

液中パルス放電法による絶縁破壊電圧測定

Measurement of breakdown-voltage by the pulse discharge method

高崎 建, 重松 利信, 川崎 仁晴(佐世保高専), 今坂公宣(九州産業大学), 河江達也(九大工)
 TAKASAKI Ken, SHIGEMATSU Toshinobu, KAWASAKI Hitoharu (SASEBO National College of Tech.),
 IMASAKA Kiminobu (Kyushu Sangyo Univ.) and KAWAE Tatsuya (Kyushu Univ.)
 E-mail: shige@post.cc.sasebo.ac.jp

1. はじめに

当研究室ではこれまで、液体窒素や液体ヘリウム中などの低温液体中で、アーク放電法によるカーボンナノチューブ (CNT) の生成実験を行ってきた。その結果、液体ヘリウム中での放電実験によりカーボンナノチューブの生成に成功した^[1]。しかし、同じ条件で放電実験を行っても、CNT が必ずしもできるわけではなく再現性に乏しい。そこで、放電の特性の再現性に問題があるためではないかと考え、低温液体中の放電特性 (出力電圧-電流特性) に着目し研究を行った。

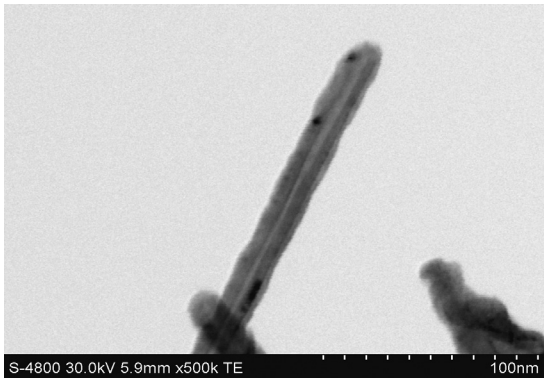


Fig.1 TEM images of the nano-material products using contact arc experiment in liquid helium. Though its inside diameter is 2 ~ 4nm, its outside diameter is approximately 20nm. Unfortunately, it is not possible to find out how many walls these clusters have because of the low sensitivity of TEM imaging. This shows that it has multi-walls.

2. 実験装置

実験セルの冷却および実験空間の確保にはガラスデュワーを用い、実験セルは液体ヘリウムに浸漬して使用する。

放電電極はφ15の真鍮球を対向させて使用した。実験では上部カーボン電極を上下させ、下部電極との放電特性を観測する。また、両電極が電氣的に接触した時をギャップ0とし、そこから、マイクロメータでギャップを調整して実験を行った。

3. 実験結果

低温液体中に設置した電極にパルス電圧を印加し、放電時の出力電圧・電流をオシロスコープで測定する。このとき、電極間のギャップ長、液体の温度をパラメータとした、実験を行った。

Fig3 に液体窒素中、および液体ヘリウム中におけるギャップ長ごとの絶縁破壊電圧[kV]の実験値、および経験式による値を示す。経験式は Hara et al.により以下のように示されている。

$$V = kd^n \text{ [kV] } \quad [2]$$

k, n は液体の種類と電極形状に依存する定数であり、d はギャップ長[mm]である。

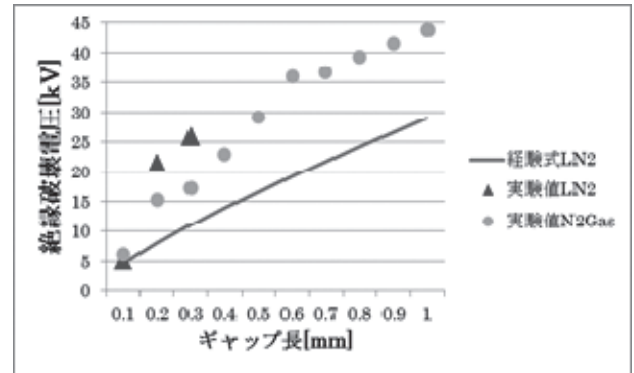


Fig. 2. Breakdown-voltage vs. gaps in liquid Nitrogen

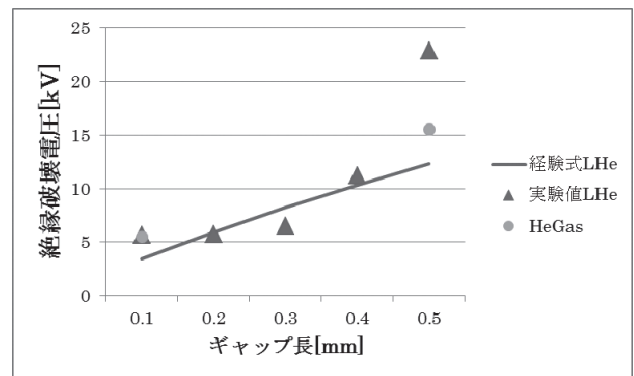


Fig. 3. Breakdown-voltage vs. gaps in liquid Helium

Fig.2 に液体窒素中及び液体窒素直上での絶縁破壊電圧とギャップの関係を示した。ギャップが 0.1 mm程度と小さい時には原らの経験式とよく一致しているが、0.2mm, 0.3mm となるに従って、開きは大きくなる。Fig.3 に液体ヘリウム中及び液体ヘリウム直上での絶縁破壊電圧とギャップの関係を示す。液体窒素の場合とまったく様相が異なり、ギャップが小さい時には原らの経験式とよく一致しているが、0.5mm では急激に大きくなり比例的とはいえない結果となった。

これは、数μ秒も続いたコロナ放電による影響や、電極形状による違い、絶縁破壊電圧の決め方など誤差が生じる原因は様々考えられるが、飽和沸騰温度での気泡発生や成長、あるいは強制対流による効果が主な原因ではないかと考えている。

参考文献

1. T. Shigematsu, H. Kawasaki, Y. Johno, T. Ohshima, Y. Yagyuu, W. M. Guan and Y. Suda, J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol. 8, p599 (2009).
2. M.Hara et. al, Cryogenics Eng., 24 pp. 72 (1989).

キャパシタンス式熱膨張・磁歪測定装置 -試料固定方式の改良-

Improvement of capacitive dilatometer

竹下 実里, 川田 尚明, 山田 啓志, 松本 宏一, 阿部 聡(金沢大); 高田 裕章(三徳)

TAKESHITA Misato, KAWATA Naoaki, YAMADA Keishi, MATSUMOTO Koichi, ABE Satoshi (Kanazawa Univ);

TAKATA Hiroaki (SANTOKU)

E-mail: misatot@stu.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

磁気冷凍とは、磁場変化に伴う磁性体の磁気熱量効果を利用し冷却を行う冷凍技術である。我々は、磁性体の磁気転移近傍で起こる大きな熱膨張や磁歪といった磁気体積効果に着目し、磁気冷凍用磁性材料としての実用性の検討や磁気体積効果が磁気熱量効果に及ぼす影響の考察を目的として研究を行っている。これまでキャパシタンス式熱膨張・磁歪測定装置を作成し熱膨張・磁歪の測定を行ってきた[1]。その研究過程において、測定試料として用いた $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物の磁歪・熱膨張が測定セルの材料である銅などと大きく異なるため、電極の安定的な固定に問題が生じた。この問題を解決するために、本研究では、可動電極を板バネで支持する新しい測定セルの試験を行った。

2. 測定装置

図 1 に前回報告した可動電極をエポキシ系接着剤で試料に貼りつける構造の測定セルを示す[1]。図 2 に今回の可動電極を板バネで支持する測定セルを示す。測定セルはどちらも高純度無酸素銅(OFC)で構成されている。図 1 では円形の可動電極(e)と一辺 5mm の立方体の測定試料(f)を絶縁のため STYCAST FT、シガレットペーパー、STYCAST 1266 の順で接着し、電極と試料ホルダ(b)が同一平面上になるように研磨した。また、固定電極板(d)は固定電極ホルダ(a)に STYCAST FT で固定し可動電極と同様に研磨した。固定電極ホルダ(a)とサンプルホルダ(b)間には厚さ $100\ \mu\text{m}$ の銅スペーサーを挿入し、温度・磁場変化に伴う試料長さ変化によって電極間距離が変化する平行平板コンデンサーを構成した。キャパシタンス変化から熱膨張・磁歪を求めることができる。しかしこの固定法では、試料の熱膨張・磁歪と、銅・STYCAST の熱膨張・磁歪の差が大きい場合、測定試料と可動電極の固定が不安定になることがしばしば起こった。また STYCAST で測定試料を接着すると、一つの測定セル製作に手間がかかるなどの問題も生じたため測定セルの改良を行った。

新しい測定セルは、高さ 43.5mm、外径 23mm の円柱形状であり以前のセルとはほぼ同じサイズである。測定試料(K)は、熱伝達のため試料ステージ(G)に銀ペースト(Arzerite VL-10)で接着する。試料ステージ(G)はネジが切っており、可動電極(F)と測定試料(K)の距離を調整できる。可動電極(F)は図 2 の右図のような構造になっていて、電極面の裏側は雄ネジになっており、OFC 製のナットで厚さ 0.1mm のベリリウム銅の板バネ(H)をはさみ固定した。可動電極は板バネとは電氣的に絶縁されている。試料と接する可動電極の先端には、わずかな STYCAST FT を塗って試料を絶縁した。この構造により、試料の長さ変化にตอบสนองして、可動電極が動き電極間のキャパシタンスが変化する仕組みになっている[2]。この測定セルは測定試料をエポキシ系接着剤で接着する必要がなく、毎回の研磨が不要なため測定試料の取り換えが今までの測定セルと比較し効率的である。

3. 動作テスト

試料ステージの角度変化とキャパシタンスの関係を図 3 に示す。横軸は試料ステージの角度変化、左縦軸はキャパシタンスの逆数・右縦軸はキャパシタンスを表わしている。試料ス

テージの角度変化、つまり電極間距離の変化は測定試料で予想される変化量の範囲でキャパシタンスの逆数に比例していることが分かる。また標準試料として、銅などを用いたセル効果の測定結果や実際の試料測定結果などについても報告する。

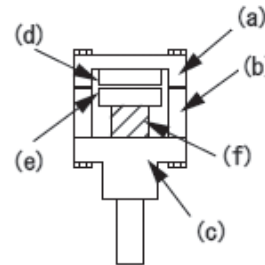


Fig.1 Old capacitive dilatometer. (a) fixed capacitor holder, (b) sample holder, (c) movable capacitor holder, (d) fixed capacitor plate, (e) movable capacitor plate, (f) sample

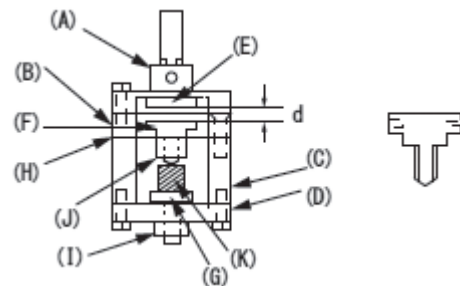


Fig.2 New capacitive dilatometer of present work. The left panel shows the section of capacitive dilatometer. The right panel shows the movable capacitor plate. (A) fixed capacitor holder, (B) movable capacitor holder, (C) sample holder, (D) adjust sample holder, (E) fixed capacitor plate, (F) movable capacitor plate, (G) sample stage, (H) movable capacitor spring, (I) lock nut, (J) spring stopper, (K) sample

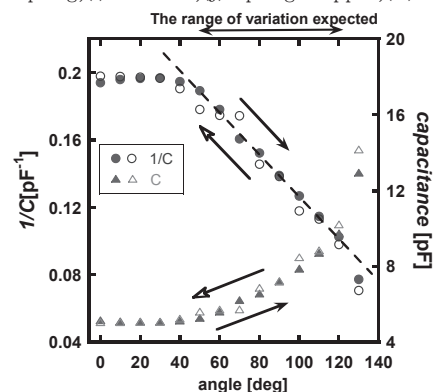


Fig.3 $1/C$ & C vs angle of sample stage

参考文献

1. N.Kawata, et al. :Abstracts of CSSJ Conference, Vol.86 (2012) p.147
2. Iliya Radulov et al. :Journal of Physics: Conference series 253 (2010) 012072

光ファイバ温度センサの極低温特性(その2)

— 亜鉛めっき光ファイバによる極低温特性向上 —

Characteristics of optical fiber sensor at cryogenic temperature (Secondary Report)

Improvement of characteristics measured using zinc-plated optical fiber sensor at cryogenic temperature

山田 秀之, 小方 正文, 水野 克俊, 長嶋 賢(鉄道総研)

YAMADA Hideyuki, OGATA Masafumi, MIZUNO Katsutoshi, NAGASHIMA Ken (RTRI)

E-mail: hiyamada@rtri.or.jp

1. はじめに

超電導磁石の内部温度を光ファイバ温度センサにより測定する技術の開発を行っており、光ファイバ温度センサは1本のセンサで分布的に測定ができ、熱侵入が少なく電気絶縁性が高いなど、極低温機器内部の温度測定を行うのに適しているセンサであるが、これまでの結果から、光ファイバ温度センサは極低温においても安定的に感度良く温度測定できる可能性があることがわかった。前回の報告では、銅コーティングで感度が向上し、亜鉛コーティングでさらに感度が向上する可能性があるが、亜鉛スパッタリングでは感度が向上しなかったことを報告した。今回は、光ファイバ温度センサに亜鉛めっきすることで極低温での感度が向上することを、試験により確認したので報告する。

2. コーティング

これまで検討している FBG(Fiber Bragg Grating)方式の光ファイバ温度センサは、光ファイバに入射した光が温度センサ部である FBG 部で反射して戻ってくる。この FBG 部にはそれぞれ異なった間隔でグレーティング加工してあり、温度が変化すると、その FBG 部のグレーティング間隔が温度変化により伸縮して反射波の波長がシフトするため、温度を測定することができる。

しかし、低温になると熱膨張率が小さくなるため波長シフト変化量も小さくなる。そのため、低温での熱膨張率を大きくする目的で、様々な材料をコーティングしてきた。これまで低温でも安定して最も波長シフト変化量が大きかった材料は銅で、コーティングなしに対して波長シフト変化量は約 1.86 倍であった。今回、更に銅より熱膨張率の大きい材料である亜鉛をめっきによりコーティングした光ファイバ温度センサを製作し、低温での温度特性を確認した。50K での熱膨張率を比較すると、亜鉛は銅の約 4.2 倍である。Fig.1 にコーティングした場合の模式図を示す。

3. 試験方法・結果

Fig.2 に試験装置の概要図を示す。亜鉛をめっきによりコーティングした FBG 部を3つ有した光ファイバ温度センサを冷却容器内に設置し、また、比較として、セルノックス温度センサを同じ箇所に設置した。室温から 10K 程度まで冷却した後、冷凍機を停止して自然放置により室温まで昇温した。

Fig.3 に測定した結果を示す。グラフはセンサ出力の温度依存性を示している。なお、FBG 部を3箇所設置したが、そのうちの 1 箇所の結果を示している。また、比較として、コーティングなし、アクリル樹脂、ニッケル、アクリル樹脂とニッケルの二重、銅をそれぞれコーティングした場合の結果を示している。亜鉛をスパッタリングによりコーティングした場合は感度向上しなかったが、今回の亜鉛をめっきによりコーティングした場合は、コーティングなしに対して波長シフト変化量は、約 3 倍であった。

4. 考察・まとめ

光ファイバ温度センサの極低温での適用のために、FBG 方式タイプについて、極低温での更なる感度向上方法を検討した結果、前述の成果が得られた。

亜鉛スパッタリングでは、亜鉛と光ファイバの界面での密着不足もしくは亜鉛コーティングの厚さ不足が考えられるが、亜鉛めっきでは、光ファイバとの密着性、コーティング厚さも亜鉛スパッタリングより向上していると考えられる。

本研究の一部は国土交通省の補助金を受けて実施した。

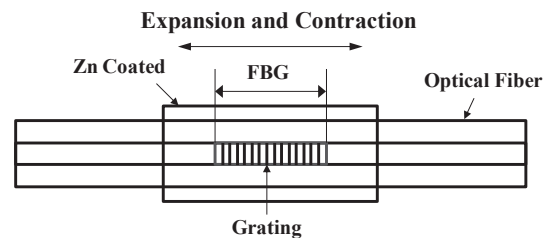


Fig.1 Coated Optical Fiber Sensor

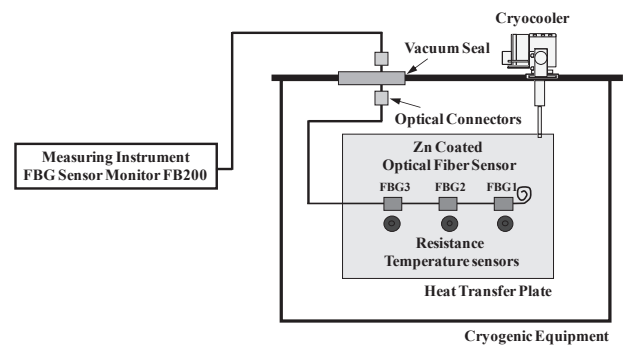


Fig.2 Schematic Illustration of Experimental Equipment

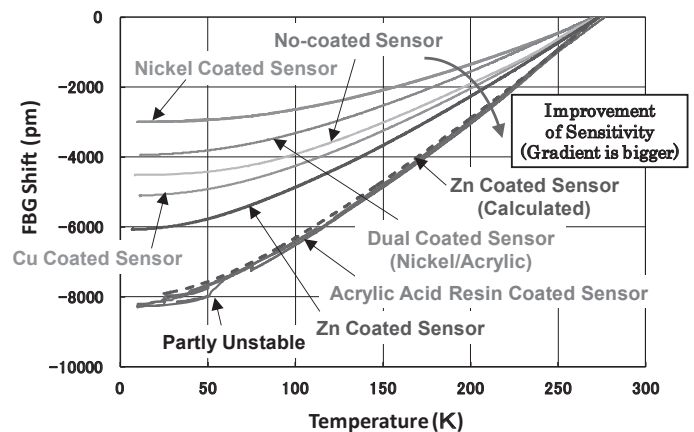


Fig.3 Result, Temperature Dependence of FBG Shift (The Output of Optical Fiber Sensor)

渦電流法を用いた組物 CFRP の SQUID 非破壊検査に関する研究

Study of SQUID nondestructive evaluation of braided CFRPs based on eddy current testing

廿日出 好, 江崎 裕也, 吉田 圭佑, 鹿毛 孝浩, 田中 三郎 (豊橋技科大)
 HATSUKADE Y., ESAKI Y., YOSHIDA K., KAGE T., TANAKA S. (TUT)
 E-mail: hatukade@ens.tut.ac.jp

1. 緒言

近年, 比強度・比剛性の高い炭素繊維を組物状にした組物 CFRP が開発されている[1]。組物 CFRP では, 組物を構成する繊維束が途切れず繋がっているため, 連続していない繊維の編込みを積層した従来のクロス編み CFRP よりも引張強度などに優れ, 設計の自由度も高い。組物 CFRP の電気的特性の評価, および非破壊検査技術を確認するため, 我々は HTS-SQUID グラジオメータを用いた非破壊検査技術を開発してきた[2]。これまでに, 電流注入法をベースとした非破壊検査技術を用いて, 組物 CFRP に誘導した電流の分布を可視化し, 引張試験により発生した繊維破断を検出できることを示してきた。上記引張試験より, 用いた組物 CFRP では, 負荷により繊維破断が発生する以前に, 繊維間剥離が生じている可能性が示唆されたが, この繊維間剥離は, 繊維に沿って電流が流れる電流注入法では検出することが困難であることがわかってきた。今回, 繊維間にも電流を誘導する渦電流法を採用し, 電流注入法の結果との比較を行い, 繊維間剥離を検出できる可能性を実験的に調べた。

2. 組物 CFRP サンプル内の電流分布可視化実験

今回, 48 本の炭素繊維束を±45° の角度で丸打組物とした組物 CFRP 板をサンプルとした。サンプルサイズは 64 mm^W × 116 mm^L × 1 mm^T である (Fig.1(a))。本サンプルの導電率は一般的な金属よりも低い。このため, 十分な量の渦電流を誘導できるよう, Fig.1(b)に示す C 型フェライトコアを鉄心に用いた誘導電磁コイル二個を 80 mm 離して並列に並べ, 励磁コイルとして用いた。このコイルをサンプル移動型 HTS-SQUID 非破壊検査装置[2]に組み込み, 上記サンプルの健全時, 及びサンプル中央に半径 5 mm の穴欠陥を設けた時の, 誘導渦電流により発生した磁場勾配分布を計測した。励磁コイルには 100 mA_{rms}, 20 kHz の電流を印可した。本装置で用いた SQUID は, 1 mm × 1 mm サイズの矩形コイル 2 個を差動型に結合した平面一次微分型 HTS-SQUID グラジオメータで, 本素子のホワイトノイズレベルは約 10 μφ₀/Hz^{1/2} である[3]。素子は Fig.1(b)に示すように 2 個の誘導コイル間に設置した。Maxwell の方程式 $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}$ より, 電流が誘導されたサンプル近傍に発生した磁場 B_z の勾配分布 dB_z/dy と dB_z/dx は, サンプル内を流れる電流の密度 J_x と J_y に比例する[3]。従って, 上記計測により得られた磁場勾配 dB_z/dy と dB_z/dx の分布は, サンプルを流れる電流分布を可視化することとなる。比較のため, サンプル両端に電極を設け, 5 mA_{rms}, 1 kHz の電流を印可した電流注入法を用いた場合の発生磁場勾配 dB_z/dy と dB_z/dx の分布も計測した。

3. 結果

電流注入法を用い, 穴のない健全サンプルから得られた磁場勾配分布 dB_z/dx の実数成分を Fig.2(a) に示す。また, 渦電流法を用いた場合の結果を Fig.2(b) に示す。Fig.2(a) に示すように, 電流注入法の場合, 左右両端の端効果を除くと, ±45° に組まれた繊維束に沿って磁場勾配, つまり電流分布 J_x の粗密があることがわかる。これは繊維束密度の不均一により発生した分布と考えられる。一方, Fig.2(b) に示すように, 渦電流法を用いた場合, 磁場勾配 dB_z/dx , すなわち電流密度 J_x の粗密分布が電流注入法とおおそ一致する部分もあるが, 図右半分の下に分布するような, 注入法では見られない粗密分布が現れた。これは, 渦電流法を適用した場合, 発生した渦

電流は抵抗の小さな繊維束の中も流れるが, 繊維間接触を介して別の繊維束に流れ込んでおり, その接触抵抗分布が現れたものと考えられる。Fig.2(c) に穴をあけたサンプルの磁場勾配 dB_z/dx の実数成分の分布を示す。明らかに勾配分布が穴の付近で変化しており, 穴により繊維束が断線し, 欠陥の左右で非導通となった影響と考えられる。以上より, 渦電流法により繊維間接触抵抗の分布を含む情報が得られ, 穴欠陥が検出できるだけでなく, 繊維間剥離による接触抵抗分布の変化も検出できる可能性が示された。

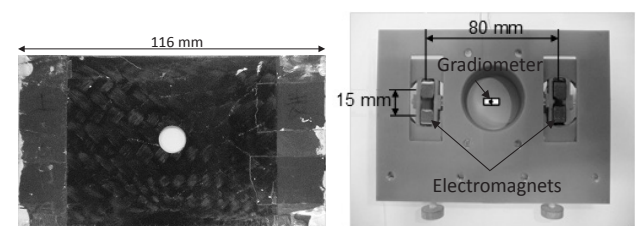


Fig.1 (a) Braided CFRP board sample with through hole. (b) Excitation electromagnets with cores.

