パーシステントホモロジーを用いた磁区構造における保磁力支配因子の逆解析

Inverse analysis of magnetic domain structure by using persistent homology

東京理科大[1]，東北大学 AIMR[2]，MI²I-NIMS[3]，理研 AIP センター[4]，京都大学[5]，量研機構[6]

○小嗣真人[1,3]，山田拓洋[1,3]，三俣千春[3]，上野哲朗[6]，大林一平[2]，赤木和人[2,3]，平岡裕章[2,3,4,5]

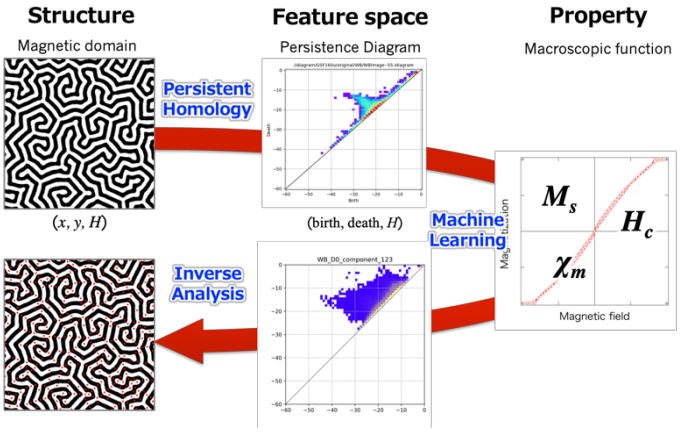
Tokyo Univ. of Science[1], AIMR Tohoku Univ.[2], MI²I-NIMS[3], AIP-RIKEN[4], Kyoto Univ.[5], QST[6]

○Masato Kotsugi[1,3], Takumi Yamada[1,3], C. Mitsumata[3], T. Ueno[6], I. Obayashi[2], K. Akagi[2,3], Y. Hiraoka[2,3,4,5]

E-mail: kotsugi@rs.tus.ac.jp

近年の計測インフォマティクスの発展を背景に、情報科学と機能解析を融合する試みが活発に行われている。磁性材料の「保磁力」は、モーターのエネルギー変換効率を特徴付ける重要な磁気機能であり、磁性材料における未解決問題の一つとして長年様々な解析が行われてきた。保磁力を理解するには、迷路状磁区構造における磁壁のピニング現象をミクロな観点から解析し、マクロな保磁力と対応づける必要がある。その一方で、従来の画像解析的手法では、磁区幅の空間ゆらぎや磁壁形状の複雑性を定量化することが困難であった。また迷路状磁区構造の分岐点や終端点は、いわゆるトポロジカル欠陥に相当するため、非平衡物理特有の課題がその根底に横たわっている。

そこで我々は、トポロジーの概念を使った構造解析手法「パーシステントホモロジー(PH)」に着目し、迷路状磁区構造からの特徴量抽出を試みた[1-3]。PH は構造における穴のサイズ、形状、連結性といった位相幾何学情報を定量化できる強力な数学的概念であり、磁区構造における磁区幅のゆらぎや磁壁形状の複雑性を記述するための有効な切り口として期待できる。また PH は機械学習との組み合わせが可能であり、マクロ機能とミクロ組織の相関関係を構築することで、保磁力に寄与する因子の逆解析を試みた。



実験では Kerr 顕微鏡を用いて RIG 希土類鉄ガーネット単結晶薄膜を測定し、明瞭な迷路状磁区構造を得た。次に PH 解析を実施しパーシステンス図(PD)を作成した。PD の対角線上の点はストライプ磁区に対応しており、対角線から離れた点は磁区幅が不均一な磁区構造に対応しているため、PD が迷路状磁区構造の記述子として有用であると示唆される。また磁区構造の外部磁場依存性について PH 解析を行った結果、磁区構造の連続変化に伴って PD が連続変化する振る舞いが確認された。そして、PH と主成分分析を組み合わせることで、保磁力の支配因子の逆解析を試みた。一連の PD に PCA を適用し、外部磁場変化に鋭敏に反応する PD を抽出した。その後 PH の内部リンク構造を用いて、保磁力に寄与する座標を元の磁区構造に重ね合わせた。その結果、いずれも磁区構造の分岐点および終端点に一致することを確認できた。これはピニングサイトをデータ駆動的に逆解析したことに相当するため、保磁力解析の新しい方法論として今後期待される。

[1] Edelsbrunner, et. al., Discrete and Comput. Geom., 28, (2001) 511, [2] Y. Hiraoka et al. PNAS, 113 (2016) 7035, [3] I. Obayashi et al. J. Appl. Comp. Topo. 1 (2018) 421

© 2019年 応用物理学会