

**NdFeB 系焼結磁石の磁区構造と粒界構造の相関**  
**Relation between Magnetic domain and inter-granular**  
**structures in sintered NdFeB magnets**

福本恵紀<sup>1</sup>, 高田幸生<sup>1</sup>, 野崎洋<sup>1</sup>, 真鍋明<sup>2</sup>, 井戸田修一<sup>3</sup>, 小森聡<sup>3</sup>, 中津嘉隆<sup>3</sup>,  
美馬一真<sup>4</sup>, 宮田祐大<sup>4</sup>, 今田真<sup>4</sup>, 菅滋正<sup>3</sup>  
K. Fukumoto<sup>1</sup>, Y. Takada<sup>1</sup>, H. Nozaki<sup>1</sup>, A. Manabe<sup>2</sup>, S. Itoda<sup>3</sup>, S. Komori<sup>3</sup>, Y. Nakatsu<sup>3</sup>,  
K. Mima<sup>4</sup>, Y. Miyata<sup>4</sup>, S. Imada<sup>4</sup>, S. Suga<sup>3</sup>

株式会社豊田中央研究所<sup>1</sup>, トヨタ自動車株式会社<sup>2</sup>, 大阪大学<sup>3</sup>, 立命館大学<sup>4</sup>  
Toyota Central R & D Labs., Inc.<sup>1</sup>, Toyota Motor Corporation<sup>2</sup>, Osaka University<sup>3</sup>,  
Ritsumeikan University<sup>4</sup>

軟 X 線磁気円二色性と光電子顕微鏡を組み合わせた手法で NdFeB 焼結磁石の残留磁化状態における磁区構造観察を行った。残留磁化状態で形成される逆磁区が保磁力低下の原因のひとつと考えられており、結晶粒界が磁区形成に影響しているか否か観察した。結果、得られた逆磁区サイズは、粒径（直径約 5 $\mu\text{m}$ ）に対して大きく、結晶粒をまたがって形成している。このことから粒界による磁区の寸断は観察されなかった。

キーワード： NdFeB 焼結磁石, 磁区構造, XMCD-PEEM

**【背景・目的】** ハイブリッド車用モータには、Nd-Fe-B 系焼結磁石が用いられており、より高い磁気特性（高磁束密度または高保磁力）を持つ磁性体を適用することは、高温動作時（約 150 $^{\circ}\text{C}$ ）での高出力化、また、低燃費化につながる。磁束密度は化合物相とその焼結体の組織で決定され、ほぼ理論値まで達成されている。しかし、耐熱性を上げるための保磁力は、異方性磁界の約 15% であり大幅な改善が求められている。Nd-Fe-B 系焼結磁石の保磁力を決定する要因は特定されていないが、一つの可能性として、結晶粒界が磁化反転を抑制していると考えられる。

磁石表面の磁区構造を観察することにより、保磁力低下の原因の一つと考えられている残留磁化状態で発生している逆磁区の形状が結晶粒界構造の影響を受けているか否か観察することを目的とする。

**【測定方法】** ビームライン BL17SU における円偏光軟 X 線と光電子顕微鏡を組み合わせた手法において、着磁状態の NdFeB 系焼結磁石に磁気閉回路を組み込み漏れ磁場を抑制することで表面磁区構造観察を行った。

〈測定原理〉試料に入射する円偏光 X 線の偏光方向に対して、磁石表面の磁化方向が平行か反平行で試料表面から放出される電子の量が異なる現象（磁気円二色性）を利用して、2次元検出器（光電子顕微鏡）で検出することにより、磁石表面の磁区構造観察が可能である。さらに、入射 X 線のエネルギーを試料に含まれている元素のエネルギー吸収端に合わせることで 2次元元素分布観

察も可能となる.

〈試験片〉NdFeB 系焼結磁石 (市販品)

(市販品を) 10T で着磁

	Nd	Pr	B	Co	Al	Cu	O	C	Mn	Fe
wt%	25.8	6.21	0.70	0.92	0.21	0.10	0.48	0.066	0.07	66.0

表 1 NdFeB 磁石の組成

**【結果】** 図 1(a)には, 磁石表面の磁区像を示し, 着磁方向は右方向である. 図中のコントラストの暗い領域が残留磁化状態で発生した逆磁区で左方向の磁化を持つ. 観測された磁区は, 図内で水平 (磁化容易軸方向) に伸びている. その長さは 50 $\mu\text{m}$  程度に達している. これは, 焼結体の粒サイズ (直径約 5 $\mu\text{m}$ ) と比較して大きい. 同じ領域の Nd 元素分布を図 1(b)に示す. コントラストの明るい領域が Nd-rich 粒界相に相当しており, Nd-rich 相または表面欠陥の逆磁区成長への影響は見られない.

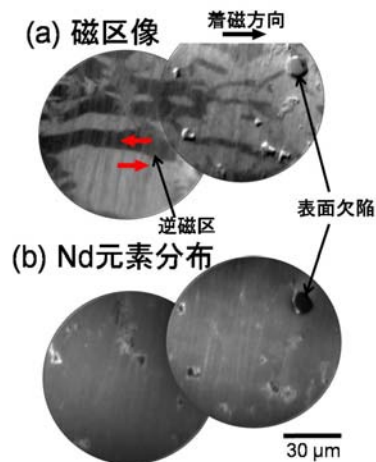


図 1 NdFeB 焼結磁石の 10T 着磁後の磁区構造

**【考察】** 10T で着磁後の残留磁化状態で図 1(a)の様に着磁方向に長く成長して逆磁区が観察されたことから, 粒界が磁壁の移動を妨げるほどのエネルギー障壁を形成していないことが分かる.