

## パーシステントホモロジーを用いた軟磁性材料における 磁区構造の分類と磁化反転過程の解析

### Classification of magnetic domain structure and analysis of magnetization reversal process in soft magnetic materials using persistent homology

東理大基礎工<sup>1</sup>, 物質・材料研究機構<sup>2</sup>

◦(M1) 國井 創太郎<sup>1</sup>, (P) Alexandre Lira Foggiatto<sup>1</sup>, 三俣 千春<sup>2</sup>, 小嗣 真人<sup>1</sup>

Tokyo Univ. of Science<sup>1</sup>, NIMS<sup>2</sup>,

◦Sotaro Kunii<sup>1</sup>, Alexandre Lira Foggiatto<sup>1</sup>, Chiharu Mitsumata<sup>2</sup>, Masato Kotsugi<sup>1</sup>

E-mail: 8220513@ed.tus.ac.jp

持続可能社会の実現に向けて、スピントロニクスを利用した高速高密度情報デバイスや、電気自動車のモーターの高効率化が社会的に求められている。軟磁性材料の磁化反転現象は、情報書き込み精度や鉄損の抑制において重要であり、ミクロな磁区構造とマクロな磁化反転現象の関係性を理解することは、これらの機能を設計する上で必要不可欠である。しかし、磁区構造の複雑な微細組織や、急峻な外部磁場応答を定量化する事が困難なため、現在まで磁化反転メカニズムは完全に理解されていなかった。

そこで本研究では「パーシステントホモロジー(PH)」に着目し、説明可能な磁化反転メカニズムの解析手法を開発した。PHは物質構造データにおける「穴」や「島」の大きさ、形状、連結性を定量的に記述できる位相幾何学の言語である。さらに機械学習との組み合わせにより、諸物性との対応関係を構築することができる<sup>[1][2]</sup>。開発では複雑な磁区構造変化に対してPHを用いて定量化し、教師なし機械学習による次元削減を用いて磁化反転過程の分類を試みた。

実験は、代表的な軟磁性材料であるパーマロイ(Py)を対象に、LLG方程式を用いて2種類の磁化反転過程のシミュレーションを行い、磁区画像を出力した。磁区画像は前処理後にPHによる解析を行い、磁壁形状の特徴抽出を行った。得られたデータに対して教師なし機械学習の一種である主成分分析(PCA)を行い、2次元に次元削減した。

Fig.1に、PCAで得られた第一主成分と第二主成分の固有値で表される散布図を示す。本手法より、磁区構造は磁壁内部の微細組織を含めて分類可能となった。また、磁化反転過程が保磁力領域で分離することを可視化できた。さらに、pre-nucleation(赤丸)における僅かな磁区構造の差異が、保磁力条件で形成される磁区構造の形状とエネルギー安定性を決定づける分岐であることが判明した。本手法によって、磁区構造および磁化反転過程の精密制御が期待される。

[1] T. Yamada *et al.*, *Vac. Surf. Sci.* **62**, (2019) 153

[2] I. Obayashi, *et al.*, *J. Appl. Comp. Topo.* **1**, 421 (2018)

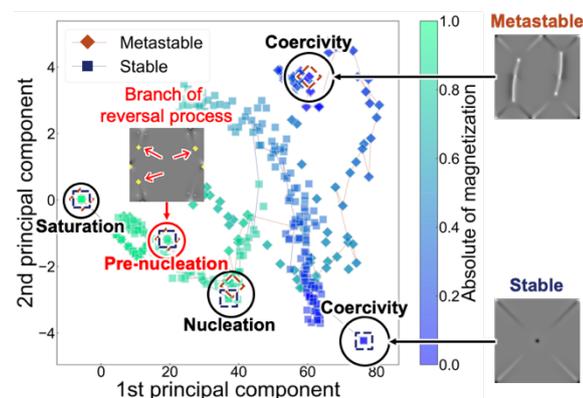


Fig.1 Dimensionality reduction result of domain structure change. Magnetization reversal process branches due to slight difference in domain structure in pre-nucleation.