

【新学術領域研究（研究領域提案型）】

理工系



研究領域名 トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア

京都大学・大学院理学研究科・教授 かわかみ のりお
川上 則雄

研究課題番号：15H05851 研究者番号：10169683

【本領域の目的】

本領域は、物質に内在するトポロジーを基軸として、電子間の相互作用、結晶のもつ対称性、さらには半導体ナノ構造に由来する新奇物性の開拓を行うとともに、トポロジカル量子現象に特有の準粒子を探索・実証し、その背後に横たわる量子凝縮相の物理を解明することを目的としています。

近年、トポロジカル量子現象の研究が世界的潮流になってきましたが、物質科学の基盤概念として真に根付くには、未開拓の部分が多く残されています。特に、

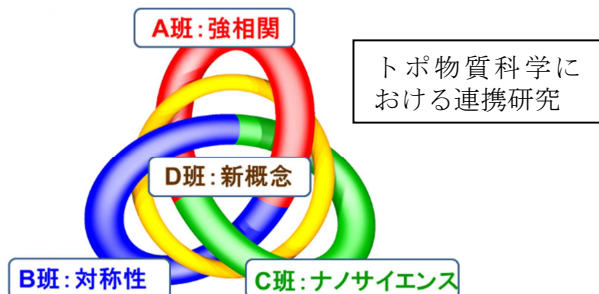
- (1) 現実の物質に多様性と機能性を与える**電子間相互作用**の効果の解明
- (2) 結晶構造の**対称性**に基づくトポロジカル物質の開拓
- (3) **ナノサイエンス**を駆使したヘテロ構造などによるトポロジカル相の人工制御

が、新たな物質開発だけでなく学理構築の鍵となります。これらの研究を総合的に推進することで、分野横断型の研究領域を開拓します。

【本領域の内容】

本領域の研究組織は4班から構成されています。

- A班「トポロジーと強相関」
- B班「トポロジーと対称性」
- C班「トポロジーとナノサイエンス」
- D班「トポロジーと新概念」



このうち A-C 班は物質に即した研究班であり、互いに協力関係を保ちながら、強相関トポロジカル系、半導体トポロジカル系、ナノ構造での人工トポロジカル系などの研究を推進します。これらの連携をさらに強固にする横糸の役割を担うのが理論の D 班で、トポロジカル量子現象に関する普遍概念の構築を目標とします。また、A-C 班にも

実験に即した理論研究者を配置し、実験と理論のより密接な連携を図ります。

研究対象は、トポロジカル絶縁体やトポロジカル超伝導体などの典型物質のみならず、量子スピン系や冷却原子系でのトポロジカル相など、広い意味でのトポロジカル量子相を含みます。

領域運営で特に重視しているのが若手育成と国際連携です。このため、「若手励起プログラム」を導入し国際的に活躍できる人材を抜擢し育成します。また、「アライアンスワークショップ」などの国際会議を通して、国際的な連携・共同研究を強力に推進します。

【期待される成果と意義】

本領域の特色は、物性物理の舞台に芽生えてきたトポロジカル量子現象の諸概念を統合することで、個々のトポロジカル量子現象を昇華し、新しい学術としての物質科学の研究舞台を作り上げることです。

期待される成果の具体的な例としては、

1. トポロジカル量子相転移の確立
2. トポロジカル絶縁体・超伝導の統合的理解
3. トポロジカル半金属の実現
4. マヨラナ準粒子の検証

などです。

これらの総合的研究を通して、これまで個々の専門分野ではカバーされていなかった課題を克服し、異分野間の連携を進めることができます。本領域を推進することは、これらの分野にトポロジカル量子現象の基本概念を確立するだけでなく、トポロジーの概念が意識され始めている広い学術分野への波及効果ももたらすと期待できます。

【キーワード】

トポロジー、物質科学、強相関、対称性、ナノサイエンス

【研究期間と研究経費】

平成 27 年度－31 年度
1,003,600 千円



Title of Project : Frontiers of materials science spun from topology

Norio Kawakami
(Kyoto University, Graduate School of Science, Professor)

Research Project Number : 15H05851 Researcher Number : 10169683

【Purpose of the Research Project】

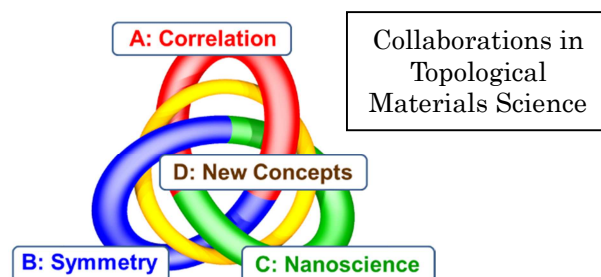
Focusing on topological nature of materials, we aim to develop novel quantum phenomena driven by interaction, symmetry of crystals and nanostructure of semiconductors, and explore exotic quasiparticles inherent in the topological quantum phenomena, thereby elucidating the underlying physics behind them.

Recent years have seen a tremendous growth of interest in topological quantum phenomena. However, quite a few issues still remain unexplored. In particular, (1) clarifying effects of **interactions** between electrons which would lead to diversity and functionality of materials, (2) exploring topological materials based on **symmetry** of crystals, and (3) systematic control of **artificial topological phases** in **nanostructured** systems, are indispensable for developing novel materials and establishing the fundamental concepts. This project systematically studies these issues at the frontiers of materials science.

【Content of the Research Project】

This project consists of four subprojects:

- A: Topology and Correlation
- B: Topology and Symmetry
- C: Topology and Nanoscience
- D: Topology and New Concepts



The subprojects A-C are closely related to real materials, and investigate strongly correlated systems, semiconductor systems and nanostructured systems. The subproject D consisting of a theory group aims to develop new concepts and stimulates collaborations among A-C. We also have some theorists in A-C, who will do research in intimate collaboration with experimentalists.

Physical systems studied in this project are not restricted to ordinary topological insulators

and superconductors, but widely include quantum systems, cold atomic systems, etc. where topological phases emerge.

In this project, we put particular emphasis on nurturing young researchers and promoting international collaborations: we introduce a special program to stimulate young researchers and international “alliance workshops”.

【Expected Research Achievements and Scientific Significance】

A significant feature of this project is our ambition to unify the basic concepts on topological phenomena found in different fields of condensed matter physics, and to provide a new versatile platform in materials science which can treat a variety of topological phenomena in the same framework.

Some concrete examples of the achievements we expect are:

1. Establishing topological phase transitions
2. Comprehensive understanding of topological insulators and superconductors
3. Realizing topological semimetals
4. Evidencing Majorana quasiparticles

By performing this project systematically, we will be able to solve the problems which have not been addressed in the preceding studies in each field, and stimulate the collaborations among different fields. This project will not only establish the basic notions of topological phenomena in condensed matter, but will also stimulate other research fields where the notion of topology will certainly become important in the near future.

【Key Words】

Topology, Materials science, Strong correlation, Symmetry, Nanoscience

【Term of Project】 FY2015-2019

【Budget Allocation】 1,003,600 Thousand Yen