

# マイクロマグネティクスによる Nd-Fe-B 薄膜磁石の熱消磁状態の磁区構造解析

藤崎淳、古屋篤史、上原裕二、清水香老、安宅正、田中智大、大島弘敬\*  
(富士通株式会社、\*株式会社富士通研究所)

Micromagnetic Simulation of Thermally Demagnetized Nd-Fe-B Magnet Thin-Films  
J. Fujisaki, A. Furuya, Y. Uehara, K. Shimizu, T. Ataka, T. Tanaka, H. Oshima\*  
(Fujitsu Limited, \*Fujitsu Laboratories Limited)

## はじめに

近年環境問題への関心から、モータや発電機等に使用される永久磁石である Nd-Fe-B 磁石<sup>(1)</sup>の高性能化への注目が高まっている。Nd-Fe-B 磁石の保磁力は磁化過程における反転核生成や磁壁のピンニング等に大きく依存し、またそれらは熱消磁状態や着磁状態での磁区構造に起因することが知られている。これまで Nd-Fe-B 磁石の特性に関して多くの数値シミュレーションが行なわれているものの、磁壁を詳細に取り扱った磁区構造の解析は今のところ十分にはなされていない。永久磁石の磁壁を表現する手法の一つとして、マイクロマグネティクスの手法がある。これは磁石内部を非常に細かい領域に分割し、その磁化状態を計算する手法である。ただし Nd-Fe-B 磁石では結晶粒径が数百 nm~数  $\mu\text{m}$  である一方、磁壁厚さが 5nm 程度と薄いことが知られているため、磁壁を正しく扱うには 1nm 程度のメッシュ分割が必要となり、計算に用いるメッシュ数は非常に膨大になる。そこで我々は PC クラスタを用いた並列計算により、現実的な時間内での大規模シミュレーションを可能にした。今回は Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 薄膜磁石における熱消磁状態を計算し、その磁区構造について考察を行う。

## 計算手法

本シミュレーションでは各磁化ベクトル  $\mathbf{m}$  について以下の Landau-Lifshitz-Gilbert(LLG)方程式<sup>(2)</sup>を解き、その磁化状態を求める。

$$(1 + \alpha_G^2) \frac{\partial \mathbf{m}}{\partial t} = -\gamma (\mathbf{m} \times \mathbf{H}_{\text{eff}}) - \gamma \alpha_G \mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times \mathbf{H}_{\text{eff}}), \quad \mathbf{H}_{\text{eff}} = \mathbf{H}_{\text{app}} + \mathbf{H}_{\text{ani}} + \mathbf{H}_{\text{exc}} + \mathbf{H}_d,$$

$$\mathbf{H}_{\text{ani}} = \frac{2K_u}{\mu_0 M_s} (1 - \mathbf{k} \cdot \mathbf{m}) \mathbf{k}, \quad \mathbf{H}_{\text{exc}} = \frac{2A}{\mu_0 M_s} \nabla^2 \mathbf{m}, \quad \mathbf{H}_d = -\nabla U, \quad \nabla^2 U = \nabla \cdot (M_s \mathbf{m}),$$

ここで  $\mathbf{H}_{\text{eff}}$  は有効磁界、 $\alpha_G$  はダンピング定数、 $\gamma$  はジャイロ磁気定数、 $\mathbf{k}$  は異方性ベクトル、 $K_u$  は異方性定数、 $\mu_0$  は真空透磁率、 $M_s$  は飽和磁化、 $A$  は交換結合定数、 $U$  は静磁ポテンシャルである。

## 計算結果

Fig. 1 に今回の計算の一例を示す。これは大きさ 960 nm × 960 nm × 30 nm の Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 薄膜磁石モデル (要素数 5000 万) を用いて、PC クラスタにて 1500 コアを用いた並列計算を行った結果である。初期の磁化ベクトルを z 軸方向に上下ランダムに設定し、外部磁界をゼロに保った状態で磁化変化が収束するまで計算を行った。Fig. 1 は熱消磁状態の磁化を可視化したものであり、+z 方向を向く磁化ベクトルを赤色で、-z 方向の磁化ベクトルを青色で表現している。この例では、迷路磁区とバブル磁区が入り混じった複雑な多磁区状態が得られた。当日は、多結晶磁石や他の形状の磁石モデルも含めて、それらの計算結果について報告する。

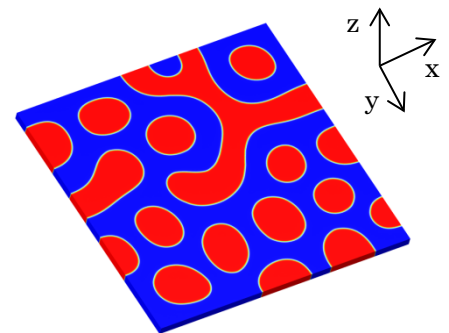


Fig.1 Thermally demagnetized state of Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B magnet thin-film in the micromagnetic simulation

## 参考文献

- 1) M. Sagawa, S. Fujimura, M. Togawa, H. Yamamoto and Y. Matsuura: J. Appl. Phys. 55 (1984) 2083
- 2) H. Kronmüller and M. Fähnle, "Micromagnetism and the Microstructure of Ferromagnetic Solids", Cambridge University (2003)