

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：82401

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21102001

研究課題名(和文)量子サイバネティクス総括班

研究課題名(英文)Quantum Cybernetics Steering Committee

研究代表者

蔡 兆申(Tsai, Jaw-Shen)

独立行政法人理化学研究所・創発物性科学研究センター・チームリーダー

研究者番号：30469910

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 42,200,000円、(間接経費) 12,660,000円

研究成果の概要(和文)：「異なる学問分野の研究者が連携して行う共同研究の推進」を目指し、多くの領域内共同研究を立ち上げ、多くの成果を上げた。「ダイヤモンドNV中心と超伝導量子ビットの結合」の研究成果は、Nature誌に掲載された。新たな学術領域を創成し、異なった背景を持つ各研究項目間の横断的連携研究を目指した「領域融合ワークショップ」を計13回開催した。領域内での連携強化のため、領域内研究室の学生・ポスドクなど若手研究者を、領域内の他の研究室が短期間受け入れた。

研究成果の概要(英文)：In order to promote the mutual fertilization between research teams with different disciplinarians within the project, many collaboration researches were created. They resulted with many fruitful successes, symbolized by success in the "Coupling of superconducting circuit and diamond NV centers" which yielded articles in Nature journal. To enhance interdisciplinary collaboration among research groups in different disciplines, Interdisciplinary Workshops were held under various topics (13 workshops in total). Interdisciplinary Internships were created aimed at enhancing collaboration within this field of research. Young researchers including students and postdoctoral fellows were accepted to work in laboratories in different field within the project for a limited time period.

研究分野：複合新領域、数物系科学

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、マイクロ・ナノデバイス、物理学、物性I

キーワード：ジョセフソン回路 量子ドット 分子スピン 冷却原子 イオントラップ 量子光学 混合量子系 量子サイバネティクス

1. 研究開始当初の背景

近年、幅広い分野の多様な物理系において、量子コヒーレンス状態の制御や検出が可能になってきている。このような量子操作は、従来では微視的系の光や核・電子スピン以外では例がなく、全く新たな研究領域が開きつつある。元祖サイバネティクスは、古典状態の制御を横断的に研究し、古典状態を操る機械文明を作り出し、大きな成果を上げた。この成功例に倣い、量子状態の制御を、統一的視野に立ち、横断的な連携研究を行う、量子サイバネティクスを立ち上げる。量子状態をコヒーレントに自由に操ることで、「未知の大陸」状の全く新たな科学技術分野の可能性が、現在見え始めている。微視的系を含め、超伝導や半導体デバイスの巨視的量子系においてもコヒーレント操作は、技術的に可能になっていて、現在このような研究を本格的に進める機運がめぐって来ている。

2. 研究の目的

総括班では、量子サイバネティクス領域全体の研究方針・目標の策定、領域内に設定する7つ計画研究の内容の調整、公募研究の研究内容の調整、領域全体の連絡網の確立を行う。また公募研究の選定にも踏み込んだ計画を立てる。そのために、半年に1回程度の定期的な総括班会議を設定する。総括班会議では、随時各計画研究、公募研究の進捗状況を把握し、成果の評価を行う。また研究方向の再確認を行い、論議のうえ、必要な場合は各研究にフィードバックを加え、領域代表のリーダーシップの下で、研究内容の調整を行う。

総括班は、領域内での研究連携や共同研究の計画の策定と、その後の有機的連携がスムーズに履行されるか随時モニターする。公募研究と、有志学生が自発的に組織する、量子情報学生チャプターを有効的に利用することが、本領域内の有機的連携の有力な手段と考えている。そのために、公募研究の公募条件の策定も、領域の総括班会議で十分議論して策定する。また総括班は量子情報学生チャプターの学生が領域の研究に参加するのにあたり、学生の選別および支援を行う。

3. 研究の方法

領域代表の強いリーダーシップの下で、総括班会議を半年に1度定期的開催する。具体的には、総括班は研究領域全体の研究目標の策定と、領域内での研究連携や共同研究の計画の策定や各研究項目内の計画研究の策定や、公募研究の選定にも踏み込んだ計画を立てる。全領域は研究の内容により大きく7つの計画研究に分け研究を遂行することを総括班で取り決め、その方針に基づき詳細な研究計画を策定する。原子、分子や光子のような微視的系、超伝導や半導体素子のような巨視的系など、異なった領域の研究者の共同研究において、異なった視点や手法を取り入れて研究を推進し、当該研究領域の新たな展

