

L-86

マイクロマグネティクスシミュレーションによるスピン波伝搬解析の基礎検討

A Fundamental Study of Spin Wave Propagation by Micro Magnetics Simulation

○山内 智仁¹, 久間丹², 大貫 進一郎³*Tomohito Yamauchi¹, Akira Kuma², Shinichiro Ohnuki³

Abstract: Spitronics has attracted in recent years due to widespread application of developing energy saving and high-density devices. In this report, we investigate propagation of spin waves by using micro magnetics simulation in which the LLG equation with the exchange interaction is considered.

1. はじめに

近年、電子デバイスの省エネ化や高密度化を目的として、電子の自由度であるスピンを利用したスピントロニクスが注目されている^{[1][2]}。本文では、交換相互作用を考慮した LLG (Landau-Lifshitz-Gilbert) 方程式を用いたマイクロマグネティクスシミュレーションにより、薄膜中のスピン波伝搬の基礎検討を行う。

2. 解析手法

解析対象物は xy 方向に無限な鉄薄膜を仮定し、z 軸方向のみにスピン波が伝搬するとする。媒質内のスピンは、次式に示す LLG 方程式を数値解析することにより求める^[1]。

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = -|\gamma|\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff} + \frac{\alpha}{M_S} \times \frac{d\mathbf{M}}{dt} \quad (1)$$

\mathbf{M} は磁化ベクトル、 M_S は飽和磁化、 γ は磁気回転比、 α は損失定数、 \mathbf{H}_{eff} は有効磁場である。ここで第 1 項は歳差運動、第 2 項は減衰項である^[2]。

交換相互作用は(2)式により表現する^[3]。

$$\mathbf{H}_{ex} = \frac{2A}{M_S^2} \nabla^2 \mathbf{M} \quad (2)$$

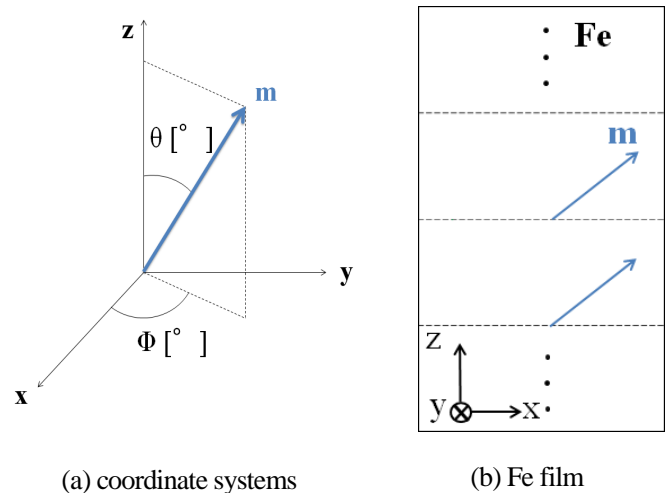
\mathbf{H}_{ex} は等価交換磁界、 A は交換スティフネス定数である。(2)式を(1)式に組み込むことで、有効磁場は次式で与えられる。

$$\mathbf{H}_{eff} = \mathbf{H} + \mathbf{H}_{ex} \quad (3)$$

ただし、 \mathbf{H} は外部から与えられる磁界である。

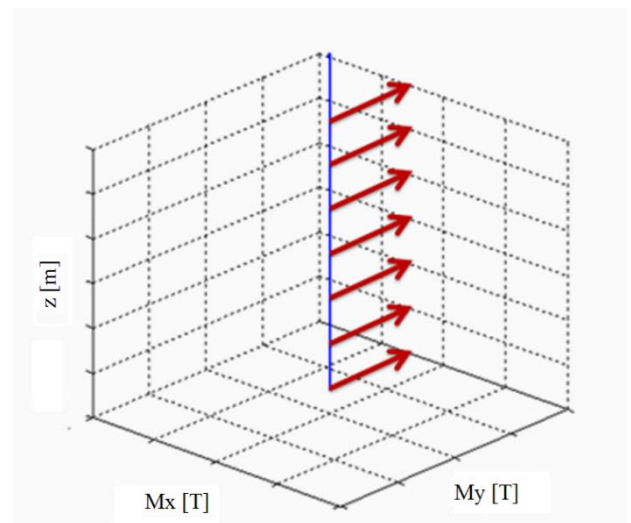
3. 解析結果

本解析では媒質は Fe、損失定数を $\alpha=0$ と仮定し、交換相互作用によるスピン波伝搬を解析する。ここで、分割した媒質中のスピンは、1 つの代表値で表わされるものとして扱う。



(a) coordinate systems

(b) Fe film



(c) magnetization

Figure 1. Computational model

Fig.2 はスピン波の伝搬シミュレーションを示す。解析領域は $z=0 \text{ nm} \sim 10 \text{ nm}$ とし、周期境界条件を適用した。初期条件として、磁化ベクトルの角度を $z=0 \sim 10 \text{ nm}$ まで角度 φ を $0^\circ \sim 360^\circ$ 変化させた。また、外部磁界は $H=0 \text{ A/m}$ とし、交換相互作用のみによる運動を解析した。Fig.2 (b) に 2.6 ps 後の結果を示す。この結果より、

