

研究領域「トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出」中間評価（課題評価）結果

1. 研究領域の概要

本研究領域は、将来の超スマート社会実現に資するため、連続変形に対する不変性に着目した新たな物質観であるトポロジーに着目し、新規な物理現象の発現の解明、新規機能・新原理・新規構造に基づいた材料・デバイスの創出に資する研究開発を基礎基盤的アプローチから推進することにより、既存の技術では実現できない革新的機能を有する材料・デバイスの創出を目的とします。

具体的な研究分野としては、電子状態のトポロジーに関する物性物理学を中心に置き、フォトニクスやスピントロニクス分野、さらに新規機能を実現するデバイス工学への展開を対象とします。一方、実空間のトポロジーにおいても位相欠陥等のトポロジカルな性質を利用したスピン流の制御に加え、分子の幾何学的性質や絡み合いを制御するソフトマターも対象とします。

これらの研究分野が複合的に連携することで、結晶成長技術、構造や物性の解明と制御のための計測・解析・加工プロセス技術、部素材・デバイス設計技術等の技術基盤の創出やこれらに関する基礎学理の構築も行いつつ、革新的機能を有する材料・デバイスの創出に取り組みます。

2. 中間評価の概要

2-1. 評価の目的、方法、評価項目及び基準

戦略的創造研究推進事業・CRESTにおける中間評価の目的、方法、評価項目及び基準に沿って実施した。

2-2. 評価対象研究代表者及び研究課題

2020年度採択研究課題

- (1) 于 秀珍（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）
Beyond Skyrmionを目指す新しいトポロジカル磁性科学の創出
- (2) 江澤 雅彦（東京大学大学院工学系研究科 講師）
電気回路によるトポロジカル量子計算方法の創生
- (3) 越野 幹人（大阪大学大学院理学研究科 教授）
トポロジカル超精密原子層物質の創成
- (4) 山本 洋平（筑波大学数理物質系 教授）
自己組織化トポロジカル有機マイクロ共振器の開発

2-3. 中間評価会の実施時期

2023年12月19日（火曜日）

2-4. 評価者

研究総括

上田 正仁 東京大学大学院理学系研究科 教授

領域アドバイザー

安藤 陽一 ケルン大学物理学科 教授

伊藤 耕三 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授

尾松 孝茂 千葉大学大学院工学研究院 教授

川崎 雅司 東京大学大学院工学系研究科 教授

小磯 深幸	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 名誉教授
富永 淳二	産業技術総合研究所デバイス技術研究部門 名誉研究員
中村 志保	元 キオクシア（株）メモリ技術研究所 参事
前野 悦輝	（公財）豊田理化学研究所 フェロー
萬 伸一	理化学研究所量子コンピュータ研究センター 副センター長
外部評価者	
該当なし	

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： Beyond Skyrmion を目指す新しいトポロジカル磁性科学の創出
2. 研究代表者： 于 秀珍（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）
3. 中間評価結果

室温を含む広い温度範囲でアンチスキルミオンが現れる新しいトポロジカル磁性体の発見や、ナノスケール3次元磁気テクスチャの顕微観察の成功など、計画通りの順調な進捗が見られる。加えてモノポールダイナミクスの観測など当初計画を超えた研究進展も見られる。特に開発に成功した3次元ローレンツ電子顕微鏡トモグラフィ法により、バイメロンやホプフィオンといった新奇な3次元トポロジカル磁気テクスチャをナノメートルスケールの高解像度で可視化するという優れた研究成果が生まれている。さらにスキルミオン結晶を用いたリザーバー情報処理素子の理論検証も進めており、今後の科学技術イノベーションに貢献することが大いに期待される。著名な学術誌に多数の論文を掲載し得られた成果を着実に発信しており、この分野の進展に十分な貢献が期待できる。また若手研究者の育成にも力を入れている点は評価できる。

