



FIRST Project on Quantum Information Processing

# News Letter

内閣府最先端研究開発支援プログラム「量子情報処理プロジェクト」ニュースレター

September 2010

No.

1

## CONTENTS

- 02 中心研究者より
- 03 海外研究動向
- 04 最近の研究成果
- 06 サブグループミーティング報告
- 10 学生チャプター
- 12 サイエンスアウトリーチ
- 14 研究室紹介
- 15 プロジェクト事務局からの連絡等
- 16 エッセイ



## 山本 喜久

国立情報学研究所／スタンフォード大学

量子情報処理技術の研究は、そのスコープの広がり、基盤技術の汎用性、将来予想されるインパクトの大きさなどから欧米各国では国家プロジェクトとして明確な戦略の下に取り組みが行われています。日本では、これまで複数の研究グループが独創性の高い研究成果を上げてきましたが、日本国全体としての研究開発戦略に欠け、個々の研究成果が繋がって大きな世界的潮流となるには欧米に比べ不利な状況にありました。この重要な分野で日本が米国や欧州と競って、世界的潮流を形成できるか否かは、21世紀の情報、通信、エネルギー技術に基盤をおく、日本の国家戦略を練る上で無視できない極めて重要な点であると考えます。

この分野の特色を一言で表せば、テーブルトップと呼

ばれる小さな研究設備を有する個々の研究グループが独創的なアプローチにより、従来は不可能とわれてきた壁を突破し、予想もできなかった応用分野がそこから出現していく姿にあります。この分野で日本が世界的リーダーシップを発揮するためには、独創的で高い研究レベルを持つ個々のグループ、研究者の才能を明確な国家戦略の基に、いかに組み合わせられるかにかかっている、と言えます。最先端研究開発支援プログラム“量子情報処理プロジェクト”は、このような目標を達成するために実施されています。

本プロジェクトの活動を広く国民の皆様を知っていただく為に、四半期毎にニュースレターを発行することにしたしました。今後ともご理解とご支援をいただけますようお願いいたします。

### ●プロジェクト組織

中心研究者：山本 喜久(国立情報学研究所／スタンフォード大学)

共同提案者：樽茶 清悟(東京大学)、蔡 兆申((独)理化学研究所／日本電気(株))

#### サブグループ紹介

##### ●量子情報システム

○山本 喜久(国立情報学研究所／スタンフォード大学) Alfred Forchel(Universität Würzburg) Klaus Lischka(Universität Paderborn)

##### ●量子計測

○山西 正道(浜松ホトニクス(株)) 藤澤 利正(東京工業大学) 太田 剛(NTT物性科学基礎研究所) 竹内 繁樹(北海道大学)  
平野 琢也(学習院大学) 向井 哲哉(NTT物性科学基礎研究所)

##### ●量子標準

○香取 秀俊(東京大学) 洪 鋒雷((独)産業技術総合研究所) 小山 泰弘((独)情報通信研究機構)

##### ●量子通信

○井元 信之(大阪大学) 佐々木 雅英((独)情報通信研究機構) 古澤 明(東京大学) 小坂 英男(東北大学)

##### ●アナログ量子コンピューター／量子シミュレーション

○高橋 義朗(京都大学) 五神 真(東京大学) 占部 伸二(大阪大学)

##### ●理論

○都倉 康弘(NTT物性科学基礎研究所) フランコ ノリ((独)理化学研究所) 小川 哲生(大阪大学) 小芦 雅斗(大阪大学)  
根本 香絵(国立情報学研究所) ロドニー バン ミーター(慶應義塾大学)

##### ●超伝導量子コンピューター

○蔡 兆申((独)理化学研究所／日本電気(株)) 中村 泰信((独)理化学研究所／日本電気(株)) 仙場 浩一(NTT物性科学基礎研究所)  
高柳 英明(東京理科大学) 前澤 正明((独)産業技術総合研究所) 日高 睦夫((財)国際超伝導産業技術研究センター)

##### ●スピン量子コンピューター

○樽茶 清悟(東京大学) 北川 勝浩(大阪大学) 工位 武治(大阪市立大学) 伊藤 公平(慶應義塾大学)

#### アドバイザー

●光 末松 安晴((公財)高柳記念電子科学技術振興財団) 梶具 博義(東京農工大学)

●原子 清水 富士夫(電気通信大学) 藪崎 努(京都大学)

●半導体 小宮山 進(東京大学) 榎 裕之(豊田工業大学)

●超伝導 立木 昌(筑波大学) 前川 禎通((独)日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター)

●理論 上村 洸(東京理科大学) 和達 三樹(東京理科大学)

#### プロジェクト事務局

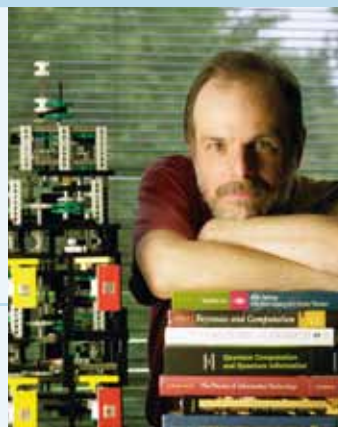
●技術担当 ○Tim Byrnes(国立情報学研究所)  
宇都宮 聖子(国立情報学研究所)

●事務担当 ○岡部 道孝(国立情報学研究所)  
青木 香穂里(国立情報学研究所)  
塩田 容子(国立情報学研究所)

○印…リーダー

# 米国における 量子コンピューター アーキテクチャの研究助成状況

慶應義塾大学環境情報学部 准教授  
ロドニー バン ミーター



米国政府は、量子情報分野の研究を、その黎明期から現在に到るまで力強く支えてきた。ここ数年、この分野への研究助成は一時的に下火になっていたが、今年になって再び巨額の投資が行われることとなった。新しい潮流は、大規模で実用的な量子コンピューターの実現に必要なアーキテクチャやプログラミングツールの開発に重点が置かれるようになったことである。

おそらく、この分野に対して現在行われている研究費助成事業の中で、米国国防高等研究計画局 (DARPA) と並び最も知名度が高いものが米国情報先端研究プロジェクト活動 (IARPA: Intelligence Advanced Research Projects Activity) である。IARPAは米国情報部の技術力強化事業の一環で、特にハイリスク・ハイリターンな技術研究に対して非常に大きな助成を行っている部門である。

今回の研究プロジェクト (IARPA-BBA-10-02) では、助成総額は4年間で数千万ドル (数十億円) になる見通しだ。この「量子計算機科学プログラム」のゴールは、現実的な量子コンピューター上に量子アルゴリズムを搭載するために必要な計算機資源を正確に見積もり、なおかつそれを劇的に低減させることである。量子アルゴリズム (プログラム) と量子ビット技術の融合による、量子コンピューターの「エンジニアリング」の面での進展に特に重点を絞っている。

