

水口 将輝

東北大学金属材料研究所  
准教授

## ナノ超空間を利用した熱・スピン・電界交差相関による高効率エネルギー変換材料の 創製

### § 1. 研究成果の概要

地球温暖化に代表される環境面における大規模な変動や、世界人口の爆発的な増加は、一般のエネルギー消費を飛躍的に増大させる一因となっている。そのため、クリーンで経済的なエネルギーシステムの構築が喫緊の課題とされており、特に、エネルギーの変換効率や輸送現象において高い性能を持ったエネルギー材料創成のブレークスルーが必要不可欠である。このような背景の下、空間空隙を巧みに利用した超空間を、積極的にエネルギー変換に活用する施策が注目されている。そこで、本研究では、ナノ超空間と全く新しいエネルギー変換手法の 2 つの基軸を組み合わせることにより、革新的に高効率なエネルギー変換材料の創製を目指している。

2019 年度に実施した主な研究の概要は以下のとおりである。

トポロジカルな 2 次元渦構造をもつ“磁気スカーミオン”と呼ばれるナノスケールの磁気構造が注目を集めているが、その熱電効果はほとんど解明されていない。そこで、熱電効果を理解するために、まず、磁気スカーミオンの電流誘起ダイナミクスについて理論的研究を行った。図に示すように、系に異方性がある場合に非対称なスカーミオン構造が表れることを明らかにした。この非対称磁気スカーミオン構造は、円形のコア部分とその周りに広がる三日月形部分で構成される。このような内部自由度が付加されることにより、スカーミオンに多彩な物性が表れることが示された。また、電流により誘起される非対称磁気スカーミオン構造の磁化ダイナミクスにおいて、回転運動が表れることが明らかになった。これは、コア部分と三日月形部分で電流から受けるトルクに差があることに起因しており、常にコア部分が進行方向の先に進むことによって起こることが分かった。このような回転運動は、バドミン

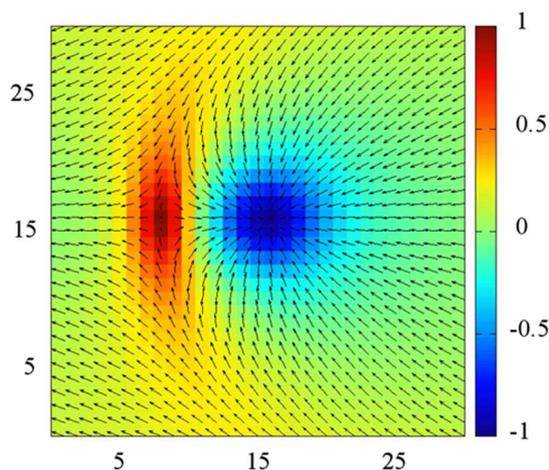


図: 非対称磁気スカーミオンの計算結果。矢印が面内磁化方向、カラープロットで面直磁化成分を表す。

トンのシャトルの運動に非常によく似ている。さらに、このような非対称磁気スカーミオンを量子細線中の磁化デバイスとして利用する場合、界面でのエネルギー障壁により、非対称磁気スカーミオンが安定して存在できることが分かった。今回の結果は、非対称磁気スカーミオンが新規スピントロニクス素子として有用であることを示すと共に、カイラル磁性体中の新しい磁気相の存在を明らかにしたことを意味する。

**【代表的な原著論文】**

1. R. Murooka, A. Leonov, K. Inoue, and J. Ohe, “Current-induced shuttlecock-like movement of non-axisymmetric chiral skyrmions”, *Scientific Reports*, vol. 10, pp.396-1-9, 2020
2. S. Sakane, T. Ishibe, T. Hinakawa, N. Naruse, Y. Mera, M. Alam, K. Sawano, and Y. Nakamura, “High thermoelectric performance in high crystallinity epitaxial Si films containing silicide nanodots with low thermal conductivity”, *Applied Physics Letters*, vol. 115, pp. 182104-1-5, 2019
3. S. Ueda, M. Mizuguchi, M. Tsujikawa, and M. Shirai, “Electronic structures of MgO/Fe interfaces with perpendicular magnetization revealed by hard X-ray photoemission with an applied magnetic field”, *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 20, pp. 796-804, 2019

## § 2. 研究実施体制

### (1) 水口グループ

- ① 研究代表者: 水口 将輝 (東北大学金属材料研究所、准教授)
- ② 研究項目
  - ・金属系磁性ナノドット構造の創製と機能評価
  - ・パターンド三次元構造の創製と機能評価

### (2) 中村グループ

- ① 主たる共同研究者: 中村 芳明 (大阪大学大学院基礎工学研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・新規熱電ナノ材料の形成技術開発
  - ・熱電ナノ材料性能向上の検証・予測

### (3) 藤田グループ

- ① 主たる共同研究者: 藤田 武志 (高知工科大学環境理工学群、教授)
- ② 研究項目
  - ・ナノポーラス材料を応用した材料創製
  - ・電子顕微鏡観察

### (4) 大江グループ

- ① 主たる共同研究者: 大江 純一郎 (東邦大学理学部、准教授)
- ② 研究項目
  - ・磁気・電気・熱エネルギー変換の基本原理探索、理論構築
  - ・熱電デバイス設計ツールの開発