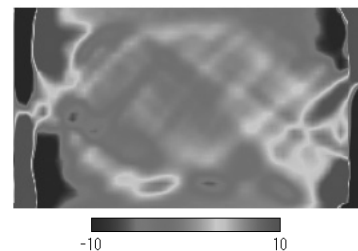
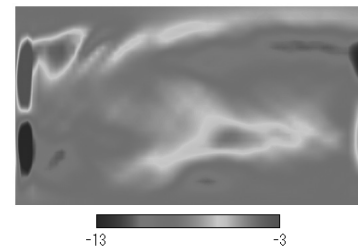
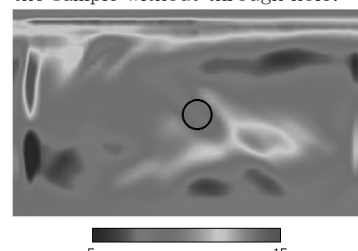


Fig.2 (a) dB_z/dx distribution above CFRP sample. It was measured with current injection method.



(b) dB_z/dx distribution with eddy current method in case of the sample without through hole.



(c) dB_z/dx distribution with eddy current method in case of the sample with through hole.

参考文献

- [1] A. Nakai, et al., Compos. Struct. **3-4** (2001) 315.
 [2] Y. Hatsukade, et al., Physica C **484** (2013) 195.
 [3] S. Adachi, et al., Physica C **468** (2008) 1936.

拡散による 4K 槽内への空気の混入とその可視化 Visualising by CCD endoscope for cryogenics

清水 禎, 野口 隆志, 端 健二郎, 大木 忍, 品川 秀行, 後藤 敦(NIMS)

SHIMIZU Tadashi, NOGUCHI Takashi, HASHI Kenjiro, OHKI Shinobu, SHINAGAWA Hideyuki, GOTO Atsushi (NIMS)

E-mail: SHIMIZU.Tadashi@nims.go.jp

1. はじめに

NIMS で 7 年間稼働してきた 930MHz NMR は 2011 年の東日本大震災で被災[1]した。その復旧工程の 1.8K 冷却の直前に、超流動ヘリウム冷却器のヘリウム排気配管内に空気が混入して固化するという事故が発生した。我々は、NIMS NMR グループが開発した低温高磁場用 CCD カメラの有用性について報告[2]してきたが、今回もまた低温 CCD カメラにより目視観測しながら、空気をすべて除去したので報告する。

2. 空気の侵入を受けた配管

通常ヘリウムガスで満たされた配管であり、常温から低温部 4K の熱交換器まで鉛直に立っている。上部周囲は真空断熱層で、液体ヘリウム容器に入った底部の周囲は液愛ヘリウムである。管壁は途中サーマルリンクが 2 箇所設けられ、そこで温度勾配が強制されている(Fig.1)。

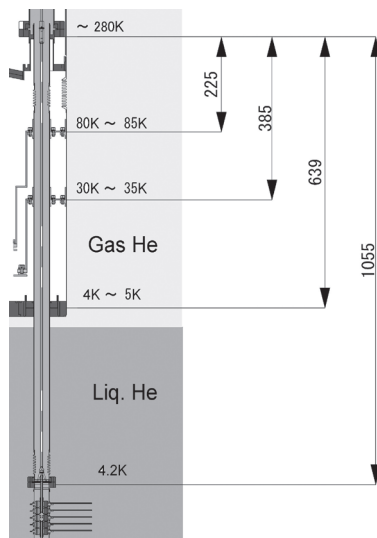


図1. 空気の侵入を受けたヘリウム排気配管

3. 固体／液体空気除去治具

低温用 CCD カメラの他、氷掴み治具、氷受皿治具、掻き落とし治具、穴あけ治具を製作した。治具類を Fig.2 に示す。

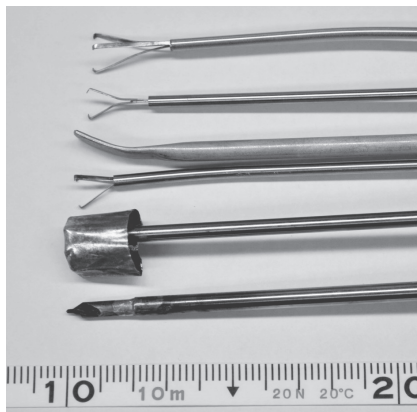


図2. 固体／液体空気除去のために製作した治具

4. 混入した空気の状態

室温部のリーク箇所からガスヘリウム中へ拡散して入ったと考えられる。それは調査撮影と温度測定およびコンタミ除去中に得られた液相／固相の位置とその構造から判断できた。窒素凝固点温度付近に窒素の氷があり、その上に液体空気が溜まっていた。さらにその下にもう一段、酸素と思われる固体が通路を塞ぎ、その上は濡れていた。これは拡散による侵入の典型的な構造である。



図3. 掴んだ氷を受ける皿

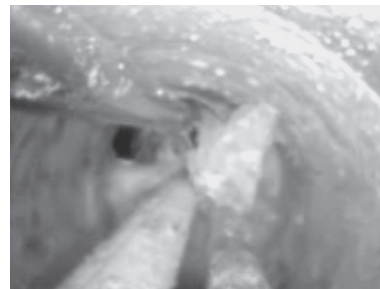


図4. 受け皿に入る空気の氷



図5. 受け皿に入れる氷掴み治具

5. まとめ

ヘリウム排気配管底部に形成された固体窒素層と固体酸素層の二重構造を確認し、低温 CCD カメラにより目視観測しながら、大きな固体を下部に落とすことなく空気を除去した。

視認しながらでなければ不可能な作業であった。

参考文献

1. Shimizu et al., CSJ Autumn Conference, (2011) p27-28
2. K.Hashi, S.Ohki, T.Noguchi, T.Kiyoshi, T.Shimizu ICEC24 May 14-18 (2012) Fukuoka

200m 級超伝導直流送電実証実験装置における第 5 期冷却試験

The 5th cooling cycle test in 200 m-class superconducting DC power transmission test facility

浜辺 誠, 渡邊 裕文, 孫 建, 河原 敏男, 山口 作太郎 (中部大学)

HAMABE Makoto, WATANABE Hirofumi, SUN Jian, KAWAHARA Toshio, YAMAGUCHI Satarou (Chubu Univ.)

E-mail: hamabe@isc.chubu.ac.jp

1. はじめに

中部大学では、直流超伝導送電の実用化を目指して、ケーブル長 200 m 級の超伝導直流送電実証実験装置 (CASER-2) を建設し、平成 22 年 1 月～3 月の第 1 期冷却試験以降、冷却・通電試験・昇温を繰り返しながら、ケーブル・システムの熱サイクルに対する健全性を確認すると同時に、送電システムとしての低損失化に対する検討を行ってきた。今回は平成 24 年 8 月～11 月に行った第 5 期の冷却試験における試験結果について報告する。ここでは、従来と異なる冷却方法を試験するとともに、通電条件や冷媒温度に対する冷却システムの性能試験や熱負荷の評価等を行なった。

2. CASER-2 の仕様

CASER-2 のレイアウトを Fig. 1 に示す。ケーブルの両端末 A, B は実験室内にあり、約 200m のケーブル配管 (中間にターン部を持つ) は屋外に設置されている。CASER-2 の電気的仕様としては定格電流 DC 2 kA、定格電圧 ±10 kV の同軸二極構造としており、超伝導線材として住友電工の DI-BSCCO[®] を使用している[1]。冷却系の仕様としては冷凍能力 1 kW@77 K の Stirling 冷凍機と液体窒素ポンプ (いずれもアイシン精機製) を各 1 台備えている[1]。また、端末部での熱侵入低減のために、ペルチェ電流リードを各超伝導線材ごとに接続している。

CASER-2 の特徴の一つに、ケーブルの断熱配管に鋼管を使用している点がある[2]。CASER-2 の場合、200 m のケーブル長に対して、冷却時には 600 mm 程度の熱収縮がある。そこで、パローズを断熱配管の一部に挿入し、ケーブル両端末を可動式とする、という構造とし、冷却完了時にケーブル本体に応力がかからないようにした[2]。さらに冷却中・昇温中の配管各部の温度 (Fig. 1) を測定し、その温度分布からケーブル本体の長さを求め、それに合わせて両端末クライオスタットを移動させる方法を採用した。

3. 第五回冷却試験の結果

第四期までは端末 A 側から液体窒素を導入したが、この場合、端末 A 側の冷却および端末 A の移動が終了する頃に端末 B が冷え始め、端末 B の移動が開始するという、動作の不均衡があった。そこで第五期ではケーブル配管のほぼ中央のターン部 (Fig. 1 の T_{P4} 付近) から導入した。その結果、両端末に向かって均等に冷却することができ、冷却期間も第四期までの約 1 週間から 4 日に短縮することができた (Fig. 2)。

第五期の通電試験として、システム全体の熱バランスの評価のために数日単位での長時間通電試験を行った。Fig. 3 にこの時の通電電流、端末 B での液体窒素の温度上昇、および液体窒素の循環流量の時間変化を示す。同軸二極構造の一層 (外導体) の電流リードに不具合があったため、主としてもう一層 (内導体) に通電を行っており、最終的には最大で内導体 1.2 kA、外導体 0.6 kA の通電量とした。B 端末での温度上昇において、小さいスパイク状の変化は一日の気温の変化に対応している。一方、数日単位での変化する大きなうねりは液体窒素の循環流量の変化に対応している。循環流量の変化を考慮して熱侵入量に換算すると、通電電流の変化に対する熱侵入量の変化は小さく、ペルチェ電流リードが有効に働いていることが確認できた。

参考文献

1. M. Hamabe, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 82 (2010) p.89
2. S. Yamaguchi, et al.: Physica C, Vol. 471 (2011) p.1300

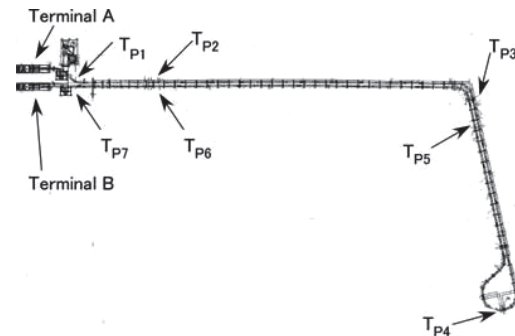


Fig. 1 Cable layout of CASER-2

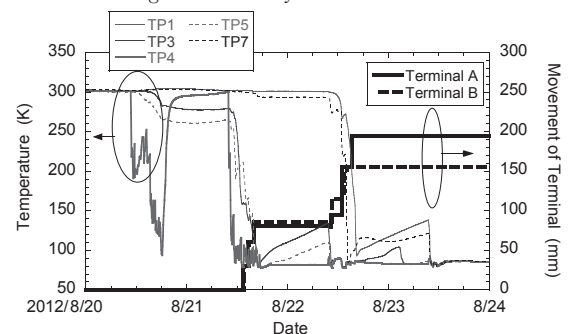


Fig. 2 Temperatures of the inner pipe and the movements of terminals during the 5th cooling-down process.

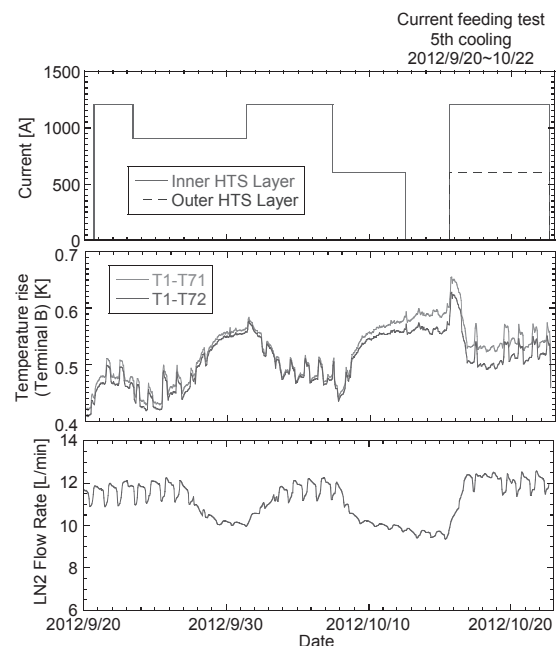


Fig. 3 Time evolutions of operation current, temperature rise in the terminal B, and LN2 flow rate.

レーザースクライビング超電導線材の曲げ特性評価

Bending Characteristics of LASER Scribed Coated Conductor wires

中西 毅, 町 敬人, 山田 穰, 大熊 武 (SRL)

NAKANISHI Tsuyoshi, MACHI Takato, YAMADA Yutaka, OHKUMA Takeshi (SRL)

E-mail: naka24@istec.or.jp

1. はじめに

イットリウム系超電導線材の交流機器への応用の為、テープ状の線材をレーザー加工により細線化し、交流損失の低減を行ったレーザースクライビング加工線材の開発が進められており、さらなる損失低減の為に、分割数の向上が行われている[1]。実際の機器への適用の際には、線材をコイル状などに曲げて使用される事が多いことから、機械的に曲げた際の臨界電流特性は、機器設計上重要な情報の一つとなるため、これまで、3分割したスクライビング加工線材の曲げ特性評価[2]が行われた。しかし、分割数の向上し、線幅が細くなると共に、加工による特性への影響が懸念される。そこで、Goldacker 式の曲げ特性評価装置を用い、さらに分割数を増したレーザースクライビング加工線材の曲げ特性評価を実施した。

2. 評価試料と試験方法

線材は、ハステロイ基板上に Al_2O_3 , Y_2O_3 , IBAD-MgO 成膜後に CeO_2 成膜した中間層付き線材上に、超電導層として PLD-GdBCO を成膜後、保護層として Ag 層をコーティングした線材を用いた。スクライビング加工は、線材に保護フィルムとして樹脂テープを貼り付けた後、レーザーで除去する部分の樹脂フィルムを焼き、ウェットエッチングで Ag 層、超電導層を除去して行った[3]。試料は、5mm 幅の元の線材を、5 分割、10 分割にスクライビング加工したものを使用した(Fig.1)。評価は Goldacker 式の曲げ特性評価装置[4]を用い、液体窒素中にて線材に曲げひずみを加えながら、臨界電流特性の評価を実施した。分割線材の評価箇所は、中央部と端部2カ所について実施した。

3. 結果

ひずみを与えた際の臨界電流値 I_c の値を、ひずみ量 $\varepsilon=0$ の I_c 値で規格化したデータを Fig.2 に示す。ひずみ量が負の値が圧縮側であり、正の値が引っ張り側のひずみ量である。分割前の線材は、圧縮側では、測定限界である超電導層歪み量 0.9%まで、ほとんど値の変化は無く、線材を歪み量 0%の状態に戻すと、最初のひずみ量 0 の I_c 値を示した。一方、引っ張り側では、ひずみ量 0.5%(曲げ直径 24mm)付近から劣化が始まり、0.7%付近(曲げ直径 12mm)で I_c が 0 になり、 I_c はひずみ量 0%に戻しても回復しなかった。

分割後の線材においても、線材の分割数に関わらず、分割前と同様な傾向が見られた。また、分割線の中央部と端部については、 I_c の違いが確認されたものの、ひずみ量 $\varepsilon=0\%$ における I_c 値で規格化すれば、同様な傾向となった。

4. まとめ

5mm 幅線材を 5 分割、10 分割にスクライビング加工した超電導線材の曲げ特性評価を行い、加工前線材と比較して、ほぼ同様の傾向を示すことが分かった。加工による影響で特性変化は起こっておらず、従来同様、各種応用に使用可能であることが分かった。

5. 謝辞

本研究は、イットリウム系超電導電力機器技術開発の研究として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委

託を受けて実施したものです。評価に使用した線材に関し、フジクラ殿、曲げ特性評価に関しては、山田雄一氏(住友電工)のご協力を頂きました。ここにお礼申し上げます。

参考文献

1. T. Machi, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 86 (2012) p.117
2. Y. Yamada, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 84 (2011) p.105
3. J. Kato, et al.: Physica C, Vol. 463-465 (2007) p.747
4. W. Goldacker, et al.: Adv. Cryog. Eng., Vol. 48(2002)p.469

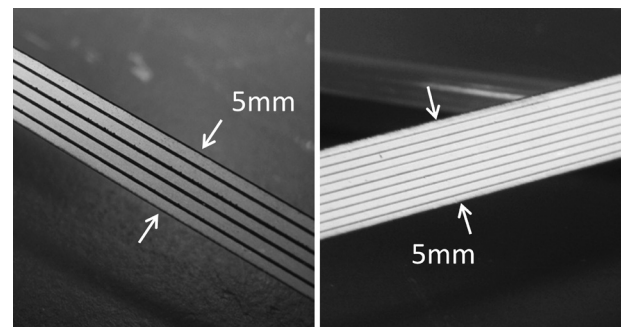


Fig.1 LASER Scribed Coated Conductor wires.

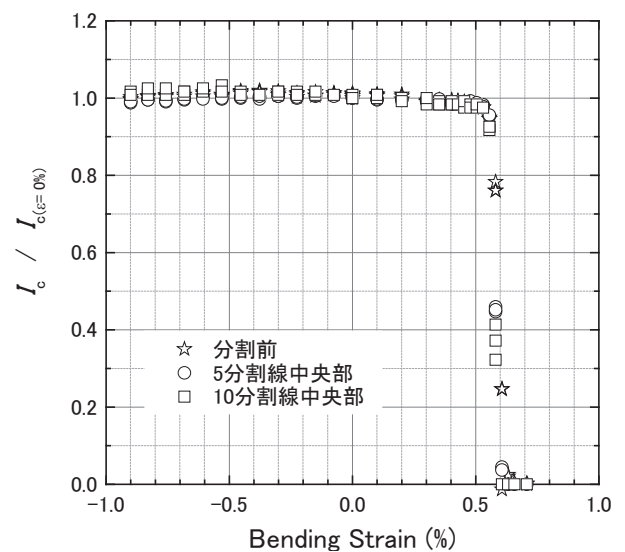


Fig.2 Bending Characteristics of LASER Scribed wires.

La₂CuO₄の高温における導電率を左右する因子

A factor of electric conductivity of La₂CuO₄ at high temperatures

芹野 沙姫, 五十嵐 香 千葉工業大学 工学部

Saki Serino, Kaoru Igarashi, Chiba Institute of Technology

Abstract

La_{2-x}M_xCuO₄ (M: Mg, Ca, Sr, Ba, x = 0.02~0.24) の組成のセラミックスの室温における格子定数と、室温~750 °Cの導電率 σ を測定し、 $\log \sigma$ と、結晶軸の軸差 $a-b$ との間に直線的で高い相関関係があることを見いだした。この関係を表す測定値のプロットは一つの直線に沿っているため、置換元素に関係なく成立することが分った。 $a-b$ が 0 に近づくほど、すなわち斜方晶から正方晶に近づくほど σ は高くなった。

実験方法

炭酸ランタン八水和物と酸化銅(II)を硝酸に溶解させ、そこにクエン酸を加えて溶解させた後にエチレングリコールを加え、ホットスターラーによって 100 °C 以上に加熱しながら攪拌した。粘性のために攪拌子が動かなくなったところで攪拌をやめ、さらに 100 °C で 24h 乾燥した。それを電気炉で 800 °C で 8h 仮焼して粉末を得た。それを 1.5 cm × 0.4 cm の金型に入れ、16 kN/cm² で一軸加圧成形し、930 °C の温度で 2 h 焼成して電気測定用の試料を作成した。室温での粉末X線回折によって格子定数を求めた。直流4端子法により電気抵抗を各温度で測定した。

結果と考察

La_{2-x}M_xCuO₄ (M: Mg, Ca, Sr, Ba, x = 0.02~0.24) のほとんどの組成で、導電率 σ は温度上昇に伴って低下する金属的挙動を示した。一方、La_{1.98}Ca_{0.02}CuO₄ のようにほとんど変化しない組成も存在した。

一般に電子の有効質量は導電率 σ の関数であり、結晶の格子定数は電子の有効質量の関数であると考えられているので、 σ と格子定数(斜方晶系の a, b, c) の間の関係性を探索した。その結果、 a 軸、 b 軸の大きさの差 $|a-b|$ は、 σ との間に高い相関性があることを見いだした。Ca イオン置換の場合を図 1, 2 に示す。両図を比べると、置換量 x の変化に伴って

$\log \sigma$ と軸差 $a-b$ は同様の変化を見せている。

$\log \sigma$ と $a-b$ の関係を図示したところ、プロットされた点は全て一本の直線に沿っていた。このことは置換する元素に関係なくこの関係が成立することを表している。 $a-b$ が 0 に近づくほど、すなわち斜方晶から正方晶に近づくほど導電率は高くなった。また、 c 軸の大きさに関わらずこの関係は成立していた。

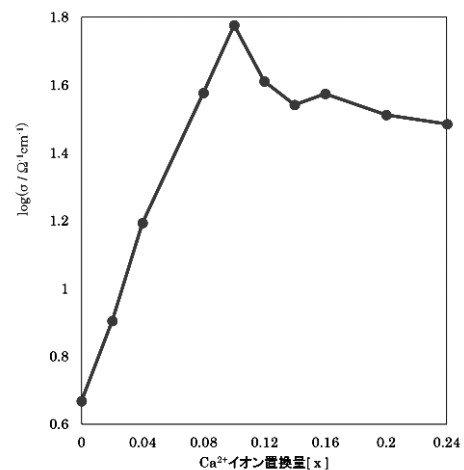


図1 La_{2-x}Ca_xCuO₄の導電率 σ (700 °C) と置換量 x の関係

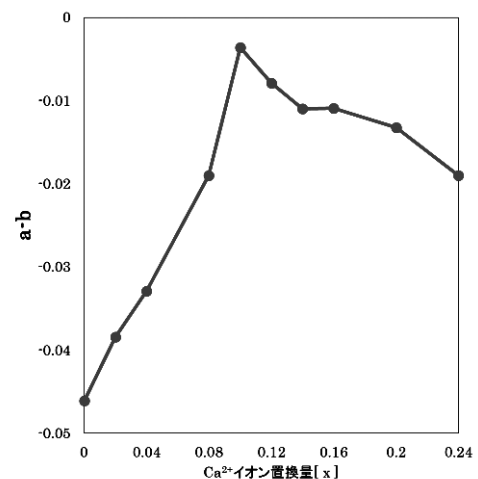


図2 La_{2-x}Ca_xCuO₄の軸差 $a-b$ と置換量 x の関係

Si トレンチ内に作製した NbN 自己組織化構造の超伝導特性

Superconductivity of NbN self-assembled nanostructure in Si-trench side wall.

