

# マルチスケール解析による鉄基希土類磁石の保磁力向上

P22

Development of high coercivity Iron-based rare-earth permanent magnets by multi-scale structural characterization

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. はじめに

Nd-Fe-B 磁石に代表される Fe 基希土類磁石の保磁力は組織的な要因に大きく依存していることが知られており、その保磁力を発現、向上させるには、その微細組織を最適化する必要がある。本研究では、Nd-Fe-B 磁石の保磁力向上、SmFe<sub>12</sub> 系合金のバルク磁石創製に向けて実施したマルチスケール組織解析、マイクロマグネティクス計算、第一原理計算による検討結果を報告する。

## 2. Nd-Fe-B 磁石の組織解析と高保磁力化

一般的に使用されている Nd-Fe-B 焼結磁石では、その粒径は数 μm であり、個々の主相粒は Fe リッチの厚さ数 nm の 2 粒子粒界相に取り囲まれているが、Ga を微量添加し、保磁力が大きく (1T から 1.8T) 向上した磁石について詳細に組織を解析し、Ga 添加によって粒界相が改質され非磁性化したことが保磁力向上に寄与していることを明らかにした [1]。また、保磁力向上には粒径の微細化が有効であることが知られており、粒径数 100nm の熱間加工磁石の粒界相を改質することで、保磁力の向上が期待されており、Ga 含有 Nd-Fe-B 熱間加工磁石の共晶合金粒界拡散処理前後の試料について、磁気光学カー効果顕微鏡およびマイクロマグネティック計算からその磁化反転過程を検討した [2]。拡散処理前の試料では、磁化反転は旧リボン表面に生成する配向が乱れた粗大粒から開始し、反転した磁区は粒界によるピン止め効果が弱いために印加磁場 (c 軸) 方向に一気にカスケード伝搬するため、これが小さな保磁力の原因であると考えられる。一方、拡散後の試料でも、磁化反転は旧リボン表面の未配向粒子からも開始するものの、非磁性粒界相による強いピン止め効果のために、磁区の伝搬が抑制される様子が観察され、非磁性粒界相の形成が保磁力向上に貢献していることが確認された。また、図に示すようなマイクロマグネティック計算の結果からも、非磁性粒界相の形成と未配向粒子の除去が、高保磁力化の鍵であることが示された。

## 3. SmFe<sub>12</sub> 系合金のバルク磁石創製に向けて

ThMn<sub>12</sub> 構造を有する SmFe<sub>12</sub> 系合金は、一軸異方性を示し、高い異方性磁界と良好な保磁力の温度特性から高性能磁石化への期待が大きく、薄膜実験によってその物性は確認されているものの、その保磁力は 10kOe 程度の値に留

まっている。我々はこの合金をバルク化した上で保磁力を発現させ磁石化するための研究を行っており、最近、実験および第一原理計算によって、SmFe<sub>12</sub> 基化合物の相安定性を検討した [3]。熱処理温度の上昇に伴い、粒子表面からの Sm 蒸発によって 1-12 相の分解が開始し、α-Fe および Fe<sub>2</sub>Ti 相が形成され、その分解速度は、粒子サイズに反比例することが明らかとなった。また、創製実験から Fe を V や Ga などの相安定化元素で置き換えることで 1-12 相を安定化する効果が確認されるとともに、第一原理計算からも、Ti、V、Ga が 1-12 相の形成エネルギーを低下させることが明らかになり、磁気モーメントの減少を考慮すると、磁化の減少を最小限に抑えることができる最も効果的な安定化元素は Ga であることが示唆された。

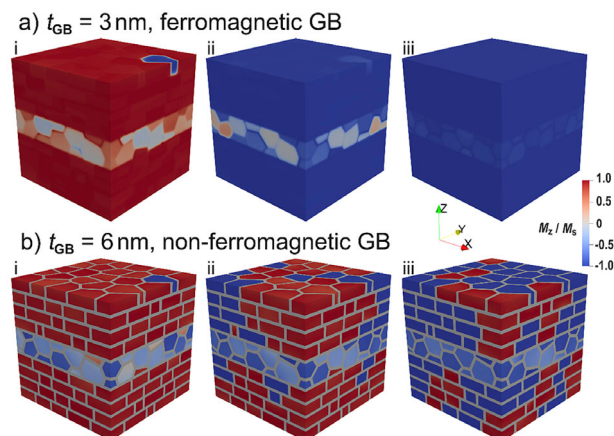


図 粒界相が (a) 強磁性体、(b) 非強磁性体の、モデル化された Nd-Fe-B 熱間加工磁石のモデル計算結果

### [共著者(所属)]

M. Soderznik・J. Li・I. Dirba・H. Sepehri-Amin・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]

- [1] T.T.Sasaki et al., Scripta Mater., Vol 113, 218-221(2016).
- [2] M. Soderznik et al., J Alloys Comp., Vol 771, 51-59 (2019).
- [3] I. Dirba et al., J Alloys Comp., Vol 813, 152224 (2020).