

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

2021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

第一の研究成果として、座屈した平板 MEMS を用いたイジング型メモリーとアニーリング・マシンを理論提案した。この提案では左右の双安定な状態をイジング型自由度として用いる。電圧をかける事により、自然にアニーリングが行われる。これは量子アニーリング・マシンが低温と磁場必要な事に対し、本提案では室温で磁場無しに動作するのがメリットである。また、平板 MEMS を実際に作成し、電圧で反転できる事を実証した。

次の成果は、非線形系におけるトポロジカル相の実態の解明に向けた研究である。従来、トポロジカル相の研究は線形領域に限定して行われてきた。本年度は、非線形トポロジカル現象を電気回路、光学系、機械振動子系などの様々な系で明らかにした。まず、非線形電気素子である可変キャパシタンス・ダイオードとコイルで作られた伝送線路がソリトンで有名な戸田格子で記述される事に着目し、コイルのキャパシタンスを交互に変化させる事により、トポロジカル戸田格子を提案した。端に電圧を与えたときにトリビアル相では電圧が伝搬するが、トポロジカル相では電圧が伝搬しない。この現象により、両相は実験的に明確に区別できる。

光学系も非線形効果が Kerr 効果等によって自然に現れる系である。さて、トポロジカル相を誘起する効果として、Su-Schrieffer-Heeger (SSH) 模型や高次トポロジカル絶縁体を記述する breathing カゴメ模型に対応するホッピング項がある。これらの項を、光学系を記述する非線形シュレディンガー方程式の模型に導入し、系のクエンチ・ダイナミクスを解析した。その結果、弱非線形領域では線形の時に定義されるトポロジカル相とトリビアル相が存在し続け、強非線形領域ではトランプ相と二量体化相が現れる事を発見し、相図を決定した。なお、これらのホッピング項は、マイクロ・ピラーの位置を調整する事で実験的に実現できる。

トポロジカル・レーザーは非線形効果と非エルミット効果の共存する興味深い系である。SSH 模型や breathing カゴメ模型に立脚して、トポロジカル・レーザー発振を明らかにした。特にトポロジカル・エッジ状態やトポロジカル・コーナー状態が安定なレーザー発振により観測できる事を示した。

最後に、機械回転子でも非線形トポロジカル相が存在する事を示した。

## § 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 大学院工学系研究科 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 大学院工学系研究科 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 大学院工学系研究科 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, Eric Lebrasseur, Motohiko Ezawa, Keigo Tsuji, Minoru Kawamura and Akio Higo, TopoMEMS Circuit: Step-Variable-Resetable MEMS Capacitor for Topological Electrical Circuit, IEEE, 2021 21st International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers) page 377-380
- 2) Motohiko Ezawa, Eric Lebrasseur and Yoshio Mita, Nonvolatile bistable memory and Ising machine based on Micro-Electro-Mechanical Systems, app-ph/arXiv:2106.09931
- 3) Yoshio Mita, Motohiko Ezawa, Keigo Tsuji, Eric Lebrasseur, Tomoki Sawamura, Shinji Tsuboi, Ayako Mizushima, Yukinori Ochiai and Akio Higo, Test Structure of Bi-stable Spring towards TopoMEMS Ising Machine, 34th IEEE International Conference on Microelectronic Test Structures, March 21-24 (2022)
- 4) M. Ezawa, Topological Toda lattice and nonlinear bulk-edge correspondence, J. Phys. Soc. Jpn. 91, 024703 (2022) Editor's choice
- 5) T. Kikkawa, D. Reitz, H. Ito, T. Makiuchi, T. Sugimoto, K. Tsunekawa, S. Daimon, K. Oyanagi, R. Ramos, S. Takahashi, Y. Shiomi, Y. Tserkovnyak, E. Saitoh "Observation of nuclear-spin Seebeck effect", Nature Communications, vol.12(1), 4356, 2021.