

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06389

研究課題名(和文) 高輝度LED光源を用いた磁石材料の高速磁気イメージング装置の開発

研究課題名(英文) Development of High-Speed Magnetic Imaging Equipment of Permanent Magnets by Using High-Intensity LED Light Source

研究代表者

竹澤 昌晃 (Takezawa, Masaaki)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：20312671

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ハイブリッド・電気自動車用駆動モーターでの使用を想定した高耐熱磁石を希少資源(レアメタル)フリーで実現することを最終目標として、磁石材料の高温下での減磁機構をミクロな観点から解明することができる、「バルク磁石材料対応の高速磁気イメージング装置」を構築することを目的とした。このために、高磁界を印加可能な高分解能Kerr効果顕微鏡の光源を、高輝度LEDに置き換えることで、数T励磁下での磁化反転過程を磁区観察可能な高速動磁区観察システムの開発した。結果として、Kerr効果による磁区観察には十分な光量であり、交流磁界励磁下の長時間観察においても光源のちらつき無く安定して観察ができることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現状の超高压水銀ランプ光源は、高輝度ではあるが輝度の時間安定性に欠け、磁石試料に求められる長時間のデータ取得に耐えられなかった。安定な顕微鏡光源としてLED光源が開発されてきたが、その輝度は超高压水銀ランプに劣り、磁区観察用光源としては低倍率のものが市販されているに留まっていた。LED光源を利用することで、磁石試料の磁化反転過程の磁区のダイナミクス観察を安定に実現でき、高耐熱磁石の設計指針導出のみならず、安価・簡便で広く普及可能なLED光源利用の高速磁気イメージング装置の実現に向けて、大きなブレークスルーが得られるものと確信する。

研究成果の概要(英文)：Our ultimate goal is to develop a "high-speed magnetic imaging system for bulk magnetic materials" that enables us to microscopically elucidate the demagnetization mechanism of magnet materials under high temperature conditions, with the ultimate goal of realizing heat-resistant magnets free of rare metals for use in drive motors of hybrid and electric vehicles. We have developed a fast dynamic domain observation system for observing the magnetization reversal process under several Tesla excitations by replacing the light source of the high-resolution Kerr effect microscope with a high-brightness LED that can apply a high magnetic field. As a result, it was found that the light intensity was sufficient for the observation of the magnetic domain by the Kerr effect, and the observation was stable without flickering of the light source under AC field excitation for a long time.

研究分野：電気電子工学

キーワード：磁区 永久磁石 LED光源 磁気Kerr効果

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ネオジム磁石(Nd-Fe-B系磁石)は1983年に佐川真人により発明された世界最強の磁石であり、ハイブリッド・電気自動車用駆動モーターに大量に消費されている。これらの用途では磁石の動作温度が150~200°Cまで上がるため、キュリー温度が312°CのNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B化合物のみを用いた磁石では耐熱性に課題があり、Ndの30%程度をDyで置換することで高耐熱化を実現している。しかし、Dyは資源問題を有するレアメタルであり、省Dy・脱Dyによる高耐熱磁石の実現を目指して、政府主導の大規模な研究プロジェクトが複数進展している。

これら新高耐熱磁石の開発のために、磁石材料の物理的特性を可視化し「磁区として把握(磁気イメージング)」することは、高耐熱化のための設計指針を開発研究にフィードバックするという観点から非常に重要である。近年では、大型放射光設備を用いた方法などで、様々な磁石材料の磁区観察が成されており、結晶組織と磁区構造の関係などについて報告されている。

一方で、我々は「磁気光学的手法(磁気Kerr効果)」による磁区観察技術の開発を続けてきた。上記の磁気イメージング手法と比較して、光学顕微鏡は「高磁界下でのバルク試料の磁区の動きを連続的に簡便に観察」でき、磁区・磁化過程のダイナミクス観察が可能であるという大きな長を有しており、我々は、これらの特徴を活かすべく、動磁区観察Kerr効果顕微鏡[1]を開発してきた。新規に開発される磁石材料の温度特性の発現原理を解明するためには、「高速に進行する磁化反転が、どこで発生し、それがどのように広がっていくのかを把握・可視化する」必要があり、簡便で柔軟性の高い高速動的磁区観察の技術は、高耐熱磁石の実現に大きく貢献できる発展性の高い研究である。