開を目指す。また大学、国立研究所、企業研究所間および実験研究者と理論研究者間、などの環境や背景の異なる研究者の融合・共同研究により研究の活性化を狙った研究組織を提案する。

総括班はニュースレターを定期的に配布し、領域研究の成果を発信する。また領域班は量子情報学生チャプターの学生が領域の研究に参加するのにあたり、学生の選別および支援を行う。

総括班のメンバーは以下のとおりである。蔡兆申が研究代表であり、他メンバーは連携研究者である(山本喜久とロイド・セス2名は研究協力者)。

氏名	所属	役割	専門分野
蔡 兆申	理研 NEC	総括 (領域代表、A01 研究代表者)	低温固体物理
都倉 康弘	筑波大	A02 研究代表者として総括班運営	半導体物理
北川 勝浩	阪大	B01 研究代表者として総括班運営	量子計算、量子光学
高橋 義朗	京大	C01 研究代表者として総括班運営	原子物理学
占部 伸二	阪大	C02 研究代表者として総括班運営	量子エレクトロニクス
竹内 繁樹	北大	D01 研究代表者として総括班運営	量子光学
小戸 雅斗	東大	D02 研究代表者として総括班運営	量子情報、量子光学
梅茶 清悟	東大	A02 研究分担者として総括班運営	半導体物理
工位 武治	阪市大	B01 研究分担者として総括班運営	量子化学、磁気共鳴
山本 喜久	NII・理研・スラフホト大	評価・助言	量子光学
ロイド・セス	MIT	評価・助言	量子力学・量子工学

4. 研究成果

総括班会議を年2回行い、新学術領域の形成に尽力した。

(4-1) 領域内共同研究の策定

総括班会議の指導下、「異なる学問分野の研究者が連携して行う共同研究の推進」を目指し、多くの領域内共同研究を立ち上げた。以下にそれらを列挙する:

- 1: イオン/原子の光によるローカルアドレス技術 (原子+イオン)
- 2: 光格子中冷却原子を用いた磁気相転移の研究の可能性 (原子+分子)
- 3: 磁気相転移の量子シミュレーションの研究 (原子+分子)
- 4: 原子系と通信波長帯光子の結合に向けた研究 (原子+光2)
- 5: マイクロ波光子量子光学 (超伝導+光1)
- 6: 異なる物理系による実装の比較を元にした、新規光子量子情報処理 (超伝導+光1)
- 7: テーパーファイバ表面の電荷状態 (イオン+光1)
- 8: 伝令付き単一光子源 (光2+光1)
- 9: 量子状態推定 (光1+藤原(公募))
- 10: ダイヤモンド中の窒素欠陥を使ったナノデバイスの開発 (光1+水落(公募))
- 11: 量子光波長変換のNV中心への適用 (光2+水落(公募))
- 12: 動的ディカップリングの自動化 (超伝導+分子+水落(公募))
- 13: 磁束量子ビット回路に適した量子メモリ

- 分子の合成と物性 (超伝導 + 分子)
- 14: スピン量子コンピュータに関する研究 (半導体 + 内海 (公募))
 - 15: 磁場勾配中のイオンの量子状態制御 (半導体 + イオン)
 - 16: ダイヤモンド NV 中心と超伝導量子ビットの結合 (超伝導 + 半導体 + 水落 (公募))
 - 17: 磁気センサ (半導体 + 水落 (公募))
 - 18: スピンの精密制御、ハミルトニアン工学 (超伝導 + 分子)
 - 19: スピン量子コンピュータに関する研究 (半導体 + 小寺 (公募))
 - 20: スピン量子コンピュータに関する研究 (半導体 + 大野 (公募))
 - 21: 回路 Q E D での光子介在電子輸送 (半導体 + 超伝導)
 - 22: C M O S デバイスでのスピン - スピン制御 (超伝導 + 大野 (公募))
 - 23: スピン量子コンピュータに関する研究 (半導体 + 大野 (公募))
 - 24: ヘテロジニアス量子リピータネットワーク (超伝導 + バンミータ (公募))

