

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：32201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05951

研究課題名(和文) 卓上型強力磁石装置の実用化を目指した性能向上に関する研究

研究課題名(英文) Improvement of trapped field performance on a desktop-type superconducting bulk magnet toward practical use

研究代表者

横山 和哉 (Yokoyama, Kazuya)

足利工業大学・工学部・教授

研究者番号：60313558

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は超伝導バルク磁石の実用化を目指して、特に取り扱い易さや経済性を考慮してスターリング冷凍機を用いた卓上型磁石装置を開発した。45 mmのGdBCOバルク体を最低到達温度である51 Kに冷却して単一パルス磁場を印加した時、最大で2.8 Tの磁場捕捉に成功した。次に、総磁束量の増大を目的として、60 mmの試料を取り付けられるように磁極を改造し、着磁試験を行った。その結果、到達温度は55 Kと高くなってしまったが、最大捕捉磁場は3.0 Tを記録し、総磁束量も約2倍となることを確認した。これらから、比較的冷却能力が低いスターリング冷凍機においても、大きな磁場を捕捉できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have developed a desktop-type superconducting bulk magnet using a Stirling cryocooler in view of easiness of handling and decrease in power consumption toward practical use. As a result of cooling and magnetizing tests using a GdBCO bulk 45 mm in diameter, the lowest achieved temperature was 51.3 K, and the maximum trapped field was approximately 2.8 T at the center of the bulk surface. Next, we remodeled the bulk magnet system in order to attach a large bulk 60 mm in diameter for the purpose of improving the total magnetic flux, and then, cooling and magnetizing tests were carried out. Although lowest achieved temperature was 55.6 K, the maximum trapped field was 3.0 T, which was the maximum value in the pulsed-field magnetization using a large bulk at temperatures beyond 50 K. Moreover, the total magnetic flux was 2.0 mWb, which was about twice that of the small bulk. These results indicate that even bulk magnet using a low-power refrigerator can trap a high magnetic field.

研究分野：電気電子工学

キーワード：超伝導バルク体 パルス着磁 スターリング冷凍機 捕捉磁場 総磁束量 磁束密度

1. 研究開始当初の背景

我々の身の回りには、発電機やモーターをはじめとして多くの磁石を用いた機器がある。発電分野においては、再生可能エネルギーの導入が進み、風力発電については7~10 MWの大型化が検討されている。この時、既存の発電機では重量が大きくなり、ナセルへの搭載が難しくなるため、発電機の小型・軽量化が求められている。また、モーターに関しては大型船舶や航空機において、CO₂排出による地球温暖化への対策として電気駆動によるモーターが求められ、小型・軽量化が重要な課題である。医療分野では、安全な投薬技術として磁気薬剤搬送システムが注目されており、小型で強力な磁場発生装置が必要である。また、移動・搬送可能な卓上型MRI装置も開発段階にある。

超伝導バルク磁石は、小型・安価な装置で従来の永久磁石や電磁石を超える2 Tの磁場を容易に発生させることができる。同装置は、超伝導試料を小型冷凍機で冷却・励磁することで、試料内部に超伝導電流を誘起する。その後、励磁マグネットを取り外しても、冷却し続ければ完全導電性により電流が流れ続けて磁場を発生する。試料を冷却する冷凍機には、GM冷凍機やパルス管冷凍機、スターリング冷凍機等があり、冷凍能力や大きさ、消費電力等が異なり、用途に合わせてどの冷凍機を選択するかが重要である。また、磁石の励磁方法には、大別して磁場中冷却法とパルス磁化法がある。前者は、超伝導試料の最大の性能を得ることができるが、大型で高価な超伝導マグネットが必要である。一方、後者は汎用の銅マグネットとコンデンサ電源で励磁できるため、産業応用の観点から有利であると考えられる。バルク磁石の産業応用を考えると、どの冷凍機を採用し、どの励磁方法を選択するかが重要な問題である。

