

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 4日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360128

研究課題名（和文） 非晶質—結晶質転移を利用したDyレス高保磁力磁石の開発

研究課題名（英文） Development of Dy-less High Coercivity Magnets Using Transition From Amorphous Phase to Crystalline One

研究代表者

福永 博俊 (FUKUNAGA HIROTOSHI)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：10136533

研究成果の概要（和文）：計算機シミュレーションと非晶質からの結晶化技術を融合利用して、低温・短時間の熱処理でNd-Fe-B系磁粉の表面のDyを粒界に拡散し、Dy使用量を抑制しつつ、微細結晶の保磁力を改善する方法を開発した。計算機シミュレーション結果より、微細結晶等磁性磁石の保磁力改善には、混合粉末結晶化法よりDyコーティング後の結晶化が有効であることが明らかになった。この方法により、残留磁化をほとんど減少させずに、保磁力を約500 kA/m改善できた。

研究成果の概要（英文）：Computer simulation about relationship between coercivity of Nd-Fe-B magnet powders and recovery of magnetic anisotropy due to Dy diffusion clarified that the Dy diffusion from coating layers on powder surface is effective in improving the coercivity of isotropic Nd-Fe-B magnet powders with fine grains. The diffusion from a Dy-coating layers into grain boundaries was realized by using the transition from amorphous state to crystalline one at a low temperature and for short time. The coercivity of isotropic Nd-Fe-B magnet powders was improved by approximately 500 kA/m without remarkable reduction of remanence.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2011年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2012年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，電子・電気材料工学

キーワード：磁性材料，保磁力，Nd-Fe-B，結晶化，粒界拡散，マイクロクロマグネティクス

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化抑制の観点から(Nd,Dy)-Fe-B磁石を用いた電動機を搭載したハイブリッドカー等が急速に普及している。我が国の高性能磁石の作製技術は世界に秀でており、(Nd,Dy)-Fe-B磁石の作製は我が国の自動車産業等を支える上で欠かすことができない

状況にある。従来、DyはNd₂Fe₁₄B結晶内Nd原子を置換する形で使用されており、Nd-Fe-B磁石の高保磁力化のために欠かすことができない。しかしながら、その産出国と量が限られており、W、Inと共に希少金属に指定され、その使用量削減のために、文部科学省及経済産業省の大型研究プロジェ

- クトが進められていた。これらのプロジェクトでは使用 Dy 量を抑制しつつ高保磁力を保つ技術の開発が行われていたが、その手法は
- (A) Nd₂Fe₁₄B 結晶の表面にのみ Dy を拡散させることにより高保磁力を達成する。
 - (B) Nd₂Fe₁₄B 結晶のサイズを微細化することにより高保磁力化を達成する。
 - (C) 超高磁界下での熱処理によって粒界相の原子配列を制御し、高保磁力化を達成する。

に大別される。これらの技術は、全て、我が国を起点とする技術であるが、その時点では、(A)の技術が最も現実的な手法であった。

(A)の方法は、磁石の保磁力を決める磁化反転が結晶表面から始まることに着目し、結晶表面にのみ Dy を拡散させ、その使用量を削減する手法である。当時、Nd₂Fe₁₄B 結晶（非晶質状態ではない）の表面に Dy 化合物をコーティングし、1000-1200°Cの高温プロセスで結晶表面に Dy を拡散する手法がとられていたが、

(a) 保磁力増加のメカニズムの解明

(b) 低温プロセスでの効率的 Dy 拡散でのブレイクスルーが必要とされていた。

申請者らは、1980年代より、非晶質—結晶質転移を利用した磁石材料の研究に取り組んで来た（例えば：結晶化 Nd-Fe-B 薄帯の磁気特性に及ぼす結晶化条件の影響、日本応用磁気学会誌, **10** (1986) 229-232)。一連の非晶質—結晶質転移を利用した研究の中で、非晶質粉末を金属蒸気の中で結晶化すれば、対象の金属元素を粉末内の粒界に効率良く拡散できることを発見した。今回、この発見をヒントに、Nd-Fe-B 磁石における Dy の拡散においても、同様な手法が使用できる可能性に気づいた。

