

○戦略目標「量子情報と量子物性の融合による革新的量子制御技術の創成」の下の研究領域

物質と情報の量子協奏

研究総括：小林 研介（東京大学 大学院理学系研究科 教授）

研究領域の概要

本研究領域では、革新的量子制御技術の創成を目的として、量子情報の視点に立脚しながら量子物性をテクノロジーへと転換していく独創的で挑戦的な研究を推進します。量子物性と量子情報の融合を通じて、両者の結節点となる量子物質を理解・機能化・制御する研究開発を行い、新概念・新技術の開拓により量子制御技術の将来的な新基盤を生み出します。豊かな構想力と洞察力、物質合成・微細加工技術・測定技術・理論・計算技術に支えられた実力を発揮し、量子科学の将来を世界的にリードする若手研究者の輩出を目指します。

本研究領域では「量子多体系の制御と機能化」、「新現象・新状態の量子デバイス・量子材料応用」の2つの観点から研究を推進します。具体的には、量子情報に基づいた量子物質における新しい量子状態制御手法の開拓、新原理量子ビット・量子センサ・量子シミュレーションの提案と実証、将来的に実現可能な物理系を念頭においた量子アルゴリズムの提案と実証などを対象とします。これらを通して、従来の枠組みを超えて量子物性と量子情報を融合し、両者の協奏的發展の場を構築します。

物質科学・情報科学・数理科学・ナノ構造科学などの連携のもとに量子科学を推進することによって、知的生産性の革命につながり、国家及び国民の安全・安心の確保といった社会的ニーズに応えられるような、量子制御技術による不連続なイノベーションを目指します。

募集・選考・領域運営にあたっての研究総括の方針

1. 背景

量子科学技術は将来の我が国及び世界の社会に大変革をもたらす革新的技術であり、研究開発競争が国内外で激化しています。その進展によってもたらされる量子革命によって、知的生産性の飛躍的向上や、革新的な医療や健康管理等を通じた健康・長寿社会の実現、通信・暗号技術による国家及び国民の安全・安心の確保など、様々な社会ニーズに応えることが期待されています。

一方で、量子状態とその制御の繊細さや複雑さはこれまでに人類が経験したことがないものです。そのため、私たちが量子状態固有の性質を真に享受するためには、これまでに開発されてきた技術をそのまま発展させるだけでは困難であり、量子制御技術にいくつものブレークスルーが必要です。例えば、熾烈な競争の舞台となっている量子ビットにおいても

複数の方式が並行して開発されており、将来的に優位に立つ量子ビット型については現時点でも確定していないと目されています。現状では、大規模な量子コンピュータ実現のための要素技術がすべて揃っているわけではなく、実験面・理論面・ソフトウェア面での基礎研究が求められています。その点で、量子制御技術はいまなお未踏の地であり、新しいアイデアひとつで既存の方法論・世界観を変える可能性を秘めた挑戦の場であると言えるでしょう。

そこで、本研究領域では量子物性と量子情報の融合により、日本発のゲームチェンジを目指して、将来の基盤技術となる可能性を持つアイデアを創出する研究を推進します。

2. 募集・選考の方針

(1) 基本方針

本さがけは、気鋭の若手研究者に、量子という視点から物質と情報に関して協奏的な研究を推進する機会を与え、次の10~20年を先導する新たな量子制御技術の創成を目指します。量子物質という名で総称されるように、物質の世界ではトポロジーや多数の自由度に関わる量子多体現象によって豊かな量子物性が発現します。しかしながら、これらの豊穡な量子物性は、いまだ量子制御技術への応用がなされておらず、その観点からは手つかずのまま残されています。量子物性と量子情報が交差する領域で新しい研究分野を生み出していくことは、大規模な量子情報処理のための要素技術の選択肢を増やす試みとして、さらには世界的なゲームチェンジを引き起こす起爆剤として、極めて高い価値を持っています。固定観念にとらわれることなく発想の翼を広げて、量子物質を量子情報の場としてとらえることによって、この豊かな資源をテクノロジーへ転換する研究提案を募集します。また、これとは逆に、量子情報の観点から出発しつつ将来的に実現可能な物理系を念頭においた研究を推進することによって、これまでにない視座をもたらす研究提案も歓迎します。

