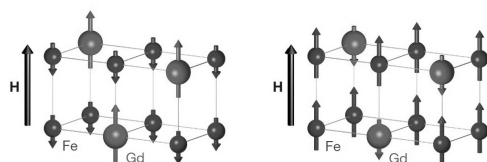


2011 年度の主な成果

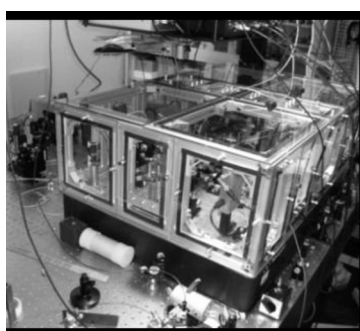
●極限追求系 1—情報：超高密度超高速記録および量子情報処理技術の極限

デジタル情報の記録量が急速に増大しているため、情報を書き込んだり読み込む速度もそれに見合うように超高速化する必要があります。情報記録の主要な役割を担うハードディスクでは、材料中の原子のスピンの向きが上向きか下向きかで情報が記録されていて、超高速書き込むためには、超高速でスピンを反転させなければならないのですが、従来の方法では、これ以上速くするのは限界に近づいているといわれています。数年前にプロジェクトメンバーが発見した「光誘起超高速磁化反転」と名付けた光でスピンを反転させる全く新しい現象は、光で超高速に情報を書き込む未来技術につながる現象として大変期待されます。本年度の大きな成果として、光が物質に当たってから極めて短い時間に原子に起こる現象の解明をさらに進め、これまで全く知られていなかった、数 100 フェムト秒というごく短い時間に原子のスピンの向きが変化する様子を初めて明らかにしました（伊藤，塚本ら，*Nature* 2011, 472, 205）。さらに最新の結果が *Nature Communications* (伊藤，塚本ら)に掲載されることが決定しました。



Nature 2011, 472, 205.

デジタル情報の通信でも大容量化が進み、大量の情報を安全に伝送する通信技術が求められています。安全性はデジタルデータを伝送中に「盗聴」されても解読できないように暗号化されることによって担保されますが、暗号解読の技術も進歩しているため、現在の暗号化技術では近い将来に生きづまることが予想されます。そのために、光を構成する単位である光子の量子力学的性質を利用して、盗聴が原理的に不可能な量子暗号に期待がかけられています。このシステムに必要な技術である世界最高速の単一光子検出器、世界最高感度の光子数検出器を開発してきましたが、本年度は、これらの機器を用いて、NTT との共同研究で、毎秒 24 キロビットで 100 km という従来の記録を塗り替える高速・長距離の情報伝送に成功し（井上ら，*日刊工業新聞*），さらに、情報通信研究機構および産業技術総合研究所との共同研究で量子受信機を開発し、光通信理論の「ビット誤り率限界」を世界で初めて打破することに成功しました（井上ら，*Phys. Rev. Lett.* 2011, 106, 250503, *Fuji Sankei Business i*, *日経プレスリリース*, *SANKEI BIZ*, *Laser Focus World Japan*）。



開発した量子受信機

●極限追求系 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

化石資源に頼らず、二酸化炭素を排出しないエネルギーシステムを構築することが、人類の将来にとって極めて大切です。理想的なシステムは、太陽エネルギーを利用して、水から水素を取り出し、またその水素を電気など他のエネルギー形態に変換するシステムであると思われます。プロジェクトでは、太陽エネルギーで電気を作る次世代太陽電池の一つである色素増感太陽電池、人工化合物やバ

クテリアを用いて、太陽エネルギーで水素を生産する方法、水素を貯蔵する材料、水素を利用して電気を作る燃料電池という、太陽エネルギー利用サイクルの各要素技術を開発しています。

本年度の成果として、シアノバクテリアが水素を産生する容器に、水素吸蔵合金を共存させておくと、発生する水素を効率的に回収できるだけでなく、水素の発生量も増加するというを見いだしたことが挙げられます（浅田，西宮ら，特願 2011-124597）。

固体酸化燃料電池は、燃料極／電解質／空気極という三層構造になっています。これまでの 3 年間で、これら全ての層に用いるための高性能な新規材料——高温・還元下で安定な燃料極材料、水素イオン導電率が高く焼結特性も優れた電解質材料、表面積が大きく気孔率も適度な優れた空気極材料——を開発することに成功しました（本プロジェクト，リサーチアシスタントの杉本が平成 23 年「日本セラミックス協会関東支部研究発表会」で口頭発表優秀賞を受賞）。これらの開発した材料を組み合わせ、通常 800–1000 °C で作動する固体酸化燃料電池としては低温の 600 °C 程度で作動する高強度燃料電池の実現をめざして、いよいよ燃料電池試作の段階に入ります。