このことを確認するために、数十μm厚の非晶質 Nd-Fe-B 厚膜に 5μm厚の Dy コーティング施して 650°Cで結晶化と Dy の拡散を同時に行い、厚膜磁石の保磁力を大きく改善できることを確認した（図1）（特開 2011-9495）。

一方、結晶表面の物性定数が保磁力に及ぼ

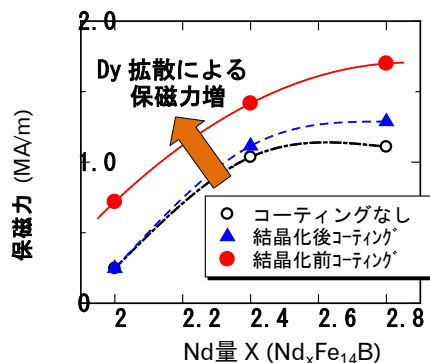


図1 非晶質 Nd-Fe-B 厚膜の保磁力に及ぼす Dy コーティング結晶化の影響。

す影響についても、1980年代初頭から Micromagnetics 理論に基づいた計算機シミュレーションを用いた研究（例えば：Effect of Magnetic Inhomogeneity on Magnetization Reversal in Sintered Nd-Fe-B Magnet, *Jpn. J. Appl. Phys.* **29** (1990) 1711-1716)を展開しており、この手法と前記の研究成果を融合すれば、(a) 及び (b) に記載した2つの要請に応えることができると着想した。

2. 研究の目的

「非晶質—結晶質転移を利用した、Nd-Fe-B 結晶の表面改質による高保磁力化」手法を提案し、平成 20 年度より挑戦的萌芽研究の補助を得て（平成 20・21 年度、新原理に基づく、Dy レス高耐熱希土類磁石の開発）研究を進め、平成 21 年度には特許を出願した（特開 2011-9495）。本研究の目的は、萌芽研究の成果に立脚し、非晶質—結晶化転移を利用して、「新しい Dy レス高保磁力磁石」を開発することである。このために、

(a) Micromagnetics 理論に基づいた計算機シミュレーションにより保磁力増加機構を解明し、Nd₂Fe₁₄B 結晶表面に拡散すべき Dy 量及び拡散領域の厚さを、後述する等方性及び異方性磁石について明確にする。

(b) 前項の結果を踏まえ、非晶質—結晶質転移を利用して、Nd₂Fe₁₄B 結晶表面に Dy を拡散させる高効率・低温プロセスを確立し、高保磁力 Dy レス等方性 Nd-Fe-B 磁石粉末を作製する。

(c) 非晶質 Nd-Fe-B の結晶化・Dy 拡散に加えて、粉末のバルク化及び塑性変形を同時に行い、高保磁力・高エネルギー積の Dy レス異方性バルク Nd-Fe-B 磁石を作製する方法について検討する。

3. 研究の方法

前項に示した3つの目標を達成するために、4つの研究項目を設定する（表1）。

必要 Dy 量及び拡散厚決定（研究項目 I）は、micromagnetics 理論に基づいた第 1 原理計算により明らかにする。

研究項目 II と III は密接に関連している。これらの実験及結果評価は項目 I の結果を踏まえて行う。Dy 供給源として、(Nd, Dy)-Fe-B 粉末、Dy コーティング、Dy プラズマ中での結晶化を検討する。平成 24 年度は、バルク磁石及び異方性磁石の作製を検討する（項目 IV）を行う。

4. 研究成果

4.1 計算機シミュレーション

我々は磁石内部に存在する (Nd, Dy)₂Fe₁₄B 結晶粒から Nd₂Fe₁₄B 結晶粒に Dy を拡散するこ

表1 本研究の研究手法

項目	内容	
I	必要Dy拡散量及び拡散層厚の明確化	
II	非晶質Nd-Fe-B粉末における最適結晶化・拡散条件の探索	
III	Dyコーティング手法の選択と最適化	混合粉末結晶化法
		真空蒸着法
		Dyプラズマ結晶化法
IV	塑性変形によるバルク化・異方化	

