

軟 X 線小角散乱を用いたマルチフェロイック Cu_2OSeO_3 における
電場誘起スキルミオンらせん磁性転移の観測
Electric-field-induced Skyrmion helix transition in the multiferroic Cu_2OSeO_3
probed by small angle soft X ray scattering

岡村嘉大¹, 山崎裕一^{1, 2}, 森川大輔², 本田孝志³, 中尾裕則³,
村上洋一³, 関真一郎², 賀川史敬², 有馬孝尚^{2, 4}, 十倉好紀^{1, 2}

¹ 東京大学大学院工学系研究科 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

² 理化学研究所創発物性科学研究センター, 〒351-0198 和光市広沢 2-1

³ 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

⁴ 東京大学大学院新領域創成科学研究科, 〒277-8581 柏市柏の葉 5-1-5

Y. Okamura^{1,*}, Y. Yamasaki², D. Morikawa², T. Honda³, H. Nakao³, Y. Murakami³,
K. Shibata², F. Kagawa², S. Seki², T. Arima^{2,4}, Y. Tokura^{1,2}

¹Department of Applied Physics and Quantum Phase Electronics Center, University of Tokyo, 7-3-1
Hongo, Bunkyo-ku, 113-0033, Japan

²RIKEN Center for Emergent Matter Science (CEMS), 2-1 Hirosawa, Wako 351-0198, Japan

³Condensed Matter Research Center and Photon Factory, Institute of Materials Structure Science,
High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

⁴Department of Advanced Materials Science, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa,
277-8581, Japan

1 はじめに

近年、カイラルな結晶構造をもつ磁性体において、スキルミオンと呼ばれる渦状の磁気構造体が発見された[1]。このスキルミオンは構成する電子スピンのあらゆる方向をもつという特徴をもち、比較的小さな電流密度によって駆動できることなど多彩な電磁気応答が発現することが知られており、デバイス応用にも有力である[2]。しかしながら、その電磁気ダイナミクスをとらえるための実験手法は未だ確立されていなかった。

このような課題に対して、本研究では KEK-PF の BL-16A において新しく開発された共鳴軟 X 線小角散乱を用いた。この手法では、これまでスキルミオンをとらえるのに最も有力な手法の一つであった小角中性子散乱よりも優れた波数・時間分解能を実現することができる[3]。これらの特長を活かすことで、スキルミオンの新奇な外場応答の観測を目指した。

2 実験

この手法では、試料から透過した X 線の散乱光を CCD カメラでとらえる (図 1 (a))。ここで重要な点は、軟 X 線の減衰長を考慮した試料準備である。今回の試料 (Cu_2OSeO_3 、物性については後述) では、Cu の L 端における減衰長がおよそ 200 nm 程度と見積もられることから、回折光を最も強く得るには試料の厚みもやはり 200 nm 程度であることが必要であ

る。そこで、収束イオンビーム法 (FIB) という手法を用いることで、ミリメートルサイズのバルク結晶から 15 μm x 7 μm x 200 nm 程度の非常に小さな試料を作成した。また、これに金電極をつけ電場印加を可能にした。

3 結果および考察

本研究では、磁性と誘電性が強く結合するマルチフェロイックスとしての性質を持つ Cu_2OSeO_3 に注目した[4]。この物質では、各磁気相について誘電性 (電気分極の大きさ) が異なるために、電場を印加することによってスキルミオンを生成・消滅させることができると期待される。今回は、図 1 (b) のようなセットアップで実験を行った。

ゼロ電場下において、スキルミオンに由来する 6 回対称の回折図形を観測した (図 1 (c))。正電場下では q_3 のスポットが強くなる一方で (図 1 (d))、負電場下では q_1 のスポットが特に強くなることが分かった (図 1 (e))。これにより、ゼロ電場で存在していたスキルミオンが、正電場・負電場においてそれぞれ異なるらせん磁性に相転移していきことが示唆された。特に、正電場において安定化されるらせん磁性はエネルギー的には必ずしも安定ではなく、またスキルミオンと共通の q ベクトルをもつことから、スキルミオンの磁気構造を強く反映した相転移になっていることがわかる。

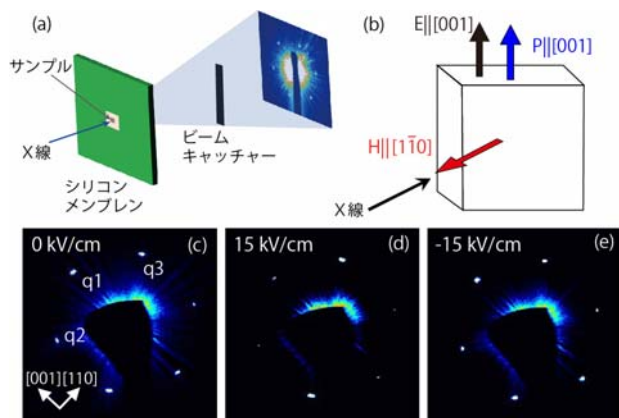


図 1 : (a) 軟 X 線小角散乱の概念図。(b) 今回の実験のセットアップ。(c-e) 電場下における回折図形。0 kV/cm (c)、15 kV/cm (d)、-15 kV/cm (e)。

4 まとめ

本研究では KEK-PF の BL-16A において新しく開発された共鳴軟 X 線小角散乱を用いることで、スキルミオンとらせん磁性における電場誘起相転移を調べた。誘起されるらせん磁性は、スキルミオンがもともと持つ q ベクトルを持つ上エネルギー的には必ずしも最安定ではないことから、相と相の間の親和性が重要なことが示唆された。

謝辞

この研究は、最先端研究開発支援プログラム (FIRST) 「強相関量子科学」事業、及び科研費 (16H05990)からの支援の下に行われました。ここに感謝致します。

参考文献

- [1] S. Muhlbauer *et al.*, *Science* **323**, 915 (2009).
- [2] N. Nagaosa and Y. Tokura, *Nat. Nanotechnol* **8**, 899 (2013).
- [3] Y. Yamasaki *et al.*, *Phys. Rev. B* **92**, 220421 (2015).
- [4] S. Seki *et al.*, *Science* **336**, 198 (2012).

成果

1. 岡村嘉大 放射光学会学生発表賞

* okamura@cmr.t.u-tokyo.ac.jp