しかし一方で、光学顕微鏡は磁気力顕微鏡(MFM)などと比較して「空間分解能」が低いという欠点を有している。そこで、我々はこの欠点を克服するために、短波長の「紫外光を利用するKerr効果顕微鏡」の開発に努め、約100nmの空間分解能を達成した[2]。さらに、磁区観察の結果と結晶組織の観察結果を同一箇所と比較することで、高耐熱化のための結晶組織最適化の指針を導出することを試み、その手法を確立した[3]。また、高磁界励磁下でのin-situ磁区観察については、我々は2T励磁が可能な電磁石に組み込んだKerr効果顕微鏡による「高磁界印加可能な磁区観察システム」を開発しており[4]、このノウハウを用いて「高磁界印加可能な動磁区観察システム」を実現できる。

しかし、ストロボ法による動磁区観察を行う際には磁石材料を繰り返し励磁する必要があるが、用いる電磁石の時定数が長いと高い周波数で励磁を行うことはできず、観察データの取得には数~数十分の長い時間がかかってしまう。現状の超高圧水銀ランプ光源は、高輝度ではあるが輝度の時間安定性に欠け、磁石試料に求められる長時間のデータ取得に耐えられなかった。安定な顕微鏡光源としてLED光源が開発されてきたが、その輝度は超高圧水銀ランプに劣り、磁区観察用光源としては低倍率のものが市販されているに留まっていた。

### 2. 研究の目的

近年、超高圧水銀ランプに劣らない高輝度LED光源が市販されるようになった。我々は実際に高輝度LED光源を試用して、現状と遜色ない磁区像が得られることを確かめた。このLED光源を利用することで、磁石試料の磁化反転過程の磁区のダイナミクス観察を実現でき、磁石材料の高耐熱化の実現に大きく寄与できるものと考えられた。

そこで、本研究の目的は、ハイブリッド・電気自動車用駆動モーターでの使用を想定した高耐熱磁石を希少資源(レアメタル)フリーで実現することを最終目標として、磁石材料の高温下での減磁機構をミクロな観点から解明することができる、「バルク磁石材料対応の高速磁気イメージング装置」を構築することである。このためには、磁界を繰り返し印加した際の磁石材料の減磁挙動を「磁区」として安定に長時間取得する必要がある、時間に優れ、かつ輝度の高い高輝度LED光源を設置した磁気Kerr効果顕微鏡による磁気イメージング装置を開発することにした。

本研究では、これまで我々が開発してきた高分解能Kerr効果顕微鏡の光源を、高輝度LED光源に置き換えることで時間安定性を高めた動磁区観察システムを実現し、磁石試料の磁化反転機構や保磁力発現メカニズムを明らかにする。このため、以下の項目を実現することを目的とする。

- (1) 新たに「高輝度LEDを光源」とした、高分解能磁気Kerr効果顕微鏡による、「磁石材料対応高速磁気イメージング装置を開発」する。
- (2) 上記磁気イメージング装置を用いて、様々な磁石材料の磁化反転過程の磁区観察を行うことで、「逆磁区生成と磁壁移動による磁化反転機構を明らかに」する。
- (3) 得られた磁化反転機構を結晶組織と比較することで、磁化反転と結晶組織の相関関係を明らかにして「逆磁区生成箇所や磁壁移動のし易さの支配要因を検討」する。これにより、「レアメタルフリーの高耐熱磁石開発のための設計指針」を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 磁石材料対応の高分解能・高速動磁区観察システムの構築