量子情報の分野では、これまで理論的な道標の下、様々な基礎研究が行われてきた。だがそのような基礎研究を行う時期はそろそろ終わり、いまや「大規模システムを作り上げる」という段階に移ってきているのだということを、今回のプロジェクトを担当するプログラムマネージャーは確信している。そのため、同じ誤り耐性量子コンピューターといっても、トポロジカル絶縁体のような基礎実験の研究ははっきりと採択対象から除外されている。

今回の研究プログラムは、現在の最先端情報技術を、

今後進んでいかねばならない唯一の方向へ後押ししていると信じる。古典的コンピューターの研究者として20年過ごした2003年、私は研究テーマを量子コンピューティングへと変える決心をした。現代の経済活動の大部分は、コンピューターシステムの持続的発展に依存している所があるが、原子レベルのコンピューター設計という限界点に達した時、その前提は崩れ去るからだ。今こそ、その限界を超えて発展を続けるための手段を真剣に考える時であり、量子コンピューティングはその重要な候補の一つであると言える。

私の研究テーマは、孤立した実験段階の量子システムから、これまでのコンピューターでは手に負えない問題を解決できるような、大型の分散量子システムを作り上げることである。目標は、実際に顧客が付き、世界中で使われるようなシステムをデザインすること。これには量子コンピューターにおける誤り訂正や、量子コンピューター同士を繋げるネットワークの発展が不可欠だ。また、量子情報理論と実験物理の橋渡しをするための量子システムアーキテクチャが必要で、それは理論研究、実験研究と肩を並べて発展していかなければならない。これは、量子コンピューター的设计家という新たな職業が誕生することを意味するが、近い将来には当たり前存在になっているだろうと私は予想している。

まとめると次の2つのことが言える。1. 米国における、量子情報分野に対する公的研究資金の助成状況は堅調である。2. IARPAに代表されるいくつかの研究助成機関は、あと一押しで大規模な量子コンピューターが実現できる所まで、技術レベルが近づいてきている、と判断している。

(和訳: 高田健太 (東京大学大学院 / 国立情報学研究所))

# 1 高速・高精度光パルス制御 半導体スピン量子ビットの

量子コンピューターを構築するためには、長時間量子情報を保存でき、しかも正確に量子情報を外部から制御できる量子ビット技術の開発が不可欠です。これまで、この2つの条件を満足する量子ビット技術としては、トラップイオンとジョセフソン素子を用いる2つが主流でした。一方、半導体LSI技術や光通信技術という現代の情報処理・通信技術との整合性や大規模集積化を考えると、光で制御される半導体素子を用いた量子ビット技術の実現が期待されます。しかしながら、半導体中の電子スピン量子ビットは、これまでデコヒーレンス時間が短く、量子演算エラーが大きいという欠点を有していました。

これまで、国立情報学研究所(NII)研究グループ(リーダー:山本喜久)は、半導体量子ドットにトラップされた単一電子スピンを数ピコ秒の極端光パルスを用いて制御することに成功していましたが(Nature 456, 218, 2008)、その量子演算エ

ラーは6~8%と大きく、これはトラップイオンの量子演算エラーに比べ、10倍も大きな値でした。また、1ゲート当りのデコヒーレンスレート(デコヒーレンスレート×ゲート時間)は、 $10^{-2}$ であり、この値も、トラップイオンの1ゲート当りのデコヒーレンスレートに比べ、10,000倍も大きな値でした。

今回、NII研究グループは、量子ドットをモノリシックプレーナ共振器に閉じ込めることにより、制御光パルスパワーを1/300以下に減少させ、発熱によるデコヒーレンスや誤作動を抑圧し、電子スピンの量子演算エラーをトラップイオンの量子演算エラーと同等の1%前後に減少させることに成功しました。同時に、光スピンエコーと呼ばれる新しい手法を用いて1ゲート当りのデコヒーレンスレートも $3 \times 10^{-6}$ という、イオントラップと同等の性能を持たせることに成功しました。

この成果はNature Photonics 4,367(2010)に掲載されました。

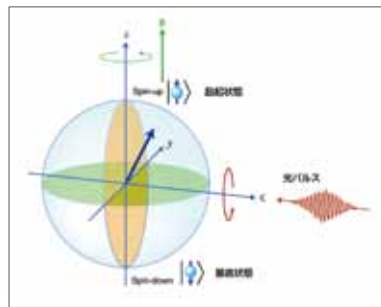


図1(a)

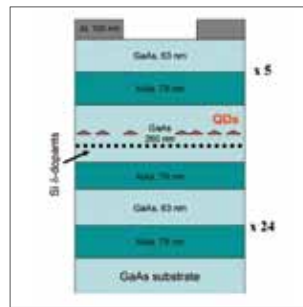


図1(b)

図1(a): 今回の実験の原理とデバイス。半導体量子ドットにトラップされた単一電子スピんに、2ピコ秒程度の時間幅を持つ光パルスを照射して、電子スピンを基底状態と励起状態の線形重ね合わせ状態に準備する。(b): プレーナ共振器に閉じ込められた量子ドット金属マスクで単一量子ドットを選択励起する。

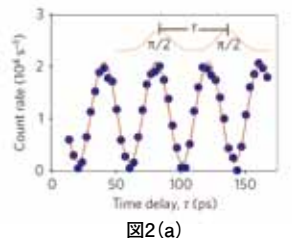


図2(a)

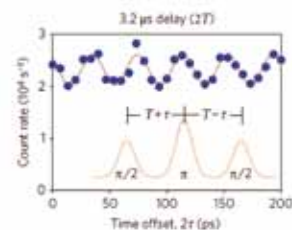


図2(b)

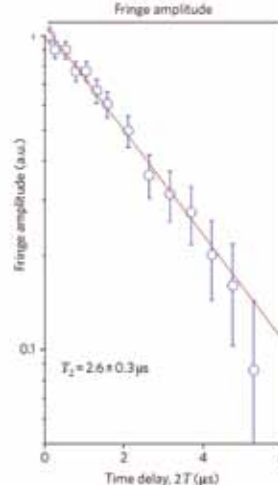


図2(c)

図2(a): 初期化された電子スピンを第1の $\pi/2$ 光パルスで赤道面(y軸)に倒した後、時間 $\tau$ の間電子スピンを自由に回転させておき、次に第2の $\pi/2$ 光パルスを照射し、電子スピンの向きを測定したところ、図に示すようなラムゼー干渉稿が観測された。このラムゼー干渉稿の明暗度(ビジビリティ)から、量子演算エラーは、1%前後と見積もられた。(b): 2つの光パルスのちょうど中間点に $\pi$ 光パルスを挿入し、第1パルスと第2パルスの間( $\tau_1$ )にスピンへ作用した磁場ゆらぎと第2パルスと第3パルスの間( $\tau_2$ )にスピンへ作用した磁場ゆらぎが互いに相殺してデコヒーレンスの要因を取り除いた。(c): このようにした場合の干渉稿ビジビリティは、図に示すように数マイクロ秒のオーダーまで存在することが確かめられた。

