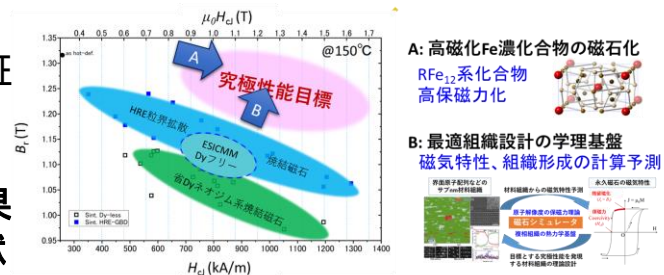


研究テーマ: 希少元素を使用しない高性能永久磁石の創製

第2期 (H27~29年度) の研究目標

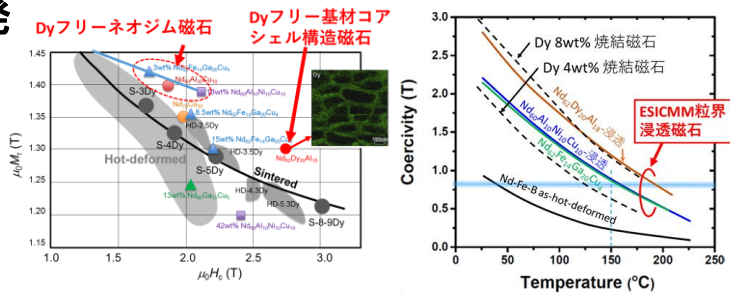
- Dyフリーネオジム磁石の開発から究極性能磁石材料の開発へ
- I. 既存ネオジム磁石を超える究極性能系磁石の実現
 - II. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を超える高鉄濃度磁石化合物の探査と保磁力発現の検証
 - III. 最適複相組織を実現するための学理基盤の構築
 - IV. 産業界への成果還元
- HEV/EV用高性能永久磁石材料の開発と工業化に必要な学理成果
および研究人材を産業界に還元し、磁石メーカーの国際競争力に貢献



H27~29年度の代表的な研究成果

◆ 保磁力発現機構の解析に基づくDyフリー磁石の開発

- ✓ 微結晶熱間加工の粒界に浸透させる低融点合金にFeを添加し、高磁化化を達成
 - ✓ 高保磁力化の温度依存性も改善し、Dyフリーで熱耐性150°Cを達成 (宝野GL、大久保PI)
- Dyフリー磁石の目標を達成



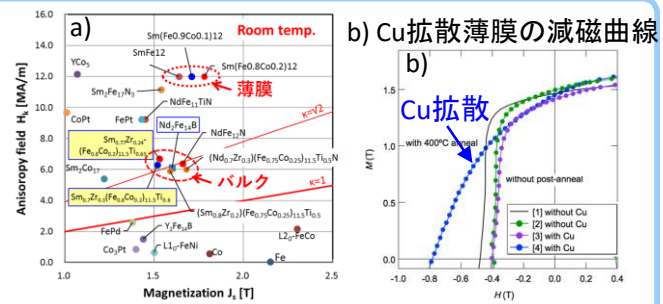
a) Dyフリー熱間加工磁石にNd系低融点合金を浸透した磁石 (色記号) と従来焼結磁石 (灰色) の特性マップ; b) 保磁力の温度変化

L. Liu, H. Sepehri Amin, T. Ohkubo, M. Yano, A. Kato, N. Sakuma, T. Shoji, K. Hono, *Scripta Materialia* 129, 44-47 (2017).
L. Liu, H. Sepehri-Amin, T.T. Sasaki, T. Ohkubo, M. Yano, N. Sakuma, A. Kato, T. Shoji, K. Hono, *AIP Advances* 8, 056205 (2018)

◆ Nd-Fe-Bの磁気物性を凌駕する1-12型化合物の作製

- ✓ 理論予測に基づき、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の1.61Tを超える高磁化1.78T(室温)および異方性磁界を有す $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ の単結晶薄膜の作製に成功。
 - ✓ 異方性多結晶薄膜へのCu等の粒界拡散により保磁力0.8T発現を確認。
 - ✓ 構造安定な合金組成と高温物性値を決定。
- 新磁石候補物質 $\text{Sm}(\text{FeCo})_{12}$

(三宅GI、宝野GL、高橋PI、原嶋、平山)
Y. Harashima, et al. *J. Appl. Phys.* 120, 203904 (2016)
Y. Hirayama, Y.K. Takahashi, et al. *Scripta Mater.* 138 (2017) 62
P. Tozman, H. Sepehri-Amin, et al. *Acta Mater.* (2018) accepted



