

FSST NEWS

Forum of Superconductivity	No. 139
Science and Technology News	

発行
 一般社団法人
 未踏科学技術協会
 平成25年10月18日発行
 〒105-0003
 東京都港区西新橋1-5-10
 新橋アマノビル6階
 Tel: 03-3503-4681
 Fax: 03-3597-0535
 Email: fsst@sntt.or.jp

<FSST NEWS No.139 目次>

<トピックス1>

石狩市でのデータセンターへの電力輸送—超伝導直流ケーブル接続プロジェクト—
 中部大学 山口作太郎…………… 2

<トピックス2>

ハイブリッド型人工ピン導入によるY系超伝導線材の J_c 特性への影響 九州工業大学 松本 要……………6

<トピックス3>

MgB₂液体水素液面計の開発 東京ワイヤー製作所 腰塚 直己…………… 10

<会議報告1>

第81回ワークショップ会議報告 日立製作所 和久田 毅…………… 13

<会議報告2>

The 16th US-Japan Workshop on Advanced Superconductors 会議報告
 (1) Superconducting Tapes and Wires (LTS and HTS) 住友電気工業 静谷 英治…………… 14
 (2) Large Scale and Novel Applications フジクラ 大保 雅哉…………… 15
 (3) Flux Pinning and Critical Current 東京大学 下山 淳一…………… 16
 (4) Basic Materials Science (Cuprates, MgB₂, Fe-based compounds, Films, other)
 物質・材料研究機構 松本 明善…………… 17
 (5) Search for New Superconductors 産業技術総合研究所 伊豫 彰…………… 17
 (6) Energy-related Applications and Technologies 住友電気工業 稲垣 芳宏…………… 18

<会議報告3>

MT-23 会議報告 物質・材料研究機構 伴野 信哉…………… 19

<会議報告4>

EUCAS2013 会議報告
 (1) Materials 東京大学 下山 淳一、産業技術総合研究所 伊豫 彰…………… 21
 (2) Electronics 産業技術総合研究所 前澤 正明…………… 22
 (3) Large scale 鉄道総合技術研究所 荒井 有気…………… 23

<研究室紹介>

(1) 岩手大学工学部マテリアル工学科 藤代・内藤研究室…………… 25
 (2) 情報通信研究機構 未来 ICT 研究所 ナノ ICT 研究室…………… 26
 (3) 名古屋大学 大学院工学研究科 エネルギー理工学専攻 吉田研究室…………… 27
 (4) 鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 超伝導応用研究室…………… 29

○第18回超伝導科学技術賞候補公募…………… 31
 ○研究会の動き…………… 32
 ○平成24年度事業報告・平成24年度決算報告書…………… 33
 ○国内超伝導関連会議／国際会議及び国外の主要な会議……………35

<トピックス 1>

石狩市でのデータセンターへの電力輸送

— 超電導直流ケーブルプロジェクト —

Electric Power Transmission for Internet Data Center in Ishikari, DC Superconducting Power Cable Project

中部大学 超伝導センター

山口 作太郎、浜辺 誠、渡邊 裕文、ユーリ イワノフ

Center of Applied Superconductivity & Sustainable

Energy Research (CASER), Chubu University

S. Yamaguchi, M. Hamabe, H. Watanabe

and Y. Ivanov

1. はじめに

中部大学では2000年から高温超伝導 (HTS) システムの研究を開始し、2005年から文部科学省の援助を得て、HTSテープ線材を利用した直流ケーブル実験装置 (CASER-1) を建設した。これはHTSを利用した世界最初の直流ケーブル実験装置となった。そして、2010年3月にはナノオプト・エナジー社の藤原洋社長から中部大学への資金提供によって200 mケーブル実験装置 (CASER-2) を建設し、研究開発を進めてきた。これらの研究開発については未踏科学技術協会からFSST News No. 134に「直流超伝導送配電システムの研究開発とその役割」と題した解説を参照されたい。

以上の技術開発が基礎の一つになって、平成24年度の補正予算で石狩市に500 mと2 kmのHTS直流ケーブルを建設することになった。この2本のケーブルの送電端はさくらインターネットの石狩データセンターに接続されている。これは経済産業省の委託事業として「高温超電導直流送電システムの実証研究」と題され、平成25年度及び26年度の2ヶ年での建設を予定している。実施主体は千代田化工、住友電工、さくらインターネット(株)及び中部大学の共同事業であり、住友電設、みずほ総研、東芝などの複数の企業や大学からの支援・協力を得て、設計作業を現在進めている。この稿では、現時点でのこの実証研究が目指す方向や設計での基本的な考え方などを紹介する。

2. データセンター (iDC) の現状

iDCは現代社会では最も重要な社会情報インフラであり、社会生活に無くてはならない存在であり、同時に多くの企業が参入し、成長が著しい産業分野でもある。

iDCには多くのユーザからインターネット(光ファイバー)を通じて接続される数多くのサーバが設置してあ

り、膨大なデータを保管し、各種サービスを行っている。このため、24時間稼働が要請され、膨大な電力を消費している。そして、電力消費はほぼ昼夜を問わず一定であり、iDC運用コストのかなりの部分が電気料金となり、iDCの節電は経営上も地球保全の観点からも極めて重要である。

今回チームを組んださくらインターネットは石狩市にiDCを設置し、節電については日本で最も進んだ取り組みを行っている[1]。北海道という冷涼な気候を利用してサーバを冷却しエアコンの消費電力を節約し、更に直流給電を行い、機器の消費電力を抑え、最も消費電力の少ないiDCと言われている。特に、直流給電によって電力機器の設備コストも節約できるため、今後のiDCでは直流給配電は必須と考えられている。

以上のような状況でさくらインターネットの田中邦裕社長が、次のステップとして「超電導直流給配電」と「再生可能エネルギー」の導入に興味を持たれ、検討を行っていたことが、今回のプロジェクトがスタートできたもう一つのきっかけとなった。

3. 開発を進める上での基本的考え方

超電導直流ケーブルが一般民生で広く利用されるためには、銅ケーブルより経済的に優位に立つことが必要である。これには低電力損失であることが第一条件となる。しかし、銅ケーブルとの損失比較はそれほど簡単ではない。つまり、銅ケーブルでは通電時のみに損失が発生するが、超電導ケーブルでは冷凍機で常時低温に保持するために非通電時でも損失が発生することがまず挙げられる。このため、負荷変動が少なく常時利用されるiDC等のシステムでの利用が最初の用途になることは合理性が高く、その意味で今回プロジェクトは良い例となろう。但し、一般にケーブル利用率が高い場合には銅ケーブルはより多く並列に布設され、電流密度を下げることによって損失を下げる。このため、銅ケーブルとの損失比較は基準の決め方でかなり変わる。

以上を考慮すると、超電導ケーブル損失低減はこれからも長い研究課題となろう。エディソンが最初に銅ケーブルを使ってから、長い時間をかけて銅純度が上がっていった過程とよく似るのであろう。同時に、超電導ケーブルを構成する機器コスト及び運転コストの低減も今後の長い研究課題である。つまり、超電導ケーブルの実現には、高温超伝導 (HTS) 線材の安価で高性能化だけでは不十分で、これを低温に保持するための機器システム全ての最適設計を通じた高性能化(低損失及び低熱侵入)が求められる。

一方、超電導ケーブルの特長は小型(高い電流密度)で、電気抵抗が実効的に極めて低い(工学的

には色々な理由で完全なゼロにはならない)、高電圧を用いる必要性は低い。これは銅ケーブルと比較して比較的低電圧・大電流で使うことができることを意味し、従来とは違った利用方法が出てくる。例えば、電圧を変える変電所を少なくできる。これは変電所コストを削減できるため、大きなメリットではあり、比較的高価なケーブルでも利用可能性がある。更に、低電圧の布設路はケーブルを収納する共同溝コストをより安価にすることも可能になろう。また、直流の場合には電力変換器(交流への変換と直流での電圧変換など色々なタイプがある)が必要になる。超高圧電力変換器は極めて高価であるが、比較的低電圧の電力変換器は安価で損失が低い。したがって、超電導ケーブルを利用する長所はシステム全体で考える必要がある。

4. 超電導ケーブルについて

超電導ケーブルの熱収縮率は0.3%と言われ、2 kmの超電導ケーブルでは6 mほど縮む。0.3%に対応する引っ張り応力を印加しても利用可能なケーブル開発も一つの方向であろうが、ケーブルが長くなれば熱収縮は一樣ではないと考える方が安全サイドになるため、できる限りケーブルに熱収縮などによる応力発生を避ける技術開発を行うことにした。このため、CASER-2では端末真空断熱容器をケーブルの熱収縮に応じて移動できるようにし、ケーブルに熱応力が発生しない構造を取った[2]。しかし、CASER-2では熱収縮長さは0.6 mほどであったが、石狩プロジェクトでは6 mを吸収する必要があり、別の方法が求められる。幸い平成24年度に科学技術振興機構(JST)のA-STEPで熱収縮対策の研究開発を住友電工と中部大学が共同で行うことが認められ、昨年10月からその開発を進めていた。このため、石狩プロジェクトではその成果を生かす形で現在研究開発と設計作業を進めている。

基本的な考え方は、超電導ケーブルが常温では断熱2重管内にヘリカル状になり、低温でケーブルが縮むと直線状になることによって熱収縮を吸収する方式である。このアイデアはCASER-2の実験結果から得た。CASER-2のケーブルをX線撮影したところ、常温でヘリカル、低温で直線状に変形し、このため端末真空断熱容器の移動距離は当初の予定より短くなっていたことが直接のきっかけである[3]。図1にCASER-2の常温時のケーブルの水平方向と垂直方向からX線撮影からヘリカル変形している様子を示す。2つの線は内管を示していて、上部方向には少し余裕があり、左右方向は内管一杯にケーブルがヘリカル変形していることが分かる。

このため、端末真空断熱容器の移動距離は0.3%に対応する長さよりも短くなった。但し、新しいアイデア

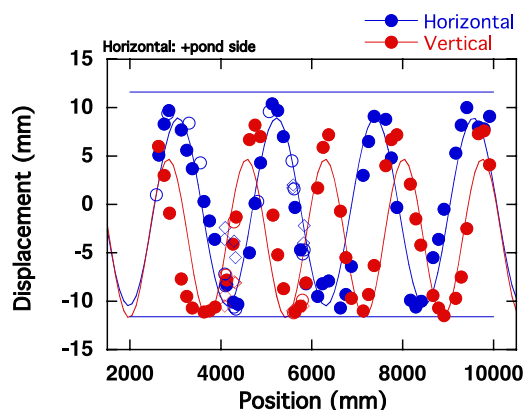


図1 CASER-2のケーブルX線撮影結果

(技術)を利用することになるため、最初に500 mケーブルを布設し、その経験を生かす形で2 kmケーブルの布設に臨む予定である。このため、500 mケーブルと2 kmケーブルの仕様は全く同じであり、以下のようである。

電流:5 kA (テープ線材数 ≤ 37 本)

電圧 ±10 kV

同時にできるだけ細かいケーブルを作ることを目標としている。上記のパラメータを選択した理由は下記のようにある。

両極性の電源を利用すると、電圧を低く設定しても送電電力は大きくなるため、ケーブルの線材コストが下がる。つまり、HTSテープ線材の節約につながる。また、多くの大電力用銅ケーブルの電流は2 kA程度であるが、超伝導ケーブルの特長を生かすためにはそれを超した電流にした方が良いと考えた。また、電圧の設定には電力変換器コストを考える必要がある。一般に電圧が高くなると変換器コストは急激に高くなる傾向がある。そして、コロナが発生しない電圧(20 kV~30 kV)では短絡電流もそれほど大きくならないため、超電導ケーブルの大電力輸送として検討すべきパラメータとして選んだ。

尚、ケーブル長が1 kmを超すため、HTSテープ線材をケーブル中で半田接続することにした。これは今後テープ線材コストを考えると必ず必要になる技術となる。また、ケーブルは1 km長で中間接続部を設け、ケーブル接続をする。

5. 断熱2重管について

断熱2重管の熱侵入量測定とその低減は中部大学ではCASER-1を建設すると同時にテストベンチを建設し、長年検討を行ってきた[4, 5, 6]。これは2 kmを超すような長さになると、断熱2重管からの熱侵入が大部分

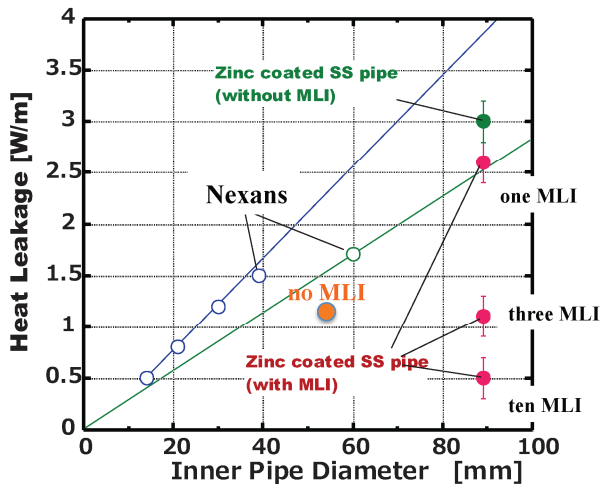


図2 Test Benchでの熱侵入量測定結果

になると予測されたからである。図2にテストベンチでの熱侵入量測定の実験データを示す[4]。ここでは80 Aと50 Aの配管の測定結果を示している。これは縦型クライオスタットでの実験であり、横軸は内管径である。

この図には同時にNexans社の断熱2重管の熱侵入量データをプロット(白抜きのプロット)した。此に見られるように、同じ内管径では中部大学の測定結果はNexans社の製品より熱侵入量が少ない。これはNexans社の製品が2重コルゲート管を利用し、表面積が直管に比べて大きくなることに加えて内管の力学的支持がナイロンやテフロン線を内管に巻き付けて行っていて、十分に熱絶縁距離が取れていないためではないかと考えている。この構造はケーブルを曲げた場合には内管が外管により近づくため、更に厳しくなる。また、一般に多層断熱膜(MLI)はその自重だけでも熱侵入量が大きくなると言われているが、内管とケーブル自重は最終的にはMLIに全て印加されるため、将来的にもこの構造では熱侵入量低減が困難ではないかと考えている。更に、コルゲート管は直管に比べて冷媒循環のための流体損が大きくなるため、より長いケーブルを考えるとCASER-1, CASER-2と同様に直管を用いることにした。そして、コストを下げるために、外管は亜鉛メッキ鋼管を用い、内管のみにステンレス管を用いることとした。

従来までの断熱2重管との大きな違いは、冷媒循環のためにリターン管が必要になることである。このリターン管への熱侵入も考慮すると、外管を太めにして、ケーブルを内蔵している内管と同じ外管に入れ構造がベターである。このため、この構造で全熱侵入量の測定を行うテストベンチの準備を進めている。

但し、直管を用いると現地で溶接などの工事が必要になる。そして、真空度を高くするためのベーキングができない。このため、現地工事については、今までの経

験[2, 7]を生かすと同時に法規制なども含めて幅広い検討を進めている。

6. 電流リードについて

電流リードも大きな熱侵入源である。したがって、ここからの熱侵入はできる限り小さくしたい。例えば、東京電力他のYokohama Projectでは1.75 kAに対して1100 Wの熱侵入量[8]となっている。これは末端クライオスタット全体での値ではあるが、電流リード当たり105 W/kAの熱侵入量となる。また、構造的には、太めの一本の銅リードを用いている。一方、中部大学では熱電半導体材料を電流リードに用いて、熱侵入量を低減してきた[9, 10]。このため、CASER-2では上記の半分程度の熱侵入量[11]である。

また、電流リードの電気回路はHTSテープ線材にそれぞれリード部の素線が独立して接続される方式である。図3に回路図を示す。

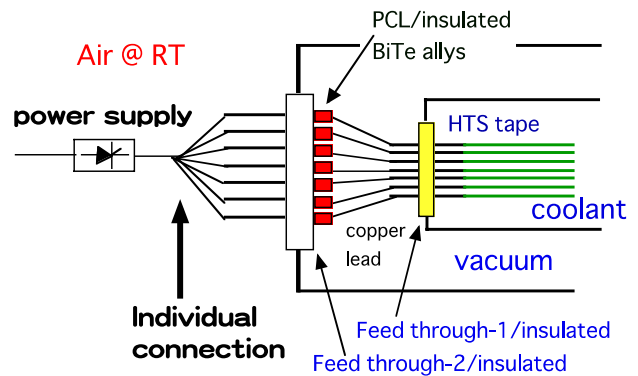


図3 電流リード端末の電気回路

この回路ではHTSテープ線材にそれぞれ電流リードの素線(銅リード及び熱電半導体)が直列に接続されている。これによって、それぞれのHTSテープ線材に流れる電流比はほぼ電流リード部の抵抗比になる。電流リード部の抵抗は電流によって最適値が変化するが、電圧は銅や熱電半導体の物性値で決まり、ほぼ50 mVから100 mVが最適値になる。したがって、この部分の抵抗(今回の設計では $350 \mu\Omega - 700 \mu\Omega$ 程度)によって偏流を防止することができる[12, 13]。実際、超電導マグネットでは偏流によってクエンチが観測[14]され、偏流防止の研究開発が長く行われた。

この技術はケーブルが長くなるときには極めて重要になる。石狩プロジェクトではケーブル長が2 kmとなるため、途中でケーブル接続を行う。更に、HTSテープ線材のコスト低減のために、一本のケーブルの中でも線材の半田接合部が予定されている。この抵抗は90 nΩ以下とされるが、図3のような対策を取らないと、この部分の抵抗比でテープ線材の電流比が決まる恐れがあり、ケー

ブルの臨界電流低下が懸念されるからである。

まとめると電流リードには2つの役割が有り、一つは熱侵入低減であり、もう一つは偏流防止である。そして、石狩プロジェクトでは、以上に付加して電気絶縁性能の向上や輻射による熱侵入量低減対策を取ることを予定している。

7. その他の機器等について

以上で述べてきた機器以外に必要な個別機器としては、冷凍循環機器(冷凍機、循環ポンプ、冷媒タンク)がある。現在、冷凍機についてはスターリング冷凍機(ST)とターボ・ブレイトン冷凍機(TB)の2つを混在して利用することを想定している。特に、TBをケーブル実験で利用するのは初めてのケースであるため、ケーブルとは切り離して別途に実験ができるように設計を進めている。特に、小型TBでは成績係数(COP)がSTに比べて低くなるが、寿命は大幅に向上するという点なので、この辺に着目して試験を進める予定である。更に、今後のより長いケーブルを想定すると、冷媒循環のためのポンプの検討は、温度、圧力、熱侵入量など色々なパラメータが関連するため、CASER-2の実験データを元に今までの経験[15, 16]を慎重に検討を進めている。