2. 研究の目的

本研究は、バルク磁石の実用化に向けて、装置の取り扱い易さや省電力化を考え、卓上型磁石装置を開発した。冷凍機にはスターリング冷凍機を採用し、励磁方法をパルス磁化法に限定した。同冷凍機は、外部に圧縮機を必要とせず、装置全体として小型化・省電力化が可能である。ただし、冷却能力が一般的に用いられるGM冷凍機に比べて低いため、最低到達温度が高いことや、励磁後の発熱をいかに早く取り除くことができるかが懸念され、それにより捕捉磁場特性が大きく左右される。また、磁場中冷却法では冷凍機が磁場の影響で停止しないように、励磁マグネットから離す必要があるが、パルス磁化法は、磁場印加時間が1秒未満と短いため、冷凍機が停止する心配はない。そのため、磁極を短くすることができ、装置全体としても小型化が可能となった。

これまでに、スターリング冷凍機を用いた磁石装置の実用例はなく、磁石装置としての

実現可能性や性能については未知数であり、本申請研究においてそれらの点を確認する。さらに、スターリング冷凍機を用いた卓上型バルク磁石装置において、φ45 mmのGdBa₂Cu₃O_xバルク体を用いたときに3 T以上、φ60 mmの試料を用いたときに2 T以上の磁場を発生させることを目標とする。

3. 研究の方法

(1) 卓上型バルク磁石装置

表1に本研究室で所有する3種類の装置の写真及び主要スペックを示す。1段GM式冷凍機を用いた装置は100Vの汎用電源を用いることができ、冷却性能も高く、更に機械的にも強い装置である。2段GM式冷凍機は、200Vの動力電源が必要であるものの、最低到達温度が低く、より大きな磁場を発生させることが可能である。スターリング冷凍機を用いた卓上型バルク磁石装置は、圧縮機が不要となるとともに160 Wの低消費電力ではあるが、冷却能力が11 W@77 Kと他の冷凍機と比べて低く、最低到達温度も高いことから、大きな磁場を捕捉できるかが懸念される。

図1にスターリング冷凍機を用いた卓上型バルク磁石装置の概要、及び改造前後の磁極部分の拡大図を示す。スターリング冷凍機(CryoTel CT, Sunpower Inc.)のクールドヘッドに銅の伝熱バーを介してステンレス製のサンプルホルダを取り付ける。バルク体はキャップをねじ止めすることにより固定されており、サンプルのステージとバルク体の間には軟鉄製ヨークが挟まれている。こ

表1 超伝導バルク磁石装置の概略

	対向型 プロトタイプ	単極型 冷やして強力に!	卓上型 よりコンパクトに!
コンセプト			
外観写真			
超伝導体	GdBa ₂ Cu ₃ O _x		
発生磁場	φ60×20 mm 3 T以上	φ60×20 mm 3 T以上	φ45×15 mm 2.8 T
冷凍機	1段GM式 (GR101, アイシン精機)	2段GM式 (RS271, アイシン精機)	スターリング式 (CryoTel CT, SUNPOWER)
到達温度	40K以下	20K以下	53 K以下
出力	15W@40K	5W@20K(2 nd)	8W@77K
入力	単相100V / 800 W	三相200V / 1600W	単相100V / 160 W
外部装置	・コンプレッサ ・真空排気装置	・コンプレッサ ・真空排気装置	・電源ボックス ・真空排気装置

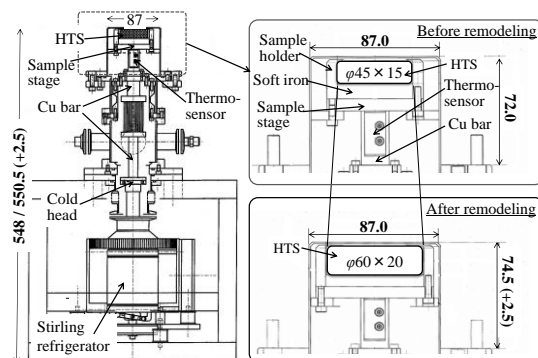


図1 卓上型超伝導バルク磁石装置の概略

これは、パルス磁場印加時にバルク体に生じる反発力による冷凍機のダメージを緩和するとともに、バルク体への磁場印加時間を延ばす役割を果たしている。また、後述する着磁コイルにも軟鉄製ヨークが取り付けられており、2つのヨークでバルク体を挟む構造になっている。