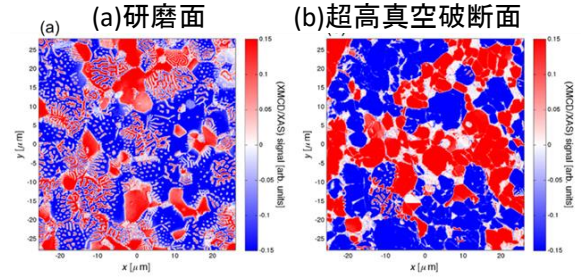
a) $\text{Sm}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{12}$ および、構造安定なSm-Zr-Fe-Co-Ti系1-12型化合物の磁性と他の磁石化合物との比較
b) Cu拡散薄膜の減磁曲線

◆新たな磁化過程解析技術によるNd-Fe-B系磁石の保磁力発現機構の解明

- ✓ ナノ組織を破壊しない磁化過程の観察が可能な、ソフトX線ナノビーム元素識別磁気顕微鏡を開発・実用化し本来の保磁力機構を解明。
- ✓ 産業界も利用を開始。
- ✓ FORC解析法を確立し、磁壁ピンング力の分布と温度変化を解明。
- ✓ 界面構造の第一原理計算により、界面の局所的磁性の変化とその影響を解明。

(中村PI、岡本PI、合田PI)

放射光XMCD磁気顕微鏡の開発と実用化



[1] Y. Kotani, et al. *J. Synchrotron Rad.*, in print.

[2] 岡本聡, までりあ 56 (2017) 533; [3] Y. Tatetsu, et al. *Phys. Rev. Appl.* 6 (2016) 064029

XMCD顕微鏡で見た従来の磁区像 (a)と本来の磁区構造 (b)

◆原子スピンモデルを用いた高温磁性と保磁力の理論計算

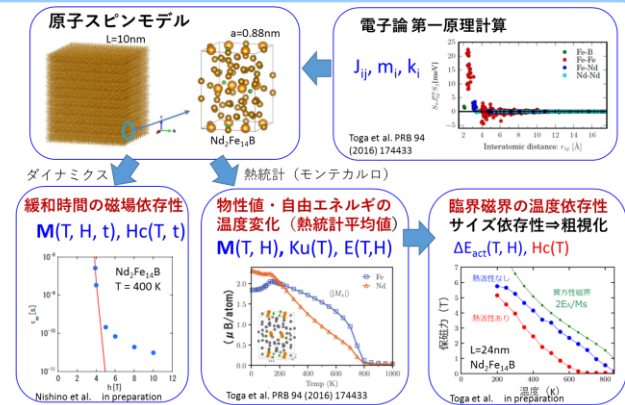
- ✓ Nd₂Fe₁₄Bの原子スピンモデルを第一原理計算で決定した磁気物性値を用いて構築し、磁化と異方性磁界の温度変化を再現
- ✓ 非一様な磁化反転過程のエネルギー障壁解析による保磁力理論の開発
- ✓ 熱揺動効果を直接取り入れた確率的磁化反転の理論計算手法の開発

(三宅GL、宮下PI、西野、梶)

電子論に基づく原子描像の磁化反転理論

M. Nishino, Y. Toga, S. Miyashita, H. Akai, S. Hirosawa, *Phys. Rev. B* 95, 094429 (2017);

S. Miyashita, S. Miyashita, M. Nishino, Y. Toga, T. Hinokihara, T. Miyake, S. Hirosawa, A. Sakuma, *Scripta Mater.* 154 (2018), 259



原子描像の高温磁化反転計算の体系図と計算結果

◆熱力学データベース構築と計算状態図による解析

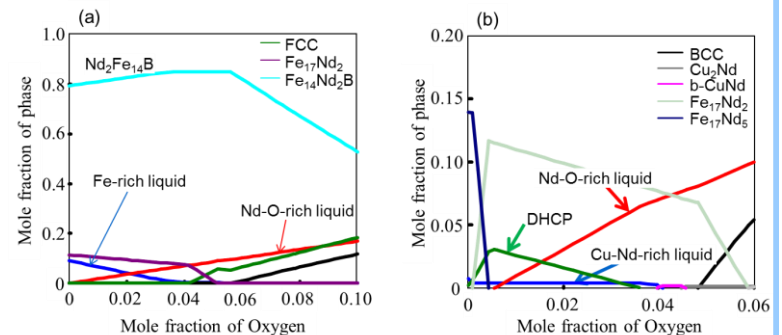
- ✓ 熱平衡実験と生成エネルギーの第一原理計算を組み合わせたCALPHAD計算の熱力学データベースをNd-Fe-B-Cu-O系まで構築
- ✓ 酸素の挙動と相生成への影響を始めて解析

多成分希土類磁石合金の熱力学解析

(阿部PI、小山PI、陳、サエンデージン)

T. Oshino, Y. Kobayashi, T. Koyama, *Mat. Trans.* 57, 1771 (2017)

T. Abe, Y. Chen, A. Saengdeejing, Y. Kobayashi, *Scripta Mater.* 154, 305 (2018)



初めて計算可能になったNd-Fe-B系磁石合金における酸素の影響。1100°C(a)と600°C(b)における各相比率の酸素濃度依存性