# 光を全反射する超伝導人工原子

開放した空間に存在する「自然原子」は、その種類によりそれぞれ異なった量子準位を持っています。自然原子へこの量子準位間のエネルギーに相当する光を外部から照射すると、照射光は原子に吸収・散乱されます。この現象は共鳴蛍光と呼ばれる量子光学の基本原則で、100年以上前から原子や分子の種類を特定するなどの重要な技術として利用されてきました。

一方、自然原子と同じように量子準位を備えた固体電子素子が1990年代から開発され、これを「人工原子」と呼んでいます。理研の研究グループ(リーダー:蔡 兆申)は、超伝導ループに超伝導ジョセフソン接合回路を用いた超伝導人工原子を1999年に実現し、これを量子情報処理における量子ビットとして利用する研究を展開しています。

この人工原子は自然原子と違って、半導体チップ上で実現した巨視的な固体電子素子であるため、例えばキャパシター、インダクタ、伝送線、共振

回路など、ほかの電子素子と現在の微細加工技術を用いて簡単に強く結合させることが可能です。このたび研究グループは、たった1つの超伝導量子ビットを直径約 $1\mu\text{m}$ (マイクロメートル: $1\mu\text{m}$ は $10^{-6}\text{m}$ )もある巨大な人工原子と見立て、アルミニウムでできた伝送線に結合するだけという極めて単純な固体電子素子を作製し、自然原子と光子が引き起こす相互作用と同様の量子光学現象を観測することに成功しました。この人工原子が自然原子と同様に光子を散乱させる「巨視的量子散乱」を引き起こし、入射したマイクロ波領域の光子をほぼ完全に反射する特異な現象を観測しました。自然原子での同様な実験と比較すると、自然原子は光との相互作用が弱いので、通常光はあまり散乱されず、反射される光の量は大変小さいのが普通です。

これらの成果はScience, 327, 840(2010)に掲載されました。

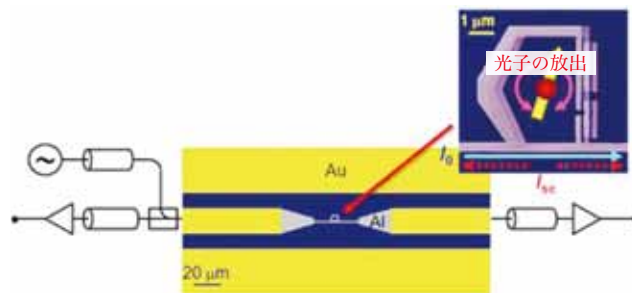


図1 超伝導人工原子を用いた新規量子光学デバイス

超伝導人工原子(磁束量子ビット:赤矢印)をコプレーン型導波路(金薄膜でできている黄色部分)中に設置しています。量子ビットである人工原子(拡大図)はアルミニウム薄膜で構成されていて、超伝導ループにジョセフソン接合を4つ挿入しています。矢印でこの人工原子の自由度である超伝導ループを貫く磁束の状態を模式的に示しました。

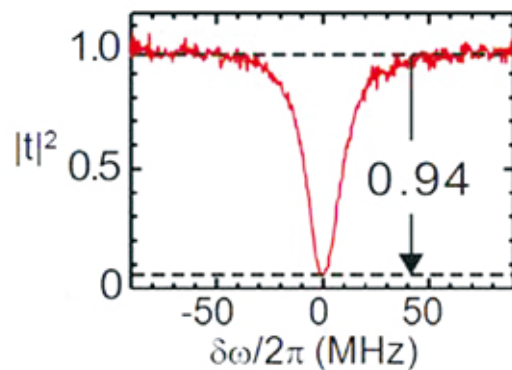


図2 人工原子が示す巨視的量子散乱

共振周波数(変調周波数0MHz近辺)で、入力のおよそ(94%)が反射することを観測しました。



## アナログ量子コンピューター／ 量子シミュレーション

【第1回】

幹事(報告者)：高橋 義朗(京都大学)

リーダー：高橋 義朗(京都大学)

開催日：2010年6月2日

場所：京都大学

参加人数：16名

### 報告概要

#### 1) 高橋グループからの発表と質疑応答

光格子中のイッテルビウム(Yb)原子を用いたハバードモデルの量子シミュレーションについて現状と今後の予定について高橋より報告があった。まず、多様な量子系の提供、単一原子操作の可能性、高次スピン対称性の物理、など、量子シミュレーション研究においてYb原子を用いた場合の特徴の説明があった。その後、最近の研究結果である、ボーズ粒子とフェルミ粒子が競合しあったモット絶縁体の研究、および、フェルミ混合系における量子輸送現象の強相関効果の研究、の紹介があった。さらに、今後の展望として、光フェッシュバハ共鳴、光格子中単一原子操作、などに向けた最近の取り組みが紹介された。

#### 2) 占部グループからの発表と質疑応答

イオントラップを用いたイジングモデルなどの量子磁性、ボースハバードモデル、ジェインズ・カミングス・ハバードモデル、スピンボソンモデル、等の量子シミュレーションについての最近の実験および理論提案の世界的動向に関するレビューが占部先生よりあった。特に、量子シミュレーションでは振動横モードを利用することが、これまでの量子ゲート研究との違いであることが説明された。引き続き、豊田先生より、イオントラップを用いた量子シミュレーションについてのより詳細な説明が行われた。また、最後に、こうした実験において重要となる2次元の表面イオントラップの開発現状について、田中先生より詳細な報告があった。

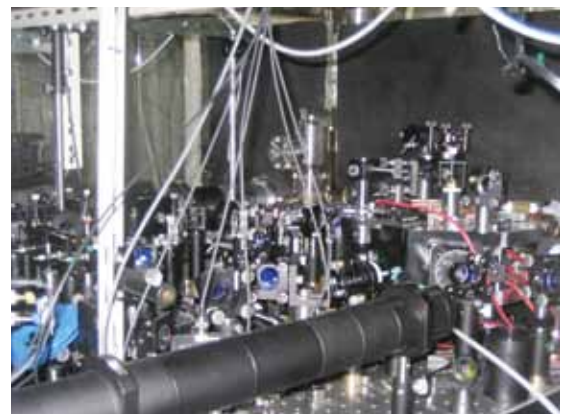
#### 3) 五神グループからの発表と質疑応答

Cu<sub>2</sub>O中のエキシトンのボース・アインシュタイン凝縮実現に向けた取り組みの紹介が五神先生よりあった。特に、非弾性散乱過程のレートが大きいことから、低温

