

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	トポロジカル結晶絶縁体における、2次のバルク・境界対応
Title(English)	Second-order bulk-boundary correspondence in topological crystalline insulators
著者(和文)	高橋亮
Author(English)	Ryo Takahashi
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11876号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村上 修一,齋藤 晋,西田 祐介,石塚 大晃,打田 正輝
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11876号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	高橋 亮	
		氏名	職名		
論文審査 審査員	主査	村上 修一	教授	審査員	石塚 大晃
		斎藤 晋	教授		
	審査員	西田 祐介	准教授		
		打田 正輝	准教授		

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Second-order bulk-boundary correspondence in topological crystalline insulators (トポロジカル結晶絶縁体における2次のバルク・境界対応)」と題し、2次トポロジカル絶縁体と呼ばれる系でのバルク境界対応を一般的に証明する手法を理論的に構築したもので、5章と付録よりなる。

第1章「Introduction」ではトポロジカル絶縁体および高次トポロジカル絶縁体の物理について概観している。量子ホール系やトポロジカル絶縁体でのバルクエッジ対応について解説した後、高次トポロジカル相に関して最近の進展について概観している。最後に本論文の全体を概観している。

第2章「Topological phases and bulk-boundary correspondences」では、量子ホール系・トポロジカル絶縁体など代表的なトポロジカル相の性質について紹介した後、高次トポロジカル絶縁体について解説を行っている。さらにその後、トポロジカル半金属相、電気分極、バルクエッジ対応など本論文の背景となる概念について解説している。

第3章「Bulk-boundary correspondence in inversion-symmetric systems」では、空間反転対称性に守られた3次元の2次トポロジカル絶縁体(アクシオン絶縁体)について、バルク境界対応の一般論を構築している。まず先行研究におけるバルク境界対応の証明を紹介し、それが限定された系にしか適用できないことを示している。その後、一般の系でバルク境界対応を示すために cutting procedure と呼ばれる手法を導入し、この手法では、境界条件の変化に対応するスペクトラルフローを考えることで、バルクでのバンド構造のパリティ固有値と開放境界条件での系の状態との関連付けを行うことを述べている。これを1次元、2次元、3次元の場合について述べ、3次元の2次トポロジカル絶縁体を2次元のスラブ状にすると、必ずチャーン数が奇数であるチャーン絶縁体となることを一般的に示し、その結果トポロジカルヒンジ状態が現れることを説明しており、これによりバルク境界対応が一般的に示されていることを述べている。さらにモデル計算によりこの結果を実証している。ここまではクラス A と呼ばれる、時間反転対称性のない系の話であったが、さらにこれをクラス AII と呼ばれる、時間反転対称性のあるスピン軌道相互作用系に拡張して、同様の一般的な結論を得ている。

第4章「General corner charge formula in two-dimensional  $C_n$ -symmetric higher-order topological insulators」では、 $n$ 回回転( $C_n$ )対称性のある絶縁体で、filling anomaly の帰結として、結晶の角に束縛された電荷(コーナー電荷)が分数値に量子化される場合の一般論を構築している。まず先行研究では対象とする系が限定されていることを述べ、これを拡張するために、コーナー電荷の定式化を一般の系に対して行っている。この定式化では系のエッジが電荷中性である必要があるが、先行研究と異なり必ずしも電気分極ゼロでなくてもよいことを述べている。さらに電気分極がゼロでない場合には、結晶全体の中心の Wyckoff 位置に依存して、コーナー電荷の値が変化することを述べている。さらにクラス A, AI, AII に関して、バルクのバンド構造の回転固有値を用いてコーナー電荷の式を書き直し、モデルを用いた数値計算で実証している。また表面再構成のある場合や、高次のミラー指数の表面に対してもこの結果が適用できることを説明している。

第5章「Summary and outlook」では、論文の全体を概観し今後の展望について述べている。特に表面状態などの境界での束縛状態は通常、境界の詳細によると考えられていたが、本論文の結果により、高次トポロジカル絶縁体でのコーナー状態は境界の詳細によらない性質を示し、物性物理学に新たな境地を切り開いていくことを述べており、本分野の今後の展望を述べている。

付録 A 「Supplementary calculation on the bulk-boundary correspondence in inversion-symmetric insulators」では、第3章で導入した cutting procedure に関する計算の詳細を示している。

以上をまとめると本論文では、高次トポロジカル絶縁体の代表例である、3次元アクシオン絶縁体および  $C_n$  対称な2次元高次トポロジカル絶縁体において、そのバルク境界対応を一般的に示している。

先行研究では限定された系でのみ示されていたバルク境界対応を、新たな手法の導入により一般の系へと拡張できたことで、現実の物質でこうした物理を観測するための道を拓いており、今後の実験での観測への波及効果が大きい。このように高次トポロジカル絶縁体の中心的性質であるバルク境界対応の一般論構築を行った本論文は、理学の発展に大いに資するものと判定され、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。