本装置の開発当初は、冷却や着磁時の衝撃等の問題を考慮して、 $\phi 45 \times 15$ mmの試料を用いて実験を行った。その結果を踏まえ、 $\phi 60 \times 20$ mmの試料に変更し、サンプルフォルダ及び真空チャンバの一部を新規に製作した。磁極の直径は同試料の場合とも $\phi 87$ mmであり、長さは小型試料の場合全長548 mm、大型試料の場合2.5 mm長い550.5 mmである。なお、着磁コイル等の磁化装置は共通して使用することができる。

(2) 実験方法

GdBa₂Cu₃O_xバルク体をサンプルフォルダに取り付け、スーパーインシュレーションで覆い、さらに真空チャンバを取り付ける。真空排気した後、最低到達温度まで冷却する。次に磁極の先端に着磁コイルを取り付け、3.1~7.0 Tのパルス磁場(立ち上がり時間:10 ms, 全パルス時間:100 ms)を各1回印加する。着磁中の試料表面中心部に貼り付けたホールセンサ(BHT-921, F.W.BELL)により着磁中の磁束密度の時間変化を測定した。なお、サンプリング間隔は100 μ sであり、ホール電圧をデータロガーにより記録している。また、磁場印加後、着磁コイルを取り外して、磁極表面の磁束密度分布を三次元ホールセンサ(BH-703, F.W.BELL)により測定した。各方向の測定ピッチは2 mm間隔である。各点における磁束密度の実測データを用いて

$$\Phi = \int B_z \cdot dS$$

から総磁束量 Φ を算出した。

4. 研究成果

(1) 冷却特性の比較

図2に $\phi 45 \times 15$ mm及び $\phi 60 \times 20$ mmの試料を取り付けて、室温から最低到達温度まで冷却した時のサンプルフォルダ直下の温度の時間変化を示す。小型試料の場合、最低到達温度は51.3 K、また冷却時間は約4.5時間であった。一方、大型試料の場合、約6.5時間で55.6 Kの最低温度に到達した。小型試料と比較して、最低到達温度は約4 K高くなってしまったが、当初懸念していたよりも少ない差であった。一方、冷却時間は約1.6倍に長くなってしまったが、これは小型試料に比べて、体積が2.4倍大きくなったことに起因していると考えられる。

(2) 試料表面における磁束密度の時間変化

図3に(a) $\phi 45 \times 15$ mm試料及び(b) $\phi 60 \times 20$ mm試料の試料表面中心部における磁束密

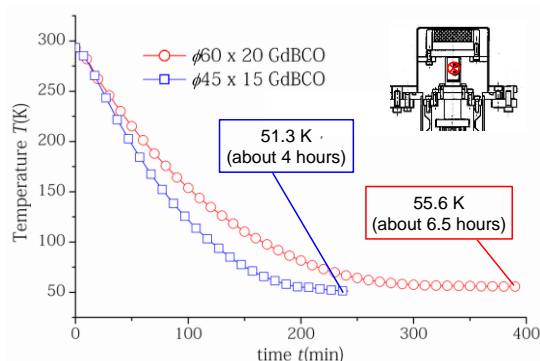
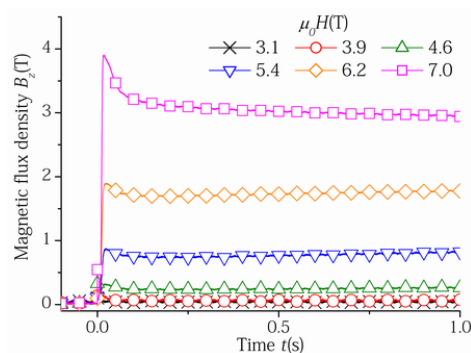
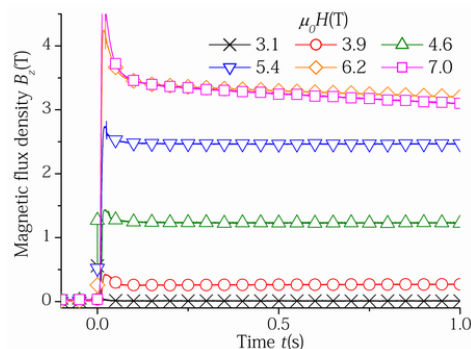