かつ低密度の領域でのボース・アインシュタイン凝縮実現を目指していることが紹介され、興味深い振舞いに関する最新の結果が報告された。また、エキシトンポラリトンのボース・アインシュタイン凝縮に関する共同研究や、ナノ構造を駆使したテラヘルツ非線形光学の研究についても紹介があった。

#### 4) 全体討論:山本先生からのアナログ量子コンピューター/量子シミュレーション研究に対するコメント

量子計算に比べて、量子シミュレーションは技術的制約が緩いため、近い将来、多くの結果を示せることが期待されるものであるが、実用性・有用性に関するより明確な視点が必要であることが指摘された。イジングスピンの問題がNP完全問題にマップできる一方、ハバードモデルの量子シミュレーションが、強相関系物理に与えるインパクトをより明確に打ち出すことの重要性について説明があった。これらについて、今後、理論研究者との議論を通じて、明確にしていくという方向性が話し合われた。



当日、ミーティングに先立って、京都大学物理教室高橋研究室の実験室見学が行われた。



# スピン量子コンピューター

【第1回】

幹事(報告者)：北川 勝浩 (大阪大学)

リーダー：樽茶 清悟 (東京大学)

開催日：2010年6月3日

場所：大阪大学

参加人数：12名

## 報告概要

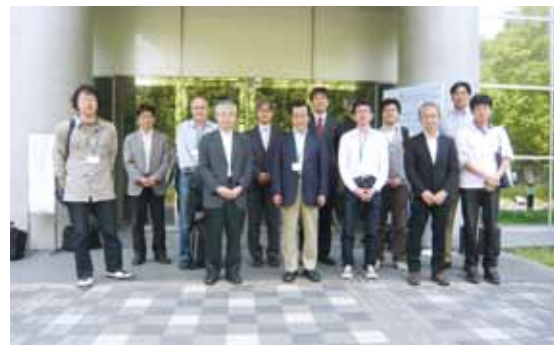
スピン量子コンピューターサブグループの第一回サブグループミーティングは、大阪大学で開催された国際会議“International Conference on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials”にあわせて行った。各グループの発表と議論のサマリーは下記の通り。次回までの課題として、各物理系の特徴を反映した実現性の高い目標設定を行うこととした。

**東大：樽茶「GaAs量子ドット中の電子スピンを用いた量子ビットの複数化とSi量子ドットへの技術拡張」**：スピン量子ビットの研究状況(磁石法による多ビット化技術とスピン共鳴の観測)とSi量子ドットへ拡張するための技術的問題点(電極)を議論した。その後、論理演算を行うための必要条件と研究方針を説明した。**大岩「Progress and research plan for photon- spin interface using GaAs-based quantum dots」**：光子-電子スピン量子状態転写の進捗状況として光生成単一電子スピン検出による角運動量転写を報告し、今後の量子状態転写実証に向けた実験方法を議論した。

**慶應：伊藤「シリコン量子コンピューター実現に向けたコヒーレンス時間測定」**：シリコン(Si)中のリン(P)不純物を用いた量子コンピューターの開発に向けたP電子スピンと核スピンのコヒーレンス時間測定を報告した。背景Si核スピンを徹底的に排除することにより電子および核スピンコヒーレンスがP不純物間の双極子相互作用により制限されていることと、P不純物の核磁気共鳴周波数が背景Si同位体の配置により変化することを報告した。これらの実験事実をもとに現実的なSi量子コンピューターの実現に向けた問題点と、それらを克服するための方針を議論した。

**阪大：北川「分子スピン超精密量子演算制御装置の開発」**：Lloyd型の拡張可能性を持つ分子スピン量子ビット系を制御して量子コンピューターとして動作させるための超精密量子演算制御装置とコンパイラの開発計画について報告し、共振器過渡現象の補償に関する最近の進展と今後の展開について議論した。また、分子の光励起三重項状態を用いた動的核偏極によって実現した超偏極核スピンに関する最新の実験結果を紹介し、その応用可能性を議論した。

**大阪市大：工位「Molecular Spin Based Small-Scale Systems of Synthetic Qubits」**：まず、小規模な1次元、2次元周期系分子スピン量子ビットの集積に関する分子設計を提案し、実際に合成された系を示した。1次元系は、Lloyd型の電子スピン系プロトタイプとして初めて合成された開殻系分子で、三重螺旋対称性を利用して、螺旋内に取り込まれた開殻系金属イオンのg-テンソルが互いに異なるようにした。その後、スケールアップの方向性を議論した。2次元系では、8量子ビットの複雑な電子スピン共鳴スペクトルを解析し、量子シミュレータとしての可能性を議論した。





## 量子計測

【第1回】

幹事(報告者)：廣畑 徹(浜松ホトニクス株式会社)

リーダー：山西 正道(浜松ホトニクス株式会社)

開催日：2010年6月21日～22日

場所：浜松ホトニクス株式会社 中央研究所

参加人数：12名

### 報告概要

第一回のサブグループミーティングでは、21日午後から、このプロジェクトにおいて何を期待し、どのような研究を行おうとしているのかについて、参加各機関が現在までの研究の進捗状況を踏まえて発表し、その技術的な詳細についての議論を行った。翌22日は浜松ホトニクス中央研究所の見学を行った。1日目の議論で挙げられた各テーマの課題としては以下のとおりである。

①**光子検出/光源開発(山西)**：量子暗号通信を意識した $1.55\mu\text{m}$ 帯の光子検出器の開発は、実用的なペルチェクーリング動作可能なデバイスを目指し、その上でSSPDの性能に匹敵するもので無ければならない。目標の設定を引き上げ、試作品を量子通信Gの評価を受ける。

②**半導体電荷状態による量子デバイスの研究(藤澤・太田)**：スピン量子コンピュータで使えるような計測素子を検討する必要がある。表面弾性波フィルターの効果を検討・検証する必要がある。

③**光子を用いた計測技術開発(竹内)**：作ろうとするもつれ合い顕微鏡でなければ、絶対見ることができないターゲットがあれば、S/Nが多少悪くても研究の価値が出てくる。そのようなターゲットを検討する必要がある。

④**原子BECをもちいた磁力計(平野)**：磁力計をつくるという出口が明確に定まっている研究であり、世界の研究動向を調査し、ロードマップに反映させる必要がある。

⑤**超伝導チップによる原子干渉計を使った量子計測(向井)**：実証しようとする原子干渉計が、レーザー干渉計に対してどれだけ有利になるのか、検討する必要がある。







# 量子標準

## 【第1回】

幹事(報告者)：香取 秀俊(東京大学)

リーダー：香取 秀俊(東京大学)

