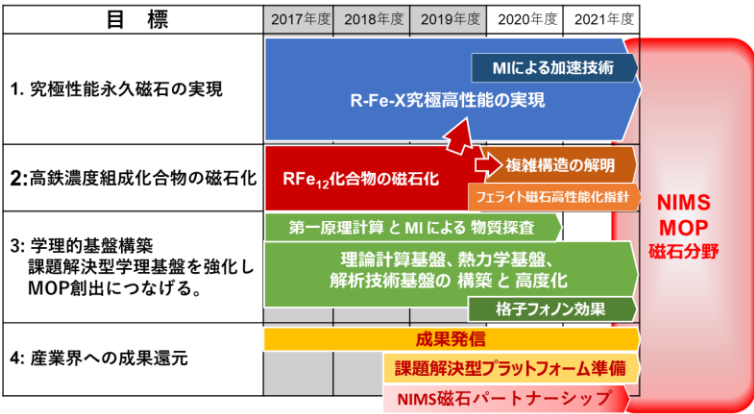


研究テーマ：希少元素を使用しない究極高性能永久磁石の創製

第3期（H30～R3年度）の研究目標

究極性能磁石材料の開発、および、理論限界実現に導く学理基盤の構築

- I. 究極性能系磁石の実現：高保磁力、高温耐性、高エネルギー積、温度依存性において究極的高性能を実現する。
- II. 高鉄濃度磁石化合物の磁石化：資源リスク低減を目指し、 RFe_{12} 系化合物の磁石化やハードフェライト高性能化に取り組む。
- III. 学理的基盤の構築：先端解析技術、熱力学データベース、温度効果を正しく取り扱う保磁力理論、インフォマティクス応用等の基礎学理を構築し、産学連携プラットフォームの基盤とする。
- IV. 産業界への成果還元：基盤的成果・研究人材を産業界に還元、磁石製造業の国際競争力に貢献し、産学連携MOPに繋げる。



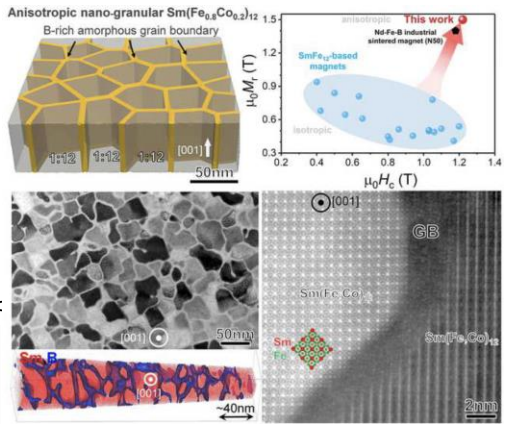
H31年度の代表的な研究成果

◆1-12型Sm-Fe-Co系化合物の ほう素添加による 高保磁力発現

- ✓Sm($Fe_{0.8}Co_{0.2}$)-B系薄膜試料を同時スパッタ蒸着法で作製し、異方性1-12系として初めて1.2 Tもの高保磁力を実現。
- ✓ほう素が粒界に集積した微結晶配向膜組織が生成(右図)。^[1]
- ✓保磁力の温度依存性(-0.22%/°C)がNd-Fe-B(-0.5%/°C)より小さい。
- ✓1-12系磁石でNd-Fe-B磁石を超える特性を薄膜で実証、バルク磁石を目指す。

(宝野GL、高橋PI、嶋、玉澤、Sepehri-Amin、他)

自発的組織形成により
高保磁力1.2 Tを実現



1) 特願2019-181786, 特願2020-084275

2) H. Sepehri-Amin et al. Acta Mater. (2020), in press, doi: 10.1016/j.actamat.2020.05.026.

