

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出  
2018年度採択研究代表者

|                 |
|-----------------|
| 2021年度<br>年次報告書 |
|-----------------|

永長 直人

東京大学 大学院工学系研究科  
教授

ナノスピン構造を用いた電子量子位相制御

## § 1. 研究成果の概要

ナノスケールトポロジカルスピン構造を持つ物質開拓を引き続き行い、二元合金  $\text{EuAl}_4$  において直径 3.5 ナノメートルの超高密度スキルミオン結晶状態の観測に成功し、さらに磁場や温度によってスキルミオンの配列が正方格子から菱形格子へと変化することを発見した。さらに X 線磁気円二色性(XMCD)と様々な角度から撮影した 2 次元透過像の合成による 3 次元構造の再構築手法(トモグラフィー)を組み合わせることによって、 $\text{Mn}_{1.4}\text{Pt}_{0.9}\text{Pd}_{0.1}\text{Sn}$  合金におけるスキルミオンストリングの 3 次元形状を直接観測し、スキルミオンストリング状態と、それらの歪み、切断、分岐といった様々な欠陥構造を実証することに成功した。また、スピン構造のダイナミクスを様々な観点から明らかにした。超高速時間分解ローレンツ顕微鏡を用いて熱的に駆動されたスキルミオンのダイナミクスを、Ga イオン照射したキラル磁性体  $\text{Co}_9\text{Zn}_9\text{Mn}_2$  薄片に対して調べた。ナノ秒パルスレーザー照射によって急加熱・急冷却状態を実現し、レーザー照射前の格子欠陥により歪んだスキルミオン状態が、急加熱によって理想的なスキルミオン格子状態に変化することを発見した。また、スピンヘッジホッグ格子が発現する  $\text{MnGe}$  薄膜に対して、磁気光学効果測定を行い、次世代高速通信への応用が期待されるテラヘルツ帯域においてファラデー効果が急峻に増大する特徴的な共鳴スペクトルを見出した。室温で短周期らせん磁気構造を示す  $\text{YMn}_6\text{Sn}_6$  を用いることによって、創発インダクタの室温動作を実現した。低温から室温以上(330 K まで)の広い温度領域において、市販品と同水準の大きなインダクタンスが観測され、さらに多彩な磁気構造変化に伴い、正負両符号インダクタンスが実現できることがわかった。理論的には微視的なハミルトニアンから出発した創発インダクタの理論構築を行い、集団励起モードのダイナミクスを解析することでインダクタンスの符号変化、電流に関する非線形性の起源を明らかにし、設計指針を確立した。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 永長グループ

- ① 研究代表者: 永長 直人 (東京大学工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・ナノスピン構造生成と電子位相制御の理論

### (2) 十倉グループ

- ① 主たる共同研究者: 十倉 好紀 (東京大学工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・ナノスピン構造物質創製と磁気構造観察

### (3) 賀川グループ

- ① 主たる共同研究者: 賀川 史敬 (東京大学工学系研究科 准教授)
- ② 研究項目
  - ・動的創発電磁場の検出とその機能開拓

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) "Geometrically stabilized skyrmionic vortex in FeGe tetrahedral nanoparticles", Nat. Mater. 21, 305-310 (2022)
- 2) "Direct visualization of the three-dimensional shape of skyrmion strings in a noncentrosymmetric magnet", Nat. Mater. 21, 181-187 (2022).
- 3) "Riemannian geometry of resonant optical responses", Nature Physics 18, PP.290-296(2022)
- 4) "Real-space observations of 60-nm skyrmion dynamics in an insulating magnet under low heat flow", Nat. Commun. 12, 5079-1-6 (2021).
- 5) "Emergent electromagnetic induction beyond room temperature", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 118, e2105422118 (2021).