

さがけタイプ(個人型研究)

# 「量子と情報」領域 研究報告書

第2期生

研究期間 2004年10月～2008年3月

研究総括 細谷曉夫

独立行政法人科学技術振興機構

戦略的創造研究推進事業

# はじめに



「量子と情報」領域  
研究総括 細谷 曉夫

本研究報告書は、独立行政法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業 さきがけタイプ(個人型研究)「量子と情報」領域の研究成果をまとめたものです。

「量子と情報」研究領域は、量子力学的現象を利用した情報処理を実現するために、量子力学と情報処理の間に横たわる諸問題の解決に資する研究を対象とするものです。具体的には、量子もつれ効果の強さと情報処理能力の関係についての理論的・実証的な研究、新しいアルゴリズムの創出、量子状態の評価技術、記憶方法、量子情報の高密度伝送方式、通信における符号化・誤り訂正・情報セキュリティ等、安全かつ高速の情報処理を実現するための基盤を拡充する抜本的、革新的な研究を対象とします。本研究領域は、平成 15 年度に発足し、既に 5 課題については昨年度に無事研究を終了し、現在 10 の研究課題について研究を推進して参りました。

平成 16 年度に採択された 5 件の研究課題が、3 年半の研究期間を終了致しましたので、これら 5 件の研究課題について研究成果をまとめたものです。

2 期生の場合は、少し大胆に採択を行ないました。通常の量子情報科学とは違う異色のものや超絶技巧、情熱などを買ったものもあります。

成果の中には当初計画と違う方向で成果を上げたものがいくつかあり、またこれから重要になると期待できるものなど各自各様です。最終年度には、今後の研究の発展につながる立派な成果を上げたと思います。

以下に各研究者の成果を簡単に紹介します。

- (1) 量子ビット構築へ向けてのヘリウム液面電子量子ドットの研究(池上 弘樹)

幅  $5\mu\text{m}$  の 1 次元チャネルの伝導度  $15\mu\text{m}$  および  $5\mu\text{m}$  チャネルでの伝導度測定を通じて、ヘリウム薄膜上に閉じ込められた電子の性質を解明した。閉じ込めサイズが  $5\mu\text{m}$  とまだ少し大きい、ヘリウム薄膜上の電子を確実に長時間安定にトラップすることができ、 $5\mu\text{m}$  チャネル中では閉じ込めの効果が現れ、その性質も定性的に理解でき、単一電子の閉じ込めを実現出来るという手ごたえを得た。

量子ビットの観点以外に、この電子の閉じこめ系の興味深い物理的性質の研究を続けていく確かな橋頭堡を築いた。

(2) 超伝導クーパー対を使用した電子 EPR 対高密度ビームの開発(趙 福來)

極高真空低温電界電子放出顕微鏡の圧力として世界記録  $3\times 10^{-10}\text{Pa}$  を達成し、装置に W(111)針を搭載して極高真空下で行ったショットノイズ測定は 10Hz 以下であるという低周波測定記録を達成した。さらに装置の極高真空環境を利用して電界電子放出現象を応用した極高真空領域の圧力測定法を開発した。

目的の超伝導クーパー対には達しなかったが、そのための基礎技術について上記の大きな成果を上げた。他の実験の基礎技術としても有用であろう。総括としては、もう2年研究を続行させたかった。

(3) 光学実験を手段とした量子情報処理のための量子力学的物理現象の研究  
(長谷川 祐司)

おそらく世界でも数少ない中性子干渉計を用いた量子力学の基本原則に関する数々の実験を行い多くの成果を上げた。その大部分は中性子の経路とスピンをそれぞれキュービットとして扱うが、最近ではさらにエネルギーの自由度もとり入れて3キュービットとしている。Kochen-Specker の定理の破れ、GHZ状態の実験、幾何学的位相(ベリー位相)、量子トモグラフィなど多岐にわたっている。

中性子という特徴のある系について、量子力学の基本的研究の有用性はこれからもあると思われる。この領域の研究で国際的評価と国内的評価のギャップの最も甚だしいもので、総括として継続的なアピールの必要性を感じる。

(4) 代数的量子情報処理技術の研究(濱田 充)

量子計算機の実現に向けた新しい量子誤り訂正符号の提案、設計、開発、性能解析を古典符号とシンプレクティック符号の類似性を利用し、古典で知られている符号設計の方法論に根ざした方法でシンプレクティック符号の設計を行った。

この方針に基づき主要成果として、代数的量子誤り訂正符号の一般的構成法と一般的構成法を用いた高性能な代数的量子誤り訂正符号の明示的構成に成功し、情報セキュリティへの応用と解析を行った。

この研究は、この分野に本質的な貢献をしていることを、確認した。

(5) 量子非局所性を用いた情報処理における不可逆性(森越 文明)

Leggett-Garg 不等式に端を発する「時間における Bell 不等式」の概念」を、Braunstein と Caves によって提案された条件付きエントロピーに対する「情報理論

的 Bell 不等式」の形で定量化し、量子計算における Grover のアルゴリズムに対して確かに破れていることを示した。このことは量子計算のみならず量子力学不思議の理解のうえで極めて示唆的である。この領域から、概念的に新しいことが提案されたことは特筆に値する。本人の自己評価は謙虚であるが、もっと自信をもって自己主張し続けることが肝要である。

