

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

2019年度採択研究課題

- (1) 岩本 敏（東京大学先端科学技術研究センター 教授）
トポロジカル集積光デバイスの創成
- (2) 河東 泰之（東京大学大学院数理科学研究科 教授）
物質のトポロジカル相の理論的探究
- (3) 島野 亮（東京大学低温科学研究センター 教授）
トポロジカル非線形光学の新展開
- (4) 出口 哲生（お茶の水女子大学基幹研究院 教授）
高分子弾性のホモロジ的トポロジー理論の構築と環状混合デバイス
- (5) 松田 祐司（京都大学大学院理学研究科 教授）
量子スピン液体におけるトポロジカル準粒子の解明と直接検出

2-3. 中間評価会の実施時期

2022年11月26日（土曜日）

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 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 首席研究員
中村 志保	キオクシア（株）メモリ技術研究所 参事
前野 悦輝	京都大学大学院理学研究科 教授
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： トポロジカル集積光デバイスの創成
2. 研究代表者： 岩本 敏（東京大学先端科学技術研究センター 教授）
3. 中間評価結果

トポロジカルスローライト導波路の実現、シリコンフォトニクス技術を用いた光スキルミオンビームの生成、人工次元フォトニクス現象の観測など、中間時点での目標をすべて前倒しで達成している。また、高速光変調技術や磁気光学効果増強技術の開発など、チーム内の連携も非常に円滑に行われている。フォトニック結晶構造を変調してトポロジカル構造を導入することで生まれた新奇集積光デバイスは、トポロジカルフォトニクスと呼ぶべき新たな学術・技術分野の創出に大きく貢献している。最終目標であるスキルミオンレーザーが実現すれば大きなインパクトが期待できる。

また、フォトニクスのトップジャーナルに数多くの論文が出ており、国際的にも高い水準の研究成果となっている。これらの成果が学生の受賞にも繋がっており、若手育成の観点からも高く評価できる。特許出願の状況も十分である。基礎と応用の両面から、本領域およびイノベーション創出へのさらなる貢献を期待する。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 物質のトポロジカル相の理論的探究
2. 研究代表者： 河東 泰之（東京大学大学院数理科学研究科 教授）
3. 中間評価結果

「最先端の数学と理論物理の協働で物質のトポロジカル相を理論的に研究し、新たな材料・デバイスの開発の理論的基礎を築くことを目的とする」という大きな課題設定に対して、各グループが連携しつつ個々の研究を推進し、計画に沿って進展している。トポロジカル現象である非エルミート表皮効果等の新奇物理現象の発見など物性物理への貢献は大きく、物性研究の学術誌にも研究成果を報告している点が高く評価できる。量子スピン系における SPT 相の群コホモロジーによる分類についての予想を解決したことは、研究参加者である緒方氏の Henri Poincare 賞の受賞にもつながった極めて大きな成果である。

また、オンラインセミナーやチュートリアル・ワークショップを定期的を開催するなど、若手育成および若手間ネットワーク形成の活動を積極的に進めており、チームならではの斬新な研究活動を積極的に進めている。女性研究者の活躍も目覚ましく、ダイバーシティ的な観点でも高く評価できる。数学と物理のさらなる融合を期待するだけでなく、対象となる物理分野を他に広げることで、他チームとの領域内連携も大いに期待する。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： トポロジカル非線形光学の新展開
2. 研究代表者： 島野 亮（東京大学低温科学研究センター 教授）
3. 中間評価結果

半金属を対象に円偏光照射によるフロッケ状態の実現に成功するなど、計画通りの順調な進捗が見られる。中間目標を達成しているだけでなく想定外の成果も生まれている。フロッケ・カイラル磁場・電場効果、3D ディラック半導体、磁気ワイル半導体への偏光照射効果などから、円偏光誘起カイラルゲージ場の実証が進展している。このように、トポロジカル物質の光学的な特性や制御の可能性を理論から実験まで統一的に研究しており、国際的な連携も積極的であるため、この分野の進展に十分な貢献が期待できる。さらに著名な学術誌に 44 編の論文を掲載し成果を発信するだけでなく、テラヘルツ波発振器、テラヘルツ波発生法など研究から得られた結果について特許出願をしており、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。

また、チーム内連携および領域内連携が積極的に進められている。国際会議の運営など国際的連携も十分に進められている。このような連携活動からシナジー効果が生まれつつある。今後は、当初計画に従って順調に成果が積み上がることを期待する。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 高分子弾性のホモロジー的トポロジー理論の構築と環状混合デバイス
2. 研究代表者： 出口 哲生（お茶の水女子大学基幹研究院 教授）
3. 中間評価結果

環状混合ソフトマテリアルの分子動力学におけるトポロジカル現象の研究や、空間的構造を持つファントムネットワークの弾性率の厳密解析など、ホモロジー的トポロジーという数学理論に基づく研究は計画通りに進行している。「架橋鎖の理想気体」とは異なるスケーリング則を導出し、旧来の教科書の記述に変革を迫る成果にはインパクトを感じる。このようにオリジナリティーが高く、環状鎖混合シリコーンゴムの強靱化やデバイス化に向けた環状高分子の大量合成など、実証的な研究でも注目すべき成果が出始めている。分子シミュレーションから基礎的実証実験まで扱う研究は方向性が定まっており、今後十分な成果が見込まれる。本課題の中心テーマであるトポロジカル高分子は新しいタイプの材料であり、今後の応用がイノベーション創出に繋がることを期待したい。

理論グループと実験グループとの連携もよく取れており、社会実装に向けた産業界との連携も取られつつある。今後も実験グループとの密接な連携を取りつつ、領域内連携によるシナジー効果の追求を期待する。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 量子スピン液体におけるトポロジカル準粒子の解明と直接検出
2. 研究代表者： 松田 祐司（京都大学大学院理学研究科 教授）
3. 中間評価結果

キタエフ・量子スピン液体物質における半整数熱量子ホール効果の観測の成功や、STM 測定に供する原子層薄膜形成の成功など、計画通りの成果を挙げ中間目標はほぼ達成したと判断できる。また高磁場において、自発的対称の破れによるネマティック状態を発見するなど予想外の結果も得られており、基礎研究からイノベーションにつながる多様な領域で国内外から注目される研究成果が出ていることは高く評価できる。特にキタエフ量子スピン液体の観測は固体物理におけるインパクトの大変高い研究であり、本チームの実験の確立により基礎科学研究が大きく進展するものと期待される。世界的な競争が激しい分野において優れた成果を発表しており、トップジャーナルに多数の業績を発表しているだけでなく、招待講演の数も非常に多いことも当研究チームの研究成果が世界的に注目されている証であると判断できる。当該研究テーマの目的は基礎学理の構築にあって、長期的な観点で新産業が期待できるため、意欲的な特許出願も期待したい。

今後は理論グループと実験グループの共同研究をより積極的に行い、計画をより発展させることで、さらなる成果を期待する。