

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

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

§ 1. 研究成果の概要

2020年度の研究計画に沿った研究を実施し、以下の成果をあげた。

- 1). 既存の実験設備や計算機クラスタを用いて、室温アンチスキルミオン(antiSk)を励起出来る、S4対称性を持つ新規トポロジカル磁性体 $\text{Fe}_{1.9}\text{Ni}_{0.9}\text{Pd}_{0.2}\text{P}$ の開発に成功した。磁場下のローレンツ電子顕微鏡法を用いて、 $\text{Fe}_{1.9}\text{Ni}_{0.9}\text{Pd}_{0.2}\text{P}$ における、室温を含む広い温度範囲(100K~400K)にantiSkおよびantiSkの格子状態を実証した。また、試料の厚さを変えることで、磁気構造が劇的に変化し、100nm以下の薄い板状試料では、スキルミオン(Sk)の三角格子であるが、100nmを超える厚い板状試料では、antiSkの正方格子が形成される。さらに、厚さ $1\mu\text{m}$ を超える試料の表面では、結晶の対称性(S4)を反映したノコギリ型の新しい磁気ドメイン構造が形成されることを発見した。
- 2). 二次元Pt/Van de Waals磁性体 Fe_3GeTe_2 の薄膜における、その界面状態を制御することで、新たなネール型Skが生成されること、ネール型—ブロッホ型Sk間の転換機構を明らかにした。
- 3). 理論で予測されたヘッジホッグ スピンテクスチャやSk紐を、ナノスケールらせん磁性体中に励起し、その二次元射影像をローレンツ電顕で観察した。まず、カイラル磁性体Fe-Co-Geナノプレートに面内磁場を加え、プレート面に平行したSk紐の周期構造を励起した。次に、面内磁場を印加したまま、試料をらせん秩序転移温度下まで冷却し、準安定状態Sk紐を生成した。この準安定Sk紐中に、千切れた紐や枝分かれした紐におけるヘッジホッグ スピンテクスチャの生成・消滅現象を実空間観察により明らかにした。
- 4). 近藤格子磁性体を対象に、マイクロ波照射でスキルミオン数「1」のスキルミオン結晶相とスキルミオン数「2」のスキルミオン結晶相の間の動的相転移現象を発見した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 研究代表者グループ

① 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)

② 研究項目

- ・3次元磁化構造の顕微技術の開発
- ・3次元磁化構造を含む新規トポロジカル磁気テクスチャの探索
- ・3次元磁化構造を含む新規トポロジカル磁気テクスチャの構造決定およびその実空間ダイナミクスの顕微観察

(2) 共同研究者グループ

① 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)

② 研究項目

- ・新規トポロジカル磁性体の創製および物性評価
- ・量子ビームによる磁気構造解析
- ・新規トポロジカル量子物性・機能の開拓

(3) 共同研究者グループ

① 主たる共同研究者: 望月 維人 (早稲田大学 理工学術院、教授)

② 研究項目

- ・電磁場, 電流, 熱流等によるトポロジカル磁気テクスチャの駆動ダイナミクスの観察、解明
- ・量子輸送特性(トポロジカルホール効果、トポロジカルネルンスト効果等)の開拓
- ・トポロジカル磁気テクスチャの量子物性機能およびデバイス機能の探索・確立

【代表的な原著論文情報】

1. Kosuke Karube, et al., Room-temperature antiskyrmions and sawtooth surface textures in a non-centrosymmetric magnet with S4 symmetry. *Nature Materials* 20, 335 (2021).
2. Tae-Eon Park et al., Néel-type skyrmions and their current-induced motion in van der Waals ferromagnet-based heterostructures. *Phys. Rev. B* 103,104410 (2021).
3. Licong Peng, et al., Tunable Néel-Bloch magnetic twists in Fe_3GeTe_2 with van der Waals structure, *Adv. Fun. Mater.* 2103583 (2021) DOI:10. 1002/adfm. 202103583.
4. Xiuzhen Yu, et al., Real-Space Observation of Topological Defects in Extended Skyrmion-Strings. *Nano Lett.* 20, 10, 7313 (2020).
5. N. Mathur, et al., In-Plane Magnetic Field-Driven Creation and Annihilation of Magnetic Skyrmion Strings in Nanostructures. *Adv. Fun. Mater.* 31, 2008521 (2021).