

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03376

研究課題名（和文）永久磁石における局所反磁場を考慮した磁化反転解析

研究課題名（英文）Magnetization reversal analysis of permanent magnet considering local demagnetizing field

研究代表者

北上 修 (Kitakami, Osamu)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：70250834

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,100,000円

研究成果の概要（和文）：NdFeBは最高性能を有する磁石として、電気自動車など様々な先端技術に活用されている。しかし高い動作温度における保磁力低下により磁石性能は劣化するため、一層の保磁力向上が切望されてきた。本課題では、NdFeB磁石の磁化反転過程の研究を通じ、保磁力向上の指針を確立することを目的とする。

NdFeB磁石を単磁区サイズまで微細化し、そこで起きる磁化反転素過程を高感度磁化検出技術で調べた。その結果、磁化反転は磁壁移動で進行し、保磁力は結晶粒界における磁壁ピンングに支配されることがわかった。さらに実験と理論より、粒界の非磁性化により粒子間結合を低減することが保磁力増強に有効であることを実証できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低環境負荷の先端技術を支える材料としてNdFeB磁石は重要な役割を果たしている。それらのエネルギー利用率向上には、一層の保磁力増強が切望されている。本研究では、各種先端技術を組み合わせることにより、NdFeB磁石内で起きる磁化反転の素過程を詳細に調べ、その保磁力が結晶粒界の磁壁ピンング力に支配されることを初めて明らかにした。保磁力に及ぼす粒界制御の影響については長年議論されてきたが、本研究はその重要性を初めて実証したものである。この成果に基づけば、粒界を非磁性化に向かわせる元素添加もしくは組織制御プロセスの最適化により、さらなる高保磁力化を実現できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：NdFeB magnets play crucial roles in modern technologies, such as electric vehicles and power generators. At high operation temperatures, however, the performance severely deteriorates due to the coercivity decay. The aim of the present study is to clarify how one can enhance the coercivity by revealing the magnetization process.

We have carefully traced elementary magnetization processes occurring in single nanostructured NdFeB magnets consisting of a few magnetic domains by means of the highly sensitive magnetization detection technique and the x-ray circular dichroism. It has been found that the magnetization proceeds by domain wall displacement and the coercivity is dominated by the pinning of the domain walls at crystal grain boundaries. According to the micromagnetics simulation as well as the experiment mentioned above, the coercivity is found to be effectively enhanced by weakening the exchange stiffness of the boundary phase.

研究分野：磁性材料

キーワード：永久磁石 磁化反転 保磁力 磁壁 粒界

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

電子機器の小型化や電気自動車をはじめとする環境負荷低減技術に対する期待の高まりと共に、より高い最大磁気エネルギー積(BH)<sub>max</sub>を有する永久磁石材料の研究開発が世界的規模で進められている。現在、最高性能を有する材料はNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B(以降NdFeBと略す)であるものの<sup>1)</sup>、その保磁力は理論値(異方性磁場 $\mu_0H_k=7.7$ T)の高々20~30%程度にとどまり、この問題を解消するために希少元素のDy添加などの対策が施されている。Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bのみならず、一般に保磁力が理論値より小さいことはBrownパラドクスとして古くから認識され<sup>1)</sup>、半世紀以上にわたり世界で活発な研究が進められてきた。しかしいまだにその真相は解明されていない<sup>1)</sup>。NdFeB磁石の場合、主な保磁力低下要因として、粒界層や粒子表面の低磁気異方性相の存在や、Kronmullerの経験式<sup>2)</sup> $H_c = \alpha H_k - N_{\text{eff}} M_s$ ( $\alpha$ : 定数,  $N_{\text{eff}}$ : 有効反磁場係数,  $M_s$ : 飽和磁化)に基づくデータ解析から局所反磁場の関与が指摘されてきた。後者に関しては、最近マイクロマグネティクスによる計算機シミュレーションが開始されたものの<sup>3)</sup>、実験データに関しては殆ど蓄積が無い状況にある。永久磁石の保磁力に及ぼす局所反磁場の影響については、それらの材料の異方性磁場が非常に大きいことからそれほど重要視されてこなかった。しかし既に半世紀ほど前にPhillips社のZijlstraが指摘したように、試料形状によっては、局所反磁場は数Tに達する場合もあり、その影響は決して無視することはできない。実際、過去の膨大な研究で実体が不明な“vestigial domain”の存在が指摘されていた<sup>4)</sup>。もし磁石内にそのような局所反磁場の大きい領域が存在すれば、低磁場での反転磁区形成、拡大というプロセスで磁化が進行し、保磁力は低下する。