図2 冷却特性の比較



(a) 45×15 mm 試料



(b) 60×20 mm 試料

図3 試料表面における磁束密度の時間変化

度の時間変化を示す。(a)では印加磁場と共に捕捉磁場が大きくなっており、印加磁場 $\mu_0 H=6.2$ Tまでは小さなピークの後、時間と共に B_z がわずかに大きくなっている。これは、磁場が中心まで十分届いておらず、外周部から中心部に磁束が集まってきていることを示している。一方、 $\mu_0 H=7.0$ Tではピークの後、 B_z が徐々に減少しており、ピン止め損失及び粘性損失による発熱により、磁束フローが発生していることを示している。(b)では、印加磁場 $\mu_0 H=3.9$ Tまでは磁束が中心部まで届いておらず、 $\mu_0 H=4.6$ T以上で値が大きくなっていることがわかる。また、 $\mu_0 H=5.4$ Tではパルス磁場印加後、一旦減少した後、再びわずかに増加していることがわかる。これは周辺部の磁束が中心部に移動していることを示している。一方、 $\mu_0 H=6.2$ 及び 7.0 T

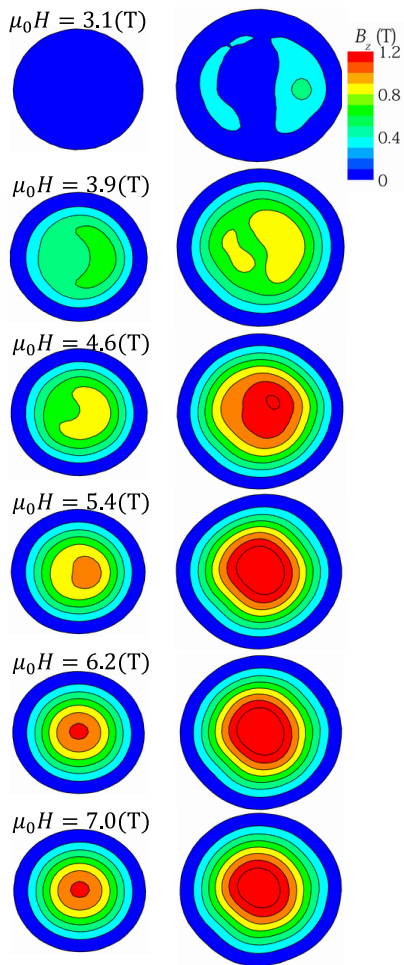
では、磁場印加後、磁束は単調に減少しており、磁束フローが発生していることがわかる。また、印加磁場が大きいほど、減少率も大きいことがわかる。この結果から、 $\mu_0 H = 7.0$ T では印加磁場が過ぎることが考えられる。

(3) 磁極表面における磁束密度分布

図4に(a) $\phi 45 \times 15$ mm 試料及び(b) $\phi 60 \times 20$ mm 試料の印加磁場 $\mu_0 H = 3.1 \sim 7.0$ T における磁極表面の磁束密度分布を示す。小型試料では $\mu_0 H = 5.4$ T 以上で 1.0 T 以上の磁場捕捉領域が現れているが、大型試料では $\mu_0 H = 4.6$ T 以上で現れており、さらに 1.2 T 以上の磁場捕捉領域も存在する。また、 $\mu_0 H = 5.4$ T 以上の磁場分布はほぼ変わらず、 $\mu_0 H = 7.0$ T の大きな磁場を印加しても、大きな磁束フローが発生しないことがわかる。当初、冷凍機の冷却能力や試料の大型化に伴う熱負荷の増加を考えたときに、大きな磁束フローによる磁束の減少を懸念していたが、捕捉磁場性能において良好な結果が得られた。