(2) 具体的な研究の例

具体的には、「量子多体系の制御と機能化」、「新現象・新状態の量子デバイス・量子材料応用」の2つに関する野心的な研究提案を求めます。量子物質においては、トポロジカルな性質や電荷・スピン・軌道など多数の自由度が絡み合うことでユニークな基底状態と特異な励起状態を持つ量子多体系が実現することがしばしばあります。このような量子多体系における新現象・新状態・新準粒子の探索や解明、量子制御技術へ展開する提案を求めます。また、新奇な量子物性現象の量子シミュレーションやその制御手法の高度化、新現象の発現が期待できる物質系の設計・合成・機能化に関する研究提案を歓迎します。さらに、量子多体系で発現する新現象・新状態の特性をセンシングや情報処理等の機能に転換し、新しい量子デバイスの創出を目指す研究も推奨します。

以下の研究例の一部は、世界でも既に取り組みが始まっているテーマでもあります。こ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づけを明確にした上で、「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の10年で世界にどのような新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、以下の例に当てはまらない、選考する側が驚くような斬新で挑戦的な手法・アイデアの提案が集まることを期待します。

ア 量子多体系の制御と機能化

- 新たな量子物性現象が期待できる新物質・新材料（トポロジカル絶縁体、量子スピン液体、量子液晶など）を設計・合成し、量子制御技術への応用を探索・実証
- 量子多体系におけるデコヒーレンスと散逸エンジニアリング
- 非平衡周期駆動によって実現される新しい量子制御技術（量子ポンプ、フロケ状態、時間結晶など）の開拓
- 量子位相が関わる非線形光学効果（シフトカレントなど）の機能開拓
- 将来的に実現可能な物理系を念頭においた量子アルゴリズム・量子インスパイア・量子機械学習など
- 量子エンタングルメントの観点から量子多体系を理解し制御する手法の開発

イ 新現象・新状態の量子デバイス・量子材料応用

- 量子物質中に発現する種々のトポロジカル構造や素励起（マヨラナ粒子、マグノン、フォノン、スキルミオン、メロンなど）を利用した新原理量子ビットや量子センサの提案と実証
- 量子ドット、超伝導回路、ダイヤモンド NV センタなどの固体量子ビット・量子センサ基盤の高度化とその応用
- 冷却原子系、イオントラップ、光回路等の高度化・小型化・チップ化およびそれらを利用した量子シミュレーションへの展開

(3) 選考の方針

本研究領域では、既存の研究の延長線上にあるものや従来の研究を単に組み合わせたり改良したりするだけの研究は対象としません。量子制御技術の観点からみた場合の自身の提案の価値はどこにあるのか、新しいイノベーションをもたらす可能性があるのか、そこから得られる革新的な機能や学理としての普遍性は何か、という点が徹底的に考え抜かれた、独創的で革新的なアイデアや概念の提示を期待します。提案書には、国際的な研究動向を明示し、従来の研究と比較しながら提案者自身の研究提案の優位性・独創性を明確にしてください。さらに、さきがけ期間内でどこまで研究を推進できるかを明確にし、将来の社会的課題への解決に資する応用への展望がされるような、新たな学術の源流を開拓する意欲的な研究提案を期待します。

これまで量子物性または量子情報のどちらかの分野だけで研究されてきた方からの挑戦

的な提案も歓迎します。量子物性分野の研究者が量子情報の観点から、あるいは、量子情報分野の研究者が量子物性の観点から、新しい発想で研究を展開することを大いに推奨します。そのため、研究提案時には計画の実現性を担保するための予備的な実験等は必要としません。ただし、着想段階に留まっている提案であっても、研究計画の実現性を論理的に示すことを強く求めます。

材料開発に関する研究提案については、従来型の物性探索にはとどまらない量子制御技術の実証につながる提案を期待します。

計測・制御・評価に関する研究提案については、量子状態を利用した新規手法の開発や高度化を通じて、新しい量子制御技術につながるような革新的提案を期待します。

理論・計算に関する研究提案については、既存の分野内で知見を一步二歩先に進めるような研究ではなく、質的に新しい要素を組み込んだ研究、新たな分野の開拓や分野横断的な成果へとつながる研究を期待します。また、当該研究提案がどのように将来的な量子制御技術の発展につながるかについての明確な説明を求めます。

3. 研究期間と研究費

研究期間は3年半以内、研究費は、総額4,000万円（間接経費を除く）を上限とします。

4. 領域運営の方針

本研究領域では、さきがけ研究者が短期的な成果に固執することなく、3年半腰を据えてじっくり独創的研究に取り組めるような環境を提供できるよう、研究総括・領域アドバイザーが一丸となってサポートします。さらに、関連するCREST、さきがけ研究領域等での異分野研究者との交流により、新たな研究の芽を発見し、それを育ていける雰囲気を作り、協奏的・分野横断的な研究交流を強く推奨します。研究を効率的に行うために、海外との共同研究や国内外の関連コミュニティとの連携を推進します。