他には、計測制御系の設計を同時に進めている。CASER-2ではインターネットに接続し、世界中どこからでも実験室の制御画面を見ることができるようになっている。今回も同様なシステム構築の検討している。また、事故時対応は基本的には計測制御系からの信号で判断することになるため、多重化やハードワイヤーの導入なども検討項目に入っている。

また、今回の予算では含まれていないが、直流ケーブルであるため、通電実験を行うためには電源(電力変換器)が必要になる。つまり、交流受電を行い、送電後それを直流に変換する変換器が必要になる。そして、このような直流機器向けの安全機器が必要になる。例えば、直流遮断器(DCCB)や直流限流器などが挙げられよう。特に、DCCBは複数箇所への電力供給を行うには必ず必要になるため、今後の重要な開発項目になると考えている。

電力変換器の仕様や性能は最終ユーザの意向を取り入れることは当然であるが、今回は最初に述べたように再生可能エネルギーを十分に取り込めようという研究開発を進めることになる。但し、現時点での予算では変換器製作は含まれていない、現在は仕様の机上検討や一部試作・試験などを進めている。

以上述べてきた機器以外に石狩プロジェクトでは現地工事も重要な検討項目で有る。断熱2重管の項で述べたように、現地で溶接作業やケーブルを配管内に引

き入れる工事などがあるからである。布設ルートは道路に沿って行うので、長い期間工事のために占有することはできない。順次、埋め戻しが要請されている。したがって、工事手順はシステム性能確保に極めて重要な検討項目である。更に、工事は法規制などと強く関連するため、関連省庁及び北海道庁、石狩市の了解を取りつつ進めている。このため、大学での研究開発とはかなり異なった感触を受けているが、超電導送電の実用に近づいていることも実感している。

8. まとめ

現時点(2013年9月)では、以上述べて機器類や工事などについての検討が急ピッチで進められている。同時に中部大学ではテストベンチを利用して仕様の確定作業を進めている段階である。実際、これだけの規模のケーブルシステムを2年ほどの短期間で製作・布設することはかなりの作業量となっている。

法規制関連については、今回は電気事業法の適用を想定し、高圧ガス保安法については準拠することで進めている。但し、今回のプロジェクトを通じて、電気事業法に直接高圧ガス保安法の条文などを一部変更して書き込むことも検討されている。

今後の予定であるが、本年度と来年度(平成26年度)で500 mケーブルについては、設備を完成し、通電試験を予定している。そして、平成27年度以降は太陽電池パネルとの接続を行うことを予定している。また、2 kmケーブルについては、装置完成までとして、実際の運転・稼働は平成27年度以降を予定している。これは、2 kmケーブル用の電源整備が平成27年度以降になることも理由の一つである。

以上、石狩プロジェクトの概略を紹介した。最初に述べたように、これは千代田化工、住友電工、さくらインターネット(株)と中部大の共同事業で有り、更に多くの企業や大学からの支援を頂いて進めている。本来ならこの稿の著者になってもらうのが適切とも考えられるが、この稿は山口がまとめたこともあり、著者は全て中部大関係者のみとさせて頂いた。

最後に、千代田化工の腰塚博美、田中昌司、大石前次さま、住友電工の林和彦、増田孝人、湯村洋康さま、住友電設の阿部洋一さま、さくらインターネット(株)の田中邦裕、澤村徹さまには大変お世話になっています。ここに記して感謝を表します。更に、プロジェクトの発足に当たり新金属協会専務理事・織山純さま、石狩市長・田岡克介さまにも多大なご援助を頂きました。記して感謝を表します。また、中部大学理事長／総長・飯吉厚夫先

生には変わらない支援を頂いています。そして、本年になり中部大学特任教授・高野廣久さまにはマネジメント含め色々ご支援して頂いています。共に記して感謝を表します。

参考文献

- [1] <http://ishikari.sakura.ad.jp/>
- [2] S. Yamaguchi *et al.*, Prof. ICEC23/ICMC2010, (2011) 1041-1047.
- [3] H. Watanabe *et al.*, ICEC24/ICMC2012, (2012) 15P-P07-04.
- [4] M. Hamabe *et al.*, Advances in Cryogenic Engineering **53A** (2008) 168-173.
- [5] Y. Nasu *etal.*, Proc. ICEC22/ICMC2009, Seoul, Korea, (2009) 489-494.
- [6] M. Sugino *etal.*, Proc. ICEC23/ICMC2010, (2011) 639-643.
- [7] H. Watanabe *et al.*, Physics Procedia **27** (2012) 376-379.
- [8] H. Yumura *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond. **19**, (2013) 5402306.
- [9] S. Yamaguchi *et al.*, RSI **75** (2004) 207-212.
- [10] T. Fujii *et al.*, J. Elec. Mater **40** (2011) 691-695.
- [11] T. Kahawara *et al.*, J. Physics: Conference Series **400** (2012) 052009.
- [12] S. Yamaguchi *et al.*, Cryogenics **38**. (1998) 875-880.
- [13] S. Yamaguchi *et al.*, J. Physics: Conference Series, **97** (2008) 012290
- [14] N. Koizumi *et al.*, Cryogenics **34** (1994) 155-162.
- [15] Yu. Ivanov *et al.*, Physics Procedia **27** (2012) 368-371.
- [16] Yu. Ivanov *et al.*, Physics Procedia **36** (2012) 1372-1377.

<トピックス 2>

ハイブリッド型人工ピン導入による Y系超伝導線材の J_c 特性への影響

Effect of introduction of hybrid-APCs on J_c properties in YBCO coated conductors

九州工業大学

松本 要、堀出朋哉

Kyushu Institute of Technology

K. Matsumoto, T. Horide

1. はじめに

YBa₂Cu₃O_{7-x} (YBCO) 超伝導体を用いたY系線材は、65-77 Kの磁場中において高い臨界電流密度 J_c を有しているため、液体窒素近傍における種々の応用において有望な材料である。しかし、粒界問題のため、その線材化にはIBAD法やRABiTS法などを用いてYBCO結晶の2軸配向化を行う必要がある[1]。さらには長尺化、交流損失低減、および機械的特性向上などが応用上重要な課題となっており、その課題克服に向けて盛んに研究開発が進められている。中でも磁場中 J_c の向上は優れたY系線材実現のためには大変重要な課題となっている。

YBCO線材においては結晶粒界および磁束ピン止めがその J_c を決めていると考えられるが、高度に結晶配向したYBCO薄膜の場合には、一般に転位や酸素欠損等の自然に導入された結晶欠陥がピン止め点として作用する。しかし最近ではBaZrO₃ (BZO)、BaSnO₃ (BSO)、BaHfO₃ (BHO)などのナノロッド、あるいはY₂O₃ やBZOなどのナノ粒子を人工的に薄膜中に導入する人工ピン導入法で、大幅な J_c 向上が達成されるようになっている[2]。特に、薄膜の c 軸方向に成長したナノロッド状の c 軸相関ピンを用いることで磁場中での高 J_c と高い不可逆磁場 B_{irr} が実現している。

65-77 Kにおける磁場中 J_c のさらなる進展においては J_c の磁場印加角度依存性の制御が欠かせない。YBCOの結晶異方性に依存して、YBCOの J_c にもイントリシクな異方性が生まれ、 ab 軸方向に平行に磁場を印加した場合、 c 軸方向に磁場を印加した場合に比べて一般に J_c が大きくなる。ここでナノロッドのような c 軸相関ピンを導入すると J_c の角度依存性において c 軸方向に J_c の大きなピークが現れる。こうしてこの温度領域におけるYBCOの J_c の角度依存性には ab 軸方向と c 軸方向の2方向に J_c のピークが現れることになる。しかしながら ab 軸方向と c 軸方向の間の角度領域では、 J_c は期待に反してそれほど向上することはなく異方性が残ったままと

なっている。超伝導コイルなどへの応用においては、 J_c の角度依存性にこのような異方性が生じることはコイル設計を難しくしており、できるだけ異方性の小さい等方的な J_c 特性を実現する必要がある。このような要請に対して、我々は、ナノロッドによる磁束ピン止めに加えて、同時にナノ粒子によるピン止めを導入することが有効であることを提唱してきた[3, 4]。本稿においては、このように2種類のピン止め点を導入(ハイブリッド型人工ピン)することによって J_c 制御を行う最新技術について紹介する[4]。

2. ハイブリッド型人工ピン

BSOナノロッドと Y_2O_3 ナノ粒子からなるハイブリッド型人工ピンの導入は次のような手順で作製した。本稿で紹介するデータは、(公財)国際超電導産業技術研究センターより提供を受けたIBAD-MgO基板上に形成したYBCO短尺試料によるものである。YBCO薄膜は基板上にPLD法を用いて形成した。このとき、図1に示すように、BSOはYBCO+BSO混合焼結体ターゲット法で、 Y_2O_3 ナノ粒子は我々のグループで開発してきたSurface-modifiedターゲット法で導入した[5]。混合ターゲットにおけるBSO濃度としては、2 wt%と4 wt%を選択し、また Y_2O_3 濃度としては、0.69 areal%と2.4 areal%を用い、これらの組み合わせによって種々のパターンのハイブリッド型人工ピンを作製した。PLD条件としては、基板温度800°C、酸素分圧0.26 mbar、パルス周波数10 Hzとし、膜厚は300 nm程度とした。得られた薄膜に関してはX線回折による結晶配向性評価、TEMによる断面観察を行った。また超伝導特性に関しては、PPMSによる T_c および J_c 測定を実施した。

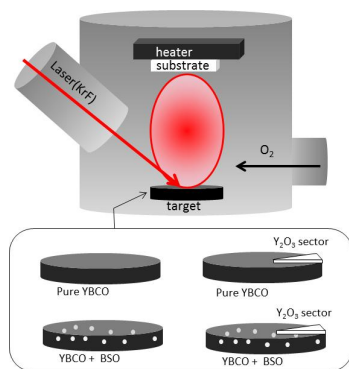


図1 ハイブリッド型人工ピンの導入方法

3. 微細組織、 T_c および J_c 特性

YBCOエピタキシャル薄膜に、ピン止めのために大量の結晶欠陥を導入するとその結晶配向性が乱れることがある。ハイブリッド型人工ピンを内蔵する本YBCO薄膜試料についてX線による θ - 2θ スキャン、ロックンガー

ブ、 ϕ スキャンを行った所、いずれの試料においても c 軸配向性、結晶性ともに良好であった。また面内配向性に関しては2~3度であり、IBAD-MgO基板の面内配向性と同等であった。アプリコソフ・ジョセフソン磁束形成に伴う磁束フローの発生を抑制するためには傾角の大きな結晶粒界(例えば5度以上)を極力減らす必要があるが[6]、今回のIBAD基板はこの仕様を満たしており、磁場中 J_c 特性においても人工ピンの効果が十分発揮できると期待できる。

図2には得られたハイブリッド型人工ピンの断面TEM写真を示す。薄膜の c 軸方向に成長したBSOナノロッドと共に、多数の Y_2O_3 ナノ粒子がナノロッド間に分散しているのが分かる。ナノロッドの直径は8 nm程度、ナノ粒子の直径も10 nm程度であった。BSOがナノロッド上に形成されるのは、結晶構造がペロブスカイト型でYBCOの結晶構造に近似していることと、いずれもBa-O層を有していることがポイントである。一方の Y_2O_3 の場合は結晶構造がペロブスカイト構造とは大きく異なるため、YBCO中においてナノ粒子的に成長するものと考えられる。これらの導入量は図1で示したように、PLD用のターゲットを適宜選択することで自由に制御することができ、システマチックにピン止め効果を検討することが可能である。

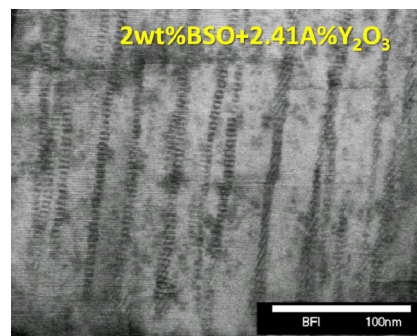


図2 ハイブリッド型人工ピンの断面TEM
2 wt% BSO+2.41 areal% Y_2O_3
(電力中央研究所 一瀬博士提供)

図3に T_c とハイブリッド人工ピン導入量との関係を示した。一般に、YBCO薄膜にBSOを導入していくと T_c が

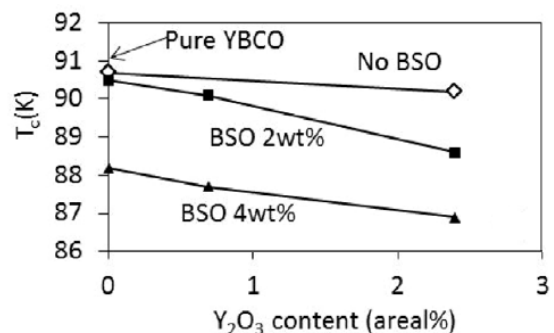


図3 ハイブリッド型人工ピンと T_c の関係

若干、低下する。例えば無添加のYBCOは～91 Kの T_c を有するが、4 wt% BSOを導入した場合は～88 Kにまで低下する。これはBSOを導入することでYBCOマトリクスに多量の結晶欠陥、例えば積層欠陥、転位、酸素欠損等が同時に導入されるためであり、現時点ではこの問題の解決はなされていない。一方、BSOと同時に Y_2O_3 を添加した場合にも T_c の低下は起こるがその変化は小さい。これは Y_2O_3 の添加量がそれほど多くないことと、 Y_2O_3 添加に伴って導入される結晶欠陥がナノ粒子近傍の局所にとどまっているからではないかと推察される。

人工ピンの導入によってYBCO薄膜の巨視的ピン止め力 F_p は大きく増大した。図4に、65 Kと77 Kにおいて、 c 軸に平行に磁場を印加したときの F_p 特性の変化を示した。BSOを2 wt%および4 wt%のいずれを導入した試料においても低磁場側で F_p は若干低下するが、中磁場領域での F_p の増大効果がある。さらにBSOと同時に

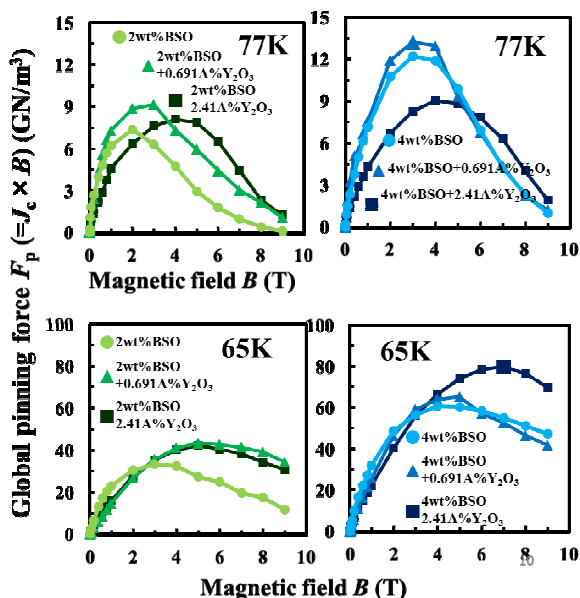


図4 F_p に与えるハイブリッド人工ピンの効果

Y_2O_3 を添加した場合には、高磁場側での F_p 増大が顕著である。さらに、65 Kにおける測定においても、BSO + Y_2O_3 の添加は効果的であり、 F_p の大幅な増大が観測できる。

図5において、77 K、1 Tにおける J_c の角度依存性の比較結果を示す。4 wt% BSOのみ導入の場合、 ab 軸方向の J_c ピークとともに、 c 軸方向にも J_c のピークが現れる。このような異方的な振る舞いは、BSOナノロッドのような c 軸相関ピンを導入した場合に典型的に表れる現象であり、 ab 軸方向の J_c ピークは積層欠陥やイントリンシックピンニングに関わる効果、 c 軸方向の J_c ピークは c 軸相関ピンによる効果と説明される。[7]。これに対して4 wt% BSOと共に、 Y_2O_3 ナノ粒子を導入した場合には、すべ

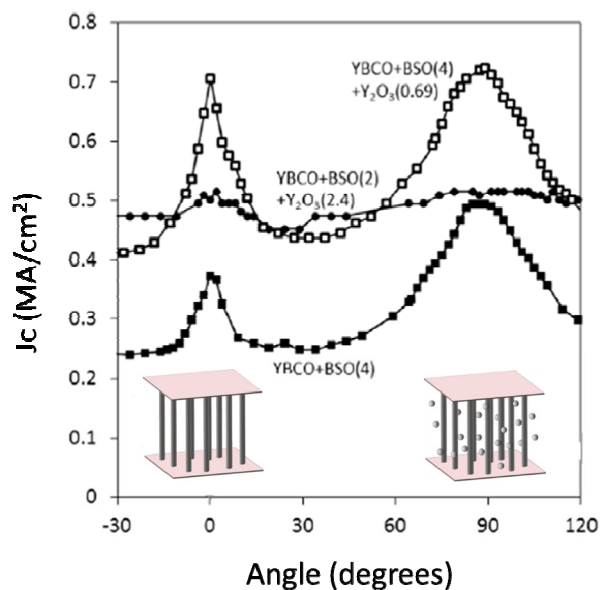


図5 J_c の磁場印加角度依存性

ての角度において J_c が高 J_c 側にシフトしている。さらに2 wt% BSOの場合には Y_2O_3 添加によって J_c の角度依存性がほぼ等方的になっているのが分かる。 Y_2O_3 ナノ粒子添加効果は、77 K、5 Tにおいても確認しており、ナノ粒子が J_c 向上において重要な役割を果たしていることが分かる。以上の結果は、ナノロッドに加えてナノ粒子を添加することでYBCO薄膜に現れる J_c の異方性を制御できる可能性があることを示しており、応用上大変重要である。

