

複合物理演算法による磁化反転制御の基礎検証

Basic Verification of Magnetization Reversal Control

Using Multiphysics Simulation

伊藤 勇太[†] 岸本 誠也[†] 大貫 進一郎[†]

Yuta Ito[†] Seiya Kishimoto[†] Shinichiro Ohnuki[†]

[†] 日本大学理工学部電気学科

[†] Department of Electrical Engineering, College of Science and Technology, Nihon University

1. はじめに

反強磁性体を用いたテラヘルツ波の発振[1]や、強磁性体のマイクロ波アシスト磁気記録における磁化のシミュレーションには、電磁界と磁化との相互作用の解析が重要である。そのため、Maxwell 方程式と LLG (Landau-Lifshitz-Gilbert) 方程式とを連成した、複合物理演算法が必須となる。

本報告では、上記の複合物理演算法を開発し、強磁性体中における、磁化ベクトルの磁化反転と外部から印加した交流磁界の影響を検証する。

2. 解析手法

電磁界の時間応答解析には FDTD (Finite-difference time-domain) 法を用いる。FDTD 法は下記の Maxwell 方程式を差分化し、電磁界を逐次計算により求める[2]。

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = -\varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (2)$$

磁化ベクトルの歳差運動解析は、以下に示す LLG 方程式に 4 次のルンゲクッタ法を適用して求める。

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = -\frac{\gamma}{1+\alpha^2} \mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff} - \frac{\gamma\alpha}{(1+\alpha^2)M_s} \mathbf{M} \times (\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff}) \quad (3)$$

ただし

$$\mathbf{H}_{eff} = \mathbf{H}_{DC} + \mathbf{H}_{AC} + \mathbf{H}_k \quad (4)$$

$$\mathbf{H}_k = -\frac{h_k}{M_s} (\mathbf{M} \cdot \hat{\mathbf{a}}_z) \hat{\mathbf{a}}_z \quad (5)$$

ここで \mathbf{M} は磁化ベクトル、 γ は磁気回転比、 α は減衰定数、 M_s は飽和磁界、 \mathbf{H}_{eff} は有効磁界、 \mathbf{H}_{DC} は直流磁界、 \mathbf{H}_{AC} は交流磁界、 \mathbf{H}_k は異方性磁界、 h_k は異方性定数である。

複合物理演算のフローチャートを図 1 に示す。解析空間中の電磁界を、FDTD 法により計算する。求めた磁界成分を磁化の歳差運動解析における交流磁界 \mathbf{H}_{AC} として連成することにより、時空間同時に複合の物理現象を求める。

3. 数値結果

図 2 に示すモデルは、磁化の歳差運動を解析するため、単一の磁化をコバルト内の代表値として想定し、パラメータを設定した。磁化ベクトルに与える有効磁界のうち、交流磁界を $\mathbf{H}_{AC} = 0$ とした場合に対する、磁化ベクトルの z 成分の時間応答波形を図 3(a) に示す。この場合磁化反転は起きず、磁化ベクトルは $+z$ 方向を向いたまま変動しない。交流磁界強度 $|\mathbf{H}_{AC}|/h_k = 0.25$ を加えた場合の時間応答波形を図 3(b) に示す。この場合磁化反転が起き、磁化ベクトル

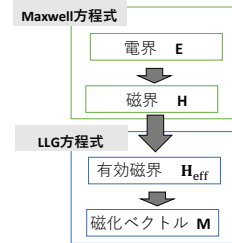


図 1 演算のフローチャート

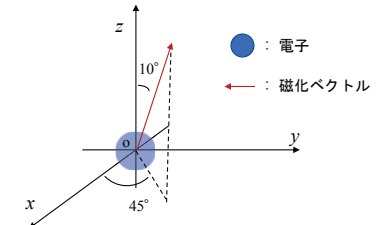
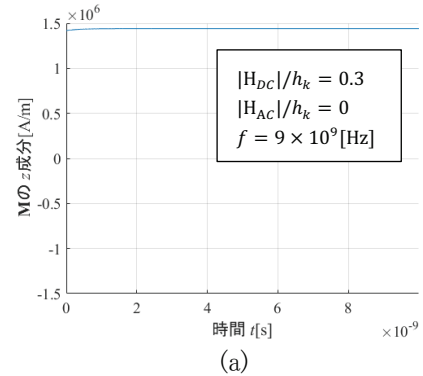
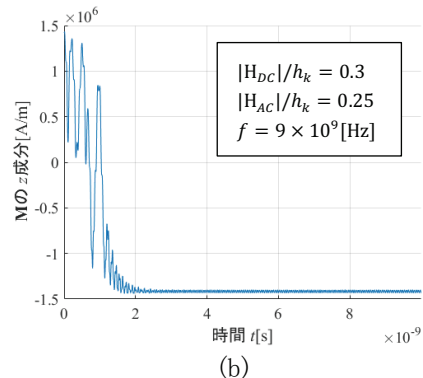


図 2 解析モデル



(a)



(b)

図 3 磁化ベクトルの時間応答波形

は $-z$ 方向に収束する。直流磁界のみでは磁化反転が起きない条件に対し、特定の周波数、大きさの交流磁界を印加することにより、磁化反転の存在を確認した。

4. 今後の課題

反対方向を向いて整列している磁化ベクトルによる相互作用を、追加で考慮することにより、反強磁性体のシミュレーションに拡張する予定である。

5. 参考文献

- [1] T. Moriyama, et al., Phys. Rev. B, vol. 101, no. 6, pp. 060402-1-6, Feb 2020.
- [2] 安田ら, 信学技報, vol. 119, no. 272, EMT2019-62, pp. 151-154, 2019年11月