

第 6 章 募集対象となる研究領域

- 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」(259 ページ)の下の研究領域

6.2.7 量子の状態制御と機能化

研究総括：伊藤 公平(慶應義塾大学 理工学部物理情報工学科 教授)

研究領域の概要

量子現象をただ観るのではなく、制御して機能化するフロンティアを切り拓く独創的で意欲的な研究を本研究領域では推進します。様々な原子、分子、物質、ナノ構造、電磁波、生命体や、それらが相互作用する系に潜む量子現象の本質を紐解き、挑戦的な量子状態の操作・制御・測定をとおして新概念、新機軸、新技術の創成に大きく寄与します。これらがシーズとなり、将来的には革新的な情報処理技術、計測技術、標準化技術、通信ネットワーク技術、省エネ技術などに発展することを目指します。高度な洞察力と、理論展開・実験技術・計算技術などに支えられた実力を駆使して、量子科学とその応用の将来を世界レベルでリードする若手研究者の輩出を目指します。

具体的には、量子に関わる物理学、情報科学、化学、工学や生物学のみならず、数理科学、物質科学、ナノ構造科学などの多岐に渡るテーマを推進し、これら異分野の連携・融合を促進するプラットフォームを構築します。

募集・選考・研究領域運営にあたっての研究総括の方針

1. 背景

20 世紀初頭の量子力学の発見によって量子光学、固体のバンド理論などが進化し、レーザー・トランジスター・LED などの素子が開発されてきました。20 世紀後半以降は、エレクトロニクスとナノテクノロジーの急速な発展により、単一の量子（原子、電子、光子、フォノンなど）や、単一の量子として扱える巨視的な量子現象（超伝導量子ビットなど）をコヒーレントに操作・制御し、その機能に基づき従来技術における不可能を可能にし得る計算・通信・計測・標準・省エネ技術を開発することが注目されています。量子科学の発展は止まることを知らず、単一量子のコヒーレント制御から、少数の量子もつれ制御、さらには多数量子系の制御と研究フェーズを刷新しています。

そこで本研究領域では、量子状態をコヒーレントに制御して機能化するフロンティアを切り拓く研究を推進します。

2. 募集・選考の方針

第 6 章 募集対象となる研究領域

新進気鋭の研究者が知恵を絞った、独創的で、科学的に胸が踊る提案を募集します。さきがけ研究の 3 年間でコンパクトな成果を出すのではなく、さきがけ研究から始まる挑戦が、さきがけ研究終了後の 10 年間で量子状態制御の新しい潮流を生み出すもの、そして続く 10 年間でその潮流が量子機能の応用という形で時代のうねりとなる期待を抱かせる研究提案を募集します。本研究領域では若手研究者育成の観点から、多くの方が機会を得られるよう、以前さきがけ制度で採択された方は、公募の対象外とします。

研究に対するアプローチは、数理的な理論展開を中心とするもの、計算機でのシミュレーションを中心とするもの、実験を中心とするものなど様々なものが考えられます。個人の実力を活かした独創的なアイデア、実行力、発展性を特に重視します。また、さきがけは個人研究ですが、グランドデザインが大きいほど一人で成し得ることが限られる場合も考えられます。よって提案者自らが発案する、独創的で重厚なシナリオであれば、提案者自らが貢献する部分を特定して推進する研究も対象とします。ここには比類なき量子制御を可能とする材料・物質やナノ構造などを創成する研究、抜きん出た量子制御技術を開発する研究、従来手法を凌駕する量子力学的測定技術を開発する研究などが含まれます。ただし、その場合には国際研究協力も含めて、量子の機能化というグランドデザインのなかで、自らが取り組む事項と、共同（または将来的な共同を希望する）研究者と協調していく事項を明確に示してください。

具体的な研究例を以下に示しますが、これらの一部は、世界トップがすでに取り組み始めているテーマです。科学の発展のために誰かが取り組むべき挑戦的なテーマなので当然でしょう。そのような提案を行う場合は、世界における自らの現在の位置を明確にした上で、なぜ自分が今それに取り組む必要があるのか？そして、さきがけ研究期間終了後にどのように新しい潮流を生み出していくのか？といった学術的発展の可能性を示してください。また、下記の例に当てはまらない、審査する側が驚くような挑戦的で新しい手法・アイデアの提案が集まることを期待してやみません。