杉本 憲昭(豊田中研、豊田工大);元廣 友美(豊田中研、豊田工大、名大)

Noriaki Sugimoto (TOYOTA Central R&D Labs, TOYOTA Technological Institute);

Tomoyoshi Motohiro (TOYOTA Central R&D Labs., TOYOTA Technological Institute, Nagoya Univ.)

E-mail: e0961@mosk.tytlabs.co.jp

1. はじめに

MEMS 技術を応用した超伝導エネルギー貯蔵技術の開発に取り組んでいる。シリコン加工技術の一つである Deep-RIE 法により作製した Si トレンチ溝内に NbN 膜をスパッタ成膜したところ、Si 壁表面に存在する Deep-RIE の加工周期による凹凸により、自己組織的に NbN 膜の平行線構造が生成した。その超伝導特性は NbN 成膜条件により異なる異方性を示した。

2. 実験方法

Si 基板の上にレジストパターンをフォトリソを用いて形成し、それをマスクとして Deep-RIE 加工を行った。レジスト厚さは $1\mu\text{m}$ 、Deep-RIE 処理の最大エッチング深さは $200\mu\text{m}$ まで行った。Nb ターゲットを用いて、N₂/Ar 混合ガスによる反応性 RF スパッタ法により NbN 膜を成膜した。標準的な成膜条件は電源パワー 1kW、Ar ガス 50sccm で 200nm/10 分であった。得られた NbN 膜の特性を低温プローブ装置 (TTP-4: Lakeshore 社) および PPMS (QuantumDesig 社) により行った。

3. 結果および考察

図1に生成された NbN ストライプ構造の SEM 観察像を示す。テラス状に幅約 600nm の NbN 膜が成長していた。Deep-RIE 処理では、垂直に深いアスペクト比の大きなエッチング処理を行う目的で周期的なエッチングと保護膜形成が繰り返される。その結果、エッチング処理後の Si 壁表面には微小な凹凸が残る。この凹凸が初期のシャドウ効果のきっかけとなることで、反応性スパッタ成膜中に自己組織的に生成したと考えられる。

NbN 膜の T_c は導入する N₂ ガス量により変化し、N₂ ガス分圧 12% 時に最大 13.9K であった。低温プローブ装置の直径約 $10\mu\text{m}$ の探針で NbN ストライプに対して平行方向と垂直方向の I-V 特性を調べた結果を図2に示す。用いたトレンチ溝深さは約 $200\mu\text{m}$ で、その断面光学像を図3に示す。探針サイズが NbN ストライプ1本の幅より大きいため、同時に10数本のストライプを測定している。I-V 特性は NbN ストライプに沿う方向 (P) の場合、通常の超伝導特性を示すが、ストライプに垂直方向 (A) の場合、ストライプ間の NbN が極薄膜となり、トンネル特性を示した。

4. まとめ

NbN 膜を DeepRIE で作った Si 深堀溝へスパッタ製膜すると、DeepRIE で溝を掘る際に Si 壁に発生する 600nm 周期の凹凸により、自己組織的にナノ周期構造が形成された。この構造は幅 300nm 程度のナノ細線の平行集合体となっており、長手方位に電流を流す場合、超伝導線材として活用可能な構造となっている。この技術を MEMS 加工術を応用した超伝導応へ展開していく予定である。

参考文献

1. N. Sugimoto, T. Motohiro :Vaccum, 93 (2013) 13-24

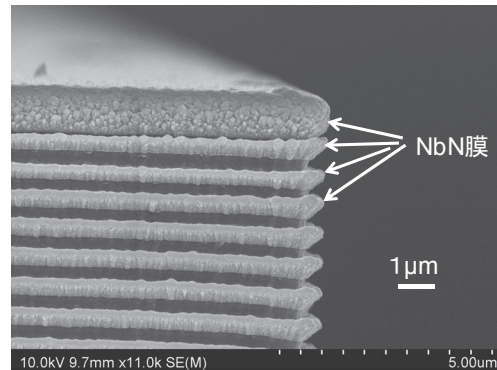


Fig.1 SEM photographs of cross-sectional views of the coated trench sidewalls cleaved after deposition.

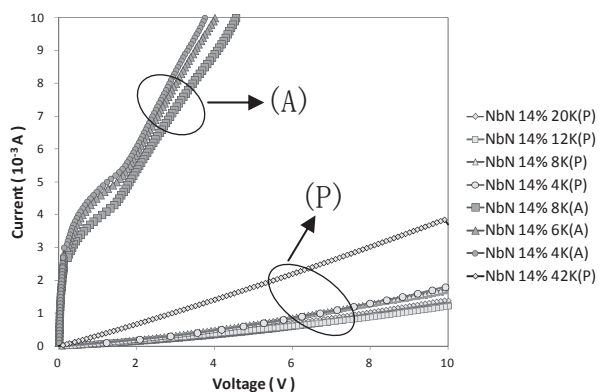


Fig. 2 I-V characteristics for the sample NbN14% at different temperature from T=4K to 42K. (P) denotes current direction is perpendicular to the stripes, (A) denotes along the stripes.

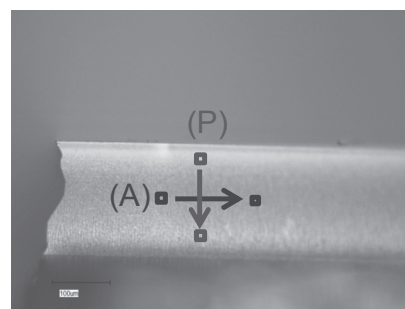


Fig.3 Optical photographs of cleaved surface of Si-Trench side wall coated by NbN.

構造相変態 PIT 法による FeSeTe 超伝導線材の作製

Fabrication of FeSeTe wire by a novel chemical-transformation PIT process

井澤 宏輝, 水口 佳一, 三浦 大介 (首都大); 高野 義彦 (NIMS)

IZAWA Hiroki, MIZUGUCHI Yoshikazu, MIURA Osuke (TMU); TAKANO Yoshihiko (NIMS)

E-mail: izawa-hiroki@ed.tmu.ac.jp

1. はじめに

我々は六方晶構造を持つ $\text{FeSe}_{1.2}$ を鉄シース中で熱処理することにより、正方晶構造を持ち、超伝導特性を示す FeSe へ構造変化させる新しい線材作製プロセスを開発した[1]。本公演では、 $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})_{1+d}$ をコア前駆体として使用することにより、 FeSe より優れた超伝導特性を示す $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ を線材コアに持つ超伝導線材の開発と超伝導特性について、最新の結果を報告する。

〈問題点〉

従来の $\text{Fe}(\text{Se}, \text{Te})$ 線材作成手法において問題点が 2 点挙げられる。

(1) Fe 拡散 in-situ PIT (Powder in tube) は鉄シース内部で、セレンおよびテルルとシースの Fe を反応させる線材作製プロセスであり、 FeSe 線材においては比較的高い J_c を記録[2]する一方、線材作製時に大きな void が発生する。さらに、 $\text{Fe}(\text{Se}, \text{Te})$ 線材においては線材コアが FeSe と FeTe に分離してしまい超伝導特性が低下する[3]。

(2) ex-situ PIT では、線材コアである $\text{Fe}(\text{Se}, \text{Te})$ を、あらかじめ外部で合成し、 $\text{Fe}(\text{Se}, \text{Te})$ をシースに詰めて線材化するプロセスである。この手法では void の発生を防ぐことが出来るが、熱処理段階で過剰鉄量が増加し、超伝導特性が低下する[4]。従って、これらを改善する新たな作製手法の開発が望まれている。

〈解決方策・研究目的〉

これらの問題点を解決し、高性能な $\text{Fe}(\text{Se}, \text{Te})$ 線材作製の為には、 Se と Te の分離を防ぐと同時に、過剰鉄量を抑制する必要がある。そこで、我々は構造相変態 PIT 法を開発した。これは、六方晶構造を持つ $\text{Fe}(\text{Se}, \text{Te})_{1+d}$ を鉄シース中で熱処理することにより、鉄シースから鉄を供給し、正方晶構造を持ち超伝導特性を示す $\text{Fe}(\text{Se}, \text{Te})$ へと構造相変態させ、熱処理条件を調節することにより過剰鉄の侵入を抑制する新しい線材作製プロセスである。

2. 実験方法

Fig.1 に示す構造相変態法により $\text{Fe}(\text{Se}, \text{Te})$ 線材を作製した。線材コアの前駆体となる $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})_{1+d}$ を固相反応法、真空中、 680°C で作製。 Fe チューブに $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})_{1+d}$ を封入しキャップをして冷間圧延を行う。圧延後、得られた線材切り分けた後、再びガラス管に真空封入し、 $400 \sim 800^\circ\text{C}$ で加熱する。加熱により Fe シースからコアへと Fe を供給し、 $\text{Fe}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ をコアとする線材の作製を行った。

測定は、PPMS による ρ - T 測定、XRD によるコアの X 線回折、光学顕微鏡および SEM による線材断面図の測定、通電法による I - V 測定を行う。

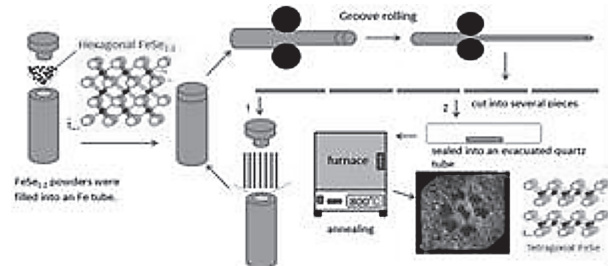


Fig.1 Schematic chart for fabrication of FeSe superconducting wire by the chemical-transformation PIT process.

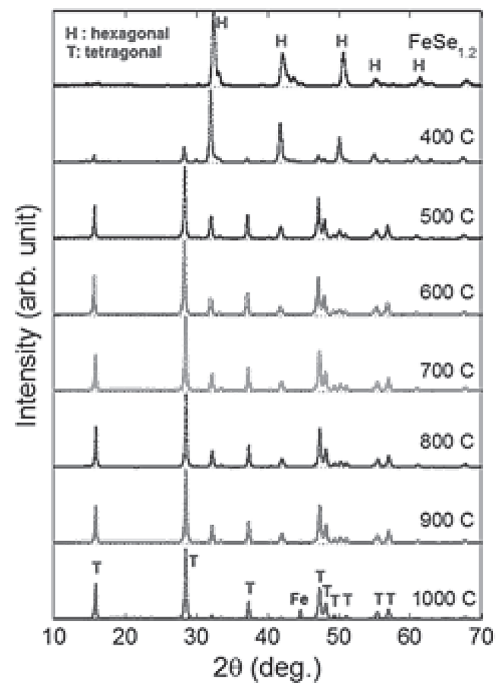


Fig.2 XRD patterns for the $\text{FeSe}_{1.2}$ precursor and powder inside the FeSe wire annealed at 400 - 1000°C . The symbols of "H" and "T" indicate the peaks of the hexagonal phase and the tetragonal phase, respectively.

参考文献

1. H. Izawa, et al.: JJAP . 51 (2012) 010101
2. T. Ozaki, et al.: JAP. 111 (2012) 112620
3. T. Ozaki, et al.: SUST. 24 (2011) 105002
4. T. Ozaki, et al.: IEEE. 21 (2011) 2858

Gd-Ba-Cu-O 系 ϕ 60mm 級バルク材のマクロ J_c とマイクロ J_c の比較Comparison between macroscopic J_c and microscopic J_c in Gd-Ba-Cu-O bulk superconductors 60 mm-class in diameter

手嶋 英一, 森田 充(新日鉄住金), 瀬戸山 結衣, 山木 修, 下山 淳一(東大)

TESHIMA Hidekazu, MORITA Mitsuru (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp.),

SETOYAMA Yui, YAMAKI Shu, SHIMOYAMA Jun-ichi (Tokyo Univ.)

E-mail: teshima.a5b.hidekazu@jp.nssmc.com

1. はじめに

RE-Ba-Cu-O 系 (RE は Y または希土類元素) 高温超電導バルク材は、磁場中でのピン止め力が強いいため、卓上型 NMR/MRI、医療用小型超強力磁石、MDDS、船舶用モータ、風力発電機などの強磁場発生源としての応用が期待されている。Gd 系バルク材は、RE 系バルク材の中でも捕捉磁場特性が高いことで知られている。Bean Model を仮定すると、捕捉磁場のピーク値から臨界電流密度 (J_c) を計算することができる[1]。ここでは、この J_c をマクロ J_c と呼ぶ。一方、一般的には、超電導体の J_c は 1~2mm 程度の小試験片を用いて SQUID 測定(磁化曲線)から求められる。ここでは、この J_c をマイクロ J_c と呼ぶ。RE 系バルク材の捕捉磁場特性をさらに向上させるには、マクロ J_c とマイクロ J_c を比較評価することは有用であると考えられる。そこで、本研究では、直径 64.5mm の大型 Gd 系高温超電導バルク材を用いて、マクロ J_c とマイクロ J_c の比較評価を行った。

2. 実験

本研究で用いた Gd 系バルク材は、高配向した超電導相(123相)中に $1\mu\text{m}$ 程度の非超電導相(211相)が微細分散した試料で、Gd123相:Gd211相=1:3の組成比に0.5wt%のPtと10wt%のAgを添加した原料粉を用い、改良型 QMG 法[2]により作製した。試料サイズは直径 64.5mm、厚さ 20mmで、磁場中冷却で着磁した後、JIS規格(H73132007)に基づき減磁後15分以上経過してから、液体窒素中(77K)で捕捉磁場分布を測定した。ホール素子と試料表面との距離は約0.6mmであった。その後、バルク試料のa軸成長領域とc軸成長領域から、1mm長が結晶のc軸に対応するように $2\times 2\times 1\text{mm}^3$ の小試験片をそれぞれ複数個切り出した。SQUID 測定は、77K、60K、40Kで行った。マクロ J_c は捕捉磁場分布から、マイクロ J_c は SQUID 測定で得られた磁化曲線から計算した。

3. 結果

Fig.1 は、本研究で用いた Gd 系バルク材の外観写真と 77K での捕捉磁場分布である。捕捉磁場分布がきれいな円錐形状であることから、試料全体が良好に単結晶状に結晶成長しており、弱結合やクラックがないことが分かる。ピーク磁場強度は 1.94T で、円板形状バルク材に対する榎本の式[1]から、マクロ J_c は $13,000\text{A}/\text{cm}^2$ 程度と見積もられる。Fig.2 は、Fig.1 のバルク材の a 軸成長領域から切り出した小試験片の 77K での J_c - B 特性を示す。種結晶からの切り出

し位置(2mm、8mm、14mm、20mm、26mm)による差は極めて小さく、1~2Tの磁場領域でマイクロ J_c は $15,000\text{A}/\text{cm}^2$ 程度であった。本実験結果から、Gd-Ba-Cu-O 系バルク材は 60mm 級の大型サイズにおいても結晶成長が良好で、マクロ J_c とマイクロ J_c の差が比較的小さく、均一性に優れた材料であると言える。なお、c 軸成長領域での結果は当日報告する。マイクロ J_c に関しては、ピン止め点を改善することで $20,000\text{A}/\text{cm}^2$ 以上になるという報告例も多く、これら新規ピン止め点について結晶成長と両立させる材料技術を確立できれば、バルク材の捕捉磁場特性はさらに大幅に向上することが期待できる。

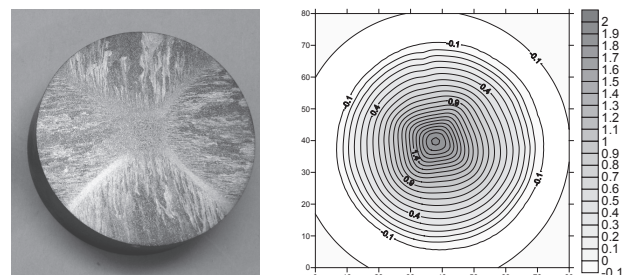


Fig.1 Appearance of a Gd-Ba-Cu-O bulk superconductor 64.5 mm in diameter and its trapped field distribution at 77K.

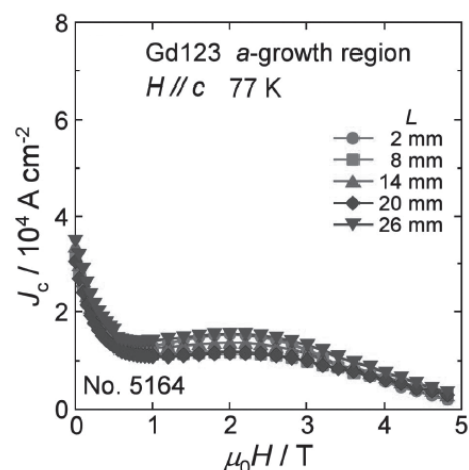


Fig.2 J_c - B properties at 77K for small specimens cut from the a-growth region of the Gd-Ba-Cu-O bulk shown in Fig.1.

参考文献

1. M.Tsuchimoto et al : IEEE Trans. Appl. Supercond. **11**(2001)1992
2. M.Morita et al., Physica C **253-240** (1994) 209-212

バルク超電導体の $J_c - B$ 特性推定に関する検討

Study on the estimation of $J_c - B$ characteristics of bulk superconductor

大浦 雄紀, 岡島 直輝, 大崎 博之(東大); 手嶋 英一, 森田 充(新日鐵住金)
 OURA Yuki, OKAJIMA Naoki, OHSAKI Hiroyuki (Univ. of Tokyo);
 TESHIMA Hidekazu, MORITA Mitsuru (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp.)
 E-mail: oura@ohsaki.k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

バルク超電導体は、磁束ピンニング効果により高い捕捉磁界性能を持つため、モータや磁気分離装置、MRI 等への応用が検討されている。バルク超電導体が発生する磁束量は、臨界電流密度 J_c に依存し、 J_c は磁束密度 B に依存する。バルク超電導体の $J_c - B$ 特性の評価手法としては、切り取った微小片による磁化測定がしばしば用いられ、詳細な $J_c - B$ 特性の評価が可能であるが、バルクから微小片を切り出さなければならない。また、磁界中冷却着磁(FCM: Field cooling magnetization)時の捕捉磁界特性から推定する手法もあるが、評価可能な磁界範囲や精度に制約がある。そこで本研究では、非破壊によるバルク超電導体の $J_c - B$ 特性等の電磁特性の別の評価法の検討を、直径 45mm の Gd 系及び Dy 系バルク超電導体を用いて行っている。具体的には、FCM 時の捕捉磁界特性の測定とそのデータを用いた逆問題解析によるバルク中の電流密度分布を推定する。また、バックグラウンド磁界中で微小磁界により FCM を行い、その結果からも $J_c - B$ 特性の推定可能性を検討する。

2. フル着磁時捕捉磁界特性の測定実験

前述の直径 45mm のバルク超電導体に対し、超電導マグネットが発生した外部磁界 2.0T を印加し、液体窒素による磁界中冷却(77K)により着磁を行った。着磁後、バルク超電導体の表面上の磁束密度分布をアキシシャル型ホールセンサにより測定した。Fig.1 に、Gd 系バルク超電導体のバルク上方 0.94 mm 時の表側の捕捉磁界の測定結果を示す。バルク周上の数値は周方向角度である。

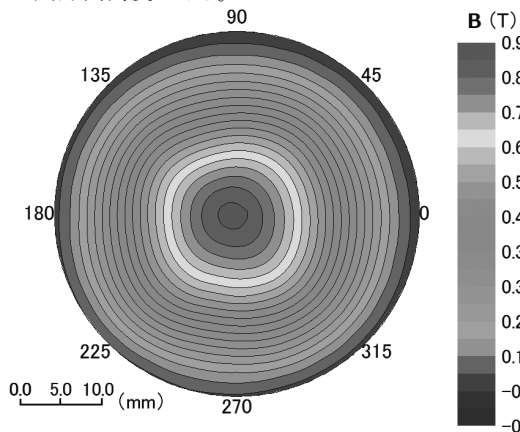


Fig.1 直径 45 mm Gd 系バルク 2 次元捕捉磁界分布

この実験結果から、逆問題解析によりバルク超電導体中の電流密度分布の推定を行った。軸対称モデルにおいてバルク断面を上下方向 2 分割、半径方向 9 分割し、分割された領域に流れる円環電流は電流値一定と仮定した。さらに 0.2mm 四方に分割し、その中心に電流が流れているものとして最小二乗法を用いて解いた。

この逆問題解析によって推定された電流密度分布を Fig.2 に示す。バルク中心部に比べ外側の電流密度が大きくなっている。これはバルク超電導体の $J_c - B$ 特性を反映したものと考えられる。