とにより、Nd₂Fe₁₄B 結晶表面の磁気劣化層を回復させる方法を想定し、Nd₂Fe₁₄B/(Nd, Dy)₂Fe₁₄B コンポジット磁石の磁気特性を計算機シミュレーションを用いて明らかにし、表面拡散型Nd₂Fe₁₄B/(Nd, Dy)₂Fe₁₄B コンポジット磁石の高保磁力化と Dy 使用量低減効果の関係を明らかにした。

本研究の解析モデルは Nd₂Fe₁₄B 及び (Nd_{0.7}Dy_{0.3})₂Fe₁₄B 結晶粒 (粒径 48 nm) から構成されるコンポジット磁石を仮定し、各結晶表面に異方性磁界が低下した磁気劣化層を配置した。また、Dy は熱処理により (Nd, Dy)₂Fe₁₄B 結晶粒から Nd₂Fe₁₄B 結晶粒に拡散し、Nd₂Fe₁₄B 結晶粒の磁気劣化層の異方性を回復すると仮定した。なお、磁化反転過程のシミュレーションはマイクロマグネティクス理論に基づいて行った。

(1) 磁気劣化層の影響

まず、磁気劣化層と回復層の厚さについて検討した結果、それらの厚さが 3nm 程度の際に顕著な影響が出るのが明らかになった。

次に、配向を変えた Nd₂Fe₁₄B 単相磁石に於いて、磁気劣化層の異方性磁界を回復させ、配向度、異方性磁界回復率と保磁力の関係を調べた。その結果、図2に示すように、配向度 <cos θ> により、結晶表面の異方性磁

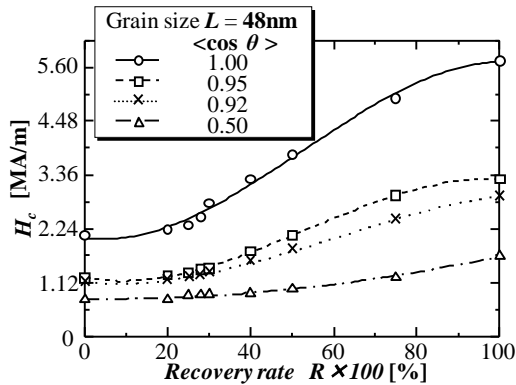


図2 Nd₂Fe₁₄B 磁石の保磁力に及ぼす異方性磁界回復率の影響

界の回復率が保磁力に及ぼす影響が異なることが見出された。異方性磁石 (<cos θ> = 1 ~ 0.92) においては、回復率 (結晶内部に対する表面の異方性磁界の比) が 50% で著しく保磁力が向上するが、等方性磁石 (<cos θ> = 0.5) においては、異方性磁石ほどの著しい保磁力の増加は見られなかった。これは交換相互作用により磁化が平均化され、結晶表面で異方性磁界が局所的に回復される効果が抑制されたためと考えられる。

(2) Nd₂Fe₁₄B/(Nd, Dy)₂Fe₁₄B コンポジット磁石の磁気特性

コンポジット磁石について、(Nd, Dy)₂Fe₁₄B 結晶粒の割合と配向を変化させて保磁力を計算した。(Nd, Dy)₂Fe₁₄B 結晶粒の割合の増加に伴う保磁力の増加は同量の Dy を使用した合金磁石に比べて大きく、コンポジット磁石により Dy 使用量を削減することができることが明らかとなった。

一方で、Dy 使用量低減効果は配向によって異なった。

(a) 理想的な配向 (<cos θ> = 1 ~ 0.99)

(Nd, Dy)₂Fe₁₄B 結晶粒の割合の増加に伴い、保磁力は直線的に増加した。即ち、理想的な配向では少量の結晶表面回復よりも残存する磁気劣化層の影響が大きいことが見出された。

(b) 異方性 (<cos θ> = 0.98 ~ 0.94)

図3に示す様に、保磁力は (Nd, Dy)₂Fe₁₄B 結晶粒の割合が 25% で著しく増加した。回復面の割合と保磁力は比例関係であることから、保磁力は回復面によって決まると考えられる。

