

戦略的創造研究推進事業
—CREST(チーム型研究)—

研究領域

「量子状態の高度な制御に基づく革新的
量子技術基盤の創出」

研究領域事後評価用資料

研究総括: 荒川 泰彦

2024年2月

目 次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	1
(3) 研究総括	1
(4) 採択研究課題・研究費.....	2
2. 研究総括のねらい	3
3. 研究課題の選考について	4
4. 領域アドバイザーについて	8
5. 研究領域のマネジメントについて.....	8
6. 研究領域としての戦略目標の達成状況について.....	31
7. 総合所見	46

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

「量子状態の高度制御による新たな物性・情報科学フロンティアの開拓」

(2) 研究領域

「量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出」(2016年度発足)

(3) 研究総括

氏名 荒川 泰彦 (東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構
特任教授)

上記詳細は、以下 URL をご参照ください。

JST 公開資料「新規研究領域の事前評価」

<http://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/index.html>

平成 28 年度新規研究領域の事前評価

https://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/hyouka_h28.pdf

(4) 採択研究課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	所属・役職 上段採択時 ²	研究課題	研究費 ¹ 研究タイプ ⁶
2016 年度	井元信之	大阪大学・教授 (〃・特任教授)	グローバル量子ネットワーク	356 (B)
	北川勝浩	大阪大学・教授	室温超核偏極と量子符号化による 超高感度生体 MRI/NMR	268 (A)
	高橋義朗	京都大学・教授	冷却原子の高度制御に基づく革新的 光格子量子シミュレーター開発	284 (A)
	竹内繁樹	京都大学・教授	大強度広帯域周波数もつれ状態の 実現と応用	362 (B)
	樽茶清悟	理化学研究所・グループ ディレクター	スピン量子計算の基盤技術開発	268 (A)
	蔡兆申	東京理科大学・教授	超伝導人工原子を使った光子ベー スの量子情報処理	309 (B)
2017 年度	青木隆朗	早稲田大学・教授	スケーラブルな光学的量子計算に 向けた超低損失ナノファイバー共 振器 QED 系の開発	249 (A)
	神成文彦	慶應義塾大学・教授	波長分割多重プログラマブル大規 模量子シミュレータ	169 (A)
	小坂英男	横浜国立大学・教授	ダイヤモンド量子セキュリティ	303 (A)
	齊藤志郎	日本電信電話(株)・特別 研究員 (〃・上席特別研究員)	超伝導量子ビットを用いた極限量 子センシング	170 (A)
	仙場浩一	情報通信研究機構・上席 研究員	超伝導量子メタマテリアルの創成 と制御	172 (A)
	田中歌子	大阪大学・講師	オンチップ・イオントラップによ る量子システム集積化	167 (A)
	田中雅明	東京大学・教授	強磁性量子ヘテロ構造による物性 機能の創出と不揮発・低消費電力 スピンデバイスへの応用	246 (A)
2018 年度	大野圭司	理化学研究所・専任研究 員	シリコン技術に立脚した室温動作 スピン量子ビット	171 (A)
	小関泰之	東京大学・准教授 (〃・教授)	量子光源による超高感度分子イメ ージング	320 (B)
	宗宮健太郎	東京工業大学・准教授	量子制御を用いたオプトメカ結合 型調和振動子のマニピュレーショ ン	189 (A)

	永長直人	東京大学・教授 (理化学研究所・グループディレクター)	ナノスピン構造を用いた電子量子位相制御	249 (A)
	長谷宗明	筑波大学・教授	ダイヤモンドを用いた時空間極限量子センシング	210 (A)
	山本倫久	理化学研究所・ユニットリーダー (//・チームリーダー)	半導体非局在量子ビットの量子制御	229 (A)
			総研究費	4692

(A) 量子状態制御の物理の探索とその技術展開をはかる「新しい源流の創出」として募集時の研究費上限を2億円とした。(B) 将来の社会・産業イノベーションを牽引する量子技術の実装に向けた「革新的システム機能の創成」として募集時の研究費上限を3.5億円とした。(A)(B)は研究者が選択。

¹各研究課題とも研究期間の総額、進行中の課題は予定を含む(2023年12月30日現在)

²変更/移動のあった場合、下段に括弧つきで記載

2. 研究総括のねらい

半導体、超伝導、レーザーなど、量子力学に立脚した科学技術が進展し、産業や社会に大きなインパクトを与えてきたが、1990年代頃から、量子状態制御の要素技術や量子情報処理の基礎研究が開始され、現在、量子力学の包括的かつ高度な活用による、新しい学術や技術の体系、発展、萌芽が見られる。こうした進展を背景に、あらためて、光科学、物性科学、ナノ構造・材料科学、情報科学等の強みを糾合し、中長期的な視座から量子科学のフロンティア開拓を先導するとともに、新しい産業や技術基盤の創出の核となる量子技術を生み出すことは重要である。

本研究領域では、様々な経済的・社会的なニーズに応えるべく、量子状態の高度制御にかかわる研究開発を重点的に推進し、新たな量子物性の開拓や量子情報システムの開発の展開を図っている。これにより、幅広いイノベーションの源泉の創成を図るとともに、今後、大きく変革する社会の基盤となる量子技術・システム実装を世界に先駆けて実現する基盤技術の確立を目指している。

具体的には、量子の孤立系から多体系、巨視的な凝縮体に至るまで、多彩な量子状態の高度制御を実現することにより、未知の物理現象や物質機能・物性の探索、新たな概念に基づく情報科学の開拓及び新技術シーズ創出を図っている。また、基盤的な量子技術・システムの開発により、既存技術分野（フォトンクス、エレクトロニクス等）の発展的融合・ブレークスルーを促すことを目指している。

なお、本研究領域では、研究課題を下記の2本柱のいずれかのカテゴリーに分けて進めることとした。

(A) 量子状態制御の物理の探索とその技術展開をはかる「新しい源流の創出」

(B) 将来の社会・産業イノベーションを牽引する量子技術の実装に向けた「革新的システム機能の創成」

いずれの 카테고리も目的は基礎研究を目指していることは言うまでもない。したがって、(B) はもとより (A) に属する研究課題であっても、その成果がシステムとして将来社会に対して如何に結実するかを求めている。

本研究領域の推進により、光科学、物性科学、ナノ構造・材料科学、情報科学が複合的・多層的に融合・連携し、世界をリードする量子技術基盤の確立を図る。

3. 研究課題の選考について

(1) 研究課題の選考方針

以上の考え方を具体的に実行に移すべく、幅広い研究分野からの提案を募集し、以下の方針に沿った提案を行うことを求めた。

- ①量子状態の高度制御によりこれまでの限界に挑むことで、新たな量子情報処理技術の開発や、従来技術を超えたセンサーやデバイスの実現をはじめとする様々な量子技術の社会実装に向けた基盤構築のための研究開発であること。
- ②科学と技術において学術的価値の高い研究成果の創出を確信させる構想であること。
- ③成果の社会的意義について明確なビジョンの提示があること。
- ④提案の遂行によりもたらされる既存技術からの不連続な進展とそのためのベンチマークを示すこと。
- ⑤学術的価値と期待される社会的価値の両方の観点において卓越していること。

また、本研究領域で研究開発の対象とする提案は、下記のような分野に属する提案であることを示して募集を行った。

- 1) 多様な量子系の状態制御の高度化による量子情報処理要素技術の開発
- 2) 革新的量子システム機能の実現によるスケーリング可能な量子情報処理技術の開発
- 3) 量子多体系の制御による新たな量子シミュレーション技術の開拓
- 4) 光子や電子の高度量子状態制御による量子通信要素技術開発とシステム実証
- 5) ナノ構造形成技術や新材料技術の開拓による新たな高度量子状態制御素子の実現
- 6) 巨視的量子効果や量子光学の高度な活用による超高精度計測・センサー技術の開発

(2) 選考結果

①2016 年度

初年度の募集では、光子、原子、分子、半導体、磁性体、超伝導体など様々な系を対象にする量子状態制御・システムに関する研究提案が 34 件あった。提案応募数は決して多くは

無かったが、我が国における本研究領域の主たる研究者からの提案はほぼ出揃ったため、審査では、精選された質の高い応募提案群からの選択となった。10人の領域アドバイザーと厳正なる書類ならびに面接選考を実施し、計6件を採択した。採択にあたっては、提案内容の学術的価値のみならず、研究目標の野心性、将来社会的に資する可能性が高い提案であるかどうかとも評価の対象とした。結果として、量子計算、量子通信、量子計測、量子シミュレーションの各分野からバランスよく採択することができた。また、研究の舞台となる系も、もつれ光、冷却原子、超伝導回路、半導体量子ドットなど、その多様性を確保できたのは意義深いことである。2016年度の採択課題には、医学応用を目的とした提案が2件含まれているが、量子技術が、診断精度の飛躍的向上・がんの超早期発見等、医療技術に革新をもたらし、健康・長寿社会に貢献することを期待した。

2016年度の採択課題は以下の6件である。

- 1) 井元課題「グローバル量子ネットワーク」
- 2) 北川課題「室温超核偏極と量子符号化による超高感度生体MRI/NMR」
- 3) 高橋課題「冷却原子の高度制御に基づく革新的光格子量子シミュレーター開発」
- 4) 竹内課題「大強度広帯域周波数もつれ状態の実現と応用」
- 5) 樽茶課題「スピン量子計算の基盤技術開発」
- 6) 蔡課題「超伝導人工原子を使った光子ベースの量子情報処理」

②2017年度

次年度の募集も2016年度同様、本研究領域の2本柱である“量子状態制御の物理の探究とその新しい源流の創出を計る「新しい源流の創出」と、“将来の社会・産業イノベーションを牽引する量子技術の実装に向けた「革新的システム機能の創成」”を基本的な枠組として行った。特に、2017年度は、これまでの研究分野（量子計算、量子通信、量子計測）に加え、それらの枠を超えた量子技術の開拓とその応用展開を目指す「新量子技術」の提案も期待した。

2017年度の募集では、光子、原子・分子、半導体、磁性体、超伝導体、生体分子など、実に様々な系の量子状態制御・システムに関する提案が29件あった。10人の領域アドバイザーの先生方と厳正なる書類ならびに面接選考を実施し、計7件の提案を採択した。採択にあたっては、提案内容の学術的価値のみならず、研究の独創性と提案者の熱意、ならびに提案が量子技術として将来的に社会実装できるかどうかについても評価した。結果として、量子計算、量子通信、量子計測、新量子技術の各分野の課題をバランス良く採択することができた。研究対象となる量子系も、イオン、NVセンター、超伝導体、光量子、磁性体など多様であり、前年度採択した課題と合わせて、研究領域全体として分野バランスと物理的多様性を兼ね備えた研究ポートフォリオを構築することができた。採択した研究課題が量子状態の

制御の科学に新風を吹き込み、本研究領域を学術的に豊かで技術的革新性にも富み、社会的に意義深くなることを期待した。

2017 年度の採択課題は以下の 7 件である。

- 1) 青木課題「スケーラブルな光学的量子計算に向けた超低損失ナノファイバー共振器 QED 系の開発」
- 2) 神成課題「波長分割多重プログラマブル大規模量子シミュレータ」
- 3) 小坂課題「ダイヤモンド量子セキュリティ」
- 4) 齊藤課題「超伝導量子ビットを用いた極限量子センシング」
- 5) 仙場課題「超伝導量子メタマテリアルの創成と制御」
- 6) 田中歌子課題「オンチップ・イオントラップによる量子システム集積化」
- 7) 田中雅明課題「強磁性量子ヘテロ構造による物性機能の創出と不揮発・低消費電力スピンドバイスへの応用」

③2018 年度

最終年度の募集は、特に、国際連携強化の観点から、フランス国立研究機構（ANR: Agence Nationale de la Recherche）と共同で、日仏共同 CREST 課題の募集選考も実施した。日仏共同 CREST 課題は、日本側とフランス側からなる研究チームが本研究領域の研究を実施する、新しい国際連携の試みである。

募集では、光子、原子・分子、半導体、磁性体、超伝導体、生体分子など、実に様々な系の量子状態制御・システムに関する提案が、過去 3 年間で最大の 37 件あった。10 人の領域アドバイザーの先生方と厳正なる書類ならびに面接選考を実施し、日仏共同チームの提案 2 件を含む、計 6 件の提案を採択した。採択にあたっては、提案内容の学術的価値のみならず、研究の独創性と提案者の熱意、ならびに提案が量子技術として将来的に社会的に実装できるかどうかについても評価した。結果として、量子計算、量子計測、および新量子技術分野の課題をバランス良く採択することができた。研究対象となる量子系も、電子、光量子、NV センター、半導体、磁性体など多様であり、これまで採択した研究課題と合わせて、研究領域全体として分野バランスと物理的多様性を兼ね備えた研究ポートフォリオを構築することができた。特に、採択された日仏共同 CREST 課題には、量子技術における日欧連携の核となることを期待した。

2018 年度の採択課題は以下の 6 件である。

- 1) 大野課題「シリコン技術に立脚した室温動作スピン量子ビット」
- 2) 小関課題「量子光源による超高感度分子イメージング」
- 3) 宗宮課題「量子制御を用いたオプトメカ結合型調和振動子のマニピュレーション」
(日仏共同課題)

- 4) 永長課題「ナノスピン構造を用いた電子量子位相制御」
- 5) 長谷課題「ダイヤモンドを用いた時空間極限量子センシング」
- 6) 山本課題「半導体非局在量子ビットの量子制御」(日仏共同課題)

図 3-1 に全採択課題の一覧を量子技術分野と研究の対象となる量子系の二軸で整理して、各研究課題のキーワードと共に示す。図からわかるように、量子計算、量子通信、量子計測、および新量子技術など量子技術分野の観点、また半導体、光量子、超伝導体、原子・分子など量子系の観点、さらにキーワードとして NV センター、磁性体、オプトメカなど多種多様であり、いずれの観点からも研究領域全体として分野バランスと物理的多様性を兼ね備えた研究ポートフォリオを構築することができた。