磁石材料の保磁力問題に関しては、以上のような研究が行われてきたが、真の理解には程遠いレベルにある。最も大きな問題は、実際に磁石内で起きる磁化過程の観察・解析が極めて困難なことである。第一に、磁化反転のトリガーとなる磁区サイズが磁壁厚程度( $\delta_w = \pi(A/K_u)^{1/2} \sim 4$  nm,  $A$ : 交換ステイフネス,  $K_u$ : 結晶磁気異方性定数)<sup>1)</sup>と微小であり、反転磁区形成位置の特定も困難なため、磁化反転の初期過程を調べることは容易ではない。第二に、一般に磁石材料はミクロンオーダーの多数の結晶粒から構成されるが、磁化過程では反転磁区形成や磁壁移動というプロセスが同時多発的に起きるため、平均情報しか得られないという制限があった。

### 2. 研究の目的

本研究では、先ずNdFeB磁石内で起きる磁化反転過程の“真の姿”を明らかにすることを第一の目的とした。具体的には従来の磁区観察の幾つかの問題を解消した手法で、磁場に応じた磁化過程を詳細に追跡した。この磁化過程に関する知見に基づいて、保磁力を支配する磁化プロセスを特定し、その素過程を微細加工技術と独自の超高感度磁化検出技術を駆使して解明することを第二の目的とした。さらに、実験とマイクロマグネティクスシミュレーションを併用し、今後の高保磁力化の指針を確立することを第三の目的とした。

### 3. 研究の方法

従来、磁化過程を調べる方法として、光磁気Kerr効果を利用した磁区観察、そして磁力計による磁化検出が一般的であった。しかし、前者では観察試料表面を鏡面研磨を施す必要があり、試料表面における機械ダメージが大きかった。また後者では、無数の結晶粒から構成される試料内で反転磁区形成や磁壁移動が同時多発的に生じるため、保磁力を支配する磁化過程並びにその定量的評価が困難であった。

本研究では、高輝度光科学研究センターと連携して、真空中劈開したNdFeB表面をX線磁気円二色性分光(XMCD)により観察することにより、磁場変化に伴う“真の磁化過程”を追跡した。この観察を通じ保磁力近傍の支配的な磁化過程を明らかにした上で、その素過程を定量的に調べることにした。具体的には、最適化された加工条件で、NdFeB磁石を単磁区臨界サイズ程度まで微細化し、そこで起きる微小な磁化変化を異常ホール効果を原理とする超高感度磁化検出技術で検出した。

### 4. 研究成果

図1に、NdFeB焼結磁石の典型的な磁化曲線(図1(a))と減磁過程におけるXMCD磁区像(図1(b)~1(g))を示す。図1(a)より、磁場 $\mu_0H_c \sim 0.3$ T辺りから結晶粒内に反転磁区が生成され、磁場の増加と共に次第に磁壁が粒内そして粒界を越え伝播していく様子がうかがえる。そして保磁力( $\mu_0H_c \sim 1$ T)近傍では磁壁移動が支配的となっている。異方性磁場( $\mu_0H_k = 7.7$ T)に比べ非常に低い磁場で反転磁区が形成される原因は、大きな局所反磁場に因るものと推察されたが、実験的に検証することはできなかった。また特徴的なことは、この反転磁区の拡がりは粒内では容易だが、粒界では磁場の大きな変化がなければ進行しないことである。同様の結果は、サブミクロンオーダーの結晶粒から成る熱間加工NdFeB磁石でも得られた。こうした観察結果より、NdFeB磁石の保磁力は、粒界における磁壁のピンニングが支配しているものと考えられる。

