

研究代表者	加藤 宏朗（山形大学 大学院理工学研究科 教授）
研究開発担当者	安藤 康夫（東北大学 大学院工学研究科 教授） 板倉 賢（九州大学 大学院総合理工学研究院 准教授） 小池 邦博（山形大学 大学院理工学研究科 准教授）
課題名	ナノスケール構造制御による高性能磁石創製への指針獲得
研究概要	現在最強のネオジム焼結磁石は、産業用や医療機器などに広く用いられていますが、更なる高性能化や高耐熱性が求められています。本研究では、薄膜プロセスを用いたナノスケールの構造制御によって、ネオジム磁石を上回り、レアメタルである重希土類元素（Dy, Tb）の使用量を大幅に削減した最強の希土類磁石を創製するための指針を獲得します。更に、産学の対話のもと、高性能磁石の厚膜化やバルク化に取り組みます。

### 研究目標・成果

ナノスケールの構造制御によって、現在最強のネオジム焼結磁石の最大エネルギー積を上回り、しかも資源的リスクのあるレアメタルであるDyやTbの使用量を大幅に削減した最強の希土類磁石を創製するための指針を獲得し、実験室レベルでの実証に挑戦する。そのための具体的な研究項目と目標を以下のように設定した。

研究項目(1) ナノ構造制御による高品位モデル磁石の創製と高性能化の指針獲得

- (a) ナノ構造制御による磁化増強
- (b) ナノ構造制御による保磁力増強
- (c) 究極の高エネルギー積ナノコンポジット薄膜モデル磁石創製への挑戦
- (d) 異方性ナノコンポジット磁石の厚膜化およびバルク化の検討

研究項目(2) 高品位モデル磁石の高精度磁気特性および構造評価

研究項目(3) 高品位モデル磁石の原子レベル構造評価

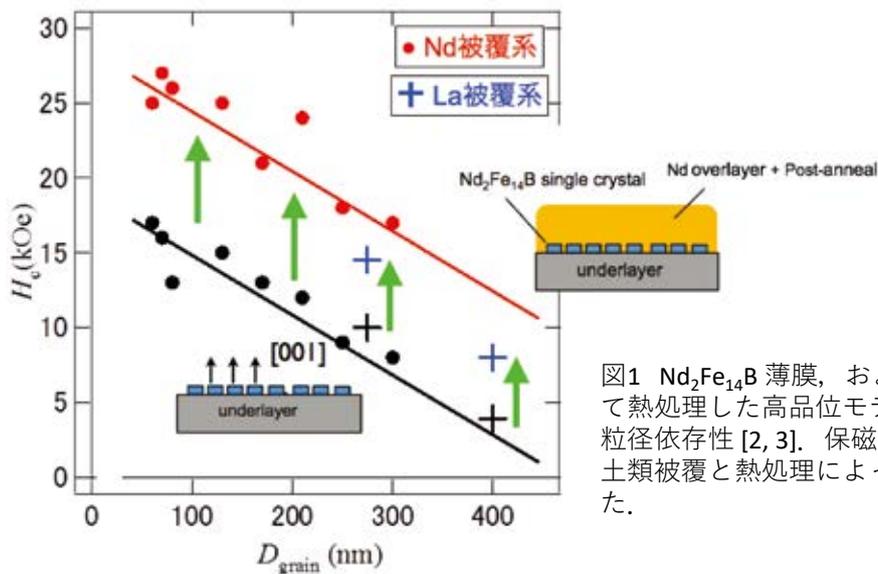


図1  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  薄膜、およびその上部にNd層、La層を被覆して熱処理した高品位モデル薄膜試料における保磁力の結晶粒径依存性 [2, 3]。保磁力  $H_c$  は結晶粒径  $D_{\text{grain}}$  に依らずに希土類被覆と熱処理によって顕著な増加を示すことを見出した。

[1] D. Ogawa, K. Koike, et al., Appl. Phys. Lett., 107, (2015) 102406(1-4).

[2] K. Koike, H. Ishikawa, et al., Physics Procedia, 75 (2015) 1294–1299.

[3] K. Koike, T. Kusano, et al., Nanoscale Res. Lett., 11:33, (2016) (1-8).

[4] M. Itakura, J. Fukuda, et al., AIP Advances 7(3), 035301-1~9 (2017).