本研究領域では、(A) 量子状態制御の物理の探索とその技術展開をはかる「新しい源流の創出」と (B) 将来の社会・産業イノベーションを牽引する量子技術の実装に向けた「革新的システム機能の創成」の 2 つのカテゴリーを設けたが、2016 年度は (A) 3 件 (B) 3 件、2017 年度は (A) 7 件 (B) 0 件、2018 年度は (A) 5 件 (B) 1 件という配置で進めた。

物理・ 物質基盤	量子技術	量子計算	量子通信	量子計測	新量子 技術
原子・分子		高橋A (冷却原子)		北川A (NMR)	田中(歌)A (イオントラップ)
超伝導体		蔡B (集積回路)		齊藤A (磁束量子ビット)	仙場A (メタマテリアル)
光量子		神成A (波長多重)	井元B (量子)	竹内B (量子光OCT)	青木A (ファイバー-QED)
			小関B (ラマン分光)	小関B (ラマン分光)	宗宮A(ANR) (オプトメカ)
半導体		梅茶A (スピン回路)	小坂A (量子中継)	長谷A (NVセンター)	田中(雅)A (スピントロクス)
		山本A(ANR) (非局在Q-bit)		大野A (室温Q-bit)	永長A (創発磁場)

■ H28採択課題
 ■ H29採択課題
 ■ H30採択課題

図 3-1 採択課題のポートフォリオ

採択年度の進行に伴い、結果として若手研究者の提案を採択することとなった。実際、2016 年度採択課題と 2018 年度の採択課題の研究代表者の平均年齢差は 15 歳近く開いている。

4. 領域アドバイザーについて

本研究領域は、量子技術が、光科学、物性科学、ナノ構造・材料科学、情報科学が複合的・多層的に融合・連携しているため、これらの幅広い分野から著名な研究者の方 10 名に領域アドバイザーとして就任頂いた。また、本研究領域では研究成果の社会実装も重視することから、就任時、2 名のアドバイザーは企業の方に参画頂いた。

以下、領域アドバイザーの名簿を示す。

領域アドバイザー名 (専門分野)	着任時の所属 ¹	役職	任期
伊藤 公平 (半導体量子物性、量子情報)	慶應義塾大学	教授 (教授/塾長)	2016年5月～ 2024年3月
香取 秀俊 (量子エレクトロニクス、レーザー冷却、 原子の精密計測・分光)	東京大学	教授	2016年5月～ 2024年3月
寒川 哲臣 (量子光学、半導体量子ナノ構造の光・ス ピン制御)	日本電信電話(株)	所長 (常務理事/基礎・先 端研究プリンシパル)	2016年5月～ 2024年3月
西野 哲朗 (情報理論、コンピューターサイエンス)	電気通信大学	教授	2016年5月～ 2024年3月
野田 進 (光量子電子工学、ナノ光デバイス)	京都大学	教授	2016年5月～ 2024年3月
平山 祥郎 (半導体量子物性、スピン(核スピン)物性、 キャリア関連)	東北大学	教授 (名誉教授)	2016年5月～ 2024年3月
藤巻 朗 (超伝導エレクトロニクス、超伝導回路)	名古屋大学	教授	2016年5月～ 2024年3月
古澤 明 (量子光学、量子情報、量子エレクトロニ クス)	東京大学	教授	2016年5月～ 2024年3月
山田 真治 (材料科学、ナノテクノロジー)	(株)日立製作所	センター長 (技師長)	2016年5月～ 2024年3月
山本 喜久 (量子光学、量子情報処理)	科学技術振興機構 (NTT Research, Inc.)	プログラムマネジャー (Director)	2016年5月～ 2024年3月

¹変更/移動のあった場合、下段に括弧つき記載

5. 研究領域のマネジメントについて

(1) 研究課題の進捗状況の把握と評価、それに基づく研究課題の指導

キックオフミーティング、サイトビジットおよび領域会議を実施し進捗状況の把握に努めた。また、領域アドバイザーにもご協力いただき、必要な助言、支援を行った。

① キックオフミーティング

2016年11月24日、TKP市ヶ谷にて採択課題の研究内容を紹介し、領域アドバイザーを交え活発な議論を交わした。2017年度以降の採択課題については領域会議と兼ねた。

② サイトビジット

研究総括は領域アドバイザーと各研究チームの所属機関を訪問した。進捗報告会および実験室見学を通じて突っ込んだ議論を交わし、進捗状況を把握して必要な助言を行うことができた。サイトビジットは、単なる施設見学ではなく、長時間の議論を通じて研究活動への理解を深めると共に適切なアドバイスをした。また、2回目のサイトビジットについては、なるべく多くのアドバイザー、主たる共同研究者が参加できるようにオンラインで実施し、研究代表者だけでなく、主たる共同研究者の実験室も録画もしくはオンラインでサイトビジットを実施し、各研究チームの進捗状況を詳しく把握した。

<2017年度>

蔡課題	2017年9月29日	東京理科大学 森戸記念館
竹内課題	2017年10月19日	京都大学 桂キャンパス
高橋課題	2017年10月20日	京都大学 吉田キャンパス
樽茶課題	2017年10月26日	理化学研究所 和光地区

<2018年度>

井元課題	2018年4月26日	大阪大学 豊中キャンパス
北川課題	2018年4月26日	大阪大学 豊中キャンパス
齊藤課題	2019年3月26日	NTT 厚木研究開発センター

<2019年度>

仙場課題	2019年4月16日	情報通信研究機構 小金井地区
神成課題	2019年4月16日	慶應義塾大学 新川崎タウンキャンパス
青木課題	2019年5月29日	早稲田大学 西早稲田キャンパス
小坂課題	2019年5月30日	横浜国立大学
田中歌子課題	2019年7月4日	大阪大学 豊中キャンパス
田中雅明課題	2019年8月8日	東京大学 本郷キャンパス

<2020年度>

小関課題	2020年6月29日	東京大学 本郷キャンパス
永長課題	2020年6月29日	東京大学 本郷キャンパス
大野課題	2020年6月30日	理化学研究所 和光地区
山本課題	2020年6月30日	理化学研究所 和光地区
長谷課題	2020年7月3日	筑波大学
宗宮課題	2020年10月23日	東京工業大学 大岡山キャンパス

<2021年度>

井元課題	2021年9月8日	バーチャルサイトビジット
北川課題	2021年9月8日	バーチャルサイトビジット
竹内課題	2021年9月14日	バーチャルサイトビジット
高橋課題	2021年9月14日	バーチャルサイトビジット
樽茶課題	2021年9月16日	バーチャルサイトビジット
蔡課題	2021年9月16日	バーチャルサイトビジット

<2022年度>

神成課題	2022年7月12日	バーチャルサイトビジット
青木課題	2022年7月12日	バーチャルサイトビジット
齊藤課題	2022年7月12日	バーチャルサイトビジット
小坂課題	2022年7月14日	バーチャルサイトビジット
仙場課題	2022年7月14日	バーチャルサイトビジット
田中雅明課題	2022年7月14日	バーチャルサイトビジット
田中歌子課題	2022年7月21日	バーチャルサイトビジット

<2023年度>

大野課題	2023年6月23日	バーチャルサイトビジット
小関課題	2023年6月23日	バーチャルサイトビジット
山本課題	2023年7月6日	バーチャルサイトビジット
永長課題	2023年7月6日	バーチャルサイトビジット
長谷課題	2023年7月13日	バーチャルサイトビジット
宗宮課題	2020年7月13日	バーチャルサイトビジット

③ 領域会議と成果報告会

実施時点での全採択課題についての進捗を報告し、領域アドバイザーを交え活発な議論を交わした。第1回から第3回までは公開シンポジウムとし、研究領域外研究者との情報

交換も図った。第4回から第7回までは未発表の情報や知財なども扱うことから非公開とし研究領域内研究者間の情報交換を密にした。一方、研究領域外研究者との情報交換については2022年より終了課題の成果報告会と特別講演を合わせた公開シンポジウムを3回開催し、情報発信に努めた。

領域会議

- | | | |
|-----|-----------------|---|
| 第1回 | 2017年5月25日 | 東京大学先端技術センター ENEOS ホール
(領域会議 兼 公開シンポジウム) |
| 第2回 | 2017年12月7日、8日 | 京都大学北部総合教育研究棟
(領域会議 兼 公開シンポジウム) |
| 第3回 | 2018年11月21日、22日 | 東京大学先端技術センター ENEOS ホール
(領域会議 兼 公開シンポジウム) |
| 第4回 | 2019年10月24日、25日 | 東京大学先端技術センター ENEOS ホール
(領域会議 非公開) |
| 第5回 | 2020年12月7日、8日 | web 開催
(領域会議 非公開) |
| 第6回 | 2021年10月22日 | web 開催
(領域会議 非公開) |
| 第7回 | 2022年10月25日 | AP市ヶ谷での現地開催とweb開催のハイブリッド
(領域会議 非公開) |

成果報告会

- | | |
|--------------------------------|------------|
| 2022年公開シンポジウム (1期生成果報告会を兼ねる) | 2022年4月15日 |
| 東京大学伊藤国際謝恩ホールでの現地開催とwebのハイブリッド | |
| 2023年公開シンポジウム (2期生成果報告会を兼ねる) | 2023年4月27日 |
| 東京大学伊藤国際謝恩ホールでの現地開催とwebのハイブリッド | |
| 2024年公開シンポジウム (3期生成果報告会を兼ねる) | 2024年3月8日 |
| 赤坂インターシテイコンファレンスでの現地開催 | |

(2) チーム型のネットワーク研究所として、研究課題間や他の研究領域、国内外の他の研究機関、異分野との連携・協力の推進

本研究領域では領域内の連携に加え、海外との連携にも注力している。これを踏まえ以下の活動を実施してきた。CREST「量子技術」領域全体が中心となって主催した大きな国際ワークショップ・シンポジウムは2件であり、研究課題関係者が中心となって開催したワークショップ・シンポジウムは6件であった。また、日仏 ANR 連携については、コロナ禍の影響はあったが、対応する日本側とフランス側の研究者間で積極的な人的・技術的交流があった。具体的な詳細は以下の通りである。

① 国際ワークショップ・シンポジウム（CREST「量子技術」領域全体が主体）

(i) Japan-EU Joint Workshop on Advanced Quantum Technology for Future Innovation

2018年9月3日（月）～4日（火）にソルボンヌ大学ピエール・マリーキュリーキャンパス（フランス、パリ）にて、日欧の重点投資分野である「量子技術」におけるトップ研究者らを集め、有望な連携協力分野の探索や今後の連携方策について議論を行うワークショップを開催した。本ワークショップは2018年1月の林文部科学大臣（当時）の訪欧時に行われたモエダス研究・科学・イノベーション担当欧州委員との会談において、日欧で当該分野での協力拡大が合意されたことに基づき開催されたものである。

日本側 Co-chair を本研究領域の荒川泰彦研究総括とし、日本から26名が参加し、CREST 研究代表者、ERATO「中村巨視的量子機械プロジェクト」の中村泰信研究総括のほか、さきがけ研究領域「量子の状態制御と機能化」からも若手研究者代表として2名が、そしてヨーロッパ側からも各分野を代表する研究者らが、それぞれの研究について講演した。EU 加盟国からフランス、ドイツ、英国、イタリア、オランダ、デンマーク、スペイン、ポルトガル、ポーランド、フィンランド、ルクセンブルグ、クロアチア（12ヶ国）が、その他、米国、ロシア、スイス、インド、オーストラリア、ブラジル、トルコ、モロッコ（8ヶ国）、および日本の合計21ヶ国から合計120名（事前登録者数、発表者を含む）が参加し、研究者だけでなく、政策関係者も交えて活発な質疑応答・議論がなされた。

1日目終了後には、在フランス日本大使館主催のレセプションを開催し、堀内公使ならびにフランス高等教育・研究・イノベーション省 GARDA 課長らからご挨拶いただくなど、日仏交流160周年にあたってトップサイエンスの側面からも両国の交流深化を内外に印象付ける機会となった。また2日目の最終セッションでは、今後の量子研究を俯瞰的に議論するパネルディスカッションを実施し、本ワークショップのサマリーレポートを取りまとめ、日欧の研究戦略・最先端の研究成果や情報交換を行い、連携協力やその方策について議論が行われ、進展が著しい量子技術研究の見通しについて認識を共有した。



Advanced Quantum Technology for Future Innovation 参加者

(ii) EU-USA-Japan International Symposium on Quantum Technology (ISQT)

2019年12月16日(月)～12月17日(火)に、京都ブライトンホテルにて、量子科学技術分野の日米欧でのさらなる国際協力の拡大と研究力の向上を目指した国際シンポジウム「EU-USA-Japan International Symposium on Quantum Technology (ISQT)」を開催した。

2018年のJapan-EU Joint Workshop on Advanced Quantum Technology for Future Innovationに続き2回目となった本国際シンポジウムでは、新たにアメリカの研究者・政策関係者も招き、3極の量子技術政策における様々な取り組みや、量子コンピューティング、量子コミュニケーション、量子計測・センシング等の最新の研究動向を互いに紹介した。合計10の国・地域から348名に上った参加者(事前登録者数、招待講演者含む)は、第一線で量子技術分野を担う研究者から学生まで幅広く、普段のコミュニティの垣根を越えた率直なディスカッションが交わされた。

シンポジウム終盤には、「Policy and Roadmap of Quantum Technology」と題したパネルディスカッションを設け、各極の代表が自身の分野の動向と展望や、量子科学技術分野の学術的な発展のための戦略、量子科学技術の社会発展への貢献に対する期待について意見交換を行った。特に学術分野の発展に関する議論では、若手研究者の育成や異分野との協働、技術を作る人だけでなく使う人の拡充、基礎研究を深めることの重要性等、地域によらない共通する課題や目標が明らかになった。

日米欧の各共同議長らによる閉会の挨拶では、心が弾むようなプレゼンテーションに感謝の意が述べられただけでなく、本シンポジウムは量子科学技術分野で日米欧3極が連携をさらに深化する上でのキックオフであるとし、今後の協働への期待が語られた。日米欧が競争・協調しながら先導する量子科学技術の学術的・社会的発展の具現化へと踏み出す確かな高揚感が、会場を満たした。