上記の共同研究は、多くの成果を上げ、すでに論文化されているものも多くある。例えば 16: の「ダイヤモンド NV 中心と超伝導量子ビットの結合」の研究成果は、Nature 誌に掲載された [Nature 478, 2011, 221-224]。このようは複合領域にまたがる共同研究の成果は、新学術領域プロジェクトがあつてはじめて可能になったものである。

(4 - 2) 領域融合ワークショップ主催
新たな学術領域を創成し、それを更に発展させるため、異なった背景を持つ各研究項目 (超伝導回路、半導体量子ドット、分子、原子、イオン、光など研究グループ) 間の横断的連携研究が必要である。これらの研究グループ間の融合研究を促進する目的の「領域融合ワークショップ」を随時開催した。ワークショップのテーマは、領域融合を念頭に、毎回様々な切り口で設定した。以下に開催されたワークショップをリストする:

- [2012/9/3]
第 13 回ワークショップ/場所: 大阪大学
"Studying many-body physics through classical and quantum coding theory"
[2012/6/6]
第 12 回ワークショップ/場所: 大阪大学
「磁気相転移と量子シミュレーション」
[2011/11/11]
第 11 回ワークショップ/場所: 大阪大学
「ダイヤモンド・超伝導 ハイブリッド系の量子状態制御」
[2011/10/13]
第 10 回ワークショップ/場所: 大阪大学
"AI+ Optical Clocks for Fundamental Physics and Geodesy"
[2011/08/01]

- 第 9 回ワークショップ/場所: 大阪大学
"Diamond spin Qubits: from quantum science to sensing applications"
[2011/08/18]
第 8 回ワークショップ/場所: 大阪大学
「冷却原子集団を用いた Cavity QED とその量子情報要素技術への応用」
[2011/04/22]
第 7 回ワークショップ/場所: 大阪大学
"New Experimental Techniques in Quantum Measurement"
[2011/04/12]
第 6 回ワークショップ/場所: 大阪大学
「超伝導磁束で捕捉する原子・原子で見る超伝導磁束」
[2011/03/22-23]
第 5 回ワークショップ/場所: ハイアットリージェンシー京都
「多様な物理系の量子光学: '原子'-光子強結合系」
[2011/02/23-24]
第 4 回ワークショップ/場所: 大阪大学
「Surface code 量子誤り訂正」
[2011/01/28]
第 3 回ワークショップ/場所: 大阪大学
"Quantum transport in biological systems", "Sending a photon backwards in time"
[2011/01/18]
第 2 回ワークショップ/場所: 大阪大学
「量子推定論の基礎と進展」
[2010/10/25]
第 1 回ワークショップ/場所: NEC 筑波研究所
「量子情報処理用マイクロ波測定装置の開発」

(4 - 3) 領域融合インターンシップ企画
本領域内での連携を強化するための短期研修制度で量子サイバネティクスよりの支援がある。基本的には領域内の研究室に所属する学生・ポスドクなど若手研究者を、領域内の研究室が短期間受け入れたが、領域外への派遣、領域外からの受け入れも行った。以下にインターンシップ受け入れ実績を列挙する:

- < 研修・派遣先: 大阪大学理学研究科 藤原彰夫先生研究室 >
2012/04 ~ 2013/03 (2 週間程度) 大阪大学産業技術研究所修士課程 2 年生
- < 研修・派遣先: 大阪大学基礎工学研究科 鈴木・水落先生研究室 >
2012/04 ~ 2013/03 (2 週間程度) 大阪大学産業技術研究所修士課程 1 年生
- < 研修・派遣先: 東京大学 樽茶清悟先生研究室 >
2012/04 ~ 2013/03 東京工業大学修士課程

2年生

< 研修・派遣先：Weizmann Institute of Science, Israel >

2013/01/11～02/03 大阪市立大学博士課程1年生

< 研修・派遣先：大阪市立大学分子物理学・QC/QIP研究室 >

2012/11/04～11/08 University of Modena, Italy 博士課程2年生

< 研修・派遣先：京都大学大学院 高橋義朗先生研究室 >

2010/11/01～11/30 大阪市立大学大学院博士課程3年生

2010/11/15～12/15 大阪市立大学大学院博士研究員

< 研修・派遣先：理化学研究所 (NEC グリーンイノベーション研究所内) 蔡 兆申研究チーム >

2012/02/27～03/26 大阪市立大学大学院理学研究科 研究生

2012/02/27～03/26 慶應義塾大学大学院理工学研究科 博士課程1年生

2011/02/01～03/18 大阪大学大学院博士課程2年生

(4-4) 学生サポート

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た集まり「量子情報学生チャプター」の支援を行ってきた。支援の内容は、会議での講義を含めた会議プラン支援、会議開催時の支援(会議共催、会場費・遠距離交通費等)などである。