4. ピン止め機構について

ここでは、ハイブリッド型人工ピンによって生じる磁束ピン止め機構について考えてみる。ナノロッドなどの c 軸相関ピンのピン止めに関しては、Nelsonらのボーズグラス理論が詳しい[8]。薄膜を貫くナノロッドの長さを L とすると、その時の要素的ピン止め力は、

$$f_p^{nano} = (B_c^2 / 2\mu_0) \pi \xi_{ab} L \quad (1)$$

で与えられ、その時の J_c は、

$$J_c = (f_p^{nanorod} / \phi_0 L) \quad (2)$$

にて与えられる。ここで B_c は熱力学的臨界磁場、 ξ_{ab} はコヒーレンス長、 ϕ_0 は磁束量子である。得られる J_c 値は77 Kにおいて21 MA/cm²となり実験値を一桁以上上回る。従って実際には J_c を低下させる機構が働いているものと考えられる。その可能性の一つは熱揺らぎであるが、77 Kでの熱揺らぎのエネルギーはナノロッドのピン止めエネルギーより2桁小さく、一本の量子化磁束がナノロッドから丸ごと外れるような状況は想定しづらい。したがって、磁束が部分的にナノロッドからはずれる、つまり磁束コ

アのキンクによるデピンニング機構を考慮する必要がある。[7, 8]。キンク形成エネルギーは小さく77 Kにおいては熱エネルギーで簡単に形成され、頻繁に発生していると考えられる。磁場が c 軸に平行に印加されている場合には、熱揺らぎによってダブルキンクが形成されると、キンクは c 軸の上下方向にエネルギー障壁がないため簡単に移動し、一本の磁束は結果的に隣のナノロッドにジャンプすることになる。このような過程が多数発生することで電圧が発生し J_c の上限値が決まってしまう。磁場を c 軸から傾けたときも同様で、磁束コアは階段状となって、部分的にはナノロッドに強くピン止めされているが、キンクとなった部分はピン止めが働かないので、小さなローレンツ力によって簡単に c 軸方向に沿って動いてしまう。キンクが薄膜の端まで達すると、結果的に磁束は隣のナノロッドに移動したことになり、この場合も同様の過程を多数繰り返すことで電圧が発生し、 J_c を低下させることになる。

従って、 J_c の角度依存性を制御するためには、ナノロッドだけでは不十分であることが分かる。通常は、熱揺らぎによって発生したキンクの運動を止める役割は、酸素欠損や積層欠陥などの自然に導入されたピン止め点が担っているものと考えられる。例えば、酸素欠損による要素的ピン止めは

$$f_p^{vacancy} = (B_c^2 / 2\mu_0)(\pi D^2 / 4)\xi_{ab0} / \xi_c \quad (3)$$

で示され、その F_p は集団ピン止めモデルにより、

$$F_p^{vacancy} = f_p^{vacancy} \sqrt{n\xi_{ab}\xi_c d} \quad (4)$$

と与えられる。[4, 9] ここで D は酸素欠損の直径、 n は酸素欠損の密度、 d はナノロッド間距離である。こうして求めた77 K、1 Tの J_c は0.28 MA/cm²となり、4 wt% BSOのみを導入したときの J_c の角度依存性の最小値にほぼ等しい。同様にして、ナノ粒子の導入はキンクの運動を止める役割が期待できる。ナノ粒子は酸素欠損に比べて密度は小さいがピン止め力のはるかに大きい。その F_p は、

$$F_p^{nanoparticle} = (B_c^2 / 2\mu_0)2\pi\xi_{ab}\xi_c \quad (5)$$

で与えられ、得られる J_c は77 K、1 Tで0.46 MA/cm²となる。この値もBSO + Y₂O₃を同時に導入したハイブリッド型人工ピンの J_c の角度依存性の最小値にほぼ匹敵している。以上の結果より、 c 軸相関ピンであるナノロッドを導入したYBCO薄膜では、 J_c は最も動きやすい部分である磁束コアのキンクの運動で決まっており、ナノロッドに加えてナノ粒子を導入してその運動を止めることで磁場中 J_c の向上、ひいては J_c の磁場角度依存性の制御も可能になることが明らかになった。

5. まとめ

Y系線材の特性向上においては、 c 軸方向の J_c を増大させるだけでは不十分であり、どの磁場印加角度においても J_c がほぼ一定な等方的特性が要求される。本稿においては最近、我々のグループで進めているハイブリッド型人工ピン導入による J_c の角度依存性制御に関する新しい技術について紹介した。この技術を用いるとナノロッドとナノ粒子を適宜組み合わせることで磁場中 J_c の制御が可能となる。またそのピン止め機構についても考察し、理論値との良い対応を得ている。今後、ハイブリッド型人工ピンを最適化していくことでさらなる J_c 特性の向上が大いに期待できる。

参考文献

- [1] S. R. Foltyn, L. Civale, J. L. MacManus Driscoll, Q. X. Jia, B. Maiorov, H. Wang and M. Maley: Nat. Mater. **9** (2007) 631.
- [2] K. Matsumoto and P. Mele: Supercond. Sci. Technol. **23** (2010) 014001.
- [3] P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii and R. Kita: Supercond. Sci. Technol. **21** (2008) 015019.
- [4] T. Horide, T. Kawamura, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Yoshizumi, T. Izumi and Y. Shiohara: Supercond. Sci. Technol. **26** (2013) 075019.
- [5] P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida and S. Horii: Supercond. Sci. Technol. **20** (2007) 244.
- [6] T. Horide, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose and S. Horii: Phys. Rev. B **77** (2008) 132502.
- [7] G. Blatter, M. V. Feigel'man, V. B. Geshkenbein, A. I. Larkin and V. M. Vinokur: Rev. Mod. Phys. **66** (1994) 1125.
- [8] D. R. Nelson and V. M. Vinokur: Phys. Rev. B **48** (1993) 13060.
- [9] E. M. Chudnovsky: Phys. Rev. Lett. **65** (1990) 3060.

<トピックス 3>

MgB₂ 液体水素液面計の開発

Development of MgB₂ liquid hydrogen level sensor

(株)東京ワイヤー製作所

Tokyo Wire Works, Ltd.

腰塚直己、志村 聡、山田洋義

N. Koshizuka, S. Shimura and H. Yamada

1. はじめに

水素燃料(水素エネルギー)は、酸化反応の際にCO₂を排出しないため、従来の化石燃料に代わる新エネルギーの一つとして近い将来の利用が期待されている。クリーンなエネルギー源として、製造技術だけでなく貯蔵や輸送技術の開発も進んでいる。液体水素は気体水素に比べて高密度であるために、燃料の貯蔵や運搬に有利であり、水素ステーションや燃料基地の主要な貯蔵形態、またその間の輸送媒体となることが予想される。液体水素の貯蔵における課題は、その残存量を正確に測定する技術の開発である。液面レベルを測定する液面計としては、液相と気相における静電容量の違いを利用する静電容量型液面計が存在する。しかし、この液面計は精度や信頼性に問題があり、電気抵抗の急激な変化を利用した超伝導型液面計の開発が期待されている。

MgB₂は、超伝導転移温度が純粋な系では39 Kと液体水素の1気圧における沸点約20 Kに比較的近いことからセンサ材料として有望である。液面計用のMgB₂線材のゼロ抵抗転移温度 T_c は20 Kに近いことが望ましく、また超伝導転移幅がシャープである必要がある。それは、液体水素に浸漬されたセンサの液面直上部の温度が有限の抵抗をもつ必要があるからである。これまで、MgB₂線材を利用した液面計の開発がいくつかのグループで進められている[1, 2, 3]。Haberstrohらは、シース材がSUSのMgB₂線材を用いた液体水素用液面計を開発している[1]。Takedaらは、感度向上のためにヒータ線を線材に巻きつけた外部ヒータ型の液面計を開発している[2]。Kajikawaraらは、電流電圧測定用の電流を加熱に用いた自己ヒータ型の液面計を試作し、液面測定評価を行うとともに、液面計用線材の最適設計指針の検討を行っている[3, 4]。従来の液面計のMgB₂線材としては、SiC等の添加により転移温度 T_c を31 K程度に低下したものを使用しているが、液体水素温度20 Kより10 K程度も高く、液面直上部を転移温度以上にするためにかなりのヒータ加熱が必要であった。

筆者らは、パウダーインチューブ(PIT)法により、MgB₂

粉末にAl粉末を添加し、 T_c を20 Kまで低下させ、転移幅が5 K以下と比較的狭い線材を開発した。これらの線材を用いて、液面計を試作し、液体ヘリウムを用いた電圧の液面高さ依存性の測定を通して液面計としての性能を評価し、外部ヒータを使用せず低電流の下で発生電圧と液面高さ依存性においてよい直線性を得た。

2. 液面計用MgB₂線材の課題

液面計用のMgB₂線材では、液面より上部を常伝導状態にするために必要な加熱量をできるだけ少なくする必要がある。加熱量の低減により液面計の正常動作中の消費電力および液体水素の蒸発量を抑制できるからである。Tomachiらは、消費電力を抑制するためには、冷却効率の点から線径を細くし、かつMgB₂超伝導体の転移温度 T_c を低減することが有効であることを数値シミュレーションにより明らかにした[4]。液体水素の沸点は1気圧で20 K、容器内気圧が3気圧に上昇した場合は25 Kであるので、本研究ではゼロ抵抗 T_c を20~25 Kに制御し、また超伝導転移幅が5 K以内と狭い線径φ0.1 mmのMgB₂細線を開発することを目標とした。

3. 実験方法

3.1 線材作製・加工

図1は、本研究で行ったMgB₂線材作製・加工プロセスを示す。Al添加MgB₂原料粉末を準備し、ステンレス管に原料粉末を圧粉成形したペレットを封管・加工するin-situパウダーインチューブ法で、伸線加工を行った。転移温度を低下させるためにAl粉末を添加し、また転移温度を種々変えるためにMgB₂とAlの配合比を変えた原料粉末を使用した。Al濃度が異なる母材のそれぞれについてスエーピング加工、伸線加工を行い、線径φ0.1 mmの単芯線材を作製した。これらφ0.1 mm単芯線材を700~800℃で熱処理を行い、超伝導化を行った。液面計の信頼性を向上させるために、MgB₂線材を複数本撚り合わせた多重撚り線も作製した。φ0.1 mmのMgB₂単芯線材を7本撚り合わせた撚り線材を作製後、全長に絶縁(エナメル)コーティングを施し、液面センサとして使用した。

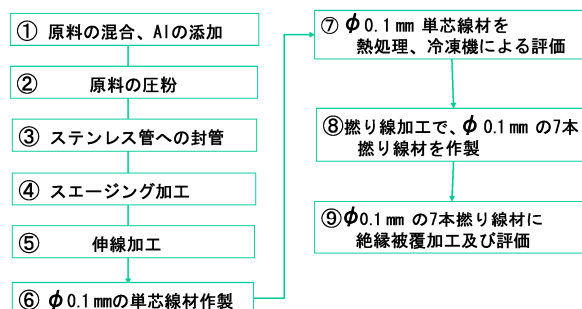


図1 MgB₂線材の作製・加工プロセス

3.2 特性評価

超伝導転移温度は、各試料の短尺材を冷凍機にセットし、4端子法による通電測定を行い、電圧の温度依存性から求めた。AlドープMgB₂線材の元素濃度分布は、EPMAによる線材断面のライン分析から求めた。また、液面計としての性能評価を行うために、図2に示すように、外径φ15 mm、保護管長さ1150 mmのステンレス管内に絶縁被覆MgB₂撚線材(φ0.1 mmの7本撚)を組込んだ液面計を試作した。液面測定は、液体水素の使用が不可能のため、代替えとして液体ヘリウムを用いて行った。液体ヘリウムを満たしたガラスデューワーにMgB₂液面計をセットし、ヘリウム液面高さに依存する液面センサの電圧変化を調べた。

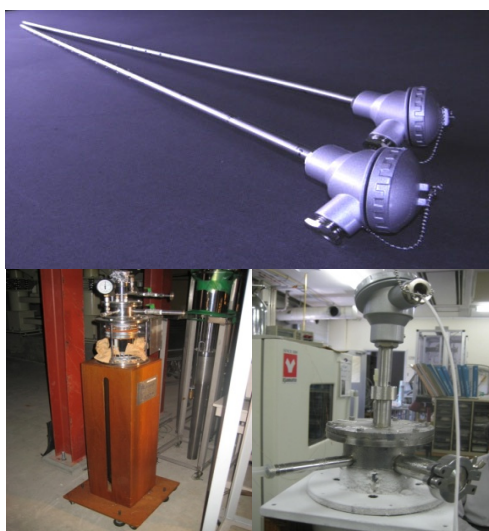


図2 試作した液面計(上図)とガラスデューワーにセットした状態(下図)

4. 実験結果と考察

図3は、MgB₂とAlの配合比を変えた数種類のAl:MgB₂単芯線材の電圧-温度曲線を示す。Al量の増大によりT_cが20 Kまで低下していることが分かる。また、常伝導から超伝導状態に遷移する領域(遷移幅)は数Kと狭い。Alの添加によりT_cが低下することはすでにいくつか報告されている[5, 6]。その原因はAlのMg原子置換や欠陥による組成変化、Al₂O₃、MgAlB₄の存在等により生じたフェルミ面近傍のバンド構造や状態密度の変化によるという。本研究で作製したMgB₂線材はAlを添加しない場合でもT_cは30 K近傍と低かった。これは伸線加工にともなう結晶性の低下、すなわち格子空孔や格子間原子等の欠陥による格子歪みに起因するものと考えられる[7]。また、MgO等の不純物の存在もT_c低下の一因であろう。Alを添加したMgAl_xB₂組成の線材のT_cがAl量とともに低下し、x=0.3においてゼロ抵抗T_cが17 K程度に達しているのは、結晶性の低下とAl置換の

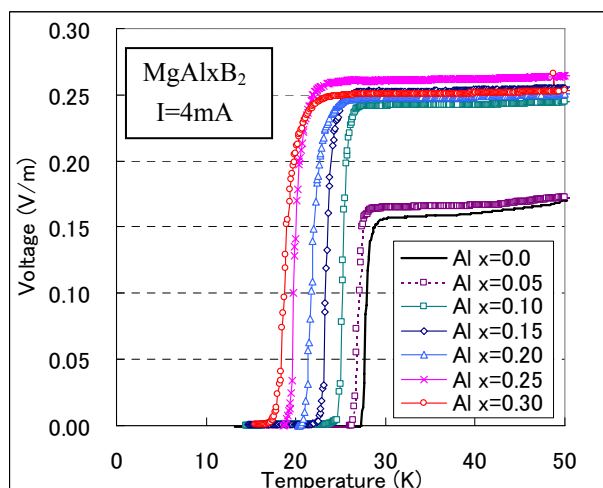


図3 Al濃度が異なるMgB₂線材の電圧の温度依存性

両方が作用している結果と考えられる。

一般にT_cの低下とともに超伝導遷移幅ΔT_cも増大し、特に25 K以下ではΔT_cが8~10 Kとなることが予想される[8]。しかし、本研究で作製した線材のΔT_cは5 K程度に抑えられた。その理由は明らかではないが、遷移幅が狭いことは欠陥やAl置換の分布が均一であることを示し、φ0.1 mmまでの細線化および熱処理プロセスが均一化に寄与したものと推測される。

図4は、多重(7本)撚り線の電圧-温度曲線を示す。20 K近傍にゼロ抵抗T_cをもつことが分かる。単芯線の場合と同様にT_cが20 Kにおいても遷移がシャープである。

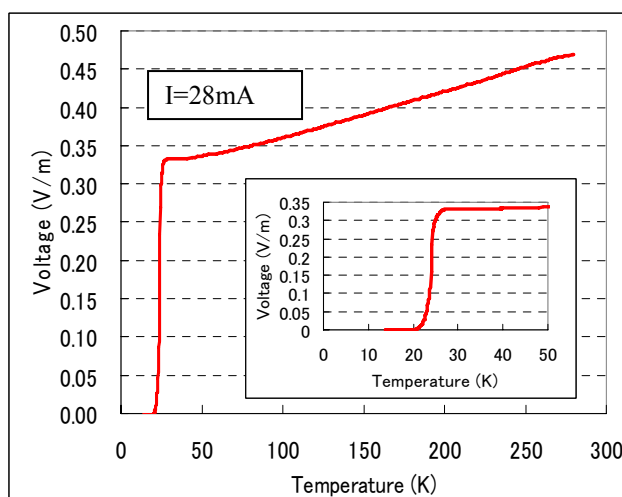


図4 MgB₂多重(7本)撚り線の電圧の温度依存

図5は、φ0.1 mmの単芯線を7本撚りした多重撚り線の断面構造写真を示す。表面は、化学保護のために絶縁被覆加工を施した。

図6は、MgB₂液面計を液体ヘリウムに浸漬し、液面高さを50 mm間隔で変化させた(実際には液面計を上下させた)ときの電圧変化を示す。外部加熱は行っていない。電圧測定は液面計を移動直後から4分後まで時間を

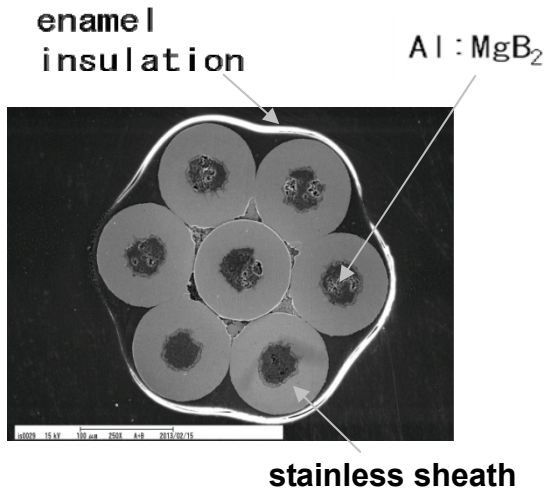


図5 MgB₂多重撚り線の断面構造

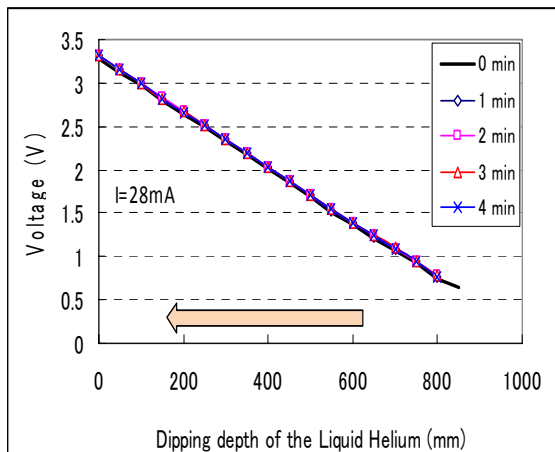
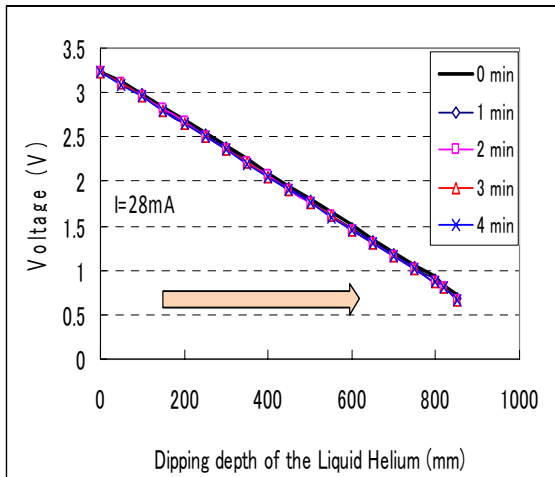


