



非連続な技術革新を目指す量子マテリアル研究

量子マテリアルの物性や応用を見据えた基礎研究を通じて、様々な社会課題の解決に貢献する研究開発を推進

趣旨

- 量子の主要技術領域の一つに分類される**量子マテリアル**は、量子技術を支える基盤技術である。近年広い分野に革新を起こすような新しい材料系や概念も現れてきており、新規機能を実現する次世代ICTシステムや革新的エネルギーデバイスなどをはじめとした様々な応用の期待が高まってきている。
- 本戦略目標は、**広く新奇な量子力学的機能の発現と制御にかかると量子マテリアルの材料・物性研究等を推進**するものである。

本戦略目標では量子マテリアルを



電子の運動やスピン等の量子状態を制御することで、量子機能が発現する物質・材料・構造

と定義する。

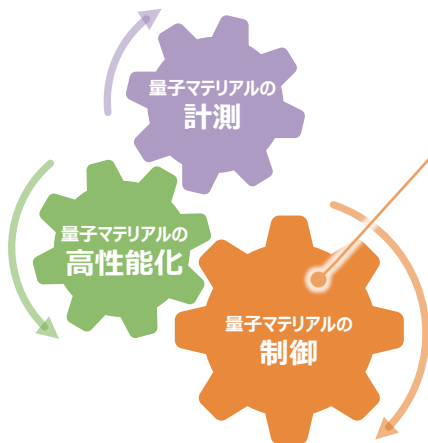
達成目標

量子マテリアル研究を通じて**広範な社会課題の解決につながるイノベーションへの貢献**に向け、以下の研究目標の達成を目指す。

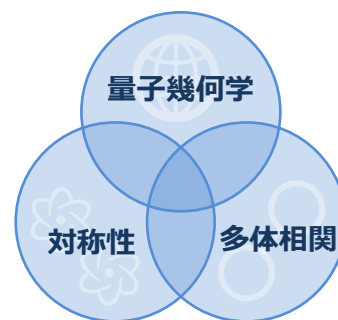
✓ 新奇な量子力学的機能を発現する量子状態の**制御**

✓ 量子機能を引き出すための材料開発、高性能量子デバイスにつながる**材料研究**

✓ 量子マテリアル研究を活性化する**計測・分析研究**



量子マテリアルの

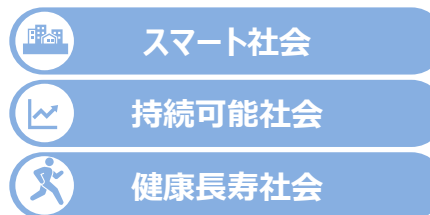


これらを制御して**量子機能を発現する**

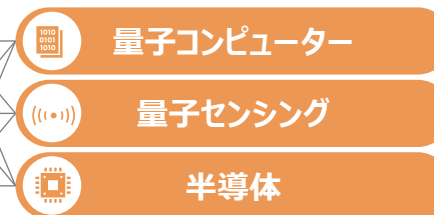
将来像

- **誤り耐性量子コンピュータや超高感度量子センシング、次世代半導体技術**などに活用が見込まれる量子マテリアル研究の進展が期待。
- 成果は、AI技術等の進展に伴うデータ処理の大規模化やエネルギー消費の急増等が問題となる中、**非連続な技術革新を巻き起こし、超スマート社会、持続可能社会、健康長寿社会の実現に貢献**し得ると期待。

将来の社会像



社会実装イメージ



令和7年度戦略目標

1. 目標名

非連続な技術革新を目指す量子マテリアル研究

2. 概要

AI 技術等の急速な進展に伴うデータ処理の大規模化やエネルギー消費の急増等が問題となる中、非連続な技術革新が求められており、量子技術はその一手として世界的に研究開発が激化している。量子コンピュータや量子計測・センシング、量子通信等の量子技術は様々な応用が期待されているが、それらを支える基盤技術として量子マテリアルの研究があり、特に新奇な量子力学的機能を発現・制御するための技術が求められる。近年では広い分野に革新を起こす可能性を秘めた新規の量子マテリアルやその概念も出始めている。そこで量子マテリアルの物性や応用を見据えた基礎研究を通じて、様々な社会課題の解決に貢献する研究開発を推進する。

3. 趣旨

現在、カーボンニュートラルに向けた社会の変化、DX（デジタルトランスフォーメーション）の急速な進展等と相まって、量子コンピュータに代表される量子技術の発展は、ここ数年の大きな技術潮流を生み出している。量子技術とは粒子と波の二重性、重ね合わせ、量子もつれといった量子特有の性質を積極的に操作・制御、利活用する技術とされる。我が国では、令和2年に策定された「量子技術イノベーション戦略」以来、量子の主要技術領域を大きく4つに分類している。量子コンピュータ・量子シミュレーション、量子通信・暗号、量子計測・センシング、そして、量子的振る舞いが発現する環境を創り出す量子マテリアルである。量子マテリアルは、量子技術を支える基盤技術として研究開発が推進されてきた。近年広い分野に革新を起こすような新しい材料系や概念も現れてきており、新規機能を実現する次世代 ICT システムや革新的エネルギーデバイス等をはじめとした様々な応用の期待が高まってきている。このような流れの中、量子マテリアルの研究開発を推進することで、従来の延長線上にない非連続な技術革新が期待される。