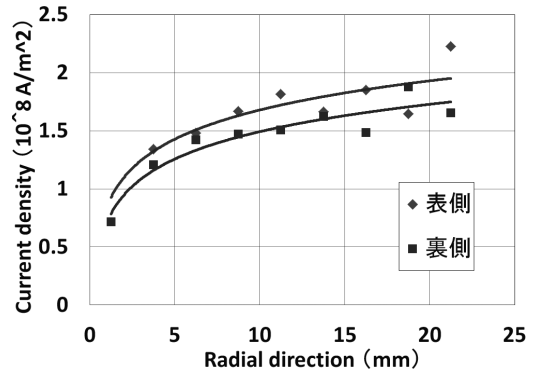
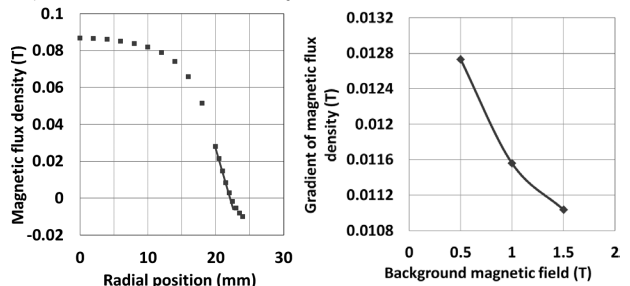


Fig.2 逆問題解析により推定した電流密度分布

3. バックグラウンド磁界中の微小磁界 FCM による捕捉磁界特性の測定実験

次に超電導マグネットにより磁界(バックグラウンド磁界) B_{in} を発生させ、液体窒素により冷却後、磁界を $B_{in} - 0.1$ T (0.1 T FCM) まで下げ、30 分経過後、超電導マグネットのボア中で Fig.1 で定めた周方向 0° 方向における、バルク中心から径方向 0mm~24mm の範囲の z 軸方向捕捉磁界を、アキシシャル型ホールセンサによって測定した。同様の測定を、それぞれのバルクについてバックグラウンド磁界を $B_{in} - 0.2$ T (0.2 T FCM)、 $B_{in} - 0.3$ T (0.3 T FCM) まで下げて行った。Fig.3(a)に、Gd 系バルク超電導体の 0.1 T FCM の捕捉磁界結果を示す。また (b)に各 B_{in} における径方向 20.5mm~22.5mm での磁束密度の依存性を示す。

結果より、バックグラウンド磁界によって捕捉磁界の傾きが変化していることが分かる。これもバルク超電導体の $J_c - B$ 特性を反映したものと考えられる。



(a) $B_{in}=1.0$ T での捕捉磁界 (b) 傾きの B_{in} 依存性
 Fig.3 Gd 系バルク超電導体の 0.1 T FCM 捕捉磁界実験結果

4. まとめ

直径 45mm の Gd 系及び Dy 系バルク超電導体の捕捉磁界分布を測定し、その結果をもとにバルク内部の電流密度分布の算出、および $J_c - B$ 特性との関係の検討を行った。

今後は、バックグラウンド磁界中の捕捉磁界特性をさらに詳細に調べたうえで $J_c - B$ 特性の推定を行い、逆問題解析による結果との比較を行う。

参考文献

1. N. Okajima, et al: CSJ 47 (2012), p.73

パルス着磁に適したバルク超伝導体の合成 Synthesis of bulk superconductors suitable for pulse magnetization

山田 幸正, 堀内 拓磨, 福井 聡, 小川 純, 佐藤 孝雄(新潟大); 横山 和哉(足利工大); ランゲル マルコ(IFW); 岡 徹雄(新潟大)

YAMADA Yukimasa, HORIUCHI Takuma, FUKUI Satoshi, OGAWA Jun, SATO Takao(Niigata University); YOKOYAMA Kazuya(AIT); LANGER Marco(IFW); OKA Tetsuo(Niigata University)

E-mail:f12c144d@mail.cc.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

バルク超伝導体は、磁場を印加することによって試料内に侵入する量子化磁束線を捕捉し、擬似的な永久磁石として使用することができる。これを着磁と呼び、主な着磁方法として静磁場着磁とパルス着磁の2つが挙げられる。静磁場着磁は着磁率に優れるが大型の装置が必要となるのに対し、パルス着磁は装置が簡易かつコンパクトであるが、磁束線の運動の影響を無視できないため着磁性能は低い。そこで本研究では合成の段階でバルクに磁束侵入の経路を作製し、そこから磁束を侵入させることによって磁束線の運動の影響を軽減することにより発熱を制御し、パルス着磁において高い性能を発揮するバルクを作製することを目的とする。

2. 実験方法

溶融法を用いて Y(イットリウム)系バルク超伝導体を作製する。超伝導相となる Y123 と磁場を捕捉するピン止め点として働く Y211 の粉末を調合してそれを直径 20mm に圧粉、その後種結晶を試料表面に設置し、溶融することでバルク超伝導体が得られる。本研究では通常のバルクの外、種結晶を中心からずらして設置したバルクと種結晶を2つ設置したバルクの大きく分けて2パターンで作製した。磁束は J_c 値が低い方が侵入しやすいと一般に考えられており、上で挙げた2つのパターンはともに J_c 値の低い部位をつくりだし、そこから磁束を侵入させることを目的としている。これらのバルクにパルス着磁を行い、捕捉磁場と温度を測定する。また、種結晶を2つ設置したバルクに対して EPMA 測定を行い、Y211 の分布が変化しているかを確認する。

3. 実験結果及び検討

Fig.1 にパルス着磁後の各バルクの捕捉磁場を示す。種結晶を中心からずらして設置したバルク S.2 では、通常作製したバルク S.1 と最大捕捉磁場、磁場捕捉に必要な印加磁場ともにほとんど変化が見られなかったが磁束の侵入タイミングが早まった。わずかであるが S.2 のバルクのほうが磁場侵入が容易になったのである。

種結晶を2つ用いたバルク S.3、S.4、S.5、S.6 では、種結晶1つで作製したバルクと比べて磁場捕捉に必要な印加磁場が大きく低下した。明確に磁場侵入が容易になったと言える。また、これらの種結晶2つで作製したバルクは捕捉磁場がそれぞれ大きく異なったにもかかわらず、必要印加磁場が全て 2.8~3.1T で分布した。このことから、バルクの個体差に関係なく種結晶2つであることが強くこの結果に影響していると考えられる。

4. まとめ

本研究では磁束侵入経路の作製を目的として2パターンのバルク作製を行い次の結果を得た。

- ・種結晶の位置を中心からずらすことで磁束侵入のタイミングが早まる効果を確認した
- ・種結晶を2つ用いたバルクでは磁場の侵入が開始する印加磁場が低下した

この結果から磁場が侵入が容易になったと判断でき、この効果を維持しつつ捕捉磁場性能の向上を目指すことを今後の目標とする。

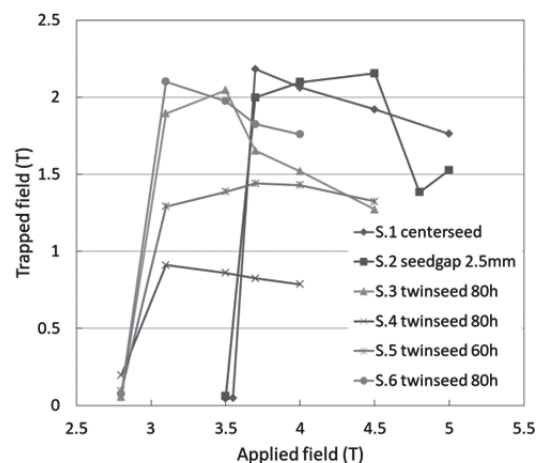


Fig.1 Trapped field

参考文献

- [1]横山和哉 細孔ありバルク体を用いたパルス着磁の検証 第85回 2011年度秋季低温工学・超電導学会

細孔ありバルク体のパルス着磁における捕捉磁場特性

Trapped field performance by pulsed-field magnetization of a bulk superconductor with small holes

横山 和哉, 津久井 友隆, 三田 裕幸, 坪野谷 典之 (足利工大); 岡 徹雄 (新潟大)

YOKOYAMA Kazuya, TSUKUI Tomotaka, MITA Hiroyuki, TSUBONOYA Noriyuki(A.I.T.); OKA Tetsuo (Niigata Univ.)

E-mail: k-yokoyama@ashitech.ac.jp

1. はじめに

近年の超伝導バルク体(以下、バルク体と呼ぶ)の高特性化および大型化に伴い、パルス着磁により大きな磁場を捕捉させることが難しくなっている。著者らは、これまでにバルク体の一部に細孔を加工した試料を考案し、基礎的なパルス着磁実験を行ってきた。本文では、細孔の効果の詳細に検証するために、バルク体表面の細孔がある部分とそれ以外の部分にホールセンサを貼り付け、パルス着磁中の磁束密度の時間変化を測定した結果を報告する。

2. 実験

図1(a)に細孔ありバルク体の写真を示す。 $\phi 65 \times 20$ mm の $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ バルク体(新日鐵(株))のGSRの1か所に、 $\phi 2$ mm の細孔を端から 3, 7, 11, 15 mm の4か所に直線上に加工し、すべての細孔にハンダを充填している。このバルク体表面に、ホールセンサ(BHT-921, F.W.BELL)を同図(b)に示すように①内側 2つの細孔の間(H1)、②細孔の隣(H2)、③細孔と反対側(H3)の3か所に貼り付け、データロガー(PA-S1000/8, (株)P&A テクノロジーズ)によりホール電圧を測定する。なお、サンプリングレートは $100 \mu s$ であり、パルス磁場印加前後 60 秒間のデータを測定した。

パルス着磁実験は、細孔ありバルク体を2段式のGMサイクル冷凍機(RF273SA, アイシン精機製)で冷却して、温度コントローラで 20, 30, 40, 50 K に調整し、各温度において 3.1, 3.9, 4.6, 5.4, 6.2, 7.0 T のパルス磁場(立ち上がり時間: 10 ms)を各1回印加した。

3. 結果および考察

図2に 20~50 K における印加磁場 3.1, 4.6, 6.2 T の時の磁束密度の時間応答を示す。なお、バルク体から 4mm 上部の磁場分布を合わせて示している。すべての温度、印加磁場において細孔部分(H1)では磁束が速やかに侵入し、その大きさも印加磁場の大きさとほぼ同じである。また、印加磁場 4.6 T 以上では磁束密度が最大値を取った後、大きく減少してほぼ0になっているが、その後わずかに増加していることが確認できる。一方、細孔と反対部分(H3)では印加磁場 3.1 T の場合は磁気シールドのために磁束が侵入しにくくなっているが、4.6 T 以上では最大値を取った後の磁束の減少が早く止まり、大きな磁場が捕捉されていることがわかる。細孔の隣接部分(H2)では、H3と同様の時間変化を示しているが、磁束の減少が大きく、0.3秒後の値は半分程度になっている。すべての結果において、大きな磁束の変化は 0.2 秒程度で終了しており、時間応答の結果は磁場分布と良く対応している。

4. まとめ

大型の高特性バルク体においてパルス着磁で捕捉磁場を向上させることを目的とした細孔ありバルク体を用いて、着磁中のバルク体表面の磁束密度の時間変化を測定した。その結果、細孔部分から磁束が速やかに侵入するが、その後ほぼ0まで減少することが確認された。また、細孔隣接部分では、細孔と反対部分の磁束密度の半分程度であった。今後、磁束の侵入及び捕捉メカニズムについて詳細に考察する予定である。

本研究はJSPS 科研費 24560343 の助成を受けたものである。

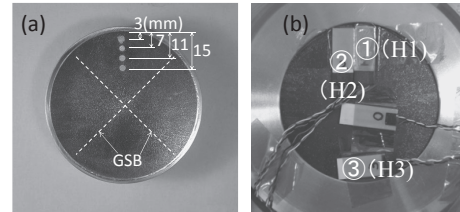


Fig. 1. (a) Photograph of a bulk superconductor with small holes and (b) arrangement of Hall sensors.

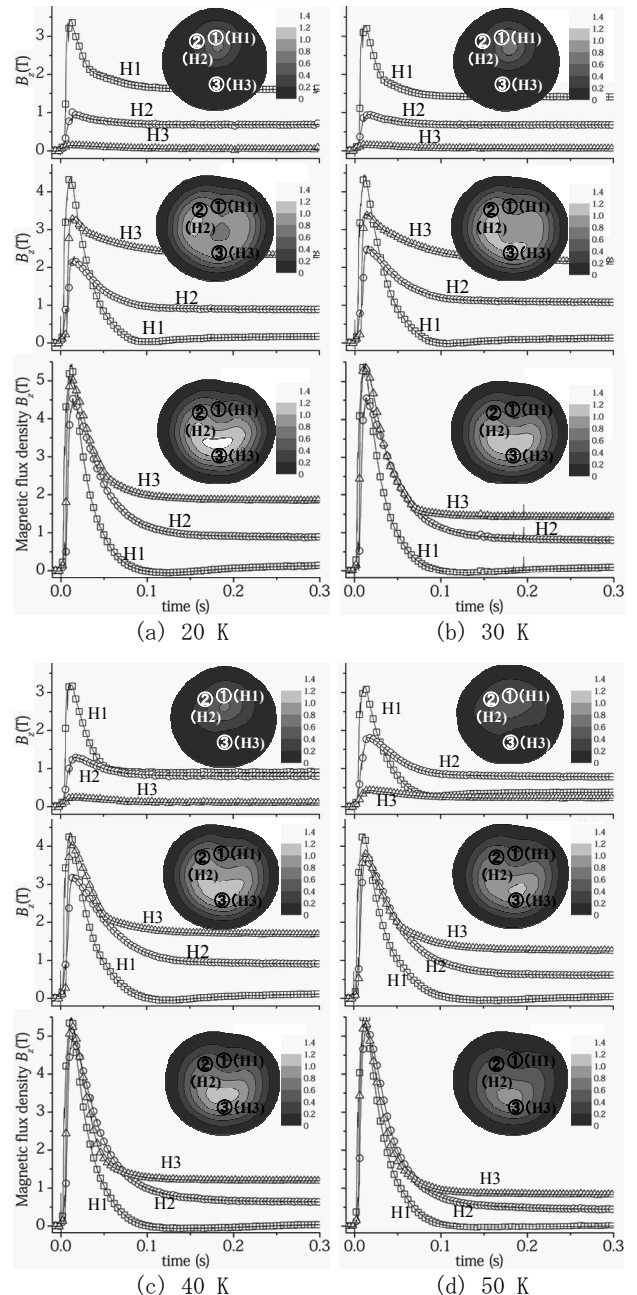


Fig. 2. Time responses of magnetic flux density on the bulk surface for $\mu_0 H = 3.1, 4.6$ and 6.2 T.

細孔を有するバルク体のパルス着磁における 磁束運動・捕捉磁場シミュレーション

Numerical simulation of flux dynamics during PFM in superconducting bulk with small holes

藤代博之, 内藤智之, 小山 允 (岩手大), 横山和哉 (足利工大), 岡 徹雄 (新潟大)

FUJISHIRO Hiroyuki, NAITO Tomoyuki, OYAMA Mitsuru (Iwate Univ.)

YOKOYAMA Kazuya (Ashikaga Inst. Univ., OKA Tetsuo (Niigata Univ.)

(E-mail: fujishiro@iwate-u.ac.jp)

はじめに

超伝導バルクに高密度に磁束を捕捉させるパルス着磁 (PFM) の実験やシミュレーション解析の研究が盛んに行われている。足利工大の横山らのグループは、GdBCO バルクの成長領域(GSR)に細孔を複数あけ、パルス着磁において選択的な磁束侵入のチャンネルを作り、パルス着磁しやすいバルク体を提案し、実験結果を報告している[1, 2]。本研究では、シミュレーションを用いて細孔バルクのパルス着磁を再現し、細孔近傍の磁束運動、温度上昇、捕捉磁場、電流分布について、均一な超伝導バルクとの違いを考察した。

解析と検討

直径 45 mm、厚さ 15 mm の超伝導バルクに径方向に 2 つの貫通した細孔を仮定し (図 2 (b)参照)、バルクの周りにソレノイドコイル (内径 82 mm、外径 116 mm、高さ 50 mm) を配置し、バルク底面を $T_s=40$ K に伝導冷却する 1/4 のモデルを作った。電磁界と熱伝導の 3 次元連成方程式を (株)フォトンの EDDY- THERMO を用いて解析した [3]。超伝導体の非線形な E - J 特性は n 値モデルを用い、臨界電流密度 J_c の磁場依存性は(1)式のように Kim モデルを用いて表現した。 ($\alpha=0.46 \times 10^9$ A/m², $T_c=92$ K)

$$J_c(T, B) = \alpha \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \frac{B_0}{|B| + B_0} \quad (1)$$

印加するパルス磁場 $B_{ex}(t)$ は、強度 B_{ex} 、立ち上がり時間 $\tau=0.01$ s とした。

図 1 に細孔のないバルクと細孔のあるバルクの、パルス着磁における印加磁場 B_{ex} とバルク中心での捕捉磁場 B_T^c の関係を示す。細孔のあるバルクは低磁場から磁束が侵入し、最大捕捉磁場も低いことが分かる。

図 2 (a)には直径 2 mm の細孔が 4 つ径方向に並んだ直径 60 mm のバルクに対して、40 K で 5.4 T を印加した場合の捕捉磁場分布の実測値を示す [2]。細孔が並んだ位置の捕捉磁場は減少し、分布が凹んでいることが分かる。

図 2 の (b)には解析モデルを、(c)~(f)にはシミュレーション結果を示す。(c)と(d)は $B_{ex}=2$ T と 5 T の場合の細孔バルクの最終の捕捉磁場分布を示す。いずれの場合も細孔がある領域では捕捉磁場が減少しており、その影響はバルク中心にも及んでいる。(e)は印加磁場が立ち上がり中の $t=0.003$ s における電流分布を示す。誘導電流は細孔部を避けて流れる様子が再現されている。(f)はパルス磁場印加後 0.1 s 経過したときの温度分布を示す。磁束が細孔が並んだ方向から選択的に侵入したため、その周辺の温度上昇が顕著であり最大 75 K まで温度が上昇した。

細孔を有する超伝導バルクにパルス磁場を印加することで、低磁場から選択的な磁束の侵入が起こることや、電流分布の不均一が再現された。しかし、バルク中心の捕捉磁場は低下するため、捕捉磁場を低下させない細孔の径、位置や数の検討が必要である。

参考文献

- [1] 津久井ほか、第 86 回 2012 年度低温工学・超伝導学会 [1A-a02]
- [2] K. Yokoyama *et al.*, Applied Superconductivity Conference 2012 [2MPN-01] Portland, U.S.A. (2012)
- [3] H. Fujishiro *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **23** (2010) 105021

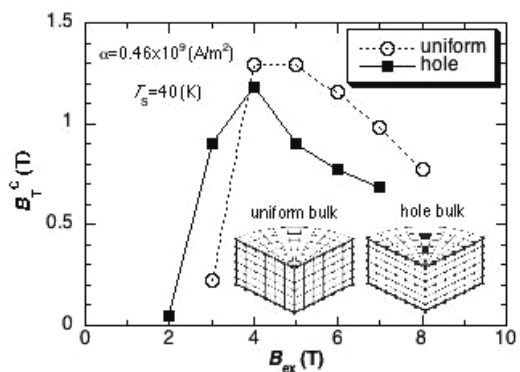


Fig. 1. Trapped field B_T^c at the center of the bulk surface for the normal and hole bulks as a function of applied pulsed field B_{ex} .

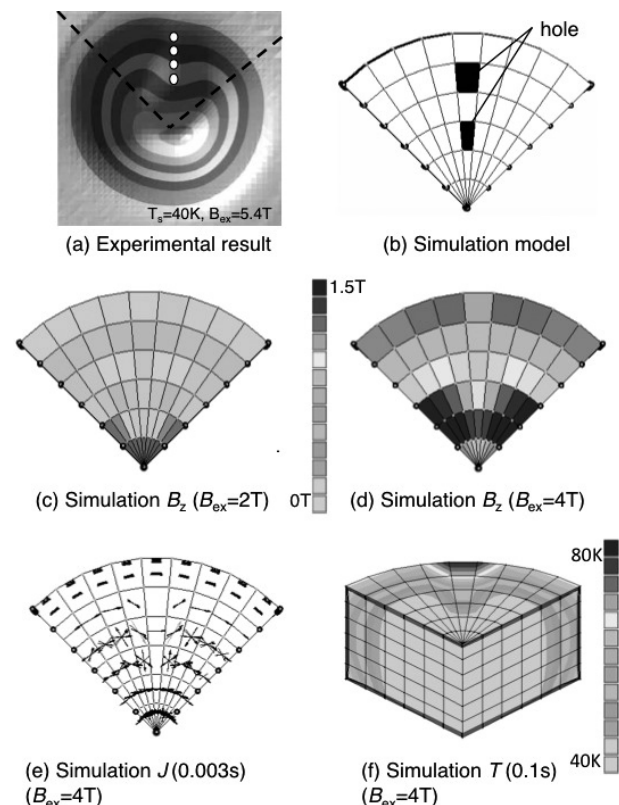


Fig. 2. (a) Experimental results of trapped field profile. (b) Simulation model. Results of simulation of trapped field profile for (c) $B_{ex}=2$ T and (d) $B_{ex}=4$ T. (e) Current distribution at $t=0.003$ s for $B_{ex}=4$ T. (f) Temperature distribution at $t=0.1$ s for $B_{ex}=4$ T.

超伝導浮上磁石のダンピングに対する磁性流体吸着の影響

Effect of Encompassment with Magnetic Fluid on Damping Characteristics of Superconducting Magnet Levitation

二村 宗男, 高橋 和也, 須藤 誠一(秋田県立大)

FUTAMURA Muneo, TAKAHASHI Kazuya, SUDO Seiichi (Akita Pref. Univ.)