開催日：2010年6月23日

場所：東京大学

参加人数：25名

### 報告概要

第一回のサブグループミーティングでは、量子標準サブテーマを構成する3機関の代表者、香取(東京大学)、洪(産業技術総合研究所)、小山(情報通信研究機構)が、現在までの各機関での研究の進捗状況と、今後四年間の研究の見通しを発表し、その技術的な詳細についての議論を行った。午前中の発表・質疑応答の後、昼食を取りながらの自由討論を行い、午後、東京大学・香取研究室の光格子時計群、超高安定化レーザーの見学の後、この夏を目処に進めている東京大学—情報通信研究機構間の、光ファイバー超高安定度光リンクを用いる光格子時計の比較実験の進め方についての打ち合わせを行った。

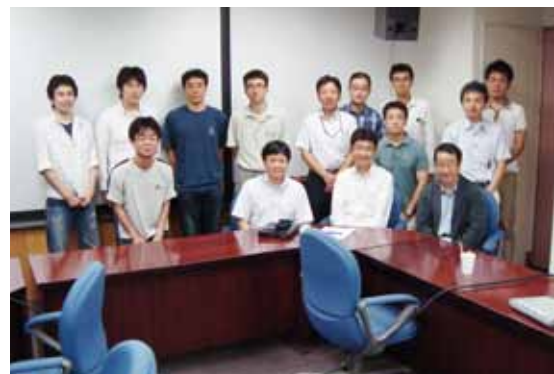
午前中の発表内容のサマリーは以下の通り。

**東大：香取「東大での光格子時計のアプローチ」：** FIRSTプログラムでの量子標準サブグループの研究の方向性・意義を確認した後、現在東大で進行中の、1)2台の原子時計の同期比較実験、2)黒体輻射シフトを大幅に低減するクライオジェニック光格子時計、3)多重極効果を取り入れた“atomic motion insensitive” magic latticeを実現する3次元光格子時計、および4)水銀光格子時計の準備状況等、現在の実験の進捗状況が報告された。これらを通して、不確かさを10<sup>-18</sup>に抑え、かつ、光格子時計の特徴の安定度の向上を実験的にアピールするための戦略が議論された。

**産総研：洪「産総研におけるFIRST研究展開—光格子時計、光周波数コム及び狭線幅化レーザー」：** 産総研で展開されているYb光格子時計、Sr光格子時計、狭線幅化レーザー、ファイバー型光周波数コムの研究について、現状及びFIRSTプログラム量子標準における研究計画を説明した。特に、YbとSr光格子時計の

周波数比を現在の秒の定義であるCs原子時計よりも小さい不確かさで決定し、国際比較を行うことが研究の大きな柱となる。また、それぞれの研究テーマのロードマップを提示し、これらの研究が融合した形で行われる必要性などについて議論した。さらに、これらの研究成果が2019頃に行われる秒の新しい定義に貢献することが重要であることを認識した。

**NICT：小山「NICTにおける光周波数標準の研究開発と東大—小金井間ファイバー伝送比較実験の計画」：** まず、東大とNICTの間で高精度周波数比較を実施するための光ファイバーリンクについて、準備状況の報告を行った。大手町と本郷キャンパスをつなぐファイバーが利用可能となり、現在、ノイズキャンセリングシステムの改善を行いつつ評価を行っているところである。夜間の静穏な時間帯を選んで実験を行うことで、なんとか10<sup>-16</sup>程度までの比較が行なえる目途が立ってきた。また、光周波数標準の研究開発について、Sr光格子時計とCa+イオントラップの進捗状況を報告した。今後、8月中には東大—NICT間の比較実験のトライアルを行うという目標に向けて準備を進める計画である。



# 第9回 量子情報関東 Student Chapter

運営：量子情報関東 Student Chapter

幹事：渡辺 優（東大 上田研究室）、杉山 太香典（東大 村尾研究室）

報告者：渡辺 優（東大 上田研究室）、杉山 太香典（東大 村尾研究室）

開催日：2010年6月10日

場所：東京大学（本郷キャンパス）

参加人数：91名

### 報告概要

量子情報関東 Student Chapterは2008年4月に発足し、今年の6月で9回目をむかえました。量子情報関東 Student Chapterは、関東周辺の量子情報を中心とした量子物理に携わる学生・ポスドクなど若手研究者が主体となって、研究者同士の連携を築くことができるような情報交換の場を提供することを目指しています。発足当初から量子光学や冷却原子、半導体、NMR、超伝導など様々な物性物理を専門とした方、情報理論、通信理論、計算理論、暗号などを専門とした方、など多くの分野から若手研究者が参加し、活発な議論が行われています。発足当初はポスター発表会のみを開催していましたが、第5回には実験室見学会を初めて実施し、今回第9回ではさらに3名の講師をお招きした講演会も開催致しました。以下では簡単に第9回 Student Chapterの報告を行います。

第9回 Student Chapterは6月10日に東京大学の本郷キャンパスで開催されました。今回は講演会、実験室見学会（香取研究室および古澤・米澤研究室）、ポスター発表の三企画を実施しました。今回初めての試みとなった講演会では、樽茶・大岩研究室の山本助教、香取研究室の高野研究員、古澤・米澤研究室の米澤講師をお招きして、専門の異なる学生にもわかるよう各講演とも基礎からお話をして頂きました。また、高野様と米澤様には実験室見学会で見せて頂く実験設備の概要についても説明して頂きました。これは、第8回以前の参加者からの要望を取り入れたものです。実験室見学会は、実際に実験を行っている学生

から直接説明を聞きながら見学を行える、ということで参加希望者が極めて多く、時間と空間的な制約のためwebからの参加登録を途中で締め切らなければならないほどでした。実験室見学の後は学生・ポスドクによるポスター発表を行いました。理論9名、実験7名の合計16名の方に発表して頂きました。分野も量子光学、冷却原子、半導体量子ドット、エンタングルメント理論、量子暗号など多岐にわたり、2時間の発表時間では足りないほどの盛況ぶりでした。今回は最先端研究開発支援プログラム「量子情報処理プロジェクト」および新学術領域「量子サイバネティクス」からご支援をいただいたことにより、遠方からの参加者への援助が行えることになりました。それにより、これまで地理的・金銭的な理由から参加できなかった多くの方が参加しやすくなり、これまでより大幅に増えた合計91名の方に参加していただきました。参加者へのアンケートでも、広い分野の若手研究者と交流し議論できる本研究会への肯定的な意見を多数いただきました。今後も多くの分野、多くの研究室の方に参加していただき、若手研究者間の連携を深めていければと考えています。

今回は9月3日(金)にNEC筑波研究所にて、超伝導量子ビットについての講演と実験室見学会、ポスター発表を行う予定です。詳細については量子情報関東 Student Chapterのwebページをご覧ください。

