

パーシステントホモロジーを用いた軟磁性材料の保磁力解析

Coercivity analysis of soft magnetic material using Persistent Homology

東理大基礎工¹, 物質・材料研究機構² ○(B) 國井創太郎¹, (P) Alexandre Lira Foggiatto¹,

(M1) 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: 8216028@ed.tus.ac.jp

モーターのエネルギー変換効率の向上は、低炭素社会の実現において必要不可欠である。軟磁性材料の保磁力の抑制は極めて重要な問題であるが、その理解は未だ完全でないのが現状である。その一因として、ピンングで生じる磁化分布の不均一性や、自由エネルギーへの寄与を定量化するのが困難なことが挙げられる。これまで我々は、Persistent Homology(PH)と機械学習を用いて YIG 単結晶薄膜における磁区構造の特徴抽出を行った^[1]。一方で、実材料への適用には未だ至っていない。そこで本研究では、代表的な軟磁性材料であるパーマロイ(Py)を対象に、保磁力近傍での磁化分布の不均一性、及び欠陥近傍のピンングで生じる静磁エネルギーの不安定性を解析した。

実験は、LLG 方程式に基づく Mumax³ を用いてシミュレーションを行った。系のサイズは 512×512 px (5×5 μm), 欠陥は一辺 0, 10, 20, 40, 80 px の正方形の欠陥を計5種類設定した。磁場は-0.5 Tから0.5 Tまで0.005 T刻みで計算を行い、磁区画像と静磁エネルギーを出力した。磁区画像は PH 解析を行い、Persistence Diagram(PD)を出力して特徴抽出を行った。機械学習はカーネル主成分分析(kernel PCA) を用い、PD を低次元の多様体に埋め込んだ。

Fig.1 に 10 px の正方形の欠陥を入れた試料で生成された磁区画像(左)と対応する PD(右)を示す。なお入力として、z 成分の磁区構造を用い、PD には PH_0 を用いた。

Fig.2 に kernel PCA で得られた散布図を示す。静磁エネルギーを各点の色の濃淡として表し、規格化した磁化を数値で示した。本図では飽和状態は左側にデータ点が集中し、磁化反転に伴って、保磁力近傍、保磁力、デピンニングが分離している様子が確認できる。このことから PH 解析によって磁化反転過程が分類可能であることが示唆される。

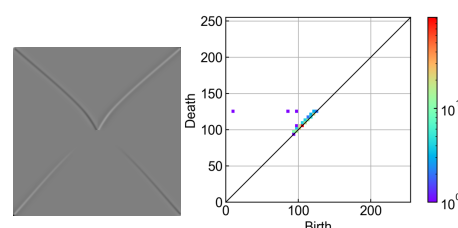


Fig.1 Generated magnetic domain image(left) and corresponding PD(right)

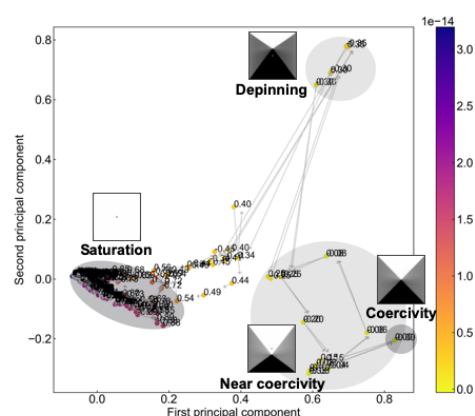


Fig.2 Scatter plot using kernel PCA (dots show magnitude of magnetostatic energy, numbers show magnitude of magnetization normalized from -1 to 1)

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