369名の量子情報学生チャプターメンバーの就職等の追跡調査も行ない、以下の結果を得た(2013年3月集計)。

国内学生：	57.4%
国外学生：	0.5%
国内ポスドク：	11.3%
国外ポスドク：	0.8%
助教授・准教授：	7.3%
公務員：	2.4%
民間企業：	16.4%

学生を除くと、正規雇用者約68%、ポスドク約32%であった。

5. 主な発表論文等

[その他]

アウトリーチ活動情報

2013/9/19, 国立情報学研究所平成25年度市民講座「未来を紡ぐ情報学」, 蔡兆申, 超伝導人工原子のインパクト ~

より日常的スケールでの量子世界の実現 ~, 国立情報学研究所

2012/10/27, 科学ライブショー「ユニバース」ノーベル賞特別番組, 蔡 兆申, 「量子のへんてこな世界を操作する」, 科学技術館

2012/7/20, スーパーサイエンスハイスクール連携講座II, 向井哲哉, 「秘密は"量子"で守る:量子計算と量子暗号通信」, 長野県屋代高等学校

2012/7/20, スーパーサイエンスハイスクール連携講座, 向井哲哉, 「"量子"の世界を覗いてみよう」, 長野県屋代高等学校附属中学校

2012/4/21, サイエンスレクチャー:理研一般公開講演, 蔡 兆申, 「量子と情報」

2011/10/25, S S H先端科学講座, 蔡 兆申, 「量子力学と情報処理」, 群馬県立高崎高校,

2011/10/11, サイエンスアカデミー1, 向井哲也, 「量子の不思議を体験してみよう」, 青森県立三本木高等学校附属中学校

2011/4/23, 市民講座:理研一般公開講演, 蔡 兆申, 「量子の制御とコンピュータ」

2011/2/24, 連携授業, 竹内繁樹, 「光の不思議な性質をみつけよう」, 京都府南丹市立園部小学校

2010/06/05, サイエンストーク(電子科学研究所一般公開), 竹内繁樹, 「光子の不思議と量子情報技術」, 北海道大学電子科学研究所

ホームページ情報

http://www.riken.jp/research/labs/cems/qtm_inf_electron/macro_qtm_coh/

<http://www.riken.jp/Qcybernetics/>

<http://www.u.tsukuba.ac.jp/~tokura.yasuhiro.ft/>

<http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/view/?l=ja&u=7506&a2=000010&o=affiliation&sm=affiliation&sl=ja&sp=1>

<http://yagura.scphys.kyoto-u.ac.jp/>
<http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/view/?l=ja&u=4941&a2=000010&o=affiliation&sm=affiliation&sl=ja&sp=1>

<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/qip/>

<http://www.qi.mp.es.osaka-u.ac.jp/index-j.html>

<http://www.meso.t.u-tokyo.ac.jp/>

<http://www.qcqi.sci.osaka-cu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蔡 兆申 (TSAI, Jaw-Shen)

独立行政法人理化学研究所・創発物性科学研究センター・チームリーダー

研究者番号：30469910

(2) 連携研究者

都倉 康弘 (TOKURA, Yasuhiro)
筑波大学・教授
研究者番号： 20393788

北川 雅浩 (KITAGAWA, Masahiro)
大阪大学・教授
研究者番号： 20252629

高橋 義郎 (TAKAHASHI, Yoshiro)
京都大学・教授
研究者番号： 40226907

占部 伸二 (URABE, Shinji)
大阪大学・教授
研究者番号： 20304040

竹内 繁樹 (TAKEUCHI, Shigeki)
北海道大学・教授
研究者番号： 80321959

小芦 雅斗 (KOASHI, Masato)
東京大学・教授
研究者番号： 90322099

樽茶 清悟 (TARUCHA, Seigo)
東京大学・教授及び理化学研究所・部門
長
研究者番号： 40302799

工位 武治 (TAKUI, Takeji)
大阪市立大学・教授
研究者番号： 10117955