

# 中性子小角散乱による Nd-Fe-B 焼結磁石の粒界構造の解析

Small-Angle Neutron Scattering Analysis of Interface Structure in Sintered Nd-Fe-B Magnets

秋屋 貴博<sup>1)</sup>, 武田 全康<sup>2)</sup>, 鈴木 淳市<sup>2)</sup>, 山口 大輔<sup>2)</sup>, 小泉 智<sup>2)</sup>, 加藤 宏朗<sup>3)</sup>

Takahiro AKIYA, Masayasu TAKEDA, Jun-ichi SUZUKI, Daisuke YAMAGUCHI, Satoshi KOIZUMI, Hiroaki KATO

<sup>1)</sup> 東北大学 <sup>2)</sup> 原子力機構 <sup>3)</sup> 山形大学/東北大学

保磁力を変化させた Nd-Fe-B 系焼結磁石について中性子小角散乱実験を行い、磁気散乱の強度と保磁力の間に正の相関を見いだした。

キーワード：Nd-Fe-B 焼結磁石, 粒界構造, 保磁力

## 1. 目的

Nd-Fe-B 系焼結磁石は、現在モーターやアクチュエーター等で広く用いられている永久磁石材料である。しかし、Curie 温度が比較的低いことに起因する高温での磁気特性低下が著しいため、保磁力の上昇が強く要求されている。Nd-Fe-B 系磁石の保磁力は、主相の界面ナノ構造や粒界の構造に強く影響を受けていると考えられており、本研究グループでは強磁場プロセッシングを用いた構造制御法について検討を行っている [1]。これまで、Nd-Fe-B 系焼結磁石の中性子小角散乱パターンを SANS-J や PNO を用いて測定しているが、核散乱と磁気散乱が重なってしまうため、詳細な議論が極めて困難であった。そこで今回は、SANS-J で得られた 2次元散乱パターンを異なる角度依存性をもつ成分の和として解析し、Nd-Fe-B 系焼結磁石の平均構造と保磁力の関係について、より定量的な相関を見いだすことを目的とした。

## 2. 方法

試料は幅 15 mm 18 mm, 厚み 1.5 mm の Nd-Fe-B 系焼結磁石で、組成は Dy-free の一般的な商用磁石と同等のものである。ただし、天然 B は中性子を強く吸収するため、99%<sup>11</sup>B を濃縮したものをを用いた。熱処理を 475 ~ 550°C の温度範囲で行った結果、これらの試料の保磁力値は 13.6 ~ 15.4 kOe の範囲で変化した。また、磁気散乱の寄与を評価するために着磁状態の試料に加えて未着磁状態の試料も用意した。実験装置は、中性子波長  $\lambda=6.5 \text{ \AA}$  の SANS-J と、 $\lambda=2.0 \text{ \AA}$  の PNO を用いた。

## 3. 研究成果

すべての試料で、磁化容易軸に対して平行および垂直方向で散乱強度が強く、中間方向では比較的弱い、という特徴をもつ異方的 2次元散乱パターンが得られた。これらのパターンの平行および垂直方向の散乱曲線を抽出した結果は、Fujii らの報告 [2] と矛盾はない。次に着磁状態と未着磁状態の散乱パターンを比較した結果、平行方向での異方的散乱成分の強度は着磁の有無で違いはないが、垂直方向成分の強度が着磁によって減少することがわかった。従って、垂直方向成分は磁化容易軸に対して平行に存在する磁気ドメイン (磁区, 磁壁) と関係があり、一方、平行方向成分は磁気散乱とは無関係な異方的な構造体に起因していると推測される。更に、着磁試料の 2次元散乱パターンを、等方的成分、垂直方向 (磁気散乱) 成分、平行方向成分の重ね合わせとした関数でプロファイル解析を行い、各試料の保磁力  $H_c$  と比較して整理した結果、等方的成分および平行方向成分は  $H_c$  に依らずほぼ一定値であるのに対し、磁気散乱成分は  $H_c$  の増大とともに顕著な上昇を示すことがわかった。

## 4. 結果・考察

磁気散乱成分の起源の一つは、強磁性である主相の Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B と粒界相 (磁性は不明) の間の磁気的コントラストであると考えられる。今回、その磁気的コントラストと保磁力の間に強い正の相関があることが初めて明らかになった。この原因については、主相表面における磁気モーメントの分散性や、粒界相物質の磁気特性等をモデル化することによって、現在解析を進めているところである。また、平行方向の異方的な成分は、磁石の磁化容易軸に対して垂直方向に伸びた散乱体の存在を示唆するが、現在までに、このような構造を示唆する SEM や TEM 等の観察結果は報告されていない。今後は、HR-SEM 等を用いた微構造観察やモデル計算等を通して解析を進め、保磁力上昇のための指針を明確化することに寄与していきたいと考えている。

## 5. 引用 (参照) 文献等

[1] H. Kato, T. Miyazaki, M. Sagawa and K. Koyama 84 (2004) 4230.

[2] H. Fujii, M. Saga, T. Takeda, S. Komura and T. Okamoto, IEEE Trans. Magn. 23 (1987) 3119.