図6 液面計を液体Heに浸漬し、上下に移動し測定時間を変えた時の電圧変化

変えて行ったが、有意の差は見出されなかった。また、センサ電圧の浸漬深さ依存性の直線性がよいことが分かる。図7は、印加電流を変えた場合の液面計移動後1分後の電圧変化を測定したものである。液面計の上下により特に低電流において電圧の値にわずかな違いが

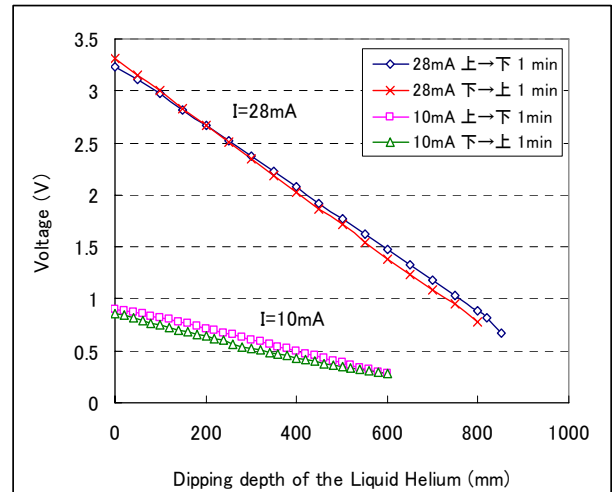


図7 電流を変えて液面計を上下に移動した時の電圧変化

見られるが、直線性は良好である。

本実験では、ゼロ抵抗 T_c が約20 Kの線材を使用したもので、液体ヘリウム温度4.2 Kとは温度差が大きく、また加熱ヒータも使用していないので、液面直上は超伝導状態にあり電圧には寄与しないが、電圧の浸漬深さ依存性に比較的良好な直線性が得られた。液体水素の場合には、液面センサの T_c が液体水素温度20 Kとほとんど温度差がないのでさらにより特性が期待される。

5. おわりに

MgB₂にAlを添加することによって、ゼロ抵抗転移温度 T_c を液体水素の沸点20 K近傍に低下させるとともに超伝導遷移幅 ΔT_c が小さいMgB₂細線を作製することができた。絶縁被覆MgB₂撚り線材(φ0.1 mmの7本撚り)を用いたMgB₂液面計を試作し、センサ電圧により液体ヘリウムの液面高さを評価した結果、電圧の液面高さ依存性の直線性が高く、応答性もよい安定したデータが得られた。これは、液体水素液面計にAl添加 MgB₂線材を用いたセンサが実用化可能であることを示す。今後の課題は、液体水素中での特性評価を行い、MgB₂液面計としての精度、応答性、安定性の改善を図ることである。

なお、本研究における液体ヘリウムを用いた液面測定の評価は、超電導工学研究所、町敬人博士の協力を得て実施した。

参考文献

- [1] C.Haberstroh and G.Zick: Advances in Cryogenic Engineering, **51A** (2006) 679.
- [2] M. Takeda, Y. Matsuno, I. Kodama, H. Kumakura and C. Kazama: IEEE Trans. Appl. Superconduct. **19** (2009) 764.
- [3] K. Kajikawa, K. Tomachi, N. Maema, M. Matsuo, S. Sato, K. Funaki, H. Kumakura, K. Tanaka, M. Okada, K. Nakamichi, Y. Kihara, T. Kamiya and I. Aoki: J. Physics: Conference Series **97** (2008) 012140.
- [4] K. Tomachi, K. Kajikawa, M. Matsuo, S. Sato, K. Tanaka, K. Funaki, H. Kumakura, M. Okada, K. Nakamichi, Y. Kihara, T. Kamiya and I. Aoki: TEION KOGAKU (J. Cryo. Soc. Jpn) **44** (2009) 366.
- [5] M. Mudgel, V. P. S. Awana, H. Kishan and G. L. Bhalla: Physica C **467** (2007) 31.
- [6] J. Ma, A. Sun, G. Wei, L. Zheng, G. Yang and X. Zhang: J. Supercond. Nov Magn **23** (2010) 187.
- [7] A. Serquis, Y. T. Zhu, E. J. Peterson, J. Y. Coulter, D. E. Peterson and F. M. Mueller: Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 4339.
- [8] H. Luo, C. M. Li, H. M. Luo and S. Y. Dinga: J. Appl. Phys. **91**(2002)7122.

<会議報告 1>

(1) 第81回ワークショップ「極低温冷凍機の進展とその応用の広がり」

Report on the 81st Workshop on Progress of Cryogenic Refrigerator and Application

日立製作所 日立研究所
和久田 毅
Hitachi Ltd., Hitachi Research Laboratory.
T. Wakuda

超伝導製品を社会に普及させていくためには、冷却・冷凍技術が必須である。しかし、いわゆる超伝導屋さんには冷却に関し、いささか無頓着のように見える。極低温冷凍機技術や極低温の利用の現状を、より深く知りたい、伝えたいという気持ちで本ワークショップを企画した。ワークショップは7月26日に都内の全日通霞ヶ関ビルにて開催、参加者は69名(内5名講師)であった。以下、講演内容についてかいつまんで紹介する。

冷凍機基礎講座:「冷凍機の原理と実際の冷凍機」と題して、東京工業大学の岡村哲至教授により、冷凍機の基本原則から各種冷凍機の特徴について解説いただいた。本質的に極低温では投入されたエネルギーに対しわずかな量の冷却能力しか得られないことや、さらに理想的な効率を引き下げる原因について説明があり、極低温をつくる難しさや社会へ普及させる困難さを改めて再認識させられた。また、各種の冷凍機の比較により、その特徴や守備範囲(温度領域、冷凍能力)を理解でき全体を俯瞰することができた。

先端宇宙観測用冷凍技術:「サブケルビン領域応用」という題目で、物質・材料研究機構の沼澤健則氏に講演いただいた。

X線によって宇宙を観測するために、TES (Transition Edge Sensor) 型X線マイクロカロリメータアレイの開発が進められている。TES型カロリメータとは、X線の入射を、それによる温度上昇をセンサの超伝導-常伝導転移で捉え、検出するものである。センサを100 mK以下に冷却することにより、光子一個の検出も可能である。

宇宙空間で100 mK以下の環境を作り出すために、断熱消磁冷凍機(ADR: Adiabatic Demagnetization Refrigerator)が利用される。断熱消磁冷凍とは、磁性体の磁気モーメントの秩序を磁場によって制御することにより、磁性体に吸熱・放熱をさせる。従来のADRは間欠的運転のため冷却能力と計測時間が制約され、宇宙実験の機会増加のため連続型ADRが必要であった。

ADRを多段結合し、ADR間に熱流を制御する熱ス

イチを挿入、各ADRの動作サイクルの位相をずらして運転することにより、連続的に熱をくみ出すことが可能となった。講演では4段階結合した連続型ADRの構造、構成要素や地上および航空機での微小重力下試験結果等について解説がなされた。連続型ADRでTES型X線カロリメータの駆動実証は世界で初めてであり、今後はISS(国際宇宙ステーション)でのX線天体観測や固体ヘリウム実験への利用が期待される。

超伝導ケーブル用冷却システム「系統連係試験の状況と大容量・高効率冷凍機開発」という題目で、前川製作所技術研究所の町田明登所長に講演いただいた。

世界中で超伝導ケーブルプロジェクトが進められているが、国内ではNEDO「高温超伝導ケーブル実証プロジェクト」にて、東京電力(株)の旭変電所の実系統に超伝導ケーブルが組み込まれ実証試験が行われている。冷却システムの健全性や運転制御について実証され、ケーブルの系統接続が可能であることが示された。しかし、現システムはまだ試作品+ α のレベルであり、さらに実用化にむけて改良を進めるとのことであった。

現状の冷却システムは、冷却能力1 kWのスターリング冷凍機6台構成となっており、成績係数(COP)は0.05-0.06、メンテナンス間隔が8,000時間以下である。これを単機容量5倍の5 kW、メンテナンス間隔30,000時間、COP = 0.1の大容量ターボプレイトン冷却システムを開発中である。COP = 0.1の実現に向け、圧縮機・膨張機の高効率化と一体化を行い、また、メンテナンス間隔をのばすために非接触磁気軸受の開発を行っている。講演ではタービン形状の最適化や試作機の状況についても示され、COP=0.1を実現させるために並々ならぬ努力をしている様子が感じられた。冷凍システムの性能試験は来年の夏以降であり、待ち遠しい。

モバイル応用向け小型冷凍機:「小型スターリング冷凍機とその応用」日立製作所日立研究所の松田和也氏より講演いただいた。

MDDS (Magnetic Drug Delivery System) 用のモバイル型超伝導磁石およびそれを利用した軟骨再生についての話があった。磁性微粒子と結合させた幹細胞を、超伝導バルク磁石を使って患部へ集中させ、軟骨再生を促進させるものである。従来の0.6 T磁石では4時間必要とするものが3.1 Tの超伝導バルク磁石を利用すると10分で治療効果がある。マウス用に開発した磁石は真空容器表面で3.1 Tであり、手のひらサイズの小型スターリング冷凍機によって冷却される。冷凍機自体の重量は約0.7 kgであり、バッテリー駆動で消費電力わずか23 Wである。なお超伝導バルクの温度は42 Kである。

また、超伝導のフィールド計測応用として、地震観測用や金属資源探査用SQUIDシステムについての紹介

があった。これらは液体窒素動作であるが、SQUIDが小型冷凍機で運転できるようになれば長時間運転や、また、ハンディな非破壊検査用モバイルSQUID等が実現でき利用範囲の拡大が期待される。

「高効率水素液化器の実現および世界のヘリウム需給バランスについて」という題目で、岩谷産業の西村宏氏に講演いただいた。岩谷系列の液化水素プラントは国内3箇所、3000 L/h \times 4の液体水素製造能力がある。水素液化器は膨張タービンのベアリングが要であり、今回開発した動的ガスベアリングの解説がなされた。

また、液体ヘリウム需給に関する報告がなされた。昨今のヘリウム逼迫は、主要生産国の米国のプラント故障、定期修理長期化、ヘリウム積み出し港でのストライキなどが原因であった。岩谷はカタール2の権益を獲得し(国内ヘリウムガス使用量のおよそ半分の800万 m^3)、8月にヘリウム初入荷予定である。世界ヘリウムの需要は+4%/年の増加と見込んでいるが、少なくとも数年は供給力が需要を上回り、液体ヘリウムの状況は改善されるとのことであった。

<会議報告 2>

第16回日米先進超伝導ワークショップ 会議報告

The 16th US-Japan Workshop on Advanced Superconductors

(1) Superconducting Tapes and Wires (LTS and HTS)

住友電気工業株式会社
静谷 英治
Sumitomo Electric Industries, Ltd.
E. Shizuya

本セッションでは8件の講演がおこなわれた。

住友電工の静谷からは同社で進められているBi2223線材に関する報告があった。同社の線材の引張強度は、ステンレスをラミネートしたもので最大270 MPaだったが、熱収縮率とヤング率がステンレスより大きい、ある金属をラミネートすることでほぼ J_c を下げずに530 MPaを達成したことが報告された。同種の線材を近く販売する予定とのことである。マグネットに関して、励磁速度5 T/30 s、室温ボア ϕ 100のマグネット、励磁速度5 T/180 s、室温ボア ϕ 300のマグネットの紹介があった。

Oxford Superconducting TechnologyのMiaoからは同

社で進められているBi2212線材に関する報告があった。長尺の線材を模した、末端を閉じた線材にCIPを施し、加圧焼成することで $\sim 550 \text{ A/mm}^2$ ($0.1 \mu\text{V/cm}$, 4.2 K , 15 T) の J_c を達成したことが報告された。長尺になると J_c が低下する傾向があるが、CおよびHのコンタミネーションを減らすプロセスを開発して改善傾向が見られるとのことであった。

Superpower, IncのLehnerからは同社で進められているIBAD-MOCVD法によるREBCO線材が紹介された。FCL、風力発電機、SMESの共同開発をおこなっており、このうちFCL(3相 28 MVA)は、2G線材を前例が無い規模で14 km(幅12 mm)使用するものであり、変電所で少なくとも1年間運用して性能を評価する計画とのことであった。

フジクラの大保からは同社で進められているIBAD-PLD法によるREBCO線材が紹介された。572 A(幅10 mm)×816 mの $J_c \times L$ を達成して記録を更新したことが報告された。線材の剥離は2G線材にとって重大な問題となっているが、同社が2009年に製造した線材と2012年に製造した線材を、スタッドプル法による剥離強度で比較して大幅な改善が見られるとのことであった。マグネットに関して中心磁場5 T、室温ボア $\phi 200$ のマグネットの紹介があった。

Hyper TechのTomsicからは同社で進められている MgB_2 線材が紹介された。同社が現在販売している線材を1st generation MgB_2 と呼び、2nd generation MgB_2 を開発中とのことであった。2nd generation MgB_2 は、短尺で1st generation MgB_2 の2~4倍の J_c を持つことが報告された。マグネット応用について200~300 A/mm^2 の J_c を基準にして考えると、4.2 Kでは1st generation MgB_2 が $\sim 6 \text{ T}$ が実用的であるのに対し、2nd generation MgB_2 は8 T、9 Tとなり、20 Kでは2~2.5 Tであるのに対し、3 T、4 Tになるとのことであった。

Hyper TechのPengからは同社で進められているTube Type Nb_3Sn 線材が紹介された。同社の安価なTube Type Nb_3Sn 線材の極細多芯化を進めており、744芯のnon-Cu J_c は標準的な192芯の2300~2600 A/mm^2 (12 T)に対して1900~2200 A/mm^2 だが、交流損失は2410 mJ/cm^3 に対して1218 mJ/cm^3 であることが報告された。

NHMFLのKametaniからはBi2212線材に関する考察が紹介された。Bi2212線材の J_c が低い原因は、Bi2212が集合組織を形成せず、高傾角粒界を持つためと考えられてきたが、実際にはBi2212が熔融する際に生成する気泡が J_c の低い原因であり、現在では気泡をなくすことに成功し、高い J_c が得られているとのことであった。気泡をなくした線材にEBSDによる方位マッピングをおこなうと、Bi2212の結晶粒はc軸に配向したコロニーを形成

しており、コロニーの境界では結晶粒が曲がったり、ねじれたりして部分的に角度の小さい粒界を形成しているとのことであった。

物質・材料研究機構の坂野からは急熱急冷変態法による Nb_3Al 線材に関する研究が報告された。低磁場での不安定性を解消するためにNbマトリックスの代わりにTaマトリックスを採用しようとしているが、Taが難加工材であるため伸線中に断線する問題があり、それを解決するための、バリアがTa/Cu/Taとなる線材、部分的にNbをTaに置き換えた線材の紹介があった。ピンニングに関して、TEM観察によると、ピン力が大きいサンプルでは積層欠陥が多く、ピン力が小さいサンプルでは積層欠陥が少ないこと、3次元アトムプローブによると積層欠陥にAlが偏析していることが報告された。

(2) Large Scale and Novel Applications

株式会社フジクラ
大保 雅載
Fujikura Ltd.
M. Daibo

本セッションの発表件数は9件(日本5件、米国4件)であった。以下、講演内容を紹介する。

まず、NHMFLのLarbalestierから“The NHMFL program to develop high temperature superconducting magnet technologies”と題して、現在開発が進められているY系超伝導線材を最内層に用いた32 T高磁場マグネットの検討状況とY系線材の特性に関する報告があった。2015年前半にはマグネット製作の予定であるとのこと。また、Bi-2212については100 barの加圧熱処理(overpressure)することによりこれまでの7倍の電流密度 J_c が得られるようになり、テストコイルで31 T外部磁場中2.6 T(計33.8 T)の励磁を確認しているとのことである。

次に、京都大学の雨宮から“R&D of accelerator magnets using coated conductor”と題してY系超伝導線材を用いたFFAG加速器用のマグネット設計の検討状況、鞍型コイル形状でも良好な含浸コイルが得られている開発状況の報告があった。Y系超伝導線材を用いた伝導冷却小型ダイポールマグネットの評価も進行中とのことである。

NIMSの北口からは“Bi-2223 magnet development”と題してBi-2223系超伝導線材を用いた3 T MRIシステム開発に関する報告があった。約45 kmのBi-2223線材を用いて5組のコイルを製作し、シミング後、1.5 Tでサルの脳の画像取得に成功した。その後、3 Tでの励磁に

も成功したとのこと。本開発では世界初の高温超伝導を用いたMRI装置とのことである。

東北大学の淡路からは“Steady high field magnet development for the high magnetic field research co-laboratory network in Japan”と題して日本における次期定常強磁場施設の建設計画に関する報告があった。東北大学ではBi-2223を用いて18 T無冷媒マグネットをこの程20 Tにupgradeし、さらに、22 T、25 Tへのupgradeを計画しているとのこと。25 T無冷媒マグネットは2016年3月に完成する予定であり、高強度Nb₃Snラザフォードケーブルの開発、Y系超伝導コイル開発が要素技術とのことである。

上智大学の塚本からは“R&D of key hard technology for 20 MW class SC motor for ship propulsion”と題して日本における船舶用電気推進超伝導モータ開発に関する報告があった。講演ではBi-2223を用いた20 MW高温超伝導モータの設計例、小型で高効率の冷却システム開発例が紹介され、20 MW級の船舶用超伝導モータ設計技術が確立されつつある状況の報告があった。