なお、共同議長らによりまとめられた本シンポジウムの討議結果は、内閣府を中心に検討が進められている「量子技術イノベーション戦略」の国際的な戦略における具体的な方策に向けた成果の1つとして位置づけられた。その後、2020年2月には「量子イノベーション戦略」に記載された「量子技術イノベーション拠点(国際ハブ)」が発足した。さらに、第3回目以降の継続的な国際シンポジウムとしては、Quantum Innovation (The International Symposium on Quantum Science, Technology and Innovation)が2021年12月より毎年開催されるようになった。



ISQT 参加者

② 国際ワークショップ・シンポジウム（CREST「量子技術」内の各研究課題が主体）

(i) 田中雅明課題

International Workshop on Spintronics and Quantum Transformation (Spin-QX 2023)

2023年8月7日（月）～10日（木）にユーリッヒ研究センター・ペーター・グリューンベルグ研究所（ドイツ、ユーリッヒ）にて、田中雅明課題の研究者達が中心となって、スピントロニクスの研究で知られるペーター・グリューンベルグ研究所で国際ワークショップが開催された。

新型コロナウイルスの世界的流行が3年以上にわたって続いたため、多くの科学研究分野における対面での交流は停止し、本ワークショップも当初の計画からは3年遅れとなったが、今回、田中雅明チームの努力により、ようやく開催することができた。これらの遅れは、ヨーロッパと日本の研究コミュニティ間の交流においても同様であった。しかしコロナ禍の3年間の間にも、スピントロニクスやその量子変換に関する研究者たちは着実に研究を進めており、多くの新しい材料、物性、機能、デバイス応用の可能性が生まれた。これらはスピントロニクス全体の研究分野でも同様であり、スピントロニクスがニューロモルフィック機能や量子変換技術に出会い、新しい発展を遂げている。本ワークショップでは、日本とヨーロッパの磁性物理学、特にスピントロニクスと量子情報科学の分野の第一線で活躍する研究者たちが集まり（招待講演者26名）、最新の研究成果を発表し、将来のコラボレーションや新規の科学技術開発に向けて情報や意見を交換した。参加者は計50名程度であった。これにより、スピントロニクスと量子変換の分野において、新しい研究パラダイムが開けつつあり、日本とヨーロッパとの間での長期的な新規プロジェクトの提案がなされることとなった。なお、CREST「量子技術」田中雅明課題からの講演者は田中雅明、ファムナムハイ、中根了昌、大矢忍、吉田博、レデウックアイン、新屋ひかり、福島鉄也の8名であった。



Spin-QX 2023 の集合写真（参加者の一部）

(ii) 永長課題

(ii-1) The CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials

2019年5月22日（水）～5月24（金）東京大学伊藤国際謝恩ホールにて、永長課題の研究者達が中心となって、学术交流のための国際会議として各分野で世界をリードしている著名な研究者を招聘し、招待講演を行った。またポスター発表の場を設けた。

(ii-2) CREST Workshop on “Physics of helical and skyrmion phases”

2021年3月23日（火）オンラインにて、永長課題の研究者達が中心となって、学术交流のための国際ワークショップとしてCRESTの研究テーマである磁性体における創発電磁現象に関する内外の研究者が招待講演を行い、活発な議論が行われた。

(iii) 山本課題－樽茶課題等の合同

(iii-1) Frontiers in Quantum Information Physics and Technology

2019年6月10日（月）東京大学小柴ホールにて、山本課題、樽茶課題、大野課題の研究者達が共同で、国内外の量子情報技術に関連する研究者を一同に会し、最新の研究動向を聴き、議論することにより、研究の進展、情報交換および研究者間の親睦を図ることを目的とした国際会議を開催した。

(iii-2) 第9回半導体/超伝導量子効果と量子情報の夏期研修会

2019年9月4日～6日、ホテルサンバレー那須にて、樽茶課題、新学術領域「ハイブリッド量子科学」の研究者達と共同で、半導体におけるスピン効果や半導体・超伝導体を用いた量子デバイスなどを研究している大学院生や若手研究者の交流や情報共有のための研修会を開催した。

(iii-3) 10th Workshop on Semiconductor/Superconductor Quantum Coherence Effect and Quantum Information

2020年12月17日～18日、オンラインにて、山本課題、樽茶課題の共催で、題記ワークショップを開催し、半導体におけるスピン効果や半導体・超伝導体を用いた量子デバイスなどを研究している研究者間での交流や情報共有のための研修会が開催された。

③ 国際強化支援

海外との連携に関しては国際強化支援を積極的に活用してきた。ただし、計画していた案件においても、コロナ禍のため思うように進まなかった案件もある。以下、これまで実施した研究者の派遣および招聘を示す。

〈高橋課題〉

・2018年度

派遣：Department of Physics, Boston University

本研究課題の研究者が教授 Anatoli Polkovnikov 氏を訪問。氏が最近提唱・開発した数値計算手法であるフェルミ粒子系に対する切断ウィグナー近似法のさらなる開発に携わった。

〈蔡課題〉

・2018年度

招聘：University of Technology Sydney Devitt Simon John 氏

本研究課題の主テーマである超伝導量子マイクロ波光子源を使ったクラスター状態量子コンピューターに向けた研究を大きく進めた。現在 Devitt 氏のサポートにより、三次元クラスター状態の生成について、回路実装の上で、今までにない優位性をもった、新規な量子コンピューターのアーキテクチャが東京理科大で創出されている。この新規な回路について、我々は Devitt 氏と共同でこの方式の基本論文を執筆した。彼の来訪中に、表面コード型量子コンピューターの新規アーキテクチャに関する共著論文を完成させた。

〈小坂課題〉

・2018年度

派遣：Delft 工科大学

本研究課題の研究者が Tim Taminiu 氏を訪問。氏のグループがもつダイナミカルデカップリングを用いた多数の¹³C核スピン制御のための量子ゲートシーケンスや光学、マイクロ波工学に関する実験技術を学んだ。さらに、その手法を発展させてシミュレーションを行った。

・2018 年度

派遣：Ulm 大学

本研究課題の研究者が Fedor Jelezko 氏を訪問。SiV-中心についての基本的物性に関する知識や実験技術について学んだ。さらに、SiV-センターを利用した核スピンへの量子情報転写についての手法を共同で検討した。

<仙場課題>

・2018 年度

招聘：Qatar Environment and Energy Research Institute (QEERI) S. Ashhab 博士

超伝導人工原子と電磁場（光子）の超強結合、新強結合研究の第一人者である Ashhab 博士（QEERI、カタール）を招聘し、深強結合基底状態や巨大な光シフトを用いた高感度磁場検出実験に関する意見交換、特性改良のための具体的方策を議論し、透過スペクトル測定における超伝導人工原子のバイアス磁場のパラメータ（ ε ）依存性に関する超放射相転移の明確な兆候を抽出することに成功した。

招聘：Institute of Fundamental Physics, CSIC, Madrid, Spain M. P. García 博士

M. P. García 博士（CSIC、スペイン）に関しては、超強結合・深強結合系の新たな応用先として、量子アニーリングを実行した場合の特性を議論し、最近接との強結合では実現できない空間的に離れた量子ビットとの強結合が、共振器経由で超強結合・深強結合を導入することによって可能となり、断熱量子計算を加速できる可能性があることが判明した。

・2019 年度

招聘：

Yale 大学 Devoret, Michel H.

MIT Oliver, William D.

Delft 工科大 Mooij, Johan

磁束量子ビットと LC 共振器とを超（深）強結合させた回路を量子 Rabi ハミルトニアンで記述することの妥当性については、これまで深く議論されてこなかったが、今回の招聘期間中に行った Devoret 教授との議論によって、改良型電荷量子ビットであるトランズモン量子ビットについて行われているラグランジアン形式に則った標準量子化の技法を磁束量子ビット回路に応用することによって検討することが可能となった。

W. D. Oliver 教授との議論で、超（深）強結合超伝導回路における相互作用定数の高速変調や量子相関測定には、数 GHz の増幅帯域幅をもつ広帯域 JTWP を用いた測定が非常に有効であるとの認識で一致した。

Mooij 教授らが提案し研究しているジョセフソン接合を必要としない Phase-Slip Qubit について議論し、新たな量子ビット創成に成功した後は、Q 値の大きなマイクロ波空洞共振器を用いたコヒーレンス時間の測定から信頼できるエネルギー緩和時間、位相

緩和時間を測定して、既存の量子ビット性能を超える特性を示せるかが大切という見解で一致した。

<田中雅明課題>

・2018年度

派遣：ユーリッヒ研究センター

本研究課題の研究者が Peter H. Dederichs 教授および Rudolf Zeller 博士を訪問。KKRnano コードを用いて Fe 系磁性半導体の大規模第一原理電子状態計算を行い、物性値を高精度に計算した。さらに、Fe系磁性半導体における磁気特性発現メカニズムの解明を行った。

④ 日仏 ANR 連携（宗宮課題・山本課題）

日本側およびフランス側の研究者間で以下のワークショップおよび人的交流や技術交流などがなされた。

<宗宮課題>

第1回ワークショップ 2019年3月19～22日、パリ、日本側8名、フランス側10名

第2回ワークショップ 2020年2月25～27日、京都、

日本側11名、フランス側2名、オンライン2名

第3回ワークショップ 2021年6月22～24日、オンライン、日本側16名、

フランス側10名

第4回ワークショップ 2022年9月27～30日、リヨン、

フランス側10名、日本側5名、オンライン5名

第5回ワークショップ 2023年11月12～14日、沖縄、日本側11名、フランス側5名

フランス⇒日本側への技術交流：NMR へのフォトニック結晶の利用、Red Pitaya を用いたデジタル制御、低損失光学素子の提供。

日本⇒フランス側への技術交流：ファイバー端面鏡開発、曲率つき薄型鏡の開発

人的交流：2022年に特任講師が1ヶ月、大学院生が短期でLKB（The Kastler Brossel Laboratory）に研究滞在し、2023年に大学院生が3ヶ月、LKBに研究滞在し干渉計制御に貢献した。

<山本課題>

ANR-JST Meeting 2020年3月10日～3月11日、Institut Neel-CNRS、参加者10名

日本・仏共同での技術開発：忠実度の高い単一量子ビット演算、レビトンのコヒーレント伝導の実証と評価、準粒子の純度評価、極短パルス長のレビトンの励起手法の開発、レ

ビトンの1、2量子ビット演算、スピン結合に関する理論解明、離れた量子ドット間のスピン相関の実証

(3) 研究費配分上の工夫

研究課題の進捗状況を課題中間評価で評価し、必要な増額を総括裁量経費から配分してきた。主な増額課題としては、井元課題、北川課題、高橋課題、竹内課題、樽茶課題、青木課題、永長課題、山本課題であった。また、その他に、期中の予算調整による増額や国際強化支援なども積極的に活用してきた。

(4) 研究領域中間評価結果と対応

中間評価において、量子技術は、世界的に見ても今まさに飛躍発展するフェーズに入っており、この時期に「量子技術」を主眼とする本研究領域が進行していることは、科学的・技術的観点、および社会的・経済的観点からも極めて重要であると認識していただいたとともに、以下のご指摘を受けた。

- ①「量子コンピューティング」をめぐっては一部の誇張された報道等から社会的に過剰な期待が先行する「量子技術ハイプ (quantum hype)」の様相も散見されるため、今後、研究成果やその意義について科学的に正確な情報発信を行うことが期待された。
- ②女性研究者からの応募や産業界からの応募が多くなかったので、ダイバーシティの観点から次世代の女性研究者の育成や産業界との連携が期待された。
- ③量子技術開発に関する成果の記述では、数値的な到達点とともにその到達点が、想定される応用や社会実装に照らしてどのような意義を有するかも併せて説明することを心掛けていただきたい。

中間評価結果への対応として、①に対しては、非公開の情報を扱う領域会議に加えて、1、2、3期生の成果発表会として公開シンポジウムを開催し、現状の量子技術についての正確な情報発信に努めてきた（上記、成果報告会等をご参照）。また、プレスリリースについても積極的に推奨して、社会に対して最先端の量子技術をわかりやすく伝えてきた。②のジェンダーバランスに対しては、元々理工系の女子学生が少ないことから今後も継続的な対応が必要であるが、以下の人材育成・昇進の中で本研究領域における女性研究者や女子学生の状況を記載した。③の社会実装や②の産業界との関係については、以下の戦略目標の達成状況で本研究領域の研究課題から設立されたベンチャー企業などを記載した。

(5) その他マネジメントに関する特記事項

①人材育成・昇進

次世代を担う中堅および若手研究者の人材育成は本研究領域の重要課題として、研究代表者に取り組んできてもらった。これまで、研究代表者を含め、CREST 研究へ参画中に合計

で71名もの研究者が昇進した。内訳の一部として、教授への昇進が15名（女性2名：以下のリストで右上に*付）、准教授相当への昇進が12名、講師・助教相当への昇進が18名であった。また、学生から助教・研究員相当への昇進が6名（女性1名：以下のリストで右上に*付）であった。その他、公的研究機関や企業からの参画者においても多くの昇進があった。以上のことからCREST研究期間中に若手から中堅において幅広い研究人材が育った。具体的には研究課題ごとに以下のリストになる。

井元課題

富山大学・玉木潔（井元課題・主たる共同研究者）主任研究員⇒教授
大阪大学・山本俊（井元課題・参加メンバー）准教授⇒教授
東京大学・佐々木寿彦（井元課題・参加メンバー）助教⇒講師
日本電信電話(株)（NTT）・東浩司（井元課題・主たる共同研究者⇒参加メンバー（さきがけ採用による変更））研究主任⇒主任研究員⇒特別研究員
大阪大学・小林俊輝（井元課題・参加メンバー）学生⇒特任助教
情報通信研究機構・山下太郎（井元課題と仙場課題・参加メンバー）
主任研究員⇒名古屋大学 准教授⇒東北大学 教授
東京大学・中田芳史（井元課題・参加メンバー）研究員⇒助教
大阪大学・遠本吉朗（井元課題・参加メンバー）学生⇒研究員