(c) 等方性 (<cos θ> = 0.5)

(Nd, Dy)₂Fe₁₄B 結晶粒の割合が 25% で保磁力

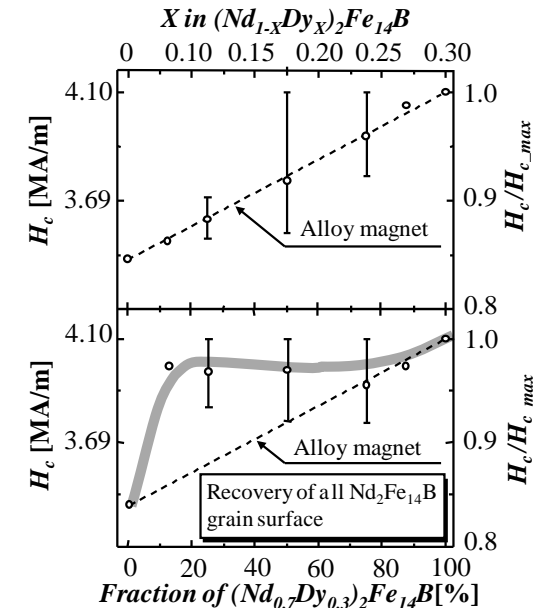


図3 異方性磁石<cos θ> = 0.97) における (Nd, Dy)₂Fe₁₄B 結晶粒の割合と保磁力の関係

は著しく増加するものの、異方性磁石と比較すると異方性回復の影響が小さいことが見出された。これは交換相互作用による磁化の平均化作用が局部的異方性回復の効果を抑制しているためであることが明らかとなった。

実用異方性磁石では、 $\langle \cos \theta \rangle = 0.98 \sim 0.94$ 程度であることに鑑みると、以上の結果はコンジット磁石の使用が実用的な磁石に対して特に有効であることを示唆している。一方、等方性磁石においては効果が小さいことから、極微細結晶で構成される等方性磁石に対しては、混合粉末結晶化法よりも表面をコーティングする方法が適していると考えられる。

4.2 非晶質からの結晶化を利用した低温熱処理による保磁力改善

計算機シミュレーションにより、Dy を結晶表面から数 nm 程度拡散させることにより、保磁を改善できることが明らかになったので、非晶質からの結晶化を利用して、低温・短時間熱処理により結晶粒の肥大化を抑制しつつ保磁力を改善することを試みた。

(1) 混合粉末結晶法

非晶質 Nd-Fe-B 粉末と (Nd, Dy)-Fe-B 粉末の混合体、圧粉体を 700°C 以下の温度での極短時間熱処理により結晶化させたが、十分な保磁力改善効果が得られなかった。この結果は計算機シミュレーションの結果とも一致する。

(2) PLD 法によるフレーク表面コーティング法

超急冷法により得られた非晶質 Nd-Fe-B フレークの片面に PLD 法により Dy コーティングを施し、極短時間熱処理（熱処理温度 650°C、保持時間 0 分）によりフレークの結晶化と Dy の Nd-Fe-B 結晶表面付近への拡散を同時に行い、結晶粒の肥大化を抑制しつつ、残留磁化を損なうことなく高保磁力を達成した。図 4 に示す様、開発磁粉保磁力は、Dy コーティングを施さずに結晶化したフレークに比べ

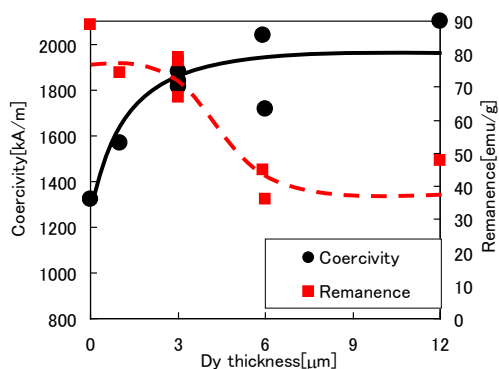


図 4 Dy コーティング Nd-Fe-B フレークにおける Dy の膜厚と保磁力、残留磁化の関係

て、約 500 kA/m 高く、残留磁化はコーティングなしのもととほぼ同じであった。SEM および TEM による微細組織と組成の分析により、極短時間の熱処理により、Dy がフレークの内部に拡散し、Nd-Fe-B 結晶の粒界に偏在していることを確認した。