磁界を与えない場合でも、交換相互作用により歳差運動が伝搬する様子が確認できる。

Fig.3 では、初期状態において 0 nm から 0.5 nm の範囲のみ z 方向に $H=1 \times 10^6$ A/m の磁界を与え、その時の磁化ベクトルの角度を $\phi=45^\circ$ 、 $\theta=90^\circ$ と仮定した。それ以外の場所では $H=0$ A/m、 $\phi=0^\circ$ 、 $\theta=0^\circ$ と設定し、解析を行った。Fig.3(b)は初期状態から 100 ps 後の結果を示す。スピンの交換相互作用によって、歳差運動の伝搬が確認できる。交換相互作用によって一つのスピンの角度 θ となるようにエネルギーを伝搬するが、 z の値が大きくなるほど、角度 θ は小さく、かつエネルギーは小さいことが確認できる。

4. まとめ

本報告では鉄薄膜を媒質とした、スピン波伝搬の基礎検討を、交換相互作用を考慮した LLG 方程式に基づくマイクロマグネティクスシミュレーションにより行った。今後は複数媒質中を伝搬するスピン波解析などを行う予定である。

5. 謝辞

本研究の一部は、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた。

6. 参考文献

[1] 内山晋, 増田守男, :「磁性体材料」, pp.123~127, 1991 年.
 [2] 齊藤英治, 村上修一, :「スピン流とトポロジカル絶縁体」, pp.21,22, 2014 年.
 [3] ロナルド・F. スーパー, :「マイクロ波磁気工学」, pp.162~177, 1987 年.
 [4] K. Tanabe, R. Matsumoto, J. Ohe, S. Murakami, T. Moriyama, D. Chiba, K. Kobayashi, T. Ono, : “Real-time observation of Snell’s law for spin waves in thin ferromagnetic films”, 2014.
 [5] Y. Kajiwara, et al., : “Transmission of electrical signals by spin-wave interconversion in a magnetic insulator”, Nature, Vol.464, pp.262-266, 2010.

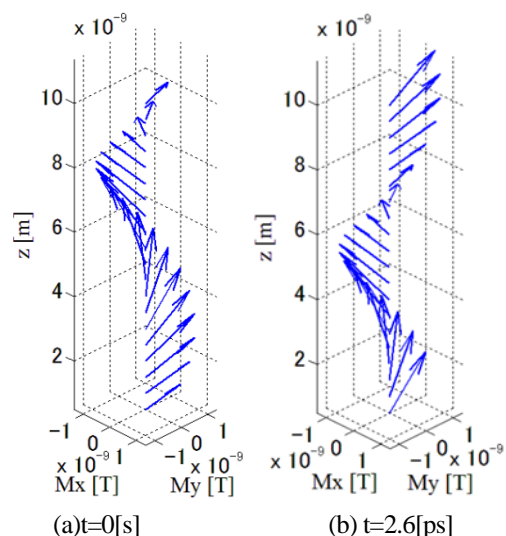


Figure 2. Spin wave propagation due to the exchange interaction

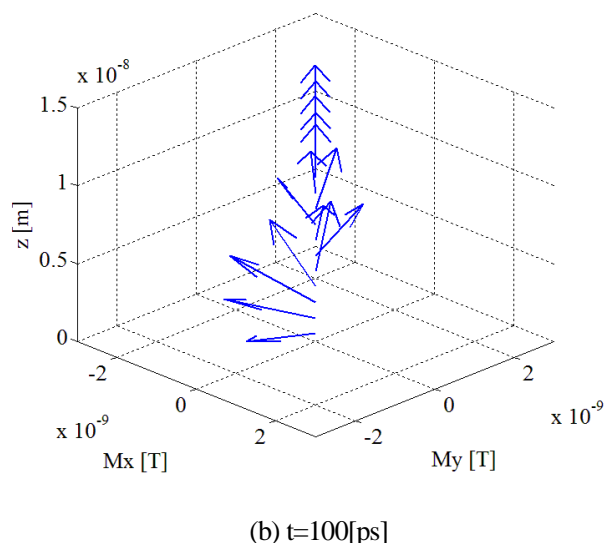
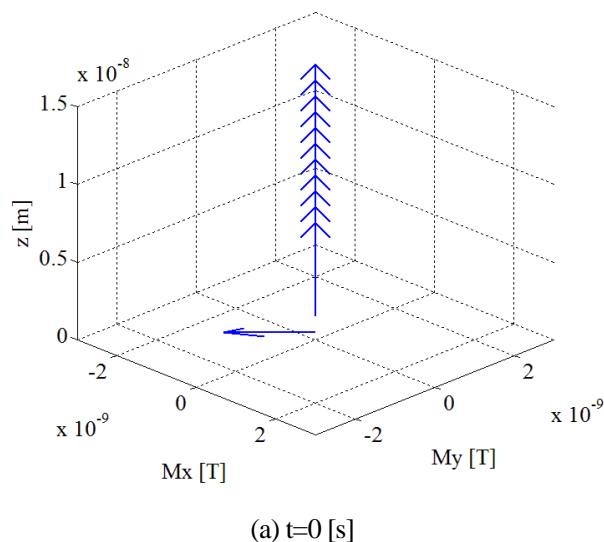


Figure 3. Spin wave propagation due to the external H field