北川課題

大阪大学基礎工学研究科・根来誠（北川課題・参加メンバー）
助教⇒大阪大学先導的学際研究機構 特任准教授
大阪大学基礎工学研究科・杉山太香典（北川課題・参加メンバー）
研究員⇒東京大学先端科学研究センター 特任助教
大阪大学基礎工学研究科・御手洗光祐（北川課題・参加メンバー）
学生⇒大阪大学基礎工学研究科 助教
大阪大学基礎工学研究科・宮西孝一郎（北川課題・参加メンバー）
学生⇒大阪大学基礎工学研究科 助教
愛知工業大学・中村祐士（北川課題・参加メンバー）
特任研究員⇒同志社大学生命医科学部医情報学科 助教

高橋課題

京都大学・高須洋介（高橋課題・参加メンバー）助教⇒准教授
京都大学・山下和也（高橋課題・参加メンバー）教務補佐員⇒特定研究員
近畿大学・段下一平（高橋課題・主たる共同研究者）助教⇒准教授
東京大学・藤井啓祐（高橋課題・参加メンバー）

助教⇒京都大学 特定准教授⇒大阪大学 教授

竹内課題

広島大学・ホフマン ホルガ（竹内課題・主たる共同研究者）准教授⇒教授
新潟大学・岡寿樹（竹内課題・主たる共同研究者）准教授⇒北里大学 教授

樽茶課題

理化学研究所・大塚朋廣（樽茶課題・参加メンバー）
理研創発物性科学研究センター 研究員⇒東北大学電気通信研究所 准教授
理化学研究所・米田淳（樽茶課題・参加メンバー）
理研創発物性科学研究センター 研究員⇒オーストラリア・ニューサウスウェールズ大学
(USNW)電気情報工学系 研究員⇒東京工業大学超スマート社会卓越教育院 特任准教授

蔡課題

理化学研究所・DEVITT Simon John（蔡課題、Nori グループ・研究参加メンバー）
ポストドクトラル研究員⇒Macquarie University, Fellow

青木課題

(株)東芝・後藤隼人（青木課題・参加メンバー）主任研究員⇒研究主幹
明治大学・金本理奈*（青木課題・主たる共同研究者）准教授⇒教授

神成課題

慶應義塾大学・保坂有杜（神成課題・参加メンバー）後期博士課程⇒助教（有期）

小坂課題

物質・材料研究機構・寺地徳之（小坂課題・主たる共同研究者）主幹研究員⇒主席研究員
産業技術総合研究所・加藤宙光（小坂課題・主たる共同研究者）主任研究員⇒上級主任研究員

田中歌子課題

情報通信研究機構・関根徳彦（田中歌子課題・主たる共同研究者）研究マネージャー⇒室長
情報通信研究機構・早坂和弘（田中歌子課題・主たる共同研究者）研究マネージャー⇒副室長

田中雅明課題

東京大学・Nguyen Thanh Tu（田中雅明課題・参加メンバー）
特任研究員⇒ベトナム・ホーチミン市師範大学 講師

齊藤課題

NTT・齊藤志郎（齊藤課題・研究代表者）特別研究員⇒上席特別研究員
NTT・上野祐子*（齊藤課題・参加メンバー）主幹研究員⇒中央大学 教授
NTT・尾身博雄（齊藤課題・参加メンバー）主任研究員⇒大和大学 教授
NTT・樋田啓（齊藤課題・参加メンバー）研究員⇒研究主任
NTT・手島哲彦（齊藤課題・参加メンバー）研究員⇒研究主任
静岡大学・堀匡寛（齊藤課題・参加メンバー）講師⇒准教授
近畿大学・久木田真吾（齊藤課題・参加メンバー）
博士研究員⇒防衛大学 助教
近畿大学・Le Bin Ho（齊藤課題・参加メンバー）博士研究員⇒東北大学 助教

大野課題

東京電機大学・森山悟士（大野課題・主たる共同研究者）准教授⇒教授
産業技術総合研究所・森貴洋（大野課題・主たる共同研究者）主任研究員⇒研究チーム長

小関課題

東京大学・小関泰之（小関課題・研究代表者）准教授⇒教授
東京大学・小口研一（小関課題・参加メンバー）主任研究員⇒特任助教
東京大学・金磊（小関課題・参加メンバー）助教⇒中国・ハルビン工科大学 教授

宗宮課題

東京大学・高橋優樹（宗宮課題・主たる共同研究者）
特任助教⇒大阪大学 特任准教授⇒沖縄科学技術大学院大学 准教授
東北大学・松本伸之（宗宮課題・主たる共同研究者）助教⇒学習院大学 准教授
宇宙航空研究開発機構・小森健太郎（宗宮課題・参加メンバー）
研究員⇒東京大学 助教（宗宮課題・主たる共同研究者）
京都大学・富永雄介（宗宮課題・参加メンバー）後期博士課程⇒特定研究員

永長課題

東京大学・賀川史敬（永長課題・主たる共同研究者）准教授⇒東京工業大学 教授
東京大学・金澤直也（永長課題・参加メンバー）講師⇒准教授
東京大学・Max Hirschberger（永長課題・参加メンバー）特任講師⇒准教授
東京大学・石塚大晃（永長課題・参加メンバー）
助教⇒東京工業大学理学院物理学系 准教授
東京大学・上田健太郎（永長課題・参加メンバー）助教⇒講師
東京大学・磯部大樹（永長課題・参加メンバー）助教⇒理化学研究所 研究員

東京大学・佐藤拓朗（永長課題・参加メンバー）特別研究員⇒分子科学研究所 助教
東京大学・紅林大地（永長課題・参加メンバー）

理化学研究所 基礎科学特別研究員⇒USNW, Research Associate
東京大学・Xiaoxiao Zhang（永長課題・参加メンバー）

CREST PD⇒理化学研究所 基礎科学特別研究員
東京大学・Junyeong Ahn（永長課題・参加メンバー）PD⇒米国・Harvard 大学 PD
理化学研究所・藤代有絵子*（永長課題・参加メンバー）

後期博士課程⇒基礎科学特別研究員
東京大学・北折暁（永長課題・参加メンバー）修士課程⇒助教

長谷課題

筑波大学・Aizitiaili Abulikemu（長谷課題・参加メンバー）
博士研究員⇒米国・ワシントン大学 博士研究員（無期雇用転換型）

山本課題

理化学研究所・山本倫久（山本課題・研究代表者）
ユニットリーダー（任期制）⇒チームリーダー（無期）⇒
チームリーダー（無期）兼 東京大学 教授
理化学研究所・David Pomaranski（山本課題・参加メンバー）
特別研究員（博士研究員）⇒東京大学 助教
理化学研究所・伊藤諒（山本課題・参加メンバー）リサーチアソシエイト⇒特別研究員
⇒産業技術総合研究所 パーマネント研究員
産業技術総合研究所・岡崎雄馬（山本課題・参加メンバー）研究員⇒主任研究員
産業技術総合研究所・高田真太郎（山本課題・参加メンバー）研究員⇒主任研究員
⇒大阪大学 准教授
東京大学・阪野壘（山本課題・参加メンバー）助教⇒慶應義塾大学 特任講師

②受賞

CREST「量子技術」へ研究参画中だった者の主だった受賞は全部で141件であった（ただし、学生の研究科内、学科内での受賞等は割愛した）。主な内訳として研究代表者の受賞が16件、主たる共同研究者の受賞が22件、研究者の受賞が67件、学生の受賞が36件であった。研究代表者から参画した研究者・学生において、非常に多くの受賞があり、次世代を担う中堅研究者や若手研究者の大きな飛躍、さらに若手研究者や学生の育成が十分になされたと思われる。なお、研究代表者の受賞には国内だけでなく国際的にも非常に荣誉ある賞があった（例えば、紫綬褒章、文化功労者、Highly Cited Researchers、米国物理学会フェロー、米国科学アカデミー国際会員など）。以下、具体的な受賞名と受賞者等を記載した。

(2023年10月30日現在)

	受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞日
井元 課題	三木茂人 山下太郎 寺井弘高	超伝導科学技術賞	未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会	2017/04/17
	山下太郎	科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2017/04/19
	松浦孝弥 (学生)	学生発表賞	第8回量子情報技術研究会	2018/11/26
	宮嶋茂之	超伝導エレクトロニクス研究会 (SCE) 奨励賞	超伝導エレクトロニクス研究会 (SCE) 奨励賞	2019/01/23
	生田力三	日本物理学会若手奨励賞	日本物理学会	2019/03/15
	山崎友裕	Best Oral Presentation Award	International Symposium for Nano Science (ISNS2019)	2019/11/19
	前田健人	東京大学総長賞	東京大学	2020/03/19
	寺井弘高 三木茂人 山下太郎	第66回(令和2年度)前島密賞	公共財団法人通信文化協会	2021/03/04
	生田力三	科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2021/04/14
北川 課題	Mori Y, de la Mora DM, Jin T, Yoshioka Y.	the First Prize	The 8th Annual Scientific Symposium of Ultrahigh Field Magnetic Resonance.	2017/06/30
	高橋慶伍	若手ポスター賞	第56回NMR討論会 (日本核磁気共鳴学会)	2017/11/15
	泉早紀 齋藤茂芳 吉岡芳親	優秀ポスター賞	第2回国際磁気共鳴医学会日本支部学術集会	2018/02/22
	宮西孝一郎	ポスター発表優秀賞	量子生命科学会第一回大会	2019/05/22
	本山誠	ポスター賞	第59回NMR討論会 (日本核磁気共鳴学会)	2020/11/01

高橋 課題	田家慎太郎	第13回(2019年)日本物理学会若手奨励賞	日本物理学会	2019/03/15
	尾崎裕介 (学生)	2020年秋季大会 日本物理学会学生優秀発表賞	日本物理学会	2020/10/10
	高橋義朗	紫綬褒章	内閣府	2020/11/03
	小野滉貴 (D2)	2019年秋季大会 日本物理学会学生優秀発表賞	日本物理学会	2019/09/11
	藤井啓祐	大阪大学賞	大阪大学	2020/11/26
	田家慎太郎	第15回凝縮系科学賞	凝縮系科学賞選考委員会	2020/12/04
	藤井啓祐	科学技術への顕著な貢献2020 (ナイスステップな研究者)	文部科学省科学技術・学術政策研究所 (NISTEP)	2020/12/15
竹内 課題	岡本亮	科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2017/04/19
	野原紗季*	量子生命科学研究会第2回学術集会最優秀ポスター賞	量子生命科学研究会	2018/05/10
	清原孝行 (D2)	2018年秋季大会 日本物理学会学生優秀発表賞	日本物理学会	2018/10/19
	岡本亮	平成30年度丸文研究奨励賞	丸文財団	2019/03/06
	清原孝行 (D2)	第3回フォトニクス奨励賞	応用物理学会フォトニクス分科会	2019/03/10
	向井佑	Poster Presentation Award	The Second International Forum on Quantum Metrology and Sensing (IFQMS)	2019/12/18
	衛藤雄二郎	第27回コニカミノルタ画像科学奨励賞	コニカミノルタ科学技術振興財団	2021/03/01
杉浦健太	第3回物質・デバイス共同研究賞	物質・デバイス領域共同研究拠点	2021/09/15	
樽茶 課題	大塚朋廣	若手奨励賞	日本物理学会	2017/03/18
	大塚朋廣	理化学研究所研究奨励賞	理化学研究所	2017/03/23
	大塚朋廣	新世代研究所ATI研究奨励賞	公益財団法人新世代研究所	2017/05/16
	大塚朋廣	矢崎科学技術振興記念財団学術奨励賞	矢崎科学技術振興記念財団	2018/03/08

	小林瑞樹 (M2)	Best International Poster Presentation	The 3rd Conference and Workshop on Spin-Based Quantum Information Processing	2017/11/09
	樽茶清悟	第 18 回応用物理学会業績賞	応用物理学会	2018/03/17
	小寺哲夫	2018 年度末松賞「デジタル技術の基礎と展開」	東京工業大学	2018/09/12
	小嶋洋平 (M2)	日本物理学会学生優秀発表賞	日本物理学会	2019/03/27
	溝口来成	2019 年春季応用物理学会講演奨励賞	応用物理学会	2019/09/18
	小寺哲夫	令和元年度丸文研究奨励賞	丸文財団	2020/03/04
	中島峻	研究奨励賞（桜舞賞）	理化学研究所	2020/03/10
	野入亮人	船井研究奨励賞	船井情報科学振興財団	2021/02/22
	Chen-Hsuan Hsu	12th Research Incentive Award、第 8 回 CEMS Award	RIKEN、RIKEN CEMS	2021/04/28
	中島峻	科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2021/04/14
	米田淳	2021 年度 末松賞「デジタル技術の基礎と展開」	東京工業大学	2021/09/02
	武田健太	第 16 回（2022 年）日本物理学会若手奨励賞	日本物理学会	2021/10/01
	米田淳	令和 3 年度丸文研究奨励賞	丸文財団	2022/03/04
	中島峻	理研梅峰賞	理化学研究所	2022/03/23
蔡 課 題	Franco Nori	Highly Cited Researchers 2017	Clarivate Analytics	2017/11/15
	Franco Nori	Award for outstanding referee	Optical Society of America	2017/12/20
	Franco Nori	Award for outstanding referee	the IOP (UK' s Institute of Physics)	2018/02/24
	蔡兆申	紫綬褒章	内閣府	2018/04/29
	蔡兆申	2020 年度朝日賞	朝日新聞	2021/01/01
青 木 課 題	青木隆朗	早稲田大学リサーチアワード	早稲田大学	2019/02/04