●量子情報関東 Student Chapter  
<http://quangaroo.web.fc2.com/>



## 関西 Student Chapter

## 第8回 関西若手量子情報セミナー

運営：量子情報関西 Student Chapter

幹事：吉野 共広（大阪市立大学 佐藤研究室）

報告者：吉野 共広（大阪市立大学 佐藤研究室）

開催日：2010年6月8日

場所：大阪市立大学（杉本キャンパス）

参加人数：50名

## 報告概要

第8回関西若手量子情報セミナーを大阪市立大学杉本キャンパスにて行いましたので、報告します。参加人数は50名（内訳は、教員4名、PD7名、DC20名、MC14名、学部4回生5名）であり、非常に雰囲気の良いセミナーとなりました。セミナーの前半は、本大学の理学研究科の物理化学の実験室見学を、後半は、根来誠さん（大阪大学北川研）と田家慎太郎さん（京都大学高橋研）による講演を行いました。

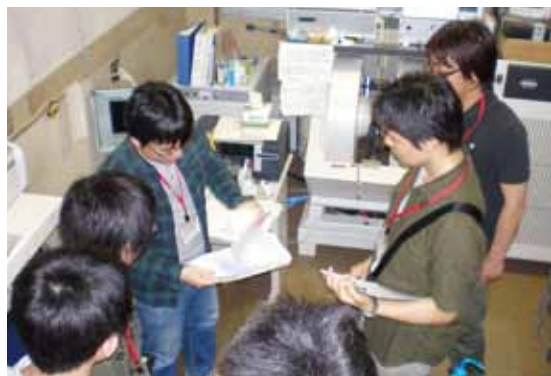
まず、化学の実験室見学を始める前に、本大学の工位先生に化学者の立場から、有機分子磁性体開発の底流となる高スピン化学から分子スピン量子ビットにいたるまでの研究室の歴史的背景についてお話いただきました。続いて佐藤グループ（分子スピン／量子コンピュータ）とハッ橋グループ（レーザー化学）の実験室見学を行いました。佐藤グループは、パルスESR法（電子スピン共鳴法）を開殻系分子に適応させた量子情報処理を目指しています。分子の電子スピン-電子スピン系の量子状態制御を目指したパルス電子多重共鳴法による位相制御実験のみならず、物質開発のためのCW（定常波）法や、パルスESR法を用いたスピン多重度を調べる実験などの測定・原理・研究の具体例などを紹介しました。また、ハッ橋グループは、“多光子過程により化学反応の開かずの扉を

開く”ことで新奇化学反応の開拓を目指しています。30 fs（テラワット）レーザーや飛行時間型質量分析計の測定・原理・具体的な測定を紹介していただきました。

後半、根来さんには「分子の核スピンを使った量子情報処理」という題目で講演をしていただきました。NMR量子計算の原理と歴史の丁寧な説明から、現在ご自身が行っているDNP（動的核偏極）を用いた分子核スピン系の研究を中心に、さらには現在構成中の研究についても、お聞きすることができました。このように、関西Student Chapterでは進行・構成中の研究についても、気軽に相談できるのが持ち味のひとつだと思います。

さらに、田家さんには「光格子中の多成分フェルミ原子による量子シミュレーション」という題目で、光格子中の冷却Yb原子を用いたご自身の研究を中心に、超流動・モット絶縁体量子相転移の丁寧な説明から、「量子シミュレーション」の対象として期待されている重要な物理現象の話など、とてもたくさんの興味深いトピックについて、じっくりとお聞きすることができました。持ち時間は質問込みで各1時間の予定だったのですが、多くの質問がでて、時間が足りないほど盛況な会となりました。

● 量子情報関西Student Chapter

<http://yagura.scphys.kyoto-u.ac.jp/wakate/>

## 量子情報レクチャーシリーズ

科学技術の最先端研究の内容を広く国民の皆様知って頂けるよう地道な活動をしていくことが重要性を増しています。最先端研究開発支援プログラム「量子情報処理プロジェクト」でも、科学技術振興機構(JST)や国立情報学研究所(NII)の協力を得て、小・中・高校生を対象とした取り組みや一般市民を対象とした取り組みを積極的に進めていく所存です。同時に、未来の研究者を目指す学部学生や大学院生、すでにプロとなった企業の研究者や技術者が、効率よく最先端の知識を獲得するお手伝いをするのも私達の大切な仕事であると考えます。

量子情報処理のような学際的な最先端研究分野を目指す学部学生、大学院生、企業の研究者、技術者にとって、その背景となる基礎知識を体系的に身につけることは容易なことではありません。独学する際に頼りとなるべき教科書は比較的古い内容に立脚されており、研究の現状からかなりかけ離れています。また、それぞれの大学の関連した分野の講義においては、一人の講師が量子情報という広い分野で最新の知識を体系的にレクチャーすることは容易なことではありません。

最先端研究開発支援プログラム「量子情報処理プロジェクト」では、このような状況に鑑み、量子

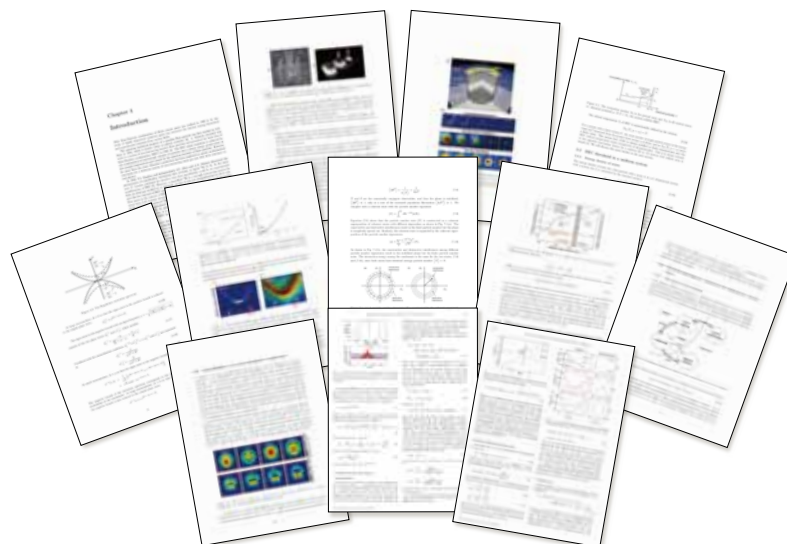
情報レクチャーシリーズを電子出版することになりました。関連する重要なテーマ毎に講義ノートを作成・配信し、各大学での講義、各研究室での輪講、研究者の研究活動の支援などの為に使って頂こうと考えています。今回は、「ボーズアインシュタイン凝縮と物質波レーザー」の講義ノートを配信しました。主な内容は、以下の通りです。

