

中性子小角散乱によるNd-Fe-Bの保磁力のメカニズムの解明

Study of coercivity mechanism in Nd-FeB permanent magnet by small angle neutron scattering

利用者 久保田正人¹⁾、小野寛太¹⁾、矢野正雄²⁾、宮本典孝²⁾、庄司哲也²⁾、加藤晃²⁾、真鍋明²⁾、原田雅史³⁾、野崎洋³⁾、金子裕治³⁾

Masato Kubota, Kanta Ono, Masao Yano, Noritaka Miyamoto, Tetsuya Shoji, Akira Kato, Akira Manabe, Masashi Harada, Hiroshi Nozaki, and Yuji Kaneko

所属 ¹⁾高エネルギー加速器研究機構、²⁾トヨタ自動車、³⁾豊田中央研究所

概要

電気自動車やハイブリッド自動車など環境低負荷型の乗り物の需要が環境及びエネルギーコストの観点から高まっている。これらの駆動用モータには、Nd-Fe-B磁石が利用されているが、高温で高保磁力を保つために、Dyが使用されている。Dyは希少資源であり、供給リスクもあることから、動作温度で高保磁力を保ち、なおかつDyの使用量を低減したNd-Fe-B磁石の開発が必要不可欠である。われわれはNd-Fe-B磁石の高保磁力メカニズムを明らかにするため、研究を行っている。

今回の実験では焼結磁石内部での磁気相関長を求めするために、中性子小角散乱測定を行った。

Nd-Fe-B磁石と(Nd,Dy)-Fe-B磁石を比較したところ、核散乱の相関長にはほとんど変化がなかったが、(Nd,Dy)-Fe-B磁石磁気相関が大きくなっていることが明らかになった。

キーワード 中性子小角散乱、永久磁石、保磁力、磁気相関長

1. 目的

環境及びエネルギーコストの観点から、電気自動車・ハイブリッド自動車など環境低負荷型の乗り物の需要はますます増大していくと考えられる。電気自動車・ハイブリッド車には駆動用大型モーターが搭載されており、大きな飽和磁束密度と大きな保磁力を持つNd-Fe-B磁石が用いられている。ハイブリッド自動車では動作環境が高温になるため、高保磁力を持つハード磁性材料の開発が必須である。

このような状況のもと高温で高保磁力を維持するNd-Fe-B永久磁石の開発が進められているが、高保磁力を実現するためには重希土類であるDyを大量に使用する必要がある。Dyの磁気モーメントはFeとスピン方向が逆になるため、Dy添加量に従い、磁化が減少し、最大エネルギー積が小さくなってしまふ。またDyは埋蔵量が少なく(Ndの10分の1)、原産地も中国の南西部に限定されており、リスク管理上もDyの使用量を低減する必要がある。世界的な需要の高まりと将来的な供給を考えると、Dyの使用量がなるべく少なく高保磁力を持ったNd-Fe-B磁石の開発が必要不可欠である。

これまでに行われてきた研究により、Nd-Fe-B磁石の保磁力とその組織の微細構造との間に相関があることが知られている。

そこで本研究では、Nd-Fe-B焼結磁石と(Nd,Dy)-Fe-B焼結磁石について、バルク状態での磁気構造を探るため、極小角中性子散乱実験を行った。

2. 方法

試料は幅15mm×7mm、厚さ0.5mmのNd-Fe-B焼結磁石およびDyを4 wt%含有する(Nd,Dy)-Fe-B焼結磁石を用いた。天然ポロンによる中性子吸収の影響を少なくするため、B¹¹で同位体置換した焼結磁石を用いた。

100 nm～数μm程度の微細構造および磁気構造の情報を得るために、PNO(波長2.0 Å)を用いて極小角中性子散乱実験を行った。

また、核散乱成分と磁気散乱成分を分けて測定することが重要であるため、着磁した試料と熱消磁および磁気消磁した試料の測定を行った。

3. 研究成果

熱消磁したNd-Fe-B焼結磁石を用いて、磁石のc軸方向が散乱ベクトルQに垂直な配置と水平な配置の2つの条件下で中性子小角散乱実験を行った。その結果、磁気成分が存在することにより、Qレンジが0.001-0.015nm⁻¹の領域において、垂直配置の場合の方が水平配置の場合よりも散乱強度が大きかった。

着磁した試料を用いて、中性子小角散乱実験を行ったところ、垂直・水平配置において散乱プロファイルに異方性は観測されなかった。これは、着磁状態では磁化がc軸方向を向いているため、磁気散乱成分が検出されないためである。散乱プロファイルから核散乱成分に対応する相関長を求めたところ約1100nmであった。

また、Nd-Fe-B焼結磁石と(Nd,Dy)-Fe-B焼結磁石について核散乱成分から、磁気相関長を求めた。(Nd,Dy)-Fe-B焼結磁石の方が約1.5倍大きな磁気相関長を持つことが分かった。

4. 結論・考察

Nd-Fe-B焼結磁石と(Nd,Dy)-Fe-B焼結磁石について中性子小角散乱実験を行った。核散乱の相関長はほとんど変化がなかったが、(Nd,Dy)-Fe-B焼結磁石では磁気相関長が大きくなっていることが分かった。このことが、(Nd,Dy)-Fe-B焼結磁石では結晶磁気異方性がNd-Fe-B焼結磁石よりも大きい要因と考えられる。