

位相的データ解析を用いた 磁区構造の反転過程における擬自由エネルギー図形の描画

Drawing of Pseudo-Free Energy Landscape in magnetic domain reversal process using
Topological data analysis

東理大基礎工¹, 物質・材料研究機構² °(M1)國井 創太郎¹, (P)Alexandre Lira Foggiatto¹,
(M2)木村 恵太¹, 三俣 千春², 小嗣真人¹

Tokyo Univ. of Science¹, NIMS², °Sotaro Kunii¹, Alexandre Lira Foggiatto¹,

Keita Kimura¹, Chiharu Mitsumata², Masato Kotsugi¹

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

電気自動車の急速な普及 (EV シフト) を背景に、モータのエネルギー変換効率の向上が求められている。モーターでは軟磁性材料の保磁力の抑制が求められており、保磁力を決定付ける磁化反転現象の理解は極めて重要である。磁化反転は自由エネルギー図形の鞍点によって特徴づけられ、伝統的には磁化と外部磁場を説明変数とするランダウ理論が広く知られている。その一方で、ランダウ理論では平均場を仮定しているため、磁化分布の空間的不均一性を扱うことが困難であり、実材料の磁化反転現象を説明することは困難であった。

そこで本研究では、Persistent homology (PH) を用いて磁区構造の形状を特徴抽出し^[1]、得られた特徴量を説明変数とする新たなモデル「擬自由エネルギー図形」を描画した。特に、磁化分布の不均一性を取り扱え、磁化反転挙動の説明が可能なモデルを教師なし機械学習によって定めた。

実験は、LLG 方程式を用いて、異なる大きさの点欠陥を持つ正方形の系に対してシミュレーションを行った。磁区画像は PH 解析を行い、Persistence Diagram (PD) を出力し特徴抽出を行った。機械学習は多次元尺度構成法 (MDS) を用い、2次元に次元削減した。

Fig.1 に前駆現象領域における z 成分の磁区画像 (左) と対応する 0 次元の PD (右) を示す。PD では、 z 成分への漏れ磁場の強さ及び磁壁の形、長さ、内部構造を特徴抽出した。

Fig.2 に MDS で得られた散布図を示す。静磁エネルギーと交換エネルギーを合計した擬自由エネルギーは、中央から円錐状に連続的に分布することが確認できた。また、飽和磁化領域のデータ点は中心に集中し、磁化反転に伴い中心から外側に移動し、保磁力近傍では中心から大きく離れた領域に円周上に分布することが確認できた。MDS におけるデータ間の距離は形の違いを反映するため、本図では磁区構造変化と自由エネルギーの変化を同時に表現できたと示唆される。

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

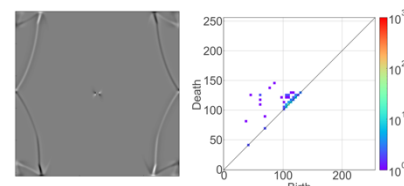


Fig1. Generated magnetic domain image(left) and PD (right)

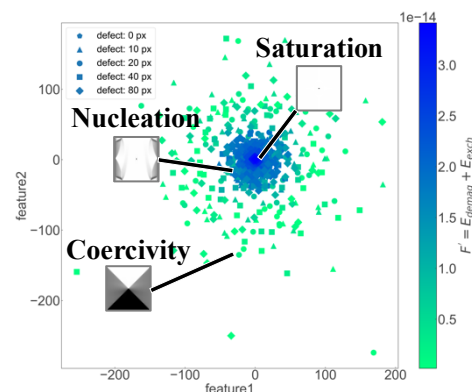


Fig2. Scatter plot using MDS
(dots show magnitude of Pseudo Free Energy)