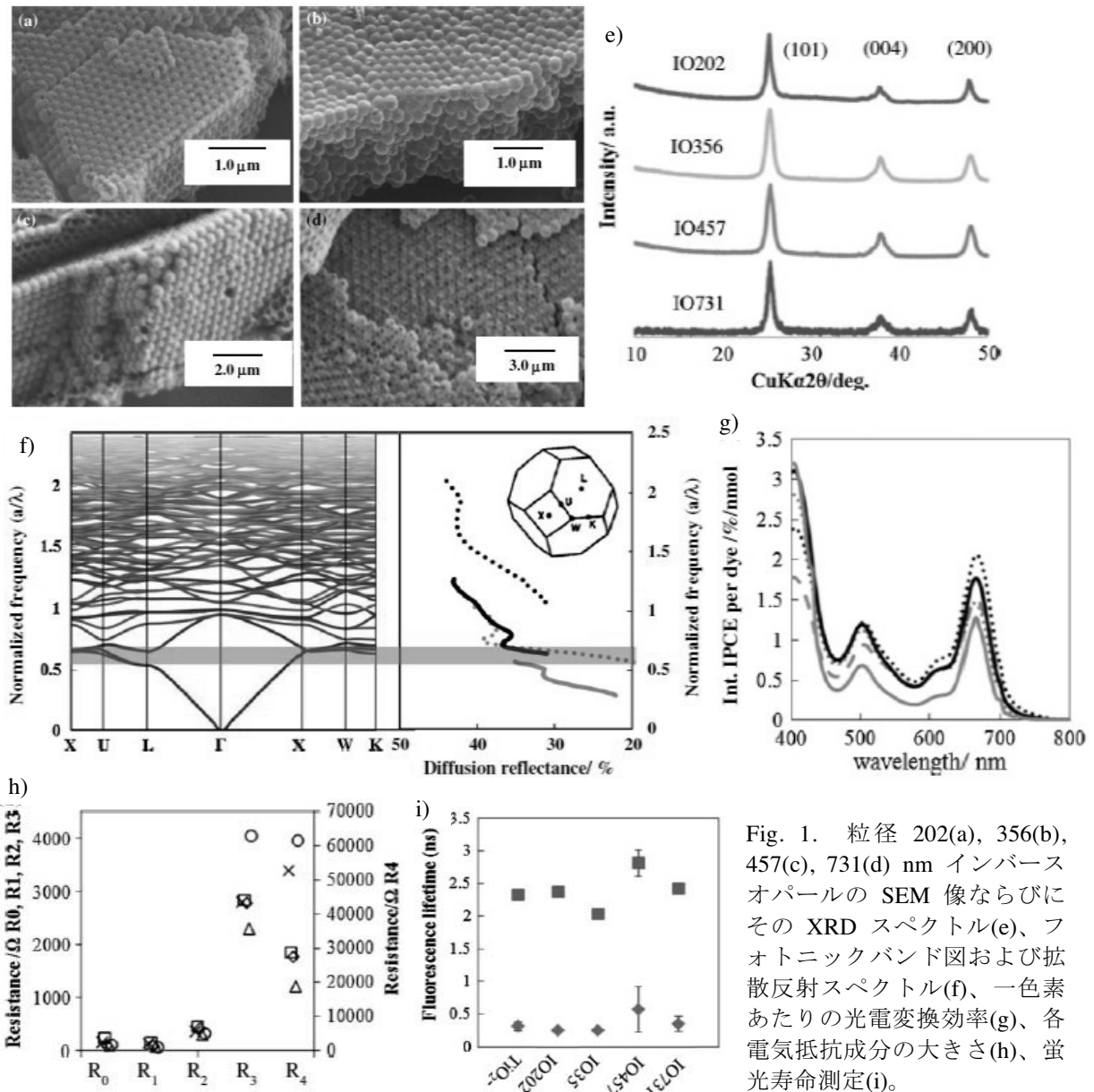


Fig. 1. 粒径 202(a), 356(b), 457(c), 731(d) nm インバーソパール SEM 像ならびにその XRD スペクトル(e)、フォトニックバンド図および拡散反射スペクトル(f)、一色素あたりの光電変換効率(g)、各電気抵抗成分の大きさ(h)、蛍光寿命測定(i)。

フォトニック結晶の作製に関しても取組み、酸化チタンの光・電子リソグラフィ加工法を確立した (*Jpn. J. Appl. Phys.*, 51, 098002 (2012).)

## 2. 微粒子自己集積体による光学デバイス作製

近年の光学理論の発展に伴い、金属ナノ構造体が物理・化学両分野から大きな注目を集めている。例えば貴金属微粒子や微構造体は局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) を示し、特に分析分野で熱い期待を寄せられている。

LSPR は構造体のサイズや形状に大きく依存し、それらを操作することによってその特性を制御することが可能である。

このようなナノ構造体作製のためには、金属をナノオーダーで加工する必要がある。微細加工の手段としてはトップダウン手法とボトムアップ手法が挙げられる。トップダウン手法では望んだ形状のものをナノオーダーで作製することができるが、大量作製には適さず、かつ数 nm レベルで加工できる装置は極めて高額という問題点がある。他方ボトムアップ手法は大量作製に適し実践的で、キューブ、星、枝分かれ構造といったより複雑な形状をもつ粒子の合成が報告され始めたが、例えば突起部の配置や長さを緻密に制御することは困難であり、上述した光学特性を検討・応用するために十分な形状制御へは、残念ながら至っていない。

そこで我々は、有機・無機ナノ微粒子配列体に種々の方法で局所的な熱変形を促し、全く新しい自由度をボトムアップ作製法に与え、プラズモニクスを利用したナノセンシングの進展に貢献することを目的とした。その結果、六芒星状、リング状などのナノ構造体の作製に成功した (Fig. 2a, *Chem. Comm.*, 48 (11), 1668-1670 (2012))。本構造体上に金を蒸着させ、そのプラズモンのセンシング能を検討した。テストサンプルとして使用したローダミン 6 G のセンシング能は 5 倍以上を記録した (Fig. 2b, *Colloid. Surf. A*, 436, 930-936 (2013).)。

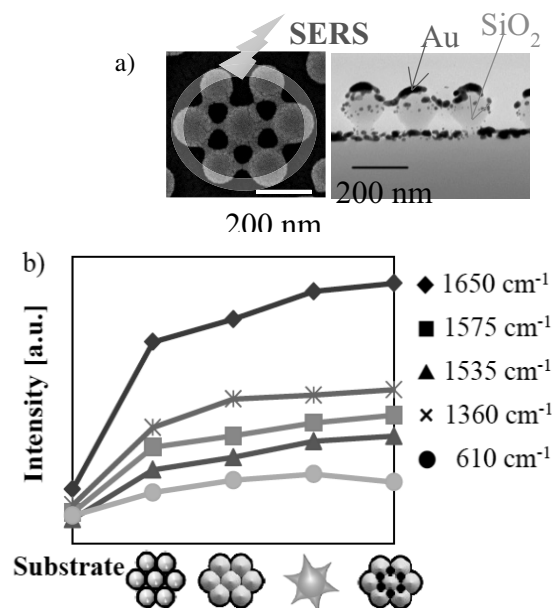


Fig. 2. 作製された微粒子自己集積体による光学デバイス(a)とラマン分光法によるセンシング強度(b)。

## 新規光線力学療法候補化合物および PI ポリアミドの薬物体内動態解析

青山隆彦, 松本宜明

医療班

医薬品開発には、医薬品候補化合物の代謝経路、体内半減期、用量比例性など、体内動態の検討が必須である。これらは、ヒトおよび実験動物の肝臓より調製したマイクロゾームを用いる薬物代謝実験および薬物投与後に経時的に血中薬物濃度を測定することにより行われる。近年では、数学的なモデルの構築と、モデルによるシミュレーション結果に基づき試験計画を行うことによる医薬品開発の効率化が行われている。ヒトに医薬品候補化合物を投与する臨床試験の前段階である非臨床試験では、ラットなどの実験動物の体内動態データを用い数学的なモデルを構築することにより、ヒトにおける体内動態を予測することが行われる。今回のプロジェクトでは、がん治療における光線力学療法薬の開発および遺伝子発現制御薬ピロロール-イミダゾール (PI) ポリアミドによる創薬の基盤情報として、新規化合物の体内動態を調べるとともに、体内動態および薬効を記述する数学的なモデルを構築した。

## 1. 新規光線力学療法候補化合物の薬物体内動態解析

がん治療における光線力学療法は腫瘍細胞親和性光感受性物質とレーザー光線による光化学反応を利用し行われる。ポルフィリン骨格を持つタラポルフィンナトリウム (図 1) が光線力学療法薬として現在使用されている。光線力学療法の治療効果は、レーザー光が照射可能な腫瘍に限られるため、放射線等による反応を誘導することで治療の拡大を期待される新規化合物 CT101019a (理工学部大月穰教授より供与) (図 2) が見出された。

新規化合物による創薬の基礎情報として、タラポルフィンナトリウムのマウスにおけるレーザー光照射密度、血中タラポルフィンナトリウム濃度および治癒率の関係を調べ、血中タラポルフィンナトリウム濃度の経時推移およびレーザー光照射密度と治癒率の関係を数学的なモデルにより表した (図 3)。

CT101019a のラットにおける体内動態を調べるため、高速液体クロマトグラフィーによる血中濃度測定系を確立し、CT101019a 投与後の血中濃度推移を調べた。この結果を既存薬物タラポルフィンナトリウムと比較し、CT101019a は、タラポルフィンナトリウムに比べ体内半減期が短いことを見出した。既存薬物であるタラポルフィンナトリウムはヒト体内動態が報告されているため、タラポルフィンナトリウムのマウス、ラット、ヒト体内動態データを用い、ラット体内動態からヒト体内動態を予測する数学的なモデルを構築した。この数学的なモデルを用い、CT101019a のヒト体内動態を予測した (図 4)。これらの成果は、タラポルフィンナトリウム類似化合物における創薬への応用が期待される。

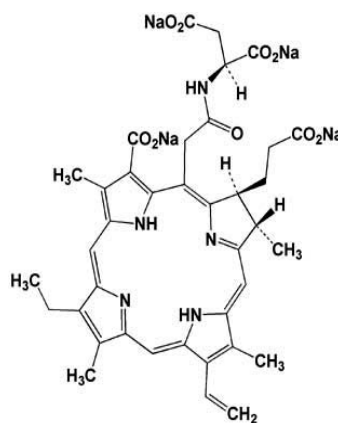


図 1 タラポルフィンナトリウム構造式

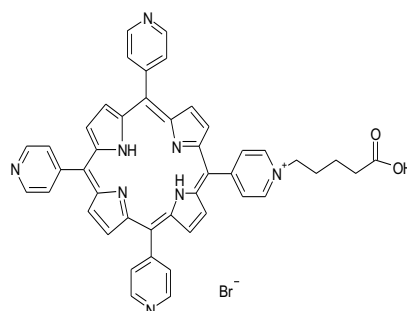


図 2 CT101019a 構造式

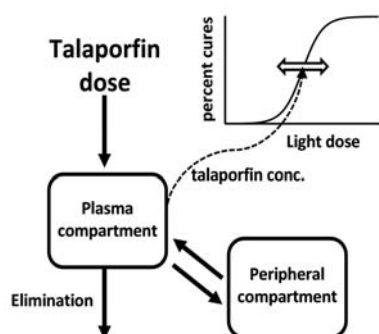


図3 タラポルフィンナトリウム薬物動態/光線力学モデル

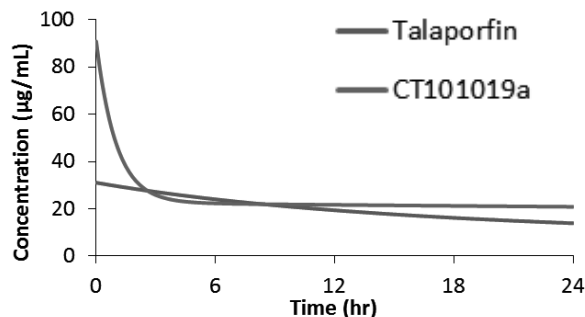


図4 ヒトにおける予測血中濃度推移

## 2. PI ポリアミドの薬物体内動態解析

PI ポリアミド (医学部福田昇教授より供与) は塩基対特異的に DNA に結合することにより、遺伝子の発現を制御する化合物群である。PI ポリアミド (図5) の体内動態を調べるため、分子量が異なる複数の PI ポリアミドの高速液体クロマトグラフィータンデム質量分析計による血中濃度測定系を確立し (*J Biomed Biotechnol*, 2012), 血中濃度推移および代謝・排泄経路を検討した。分子量 1035 の PI ポリアミドのラットにおける検討では、PI ポリアミド投与後の血中濃度、胆汁中濃度、および尿中濃度を経時的に測定し数学的なモデル (図6)

を構築することにより、胆汁および尿中排泄データを用いて血中濃度定量下限以下における血中濃度推移を予測することに成功した (図7) (*Biol. Pharm. Bull.*, 2009; *Non-Viral Gene Therapy*, In-Tech Open Access Publisher, 2011)。

分子量が 1422 から 1669 までの複数の PI ポリアミドでの検討において、ヒトおよびラット肝ミクロゾームを用い、薬物代謝酵素シトクロム P450 による酸化的代謝、グルクロン酸転移酵素による縫合反応を検討した。さらに、肝サイトゾールを用い硫酸抱合酵素による抱合反応を検討した。いずれの PI ポリアミドにおいても、これらの酵素による代謝は受けず、代謝安定性が高いことが示唆された。PI ポリアミドによるシトクロム P450 阻害効果も認められず、併用薬との薬物間相互作用を起こす可能性は低いと推測された。これらの化合物の臨床応用が今後期待される。

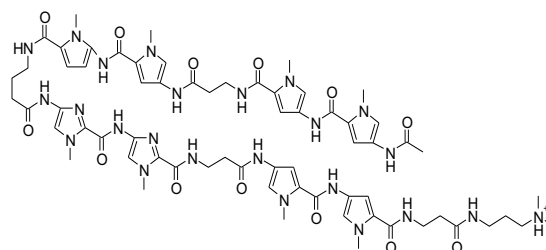


図5 PI ポリアミド構造式の一例

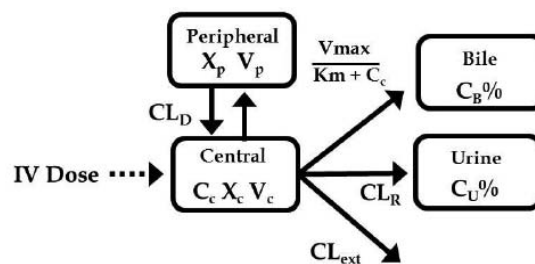


図6 PI ポリアミド薬物動態モデル (Non-Viral Gene Therapy, 2011)

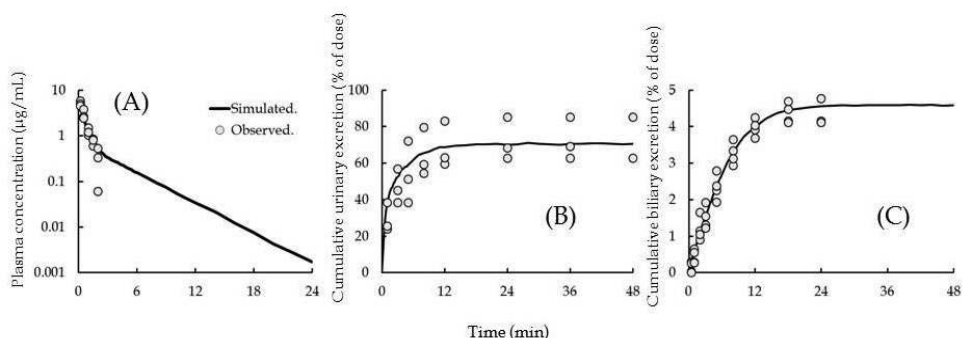


図7 PI ポリアミド血中濃度(A)と累積尿中(B), 胆汁中(C)排泄率 (Non-Viral Gene Therapy, 2011)



ホトニック結晶導波路のスイッチング効果と欠陥部へのエネルギー効率

山崎恒樹

量子理論・計算班

フォトニック結晶構造は光の波長程度をもつナノ領域の光回路デバイスとして近年注目を集めている。特に、フォトニック結晶構造を用いたスイッチング効果や光閉じ込め効果へのデバイス応用が期待されている。

本研究では、多数の周期的円柱配列からなる中間層に様々な誘電体構造(誘電体角柱, 誘電体円柱, 誘電体ひし形柱)等を内蔵し、散乱問題と導波問題を解析する事により、光スイッチング効果や光閉じ込め効果を得られる最適な誘電体構造について検討した。

1. 誘電体角柱を内蔵した場合のスイッチング効果<sup>[1]</sup>

図 1 に本研究で検討する構造と座標系を示す。図 2 は、中間層内部に内蔵した誘電体角柱の誘電率を変化した場合に対する、入射角  $\theta_0$  を変化した時の 0 次電力透過係数  $|T_0|^2$  を示したものである。図 2(a) に TM 波, 図 2(b) が TE 波入射の場合である。図より、TM 波では  $\theta_0 \cong 9^\circ (\epsilon_3/\epsilon_0 = 3)$ , TE 波では  $\theta_0 \cong 26^\circ (\epsilon_3/\epsilon_0 = 2)$  でスイッチング作用が得られることがわかった。同様に、図 3 は規格化周波数  $p/\lambda$  を変化した時の結果を示した。図 3 より、TM 波では低周波 ( $0.58 < p/\lambda < 0.66 (\epsilon_3/\epsilon_0 = 2,3)$ ) と高周波領域 ( $1.2 < p/\lambda < 1.3 (\epsilon_3/\epsilon_0 = 2,3)$ ) の 2 か所でスイッチング作用が得られることがわかる。TE 波の場合では、低周波領域 ( $0.53 < p/\lambda < 0.55 (\epsilon_3/\epsilon_0 = 2,3)$ ) でスイッチング作用が得られることがわかる。

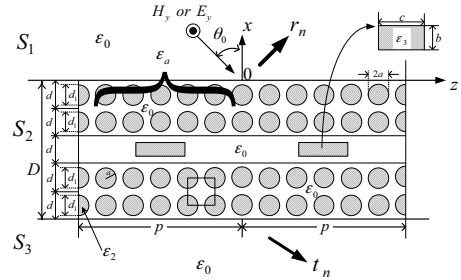


図 1 中間層に方形誘電体を持つ多層誘電体グレーティングの構造と座標系

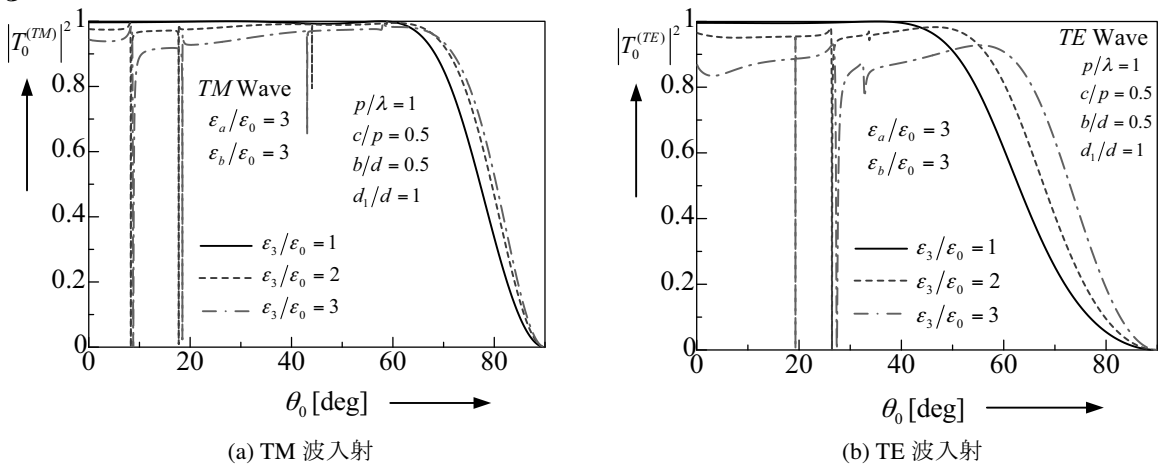


図 2 入射角に対する電力透過係数

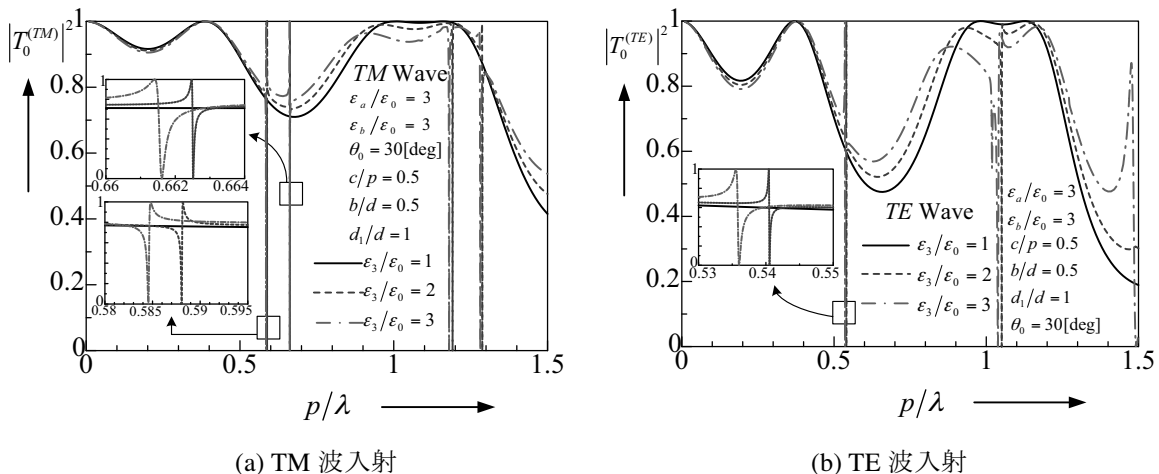


図 3 周波数に対する電力透過係数

## 2. 様々な誘電体導波路構造における光閉じ込め効果<sup>[2,3,4]</sup>

図 4 に、誘電体円柱とエアホール円柱配列で構成した欠陥部を有する誘電体導波路の構造と座標系を示す。また、本研究で検討した構造を図 5 に示した。

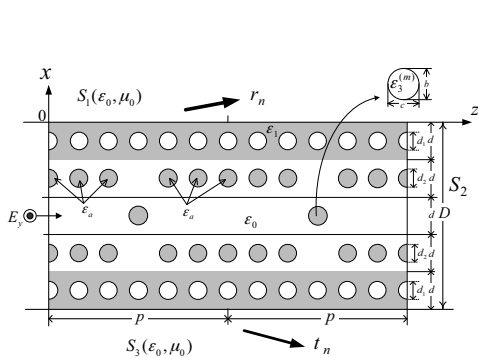


図 4. エアホール配列を有する誘電体円柱配列で構成した誘電体導波路の構造と座標系

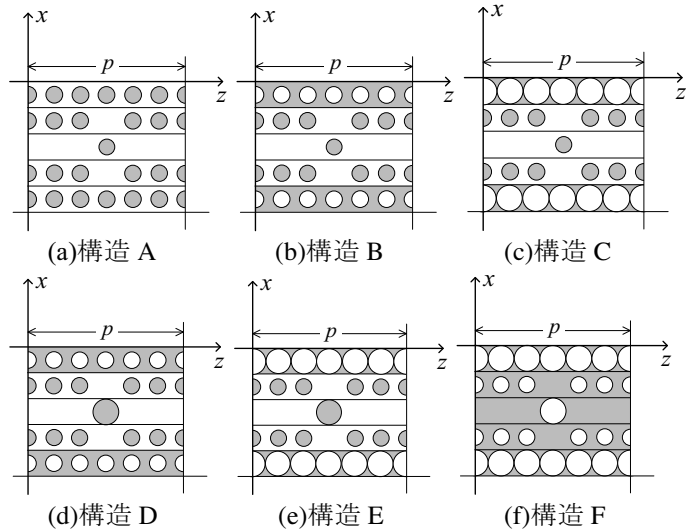


図 5 様々な誘電体導波路の構造

本研究では、図 5 に示したように誘電体円柱配列(構造 A)、エアホール円柱配列(構造 F)の従来構造<sup>[2,3]</sup>を含めた誘電体導波路の構造の中から、各構造における伝搬特性とエネルギー分布を精度よく解析し、中間層に内蔵した誘電体構造によって欠陥部のエネルギー閉じ込め効果を TE mode について最適な構造を探索する。

図 6 は、構造(A)と構造(B)それぞれに対する伝搬域中におけるエネルギー分布を周波数  $p/\lambda = 0.4814$  ,

$p/\lambda = 0.4368$  で励振した結果である。

なお、図中の破線と実線の円は、図 5 に示した構造における円柱が置かれている位置を示したものである。また、解析した条件の誘電体円柱(エアホール媒質)の誘電率は  $\epsilon_a/\epsilon_0 = 3$  ( $\epsilon_1/\epsilon_0 = 3$ ) であり、中間層に内蔵した誘電体円柱の誘電率も  $\epsilon_3^{(m)}/\epsilon_0 = 3$  とした。図 6 から、構造(B)の欠陥部に対するエネルギーは、構造(A)の従来型に比べて集中している事が確認できる。

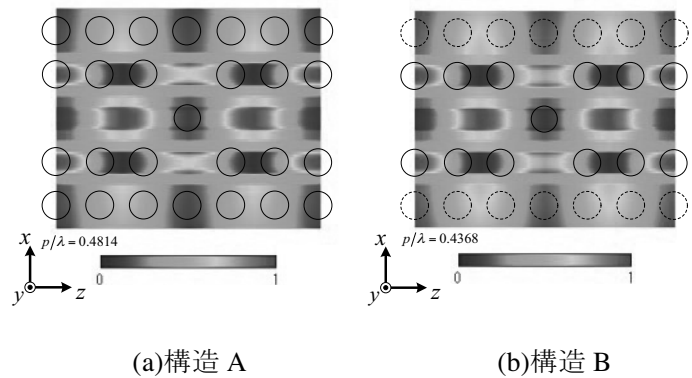


図 6 構造 A と B に対する伝搬域中でのエネルギー分布

[1]R. Ozaki, T. Yamasaki, and T. Hinata ; “Scattering of Electromagnetic Waves by Dielectric Gratings with Dielectric Rectangular Cylinders Sandwiched between Two Multilayers”, *IEEJ Trans. Fundamentals and Materials*, vol.129-A, no.10, pp.718-724, 2009.

[2]R. Ozaki and T. Yamasaki ; “Distribution of Energy Flow by Dielectric Waveguide with Rhombic Dielectric Structure along a Middle Layer”, *IEICE Electronics Express*, vol.9, no.7, pp.698-705, 2012.

[3]尾崎亮介, 山崎恆樹 ; “エアホール型誘電体導波路による欠陥部のエネルギー分布”, 電学研資, EMT-12-70, pp.29-34, 2012.

[4]尾崎亮介, 山崎恆樹 ; “誘電体円柱とエアホール円柱で構成された多層誘電体導波路による伝搬特性とエネルギー分布”, 電学研資, EMT-12-175, pp.1-6, 2012.

Nihon University Strategic Projects for Academic Research

**Nanotechnology Excellence, Nihon University**  
**— Nanomaterial-based Photonic, Quantum and Bio Technologies —**  
2009—2013

Final Report

Principal Investigator: OTSUKI, Joe  
Professor of College of Science and Technology, Nihon University



## **Nihon University N. Research Project — Summary**

Here we are in the final year of our project "Nanomaterial-based Photonic and Quantum and Bio Technologies", which started in academic year 2009 after one year of feasibility research in 2008. The purposes we set up were to address three of the most pressing problems facing the society today -- (i) the information explosion, (ii) the exhaustion of fossil fuels and the related steep increase of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, and (iii) cancer that accounts for a third of Japanese death. They are apparently wide ranging, but if we look into the origin of these problems from a technological point of view, we find that every problem has its roots in materials in the nanoscale. We have focused on the sciences on quantum mechanical interaction between nanomaterials and light and on advanced technologies that rely on them and conducted this collaborative project comprising researchers from five Colleges of Nihon University, each with a background in science, technology, medicine, or pharmacy.

We have achieved many, if not all, of the research goals we initially set up. In the magnetic recording, we have not only demonstrated a possibility of ultrafast recording, but also found a new mechanism of recording. For recording density, we have achieved smaller recording spots than our planned goal. For quantum information technology, we have achieved the original goals about the single photon detector and the entangled photon source and successfully demonstrated their performance. In the energy technology area, we have found new materials that satisfy the requirements for use in fuel cells, while improvement of solar cell efficiency is still on the way. For the PI polyamides, while studies at the cells and mice levels are continued for cancer treatment, a great progress has been made as a drug candidate for the inhibition of skin scar, which was made into ointment and was found effective on mammalian marmoset.

These achievements have been published in many journals including Nature and its sister journals such as Nature Photonics, Nature Communications, and Nature Materials as well as J. Am. Chem. Soc. etc. and led to 31 patent applications.

A number of new collaborative researches across the Colleges have begun, more than we originally planned, as a result of the project activities. For example, a sintering protocol used by Hashimoto of the College of Humanities and Sciences was applied by Iwata of the College of Science and Technology to the production of high-quality, nano structure-controlled films. A new collaboration has begun between Asai of the College of Science and Technology and Fukuda of the School of Medicine, in which plasma is applied to medicine.

We have placed emphasis on the training and development of young, next-generation researchers through the advanced research. We have provided financial support to (post-doctoral) research fellows and research assistants. Thirty five awards were granted related to the project member, many of which were poster awards and presentation awards to young researchers.

This project has led to a successful selection of a new MEXT strategic project for private universities "Search and Creation of New Materials, Properties, and Devices through Understanding and Control of Ultrafast Interaction between Light and Matter", which we hope will be a successor locomotive for further research activities.

We wish to express our respect and gratitude to professors of the Strategic Research Council for Academic Research and the staff of the Research Promotion Department for the planning, implementation, and support to the "Nihon University Strategic Project for Academic Research" aka "Nihon University *N.* Research Project." We acknowledge the advisory board members for their evaluation and encouragement. We also wish to appreciate all members of Nihon University who allow us to engage in this large-scale project over the last five years.

Here we present the final report, hoping that the achievements of this project will contribute to bring the low-carbon healthy society into reality in the healthy future.

February 5, 2014, Project Leader Prof. Joe Otsuki

## Members

### Representative

Joe Otsuki CST Energy; Supramolecules and Self-Assembly

### Resarchers

Katsumi Abe	SM	Medicine (Apr.2010-Jul.2012)
Osamu Abe	SM	Medicine (Apr.2012-Mar.2013)
Yasuo Asada	CST	Energy
Tomohiko Asai	CST	Nanomaterials and Nanodevices
Shigeru Chaen	CHS	Nanomaterials and Nanodevices
Kazuo Fujikawa	CST	Quantum Theory and Computation (-Mar.2013)
Kyoko Fujiwara	SM	Medicine (Sep.2010-)
Noboru Fukuda	SM	Medicine *
Hideomi Hashiba	CST	Information(QI); Nanomaterials and Nanodevices
Takuya Hashimoto	CHS	Energy*, Nanomaterials and Nanodevices
Hiroki Ikake	CST	Supramolecules and Self-Assembly*
Shuichiro Inoue	CST	Quantum Information ( -Mar.2013)
Hiroshi Ishida	CHS	Quantum Theory and Computation
Akiyoshi Itoh	CST	Information Storage;Supramolecules and Self-Assembly (-Mar.2013)
Nobuyuki Iwata	CST	Nanomaterials and Nanodevices
Ken Judai	CHS	Nanomaterials and Nanodevices (Apr.2011-)
Koichiro Kano	CBS	Medicine
Tsugumichi Koshinaga	SM	Medicine (Sep.2009-)
Takeshi Kusafuka	SM	Medicine (Apr.2009-Aug.2010)
Takeshi Kuwamoto	CST	Quantum Information *
Yoshikazu Masuhiro	CBS	Medicine (Mar.2011-)
Yoshiaki Matsumoto	SP	Medicine
Sachiko Matsushita	TITEC	Energy; Supramolecules and Self-Assembly
Shosuke Mochizuki	CHS	Nanomaterials and Nanodevices (-May 2012)
Hiroki Nagase	Chiba Cancer Center	Medicine
Katsuji Nakagawa	CST	Information Storage*
Naoto Namekata	CST	Quantum Information (Apr.2013-)
Nobuyuki Nishimiya	CST	Energy
Shinichiro Ohnuki	CST	Quantum Theory and Computation
Tokuei Sako	CST	Quantum Theory and Computation*
Masayoshi Soma	SM	Medicine (Apr.2011-)
Kaoru Suzuki	CST	Nanomaterials and Nanodevices*
Motoichiro Takahashi	SM	Medical (Apr.2009-Mar.2010)
Satoru Takahashi	SM	Medicine
Yoshiki Takano	CST	Nanomaterials and Nanodevices
Arata Tsukamoto	CST	Information Storage; Supramolecules and Self-Assembly
Tsuneki Yamasaki	CST	Quantum Theory and Computation

### Advisory Boards

Katsuhiko Ariga	NIMS	Nano
Allan Balmain	University of California, San Francisco	Medicine
Masashi Kimura	Nihon University	Publicity

Jun Miyake	Osaka University	Energy General, Medicine Information
Isao Saito	Nihon University	
Ikuo Suemune	Hokkaido University	

#### Research Fellows

Kenji Imamura	CST (Tokuei Sako)
Hiroshi Iwamatsu	CST (Shinichiro Ohnuki)
P. Kalimutsu	CST (Joe Otsuki)
Yoshio Muroga	CST (Hiroki Ikake)
Yasuhiro Sato	CST (Tomohiko Asai)
Shin Shimamura	CST (Tomohiko Asai)
Tadashi Tojo	CST (Joe Otsuki)
Takayoshi Watanabe	CST (Joe Otsuki)
Qing Lin Wu	CST (Shuichiro Inoue)
Eiki Niwa	CHS (Takuya Hashimoto)
Takayuki Sugimoto	CHS (Takuya Hashimoto)
Makoto Kimura	SM
Jun Igarashi	SM
Mairepati Palati	SM
Megumi Watanabe	SM

#### Post Doctoral Fellows

Agustín Jiménez Aquino	CST (Joe Otsuki)
Yuichiro Hasegawa	CST (Nobuyuki Nishimiya)
Gary James Richards	CST (Joe Otsuki)
Hiroyuki Nobusue	CBS (Koichiro Kano)
Kosuke Saito	SM

#### Research Assistants

Seiya Kishimoto	CST (Shinichiro Ohnuki)
Yuichiro Koide	CST (Hiroki Ikake)
Takuya Sagara	CST (Kaoru Suzuki)
Tetsuya Sato	CST (Arata Tsukamoto)
Yoshinao Shinozaki	CST (Joe Otsuki)
Kazuya Suwa	CST (Joe Otsuki)
Takashi Takeuchi	CST (Shinichiro Ohnuki)
Koichiro Umezu	CST (Kazuo Fujikawa)
Chen Min	SM
Akifumi Iguchi	SM
Yukihiro Ikeda	SM
Shota Uekusa	SM

#### Administration

Yotaro Omi	Apr.2008–Mar. 2009
Rie Kurosu	Apr.2009–Sep.2009
Mami Tone	Sep.2009–Feb.2014

The asterisks indicate the group leaders. CBS = College of Bioresource Sciences, CHS = College of Humanities and Sciences, SP = School of Pharmacy, CST = College of Science and Technology, SM = School of Medicine, TITEC=Tokyo Institute of Technology

## Overview of the Project

This project addresses three major issues that needs technological innovations:

- 1. Information technology: Super high speed, super high density recording and quantum information processing
  - 2. Energy technology: Solar energy harvesting with nanostructures
  - 3. Medical technology: Nanobio technologies for medical applications
- on the basis of our photonic, quantum, and bio technologies through collaborative studies over different departments of Nihon University.

To establish a common basis for the research on the three subjects, this project also explores sciences and technologies in

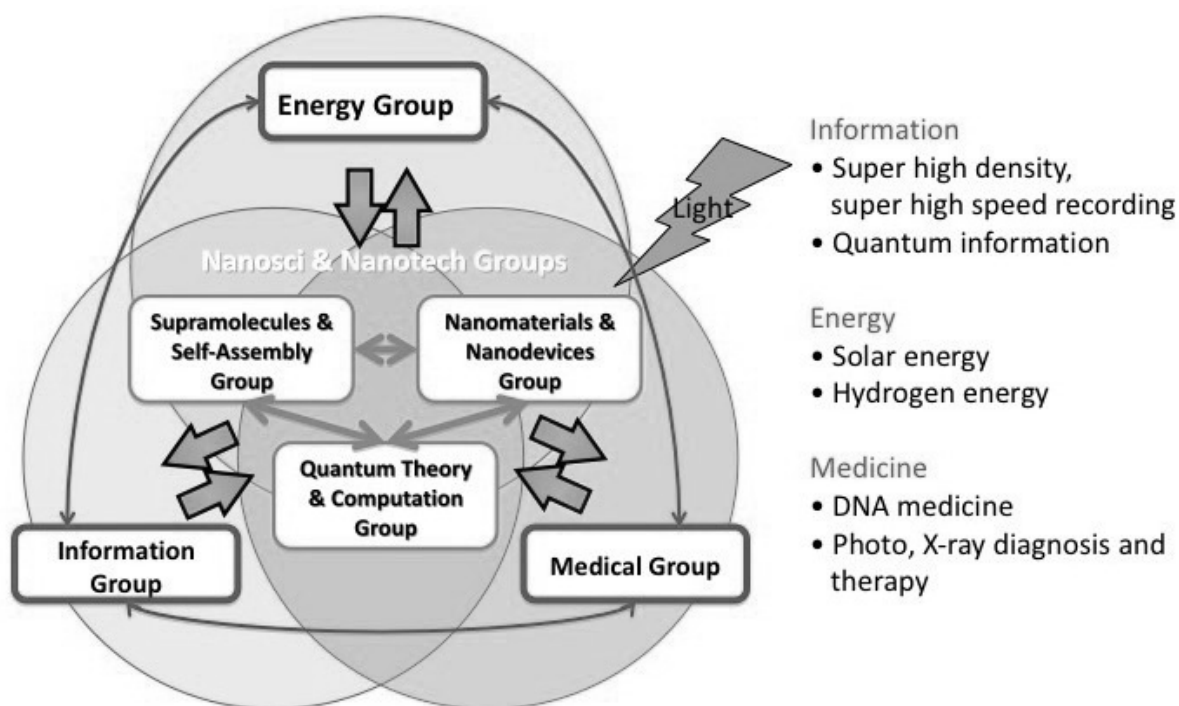
- Photonics and quantum aspects of nanomaterials.

Nanomaterials will be fabricated both from bottom-up approaches and top-down approaches as well as by reactions controlled at the nanometer level. The experimental approaches are complemented by quantum theoretical and computational studies on the interaction of light with matter at the nanometer scale. Nanomaterials will be developed through these approaches for the applications in the above mentioned three areas.

Thus this project aims at providing innovative technologies to contribute to realize a highly-developed sustainable society. We also put an emphasis on education for young generations through the interdisciplinary cutting-edge research.

## Research Groups

The members belong to one or more groups depending on the area of research. Application oriented groups mutually collaborate around the groups for nanoscience and nanotechnology.



## Report by the Project Leader - Project Overview -

- Introduction
- Research Proposal
  - Information Technologies
  - Energy Technologies
  - Medical Technologies
  - Nanomaterials Research
- Research Progress and Achievements
  - Information Technologies: Ultrafast, Ultrahigh Density Recording
  - Information Technologies: Key Technologies for Quantum Information
  - Energy Technologies: Solar Energy and Hydrogen
  - Medical Technologies: DNA Recognition Drug Development
  - Nanomaterials Research
    - Nanostructures through Supramolecules and Self-Assembly
    - Preparation and Characterization of Nanomaterials and Nanodevices
    - Quantum Theory and Simulation of Electromagnetic Field over Nanostructures
- Publication Summary
  - Initial Goals and Final Achievements
  - Publication Data
  - Awards Granted
- Project Activities
  - Support to Young Researchers: Researchers and Research Assistants
  - Dissemination: For Academics and Industry
  - Dissemination: For General Public
- Prospects





## Introduction

In the beginning of 2008, the research program "Nihon University Strategic Projects for Academic Research" was announced. In the program, researchers from different Colleges of Nihon University, geographically separated, were expected to work together. I believe that this was an ambitious program which tried to address issues along the national science and technology policy and meet the society needs, and can have impact, increasing the University's competitiveness.

We started to make a team to apply to the program. There was a group led by Itoh in the College of Science and Technology that I work for, which had worked together in application to the COE and global COE programs by the MEXT (Japanese government). There was also a group members in the College of Science and Technology for the High-Tech Research Center Project on nanomaterials supported by the MEXT to be over in 2008. We made a team mainly from these groups and recruited new members from the College of Humanities and Sciences and the School of Medicine. We had meetings, made a research proposal, and applied to the "feasibility research" in May 2008. Our proposal was selected as one of the five feasibility researches after screening and hearing processes. The team was further improved joined by new members from the College of Bioresource Sciences and the School of Pharmacy. After further presentation, paperwork, and hearing, our proposal was approved as the only one designated research in October 2008. I remember that we held a research retreat in Atami Onsen (hot spring) in February 2009 and discussed our project all day long to jump start the Project.

## Research Proposal

The submitted research proposal was as follows.

This project addresses three major issues that needs technological innovations:

- 1. Information technology: Ultrahigh speed, ultrahigh density recording and quantum information processing
  - 2. Energy technology: Solar energy harvesting with nanostructures
  - 3. Medical technology: Nanobiotechnologies for medical applications
- on the basis of our photonic, quantum, and bio technologies through collaborative research across different Colleges of Nihon University.

To establish a common basis for the research on the three subjects, this project also explores sciences and technologies in

- Photonics and quantum aspects of nanomaterials.

Nanomaterials will be fabricated both from bottom-up approaches and top-down approaches as well as by reactions controlled at the nanometer level. The experimental approaches are complemented by quantum theoretical and computational studies on the interaction of light with matter at the nanometer scale. Nanomaterials will be developed through these approaches for the applications in the above mentioned three areas.

Thus this project aims at providing innovative technologies to contribute to realizing a highly-developed sustainable society. We also put an emphasis on education for young generations through the interdisciplinary cutting-edge research.

The areas of research were determined from a point of view that the members had already established backgrounds and were likely to further develop significantly. We also decided to address

important issues, rather than niche issues, to contribute to solving problems facing society. On the basis of these considerations, we decided to address issues in the most important areas, i.e., information, energy, and medicine. These appear, and are, too broad a theme. From a technological point of view, properties of substances and materials relevant to each one of these areas are determined by the microscopic structures and properties such as the arrangement of atoms and the way they interact with light. Therefore, we need to get insights into the microscopic world and to devise technologies based on the insights. There came a common theme of sciences and technologies on the nanometer scale that is the dimension of assemblies of atoms and molecules. A nanometer (nm) is: 1 nm = 0.000 000 001 m.

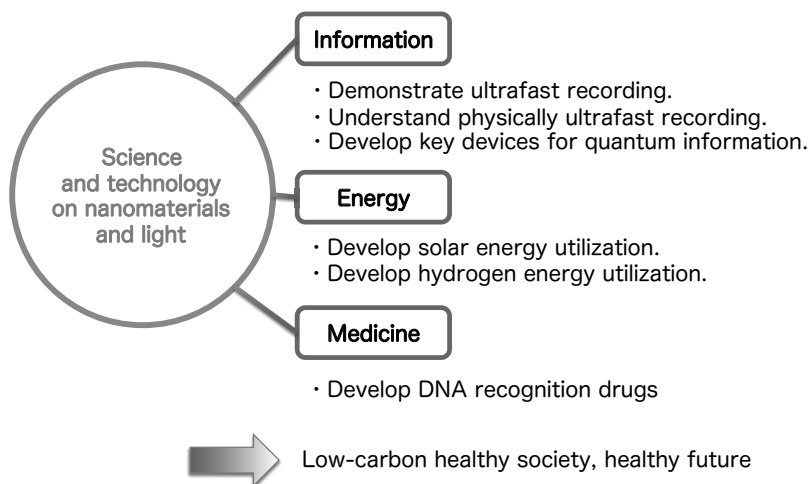


Figure. The goals of this research project.

**Information Technologies.** A new methodology is required to meet the demand of information explosion to record and read more information on smaller regions, faster. Safety must be assured for the large-volume data transfer. This project aims at faster, smaller, and safer information technologies.

**Energy Technologies.** Only the people in the last 100 years enjoy lives which depends on massive fossil fuels as shown in the figure. The Fukushima disaster happened on March 11, 2011, which was beyond our imagination at the start of this project. Although shale gas is being developed, it is certain that the Sun is the only sustainable source of energy. This project aims at better use of solar energy and hydrogen as an energy carrier.

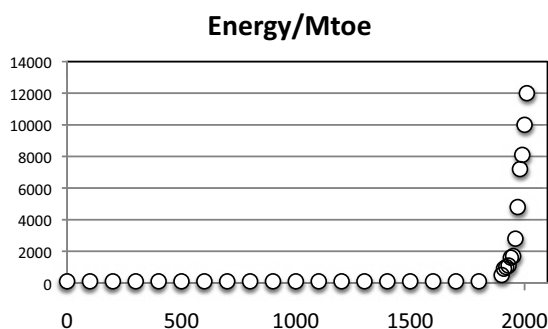


Figure. Energy consumption of humans. The unit of the ordinate is megaton oil equivalent, the abscissa represents the year. Data from the United Nations, BP, and WEO.

**Medical Technologies.** Cancer accounts for a third of Japanese death. Cancer is a disease in which cell proliferation is out of control due to abnormal gene expression. Therefore, if one can control the gene expression, the cure may be within our reach. Doctors in the School of Medicine had been working on synthetic compounds called pyrrole-imidazole polyamides which can recognize the base sequence of DNAs. This project aims at developing drugs based on this class of compounds.

**Nanomaterials Research.** Every one of the above mentioned researches needs nanomaterial-based science and technology. Information needs to be written into an ever smaller area of nanodimension; photovoltaic efficiency depends on the properties of nanointerface where photon-to-electron conversion occurs; the DNA binding compounds recognize the shape and properties of DNA at the nanoscale. We studied these specific aspects of nanoscience and nanotechnology as well as those from broader perspectives.

To fabricate nanomaterials, there are two approaches. One is the top-down approach which is well-known in the semiconductor industry and the other is the bottom-up approach relying on self-assembly which is adopted by living organisms. Both approaches, depending on the background of the individual researchers, are jointly employed in this project. Theoretical studies and numerical simulations were also performed along with the experimental works, because theoretical understanding is indispensable on the interaction of light and nanomaterials.

## Research Progress and Achievements

The scientific impact, novelty, and significance are demonstrated by papers published in reputed journals such as *Nature* and its sister journals, *Nature Communications*, *Nature Photonics*, *Nature Materials* as well as *J. Am. Chem. Soc.*, etc. On the other hand, the technological novelty is seen from 31 patent applications. Thirty five awards were granted from scientific communities; many of which were presentation and poster awards to young researchers, showing the effectiveness of the training and development for young researchers of the project.

The overview of the research achievement is described in the following. Please see the group reports and individual reports that follow for details.

**Information Technologies: Ultrafast, Ultrahigh Density Recording.** The hard disk has an array of tiny magnets, called magnetizations, on the surface. Digital information comprising zero's and one's is recorded as an up or a down of each magnetization. Therefore, the magnetization must be flipped over to write information. In the present technology, the flip-over of magnetization is achieved by magnetic field, which is a slow process on the order of 0.25 Gbit (250 000 000 zero's or one's) per second.

Before this project started, Tsukamoto and Itoh, in collaboration with a Netherlands team, had found a physically new phenomenon. The electric field of passing waves of light can change direction as it passes, which is called circularly polarized light. The new phenomenon Tsukamoto and Itoh found is that a pulse of circularly polarized light on their material flips the magnetization.<sup>123</sup> They named the phenomenon "light-induced ultrahigh speed magnetization inversion." This is a new

<sup>1</sup> Tsukamoto and Itoh et al., *Phys. Rev. Lett.* **2007**, 99, 217204.

<sup>2</sup> Tsukamoto and Itoh et al., *Phys. Rev. Lett.* **2007**, 99, 047601.

<sup>3</sup> Tsukamoto and Itoh et al., *Phys. Rev. Lett.* **2007**, 98, 207401.

method for inverting magnetization completely different from conventional methods. The recording in this new method can be 100 000 times faster than the present method, in principle.

The mechanism had not been known because the phenomenon was unprecedented. They attempted to obtain insight into the mechanism of the magnetization reversal, with faster recording in mind. They successfully demonstrated fast writing by destroying and flipping the magnetization with the first pulse and reading with the second pulse.<sup>4</sup> The whole process took only 30 ps (0.000 000 000 03 seconds), which was already much faster than the status quo. This result was highlighted in the Spotlighting Exceptional Research in *Physics* (2009, 2, 73) published by the American Physical Society, in Research Highlights in *Nature* (2009, 461, 318), and in Research Highlights in *Nature Photonics* (2009, 3, 606).

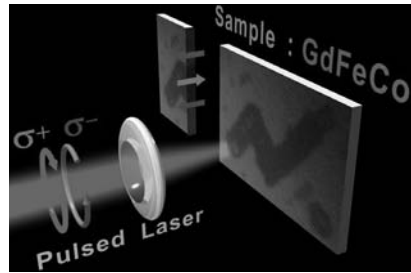


Figure. "N." (Nihon University icon) written by the light-induced ultrahigh speed magnetization inversion.

They then were successful in probing the behavior of magnetization reversal with an extremely short time.<sup>5</sup> Upon irradiation by laser pulse on the material containing iron and gadolinium, the magnetization of iron flips in 300 fs (0.000 000 000 000 3 seconds), while that of gadolinium flips slower in 1.5 ps (0.000 000 000 001 5 seconds). Little had been known about what happens in this time scale and this work marked a milestone in the magnetic materials research. Further, they newly discovered another mechanism for magnetization reversal by ultrafast heating with laser pulse.<sup>6</sup>

In yet another work, they obtained insights not only in a short time domain but also in a small spatial domain by observing magnetization reversal by X-ray laser.<sup>7</sup> The data showed that magnetic interaction between iron-rich domain and gadolinium-rich domain affects the magnetization dynamics. These results suggest that the nanostructure of the magnetic material can be engineered to control the magnetization reversal behavior, possibly leading to faster recording.

Light can be fast but on the other hand cannot be concentrated smaller than its wavelength scale due to its nature as waves. With visible light, with the wavelength around 500 nm, one can write a bit of information in an area of 500 × 500 nm, which determines the information density. Nakagawa and Ohnuki et al. addressed this problem with near-field light. Upon light irradiation on a nano-sized metal, the light apparently resides near the metal. This state of light, which is called near-field light, has the effect of concentrated light around the nanoregion and thus may be used for ultrahigh density recording. They approach the issue from both experiments and simulation, culminating in a minimum 62 nm × 67 nm recording area at present.

### **Information Technologies: Key Technologies for Quantum Information.**

The amount of information trafficking is increasing exponentially as well as the information stored. The safety of information transfer is assured by cryptography. The present cryptography relies on the

<sup>4</sup> Tsukamoto and Itoh et al., *Phys. Rev. Lett.* **2009**, 103, 17201.

<sup>5</sup> Tsukamoto and Itoh et al., *Nature* **2011**, 472, 205.

<sup>6</sup> Tsukamoto and Itoh et al., *Nat. Commun.* **2012**, 3, 666.

<sup>7</sup> Tsukamoto et al., *Nat. Mater.* **2013**, 12, 293.

fact that computers are not good at integer factorization or prime factorization, meaning that it takes too much time to do it. Recently, integer factorization of numbers over 200 digits was reported (NTT, 2010) and the safety concerns are increasing.

Quantum cryptography is attracting attention because it is impossible, on the basis of its principle, to do eavesdropping or decoding. There remains a number of technological problems to bring the quantum cryptography into reality, however. Namekata and Inoue had cutting-edge achievements including

- First cryptography demonstration in Japan using existing local area network (LAN) lines,<sup>8</sup>
- A single-photon detector with the highest repetition rate for optical communication band,<sup>9</sup>
- Quantum key distribution with the highest repetition frequency.<sup>10</sup>

In this project, they further developed key devices and demonstrated their performances.



Figure. The first quantum cryptography experiment in Japan using the LAN.

The most important device for quantum information technology is the single-photon detector. Light is a wave on the one hand but a particle called a photon on the other and is counted as one, two, and so on. The quantum cryptography utilizes this property of light. Therefore, the individual photons must be detected when they arrived, and quickly. Namekata and Inoue have developed a single-photon detector with a repetition frequency of 2 GHz (2 000 000 000 times per second) by a custom-operated avalanche photodiode photodetector.<sup>11</sup> They also developed a high-quality photon-number discriminator that can tell how many photons arrived with a repetition rate of 80 MHz (80 000 000 times per second), orders of magnitude faster than conventional devices (100 kHz, 100 000 times per second). They were successfully demonstrated a quantum operation called non-Gaussian operation.<sup>12</sup>

They performed quantum key distribution experiments using their own devices and achieved long-distance distribution (160 km) and high-rate distribution (1 Mbps = 1 000 000 times per second).<sup>13</sup>

Further extension of the distribution distance requires quantum relays. One of the key technologies for quantum relay is the generation of entangled photon pairs and entanglement swapping. They obtained entangled photon pairs with a high purity of  $\sim 0.9$  compared with conventional  $\sim 0.75$  for the optical communication band (1550 nm). They also developed a quantum receiver beyond the standard

<sup>8</sup> Namekata, Inoue et al., *Opt. Express* 2005, 13, 9961.

<sup>9</sup> Namekata, Inoue et al., *Opt. Express* 2006, 14, 10043.

<sup>10</sup> Namekata, Inoue et al., *Appl. Phys. Lett.* **2007**, 91, 011112.

<sup>11</sup> Namekata, Inoue et al., *IEEE Photo. Tech. Lett.* **2010**, 22, 529.

<sup>12</sup> Namekata, Inoue et al., *Nat. Photon.* **2010**, 4, 655.

<sup>13</sup> Namekata, Inoue et al., *Opt. Express* **2011**, 19, 10632.

quantum limit of coherent optical communication.<sup>14</sup>

These achievements attracted great attention from industry and were highlighted in many specialized periodicals.

- Nikkan Kogyo Shinbun, February 12, 2010.
- Nikkan Kogyo Shinbun, July 8, 2010.
- Laser Focus World, June 28, 2011.
- Fuji Sankei Business i, June 28, 2011.
- Nikkan Kogyo Shinbun, May 16, 2011.
- Denkei Shinbun, February 27, 2012.
- Denpa Times, March 5, 2012.

For the quantum relay, a quantum memory is required in addition to the entanglement exchange mentioned above. Relevant paper by Kuwamoto on the Bose-Einstein condensates was selected in the Highlights of 2011 of *J. Phys. B*.<sup>15</sup>

**Energy Technologies: Solar Energy and Hydrogen.** In the energy technology area, we put focus on systems that utilize solar light energy. We studied each of the technologies that comprise the solar utilization cycle shown in the figure below, i.e., solar photovoltaics, photodriven hydrogen generation, hydrogen storage, and fuel cells that generate electricity from hydrogen.

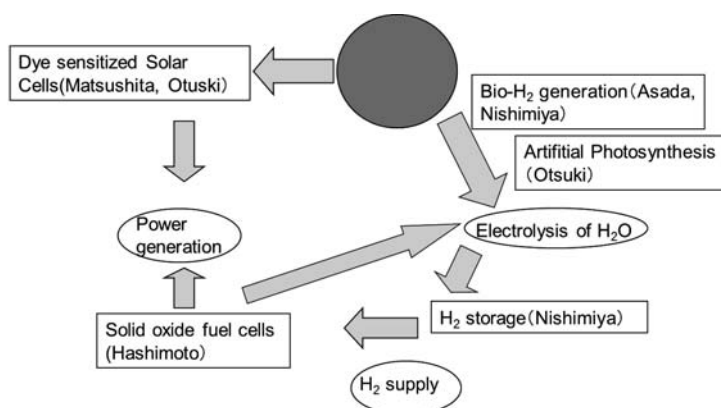


Figure. Solar energy utility cycle and technologies we addressed.

Dye-sensitized solar cells are one of the promising candidates for the next-generation solar cells. This has an advantage that the absorption wavelength and electrochemical potentials can be tuned by chemical design because light absorbing materials are molecules unlike silicon solar cells. To take advantage of this property, Otsuki examined a class of compounds named "perylene-dicarboxylic imides" systematically and revealed the structure–performance correlation. The maximum efficiency obtained through the study was 3.1%.

Matsushita attempted to increase the efficiency by using photonic crystals to confine the light on the cell. She obtained data that confirmed that the near-field light produced by the photonic crystals indeed increases the light-to-current conversion efficiency per dye molecule.

The sun light may be converted to chemical energy such as in the form of hydrogen molecule, instead of producing electricity. Hydrogen generation using synthetic molecules and photosynthetic bacteria was both examined. Otsuki designed supramolecular catalysts that self-assemble to form

<sup>14</sup> Inoue et al, *Phys. Rev. Lett.* **2011**, *106*, 250503.

<sup>15</sup> Kuwamoto et al., *J. Phys. B* **2011**, *44*, 075302.

catalytic sites spontaneously just upon mixing in solution and found that the turn-over number of hydrogen generation was twice as much as a system without self-assembly.<sup>16</sup>

Asada and Nishimiya found that the hydrogen generation was increased by placing a hydrogen-storage alloy in the hydrogen-generation chamber containing photosynthetic bacteria.<sup>17</sup> This was made possible by a water- and moisture-resistant treatment of the hydrogen-storage alloy developed by Nishimiya.

Fuel cells are used for the generation of electricity from hydrogen. There are several types of fuel cells, among which the solid oxide fuel cells are attracting attention as a highly efficient device. For the commercialization of the solid oxide fuel cells, the operation temperature must be lowered from the present 800–1000 °C to 600–800 °C. New materials are needed to achieve the low temperature operation, which was addressed in the project.

Hashimoto systematically searched for materials prepared by the Pechini method that can mix the starting materials at the nanoscale and found materials that achieved the required properties. Fuel cells require the air electrode and the proton conductive material. He found that the optimal air electrode material is  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ <sup>18</sup> and the optimal proton conductive material is  $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ .<sup>19</sup> He is now at the stage of preparation of prototypes of fuel cells.

**Medical Technologies: DNA Recognition Drug Development.** Genetic information is stored as the sequence of four types of bases in DNAs, which are giant molecules. It was known that distamycin, which has pyrrole groups, pentagonal units containing a nitrogen atom, binds DNA. Around 1990, Dervan found that synthetic molecules in which imidazole, a pentagonal unit containing two nitrogen atoms, is introduced into the distamycin framework bind DNA in a sequence-selective manner. He termed the molecules pyrrole–imidazole polyamides (PI polyamides hereafter).

The researchers of the Schools of Medicine had been working on the PI polyamide when the project started. They have advanced the studies aiming at drug development in this Project.

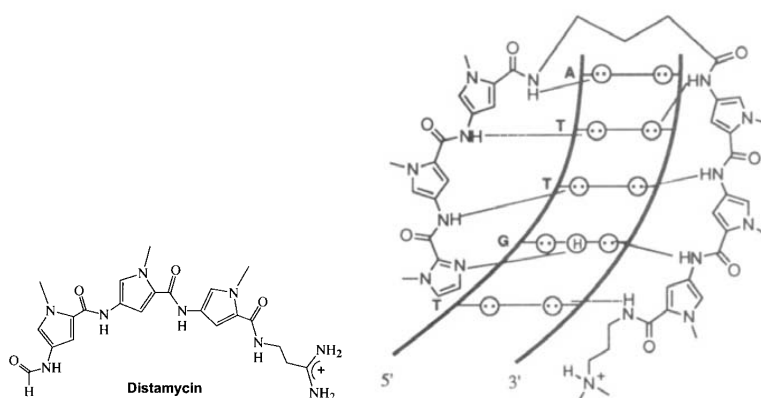


Figure. Distamycin (left) and an example of PI polyamides (right).

They confirmed suppression effects of PI polyamides on gene expression and cell proliferation in experiments using an osteosarcoma cell line, a hepatoblastoma cell line, Wilm's tumor cell line, and a

<sup>16</sup> Otsuki et al., *Chem. Commun.* **2010**, 46, 8466.

<sup>17</sup> Asada, Nishimiya et al., Patent Application 2011-124597.

<sup>18</sup> Hashimoto et al., *Solid State Ionics*, **2010**, 181, 1771.

<sup>19</sup> Hashimoto et al., *Solid State Ionics* **2012**, 206, 91.

human prostate cancer cell line. Some PI polyamides were also found effective in mice experiments. Pharmacokinetic behaviors of PI polyamides were also evaluated. A paper by Soma, Fukuda, and Matsumoto on PI polyamides was selected as the excellent paper in *Biol. Pharm. Bull.* published by the Pharmaceutical Society of Japan in 2012.<sup>20</sup>

The transforming growth factor (TGF) is a class of proteins that bind DNA and regulate its expression. TGF is categorized into two subdivisions, TGF- $\alpha$  and TGF- $\beta$ . The TGF- $\beta$  are proteins which are produced in various tissues and are involved in cell growth, production of extracellular matrices, and regulation of immunity. Fukuda et al. designed multiple PI polyamides that bind to the sequences in the binding site of TGF- $\beta$ 1 and found a lead compound that inhibited the expression of TGF- $\beta$ 1 mRNA (the template for TGF- $\beta$ 1) in human- and marmoset-derived fibroblasts. To facilitate drug development, while continuing studies aiming at treating cancer, evaluation of the compounds for a simpler symptom was performed on mammalian marmoset. They made the PI polyamide into ointment and applied to fibrotic scar on marmosets and confirmed the inhibition of the skin scar. The results were highlighted in Nihon Keizai Shinbun (October 18, 2013, for a full image, see appendix).



Figure. Less scar after surgical operation. Clinical trial expected next year.

Other than on PI polyamides, studies on dedifferentiated fat cells (DFAT) found by Kano and the Stabilon, a 16-peptide motif that stabilizes proteins, found by Masuhiro have advanced. Further, Kano et al. clarified the relationship between the dynamics of cell shape and gene expression during cellular differentiation of fat cells.<sup>21</sup> Photodynamic effects were evaluated for newly synthesized porphyrin and chlorophyll derivatives by Otsuki, Fujiwara, and Nagase. Asai and Fukuda are working on plasma for applications in medicine.

Another topic is that Nagase et al. in the Balmain group have analyzed genetic network structures related to skin inflammation and tumor susceptibility, the results of which were published in *Nature*.<sup>22</sup>

**Nanomaterials Research.** Each member of the project has his/her own expertise in various area of nanoscience and nanotechnology. This project aims at facilitating communication among them thereby advancing collaborative studies and providing their expertise, materials, and techniques to the

<sup>20</sup> Soma, Fukuda, Matsumoto et al., *Biol. Pharm. Bull.* **2012**, 35, 2028.

<sup>21</sup> Kano et al., *Nat. Commun.* **2014**, in press.

<sup>22</sup> Nagase, Balmain et al., *Nature* **2009**, 458, 505.



areas of information, energy, and medical technologies.

The following three groups were organized.

- **Supramolecules and Self-Assembly Group.** Preparation and characterization of nanomaterials and nanostructures from the bottom-up approach.

- **Nanomaterials and Nanotechnology Group.** Preparation and characterization of nanomaterials and nanostructures from the top-down approach.

- **Quantum Theory and Computation Group.** Quantum mechanics and simulation on the interaction of nanomaterials and light.

Advances in these groups will be described in the following sections. There I present various nanostructures and their properties obtained in the Project, which include examples with significance in their own right and those promising for applications to information, energy, and medical technologies.

**Nanostructures through Supramolecules and Self-Assembly.** Otsuki et al. had been working on construction of molecular assemblies and characterization of them at the molecular scale. The examples shown below are arrays of compounds called porphyrins. The molecular structures are custom-designed such that intermolecular interaction moieties (hydrogen bonding sites) are introduced in the molecules. They found that, by design of the molecular structure, molecules can be arranged, for example, into double-rows (left) and into a zigzag pattern (right).<sup>23</sup> In this Project, the self-assembly has been further examined including three-dimensional architecture.

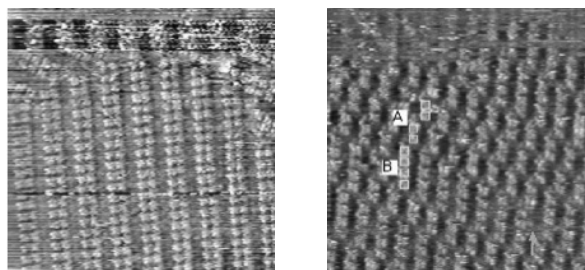


Figure. Porphyrin molecules arranged in double rows (left) and in a zigzag pattern depending on the molecular structure.

In natural photosynthesis, chlorophyll molecules assemble into organized arrays and function as light-harvesting antenna. Otsuki et al. investigated self-assembly structures with synthetically modified chlorophyll molecules. One of them was found to form double helices, reminiscent of the double helices of DNA, in the crystal state.<sup>24</sup> It is significant that a molecule was organized into a three-dimensional structure of this complexity (and beauty). The result also offers a hint to construct artificial antennae for light-harvesting.

<sup>23</sup> Otsuki et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 10400.

<sup>24</sup> Otsuki et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 5262.

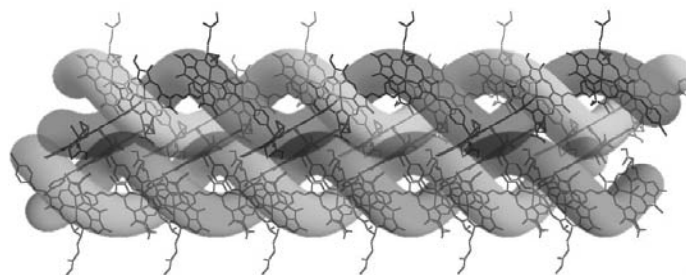


Figure. Double helices of a modified chlorophyll molecule.

Otsuki et al. prepared a double-decker porphyrin complex to observe molecular dynamics at the single molecule level. It was anticipated that this molecule rotates around a cerium atom residing at the center of the molecule. The molecules were made into array on a substrate surface and were observed with a scanning tunneling microscope. They obtained images showing that some molecules have changed their orientation, which was the first successful visualization of this type of molecular motion.<sup>25</sup>

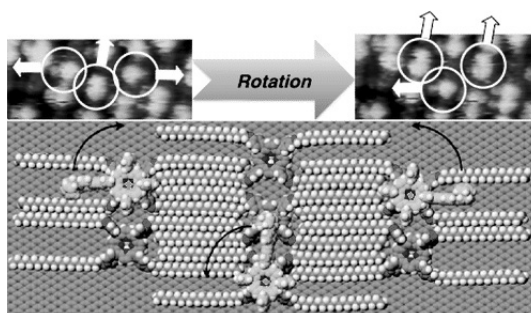


Figure. Visualization of molecular motion at the single molecule level.

Itoh and Tsukamoto succeeded in preparing magnetic nanoparticle arrays for ultrahigh-density magnetic recording. Their method took advantage of the self-assembly of 5-nm sized silica nanoparticles and nanopores. The particle density was 5.4 T (5 400 000 000 000) particles per square inch, which was beyond the original goal. Matsushita et al. prepared star-shaped and ring-shaped nano-objects by a newly developed method combining a bottom-up approach and local heating.<sup>26</sup> Ikake et al. found that polylactic acid, a polymer derived from plants, forms highly transparent films by preparation of complexes of the stereoisomers.

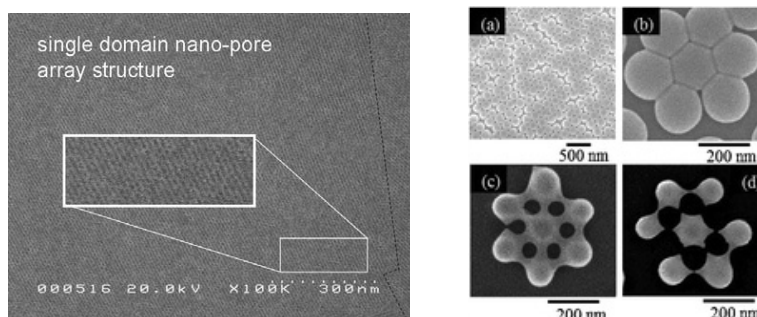


Figure. Nanopore array (left) and nano stars (right).

<sup>25</sup> Otsuki et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 6870.

<sup>26</sup> Matsushita et al., *Chem. Commun.* **2012**, *48*, 1668.

## Preparation and Characterization of Nanomaterials and Nanodevices.

The members of the Project have various backgrounds in specialized methods and materials. The methods include precision electron and X-ray diffraction analysis, characterization of superconductivity, single photon detection, and control over plasma; the materials include superconductive two-dimensional layered materials, metal oxide nanoparticles, carbon nanotubes, carbon nanorods, and hetero-structured semiconductors.

In this Project, the following materials, systems, and properties were studied.

- Carbon nanotubes containing ferromagnetic metal (magnet) inside
- Diodes made from carbon nanotubes (nanorods) and diamond-like carbon
- Thin films of hydrogen storage alloy
- Highly crystalline zinc oxide thin films
- Iron-based superconductors, particularly 1111- and 111-types
- Ultrahigh-density target prepared with the Pechini method
- Superlattice prepared using the ultrahigh-density target
- Chirality-controlled single-walled carbon nanotubes via irradiation of free-electron laser
- Photonic crystals for efficiency improvement of dye-sensitized solar cells
- Nano ribbons of silver tolylacetylide
- Photoluminescence of oxygen storage materials

The following devices and methods have been developed.

- Plasma irradiation device for sterilizing periodontal disease bacteria
- Nano bubble producing device<sup>27</sup>
- Atmospheric plasma device for cancer treatment
- Single photon detector for terahertz bands
- Characterization of molecular motion in muscle and ATP hydrolysis at the molecular level
- Scanning electron microscopic method for live cells

**Quantum Theory and Simulation of Electromagnetic Field over Nanostructures.** Theorists, in collaboration with experimental teams, studied quantum theory and made simulations on the nanoscale. Materials in nano-scale regions behave in accordance with quantum mechanics. Therefore, it is important to address unresolved problems in quantum mechanics as well as to develop computational methods to predict what happens when light hit a nanomaterial. This Project addressed these issues.

There remains unresolved issues in quantum mechanics. One of them is Hund's rule. The rule states that, in a situation where two electrons reside in different orbitals, the state in which electron spins are oriented in the same way is more stable than the state in which electron spins are oriented in the opposite ways. The puzzle was why. Sako found that there is a domain in space where two electron spins in the opposite directions cannot exist, which raises the energy of the spins in the opposite directions.<sup>28</sup> This analysis solved the long-standing puzzle in quantum mechanics. The work was chosen as the IOP select by the Institute of Physics (UK) and highlighted in the Europhysics News published by the European Physical Society.

Solid surfaces are important for device applications. The surface is nanoscale in essence and hence the properties are determined by quantum mechanics. Ishida et al. revealed properties of the following

---

<sup>27</sup> Suzuki et al., Patent Application 2012-204982.

<sup>28</sup> Sako et al., *Phys. Rev. A* **2011**, 83, 032511.

surface systems quantum mechanically.

- Interface between metal and Mott insulator
- A single molecule between metal electrodes
- Surface of metal crystals

The information technology group of this Project has investigated near-field light as a means of information recording. Ohnuki and Nakagawa approached the problem from simulation. They developed a high-precision computation method more than 100-fold faster than conventional methods.<sup>29</sup>

Simulation of a variety of nanostructured photonic crystals were also performed to analyze the light confinement effects.

Ohnuki and Sako have developed a new code that simultaneously solves the Maxwell equations, which describes how electromagnetic waves behave, and the Schrödinger equation, which describes how nanomaterials behave, to simulate the interaction between light and nanomaterials.<sup>30</sup> Only the newly developed method afforded the correct solution to a situation where light is irradiated onto a nano-sized plate, while conventional methods failed to give the correct solution.

## Publication Summary

**Initial Goals and Final Achievements.** The tables below list the initial goals and the final achievements for each group.

**Table. Information Technology: Ultrahigh Speed/Density Recording**

Items	Status quo	Original technologies	Target
(1) writing speed	0.25 Gbits/s	photoinduced magnetization	25000 Gbits/s
(2) recording density	0.2 Tbits/inch <sup>2</sup>	nanomagnetic material through self-assembly	2 Tbits/inch <sup>2</sup>
(3) writing density	0.6 μm <sup>2</sup> /bit	near-field thermally assisted recording	0.003 μm <sup>2</sup> /bit

(1) Magnetization reversal was proven with a single 40 fs pulse, corresponding to 250000 Gbits/s. Continuous recording is to be addressed.

(2) Particle density of 5.4 Tbits/inch<sup>2</sup> (2.7-fold greater than the goal) was achieved. Homogeneous preparation in sizes and properties is to be addressed.

(3) 0.004 mm<sup>2</sup>/bit was achieved. Further miniaturization is ongoing.

<sup>29</sup> Ohnuki, Nakawaga et al., *J. Electromagn. Waves Appl.* **2012**, 26, 997.

<sup>30</sup> Ohunuki, Sako, Nakawaga et al., *Int. J. Numer. Model.* **2013**, 26, 533.

**Table. Information Technology: Quantum Information**

Items	Status quo	Original technologies	Target
(1) single photon	<10%	quantum dots	30%
(2) single photon detector	1%, dark count~ $10^{-8}$	superconducting thin wire	50%, $10^{-8}$
(3) photon number resolving detector	0.2 eV, 100 kHz	superconducting transition edge sensor	0.2 eV, 1 MHz
(4) entanglement exchange	fidelity<0.7	High fidelity exchange	>0.9
(5) quantum memory	1 ms, low temp	Bose condensates	10 ms
(6) quantum bit device	~1%, <0.3 K	THz plasmonic quantum bit	>5%, rt-1.8 K

(1) Single photon emission was confirmed.

(2) Detection with 6% efficiency with dark count  $\sim 10^{-8}$  was achieved with a InGaAs/InP-APD.

(3) Efficiency >80%, resolution 0.2 eV, repetition >80 MHz (80-fold greater than the goal) were achieved.

(4) Fidelity  $\sim 0.9$  was achieved.

(5)  $\sim 0.3$  ms Storage and 100% efficiency were achieved.

(6) Results suggesting >1.1 K operation. Sensitivity of the detector increases by an order of magnitude.

**Table. Energy Technologies: Harnessing Solar Energy with Nanostructures**

Items	Status quo	Original technologies	Target
(1) water photolysis with supramolecules	not exist	self-assembly of sensitizer and redox catalysts	to realize
(2) light assisted hydrogen storage	a new concept	light triggered desorption that we have found	yield >0.1 >6 wt%
(3) high strength fuel cell	60 MPa, 900 °C	a new preparation process from micro/nano particles	2-5 fold, 600 °C
(4) DSSC with inexpensive dyes	3%	light confinement effect of nano structure	5%
(5) bioreaction of photo-synthetic organisms	rate 34 nmol/h/mg	genetically engineered photosynthetic organisms	an order of magnitude increase

(1) Supramolecular system produced twice as much  $H_2$ . Complete water photolysis is yet achieved.

(2) Quantum yield  $\sim 0.01$ . Doubling capacity with 2wt% alloy achieved. 3wt% alloy being tested.

(3) Promising cathode and electrolyte materials found. Test cell has been completed to be tested.

(4) 1.7-fold increase confirmed due to light confinement effect.

(5) Anabaena/ZrVFe system recorded 7-fold increase in  $H_2$  production.

**Table. Medical Technologies: Nanobiotechnologies for Medical Applications**

(1) probe compounds for cancer	under investigation	cancer specific compounds identified	to realize
(2) luminescent compounds	safety, sensitivity	safe, long wavelength luminescent compounds	detection of cancer marker with compounds
(3) ex vivo diagnosis	low diagnosis rate	highly sensitive and specific diagnosis	diagnosis rate >80% small error <10%
(4) in vivo image diagnosis	early detection of cancer is difficult	improvement and low-cost detection system	candidate compounds for in vivo use
(5) treatment of cancer and other diseases	affecting normal region	cancer-specific drugs and new treatment	preclinical trial

(1), (2) in progress.

(3) Telomere labeling method established by coworkers. Applications being tested.

(4) Fluorescence tumor labeling achieved in animal experiments. Diagnostic application needs further studies.

(5) Data obtained in preclinical trials in animal experiments. Clinical trials to be done. As a scar treatment drug, the compound was made into ointment and effect confirmed for mammalian experiments.

**Publication Data.** The following table presents the numbers of papers, books, patent applications, conference presentations, awards, and external funding. The first numbers in the parentheses are for collaboration among members and the second numbers for collaboration among members across Colleges. The network showing collaboration is also shown.

Table. Publications.

	2009	2010	2011	2012	2013
Paper	117(20,6)	108(15,4)	121(20,3)	112(22,5)	128(18,11)
Patent application	8(1,0)	9(4,1)	8(2,0)	3(2,0)	3(1,0)
Invited lecture	80	45	66	29(5,2)	68(6,2)
Conference presentation	323	327(51,10)	281(57,6)	277(126,16)	391(104,29)
Book	17	11	19	5	17
Award	4	4	5	9	13
External funding	30(11,0)	33(13,2)	27(10,2)	27(7,1)	30(3,0)

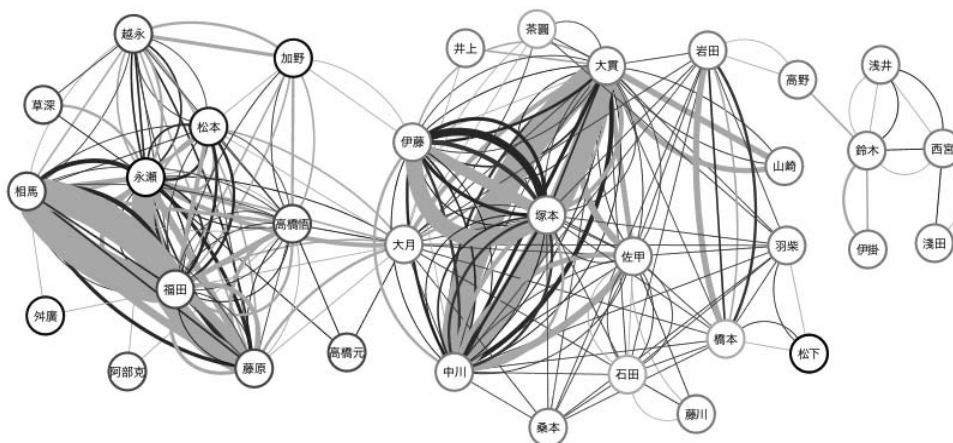


Figure. Collaboration network of individual members in the Project. The lines represent collaboration with the width indicating the number. Black lines are for joint papers and grey lines are for other forms of publication.

**Awards Granted.** Twelve awards were granted to members for their research and 23 poster and presentation awards were granted to researchers and students under the supervision of a member.

## Project Activities

Twice a year, all members got together to semiannual meetings to report and discuss about progresses. Once a year we organized a symposium, co-organized a young forum with the Advanced Materials Science Center (AMSC) of the College of Science and Technology (CST), and organized a special session in the CST symposium. Seminars were also organized on a non regular basis. Other activities for dissemination purposes will be described later.

Table. Events facilitating collaboration and dissemination.

AY 2008	Feb 27	Semiannual Meeting (retreat, Atami)
AY 2009	Sep 7	Semiannual Meeting (CST)
	Sep 18	The First Symposium (SM)
	Oct 31	Science Agora (Odaiba)
	Nov 28	CST symposium special session (CST)
	Jan 15	Semiannual Meeting (CST)
	Feb 13	AMSC young forum (CST)
AY2010	May 10	Semiannual Meeting (CST)
	Sep 8	Second Symposium (CST)
	Jan 8	Semiannual Meeting (CST)
	Feb 5	AMSC young forum (CST)
AY 2011	May 27	Semiannual Meeting (CST)
	Aug 24	Semiannual Meeting (CST)
	Nov 26	CST symposium special session (CST)
	Jan 7	Semiannual Meeting (CST)
	Jan 28	AMSC young forum (CST)

	Feb 20	Third Symposium (HQ)
AY 2012	May 26	Semiannual Meeting (CST)
	Sep 15	Fourth Symposium (CHS)
	Nov 28	CST symposium special session (CST)
	Jan 12	Semiannual Meeting (CST)
	Feb 9	AMSC young forum (CST)
AY 2013	May 18	Semiannual Meeting (CST)
	Jun 11	JST New Technology Presentation Meeting (JST)
	Dec 21	Fifth Symposium (HQ)
	Feb 15	AMSC young forum (CST)

CST: College of Science and Technology, SM: School of Medicine, AMSC: Advanced Materials Science Center, HQ: Headquarters of Nihon University, CHS: College of Humanities and Sciences, JST: Japan Science and Technology Agency.

**Support to Young Researchers.** We hired (post-doctoral) research fellows for their support as well as for advancing research. We also hired research assistants for their works in the PhD courses, taking in consideration that many Japanese universities now discount the fees for the graduate school. Two of the research assistants were granted the DC scholarship by the Japan Society for the Promotion of Science.

Table. Research fellows and research assistants

	2009	2010	2011	2012	2013
(PD) research fellow	3	7	9	10	10
research assistant	5	5	3	4	5

Former fellows are now working in universities, industry, and medical institutions in the world:

Gandhigram Rural Institute (India), Chisso, physician, Akiru Municipal Medical Center, CHS of Nihon University, Masukawa Institute of Science and Culture, CHS of Nihon University, Chiba Cancer Center, Tsukuba University, Keio University, Alcaliber (Spain)

### **Dissemination: For Academics and Industry**

**Symposium.** Symposiums were organized annually. The first one in 2009 was on an international basis in English language, the second one in 2010 was organized for young researchers, and the fourth one was jointly organized with the MEXT project of the College of Humanities and Sciences. We organized the final symposium including a cross talk show with high-school students (see Dissemination: General Public).





Figure. Posters for the symposiums (2009–2013).

**JST New Technology Presentation Meeting.** Japan Science and Technology Agency organizes New Technology Presentation Meetings for the promotion of commercialization of technology seeds held by universities and public institutes. On June 11, 2013, we jointly organized this meeting for the promotion of our technology seeds and presented six inventions for which the patents are applied.

We greatly acknowledge the Research Promotion Department, the Intellectual Property Departments, and the Nihon University Business, Research and Intellectual Property Center (Nubic) of Nihon University.



Figure. JST New Technology Presentation Meeting (2013).

**Journal of Research Institute of Science and Technology.** Review articles were published in the *Journal of Research Institute of Science and Technology*, published by the College of Science and Technology, Nihon University. This journal is available free of charge on line through J-Stage.

- Tsukamoto, Itoh, "Ultrafast Manipulation and Measurements of Magnetization by Ultra Short Pulsed Laser", 2011, No. 122, p. 25.
- Inoue, Namekata, "Development of Single-photon Detectors for Practical Quantum Cryptography", 2011, No. 123, p. 1.
- Otsuki, "Fiddling with Electrons and Photons Using Metal Complexes at the Molecular Scale" 2011, No. 124, p. 26.

**Special Sessions in the Annual Meeting of the Chemical Society of Japan.** The Chemical Society of Japan organizes special sessions for communications among industry, public, and academic sectors, development of new fields, and interdisciplinary researches. Two such special session were

organized by members of this Project.

- March 27, 2009, Special session in the 89th Annual Meeting; organized by Nishimiya "Chemistry as central science: building up sustainable healthy society"
- March 27, 2014, Special session in the 94th Annual Meeting; organized by Otsuki (planned) "Interaction of Light and Matter: From Basics to Photonic Materials and Devices"

## Dissemination: For General Public

**Website.** We made our website that was linked from the top page of Nihon University. News of publications in top journals and awards granted and announcements for symposium were publicized.

**Science Agora.** Science Agora is one of the largest scientific events in Japan for general public annually held in Odaiba in the Tokyo bay area. We presented a panel designed by Prof. Kimura of the College of Art.



Figure. Science Agora (2009).

**Cross Talk Show with High School Students.** As part of the final symposium held on December 21, 2013, a cross talk show "great science and job as a scientist." Some researchers from the Project (Otsuki, Tsukamoto, and Matsushita) and high school students talked about science on the stage. Twenty three high school students joined the show. This event was planned by Prof. Kimura of the College of Art and Owada of the Research Promotion Department. Ms. Kuwabara, a student of the College of Art, emceed the show.

**Publication of Book.** An easy-to-read book about the researches and researchers' thoughts in this Project will be published written by science writers who interviewed some of the members. The book is entitled "Six Promises in the Future – Stories of Nihon University *N.* Research Project –" and is to be published in March 2014 by Leave-A-Nest Publication.

**Media.** Our Project was highlighted in several media for general public. Most of them was mediated by the Research Promotion Department, Intellectual Property Department, and the (Nihon University Business, Research and Instinctual Property Center (Nubic).

- 2009, Nikkan Kogyo Shinbun, April 17
- 2009, Toyo Keizai, June 27
- 2010, 2011 Takuetsu-suru Daigaku, Daigaku Tsushin
- 2013, Daigaku no Yakusoku, Recruit



Figure. Our Project highlighted in media.

**Dissemination in the University.** Five issues of Nihon University Press covered our Project and published articles on various aspects of the Project. Nichidai Koho and many other College brochures also highlighted our Project.



Figure. Nihon University Press, April to August, 2010.

## Prospects

One of our goals was to acquire another funding when the Project is over based on our achievements during the five years. In this sense, we were able to start a new large-scale project this year, the MEXT strategic project for private universities "Search and Creation of New Materials, Properties, and Devices through Understanding and Control of Ultrafast Interaction between Light and Matter", led by Tsukamoto, which we hope will be a successor locomotive for further research

activities.

Some of the members will join large-scale projects which are listed below.

the MEXT strategic project for private universities
Institute: Nihon University, AY 2013 to 2017 Search and Creation of New Materials, Properties, and Devices through Understanding and Control of Ultrafast Interaction between Light and Matter" led by Tsukamoto
Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas
AY 2013 to 2017 Molecular Architectonics: Orchestration of Single Molecules for Novel Functions Ishida, Sako
METI Technology for renewable energy storage and transport (energy carrier project)
AY 2013 to 2017 Electrochemical Ammonia Synthesis from Water and Nitrogen in Molten Salt Nishimiya

**Final Reports of Groups**

➤ Information Storage Group .....	140
➤ Quantum Information Group .....	144
➤ Energy Technology Group .....	148
➤ Medical Group .....	150
➤ Supramolecules and Self-Assembly Group .....	154
➤ Nanomaterials and Nanodevices Group .....	156
➤ Quantum Theory and Computation Group .....	161

## Information Storage Group

Katsuji Nakagawa\*, Akiyoshi Itoh, Arata Tsukamoto

### 1. Research Purpose

The information storage group pursues fundamental research to quest for high-density and high-speed memory for going green technology.

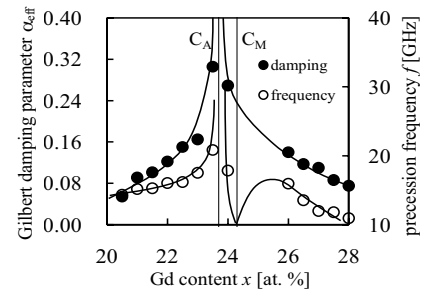
### 2. Advances and achievements in 2009

A high-speed recording and huge capacity for storage are extremely precious to our society. The phenomenon of a photo-induced magnetization applying a femto-second laser, which was revealed by our members, suggested a possibility to dramatically improve the high-speed recording of information technology. Besides, utilizing nano-technology fabrication for a near-field antenna and recording materials, huge capacity will be achieved.  $Gd_x(Fe_{87.5}Co_{12.5})_{100-x}$  as a rare-earth transition metal alloy film was studied. Optical Parametric Amplifier (OPA), which is supported by the project, was installed to probe the phenomena from 0.5 to 5 eV in energy. Substrates

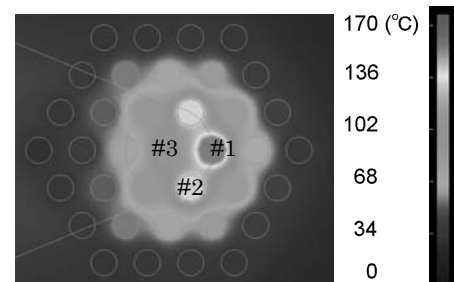
with nano-structured surface were fabricated to improve a high density recording prospects in active collaboration with Supramolecules and Self-Assembly Group. We also analyzed the thermal inter-diffusion of patterned recording media with thermally assisted. The particle structure of the recording media is effective to enhance memory density for the thermally assisted recording. We begun to study analyzing the filed which was close to electrode when a circular polarized light was exposed for the purpose to effectively utilize the optical induced magnetization as high-speed recording in a local region.

### 3. Advances and achievements in 2010

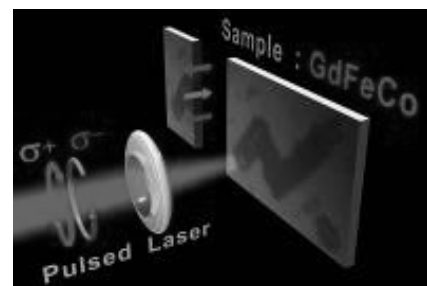
- 1) Femto-second laser and the optics have been designed and constructed to analyze the surface plasmon response.
- 2) Electro-magnetic transit analysis method for nano-scale dispersion materials has been developed by the cooperation with Associated Professor Ohnuki.
- 3) We have studied some surface plasmon antennas to find an antenna, which can create circularly polarized resonance mode. It was revealed that some antennas had a resonance mode for circularly polarized light.
- 4) All-optical time resolved measurement system was constructed with femto-second pulse laser. Magnetic and optical response from material was monitored by the magneto optical effect and the change of reflectivity caused by heating of electrons, respectively. Ultrafast demagnetization phenomena were observed which must be caused by heating of electron system.
- 5) Perpendicular magnetized TbFeCo thin film consisted from rare earth and transition metal alloy was



**Fig. 1** Compositional dependence of damping parameter  $\alpha$  and precession frequency  $f$



**Fig. 2** Temperature increase of metallic particles heated surface plasmon antenna.



**Fig. 3** The demonstration of all-optical information recording on magnetic media.

prepared. We clarified that the magnetization direction of TbFeCo can be switched by irradiation of circularly polarized ultra short pulsed laser without magnetic field.

6) We have succeeded preliminarily to prepare thin SiO<sub>2</sub> layer on metallic films which have two dimensional closed packed nano-pores prepared by the polymer micelles technique. As another type of nano structured template having a conjugate relation with nano-pore structure, nano convex pattern was prepared by using self-assembled spherical silica particles followed by inductively coupled plasma reactive ion etching.

7) We prepared test batches of Si and metallic film by Ar ion etching and confirmed the etching rates satisfied our study.

#### Collaborations and activities in 2010 as the group

We had one or two meetings every month with Associated Professor Ohnuki to find a method to calculate a surface plasmon response. The results were reported at IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, July 11-17, 2010, Toronto, Ontario, Canada. We also invented a new antenna structure to confine a circularly polarized light, and submitted a patent. We also reported this result at 55th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials, 14-18 November 2010, Atlanta, Georgia, USA.

#### 4. Advances and achievements in 2011

1) We had trials to write magnetic domains on a magnetic film by femto-second laser. The magnetic film was coated with surface plasmon antennas which were made by E-beam lithography. The shapes of the antennas were designed by electro-magneto simulation as well as thermal diffusion simulation. From the observation of film structure dependency on optical/magnetic response during tens of ps after laser irradiation, it was found that conductive metallic layer play an important role in ultrafast energy transfer process.

We also set up the system applying a fine adjustment manipulator. Laser pumping and probing system can be easily adjusted by the new system.

2) We found some specific aperture shape which can confine a circularly polarized light. We also studied another structure for antennas which can create a localized circularly polarized light with a liner polarized light.

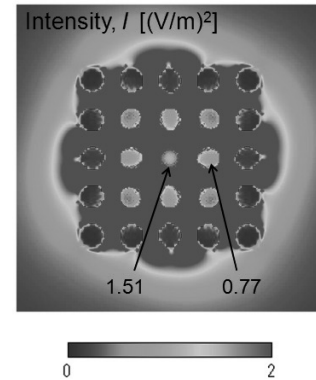
3) A new magnetic bias coil was prepared for applying up to 1 kOe. The bias field can be synchronized to the laser system.

4) We started to fabricate nano-meter structure using etching method. Nano-size silica particles were placed over a metal film before etching.

5) We found that the magnetization in a small one magnetic particle can be reversed by applying surface plasmon antenna by simulation.

#### Collaborations and activities in 2011 as the group

We have had regular meetings once or twice a month meetings every month with Associated Professor Ohnuki, belonged to Quantum Theory & Computation Group, to find a method to calculate a surface plasmon response. The results were reported at IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, July 5-6, 2011, Spokane, Washington, USA. We had two invited talks about magnetic nano-particle media and dynamics of ultra fast magnetic reversal at Moscow International Symposium on Magnetism, Aug. 21-25, 2011, Moscow, Russia. We also reported about thermally assisted recording, ultra-high speed magnetization, and circular polarized light generation with a



**Fig. 4** A simulation result as a generated circularly polarized light into a center particle.

plasmon antenna at Magnetic and Optical Research International Symposium, June 21-24, 2011, Nijmegen, The Netherlands.

### 5. Advances and achievements in 2012

1) Thermally assisted magnetic recording with surface plasmon antenna has been succeeded by applying femto-second laser. Three issues are key points of this success: (1) a computational analysis of electro-magnetic field as well as thermal diffusion in magnetic film, (2) a structure design of surface plasmon antenna and antenna fabrication by electron beam lithography, and (3) magnetic recording test applying femto-second laser with surface plasmon antenna. The magnetic mark of 166 nm x 120 nm was written by this method. The written mark size has not reached the size of project goal: 77 nm x 77 nm. Our progress, however, is very big, and we still go forward to our goal in the final year.

2) We found experimentally a novel magnetization reversal phenomenon in a ferri-magnetic GdFeCo film driven by an ultrafast heating of the medium resulting from the absorption of a sub-picosecond laser pulse without the presence of a magnetic field. Also relevantly to technological applications, we have shown experimentally that switching can occur when the sample is at room temperature before laser excitation.

3) We found that the combination of dielectric optical waveguide and surface plasmon polariton is highly effective in optical energy transfer into small surface plasmon antenna. Besides, the combination structure can also create circularly polarized light in a small region.

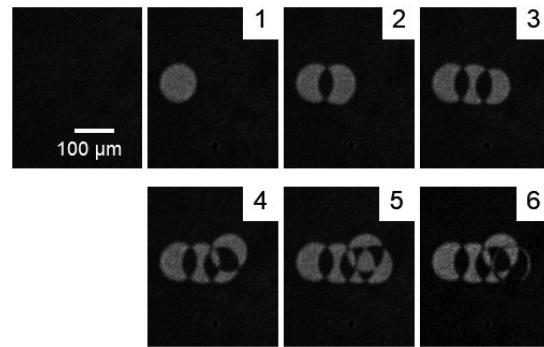
4) A rapid thermal annealing is effective to obtain high  $K_u$  (uniaxial magnetic anisotropy) as well as small  $L1_0$ -FeCuPt grains. However, it revealed that each grain were mostly polycrystalline structure. We found that an application of adequate additional annealing makes grains into  $L1_0$  single crystalline structures and grains kept almost similar size.

### Collaborations and activities in 2012 as the group

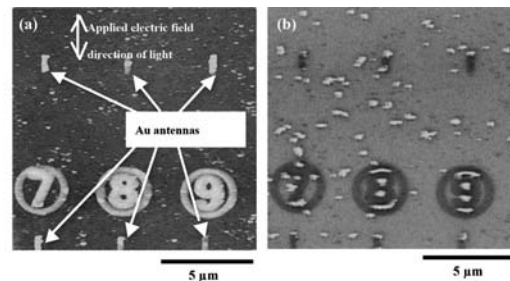
A result about a nano-meter structured magnetic film with high uniaxial anisotropy was reported at an international conference (ICM2012, July 8-12, Pusan). At another international conference (ICAUMS2012, Oct. 1-5, 2012, Nara), six reports were also presented including femto-second laser thermally assisted magnetic recording, dynamics in first magnetic reversal, recording materials, and localized circularly polarized light. Some of these reports have been collaborated with Associate Prof. Ohnuki. We have kept an inner meeting at least once a month.

### 6. Advances and achievements in 2013

1) We found that all-optical switching with circular polarized femtosecond laser pulses in ferrimagnetic GdFeCo is related to the collinear sub-lattice magnetization and not with the net magnetization. Furthermore, we reached an explanation of the AO-HDS based on magnetic circular



**Fig. 5** Magneto-optical image of magnetic domains after single pulse laser irradiations.



**Fig. 6** Surface morphology (a) and written magnetic domains (b) observed by magnetic force microscope for rod plasmon antennas.



dichroism (MCD). We already reported that ultrafast heating can act as a sufficient stimulus for magnetization reversal in a ferrimagnet with taking into account the multi-sublattice nature as mentioned in section 5.1. The above results show that the helicity-dependent absorption in a multi-sublattice magnetic layer exactly matches the helicity-dependent features in switching experiments. Furthermore, we clarified that the magnetization direction of high anisotropic magnetic recording media of TbFeCo can be switched by irradiation of circularly polarized ultra-short pulsed laser without magnetic field.

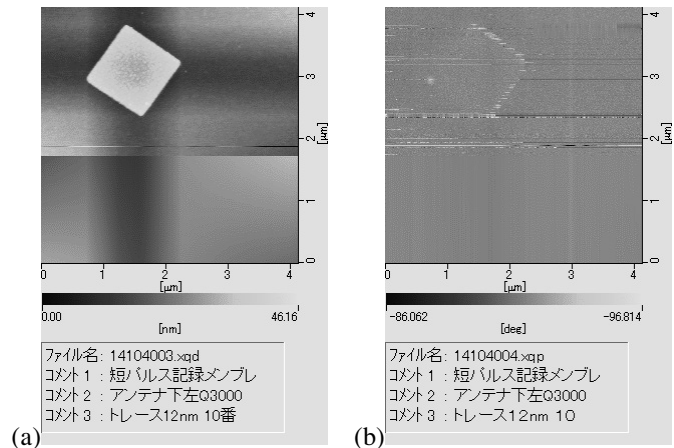
2) The minimum written domain size of 62 nm by 67 nm was successfully performed by femto-second laser utilizing surface plasmon antennas on magnetic film, beyond our final goal such as 77 nm by 77 nm.

3) It was revealed that a cross antenna, a cross aperture, and a four-leaf clover aperture can create a localized circularly polarized light applying with patterned media.

4) We started fabricating the cross aperture on Au metal by E-beam lithography.

5) From the utilization of self-assembly prepared nano-structured substrate, high density FeCuPt magnetic nano-grains was prepared by rapid thermal annealing method as 5.4 T particles/inch<sup>-2</sup> with average grain diameter of ~10 nm.

Furthermore, multiple formation process of the grain was performed for further increase in areal density of grains. By using this procedure, we got higher areal density of grains as 3.2T particles/inch<sup>-2</sup> on flat oxidized Si substrate.



**Fig. 7** Surface morphology (a) and written magnetic domains (b) observed by magnetic force microscope for square plasmon antennas.

## Quantum Information Group

Takeshi Kuwamoto\*, Hideomi Hashiba, Naoto Namekata

### 1. Overview of the research targets and plan

Purpose of research in quantum information group is to resolve technical problems for developing and expanding the quantum information, communication, and computer technologies, which are expected to achieve the large-capacity telecommunication beyond the conventional limit, the extreme high-speed calculation which far exceeds a supercomputer, and the ultimately reliable cryptography such that every eavesdropping and decoding are impossible in principle. Quantum information technologies can supply the system with very high energy efficiency, thus our research contributes to green innovation in information processing and communication.

We mainly investigated single photon emitter and detector, quantum key distribution, quantum memory, and quantum dot device.

### 2. Achievements of research

#### 2.1. Photon Detection Technologies

Photon detector is essential for QICTs. In order to realize QICTs using installed optical fiber networks, the photon detector must have a high photon detection efficiency in telecommunication band ( $\sim 1550$  nm: the minimum-loss window of optical fibers) with low noise counts. We have developed the telecom-band single-photon detector (SPD) using a compound semiconductor device, namely an InGaAs/InP avalanche photodiode (APD). Although the SPD based on the InGaAs/InP-APD is very practical, it has drawbacks, compared with the other SPDs, that are an afterpulse noise and a low repetition frequency. We proposed a “sinusoidal gating” method in which a sinusoidal voltage was used as the gate voltage. Then, using the sinusoidally gated InGaAs/InP-APD, high-speed single-photon detection at 1550 nm can be realized with a low afterpulse probability. Currently, we achieved a repetition frequency of 2 GHz which is three orders of magnitude higher than that of the conventional gated InGaAs/InP-APD. Moreover, the photon detection efficiency of  $> 10\%$  was achieved with a dark count probability of  $10^{-7}$  and an afterpulse probability of  $< 3\%$  (*IEEE Photo. Tech. Lett.* 2010; *Opt. Express* 2011). We also applied the sinusoidal gating method to a Si-APD. Using the sinusoidally gated Si-APD (quantum efficiency was 72.4%), visible-light single photons can be successfully detected with a detection efficiency of 70.6%, which implies that a photo-excited single charge carrier in a silicon avalanche photodiode can trigger a detectable avalanche (charge) signal with a probability of 97.6% (*Appl. Phys. Lett.* in press).

Although advanced QICTs demands the photon number resolving capability, the SPDs described above do not have it. Therefore, we have developed the so-called photon-number-resolving detector (PNRD) using a superconducting Titanium transition edge sensor (Ti-TES). We achieved a detection efficiency of  $> 80\%$  at 1550 nm with a photon number resolving capability of  $< 0.2$  eV. Then, we applied the developed PNRD to a non-Gaussian operation on the pulsed squeezed vacuum at 1550 nm. The two-photon-subtracted squeezed state was successfully generated (*Nature Photonics*, 2010). We observed dips in reconstructed Wigner functions of the generated

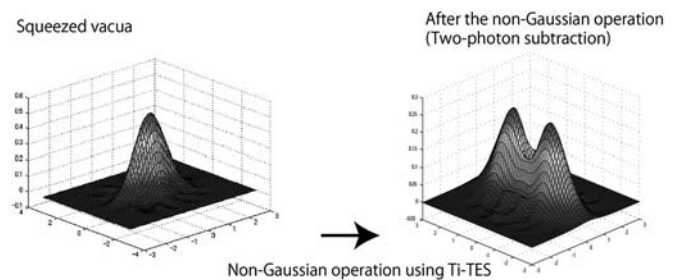


Fig. 1. Wigner function of the generated non-Gaussian state

quantum states (see Fig. 1), which is the clear evidence that the non-Gaussian operation was realized.

## 2.2. Quantum Key Distribution Experiments

We performed a 2 GHz clocked differential-phase-shift QKD (DPS-QKD) experiment using SPDs based on sinusoidally gated InGaAs/InP-APD. A secure key rate of 24 kbit/s was achieved over 100 km of optical fiber, which was higher than the previous record. Moreover, we have successfully distributed secure keys against the general individual attacks over 160 km of optical fiber (*Opt. Express*, 2011). These results will accelerate the realization of a practical QKD over a metro-sized optical fiber network.

To extend the communication distance further, e.g. > 400 km, entanglement-based QKD system is preferable, because it will play an important role in the quantum repeaters described in the next section. We have developed the polarization entangled photon pair source and the entanglement-based QKD system using it (Fig. 2).

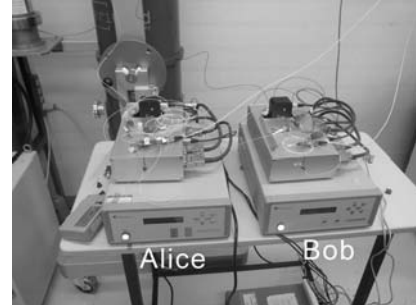


Fig. 2. Entanglement-based QKD

## 2.3. Elemental Technologies for Quantum Repeater

To realize the long-distance QKDs, we need the quantum repeater which can improve the throughput reduction with distance from exponential to polynomial. The quantum repeater is composed of three elemental technologies: the entanglement swapping, quantum memories (or buffer storages), and the quantum non-demolition measurement of the photon number.

We demonstrated entanglement swapping with 1550 nm polarization-entangled photon pairs created by spontaneous parametric down conversion (SPDC) in two spatially separated type-II periodically poled lithium niobate (PPLN) bulk crystals. In a partial Bell-state measurement, entanglement was observed between two photons from independent sources. We employed sinusoidally gated InGaAs/InP-APDs operated at a repetition frequency of 1.28 GHz, which increased a four-fold coincidence count rate without degrading the fidelity of entanglement swapping. The obtained fidelity is  $\sim 90\%$  which is high enough to infer a violation of Bell inequality and to implement the entanglement-based quantum key distribution (*J. Phys. B*, 2013).

In our experiment, the success probability of the entanglement swapping is less than  $10^{-6}$ . To enhance the success probability, the key technology is the quantum memory (or buffer storages). In this work, we have tried to realize the photon buffer storage by means of an optical switching network. As shown in Fig.3, the photon buffer storage we designed is composed of optical fibers and low-loss fiber-optic components. It gives the programmable optical delay to photons with a low optical loss, and a quantum state of light (polarization of photons) can be maintained without any active compensation.

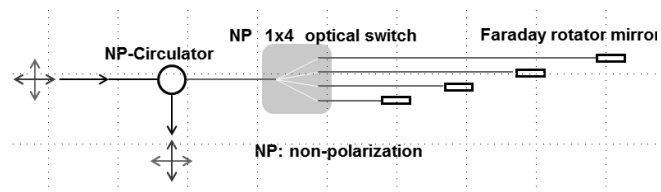


Fig. 3. Photon buffer storage using the optical switching network.

## 2.4. Development of quantum memory

### 2.4.1. Generation of orthogonally polarized photon pairs

Quantum entanglement states are made up of orthogonally polarized photon pairs. Atomic sample we use is  $^{87}\text{Rb}$  atom, and its transition wavelength for photon storage is 795 nm with linewidth of 6 MHz. Therefore, we have to prepare the orthogonally polarized photon pairs which met above

requirements.

Orthogonally polarized photon pairs with 795-nm wavelength were produced by a parametric down conversion which was brought about by injecting a 397.5-nm-wavelength pump laser into 10-mm-length nonlinear optical crystal (type II PPKTP). The pump laser was obtained by pumping a type I PPKTP crystal placed in a bow-tie type optical resonator with a 60-mW power, 795-nm-wavelength laser. Orthogonally polarized photons immediately after the crystal have the frequency expansion of THz order. Since the bandwidth of photons coupled with atoms is several MHz, this wide spread of frequency have to be narrowed. We utilized optical interference filters and etalons to obtain the narrow-bandwidth orthogonally polarized photons.

Figure 4 shows result of two-photon interference measurement of generated orthogonally polarized photon pairs. This measurement is performed to estimate quantum property of the photon pairs. The obtained visibility was 97.4%. This result shows that generated orthogonally polarized photon pairs satisfy a demand as the quantum light source.

We measured the absorption of the generated photons by  $^{87}\text{Rb}$  atoms to confirm the frequency extent of photons. At the temperature of 95°C, 97% of photons were absorbed. This means that the frequency broadening of photons is about 500 MHz.

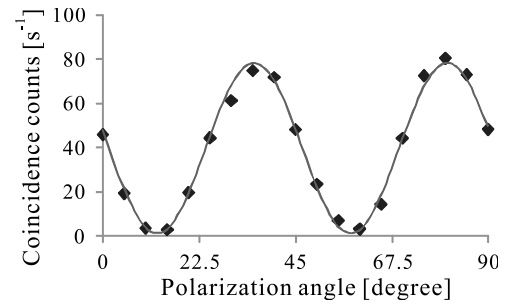


Fig. 4. Two-photon interference of orthogonally polarized photon pairs.

#### 2.4.2. Light Storage system

The phenomenon called electromagnetically induced transparency is used to store the light in neutral atoms. When two different resonance lights are shined to three level atoms, by controlling the intensity of one light (control light), the other (probe light) can be stored in atoms. We used  $^{87}\text{Rb}$  atoms enclosed in glass cell as the sample, because of the abundant knowledge of its properties.

As probe and control light source, two external cavity diode lasers were used. The frequency fluctuation of control laser was controlled by a frequency locking system using Rb sample, and suppressed to be less than 1 MHz. The frequency of probe laser was controlled by the optical phase-lock with the beat signal between the probe and control lasers such that the frequency difference between two lasers agrees with that between the two low-lying atomic-energy levels. The probe laser beam was formed to a 5- $\mu\text{s}$ -width gaussian pulse with an acousto-optic modulator. Rb sample glass cell was placed in a threefold magnetic shield and its temperature was controlled with a heater using hot-water.

The probe and control laser beams were coaxially propagated and injected into the Rb glass cell. By suddenly switching off the control laser light, the probe light pulse was stored in the atomic sample. Figure 5 shows an example of results of light storage experiment for the storage time of 5  $\mu\text{s}$ . The efficiency of retrieved light pulse was 85%. This value means that we prepared sufficiently high-performance experimental system for light storage.

We investigated the storage of extremely weak coherent light pulses, because the intensity of orthogonally polarized photons would be very weak. The retrieved signal was not confirmed for the 2.6-nW probe laser power. This means

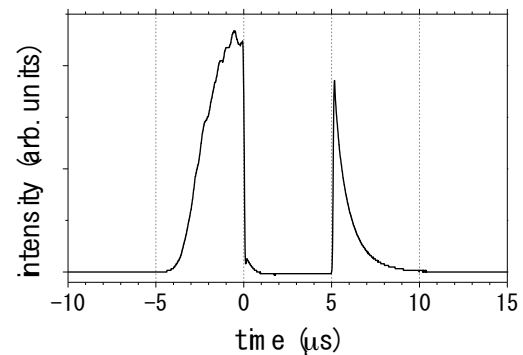


Fig. 5. Result of storage and retrieval experiment for laser pulse. The right peak corresponds to the retrieved light pulse after 5- $\mu\text{s}$  storage.

that the storage and retrieval of orthogonally polarized photons using current our system is difficult.

### 2.5. Development of fabrication technology of silicone waveguides, Au strip couplers and single photon emitters by one dimensionally aligned CdSe quantum dots

Semiconductor wave guides and photonic crystals are increasingly important in optoelectronic devices for quantum information technology. We study silicone wave guide devices with its third-order nonlinearities. Research of silicone wave guide devices on this project has been focused on development of simple fabrication method of the waveguides and we attained to develop concrete fabrication method for a Si waveguide of 320 nm wide and more than 1 mm long. The waveguide has small roughness of side-walls of less than 10 nm and accuracy of shape of the waveguide is restricted by our EBL that has field alignment precision of around 100 nm by auto-align mode or around 50 nm by manual align. This also affects for large sized structure such as Au stripe couplers. We also studied fabrication technique of arrays of colloidal quantum dots of 5 nm CdSe covered by silica. We attained 55 nm wide, 1.5 mm long array of the QD in sub-one dimensional shape. Evanescent coupling of the quantum dots to gold thin film of 37 nm was also confirmed.

### 2.6. Fabrication of titanium dioxide photonic crystals for dye sensitized solar cells

Titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) has been draw attention for dye sensitized solar cells by its catalytic characteristics. Our aim is an experimental study of fabrication of fine structures, i.e. photonic crystals, of  $\text{TiO}_2$  for solar cells to enhance its efficiency. A  $\text{TiO}_2$  thin layer of 150 nm thick was grown on an FTO glass substrate with a fine patterned ZEP resist mask by a conventional RF magnetron sputter method with Ti target (upper of Fig. 6). We found that, during the deposition, keeping ratio of Ar- $\text{O}_2$  gas of 2:1 and the deposition ratio of around 0.5  $\text{\AA}/\text{s}$  ensures enough oxygen to form  $\text{TiO}_2$  and low temperature to avoid deformation of fine pattern of the ZPU resist mask. Design of the fine patterns is photonic crystal structure of periodic zigzag slabs of 108 nm width, 608 nm in period.  $\text{TiO}_2$  layers are white-transparent, amorphous, and those roughnesses are around 7 nm. Baking of  $\text{TiO}_2$  fine structures at 500  $^\circ\text{C}$  transforms  $\text{TiO}_2$  from amorphous to rutile and anatase forms while keeping the same profile of the fine structures (lower of Fig. 6). Our new fabrication method can be one of a promising technique to optic devices on researches and industrial area.