口頭発表優秀賞（日本セラミックス協会関東支部研究発表会）

●極限追求系3—医療：医療応用のためのナノバイオ技術

細胞内の反応を行うタンパク質の設計図は、二重らせん構造をした遺伝子分子中の 4 種類の「塩基」の配列の順番にコードされています。塩基配列を認識する化合物群である「PI ポリアミド」という合成分子群は、二重らせんの隙間に入り込み、塩基配列を識別できるため、特定の遺伝子の働きを制御できることが期待されます。プロジェクトでは、この PI ポリアミドに関して、合成から細胞実験、動物実験に至るまで総合的に研究開発を進めています。本年度は、より配列識別能が高いと期待される環状の PI ポリアミド合成法の開発、特定の遺伝子が働くのを抑制する PI ポリアミドの開発（永瀬ら，特願 2011-503644）、遺伝子上の特定の部位の「ヒストンアセチル化」（永瀬ら，特許登録 4873510）、等で成果がありました。

これらの PI ポリアミドを「薬」までもっていくために、板橋病院薬剤部製剤室との PI ポリアミドを軟膏化する共同研究を合意し、実験動物中央研究所とヒトモデルとして優れている小型哺乳動物であるマーモセットを用いた実験の契約を結ぶなど、PI ポリアミドの実用化に向けた環境整備を進めました。

「光線力学療法」という、可視光を吸収する色素化合物を集積させた腫瘍組織にレーザー光を照射し、腫瘍細胞を死滅させるという癌の治療法があります。この方法には、可視光が 1 cm 程度までしか組織に浸透しないので深部癌に適用できないという欠点があります。そこで、色素化合物を取り込ませた癌細胞に体組織透過性がよい X 線を照射する *in vitro* 実験を行いました。驚くことに、いくつかの化合物では、X 線でも殺細胞効果が見られることを発見しました。これは、光線力学療法の適用範囲を大幅に拡大することができる可能性がある結果であり、動物実験を含め、さらに検討を進めています。

本プロジェクトで PI ポリアミドや色素化合物の体内での挙動を調べている松本らの薬物動態に関する論文が「TDM 研究」誌で優秀論文賞を受賞しました。

●ナノ基盤系：ナノ物質と光・量子融合領域の未踏科学開拓と新規技術創出

重点3課題達成のための共通基盤として、ナノ物質、ナノ構造、ナノ材料の開発と、ナノ領域の光と物質の相互作用の理論的解明を進めています。

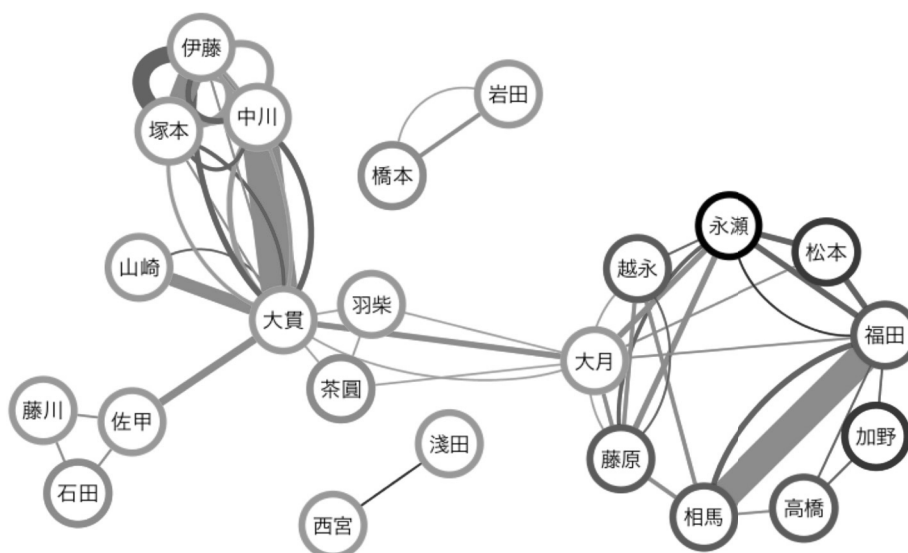
ナノ物質系に関しては、超伝導体、カーボンナノチューブ、ナノ薄膜、二次元ナノ構造、水素吸像合金、細胞膜受容体タンパク質等、生物から物理デバイスまでのナノサイズの物質合成、構造構築、構造制御を行ない、基礎的な物性の解明から上記重点課題—情報、エネルギー、医療技術—のための材料提供まで、一環した共同研究を行っています。

