

## Nd-Fe-B 磁石の交換定数が保磁力の温度依存性に及ぼす影響の計算機解析

原田 俊貴\*、中村 尚弥、柳井 武志、中野 正基、福永 博俊  
(長崎大学)

## 1 はじめに

Nd-Fe-B 磁石は、現在室温で最も優れた最大エネルギー積をもつ永久磁石であるが、高温での保磁力の劣化が激しく、温度上昇が見込まれる用途での使用が困難である。従来、磁気異方性の温度変化が保磁力に与える影響が検討されてきたが、交換結合の強度も保磁力に影響すると考えられる。そのため、高温時での交換結合の強度が保磁力へ及ぼす影響を調べることで、保磁力改善の手がかりを得られる可能性がある。本研究では Nd-Fe-B 磁石の交換定数が保磁力の温度依存性に及ぼす影響を、計算機を用いて解析した。

## 2 解析方法

本研究のモデル磁石の結晶粒を Fig.1 に示す。磁化の挙動を細かく見るため、モデルの一边をそれぞれ 32~64 等分し、 $32^3 \sim 64^3$  個の均等な立方体要素に分割することで結晶内部の非一様な反転を模擬した。希土類磁石としては  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  を母相とする焼結磁石を仮定し、結晶表面に非磁性相を配置した。さらに角に四面体の非磁性相を配置し、三重点を模擬した。境界条件として周期境界条件を用いて無限に大きな磁石を仮定した。計算で使用したパラメータを Table 1 に示す。400 K における交換スチフネス定数  $A$  をパラメータとして、三重点の大きさ  $T$  を変化させた。

解析は、モデル磁石に外部磁界を印加した際の磁化反転の様子を、マイクロマグネティクス理論により計算機シミュレーションすることにより行った。シミュレーションにおいては、異方性エネルギー、交換エネルギー、印加磁界によるエネルギー、静磁気相互作用によるエネルギーを考慮し、全エネルギーの総和が極小となるように磁化分布を決定した<sup>[1]</sup>。

Table 1 シミュレーションパラメータ

	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B 相		非磁性相
	300K	400K	
$Ku$ [MJ/m <sup>3</sup> ]	4.50	3.69	0
$J_s$ [T]	1.61	1.40	0
$A$ [pJ/m]	8.70	3.29~6.58	0

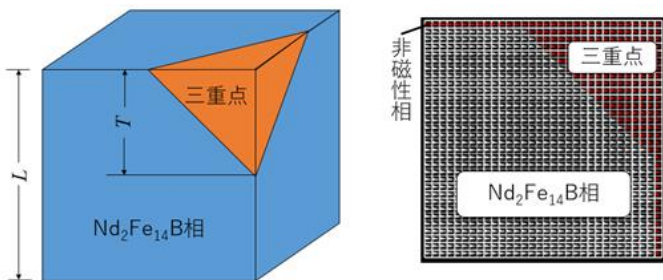


Fig. 1 シミュレーションモデル

## 3 解析結果

Fig.2 に、400 K における保磁力  $H_c$  を示す。横軸は粒径に対する三重点の大きさ  $T/L$  にとっている。 $T/L$  は反磁界の最大値を、 $T$  は反磁界の広がりを決めている。Fig.2 に見られるように、どちらも  $T/L$  の増加とともに  $H_c$  が減少している。これは  $T/L$  の増加と共に反磁界が強くなるためである。また、 $H_c$  の減少は結晶粒 ( $L$ ) が大きいモデルで著しいことが了解される。反磁界の大きさが等しい ( $T/L$  が等しい) 際には、反磁界の広がり  $T$  と交換長  $L_{ex}$  との比が小さいほど  $H_c$  が大きくなることをすでに報告しており<sup>[2]</sup>、 $T$  が大きな磁石では  $T/L_{ex}$  が大きくなるため  $H_c$  は小さくなったと考えられる。

一方、 $A$  に着目すると、 $A$  が大きいと  $H_c$  の減少が緩やかになることが了解される。これは、 $A$  の増加によって交換長  $L_{ex}$  が長くなったためであると考えられる。すなわち、 $T$  が大きくなると反磁界の及ぶ範囲が広がるため  $H_c$  が小さくなるが、交換長が大きいと反磁界の広がり  $T$  と  $L_{ex}$  の比が小さくなるため  $H_c$  の減少が緩やかになる。

Fig.3 には保磁力の温度係数  $\beta$  を示す。横軸は粒径に対する三重点の大きさ  $T/L$  にとっている。 $\beta$  は温度変化による  $H_c$  の変化率を表す。Fig.3 より、 $A$  が小さくなると  $H_c$  の温度変化が大きくなる傾向がみられる。 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  の異方性磁界の温度依存性が大きいことに加えて、同化合物の交換スチフネス定数が小さいことも、Nd-Fe-B 磁石の保磁力の温度依存性が大きい原因となっている可能性がある。

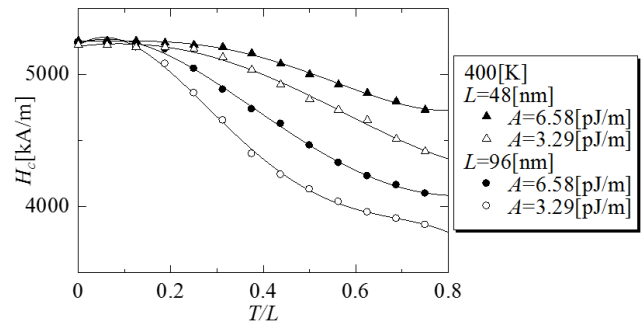
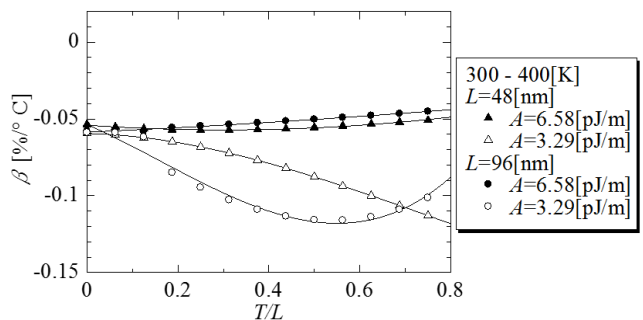
Fig. 2 保磁力の非磁性相サイズ依存性。  
非磁性相サイズは結晶粒サイズで規格化されている。

Fig. 3 保磁力の温度係数の非磁性相サイズ依存性

## 4 参考文献

- [1] J. Kuma et al., *J. Appl. Phys.*, **83** (1998) 1504.  
[2] H. Fukunaga et al., *J. Appl. Phys.*, **117** (2015), #17A729.