E-mail: futamura@akita-pu.ac.jp

1. はじめに

我々は、バルク超伝導体に浮上した永久磁石に磁性流体を吸着することによる影響を調べ、振動抑制に効果があることを確認した[1]. 本報では、さらに詳細な解析を行うために、高速カメラによって浮上磁石周りの磁性流体の形状変化を求めて、振動が抑制される要因を調べた。

2. 実験

Fig.1 に示すように、冷却したバルク超伝導体(新日鉄 QMG-DyBaCuO, ϕ 32mm, 5mm)上に浮上している Nd-Fe-B 磁石(ϕ 10mm, 5mm, 2.85g)に磁性流体を吸着した後、上部に設置したソレノイドコイルの磁場によって浮上磁石を持ち上げ、コイルの電流を遮断した後の磁石の動きを高速カメラで撮影した。Fig.2 に撮影画像の一部を示す。この画像から、磁石の変位を求めた結果を Fig.3 に示す。比較のために、磁石を磁性流体(タイホー工業製 フェリコロイド HC-50, 2.5g)で包んだ場合と磁石のみの場合について測定した。Fig.3 のように磁性流体吸着による振動の大幅な抑制効果を確認した。撮影した画像から磁性流体表面の形状を測り、Fig.4 に示すような輪郭から、磁性流体の形状の変化を求めた。磁石の上下動を除いても、磁性流体表面のスパイク形状が変形し、重心が弾性的に変化していることがわかった。

3. 解析

磁石のみの場合の振動は、減衰率と周期が振幅(磁場変化)に依存して振動中に変化することが明らかになっており、これはピン止め磁束の効果を考慮した非線形モデルによって説明できる[2]. しかし磁性流体吸着の減衰振動波形は、一般的な振動モデルによってほぼフィッティングでき、非線形性が打ち消されていた。磁束ピン止めを考慮した非線形モデルに、変形する磁性流体の影響として磁性流体分を換算した質量を付加して、振動を非線形モデル+2質点連成振動モデルによって考える。磁気剛性を表すバネ k , 空気抵抗や磁気損失の粘性抵抗ダンパ c , 浮上磁石の質量 m によって構成される機械振動モデルに磁性流体の影響として、浮上質量 m に付加したバネ k_{mf} とダンパ c_{mf} によって支えられた追加の質量 m_{mf} を考えた。これが磁石との位相差によってダンパ c_{mf} の粘性損失が振動抑制にはたらくと考えると、これは下記のように 2 質点の連成振動モデルとして表される。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx + \sum_i k_{pi}(x - x_{pi}) + c_{mf} \frac{d(x - x_{mf})}{dt} + k_{mf}(x - x_{mf}) = 0 \quad (1)$$

$$m_{mf} \frac{d^2x_{mf}}{dt^2} + c_{mf} \frac{d(x_{mf} - x)}{dt} + k_{mf}(x_{mf} - x) = 0 \quad (2)$$

ここで、(1)式左辺第 4 項は、磁束ピン止めによる磁気力を表す非線形成分である[2].

磁性流体を吸着することによって、磁石とは位相がズレて振動する質量の存在によって、小振幅時においても粘性抵抗がはたらき、ピン止め磁束線の非線形性が打ち消されるよ

うに作用してその結果、線形な振動と同様の減衰特性になりえると考えられる。

参考文献

1. M.Futamara, et al.: Journal of JSEM, Vol.12 (2012) pp.350
2. M.Futamara, et al.: Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37 (1998), pp.3961- 3964

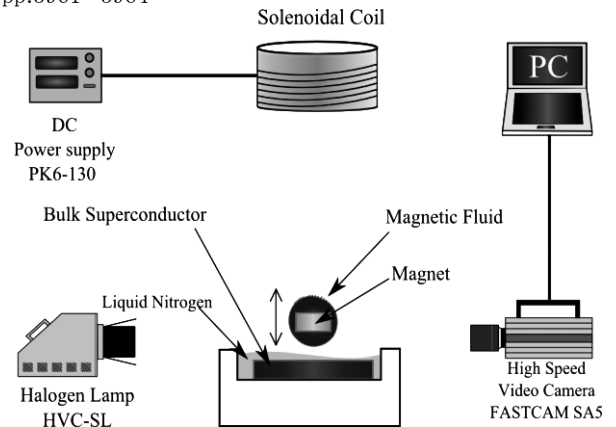


Fig.1 Schematic of experimental arrangement.

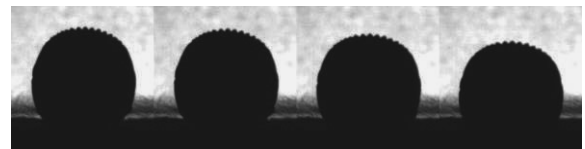


Fig.2 Oscillation of the superconducting levitating magnet with magnetic fluid. (Photography interval of 4 ms)

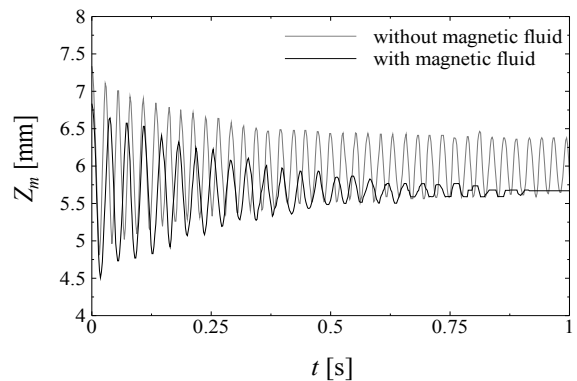


Fig.3 Comparison between the oscillations.

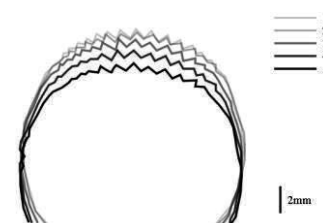


Fig.4 Outlines of the oscillating magnetic fluid.

酪農廃水処理プロセスへの磁気分離技術適用の試み ～マグネットバーを用いたリン・懸濁物質の高速除去

Application of Magnetic Separation to Dairy Wastewater ~Fast Removal of Suspended Solids and Phosphorus Using a Magnet Bar

小野寺 利仁, 酒井 保藏, 柏寄 勝(宇都宮大); 井原 一高(神戸大); ミヒル ラル サハ(Dhaka 大)
ONODERA Toshihito, SAKAI Yasuzo, KASHIWAZAKI Masaru (Utsunomiya Univ.); IHARA Ikko (Kobe Univ.);
SAHA Mihir Lal (Dhaka Univ.)
sakaiy@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

本研究では、酪農廃水から SS(懸濁物質)とリンを高速で除去することを目標とした。附属農場から採取した実廃水に、硫酸鉄(Ⅲ)を添加し、pH10～11 で凝集させた。マグネタイト(粒径 1 μm 以下)を添加することで磁気シーディングし、マグネットバーによる磁気分離を試みた。分離装置の滞留時間約 1 秒で SS はほぼ 100%まで、リンは 96%を回収・除去できた。凝集物の回収も沈降分離より容易であった。

これまでの我々の研究において、酪農廃水処理法に磁化活性汚泥法を適用する場合、前処理として Ca(OH)₂を用いたアンモニアストリッピングと凝集沈殿を推奨してきた[1]。Ca(OH)₂を用いるメリットとして、塩基と凝集剤の2つの役割を兼ねることが可能であり、また、安価であることが挙げられる。しかし、カルシウムスケールの発生と、凝集物の沈降分離に時間を要する欠点があった。本研究では NaOH と硫酸鉄(Ⅲ)を用い、磁気シーディングもおこなって、カルシウムスケールを発生させず、高速で前処理できる磁気分離を応用した前処理プロセスを検討した。

2. 実験方法

宇都宮大学附属農場からサンプリングした酪農廃水に凝集剤(硫酸鉄(Ⅲ))を、Fe³⁺として 0～1500 mg/L 添加し、NaOH で pH が 10～11 に調整し、凝集フロックを形成させた。その後、マグネタイトを鉄と SS の濃度の和と等しくなるように加え、100 L/d の流量で Fig. 1 の磁気分離装置に通した。この装置は内径 40 mm の円筒状の亚克力管の中央に直径 25 mm、長さ 100 mm、表面磁束密度 1 T のマグネットバーを設置したものである[2]。装置の容積は約 1.3 cm³である。マグネットバーに吸着したフロックは、筒状のスクレーパーによってはがされ、少量の水で逆洗することができる。流入、流出水の SS、リン、COD_{Mn}などを JIS 法に従って測定した。

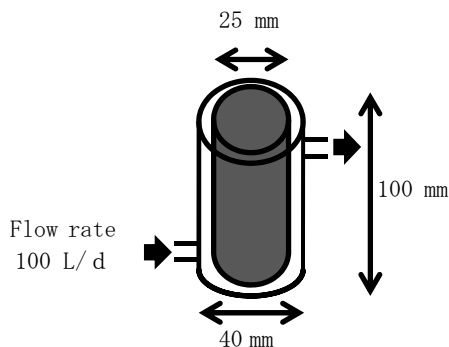


Fig. 1 Magnetic Separator with Permanent Magnet Bar

3. 結果と考察

SS 80 mg/L、リン 26 mg/L、COD_{Mn} 630 mg/L の廃水に対して Fe³⁺の添加量を変化させた場合の、磁気分離後の SS 濃度を Fig. 2 に示す。本実験に用いた廃水では十分な除去率を得るには Fe³⁺の添加量が約 1000 mg/L 必要であることが分か

った。リンも SS と同様に Fe³⁺を 1000 mg/L とすると凝集処理だけで約 96%除去できることが分かった。COD_{Mn} は SS の減少に伴い、約 250 mg/L まで減少したが、排出基準(120 mg/L)を下回ることはできなかった。しかし、COD_{Mn} は後段の磁化活性汚泥法で十分に除去可能であることがすでに報告されている[1]。

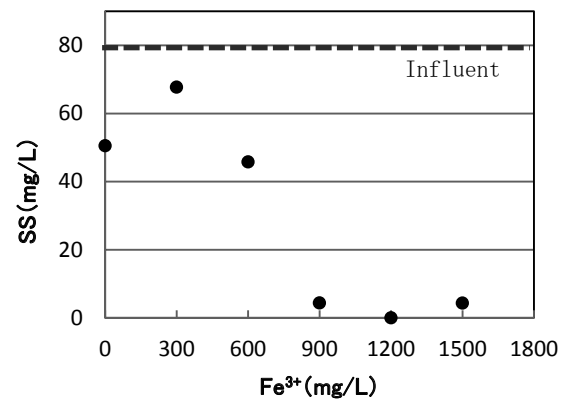


Fig. 2 Relationship of Fe³⁺ and SS

4. まとめ

酪農廃水中に含まれる SS とリンを凝集剤によって形成させたフロックに補足し、マグネタイトによって磁気シーディングされた磁性フロックをマグネットバーを用いた磁気分離装置を用いて除去できた。また、その処理速度も速く、100 cm³以下のコンパクトな磁気分離装置で附属農場廃水の一日排出量 4 m³を、分離できると予想される。凝集物発生量も Ca(OH)₂を用いて凝集沈殿させていたものより 50%以上減少することが分かった。この処理を我々が提案した方法である Ca(OH)₂による凝集沈殿の代わりに組み込むことで、カルシウムスケールが発生せず、固液分離が容易な高速処理が可能となり、これまでよりも安定した酪農廃水処理が可能になることが期待される。

謝辞

本研究は科学研究費基盤研究(A)24241021 の支援を受けた。

参考文献

1. T. Onodera, et al.: Abstracts of JSWE Conference, Vol. 47 (2013) p.528
2. C. Kobayashi, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 84 (2011) p.15

ネオジム磁石を用いた回転ドラム型磁気分離装置による磁化活性汚泥の分離

Separation of magnetic activated sludge by rotating drum magnetic separator built in neodymium magnets

酒井 康平, 酒井 保藏(宇都宮大); 小原 健司(金沢工大); 中岡 潤一, 弓場 誠(NEOMAX エンジニアリング(株))
 SAKAI Kohei, SAKAI Yasuzo(Utsunomiya Univ.); OHARA Takeshi(K.I.T);
 NAKAOKA Junichi, YUNBA Makoto(NEOMAX Engineering)
 E-mail: sakaiy@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

磁化活性汚泥(MAS)法とは活性汚泥に磁気シーディングし、浄化後の水と微生物を磁気力によって分離する新しい生物学的な水処理法である。現在パイロットプラント(12~24 m³/d)が運転されているが、磁気分離装置の開発が遅れている。本研究ではネオジム磁石を用いた回転ドラム型磁気分離装置(表面磁束密度 0.5 T)の MAS 法への適応とその評価を行った。約 22 m³/d で流出水の SS 濃度を一律排水基準に適応する 150 mg/L を達成した。

MAS の分離装置では今まで、表面磁束密度 0.1 T 以下の磁石を用いて磁気分離を行ってきたが、多円板型にして面積を確保しても十分な分離性能は得られなかった。しかし、高磁束密度の磁石を用いた場合、付着した汚泥の剥離が困難になる問題があった。近年、磁気力を制御することで付着部分では強磁場、剥離部分では弱磁場に設計されたネオジム磁石を用いたコンパクトで比較的安価な磁気分離装置が市販されるようになったので、それを MAS の分離に適用できないか検討することとした。この装置は消費電力がわずかでメンテナンスも簡単であり、特に中小規模の排水処理用途に適していると期待される

2. 実験方法

MAS 法による下水処理パイロットプラント(曝気槽 8 m³)に市販の回転ドラム型磁気分離装置(NEOMAX エンジニアリング製, NCS-12) (Fig. 1)を設置して実験をおこなった。回転ドラムの直径 16.5 cm, 長さ 36 cm, 表面磁場は最大 0.5 T である。流入した MAS は磁気ドラム下の 2 cm の隙間を通過するとき磁気分離される。ドラムに付着した MAS は回転とともに水から引き上げられ、スクレーパで掻き落とされて曝気槽に戻される。ドラムの中でネオジム磁石は固定されておりドラムのみが回転する構造となっており、スクレーパ近傍では MAS のドラムへの付着力が弱くなるように設計されている。磁気ドラムの回転速度及び MAS 流入流量を変化させ、流出水の濁度及び SS 濃度を測定した。

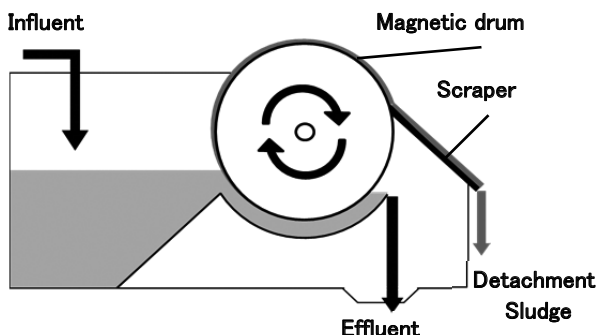


Fig. 1 Schematic diagram of Magnetic coolant separator

3. 結果と考察

Fig. 2 に流出水中の SS 濃度の測定結果を示した。曝気槽の MLSS は約 5000 mg/L であることから、流出水中の SS 濃度 120 mg/L は 98% の分離率である。このときの流量は約 15 L/min (日量約 22 m³)であった。磁気ドラム下の流路の断面積は約 70 cm², 長さは約 16 cm であることから流速は約 2 m/min, 分離時間は約 5 秒と見積もられた。

Fig. 2 において SS 濃度が急激に上昇しているのは破過しているためと考えられる。この上昇し始めた時の流量を V_b とすると、ドラムの回転数にほぼ比例して V_b が増加し、破過後の SS 増加率が小さくなることが認められた。

磁気ドラムからの剥離汚泥は回転数を上げるほど含水率が

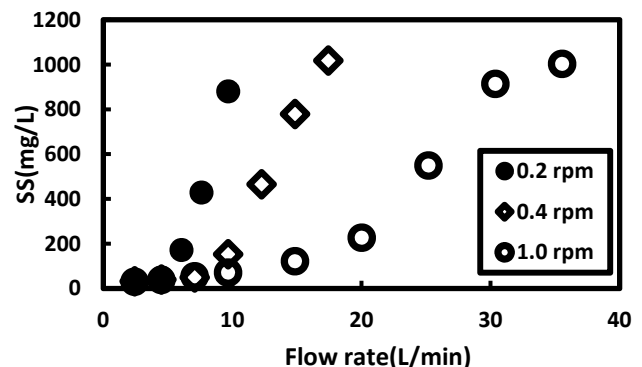


Fig. 2 SS in magnetic separator effluent at various flow rates

増加するのが認められた。磁気分離の汚泥濃縮率が回転数増加により低下すると考えられ、磁気ドラムが汚泥で飽和に達しない範囲で回転数が遅いほど分離効率は向上するといえる。低流量のとき、ドラム表面に MAS が付着していない部分が観察されるなど、現行の磁気式クラーントセパレータを MAS 分離装置として改良してゆくことで性能向上を期待できる。

また、磁気分離装置のドラムの表面積当たりの分離性能を表す実験式が得られた。この式より、ドラムの回転速度および MLSS を指定することで磁気分離可能な限界の流量を求めることができる。

4. まとめ

本研究ではネオジム磁石を用いた回転ドラム型磁気分離装置は今まで我々が用いてきた多円板磁気分離装置の数倍の磁気分離性能を示し、98% の SS 除去率を得た。また、低消費電力かつメンテナンスも容易で MAS 分離性能も十分であることから、中小規模の排水処理への適応が示唆された。

磁化活性汚泥法の産業排水処理への適用の可能性

Research on application of magnetic activated sludge process to industrial wastewater treatment.

小室 ゆい, 石田 勝優, 藤原 豊, 酒井 保藏 (宇都宮大); SAHA Mihir Lal (Dhaka 大)

KOMURO Yui, ISIDA Katsumasa, FUJIWARA Yutaka, SAKAI Yasuzo, (Utsunomiya Univ.) SAHA Mihir Lal (Dhaka Univ.)
E-mail: sakaiy@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

磁化活性汚泥法は、水処理の主流となっている標準活性汚泥法よりも、運転のコストや管理の手間を大幅に抑えることが可能であり、処理の難しい排水に対しても有利に運転することができる水処理方法である。標準活性汚泥法での処理が困難な複数の工業排水の処理について、磁化活性汚泥法の実用の可能性について検討した。その結果、汚泥の管理が難しい高濃度有機排水や金属が含まれる排水においても、良好な処理が認められ、今後の研究の可能性が示唆された。

現在、有機排水において、最も普及している処理法は微生物を利用した活性汚泥法である。この方法では微生物の代謝の管理が重要であり、リンや窒素の栄養塩のバランスが保たれていることが必須である。通常的生活排水では問題にならないが、工業排水においては汚泥の管理が困難な排水が数多くあり、活性汚泥法の運転に際し、栄養塩の添加が必要な場合がある。しかし、これらは環境汚染物質であり、処理後、排出基準以下まで取り除かなければならない。また、運転によって発生する余剰汚泥の処理も問題となる。磁化活性汚泥法は、通常の活性汚泥に磁性粉(Fe_3O_4)を添加することにより、磁気分離可能としたプロセスである。高濃度の活性汚泥であっても速やかに固液分離することができるため、追加する栄養塩や余剰汚泥をゼロにすることが可能である。標準活性汚泥法で問題となる、汚泥の制御が困難である廃水や、微生物にとって有害な物質を含む廃水、微生物に必要な栄養塩が含まれていない廃水に対して、有利となることが期待される。実験に用いた廃水は、油分と界面活性剤を含む厨房廃水、高濃度の有機酸と金属を含む化学めっき廃液、窒素、リン不足の歯磨き製造廃水である。

2. 実験方法

厨房排水: サラダ油と界面活性剤、水を混合し無機栄養源を加えたものを模擬廃水とした。処理槽の容量と廃水流入位置、汚泥懸濁液と廃水の接触時間を変えた実験を行った。 COD_{Cr} とn-Hex抽出物質の測定はJIS法の定法に準じた。

化学めっき排水: 廃液はNaOH過剰添加、アンモニアストリッピング法で前処理後用いた。有機酸廃液は塩濃度、pHが高く、そのままでは微生物処理が困難なため、10倍希釈した後、硫酸で中和して実験に用いた。流出液の濁度、リン酸態リン、アンモニア態窒素、硝酸態窒素と COD_{Cr} 等の経時変化を測定した。

歯磨き製造廃水: 曝気槽5Lのベンチスケール装置で、流出液の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、MLSS、MLVSS、 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 等をJIS法に従って測定した。

3. 結果と考察

厨房排水: 全体を通じて安定な処理ができた。栄養過多による汚泥の増殖も問題にならなかった。 COD_{Cr} の値は低く、下水道の受け入れ基準に比べて過剰処理であった。この結果により、コンパクト化、余剰汚泥ゼロ、維持管理の簡便化が達成できる可能性が示唆された。

化学めっき排水: 流入 COD_{Cr} 約75%の除去率であった。めっき廃水の様な毒性物質が含まれていても、磁化活性汚泥法により有機酸を良好に除去できることが確認された。窒素とリンにおいても良好に除去された。

歯磨き製造廃水: 運転を続けていくと水処理性状は次第に安定し、流出水の COD_{Cr} は約90 mg/L、除去率は97%と良好になった。栄養塩のバランスが保たれていない状態でも、安定した水処理性状が維持できた。リンの添加量を減らすと流出水中のリンの濃度も減少し、排水基準を満たすことが可能であった。本実験で用いた模擬排水の場合、標準的な生物処理の窒素添加の1/10、リン添加はゼロまで節約できることが分かった。

4. おわりに

磁化活性汚泥法での余剰汚泥ゼロエミッション化について、標準活性汚泥法では処理の難しい排水に対する、運転の実用的な可能性が示された。これらの結果を受け、磁化活性汚泥パイロットプラント(Fig.1)がアジアの発展途上国に設置され、実証試験が計画されている。



Fig.1 パイロットプラントによる工場排水の実証試験

参考文献

1. Koichi HIROTA, et.al.: The 45th Annual Conference of Jpan Society on water Environment 2011, (2011) p.731
2. Chen Yanzi, et.al.: The 46th Annual Conference of Jpan Society on water Environment 2012, (2012) p.281
3. GAN Qiang, Abstracts of CSJ Conference, Vol. 82 (2010) p.43

ローレンツ力を利用した海水・油分離装置内の海水流れと流路断面形状の関係

The relation between seawater flow and cross-section shape of duct in the seawater-oil separator using Lorentz forces

古俵 翔也, 赤澤 輝彦, 岩田 祐樹, 蔵元 敬太, 岩本 雄二, 梅田 民樹(神戸大学)
 KODAWARA Shoya, AKAZAWA Teruhiko, IWATA Yuki, KURAMOTO Keita, IWAMOTO Yuji,
 UMEDA Tamiki (Kobe University)
 E-mail: akazawa@maritime.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

ローレンツ力を利用した海水・油分離装置の開発を本研究グループは行っている。図1に装置の概略図を示す。電極板を取り付けた海水ダクトを磁場中に設置し、海水に直交電磁場をかける。以下、直交電磁場のかかる空間を分離空間と呼ぶ。分離空間では海水に含まれるイオンがローレンツ力 F_L を受け、濃度勾配が発生する。この濃度勾配により海水には圧力勾配が発生する。一方、油粒子は不導体であるためローレンツ力が働かない。このため海水に発生する圧力勾配の逆方向に海水から反作用 F_S を受ける。この結果、Fig.1 に示すように、電極板より下流に分離板を設ければ、油が浄化され油濃度が下がった海水の流れ(A)と、濃縮された海水の流れ(B)に分けられる。

ところで、この分離装置内の海水の流れについて詳細を報告されたものはほとんどない。本研究では分離装置内の海水の流れに関する知見を得るため、断面積が同じで断面形状の異なる海水流路を持つ分離装置を作成し、流路断面の形状が海水流れに及ぼす効果について実験的に計測し考察を行った。

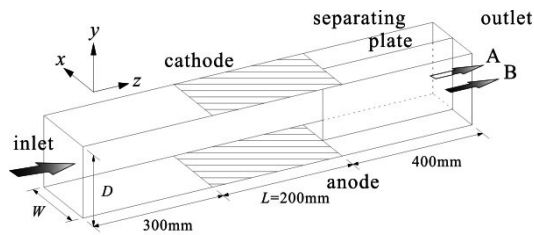


Fig.1 Schematic diagram of the oil-seawater separator.