(3) 蒸着法による磁粉表面コーティング法

非晶質 Nd-Fe-B フレークにおいて高保磁力を達成できたので、フレークを粉砕して得た非晶質磁粉の表面に、蒸着法により Dy をコーティングする方法を開発し、フレークと同様な効果が得られることを確認した。図 5 に示す様、保磁力は Dy コーティング量に比例して増加した。磁粉間および 1 つの磁粉表面での Dy コーティング厚にはムラが存在したが、Dy コーティング量と保磁力の増加量の関係は、Nd-Fe-B フレークに対する結果とほぼ同じであった。このことは、今後、コーティング厚の均一化が達成されれば、更なる保磁力改善が期待されることを示唆している。

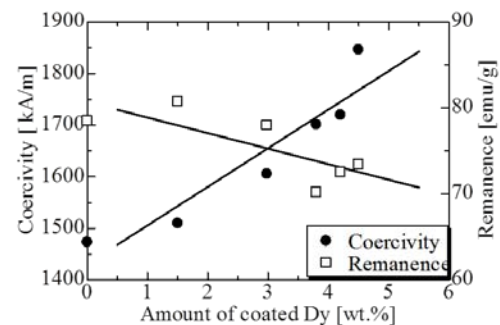


図 5 Dy コーティング量を変化させた Nd-Fe-B 磁粉の磁気特性

(4) DyF₃ コーティング法

DyF₃ 微粉を用いた Dy コーティングと非晶質からの結晶化を利用して、等方性 Nd-Fe-B 磁粉の保磁力を改善した。まず、結晶化条件を最適化した後、コーティング量を変化させたところ、DyF₃ コーティング量の増加と共に保磁力が増加し、コーティング量 1.7 wt.% で最大の保磁力改善効果約 5% が得られた。さらにコーティング量を増加させると保磁力改善効果が失われ、6.7wt.% コーティングの際に約 6% の保磁力減少となった。コーティング量が多い試料の X 線回析パターンは NdOF の存在を示唆しており、Nd のフッ化物の存在が、Nd₂Fe₁₄B 存在量を減じたことにより、保磁力の現象を招いたと考えられる。

Dy の直接コーティング、Nd-Cu の直接コーティングでは、残留磁化を大きく減少させることなく 25~30% 程度の保磁力改善が可能であったことと比較すると、DyF₃ コーティングによる等方性 Nd-Fe-B 磁粉の保磁力改善効果は前述の方法よりも顕著ではなかった。

(5) 塑性変形磁石の高保磁力化の検討

Nd-Cu/非晶質Nd-Fe-BあるいはDyF/非晶質Nd-Fe-B混合体を塑性変形させることにより、非晶質-結晶化転移を利用した粒界拡散技術と塑性変形による異方化技術を融合させ異方性バルク磁石を作製を試みたが、高保磁力・高残留磁化を併せ合わせ持つ磁石の作製には至らなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Hirotohi Fukunaga, Ikuo Yamamoto, Masaki Nakano, and Takeshi Yanai, Magnetic properties of Dy-diffused Nd-Fe-B powder prepared by crystallization from amorphous state, J. Appl. Phys., 査読有, **111** (2012) 07A733 -1~3.
DOI: 10.1063/1.3679422
- ② H. Fukunaga, Y. Yokoi, M. Nakano, and T. Yanai, Numerical Study of Enhanced Coercivity of a Magnetically Hard Grain with Thin Surface Layers Due to Antiferromagnetic Coupling, IEEE Trans. Magn., 査読有, **48** (2012) 3162 ~3165.
DOI: 10.1109/TMAG.2012.2201707
- ③ I. Yamamoto, M. Nakano, T. Yanai, H. Fukunaga, Magnetic properties of Dy-diffused Nd-Fe-B powder prepared by crystallization from amorphous state, Proc. 22th Int. Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications, 査読無 (2012) 371 ~ 374.
- ④ Y. Yokoi, M. Nakano, T. Yanai, and H. Fukunaga, Effect of Antiferromagnetically Coupled Thin Surface Layers on Coercivity of A Magnetically Hard Grain - Numerical Calculation -, Proc. 22th Int. Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications, 査読無 (2012) 341~343.
- ⑤ 福永博俊, 桐野一生, 中野正基, 柳井武志, Nd-Fe-B 磁石の磁化反転過程に及ぼす静磁気相互作用の影響 — 計算機シミュレーション —, 日本金属学会誌, 査読有, (2012) 43-47.
DOI: 10.2320/jinstmet.76.43
- ⑥ H. Fukunaga, Y. Sugimoto, M. Nakano, T. Yanai, S. Ohta, M. Itakura, and M. Nishida, Coercivity enhancement of