(4) 磁束密度の比較

図5に図3に示した試料表面中心部における磁束密度と、図4の磁場分布から読み取った最大磁束密度の印加磁場依存性を示す。な



(a) 加工前 (b) 細孔 $\phi 1$ mm

図4 磁束密度分布の比較

お、試料表面のデータは磁場印加後に磁束密度の値が安定した $50 \sim 60$ 秒後の平均値となっている。図中の塗りつぶしの印が前者、白抜き印が後者の値となっている。小型試料の場合、印加磁場と共に磁束密度が大きくなっており、 7.0 T 以上の磁場を印加すれば、更に大きな磁場を捕捉できる可能性を示している。ただし、大きな印加磁場は、磁化装置の大型化や着磁作業における安全面、磁石装置の安全面においても好ましくない。一方、大型試料の場合、試料表面の磁束密度は $\mu_0 H = 6.2$ T で最大値を取り、 $\mu_0 H = 7.0$ T では減少している。この時、捕捉磁場の最大値は 3.0 T を達成し、 50 K の高温域における大型試料のパルス着磁による捕捉磁場としては、最も大きな値となっている。また、磁極表面における最大磁束密度は $\mu_0 H = 5.4$ T で最大値を取り、それ以上の印加磁場で若干減少している。これは、大きな磁場印加で発熱が大きくなり、磁束フローが増えて磁束が減少したことが考えられる。

(5) 総磁束量の比較

図6に図4の磁場分布のデータを用いて算出した総磁束量の印加磁場依存性を示す。印加磁場 $\mu_0 H = 3.9$ T 以上では大型試料の総磁束量は小型試料の値の $2.0 \sim 2.1$ 倍となっており、本研究でのねらいが達成されていることを確認した。また、最大値は $\mu_0 H = 5.4$ T の時の 2.0 mWb であった。

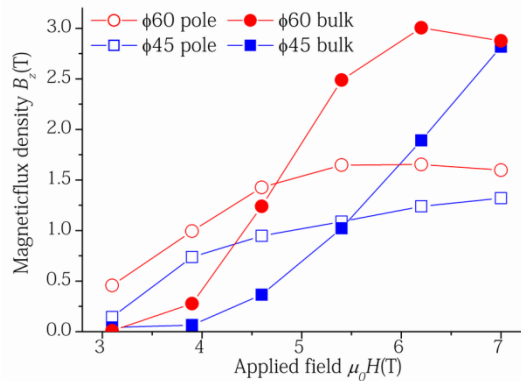


図5 試料表面中央部の磁束密度及び磁極表面の最大磁束密度の比較

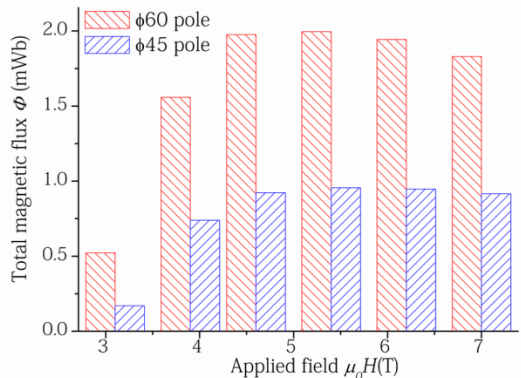


図6 小型試料と大型試料の総磁束量の比較

(6)まとめ

本文はスターリング冷凍機を用いた卓上型バルク磁石装置において、 $\phi 45 \times 15$ mm 及び $\phi 60 \times 20$ mm の $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ バルク体を用いて、冷却及び着磁試験を行った。これまでに、本タイプの冷凍機を用いた磁石装置は存在しないため、実現可能性や着磁特性を評価した。当初、装置の安全面を考慮して、上記の小型試料で実験を行い、冷却及び着磁特性において良好な結果が得られ、また装置の安全性も確認することができた。次に、総磁束量の増大を目指して大型試料を取り付けられるように磁極を改造し、上記の大型試料を用いて各種試験を行った。冷却試験の結果、室温から約 6.5 時間で最低温度である 55.6 K に到達した。これは小型試料と比較して冷却時間が約 1.6 倍長くなり、到達温度は 4 K 高い結果となった。これは小型試料と比較して体積が 2.4 倍になったためであるが、冷却時間は長いものの良好な冷却性能と考えられる。また、着磁試験の結果、総磁束量が小型試料の約 2 倍となり、当初のねらいが達成された。さらに、試料表面中心部における磁束密度が 3.0 T となり、これまでの最高値を得ることができた。これらのデータから、冷却能力がそれほど高くないスターリング冷凍機においても良好な結果が得られ、磁石装置に用いる冷凍機として選択肢になりえることを明らかにした。今後は、効率的な磁化方法や更なる捕捉磁場向上の検討や、卓上型バルク磁石の産業応用について検討したい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① K. Yokoyama, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Comparison of Magnetizing Characteristics of Superconducting Bulk Magnet Cooled by Stirling and GM Refrigerators During Pulsed Field Magnetization," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 査読有, Vol. 28, 2018, Art.No. 6800404
DOI: 10.1109/TASC.2018.2791993
- ② K. Yokoyama, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Enhancement of Trapped Magnetic Field Using a Large-Size REBCO Bulk in a Desktop Type Superconducting Bulk Magnet," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 査読有, Vol. 28, 2018, Art.No. 6800304
DOI: 10.1109/TASC.2017.2782680
- ③ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Influence of Artificial Defects on Trapped Field Performance in a Superconducting Bulk Magnet," *Journal of Physics*, 査読有, Vol. 871, 2017, Art.No. 012050
DOI: 10.1088/1742-6596/871/1/012050
- ④ 横山和哉, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「細孔バルク体のパルス着磁における特

