

別紙 1-1

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 山崎 勇樹

論 文 題 目

結晶対称性に保護されたマヨラナ準粒子の
電気応答とスピン流の理論

論文審査担当者

主 査	名古屋大学 大学院理学研究科	教授 理学博士	河野 浩
委 員	名古屋大学 大学院理学研究科	教授 博士(工学)	谷山 智康
委 員	名古屋大学 大学院工学研究科	教授 理学博士	田仲 由喜夫
委 員	名古屋大学 大学院理学研究科	准教授 博士(理学)	小林 義明

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

結晶中の電子の波動関数の幾何学的性質（トポロジー）で特徴づけられるトポロジカル物質は、表面に局在した量子力学的状態（素励起）をもち、基礎物理学から応用まで幅広い興味で研究されている。その一種であるトポロジカル超伝導体は、通常の超伝導体とは異なり、表面に電荷中性でギャップレスの素励起をもつ。この素励起はマヨラナ準粒子と呼ばれ、安定な量子計算への応用の提案もされている。

トポロジカル超伝導体表面におけるマヨラナ準粒子の実験的観測については多くの議論があり、未だ確たる証拠は得られていない。真空中のマヨラナ粒子は電荷中性のため外部電磁場により検出・制御することは困難である。一方で、物質中に現れるマヨラナ準粒子は、結晶の対称性という離散的な低い対称性による制約しか受けないため、真空中では不可能であった電磁応答が可能となる。マヨラナ準粒子が外場に対してどのように応答するかは理論的に解明すべき課題である。

この問題に関して、先行研究では、時間反転対称なトポロジカル超伝導体においては表面マヨラナ準粒子が時間反転対称性のため縮退してクラマース対をなすことに着目して、2対のマヨラナクラマース対が、超伝導および結晶の対称性に依りて、時間反転対称な外場（電氣的な外場とよぶ）への応答が可能であることが示されていた。しかし、これらの対称性と電氣的応答との具体的な関係は明らかでなく、系統的な理解は得られていなかった。

申請者は、マヨラナ準粒子の電氣的な外場に対する応答を、群の既約表現の観点から理論的に解析した。2対のマヨラナクラマース対が示す電氣的応答を全ての文様群（結晶表面の対称性）に対して分類し、特に2対のマヨラナクラマース対と結合する歪みテンソルと結晶および超伝導対称性との関係を系統的に明らかにした。さらに、具体的な系として超伝導体 Sr_3SnO に適用し、表面に現れる2対のマヨラナクラマース対は結晶歪みによってそのスペクトルにギャップを開くことを示した。

次に申請者は、得られた一般論を動的な外場に対する応答へ拡張し、マヨラナ準粒子のスピンの輸送を調べた。具体的には、 Sr_3SnO の(001)面において、動的格子歪みによって2対のマヨラナクラマース対によるスピン流が生成されることを明らかにした。このスピン流は、2対のマヨラナクラマース対が線形分散をもつこと、フェルミ準位が厳密にゼロであることから、緩和時間に依存しないことを見出した。さらに、磁化との結合により分散にギャップが開いた場合は、スピン流は特徴的な振動数依存性（ピークや跳び）を示すことを明らかにした。

対称性に基いて導かれたこれらの結果は、系の詳細に依らない普遍的な現象であり、電氣的な手法によるマヨラナ準粒子の観測・操作・輸送のための基礎となるもので高く評価できる。参考論文3編はマヨラナ準粒子の磁場応答等を調べたもので、いずれも価値がある。以上の理由により、申請者は博士（理学）の学位を授与されるに相応しいと認められる。