

2024 年度年次報告書

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

2020 年度採択研究代表者

江澤 雅彦

東京大学 大学院工学系研究科

講師

電気回路によるトポロジカル量子計算方法の創生

主たる共同研究者:

川村 稔 (理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー)

齊藤 英治 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

三田 吉郎 (東京大学 大学院工学系研究科(工学部) 教授)

研究成果の概要

- ① 近年、 p 波対称性を持つ磁性体が着目されている。 p 波磁性体と界面の接合系を考えると反転対称性の破れからラシュバ相互作用が誘起される。この系で、トポロジカル絶縁体が出現する事を示した。 p 波磁性体の磁壁に局在する Jackiw-Rebbi 状態を解析的に求め、磁壁に局在する境界状態が帯電する事で、磁壁を電氣的に制御・駆動できる事を示した(1)。更に s 波超伝導体と接合する事で、トポロジカル超伝導体を実現できる事を示し、マヨラナ状態を議論した。
- ② 電気回路や光学系などで非線形トポロジカル相の研究が進展している。トポロジカル絶縁体の典型的なモデルである SSH モデルに非線形性を導入したモデルを考え、トポロジカル・エッジ状態に対する非線形性の影響を調べた。その結果、トポロジカル・エッジ状態が空間方向に沿ったカオスを示す事を発見した(2)。
- ③ 光学系では光学格子を空間方向に滑らかに変化させる事でトポロジカル境界状態をポンプする事ができる。十分に遅い断熱極限では、このポンプは量子化する事が知られていた。この系にゲインとロスによる非エルミート性と Kerr 非線形性を導入する事でより高速な非断熱領域でもポンプが量子化する事を示した(3)。
- ④ MEMS を座屈させる事で双安定な状態を作成し、これを二値状態と見なす事で、イジングモデルを実現できる事を理論と実験によって示した(4)。
- ⑤ 相互インダクタンスによって結合されたキャパシタンスの一次元系が SSH モデルになる事を示し、トポロジカル・エッジ状態をインピーダンス共鳴によって観測した。系がトポロジカルカトリピアルかでパワー伝送に違いが現れる。これらを基にトポロジカル・エッジ状態を高速通信に応用するトポロジカル 5G 技術やトポロジカル・ワイヤレス通信、トポロジカル・パワー伝送という諸々の新規概念を提案した(5)。

【代表的な原著論文情報】

- (1) M. Ezawa, Topological insulators and superconductors based on p -wave magnets: Electrical control and detection of a domain wall, Phys. Rev. B 110, 165429 (2024)
- (2) Kazuki Sone, Motohiko Ezawa, Zongping Gong, Taro Sawada, Nobuyuki Yoshioka, Takahiro Sagawa, Transition from topological to chaos in the nonlinear Su-Schrieffer-Heeger model, Nature Communications 16, 422 (2025)
- (3) Motohiko Ezawa, Natsuko Ishida, Yasutomo Ota, Satoshi Iwamoto, Nonadiabatic nonlinear non-Hermitian quantized pumping, Phys. Rev. Research 6, 033258 (2024)
- (4) Shun Yasunaga, Motohiko Ezawa, Yoshio Mita, Theory and Experimental Demonstration of Symmetrically Bistable MEMS Pin-Joint Buckled Beam, IEEE, Journal of Microelectromechanical Systems (2025)
- (5) Ryohei Takahashi, Kei Misumi, Keigo Tsuji, Anne-Claire Eiler, Shun Yasunaga, Akio Higo, Ryosho Nakane, Tetsuya Iizuka, Motohiko Ezawa and Yoshio Mita, Su-Schrieffer-Heeger

Topological Electrical Circuit Using In-Plane Mutual Inductance, 2024 Symposium on Design,
Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP) DOI:
10.1109/DTIP62575.2024.10613147