

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

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

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

¹⁾ 東北大学 / ²⁾ 山形大学 ³⁾ 東北大学 ³⁾ 原子力機構

Nd-Fe-B 系焼結磁石の保磁力と粒界構造の相関を明らかにするために、SANS-J および PNO を用いて中性子小角散乱実験を行った。その結果、保磁力と高角側の散乱曲線の強度に相関が見られた。また、Dy 置換を行った試料では、主相に対して粒界相の Dy 濃度が高い可能性が示唆された。

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 焼結磁石は現在多彩な分野で応用されているが、中でも環境に優しい電気自動車の駆動モーター用磁石としての需要が急加速している。しかしその環境温度が 200°C 程度まで上昇するため、磁石に不可逆的な減磁が起こることが問題となっている。現状では Dy 等の置換元素を用いることで保磁力を増大させ、その問題を回避しているが、Dy がレアメタルであることや、磁化を減少させるといった弊害があるため、なるべく Dy 添加量を減らした組成で高保磁力を得る方法が切望されている。この Nd-Fe-B 焼結磁石の主相 Nd₂Fe₁₄B 粒子間には Nd を含む粒界相が存在することが知られているが、その保磁力はこの微細構造と強い相関があると考えられている。そこで本研究では、強磁場中熱処理によって Nd-Fe-B 系焼結磁石の粒界構造の制御を試みている。これまでに強磁場中熱処理を行うことによって、最大 37% の保磁力上昇が起こること。また Nd-Cu や Al-Cu といった低融点相が粒界に存在するときに磁場効果が強く誘起されることを報告 [1] してきた。このような磁場中熱処理による保磁力上昇の機構を、中性子小角散乱実験による構造解析手法を用いて明らかにするのが本研究の目的である。

2. 方法

試料は Al および Cu を微量添加した Nd-Fe-B 系焼結磁石で、Dy 置換量を 0 ~ 11.3 wt.% の間で変化させた 4 種類を用いた。熱処理温度は 450°C から 550°C の間で変化させた。実験装置は、入射中性子波長 $\lambda=6.5 \text{ \AA}$ の SANS-J と、 $\lambda=2.0 \text{ \AA}$ の PNO を用いた。試料は 100 kOe の外部磁場で着磁し、磁区・磁壁を消去した状態にした。

3. 研究成果

SANS-J での測定から、散乱ベクトル Q が磁化容易軸に対して垂直および平行なときに散乱強度が強くなり、それ以外の方向では弱くなるような異方的 2 次元パターンを得た。また、最も高角の領域では、保磁力が大きい試料ほど散乱強度が強くなるという結果を得た。さらに、Dy 置換を行った試料では、粒界の幅に対応する Q 領域の散乱強度の上昇が、より著しくなることがわかった。

4. 結果・考察

まず、異方的な散乱パターンの起源については、PNO で得られた主相の粒径分布や、磁気散乱の寄与を考慮した散乱体のモデルを用いて現在解析中である。次に、高保磁力試料で高角領域の散乱強度が上昇する原因は、主相表面に存在する粒界相の体積が増加したためであると考えられる。このことは、主相表面が Nd-rich 相で囲まれることにより保磁力が上昇するという仮説とも整合する。しかし、主相表面全体に粒界相が存在すると仮定したモデルで計算した結果と比べると、実験で得られている散乱強度は低いことから、主相表面全体が Nd-rich 相に囲まれているのではないことを示唆している。

Dy 置換試料における散乱強度の増大という実験結果は、Dy が Nd に比べて 20 倍もの吸収係数を持つという事実と一見して矛盾するとうに思われる。しかし、もし Dy が粒界に偏析していると仮定すると、Dy の高い中性子散乱長によって主相と粒界のコントラストが強調されるため、散乱強度の増大が説明可能である。この仮説は、我々が以前行った、スピン再配列温度による主相の Dy 濃度の評価結果 [2] とも整合する。

5. 引用 (参照) 文献等

[1] H. Kato, T. Akiya, M. Sagawa, K. Koyama, T. Miyazaki, J. Magn. Mater. 310, 2596-2598 (2007).

[2] T. Akiya, H. Kato, M. Sagawa, K. Koyama, T. Miyazaki, J. Magn. Soc. Jpn. 30, 447-454 (2006).