今後は理論グループと実験グループがより密に連携し、新規トポロジカル磁気テクスチャおよびデバイスの創成を実現すること、さらには得られた成果の権利化にも力を入れることを期待する。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 電気回路によるトポロジカル量子計算方法の創生

2. 研究代表者： 江澤 雅彦（東京大学大学院工学系研究科 講師）

3. 中間評価結果

「古典的な電気回路を用いて量子計算を実現する」という大きな課題設定に対して、理論グループの提案する独創的かつ優れたアイデアを実験グループが回路として実現しつつあり、各グループが目標に向かって着実に成果を積み上げている。特に微小電気機械システム（MEMS）による量子アニーリング計算の実現、マヨラナ状態を示すピークの観測など優れた研究成果も生まれている。多体マヨラナ演算子によるユニバーサルトポロジカル量子アルゴリズムの理論的構築やカーボンナノチューブによる量子計算法の提案など、理論グループのアイデアが出続けていること、また領域内外のグループとも連携し幅広い活動を行なっていることから、科学技術イノベーションに繋がる大きな成果も期待される。一方で最終目標達成に向け、チーム内の連携は一考の余地がある。トポロジカル量子計算の実証に向けたマヨラナ状態のブレイディング実証やデジタルシミュレータの開発については、今後の見通し次第で研究計画の検討が必要と思われる。

今後は理論グループと実験グループがより密に連携し、電気回路でのトポロジをさらに探求すること、さらには得られた成果の権利化にも力を入れることを期待する。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： トポロジカル超精密原子層物質の創成
2. 研究代表者： 越野 幹人（大阪大学大学院理学研究科 教授）
3. 中間評価結果

理論グループと2つの実験グループが実に良く協同し、多孔性金属錯体（MOF）を鋳型として最細のグラフェンナノリボン（GNR）であるポリアセンの合成に成功し、ベンゼン環連結の最長記録を大幅に更新するなど、計画通りの順調な進捗が見られる。この成果は物性科学にブレークスルーをもたらす素晴らしい研究成果である。また、気相成長によるMOFエピタキシャル薄膜作製技術にも成功しており、先述の成果と組み合わせることでGNRを用いたデバイスが実現すれば科学技術イノベーションに大きく貢献することが期待される。またツイスト三層グラフェンにおけるマルチスケールドメインを予想するなど当初計画を超えた研究進展も見られる。モアレ構造上のグラフェンリボンを配置するアイデアは新たなキラル物質として非常に興味深く、理論面で画期的な成果が期待できる。著名な学術誌に多数の論文を掲載し得られた成果を着実に発信しており、この分野の進展に十分な貢献が期待できる。

今後は理論グループと実験グループの連携を維持し、デバイスの創成を実現すること、さらには得られた成果の権利化にも力を入れることを期待する。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 自己組織化トポロジカル有機マイクロ共振器の開発
2. 研究代表者： 山本 洋平（筑波大学数理物質系 教授）
3. 中間評価結果

ねじれ双極子微小球をはじめとする新しいトポロジを有する有機ナノ材料の合成に成功するなど、計画通りの順調な進捗が見られる。加えてトポロジカル構造体からの円偏光発光発現など当初計画を超えた研究進展も見られる。特にお椀型多面体マイクロ単結晶の均一かつ精密な成長制御に関する成果など、著名な学術誌に多数の論文を掲載し得られた成果を着実に発信しており、この分野の進展に十分な貢献が期待できる。またマイクロ球体化技術や、マイクロ液滴のレーザー実現とセンシングへの応用など、研究から得られた結果について特許出願するだけでなく、事業展開も開始しており、科学技術イノベーション・新産業へ結びつけようとする意欲も感じられる。さらには定期的に領域内合同セミナーを開催するなど領域内連携や若手研究者育成が積極的に進められている。

今後は各グループがより密に連携し、自己組織化トポロジカル有機マイクロ共振器の開発に向け、個々の成果を統合させた一層優れた成果の創出を期待する。