

## マイクロ波アシスト記録における粒子状記録媒体のモデル化に関する検討

### A Study on Computational Modeling of Bit Patterned Media for Microwave Assisted Magnetic Recording

○久間丹<sup>1</sup>, 高野祐太<sup>1</sup>, 大貫進一郎<sup>2</sup>, 塚本新<sup>3</sup>\*Akira Kuma<sup>1</sup>, Yuta Takano<sup>1</sup>, Shinichiro Ohnuki<sup>2</sup>, Arata Tsukamoto<sup>3</sup>

Abstract: Studies of bit-patterned media technology have received much attention for high density magnetic recording. In this report, we will discuss the computational modeling of the bit-patterned media for microwave assisted magnetic recording.

#### 1. はじめに

近年磁気記録の分野では、現在よりも高密度な記録システムを実現する方法として、粒子状の磁性体で構成された記録媒体(ビットパターンドメディア)<sup>[1]</sup>や、マイクロ波アシスト記録<sup>[2]</sup>が注目されている。本文では、マイクロ波アシスト記録の複合物理シミュレーションにおける、粒子状記録媒体のモデル化について検討する。

#### 2. 解析手法

マイクロ波アシスト記録では、磁気ヘッドから印加する直流磁界と、記録媒体に照射するマイクロ波で磁化反転を制御する。照射するマイクロ波は Maxwell 方程式に基づく電磁界解析、記録媒体中の磁化の運動は LLG 方程式に基づくマイクロマグネティクスモデルを用いる。これらを同時に解析することで複合物理シミュレーションを実行し、記録媒体中の磁化反転を検証する。

電磁界解析には FDTD 法を用いる。FDTD 法は、式(1)に示す Maxwell 方程式を差分化し、時間領域での電磁界計算を行う数値計算法である。

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad \nabla \times \mathbf{H} = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (1)$$

記録粒子媒体は二つのモデルで取り扱う。Fig.1 に示す解析モデル 1 では、格子状に記録媒体を分割し、各セル内の全ての磁化ベクトルとそれらの相互作用を計算する。解析モデル 2 では、粒子媒体の磁化を一つの代表値として取り扱う。これらの記録媒体の磁化ベクトルは次式に示す LLG 方程式により計算する。

$$\frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} = -\gamma \mathbf{M} \times \mathbf{H}_{\text{eff}} + \frac{\alpha}{M_s} \mathbf{M} \times \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\mathbf{H}_{\text{eff}} = \mathbf{H}_{\text{AC}} + \mathbf{H}_{\text{DC}} + \mathbf{H}_k + \mathbf{H}_d + \mathbf{H}_{\text{ex}} \quad (3)$$

ここで、 $M_s$  は飽和磁化、 $\gamma$  は磁気回転比、 $\alpha$  は減衰定数である。式(2)を変形、差分化することで時間変化する磁

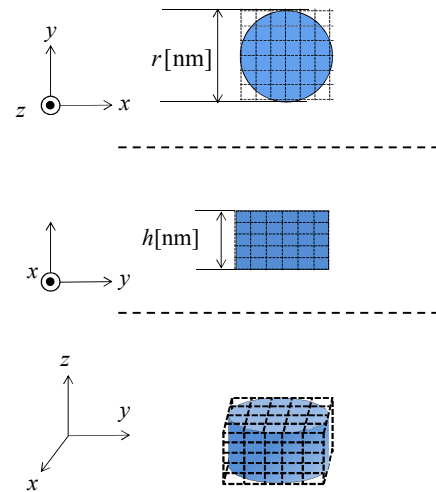


Figure 1. Computational model of a particulate medium.

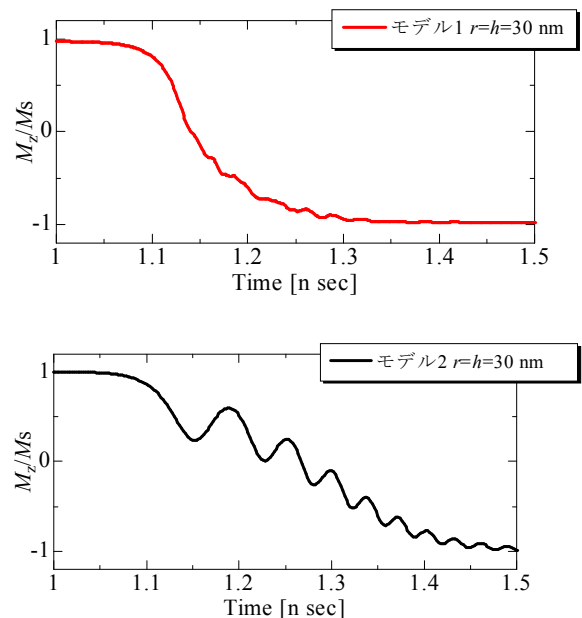


Figure 2. Time response of normalized magnetization.

化ベクトル  $\mathbf{M}$  を求める。実効磁界  $\mathbf{H}_{\text{eff}}$  は、交流磁界  $\mathbf{H}_{\text{AC}}$ 、直流磁界  $\mathbf{H}_{\text{DC}}$ 、磁気異方性磁界  $\mathbf{H}_k$ 、静磁界  $\mathbf{H}_d$ 、交換相互作用磁界  $\mathbf{H}_{\text{ex}}$  で構成されている。

### 3. 解析結果

Fig. 1 に示した粒子状記録媒体内の磁化ベクトルの時間変化について検討する. 記録粒子媒体としてコバルトを仮定し, 記録粒子の直径  $r$  と, 高さ  $h$  を 30 nm とした. 各モデルにおける磁化の運動を解析する.