性評価」, 電気学会超電導機器研究会, 査読無, 2017

- ⑤ 横山和哉, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「スターリング冷凍機を用いたバルク磁石のパルス着磁特性」, 電気学会超電導機器研究会, 査読無, 2017, pp. 33-36
- ⑥ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Development of a Desktop-Type Superconducting Bulk Magnet," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 査読有, Vol. 26, 2016, Art.No. 4601204
DOI: 10.1109/TASC.2016.2519278
- ⑦ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Influence of the Position of a Small Hole on the Trapped Field Performance in a Holed Superconducting Bulk Magnet," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 査読有, Vol. 26, 2016, Art.No. 8201704
DOI: 10.1109/TASC.2016.2533562

[学会発表] (計 47 件)

- ① 横山和哉, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「高冷却能力を有する 2 段 GM 冷凍機を用いたバルク磁石の着磁特性の評価」, 平成 30 年電気学会全国大会, 5-165, 九州大学, 2018. 3
- ② K. Yokoyama, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Evaluation of trapped field characteristic of bulk magnet system using various type refrigerators", 28th International Symposium on Superconductivity (ISS2017), APP7-4, Tokyo, Japan, 2017. 12
- ③ K. Yokoyama, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Magnetizing performance evaluation of HTS bulk magnet using a 12 K refrigerator with high cooling capacity", 10th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials (PASREG2017), M11P, Tokyo, Japan, 2017. 12
- ④ 横山和哉, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「高い冷凍能力を持つ冷凍機を用いたバルク磁石装置の開発」, 2017 年秋季低温工学・超電導学会, 3D-p05, 高知市文化プラザ かるぼーと, 2017. 11
- ⑤ K. Yokoyama, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Comparison of magnetizing characteristics of superconducting bulk magnet cooled by Stirling and GM refrigerators during pulsed field magnetization", 13th biennial European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2017), IMP3-08, Geneva, Switzerland, 2017. 9
- ⑥ K. Yokoyama, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, "Enhancement of trapped magnetic field using a large-size REBCO bulk in

