

## 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

久保田正人<sup>1)</sup>、小野寛太<sup>1)</sup>、矢野正雄<sup>2)</sup>、宮本典孝<sup>2)</sup>、庄司哲也<sup>2)</sup>、加藤晃<sup>2)</sup>、真鍋明<sup>2)</sup>、  
原田雅史<sup>3)</sup>、野崎洋<sup>3)</sup>、金子裕治<sup>3)</sup>Masato Kubota, Kanta Ono, Masao Yano, Noritaka Miyamoto, Tetsuya Shoji, Akira Kato, Akira Manabe, Masashi Harada,  
Hiroshi Nozaki, and Yuji Kaneko<sup>1)</sup>高エネルギー加速器研究機構      <sup>2)</sup>トヨタ自動車、<sup>3)</sup>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行あける)

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るており、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。天然ボロンによる中性子吸収の影響を少なくするため、 $B^{11}$  で同位体置換した焼結磁石を用いた。

100 nm ~ 数  $\mu$ m 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  $0.001\text{--}0.015\text{nm}^{-1}$  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。

## 5. 引用(参照)文献等