

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

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

本年度はまず、理論的に予測されていたスキルミオン紐およびその熱揺らぎに伴う動的挙動を、実時間・実空間で観察することを目指し、高精度電子線位相差トモグラフィー技術を開発した。本技術により、5 nm 以下の高空間分解能を実現するとともに、従来数時間を要していたデータ取得時間を 10 分以下に短縮することに成功した。これにより、加熱過程におけるスキルミオン紐の融解現象を世界で初めて直接観察することができた。[論文1]

また、キラルな結晶構造を持ち、室温以上でらせん磁気秩序を示す Co-Zn-Mn 合金において、反転対称性の破れに起因する非相反電磁応答を室温で実証し、理論解析とあわせてその起源を明らかにした(現在、論文投稿中)。さらに、アンチスキルミオンの電流駆動ダイナミクスを室温において観察した。ナノ細線中に閉じ込めたアンチスキルミオンに電流を印加しながらローレンツ電子顕微鏡による観察を行った結果、電流方向によりその運動速度が大きく変化することを確認した。特に、細線に垂直方向の電流を流すことで、平行方向に比べてアンチスキルミオンの速度が最大 6 倍にまで増加することが明らかとなった。[論文 2]

さらに、極性磁性体 VOSe_2O_5 において、スキルミオン結晶相およびサイクロイド磁性相におけるマイクロ波応答を、実験および理論の連携により詳細に解析した。その結果、面内マイクロ波磁場に対して活性な 2 種類の回転モード、および面直マイクロ波磁場に対して活性なブリージングモードの存在を確認し、これらの共鳴周波数の磁場依存性を理論計算により定量的に再現することに成功した。[論文 3]

また、 $(\text{Fe}_{0.60}\text{Ni}_{0.32}\text{Pd}_{0.08})_3\text{P}$ におけるハイブリッドアンチスキルミオンのマイクロ波共鳴ダイナミクスを調べ、実空間観察とシミュレーションにより、内部のブロッホ点がスピン波の面内伝播を誘起していることを明らかにした。[論文 4, 5]

【代表的な原著論文情報】

[1] X. Z. Yu, N. Nakanishi, Y.-L. Chiew, Y. Liu, K. Nakajima, N. Kanazawa, K. Karube, Y. Taguchi, N. Nagaosa, and Y. Tokura, 3D skyrmion strings and their melting dynamics revealed via scalar-field electron tomography, **Communication Materials** **5**, 80 (2024).

[2] Y. Guang, X. C. Zhang, Y. Z. Liu, L. C. Peng, F. S. Yasin, K. Karube, D. Nakamura, N. Nagaosa, Y. Taguchi, M. Mochizuki, Y. Tokura, and X. Z. Yu, Confined antiskyrmion motion driven by electric current excitations, **Nature Communications** **15**, 7701 (2024).

[3] T. Araki, R. Takagi, T. Kurumaji, Y. Tokura, M. Mochizuki, and S. Seki, Exotic Spin Excitations in a Polar Magnet VOSe_2O_5 , **Physical Review Letters** **133**, 136702 (2024).

[4] F. S. Yasin, J. Masell, Y. Takahashi, T. Akashi, N. Baba, K. Karube, D. Shindo, T. Arima, Y. Taguchi, Y. Tokura, T. Tanigaki, and X. Z. Yu, Bloch point quadrupole constituting hybrid topological strings revealed with electron holographic vector field tomography, **Advanced Materials** **36**, 2311737 (2024).

[5] D. Nakamura, K. Karube, Y. Liu, F. Kagawa, X. Z. Yu, Y. Tokura, and Y. Taguchi, Observation of resonant spin excitation with in-plane spin wave propagation in hybrid antiskyrmion strings, **Physical Review B** **110**, 024418 (2024).