

# 重希土類拡散法による磁石特性向上とその組織形成メカニズムの解明

O20

Formation mechanism of HRE-rich shell and magnetic property change of Nd-Fe-B sintered magnets by HRE grain boundary diffusion process

大久保忠勝 OHKUBO.Tadakatsu@nims.go.jp

物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点

## 1. 背景

現在、最も強力な磁石として知られているネオジム磁石は、その高残留密度、高保磁力優れた最大エネルギー積などの特性により、ハイブリット／電気自動車のトラクションモーター、家電製品中のモーター、風力発電機の高出力化、小型化の要請によって、今後ますます使用量が増加し、その重要性が増すことが予測されている。特に、自動車応用の場合には 150°C 程度の高温になることが想定されるため、特に希少な元素である Dy や Tb 等の重希土類元素(HRE)を添加し、保磁力を底上げすることで商業的には実用化されている。この HRE を用いた粒界拡散法は高磁化を維持しながら高保磁力の達成が可能でハイエンド磁石実現の重要なプロセスであるが、その組織メカニズムの詳細は十分には理解されていなかった。

そこで、本研究では、HRE 拡散処理を行ったネオジム焼結磁石について SEM、TEM、アトムプローブを活用して詳細なマルチスケール組織解析を行い、拡散処理による組織形成メカニズム及び特性向上の起源を明らかにした。

## 2. 粒界拡散法によるシェル組織形成メカニズム [1]

HRE 粒界拡散処理された磁石で  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  主相粒表面に観察されるシェル組織の形成は、Nd リッチ粒界相から主相への HRE の拡散に起因しているが、HRE の固体拡散では、シェル部と主相内側のコア部の界面で HRE 分布が急峻に変化することの説明が困難で、拡散処理中に主相粒子の表面が部分的に融解し、HRE を含み液化した粒界相の固化の結果としてこのこのシェル組織化が形成されることが提案されたが、シェル組織の非対称や、特に表面近傍で観察されるシェル組織の大きな体積分率は説明できなかった。ここでは、Tb 拡散処理磁石における Tb リッチシェルの形成のメカニズムを明らかにするため、ネオジム焼結磁石に対して  $\text{TbH}_2$  粉末を用いた粒界拡散処理(970°C)を行った後、520°Cの低温熱処理を実施し、その組織を解析した。

組織解析の結果から明らかになった Tb の分布や、コア部とシェル部の界面に存在する面欠陥の存在、及びフェーズフィールド法による検討結果から、粒界拡散処理中に Tb を含有する液体粒界相が形成され、組成変化による駆動力によって、一方では主相表面の融解、他方では凝固が進行することによって液化した粒界相の位置が移動し、その軌

跡として Tb リッチシェルが形成されることが明らかになった。

## 3. 粒界拡散法による 2 層シェル組織の形成 [2]

前述した個々の  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  主相粒表面に形成する HRE を含有するシェル組織の形成は保磁力の増加に寄与するが、それに加えて、拡散処理後の低温熱処理による大きな保磁力向上の起源を理解するため、Dy フリーおよび Dy 含有ネオジム焼結磁石を 900°CのDy蒸気拡散法により粒界拡散処理を行い、その後 520°Cの低温熱処理を実施し、その磁気特性評価及び組織解析を行った。

組織解析の結果、拡散処理後の低温熱処理によって粒界相に接する主相粒最表面に、図に示すような“セカンダリ Dy リッチシェル”の形成が確認された。粒界拡散処理中に Nd リッチ粒界相に濃縮された Dy 元素は、拡散後の低温熱処理中に主相に固相拡散し、この二次 Dy リッチシェルを形成し、保磁力向上に寄与していることが明らかとなった。

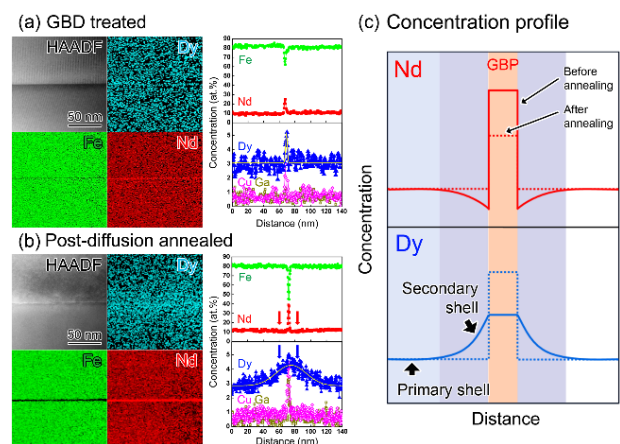


図 Dy 拡散焼結磁石の拡散処理後(a)と低温熱処理後(b)の HAADF-STEM 像と粒界相近傍の組成プロファイルと模式図(c)

### 【共著者(所属)】

Tae-Hoon Kim・佐々木泰祐・宝野和博(物質・材料研究機構)

### 【関連プロジェクト】

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>磁性材料拠点

### 【参考文献】(最大3本)

[1] T-H Kim et al., Scripta Mater., Vol. 178, 433-437(2020).

[2] T-H Kim et al., Acta Mater., Vol. 175, 139-149(2019).