具体的な研究の例

- ・ 高いパラメータ制御性を有する量子多体系、例えば光格子中の冷却原子や、2次元ペニングトラップ中のイオン、チップ上に集積された光回路、多数のスピンの規則的に配置された固体材料・素子を用いて、その非平衡ダイナミクスや大規模量子もつれを定量的に評価・制御する研究。
- ・ 光およびマイクロ波共振器中の光-物質相互作用や量子オプト・エレクトロ・ナノメカニクス手法による巨大な非線形効果の発現と、それを用いた光スイッチ、コヒーレント波長変換、コヒーレントメディア変換などの超高効率・超高感度量子機能素子の開発に関する研究。
- ・ 量子情報科学の知見を用いて、微小系の熱力学、非平衡統計力学などの現在進行形の研究領域に新たなフレームワークをもたらすような理論研究と、そのような理論を検証する舞台となる原子・分子・光学系、メゾスコピック系、生体系などにおける量子フィードバック制御や開放系のダイナミクスに関する実験研究。

第 6 章 募集対象となる研究領域

- ・ 散逸を取り込んだ形での量子状態制御、いわゆるリザーバーエンジニアリングに基づく量子情報処理手法、個別の量子ビットの測定を行わなくても誤り訂正が行える系など、従来のデジタル量子計算における要件・制約を緩和・除去する新たな枠組みに関する研究。
- ・ 植物の光合成、鳥類のもつ磁気コンパス、酵素反応などの生体内の化学反応における量子コヒーレンスの役割を定量的に明らかにする研究。
- ・ 情報理論と量子物理学を駆使した、従来技術の不可能を可能にする新しい量子アルゴリズムの開発。
- ・ 個人の特技を活かした、量子情報技術の実用化に不可欠な尖った技術の開発。例えば、デジタル量子計算の開発に必要な、特別な材料やナノ構造、多数量子ビットの並列制御に特化したインターフェイス、極低温下で動作する FPGA 回路やジョセフソンコンピュータ、捕捉イオンのコヒーレントな移動を可能にする RF 導波路などの開発。この場合、グランドデザインを提示し、特定のデジタル量子コンピュータの研究開発グループとの密な共同研究を前提とします。

昨年度、本領域の 1 期生として 10 名の研究者を採択しましたが、その多くが物理学者となりました。そこで本年度は、物理学者に加えて、情報科学者、化学者、材料科学者、電気工学者、制御工学者、応用数学者、バイオ関連学者らの積極的な応募を期待します。キーワードは量子機能で古典に勝つ、すなわち quantum supremacy の発掘で、この可能性を軸に据えた魅力的な提案が多数集まることを期待します。量子情報科学の研究フェーズが、単一量子のコヒーレント制御から、少数量子の量子もつれ制御、さらには多数量子の制御による量子計算機開発へと軸足をシフトさせていることはすでに述べました。今年度の募集では、この枠組みをある程度重視しながらも、独創的な量子機能の発掘を野心的に目指す提案、すなわちより多角的なアプローチを広く募集したいと思います。女性研究者による積極的な応募も期待します。

3. 運営の方針

さきがけ研究の 3 年間でコンパクトな成果を出すのではなく、さきがけ研究から始まる挑戦が、さきがけ研究終了後の 10 年間で量子状態制御の新しい潮流を生み出すことを望みます。よって、本領域に集う研究者が大いに議論を深め、スケールの大きい目標に向かって力強く協調的に進める環境を整えたいと思います。さきがけ研究の活動を通じて、研究領域において研究者が相互に影響し合い、異分野連携・融合的な視点で問題解決に取り組む中で、科学技術のイノベーションの源泉となる研究成果を創出するとともに、量子科学とその応用の将来を世界レベルでリードする若手研究者を輩出することを目指します。

なお、領域運営においては、同じ戦略目標を有する CREST 「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」との連携・協働はもとより、CREST 「新たな光機能や光物性の発現・利活用による次世代フォトニクスの開拓」、さきがけ 「光の極限制御・積極利用と新分野開拓」、さきがけ 「量子技術を

第 6 章 募集対象となる研究領域

適用した生命科学基盤の創出」研究領域との連携推進を図り、必要に応じて、領域会議やワークショップ等の開催を共同で行います。また、アウトリーチ活動や啓蒙活動等についても、本研究領域の研究者の協力を得つつ取り組んでいきます。必要に応じて、全国の共用設備(つくばイノベーションアリーナや文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム)や応募者が所属する研究機関内の既存設備など、研究設備・機器の共用を検討してください。

※ 本研究領域の募集説明会を下記日程で開催します。ご関心のある多くの方々の参加をお待ちしております。なお、募集説明会は CREST 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」・さきがけ研究領域「量子技術を適用した生命科学基盤の創出」と合同で開催します。

	日時	場所
関東	4月18日(火) 14:00～16:20	科学技術振興機構(JST) 東京本部別館 1階ホール (東京都千代田区五番町7 K's 五番町)

詳細については、<http://www.senryaku.jst.go.jp/teian.html> をご参照ください。