Dy-coated Nd-Fe-B flakes by crystallization, J. Appl. Phys., 査読有, **109** (2011) 07A701-1 ~ 3. DOI: 10.1063/1.3549604

- ⑦ K. Kawasaki and H. Fukunaga, Computer Simulation of Enhancement of Coercivity in Nd-Fe-B/(Nd, Dy)-Fe-B Composite Magnets, J. Magn., 査読有, **16** (2011) 145-149.
DOI: 10.4283/JMAG.2011.16.2.145
- ⑧ Kohei Kawasaki, Takeshi Yanai, Masaki Nakano and Hirotohi Fukunaga, Computer Simulation of Magnetic Properties of Dy-less (Nd, Dy)-Fe-B Composite Magnets, Proc. 11th JSST, 査読無 (2011) 62 -65.
- ⑨ Hirotohi FUKUNAGA, Kazuo KIRINO, Kohei KAWASAKI, Takeshi YANAI, Masaki NAKANO, Computer Simulation of the Magnetization Reversal Process in Nd-Fe-B Magnets Controlled by Magnetostatic Interaction, Proc. 21st Int. Workshop Rare-Earth Permanent Magnets and Their Applications, 査読無 (2010) 169 - 172.
- ⑩ M. Ishimaru, M. Itakura, M. Nishida, M. Nakano and H. Fukunaga, Microstructure Analysis of High Coercivity PLD-Made Nd-Fe-B Thick-Film Improved by Tb-Coating-Diffusion Treatment, Mater. Trans., 査読有, **51** (2010) 1939-1943.
DOI:10.2320/matertrans.M2010189

[学会発表] (計 17 件)

- ① Y. Yokoi, M. Nakano, T. Yanai and H. Fukunaga, Numerical Study of Enhanced Coercivity of Nd-Fe-B Magnets with Antiferromagnetically Coupled Thin Surface Layers, The 12th Joint MMM/Intermag Conference, Jan. 2013, Chicago, USA.
- ② I. YAMAMOTO, H. FUKUNAGA, M. NAKANO, T. YANAI, Enhancement of Coercivity of Isotropic Nd-Fe-B Powder by Dy-Deffusion using Crystallization from Amorphous State, The 22nd Int. Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and Their Applications, Sep. 2012, Nagasaki, Japan.
- ③ Y. Yokoi, M. Nakano, T. Yanai, and H. Fukunaga, Effect of Anti-Ferromagnetically Coupled Thin

