

○戦略目標「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」の下の研究領域

## 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

研究総括：上田 正仁（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、新規な機能発現に関する現象の解明、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。

### 募集・選考・領域運営にあたっての研究総括の方針

#### 1. 背景

Society5.0 が目指す超スマート社会では、高度な自動運転制御や画像処理技術が求められており、情報通信（ICT）分野や人工知能（AI）における高度な情報処理技術や高性能センサ技術への要求はとどまるところがありません。一方、従来のシリコンCMOS技術による性能向上は「Mooreの法則」の終焉が意識されつつあるなど、限界に近づきつつあります。

本領域ではこの限界を打破するため、トポロジカル材料に着目し、新たな機能を有する革新的デバイスを創出することで、新たな価値の創造や新たな市場の創出等に繋げる道筋を示していくことを目的とします。

## 2. 想定する研究分野

### (1) トポロジカル材料の理論体系構築

新たなトポロジカル相の探索とその理論の構築、マヨラナ粒子など物質中の準粒子の発見、さらにフォトンクス材料やソフトマターへの展開も対象とします。加えて材料物性の基盤となるバンド理論、第一原理計算、分子動力学など、量子力学や相対性理論とトポロジカルな概念を融合した新たな量子物性理論の確立や、統一的な数学理論による分野融合・横断的な材料科学の構築も対象とします。

### (2) トポロジカル材料の設計、創製、計測・評価技術の創出

計測では原子レベルの分解能を有する新規分析技術・評価技術が、加工技術では原子層レベルの結晶成長、ヘテロ構造積層、原子レベル界面制御、ナノ加工・接合技術などが対象となります。トポロジカル材料の探索・創製を目的とした機械学習などのマテリアルズインフォマティクスの活用も奨励します。

### (3) トポロジカル材料を応用した革新的デバイスの創出

トポロジカル絶縁体を用いた超低消費電力電子デバイス、トポロジカル超伝導体のマヨラナ粒子を用いた量子コンピューティング法の開発と設計など、トポロジカル量子材料に基づく新規量子電子デバイスの創製が想定されます。またスキルミオンを用いた超高密度データ記録デバイスや医療用超高感度磁気センサなどトポロジカル磁性材料に基づく新規磁気デバイスの創製も対象です。加えてトポロジカル光学構造による単一方向伝搬光導波路、光遅延技術を用いた光メモリデバイス、低損失高速通信技術など、トポロジカル光学材料に基づく新規光学デバイスの創製、トポロジカル高分子材料による超弾性素材や新規ソフトマターなどの創製も対象とします。

重要なのは(1)の理論体系構築と、(2)の材料探索、加工・計測技術を有機的に繋ぎ(3)の革新的デバイス創出において、従来技術では実現できないどのような機能を狙い社会的課題に貢献するののかについて、明確な記述をお願いいたします。従来の研究の単純な延長ではない、分野横断的で革新的なアイデアを高く評価します。

## 3. 選考方針

### (1) 基本方針

本研究領域では、確固たるサイエンスに基づいた原理探求や指導原理の確立を基軸として、提案された新技術のシーズによりどのような革新的デバイスの創出を目指すのかを意識した研究を推進していただきたいと考えています。この点からも、「なぜ、このトポロジカル材料でなければならないのか」というこだわりをエビデンスベース

で明確に示してください。そのエビデンスに基づく新たな切り口やアイデアの提案を幅広く歓迎します。

こうした基本的な考えを共有しつつ、研究開始当初は必ずしも十分なデバイスイメージが明確化されなくても、研究開始から3年後程度には目指すべきデバイスがある程度設定できて、そのために必要な最低限の条件はクリアできていることを目標とします。

## (2) 成果イメージ

具体的なデバイスが見え始めたときに、ターゲットアプリケーションを満たすために不足している他の技術が見え始め、分野横断の連携が必要になる可能性もあります。背景にも述べましたように超スマート社会では高性能な計算機能力や低消費電力動作が求められています。加えて新たな機能を実現する革新的デバイスにも大きな期待が寄せられています。シリコン CMOS 技術では実現できないどのような機能を活用する事でエネルギー問題や超スマート社会に資するのか、明確に提案ください。

採択に当たってはベンチマークの記載も重要視します。想定するデバイスについて、その想定達成時期に既存のデバイスや他の手法に比べて優れていると予想される点や、提案する研究チームが既に達成している学術的成果などから世界的な標準に照らし合わせて十分に優位に立って研究を遂行できると思われる点などを、現時点で可能な限り客観的に記載頂きますようお願いいたします。

## (3) 研究実施に係る体制や規模について

本研究領域へご提案いただくにあたっては、研究提案者自身の構想の実現に向けて、それを補完できる最適な研究チームを編成してください。チームに参加するメンバーの共同研究が生み出す CREST ならではの独創的な研究提案を高く評価します。材料探索に当たってはマテリアルズインフォマティクスチームの参画を歓迎しますが、必須ではありません。単独グループによるチーム編成であっても、目的に沿うものであれば問題ありません。

「トポロジカル材料」に関する研究は、まだ歴史が浅いにもかかわらず、ここ数年で世界的な研究競争が急激に活発化しています。その意味においても、提案される研究構想の斬新さや実現性はもちろんのこと、関連する分野を今後国際的かつ中長期的に先導できる研究人材が、本研究領域を自らの活躍の場とすることを望んでいます。この意味でも 21 世紀の科学技術を切り拓こうという意欲ある提案を期待します。

研究の推進にあたっては、研究チームとしての取組をもちろん重視しつつも、他との連携を十分に図っていただきたいと考えています。その一環として、特に高額な製造加工装置などは、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)の利用や関連研究室との共同研究が可能と思われる

ます。研究領域としても、これらの関連機関や団体との連携・協働を促進したいと考えています。当然のことながら、計上された予算項目およびその金額の合理性は採択における重要なポイントとなります。

#### **4. 領域運営方針**

本領域では平成 26 年度発足の CREST「二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出」、平成 28 年度発足の 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」およびさがけ「量子の状態制御と機能化」との連携も図っていきます。これらの取組を通じて、より効率的かつ効果的な領域運営を行い、より多くの興味深くかつ意義深い研究構想が、本研究領域で取り組まれるようにしたいと考えています。

一方、国際化も重要であり、海外との共同研究を奨励すると同時に国際ワークショップ開催など国内外の関連コミュニティとの連携を推進します。

#### **5. 留意事項**

研究期間は 5 年半以内とします。

研究費総額は 1 課題あたり 3 億 5 千万円を上限として提案を募集します。