以上に述べた磁化過程観察結果より，NdFeB 磁石の主要磁化過程である磁壁ピンングの素過程を定量的に研究することにした．磁壁ピンングの素過程を調べるには，微細加工技術により試料を微細化して，磁化過程に関与する磁区数を低減する必要がある．

研究試料としては NdFeB 熱間加工磁石を用い，ダメージの少ない最適化された微細加工条件下で，磁壁ピンング素過程研究試料を作製した．微細加工試料の典型的な電子顕微鏡像を図 2(a),2(b) に示す．収束イオンビームで形成した十字型電極は異常ホール効果測定用電極で，幅 900 nm，試料厚 500 nm である．このホール効果検出領域に含まれる NdFeB 粒子数は約 60 個である．この試料に外部磁場を印加して減磁の様子を観測した結果が図 2(c) である．明瞭な磁化ステップが観測され，そのホール電圧の変化は試料に含まれる NdFeB 結晶粒 1 個の相当する．つまり NdFeB 粒子の磁化過程は，粒界で磁壁がピンングされ，磁場の増加により磁壁が脱離して粒子 1 個分だけ移動するプロセスで進行する．なお上記減磁操作を繰り返すと，図 2(c) のようかにステップがランダムにシフトする．これは熱揺らぎにより，粒界にピンングされた磁壁が確率的に脱離するためである．このようなステップが生じる磁場を繰り返し測定し，磁壁脱離の確率分布  $P(H)$  を測定した結果が図 3 である．この図では，特に保磁力近傍のステップを調べている．この反転確率分布を Neel-Arrhenius 則

$$P(H) = 1 - \exp(-t/\tau) , \quad 1/\tau = f_0 \exp(-\Delta E/k_B T) ,$$

で解析すれば，磁場  $H$  に依存するエネルギー障壁  $\Delta E = E_0(1 - H/H_0)$  における揺らぎの無い磁壁脱離臨界磁場  $H_0$  とエネルギー障壁  $E_0$  を決定することができる．なお上式において， $t$ ， $\tau$  は観測時間，緩和時間， $f_0$  は磁気ポテンシャル形状に依存する試行周波数， $k_B$  はボルツマン定数， $T$  は温度である．図 3 にプロットした点は実験，実線が上述の Neel-Arrhenius 則でフィットした結果である．このフィッティングから求めた磁壁脱離臨界磁場は  $H_0 \sim 1.4$  T，無磁場におけるエネルギー障壁は  $E_0/k_B T \sim 100$  ( $T = 300$  K) であった．粒界にトラップされた磁壁は異方性磁場に比べ非常に低い磁場で脱離し，しかもエネルギー障壁は低い．これは図 2(c) で観測された 1 粒子分程度の磁壁移動という極めて微小なスケールで磁化反転が進行するためである．

このように NdFeB 磁石の保磁力は粒界における磁壁のピン止めに支配されており，その臨界脱離磁場  $H_0$  は異方性磁場に比べ非常に低い．この実験事実に基づけば，保磁力の増加には粒界における磁壁ピンング力を高めることが有効と結論付けられる．粗い近似では，この磁壁ピン

