

位相的データ解析を用いた磁化反転過程における

拡張型ランダウ自由エネルギー地形の描画

國井創太郎、Alexandre Lira Fogiatto、三俣千春、小嗣真人
(東理大基礎工、物質・材料研究機構)

Drawing of Extended-Landau free energy in magnetic reversal process using
Topological data analysis

Sotaro Kunii, Alexandre Lira Fogiatto, Chiharu Mitsumata, Masato Kotsugi
(Tokyo Univ. of Science, NIMS)

はじめに

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地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、ランダウ理論では平均場を仮定しているため、磁化分布の空間不均一性を取り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、得られた特徴量を説明変数とする新たなモデル「拡張型ランダウ自由エネルギー地形」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。

実験方法

実験は、LLG 方程式を用いて、異なる位置に点欠陥を持つパーマロイ薄膜の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。教師なし機械学習は多次元尺度構成法 (MDS) を用い、2次元に次元削減を行った。

実験結果

Fig.1 に中央に 10 px の正方形の欠陥を入れた、シミュレーションで生成された前駆現象の z 成分の磁区画像 (左) と対応する 0 次元の PD (右) を示した。PD では、z 成分への漏れ磁場による欠陥周囲の磁化の変化及びブロッホ磁壁、磁化の回転を特徴抽出した。

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。

参考文献

- 1) A. Vansteenkiste *et al.*, AIP Advances **4**, 107133 (2014)
- 2) T. Yamada and M. Kotsugi *et al.*, Vac. Surf. Sci. **62**, (2019) 153
- 3) I. Obayashi, Y. Hiraoka, and M. Kimura J. Appl. Comp. Topo. **1** (2018) 421-449

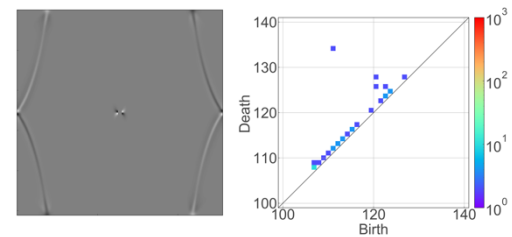


Fig.1 Generated magnetic domain image(left) and PD(right)

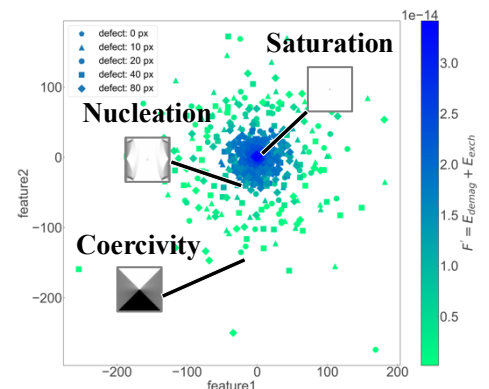


Fig.2 Scatter plot using MDS (dots show magnitude of sum of exchange and demagnetization energy)