## 3. Collaboration and activities as the group

We had several times of group meeting every year to report and share individual progress, and discuss the direction of research. We also collaborated with Prof. Ohtsuki and Prof. Ohnuki about the development of a multichannel single-photon device which composed of CdSe colloidal quantum dot array and plasmonic waveguide.

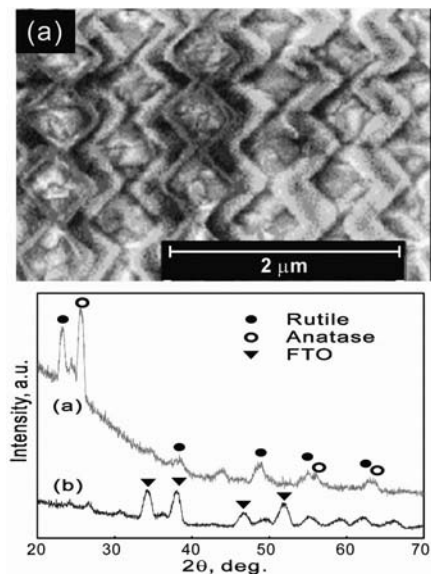


Fig. 6. (upper)  $\text{TiO}_2$  photonic crystal. (lower) XRD measurement of  $\text{TiO}_2$  after baking. Rutile and anatase appeared.

## Energy Technology Group

**Takuya Hashimoto,\* Joe Otsuki, Sachiko Matsushita, Yasuo Asada, Nobuyuki Nishimiya**

### 1. Purpose

Development of materials, which will construct new energy system, has been performed toward “Construction of Healthy Society” under the common keyword, “nano” in the energy group. For realization of “Healthy Society”, enough energy supply is highly required; however, practically employed energy systems contain severe problems. Mainly employed fossil fuel system involves anxiety for depletion of resources and exhaust of greenhouse gas. Nuclear energy system has possibility of destruction of environment and human health as revealed by accident of nuclear plant at Fukushima prefecture.

In this project, in order to construct solar energy system which is free from above mentioned anxieties, the following researches have been carried out. (1) Development of dye-sensitized solar cell using “nano-structured electrode” or materials with “controlled molecular structure”, which is one kind of nano structure. (Matsushita, Otsuki) (2) Development of H<sub>2</sub> generation processes using direct H<sub>2</sub>O photolysis, which are clean energy processes with absence of greenhouse gas emission. One approach is development of catalyst materials with controlling molecular structure, so-called artificial photo synthesis. (Otsuki) The other one is usage of bacteria which generates H<sub>2</sub>. (Asada) (3) Development of new hydrogen-storing alloy by nano-space design for safe transportation and storage of H<sub>2</sub>. (Nishimiya) (4) Development of materials for solid oxide fuel cells in order to realize clean electrical generation using H<sub>2</sub> as resource gas. Synthesis of high functional materials is examined with Pechini method, which is one of nano-processes. (Hashimoto) Fig. 1 shows schematic diagram of final purpose of the energy group. We regard that technology of each research should be sophisticated for high correlation of each research.

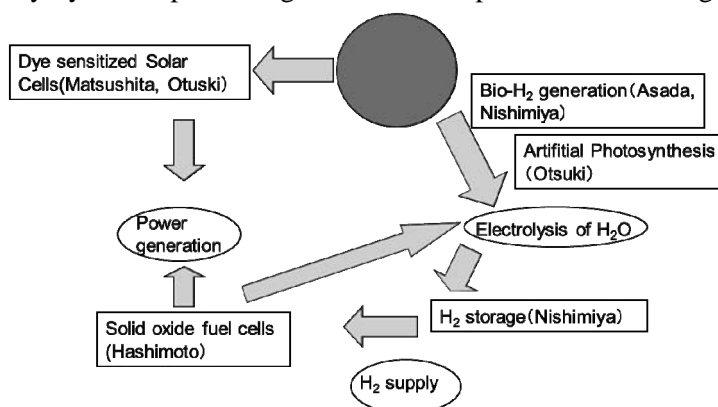


Fig. 1 Schematic diagram of purpose of energy group. Red circle represents sun.

### 2. Plans, progress and achievement of energy group

Abstracts of each research are shown here. Minute reports are presented in each researcher’s report.

(1) Improvement of energy conversion efficiency of dye-sensitized solar cell by using nano-structured electrode. (Matsushita)

It has been suggested that energy conversion efficiency per one molecular dye is improved by employing “self-organized” photonic crystal as electrode in the dye sensitized solar cell. In order to clarify the effect of photonic crystal, micro patterning of TiO<sub>2</sub> is highly required. In this project, technology of photo- or electro- lithography of TiO<sub>2</sub> has been established and experiments of verification of role of photonic crystals have been prepared.

(2) Improvement of energy conversion efficiency by development of new dye. (Otsuki)

Development of new dye for improvement of energy efficiency of dye sensitized solar cell has been investigated. Complexes composed of Ru and perylenedicarboxylic anhydride derivatives have been examined and conversion efficiency of 3.1 % has been realized. In addition, preparation of new promising cyclometalated complexes has been succeeded and investigation of their property as dye sensitized solar cell materials is in progress.

**(3) Development of new catalyst for photolysis of H<sub>2</sub>O (Otsuki)**

As a new catalyst for photolysis of H<sub>2</sub>O, molecular in which the photosensitizers spontaneously assemble around cobalt ion has been prepared. Amount of H<sub>2</sub> produced by illumination using this catalyst was as twice large as one produced without self-assembly.

**(4) Improvement of amount of H<sub>2</sub> generation from bacteria by addition of encapsulated H<sub>2</sub> storage alloy (Asada, Nishimiya)**

It is well known that some kinds of bacteria generate H<sub>2</sub> gas by H<sub>2</sub>O photolysis. In this project, it has been revealed that addition of encapsulated H<sub>2</sub> storage alloy to the H<sub>2</sub>O photolysis system employing bacteria is effective to increase amount of H<sub>2</sub> generation.

**(5) Control of H<sub>2</sub> storage and desorption of metal alloy with ultraviolet light irradiation (Nishimiya)**

For H<sub>2</sub> storage metal alloys, not only large amount of storage but also ability for easy H<sub>2</sub> desorption are required. In this research, it has been discovered that H<sub>2</sub> storage and desorption property in some metal alloys can be controlled by irradiation of ultraviolet light. Especially in the presence of photo-catalyst such as WO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub> desorption temperature has reduced by ultraviolet light irradiation.

**(6) Development of catalytic metal for decomposition of H<sub>2</sub> (Nishimiya)**

For increase of amount of H<sub>2</sub> storage by adsorption on the solid surface, decomposition of H<sub>2</sub> to H atom is effective. In this project, various metals have been surveyed as for metal catalyst for decomposition of H<sub>2</sub> at temperature of 77 K, at which adsorption on the solid surface occurs. It has been revealed that Pt is the most promising and that Cr-Fe alloys has high potential as catalyst.

**(7) Development of materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. (Hashimoto)**

At present, solid oxide fuel cells, which is free from emission of greenhouse gas and has high energy conversion efficiency, works above 800 °C, resulting in less reliability and practical stability. For reduction of operating temperature to 600 °C, development of new materials has been examined. In this project, one of the solution mixing process, Pechini method, was employed for the preparation of materials instead of conventional solid state reaction method. Owing to nano-level mixing, we have succeeded in preparation and proposing new materials as electrolyte and electrode. Test cells are fabricated and investigation of their property is now in progress.

**3. Collaboration in energy group and with other research group**

Not only collaboration in energy group but also that with other research group have successfully been carried out.

Achievement listed in (4) is a collaboration work between Prof. Asada, who is a specialist of biology, and Prof. Nishimiya, who is a specialist of H<sub>2</sub> storage alloy. The addition of H<sub>2</sub> storage alloy to biologically H<sub>2</sub> generation system has been patented. Investigation of dye-sensitized solar cells composed of photonic crystals has mainly been carried out by Prof. Matsushita. Prof. Hashimoto made collaboration on the work using X-ray diffraction and SEM measurements. The collaboration was presented by two academic papers published in “*J. New Mat. Electr. Sys.*” and “*J. Porous Mater.*”

The success of establishment of technology of photo- and electro-lithography is due to collaboration between Prof. Matsushita and Prof. Hashiba, who belongs to nano-group in *N. Research Project*. The collaboration is published as academic paper in *Jpn. J. Appl. Phys.* The Pechini method, employed for fabrication of new material for solid oxide fuel cells by Prof. Hashimoto, is also applied for fabrication of target materials for thin film fabrication by Prof. Iwata, who belongs to nano-group. It has been clarified that superior ceramics not only as solid oxide fuel cells but also as target for thin film preparation can be prepared by the Pechini method.

## Medical Group

### Medical Group Members

ARISH: Fukuda N, Chiba Cancer: Nagase H, Watanabe T, Nihon Univ. School Med. Severe Disease G: Soma M, Fujiwara K, Saito K, Igarashi J, Radiology: Abe O, Abe K, Urology Takahashi S, Pediatric Surgery: Koshinaga S, Nihon Univ. Bioresource Science: Masuhiro Y, Kano K, Nihon Univ. Pharmacy: Matsumoto Y, Aoyama T  
Ishibashi N, Kawashima H. Shinojima Y, Hasegawa R, Mashiko A, Oh G.

### Research Summary

Medical Group has performed researches in two themes as “Applied chemical biology: strategy to cure cancer patients” to develop novel diagnosis methods for cancer using nano technology in corroboration with Chemical group in Colledge of Science and Thechnolgy, and as “Drug-discovery for novel gene silencer pyrrole-imidazole polyamides” for cancer and sever diseases based on the chemical genomics.

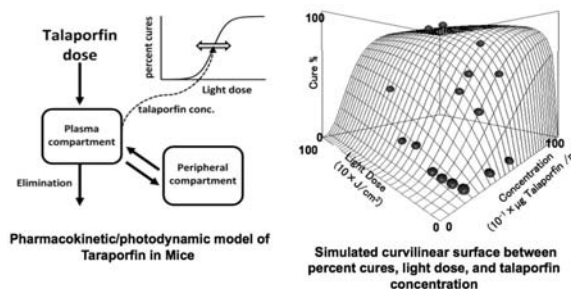
### Contents of Researches

#### 1) Novel chemosensitizing radiation therapies by using synthetic porphyrin derivatives (Nagase, Fujiwara, Soma).

Photodynamic therapy (PDT) is a medical treatment that uses a photosensitizing chemical and a light source to activate the applied chemical. The result is an activated oxygen molecule that can destroy nearby cells. Precancerous cells and certain types of cancer cells can be treated by PDT. Cancer cells uptake more of the porphyrin derivatives and retain the chemicals in a long duration. Thus, the PDT can introduce a cancer cell specific therapy. We invented the radiation-sensitizing chemical of the porphyrin derivatives, which can be used for PDT and may also induce photon activation therapy (PAT), provoking the emission of Auger electrons after inducing a photoelectric effect. X-ray radiation allows for the treatment of cancers that are deep inside the human body. We observed an induced cancer cell death after irradiation following administration of the porphyrin derivative.

#### 2) Pharmacokinetic/Pharmacodynamic Analysis of tumor-localizing photosensitizing compounds (Matsumoto, Aoyama)

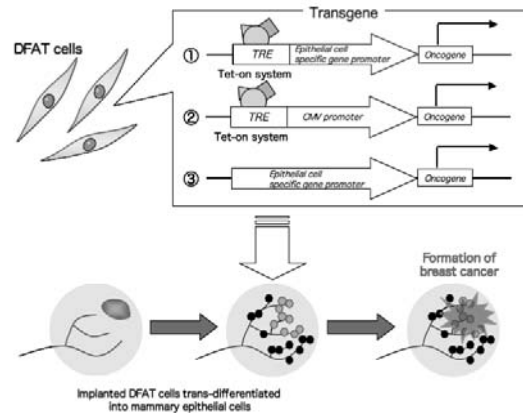
To describe the relationships between effects following photodynamic therapy, light dose, and plasma compound concentration, they developed a high-performance liquid chromatography (HPLC) method for the determination of plasma concentration and investigate the pharmacokinetics of novel compound CT101019a.





**3) A novel model of onset breast cancer by implanting mature adipocyte-derived dedifferentiated fat (DFAT) cells (Kano K)**

To develop a breast cancer mouse model, mouse DFAT-GFT cells were transfected with protooncogene to transform to the mammary epithelial cells by the conditional regulation of the gene expression. Using the mouse breast cancer models, we demonstrated introduction of the cancer cell death with increasing sensitivity to radiotherapy with developed the PDT.

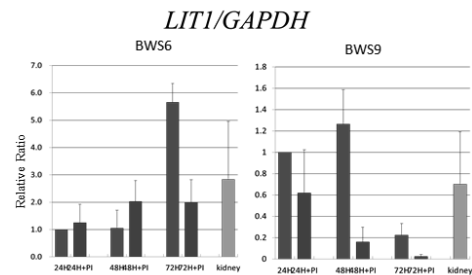


**4) Development of an E-box targeting Pyrrole-Imidazole polyamide to inhibit cell growth (Fujiwara, Soma)**

PI polyamides targeting E-box consensus inhibited proliferation of the osteosarcoma cell line treated with Myc-6 showing reduced growth rate by WST8 assay and colony formation assay. In the wound-healing assay, Myc-6 inhibited cell migration activity dose-dependently. Intravenous injection of Myc-6 once a week for a month caused growth inhibition MG63 xenograft developed in Nude mouse without evidence of toxicity.

**5) Development of antitumor PI polyamides for pediatric cancer (Koshinaga)**

PI polyamides (h-CCAAT1, h-CCAAT3) designed on the CAAT box in promoter region of LIT1 gene efficiently suppressed expression of LIT1 gene and proliferation of Hepatoblastoma cell line (HuH6 clone5, HepG2), and Wilm's tumor cell line (G401).



**6) The development of newly molecular targeting drug of PI polyamide for prostate cancer (Takahashi S, Obinata)**

Human prostate cancer cell line treated with Fusion Polyamide was compared with those with Negative control polyamide. Treatment of Fusion Polyamides showed significant decreased both DHT induced TMPRSS2-ERG and endogeneous ERG expression, as well as cell growth and migration. These results demonstrate that PI polyamide targeting these breakpoints sequences may be a new therapeutic intervention in prostate cancer. We confirmed anti-tumor efficacy of the PI polyamide in the animal experiment using a nude mouse in vivo.

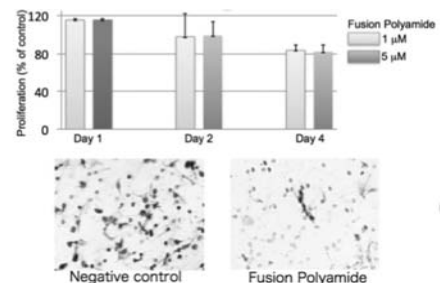
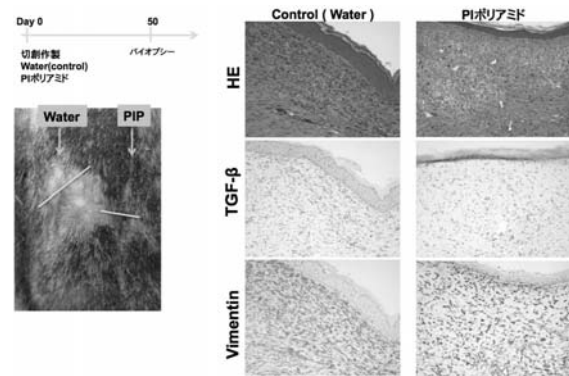


Fig.2 Effect of fusion polyamide on cell migration and anchorage-independent growth. Cell migration assay was performed to analyze the motility of fusion polyamide treated LNCaP cells and control cells. Migrated cells were stained with Giemsa staining solution

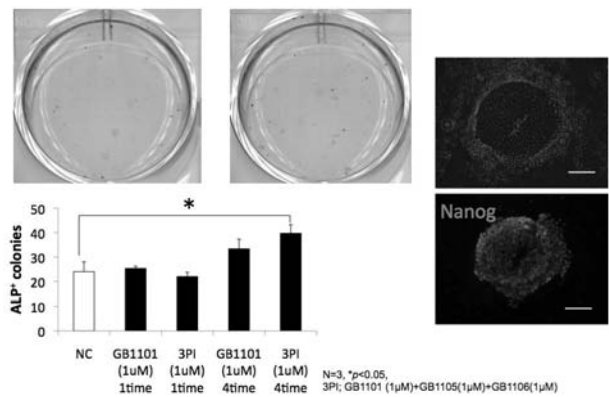
**7) Development of PI polyamide targeting human TGF-β1 -Preclinical study-** (Igarashi, Fukuda):

We confirmed that PI polyamide targeting human TGF-β1 (GB1101) is strongest to inhibit the expression of TGF-β1 mRNA in human- and marmoset-derived fibroblasts. We checked the combination of components of soluble materials and solutions for PI polyamides and found that Macrogol Ointment was most effective substrate to delivery the PI polyamide into skin. We examined effects of PI polyamides targeting human TGF-β1 on development of skin finrotic scar created in common marmosets and confirmed actual inhibition of the skin scar.



**8) Development of the Nihon University original methodology inducing iPS cells using the PI polyamide targeting human TGF-β1** (Saito, Fukuda, Masuhiro)

We examined the iPS-producing method establishment using proteolysis resistant cell-permeable proteins and the initiation factor, TGF-β1 inhibitor, PI polyamide targeting human TGF-β1, Apigenin, TGF-β1 antagonist and Apigenin, and TGF-β1 and PI polyamide targeting human TGF-β1.

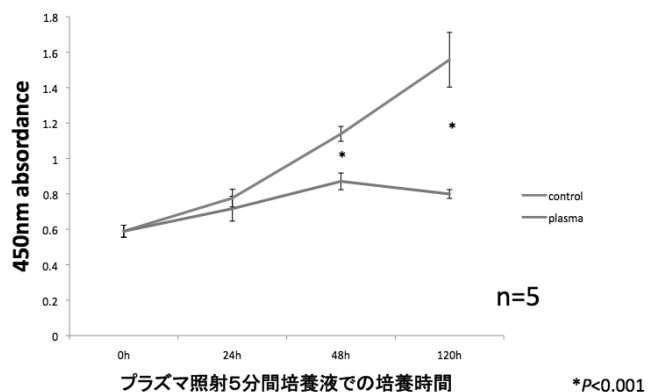


**9) Histone acetylation of specific genomic region induced by PI polyamide-SAHA conjugate** (Nagase, Watanabe)

We made considerable advances in coupling of existing drug SAHA that is begin used as an HDAC inhibitor, to PI polyamides for targeting specific subsets of genes for reactivation in cancers (e.g. Cdkn2a / p16). Watanabe developed a method of simple synthesis with solid phase synthesis method using glutamic acid which is the usual amino acid. Six ring cyclic PI polyamide was synthesized.

**10) Development of plasma medicine for skin malignant melanoma** (Saito, Fujiwara, Fukuda)

We started a project of the development of plasma medicine for skin malignant melanoma collaborating with the plasma team in College of Science and Technology. This plasma medicine targets the cancer stem cell with all trans retinoic acid to reduce the tolerance of radical oxygen species.



### **Activities of Medical Team in 2013**

1. Meeting of N. Research team in every week.
2. Meetings in the collaborating institute Central Institute for Experimental Animals Common marmoset team for the development of PI polyamide targeting TGF- $\beta$ 1.
3. Meeting with the Drug Preparation Room in Nihon University School of Medicine Itabashi Hospital and Clinical Pharmacokinetics team in College of Pharmacy about the development of PI polyamide targeting TGF- $\beta$ 1.
4. Meeting with the team in College of Pharmacy about the GLP grade pharmacokinetics study for PI polyamide targeting TGF- $\beta$ 1.
5. Meeting for the development of plasma medicine for skin malignant melanoma collaborating with the plasma team in College of Science and Technology.
6. Presentation for the development of PI polyamide as practical medicine in College of Pharmacy.

## Supramolecules and Self-Assembly Group

Hiroki IKAKE,\* Akiyoshi ITOH, Joe OTSUKI, Arata TSUKAMOTO, Sachiko MATSUSHITA

### 1. Introduction

The goal of the supramolecules and self-assembly group is to develop advanced technologies on nanomaterials and nanostructures and to supply these technologies to the application-oriented groups, *i.e.*, the information, energy, and medical groups, thus strongly promoting networking among these groups on diverse fields. As follows, each groups theme in this project for 5 years.

### 2. Research Project on each group for 5 years

#### • The development for super high density memory device (Itoh & Tsukamoto Group)

By using the self-organization/integration phenomena of the polymeric micelles, we produced a fine substrated silica particles, which were regularly arranged three-dimensionally (Fig.1). We started the development of a template to obtain a nanostructured metal material by using this substrate. And then, we were obtained this template (Fig.2). In this study, we discussed to produce a FeCuPt ordered alloy particles. In the super high density recording, it was not only the particle size of the magnetic particles, the magnetic axis (c-axis) was perpendicular to the surface of film and a single crystal of regularly  $L1_0$  phase was necessary. We could be produced the single crystal FeCuPt nanoparticles of c-axis oriented by rapid heating heat treatment. In addition, we obtained magnetic nanoparticles completely isolated number density was  $5.4T$  particles/inch<sup>-2</sup>. Furthermore, we carried out a plurality of the process, and then we obtained the nanoparticles, which were the average particle diameter of about 10nm and the number density of about  $3.2T$  particles/inch<sup>-2</sup> in Si substrate.

#### • The development of light and quantum function of nano-molecular systems using self-assembly phenomenon (Otsuki Group)

We have succeeded in visualization of the motion of a single molecule by using STM (Fig.3). We made attempts to prepare a regularly arranged two-dimensional nano-structure as a single photon source, in which the distance between quantum dots is greater than visible wavelength. We have found that pyridine-appended chlorophyll molecules form double helical structures, which was revealed by the single crystal X-ray crystallography, reminiscent of the double helices of DNA. While an oxazole-appended chlorophyll derivative leads to a stair-case type architecture. These works constitute a step toward constructing artificial antenna systems based on molecular assemblies. We have also synthesized new metal complexes as a sensitizer for dye-sensitized solar cells.

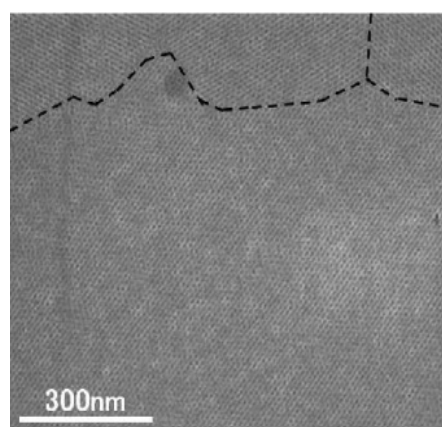


Fig.1 SEM imaging of fine silica template.

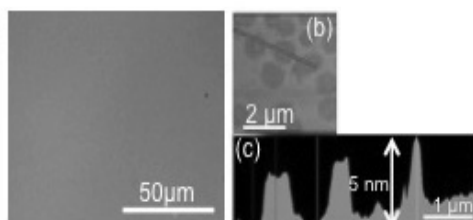


Fig.2 SEM and AFM images of fine silica template.

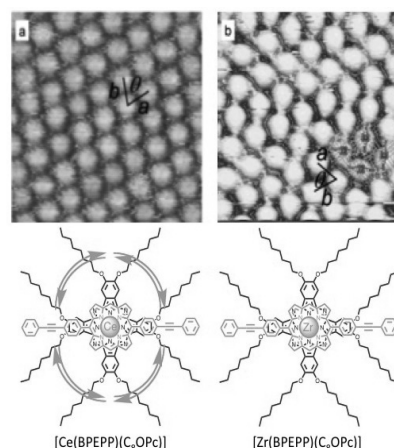


Fig.3 Visualization of the rotational motion of the molecule.

• **Preparation of the optical device by using nano-particles with self-assembled and photonic crystal (Matsushita Group)**

Our group aimed to the construction of optical devices by using photonic crystals, and we have discussed the photoelectric conversion efficiency, and we have studied the relation to lifetime of electrons and the interface of device. We have prepared the regular structure necessary for plasmon control in the visible light region by using the self-assembly / integration behavior, to which has a three-dimensional dense aggregate such as silica, and then we could be produced fine particles, which was etched by using hydrogen fluoride aqueous solution (Fig.4).

Further, We had found the titanium oxide - the electrolyte photonic crystal with having full-photonic-band gap and complete-photonic-band gap by using two-dimensional expansion method. Indeed, we incorporated into the calculated result the wavelength dispersion of the refractive index of titanium oxide as factor, and then we could create a new photonic band diagram and were able to have versatility on the operation result. We prepared single crystals of titanium oxide by using the calculation results, and then we were obtained its photonic band diagram by reflection spectroscopy method. From these results, we have prepared a regular structure with having a complete-photonic-band gap, in order to confine the light completely in a two-dimensional plane as a novel inhibiting emission photonic crystal. We have revealed that the crystal structure in the dye-sensitized solar cell incorporating its photonic crystal was related to the photoelectric conversion efficiency of per one-photon and per one dye.

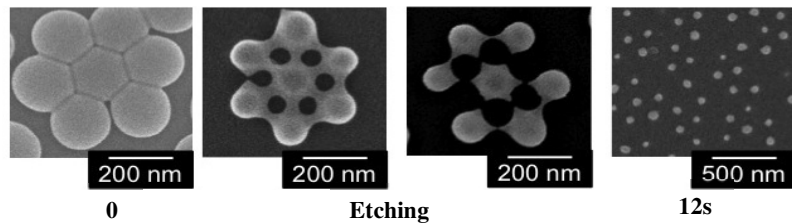


Fig.4 The isotropic etching by using an aqueous solution of hydrogen

• **Development of Poly(lactic acid)s Films as biopolymer, and Applications to New Material Field (Ikake Group)**

Our group attempted the preparation of poly(L-lactic acid) (PLLA) oriented film as a novel optical material by using PLLA, which is crystalline polymer, with having a biodegradable function. In this study, we have prepared the PLLA films under the magnetic field of 10T. We have revealed that the degree of crystallinity and orientation of PLLA film is facilitated by controlling the heat treatment conditions and irradiation of magnetic field in this process. We discussed the relationship between the azimuth angle of PLLA films and the intensity of transmitted laser of these films by using He-Ne laser (wavelength 632.8nm). As a result, we have found the polarizing properties of these films by the periodic changes of the laser intensity. Next, we have prepared an optical film with using sc-PLA, which including stereocomplex crystal formed from PDLA of different chirality and PLLA. Sc-PLA has excellent properties, heat resistance and mechanical strength, compared to PLLA, and we could control the size of the stereocomplex crystal of films, in which formed sc-PLA films by using casting solvent. As shown in Fig.5, in the case of use 1,4-dioxan as solvents, the films became opaque due to the increasing size of stereocomplex crystal. On other side, in the case of chloroform films were transparent due to become small crystal size in film, and the film has the transmittance to 85% in visible light region of 400 ~ 800nm. In addition, we also discussed that sc-PLA film recycling for after use. We have prepared sc-PLA / silica hybrid materials by using the sol-gel method. Silica hybridized by nanometer size inside the films, and these hybrid films have high heat resistance than the sc-PLA film, and also showed a rubber plateau behavior in the high temperature region.

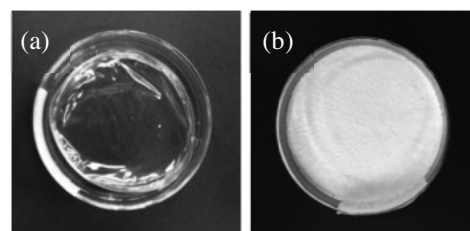


Fig.5 Appearance of (a) mix-PLA(CHL) and (b) mix-PLA(DOX) films.

## Nanomaterials and Nonodevices Group

**Kaoru Suzuki\***, **Yoshiki Takano**, **Tomohiko Asai**, **Nobuyuki Iwata**, **Hideomi Hashiba**,  
**Shigeru Chaen**, **Ken Judai**, and **Shosuke Mochizuki**

### Purposes

This group aims at fabrication of nanomaterials and nanodevices for high functional applications such as electric circuits, biosensor, superconductors, EUV light source, field effect transistor, quantum dot terahertz single photon detector, solid oxide fuel cells, new photo-memory, and bio-nanomotor by using fundamental techniques of nano-process, fabrication of nano-materials, analysis of nano-level structure and analysis by nano-technique.

### Plans

Prof. K. Suzuki : Carbon nanotubes (CNTs), nanorod (CNR) and nanofibers (CNFs) have attracted great interest due to their novel electrical, optical, and mechanical properties. These materials are promising candidates for a large variety of nanodevices, such as electric circuits, biosensors, and optical components by wide band gap,  $E_g(\text{carbon}) > 5.6 \text{ eV}$ , semiconductor effect. CNR and metal included CNTs are now sometimes grown on a silicon substrate with metal catalyst through thermal decomposition in ethanol at temperatures from 973 K to 1273 K by joule-heat with a DC power supply. The hydrogen yield on water decomposition with the lanthanum doped titanium dioxide thin films on quartz substrate that apply the photo catalytic reaction have been studied for fuel cell by using plasma assisted pulsed laser deposition method with non-sintered heavily La doped TiO<sub>2</sub> target.

Prof. Y. Takano: Since the discovery of high  $T_c$  superconductivity in (LaO<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>)FeAs in 2008, many researches on the iron-based superconductors have been carried out. Before this second superconductivity fever, it was reported that (LaO)FeP became superconducting at about 4 K. However, several research groups reported different  $T_c$  in (LaO)FeP. Thus, the electrical properties of LaOFeP is still controversial. Takano has considered that the stoichiometry of the sample is important to determine the electrical properties. Then, he has prepared single phase samples of La<sub>1-x</sub>OFeP using the special heat treatment and measured their structural, electrical and magnetic properties.

Asso. Prof. T. Asai is studying the application of self-organized magnetized plasmoid. His research interest is experimental physics and application self-organized magnetized plasmoid. In this project, he is focusing on application of the compact toroid which has been less applied so far. Currently, his experiments are focusing on development 1) EUV light source and 2) alloy-film generation. Both are realized by exquisite control of discharge on magnetized coaxial plasma gun using high-power IGBT inverter developed in our lab.

Asso. Prof. N. Iwata is studying : i) The SWNTs were grown by alcohol chemical vapor deposition (ACCVD) method on quartz substrate with Co/Mo catalysts. In order to grow SWNTs with specific chirality, free electron laser (FEL) was irradiated during growth. ii) Gold (source and drain electrodes) sputtered SiO<sub>2</sub>/Si substrate was dipped with a speed of 1mm/s from C60 saturated toluene solution. In advance of the dipping, the surface of the substrate and Au electrodes was treated into hydrophilic or hydrophobic. iii) A ferromagnetic domain can be controlled by a spin direction of Cr ion at the interface in ferromagnetic metal / Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> multilayer. Considering a magnetoelectric effect of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, the ferromagnetic domain is controllable by a electric field applied to the Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Single crystal Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin film is required for the ferromagnetic domain controllability. iv) LaFeO<sub>3</sub>(LFO)/CaFeO<sub>3</sub>(CFO) superlattice was grown by pulsed laser deposition (PLD) method. The superlattice was alternate growth of 7 units of CFO and LFO, and that was repeated for 14 times.

Assis. Prof. H. Hashiba is studying TiO<sub>2</sub> photonic crystal embedded on quantum dot terahertz single photon detector. An experimental study of a sensitive detector for terahertz radiation, based

on a GaAs/AlGaAs quantum dot (QD) of ~1 micrometer size defined by mesa patterning and metal gates has been reported. Quantum efficiency of the absorption of individual photons, inducing a charge polarization of the QD, is enhanced by an introduction of photonic crystal. He developed 2-dimensional TiO<sub>2</sub> photonic crystal fabricated by standard electron beam lithography for the detector. The photonic crystal is designed to have full band gap energy around a wavelength of incoming photons. This project aims enhancement of the efficiency of the detection and selectivity of polarization of incoming photons.

Prof. S. Mochizuki : The photoluminescence properties of different pristine CeO<sub>2</sub> specimens (bulk crystal, film and nanocrystals) have been firstly studied at different temperatures between 7 K and room temperature. The photo-induced luminescence spectral change has been observed at room temperature for the first time. The phenomenon observed in a vacuum is explained as a photo-induced associative detachment of O<sub>2</sub> on the specimen surface, while that observed in O<sub>2</sub> gas is explained as a photo-induced dissociative adsorption of O<sub>2</sub> on the specimen surface.

Prof. S. Chaen : We have constructed expression vectors for 4 kinds of long-wavelength shifted fluorescent proteins. In vitro single molecule imaging of these proteins fixed on a cover glass has been conducted. Each protein exhibits distinctive characteristics upon fluorescence intensity and photo-breaching resistant properties.

Asso. Prof. K. Judai is interested in a chiral nano helix assembled from achiral molecules. The process, the origin of chirality and the control of nano helical structures were investigated.

### **Progresses**

Prof. K. Suzuki has performed the following studies.

- (1) Metal encapsulated carbon nanotube for magnetic force microscope probes: The diameter and length of the Ni filled CNT were in the range of 10 – 80 nm and 100 – 800 nm with varying heating period and temperature, respectively. The walls consist of cylindrical graphene sheets with 3 -50 layer. The structure of synthesized stainless-steel filled CNT processes 3 phases which indicate that monocrystal of Fe<sub>2</sub>(1-x)Cr<sub>2x</sub>O<sub>3</sub> in A part, polycrystal of Fe<sub>2</sub>(1-x)Cr<sub>2x</sub>O<sub>3</sub> in B part and monocrystal of Fe(1-x)Cr<sub>x</sub> in C part by NBED analyses.
- (2) Creation of carbon nano-tube/rod and diamond-like carbon devices: Carbon nano-tube/rod forests were closely grown, one of a CNT was processed by focused Ga<sup>+</sup> ion beam. Voltage and current characteristic shown diode property
- (3) Synthesize of photocatalytic Sr<sub>x</sub>La<sub>1-x</sub>TiO<sub>3</sub> film for hydrogen generation: La doped TiO<sub>2</sub> have attracted great interest for photocatalytic properties, which can be used visible area in solar light although only TiO<sub>2</sub> limiting with ultra violet area.,and deposit of TiO<sub>2</sub> on polymer films by laser induced forward transfer method. A magnetized coaxial plasma gun is utilized for a deposition of high-melting-point metal such as Ti<sub>0.5</sub>Zr<sub>0.5</sub>(Fe<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>) for hydrogen storing alloy collaborative study with prof.Nishimuya and Asai.
- (4) Synthesis of ZnO nano-films for light emitting device: We have synthesis nitrogen doped p-type ZnO nano-films by infrared light excited pulsed laser deposition method. High quality crystalline of p-type ZnO nano-films were improved by pulsed YAG laser annealing below 532 nm ,and optimum wavelength was 266 nm
- (5) Bio-electronics: For sterilization of periodontal bacterium, atmosphere pressure low frequency/temperature micro plasma jet were developed with micro nozzle.
- (6) Green technology: The nano/micro bubbles were controlling ejected by laser/focused ion beam fabricated nozzle on piezoelectric vibrator for defecation of water.

Prof. Y. Takano has performed the following studies for iron-based superconductors.

- (1) Superconductivity of La Deficient La<sub>1-x</sub>OFeP
- (2) Crystal Structure and Superconducting Properties of Sr<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>FeAsF (R=La, Pr, Nd, Sm)

- (3) Preparation and Electrical Properties of  $\text{SrFeAsF}_{1-x}$
- (4) Superconducting Properties of  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  (R=La, Nd, Sm)
- (5) Crystal Structure and Electrical Properties of  $\text{LaFe}_{1-y}\text{Zn}_y\text{AsO}$
- (6) Preparation and Superconductivity of  $\text{LiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$  and  $\text{Li}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeAs}$
- (7) Electrical Properties of  $\text{SrFe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{AsF}$
- (8) Basic study for the application of  $\text{Sr}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeAsF}$  for the superconducting wire rod
- (9) Superconducting Properties of  $\text{Ca}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  (R=Nd, Sm)

In study (1), Takano indicated that the origin of the previously reported scattering of  $T_c$  in  $\text{LaFePO}$  was the off-stoichiometry of the samples. In study (2), Takano has firstly prepared  $\text{Sr}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeAsF}$  and measured their superconducting properties. Also, in study (8), Takano showed that the upper critical magnetic field of  $\text{Sr}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{FeAsF}$  was higher than that of  $\text{MgB}_2$  that had the highest critical current density. In studies (3) and (4), Takano indicated that the electron doping due to the F deficiency was essentially different from that due to the O deficiency in  $\text{LaFeAsO}$  and that due to the rare earth substitution in  $\text{SrFeAsF}$ . Figure 1 shows the relation between  $T_c$  and  $y$  in  $\text{Sr}_{0.6}\text{La}_{0.4}\text{FeAsF}_{1-y}$ .

Asso. Prof. T. Asai has performed the following studies.

- (1) Magnetized Coaxial Plasma Gun has been applied for new alloy film deposition technique of Magnetized Coaxial Ion Gun (MCIG) method. This realizes the generation of metallic thin film with the materials which have high-melting-point. Result of the scratch test (JIS R 3255) on an aluminum thin-film formed on a  $\text{SiO}_2$  substrate indicates 4.2 times higher adherence strength compared to the conventional vacuum vapor deposition technique. This technique had been applied for a patent via NUBIC. ("Fast alloy film deposition method", by Tomohiko Asai, Kaoru Suzuki, Nobuyuki Nishimiya, Mikio Takatsu, 2012.9.6 (JP2012-195690)) (Collaboration with Prof. K. Suzuki, Prof. N. Nishimiya and Prof. S. Masutani et al.)
- (2) Based on the MCIG, experimental investigations of novel technique of diamond-like Carbon (DLC) generation has been initiated. The functionality of DLC is generally depends on the hydrogen content and ion energy injected into substrate. The MCIG technique potentially controls both hydrogen contents and injection energy of carbon ion. (Collaboration with Mr. M. Hiratsuka and Dr. H. Nakamori et al.)
- (3) The application of the LF jet for medical treatments has recently been initiated. In this project, we are focusing on the application to the cancer treatment. The experimental device had been developed (Figure 3) and the initial experiments have been initiated. (Collaboration with Prof. N. Fukuda, Dr. K. Fujiwara, Dr. K. Saito and Dr. H. Koguchi (AIST) et al.)
- (4) The muon catalyzed fusion ( $\mu\text{CF}$ ) is one of the nuclear fusion reaction processes caused in a  $\mu$ -atom. To improve the efficiency of  $\mu\text{CF}$ , innovative concept of fusion reactor design has been proposed and preliminary experiments on a super-Alfvénic translated FRC (Field-Reversed Configuration) plasma have been initiated. (Collaboration with Dr. E. Nakamura (KEK))

Asso. Prof. N. Iwata has performed the following studies.

- (1) The aim of our study is to synthesize the oxides superlattices with atomically sharp interface. The superlattices could be the quite low consumption magnetic devices controlled with electric field, and multifunctional, for example ferroelectric and ferromagnetic multiferroic devices. For the fabrication of the superlattices, highly refined and atomically controllable deposition technique are required. We developed the synthesis of highly dense target, layer-by-layer technique, and carried out the detailed analysis of crystal structures for the superlattices. The materials used were  $\text{ABO}_3$  (A=Ca,La,B=Fe,Mn),  $\text{REMO}_3$  (RE=La,Bi,M=Fe,Fe $_{1-x}$ Mn $_x$ ). Although it is difficult to calcine the target with the density more than 95%, the targets of  $\text{LaFeO}_3$ (LFO) : 95.5%,  $\text{CaFeO}_x$ (CFO) : 96.4%,  $\text{BiFeO}_3$ (BFO) : 95.2%,  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ (BFMO) : 96.6% were able to be fabricated using the Pechini method by the collaboration research with Prof. Takuya Hashimoto. The superlattices were fabricated by the alternate stacking of the  $\text{ABO}_3$  and  $\text{REMO}_3$  using pulsed laser deposition method.



High quality superlattices grew by a cube-on-cube manner demonstrated by a x-ray diffraction, reflection and reciprocal space mapping, where the superstructure satellite peaks and Laue oscillation were clearly observed. Decreasing temperature, magnetic interaction through the interface was developed expected in the illustration of the temperature and/or magnetic field dependence of in-plane sheet resistance and Hall resistance. In the [CFO/BFMO] superlattice, the saturation magnetization  $M_S$  of  $0.055\mu_B$  per  $\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x$  at 300K was observed with the Curie temperature of approximately 450K. The value of the  $M_S$  is four times higher than that of bulk BFMO. Novel function can be invested by the synthesis of superlattices.

(2)For the supreme fine FET devices with one nm order in size, the single-walled carbon nanotubes (SWNTs) were synthesized by a chemical vapor deposition (CVD) method with the features of uniform electric property, controlled growth position, and anisotropic alignment. The features are realized by the irradiation of the free electron laser (FEL), surface treatment, and the atomic arrangement of the substrate surface. The alignment growth of the bundled SWNTs were grown on sapphire substrate. The semiconducting SWNTs with four kinds of chirality grew by irradiating the 800nm-FEL. Without the FEL metal and semiconducting mixed SWNTs grew with the chirality more than 30. The reduction of the grown chirality is attributed from the variability of the wavelength and the hundreds femto-seconds micropulses of the FEL. The chirality control during the CVD deposition is successfully carried out at the first time in the world. The synthesis position control and the chirality control were also achieved simultaneously by the surface treatment of a hydrophilic between electrodes.

Assis. Prof. H. Hashiba has performed the following studies.

(1)One of the promising ways to perform single-photon counting of terahertz radiation consists in sensitive probing of plasma excitation in the electron gas upon photon absorption. We aimed to reveal appearance of plasma excitations under high ratio of incoming photons and at high temperature. Our device is assembled from a GaAs/AlGaAs quantum dot, electron reservoir and superconducting single-electron transistor. The quantum dot is isolated from the surrounding electron reservoir in such a way that when the excited plasma wave decays, an electron could tunnel off the dot to the reservoir. Plasma excitations of the QD arises with a formation of confinement potential barrier from the reservoir having resistances more than resistance quanta, and we revealed that appropriate shape of the barriers lowers dark counts by suppression of flow of hot electrons from the reservoir and reveals higher order excited states. The higher order excited states is expected to have the same plasma frequency of that of the first and shows a heat bath effect of the QD. The detector shows high noise equivalent power of  $\sim 10^{-19} \text{ WHz}^{-1/2}$ .

(2)Titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) has been draw attention for dye sensitized solar cells by its catalytic characteristics. Our aim is an experimental study of fabrication of fine structures, i.e. photonic crystals, of  $\text{TiO}_2$  for solar cells to enhance its efficiency. A  $\text{TiO}_2$  thin layer of 150 nm thick was grown on an FTO glass substrate with a fine patterned ZEP resist mask by a conventional RF magnetron sputter method with Ti target. We found that, during the deposition, keeping ratio of Ar- $\text{O}_2$  gas of 2:1 and the deposition ratio of around 0.5 Å/s ensures enough oxygen to form  $\text{TiO}_2$  and low temperature to avoid deformation of fine pattern of the ZPU resist mask. Design of the fine patterns is photonic crystal structure of periodic zigzag slabs of 108 nm width, 608 nm in period.  $\text{TiO}_2$  layers are white-transparent, amorphous, and those roughnesses are around 7 nm. Baking of  $\text{TiO}_2$  fine structures at 500 °C transforms  $\text{TiO}_2$  from amorphous to rutile and anatase forms while keeping the same profile of the fine structures. Our new fabrication method can be one of a promising technique to optic devices on researches and industrial area.

Prof. Chaen has performed the following studies. The ensemble of many bio-nanomachines does not represent the real view of the bio-molecule, because the individual reaction does not intrinsically synchronizes with each other. We have studied the biomolecular motor using the ordinary fluorescent

imaging and the receptor protein on the biomembrane using the single-molecule fluorescent imaging technique. Firstly, studies on myosin motor of myosin filament suggested that the movement of myosin molecule was supplied by the thermal fluctuations. Moreover, by developing a new method which can image the chemical reaction occurred the myosin movement, we found that the chemical reaction was influenced by the myosin conformation. Secondly, in the study on the receptor protein of membrane, we have succeeded in improving our microscopy system by selecting an appropriate fluorescent protein, mPlum compared to ordinary fluorescent protein, GFP. And, we have developed a new wet cell using a carbon thin diaphragm to observe a living cell in aqueous solution with scanning microscopy at nanometer resolution.

Asso. Prof. K. Judai has found silver tolylacetylide molecules assembled into a chiral structure, nano helical morphology, even if the acetylide is an achiral molecule. A systematical study of recrystallization solvent revealed that twisted nano helix and non-twisted straight nano ribbon structures can be controlled by the solvents. This may carve out the direction of mirror-symmetry breaking in the homochirality problem.

### **Appeal achievements**

Our group member obtained the following achievements. 1) 92 papers; J. Am. Chem. Soc., Nanotechnology and BIOPHYSICS etc., 2) 4 books; Advanced Solid Laser etc., 3) 8 patents; Patent Appl. No.2012-195690 and No.2012-204982, etc., 4) 22 grants; Science, Sports and Culture, a Grant-in-Aid for Scientific Research, etc., 5) 11 awards or articles; “Shiokawa” award, etc.

### **Conclusions**

In this project, the problem of fabrication of nanomaterials and nanodevices for high functional applications such as electric circuits, biosensor, superconductors, EUV light source, field effect transistor, quantum dot terahertz single photon detector, solid oxide fuel cells, new photo-memory, and bio-nanomotor has been studied. We succeeded the following nanomaterials; 1) Superconductivity of La Deficient  $\text{La}_{1-x}\text{OFeP}$  and  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}$  ( $\text{R}=\text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$ ) etc., 2) Photonic crystals, of  $\text{TiO}_2$  for solar cells to enhance its efficiency, 3) Photocatalytic  $\text{Sr}_x\text{La}_{1-x}\text{TiO}_3$  film for hydrogen generation and p-type ZnO nano-films for light emitting device, 4) Silver tolylacetylide that twisted nano helix and non-twisted straight nano ribbon structures, 5)  $\text{CeO}_2 - \text{ZrO}_2$  for photo-induced dissociative adsorption of  $\text{O}_2$  gas, and nanodevices; 6) Ni or SUS encapsulated carbon nanotube for magnetic force microscope probes, carbon nano-tube/rod and diamond-like carbon diode and chirality controlled single-walled carbon nanotubes for field effect transistor, 7)  $\text{LaFeO}_3(\text{LFO})/\text{CaFeO}_x(\text{CFO})/\text{BiFeO}_3(\text{BFO})/\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3(\text{BFMO})$  superlattices for ferroelectric and ferromagnetic multiferroic devices, 8) GaAs/AlGaAs quantum dot electron reservoir and superconducting single-electron transistor for single-photon counting of terahertz radiation, 9) Magnetized coaxial plasma gun, Magnetized coaxial ion gun and Low frequency plasma jet, 10) Nano/micro bubbles for water purification, 11) Single-molecule fluorescent imaging for biomolecular motor, myosin motor of myosin filament, Scanning electron microscopy to observe a living cell in aqueous solution.

## Quantum theory and computation group

**Hiroshi ISHIDA, Shinichiro OHNUKI, Tokuei SAKO,\* Tsuneki YAMASAKI**

### 1. Summary of research progress in Quantum theory and computation group

This group aims at understanding the fundamental mechanism and properties of interaction between light and nanomaterial employing quantum/electromagnetic theories and large-scale computation. The highlights of their research achievements are summarized as follows.

### 2. Electronic properties of solid surfaces and adsorbed molecules (Hiroshi ISHIDA)

Recent progress in microfabrication techniques has enabled us to adsorb molecules at desired positions and to synthesize atomic monolayers in layer-by-layer fashion. Novel quantum phenomena occur in these nano-size systems as a result of energy-level discretization, symmetry lowering, change in the boundary condition of wave functions, and electron correlation effects. In the search for new functional materials and in the development of nano-size devices, the importance of theoretical calculations are ever increasing as a tool to analyze and predict experimental observations. In the present work, we conducted theoretical calculations of the electronic structure of solid surfaces and adsorbed molecules by placing emphasis on "the effects of strong electron correlations" and "the calculation of truly semi-infinite solid surfaces".

#### (2-1) Electronic structure of the Metal/Mott insulator interfaces

An important question from a view point of device application is whether a device such as tunnel junctions works properly when a band insulator is replaced by a Mott insulator originating from strong electron correlations. As a theoretical technique to treat strongly correlated systems, dynamical mean-field theory (DMFT) is widely used. In particular, for bulk crystals, its extension to cluster type DMFT methods where electron correlations among neighboring atomic sites are taken into consideration are becoming standard. On the contrary, DMFT calculations for surface systems were so far restricted to those using the single-site approximation. In the present work, we applied the cluster DMFT technique to correlated surface and interface systems. It was demonstrated that the mechanism of the metal-to-insulator transition in the correlated layers as well as the tunneling conductance through them changes qualitatively from those obtained by the single site DMFT. Similarly, we calculated the electronic structure of a monolayer of the Mott insulator adsorbed on a semi-infinite non-interacting metal substrate. While in the single DMFT, the overlayer becomes a Fermi liquid due to proximity effects to the metal substrate, it was found that the overlayer remains a non-Fermi liquid in the cluster DMFT calculation to much lower temperatures.

#### (2-2) Coulomb blockade and Kondo effect in the Hubbard molecule

It has become possible to measure conductance of single molecules connected to metal electrodes. On the theory side, calculations of the ballistic conductance for molecules are reported based on the Landauer formula and density functional theory (DFT). The agreement between theory and experiment is not necessarily good as DFT cannot treat many body effects caused by strong Coulomb interactions between electrons in the molecules. To address this issue, we considered a  $N$ -site Hubbard molecule bridging two non-interacting semi-infinite metallic electrodes and calculated its electronic structure in the limit of the zero bias voltage by using the exact diagonalization technique. It was shown that our method can describe Coulomb blockade effects as well as the formation of Kondo resonance at low temperature originating from the coupling of localized spins in the molecule and conduction electrons in the electrodes.

#### (2-3) Rashba effects in the localized surface bands of crystal surfaces

Spin-orbit interactions play an important role in the electronic structure of crystal surfaces. One example is the topologically protected surface states of topological insulators. Another is the spin

polarization of localized surface bands observed in nonmagnetic materials such as Ag and Bi. The latter is called the Rashba effect. Previous first-principle calculations of the Rashba effect within DFT were performed by approximating crystal surfaces by thin slabs. However, the slab model is not suitable for the accurate description of localized surface states and surface resonances, since the bulk energy levels in the normal direction are discretized. We have incorporated the spin-orbit interaction term in our embedded Green's function program and performed first-principles DFT calculations of the Rashba effect for a number of truly semi-infinite surfaces. As an example, we show in Fig. 1 the calculated surface band structure of Bi/Ag(111) surface, where we plotted the intensity map of  $\rho(\epsilon, \mathbf{k})$ , the  $k$ -resolved local density of states within a muffin-tin sphere of an outermost surface atom, as functions of the wave vector and one-electron energy. The dark regions correspond to the energy gaps of projected bulk energy bands. Bright lines in the energy gaps are the localized surface states. As the Kramers degeneracy is lifted at the surface due to the lack of the space inversion symmetry, the surface bands become spin-polarized except for the  $\Gamma$  point in surface Brillouin zone.

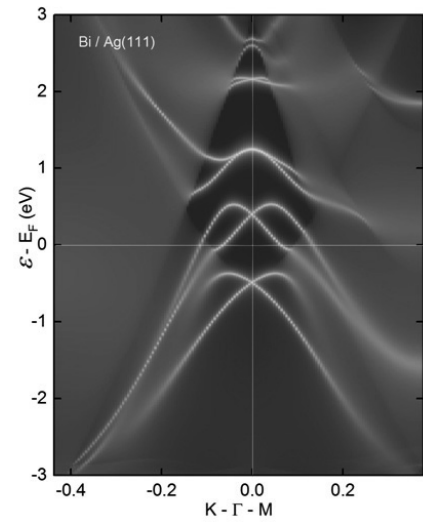


Fig.1 Bi/Au(111)表面の Rashba 効果

### 3. Nano-Electromagnetic Simulation for Light-Material Interactions (Shinichiro OHNUKI)

We have developed fast and reliable electromagnetic simulation methods for studying interaction between light and nanoscale objects. We apply our novel methods to designing nanoscale devices for high-speed and high-density magnetic recording, quantum telecommunication, and so on. This research was awarded the 2013 academic award from College of Science & Technology, Nihon University and the 2013 best paper of Magnetics Society Japan.

#### (3-1) Time Domain Responses of Electromagnetic Fields by Integral Equation Methods

We have developed novel fast and accurate solvers based on integral equation methods with fast inverse Laplace transform for time domain electromagnetic problems. The advantages of our proposed method are (1) the computational error is easy to be controlled, (2) there is no restriction of selecting time step size, and (3) an arbitrary observation time can be selected. Using the combination of fast algorithms and parallel computing, the speedup rate becomes over 100 times faster. We have designed plasmonic antennas which can localize circularly polarized light in nanoscale.

#### (3-2) Design of Plasmonic Antennas with Bit-Patterned Media for High-Density Magnetic Recording

We study characteristics of plasmonic antennas with bit-patterned media to realize high-density all-optical magnetic recording through the collaboration with Prof. Katsuji Nakagawa, Information Group. Figure 2 shows an asymmetric cross antenna constituted by two dipole antennas with bit-patterned media. Antenna lengths are selected to obtain 90° phase shift. Localized circularly polarized light is generated inside the particulate medium at the center of antennas. In our proposed system, the

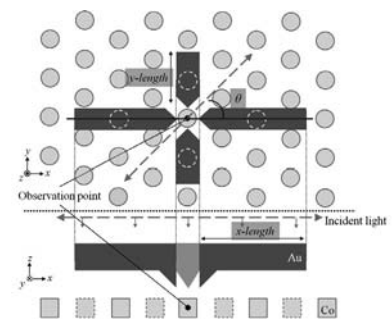


Fig.2 Proposed system for high-density all-optical magnetic recording.

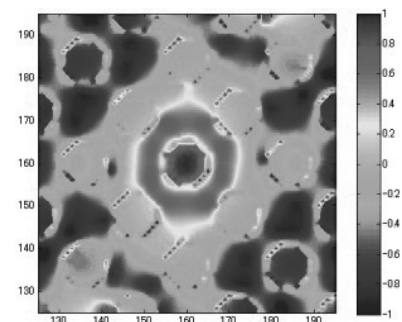


Fig.3 Circularity inside the bit-patterned media.

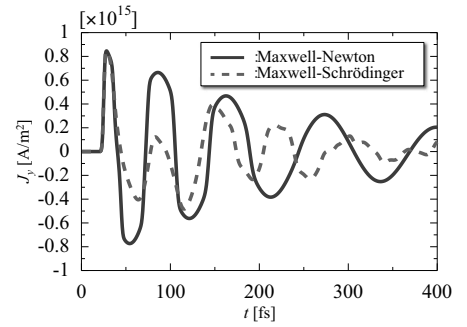
recording density can be achieved over 2Tbit/inch<sup>2</sup>. We investigate the motion and required DC field of magnetization reversal using micro magnetics simulation in collaboration with Prof. Arata Tsukamoto, Information Group, as in Fig.3.

### (3-3) Multiphysics Simulation of Nanoscale Objects in Laser Fields

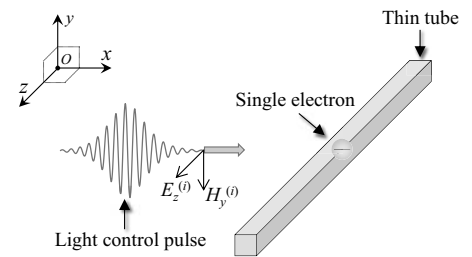
We have developed the coupled Maxwell-Schrödinger scheme which is based upon the FDTD method in collaboration with Prof. Tokuei Sako, Quantum Theory and Computation Group. Our proposed method can handle tunneling effects due to well structures. We have investigated current densities and electromagnetic fields of nano plates. Advantages of our method have clarified in comparison with conventional classical solvers (Fig. 4). We have investigated the interaction between the light control pulse and thin tube including only a single electron, where the pulse is designed to control the electron-state. Our designed pulse has excellent ability to control the electron state with high accuracy (Figs. 5 and 6).

### (3-4) Modeling of Plasmonic Waveguides for a High Sensitivity Optical Sensor

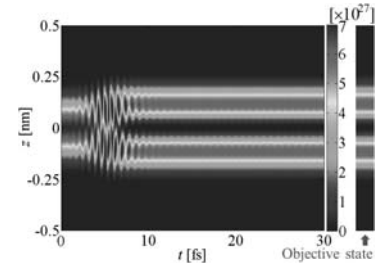
We have proposed an optical sensor which consists of a metal stripe and nano wire. Using the proposed device, electromagnetic energy is concentrated around the metal stripe and the energy can be efficiently absorbed into the nano wire. Joule heat inside the nano wire is produced due to the electromagnetic energy and becomes over 50 times higher than that for the case without the metal stripe.



**Fig.4** Time domain response of current density in a nano plate.



**Fig. 5** Nano tube and the coordinates.



**Fig. 6** Control of electrons states by a

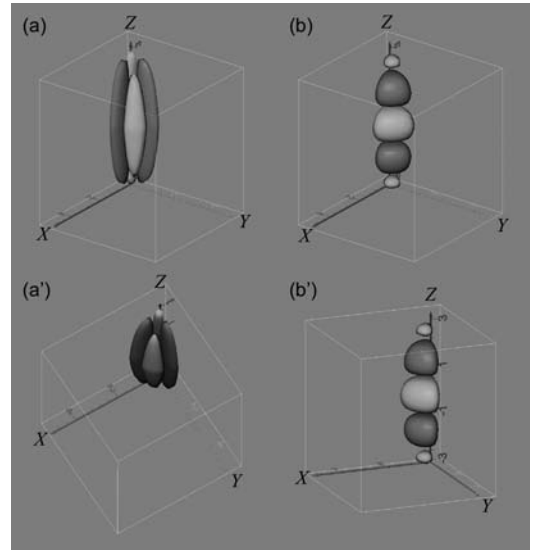
## 4. Origin of Hund's rule and angular correlation in natural and artificial atoms (Tokuei SAKO)

Artificial atoms or quantum dots, novel quantum systems confining a small number of electrons in a low-dimensional artificially-designed nanoscale potential well, play an essential role in the development of next generation devices operating under the principle of quantum mechanics, utilized in, such as, quantum computation and quantum telecommunication. Since the electronic properties of artificial atoms are known to depend strongly on their size and/or number of electrons, understanding their complicated electronic structure is one of the most fundamental and essential issues. In this direction the author has focused on in this *N.* project the origin of so-called Hund's rule and studied the mechanism of this fundamental rule operating in artificial atoms. An inherent hole in the spin-parallel singlet wave function has been identified and is called *conjugate Fermi hole*. It has been shown that the origin of Hund's rule is rationalized on the basis of this conjugate-Fermi-hole concept.

### (4-1) Origin of Hund's multiplicity rule

Empirically derived Hund's rules of pre-quantum-mechanics era that predict the ordering of the energy levels possessing different spin and orbital angular momentum quantum numbers proved to be almost universally valid for atoms, molecules, and quantum dots. Yet, despite the history of a long standing debate the search for various aspects of their origin persists, that was most likely due to our lack of knowledge as to how electrons in the system behave differently for different spin states. We explore the origin of the first Hund rule for a two-dimensional model of He-like systems and that of two-electron quantum dots which represent ideal systems providing a direct fundamental insight into the structure of the internal part of the fully-correlated wave functions, allowing us an unambiguous

argument. An examination of their probability density distributions indeed reveals the existence of a region in the internal space which we refer to as a conjugate Fermi hole (Fig.7 Phys. Rev. A 2011). In this region the singlet wave function has a smaller probability density than the corresponding triplet one, in contrast to a genuine Fermi hole in which case the triplet has a smaller density than the singlet. Thanks to the presence of this conjugate Fermi hole, the singlet probability density has to migrate far away from the center of the one-electron potential, rationalizing thus a well-known broader electron density distribution of the singlet state than is the case for the corresponding triplet, that is a key observation to explain the singlet-triplet energy gap. This result was published in Journal of Physics B in 2012 and was chosen as IOP Select Paper, which was further covered by Europhysics News published by the European Physical Society. He was invited by JPS to write a review article on this subject in BUTSURI, that was published recently in the June issue of 2013 with the title “Origin of the First Hund Rule in He-Like Atoms”.



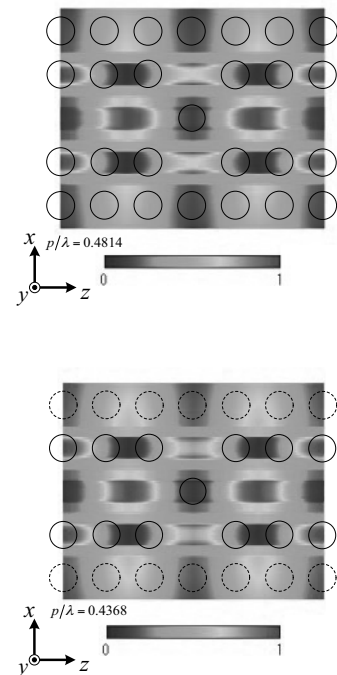
**Fig.7** Structure of standard Fermi holes (blue) and conjugate Fermi holes (red) in the internal space of two electron.

### 5. Switching Effect and Confinement efficiency by Dielectric Waveguide with Photonic Nanostructures (Tsuneki YAMASAKI)

We have analyzed the scattering and guiding problems by dielectric waveguides with defects composed of dielectric circular cylinders array loaded with dielectric rectangular cylinder and arbitrary dielectric structure in the middle layer, and investigated the influence of power transmitted coefficients by using the combination of improved Fourier series expansion method and multilayer method and the distribution of energy flow for defect area utilizing the propagation constants at the guided region. We have investigated the optimum dielectric structure to obtain the switching effects or confinement efficiency. Numerical results are given for the influence of the incident angle and normalized frequency of the transmitted power in terms of the parameter  $\epsilon_3/\epsilon_0$  of the rectangular cylinders in the middle layer sandwiched between two multilayers, yielding the basis characteristics of resonance peak for switching or frequency selective devices for both TM and TE cases.

(5-1) Confinement efficiency of photonic structure for case of loaded with arbitrary dielectric structures

We consider the dielectric waveguides composed of dielectric circular cylinder array with air-hole type circular cylinder array. Figure 8 shows the distribution of energy flow at the guided area for types A and B as condition of excited normalized frequency  $p/\lambda = 0.4814$  and  $p/\lambda = 0.4368$ , respectively. And also, the circles of solid and dashed lines denote the position that it is placed the dielectric circular cylinders or air-hole circular cylinders. From these results, we can see the following features: (1) From a comparison of structure type A and type B, the energy of defect area for type B can be concentrated than that of structure type A. (2) We obtained the confinement efficiency by type B compared with previous structure type A.



**Fig.8** Distribution of energy flow at guided area for types A (upper) and B (lower).

## Final Reports of Individual Researchers

1. Yasuo Asada and Nobuyuki Nishimiya	<i>Energy Technology</i>	167
Improved hydrogen production by cyanobacteria with the use of hydrogen-absorbing alloys		
2. Tomohiko Asai	<i>Nanomaterials and Nanodevices</i>	168
Control of Self-Organized Magnetized Plasmoids and Their Applications to Nano-Materials and Medical Technologies		
3. Shigeru Chaen	<i>Nanomaterials and Nanodevices</i>	170
Imaging of Bionanomachines		
4. Noboru Fukuda, Jun Igarashi and Kosuke Saito	<i>Medical</i>	172
Drug discovery of pyrrole-imidazole (PI) polyamide by the chemical biology and Development of plasma medicine for cancer		
5. Hideomi Hashiba	<i>Quantum Information; Nanomaterials and Nanodevices</i>	173
Single Photon Optoelectronics Devices		
6. Takuya Hashimoto	<i>Energy Technology</i>	175
Preparation of Development of Materials for Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells with Nono-mixing process		
7. Hiroki Ikake	<i>Supramolecules and Self-Assembly</i>	177
Development of Poly(lactic acid)s Films as biopolymer, and Applications to New Material Field		
8. Hiroshi Ishida	<i>Quantum Theory and Computation</i>	179
Electronic properties of solid surfaces and adsorbed molecules		
9. Nobuyuki Iwata	<i>Nanomaterials and Nanodevices</i>	181
Multi-functional and Highly Dense Devices by Fabrication and Control of Nanostructures		
10. Ken Judai	<i>Nanomaterials and Nanodevices</i>	183
Development for Application of Cluster and Molecular Aggregating		
11. Koichiro Kano	<i>Medicine</i>	185
A novel model of onset breast cancer by implanting mature adipocyte-derived dedifferentiated fat (DFAT) cells		
12. Tsugumichi Koshinaga	<i>Medicine</i>	187
Anti-tumor effect of pyrrole-imidazole polyamide targeting <i>KCNQ1OT1</i> gene as new therapeutic agent		
13. Takeshi Kuwamoto	<i>Quantum Information</i>	189
Experimental Studies for Quantum Memory using Neutral Atoms		
14. Yoshikazu Masuhiro	<i>Medicine</i>	191
Construction of the Escherichia coli expression system of the cell membrane permeable iPSCs induced factors that strengthened proteolysis resistance		

15. Yoshiaki Matsumoto and Takahiko Aoyama	<i>Medicine</i>	193
Pharmacokinetic/Pharmacodynamic Modeling of Tumor-localizing Photosensitizing Compounds and Pyrrole-Imidazole Polyamides		
16. Sachiko Matsushita	<i>Supramolecules and Self-Assembly ; Energy Technology</i>	195
Self-assembly and Self-organization from the viewpoint of Device-fabrication Methods		
17. Katsuji Nakagawa	<i>Information Storage</i>	197
Research for high density and high speed magnetic recording - Thermally assisted magnetic recording applying near field optical light -		
18. Naoto Namekata	<i>Quantum Information</i>	199
Development of Elemental Technologies toward Quantum Information and Communications		
19. Nobuyuki Nishimiya	<i>Energy Technology</i>	201
Development of Nano-Composite Technologies for Innovative Hydrogen Storage		
20. Shinichiro Ohnuki	<i>Quantum Theory and Computation</i>	203
Nano-Electromagnetic Simulation for Light-Material Interactions		
21. Joe Otsuki	<i>Supramolecules and Self-Assembly; Energy Technology</i>	205
Self-Assembled Supramolecules and Their Applications to Energy, Medical, and Information Technologies		
22. Tokuei Sako	<i>Quantum Theory and Computation</i>	207
Origin of Hund's rule and angular correlation in natural and artificial atoms		
23. Kyoko Fujiwara and Masayoshi Soma	<i>Medicine</i>	209
Development of Pyrrole-Imidazole polyamide showing anti-tumor effect		
24. Kaoru Suzuki	<i>Nanomaterials and Nanodevices</i>	211
Synthesis of Nano-Tube/Rod and Wide Band Gap Semiconductor Devices		
25. Satosu Takahashi and Daisuke Obinata	<i>Medicine</i>	213
The development of newly molecular targeting drug for prostate cancer by using pyrrole-imidazole (PI) polyamide		
26. Yoshiki Takano	<i>Nanomaterials and Nanodevices</i>	215
Mechanism of Superconductivity in Layered Iron-Arsenide Superconductors and Search of New Superconducting Compounds		
27. Akiyoshi Itoh and Arata Tsukamoto	<i>Information Storage; Supramolecules and Self-Assembly</i>	217
Ultra High Density Information Recording Materials on Self Assembled Nano-structured Substrates		
28. Arata Tsukamoto	<i>Information Storage; Supramolecules and Self-Assembly</i>	219
Ultra-Fast Information Recording and Ultra-Fast Photo Magnetic Switching		
29. Tsuneki Yamasaki	<i>Quantum Theory and Computation</i>	221
Switching Effect and Confinement efficiency by Dielectric Waveguide with Photonic Nanostructures		



## Improved hydrogen production by cyanobacteria with the use of hydrogen-absorbing alloys

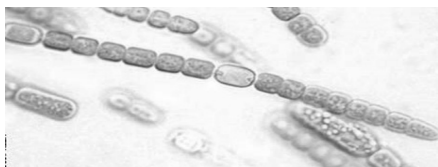
Yasuo ASADA and Nobuyuki NISHIMIYA  
Energy Technology

There have been some kinds of hydrogen producing microorganisms; anaerobic fermenters with degradation of organic materials, and photosynthetic microorganisms (microalgae, cyanobacteria and photosynthetic bacteria) under specific conditions.

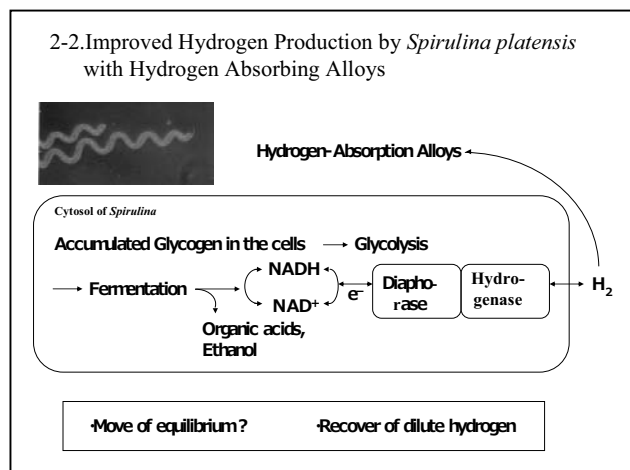
The enzymes producing and/or consuming hydrogen are nitrogenase and hydrogenase. Hydrogen absorbing alloys (e.g., Fe/V/Zr) were encapsulated by SSG (Softened Sol Gel) method. The encapsulated metals were tolerant to oxygen and water. The metal was put in a closed vessel containing culture of nitrogen-fixing hydrogen producer, *Anabaena cylindrica* under photosynthetic conditions or auto-fermentative hydrogen producer, *Spirulina platensis* in the dark and anaerobic conditions for several days. The total amount of hydrogen recovered in the alloys and Ar gas phase was higher in the presence of metal than in the absence of it (Japanese Patent 2011-124597). It is suggested that the hydrogen absorbing alloys affected the balance of hydrogen production and uptake in these hydrogen producers.

We adopted the SSG hydrogen absorbing alloys to facultative fermenter, *Enterobacter aerogenes*, also. The results were similar as for the cyanobacteria (the alloys were stimulative for the yields of hydrogen production). We are trying to adopt to the alloys to anoxygenic photosynthetic bacteria that produce hydrogen with nitrogenase system. The results above is the first step for further improvement of biohydrogen production. Besides of improvement of light energy conversion, new alloys which are reactive in lower pressure with higher rate of hydrogen absorption.

Asymmetric reduction of isoxazole by photosynthetic bacteria (by Asada's group)  
It was reported that the intact cells of a cyanobacterium, *Synechococcus* PCC7942 reduce isoxazole or acetophenones into its s-type alcohol form. It is estimated that alcohol dehydrogenase could be catalyzed, however, what enzyme is really working is not so clear. We planned that three alcohol dehydrogenase genes from *Synechocystis* PCC6308 into a photosynthetic bacterium *Rhodobacter sphaeroides* RV by using RP4-derived conjugative vector. It was at first successful in conjugative transformation. Three transconjugat carrying each alcohol dehydrogenase gene are demonstrated to have active alcohol dehydrogenase activity in its cell-free extract. Furthermore, we found alcohol assimilating *Rhodopseudomonas viridis* No.7 can asymmetrically reduce isookisazoles and acetophenone into their S form of alcohols. Then, we tried the transconjugants including *Rp.viridis* No.7's alcohol dehydrogenase for asymmetric reduction. We repeated the reduction experiments under various conditions. However, the transconjugant might vary into weak or no activity even for ethanol or butanol. The reason is not clear, but estimated to be to instability of transconjugation vector. The vectors might be lost during repeating the transfer the culture. The results are not enough (less than half of the plan). The author, Asada is very thankful to Lecturer, Ken-ich Ito, in our section for analysis of isoxazoles and acetophenones and Prof. Hideki Khono for making transconjugants.



*A.cylindrica*



Hypothetical hydrogen metabolism in *S.platensis*

## Control of Self-Organized Magnetized Plasmoids and Their Applications to Nano-Materials and Medical Technologies

**Tomohiko ASAI**

Nanomaterials and Nanodevices

Self-organized magnetized plasmoid has attractive advantages for the variety of applications because of its wide range of plasma parameters and its ease of control. In this work, applications of the magnetized plasmoid for a rapid thin-film deposition and EUV light source have been proposed and demonstrated. Also, several innovative applications of the plasma formation technique, e.g. medical treatment and muon catalyzed nuclear fusion have been proposed and initiated in this project.

### 1. Development of high-speed film deposition technique by magnetized coaxial plasma gun

Magnetized Coaxial Plasma Gun (MCPG) has been applied for new alloy film deposition technique of Magnetized Coaxial Ion Gun (MCIG) method as shown in Figure 1. This method realizes the generation of metallic thin film with the materials which have high-melting-point (e.g., Ti, Zr ...). Generation methods for these materials had been limited to the ion beam assisted vacuum deposition. The optimization of gun operation and the initial experiment with composite material electrode have been successfully performed. Result of the scratch test (JIS R 3255) on an aluminum thin-film, which formed on a SiO<sub>2</sub> substrate with the newly proposed MCIG technique, indicates 4.2 times higher adherence strength compared to the conventional vacuum vapor deposition technique. The developed technique had been applied for a patent via NUBIC. ("Fast alloy film deposition method", by Tomohiko Asai, Kaoru Suzuki, Nobuyuki Nishimiya, Mikio Takatsu, 2012.9.6 (JP2012-195690)) (Collaboration with Prof. K. Suzuki, Prof. N. Nishimiya and Prof. S. Masutani et al.)

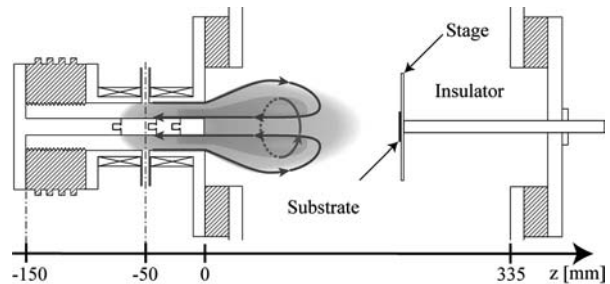


Figure 1. Schematic diagram of MCIG

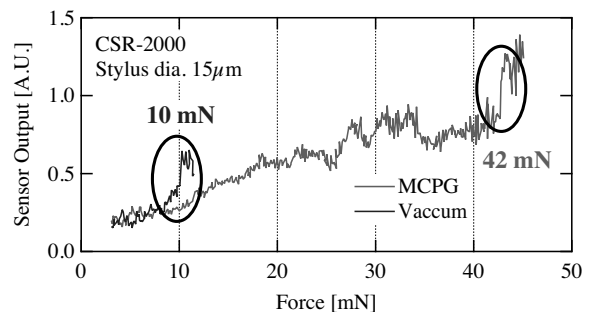


Figure 2. Result of the adherence strength test of aluminum thin-film on a SiO<sub>2</sub> substrate by methods of a vacuum vapor deposition and newly proposed MCIG technique

### 2. Development of MCIG with carbon electrode for hard DLC generation

Based on the MCIG technique which has been developed for the thin-film generation of high-melting point metals, experimental investigations of novel technique of diamond-like Carbon (DLC) generation has been initiated. Generally, DLC is generated by the discharge or sputtering in the hydrocarbon gas atmosphere. Therefore, precise control of the hydrogen content in a DLC is difficult. The proposed method by utilizing MCIG with carbon electrode does not require hydrocarbon gas to generate DLC. Then the content of hydrogen is easily controlled by changing mixing ratio of

discharge gas. The functionality of DLC is generally depends on the hydrogen content and ion energy injected into substrate. The MCIG technique potentially controls both hydrogen contents and injection energy of carbon ion.

(Collaboration with Mr. M. Hiratsuka and Dr. H. Nakamori et al.)

### 3. Application of LF Plasma jet for Medical Treatments

The atmospheric-pressure LF (Low Frequency) plasma jet has been investigated to apply for surface modification technique of e.g. CNT composite materials. The application of the LF jet for medical treatments has recently been initiated. The high energy electron and ions supplied by the LF jet have a potential to be a tool to control chemical balance of cells in addition to the direct effect of hot particles.

In this project, we are focusing on the application to the cancer treatment. The experimental device had been developed (Figure 3) and the initial experiments have been initiated. (Collaboration with Prof. N. Fukuda, Dr. K. Fujiwara, Dr. K. Saito and Dr. H. Koguchi (AIST) et al.)

### 4. High-efficiency method of muon catalyzed fusion

The muon catalyzed fusion ( $\mu$ CF) is one of the nuclear fusion reaction processes caused in a  $\mu$ -atom. To improve the efficiency of  $\mu$ CF, innovative concept of fusion reactor design has been proposed and preliminary experiments on a super-Alfvénic translated FRC (Field-Reversed Configuration) plasma (Figure 4) have been initiated.

The application of GeV-class hadron particles to new energy production by using nuclear fusion reactors has been discussed. The FFAG (Fixed Field Alternating Gradient) accelerator is an attractive candidate for this study because it is compact with small magnetic materials, and is capable to supply stable beam for DC-magnetic field operation, although the electric field of the acceleration rf-devices is low up to 100 kV/m due to the requirements for large aperture and for time-variation of rf frequency to adjust to the non-linear velocity of high-energy particles. We have studied to improve the FFAG accelerator by applying magnetic field configuration to main bending magnets, to satisfy isochronous condition and phase stability. Figure 5 shows the conceptual design of the new accelerator. Numerical investigation has been initiated to optimize the accelerator design for the application to  $\mu$ CF. (Collaboration with Dr. E. Nakamura (KEK))



Figure 3. LF jet for a medical applications

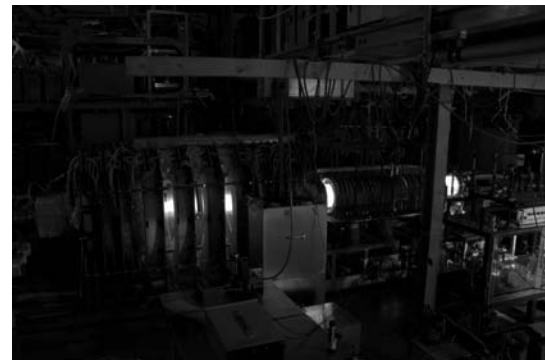


Figure 4. FAT device

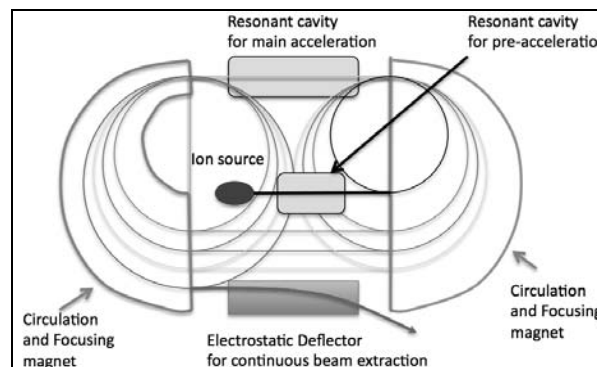


Figure 5. Schematic of FFAG accelerator for high energy hadron

## Imaging of Bionanomachines

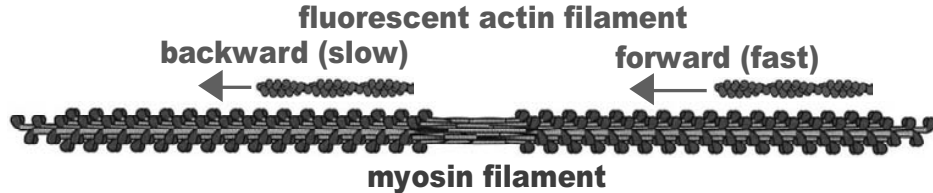
Shigeru CHAEN

Nanomaterials and Nanodevice

In studies on bio-nanomachines, the conventional ensemble techniques have been used. However the ensemble of many bio-nanomachines does not represent the real view of the bio-molecule, because the individual reaction does not intrinsically synchronizes with each other. Studying single-molecule at a time is necessary for understanding the bio-nanomachine in action. Here we report studies on the biomolecular motor using the ordinary fluorescent imaging and the receptor protein on the biomembrane using the single-molecule fluorescent imaging technique.

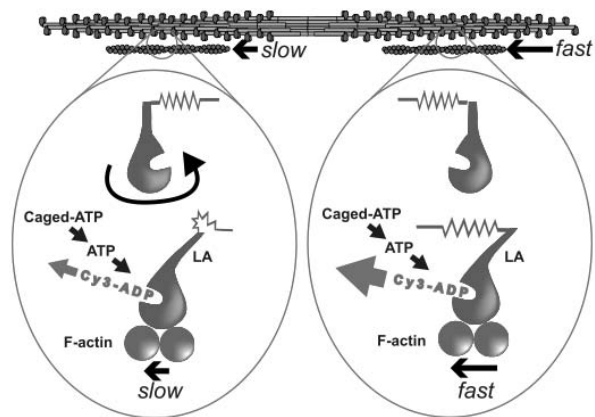
### 1. Studies on the biomolecular motor using the ordinary fluorescent imaging technique.

In vitro motility assays using bipolar myosin thick filaments demonstrated that actin filaments were capable of moving in both directions along the myosin filament tracks. The movements, however, were slower in the direction leading away from the central bare zone than towards it. To understand the mechanism underlying these different direction-dependent motilities, we have examined the effects of temperature on the velocities of the bidirectional movements along reconstituted myosin filaments. The apparent activation energy of the movement away from the central bare zone was significantly higher (79 kJ/mol) than that of the movement toward the zone (44 kJ/mol). Given that the backward movement away from the central bare zone would cause the myosin heads to be constrained and the stiffness of the cross-bridges to increase, these results suggest that the elastic energy required for the cross-bridge transition is supplied by thermal fluctuations. (*Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2010, 396, 593-542) .



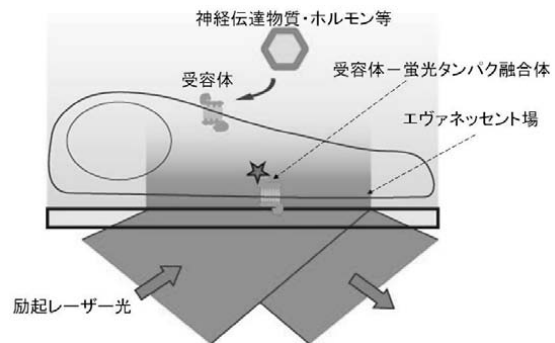
### 2. Imaging of ATP hydrolysis of bionanomachines.

As mentioned above, we have suggested that the backward movement causes the myosin heads to be constrained and increase in the energy required for the ADP release step by the findings that the thermal activation energy. In this study, in order to examine whether ADP release rate is slower in the backward than the forward movement, we constructed an assay system to estimate the ADP release rate from the displacement of fluorescent nucleotides bound to myosin heads by flash photolysis of caged ATP. Using the new assay system, we obtained that ADP release rate is slower in the backward than the forward movement (*BIOPHYSICS* 2013, 9, 13-20).



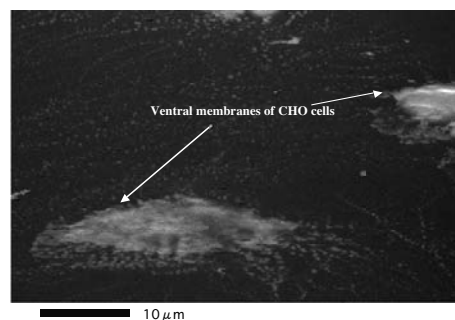
### 3. Studies on the receptor protein on the biomembrane using the single-molecule fluorescent imaging technique

Single molecule imaging technique has broken through the bottlenecking problem of optical resolution limit and provided a method to directly observe each single molecule by optical microscopy. Traditional epi-fluorescence microscopy can not identify faint fluorescence from a single molecule buried in enormous amount of background fluorescence. Evanescent field illumination method provides a device for drastically reducing background fluorescence and enables *in vitro* single molecule imaging of purified proteins. The method, however, has several problems to overcome in *in vivo* usage. Intense and heterogeneous distribution of autofluorescence in living cells or tissues is a deep-rooted obstacle to reduce background. Brownian motion of objective molecules bring about spatiotemporally ever-changing distribution of their fluorescence intensity. To surmount these difficulties, we have improved our microscopy system to accomplish high contrast imaging and investigated alternative fluorescent reagents instead of GFP. We have so far singled mPlum, a fluorescent protein, out for High S/N ratio and long lifetime of its chromophore. We intend to evaluate *in vivo* usage of mPlum. In practice, we conduct *in vivo* single molecule imaging of a fusion protein consisting of Plasma Membrane Targeting sequence (PMT) and mPlum expressed in living cells. PMT sequence makes it possible to place the fusion protein directly under plasma membrane.



### 4. Development of a new wet cell using a carbon thin diaphragm to observe a living cell in aqueous solution with Scanning Electron Microscopy at nanometer resolution

In electron microscopy, transparency of specimens against a beam of electrons in TEM or intensity of secondary electrons and so on induced by an incident electron beam in SEM is translated into contrast. Any material surrounding a specimen, which prevents electron beam passing or detection of secondary electrons, obstructs to create an image. Hence, electron microscopy intrinsically requires high voltage electron beam irradiation of specimens and high vacuum under  $10^{-4}$  Pa in the cell for specimens. Water in samples must be replaced with some resins or completely dried up. These conditions make it difficult to observe wet or living samples like enzymes retaining catalytic activities or living cells in aqueous solution. To image wet and living samples using electron microscopy at nanometer resolution, we are developing a new wet cell for SEM whereby living cells and enzymes can be maintained in aqueous solution. A carbon thin layer with thickness of 20 nm was made by vacuum evaporation. We applied it as a diaphragm withstanding a pressure gap for separating a specimen in solution at atmospheric pressure from high vacuum environment. Cells and enzymes were placed on its surface of the atmospheric side. They were imaged using SEM. The EM photographs show detailed structures of the cell membrane and the enzymes.



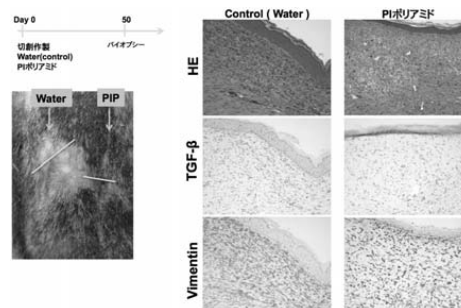
## Drug discovery of pyrrole-imidazole (PI) polyamide by the chemical biology and Development of plasma medicine for cancer

Noboru FUKUDA, Jun IGARASHI, Kousuke SAITO

Medicine

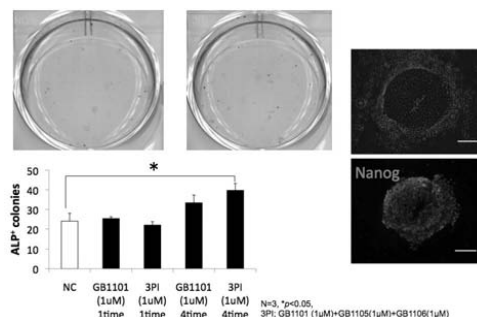
### 1. Drug development of PI polyamide as practical medicines

We confirmed that PI polyamide targeting human TGF- $\beta$ 1 (GB1101) is strongest to inhibit the expression of TGF- $\beta$ 1 mRNA in human- and marmoset-derived fibroblasts. We checked the combination of components of soluble materials and solutions for PI polyamides and found that Macrogol Ointment was most effective substrate to delivery the PI polyamide into skin. We examined effects of PI polyamides targeting human TGF- $\beta$ 1 on development of skin finrotic scar created in common marmosets and confirmed actual inhibition of the skin scar.



### 2. Development of the Nihon University original methodology inducing iPS cells using the PI polyamide targeting human TGF- $\beta$ 1

We examined the iPS-producing method establishment using proteolysis resistant cell-permeable proteins and the initiation factor, TGF- $\beta$ 1 inhibitor, PI polyamide targeting human TGF- $\beta$ 1, Apigenin, TGF- $\beta$ 1 antagonist and Apigenin, and TGF- $\beta$ 1 and PI polyamide targeting human TGF- $\beta$ 1.



### 3. Development of plasma medicine for skin malignant melanoma

We started a project of the development of plasma medicine for skin malignant melanoma collaborating with the plasma team in College of Science and Technology. This plasma medicine targets the cancer stem cell with all trans retinoic acid to reduce the tolerance of radical oxygen species.

### 4. Drug development of cyclic PI polyamides

To verify the higher efficiency of biological activities of the cyclic PI polyamides, we have been carrying out the comparison between hairpin and cyclic PI polyamides with nine-ring or ten-ring this year. According to results of Real-Time PCR, cyclic PI polyamides targeted human TGF- $\beta$ 1 much more significantly than hairpin PI polyamides, indicating the cyclic PI polyamides maybe can be used as a new type of DNA-binding molecule with lower dose.

## Single Photon Optoelectronics Devices

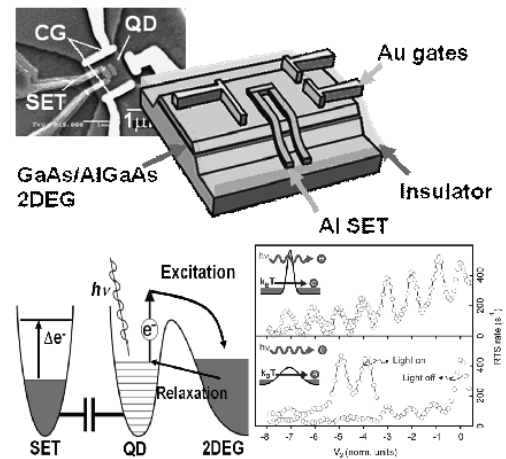
Hideomi HASHIBA

Nano-devices; Quantum information

Our research aims development of single photon optoelectronic devices. The research has focused on silicone/Au waveguides, CdSe colloidal quantum dots as single photon emitters for quantum information transport, two dimensional TiO<sub>2</sub> photonic crystals of low refractive index for solar cells, and single photon detectors for THz range on this project.

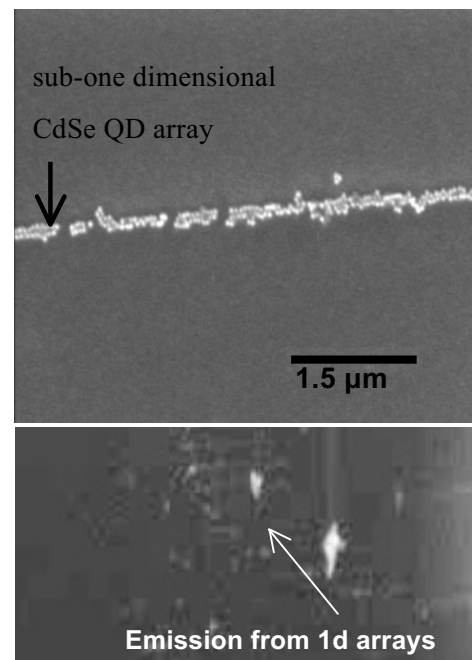
### 1. THz plasma excitations of quantum dots confined with potential barriers

One of the promising ways to perform single-photon counting of terahertz radiation consists in sensitive probing of plasma excitation in the electron gas upon photon absorption. We aimed to reveal appearance of plasma excitations under high ratio of incoming photons and at high temperature. Our device is assembled from a GaAs/AlGaAs quantum dot, electron reservoir and superconducting single-electron transistor. The quantum dot is isolated from the surrounding electron reservoir in such a way that when the excited plasma wave decays, an electron could tunnel off the dot to the reservoir. Plasma excitations of the QD arises with a formation of confinement potential barrier from the reservoir having resistances more than resistance quanta, and we revealed that appropriate shape of the barriers lowers dark counts by suppression of flow of hot electrons form the reservoir and reveals higher order excited states. The higher order excited states is expected to have the same plasma frequency of that of the first and shows a heat bath effect of the QD. The detector shows high noise equivalent power of  $\sim 10^{-19}$  WHz<sup>-1/2</sup>. (1 paper, 1 lecture meeting, 2 posters)



### 2. Development of fabrication technology of silicone waveguides, Au strip couplers and single photon emitters by one dimensionally aligned CdSe quantum dots

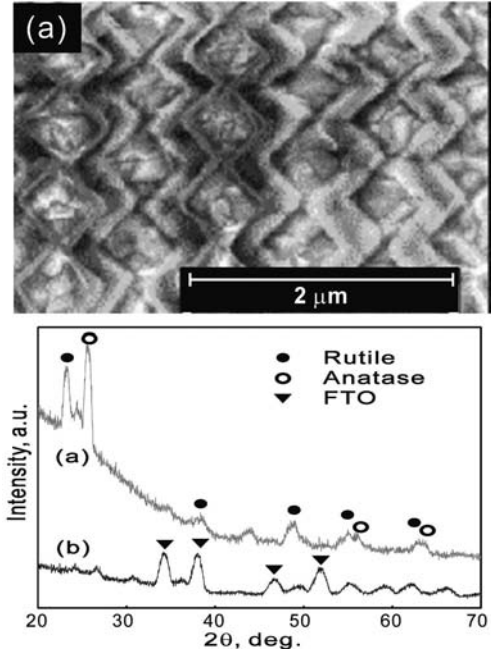
Semiconductor wave guides and photonic crystals are increasingly important in optoelectronic devices for quantum information technology. We study silicone wave guide devices with its third-order nonlinearities. Research of silicone wave guide devices on this project has been focused on development of simple fabrication method of the waveguides and we attained to develop concrete fabrication method for a Si waveguide of 320 nm wide and more than 1 mm long. The waveguide has small roughness of side-walls of less than 10 nm and accuracy of shape of the waveguide is restricted by our EBL that has field alignment precision of around 100 nm by auto-align mode or around 50 nm by manual align. This also affects for large sized structure such as Au stripe couplers. We also studied fabrication technique of arrays of colloidal quantum dots of 5 nm CdSe covered by silica. We attained 55 nm wide, 1.5 mm long array of the QD



in sub-one dimensional shape. Evanescent coupling of the quantum dots to gold thin film of 37 nm was also confirmed. (1 poster)

### 3. Fabrication of titanium dioxide photonic crystals for dye sensitized solar cells

Titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) has been draw attention for dye sensitized solar cells by its catalytic characteristics. Our aim is an experimental study of fabrication of fine structures, i.e. photonic crystals, of  $\text{TiO}_2$  for solar cells to enhance its efficiency. A  $\text{TiO}_2$  thin layer of 150 nm thick was grown on an FTO glass substrate with a fine patterned ZEP resist mask by a conventional RF magnetron sputter method with Ti target. We found that, during the deposition, keeping ratio of Ar- $\text{O}_2$  gas of 2:1 and the deposition ratio of around 0.5 Å/s ensures enough oxygen to form  $\text{TiO}_2$  and low temperature to avoid deformation of fine pattern of the ZPU resist mask. Design of the fine patterns is photonic crystal structure of periodic zigzag slabs of 108 nm width, 608 nm in period.  $\text{TiO}_2$  layers are white-transparent, amorphous, and those roughnesses are around 7 nm. Baking of  $\text{TiO}_2$  fine structures.at 500 °C transforms  $\text{TiO}_2$  from amorphous to rutile and anatase forms while keeping the same profile of the fine structures. Our new fabrication method can be one of a promising technique to optic devices on researches and industrial area. (2 papers, 1 poster)





## **Preparation of Development of Materials for Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells with Nono-mixing process**

**Takuya HASHIMOTO**  
Energy Technology

Solid oxide fuel cells (SOFC) attract much interest due to high energy conversion efficiency and low emission of pollution gas. At present, operation temperature of SOFC is about 800-1000 °C, which should be reduced to 600-800 °C for practical application. In order to reduce operating temperature, new materials for cathode, electrolyte and anode which work at such a low temperature should be developed. In this study, potentials of the compounds listed below as new SOFC materials have been investigated. Improvement of property as SOFC materials has been examined by employing Pechini process as preparation method, which is expected as nano-mixing process. Fabrication and evaluation of new SOFC test cell combining these new materials are in progress.

### **1. Optimization of preparation method and sintering temperature of $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ as new cathode material and its stability at low oxygen partial pressures**

$\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ , especially  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ , attracted interest as new cathode material for SOFC due to low chemical reactivity with electrolyte material originating from absence of Sr. However, possibility of practical application was not verified enough because optimization of preparation conditions and evaluation of electrical property of  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$  as cathode material had not been sufficiently carried out.

In this study, preparation of  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$  with Pechini process, one of the solution mixing method, was examined in place of conventionally used solid state reaction process. Employing Pechini process, preparation temperature of  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$  decreased, resulting in preparation of single phase specimens with high homogeneity and large Ni content originating from prevention of reduction of trivalent Ni (*Solid State Ionics* 2011). It was also clarified that sintering of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  powder prepared by Pechini method at 1050 °C produced sintering body with density of 70 %, high specific surface area and homogeneous pore size distribution, which are ideal as cathode material (*J. Amer. Ceram. Soc.* 2012). Comparison of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  sintering bodies prepared by other solution processes was also carried, indicating that Pechini process employed in this study was superior from the viewpoint of controllability of sintering density, specific surface area and homogeneity of pore size distribution (*Mater. Res. Bull.* 2013).

For practical application, electrical property under low oxygen partial pressure is also an important factor since cathode is exposed to low oxygen chemical potential under SOFC operation. Also, variations of crystal structure, mechanical property and so on by variation of oxygen partial pressures at high temperature due to generation of  $\delta$  are inevitable information for practical application. It was revealed that  $\delta$  of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  at 300-700 °C under oxygen partial pressure of  $1\text{-}10^{-4}$  atm was within  $0.10\pm 0.01$ . The concentration of oxide ion vacancy reached more than 3 % under SOFC operating conditions, suggesting that not only electrical conduction but also oxide ion diffusion in  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  was high. The smaller  $\delta$  variation of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  at SOFC operating conditions compared to other candidate cathode oxides indicated superior stability of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  as cathode material. It was also clarified that electrical conductivity of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  showed more than  $130\text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$  below 700 °C despite of oxygen partial pressure as low as  $10^{-4}$  atm, indicating high potential of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$  as cathode material for SOFC (*ECS Transactions* 2013).

### **2. Preparation and evaluation of proton conductivity of $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$**

At present, yttria stabilized  $\text{ZrO}_2$ , oxide ion conductor, has been employed as electrolyte material for

SOFC. For realization of enough oxide ion conductivity, temperature more than 900 °C is necessary, which make the operation of SOFC at intermediate temperature impossible. In this study, development of new proton conducting oxide is examined since it has been regarded that light proton can be transferred at low temperature more easily than heavy oxide ion.

$\text{SrZrO}_3$  and  $\text{BaZrO}_3$  with distorted perovskite structure attracted much interest as mother phase of proton conducting oxides. It was reported that oxide ion vacancy generated by partial  $\text{Y}^{3+}$  substitution for  $\text{Zr}^{4+}$  site played the important role for proton conduction. Although  $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$  showed high proton conductivity, poor sintering property was severe problem for application. Sintering property of  $\text{SrZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$  was high; however, three kinds of structural phase transition in  $\text{SrZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_3$ , which were absent in  $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$ , were problems for application. In this study, preparation and evaluation of property of  $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  was performed under speculation that it might have the both merits of  $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$  and  $\text{SrZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_3$ . Employing Pechini process, single phase specimens with composition of  $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  were successfully prepared. It was revealed that  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  had superior sintering property and no first order structural phase transition from room temperature to 1200 °C (*Thermochim. Acta* 2012, *IOP Conf. Series, Mater. Sci. and Eng.* 2011).

Electrical conductivity of dense  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  ceramics was measured either by dc four probe method or ac impedance method. It showed higher electrical conductivity than those of so far reported  $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$  and  $\text{SrZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$ , indicating high potential as new proton conducting oxide (*Solid State Ionics* 2012). Ac impedance measurements of  $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  revealed that electrical conductivity of grain boundary improved with Sr substitution, showing correspondence with increase of sintering property with Sr substitution. Ac impedance measurement of  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  also showed that improvement of electrical conductivity at grain boundary was necessary for further improvement of proton conductivity in  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  system.

### 3. Trial for development of new SOFC using new materials

Since the high potential as proton conducting electrolyte material of  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  was demonstrated, fabrication of test cell using this material was examined. The single phase powder of  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Zr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  was prepared with Pechini process and the disk pellet with about 20 mm diameter was prepared with uniaxial pressing. After cold isostatic pressing (CIP), the pellet was sintered at 1500 °C in air. The sintering density of obtained specimen was more than 95 %, which is sufficient for electrolyte of SOFC. After polishing surface as mirror, Pt paste was painted on the both surfaces and heat-treated for preparation of electrode. For gas sealing, ring shape pyrex glass was attached on the surface of the electrolyte and partially melted at 900 °C for adherence to  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tube for fuel flow. Fig. 1 shows photograph of fabricated test cell. Adherences between electrolyte, electrode and gas sealant were confirmed with secondary electron microscope and gas flow test. At present, trial for electrical power generation at 500 °C is in progress. Fabrication of test cell employing other electrode material is also in progress.

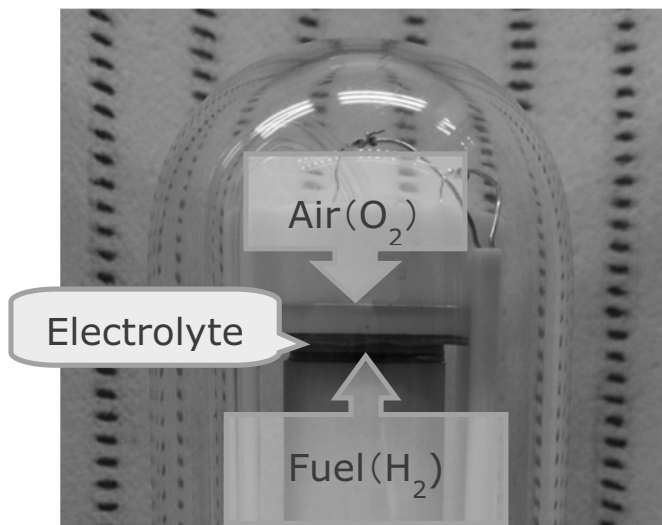


Fig. 1 Photograph of test cell.

## Development of Poly(lactic acid)s Films as biopolymer, and Applications to New Material Field

Hiroki IKAKE

Supramolecular and Self-Assembly

In our group, the aim of development of poly(lactic acid)s (PLA) films as biopolymer with the high thermal- and mechanical- resistance. And then, the improved PLA was submitted to new material field.

### 1. Preparation of Poly(butylene terephthalate) Oriented Films by using High Magnetic Field

Orienting the crystalline domains of poly(L-lactide) (PLLA) in a specific direction would be one of excellent techniques to give various functions to PLLA. High Magnetic field was irradiated to semicrystalline PLLA, while annealing it at elevated temperatures according to a program. After holding PLLA at 185°C for 10minutes, it was held to raise the degree of crystallization at 140°C for various holding time. The oriented PLLA films were analyzed with small-angle X-ray scattering (SAXS). SAXS intensity of the oriented films was shown the cyclic behavior by an angle of 180 degree, and then it increased to a certain direction with increasing holding time. The aspect ratio (Y/X) of the maximum scattering vector was about 20%, the degree of orientation of the annealed film for 6hrs. These results of SAXS suggested that the degree of orientation of PLLA films was increased with increasing the crystal growth time under irradiated magnetic field at 10T.

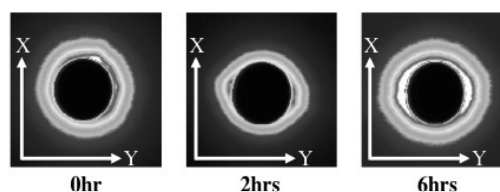


Fig.1 2D SAXS images of PLLA films heat treated for 0, 2, and 6hrs at 140°C under magnetic field at 10T.

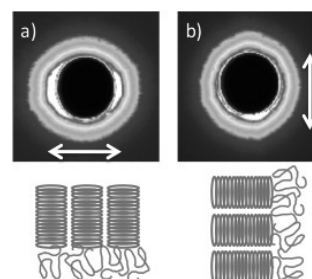


Fig.2 2D SAXS and drawn images of the heat treated PLLA films for 6hrs under magnetic field at 10T. Image a) azimuthal angle: 0° and Image b) 90°. a) azimuthal angle: 0° and Image b) 90°.

### 2. Effect of Cast-solvent on the Morphology of Mixtures of Stereoisomeric Poly(lactic acid)s

Semicrystalline films were prepared by casting chloroform (CHL), acetonitrile (ACN) or tetrahydrofuran (THF) solutions of a mixture (mix-poly(lactic acid) (PLA)) of poly(L-lactic acid) (PLLA) and poly(D-lactic acid) (PDLA) (Fig.3). All of the films involve stereocomplex crystals (sc-PLA) of PLLA and PDLA, but no crystals of PLLA or PDLA. The origin of the marked cast-solvent dependence of the morphology was studied by assuming that the structure of sc-PLA would be constructed by the balance of the interaction energy  $E_1$  between the PLLA and PDLA chains in solution, and the interaction energy  $E_2$  between PLLA or PDLA chains and solvent molecules. With the relation between  $E_1$  and  $E_2$ , the scheme for the formation of sc-PLA was classified into two categories, Category-I and -II. In Category-I, the relation  $E_1 > E_2$  holds over the entire concentration range, and in Category-II, the relation  $E_1 < E_2$  holds over the range from dilute to moderate concentrations. As a result, the data indicate that Category-I would be proper when sc-PLA is formed by casting a THF or ACN solution of mix-PLA, and that Category-II would be proper when sc-PLA is formed by casting the CHL solution of mix-PLA.

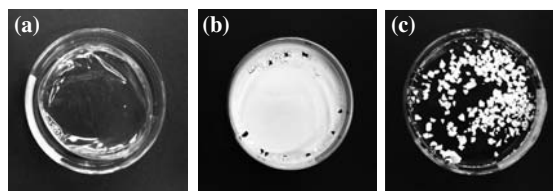


Fig.3 Appearance of cast films prepared with different cast solvent (a) mix-PLA(CHL), (b) mix-PLA(ACN), (c) mix-PLA(THF).

### 3. Effect of Cast-solvent on the Morphology of Mixtures of Stereoisomeric Poly(lactic acid)s

Two kinds of cast films, mix-PLA(DOX) film and mix-PLA(CHL) film, were prepared with an

equal-weight mixture of poly(D-lactic acid) (PDLA) and poly(L-lactic acid) (PLLA) by using 1,4-dioxane (DOX) or chloroform (CHL) as casting solvent, and it is clarified that mix-PLA(DOX) films are opaque, whereas mix-PLA(CHL) films are transparent (Fig.4). The relation between the transparency of these mix-PLA films and their morphology was studied by wide-angle X-ray diffraction, differential scanning calorimetry, and small-angle X-ray scattering. It is shown that the transparency does not depend on the crystallinity of sc-PLA, but on the macrostructure of the stereo-complex composed of PLLA and PDLA, sc-PLA, which is reflected in crystal size, lamella thickness and long period and their distribution. The transparency is lowered as the macrostructure becomes more disturbed or disordered. Moreover, it is shown that mix-PLA(CHL) films have good transmittance comparable to that of poly(methyl methacrylate) or polycarbonate and better thermal-resistance.

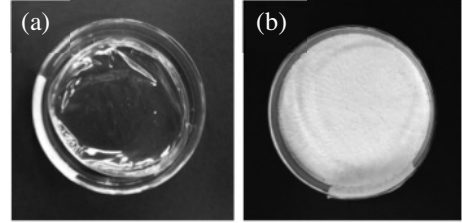


Fig. 4 Appearance of (a) mix-PLA(CHL) and (b) mix-PLA(DOX) films.

#### 4. Morphology of Poly(lactic acid) Stereocomplex/Silica Hybrid Films

Poly(L-lactic acid) (PLLA) and poly(D-lactic acid) (PDLA) which were hybridized with inorganic substance,  $\text{SiO}_2$ , stereocomplex (sc-PLA/ $\text{SiO}_2$ ) were prepared in order to improve the heat-resistance and mechanical properties of sc-PLA. Hybrid polymer films, sc-PLA(H)/ $\text{SiO}_2$  and sc-PLA(C)/ $\text{SiO}_2$ , consisting of stereocomplex(sc) crystals of poly(lactic acid)s, which were prepared with solvent-cast method by addition of  $\text{SiO}_2$  to a mixture of end-OH group modified poly(L-lactic acid) PLLA and poly(D-lactic acid) PDLA, and end-COOH group modified PLLA and PDLA, respectively. In the DSC curves of sc-PLA(H)/ $\text{SiO}_2$ , endothermic signal was observed at  $235^\circ\text{C}$ , whereas, in the DSC curves of sc-PLA(C)/ $\text{SiO}_2$ , broader endothermic signal was observed at  $225\sim 235^\circ\text{C}$ . Moreover, in Lorentz - corrected SAXS pattern, the peak position of the hump for sc-PLA(H)/ $\text{SiO}_2$  is located at smaller scattering vector  $q$  than that for sc-PLA(C)/ $\text{SiO}_2$ , where  $q$  is defined by  $(4\pi)/\lambda \times \sin(\theta/2)$  and  $\theta$  is scattering angle, and it was suggested that the morphology of film of these modified PLA hybrids is seriously influenced by variation in modification of end-groups of PLA chains. From dynamic viscoelastic measurement and thermo-gravimetric analysis, it was clarified that the hybrid thus prepared has 3-dimensional network structure, and higher heat-resistance and mechanical properties than those of sc-PLA.

#### 5. Disintegration of poly(lactic acid)s stereocomplex by HFIP and its influence on alkaline hydrolysis

The present purpose of the study is to establish a useful method to disintegrate the structure of stereocomplex PLA(sc-PLA) of poly(L-lactic acid) (PLLA) and poly(D-lactic acid) (PDLA), and degrade the disintegrated chains. The sample powder of sc-PLA, which was prepared from an equal amount of PLLA and PDLA, was dissolved in 1,1,1,3,3,3-hexafluoroisopropanol in a concentration of 5 % and then the solution was treated with 1wt%NaOH aq. solution at different temperatures in order to find a suitable condition for the alkaline hydrolysis of sc-PLA. From SAXS data, it was shown that the radius of gyration of polymer chain increases as the standing time of the sample solution becomes longer, and the polymer chains are gradually set free from crystal of sc-PLA. From the Arrhenius plots for the sample, the rate constant of samples were increased with increasing the disintegration temperature.

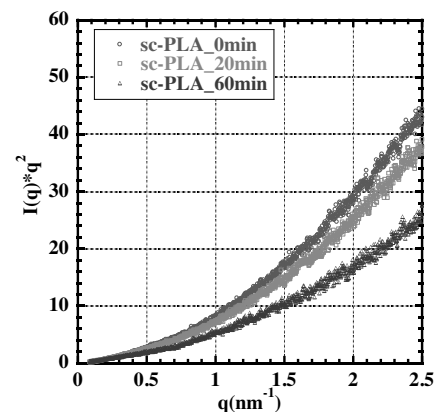


Fig.5 Kratky plots of sc-PLA in HFIP solution for various disintegration times.

