

参考資料 / Supplementary Materials since 2011

- 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）」
- 日刊工業新聞 2011. 5. 16 「単一光子検出器 半導体使い開発」
- 日本大学広報 2011. 6. 15 「半導体制の単一光子検出器開発」
- 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」
- 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」
- 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」
- 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」
- 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」
- インフォーマルセミナー 2011. 11. 16
- 学術講演会 N. 研究プロジェクト特別セッションポスター 2011. 11. 26

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、中性子の発生が極めて少ない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、閉じ込め性能が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、新奇性の高さと共に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

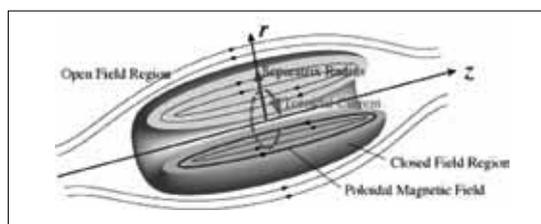


図1 Schematic diagram of field-reversed configuration (FRC)

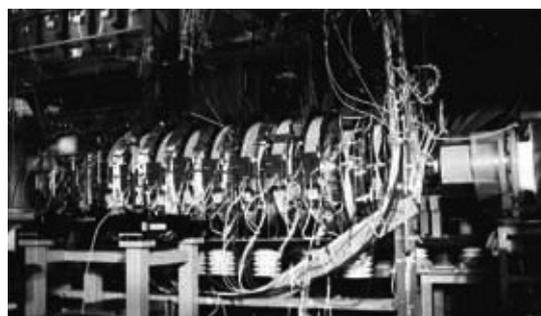


写真1 FRC生成・移送装置、NUCTE-III/AT (物理実験A棟)

# 単一光子検出器

# 半導体使い開発

## 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一所と共同で研究した。行方直人助手、井上修一郎教授が、総務省および情報通信研究機構(NICT)から支援を受け、NTT物性科学基礎研究

ンジウム・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>ピコ</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

単一光子の検出は半導体製のAPDのほか、窒化二オブ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。NITTT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ギビットの速度で105ギビットを伝送する実験に成

功していたが、今回は毎秒24ギビットの高速で100ギビット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.研究プロジェクト）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



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、NIT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

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、NIT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

つた検出器の研究を進めてきた。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

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、実用化に向け製品開発を行っていきたい。

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ふ。

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

クリップ

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))



インフォーマルセミナー

細胞膜複合糖脂質：2～3の話題提供

榎泰典<sup>博士</sup>

日本大学理工学部

再構成膜における

カロテノイド, コレステロール, グリコホリンAのトポグラフィ分析

中谷陽一<sup>博士</sup>

Institut de Chimie, Université de Strasbourg

2011年11月16日(水), 10:00-11:40

日本大学理工学部駿河台2号館4階会議室

提供：日本大学N.研究プロジェクト

ご自由にご参加ください。

問合せ先：大月穰(日本大学理工学部) [otsuki.joe@nihon-u.ac.jp](mailto:otsuki.joe@nihon-u.ac.jp)

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、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)