神成課題	保坂有杜	ベストポスター賞	ImPACT 未来開拓研究会 2018	2018/06/03
	大見聡仁	論文発表奨励賞	レーザー学会	2020/03/16
	神成文彦	第23回光・量子エレクトロニクス 業績賞（宅間宏賞）	応用物理学会	2022/03/21
小坂課題	加納浩輝 (M1)	第6回(2017秋季大会)日本物理 学会学生プレゼンテーション賞	日本物理学会	2018/03/22
	長田昂大 (M1)	第6回(2017秋季大会)日本物理 学会学生プレゼンテーション賞	日本物理学会	2018/03/22
	中村孝秋 (M2)	第6回(2017秋季大会)日本物理 学会学生プレゼンテーション賞	日本物理学会	2018/03/22
	笹間陽介 (D2)	Elsevier Gold Young Scholar Award	ICDCM	2018/09/05
	石井邑 他	ポスター賞	応用物理学会	2018/09/20
	田宮志郎	第14回ナノテク交流シンポジウム 最優秀発表賞	第14回ナノテク交流 シンポジウム	2019/03/08
	永岡希朗 他	ポスター賞	応用物理学会	2019/03/09
	C. Osterkamp (D3)	DIAMOND POSTER AWARD	NDNC2019	2018/05/13
	真栄力	講演奨励賞	ニューダイヤモンドフ ォーラム	2022/11/16
齊藤課題	堀匡寛	2017年秋季応用物理学会講演奨 励賞	応用物理学会	2018/03/17
	堀匡寛	第11回応用物理学会シリコンテ クノロジー分科会研究奨励賞	応用物理学会シリコン テクノロジー分科会	2020/03/13
	樋田啓	応用物理学会超伝導分科会奨励 賞	応用物理学会超伝導分 科会	2021/03/16
	堀匡寛	第35回高柳研究奨励賞	公益財団法人浜松電子 工学奨励会	2021/12/18
仙場課題	猪股邦宏 他	第22回超伝導科学技術賞	一般社団法人未踏科学 技術協会	2018/04/16
	金鮮美*	令和2年度情報通信研究機構 成績表彰（個人）	国立研究開発法人情報 通信研究機構	2020/04/07
	Sahel Ashhab	IOP Trusted reviewer status	IOP	2022/09/07

田中雅明課題	金木俊樹	応用物理学会スピントロニクス研究会第7回英語講演奨励賞	応用物理学会スピントロニクス研究会	2018/03/18
	宗田伊理也	第9回応用物理学会シリコンテクノロジー分科会研究奨励賞	応用物理学会シリコンテクノロジー分科会	2018/07/23
	瀧口耕介	応用物理学会スピントロニクス研究会第8回英語講演奨励賞	応用物理学会スピントロニクス研究会	2018/09/20
	Jiang Miao	応用物理学会スピントロニクス研究会第9回英語講演奨励賞	応用物理学会スピントロニクス研究会	2019/03/10
	田中雅明	市村学術賞（貢献賞）	市村清新技術財団	2019/04/12
	荒木大晴	応用物理学会スピントロニクス研究会第10回英語講演奨励賞	応用物理学会スピントロニクス研究会	2019/09/19
	瀧口耕介	2020年秋季応用物理学会講演奨励賞	応用物理学会	2021/03
	田中雅明	矢崎学術賞（功績賞）	矢崎科学技術振興記念財団	2021/03/04
	Theodorus Jonathan Wijaya	令和2年度電気学会東京支部電気学術奨励賞	一般社団法人電気学会東京支部	2021/03
	金田真悟	応用物理学会講演奨励賞	応用物理学会	2022/03/22
	金田真悟	応用物理学会スピントロニクス研究会 英語講演奨励賞	応用物理学会スピントロニクス研究会	2022/03/22
Tomoki Hotta* (学生)	Outstanding Student MBE Award	21st International Conference on Molecular Beam Epitaxy (ICMBE)	2022/03/30	
大野課題	Hidehiro Asai et al	Best Paper Award in EDTM Conference 2021	IEEE	2021/04/11
小関課題	小関泰之 合田圭介 新田尚	科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞	文部科学大臣	2020/04/07
	佐野由季* (学生)	学生優秀発表賞	第6回超高速光エレクトロニクス研究会	2021/02/22
	中村花穂*	優秀発表賞	日本薬理学会関東部会	2021/10/09
	水口高翔	優秀ポスター賞	第22回東京大学生命科学シンポジウム	2023/06/17
	佐野由季*	令和5年度原島博学術奨励賞	公益財団法人電気電子情報学術振興財団	2023/06/26
	田口富隆 (学生)	Student Poster Award	12th Asia-Pacific Laser Symposium	2023/09/07

宗宮 課題	榎本雄太郎 (学生)	第 74 回年次大会 (2019 年) 日 本物理学会学生優秀発表賞	日本物理学会	2019/05/14
	有富尚紀 (D2)	The 23rd KAGRA Face-to-Face Meeting Poster Award	KAGRA Collaboration	2019/08/24
	有富尚紀 (D2)	2019 年秋季大会 日本物理学会 学生優秀発表賞	日本物理学会	2019/11/19
	榎本雄太郎 (学生)	The 24th KAGRA Face-to-Face Meeting Poster Award	KAGRA Collaboration	2019/12/05
	有富尚紀 (D3)	Best Poster Award	日本物理学会	2020/12/18
	有富尚紀 (D3)	学生発表優秀賞	日本物理学会	2021/03/14
	有富尚紀	第16回 日本物理学会若手奨励賞	日本物理学会	2021/10
永長 課題	藤代有絵子* (D1)	ポスター賞 (金賞)	第 4 回「トポロジーが紡 ぐ物質科学のフロンテ ィア」領域研究会	2019/01/23
	濱本敬大	ポスターレビュー賞	新学術領域研究トポロ ジーが紡ぐ物質科学の フロンティア	2019/01/23
	Yukako Fujishiro* (D1)	Nature Poster Prize	Nature Publishing Group	2019/02/19
	Max Hirschberger	Nature Poster Prize	Nature Publishing Group	2019/02/19
	賀川史敬	第 40 回本多記念研究奨励賞	本多記念会	2019/02/23
	藤代有絵子* (D2)	Poster Prize	CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials	2019/05/23
	Yoshinori Tokura	Humboldt Research Award	Alexander van Humboldt foundation	2019/10/01
	藤代有絵子* (D2)	学生優秀発表賞 (領域 3)	日本物理学会	2019/10/19
	Naoto Nagaosa	Highly Cited Researchers 2019	Clarivate Analytics	2019/11/19
	Yoshinori Tokura	Highly Cited Researchers 2019	Clarivate Analytics	2019/11/19
	藤代有絵子* (D2)	Poster Preview Award	International Conference on Topological Materials Science 2019	2019/12/06

	北折暁 (M2)	Poster Award (Silver Prize)	International Conference on Topological Materials Science 2019	2019/12/06
	永長直人	本多記念賞	本多記念会	2020/02/05
	永長直人	米国科学アカデミー国際会員	米国科学アカデミー (National Academy of Sciences)	2020/05/01
	十倉好紀	米国物理学会 フェロー	米国物理学会	2020/10/20
	十倉好紀	文化功労者	文部科学省	2020/11/04
	Naoto Nagaosa	Highly Cited Researchers 2020	Clarivate Analytics	2020/11/19
	北折暁 (D1)	若手奨励賞	第14回物性科学領域横断研究会 (領域合同研究会)	2020/12/04
	大池広志	第15回 (2021年) 日本物理学会若手奨励賞 (領域7)	日本物理学会	2021/03/12
	石塚大晃	第15回 (2021年) 日本物理学会若手奨励賞 (領域3)	日本物理学会	2021/03/13
	藤代有絵子*	Springer Thesis Award	Springer Nature	2021/03/19
	金澤直也	科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2021/04/14
	大池広志	科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2021/04/14
	Yoshinori Tokura	Highly Cited Researchers 2021	Clarivate Analytics	2021/11/16
	Naoto Nagaosa	Highly Cited Researchers 2021	Clarivate Analytics	2021/11/16
長谷課題	重川秀実	紫綬褒章	内閣府	2019/05
	宇賀神駿太 (学生)	Free Radical Summer School 2019 日本酸化ストレス学会 学生ポスター最優秀賞	日本酸化ストレス学会	2019/08/12
	本嶋麻利* (学生)	セカンドベストポスター賞	Materials Research Society	2019/12/06
	茂木裕幸	2019年度 日本表面真空学会講演奨励賞 新進研究者部門	日本表面真空学会	2020/05/01
	貝沼雄太 (学生)	学生ポスター賞	NANOSPEC 2021	2021/03/11
	茂木裕幸	第5回 薄膜・表面物理分科会 論文賞	応用物理学会	2021/03/15

	貝沼雄太 (学生)	令和3年度(2021年)応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会 発表奨励賞	応用物理学会北陸・信越支部	2021/12/04
	蔭山隆史 (学生)	令和4年度(2022年)応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会 発表奨励賞	応用物理学会北陸・信越支部	2023/03/17
山本課題	金子晋久 他	平成30年度 理事長賞	産業技術総合研究所	2019/04/01
	岡崎雄馬 他	第41回(2019年度)応用物理学会論文賞	応用物理学会	2019/09/18
	金子晋久 他	第8回ものづくり日本大賞東北 経済産業局長賞	経済産業省	2020/03/18
	山本倫久	理研栄峰賞	理化学研究所 理事長	2021/03/17
	山本倫久	島津奨励賞	公益財団法人島津科学技術振興財団	2023/02/20

学生についてはわかる範囲で学年等を記載した。

*は女性と思われる受賞者

6. 研究領域としての戦略目標の達成状況について

本研究領域では、様々な経済的・社会的なニーズに応えるべく、量子状態の高度な制御にかかわる研究開発を重点的に推進し、新たな量子物性の開拓や量子情報システムの開発への展開を図ってきた。さらに、これらにより、幅広いイノベーションの源泉を創成するとともに、今後大きく変革する社会像の基盤となる量子技術・システム実装を世界に先駆けて実現する基盤技術の確立をねらいとしている。具体的には、量子の孤立系から多体系、巨視的な凝縮体に至るまで、多彩な量子状態の高度な制御を実現することにより、未知の物理現象や物質機能・物性の探索、新たな概念に基づく情報科学の開拓及び新技術シーズ創出を図ってきた。また、基盤的な量子技術・システムの開発により、既存技術分野（フォトニクス、エレクトロニクス等）の発展的融合・ブレークスルーを促すことを目指してきた。

19件の採択課題により、上記のねらいを達成すべく体制が構築され、これまで概ね順調に研究開発が進められてきたと判断している。特に、2016年度の採択課題は、量子通信、量子コンピューター・量子ビット基盤、量子シミュレーション、量子計測・センシング各分野を網羅しながら、きわめて順調に研究開発が進展し、重要な成果を達成した。2017年度の採択課題も概ね順調に進展したが、一部については、研究終了後、さらに質の高い研究目標達成に向けた成果の創出を期待するところであった。2018年度の採択課題についても同様に、一部については、新たな量子材料・量子技術に関する高いレベルでの成果の達成など、優れた研究成果が着々と出ており、研究終了後の新たな進展が大いに期待される。

研究成果の社会的・経済的観点からの貢献について若干述べる。我が国は、第5期科学技術基本計画において、将来の目指すべき社会像として「Society5.0」を掲げており、経済・産業政策上、競争力の源泉となる重要な技術インフラである人工知能（AI）やデータ連携基盤のさらなる飛躍的・非連続的發展に向けて、新しい価値創出のコアや鍵となる基盤技術として、量子技術（光・量子技術）が位置づけられる。量子技術は、このSociety5.0実現に向けた社会課題の解決と産業応用を視野に入れた技術体系を構築し、また、高度な情報処理から、材料・ものづくり、医療まで広範な応用が可能な研究領域として、非連続に課題を解決することが期待されている。本研究領域においては、特に将来の社会・産業イノベーションを牽引する量子技術の実装に向けた「革新的システム機能の創成」を目指した（B）のカテゴリーの研究課題は、このような要請に直接的に応じることが使命として課せられている。

(1) 代表的な成果

特に優れた成果が得られた研究課題について、その概要、研究成果とインパクトを図面も含めてテーマごとに記述した。

① 量子計算

樽茶課題 「スピン量子計算の基盤技術開発」

[研究概要]

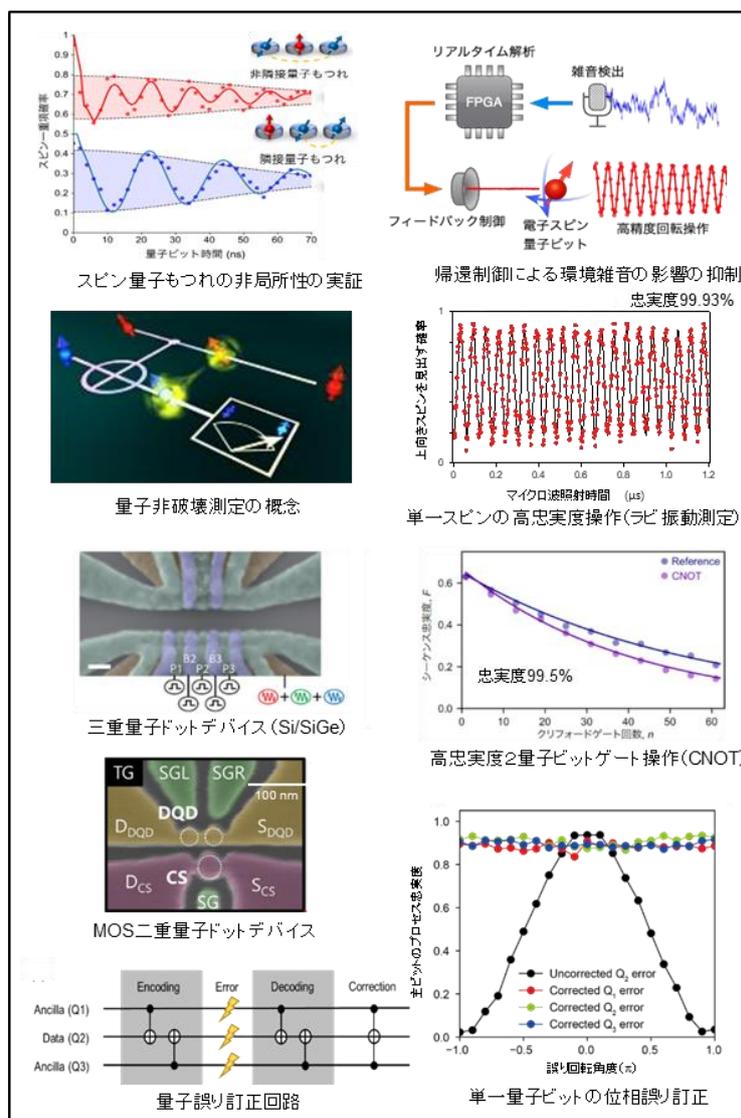
半導体量子ドット中のスピンの量子操作を基盤として、固体量子情報の新展開を導く概念・技術の開発を目指した。具体的には、GaAs、Siの量子ドットを用いて、多量子ビットデバイスの技術課題の抽出と対策の実施、スピン相関とデコヒーレンスの解明と制御法の開発、多量子ビット操作の基本となる3量子ビット操作の実装を行った。さらに、得られた知見と技術を集約することにより、誤り耐性量子計算に必要な各要素技術を格段に向上させた。