### ■ サイトURL:

<http://www.first-quantum.net/>

- 1章 序論
- 2章 ボーズアインシュタイン凝縮の基本概念
- 3章 理想気体のボーズアインシュタイン凝縮
- 4章 相互作用するボーズ気体のボゴリューボ論
- 5章 超流動
- 6章 BCS相転移.
- 7章 ボーズアインシュタイン凝縮におけるいくつかの自明でない問題
- 8章 物質波レーザーの量子論  
—ハイゼンベルグ—ランジュバン方程式—
- 9章 物質波レーザーの量子論  
—マスター方程式—
- 10章 励起子ポラリトンの動的凝縮
- 11章 量子シミュレーションへの応用

[著者：国立情報学研究所 スタンフォード大学 山本 喜久]



## 物理チャレンジ2010 フィジックスライブにて

最先端研究開発プログラムでは、科学技術の社会普及(アウトリーチ)を目的とした活動を始めています。今回は、岡山県青少年教育センター閑谷学校で8月1日～4日の4日間に渡って行われた「物理チャレンジ2010」に参加し、高校生を中心とする参加者たちに、「フィジックスライブ」として、レーザーを使った光の干渉実験や、ポスター・映像を使った量子力学の解説を行いました。今回は浜松ホトニクス株式会社中央研究所の協力のもと、国立情報学研究所(NII)宇都宮、北大竹内研岡野、NII山本研榎本が、このデモンストレーションに参加しました。

物理チャレンジとは、物理の面白さと楽しさを体験することを目的としたイベントで、今回は全国から物理の得意な1000名にも及ぶ中・高校生たちの応募があり、第1次選抜で選ばれた80名が参加しました。この後第2次選抜で、理論・実験の成績に基づいて選ばれた10名は、国際物理オリンピックに出場するトレーニングまでを行い、最終選考で5名が日本代表に選ばれます。フィジックスライブは、こうした参加者が普段目や耳にすることの少ない専門性の高い物理の姿に、大学や企業の研究者による実験のデモンストレーションを通して間近に触れるイベントです。

私たちの展示では、量子情報処理の基礎となる量子の世界・特に光の粒子性と波動性の二重性について、参加者たちに慣れ親しんでもらい、若手研究者の感じる量子の世界観と、将来の日本の科学技術を担う高校生たちの抱く科学への興味とのクロストークで、お互いに刺激を受けあうことも大事なねらいのひとつとしました。

展示では、ヤングの二重スリットの干渉実験から光の波動性を確認した後、単一光子源を用いた場合

でも時間積算をとると確かに干渉縞が得られることを映像を用いて示し、ポスターの解説をしながら、その理論背景について、ディスカッションを行いました。光の波動性と粒子性の二重性をどのように解釈するのか、実験結果から理論を予想することの面白さについて実感していただきました。特に参加者にとって馴染みの薄い量子特有の線形重ね合わせの概念は、彼らが納得がいくまで解釈を掘り下げることになり、参加高校生の意識と洞察力の高さが伺えました。

また、Arthur Schawlowが一般向けにわかりやすくレーザー分光の原理を解説するために行ったデモンストレーションにならって、透明の風船の中にある赤い風船を緑のレーザーで狙い撃ちすると、内側の風船だけが割れる、という実験を行い、単色レーザーの持つエネルギー選択励起の特性を解説しました。その翌日5時間に渡って行われた実験試験ではLED光源を用いた光の偏光・屈折・反射に関する内容が出題されており、参加者にとって光学系がより身近なものになったのではないかと感じました。

今後量子力学に基づく技術がどのように社会のなかで発展していくのか、といった教科書に載っていない話は、2時間という短い時間では議論しきれず、ボーズ・アインシュタイン凝縮を用いた量子標準や量子計算の話は参考資料を持ち帰って考えていただく宿題にしました。今回のフィジックスライブは、私たち若手研究者にとっても教育の現場を感じる貴重な体験となり、物理チャレンジ実行委員会の意見も参考にさせていただき、今後の社会普及活動の指針にしていきたいと考えています。

[国立情報学研究所 宇都宮聖子／北海道大学 岡野 真之]



● 国立情報学研究所 スタンフォード大学 山本研究室

当グループでは、国立情報学研究所(助教2名、博士研究員3名、大学院生7名)とスタンフォード大学(リサーチアソシエイト2名、大学院生11名)を研究実施場所として山本善久教授の指導のもと、光半導体素子を用いた量子情報処理の研究を行っています。

国立情報学研究所のグループでは主に、励起子ポラリトンを用いた量子シミュレーションの実験研究・理論研究を行っています。互いに屈折率の異なる半導体(例えばGaAs/AlAs)の1/4波長膜を多層重ね合わせた分布反射器(DBR)2枚を、1波長もしくは半波長離して向かい合わせプレーナー微小共振器を構成し、その中央に量子井戸を挟み込むことで、励起子ポラリトンという光と励起子が強結合状態となった素励起を生成することができます。励起子ポラリトンは、その質量が原子に比べ10桁、励起子に比べ4桁も軽い為、10K程度の比較的高温下でボーズアインシュタイン凝縮を起こすことができます。励起子ポラリトンは開放系であるため、超流動ヘリウム液体や原子のボーズアインシュタイン凝縮体にはないユニークな特性を示します。我々はこの特性を利用して、以下の研究テーマに取り組んでいます。

1. 励起子ポラリトン凝縮体を1次元、2次元周期トラップに閉じ込め、強相関系を記述するハバードモデルの量子シミュレーション実験を行っています。特に、p波・d波における超流動状態の発現を中心に調べています。
2. 高密度励起状態におけるBEC-BCSクロスオーバーや2次元系に特有なBEC-BKTクロスオーバーの理論モデルの構築とその実験的検証をおこなっています。
3. 量子フィードバック回路を用いてイジングモデルを実装し、誘導冷却効果を用いて基底状態を高

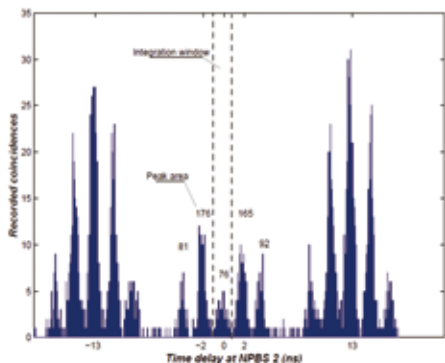


図1 量子ドットから発生された識別出来ない単一光子が示す量子干渉効果(Hong-Ou-Mandel dip)

速・正確に求めるアナログ量子計算機の開発を行っています。このマシンは多くのNP完全問題を解くものと期待されています。

スタンフォード大学のグループでは主に、半導体スピンを用いた量子コンピューター、量子中継の実験研究、理論研究を行っています。電子とホール両者に対して3次元の閉じ込め機能を持った量子ドット(例えばGaAs中のInAs量子ドット、Si中のPDナー不純物、ZnSe中のFDナー不純物など)に閉じ込められた電子スピンは帯電した励起子(トライオン)状態を仲介として光パルスにより直接制御することが可能です。我々はこの性質を利用して、以下の研究テーマに取り組んでいます。

