

# トポロジカル磁性体における位相欠陥と拡張多極子の動的構造可視化

## Dynamics of Magnetic Phase Defects and Extended Multipoles on Topological Magnets

**実験組織** 課題責任者：山崎裕一（物質・材料研究機構 統合型材料開発・情報基盤部門）

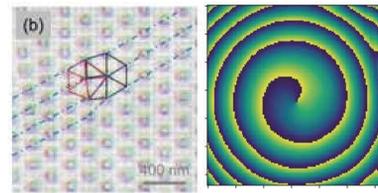
中尾裕則<sup>A</sup>、石井佑太<sup>B</sup>、横山優一<sup>C</sup>、水牧仁一郎<sup>C</sup>、深谷亮<sup>A</sup>、足立純一<sup>A</sup>、有馬孝尚<sup>D,E</sup> <sup>A</sup>高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、<sup>B</sup>東北大学理学系研究科、<sup>C</sup>JASRI、<sup>D</sup>東京大学新領域、<sup>E</sup>理研 CEMS

**課題情報** 課題有効期間：2021年10月～2024年9月、実験ステーション：16A (2A, 3A, 4C, 8A/8B, 11B, 13A/B)

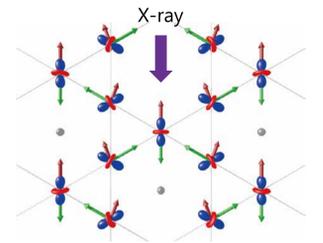
### 研究目的

本研究では放射光から発生する高輝度な軟X線の特性を最大限に活用しトポロジカル磁性体における創発物性を微視的な観点から解明することを目指している。特に、放射光軟X線の特長である高輝度光源によるコヒーレント特性、可変偏光特性、エネルギー可変性といった特性を最大限活用し、トポロジカル磁性体に内在する位相（トポロジカル）欠陥や拡張多極子の動的構造可視化を通じて創発物性と相関に迫っていく。例えば、磁気スキルミオン運動の電流、光、熱流制御・応答のオペランド計測、異常ホール効果（トポロジカルホール効果）における異方的磁気双極子項の役割、磁気スキルミオン格子の位相欠陥から発生する光渦検波と非平衡状態ダイナミクスの解明、磁性トポロジカル絶縁体やワイル磁性体のエッジやドメイン壁の電子状態観測を試みていく。X線が光として有している特性を極限まで活用し放射光でしか明らかにできない創発物性の未踏測定領域や新しい物性特性の解明を目指していく。

格子の位相欠陥から発生する光渦



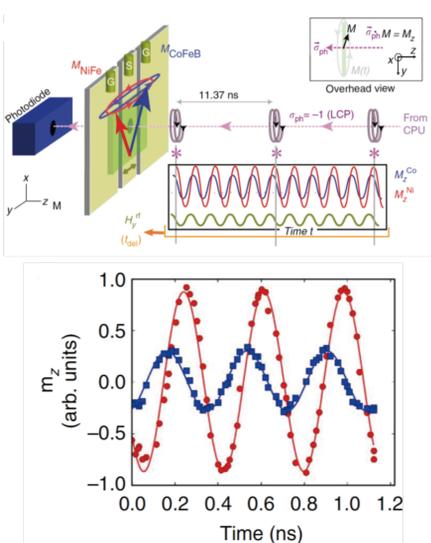
拡張多極子における XMCD



Y. Ishii, Y. Yamasaki et al., Phys. Rev. Applied, 14, 064069 (2020).  
Y. Yamasaki, H. Nakao, T. Arima, J. Phys. Soc. Jpn. 89, 083703 (2020).  
Y. Ishii, Y. Yamasaki et al., Scientific Reports 12, 1044 (2022).

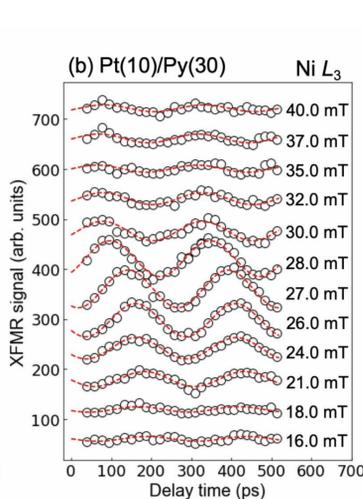
### ① 走査型透過 X 線磁気円二色性顕微鏡 (STXM-XMCD) による強磁性共鳴 (FMR) の観測 [STXM + XFMR]

時分割XMCD計測 @APS



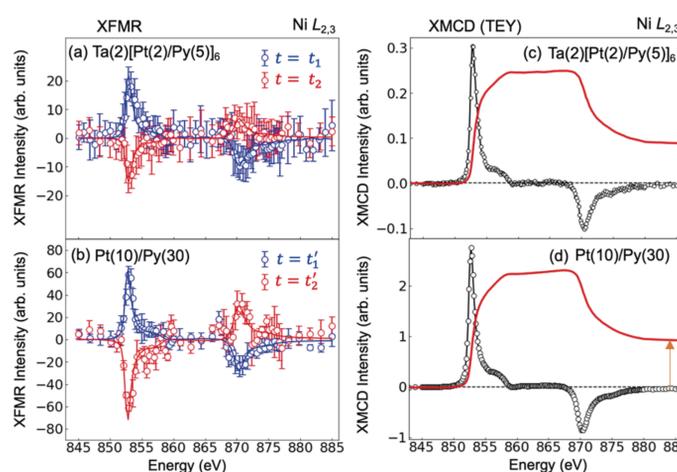
W.E. Bailey et al., Nat. Comm. 4, 2025 (2014)