[研究成果とインパクト]

- ・ 帰還制御を利用してデフェージング抑制と電荷計の安定化を達成した。
- ・ スピン一重項2電子の空間制御により量子もつれの非局所性を実証した。
- ・ 誤り耐性量子計算に必要な量子操作の忠実度条件を全てクリアした
(単一量子ビット>99.9%、2量子ビット操作>99%、読み出し>99%、初期化>99%)。
- ・ 量子非破壊測定を実証し、読み出しと初期化に有用であることを示した。
- ・ 3量子ビットによる量子誤り訂正を構築し、位相誤り訂正の有効性を実証した。
- ・ 半導体産業と好相性のMOS量子ドットを開発し、スピン制御に成功した。
- ・ 大規模化に向けて、現実的なプロセスによる多量子ビットデバイスを提案した。

これらの成果は、いずれも半導体量子ビットで初となる成果であり、半導体シリコン量子ドットを用いた量子コンピューターの実用化に向けた課題の1つである「量子誤り訂正」の

実現に指針を与えるもので、今後の研究開発の加速が期待される。さらに、研究成果の一部は世界的な科学雑誌「Nature 601号」にも掲載され、イメージ図が、その表紙を飾った (<https://www.nature.com/nature/volumes/601/issues/7893>)。また、2023年度のJST事業成果 (<https://www.jst.go.jp/seika/?cat=info>) にも選出された。



高橋課題 「冷却原子の高度制御に基づく革新的光格子量子シミュレーター開発」

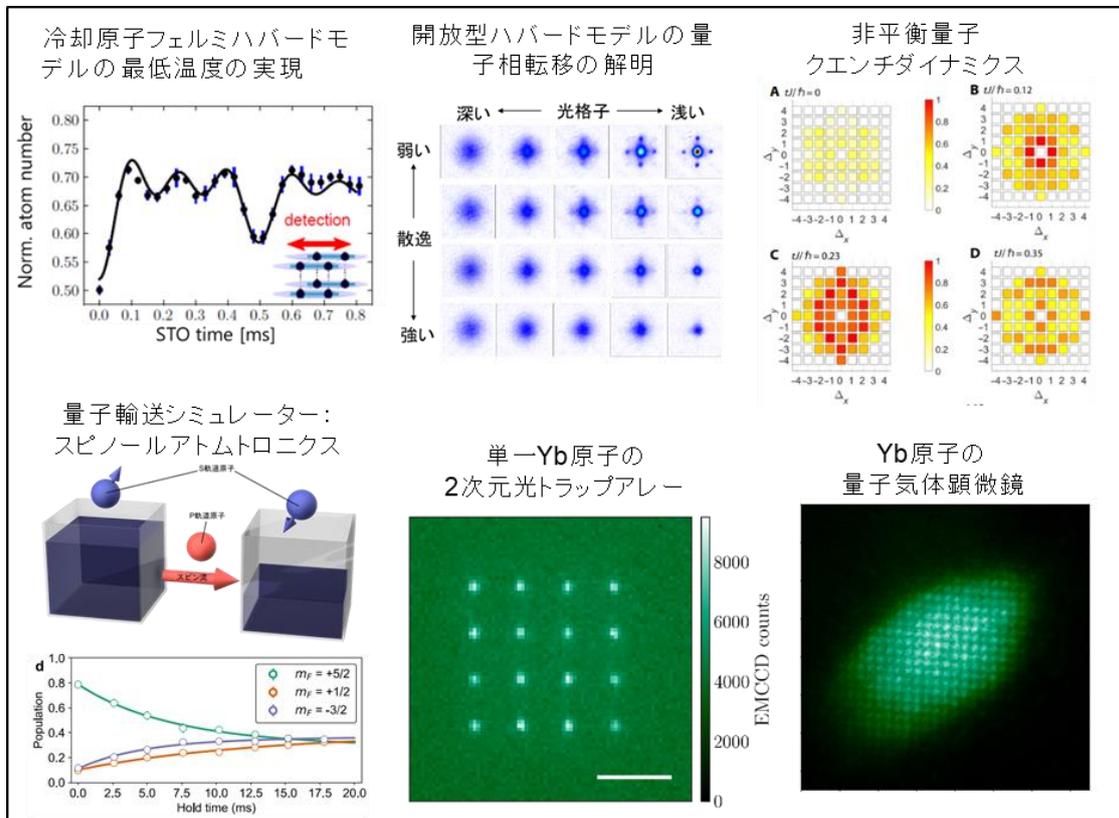
[研究概要]

光格子中の超低温原子集団が提供する興味深い強相関量子多体系に着目し、最先端光・原子制御手法を新規に開発し、理論グループと密に連携することで、大規模量子多体系の個別量子測定・制御能力を備えた高度な量子シミュレーターの基盤技術を創出した。特に、アンサンブル全体に対する量子シミュレーション技術の深化とともに、単一原子の個別量子測定・制御技術を融合させ、量子シミュレーション・量子制御を融合的に発展させた。

[研究成果とインパクト]

光格子中の極低温 Yb 原子の豊富な内部自由度を高度に制御し、以下のことを実現、解明するなど、多様な光格子シミュレーターを新規に実現した。

- ・冷却原子フェルミハバードモデルの最低温度の実現
- ・スピン空間量子輸送シミュレーターの開発
- ・平衡量子クエンチダイナミクスの解明
- ・開放量子多体系における新奇量子相の創出
- ・ピン分解量子気体顕微鏡の実現
- ・単一 Yb 原子 2 次元光トラップアレーの実現
- ・トポロジカル量子現象の乱れ耐性の解明など



② 量子通信

小坂課題 「ダイヤモンド量子セキュリティ」

[研究概要]

本研究課題は、超スマート社会の実現に不可欠な情報セキュリティを物理的に保障する、量子暗号通信の長距離化・多重化・高機能化を目的とした。ダイヤモンド中の窒素空孔 (NV) 中心における光子と電子の自発的な量子もつれ発光・吸収を基礎とし、光子から核子への伝令付き量子テレポーテーション転写、電子と核子の誤り符号付きのホロノミック量子ゲー

ト、シングルショットによる核子間の完全な量子もつれ読み出しなどを行い、量子セキュリティの実用化に道を開いた。

[研究成果とインパクト]

長距離の位相制御が不要な量子中継スキーム（発光吸収方式）を独自開発し、要素機能となる量子もつれ発光、量子テレポーテーション転写、量子もつれゲート操作、量子もつれ測定（完全ベル測定）、量子誤り訂正を全て完全ゼロ磁場下で実現し、量子インターネットの基礎を構築した。本研究の発光吸収方式は従来の光子干渉方式を遥かに超えるスケラブルな量子暗号通信が可能となる。



③ 量子計測

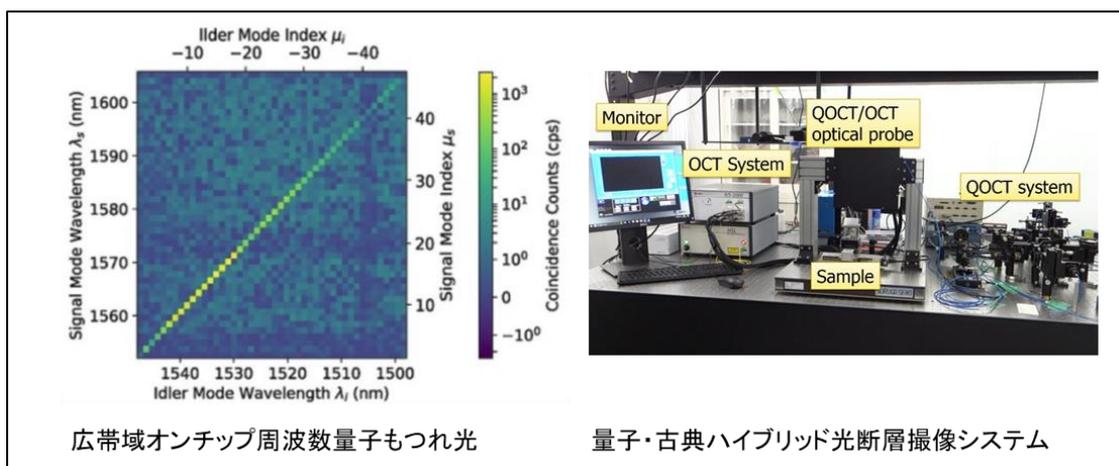
竹内課題 「大強度広帯域周波数もつれ状態の実現と応用」

[研究概要]

広帯域周波数量子もつれ光とは、2つの光子がそれぞれ広い周波数帯域（エネルギー）にわたり存在する状態である。本研究課題では、導波路型チャープ擬似位相整合素子や窒化シリコンリング共振器を用い、広帯域周波数量子もつれ光を大量に発生する光源を開発、またそれらの量子光源を用い、高分解能で分散耐性をもつ量子・古典ハイブリッド光断層撮像システムや、量子もつれ時間分解分光法など、あらたな量子光計測技術の実現を目指した。

[研究成果とインパクト]

- ・リッジ導波路型チャープ擬似位相整合素子により、従来素子と比較して 600 倍～1200 倍の効率で超広帯域量子もつれ光子対生成を確認。
- ・全帯域で 100nm と、最大の帯域のオンチップ量子もつれ光子対生成に成功。
- ・1000 倍高速な量子 OCT と、古典量子ハイブリッド OCT システムを実現。



④ 新量子技術

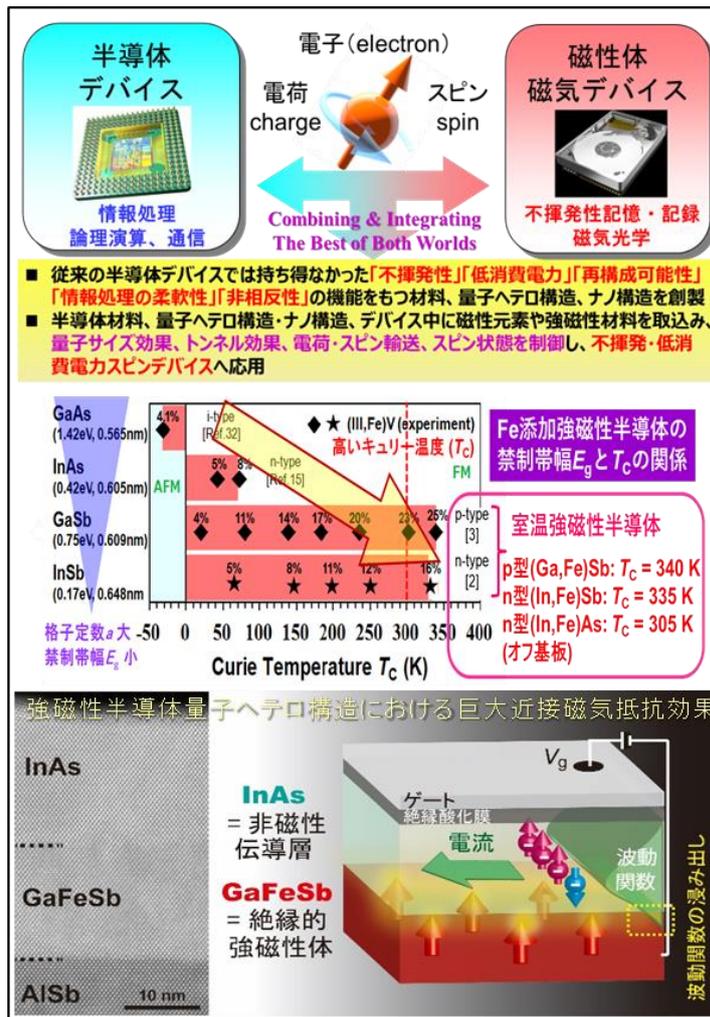
田中雅明課題 「強磁性量子ヘテロ構造による物性機能の創出と不揮発・低消費電力スピンドバイスへの応用」

[研究概要]

本研究課題では以下の研究を行った：①従来の半導体デバイスでは持ち得なかった「不揮発性」「低消費電力」「再構成可能性」「情報処理の柔軟性」「非相反性」の機能をもつ材料、量子ヘテロ構造、ナノ構造を創製する。②半導体材料、量子ヘテロ構造・ナノ構造、デバイス中に磁性元素や強磁性材料を取込み、量子サイズ効果、トンネル効果、電荷・スピン輸送、スピン状態を制御し、不揮発・低消費電力スピンドバイスへ応用する。

[研究成果とインパクト]

①材料および②デバイスの両面において、当初計画以上に研究が進み、新しいn型およびp型室温強磁性半導体の創製、その物性機能制御、高Tc強磁性半導体設計指針の確立、巨大近接磁気抵抗効果や奇関数磁気抵抗効果など新量子現象の発見、電界効果による磁気抵抗制御など新機能の創出、縦型および横型スピントランジスタ等の作製と動作実証など顕著な成果を挙げた。



