

任意界面をもつ系のメゾスケール磁区構造フェーズフィールド解析

Phase-field analysis of mesoscale magnetic domains with arbitrary free surface

JFE スチール¹, 東京農工大² °末廣 龍一¹, 山中晃徳²

JFE Steel Corp.¹, Tokyo Univ. Agriculture and Technology.²,

°Ryuichi Suehiro¹, Akinori Yamanaka²

E-mail: r-suehiro@jfe-steel.co.jp

1. 緒言

軟磁性材料の磁区構造は材料中の欠陥、応力、結晶方位などの影響を受けて変化し、磁気特性に大きな影響をおよぼすため、磁区構造の予測技術は新たな磁性材料創製に重要である。前報ではマルチフェーズフィールド(MPF)法¹⁾を用いたメゾスケールの磁区構造形成 3 次元数値シミュレーション方法を提案し、磁区構造形成に及ぼす応力および自由表面の影響も考慮可能であることを示した²⁾。

ところで、軟磁性材料に含まれる自由表面には、バルク表面の他に穴や介在物など欠陥との任意界面も含まれるが、前報ではバルク表面のみを考慮した計算を行った。本研究では、穴状の欠陥をもつ軟磁性体材料の磁区構造を数値計算し、欠陥周辺の磁区構造を評価した結果を報告する。

2. MPF モデルおよび計算条件

計算モデルは前報¹⁾と同様である。立方対称の結晶磁気異方性を持つ磁性体内部に磁化容易軸[100]方向と平行・反平行な磁化を持つ6個の磁区が存在すると仮定し、磁区が存在確率を表す6個の秩序変数 $\phi_1 \sim \phi_6$ と空気相を表す1個の秩序変数 ϕ_7 の時間発展を記述する MPF モデルを構築した。

系の全自由エネルギー G は、磁壁エネルギー、静磁エネルギー、弾性歪エネルギーの和であり、秩序変数 ϕ_i の関数であると仮定した。弾性歪エネルギーは、固有歪として磁歪が存在するとして、弾性率が位置によって異なる不均一弾性系の適用可能な反復法³⁾により計算した。

計算領域は 3 次元直交座標系で $64 \times 64 \times 8 \mu\text{m}$ のサイズの平板中央に直径 $30 \mu\text{m}$ の円筒孔をもつ磁性体で、境界条件は周期的境界条件とし、差分格子間隔は $1 \mu\text{m}$ とした。Fig. 1(a)に示すように、初期状態は互いに反平行な磁化を

持つ 2 つの磁区によって系が 2 分割された状態とした。

3. 計算結果

数値計算結果を Fig. 1(b)に示す。MPF モデルの秩序変数 ϕ_i の時間発展方程式を有限差分法により計算することで、円筒孔の上下に、初期状態の磁区と直角をなす磁化を持つスパイク状の磁区が現れた。スパイク状の磁区は、初期状態に比べ、円筒孔界面における磁化の法線方向成分を減らし、磁極の生成を抑制して静磁エネルギーを減少させた。

現実の磁性体でも円形の非磁性介在物近傍にスパイク状の磁区構造が現れることが知られており、本研究の MPF モデルを用いてメゾスケールにおける任意界面をもつ磁区構造を再現できることが示された。

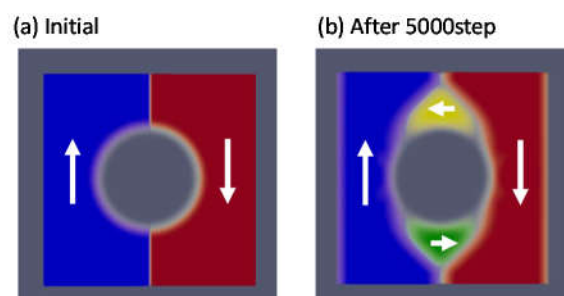


Fig. 1 Magnetic domains at (a) initial condition and (b) after 5000 steps calculation in $64 \times 64 \times 8 \mu\text{m}$ plate like system with a cylindrical hole. White arrows represent the direction of magnetization in each magnetic domains.

4. 参考文献

- 1) 高木知弘, 山中晃徳, "フェーズフィールド法—数値シミュレーションによる材料組織設計—." 養賢堂, (2012).
- 2) 阿波龍一郎, 山中晃徳, 末廣龍一, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, (2020) 08-041
- 3) H. Moulinec and P. Suquet, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., **157**, (1998) 69