高磁界を印加可能な高分解能Kerr効果顕微鏡の光源を、高輝度LEDに置き換えることで、数T励磁下での磁化反転過程を磁区観察可能なシステムとする。この観察システムを用いて、磁石材料が磁化反転する際に磁区構造が変化する瞬間の画像を高速・高空間分解能で取り込むことを可能とするため、バルク体の磁石材料を数Tの磁界で繰り返し磁化反転させた際の磁区構造

変化を観察する。

(2) 電子顕微鏡による磁石試料の結晶組織の観察と磁化反転機構との比較

磁石材料の高温での特性劣化のメカニズムを解明するためには、磁石の逆磁区生成や磁壁移動による磁化反転と結晶組織との相関関係を明らかにする必要がある。このため、以下の項目について検討する。

(A) 電子顕微鏡を用いた EPMA 組成分析、EBSP 方位分析によって、磁区観察に用いた磁石材料の微細結晶組織を調べる。

(B) 測定した微細結晶組織と逆磁区の生成箇所の相関関係を調べる。特に、結晶粒界の組成や形状と、逆磁区の発生箇所の関連について明らかにする。さらに、結晶方位と磁壁移動の進行の関係も調べる。

(1), (2) の検討によって、磁区観察によって明らかとなった磁化反転機構と、結晶組織との相関関係に関する知見を得る。さらに、結晶粒ごとの局所的な保磁力と結晶組織の関係を調べ、「高温下での減磁発生の原理」について考察する。

4. 研究成果

(1) 磁区観察システムの開発

高磁界を印加可能な高分解能 Kerr 効果顕微鏡の光源を、高輝度 LED に置き換えることで、数 T 励磁下での磁化反転過程を磁区観察可能な高速動磁区観察システムを開発した。この観察システムを用いて、磁性材料を交流磁界で励磁した際の磁区構造変化を観察した。結果として、導入した LED 光源はこれまでに用いていた超高圧水銀ランプと比較すると若干明るさが減少してしまうものの、Kerr 効果による磁区観察には十分な光量であり、交流磁界励磁下の長時間観察においても超高圧水銀ランプで発生していたような光源のちらつき無く安定して観察ができ、磁区コントラストの輝度値の定量評価も十分に行えることがわかった。

(2) d-HDDR Nd-Fe-B 磁石粉末の磁区構造観察

本研究で開発した高磁界印加可能な磁気 Kerr 効果顕微鏡を用いて、結晶粒径を微細化することで、保磁力を増大させる手段の 1 つである dynamic-Hydrogenation Disproportionation Desorption Recombination (d-HDDR) 法で作成した Nd-Fe-B 系磁石粉末の磁区構造変化を観察した。粉末磁石に Nd-Cu-Al を拡散処理することで 955 kA/m から 1591 kA/m へと保磁力を増大できるが、この原因を明らかにするために、Nd-Cu-Al 拡散処理前後の磁区観察を行うことで、Nd-Cu-Al 拡散処理が d-HDDR ボンド磁石の磁気特性に及ぼす影響を調べた。

観察手順として、50 kOe にて着磁を行った後、Kerr 効果顕微鏡を用いて右向きを正方向の磁場として、+20 kOe まで磁場を印加した。次に、1 kOe ずつ 0 まで磁場を減少させた後、さらに -20 kOe まで 1 kOe ずつ負方向への磁場を増加させて、磁化反転が終わる磁場強度まで磁化過程を観察した。

Nd-Cu-Al 拡散有の試料の磁区観察結果を図 1 に示す。磁化反転箇所の結果を見ると -2 kOe ~ -11 kOe にかけて磁場配向方向に沿って 10 μm 程度に細長く伸びた複数の結晶粒が集団で一斉に磁化反転（減磁）していることが確認される。-2 kOe ~ -3 kOe の間で結晶粒の右側から磁化反転が起こり始め、-4 kOe ~ -10 kOe にかけては観察箇所全体で磁化反転が起こっている。また、-4 kOe ~ -8 kOe 間で磁化反転の多さに偏りはなく同程度ずつで起こっている。また、結晶粒集団の大きさも概ね配向方向に沿った長さでどれも 10 μm 程度であり、HDDR 磁石の平均結晶粒系が 0.3 ~ 0.5 μm であると報告されていることから、この磁化反転が同時に起きる結晶粒集団は配向方向に 20 ~ 30 個の結晶粒が連なっていると考えられる。