1. 半導体量子ドット中の電子スピンもしくはホールスピン量子ビットの初期化、1ビット制御、スピネコー、量子非破壊測定などの実験をピコ秒オーダーの超高速光パルスで実現する研究を行っています。また、半導体核スピンによる電子スピン、ホールスピンのデコヒーレンス特性を調べています。
2. 共振器フォトン、励起子ポラリトンを仲介とする光パルスで直接制御するスピンスピン結合(2ビット制御)の研究をしています。
3. 識別出来ない単一光子を複数の量子ドットや不純物から同時発生させ、これを検出することによりスピンスピンエンタングルメントを生成する研究をしています。
4. トポロジカル表面コードを用いた誤り耐性量子計算、量子中継のアーキテクチャーを研究しています。 [国立情報学研究所 宇都宮 聖子]

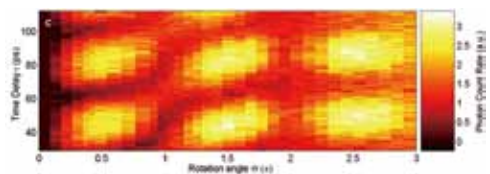


図2 ピコ秒光パルス2つで構成された電子スピンに対するラムゼー干渉パターン

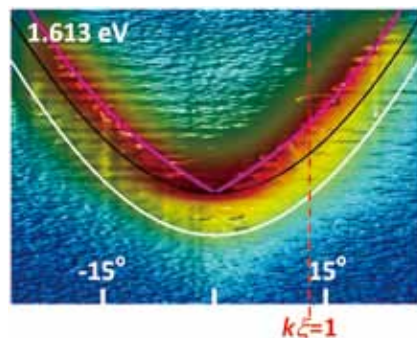


図3 励起子ポラリトンのボーズ・アインシュタイン凝縮に伴うボゴリウボフ励起スペクトル

### ■蔡兆申教授(独)理化学研究所/日本電気(株)が

#### 「応用物理学会 第4回(2010年度)フェロー表彰」を受賞しました

応用物理学会フェロー表彰は、応用物理学会における継続的な活動を通じて応用物理学の発展に多大の貢献をした研究者を表彰するものです。

#### 受賞者のコメント:



このたびは日本応用物理学会のフェロー表彰を受けることになり、誠に名誉なことであります。

ジョセフソン接合という巨視的な物理系においてコヒーレントな状態操作に初めて成功した我々の成果が主な受賞理由です。私は過去30年以上にわたり一貫して、超伝導の巨視的量子効果、特にジョセフソン接合の物理に関する研究を続けてきました。私のささやかな研究成果が、このエキサイティングで美しい研究分野の進展に多少なりとも寄与できたことは大変うれしいことです。

この場を借りて、これまでに共同研究に参加してきた多くの方々に衷心の敬意を表したいと思います。この賞は皆様と共同でいただいたものと思っています。

## INFORMATION

### ■「内閣府最先端研究開発支援プログラム 量子情報処理プロジェクト」公式サイト開設しました



<http://www.first-quantum.net/>

### ■プロジェクト全体会議開催します

開催日：2010年12月8日(水)～2010年12月11日(土)4日間

開催場所：熱海 ニューフジヤホテル

共催：文部科学省・科学研究費助成金・新学術領域研究「量子サイバネティクス」

(<http://www.riken.jp/cybernetics/>)

### ■リサーチマップ内コミュニティ「量子情報処理プロジェクト」(非公開、招待制)について

本プロジェクトでは、公式サイトに加え、私的なサイトとして Researchmap 内にコミュニティ「量子情報処理プロジェクト」(非公開、招待制)を開設しております。このコミュニティでは、プロジェクト内の研究者や学生だけがアクセスでき、様々な最新情報を共有し、議論するための場を提供しております。

関連サイト <http://researchmap.jp/>

# エッセイ

Essay

さる5月17日は人類初のレーザーがテッド・メイマンにより実現されてから、ちょうど50年目にあたる記念すべき日であった。メイマンは2度にわたりスタンフォード大学物理学科(大学院博士課程)の入試を受け、いずれも失敗した。その後、同じスタンフォード大学電気工学科の大学院修士課程の学生として入学した。その後、当時スタンフォード大学の物理学科にいたノーベル物理学賞受賞者であるウィルス・ラム教授の目にとまり、彼の研究室で採用され念願の博士課程学生のポジションを手にした。ヘリウム原子の微細構造の分光学的研究でPh.D.を取得した後、当時出来たばかりのヒューズ研究所に入所した。ヒューズ研究所におけるメイマンの実験は彼が単独で行ったものであったが、慎重に準備されたものであった。彼はレーザー発振の原理としきい値条件を正確に理解し、必要なルビーレーザー結晶を入手し、共振器を設計・作成し、必要なフラッシュランプを購入し、検出手段を考案し、実験の最初の日レーザー発振に成功した。多くの研究者が不可能であると信じていた壁を突破する実験としては非常に珍しいことであった。

この記念すべき50周年に寄せて、祝福のメッセージがバラク・オバマ米大統領から米国のレーザー科学研究者に送られたので、その主旨を以下に訳してみる。

“——レーザーの誕生ほど米国科学技術の真髄を示す例は他に見られない。まず独創性に富む

理論研究があり、続いて技術的イノベーションによるブレークスルーがあり、初めには想像も出来なかった数々の応用分野が出現し、大きな経済効果を我々にもたらした。50年前、レーザーは純粹基礎研究の小さな目標で応用分野などありえないと思われていた。今日、レーザーは我々の生活の隅々まで、DVDプレーヤーにもインターネットでのサーフにもスーパーマーケットでのバーコードの読み取りにも欠くことのできないデバイスとなっている。レーザーを20世紀最大の発明の一つに仕上げた多くの米国の科学者、技術者の独創と献身に最大の敬意を贈ります。あなた方の成功は、教室で学ぶだけの学生や単調な仕事に従事している米国の若者に科学者、技術者という輝かしいキャリアを追及するよう鼓舞激励し、以って我が国のイノベーションフローの将来へのパイプラインを確保することに貢献しました。”

## レーザー誕生50年

山本喜久



No.1 September 2010

内閣府最先端研究開発支援プログラム  
「量子情報処理プロジェクト」ニュースレター

**NII** 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構  
**国立情報学研究所** <http://www.nii.ac.jp/>

発行：大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所「最先端研究開発支援室」<http://www.first-quantum.net/>  
〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2丁目1番2号 学術総合センター  
本誌についてのお問い合わせ：  
総務部 研究促進課 最先端研究開発支援室 TEL：03-4212-2117 FAX：03-4212-2817 e-mail：first\_jimu@nii.ac.jp

**r100**  
古紙配合率100%再生紙を使用しています