時分割XMCDの磁場依存性 @BL-16A



磁気共鳴によるスピン歳差運動を時分割計測することに成功

時分割XMCDのエネルギースペクトルの測定に成功 @BL-16A



Sum rule

$$m_{orb} = -n_h \frac{4q}{3r}$$

$$m_{spin} = -n_h \frac{6p - 4q}{r}$$

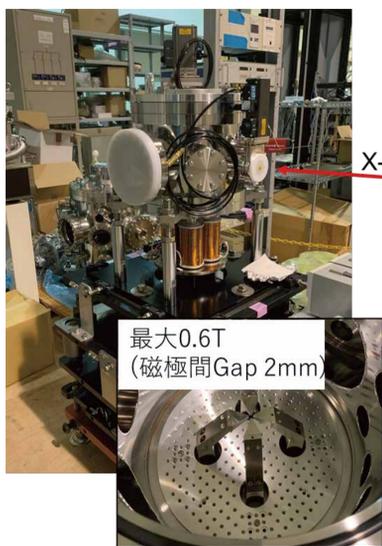
実測のXMCDスペクトルを基にベイズ推定を行った



Y. Ishii et al., in preparation

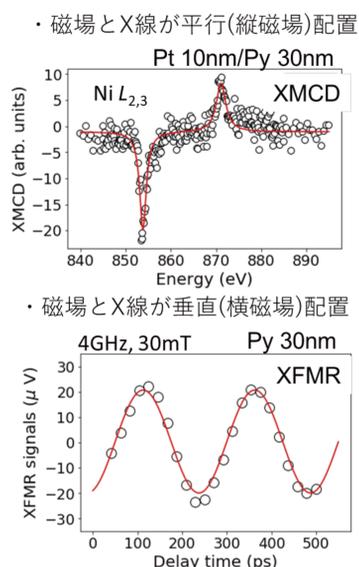
### ② ベクトルマグネット搭載型軟X線顕微測定装置の開発

4極磁石によりXMCD配置とXFMR配置を切替可能



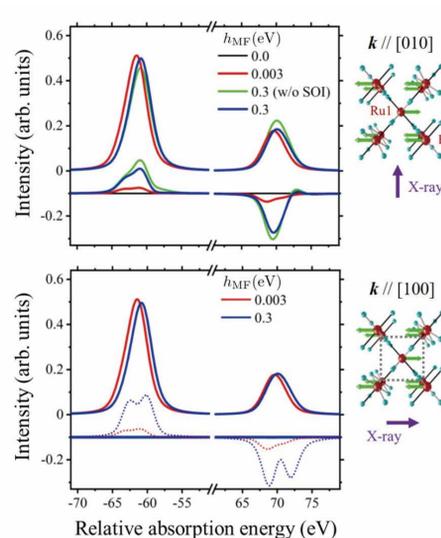
最大0.6T  
(磁極間Gap 2mm)

立上げ実験 @BL-16A



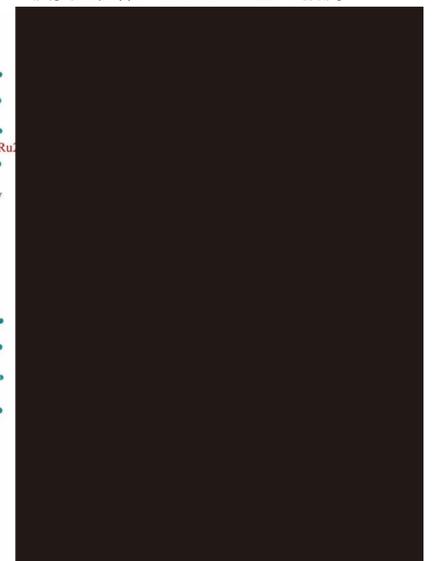
### ③ 拡張多極子由来の X 線磁気円二色性観測

コリニア反強磁性体におけるXMCDの理論提案



N. Sasabe et al., submitted (2023)

反強磁性体におけるXMCDの観測



N. Khanh et al., in preparation

### 研究成果

2021年10月以降：Advance Science誌1編、Scientific Reports誌1編、Phy. Rev.関連誌2編、他4編招待講演6回、放射光学会奨励賞（石井佑太）

### まとめ

本年度は、主に①X線磁気共鳴測定手法の開発、②ベクトルマグネット搭載型の軟X線顕微鏡開発、③反強磁性体における拡張多極子由来のXMCD観測を進めた。強磁性共鳴において振動する磁気モーメントのスピンと軌道モーメントをベイズ推定を用いて分離して評価することに成功した。来年度以降は、開発したベクトルマグネット型軟X線顕微鏡を用いて、2次元強磁性体物質におけるSTXM+XFMR測定や磁気スキルミオンのトモグラフィ計測を計画している。