## Electronic properties of solid surfaces and adsorbed molecules

Hiroshi ISHIDA

Quantum Theory and Computation

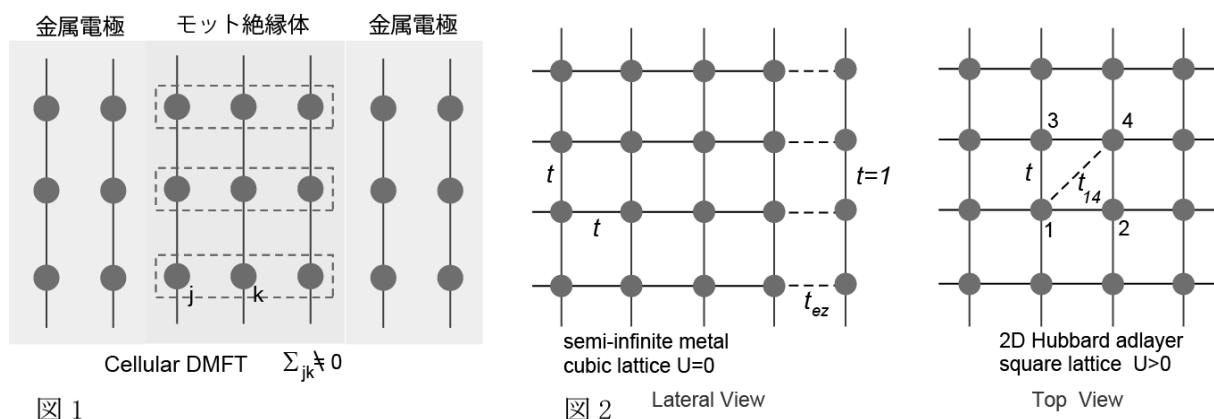
### 1. Introduction

Recent progress in microfabrication techniques has enabled us to adsorb molecules at desired positions and to synthesize atomic monolayers in layer-by-layer fashion. Novel quantum phenomena occur in these nano-size systems as a result of energy-level discretization, symmetry lowering, change in the boundary condition of wave functions, and electron correlation effects. In the search for new functional materials and in the development of nano-size devices, the importance of theoretical calculations are ever increasing as a tool to analyze and predict experimental observations. In the present work, we conducted theoretical calculations of the electronic structure of solid surfaces and adsorbed molecules by placing emphasis on "the effects of strong electron correlations" and "the calculation of truly semi-infinite solid surfaces".

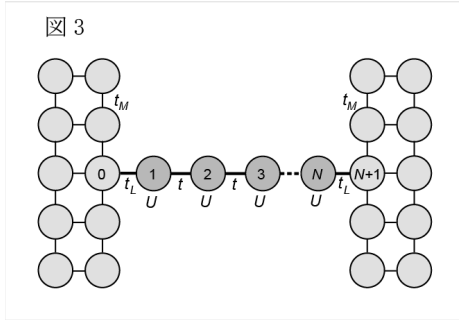
### 2. Electronic structure of the Metal/Mott insulator interfaces

An important question from a view point of device application is whether a device such as tunnel junctions works properly when a band insulator is replaced by a Mott insulator originating from strong electron correlations. As a theoretical technique to treat strongly correlated systems, dynamical mean-field theory (DMFT) is widely used. In particular, for bulk crystals, its extension to cluster type DMFT methods where electron correlations among neighboring atomic sites are taken into consideration are becoming standard. On the contrary, DMFT calculations for surface systems were so far restricted to those using the single-site approximation. In the present work, we applied the cluster DMFT technique to correlated surface and interface systems.

Fig. 1 shows the tight-binding model employed for calculating the metal/Mott insulator/metal interface, where an atom chain in the normal direction indicated by dashed lines was used as a unit of cluster for the cluster DMFT. We introduced the Hubbard type on-site Coulomb energy for the middle layers sandwiched between two non-interacting metal electrodes. It was demonstrated that the mechanism of the metal-to-insulator transition in the correlated layers as well as the tunneling conductance through them changes qualitatively from those obtained by the single site DMFT. Similarly, we calculated the electronic structure of a monolayer of the Mott insulator adsorbed on a semi-infinite non-interacting metal substrate. In doing so, we adopted a cluster consisting of 4 sites as a cluster for the cluster DMFT approach in order to consider interatomic electron correlations within the plane. While in the single DMFT, the overlayer becomes a Fermi liquid due to proximity effects to the metal substrate, it was found that the overlayer remains a non-Fermi liquid in the cluster DMFT calculation to much lower temperatures.



### 3. Coulomb blockade and Kondo effect in the Hubbard molecule



It has become possible to measure conductance of single molecules connected to metal electrodes. On the theory side, calculations of the ballistic conductance for molecules are reported based on the Landauer formula and density functional theory (DFT). The agreement between theory and experiment is not necessarily good as DFT cannot treat many body effects caused by strong Coulomb interactions between electrons in the molecules. To address this issue, we considered a  $N$ -site Hubbard molecule bridging two non-

interacting semi-infinite metallic electrodes and calculated its electronic structure in the limit of the zero bias voltage by using the exact diagonalization technique. It was shown that our method can describe Coulomb blockade effects as well as the formation of Kondo resonance at low temperature originating from the coupling of localized spins in the molecule and conduction electrons in the electrodes.

### 4. Rashba effects in the localized surface bands of crystal surfaces

Spin-orbit interactions play an important role in the electronic structure of crystal surfaces. One example is the topologically protected surface states of topological insulators. Another is the spin polarization of localized surface bands observed in nonmagnetic materials such as Ag and Bi. The latter is called the Rashba effect. Previous first-principles calculation of the Rashba effect within DFT were performed by approximating crystal surfaces by thin slabs. However, the slab model is not suitable for the accurate description of localized surface states and surface resonances, since the bulk energy levels in the normal direction are discretized. We have incorporated the spin-orbit interaction term in our embedded Green's function program and performed first-principles DFT calculations of the Rashba effect for a number of truly semi-infinite surfaces. As an example, we show in Fig. 4 the calculated surface band structure of Au(111) and Bi/Ag(111) surfaces, where we plotted the intensity map of  $\rho(\varepsilon, \mathbf{k})$ , the  $k$ -resolved local density of states within a muffin-tin sphere of an outermost surface atom, as functions of the wave vector and one-electron energy. The dark regions correspond to the energy gaps of projected bulk energy bands. Bright lines in the energy gaps are the localized surface states. As the Kramers degeneracy is lifted at the surface due the lack of the space inversion symmetry, the surface bands become spin-polarized except for the the  $\Gamma$  point in surface Brillouin zone.

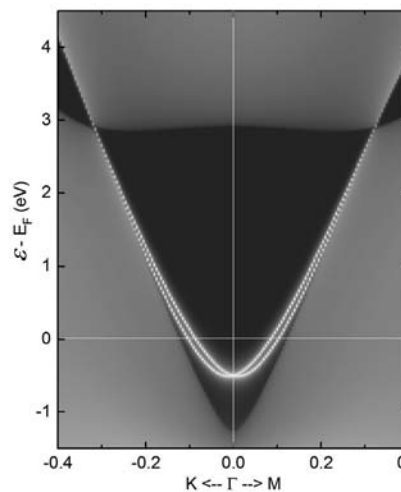


図4(a) Au(111)表面のRashba効果

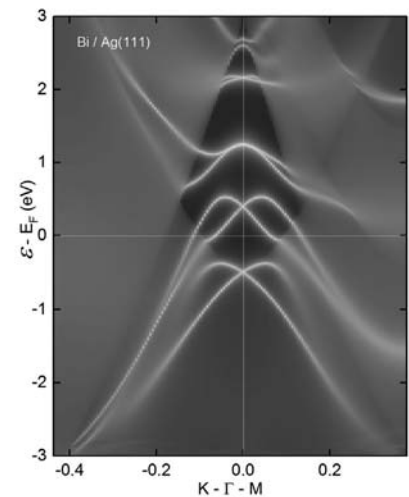


図4(b) Bi/Ag(111)表面のRashba効果

### References

- (1) Ishida, H.; Liebsch, A.; *Phys. Rev. B* **2010**, *82*, 045107.
- (2) Ishida, H.; Liebsch, A.; *Phys. Rev. B* **2012**, *85*, 045112.
- (3) Ishida, H.; Liebsch, A.; *Phys. Rev. B* **2012**, *86*, 205115.

## Multi-functional and Highly Dense Devices by Fabrication and Control of Nanostructures

Nobuyuki IWATA

Nanomaterials and Nanodevices

The purpose of this study is to induce the giant magnetoelectric (ME) effect in superlattices using perovskite-related oxides and ferromagnetic metal/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> heterostructures. In addition, the ferroelectric and ferromagnetic multiferroic property is expected in superlattices. For highly dense devices, the single-walled carbon nanotubes (SWNTs) with the features of the homogenous electric property, controlled growth position, and aligned growth orientation are fabricated at nm-scale using free electron laser (FEL) irradiation, treatment of substrates, and atomic arrangement of the substrate surface. The C<sub>60</sub> multi-functional and flexible transistor is also expected by both of top-down and bottom-up techniques.

### 1. Multi-function in superlattices using perovskite-related oxides

The aim of our study is to synthesize the oxides superlattices with atomically sharp interface. The superlattices could be the quite low consumption magnetic devices controlled with electric field, and multifunctional, for example ferroelectric and ferromagnetic multiferroic devices. For the fabrication of the superlattices, highly refined and atomically controllable deposition technique are required. We developed the synthesis of highly dense targets and layer-by-layer growth technique, and carried out the detailed analysis of crystal structures for the superlattices. The materials used were ABO<sub>3</sub> (A=Ca,La, B=Fe,Mn), REMO<sub>3</sub> (RE=La,Bi, M=Fe,Fe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>). Although it is difficult to calcine the target with the density more than 95%, the targets of LaFeO<sub>3</sub>(LFO) : 95.5%、CaFeO<sub>x</sub>(CFO) : 96.4%、BiFeO<sub>3</sub>(BFO) : 95.2%、BiFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3</sub>(BFMO) : 96.6% were able to be fabricated using the Pechini method by the collaboration research with Prof. Takuya Hashimoto. The superlattices were fabricated by the alternate stacking of the ABO<sub>3</sub> and REMO<sub>3</sub> using pulsed laser

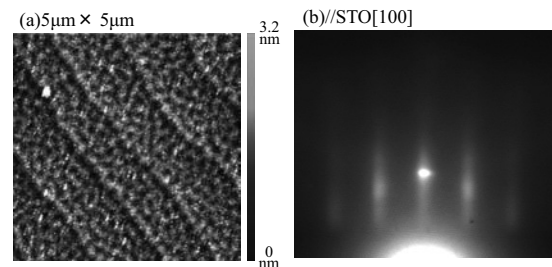


Fig.1 : (a) surface image and (b) RHEED pattern of [CFO/BFMO] superlattice.

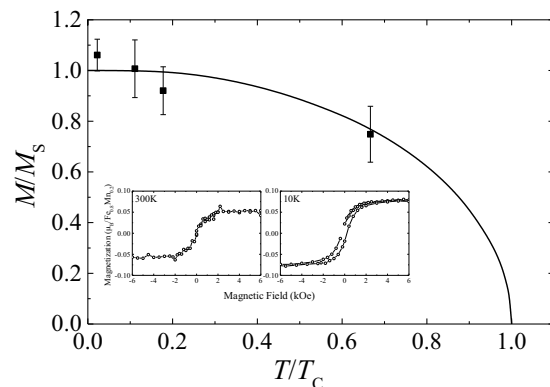


Fig.2 : Saturation Magnetization vs. temperature of [CFO/BFMO] superlattices. The symbols of ■ are measured data. The  $M_s$  is saturation magnetization at 0K. The  $T_c$  is Curie temperature. The solid line is illustrated using Brillouin function.

deposition method. High quality superlattices grew by a cube-on-cube manner demonstrated by a x-ray diffraction, reflection and reciprocal space mapping, where the superstructure satellite peaks and Laue oscillation were clearly observed. Decreasing temperature, magnetic interaction through the interface was developed expected in the illustration of the temperature and/or magnetic field dependence of an in-plane sheet resistance and a Hall resistance. In Fig.1 (a) surface morphology and (b) reflection high energy electron diffraction (RHEED) image of the [CFO/BFMO] superlattice with the thickness of 80 nm are illustrated. The surface and the RHEED image showed step-terraces structure and streak pattern, indicating two-dimensional flat surface at the atomic level. Figure 2 shows saturation magnetization as a function temperature. The closed squares are measured data. The solid line was illustrated using Brillouin function with the Curie temperature of 450K. Inset figures are magnetization curves at 300K and 10K. The magnitude per Fe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> at 300K was

$0.055\mu_B$ , which is approximately four times larger than that of bulk. Fabricating superlattice with the atomically smooth interface developed artificially the magnetic property.

## 2. Fabrication of Highly Dense Transistor using Single-Walled Carbon Nanotubes

For the supreme fine field effect transistor (FET) with nm order in size, the single-walled carbon nanotubes (SWNTs) were synthesized by a chemical vapor deposition (CVD) method using ethanol as a feeding gas. The grown SWNTs are expected to have the features of homogeneous semiconducting property, which is correspondence with the homogeneous chirality, controlled growth position, and anisotropic alignment. Those features are realized by the irradiation of the free electron laser (FEL) during the CVD process, the surface treatment, and the growth on the atomic arrangement surface of the single crystal substrate. The FEL is composed of micro-pulses with the full width at half maximum of hundreds femto-second, and the wavelength is variable from 0.3 to  $6\mu\text{m}$ . Those distinctions make it possible to grow the chirality controlled SWNTs without a collapse of bonding by thermal heating. The surface treatment is able to decide the deposition position of the catalysts, resulting in the growth position control of the SWNTs.

The alignment growth of the bundled SWNTs was grown on sapphire substrate with the length of approximately 500 nm. Figure 3 shows the Raman spectra of the SWNTs grown with the 800nm-FEL irradiation. The spectra were detected at the region with  $1\mu\text{m}$  in diameter between electrodes described in

the inset image. The radial breathing mode (RBM) and D- and G-peaks were illustrated in (a) and (b), respectively. The RBM peak appeared only in the spectrum detected using 785 nm excitation laser with the G/D ratio of 88. At the area  $10\mu\text{m}$  away from the area between the electrodes, the RBM as well as G- and D-peaks did not appear. Those results reveal that the high quality SWNTs grow with the semiconducting property, where the chirality possibility is reduced at only four types of (14,0), (13,2), (10,6) and (5,7). The FEL irradiation is quite effective to control and reduce the possibility of the chirality, considering that the metal and semiconducting mixed SWNTs with the chirality more than 30 grow when the CVD process is carried out for the SWNTs growth without the FEL irradiation. The surface treatment is also effective to control the growth position. Figure 4 shows the G/D ratio as a function of the SWNTs diameter. The highest quality was the SWNTs with 1.7 nm in diameter showing the value more than 400 in the G/D ratio. With the same CVD condition using the 800nm-FEL irradiation, the growth was restricted in the SWNTs with the diameter of 1.1 nm, and the quality was also developed demonstrated by the increase of the value of G/D ratio. It is concluded that the synthesis position and the chirality control are achieved simultaneously by the hydrophilic surface treatment between electrodes and the FEL irradiation. In particular the chirality control of the SWNTs during the CVD process is successfully carried out at the first time in the world.

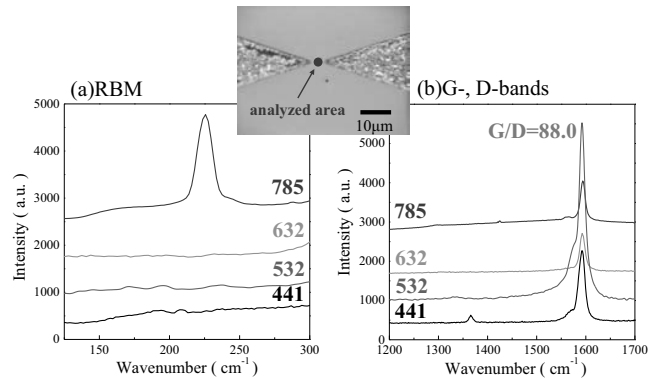


Fig.3 : Raman spectra of (a) RBM and (b) G and D peaks for SWNTs grown between electrodes with 800nm-FEL irradiation. The notation of the 441,532,632,785 indicate wavelength of the excitation laser used in Raman measurement. The unit is nm. The hydrophilic treatment was done only the area between electrodes..

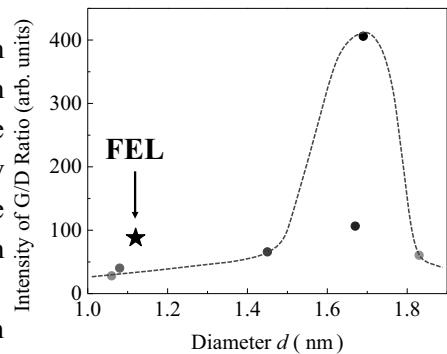


Fig.4 : The value of G/D ratio of the SWNTs grown without FEL as a function of the SWNTs diameter. The symbol of ★ indicates the data of the SWNTs grown with 800nm-FEL irradiation.



## Development for Application of Cluster and Molecular Aggregating

Ken JUDAI

Nanomaterials and Nanodevices

The construction of nano architectures by self-assembly of molecules requires well-understanding on molecular nature and complete control of molecular interaction. In this study, silver acetylide and acetylsalicylic acid were investigated as a model compound for a nano helix, which is important bio architecture such as DNA double helix and  $\alpha$ -helix of protein. Besides, a novel carbon materials preparation method is also established. Copper acetylide self-assembles into nanowires, and its nanostructures are suitable to prepare new carbon materials.

### 1. Origin of Nano Helix by Molecular Aggregates

Silver tolylacetylide does not have chiral center carbon, and is an achiral molecule. However, it turned out that twisted nano ribbon structures, chiral helices, were generated by recrystallization in solution phase. We have investigated for the chiral origin how the achiral molecules aggregate to the chiral nano helical structure. The solvent for recrystallization was changed between methanol, ethanol, 1-propanol, and 1-butanol systematically. Fast recrystallization solvent such as methanol was observed as twisted nanoribbon structures, and the other side, slower solvent such as 1-butanol was as straight non-twisted nanoribbon structures. Helical and non-helical structures can be controlled by recrystallization solvent. Crystallization speed, in other words, quality of crystal by crystallization kinetics is important for twisted nanoribbon structure (*J. Nanosci.* 2013).

An additional experiment showed that light irradiation made solution color changing to red and enhancement of twisting nanoribbon structures. The light irradiation produced decomposition of silver acetylide and dimerization reaction. The dimerization of acetylide indicated red color, and displacement of crystal by the decomposed compounds enhanced crystal tension and twisting.

Acetylsalicylic acid is a famous and well-known molecule. It does not have chiral center carbon, and it is an achiral molecule. However, it was recently found that the crystal structures of acetylsalicylic acid are also helically rotated. 5 mg of acetylsalicylic acid was put on a microscope slide and was covered with a covered slip. It was melted by a hot plate at 135 °C temperature, and was subsequently cooled down by room temperature. Figure 2 indicates a polarized-light microscope image of the recrystallization of acetylsalicylic acid with the crossed Nicole prism. The periodical structures with 500  $\mu\text{m}$  pitch were observed. The light transmission is depended upon the difference of refraction indices by birefringence and thickness of crystal in the polarization microscope. The thickness of the crystal could not alter periodically because the position of covering glass slip determined the thickness. The difference of birefringence was only solution to explain the microscopic image. Taking into account only acetylsalicylic acid used, the recrystallization of acetylsalicylic acid should turn and rotate in the crystal growth. In short, the acetylsalicylic acid crystal is growing with twisting and rotating as same as silver acetylide molecules. The periodic polarization microscope

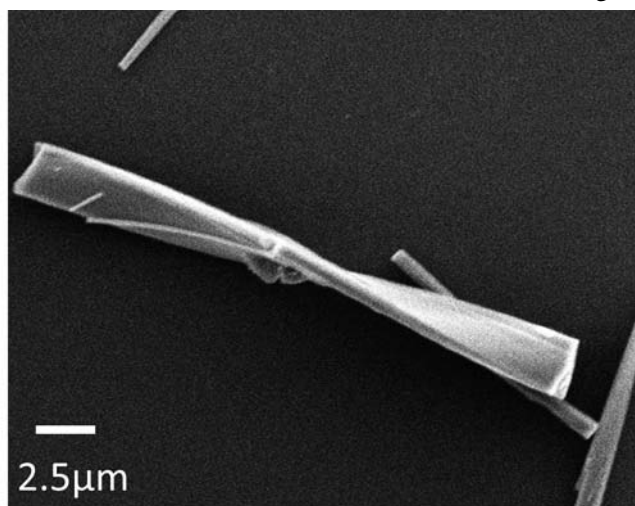


Figure 1 SEM image of silver tolylacetylide.

image can be explained by every single or half turn of crystal surface corresponding to the pitch of birefringence change.

Acetylsalicylic acid is famous molecules and the crystal structure has been also known. The powder x-ray diffraction was measured by the sample of periodically twisting crystal. All the diffracted peaks could be assigned by the reported crystal structure of acetylsalicylic acid with  $P2_1/c$  space group symmetry. However, the space group of  $P2_1/c$  has an inversion center, and it was allowed for packing achiral molecules only.

Actually the crystal space group symmetry indicated no information on right-handed or left-handed helical crystals. We should study further the origin of chiral nano helix from the point of symmetry.

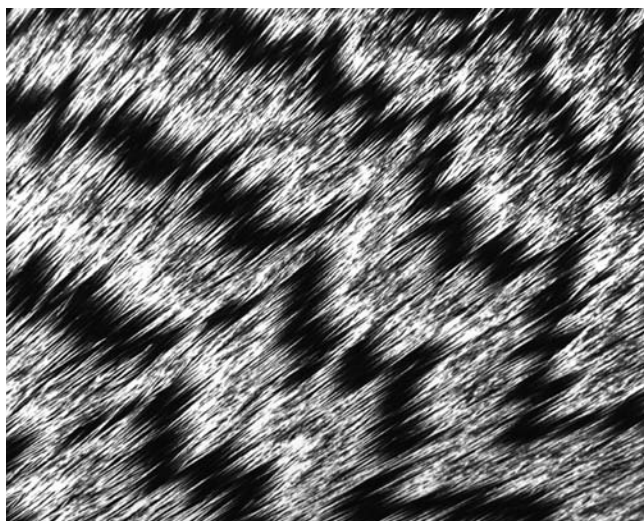


Figure 2 Polarization microscope of acetylsalicylic acid

## 2. New Amorphous Carbon Preparation Method by Nano Structures

Copper acetylide and silver acetylide are famous as explosive compounds. However, when the explosive crystal was downsized into nano scale, the explosive nature would be eliminated by much less thermal conductance preventing from explosive chain reactions. This nano less-explosive character was applied to new noble carbon material production.

Generally amorphous carbon was generated by high temperature exposing of organic compound for carbonization. The high temperature for carbonization makes crystallization to graphite partially. In this method, the carbonization reaction can proceed in lower temperature because of chemical reactive nature of copper acetylide, and genuine amorphous carbon materials can be generated.

Figure 3 shows Raman spectra of new carbon materials generated by low temperature carbonization of copper acetylide nano compounds and acid treatment for removal of copper element. In this year, the existed spectrometer and newly resourced optical parts such as Raman special filters were assembled in order to measure Raman spectroscopy in our laboratory. Around  $1600\text{ cm}^{-1}$  peaks assigned to G-band were observed as same as typical carbon materials, and also about  $1380\text{ cm}^{-1}$  peaks assigned to D-band. The Raman spectra in this method showed extremely broader peaks than those of typical carbon materials, and the G-band and the D-band were deeply overlapped. These specific Raman peaks were observed by only diamond-like-carbon materials.

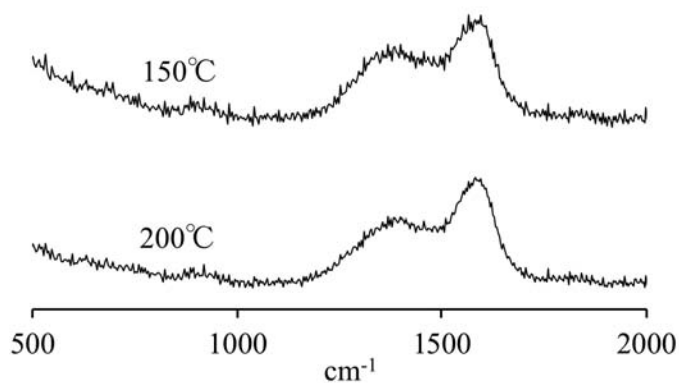


Figure 3 Raman spectra from nano copper acetylide

**A novel model of onset breast cancer by implanting mature adipocyte-derived dedifferentiated fat (DFAT) cells**

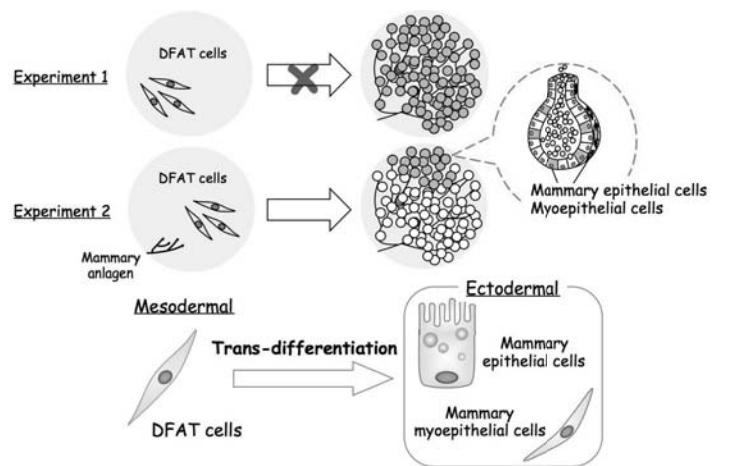
**Koichiro KANO**  
Medicine

Animal models of cancer, particularly mouse models of cancer, are commonly used to study tumor biology and develop new approaches to conquering human cancer. Previous research in modeling cancer in laboratory animals, especially experimental mice, has advanced tremendously our insights into the biology of cancer. Our goal is to make a novel model of onset breast cancer implanting mature adipocyte-derived dedifferentiated fat (DFAT) cells.

**1. Mature adipocytes derived DFAT cells can transdifferentiate into mammary epithelial cells and/or myoepithelial cells in vivo**

After birth, the mammary gland is primarily composed of adipocytes and a limited epithelial ductal network. But during pregnancy, the epithelium expands and invades the surrounding fat pad, whereas apparent reduction of cell number and diminution of the cell size is observed on adipocytes. After weaning, the decrease of mammary epithelium takes place concomitant with the repopulation of the mammary fat pad with adipocytes. The mechanism of interacting capacity between epithelial cells and adipocytes is not clear. Here we show that stromal adipocytes in the mammary gland are necessary to the formation of mammary gland. We transplanted wild-type mammary gland into the fat pad of GFP transgenic mouse. The end buds of expanded mammary glands were expressed GFP. In contrast, less expression were detected at GFP mammary glands in wild-type fat pad. Sectioning demonstrated that transplanted and normally formed mammary gland from the wild-type in the cleared fat pad of the GFP transgenic female mouse, alveoli were composed of transplanted epithelial cells and stromal cells, surrounding epithelium. At the pregnancy and lactation, transplanted stromal adipocytes formed functional alveoli-like structures with expressing the epithelial markers and secreted abundant intracellular lipids into the lumen. Our studies indicate that stromal adipocytes of the mammary gland are important not only as a stroma, but as a composition, directly participate, in the development of the mammary glands.

We have previously reported that the establishment of a preadipocyte cell line derived from dedifferentiated mature adipocytes of GFP transgenic mice using ceiling culture. These cells possess most of characteristics of preadipocytes in vitro and in vivo, and we called these cells dedifferentiated fat (DFAT) cells. Moreover DFAT cells can trans-differentiate into mesenchymal cell lineages (osteoblasts, chondrocytes and endothelial cells) in vitro and in vivo. Here we show the first report that DFAT cells derived from mesoderm trans-differentiation into ectoderm-derived mammary epithelial cells and/or myoepithelial cells in vivo. We implanted DFAT cells into mammary anlagen-free adipose tissue of wild-type female mice, and then recipient female mice mated with male mice. At day 5 post partum, DFAT cells could not form a functional mammary gland. When DFAT cells were implanted into normal mammary adipose



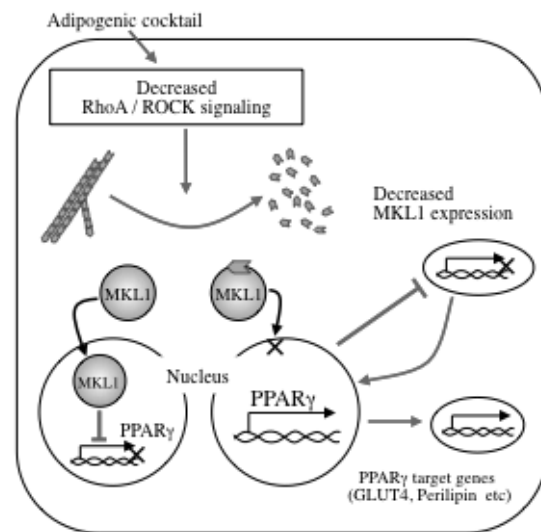
DFAT cells can trans-differentiate into mammary epithelial cells and/or myoepithelial cells in vivo through interaction with mammary anlagen

tissue, a number of GFP positive cells were detected in mammary alveoli throughout tissues. Additionally, double immunofluorescent staining showed that a number of GFP positive cells were positive for the epithelial cell markers E-cadherin, Keratin18 and/or the myoepithelial cell marker  $\alpha$ SMA. These findings indicate that DFAT cells derived from mesoderm can trans-differentiate into ectoderm-derived mammary epithelial cells and/or myoepithelial cells through interaction with mammary anlagen *in vivo*.

## 2. Actin cytoskeleton dynamics control adipocyte differentiation via regulation of MKL1

The hallmark of adipogenesis process is the dramatic alteration in actin cytoskeleton as the structure of filamentous actin is converted from stress fibers to cortical actin. Here, we report that actin cytoskeleton dynamics act as a trigger of adipocyte differentiation. Actin cytoskeleton remodeling was immediately caused via the down-regulation of RhoA/ROCK signaling, which is a prominent regulator of cytoskeletal dynamics, and this actin remodeling was required for a master regulator PPAR $\gamma$  expression and adipocyte differentiation. Also it was found that the cellular G-actin levels

were rapidly elevated depending on adipocyte differentiation, and increasing G-actin caused adipogenesis by preventing nuclear translocation of MKL1, which is a transcriptional co-activator. Moreover, we revealed that MKL1 expression was reduced during adipogenesis, and further only knockdown of MKL1 could trigger adipocyte differentiation. Besides, PPAR $\gamma$  was closely involved in the down-regulation of MKL1 in a positive feedback manner. Our findings provide new insights to the regulatory mechanism of adipocyte differentiation that actin cytoskeleton dynamics control adipocyte differentiation via regulation of MKL1, and that MKL1 is a novel repressive regulator of adipocyte differentiation.



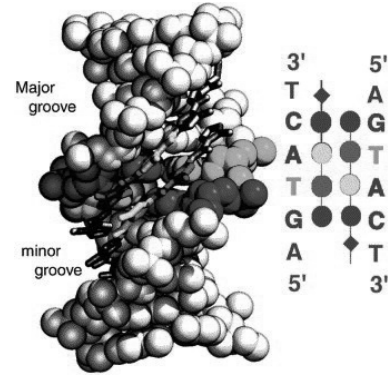
Novel model for the regulatory mechanism of adipocyte differentiation that actin stress fiber disruption triggers adipocyte differentiation via regulation of MKL1.

**Anti-tumor effect of pyrrole-imidazole polyamide targeting *KCNQ1OT1* gene as new therapeutic agent**

**Tsugumichi KOSHINAGA**

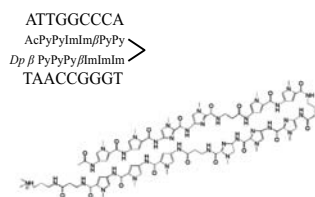
Medicine

Beckwith-Wiedemann syndrome (BWS) is a human imprinting disorder with a variable phenotype, including the major features like omphalocele, pre- and postnatal overgrowth and macroglossia. Around 10% of BWS patients develop embryonal tumor (Wilm’s tumor, Hepatoblastoma). It has been known that BWS is associated with epigenetic alterations in two imprinting control region, KvDMR and H19DMR, on chromosome 11p15.5. Genomic alteration in KvDMR regions, such as aberrant methylation, deletion of gene and paternal uniparent disomy, lead to overexpression of *KCNQ1OT1* gene, which is non-coding RNA and suppress circumjacent genes in *cis*. In normal status, *KCNQ1OT1* promoter region of maternal allele is de-methylated, but of paternal allele is methylated. De-methylation of *KCNQ1OT1* promoter region in maternal allele make overexpression of *KCNQ1OT1* gene. Expression of tumor suppressor gene *KIP2* is suppressed by *KCNQ1OT1*, and de-methylation of *KCNQ1OT1* promoter region accompanied with down-regulation of *KIP2* has been reported in colorectal cancer, lung cancer, and other adult cancer. Based on these facts, we hypothesize that suppression of *KCNQ1OT1* gene could show anti-tumor effect. So, we have been tried to develop chemical compounds suppressing this gene.

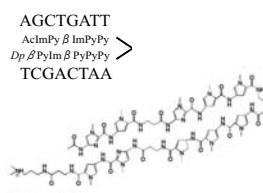


Pyrrole-Imidazole polyamides (PIP) are small synthetic chemicals composed of the aromatic amino acids N-methylpyrrole (Py) and N-methylimidazole (Im). A combination of PI polyamides recognized the specific DNA base pairs, (Im/Py, Py/Im and Py/Py pairs bind to G-C, C-G, and A-T/T-A, respectively). A concatenation of these pairs made it possible to bind to a variety of specific DNA sequences, and suppressed the transcription of their target genes by competitive inhibition of the binding of transcription factors. Since PIPs were efficiently delivered to nuclei of several tissues without any specific drug-delivery systems, they can be powerful tools to develop gene-specific silencers. We generated PIPs h-CCAAT1 (PI-1) and h-CCAAT3 (PI-3)

h-CCAAT-1 (PI-1)



h-CCAAT-3 (PI-3)



targeting promoter region of *KCNQ1OT1* gene and investigated their anti-tumor effect.

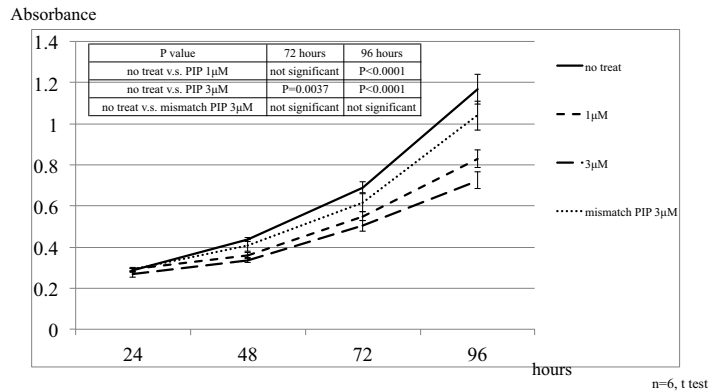
It was clearly shown by real-time PCR that the expression level of *KCNQ1OT1* was significantly reduced in human BWS fibroblast cell line BWS6 and BWS9 treated with both PI-1 and PI-3, compared to control cells ( $P < 0.05$ ).

Similar result was found in Wilm’s tumor cell line G401, which has de-methylated CpG island (CpGi) on

*KCNQ1OT1* promoter and shows up-regulated expression of this gene. In addition, induction of KIP2 protein in G401 cells after the combined treatment with PI-1 and PI-3 was detected by western blotting. When the effect of the PIPs on cell viability was tested by WST8 assay, G401 cells treated with the both PIPs showed significantly lower number of living cells compared

to that in the control cells. Since it has been reported that KIP2 is involved in the induction of apoptosis via mitochondria pathway, we examine the cells by using apoptosis marker. In the Fluorescence-activated cell sorting analysis, we found the higher number of cells undergoing apoptosis in the PIPs treated group than in the control group. Taken together, our current data strongly suggested that the combined treatment with PI-1 and PI-3 induced apoptosis in the Wilm' tumor cells by suppressing *KCNQ1OT1* expression, followed by the up-regulation of KIP2 protein.

Based on these results, we believe that the PIPs targeting *KCNQ1OT1* gene have possibility to be new therapeutic agents for tumor with de-methylated CpGi on *KCNQ1OT1* promoter.



## Experimental Studies for Quantum Memory using Neutral Atoms

**Takeshi KUWAMOTO**  
Quantum Information Group

Quantum information processing is hoped very much as a next-generation information, communication and computer technology. Quantum memory is indispensable and keystone for constructing scalable quantum processing systems. Our aim in this project is establishing the basic technique for materializing the quantum memory using neutral atoms. We especially intend to store the quantum entangled states. Our scheme is (1) generation of orthogonally polarized photon pairs resonantly coupled with  $^{87}\text{Rb}$  atoms, (2) construction of high performance light storage system using electromagnetically induced transparency phenomena and (3) storage of quantum entangled states with unified two systems.

### 1. Generation of orthogonally polarized photon pairs

Quantum entanglement states are made up of orthogonally polarized photon pairs. Atomic sample we use is  $^{87}\text{Rb}$  atom, and its transition wavelength for photon storage is 795 nm with linewidth of 6 MHz. Therefore, we have to first prepare the orthogonally polarized photon pairs which met above requirements. In order to obtain the required photon pairs, we performed following R&D.

Orthogonally polarized photon pairs with 795-nm wavelength were produced by a parametric down conversion which was brought about by injecting a 397.5-nm-wavelength pump laser into 10-mm-length nonlinear optical crystal (type II PPKTP). The pump laser was obtained by pumping a type I PPKTP crystal placed in a bow-tie type optical resonator with a 60-mW power, 795-nm-wavelength laser. Obtained power of the 397.5-nm pump laser was 6 mW, and this value was 3 times larger than the case without resonator.

In general, orthogonally polarized photons immediately after the type II PPKTP have the frequency expansion of THz order. Since the bandwidth of photons coupled with atoms is several MHz, this wide spread of frequency have to be narrowed. We utilized optical interference filters and etalons to obtain the narrow-bandwidth orthogonally polarized photons.

Figure 1 shows result of two-photon interference measurement of generated orthogonally polarized photons. This measurement is performed to estimate the quantum property and quality of photons. The obtained visibility was 97.4%. This result shows that generated orthogonally polarized photons satisfy a demand as the quantum light source.

We measured the absorption of the generated photons by  $^{87}\text{Rb}$  atoms enclosed in grass cell in order to confirm the frequency extent of photons. Figure 2 shows the absorption rate of photons as a function of atomic sample temperature. At the temperature of 95°C, 97% of photons were absorbed. This means that the frequency broadening of photon is about 500 MHz.

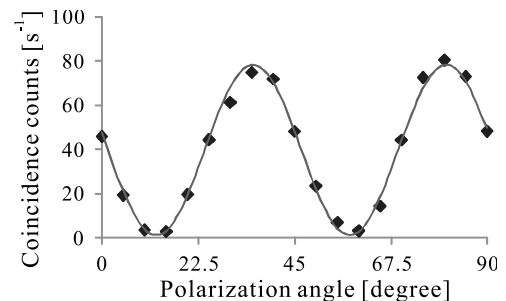


Fig. 1. Two-photon interference of orthogonally polarized photons.

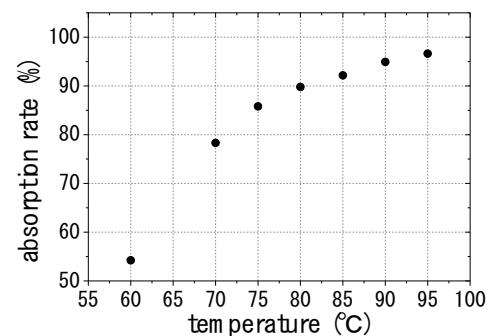


Fig. 2. Absorption rate of generated orthogonally polarized photons by  $^{87}\text{Rb}$  atoms as a function of atom temperature.

## 2. Light Storage system

The phenomenon called electromagnetically induced transparency is used to store the light in a neutral atomic sample. For this phenomenon, when two different resonance lights are shined to three level atoms, one of light (probe light) passes thorough the sample without any interaction. That is, the atomic sample is transparent medium for the probe light. Moreover, by controlling the intensity of another light (control light), the probe light can be stored in atoms. In this study, we used  $^{87}\text{Rb}$  atoms enclosed in grass cell as the sample, because of the abundant knowledge of its properties.

As probe and control light source, two external cavity diode lasers were used. The frequency fluctuation of control laser was controlled by a frequency locking system using Rb sample, and suppressed to be less than 1 MHz. The frequency of probe laser was controlled by the optical phase-lock with the beat signal between the probe and control lasers such that the frequency difference between two lasers agrees with that between the two low-lying atomic-energy levels. The probe laser beam was converted into a 5- $\mu\text{s}$ -width gaussian pulse with an acousto-optic modulator. Rb sample grass cell was placed in a threefold magnetic shield and its temperature was controlled with a heater using hot-water.

The probe and control laser beams were coaxially propagated and injected into Rb grass cell. By suddenly switching off the control laser light, the probe light pulse was stored in the atomic sample. Figure 3 shows an example of the results of light storage experiment for the storage time of 5  $\mu\text{s}$ . The efficiency of retrieved light pulse was 85%. This value means that we prepared sufficiently high-performance experimental system for light storage.

We investigated the storage of extremely weak coherent light pulses, because the intensity of orthogonally polarized photons would be very weak. Figure 4 shows the result of light storage experiment for the 2.6-nW probe laser power. In this case, the retrieved signal was not confirmed. This means that the storage and retrieval of orthogonally polarized photons using current our system is difficult.

## 3. Summary

We investigated the generation of orthogonally polarized photons pairs and the construction of light storage system using electromagnetically induced transparency. For the orthogonally polarized photons, the quantum characteristic was sufficient. However, its bandwidth has to be narrowed still more. For the light storage system, high-efficient storage was realized. However, the storage of extreme weak light is difficult for our current system. The ultracold high-density atomic sample earned from laser cooling technology would be required.

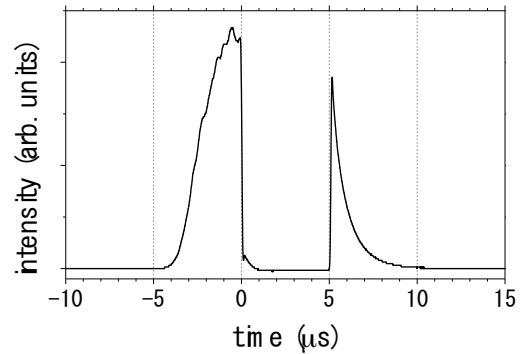


Fig. 3. Result of storage and retrieval experiment for laser pulse. The right peak corresponds to the retrieved light pulse after 5- $\mu\text{s}$  storage.

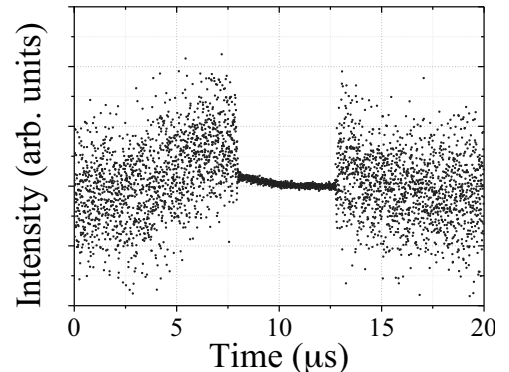


Fig. 4. Result of Storage and retrieval experiment for weak (2.6 nW) coherent light pulse.



**Construction of the Escherichia coli expression system of the cell membrane permeable iPSCs induced factors that strengthened proteolysis resistance**

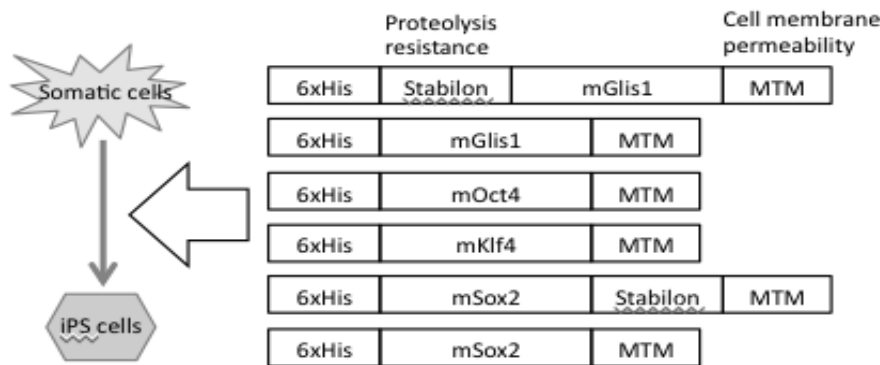
**Yoshikazu MASUHIRO**

Medicine

It is required that the induced pluripotent stem cells (iPSCs) to use for regenerative medicine are safe genetically. As for the current iPSCs derivative methods, the virus methods are mainstream, but gene variation is concerned about by these methods. Therefore, the derivative method using protein and the reagent is expected in future.

**1. Making of the proteolysis-resistant and cell membrane permeable mouse Yamanaka factors**

The derivative method with the cell membrane permeable proteins have been already reported by two groups, but induced efficiency is extremely bad, and there are many problems (operation and preparations are great). For this reason, it is thought that cell-permeable proteins are degraded in a cell early. Therefore, in this study, we work on development of iPSCs induced factor (Oct4, Sox2, Klf4, Glis1) having resistance in the proteolysis in the cell. We try in particular application (it fuses as a tag) of proteolysis-resistant motif Stabilon which we developed originally in our laboratory (Arakawa, T, Masuhiro, Y, et. al. 2010, BBRC). In a past study, because the Stabilon was quite effective about Sox2 and Glis1, we made Stabilon fusion and a non-fusion for these proteins. From the quantity of the expression and simplicity of purification, we decided that these proteins expressed in inclusion body of Escherichia coli.



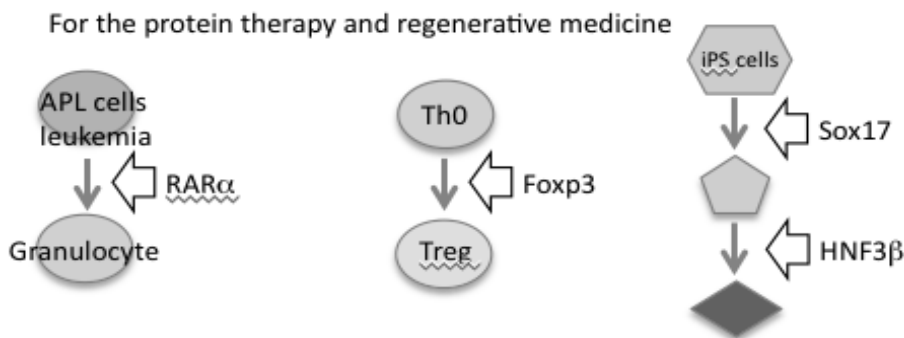
We performed cloning of these yamanaka factors in pET28a expression plasmid and transformed it in BL21(DE3). Oct4; 3mg, Sox2; 3mg, Sox2-Stabilon; 3 mg, Klf4; 4.5mg, Glis1; 1.2mg and Glis1-Stabilon; 1.2 mg expressed in BL21(DE3) per 1 liter LB culture media. In addition, we purified these proteins under guanidine hydrochloric acid and urea (denature condition) from an inclusion body, and performed refolding by the dialysis. These denature proteins refolded about Oct4; 30%, Sox2; 10%, Sox2-Stabilon; 30%, Klf4; 5%, Glis1; 0% and Glis1-Stabilon; 5%. In addition, we were able to confirm the DNA binding capacity by Gel shift assay about Sox2, Sox2-Stabilon.

## 2. Making of the proteolysis-resistant and cell membrane permeable Homo sapiens Yamanaka factors

To make genetically safe human induced pluripotent stem cells, we wrestled for expression system development of the proteolysis-resistant and cell membrane permeable Homo sapiens Yamanaka factors protein. We made a fusion body and a non-fusion body about Oct4, Sox2, Klf4, all of Glis1 and built a good expression stock in BL21(DE3). We introduce it into a normal human fibroblast cell and going to try iPS induction in future.

## 3. Making of the proteolysis-resistant and cell membrane permeable cell-differentiation factors

It is important that the establishment of efficient induction of the differentiation cell from induced pluripotent stem cells, too. In this study, we tried expression system construction of the protein which was inducible with a maturity white blood cell (granulocyte), Treg cell, hepatocytes. The maturity white blood cell differentiation system built expression system of cell membrane permeable RAR $\alpha$  (retinoic acid receptor in the nucleus) as protein therapy of the acute promyelocytic leukemia. About the Treg cell, we built expression system of the cell membrane permeable Foxp3 (master gene of Treg cell) as the protein therapy which atopy and asthma improve. For hepatocellular regenerative medicine, we performed expression system construction of Sox17 and HNF3 $\beta$  which promoted hepatocellular differentiation. We made the Stabilon-fusion for all of these proteins. About RAR $\alpha$ , we confirmed that the ability of DNA binding, cell-permeability, transcriptional activity and induction of granulocyte from NB4 (from a patient). About Foxp3, we confirmed the ability of cell membrane permeability, transcription activity.



## Pharmacokinetic/Pharmacodynamic Modeling of Tumor-localizing Photosensitizing Compounds and Pyrrole-Imidazole Polyamides

Takahiko AOYAMA, Yoshiaki MATSUMOTO

Medicine

In drug development, the study for the pharmacokinetics of drug candidates is necessary. Model-based drug development is characterized as the development and application of mathematical models of drug efficacy and safety from preclinical and clinical data to improve drug development knowledge management and decision making. In pre-clinical phase, mathematical modeling is an approach for making prediction of human pharmacokinetics. We investigate the pharmacokinetics of novel compound CT101019a which is a candidate for tumor-localizing photosensitizing compound, and of pyrrole-imidazole polyamides in the *N.* research project.

### 1. Pharmacokinetic modeling of tumor-localizing photosensitizing compounds

In photodynamic therapy, a systemically administered photosensitizing agent is activated by laser light of a specific wavelength delivered by an optical fiber. Light activated photosensitizer molecules react with endogenous oxygen which initiates a series of intracellular events that result in the destruction of target tissues. Talaporfin sodium is a photosensitizing agent (Fig. 1). CT101019a (supplied by Prof. Otsuki) is a novel compound for photosensitizing agent (Fig. 2).

To describe the relationships between light dose, percent cures and plasma talaporfin sodium concentration, we develop the pharmacokinetic/photodynamic model of talaporfin sodium. The plasma talaporfin sodium concentration, percent cures following photodynamic therapy and light dose reported by Ferrario *et al.* were used as the source of pharmacokinetic/photodynamic modeling data. The pharmacokinetics for talaporfin sodium in mice was described by two-compartment model with first-order elimination. The relationships between the percent cures, light dose and plasma talaporfin sodium concentration were described by Emax model (Fig. 3).

A simple and sensitive HPLC method is developed for the determination of plasma CT101019a concentration in rats and applies to the pharmacokinetic study. The half-life of CT101019a was shorter than talaporfin sodium. To predict human pharmacokinetics of CT101019a, exploratory population pharmacokinetic model of talaporfin sodium was developed using the human, rat and mice pharmacokinetic data of talaporfin sodium. Simulated human plasma CT101019a concentration profile is shown in Fig. 4. These findings are useful for drug developments of tumor-localizing, photosensitizing agent.

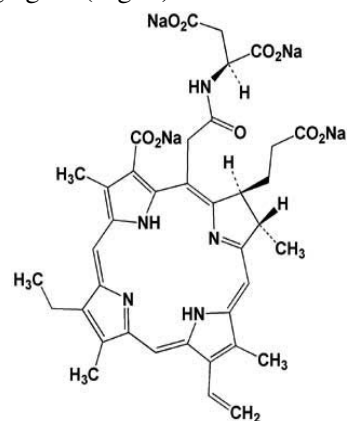


Fig. 1 Talaporfin sodium

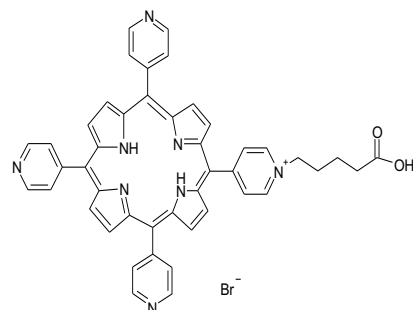


Fig. 2 CT101019a

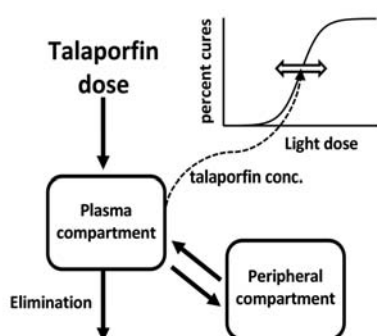


Fig. 3 Pharmacokinetic/photodynamic model of talaporfin sodium

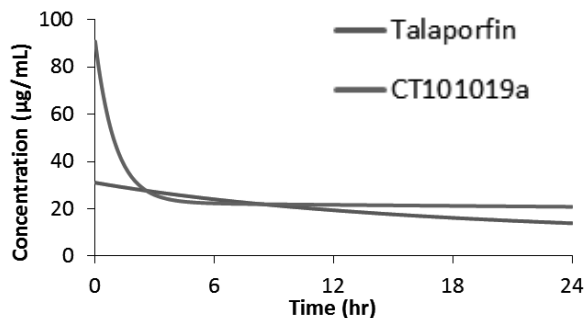


Fig. 4 Simulated human plasma concentrations

## 2. Pharmacokinetic modeling of pyrrole-imidazole polyamides

Pyrrole-imidazole (PI) polyamides (supplied by Prof. Fukuda) are synthetic molecules composed of aromatic rings of *N*-methylpyrrole and *N*-methylimidazole amino acids shown in Fig. 5. PI polyamides can easily enter into the nucleus and bind to chromosomal DNA, and have been identified as novel candidates for gene therapy. We develop a simple and sensitive method using an internal standard that was developed for different sequence and longer PI polyamide (*J Biomed Biotechnol*, 2012). Using the urinary and biliary excretion data, we develop a pharmacokinetic model (Fig. 6, 7) that describes the plasma PI polyamide (MW, 1035) concentration profiles under lower limit of quantification (*Biol. Pharm. Bull*, 2009; *Non-Viral Gene Therapy*, In-Tech Open Access Publisher, 2011). The possible metabolism of several PI polyamides (MW, 1422-1669) was investigated. The peaks of their metabolites and the decreases in the PI polyamides concentrations with incubation time were not detected under the experimental conditions. Because of the potential co-administration with other drugs, it was investigated whether PI polyamides inhibits various human cytochrome P450 *in vitro*. PI polyamides did not inhibit any of the tested human cytochrome P450. These findings indicate that the possibility of metabolic interaction between PI polyamides and other drugs commonly used in the treatment of patients is low.

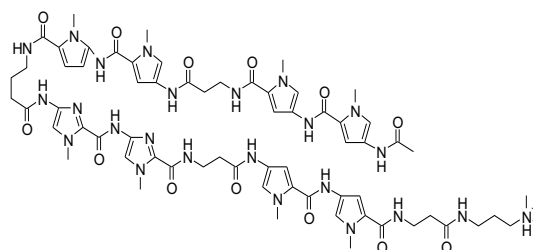


Fig. 5 Example for structure of PI polyamides

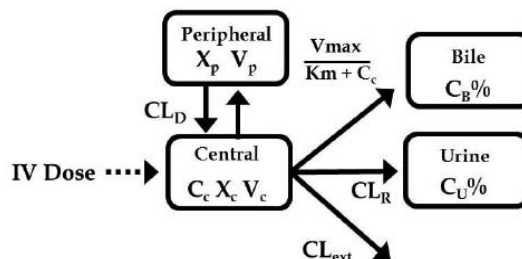


Fig. 6 Pharmacokinetic model of PI polyamides (*Non-Viral Gene Therapy*, 2011)

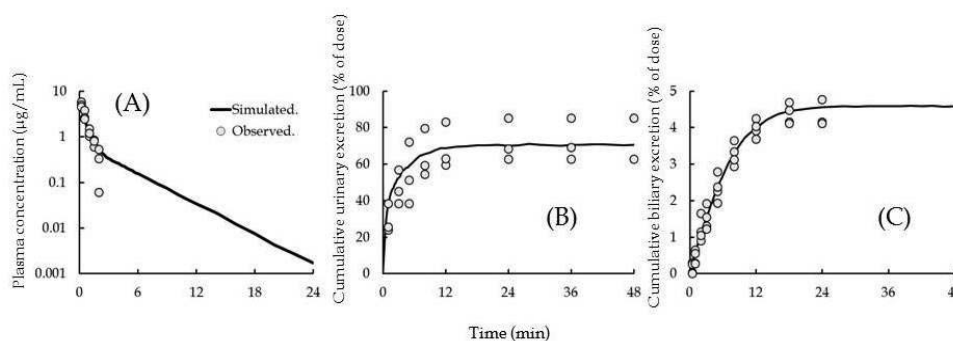


Fig. 7 Plasma PI polyamides concentration (A), cumulative urinary (B) and biliary (C) excretion profiles (*Non-Viral Gene Therapy*, 2011)

## Self-assembly and Self-organization from the viewpoint of Device-fabrication Methods

Sachiko MATSUSHITA

Supramolecular and Self-Assembly; Energy Technology

Two subjects related with self-assembly and self-organization were studied with perspective of the developments of unexplored scientific fields and new technology: 1) Dye-sensitized photonic crystal electrodes, and 2) Fabrication of optical devices via self-assembly.

### 1. Dye-sensitized photonic crystal electrodes

There are few reports on photoelectric conversion efficiency using naturally-occurring dyes for dye-sensitized solar cells (DSSC). This is because the matching with an excited electronic level of naturally-occurring dye to the conduction band of semiconductor is problematic; the excited electrons are easily relaxed to the steady state with fluorescence or heat emission. We examined the fluorescence inhibition effect of a self-assembled photonic crystal using Chlorine e6 dye. Chlorine e6 is derived from chlorophyll and has a long excited electron lifetime. We prepared  $\text{TiO}_2$  inverse opals with various particle sizes by liquid phase deposition (LPD) and described their effect on DSSCs with

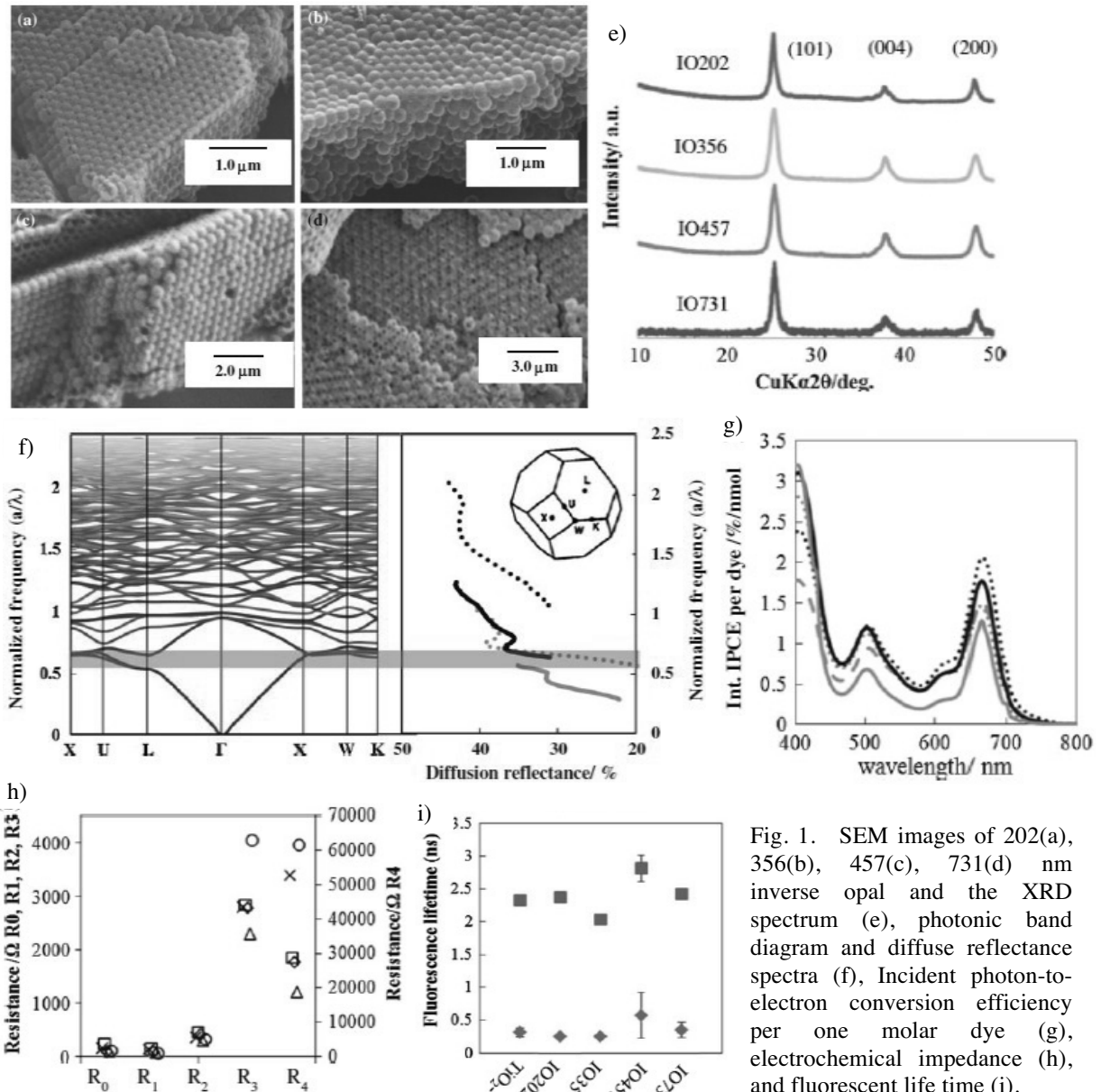


Fig. 1. SEM images of 202(a), 356(b), 457(c), 731(d) nm inverse opal and the XRD spectrum (e), photonic band diagram and diffuse reflectance spectra (f), Incident photon-to-electron conversion efficiency per one molar dye (g), electrochemical impedance (h), and fluorescent life time (i).

regard to structural, optical and electrochemical properties. In addition, we explored the implications of fluorescence lifetime measurements relative to the photonic band diagram and the amount of adsorbed dye. Although the main factor affecting the external photoelectric conversion efficiency was the diffusion resistance of the electrolyte and the contact resistance between  $\text{TiO}_2$  interfaces, the possibility that the dye fluorescence lifetime, i.e. the photonic band structure, can affect the internal quantum efficiency per one dye molecule was also investigated (Fig. 1, *J. Porous Mater.*, *in press.*).

For the better understanding of the relationship between the photonic band and electrochemical reaction, full-photonic bandgap photonic crystal composed of  $\text{TiO}_2$ -electrolyte structure is required. Thus, we also demonstrated the fabrication of a photonic crystal structure of (001) rutile  $\text{TiO}_2$  substrate by deep reactive ion etching (RIE) using  $\text{SF}_6$  plasma. A vertical etching profile and a smooth etched surface, which satisfy the requirements for optical device application, were obtained (*Jpn. J. Appl. Phys.*, 51, 098002 (2012)).

## 2. Fabrication of optical devices via self-assembly

Complicated metal nanoshell/dielectric core structures, such as a nano-six-petaled structure, were fabricated by controlling the sintering and etching of colloidal crystal structures (Fig. 2a, *Chem. Comm.*, 48 (11), 1668-1670 (2012)). As the sintering processes, one-step sintering and two-step sintering were examined. The two-step sintering process successfully suppressed the movement of  $\text{SiO}_2$  particles on a quartz substrate during the thermal sintering. As the subsequent HF etching treatment, the two-step sintered structures showed different morphology from the etched one-step sintered structures. The structural dependence of position and intensity of the plasmon resonance peak was observed. These optical phenomena were discussed from the viewpoint of domain size, particle shapes and nanogaps. The Raman scattering effect of these nanostructures was also examined (Fig. 2b, *Colloid. Surf. A*, 436, 930-936 (2013)).

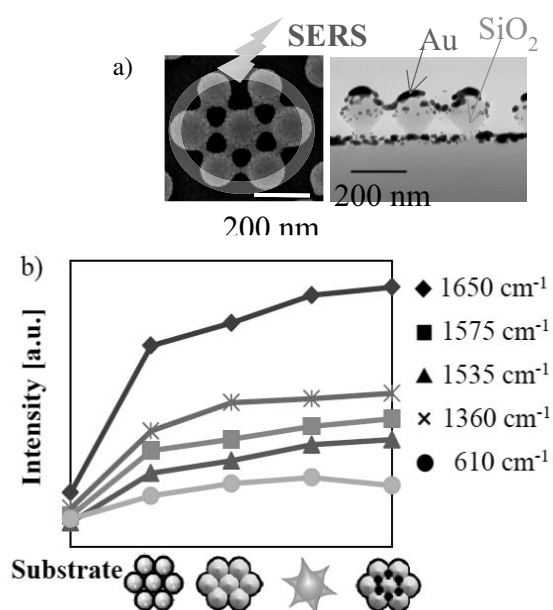


Fig. 2. TEM images of the nano structures (a) and Raman scattering analysis of Rhodamine 6G(b).

**Research for high density and high speed magnetic recording**  
**- Thermally assisted magnetic recording applying near field optical light -**

**Katsuji NAKAGAWA**  
 Information (Recording)

Information recording as well as information processing, and information communication are very important information infrastructure. Thermally assisted magnetic recording (TAMR) has been studied in this project to achieve high-density magnetic recording. This research leads to a patent for achieve high-speed magnetic recording as well as an award for the 2013 best paper of Magnetics Society Japan.

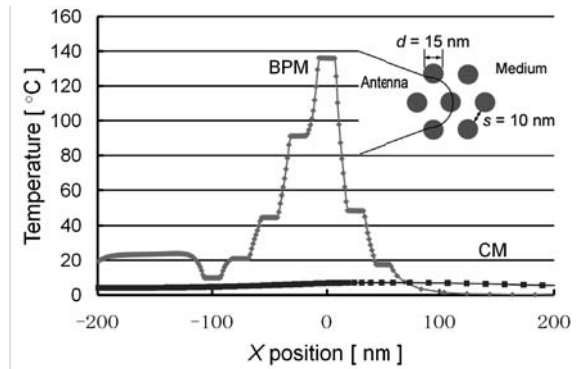
**1. Thermally Assisted Magnetic Recording**

Heat distribution and heat response by the effect of a surface plasmon antenna have been studied, because it is very important to locally heat by the plasmon antenna to achieve high-density magnetic recording. The structure of the antenna as well as the recording media has been also studied by the Finite Difference Time Domain (FDTD) method.

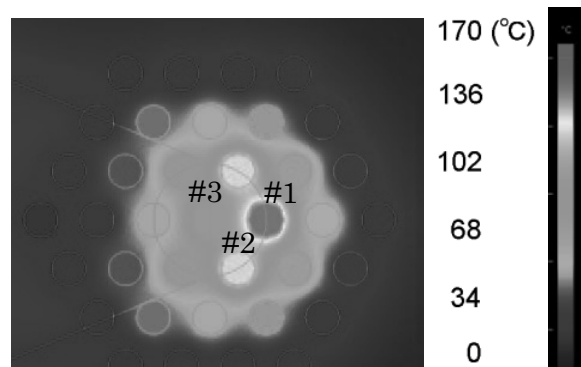
It was found that the Bit Patterned Medium (BPM) was an effective medium for increasing temperature by the plasmon antenna as well as for isolated heat in the medium. The temperature distributions for BPM and continuous medium (CM) are shown in Fig. 1. The peak temperature increase in BPM was 140 degrees in Celsius after 1 ns light exposure, even though the temperature rise for CM was only 10 degrees in Celsius.

The temperature plane distribution for BPM calculated by FDTD method is shown in Fig. 2. It is observed that the particle of the BPM at the tip of the plasmon antenna shows the highest temperature.

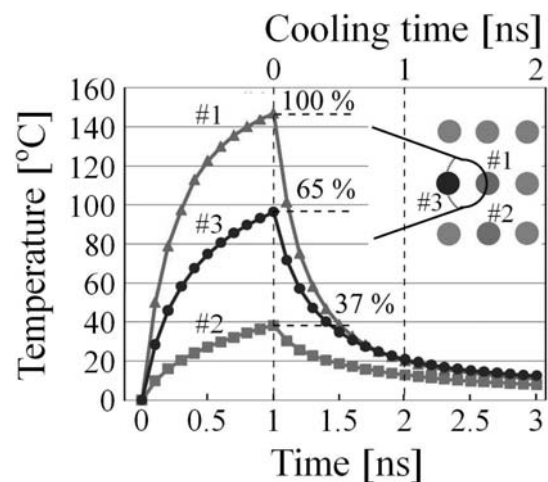
The temperature responses for the square ordered BPM are shown in Fig. 3. The peak temperature rise for the particle #1 shows 140 degrees, and the its temperature decreases lower than 20 degrees in 1 ns. The second highest neighbor particle #3 shows 65 % temperature rise compared with the particle #1.



**Fig. 1** Temperature distributions of continuous medium (CM) and bit patterned medium (BPM).



**Fig. 2** Temperature distributed diagram parallel to X-Y plane of bit patterned medium (BPM).



**Fig. 3** Temperature of three columns (#1, #2, and #3) as a function of time. Media was BPM with rectangular arrangement.

## 2. Experimental results for TAMR

Plasmon antennas made by gold were placed over a magnetic layer, and exposed with femto-second laser by Assoc. Prof. Tsukamoto who is a project member. Written magnetic domains at the tip of the plasmon antennas and the rings around the number were observed by a magnetic force microscope, as shown in Fig. 4. The result has been reported to the Journal of Magnetism Society of Japan, Vol. 37, 119-122 (2013). The paper was awarded as one of the 2013 best paper of Magnetism Society of Japan.

The minimum domain size in Fig. 4 was  $166 \text{ nm} \times 120 \text{ nm}$ . To achieve smaller written domain, the process of E-beam lithography was improved to get fine antenna patterns by the advice from Dr. Hashiba who is one of the project members. The smaller written magnetic domain:  $120 \text{ nm} \times 84 \text{ nm}$  was achieved by using smaller and square plasmon antenna, as shown in Fig. 5. The achieved written magnetic domain size is a little bit bigger than the size of goal, but 60% of the goal has been achieved.

We still keep trying this experiment, because we are confident to achieve the goal by simulation.

## 3. Optical-induced ultra-high speed magnetization

The phenomenon of optical-induced ultra-high speed magnetization which has been found by the project members: Assoc. Prof. Tsukamoto, Prof. Itoh, and *et. al.*, has a potential to increase a recording speed by 100 thousands times. The research to increase magnetic recording density with applying this optical-induced ultra-high speed magnetization with circularly polarized light has been studied collaborated Prof. Ohnuki who is one of the project members. It was found that circularly polarized light in the metallic particle at the center of cross metal aperture enabled to be generated by FDTD method. The aperture shape of a four-leaf clover can also create circularly polarized light in a metal particle, as shown in Fig. 6. A patent about this result has been submitted.

An analysis method of a transient response phenomenon of surface plasmon generation by simulation was investigated in collaboration with Assoc. Prof. Ohnuki, and we developed into the electromagnetic transient analysis method which could apply nano-sized dispersion material and ensure accuracy of the calculation. It makes assumption of plasma frequency and transient analysis of arbitrary three-dimensional objects possible.

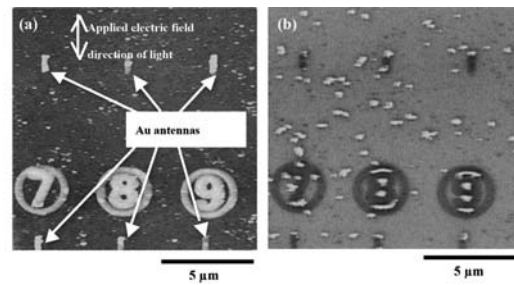


Fig. 4 Surface morphology (a) and written magnetic domains (b) observed by magnetic force microscope for rod plasmon antennas.

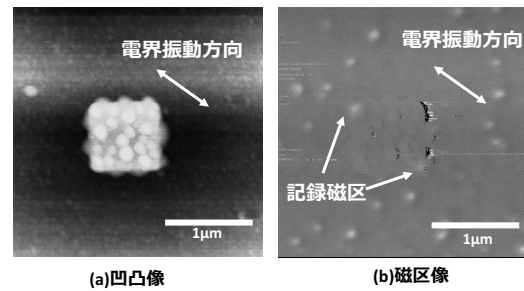


Fig. 5 Surface morphology (a) and written magnetic domains (b) observed by magnetic force microscope for square plasmon antennas.

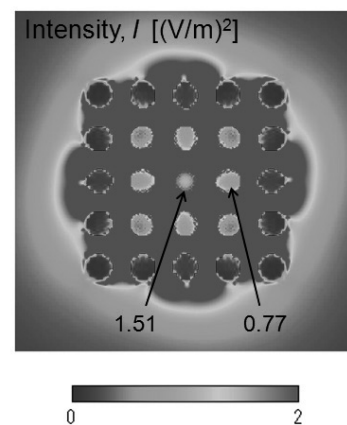


Fig. 6 One of simulation results calculating optical intensity distribution for patterned media.



## Development of Elemental Technologies toward Quantum Information and Communications

Naoto NAMEKATA

Information Technology

Quantum information and communication technologies (QICTs) are the most advanced ICTs that rely on quantum effects, and they offer the ways to realize (1) unconditionally secure communication and (2) low-power and high-capacity communication. Specifically, (1) can be realized by quantum key distribution (QKD), and (2) can be realized by a coherent optical communication technology that incorporates quantum information processing (computing). These QICTs give us “secure” and “green” solution for ICTs, which is very important especially in a highly developed information society. In this work, we have developed elemental technologies for QICTs.

### 1. Photon Detection Technologies

Photon detector is essential for QICTs. In order to realize QICTs using installed optical fiber networks, the photon detector must have a high photon detection efficiency in telecommunication band ( $\sim 1550$  nm: the minimum-loss window of optical fibers) with low noise counts. We have developed the telecom-band single-photon detector (SPD) using a compound semiconductor device, namely an InGaAs/InP avalanche photodiode (APD). Although the SPD based on the InGaAs/InP-APD is very practical, it has drawbacks, compared with the other SPDs, that are an afterpulse noise and a low repetition frequency. We proposed a “sinusoidal gating” method in which a sinusoidal voltage was used as the gate voltage. Then, using the sinusoidally gated InGaAs/InP-APD, high-speed single-photon detection at 1550 nm can be realized with a low afterpulse probability. Currently, we achieved a repetition frequency of 2 GHz which is three orders of magnitude higher than that of the conventional gated InGaAs/InP-APD. Moreover, the photon detection efficiency of  $> 10\%$  was achieved with a dark count probability of  $10^{-7}$  and an afterpulse probability of  $< 3\%$  (*IEEE Photo. Tech. Lett.* 2010; *Opt. Express* 2011). We also applied the sinusoidal gating method to a Si-APD. Using the sinusoidally gated Si-APD (quantum efficiency was 72.4%), visible-light single photons can be successfully detected with a detection efficiency of 70.6%, which implies that a photo-excited single charge carrier in a silicon avalanche photodiode can trigger a detectable avalanche (charge) signal with a probability of 97.6% (*Appl. Phys. Lett.* in press).

Although advanced QICTs demands the photon number resolving capability, the SPDs described above do not have it. Therefore, we have developed the so-called photon-number-resolving detector (PNRD) using a superconducting Titanium transition edge sensor (Ti-TES). We achieved a detection efficiency of  $> 80\%$  at 1550 nm with a photon number resolving capability of  $< 0.2$  eV. Then, we applied the developed PNRD to a non-Gaussian operation on the pulsed squeezed vacuum at 1550 nm. The two-photon-subtracted squeezed state was successfully generated (*Nature Photonics*, 2010). We observed dips in reconstructed Wigner functions of the generated quantum states (see Fig. 1), which is the clear evidence that the non-Gaussian operation was realized.

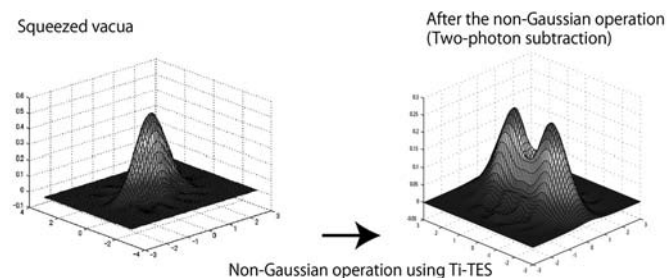


Fig. 1. Wigner function of the generated non-Gaussian state

## 2. Quantum Key Distribution Experiments

We performed a 2 GHz clocked differential-phase-shift QKD (DPS-QKD) experiment using SPDs based on sinusoidally gated InGaAs/InP-APD. A secure key rate of 24 kbit/s was achieved over 100 km of optical fiber, which was higher than the previous record. Moreover, we have successfully distributed secure keys against the general individual attacks over 160 km of optical fiber (*Opt. Express*, 2011, Fig.2). These results will accelerate the realization of a practical QKD over a metro-sized optical fiber network.

To extend the communication distance further, e.g. > 400 km, entanglement-based QKD system is preferable, because it will play an important role in the quantum repeaters described in the next section. We have developed the polarization entangled photon pair source and the entanglement-based QKD system using it (Fig. 3).

## 3. Elemental Technologies for Quantum Repeater

To realize the long-distance QKDs, we need the quantum repeater which can improve the throughput reduction with distance from exponential to polynomial. The quantum repeater is composed of three elemental technologies: the entanglement swapping, quantum memories (or buffer storages), and the quantum non-demolition measurement of the photon number.

We demonstrated entanglement swapping with 1550 nm polarization-entangled photon pairs created by spontaneous parametric down conversion (SPDC) in two spatially separated type-II periodically poled lithium niobate (PPLN) bulk crystals. In a partial Bell-state measurement, entanglement was observed between two photons from independent sources. We employed sinusoidally gated InGaAs/InP-APDs operated at a repetition frequency of 1.28 GHz, which increased a four-fold coincidence count rate without degrading the fidelity of entanglement swapping. The obtained fidelity is ~ 90% which is high enough to infer a violation of Bell inequality and to implement the entanglement-based quantum key distribution (*J. Phys. B*, 2013).

In our experiment, the success probability of the entanglement swapping is less than  $10^{-6}$ . To enhance the success probability, the key technology is the quantum memory (or buffer storages). In this work, we have tried to realize the photon buffer storage by means of an optical switching network. As shown in Fig.4, the photon buffer storage we designed is composed of optical fibers and low-loss fiber-optic components. It gives the programmable optical delay to photons with a low optical loss, and a quantum state of light (polarization of photons) can be maintained without any active compensation.

## Summary

We have developed the advanced photon detection technologies. The state-of-the-art photon detectors have overcome the difficulties in development of QICTs.

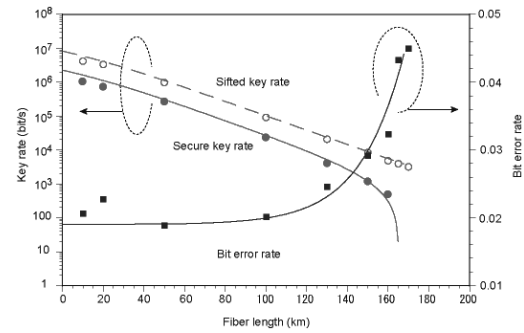


Fig. 2. Secure key rate as a function of the communication distance

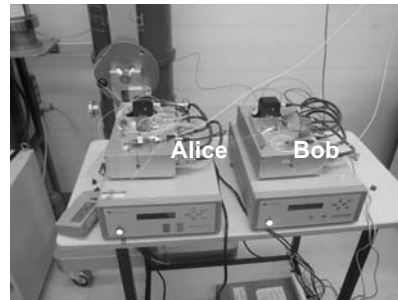


Fig. 3. Entanglement-based QKD system

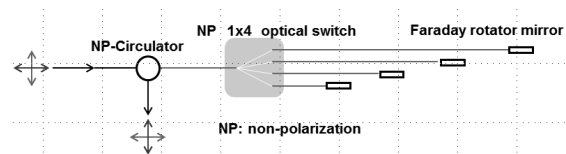


Fig. 4. Photon buffer storage using the optical switching network.

## Development of Nano-Composite Technologies for Innovative Hydrogen Storage

Nobuyuki NISHIMIYA

Energy Technology

Hydrogen storage alloys have occluding function to uptake hydrogen atoms into lattice spaces. Innovative hydrogen storage is thus expected by designing the lattice spaces or by stimulating active surface sites by means of ultraviolet irradiation and so on. Interruption of hydrogen storage by ambient oxidative attacks is taken away by encapsulating the alloys with hydrogen permeable membranes and innovative hydrogen recovery from gas mixtures produced by water photo-splitting and biological fermentation and so on becomes plausible. The present study aims to apply several innovative hydrogen storage techniques to energy technologies through nano-composite formation on the basis of collaboration with peoples in the N. research project.

### 1. Application of Encapsulated Alloys Resistant to Ambient Air and Water

Environment resistant hydrogen storage alloys were prepared by encapsulating the alloys with silica-based hydrogen permeable membranes blended with silicone precursor. When the estimated thickness of the wall was 20 nm, the elastic capsule endured the expansion by 20% on hydrogen occlusion. Cycling experiments comprising hydrogenation of encapsulated ZrVFe alloys under the ambient pressure of detonating gas at room temperature and dehydrogenation thereof at elevated temperatures in vacuo showed reproducible behaviors for three times, which was contradictory to original alloys having no hydrogen occlusion ability after the second cycle. That clearly showed the difference of oxygen resistance.

Partial pressure of hydrogen was lowered in the presence of the encapsulated alloys during hydrogen production by cyanobacteria compared to the case in the absence of the alloys (Figure 1, 19th WHEC, 2013). More hydrogen than that corresponding to the downward shifts from the dotted line in Figure 1 was occluded by the encapsulated alloys, and total amounts of hydrogen both in the gas phase and in the solid phase, the latter being determined by a vacuum extraction method on heating, exceeded 7 times as much as those in the absence of the alloys. The increased yield of hydrogen would be due to an equilibrium shift by removing hydrogen from the formation side.

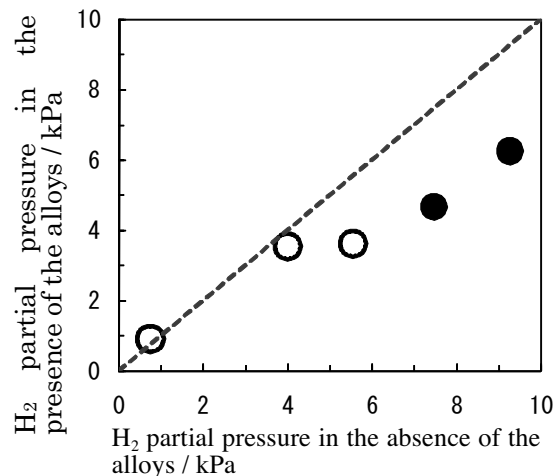


Figure 1 Effect of alloys on H<sub>2</sub> partial pressure during bio-hydrogen production

●: Anabaena-ZrVFe system

○: Spirulina-(Ti<sub>0.5</sub>Zr<sub>0.5</sub>)(Fe<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>)<sub>1.5</sub> system

### 2. Photo-Stimulated Hydrogen Occlusion and Photo-Stimulated Hydrogen Desorption

Hydrogen capacity of a hexagonal alloy, (Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.8</sub>)(Fe<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>)<sub>1.5</sub>, under 1 MPa of hydrogen at room temperature increased by 20% on ultra-violet irradiation at 352 nm in air. Presence of a photocatalyst, WO<sub>3</sub>, enhanced the hydrogen capacity by 60%, and the enhancing effect was higher in a nitrogen atmosphere. It is plausible that some nitrogen containing functional groups were generated on irradiation and that they promoted hydrogen occlusion.

Ultra-violet irradiation lowered hydrogen desorption temperatures in vacuo for LiBH<sub>4</sub> and MgH<sub>2</sub>, and the lowering was enhanced by the coexistence of WO<sub>3</sub>. Desorption from (Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.8</sub>)(Fe<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>)<sub>1.5</sub> itself was not enhanced by irradiation, but specified combinations of photocatalysts lowered the

desorption temperature on irradiation.

While the lowering of hydrogen desorption temperatures was realized by addition of conventional catalysts, for example, the ones from  $\text{MgH}_2$  at  $130^\circ\text{C}$  and  $400^\circ\text{C}$  were lowered to  $60^\circ\text{C}$  and  $200^\circ\text{C}$  by addition of  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , ultra-violet irradiation with  $\text{WO}_3$  further added inhibited the desorption at the lower temperature. That meant the irradiation cancelled the catalytic effect, in other words, a route to an ON/OFF control of catalytic effects by irradiation was proposed.

### 3. Hydrogen Spillover at the Liquid Nitrogen Temperature

Hydrogen occupies  $0.1575 \text{ nm}^2$  per molecule when adsorbed on high specific surface area materials at cryogenic temperatures. Such ordered adsorption gives a composition of  $\text{C}_6\text{H}_2$  on graphene, or hydrogen capacity of 2.7%. If hydrogen could adsorb in atomic states, a surface composition of  $\text{C}_6\text{H}_6$  would be attained to present promising hydrogen storage materials. Since spillover would be easy with hydrogen atoms available, such metals that dissociate hydrogen at low temperatures like 77 K (liquid nitrogen temperature) are needed.

Through synthesis of single-walled carbon nanotubes by a torch arc method, synthesis of metal-modified nanocarbons by a conventional arc method, graphene formation by the Hammers method and metal-modification, synthesis of carbon-modified metals by a methanol CVD (Chemical Vapor Deposition) and synthesis of metal-modified nanocarbons by calcination of electrospun polymer fibers, Pt proved to have the highest dissociation activity of hydrogen among Ni, Pd and Pt. Such were also the case for BN, CN and BCN which were prepared by respective wet procedures (*J. Alloys and Compounds*, 2013). Search for alternative metals or alloys that could replace expensive and rare Pt revealed potential feasibility of Cr-Fe and Invar (Fe-Ni-Mn) alloys. In the course of surveying, a unique alloy as described in the next section appeared, which showed irregular hydrogen occlusion isotherms.

### 4. Superposition of Hydrogen Storage in Lattices and Adsorption at Liquid Nitrogen Temperature

Occlusion of hydrogen proceeds with atomic hydrogen trapped inside the lattice, and the occluded amount of hydrogen is thus normally proportional to power of 1/2 of hydrogen pressure (Sieverts' law). But the amount of hydrogen occluded at RT ( $26^\circ\text{C}$ ) in  $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.8})(\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_{1.5}$  was ruled out by power of 1/4 of pressure, and the one at cryogenic temperatures was proportional to power of 1 of pressure as shown in Figure 2.

The dependence on power of 1 meant Henry's law and hydrogen proved to dissolve as molecules. The power of 1/4 phenomenon would be actual if one molecule of hydrogen could form 2 atoms and additionally the same amount of vacancies.

Hydrogen adsorption at 77 K after RT sorption of 0.634 mass% under 1 MPa of hydrogen ( $\blacktriangle$  in Figure 2) unexpectedly proceeded similarly as adsorption without the RT sorption. Furthermore, measured equilibrium pressures at 77 K were unreasonably higher than those at RT. It is thus likely that the hydrogen storage inside the crystal lattices (occlusion at RT) and the solution-like adsorption at 77 K carried out at different sites. Otherwise solution at 77 K could occur either at lattice spaces or at vacancies connecting to the lattice spaces. Novel materials capable of both lattice type occlusion and solution type adsorption will be promising for innovative hydrogen storage.

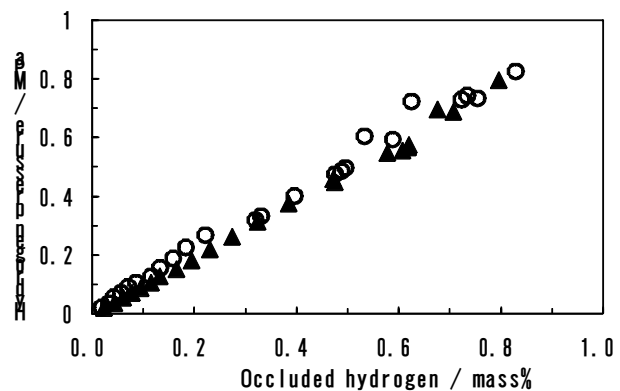


Figure 2 Hydrogen occlusion isotherms at 77 K for  $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.8})(\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_{1.5}$

○: simple adsorption at 77 K

▲: successive adsorption at 77 K after RT occlusion

## Nano-Electromagnetic Simulation for Light-Material Interactions

Shinichiro OHNUKI

Quantum Theory and Computation

We have developed fast and reliable electromagnetic simulation methods for studying interaction between light and nanoscale objects. We apply our novel methods to designing nanoscale devices for high-speed and high-density magnetic recording, quantum telecommunication, and so on. This research was awarded the 2013 academic award from College of Science & Technology, Nihon University and the 2013 best paper of Magnetics Society Japan.

### 1. Time Domain Responses of Electromagnetic Fields by Integral Equation Methods

We have developed novel fast and accurate solvers based on integral equation methods with fast inverse Laplace transform for time domain electromagnetic problems (*J. Electromag. Waves and Applic.*, 2012). The advantages of our proposed method are (1) the computational error is easy to be controlled, (2) there is the no restriction of selecting time step size, and (3) an arbitrary observation time can be selected. Using the combination of fast algorithms and parallel computing, the speedup rate becomes over 100 times faster. We have designed plasmonic antennas which can localize circularly polarized light in nanoscale (Figs. 1 and 2).

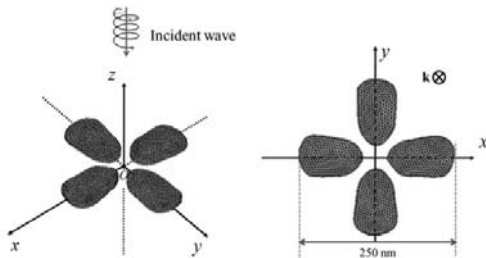


Fig. 1 Design of Plasmonic Antennas for All-Optical Recording.

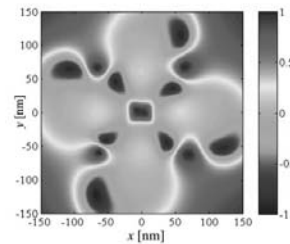


Fig. 2 Verification of Localized Circularly Polarized Light.

### 2. Design of Plasmonic Antennas with Bit-Patterned Media for High-Density Magnetic Recording

We study characteristics of plasmonic antennas with bit-patterned media to realize high-density all-optical magnetic recording through the collaboration with Prof. Katsuji Nakagawa, Information Group (*IEEJ Trans. A*, 2014). Figure 3 shows an asymmetric cross antenna constituted by two dipole antennas with bit-patterned media. Antenna lengths are selected to obtain  $90^\circ$  phase shift. Localized circularly polarized light is generated inside the particulate medium at the center of antennas. In our proposed system, the recording density can be achieved over  $2\text{Tbit}/\text{inch}^2$ .

We investigate the motion and required DC field of magnetization reversal using micro magnetics simulation in collaboration with Prof. Arata Tsukamoto, Information Group, as in Fig.5.

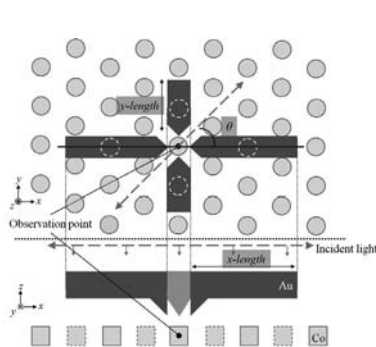


Fig. 3 Proposed system for high-density all-optical magnetic recording.

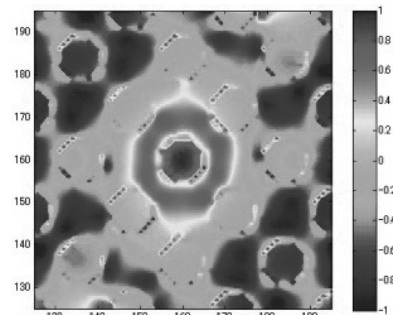


Fig. 4 Circularity inside the bit-patterned media.

### 3. Multiphysics Simulation of Nanoscale Objects in Laser Fields

We have developed the coupled Maxwell-Schrödinger scheme which is based upon the FDTD method in collaboration with Prof. Tokuei Sako, Quantum Theory and Computation Group (*Int. J. Numer. Model.*, 2013). Our proposed method can handle tunneling effects due to well structures. We have investigated current densities and electromagnetic fields of nano plates. Advantages of our method have clarified in comparison with conventional classical solvers.

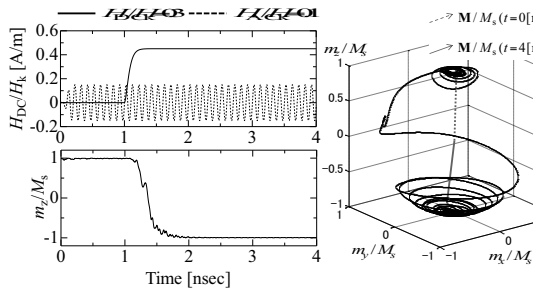


Fig. 5 Magnetization reversal by micro magnetics simulation.

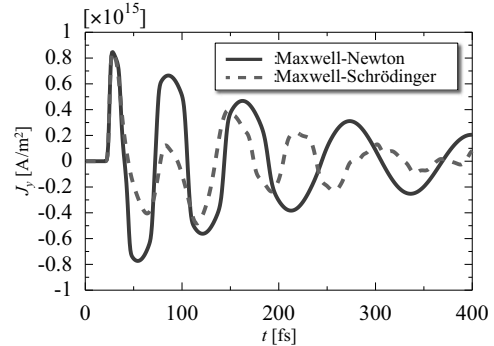


Fig. 6 Time domain response of current density in a nano plate.

We have investigated the interaction between the light control pulse and thin tube including only a single electron as shown in Fig. 7, where the pulse is designed to control the electron-state. The time domain response of probability density is presented in Fig. 8. Our designed pulse has excellent ability to control the electron state with high accuracy.

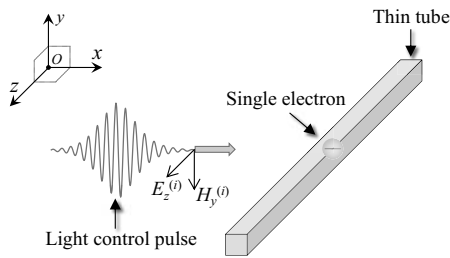


Fig. 7 Nano tube and the coordinates.

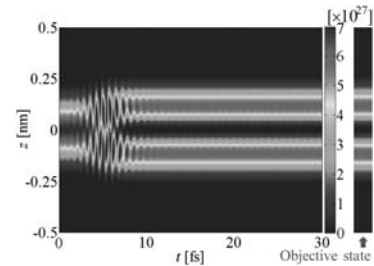


Fig. 8 Control of electrons states by a light pulse.

### 4. Modeling of Plasmonic Waveguides for a High Sensitivity Optical Sensor

We have proposed an optical sensor which consists of a metal stripe and nano wire. Using the proposed device, electromagnetic energy is concentrated around the metal stripe and the energy can be efficiently absorbed into the nano wire. Joule heat inside the nano wire is produced due to the electromagnetic energy and becomes over 50 times higher than that for the case without the metal stripe.

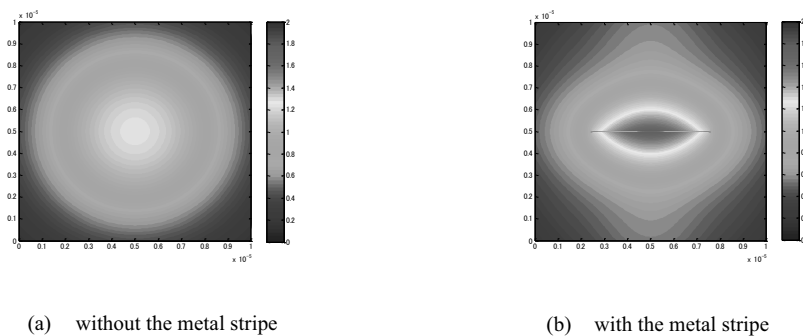


Fig. 9 Electromagnetic field around the nano wire.

## Self-Assembled Supramolecules and Their Applications to Energy, Medical, and Information Technologies

Joe OTSUKI

Supramolecular and Self-Assembly; Energy Technology

Self-assembly of appropriately designed molecules offers a promising bottom-up method for producing nanostructures. This work aims at developing new molecular self-assembling systems, revealing self-assembled structures and dynamic behaviors at the molecular level, and searching for applications of self-assembly to energy, medical, and information technologies. We believe that assembly of a chlorophyll derivative into double-helical structures and visualization of rotational motion of a double-decker porphyrin complex at the molecular scale are two prominent achievements.

### 1. Structures, control, and dynamic behaviors of molecular self-assemblies

We revealed the effects of side arms introduced in the porphyrin framework on the self-assembly at the molecular scale using scanning tunneling microscopy (STM).<sup>1</sup> We found that interactions between porphyrins and the graphite surface predominates when the porphyrin was modified with long side arms, resulting in arrays of face-on porphyrins on the substrate. On the other hand, when the porphyrin was modified with short side arms, intermolecular interactions outweighed, giving rise to porphyrin columns with stacked porphyrin molecules (Fig. 1a). We also investigated the self-assembly of artificial chlorophyll, which has a zinc ion in the center and a pyridyl moiety on the periphery.<sup>2</sup> This molecule forms a quite stable cyclic tetramer in solution. In the crystal, the pyridyl group in one molecule coordinates to the zinc ion in the next molecule, giving rise to coordination polymers. A pair of helical polymers wrap around each other, affording double helices as shown in Fig. 1b. These highly-ordered, extended structures of porphyrins and chlorophylls are interesting as potential wires for energy and electrons.

We constructed a system in which interaction between a zinc-porphyrin and a pyridyl group can be switched on/off with the trigger of light (Fig. 1c).<sup>3,4</sup> The molecules incorporate a photoisomerizable azopyridine group in a molecular bowl. In the *trans* configuration, the pyridyl group sticks out of the bowl, while in the *cis* configuration, the pyridyl group directs inward. We found that the binding constant for the *trans* isomer was up to 20 times larger than that for the *cis* isomer.

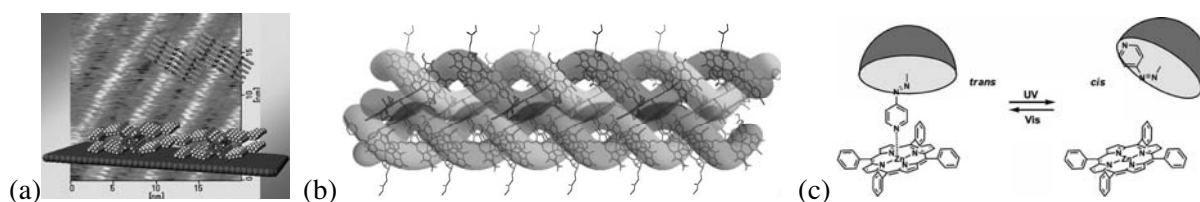


Fig. 1. Structures and control of porphyrin assemblies. (a) One-dimensional porphyrin columns. (b) Double helices of a chlorophyll derivative. (c) Control of assembly with light.

We revealed the self-assembled structures and dynamics of double-decker porphyrin complexes at the molecular scale using STM. A certain double-decker porphyrin complex with a cerium ion was observed as circles, while the same complex but with a zirconium ion was observed as ellipses (Fig 2a).<sup>5</sup> We ascribe the difference in appearance to a difference in the speed of rotation of these molecules. We synthesized a double-decker porphyrin having a single side arm as a beacon for molecular orientation. We noted that some molecules changed their orientation on standing on the substrate, which turned out to be the first visualization of molecular rotation of this class of compounds (Fig. 2b).<sup>6</sup>

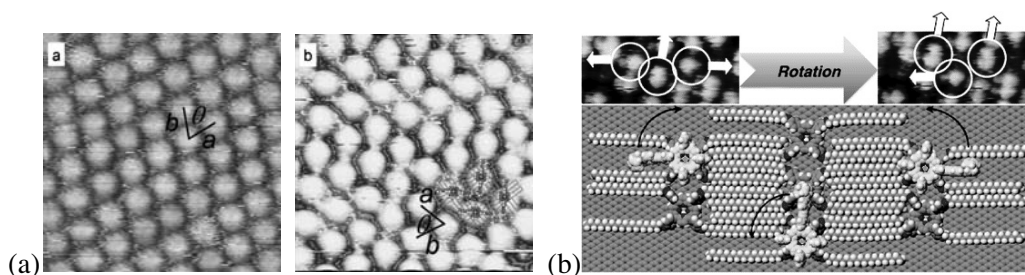


Fig. 2. Double-decker porphyrins. (a) Different images due to rotation. (b) Change in orientation.

## 2. Photoenergy conversion by molecular systems

As for the reductive side of water photolysis, it is important that electrons are transferred efficiently from the photosensitizer to the reduction catalyst. We prepared photocatalysts in which the photosensitizers spontaneously assemble around a cobalt ion to form supramolecular photocatalyst (Fig. 3a).<sup>7</sup> We found that the amount of hydrogen produced by illumination using this system was twice that by a system without self-assembly.

The dye-sensitized solar cells (DSSCs) are attracting attention as a next-generation solar cell. The effects of a donor group on the perylenedicarboxylic anhydride derivatives were investigated as organic dyes.<sup>8</sup> We found that a donor group is effective to raise the energy level of the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO), leading to efficient charge injection. We examined the effects of side arms but eventually found that dyes without side arms recorded the highest efficiency (3.1%). The reason for this is that the dye without a side arm was able to utilize up to the longest wavelength, which may be due to intermolecular interactions. This result indicates that some dyes work better with intermolecular interactions in spite of the conventional belief that dye aggregation is detrimental to the performance. We also prepared three new cyclometalated complexes and revealed their structures and properties.<sup>10</sup> New cyclometalated complexes for DSSCs based on these results are now in preparation.

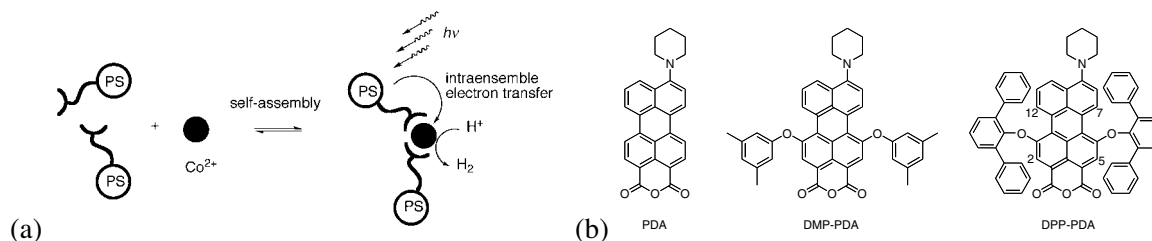


Fig. 3. (a) Self-assembled photocatalyst. (b) Dyes for DSSCs.

## 3. Nanomaterials and their applications

Other than the systems described above, we investigated nanomaterials such as graphene<sup>11,12</sup> and nanoparticles.<sup>13</sup> Yet other works include studies on chlorophyll derivatives for photodynamic therapy in collaboration with Fujiwara et al in the Medical School, single molecule behaviors using fluorescence microscopy in collaboration with Chaen et al in the College of Humanities and Sciences, and nanoparticle assemblies for quantum information devices, in collaboration with Namekata et al in the Institute of Quantum Science.

(1) *Chem. Lett.* **2009**, 38, 570. (2) *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, 135, 5262. (3) *J. Phys. Chem. A* **2010**, 114, 884. (4) *Tetrahedron Lett.* **2009**, 50, 2106–2108. (5) *Chem. Lett.* **2011**, 40, 717. (6) *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, 132, 6870. (7) *Chem. Commun.* **2010**, 46, 8466. (8) *Adv. OptoElectron.* **2011**, 2011, Article ID 860486. (9) *Chem. Lett.* **2013**, 42, 450. (10) *J. Organomet. Chem.* **2014**, 749, 312. (11) *Appl. Nanosci.* **2013**, 3, 477. (12) *Appl. Surf. Sci.* **2012**, 259, 460. (13) *ACS Nano* **2013**, 7, 9997.



## Origin of Hund's rule and angular correlation in natural and artificial atoms

Tokuei SAKO

Quantum Theory and Computation Group

Artificial atoms or quantum dots, novel quantum systems confining a small number of electrons in a low-dimensional artificially-designed nanoscale potential well, play an essential role in the development of next generation devices operating under the principle of quantum mechanics, utilized in, such as, quantum computation and quantum telecommunication. Since the electronic properties of artificial atoms are known to depend strongly on their size and/or number of electrons, understanding their complicated electronic structure is one of the most fundamental and essential issues. In this direction the author has focused on in this *N.* project the origin of so-called Hund's rule and studied the mechanism of this fundamental rule operating in artificial atoms. An inherent hole in the spin-parallel singlet wave function has been identified and is called *conjugate Fermi hole*. It has been shown that the origin of Hund's rule is rationalized on the basis of this conjugate-Fermi-hole concept.

### 1. Origin of Hund's multiplicity rule

Empirically derived Hund's rules of pre-quantum-mechanics era that predict the ordering of the energy levels possessing different spin and orbital angular momentum quantum numbers proved to be almost universally valid for atoms, molecules, and quantum dots. Yet, despite the history of a long standing debate the search for various aspects of their origin persists, that was most likely due to our lack of knowledge as to how electrons in the system behave differently for different spin states. We explore the origin of the first Hund rule for a two-dimensional model of He-like systems and that of two-electron quantum dots which represent ideal systems providing a direct fundamental insight into the structure of the internal part of the fully-correlated wave functions, allowing us an unambiguous argument. An examination of their probability density distributions indeed reveals the existence of a region in the internal space which we refer to as a conjugate Fermi hole (Fig.1 Phys. Rev. A 2011). In this region the singlet wave function has a smaller probability density than the corresponding triplet one, in contrast to a genuine Fermi hole in which case the triplet has a smaller density than the singlet. Thanks to the presence of this conjugate Fermi hole, the singlet probability density has to migrate far away from the center of the one-electron potential, rationalizing thus a well-known broader electron density distribution of the singlet state than is the case for the corresponding triplet, that is a key observation to explain the singlet-triplet energy gap. This result was published in Journal of Physics B in 2012 and was chosen as IOP Select Paper, which was further covered by Europhysics News published by the European Physical Society. He was invited by JPS to write a review article on this subject in BUTSURI, that was published recently in the June issue of 2013 with the title "Origin of the First Hund Rule in He-Like Atoms".

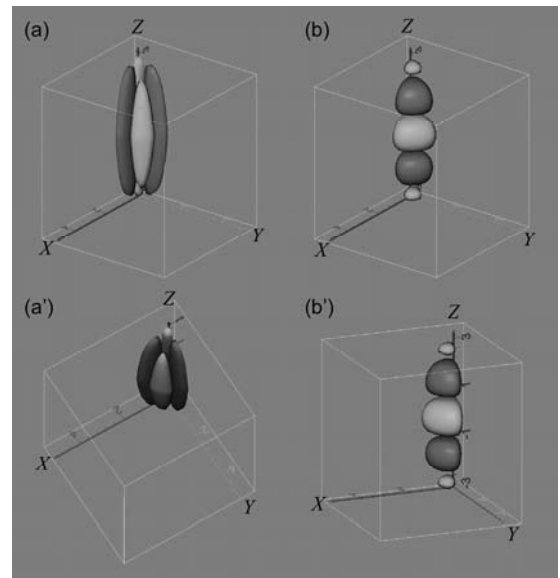


FIG1. Structure of standard Fermi holes (blue) and *conjugate Fermi holes* (red) in the internal space of two electron. (a) and (b) correspond, respectively, to the cases with (1s)(2s) and (1s)(2p) configurations. (a') and (b') represent the same distributions of (a) and (b), respectively, in a different viewpoint. The  $X$ ,  $Y$ , and  $Z$  axes represent, respectively, the radial coordinate  $s_1$ ,  $s_2$ , and the two-electron angle  $\phi$  coordinates.

## 2. Conjugate Fermi holes and angular correlation

The helium atom has been an active source of both theoretical and experimental studies to explore electron correlation as the most simple and fundamental system. The angular correlation in singly-excited states of He and He-like atomic ions has been particularly focused on and studied extensively in the early 70th ~ the middle of 80th in the context of understanding the origin of Hund's rule. Among those pioneering studies Thakkar et al. showed that the probability density distributions of the singlet-triplet pair of state for the (1s)(2s) configuration depends only very weakly on the inter-electron angle irrespective of the nuclear charge  $Z_n$  whereas those for the (1s)(2p) configuration become appreciable for increasing nuclear charge  $Z_n$ .

It is noted that the effective correlation energy for atomic systems, defined by the correlation energy divided by  $Z_n^2$  converges to 0 as  $Z_n \rightarrow \infty$ . Therefore, the wave function of the singly-excited states of He-like systems should become closer to that of an independent particle model based on the Hartree-Fock method as  $Z$  increases. On the other hand, the probability density distribution of the (1s)(2p) singlet-triplet pair of states shows an increasingly stronger dependence on the inter-electron angle, although in the limit of  $Z_n \rightarrow \infty$  the electron correlation in the sense of a departure from the independent particle model diminishes to zero. In the present study in order to rationalize the origin of this strong inter-electron angle dependence in the probability density distribution of the (1s)(2p) pair of states we have examined in detail the nodal structure of the wave functions in the internal space.

We have used in this study the so-called two-dimensional helium model in which the spatial degrees of freedom of the two electrons are limited to a plane involving the nucleus. It was shown in earlier studies that this 2D model gives energy levels that have all characteristic features of those of the 3D case. The square of the probability density obtained from the full configuration interaction wave function  $\Psi_Z(r_1, \phi_1, r_2, \phi_2)$  is integrated by the angle variable  $\phi_+ \equiv \frac{1}{2}(\phi_1 + \phi_2)$  corresponding to the total orbital angular momentum  $L$ . This yields the probability density  $D_Z(r_1, r_2, \phi_-)$  in the internal space  $(r_1, r_2, \phi_-)$ , [ $\phi_- \equiv \frac{1}{2}(\phi_1 - \phi_2)$ ].

The two-electron angular density distributions of the (1s)(2p) pair of states obtained by integrating  $D_Z(r_1, r_2, \phi_-)$  with the radial coordinates  $(r_1, r_2)$  shows that the distribution of the singlet state has a peak at  $\phi_- = 0, \pm\pi$  corresponding to the configuration where the two electrons align parallel to each other in the same side of the nucleus and that the distribution of the triplet state in turn has a peak at  $\phi_- = \pm\pi/2$  corresponding to the configuration where they come in the opposite sides of the nucleus. This anisotropy of the angle density distributions shows to get pronounced for larger  $Z_n$ . The origin of the appearance of this anisotropy in the angle density distributions has been rationalized on the basis of the structure of the genuine and conjugate Fermi holes in the internal space (to be submitted to Phys. Rev. A).

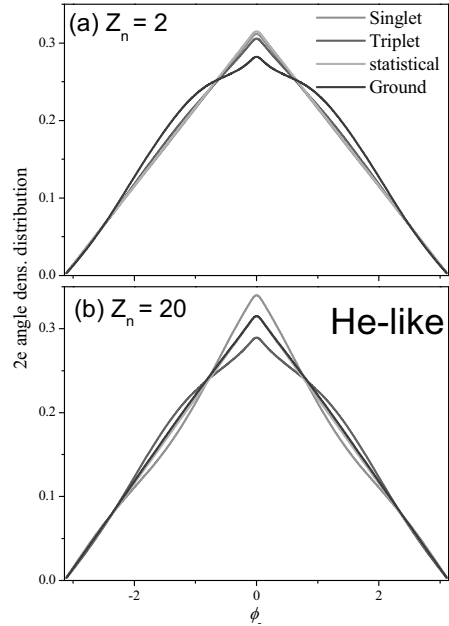


FIG2. Two-electron angular-density distributions for the He-like systems for different nuclear charge  $Z_n$ : (a)  $Z_n = 2$ , (b)  $Z_n = 20$ . The blue, green and red curves represent, respectively, the distribution of the  $(1s)^2\ ^1S$  ground state, the singlet  $(1s)(2p)\ ^1P$  state and the triplet  $(1s)(2p)\ ^3P$  state. The statistical distribution, defined by  $(\pi - |\phi_-|)/\pi^2$ , corresponding to mutually independent rotation of the two electrons around the nucleus, is plotted as light-grey line.

