

2024 年度年次報告書

物質と情報の量子協奏

2024 年度採択研究代表者

小布施 秀明

北海道大学 大学院工学研究院

准教授

開放系トポロジカル相による普遍的量子状態制御

研究成果の概要

本研究の目的は、対称性、トポロジカル相、ローレンツ不変性を積極的に活用することにより、特定の系に制限されることなく、量子状態を時空間にて制御する普遍的制御手法の理論基盤を確立することである。

2024 年度(初年次)は、トポロジカル相の動的制御によるエッジ状態の安定な高速輸送に関する研究を行った。具体的には、異なるトポロジカル数を持つ領域の境界(ドメイン壁)を動的に移動させることにより、一次元トポロジカル端状態を高速かつ高忠実度で伝送する方法を理論的に提案したドメイン壁を一定速度で移動させる場合、この系はディラック方程式に従う粒子の等速直線運動の問題に帰着できる。ローレンツ普遍性より、移動中のエッジ状態を解析的に導出できるが、粒子の運動には相対論的効果が現れることになる。提案した手法では、この効果を考慮し、高速かつ高忠実度で伝送することを可能にした。具体的に、現在の実験技術でも実現可能な一次元量子ウォークを用いて、本手法の高忠実度なエッジ状態伝送の有効性を示した。また、環境によるビット反転および位相反転の散逸が伝送効率に及ぼす影響についても調べた。興味深いことに、これらの散逸は遅い伝送と高速な伝送の限界において、それぞれエッジ状態への影響が最小限に抑えられることが判明した。この現象も、エッジ状態に対する相対論的効果によって説明可能である。以上の結果をまとめた論文を投稿した。

また、Z2 トポロジカル絶縁体のエッジ状態の積層に対する安定性を、開放系を記述する非エルミート・ハミルトニアンを用いることにより、非エルミート系の複素エネルギーの準位反発により説明できることを示した論文(1)を出版した。さらに、バンドギャップが閉じた系におけるギャップレス・トポロジカル相に関する国際共同研究論文を投稿した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Zhiyu Jiang, Masatoshi Sato, and Hideaki Obuse, *Origin of Robust Z2 Topological Phases in Stacked Hermitian Systems: Non-Hermitian Level Repulsion*, Phys. Rev. B **110**, 245404 (2024).