

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

2020年度 年次報告書

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

§ 1. 研究成果の概要

電気機械結合系 Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS)を用いてキャパシタンスを制御する事で Su-Schrieffer-Heeger 模型のトポロジカル相転移を起こせる事を実験的に示した。

また、インピーダンスを測定する事により、トポロジカル相に特徴的な共鳴ピークが現れる事を観測した。

更に、静電アクチュエータを直列に並べる事により、MEMS にトポロジカル相を実現できる事を提唱した。このトポロジカル相は電気機械インピーダンスを測定する事で観測が可能である。これらの成果は MEMS におけるトポロジカル物理学の端緒となる成果である。

また、LC 共振器のキャパシタンスやインダクタンスを時間的に制御する事により、位相シフトゲート、アダマール・ゲート、CNOT ゲートを具体的に構成する事により、電気回路を用いたユニバーサル量子計算を実行する方法を提唱した。応用として、量子ニューロンを用いた白黒画像およびカラー 画像の認識方法を提唱した。

マヨラナ粒子によるブレイディングではクリフォード・ゲートの一部しか生成する事が可能でなく、ユニバーサル量子計算は不可能である。一方、マヨラナ粒子の自然な拡張であるパラフェルミオンでは全てのクリフォード・ゲートが生成可能である事が知られている。このため、パラフェルミオンはマヨラナ粒子に比べてトポロジカル量子計算の観点からより強力である事が知られている。本年度の成果として、Z3 クロック対称性を持つブリージנג・カゴメ格子上的二次トポロジカル絶縁体相にはパラフェルミオン・コーナー状態が三重縮退して出現する事を示した。また、この模型を電気回路で 実現する方法を提案し、インピーダンス共鳴によって確認できる事を提唱した。これは電気回路を用いたパラフェルミオンによるトポロジカル量子計算 方法への道を開く成果である。

更に、バンド間で定義されるトポロジカル数であるオイラー数で特徴づけられるトポロジカル・オイラー絶縁体を提案し、電気回路での実装方法を提唱した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 江澤グループ

- ① 研究代表者: 江澤 雅彦 (東京大学 工学系研究科、講師)
- ② 研究項目
 - ・電気回路科学に基づくトポロジカル量子計算方法の理論提案

(2) 齊藤グループ

- ① 主たる共同研究者: 齊藤 英治 (東京大学 工学系研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・電気回路を用いたトポロジカル量子計算の実験、および、デジタル・シミュレーターの開発

(3) 三田グループ

① 主たる共同研究者:三田 吉郎 (東京大学 工学系研究科、准教授)

② 研究項目

・トポロジカル量子計算機に必要な可変電子素子および理想 MEMS 素子の開発

(4)川村グループ

① 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、専任研究員)

② 研究項目

・電気回路を用いたトポロジカル物性基礎原理の実験的研究

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yoshio Mita E. Lebrasseur, M. Ezawa, K. Tsuji, M. Kawamura and A.Higo, "TopoMEMS Circuit: Step-variable-resettable MEMS capacitor for topological electrical circuit", 20th IEEE Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '21), online
- 2) M. Ezawa, Topological microelectromechanical systems, Phys. Rev. B 103, 155425 (2021)
- 3) M. Ezawa, Universal quantum gates, artificial neurons and pattern recognition simulated by LC resonators Phys. Rev. Research 3, 023051 (2021)
- 4) M. Ezawa, Topological parafermion corner states in Z_3 clock-symmetric non-Hermitian second-order topological insulator cond-mat/arXiv:2103.10645
- 5) M. Ezawa, Topological Euler insulators and their electric circuit realization, Phys. Rev. B 103, 205303 (2021)