**Development of Pyrrole-Imidazole polyamide showing anti-tumor effect**

**Masayoshi Soma, Kyoko Fujiwara**

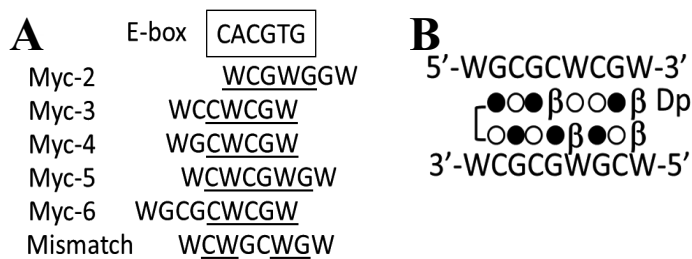
Medicine

Pyrrole-imidazole (PI) polyamides can bind to double strand DNA in a sequence specific manner and suppress the expression of target gene by inhibiting DNA binding proteins including transcription factors. PI polyamides are small synthetic molecules composed of the aromatic amino acids N-methylpyrrole (Py) and N-methylimidazole (Im). A pair of PI polyamide recognizes specific DNA base pairs, i.e. Im/Py pair bind to G-C, Py/Im to C-G, and Py/Py to both A-T and T-A.

A concatenation of those pairs made it possible to bind to a variety of specific DNA sequences. Since PI polyamides can be effectively delivered to nuclei of several tissues without any specific drug -delivery system, they might be powerful materials to develop gene specific silencer. We have been developed various type of PI polyamides targeting genes involved in disease, and reported some of them had curative effect in vitro and in vivo.

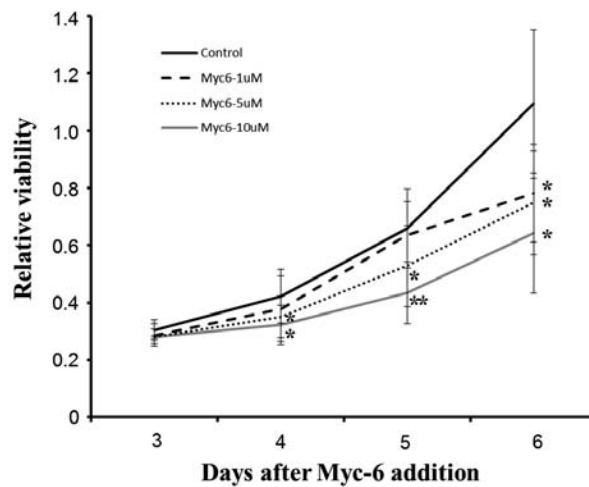
The amplification or over expression of c-MYC has been observed in many type of human tumors. c-MYC is a basics-helix-loop-helix leucine zipper transcription factor that binds E-box (5'-CACGTG-3') sequence of DNA with its partner MAX protein. It activates the transcription of more than 4000 genes whose products are involved in crucial aspects of cancer biology such as cell proliferation, cell growth, apoptosis and differentiation. There have been many approaches to down regulate MYC or its downstream genes, however, none of them has been succeeded to be developed as an anti-cancer drugs, because of the lack of drug-delivery system, or too complex treatment procedure.

We designed several PI polyamides which recognize E-box



**Fig.1 PI polyamides for E-box sequence**

**A.** Recognition sequence of PI polyamides **B.** Structure of Myc-6 ○=Py; ●=Im, W= A or T

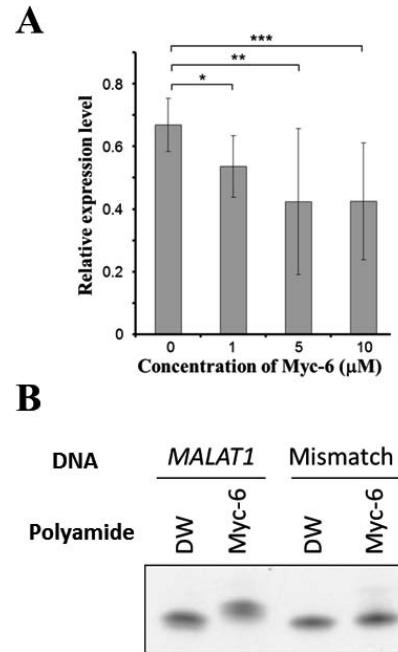


**Fig.2 Growth inhibition of MG63 cells by treatment with Myc-6**

consensus, and found that one of those PI polyamide Myc-6 inhibits proliferation of the many cells including osteosarcoma cell line MG63. The cells treated with 1  $\mu$ M or higher concentration of Myc-6 showed reduced growth rate when they were examined by WST8 assay and colony formation assay. When we analyzed the effect of Myc-6 treatment on cell cycle, dose dependent increase in the number of cells in sub-G1 or G1 phase, and reduction of cells in S-phase was observed. In addition, Myc-6 treatment increased the number of cells showing the phosphatidyl serine, which is the marker of early apoptosis, on their surface membrane, and also we found the increased amount of cleaved-caspase 3 in the cells treated with 10  $\mu$ M of Myc-6. Collectively, those results strongly suggested that Myc-6 has an ability to promote apoptosis in MG63 cells.

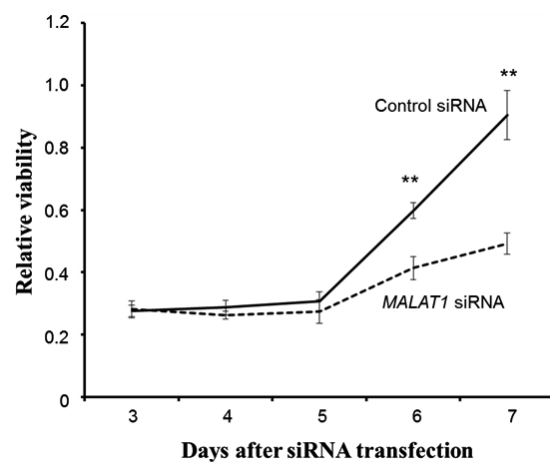
To investigate the effect of Myc-6 *in vivo*, we injected MG63 cells subcutaneously into each anterior flank region of athymic nude mice. When tumor volume reached 200mm<sup>3</sup>, mice were intravenously injected with Myc-6 at 6 mg/kg body weight once a week for a month. We found that Myc-6 treatment suppress tumor growth significantly compared to control cells. In addition, no evidence of toxicity for animals was observed.

By global gene expression analysis using microarray, 18 genes were found to be significantly down-regulated in MG63 cells treated with 10 $\mu$ M Myc-6. Among them, only *MALAT1*, which is coding long non-coding RNA, has Myc-6 binding sequence including E-box like motif on its 5'-upstream region. It was also shown by gel-shift assay that Myc-6 bind to this sequence specifically, and knockdown of *MALAT1* remarkably impaired the growth of MG63. Taken together, our present finding strongly suggested that Myc-6 suppresses malignant phenotypes of MG63 at least in part through the down regulation of *MALAT1* and also might provide a clue to develop a novel anti-tumor drug. Now, we are trying to improve the structure of Myc-6 to show stronger effect, and to develop new curative protocols using Myc-6 or improved Myc-6 in combination with conventional chemo drugs.



**Fig.3 Regulation of *MALAT1* transcription by Myc-6**

**A.** Myc-6 reduced expression level of *MALAT1* in MG63 dose dependently. **B.** In gel shift assay, DNA fragments containing E-box like motif on 5' upstream of *MALAT1* showed clear mobility shift in the presence of Myc-6.



**Fig.4 Effect of knock down of *MALAT1* on the growth of MG63**

## Synthesis of Nano-Tube/Rod and Wide Band Gap Semiconductor Devices

**Kaoru SUZUKI**

Nanomaterials and Nanodevices

My research aims at fabrication of nano-materials and nano-devices for high functional applications such as nano-tube sensor or probe for magnetic force microscope, nano-tube/rod diode or transistor, and wide band gap semiconductor nano-film for water-splitting or light emitting diode or hydrogen storing alloy by using fundamental techniques of nano-process and fabrication of nano-materials. Using the achievement of the investigation, progress of energy conversion system, green- technology and bio-technology can be expected.

### 1. Metal encapsulated carbon nanotube for magnetic force microscope probes

We have synthesized directly ferromagnetic metal (Ni) and alloy (stainless-steel: SUS304) encapsulated linearly-extended carbon nanotubes (CNTs) for probe of magnetic force microscope or spin device on a mesh grid for viewing transmission electron microscope (TEM) by creeping arc discharge of ethanol (liquid) solution and silicon (solid) substrate in the cathode spot at tip of triangular pyramid shaped metal grid. These metals inside CNTs identified Ni and SUS with energy dispersive X-ray (EDX) spectrum analysis. The diameter and length of the metal core is in the range of 10 – 80 nm and 100 – 800 nm with varying heating period and temperature, respectively. The walls consist of cylindrical graphene sheets with 3 -50 layer. ( *Appl. Surf. Sci.*, DOI 10.1016/j.apsusc.2013.11.056, Patent Appl. No. 2010-198325) Figure 1 shows that TEM image of typically phase-separating stainless alloy filled CNT. The structure of the synthesized CNT processes 3 phases which indicate that monocrystal of  $\text{Fe}_{2(1-x)}\text{Cr}_x\text{O}_3$  in A part, polycrystal of  $\text{Fe}_{2(1-x)}\text{Cr}_x\text{O}_3$  in B part and monocrystal of  $\text{Fe}_{(1-x)}\text{Cr}_x$  in C part by NBED analyses. (*JPS Conf. Proc.*2014 )

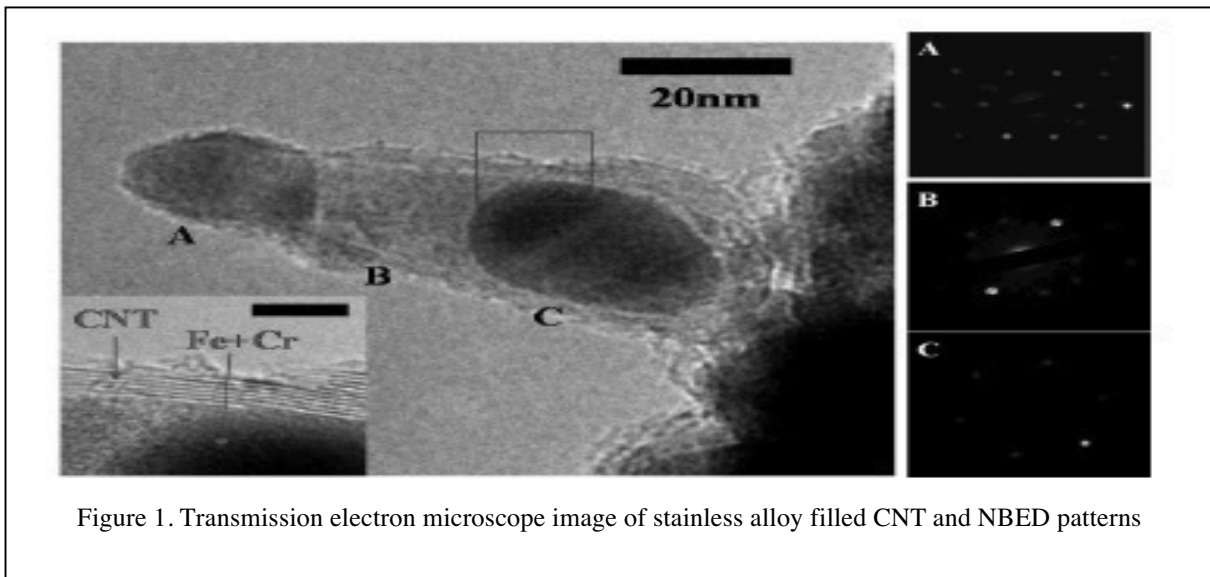
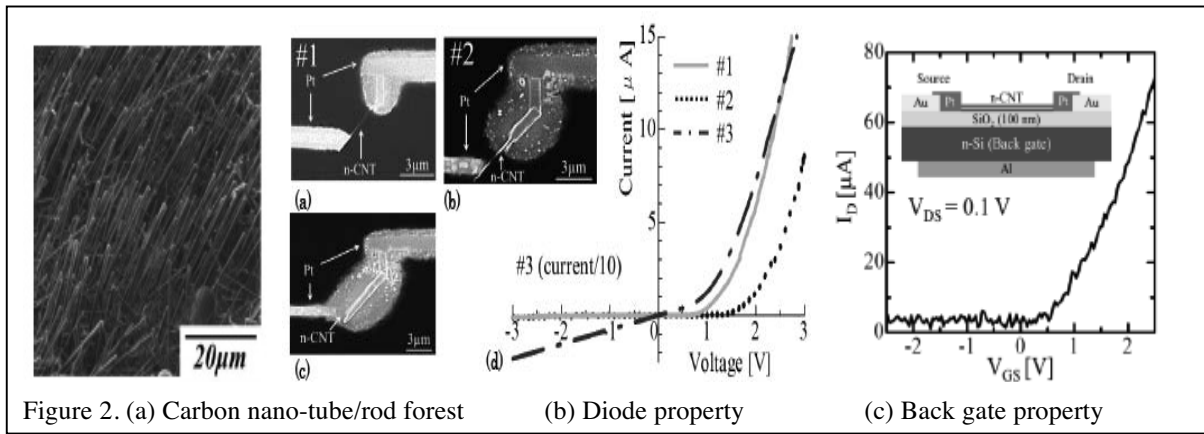


Figure 1. Transmission electron microscope image of stainless alloy filled CNT and NBED patterns

### 2. Creation of carbon nano-tube/rod and diamond-like carbon devices

We have synthesized phosphorus doped carbon nano-tube/rod by Joule heating on ethanol/Si surface assisted with laser irradiation for chirality controlling, and diamond-like carbon films by ion beam plating method (*Appl. Phys. A*, 101, 723-725). Type of p-n junction diode and wiring were created by focused Ga<sup>+</sup> ion beam injection (*J. Nanoele. Optoele.*, 7, 275-278). Carbon nano-tube/rod (*Appl. Surf. Sci.* 255, 9655-9658) forests were closely grown as shown in figure 2 (a), one of a CNT was processed by focused Ga<sup>+</sup> ion beam. Voltage and current characteristic shown diode property in figure 2 (b), and n-type CNT back gate property in figure 2 (c).



### 3. Synthesize of photocatalytic $Sr_xLa_{1-x}TiO_3$ film for hydrogen generation

La doped  $TiO_2$  have attracted great interest for photocatalytic properties, which can be used visible area in solar light although only  $TiO_2$  limiting with ultra violet area. We have successfully crystallized perovskite structure films which were La doped  $TiO_2$  thin film of  $La_2Ti_2O_7$  (Appl. Surf. Sci., 255, 9688-9690), Sr doped  $TiO_2$  thin film of  $SrTiO_3$  and both impurity doped thin film of  $Sr_xLa_{1-x}TiO_3$  ( $x=0.1\sim 0.9$ ). Now, we try to deposit of  $TiO_2$  on polymer films by laser induced forward transfer method. (Appl. Mech. & Mat., 481, 125-128) magnetized coaxial plasma gun is utilized for a deposition of high-melting-point metal such as  $Ti_{0.5}Zr_{0.5}(Fe_{0.2}Mn_{0.8})$  for hydrogen storing alloy collaborative study with professor Nishimiya and Asai. (JPS Conf. Proc.2014, Patent Appl. No.2012-195690)

### 4. Synthesis of ZnO nano-films for light emitting device

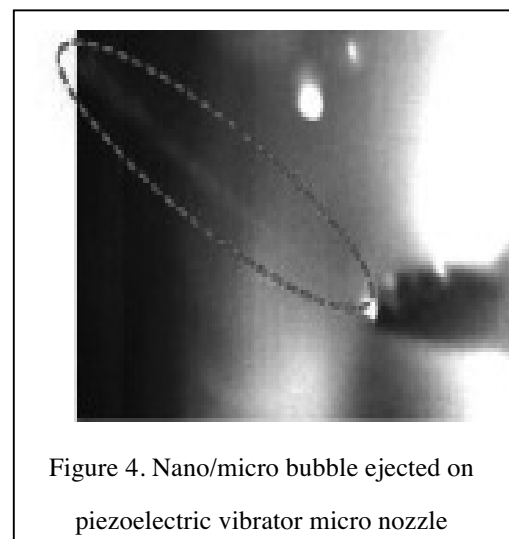
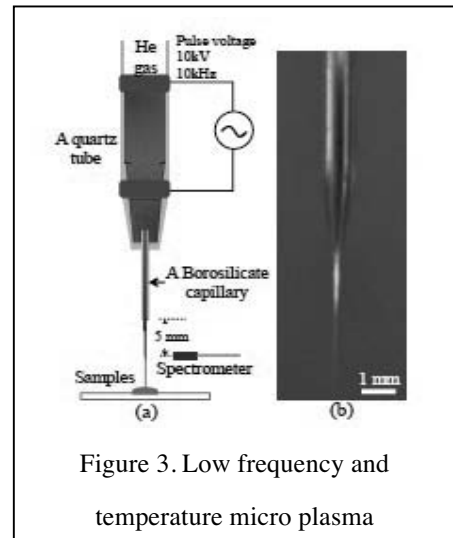
We have synthesis nitrogen doped p-type ZnO nano-films (Appl. Phys. A, 110, 963-966) by infrared light excited pulsed laser deposition method. High quality crystalline of p-type ZnO nano-films were improved (Appl. Phys. A, 101, 723-725) by pulsed YAG laser annealing below 532 nm, and optimum wavelength was 266 nm.

### 5. Bio-electronics

Figure 3 show the sterilization of periodontal bacterium by atmosphere pressure low frequency/temperature micro plasma jet. The diameter of needle plasma was less than 50 mm, and temperature of plasma irradiated area was less than body temperature. Needle plasma showed emission due to OH and O radical. (JPS Conf. Proc.2014 )

### 6. Green technology

Figure 4 show the evolution of controlled nano/micro bubble by laser/focused ion beam fabricated nozzle on piezoelectric vibrator for defecation of water. Micro bubbles were not able to generate from capillary nozzle without piezo-vibration, while micro bubbles, whose diameter was in the range of 2 mm to 500 mm, could be generated from the capillary nozzle with piezo-vibration. (Adv. Mat. Res., 871, 338-341, Patent Appl. No.2012-204982)



## The development of newly molecular targeting drug for prostate cancer by using pyrrole-imidazole (PI) polyamide

Daisuke OBINATA, Satoru TAKAHASHI  
Medicine

Under the close collaboration with Noboru Fukuda, Masayoshi Soma, and Kyoko Fujiwara, we have been developing new molecular targeting drug by PI polyamide for cancer therapy.

Prostate cancer is the second leading cause of cancer death in men in the USA. The androgen receptor (AR) plays a key role in the progression of prostate cancer. Until recently, the mainstay of therapy was to attenuate AR signaling pathway for prostate cancer. However, all men with androgen deprivation therapy for prostate cancer will eventually progress to castration resistant state. At that time they are termed as having castration resistant prostate cancer (CRPC). Several studies have shown that the majority of CRPC still express AR and androgen responsive genes, indicating that the AR signaling pathway is functional under androgen-depleted conditions. In addition, a recurrent fusion of TMPRSS2 with E26 transformation-specific (ETS) family genes were found in about 80% of prostate cancer tissues. ETS genes are transcription regulators, and altered expression or properties of them affect the control of transcriptional processes. Those alterations also could cause development and progression of cancer. Since TMPRSS2, 5'-fusion partner, was upregulated by androgen, AR has been supposed to be important to regulate the fusion genes in the prostate cancer. Aberrant overexpression of ERG induced by TMPRSS2-ERG fusion is likely to be involved in prostate cancer development including castrate resistant. Moreover, recent studies have shown that ligand-dependent binding of AR to intronic binding sites near the specific tumor translocation breakpoints (TGT/AGGGA/T) caused facilitating DNA double-stranded break (DSB) generation.

Pyrrole-imidazole (PI) polyamides are small synthetic molecules that recognize and attach to the minor groove of DNA, followed by inhibition DNA-protein interaction with high affinity and sequence specificity. Synthetic PI polyamides recognize and attach to the minor groove of DNA with high affinity and specificity.

### (1) Efficacy of PI polyamide targeting of TMPRSS2-ERG gene fusion for prostate cancer cells

Here, we examined the effects of a PI polyamide targeting TMPRSS2-ERG translocation breakpoints (Fusion Polyamide) on prostate cancer. First, to determinate the binding affinity and specificity of polyamide to target DNA, gel mobility shift assays were performed. The fusion polyamide showed selective DNA binding ability. To determine whether fusion polyamide affects dihydrotestosterone (DHT)-dependent inter-chromosomal movement and TMPRSS2-ERG expression in LNCaP cells, we performed fluorescence in situ hybridization (FISH) analysis and measured TMPRSS2-ERG expression levels using quantitative reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR). After DHT treatment, the number of cells showing co-localization of TMPRSS2 and ERG was significantly increased in LNCaP cells cultured in the presence of negative control polyamide. This DHT-induced inter-chromosomal movement, however, was significantly decreased in cells cultured with fusion polyamide. The expression level of the TMPRSS-ERG transcript was also increased by DHT treatment; however, it was significantly suppressed in the presence of fusion polyamide compared with negative control polyamide. Moreover, we tested whether the fusion polyamide could down-regulate endogenous *ERG* gene expression. Fusion

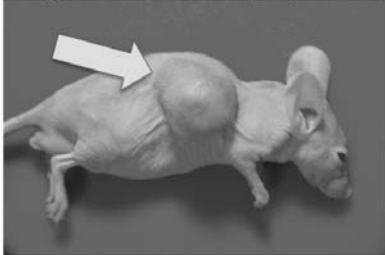
polyamide substantially reduced mRNA expression levels of ERG in LNCaP cells.

Growth and migration of LNCaP cells treated with fusion polyamide were significantly suppressed compared with those of cells treated with negative control polyamide. Moreover, intravenous injection of fusion polyamide to athymic male mice bearing LNCaP-derived tumors resulted in growth retardation of the tumor. These results indicate that targeting of these breakpoint sequences by PI polyamide may be a new therapeutic intervention for prostate cancer (Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 2013-234135).

**(2) Polyamide targeting AR coregulator binding sites in long chain acyl-CoA synthetase 3 (ACSL3) enhancer region**

AR is a member of the nuclear receptor superfamily and functions as a ligand-dependent transcription factor. Upon activation by androgens, AR translocates into the nucleus and binds to the androgen responsive elements (AREs). The transactivation of AR involves several coregulatory proteins. Aberrant expression of AR coregulators leads to AR hypersensitivity, which is one of the mechanisms underlying the progression of prostate cancer into a castrate-resistant state. Previously, we reported that one of nuclear receptor coregulators Oct1 could be a prognostic factor in prostate cancer as a coactivator of AR and may lead to the development of a new therapeutic intervention for prostate cancer (Obinata, Takahashi, et al. *Int J Cancer* 2012). Moreover, lipid metabolism is one of the diverse cellular functions regulated by androgen. ACSL3, which converts free long-chain fatty acids (16–22 carbons) into acyl-CoAs for ATP production through beta-oxidation and the generation of various lipids, was first reported as an androgen-responsive gene and ubiquitously expressed at the highest level in prostate tissue. Our previous chromatin immunoprecipitation study showed that the upstream region of ACSL3 includes a functional androgen receptor binding site (ARBS), which was putative ACSL3 enhancer. We found two non-canonical AREs, two Oct1 binding motifs, and one GATA2 motif in the putative ACSL3 enhancer ARBS in sequence. We validated two AREs and one Oct1 motif are functional by luciferase assay. Therefore, we prepared the novel PI polyamide targeting the Oct1 binding sites in ACSL3-ARBS (Oct1 BS polyamide) for selective knockdown of ACSL3. Cells were treated with either DHT for 24 h following luciferase assay. Synthetic PI polyamides targeting the Oct1 binding sites suppressed the proliferation and invasion of androgen-sensitive LNCaP prostate cancer cells, as well as in vivo tumor growth of LNCaP-derived xenografts in mice. These data indicate that ACSL3 plays an important role in prostate cancer progression and could offer a novel therapeutic strategy (Japanese patent application No 2013-048126).

Negative control polyamide



Fusion polyamide



Figure 1. Fusion polyamide represses tumor formation of LNCaP cells in nude mice. Seven-week-old athymic male mice were implanted with  $3 \times 10^6$  tumor cells and fusion polyamide or negative control polyamide was injected into the tail vein once weekly.

Photographs of mice harboring tumors after 4 weeks of treatment with pyrrole–imidazole (PI) polyamide.



# Mechanism of Superconductivity in Layered Iron-Arsenide Superconductors and Search of New Superconducting Compounds

Yoshiki TAKANO

Nanomaterials and Nanodevices

## 1. Introduction

In 2006, it was reported that (LaO)FeP became superconducting at about 4 K. Since LaFeAsO<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub> was discovered to be a superconductor in 2008, many iron-based superconductors have been found. All iron-based superconductors have Fe square lattices and they are classified roughly into four compounds, 1111, 111, 122, and 11 type superconductors due to their compositional ratio. In 2008, it was also reported that the superconducting transition temperature  $T_c$  of Sr<sub>0.6</sub>La<sub>0.4</sub>FeAsF was 26 K and that of Sr<sub>0.5</sub>Sm<sub>0.5</sub>FeAsF was 56 K. In 2010, oxygen deficient LaFeAsO<sub>0.89</sub> was also reported to be a superconductor with  $T_c$  of 28 K. As we have studied the electrical and magnetic properties of LaZnPnO (Pn=P, As, Sb) before the discovery of iron-based superconductors, we have mainly studied the 1111 type superconductors.

## 2. Experimental Results and Discussions

### 2.1 Superconductivity of La Deficient La<sub>1-x</sub>OFeP

Although the superconducting transition temperature  $T_c$  of (LaO)FeP was firstly reported to be about 4K, several research groups reported different  $T_c$  in (LaO)FeP. Thus, the electrical properties of LaOFeP was controversial. We have succeeded to prepare almost single phase samples of La<sub>1-x</sub>OFeP. The superconducting transition temperature  $T_c$  of (LaO)FeP is found to be 4.7K.  $T_c$  firstly increases with  $x$  and has a maximum value of 7 K at  $x = 0.10$  and then decreases. The origin of the increase and the decrease of  $T_c$  is considered to be an introduction of holes in FeP layers due to the La deficiency. This result indicates that the origin of the previously reported scattering of  $T_c$  is the off-stoichiometry of the samples [1].

### 2.2 Crystal Structure and Superconducting Properties of Sr<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>FeAsF (R=La, Pr, Nd, Sm)

When a part of Sr site was substituted by rare earth ions in SrFFeAs, the structural phase transition is suppressed and the superconductivity occurs. The study of Sr<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>FeAsF besides R = La and Sm is quite a few. Then, we have prepared Sr<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>FeAsF (R=La, Pr, Nd, Sm) and investigated their electric and magnetic properties. We have succeeded to almost single phase samples of them although a small amount of SrF<sub>2</sub> impurity is observed. The highest  $T_c$  is 49 K for Sr<sub>0.5</sub>Nd<sub>0.5</sub>FeAsF. This value is comparable with that of Sr<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>FeAsF. The value of the temperature derivative of the upper critical magnetic field ( $dH_{c2}/dT$ ) at  $T_c$  is -1.5 T/K and the estimated value of  $H_{c2}$  at 0 K becomes about 75 T [2]. On the other hand, lattice parameters and  $T_c$  of Sr<sub>1-x</sub>Pr<sub>x</sub>FeAsF are quite different from those of other compounds. This implies that Pr ions are not trivalent in Sr<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>FeAsF.

### 2.3 Preparation and Electrical Properties of SrFeAsF<sub>1-x</sub>

As the electron doping due to the oxygen deficiency in LaFeAsO<sub>1-y</sub> induces high  $T_c$  superconductivity, high  $T_c$  superconductivity is also expected in SrFeAsF<sub>1-x</sub>. Although the absolute values of the electrical resistivity decreases with  $x$ , superconductivity is not observed above 3 K. The temperature dependence of the electrical resistivity is analyzed by the following power law formula;  $\rho(T) = \rho_0 + AT^n$  (Fig. 1). Although superconductivity is observed in the samples with  $n = 1 \sim 2$  for other iron-based superconductors, it is not observed in the sample with  $x = 0.25$  which has  $n$  of

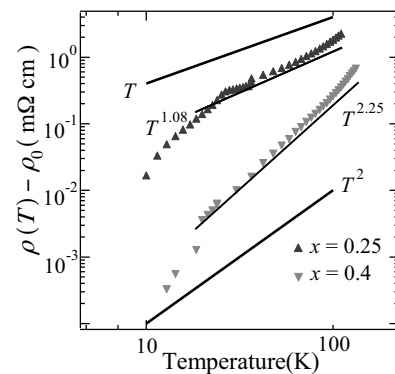


Fig. 1 Relation between  $\log(\rho(T) - \rho_0)$  and  $\log T$ .

1.08 in this system.

## 2.4 Superconducting Properties of $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$ ( $\text{R}=\text{La}, \text{Nd}, \text{Sm}$ )

We have prepared the fluorine deficient  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  for the optimum rare earth substituted  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}$  ( $\text{R}=\text{La}, \text{Nd}, \text{Sm}$ ).  $T_c$  decreases with  $y$  although the rare earth substitution and fluorine deficiency are expected to produce the same effects. The temperature dependence of the electrical resistivity in the normal region is analyzed by a power law, where  $\rho_0$  was the resistivity just above  $T_c$ . Figure 2 shows the relation between  $n$  and  $y$  of  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$ ;  $x = 0.4$  for  $\text{R} = \text{La}$  and  $x = 0.5$  for  $\text{R} = \text{Nd}$  and  $\text{Sm}$ . As F deficiency  $y$  increases,  $n$  increased. This result is different from the previous study. Figure 3 shows the relation between  $n$  and  $T_c$  of  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$ . As  $n$  increases,  $T_c$  decreases. Similar tendency was observed in other iron-based superconductors. It is independent of R ions. While the superconductivity is observed up to  $y = 0.15$  for  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  (low  $T_c$  compound), the superconductivity disappears at  $y = 0.05$  for  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  ( $\text{R} = \text{Nd}, \text{Sm}$ ) (high  $T_c$  compound).  $n$  increases rapidly for  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$  ( $\text{R} = \text{Nd}, \text{Sm}$ ) in a small  $y$  region and it gradually increases with  $y$  for  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{FeAsF}_{1-y}$ .

## 2.5 Crystal Structure and Electrical Properties of $\text{LaFe}_{1-y}\text{Zn}_y\text{AsO}$

Recently, it was reported that the optimum value of  $y$  which showed the highest  $T_c$  varied with  $x$  in  $\text{LaFe}_{1-y}\text{Zn}_y\text{AsO}_{1-x}\text{F}_x$ . We have prepared  $\text{LaFe}_{1-y}\text{Zn}_y\text{AsO}$  for  $0 \leq y \leq 1$ . Mixed phase samples with  $\text{LaFeAsO}$  and  $\text{LaZnAsO}$  were obtained for middle region of  $y$ . Almost single phase samples were obtained for  $y \leq 0.2$ . Lattice constants  $a$  and  $c$  increased with  $y$  in this region.

## 2.6 Preparation and Superconductivity of $\text{LiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$ and $\text{Li}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeAs}$

$\text{LiFeAs}$  is called 111-superconductor and is a superconductor with  $T_c$  of 18 K itself, which is different from other superconductors. We have prepared  $\text{LiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$  and  $\text{Li}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeAs}$ .  $T_c$  of  $\text{LiFeAs}$  is 10.8 K which is smaller than the reported value.  $T_c$  of  $\text{LiFe}_{0.98}\text{Co}_{0.02}\text{As}$  is 9.5 K and  $T_c$  decreases with increasing Co concentration.  $\text{Li}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{FeAs}$  does not show superconductivity above 3 K.

## 2.7 Electrical Properties of $\text{SrFe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{AsF}$

As a part of the Fe site is substituted by Co ions in the FeAs-layer, it is reported that superconductivity occurs at 4 K. If the extra number of  $d$  electrons is important for the occurrence of superconductivity, Ni ions is considered to be more effective for the superconductivity. Then, we have prepared  $\text{SrFe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{As}$ . Almost single phase samples are obtained for  $0 \leq x \leq 0.2$ . The kink temperature observed in the  $\rho$ - $T$  curve which is due to the structural phase transition decreases with increasing  $x$ . Although all samples show a metallic conductivity, they are not superconducting above 3 K.

## 2.8 Basic study for the application of $\text{Sr}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeAsF}$ for the superconducting wire rod

The upper critical magnetic field of  $\text{Sr}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{FeAsF}$  is higher than that of  $\text{MgB}_2$  that has the highest critical current density.

[1] X. Jin, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, *J. Alloys and Compounds* **2009**, 488, L14-L16.

[2] R. Sukanuma, Xinzhe Jin, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, *J. Physics Conference Series* **200** (2010) 012193.

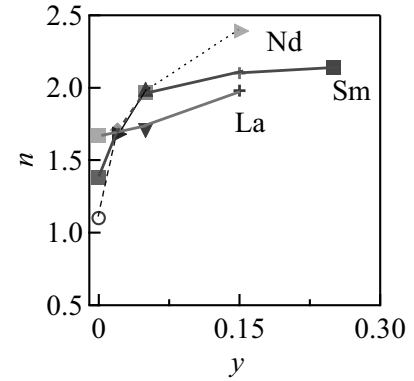


Fig.2 The relation  $n$  vs.  $y$  in  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$

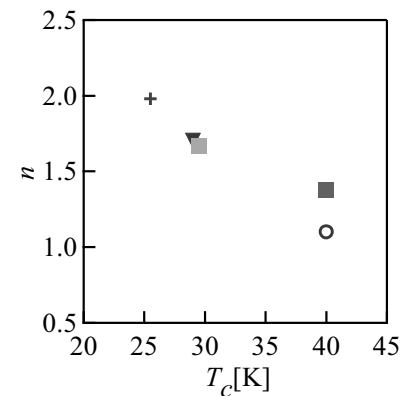


Fig. 3 The relation  $n$  vs.  $T_c$  in  $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}_{1-y}$

## Ultra High Density Information Recording Materials on Self Assembled Nano-structured Substrates

**Arata TSUKAMOTO, Akiyoshi ITOH**

Information Storage; Supramolecules and Self-Assembly

In recent years, much attention has been focused on nano-structured magnetic media for achieving ultra high density recording up to several Tbit/inch<sup>2</sup>. Combining self-assembly nano-structured substrates with defined magnetic properties provided by a magnetic film deposited onto the surface, enable a noble approach to create magnetic nanostructure arrays. We tried to prepare and utilize nano-structured substrates such as silica thin film having self-assembled nano-pores and self-assembled silica particle substrate.

### 1. Development of nano template substrate prepared by self-organization/-assembly phenomena

We tried to prepare and utilize nano-structured substrates such as SiO<sub>2</sub> thin film having self-assembled nano-pores and self-assembled silica particle substrate. Here, methods are presented for preparing the two different kinds of nano-structured substrates. One of them is a Nano-Dent Array (NDA) at the surface of SiO<sub>2</sub> layer which is including closed packed nano-pores prepared by the polymer micelles technique (Figures 1, 2) and the other is Self-Assembled spherical small Silica Particles (SASP) fabricated on Si substrates by the dip coating method (Figures 3, 4).

#### 1-1 preparation of a Nano-Dent Array structure

##### 1-1-1 Enlargement of the areal size of single domain nano-pore array structure

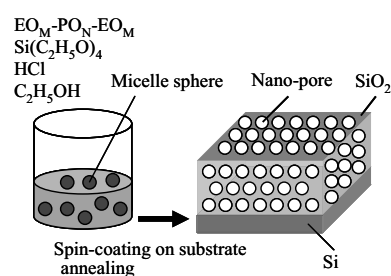
By reducing the molecular weight, the average diameter of nano-pores was decreased from 8nm (as see Fig. 2) to 5nm. Furthermore, the areal size of single domain nano-pore array structure was enlarged up to around 1 $\mu$ m<sup>2</sup> (> 8.8 $\times$ 10<sup>5</sup> nm<sup>2</sup>) by reconsideration of fabrication process especially the sequence of compound molecules. See Fig. 5.

##### 1-1-2 Thinning the silica layer with aligned nano pore array structure as 2 dimensional nano-pore array structure

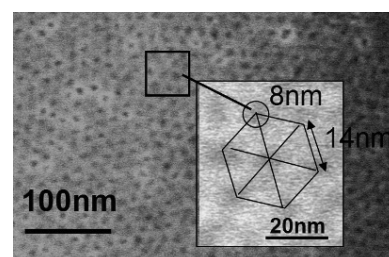
Nano-porous Silica layer was prepared by utilizing self-assembling phenomenon with main components of triblock copolymer(A), Tetra-Eth-Oxy-Silane (TEOS)(B), water with HCl(C) and Ethanol(D). Ethanol evaporates with drying process. By increase just the amount of Ethanol with keeping same ratio of other components A – C, prepared silica layer thickness was successfully reduced then achieved 2 dimensional nano-pore array structure.

##### 1-2 Nano structured template having a conjugate relation with nano-pore structure

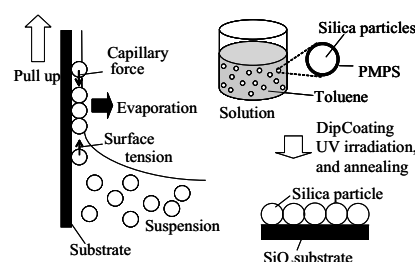
As another type of nano structured template having a conjugate relation with nano-pore structure, nano convex pattern was prepared



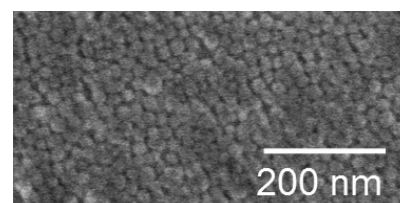
**Fig. 1** Fabrication of SiO<sub>2</sub> thin films having self-assembled nano-pores.



**Fig. 2** SEM image of NDA (Nano Dent Array) surface.



**Fig. 3** Fabrication of SASP (Self-Assembled spherical small Silica Particles) layer.



**Fig. 4** SEM planer view of SASP (Self-Assembled spherical small Silica Particles) surface.

by using self-assembled spherical silica particles followed by inductively coupled plasma reactive ion etching.

## 2. Preparation of isolated nano-magnetic particles by Rapid Thermal Annealing method

The Rapid Thermal Annealing (RTA) of Pt/Cu/Fe multilayered continuous films is effective to obtain perpendicularly magnetized small  $L1_0$ -FeCuPt grains on thermally oxidized Si substrate. We introduced Rapid Cooling Process into RTA. With the rapid cooling process, growing of grains were prevented, however new shoulder peak in XRD (X-ray diffraction) profile were appeared at slightly lower angle of FeCuPt (002) peak and it might be correspond to the disordered structure of FeCuPt. From electron diffraction patterns and dark field images of single grain by TEM, mostly  $L1_0$ -ordered polycrystalline structure was observed. Therefore, we preformed additional annealing to above isolated FeCuPt grains by using same annealing chamber of RTA, for crystallizing those poly-crystal grains to form single crystalline grains.

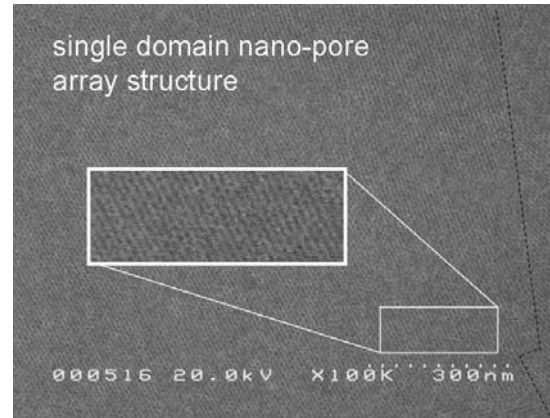
Annealing condition was decided as 600 degree C for 1 hour. The ordering temperature of FePt alloy is ~600 degree C and estimated atomic diffusion length is the order of third nearest neighbor distance in FePt at the annealing condition. From the comparison of the XRD profiles, the intensity of (001) super lattice peak which indicate the formation of  $L1_0$ -ordered phase is increased, and the shoulder peak at slightly lower angle of (002) is banished as shown in Fig. 6. Thus, FeCuPt grains and are expected to form single crystalline grains. After additional annealing, grains kept almost similar size. Furthermore, we observed crystal structure of a typical single grain after additional annealing by TEM. In most of grains, octagonal symmetric shape is appeared as shown in Fig. 7. From electron beam diffraction measurement of the single grain, series of  $\{110\}$  super lattice and  $\{200\}$  lattice spots are observed with fourfold-symmetry.  $\{110\}$  spots indicate the formation of  $L1_0$ -ordered structure. Thus, the grain consists of c-axis oriented single crystalline structure from complementary results of XRD covering macroscopic area and localized electron beam diffraction.

As a result, we found that an application of adequate additional annealing makes grains into  $L1_0$  single crystalline structures and grains kept almost similar size.

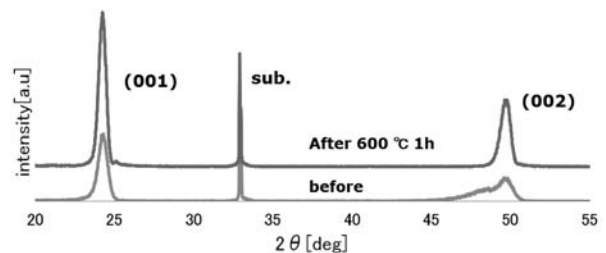
## 3. Achievement of high areal density magnetic particles

From the utilization of self-assembly prepared nano-structured substrate, high density FeCuPt magnetic nano-grains was prepared by rapid thermal annealing method as 5.4 T particles/inch<sup>-2</sup> with average grain diameter of ~10 nm.

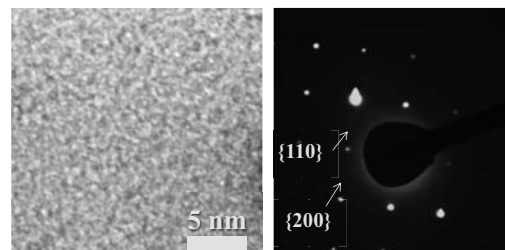
Furthermore, multiple formation process of the grain was performed for further increase in areal density of grains. By using this procedure, we got higher areal density of grains as 3.2 T particles/inch<sup>-2</sup> on flat oxidized Si substrate.



**Fig. 5** SEM image of silica thin film having nano dent array structure.



**Fig. 6** XRD profiles of before and after the additional annealing



**Fig. 7** Bright field image of TEM and Electron diffraction pattern for an isolated grain after additional annealing.

## Ultra-Fast Information Recording and Ultra-Fast Photo Magnetic Switching

Arata TSUKAMOTO

Information Storage; Supramolecules and Self-Assembly

The ever increasing the capacity of storing information motivates the search for faster approaches to process and magnetically record information. Most computers store data on magnetic hard disk drives, in which the direction – “up” or “down” – of the magnetic moments in a small region of the disk corresponds to a binary bit. However, it was faced to unavoidable fundamental problem for faster operation in conventional way known as ferromagnetic resonance limit. We have experimentally demonstrated that an excitation of magnetization reversal phenomena can be triggered by the ultra-short pulsed laser irradiation. This finding reveals an ultrafast and efficient pathway for writing magnetic bits. Based on deep understanding of relationship between light and magnet including above new discovery, we are striving to establish the fundamental techniques of researching and developing ultrafast spin manipulation.

### 1. Ultra-fast demagnetization of magnetic recording media with ultra-short pulsed laser

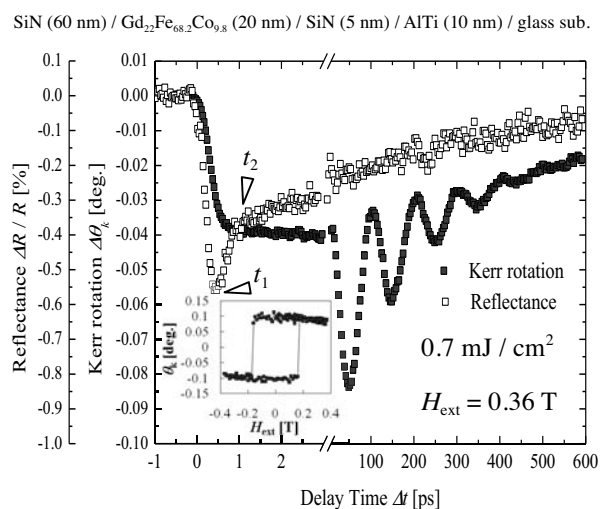
In conventional magneto-optical (MO) recording which triggered with nanoseconds pulsed laser irradiation, the time scale of heat-up and cool-down process depends on thermal diffusion property in multilayered recording media. The speed limits of heating and cooling process are important issue for fast heat assisted magnetic recording. Femtosecond pulsed laser light allow excitation of magnetic systems much shorter than the time scale of thermal diffusion. In this study, we investigated the film structure dependence of ultrashort laser-induced demagnetization of 20 nm thick GdFeCo alloy films, under the variety of with / without intermediate dielectric layer and heat sink layer. After the laser excitation, we found two time region from magnetic behavior: rapid step-like reducing process of magnetization and following recovering process with precessional motion. Figure 1 shows the ultrafast magnetic response of 20 nm thick GdFeCo alloy films triggered with ultrashort laser pulse irradiation measured by all-optical pump-probe method. Simultaneously, change of normalized reflectivity  $\Delta R / R$  was measured for monitoring the time evolution of electron temperature.

The time scale of first rapid step-like demagnetization processes is conformed as within picoseconds range independently with film structure, which is much shorter than characteristic time scale of ferromagnetic resonance for all the cases. Following hundreds ps regime, film structure dependent precessional motion of magnetization was appeared. (*J. Magn. Soc. Jpn.*, 2012)

Furthermore, we demonstrated thermo-magnetic recording by ultra-short single laser pulse (FWHM: 90 fs).

### 2. All optical magnetization switching phenomena with ultra-short pulsed laser

It has been unexpectedly found that the ultrafast laser-induced spin reversal in GdFeCo, where spins are coupled antiferromagnetically, occurs by way of a transient ferromagnetic-like state (*Nature* 2011). Such a novel strongly non-equilibrium spin dynamics may lead to yet



**Fig. 1** Time-evolutions of the change of magneto-optical Kerr rotation  $\Delta\theta_k$  and the normalized change of reflectivity  $\Delta R / R$  of 20nm thick Gd<sub>22</sub>Fe<sub>68.2</sub>Co<sub>9.8</sub> alloy films. Inset figures show the magneto- optical Kerr effect hysteresis loops of each sample measured by same time-resolved observation set-up without pump laser.

unexplored magnetization reversal. We found that magnetization reversal could be achieved without any magnetic field, using an ultrafast thermal energy load alone (*Nature communications* 2012). Until now it has been generally assumed that heating alone, not represented as a vector at all, cannot result in a deterministic reversal of magnetization, although it may assist this process. We found experimentally deterministic magnetization reversal in a ferrimagnetic GdFeCo driven by an ultrafast heating of the medium resulting from the absorption of a sub-picosecond laser pulse without the presence of a magnetic field. Fig. 2 shows magneto-optical image of magnetic domains after single pulse laser irradiations. Subtracted (difference of each sets of images) images shows various magnetic domain was reversed in same areal size by laser irradiation for all the cases. A further set of experiments shows that this switching occurs independently of polarization and initial state in thin films of GdFeCo. Importantly for technological applications, we show experimentally that this type of switching can occur when starting at room temperature.

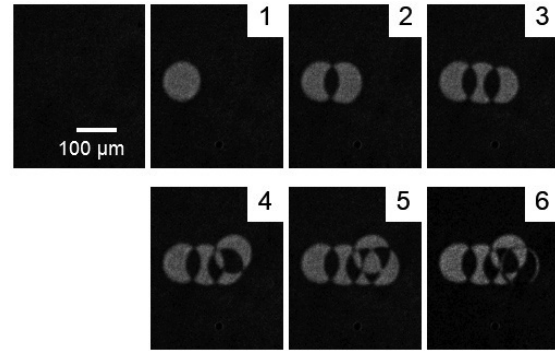


Fig. 2 Magneto-optical image of magnetic domains after single pulse laser irradiations.

### 3. The origin of all-optical light helicity-dependent magnetic switching

Direct demonstration of all-optical light helicity-dependent magnetic switching (AO-HDS) was observed in ferrimagnetic GdFeCo alloys in the absence of an external magnetic field, which became subject of intense discussion in modern magnetism. The most obvious explanation via the inverse Faraday effect (IFE) could only very qualitatively account for the previously observed features. What is the origin of the helicity dependence in the all-optical switching?

We found that all-optical switching with circular polarized (CP) femtosecond laser pulses in ferrimagnetic GdFeCo is related to the collinear sub-lattice magnetization and not with the net magnetization. Furthermore, we reached an explanation of the AO-HDS based on magnetic circular dichroism (MCD). Using magneto-optical microscopy in combination with femtosecond pulsed light, we measured the composition dependency ( $X:22\sim 27$ ) of AO-HDS in  $Gd_x(Fe_{87.5}Co_{12.5})_{100-x}$ . The relation between the direction of reversed net magnetization and helicity of the light changed sign by going across the magnetization compensation composition ratio  $C_M$  ( $X\sim 24.5$ ). We also found that the sign of MCD changed at  $C_M$ . It was hypothesized that CP light acts as a strong effective magnetic field pulse  $H_{OM}$  on the spins of the medium through the IFE. The direction of  $H_{OM}$  is then defined by the helicity of the light. The above results do not match with the description based on the IFE. We already reported that ultrafast heating can act as a sufficient stimulus for magnetization reversal in a ferrimagnet with taking into account the multi-sublattice nature as mentioned in section 2. The above results show that the helicity-dependent absorption in a multi-sublattice magnetic layer exactly matches the helicity-dependent features in switching experiments. (*Springer Verlag*, 2014)

We demonstrate that via careful tuning of the conditions in circularly polarized laser irradiation, it is possible that all optically and magnetically record an information in the metallic ferrimagnet GdFeCo as shown in Fig. 3. Furthermore, we clarified that the magnetization direction of high anisotropic magnetic recording media of TbFeCo can be switched by irradiation of circularly polarized ultra-short pulsed laser without magnetic field.

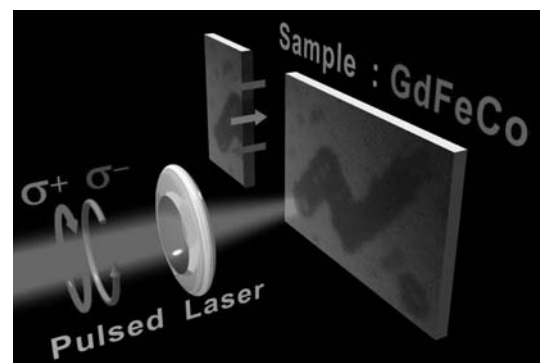


Fig. 3 The demonstration of all-optical information recording on magnetic media.

## Switching Effect and Confinement efficiency by Dielectric Waveguide with Photonic Nanostructures

**Tsuneki YAMASAKI**

Quantum Theory and Computation

We have analyzed the scattering and guiding problems by dielectric waveguides with defects composed of dielectric circular cylinders array loaded with dielectric rectangular cylinder and arbitrary dielectric structure in the middle layer, and investigated the influence of power transmitted coefficients by using the combination of improved Fourier series expansion method and multilayer method and the distribution of energy flow for defect area utilizing the propagation constants at the guided region. We have investigated the optimum dielectric structure to obtain the switching effects or confinement efficiency.

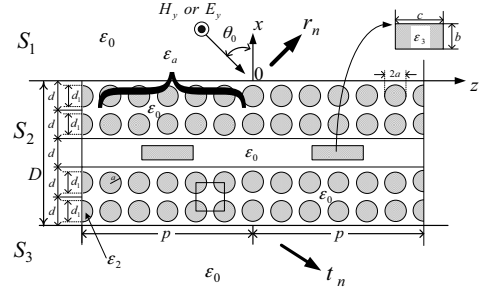


Fig.1 Structure and coordinate system of dielectric waveguide loaded with dielectric rectangular cylinder in the middle layer

Numerical results are given for the influence of the incident angle and normalized frequency of the transmitted power in terms of the parameter  $\epsilon_3/\epsilon_0$  of the rectangular cylinders in the middle layer sandwiched between two multilayers, yielding the basis characteristics of resonance peak for switching or frequency selective devices for both TM and TE cases.

### 1. Switching effect of photonic structure for case of loaded with dielectric rectangular cylinder<sup>[1]</sup>

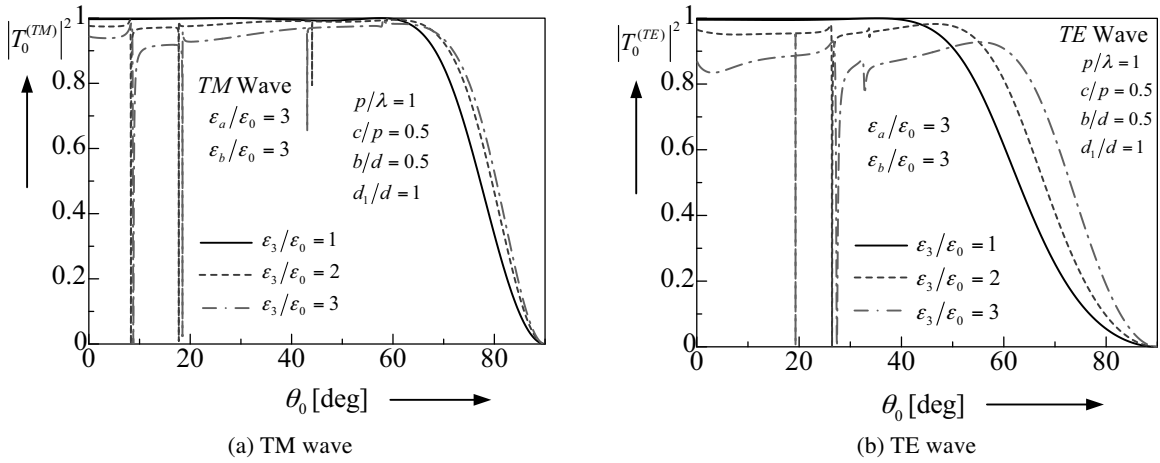


Fig.2 0-th mode power transmitted coefficients vs. incident angle

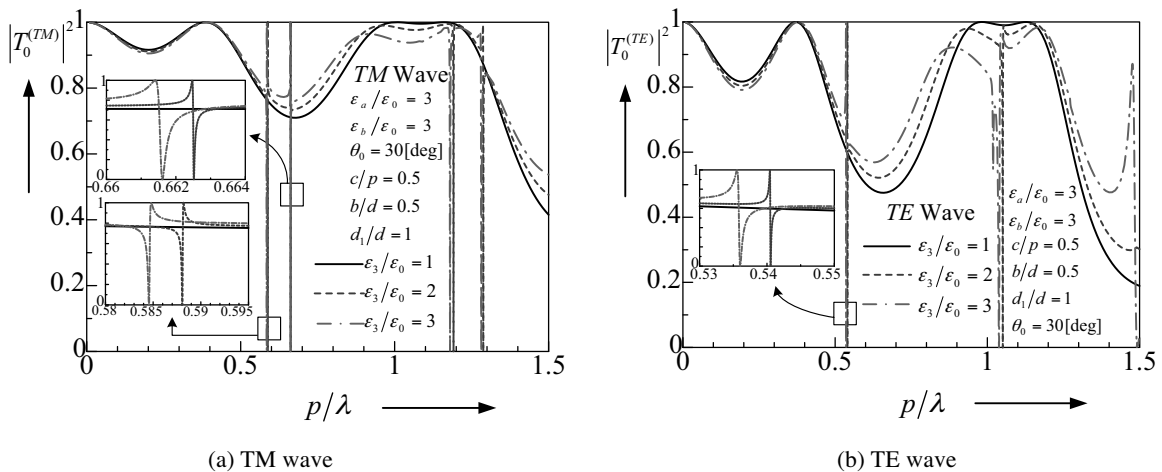


Fig.3 0-th mode power transmitted coefficients vs. normalized frequency

## 2. Confinement efficiency of photonic structure for case of loaded with arbitrary dielectric structures<sup>[2,3,4]</sup>.

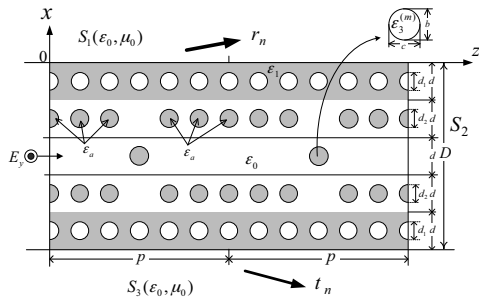


Fig.4 Structure and coordinate system of dielectric waveguides composed of dielectric circular cylinder array with air-hole

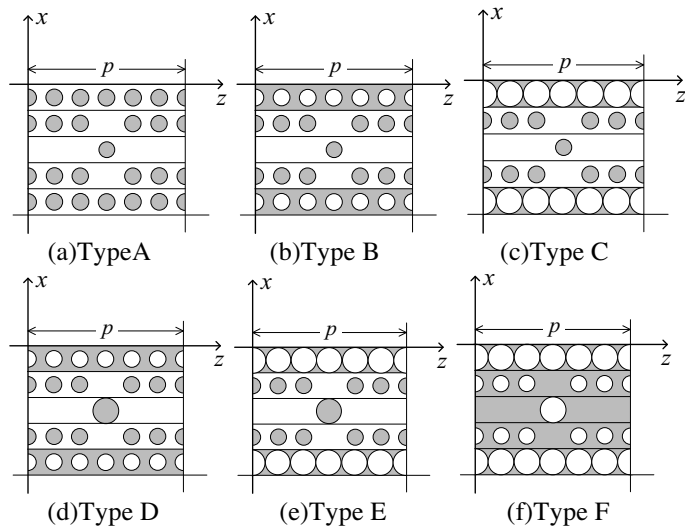


Fig.5 Structure of dielectric waveguide model

We consider the dielectric waveguides composed of dielectric circular cylinder array with air-hole type circular cylinder array as shown in Fig.4. Here, the structures in this study of analyses model are shown in Fig.5.

Figures 6(a) and (b) show the distribution of energy flow at the guided area for types A and B as condition of excited normalized frequency  $p/\lambda = 0.4814$  and  $p/\lambda = 0.4368$ , respectively. And also, the circles of solid and dashed lines denote the position that it is placed the dielectric circular cylinders or air-hole circular cylinders corresponding to in Fig.5.

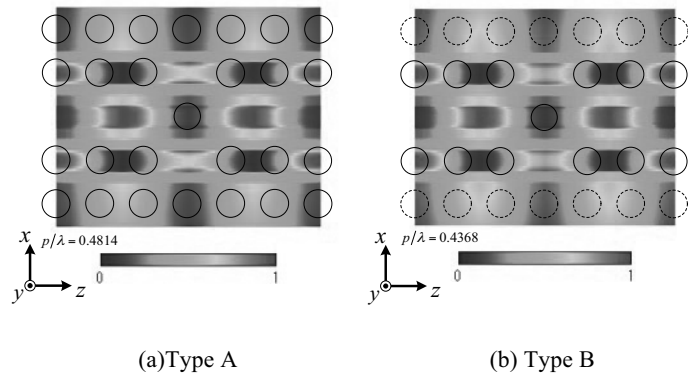


Fig.6 Distribution of energy flow at guided area for types A and B

From these results, we can see the following features:  
 (1) From a comparison of structure type A and type B, the energy of defect area for type B can be concentrated than that of structure type A.

(2) We obtained the confinement efficiency by type B compared with previous structure type A<sup>[2,3,4]</sup>.

[1]R. Ozaki, T. Yamasaki, and T. Hinata ; “Scattering of Electromagnetic Waves by Dielectric Gratings with Dielectric Rectangular Cylinders Sandwiched between Two Multilayeres”, *IEEJ Trans. Fundamentals and Materials*, vol.129-A, no.10, pp.718-724, 2009.

[2]R. Ozaki and T. Yamasaki ; “Distribution of Energy Flow by Dielectric Waveguide with Rhombic Dielectric Structure along a Middle Layer”, *IEICE Electronics Express*, vol.9, no.7, pp.698-705, 2012.

[3]R. Ozaki and T. Yamasaki ; “Distribution of Energy Flow for Defect Area by Air-hole Type Dielectric Waveguide”, *The Technical Report of the IEEJ*, EMT-12-70, pp.29-34, 2012. (in Japanese)

[4]R. Ozaki and T. Yamasaki ; “Distribution of Energy Flow and Propagation Characteristics by Multilayered Dielectric Waveguide Composed of Dielectric Circular Cylinders and Air-hole Type Circular Cylinders”, *The Technical Report of the IEEJ*, EMT-12-175, pp.1-6, 2012. (in Japanese)



## 業績目次/Contents of Publications and Achievements

1. 浅井 朋彦, Tomohiko Asai
2. 浅田 泰男, Yasuo Asada
3. 伊掛 浩輝, Hiroki Ikake
4. 石田 浩, Hiroshi Ishida
5. 伊藤 彰義, Akiyoshi Itoh
6. 井上 修一郎, Shuichiro Inoue
7. 岩田 展幸, Nobuyuki Iwata
8. 大月 穰, Joe Otsuki
9. 大貫 進一郎, Shinichiro Ohnuki
10. 加野 浩一郎, Koichiro Kano
11. 草深 竹志, Takeshi Kusafuka
12. 桑本 剛, Tsuyoshi Kuwamoto
13. 越永 従道, Tsugumichi Koshinaga
14. 佐甲 徳栄, Tokuei Sako
15. 十代 健, Ken Judai
16. 鈴木 薫, Kaoru Suzuki
17. 相馬 正義, Masayoshi Soma
18. 高野 良紀, Yoshiki Takano
19. 高橋 悟, Satoru Takahashi
20. 高橋 元一郎, Motoichiro Takahashi
21. 茶圓 茂, Shigeru Chaen
22. 塚本 新, Arata Tsukamoto
23. 中川 活二, Katsuji Nakagawa
24. 永瀬 浩喜, Hiroki Nagase
25. 行方 直人, Naoto Namekata
26. 西宮 伸幸, Nobuyuki Nishimiya
27. 羽柴 秀臣, Hideomi Hashiba
28. 橋本 拓也, Takuya Hashimoto
29. 福田 昇, Noboru Fukuda
30. 藤川 和男, Kazuo Fujikawa
31. 藤原 恭子, Kyoko Fujiwara
32. 舩廣 善和, Yoshikazu Masuhiro
33. 松下 祥子, Sachiko Matsushita
34. 松本 宜明, Yoshiaki Matsumoto
35. 望月 章介, Shosuke Mochizuki
36. 山崎 恒樹, Tsuneki Yamasaki

## 業績/ Publications and Achievements

### 1. 浅井 朋彦/Tomhiko Asai

#### 論文/Papers

1. S. Koike, T. Watanabe, T. Mitsui, T. Takahashi, T. Asai, “Heating Effects of Background Neutral Particles on a Translated Field-Reversed Configuration”, *Fusion Science and Technology* **2013**, 63/1T, 377-379.
2. T. Onchi, Y. Liu, M. Dreval, D. McColl, S. Elgriw, D. Liu, T. Asai, C. Xiao and A. Hirose, “Effects of compact torus injection on toroidal flow in the STOR-M tokamak”, *Plasma Physics and Controlled Fusion* **2013**, 55/ 035003, 1-10.
3. T. Asai, M. Yamazaki, H. Tomuro, H. Itagaki, M. Inomoto, To. Takahashi, “Generation of a Magnetized Plasma Shield by Means of a Rotating Magnetic Field for Innovative Space Transportation”, *Trans. JSASS* **2012**, 10, ISTS28, Pc\_73-Pc\_78.
4. T. Ii, K. Gi, T. Umezawa, T. Asai, M. Inomoto, and Y. Ono, “Development of a low-energy and high-current pulsed neutral beam injector with a washer-gun plasma source for high-beta plasma experiments”, *Review of Scientific Instruments* **2012**, 83, 083504 1-5.
5. S. Elgriw, D. Liu, T. Asai, A. Hirose and C. Xiao, “Control of magnetic islands in the STOR-M tokamak using resonant helical fields”, *Nuclear Fusion*, 51, 113008 (2011), 1-10.
6. T. Asai, H. Itagaki, H. Numasawa, Y. Terashima, Y. Hirano, and A. Hirose, “A compact and continuously driven supersonic plasma and neutral source”, *Review of Scientific Instruments* **2010**, 81 (10E119) 1-3.
7. H. Tomuro, T. Asai, K. Iguchi, Ts. Takahashi, and Y. Hirano, “Development of a compact tomography camera system using a multianode photomultiplier tube for compact torus experiments”, *Review of Scientific Instruments* **2010**, 81 (10E525) 1-3.
8. T. Asai, Ts. Takahashi, H. Matsunaga, H. Itagaki, Y. Matsuzawa, Y. Hirano, To. Takahashi, M. Inomoto, L.C. Steinhauer and A. Hirose, “Active Stability Control of a High-Beta Self-Organized Compact Torus”, *Proceedings of 23rd Fusion Energy Conference* **2010**, ICC/P5-01, 1-8.
9. M. Inomoto, H. Imanaka, Y. Hayashi, S. Ito, Y. Ito, H. Nonaka, H. Tanabe, T. Ii, K. Suzuki, A. Kuwahata, T. Sakamoto, A. Matsuda, A. Azuma, Y. Nemoto, A. Ohsaki, T. Asai, E. Kawamori, T. Yamada, Y. Ono, “Kinetic Behaviors of Energetic Ions in Oblate Field-Reversed Configuration”, *Proceedings of 23rd Fusion Energy Conference* **2010**, ICC/P7-01, 1-7.
10. C. Xiao, S. Elgriw, D. Liu, D. Trembach, T. Asai, A. Hirose, “Control of MHD Instabilities in the STOR-M Tokamak using Resonant Helical Coils”, *Proceedings of 23rd Fusion Energy Conference* **2010**, EXS/P5-15, 1-8.
11. T. Takahashi, H. Shionoya, H. Itagaki and T. Asai, “Plasma Shielding with a Rotating Magnetic Field for a Space Elevator”, *J. Plasma Fusion Res. SERIES* **2010**, 9, 452-456.
12. H. Koguchi, H. Sakakita, S. Kiyama, K. Yambe, T. Asai, Y. Hirano, F. Auriemma, D. Terranova and P. Innocente, “High Beta and High Density Operation in TPE-RX”, *Plasma and Fusion Research*, **2009**, 4 (022), 1-6.
13. Imanaka, Heizo; Kajiya, Takahiro; Asai, Tomohiko; Ono, Yasushi, “Development of Pulsed Neutral Beam Injection System using Washer Gun for the Plasma Source”, *IEEJ Trans. Fundamentals and Materials* **2009**, 129 (11), 802-808.
14. Y.Matsuzawa, N.Yamamoto, K.Takao, H.Tamura, M.Hiyoshi, T.Sasaki, T.Asai, Ts.Takahashi, Y.Nogi, To.Takahashi, “Particle and Energy Recovery Process of a High-Beta Compact Toroid Translated Along an Asymmetric Mirror Field”, *Fusion Science and Technology* **2009**, 55 (2T), 76-81.
15. N.Yamamoto, Y.Matsuzawa, Y.Komoriya, Y.Hirayama, T.Asai, Ts.Takahashi, To.Takahashi, “Self-Generated Toroidal Flow in a High-Beta Compact Toroid with Mirror Configuration”, *Fusion Science and Technology* **2009**, 55 (2T), 87-90.

#### 著書/Books

1. 植松英穂, 高野良紀, 浅井朋彦, Brian Zulkoskey 編, 「専門課程 物理学実験」裳華房, (2012).
2. T. Asai and Ts. Takahashi, "Topics in Magnetohydrodynamics", InTech, ISBN 978-953-51-0211-3 (2012).

#### 招待講演/Invited Lectures

1. T. Asai, H. Matsunaga, Y. Fujikawa, Y. Matsuzawa, Ts. Takahashi, H. Itagaki, M. Inomoto, To. Takahashi, L.C. Steinhauer, "New control methods for stabilization and equilibrium of a field-reversed configuration", Workshop on Innovation in Fusion Science (ICC2011) and US-Japan Workshop on Compact Torus Plasma, 2011年8月16日, Seattle.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 浅井朋彦, 関口純一, 松本匡史, 「磁化同軸プラズマ生成装置」特願 2013-138533.
2. 浅井朋彦, 鈴木 薫, 西宮伸幸, 高津幹夫, 「合金薄膜生成装置」特願 2012-195690.
3. 浅井朋彦, 井通 暁, 井口一輝, 「定常プラズマ生成装置」, 特願 2011-068129.
4. 発明者：浅井朋彦, 岸香織, 板垣宏知, 沼澤廣斗, 寺嶋悠紀, 名称：プラズマ光源とその紫外光発生方法, 出願人：日本大学, 出願番号：PCT/JP2010/053213 (PCT 国際出願), 出願日：2010年3月1日.

#### 知的財産：意匠登録/Intellectual Properties

1. 浅井朋彦, 「組立式の分光用型紙」1413448, 2011年4月8日.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 浅井朋彦, “二流体電磁流体力学理論に基づく高ベータプラズマの平衡および巨視的安定性の検証”, 2009-2011年度科学研究費補助金若手研究 (B), (2009年度 1,560,000円, 2010年度 2,800,000円, 2011年度 2,800,000円).
2. 日本大学産学官連携値財センター研究奨励寄付金, 株式会社日本大学事業部, 平成 23年12月20日~平成24年12月19日, 150,000円

#### その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. 浅井朋彦, 平成 22年度日本大学理工学部学術賞「自己組織化プラズマの安定性の積極的制御法に関する研究」2011年5月.

#### シンポジウムの開催等/Others

1. 浅井朋彦, 日本大学理工学部基礎科学研究助成「US-Japan Workshop on Field-Reversed Configuration」2013年2月12日, 日本大学理工学部

## 2. 浅田 泰男/Yasuo Asada

#### 論文/Papers

1. Toshihiro SUGITATE, Makoto FUKATSU, Katsuhiko ISHIMI, Hideki KOHNO, Tatsuki WAKAYAMA, Yoshihiro NAKAMURA, Jun MIYAKE and Yasuo ASADA Studies on Hydrogen Production by Photosynthetic Bacteria after Anaerobic Fermentation of Starch by a Hyperthermophile, *Pyrococcus furiosus* 124, 1-6, 2011年6月, 理工学部研究報
2. Yasuo Asada, Katsuhiko Ishimi, Yoko Nagata, Tatsuki Wakayama, Jun Miyake and Hideki Kohno, "Hydrogen production by co-cultures of *Rhodospirillum rubrum* and a photosynthetic bacterium, *Rhodobacter sphaeroides* RV", Journal of Research Institute of Science and Technology, College of Science and Technology, Nihon University, No.122, November, 2010

3. Jyumpei Kobayashi, Shinya Hasegawa, Keisuke Itou, Kazuaki Yoshimune, Tomoe Komoriya, Yasuo Asada, Hideki Kohno "Expression of aldehyde dehydrogenase gene increases hydrogen production from low concentration of acetate by *Rhodobacter sphaeroides*"  
*International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 37, Issue 12, June 2012, Pages 9602-9609

#### 著書/Books

1. 浅田泰男、石見勝洋、神野英毅 「バイオ水素の現状と問題点 ― 光合成微生物を中心に―」水素エネルギー協会誌 37 巻 1 号 pp. 20-24 (2012)

#### 招待講演/Invited Lectures

1. Katuhiro ISHIMI, Nobuyuki NISHIMIYA, Yasuo ASADA "Improved hydrogen production by cyanobacteria with the use of hydrogen-absorbing metals", ABHL(Agean BioHydrogen and Hi-Links), Nov.,2013, Osaka

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 西宮伸幸, 浅田泰男, 「シアノバクテリアが産生する水素の水素貯蔵合金による効率的回収方法および水素の増収方法」, 特願 2011-124597.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 研究奨励補助金, 49 万円, 課題名「微細藻類の高効率培養に関する研究」, 支給元：三菱化学テクノロジーサーチ (2011 年度)
2. 同上, 80 万円 (2012 年度)

### 3. 伊掛 浩輝/Hiroki Ikake

#### 論文/Papers

1. 小出優一郎, 伊掛浩輝, 室賀嘉夫, 清水 繁,  
"ポリ-D-乳酸とポリ-L-乳酸の混合物のキャストフィルムの透明性とそのモルフォロジーの関係"  
高分子論文集, **71**(1), 47-51 (2014).
2. Y. Koide, H. Ikake, Y. Muroga, S. Shimizu,  
"Effect of the cast-solvent on the morphology of cast films formed with a mixture of stereoisomeric poly(lactic acids)"  
*Polym. J.*, **45**, 645-650 (2013).
3. S. Shimizu, Y. Muroga, S. Iida, M. Miyahara, M. Ishibashi, H. Ikake, K. Kurita,  
"SAXS studies on added-salt species dependence of conformation of fully-charged poly(L-glutamate) in aqueous solutions"  
*J. Phys.: Conf. Ser.*, **247**, 012045 (2010).
4. A. Saito, T. Konno, H. Ikake, K. Kurita, K. Ishihara,  
"Control of cell function on a phospholipid polymer having phenylboronic acid moiety"  
*Biomed. Mater.*, **5**(5), 054101/1-054101/7 (2010).
5. 伊掛浩輝, 玉繁千里, 清水 繁, 室賀嘉夫, 栗田公夫  
"化学構造の異なるポリカーボネートジオールとチタニアからなるハイブリッドの微細構造"  
高分子論文集, **67**(7), 381-389 (2010).
6. A. Saito, T. Konno, H. Ikake, K. Kurita, K. Ishihara,  
"Glycoprotein recognition for cell capturing on artificial lectin surface"  
*Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.*, **35**(1), 127-130 (2010).

## 著書/Books

1. 伊掛浩輝, 栗田公夫  
『~260 分析事例を解説!~IR 分析 テクニック事例集』10 章, 5 節,  
“全反射型赤外吸収法を用いたポリイミド/シリカハイブリッドフィルムのイミド化率評価”  
株式会社技術情報協会 (2013 年 10 月 21 日発刊).
2. 伊掛浩輝, 栗田公夫  
『コンポジット材料の混練・コンパウンド技術と分散・界面制御フィラー活用技術、配合条件、装置の選定・使い方、分析・評価技術』第 11 章, 第 2 節,  
“ナノ粒子分散技術を用いた光学樹脂の高屈折率化”  
株式会社技術情報協会 (2013 年 4 月 26 日発刊).
3. 伊掛浩輝, 栗田公夫  
『次世代自動車(EV・HV)に向けた 自動車材料の樹脂化による車体軽量化 - 新材料開発・加工技術の事例とこれからの展開-』第 3 章, 2 節,  
“紫外線・熱線カット有機無機ハイブリッド材料の特性と自動車窓への応用”  
株式会社技術情報協会 (2013 年 2 月 28 日発刊).
4. 伊掛浩輝, 栗田公夫  
『透明性を損なわないフィルム・コーティング剤への機能性付与 ~ 材料設計、加工プロセス最適化~』  
第 2 章, 4 節, “ポリイミド/シリカハイブリッド材料の透明性、耐熱性の両立”  
株式会社技術情報協会 (2012 年 11 月 30 日発刊).
5. 伊掛浩輝, 栗田公夫  
『“熱・光・水・汚れ・傷”による透明樹脂の劣化・変色対策とその評価』第 2 章, 第 9 節,  
“ポリイミド/シリカハイブリッド材料の透明性・耐熱性の向上”  
株式会社技術情報協会 (2012 年 3 月 30 日発刊).
6. 清水繁, 伊掛浩輝  
『物質応用化学インセンティブ』  
第 2 章, 2.2 “紫外線をカットする高透明性高分子複合材料を作る”  
第 2 章, 2.6 “高分子のはなし”  
株式会社化学工業社 (2009 年発刊).

## 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 伊掛浩輝, 栗田公夫, 清水 繁, 久保綾子,  
“ポリエチレングリコールと酸化銅(II)とのハイブリッド”  
学校法人日本大学, 特許第 4958136 号, 2012 年 3 月 30 日.

## 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 伊掛浩輝, “電場誘起による高結晶・高配向化ポリ乳酸フィルムの作製と力学的・熱的性質の評価”,  
2012 年度科学研究費 (若手研究) 獲得支援研究, 500,000 円.

## 4. 石田 浩/Hiroshi Ishida

### 論文

1. H. Ishida and A. Liebsch, “Coulomb blockade and Kondo effect in the electronic structure of Hubbard molecules connected to metallic leads: A finite-temperature exact-diagonalization study”, *Physical Review B* **2012**, 86, 205115 (13 pages).

2. H. Ishida, A. Liebsch, "First-order metal-to-metal phase transition and non-Fermi liquid behavior in a two-dimensional Mott insulating layer adsorbed on a metal substrate", *Physical Review B* **2012**, 85, 045112 (13 pages).
3. A. Liebsch and H. Ishida, "Temperature and bath size in exact diagonalization dynamical mean field theory", *Journal of Physics: Condensed Matter* **2012**, 24, 053201 (28 pages).
4. H. Ishida and A. Liebsch, "Fermi-liquid, non-Fermi-liquid, and Mott phases in iron pnictides and cuprates", *Phys. Rev. B* **2010**, 81, 054513 (10 pages).
5. H. Ishida and A. Liebsch, "Cluster dynamical mean-field study of strongly correlated heterostructures: Correlation-induced reduction of proximity effect", *Phys. Rev. B* **2010**, 82, 045107 (13 pages).
6. A. Liebsch and H. Ishida, "Correlation-induced spin freezing transition in FeSe: A dynamical mean field theory", *Phys. Rev. B* **2010**, 82, 155106 (5 pages).
7. H. Ishida, A. Liebsch, "Embedding approach for dynamical mean-field theory of strongly correlated heterostructures", *Phys. Rev. B* **2009**, 79, 045130 (8 pages).
8. A. Liebsch, H. Ishida, J. Merino, "Mott transition in two-dimensional frustrated compounds", *Phys. Rev. B* **2009**, 79, 195108 (4 pages).

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 石田 浩, 佐甲徳栄, 森川良忠, "吸着ナノ分子系の界面原子構造と電子・スピン物性", 2013-2017 年度科学研究費補助金, 新学術領域研究 (計画研究), H25 年度 9,400,000 円
2. 石田 浩, "トポロジカル絶縁体の電子構造の理論計算", 2012-2014 年度科学研究費補助金 基盤研究 (C) (一般), 3,000,000 円.
3. 石田 浩, "金属/絶縁体界面の電子構造の第一原理計算", 2008-2010 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般), 3,200,000 円.

## 5. 伊藤 彰義/Akiyoshi Itoh

#### 論文/Papers

1. K. Tamura, T. Ota, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, S. Ohnuki, K. Nakagawa, "Circularly Polarized Light Generated by Plasmon Antenna for All-Optical Magnetic Recording", *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **2013**, 37 (3-2), pp. 115-118.
2. K. Nakagawa, A. Tajiri, K. Tamura, S. Toriumi, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, Y. Sasaki, S. Saito, M. Takahashi, S. Ohnuki, "Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Optical Near Field with Ultra Short-Time Heating", *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **2013**, 37 (3-2), pp. 119-122.
3. M. Finazzi, M. Savoini, A. R. Khorsand, A. Tsukamoto, A. Itoh, L. Duò, A. Kirilyuk, Th. Rasing, and M. Ezawa, "Laser-Induced Magnetic Nanostructures with Tunable Topological Properties", *Physical Review Letters*, **2013**, 110, 177205 (pp. 1-5).
4. A. R. Khorsand, M. Savoini, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing, "Element-Specific Probing of Ultrafast Spin Dynamics in Multisublattice Magnets with Visible Light", *Physical Review Letters*, **2013**, 110, 107205 (pp. 1-5).
5. R. Medapalli, I. Rzdolski, M. Savoini, A. R. Khorsand, A. M. Kalashnikova, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, and Th. Rasing, "The role of magnetization compensation point for efficient ultrafast control of magnetization in Gd<sub>24</sub>Fe<sub>66.5</sub>Co<sub>9.5</sub> alloy", *The European Physical Journal B*, **2013**, 86, 183 (pp. 1-4).
6. A. Mekonnen, A. R. Khorsand, M. Cormier, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Hrabec, L. Ranno, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing, "Role of the inter-sublattice exchange coupling in short-laser-pulse-induced demagnetization dynamics of GdCo and GdCoFe alloys", *Physical Review B*, **2013**, 87, 180406(R), (pp. 1-5).

7. T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Fesenko, S. El Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, [A. Tsukamoto](#), [A. Itoh](#), D. Afanasiev, B. A. Ivanov, A. M. Kalashnikova, K. Vahaplar, J. Mentink, A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel, "Ultrafast Heating as a Sufficient Stimulus for Magnetization Reversal in a Ferrimagnet", *Nature Communications*, **2012**, 3, 666 (pp. 1-6).
8. K. Vahaplar, A. M. Kalashnikova, A. V. Kimel, S. Gerlach, D. Hinzke, U. Nowak, R. W. Chantrell, [A. Tsukamoto](#), [A. Itoh](#), A. Kirilyuk, and Th. Rasing, "All-optical magnetization reversal by circularly-polarized laser pulses: Experiment and multiscale modeling", *Physical Review B* **2012**, 85, 104402(pp. 1-17).
9. A. R. Khorsand, M. Savoini, A. Kirilyuk, A.V. Kimel, [A. Tsukamoto](#), [A. Itoh](#), and Th. Rasing, "Role of Magnetic Circular Dichroism in All-Optical Magnetic Recording", *Phys. Rev. Lett.* **2012**, 108, 127205-(pp.1-5).
10. L. Le Guyader, S. El Moussaoui, M. Buzzi, R. V. Chopdekar, L. J. Heyderman, [A. Tsukamoto](#), [A. Itoh](#), A. Kirilyuk, Th. Rasing, A. V. Kimel, and F. Nolting, "Demonstration of laser induced magnetization reversal in GdFeCo nanostructures", *Appl. Phys. Lett.* 2012, 101, 022410.
11. R. Medapalli, I. Razdolski, M. Savoini, A. R. Khorsand, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, Th. Rasing, A. M. Kalashnikova, [A. Tsukamoto](#), and [A. Itoh](#), "Efficiency of ultrafast laser-induced demagnetization in Gd<sub>x</sub>Fe<sub>100-x-y</sub>Co<sub>y</sub> alloys", *Phys. Rev. B* **2012**, 86, 054442(pp. 1-7).
12. M. Savoini, R. Medapalli, Koene, A. R. Khorsand, L. Le Guyader, L. Du`o, M. Finazzi, [A. Tsukamoto](#), [A. Itoh](#), F. Nolting, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, and Th. Rasing, "Highly efficient all-optical switching of magnetization in GdFeCo microstructures by interference-enhanced absorption of light", *Phys. Rev. B* **2012**, 86, 140404(R)(pp. 1-5).
13. T. Ota, Y. Ashizawa, [K. Nakagawa](#), [S. Ohnuki](#), H. Iwamatsu, [A. Tsukamoto](#), and [A. Itoh](#), "Dependence of Circularly Polarized Light Excited by Plasmon Aperture on Relative Position to Magnetic Particles for All-Optical Magnetic Recording", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **2012**, 36, pp. 21-23.
14. T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, [A. Tsukamoto](#), and [A. Itoh](#), "Film Structure Dependence of Demagnetization Time Scale of RE-TM GdFeCo Alloy Thin Films", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **2012**, 36, pp. 82-85.
15. L. Le Guyader, S. El Moussaoui, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, [A. Tsukamoto](#), [A. Itoh](#), A. Kirilyuk, Th. Rasing, and A. V. Kimel, "Nanostructuring of GdFeCo Thin Films for Laser Induced Magnetization Switching", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **2012**, 36, pp. 21-23.
16. [A. Itoh](#), [A. Tsukamoto](#), S. Okame, and K. Mizusawa, "A Role of Rapid Thermal Annealing (RTA) for Achieving Fine Isolated Grains of FeCuPt", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **2012**, 36, pp. 58-61.
17. K. Mizusawa, [A. Tsukamoto](#), and [A. Itoh](#), "FePt grains for magnetic storage on layer of self-assembled silica Nanoparticles", *J. Mater. Res.*, **2011**, 26, 2, pp. 205-208.
18. [A. Tsukamoto](#), T. Sato, S. Toriumi, and [A. Itoh](#), "Precessional switching by ultrashort pulse laser: Beyond room temperature ferromagnetic resonance limit", *J. Appl. Phys.*, **2011**, 109, 7, 07D302(pp. 1-3).
19. [K. Nakagawa](#), Y. Ashizawa, [S. Ohnuki](#), [A. Itoh](#), and [A. Tsukamoto](#), "Confined Circularly Polarized Light Generated by Nano-size Aperture for High Density All-Optical Magnetic Recording", *J. Appl. Phys.*, **2011**, 109, 7, 07B735(pp. 1-3).
20. I. Radu, K. Vahaplar, C. Stamm, T. Kachel, N. Pontius, H. A. Durr, T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, [A. Tsukamoto](#), [A. Itoh](#), A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel, "Transient ferromagnetic-like state mediating ultrafast reversal of antiferromagnetically coupled spins", *Nature*, **2011**, 472, pp. 205-208.
21. T. A. Ostler, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Fesenko, I. Radu, R. Abrudan, F. Radu, [A. Tsukamoto](#), [A. Itoh](#), A. Kirilyuk, Th. Rasing, and Alexey Kimel, "Crystallographically amorphous ferrimagnetic alloys: Comparing a localized atomistic spin model with experiments", *Physical Review B*, **2011**, 84, 24407(pp. 1-9).

22. A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Ultrafast manipulation and measurements of magnetization by ultra short pulsed laser", *J. Res. Inst. Sci. Tech., Nihon Univ.* **2010**, *122*, pp. 25-33.
23. K. Vahaplar, A. M. Kalashnikova, A. V. Kimel, D. Hinzke, U. Nowak, R. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, and Th. Rasing, "Ultrafast Path for Optical Magnetization Reversal via a Strongly Nonequilibrium State", *Phys. Rev. Lett.*, **2009**, *103*, 117201-(pp. 1-4). 上記, 塚本, 伊藤および, オランダRadBoud大学, イギリスYork大学, ドイツKonstanz大学, ロシアの科学アカデミーIoffe物理技術研究所との国際共同執筆論文が, H21年9月11日付けで PHYSICAL REVIEW LETTERS誌に採録と同時に「Selected for a Viewpoint in Physics」に選ばれた.
24. Y. Moriyama, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, T. Sako, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Heat Conduction Analysis of Magnetic Recording Media for Thermally Assisted Magnetic Recording", *J. Magn. Soc. Jpn.* **2009**, *33* (6-2), pp. 517-520.
25. A. Itoh and A. Tsukamoto, "Hybrid magnetic recording media on FePt grains and self-assembled nano-structured layers", *J. Magn. Soc. Jpn.* **2009**, *33* (6-2), pp. 507-512.
26. K. Yoshino, F. Chino, A. Tsukamoto and A. Itoh, "Coercivity of TbFeCo/FePt Grain Composite Films", *J. Magn. Soc. Jpn.* **2009**, *33*, pp. 212-215.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, and A. Itoh, "Ultrafast spin manipulation in ferrimagnetic GdFeCo by femtosecond pulsed laser", International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS) 2012, 2012年10月4日, Nara, Japan.
2. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, and A. Itoh "Ultrafast spin manipulation of GdFeCo by thermo-magnetic stimulus with femtosecond pulsed laser", Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2012, 2012年6月25日, Seoul, Korea.
3. 塚本新, 伊藤彰義, "超短パルスレーザーによるアモルファス磁性合金薄膜の超高速磁化制御", 独立行政法人日本学術振興会アモルファス・ナノ材料第147委員会第114回研究会, 2011年12月16日, 東京.
4. L. Le Guyader, S. El Moussaoui, F. Nolting, E. Mengotti, L. Heyderman, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, A. V. Kimel, "Magnetization reversal by laser induced heat pulse in nanostructured ferrimagnetic thin films", Moscow International Symposium on Magnetism (MISM) 2011, 2011年8月24日, Moscow, Russia.
5. I. Radu, K. Vahaplar, C. Stamm, T. Kachel, N. Pontius, H. A. Durr, T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, A. V. Kimel, "An X-ray view on ultrafast magnetism", Moscow International Symposium on Magnetism (MISM) 2011, 2011年8月23日, Moscow, Russia.
6. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, A. Itoh, "Laser-induced spin dynamics", Moscow International Symposium on Magnetism (MISM) 2011, 2011年8月23日, Moscow, Russia.
7. A. Itoh, A. Tsukamoto, S. Okame, K. Mizusawa, "FeCuPt isolated grains prepared by rapid thermal annealing on nano-structured substrates", Moscow International Symposium on Magnetism (MISM) 2011, 2011年8月23日, Moscow, Russia.
8. I. Radu, K. Vahaplar, C. Stamm, T. Kachel, N. Pontius, H. A. Durr, T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, A. V. Kimel, "Spin dynamics on a time-scale of the exchange interaction: an X-ray view on ultrafast magnetism", Moscow International Symposium on Magnetism (MISM) 2011, 2011年8月22日, Moscow, Russia.
9. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, and A. Itoh, "Laser-induced spin dynamics of RE-TM GdFeCo", 5th International Workshop on Spin Currents, 2011年7月27日, Sendai, Japan.



10. S. El Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, L. Heyderman, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, A. V. Kimel, "Magnetization reversal in GdFeCo nanostructures with ultrafast heat pulses", Workshop on Novel Trends in Optics and Magnetism of Nanostructures, 2011年7月5日, Augustów, Poland.
11. A. Itoh, A. Tsukamoto, S. Okame, and K. Mizusawa, "A role of rapid thermal annealing (RTA) for achieving fine isolated grains of FeCuPt", MORIS 2011 (Magnetics and Optics Research International Symposium 2011), 2011年6月24日, Nijmegen, The Netherlands.
12. I. Radu, K. Vahaplar, C. Stamm, T. Kachel, N. Pontius, H. A. Durr, T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, and A. V. Kimel, "An X-ray View on Ultrafast Magnetization Switching of Ferrimagnetic GdFeCo", MORIS 2011 (Magnetics and Optics Research International Symposium 2011), 2011年6月22日, Nijmegen, The Netherlands.
13. A. M. Kalashnikova, K. Vahaplar, A. V. Kimel, S. Kaneko, U. Nowak, D. Hinzke, R. W. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, and Th. Rasing, "Ultrafast all-optical magnetization reversal in RE-TM alloys", International workshop on Laser-induced magnetization dynamics in nanostructure, Oct. 7, 2010, Stoos, Switzerland.
14. A. Itoh, and A. Tsukamoto, "RE-TM amorphous films for MO recording media and their future aspects", International workshop on Laser-induced magnetization dynamics in nanostructure, Oct 6, 2010, Stoos, Switzerland.
15. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, A. Itoh, "Magnetization Dynamics induced by Femtosecond Laser Pulses in Ferrimagnetic GdFeCo", 第34回日本磁気学会学術講演会, 2010年9月4日, 筑波, 茨城.
16. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, and A. Itoh, "Laser-induced demagnetization of RE-TM GdFeCo", ISAMMA 2010 (International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications 2010), July 13, Sendai, Japan.
17. 塚本 新, 佐藤哲也, 清水崇博, 鳥海紳悟, 伊藤彰義, "フェリ磁性 GdFeCo 合金の磁化ダンプ特性", 日本磁気学会第170回研究会「光と磁気のシナジー技術」～次世代ストレージ・光機能デバイス実現のための新技術動向～, 東京, 2010年1月29日
18. A. Itoh, A. Tsukamoto, "Hybrid Magnetic Recording Media on FePt Grains and Self-Assembled Nano-Structured Layers", MORIS2009, Awaji, Jun. 17, 2009.
19. K. Yoshino, F. Chino, A. Tsukamoto, A. Itoh, "The Domain Structure with Few Pinning Sites in TbFeCo/FePt Composite Films", MORIS2009, Awaji, Jun. 17, 2009.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 発明者：中川活二, 芦澤好人, 大貫進一郎, 伊藤彰義, 塚本 新, 発明の名称：情報記録ヘッド、情報記録装置、情報記録方法及び光デバイス, 出願番号：特願 2010-161996, 特開 2012-22760.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 伊藤彰義 (研究代表), 塚本 新 (協力研究者), "熱アシスト磁気記録用複合磁性膜の検討", SRC 情報ストレージ研究推進機構, 奨励研究寄付金, (2012年: 1,300,000円. 2011年: 1,400,000円. 2010年: 1,400,000円. 2009年: 1,800,000円).
2. 伊藤彰義, 塚本 新, "MRAMに関する超短パルスレーザーによる磁化応答計測・制御", 株式会社サムスン横浜研究所, 2012, 奨励研究寄付金, 1,000,000円
3. 伊藤彰義, 中川活二, 塚本 新, "電荷分布可視化装置システム改善と誘電体上電位解析に関する研究", トレック・ジャパン (株), 2012, 委託研究費, 1,600,000円
4. 伊藤彰義, 中川活二, 塚本 新, "電荷分布可視化装置用探針加工法の改良(2)", トレック・ジャパン (株), 2012, 委託研究費, 1,000,000円

5. 伊藤彰義 (研究代表), 塚本 新 (連携研究者), “自己組織型ナノ凹凸基板上的超高密度熱アシスト記録用複合媒体”, 2009-2011 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般), 直接経費期間全体 3,600,000 円 (H23 年度 500,000 円, H22 年度 1,300,000 円, H21 年度 1,900,000 円)
6. 伊藤彰義, 中川活二, “電荷分布可視化装置用探針加工法の改良”, トレック・ジャパン株式会社, 1,600,000 円.
7. 伊藤彰義, 中川活二, “電荷分布可視化装置のシステム化と有機半導体電荷解析に関する研究(3)”, トレック・ジャパン株式会社, 1,600,000 円.
8. 中川活二 (研究代表), 伊藤彰義, 塚本 新 (連携研究者), “近接場アンテナとパルス磁界によるハイブリッド記録の基礎特性,” 2008-2010 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般), 直接経費期間全体 3,600,000 円 (H22 年度 700,000 円, H21 年度 1,000,000 円)
9. 塚本 新, “フェムト秒パルス・レーザーによる超高速スピン制御・計測”, 2007-2010 年度委託研究 ((独) 科学技術振興機構, 戦略的創造研究推進事業「さきがけ」), 直接経費期間全体 44,820,000 円 (H22 年度 2,000,000 円)
10. 伊藤彰義, 中川活二, “電荷分布可視化装置のシステム化と有機半導体電荷解析に関する研究 (2) ”, トレック・ジャパン株式会社, 1,600,000 円.
11. 伊藤彰義, 中川活二, “有機半導体のキャリア移動機構解明にむけた表面電位分布計測, 富士電機システムズ株式会社, 500,000 円
12. 伊藤彰義, 中川活二, “有機半導体材料の表面電位分布測定による解析”, 2009 年度研究奨励寄付金, 富士電機アドバンステクノロジー(株), 500,000 円
13. 伊藤彰義, 中川活二, “電荷分布可視化装置のシステム化と有機半導体電荷解析に関する研究”, 2009 年度委託研究, トレック・ジャパン株式会社, 1,600,000 円

#### その他 (受賞, メディア等) : 学外/0thers

1. 中川活二, 田尻 集, 田村京介, 鳥海紳悟, 芦澤好人, 塚本 新, 伊藤彰義, 佐々木有三, 斉藤伸, 高橋 研, 大貫進一郎, “Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Optical Near Field with Ultra Short-Time Heating”, 論文賞, 日本磁気学会, 平成 25 年 9 月 4 日.
2. 上原利夫, 東尾順平, 中川活二, 芦澤好人, 伊藤彰義, “静電気力顕微鏡の開発”, 進歩賞, 静電気学会, 2012 年 9 月 13 日
3. H21 年 6 月塚本, 伊藤とオランダ Radboud 大学との国際共同研究が, 国際会議 MORIS2009 において Best Poster Awards を受賞. 題名: Ultrafast Visualization of All-Optical Magnetization Reversal in GdFeCo-Films
4. H21 年 9 月 11 日付けで国際共同執筆論文が PHYSICAL REVIEW LETTERS 誌にて, 「Selected for a Viewpoint in Physics」に選ばれた. 題名: Ultrafast Path for Optical Magnetization Reversal via a Strongly Nonequilibrium State
5. Riccardo Hertel, “For faster magnetic switching—destroy and rebuild”, Physics 2, 73 (2009) (American Physical Society 発行 “Physics—spotlighting exceptional research—”誌 Viewpoints に掲載)
6. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, and A. Itoh, “Precessional switching by ultrashort pulse laser: Beyond room temperature ferromagnetic resonance limit”, *Virtual Journal of Ultrafast Science*, 2011, 10, 4, 1-3. (本 Journal は米国物理学会・米国物理学協会が発行しており, 本 Journal が論文を募集するのではなく, 特に最先端の研究を報告した論文をネイチャー, サイエンス, その他の全世界の主要な物理系学術雑誌の中から選抜して発行されているもの.)

#### その他の成果 : メディア (学内) /0thers

1. 中川活二, 芦澤好人, 塚本 新, 伊藤彰義, 遠藤 拓, 上坂保太郎, 新妻清純, 移川欣男, 「近接場光を用いた熱アシスト磁気記録とナノ粒子記録媒体」, 日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル, 2012, No. 129, 11-18.
2. 塚本 新, 伊藤彰義, 「超短パルスレーザーによる超高速磁化制御と計測」, 日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル, 2011, No. 122, 25-33.

6. 井上 修一郎/Shuichiro Inoue

## 論文/Papers

1. Q.-L. Wu, N. Namekata, and S. Inoue, "Sinusoidally Gated InGaAs Avalanche Photodiode with Direct Hold-Off Function for Efficient and Low-Noise Single-Photon Detection," *Appl. Phys. Express* 6, 062202 (April 4. 2013).
2. Q.-L. Wu, N. Namekata, and S. Inoue, "High-fidelity entanglement swapping at telecommunication wavelengths," *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **46**(23), 235503 (2013)
3. G. Fujii, T. Segawa, S. Mori, N. Namekata, D. Fukuda, and S. Inoue, "Preservation of photon indistinguishability after transmission through surface-plasmon-polariton waveguide", *Opt. Lett.* 37 (9), 1535-1537 (2012).
4. S. Arahira, N. Namekata, T. Kishimoto, and S. Inoue, "Experimental studies in generation of high-purity photon-pairs using cascaded  $\chi^{(2)}$  processes in a periodically poled LiNbO<sub>3</sub> ridge-waveguide device", *J. Opt. Soc. Am. B* 29 (3), 434-442 (2012).
5. G. Fujii, Daiji Fukuda, Takayuki Numata, Akio Yoshizawa, Hidemi Tsuchida, and Shuichiro Inoue, "Thin Gold Covered Titanium Transition Edge Sensor for Optical Measurement", *J. Low Temp. Phys.* 167 (5-6), 815-821 (2012).
6. D. Fukuda, G. Fujii, T. Numata, K. Amemiya, A. Yoshizawa, H. Tsuchida, H. Fujino, H. Ishii, T. Itatani, S. Inoue, and T. Zama, "Titanium-based transition edge photon number resolving detector with 98 % detection efficiency with index-matched small-gap fiber coupling," *Opt. Express*, Vol. 19, No. 2, pp. 870-875 (2011.1.17).
7. N. Namekata, H. Takesue, T. Honjo, Y. Tokura, and S. Inoue, "High-rate quantum key distribution over 100 km using ultra-low-noise, 2-GHz sinusoidally gated InGaAs/InP avalanche photodiodes," *Opt. Express* 19, 10632-10639 (2011.5.23).
8. N. Namekata and S. Inoue, "Ultra-low-noise high-speed single-photon detection using a sinusoidally gated InGaAs/InP avalanche photodiode," in *Proc. SPIE* 7945 (SPIE press,U.S.A., 2011.5.26).
9. D. Fukuda, G. Fujii, T. Numata, K. Amemiya, A. Yoshizawa, H. Tsuchida, H. Fujino, H. Ishii, T. Itatani, S. Inoue, and T. Zama, "Titanium Superconducting Photon-Number-Resolving Detector," *IEEE Trans. Appl. Supercond.* Vol. 21, No. 3, pp. 241-245 (2011.5.27).
10. K. Tsujino, D. Fukuda, G. Fujii, S. Inoue, M. Fujiwara, M. Takeoka, and M. Sasaki, "Quantum Receiver beyond the Standard Quantum Limit of Coherent Optical Communication," *Phys. Rev. Lett.* Vol. 106, No. 25, pp. 250503 (2011.6.24).
11. S. Arahira, N. Namekata, T. Kishimoto, H. Yaegashi, and S. Inoue, "Generation of polarization entangled photon pairs at telecommunication wavelength using cascaded  $\chi^{(2)}$  processes in a periodically poled LiNbO<sub>3</sub> ridge waveguide," *Opt. Express* 19, 16032-16043 (2011.8.15).
12. N. Namekata and S. Inoue, "Ultra-low-noise high-speed single-photon detection using a sinusoidally gated InGaAs/InP avalanche photodiode," to be published in *Proc. SPIE*.
13. N. Namekata, Y. Takahashi, G. Fujii, D. Fukuda, S. Kurimura, and S. Inoue, "Non-Gaussian Operation Based on Photon-Subtraction Using a Photon-Number-Resolving Detector at a Telecommunications Wavelength," *Nat. Photon.* 2010, 4, 655-660.
14. N. Namekata, S. Adachi, and S. Inoue, "High-Speed Single-Photon Detection Using 2-GHz Sinusoidally Gated InGaAs/InP Avalanche Photodiode," *Quantum Communication and Quantum Networking* (Springer), 2010, 34-38.
15. N. Namekata, S. Adachi, and S. Inoue, "Ultra-Low-Noise, Gated Avalanche Photodiode for High-Speed Single-photon Detection at Telecommunication Wavelengths," *IEEE Photo. Tech. Lett.* 2010, 22(8), 529-531.
16. N. Namekata, T. Kono, S. Kurimura, and S. Inoue, "Narrowband Polarization-Entangled Photon Pairs in Telecommunication Band Using a Type-II Periodically Poled Lithium Niobate Waveguide," *Quantum Communication and Quantum Networking* (Springer), 2010, 261-265.

17. G. Fujii, D. Fukuda, T. Numata, A. Yoshizawa, H. Tsuchida, S. Inoue, and T. Zama, "Fiber Coupled Single Photon Detector with Niobium Superconducting Nanowire", *Proceedings of Quantum Com 09, LNICST in Springer*, 36, 220-224.
18. K. Tsujino, D. Fukuda, G. Fujii, S. Inoue, M. Fujiwara, M. Takeoka, and M. Sasaki, "Sub-shot-noise-limit discrimination of on-off keyed coherent signals via a quantum receiver with a superconducting transition edge sensor", *Opt. Express* 18, 8107-8113.
19. N. Namekata, Y. Takahashi, G. Fujii, D. Fukuda, S. Kurimura, and S. Inoue, "Generation of Non-Gaussian Quantum State in Telecommunication band," *Quantum Communication and Quantum Networking, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, Volume 36. ISBN 978-3-642-11730-5. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
20. S. Mori, K. Hasegawa, T. Segawa, Y. Takahashi, and S. Inoue, "Interference of Photon Emitted by a Slit-Groove Structure after the Conversion of Photon to Surface Plasmons," *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol.48, 062001, (2009).
21. S. Mori, K. Hasegawa, T. Segawa, Y. Takahashi, and S. Inoue, "Optical Transmission Properties of Subwavelength Slit Structures in Visible Wavelength Range," *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 48, 052001, (2009).
22. N. Namekata, S. Adachi, and S. Inoue, "1.5 GHz single-photon detection at telecommunication wavelengths using sinusoidally gated InGaAs/InP avalanche photodiode," *Opt. Express*, Vol.17, pp.6275-6282 (2009).
23. S. Adachi, N. Namekata, and S. Inoue, "Telecom-band single-photon detector with a gigahertz repetition frequency using a sinusoidally gated avalanche photodiode," *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1110, pp. 287-290 (2009).
24. Y. Takahashi, S. Komatsu, and S. Inoue, "Detector imperfections in a recent scheme for Schrödinger-cat generation," *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1110, pp.275-278 (2009).
25. J. Söderholm and S. Inoue, "Simple Class of Nonclassical States Generated by Seeded Down Conversion and Imperfect Photon Detection," *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1110, pp. 217-219 (2009).

#### 招待講演/Invited Lectures

1. S. Inoue, Q. L. Wu and N. Namekata, "Sinusoidally Gated InGaAs/InP Avalanche Photodiodes for Entanglement-based Quantum Key Distribution," 96<sup>th</sup> OSA's annual meeting (Frontiers in Optics) / APS/DLS 28<sup>th</sup> annual meeting (Laser Science), Rochester, USA, FW4J.1. (2012.10.14-18).
2. D. Fukuda, G. Fujii, A. Yoshizawa, T. Numata, K. Amemiya, S. Inoue, and H. Tsuchida, "Novel photon detector utilizing superconducting optical detection technology and its application to a few-photon radiometry," 11<sup>th</sup> International Conference on New Development and Applications in Optical Radiometry, Maui, USA 2011. 9. 22
3. S. Inoue, "High-Rate Distribution of Polarization Entanglement at Telecommunication Wavelength using Sinusoidally Gated InGaAs/InP Avalanche Photodiodes", IEEE Summer topical 2011, Montreal, Quebec, Canada, 2011.7.18.
4. N. Namekata and S. Inoue, "Ultra-low-noise high-speed single-photon detection using a sinusoidally gated InGaAs/InP avalanche photodiode," SPIE Photonics West, 7945-94, San Francisco, USA (Jan. 23-27 2011)
5. 井上修一郎, "量子光源・検出技術の新展開", 第58回応用物理学関係連合講演会, 神奈川, 2011. 3. 26.
6. 行方直人, 栗村 直, 井上修一郎, "分極反転デバイスの量子光学への展開", 第58回応用物理学関係連合講演会, 神奈川, 2011. 3. 25.
7. N. Namekata and S. Inoue, "Ultra-low-noise high-speed single-photon detection using a sinusoidally gated InGaAs/InP avalanche photodiode," SPIE Photonics West, January 23-27 2011, San Francisco.

知的財産：特許登録/Intellectual Properties

1. S. Inoue and N. Namekata, “HIGH-SPEED PULSED HOMODYNE DETECTOR IN OPTICAL COMMUNICATION WAVELENGTH BAND,” (WO/2010/035533)

外部資金の獲得状況/Funding

1. 「超伝導光子検出器による量子もつれ波長多重量子暗号通信技術に関する研究」総務省戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)平成22年～平成24年度(総研究費60,000,000円)(22年度：21,312,200円, 23年度：17,820,400円, 24年度8,450,000円)
2. 井上修一郎, 「正弦波ゲート動作単一光子検出器の高性能化に関する研究」(2008年10月～2010年3月)ソーラボジャパン委託研究 3,000,000円

その他の成果：メディア(学外)/Others

1. 電波新聞に掲載. 井上修一郎ら, 電経新聞2012年2月27日, 「量子技術で世界的な成果, OKIと日本大学, 高純度量子もつれ光源を開発」
2. 電波タイムズに掲載. 井上修一郎ら, 電波タイムズ2012年3月5日, 「OKIと日大, 世界最高純度量子もつれ光源を開発, 実用的な次世代量子暗号技術の確立に成功」
3. Photonics Spectraに掲載. Photonics Spectra, June 2012, p. 35. "OKI Develops Light Source"
4. 井上修一郎, 「每秒24キロボット100km伝送成功, 量子暗号通信に道, 日大とNTT, 半導体使い開発」, 日刊工業新聞, 2011年5月16日.
5. 井上修一郎, 「宇宙空間でも大容量光通信, 情報通信研究機構が受信機開発」, Fuji Sankei Business i, 2011年6月28日.
6. 井上修一郎, 「NICT, 光通信理論のビット誤り率限界(ショット雑音限界)を打破することに成功」, 日経プレスリリース, 2011年6月28日.
7. 井上修一郎, SANKEI BIZ, 「宇宙空間でも大容量光通信, 情報通信研究機構が受信機開発」, 2011年6月28日.
8. 井上修一郎, Laser Focus World Japan, 「NICT, 光通信理論のビット誤り率限界を世界で初めて打破」, 2011年6月28日

その他の成果：メディア(学内)/Others

1. 井上修一郎, 「半導体製の単一光子検出器開発」日本大学広報第625号, 2011年10月1日.
2. 井上修一郎, 「世界最高速の光子検出器, 井上教授らが共同開発」, 日本大学新聞第1291号, 2011年6月20日.
3. 井上修一郎, 「半導体製の単一光子検出器開発」, 日本大学広報第622号, 2011年6月15日.