- a desktop type superconducting bulk magnet”, 25th International Conference on Magnet Technology (MT25), Mon-Af-Po1.07-07, Amsterdam, Netherlands, 2017. 8
- ⑦ 横山和哉, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「細孔バルク体のパルス着磁における特性評価」, 電気学会超電導機器研究会, MC-17-004/ASC-17-021, 福島工業高等専門学校, 2017. 6
- ⑧ 横山和哉, 趙 元鼎, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「細孔加工したバルク体におけるパルス着磁中の磁束密度及び温度変化」, 2017年春季低温工学・超電導学会, 2B-a10, タワーホール船堀, 2017. 5
- ⑨ 横山和哉, 趙 元鼎, クラウンシャ エランダ, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「スターリング冷凍機で冷却した大型バルク体のパルス着磁特性」, 平成 29 年電気学会全国大会, 5-121, 富山大学, 2017. 3
- ⑩ 横山和哉, 趙 元鼎, クラウンシャ エランダ, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「スターリング冷凍機を用いたバルク磁石のパルス着磁特性」, 電気学会超電導機器研究会, ASC-17-007, 新潟大学, 2017. 1
- ⑪ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, “Influence of Artificial Defects on Trapped Field Performance in a super-conducting bulk magnet”, 29th International Symposium on Superconductivity (ISS2016), WBP7-2, Tokyo, 2016. 12
- ⑫ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, “Evaluation of trapped field characteristics in a desktop-type superconducting bulk magnet using a large bulk material,” 1st Asian ICMC - CSSJ 50th Anniversary Conference, 2P-p17, Kanazawa Kageki-za, 2016. 11
- ⑬ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, A. Katsuki, A. Miura, T. Oka, “Improvement of trapped magnetic field in a desktop type superconducting bulk magnet”, 2016 Applied Superconductivity Conference (ASC2016), 2LPo2L-04, Denver Co, USA, 2016. 9
- ⑭ 横山和哉, クラウンシャ エランダ, 趙 元鼎, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄, 「大型試料を用いた卓上型バルク磁石の基礎的特性評価」, 平成 28 年電気学会産業応用部門大会, 3-42, 群馬大学, 2016. 8
- ⑮ 横山和哉, クラウンシャ エランダ, 趙 元鼎, 香月 淳, 三浦敦朗, 岡 徹雄 「φ 60 mm バルク体を用いた卓上型超伝導バルク磁石の特性評価」, 2016 年春季低温工学・超電導学会, 1C-p07, タワーホール船堀, 2016. 5
- ⑯ 横山和哉, クラウンシャ エランダ, 趙 元鼎, 岡 徹雄 「細孔加工したバルク磁石の細孔の位置と捕捉磁場特性の関係」, 2015 年秋季低温工学・超電導学会, 3C-a02, 姫路商工会議所, 2015. 12
- ⑰ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, T. Oka, “Position Dependence of a Small Hole Processed Bulk Magnet Activated by Pulsed-Field Magnetization,” 28th International Symposium on Superconductivity (ISS2015), SAP-33, Tokyo, Japan, 2015. 11
- ⑱ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, T. Oka, “Development of a desktop type superconducting bulk magnet”, 24th International Conference on Magnet Technology (MT24), 1PoBE_13, Seoul, Korea, 2015. 10
- ⑲ K. Yokoyama, K. Eranda, Y. Zhao, T. Oka, “Influence of the position of a small hole on the trapped field performance in a holed superconducting bulk Magnet, 12th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2015), 3A-M-P-03.18, Lyon, France, 2015. 9
- ⑳ 横山和哉, クラウンシャ エランダ, 趙 元鼎, 岡 徹雄, 「細孔バルク体の細孔の位置が捕捉磁場に及ぼす影響」, 平成 27 年電気学会産業応用部門大会, 3-78, 大分大学, 2015. 9
- ㉑ 横山和哉, クラウンシャ エランダ, 趙 元鼎, 岡 徹雄, 「細孔バルク体における細孔の位置が捕捉磁場特性に及ぼす影響」, 平成 27 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 371, 名城大学, 2015. 8
- ㉒ 横山和哉, クラウンシャ エランダ, 趙 元鼎, 岡 徹雄 「卓上型超伝導バルク磁石の捕捉磁場特性の評価」, 2015 年春季低温工学・超電導学会, 3C-a02, 産業技術総合研究所, 2015. 5

ほか 25 件

[図書] (計 1 件)

- ① Muralidhar Miryala and M. R. Koblischka et.al., Nova Science Publishers, High-Temperature Superconductors: Occurrence, Synthesis and Applications, 2018, 392 (17 章, pp. 369-386 を担当)

[その他]

ホームページ: 足利大学 工学部 創生工学科
電気電子分野 応用超伝導研究室
<http://www2.ashitech.ac.jp/elec/yokoyama/index.html>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
横山 和哉 (Yokoyama Kazuya)
足利工業大学・工学部・教授
研究者番号: 60313558
- (3) 連携研究者
岡 徹雄 (Oka Tetsuo)
芝浦工業大学・工学部・特任教授
研究者番号: 40432091