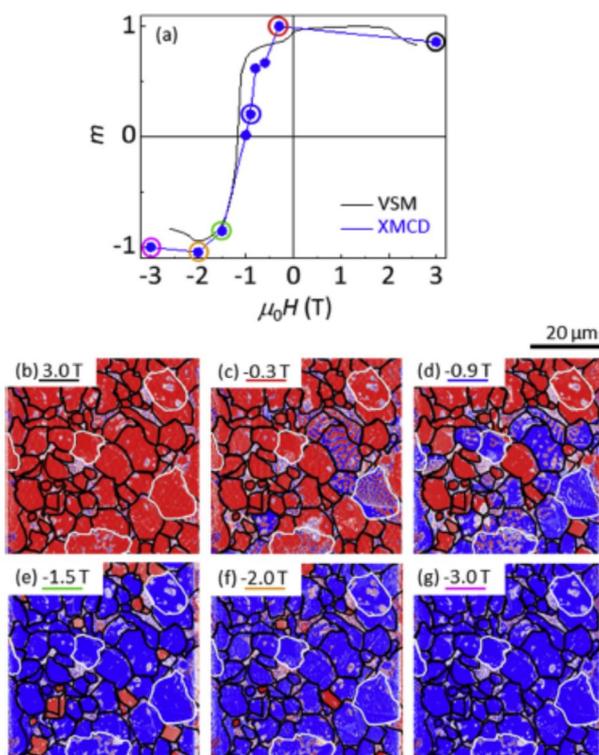


図 1 NdFeB 焼結磁石の(a)磁化曲線，(b~g)減磁過程における XMCD 像．赤領域は磁化が上向き，青は下向きである．また図(a)中，黒，青線は各々磁力計(VSM)による測定，XMCD 像における赤，青領域の面積比から求めた平均磁化．両者は良く一致している．<sup>5)</sup>

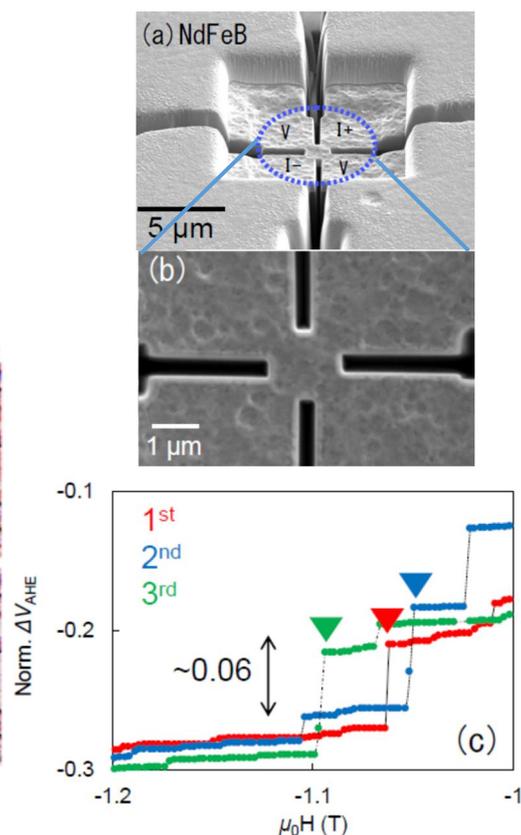


図 2 微細加工 NdFeB 磁石の(a) 異常ホール効果検出部，(b) 拡大図，(c) ホール電圧の磁場依存性．ホール電圧のステップは粒子 1 個分の反転に相当．繰返し測定によりステップ位置が揺らぐのは熱擾乱の影響．<sup>7)</sup>

グ力は、粒内及び粒界相の磁気的コントラスト ( $A_i K_i / A_m K_m$ )<sup>1/2</sup> ( $A$ : 交換スティフネス,  $K$ : 磁気異方性,  $m, i$  は粒内, 粒界相) に支配され, 粒界相の非磁性化が進み ( $A_i K_i$ )<sup>1/2</sup> が減少するほど, ピニング力, すなわち保磁力は増加することが期待される. 実際に, 本研究で行ったマイクロマグネティクスシミュレーションでも, この事実が確かめられた.

以上述べたように, 本研究では NdFeB 磁石で起きる “真の磁化過程の姿” を XMCD による磁区観察手法で明らかにした. 磁石を構成する多数の NdFeB 結晶粒内ではランダムに反転磁区が形成され, それらの磁区の拡大が粒内で留まったり, 粒界を跨いで伝播する様子が明らかになった. そして保磁力は磁壁が粒界を越えて伝播する際のピニング力に支配される.

この磁壁ピニング過程に関する理解を深めるために, NdFeB 磁石を単磁区臨界サイズ程度にまで微細化し, ピニングの素過程を高感度磁化検出技術で調べた. その結果, 粒界にトラップされた磁壁が脱離する際には, 構成粒子 1 個分程度の移動という微小な過程で進行していることが判った. これらの観察結果とマイクロマグネティクスシミュレーションの結果より, NdFeB 磁石の保磁力向上には, 粒界の非磁性化による磁壁ピニング力の増強が必要であることがわかった.