7. 岩田 展幸/Nobuyuki Iwata

論文/Papers

1. H. Yamamoto, H. Ishiwata, N. Iwata, S. Masuyama, T. Tamada, K. Shikimachi, N. Hirano, and S. Nagaya, “Development of High Capacity Stirling-type Pulse Tube Cryocooler System”, *Proceedings of ICEC24-ICMC2012*, edited by K. Funaki, A. Nishimura, T. Haruyama and H. Kumakura, pp.339-342(2013, March)
2. Nobuyuki Iwata, Takuji Kuroda and Hiroshi Yamamoto, “Mechanism of Growth of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thin Films on (1-102), (11-20), and (0001) Surfaces of Sapphire Substrates by Direct Current – Radio Frequency Magnetron Sputtering”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **51** (2012) 11PG12-1~9 (9 pages).
3. Hiroshi Yamamoto and Nobuyuki Iwata, “C60 Photo-Polymerization using Free Electron Laser”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* 20<sup>th</sup> Anniversary Special Issue (2012) 35-40.
4. Nobuyuki Iwata, Yuta Watabe, Yoshito Tsuchiya, Kento. Norota, Takuya Hashimoto, Mark

- Huijben, Guus Rijnders, Dave H. A. Blank, and Hiroshi Yamamoto, “Growth and Evaluation of  $[AFeO_x/REFeO_3]$  ( $A=Ca, Sr, RE=La, Bi$ ) Superlattices by Pulsed Laser Deposition Method Using High Density Targets Prepared by Pechini Method”, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **1454** (2012) p.161-166.
5. Nobuyuki Iwata, Takuji Kuroda and Hiroshi Yamamoto, “Crystal Structure Analysis of the  $Cr_2O_3$  thin films”, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **1454** (2012) p.33-38.
  6. N. Iwata, Y. Watabe, Y. Tsuchiya, K. Norota, M. Huijben, G. Rijnders, Dave H. A. Blank, and H. Yamamoto, “Growth of  $[CaFeO_x/BiFeO_3]$  superlattice by Pulsed Laser Deposition Method Using High Density Target Prepared by Pechini Method”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **37** (2012) 381-384 .
  7. Takuji Kuroda, Nobuyuki Iwata, and Hiroshi Yamamoto, “Investigation of Crystal Growth of the  $Cr_2O_3$  thin films on Sapphire Substrates”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **37** (2012) 385-388.
  8. Yoshito Tsuchiya, Kento Norota, Yuta Watabe, Takuji Kuroda, Nobuyuki Iwata, Takuya Hashimoto, Hiroshi Yamamoto, “Growth Difference of  $LaFeO_3$  Thin Films by Pulsed Laser Deposition Method Using the Targets Prepared by Pechini and Conventional Solid Solution Methods”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **37** (2012) 381-384 .
  9. Hina Chujo, Yusuke Tada, Nobuyuki Iwata and Hiroshi Yamamoto, “Preparation of Two Layers Organic Thin Films on an ITO/PET Substrate using  $Alq_3/$  coumarin6 and PEDOT/PSS by Spin Coat”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **37** (2012) p.263-266.
  10. Hiroaki Ichikawa, Masaharu Takanashi, Shogo Sato, Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto, “Intercalation of Li to a Few Layers of Graphenes”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* (2012) p.507-510.
  11. Keiji Sakai, Satoshi Doi, Nobuyuki Iwata, Hirofumi Yajima, and Hiroshi Yamamoto, “Growth Position and Chirality Control of Single-Walled Carbon Nanotubes”, *IEICE Trans. Electron.* E94-C (2011) 1861-1866.
  12. Daiki Koide, Shouta Kato, Eri Ikeda, Nobuyuki Iwata, and Hiroshi Yamamoto “Free Electron Laser-Polymerization of  $C_{60}$  Grown by Liquid-Liquid-Interfacial Precipitation Method”, *IEICE Trans. Electron.* E94-C (2011) 151-156.
  13. Daiki Koide, Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto “Photo-polymerization of hole-Doped  $C_{60}$  grown by liquid-liquid interfacial precipitation method”, *Phys. Status Solidi C* **8** (2011) 558-560.
  14. Atushi Noda, Nobuyuki Iwata, and Hiroshi Yamamoto, “Crystal Growth of Anthracene by Dip Coating and Application for Organic Electroluminescence Devices, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011) 01BC10, 1-4
  15. Keiji Sakai, Hiroaki Takeshita, Kunihide Kaneki, Hirofumi Yajima, Nobuyuki Iwata and Hiroshi Yamamoto, “Multi-Excitation-Laser Raman Analysis of Chirality-Controlled Single-Walled Carbon Nanotubes with Free Electron Laser Irradiation during Growth”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011) 01BJ13
  16. Nobuyuki Iwata, Daiki Koide, Shouta Kato, Eri Ikeda, Hiroshi Yamamoto “Hole or Electron Doped  $C_{60}$  Polymer Using Free Electron Laser Irradiation”, *Mater. Res. Soc. 2010 Fall Proc.* **1292** (2011) C3.11.
  17. Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto, Mark Huijben, Guus Rijnders, Dave H. A. Blank, “Growth of  $CaFeO_x/LaFeO_3$  Superlattice on  $SrTiO_3(100)$  Substrates”, *2010 Fall Proc.* **1292** (2011) K12.16.
  18. Hiroshi Yamamoto and Nobuyuki Iwata, “ $C_{60}$  Photo-Polymerization using Free Electron Laser”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn* **35** (2010) 461-466.
  19. Keiji Sakai, Daisuke Ishiduka, Takuya Sonomura, Hiroki Takeshita, Kunihide Kaneki, Hirofumi Yajima, Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto, “Free Electron Laser Irradiation Effect on Single-Walled Carbon Nanotube Growth”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **35** (2010) 343-346.
  20. Daisuke Ishiduka, Keiji Sakai, Nobuyuki Iwata, Hirofumi, Yajima, Hiroshi Yamamoto, “Effect of Chirality by the Free Electron Laser Irradiation”, *The Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ) Trans, FM*, **130** (2010) 209-212.
  21. Y Iio, K Kurihara, F Matsuyama, R Nokariya, N Iwata and H Yamamoto, “Photopolymerization of

C<sub>60</sub> Crystal Synthesized from Organic Solution”, Journal of Physics: Conference Series **159** (2009) 012019

#### 招待講演/Invited Lectures

1. Nobuyuki Iwata\*, Yuta Watabe<sup>1</sup>, Takahiro Oikawa<sup>1</sup>, Mark Huijben<sup>2</sup>, Guus Rijnders<sup>2</sup>, Takaaki Inaba<sup>1</sup>, Keisuke Oshima<sup>1</sup>, Kouichi Takase<sup>1</sup> and Hiroshi Yamamoto<sup>1</sup> “Preparation and Evaluation of BiMO<sub>3</sub>/CaBO<sub>3</sub> (M=Fe, Fe<sub>1-x</sub>Mnx, B=Fe, Mn) Superlattices Grown on SrTiO<sub>3</sub>(001) and (110) Substrates”, 5th Promotion Center for Global Materials Research (PCGMR), National Cheng Kung University (NCKU) Symposium, National cheng kung university(NCKU), Tainan, Taiwan, 20131213
2. Nobuyuki Iwata <sup>1,a</sup>, Yuta Watabe<sup>1</sup>, Takahiro Oikawa<sup>1</sup>, Mark Huijben<sup>2</sup>, Guus Rijnders<sup>2</sup>, Takaaki Inaba<sup>1</sup>, Keisuke Oshima<sup>1</sup>, and Hiroshi Yamamoto<sup>1</sup>, “Synthesis, electric and magnetic properties of perovskite related oxides superlattices” , 12th IUMRS International Conference on advanced Materials (IUMRS-ICAM2013), Qingdao International Convention Center, Qingdao, China ,20130924
3. Nobuyuki Iwata, Takumi Sagara, Yusaku Tsuda, Keisuke Yoshida, Koji Ishii, Hirofumi Yajima and Hiroshi Yamamoto “Simultaneous control of chirality and growth position of single-walled carbon nanotube” , The 6th IEEE/International Conference on Advanced Infocomm Technology (IEEE/ICAIT 2013), Hotel Royal Hsinchu, Hsinchu, Taiwan from,20130708
4. Nobuyuki IWATA, Yuta WATABE, Takahiro OIKAWA, Takuji Kuroda, Hiroshi YAMAOTO and Takuya HASHIMOTO, and Mark Huijben, Guus, Rijnders, Dave H. A. Blank, “OXIDES HETEROSTRUCTURES FOR GIANT MAGNETOELECTRIC EFFECT”, 2<sup>nd</sup> International Conference on Optoelectronic Materials and Thin Films for Advanced Technology (OMTAT), Hotel Riviera suits, Cochin India, 20130103.
5. 岩田展幸, 土肥智史, 相良拓実, 矢島博文, 山本寛, "単層カーボンナノチューブの選択的成長手法の確立によるナノスケールトランジスタへの応用", 電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会, (財)加藤科学振興会 軽井沢研修所, 20120719.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. (公財)カシオ科学振興財団 研究協賛事業 平成 25 年度 総額 100 万円 研究代表者：岩田展幸、共同研究者：橋本拓也 「酸化物人工超格子構造における強誘電性強磁性マルチフェロイック特性および巨大電気磁気効果の室温発現」
2. 研究代表者：岩田展幸、研究分担者：山本寛、橋本拓也、高瀬浩一，科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金（基盤研究（C）））“ヘテロ接合界面によって可能となる磁化反転および強誘電性強磁性特性の室温電界制御”平成 25 年度～平成 27 年度 研究課題 25420295 （総額 380 万円）
3. 日本大学学術研究助成金（総合研究）平成 25 年度 総額：800 万円 研究代表者：岩田展幸、共同研究者：山本 寛、高野良紀、高瀬浩一、橋本拓也、石田浩、清水耕作「酸化物人工超格子界面での革新的多機能発現と超低消費社会への還元」
4. (公財)双葉電子記念財団 自然科学研究助成 平成 25 年度 総額 200 万円 研究代表者：岩田展幸、共同研究者：高瀬浩一 「電界誘起型磁化反転のブレイクスルー」
5. 研究代表者：山本寛、研究分担者：岩田展幸，科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金（基盤研究（C）））“共鳴光励起による単層カーボンナノチューブのカイラリティ制御法の新提案”，平成 24 年度～平成 26 年度 研究課題 24560383 （総額 400 万円）
6. (財)カシオ科学振興財団 研究協賛事業 平成 24 年度 総額 100 万円「酸化物人工超格子構造における強誘電性強磁性マルチフェロイック特性および巨大電気磁気効果の室温発現」
7. 第 27 回（平成 23 年度）公益財団村田学術振興財団，総額 150 万円，研究代表者：岩田展幸，共同研究者：山本 寛，高瀬浩一，橋本拓也，研究題目：「人工超格子及び積層膜による室温マルチフェロイック特性・巨大電気磁気効果の発現」

8. 研究代表者：岩田展幸，共同研究者：高瀬浩一，山本寛，高野良紀，日本大学理工学部プロジェクト研究，“マルチフェロイック人工格子による新物性領域の開拓”，H22-H23 年度 総額 1500 万円
9. (財)カシオ科学振興財団 研究助成 平成 22 年度 総額 100 万円 研究代表者：岩田展幸、共同研究者：山本 寛、早川 建、矢島博文、井上修一郎 「自由電子レーザー照射による単層カーボンナノチューブのカイラリティ制御」
10. 研究代表者：岩田展幸，科研費若手研究 (B)，“強磁性金属 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 積層膜による室温での巨大電気磁気効果の発生”，H21-H23 年度 総額 280 万円
11. (財)カシオ科学振興財団 研究助成「自由電子レーザー照射による単層カーボンナノチューブのカイラリティ制御」H21 総額 1,000 千円
12. 研究代表者：山本 寛、共同研究者：岩田展幸，科研費 基盤研究 (B)，“高圧下での光重合プロセスによる超機能性フラーレンの創製”，平成 20 年度～平成 22 年度 研究課題 20360145 研究経費 (総額 1220 万円)

#### シンポジウムの開催等/Others

1. Organizer for JSAP-MRS 2012 Spring Meeting @ San Francisco, CA, USA, Joint Symposium HH “Nanocomposites, Nanostructures and Heterostructures of Correlated Oxide Systems”
2. Organizer for JSAP-MRS 2013 Fall Meeting @ Kyoto, Japan, Joint Symposium A “Synthesis and Magnetic Properties of Oxide Nanocomposites and Heterostructures”

## 8. 大月 穰/Joe Otsuki

#### 論文/Papers

1. F. A. Chowdhury, T. Mochida, J. Otsuki, M. S. Alam, “Thermally Reduced Solution-Processed Graphene Oxide Thin Film: An Efficient Infrared Photodetector”, *Chem. Phys. Lett.* in press.
2. J. Otsuki, Y. Takamori, K. Sugawa, A. Islam, K. Ogawa, A. Yamano, I. Yoshikawa, K. Araki, “Heteroleptic Ruthenium Complexes with 6-(ortho-Substituted Phenyl)-2,2'-Bipyridine Derivatives”, *J. Organomet. Chem.* **2014**, 749, 312–319.
3. K. Sugawa, T. Tamura, H. Tahara, T. Akiyama, J. Otsuki, “Metal-Enhanced Fluorescence Platforms Based on Plasmonic Ordered Copper Arrays: Wavelength Dependence of Quenching and Enhancement Effects”, *ACS Nano* **2013**, 7, 9997–10010.
4. F. A. Chowdhury, T. Morisaki, J. Otsuki, M. S. Alam, “Annealing effect on the optoelectronic properties of graphene oxide thin films”, *Appl. Nanosci.* **2013**, 3, 477–483.
5. Y. Shinozaki, G. Richards, K. Ogawa, A. Yamano, K. Ohara, K. Yamaguchi, S. Kawano, K. Tanaka, Y. Araki, T. Wada, J. Otsuki, “Double Helices of a Pyridine-Appended Zinc Chlorophyll Derivative”, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, 135, 5262–5265.
6. J. Otsuki, Y. Takaguchi, D. Takahashi, K. Sugawa, P. Kalimuthu, A. Islam, L. Han, “Substituent Effects for Perylenedicarboxylic Anhydrides on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cells: The Simpler, the Better”, *Chem. Lett.* **2013**, 42, 450–452.
7. F. A. Chowdhury, T. Morisaki, J. Otsuki, M. S. Alam, “Optoelectronic Properties of Graphene Oxide Thin Film Processed by Cost-Effective Route”, *Appl. Surf. Sci.* **2012**, 259, 460–464.
8. J. Otsuki, C. Ohya, Y. Komatsu, T. Morisaki, “Monolayer Assemblies of a Sandwich-Type Double-Decker Porphyrin Complex of Cerium with an Additional Pendant Porphyrin Unit”, *J. Nanosci. Nanotechnol.* **2012**, 12, 159–166.
9. J. Otsuki, Y. Takaguchi, D. Takahashi, P. Kalimuthu, S. P. Singh, A. Islam, L. Han, “Piperidine Substituted Perylene Sensitizer for Dye-Sensitized Solar Cells”, *Adv. OptoElectron.* **2011**, 2011, Article ID 860486, 7 pages.
10. J. Otsuki, M. Taka, D. Kobayashi, “Rotational Libration of a Porphyrin/Phthalocyanine Double-Decker Complex with Ce(IV) as Revealed by <sup>1</sup>H NMR and STM”, *Chem. Lett.* **2011**, 40 (7),



- 717–719.
11. J. Otsuki, “Fiddling with Electrons and Photons Using Metal Complexes at the Molecular Scale”, 日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル, *J. Res. Inst. Sci. Tech. Nihon Univ.* **2011**, (124) 26–35.
  12. J. Otsuki, “STM studies on double- and triple-decker porphyrin and phthalocyanine complexes”, *Supramol. Chem.* **2011**, 23 (3,4), 169–182.
  13. Sk. Jasimuddin, T. Yamada, K. Fukuju, J. Otsuki, K. Sakai, “Photocatalytic hydrogen production from water in self-assembled supramolecular iridium–cobalt systems”, *Chem. Commun.* **2010**, 46, 8466–8468.
  14. J. Otsuki, Y. Komatsu, D. Kobayashi, M. Asakawa, K. Miyake, “Rotational Libration of a Double-Decker Porphyrin Visualized”, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, 132 (20), 6870–6871.
  15. K. Suwa, J. Otsuki, K. Goto, “Photoisomerization and Thermal Isomerization of Shuttlecock- and Bowl-Equipped Phenylazopyridines”, *J. Phys. Chem. A* **2010**, 114 (2), 884–890.
  16. J. Otsuki, “STM studies on porphyrins”, *Coord. Chem. Rev.* **2010**, 254 (19–20), 2311–2341
  17. J. Otsuki, K. Namiki, Y. Arai, M. Amano, H. Sawai, A. Tsukamoto, T. Hagiwara, “Face-on and Columnar Porphyrin Assemblies at Solid/Liquid Interface on HOPG”, *Chem. Lett.* **2009**, 38 (6), 570–571.
  18. K. Suwa, J. Otsuki, K. Goto, “Synthesis of shuttlecock- and bowl-equipped phenylazopyridines and photomodulation of their coordination ability to Zn-porphyrin”, *Tetrahedron Lett.* **2009**, 50 (18), 2106–2108.
  19. J. Otsuki, “Energy transfer in noncovalent porphyrin assemblies: through-space or throughbond?”, *J. Porphyrins Phthalocyanines* **2009**, 13 (10), 1069–1081.

#### 著書/Books

1. J. Otsuki, *Supramolecular Energy and Electron-Transfer Processes and Their Switching*, in *Multiporphyrin Arrays, Fundamentals and Applications*, ed. D. Kim, Pan Stanford, USA, 2012, pp. 587–628.
2. J. Otsuki, “Molecular Nanoarchitectures on Graphite”, in *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 16, Ed. H. S. Nalwa, American Scientific Publishers, CA, USA, **2011**, 423–446.
3. 大月 穰, はじめての有機化学, 東京化学同人, 2012年1月.
4. J. Otsuki, “Supramolecular Energy and Electron Transfer Processes and Their Switching”, in *Multiporphyrin Arrays: Fundamentals and Applications*, Ed. D. Kim, Pan Stanford Publishing, Singapore, in press.
5. J. Otsuki, “Supramolecular Energy and Electron Transfer Processes and Their Switching”, in *Energy and Electron Transfer Processes in Multiporphyrin Arrays*, Ed. D. Kim, Pan Stanford Publishing, Singapore.
6. J. Otsuki, “Molecular Nanoarchitectures on Graphite”, in *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, 2nd Edition*, Ed. H. S. Nalwa, American Scientific Publishers, CA, USA, in press.
7. J. Otsuki, “Molecular Nanoarchitectures on Graphite”, in *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, 2nd Edition*, Ed. H. S. Nalwa, American Scientific Publishers, CA, USA, in press.
8. 齋藤勝裕, 大月 穰, 有機機能化学, わかる有機化学シリーズ2, 東京化学同人, 2009年11月25日
9. 齋藤勝裕, 大月 穰, わかる×わかった有機化学, オーム社, 2009年10月20日.
10. 大月 穰, 分子でバイスをめざす化学 “, in 物質応用化学インセンティブ, 秋久俊博, 櫻川昭雄, 澤口孝志, 清水 繁, 滝戸俊夫, 栃木勝己, 長田洋子, 西宮伸幸, 平野勝巳編著, 化学工業社, 2009.78-84.
11. 大月 穰, “ポリフィリン類の組織化とそのエネルギー, 電子移動特性”, in 有機薄膜太陽電池の最新技術II, 上原赫, 吉川暹監修, シーエムシー出版, 2009, 80-90

12. J. Otsuki, “Redox and Light Responsive Molecular Switches for Energy and Electron Transfer Processes”, in *Bottom-Up Nanofabrication: Supramolecules, Self-Assemblies, and Organized Films*, Ed. K. Ariga, H. S. Nalwa, American Scientific Publishers, CA, USA, **2009**, 93–123

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 大月 穰, “趣旨説明：光と物質の相互作用”, 日本化学会第 94 春季年会特別企画「光と物質の相互作用：基礎から光材料・デバイスへ」, 2014 年 3 月 27 日, 名古屋大学. 1S9-10.
2. J. Otsuki, “Coordination-Directed Self-Assemblies of Porphyrins and Chlorophylls”, International Symposium on Coordination Programming 2014 (ISCP2014), January 20–22, 2014, University of Tokyo.
3. J. Otsuki, “New Dyes and Dye Assemblies for DSSCs and Other Applications”, International Conference on Dye Sensitized Solar Cell (DSC-2013-NIMS), November 27, 2013, National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba, Japan.
4. 大月 穰, “ポルフィリン類の自己集合構造と光・電子特性：零，一，二，三次元”, 有機合成化学協会関東支部ミニシンポジウムつくば 2013, 2013 年 6 月 29 日, 筑波大学.
5. J. Otsuki, “Self-Assembly of Porphyrins and Chlorophylls for Light Energy Harvesting”, The First International Symposium on Chemical Energy Conversion Processes, June 12–13, 2013, Kyushu University.
6. J. Otsuki, “Coordination Directed Porphyrins Assemblies on Solid Surfaces and in Solutions”, BIT’s 2nd Annual World Congress of Nano-S&T, October 26–28, 2012, Qingdao, China.
7. 大月 穰, “超分子金属錯体による光エネルギー変換”, 第 61 回錯体化学討論会, 2011 年 9 月 17–19 日, 岡山理科大学, 理大町キャンパス, 岡山, S1-1.
8. J. Otsuki, “Photocatalytic Hydrogen Evolution - an Approach from Supramolecular Metal Complexes”, 14th Asian Chemical Congress (14ACC), September 5–8, 2011, Bangkok, Thailand.
9. J. Otsuki, “Photocatalytic Hydrogen Evolution - an Approach from Supramolecular Metal Complexes”, 14ACC – Cambodia Satellite Meeting, September 3–5, 2011, Siem Reap, Cambodia.
10. 大月 穰, “原子や分子を見る”, 日本大学理工学部ウィークリーカレッジ講義 2011, 2011 年 6 月 18 日, 日本大学理工学部駿河台キャンパス, 東京.
11. 大月 穰, “ダブルデッカー錯体の回転から分子回転子へ”, 文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」配位プログラミング公開講演会, 2011 年 2 月 4 日, 名古屋大学野依記念学術交流館, 名古屋.
12. J. Otsuki, “Supramolecular approach to photodriven hydrogen production with metal complexes”, Second International Symposium on the Photofunctional Chemistry of Complex Systems”, December 12–14, 2010, Keauhou Beach, Kona, Hawaii, USA.
13. 大月 穰, “最近 10 年の研究と研究グループの紹介”, PS 会第 21 回通常総会, 2010 年 12 月 11 日, 日本大学理工学部, 駿河台.
14. J. Otsuki, “Structures and dynamics of porphyrin assemblies on surfaces at the molecular level”, 16th Malaysian Chemical Congress (16MCC) 2010, October 12–14, 2010, Putra World Trade Centre, Kuala Lumpur, Malaysia.
15. J. Otsuki, “Surface Assemblies and Dynamics of Porphyrin/Phthalocyanine Complexes”, 60<sup>th</sup> Anniversary Conference on Coordination Chemistry in Osaka, Japan (60CCCO), September 27–30, 2010, International House, Osaka, 2Ib-19.
16. [特別講演] 大月 穰, “グラファイト基板表面の超分子構造とダイナミクス” 2010 年電気化学秋季大会, 2010 年 9 月 2–3 日, 神奈川工科大学, 厚木.
17. 大月 穰, “分子, 超分子, そして分子デバイスへ”, 日本大学藝術学部藝術総合講座 IV Science Communication, 2010 年 6 月 19 日, 日本大学藝術学部, 江古田, 東京.
18. 大月 穰, “基板表面での  $\pi$  共役系錯体の自己集積構造と挙動”, 日本化学会第 90 春季年会, 2010 年 3 月 26–29 日, 近畿大学, 東大阪.
19. 大月 穰, “Preparation of Compounds That Bind the Minor Groove of DNA”, 中央大学理工学部応用化学科千喜良研究室, 2009 年 11 月 27 日, 中央大学理工学部, 後樂園.

20. 大月 穰, “分子, 超分子, そして分子デバイスへ”, 日本大学藝術学部藝術総合講座IV Science Communication, 2009年11月7日, 日本大学藝術学部, 江古田, 東京.
21. 大月 穰, “基板表面での $\pi$ 共役系錯体の自己集合構造と動き”, 第59回錯体化学討論会, 2009年9月25-27日, 長崎大学, 長崎, S2-2.
22. 大月 穰, “分子からめざすナノテクノロジーの次-合成分子の集合構造と光・電子・メカニカル機能-”, 第18回材料科学に関する若手フォーラム, 2009年2月14日, 日本大学理工学部, 船橋.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 永瀬浩喜, 高橋元一郎, 石橋直也, 高橋 悟, 益子亜耶, 大月 穰, 諏訪和也, 小林大哉, “ポルフィリン誘導体および放射線力学療法におけるその使用”, 特願 2010-029205.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 大月 穰, “集光機能発現のための合成クロロフィル誘導体の集合構造制御”, 泉科学技術振興財団, 平成25年度研究助成, 2013年11月-2014年10月, 1,000,000円.
2. 大月 穰, “貴金属を用いない超分子光触媒の創製”, 科研費基盤研究(C)(一般)(H24~H26) 2,000,000円(3年間4,200,000円).
3. 大月 穰, 茶園 茂, 羽柴秀臣, 大貫進一郎, “分子回転子の構築とその制御”, 科学研究費補助金, 平成22年度新学術領域研究(公募研究)22108532, 4,600,000円(2010年度2,300,000円, 2011年度2,300,000円).
4. 大月 穰, 若山裕, “分子マシンをめざしたダブルデッカー錯体の回転の可視化と制御”, 平成21年度(2009年度)科学研究費補助金基盤研究(C)(一般)21510104, 2009年度, 1,600,000円, 2010年度, 1,100,000円, 2011年度, 900,000円.
5. 大月 穰, “分子マシンをめざしたダブルデッカー錯体の回転の可視化と制御”, 2009-2011年度科学研究費補助金基盤研究(C)(一般), 3,600,000円.
6. 大月 穰, 茶園 茂, 羽柴秀臣, 大貫進一郎, “分子回転子の構築とその制御”, 科学研究費補助金, 平成22年度新学術領域研究(公募研究), 4,600,000円(2010年度2,300,000円, 2011年度2,300,000円).
7. 大月 穰, “分子マシンをめざしたダブルデッカー錯体の回転の可視化と制御”, 2009-2011年度科学研究費補助金基盤研究(C)(一般), 3,600,000円.
8. J. A. Thomas, J. Otsuki, The Royal Society International Travel Grants - 2009R2 Travel for Collaboration, 1450.00 British Pound

#### その他の成果：メディア(学外)/Others

1. 大月 穰, 「研究成果が Chem. Commun.誌に掲載」配位プログラミング News Letter No. 19, 2011年2月15日.
2. 研究力, 日大ならではの総合力を発揮し世界へ向けて先端研究を発信, in 2011年度版卓越する大学, 大学通信, 2010年10月12日発行.
3. 「光合成」から生み出される新しい技術 someone, リバネス出版, 2009年冬号, vol.10, 2009年12月15日.

#### その他の成果：メディア(学内)/Others

1. J. Otsuki, "Fiddling with Electrons and Photons Using Metal Complexes at the Molecular Scale", 日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル, 2011, No. 124, 26-35.
2. 学部連携研究によりナノ物質を基盤とする新しい研究領域を開く, in Nubic News 10月号, 日本大学産官学連携知財センター, 2010.10.
3. 「未来創造 “N”プロジェクト-1-ナノテクに独自の取り組み」日本大学新聞, 2010年4月20日.
4. 「未来創造 “N”プロジェクト-2-超高速記録」日本大学新聞, 2010年5月20日.

5. 「最新の論文より Rotational Libration of a Double-Decker Porphyrin Visualized」配位プログラミング News Letter 2010年6月15日
6. 「未来創造 “N”プロジェクト-3-量子情報」日本大学新聞, 2010年6月20日.
7. 「班員からの論文の紹介 Rotational Libration of a Double-Decker Porphyrin Visualized」配位プログラミング News Letter 2010年7月15日
8. 「未来創造 “N”プロジェクト-4-癌治療」日本大学新聞, 2010年7月20日.
9. 「未来創造 “N”プロジェクト-5-エネルギー」日本大学新聞, 2010年8月20日

#### シンポジウムの開催等/Others

1. 大月 穰, 都築博彦, 日本化学会第94春季年会特別企画「光と物質の相互作用: 基礎から光材料・デバイスへ」, 2014年3月27日, 名古屋大学.

## 9. 大貫 進一郎/Shinichiro Ohnuki

#### 論文/Papers

1. 大貫進一郎, 中川活二, 芦澤好人, 塚本 新, 伊藤彰義, “新規な超高速高密度磁気記録の取組,” 電気学会論文誌 A, **2014**, 134(1), 26-29.
2. M. Hirano, S. Kishimoto, and S. Ohnuki, “Acceleration of the Method of Moments Using Heterogeneous CPU,” *IEICE Trans. Electron.*, **2013**, J96-C (6), 149-150.
3. K. Tamura, T. Ota, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, S. Ohnuki, and K. Nakagawa, “Circularly Polarized Light Generated by Plasmon Antenna for All-Optical Magnetic Recording”, *J. Magn. Soc. Jpn.* **2013**, 37, 115-118.
4. K. Nakagawa, A. Tajiri, K. Tamura, S. Toriumi, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, Y. Sasaki, S. Saito, M. Takahashi, and S. Ohnuki, “Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Optical Near Field with Ultra Short-Time Heating”, *J. Magn. Soc. Jpn.* **2013**, 37, 119-122.
5. S. Ohnuki, T. Takeuchi, T. Sako, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, and M. Tanaka, “Coupled Analysis of Maxwell-Schrödinger Equations by Using the Length Gauge: Harmonic Model of a Nanoplate Subjected to a 2D Electromagnetic Field”, *Int. J. Numer. Model.*, **2013**, 26, 533-544.
6. 大貫進一郎, 千葉英利 “アルゴリズムによるシミュレーションの高速化技術,” 電子情報通信学会誌, **2013**, 96(6), 391-395.
7. S. Kishimoto, S. Ohnuki, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, and W. C. Chew, “Time Domain Analysis of Nanoscale Electromagnetic Problems by a Boundary Integral Equation Method with Fast Inverse Laplace Transform,” *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, **2012**, 26, 997-1006.
8. S. Kishimoto and S. Ohnuki, “Error Analysis of Multilevel Fast Multipole Algorithm for Electromagnetic Scattering Problems,” *IEICE Trans. Electron.* **2012**, E95-C (1), 71-78.
9. S. Ohnuki, T. Mochizuki, K. Kobayashi and T. Yamasaki, “Optimization of Field Decomposition for a Mode Matching Technique,” *IEICE Transaction Electron.*, **2012**, E95-C (1), 101-104.
10. K. Nakagawa, Y. Osa, A. Tajiri, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, Y. Sasaki, K. Inoue, S. Hinata, G. X. Du, S. Saito, M. Takahashi, and A. Itoh, “Thermally Assisted Magnetic Recording Test Method Applying Surface Plasmon Antenna Stacked on Granular Media,” *Journal of the Magnetics Society of Japan*, **2012**, 36, 58-61.
11. T. Ota, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, S. Ohnuki, H. Iwamatsu, A. Tsukamoto, and A. Itoh, “Dependence of Circularly Polarized Light Excited by Plasmon Aperture on Relative Position to Magnetic Particles for All-Optical Magnetic Recording,” *Journal of the Magnetics Society of Japan*, **2012**, 36, 66-69.
12. M. Hirano and S. Ohnuki, “Fast Computation for Electromagnetic Scattering Problems Using a Heterogeneous Multi-Core Processor,” *IEICE Electronics Express*, **2011**, 8(16), 1330-1336.
13. K. Nakagawa, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, A. Itoh, and A. Tsukamoto, “Confined Circularly Polarized Light Generated by Nano-Size Aperture for High Density All-Optical Magnetic Recording,”

*Journal of Applied Physics*, **2011**, 109, 07B735. Selected for *Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology*, 2011.

14. S. Ohnuki and Y. Kitaoka, "Analysis of Transient Electromagnetic Scattering from Open Cylindrical Objects by Numerical Inversion of Laplace Transform," *IEICE Trans. Electron.* **2011**, E94-C (1), 68-71.
15. S. Ohnuki, R. Ohsawa, and T. Yamasaki, "EM Scattering from Rectangular Cylinders with Various Wedge Cavities and Bumps," *IEICE Trans. Electron.* **2010**, E93-C (1), 77-80.
16. S. Ohnuki, T. Mochizuki, and T. Yamasaki, "Error Prediction of the Point Matching Method for EM scattering from a Conducting Rectangular Cylinder," *IEEJ Trans.*, **2009**, 129(10), 727-728.
17. S. Ohnuki, "Error Bounds of the Fast Inhomogeneous Plane Wave Algorithm," *IEICE Trans. Electron.*, **2009**, E92-C (1), 169-172.
18. S. Ohnuki, K. Kobayashi, S. Kishimoto, and T. Yamasaki "Analysis of Electromagnetic Scattering from a Spherical Shell by the 3D Point Matching Method", *IEICE Transaction Electron.* (conditional acceptance).
19. T. Takeuchi, S. Ohnuki, and T. Sako, "Comparison between Classical and Semi-Quantum Hybrid Simulations for Multi-Well Electrostatic Potential", *IEEE Journal of Quantum Electronics* (conditional acceptance).

#### 著書/Books

1. 浜松芳夫, 山崎恆樹, 伊藤洋一, 大貫進一郎, 一番わかる！電磁気学演習, オーム社, 2013.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. T. Takeuchi, S. Ohnuki, T. Sako, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, and M. Tanaka, "High Accuracy Analysis of Light-Electron Interaction by Multi-Physics Simulation –Investigation for Thin Film and Tube in Laser Field," 電子情報通信学会 2014 年 総合大会, 2014 年 3 月, 新潟大学 (発表予定).
2. S. Ohnuki, Y. Ashizawa, and K. Nakagawa, "Design of Ultrafast and High-Density Magnetic Recording System Using Plasmonic Antennas and Bit-Patterned Media," Workshop on Electromagnetic Theory, Modeling and Simulation, June 7-10, Chengdu, China, 2013.
3. S. Kishimoto, S. Ohnuki, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, S. Y. Huang, and W. C. Chew, "Transient Analysis of Electromagnetic Fields of Nano Structures by Integral Solvers with FILT," 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory (EMTS 2013), May 20-24, Hiroshima, Japan, 2013.
4. 大貫進一郎, 加藤 司, 芦澤好人, 中川活二, "プラズモニッククロスアンテナを用いた高密度光直接記録方式の提案", 2013 年電子情報通信学会総合大会エレクトロニクスシミュレーション, 岐阜大学.
5. S. Ohnuki, "Analysis of Transient Electromagnetic Scattering from Arbitrary Objects," 2010 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, April 12-16, 2010, Beijing, China.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 中川活二, 芦澤好人, 大貫進一郎, 伊藤彰義, 塚本新, 「情報記録ヘッド、情報記録装置、情報記録方法及び光デバイス」, 特願 2010-161996, 特開 2012-22760.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 大貫進一郎, "ナノ電磁界シミュレーションによる光と物質の相互作用の解析", 2013 年度日本大学理工学部学術賞, 1,000,000 円.
2. 大貫進一郎 (研究代表), 中川活二, 伊藤彰義, 塚本 新, 芦澤好人 (連携研究者), "ナノアンテナ励起局所的円偏光を用いた次世代超高速光直接記録への挑戦", 2010-2012 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般) 3,940,000 円 (2010 年度 2,340,000 円, 2011 年度, 800,000 円)

3. 大貫進一郎, 中川活二 “複素周波数領域積分方程式法を用いた超高速電磁界解析による局所的円偏光励起ナノアンテナの最適化設計”, カシオ科学振興財団, 1,000,000 円.
4. 大月 穰, 茶園 茂, 羽柴秀臣, 大貫進一郎, “分子回転子の構築とその制御”, 科学研究費補助金, 平成 22 年度新学術領域研究 (公募研究), 4,600,000 円 (2011 年度 2,300,000 円).
5. 中川活二, 芦澤好人, 塚本新, 伊藤彰義, 大貫進一郎, “近接場光アンテナ励起局所円偏光生成による次世代高速度・高密度磁気記録”, 2011-2013 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般), 4,200,000 円(2011 年度 2,900,000 円).
6. 大貫進一郎 (研究代表), 中川活二 (共同研究者), “複素周波数領域微分方程式法を用いた超高速電磁界解析による局所的円偏光励起ナノアンテナの最適化設計”, カシオ科学振興財団, 1,000,000円
7. 大貫進一郎, “スペースネットワーク構築に向けた大規模電磁界解析シミュレータの開発”, 平成21年度日本大学学術研究助成金 [一般研究 (個人研究)], 1,000,000円

#### その他の成果：受賞/Others

1. 大貫進一郎, 平成 25 年度理工学部学術賞, 2013 年 11 月 21 日.
2. K. Nakagawa, A. Tajiri, K. Tamura, S. Toriumi, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, Y. Sasaki, S. Saito, M. Takahashi, and S. Ohnuki, 平成 25 年度日本磁気学会論文賞, 2013 年 9 月 4 日.
3. 岸本誠也, “光直接記録に向けた近接場光発生素子の設計とシミュレーション法の開発”, 日本学術振興会特別研究員-DC2, 平成 25 年度.
4. 岸本誠也, 平成 24 年度電気学会優秀論文発表賞(基礎・材料・共通部門表彰), 2013 年 9 月 12 日.
5. 影山雄一, 平成 25 年度 電気学会東京支部学生優秀発表賞, 2013 年 9 月 3 日.
6. 長澤和也, 平成 25 年度 電気学会東京支部学生優秀発表賞, 2013 年 9 月 3 日.
7. 加藤 司, 電子情報通信学会平成 24 年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞, 2013 年 6 月 14 日.
8. 竹内 嵩, 平成 24 年度電子情報通信学会学術奨励賞, 2013 年 3 月 20 日.
9. 竹内 嵩, 平成 24 年度電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞, 2013 年 3 月 20 日.
10. 加藤 司, 平成 23 年電気学会優秀論文発表賞 (基礎・材料・共通部門表彰), 2012 年 9 月 20 日.
11. 岸本誠也, 電子情報通信学会平成 23 年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞, 2012 年 5 月 25 日.
12. 竹内 嵩, 電子情報通信学会平成 23 年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞, 2012 年 5 月 25 日.
13. 大貫進一郎, 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ活動功労賞, 2012 年 3 月 21 日.
14. 岸本誠也, 平成 23 年度電子情報通信学会学術奨励賞, 2012 年 3 月 21 日.
15. 加藤 司, 平成 23 年度電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞, 2012 年 3 月 21 日.
16. 北岡優弥, 平成 22 年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞受賞, 2011 年 5 月 28 日.
17. 平野正樹, 平成 22 年度電磁界理論研究会学生優秀発表賞受賞, 2011 年 5 月 28 日.
18. 岸本誠也, 平成 21 年度電子情報通信学会電磁界理論研究会学生優秀発表賞, 2010 年 5 月 29 日.
19. 望月崇久, 平成20年度電子情報通信学会電磁界理論研究会学生優秀発表賞, 2009年5月23日.
20. 岡田辰一郎, 平成20年度電子情報通信学会東京支部学生奨励賞, 2009年5月23日.

#### 10. 加野 浩一郎/Koichiro Kano

## 論文/Papers

1. Nobusue H, Onishi N, Shimizu T, Sugihara E, Oki Y, Sumikawa Y, Chiyoda T, Akashi K, Saya H, Kano K, Regulation of MKL1 via actin cytoskeleton dynamics drives adipocyte differentiation, *Nat Commun*, **2014** in press
2. Kono S, Kazama T, Kano K, Uechi M, Matsumoto T, Phenotypic and functional properties of feline dedifferentiated fat cells, *Vet J*, **2014**, in press.
3. Mikami Y, Matsumoto T, Kano K, Torium T, Somei M, Honda MJ, Current status of drug therapies for osteoporosis and the search for stem cells adapted for bone regenerative medicine. *Anat Sci Int*, **2014**, 89(1)1-10.
4. Kikita S, Tanaka N, Kazama T, Kazama M, Kano K, Ryu J, Takuhashi Y, Matsumoto T, Ostogenic effects of dedifferentiated fat cell transplantation in rabbit model of bone defect and ovariectomy-induced osteoporosis. *Tissue Eng Part A*, **2013**, 19(15): 1792-1802.
5. Oki Y, Ono H, Motohashi T, Sugiura N, Nobusue H, Kano K, Dedifferentiated follicular granulosa cells derived from pig ovary can transdifferentiate into osteoblasts. *Biochem J*, **2012**, 447(2): 239-248.
6. Obinata D, Matsumoto T, Ikado Y, Sakuma T, Kano K, Fukuda N, Yamaguchi K, Mugishima H, Takahashi S, Transplantation of mature adipocyte-derived dedifferentiated fat (DFAT) cells improves urethral sphincter contractility in a rat model. *Int J Urol*, **2011**, 18(12): 827-834.
7. Ono H, Oki Y, Bono H, Kano K, Gene expression profiling in multipotent DFAT cells derived from mature adipocytes. *Biochem Biophys Res Commun*, **2011**, 407(3): 562-567.
8. Yamamoto M, Taniguchi Y, Kano K, Yamada T, Characteristics of Proliferation and Differentiation-Dependent C/EBP, PPAR  $\gamma$  and Leptin Gene Expression Patterns Intrinsic to Bovine Intramuscular, Perineal and Subcutaneous Preadipocytes. *J Anim Vet Adv*, **2010**, 9(11): 1639-1645.
9. Nobusue H, Kano K, Establishment and Characteristics of Porcine Preadipocyte Cell Lines Derived from Mature Adipocytes, *J Cell Biochem*, **2010**, 109(3): 542-52..
10. Kobayashi I, Ono H, Moritomo T, Kano K, Nakanishi T, Suda T, Comparative gene expression analysis of zebrafish and mammals identifies common regulators in hematopoietic stem cells, *Blood*, **2010**, 115(2): e1-9.
11. Jumabay M, Matsumoto T, Yokoyama SI, Kano K, Kusumi Y, Masuko T, Mitsumata M, Saito S, Hirayama A, Mugishima H, Fukuda N, Dedifferentiated fat cells convert to cardiomyocyte phenotype and repair infarcted cardiac tissue in rats. *J Mol Cell Cardiol*, **2009**, 47 (5): 565-575.
12. Matsubara Y, Kano K, Kondo D, Mugishima H, Matsumoto T, Differences in adipocytokines and fatty acid composition between two adipocyte fractions of small and large cells in high-fat diet induced obese mice. *Annals of Nutrition and Metabolism*, **2009**, 54 (4): 258-267.
13. Sakuma T, Matsumoto T, Kano K, Fukuda N, Obinata D, Yamaguchi K, Yoshida T, Takahashi S, Mugishima H, Mature adipocyte-derived dedifferentiated fat cells can differentiate into smooth muscle-like cells and contribute to bladder tissue regeneration. *J Urol*, **2009**, 182 (1): 355-365.
14. Tomii R, Kurome M, Wako N, Ochiai T, Matsunari H, Kano K, Nagashima H, Production of cloned pigs by nuclear transfer of preadipocytes following cell cycle synchronization by differentiation induction. *J Rprod Dev*. **2009**, 55 (2): 121-127.

## 招待講演/Invited Lectures

1. 加野浩一郎, “成熟脂肪細胞を用いた新規の再生医療用ドナー細胞の開発-脱分化脂肪細胞 DFAT の特性と応用”, 再生医療研究セミナー, 医療基盤活用型クラスター形成支援事業, 2013年11月13日、琉球大学医学部, 沖縄.
2. Nobusue H, Onishi N, Oki Y, Shimizu T, Saya H, Kano K “The remodeling of actin stress fibers acts as a trigger for in vitro adipocyte differentiation”, 第63回日本細胞生物学会シンポジウム「細胞メカノセンシングの新展開」, 2011年6月27~29日, 北海道大学学術交流館, 札幌.
3. 加野浩一郎, “成熟脂肪細胞に由来する多能前駆細胞 DFAT の樹立と特性”, 第51回歯科基礎医学会学術大会・総会, 2009年9月9-11日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター,

新潟, SS2.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 加野浩一郎, “終末分化した体細胞の自発的な脱分化および多能性獲得にかかわる遺伝子の探索”, 2015~2017 年度科学研究費補助金 基盤(B)(一般), 申請中
2. 加野浩一郎, “人工多能性細胞を用いた研究開発用モデル細胞株の創製”平成 25 年度 医療基盤活用型クラスター形成支援事業, 5,250,000 円
3. 加野浩一郎, “脱分化および多能性獲得機構の解明”, 2010~2012 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般), 4,680,000 円
4. 加野浩一郎 “皮下脂肪組織由来の成熟脂肪細胞を起源とする非侵襲的多能性細胞の取得技術の開発”平成 22~24 年度 先端医療産業化研究事業, 14,510,000 円
5. 加野浩一郎, “成熟脂肪細胞に由来する神経系細胞の分化特性および移植に関する研究”, 2007-2009 年度科学研究費補助金基盤 (C) (一般), 4,700,000 円
6. 加野浩一郎, 他 “脱分化による体細胞の可塑性と多能性獲得機構に関する研究”, 日本大学 学術研究助成金 (総合研究), 7,930,000 円

#### シンポジウムの開催等/Others

1. 加野浩一郎, 日本大学学部連携研究推進シンポジウム「第 2 回日本大学幹細胞研究フォーラム：シンポジウム 脱分化脂肪細胞 (DFAT) の基礎と応用」平成 25 年 1 月 29 日 (火) 日本大学大講堂
2. 加野浩一郎, 日本大学学部連携研究推進シンポジウム「第 1 回日本大学幹細胞研究フォーラム：シンポジウム 日本大学における幹細胞研究の連携推進」平成 23 年 1 月 22 日 (土) 日本大学大講堂

## 1 1. 草深 竹志/Takeshi Kusafuka

#### 論文/Papers

1. Sugito K, Kawashima H, Kusafuka T, et al: Mesenchymal hamartoma of the liver originating in the caudate lobe with t(11;19)(q13;q13.4): report of a case. Surg Today; 40(1):83-7. 2010.
2. Konuma N, Matsumoto T, Kusafuka T, et al: Mouse Embryonic Stem Cells Give Rise to Gut-Like Morphogenesis, Including Intestinal Stem Cells, in the Embryoid Body Model. Stem Cells Dev, 41(4): 113-25, 2009.
3. Tomita R, Igarashi S, Kusafuka T, et al: Effects of mosapride citrate on patients after vagal nerve, lower esophageal sphincter, and pyloric sphincter-preserving nearly total gastrectomy reconstructed by jejunal J pouch interposition, and postoperative quality of life. Hepatogastroenterology. 55(82-83):760-5. 2008.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 「Myc 下流遺伝子群を標的とした配列特異的 DNA 結合化合物による疾患治療候補探索と疾患治療化合物」 NUBIC 案件番号:11350 出願番号:特願 2009-061321 PCT/JP2009/066111 出願日平成 21 年 3 月 13 日 公開番号:未公開 公開日:未公開 出願人: 永瀬浩喜, ラジーブ・ミシュラ, 木村 真, 渡部隆義, 川島弘之, 植草省太, 草深竹志

#### その他 (受賞, メディア等) : 学内/Others

1. 2009 年 2 月 25 日, 日本大学広報掲載 “小児がんデーマに地域連携セミナー, 医・付属板橋病院” (草深)



## 1 2. 桑本 剛/Takeshi Kuwamoto

### 論文/Papers

1. T. Kuwamoto and T. Hirano “Collective Excitation of Bose-Einstein Condensates Induced by Evaporative Cooling”, *Journal of the Physical Society of Japan* **2012**, *81*, 074002.
2. H. Shibayama, Y. Yasaku, T. Kuwamoto, “Vortex nucleation in Bose-Einstein condensates confined in a QUIC trap by topological phase imprinting”, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* 2011, *44* (075302) 1-6.
3. T. Kuwamoto, H. Usuda, S. Tojo, and H. Hirano “Dynamics of Quadruply Quantized Vortices in <sup>87</sup>Rb Bose-Einstein Condensates Confined in Magnetic and Optical Trap”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **2010**, *79*, 034004.

### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 桑本 剛, “内部自由度のあるボース・アインシュタイン凝縮体注への光保存”, 2009-2010年度日本大学理工学部特別推進研究C, 1,800,000円
2. 桑本 剛, “極低温原子集団およびボース・アインシュタイン凝縮体による光保存”, 2008-2009年, 光科学技術研究振興財団助成, 200万円 (2008年度), 50万円 (2009年度).

### その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. 英国物理学会 *Journal of Physics B* 誌の Highlight of 2011 に選出. H. Shibayama, Y. Yasaku, T. Kuwamoto, ”Vortex nucleation in Bose-Einstein condensates confined in a QUIC trap by topological phase imprinting”, *J. Phys. B* 2011, *44*, 075302.

## 1 3. 越永 従道/Tsugumichi Koshinaga

### 論文/Papers

1. Watanabe N, Omagari D, Yamada T, Nemoto N, Furuya T, Sugito K, Koshinaga T, Yagasaki H, Sugitani M. Anaplastic sarcoma of the kidney: case report and literature review. *Pediatr Int* 55:e129-32. 2013. Oct 10.1111/ped.12167
2. Sugito K, Kawashima H, Yoshizawa S, Uekusa S, Hoshi R, Furuya T, Kaneda H, Hosoda T, Konuma N, Masuko T, Ohashi K, Ikeda T, Koshinaga T, Tomita R, Shinojima Y, Fujiwara K, Watanabe T, Held WA, Nagase H. Non-promoter DNA hypermethylation of Zygote Arrest 1 (ZAR1) in neuroblastomas. *J Pediatr Surg* 48:782-8. 2013. Apr10.1016/j.jpedsurg.2012.08.008S0022-3468(12)00645-8 [pii]
3. Sugito K, Kawashima H, Uekusa S, Yoshizawa S, Hoshi R, Furuya T, Kaneda H, Hosoda T, Masuko T, Ohashi K, Ikeda T, Koshinaga T, Fujiwara K, Igarashi J, Ghosh S, Held WA, Nagase H. Identification of aberrant methylation regions in neuroblastoma by screening of tissue-specific differentially methylated regions. *Pediatr Blood Cancer* 60:383-9. 2013. Mar 10.1002/pbc.24282
4. Kamisawa T, Ando H, Hamada Y, Fujii H, Koshinaga T, Urushihara N, Itoi T, Shimada H. Diagnostic criteria for pancreaticobiliary maljunction 2013. *J Hepatobiliary Pancreat Sci.* 2013. Dec 510.1002/jhbp.57
5. Itoi T, Kamisawa T, Fujii H, Inui K, Maguchi H, Hamada Y, Nakano T, Ando H, Koshinaga T, Shibagaki K, Obayashi T, Miyazawa Y. Extrahepatic bile duct measurement by using transabdominal ultrasound in Japanese adults: multi-center prospective study. *J Gastroenterol* 48:1045-50. 2013. Sep 10.1007/s00535-012-0702-0
6. Inoue M, Sugito K, Ikeda T, Kawashima H, Hanada M, Furuya T, Ohashi K, Koshinaga T. Long-Term Results of Seton Placement for Fistula-in-ano in Infants. *J Gastrointest Surg.* 2013.

- Sep 25 10.1007/s11605-013-2351-x
7. Hoshino M, Sugito K, Kawashima H, Goto S, Kaneda H, Furuya T, Hosoda T, Masuko T, Ohashi K, Inoue M, Ikeda T, Tomita R, Koshinaga T, Prediction of contralateral inguinal hernias in children: a prospective study of 357 unilateral inguinal hernias. *Hernia*. 2013. May 5  
10.1007/s10029-013-1099-2
  8. Horaguchi J, Fujita N, Kamisawa T, Honda G, Chijiwa K, Maguchi H, Tanaka M, Shimada M, Igarashi Y, Inui K, Hanada K, Itoi T, Hamada Y, Koshinaga T, Fujii H, Urushihara N, Ando H. Pancreatobiliary reflux in individuals with a normal pancreaticobiliary junction: a prospective multicenter study. *J Gastroenterol*. 2013. Jun 5 10.1007/s00535-013-0837-7
  9. 富田涼一, 藤崎滋, 櫻井健一, 杉藤公信, 越永従道, 柴田昌彦. 大腸癌局所再発による悪性小腸イレウスの検討. *癌と化学療法* 40:1942-3. 2013. Nov
  10. 富田涼一, 丹正勝久, 藤崎滋, 櫻井健一, 杉藤公信, 越永従道. 癒着性イレウスの選択的小腸造影所見からみた治療方針 特に四方分類による. *日本救命医療学会雑誌* 27:15-8. 2013. 2013.09
  11. 長島沙樹, 櫻井健一, 鈴木周平, 原由起子, 和賀瑛子, 平野智寛, 榎本克久, 藤崎滋, 天野定雄, 越永従道. 同側乳房に多発した腫瘤を認めた1例. *癌と化学療法* 40:2414-6. 2013. Nov
  12. Uekusa S, Sugito K, Kawashima H, Yoshizawa S, Furuya T, Ohashi K, Ikeda T, Koshinaga T, Mugishima H. Successful treatment for hepatoblastoma in a 1-year-old boy with trisomy 18. *Pediatr Int* 54:428-30. 2012. Jun 10.1111/j.1442-200X.2011.03528.x
  13. Tomita R, Sakurai K, Fujisaki S, Koshinaga T. Role of vasoactive intestinal peptide on the proximal and distal parts from the dentate line in the normal human internal anal sphincter. *Hepatogastroenterology* 59:2155-7. 2012. Oct 10.5754/hge10394
  14. Tomita R, Ikeda T, Fujisaki S, Sugito K, Sakurai K, Koshinaga T, Shibata M. Ano-neorectal function using manometry on patients after restorative proctocolectomy and ileal J-pouch anal anastomosis for ulcerative colitis in children. *Hepatogastroenterology* 59:112-5. 2012. Jan-Feb 10.5754/hge11335
  15. Tomita R, Ikeda T, Fujisaki S, Sugito K, Sakurai K, Koshinaga T, Shibata M. Surgical technique for the transperineal approach of anterior levatorplasty and recto-vaginal septum reinforcement in rectocele patients with soiling and postoperative clinical outcomes. *Hepatogastroenterology* 59:1063-7. 2012. Jun 10.5754/hge09360
  16. Sugito K, Furuya T, Kaneda H, Masuko T, Ohashi K, Inoue M, Ikeda T, Koshinaga T, Tomita R, Maebayashi T. Long-term follow-up of nutritional status, pancreatic function, and morphological changes of the pancreatic remnant after pancreatic tumor resection in children. *Pancreas* 41:554-9. 2012. May 10.1097/MPA.0b013e318232a6e2
  17. Ohshima J, Haruta M, Fujiwara Y, Watanabe N, Arai Y, Ariga T, Okita H, Koshinaga T, Oue T, Hinotsu S, Nakadate H, Horie H, Fukuzawa M, Kaneko Y. Methylation of the RASSF1A promoter is predictive of poor outcome among patients with Wilms tumor. *Pediatr Blood Cancer* 59:499-505. 2012. Sep 10.1002/pbc.24093
  18. Kawashima H, Sugito K, Yoshizawa S, Uekusa S, Furuya T, Ikeda T, Koshinaga T, Shinojima Y, Hasegawa R, Mishra R, Igarashi J, Kimura M, Wang X, Fujiwara K, Gosh S, Nagase H. DNA hypomethylation at the ZNF206-exon 5 CpG island associated with neuronal differentiation in mice and development of neuroblastoma in humans. *Int J Oncol* 40:31-9. 2012. Jan 10.3892/ijo.2011.1234
  19. Itoi T, Kamisawa T, Fujii H, Inui K, Maguchi H, Hamada Y, Nakano T, Ando H, Koshinaga T, Shibagaki K, Obayashi T, Miyazawa Y. Extrahepatic bile duct measurement by using transabdominal ultrasound in Japanese adults: multi-center prospective study. *J Gastroenterol*. 2012. Nov 6 10.1007/s00535-012-0702-0
  20. 服部努, 東風貢, 中山壽之, 井上幹也, 榎本克久, 吉武勇, 古市基彦, 前田英明, 大森一光, 高山忠利, 越永従道, 天野定雄, 塩野元美. 日大外科の手術力(第5報) 2011年外科学系手

- 術統計. 日大医学雑誌 71:460-9. 2012.12
21. 南郷容子, 池田太郎, 金田英秀, 古屋武史, 大橋研介, 井上幹也, 杉藤公信, 越永従道. 小腸小腸重積症の診断と治療. 小児外科 44:67-70. 2012.01
  22. 長島沙樹, 櫻井健一, 鈴木周平, 原由起子, 和賀瑛子, 飯塚美紗都, 瀧ノ上史, 平野智寛, 榎本克久, 谷眞弓, 増田しのぶ, 天野定雄, 越永従道. 局所療法を断念したLCISとDCISが混在した乳癌の1例. 癌と化学療法 39:1033-2035. 2012.11
  23. 池田太郎, 金田英秀, 古屋武史, 南郷容子, 大橋研介, 井上幹也, 杉藤公信, 越永従道. 膈sliding-window法による上腹壁ヘルニア修復術の1例. 日本小児外科学会雑誌 48:254-8. 2012.04
  24. 大橋研介, 池田太郎, 古屋武史, 金田英秀, 南郷容子, 井上幹也, 杉藤公信, 越永従道. 超低出生体重児に対する"Sutureless Enterostomy". 日本小児外科学会雑誌 48:716-21. 2012.06
  25. 大橋研介, 越永従道, 池田太郎, 古屋武史, 金田英秀, 南郷容子, 井上幹也, 杉藤公信, 後藤博志. 超低出生体重児にみられる腸重積症. 小児外科 44:581-5. 2012.06
  26. 大橋研介, 越永従道, 加藤礼保納, 渡邊揚介, 橋本真, 古屋武史, 金田英秀, 南郷容子, 井上幹也, 杉藤公信, 池田太郎. 壊死性腸炎術後にacquired hypoganglionosisをきたした1例 第55回モーニングカンファレンス報告. 小児外科 44:695-8. 2012.07
  27. 古屋武史, 井上幹也, 南郷容子, 金田英秀, 大橋研介, 杉藤公信, 池田太郎, 越永従道. 高ガストリン血症を伴った十二指腸重複症の1例. 日本小児外科学会雑誌 48:759-65. 2012.06
  28. 金田英秀, 杉藤公信, 吉澤信輔, 植草省太, 川島弘之, 古屋武史, 大橋研介, 井上幹也, 池田太郎, 越永従道. 陰嚢水腫と診断され経過観察された精巣成熟奇形腫の1例. 日本小児外科学会雑誌 48:754-8. 2012.06
  29. 吉澤信輔, 杉藤公信, 蘇我晶子, 植草省太, 金田英秀, 古屋武史, 大橋研介, 井上幹也, 池田太郎, 越永従道. 超低出生体重児にWilson-Mikity症候群とBeckwith-Wiedemann症候群を伴った肝芽腫の1例. 日本小児外科学会雑誌 48:956-60. 2012.10
  30. 花田学, 池田太郎, 萩原紀嗣, 植草省太, 細川崇, 大橋研介, 井上幹也, 杉藤公信, 越永従道. 先天性恥骨前瘻孔の1例. 日大医学雑誌 71:256-9. 2012.08
  31. Tomita R, Igarashi S, Ikeda T, Sugito K, Sakurai K, Fujisaki S, Koshinaga T, Shibata M. Study of segmental colonic transit time in healthy men. Hepatogastroenterology 58:1519-22. 2011. Sep-Oct 10.5754/hge10849
  32. Sugito K, Uekusa S, Kawashima H, Furuya T, Ohashi K, Inoue M, Ikeda T, Koshinaga T, Tomita R, Mugishima H, Maebayashi T. The clinical course in pediatric solid tumor patients with focal nodular hyperplasia of the liver. Int J Clin Oncol 16:482-7. 2011. Oct 10.1007/s10147-011-0210-x
  33. Sugito K, Furuya T, Kaneda H, Masuko T, Ohashi K, Inoue M, Ikeda T, Koshinaga T, Yagasaki H, Mugishima H, Maebayashi T. Application of high-dose rate (60)Co remote after-loading system for local recurrent neuroblastoma. J Pediatr Surg 46:e25-8. 2011. Nov 10.1016/j.jpedsurg.2011.07.028S0022-3468(11)00652-X [pii]
  34. Koshinaga T, Inoue M, Ohashi K, Sugito K, Ikeda T, Tomita R. Therapeutic strategies of meconium obstruction of the small bowel in very-low-birthweight neonates. Pediatr Int 53:338-44. 2011. Jun 10.1111/j.1442-200X.2010.03231.xPED3231 [pii]
  35. Koshinaga T, Inoue M, Ohashi K, Sugito K, Ikeda T, Hagiwara N, Tomita R. Persistent biliary dilatation and stenosis in postoperative congenital choledochal cyst. J Hepatobiliary Pancreat Sci 18:47-52. 2011. Jan 10.1007/s00534-010-0294-0
  36. 富田涼一, 藤崎滋, 櫻井健一, 杉藤公信, 越永従道, 柴田昌彦. 豊胸術後の右乳房生理食塩水バッグ破裂を認めた1症例. Therapeutic Research 32:1187-9. 2011.09
  37. 富田涼一, 藤崎滋, 杉藤公信, 池田太郎, 櫻井健一, 越永従道, 柴田昌彦, 丹正勝久. 大腸憩室症の病態生理. 日大医学雑誌 70:226-9. 2011.10
  38. 前岡瑛里, 池田太郎, 古屋武史, 星玲奈, 橋本真, 渡邊揚介, 蘇我晶子, 南郷容子, 金田英秀, 大橋研介, 井上幹也, 杉藤公信, 越永従道. 急性膵炎で発症した先天性胆道拡張症の1小児例. 日大医学雑誌 70:217-20. 2011.08

39. 星野真由美, 杉藤公信, 大橋研介, 井上幹也, 池田太郎, 越永従道. 小児外鼠径ヘルニア対側発症症例の統計的考察 エビデンスに基づいた医療を提供するために. 日本小児外科学会雑誌 47:213-9. 2011.04
40. 上野滋, 森川康英, 岩井潤, 奥山直樹, 越永従道, 鈴木則夫, 高松英夫, 田口智章, 瀧本康史, 松藤凡, 八木誠, 直腸肛門奇形研究科JASGAP委員会. 患者のQOLに与える影響を考慮した新たな排便機能評価試案の検討(第1報). 日本小児外科学会雑誌 47:35-46. 2011.02
41. 細田利史, 飯野正敏, 木村正幸, 福長徹, 菅本祐司, 成島一夫, 武藤頼彦, 花岡俊晴, 後藤俊平, 金田英秀, 池田太郎, 越永従道. 腹腔鏡補助下に摘出したAbdominoscrotal hydroceleの1例. 日大医学雑誌 70:283-6. 2011.12
42. 榎本克久, 櫻井健一, 井上幹也, 五島雅和, 和久井真司, 西井竜也, 古市基彦, 中山壽之, 東風貢, 前田英明, 大森一光, 越永従道, 塩野元美, 高山忠利, 天野定雄. 日大外科の手術力(第4報) 2010年外科学系手術統計. 日大医学雑誌 70:260-8. 2011.10
43. Tomita R, Igarashi S, Fujisaki S, Koshinaga T, Kusafuka T. Are there any functional differences of the enteric nervous system between jejunum and ileum in normal humans? Hepatogastroenterology 57:777-80. 2010. Jul-Aug
44. Tomita R, Igarashi S, Fujisaki S, Koshinaga T. Significance of defecography in the diagnosis and evaluation of male patients with defecation disorders. Hepatogastroenterology 57:220-3. 2010. Mar-Apr
45. Tomita R, Fujisaki S, Koshinaga T, Kusafuka T. Clinical assessments in patients ten years after pylorus-preserving gastrectomy with or without preserving both pyloric and hepatic branches of the vagal nerve for early gastric cancer. Hepatogastroenterology 57:984-8. 2010. Jul-Aug
46. Sugito K, Uekusa S, Kawashima H, Masuko T, Furuya T, Konuma N, Ohashi K, Inoue M, Ikeda T, Koshinaga T. Effect of combined treatment with FK506, FTY720, and ex vivo graft irradiation in rat small bowel transplantation: expression of mucosal addressin cell adhesion molecule-1. Pediatr Transplant 14:614-7. 2010. Aug 10.1111/j.1399-3046.2010.01295.xPTR1295 [pii]
47. Sugito K, Kusafuka T, Kawashima H, Uekusa S, Furuya T, Ohashi K, Inoue M, Ikeda T, Koshinaga T, Maebayashi T. Usefulness of power Doppler ultrasonography and superparamagnetic iron oxide enhanced magnetic resonance imaging for diagnosis of focal nodular hyperplasia of the liver after treatment of neuroblastoma. Pediatr Hematol Oncol 27:250-6. 2010. Apr 10.3109/08880010903464206
48. Sugito K, Kusafuka T, Hoshino M, Inoue M, Ikeda T, Hagiwara N, Koshinaga T, Shichino H, Chin M, Mugishima H. Application of radiofrequency ablation for giant solid pseudopapillary tumor of the pancreas. Pediatr Int 52:e29-31. 2010. Feb 10.1111/j.1442-200X.2009.02999.xPED2999 [pii]
49. 富田涼一, 藤崎滋, 杉藤公信, 池田太郎, 櫻井健一, 越永従道, 柴田昌彦. 迷走神経温存からみた幽門輪温存幽門側胃切除術の病態. 日本臨床生理学会雑誌 40:231-4. 2010.12
50. 彦, 瀬在明, 前田英明, 中山壽之, 天野定雄, 越永従道, 大森一光, 塩野元美, 高山忠利. 日大外科の手術力(第3報) 2009年度外科学系手術統計. 日大医学雑誌 69:230-7. 2010.08
51. 浅井 陽, 池田太郎, 南郷容子, 井上幹也, 杉藤公信, 萩原紀嗣, 越永従道, 草深竹志. CA19-9とCA125が高値を呈した処女膜閉鎖症の1例. 日本小児外科学会雑誌 46:956-61. 2010.10
52. 川島弘之, 杉藤公信, 吉澤信輔, 植草省太, 古屋武史, 大橋研介, 池田太郎, 越永従道, 草深竹志, 永瀬浩喜, von Hippel-Lindau(VHL)遺伝子の生殖細胞変異を伴った傍神経節腫の1例. 日本小児外科学会雑誌 46:777-82. 2010.06
53. 杉藤公信, 大橋研介, 吉澤信輔, 植草省太, 川島弘之, 古屋武史, 井上幹也, 池田太郎, 越永従道, 草深竹志, 谷ヶ崎博, 七野浩之, 陳基明, 麦島秀雄. 臍芽腫・臍腺房細胞癌の混合型腫瘍の1例. 小児がん 47:137-41. 2010.02
54. 杉藤公信, 星 玲奈, 花田 学, 吉澤信輔, 植草省太, 川島弘之, 古屋武史, 大橋研介, 井上幹也, 池田太郎, 越永従道, 草深竹志, 梁尚 弘, 谷ヶ崎博, 七野浩之, 陳基明, 麦島秀雄. 完全寛解後に緩徐な血清AFP値の上昇に伴って再発肺転移を認めた肝芽腫の1例. 小児がん

- 47:132-6. 2010.02
55. 細川崇, 鴫田博美, 松山貴俊, 坂本兼太郎, 西田清孝, 巖康仁, 輿石晴也, 岡村 孝, 越永従道. Bevacizumab併用大腸癌化学療法中に静脈血栓症を認めた2例. 癌と化学療法 37:2520-2. 2010.11
  56. 細川 崇, 杉藤公信, 花田 学, 植草省太, 大橋研介, 井上幹也, 池田太郎, 越永従道, 草深竹志. 先天性嚢胞性腺腫様奇形術後に呼吸障害を伴った漏斗胸に対してRavitch手術にて改善を得た1例. 日本小児外科学会雑誌 46:37-40. 2010.02
  57. Tomita R, Igarashi S, Koshinaga T, Fujisaki S, Kusafuka T. Studies on pudendal nerve terminal motor latency in patients after ileal J-pouch-anal anastomosis for ulcerative colitis and adenomatous coli in childhood. Hepatogastroenterology 56:154-7. 2009. Jan-Feb
  58. Oue T, Fukuzawa M, Okita H, Mugishima H, Horie H, Hata J, Saito M, Nozaki M, Chin M, Nakadate H, Hinotsu S, Koshinaga T, Kaneko Y, Kitano Y, Tanaka Y. Outcome of pediatric renal tumor treated using the Japan Wilms Tumor Study-1 (JWiTS-1) protocol: a report from the JWiTS group. Pediatr Surg Int 25:923-9. 2009. Nov 10.1007/s00383-009-2449-0
  59. Tomita R, Igarashi S, Fujisaki S, Koshinaga T, Kusafuka T. Are there any functional differences of enteric nervous system between the proximal and distal parts from the dentate line in the normal human internal anal sphincter? Hepatogastroenterology 55:2083-6. 2008. Nov-Dec
  60. Suma T, Koshinaga M, Fukushima M, Kano T, Katayama Y. Effects of in situ administration of excitatory amino acid antagonists on rapid microglial and astroglial reactions in rat hippocampus following traumatic brain injury. Neurol Res 30:420-9. 2008. May 10.1179/016164107X251745ner1302 [pii]
  61. Sugito K, Kusafuka T, Inoue M, Ikeda T, Hagiwara N, Koshinaga T. A rare case of multiple duodenal perforations in early infancy. Turk J Pediatr 50:94-7. 2008. Jan-Feb
  62. Sugito K, Kusafuka T, Hoshino M, Inoue M, Ikeda T, Hagiwara N, Koshinaga T. Usefulness of color doppler sonography and 99m Tc-RBC scintigraphy for preoperative diagnosis of a venous malformation of the small intestine in a 2-year-old child. J Clin Ultrasound 36:56-8. 2008. Jan 10.1002/jcu.20385
  63. Sugito K, Inoue M, Ikeda T, Hagiwara N, Koshinaga T, Kusafuka T. Effect of FTY720 and ex vivo graft irradiation in rat small bowel transplantation: expression of mucosal addressin cell adhesion molecule-1. Surg Today 38:38-41. 2008. 10.1007/s00595-007-3583-8
  64. 梅澤久輝, 谷 真弓, 中山壽之, 東風 貢, 古市基彦, 前田英明, 秦光 賢, 瀬在 明, 天野定雄, 村松高, 越永従道, 大森一光, 南 和友, 草深竹志, 高山忠利, 塩野元美. 日大外科の手術力 2008年度外科学系手術統計. 日大医学雑誌 68:284-9. 2009.10
  65. 大植孝治, 福澤正洋, 大喜多肇, 金子安比古, 北野良博, 越永従道, 齋藤正博, 田中祐吉, 陳基明, 中館尚也, 野崎美和子, 秦 順一, 樋之津史郎, 堀江 弘, 麦島秀雄. 日本ウィルムス腫瘍スタディグループ-1(JWiTS-1)登録症例の追跡調査報告. 小児がん 46:349-58. 2009.09
  66. 井上幹也, 杉藤公信, 植草省太, 川島弘之, 池田太郎, 越永従道, 草深竹志. 2年9ヵ月間の無治療経過観察を経て腫瘍摘出術を施行したマスキリーニング発見ganglioneuroblastoma、intermixedの1例. 日本小児外科学会雑誌 45:77-83. 2009.02

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 越永従道 (主任研究者)「小児腎腫瘍グループスタディにおける難治性腎腫瘍、特に両側腎腫瘍に対する標準的治療法の確立」平成25年度がんの子どもを守る会治療研究助成金、80,000円。

#### 14. 佐甲 徳栄/Tokuei Sako

##### 論文/Papers

1. 佐甲徳栄, “ヘリウム様原子におけるフントの第一規則の起源”, 日本物理学会誌 **2013**, 68, 358–365.
2. S. Ohnuki, T. Takeuchi, T. Sako, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, M. Tanaka, “Coupled analysis of Maxwell-Schrödinger equations by using the length gauge: harmonic model of a nanoplate subjected to a 2D electromagnetic field”, *International Journal of Numerical Modelling* **2013**, 26, 533-544.
3. T. Paldus, T. Sako, X. Li and G.H.F. Diercksen, “Symmetry-breaking in the independent particle model: nature of the singular behavior of Hartree-Fock potentials”, *Journal of Mathematical Chemistry* **2013**, 51, 427-450.
4. T. Sako, J. Paldus, A. Ichimura, G.H.F. Diercksen, “Origin of the first Hund rule and the structure of Fermi holes in two-dimensional He-like atoms and two-electron quantum dots”, *Journal of Physics B* **2012**, 45, 235001(13 pages).
5. T. Sako, J. Paldus, A. Ichimura, and G.H.F. Diercksen, “Origin of Hund's multiplicity rule in singly excited helium: Existence of a conjugate Fermi hole in the lower spin state”, *Physical Review A* **2011**, 83 (032511) 1-11.
6. T. Sako, J. Adachi, A. Yagishita, M. Yabashi, T. Tanaka, M. Nagasono and T. Ishikawa, “Suppression of ionization probability due to Rabi oscillations in the resonance two-photon ionization of He by EUV free-electron lasers”, *Physical Review A* **2011**, 84, 053419(8 pages).
7. T. Sako, J. Paldus, G.H.F. Diercksen, “Origin of Hund's multiplicity rule in quasi-two-dimensional two-electron quantum dots”, *Physical Review A* **2010**, 81, 022501(11 pages).
8. T. Sako, H. Ishida, K. Fujikawa, “Electronic Structure and Correlated Wave Functions of A Few Electron Quantum Dots”, *Computational Methods in Science and Engineering (AIP Conference Series)*, in press.
9. T. Sako, J. Paldus, G.H.F. Diercksen, “Energy-Level Structure of Low Dimensional Few Electron Quantum Dots”, *Advances in Quantum Chemistry* **2009**, 58, 177–201.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. T. Sako, “Origin of the First Hund Rule in Artificial Atoms”, E The Energy Materials Nanotechnology Meeting 2013, 2013年10月23日, 成都(中国)
2. 佐甲徳栄, “He 様原子におけるフントの多重項則の起源と共役フェルミ孔”, 原子衝突学会改称記念式典, 2012年7月27日, 電気通信大学.
3. 佐甲徳栄, “EUV-FEL による原子の非摂動共鳴イオン化過程”, 高エネルギー加速器研究機構・物構研談話会, 2011年11月14日, つくば.
4. T. Sako, “Non-perturbative two-photon resonance ionization of Ar<sup>+</sup> by strong EUV-FEL lights: Suppression of ionization by Rabi oscillation”, International Symposium on (e, 2e), Double Photo-ionization & Related Topics, 2011年8月4日, ダブリン(アイルランド).
5. 佐甲徳栄, “人工原子におけるフントの多重項則の起源” 早稲田大学理工学部・物質開発工学科・武田研究室, 2010年6月25日, 早稲田大学理工学部, 西早稲田.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 佐甲徳栄, “人工原子における多体波動関数と電子集団の動力学”, 2011–2013年度科学研究費補助金基盤研究(C), 5,200,000円(直接経費4,000,000円, 間接経費1,200,000円).
2. 佐甲徳栄, “人工原子におけるレーザー制御超高速スピントロニクス”, 2009-2009年度科学研究費補助金若手研究(B), 直接経費3,300,000円, 間接経費990,000円.

#### その他(受賞, メディア等): 学外/Others

1. 英国物理学会 IOP Select Paper に選出. T. Sako, J. Paldus, A. Ichimura, G. H. F. Diercksen, "Origin of the first Hund rule and the structure of Fermi holes in two-dimensional He-like atoms and two-electron quantum dots", *J. Phys. B* **2012**, 45, 235001.

2. 欧州物理学会 Europhysics News に掲載 (1 月号予定) . T. Sako, J. Paldus, A. Ichimura, G. H. F. Diercksen, "Origin of the first Hund rule and the structure of Fermi holes in two-dimensional He-like atoms and two-electron quantum dots", *J. Phys. B* **2012**, *45*, 235001. Europhysics News は欧州物理学会が発行しており, ヨーロッパ諸国の学術雑誌に掲載された特にインパクトがある論文を, 研究ハイライトとして紹介している.

## 1 5. 十代 健/Ken Judai

### 論文/Papers

1. K. Judai, Y. Hatakeyama, and J. Nishijo, "Helical Nanostructure of Achiral Silver *p*-Tolylacetylide Molecules", *Journal of Nanoscience* **2013**, 545430 (3pages).
2. B. H. Boo, S. Kang, A. Furuya, K. Judai, and N. Nishi, "Infrared Multiphoton Dissociation Spectroscopy of Protonated 1,2-Diaminoethane-water Clusters: Vibrational Assignment via the MP2 Method", *Bulletin of the Korean Chemical Society* **2013**, *11*, 3327-3334.
3. N. Koga, K. Ohashi, K. Furukawa, T. Imamura, K. Judai, N. Nishi, and H. Sekiya, "Coordination and solvation of  $V^+$  with ammonia molecules: Infrared photodissociation spectroscopy of  $V^+(NH_3)_n$  ( $n=4-8$ )", *Chemical Physics Letters* **2012**, *539*, 1-6.
4. K. Judai, S. Numao, J. Nishijo, and N. Nishi, "In situ preparation and catalytic activation of copper nanoparticles from acetylide molecules", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* **2011**, *347*, 28-33.
5. K. Furukawa, K. Ohashi, N. Koga, T. Imamura, K. Judai, N. Nishi, and H. Sekiya, "Coordinatively unsaturated cobalt ion in  $Co^+(H_2O)_n$  ( $n=4-6$ ) probed with infrared photodissociation spectroscopy", *Chemical Physics Letters* **2011**, *508*, 202-206.
6. J. Nishijo, K. Judai, and N. Nishi, "Weak Ferromagnetism and Strong Spin-Spin Interaction Mediated by the Mixed-Valence Ethnyltetrathiafulvalene-Type Ligand", *Inorganic Chemistry* **2011**, *50*, 3464-3470.

### 著書/Books

1. 十代 健「クラスター伝導体—銅アセチリドナノワイヤー—」表面技術 2011 年 10 月号, pp.496-502, 表面技術協会.

### シンポジウムの開催等/Others

1. 十代 健, ナノ学会第 11 回大会実行委員, 2013 年 6 月 6 日 (木) ~8 日 (土), 東京工業大学 百周年記念館.

## 1 6. 鈴木 薫/Kaoru Suzuki

### 論文/Papers

1. T. Sagara, S. Kurumi, and K. Suzuki, "Synthesis of Carbon Nanostructure Filled with Phase-separating Stainless Alloy by Liquid and Solid Interfacial Arc Discharge Method"
2. M. Takatsu, T. Asai, S. Kurumi, K. Suzuki, H. Hirose, and S. Masutani "Application of coaxial ion gun for film generation and ion implantation" Japan Physical Society Conference Proceedings (2014) in press
3. S. Kurumi, H. Takahashi, T. Taima, K. Suzuki, H. Hirose, and S. Masutani "Micro-Biocidal Activity of Yeast Cells by Needle Plasma Irradiation at Atmospheric Pressure" Japan Physical Society Conference Proceedings (2014) in press
4. T. Sagara, S. Kurumi, and K. Suzuki, "Growth of linear Ni-filled carbon nanotubes by local arc

- discharge in liquid ethanol” Applied Surface Science, DOI 10.1016/j.apsusc.2013.11.056, (2014) in press
5. S. Kurumi, M. Saito, T. Kurihara, and K. Suzuki, ”Synthesize of  $Sr_xLa_{1-x}TiO_3$  Visible Light Responces Photocatalyst Films for the Water-splitting Reaction by Pulsed Laser Deposition” Applied Mechanics and Materials, Vol.481, 125-128 (2014)
  6. S. Kurumi, K. Suzuki, M. Shiono, H. Miura, T. Ono, M. Tanabe, K. Yoshida, M. Kimura, H. S. Lee, and Y. Umemura ”Generation of Uniform Diameter Micro-Bubbles Using a Piezo-Vibration Assisted Capillary Nozzle” Advanced Materials Research, Vol.871, 338-341 (2014)
  7. S. Kurumi, T. Taima, and K. Suzuki ”BIO-LUMINESCENCE SCATTERING AND ITS DYNAMICS IN ENCHYTRAEUS JAPONENSIS BY IRRADIATION OF FREE ELECTRON LASER” FEL Applications, ISBN 978-3-95450-123-6, THPD06, 559-562 (2013)
  8. T. Hiraide, S. Kurumi, and K. Suzuki ”p-Type zinc oxide films grown by infrared-light-assisted pulsed laser deposition” Applied Physics A, Vol.110, 963-966 (2013)
  9. T. Kaneko, S. Kurumi, and K. Suzuki ”Fabrication of Nanoscale Electrical Circuits on Diamond-Like Carbon Film by Scanning a Ga<sup>+</sup> Focused Ion Beam”, Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, Vol.7, 275-278 (2012).
  10. T. Uehara, S. Kurumi, K. Takase, and K. Suzuki “Synthesis of P-type Zinc Oxide Films by Plasma Assisted Pulsed Laser Deposition”, Applied physics A, 101, 723-725 (2010)
  11. K. Takayama, S. Soma, T. Inoue, H. Kakinuma, T. Haraguchi, and K. Suzuki “Ascent of Open Circuit Voltage on Diamond Like Carbon Photovoltaic Cell by Infrared Heating Assisted Pulsed Laser Deposition”, Applied physics A, 101, 726-728 (2010)
  12. T. Uehara, S. Yamada, S. Kurumi, K. Takase, K. Suzuki “Synthesis of (LaO)CuS Film for Light-Emitting Element Using Pulsed Laser Deposition Method –Dependence on distance between target and substrate–”, Report of the Research Institute of Science and Technology, Nihon University 2009, 3, 79–81.
  13. K. Takayama, M. Suzuki, Y. Tanaka, T. Kudo, K. Suzuki “Optical and Electrical Properties of Phosphorus Doped Diamond Like Carbon for Tranparency Photovoltaic Cell by Pulsed Laser Deposition Method”, Report of the Research Institute of Science and Technology, Nihon University 2009, 3, 83–85.
  14. A. Nagai, K. Tanaka, T. Uemura, H. Ida, D. Nikai, K. Suzuki “Synthesis of n-DLC:P/p-Si Photovoltaic Cell Using an Ion Beam Plating Method”, Report of the Research Institute of Science and Technology, Nihon University 2009, 3, 87–89.
  15. T. Ando, T. Wakamatsu, K. Masuda, N. Yoshida, K. Suzuki, S. Masutani, I. Katayama, H. Uchida, H. Hirose, Kamimoto “Photocatalytic Behavior of Heavy La-doped TiO<sub>2</sub> Films Deposited by Pulsed Laser Deposition Using Non-sintered Target”, Appl. Surf. Sci. 2009, 255, 9688-9690
  16. H. Iwato, K. Namiki, K. Tamiya, Y. Tanaka, K. Suzuki “Position-Restricted Growth of Carbon Nanofiber Wiring between Needle-Shaped Carbon Pairs and Various Shaped Carbons by Ar-ion Laser-Irradiated Thermal Decomposition in Ethanol”, Appl. Surf. Sci. 2009, 255, 9655-9658

#### 著書/Books

1. レーザー学会編, (中井貞雄, ・ ・鈴木 薫, 他) 「先端固体レーザー」 8 章 2 節 “レーザー加工” 6 項 “薄膜形成”, オーム社, ISBN978-4-274-21124-9, 289-292 (2011 年 12 月 25 日発行)

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 鈴木 薫, “バイオマテリアルの低損傷レーザー前方転写”, レーザー学会学術講演会第 32 回年次大会「プロセス基礎」, 2012 年 1 月 30 日, TKP 仙台カンファレンスセンター
2. S. Kurumi and K. Suzuki “Free Electron-Laser Induced Forward Transfer Marking of Biological and Green-Chemical-Materials”, 2<sup>nd</sup> International Symposium of Advanced Energy Science \*Zero-emission energy – present and future-\* (27-28Sep. 2011, Kyoto University, Japan)



3. 鈴木 薫、“レーザーによる光触媒薄膜の形成とグリーンケミストリー” 第 58 回応用物理学関係連合講演会シンポジウム「グリーンイノベーションを実現するレーザープロセッシング技術」, 2011 年 3 月 24 日, 神奈川工科大学.
4. 鈴木 薫、“レーザーとプラズマによる機能性材料の創成”, 第 9 回レーザー学会東京支部研究会, 2009 年 3 月 4 日, 東海大学, 高輪キャンパス.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 鈴木 薫, 「微小バブル発生装置、微小吐出孔ノズル及びその製造方法」特願 2012-204982.
2. 浅井朋彦, 鈴木 薫, 西宮伸幸, 高津幹夫, 「合金薄膜生成装置」特願 2012-195690.
3. 鈴木 薫, 「消霧方法及び装置」特願 2011-234153.
4. 「磁性体内包 CNT の析出方法, 磁性体内包 CNT, 磁気力顕微鏡, スピン・トランジスタ, スピン・ダイオード, スピン電界効果トランジスタ, スピン pin ダイオード」特願 2010-198325

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 鈴木 薫, 小野隆, 三浦光, 塩野光弘, 李和樹, 木村元昭, 吉田幸司, 梅村靖弘, 田辺光昭 “ナノ・マイクロバブルの発生と応用に関する研究”, 平成 23 年度 (2011 年度) 日本大学理工学部プロジェクト研究, 2011 年度, 10,000,000 円, 2012 年度, 5,000,000 円, 研究代表者
2. 鈴木 薫, 小野隆, 門馬英一郎, 胡桃聡: “消霧に関する研究”, 平成 24 年度, 委託研究「アイアールエフ(株)」2,625,000 円, 研究代表者
3. 鈴木 薫, 小野隆, 門馬英一郎, 胡桃聡: “消霧に関する研究”, 平成 23 年度, 委託研究「アイアールエフ・大成工務(株)」2,625,000 円, 研究代表者
4. 鈴木 薫, 他, “日本大学の新しい放射光 LEBRA-PXR の高度利用に関する基盤研究”, 平成 21 年度-平成 22 年度, 日本大学学術助成金 [総合研究] 8,400,000 円, 研究分担者.
5. 鈴木 薫, 木村元昭, 吉田幸司, 田辺光昭: “マイクロナノバブルノズル開発と応用の研究”, 平成 22 年度研究奨励寄付金「太平電業(株)」1,000,000 円, 研究代表者.
6. 鈴木 薫, 小野 隆, 西宮伸幸: “遠赤外線に関する研究”, 平成 22 年度委託研究「道路通信エンジニア(株)・大成工務(株)」2,625,000 円, 研究代表者.
7. 鈴木 薫, 高瀬浩一, “金属内包カーボンナノチューブの収束イオンビーム加工と新機能プローブ開発”, 平成 20 年度 (2008 年度) 科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般) 20510098, 2008 年度, 2,080,000 円, 2009 年度, 1,200,000 円, 2010 年度, 600,000 円, 研究代表者.
8. 寒河江登志朗, 鈴木 薫, 他, “日本大学の新しい放射光 LEBRA-PXR の高度利用に関する基盤研究”, 平成 21 年度-平成 22 年度, 日本大学学術助成金 [総合研究] 8,400,000 円, 研究分担者.

#### その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. 東京都大田区の産学連携・新技術展「おおた研究・開発フェア」において“ナノ・マイクロバブルの粒径を均一に吐出する圧電振動ノズルと発生装置の開発”がブース出展者プレゼンに選出され講演 (大田区産業プラザ PiO, 2013 年 10 月 4 日)
2. 科学技術振興機構の「日本大学 新技術説明会」において“ナノ・マイクロバブルの粒径を均一に可変制御する吐出ノズルと発生装置の開発”を講演 (JST 東京本部別館ホール, 2013 年 6 月 11 日)
3. 放電学会若手セミナー (2013 年 11 月 30 日 首都大学東京 南大沢キャンパス) で石原隆一が放電学会優秀ポスター発表賞を受賞
4. 第 10 回レーザー学会東京支部研究会 (2010 年 3 月 3 日東海大学湘南キャンパス) で野々村君がポスター講演優秀賞を受賞
5. 2009 年放電学会年次大会 (2009 年 11 月 14 日 東京都市大学 キャンパス) で高村絢子が優秀ポスター発表賞を受賞

#### その他 (受賞, メディア等) : 学内/Others

1. 東京都大田区の産学連携・新技術展「おおた研究・開発フェア」における記事が日本大学広報 第 656 号 (2013 年 10 月 15 日) に掲載
2. 科学技術振興機構の「日本大学 新技術説明会」における記事が日本大学広報 第 653 号 (2013 年 7 月 15 日) に掲載

## 1 7. 相馬 正義/Masayoshi Soma

### 論文/Papers

1. Maruyama N, Abe M, Okada K, Soma M. Changes to prothrombin international normalized ratio in patients receiving hemodialysis. *Int J Clin Pharmacol Ther*. 2013 Apr;51(4):283-7.
2. Kato K, Sugitani M, Matsukawa Y, Sato H, Moriyama M, Soma M. Long-term gastric plasmacytoma follow-up after *Helicobacter pylori* eradication. *Gastrointest Endosc*. 2013 Apr;77(4):674-5.
3. Takagi K, Fujiwara K, Takayama T, Mamiya T, Soma M, Nagase H. DNA hypermethylation of zygote arrest 1 (ZAR1) in hepatitis C virus positive related hepatocellular carcinoma. *Springerplus*. 2013 Apr 10;2(1):150.
4. Ito M, Abe M, Maruyama T, Suzuki H, Inoshita A, Okada K, Soma M. Pneumatosis cystoides intestinalis and hepatic portal venous gas on peritoneal dialysis. *Clin Nephrol*. 2013 May 14. inpress
5. Ikeda K, Fukuda N, Ueno T, Endo M, Kobayashi N, Soma M, Matsumoto K. Role of complement 3a in the growth of mesangial cells from stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Clin Exp Hypertens*. 2013 May 28. Inpress
6. Shimizu C, Fujita T, Fuke Y, Yabuki M, Kajiwara M, Hemmi S, Satomura A, Soma M. Effects of cyclosporine on bone mineral density in patients with glucocorticoid-dependent nephrotic syndrome in remission. *Int Urol Nephrol*. 2013 Jun;45(3):803-8.
7. Pan S, Nakayama T, Sato N, Izumi Y, Soma M, Aoi N, Ma Y, Hinohara S, Doba N. A Haplotype of the GOSR2 Gene Is Associated with Myocardial Infarction in Japanese Men. *Genet Test Mol Biomarkers*. 2013 Jun;17(6):481-8.
8. Suzuki H, Okada K, Abe M, Maruyama N, Yoshida Y, Baba S, Takashima H, Soma M. Aliskiren reduces home blood pressure and albuminuria in patients with hypertensive nephrosclerosis. *Clin Exp Nephrol*. 2013 Jun;17(3):386-95.
9. Pan S, Nakayama T, Sato N, Izumi Y, Soma M, Aoi N, Ma Y. A haplotype of the GOSR2 gene is associated with essential hypertension in Japanese men. *Clin Biochem*. 2013 Jun;46(9):760-5.
10. Abe M, Suzuki H, Okada K, Maruyama N, Inoshita A, Baba S, Takashima H, Soma M. Efficacy analysis of the renoprotective effects of aliskiren in hypertensive patients with chronic kidney disease. *Heart Vessels*. 2013 Jul;28(4):442-52.
11. Abe M, Maruyama N, Suzuki H, Inoshita A, Yoshida Y, Okada K, Soma M. L/N-type calcium channel blocker cilnidipine reduces plasma aldosterone, albuminuria, and urinary liver-type fatty acid binding protein in patients with chronic kidney disease. *Heart Vessels*. 2013 Jul;28(4):480-9.
12. Abe M, Okada K, Suzuki H, Yoshida Y, Soma M. T/L-type calcium channel blocker reduces the composite ranking of relative risk according to new KDIGO guidelines in patients with chronic kidney disease. *BMC Nephrol*. 2013 Jul 1;14(1):135.
13. Fujiwara K, Ghosh S, Liang P, Morien E, Soma M, Nagase H. Genome-wide screening of aberrant DNA methylation which associated with gene expression in mouse skin cancers. *Mol Carcinog*. 2013 Sep 24. inpress
14. Zhou X, Fukuda N, Matsuda H, Endo M, Wang X, Saito K, Ueno T, Matsumoto T, Matsumoto K, Soma M, Kobayashi N, Nishiyama A. Complement 3 activates the renal renin-angiotensin system by induction of epithelial-to-mesenchymal transition of the nephrotubulus in mice. *Am J Physiol*

- Renal Physiol. 2013 Oct 1;305(7):F957-67.
15. Kamide K, Asayama K, Katsuya T, Ohkubo T, Hirose T, Inoue R, Metoki H, Kikuya M, Obara T, Hanada H, Thijs L, Kuznetsova T, Noguchi Y, Sugimoto K, Ohishi M, Morimoto S, Nakahashi T, Takiuchi S, Ishimitsu T, Tsuchihashi T, Soma M, Higaki J, Matsuura H, Shinagawa T, Sasaguri T, Miki T, Takeda K, Shimamoto K, Ueno M, Hosomi N, Kato J, Komai N, Kojima S, Sase K, Miyata T, Tomoike H, Kawano Y, Ogihara T, Rakugi H, Staessen JA, Imai Y; GEANE study group; HOMED-BP study group. Genome-wide response to antihypertensive medication using home blood pressure measurements: a pilot study nested within the HOMED-BP study. *Pharmacogenomics*. 2013 Nov;14(14):1709-21.
  16. Sato A, Nagase H, Obinata D, Fujiwara K, Fukuda N, Soma M, Yamaguchi K, Kawata N, Takahashi S. Inhibition of MMP-9 using a pyrrole-imidazole polyamide reduces cell invasion in renal cell carcinoma. *Int J Oncol*. 2013 Nov;43(5):1441-6.
  17. Suzuki R, Fukuda N, Katakawa M, Tsunemi A, Tahira Y, Matsumoto T, Ueno T, Soma M. Effects of an Angiotensin II Receptor Blocker on the Impaired Function of Endothelial Progenitor Cells in Patients With Essential Hypertension. *Am J Hypertens*. 2013 Nov 7. Inpress
  18. Fujita T, Hemmi S, Kajiwarra M, Yabuki M, Fuke Y, Satomura A, Soma M. Diminished complement-activating capacity through the classical pathway in sera from type 2 diabetes mellitus. *Immunol Invest*. 2013 Dec 4. inpress
  19. Okada K, Abe M, Takashima H, Baba S, Taniguchi M, Suzuki H, Yoshida Y, Oikawa O, Maruyama N, Soma M. Randomized trial of frequent low-efficiency and short hemodialysis/hemofiltration in hemodialysis patients with acute brain injury. *Int J Artif Organs*. 2013 Dec 12;36(11):793-802.
  20. Tabara Y, Kohara K, Miki T; Millennium Genome Project for Hypertension. Hunting for genes for hypertension: the Millennium Genome Project for Hypertension. *Res*. 2012 Jun;35(6):567-73.
  21. Fu Z, Nakayama T, Sato N, Izumi Y, Kasamaki Y, Shindo A, Ohta M, Soma M, Aoi N, Sato M, Ozawa Y, Ma Y. Haplotype-based case-control study of CYP4A11 gene and myocardial infarction. *Hereditas*. 2012 Jun;149(3):91-98.
  22. Abe M, Maruyama N, Suzuki H, Fujii Y, Ito M, Yoshida Y, Okada K, Soma M. Additive renoprotective effects of aliskiren on angiotensin receptor blocker and calcium channel blocker treatments for type 2 diabetic patients with albuminuria. *Hypertens Res*. 2012 Aug;35(8):874-81.
  23. Jiang J, Nakayama T, Shimodaira M, Sato N, Aoi N, Sato M, Izumi Y, Kasamaki Y, Ohta M, Soma M, Matsumoto K, Kawamura H, Ozawa Y, Ma Y. A haplotype of the SMTN gene associated with myocardial infarction in Japanese women. *Genet Test Mol Biomarkers*. 2012 Sep;16(9):1019-26.
  24. Jiang J, Nakayama T, Shimodaira M, Sato N, Aoi N, Sato M, Izumi Y, Kasamaki Y, Ohta M, Soma M, Matsumoto K, Kawamura H, Ozawa Y, Hinohara S, Doba N, Ma Y. Association of the smoothelin (SMTN) gene with cerebral infarction in men: a haplotype-based case-control study. *Vasc Med*. 2012 Oct;17(5):317-25.
  25. Aoi N, Nakayama T, Soma M, Kosuge K, Haketa A, Sato M, Sato N, Hinohara S, Doba N, Asai S. The insulin-like growth factor-1 gene is associated with cerebral infarction in Japanese subjects. *Hereditas*. 2012 Oct;149(5):153-162.
  26. Jiang J, Nakayama T, Shimodaira M, Sato N, Aoi N, Sato M, Izumi Y, Kasamaki Y, Ohta M, Soma M, Matsumoto K, Kawamura H, Ozawa Y, Ma Y. Haplotype of smoothelin gene associated with essential hypertension. *Hereditas*. 2012 Oct;149(5):178-185.
  27. Abe M, Maruyama N, Suzuki H, Okada K, Soma M. International normalized ratio decreases after hemodialysis treatment in patients treated with warfarin. *J Cardiovasc Pharmacol*. 2012 Dec;60(6):502-7.
  28. Haketa A, Soma M, Nakayama T, Kosuge K, Aoi N, Hishiki M, Hatanaka Y, Ueno T, Doba N, Hinohara S. Association between SIRT2 gene polymorphism and height in healthy, elderly Japanese subjects. *Transl Res*. 2013 Jan;161(1):57-8.
  29. Sezai A, Soma M, Nakata KI, Hata M, Yoshitake I, Wakui S, Hata H, Shiono M. Comparison of

- Febuxostat and Allopurinol for Hyperuricemia in Cardiac Surgery Patients (NU-FLASH Trial). *Circ J.* 2013;77(8):2043-9.
30. Kato K, Ishii Y, Mazaki T, Uehara T, Nakamura H, Kikuchi H, Yamagami H, Sato H, Mizuno S, Soma M, Henmi A, Masuda H, Moriyama M, Tanaka M. Spontaneous Regression of Polyposis following Abdominal Colectomy and Helicobacter pylori Eradication for Cronkhite-Canada Syndrome. *Case Rep Gastroenterol.* 2013 Jan;7(1):140-6.
  31. Fujii Y, Abe M, Higuchi T, Mizuno M, Suzuki H, Matsumoto S, Ito M, Maruyama N, Okada K, Soma M. The dipeptidyl peptidase-4 inhibitor alogliptin improves glycemic control in type 2 diabetic patients undergoing hemodialysis. *Expert Opin Pharmacother.* 2013 Feb;14(3):259-67
  32. Fujita T, Hemmi S, Kajiwara M, Yabuki M, Fuke Y, Satomura A, Soma M. Complement-mediated chronic inflammation is associated with diabetic microvascular complication. *Diabetes Metab Res Rev.* 2013 Mar;29(3):220-6.
  33. Abe M, Okada K, Soma M. Mineral metabolic abnormalities and mortality in dialysis patients. *Nutrients.* 2013 Mar 22;5(3):1002-23.  
Abe M, Okada K, Ikeda K, Matsumoto S, Soma M, Matsumoto K. Characterization of insulin adsorption behavior of dialyzer membranes used in hemodialysis. *Artif Organs.* 2011 Apr;35(4):398-403.
  34. Fujita T, Shimizu C, Fuke Y, Satomura A, Abe M, Kaizu K, Matsumoto K, Soma M. Serum interleukin-18 binding protein increases with behavior different from IL-18 in patients with diabetic nephropathy. *Diabetes Res Clin Pract.* 2011 Jun;92(3):e66-9.
  35. Sezai A, Soma M, Hata M, Yoshitake I, Unosawa S, Wakui S, Shiono M. Effects of Olmesartan on the Renin-angiotensin-aldosterone System for Patients with Essential Hypertension after Cardiac Surgery-Investigation Using a Candesartan Change-over Study. *Ann Thorac Cardiovasc Surg.* 2011;17(5):487-93.
  36. Matsumoto K, Shimodaira M, Nakagawa T, Nakayama T, Nakazato T, Izumi Y, Soma M, Matsumoto K, Sato N, Aoi N. Association study: SLC6A18 gene and myocardial infarction. *Clin Biochem.* 2011 Jul;44(10-11):789-94.
  37. Abe M, Maruyama N, Okada K, Matsumoto S, Matsumoto K, Soma M. Additive antioxidative effects of azelnidipine on angiotensin receptor blocker olmesartan treatment for type 2 diabetic patients with albuminuria. *Hypertens Res.* 2011 Aug;34(8):935-41.
  38. Yamazaki D, Tabara Y, Kita S, Hanada H, Komazaki S, Naitou D, Mishima A, Nishi M, Yamamura H, Yamamoto S, Kakizawa S, Miyachi H, Yamamoto S, Miyata T, Kawano Y, Kamide K, Ogihara T, Hata A, Umemura S, Soma M, Takahashi N, Imaizumi Y, Miki T, Iwamoto T, Takeshima H. TRIC-A channels in vascular smooth muscle contribute to blood pressure maintenance. *Cell Metab.* 2011 Aug 3;14(2):231-41.
  39. Nishida Y, Takahashi Y, Nakayama T, Soma M, Asai S. Comparative effect of olmesartan and candesartan on lipid metabolism and renal function in patients with hypertension: a retrospective observational study. *Cardiovasc Diabetol.* 2011 Aug 10;10:74.
  40. Abe M, Maruyama T, Fujii Y, Kitai M, Okada K, Matsumoto K, Soma M. Disopyramide-induced hypoglycemia in a non-diabetic hemodialysis patient: a case report and review of the literature. *Clin Nephrol.* 2011 Nov;76(5):401-6.
  41. Tahira K, Ueno T, Fukuda N, Aoyama T, Tsunemi A, Matsumoto S, Nagura C, Matsumoto T, Soma M, Shimba S, Matsumoto Y. Obesity alters the expression profile of clock genes in peripheral blood mononuclear cells. *Arch Med Sci.* 2011 Dec 31;7(6):933-40.
  42. Kajiwara M, Ueno T, Fukuda N, Matsuda H, Shimokawa T, Kitai M, Tsunemi A, Fuke Y, Fujita T, Matsumoto K, Matsumoto Y, Ra C, Soma M. Development of pyrrole-imidazole polyamide targeting fc receptor common gamma chain for the treatment of immune-complex related renal disease. *Biol Pharm Bull.* 2012;35(11):2028-35.
  43. Shimizu C, Fujita T, Fuke Y, Ito K, Satomura A, Matsumoto K, Soma M. High circulating levels of interleukin-18 binding protein indicate the severity of glomerular involvement in systemic lupus

erythematosus. *Mod Rheumatol.* 2012 Feb;22(1):73-9.

44. Han Y, Fukuda N, Ueno T, Endo M, Ikeda K, Xueli Z, Matsumoto T, Soma M, Matsumoto K. Role of Complement 3a in the Synthetic Phenotype and Angiotensin II-Production in Vascular Smooth Muscle Cells From Spontaneously Hypertensive Rats. *Am J Hypertens.* 2012 Mar;25(3):284-9.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 相馬正義: ゲノム解析結果の臨床応用. 日本内科学会関東支部主催 第 47 回生涯教育講演会, 東京, 2012.12.8.
2. 相馬正義: 尿細管疾患の診かた、考え方. 第 22 回臨床内分泌代謝 update, 大宮, 2013.1.18

#### 外部資金の獲得状況 : 獲得研究費/Funding

1. 相馬正義, “ゲノム化学に基づく先進医療開発研究拠点” 2011-2015 年度, 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業, 文部科学省, 44,080,000 円 (内 20,630,000 円日大拠出金)
2. 相馬正義, “PI ポリアミドによる MYC 下流遺伝子の発現抑制と抗腫瘍効果の検討” 2011-2013 年度科学研究費補助金基盤研究(C), 4,550,000 円

## 18. 高野 良紀/Yoshiki Takano

#### 論文/Papers

1. S. Furuya, S. Otsuka, T. Shimizu, S. Shingubara, T. Watanabe, Y. Takano, K. Takase, “Improvement of the Reproducibility of the Switching Voltage of Resistance Change Random Access Memory by Restricting Formation of Conductive Filaments”, *Jpn. J. Appl. Phys* 52 (2013) 06GF07 (4 pages).
2. M. Maeda, J.-H. Kim, S. Oh, W. X. Li, K. Takase, Y. Kuroiwa, S. X. Dou, Y. Takano, “Enhancing the superconducting properties of magnesium diboride without doping”, *J. Am. Chem. Soc.* 96 (2013) 2983-2897.
3. S. Otsuka, R. Takeda, S. Furuya, T. Shimizu, S. Shingubara, N. Iwata, T. Watanabe, Y. Takano, K. Takase Additional Electrochemical Treatment Effects on the Switching Characteristics of Anodic Porous Alumina Resistive Switching Memory”, *Jpn. J. Appl. Phys* 51 (2012) 06FF11 (4 pages)
4. M. Maeda, J.-H. Kim, Y.-U. Heo, S. K. Kwon, H. Kumakura, S. Choi, Y. Nakayama, Y. Takano, S. X. Dou, “Superior MgB<sub>2</sub> Superconducting Wire Performance through Oxygen-Free Pyrene Additive”, *Applied Physics Express* 5 (2012) 013101 (3 pages).
5. N. Mori, M. Yoshida, S. Katoda, T. Ishibashi, Y. Takano, “Applied Physical Characterization of rare-earth based 123 superconductors by means of paraconductivity study”, *Physica C* 471(2011) 1156-1162.
6. N.Mori, M. Yoshida, S. Katoda, T. Ishibashi and Y. Takano, “Applied Physical Characterization of rare-earth based 123 superconductors by means of paraconductivity study”, *Physica C* 471 (2011) 1158–1162.
7. S. Otsuka, K. Kato, M. Onisawa, Y. Takano, K. Takase, Y. Kuroiwa, “Structural Study of Layered Oxyselenides (LaO)TAs (T=Transition Metal) as Fe Based Superconductor Related Materials”, *Solid State Phenomena* 170 (2011) 131-134.
8. H. Okuyama, T. Wanatabe, K. Takase, Y. Takano, Y. Kuroiwa, H. Yoshida, T. Moriyoshi, “Disorder-sensitive Superconductivity and Bonding Nature in the Iron-silicide Superconductor Lu<sub>2</sub>Fe<sub>3</sub>Si<sub>5</sub>”, *Solid State Phenomena* 170 (2011) 118-121.
9. R. Suganuma, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, “Superconductivity in Fluorine-arsenide (Sr<sub>1-x</sub>Nd<sub>x</sub>F)FeAs”, *Solid State Phenomena* 170 (2011) 87-91.
10. R. Suganuma, Xinzhe Jin, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, “Electrical and Magnetic Properties of (Sr<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>F)FeAs (R = La, Nd)”, *J. Physics Conference Series* 200, (2010) 012193-012196.
11. T. Watanabe, H. Okuyama, K. Takase, Y. Takano, “Non-magnetic and magnetic impurity effects on

- superconductivity in the ternary iron-silicide  $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ ", *Physica C* 470 (2010) S768-S769.
12. R. Sugauma, Xinzhe Jin, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, "Electrical and Magnetic Properties of  $(\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{F})\text{FeAs}$  ( $\text{R} = \text{La}, \text{Nd}$ )", *J. Physics Conference Series* 200 (2010) 012193.
  13. X. Jin, T. Masubuchi, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, "Electrical and Magnetic Properties of Layered Oxypnictide  $\text{LaOCoPn}$  ( $\text{Pn}=\text{P}, \text{As}$ )", *J. Physics Conference Series* 2009, 150, 052085-052088.
  14. H. Sasame, T. Masubuchi, K. Takase, Y. Takano, T. Watanabe, "Superconducting Properties of  $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$  with Non-magnetic Impurities", *J. Physics Conference Series* 2009, 150, 052226-052229.
  15. M. Shishikura, T. Masubuchi, K. Takase, Y. Takano, T. Watanabe, "Non-magnetic Impurity Effects in Antiferromagnetic Superconductor  $\text{DyNi}_2\text{B}_2\text{C}$ ", *J. Physics Conference Series* 2009, 150, 052239-052242.
  16. T. Maesaka, T. Masubuchi, K. Takase, Y. Takano, T. Watanabe, "Superconducting Properties of Boronitride  $\text{La}_3\text{M}_2\text{B}_2\text{N}_{3-d}$  ( $\text{M}=\text{Ni}, \text{Fe}, \text{Co}$ )", *J. Physics Conference Series* 2009 150, 052147-052150.
  17. K. Takase, H. Sato, S. Komatsuzaki, Y. Takahashi, T. Watanabe, M. Taniguchi, Y. Takano, "Electrical Resistivity and Electronic Structure of the Layered Oxypnictides  $(\text{LaO})\text{ZnPn}$ :  $\text{Pn}=\text{P}, \text{As}, \text{Sb}$ ", *J. Physics Conference Series* 2009, 150, 052259-052262.
  18. H. Enomoto, Y. Takano, H. Ozaki, N. Mori, "Fluctuation Conductivity Analysis in Zn-doped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  and Related System", *J. Physics Conference Series* 2009, 150, 052049-052052.
  19. A. Noguchi, S. Emori, Y. Takahashi, T. Watanabe, K. Takase, K. Sekizawa, Y. Takano, "Synthesis and Electrical and Magnetic Properties of  $\text{Li}_x\text{B}_{1+y}\text{C}_{1-y}$ ", *J. Physics Conference Series* 2009, 150, 052188-052191.
  20. W. Toyoshima, T. Masubuchi, T. Watanabe, K. Takase, K. Matsubayashi, Y. Uwatoko, Y. Takano, "Pressure Dependence of the Magnetic Properties of  $\text{MnPS}_3$ ", *J. Physics Conference Series* 2009, 150, 042215-04.
  21. H. Enomoto, T. Gyoten, Y. Takano, K. Sekizawa, N. Mori, H. Ozaki, M. M. Lerner, "Synthesis and Characterization of Alkylammonium/Bi2212 Nanohybrids", *J. Physics Conference Series* 2009, 150, 052049-052052.
  22. X. Jin, T. Watanabe, K. Takase, Y. Takano, "Electrical and Magnetic Properties of La Deficient Superconductor  $\text{La}_{1-x}\text{OFeP}$ ", *J. Alloys and Compounds* 2009, 488, L14-L16.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. "リチウム硼炭化物における物性探索と応用", 2013 年度 科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 1,476,000 円.

#### その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. 日本希土類学会賞 (塩川賞) "希土類イオンによる超伝導体と関連物質の磁性および電気伝導の制御", 2008年5月27日.

## 19. 高橋 悟/Satoru Takahashi

#### 論文/Papers

1. 高橋 悟 : AUA 2013 annual meeting 報告.第 108 回米国泌尿器科学会からの報告.排尿障害ブラクティス 21 (3) : 248-250, 2013.10.15.
2. 高橋 悟:下部尿路症状治療の Gold standard & New approach.高崎医学 第 63 卷 平成 24 年, pp108-113, 高崎市医師会, 高崎, 群馬, 2013.7.25.
3. Takahashi S: IJU this issue. Int. J. Urol.20(6):551,2013.6.
4. 高橋 悟: II .女性の蓄尿症状の治療.第 17 章 女性泌尿器科:女性下部尿路症状 (含尿失禁) の診断と治療.日本泌尿器科学会 2013 年卒後教育テキスト (第 18 巻 1 号) : 381-385, 2013.3.31.

5. 羅 智靖, 高橋 悟, 山口健哉 (他 48 名): 炎症と難治性免疫・アレルギー疾患の分子細胞医学. 平成 20 年~平成 24 年度戦略的研究基盤形成支援事業研究成果報告書, 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業, 2013.3.
6. 岡田安弘, 高田将吾, 神田貴祥, 齊藤史典, 村田保貴, 大日方大亮, 五十嵐智博, 佐藤克彦, 持田淳一, 高橋 悟: 1. 当院における高齢患者の化学療法に対する検討.一般口演 14 高齢者の化学療法. 日本老年泌尿器科学会誌 26 : 81,2013.11.30.
7. 高橋 悟: 1. 排尿日誌の重要性: どう評価し役立てるか?. シンポジウム 1 高齢者における排尿機能の改善に向けた試みと機能評価法について. 日本老年泌尿器科学会誌 26 : 7,2013.11.30.
8. 五十嵐智博, 高橋 悟: 骨盤臓器脱.特集 泌尿器疾患の病態と診断・治療 (Ⅲ).医学と薬学 70 (3) : 481-489, 2013.9.25.
9. 五十嵐智博, 高橋 悟: (1) メッシュ手術ーメッシュ手術に関する警告も含めてー. 治療.特集 女性骨盤底医学 up to date. 排尿障害プラクティス 21 (2) : 48-55, 2013.6.30.
10. 山中弥太郎, 船越大吾, 高田将吾, 伊藤亜希子, 芦荻大作, 齊藤史典, 村田保貴, 大日方大亮, 咲間隆裕, 松井 強, 佐藤克彦, 持田淳一, 岡田安弘, 山口健哉, 平野大作, 高橋 悟: 5 $\alpha$ 還元酵素阻害薬 (デュタステリド) 投与症例における血清 PSA 値の推移と前立腺癌. 日本がん検診・診断学会誌 21 (1) : 78, 2013.7.19.
11. Yamaguchi K, Aoki Y, Yoshikawa T, Hachiya T, Saito T, Takahashi S.: Silodosin versus naftopidil for the treatment of benign prostatic hyperplasia: A multicenter randomized trial. Int. J. Urol.20: 1234-1238, 2013.12.
12. 堀祐太郎, 伊藤亜希子, 大日方大亮, 咲間隆裕, 五十嵐智博, 佐藤克彦, 持田淳一, 岡田安弘, 山中弥太郎, 山口健哉, 高橋 悟: 浴槽吸水口による陰囊絞扼の 1 例.泌尿器外科 26(5): 865-867, 2013.5.15.
13. 本間之夫, 武田正之, 朝倉博孝, 井川靖彦, 柿崎秀宏, 河邊香月, 後藤百万, 小柳知彦, 関戸哲利, 高橋 悟, 武井実根雄, 西澤 理, 山西友典, 横山 修, 吉田正貴, 山上英臣, 山口 脩:LUTS の最近の知見と展望ーLUTS Expert Forum の総括から今後を考える. 泌尿器外科 26(11) : 1701-1709, 2013.11.
14. Sato K, Murata Y, Obinata D, Igarashi T, Mochida J, Okada Y, Yamanaka Y, Yamaguchi K, Hirakata H, Hirano D, Takahashi S.: Sexual function following tension-free vaginal mesh procedure in patients with pelvic organ prolapse-comparisons of before and after surgery and healthy controls. Proceedings from The 14<sup>th</sup> Biennial Meeting of the Asia-Pacific Society for Sexual Medicine, Kanazawa, May 31-June 2,2013(Pster Session:Lower urinary tract), J Sex Med 2013, 10(3):238, 2013.6.
15. Tomoe H, Inoue M, Kimoto Y, Takahashi S, Nagao K, Homma Y, Ikeda S, Kobayashi M.: Linguistic validation of Japanese version of prolapse/urinary incontinence sexual questionnaire, IUGA-revised. Proceedings from The 14<sup>th</sup> Biennial Meeting of the Asia-Pacific Society for Sexual Medicine, Kanazawa, May 31-June 2,2013(Pster Session:Lower urinary tract), J Sex Med 2013, 10(3):237, 2013.6.
16. Takahashi S.: Management of BPH:Targeting the appropriate patient with the right treatment.Proceedings from The 14<sup>th</sup> Biennial Meeting of the Asia-Pacific Society for Sexual Medicine, Kanazawa, May 31,2013(Luncheon seminar 1), J Sex Med 2013, 10(3):208, 2013.6.
17. Takeda M, Nishikawa O, Gotoh M, Yoshida M, Takahashi S, Masumori N.: Clinical Efficacy and Safety of Imidafenacin as Add-on Treatment for Persistent Overactive Bladder Symptoms Despite  $\alpha$ -Blocker Treatment in Patients With BPH:The ADDITION STUDY Prostatic Diseases and Male Voiding Dysfunction.Urology,82(4):887-893,2013.5.
18. 高橋 悟: 睡眠障害に注目した夜間頻尿治療ー夜間頻尿を有する女性過活動膀胱患者における睡眠障害, 夜間頻尿特異的 QOL に対するソリフェナシンコハク酸塩の影響ー. 7.皮膚・泌尿器疾患. PTM 最新の疾患別治療マニュアル 7 (1) ,2012.12.
19. 山口健哉, 高橋 悟: 各論 2 :  $\alpha$ 1 遮断薬: ナフトピジル. 特集: 前立腺肥大症の診療最新線ー薬物療法を中心にー. 内科系総合雑誌 Modern Physician 32(12):1468-1470,2012.12.1.