本研究報告書が、量子情報処理の最先端における研究理解と同時に、当領域の研究活動についてさらなるご理解を賜ります一助になれば、幸いに存じます。

# さががけ「量子と情報」領域

## 研究総括

細谷 曉夫 東京工業大学大学院 理工学研究科 教授

## 領域アドバイザー

今井 浩 東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授  
井元 信之 大阪大学大学院 基礎工学研究科 教授  
枝松 圭一 東北大学 電気通信研究所 教授  
小澤 正直 東北大学大学院 情報科学研究科 教授  
北川 勝浩 大阪大学大学院 基礎工学研究科 教授  
佐々木 雅英 情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター 研究マネージャー  
高木 伸 富士常葉大学 環境防災学部 教授  
竹内 繁樹 北海道大学 電子科学研究所 教授  
蔡 兆申 日本電気(株) 中央研究所 ナノエレクトロニクス研究所 主席研究員  
南 不二雄 東京工業大学大学院 理工学研究科 教授  
山本 喜久 スタンフォード大学 応用物理・電気工学科 教授

## 平成 15 年度採択研究者[第 1 期生] (2003~2006)

研究者	所属	研究課題
石坂 智	日本電気(株) 中央研究所 ナノエレクトロニクス研究所 主任研究員	量子纏れ最適回復プロトコル導出を可能にする量子状態の判定・測定法
北野 晴久	青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 准教授	固有ジョセフソン接合と超伝導共振器を用いた量子状態制御の研究
黒田 隆	物質・材料研究機構 量子ドットセンター 主任研究員	単一量子ドットにおける多光子量子操作
清水 明	東京大学大学院 総合文化研究科 教授	多体量子系としての量子計算機の分析
村尾 美緒	東京大学大学院 理学系研究科 准教授	量子鍵を用いた次世代量子暗号プロトコル

平成 16 年度採択研究者[第 2 期生] (2004～2007)

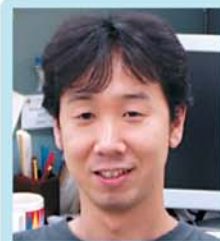
研究者	所属	研究課題
池上 弘樹	理化学研究所 中央研究所 専任研究員	量子ビット構築へ向けてのヘリウム液面 電子量子ドットの研究
趙 福來	科学技術振興機構 さきがけ 研究者	超伝導クーパ対を使用した電子 EPR 対 高密度ビームの開発
長谷川祐司	科学技術振興機構 さきがけ 研究者	光学実験を手段とした量子情報処理のため の量子力学的物理現象の研究
濱田 充	玉川大学学術研究所 准教授	代数的量子情報処理技術の研究
森越 文明	日本電信電話(株) NTT 物性科学 基礎研究所 研究主任	量子非局所性を用いた情報処理における 不可逆性

平成 17 年度採択研究者[第 3 期生] (2005～2008)

研究者	所属	研究課題
阿部 真之	大阪大学大学院 工学研究科 准教授	異種原子組み替えによる固体表面量子ビ ットの実現
宇佐見康二	科学技術振興機構 さきがけ 研究者	測定過程を使った非古典的な原子集団ス ピン励起の生成と制御
小川 朋宏	電気通信大学大学院 情報シ ステム学研究科 准教授	量子通信路の可逆性と情報理論的・幾何学 的保存量の評価
松下 道雄	東京工業大学大学院 理工学 研究科 准教授	単一分子分光による固体中の単一スピ ンの観測
遊佐 剛	東北大学大学院 理学研究科 准教授	新しい核磁気共鳴を用いた核スピンの量 子状態制御

## 研究者プロフィール

(五十音順)



池上 弘樹

*Hiroki Ikegami*

1999年 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻  
博士課程中退・工学博士(2001年)

現在, 理化学研究所・中央研究所 専任研究員  
専門分野は極低温, 超低温物理学  
日本物理学会会員

URL <http://www.quantum.jst.go.jp/researcher/02-01ikegami/index.html>



趙 福來

*Boklae Cho*

2000年 浦港工科大学大学院物理学科博士課程修了・  
理学博士(POSTECH 韓国)

現在, 科学技術振興機構 さきがけ専任研究者  
専門分野は電子線物理, 真空物理  
応用物理学会会員

URL <http://www.quantum.jst.go.jp/researcher/02-02tyo/index.html>



長谷川 祐司

*Yuji Hasegawa*

1993年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了・  
工学博士

現在, 科学技術振興機構 さきがけ専任研究者  
専門分野は量子光学, 原子核物理学  
オーストリア物理学会会員, アメリカ物理学会会員

URL <http://www.quantum.jst.go.jp/researcher/02-03hasegawa/index.html>



濱田 充

*Mitsuru Hamada*

1999年 電気通信大学大学院情報システム学研究科  
博士課程修了・工学博士

現在, 玉川大学学術研究所 准教授  
専門分野は符号理論, 情報理論

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)  
member, AMS (American Mathematical Society) member,  
日本応用数学会会員, 電子情報通信学会会員

URL <http://www.quantum.jst.go.jp/researcher/02-04hamada/index.html>



森越 文明

*Fumiaki Morikoshi*

2000年 北海道大学大学院理学研究科物理学専攻  
博士課程修了・理学博士

現在, 日本電信電話(株) NTT物性科学基礎研究所 研究主任  
専門分野は量子情報理論, 量子論の基礎  
日本物理学会会員

URL <http://www.quantum.jst.go.jp/researcher/02-05morikoshi/index.html>