本年度の成果の例としては、イオンと電子が分離した状態である「プラズマ」を利用して膜を作る新しい装置「同軸ガン型製膜装置」を完成が挙げられます。この装置では、エネルギー技術の一つとなる水素吸蔵合金の製膜が可能です。同じくプラズマを利用して、波長 13-14 nm という紫外線の中でも極端に波長が短く、X 線に近い「極端紫外光」を出すことができる新しい光源を開発しました。13-14 nm というのは、現在の半導体加工技術で用いられるよりかなり小さなサイズであり、次世代半導体加工技術へ利用される期待がもたれます。浅井は、「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」で、平成 22 年度日本大学理工学部学術賞を受賞しました。

理論の面からは、量子力学の根本的な課題である予測可能性の有無にせまる「隠れた変数」に関する考察を行い、スピンの揃った状態が安定であるという「フントの規則」の原因を明らかにした。これらは、物理や物質の根源的な性質に迫る成果です。また、ナノ構造と光の相互作用の計算のための「電磁界時間応答解析法」を開発しました。この方法は、従来法より 5 倍程度の高速化が可能で、計算機の並列化効率をほぼ 100%にできる手法で。その他にも、ナノサイズの薄膜や原子ワイヤ、金属構造物、フォトニック結晶など、情報技術やエネルギー技術に用いられる構造物について、計算によるシミュレーションでそこでおこる現象を明らかにしています。

●学部横断共同研究

学部を超えた共同研究も本格的に進展しています。例えば、量子理論・計算班の理工学部と文理学部にまたがる研究者が共同で、量子力学と電磁気学にまたがる計算プログラムの開発を行いました。理工学部、医学部、薬学部間の協働に関しても、博士研究員の学部間の移動も含めて密な共同研究が実施されています。



共同研究ネットワーク。平成 23 年の共同の論文，特許出願，外部資金，学会発表。線の太さは数に比例。

●若手人材育成と教育効果

本年度は、本プロジェクトに関わる多くの研究員、PD、博士後期・前期課程学生、学部学生のうち、研究員 9 名、RA（博士後期課程学生）3 名に経済的援助をしました。上記の学部横断共同研究、N. プロジェクト研究報告会への参加、理工学部/N.プロジェクト共同若手フォーラムへの参加、そして 2012 年 2 月に予定されている N.プロジェクトシンポジウムへの参加を通じて、若手研究者や学生の学部を横断した交流が行われており、本プロジェクトは、最先端研究を通じた視野を広げる教育の一環ともなっています。

成果発信 2010 年以降

以下に研究成果の外部への発信状況をまとめました。かっこ内は複数のメンバーの共著研究および学部間メンバーの共著研究です。

特筆されるのは、塚本、伊藤らの超高速記録に関する研究（Nature, Nature Communications）、井上らの量子通信に関する記録の達成です（日刊工業新聞、他）。

	2010	2011
論文	108 (15, 4)	121 (20, 3)
特許出願等	6 (4,1)	6 (2, 0)
招待講演等	45	66
学会発表	327 (51, 10)	281 (57, 6)
著書	11	19
受賞	8	6
外部資金	33 (13, 2)	27 (10, 2)

活動記録 2011 年 3 月以降

- 3 月 10 日（木）平成 22 年度理工学部学術賞受賞、浅井朋彦「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」
- 3 月 29 日（火）日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル掲載、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」
- 3 月 30 日（水）Nature 掲載、塚本新、伊藤彰義 “Transient ferromagnetic-like state mediating ultrafast reversal of antiferromagnetically coupled spins”
- 4 月 7 日（木）日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル掲載、井上修一郎、行方直人「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」
- 5 月 16 日（月）日刊工業新聞掲載、井上修一郎「単一光子検出器 半導体使い開発」
- 5 月 18 日（水）第 1 回全体会議、駿河台 1 号館 122 会議室
- 6 月 15 日（月）日本大学広報掲載、井上修一郎、行方直人「半導体製の単一光子検出器開発」
- 6 月 20 日（月）日本大学新聞掲載、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」
- 6 月 27 日（月）日経プレスリリース掲載、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」
- 6 月 28 日（月）Fuji Sankei Business i 掲載、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」
- 6 月 28 日（月）SANKEI BIZ 掲載、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」
- 6 月 28 日（月）Laser Focus World Japan 掲載、井上修一郎「NICT、光通信理論のビット誤