Sm($Fe_{0.8}Co_{0.2}$)₁₂-B系薄膜異方性磁石

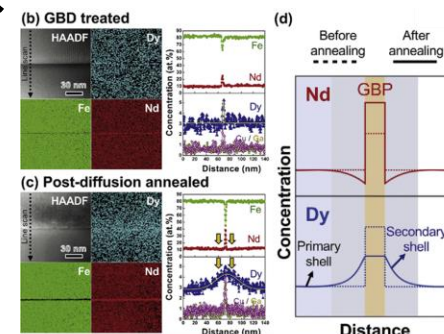
◆Nd-Fe-B系焼結磁石の組織解析に基づく究極高性能化指針提示

- ✓ Dy粒界拡散-熱処理により粒界に導入されたDyを主相内に拡散させ、最表部のDy濃度が約5%に達すると室温保磁力 約 3T が実現されることを明らかにした(右図 [1])。
- ✓ フェーズフィールド法、拡散モデルにより、粒界拡散プロセスで生成する コア/シェル構造内の元素濃度分布の理論計算に成功 [2]。

(宝野GL、佐々木、T.-H. Kim、小山PI、他)

主相最外郭層の組成制御

- 1) T.H. Kim, T.T. Sasaki, T. Ohkubo, et al., Acta Mater. 172 (2019) 139 (トヨタ共著)
- 2) T.H. Kim et al. Scr. Mat. 178 (2020) 433. (TDK共著)



室温保磁力3TのDy粒界拡散-熱処理磁石における主相最外郭部のDy濃度分布[1]

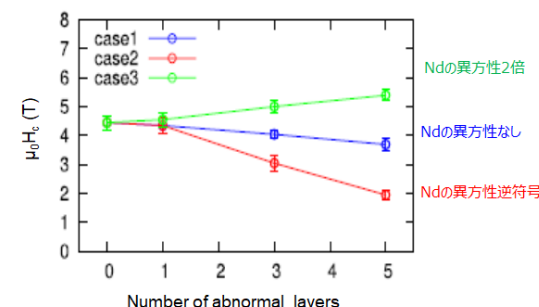
◆熱揺動の保磁力への影響に関する有限温度シミュレーション

- ✓ 熱揺動がある場合の保磁力と粒界相磁性の関係を明らかにした[1]。
- ✓ 室温以上では、表面層の希土類イオンの磁気異方性の効果が顕在化するためには数原子層にわたる置換操作が必要 [2](図)。
- ✓ 希土類-鉄間の磁気結合が弱いため、熱揺らぎ効果により表面層の希土類イオンの磁気異方性が低下していることが要因。

(宮下PI、西野、Uysal)

最表面層の熱揺動効果の抑制がカギ

- 1) M. Nishino, I. Uysal, S. Miyashita, PRB 101 (2020) 094421
- 2) Nishino, Miyashita, Uysal, in preparation



Nd₂Fe₁₄Bの表面近傍原子面の希土類イオンサイトの異方性を変化させた原子面数と保磁力の関係(室温) [2]

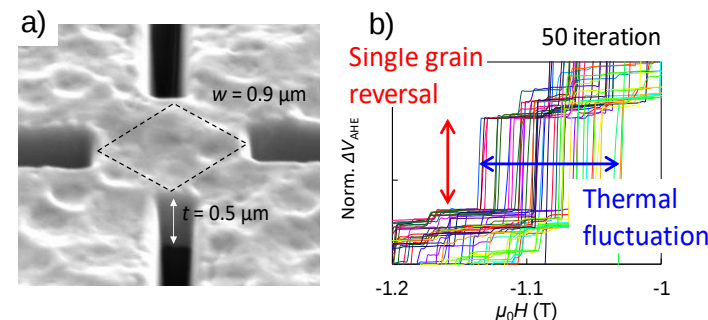
◆超高感度磁気計測による磁石内部の磁化反転素過程の計測と熱活性化過程の解析

- ✓ Nd-Fe-B系 熱間塑性加工磁石を微細加工し、微小領域の磁化反転過程を異常ホール効果を用いて超高感度に計測した。
- ✓ 磁化反転の素過程に対応する磁化ジャンプの検出に初めて成功 [1] (右図、縦軸の磁化変化はほぼ一粒子の磁化反転に相当)。
- ✓ 繰り返し測定 of 統計処理を用いて、磁化反転のエネルギーバリア等の解析が可能になった。

(岡本PI、蓬田、宝野GL)

熱活性化磁化反転理論の実験検証手法を開発

- 1) T. Yomogita, N. Kikucui, S. Okamoto et al., AIP Adv. 9 (2019) 125052



測定試料上面図 (a)と 減磁過程の磁化変化(50回繰返し) (b)