#### [参考文献]

1) A. Aharoni, Introduction to the Theory of Magnetism (Oxford 1998), 2) H. Kronmuller et al. J. Magn. Mater. **74**, 291 (1988), 3) T. Schrefl et al. IEEE Trans. Magn. **29**, 2878 (1993); M. Yi et al. J. Appl. Phys. **120**, 033903 (2016), 4) Holz, J. Appl. Phys. **41**, 1095 (1970); U. Hartmann, Phys. Rev. B **36**, 2331 (1987), 5) K. Miyazawa et al. Acta Mater. **162**, 1 (2018), 6) 竹内誠他, 日本磁気学会学術講演会(2019, 京都), 7) 蓬田貴裕, 博士論文 (東北大学, 2020)

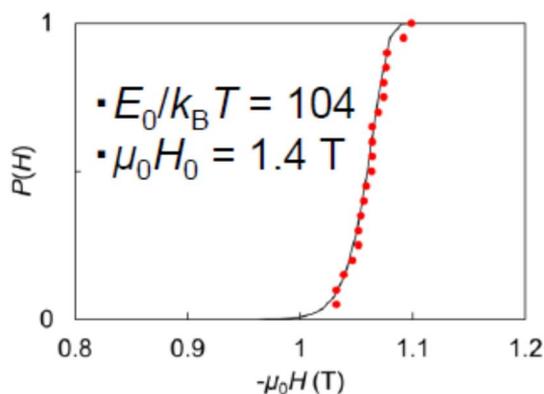


図 3 保磁力近傍における単一磁壁脱離確率の磁場依存性. データ点は実験, 実線は Neel-Arrhenius 則によるフィッティング曲線. このフィッティングより, 磁壁脱離臨界磁場  $H_0 \sim 1.4$  T, 無磁場下エネルギー障壁  $E_0/k_B T \sim 100$  ( $T = 300$  K) と求まる.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Miyazawa, S. Okamoto, T. Yomogita, N. Kikuchi, O. Kitakami, K. Toyoki, D. Billington, Y. Kotani, T. Nakamura, T. Sasaki, T. Ohkubo, K. Hono	4. 巻 162
2. 論文標題 First-order reversal curve analysis of a Nd-Fe-B sintered magnet with soft X-ray magnetic circular dichroism microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.09.053">https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.09.053</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 P. Sharma, S. Okamoto, H. Tajiri, K. Sato, Y. Zhang, O. Kitakami, A. Makino	4. 巻 54
2. 論文標題 Confirmation of Hard Magnetic L10 FeNi Phase Precipitated in FeNiSiBPCu Alloy by Anomalous X-Ray Diffraction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 2101705-1 - 5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2018.2842057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Kaiju, T. Misawa, T. Nagahama, T. Komine, O. Kitakami, M. Fujioka, J. Nishii, G. Xiao	4. 巻 8
2. 論文標題 Robustness of Voltage-Induced Magnetocapacitance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14709-1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-018-33065-y">https://doi.org/10.1038/s41598-018-33065-y</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 T. Yomogita, S. Okamoto, N. Kikuchi, O. Kitakami, H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, K. Hono, T. Akiya, K. Hioki, A. Hattori	4. 巻 447
2. 論文標題 Temperature and field direction dependences of first-order reversal curve (FORC) diagrams of hot-deformed Nd-Fe-B magnets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 110-115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.09.072">https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.09.072</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Kikuchi, H. Osawa, M. Suzuki, O. Kitakami	4. 巻 54
2. 論文標題 Time and Spatially Resolved Hard X-Ray MCD Measurement on a Co/Pt Multilayer Dot Excited by Pulsed RF Field	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 6100106-1 - 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2017.2745211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Ono, N. Kikuchi, S. Okamoto, O. Kitakami, T. Shimatsu	4. 巻 11
2. 論文標題 Novel torque magnetometry for uniaxial anisotropy constants of thin films and its application to FePt granular thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 033002-1 -3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/APEX.11.033002">https://doi.org/10.7567/APEX.11.033002</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Ono, T. Moriya, M. Hatayama, K. Tsumura, N. Kikuchi, S. Okamoto, O. Kitakami, T. Shimatsu	4. 巻 110