Nd-Cu-Al 拡散無の試料の磁区観察結果を図 2 に示す。磁化反転箇所の結果を見ると +1 kOe ~ -7 kOe にかけて磁場配向方向に沿った結晶粒の集団が磁化反転していることが確認できた。磁化反転は観察箇所の左側で起こり始め、磁場強度が大きくなるにつれて左から右へと磁化反転の集中している場所が移動している。また、特に -3 kOe ~ -4 kOe の間で、配向方向の長さが 50 μm 以上に及ぶ非常に大きな結晶粒集団の磁化反転が起こっているのが分かる。これは低保磁力の結晶粒部分の磁化反転が周辺の結晶粒に伝播していった結果だと考えられる。

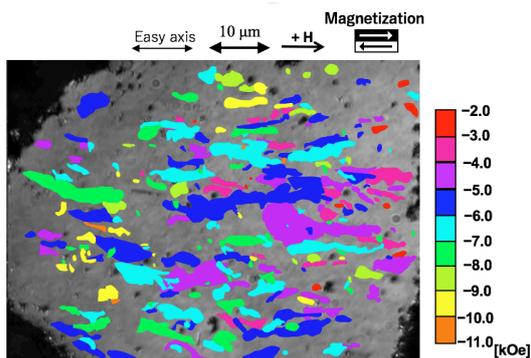


図 1 Nd-Cu-Al 拡散有の磁石の磁区構造変化

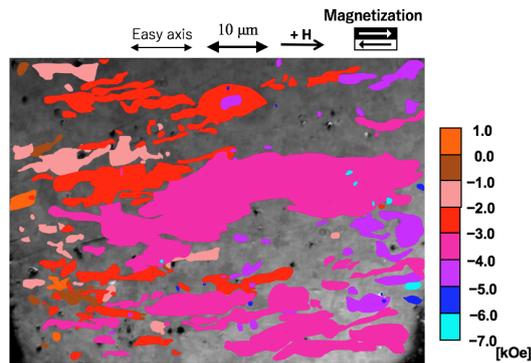


図 2 Nd-Cu-Al 拡散無の磁石の磁区構造変化

以上を比較した結果から、Nd-Cu-Al 拡散有の試料では磁化反転（減磁）が同時に発生する結晶粒集団の大きさが、Nd-Cu-Al 拡散無しの場合と比較して小さくなっていることが分かった。この結晶粒集団の大きさは、結晶粒間の磁気的相互作用が分断できない場合に大きくなると考えられ、その場合、低保磁力の結晶粒の減磁が周辺に伝搬するため磁石全体の保磁力も低下すると考えられる。

本研究の磁区観察結果から、d-HDDR 磁粉に Nd-Al-Cu 拡散処理を施すことで磁化反転の伝播を抑制することができ、それが確かめられ、その結果として、保磁力が向上したものと考えられる。ただし、Nd-Cu-Al 拡散を行なった場合でも、配向方向に 20~30 個の結晶粒が集団で磁化反転をしていることから、結晶粒間の磁気的相互作用の分断は完全ではないことが分かる。非磁性相で結晶粒間の相互作用を完全に分断することができれば、個々の結晶が単独で磁化反転する過程が磁区観察結果に現れてくると考えられ、d-HDDR 磁石の保磁力増大、および減磁曲線の角形性向上には、まだ改善の余地があるものと考えられる。