量子マテリアルは、電子の運動やスピン等の量子状態を制御することで量子力学的機能を発現するが、量子状態の維持や制御、特に量子力学に従う数多くの要素が相互作用する量子多体系の制御は未踏である。量子性の発現には、物質設計に基づく内因的量子性、外場によって発動する外因的量子性がある。また限られた時間や条件で存在し機能発現する量子系を計測する技術も重要である。さらには量子力学やそれから派生した概念を活用し既存にない機能を発現しえる物質・材料、構造も新しい物質観を拓く対象となる。

本戦略目標は、量子マテリアルを「電子の運動やスピン等の量子状態を制御することで、量子機能が発現する物質・材料・構造」と捉え、広く新奇な量子力学的機能の発現と制御にかかる材料・物性研究等を推進するものである。

4. 達成目標

本戦略目標では、量子マテリアル研究を通じて広範な社会課題の解決につながるイノベーションへの貢献に向け、以下の研究目標の達成を目指す。

(1) 量子マテリアルの量子状態発現・制御

新奇な量子力学的機能を発現するために、①対称性、②量子幾何学、③多体相関に起源を有する量子状態の制御を目指した研究を推進する。ただし、これらは本戦略目標策定時の課題設定例であり、研究進捗に伴って発見される新たな現象についても柔軟に取り入れる。

(2) 量子マテリアルの高性能化

現行の量子マテリアルを用いた量子機能をさらに高性能化するために、最適な環境を構築するための材料研究開発や、量子マテリアル特有の機能を活用した高性能な量子デバイス・半導体デバイスの実現に寄与する材料の研究を推進する。加えて、現行の量子マテリアルを用いた量子機能をさらに高性能化する。

(3) 量子マテリアルの計測・分析

量子マテリアル研究を活性化するために、時間、空間、温度等が制限された環境下で発現する量子現象をとらえる計測・分析技術の開発を推進する。

5. 見据えるべき将来の社会像

4.「達成目標」の実現を通じ、例えば誤り耐性量子コンピュータや超高感度量子センシング、次世代半導体技術等に活用が見込まれる革新的量子マテリアルの創出や基盤技術の進展が期待される。また高度な量子系の制御による新規量子マテリアルは、現在知られていない未知の物性、材料機能を発現する可能性を秘めている。これらの成果は、AI 技術等の進展に伴うデータ処理の大規模化やエネルギー消費の急増等が問題となる中、非連続な技術革新を巻き起こし、超スマート社会、自然と人が高度に共生する持続可能社会、健康長寿社会の実現に貢献し得ると期待される。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

量子技術は、将来の我が国及び世界の経済・社会に大きな変革をもたらす革新的技術として期待されており、経済安全保障上も重要な技術である。量子マテリアル分野にも

世界的に研究開発資金が投じられている状況。

（国内動向）

日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業（科研費）学術変革領域研究（A）「2.5次元物質科学」（令和3年度～令和7年度）、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）エネルギー・環境新技術先導研究プログラム「二次元材料の産業化に向けた革新的製造プロセスとデバイス作製基盤技術の開発」（令和3年度）において、二次元物質の物性研究や応用に向けた研究開発を実施。科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 CREST「トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出」（平成30年度～令和7年度）で、トポロジカルな性質を利用した革新的機能を有する材料・デバイスが創出。同事業「ナノ物質を用いた半導体デバイス構造の活用基盤技術」（令和5年度～令和12年度）で、ナノフォトニクスにもつながる数々の成果が創出。

（国外動向）

米国では、United States Department of Energy (DOE) 管轄のもと、Center for the Advancement of Topological Semimetals (CATS) が量子マテリアルに関する研究開発を牽引。トポロジカル材料のユニークな特性を活用、相関トポロジカル物質の発見、トポロジカル物質の応答制御・操作を3つのゴールに設定して、1,260万ドルの継続的資金を獲得して研究を実施。

欧州では、「Horizon Europe」の下で、令和3年から令和6年の期間に量子技術の177件以上のプロジェクトに資金を提供し、累計投資額は3億5,300万ユーロに達すると総計されている。量子マテリアルに関しては、反強磁性スピントロニクスの実現を目指した「Antiferromagnetic spintronics (ASPIN)」や新規トポロジカル物質・トポロジカル物性の開拓を目指す「Topological Materials: New Fermions, Realization of Single Crystals and their Physical Properties (TOPMAT)」がある。また、ドイツではスピнкаロリトロニクスに関する新規研究分野開拓を目指した「Spin Caloric Transport (SpinCAT)」、スキルミオンを含む実空間でのトポロジカルスピンソリトンを用いたデバイス開発等を行う「Topological Spin Phenomena in Real-Space for Applications (Skirmionics)」等が実施され多くの成果が創出。

