

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

2022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

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

当該年度は、研究計画通り研究を進め、以下の成果を上げた。

成果 1: 手書き文字認識のリザーバー型情報処理素子の理論設計に成功した。マイクロ波励起スキルミオンの集団運動を利用して、「汎用性」、「非線形変換性」、「短期記憶性」というスキルミオン結晶の基本的なリザーバー特性を理論的に検証し、スキルミオン結晶がリザーバー型情報処理素子として高い性能(例えば、微細加工不要、高い記憶時間領域、高認識成功率(95%))を秘めていることを明らかにした(論文 1)。

成果 2: 近藤格子模型のスキルミオン結晶が示す、特異なスピン波および電荷波の励起ダイナミクスを解明した(論文 2)。数値シミュレーションおよび線形スピン波近似計算により、空間反転対称な遍歴磁性体が持つ「空間反転対称性」、「遍歴性」、「ゼロ磁場」という特徴を反映した、劇的な動的振る舞いを有するスピン-電荷励起のスキルミオンダイナミクスを明らかにした。また、キラル磁性スキルミオンのダイナミクスとの相違を明らかにした。

成果 3: 小角中性子散乱によってアンチスキルミオン物質(Fe,Ni,Pd)₃P のフラクタル磁区構造が観察された(文献 3)。磁気力顕微鏡法と合わせて、小角中性子散乱によってバルク試料内部に 3 次元的なフラクタル磁区構造の存在を実証した。

成果 4: 新たに開発されたローレンツ電子顕微鏡トモグラフィー技法を用いて、様々な三次元トポロジカル磁気構造(アンチスキルミオン、変形したスキルミオン紐、磁気モノポール)のベクトル場の分布を直接計測することに成功した(論文 4)。

成果 5: 空間中心対称を持たないらせん磁性体 FeGe において、世界で初めて三次元カイラルソリトン(hopfion)を生成・観察することに成功した。さらに、その場観察顕微技法を用いて、電流誘起による hopfion 集合体のホール運動、および電流の極性の反転に伴い、電流方向への hopfion の伸び縮みを明らかにした(論文 5)。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Reservoir Computing with Spin Waves in a Skyrmion Crystal”, Phys. Rev. Appl. 18, 014074 (2022).
- 2) “Low-Energy Excitations of Skyrmion Crystals in a Centrosymmetric Kondo-Lattice Magnet: Decoupled Spin-Charge Excitations and Nonreciprocity”, Phys. Rev. Lett. 129, 017201 (2022).
- 3) “Unveiling the anisotropic fractal magnetic domain structure in bulk crystal of antiskyrmion-host (Fe,Ni,Pd)₃P by small-angle neutron scattering”, J. Appl. Cryst. 55, 1392-1400 (2022).
- 4) “Real-space observations of three-dimensional antiskyrmions and skyrmion strings”, Nano Lett. 22, 23, 9358–9364 (2022).
- 5) “Realization and Current-Driven Dynamics of Fractional Hopfions and Their Ensembles in a Helimagnet FeGe”, Adv.Mater. 2210646 (2023).