### (3) Fe-Si 磁性粉末の磁区構造観察

開発した磁区観察システムで Si 量や粒径等の異なる Fe-Si 合金粉末の磁化過程における磁区構造変化を観察した。試料は、6.5Si\_熱処理粉末、6.5Si\_A、6.5Si\_B、6.5Si\_C、3.0Si の 5 種類とした。高輝度 LED 光源を用いることによって、磁化過程における磁区変化の動画を連続して安定に撮影することに成功した。

図 3 に、観察の 1 例として 3.0Si 粉末で観察された磁区写真を示す。同図 (a) はストライプ状磁区の磁区写真を拡大し、磁区変化の様子を切り抜いたもので、拡大した画像をさらに切り抜き、視野 1-A と視野 1-B に分割した視野の磁区変化を同図 (b) に示した。粉末の研磨面には、黒い小さな影のようなものが見える。このような箇所は、不純物や穴が存在する可能性がある。

視野 1-A では、丸で囲んだ箇所で磁壁の移動が阻害されている様子が見られた。視野 1-B でも同様に、観察面上に見られる黒い影のような箇所で磁壁の移動が抑制される様子が見られる。このように、結晶粒内における磁壁ピンニングが、磁区変化を阻害していると考えられる。

Si 量 6.5wt% の熱処理粉末に対し、磁壁ピンニングの観察と、SEM/EDX によるピンニングサイトでの組成分析を実施し、結晶粒内での磁壁ピンニングの原因を考察した。組成分析の結果、ある磁壁移動のピンニングサイトにおいて、母相の Fe、Si に加え、Mn や S が検出された。このことから、MnS がピンニングサイトになっていると考えられる。MnS は鉄鋼材料によく見られる介在物であり、材料の切削性を高めたり、方向性電磁鋼板のインヒビターとして用いられたりする。また、別の視野で観察されたピンニングサイトでは母相の Fe、Si に加え、O が検出された。この箇所では、孔に研磨剤が入り込んでいると思われる。これらの結果から、MnS のような介在物や、空孔が磁壁移動のピンニングサイトになっていると考えられる。

以上のように、磁区観察と結晶組織観察の結果を合わせて考察することで、磁性材料の最適な設計指針を導出することができた。

### <引用文献>

- [1] M. Takezawa, K. Kitajima, Y. Morimoto, and J. Yamasaki, "Dynamic and wide field domain observation of amorphous ribbons with longitudinal Kerr effect microscopy," *J. Appl. Phys.*, vol. 97, no. 10, p. 10F701, 2005, doi: 10.1063/1.1853205.
- [2] M. Takezawa et al., "Magnetic domain observation of Nd-Fe-B magnets with submicron-sized grains by high-resolution Kerr microscopy," *J. Appl. Phys.*, vol. 109, no. 7, p. 07A709, 2011, doi: 10.1063/1.3549610.