Fig. 2 に, 解析モデル 1 および 2 において磁化反転の起きる強度の直流磁界を印加した場合における, 磁化ベクトルの  $z$  方向成分  $M_z/M_s$  の時間応答を示す. ただし, モデル 2 の解析結果は, 全ての磁化における  $M_z/M_s$  の平均値としている. 粒子のサイズを 30 nm とした場合, モデル 1 および 2 の磁化反転の過程は異なる.

Fig.3 にモデル 1 において粒子の直径  $r$ , 高さ  $h$  を 30 nm とした場合の中心のセルと, 表面のセルにおける磁化ベクトルの軌跡を示す. 粒子のサイズが大きいため, 磁化の運動は粒子の中心と表面で異なる.

Fig.4 にモデル 2 において同様の粒子サイズで解析した場合の磁化反転過程を示す. モデル 2 では単一の磁化を取り扱うため, 粒子媒体内の全ての磁化が一樣な運動をし, モデル 1 と磁化反転の過程が異なる. このため, 粒子サイズが大きく, 磁化の運動が一樣でない場合, 記録粒子を分割するモデル化が有効であると考えられる.

### 4. まとめ

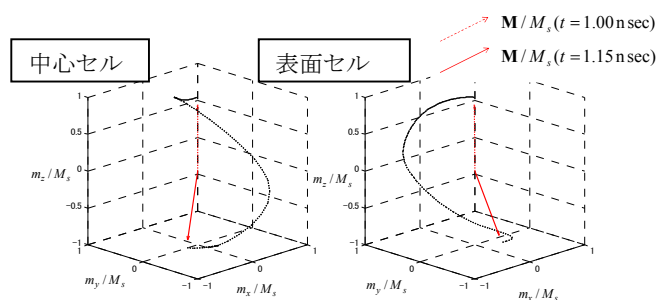
粒子状記録媒体の磁化ベクトルの時間応答解析を行い, 解析モデルによる時間応答の違いを示した. 粒子の直径と, 高さが 30 nm の時, 磁化ベクトルは粒子内で一樣な運動をしなため, 媒体を分割するモデルが有効であることを示した.

### 5. 謝辞

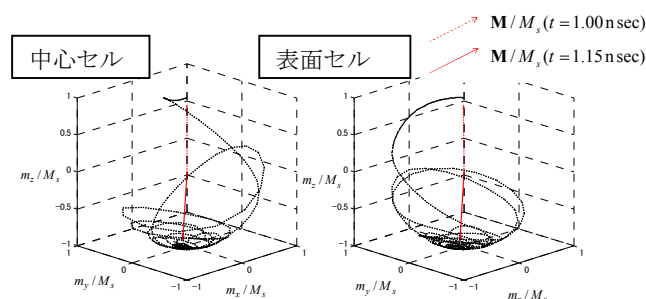
本研究の一部は, 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた.

### 6. 参考文献

[1] K. Nakagawa, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, A. Itoh and A. Tsukamoto, J. Appl. Phys., Vol.109, No7, 07B735, 2011.  
 [2] J. Zhu, X. Zhu, and Y. Tang, IEEE Trans. Magn, Vol. 44, pp125-131, 2008.  
 [3] S. Ohnuki, Y. Takano, A. Kuma, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, and K. Nakagawa, IEICE Technical Report, October. 2013  
 [4] A. Kuma, Y. Takano, S. Ohnuki and A. Tsukamoto, IEICE Society Conference 2014, C-15-11



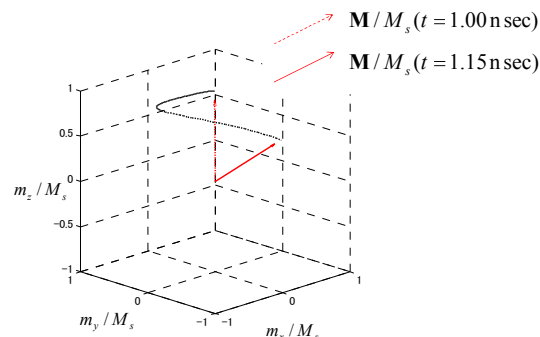
(a)  $t = 1.00 \sim 1.25$  nsec.



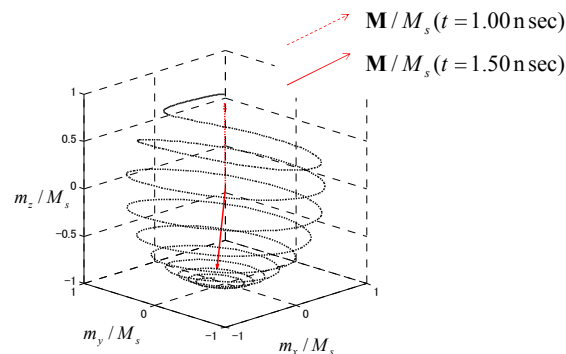
(b)  $t = 1.00 \sim 1.50$  nsec.

**Figure 3.** Motion of magnetization in model 1.

( $r = h = 30$  nm)



(a)  $t = 1.00 \sim 1.15$  nsec.



(b)  $t = 1.00 \sim 1.50$  nsec.

**Figure 4.** Motion of magnetization in model 2.

( $r = h = 30$  nm)