オハイオ州立大のSumptionからは“Superconducting coils for application”と題してMgB₂、YBCO、Nb₃Snの線材を用いた種々のコイル開発に関する報告があった。4 Kを想定したコイルの他、ヘリウムガス冷却を想定した20 Kでのコイル開発、クエンチ特性の評価などの種々の内容の報告があった。

東大の山本からは“Understanding the route from solid-state reaction to fully-connected MgB₂ wires : self-sintered *ex-situ* & Mg+MgB₄ *in-situ*”と題して高コネクティビティ*ex-situ*法MgB₂バルク開発に関する報告があった。*ex-situ*法において900°C程度の比較的低温において自己焼結反応を活性化させてコネクティビティが改善することを確認した。さらに、原料にMgとMgB₄を用いることによって、従来の*in-situ*法によるMgB₂よりもpacking factorを約30%改善することを確認したとのことである。

フロリダ州立大学のPamidiからは“AC Loss measurements”と題してY系超伝導コイル、MgB₂線材およびコイルの交流損失に関する報告があった。講演ではBruker ESTと共同で実施しているinduction型Y系超伝導限流器のprototypeの交流損失測定結果も報告され、100 Hzで0.1 J/cycle @3 kA_{peak}と高くないことを確認したとのことである。さらに、Heガスを用いた15-20 KにおけるMgB₂コイルの交流損失測定装置もAML、Creareと共に検討中とのことである。

(3) Flux Pinning and Critical Current

東京大学大学院 工学系研究科
下山 淳一
Faculty of Engineering, The University of Tokyo
J. Shimoyama

このセッションでは6件の発表が行われた。

まず、IBAD基板上にMOCVD法で作製するCoated Conductorの高臨界電流特性化に関する研究成果がヒューストン大のSelvamanickamから報告された。BaZrO₃を生成するZr添加において新しい作製プロセス(詳細は発表されず)を採用したところ、Zrを20 mol%添加してもT_cの低下が小さくJ_cやF_pが大きく上昇し不可逆磁場が77 Kで14.8 Tに達することが示された。この値はRE123系では記録的に高いものである。九大の木須からは様々な超伝導体の実際の電流経路の走査型ホールプローブ顕微鏡を用いた評価例が微細組織観察や局所化学組成分析の結果と併せて紹介された。Bi2223線材では長尺の量産線材の、Coated Conductorではスリット加工法による電流パスの幅の変化が、SiCをドープしたMgB₂多芯線材ではMg₂Siの析出物がフィラメントのI_cの制限因子になっていることが、Fe(Se_{0.5}Te_{0.5})の熔融凝固多結晶では粒界によってはそれをまたぐJ_cが高いことがそれぞれ報告された。

テキサスA&M大のWangは、Fe₂O₃など微細な磁性ナノ粒子とFe₂O₃、CeO₂の層をPLD法Y123薄膜に導入してもT_cは90 K以上であり、J_cは65 K、自己磁場下で9.2 MA/cm²に達したことを示した。さらにFeTeやFe(Se,Te)の薄膜作製と超伝導特性についても報告し、アモルファスなガラス基板上でも強く配向した薄膜が得られることが強調された。

九工大の松本はIBAD基板上でのY123薄膜作製において、BaSnO₃ナノロッドに加えY₂O₃ナノ粒子を導入することにより、磁場中のJ_cの改善、ピン力密度が最大となる磁場の上昇、さらに低磁場下ではJ_cの磁場印加角度依存性がほぼ無くなるように制御できることを明示した。

ロスアラモス国立研究所のCivaleは、Nb-Ti、銅酸化物超伝導体、MgB₂、および鉄系超伝導体の磁束の振る舞いの違いについてその起源を、コヒーレンス長、異方性、T_cとこれらの関数であるギンツブルグ数、さらに超伝導を担うバンド構造の違いの観点から考察した。

カンサス大学のWuはY123薄膜におけるBaZrO₃ナノロッドの成長について、Y₂O₃ナノ粒子と共存しない場合のほうが速く成長すること、傾斜した単結晶基板を用いた場合にはc軸方向に伸びるのではなくスプレー状に成

長し、特に約10°以上の傾斜では ab 面方向に伸びることを紹介した。さらにナノロッド周囲に発生する歪みや臨界電流特性についても報告し、ナノロッド成長の制御による磁場中 J_c のさらなる向上の可能性を議論した。

(4) Basic Materials Science (Cuprates, MgB_2 , Fe-Based Compounds, Films, Others)

(独)物質・材料研究機構

松本 明善

National Institute for Materials Science

A. Matsumoto

Kumakura (Development of MgB_2 and (Ba(Sr),K) Fe_2As_2 wires) からは MgB_2 線材とFe系線材の2つについて報告があった。 MgB_2 線材においては拡散法によって作製した線材で高い特性が得られるようになってきていることを示した。 MgB_2 超伝導体はBの特性が大きなウェイトを占めており、SMI社のBで高い特性が得られてきた。しかしながら、SMI社のBはClが残存していることが判明した。これをキシレンで処理をすることによってClを減少させることに成功し、より高い特性が得られることを報告した。一方、鉄系線材についても1軸プレスを行うことによって4.2 K、10 Tの磁場中において高い特性が得られるようになったことを報告した。

Sumption (Development of 2nd generation MgB_2 Wires) からはAIMI (Advanced Inter Magnesium Infiltration) 線材の特性について報告があった。彼らは MgB_2 線材についてHypertech社と共同で研究を行っており、PIT線材において高い特性を達成してきた。特に今回の発表では現在、NIMSやイタリアのEdison社で行っているマグネシウム棒の周りにホウ素を配置して、マグネシウムの浸透あるいは拡散を利用した線材作製の報告を行った。その結果、 MgB_2 線材で問題となっている空隙率を減少させて高い $J_c=10^5$ A/cm²を達成した。また、AIMI線材の多芯化および100 mの長尺化についても報告があった。

Shimoyama (Determining Factors of Critical Current Properties of HTSC Materials) からは種々の超伝導体の臨界電流密度特性向上のためのコツについての報告があった。Bi線材では組成をきちんと整えることによって T_c を上げることができ、さらには酸素キャリアをオーバードープ状態にすることによって高い J_c が得られることを示した。また、鉄系線材においてもKの添加量を制御することが重要であることを示した。

Hellstrom (Studies to increase J_c in $BaFe_2As_2$ for

practical applications) からは高エネルギーボールミル装置を用いたMechanochemical self-sustained reaction (MSR) で作製した粉末を利用した $Ba122$ 線材の特性について報告を行った。MSRによってパウダー・イン・チューブ法に挿入する粉末は熱処理前にある程度反応が起こっている。このパウダーを使用した線材においては $J_c = 120$ kA/cm² (4.2 K, SF) および7 kA/cm² (15 T, 4.2 K) の高特性を示した。本報告においてはさらに(Sn, Ag, Pb) を添加した線材において $Ba122$ の特性について報告を行った。

Matsumoto (The microstructures and superconducting properties of Bi,Pb-2223 superconducting thin films) はBi,Pb-2223薄膜についての報告を行った。1990年代初頭より、Bi2223薄膜の研究がほとんど行われておらず、 J_c の更新も全くなかった。しかしながら、近年商業化が始まっているBi系高温超伝導線材のさらなる特性向上のためには同薄膜から基礎的な知見を得ることが重要であることから研究を進めている、その結果、Pbが入ったBi,Pb-2223薄膜を作製することに成功し、液体窒素温度(77 K)で1 MA/cm²級の臨界電流密度特性が得られることを示した。

Susner (MgB_2 films and doping for flux pinning) からは MgB_2 薄膜についての報告があった。薄膜作製はパルス・レーザー蒸着法PLDで行っており、XRDにおいて、 MgB_2 ができていることを確認したことを示した。この薄膜においては ZrB_2 添加を試みており、 T_c および H_{c2} が大きく低下し、組織的にも a 軸配向膜ができていたことを報告した。

(5) Search for New Superconductors

(独)産業技術総合研究所

伊豫 彰

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

A. Iyo

“Search for New Superconductor”セッションでは、日本側と米国側から4件ずつの発表が行われた。Chu (Houston大学) は、希土類をドープした $CaFe_2As_2$ 単結晶および $SrTiO_3$ 基板上にエピタキシャル成長させた数ユニットセルの $FeSe$ 試料において、それぞれ49 Kと78 Kもの高い超伝導転移温度(T_c)を検出したと報告した。ただし、超伝導体積分率が小さいことなどから、この超伝導はバルクではないとした。結晶中に存在する構造欠陥などの微少な構造が T_c の増強を引き起こしている可能性が指摘された。

Iyo (産総研)は、典型的な半金属であるアンチモン (Sb)に金 (Au)を加えた試料を高圧合成することにより、構造が単純立方晶へと変化し、最高8.1 Kの超伝導体となることを報告した。この T_c は、典型元素を主体とする二元系合金としてはPb-Bi系の8.8 Kに匹敵するほど高く、単純立方晶構造(α -Po型)の物質としては最も高い値(常圧下)である。

Kamihara (慶応大)は、ペロブスカイト型ブロック層を含む鉄系超伝導体 $\text{Sr}_4\text{V}_2\text{O}_{6-x}\text{Fe}_2\text{As}_2$ について、酸素欠損量 δ の異なる試料を作製した。その格子定数や T_c の δ を詳細に調べて、この系の電子相図を提示した。また、 SmFeAs(OH) について、その T_c のSm同位体効果係数が比較的小さな値になることが報告された。

Saha (Maryland 大)も、希土類をドーブした CaFe_2As_2 で観測される高い T_c (= 47 K)に関する発表を行った。Laドーブ試料では、低温で格子に異常は観測されないものの、Prドーブ試料では、約80 Kでcollapsed tetragonal (CT)に構造相転移し、この構造相転移温度が下がった先で、 $T_c > 40\text{ K}$ の超伝導が現れることを示した。希土類ドーブ CaFe_2As_2 試料について作製された電子相図によると、この系では磁性と超伝導の共存領域が無く、 LnFeAsO 系と類似している。

Nohara (岡山大)らは、 CaFe_2As_2 についてLaとPを共ドーブした物質 $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_2(\text{As}_{1-y}\text{P}_y)_2$ において、 $0.12 \leq x \leq 0.18$, $y = 0.06$ で、最高 $T_c = 45\text{ K}$ のバルク超伝導(大きなシールド反磁性)が現れることを報告した。 CaFe_2As_2 の反強磁性相は、わずか3%のPドーブ($y = 0.03$)で消失していることなどから、この系のバルク超伝導相は反強磁性相と隣接しておらず、むしろ結晶構造にcollapse転移が生じる境界領域で超伝導が生じている可能性が述べられた。

Zhakidov (テキサス大)らは、Low Field Microwave Absorption (LFMA)によって、希土類ドーブ CaFe_2As_2 の単結晶試料の評価を行い、低い T_c (~ 20 K)相は、高 T_c (~ 49 K)相よりも、バルク的であると結論づけた。

Takano (物材機構)は、 BiS_2 層を有する新超伝導物質に関する現状報告を行った。この物質は、 BiOCuS における超伝導を追試する過程で、Cuを抜いて合成した試料で大きな反磁性シグナルが観測されたことをきっかけとして発見に繋がったとのことである。 T_c は高圧下でのアニールによって、10.6 Kにまで上昇すること、電気抵抗が半導体的になるほど T_c が上昇するなどの特徴が示された。光電子分光をした結果、 Bi^{2+} と Bi^{3+} が存在していることなどから、この系の超伝導が電荷密度波(CDW)不安定性と関係している可能性が指摘された。

このセッションでは、希土類をドーブした CaFe_2As_2 に生じる40 K以上の超伝導がバルク的なのか、あるいは

局所的に生じているものなのかが議論になった。バルクで生じているものならば、既知の $(\text{Ba,K})\text{Fe}_2\text{As}_2$ 系の $T_c = 38\text{ K}$ よりも高いため、応用に向けて大変有望な材料になると考えられる。物理的にも大変興味深い問題であり、今後の研究の進展が期待される。また、 BiS_2 層を有する新物質については、その超伝導機構の解明や物質バリエーションの増加によるさらなる T_c の上昇を期待したい。

(6) Energy-related Applications and Technologies

住友電気工業株式会社
稲垣 芳宏

Sumitomo Electric Industries Ltd.
Y. Inagaki

2013年7月9日~12日にて米国オハイオ州デイトンにあるUniversity of Dayton Research Instituteにて実施された16th US-Japan Workshop on Advanced Superconductors (第16回日米先進超電導ワークショップ)の中で、11日に行われたセッション6 “Energy-related Applications and Technologies”につき報告する。

著者が担当してきた業務では超電導線材として1G線であるBi系と2G線であるY系を使用している為、今回の会議において MgB_2 に関する報告が基礎研究から応用製品に至るまで多数あったことは新鮮に感じた。今回の会議において MgB_2 は超電導となる温度がBi系やY系よりも低い代わりに線材そのものの生産コストが低く、冷凍機的能力増加分を加味してもシステム全体では低コストで製造できるということが主張項目として挙げられていた。

本報告に記載したセッション6は超電導線材を使用した、又は関連する内容についての報告が8件あり、ケーブル、冷凍機、SMES、航空機とその内容も多岐にわたっていた。著者も現在東京電力旭変電所内で実施している超電導ケーブルシステムについてのこれまでの進捗状況について報告した。報告に対する質問事項として短絡電流通電後の温度上昇の際の対応(10 kAまでであれば継続運転、31.5 kAまでであれば再冷却後に運転)や端末構造、総事業費、ロスが挙げられた。

コストや効率に関する内容は著者の報告に対する質問だけではなく、他の報告に対する質問においてもあり、超電導の実用化に向けての競争が激しくなってきたと感じた。その他本セッションにおいて実施された報告の概要を紹介する。

Massachusetts Inst. Technology のBrombergは冷凍

機の2段冷却についてを報告しており、例えば55 Kのみの冷凍機を使用するよりも間に140 Kの冷凍機を挟むことで冷凍機の効率を上げるものである。実際の試験は5 kA@50 Kにてこれから実施される予定であるとのことであった。それと並行して2G線材及びMgB₂線材(@20 K)を用いてのDCリジットバイポールケーブルを試作し10月より運転を開始する予定であり、最終的には300 m、5 kV / 1 kAのDCケーブルを目標としている。

Tai-Yang Research Inc.のReyより小規模会社の超電導への参入としてHTS Thin Film coilやSMESプロジェクトへの参画について紹介があった。本件のコストに関しての質問があり、顧客が考えるのは1番目が性能、2番目がコストで、初期コストでは既製品には及ばないが、生涯コストでは勝負可能との回答があった。顧客の一つである軍は初期コストではなく、生涯コストで評価することであった。

SMESに関してはBrookhaven National Labが2G線材を用いての20 kW/2.5 MJを、State University of New York at Buffaloは800 kWのSEMSを重ねることで20 MW程度まで可能であることが示唆された。こちらでもコストの話になるとMgB₂系が冷凍機の費用を含めても有利であるとの認識が示された。

今回のホストであり、会議の運営からツアーの案内まで多方面に渡りお世話になったAir Force Research LaboratoryのHauganより航空機の燃料タンクの一部をSMESに置き換えることによる燃料費コストの低減効果について報告があった。燃料費を削減する内容であった。具体的にはボーイング社最新鋭のB787-9型機をモデルに現行方法であるジェット燃料のみを使用した場合と一部を超電導 SMES化した場合とでの比較では乗客1人当たりでの燃費が約1/3となるとのことであった。その反面、燃料タンクの一部をSMESに置き換える為、ボーイング787型機の売りである航続距離が短くなる点が課題と感じた。これに関しては、航空機の仕様(ハイブリッドとオール電化等)によって結果も異なるとの見解であった。

先述の質問内容にもある通り、超電導として今後実用化につなげる為にはコストと効率をいかに高めて需要家にアピールできるかがポイントであると改めて感じた。



図1 ホテルから望む会場

<会議報告 3>

MT-23 会議報告 Report on MT-23

(独)物質・材料研究機構
伴野 信哉

National Institute for Materials Science
N. Banno

7月14日から19日にかけて、ボストンにてInternational Conference on Magnet Technology (MT-23) 開催された。1000名ほどの登録者があった。ボストンは初期の移住者の町であり、ヨーロッパの古い都市のような雰囲気がある(図1)。その一方で保守的でちょっと排他的なところもあるのだそう。ボストンでは魚人類が人気であり、本会議のバンケットでもロブスターが各人に丸々一匹供され、その味を大いに楽しんだ。天候もよく、この季節としては10°Cくらい気温が高かったとの話を耳にした。ITERの建設も着々と進んでおり、本会議でも活発な議論が行われた。筆者は主に強磁場用超伝導線材の開発に携わっているため、ここでは、線材開発、核融合炉に関連して、線材開発者の目からみて興味深かった発表について幾つか紹介したい。

初日のプレナリーにて「ITERからDEMOへの核融合マグネット」と題した発表がNeilson (Princeton Plasma Physics Lab.)よりあった。ITERに関わるマグネット性能の推移や各国の開発状況などを把握することができた。最近あちこちでCS導体の安定性マージン T_{cs} の低下が取り挙げられているが、本発表でもそのことが述べられ、ツイストピッチの低減によって T_{cs} の向上が見られたことが報告された。後半ではDEMO炉に向けた課題やスケジュールについて述べられた。DEMO炉に関わる課題は、プラズマ放出時の安全性、プラズマの定常維持、発電、実証試験、コストであると述べられ、特にプラズマ放

出時の安全性(ELMsの抑制など)が大きな課題であることが強調されていた。プラズマ定常維持に関してはトカマク炉のEAST(中国)、KSTAR(韓国)、JT-60SA(日本)の開発が進んでおり、3DタイプではLHD(日本)、W7-X(ドイツ)の開発が進められている。W7-Xでは2010年にすべてのコイルが搬入された。またシステムの自由度向上などのメリットから高温酸化物導体の可能性についても述べられた。テープ形状の線材をどう大容量導体化するかが目下の課題であり、EU内での導体化に関する取り組みが紹介された。2020年頃からDEMO decisionを行うとしている。

