

## 中性子小角散乱による Nd-Fe-B 熱間加工磁石の初磁化過程の観察

斉藤耕太郎, 上野哲朗\*, 矢野正雄\*\*, 庄司哲也\*\*, 佐久間紀次\*\*, 真鍋明\*\*, 加藤晃\*\*, Elliot P. Gilbert\*\*\*, 小野寛太  
(高エネ研, \*物材機構, \*\*トヨタ自動車, \*\*\*ANSTO)

## SANS observations of initial magnetization process in Nd-Fe-B hot-deformed magnets

K. Saito, T. Ueno\*, M. Yano\*\*, T. Shoji\*\*, N. Sakuma\*\*, A. Manabe\*\*, A. Kato\*\*, Elliot P. Gilbert\*\*\*, K. Ono  
(KEK, \*NIMS, \*\*TOYOTA Motor Corp., \*\*\*ANSTO)

### 1 はじめに

永久磁石材料の熱消磁状態から飽和磁気状態をつなぐ初磁化曲線には磁化過程を反映した形状が現れることが知られている<sup>1)</sup>。しかし、初磁化曲線の形状の分類を含む初磁化過程に関するほとんどの研究はマクロな磁化測定及び各種顕微鏡を用いた試料表面の磁区観察に基づくものであり、他の手法を用いた異なる視点からの検証は少ない。中性子小角散乱 (SANS) は、試料内部の平均的な磁気的微小構造に関する情報を得ることのできる実験手法であり、永久磁石材料の磁化反転過程の研究において有用であることがわかっている<sup>2,3)</sup>。本研究において、我々は Nd-Fe-B 熱間加工磁石の初磁化過程における試料内部の平均的磁区構造の変化を明らかにするため SANS 実験を行い、熱消磁状態から飽和磁化状態までの磁気的 SANS 強度の磁場依存性を測定した。

### 2 実験方法

熱間加工法により合成した Nd-Fe-B ナノ結晶磁石 ( $\mu H_c = 1.8$  T)、及び Nd-Cu 合金と Pr-Cu 合金を Nd-Fe-B ナノ結晶粒間に浸透させた Nd-Cu 浸透磁石 ( $\mu H_c = 2.2$  T)、Pr-Cu 浸透磁石 ( $\mu H_c = 2.3$  T) をそれぞれ 0.14, 0.2, 0.2 mm の厚さに加工した試料を用いた。SANS 実験は Bragg Institute (ANSTO) の研究用原子炉 OPAL ガイドホールに設置された QUOKKA にて実施した。

### 3 結果および考察

図 1 に Nd-Fe-B 熱間加工磁石 (標準試料) と Pr-Cu 浸透磁石の熱消磁状態 (0 T) と飽和磁化状態 (10 T) の SANS パターンを示す。Nd-Cu 浸透磁石は Pr-Cu 浸透磁石とほぼ同様の測定結果を示したため省略した。熱消磁状態では試料内部に容易軸方向に伸びた磁壁が大量に存在していることから、両試料ともに容易軸と垂直な方向にこの磁壁に由来する磁気散乱が強く出ている。一方、飽和磁化状態では磁壁はほぼ消失し磁気散乱が非常に弱くなるため、c 面方向に扁平な主相のナノ結晶構造による核散乱を反映した楕円形が現れている。図 2 に示した容易軸と垂直な方向の SANS 強度の磁場依存性には、磁場印可による磁壁の消失に伴って磁気的 SANS 強度が減少していく様子が捉えられている。Pr-Cu 浸透磁石には標準試料にはないプラトーが現れており、これは Cu 合金の浸透の有無により磁化過程が異なることを示している。このプラトーは、浸透材により主相粒が磁気的に分離され粒間の磁壁の結合が弱くなったことで粒内で磁壁が移動しやすくなっていると考えることで説明できる。

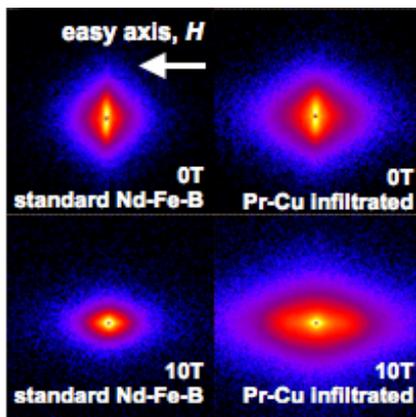


Fig. 1 SANS patterns of Nd-Fe-B hot-deformed magnet and Pr-Cu infiltrated magnet.

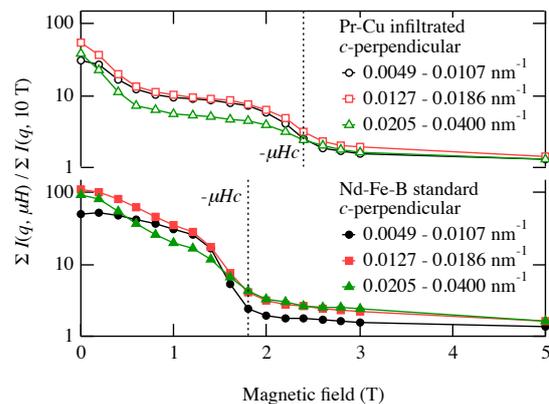


Fig. 2 Magnetic field dependence of SANS intensities for different Q ranges.

### 4 謝辞

本研究の一部は、文部科学省の委託事業である元素戦略磁性材料研究拠点 ESICMM の支援を受けて遂行された。

### References

- 1) J. M. D. Coey, "Magnetism and Magnetic Materials", Cambridge University Press, (2009).
- 2) T. Ueno *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **50**, 2103104 (2014).
- 3) K. Saito *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **117**, 17B302-5 (2015).