- Surface Layers on Coercivity of A Magnetically Hard Grain - Numerical Calculation -, The 22nd Int. Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and Their Applications, Sep. 2012, Nagasaki. Japan.
- ④ Yuji YOKOI, Hirotooshi FUKUNAGA, Masaki NAKANO, Takeshi YANAI, Enhancement of Coercivity of A Magnetically Hard Grain due to Anti-ferromagnetically Coupled Thin Surface Layers - Numerical Calculation -, IEEE Int. Magn. Conf., May 2012, Vancouver, CANADA.
- ⑤ 横井佑司, 中野正基, 柳井武志, 福永博俊, 反強磁性結合した強磁性表面薄層を有する硬磁性結晶の保磁力 - 計算機解析 -, 平成 24 年電気学会基礎・材料・共通部門大会, H24 年 9 月, 秋田
- ⑥ 堀陽平・柳井武志・中野正基・福永博俊, 結晶化を利用して Nd-Cu を粒界に拡散した等方性 Nd-Fe-B 高保磁力フレークの磁気特性, 第 65 回電気関係学会九州支部連合大会, 平成 24 年 9 月, 長崎
- ⑦ 福永博俊・横井佑司・中野正基・柳井武志, 硬磁性結晶表面に存在する反強磁性結合薄層の保磁力に及ぼす影響 - 計算機解析 -, 電気学会マグネティクス研究会, H23 年 11 月, 東京
- ⑧ H. Fukunaga, I. Yamamoto, M. Nakano, and T. Yanai, Magnetic properties of Dy-diffused Nd-Fe-B powder prepared by crystallization from amorphous state, 56th Annual Conf. on Magn. Mater. 2011 年 11 月, Scottsdale, USA
- ⑨ 山本郁生・柳井武志・中野正基・福永博俊, 非結晶質の結晶化を利用して Dy を拡散させた Nd-Fe-B 磁粉の磁気特性, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, H23 年 9 月, 新潟
- ⑩ K. Kawasaki, T. Yanai, M. Nakano and H. Fukunaga, Micromagnetic Simulation of Enhancement of Coercivity in Nd-Fe-B/(Nd, Dy)-Fe-B Composite Magnets, Japan-Taiwan 4 Universities Joint Symposium on Material Science for Next Generation Energy and Nano Science, 2011 年 1 月, Nagasaki
- ⑪ 横井佑司・柳井武志・中野正基・福永博俊, Nd-Fe-B 磁石の磁気特性に及ぼす粒界相交換結合の影響, 第 35 回日本磁気学会学術講演会, H23 年 9 月, 新潟
- ⑫ Kohei Kawasaki, Takeshi Yanai, Masaki Nakano and Hirotooshi Fukunaga, Computer Simulation of Magnetic Properties of Dy-less (Nd, Dy)-Fe-B Composite Magnets, The 11th JSST, 2010 年 6 月, Nagasaki
- ⑬ Hirotooshi FUKUNAGA, Kazuo KIRINO, Kohei KAWASAKI, Takeshi YANAI, Masaki NAKANO, Computer Simulation of the Magnetization Reversal Process in Nd-Fe-B Magnets Controlled by Magnetostatic Interaction, The 21st Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and Their Applications, 2010 年 8 月, Bled, Slovenia
- ⑭ 川崎康平・柳井武志・中野正基・福永博俊, Dy レス (Nd, Dy) - Fe - B コンポジット磁石の磁気特性の計算機シミュレーション, 第 63 回電気関係学会九州支部連合大会, 平成 22 年 9 月, 福岡
- ⑮ 杉元祐一・柳井武志・中野正基・福永博俊, Dy コーティングによる Nd-Fe-B 磁石粉の保磁力の向上, 第 63 回電気関係学会九州支部連合大会, 平成 22 年 9 月, 福岡
- ⑯ 福永博俊, 杉元祐一, 中野正基, 柳井武志, 福永博俊, 杉元祐一, 中野正基, 柳井武志, 電気学会マグネティクス研究会, H22 年 12 月, 東京
- ⑰ Kohei Kawasaki, Takeshi Yanai, Masaki Nakano, Hirotooshi Fukunaga, Computer Simulation of Enhancement of Coercivity in Nd-Fe-B/(Nd, Dy)-Fe-B Composite Magnets, In. Conf. AUMS, 2010 年 12 月, Jeju, Korea

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 福永博俊 (町田憲一監修), シーエムシー出版, レアアースの最新技術動向と資源戦略, 2011, 56-61

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.eee.nagasaki-u.ac.jp/~magnet/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福永 博俊 (FUKUNAGA HIROTOSHI)
 長崎大学・工学研究科・教授
 研究者番号: 10136533

(2) 研究分担者

中野 正基 (NAKANO MASAKI)
 長崎大学・工学研究科・准教授
 研究者番号: 20274623
 柳井 武志 (YANAI TAKESHI)
 長崎大学・工学研究科・助教
 研究者番号: 30404239