DEMO炉に向けた概念設計に関しては中国(CFETR)、韓国(K-DEMO)から報告があった。現段階での設計としてCFETRではTF中心磁場で5T、K-DEMOは最大経験磁場で12~16Tの設計が発表されていた。EUでは、オプションが限られているせいか核融合炉用としてのRE系導体の発表が多い印象であった。導体構成としては主にROEBEL、テープ線材を重ねて撚った構造、テープ線材を5回対称に配置して撚った構造が提案されている。ITER用導体の開発状況についてはDevred(ITER機構)から報告された。TF、CS、PFコイル用線材は日本を含む関係国で分担されており、このうちTF用線材はEAS(EU)、ChMP(ロシア)、SHカップパー、Jastec、KAT(韓国)、Luvata(US)、OST(EU&US)、WST(中国)から供給されている。これまでに必要な全体量の約90%である420トン(84,000 km)のNb₃Sn線材が製作済みである。また各国(日本、中国、ロシア、EU、US)のジャケッティングライン(800-1000 m)についても紹介され、すでにrDP(regular dipole)として760 m 45本、sDP(side DP)として415 m 20本が製作されている。TFコイル9つ分に相当する。さらにCS導体の性能評価結果についても報告があり、ここでもSULTAN試験を通じてツイストピッチの低減によるI_c低下抑制の効果が見られたことが報告された。ケーブル劣化の要因についてはJAEAで調査が進められており、IT線材はフィラメント領域において大きな損傷が見られること、一方ブロンズ法線材はフィラメント領域の変形がかなり少ないことが報告された。

ITER用線材に関してOSTから報告があった。作製された線材は、J_cで900~1300 A/mm²、ヒステリシス損(±3 T)で500 mJ/cm³を示しており、TF導体の要求性能を十分満足している。J_cとヒステリシス損はトレードオフの関係にあり、これまで芯径70 μm以上では高いJ_c特性(12 Tで2900 A/mm²)を示す一方、45 μm以下では高いJ_cを維持できなかつたが、Ta添加をTi添加に変え、Nb/Snの割合を増加し、バリア厚を増加させることで、芯径45 μm以下でも、RRRを100以上維持しながら高いJ_c

が維持できることが報告された。

またEFDAが取り纏めているトカマクデモ炉の設計についてEPFL-CRPPのBruzzoneより報告があったことも興味深かった。主半径はITER実験炉を大きく上回る約9 mで、2030年に概念設計を終えて建設を開始するとしている。2045-2050年頃に500 MW程度の出力を目指すという。プラズマ電流14 MA、トロイダルフィールド6.8 T、主半径9 m程度のものを想定すると、TFコイルの要求設計としてコイル数が16、高さが8 mほど、TFコイル電流は19.1 MA、1コイルあたり蓄積エネルギーが9.06 GJなどの設計値となることが報告された。TF導体の通電条件は82.4 kA / 13.6 Tとしており、Nb₃SnおよびNbTi線材を使ってR&WとW&Rの二つのオプションが提案されている。R&Wの場合、TFコイルの曲率半径を3.52 mとすると、最適な導体熱処理径は14 mとなりその時の曲げ歪みは±0.085%になるとのことであった。その他デモ炉に関してはカールスルーエからも発表があり、RE系HTSを導体候補として検討している。



図1 会場となったWESTINホテル(左)と図書館(右)

<会議報告 4>

EUCAS2013 会議報告 Report on the EUCAS2013

(1) Materials

東京大学大学院 工学系研究科
下山 淳一
(独)産業技術総合研究所
伊豫 彰

Faculty of Engineering, The University of Tokyo

J. Shimoyama

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

A. Iyo

応用関連の発表との完全な分類が難しいものの超伝導線材作製に関する報告は約120件、そのほぼ半数がRE123のCoated Conductorであった。このほか、欧州で活発なMgB₂線材が約30件、Nb₃Sn、Bi2212、鉄系の線材がそれぞれ約10件で、Bi2223線材は1件のみであった。なお、Coated ConductorやBi2223、MgB₂は長尺線材が量産されていることもありコイルやケーブルのセッションでの発表が増えている。

Coated Conductorではピンニングサイトとなる微細な析出物導入に関する報告が相変わらず多く、Nb₃SnについてはITER絡みの研究成果が、Bi2212は主に米国の高磁場発生磁石用丸線開発経過が報告されたが、驚くような新技術や特性の進展などは無かったようである。Bi2223線材の発表はYamazaki(住友電工)らによるもので、500 MPa以上に引っ張り強度を高めた線材が来春デビューする予定であることが注目されていた。なお、学会3日目の夕方には“Representative device builder points of view”, “Representative manufacturer points of view”と題した準パネルディスカッション形式のセッションが合わせて3時間弱行われた。後半が線材に関するもので、Bi2223、Coated Conductor、Bi2212、MgB₂の実用線材の開発の現状と今後の展望について、それぞれを製造している代表的な企業から紹介とそれら個々に関する議論が繰り広げられた。Bi2223、Coated Conductorに関しては似たような議論の機会(電気学会、電力エネルギーフォーラム)が横浜でこの1月に開催されたが、新しい超伝導線材の性能、生産力などの相互比較は、これらを用いた超伝導機器・設備開発を進めるうえで重要な情報であり、このような機会は今後も時折開催されるべきと思う。

さて、鉄系超伝導体の線材開発は未だ基礎的な段階ではあるが、この2年ほど122相(ドーブされたAEFe₂As₂: AE = Sr, Ba)のパウダーインチューブ法による金属シース線材が急速な進展を見せている。今回はこの線材の臨界電流特性の記録を交互に更新してきた3研究機関の発表が揃った。Weiss(米国国立強磁場研究所)らは、(Ba,K)Fe₂As₂の銅シース線材(Ag内張り)の作製と特性を報告した。このグループの線材の特徴は丸線であることと、強力ボールミル混合を経た低温加圧焼成を採用していることで、均質で粒径が細かく緻密な超伝導層が形成されている。残念ながら今回は臨界電流特性の改善の報告は無かったが、丸線としての最高のJ_c(4.2 K, 10 T で約1×10⁴ A cm⁻²)を維持している。Ma(中国科学技術院)らは、一貫してFeシースの(Sr,K)Fe₂As₂の開発を進めており、Sn添加と圧延でテープ形状にすることによって配向組織を形成していることが特徴である。今回は122相の純度を高めた結果、4.2 K, 10 TのJ_cが3×10⁴ A cm⁻²に達したことが報告され、これは彼らの従来値の2倍弱にあたる。さらにGao(物質・材料研究機構)らは、銀シース(Ba,K)Fe₂As₂テープ線材において焼成前に2 GPaの一軸プレスにより緻密化を進めることによって、4.2 K, 10 TのJ_cを約7×10⁴ A cm⁻²に高めたことを報告した。臨界電流も100 A以上である。今年に入ってからこの条件でのJ_cの最高記録は約4倍上昇したことになり、今後の順調な更新と長尺化の目処が立てば新しい高磁場発生用超伝導線材としてより注目されることになる。

このほかバルク磁石開発に関する発表は10件余あり、RE123バルク、MgB₂バルクについて、作製法や臨界電流特性、捕捉磁場などに堅実な進展が認められた。

一方、新物質、新組成の超伝導に関する発表が注目を集め、その多くは以下に報告する鉄系超伝導体であった。Karpinski (EPF Lausanne) らは、化学式Ln₄Fe₂As₂Te_{1-x}O₄ (Ln = Pr, Sm, Gd) で記述される新物質の単結晶を高圧下で合成した。1111構造のLnFeAsO系ではFeAs層間にあるLnO層は1枚であるが、この新物質にはFeAs層間に2枚のLnO層があり、さらにLnO層間にTe欠損層がインターカレートしたような結晶構造である。T_cは、Fをドーピングすることにより最大45 Kまで上昇した。Shlyk (Stuttgart 大学) らは、1111構造CaFeAsFのCaサイトの11%をNaに置換(ホールドーピング)することにより、超伝導化に成功した。T_cは、122構造の(Ca,Na)Fe₂As₂の最高値とほぼ同じ34.5 Kである。ただし、結晶構造を反映して(Ca,Na)FeAsFの方が、(Ca,Na)Fe₂As₂より異方性が高いとのことである。以上の2種類の新物質は、ニクトゲン(As)とカルコゲン(Te)が同時に結晶内に存在する初めての鉄系超伝導体で

あったり、1111構造では初めてのホールドープ系超伝導体であったりするなど新規性があることから、関連物質の探索による新物質発見が今後期待される。

Matsuishi (東工大)らは、1111構造の $\text{SmFeAs}_{1-y}\text{P}_y\text{O}_{1-x}\text{H}_x$ について、超伝導相図を詳細に調べ、 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$ において観測されたような超伝導のtwo-dome構造が組成 $y = 0.4 - 0.5$ で現れることを報告した。この超伝導domeの分裂は、La、Pr系に共通して $x \sim 0.16$ 、As-Fe-Asボンド角 $\alpha \sim 112.6^\circ$ 付近で生じることを示した。また、このtwo-dome構造の出現には、フェルミ面の複数のネスティングが関係していると指摘した。

基調講演において、Wen (南京大学)は、低異方性による磁束揺らぎの抑制、短いコヒーレンス長による高 H_{c2} 、良好なcollective pinning特性、磁化のセカンドピークが存在などの鉄系超伝導体の持つ特徴が、高磁場での応用に有利であることを示した。Shimoyama (東京大学)も、鉄系が高磁場応用において高いポテンシャルを持つことを示した。一方で、 T_c や格子定数を揃えた試料であっても J_c 特性がばらつくことなどから、銅酸化物が今なおそうであるように、その要因を理解するために化学組成の精密な制御が鉄系でも重要であることを指摘した。

ポスターセッションでは、全体で645件の発表が行われた。その中で、Materialsに分類されたのは196件であった。さらにその中の約半数以上の105件が鉄系超伝導体関連の発表であった。鉄ヒ素系超伝導体が報告されて約5年以上が経過し、基礎研究だけでなく応用研究も本格化してきていることを感じた。上述のように122構造の材料を使った金属シース線材では、臨界電流値が急激に上昇している。また、様々な基板を用いた良質な薄膜作製の報告も相次いだ。新物質開発は一段落したかのように思っていたが、まだまだ新物質探索の余地が十分あることもわかった。今後、鉄系材料のより精密な組成制御、合成条件の最適化、物性の理解などによって応用に必用な特性が一段と向上することを期待したい。



写真：会議場から見たGenovaの景色

(2) Electronics

産業技術総合研究所
前澤 正明
AIST
M. Maezawa

European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS)は2年毎にヨーロッパで開催される国際会議である。材料、線材、大規模応用、エレクトロニクスなど広い範囲をカバーする超伝導応用分野の最大の会議の一つである。前回は2011年に超伝導発見100年を記念してISECとICMCとの合同開催であった。2年後の今回は11回目であり、9月15日から19日にかけてイタリアのジェノバで開催された。エレクトロニクス分野を中心にEUCAS2013の概要を報告する。

エレクトロニクスに直接関連する2件のプレナリー講演があった。イタリアのG. L. Romani教授の講演(2PL02:プログラム番号、以下同様)では、脳科学・医学におけるSQUIDの利用が紹介された。超低磁場MRIの進歩による脳イメージングへの期待、機能的MRI (fMRI)と脳磁計(MEG)の組み合わせによる脳機能解析の実例などが示された。ただ、将来は他のデバイスがSQUIDにとってかわるのではないかとコメントもあった。超伝導エレクトロニクスの市場を維持・拡大するためにも研究開発の不断努力が重要であろう。オランダのH. Hilgenkamp教授は、最近話題のトポロジカル超伝導体のエレクトロニクス応用について講演した(3PL01)。冒頭から聴講したが勉強不足の筆者にはよく理解できなかった。おそらく物理学者には興味深い最先端のテーマなのであろうが、デバイス・回路に応用するにはあまりに複雑すぎるように思う。科学者と工学屋の間の深い谷をあらためて実感した。

一般講演は、6個のオールセッションと3個のポスターセッションがあった。最近のトレンドを反映し、全体的にSQUID、単一光子検出器、テラヘルツ検出器などのセンサー・検出器応用の発表が多かった。特に、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器(SSPDもしくはSNSPD)関連の発表が急増しているように感じた。基礎科学を大切にするヨーロッパの伝統か、素粒子物理や電波天文のためのデバイス、あるいはデバイス物理の基礎に関する(ややマニアックな)発表が目立っていた。また、数年前に盛んだった量子計算関連の発表は少なくなっていた。以下、個人的興味で恐縮であるが印象に残った発表を簡単に紹介する。

超伝導回路作製プロセスに関しては、ヨーロッパのファンダリーを担うドイツのIPHT Jenaの進展が目を惹い

た。IPHTのKunertのポスター発表(1P-EL1-17)では、層間絶縁層を蒸着SiO膜からプラズマCVD SiO₂膜へ変更することによる信頼性向上が報告された。ドイツのCiS社のT. Ortlepp氏の招待講演(2A-EL-I1)では、超伝導ナノワイヤ検出器の出力読み出し回路の新方式が提案された。読み出し回路とバイアス回路を一体化し、検出器への負帰還バイアス供給を実現することが鍵である。従来方式で問題であった50オーム終端抵抗の発熱を排除し、動作安定化や多チャンネル化が期待できる。SQUID研究が盛んな台湾からはMagQu社のYangのオーラル講演(3A-EL-O2)で、高温超伝導SQUIDを用いた血液診断によるアルツハイマー症検診の可能性が発表された。実験から、高確率でアルツハイマー発症が検出できるとの報告であった。イスラエルのWITのEmbonのオーラル講演(3A-EL-O9)では、単電子スピンの観測を目標とするナノSQUIDが報告された。直径100 nm程度に尖らせたガラス管の先端に鉛薄膜を蒸着して極微小SQUIDを形成している。単一スピン観測には至っていないが、1ミクロン以下の空間分解能など基本動作を示した。

EUCASでは毎回各分野で優れた発表をした若手研究者に賞を与えている。今回からエレクトロニクス分野の賞は、「ジョセフソン効果の物理と応用」の著者として知られ2011年末に逝去したAntonio Barone先生の名を冠することとなった。栄えある受賞者は、YBCOを用いた並列型ナノワイヤ検出器について発表したチャルマース工科大のArpaiaであった。また、16日午後のオーラルセッション(1AEL: Junctions and Squids)はBarone先生に捧げられたものであった。学生のころからBarone先生の著書にはとても助けられてきた。早すぎる逝去が惜しまれる。

主催者から発表された総参加者数は1055名であった。EUCASの恒例ではあるが国別では今回も日本から173名が参加し、開催国イタリアの155名を抑えて首位であった。また、最近の経済情勢を反映してか、中国やブラジルなど新興国からの参加が急増していた。

次回2015年はフランスのリヨン、次々回2017年はイスのジュネーブで開催予定である。いずれも魅力的な場所(もちろん会議に参加して議論を行うために)であり、カメラ・・・ではなくてポスターケースをぶら下げた日本人研究者が大挙して参加することであろう。

Alex Muller先生が杖をつきながらも健やかな姿を会場に現していたことを報告して本稿を終える。

(3) Large Scale

公益財団法人鉄道総合技術研究所
荒井 有気
Railway Technical Research Institute
Y. Arai

EUCAS 2013(11th European Conference on Applied Superconductivity)は、2013年9月15日から19日に掛けてイタリアのジェノバで開催された。Porto Antico(「古い港」の意)にある会議場(写真参照)で行われ、講演の合間には、港に出入りする大型客船などを眺めることができた。初日のWelcome Cocktailの間こそ、激しい雷雨に見舞われたが、その後は晴天に恵まれ、気温も涼しく、会議を開催するのに絶好の季節であった。事務局発表の総参加者数は1,055名で、日本が最多の173名、次いで開催国イタリアの155名、ドイツ120名、アメリカ73名、ロシア56名と続く。

Large Scaleの分野では、オーラル47件、ポスター148件の合計195件であった。このうち、最多は日本の34件、次いでドイツとロシアの18件だった。以下、韓国(16件)、中国(15件)、イギリス(13件)、スイス(13件)、アメリカ(10件)となっている(筆者調べ)。オーラル発表では、Large Scale分野ではRoom Sciroccoという部屋を使用していた。座席はおよそ120人ほど用意されていたが、ほとんどの講演で立ち見が出るほどの盛況さであった。ポスター発表では、全分野の発表がExhibition Areaにて3日に分けて行われたが、いずれの日も往來が困難なほどの人出となり、こちらも活発に意見交換がなされた。

ロシアが参加者とともに発表件数も多く、また、増加傾向を示しており、この国での超伝導研究が活性化していることが肌で感じられた。このうち、Moscow Aviation InstituteのKovalevらは2G線材を用いた風力発電用の1 MW同期発電機を目指し、スケールモデルを製作し、35 Kと室温とのヒートサイクルによっても劣化がないことを報告している。また、彼らは永久磁石と超伝導バルク体を組合せた超伝導フライホイールについても開発しており、100 kgの鋼製ロータによる0.5 MJ蓄積に成功している。今後は解析等に基づき、500 kgのガラス繊維ロータとすることで、5 MJへのスケールアップを計画しているとのことである。

超伝導フライホイールについては、鉄道総研の荒井らからも報告した。これはBi系線材を用いたコイルの磁場と、超伝導バルク体の反磁性の組合せを用いた支持方式であり、小型試験装置では剛体モードを超えた3000 rpmの回転を実証した。一方、実規模荷重試験装

置では、最大6トン以上の電磁力を発生しながら、非接触浮上および非接触回転を実証したことを報告した。

ATZ (Adelwitz Technologiezentrum) のWerfelらは、2G線材による超電導コイルと超電導バルク体を組合せたフライホイール軸受を解析により示し、従来彼らが用いていた永久磁石と超電導バルク体の組合せよりも数倍の荷重を受け持つことができることを報告した。超電導コイルは伝導冷却による50 K運転、ロータとなるバルク体は液体窒素冷却とのことである。回転しつつ供給する機構が肝となるだろう。

Power Gridへの適用としては、Nexans Super ConductorsのHoblらから報告のあった、ドイツEssen市でのAmpaCityプロジェクトがまず挙げられる。これは、Essen市にある2つの変電所間を超電導限流器(SFCL)を介して1 kmのBi系ケーブルでつなぐものである。SFCLについては、in-gridで実証が進み、1.4 kAでの損失が、3相計で約1 kWだったとのことである。また、イタリア初となるSFCLについては、Ricerca sul Sistema EnergeticoのMartiniらからBi系線材にて、9kV-3.4 MVAを1年以上に渡って問題なく運用しており、12 kV-220Aの目標に向けてアップグレードを予定しているとの報告があった。この他、中国のInnopowerのXinらからは天津市での200 kV-300 MVA SFCLが3年以内には導入の上、成否が結論付けられるだろうとの報告、オランダのTechnical University of DelftのZuijderduinらからはオランダに超電導ケーブルを導入するときのシナリオについて検討した結果についての発表などがあり、各国で導入に向けて検討が加速しているとの印象を受けた。日本からは、住友電工のWatanabeらから旭変電所について、古河電工のYagiらからは中国の瀋陽についての報告があった。これらについては、それぞれ本誌No.136トピックス1、No.138トピックス1に詳説されている。