2. 論文標題 Magnetic characteristics and nanostructures of FePt granular flms with GeO2 segregant	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022402-1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1063/1.4973473">http://dx.doi.org/10.1063/1.4973473</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Matsumoto, Y. Miura, S. Okamoto, N. Kikuchi, O. Kitakami	4. 巻 10
2. 論文標題 Significant modification of perpendicular magnetic anisotropy of W/Fe(001) multilayer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 063005-1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/APEX.10.063005">https://doi.org/10.7567/APEX.10.063005</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 門ノ沢 和也, 菊池 伸明, 後藤 龍太, 岡本 聡, 北上 修	4. 巻 137
2. 論文標題 ナノ秒パルス磁場を用いたNd-Fe-B薄膜の磁化反転過程	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌 A	6. 最初と最後の頁 374 ~ 379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.137.374	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡本聡, 蓬田貴裕, 宮澤和則, 菊池伸明, 北上修, 渡辺奈生巳, 吹田尚久	4. 巻 53
2. 論文標題 First-order reversal curve (FORC)解析と永久磁石材料への適用	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 まてりあ (日本金属学会報)	6. 最初と最後の頁 533 ~ 540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.56.533	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Ono, N. Kikuchi, S. Okamoto, O. Kitakami, T. Shimatsu	4. 巻 11
2. 論文標題 Novel torque magnetometry for uniaxial anisotropy constants of thin films and its application to FePt granular thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 033002-1 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/APEX.11.033002">https://doi.org/10.7567/APEX.11.033002</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Kikuchi, H. Osawa, M. Suzuki, O. Kitakami	4. 巻 54
2. 論文標題 Time and Spatially Resolved Hard X-Ray MCD Measurement on a Co/Pt Multilayer Dot Excited by Pulsed RF Field	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 6100106-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2017.2745211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Yomogita, S. Okamoto, N. Kikuch, O. Kitakami, H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, K. Hono, T. Akiya, K. Hioki, A. Hattori	4. 巻 447
2. 論文標題 Temperature and field direction dependences of first-order reversal curve (FORC) diagrams of hot-deformed Nd-Fe-B magnets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 110 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2017.09.072	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 蓬田貴裕, 岡本聡, 菊池伸明, 北上修, Hossein Sepehri Amin, 大久保忠勝, 宝野和博, 秋屋貴博, 日置 敬子, 服部篤
2. 発表標題 熱間加工Nd-Fe-B磁石の微小領域の高感度磁化測定
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Kikuchi, K. Shimada, S. Kikuchi, K. Sato, S. Okamoto, O. Kitakami, T. Shimatsu
2. 発表標題 Microwave-assisted switching behavior of CoCrPt based granular media
3. 学会等名 The 29th The Magnetic Recording Conference (TMRC 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 P. Sharma, S. Okamoto, H. Tajiri, K. Sato, Y. Zhang, O. Kitakami, A. Makino
2. 発表標題 Confirmation of Hard Magnetic L10 FeNi phase precipitated in FeNiSiBPCu alloy by Anomalous X-ray Diffraction
