

マイクロマグネティクスによる Nd-Fe-B 熱間加工磁石の磁化反転解析

藤崎淳、古屋篤史、上原裕二、清水香壺、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 Analyses of Magnetization Reversals of Nd-Fe-B Hot-deformed Magnets

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⁽¹⁾の高性能化への期待が高まっており、最近では平均粒径が $1\mu\text{m}$ 以下である熱間加工磁石が注目されつつある。熱間加工磁石の磁化過程では磁壁移動と磁壁のピンギングが重要な役割を果たしており、そのダイナミクスの理解には磁壁の詳細な解析が必要となっている。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。今回はマイクロマグネティクスの手法を用いて $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 熱間加工磁石における熱消磁状態及び初磁化過程を計算し、磁区構造や磁壁の動的過程を解析する。

計算手法

マイクロマグネティクスの手法では、各磁化ベクトル \mathbf{m} について以下のエネルギー最小化法⁽²⁾を解き、その磁化状態を求める。

$$\frac{\partial \mathbf{m}}{\partial t} = -\mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times \mathbf{H}_{\text{eff}})$$

$$E_{\text{eff}} = E_{\text{app}} + E_{\text{ani}} + E_{\text{exc}} + E_d, \quad E_{\text{app}} = -M_s \mathbf{m} \cdot \mathbf{H}_{\text{app}}, \quad E_{\text{ani}} = K_u [1 - (\mathbf{k} \cdot \mathbf{m})^2], \quad E_{\text{exc}} = A(\nabla \mathbf{m})^2,$$

$$E_d = -M_s \mathbf{m} \cdot \mathbf{H}_d, \quad \mathbf{H}_d = -\nabla U, \quad \nabla^2 U = \nabla \cdot (M_s \mathbf{m}),$$

ここで \mathbf{k} は異方性ベクトル、 K_u は異方性定数、 M_s は飽和磁化、 A は交換結合定数である。

計算結果

Fig. 1 に今回の計算の一例を示す。Fig.1(a)は1つの結晶粒の径が240nm、大きさが $480\text{nm} \times 480\text{nm} \times 150\text{nm}$ の $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 熱間加工磁石モデル(要素数600万)の熱消磁状態をPCクラスタにて128コアを用いた並列計算により求め、+z方向の磁化を赤色、-z方向の磁化を青色でプロットしたものである。Fig. 1(b)は熱間加工磁石の初磁化曲線を粒径を変えて計算した結果である。粒径が120nmと60nmの場合の磁化過程を分析したところ、1段階目の磁化過程は多磁区状態の結晶粒の磁壁移動によるものであり、2段階目の磁化過程は単磁区粒の磁化反転によるものであることを確認した。これらの粒径を変えた初磁化過程の傾向は実験結果と一致している。当日は様々な条件下での計算結果や磁化反転機構の解析について報告する。

参考文献

- 1) M. Sagawa, S. Fujimura, M. Togawa, H. Yamamoto and Y. Matsuura: J. Appl. Phys. 55 (1984) 2083
- 2) L. Exl, S. Bance, F. Reichel, T. Schrefl, H. Stimming, and N. Mauser, J. App Phys., 115, 17D118 (2014)

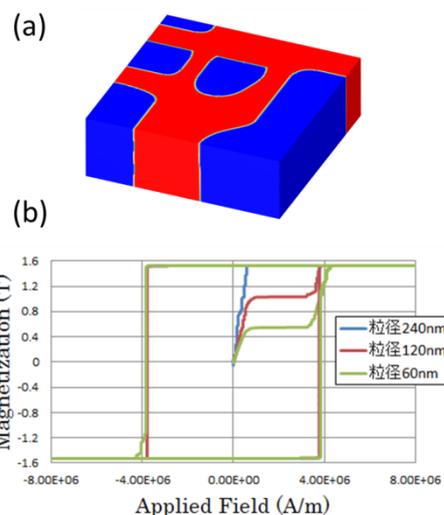


Fig.1. (a). Thermally demagnetized state of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ hot-deformed magnet.

(b). Initial curves for various grain sizes.