Nexans FranceのBruzekらからは、船舶内の発電機とモータをつなぐ超電導ケーブルについての報告があった。出力5 MW以上の船舶では、 $\phi 20$ mmのケーブルを50本用いて送電しているが、これを超電導ケーブルを用いると $\phi 60$ mmが1本で済む。また、LNGタンカーだと、冷温があるので有利だとのことである。これについて、 MgB_2 を線材として選択し、実証をしたとのことである。

ユニークな例としては、INFN-GenovaのMusenichらからは、火星探査機の宇宙船を超電導線によるコイルで囲み、宇宙線を反らす検討が示された。固体水素を冷媒源とし、線材はTiクラッドの MgB_2 が候補だそうである。重量等、制約が多い宇宙空間ではあるが、超電導でなければ成し得ない効果と思われるので、期待したい。



写真 EUCAS 2013会場および周辺の様子

＜研究室紹介＞

(1) 岩手大学工学部材料工学科 藤代・内藤研究室

Department of Materials Science and Engineering, Iwate University
Fujishiro-Naito Laboratory

1) 研究室の概略

岩手大学工学部材料工学科の藤代・内藤研究室は、藤代博之教授と内藤智之助教の教員2名と、学部卒業生8名、博士前期課程大学院生6名が現在在籍し、機能性酸化物材料、特に超伝導材料の開発、評価技術、及び応用技術の研究を行っています。材料工学科の性格上、配属学生には必ず材料作製のセンスを身につけさせ、将来様々な材料を扱うことが出来る研究者・技術者の育成を心がけています。

2) 研究の特徴と最近の研究成果

2-1 低温における熱伝導率、熱拡散率、熱膨張率の精密測定

超伝導材料や種々の低温材料(金属、セラミックス、有機化合物)の、極低温(8~300 K)・強磁場(0~10 T)下における熱的安定性や侵入熱評価・設計に必要な熱物性値(熱伝導率、熱拡散率、熱膨張率、接触熱抵抗など)の精密測定を行うノウハウと装置を有しています [1]。これらの正確な熱的特性評価を行える研究機関が国内では少なく、国内外の低温・超伝導研究グループや企業との共同研究を実施しています。これまでの成果の1つである「バルク超伝導体の熱的特性のデータベース」を公開しています [2]。

2-2 GdBCO バルク超伝導体の着磁とバルク磁石の産業応用

REBaCuO系超伝導バルク(RE:希土類元素またはY)は、REBa₂Cu₃O₇ (RE123) 超伝導体の疑似単結晶中に磁束ピン止め中心となる非超伝導相 RE₂BaCuO₅ (RE211) やAgなどの第2相粒子が微細分散した複合材料であり、磁束を捕捉させることでNd-Fe-B磁石の10倍以上強力な超伝導バルク磁石を実現できます。超伝導バルクを磁化(着磁)する方法には、一般的な磁場中冷却着磁法(FCM)の他に、パルス着磁法(PFM)があり、本研究室ではPFM法による着磁メカニズムの解明と捕捉磁場の向上について研究を行ってきました。その結果、PFMにおける温度上昇の低減が捕捉磁場を向上させるカギであることが明らかになり、バルク温度 T_s と印加磁場 B_{ex} を最適化する2段階着磁法(MMPSC法)を提案し、2005年にGdBaCuO系バルク(直径45 mm, 厚さ20 mm)表面で $B_T=5.20$ TのPFMでは世界最高の捕捉磁場を実現しました [3]。さらにPFMの着磁現象をシミュレーションにより再現し、磁束侵入と温度変化の関係を明らかにしてきました [4]。また、真空容器表面で2 T以上の磁場を発生する複数個のバルク磁石装置を開発し、環境浄化用磁気分離、ドラッグデリバリーシステム(DDS)、有機半導体薄膜の液相成長などの応用研究に活用しています。

2-3 MgB₂バルクの作製と捕捉磁場及び磁場シールド特性

2000年に発見された金属系超伝導体 MgB₂は、主に線材への応用が盛んに研究されていますが、本研究室ではコヒーレンス長が長い利点を生かして焼結体多結晶バルクを様々な方法で作製し、強磁場の捕捉を研究しています。独自のMgB₂作製法としてカプセル法を提案し [5]、2013年9月現在で、FCM法により直径38 mmのバルクで、1.77 T (at 16 K) の磁場捕捉を達成しています。また、高圧合成(HIP法)により26 mmのバルクにおいて、2.51 T (at 17 K)を達成しました。ピン止め中心の導入により、さらなる捕捉磁場と磁気シールド特性の向上を目指しています。PFMによるMgB₂バルクに対する着磁の研究も進展しており、将来の液体水素社会で実現できるレアアースフリーの風力発電機への応用を目指しています。

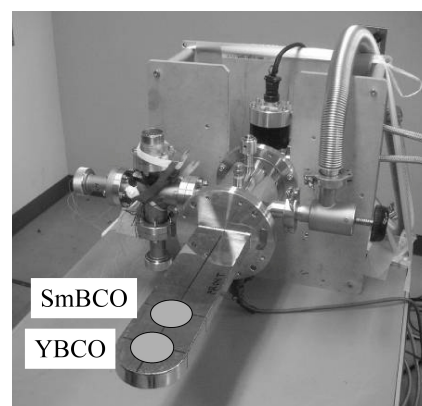


図 卓上型2連超伝導バルク磁石装置

2-4 REBCO 系超伝導線材の熱的評価

Bi2223系やY系超伝導線材の実用化のための熱伝導率、熱拡散率、熱膨張率の評価を企業との共同研究で行っています [6]。これらの線材は超伝導体の結晶異方性と構造の異方性のために、熱的特性も異方性が大きく、各方向の物性値を正しく評価することは応用上重要であり、超伝導機器の設計に貢献しています。

3) 連絡先、ホームページアドレス

〒020-8551 盛岡市上田4丁目3-5

岩手大学工学部マテリアル工学科

教授 藤代 博之

E-mail: fujishiro@iwate-u.ac.jp TEL: 019-621-6363

URL: <http://ikebehp.mat.iwate-u.ac.jp/>

4) 代表的な論文・解説と関連サイト

[1] 藤代博之ほか、低温工学, **28** (1993), 533

[2] <http://ikebehp.mat.iwate-u.ac.jp/database.html>

[3] H. Fujishiro, T. Tateiwa, A. Fujiwara, T. Oka and H. Hayashi, Physica C 445-448 (2006) 334

[4] H. Fujishiro and T. Naito, Supercond. Sci. Technol. 23 (2010) 105021

[5] T. Naito, T. Sasaki and H. Fujishiro, Supercond. Sci. Technol. 25 (2012) 095012

[6] T. Naito, H. Fujishiro and Y. Yamada, Physica C **470** (2010) 1397

(2) (独)情報通信研究機構 未来 ICT 研究所

ナノ ICT 研究室 超伝導デバイスグループ

National Institute of Information and Communications Technology (NICT),
Advanced ICT Research Institute, Nano ICT Laboratory, Superconducting Device Group

(1) 研究スタッフ(H25年9月現在)

研究マネージャー: 寺井弘高

主任研究員: 川上彰、三木茂人、山下太郎

有期研究員・技術員: 牧瀬圭正、丘偉、梶野顕明、今村三郎、五月女誠

研修生: 堀川隼世(茨城大)、和木健太郎(阪大)、孫鋭、劉登寛(SIMIT)

秘書: 高木佳寿代、渦岡美佐

(2) 研究室の簡単な紹介

独立行政法人 情報通信研究機構(NICT) ナノICT研究室 超伝導デバイスグループは、1991年にNICTにおける基礎研究の拠点として神戸市西区に設立された関西先端研究センター(現未来ICT研究所)の1研究室としてスタートしました。窒化物系超伝導材料(NbN、NbTiNなど)の高品質薄膜化技術をコアとして、高感度光子検出器や省エネルギー情報処理技術、テラヘルツ受信機、超伝導量子ビット等の研究開発に取り組んでいます。

(3) 特徴ある装置

高品質窒化物超伝導薄膜を成膜するための各種成膜装置を取りそろえています。特に、8インチの大口径ターゲットを有するスパッタ装置は、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器(SSPD: Superconducting Nanowire Single-Photon Detector)用の高品質極薄膜(~5 nm)やエピタキシャルNbN/AlN/NbN接合の作製に不可欠となっています。また、加速電圧125 kVの電子線描画装置、i線ステップ、反応性エッチング(RIE)など、超伝導デバイス作製に不可欠な各種装置を取り揃えています。

また、デバイス評価においては、到達温度 2.2 K の小型 GM 冷凍機、到達温度 300 mK 無冷媒 He₃ 冷凍機、到達温度 20 mK 以下の希釈冷凍機を取り揃えており、極低温での光子検出器評価および高速回路測定環境が整備されています。

(4) これまでの成果と最近のトピックス

これまで、通信波長帯 (1550 nm) に感度を持つ SSPD システムを開発し (図1)、東京量子鍵配送 (QKD) ネットワークで NTT や NEC が開発する QKD システムに搭載され、システム実証実験の成功に貢献しています。また、東京大学や大阪大学で行われている量子光学基礎実験でも我々が開発した SSPD システムが活躍しています。我々のグループで開発した SSPD の検出効率は、現在暗計数率 40 カウント/秒で 80% に達しています。また、SSPD の特長として、高検出効率、低暗計数率に加えて、高計数率が挙げられますが、多ピクセル化して各々の受光面積を小型化することで、さらに高計数率化を図ることが可能です。NICT で開発を進めている超伝導単一磁束量子 (SFQ) 回路は、極低温環境で超高速・超低消費電力な動作が可能であり、多ピクセル SSPD の極低温信号処理に適しています。我々のグループでは、これまでに 4 ピクセル SSPD アレイと SFQ 回路を小型 GM 冷凍機に実装し (図2)、完全動作を実証することに成功しています。SSPD と SFQ 回路という 2 つのデバイス技術を有する研究室は世界的にも NICT だけで、この強みを活かした独自の光子検出技術を今後も開発していきたいと考えています。

これまで通信波長帯で SSPD の開発を進めてきましたが、今後は可視波長帯をはじめとする幅広い波長帯でも高感度化を図っていききたいと考えています。現在 1 μm 以下の波長帯で幅広く使われている半導体アパランシェ・フォトダイオード (APD) はアフターパルスと呼ばれるノイズがありますが、アフターパルス・フリーで動作する SSPD は、高感度化に成功すれば、高計数率や低ジッタといった特長をあわせて、1 μm 以下の波長帯でも APD に対して十分な優位性があります。バイオ・医療、標準、計測など幅広い分野での応用展開が期待されます。

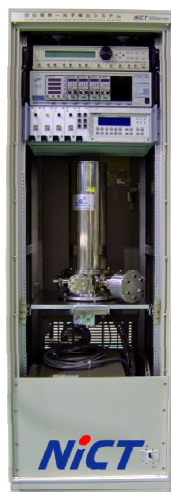


図1 SSPDシステム

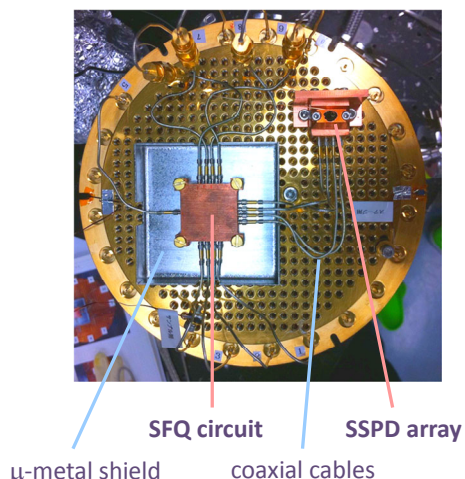


図2 4ピクセルSSPDアレイ

(5) 連絡先、ホームページアドレス

寺井弘高

E-mail: terai@nict.go.jp

TEL: 078-969-2191

http://www2.nict.go.jp/advanced_ict/nano/102/

(3) 名古屋大学 大学院 工学研究科 エネルギー理工学専攻(電子情報システム併担) 吉田研究室 (エネルギーデバイス工学講座)

YOSHIDA Laboratory, Department of Energy Engineering and Science,
Graduate School of Engineering, NAGOYA University

エネルギー・環境産業への大規模投資によって、新しいエネルギーネットワーク社会が構築されつつある。最近では太陽光・風力などの再生可能エネルギー源、IT技術を用いたスマートグリッド技術、高性能バッテリーを搭載したプラグインハイブリッドカー (PHEV) など、環境にやさしい高効率なエネルギー材料が求められている。

このような環境エネルギー技術開発の中で我々は高効率エネルギー利用技術である「超伝導材料技術」および環

境調和型エネルギー材料である「熱電変換材料技術」を中心とし、これらの技術融合などによる「最先端環境・エネルギー材料技術の構築」を図る。我々の研究室は、上記の研究を通してエネルギーの有効利用、希少金属代替技術や低炭素化社会の構築をめざして、地球環境保護という大きな問題に取り組んでいる。

「超伝導技術」は高効率大電流送電および高性能電力貯蔵にむけたエネルギー技術と期待されている。さらに、実用化が見えてきた磁気浮上鉄道などに応用される超伝導マグネット技術も着実に推進して必要がある。また「熱電変換技術」は熱を電気に、電気を熱に変換する環境に優しいクリーンな熱電変換技術の幅広い活用をめざして研究開発を行っている。

(1) 研究室スタッフ／ 教授 吉田 隆、准教授 一野祐亮、
博士課程後期課程及び前期課程学 10名、学部学生 4名

(2) 研究テーマ

[超伝導技術]

○超伝導システム応用に向けた超伝導線材・マグネットの開発

高性能超伝導体をエネルギー分野に応用するためには、超伝導体を用いた超伝導線材が必須である。そのため、エピタキシャル薄膜成長技術を拡張した新しい長尺薄膜作製技術の開発を行っている。

○高特性新超伝導薄膜の探索

近年発見された鉄系超伝導体をはじめとした新しい超伝導物質の物性解明や性能向上のために、新超伝導体のエピタキシャル薄膜作製に関する研究を行っている。

[熱電変換技術]

○薄膜型高効率熱電変換モジュールの開発

熱電変換材料をエピタキシャル薄膜にすることで、電気伝導率の向上や量子効果によるゼーベック係数の向上などによって変換効率が向上する。また、従来、曲げ伸ばしが出来ない熱電変換材料を薄膜化することで柔軟な熱電変換モジュールの実現も可能である。

[最先端エネルギー環境材料工学への展開]

○ナノ構造制御・薄膜成長制御による機能性薄膜の性能向上

超伝導体や熱電変換材料などの最先端エネルギー環境材料に、ある不純物を添加すると、不純物がナノサイズで自己組織化し、思わぬ機能を発現する。これを積極的に制御・利用し、世界最高性能を持つ材料開発をめざしている。

(3) 連絡先、ホームページアドレス

〒464-8603 名古屋市千種区不老町
名古屋大学 大学院 工学研究科 エネルギー理工学専攻
教授 吉田 隆
E-mil: yoshida@nuee.nagoya-u.ac.jp
TEL: 052-789-5417
http://www.ees.nagoya-u.ac.jp/~web_dai1/



図 機能性薄膜研究に用いる各種成膜装置及び評価装置の一部

(4) (公財)鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 超電導応用研究室 Railway Technical Research Institute Materials Technology Division Applied Superconductivity

(1) 基礎から応用、実用化まで一貫した研究開発

鉄道総研では、鉄道の将来に向けた研究開発や鉄道のニーズに基づいた実用的な技術開発を行っています。当研究室では、基礎的な材料の製作から応用、実用化技術までの多岐にわたる分野で研究を進めています。その中で、各種応用機器の開発で得られた実験結果を材料作製にフィードバックし、機器に適した超電導の総合開発に繋がっています。また、超電導技術を鉄道現場へ導入することを目的とし、鉄道路線での現地調査を行っています。



超電導技術の導入のための現地調査

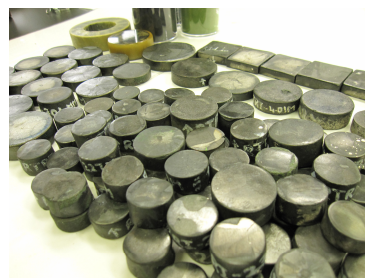
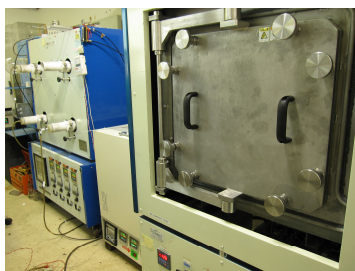
(2) 超電導の基礎(材料開発)

各種応用に適した超電導材料の製造を行っています。保有している25台の電気炉を稼働させ、RE系超電導バルク体の開発を進めています。作製したバルク体の磁場評価のため、2台の着磁用超電導マグネット(ボア径400 mm-5 T、ボア径100 mm-10 T)、さらに、機械強度評価装置、硬度計、SQUID、VSM、X線透過分析装置などといった評価機器を有しています。

また、新しい超電導磁石としてレアメタルを構成元素に用いない MgB_2 を材料とした磁場均一性の高いバルク体の開発に取り組んでいます。比較的大型の $\phi 100$ mmのバルク体の作製に成功しており、磁場均一性が求められる材料分析等への応用を検討しています。



材料作製用 電気炉

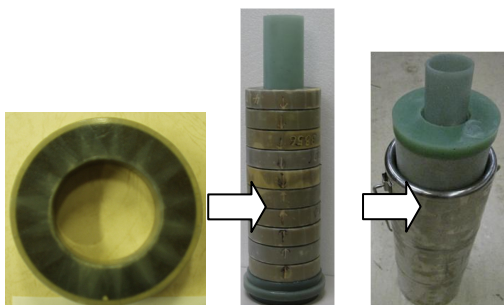


製作中の超電導バルク

(3) 超電導の応用開発

作製した材料を用い、応用機器の開発を行っています。小口径の簡易型超電導マグネットの開発では、液体窒素冷却で直径 48 mm の空間に 2 T を超える磁場を実現しています。