20. 山中弥太郎, 高橋 悟: 夜間頻尿と睡眠障害. いま知りたい睡眠障害 第6回. ねむりと医療 vol.5 no.3:156-158.2012.11.10.
21. 五十嵐智博, 高橋 悟: 骨盤臓器脱手術の機能的成績. 特集2: 連載“長期成績”-VII. 女性泌尿器科手術-. Japanese Journal of Endourology 25:254-257.2012.9.
22. 五十嵐智博, 高橋 悟: 質疑応答 Q&A.泌尿器科: 頻尿の治療薬の使い分け. 週刊 日本医事新報 4612: 58-59, 2012.9.15.
23. 山中弥太郎, 高田将吾, 神田貴祥, 齊藤史典, 橋本周平, 伊藤亜希子, 大内俊孝, 芦荻大作, 村田保貴, 大日方大亮, 咲間隆裕, 五十嵐智博, 佐藤克彦, 持田淳一, 岡田安弘, 山口健哉, 平野大作, 高橋 悟: 5 $\alpha$ 還元酵素阻害薬(デュタステリド)内服症例における血清PSA値の変化と前立腺生検. 日本がん検診・診断学会誌 20(1): 84, 2012.7.
24. 高橋 悟(司会), Morgan Rouprêt, 小川良雄, 大家基嗣: BPH治療の新たな展開~慢性疾患かつ進行性疾患であるBPHに対する、5 $\alpha$ 還元酵素阻害薬の「併用治療」の有用性~. 誌上座談会. 泌尿器外科 25(6): 1283~1289, 2012.6.15.
25. 高橋 悟: 3. TOT手術. シンポジウム9: 女性尿失禁: 各術式の長期成績と明日への課題. 泌尿器外科 25(臨増): 1005-1006, 2012.5.15.
26. 大内俊孝, 吉澤 剛, 松井 強, 平方 仁, 川田 望, 高橋 悟: GC療法が奏功した膀胱癌骨盤内リンパ節転移の1例. 日大医学雑誌 71(2):164, 2012.4.1.
27. 咲間隆裕, 高橋 悟: 特集2: 排出障害の治療薬. 泌尿器ケア 泌尿器科領域のケア専門誌 17(1): 79-81, 2012.1.10.
28. 大川瑞穂, 芦荻大作, 咲間隆裕, 佐藤克彦, 持田淳一, 岡田安弘, 山中弥太郎, 山口健哉, 生沼利倫, 遠藤克則, 五十嵐 洋, 柚木隆寛, 斎藤忠則, 高橋 悟: 比較的長期生存し得た原発性前立腺小細胞癌の1例. 泌尿器外科 25(5):1235-1238,2012.5.
29. 五十嵐 匠, 吉澤 剛, 佐藤克彦, 平方 仁, 川田 望, 高橋 悟, 和田義之, 國分眞一郎: 薬剤誘発性糖尿病ラットにおける糖尿病発症早期の膀胱機能障害.日大医誌 71(5):323-328, 2012.10.1.
30. Ishizuka O, Matsuyama H, Sakai H, Matsubara A, Nagaoka A, Takahashi S, Takeda M, Ozono S, Shiroki R, Shuin T, Hara I, Kakizaki H, Tsukamoto T, Yamanishi T, Yokoyama O, Kakehi Y, Nishizawa O, the King Study Group: Nocturia potentially influences maintenance of sexual function in elderly men with benign prostatic hyperplasia. LUTS, 2012.
31. Hirano D, Okada Y, Nagane Y, Satoh K, Mochida J, Yamanaka Y, Hirakata H, Yamaguchi K, Kawata N, Takahashi S, Henmi A.: Intravesical Recurrence after Surgical Management of Urothelial Carcinoma of the Upper Urinary Tract. Urol Int, 89:71-77,2012.7.
32. Obinata D, Takayama K, Urano T, Murata T, Ikeda K, Horie-Inoue K, Ouchi Y, Takahashi S, Inoue S.: ARFGAP3, an androgen target gene, promotes prostate cancer cell proliferation and migration. Int J Cancer, 130:2240-8, 2012.
33. Obinata D, Takayama K, Urano T, Murata T, Kumagai J, Fujimura T, Ikeda K, Horie-Inoue K, Homma Y, Ouchi Y, Takahashi S, Inoue S.: Oct1 regulates cell growth of LNCaP cells and is a prognostic factor for prostate cancer. Int J Cancer, 130: 1021-1028, 2012.
34. Kashimura T, Takahashi S, Nakazawa H.: Successful management of a thick transverse vaginal septum with a vesicovaginal fistula by vaginal expansion and surgery. Int Urogynecol J, 23(6): 797-9.2012.6.
35. Fujimura T, Takahashi S, Urano T, Tanaka T, Zhang W, Azuma K, Takayama K, Obinata D, Murata T, Horie-Inoue K, Kodama T, Ouchi Y, Homma Y, Inoue S.: Clinical significance of steroid and xenobiotic receptor and its targeted gene CYP3A4 in human prostate cancer. Cancer Sci, 103:176-80, 2012.
36. Takayama K, Horie-Inoue K, Suzuki T, Urano T, Ikeda K, Fujimura T, Takahashi S, Homma Y, Ouchi Y, Inoue S.: TACC2 is an androgen-responsive cell cycle regulator promoting androgen-mediated and castration-resistant growth of prostate cancer. Mol Endocrinol, 26(5):748-61, 2012.5.
37. 石河 修, 角 俊幸, 古山将康, 水沼英樹, 島田 誠, 高橋 悟, 中田真木, 堂地 勉: 本邦に



- における骨盤臓器脱およびその治療法に関する実態調査－最終報告－. 日産雑誌 64 (5) : 1415-1427, 2012.5.1.
38. 大川瑞穂, 大野 将, 五十嵐洋, 柚木隆寛, 山口健哉, 北村和子, 斎藤忠則, 山崎滋孝, 角雅美, 柴山太郎, 黒木秀光, 竹内孝治, 佐藤一夫, 宮永禎子, 宮永忠彦, 渡 淳, 高橋 悟 : 東京臨海病院泌尿器科における前立腺生検の臨床的検討. 江戸川医学会誌 29 : 11-13, 2012.3.31.
  39. 咲間隆裕, 武信康弘, 五十嵐智博, 五十嵐 匠, 佐藤克彦, 持田淳一, 岡田安弘, 山中弥太郎, 山口健哉, 賀屋 仁, 内山 真, 高橋 悟 : 夜間頻尿を有する女性過活動膀胱患者における睡眠障害, 夜間頻尿特異的 QOL に対するソリフェナシンの効果. 泌尿器外科 25(3):353-360,2012.3.
  40. 高橋 悟 : 5 $\alpha$ リダクターゼ阻害薬の役割. 特集. BPH の自然史を踏まえた治療ストラテジー, 排尿障害プラクティス 19(4) : 41~47, 2011.12.10.
  41. 五十嵐智博, 高橋 悟 : 骨盤臓器脱. 特集. 女性泌尿器科入門, 泌尿器外科 24(6) : 975~981,2011.6.
  42. 山中弥太郎, 高橋 悟 : 前立腺癌診断における PSA の意義: II.臨床:前立腺癌の診断 PSA. 前立腺癌 (第2版) -基礎・臨床研究のアップデート-. 日本臨牀 69 : 233-237, 2011.6.20.
  43. 咲間隆裕, 山口健哉, 高橋 悟 : 腎癌手術と腎機能: イヌリンを用いた腎機能測定. 特集. 腎癌の手術・腎機能に焦点をあてて, 泌尿器外科 24 : 569-574, 2011.4.
  44. Yoshizawa T, Yamaguchi K, Obinata D, Sato K, Mochida J, Takahashi S.: Laparoscopic transversical removal of erosive mesh after transobturator tape procedure (Procedure). Int J Urol, 18: 861-863.2011.
  45. Obinata D, Matsumoto T, Ikado Y, Sakuma T, Kano K, Fukuda N, Yamaguchi K, Mugishima H, Takahashi S.: Transplantation of mature adipocyte-derived dedifferentiated fat (DFAT) cells improves urethral sphincter contractility in a rat model. Int J Urol, 18: 827-834.2011.
  46. Fujimoto H, Nakanishi H, Miki T, Kobota Y, Takahashi S, Suzuki K, Kanayama H, Mikami K, Homma Y.: Oncological outcomes of the prostate cancer patients registered in 2004: Report from the Cancer Registration Committee of the JUA. Int J Urol, 18:876-881, 2011.12.
  47. Takahashi S, Yamaguchi K, Sakura Clinical Study Group: Treatment of benign prostatic hyperplasia and aging:Impacts of alpha-1 blockers on sexual function. J Men's Health, 8, Suppl.1: S25-S28, 2011. 4.
  48. 高橋 悟 : 女性の骨盤底障害と QOL : 骨盤臓器脱. ランチョンセミナーVII 女性の骨盤底障害と QOL. 日本老年泌尿器科学会誌 23:30,2010.11.30.
  49. 武田正之, 座光寺秀典, 中込宙史, 澤田智史, 荒木勇雄, 後藤百万, 西澤 理, 吉田正貴, 高橋 悟 : 夜間多尿と過活動膀胱に伴う睡眠障害の治療について. イブニングセミナーII 夜間頻尿一特に夜間多尿の治療. 日本老年泌尿器科学会誌 23 : 16,2010.
  50. 大日方大亮, 松本太郎, 高橋 悟 : 脱分化脂肪細胞(DFAT)による尿道平滑筋再生. 特集. 尿路機能の再生医療の現状, 排尿障害プラクティス 18(4):7-14,2010.
  51. 高橋 悟 : TVM の光と影 : 長期成績と合併症. 日本女性骨盤底医学会誌 7(1):9-12,2010.12
  52. 高橋 悟 : 骨盤臓器脱手術に必要な女性骨盤の解剖. 連載. 骨盤内手術に必要な骨盤の解剖, 第4回. 排尿障害プラクティス 18(3):83-91,2010.9.
  53. 五十嵐智博, 伊藤亜希子, 大川瑞穂, 芦荻大作, 増子亜耶, 大日方大亮, 咲間隆裕, 佐藤克彦, 持田淳一, 山中弥太郎, 岡田安弘, 山口健哉, 高橋 悟 : 骨盤臓器脱患者の性機能について－手術前後を含めた検討. 日本性機能学会雑誌 25 (2) : 221, 2010.8.
  54. 高橋 悟 : 教育セミナー (2). 女性性機能障害－過活動膀胱/骨盤底機能障害との関連－. 日本性機能学会雑誌 25 (2) : 182-183,2010.8.
  55. 咲間隆裕, 高橋 悟 : 男性の排尿障害 (Male lower urinary tract symptoms(Male LUTS)) . 総合臨牀 59(7):1583-1587,2010.7.
  56. 持田淳一, 高橋 悟 : TVM 手術後合併症の対応 : メッシュ糜爛と子宮脱再発例について. 連載. 第10回 泌尿器科領域におけるトラブルシューティング, 泌尿器外科 23(6):843-845,2010.6.15.

57. 高橋 悟 : (企画) 1-佐藤文憲, 三股浩光 : 根治的膀胱摘除術に必要な男性骨盤の解剖. 連載. 骨盤内手術に必要な骨盤の解剖, 排尿障害プラクティス, 18(1):59-66, 2010.03.10.
58. 勝岡洋治(司会), 塚本泰司, 並木幹夫, 後藤百万, 高橋 悟: 前立腺肥大症に対する 5 $\alpha$ 還元酵素阻害薬の有用性について. 誌上座談会. 泌尿器外科 23(2):155-166, 2010.2.15
59. 咲間隆裕, 高橋 悟: TVM 手術-術前後の QOL と下部尿路機能, 特集 Prctive Female Urology : 新たな art と evidence, Urology View,8(1):67-71,2010.
60. Murata T, Takayama K, Ktayama S, Urano T, Horie-Inoue K, Ikeda K, Takahashi S, Kawazu C, Hasegawa A, Ouchi Y, Homma Y, Hayashizaki T, Inoue S.:miR-148a is an androgen-responsive microRNA that promotes LNCaP prostate cell growth by repressing its target CAND1 expression Postate Cancer Postatic Dis.13(4):356-361,2010.
61. 武田正之, 高橋 悟, 西澤 理, 後藤百万, 吉田正貴, 舛森直哉 : 過活動膀胱患者に対するイミダフェナシンの夜間頻尿改善効果は睡眠障害および QOL 改善に貢献する (EVOLUTION Study).泌尿器外科. 23(10):1443-1452, 2010.
62. 山口健哉, 長根裕介, 持田淳一, 平方 仁, 川田 望, 高橋 悟 : サイトカインを用いたネオアジュバント療法の腎癌に対する効果. 腎癌研究会会報. No.39: 33-34,2010.9.
63. Sakuma T, Sato K, Nagane Y, Mochida J, Sugimoto S, Ichinose T, Yamaguchi K, Uchiyama M, Takahashi S.: Effects of  $\alpha$ 1-Blockers for Lower Urinary Tract Symptoms and Sleep Disorders in Patients with Benigh Prostatic Hyperplasia.LUTS, 2:119-122,2010.
64. Hirano D, Nagane Y, Satoh K, Mochida J, Sugimoto S, Ichinose T, Takahashi S, Maebayashi T, Saitoh T.: Neoadjuvant LHRH analig plus estramustine phosphate combined with three-dimensional conformal radiotherapy for intermediate-to high-risk prostate cancer: a randomized study: Int Urol Nephrol, 42:81-88,2010.
65. 山口健哉, 高橋 悟, 一瀬岳人, Pimkina J, Makhov P, Golovine K, Uzzo G R, Kolonko M V: 前立腺癌細胞の TRAIL 起因細胞死に対するセレンの役割.日本腎泌尿器疾患予防医学研究会誌.18:71-76,2010.
66. Takahashi S, Obinata D, Sakuma T, Nagane Y, Sato K, Mochida J, Ichinose T, Yamaguchi K: Clinical Efficacies of Tension-free Vaginal Mesh Procedure for Pelvic Organ Prolapse: Single Center Experience of 310 Cases with One Year Follow-up. Int J Urol, 17:353-358, 2010.4.
67. Fujimura T, Takahashi S, Urano T, Ijichi N, Ikeda K, Kumagai J, Murata T, Takayama K, Horie-Inoue K, Ouchi Y, Muramatsu M, Homma Y, Inoue S: Differential expression of estrogen-related receptors b and g (ERRb and ERRg) and their clinical significance in human prostate cancer. Cancer Science, 101:646-51, 2010.
68. Takahashi S, Obinata D, Sakuma T, Matsui T, Takenobu Y, Igarashi T, Yoshizawa T, Sato K, Mochida J, Sugimoto S: Transvaginal Mesh (TVM) Reconstruction with TVT/TOT Sling for Vaginal Proslapse Concurrent with Stress Urinary Incontinence. Aktuel Urol.41: S20-S23, 2010.1.
69. 山口健哉, 川田 望, 高橋 悟: 特集. 進行性腎細胞癌の治療, 泌尿器外科 22(11):1399-1402, 2009.11.15.
70. 高橋 悟: 序文, 特集. 進行性腎細胞癌の治療:Update2009, 泌尿器外科 22(11):1371, 2009.11.15.
71. 山田雄太, 高橋 悟, 藤村哲也, 西松寛明, 本間之夫 : 抗アンドロゲン剤の骨回転・骨密度に与える影響, 特集. 前立腺癌と骨粗鬆症-最新の知見-, 泌尿器外科 22(6):745-749, 2009.6.15.
72. 高橋 悟: 下腹部尿路機能障害 Q&A. 女性の下部尿路機能障害. Urology View 7 : 114-119, 2009.4.
73. Hirano D, Mashiko A, Murata Y, Satoh K, Ichinose T, Takahashi S, Jike T, Sugitani M:A casa of solitary fibrous tumor of the kidney: an immunohistochemical and ultrastructural study with a review of the literature. Medical Molecular Morphology ,42:239-244, 2009.
74. Fujimura T, Takahashi S, Kume H, Takeuchi T, Kitamura T, Homma Y: Cancer-related pain and quality of life in prostate cancer patients: Assessment using the Functional Assessment of Prostate Cancer Therapy. Int J Urol,16 : 522-525 ,2009.

75. Fujimura T, Takahashi S, Urano T, Kumagai J, Murata T, Ogushi T, Horie-Inoue K, Ouchi Y, Kitamura T, Muramatsu M, Homma Y, Inoue S: Expression of cytochrome P450 3A4 and its clinical significance in human prostate cancer. *Urology*, 74:391-397,2009.
76. Hachiya T, Igarashi T, Morita K, Igarashi T, Hamano K, Okada Y, Ichinose T, Aoki Y, Kawata N, Hirano D, Takahashi S, Takimoto Y, Okada K: Impact of pathological stage, margin status and tumor grade on long term relative survival rate following radical prostatectomy, *Jpn J Urol Surg*, 22:505-516, 2009.
77. Arai Y, Kaiho Y, Takei M, Nonomura K, Baba S, Habuchi T, Matsuda T, Takahashi S, Igawa M, Nakagawa H: Burden of male stress urinary incontinence: A survey among urologists in Japan, *Int J Urol*, 16:915-917, 2009.
78. Fujimura T, Takahashi S, Urano T, Xiaoqiang L, Ogushi T, Muramatsu M, Ouchi Y, Kitamura T, Homma Y, Inoue S: Estrogen receptor-binding fragment-associated gene 9 expression and its clinical significance in human testicular cancer. *Int J Urol*, 16:329-332, 2009.
79. Sakuma T, Matsumoto T, Kano K, Fukuda N, Obinata D, Yamaguchi K, Yoshida T, Takahashi S, Mugishima H: Mature, Adipocyte Derived, Dedifferentiated Fat Cells Can Differentiate Into Smooth Muscle-Like Cells and Contribute to Bladder Tissue Regeneration. *J Urol*, 182:355-365, 2009.07.
80. 武田正之, 高橋 悟, 西澤 理, 後藤百万, 吉田正貴: 過活動膀胱患者におけるイミダフェナシンの夜間頻尿治療効果と睡眠障害への影響に関する検討(EPOCH Study). *泌尿器外科*,22(1):53-60, 2009年1月15日.
81. Kumagai J, Urano T, Ogushi T, Takahashi S, Horie-Inoue K, Fujimura T, Azuma K, Muramatsu M, Ouchi Y, Kitamura T, Inoue S: EBAG9 is a tumor-promoting and prognostic factor for bladder cancer. *Int. J. Cancer*, 124:799-805, 2009.02.15.
82. Takayama K, Tsutsumi S, Suzuki T, Horie-Inoue K, Ikeda K, Kaneshiro K, Fujimura T, Kumagai J, Urano T, Sakaki Y, Shirahige K, Sasano H, Takahashi S, Kitamura T, Ouichi Y, Aburatani H, Inoue S: Amyloid Precursor Protein Is a Primary Androgen Target Gene That Promotes Prostate Cancer Growth. *Can. Res*, 69:137-142, 2009.01.01.
83. Arai Y, Takei M, Nonomura K, Baba S, Habuchi T, Matsuda T, Takahashi S, Igawa M, Kaiho Y, Nakagawa H: Current use of the artificial urinary sphincter and its long-term durability: A nationwide survey in Japan. *Clinical Investigation. Int. J. Urol*, 16(1):101-104, 2009.01.

#### 著書/Books

1. 荒井陽一, 松田公志, 高橋 悟: V オープンサージャリー.骨盤臓器脱手術(TVM). 新版 泌尿器科 周術期管理のすべて (荒井陽一, 松田公志, 高橋 悟: 編集) .pp320-325, 株式会社メジカルビュー社, 東京, 2013.12.10. (共著)
2. 五十嵐智博, 高橋 悟: II 適応: 7. 骨盤臓器脱に対して HRT は有効か? 今日からできるホルモン補充療法—HRT 実践マニュアル(水沼英樹, 高松 潔編), pp41-47, 中外医学社, 東京, 2013.7.20.
3. 齋藤みどり, 高橋 悟: 3. 尿失禁の治療. VII章.女性泌尿器科学.ベッドサイド泌尿器科学 改訂第4版. pp381-388, 株式会社南江堂, 東京, 2013.5.25.
4. 吉澤 剛, 高橋 悟: 2. 尿失禁の診断.VII章.女性泌尿器科学.ベッドサイド泌尿器科学 改訂第4版. pp373-380, 株式会社南江堂, 東京, 2013.5.25.
5. 高橋 悟: 1. 女性骨盤底の解剖と尿禁制メカニズム.VII章.女性泌尿器科学.ベッドサイド泌尿器科学 改訂第4版. pp368-372, 株式会社南江堂, 東京, 2013.5.25.
6. 高橋 悟: スーパー図解 女性の頻尿・尿失禁 QOL (生活の質) 向上のための最善策 (監修), 株式会社 法研, 東京, 2013年5月23日.
7. 五十嵐智博, 高橋 悟: 26.骨盤臓器脱.II 疾患. 後期研修医がおさえておきたい泌尿器疾患 TOP30. *泌尿器外科*第 26 巻特別号.pp372-381, 医学図書出版株式会社, 東京,2013年4月30日.
8. 高橋 悟: 後期研修医がおさえておきたい泌尿器疾患 TOP30. *泌尿器外科*第 26 巻特別号,

医学図書出版株式会社.東京,2013年4月30日.(編集委員長)

9. 高橋 悟: ICS 2012 Report. (第42回国際禁制学会)(本間之夫監修): pp43, 2013.3.
10. 高橋 悟: ICS 2012 Report. (第42回国際禁制学会)(本間之夫監修): pp41, 2013.3.
11. 高橋 悟: 夜にだけ起こる頻尿: 昼間のトイレは近くないのになぜ?. 第2章日本が誇る名医が解消 長引くカラダの悩みから真の病気を突き止める. たけしの健康エンターテインメント! みんなの家庭の医学 番組制作スタッフ編, pp109-114, 幻冬舎, 東京, 2012.10.15.
12. 高橋 悟: 眠い朝. 泌尿器科学診療・研究の過去・現在・未来. プロスタール発売 30周年記念随想集, pp69-70, 株式会社メディカルレビュー社, 東京, 2012.7.1.
13. 咲間隆裕, 高橋 悟: 第8節 過活動膀胱の臨床試験デザインの設定法. 成功・失敗の傾向, 各疾患の特徴からつかむ. 臨床試験計画とデザインの設定, pp369-374, (株)技術情報協会, 東京, 2012.6.29.
14. 高橋 悟: 2. 予防 CQ3 「5 $\alpha$ 還元酵素阻害薬は化学予防薬として有用か?. 前立腺癌診療ガイドライン 2012年版(日本泌尿器科学会編), pp26-27, 金原出版株式会社, 東京, 2012.4.20.
15. 高橋 悟: 尿のトラブル. 泌尿器の病気. NHK 今日健康×ここが聞きたい! 名医にQ お医者さん名鑑, pp171, 主婦と生活社, 東京, 2012.4.9.
16. 高橋 悟: 19 泌尿器科疾患: 尿失禁. 今日の治療指針 2012年版(Volume54)(山口 徹, 北原光男, 福井次矢:総編集), pp985, 医学書院, 東京, 2012.1.1.
17. 高橋 悟: ICS 2011 Report. (第41回国際禁制学会): pp18, 2011.11. (編集)
18. 高橋 悟: ICS 2011 Report. (第41回国際禁制学会): pp17, 2011.11. (編集)
19. 高橋 悟: 過活動膀胱. 生活習慣的な病気. 新「名医」の最新治療 完全読本, pp308-311, 週刊朝日, 東京, 2011.9.10.
20. 高橋 悟: 泌尿器科・病理・放射線科 腎盂・尿管・膀胱癌取扱い規約. (日本泌尿器科学会・日本病理学会・日本医学放射線学会・編者), 第1版, 金原出版, 東京, 2011.4.20.
21. 五十嵐智博, 高橋 悟: 泌尿器疾患: 膀胱炎. 今日の診療のために ガイドライン外来診療 2011 (泉 孝英: 編集), pp344-351, 日経メディカル開発, 東京, 2011.3.21.
22. 高橋 悟: 19 泌尿器科疾患: 尿管腫瘍, 尿管嚢胞. 今日の治療指針 私はこう治療している 2011 (山口 徹, 北原光男, 福井次矢:総編集), pp975-976, 医学書院, 東京, 2011.
23. Kumagai J, Takahashi S, Homma Y, Inoue S.: EBAG9 as a Tumor-Promoting Factor For Bladder Cancer. In : Chapter9 : Bladder Cancer: Etymology, Diagnosis, and Treatments, pp187-193, Nova Science Publishers, Inc, USA, 2010.
24. 高橋 悟: 5 診療の手順. 第I章泌尿器科学総論. pp98-106, 第8版, 標準泌尿器科学, Standard textbook, 医学書院, 東京, 2010.3.1.
25. 咲間隆裕, 高橋 悟: 第2章1: 頻尿, 排尿障害. 老年特有の疾患(いわゆる老年症候群)に対する薬物治療. Jmed Mook No.6.いきなり名医! 高齢者に対する薬の安全処方 (桑島 巖: 編集), pp19-22, 日本医事新報社, 東京, 2010.
26. 高橋 悟: 前立腺がん検診ガイドライン. 2010年増補版, 日本泌尿器科学会編(高橋悟: 監修), 金原出版, 東京, 2009.12.22.
27. 平野大作, 高橋 悟: 34.尿中 BTA. 主な腫瘍マーカーとその特徴. 改訂版腫瘍マーカーハンドブック: pp 141-144, 医療ジャーナル社, 大阪, 2009年9月25日
28. 高橋 悟: よくわかる前立腺疾患—お医者に行く前にまず読む本—(デービッド・カーク著. 高橋 悟監訳/小松由紀子訳). わが家のお医者さんシリーズ 22. 一灯舎, 東京, 2009年3月18日.
29. 吉澤 剛, 高橋 悟: 畜尿障害と畜尿症状. 蓄尿障害, 排泄障害の種類と特徴(排尿機能障害), 第III部排泄リハビリテーション, pp71-75, 排泄リハビリテーション理論と臨床, 中山書店, 東京, 2009年3月10日.
30. 高橋 悟: 泌尿器科疾患・間質性膀胱炎. 今日の治療指針 2009(山口 徹, 北原光男, 福井次矢:総編集). pp832, 医学書院, 東京, 2009.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 後藤百万, 高橋 悟: ワークショップ 5「女性の混合性尿失禁の治療」. 12<sup>th</sup> LUTS Expert Forum,

- 東京, 2013年12月7日.(司会)
2. 高橋 悟: 特別講演 II .Clinical Oncology Meeting RCC 2013, 東京, 2013年11月28日.(座長)
  3. 高橋 悟: 第3回さくら泌尿器カンファレンス, 東京, 2013年11月14日.(特別講演座長)
  4. 高橋 悟: 第78回日本泌尿器科学会東部総会, 新潟, 2013年10月19日.(教育講演3座長)
  5. 朝倉博孝, 高橋 悟: 一般口演2「女性泌尿器科」. 第78回日本泌尿器科学会東部総会, 新潟, 2013年10月18日.(司会)
  6. 高橋 悟: Sesseion2.臨床排尿障害セミナー2013, 東京, 2013年10月2日.(座長)
  7. Takahashi S.: Symposium I : Female voiding dysfunction. The 8<sup>th</sup> Pan-Pacific Continence Society Meeting, Busan, Korea, September 27, 2013.
  8. 高橋 悟: 第7回 Female LUTS Conference, 東京, 2013年9月12日.(座長)
  9. 高橋 悟: 第5回さくら泌尿器がん研究会, 東京, 2013年9月4日.(座長)
  10. 高橋 悟: 講演3「企業における人材育成」.講演「Human Resource Development」.第4回泌尿器科フロンティアセミナー, 大阪, 2013年8月3日.(司会)
  11. 高橋 悟: State-of-the-art lecture 「proPSA : 新規腫瘍マーカーとしての臨床応用への期待.第21回日本がん検診・診断学会, 前橋, 2013年7月20日.(座長)
  12. Frohneberg D, Takahashi S.: Scientific Session V. 10<sup>th</sup> German-Japanese Urological Meeting, Kobe,Kyoto & Osaka, Japan, June 12,2013 (Kyoto).(Moderator)
  13. 高橋 悟, 服部紀子: 一般公演10「女性泌尿器科」. 第26回日本老年泌尿器科学会, 横浜, 2013年5月18日.(座長)
  14. 高橋 悟: ランチョンセミナー1「混合性を含む腹圧性尿失禁の治療とケア」.第26回日本老年泌尿器科学会, 横浜, 2013年5月17日.(座長)
  15. 島田 誠, 高橋 悟: パネルディスカッション5「骨盤臓器脱の治療戦略」.第101回日本泌尿器科学会総会, 札幌, 2013年4月27日.(座長)
  16. 高橋 悟: Female LUTS の Topics.第101回日本泌尿器科学会総会, 札幌, 2013年4月25日.(サテライトセミナー4座長)
  17. 高橋 悟: 第8回 Itabashi Urological Workshop, 東京, 2013年3月29日.(座長)
  18. 高橋 悟: 第7回 TVM 研究会学術集会, 福岡, 2013年3月2日.(座長)
  19. Takahashi S, Asakura H, (JUA) Kobashi K, Baxter Z.(AUA):Simultaneous TVT or TOT at the Time of TVM for POP:To Do or Not to Do?. Advancements in Urology 2013 An American Urological Association and Japanese Urological Association Symposium, Las Vegas, NY, February 14, 2013. (Afternoon Sessions) (Moderator)
  20. 高橋 悟: 第11回 NU フォーラム, 東京, 2013年2月8日.(座長)
  21. Obinata D, Fujiwara K, Takayama K, Urano T, Nagase H, Fukuda N, Soma M, Inoue S, Takahashi S.: The efficacy of Pyrrole-imidazole (PI) polyamide targeted to TMPRSS2 and ERG gene fusion for prostate cancer. The 18th Korea-Japan Cancer Research Workshop, Gifu, 2013.11.30
  22. 仲谷達也, 高橋 悟: 泌尿器科手術の未来像.第27回日本泌尿器内視鏡学会総会, 名古屋, 2013年11月7日.(シンポジウム2)
  23. 高橋 悟: デュタステリド投与中の PSA 管理に関する考察～5ARI は PCa の診断に影響を及ぼすのか～.第65回西日本泌尿器科学会総会, 佐賀, 2013年11月2日.(教育セミナー10)
  24. 高橋 悟: 泌尿器がん. 第51回日本癌治療学会学術集会, 京都, 2013年10月25日.(Meet in PAL)
  25. 高橋 悟: BPH/LUTS 治療～パラダイムシフトの兆し～.第78回日本泌尿器科学会東部総会, 新潟, 2013年10月18日.(ランチョンセミナー2)
  26. 大日方大亮, 藤原恭子, 高山賢一, 浦野友彦, 永瀬浩喜, 相馬正義, 井上 聡, 高橋 悟: 前立腺癌特異的融合遺伝子 TMPRSS2-ERG の生成を抑制するピロール・イミダゾール(PI) ポリアミドの開発. 第72回日本癌学会学術総会, 東京, 2013年10月4日 (シンポジウム)
  27. 高橋 悟: 女性骨盤底医学の針路: 私の提案.第15回日本女性骨盤底医学会, 東京, 2013年7月27日.(会長講演)
  28. 大日方大亮, 藤原恭子, 伊藤亜希子, 村田保貴, 芦荻大作, 山口健哉, 高山賢一, 浦野友

- 彦, 藤村哲也, 福田 昇, 永瀬浩喜, 相馬正義, 井上 聡, 高橋 悟: ピロール・イミダゾール(PI)ポリアミドを用いた、前立腺癌新規遺伝子治療薬の開発. 第 14 回ホルモンと癌研究会, 東京, 2013 年 7 月 12 日 (ワークショップ)
29. 高橋 悟: 過活動膀胱治療の最近の知見について. 第 5 回宮崎県泌尿器科-内科連携の会, 宮崎, 2013 年 6 月 20 日. (特別講演)
  30. Takahashi S: Management of BPH: Targeting the appropriate patient with the right treatment. The 14<sup>th</sup> Biennial Meeting of the Asia-Pacific Society for Sexual Medicine, Kanazawa, May 31, 2013. (Luncheon Seminar 1)
  31. 高橋 悟: ブロッカーと性機能. 日本性機能学会第 24 回学術総会・第 23 回日本性機能学会中部総会, 金沢, 2013 年 5 月 30 日. (ミニシンポジウム 2)
  32. 高橋 悟: 排尿日誌の重要性: どう評価し役立てるか? 高齢者における排尿機能の改善に向けた試みと機能評価法について. 第 26 回日本老年泌尿器科学会, 横浜, 2013 年 5 月 17 日. (シンポジウム)
  33. 高橋 悟: [17]女性下部尿路症 (含尿失禁) の診断と治療. 女性泌尿器科. 2013 卒後教育プログラム, 第 101 回日本泌尿器科学会総会, 札幌, 2013 年 4 月 28 日.
  34. 高橋 悟: 病因に基づく夜間頻尿治療: 膀胱蓄尿障害と多尿・夜間多尿へのアプローチ. 第 101 回日本泌尿器科学会総会, 札幌, 2013 年 4 月 27 日. (サテライトセミナー 5)
  35. 佐藤克彦, 村田保貴, 大日方大亮, 五十嵐智博, 持田淳一, 岡田安弘, 山中弥太郎, 山口健哉, 平野大作, 高橋 悟: 骨盤底機能から見た治療戦略. 第 101 回日本泌尿器科学会総会, 札幌, 2013 年 4 月 27 日. (パネルディスカッション 5)
  36. 高橋 悟: 過活動膀胱治療の Gold standard & New approach. 第 10 回日本臨床泌尿器科医学会学術講演会, 横浜, 2013 年 3 月 13 日. (特別講演)
  37. Takahashi S, Badlani G.: Comparison of Guidelines for Treatment of Incontinence Between the USA and Japan. Advancements in Urology 2013 An American Urological Association and Japanese Urological Association Symposium, Las Vegas, NY, February 16, 2013. (特別講演)
  38. 伊藤亜希子, 堀祐太郎, 村田保貴, 大日方大亮, 咲間隆裕, 五十嵐智博, 佐藤克彦, 持田淳一, 岡田安弘, 山中弥太郎, 山口健哉, 高橋 悟: 前立腺肥大症患者に対する  $\alpha 1$  ブロッカー (シロドシン vs ナフトピジル) の治療効果と性機能への影響に関する多施設無作為比較試験. 第 6 回東京ミッドタウンセミナー, 東京, 2011 年 11 月 22 日.
  39. Takahashi S: Symposium 9 "Prostate cancer(Basic research)": Androgen receptor signaling pathways in prostate cancer. 15th International Congress on Hormonal Steroids and Hormones & cancer, Kanazawa, November 17, 2012.
  40. 高橋 悟: 排尿障害のパラダイムシフト, 泌尿器科エキスパートミーティング in NAGASAKI, 諫早市, 長崎, 2011 年 11 月 17 日.
  41. 高橋 悟: BPH/LUTS 最近の話題. 第 63 回日本泌尿器科学会西日本総会, 久留米市, 2011 年 11 月 12 日. (教育セミナー 7)
  42. 高橋 悟: 『前立腺肥大症治療の新戦略』-dutasteride の新たなる可能性-. アボルブ発売 2 周年記念学術講演会 in Osaka, 大阪, 2011 年 11 月 12 日.
  43. 高橋 悟: BHP 治療の新戦略-5 $\alpha$ 還元酵素阻害薬の有用性と今後の展望-. 岡崎市泌尿器科医学会学術講演会, 岡崎, 2011 年 11 月 2 日.
  44. 高橋 悟: 女性尿失禁: 各術式の長期成績と明日への課題 TOT 手術. 第 76 回日本泌尿器科学会東部総会, 横浜, 2011 年 10 月 22 日. (シンポジウム)
  45. 高橋 悟: 夜間頻尿からみる睡眠障害-泌尿器科の立場から-. 日本睡眠学会第 36 回定期学術集会, 京都, 2011 年 10 月 15 日. (ランチョンセミナー)
  46. 高橋 悟: 前立腺肥大症の新しい治療戦略-新ガイドラインの紹介-. 第 92 回徳島県泌尿器科疾患研究会, 徳島, 2011 年 10 月 13 日. (特別講演)
  47. 高橋 悟: 第二部: トイレの悩み解消~快適ライフのために~. 中高年男女のための医療シンポジウム『泌尿器専門医が教える気になる悩み対策講座』, 大阪, 2011 年 10 月 10 日.
  48. 蜂谷隆彦, 井門祐一郎, 一瀬岳人, 岡田清己, 大野 将, 増子亜耶, 大日方大亮, 高橋 悟: リスク分類と治療法選択~ハイリスク前立腺癌に対する根治的前立腺全摘除術~. 第 18

- 回東京前立腺癌フォーラム，東京，2011年10月8日。（シンポジウム）
49. 高橋 悟：Male LUTS 治療の UP DATE. 第 21 回名古屋臨床泌尿器科懇話会，名古屋，2011 年 10 月 1 日.
  50. 高橋 悟：そうだったのか！女性の排尿障害. 第 18 回日本排尿機能学会，福井，2011 年 9 月 16 日.（ランチョンセミナー）
  51. 高橋 悟：夜間頻尿と QOL.岡山 QAB セミナー-ウリトス OD 錠 0.1mg 発売記念講演会-，岡山，2011 年 9 月 8 日.
  52. 高橋 悟：『骨盤臓器脱』～取り巻く課題と取組みについて～. 第 10 回日本泌尿器学会プレスセミナー，東京，2011 年 8 月 24 日.
  53. Takahashi S: Management of BPH:targeting the appropriate patient with the right treatment. 33th Annual Congress of the Taiwan Urological Association（台湾泌尿器學會 100 年度大會 外賓演講 3）, Tainan, Taiwan, August 13, 2011.
  54. Takahashi S: BPH management changes all over the world and Japanese experience.Inside BPH-The Relationship with Prostate Disease and Inflammation.33th Annual Congress of the Taiwan Urological Association Urology Expert forum,Tainan,Taiwan, August 12, 2011.
  55. 高橋 悟：過活動膀胱の治療～泌尿器科医の視点～. 学術講演会-ステープラ OD 錠新発売記念講演会-，横浜，2011 年 7 月 27 日.（特別講演）
  56. 高橋 悟：TVM 手術の現状. 第 1 回 Clinical Urology Forum. 東京，2011 年 6 月 24 日.
  57. 高橋 悟：Update in LUTS～下部尿路症状の診断と治療. 埼玉西部地区排尿障害セミナー，川越，2011 年 6 月 22 日.（特別講演）
  58. 高橋 悟：BPH 治療の新戦略-5 $\alpha$ 還元酵素阻害剤の有用性と今後の展開-. 第 98 回筑後泌尿器科医会研修会，久留米，2011 年 6 月 21 日.（特別講演）
  59. 北村唯一（司会），高橋 悟，久米春喜，釜井隆男，藤井靖久：泌尿器外科 誌上座談会，東京，2011 年 6 月 20 日.
  60. 高橋 悟：骨盤臓器脱における排尿・性機能障害と骨盤底再建手術の治療効果. 第 21 回骨盤外科機能温存研究会，神戸，2011 年 6 月 18 日.（特別講演）
  61. 高橋 悟：高齢者における排尿障害の診断と治療-過活動膀胱を中心に-. 第 53 回日本老年医学会学術集会，東京，2011 年 6 月 16 日.（ランチョンセミナー）
  62. 高橋 悟：「前立腺肥大症と薬物療法」患者さんの評価. グラクソ・スミスクライン(株)社内勉強会. 宮崎，2011 年 6 月 13 日.（講師）
  63. 高橋 悟：5 $\alpha$ 還元酵素阻害剤の有用性と今後の展開. 小田原泌尿器科懇談会，小田原，2011 年 5 月 26 日.
  64. 高橋 悟：Pelvic Health～新しい治療のコンセプト. 学術講演会，長崎，2011 年 4 月 8 日.（特別講演）
  65. Takahashi S: “Management of LUTS in Patients with Pelvic Organ Prolapse.” The 5th Pan-Pacific Continence Society Meeting. September 3,2010. Jeju, Korea, (State-of-the-Art Lecture)
  66. Takahashi S and Sakura Clinical Study Group: “Treatment of Benign Prostatic Hyperplasia and Aging.”5th JAPAN-ASEAN Conference on Men’s Health & Aging. July 11 2010. Kota Kinabalu, Malaysia.（シンポジウム）
  67. Takahashi S, Fujimura T, Obinata D, Urano T, Inoue S : “Role of Estrogen-signaling pathway in the development of prostate cancer.”3<sup>rd</sup> Symposium on Biology of Prostate Gland 2010. 2010 年 6 月 17 日. 伊勢志摩（シンポジウム）
  68. 高橋 悟：Female LUTS：骨盤底機能の意義，第 74 回日本泌尿器科学会東部総会，長野県松本文化会館，長野，2009 年 10 月 29 日.（イブニングセミナー）
  69. 高橋 悟：糖尿病に伴う排尿障害，生活習慣病に伴う排尿障害と薬物治療，第 11 回応用薬理シンポジウム. 静岡，2009 年 9 月 18 日.（シンポジウム）
  70. 高橋 悟：Pelvic Health～新しい治療のコンセプト. 日本泌尿器科学会沖縄地方会. 沖縄. 2009 年 7 月 25 日.（イブニングセミナー）
  71. 高橋 悟：TVM の光と影，長期成績と合併症. 第 11 回日本女性骨盤底医学会学術集会. 奈良，2009 年 7 月 5 日.（シンポジウム）

72. 高橋 悟：専門医の BPH 治療戦略. 第 97 回日本泌尿器科学会総会. 岡山, 2009 年 4 月 18 日.
73. 高橋 悟: TVM に関する新しい知見: 最近の海外における文献と学会発表から. 第 3 回 TVM 研究会学術集会, ホテルラフォーレ東京, 東京, 2009 年 2 月 11 日.
74. 高橋 悟: 排尿障害 (尿失禁) と性差. 性差医学・医療学会 第 2 回学術集会. 東京, 2009 年 2 月 8 日. (ランチョンセミナー)

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 大日方大亮, 高橋 悟, 藤原恭子, 井上 聡, 高山賢一「新規 P I ポリアミド」, 特願 2013-048126
2. 大日方大亮, 高橋 悟, 福田 昇, 藤原恭子. 「新規 P I ポリアミド」, 特願 2012-106382

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 高橋 悟：前立腺細胞増殖に関与する内分泌関連タンパクの解析. 2008-2010 年度科学研究費補助金基盤研究(C)(2), 4,130,000 円
2. 羅 智靖, 高橋 悟：炎症と難治性免疫・アレルギー疾患の分子細胞医学. 平成 20 年度～平成 24 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業, 日本大学, 1 億円×5 年間
3. 大日方大亮, 高橋 悟, 高山賢一, 井上 聡：前立腺癌における ETS Family と癒合する遺伝子群のアンドロゲン応答機構. 2010 年度日本大学医学部 同窓会 60 周年記念医学奨励金研究費. 1,000,000 円
4. 高橋 悟：前立腺癌における融合遺伝子とアンドロゲン応答機構の解析. 2011-2013 年度科学研究費補助金基盤研究(C)(2), 3,900,000 円
5. 相馬正義, 高橋 悟 (他 22 名)：ゲノム化学に基づく先進医療開発研究拠点. 2011～2016 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業. 日本大学. 35,600,000 円
6. 高橋 悟, 山口健哉, 佐藤克彦, 持田淳一, 大日方大亮：女性骨盤臓器脱症による QOL への影響解析と治療指針の作成. 第 3 回 (2011 年度) ロート女性健康科学研究会助成, 500,000 円

## 20. 高橋 元一郎/Motoichiro Takahashi

#### 論文/Papers

1. Yoshinobu T, Abe K, Sasaki Y, Tabei M, Tanaka S, Takahashi M, Furuhashi S, Tanaka I, Shizukuishi T, Aizawa T, Maebayashi T, Sakaguchi M, Okuhata Y, Kikuta J, Ishibashi N: Data Management Solution for Large-Volume Computed Tomography in an Existing Picture Archiving and Communication System (PACS). Journal of Digital Imaging [Epub ahead of print] 2009 Nov 12
2. Furuhashi S, Abe K, Takahashi M, Aizawa T, Shizukuishi T, Sakaguchi M, Maebayashi T, Tanaka I, Narata M, Sasaki Y: A Computer-Assisted System for Diagnostic Workstations: Automated Bone Labeling for CT Images. Journal of Digital Imaging 22:689-695, 2009.
3. Abe K, Narata M, Tanaka I, Takahashi M, Igarashi A, Sasaki T, Matsuyama K, Tohi N, Kosuda S: A Filmless Radiology Teaching Conference System for Pertinent Displaying and Image Searching. Journal of Digital Imaging 22:598-604, 2009.

#### 著書/Books

1. 高橋元一郎, 奥畑好孝, 田中宏, 古橋哲, 阿部克己, 齊藤勉：特集 痛み診療に用いる検査機器 骨核医学 診察と治療. ペインクリニック 30:43-50, 2009.
2. 高橋元一郎：放射線科医から見た Ai の光と影 克服すべき点も含めて. 月刊新医療 36:131-134, 2009.
3. 高橋元一郎：ヨード造影剤や Gd キレート剤の副作用に係る今日的諸問題. 日大医学雑誌



68:174-180,2009.

4. 矢野希世志, 藤岡和美, 古橋哲, 奥畑好孝, 阿部克己, 高橋元一郎, 宇野公一, 逸見明博 : 肺硬化性血管腫の 18F-FDG-PET. 日大医学雑誌 68:313-314,2009.

## 2 1. 茶圓 茂/Shigeru Chaen

### 論文/Papers

1. Haruo Sugi, Takahiro Abe, Takakazu Kobayashi, Shigeru Chaen, Yoshiki Ohnuki, Yasutake Saeki, Seiryu Sugiura, "Enhancement of Force Generated by Individual Myosin Heads in Skinned Rabbit Psoas Muscle Fibers at Low Ionic Strength", PLoS One. **2013** May 15: 8(5): e63658
2. Takahiro Maruta, Takahiro Kobatake, Hiroyuki Okubo, and Shigeru Chaen. Single turnovers of fluorescent ATP bound to bipolar myosin filament during actin filaments sliding. BIOPHYSICS **2013**, 9, 13-20
3. Haruo Sugi, Hiroki Minoda, Takuya Miyakawa, Suguru Tanokura, Shigeru Chaen, Takakazu Kobayashi. The gas environmental chamber as a powerful tool to study structural changes of living muscle thick filaments coupled with ATP hydrolysis. In *Current basic and pathological approaches to the function of muscle cells and tissues-From molecules to Human* (ed. H. Sugi) pp.3-26. INTECHOPEN.COM **2012**.
4. Haruo Sugi, Takakazu Kobayashi, Teizo Tsuchiya, Shigeru Chaen, Seiryu Sugiura. Evidence for the essential role of myosin head lever arm domain and myosin subfragment-2 in muscle contraction. In *Skeletal muscle-from myogenesis to clinical relations*. (ed. J. Cséri) pp.125-140. INTECHOPEN.COM **2012**.
5. H. Okubo, M. Iwai, S. Iwai, S. Chaen, "Thermal activation energy for bidirectional movement of actin along bipolar tracks of myosin filaments", Biochem. Biophys. Res. Commun. **2010**, 396, 539-542.
6. H. Shishido, K. Nakazato, E. Katayama, S. Chaen, S. Maruta, "Kinesin-calmodulin fusion protein as a molecular shuttle", *J. Biochem.* **2010**, 147(2), 213-223.

### 外部資金の獲得状況 : 獲得研究費/Funding

1. 大月 穰, 茶圓 茂, 羽柴秀臣, 大貫進一郎, "分子回転子の構築とその制御", 科学研究費補助金, 平成 22 年度新学術領域研究 (公募研究), 4,600,000 円 (2010 年度 2,300,000 円, 2011 年度 2,300,000 円).
2. 平成 22 年度日本学術振興会外国人特別研究員

## 2 2. 塚本 新/Arata Tsukamoto

### 論文/Papers

1. T. Sato, R. Shimizu, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Layer-Specific Measurement of Spin Dynamics in GdFeCo Double Layer with Dielectric Interlayer", *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **2014**, 38, submitted.
2. H. Yoshikawa, S. Kogure, T. Sato, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Ultrafast heat pulse magnetization switching near compensation condition in GdFeCo", *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **2014**, 38, submitted.
3. J. Tsukioka, T. Ubana, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Measurement of thermo magnetic property and increase of areal density of isolated L1<sub>0</sub>-FeCuPt grains", *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **2014**, 38, submitted.
4. A. Tsukamoto, S. Kogure, H. Yoshikawa, T. Satoh, A. Itoh, "Contribution of magnetic circular

- dichroism in all-optical light helicity-dependent magnetic switching", *Springer Verlag*, **2014**, submitted.
5. K. Tamura, T. Ota, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, S. Ohnuki, K. Nakagawa, "Circularly Polarized Light Generated by Plasmon Antenna for All-Optical Magnetic Recording", *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **2013**, 37 (3-2), pp. 115-118.
  6. K. Nakagawa, A. Tajiri, K. Tamura, S. Toriumi, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, Y. Sasaki, S. Saito, M. Takahashi, S. Ohnuki, "Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Optical Near Field with Ultra Short-Time Heating", *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **2013**, 37 (3-2), pp. 119-122.
  7. M. Finazzi, M. Savoini, A. R. Khorsand, A. Tsukamoto, A. Itoh, L. Duò, A. Kirilyuk, Th. Rasing, and M. Ezawa, "Laser-Induced Magnetic Nanostructures with Tunable Topological Properties", *Physical Review Letters*, **2013**, 110, 177205 (pp. 1-5).
  8. C. E. Graves, A. H. Reid, T. Wang, B. Wu, S. de Jong, K. Vahaplar, I. Radu, D. P. Bernstein, M. Messerschmidt, L. Müller, R. Coffee, M. Bionta, S. W. Epp, R. Hartmann, N. Kimmel, G. Hauser, A. Hartmann, P. Holl, H. Gorke, J. H. Mentink, A. Tsukamoto, A. Fognini, J. J. Turner, W. F. Schlotter, D. Rolles, H. Soltau, L. Strüder, Y. Acremann, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, Th. Rasing, J. Stöhr, A. O. Scherz and H. A. Dürr, "Nanoscale spin reversal by non-local angular momentum transfer following ultrafast laser excitation in ferrimagnetic GdFeCo", *Nature Materials*, **2013**, 12, pp. 293-298.
  9. A. R. Khorsand, M. Savoini, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing, "Element-Specific Probing of Ultrafast Spin Dynamics in Multisublattice Magnets with Visible Light", *Physical Review Letters*, **2013**, 110, 107205 (pp. 1-5).
  10. R. Medapalli, I. Razdolski, M. Savoini, A. R. Khorsand, A. M. Kalashnikova, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, and Th. Rasing, "The role of magnetization compensation point for efficient ultrafast control of magnetization in Gd<sub>24</sub>Fe<sub>66.5</sub>Co<sub>9.5</sub> alloy", *The European Physical Journal B*, **2013**, 86, 183 (pp. 1-4).
  11. A. Mekonnen, A. R. Khorsand, M. Cormier, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Hrabec, L. Ranno, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing, "Role of the inter-sublattice exchange coupling in short-laser-pulse-induced demagnetization dynamics of GdCo and GdCoFe alloys", *Physical Review B*, **2013**, 87, 180406(R), (pp. 1-5).
  12. T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Fesenko, S. El Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, D. Afanasiev, B. A. Ivanov, A. M. Kalashnikova, K. Vahaplar, J. Mentink, A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel, "Ultrafast Heating as a Sufficient Stimulus for Magnetization Reversal in a Ferrimagnet", *Nature Communications*, **2012**, 3, 666 (pp. 1-6).
  13. K. Vahaplar, A. M. Kalashnikova, A. V. Kimel, S. Gerlach, D. Hinzke, U. Nowak, R. W. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, and Th. Rasing, "All-optical magnetization reversal by circularly-polarized laser pulses: Experiment and multiscale modeling", *Physical Review B* **2012**, 85, 104402(pp. 1-17).
  14. A. R. Khorsand, M. Savoini, A. Kirilyuk, A.V. Kimel, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing, "Role of Magnetic Circular Dichroism in All-Optical Magnetic Recording", *Phys. Rev. Lett.* **2012**, 108, 127205-(pp.1-5).
  15. T. Ohkochi, H. Fujiwara, M. Kotsugi, A. Tsukamoto, K. Arai, S. Isogami, A. Sekiyama, J. Yamaguchi, K. Fukushima, R. Adam, C. M. Schneider, T. Nakamura, K. Kodama, M. Tsunoda, T. Kinoshita, and S. Suga, "Microscopic and Spectroscopic Studies of Light-Induced Magnetization Switching of GdFeCo Facilitated by Photoemission Electron Microscopy", *Japanese Journal of Applied Physics* **2012**, 51, 073001-(pp. 1-5).
  16. L. Le Guyader, S. El Moussaoui, M. Buzzi, R. V. Chopdekar, L. J. Heyderman, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, A. V. Kimel, and F. Nolting, "Demonstration of laser induced magnetization reversal in GdFeCo nanostructures", *Appl. Phys. Lett.* **2012**, 101, 022410.

17. R. Medapalli, I. Razdolski, M. Savoini, A. R. Khorsand, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, Th. Rasing, A. M. Kalashnikova, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Efficiency of ultrafast laser-induced demagnetization in  $Gd_xFe_{100-x-y}Co_y$  alloys", *Phys. Rev. B* **2012**, 86, 054442(pp. 1-7).
18. M. Savoini, R. Medapalli, Koene, A. R. Khorsand, L. Le Guyader, L. Du`o, M. Finazzi, A. Tsukamoto, A. Itoh, F. Nolting, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, and Th. Rasing, "Highly efficient all-optical switching of magnetization in GdFeCo microstructures by interference-enhanced absorption of light", *Phys. Rev. B* **2012**, 86, 140404(R)(pp. 1-5).
19. T. Ota, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, S. Ohnuki, H. Iwamatsu, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Dependence of Circularly Polarized Light Excited by Plasmon Aperture on Relative Position to Magnetic Particles for All-Optical Magnetic Recording", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **2012**, 36, pp. 21-23.
20. T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Film Structure Dependence of Demagnetization Time Scale of RE-TM GdFeCo Alloy Thin Films", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **2012**, 36, pp. 82-85.
21. L. Le Guyader, S. El Moussaoui, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, and A. V. Kimel, "Nanostructuring of GdFeCo Thin Films for Laser Induced Magnetization Switching", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **2012**, 36, pp. 21-23.
22. A. Itoh, A. Tsukamoto, S. Okame, and K. Mizusawa, "A Role of Rapid Thermal Annealing (RTA) for Achieving Fine Isolated Grains of FeCuPt", *J. Magn. Soc. Jpn.*, **2012**, 36, pp. 58-61.
23. K. Mizusawa, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "FePt grains for magnetic storage on layer of self-assembled silica Nanoparticles", *J. Mater. Res.*, **2011**, 26, 2, pp. 205-208.
24. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, and A. Itoh, "Precessional switching by ultrashort pulse laser: Beyond room temperature ferromagnetic resonance limit", *J. Appl. Phys.*, **2011**, 109, 7, 07D302(pp. 1-3).
25. K. Nakagawa, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, A. Itoh, and A. Tsukamoto, "Confined Circularly Polarized Light Generated by Nano-size Aperture for High Density All-Optical Magnetic Recording", *J. Appl. Phys.*, **2011**, 109, 7, 07B735(pp. 1-3).
26. I. Radu, K. Vahaplar, C. Stamm, T. Kachel, N. Pontius, H. A. Durr, T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel, "Transient ferromagnetic-like state mediating ultrafast reversal of antiferromagnetically coupled spins", *Nature*, **2011**, 472, pp. 205-208.
27. T. A. Ostler, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Fesenko, I. Radu, R. Abrudan, F. Radu, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing, and Alexey Kimel, "Crystallographically amorphous ferrimagnetic alloys: Comparing a localized atomistic spin model with experiments", *Physical Review B*, **2011**, 84, 24407(pp. 1-9).
28. A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Ultrafast manipulation and measurements of magnetization by ultra short pulsed laser", *J. Res. Inst. Sci. Tech., Nihon Univ.* **2010**, 122, pp. 25-33.
29. K. Vahaplar, A. M. Kalashnikova, A. V. Kimel, D. Hinzke, U. Nowak, R. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, and Th. Rasing, "Ultrafast Path for Optical Magnetization Reversal via a Strongly Nonequilibrium State", *Phys. Rev. Lett.*, **2009**, 103, 117201-(pp. 1-4). 上記、塚本、伊藤および、オランダRadBoud大学、イギリスYork大学、ドイツKonstanz大学、ロシアの科学アカデミーIoffe物理技術研究所との国際共同執筆論文が、H21年9月11日付けで *PHYSICAL REVIEW LETTERS*誌に採録と同時に「Selected for a Viewpoint in Physics」に選ばれた。
30. Y. Moriyama, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, T. Sako, A. Tsukamoto, and A. Itoh, "Heat Conduction Analysis of Magnetic Recording Media for Thermally Assisted Magnetic Recording", *J. Magn. Soc. Jpn.* **2009**, 33 (6-2), pp. 517-520.
31. A. Itoh and A. Tsukamoto, "Hybrid magnetic recording media on FePt grains and self-assembled nano-structured layers", *J. Magn. Soc. Jpn.* **2009**, 33 (6-2), pp. 507-512.

32. J. Otsuki, K. Namiki, Y. Arai, M. Amano, H. Sawai, A. Tsukamoto, and T. Hagiwara, "Face-on and Columnar Porphyrin Assemblies at Solid/Liquid Interface on HOPG", *Chem. Lett.*, **2009**, 38(6), pp. 570-571.
33. K. Yoshino, F. Chino, A. Tsukamoto and A. Itoh, "Coercivity of TbFeCo/FePt Grain Composite Films", *J. Magn. Soc. Jpn.* **2009**, 33, pp. 212-215.

#### 著書/Books

1. 塚本 新 (分担), "スピントロニクス基礎と材料・応用技術の最前線", シーエムシー出版, 2009年6月出版. (担当: 第11章磁性金属における高速磁化応答と光誘起磁化反転 pp.127-140)

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 塚本 新, "超短パルスレーザーによる全光型超高速磁化反転", 日本磁気学会 第 18 回 光機能磁性デバイス・材料専門研究会, 2013 年 12 月 9 日, 中央大学駿河台記念館 680 号室, 御茶ノ水, 東京
2. A. Tsukamoto, S. Kogure, H. Yoshikawa, T. Satoh, A. Itoh, "Contribution of magnetic circular dichroism in all-optical light helicity-dependent magnetic switching", Ultrafast Magnetism Conference UMC 2013, 2013 年 11 月 1 日, Congress Center, Strasbourg, France
3. A. Tsukamoto, "Contribution of magnetic circular dichroism in all-optical light helicity-dependent magnetization switching", 財団法人生産技術奨励会主催・光応用光学特別研究会, 2013 年 10 月 22 日, 東京大学生産技術研究所
4. A. Tsukamoto, "Ultrafast Optical Manipulation of Magnetization of Ferrimagnet by Femtosecond Pulsed Laser", NSF-Workshop: US-Japan Frontiers in Novel Photonic-Magnetic Devices, 2013 年 9 月 21 日, Kasugano-so, Nara, Japan
5. A. Tsukamoto, "Ultrafast Optical Manipulation of Magnetization by Femtosecond Pulsed Laser", International Symposium on Optical Memory (ISOM) '13, 2013 年 8 月 22 日, Songdo Global Academic Complex of Yonsei University, Incheon, Korea
6. 塚本 新, "フェリ磁性体における光誘起超高速磁化反転現象の計測と制御", 日本磁気学会 第 45 回化合物新磁性材料研究会「磁気測定の新展開」, 2012 年 12 月 27 日, 東京.
7. 塚本 新, "超高速光物質作用と超高速光磁気記録", 情報ストレージ研究推進機構第 34 回技術報告会全体会議, 2011 年 11 月 21 日, 神奈川.
8. 塚本 新, "フェムト秒パルス・レーザによる超高速スピン制御・計測", JST 戦略的創造研究推進事業さきがけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」2012 年度成果報告会次世代革新的デバイスのパラダイムシフトを目指して, 2012 年 11 月 15 日, 東京.
9. 塚本 新, "超短時間光物質作用と超高速磁気記録", 第 56 回日本大学理工学部学術講演会, 2012 年 11 月 28 日, 東京.
10. 塚本 新, "フェムト秒パルスレーザーによるフェリ磁性体超高速スピン制御", 日本磁気学会 第 186 回研究会「ナノ磁気制御及び検出技術の最先端技術動向」, 2012 年 11 月 2 日, 東京.
11. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, and A. Itoh, "Ultrafast spin manipulation in ferrimagnetic GdFeCo by femtosecond pulsed laser", International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies (ICAUMS) 2012, 2012 年 10 月 4 日, Nara, Japan.
12. A. Tsukamoto, "Fabrication of composite magnetic recording media for TAMR", Lecture in EU-ITN Network "FANTOMAS", 2012 年 9 月 5 日, Nijmegen, The Netherlands.
13. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, and A. Itoh "Ultrafast spin manipulation of GdFeCo by thermo-magnetic stimulus with femtosecond pulsed laser", Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2012, 2012 年 6 月 25 日, Seoul, Korea.
14. 塚本 新, 伊藤彰義, "超短パルスレーザーによるアモルファス磁性合金薄膜の超高速磁化制御", 独立行政法人日本学術振興会アモルファス・ナノ材料第 1 4 7 委員会第 1 1 4 回研究会, 2011 年 12 月 16 日, 東京.
15. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, A. Itoh, "Laser-induced spin dynamics", Moscow

- International Symposium on Magnetism (MISM) 2011, 2011年8月23日, Moscow, Russia.
16. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, and A. Itoh, "Laser-induced spin dynamics of RE-TM GdFeCo", 5th International Workshop on Spin Currents, 2011年7月27日, Sendai, Japan.
  17. 塚本新, "超短パルス光誘起超高速磁化反転現象", 電気学会第一回フォト・スピントロニクス技術調査専門委員会, 2011年4月22日, 東京.
  18. A. Tsukamoto, "Precessional switching by ultrafast laser: Laser induced magnetization dynamics", Spintronics seminar, Institute of materials research, Tohoku University, Dec. 17, Sendai, Japan.
  19. 塚本 新, "フェムト秒パルス・レーザーによる超高速スピン制御・計測" 第71回応用物理学学術講演会, 2010年9月15日, 長崎大学, 長崎.
  20. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, A. Itoh, "Magnetization Dynamics induced by Femtosecond Laser Pulses in Ferrimagnetic GdFeCo", 第34回日本磁気学会学術講演会, 2010年9月4日, 筑波, 茨城.
  21. 塚本 新, "超短パルス・レーザーを用いた磁化ダイナミクス計測と円偏光誘起磁化反転", Spring-8 利用推進協議会, 第4回先端磁性材料研究会「スピンドイナミクスと光誘起磁化過程～放射光計測の動向と将来への期待～」, 2010年8月5日, 総評会館, 東京
  22. 塚本 新, "Fast manipulation of ferromagnetic magnetization in antiparallel spin sublatticesystem", 第36回ナノマグネティクス専門研究会, IEEE Magnetics Society Japan Chapter Distinguished Lecturer 講演会～アンチフェロスピン配列の理論と魅力と最前線～, 2010年7月21日, 東工大蔵前会館, 東京.
  23. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, and A. Itoh, "Laser-induced demagnetization of RE-TM GdFeCo", ISAMMA 2010 (International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications 2010), July 13, Sendai, Japan.
  24. 塚本 新, 佐藤哲也, 清水崇博, 鳥海紳悟, 伊藤彰義, "フェリ磁性 GdFeCo 合金の磁化ダンピング特性", 日本磁気学会第170回研究会「光と磁気のシナジー技術」～次世代ストレージ・光機能デバイス実現のための新技術動向～, 東京, 2010年1月29日
  25. 塚本 新, 葉日 宏, 大亀宗壽, 水澤謙太, "自己集積ナノシリカ球上の FePt", 日本磁気学会第170回研究会「光と磁気のシナジー技術」～次世代ストレージ・光機能磁性デバイス実現のための新技術動向～, 東京, 2010年1月29日.
  26. 塚本 新, H21年11月6日, JST さきがけ第7回「物質と光作用」領域会議において, 「フェムト秒パルス・レーザーによる超高速スピン制御・計測」に関し塚本が招待講演.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 発明者：中川活二, 芦澤好人, 大貫進一郎, 伊藤彰義, 塚本 新, 発明の名称：情報記録ヘッド、情報記録装置、情報記録方法及び光デバイス, 出願番号：特願 2010-161996, 特開 2012-22760.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 塚本 新 (代表), 大月 穰, 中川活二, 佐甲徳栄, 大貫進一郎, 岩田展幸, 桑本 剛, 羽柴秀臣, 芦澤好人, 石田 浩, 橋本拓也, "超短時間光・物質相互作用の理解・制御が切り開く新材料・物性・デバイスの探索と創生", 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業, 2013～2017年度, 497,800,000円 (総事業費予定)
2. 塚本 新, "高垂直磁気異方性膜の Damping 定数評価技術", 株式会社サムスン横浜研究所, 2013.9～2014.12, 委託研究費, 5,000,000円
3. 塚本 新, "熱アシスト磁気記録用複合磁性膜の検討", SRC 情報ストレージ研究推進機構, 2013, 奨励研究寄付金, 960,000円
4. 中川活二, 塚本 新, "電荷分布可視化装置システム改善および計測応用手法と誘電体上電位解析に関する研究", トレック・ジャパン (株), 2013, 委託研究費, 1,600,000円
5. 中川活二, 塚本 新, "電荷分布可視化装置用探針加工法の改良(3)", トレック・ジャパン (株),

2013, 委託研究費, 1,000,000 円

6. 伊藤彰義, 塚本 新, “熱アシスト磁気記録用複合磁性膜の検討”, SRC 情報ストレージ研究推進機構, 2012, 奨励研究寄付金, 1,300,000 円.
7. 塚本 新, 齊藤英治, “光スピン間相互作用を利用した、スピン流の高速計測と制御”, 東北大学金属材料研究所研究部共同研究, 2012, 東北大学金属材料研究所, 300,000 円.
8. 伊藤彰義, 塚本 新, “MRAM に関する超短パルスレーザーによる磁化応答計測・制御”, 株式会社サムスン横浜研究所, 2012, 奨励研究寄付金, 1,000,000 円
9. 伊藤彰義, 中川活二, 塚本 新, “電荷分布可視化装置システム改善と誘電体上電位解析に関する研究”, トレック・ジャパン (株), 2012, 委託研究費, 1,600,000 円
10. 伊藤彰義, 中川活二, 塚本 新, “電荷分布可視化装置用探針加工法の改良(2)“, トレック・ジャパン (株), 2012, 委託研究費, 1,000,000 円
11. 伊藤彰義 (研究代表), 塚本 新 (連携研究者), “自己組織型ナノ凹凸基板上的超高密度熱アシスト記録用複合媒体”, 2009-2011 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般), 直接経費期間全体 3,600,000 円 (H23 年度 500,000 円).
12. 伊藤彰義, 塚本 新, “熱アシスト磁気記録用複合磁性膜の検討”, SRC 情報ストレージ研究推進機構, 1,400,000 円.
13. 塚本 新, 齊藤英治, “光スピン間相互作用を利用した、スピン流の高速計測と制御”, 東北大学金属材料研究所研究部共同研究, 2011, 東北大学金属材料研究所, 300,000 円.
14. 塚本 新, “フェムト秒パルス・レーザーによる超高速スピン制御・計測” 2007-2010 年度委託研究 ((独) 科学技術振興機構, 戦略的創造研究推進事業「さきがけ」), 期間全体 45,000,000 円予定 (H21 年度 2,000,000 円).
15. 伊藤彰義, 塚本 新, “熱アシスト磁気記録用複合磁性膜の検討”, SRC 情報ストレージ研究推進機構, 1,400,000 円.
16. 塚本 新, 齊藤英治, “光スピン間相互作用を利用した、スピン流の高速計測と制御”, 東北大学金属材料研究所研究部共同研究, 2010, 東北大学金属材料研究所, 300,000 円.
17. 塚本 新, “フェムト秒パルス・レーザーによる超高速スピン制御・計測” 2007-2010 年度委託研究 ((独) 科学技術振興機構, 戦略的創造研究推進事業「さきがけ」), 期間全体 45,000,000 円予定 (H21 年度 8,320,000 円).
18. 伊藤彰義 (研究代表), 塚本 新 (連携研究者), “自己組織型ナノ凹凸基板上的超高密度熱アシスト記録用複合媒体”, 2009-2011 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般), 期間全体 3,600,000 円 (H21 年度 1,900,000 円).
19. 中川活二 (研究代表), 伊藤彰義, 塚本 新 (連携研究者), “近接場アンテナとパルス磁界によるハイブリッド記録の基礎特性”, 2008-2010 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般), 期間全体 3,600,000 円 (H21 年度 1,000,000 円).
20. 伊藤彰義 (研究代表), 塚本 新 (協力研究者), “熱アシスト磁気記録用複合磁性膜の検討”, 2009 年度研究奨励寄付金 (SRC 情報ストレージ研究推進機構), 1,800,000 円.

#### その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. H25 年 12 月大学院博士前期課程 1 年吉川大貴君が, 国際会議 MORIS2013 において Best Poster Awards を受賞. 題名: Ultrafast heat pulse magnetization switching near compensation composition in GdFeCo
2. H25 年 12 月 Stanford 大学の C. Graves さんが, 塚本, オランダ Radboud 大学らとの国際共同研究成果発表により, 国際会議 MORIS2013 において IEEE student awards を受賞. 題名: NANOSCALE SPIN REVERSAL FOLLOWING ULTRAFAST LASER EXCITATION IN FERRIMAGNETIC GdFeCo
3. 中川活二, 田尻 集, 田村京介, 鳥海紳悟, 芦澤好人, 塚本 新, 伊藤彰義, 佐々木有三, 齊藤伸, 高橋 研, 大貫進一郎, “Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Optical Near Field with Ultra Short-Time Heating”, 論文賞, 日本磁気学会, 平成 25 年 9 月 4 日.
4. H21 年 6 月塚本, 伊藤とオランダ Radboud 大学との国際共同研究が, 国際会議 MORIS2009 において Best Poster Awards を受賞. 題名: Ultrafast Visualization of All-Optical Magnetization

Reversal in GdFeCo-Films

5. H21年9月11日付けで国際共同執筆論文がPHYSICAL REVIEW LETTERS誌にて、「Selected for a Viewpoint in Physics」に選ばれた。 題名：Ultrafast Path for Optical Magnetization Reversal via a Strongly Nonequilibrium State
6. Riccardo Hertel, “For faster magnetic switching—destroy and rebuild”, *Physics* 2, 73 (2009) (American Physical Society 発行 “Physics—spotlighting exceptional research-”誌Viewpointsに掲載)
7. A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, and A. Itoh, "Precessional switching by ultrashort pulse laser: Beyond room temperature ferromagnetic resonance limit", *Virtual Journal of Ultrafast Science*, 2011, 10, 4, 1-3. (本 Journal は米国物理学会・米国物理学協会が発行しており、本Journalが論文を募集するのではなく、特に最先端の研究を報告した論文をネイチャー、サイエンス、その他の全世界の主要な物理系学術雑誌の中から選抜して発行されているもの。)

その他の成果：メディア（学内）/Others

1. 中川活二, 芦澤好人, 塚本 新, 伊藤彰義, 遠藤 拓, 上坂保太郎, 新妻清純, 移川欣男, 「近接場光を用いた熱アシスト磁気記録とナノ粒子記録媒体」, 日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル, 2012, No. 129, 11-18.
2. 塚本 新, 伊藤彰義, 「超短パルスレーザーによる超高速磁化制御と計測」, 日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル, 2011, No. 122, 25-33.

### 2 3. 中川 活二/Katsuji Nakagawa

論文/Papers

1. Kyosuke Tamura, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki, and Katsuji Nakagawa, “Design of High Efficient Plasmonic Waveguide and Antenna for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, 査読有投稿中
2. S. Ohnuki, T. Takeuchi, T. Sako, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, and M. Tanaka, “Coupled Analysis of Maxwell- Schrödinger Equations by Using the Length Gauge - Harmonic Model of a Nanoplate Subjected to a 2-D Electromagnetic Field –”, *Int. J. Numer. Model.*, Vol. 26, pp.533-544, Apr. 24, 2013. 査読有
3. K. Nakagawa, A. Tajiri, K. Tamura, S. Toriumi, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, Y. Sasaki, S. Saito, M. Takahashi, and S. Ohnuki, “Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Optical Near Field with Ultra Short-Time Heating”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 37, 119-122, May 23, 2013. 査読有
4. Yoshito Ashizawa, Takeshi Ota, Kyosuke Tamura, and Katsuji Nakagawa, “Highly Efficient Waveguide by Using Surface Plasmon Polaritons for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 37, 111-114, May 23, 2013. 査読有
5. K. Tamura, T. Ota, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, S. Ohnuki, and K. Nakagawa, “Circularly Polarized Light Generated by Plasmon Antenna for All-Optical Magnetic Recording”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 37, pp. 115-118, May 23, 2013. 査読有.
6. S. Kishimoto, S. Ohnuki, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, and W. C. Chew, “TIME DOMAIN ANALYSIS OF NANOSCALE ELECTROMAGNETIC PROBLEMS BY A BOUNDARY INTEGRAL EQUATION METHOD WITH FAST INVERSE LAPLACE TRANSFORM”, *J. of Electromagn. Waves and Appl.*, **26**, 997-1006, (2012). 査読有
7. Katsuji Nakagawa, Yuji Osa, Atsumu Tajiri, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki, Yuzo Sasaki, Shin Saito, Migaku Takahashi, and Akiyoshi Itoh, “Test Method for Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Surface Plasmon Antennas Stacked on Magnetic Layer”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 36, pp. 58-61, Jan. 1, 2012. 査読有.

8. T. Ota, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, S. Ohnuki, H. Iwamatsu, A. Tsukamoto, and A. Itoh, “Dependence of Circularly Polarized Light Excited by Plasmon Aperture on Relative Position to Magnetic Particles for All-Optical Magnetic Recording”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 36, pp. 66 - 69, Jan 1, 2012. 査読有.
9. Katsuji Nakagawa, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki, Akiyoshi Itoh, and Arata Tsukamoto, “Confined Circularly Polarized Light Generated by Nano-Size Aperture for High Density All-Optical Magnetic Recording”, *J. Appl. Phys.*, Vol. 109, pp. 07B735-1 - 07B735-3, Mar. 30, 2011. 査読有  
also selected for *Vir. J. Nan. Sci. & Tech.*, 23(14), April 11, 2011.
10. Yuichi Moriyama, Kojun Ogasawara, Yoshito Ashizawa, Katsuji Nakagawa, and Akiyoshi Itoh, “Heat Conduction Analysis of Magnetic Recording Media in Optical Near-Field for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *Special Issue of Nihon University CST 2008 Annual Conference - Report of RISTNU-*, Vol. 52, No.3, pp. 47-50, Mar. 18, 2009. 査読有
11. Y. Moriyama, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, T. Sako, A. Tsukamoto, and A. Itoh, “Heat Conduction Analysis of Magnetic Recording Media for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 33, pp. 517-520, Nov. 11, 2009. 査読有

#### 著書/Books

1. 中川活二 他 42 名：プラズモニクス ～光・電子デバイス開発最前線～ pp.97-104, (株) エヌ・ティー・エス, 東京, 2011.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 中川活二, “表面プラズモンを活用した熱アシスト磁気記録”, 磁気記録・情報ストレージ研究会 (MR), (10)MR, 2013 年 12 月 13 日, 愛媛大学.
2. 大貫進一郎, 加藤 司, 芦澤好人, 中川活二, “高密度光直接記録に向けたプラズモニッククロスアンテナの設計”, 電子情報通信学会 2013 年総合大会, CS-5-4, 2013 年 3 月 20 日, 岐阜大学.
3. 中川活二, “ストレージ分野での表面プラズモンの活用”, アモルファス・ナノ材料第 147 委員会第 118 回研究会, 平成 24 年 12 月 7 日, 主婦会館, 東京.
4. 中川活二, “熱アシスト磁気記録実現への課題およびプラズモン導波路活用の検討”, IDEMA JAPAN (日本 HDD 協会) クォータリセミナー, 5, 2012 年 10 月 12 日, 発明会館, 東京.
5. 中川活二, “磁気記録 HDD 分野での熱アシスト磁気記録 近接場光解析・熱伝導解析への Poynting の応用”, フォトニクス領域の電磁波解析ソリューション ～Poynting for Optics セミナー 2011～, 2011 年 12 月 20 日, 富士通トラステッド・クラウド・スクエア.
6. 中川活二, “エネルギーアシスト記録技術の現状と展望” “Energy Assisted Magnetic Recording and Trend” 国際ディスクフォーラム 2011, 2011 年 8 月 3 日, 大田区産業プラザ.
7. Katsuji Nakagawa, Yoshito Ashizawa, “Thermally Assisted Magnetic Recording on Patterned Media”, Asia-Pacific Data Storage Conference, Oct. 28, 2010, Hualien, Taiwan, M-2.
8. Katsuji Nakagawa, “Surface Plasmon Antenna for Thermal Assisted Magnetic Recording”, 3<sup>rd</sup> International Symposium on Atomic Technology / 3<sup>rd</sup> Polyscale Technology Workshop, Mar. 6, 2009, Tokyo International Exchange Center, Tokyo, Japan.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 中川活二, 芦澤好人, 大貫進一郎, 伊藤彰義, 塚本 新, 「情報記録ヘッド、情報記録装置、情報記録方法及び光デバイス」, 特願 2010-161996, 特開 2012-22760.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 中川活二, “超微細光スポットの熱アシストヘッド設計”, 研究奨励寄付金, 情報ストレージ研究推進機構, H25.7～H26.8, 1,300,000 円.



2. 中川活二, 塚本 新, “電荷分布可視化装置システム改善および計測応用手法と誘電体上電位解析に関する研究”, トレック・ジャパン (株), H25 委託研究費, 1,600,000 円
3. 中川活二, 塚本 新, “電荷分布可視化装置用探針加工法の改良(3) “, トレック・ジャパン (株), H25 委託研究費, 1,000,000 円
4. 中川活二, “近接場光アンテナ励起局所円偏光生成による次世代高速度・高密度磁気記録”, 科学研究費補助金, 基盤研究(C), 4,990,000 円 (H23 年度 3,770,000 円, H24 年度 780,000 円, H25 年度 910,000 円).
5. 中川活二, “超微細光スポットの熱アシストヘッド設計”, 研究奨励寄付金, 情報ストレージ研究推進機構, H24.7~H25.8, 1,300,000 円.
6. 伊藤彰義, 中川活二, 塚本 新, “電荷分布可視化装置システム改善と誘電体上電位解析に関する研究”, トレック・ジャパン (株), H24 委託研究費, 1,600,000 円
7. 伊藤彰義, 中川活二, 塚本 新, “電荷分布可視化装置用探針加工法の改良(2) “, トレック・ジャパン (株), H24 委託研究費, 1,000,000 円
8. 芦澤好人, 中川活二, “超高速磁気情報センサ実現のための高機能表面プラズモン薄膜材料開発”, 財団法人双葉電子記念財団, 平成 24 年度自然科学研究助成, 1,800,000 円
9. 芦澤好人, 中川活二, “超高速磁気センサのための表面プラズモン共鳴の巨大磁気応答性と光誘起電力”, 公益財団法人カシオ科学振興財団 第 29 回(平成 23 年度)研究助成, 1,000,000 円
10. 中川活二, “近接場光アンテナ励起局所円偏光生成による次世代高速度・高密度磁気記録”, 科学研究費補助金, 基盤研究(C), 4,990,000 円 (H23 年度 3,770,000 円, H24 年度 780,000 円, H25 年度 910,000 円).
11. 中川活二, “超微細光スポットの熱アシストヘッド設計”, 研究奨励寄付金, 情報ストレージ研究推進機構, H23.9~H24.8, 1,400 千円.
12. 中川活二, “近接場アンテナとパルス磁界によるハイブリッド記録の基礎特性”, 2008-2010 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般) 4,680,000 円.
13. 中川活二, 芦澤好人, “超微細光スポットの熱アシストヘッド設計”, 情報ストレージ研究推進機構, 1,400,000 円.
14. 芦澤好人, 中川活二, “超高速磁気情報センサ実現のための表面プラズモン共鳴の磁界制御” (財) 双葉電子記念財団, 1,000,000 円.
15. 伊藤彰義, 中川活二, “電荷分布可視化装置のシステム化と有機半導体電荷解析に関する研究 (2) “, トレック・ジャパン株式会社 1,600,000 円.
16. 伊藤彰義, 中川活二, “有機半導体のキャリア移動機構解明にむけた表面電位分布計測”, 富士電気システムズ株式会社, 500,000 円.
17. 科研費基盤研究 (C) , (独) 日本学術振興会, H20.4-H23.3 , 期間全体3,600千円, “近接場アンテナとパルス磁界によるハイブリッド記録の基礎特性” (代表: 中川活二, 連携研究者: 伊藤彰義, 塚本 新)
18. 委託研究, トレック・ジャパン株式会社, H20.4-H21.3, 1,600千円, 接触型表面電位計による電荷分布測定用探針の研究 (II) (委託研究担当者: 伊藤彰義, 中川活二)
19. 研究奨励寄付金, 情報ストレージ研究推進機構, H20.4-H21.3, 1,500千円, 熱アシスト記録ヘッドの研究 (委託研究担当者: 中川活二)
20. 委託研究, 富士電機デバイステクノロジー株式会社, H20.4-H21.3, 500千円, 有機半導体材料の表面電位分布測定による解析, (委託研究担当者: 伊藤彰義, 中川活二)

その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. 中川活二, 田尻 集, 田村京介, 鳥海紳悟, 芦澤好人, 塚本 新, 伊藤彰義, 佐々木有三, 斉藤伸, 高橋 研, 大貫進一郎, “Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Optical Near Field with Ultra Short-Time Heating”, 論文賞, 日本磁気学会, 平成 25 年 9 月 4 日.

## 2 4 . 永瀬 浩喜/Hiroki Nagase

### 論文/Papers

1. Ozaki T, Sugimoto H, Wu D, Nagase H, Nakagawara A. Runt-related transcription factor 2 (RUNX2) inhibits p53-dependent apoptosis through the collaboration with HDAC6 in response to DNA damage. *Cell Death Dis.*, 4: e610, 2013
2. Taylor RD, Asamitsu S, Takenaka T, Yamamoto M, Hashiya K, Kawamoto Y, Bando T, Nagase H, Sugiyama H. Sequence-Specific DNA Alkylation Targeting for Kras Codon 13 Mutation by Pyrrole-Imidazole Polyamide seco-CBI Conjugates. *Chemistry*. 2013 Dec 30. doi: 10.1002/chem.201303295. [Epub ahead of print]
3. Sato A, Nagase H, Obinata D Inhibition of MMP-9 by using a pyrrole-imidazole polyamide reduced cell invasion in renal cell carcinoma., *International Journal of Oncology* 43: 1441-6, 2013.
4. Ozaki T, Nakagawara A, Nagase H. RUNX family participates in the regulation of p53-dependent DNA damage response. *Int J Genomics*. 2013:271347. Epub 2013 Sep 3. Review.
5. Fujiwara K, Ghosh S, Liang P, Morien E, Soma M, Nagase H. Genome-wide screening of aberrant DNA methylation which associated with gene expression in mouse skin cancers. *Molecular Carcinogenesis* 2013 Sep 24. doi: 10.1002/mc.22085. [Epub ahead of print]
6. Iguchi A, Fukuda N, Takahashi T, Watanabe T, Matsuda H, Nagase H, Bando T, Sugiyama H, Shimizu K. RNA binding properties of novel gene silencing pyrrole-imidazole polyamides. *Biol Pharm Bull*. 36(7):1152-8, 2013
7. Yamamura A, Miura K, Karasawa H, Nagase H. Suppressed Expression of NDRG2 Correlates with Poor Prognosis in Pancreatic Cancer. *Biochem Biophys Res Commun*. 2013 Nov 8;441(1):102-7. doi: 10.1016/j.bbrc.2013.10.010. Epub 2013 Oct 14.
8. Pandian GN, Nagase H Distinct DNA-based epigenetic switches trigger differential transcriptional activation in human dermal fibroblasts. *Scientific Reports* in press 2013.
9. Han L, Pandian GN, Junetha S, Sato S, Anandhakumar C, Taniguchi J, Saha A, Bando T, Nagase H and Sugiyama H.A Synthetic Small Molecule Enforces Targeted Transcriptional Activation of Germ Cell Genes in a Human Somatic Cell. *Angewandte Chemie*2013 9;52(50):13410-3. doi: 10.1002/anie.201306766. Epub 2013 Oct 18.
10. Takagi K, Fujiwara K, Takayama T, Mamiya T, Soma M and Nagase H. DNA hypermethylation of Zygote arrest 1 (ZAR1) in hepatitis C virus positive related hepatocellular carcinoma. *SpringerPlus* 2013 2:150 2013.
11. Kobayashi Y, Fujiwara K, Hatta Y, Takeuchi J, Shinojima Y, Kawashima H, Igarashi J, Soma M, Nagase H. Identification of novel genomic regions with aberrant cytosine methylation in hematological malignancies. *Ann. Cancer Res. Ther.* Vol. 20, No. 2, pp. 74-86, 2012
12. Kamei T, Aoyama T, Tanaka C, Nagashima T, Aoyama Y, Hayashi H, Nagase H, Ueno T, Fukuda N and Matsumoto Y. Quantitation of pyrrole-imidazole polyamide in rat plasma by high performance liquid chromatography coupled with UV detection. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 2012 Article ID 715928, 10 pages doi:10.1155/2012/715928.
13. Hashizume O, Shimizu A, Yokota M, Sugiyama A, Nakad K, Miyoshi H, Itami M, Ohira M, Nagase H, Takenaga K, and Hayashi J-I. A specific mitochondrial DNA mutation in mice regulates diabetes and lymphoma development. *Proc Natl Acad Sci U S A* Jun 26;109(26):10528-33 2012.
14. Ogawa T, Saiki Y, Shiga K, Chen N, Fukusige S, Sunamura M, Nagase H, Hashimoto S, Matsuura K, Saijo S, Kobayashi T, Horii A.miR-34a is downregulated in cis-diamminedichloroplatinum treated sinonasal squamous cell carcinoma patients with poor prognosis. *Cancer Science* 2012, Sep;103(9):1737-43.
15. Sugito K, Kawashima H, Uekusa S, Yoshizawa S, Hoshi R, Furuya T, Kaneda H, Hosoda T, Masuko T, Ohashi K, Ikeda T, Koshinaga T, Fujiwara K, Igarashi J, Ghosh S, Held WA, Nagase H. Identification of Aberrant Methylation Regions in Neuroblastoma by Screening of Tissue-Specific Differentially Methylated Regions. *Pediatric Blood & Cancer* 60(3):383-9 2013.

16. Pandian GN, Nakano Y, Sato S, Morinaga H, Bando T, Nagase H, and Sugiyama H. A synthetic small molecule for rapid induction of multiple pluripotency genes in mouse embryonic fibroblasts. *Scientific Reports* 2, Article number:544, 2012 DOI:10.1038/srep00544.
17. Sekine H, Chen N, Sato K, Saiki Y, Yoshino Y, Umetsu Y, Jin G, Nagase H, Gu Z, Fukushima S, Sunamura, A Horii. S100A4, Frequently Overexpressed in Various Human Cancers, Accelerates Cell Motility in Pancreatic Cancer Cells. *BBRC* 2012 Dec 14;429(3-4):214-9. doi: 10.1016/j.bbrc.2012.10.048. Epub 2012 Oct 19.
18. Matsuda H, Fukuda N, Ueno T, Katakawa M, Wang X, Watanabe T, Matsui S, Aoyama T, Saito K, Bando T, Matsumoto Y, Nagase H, Matsumoto K, Sugiyama H. Transcriptional inhibition of progressive renal disease by gene silencing pyrrole-imidazole polyamide targeting of the transforming growth factor- $\beta$ 1 promoter. *Kidney Int.* 2011 Jan;79(1):46-56. Epub 2010 Sep 22.
19. Takagi K, Takayama T, Nagase H, Moriguchi M, Wang X, Hirayanagi K, Suzuki T, Hasegawa H, Ochiai T, Yamaguchi N, Kochi M, Kimura M and Esumi M. High TSC22D3 and low GBP1 expression in the liver is a risk factor for early recurrence of hepatocellular carcinoma. *Experimental and Therapeutic Medicine* 2: 425-431, 2011
20. Kawashima H, Sugito K, Yoshizawa S, Uekusa S, Furuya T, Ikeda T, Koshinaga T, Shinojima Y, Hasegawa R, Mishra R, Igarashi J, Kimura M, Wang X, Fujiwara K, Gosh S and Nagase H. DNA hypomethylation at the ZNF206-exon 5 CpG island associated with neuronal differentiation in mice and development of neuroblastoma in humans. *International Journal of Oncology* 40: 31-39 2012.
21. Pandian GN, Shinohara K, Ohtsuki A, Nakano Y, Minoshima M, Bando T, Nagase H, Yamada Y, Watanabe A, Terada N, Sato S, Morinaga H and Sugiyama H. Synthetic small molecules for epigenetic activation of pluripotent genes in mouse embryonic fibroblasts. *ChemBioChem* 12(18):2822-8 2011.
22. Chen M, Matsuda H, Wang L, Watanabe T, Kimura T M, Igarashi J, Wang X, Sakimoto T, Fukuda N, Sawa M, Nagase H. Pre-transcriptional Regulation of TGF-  $\beta$  1 by PI Polyamide Prevents Scarring and Accelerates Wound Healing of the Cornea after Exposure to Alkali. *Molecular Therapy*, 18 (3): 519–527 2010. (IF 5.970) (1 times cited)
23. Wang X, Nagase H, Watanabe T, Nobusue H, Suzuki T, Kimura M, Mishra R, Shinojima Y, Kawashima H, Takagi K, Igarashi J, Takayama T, Fukuda N, Sugiyama H. Inhibition of MMP-9 transcription and suppression of tumor metastasis by pyrrole-imidazole polyamide. *Cancer Science*.101(3):759-766 2010. (IF 3.471)
24. Fujiwara K, Wie B, Elliott R, Nagase H. New outbred colony derived from *Mus musculus castaneus* to identify skin tumor susceptibility loci. *Molecular Carcinogenesis* 49(7):653-61. 2010. (IF 3.571)
25. Shinojima Y, Terui T, Hara H, Kimura MT, Igarashi J, Wang X, Kawashima H, Kobayashi Y, Muroi S, Hayakawa S, Esumi M, Fujiwara K, Ghosh S, Yamamoto T, Held W, Nagase H. Identification and analysis of an early diagnostic marker for malignant melanoma: ZAR1 intra-genic differential methylation. *Journal of Dermatological Science* Aug;59(2):98-106 2010. ( IF 2.973)
26. Ogawa T, Ogawa K, Shiga K, Furukawa T, Nagase H, Hashimoto S, Kobayashi T, Horii A. Upregulation of IGF2 is associated with an acquired resistance for cis-diamminedichloroplatinum in human head and neck squamous cell carcinoma. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* Oct;267(10):1599-606 2010. (IF=1.167)
27. Matsuda H, Fukuda N, Ueno T, Katakawa M, Wang X, Watanabe T, Matsui S, Aoyama T, Saito K, Bando T, Matsumoto Y, Nagase H, Matsumoto K, Sugiyama H. Transcriptional regulation of progressive renal disease by the gene silencing pyrrole-imidazole polyamide targeted to the TGF- $\beta$ 1 promoter. *Kidney International* 22 September e-pub 2010 (IF 6.193)
28. Wang X, Bakin A, Sugiyama H, Takayama T, Amano S, Yamamoto T, Nemoto N, Nakai Y, Fukuda N, and Nagase H A novel pre-transcriptional gene-silencing approach to human MMP9

through inhibition of NFκB binding: Inhibition of the migration, invasion and metastasis.  
Molecular Cancer Research in press 2010.(IF4.162)

29. Watanabe T, Yachi K, Ohta T, Fukushima T, Yoshino A, Katayama Y, Nagase H. Aberrant hypermethylation of non-promoter zygote arrest 1 (ZAR1) in human brain tumors. Neuro-Oncology, 12: 24-24 Suppl. 3 SEP 2010:IF4.984.

#### 著書/Books

1. 永瀬浩喜, エピジェネティクス疾患の新治療, チャイルドヘルス, 診断と治療社, Vol.15, No.3, Page 38-41, 2012 年.
2. 「遺伝子疾患モデルの作成と利用—がん」 第 7 章, 皮膚および運動器系, 第 1 節, 表皮腫瘍誘発モデル, 永瀬浩喜, 2012 年 10 月 30 日発刊.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 永瀬浩喜 「配列特異的 DNA 結合化合物を利用したがん治療法の開発」 第 1 回 生体分子科学シンポジウム 平成 26 年 1 月 22 日 京都
2. 永瀬浩喜 「軟部悪性腫瘍に対する分子標的治療」 第 44 回サルコクラブ 京都ホテルオークラ 2013 年 1 月 18 日
3. Hiroki Nagase “DNA binding molecules : Chemical Genetic Switch to Regulate Cell Fate.” The 8th Hebei Province Conference on Oncology 2012 年 8 月 25 日 滄州 China.
4. 永瀬浩喜 “DNA binding molecules : Chemical Genetic Switch to Regulate Cell Fate” 理化学研究所セミナー 横浜 鶴見研究所 2012 年 8 月 7 日
5. Hiroki Nagase, Nobuko Koshikawa and Takahiro Watanabe “Molecular recognition of DNA: Application of Pyrrole-Imidazole (PI) polyamides for anti-inflammation and anti-cancer invasion.” The 16th Japan-Korea Cancer Research Workshop 2011 年 12 月 10 日
6. Nagase H. “Genome sequence specific histone modification to regulate cell fate” 「ゲノム配列特異的なヒストン修飾阻害による細胞の運命変化」 Symposia「Cancer epigenetics: Breakthroughs in basic research and clinical applications」 2011 年 10 月 4 日 (火) 名古屋国際会議場, 第 70 回日本癌学会
7. Nagase H. “Cell permeable synthetic chemicals targeting a specific DNA sequence to modify the mammalian genome regulation” Japanese-German Cancer Workshop, Sep17-20. 2011 in Hiroshima, JAPAN
8. 「合成 DNA 結合化合物を用いた多能細胞・疾患モデルに対する表現型の変更」永瀬浩喜, 越川信子, 渡部隆義, 井上貴博, 石原優, 平岡桐子, 第 87 回発生工学・疾患モデル研究会, 20110819, 国立がんセンター
9. Nagase H. “Cell permeable synthetic chemicals targeting a specific DNA sequence to modify the mammalian genome regulation.” 1<sup>st</sup> China-Japan Symposium on Cancer Research May 19th-20th 2011, Shenzhen China
10. 永瀬浩喜, Evaluation of PI polyamide and its conjugates for molecular target therapy in *in vivo* models“ Molecular Recognition of DNA: Biological applications 7-Biological Chemistry PACIFICHEM 2010, 平成 22 年 12 月 19 日, Hawaii.
11. 永瀬浩喜, 「ゲノム領域特異的なエピジェネティクス制御の可能性 : PI ポリアミド SAHA 複合化合物」 第 48 回日本癌治療学会学術集会 JSCO-JCA Joint Symposium 2, 「エピジェネティクスからがんの治療を考える」, 平成 22 年 10 月 29 日, 京都.
12. 永瀬浩喜, 「DNA 結合化合物による EMT 制御」, 第 69 回日本癌学会シンポジウム「EMT」, 平成 22 年 9 月 23 日, 大阪.
13. 永瀬浩喜, 「配列特異的 DNA 結合物質をもちいた転写因子結合阻害とヒストン修飾の制御による遺伝子制御」, 日本遺伝子学会第 82 回札幌大会ワークショップ, 「脳における遺伝子-環境相互作用の分子メカニズム」, 平成 22 年 9 月 20 日.
14. 永瀬浩喜, 「骨軟部腫瘍, 整形外科領域疾患に対する新規治療法開発の試み」, 第 43 回日本整形外科学会, 骨・軟部腫瘍学術集会, ランチョンセミナー, 平成 22 年 7 月 16 日, 東京.

15. 永瀬浩喜,「神経芽細胞腫における核酸標的治療薬の開発」,第1回小児がん学術セミナー,平成22年3月27日,東京.
16. 永瀬浩喜,「核酸標的治療薬の研究開発 小児疾患の治療への応用の可能性」,第111回日本小児血液腫瘍懇話会,平成22年3月19日,東京.
17. 永瀬浩喜,「DNA 結合化合物を用いた新規治療法開発の試み」,第73回膠原病・リウマチ症例検討会,平成22年3月11日,東京.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 永瀬浩喜, 陳 敏, 崎元 暢, 渡部隆義, 福田 昇,「DNA 配列特異的結合化合物を含む局所用眼科疾患治療薬」,特願 2011-503643.
2. 永瀬浩喜, ラジーブ・ミシュラ, 木村 真, 渡部隆義, 川島弘之, 植草省太, 草深ひろみ,「MYC 下流遺伝子を標的とした配列特異的発現調節剤,及び MYC 下流遺伝子の標的又は標的群を決定する方法」,特願 2011-503644.
3. 永瀬浩喜, 杉山 弘, 鈴木元, 坂東俊和, 木村 真, 大舩彰道,「標的遺伝子特異的ヒストン修飾制御剤」4873510, 2011年12月1日.
4. 永瀬浩喜, 高橋元一郎, 石橋直也, 高橋 悟, 増子亜耶, 大月 穰, 諏訪和也, 小林大哉,「ポルフィリン誘導体および放射線力学療法におけるその使用」NUBIC案件番号:11483 特願2010-029205 出願日:2010年2月12日
5. 上野高浩, 福田 昇, 常見明子, 永瀬浩喜, 渡部隆義,「血中HDL増加剤または抗動脈硬化剤」特願2010-146985 出願日:2010年6月28日
6. 永瀬浩喜, 杉山 弘, 坂東俊和「ドライバートンコジーン遺伝子変異を標的にアルキル化する新規アルキル化剤」特願2013-214044 出願日:2013年10月11日

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 文部省科学研究費補助金 基盤 B 一般 平成 23~25 年度 終了 研究課題名 ゲノム領域特異的ヒストンアセチル化の誘導によるがん治療法の開発 研究代表者 研究経費 (1580 万円) 研究成果 ゲノム領域特異的ヒストンアセチル化の誘導を行う化学物質によってがん抑制遺伝子の再発現を行うがんの治療薬開発を目指した。ヒストンのアセチル化誘導と正常組織での幹細胞化と分化には成功したががん細胞には効果がほとんど認められなかった。
2. 新学術領域研究 公募研究 平成 25~26 年度 継続 研究課題名 ヒストン修飾のゲノム特異的変更により誘導するがん細胞背景のシステム解明 研究代表者 研究経費 (286 万円) 研究内容 研究代表者らが開発した SAHA-PIP 化合物を利用してゲノム変化とその表現型を生み出すメカニズムを解析するもので創薬開発を目指す基盤研究とは異なる。
3. 科学技術振興機構 (JST) 研究成果最適展開支援事業 (A-STEP) フィージビリティスタディ【FS】ステージ 探索タイプ平成 23 年度 終了 研究課題名 TGF- $\beta$ 及び MMP 9 転写前阻害点眼剤の開発 研究分担者 (研究代表 わかもと製薬) 研究経費 (600 万円) 研究成果 下記の平成 22 年度 JST A-STEP で開発された DNA 結合化合物の点眼薬応用を進めるため、わかもと製薬から申請され、点眼薬の開発研究を続行した。
4. 科学技術振興機構 (JST) 研究成果最適展開支援事業 (A-STEP) フィージビリティスタディ【FS】ステージ 探索タイプ 平成 22 年度 終了 研究課題名 TGF- $\beta$ 及び MMP 9 転写前阻害点眼剤の開発 研究代表者 研究経費 (130 万円) 研究成果 学術フロンティア事業で開発された DNA 結合化合物に関して、点眼薬としての応用が示唆されたため、特許を取得し、わかもと製薬とともに点眼薬の開発研究を開始した。
5. 文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業 平成 18 年度新規採択学術フロンティア推進事業 平成 18~22 年度 終了 研究課題名 癌感受性遺伝子探索、機能解析、標的評価、新規治療開発、臨床前試験を一環的に研究する拠点推進プロジェクト 研究代表者 研究経費 (1 億円) 研究成果 がん感受性に関与する遺伝子群の同定と同定された遺伝子を化学的に修飾することでがんを治療する薬剤の開発を行った。本課題の成果の一つとして今

回の申請に用いる DNA 結合化合物の合成技術と生物活性、薬物動態、生物毒性等の試験を行った。高い事後評価が得られた。

## 2 5. 行方 直人/Naoto Namekata

### 論文/Papers

1. S. Suzuki, N. Namekata, K. Tsujino, and S. Inoue, "Highly enhanced avalanche probability using sinusoidally gated silicon avalanche photodiode," to be published in Appl. Phys. Lett. (2014).
2. Q.-L. Wu, N. Namekata, and S. Inoue, "Sinusoidally Gated InGaAs Avalanche Photodiode with Direct Hold-Off Function for Efficient and Low-Noise Single-Photon Detection," Appl. Phys. Express 6, 062202 (April 4. 2013).
3. Q.-L. Wu, N. Namekata, and S. Inoue, "High-fidelity entanglement swapping at telecommunication wavelengths," J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **46**(23), 235503 (2013)

### 招待講演/Invited Lectures

1. N. Namekata, "Entanglement distribution and swapping at telecommunication wavelengths using sinusoidally gated InGaAs/InP avalanche photodiodes," *Quantum, Crystal, Graphene and New Particle Science Boston Symposium 2013*, Boston, USA, (2013). [Invited talk]
2. 行方直人, 呉 青林, 栗村 直, 井上修一郎, "分極反転デバイスを用いた量子鍵配送へ向けた量子もつれ配送と交換技術," 第 60 回応用物理学会春季講演会, 神奈川工科大学, 28p-B3-10 (March 27-30 2013)[Invited talk]

### 知的財産：特許登録/Patent Applications

1. S. Inoue and N. Namekata, "HIGH-SPEED PULSED HOMODYNE DETECTOR IN OPTICAL COMMUNICATION WAVELENGTH BAND," (WO/2010/035533)

## 2 6. 西宮 伸幸/Nobuyuki Nishimiya

### 論文/Papers

1. N. Nishimiya, Y. Date, Y. Kojima, T. Toyama, "Hydrogen Sorption by Porous Materials Composed of One to Three Elements Selected from Boron, Carbon and Nitrogen and Metal Modification to Enhance the Sorption", J. Alloys Compd. 2013, 580, S305-S308.
2. 西宮伸幸, "水素エネルギーで持続可能な社会を目指す", 水素エネルギーシステム 2013, 38 (3), 199-208.
3. 飯山明裕, 太田健一郎, 小島康一, 齊藤信広, 富岡秀徳, 西宮伸幸, 原田 亮, 福田健三, "水素エネルギーで持続可能な社会を目指す", OHM 2013, 100 (8), 16-24.
4. 西宮伸幸, 鈴木 譲, "「ヒンデンブルグ第三帝国の陰謀」と水素安全", 水素エネルギーシステム 2013, 38 (2), 156-158.
5. 西宮伸幸, "水素貯蔵材料開発の将来展望", 水素エネルギーシステム 2012, 37 (4), 348-353.
6. Y. Kojima, M. Numazawa, N. Nishimiya, S. Kamei, "Fluorescence Properties and Synthesis of Green-Emitting Tb<sup>3+</sup>-Activated Amorphous Calcium Silicate Phosphor by Ultraviolet Irradiation of 378 nm", International Journal of Optics 2012, Article ID 537949.
7. 西宮伸幸, "世界水素エネルギー会議で見た水素貯蔵材料の開発動向", 水素エネルギーシステム 2012, 37 (3), 286-288.
8. 西宮伸幸, "水素貯蔵材料の研究開発の現状と新しい動き", 水素エネルギーシステム 2012, 37 (3), 268-269.
9. 小嶋芳行, 吉武 究, 梅垣哲士, 西宮伸幸, "水酸化カルシウム-モノエタノールアミン-二酸化炭素系反応による二酸化炭素の固定", J. Soc. Inorg. Matar. Japan 2012, 19, 288-292.

10. 小嶋芳行, 吉武 究, 梅垣哲士, 西宮伸幸, “モノエタノールアミンと塩化カルシウムを用いた炭酸カルシウムとしての二酸化炭素の固定”, J. Soc. Inorg. Matar. Japan 2012, 19, 104-109.
11. Y. Kojima, M. Kanai, N. Nishimiya, “Synthesis of Novel Amorphous Calcium Carbonate by Sono Atomization for Reactive Mixing”, Ultrasonics Sonochemistry 2011, 19, 325-329.
12. S. Kamei, Y. Kojima, N. Nishimiya, “Synthesis of Europium (II)-Activated Calcium Silicate Phosphors by a Liquid-Phase Reaction Method Using Hydrazine Monohydrate”, Journal of Ceramic Processing Research 2011, 12 (3), 205-207.
13. 西宮伸幸, “水素吸蔵合金のカプセル化による耐久性付与とその応用”, 分離技術 2011, 41 (5) 262-270.
14. K. Mori, Y. Kojima, N. Nishimiya, “Thermoluminescence of  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$  Codoped Calcium Sulfate by X-ray Irradiation”, J. Ceram. Soc. Japan 2011, 119, 587-590.
15. S. Kamei, T. Wakai, Y. Kojima, N. Nishimiya, “Spectrum Control of Novel  $\text{Eu}^{2+}$ -activated Amorphous Alkaline Earth Silicate Phosphors”, J. Res. Inst. Sci. Tech., Nihon Univ. 2011, 124, 22-25.
16. 西宮伸幸, “親水性と疎水性の定量表現”, 化学と教育 2011, 59, 144-147.
17. T. Toyama, S. Hattori, Y. Kojima, N. Nishimiya, “Preparation of Compositionally Graded Spherical Particles of Hydroxyapatite/Acesulfam-K by Spray-drying”, J. Australian Ceram. Soc. 2010, 46, 10-13.
18. 西宮伸幸, 池田一貴, 折茂慎一, “種々の水素貯蔵に用いられる材料の特徴と実用化への取り組み”, 無機マテリアル 2010, 17, 351-358.
19. 西宮伸幸, “水素貯蔵の安全性に関する総論 安全確保のための研究開発の現状と課題”, 水素エネルギーシステム 2010, 35 (4), 3-9.
20. S. Kamei, Y. Kojima, N. Nishimiya, “Preparation and Fluorescence Properties of Novel Red-emitting  $\text{Eu}^{3+}$ -Activated Amorphous Alkaline Earth Silicate Phosphors”, J. Luminescence 2010, 130, 2247-2250.
21. S. Kamei, Y. Kojima, N. Nishimiya, “Preparation and Fluorescence properties of Novel Alkaline Earth Silicate Phosphors by Reduction Treatment of  $\text{Eu}^{3+}$  to  $\text{Eu}^{2+}$ ”, J. Ceram. Soc. Japan 2010, 118, 758-761.
22. Y. Kojima, S. Kamei, N. Nishimiya, “Preparation and Fluorescence Property of Red-Emitting  $\text{Eu}^{3+}$ -Activated Amorphous Calcium Silicate Phosphor”, Materials Research Bulletin 2010, 45, 121-123.
23. 西宮伸幸, “常温で使用可能な耐環境性水素透過膜の作製”, 化学工業, 2009, 60 (12), 955-940.
24. Y. Kojima, S. Kamei, T. Toyama, N. Nishimiya, “Preparation of novel phosphor using intercalation of tobermorite”, J. Luminescence 2009, 129, 751-754.
25. 西宮伸幸, “合金および無機材料による水素の固形化”, エネルギー・資源 2009, 30, 54-57.

#### 著書/Books

1. 岡崎健 (編集代表), 西宮伸幸 (編集幹事) ほか, “水素の事典”, 朝倉書店, 2014 年春.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 西宮伸幸, “水素をエネルギーキャリアーとして貯蔵・輸送するための材料技術”, 第 89 回 電解科学技術委員会, 2013 年 1 月 31 日, 東京.
2. 西宮伸幸, “水素貯蔵材料の研究開発の現状と新しい動き”, 水素エネルギー協会第 139 回 定例研究会, 2012 年 7 月 13 日, 東京.
3. 西宮伸幸, “自然エネルギー創出技術の現状と課題, 水素エネルギー利用技術”, 平成 23 年度日本大学学部連携研究推進シンポジウム, 2012 年 2 月 24 日, 東京.
4. 西宮伸幸, “水素吸蔵合金のカプセル化による耐久性付与とその応用”, 分離技術会年会特別講演, 2011 年 6 月 3 日, 明治大学生田校舎, 東京.
5. 西宮伸幸, “種々の水素貯蔵材料の特徴と実用化への取り組み” 無機マテリアル学会, 第 20

回講習会, 2010 年 12 月 10 日, 工学院大学, 東京.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 浅井朋彦, 鈴木 薫, 西宮伸幸, 高津幹夫, 「合金薄膜生成装置」特願 2012-195690.
2. 西宮伸幸, 浅田泰男, 「シアノバクテリアが産生する水素の水素貯蔵合金による効率的回収方法および水素の増収方法」, 特願 2011-124597.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 西宮伸幸, 「空気輸送可能なマグネシウム系水素貯蔵材料」, 科学研究費補助金基盤研究 (C), 2013 年度—2015 年度 (初年度 1,560 千円/合計 5,070 千円).
2. 西宮伸幸, 「熔融塩を用いた水と窒素からのアンモニア電解合成」, 経済産業省再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発 (エネルギーキャリアシステム研究), 2013 年度—5 年計画 (初年度 9,876 千円).

## 27. 羽柴 秀臣/Hideomi Hashiba

#### 論文/Papers

1. Hideomi Hashiba, Yuta Miyazaki and Sachiko Matsushita, "Titanium dioxide fine structures by RF magnetron sputter method deposited on an electron-beam resist mask ", Proc. of SPIE, 8816, 88161F, doi:10.1117/12.2024360 (2013)
2. H. Hashiba, V. Antonov, L. Kulik, A. Tzalenchuk and S. Komiyama, "Sensing individual terahertz photons", Nanotechnology, 21, pp 165203-165207. (2010)
3. S. Matsushita, O. Suavet, H. Hashiba, "Full-photonic-bandgap structures for prospective dye-sensitized solar cells", Electrochimica Acta, 55, pp 2398-2403, (2010)
4. T. Akazaki, H. Hashiba, M. Yamaguchi, K. Tsumura, S. Nomura and H. Takayanagi, "Interplay between negative photoconductivity and enhanced Andreev reflection in InGaAs-based S-Sm-S junctions when exposed to infrared light", J. Phys. Conf. Series. 150, pp 052004/1-052004/4 (2009)

#### 招待講演/Invited Lectures

1. S. Matsushita, H. Hashiba, C. Nishiyama, T. Yabuta, G. Kato, and R. Watanabe, "Dye-sensitized photonic-crystal electrodes", Hanyang University, 28 August (2009)

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 羽柴秀臣, 科学研究費補助金;若手研究 (B), 平成 26 年度 (2014 年度), 3,000 千円, “量子ドットの多光子プラズマ励起の解明”
2. 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (平成 25 年～平成 29 年) 分担, 個人分配: 100 万円前後/年
3. 羽柴秀臣, “長方形量子ドットの THz 帯プラズマ励起の解明と制御”, 財団法人双葉電子記念財団 平成 23 年度自然科学研究助成, 1,000,000 円 (2011 年度 1,000,000 円).