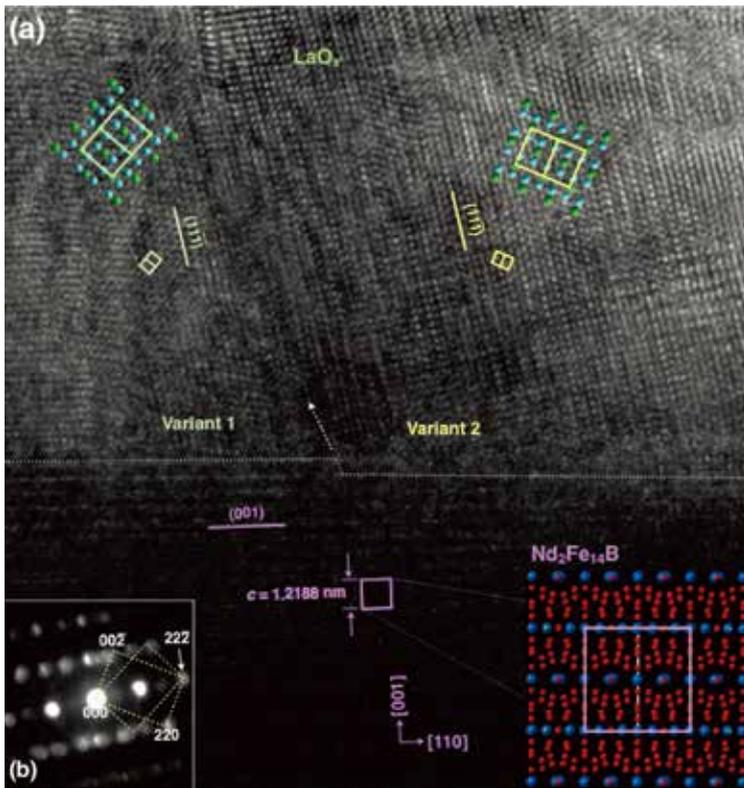


図2 La被覆したNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B薄膜におけるNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B層とLaO<sub>x</sub>層の界面のTEM画像. [4]

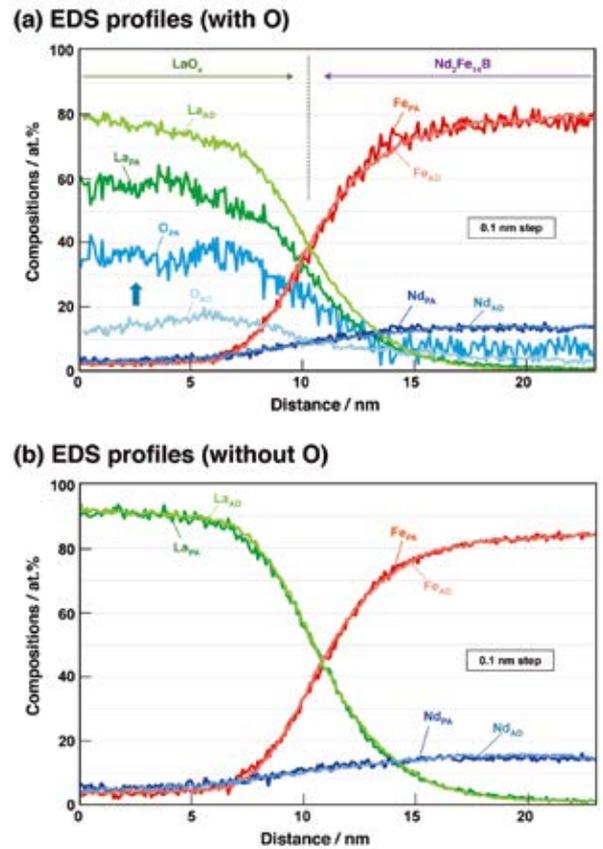


図3 図2の界面での濃度プロファイル. (a)酸素を含む場合(b)酸素を除いた場合. 熱処理で酸素濃度のみの増加(15%→35%)している. [4]

c軸が配向したNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B薄膜をNd被覆またはLa被覆して熱処理したモデル試料では、図1のように保磁力が結晶粒径に依らずに顕著な増加を示す現象 [2, 3] を見出した. 上記モデル試料の界面構造を高分解能TEM観察によって調べたところ、図2のように被覆したNd層やLa層は酸化物相NdO<sub>x</sub>, LaO<sub>x</sub>になっていることや、その酸素濃度は図3のように熱処理に伴って20 at%程度増加すること [4] を発見し、保磁力と酸素濃度の相関を強く示唆した.

#### 想定する分野・用途

- 短期的：小型・超小型で高性能な永久磁石（アクチュエータ, Magnetic Drug Delivery System）
- 長期的：HV, EV駆動モータ用高耐熱高性能磁石, 超高効率風力発電機用永久磁石

#### 最終目標

- ナノスケールの構造制御と原子レベルでの構造評価によって高品位モデル磁石を創製し、資源的リスクのあるレアメタルの使用量を大幅に削減した最強の希土類磁石を創製するための指針を獲得する

#### 産業界への要望

- 軽希土類元素は重希土類に比べてそれ程希少ではなく、永久磁石の高性能化にとって不可欠です. 軽希土類永久磁石は今後更なる性能向上のポテンシャルを秘めていることが明らかになってきました.

お問合せ 山形大学大学院理工学研究科 米沢市城南4-3-16 E-mail : kato@yz.yamagata-u.ac.jp