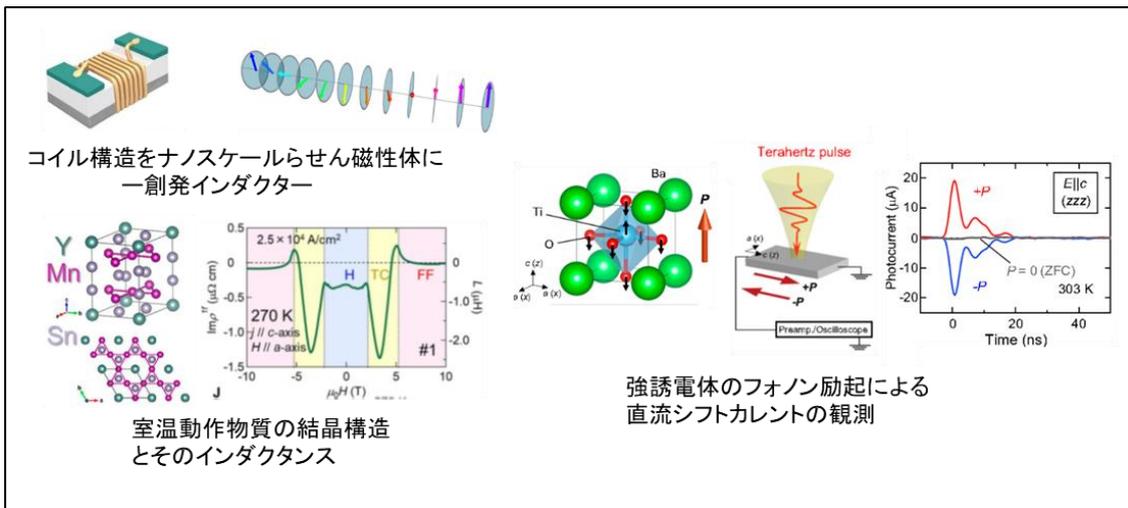
永長課題 「ナノスピン構造を用いた電子量子位相制御」

[研究概要]

ナノスケールのスピン構造に付随する量子力学的な位相から生じる実効的な電磁場（創発電磁場）を用いて、磁性体の量子機能を開拓する。具体的には非相反・非線形応答を用いた創発ダイオードと創発電磁誘導を用いた創発インダクターの開発を行う。

[研究成果とインパクト]

波としての電子の量子的な性質に基づき、熱の発生を抑えた非散逸性とナノスケールまで微細化可能性を持つ素子の基礎学理確立と原理実証デバイスの作成を行った。インダクターでは、微細化が困難であった従来のインダクターに対して、同程度のインダクタンスで10万分の1から100万分の1のサイズダウンを実現した。ダイオード効果では超伝導ダイオード効果の理論・実証と、2次非線形光学応答である直流シフトカレントが、フォノンやマグノン励起によって誘起されることを理論・実験から確立、テラヘルツ光検出器への途を拓いた。



(2) 研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献として、CREST「量子技術」領域からの原著論文数は1041件（国際：1033件、国内：8件）、招待講演数は1144件（国際：654件、国内490件）、口頭発表数は1510件（国際：505件、国内1005件）であった。なお、原著論文においてインパクトファクターの高いNature系、Science系、Physical Review Letter（PRL）等への掲載数は148件（Nature：4件、Nature Communications：39件、Nature Nanotechnology:5件、Nature Photonics:4件、Nature Electronics:1件、Nature Materials:7件、Nature Reviews Physics:3件、Nature Physics:7件、Science:2件、Science Advances:10件、PRL:55件、PRX:8件、PRX Quantum:3件）であった。コロナ禍のため国際会議やシンポジウムの中止・延期があったにも拘わらず、十分な情報発信があったと思われる。なお、各分野における主要な文献と概要を以下に記述した。上記（1）の代表的な成果が得られた研究課題に加え、他の研究課題からも重要な雑誌に掲載された。

① 量子計算

樽茶課題 「スピン量子計算の基盤技術開発」

J. Yoneda et al., “A>99.9%-fidelity quantum-dot spin qubit with coherence limited by charge noise”, Nature Nanotechnol. 13, 102 (2018).

概要：磁氣的雑音の極めて少ない同位体制御シリコン基板を用いて量子ドットを作製し、これに特殊な形状の微小磁石を用いた高速スピン操作を適用することにより、従来に比べて約100倍のスピン量子ビットの操作速度と約10倍の位相コヒーレンス時間を同時に達成した。その結果、量子ビット操作の忠実度として世界最高値99.93%を達成した。またこのコヒーレンス喪失は、通常の磁氣的雑音ではなく、電荷雑音が支配していることを初めて明らかにした。

A. Noiri et al., “Fast universal quantum gate above the fault-tolerance threshold in silicon”, *Nature* 601, 338 (2022).

概要：量子コンピューターの大規模化には、前提条件として種々の量子操作の忠実度が誤り訂正のための閾値を超える必要がある。しかし、これまでは2量子ビットゲートの忠実度が十分大きくなかった。今回同位体制御した²⁸Si/SiGe二重量子ドットを用い、また単一スピンの回転、および制御回転ゲートの速度を上げることにより、同閾値を初めて超えることに成功した。大規模量子コンピューターの開発を加速する重要な成果である。

K. Takeda et al., “Quantum tomography of an entangled three-qubit state in silicon”, *Nature Nanotechnol.* 16, 969 (2021).

概要：量子コンピューターの動作には複数量子ビット間の量子もつれの制御が重要である。電子スピンを用いた量子ビットでは、これまでに2量子ビット間の量子もつれが実現されていたが、量子誤り訂正など重要な量子アルゴリズムの実装には3量子ビット以上の量子もつれが必要になる。この論文では、Si量子ドット中に閉じ込めた3つの電子スピンを高い精度で制御、測定し、さらに世界初となる3量子ビットもつれ状態の生成することに成功した。

高橋課題 「冷却原子の高度制御に基づく革新的光格子量子シミュレーター開発」

T. Tomita et al., “Observation of the Mott insulator to superfluid crossover of a driven-dissipative Bose-Hubbard system”, *Science Advances* 3, e1701513-1-8 (2017)

概要：制御された2体散逸過程を2原子間の光会合過程により3次元光格子中のボース原子に導入することで、強い散逸過程が、強相関モット絶縁体状態から超流動状態への移行を著しく遅らせることを実験的に明らかにすることに成功し、この振る舞いが理論グループの最新の理論計算により説明できることを確認した。これは従来の孤立系における量子シミュレーションを開放系に拡張することに成功したことを意味するものである。

Y. Takasu et al., “Energy redistribution and spatiotemporal evolution of correlations after a sudden quench of the Bose-Hubbard model”, *Science Advances* 6, eaba9255, 2020.

概要：古典計算が困難な問題として知られるボース・ハバードモデルのクエンチ後のエネルギーおよび原子相関の時間発展について、イッテルビウムの光格子量子シミュレーターを用いて実験的解答を提供することに成功した。特に、数値計算可能な1次元系において理論との整合性を確認し、2次元以上の系について最新の理論計算手法の妥当性を議論することができた。今後、ベンチマークテストとして様々な計算手法の発展に寄与すると期待される。

Koki Ono et al., “Observation of spin-space quantum transport induced by an atomic quantum point contact”, *Nature Communications*, DOI:10.1038/s41467-021-27011-2 (2021).

概要: 2 軌道量子シミュレーターの特徴を活かしたユニークな量子シミュレーション実験として、量子輸送現象の研究を行い、準安定状態に局在する原子が量子ポイントコンタクトとして機能する 1 次元フェルミ粒子系に対する量子輸送の実験系を、スピン空間という人工次元で実現することに成功した。特に、SU(N) スピン自由度に着目した、制御性の高い Y-ジャンクションの系を実現することに成功した。

青木課題 「スケーラブルな光学的量子計算に向けた超低損失ナノファイバー共振器 QED 系の開発」

S. Kato et al., “Observation of dressed states of distant atoms with delocalized photons in coupled-cavities quantum electrodynamics”, Nature Communications 10, 1160 (2019).

概要: 結合共振器量子電気力学系を初めて実現した。これは、小規模な量子計算機を光子でつなぐことで大規模な量子計算を可能にする分散型量子計算機の実現に向けた重要な成果である。特に、光子が他の量子系と比較して格段に高いコヒーレンスを持ち、室温においても全く量子性を失わず、光ファイバーによって長距離伝送可能であるという特長に基づいた光学的量子計算の有用性を示すものである。

② 量子通信

井元課題 「グローバル量子ネットワーク」

R. Ikuta et al., “Polarization insensitive frequency conversion for an atom-photon entanglement distribution via a telecom network”, Nature Communications 9, 1997 (2018).

概要: これまで偏光依存性のあった波長変換器をサニャック干渉計に組み込むことで、偏光無依存化した波長変換器を開発するとともに、冷却 Rb 原子も 2 モードで動作させ、冷却 Rb 原子量子メモリと通信波長帯光子のエンタングルメント生成を行い、高性能な超伝導単一光子検出器 (SSPD) を用いて検出することで、その確認に成功した。この成果により、原子量子メモリが長距離量子通信に利用可能であることを示した。

T. Walker et al., “Long-Distance Single Photon Transmission from a Trapped Ion via Quantum Frequency Conversion”, Phys. Rev. Lett. vol. 120, 203601, 2018.

概要: これまで、イオントラップを用いた量子コンピューターの研究は盛んに行われており、現在でも量子コンピューターの有力候補として超伝導と肩を並べる存在である。しかし、これを長距離通信に利用する試みはこれまでなかった。本研究では、量子周波数変換器をイオントラップからの単一光子に利用できることを初めて示し、従来到達できなかった 10km の長距離伝送に成功し、イオントラップにおいて、当時の世界最長記録を打ち立てた。また、特に改善がなくとも数 10km 程度の単一光子の送信が可能であることを示した。

Y. Hasegawa et al., “Experimental time-reversed adaptive Bell measurement towards all-photonic quantum repeaters”, *Nature Communications* 10, 378 (2019).

概要：量子情報通信をグローバルに実現するためには、量子中継の実現が重要となる。これまで、量子中継方式は多く提案されてきたが、すべての方式の核である「適応ベル測定」は実験的に示されていなかった。阪大グループは理論グループ（NTT、富山大、トロント大）と協力して、この「適応ベル測定」を世界で初めて実現した。この実験において、これまで実現していなかった量子中継の基本原理を実現し、同時に全光量子中継の基本原理を初めて実現した。国際的に非常に激しい競争を勝ち抜いての世界初の実現は、インパクトが非常に大きい。

小坂課題 「ダイヤモンド量子セキュリティ」

K. Tsurumoto et al., “Quantum teleportation-based state transfer of photon polarization into a carbon spin in Diamond”, *Communications Physics*, 2, 74 (2019)

概要：NV 周辺の多数の炭素同位体を集積量子メモリとして利用すべく、NV 中心の電子と結合した複数の炭素同位体のうち1つの炭素同位体への光の偏光状態のメモリ選択的な量子テレポーテーション転写に成功した。複数の炭素同位体の中から転写したい炭素同位体だけを電子ともつれた状態に予め用意することで、アダプティブなマルチメモリ転写の可能性を示した。

K. Nagata et al., “Universal holonomic quantum gates over geometric spin qubits with polarised microwaves”, *Nature Communications*, 9, 3227 (2018)

概要：ダイヤモンド中でエラー耐性のある量子演算処理に成功し、室温万能量子コンピューターに道を開いた。ダイヤモンド中の電子や核子のスピンを量子ビットとして用い偏光制御したマイクロ波を用いて量子操作することで、操作エラーや環境ノイズに耐性のある万能なホロノミック量子ゲート操作を実現した。室温かつ完全無磁場下でのスピン操作が可能となり、より汎用的な量子情報技術として発展が期待される。

Y. Sekiguchi et al., “Optically addressable universal holonomic quantum gates on Diamond spins”, *Nature Photonics*, 16, 662-666 (2022)

概要：光シュタルク効果を用いた光ランダムアクセス量子メモリの原理実証に成功した。光を量子ビットの選択的なアクティブ化、非アクティブ化のランダムアクセス制御に使用し、量子制御はマイクロ波およびラジオ波で行う新しい手法（光アドレス量子ゲート）を考案した。これにより高空間分解能と高忠実度が両立できることを実験で実証した。

③ 量子計測

竹内課題 「大強度広帯域周波数もつれ状態の実現と応用」

T. Kiyohara et al., “Direct and efficient verification of entanglement between two multimode-multiphoton systems”, *Optica*, vol.7, No.11, 1517-1523 (2020).

概要：光子の量子もつれ状態を、従来にくらべて著しく高い効率で検証する方法の実証に、6つの光子間量子ゲートを含む光量子回路を用いて成功した。今回実現した方法は、システムサイズが増大しても高い効率を保てることから、光量子技術に幅広くブレークスルーをもたらすものである。ホフマングループとの共同研究成果である。

齊藤課題 「超伝導量子ビットを用いた極限量子センシング」

L. V. Abdurakhimov, et al., “Identification of different types of high-frequency defects in superconducting qubits”, *Phys. Rev. X Quant.* 3, 040332 (2022)

概要：長寿命 FQ (Flux Qubit) に対してスピンロッキング法を適用することで、量子ビットのエネルギー緩和の原因となる高周波数 TLS (Two Level System) 欠陥を検出する方法を確立した。この手法を用いて、これまでは区別することができなかった、電場揺らぎを誘発する TLS とジョセフソン接合の臨界電流揺らぎを誘発する TLS を識別することに成功した。この成果は、量子コンピューター開発に不可欠な量子ビットのコヒーレンス向上に貢献する。

④ 新量子技術

田中雅明課題 「強磁性量子ヘテロ構造による物性機能の創出と不揮発・低消費電力スピンドバイスへの応用」

M. Jiang et al., “Artificial suppression of the field-like term and ultra-efficient magnetisation switching in a spin-orbit ferromagnet”, *Nature Electronics* 3, pp.751-756 (2020).