#### その他 (受賞, メディア等) : 学内/Others

1. 羽柴秀臣, “量子ドットのプラズマ励起を用いた THz 単一光子検出”, 「理工研 News」No. 64, H24 年度
2. 宮崎雄太, 羽柴秀臣, 第 21 回材料科学に関する若手フォーラム (2012 年 1 月 28 日, 日本大学理工学部, 船橋) において“高温動作型単一電子トランジスタの開発”の発表により, 優秀発表賞を獲得.



## 28. 橋本 拓也/Takuya Hashimoto

## 論文/Papers

1. E. Niwa, C. Uematsu, J. Mizusaki, T. Hashimoto, “Electrical conductivity and defect structure of  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ .” *ECS Transactions* **2013**, 57, 2133-2140.
2. E. Niwa, H. Maeda, C. Uematsu, T. Hashimoto, “Analysis of electrical conduction mechanism of  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Me}_x\text{O}_{3-\delta}$  (Me=Fe, Mn).” *ECS Transactions* **2013**, 50, 117-124.
3. E. Niwa, C. Uematsu, T. Hashimoto, “Sintering temperature dependence of conductivity, porosity and specific surface area of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_3$  ceramics as cathode material for solid oxide fuel cells-Superiority of Pechini method among various solution mixing processes-”, *Mater. Res. Bull.* **2013**, 48, 1-6.
4. E. Niwa, C. Uematsu, T. Hashimoto, “Evaluation of specific surface area and pore size distribution of  $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_3$  ceramics prepared using Pechini method by  $\text{N}_2$  Adsorption method—Optimization of sintering temperature as cathode material of solid oxide fuel cells.”, *J. Amer. Ceram. Soc.* **2012**, 95, 3802-3806.
5. T. Hashimoto, E. Niwa, C. Uematsu, E. Miyashita, T. Ohzeki, K. Shozugawa, M. Matsuo, “Chemical state of Fe in  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  and its effect on electrical conduction property.” *Hyperfine Interact.* **2012**, 206, 47-50.
6. T. Sugimoto and T. Hashimoto, “Phase transition behavior of mother phase of proton-conducting oxides,  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{ZrO}_3$ ” *Thermochim. Acta* **2012**, 530, 58-63.
7. T. Sugimoto and T. Hashimoto, “The crystal structure and electrical conductivity of proton conducting  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Zr}_{1-y}\text{Y}_y\text{O}_{3-\delta}$ .” *Solid State Ionics* **2012**, 206, 91-96.
8. E. Niwa, C. Uematsu, E. Miyashita, T. Ohzeki and T. Hashimoto, “Conductivity and sintering property of  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ceramics prepared by Pechini method.” *Solid State Ionics* **2011**, 201, 87-93.
9. T. Sugimoto and T. Hashimoto, “Analysis of order of structural phase transition of  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{ZrO}_3$  by temperature regulated X-ray diffraction and thermal analyses.” *IOP Conference Series, Material Science and Engineering* **2011**, 18, 022007.
10. E. Niwa, C. Uematsu, E. Miyashita, T. Ohzeki and T. Hashimoto, “Low temperature preparation of  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  as new cathode material for SOFC –advantage of liquid phase mixing method-.” *ECS Transactions* **2011**, 35, 1935-1943.
11. T. Sugimoto, S. Hasegawa, T. Hashimoto, “Phase Transition Behavior of Proton Conducting Oxides,  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{ZrO}_3$ ”, *ECS Transactions* **2010**, 28(11), 251-258.
12. S. Hasegawa, T. Sugimoto, T. Hashimoto “Investigation of Structural Phase Transition Behavior of  $\text{SrZrO}_3$  by Thermal Analyses and High-temperature X-ray Diffraction”, *Solid State Ionics* **2010**, 181, 1091-1097.
13. T. Ohzeki, T. Hashimoto, K. Shozugawa, M. Matsuo “Preparation of  $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  Single Phase and Characterization of Their Phase Transition Behaviors”, *Solid State Ionics* **2010**, 181, 1771–1782.
14. A. Aoto, N. Hasumi, A. Kikuchi, Y. Sasaki, F. Fujishiro, T. Hashimoto, “Development of Superior Preparation Process for Highly Functional and Homogeneous Cerium Containing Oxides.-Analysis of Solid State Reaction Process and Development of New Process via Liquid Phase.” *Proc. Inst. Natural Sci., Nihon Univ.*, **2010**, 45, 341-352.
15. T. Ohzeki, S. Hasegawa, M. Shimizu, T. Hashimoto, “Analysis of Phase Transition Behavior of  $\text{BaCeO}_3$  with Thermal Analysis and High Temperature X-ray Diffraction.” *Solid State Ionics*, **2009**, 180, 1034-1039.

## 著書/Books

1. 橋本拓也, “ペロブスカイト型結晶構造をとる SOFC 材料の相転移”, 燃料電池, **2013**, 13, 27-34.
2. 杉本隆之, 橋本拓也, “X 線回折と熱分析による  $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ZrO}_3$  の状態図の作成と新たなプロ

トン導電体の探索”, 熱測定, **2012**, *39*, 54-60.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 橋本拓也, “Investigation of Preparation Process and Phase Transitions of Materials for SOFC with Thermal Analysis and *in-situ* X-ray diffraction”, SOFC合作成果及信息交流会, 2010年8月25日, 上海珪酸塩研究所, 上海, 中国.

#### その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. 杉本隆之, 「日本セラミックス協会第26回秋季シンポジウムベストポスター発表賞」受賞, 2013年9月4日
2. 杉本隆之, 「第27回日本セラミックス協会関東支部研究発表会優秀賞」受賞, 2011年9月29日

## 29. 福田 昇/Noboru Fukuda

#### 論文/Papers

1. Tsunemi A, Ueno T, Fukuda N, Watanabe T, Tahira K, Haketa A, Hatanaka Y, Tanaka S, Matsumoto T, Matsumoto Y, Nagase H, Soma M. A Novel Gene regulator, pyrrole-imidazole polyamide targeting ABCA1 gene increases cholesterol efflux from macrophages and plasma HDL concentration. *Journal of Molecular Medicine* (in press) 2013, 12
2. Suzuki R, Fukuda N, Katakawa M, Tsunemi A, Tahira Y, Matsumoto T, Ueno T, Soma M. Effects of an angiotensin II receptor blocker on the impaired function of endothelial progenitor cells in patients with essential hypertension. *American Journal of Hypertension* (in press) 2013, 10.
3. Zhou X, Fukuda N, Matsuda H, Endo M, Wang X, Saito K, Ueno T, Matsumoto T, Matsumoto K, Soma M, Kobayashi N, Nishiyama A. Complement 3 activates the renal renin-angiotensin system by induction of epithelial-to-mesenchymal transition of the nephrotubulus in mice. *American Journal of Physiology Renal Physiology*. 305(7): F957-F967, 2013. 10.
4. Sato A, Nagase H, Obinata D, Fujiwara K, Fukuda N, Soma M, Yamaguchi K, Kawata N, Takahashi S. Inhibition of MMP-9 using a pyrrole-imidazole polyamide reduces cell invasion in renal cell carcinoma. *International Journal of Oncology* 43(5): 1441-1446, 2013. 7.
5. Iguchi A, Fukuda N, Takahashi T, Watanabe T, Matsuda H, Nagase H, Bando T, Sugiyama H, Shimizu K. RNA binding properties of novel gene silencing pyrrole-imidazole polyamides. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*. 36(7): 1152-1158, 2013. 6.
6. Iijima H, Daikonya A, Takamatsu S, Kanno A, Magariyama K, Yoshikawa K, Takamiya T, Ueda Y, Yakubo S, Matsumoto T, Ueno T, Yamori Y, Fukuda N, Kitanaka S. Effects of the herbal medicine composition "Saiko-ka-ryukotsu-borei-To" on the function of endothelial progenitor cells in hypertensive rats. *Phytomedicine*. 20(3-4): 196-201, 2013, 2.
7. Kajiwara M, Ueno T, Fukuda N, Matsuda H, Shimokawa T, Kitai M, Tsunemi A, Matsumoto K, Matsumoto Y, Ra C, Soma M. Development of PI polyamide targeting Fc receptor common gamma chain for the treatment of immune-complex related renal disease. *Biological & Pharmaceutical Bulletin* 35(11): 2028-2035, 2012, 9.
8. Kamei T, Aoyama T, Tanaka C, Nagashima T, Aoyama Y, Hayashi H, Nagase H, Ueno T, Fukuda N, Matsumoto Y. Quantitation of pyrrole-imidazole polyamide in rat plasma by high performance liquid chromatography coupled with UV detection. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 2012:715928. 2012, 6.
9. Ikeda K, Fukuda N, Ueno T, Endo M, Kobayashi N, Soma M, Matsumoto K. Role of complement 3a in the growth of mesangial cells from stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Clinical and Experimental Hypertension*. In press 2013, 2.
10. Han Y, Fukuda N, Ueno T, Endo M, Ikeda K, Xueli Z, Matsumoto T, Soma M, Matsumoto K. Role

- of complement 3a in the synthetic phenotype and angiotensin II-production in vascular smooth muscle cells from spontaneously hypertensive rats. *American Journal of Hypertension*. 25(3):284-289, 2012, 3.
11. Serie K, Fukuda N, Nakai S, Matsuda H, Maruyama T, Murayama Y, Omata S. pyrrole-imidazole polyamide targeting transforming-growth factor b1 ameliorates encapsulating peritoneal sclerosis. *Peritoneal Dialysis International* 32(4):462-72, 2012, 1.
  12. Obinata D, Matsumoto T, Ikado Y, Sakuma T, Kano K, Fukuda N, Yamaguchi K, Mugishima H, Takahashi S. Transplantation of mature adipocyte-derived dedifferentiated fat (DFAT) cells improved sphincteric contractility in the urethra of a rat vaginal distension model. *Int J Urol*. 18(12): 827-834, 2011, 12
  13. Han Y, Fukuda N, Ueno T, Endo M, Ikeda K, Xueli Z, Matsumoto T, Soma M, Matsumoto K. Role of complement 3a in the synthetic phenotype and angiotensin II-production in vascular smooth muscle cells from spontaneously hypertensive rats. *Am J Hypertens*. 2011.11
  14. Wan JX, Fukuda N, Ueno T, Watanabe T, Matsuda H, Saito K, Nagase H, Matsumoto Y, Soma M. Development of a novel gene silencer pyrrole-imidazole polyamide targeting human CTGF. *Biol Pharm Bulle*. 34 (10): 1572-1577, 2011, 11.
  15. Washio H, Fukuda N, Matsuda H, Nagase H, Watanabe T, Matsumoto Y, Terui T. Transcriptional inhibition of hypertrophic scars by a gene silencer. *J Invest Dermatol*. 31(10): 1987-1995, 2011, 10.
  16. Sato T, Iso Y, Uyama T, Kawachi K, Wakabayashi K, Omori Y, Soda T, Shoji M, Koba S, Yokoyama SI, Fukuda N, Saito S, Katagiri T, Kobayashi Y, Takeyama Y, Umezawa A, Suzuki H. Coronary vein infusion of multipotent stromal cells from bone marrow preserves cardiac function in swine ischemic cardiomyopathy via enhanced neovascularization. *Lab Invest*. 91: 553-564, 2011, 4.
  17. Yamamoto C, Fukuda N, Jumabay M, Saito K, Matsumoto T, Ueno T, Soma M, Matsumoto K, Shimozawa T. Protective effects of statin on cardiac fibrosis and apoptosis in adrenomedullin knockout mice with the angiotensin II and high salt loading. *Hypertens Res*. 34 (3): 348-353, 2011, 3.
  18. Yoshida Y, Fukuda N, Maeshima A, Yamamoto C, Matsumoto T, Ueno T, Nojima Y, Matsumoto K, Soma M. Treatment with valsartan stimulates endothelial progenitor cells and renal label-retaining cells in hypertensive rats. *Journal of Hypertension*. 29(1): 91-101, 2011, 1.
  19. Matsuda H, Fukuda N, Ueno T, Katakawa M, Wang X, Watanabe T, Matsui S, Aoyama T, Saito K, Bando T, Matsumoto Y, Nagase H, Matsumoto K, Sugiyama H. Transcriptional regulation of progressive renal disease by the gene silencing pyrrole-imidazole polyamide targeted to the TGF- $\beta$ 1 promoter. *Kidney Int*. 79(1): 46-56, 2011, 1.
  20. Saito K, Fukuda N, Matsumoto T, Iribe Y, Tsunemi A, Kazama T, Yoshida-Noro C, Hayashi N. Moderate low temperature preserves the stemness of neural stem cells and suppresses apoptosis of the cells via activation of the cold-inducible RNA binding protein. *Brain Research*. 1358:20-29, 2010. 10.
  21. Kobayashi N, Fukushima H, Takeshima H, Koguchi W, Mamada Y, Hirata H, Machida Y, Suzuki N, Yokotsuka F, Tabei K, Kobayashi E, Fukuda N, Ishimitsu T. Effect of eplerenone on endothelial progenitor cells and oxidative stress in ischemic hindlimb. *American Journal of Hypertension*. 23(9): 1007-1013, 2010, 9.
  22. Fukuda N. Cigarette smoking induces vascular proliferative disease through the activation of Egr-1. *Cardiovascular Research*. 88, 207-208, 2010, 9.
  23. Hagikura K, Fukuda N, Yokoyama S, Li Y, Kusumi Y, Matsumoto T, Ikeda Y, Kunimoto S, Takayama T, Jumabay M, Mitsumata M, Saito S, Hirayama A, Mugishima H. Low invasive angiogenic therapy for myocardial Infarction by retrograde transplantation of mononuclear cells expressing the VEGF gene. *International Journal of Cardiology*, 142(1): 56-64, 2010, 6.
  24. Wang X, Nagase H, Watanabe T, Nobusue H, Suzuki T, Kimura M, Mishra R, Shinojima Y, Kawashima H, Takagi K, Igarashi J, Takayama T, Fukuda N, Sugiyama H. Inhibition of MMP-9 transcription and suppression of tumor metastasis by pyrrole-imidazole polyamide. *Cancer Science*

- 101(3): 759-766, 2010. 3.
25. Chen M, Matsuda H, Wang L, Watanabe T, Kimura T M, Igarashi J, Wang X, Sakimoto T, Fukuda N, Sawa M, Nagase H. Pre-transcriptional regulation of TGF- $\beta$  1 by PI polyamide prevents scarring and accelerates wound healing of the cornea after exposure to alkali. *Molecular Therapy* 18(3): 519-527, 2010, 3.
  26. Yamamoto C, Fukuda N, Matsumoto T, Higuchi T, Ueno T, Matsumoto K. A zinc-finger transcriptional factor Sall1 induces angiogenesis via activation of the vascular endothelial growth factor-A gene. *Hypertension Research* 33(2): 143-148, 2010, 2.
  27. Matsumoto T, Watanabe H, Ueno T, Tsunemi A, Hatano B, Kusumi Y, Mitsumata M, Fukuda N, Matsumoto K, Saito S, Mugishima H. Appropriate doses of granulocyte-colony stimulating factor reduced atherosclerotic plaque formation and increased plaque stability in cholesterol-fed rabbits. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis* 17(1): 84-96, 2010, 2.
  28. Aoyama T, Omori T, Watabe S, Shioya A, Ueno T, Fukuda N, Matsumoto Y. Pharmacokinetic/pharmacodynamic modeling and simulation of rosuvastatin using extension of indirect response model by incorporating a circadian rhythm. *Biological & Pharmaceutical Bulletin* 33(6): 1082-1087, 2010, 2.
  29. Yano T, Tanaka M, Fukuda N, Ueda T, Nagase H. Loss of mutant mitochondrial DNA harboring the MELAS A3243G mutation in human cybrid cells after cell-cell fusion with normal tissue-derived fibroblast cells. *International Journal of Molecular Medicine* 25:153-158, 2010, 1.
  30. Fukuda N, Tahira Y, Matsuda H, Matsumoto K. Transforming growth factor-b as a treatment target in renal diseases. Review. *Journal of Nephrology*. 22(6): 708-15, 2009, 11.
  31. Jumabay M, Matsumoto T, Yokoyama SI, Kano K, Kusumi Y, Masuko T, Mitsumata M, Saito S, Hirayama A, Mugishima H, Fukuda N. Dedifferentiated fat cells convert to cardiomyocyte phenotype and repair infarcted cardiac tissue in rats. *Journal Molecular Cellular Cardiology*. 47:565-575, 2009. 8.
  32. Matsumura M, Fukuda N, Kobayashi N, Umezawa H, Takasaka A, Matsumoto T, Yao E-H, Ueno U, Negishi N. Effects of atorvastatin on angiogenesis in hindlimb ischemia and endothelial progenitor cell formation in rats. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis* 16(4): 319-326, 2009. 8.
  33. Ueno T, Watanabe H, Fukuda N, Tsunemi A, Tahira K, Matsumoto T, Takayama T, Chiku M, Saito S, Sato Y, Hirayama A, Matsumoto K, Soma M. Influence of genetic polymorphisms in oxidative stress related genes and smoking on plasma MDA-LDL, soluble CD40 ligand, E-selectin and soluble ICAM1 levels in patients with coronary artery disease. *Med Sci Monit*. 15(7): CR341-348, 2009, 7.
  34. Ueno T, Tabara Y, Fukuda N, Tahira K, Matsumoto T, Kosuge K, Haketa A, Matsumoto K, Sato Y, Nakayama T, Katsuya T, Ogihara T, Makita Y, Hata A, Yamada M, Takahashi N, Hirawa N, Umemura S, Miki T, Soma M. Association of SLC6A9 gene variants with human essential hypertension. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis* 6(3): 201-206, 2009, 6.
  35. Suzuki T, Asami Y, Takahashi T, Wang X, Watanabe T, Bando T, Sugiyama H, Fukuda N, Nagase H. Development of a molecule recognized promoter DNA sequence for inhibition of HER2 expression. *Journal of Antibiotics* 62(6): 339-341, 2009, 6.
  36. Sakuma T, Matsumoto T, Kano K, Fukuda N, Obinata D, Yamaguchi K, Yoshida T, Takahashi S, Mugishima H. Mature adipocyte-derived dedifferentiated fat cells can differentiate into smooth muscle-like cells and contribute to bladder tissue regeneration. *Journal of Urology* 182(1): 355-365, 2009, 5.
  37. Fukushima A, Fukuda N, Lai Y, Ueno T, Moriyama M, Taguchi F, Iguchi A, Shimizu K, Kuroda K. Development of a chimeric DNA-RNA hammerhead ribozyme targeting SARS virus. *Intervirology* 52(2): 92-99, 2009, 5.
  38. Nagashima T, Aoyama T, Yokoe T, Fukasawa A, Fukuda N, Ueno T, Sugiyama H, Nagase H, Matsumoto Y. Pharmacokinetic modeling and prediction of plasma pyrrole-imidazole polyamide

- concentration in rats using simultaneous urinary and biliary excretion data. *Biological & Pharmaceutical Bulletin* 32(5): 921-927, 2009, 5.
39. Nagashima T, Aoyama T, Fukasawa A, Watabe S, Fukuda N, Ueno T, Sugiyama H, Nagase H, Matsumoto Y. Determination of pyrrole-imidazole polyamide in rat plasma by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Chromatograph B* 877(11-12): 1070-1076, 2009, 4.
  40. Ueno T, Fukuda N, Tsunemi A, Yao E-H, Matsuda H, Tahira K, Matsumoto T, Matsumoto K, Matsumoto Y, Nagase H, Sugiyama H, Sawamura T. A Novel Gene Silencer, Pyrrole-imidazole Polyamide Targeting Human LOX-1 Gene Improves Endothelial Cell function. *Journal of Hypertension*. 27(3): 508-516, 2009, 3.

#### 著書/Books

1. Saito K, Fukuda N, Hayashi N. Moderate Low Temperature Preserves the Stemness of Neural Stem Cells (Methods). *Stem Cells and Cancer Stem Cells Volume 10*, 2013, pp 137-145. Ed. Springer.
2. 松本紘一, 遠藤守人, 福家吉伸, 伊藤謙, 清水千枝, 梶原麻実子, 丸山高史, 井下篤司, 阿部雅紀, 岡田一義, 藤田宜是, 福田 昇, 相馬正義. ANCA 関連腎炎, 特集腎疾患の病態と治療. *医学と薬学*. 65(3), 319-325, 2011
3. 福田 昇. アンジオテンシン変換酵素(ACE)阻害薬. 高血圧ナビゲーター, 第3版. P248-249. メディカルレビュー社. 2011.
4. Kamei T, Aoyama T, Ueno T, Fukuda N, Nagase H, Matsumoto Y. Pyrrole-imidazole polyamides for gene therapy: Bioanalytical methods and pharmacokinetics. *Non-Viral Gene Therapy*. Pp 679-696. InTec 2011, 10.
5. Fukuda N. Stem cells, oxidative stress and new treatment strategies for cardiovascular diseases. Eds. Bashir Matata. pp 1-18, NOVA SCIENCE, 2010, 2.
6. Matsumoto K, Fukuda N, Abe M, Fujita T. Dendritic cells and macrophages in kidney disease. *Clinical Experimental Nephrology*. 14(1):1-11, 2010, 2.
7. 福田 昇: エビデンスに基づく降圧薬の併用-合剤の有用な使い分け方-, *Pharma Medica* 28(11), 55-60, 2010.11.
8. 福田 昇: ゲノム化学に基づく転写制御DNA認識化合物PIポリアミドの創薬開発. *医工学治療*, 22(3), 179-183, 2010.12.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 福田 昇. 「高血圧での抗酸化薬および食生活習慣によるアンチエイジング」第13回日本抗加齢医学会総会. 東京、2013. 6.
2. 福田 昇 「Complement 3 activates renal renin-angiotensin system through the epithelial-to-mesenchymal transition of nephrotubulus」腎臓と高血圧学術講演会. 東京、2013.5
3. 福田 昇, 「難治性疾患に関する細胞治療・遺伝子治療の開発」日本大学薬学部講演会, 船橋. 2012. 12.
4. Fukuda N, The 15<sup>th</sup> International SHR Symposium, Luncheon Seminar. Recent progress in SHR. 2012. 6. Melbourne, Australia.
5. 福田 昇, 高血圧性心血管腎臓リモデリングとゲノム化学に基づく遺伝子治療. 千葉県がんセンター招待講演. 千葉. 2012. 2.
6. 福田 昇. 心血管病の病態に於ける酸化ストレスと幹細胞. シンポジウム「心血管病における酸化ストレス」第15回. 心血管内分泌代謝学会, 大阪. 2011. 11.
7. 福田 昇.ゲノム化学に基づくイノベーション. 第7回日本大学先端バイオフォーラム「日本大学のバイオイノベーションの戦略」, 東京 2011, 12.
8. 福田 昇. 難治性疾患に対する細胞治療・遺伝子治療の開発. 日本大学医学部同窓会愛媛県支部総会講演. 松山, 2011.11.
9. 福田 昇, 上野高浩, 片川まゆみ, 松本太郎, 小林直彦, 前嶋明人, 森 真理, 家森幸男, 相馬正義. 高血圧性臓器障害への自己修復細胞機能低下の関与と抗酸化薬および食品による抗老化作用の検討. 第34回 日本高血圧学会. シンポジウム「アンチエイジングからみ

た高血圧研究」宇都宮、2011.10.

10. 福田 昇. ゲノム化学に基づく心血管腎臓病遺伝子治療薬の開発. シンポジウム post GWAS 時代の高血圧研究はどうあるべきか 第 33 回 日本高血圧学会、福岡、2010.10.
11. 福田 昇, ケミカルバイオロジーに基づく PI ポリアミドのイノベーション -創薬開発を目指して-. 平成 22 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業報告会. 郡山, 2011.08
12. Fukuda N, Matsuda H, Ueno T, Matsumoto Y, Nagase H, Sugiyama H. Pharmacological properties of pyrrole-imidazole (PI) polyamides targeting TGF- $\beta$ 1 for progressive renal diseases. *Molecular Recognition of Nucleic Acids: Biological Applications*. Pacificchem 2010. 12. Symposium.
13. 福田 昇, 「ゲノム化学に基づく腎障害の遺伝子治療開発」, 第 26 回日本医工学治療学会, 東京, 2010.4, 東京

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 大日方大亮, 高橋 悟, 福田 昇, 藤原恭子, 「新規 P I ポリアミド (前立腺癌特異的融合遺伝子 TMPRSS2-ERG の形成を抑制させ, 抗腫瘍作用を示す PI ポリアミド)」特願 2012-106382.
2. 永瀬浩喜, 陳 敏, 崎元 暢, 渡部隆義, 福田 昇, 「DNA 配列特異的結合化合物を含む局所用眼科疾患治療薬」, 特願 2011-503643.

#### 知的財産：特許登録/Intellectual Properties

1. 福田 昇, 岸岡博文, 杉山 弘. 「TGF- $\beta$  遺伝子発現抑制剤」, US7888516, 2011 年 2 月 15 日.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 羅智 靖, 福田 昇, 他. 平成 20-24 年度. 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業. 炎症と難治性免疫・アレルギー疾患の分子細胞医学 (6000 万円/年).
2. 相馬正義, 福田 昇, 松本宜明, 高橋 悟, 越永従道, 藤原恭子, 他. 平成 23-27 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業. DNA 認識化合物を利用したゲノム創薬 (4,500 万円/年).
3. 松本紘一 (代表), 福田 昇 (分担). 平成 24-26 年度文部科学省科学研究費基盤研究 (C). 腎炎に対する新規遺伝子制御薬 PI ポリアミドの開発 (400 万円/3 年).
4. 福田 昇 (代表). 平成 24-26 年度文部科学省科学研究費基盤研究 (C). 高血圧病態における補体 C3 の役割 (410 万円/3 年).
5. 加藤規弘, 並河 徹, 福田 昇. 平成 21-23 年度厚生労働省科学研究費補助金「創薬および臨床試験の効率化に資するメタボリックシンドロームと心血管病のモデルラットの開発研究」研究分担者 (100 万円/年).
6. 福田 昇, “創薬および臨床試験の効率化に資するメタボリックシンドロームと心血管病のモデルラットの開発研究に関する研究”, 2010-2011 年度厚生科学研究費補助金, 2,000,000 円.
7. 福田 昇, 飯島 洋, 北中 進, 家森幸男, 薬剤および食品による自己再生細胞を活性化する抗老化の総合研究, 日本大学総合研究助成金, 7,400,000 円.

#### その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. 日本薬学会誌平成 24 年優秀論文に選出. Kajiwara M, Ueno T, Fukuda N, Matsuda H, Shimokawa T, Kitai M, Tsunemi A, Fuke Y, Fujita T, Matsumoto K, Matsumoto Y, Ra C, Soma M., "Development of pyrrole-imidazole polyamide targeting Fc receptor common gamma chain for the treatment of immune-complex related renal disease. *Biol. Pharm. Bull.* 2012, 35, 2028-2035.
2. 日本経済新聞 平成 25 年 10 月 18 日 「ヒト TGF- $\beta$ 1 に対する PI ポリアミドが手術痕の治療薬として平成 26 年度に臨床試験に入る」記事掲載

#### その他 (受賞, メディア等) : 学内/Others

1. 平成 25 年 11 月 27 日 (水) 第 8 回日本大学先端バイオフィォーラムが日大広報で紹介される

#### シンポジウムの開催等/Others

1. 福田 昇, 第 16 回循環器再生医療研究会, 代表世話人, 平成 24 年 11 月 17 日(土), 武田薬品工業東京本社大講堂.
2. 福田 昇, 第 49 回高血圧関連疾患モデル学会、大会会長、平成 25 年 9 月 6,7 日, 日本大学会館
3. 福田 昇, 第 8 回日本大学先端バイオフィォーラム, 代表幹事, 平成 25 年 11 月 27 日(水), 日本大学会館
4. 福田 昇, 第 17 回循環器再生医療研究会, 代表世話人, 平成 25 年 11 月 30 日(土), 武田薬品工業東京本社大講堂.

### 30. 藤川 和男/Kazuo Fujikawa

#### 論文/Papers

1. K. Fujikawa, "Remark on the subtractive renormalization of the quadratically divergent scalar mass", Phys. Rev. D 83, 105012 (2011) [14 pages]
2. M. Chaichian, K. Fujikawa and A. Tureanu, "Lorentz invariant CPT violation: Particle and antiparticle mass splitting", Physics Letters B, Volume 712, Issues 1–2, 30 May 2012, Pages 115-118
3. K. Fujikawa, "Quantum discord and noncontextual hidden variables models", Phys. Rev. A85 (2012) 012114
4. K. Fujikawa, "Does CHSH inequality test the model of local hidden variables?", Prog. Theor. Phys. 127 (2012), 975-987
5. K. Fujikawa and K. Umetsu, "Uncertainty relation and probability: Numerical illustration", Prog.Theor.Phys. 125 (2011) 205-224.
6. K. Fujikawa, "Comment on the uncertainty relation with periodic boundary conditions", Prog.Theor.Phys.124:747-759,201
7. 藤川和男, "破れた対称性と物理世界", 「数理科学」2010年12月 p5 (サイエンス社)
8. 藤川和男, "量子異常とは何か; ネーターの定理の量子的破れ", 別冊・数理科学「多彩な量子の世界」p37 (サイエンス社, 2010年1月)
9. 藤川和男, "スピンの統計の定理", 別冊・数理科学「多彩な量子の世界」p55 (サイエンス社, 2010年1月)
10. K. Fujikawa and M-G. Hu, "Geometric Phase of a Two-Level System in a Dissipative Environment", Physical Review A, A 79, 052107, 2009.
11. K. Fujikawa, "Geometric phases and hidden gauge symmetry", Bulletin of Asia-Pacific Center for Theoretical Physics (APCTP) 23~24 29, 2009.
12. K. Fujikawa, "Analytic solution of the separability criterion for continuous variable systems", Physical Review A, A 79, 032334. 2009.
13. K. Fujikawa, "Separability criteria for continuous-variable systems", Physical Review, A 10, 012315, 2009.

#### 著書/Books

1. 藤川和男, "ゲージ場とその量子論", 「ゲージ理論の発展」(サイエンス社, 2009年7月) P17.
2. 藤川和男, "非可換ゲージ場の量子論", 「ゲージ理論の発展」(サイエンス社, 2009年7月) p53.
3. 藤川和男, "素粒子物理学", ブルーバックス「新物理学事典」(講談社, 2009年6月) P1-75.
4. 藤川和男, "シュレディンガー方程式; つきない謎", 「数理科学」(サイエンス社 2009年6月)

月号) P19.

5. 藤川和男, “特異なる発想”, 「科学」(岩波書店, 2009年1月号) p81.

### 3 1. 藤原 恭子/Kyoko Fujiwara

#### 論文/Papers

1. Fujiwara K, Ghosh S, Liang P, Morien E, Soma M, Nagase H. Genome-wide screening of aberrant DNA methylation which associated with gene expression in mouse skin cancers. *Molecular Carcinogenesis* 2013 *in press*
2. Sato A, Nagase H, Obinata D, Fujiwara K, Fukuda N, Soma M, Yamaguchi K, Kawata N and Takahashi S. Inhibition of MMP-9 using a pyrrole-imidazole polyamide reduces cell invasion in renal cell carcinoma. *International Journal of Oncology*. 2013 Nov 43(5):1441-6
3. Sugito K, Kawashima H, Yoshizawa S, Uekusa S, Hoshi R, Furuya T, Kaneda H, Hosoda T, Konuma N, Masuko T, Ohashi K, Ikeda T, Koshinaga T, Tomita R, Shinojima Y, Fujiwara K, Watanabe T, Held WA, Nagase H. Non-promoter DNA hypermethylation of Zygote Arrest 1 (ZAR1) in neuroblastomas. *J Pediatr Surg*. 2013 Apr 48(4):782-8
4. Sugito K, Kawashima H, Uekusa S, Yoshizawa S, Hoshi R, Furuya T, Kaneda H, Hosoda T, Masuko T, Ohashi K, Ikeda T, Koshinaga T, Fujiwara K, Igarashi J, Ghosh S, Held WA, Nagase H. Identification of aberrant methylation regions in neuroblastoma by screening of tissue-specific differentially methylated regions. *Pediatr Blood Cancer*. 2012 Aug 21. doi: 10.1002/pbc.24282.
5. Kobayashi Y, Fujiwara K, Hatta Y, Takeuchi J, Shinojima Y, Kawashima H, Igarashi J, Soma M, Nagase H. Identification of novel genomic regions with aberrant cytosine methylation in hematological malignancies. *Annals of Cancer Research and Therapy*. 2013 Jan 21(1): 1-13
6. Takagi K, Fujiwara K, Takayama T, Mamiya T, Soma M, Nagase H. DNA hypermethylation of *Zygote arrest 1 (ZAR1)* in hepatitis C virus positive related hepatocellular carcinoma. *SpringerPlus* 2013 Apr 2(1):150
7. H. Kawashima, K. Sugito, S. Yoshizawa, S. Uekusa, T. Furuya, T. Ikeda, T. Koshinaga, Y. Shinojima, R. Hasegawa, R. Mishra, J. Igarashi, M/ Kimura, X. Wang, K. Fujiwara, S. Gosh and H. Nagase, “DNA hypomethylation at the ZNF206-exon 5 CpG island associated with neuronal differentiation in mice and development of neuroblastoma in humans.” *International Journal of Oncology*. 2011 Jan 40 (1): 31-9
8. P. Liang, F. Song, S. Ghosh, E. Morien, M. Qin, S. Mahmood, K. Fujiwara, J. Igarashi, H. Nagase, W.A. Hel, “Genome-wide survey reveals dynamic widespread tissue-specific changes in DNA methylation during development.” *BMC Genomics*. 2011 May 11;12(1):231.
9. Fujiwara K, Wie B, Elliott R, Nagase H. New outbred colony derived from *Mus musculus castaneus* to identify skin tumor susceptibility loci. *Molecular Carcinogenesis* 49(7):653-61. 2010.
10. Shinojima Y, Terui T, Hara H, Kimura MT, Igarashi J, Wang X, Kawashima H, Kobayashi Y, Muroi S, Hayakawa S, Esumi M, Fujiwara K, Ghosh S, Yamamoto T, Held W, Nagase H. Identification and analysis of an early diagnostic marker for malignant melanoma: ZAR1 intra-genic differential methylation. *Journal of Dermatological Science* Aug 59(2): 98-106 2010.

#### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

1. 大日方大亮, 高橋 悟, 福田 昇, 藤原恭子, 「新規PIポリアミド(前立腺癌特異的融合遺伝子 TMPRSS2-ERG の形成を抑制させ, 抗腫瘍作用を示すPIポリアミド)」特願 2012-106382.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 藤原恭子, “ヒト有棘細胞癌におけるゲノムメチル化変異の解析”2012-2014,科学研究費助成



事業基盤研究(C), 5,200,000 円

- 平成 23 年度科学研究費補助金, 文部科学省, 平成 23 年~25 年度, 4,550,000 円, PI ポリアミドによる MYC 下流遺伝子の発現抑制と抗腫瘍効果の検討

## 3 2. 舩廣 善和/Yoshikazu Masuhiro

### 論文

- Yabu T, Toda H, Shibasaki Y, Araki K, Yamashita M, Anzai H, Mano N, Masuhiro Y, Hanazawa S, Shiba H, Moritomo T, Nakanishi T. Antiviral protection mechanisms mediated by ginbuna crucian carp interferon gamma isoforms 1 and 2 through two distinct interferon gamma-receptors. J Biochem., 150巻, 2011年, 635-648頁.
- Arakawa T, Masuhiro Y, Kamiya Y, Kojima H, Hanazawa S. Identification of significant regions of transcription factor DP-1 (TFDP-1) involved in stability/instability of the protein. Biochem Biophys Res Commun., 397巻, 2010年, 345-349頁.

### 著書/Books

- 舩廣善和、羊土社、「目的別で選べる遺伝子導入プロトコール」(実験医学別冊)、2012 年、全 252 ページ、担当 ; 83-89 ページ
- 山本祐司・古庄律・五十嵐庸・和田政裕・真野博・佐藤隆史・目崎喜弘・大森一二・柳澤純・藤村亜紀子・村山明子・大家祥平・高田伊知郎・加藤久典・大竹史明・武山健一・関根圭輔・舩廣善和・北川浩央・伊藤紗弥・金美善・福田亨・長岡功・藤山沙理・山本陽子・松本高広、加藤茂明(編集)、光生館、「現代栄養学を理解するための分子生物学入門」2010 年、全 234 ページ

### 知的財産：特許出願/Intellectual Properties

- 特願 2009-122552  
発明者 ; 舩廣善和、花澤重正  
発明の名称 ; 「タンパク質療法や抗体療法に応用可能なプロテアソームによるタンパク質分解を阻害する酸性アミノ酸から成るモチーフの確立」  
出願人 ; 学校法人日本大学  
出願日 ; 2009 年 5 月 20 日
- 国際特許出願 PCT / JP2009 / 070081 ; N002P08005  
発明者 ; 舩廣善和、花澤重正  
発明の名称 ; 「タンパク質療法や細胞の分化/未分化制御、抗体療法に応用可能な細胞内でのタンパク質の安定化を可能にする酸性アミノ酸からなるモチーフの確立」  
出願人 ; 学校法人日本大学  
出願日 ; 2009 年 11 月 20 日
- 特願 2009 - 077375  
発明者 舩廣善和、花澤重正  
発明の名称 「レチノイン酸受容体 $\alpha$ を含む融合タンパク質」  
出願人 ; 学校法人日本大学  
出願日 ; 2009 年 3 月 26 日

### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

- 科学研究費補助金基盤(C)、日本学術振興会、研究期間 2012-2014 年度、資金額 ; 2012 年度 : 1820 千円 (直接経費 : 1400 千円, 間接経費 : 420 千円) 2013 年度 : 1820 千円 (直接経費 : 1400 千円, 間接経費 : 420 千円) 2014 年度 : 1820 千円 (直接経費 : 1400 千円, 間接経費 : 420 千円)、課題名「分解耐性型細胞膜透過性タンパク質による細胞分化/寿命制御システムの開発」

2. 科学研究費補助金若手(A), 日本学術振興会, 研究期間 2009-2010 年度, 資金額; 総額 2379 万円 (直接経費 1830 万円), 課題名「癌抑制のための腫瘍関連因子活性調節系の確立」

### 3.3. 松下 祥子/Sachiko Matsushita

#### 論文/Papers

1. "Pore Size Dependence of Self-Assembled Type Photonic Crystal on Dye-Sensitized Solar Cells Efficiency utilising Chlorine e6," George Kato, Chie Nishiyama, Takashi Yabuta, Masahiro Miyachi, Takuya Hashimoto, Toshihiro Isobe, Akira Nakajima, Sachiko Matsushita, *J. Porous Mater.*, in press.
2. "Gas Separation using Knudsen and Surface diffusion I: Preparation of Epoxy/Porous SiO<sub>2</sub> Composite," T. Isobe, M. Nishimura, S. Matsushita, A. Nakajima, *Microporous Mesoporous Mater.*, 183, 201-206 (2014).
3. "Sliding of Water Droplets on Smooth Hydrophobic Silane Coatings with Regular Triangle Hydrophilic Regions," A. Nakajima, Y. Nakagawa, T. Furuta, M. Sakai, T. Isobe, S. Matsushita, *Langmuir* 29, 9269-9275 (2013).
4. "Preparation and gaseous acetaldehyde decomposition of porous spherical Co-doped SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> hybrid particles," A. Nakajima, N. Hotsuki, T. Isobe, S. Matsushita, *Mater. Lett.*, 107, 185-188 (2013)
5. "SiO<sub>2</sub>-Au core-shell petal-like structure with controlled bridge length," Shiomi Saito, Takumi Sannomiya, Takumi Miyamoto, Toshihiro Isobe, Akira Nakajima, and Sachiko Matsushita, *Colloid. Surf. A*, 436, 930-936 (2013).
6. "Preparation of Mesoporous Silica Monoliths doped with Titanium Clusters," T. Nogawa, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, *Chem. Lett.*, 42, 354-356 (2013).
7. "Preparation and Gas Permeability of the Surface-modified Porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramic Filter for CO<sub>2</sub> Gas Separation," T. Isobe, M. Shimizu, S. Matsushita, A. Nakajima, *J. Asian Ceram. Soc.*, 1, 65-70 (2013).
8. "Spontaneous interfacial tension changes at the interface of a ZnCl<sub>2</sub> nitrobenzene solution and aqueous stearyltrimethylammonium chloride solution," Y. Tsuruki, S. Yoneda, Y. Shibuya, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, *Colloid. Surf. A.*, 429, 31-37 (2013).
9. "Preparation of a Porous Magnetic Filter for O<sub>2</sub> Gas Concentration," T. Isobe, K. Yanagisawa, S. Matsushita, A. Nakajima, *J. Ceram. Soc. Japan.*, 121 [3], 313-316 (2013)
10. "Adsorption and Adhesion of Poly(vinyl alcohol) and Poly(ammonium acrylate) as Organic Additives for Wet Mold Processing of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>," T. Isobe, M. Nakanome, K. Nakazono, S. Matsushita, A. Nakajima, *Ceram. Int.*, 39[4], 3857-3864 (2013).
11. "Effect of Partial UV Illumination on a Mixture of Water and a Methylene Blue Solution in a Microchannel Coated with TiO<sub>2</sub>" M. Sakai, Y. Morii, D. Kobayashi, T. Furuta, T. Isobe, S. Matsushita, A. Fujishima, A. Nakajima, *Appl. Surf. Sci.*, 265, 925-928 (2013).
12. "Preparation and Photocatalytic Activity of Porous Spherical TiO<sub>2</sub> Particles Comprised of H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub> in Hydrophobic Nanopores," K. Yasui, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima, *J. Mater. Sci.*, 48, 2290-2298 (2013).
13. "Ultrasonication Effects on the Visible-light Photocatalytic Activity of Au-modified TiO<sub>2</sub> Powder," T. Nogawa, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima, *Mater. Lett.*, 90, 79-82 (2013).
14. "Preparation and catalytic activity of metaloxide spherical particles using organic monolith template," S. Matsushita, T. Nogawa, T. Isobe, A. Nakajima, *Polymer Preprints, Japan*, 61, 2661-2662 (2012)
15. "SF<sub>6</sub> based Deep Reactive Ion Etching of (001) Rutile TiO<sub>2</sub> Substrate for Photonic Crystal Structure with Wide Complete Photonic Band Gap," A. Matsutani, M. Hayashi, Y. Morii, K. Nishioka, T. Isobe, A. Nakajima and S. Matsushita, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 51, 098002 (2012).

16. "Preparation and Visible-light Photocatalytic Activity of Au- and Cu-modified TiO<sub>2</sub> Powders," T. Nogawa, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima, *Mater. Lett.*, 82, 174-177 (2012).
17. "Direct Observation of the Wetting Mode Transition during Evaporation of Water Droplets on Superhydrophobic Surfaces with Random Roughness Structure," T. Furuta, T. Isobe, M. Sakai, S. Matsushita, A. Nakajima, *J. Jpn. Colour. Mater.*, 85[5], 191-195 (2012).
18. "Anion-Specific Effects on the Interaction Forces between Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Surfaces and Dispersibility of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> colloids in Electrolyte Solutions," T. Isobe, Y. Nakagawa, M. Hayashi, S. Matsushita, A. Nakajima, *Colloid. Surf. A*, 397, 233-237 (2012).
19. "Wetting Mode Transition of Water Droplets by Electrowetting on Highly Hydrophobic Surfaces Coated with Two Different Silanes," T. Furuta, M. Sakai, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima, *Chem. Lett.* 2012, 41, 23-25.
20. "Wetting Mode Transition of Nanoliter Scale Water Droplets during Evaporation on Superhydrophobic Surfaces with Random Roughness Structure," T. Furuta, T. Isobe, M. Sakai, S. Matsushita, A. Nakajima, *Appl. Surf. Sci.*, 2012, 258, 2378-2383.
21. "Preparation of Porous Spherical ZrO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Composite Particles using Templating and Its Solid Acidity by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Treatment," S. Uchiyama, T. Isobe, S. Matsushita, K. Nakajima, M. Hara, A. Nakajima, *J. Mater. Sci.*, 2012, 47, 341-349.
22. "Six-rayed star-like nanostructures in prospective plasmonic devices," T. Miyamoto, S. Saito, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, *Chem. Comm.*, 48 (11), 1668-1670 (2012).
23. "Activation of the spontaneous motion of a nitrobenzene droplet by chlorobenzene blending," S. Matsushita, S. Tanaka, K. Yoshida, K. Kobayashi, Y. Tsuruki, Y. Shibuya, T. Isobe, and A. Nakajima, *Colloids and Surfaces A.*, 2012, 395, 232-239.
24. "Wettability Conversion and Surface Friction Force Variation of Polycrystalline Rutile Ceramics under UV Illumination," K. Okudaira, T. Kato, T. Isobe, S. Matsushita, T. Kogure, A. Nakajima, *J. Photochem. Photobiol.*, 2011, 222, 1.64-69
25. "Spontaneous motion of a nitrobenzene-chlorobenzene droplet in aqueous cationic surfactant solution: Effect of electron withdrawing group," Sachiko Matsushita, Shusuke Tanaka, Kaori Yoshida, Kei Kobayashi, Yuta Tsuruki, Yohey Shibuya, Toshihiro Isobe, and Akira Nakajima, *Colloids and Surfaces A.*, DOI:10.1016/j.colsurfa.2011.12.036.
26. "Six-rayed star-like nanostructures in prospective plasmonic devices," T. Miyamoto, S. Saito, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, *Chem. Comm.*, DOI:10.1039/C2CC16353E.
27. "Comparison of the Photoelectrochemical Characteristics of Dye-Sensitized Inverse-Opal electrodes Prepared by Various Liquid-Phase Methods," S. Matsushita, C. Nishiyama, G. Kato, A. Nakajima, T. Isobe, and T. Hashimoto, *J. New Mat. Electr. Sys.*, 2011, 14, 229-236.
28. "Enhanced light diffraction from self-assembled double-layer colloidal crystals", Sachiko Matsushita, Toshihide Takagi, Keita Kamimura, Takeshi Kasaya, and Hideki T. Miyazaki, *J. Appl. Phys.* 2011., 110, 063104.
29. "Preparation and Visible-light Photocatalytic Activity of Au-supported Porous CeO<sub>2</sub> Spherical Particles Using Templating," A. Nakajima, T. Kobayashi, T. Isobe, S. Matsushita, *Mater. Lett.* 2011, 65, 3051-3054.
30. "Sliding of Water Droplets on Hydrophobic Surfaces with Various Hydrophilic Region Sizes," T. Furuta, M. Sakai, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima, *Langmuir* 2011, 27, 7307-7313.
31. "Photocatalytic Activity and Its Stacking Order Dependence of Transparent 12 Tungsto(VI) Phosphoric Acid-Brookite Hybrid Films," K. Prueitharenun, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima, *Appl. Catal. A Gen.* 2011, 399, 22-27.
32. "Self-Assembled Monolayers Using Large-Size Polystyrene Particles," Miho Kawai, Kyohei Takano, Akira Nakajima, Toshihiro Isobe and Sachiko Matsushita, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2011, 539, 33-39.
33. "Ring Structures prepared by Self-Assembled Particle Layers," Asagi Hashimoto, Akira Nakajima, Toshihiro Isobe and Sachiko Matsushita, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 2011, 539, 266-274.

34. "Full Photonic Band Gap of TiO<sub>2</sub> Photonic Crystals Filled with Electrolyte for Prospective Dye-Sensitized Solar-Cells, Sachiko Matsushita, Ondine Suavet, and Hideomi Hashiba, *Electrochimica Acta*. 2010, 55, 2398-2403.
35. "Electric current generation by camphor boats," Yohei Shibuya and Sachiko Matsushita, *Mol. Cryst., Liq. Cryst.* 2009, 504, 27 – 34.
36. "Induced-Current Generated System Using the Chemomechanical Transduction at the Nitrobenzene/Water Interface", Sachiko Matsushita, Kaori Yoshida, Tetsuya Sato, and Yoshihiro Suga, *Chem. Lett.* 2009, 38, 110-111.
37. "Calculation of photonic energy bands of TiO<sub>2</sub> hollow spherical arrays," Amandine Buffaz, Eri Oikawa, Takuya Hashimoto, and Sachiko Matsushita, *J. Nanosci. Nanotech.*, 2009, 9, 185-189.

#### 著書/Books

1. 松下祥子「自己集積による球状粒子集積体作製技術の研究現状」化学経済(2011年11月号, p.24)
2. 松下祥子「界面活性剤の脱吸着を利用したケモメカニカル現象」*Colloid & Interface Communication*, Vol.36, No.2, 15-16(2011)
3. 松下祥子, 橋本麻希, "微粒子自己集積体を利用したプラズモニクスデバイスの作製" in 「プラズモニクスー光・電子デバイス開発最前線」, 株式会社エヌ・ティー・エス, pp.257-267(2011).
4. 松下祥子「自己集積を利用したナノメタル材料配列ーメタマテリアルへの挑戦」化学工業 2011年5月号, vol.62, pp. 59-63.
5. 松下祥子「界面活性剤の力を借りたデバイス作り」化学と教育, Vol.59, No.1, 16-19 (2011)
6. 松下祥子, 河井妙保, 橋本麻希「単分散微粒子の固体表面上への集積制御」色材協会誌, Vol.84, No.1, 7-11 (2011)
7. 松下祥子「界面活性剤の力を借りたデバイス作り」*科学と教育*, in press.
8. 松下祥子, 河井妙保, 橋本麻希, 「単分散微粒子の固体表面上への集積制御」色材協会誌, Vol.84 No.1 (2011) in press.
9. 松下祥子「自己組織化ハンドブック」一項分, 分担執筆(株式会社エヌ・ティー・エス)(2009)
10. 松下祥子「第3版 現代界面コロイド科学の基礎」(丸善株式会社)一節分(2009)
11. 松下祥子「科学者カガクに憂う」化学, 2009年8月号, p.11(化学同人)

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 松下祥子「役立たずと言われたコロイド結晶が役立つまで」未来のコロイドおよび界面化学を創る若手討論会、ウィルあいち、2013年9月20日
2. 松下祥子「近接場光学への応用を念頭にしたコロイド結晶研究」第64回コロイドおよび界面化学討論会 科学奨励賞受賞講演、名古屋工業大学、2013年9月19日
3. S. Matsushita, T. Nogawa, T. Isobe, A. Nakajima, "Preparation of Mesoporous Oxide Monoliths and the Photocatalytic Activity"(Invited) The 5th International Conference as th 2012 OCARINA Annual International Meeting, Mar.4-6, 2013, Osaka City Univ., Japan
4. S. Matsushita, T. Hashimoto, A. Matsutani, and A. Nakajima, "Introduction of Photonic Crystal into Dye-sensitized Solar cells utilising a naturally-occurring dye," 2012 EMN (Energy Materials and Nanotechnology) Fall Meeting, Nov. 19-Dec. 2, 2012 (Las Vegas, Nevada, USA).
5. 松下祥子「自己集積・自己組織から協同現象へ～集団が産み出す機能デバイス」応用化学談話会、東京大学、2012年3月3日.
6. 松下祥子「2次元・3次元コロイド結晶の機能性材料への応用」高分子研究会、徳島大学、2011年12月3日
7. 松下祥子, 「博士→母+工学系准教授な生き方」, 静岡サイエンススクール, 平成23年11月20日
8. 松下祥子「コロイド溶液から生まれるパターンとリズム」第28回ソフト溶液プロセス研究

- 会，東京工業大学，2011年7月20日
9. 松下祥子，“とある女性科学者のなるまで，なつてから”第2回女子生徒による科学研究発表交流会，福山大学社会連携券研究推進センター，平成22年10月30日．
  10. 松下祥子，“研究計画調書を見比べて想うこと ver2”，日本大学生産工学部，平成22年9月2日．
  11. 松下祥子，“研究計画調書を見比べて想うこと ver2”，日本大学研究費獲得戦略講演会，日本大学理工学部，平成22年7月26日．
  12. 松下祥子，“球状微粒子を基とした自己集積体製作～マテリアルへの挑戦”第8回プラズモニクスシンポジウム，島津製作所，平成22年5月26日．
  13. 松下祥子，“球状微粒子集積による光機能の発現”，日本学術振興会，分子ナノテクノロジー第174委員会第31回研究会，中央大学，平成21年12月8日．
  14. 松下祥子，“微粒子の自己集積を利用した光学デバイス作製”，第13回ナノデバイス研究会，東京工業大学，平成21年11月20日．
  15. 松下祥子，“新米ママ，実験系研究室を運営する”京都大学，平成21年11月6日．
  16. 松下祥子，平成21年度エンカレッジセミナーin 静岡，静岡大学，平成21年11月12日．
  17. 松下祥子，“研究計画調書を見比べて想うこと”，日本大学工学部研究費獲得戦略講演会，日本大学工学部，平成21年9月25日．
  18. 松下祥子，“Dye-sensitized photonic-crystal electrodes”，Aug.28,2009(Center for Next Generation Dye-sensitized Solar Cells, Hanyang Univ.)
  19. 松下祥子，“研究計画調書を見比べて想うこと”，日本大学研究費獲得戦略講演会，日本大学歯学部，平成21年7月15日．
  20. 松下祥子，“非平衡現象をデバイス化～新しい省エネルギー技術を目指して～”科学技術振興調整費女性研究者支援モデル育成“キャリアウェイ・ユニバーサル化日大モデル”事業，第11回男女共同参画・WLB意識改革講演会，日本大学理工学部，平成21年6月20日．

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 松下祥子，平成25年度 村田学術振興財団“ボトムアップ手法による金属ナノデバイス作製とそのセンシング能評価”1,500,000円
2. 松下祥子，平成23年度 財団法人 徳山科学技術振興財団“酸化チタン-電解液系フルフオトニックバンドギャップ構造体の作製”，2,000,000円
3. 松下祥子，“フルフオトニックバンドギャップを持つフルフオトニック結晶ビーカーの作製”，平成22年度（第41回）研究助成金，財団法人大倉和親記念財団，1,000,000円．
4. 松下祥子，“自発的界面張力変動が生じる物質の特定および本現象の解明”平成21-23年度，科学技術研究費若手B，課題番号2170024，3,620,000円
5. 松下祥子，平成21-23年度 科学研究費補助金若手B 課題番号 2170024「自発的界面張力変動が生じる物質の特定および本現象の解明」初年度182万円，22年度80万円，23年度100万円

#### その他（受賞，メディア等）：学外/Others

1. 松下祥子，“近接場光学への応用を念頭にしたコロイド結晶研究”平成25年度 日本化学会 コロイドおよび界面化学部会 科学奨励賞受賞(2013)
2. 松下祥子，第86回日本セラミックス協会通常総会 2012J CerSJ 優秀論文賞
3. 松下祥子，「女性化学者の道を拓く，若い世代へのメッセージ」，化学経済，2011年12月，p.40-41.
4. 松下祥子，「持続的成長を支える科学技術の革新」，化学工業日報2011年11月16日．
5. 松下祥子，「研究室運営と切迫流産」高分子，2010年8月号，p.602
6. 松下祥子，「研究者ノート」化学，2010年8月号～2010年12月号
7. Excellent Student Poster Award, Korea-Japan Joint Forum, Fukuoka, Japan (Aug. 22-25, 2010)

### 3 4. 松本 宜明/Yoshiaki Matsumoto

#### 論文/Papers

1. Nakai K, Wada R, Tida S, Kawanishi T, Matsumoto Y. Modeling and simulation of orlistat to predict weight loss and weight maintenance in obesity patients. Drug Metab Pharmacokinet. 2013, accepted.
2. Kamei T, Aoyama T, Tanaka C, Nagashima T, Aoyama Y, Hayashi H, Nagase H, Ueno T, Fukuda N, and Matsumoto Y. Quantitation of Pyrrole-Imidazole Polyamide in Rat Plasma by High-Performance Liquid Chromatography Coupled with UV Detection. J Biomed Biotechnol. Vol. 2012 (2012), doi:10.1155/2012/715928.
3. Kajiwaru M, Ueno T, Fukuda N, Matsuda H, Shimokawa T, Kitai M, Tsunemi A, Fuke Y, Fujita T, Matsumoto K, Matsumoto Y, Ra C, Soma M. Development of pyrrole-imidazole polyamide targeting fc receptor common gamma chain for the treatment of immune-complex related renal disease. Biol Pharm Bull. 35(11):2028-35, 2012.
4. Aoyama T, Hirata K, Hirata R, Yamazaki H, Yamamoto Y, Hayashi H, Matsumoto Y. Population pharmacokinetics of fluconazole after administration of fosfluconazole and fluconazole in critically ill patients. J Clin Pharm Ther 37(3):356-63, 2012.
5. 石田潔正, 小鍛治由佳, 黒川恵美, 高田祥世, 田中宏昌, 青山隆彦, 松本宜明, “母集団薬物動態解析における診断プロットを用いたモデル診断の診断者の個人差に関する調査”, TDM研究 29(1):14-20, 2012.
6. Fukuda M, Komiyama Y, Mitsuyama K, Andoh A, Aoyama T, Matsumoto Y, Kanauchi O. Prebiotic treatment reduced preneoplastic lesions through the downregulation of toll like receptor 4 in a chemo-induced carcinogenic model. J Clin Biochem Nutr 49(1):57-61, 2011.
7. Washio H, Fukuda N, Matsuda H, Nagase H, Watanabe T, Matsumoto Y, Terui T. Transcriptional inhibition of hypertrophic scars by a gene silencer, pyrrole-imidazole polyamide, targeting the TGF- $\beta$ 1 promoter. J Invest Dermatol 131(10):1987-1995, 2011.
8. Wan JX, Fukuda N, Ueno T, Watanabe T, Matsuda H, Saito K, Nagase H, Matsumoto Y, Matsumoto K. Development of a novel gene silencer pyrrole-imidazole polyamide targeting human connective tissue growth factor. Biol Pharm Bull 34(10):1572-1577, 2011.
9. Matsuda H, Fukuda N, Ueno T, Katakawa M, Wang X, Watanabe T, Matsui SI, Aoyama T, Saito K, Bando T, Matsumoto Y, Nagase H, Matsumoto K, Sugiyama H. Transcriptional inhibition of progressive renal disease by gene silencing pyrrole-imidazole polyamide targeting of the transforming growth factor-  $\beta$  1 promoter. Kidney Int 79(1):46-56, 2011.
10. Aoyama T, Kosugi T, Matsuo K, Kimura I, Obayashi M, Kurokawa M, Igarashi M, Yamasaki J, Ishida Y, Matsumoto Y. Population Pharmacokinetic Analysis of Pilsicainide in Patients with Cardiac Arrhythmias, Jpn. J. TDM 27(2):85-97, 2010.
11. Aoyama T, Omori T, Watabe S, Shioya A, Ueno T, Fukuda N, Matsumoto Y. Pharmacokinetic/ Pharmacodynamic modeling and simulation of rosuvastatin using an extension of the indirect response model by incorporating a circadian rhythm. Biol Pharm Bull 33(6):1082-7, 2010.
12. Shimazaki N, Hayashi H, Umeda K, Aoyama T, Iida H, Matsumoto Y. Clinical factors affecting the efficacy of vancomycin in methicillin-resistant Staphylococcus aureus pneumonia. Int J Clin Pharmacol Ther 48(8):534-541, 2010.
13. Nagashima T, Aoyama T, Yokoe T, Fukasawa A, Fukuda N, Ueno T, Sugiyama H, Nagase H, Matsumoto Y. Pharmacokinetic modeling and prediction of plasma pyrrole-imidazole polyamide concentration in rats using simultaneous urinary excretion data. Biol. Pharm. Bull. 32(5):921-7, 2009.

#### 著書/Books

1. Kamei T, Aoyama T, Ueno T, Fukuda N, Nagase H, Matsumoto Y. Pyrrole-Imidazole Polyamides for Gene Therapy: Bioanalytical Methods and Pharmacokinetics (Edited by: Xu-bo Yuan). Non-Viral Gene Therapy. pp.679-696, In-Tech Open Access Publisher, Rijeka, 2011.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 松本宜明, “薬物治療の適正化のために薬物動態から薬効を予測する, PK/PD, パラメータの理解とシミュレーションを可能にするハンズオンセミナー” 第52回薬物治療モニタリング研究会, 特別ゼミナール, 応用コース [II] 2012年9月30日東京.
2. 松本宜明, “薬物動態の基礎”, 第34回日本中毒学会総会・学術集会, クリニカル・トキシコロジスト認定セミナー, 2012, 7月28日, 新宿.
3. 松本宜明, “TDMによる創薬・育薬のイノベーション—有効性と安全性を高めるために—” 医療薬学フォーラム 2012 第20回クリニカルファーマシーシンポジウム, 2012年7月15日, 福岡.
4. 松本宜明, “前臨床と臨床の架け橋となる PK/PD 解析から M&S を理解する” 日本薬物動態学会, 第25回年会, ランチョンセミナー. 2010年10月9日, 東京.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 松本宜明「薬物動態試験における PK/PD 解析に関する研究」奨学寄付金 50万円 (日本たばこ産業株式会社) 2012年8月10日
2. 松本宜明「新薬創出プロセスのための PK/PD モデリングに関する研究」奨学寄付金 100万円 (中外製薬株式会社) 2012年5月22日
3. 松本宜明「新薬創出プロセスのための PK/PD モデリングに関する研究」奨学寄付金 100万円 (中外製薬株式会社) 2011年5月20日

#### その他 (受賞, メディア等) : 学外/Others

1. 日本薬学会誌平成24年ハイライト論文に選出. Kajiwara M, Ueno T, Fukuda N, Matsuda H, Shimokawa T, Kitai M, Tsunemi A, Fuke Y, Fujita T, Matsumoto K, Matsumoto Y, Ra C, Soma M., "Development of pyrrole-imidazole polyamide targeting Fc receptor common gamma chain for the treatment of immune-complex related renal disease. Biol. Pharm. Bull. 2012, 35, 2028-2035.
2. 薬事日報に掲載. 青山隆彦, 松本宜明, 薬事日報 2012年5月9日, 「研究戦略 YAKU 学—研究現場から臨床へ— 患者の役に立つ薬物動態研究を目指して」
3. 青山隆彦, 松本宜明, 「TDM 研究」優秀論文賞「T. Aoyama, T. Kosugi, K. Matsuo, I. Kimura, M. Obayashi, M. Kurokawa, M. Igarashi, J. Yamasaki, Y. Ishida and Y. Matsumoto, “Population pharmacokinetic analysis of pilsicainide in patients with cardiac arrhythmias”, 2011年6月18日.
4. Medical Tribune に掲載. 青山隆彦, 松本宜明, Medical Tribune 2010年4月1日, 「第39回日本慢性疼痛学会 慢性疼痛の各種薬物療法—有効性と問題点示す—アセトアミノフェン—至適投与で VAS 3点以上の鎮痛効果が」

### 35. 望月 章介/Shosuke Mochizuki

#### 論文/Papers

1. S. Mochizuki and T. Saito, "Intrinsic and defect-related luminescence of NiO", *Physica B* **404** (2009) 4850-4853.
2. S. Mochizuki, F. Fujishiro and S. Kano, "Photo-induced spectral change in CeO<sub>2</sub> and CeO<sub>2</sub>-based solid solution at room temperature" *Physica B* **404** (2009) 4858-4861.
3. S. Mochizuki and F. Fujishiro, "The photoluminescence properties and reversible photo-induced spectral change of CeO<sub>2</sub> bulk, film and nanocrystals" *physica status solidi (b)* **246** (2009) 2320-2328.

4. F. Fujishiro and S. Mochizuki, "Reversible photo-induced spectral change and defect creation in  $ZrO_2$ " *physica status solidi (c)* **6** (2009) 354-357.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. 望月章介, "希土類金属酸化物及びその他金属酸化物の光誘起現象" 第6回励起ナノプロセス研究会, 2010年11月2日, ビッグ・アイ国際障害者交流センター, 大阪.

### 3 6. 山崎 恒樹/Tsuneki Yamasaki

#### 論文/Papers

1. R. Ozaki and T. Yamasaki, "Distribution of Energy Flow by Dielectric Waveguide with Rhombic Dielectric Structure along a Middle Layer –Case of Compared with Deformed Rhombic Dielectric Structure–," *IEICE Trans. Electron*, **2013**, E96-C, 1, 68-72.
2. R. Ozaki and T. Yamasaki, "Distribution of Energy Flow by Dielectric Waveguide with Rhombic Dielectric Structure along a Middle Layer," *IEICE Electronics Express*, **2012**, vol.9, 7, 698-705.
3. R. Ozaki and T. Yamasaki, "Propagation Characteristics of Dielectric Waveguides with Arbitrary Inhomogeneous Media along the Middle Layer," *IEICE Trans. Electron*, **2012**, E95-C, 1, 53-62.
4. S. Ohnuki, T. Mochizuki, K. Kobayashi, and T. Yamasaki, "Optimization of Field Decomposition for a Mode Matching Technique," *IEICE Trans. Electron*, **2012**, E95-C, 1, 101-104.
5. S. Ohnuki, R. Ohsawa, and T. Yamasaki, "EM Scattering from Rectangular Cylinders with Various Wedge Cavities and Bumps", *IEICE Trans. Electron*. **2010**, E93-C (1), 77-80.
6. R. Ozaki, T. Yamasaki, and T. Hinata. "Scattering of Electromagnetic Waves by Dielectric Gratings with Dielectric Rectangular Cylinders Sandwiched between Two Multilayers", *IEEEJ Trans. Fundamentals and Materials*, Vol.129-A, No.10, pp.718-724, **2009**.

#### 著書/Books

1. 浜松芳夫編(山崎恒樹共著); 「一番わかる!電磁気学演習」, オーム社, 2013.(第1版)
2. 山崎恒樹: 電気学会編、電気学会 125 年史、「第 2 部 2-2 計算電磁気学」2013.

#### 招待講演/Invited Lectures

1. T. Yamasaki, "Scattering of Electromagnetic Waves by Inhomogeneous Dielectric Gratings Loaded with Parallel Perfectly Conducting Strips-Matrix Formulation of Point Matching Method -," *IEEE Dailhi Chapter Prof.E. K. Sharma 主催セミナー (University of Delhi South Campus)*, 2014 年 1 月 6 日, New Delhi, INDIA.
2. Professor T/EMC/BE Joint Conference(KJJC2012), EMT-1P, 2014 年 1 月 6 日, Seoul, Korea.
3. 山崎, 尾崎, "フォトニック結晶導波路による電磁波の散乱および導波特性," 電子情報通信学会 2012 ソサイエティ大会シンポジウム- CS-1. 電磁界解析における解析的手法の最近の進展, CS-1-2, 2012 年 9 月 富山大学 五福キャンパス.
4. R. Ozaki and T. Yamasaki, "Distribution of Energy Flow by Dielectric Waveguides Composed of Dielectric Circular Cylinders and Air-hole Type Circular Cylinders Array," 2013 Proc. Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC 2013), BEFKa-02, Taipei in Taiwan, September 3-7, 2013.
5. R. Ozaki and T. Yamasaki, "Propagation Characteristics and Distribution of Energy Flow by Dielectric Waveguide with Arbitrary Inhomogeneous Media in the Middle Layer," Proc. 14th International Conference on Mathematical Method in Electromagnetic Theory(MMET2012), P11-2, 9-17, 2012 年 8 月 29 日, Kharkiv, Ukraine.
6. T. Yamasaki, "Scattering of Electromagnetic Waves by Inhomogeneous Dielectric Gratings Loaded with Parallel Perfectly Conducting Strips-Matrix Formulation of Point Matching Method -," 2012 Korea-Japan EMT/EMC/BE Joint Conference(KJJC2012), EMT-1P, 2012 年 5 月 18 日, Seoul, Korea.



7. 山崎恆樹，“周期構造媒質の散乱・導波解析の基礎”，(社)応用物理学会，日本光学会主催 第37回冬期講習会「光学解析と解析モデルの構築—基礎理論と最適モデルの探求—，2011年1月20日，東京大学本郷キャンパス山の上会館，東京.

#### 外部資金の獲得状況：獲得研究費/Funding

1. 山崎恆樹、尾崎亮介，“エアホールで構成されたフォトニクス導波路の電磁界解析”，2013年日本大学量子科学研究所研究費，300,000円.
2. 山崎恆樹，“国際電波科学連合 B 分科会 2013 電磁界理論国際会議”，村田学術振興財団の研究助成金，540,000円.
3. 山崎恆樹、尾崎亮介，“エアホール形フォトニクス結晶導波路の電磁界解析”，2012年日本大学量子科学研究所研究費，300,000円.
4. 山崎恆樹、尾崎亮介，“フォトニクス結晶導波路の電磁界解析”，2011年日本大学量子科学研究所研究費，300,000円.
5. 山崎恆樹、大貫進一郎，尾崎亮介，細野裕行，“電磁波の散乱・導波問題における高精度電磁界解析法に関する研究”，2010年日本大学量子科学研究所研究費，300,000円.
6. 山崎恆樹、大貫進一郎，尾崎亮介，細野裕行，“不均質媒質系における電磁波の散乱・伝搬解析に関する研究”，2009年日本大学量子科学研究所研究費，300,000円.

#### その他（受賞，メディア等）：学外/Others

1. 2008年8月；電気学会優秀論文発表賞 受賞（共同研究者 尾崎亮介助手）  
尾崎，山崎，日向：エアホール型誘電体導波路の伝搬特性—エアホール断面の影響—，電気学会電磁界理論研究会資料，MW2007-47，2007.
2. 2010年3月；電子情報通信学会学術奨励賞 受賞（共同研究者 尾崎亮介助手）  
尾崎，山崎，日向：方形誘電体を中間層に持つ多層誘電体グレーティングによる電磁波の散乱，電子情報通信学会総合大会講演論文集，C-1-36，3月，2009.  
尾崎，山崎，日向：多層誘電体グレーティングによる電磁波の散乱—中間層に方形誘電体を持つ場合—，電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集，C-1-22，9月，2009.
3. 2013年9月；電気学会優秀論文発表賞（基礎・材料・共通部門表彰）受賞（共同研究者 尾崎亮介助教）  
尾崎，山崎：中空層にひし形誘電体構造をもつ誘電体導波路の伝搬特性とエネルギー分布，電気学会電磁界理論研究会資料，EMT-12-15，1月，2012.

#### シンポジウムの開催等/Others

1. 山崎恆樹，実行委員会委員長，URSI Commission B 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory (EMTS 2013)，International Conference Center Hiroshima，Hiroshima，Japan，May 20-24，2013.

外部評価委員による評価 / Reviews by the Advisors

物質・材料研究機構, 世界トップレベル研究拠点プログラム  
国際ナノアーキテクトニクス研究拠点  
主任研究者

有賀 克彦 博士

私は、このプロジェクトは大成功であったと評価します。直接的な面では、物理・生物・化学の各分野においてナノ物質・ナノ構造を基盤とした画期的な成果が次々と生まれたからです。これは客観的に見て疑いようがありません。このプロジェクトの素晴らしい側面は、成果のみならず研究のモチベーションの相乗効果にもあると考えます。ある分野で成果が出ると、それを励みにして別分野で成果が出るようになるという大変よい流れをこのプロジェクトに感じました。研究というものは、成功する・失敗するという現実的な面が必ずあります。その中で、成功の喜びを共有する点になるべく強調し、悪い意味での競争意識を減らすことがプロジェクト全体の成功には必要です。その点から考えると、本プロジェクトでは、「ナノ」という共有意識を保ちつつ、価値観がある程度離れた多様な研究テーマを展開することにより、心地よく成功のモチベーションを持つことができたのだと思います。

大団円を迎えた今だから言えることかもしれませんが、このプロジェクトは企画時に既に成功が約束されていたのかもしれませんが、それは、

- 1) ナノという皆が共有して持てる概念を前面に出した。
- 2) 無駄な競い合いにならないような多様な研究テーマを設定した。
- 3) 成功という現実面を引っ張ることができる成果を確実に期待し得る強力な研究グループを加えておいた。

と企画要素が有効であったからです。研究を成功させた研究者の努力とともに、プロジェクトを企画したリーダーの卓越した手腕にも敬意を表したいと思います。

京都大学名誉教授、大阪大学招聘教授  
日大工学部次世代工学技術研究センター上席研究員

齋藤 烈 博士

### 研究全般の評価

日本大学独自の学術戦略プロジェクトとして初めて大型研究プロジェクトが発足し、5年間の研究が終了したが、その成果は厳しい目で評価したとしても大成功と言える程見事なものである。この報告書を見ればその成果は一目瞭然である。日本大学のサイエンスのクオリティがいかに高いかを内外に示す資料として、この報告書を広く学内外に配布すべきである。

情報、エネルギー、医療の各重点項目について、学部、学科間の壁を取り払って行った研究の成果であり、計画当初の目論みが達成されたと言っても過言ではないだろう。5年間で発表論文 586 報、特許 31 件、若手の外部からの受賞件数 31 件、35 回に及ぶ学内シンポジウム、多数の新聞記事や学内新聞記事など、日本大学のサイエンスのパワーを内外に発信する事ができている。さらに、この N. プロジェクト研究を足がかりに、多数の外部資金の獲得にも成功している。また、多くの若い研究者がこのプロジェクトで育っている事も確かである。

ここで私が強調したい事は、大学における教育とは、専門学校や学習塾等の教育とは異なり、研究に裏付けされた教育の事であり、大学では研究と教育は車の両輪でなければならないという極くあたりまえの事なのである。優れた研究者は、100 パーセント優れた教育者なのである。日大にはこのプロジェクトに参加している研究者のような優れた研究実績を持つ教員が沢山いる事をこの報告書は如実に示している。業績欄を見ても、一例だが、伊藤彰義、井上修一郎、大月 穰、越永従道、相馬正義、高橋 悟、塚本 新、永瀬浩喜、西宮伸幸、福田 昇、松下祥子（敬称略）らの研究業績は、東大、京大の教員の業績と比べても何ら遜色はない。日大の執行部、全ての教員はこのプロジェクト報告書をしっかり読んで、今後日大においていかに立派な学部間学術研究を行うかは、これからの日大の生き残り競争にいかに関与するかを認識してもらう必要がある。今後このような学部間、学科間の共同研究は、外部資金を獲得して行わねばならない事は言うまでもない。

### 医療班の評価

福田、永瀬らを中心とする「遺伝子制御薬ピロロール・イミダゾール(PD)ポリアミドの創薬開発研究」はこの5年間で着実な進展をとげ、癌や進行性腎障害などの難治疾患の治療薬としての研究が進み、小児がん、前立腺がんなどへの効果もみられた。手術後の皮膚の軟膏治療薬としの実用化のめども見えてきた。いずれにせよ、遺伝子をターゲットに論理的にデザインされた分子が、実際に創薬に結びついた例は、世界的に見ても全く例がなく、是非とも日大発の創薬第一号として、実用化にむすびつけて欲しい。

## 北海道大学電子科学研究所

末宗 幾夫 博士

日本大学では健やかな未来を実現するための課題として、人間の健康、エネルギーと環境、情報化がキーとなる問題であると捉え、これを特にエネルギーや情報を運ぶ「光」とナノ物質との相互作用に基づく最先端技術に焦点を当て、ナノ科学、ナノ技術を基盤とする医療分野、エネルギー分野、情報分野の専門家が連携してこれらの課題を解決するための応用技術の開発を目指して、これまでナノ物質を基盤とした光・量子技術に関する最先端研究プロジェクトを5年間推進され、毎年量子情報、情報記録、医療分野等の分野ですばらしい成果をあげてこられました。

私が専門的に関わりのある分野では、平成21年度には、円偏光レーザパルスで磁気情報の記録と読み出しを30ps以内で行うという、現在の磁気記録に比べれば圧倒的に速い記録速度を記録し、情報記録分野での新技術を開発されました。量子情報分野では、ルビジウム原子で安定化させた偏光量子もつれ光子対光源の開発、量子効率82%の高い検出効率を持つ光子数識別器を開発されています。その後、原子レベルで情報を超高速光記録する技術へとつながる数100フェムト秒で原子スピンを反転する技術の開発、2GHzの高速変調単一光子検出器を用いたこれまでの記録を超える高速・長距離の量子情報伝送、量子中継技術による量子通信距離の拡大に欠かすことのできない技術である量子もつれ交換で世界最高の2光子明瞭度を実現するなどの成果を、次々と生み出してこられました。また水素エネルギー利用の要となる燃料電池の試作につながる成果もあげてこられました。

プロジェクトの推進にあたっては、研究チームごとの研究だけではなく、学部横断的な共同研究が具体的に進んでおり、またこのプロジェクトを契機として新たなプロジェクトがスタートすることによって、今後さらなる展開が期待されます。また若手人材の育成といった観点からも、若手研究者の活性化を示す受賞が相次いでおり、高く評価されます。

## 参考資料 / Supplementary Materials

1. 日本大学新聞, 2008.12.20 「研究指定決まる」
2. 日本大学広報, 2009.1.9 「研究戦略事業第1号決まる」
3. 理工研 News, 2009.3 「日本大学学術研究戦略プロジェクト戦略推進事業」
4. 日本大学新聞, 2009.3.20 「医-遺伝的構造図作製に成功」
5. KIZUNA 「絆」, 2009.4 「研究戦略事業第1号決まる」
6. Physics, 2009 Viewpoint
7. The Nihon University Press, 2009.4
8. 日刊工業新聞, 2009.4.17 「日大が戦略プロ始動」
9. 東洋経済, 2009.6 「日本大学, 学部間をまたぐ大型プロジェクトがスタート」
10. 第1回 N.研究プロジェクトシンポジウム, 2009.9.18 ポスター
11. 日本大学新聞, 2009.10.20 「第1回シンポ開催」
12. 日本大学広報, 2009.10.22 「N.プロジェクトが初のシンポ開催」
13. サイエンスアゴラ (お台場) 2009.10.31 パネル
14. SOMEONE, 2009 冬号 「「光合成」から生み出される新しい技術」
15. 日本大学広報, 2010.2.1 「N.プロジェクトが初のシンポ開催」
16. 日刊工業新聞, 2010.2.12 「光子検出世界最速で」
17. 日刊工業新聞, 2010.7.8 「光通信に量子計算」
18. 配位プログラミング, 2010.7.15 News Letter
19. 卓越する大学 2011 大学通信
20. 日本大学新聞, 2010.4.20 「未来創造 N.プロジェクト1-ナノテクに独自の取り組み」
21. 日本大学新聞, 2010.5.20 「未来創造 N.プロジェクト2-“光で書く”技術を模索」
22. 日本大学新聞, 2010.6.20 「未来創造 N.プロジェクト3-情報技術の最終形態」
23. 日本大学新聞, 2010.7.20 「未来創造 N.プロジェクト4-X線・薬物でがんに挑む」
24. 日本大学新聞, 2010.8.20 「未来創造 N.プロジェクト5-つかめ太陽エネルギー」
25. 第2回 N.研究プロジェクトシンポジウム, 2010.9.18 ポスター
26. 日本大学広報, 2010.10.15 「第2回シンポ N.プロジェクト」
27. NUBIC NEWS 2010 OCTOBER 研究室紹介
28. 理工研ニュース, 2011.3.10 「平成22年度理工学部学術賞」(浅井朋彦)
29. 日刊工業新聞, 2011.5.16 「単一光子検出器 半導体使い開発」
30. 日本大学広報, 2011.6.15 「半導体製の単一光子検出器開発」
31. 日本大学新聞, 2011.6.20 「世界最高速の光子検出器井上教授らが共同開発」
32. 日経プレスリリース, 2011.6.27 「NICT, 光通信理論のビット誤り率限界(ショット雑音限界)を打破することに成功」
33. Fuji Sankei Business i, 2011.6.28 「宇宙空間でも大容量光通信 情報通信研究機構が受信機開発」
34. SANKEI BIZ, 2011.6.28 「宇宙空間でも大容量光通信 情報通信研究機構が受信機開発」
35. Laser Focus World Japan, 2011.6.28 「NICT, 光通信理論のビット誤り率限界を世界で初めて打破」
36. 学術講演会 N.研究プロジェクト特別セッション, 2011.11.26 ポスター
37. 第3回 N.研究プロジェクトシンポジウム. 2012.2.20 ポスター

38. 電経新聞, 2012.2.27 「量子技術で世界的な成果」
39. 電波タイムズ 2012.3.5 「OKI と日大 世界最高純度量子もつれ光源を開発」
40. 日本大学広報 2012.3.15 「第 3 回 N.プロジェクト」
41. PhotonicsSpectra 2012.6 「OKI Develops Light Source」
42. 第 4 回 N.研究プロジェクトシンポジウム, 2012.9.15 ポスター
43. 日本大学広報 2012.10.15 「オール日大の研究力向上目指し N.研究シンポ」
44. 日本大学広報 2013.1.9 「初夢対談」(加野浩一郎)
45. 日本大学広報, 2013.2.1 「希土類化合物の磁性および新超伝導物質の探索」(高野良紀)
46. 新技術説明会, 2013.6.11 パンフレット
47. 日本大学新聞, 2013.6.20 「新技術説明会」
48. 日本大学広報, 2013.7.15 「新技術説明会を開催」
49. 大学の約束 2013 年版
50. 日本大学広報, 2013.10.1 「新技術説明会を開催」
51. 日本大学広報, 2013.10.15 「大田区の産学連携フェアにブースを出展」
52. 日本経済新聞, 2013.10.18 「日大などが新薬候補」
53. 第 5 回 N.研究プロジェクトシンポジウム, 2013.12.21 ポスター
54. 日本大学新聞, 2014.1.20 「N.プロジェクト成功裏に幕」

# 指定研究 決まる

## 「光・量子技術の極限追求」

本学学術研究戦略プロジェクトの一環である戦略推進事業（ユニバース型）の指定研究に、理工学部・大月稔准教授（超分子化学）が代表を務める「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」が選ばれた。期間は最長5年、研究費は年間1億2000万円。理工学部のほか文理、医、生物資源科、薬学部なども参画、本学が一丸となって支援する。研究は2009年4月に着手する。



大月 稔准教授

選ばれた研究は、物質1億分の1の穴を開ける基本である原子の配列を自在に制御して、望みの性質を持つ材料を開発したり、ナノサイズ（10

億分の1の穴を開ける基本である原子の配列を自在に制御して、望みの性質を持つ材料を開発したり、ナノサイズ（10

「情報」の分野では、より多くの情報を高速で記録できる技術などの開発を目指す。ディスクの表面にある磁石を小さくすれば、より多くの情報を記録でき、光を当てただけで磁石の向きを変え

「エネルギー」の分野では、次世代の太陽電池として期待される色素増効率の高い発電を目標とする。

「医療」の分野では、がん治療の新薬開発などを行う。遺伝子を認識し、直接作用する人工分子を

大月准教授の話 学部の研究によって、日大発のインパクトある研究成果を社会に発信しよう

感太陽電池の実用化などを目標とする。色素増感太陽電池は発電コストが低いのが特徴だが、発電効率が向上が課題。色素の電子がエネルギーに変わるときに発光してしまうのが発電ロスの原因となっている。光を閉じ込める性質を持つ「フォトリソニック結晶」というナノ構造を電極に組み込むことで、効率的な発電を目指す。

「医療」の分野では、がん治療の新薬開発などを行う。遺伝子を認識し、直接作用する人工分子を作成する。人工分子にがん遺伝子を認識する機能を持たせれば、がん遺伝子の発現を抑えることができる。また人工分子に赤く発光する性質を持たせれば、体外からがん遺伝子の場所が分かり早期発見が可能になる。

同事業は、本学の総合力を結集した本学を象徴するプロジェクトと位置付けられている。これまでの、単に研究費を配分するだけの共同研究とは異なり、研究を通して躍動する日本大学」の姿を発信することが重視されているため、全学部を牽引した事業とされた。

掲載日付：2008年12月20日  
媒体：日本大学新聞 第1261号

# 研究戦略事業第1号決まる

## 学部横断ナノ科学で革新的成果を期待

「健やか未来の創造」

ことを目指す。

を合言葉にした学部横断的な学術研究戦略プロジェクトの第1号に、理工学部の大月穰准教授（超分子化学）を代表者とす

る「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」が指定された。5学部、大学院、量子研究所の研究者30人がかわる大型研究で、21年度スタート。毎年1億2000万円の本学研究費を最大5年間投入して、情報、エネルギー、医療分野で革新的な理論、技術、さらには製品を具体的な事実として社会に提供する

ナノ科学技術は物質や

光、磁力などを、ナノすなわち分子レベルに細かくすると、結合や分離などこれまで未知の動き、現象を起こすことを利用する。

この研究の代表的な例では、がんに関係する遺伝子と結合する人工分子を合成し診断や治療に役立てることが期待されている。また光、磁気を細かくすることで情報記録を現在の10万倍の超高速、密度の情報処理が出来ることがメンバーの研究で明らかになっており、実用化を目指している。

このプロジェクトは

「ナノ・テクノロジ」（10億分の1の単位の子レベルの科学技術）をキーワードに、理工学部、量子科学研究所、文理学部、医学部、大学院総合科学研究科、生物資源科学部、薬学部が連携。加えて、国際的な産学官連携の拠点にもする。





日本大学理工学部

# 理工研 News

No.60 Vol.21 2009/3

## NEWS&TOPICS

### ■「日本大学学術研究戦略プロジェクト戦略 推進事業」

日本大学発のイノベーションを実現することを目指すプロジェクトが、平成21年度よりスタートします。

研究テーマ	「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」
研究代表者	物質応用化学科 准教授 大月 穰
研究予算	年間1億2千万円
研究期間	最長5年

2009年(平成21年)3月20日(金曜日)

—医—

### 遺伝学的構造図作製に成功

## 哺乳類では世界初



永瀬浩喜教授

医学部の永瀬浩喜教授(がん遺伝学)らはこの

初、哺乳(ほにゅう)類の遺伝学的構造図作製は世界

一連の研究成果は1月11日付の英科学誌「ネイチャー」の電子版に掲載されたほか、3月26日付の雑誌版にも掲載される。がんの発症には多数の

遺伝子がかかわっていることが知られている。永瀬教授らは、200匹以上のネズミを使い、ネズミの全遺伝子に相当する2万以上の遺伝子を調べ

上げ、遺伝子の相関関係を解明した。その過程で、皮膚炎を引き起こす遺伝子が皮膚がんの発症にもかかわっていることも突き止めた。

永瀬教授の話 今回の研究は評価の仕方が難しいと思う。長年の研究成果が権威あるネイチャー誌に掲載されたのは名誉なことなのでうれしい。

理工

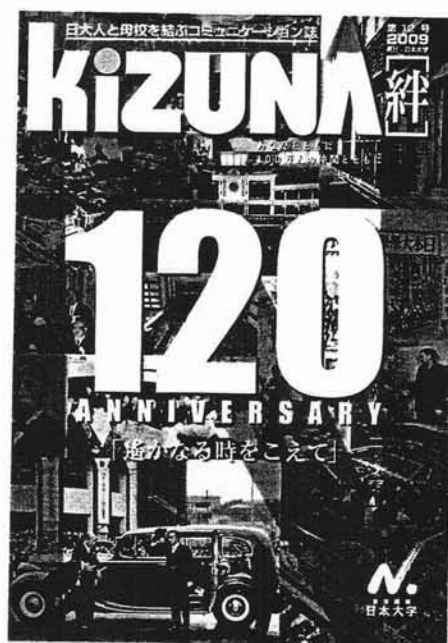
### 特色GPシンポジウム取り組みを報告

理工学部は2月7日、

同学部駿河台校舎で「目標達成型教育による学生力向上」PDC Aサイクルの強化」をテーマにシンポジウムを開いた。この研究は、2007年に文部科学省の「特色ある大学教育支援プログラム(特色GP)」に採択されている。今回は、伊藤彰義教授(磁気工学)が特色GP採択後の学部として

の取り組みを報告したほか、宮崎康行教授(宇宙機設計)が超小型人工衛星の開発を通して学生教育について報告した。

伊藤教授は学生教育の方策を探るプロジェクト「未来博士工房による自律性と創造力の覚醒(かくせい)」の現状について「異なる学科の研究室が連携し、足りないところを補っている」と報告。学生を物作りや体験型教育に取り組みせたり意欲の高い学生に称号を贈るなど工夫も紹介した。



## 研究戦略事業 第1号決まる

「健やか未来の創造」を合言葉にした学部横断的な学術研究戦略プロジェクト第1号に、理工学部の大月穰准教授（超分子化学）を代表者とする「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」が指定された。5学部、大学院、量子研究所の研究者30人がかかわる大型研究で21年度にスタートする。毎年1億2000万円の本学研究費を最長5年間投入して、情報、エネルギー、医療分野で革新的な理論、技術、さらには製品を具体的な果実として社会に提供することを目指す。

## Viewpoint

### For faster magnetic switching—destroy and rebuild

Riccardo Hertel

Institute of Solid State Research, IFF-9, Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich, Germany

Published September 8, 2009

*Magnetic switching is typically a continuous process, where a field pulse rotates a magnet from up to down, but it is now possible to do this faster — and with all-optical methods — by first quenching the magnetization to zero and then repolarizing it in the opposite direction.*

Subject Areas: Optics, Magnetism

#### A Viewpoint on:

#### Ultrafast Path for Optical Magnetization Reversal via a Strongly Nonequilibrium State

K. Vahaplar, A. M. Kalashnikova, A. V. Kimel, D. Hinzke, U. Nowak, R. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk and Th. Rasing

*Phys. Rev. Lett.* **103**, 117201 (2009) – Published September 8, 2009

Magnetic data storage technology and the ever-increasing speed of information processing have brought enormous changes to our daily life. These developments naturally lead us to ask if there is a physical limit to the speed at which magnetic moments can be switched [1]—a topic that has caused no shortage of controversy in the scientific community. Exploring this limit is complicated, partly because switching the magnetization from one direction to the other can occur in multiple ways and along different paths. For example, magnetic and electric fields, electric currents, and laser pulses can all stimulate magnetic switching and the trajectory of the magnetization vector from its initial to its final state will vary with each of these switching mechanisms.

Kadir Vahaplar and colleagues at Radboud University Nijmegen in The Netherlands, in collaboration with scientists in Germany, the UK, Japan, and Russia have made a dramatic leap forward in exploring the limits to magnetic switching. Writing in *Physical Review Letters*, they demonstrate a magnetic write-read event that occurs on times as short as 30 picoseconds (ps), which is the fastest magnetic switching process observed so far [2]. But the work by Vahaplar *et al.* is much more than the demonstration of high-speed magnetic switching. By combining sophisticated experimental methods with theoretical tools that fully account for the magnetization on many length scales (from the continuum to the atomic and electronic limit), their study leads to important insight and detailed understanding of what fundamental processes allow ultrafast magnetic switching to occur.

So far, groups have mainly looked at ways of turning and redirecting the magnetization continuously, typically by causing it to precess with magnetic field pulses [3]. Using purely optical methods, Vahaplar *et al.* show

that a faster way to switch the magnetization is to temporarily quench it [4], that is, reduce it to zero, and restore it immediately afterwards in the opposite direction, a scheme they aptly call a *linear reversal* (Fig. 1).

Their experiments are an ingenious combination of the different effects by which light interacts with magnetic moments. These effects are usually categorized as optomagnetic or magneto-optical, depending on whether they describe the influence of the light pulse on the magnetization or vice versa. In their setup, Vahaplar *et al.* first stimulate the magnetization of amorphous 20 nm ferromagnetic films made of  $\text{Gd}_x\text{Fe}_{100-x-y}\text{Co}_y$  with a short and intense circularly polarized (pump) laser pulse and then image the magnetization with a second, equally short but linearly polarized (probe) laser pulse.

The first laser pulse has two effects on the magnetization. First, it rapidly pumps energy into the film, locally heating the material and demagnetizing it [5]. The energy of the laser pulse is primarily absorbed by the electrons, which reach a temperature of about 1200 K within the first few hundred femtoseconds (fs) after the pulse. Changes in the electronic temperature affect the magnetic properties on sub-ps time scales. Most importantly, the magnitude of the magnetization  $M$  decreases as the temperature of the electronic system approaches the Curie temperature  $T_C$  (the temperature at which the material undergoes a phase transition from a ferromagnet to a paramagnet, at equilibrium). Vahaplar *et al.* show that the magnetization can in fact be temporarily “destroyed” down to a value of zero about 500 fs after applying a sufficiently strong laser pulse.

The first laser pulse also affects the magnetization via the inverse Faraday effect [6]: as the circularly polarized electromagnetic field pulse traverses the sample, it acts as an effective magnetic field along the pulse’s propa-

DOI: 10.1103/Physics.2.73

URL: <http://link.aps.org/doi/10.1103/Physics.2.73>

© 2009 American Physical Society

# CST's cutting-edge research chosen as NU Strategic Research Project

By **Kentaro Kawasaki**

A College of Science and Technology research team, led by Joe Otsuki, associate professor at the Department of Materials and Applied Chemistry, was designated in November 2008 as the recipient of the Nihon University Strategic Research Project (University Type) grant.

The special grant, amounting to 120 million yen a year for up to five years, specifically covers the team's cutting-edge research on "Nanotechnology Excellence: Nanomaterial-based Photonic and Quantum Tech-

nologies."

The research project, scheduled to be launched in April 2009, is a university-wide plan that includes participation by researchers at the College of Science and Technology, the College of Humanities and Sciences, the School of Medicine, the College of Bioresource Sciences, the College of Pharmacy and others.

Otsuki's research team aims to develop materials with special functions desired by researchers, including discretionary control of atomic configuration and an application of a nano-scaled (one-billionths of a

meter) perforating technology in the fields of information, energy and medicine.

In the field of information, the Nihon University team will seek to develop technology that will enable high-density data storage at a greater speed. One approach is to use magnetic spots on a disc surface to record and store. When the size of the magnetic spot is reduced, the storage capacity can be enhanced. Then, the data storage velocity can increase with a technology for altering magnetic field directions with photonic applications. The team also aims to develop a secure telecommu-

nication solution by using a quantum cryptography system.

In the field of energy, the Nihon University researchers want to develop a practical version of dye sensitized solar cells, known as a low-cost next-generation solar cell. The new system has a drawback related to the energy loss caused by light emissions of electrons during the process of energy generation. The team aims to raise electric generation efficiency by attaching nano-scaled light-controlling photonic crystals to electrodes.

In the medical field, the project aims to develop new cancer

therapy solutions. It envisages the development of a molecular machine capable of recognizing the genome and regulating genes. The ultimate goal is to enable a molecular machine to detect cancer genes as a way of preventing cancer in advance. If a red light emitting function is added to the molecular machine, doctors will be able to readily spot the location of any cancer gene from the outside of the body.

Associate Prof. Otsuki said he wants the interdisciplinary project at Nihon University to contribute greatly to the development of society.

## NU aiming at world record for human-powered aircraft

By **Yuri Sato**

A team of aeronautical engineering students at the College of Science and Technology hopes to set an aviation world record for human-powered ultralight aircraft.

The team from lecturer Kenichi Abe's laboratory is looking forward to having their human-powered plane fly as far as 120 kilometers, well beyond the existing world record of 115.4-kilome-

The aeronautical engineering lab's pedal-powered aircraft Mōwe set a Japanese record in August 2005 by traveling 49.172 kilometers in 1 hour 48.12 seconds in Shizuoka Prefecture.

Nariyuki Masuda, the pilot of the record-setting flight of 2005, is expected to serve as an "ideal powerplant" aboard the planned Nihon University human-powered plane. He graduated from the college in 2008 and...

France as a professional bicyclist taking part in road races elsewhere in the world. After establishing the Japanese record in 2005, he told Abe that he would like to offer to sit in the cockpit of a new plane with a view to setting a world record.

To help give the pilot greater endurance, the cockpit of the new plane will have air vents that can keep the "powerplant" from wasting energy



Prof. Takatsuna (far right) at the symposium

## Symposium held to mark 60th year of Correspondence Division

By **Saki Natori**

rounding corresponding learning as a whole.

Nihon University celebrated the second section of the

# 学部連携で学術研究

## 日大が戦略プロ始動

### 研究費 自主財源で最大

日本大学は学部間連携による大規模な学術研究戦略プロジェクトを始めた。学内を対象に公募して採択した指定研究1件に研究費として年1億2000万円を支給する。期間は4月から最長5年で、自主財源で賄う研究支援としては同大学で最大。国際化、少子化などによる大学淘汰の時代を勝ち抜くには、総合大学としての総力を挙げた学術研究を進めて存在感を示すことも必要と判断。インパクトある大学発イノベーションを目指す。

日大が始めた「N・研 人材育成の観点から審査した1件を昨年10月に指定研究として採択した。申請時の研究費の上限は年間最大2億円、最長5年で産学連携も対象。今回、申請のあった16件の中から「ナノ物質」を基盤とする光・量子技術、最先性、社会貢献、

いった特徴な加工技術などを情報、エネルギー、医療の3分野に活用。諸問題を解決に役立てることを目的としている。理工学部の大月雅准教授を代表者に文理学部、医学部など5学部、1大学院研究科、1研究所に所属するメンバーで構成するチームで担当する。次回は実施状況を基に再検討しながら09年度中に公募し、翌年度内に指定研究1件を採択し、2

011年4月に研究を始動予定。その後も取り巻く環境などを検証して運営方法を検討する。

日大は14学部、83学科、大学院20研究科、32の研究所を抱える国内最大規模の私立総合大学。

ただ、これまでは各学部の自主性を優先し、「分散型・分散型総合大学」の独自システムを構築し

てきた。学部間連携が対象の研究支援も行っていたが、自主財源による助成額は1件で最大1300万円に留まっていた。

# 日 本大学でこの4月から 始まったプロジェクト に注目が集まっている。 「N.研究プロジェクト」は、 日本大学が学内で募集、実施され る学術研究戦略プロジェクトであ る。「健やか未来の創造」を統一 スローガンに、各学部が協働し、 体系的に推進していくことに特徴 がある。採択された研究にはその 費用として年間1億2000万円 が支給されるという。これを自主 財源でまかなうところに、日本大 学の強さと決意が示されている。 申請された16件の中から、平成 21年度指定研究に選ばれたのが、 理工学部の大月稜准教授を代表と する「ナノ物質を基盤とする光・ 量子技術の極限追求」だ。このプ ロジェクトでは、1ナノメートルの小さ な分子から数百ナノメートルという比較的 大きな高分子までの自己集合や電 子ビーム微細加工などを駆使した ナノ構造作製法を開発する。 「ナノサイズ技術を駆使した研 究により、『情報』、『エネルギー』、 『医療』の3分野で応用技術を開 発する計画です。『情報』分野で は超高密度で超高速な記録法の開 発、『エネルギー』分野では太陽 光の有効利用の技術開発、『医療』 分野ではがん遺伝子を光で検出す る方法や新たな治療法の研究を進 めます」（大月准教授）。

# 学部間をまたぐ 大型プロジェクトがスタート。 成果を社会へ

【お問い合わせ先】

日本大学 産官学連携知財センター (NUBIC)  
〒102-8275 東京都千代田区九段南4-8-24 日本大学会館  
tel.03-5275-8139  
URL <http://www.nubic.jp/>

「ナノサイエンス技術を駆使した研  
究により、『情報』、『エネルギー』、  
『医療』の3分野で応用技術を開

発する計画です。『情報』分野で  
は超高密度で超高速な記録法の開  
発、『エネルギー』分野では太陽  
光の有効利用の技術開発、『医療』  
分野ではがん遺伝子を光で検出す  
る方法や新たな治療法の研究を進  
めます」（大月准教授）。

チームを組みプロジェクトの推進  
にあたるという。むしろ研究にあ  
たっては、教員それぞれの国内外  
のネットワークが活用されるほ  
か、学外の有識者による評価委員  
会も組織されている。

申請された16件の中から、平成  
21年度指定研究に選ばれたのが、  
理工学部の大月稜准教授を代表と  
する「ナノ物質を基盤とする光・  
量子技術の極限追求」だ。このプ  
ロジェクトでは、1ナノメートルの小さ  
な分子から数百ナノメートルという比較的  
大きな高分子までの自己集合や電  
子ビーム微細加工などを駆使した  
ナノ構造作製法を開発する。

キーワードを開くだけでも、さ  
まざまな知識の連携が不可欠だと  
感じる。多くの大学では従来、こ  
れらの分野の研究は個々の学部で  
独自に行われていたが、社会のニ  
ーズに因應するためには限界があ  
る。総合大学としての総力を挙げ  
て学術研究に取り組めるのは日本  
大学ならではの強みだ。

「プロジェクトを通じて、若手  
研究者や博士課程の学生などの育  
成も図りたいと考えています」と  
大月准教授が話す。そのチャン  
スも多いに違いない。

大月准教授の説明によれば、理  
工学部をはじめ、文学部、医学  
部、生物資源科学部、薬学部、さ  
らには量子科学研究所、大学院総  
合科学研究科などの30人の教員が

プロジェクトは5年間をメドと  
し、これらの研究成果は論文とし  
て発表されるだけでなく、日本大  
学産官学連携知財センター (NU  
BIC) を通じて知的財産として  
広く公開され、その活用を図る予  
定だ。受託研究や共同研究にも積  
極的に取り組んでいくというから  
楽しみだ。社会への貢献にも大い  
に期待が高まる。

産学連携により開発された製品はNUBICを通じて「イノベーション・ジャパン」をはじめとする各種イベント等でも公開される



産学連携により開発された製品はNUBICを通じて「イノベーション・ジャパン」をはじめとする各種イベント等でも公開される



理工学部物質応用化学科  
准教授  
大月稜

The First Symposium of Nanotechnology Excellence, Nihon University 2009

# Nanomaterial-based Photonic, Quantum and Bio Technologies

第1回 日本大学 N. 研究プロジェクトシンポジウム 2009  
ナノ物質を基盤とした光・量子技術の極限追求

2009年 9月18日(金)

日本大学医学部リサーチセンターホール (板橋, 東京)

18 September 2009, Research Center Hall, Nihon University School of Medicine, Tokyo

## Main Themes

- Information Technology
- Energy Technology
- Medical Technology
- Nanoscience and Nanotechnology

## Invited Speakers

- Prof. Hironori Arakawa  
荒川裕則, 東京理科大学教授
- Prof. Ravindra K. Pandey  
Roswell Park Cancer Institute

## Speakers from the Members

- Yasuo Asada 浅田泰男
- Noboru Fukuda 福田 昇
- Hiroki Ikake 伊掛浩輝
- Shuichiro Inoue 井上修一郎
- Hiroki Nagase 永瀬浩喜
- Katsuji Nakagawa 中川活二
- Joe Otsuki 大月 穰
- Tokuei Sako 佐甲徳栄
- Kaoru Suzuki 鈴木 薫
- ... and a number of posters

## Contact

- Joe Otsuki, College of Science and  
Technology, Nihon University

日本大学理工学部 物質応用化学科  
大月 穰 [otsuki@chem.cst.nihon-u.ac.jp](mailto:otsuki@chem.cst.nihon-u.ac.jp)

## ► For more information

<http://www.med.nihon-u.ac.jp/department/cancer/Nproject21.html>  
<http://www.chem.cst.nihon-u.ac.jp/~otsuki/N.Symposium2009.pdf>



掲載日付：2009年10月20日

媒体：日本大学新聞

戦略研究プロジェクト  
学術プロジェクト

# 第1回シンポジウム開催

## 初年度の研究成果を報告

本学学術研究戦略推進事業の指定研究「M研究プロジェクト」に関する第1回シンポジウムが9月18日、本学医学部リサーチセンターで行われ、同プロジェクトの3分野の代表者らが約100人を前に初年度の研究成果を報告した。

同プロジェクトは「光・量子技術の極限」(代表者：大月穰准教授)、「超分子化学」(代表者：三浦大祐准教授)、「エネルギー」(代表者：三浦大祐准教授)の3分野で

活用することを目的とし、今回の報告によると医療分野では動物から取ったDNAの分子と金属イオンを含む化合物を水中で混ぜ合わせると、組み合わせてよって水の色が異なることを突き止めた。どのような分野で活用できるかについては、今後検討していく。

情報分野では、磁気記録の膜に凹凸を付けることにより、従来より狭い

範囲に多くの情報を書き込むことに成功した。この技術は、ハードディスクなどの磁気記録機器の性能向上に役立つのではないかと期待を集めている。

大月教授の話 初年度は良いスタートが切れたと思う。今後も学部間が連携して成果を挙げていきたい。

## プロジェクトが初のシンポジウム開催

### 5学部8人が報告

本学学術研究戦略プロジェクト（通称M研究プロジェクト）の第1号に選定された指定研究「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」の初めてのシンポジウムが9月18日、医学部で開かれ、関係学部の教員や学



生のほか学外の研究者ら約100人が来場した。

同プロジェクトは本学のスケールメリットを学術研究の推進力と成果に結実させることを目的に、「健やか未来の創造」を

統一スローガンに学部横断型研究として本年度からスタート。同研究は理工学部、文理、医、生物資源科、薬の5学部が連携し、情報、エネルギー、医療の3分野でナノ（10億分の1）レベルの革新的な科学技術を追究し、実用化を目指している。

シンポジウムはすべて英語で行われた。研究代表者の大月穰・理工学部准教授のプロジェクト概

要の説明で始まり、写真、

5学部8人の研究員がそ

れぞれの分野から課題を

報告。情報の大容量・超

高速記録技術の開発、色

素増感太陽電池の実用化、

がん治療の新薬開発など

研究の方向性を示した。

また、がんのレーザ

治療の第一人者、ラビン

ドラ・K・パンデイ・ロ

ーズウェルパークがん研

究所教授らが招待講演を

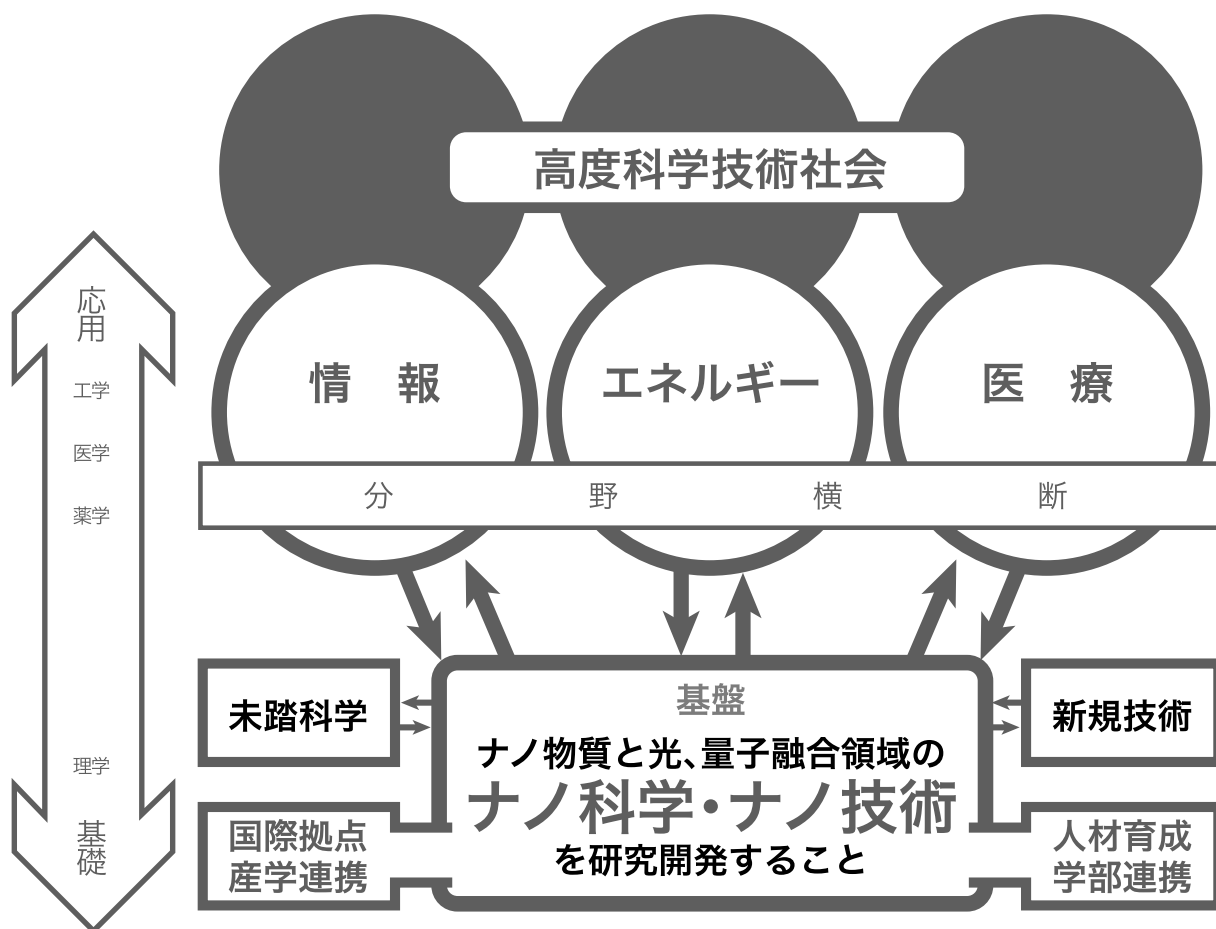
行った。

# ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求

医学部・生物資源科学部・文理学部・薬学部・理工学部・量子科学研究所・大学院総合科学研究科

このプロジェクトは、ナノ物質と光、量子融合領域のナノ科学・ナノ技術を研究開発することで、情報、エネルギー、医療という3つの重点課題の解決に迫り、社会に本質的な貢献をしようとするものです。情報では、高速かつ安全に大容量を取り扱う技術が求められています。エネルギーは化石資源の枯渇と大気中の二酸化炭素濃度増加。医療では、日本人の死因の30%が癌であることは大問題です。このような大きな課題に取り組むには、十分に高いレベルで成果をあげている研究者が必要です。そして、研究者が分野を横断して、理学の基礎から工学や医学の応用まで縦断して連携することが必要です。インパクトある具体的な成果を出すことが重要ですが、同時に人材育成と学部連携を進め、国際拠点と産学連携拠点を構築します。こうした日本大学のパワーを結集した研究によって、高度科学技術を通して、健やか未来をつくるために貢献します。

## 健やか未来の創造



この研究に関するお問い合わせは、  
日本大学理工学部物質応用化学科・准教授 大月 穣 [otsuki@chem.cst.nihon-u.ac.jp](mailto:otsuki@chem.cst.nihon-u.ac.jp)

2009 日本大学  研究プロジェクト  
「ナノ物質を基盤とした光・量子技術の極限追求」 <http://www.med.nihon-u.ac.jp/department/cancer/Nproject21.html>  
101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14 fax/tel 03-3259-0817



## 「光合成」から 生み出される新しい技術

太陽光を受け、自身が活動するエネルギーを得るために「光合成」を行う藻類や植物たち。太古の昔に彼らが生まれて以来、ずっとその営みが行われてきました。これを人工的に再現することができるようになったら、どんな未来がやってくるのでしょうか。

### 光を当てると電子が動く

光合成を行うのは細胞内の「葉緑体」という部分。まず、「アンテナクロロフィル」によって集められた太陽の光エネルギーは、その隣にあるクロロフィルへ、そしてまた隣のクロロフィルへと、次々に効率よく伝えられます。そして最後に「反応中心クロロフィル」へと集められ、炭水化物をつくり出す力となる電子のエネルギーに変換されるのです。

日本大学の月大蔵さんは、このような「光エネルギー変換」を人工的な分子で行う研究をしています。「化石燃料が枯渇し、太陽光エネルギーを使わないといけない世の中でお手本になるのが光合成。クロロフィルのように光を当てると分子内で電子が動くようなものがないか考えたのです」。

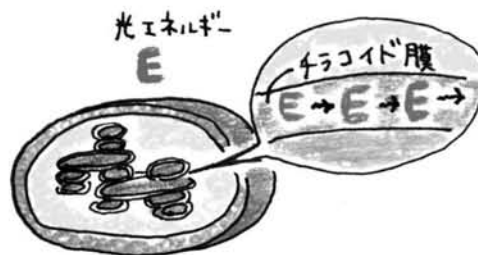
### 分子から分子へと

光合成は、光の吸収、エネルギー移動、さらに電子移動を司る機能を持った分子が組織だって並び、行われています。これを人工的に再現するという事は、合成した分子のひとつひとつがそれぞれに機能を担い、それらが共同で高度な働きをする分子の組織を形成するという事。しかし、光合成のすべての過程を人工的に行うことはまだ困難です。月大蔵さんはまず、その過程を部分的に分解し、その一部を行う分子について研究しています。

たとえば、光エネルギーを集める分子を5つ集めた集合体をつくり、その中でエネルギーを効率よく移動する系を発見しました。「この集合体では、光合成の一部を人工的に再現できています」。

### ミクロの世界から始まる最高の技術

月大蔵さんは、光合成を完全に再現できる分子を植物が育たないような場所にまいておき、エネルギーを得ることができるようになることを目指しています。「分子は機能を発現する最小単位。だから、分子から設計して組み立てていけば、最高のものができるはずだと思うのです」。目には見えない分子をコントロールすることが、新しい技術の指針となるのでしょうか。(文・磯貝 里子)



▲光合成を行う葉緑体。エネルギーはチラコイド膜内を移動していく。

協力：月大蔵 (おおつき じょう)

日本大学理工学部物質応用化学科准教授

1991年、東京大学大学院工学系研究科を修了後、1999年まで同大学生産技術研究所にて助手を務める。1993年から1年間、Universite Louis Pasteur 博士研究員を経て、1999年より日本大学理工学部へ赴任。2004年より助教授、2007年より現職。

掲載日付：2010年2月1日

媒体：日本大学広報

### Wプロジェクトが初のシンポジウム開催

本学学術研究戦略プロジェクト（W研究プロジェクト）の第1号に選定された指定研究「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」の初め

約100人が来場した。

同プロジェクトは本学のスケールメリットを学術研究の推進力と成果に結実させることを目的に、「健やか未来の創造」を統一スローガンに学部横断型研究として本年度からスタート。同研究は理工、文理、医、生物資源科、薬の5学部が連携し、情報、エネルギー、医療の3分野でナノ（10億分の1）レベルの革新的な科学技術を追究し、実用化を目指している。

掲載日付：2010年3月15日

媒体：日本大学広報

### ナノ科学最先端と若手のフォーラム

Wプロジェクト

本学理工学研究所先端材料科学センター主催の本学学術研究戦略プロジェクト第1号「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」（通称Wプロジェクト）と若手研究者の合同フォーラムが

2月13日、理工学部船橋校舎12号館に115人の研究者らが参加して開かれた。

5学部が連携して情報、エネルギー、医療の分野でナノ（10億分の1）レベルの革新的な理論、技術、製品化をめざす同プロジェクト。初年度のこの1年で、磁気記録の

書き込み・読み出しの速度で世界最速を記録（理工学部・塚本新専任講師、伊藤彰義教授）、特定遺伝子を標的ながんの診断や治療薬開発のための遺伝子構造図の作成（医学部・永瀬浩喜教授）などの成果が科学誌「Nature」をはじめ権威のある雑誌に次々と掲載されている。

フォーラムでは、永瀬教授、塚本専任講師らが特別講演を行ったほか、学部、院生ら30人以上が独自の研究課題、成果を発表した。主催した伊藤教授は「研究最先端と若手の交流が相互に刺激し合い、日大の『研究力』が充実することを期待している」と語った。



# 日刊工業新聞

## Business & Technology

2010年(平成22年)

# 212

第20815号 金曜日

14版

発行所 ©日刊工業新聞社 2010

本社 電話 03・5644・7000 東京都中央区日本橋小網町14-1 大阪支社 電話 06・6946・3321 大阪市中央区北浜東2-16 名古屋支社 電話 052・931・6151 名古屋市東区泉2-21-28 西部支社 電話 092・271・5711 福岡市博多区古門戸町1-1

## 光子検出世界最速で

### 日大 量子暗号通信に道

日本大学の井上修一郎教授と行方直人助手は、究極に安全な量子暗号通信を実現する、半導体製の単一光子検出器を開発した。通信に最も適する1・55μm(マイクロは100万分の1)波長帯で、光子の検出速度が世界最速となる2ガット(キロ

ガは10億)動作を実現した。10月にも、50μm程度の区間で量子鍵を配送する量子暗号通信の実証実験を行う。情報通信研究機構の委託研究などの成果で、米国電気電子技術者協会(IEEE)の科学誌「フォトニクス・テクノロジー・レターズ」に発表する。

開発した単一光子検出器は、化合物半導体製のなだれフォトダイオード(APD)を使う。通信波長帯で使えるほか、小型化が可能など実用性能が高い。APDはある一定以上の逆電圧がかかる

な現象を引き起こし、光子1個を電流に変換して検出する仕組み。

今回、光子を検出する回路の雑音を減らすなど改良し、約1万倍の低い電子増倍率で検出することに成功した。従来比10分の1の電流で光子を検出するため、検出速度を極限まで高速化できた。検出の効率も10%以上と従来より向上した。

井上教授らは2006年に光子検出の新しい電圧動作方式を導入し、世界最速の800ガット(メガは100万)動作を実現。その後、07年に東芝のケンブリッジ研究所が1・25ガット動作に成功、記録を塗り替えていた。

単一光子の検出はAPDのほか、光電子倍増管や超電導の細線を使う手法がある。だが、光電子倍増管の検出器は通信波長帯で感度が鈍るなど実用が難しい。一方、超電導の検出器は高速な利点を持つが、冷凍機が必要で小型化しにくく、検出効率もAPDの検出器より劣るといふ。

# 光通信に量子計算

## 日大が大容量伝送技術

### 光子数識別器を開発

日本大学の井上修一郎教授らの研究チームは、既存の光通信技術に量子計算を組み込み、高いエネルギー効率で大容量の情報を伝送できる技術を開発した。光子の数を識別する機器を開発し、光通信波長帯でさまざまな光子の量子状態（非ガウス状態）を作り出すことに成功した。低電力のグリーン量子情報通信技術（量子ICT）になる。科学誌ネイチャー・フォトニクス電子版に12日発表する。

### 低電力の量子ICTへ

量子ICTで大容量の情報を低電力で送るためには、送信側で連続的に変調した光パルス列（連続光）を符号化して受信側に送り、これに量子計算を組み込むことが有効だと理論的に提案されている。この量子計算を行う量子ゲート回路において、非ガウス状態を作ることが必要になる。

数識別器を開発した。光子数が正確に識別できるようにになると、非ガウス状態を作りやすくなる。

これで、量子ICTの応用に向く波長1550ナノメートルの光通信波長帯で非ガウス状態を生成した。

従来は、光子数を識別できない単一光子検出器を使っており、光子数識別器を用いた非ガウス状態の生成は初めて。光子の検出効率は64%とまだ改善の余地はあるが、繰り返し速度は1メガヘルツ（メガは100万）超で従来比約10倍速い。情報通信研究機構のプロシエクトの一環で、産業技術総合研究所、物質材料研究機構と共同で開発した。

今回、10ギガ（マイクロは100万分の1）角で厚さ22ナノ（ナノは10億分の1）のチタン製の超電導薄膜を使い、光子

京都大学総合博物館は島津製作所の協力を得て、約2500年前の米が炭化したかたまりをX線コンピュータ断層撮影装置（CT）で撮影した。この炭化米は焼けて

時代米  
時化  
生炭  
弥の

### X線CT使い撮影

### 京大 品種変遷で手がかり

いない可能性が高いことが新たにわかった。X線CTを研究に使うことで、イネの品種や米の保管方法の変遷などを知る貴重な手がかりとなる。X線CTで撮影したの

為的に束ねたものであることがわかった。また米の粒にある芒という突起がほとんど写っていないことから品種は「熱帯シヤポニカ」である可能性があるという。

## お知らせ

### 第59回高分子討論会にてセッション開催

第59回高分子討論会

会期：2010年9月15日（水）～17日（金）

会場：北海道大学高等教育機能開発総合センター  
（札幌市北区17条西8丁目）

特定テーマ

「バイオ超分子材料の最前線－機能プログラミングと  
応用展開－」

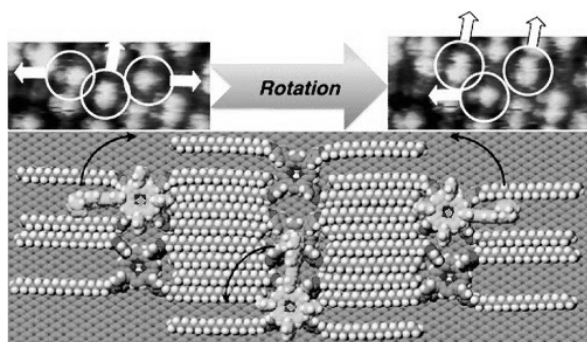
9月15日（水）、16日（木）

セッションオーガナイザー：小松晃之（中央大理工）

URL: <http://www.spsj.or.jp/tohron.html>

皆さまの御参加をお待ちしております。

## 班員からの論文の紹介



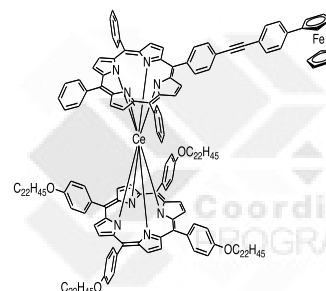
### ダブルデッカーポルフィリン錯体の回転を「見た」

“Rotational Libration of a Double-Decker Porphyrin  
Visualized” J. Otsuki, Y. Komatsu, M. Asakawa, K. Miyake,  
*J. Am. Chem. Soc.*, **2010**, 132, 6870-6871.