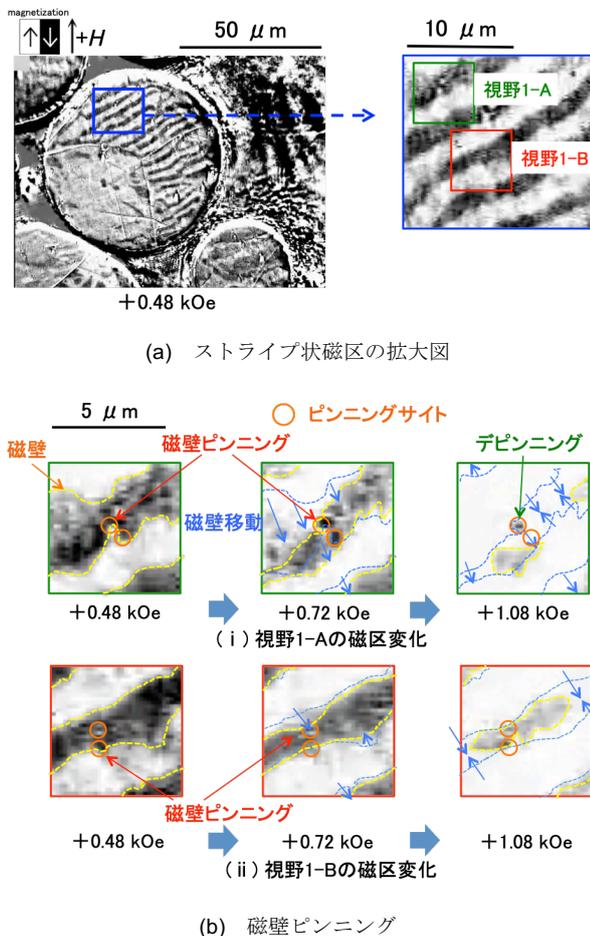


図 3 3.0Si 粉末の磁区像

- [3] M. Takezawa, H. Taneda, and Y. Morimoto, "Relationship between microstructure and magnetic domain structure of Nd-Fe-B melt-spun ribbon magnets," *Front. Mater. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 206-210, Apr. 2015, doi: 10.1007/s11706-015-0297-5.
- [4] M. Takezawa, Y. Kimura, Y. Morimoto, and J. Yamasaki, "Analysis of Magnetization Reversal Process of Nd-Fe-B Sintered Magnets by Magnetic Domain Observation Using Kerr Microscope," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 49, no. 7, pp. 3262-3264, Jul. 2013, doi: 10.1109/tmag.2013.2241748.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Machida Hiroaki, Fujiwara Teruhiko, Fujimoto Chieko, Kanamori Yu, Tanaka Jun, Takezawa Masaaki	4. 巻 55
2. 論文標題 Magnetic Domain Structures and Magnetic Properties of Lightly Nd-Doped Sm-Co Magnets With High Squareness and High Heat Resistance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2018.2868969	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 TAKEZAWA MASAOKI, MORIMOTO YUJI, EJIMA JUN, NAKANO YOSHIKAZU, ARAKI TAKESHI	4. 巻 203
2. 論文標題 Change in Magnetic Domain Structure of Nd-Fe-B Sintered Magnets by Compressive Stress	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electrical Engineering in Japan	6. 最初と最後の頁 9~17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/eej.23058	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 Machida Hiroaki, Fujiwara Teruhiko, Kamada Risako, Morimoto Yuji, Takezawa Masaaki	4. 巻 7
2. 論文標題 The high squareness Sm-Co magnet having Hcb=10.6 kOe at 150 °C	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 056223 ~ 056223
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.4976334	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Miyata Hiroshi, Yamamoto Ryoma, Morimoto Yuji, Takezawa Masaaki	4. 巻 137
2. 論文標題 Magnetic Domain Control of Amorphous Ribbons for Highly Sensitive Fluxgate Sensors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 466 ~ 469
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.137.466	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 Machida Hiroaki, Fujiwara Teruhiko, Fujimoto Chieko, Kanamori Yu, Sakakura Kenji, Takezawa Masaaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Magnetic properties and microstructures of high heat-resistance Sm-Co magnets with high Fe and low Zr content	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 125042 ~ 125042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5129805	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Maki T., Uchikoshi R., Ishii R., Natsumeda M., Nishiuchi T., Takezawa M.	4. 巻 42
2. 論文標題 Influence of Misorientation Angle Between Adjacent Grains on Magnetization Reversal in Nd-Fe-B-Based Sintered Magnet	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 24 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1803r004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 竹澤 昌晃, 福島 啓子, 森本 祐治, 松本 紀久
2. 発表標題 Nd-Fe-B系焼結磁石の加圧・加熱下での磁区構造変化
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀧 泰洋, 竹澤 昌晃, 深瀬 美紀子, 佐藤 誉将
2. 発表標題 軟磁性粉末の磁気特性と磁区構造の関係
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Maki, R. Uchikoshi, R. Ishii, M. Natsumeda, T. Nishiuchi, and M. Takezawa
2. 発表標題 Relationship between degree of alignment and magnetization reversal in Nd-Fe-B sintered magnet