概要：垂直磁気異方性をもつ単一の強磁性半導体 GaMnAs 薄膜を InGaAs / GaAs 基板上にエピタキシャル成長し、垂直磁気異方性をもつ GaMnAs 薄膜に電流を流すことによって、相対論的量子力学の効果であるスピン軌道トルクを用いてきわめて高効率の磁化反転に成功した。磁化反転の妨げとなりうるフィールドライクトルク成分を電流によって生じる磁場により最適化できるように GaMnAs の膜厚を調整した結果、従来より約 3 桁低い世界最小の電流密度である $4.6 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ の微小な電流密度で 180° の磁化反転を実現した。本研究の成果は、低消費電力スピンドバイスの実現に向けて重要な進展をもたらすものである。

S. K. Takada et al., “Giant spin-to-charge conversion at an all-epitaxial single-crystal-oxide Rashba interface with a strongly-correlated metal interlayer”, *Nature Communications* 13, 5631 (2022).

概要：本研究では分子線エピタキシーを用いて、高品質の強相関電子系酸化物 LaTiO₃/SrTiO₃ の単結晶界面を作製し、193.5nm までの極めて大きなスピン流電流変換効率を得ることに成功した。この値は、2020 年にフランスのグループから Nature 誌に報告されていた世界最高値の 3 倍程度の非常に大きな値で、他の全物質で報告されている値の中で最高値である。本研究の結果は、高品質の単結晶界面や強相関電子材料を利用することにより、

高効率のスピン流電流変換が実現できることを示しており、将来的には、次世代の不揮発性メモリや量子デバイスへの応用が期待される。

仙場課題 「超伝導量子メタマテリアルの創成と制御」

F. Yoshihara et al., “Inversion of Qubit Energy Levels in Qubit-Oscillator Circuits in the Deep-Strong-Coupling Regime”, *Phys. Rev. Lett.* 120, 183601 (2018).

概要：共振器周波数 (ω) に匹敵 ($g/\omega \sim 1$) するほど強い結合係数 (g) で LC 共振器と相互作用する超伝導磁束量子ビットで観測された光シフトについて報告した。2-トーン分光法を使い異なる結合係数の試料について最低 6 準位のエネルギーが決定された。裸のキュービット周波数の 90%を超える巨大な Lamb シフトや、共振器中に光子が有限個ある場合(量子シュタルク効果)の量子ビットの基底状態と励起状態の反転現象を観測した。実験結果は、量子ラビモデルに基づく理論的予測と良い一致を見た。

永長課題 「ナノスピン構造を用いた電子量子位相制御」

T. Yokouchi et al., “Emergent electromagnetic induction in a helical-spin magnet”, *Nature* 586, 232-236 (2020).

概要：RKKY 相互作用による種々の短周期スピン構造を示す $Gd_3Ru_4Al_{12}$ において、磁場と温度を変えながら交流インピーダンスの測定を行い、らせん磁性相で大きなインダクタンスを示すことを見出した。また電流の方向依存性、試料のサイズ依存性、周波数依存性、なども理論解析と一致することを示した。この論文は創発インダクター研究の端緒となった。

M. Hirschberger et al., “Skyrmion phase and competing magnetic orders on a breathing kagomé lattice”, *Nat. Commun.* 10, 5831 (2019).

概要：カゴメ格子を有する希土類化合物 $Gd_3Ru_4Al_{12}$ において、伝導電子が媒介する RKKY 相互作用に着目し、超短周期のヘリカル、ユニカル、ファン構造に加え、超高密度のスキルミオン結晶といった複数の競合する磁気相の発現を実現した。特に、スキルミオン結晶相における巨大創発磁場をトポロジカルホール効果として検出した。この成果は、巨大創発電磁機能の開拓に向けた物質設計指針を確立し、世界初の創発インダクター実証などの研究基盤となった。

K. Yasuda et al., “Large non-reciprocal charge transport mediated by quantum anomalous Hall edge states”, *Nat. Nanotechnol.* 15, 831-835 (2020).

概要：トポロジカル絶縁体に磁性不純物をドーブした系で、表面状態を量子化異常ホール状態にした後で、フェルミエネルギーを変化させて縦方向の伝導を生じさせると、エッジチャンネルと表面状態の双方が寄与することになる。この状態で電流に関して 2 次の電圧を測定すると、10 数%におよぶ大きな非相反電気抵抗が観測された。この現象を、エッジと表面状態間の不純物散乱によって説明した。

山本課題 「半導体非局在量子ビットの量子制御」

I. V. Borzenets et al., “Observation of the Kondo screening cloud”, Nature 579, 210 (2020)

概要：局在スピンを周囲の伝導電子が遮蔽して形成される「近藤遮蔽雲」の広がりや形状を世界で初めて観測した。近藤雲は離れた局在スピン間の相互作用を仲介するため、磁性元素を含む多くの物質で近藤雲が果たす役割の重要さは長年知られていたが、その検出実験の成功例はなかった。近藤雲の大きさは半導体中では数マイクロメートルにも及ぶため、離れたスピン量子ビットを結合させ、近藤雲の“波”によって局在スピン間の相互作用を制御するハイブリッド量子系の構築が期待できる。

宗宮課題 「量子制御を用いたオプトメカ結合型調和振動子のマニピュレーション」

M. Croquette et al., “Recent advances toward mesoscopic quantum optomechanics”, AVS 9 Quantum Sci., 5, 014403 (2023)

概要：本研究ではさまざまな質量スケールで量子計測を実現することを目指しており、日本側ではねじれ振り子、モノリシック振り子、光学浮上、反磁性浮上技術を開発し、フランス側ではマイクロピラーとフォノン結晶薄膜技術を開発した。本論文ではそれらの測定結果をまとめ、比較している。日仏共同で執筆した論文で、本研究にとって重要な論文である。

N. Matsumoto et al., “Demonstration of Displacement Sensing of a mg-Scale Pendulum for mm- and mg-Scale Gravity Measurements”, Phys. Rev. Lett. 122, 071101 (2019)

概要：重力を介した相互作用を測定するのに十分な変位感度を持つ 7mg の懸架鏡の開発に成功したもので、これにより重力の量子的な側面に迫ることができると期待され、本研究における巨視的量子力学検証研究にとって重要な論文である。

(3) 研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

CREST「量子技術」領域からの出願数は54件（国際：13件、国内：41件）であり、特許数の多かったのは、北川課題（8件）、竹内課題（8件）、青木課題（9件）であった。また、研究代表者や主たる共同研究者が関与もしくは立ち上げたベンチャーは3社であった。以下、具体例を記述した。

青木課題（知財）

青木隆朗、早稲田大学、「量子計算ユニット、単一光子源、および量子計算装置」、PCT/JP2021/25783 (2021)

概要：近年、さまざまな物理系を対象に大規模な量子計算の実現を目指した研究開発が進められているが、いずれの方式も量子ビット数の大幅な拡大に向けて技術的な課題を抱え

ている。本発明は、ナノファイバー共振器 QED 系による新規な量子計算の実装方法である。すなわち、単一のユニットで多数の量子ビットが実装可能であり、さらにユニットを分散接続することで、既存方式と比較して圧倒的に大規模な量子計算を可能にする画期的な手法である。

青木隆朗、早稲田大学、「量子演算ユニット、量子演算器」、特願 2022-079702 (2022)

概要：長距離量子通信の実現には量子中継技術が必須である。ここで、量子中継における量子ノードに求められる機能は、(1)量子ノードにおける局所的な量子メモリ機能・量子ゲート機能、(2)長距離伝送のための通信波長帯における量子インターフェース機能の2つである。現在、さまざまな量子中継技術が提案・開発されているが、上記2つの機能を両立する技術はまだない。本発明は、ナノファイバー共振器 QED 系により上記2つの機能を全ファイバーで両立する技術であり、高効率な長距離量子通信を単一のプラットフォームで実現する画期的な技術である。

(株) Nanofiber Quantum Technologies

青木課題の研究代表者である青木隆朗が共同創業者および CSO として参画している。

<https://www.nano-qt.com/>

北川課題 (ベンチャー企業)

CREST での研究内容とは若干異なるが北川課題に参画された研究者から以下のベンチャー企業が設立された。

(株) QunaSys

北川課題の研究者であった根来誠、高橋課題の研究者であった藤井啓祐がアドバイザーとして、また北川課題の研究者であった御手洗光祐が CSO として参画している。

<https://qunasys.com/>

キューエル (株)

北川課題の研究代表者である北川勝浩が創業者として、根来誠が取締役 CSO として参画している。

<https://quel-inc.com/ja/home/>

(4) CREST 研究終了後の展開

CREST 「量子技術」進行中および終了後、研究代表者や主たる共同研究者の多くがムーンショット目標 6 の課題推進者やプロジェクトマネージャー、光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) の研究代表者、新規 CREST 領域の研究代表者となり、CREST 「量子技術」で得られた知見や成果を基に、さらなる発展や社会実装により近いプログラムでの展開を

図っている。以下は、研究代表者およびプロジェクトマネージャー等に採択された例である
(ムーンショット目標 6 のプログラムディレクター：1 人、プロジェクトマネージャー：6
人、Q-LEAP の研究代表者：3 人、新規 CREST の研究総括：1 人、研究代表者：2 人)

1 期生

井元課題

井元信之 (研究代表者) ⇒CREST 「量子フロンティア」の研究総括
小芦雅斗 (主たる共同研究者) ⇒ムーンショット目標 6 のプロジェクトマネージャー
山本俊 (参画研究者) ⇒ムーンショット目標 6 のプロジェクトマネージャー

北川課題

北川勝浩 (研究代表者) ⇒ムーンショット目標 6 のプログラムディレクター

高橋課題

高橋義朗 (研究代表者) ⇒CREST 「量子フロンティア」の研究代表者

竹内課題

竹内繁樹 (研究代表者) ⇒Q-LEAP 基礎基盤研究の研究代表者

樽茶課題

樽茶清悟 (研究代表者) ⇒ムーンショット目標 6 のプロジェクトマネージャー

2 期生

青木課題

青木隆朗 (研究代表者) ⇒ムーンショット目標 6 のプロジェクトマネージャー

小坂課題

小坂英男 (研究代表者) ⇒ムーンショット目標 6 のプロジェクトマネージャー
寺地徳之 (主たる共同研究者) ⇒Q-LEAP 基礎基盤研究の研究代表者

3 期生

大野課題

森貴洋 (主たる共同研究者) ⇒Q-LEAP 基礎基盤研究の研究代表者

小関課題

小関泰之 (研究代表者) ⇒ CREST 「革新的計測解析」の研究代表者

宗宮課題

高橋優樹 (主たる共同研究者) ⇒ムーンショット目標 6 のプロジェクトマネージャー

7. 総合所見

本研究領域が発足して 8 年が経過したが、量子技術の研究開発状況は、この間に量子コンピューターを中心に大きく変わった。特に、2020 年 10 月に Google が英科学誌 Nature に独自に開発した量子回路を用いて「量子超越 (Quantum Supremacy)」を、きわめて特殊な

演算プログラムではあるが、実証したと発表したことは、政治家や投資家などに衝撃を与えるとともに、ゲート型量子コンピューターの流れを一気に作りあげた。

我が国の量子技術政策も、この8年間で大きく展開した。2018度からは、文部科学省研究開発プログラム「光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)」が10年プロジェクトとして開始した。また、2020年1月には、「量子技術イノベーション戦略」が策定され、「主要技術領域」、「量子融合イノベーション領域」が設定されるとともに、ロードマップが策定された。さらに、ムーンショットプログラムの1つとして、誤り耐性を有するゲート型量子コンピューターの実現を目標としたプロジェクトも2020年度に発足した。その後、社会実装に向けては、2021年2月にはイノベーション拠点形成が形成され、2022年4月に「量子未来社会ビジョン」が策定された。さらに、2023年4月には量子未来産業創出戦略が策定され、2030年に「国内の量子技術利用者1,000万人」、「量子技術による生産額50兆円規模」、「ユニコーンベンチャー企業を創出」に向けて、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の課題「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」も開始した。このようにして、2020年度以降は補正予算等も含めると年々、量子技術関連分野への政府予算が年々増大し、2023年度には800億円以上が投入された。

上記状況下において、あらためて中長期的な視座から量子科学のフロンティア開拓を先導し、新しい産業や技術基盤を創出するための核となる量子技術を長期的に創成した本研究領域の存在意義は重要であったと考える。本研究領域では、図3-1で示したとおり、多様で横断的に研究課題が配置されており、他のプログラムにはない特徴を有している。本研究領域の多様性が将来の量子技術の発展につながるものと確信している。

本研究領域が我が国の一連の研究開発政策の先鞭といえるものの、研究者の一部は、Q-LEAPやムーンショットプログラムなど他の超大型プログラム等にも直接的もしくは間接的に関与していたのが現実である。この分野の研究者が不足していたのでやむを得ないことであるが、やや予算の重複感が否めない状況にあった。もちろん、積極的な観点に立てば、本研究領域の実施期間は有限であったので、終了課題の研究者がこれらのプログラムにも参画することにより、研究のさらなる発展継続とともに人材の育成を長期的に維持できることとなった。

個々の研究課題の進展状況については、全体としてレベルの高い研究成果が達成され、主要学術雑誌にも多くの論文が掲載された。特に、2016年度採択課題群はすでに著名な研究者達が集まっていたことから達成度が高かった。一方、2017年度、2018年度採択課題にも、重要な成果を創出した研究課題が含まれていた。なお、2018年度採択課題の研究代表者の平均年齢は2016年度採択課題と比べて15歳近く低い、このため、今後この分野を牽引する人材が育成されたことを示している。

研究成果について社会的・経済的観点からの貢献について論じるのは、基礎研究フェーズの量子技術分野ではやや困難だったかもしれないが、「量子技術」領域の発足後に巨額な資金が量子技術分野に投入され、社会実装に向けたイノベーション拠点の形成や量子未来産

業創出戦略の策定、さらに基礎から社会実装まで多くのプロジェクトが発足したことから、本研究領域で得られた成果や知見がさらに発展し、今後の社会的・経済的な発展に繋がることを期待する。

以上