3. 学会等名 INTERMAG 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 蓬田貴裕, 岡本聡, 菊池伸明, 北上修, Hossein Sepehri Amin, 大久保忠勝, 宝野和博, 秋屋貴博, 日置 敬子, 服部篤
2. 発表標題 熱間加工Nd-Fe-B磁石の微小領域の高感度磁化測定
3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮澤和則, 蓬田貴裕, 岡本聡, 菊池伸明, 北上修, 豊木研太郎, David Billington, 小谷佳範, 中村哲也, 佐々木泰祐, 大久保忠勝, 宝野和博
2. 発表標題 ナノXMCD顕微鏡によるNd-Fe-B商用焼結磁石のFORC解析
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池伸明
2. 発表標題 時間分解XMCDによる磁化ダイナミクス計測
3. 学会等名 用スピントロニクス新分野創成研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池伸明
2. 発表標題 時間・空間分解XMCDによる強磁性共鳴測定
3. 学会等名 日本物理学会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 蓬田貴裕, 岡本 聡, 菊池伸明, 北上 修, H. Sepehri-Amin, Lihua Liu, 大久保忠勝, 宝野和博, 秋屋貴博, 日置敬子, 服部篤
2. 発表標題 熱間加工Nd-Fe-B磁石の表面加工ダメージの影響 -微小磁石の磁化過程解析に向けて-
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮澤和則, 蓬田貴裕, 岡本聡, 菊池伸明, 北上修, 佐々木泰祐, 大久保忠勝, 宝野和博, 高田幸生, 佐藤岳, 金子裕治, 加藤晃
2. 発表標題 Ga添加焼結Nd-Fe-B磁石のFORC解析
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Okamoto, T. Yomogita, L. Zhang, N. Kikuchi, O. Kitakami, H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, K. Hono, T. Akiya, K. Hioki, A. Hattori
2. 発表標題 Analyses on Magnetization Reversal Process of Nd-Fe-B Hot-Deformed Magnets
3. 学会等名 TMS 2017 Annual Meeting & Exhibition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Okamoto, T. Yomogita, L. Zhang, N. Kikuchi, O. Kitakami, H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, K. Hono, T. Akiya, K. Hioki, A. Hattori
2. 発表標題 Coercivity mechanism of Nd-Fe-B magnets based on magnetic viscosity and FORC measurements
3. 学会等名 3N-Lab Workshop on Permanent Magnets (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nobuaki Kikuchi, Hitoshi Osawa, Motohiro Suzuki, Osamu Kitakami
2. 発表標題 Time and spatial resolved XMCD-FMR measurement on a Co/Pt multilayer dot excited by rf magnetic field in GHz regime
3. 学会等名 IEEE Magnetic Recording Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Miyazawa, T. Yomogita, S. Okamoto, N. Kikuchi, O. Kitakami, T. Akiya, K. Hioki, A. Hattori
2. 発表標題 First-order reversal curve analysis of hot-deformed Nd-Fe-B magnets
3. 学会等名 International Workshop on Nanostructured Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Kikuchi, T. Yomogita, D. Kanahara, S. Okamoto, O. Kitakami, T. Shimatsu, H. Osawa, M. Suzuki
2. 発表標題 Time- and spatially resolved hard X-ray MCD with pulsed rf field excitation on a Co/Pt multilayer dot
3. 学会等名 MMM2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮澤和則, 蓬田貴裕, 岡本聡, 菊池伸明, 北上修, 豊木研太郎, David Billington, 小谷佳範, 中村哲也, 佐々木泰祐, 大久保忠勝, 宝野和博
2. 発表標題 ナノXMCD顕微鏡によるNd-Fe-B商用焼結磁石のFORC解析
3. 学会等名 日本金属学会春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 蓬田貴裕, 岡本聡, 菊池伸明, 北上修, H. Sepehri-Amin, 大久保忠勝, 宝野和博, 秋屋貴博, 日置敬子, 服部篤
2. 発表標題 熱間加工Nd-Fe-B磁石の 微小領域の高感度磁化測定
3. 学会等名 日本金属学会春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Kikuchi, Y. Yomogita, D. Kanahara, S. Okamoto, O. Kitakami, T. Shimatsu, Y. Kotani, K. Toyoki, H. Osawa, M. Suzuki, T. Nakamura
2. 発表標題 Elementally-resolved ferromagnetic resonance by X-ray magnetic circular dichroism on Co/Pt multilayer dots
3. 学会等名 Magnetics and Optics Research International Symposium (MORIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岡本 聡  (Okamoto Satoshi)  (10292278)	東北大学・多元物質科学研究所・准教授   (11301)	
研究分担者	菊池 伸明  (Kikuchi Nobuaki)  (80436170)	東北大学・多元物質科学研究所・助教   (11301)	