中国では、北京量子信息科学研究院において5つの主要な研究分野の一つとして量子マテリアル・デバイスを位置づけ、トポロジカル半金属、強相関電子系、反強磁性スピントロニクス等、多岐に渡る研究が実施されている。精華大学では反強磁性スピントロニクスの研究を推進しており、National Science Foundation of China, Beijing Natural Science Foundation 等から公開されているだけでも総額70億円/年。

6-2. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年 7 月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

1. 我が国あるいは世界の基礎研究を始めとした研究動向について、科学計量学的手法を用いた論文分析や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の有する知見、科学技術・学術政策研究所（NISTEP）の各種調査結果、JST の有する過去の研究領域の評価結果や事業運営から得られた知見等を収集・蓄積し、研究動向を俯瞰した。
2. 上記情報収集の結果及び JST-CRDS 俯瞰ワークショップ報告書「量子マテリアル研究の最前線」（CRDS-FY2023-WR-05）、JST-CRDS 科学技術未来戦略ワークショップ報告書「量子マテリアル活用基盤技術の創出」（CRDS-FY2024-WR-06）や有識者インタビュー等を参考にして分析を進めた結果、量子産業や半導体産業の発展に資する量子マテリアル開発が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「革新的量子マテリアル開発研究」を特定した。
3. 令和 6 年 12 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「革新的量子マテリアル開発研究」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、量子マテリアルの定義や、取り組むべき研究領域や研究分野の活性化等について議論を行い、ワークショップにおける議論や有識者へのインタビュー等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」（令和 3 年 3 月 26 日閣議決定）

第 2 章 Society 5.0 の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

1. 国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革

(1) サイバー空間とフィジカル空間の融合による新たな価値の創出

(c) 具体的な取組

④ デジタル社会に対応した次世代インフラやデータ・AI 利活用技術の整備・研究開発

○ 国土全体に網の目のように張り巡らされた、省電力、高信頼、低遅延などの面でデータや AI の活用に適した次世代社会インフラを実現する。このため、5G/光ファイバの整備を進め、5G については、2023 年度末には 98%の地域をカバーし、光ファイバについては、2021 年度末には未整備世帯数が約 17 万世帯に減少すると見込まれる。さらに、宇宙システム（測位・通信・観測等）、地理空間（G 空間）情報、SINET、HPC（High-Performance Computing）

を含む次世代コンピューティング技術のソフト・ハード面での開発・整備、量子技術、半導体、ポスト 5G や Beyond 5G の研究開発に取り組む。

第 3 章 科学技術・イノベーション政策の推進体制の強化

2. 官民連携による分野別戦略の推進

③量子技術

量子技術は、我が国及び世界の社会、経済、産業、安全保障に大きな変革をもたらす可能性を秘めた革新的な技術である。近年、欧米や中国をはじめとする諸外国では、各国が巨額の投資と大型の研究開発に取り組むなど、将来の覇権をかけた国家間・企業間競争が激化しており、我が国においても量子技術の研究開発や社会実装に向けた戦略的な取組が求められている。

このため、第 6 期基本計画期間中は、「量子技術イノベーション戦略」に基づき、量子コンピュータ、量子計測・センシング、量子通信・暗号等をはじめとする主要技術に関する研究開発の抜本的強化、量子技術イノベーション拠点の形成、国際協力の促進、戦略的な知的財産マネジメントと国際標準化、優秀な人材の育成に加え、既存技術と組み合わせることによる短中期での実用化も含めた、量子技術の産業・社会での利活用の促進等、基礎基盤的な研究開発から社会実装に至る幅広い取組を、我が国の産学官の総力を結集して協力を推進する。

「量子技術イノベーション戦略」(令和 2 年 1 月 21 日統合イノベーション戦略推進会議決定)

IV. 量子技術イノベーション実現に向けた 5 つの戦略

1. 技術開発戦略 (1) 主要技術領域

・量子技術の基盤となる技術領域として、以下の 4 つを「主要技術領域」として設定する。

・量子コンピュータ・量子シミュレーション

・量子計測・センシング

・量子通信・暗号

・量子マテリアル (量子物性・材料)

・量子技術は、今後の飛躍的な発展が見込まれる一方、未だ基礎研究段階にある技術領域が多く、我が国の技術・人材等の厚みを増す観点からも、幅広い領域を対象として中長期的視野に立ったサイエンスベース (基礎研究段階) での研究開発等を着実に推進していくことが極めて重要である。

7. その他

量子マテリアル分野は、現在進行形で新しい現象、物性、概念等がうち出されており、多様な人材により挑戦的な研究を進めることが重要である。そのため広く若手研究者が挑戦的・独創的な研究を推進できる領域となることが望ましい。また量子マテリアル研究の推進には、国際的な連携や異分野連携は必須の要素であり、学会等にてシンポジウム講演や特別セッション等を設定することで潜在的な応募者への宣伝や連携の促進等を行うことを期待する。

また、本戦略目標の実現においては、上記 6.（国内動向）に示した量子マテリアル関係の戦略目標に加えて、令和 4 年度戦略目標「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」等、現行の戦略目標で実施している研究と密接に連携・情報共有することにより、新たな研究進展や成果創出の加速を促すことが望まれる。