超電導ケーブルの開発では、電流端末と鉄道路線を模擬した架線と接続し、実験を行っています。



開発した小型超電導マグネット



鉄道用超電導ケーブル実験室
(模擬架線、パンタグラフ、鉄道レール、電流端末)

(4) 超電導の実用化技術

当研究室では、31 m 長の鉄道用超電導ケーブルを国立研究所内の試験線に敷設し、液体窒素と冷凍機による冷却試験や、通電、課電試験などによる評価を経て、2013年に世界初となる超電導ケーブルによる車両の走行試験に成功しました。また、実際の鉄道路線を模擬した310 m 長の鉄道用超電導ケーブルの開発も行っており、現在、実証試験を進めています。また、JR・民鉄の路線調査を実施し、より営業線に適した超電導ケーブルの実現を目指しています。



超電導ケーブルを用いた車両走行試験



鉄道用超電導ケーブル (310 m 長)

(5) 研究室スタッフ

研究室長：富田優 研究員：鈴木賢次、福本祐介、石原篤、赤坂友幸、小林祐介、ミアラムラリダ
他 実習生：2名 事務員：1名

(6) 連絡先

(公財) 鉄道総合技術研究所

研究開発推進室 担当部長 (兼超電導応用研究室長) 富田 優 (tomita.masaru.19@rtri.or.jp)

URL: <http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd49/rd4940.html>

第18回超伝導科学技術賞 候補者公募要領

超伝導科学技術賞は、最初の高温超伝導体が発見された年から10年目に当たる平成8年度に、超伝導科学技術研究会によって創設されました。第1回の授賞式は平成9年4月に超伝導シンポジウムの会場で行われ、内外の大きな注目を浴びました。以来毎年シンポジウムの場において、超伝導科学技術の研究に関して卓越した業績を残された方々を顕彰してまいりました。本年も以下の要領で候補者の公募を行います。

趣旨：

エネルギー、バイオ、情報、交通等、広範な分野においてキーテクノロジーとしての役割を果たすと期待されている超伝導は、基礎物性、材料、応用等に関係する総合的な科学技術を形成しています。超伝導科学技術研究会はこれらの諸分野間の円滑な連携を図り、研究の振興に資するよう努めて参りました。本賞はこうした取り組みの一環であり、超伝導に関係する分野で卓越した研究成果をあげてこられた方々を顕彰しようとするものです。我が国では、超伝導の基礎から応用までの各方面で若手研究者を含む多くの研究者が国際的にも注目される活躍をしています。しかし、超伝導は境界領域の学問であるがゆえに既存の大きな学協会組織をもたず、学会賞・協会賞に相当するものが存在していませんでした。こうした状況に鑑み、本賞は、超伝導分野で日々たゆまぬ努力を続けている研究者の方々に励まし、その一層の発展の一助となることを目的として創設されました。

顕彰の対象者：

1. 基礎研究において世界的なインパクトを与えた者
2. 応用開発において、マイルストーンとなる高度な技術進展に寄与した者
3. 研究開発あるいは国内国際交流において、斯界分野の振興に大きな役割を果たした者

賞の数は年間数件程度を原則とします。発展途上の若手研究者も賞の対象とします。また、完全には確立していない研究成果や、実用化の域に達していない技術であっても、将来の発展性が期待できればポジティブに評価します。

賞の対象となる具体的な分野：

1. 超伝導新物質開拓に関するもの
2. 超伝導基礎理論に関するもの
3. 超伝導基礎実験に関するもの
4. 超伝導材料（線材、バルク、薄膜、導体など）の高性能化に関するもの
5. 超伝導プロセス技術に関するもの
6. 超伝導の測定、評価、標準化に関するもの
7. 超伝導機器、デバイス、システム等、超伝導の用途開発に関するもの
8. データベースに関するもの
9. 超伝導研究推進に産業界、学会、官界、報道界などから貢献したもの（功労賞に相当するものを含む）

各分野それぞれ1件とするものではなく、また、すべての分野に賞を設定するというものでもありません。

賞設定の目的：

1. 強いインパクトのある研究に対する評価
2. 活発な若手への応援
3. 長年の功労者に対する感謝の表明
4. 企業の関連グループに対する精神的支援
5. この分野の関係者の努力に対する精神的支援

授賞時期：

授賞式は、超伝導科学技術研究会主催のシンポジウムにおいて行います。

授賞の伝達：

受賞者には事前に連絡するほか、企業及び国公立研究所の場合には、授賞決定通知を社長、機関長宛てに伝達します。

また、授賞理由等は(一社)未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会の機関誌に掲載します。

募集・応募の方式：

超伝導科学技術賞、および超伝導科学技術賞特別賞候補者を募集します。特別賞は超伝導科学技術分野において多大な業績、功績を挙げられた個人が対象となります。自薦他薦を問いません。超伝導科学技術研究会に属する団体（担当者）、個人会員に推薦を依頼するほか、公募します。推薦依頼及び推薦提出先は審査委員会委員長とします。また、選考委員会内でも推薦可能とします。推薦理由の記述は比較的簡単なものとし、応募を容易にします。また、追加資料の提供を求めることができます。対象者の国籍は問いませんが、日本国内での研究活動を賞の主たる対象とします。なお、超伝導科学技術賞は、1件につき、原則6名以内（1機関 4名以内、最大6名）とします。

超伝導科学技術賞候補者推薦書はホームページよりダウンロードできます。

推薦書の提出先：

一般社団法人未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 賞審査委員会委員長宛

（〒105-0003 東京都港区西新橋 1-5-10 新橋アマノビル 6階） Tel:03-3503-4681, Fax:03-3597-0535

E-mail: fsst@sntt.or.jp

URL: <http://www.sntt.or.jp/~fsst/>

推薦の締切：第18回超伝導科学技術賞推薦締切：平成25年12月2日（月）

研究会の動き

〔平成25年(2013年)7月1日～平成25年(2013年)9月30日〕

第5回総会

日時：平成25年7月26日(金)11:30～12:00

場所：全日通霞が関ビルディング 8階 中会議室

出席者：会員18名(内欠席表決12名)

オブザーバー2名 事務局1名

議事：(1) 平成24年度事業報告案及び収支決算案
(2) 平成25年度事業計画案及び収支予算案
(3) 超伝導科学技術研究会会則改訂案

16:40-17:20 「高効率水素液化器の実現及び世界のヘリウム需給バランスについて」

西村 宏

(岩谷産業 産業ガス・機械事業本部)

17:20-17:30 総括

17:30-17:35 閉会の挨拶

木村 茂行

(未踏科学技術協会 理事長)

第81回ワークショップ

日時：平成25年7月26日(金)13:30～17:35

場所：全日通霞が関ビルディング 8階 大会議室B

テーマ：「極低温冷凍機の進展とその応用の広がり」

参加者数：69名

プログラム:

13:30-13:40 開会の挨拶

下山 淳一

(超伝導科学技術研究会会長)

【座長 和久田 毅 (日立製作所)】

13:40-14:30 冷凍機基礎講座:

「冷凍の原理と実際の冷凍機」

岡村 哲至

(東京工業大学)

14:30-15:10 先端宇宙観測用冷凍技術:

「サブケルビン領域応用」

沼澤 健則

(物質・材料研究機構)

15:20-16:00 超伝導ケーブル用冷却システム:

「系統連系試験の状況と大容量・高効率
冷凍機開発」

町田 明登

(前川製作所 技術研究所)

16:00-16:40 モバイル応用向け小型冷凍機:

「小型スターリング冷凍機とその応用」

松田 和也

(日立製作所 日立研究所)

調査委員会(日本原子力研究開発機構より受託調査)

平成25年度第1回

日時：平成25年9月6日(金)13:30～15:30

場所：学術総合センター11階 共用会議室

出席者：委員10名

事務局2名

議事：(1) 第1回ワークショップでの論点の整理

(2) 原型炉用超伝導技術の現状・問題点・課題について

(3) 第2回ワークショップについて

幹事会

平成25年度第3回

日時：平成25年9月6日(金)15:45～17:30

場所：学術総合センター11階 共用会議室

出席者：幹事8名

事務局1名

議事：(1) 第81回ワークショップ開催報告

(2) 16th US-Japan Workshop開催報告

(3) 総会開催報告

(4) デバイス本について

(5) 第82回ワークショップについて

(6) FSST NEWSについて

第2回ワークショップ

(日本原子力研究開発機構受託調査)

超伝導科学技術研究会 第82回ワークショップ

「超伝導電磁石の大型化への挑戦」

日時：平成25年12月26日(木)13:00～17:05

場所：全日通霞が関ビルディング 8階 大会議室B

*プログラムが決まり次第、ホームページに掲載します。

超伝導科学技術研究会
平成24年度 事業報告
平成24年4月1日～平成25年3月31日

超伝導科学技術研究会が、平成24年度(平成24年4月1日から平成25年3月31日まで)に行った諸事業は次のとおりである。

1. シンポジウムの開催：1回

第38回

日 時：平成24年4月17日(火) 10:00～17:10

協賛団体：(公社)応用物理学会
(公社)低温工学・超電導学会
(一社)日本物理学会
(独)科学技術振興機構

場 所：タワーホール船堀 小ホール

テ ー マ：超伝導2012—超伝導が拓いた強磁場応用—

参加者数：105名

2. 超伝導科学技術賞

第16回授賞式

日 時：平成24年4月17日(火) 11:50～12:15

場 所：タワーホール船堀 小ホール
※第38回シンポジウムにて開催

3. ワークショップの開催：2回

第79回

日 時：平成24年7月19日(木) 13:00～17:45

協 賛：(公社)低温工学・超電導学会
場 所：全日通霞が関ビルディング 大会議室 B
テ ー マ：3.11 震災を乗り越えて
参加者数：36名

第80回

日 時：平成25年1月16日(水) 13:30～17:25

協 賛：(公社)低温工学・超電導学会
場 所：全日通霞が関ビルディング 大会議室 B
テ ー マ：電力グローバルネットワークは実現するのか?
参加者数：48名

4. 第1回超伝導科学技術セミナー

～若手技術者向け講習会～ の開催

※平成24年度科学技術調査研究助成(新技術振興渡辺記念会)により開催

日 時：平成25年2月22日(金)～23日(土)

場 所：古河電工健康保険組合 鬼怒川荘

参加者数：40名

5. FSST NEWS の発行：4回(1回/3ヶ月)

No.133 (平成24年5月15日)

No.134 (平成24年7月25日)

No.135 (平成24年10月18日)

No.136 (平成25年1月25日)

6. 単行本の発行 (日刊工業新聞社より2/26出版)

「これ1冊でわかる超伝導実用技術」
未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会編著

7. その他

期間中に会の運営を円滑に展開するため、開催された幹事会、賞審査委員会、総会、編集委員会は次のとおりである。

<幹事会：6回>

平成24年4月24日(火) 13:30～15:30
学術総合センター11階 共用会議室
平成24年6月20日(水) 15:30～17:30
学術総合センター11階 共用会議室
平成24年8月9日(木) 14:30～17:30
学術総合センター11階 共用会議室
平成24年10月2日(火) 13:30～15:30
学術総合センター11階 共用会議室
平成24年12月18日(火) 15:45～17:45
学術総合センター11階 共用会議室
平成25年2月18日(月) 15:40～17:30
学術総合センター11階 共用会議室

<賞審査委員会：2回>

平成24年12月18日(火) 13:30～15:30
学術総合センター11階 共用会議室
平成25年1月16日(水) 10:00～12:00
商工会館 7階 会議室 7B

<総会：1回>

平成24年7月19日(木) 11:30～12:00
商工会館 7階 会議室 7D

<編集委員会：4回>

平成24年4月24日(火) 15:45～17:50
学術総合センター11階 共用会議室
平成24年7月3日(火) 15:00～17:30
(一社)未踏科学技術協会 会議室
平成24年10月2日(火) 15:45～17:45
学術総合センター11階 共用会議室
平成25年1月10日(木) 15:00～17:30
(一社)未踏科学技術協会 会議室

<会員の状況> (H25.3.31 現在)

団体会員 13社 13口 個人会員 13名

超伝導科学技術研究会
平成24年度収支決算書
(平成24年4月1日～平成25年3月31日)

(単位:円)

項目		予算額(X)	決算額(Y)	決算額－予算額 (Y－X)
収入の部	団体会費	2,600,000	2,600,000	0
	個人会費	130,000	160,000	30,000
	事業参加費収入	400,000	545,775	145,775
	事業資料代収入	600,000	226,000	△ 374,000
	調査研究収入	1,500,000	1,500,000	0
	広告収入	180,000	62,000	△ 118,000
	雑収入	0	328	328
	当期収入合計(A)	5,410,000	5,094,103	△ 315,897
	前期繰越収支差額	△ 195,000	△ 189,425	5,575
	収入合計(B)	5,215,000	4,904,678	△ 310,322
支出の部	シンポジウム・ワークショップ開催費	980,000	910,001	△ 69,999
	会議開催費	250,000	45,835	△ 204,165
	印刷出版諸経費	720,000	756,250	36,250
	調査研究経費	1,500,000	1,500,000	0
	共回事務費	0	14,380	14,380
	管理費	565,000	539,115	△ 25,885
	基本人件費	1,200,000	1,200,000	0
	予備費	0	0	0
	当期支出合計(C)	5,215,000	4,965,581	△ 249,419
当期収支差額(A)－(C)	195,000	128,522	△ 66,478	
次期繰越差額(B)－(C)	0	△ 60,903	△ 60,903	

平成25年7月26日の総会で承認済み

国内超伝導関連会議

Conferences related to Superconductivity (Domestic)

会 議 名	日 付	開催場所	主催及び問合せ先
低温工学・超電導学会／秋季	H25.12.4～12.6	愛知県産業労働センター ウインクあいち (愛知県名古屋市)	低温工学・超電導学会

国際会議及び国外の主要な会議

Conferences related to Superconductivity (International/Abroad)

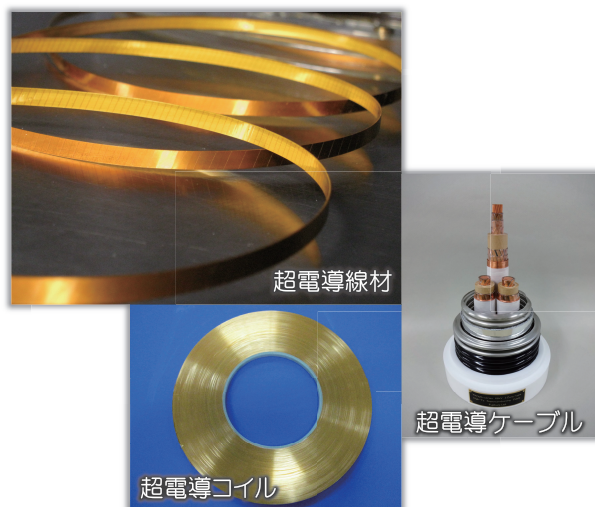
会 議 名	日 付	開催場所	主催及び問合せ先
7 th ACASC	2013.10.23～10.25	Cappadocia (Turkey)	http://www.acasc-tr.org/
ISS2013	2013.11.18～11.20	Tower hall Funabori, Tokyo	http://www.istec.or.jp/ISS/index.html

超伝導科学技術研究会 編集委員会 委員

松本 明善	独立行政法人物質・材料研究機構 超伝導線材ユニット 主幹研究員	小泉 勉	昭和電線ケーブルシステム株式会社 技術開発センター 超電導線材開発グループ グループ長
荒井 有気	公益財団法人鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 低温システム研究室 副主任研究員	日高 睦夫	独立行政法人産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 上級主任研究員
伊豫 彰	独立行政法人産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 超伝導エレクトロニクスグループ 上級主任研究員	木村 茂行 大貫留美子	一般社団法人未踏科学技術協会 理事長 一般社団法人未踏科学技術協会 事務局長

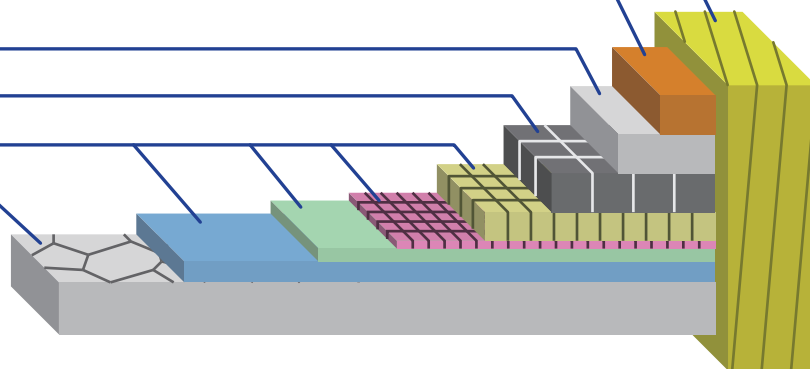
■ 特長

- 長い単長と高磁場中における高い臨界電流、長手方向に優れた均一性を実現
- 浸漬冷却・伝導冷却用コイル等、高磁場下の応用に適した高性能なコイルアプリケーションが可能
- 電力ケーブルの大容量・大電力化、コンパクト化、低送電損失化、高性能・高効率な超電導ケーブルが実現可能



■ 線材構造

- 絶縁テープ [ポリイミド] 12.5 μ m (突き合せ1重巻き) ×2層
- 安定化層 [Cu] 75, 100 μ m
- 保護層 [Ag] 2 μ m ~
- 超電導層 [GdBa₂Cu₃O_x] 2 μ m ~
- 中間層 [MgO, etc.] ~ 0.7 μ m
- 金属基板 [ハステロイ®] 75, 100 μ m



■ 標準仕様

- 線材幅 (5mm, 10mm)、金属基板厚さ (75 μ m, 100 μ m) に応じた製品ラインアップ
- 標準臨界電流 $I_c > 500\text{A/cm-wide}@77\text{K, S.F.}$
- 単長300m以上の長尺線材、ご要求仕様に応じた高性能の超電導線材が提供可能

型番	線材幅 [mm]	金属基板 [μ m]	安定化層 [μ m]	臨界電流 [A] @77K, S.F.
FYSC-SC05	5	75	75	> 250
		100	100	> 250
FYSC-SC10	10	75	75	> 500
		100	100	> 500
FYSC-S05	5	75	—	> 250
		100	—	> 250
FYSC-S10	10	75	—	> 500
		100	—	> 500

※ 仕様のご確認、ご要求等ございましたら、お問い合わせ頂けますようお願い致します。