

強磁性体の歳差運動と電磁波の複合物理演算

Multiphysics Computation for Precession of Ferromagnets and Electromagnetic Waves

向田 智貴[†] 岸本 誠也[†] 中川 活二[†] 大貫 進一郎[†]
 Tomoki MUKITA[†] Seiya KISHIMOTO[†] Katsuji NAKAGAWA[†] Shinichiro OHNUKI[†]
[†] 日本大学理工学部
[†] Collage of Science and Technology, Nihon University

1. はじめに

近年、磁性体の特性を用いた省電力かつ高性能なデバイスの実現が期待されている。しかし、実験結果のみを基に開発を進めることはコストや素子の作成などの観点から一般的に困難である。そこで、デバイスの設計に必要な解析を行うため、電磁界と磁化ベクトルの歳差運動を複合的に演算する。

本報告では磁性体の強磁性体共鳴及び、磁化ベクトルの歳差運動により発生した磁界のシミュレーションを行う。

2. 解析手法

電磁界の解析には FDTD (Finite-Difference Time-Domain)を用いる。この手法は下記の Maxwell 方程式を時間及び空間で差分化し、逐次計算する。

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

$$\nabla \times \mathbf{B} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2)$$

磁化ベクトルの歳差運動は、LLG (Landau-Lifshitz-Gilbert)方程式を常微分方程式の近似解を求める手法である 4 次ルンゲクッタ法にて計算される。また、磁化ベクトルより発生する磁界は式(4)を用いて求める。

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

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{M} + \mathbf{H}) \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{E}, \mathbf{H}, \mathbf{B}, \mathbf{M}, \varepsilon_0, \mu_0, \alpha, \gamma$ はそれぞれ電界、磁界、磁束密度、磁化ベクトル、真空の誘電率、真空の透磁率、減衰定数、磁気回転比を表す。

3. 解析結果

平面電磁波を磁性体へ照射した際の磁化ベクトルの運動を解析する。ここで、図 1(a)に示す磁化は一斉回転モデルとし、コバルトを想定して各パラメータを設定した。また、電磁界の伝搬解析の領域を図 1(b)に示す。図 2 は印加した平面波の周波数と磁化ベクトルの x 成分 M_x の最大値である。この図より磁化の歳差運動が 16.5 GHz 付近で共鳴し振幅が大きくなっている。この共鳴周波数の理論値をラーモア周波数より求めると 17.5 GHz であり、概ね一致している。差異が生じた理由として、ラーモア周波数の導出では LLG 方程式の減衰項を考慮していない点が考えられる。図 3 では中心に位置する磁化により発生した磁界が歳差運動に伴い、同心円状に分布していることを確認した。

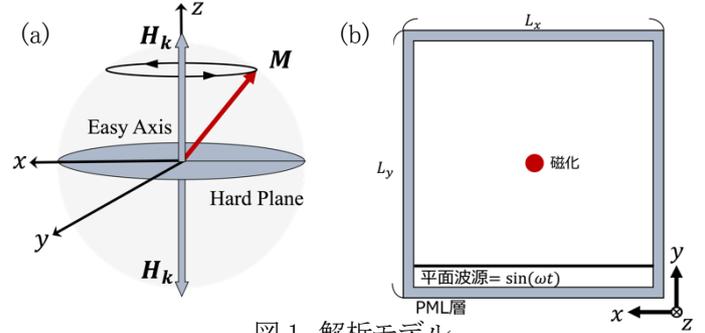


図 1 解析モデル

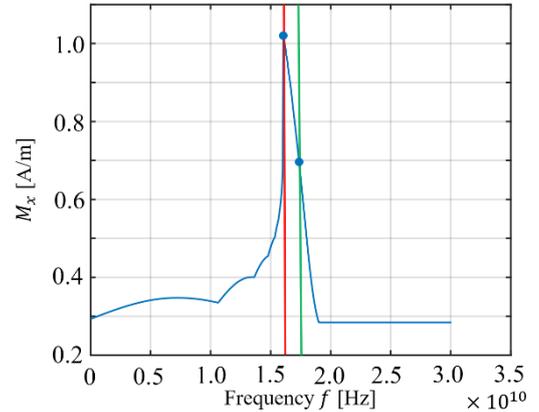


図 2 周波数特性

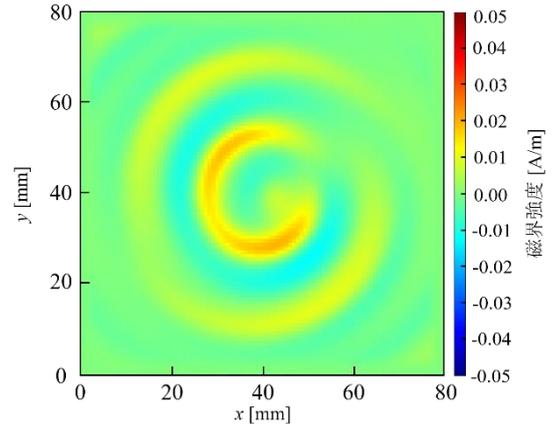


図 3 磁界分布

4. まとめ

本報告では磁化ベクトルと電磁界を複合的に解析し、強磁性共鳴や発生した磁界の伝搬を確認した。

参考文献

- [1] Eisei Uda, et.al, Journal of the Magnetism Society of Japan, Vol. 33, No. 4, pp. 357-361, 2009.
- [2] Jean-Pierre Berenger, Journal of Computational Physics, Vol. 114, pp. 185-200, 1994.