2. 実験方法

本研究で用いた分離装置(図1)は、海水流路(z)方向が鉛直上向きになるようにした。また、ダクトには、z方向に長さ $L = 200\text{mm}$ の電極板(PtコートTi板)をとりつけ、海水に通電できるようにした。分離空間下流側のダクトには、流路を2等分するように仕切り板を設置した。また、分離空間の中心と磁場を印加する超伝導磁石の磁場中心を一致させた。本研究では、磁場方向は、海水の流路方向を正とした。

海水タンクよりポンプで送られた海水は、平均流速 $u = 10\text{cm/s}$ で海水ダクトに流入するよう流量計を使って調整した。出口 A, B から排出される海水量 Q_A, Q_B は、排出される海水の質量を計測し評価した。海水の出口での偏りを流量比 $R = Q_A/(Q_A+Q_B)$ を用いて評価した。本研究では、電極間距離 $D = 30\text{mm}$ 、有効電極幅 $W = 30\text{mm}$ の正方形流路断面となる分離装置と $D = 23\text{mm}$ 、 $W = 39\text{mm}$ の長方形流路断面を持つ装置の2つを作製し、実験を行った。

3. 結果と考察

正方形ダクトおよび長方形ダクトにおける各磁場での R の電流密度依存性を図2に示す。磁場が正の場合、通電する電流量の増大とともに、 F_L が大きくなる。このため、分離空間ではA側の海水の圧力がB側に比べ大きくなる。一方、分離

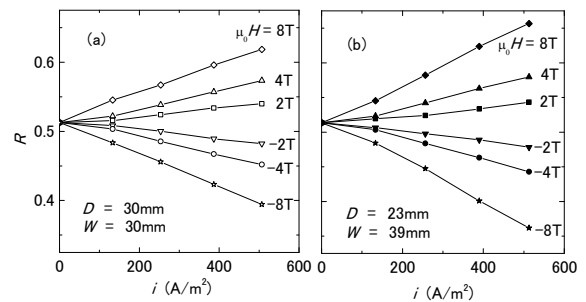


Fig.2 Current dependence of R for the rectangle duct (a) and the square one (b).

装置の海水出口は、A, B 側ともに大気圧である。したがって、分離空間出口から圧力差の大きい A 側のダクトを多くの海水が流れる。このため、電流増大とともに R が大きくなると考えられる。また、磁場の増大とともに、 R が大きくなることも同様に説明できる。

R の値を印可磁場 $\mu_0 H$ と電流密度 i の積の関数としてプロットしたものが図3である。形状の同じ流路であれば、 R は $\mu_0 H i$ の 1 価関数になっているように見える。電極間方向に移動するイオンの作る電流(ドリフト電流)が支配的な場合、 $\mu_0 H i$ は、イオンの濃度勾配により海水発生する圧力勾配の大きさと一致する。 R が $\mu_0 H i$ の一価関数になることは、ドリフト電流が支配的であることを強く指示する。また、分離空間では、一様なイオン濃度の勾配が発生しており、これに起因した一様な圧力勾配が海水に発生していると考えられる。正方形断面流路の方が長方形断面流路よりも W が短く、 $\mu_0 H i$ が同じであれば x 方向に発生する圧力差は正方形断面流路の方が小さくなる。このため、正方形流路の方が、海水の偏りが小さくなると考えられる。

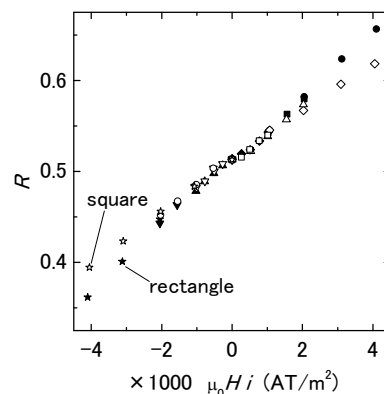


Fig.3. $\mu_0 H i$ dependence of R for the square and rectangle ducts.

中空フォーマを用いた 275kV 級 YBCO 超電導ケーブルの伝熱特性評価

Thermal Characteristics of 275-kV-class YBCO Power Cable with Hollow Former

王 旭東, 石山 敦士(早大); 劉 勁, 八木 正史(古河電工); 丸山 修, 大熊 武(ISTEC-SRL)
 WANG Xudong, ISHIYAMA Atsushi (Waseda Univ.); LIU Jin, YAGI Masashi (Furukawa Electric Co., LTD.);
 MARUYAMA Osamu, OHKUMA Takeshi (ISTEC-SRL)
 E-mail: wan-x-don@ruri.waseda.jp

1. はじめに

275 kV 級 YBCO 超電導ケーブルは、耐高電圧のために厚い絶縁層が必要となる。そのため、定常運転時には交流損失だけでなく絶縁層における誘電損失による影響も評価する必要がある。先行研究では、絶縁層に PPLP®を用いた丸撚り型と中空型のモデルケーブルを作製し、ヒータ発熱により交流損失と誘電損失を模擬した伝熱特性実験と 3 次元有限要素法を用いた数値解析評価を行った[1]。今回は、耐高電圧に必要な絶縁層厚および誘電損失の低減が可能となりうる新絶縁材料として、Tyvec®/PE 合成紙を用いた中空型モデルケーブルを作製し、交流損失と誘電損失を模擬した伝熱特性実験と 3 次元有限要素法を用いた数値解析評価を行ったので報告する。本研究は 2012 年度に終了した「イットリウム系超電導電力機器技術開発プロジェクト」の一部として NEDO の委託により実施されたものである。

2. 実験方法と数値解析方法

中空型モデルケーブルの諸元を Table 1 に示す。ケーブル長は 900 mm, 中空流路は直径約 14 mm, ケーブル外径は約 88.6 mm である。実ケーブル構造の超電導導体層, 絶縁層中央および超電導シールド層に相当する位置にヒータを設置し、交流損失と誘電損失を模擬した。交流損失と誘電損失は 275 kV 級超電導ケーブルの設計目標値で合計 0.8 W/m となるように、超電導導体層と超電導シールド層の交流損失を模擬するヒータ発熱はそれぞれ約 0.15 W/m, 絶縁層の誘電損失を模擬するヒータ発熱は約 0.5 W/m とした。実験は加圧した液体窒素中にモデルケーブルを浸漬冷却し、ヒータ発熱を加えてから定常状態となるまでの温度変化を測定した。温度計はケーブル中心から径方向に 19.3, 22.3, 25.3, 32.3, 35.3, 38.3 mm の 6 箇所にそれぞれ 90° ずらして 2 個設置した。圧力変化による液体窒素の温度変化は、ケーブル外部に取り付けた温度計により考慮した。

有限要素法を用いた 3 次元伝熱解析は、式(1)の熱平衡方程式より定式化した。式(1)の C は熱容量, k は熱伝導率, Q_i は交流損失と誘電損失を模擬したヒータ発熱である。境界条件は、ケーブル最外層の表面が液体窒素に接しているとして、液体窒素の非線形熱伝達特性を考慮した。ケーブル構造は Table 1 に基づいてモデル化し、絶縁層の熱容量を 1.5×10^6 J/m³K として、熱伝導率(k_{ins})を 0.1-0.3 W/mK とした。

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_i \quad (1)$$

3. 結果とまとめ

ヒータ通電開始 (0 s) からの温度推移と、定常状態 (通電開始から 6800 s) における径方向温度分布の実験結果と解析結果をそれぞれ Fig. 1, 2 に示す。実験結果はケーブル中心から径方向の同じ距離に 90° ずらして 2 個の温度計を設置しているため、同じ位置に 2 つのプロットがある。Fig. 1 の数値解析は絶縁層の熱伝導率を 0.2 W/mK とした結果の一例を示し、Fig. 2 は 0.1-0.3 W/mK とした結果を図示する。また Fig. 2 には先行研究で評価した PPLP®を用いた中空型モデルケーブルの実験結果も図示している。Fig. 1 より、ヒータ通電開始から約 5000 s でほぼ定常状態となり、その際の温度上昇は 0.2

K 未満であった。中空部及びケーブル外部の両方から冷却されるため、Fig. 2 の Heater_2 に近いほど温度が高くなっている。また中空部よりもケーブル外部の冷却面積が広いため Heater_2 よりケーブル内側の温度上昇は高くなっている。解析結果は各位置の時間的な温度推移および温度上昇ともに実験結果とよく一致しており、実験結果との比較から液体窒素浸漬状態の Tyvec®/PE 合成紙の熱伝導率は 0.2-0.3 W/mK 程度であることが本研究により明らかとなった。また Tyvec®/PE 合成紙が PPLP®の熱伝導率より高いことも明らかとなった。

Table.1 Specifications of model cable

	Outer diameter (mm)
Copper former (Cross-sectional area)	30.6 (412 mm ²)
Heater_1 (AC-loss)	32.6 (0.154 W/m)
Electrical insulation	56.6
Heater_2 (Dielectric loss)	58.6 (0.511 W/m)
Electrical insulation	82.6
Heater_3 (AC-loss)	84.6 (0.149 W/m)
Protecting layer	88.6

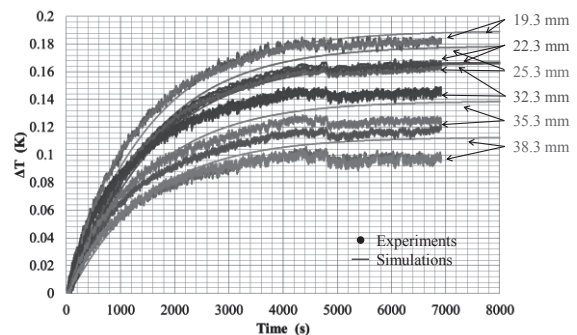


Fig. 1 Transitional temperature changes

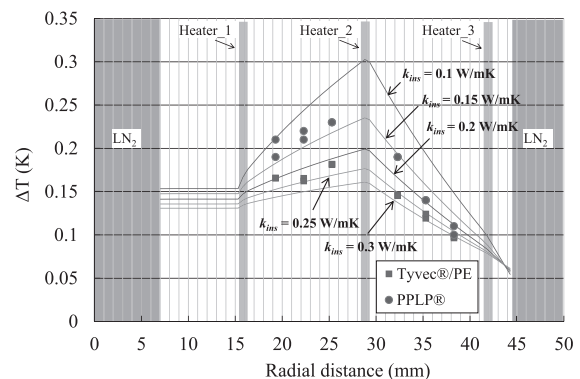


Fig. 2 Temperature distribution in radial direction.

参考文献

1. S. Sato, X. Wang, H. Ueda, A. Ishiyama, M. Yagi, S. Mukoyama, T. Saitoh, Y. Aoki, N. Fujiwara: Physica C: Superconductivity, vol. 470 (2010), pp. 1572-1575.

275 kV 系統 YBCO 超電導ケーブルの 耐過電流裕度と繰り返し過電流通電特性 Overcurrent margin and Repetitive Overcurrent Characteristics on 275-kV-Class YBCO Superconducting Cable

佐藤 勇輔, 王 旭東, 石山 敦士 (早大); 劉 勁, 八木 正史 (古河電工); 丸山 修, 大熊 武 (SRL)
SATO Yusuke, WANG Xudong, ISHIYAMA Atsushi (Waseda University);
LIU Jin, YAGI Masashi (Furukawa Electric Co.,LTD); MARUYAMA Osamu, OHKUMA Takeshi (SRL)
E-mail: atsushi@waseda.jp

1. はじめに

超電導ケーブルは電力輸送の高密度化と低損失化という特性を兼ね備えていることから、電力輸送システムの拡充という課題に対する解決策の一つとして期待されている。2012年度に終了したNEDO「イットリウム系超電導電力機器技術開発プロジェクト」では、275 kV 系統の電力ケーブルの開発が進められたが、その中で筆者らは短絡事故(最大で 63 kArms, 0.6 s の短絡事故電流)を想定した耐過電流導体構造設計に関する検討を行ってきた。今回は、275 kV 系統 YBCO 超電導モデルケーブル(中間接続部あり)を製作し、超電導層の素線レベルの耐過電流裕度および繰り返し過電流通電特性の評価を行った結果を報告する。なお、本研究は本研究は「イットリウム系超電導電力機器技術開発プロジェクト」の一部としてNEDOの委託により実施したものである。

2. 実験方法

実験では中間接続部を有する約 1 m 長のモデルケーブルを 2 本用意した。実ケーブル構造の導体層に相当する位置に YBCO 超電導線材を配置したモデルケーブル 1 の断面構造を Fig.1 に、諸元を Table 1 に示す。また同様にシールド層に YBCO 超電導線材を配置したモデルケーブル 2 の断面構造を Fig.2 に、諸元を Table 2 に示す。それぞれのモデルケーブルに YBCO 超電導線材(5 mm 幅)を 5 本、直状に配置した。また、電圧測定用に YBCO 線材の長手方向中央約 50cm の部分に均等な間隔で 6 つの電圧端子(V_1-V_6)を設けた。中間接続部は各素線の V_3-V_4 端子間に設けられている。短絡事故を想定した際の超電導導体層とシールド層の素線あたりに流れる過電流を Fig.3 に示す。素線あたりの想定事故電流波形は、筆者らが開発した計算機シミュレータを用いて求めた[1]。実験は液体窒素浸漬冷却(77 K)、自己磁場中で行った。想定事故電流の波高値を徐々に大きくして、特性劣化までの耐電流裕度を測定した。また、想定事故電流の 1.1 倍を素線に 30 回繰り返し通電し、その特性についての評価を行った。

3. 実験結果

過電流通電による裕度評価試験の結果を Fig.4 に示す。導体層とシールド層ともに、想定事故電流に対して 1.8 倍まで耐え得ることを確認し、また想定事故電流の 1.1 倍を 30 回繰り返し通電した際にも、超電導特性の低下は観られなかった。

以上の結果より、今回の NEDO プロジェクトにおいて設計・試作した 275kV 系統モデルケーブルが、想定短絡事故において安全な性能を有していることを確認した。

参考文献

1. X. Wang, A. Ishiyama et al.,: IEEE Trans. On Applied Superconductivity, Vol. 20, No. 3 (2010) p.1268

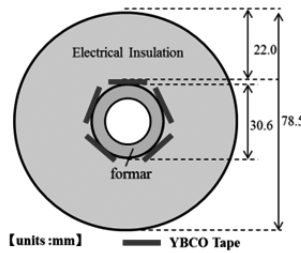


Fig.1 Model Cable 1 Structure

	Outer diameter (mm)
Copper former	30.6
HTS conductor layer	34.5
Electrical insulation (PPLP®)	78.5

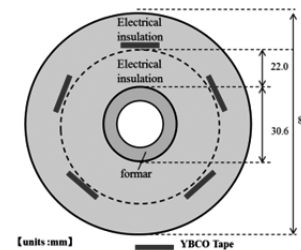


Fig.2 Model Cable 2 Structure

	Outer diameter (mm)
Copper former	30.6
Electrical insulation (PPLP®)	78.9
HTS shield layer	79.3
Electrical insulation (PPLP®)	85

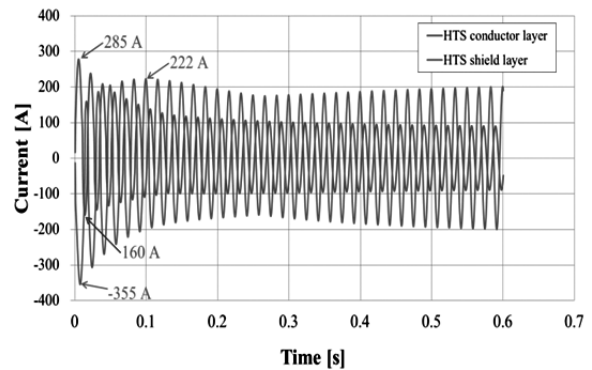


Fig.3 Overcurrent of a coated conductor

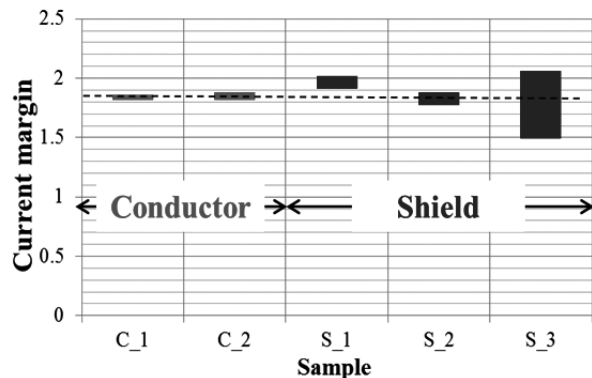


Fig.4 Current margin

直流き電鉄道のき電線または帰線への超電導ケーブルの導入効果の検討

Application of superconducting power cables to feeder and return of DC electric railway systems

松下 通生, 大崎 博之(東大); 富田 優(鉄道総研)

MATSUSHITA Naoki, OHSAKI Hiroyuki (Univ. of Tokyo); TOMITA Masaru (RTRI)

E-mail: n-matsushita@ohsaki.k.u-tokyo.ac.jp

1. 初めに

現在日本の電気鉄道で広く用いられている直流き電システムには、送り出し電圧が低いことによる送電時の損失、回生失効による回生ブレーキの動作の不確実性、そしてこれらに起因する電力利用効率の低下といった問題がある。これに対し、直流き電システムのき電線と並行に超電導直流ケーブルを導入すると、電力回生率の向上、き電システム内の損失の低減、さらに変電所等の設備数や個々の設備容量の削減等の効果が期待できる。そこで、高温超電導ケーブルを直流き電鉄道へ導入することについて、モデル路線を設定し、消費エネルギー量の得失や諸設備に要求される容量についてシミュレーションに基づく検討を行ってきた[1]。

2. モデル化と解析

Fig.1 に解析に使用したモデル路線の概略を示す。路線の全長は26.5km、駅数24、変電所数5(SS1~SS5)としている。上り線と下り線が存在する複線の路線とし、この上下線が1本のき電線、およびそれに並列に敷設された1本の超電導ケーブルを共用する形とした(上下線一括き電方式)。超電導ケーブルは、5箇所の変電所を結ぶ形での導入を想定する。

路線上の列車の運行については、n 分の間隔をおき、上下線それぞれを各駅停車の列車が走行するものとした。n 分間隔で同一の運行パターンが繰り返されるため、解析はこのn 分間について行っている。

列車の運行間隔を3分、5分、10分に設定したケースにおいて、それぞれに超電導ケーブルを導入する前後の、系におけるエネルギー消費量の解析を行った。その結果を Fig.2 に示す。いずれのケースにおいても超電導ケーブルの導入によって電力回生率が向上し、ケーブルの冷却エネルギーを考慮しても、変電所入力を数%から十数%減少させる効果があるという結果が得られた。

3. モデルの詳細化

現在はより多角的な視点から見た超電導ケーブルの導入効果を明らかにするべく、モデルの詳細化を試みている。まず現在のモデルは Fig.3(a)のように、き電線の抵抗とレールの抵抗を等価な1つの抵抗としてモデル化しているが、これらを Fig.4(b)のように分離したモデルについて検討中である。これに加えてさらに接地抵抗などを考慮した詳細なモデルを作成できれば、例えば帰線側への超電導ケーブルの導入による、地中への迷走電流の低減について解析する事ができると考えられる。

4. まとめ

超電導ケーブルの導入によって、き電システムのエネルギー利用効率の向上や、各種設備の容量削減が見込まれると結果を得られた。

今後はモデルについてさらなる詳細化を行い、多角的な視点から超電導ケーブルの導入効果について検討を行う。

本研究は(独)科学技術振興機構(JST)の産学イノベーション加速事業[戦略的イノベーション創出推進]の支援によって行

われた。

5. 参考文献

- H. Ohsaki, et al.: "Application of Superconducting Power Cables to DC Electric Railway Systems," Phys. Procedia, vo. 36 (2012) pp. 908-913

