

2023 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

于 秀珍

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

Beyond Skyrmion を目指す新しいトポロジカル磁性科学の創出

主たる共同研究者：

田口 康二郎（理化学研究所 創発物性科学研究センター グループディレクター）

望月 維人（早稲田大学 理工学術院 教授）

## 研究成果の概要

トポロジカルデバイス機能を開拓するため、新たなトポロジカル磁気構造—スキルミオンバッグの生成技術を理論的に提案・実証した。この磁気構造は、少数のスキルミオンを外側の大きなスキルミオンで包含する構造であり、離散的な磁気トポロジーに起因する量子化された輸送現象が期待される。磁場印加によって広げたスキルミオンバッグの内部に、局所的に電流を印加してスキルミオンを書き込んだのち、逆向きの磁場を印加してバッグの領域を閉じるという方法で、スキルミオンの数を自在に書き込む技術を提案・実証した。さらに、電流駆動されたスキルミオンの集団が示す様々な流体現象の発見(文献1)、スキルミオンスピン波リザーバーコンピューティング素子の理論実証が行われた(M.-K. Lee, M. Mochizuki, *Scientific Reports* 13, 19423 (2023))。

スピンテクスチャがもたらす電子輸送特性を究明するため、スキルミオンと反スキルミオンを生成可能な磁性体( $\text{Fe}_{0.63}\text{Ni}_{0.3}\text{Pd}_{0.07}$ )<sub>3</sub>P における、メゾスコピックな磁気構造がもたらす輸送特性を電気的に検出した(文献2)。また、反スキルミオンの熱輸送現象を理解するために、熱流駆動による反スキルミオンのダイナミクスを直接観察し、スキルミオンと反スキルミオンの相互転換を実現した(文献3)。この研究により、異なるトポロジカルスピンテクスチャー間の熱による転移機構を明らかにした。

新たな 3 次元トポロジカル磁気構造を探索するために、3 次元顕微観察を行った。これにより、らせん構造を持つ磁性体における、「バイメロン」(文献4)や「ヘッジホッグ」(文献5)などの新奇な 3 次元磁気構造が観察された。さらに、ヘッジホッグ—反ヘッジホッグ対が、スキルミオン—反スキルミオン—スキルミオンのハイブリッド構造中で観察され、その動的振る舞いがシミュレーションで確認された。したがって、理論と実験で観察された 2 次元トポロジカル構造に加えて、安定な 3 次元スピン構造の知見が得られた。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) X. Zhang, J. Xia, O. A. Tretiakov, M. Ezawa, G. Zhao, Y. Zhou, X. Liu, M. Mochizuki. Laminar and transiently disordered dynamics of magnetic-skyrmion pipe flow. *Phys. Rev. B* **108**, 4428/1-14 (2023).
- 2) Daisuke Nakamura, Kosuke Karube, Keisuke Matsuura, Fumitaka Kagawa, Xiuzhen Yu, Yoshinori Tokura, and Yasujiro Taguchi. Transport signatures of magnetic texture evolution in a microfabricated thin plate of antiskyrmion-hosting (Fe,Ni,Pd)<sub>3</sub>. *Phys. Rev. B* **108**, 104403 (2023).
- 3) Fehmi S. Yasin, Jan Masell, Kosuke Karube, Daisuke Shindo, Yasujiro Taguchi, Yoshinori Tokura, Xiuzhen Yu. Heat current-driven topological spin texture transformations and helical q-vector switching. *Nature Communications* **14**, 7094 (2023).
- 4) X.Z. Yu, N. Kanazawa, X. Zhang, Y. Takahashi, K. V. Iakoubovskii, K. Nakajima, T. Tanigaki, M. Mochizuki, Y. Tokura, Spontaneous Vortex-Antivortex Pairs and Their Topological Transitions in a Chiral-Lattice Magnet. *Advanced Materials* **36**, 2306441/1-9 (2023).
- 5) Fehmi Sami Yasin, Jan Masell, Yoshio Takahashi, Tetsuya Akashi, Norio Baba, Kosuke Karube, Daisuke Shindo, Takahisa Arima, Yasujiro Taguchi, Yoshinori Tokura, Toshiaki Tanigaki, Xiuzhen Yu. Bloch point quadrupole constituting hybrid topological strings revealed with electron holographic vector field tomography. *Advanced Materials* 2311737 (2024).