「百聞は一見に如かず」と申しますが ... , この論文では、ダブルデッカー錯体中のポルフィリンが回転することを、「見て」実証したことを報告しました。

1997年から1998年にかけて、相田らのグループと新海らのグループによって、ダブルデッカーポルフィリンのセリウム錯体が溶液中で回転することが、明らかにされました。その後、ダブルデッカー錯体は、アロステリックな宿主分子の骨格として用いられ、金属イオンや酸化還元によってその回転速度が制御できることが発見されました。このような特性から、ダブルデッカー錯体は、分子マシンの部品として有望なユニットであると考えられます。

私達は、この回転運動を単一分子レベルで「見る」ことを考えました。一方の環として、グラファイトに吸着させるための長鎖アルキル基を導入したポルフィリンを、もう一方に、環の向きがわかるようにメソ位の一カ所にリジッドなアームを経てフェロセニル基を導入したポルフィリンをもつダブルデッカー錯体を設計し、合成しました。

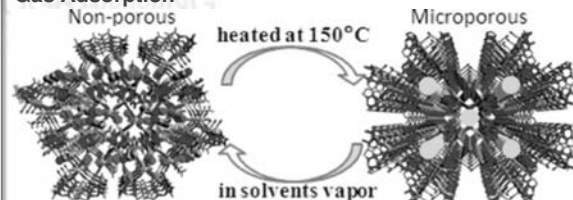


この錯体は、期待通り、グラファイト上に規則的に配列し、アームの向きも走査トンネル顕微鏡（STM）によってわかりました。長鎖アルキル基をもつフリーベースポルフィリンで薄めた配列を形成させ、同じ場所を2度走査したSTM像が、タイトル図です。1度目と2度目の走査でアームの方向が変わっている様子を捕らえることに成功しました。回転速度は、分子の配列に平行から垂直な向きへの回転と、垂直から平行への回転では異なるし、隣にダブルデッカー錯体があるかフリーベースポルフィリンがあるかによっても違うことなど、基板上での回転挙動を、STM像から分子数を数えることによって、明らかにしました。

(A01班 日大理工 大月穰)

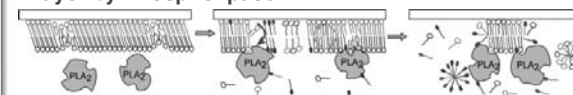
### 最新の論文より

#### Interconversion between a Nonporous Nanocluster and a Microporous Coordination Polymer Showing Selective Gas Adsorption



Paramagnetic Hexanuclear      Metamagnetic Chain  
Y.-J. Zhang, T. Liu, S. Kanegawa, O. Sato, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, 132, 912-913. (佐藤 治, A02)

#### Mechanistic Studies by Sum-Frequency Generation Spectroscopy: Hydrolysis of a Supported Phospholipid Bilayer by Phospholipase A2



Y. Tong, N. Li, H. Liu, A. Ge, M. Osawa, S. Ye, *J. Am. Chem. Soc.*, **2010**, 132, 7702-7708. (叶 深, A01)



## 日大ならではの総合力を發揮し 世界へ向けて先端研究を発信

### 研究力



大月種教授  
おつつき・じょう

日本大学は、14学部81学科・短期大学部6学科を擁する、わが国屈指の規模を誇る私立総合大学です。人文・社会科学から自然科学まで、多岐にわたる専門分野で構成された学部・学科群は、あらゆる学問領域を網羅しています。その日大の“総合力”を發揮して誕生したのが「日本大学学術研究戦略プロジェクト」です。自主財源による大型プロジェクトの実現は、まさに日本大学ならではのスケールとも言えるでしょう。複数の学部間をまたぐ“知の連携”により、社会のニーズに応えた世界最先端レベルの研究を推進。日大発のインパクトある研究成果の社会への還元が、大いに期待されています。

### スケールメリット生かした 学術研究戦略プロジェクト

日本大学は広範な学問領域を包含する、わが国最大級の私立総合大学ですが、これまでは各学部の自主性を優先し、「分権型・分散型総合大学」という独自のシステムを構築してきました。

しかし、社会環境が変化し、国際化・少子化などによる大学淘汰の時代を勝ち抜くためには、日本大学のスケールメリットを生かした体系的な学術研究戦略を立案・実行し、成果に結実させることが急務であるとして、2008年に学術研究戦略会議を新たに設置。日本大学の総合力を象徴となる学術研究戦略プロジェクトを大学内で募集・実施しました。それが「日本大学学術研究戦略プロジェクト」(N.学術プロジェクト)です。「鍵やか未来の創造」をスロガンに掲げ、学内を対象に複数学部による連携を条件に公募したところ16件の応募がありました。学際性、先見性、社会貢献、人材育成の

観点から審査した結果、理工学部物質応用化学科の大月種教授を代表者とす「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」が採択され、2009年度から本格的な研究がスタートしました。2013年度までの5年間を期限として、研究費として年間1億2000万円が支給されます。大学の自主財源でまかなう研究支援としては日本大学でも最大です。

今年度は本研究を開始して2年目ですが、すでにいくつもの画期的成果が表れています。情報の分野では、ハードディスク上により多くの情報を入れる、すなわち高密度に記憶することを研究していましたが、2009年には磁気記録の書込・読出で世界最高速を記録しました。

### “ナノ”をキーワードに 新たな技術の開発に挑む

「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」には、理工学部文理学部・医学部・生物資源科学部・薬学部の5学部及び大学院総合科学研究科、量子科学研究所から90人の研究者が参加。「ナノテクノロジー・ナノサイエンス」をキーワードに研究を推進します。

基盤系のグループは、原子の配列を自在に制御して新しい性質をもった材料を開発したり、ナノサイエンス(10億分の1メートル)の穴を開けるといった極微の加工技術を開発

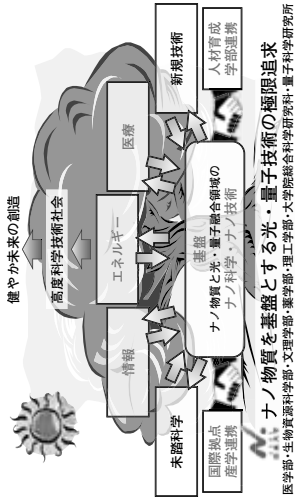
します。そして、基盤系で開発したナノ技術などを応用して、実際に「情報」「医療」「エネルギー」の3分野で活用する計画です。

今年度は本研究を開始して2年目ですが、すでにいくつもの画期的成果が表れています。情報の分野では、ハードディスク上により多くの情報を入れる、すなわち高密度に記憶することを研究していましたが、2009年には磁気記録の書込・読出で世界最高速を記録しました。

また、光の最少単位である光子の検出速度でも、同じく世界記録を達成しました。これは、新しい情報の伝達手段である光通信の一種の量子暗号通信といわれるもので、「盗聴されずに速い速度で情報のやりとりをする」ことへの貢献が期待されています。

医療分野では、画期的な「遺伝子構造図」を作成、世界的な学術雑誌「ネイチャー」に論文が掲載されました。これは、特定の遺伝子を見つけ、その遺伝子が実際の人体の成り立ちにどのような関連しているかを解き明かす

### ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求



### 多様な価値観に触れ 最先端の研究を推進

大月教授は、主に分子の動きをナノテクノロジーやバイオテクノロジーに活用する研究を進めています。生物は40億年の進化によって高精度・高効率な分子デバイスを開発してきましたが、このような潜在能力を人工的に最大限に引き出すにはどうしたらいいかを追求しているといえるでしょう。「具体例を挙げれば、光合成は、太陽からの光エネルギーを化学エネルギーに変換する天然分子デバイスです。このプロセスを再現した人工光合成を実現したい。地球の化石燃料には限りがあり、エネルギーや資源問題の解決は人類にとって避けて通ることのできないもので、その使命を語ってくれました。その研究母体となる日本大学理工学部は、学科数、学生数、教職員数とも学部の規模ではトップクラスを誇り、輩出した卒業生は20万人を超えています。

日本大学理工学部の魅力について「多様な価値観をもった人と触れることができてきます。例えば今回のプロジェクトを通じて、医学部の臨床の先生など他学部の先生たちと学生のうちからデイスカッションでできるのです」と語る大月教授。「基礎をしっかり勉強してください。そうすれば、最先端科学にも応用がきくようになります」と受験生に向かってエールを送っています。

大月教授は、「世界10か国以上の研究施設と共同で最先端の研究を進めています。このプロジェクトにより、参画している博士課程の研究者にリサーチアシスタントとして一定額を補助できることもできるようになりました。若手研究者や博士課程の学生の育成にもつながります。学部連携も始まったので、プロジェクトが終了しても学部学科の枠を超えた研究拠点を継続できるようなしたいと思います」と話します。

分子機能をナノテクノロジー、バイオテクノロジーに活用する最先端化学。グローバルな視野に立つ科学技術者を育成する。

### NOTES

1. ナノテクノロジー・ナノサイエンス  
ナノサイエンスは、ナノメートル(10億分の1メートル)スケールの微細な物質に関する科学を総称し、融合的に研究する新しい学問の領域。ナノテクノロジーは、物質をナノメートルの領域で、自在に制御する技術のこと。ナノテックともいう。2001年にアメリカのクリントン大統領(当時)がナノテックを国家的戦略研究目標としたことから、各国で活発に研究が進められるようになった。現在、最も活発な科学技術の研究分野の一つである。

2. 色素増感太陽電池  
従来のシリコンの代わりに色素で太陽光を吸収する太陽電池。印刷で大量に製造できる可能性があり、低コストな太陽電池として開発が進められている。

3. 放射線による光縮力学療法  
X線照射と可視光照射という2つの治療法を組み合わせた新しいがんの治療方法。ポルフィリン化合物を人体に投与し、可視光を照射してがん細胞を殺すという手法があるが、可視光は体の表面から1cm程度しか入っていない。X線なら体の奥まで透過するので、X線と光縮力学療法を組み合わせたという新しいアイデアがある。

4. 日本大学理工学部  
前身は1920(大正9)年に設置された日本大学高等工学校。土木工学科、社会交通工学科、建築学科、海洋建築学科、機械工学科、精密機械工学科、航空宇宙工学科、電気工学科、電子情報工学科、物質応用化学科、物理学科、数学科からなる。教員数は非常勤講師等を含め約900人で、学生約10人に教員1人という割合だ。世界的規模の300MN大型建造物試験場がある大型建造物試験センターも、ナノの世界を扱う先端材料科学センターまで、多岐にわたる研究施設が整備されている。

# 未来創造 N.プロジェクト -1-

り世界の科学者がしのぎを削っている。本学も例外ではない。2008年にスタートした学術研究戦略プロジェクト(通称M.プロジェクト)の第1号指定研究に選ばれたのが「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」。理工など5学部を力をつなげて取り組む最先端技術の世界をぞのぞいた。

21世紀の科学技術のフロンティアはナノテクノロジーとされる。ナノは1億分の1を意味する国際単位。極微の世界を制御する技術をめぐる

ナノテクという言葉が

広く関心を集めるようになったのは01年。ビル・クリントン米元大統領がナノテクを国家の戦略的研究分野に定めたことで、一挙に先進国間の競



シンポジウムで研究内容を説明する大月教授

争に火がついた。ナノテクの目標は「少コソや携帯電話などの電子機器を見れば一目瞭然

化は小型化の歴史。パソコン(りよっせん)だ。例えは、かつてハンドバック大だった携帯電話の小型化を支えたのがトランジスタの小型化だった。半導体に光などを照射して削ることでトランジスタの構造は作られる。トランジスタのサイズは1980年代には1ミクロン(1000分の1)程度、M.プロジェクトの研究は、現在の最先端技術では「ナノ基盤班」がナノ

## ナノテクに独自の取り組み

32ナノほど。本学の研究代表を務める理工学部の大月種教授(超分子化学)によると、将来的に原子数個分の大きさである1ナノのトランジスタを作り上げることが原理的には可能という。発できないといったことが多く、このプロジェクトでは多くの研究者が携わり、

池谷 円

が携わり、

クトでは多

くの研究者

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

が携わり、

# 未来創造

## N.プロジェクト

### 超高速記録

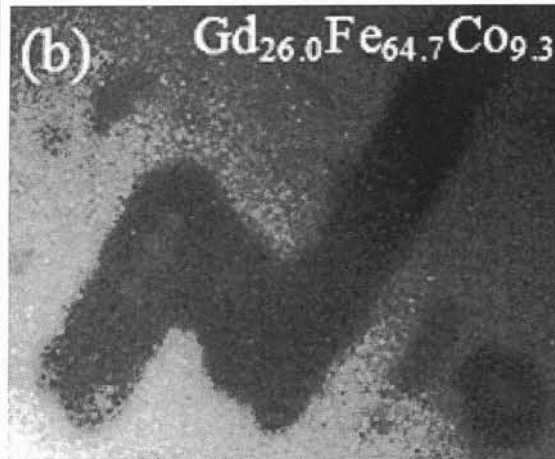
- 2 -

情報化社会の発展を支えているのは情報処理速度の絶え間ない革新といわれる。第一線の研究者たちは、同じ量の媒体に

超高速記録が実現してきたのだ。この速度と容量に物理的限界が見えてきたのだ。これまで主流の記録方式はハードディスク(HD)などへの磁気記録だが、その速度と容量に物理的限界が見えてきたのだ。この速度と容量に物理的限界が見えてきたのだ。この速度と容量に物理的限界が見えてきたのだ。

いかに多くの情報を書き

本学でこの課題に挑戦



「光で書いた」Mのロゴマーク

は、磁石の細かい粒子が薄く塗られている。これを操ることで、これはつ

「光で書いた」Mのロゴマーク... 超高速記録チームがも

# 光で書く技術を探る

島村 彩葉

# 未来創造 N.プロジェクト

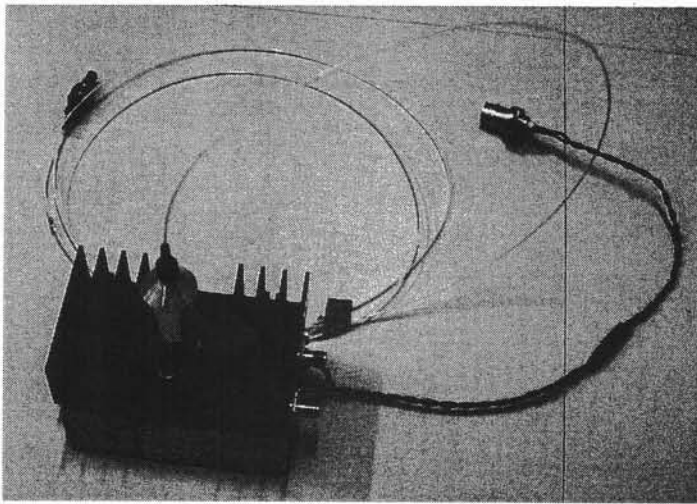
## 量子情報

- 3 -

井上修一郎教授(量子光学)を中心としたNプロジェクト情報班「量子情報チーム」は、外国人研究員を含む5人。絶法で伝送実験に成功しているが、いずれも量子力学の基本概念を利用した大容量伝送の実現を目指している。

本学「量子情報チーム」

現在世界中で一般的に使われている暗号は膨大な計算量を利用して構築されている。時間があれば解ける計算である以上、超高速コンピュータが開発されれば安全でなくなる。技術が絶え間なく発達を続ける今日、その日は目前に迫っている。



が進んでいるのは「量子光子が持つ特殊な相関を」と呼ばれる、二利用した暗号と通信方法が相関する光子を共有す

光子を検出し電気信号に変換する「光子検出器」

通信を行う一方が「光子検出器」に重要なのが、光子を検出する「光子検出器」だ。量子情報班が実用化できるかどうかの鍵を握る高速化と長距離化は、この光子検出器の性能に左右される。

一方、低電力による大容量伝送の実現に向けて

井上教授は行方直人助容量伝送の実現に向けて

井上教授は行方直人助容量伝送の実現に向けて

### 情報技術の最終形態

光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。

光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。

光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。

光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。

光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。光子を利用した情報の状態が決まる。

井上教授は行方直人助容量伝送の実現に向けて

井上教授は行方直人助容量伝送の実現に向けて

井上教授は行方直人助容量伝送の実現に向けて

井上教授は行方直人助容量伝送の実現に向けて

井上教授は行方直人助容量伝送の実現に向けて

# 未来創造 N.プロジェクト

がん治療

- 4 -

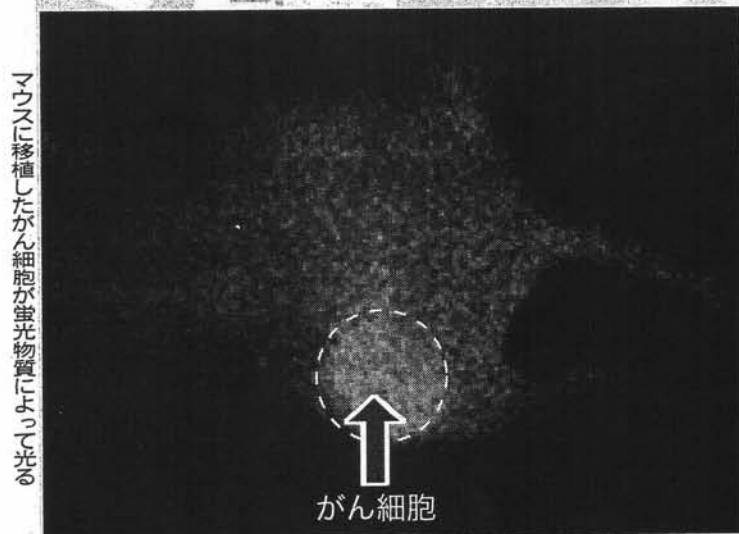
がんに対する治療の原点である外科的手術には約100年の歴史がある。早期の段階で発見され、狭い範囲にとどまっていたがんには今なお有効な方法だ。しかしがん細胞は時間がたつと増殖し、体内の至る所に転移する。そうしたがんに対して、蛍光物質を混ぜると、

する治療法として登場したが、がん化した部位が光ってこまで転移したかが一目で分かるようになる。使った実験で蛍光物質が

永瀬教授らはマウスを合成に成功し、09年3月にはこの物質の特許申請している。

蛍光物質を混ぜた化合物を別々に体内に入れる。それを利用しようとするのだが、葉緑素の構造を抑制することによって、がん細胞は赤く光り、性質があるのも都合がよい。副作用が大きい放射線治療で照射できるX線の量は決まっている。特殊なX線を利用すれば何度も治療が行える利点がある。永瀬教授らは、患者から採取したがん細胞を使った

本学Nプロジェクト医療班は、ナノテクノロジーを利用した新薬や放射線照射を組み合わせた新たな治療法の確立を目指している。核となるメンバーは7人。医学部の永瀬浩喜教授(生命科学)が中心だ。



マウスに移植したがん細胞が蛍光物質によって光る

がん細胞

永瀬教授はマウスを合成に成功し、09年3月にはこの物質の特許申請している。問題は、この物質がどの部分が赤く光り、性質があるのも都合がよい。副作用が大きい放射線治療で照射できるX線の量は決まっている。特殊なX線を利用すれば何度も治療が行える利点がある。永瀬教授らは、患者から採取したがん細胞を使った

## X線・薬物でがんを挑む

授らは、患者から採取したがん細胞を使った

永瀬教授はマウスを合成に成功し、09年3月にはこの物質の特許申請している。問題は、この物質がどの部分が赤く光り、性質があるのも都合がよい。副作用が大きい放射線治療で照射できるX線の量は決まっている。特殊なX線を利用すれば何度も治療が行える利点がある。永瀬教授らは、患者から採取したがん細胞を使った

# 未来創造

## N.プロジェクト

エネルギー

- 5 -

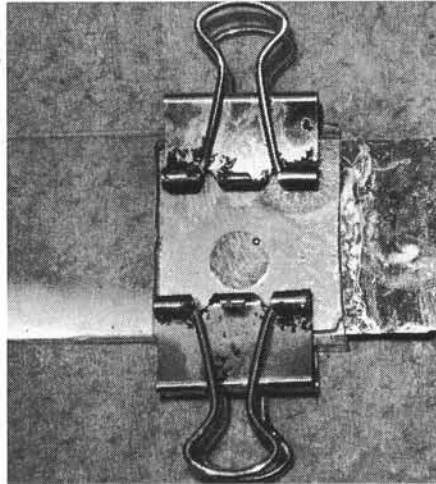
現代人の生活になくてはならない電気の生産には、長らく石油や石炭などの化石燃料が使われてきた。こうした有限な資源の確保は、時には国家の安全保障にもかかわる。特に日本など無資源

太陽光を電気に変換する方法はいくつかある。同班の松下祥子東工大准教授(材料工学)が取り組むのは色素増感型太陽電池。色素分子の特性を利用して太陽エネルギーを電気に変換する方法

国にとつては、無限にエネルギーを生産できるシステムの確立は悲願とも言えるテーマなのだ。

N.プロジェクトエネルギー一班が取り組むのはまさにこの課題。太陽光を利用した発電だ。「環境への負担が小さい、無限のエネルギー源の開拓」代表を務める文理学部の橋本拓也教授(エネルギー材料学)はプロジェクトの意義をこう解説する。

色素増感型太陽電池の電極の概念模型。右の金属板がプラス左のガラス板がマイナス極



の表面にある色素に、太陽などの光が当たると電子が発生。電子がマイナスイオン極側に工夫を凝らした。電気を効率的に起こすには酸化チタン分子の並び方が鍵となる。酸化チタン分子が規則的に並び、長時間光を閉じ込めることがで

は能率的に結晶を作る方法も考えた。直径数ミリの珪素増感型太陽電池の研究が順調に進めば2020年ごろには市場に出回るのはないかと予測する。松下准教授らが作製した色素増感型太陽電池が発生させる電流は、光電変換部

問題のは約800℃の高温でない酸化チタンイオンがマイナスイオン極へ移動しなめるのは太陽光を利用し発生させた水素を燃料に時間がかかる上に電池の性能も損なわれ

# つかめ太陽エネルギー

タンで埋めプラスチック1平方センチあたり1.6リットルにする燃料電池だ。片側が閉じた筒状の金属酸化温度は500℃前後だ。コン型太陽電池の約39分の1という微弱さだ。そして、外側に水素ガスを吹く燃料電池の最大電力は200ワット。橋本教授は、色素増感型太陽電池の開発を急ぐのは、製造が容易で材料費も安いため、燃料電池を駆動させる基礎となる高温状態になり金属酸化物を移動させる安定性の向上に取り組んでいる。(最終回)

帯田 翔子



第2回日本大学N.研究プロジェクトシンポジウム

# ナノ物質に基づく光・量子技術の極限追求

2nd Symposium of Nanotechnology Excellence, Nihon University 2010

**Nanomaterial-based Photonic, Quantum and Bio Technologies**

**2010年9月18日(土)**

開演時間: 午前10時~午後5時

場 所: 日本大学理工学部船橋キャンパス14号館(船橋・千葉)

テ ー マ: 羽ばたけ、日本大学N.の若手研究者

招待講演: Dr. Pascal Naidon (東京大学 ERATO上田マクロ量子制御プロジェクト)  
行方 直人 博士 (日本大学量子科学研究所)

N.研究プロジェクト若手メンバー講演:

伊掛 浩輝	松下 祥子(東京工業大学)
塚本 新(さきがけ)	佐甲 徳栄
岩田 展幸	羽柴 秀臣
浅井 朋彦	

N.研究プロジェクト紹介:

大月 穰 (N.研究プロジェクト研究代表者)

メンバーおよび共同研究者のポスター発表多数

情報は、[http://www.nihon-u.ac.jp/research/n\\_research\\_project/project01/Nproject21.html](http://www.nihon-u.ac.jp/research/n_research_project/project01/Nproject21.html)

問合せは、日本大学理工学部 大月 穰 [otsuki@chem.cst.nihon-u.ac.jp](mailto:otsuki@chem.cst.nihon-u.ac.jp)

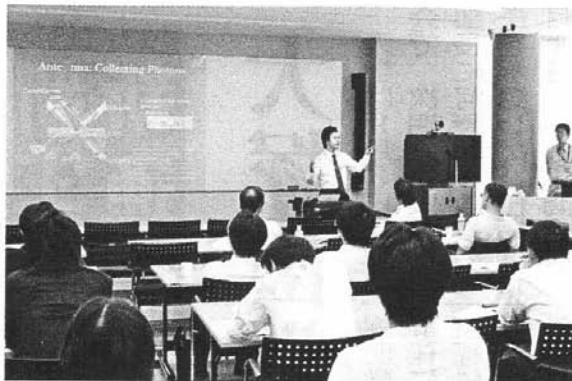
平成22年10月15日

日本大学広報 第611号

# ナノ技術の極限を追求

## 第2回 N.P. プロジェクト シンポジウム

本学学術研究戦略プロジェクト（N.P.研究プロジェクト）の「ナノ物質を基盤とする光・量子技術



の極限追求」研究を巡る第2回シンポジウムが9月18日に理工学部船橋校舎で開かれ、教員や学生

のほか学内の研究者など約100人が詰めかけた。写真。

1年前に開かれた最初のシンポジウムが、ナノ（10億分の1）レベルの革新的科学技術の実用化に向けた研究の方向性を示す会合とすれば、今回はその後の中

間報告。発表に立った8人の研究者には30代を中心としたバリバリの若手ばかりをそろえ、高配向

ポリフィルム作製の光誘起磁化反転による超高速情報記録、新素材の単層カーボンナノチューブの作製など、その後1年間の進捗（しんちよく）状況を示す研究成果を、それぞれ英語で説明した。

招待講演も原子核研究の第一人者である東大理系研究所のパスカル・ネドン博士研究員に続いて、本学量子科学研究所の行方直人助手が登壇。井上修一郎教授と開発した既

存の光通信技術に量子計算を組み込んで実現した大容量情報の伝送技術の説明には、熱心な質問が相次いで、新開発技術のインパクトと周囲の関心の高さを改めて印象付けた。



## 研究室紹介

### 【理工学部】

# 学部連携研究により ナノ物質を基盤とする 新しい研究領域を開く

## 日本大学N.研究プロジェクト 「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」

2008年、学内資金による日本大学の代表となるような研究プロジェクトの公募がありました。それまで私は理工学部のハイテクリサーチセンターやCOEへの応募(日の目は見ていませんが)等に携わっていました。それらのメンバーを中心に、それまでの研究成果を異分野と融合させてさらに発展させられるようなプロジェクトを作ろうという話になり、文理学部や医学部の先生方に声をかけ、研究計画を練りました。理工学部には情報記録や量子情報など情報分野で、文理学部には太陽電池や燃料電池などエネルギー分野で、医学部にはナノバイオ医療で実績を挙げた先生方がおられました。ディスカッションの中で、「ナノ物質」と「光」そして両者を結びつける「量子」というキーワードが浮かび上がってきました。ナノ物質を共通の基盤とした光や量子に関わる技術の極限を追求しようという意気込みとそれを裏打ちする計画を含めたのが、私達のプロジェクトです(図①)。

## 分子からできる ナノ構造と機能

私自身は、化学が専門で、化合物をデザインし、合成し、合成した化合物が形成するナノ構造を明らかにして、ナノ構造由来の機能、特に電子や光に関わる機能を明らかにするといった、比較的基礎的な研究をしてきました。最近の面白い成果を1つ紹介しましょう。ある種の分子は、2枚の円盤が1つの丸い金属原子をはさみこんだ構造をしています。ポルフィリンという円盤状の分子が2枚重なっていることからダブルデッカーポルフィリン錯体と呼ばれます。2枚の円盤は、金属原子をボールベアリングのボールのように利用して、互いに回転するというのがいわれていました。しかし、回転するのを「見た」人は誰もいませんでした。図②は、大学院生の小松裕司くんの成果で、その分子の回転をはじめて「見た」像です。ポイントは分子のデザインと、それを実際に合成したということと、粘り強く観察を続けたということです。何せ回転するのは直径が1ナノメートルという分子1つ

大月 稔 ◆おおつき じょう  
理工学部 物質応用化学科 教授

1991年東京大学大学院工学系研究科修了。工学博士。東京大学生産技術研究所助手、日本大学理工学部専任講師、助教授、准教授を経て、2010年より教授。専門分野は超分子化学、金属錯体、表面化学等。所属学会は、日本化学会、American Chemical Society、応用物理学会、有機分子・バイオエレクトロニクス分科会、電気化学会、錯体化学会。



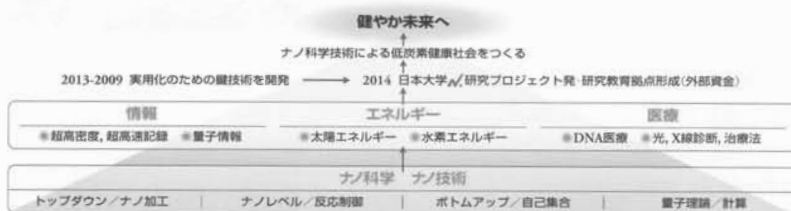
ですから、将来的にはマイクロマシンなどより遥かに小さいナノマシン、ナノデバイスの部品になるかも……ということも想像されます。

## 日本大学N.研究プロジェクトによる 新しい研究領域へ

今述べたダブルデッカーポルフィリン錯体は、回転と言っても実は、熱運動によって勝手に向きを変えているだけです。そこで、分子の回転をナノ電極でコントロールできる分子回転素子を創るという計画を立てました。N.研究チームには、ナノ電極を作製できる研究者が量子科学研究所に、分子1つの発光を測定できる研究者が文理学部に、微小領域の電場を計算できる研究者が理工学部におられたので、共同研究をスタートしました。また、この課題は2010年度からの科研費新学術領域「配位プログラミング」の公募研究にも採択され、学外資金も導入できました。学部連携の背景があったればこそその採択だったと思います。

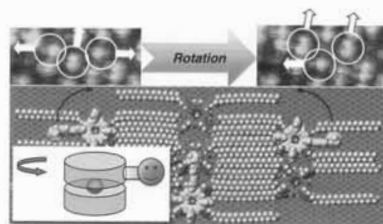
同じポルフィリン化合物にも全く異なった用途があります。例えば、ポルフィリン化合物を癌細胞に集めておいてレーザー光を照射して癌細胞を死滅させる光線力学療法です。ただしレーザー光は生体組織を透過しにくいので、体の表面にある癌にしか適用できません。そこで、N.研究チームの医学部の研究者のアイデアで、体を透過するX線を使って光線力学療法に適用するという研究に取り組むことになりました。そのためにX線を吸収するポルフィリン化合物をいくつか合成しました。培養細胞レベルの実験で効果があることが確かめられ、2010年、NUBICから「ポルフィリン誘導体および放射線力学療法におけるその利用」として特許出願しました。

基礎的な研究が、ナノ物質という共通項を通じて、N.研究プロジェクトの異分野と出会うことによって、新しい科学を開拓し、新しい技術を開発しようという研究につながっています。N.研究プロジェクトではこれ以外にも多くの分野融合型、学部連携型研究課題がスタートしています。ホームページ(日本大学のトップページからリンクされています)でも研究成果を発信していますのでご覧いただければ幸いです。



[左] 図① 日本大学N.研究プロジェクト

[右] 図② ダブルデッカーポルフィリン錯体の回転 J. Am. Chem. Soc. 2010, 132, 6870. より許可をえて転載、一部改変 Copyright 2010 American Chemical Society.



自己組織化プラズマの  
安定性の積極的制御法に関する研究

物理学科 専任講師 浅井 朋彦



現状、核融合炉心に最も近いとされる磁場閉じ込めプラズマは、国際熱核融合炉 (ITER) に代表されるトカマク方式である。しかし、トカマク炉が巨大で、電力会社では賄えないような莫大な建設費を要するとの懸念から、代替方式の研究も積極的に進められている。外部コイルで生成される強磁場により高温プラズマを閉じ込めるトカマクに対し、本研究で対象とする磁場反転配位 (Field-Reversed Configuration : FRC) では閉じ込め磁場の大部分をトロイダル方向に流れるプラズマ電流が担うため、多くの磁場閉じ込め方式の中でも極端に高いベータ値<sup>1</sup>、すなわち閉じ込め効率の高さを有する。FRCはこの極めて高いベータ値に加え、コンパクトな幾何的構造などの工学的なメリットを併せ持ち、中性子の発生の極めて少ないD-<sup>3</sup>He反応炉が成立し得る数少ない方式の一つでもある。

しかし、配位に崩壊をもたらす巨視的不安定性を抑制する決定的な手法がなく、また、閉じ込め性能の目立った向上もなかったことから、FRCは核融合研究において長くマイナーな方式であった。FRCにおいて最も重要な課題の一つは、配位を崩壊に導くトロイダルモード数  $n = 2$  の交換型不安定性の抑制である。これまでこの不安定性を積極的に制御する唯一の方法は、FRCを取り囲む多極磁場の磁気圧によるものであった。しかしその後の研究により、多極磁場が磁気面の対称性を崩し閉じ込め性能が劣化することが判明し、その後多くの工夫が試みられて来たが決定的な解決には至らなかった。

不安定性制御とは別に、大電流 (~数百 kA) の高速 (~数  $\mu$ 秒) な立ち上がりを必要とするFRC生成領域と定常磁場の必要な閉じ込め領域を分離する手法として、磁気圧差を利用したFRCの超音速移送の開発も進められた。この手法はすでに確立しており、現在では、逆磁場テーパピンチ法により生成されるFRCは、準安定領域へと移送され維持されるのが一般的になっている。この移送によって前述の不安定性が抑制されるケースがあることが報告され、移送時に発現するトロイダル磁束との関連が指摘された。

本研究は、移送で見られた微小なトロイダル磁束によるFRCの安定化を、外部からの磁気ヘリシティ注入により積極的に行おうというものである。FRCと同じく単連結構造の磁場配位を有するスフェロマックを磁化同軸プラズマガンにより同軸入射することで磁気ヘリシティを供給し、緩和過程を通じて、本来FRCが持たない磁力線の回転変換を与えることで安定性の向上を図った。この結果、不安定性の抑制に加え、閉じ込めの指標である磁束減衰時間が伸長する結果が確認されており、FRCにおいて最大の問題であった閉じ込め性能と不安定性を同時に制御する画期的な手法として注目されている。

現在、これらの成果を受け、FRCの電流駆動による長パルス実験を目指した実験の準備を進めている。これは、FRCの強い自己組織化性を利用し、トポロジーの変化を伴う超アルフベン速度移送を経て中心ソレノイドによりFRCの電流駆動を行うもので、日本大学の核融合実験装置としても、また、国内FRCの実験としても最大規模のものとなり、新奇性の高さも併せて国内外からもその成果が注目されている。

<sup>1</sup> プラズマ圧と外部磁気圧の比

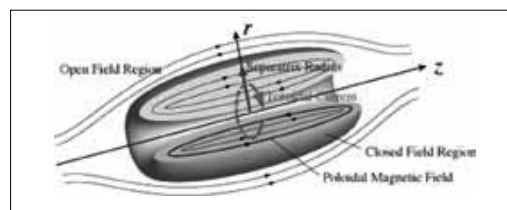


図1 Schematic diagram of field-reversed configuration (FRC)

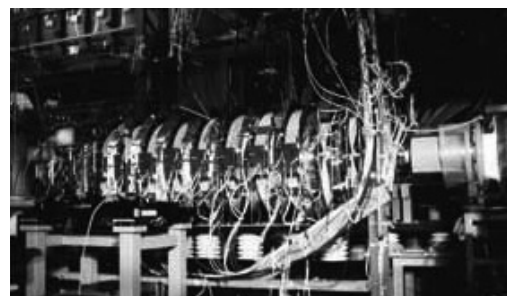


写真1 FRC生成・移送装置、NUCTE-III/T (物理実験A棟)

# 単一光子検出器 開発 半導体使い

## 毎秒24キロビット 100km伝送成功

### 量子暗号通信に道

#### 日大とNTT

日本大学とNTTの共同チームは、絶対的な安全性を保証する次世代通信である量子暗号通信の実用化に向け、高性能な半導体製の単一光子検出器を開発した。この検出器を使って実験室レベルの暗号通信実験を行ったところ、超電導を利用した検出器が持つ従来の世界記録を超える、毎秒24<sup>キロ</sup>ビットの高速で100<sup>キロ</sup>メートルの長距離を伝送することに成功した。米オプティクス・エクスプレス誌に近日中に発表する。

日大量子科学研究所の 所と共同で研究した。行方直人助手、井上修一 開発したのは、単一の郎教授が、総務省および 光子を検出する半導体製情報通信研究機構(NII) のなだれフォトダイオード(APD)。インシウム(NTT)物性科学基礎研究 ム・ガリウム・ヒ素とインシウム・リンで構成する。ある一定以上の逆電圧がかかると、電子がなだれのような現象を引き起こし、光子1個を電流に変換して検出する。

今回、ペルチェ素子を使った電子冷却により、雑音を増やさずにAPDの動作温度を約80度Cまで下げて伝送性能を高め、パルス幅を従来の半分以下の20<sup>ナノ</sup>秒(ピコは1兆分の1)に狭めて光子の検出効率を高めた。このAPDをNTTが開発したシステムに組み込んで伝送実験を行った。2007年に超電導を

使う光子検出器が毎秒17<sup>キロ</sup>ビットの速度で105<sup>キロ</sup>メートルまで伝送する実験に成功して

いたが、今回これを塗り替え、APDが超電導検出器に匹敵する性能を持つことを確かめた。さらに、10<sup>キロ</sup>メートルの短距離では毎秒1<sup>メガ</sup>ビット(メガは100万)まで高速化することが可能で、速度を落とせば距離は160<sup>キロ</sup>メートルまで延びるといふ。

単一光子の検出は半導体製のAPDのほか、空変二オプ製の超電導ナノ細線を使う手法がある。超電導検出器は高性能だが、冷凍機が必要で小型化しにくい。一方、APDは小型化が可能で安価なことから、実用性能が高いと言われている。

掲載日付：2011年6月15日

媒体：日本大学広報 第622号

## 半導体製の単一 光子検出器開発

量子科学研究所



井上教授



行方助手

量子科学研究所の井上修一郎教授と行方直人助手が、究極の暗号技術とされる量子暗号通信で、高性能な半導体の単一光子検出器を開発。NTTとの統合実験で、超電導を利用した検出器を持つ従来の世界記録を超えて、5月中旬に米学会のオプティクス・エクスプレス誌に掲載された。

量子暗号通信は盗聴を事実上不可能にする技術で、開発した半導体製の検出器はそのカギを握るもの。他に超電導をつかった光子検出器が毎秒17キビットの速度で105キビットを伝送する実験に成

功していたが、今回は毎秒24キビットの高速で100キロメートルの長距離伝送に達成し、従来の記録を塗り替えた。高性能だが大掛かりな冷凍機が必要な超電導に比べて、小型化が可能で安価な新検出器の開発により、量子暗号通信の実用化にめどをつけたと評価も高い。

なお、この検出器開発は本学の学術研究戦略プロジェクト（Nプロジェクト）に採択された「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」の成果の一つ。

掲載日付：2011年6月20日

媒体：日本大学新聞 第1291号

量子科研

## 世界最高速の光子検出器

# 井上教授らが共同開発



行方直人助手



井上修一郎教授

量子科学研究所の井上修一郎教授（量子光学）と行方直人助手はこのほど、NTTと共同で伝送速度が世界最速の光子検出器を開発した。

現在は超電導を用いた検出器が多いが、同教授らはインジウム、ガリウム、ヒ素の混合物で構成された特殊な半導体を使用した。今回の検出器では光子を検出する際に発生する雑音が超電導を用いた検出器と同じ程度まで減少させることに成功した。

実験室レベルで量子暗号通信を試みると、井上教授らの光子検出器は100キロビットを毎秒24キロビットで伝送できた。超電導利用の光子検出器だと105キロビットで毎秒17キロビットが最高。

井上教授の話 10年前から半導体を使った光子検出器の研究を進めてきた成果だと思う。今後は光子検出器を企業に技術移転をして、実用化に向けて製品開発を行ってきたい。

行方助手の話 半導体を用いた検出器で世界最速の伝送速度を記録したことで、量子暗号通信の実用化に近づいた。

掲載日付：2011年6月27日

媒体：日経プレスリリース(WEB)

業種 メーカー / 通信機器・精密機械 発表日 2011/06/27

企業名 情報通信研究機構 | ホームページ: <http://www.nict.go.jp/>

## NICT、光通信理論のビット誤り率限界(ショット雑音限界)を打破することに成功

光通信理論のビット誤り率限界を世界で初めて打破

～ 超長距離・低電力・大容量通信に向けた新たな一歩 ～

### 【背景】

光通信の性能は、0と1の信号を識別する際のビット誤り率によって決まります。ビット誤り率は、伝送システムの雑音を除去することで小さくできますが、それでも原理的に消せない雑音(量子雑音(\*3))が存在します。このため、従来の光通信理論では、ビット誤り率はある一定の限界(ショット雑音限界(\*4))より小さくすることはできないとされています。一方、量子通信理論(\*5)では、量子雑音を制御することができれば、ビット誤り率をさらに低減できることが知られていました。しかし、信号を受信する過程での量子雑音制御は技術的に難しく、ショット雑音限界を打ち破るような量子受信機は、これまで実証されていませんでした。

### 【今回の成果】

今回、NICTは、光を波として制御する従来の光通信技術に、粒子(光子(\*6))としての性質までも制御する技術を加えることで、量子雑音の影響を減らす受信方式(量子受信機)を提案しました。この量子受信機に、AIST及び日本大学が開発した世界最高感度の光子数検出器(超伝導転移端センサ)を組み込み、光通信理論のビット誤り率限界(ショット雑音限界)を打破することに世界で初めて成功しました。

今回の成果は、従来の理論限界を超えるもので、超長距離・低電力・大容量の量子通信の実現に向けた大きな突破口となるものです。

### 【今後の展望】

この量子受信機を現在のコヒーレント光通信(\*7)の受信機に置き換えて、既存の光ネットワークインフラに組み込めば、低電力で大容量の通信が実現できます。まず、10年後をめどに衛星-地上間の光通信の高性能化に利用できるよう開発を進めていきます。また、本技術は極めて高精度に光子を検出できるため、光エネルギーの計測標準技術などにも適用することが可能です。将来的には、長距離光ファイバ通信の中継増幅器の数の削減や、光ファイバ中の送信電力を上げずに、通信の大容量化を実現すること等が可能になります。

独立行政法人情報通信研究機構(以下「NICT」、理事長:宮原 秀夫)は、独立行政法人産業技術総合研究所(以下「AIST」)及び日本大学と共同で、光通信のための新しい原理の量子受信機(\*1)を開発し、光通信理論のビット誤り率限界を打破する実証実験に世界で初めて成功しました。

将来、この量子受信機を実用化し、これまでの光通信の受信機と置き換えることで、光ファイバ中の送信電力を上げずに大容量の通信が可能になるほか、宇宙空間での超長距離通信にも有効となります。今回の実験の成功は、これらの実現に向けた最初の一歩です。

なお、本成果は、米国物理学会速報誌「Physical Review Letters」(米国時間6月24日付けオンライン及び誌面(\*2))に掲載されました。

※今回開発した「量子受信機」の画像、補足資料は添付の関連資料を参照

掲載日付：2011年6月28日

媒体：Fuji Sankei Business i

## 情報通信研究機構が受信機開発

# 宇宙空間でも大容量光通信

情報通信研究機構は27日、光通信の性能を大幅にアップできる新しい原理の量子受信機を開発したと発表した。この技術が実用化されれば、次世代光通信での消費電力が大幅に低減できるほか、宇宙空間での超長距離通信も可能になるという。

光通信の性能は「0」と「1」の信号を識別する際の「誤り率」に左右される。誤り率はデ

ジタル伝送信号に誤りが発生する確率で「0」に近いほど通信は安定。太平洋を横断するよう

な長距離通信では信号が弱くなり、0.18%より小さくすることは不可能だとされてきた。

しかし、量子通信理論という従来とは別の理論を基礎にした新受信機では、雑音の制御をより高めることで0.174%を実現。「理論値を超え、さらに性能を上げられる可能性が出てきた」（同機構量子ICT研究室の佐々木雅英室長）という。

通信会社の伝送路を電力使用量を変えずに大容量化できる可能性があるほか、衛星から地上に大容量データを送信するといった利用方法も検討する。

掲載日付：2011年6月28日

媒体：SANKEI BIZ (WEB)



企業

総合トップ

自動車 | 情報通信 | 電機 | メーカー | サービス | 金融 | 経営 | 新商品 | 海外企業 | 中小企業 | フォト



## 宇宙空間でも大容量光通信 情報通信研究機構が受信機開発

2011.6.28 05:00

ツイートする

24

チェック

tB

CLIP



情報通信研究機構は27日、光通信の性能を大幅にアップできる新しい原理の量子受信機を開発したと発表した。この技術が実用化されれば、次世代光通信での消費電力が大幅に低減できるほか、宇宙空間での超長距離通信も可能になるという。

光通信の性能は「0」と「1」の信号を識別する際の「誤り率」に左右される。誤り率はデジタル伝送信号に誤りが発生する確率で「0」に近いほど通信は安定。太平洋を横断するような長距離通信では信号が弱くなり、0.18%より小さくすることは不可能だとされてきた。

しかし、量子通信理論という従来とは別の理論を基礎にした新受信機では、雑音の制御をより高めることで0.174%を実現。「理論値を超え、さらに性能を上げられる可能性が出てきた」（同機構量子ICT研究室の佐々木雅英室長）という。

通信会社の伝送路を電力使用量を変えずに大容量化できる可能性があるほか、衛星から地上に大容量データを送信するといった利用方法も検討する。



掲載日付：2011年6月28日

媒体：Laser Focus World Japan (WEB)

## News Details ニュース詳細

### NICT、光通信理論のビット誤り率限界を世界で初めて打破

**June 28, 2011, 東京**—情報通信研究機構（NICT）は、産業技術総合研究所（AIST）及び日本大学と共同で、光通信のための新しい原理の量子受信機を開発し、光通信理論のビット誤り率限界を打破する実証実験に世界で初めて成功した。

将来、この量子受信機を実用化し、これまでの光通信の受信機と置き換えることで、光ファイバ中の送信電力を上げずに大容量の通信が可能になるほか、宇宙空間での超長距離通信にも有効となる。

光通信の性能は、0と1の信号を識別する際のビット誤り率によって決まる。ビット誤り率は、伝送システムの雑音を除去することで小さくできるが、それでも原理的に消せない雑音（量子雑音）が存在する。このため、従来の光通信理論では、ビット誤り率はある一定の限界（ショット雑音限界）より小さくすることはできないとされている。一方、量子通信理論では、量子雑音を制御することができれば、ビット誤り率をさらに低減できることが知られていたが、信号を受信する過程での量子雑音制御は技術的に難しく、ショット雑音限界を打ち破るような量子受信機は、これまで実証されていなかった。

今回、NICTは、光を波として制御する従来の光通信技術に、粒子（光子）としての性質までも制御する技術を加えることで、量子雑音の影響を減らす受信方式（量子受信機）を発案した。この量子受信機に、AIST及び日本大学が開発した世界最高感度の光子数検出器（超伝導転移端センサ）を組み込み、光通信理論のビット誤り率限界（ショット雑音限界）を打破することに世界で初めて成功した。

今回の成果についてNICTは、「従来の理論限界を超えるもので、超長距離・低電力・大容量の量子通信の実現に向けた大きな突破口となるもの」と説明。さらに、今後の展望として、「この量子受信機を現在のコヒーレント光通信の受信機に置き換えて、既存の光ネットワークインフラに組み込めば、低電力で大容量の通信が実現できる」とNICTは考えており、当座の目標として「10年後をめどに衛星-地上間の光通信の高性能化に利用できるよう開発を進める」としている。

これ以外での展開では、同技術が極めて高精度に光子を検出できることから、「光エネルギーの計測標準技術などへの適用」、「長距離光ファイバ通信の中継増幅器の数の削減、光ファイバ中の送信電力を上げずに、通信の大容量化を実現すること」等を挙げている。

(詳細は、米国物理学会速報誌「Physical Review Letters」（米国時間6月24日付オンライン及び誌面））

N.  
日本大学工学部学術講演会  
N. 研究プロジェクト特別セッション

オール日大の  
総合研究

基礎から  
最先端まで

## ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求

Nanomaterial-based Photonic, Quantum and Bio Technologies

2011年11月26日(土)

開演時間: 午前9時~午前11時

場 所: 日本大学工学部駿河台校舎1号館2階

講演者: 大月穰(N.研究プロジェクト研究代表者)

桑本 剛 芦澤 好人 西宮 伸幸 渡部 隆義 佐甲 徳栄  
岩田 展幸 浅井 朋彦

情報は、[http://www.nihon-u.ac.jp/research/n\\_research\\_project/project01/Nproject21.html](http://www.nihon-u.ac.jp/research/n_research_project/project01/Nproject21.html)

問合せは、日本大学工学部 中川 活二まで [knaka@ecs.cst.nihon-u.ac.jp](mailto:knaka@ecs.cst.nihon-u.ac.jp)

# 第3回 日本大学N. 研究プロジェクトシンポジウム

ナノ物質を基礎とする光・量子技術の極限追求  
Nanomaterial-based Photonic, Quantum and BioTechnologies

日時 平成24年2月20日(月)13:00~18:00

場所 日本大学会館 大講堂(2階) 千代田区九段南4-8-24(JR市ヶ谷駅下車徒歩5分)

次第 13:00 開会式 開会挨拶 日本大学研究推進部部長 平 峯 元 昭

13:10 シンポジウム

(プロジェクト総括報告)

研究代表者 理工学部・教授 大 月 穰 「ナノ分子系の光機能」

(研究分野別報告)

文理学部・教授 橋 本 拓 也

「太陽電池・燃料電池・水素システムを中心とするクリーンエネルギーシステムの開発」

理工学部・教授 中 川 活 二

「超高速・超高密度情報記録への戦略」

理工学部・教授 井 上 修 一 郎

「量子情報通信の最先端開発」

( Coffee Break )

理工学部・教授 鈴 木 薫

「ナノ物質・ナノデバイスの創製」

理工学部・准教授 大 貫 進 一 郎

「ナノ物質と光の相互作用の理論と計算」

理工学部・専任講師 伊 掛 浩 輝

「自己集積ナノ構造体の創製」

大学院総合科学研究科・教授 福 田 昇

「薬としての実用化をめざすDNA塩基配列認識化合物」

16:30 研究情報交換会・懇親会 大講堂内ポスター発表会場

問合せ 理工学部 大月 穰 E-mail: ostuki.joe@nihon-u.ac.jp

総合科学研究所(研究推進課)

石川 登 E-mail: ishikawa.noboru@nihon-u.ac.jp

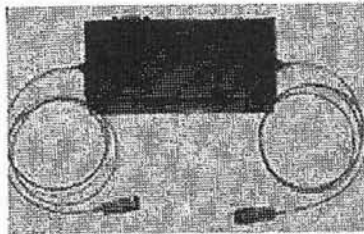
[http://www.nihon-u.ac.jp/research/n\\_research\\_project/project01/](http://www.nihon-u.ac.jp/research/n_research_project/project01/)



掲載日付：2012年2月27日

媒体：電経新聞

PPLN  
導波路



## 量子技術で 世界的な成果

OKIと日本大学

OKIは、独自技術で世界最高レベルの高純度量子もつれ光

れ光子対発生に成功した。日本大学の研究グループとの実証実験に  
雑音比を確認。この光源を用い、通常のファイバ通信での

## 高純度量子もつれ光源を開発

源を開発し世界で初めて、現在利用されている光通信帯で常温動作による高純度量子もつ

より、量子暗号用光源性能として従来のファイバ型光源と比べて100倍以上の信号  
伝送試験を実施し、140キロメートルの量子もつれ光子対伝送にも成功した。

# 大目とOKI 世界最高純度量子もつれ光源を開発 実用的な次世代量子暗号技術の確立に成功

OKIは、独自技術を用いて世界最高レベルの高純度量子もつれ光源を開発したと発表した。世界で初めて、現在利用されている光通信帯で常温動作による高純度量子もつれ光子対発生に成功した。日本大学量子科学研究所の井上修一郎教授らの研究グループとの実証実験で、量子暗号用光源性能として従来の光ファイバー型光源と比べて100倍以上の信号雑音比を確認した。

さらに、この光源を用いて、通常の光ファイバー通信での伝送試験を実施し、140キロメートルの量子もつれ光子対伝送にも成功した。同技術を適用することで、既存の光ファイバー通信環境で都市間伝送が可能な常温動作の次世代量子暗号通信システムが実現できることを実証した。

量子力学の原理に基づき盗聴を検出する量子暗号技術は、解読不可能な究極の暗号を実現できるため、スマート社会を支える高セキュリティサイバー空間として注目されている。現在、実用化に向けて様々な研究開発がなされているが、光源については▽極低温冷却が必要

である▽光通信帯以外の波長の光を扱う必要がある▽光子の純度向上が困難など、実用上大きな課題があったという。今回、OKIは、独自に開発した周期分極反転構造二オプ酸リチウム(PPLN)導波路デバイスを用いて、カスケード非線形光学効果方式による量子もつれ光源の開発に成功した。常温で

動作し、光ファイバー通信波長だけで構成可能なことから実用的な次世代量子暗号技術といえるとしている。そして、日本大学量子科学研究所が開発した、1GHzの高繰り返し低雑音・高効率に光子を検出できる半導体単一光子検出器を用いて開発した量子もつれ光源の性能実証実験を行った。この結果、生成した光子対の信号・雑音比として、従来型の光源・検出器の組み合わせに対して数十倍〜数百倍の値が得られ、同研究で開発した量子も

つれ光源ならびに単一光子検出器を用いることで、信号誤り率の低い量子暗号通信が実現できることを実証した。さらに、生成させた量子もつれ光子対を伝送する試験も行い、常温動作の光ファイバー通信環境系で140キロメートルの伝送距離において、量子もつれ状態が十分に保持されることを確認され、都市間の伝送に相当する量子暗号通信が十分可能な性能を実証した。

◇PPLN導波路デバイス 自発分極の向きを周期的に反転させた構造を有するLiNbO3結晶を用いた導波路型光デバイス。位相整合の実現により高い非線形光学効果を得ることができ、また、導波路構造による高い光閉じ込め効果により、非線形光学効果を高効率化できる。

つれ光源ならびに単一光子検出器を用いることで、信号誤り率の低い量子暗号通信が実現できることを実証した。さらに、生成させた量子もつれ光子対を伝送する試験も行い、常温動作の光ファイバー通信環境系で140キロメートルの伝送距離において、量子もつれ状態が十分に保持されることを確認され、都市間の伝送に相当する量子暗号通信が十分可能な性能を実証した。

掲載日付：2012年3月15日

媒体：日本大学広報 第632号

## ナノレベルの研究成果を報告

### 第3回Nプロジェクト

本学学術研究戦略プロジェクト（Nプロジェクト）の「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」研究を巡る第3回シンポジウムが2月20日に日本大学会館で開かれ、8人の研究者が情報技術やエネルギー、

医療分野での研究成果や進捗（しんちよく）状況を中間報告した。写真。

カノ（10億分の1）レベルの革新的な科学技術の実用化を目指して、理工、文理、医、生物資源科、薬の5学部が横断的な共同研究をスタートさせたのは平成21年。

研究の進捗ぶりは毎年のシンポジウムで報告されてきたが、3年目の今回は研究代表者の大月穰・理工学部教授を皮切りに、「情報分野の研究でさらに大きな進展をみせ、量子通信実験でいくつか新記録を達成」

よいよ水素エネルギー利用の要となる燃料電池の試作に「遺伝子をターゲットとした薬開発も、前臨床試験を経て臨床応用への準備をすすめている」などの成果が盛んに強調された。

これには評価委員の有賀克彦・物質材料研究機

構主任研究員も「多面性をもつプロジェクトで、そのうちどれかの研究が毎年必ず成功しているのは素晴らしい」と講評。引き続き行われた研究情報交換会では、100人余りの参加者が27のポスター発表を囲んで、議論を重ねた。



情報技術やエネルギー、

医療分野での研究成果や

進捗（しんちよく）状況

を中間報告した。写真。

Scan's capabilities through the development of chemical recognition algorithms. The algorithms will enable the system to detect liquid and solid chemical warfare agents and other emerging chemical threats from a standoff distance on a variety of substances, said Petros Kotidis, CEO of Block MEMS. LaserScan is a next-generation spectrometer that incorporates widely tunable mid-IR quantum cascade lasers. Applications include the detection of explosive materials, chemical and biological agents, and toxic industrial chemicals.

**Company Grows in Latin America** Ocean Optics of Dunedin, Fla., has appointed Marcio Siqueira as regional sales manager for Brazil. Based in São Paulo, he will work with customers and distributors throughout Brazil and Latin America, offering educational and sales support for the company's product line, including spectrometers, chemical sensors, analytical instrumentation and metrology equipment. He also will facilitate the growth of the company in these territories and will continue to develop its distributor network. Before joining Ocean Optics, Siqueira worked at Hanna Brasil Imp. e Exp Ltda as sales manager for Brazil.

**Zecotek Files Patent Suit** Zecotek Imaging Systems Pte Ltd., a subsidiary of Zecotek Photonics Inc. of Richmond, British Columbia, Canada, has filed a patent suit in the US against Saint-Gobain Corp. and Philips for infringing its US

Patent No. 7,132,060. The patent covers the substances and chemical formulations used to grow lutetium fine silicate (LFS) scintillation crystals. The lawsuit alleges that Saint-Gobain's LYSO crystals infringe Zecotek's patent, and that Philips infringes by using those crystals in the positron emission tomography scanners it sells. Zecotek is joined by its exclusive licensee for certain LFS crystals, Beijing Opto-Electronics Technology Co. Ltd., as co-plaintiff.

**OKI Develops Light Source** Telecommunications company OKI Electric Industry of Tokyo has announced its development of a quantum entangled light source that offers the highest purity level achieved to date. The source is based on cascaded nonlinear optical effects using a proprietary periodically poled lithium niobate ridge waveguide device operating at room temperature. Research led by professor Shuichiro Inoue at the Institute of Quantum Science at Nihon University confirms a signal-to-noise ratio more than a hundredfold better than that of optical fiber light sources. OKI will continue to refine the light source. Its goal is to achieve a practical quantum cryptography communications system.

**REO Names President, CEO** Photonics industry veteran Paul Kelly has been appointed president and CEO of REO of Boulder, Colo., a high-volume precision optical solutions manufacturer. Kelly has more than 25 years of experience man-

aging and growing high-technology businesses. Before joining REO, he served as president of machine vision solutions provider Microscan. "Paul has unmatched knowledge, skill and experience in directing companies whose products are based in photonics technology," said Robert Knollenberg, REO founder. REO expects that Kelly will be able to further accelerate the growth it has experienced over the past 10 years.

**Phone Microscope Accessory Developed** A pocket-size accessory that turns an ordinary camera phone into a high-resolution microscope can accurately obtain images with resolution of 0.01 mm. Scientists at VTT Technical Research Centre of Espoo, Finland, have developed a microscope that attaches to a mobile camera lens with a magnet. It can examine various surfaces and structures in microscopic detail and can take high-resolution images that can be forwarded as MMS (Multimedia Messaging Service). It has applications in the security, health care and printing industries. VTT and KeepLoop Oy of Tampere, Finland, are exploring the commercial potential of the device. The first industrial applications and consumer models were expected to be released in early March 2012.

**Imra, Disco Collaborate** Femtosecond fiber laser manufacturer Imra America Inc. of Ann Arbor, Mich., a subsidiary of Aisin Seiki Co. Ltd. of Kariya, and Disco Corp. of Tokyo have teamed to develop lasers and processing systems for

**Diagnostics to defense... High-def solutions for high-priority applications.**

**From science to surveillance, Toshiba delivers endless compact HD solutions.**

With the widest variety of high definition cameras on the market, Toshiba has a solution for the most demanding imaging applications. From compact, single body to ultra-small remote head cameras, get the flexibility of 1080i/1080p/720p and DVI or HD-SDI output options and a host of controller configurations. Our HD cameras are as small as 1.18" x 1.37" x 1.41", with weight ranging from 1.76 to 4.3 ounces. When clear imagery is as critical as your operation, let Toshiba bring your project to HD life.

Specializing in high resolution video cameras for Scientific, Industrial, Broadcast, and Research markets

**TOSHIBA**  
**Leading Innovation >>>**  
[www.cameras.toshiba.com](http://www.cameras.toshiba.com)

**Super compact models include**

- 3CCD remote head with prism block technology
- Ultra-small CMOS remote head with two controller options
- CMOS one-piece camera with true progressive scan
- CMOS one-piece camera with selectable output
- 1080i, 1080p and 720p options
- DVI/HD-SDI video outputs

**Applications**

- Life Sciences / Diagnostics / Microscopy
- Homeland Security / Surveillance
- Aviation
- Industrial / Inspection
- Specialty Broadcast



The 4<sup>th</sup> Symposium of Nanotechnology Excellence, Nihon University 2012  
—Nanomaterial-based Photonic, Quantum and Bio Technologies—

## 第4回日本大学N.研究プロジェクトシンポジウム

「オール日大の研究力向上を目指して—N.研究プロジェクトと私学戦略」

開催日時

2012年9月15日 土

開演時間

午前10時～午後5時

場所

日本大学文理学部 3号館2階3205教室  
ポスター会場 3号館1階「コスモス」

プログラム

- 10:00 **オープニング—N.研究プロジェクトについて**  
大月 穰(研究代表者)
- 10:10 **口頭発表(各20分)**
- 「ゲノム化学に基づくTGF- $\beta$  1に対するPIポリアミドの創薬開発」**  
○福田 昇、五十嵐 潤、相馬 正義(医学部)
- 「生体分子の回転・傾き・並進運動をリアルタイム可視化する」**  
○東條 正(理工学部)、小川 直樹、石川 晃、茶園 茂(文理学部)、大月 穰(理工学部)
- 「ナノ構造化による新規機能性の探索」**  
鈴木 薫(理工学部)
- 「アセチリドを利用したナノ物質の簡便合成」**  
十代 健(文理学部)
- 「ナノプロセスで作製した原料を用いてのナノ構造の人工合成」**  
○橋本 拓也(文理学部)、岩田 展幸(理工学部)
- 「鉄砒素系超伝導体の機構解明と新超伝導物質探索」**  
高野 良紀(理工学部)
- 13:30 **招待講演(各30分)**
- 「私学戦略プロジェクトの紹介、新規な電子機能を持つ分子物質の開発」**  
小林 昭子(文理学部)
- 「鉄系超伝導体をはじめとする新しい超伝導体の圧力効果」**  
高橋 博樹(文理学部)
- 望月先生追悼講演**  
**「構造制御による新たな蛍光材料の設計および合成」**  
藤代 史(東北大学)
- 15:00 **ポスター発表**
- 16:45 **講評**
- 17:00 **懇親会**

問合せ 日本大学文理学部 橋本拓也 E-mail:takuya@chs.nihon-u.ac.jp  
[http://www.nihon-u.ac.jp/research/n\\_research\\_project/project01/Nproject21.html](http://www.nihon-u.ac.jp/research/n_research_project/project01/Nproject21.html)



## オール日大の研究力向上目指し

### N.研究シンポ

本学学術研究戦略プロジェクト（N.研究プロジェクト）の「オール日大の研究力向上を目指して」N.研究プロジェクトと私学戦略」と題するシンポジウムが9月15日に文理学部3号館で開か

れ、6人の研究者が医療分野や基礎的なナノ科学・技術の成果など進捗（しんちよく）状況を中間報告した。写真。

シンポジウムは、ナノ（10億分の1）レベルの革新的な科学技術の実用化を目指して、理工、文理、医、生物資源科、薬の5学

部が横断的な共同研究をスタートさせてから毎年開催しており、今年で4回目。遺伝子をターゲットにした薬開発を進める医学部を皮切りに、報告が相次いだ。

さらに今回は文理学部が文科省の支援事業として進める私学戦略プロジェクトとも連携。同プロ



ジェクトの「構造制御および電子状態制御に基づく新物質の開発」研究を紹介する招待講演など、他、相互に活発な意見交換が続いた。

# 本学発DFAT再生医療の主役へ

## iPSより簡単で安全

### 脂肪細胞が骨や筋肉になる

2013年は巳年で、ヘビが西欧で象徴するのは医学・医療。山中伸弥京都大学教授のノーベル賞受賞で、「細胞の初期化」による医学革命「再生医療」が待たれる年でもある。わが日本大学でも、DFAT（ディーファット、脱分化脂肪細胞）という細胞の脱分化技術を用いた画期的な研究が進んでいる。共同研究者の医学部・松本太郎教授と生物資源科学部・加野浩一郎准教授が、医療新時代を語る。

手足が切断しても、また生える。扁平動物のプラナリアは切刻むとそれぞれ別の個体となる。人類はその不思議に古くから驚いていました。

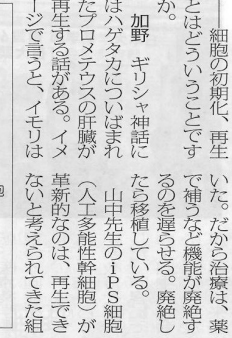
医学的に見ると、松本 下等な生物では再生能力が非常に高い。しかしヒトや哺乳動物では心臓や腎臓など機能は失われ、基本的に元には戻らない、とされてきた。だから治療は、棄てて補う機能が絶えずのを運ばせる。廃絶したから移植して。加野 キリシヤ神話にはハゲタカについては再生したプロメテオスの肝臓が再生する話がある。イメージで言うと、イメージは細胞の初期化、再生とは逆のイメージです。

脂肪の細胞に着目されたい。加野 組織にはいろんな細胞が混在している。脂肪組織をばらばらにする。細胞を脱分化して脂肪細胞だけ簡単に採れる。それを培養して脱分化させれば未熟な段階に逆戻りする。

脂肪の細胞に着目されたい。加野 組織にはいろんな細胞が混在している。脂肪組織をばらばらにする。細胞を脱分化して脂肪細胞だけ簡単に採れる。それを培養して脱分化させれば未熟な段階に逆戻りする。

## 初夢 対談

松本 下等な生物では再生能力が非常に高い。しかしヒトや哺乳動物では心臓や腎臓など機能は失われ、基本的に元には戻らない、とされてきた。だから治療は、棄てて補う機能が絶えずのを運ばせる。廃絶したから移植して。加野 キリシヤ神話にはハゲタカについては再生したプロメテオスの肝臓が再生する話がある。イメージで言うと、イメージは細胞の初期化、再生とは逆のイメージです。



生物資源科学部 加野浩一郎准教授 医学部 松本太郎教授

学部を超えた共同研究で開かれた。松本 DFATを開発した加野先生にいろいろノウハウを教えてもらった。色々なDFATの細胞株も供与して貰っている。例えばGFPという緑色の蛍光で光るDFAT。この細胞を移植すると骨になっていくとか、血管になっていくのが分かる。獣医学科ととも共同研究を行っています。

## 全学的なプロジェクトに 臨床応用で競争に勝ち抜く

加野 生物資源科学部には獣医学科がある。最近伴侶動物に対する再生医療のニーズが出て来ている。DFATを使い、やせや治療の動きが盛んになっています。再生医療のシステム



細胞は、体中にあり、単一に採れ、たくさん増やすことができる。その脂肪細胞が別の細胞、組織になる。加野 想像はしていません。つまり、脂肪細胞が脱分化して前駆細胞になれば脂肪と兄弟である骨や軟骨、筋肉などになるのでは、ということですね。

構築もテーマとなる。加野 生物資源科学部では細胞バンクの考えが出てきている。ペットの細胞が出来る。私達は「東京豚」という日本種豚の研究から動物を採り、DFATをつくる。

松本 日本大学は再生医療の開発に必要不可欠な、簡単に数多の細胞が出来る。私達は「東京豚」という日本種豚の研究から動物を採り、DFATをつくる。

松本 日本大学は再生医療の開発に必要不可欠な、簡単に数多の細胞が出来る。私達は「東京豚」という日本種豚の研究から動物を採り、DFATをつくる。



お問い合わせ Contact Us

相談予約 連携・ライセンスについて

日本大学 研究推進部 知財課  
日本大学産学連携知財センター

tel. 03-5275-8138

fax. 03-5275-8328

✉ nubic@nihon-u.ac.jp

http://www.nubic.jp/

新技術説明会について

科学技術振興機構 産学連携支援担当

☎ 0120-679-005

tel. 03-5214-7519

✉ scett@jst.go.jp

会場のご案内 Access



独立行政法人 科学技術振興機構 東京本部別館

〒102-0076  
東京都千代田区五番町7K 5-5番町

●JR「市ヶ谷駅」より徒歩3分

●都営 新宿線 東京メトロ南北線・有楽町線

JST 東京本部別館ホール(東京・市ヶ谷) 「市ヶ谷駅」より徒歩3分

# 日本大学 新技術説明会

## New Technology Presentation Meetings!

### ～N.研究プロジェクト発～

磁気記録、ナノバブル、製膜法、水素生産、分化細胞誘導、バイオ医薬

ライセンス・共同研究可能な技術(未公開特許を含む)を発明者自ら発表!

2013年6月11日 13:00～16:40

JST東京本部別館ホール(東京・市ヶ谷)

主催 ▶ 日本大学、独立行政法人科学技術振興機構

後援 ▶ 独立行政法人中小企業基盤整備機構

全国イノベーション推進機関ネットワーク

プログラム

時間	内容	講師
13:00～13:10	主催者挨拶	日本大学 産学連携知財センター 副センター長/大学院知的財産研究科 教授 金澤 良弘 独立行政法人科学技術振興機構 理事 小原 満穂
13:10～13:20	日本大学 N. 研究プロジェクトの紹介	日本大学 理工学部 物質応用化学科 教授 大月 種
13:20～13:50	局所円偏光を利用した超高速磁気記録	日本大学 理工学部 電子工学科 教授 中川 活二
13:50～14:20	ナノ・マイクロバブルの粒徑を均一に可変制御する吐出ノズルと養生装置の開発	日本大学 理工学部 電気工学科 教授 鈴木 薫
14:20～14:50	磁化プラズマモードの繰り返しバブル生成による新奇製膜法の提案	日本大学 理工学部 物理学科 准教授 浅井 朋彦
14:50～15:00	休憩	
15:00～15:05	JST事業紹介	科学技術振興機構
15:05～15:10	全国イノベーションネットワークのご紹介	全国イノベーション推進機関ネットワーク
15:10～15:40	水素吸蔵合金カプセルの共存による生物的水素生産の効率化	日本大学 理工学部 一般教育 化学系 教授 浅田 泰男
15:40～16:10	タンパク質の寿命を延ばす方法の開発～運送的に安全かつ簡易なIPS、分化細胞誘導法の開発に向けて～	日本大学 生物資源科学部 応用生物科学科 専任講師 舩真 善和
16:10～16:40	新規バイオ医薬ヒロール・イミダゾールポリアミドの創薬開発	日本大学 大学院総合科学研究科 生命科学専攻 教授 福田 昇
16:40～	閉会挨拶	日本大学 研究推進部 部長 小林 清

発表者との個別面談受付中

日本大学 新技術説明会 申込書 2013年6月11日(火)

ホームページまたはFAXにてお申し込みください。

FAX 03-5214-8399 http://jstshing.jp/nihon-u/2013/

科学技術振興機構 産学連携支援担当 行

FAX: 03-5214-8399 ※当日は本紙をご持参ください

フリガナ	所在地 (勤務先)	〒
会社名 (正式名称)	所属	
フリガナ	役職	
氏名	FAX	
電話		
E-mail アドレス		
参加希望 (☑印)	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6	

※お送りいただいたメールアドレスへ主催者、関係者から、各種ご案内(新技術説明会、展示会、公開情報等)をお送りする場合があります。

E-mailによる案内を希望しない (ご登録いただいたメールアドレスへ主催者、関係者から、各種ご案内(新技術説明会、展示会、公開情報等)をお送りする場合があります。)

アンケートにご協力ください

あなたの業種を教えてください。(いずれか1つ)

- ①食品・飲料、酒類
- ②紙・パルプ/繊維
- ③医薬品・化粧品
- ④化学
- ⑤石油・石炭製品/ゴム製品/窯業
- ⑥鉄鋼/非鉄金属/金属製品
- ⑦機械
- ⑧電気機器、精密機器
- ⑨輸送用機器
- ⑩その他製造
- ⑪情報/通信サービス
- ⑫建設/不動産
- ⑬運輸
- ⑭農林水産
- ⑮鉱業/電力/ガス/その他エネルギー
- ⑯金融/証券/保険
- ⑰放送/広告/出版/印刷
- ⑱商社/卸/小売
- ⑲サービス
- ⑳病院・医療機関
- ㉑官公庁/公益法人、NPO/公的機関
- ㉒学校・教育・研究機関
- ㉓技術移転/コンサル/法務
- ㉔その他

あなたの業種を教えてください。(いずれか1つ)

- ①研究・開発 (民間企業)
- ②経営・管理
- ③企画・マーケティング
- ④営業・販売
- ⑤広報・記者・編集
- ⑥生産技術/エンジニアリング
- ⑦コンサル/タレント
- ⑧知財・技術移転(民間企業)
- ⑨研究・開発(学校/公的機関)
- ⑩知財・技術移転(学校/公的機関)
- ⑪学生
- ⑫その他

あなたの来場目的を教えてください。(いくつでも)

- ①技術シーズの探索
- ②関連技術の情報収集
- ③共同研究開発を想定して
- ④技術導入を想定して
- ⑤その他

関心のある技術分野を教えてください。(いくつでも)

- ①化学
- ②機械・ロボット
- ③電気・電子
- ④物理・計測
- ⑤農水・バイオ
- ⑥生活・社会・環境
- ⑦金属
- ⑧医療・福祉
- ⑨建築・土木
- ⑩その他

1 磁気記録

局所円偏光を利用した超高速磁気記録

High speed magnetic recording technology applying localized circularly polarized optical light 13:20~13:50

中川 浩二 (日本大学 理工学部 電子工学科 教授) Katsuji NAKAGAWA, College of Science and Technology, Nihon University http://www.nini.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/

情報記憶を支える磁気ディスクの速度限界を超える「局所円偏光による磁気記録」により、将来の超高速・高密度磁気記録を実現する。

- 新技術の特徴
● 高速磁気ディスク
● 偏光顕微鏡の高分解能化
● 化学分析手法への発展

想定される用途
● 光を用いた磁気記録ヘッド
● 局所的に円偏光を生成する光源
● 光学異性体のセンサー

従来技術・競合技術との比較
従来の磁気記録記録スピンドルは、磁気共鳴による物理限界で制限され、高速化が難しい。円偏光を使った光直接記録で10,000倍速度高速化できる研究が進められているが、高密度化が難しい。本特許は、円偏光を10nm程度に局所的に発生でき、高速化と高密度化の両方に技術が発展した。

4 水素生産

水素吸蔵合金カプセルの共存による生物的水素生産の効率化

Improved biological hydrogen production with use of encapsulated hydrogen-absorbing alloys 15:10~15:40

Yasuo ASADA, College of Science and Technology, Nihon-University

生物的水素生産は、効率の改善法とともに、生成した水素の回収方法が課題とされる。本発明は、カプセル化された水素吸蔵合金を生物的水素生産システムと共存させることによって、水素回収の容易化と生産効率の向上をめざすものである。

新技術の特徴
● 酸素を含む好気的ガス雰囲気においても、水素ガスを回収できる

想定される用途
● 様々な水素ガス含有物からの水素の回収
● 光化学的水分解、ないし様々な水素生産システムからの水素分離

従来技術・競合技術との比較
生物的水素生産は、生産速度および水素収率さらに回収方法が課題とされる。本発明によって、少なくとも、水素回収効率および水素収率を大きく改善するのみならず、水素生産速度にも貢献できる。

2 ナノマイクロバルブの孔径を均一に可変制御する吐出ノズルと発生装置の開発

Development of spitting nozzle and generator for uniformly-sized controlling of nano/micro bubble diameter 13:50~14:20

鈴木 薫 (日本大学 理工学部 電気工学科 教授) Kaoru SUZUKI, College of Science and Technology, Nihon University http://www.ias.ele.cst.nihon-u.ac.jp/

圧縮した数百ナノから数千マイクロの穴を通過させたノズルを溶解・凝結して作り、精密なバルブを均一に可変制御して発生させるための印刷電圧や電流発生装置を開発した。ノズル孔径を任意材料にノズル全体を溶解させることで、ノズル先端部に滞在している気泡の膨張効率向上を現している。穴の前後加工は電圧したYAGレーザーの照射と電解イオンビームによる穴の形状や形状の精密加工を行った。

- 新技術の特徴
● ノズル孔径を任意材料にしてノズル全体を溶解させることで、ノズル先端部に滞在している気泡の膨張効率向上
● 数百ナノから数千マイクロの穴を通過させたノズルをYAGレーザーと電解イオンビームで溶解・凝結して作製
● バルブを均一に可変制御して発生させるために印刷電圧や電流発生装置

想定される用途
● バルブの印刷電圧に依るゼータ電位やノノケミカル効果による水質改善・殺菌・脱色
● バルブの表面電位や電流発生による洗浄効果
● 毛細血管の造形、細胞活性化

従来技術・競合技術との比較
従来の方法で印刷バルブの孔径を均一に可変制御することは不可能である。なぜならマイクロバルブの径よりも小さいノズルを溶解加工することは極めて困難である。電圧による電位の制御による可変制御は可能である。更に、電流発生装置による電流発生による可変制御は可能である。更に、電流発生装置による電流発生による可変制御は可能である。

5 分化細胞誘導

タンパク質の寿命を延ばす方法の開発～遺伝的に安全かつ簡易なIPS、分化細胞誘導法の開発に向けて～

Development of the method to postpone life of the protein - For the development of the cell-inducing methods of IPS or differentiated cell - 15:40~16:10

舩原 善和 (日本大学 生物資源科学部 応用生物科学科 専任講師) Yoshikazu MASUHIRO, College of Bioresource Sciences, Nihon University http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp /Profiles/70/0006909/profile.html

本新技術のスタビロチンゼンチンは細胞内のプロテアソームやセリンプロテアーゼによるタンパク質分解を阻害する。

新技術の特徴
● タンパク質のプロテアソーム分解を阻害する
● タンパク質のセリンプロテアーゼ分解を阻害する
● 尿素・グアニジン塩酸変性タンパク質の誘発によるリフォールディングの再集束を防ぐ

想定される用途
● 細胞誘導性タンパク質によるIPS細胞や種々の組織細胞分化誘導
● 白血球や癌、炎症の予防
● リウマチや全身性エリテマトーデス等の膠原病の予防
● アトピーや喘息等のアレルギー―性疾患の改善
● 個体の長寿命化

従来技術・競合技術との比較
従来の細胞誘導性タンパク質は細胞内導入後、早期のタンパク質分解により低機能であったが、本ゼンチンを併用すれば細胞内に長く存在し、長期間機能を発揮することが期待できる。

3 製膜法

磁化プラズモイドの繰り返しパルス生成による新奇製膜法の提案

Innovative film-forming method by a multi-pulse magnetized plasma gun 14:20~14:50

浅井 朋彦 (日本大学 理工学部 物理学科 准教授) Tomohiko ASAI, College of Science & Technology, Nihon University http://www.phys.cst.nihon-u.ac.jp/~asai/

磁場構造を持った比較的高温のプラズモイドを生成・加速することによって、磁化回轉プラズマガンで繰り返しパルス制御することによって、高融点金属による合金薄膜などを容易に形成することができる手法を提案する。

- 新技術の特徴
● 電磁加速による金属イオンの基板への垂直入射
● 基板への低熱負荷化ならびに高い膜厚制御性
● 高い膜付着強度の実現

想定される用途
● 高融点金属膜および合金膜の生成
● 酸化金属・窒化物薄膜の高速生成
● 難付着性基板への合金膜の生成

従来技術・競合技術との比較
同軸電極部で生成後、軸方向に加速・射出されるプラズモイドを用いることで、酸化物領域とプラズマ生成部を分離でき、また、イオン化された原子のみが加速されることから、ドロップレットなどの不純物で良質な膜を生成できる。

6 バイオ医薬

新規バイオ医薬ピロロール・イミダゾールポリアミドの創薬開発

Development of pyrrole-imidazole polyamides as novel biomedicines 16:10~16:40

福田 昇 (日本大学 大学院総合科学部 生命科学専攻 教授) Noboru FUKUDA, Advanced Research Institute for the Sciences and Humanities, Nihon University http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp /Profiles/SZ/0005141/profile.html

PIポリアミドは新規遺伝子制御薬であり、核酸医薬に比し生体で安定で副作用が少なく、自由に設計できる。我々はヒトTGF-β1遺伝子抑制剤PIポリアミドを開発し、マウスで腎不全、皮膚癌、IPS誘導するバイオ医薬として創薬開発している。

新技術の特徴
● 線維性癌患の新規バイオ医薬
● DDSを必要としない
● 独自の合成方法

想定される用途
● 進行性腎臓癌
● 皮膚癌腫瘍性癌腫
● IPS細胞の高効率誘導

従来技術・競合技術との比較
PIポリアミドの発明者CALTECのDervanらはPIポリアミドのDNA結合、合成法の基本特許を保持しているが、5年後に特許権が消失する。遺伝子抑制剤核酸医薬siRNAやDecoyはRNA、DNA構造にて生体内で分解される欠点があるが、PIポリアミドは安定である。

掲載日付：2013年6月20日

媒体:日本大学新聞 第1315号

新技術説明会

## N. 研究プロジェクト 理工・中川教授らが参加

N. 研究プロジェクトの研究成果を発表する新技術説明会が、6月11日に東京都千代田区のJST東京本部別館で行われた。延べ301人が来場

し、理工学部の中川浩二教授（磁気工学）ら6人が研究を紹介した。

同プロジェクトは理工学部の大月穰教授（超分子化学）を研究代表者として2009年度に「ナノ物質を基盤とする光子技術の極限追求」をテーマに発足。情報、エネルギー、医療の3分野の課題を、ナノテクノロジーによって解決する技術開発を目指した。文理、理工、医、生物資源科、薬の5学部の共同研究プロジェクトで、5年目の今年度が最終の年となる。12年までに25件の特許を出願中で、新技術説明会は10年以来2度目。

# 新技術説明会を開催

## N.研究の成果に熱い視線

### 106社が参加

本学と科学技術振興機構（JST）が連携した「日本大学 新技術説明会」が6月11日に東京・市ヶ谷のJSTホールで開かれた。本学の研究・開発の成果を企業などに披露する絶好の機会で、今回は2年半ぶりの開催。今年度で終了する日本大学学術研究戦略プロジェクト（N.研究プロジェクト）関連の新技術が、一挙に6件発表されることとあって、合計106社の開発関係者が延べ301人が参加し、お目当ての研究者とさっそく相談に入る姿が目立った。



未公開特許の初披露も加わって、企業関係者の熱いまなざしがそそがれた新技術説明会

N.研究プロジェクト 研究プロジェクトとして、本学の5学部（共同）4年前に鳴り物入りでスタートし、「ナノ（10億分の1）物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」を5年間の指定研究に取り上げて、革新的科学技術の実用化に取り組んできた。

その中で今回公開されたのは、情報系、工学系、エネルギー、医療分野の計6件。とりわけ鈴木薫・理工学部教授の「ナノ・マイクロバブルの粒径を均一に可変制御する

的にマッチングさせるのを目的に、本学とJSTの共同主催で開催されており、今回は工業製品や化学製品、医薬品などの製造業とエンジニアリング関係の企業関係者が来場。発表直後には共同研究開発の申し出や問い合わせなど7件の相談が相次いでおり、順調な滑り

出しとなった。本学の産官学連携知財センターの金澤良弘副センター長（大学院知的財産研究科教授）はあいさつの中で「過去15年間に本学が国内外で出願したのは延べ2400件余りで、技術移転は昨年度までで398件」と語り、「最終年度を迎えるN.研

究プロジェクトの内容は今後も積極的に発信し、企業との共同研究や技術の転用を通して、その成果をいかしていきたい」と力説した。

掲載日付：2013年7月15日

媒体：日本大学広報 第653号

これからの価値をつくる、人をつくる。

# 大学の約束 2013年版

by リワナビ 進学

RECRUIT SPECIAL EDITION

¥500 (税込)



RECRUIT

対談 & Interview



テリー伊藤  
(演出家 / テレビプロデューサー)



和田秀樹  
(国際医療福祉大学大学院 教授)



川口淳一郎  
(JAXAシニアフェロー・教授)



松岡正剛  
(編集者 / 編集工学研究所所長)

フォトレポート

未来を映す  
大学建築



## 徹底取材!

# 大学の未来力

- ① グローバル戦略を語る大学
- ② 世界で勝つ、研究・技術を持つ大学
- ③ 日本の歴史を創った大学
- ④ 地域力を担う大学
- ⑤ 未来を創る大学
- ⑥ 人と技術を創造する大学
- ⑦ プロを育てる大学
- ⑧ 圧倒的な卒業生人脈を持つ大学

特集記事

グーグル、ネスレ日本、ローソン  
グローバル企業の  
20代たち

光触媒 / IGZO / 青色LED  
不可能を超えた  
ニッポンの  
研究者たち

医師、弁護士、会計士  
未来が求める  
プロの条件

LINE / 富士重工業 / キリンビバレッジ  
ヒット商品  
エンジニアが語る  
私が組みたい大学

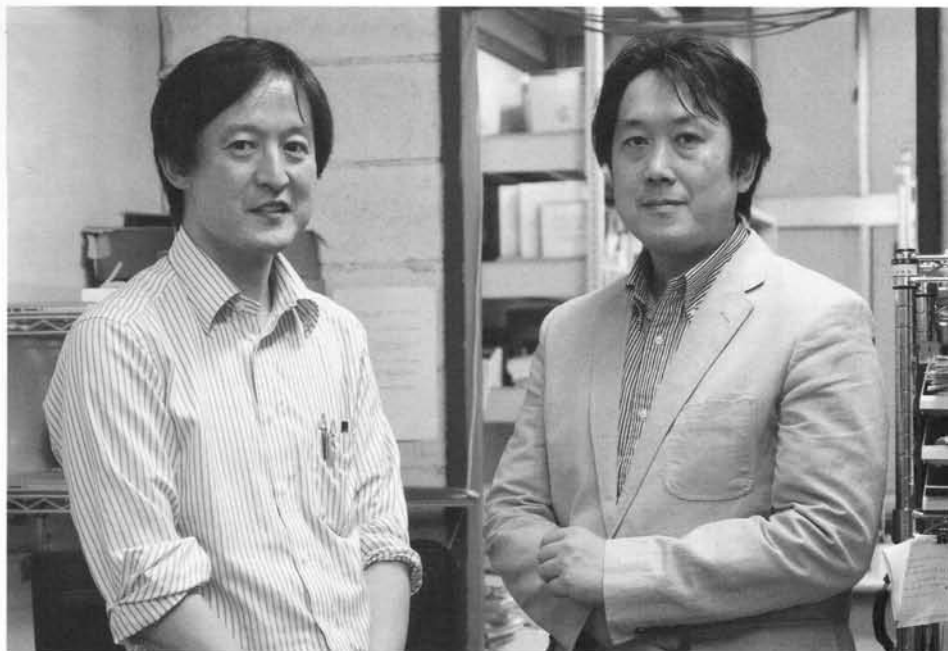
ハーバード大学の創立は?  
クイズ  
大学の世界史

## 国公立・私立

# 全国85校の未来計画







【日本大学】

ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求

## ナノテクノロジーで世界の先端を走る 世の中を変える研究が 低炭素で健やかな未来を創造する

ナノテクノロジーは現代科学のフロントティア技術と言ってもいいだろう。物質をナノメートル（1mの10億分の1）という原子や分子のスケールで制御する技術は全く新しい素材をつくり出したり、DNAや分子レベルでの医療や創薬へ応用したりできるなど多様な可能性を持っており、世界中の研究者が取り組んでいる。

この最先端分野でめざましい成果を上げているのが、日本大学の研究プロジェクト「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」だ。これは日本大学が2009年にスタートさせた「日本大学術研究戦略プロジェクト（通称：N・研究プロジェクト）」の第1号指定研究。理工学部、医学部、文学部、生物資源科学部、薬学部の5

学部の共同プロジェクトとして「情報」「エネルギー」「医療」という3つの分野で研究を行っている。これまでの常識を超える性能と機能を現実にするこのプロジェクトの代表を務めるのが発足当時45歳だった理工学部の大月稯教授（上写真左）だ。



ナノテクノロジーを利用して作った物質は、性能を評価し、電子顕微鏡などで実際に構造を確認して検証される

「量子・光をテーマにしたナノテクノロジーの研究というのは、物質の基本構造に近い領域をカバーしています。私たちの研究で言えば、「情報」の分野ではこれまで理論が先行していた量子力学の振る舞いを記憶装置に応用しようとしていますし、「医療」ではナノテクノロジーを利用した新薬開発や放射線照射を組み合わせた新たなガン治療法の研究、また「エネルギー」の分野では、水素や太陽エネルギーを高度に利用するための素材やシステムの研究などを行っています。従来では考えられないほど効率の良いシステムや全く新しい医療技術などが現実のものになりつつあります。」

例えば「情報」の分野で進められている記録媒体の高速・高密度化の研究は、世界的に見ても最先端の研究成果を上げているテーマだ。その目標値は「2万5000ギガビット/秒の書き込み速度」と「2テラビット/インチ

### LABORATORY DATA 研究所 & 担当官紹介

NAME	日本大学 理工学部
PROFESSOR	教授 大月 稯氏
ADDRESS	〒102-8275 東京都千代田区九段南4-8-24 TEL 03-5275-8001（入試情報室） http://www.nihon-u.ac.jp/

### 世界を変える可能性を秘めたナノテクノロジー

「ナノメートルスケールの物質を創り出し、その性質を理解し、その挙動をコントロールする」という共通テーマを基礎に連携して研究を進めています。ここで紹介している情報記録密度の研究のほかに、世界最高性能の単一光子検出器、光子数識別器を開発し、これらを用いた高速・長距離通信実証実験で世界のトップを走っています。

エネルギー分野では燃料電池の高性能新素材開発に成功、医療分野でも遺伝子のネットワーク解析や遺伝子をターゲットにした新薬開発が応用臨床の準備を進めている等、各分野で大きな成果を上げています。今後も新たなブレイクスルーに向かって新しいテーマに取り組み、より良い研究成果につなげていきたいと考えています。

INTERVIEW

世界最先端の研究と  
若手研究者の育成という価値



有賀 克彦氏

物質・材料研究機構  
国際ナノアーキテクトニクス  
研究拠点  
主任研究者

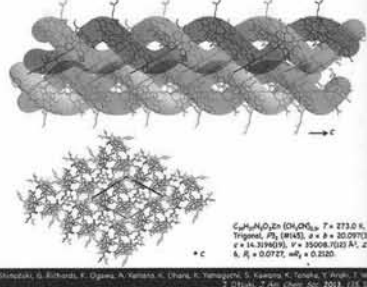
この研究プロジェクトは基礎研究から応用技術までをカバーする幅広いテーマに取り組んでおり、非常にレベルの高い研究を行っています。特に「情報」分野の研究はまさに世界最先端のレベル。医療や基礎研究的なテーマも将来性が高くとても価値ある研究だと言えます。私学がこれだけの規模で最先端の研究に取り組んでいることは賞賛に値します。参加しているのは若手研究者も多いので、さらに優れた研究者がここを母体で育ててくれるのではないのでしょうか。

「これまでの成果だけでも、特許出願件数は25件を数え、それぞれの分野で世界的に注目される論文を多数発表してきました」という大月教授。こうしためざましい成果を上げることができた要因のひとつには、分野が異なる

情報工学と物質工学で  
光子(光の粒子)が走る  
「原子の道」をつくる

「従来理論の延長線上では物理的な限界を超えてしまい、達成が不可能な数値です。そこで私たちはこの壁を突破するために、光を使って磁性を反転させるという技術に取り組みました。いわば「光で情報を書く」ことによつて、不可能と言われた目標の達成が見えてきたのです」(塚本准教授)。

研究者が集まる事で生まれる「インターネット」の力が大きいという。「例えば量子力学が現実の世界で利用できるようになってきたことで、光も光子が1個、2個という粒子の単位で利用することを考えられるようになってきました。しかし光子を利用した回路の実現のためには原子を整然と並べた「道」のようなものが必要です。情報工学の発想だけではそこが突破できなかったものが、物質工学の研



分子配列を操作し、網目状に整然と並べた人工葉緑素分子。さまざまな用途への応用が期待できる

究者と力を合わせることでその可能性を探れるようになりました。同じようなことが「医療」と「エネルギー」の領域でも起きています。今回の私たちの共同プロジェクトでは、違う領域の研究者たちが自然に協力し合える仲間になれたということが、とても大きな影響を与えてくれました。そのインターネットがこれまでとはまったく違う研究アプローチを可能にし、想定以上に新しいテーマが生まれ動き始めるといふ、とても良いサイクルを生んでくれています」(大月教授)。

学部連携で  
総合力を活かすという  
日本大学の「意志」

日本大学がこの「N-研究プロジェクト」を進めているのは、その総合力を発揮して世の中に新しい価値を提供しようという強い意志の表れだ。改めて言うまでもなく、日本大学は14学部87学科、22の大学院研究科、32の研究拠点を擁する日本最大級の規模を誇る私立総合大学。創立から124年を迎え、これまでの卒業生の延べ数は実に108万人に迫る。この群を抜いたポテンシャルを活かしているのが「N-研究プロジェクト」だ。日本大学ではこの他にも数多くの学術助成制度を自前で運用している。いずれもその基本条件是「学部横断の連携」だ。



日本大学 学長  
大塚 吉兵衛氏

1944年生まれ。日本大学大学院歯学研究科修了。歯学博士。2011年より第13代日本大学総長。2013年より学長就任(総長制から学長制に移行)。

向は最先端の分野に行くほど強い。しかしプレイクスルールのヒントは違う分野の研究にあつたり、違う視点からのアプローチがきっかけになったりするものです。さまざまな分野の叡智を集めて総合力を発揮させることが大切なのです。そして日本大学はそれができる環境にあります」と、日本大学の大学長は言う。

「社会が複雑化している中で、課題も複雑化・高度化しています。医療などは技術面ばかりでなく倫理の側面もとても大きな問題ですから、もっと文科系と理科系の研究がコラボレーションしてもいい。そうした社会の課題に対して、日本大学は今こそ総合力を発揮して、社会の期待に応えなくてはならないと思っています」。

OUR HOPE イチ押し研究員

NAME 塚本 新さん

AGE 42歳

PROFILE 日本大学理工学部電子工学科准教授。日本大学大学院理工学研究科修了。博士(工学)。

時間を100万倍に増やせれば、新しい世界が見えてくる

私が担当する「情報」の領域は技術開発のスピードがとても速いのが特徴です。情報記録という面でも記録媒体への書き込み速度と密度は年々上がり、そろそろ「物理的な限界」が見えてきました。しかし私たちはナノテクノロジーの視点を入れることで、「光」を使って記録するという全く新しい原理を発見しました。これにより私たちは新しい時間を手に入れようとしています。人類は現在1ナノ秒(10億分の1秒)という単位はコントロールできるようになりました。私たちはそれをさらに100万分の1にしたい。それは単純に言ってしまうと、これまでの100万倍の時間を手にするということです。ナノテクノロジーはそうしたことを可能にしてくれるのです。

掲載日付：2013年10月1日

媒体：日本大学広報 第655号

## 新技術説明会を開催

### N.研究の成果に熱い視線

本学と科学技術振興機

構（JST）が連携した

「日本大学 新技術説明

会」が6月11日に東京・

市ヶ谷のJSTホールで

開かれた。写真。本学の

研究・開発の成果を企業

などに披露する絶好の機

会で、今回は2年半ぶり

の開催。

今年度で終了する日本

大学学術研究戦略プロジ

ェクト（N.研究プロジエ

クト）関連の新技術が一

挙に6件発表されるとあ

って、合計106社の開

発関係者ら延べ301人

が参加し、お目当ての研

究者とさっそく相談に入

る姿が目立った。

N.研究プロジェクト

は、本学の5学部の共同

研究プロジェクトとして

4年前に鳴り物入りでス

タートし、「ナノ（10億

分の1）物質を基盤とす

る光・量子技術の極限追

求」を5年間の指定研究

に取り上げて、革新的科  
学技術の実用化に取り組  
んできた。その中で今回  
公開されたのは、情報  
系、工学系、エネルギー、  
医療分野の計6件。



## 大田区の産学連携 フェアにブースを出展

NUBIC

東京都大田区が10月3、4日の両日に開催した産学連携・新技術展「おた研究・開発フェア」に本学の産学連携知財センター（NUBIC）がブースを出展し、新しい技術を求めて相談に訪れる企業関係者が引っ切



り無しに顔を出すにぎわいぶりだった。写真。

同展は「大田区にすれば見つかる『未来の技術』」をキャッチフレーズに、全国の主要大学や研究機関、技術系企業など合計88団体が出展。町工場の多い土地柄を考慮して、本学からは理工、工、生産工、文理の4学部から、「高比強度を有する純チタン構造材料」や「導電性ゴムによる台変形を捉える技術」といった工業系の技術計9件が展示された。

なかでも関心を集めたのは、「脊椎疾患の早期・初期診断」や「触覚センサを用いた乳癌チェック」の開発など医工連携の新技术。

さらに理工学部の鈴木薫教授の「ナノ・マイクロバブルの粒径を均一に吐出する圧電振動ノズルの発生装置の開発」は、

注目の技術を案内する計28点の「出展者プレゼン」に選ばれ、来場した多くの人の前で紹介された。

# 日本経済新聞

夕刊  
10月18日  
(金曜日)

発行所 日本経済新聞社  
東京本社 電話(03)3270-0251  
FAX(03)3270-0066 東京都千代田区大手町1-3-7  
大阪本社 電話(06)6943-7111  
名古屋支社 電話(052)243-3311  
西部支社 電話(092)473-3300  
電子版アドレス  
http://www.nikkei.com/  
購読のお申し込み  
電話0120-21-4946  
http://www.nikkei4946.com

## 日大などが新薬候補

日本大学医学部の福田昇教授と公益財団法人実験動物中央研究所(川崎市)の研究グループは、帝王切開などの手術後に体に残ってしまう傷痕をなくす新薬の候補物質を発見した。手術前にかじめ物質を塗っておけば、炎症を抑えて皮膚が盛り上がるような傷痕ができにくくなる。来年も臨床試験を始めて早期の実用化を目指す。手術後の傷痕は、皮膚

## 手術の傷痕 残りにくく

細胞の免疫反応が過剰に働いたためにできる。傷を受けた細胞が遺伝子レベルで記録として残るため、年を取っても傷痕として残る。帝王切開や心臓などの手術を受けた人は体の表面に大きな傷痕が残る場合があり、精神的な負担になっていた。研究チームはこの免疫反応を弱める物質を見つ

## 来年にも臨床試験

けた。抗生物質から取り出した「ピロール・イミダゾール・ポリアミド」(PIポリアミド)という化合物で、動物実験で効果を確認した。副作用も見られなかった。ただ、手術を受けてから時間が経過した傷痕は消すことはできないという。将来的に薬として使う場合には、手術を実施する前後に傷を付ける皮膚の回りに塗る軟こう薬を想定している。

# 日本大学N.研究プロジェクト

## 第5回(最終)シンポジウム

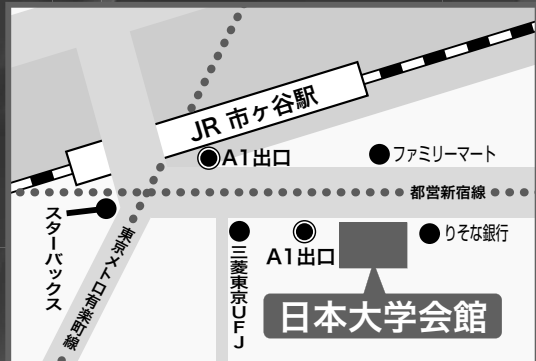
# 「ナノ物質を基盤とする光・量子技術の極限追求」 ～健やか未来への一里塚～

開催日時

平成25年12月21日(土) 午前10時より

場 所

日本大学会館 2階大講堂  
(JR「市ヶ谷」駅下車 徒歩2分)  
〒102-8275  
東京都千代田区九段南4-8-24



プログラム

午前の部

**10:00-12:00** 高校生・一般向け企画  
研究者と高校生のクロストーク 科学の素晴らしさと研究という仕事

昼の部

**12:00-13:00** ランチ/ポスターによるプロジェクトの成果発表

午後の部

**13:00-18:00** 挨拶 | 日本大学学長 大塚吉兵衛  
成果報告 | 大月穰(日本大学 理工学部), 行方直人(日本大学 理工学部), 福田昇(日本大学 医学部)  
招待講演 | 「DNAオリガミと人工遺伝子スイッチ」  
杉山弘(京都大学大学院, iCeMS)  
「電子線1分子追跡法(DET)による水中の金コロイドの運動計測」  
石川晃(日本大学 文理学部)  
若手講演 | 齋藤孝輔(日本大学 医学部), 杉本隆之(日本大学 文理学部), 丹羽栄貴(日本大学 文理学部)  
岸本誠也(日本大学 理工学部), 竹内嵩(日本大学 理工学部)  
成果と展望 | 西宮伸幸(日本大学 理工学部), 塚本新(日本大学 理工学部)  
講評

夕方の部

**18:00-19:00** 研究交流会/ポスターによるプロジェクトの成果発表

詳しくは **日本大学 N. 研究プロジェクト**

検索 

[http://www.nihon-u.ac.jp/research/n\\_research\\_project/project01/Nproject21.html](http://www.nihon-u.ac.jp/research/n_research_project/project01/Nproject21.html)

連絡先 日本大学本部研究推進部 kenkyu47@nihon-u.ac.jp, 研究代表者・大月穰 otsuki.joe@nihon-u.ac.jp

# 新しい研究分野生む

## Nプロジェクト成功裏に幕

## ナノテク活用で成果

本学の総合力を結集し、情報分野などの研究課題に取り組んだ「Nプロジェクト」が今年度で終了する。2009年度から5年間で500以上の論文を発表し、25件の特許を出願する成果を生んだ。代表を務める理工学部の大月准教授（超分子化学）は「全ての分野で良い結果を残せた」と述べ、プロジェクトが成功裏に終了したことを強調した。

本学の「学術研究戦略推進事業」の一環として行われたNプロジェクトは、文理、理工、医、生物資源科、薬の5学部が連携し、ナノテクノロジーを「情報」「エネルギー」「医療」の3分野で活用する一大事業となった。5学部の研究者が一体となって取り組んだ、本学の「総合力」の象徴とも言える研究だ。

この取り組みが、エネルギー分野では燃料電池への利用が期待できる新素材の発見に、医療分野

光で磁石を操作する「光誘起磁化反転現象」を利用し、世界最高速の記録方法を確立することにも成功した。実用化できれば現在の記録方法の約10万倍の速さで記録できるという。

昨年12月21日には、5年間間の成果を総括する最終シンポジウムが日本大学会館大講堂で開催され、12人の研究者が演壇に立った。大月教授は「特に塚本准教授の研究は、新しい研究分野を生み出した最大の成果」と話した。

掲載日付：2014年1月20日  
媒体：日本大学新聞 第1322号