3. 学会等名 25th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnets and Advanced Magnetic Materials and Their Applications REPM 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保 智弘, 竹澤 昌晃, 森本 祐治, 市江 毅
2. 発表標題 無方向性電磁鋼板の薄板化による磁区構造変化
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂倉 健治, 田中 隼, 竹澤 昌晃, 町田 浩明, 藤原 照彦
2. 発表標題 酸素・炭素不純物が Sm-Co 系磁石の磁区構造に与える影響
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 斉藤 紘臣, 堀 裕貴, 竹澤 昌晃, 榛葉 和晃, 三嶋 千里, 御手洗 浩成
2. 発表標題 Nd-Cu-Al 拡散された Nd-Fe-B 系 HDDR 微細結晶粒磁石粉の磁区観察
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Machida, T. Fujiwara, Y. Kanamori, J. Tanaka, and M. Takezawa
2 . 発表標題 Magnetic domain structures and magnetic properties of lightly Nd doped Sm-Co magnets with high squareness and high heat resistance
3 . 学会等名 21st International Conference on Magnetism ICM 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 I. Sasaki, K. Matsuyama, X. Ren, Z. Lei, M. Takezawa, H. Era, C. Kaido, and T. Ogawa
2 . 発表標題 Analytical study of magnetic properties of Fe-(6, 6.5, 7) mass% Si alloys prepared by high purity metallurgy
3 . 学会等名 21st International Conference on Magnetism ICM 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Takezawa, K. Fukushima, K. Morimoto, and N. Matsumoto
2 . 発表標題 Changes in the Magnetic Domain Structure of Nd-Fe-B Sintered Magnets by Applying Compressive Stress and Heat
3 . 学会等名 21st International Conference on Magnetism ICM 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Takezawa, H. Taneda, and K. Morimoto
2 . 発表標題 Magnetic Domain Observation of Permanent Magnet with a Kerr Microscope
3 . 学会等名 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies ICAUMS 2018 ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 竹澤 昌晃, 永石 知也, 榛葉 和晃, 三嶋 千里, 御手洗 浩成
2. 発表標題 Nd-Fe-B系異方性HDDR磁粉の磁区観察による減磁過程解析
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹澤 昌晃, 森本 祐治, 鎌田 理紗子, 町田 浩明, 藤原 照彦
2. 発表標題 高角型比Sm-Co系磁石の磁区構造と減磁過程
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Takezawa, T. Nagaiishi, K. Shimba, C. Mishima, and H. Mitarai
2. 発表標題 Magnetic domain structure and demagnetization process of Nd-Fe-B anisotropic HDDR magnetic particles
3. 学会等名 2017 IEEE International Magnetism Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂倉健治, 竹澤昌晃, 町田浩明, 藤原照彦
2. 発表標題 磁区観察を用いたNd添加Sm-Co系磁石の減磁過程の検討
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹澤昌晃, 瀧泰洋, 深瀬美紀, 佐藤誉将, 富田祐也
2. 発表標題 軟磁性粉末の磁区構造と磁化過程
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江口徳彦, 森本祐治, 竹澤昌晃, 松本紀久
2. 発表標題 Nd-Fe-B系焼結磁石の加圧・加熱による磁区構造変化
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Takezawa
2. 発表標題 Analysis of Magnetization Process of Magnetic Materials by In-situ Magnetic Domain Observation with a Kerr Microscope
3. 学会等名 12th International Conference on Ferrites (ICF12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Machida, T. Fujiwara, C. Fujimoto, Y. Kanamori, K. Sakakura, and M. Takezawa
2. 発表標題 Magnetic properties and microstructures of high heat- resistance Sm-Co magnets with high Fe and low Zr content
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹澤昌晃
2. 発表標題 Kerr効果顕微鏡で観察した磁性体の磁区構造と結晶組織の比較
3. 学会等名 令和2年 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 監修：尾崎 公洋, 杉本 諭(執筆者50名)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 322ページ(うち10ページを担当)
3. 書名 次世代永久磁石の開発最前線(共著)	

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----