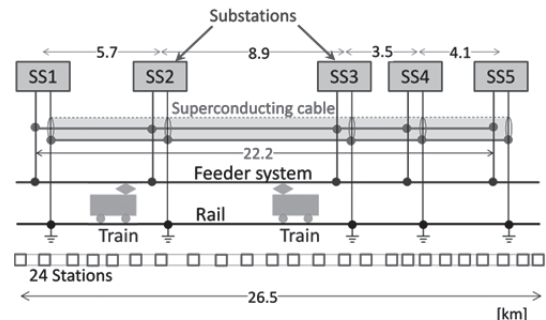


Fig. 1 Analysis model line

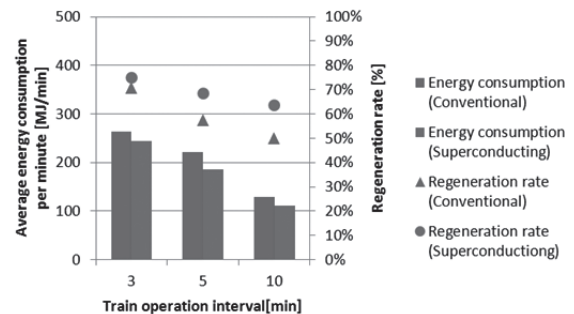


Fig. 2 Energy consumption and regeneration rate for different train operation interval

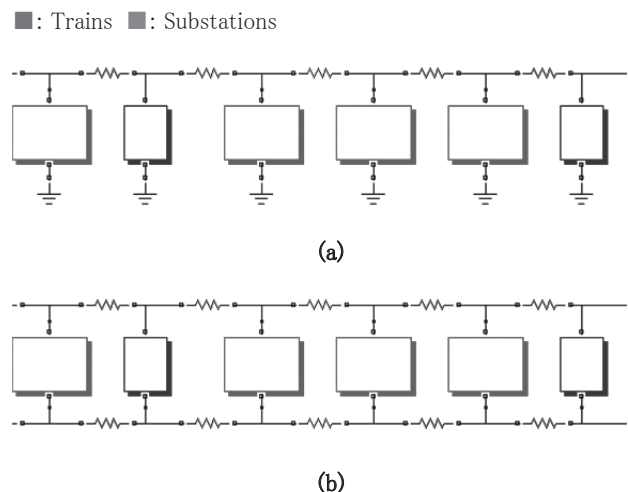


Fig. 3 An example of more detailed model

鉄道用超電導ケーブルの冷却試験 Cooling test of superconducting cable for railway systems

福本 祐介, 鈴木 賢次, 石原 篤, 赤坂 友幸, 小林 祐介, 富田 優 (鉄道総研)

FUKUMOTO Yusuke, SUZUKI Kenji, ISHIHARA Atsushi, AKASAKA Tomoyuki, KOBAYASHI Yusuke, TOMITA Masaru (RTRI)
E-mail: yfuku@rtri.or.jp

1. はじめに

鉄道総研では、直流電気鉄道における電力システムの省エネルギー化を目的として、鉄道用超電導ケーブルの開発を進めている¹⁾。超電導ケーブルを鉄道の送電線に適用することで、電力損失、回生失効の低減、変電所間の負荷平準化や集約化などの効果が期待できる。しかしながら、冷却のためのエネルギーが必要となり、これを低減しなければならない。そこで、輻射熱侵入の低減を目的とし、ケーブルコア内に冷媒経路を有する超電導ケーブル²⁾を用いて冷却システムを構築し、冷却試験を行ったので結果を報告する。

2. 冷却システム

超電導ケーブルを収容する真空断熱配管は、スペーサー、真空度、真空多層断熱材などを用いることにより数 W/m レベルまで輻射熱侵入の低減が可能となっている。一方で、システム全体の輻射熱侵入を根本的に低減するには、真空断熱配管の距離を短くすることが効果的である。そこで、冷媒の戻し配管を設けず、見かけ上 1 本で冷媒の循環をする Go-Return (対向流循環) 方式について検討を行った。

Go-Return 方式の超電導ケーブルとして、フォーマ内部を往路、ケーブルコアと真空断熱配管の内管の間を復路とする構造を考案した (Fig.1)。この場合、輻射熱侵入は戻し配管を設ける場合に比べ低減できるが、往路と復路の間での熱交換が温度分布に影響を与える恐れがある。そのため、Fig.2 に示す冷却システムを構築し、冷媒の循環試験を行い、温度分布を測定した。超電導ケーブルの長さは 5 m で、リザーバタンクからポンプで送液された冷媒は、冷凍機により冷却され、フォーマ内部を通り、端部にて折り返し、コア-真空断熱管の間を通り、リザーバタンクへ戻る構造である。

試験結果を Fig.3 に示す。温度が往路で上昇、復路で低下しており、ケーブルコアを介して冷媒が熱交換していることがわかる。この熱交換により系の最高温度は上昇し、また、長距離になるほどこの影響は大きくなると考えられる。熱交換の影響は冷媒流量を増やすことである程度低減できるが、ケーブル内外の熱絶縁設計も重要であることが分かった。

謝辞

本研究は、国土交通省の技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献

1. M. Tomita, et.al: Abstracts of CSJ Conference, Vol81 (2009) p.21
2. M. Tomita, et.al: Abstracts of CSJ Conference, Vol86 (2012) p.171

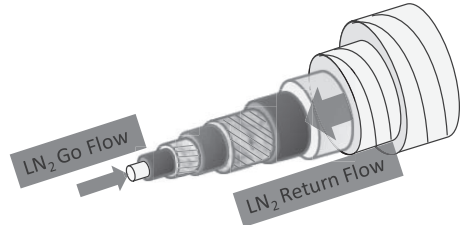
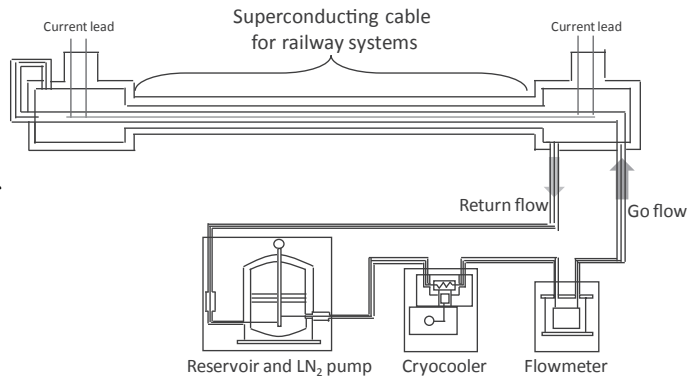
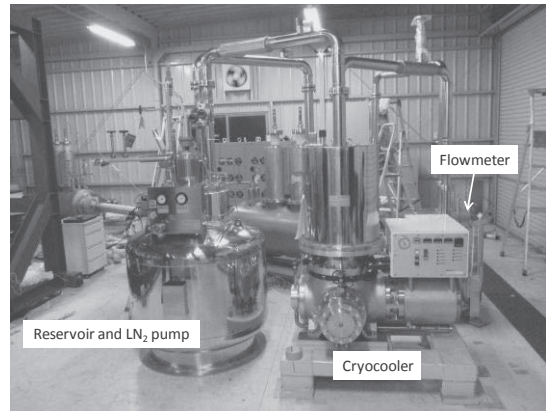


Fig.1 Schematic of a HTS cable for opposed flow



(a) Flow diagram of Cooling system



(b) Photograph of Cooling system

Fig.2 Cooling system

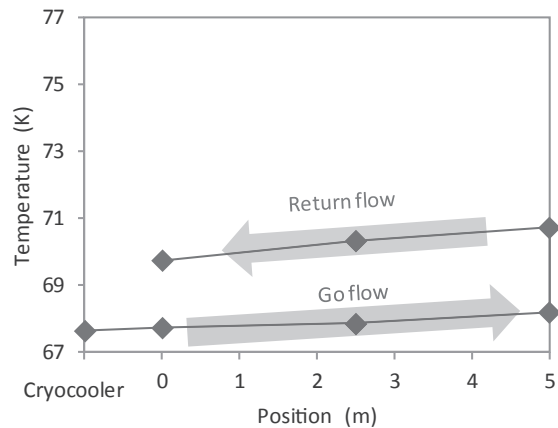


Fig.3 Temperature distribution

超伝導2本転位並列導体による2層コイルの付加的交流損失特性

Additional AC loss properties of superconducting 2-strand parallel conductors wound into 2-layer.

坂川涼,岩熊成卓(九大);江口徹,五所嘉弘,林秀美(九電);田子森秋彦,大熊武,和泉輝郎,塩原融(ISTEC)

SAKAGAWA Ryo, IWAKUMA Masataka (Kyushu-Univ.);

EGUCHI Toru, GOSHO Yohshihoro, HAYASHI Hidemi (Kyushu Electric Power CO.);

TAGOMORI Akihiko, OHKUMA Takeshi, IZUMI Teruro, SHIOHARA Yuh (ISTEC)

E-mail: sakagawa@sc.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

我々は大電流容量化を目指す酸化物超伝導体の構成法として、素線を並列に並べ、巻き線途中で転位(Fig.1)を施す方法を提案している。本研究はこの転位並列導体をコイル状にし、不均一な外部磁界を印加した場合に発生する付加的交流損失を定量的に明らかにすることを目的としている。コイルでは、2本導体端部ははんだ付けされる。今回は、巻線工程において転位位置がコイル中央からずれた場合の2層2本転位並列導体における付加的交流損失を、解析・実験の両面から求め定量的な検討を行った。

2. 並列導体の付加的交流損失について

Fig.2は2本転位並列導体を2層に巻いた際に、転位位置が最適転位位置である中央からそれぞれ1層目で Δl_1 、2層目で Δl_2 ずつずれたコイルの概略図である。今、コイルに振幅 B_m の交流磁界が印加されているとき、コイル素線に鎖交する磁束によりそれを打ち消すように遮蔽電流が誘起される。その遮蔽電流が素線の臨界電流値に達しない場合の、非飽和条件下の付加的交流損失の式は次式で表される。

$$W = \frac{1}{k'} \frac{\pi \omega \tau}{1 + (\omega \tau)^2} \frac{1}{2N^2 \mu_0 d_s w} \left(\frac{\Phi_{B(x)}}{L} \right)^2$$

一方、遮蔽電流が臨界電流値に達する飽和条件下における交流損失は次式で表される。

$$W = \frac{2l_c d_s}{N^2 u w} \left(\frac{\Phi_{B(x)}}{d_s L} - \mu_0 \frac{k'}{u} I_c \right)$$

k' : 幾何学定数

$\Phi_{B(x)}$: 左右の鎖交磁束の差

N : コイルの全巻き数

3. 考察

今回1層あたり39巻きの2層コイルにおいて、転位が施されていない場合と、各層で転位が行われている場合($\Delta l_1=10$, $\Delta l_2=10$)について実験及び解析を行った。Fig.3は、転位が施されていない2層巻きコイルに外部磁界が印加された場合の、付加的交流損失の実験結果と数値解析の結果である。Fig.3において、付加的交流損失が急激に大きくなっているところがあるが、ここが非飽和状態から飽和状態への遷移点である。

Fig.3を見ると、多少の測定誤差はあるものの実験値と解析値の間に同様の傾向が見られることがわかり、数値解析の妥当性が確認できた。また、非飽和状態から飽和状態へ遷移すると急激に付加的交流損失が大きくなることから、非飽和状態で使用することが必要であることがわかった。

また、転位を行った場合の交流損失と素線の交流損失をそれぞれ測定した結果についてもほとんど一致し、転位が付加的交流損失の軽減に有効であることも確認できた。

4. 謝辞

本研究は、イットリウム系超伝導電力機器技術開発の一環として、ISTECを通じてNEDOからの委託を受けて実施したものである。

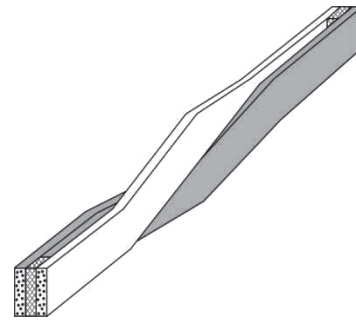


Fig. 1 A transposed two-strand parallel conductor

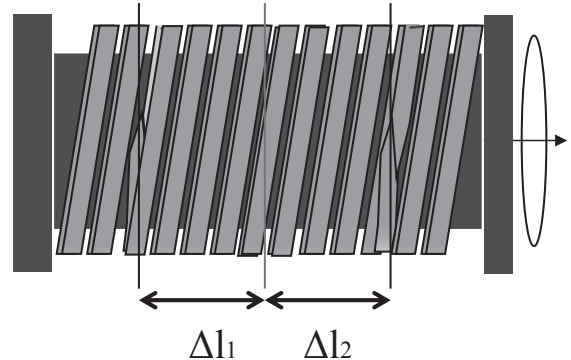


Fig. 2 A parallel conductor wound into a 2-layer coil

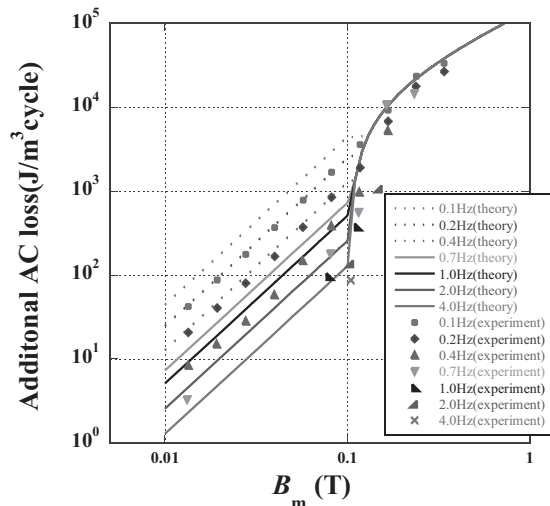


Fig. 3 The dependence of the additional ac loss on B_m

酸化物超伝導並列導体のダブルパンケーキコイルにおける電流分流特性 Study on the current sharing properties of superconducting parallel conductors wound into double pancake coils

山下 康平, 岩熊 成卓(九州大学); 富岡 章(富士電機); 林 秀美, 岡元 洋, 五所 嘉宏(九州電力);
大熊 武, 和泉 輝郎, 塩原 融, 田子森 秋彦(SRL)

YAMASHITA Kohei, IWAKUMA Masataka(Kyushu-Univ.); TOMIOKA Akira(Fuji Electric); HAYASHI Hidemi, OKAMOTO Hiroshi, GOSHO Yoshihiro(Kyushu Electric Power CO.);

OHKUMA Takeshi, IZUMI Teruo, SHIOHARA Yuh, TAGOMORI Akihiko(SRL);

E-mail: kohei@sc.kyushu-u.ac.jp

1 はじめに

酸化物超伝導線材を電力機器の巻線や大型超伝導マグネットに適用するためには大電流量化が必要となる。現在の酸化物超伝導線材は、結晶の配向性を向上させるためにテープ状に加工されており、大電流量化するためにテープ状の素線を並列に重ね合わせて並列導体を構成する必要がある。しかし、単に積層しただけでは自己磁界効果によりそれぞれの素線に流れる電流に偏りが生じてしまうため、適切な位置で素線の位置を入れ替える転位を施し、電流分流比を均一にしなければならない。

これまで我々は、シングルパンケーキ接続のコイルにおける最適な転位パターンを明らかにしてきた。これに対し今回はダブルパンケーキコイルでの最適な転位方法の模索、及び機器応用の検討を行った。内、外で交互に転位を施さなくてはならないシングルパンケーキコイルに対し、ダブルパンケーキコイルは外側のみ転位を施せば良いので製作が容易になる。また、この2つの導体構成は似通っていることから、YBCO 超伝導テープ線材を用いて並列導体を構成し、シングルパンケーキ接続のコイルにおいて電流分流比を最も均一にする転位パターンを、ダブルパンケーキ接続のコイルに適用し電流分流特性を検討した。さらに、実用化の際には、コイルの大型化を図る必要があり、コイルの大型化への適用のために、コイル形状変化による電流分流特性への影響、およびコイル製作時の巻き乱れが及ぼす影響について検討を行ったので報告する。

2 転位方法

YBCO 超伝導テープ線材 3 本、4 本、5 本により構成されたシングルパンケーキ接続のコイルにおいて、最も電流分流比が均一になる転位パターンを、ダブルパンケーキ接続のコイルに適用し、その転位パターンの有効性を検討した。Fig.1 に素線数 4 本における転位パターンを示す。

3 コイル形状変化及び巻き乱れが与える影響

コイル形状変化について、素線数 4 本において、コイルの枚数依存性、コイルの内径依存性、およびコイル1枚あたりのターン数依存性の検討を行った。電流分流比のコイル枚数依存性の結果をFig.2に示す。また、巻き乱れが与える影響については、素線数4本において、コイルの中心軸に対して平行な方向へのズレ(軸方向への巻き乱れ)、および垂直方向へのズレ(径方向への巻き乱れ)に対して検討を行った。軸方向への巻き乱れの結果を Fig.3 に示す。

4 結論

素線数 3 本、4 本、5 本の際のシングルパンケーキコイルにおける最適な転位方法をダブルパンケーキコイルに適用した所、電流分流比はほぼ均一となった。また、この転移方法に対しコイルの形状変化、巻き乱れが起こってもその影響は小さかったことから、機器適用への可能性を示すことができた。

5 謝辞

本研究はイットリウム系超伝導電力機器技術開発の一環として、ISTECを通じてNEDOからの委託を受けて実施したものである。

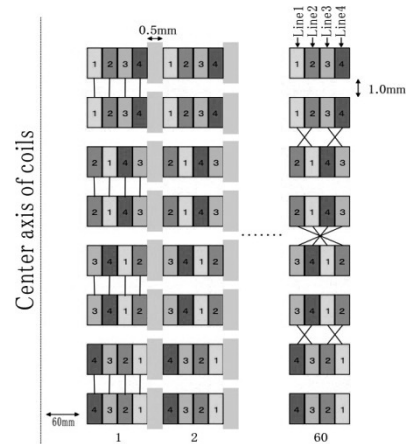


Fig.1 Most effective transposition pattern of 4-strands parallel conductor

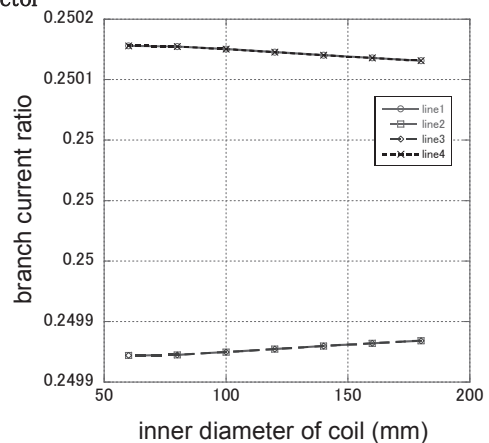


Fig.2 The branch current ratio in a 4-strands parallel conductor dependence on inner diameter of coil

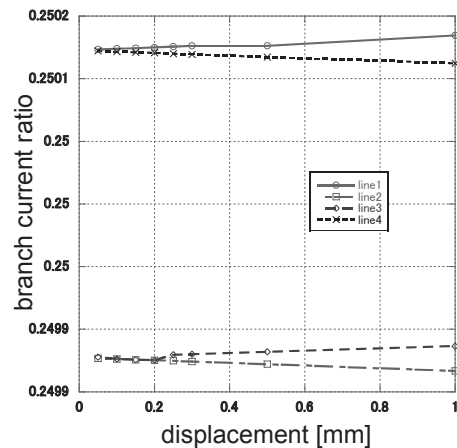


Fig.3 The branch current ratio in a 4-strands parallel conductor dependence on vertical displacement

市販 REBCO 線材の臨界電流の磁場角度依存性に基づいた レーストラックコイル設計

Racetrack coil design based on $I_c - B - \theta$ characteristics of commercial REBCO coated conductors

水野 克俊, 小方 正文, 長嶋 賢(鉄道総研); 李 潤錫, 仲村 直子, 駒込 敏弘(前川)

MIZUNO Katsutoshi, OGATA Masafumi, NAGASHIMA Ken (RTRI);

LEE Yoonseok, NAKAMURA Naoko, KOMAGOME Toshihiro (MAYEKAWA)

E-mail: mizuno59@rtri.or.jp

1. はじめに

希土類系高温超電導線材(以下REBCO線材)は磁場中での優れた通電特性を持つため、超電導機器への応用が期待されている。REBCO線材は複数のメーカーから販売されているものの、寸法や製造方法が製品ごとに異なり、通電特性も画一的ではない。そのため、実機応用においては運転条件に合わせて最適な線材を選ぶ必要がある。そこで、四社の市販REBCO線材(SuperPower, Fujikura, AMSC, SuNAM, 社製)の、臨界電流の磁場角度依存性の評価を実施した。得られたREBCO線材の特性をもとに、レーストラックコイル設計を行ったのでその結果を報告する。

2. レーストラックコイル基本仕様

想定するコイルは大型のレーストラックコイルで、起磁力700 kA、経験磁場は最大で5 T程度となるものとした。過去に行った研究では、運用温度40 Kから50 Kの時に磁石重量が最小となる検証結果があるため、運用温度の上限は50 Kと仮定した[1]。そのため、表1に示す市販REBCO線材の臨界電流測定は、温度50 K、経験磁場0 Tから5 Tの条件で実施した。その他のレーストラックコイルの基本仕様を表2に示す。

3. レーストラックコイル設計

設計としては、得られたREBCO線材の臨界電流特性をもとに、負荷率90%の条件で700 kAの起磁力が得られるまでコイルの巻数を増やす方向で検証した。なお、線材幅は各社販売されている中で最も幅広のものを使うと仮定した。解析モデルを図1に示す。一例としてSuperPower社の線材を用いたときのコイル曲線部断面での負荷率を図2に示す。この場合は外側のレーストラックパンケーキコイルのコイル内周部で負荷率が高くなっていることがわかる。

各社のREBCO線材を用いたときのコイル巻厚、通電電流、使用線材長、電流密度を表3に示す。今回想定した50 Kレーストラックコイルでは、適している線材とそうでない線材の差が明確に表れた。電流密度は各社で大きく異なり、77 Kにおける線材での臨界電流密度とは相関がないこともわかる。

本研究の一部は国土交通省の国庫補助金を受けて行った。

参考文献

1. K. Nagashima, et al.: RTRI report, Vol. 25, No.3 (2011) p.17-22

Table 1 Specifications of commercial REBCO coated conductors prepared for $I_c - B - \theta$ characteristics evaluation

	Super Power	Fujikura	AMSC	SuNAM
Width	4 mm	5 mm	4.8 mm	4 mm
Thickness	0.1 mm	0.2 mm	0.2 mm	0.1 mm
I_c @ 77K s.f.	125 A	273 A	116 A	212 A
Critical current density	313 A/mm ²	273 A/mm ²	121 A/mm ²	530 A/mm ²
Purchase years	2011	2012	2012	2012

Table 2 Basic specifications of the Racetrack coil

Coil shape	Racetrack coil
Inside diameter	400 mm
Straight part length	600 mm
Height (axial direction)	60 mm
Packing factor	90 %
Load factor (at 50K)	90 %
Highest operating temperature	50 K

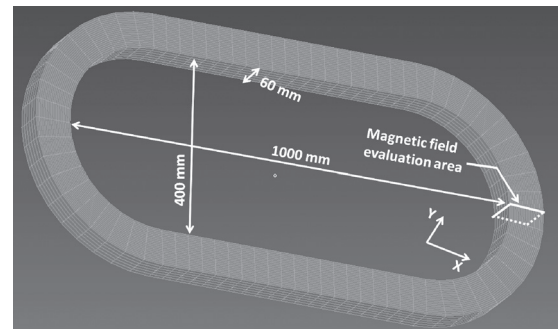


Fig.1 Racetrack coil model for magnetic field analysis

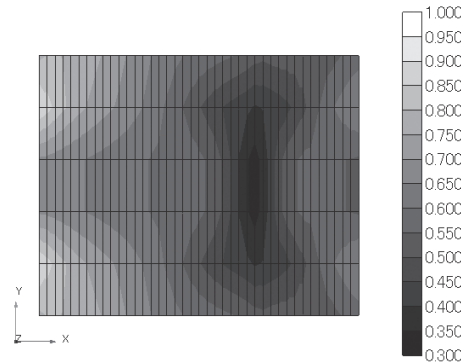


Fig.2 Load factor distribution map at the cross section of the racetrack coil corner at 50 K

Table 3 Comparison of coil winding thickness, coil shape, current, current density and wire length at 50 K

	SuperPower	Fujikura	AMSC	SuNAM
Tape width (coil No.)	12 mm (5)	10 mm (6)	12 mm (5)	12 mm (5)
Coil winding Thickness	74 mm	77 mm	227 mm	128 mm
Current	210 A	336 A	137 A	121 A
Current density	157 A/mm ²	151 A/mm ²	52 A/mm ²	91 A/mm ²
Wire length	8980 m	5630 m	16150 m	16500 m
Weight	93 kg	97 kg	336 kg	171 kg

エポキシ含浸 GdBCO コイルにおける熱履歴と遮断の影響

Influences of thermal history and shutdown on the epoxy impregnated GdBCO coils

武藤 翔吾, 小黒 英俊, 淡路 智, 渡辺 和雄(東北大); 宮崎 寛史, 花井 哲(東芝); 大保 雅哉, 飯島 康裕(フジクラ)

MUTO Shogo, OGURO Hidetoshi, AWAJI Satoshi, WATANABE Kazuo(Tohoku Univ.);

MIYAZAKI Hiroshi, HANAI Satoshi(Toshiba); DAIBO Masanori, IJIMA Yasuhiro(Fujikura)

E-mail: s.muto@imr.tohoku.ac.jp

1. はじめに

REBa₂Cu₃O_y(RE:Y 及び希土類元素;REBCO)線材は、強磁場中においても高い臨界電流密度を維持でき、また基板の Hastelloy に由来する高い耐応力特性を持つことから、次世代の強磁場超伝導マグネットへの応用が期待されている。強磁場センターではこの REBCO 線材を用いた実用 22 T 及び 25 T 無冷媒超伝導マグネットの開発が進められている。

この REBCO コイルを、実用マグネットとして継続的に運転するためには、運転時の環境に置かれたときに、コイルの通電特性が劣化しないことが求められる。しかし、冷却時の熱応力により、エポキシ含浸を行ったコイルにおいて線材の超伝導層が剥離し、通電特性が劣化する問題が報告されている[1]。実用マグネットとして利用するためには、上記の問題を解決した上で、実際の運転環境を模擬した様々な試験を行い、その影響を検証することが重要となる。

そこで本研究の目的は、実際のマグネット運転環境を想定した各試験を行い、その試験によるコイルの通電特性への影響を検証することである。

2. 実験方法

実験に用いた試験コイルを Fig.1 に示す。これは、22 T 無冷媒超伝導マグネットに実際に使用されるコイルとほぼ同形状の、エポキシ含浸コイルである。線材はフジクラ製実用 GdBCO 線材を使用した。コイルは二枚のシングルパンケーキコイル(CoilA, CoilB)を重ねた二積層シングルパンケーキコイルである。コイル間はエポキシにより接着され、最外層にて線材の端同士が銀プレートによって電氣的に接合されている。また、アルミ冷却板が上部の CoilA に取り付けられ、これを通してコイル全体を冷凍機によって冷却する。各シングルパンケーキコイルは内径 95 mm、外径 170 mm、ターン数 126、使用線材長約 53 m である。

このコイルを使用し、実際のマグネットの運転環境を模擬した熱履歴試験、電磁力試験、試験コイルの電流遮断試験、バックアップマグネットの遮断試験を行い、その前後での通電特性の変化を検証した。各試験の詳細を以下に述べる。

熱履歴試験は、熱応力を繰り返し印加することを目的とし、室温と低温間での冷却および昇温を行った。電磁力試験は、実機相当のフープ応力を印加することを目的とし、10 K・5 T 磁場中で 400 A まで通電を行った。試験コイルの電流遮断試験は、REBCO コイルのクエンチもしくは安全のために遮断する状況を模擬することを目的とし、電磁力試験と同じ条件で、400 A 通電時に電流の遮断を行った。バックアップマグネットの遮断試験は、外側の超伝導マグネットがクエンチした状況を模擬することを目的とし、外側の超伝導マグネットを遮断した。通電特性の評価は、30 K 自己磁場下において、電界基準 0.01 μ V/cm とした臨界電流値近傍の $E-I$ 曲線の変化を基準に行った。なおこの評価は CoilA と CoilB についてそれぞれ独立に行った。

3. 実験結果

熱履歴試験と電磁力試験前後の通電特性を Fig.2 に示す。初回の通電特性を 1st とし、以降 5 回目(5th)まで順番にラベルを付けている。また、CoilA は黒塗り、CoilB は白抜きのマ

ーカーで示している。

初回の通電時において既に CoilA には劣化が見られたが、これは、この線材に対する冷却時の熱応力対策が十分でなかったためと推定された。22 T 無冷媒超伝導マグネット用では、この対策を強化する予定としている。2 回目以降の通電試験においては、3rd-4th 間以外の各通電試験の間に実施した熱履歴試験および、1st-2nd 間、3rd-4th 間に実施した電磁力試験の前後において、通電特性の変化は見られなかった。同様に他の試験前後においても、顕著な通電特性の変化は見られなかったが、試験コイルの電流遮断試験後には、コイルの変形が見られた。当日は各試験結果の詳細と併せて発表する。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金(基盤 A)の補助を受けて実施しました。

参考文献

1. T. Takematsu *et al.*, Physica C **470** (2010) 674-677

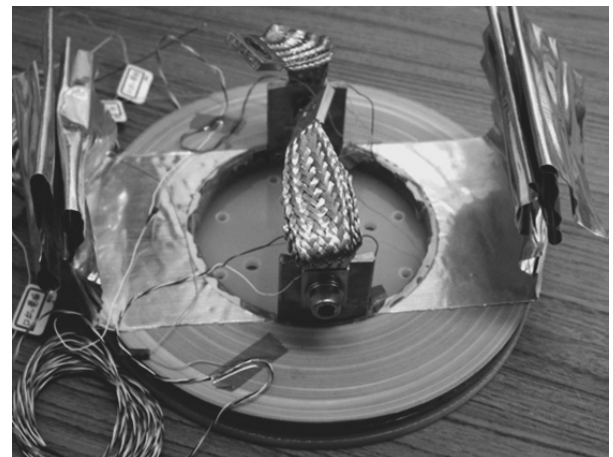


Fig.1. Photograph of a sample coil

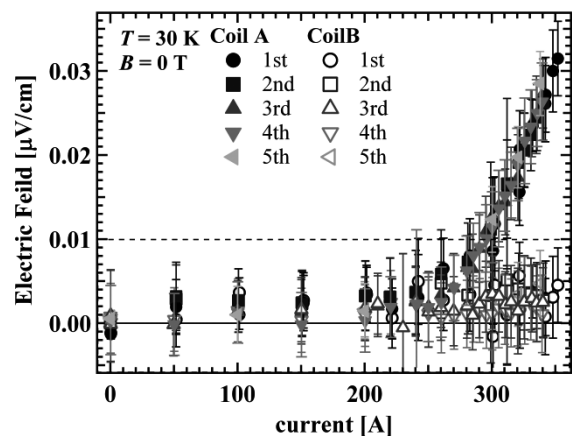


Fig.2. $E-I$ characteristics before and after thermal history and hoop stress tests

75 μ m 基板 RE 系超電導線材の真空含浸コイル通電特性評価

Evaluation of epoxy impregnated REBCO pancake coils with 75- μ m-thick substrate

大保 雅載, 藤田 真司, 原口 正志, 飯島 康裕, 伊藤 雅彦, 齊藤 隆(フジクラ)
 DAIBO Masanori, FUJITA Shinji, IJIMA Yasuhiro, ITOH Masahiko, SAITOH Takashi (FUJIKURA)
 E-mail: masanori.daibo@jp.fujikura.com

1. はじめに

RE 系超電導線材は高い機械強度を有し, 20 K 以上の温度領域でも高い臨界電流-磁場特性を示すため, 様々な機器への応用が期待されている. フジクラでは RE 系超電導線材の高電流密度化としてハステロイ基板を 100 μ m 厚から 75 μ m 厚へ薄肉化を進めている. 既にハステロイ基板 75 μ m 厚を用いた RE 系超電導線材の量産が可能となっており, 75 μ m 厚ハステロイ基板でも機械特性, 磁場特性が 100 μ m 厚基板と同等以上の特性であることを確認している.

本報告ではハステロイ基板 75 μ m 厚の RE 系超電導線材を用いて外径 98 mm の小型真空含浸コイルを試作し, 室温-液体窒素中でのヒートサイクル試験, 5 T 外部磁場中の通電試験を行ったので, 評価結果を報告する.

2. RE 系超電導線材諸元とパンケーキコイル試作

試作に用いた RE 系超電導線材は 75 μ m Hastelloy 基板上に IBAD(Ion-beam-assisted deposition) 中間層を介して PLD (pulsed laser deposition) 法により超電導層(GdBCO)が成膜された線材である. 超電導層上の保護層(Ag)の上に 75 μ m 厚の安定化銅を貼り合せている. 超電導線材および試作したパンケーキコイルの諸元を Table 1 に示す. コイルは内径 50mm, 125 ターン \times 2 層のパンケーキコイルをエポキシ樹脂で真空含浸したコイルである. コイルは液体窒素中で含浸前後で通電試験を実施し, Fig.1 のように 10^{-8} ~ 10^{-6} V/cm の領域での n 値が含浸前後でいずれも 27 と健全であることを確認した.

3. パンケーキコイル室温-液体窒素ヒートサイクル評価

試作したコイルを室温-液体窒素の温度履歴を加え通電(電界 E-電流 I)特性を評価した. 含浸後の測定を 1 回目とし, 合計 7 回のヒートサイクルおよび通電試験を実施した. 奇数回のみの通電特性評価結果を Fig.1 に併せて示す. Fig.1 のようにヒートサイクル試験においても 10^{-8} ~ 10^{-6} V/cm の領域での n 値がいずれも 27 ~ 28 と健全であることを確認した.

4. 5 T 外部磁場中コイル通電試験結果

続いて, 試作したコイルを Fig.2 に示すような評価装置に組み込み, 伝導冷却下 50 K にて外部磁場中の通電特性を評価した. 1, 3, 5 T の外部磁場中で 60 ~ 90 s ずつ保持しながら 2 ~ 5 A ずつ電流を上げ, 各電流でのコイル発生電圧を測定し, E-I 特性を評価した. その結果, 5 T 外部磁場中, 通電電流 102.4 A 時, コイル中心磁場が 5.355 T に到達したことを確認した. なお, 本評価での外部磁場マグネットはフジクラで開発した ϕ 20 cm 室温ボア RE 系超電導マグネット[1]を用いた.

外部磁場中での試験後, 試作コイルを再び液体窒素中で E-I 特性を評価した結果を Fig.3 に示す. Fig.3 のように 10^{-8} ~ 10^{-6} V/cm の領域の n 値が試験後においても 28 とコイルが健全であることを確認した.

参考文献

1. M. Daibo, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 86 (2012) p.128

Table 1 Specifications of REBCO impregnated pancake coil

Tape width	5.0 mm
Tape thickness	0.17 mm
Thickness of substrate / copper	75 μ m / 75 μ m
Inner diameter of coil	50 mm
Outer diameter of coil	98 mm
Coil height	10.5 mm
Tape length	60 m (30 m \times 2)
Total number of turns	250 (125 \times 2)
Coil I_c at 77 K, s. f.	69 A
n-value of coil at 77 K, s. f.	27

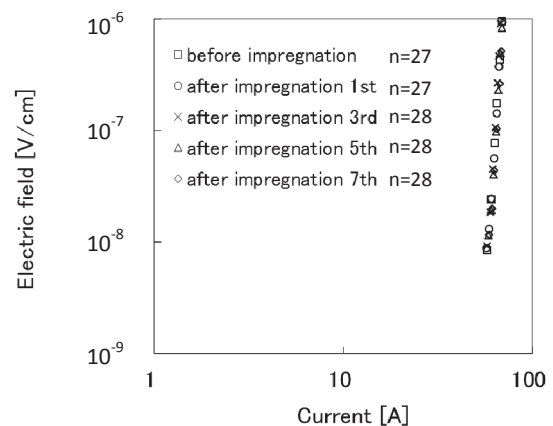


Fig.1 Thermal cycle test of an impregnated pancake coil at 77K

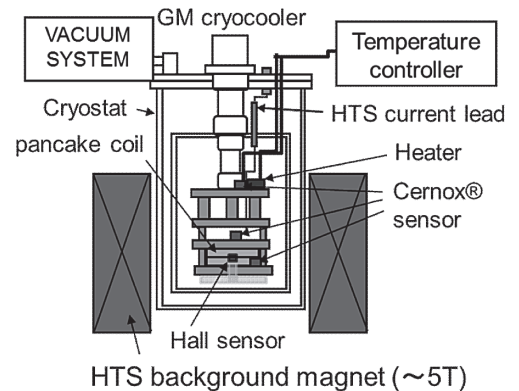


Fig.2 Schematic view of experimental apparatus for background magnetic field test

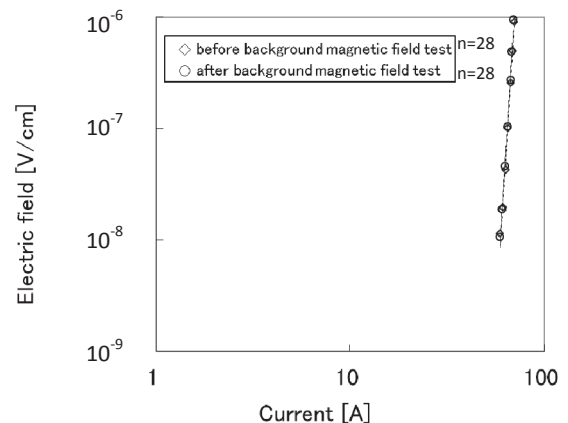


Fig.3 E-I characteristics of an impregnated pancake coil at 77 K

The Effects of the post-annealing temperature on the Growth Mechanism of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+\delta}$ thin films

B. Özçelik^{a,*}, O. Nane^{a,b}, D. Abukay^c,

^a Department of Physics, Faculty of Sciences and Letters, Çukurova University. 01330 Adana, Turkey

^b Faculty of Engineering, Hakkari University. 30000 Hakkari, Turkey

^c Department of Physics, Faculty of Sciences, Izmir Institute of Technology. 35430 Izmir, Turkey

1. Introduction

The discovery of high temperature superconductors has opened a new way for their applications in technologically important areas. However, depending on the specific applications, it is necessary to synthesize them in specific forms like thin films. Superconducting electronics devices require having high quality thin films, with high T_C values and very smooth surfaces as well as in single crystalline form. In particular, the use of high quality high- T_C thin films is important for device applications like SQUIDs, THz radiation sources, bolometers, intrinsic Josephson junctions, and other cryo-electronic devices. In this study, we have reported our results on the effects of the post-annealing temperature on the Bi-2212 thin films deposited on MgO (100) single crystal substrates by pulsed laser deposition.

2. Results and Discussion

Fig.1 shows the XRD patterns of the thin films prepared with post-annealing heat treatment between 800 and 880 °C. It is seen that the peak intensity of the films significantly increases with the increasing annealing temperature, and all main peaks were constructed on the (00l) lines of Bi-2212 phase indicating a certain degree of texture in the film along the c-axis. The films annealed at higher temperatures show better crystallization properties with higher peak intensities. The lattice parameter c and crystal size L of the films were calculated from XRD diffraction patterns and are given in Table 1.

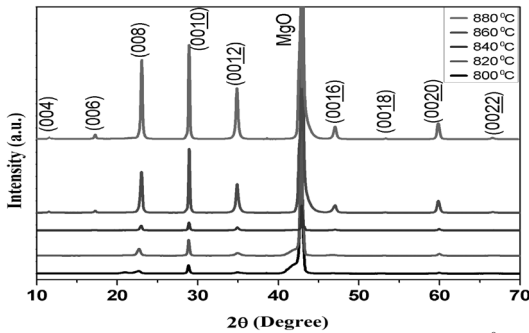


Fig. 1. XRD patterns of films annealed between 800-880 °C

The SEM photographs of thin films prepared with post-annealing heat treatment at 860 and 880 °C are given in Fig.2. It can clearly be seen that the main matrices of the films contain well stacked terrace-like grain structures and are layered mainly c -axis oriented.

Post-annealing temperature	c (Å)	Crystal Size L (Å)
880	30.868	589.64
860	30.870	565.03
840	30.890	461.48
820	30.867	430.45
800	30.910	388.44

Table 1. Lattice parameter c and crystal size L versus post-annealing temperature

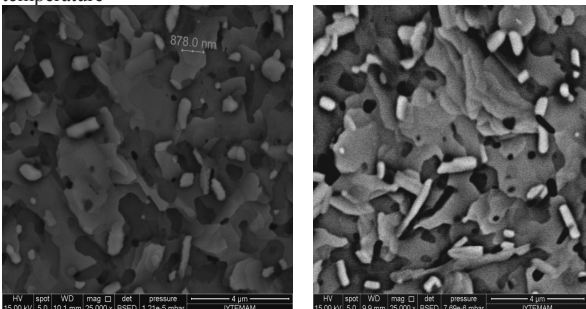


Fig. 2. SEM images of the films annealed at 860°C and 880 °C

The temperature dependence of the resistivity of the films annealed at 860 and 880 °C is given in Fig. 3. The resistance arising from copper contacts was determined as 0.40Ω. By taking into account this value, the zero resistivity transitions T_{C0} of the films were obtained as 89 K and 87 K, and the superconducting transition widths (ΔT) varies as 6 K and 5 K, respectively. It may be stated that both films have almost a single phase with a sharp transition around T_C .

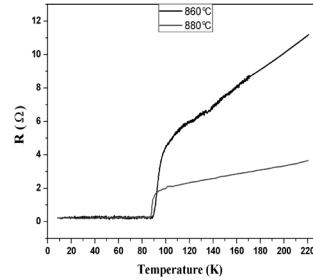


Fig.3. R-T of the films

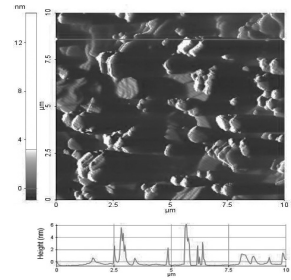


Fig.4. AFM images of the films

The surface morphology image observed with AFM on the film annealed at 860 °C is given in Fig.4. The AFM scanning area was a 10 μm square. The roughness profile under the selected line demonstrates that the heights of the steps oscillate in maximum range of two c -axis of the 2212 phase.

The magnetic hysteresis cycles (M - H) of the films were performed between the fields of $\pm 5\text{kOe}$ at 10 K. By using these we have calculated the critical current density J_C of the films by using the Bean model [1]. Fig.5 shows the calculated critical current densities of the films as a function of the applied field, at 10 K. The best J_C value is calculated as $3 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ for a film obtained at 860 °C.

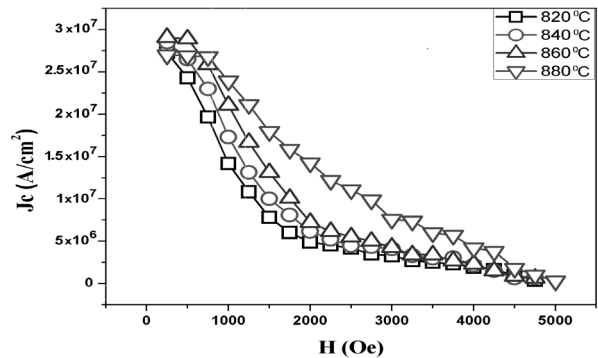


Fig.5. Critical current densities J_C at 10 K calculated from M - H loops for annealed films at 820-880 °C

3. Conclusion

In this study, we have investigated the structural and superconducting properties of BSCCO thin films grown on MgO (100) single crystal substrates by using the pulsed laser deposition (PLD) technique. Then we have applied post-annealing heat treatments on those films in order to determine the optimum annealing temperature to improve their quality. In this way, the quality and the superconducting properties of the film exhibited a significant improvement. The films were initially deposited on the substrate at a temperature of 600 °C, and then post-annealed at various temperature intervals. These ranged from 800 to 880 °C in argon and oxygen (Ar:93, O₂:7) atmosphere. We have obtained the optimum annealing temperature as 860 °C, resulting in Bi-2212 phase with volume fractions of 99.9%, highly textured and c -axis oriented perpendicular to the plane of the MgO (100) substrate. The T_C s were obtained as 42, 75, 76, 82 and 80 K, for annealing temperatures of 800, 820, 840, 860, and 880 °C, respectively.

References:

1. C.P. Bean, Phys. Rev. Lett. 8, 250 (1962)