

# FSST NEWS

(社)未踏科学技術協会  
平成24年1月25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

Forum of Superconductivity	No. 132
Science and Technology News	

## <FSST NEWS No.132 目次>

### <年頭所感>

「“昇竜”に期待」

超伝導科学技術研究会会長／東京大学 下山 淳一……………2

### <トピックス>

- ALCA 特集 「概要および期待すること」 電力中央研究所 秋田 調…………… 3
- (1) 未来の水素利用社会を支える低コスト高性能 MgB<sub>2</sub> 線材の開発  
物質・材料研究機構 熊倉 浩明……………3
- (2) 再生可能エネルギーを有効利用するための先進超伝導電力変換システムの研究開発  
東北大学 濱島 高太郎……………5
- (3) 新しいエネルギーインフラのための液体水素冷却超電導機器に関する研究  
京都大学 白井 康之……………7
- (4) 原子レベル制御による 120 K 級超伝導線材の開発  
九州工業大学 松本 要……………9

### <会議報告 1>

- ISS 2011 会議報告…………… 11
- (1) 物理・化学・磁束物理分野 国際超電導産業技術研究センター 筑本 知子
- (2) 線材・大型応用 国際超電導産業技術研究センター 坂井 直道
- (3) 薄膜・デバイス 国際超電導産業技術研究センター 蓮尾 信也

### <会議報告 2>

- The 15<sup>th</sup> Japan-US Workshop on Advanced Superconductors…………… 14
- (1) HTS Tape (Bi Tape , YBCO Tape) 1 (2) HTS Tape (Bi Tape , YBCO Tape) 2
- (3) Large Scale 1 (4) Large Scale 2
- (5) A15, MgB<sub>2</sub> (6) Thin Film Devices & New Materials
- (7) New Materials (8) Critical Current AC loss
- (9) Critical Current AC loss & HTS Tape (Bi Tape , YBCO Tape)

### <会議報告 3>

ACASC2011 (応用超伝導・低温工学アジア会議) 報告 東北大学 小黒 英俊…………… 19

### <研究室紹介>

- (1) (独)物質・材料研究機構 超伝導線材ユニット…………… 21
- (2) (独)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…………… 22
- (3) (財)国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所 低温デバイス開発室…………… 23
- (4) (公財)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…………… 24
- (5) 昭和電線ケーブルシステム(株) 技術開発センター 超伝導線材開発グループ…………… 26
- 第 78 回ワークショップ…………… 28
- 第 38 回シンポジウム…………… 28
- 研究会の動き…………… 29
- 国内超伝導関連会議／国際会議及び国外の主要な会議…………… 29

## ＜年頭所感＞ “昇竜”に期待 Expectation of “Rising Dragon”

超伝導科学技術研究会会長  
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



新しい年を迎えました。今年は明るい話題が多い一年となることを祈るばかりです。皆様方には旧年中の当会へのご協力に厚く御礼申し上げます。今年も皆様方と一緒に超伝導科学技術の発展を促す活動を展開してまいりますので、引き続いてご協力、ご意見等を賜りますよう、よろしく申し上げます。

さて、超伝導現象が発表されてから100周年であった昨年は、世界中の数多くの学会や学会誌、雑誌等で記念イベントや特集が企画されました。これらを通じて、超伝導科学技術の歴史を再確認でき、また、その現状を再認識できたのではないのでしょうか。さらに例年より多くマスコミに超伝導技術が取り上げられたことは、産業界、社会一般に対してその現状を知っていただく良い機会となりました。

しかし、皆様もよくご存知の通り、昨年は歴史に残る極めて深刻な災害や事故が相次いで起こった年でした。特に日本では過去にない広域における人的、経済的被害を引き起こした東日本大震災が起きました。これまでも我が国は幾度となく悲惨な震災を経験してきましたが、今回は2次災害として深刻な原発事故が伴い、放射性物質の拡散による汚染に加えてほぼ全国的な原発稼働率の低下によって電力不足が起きました。このような事態に対する具体的な対応はほとんど検討されておらず、昨夏の電力不足は国民の献身的な節電対応によって何とかクリアできましたが、この冬や今夏も再度電力不足への対応に迫られそうです。同時に、ここ数年の低炭素社会創出の合言葉のもと検討、推進されてきたエネルギー政策はすっかり影が薄くなりました。原発利用の賛否を含めて今後のエネルギー政策の再検討が様々な角度から行われていますが、近未来から遠未来まで見通して、より実質的に効果を挙げる方針が選定されることを祈るばかりです。

近世以降の世界においてこのような突発的な自然災害に起源をもつエネルギー政策の再考は経験が無いものでしょう。これまでは10～数10年後のエネルギー問題にどのように対応してゆかかという、ややぼんやりした焦点に対して検討が行われてきました。しかし、今の日本では未来の施策を前倒して進めることが求められています。このなかで、当然、再生可能エネルギーによる発

電が即戦力として一層クローズアップされてきています。しかし、超伝導技術を組み込んだ近未来のエネルギーシステムの具体的な検討はまだこれからのようです。大震災の影響で、昨秋に予定されていた東電旭変電所における超伝導ケーブルと実システムの接続(NEDOプロジェクト)は延期になりましたが、今年中の接続を目指して各種の試験が続けられているとのこと。このような国内プロジェクトだけでなく海外でも実績を積み重ね、超伝導技術が広く無理なくエネルギーインフラの一部に選ばれる日が早く来ることを期待しています。

昨年は春の大震災、夏季の節電や計画停電、秋にはタイでの大洪水と日本の製造業は全般的に減速を余儀なくされました。このなかで高温超伝導線材の製造技術と高性能化に関しては比較的順調な進展を遂げてきたといえるのではないのでしょうか。これまでのビスマス系線材に次いで希土類123系線材についても高特性に加えて製造技術も世界の先頭に立ちつつあることは間違いありません。さらに、これら高温超伝導線材の有用性は、ケーブルだけでなく、超伝導磁石やモータなど各種の機器で実証されつつあります。今年もJSTによる戦略イノベーション研究(S-イノベ)、先端的低炭素化技術開発事業(ALCA)やNEDOのプロジェクトから、新しい機器開発の成果や社会に夢を与える応用例が次々と生まれてくることと期待しています。このほか、希土類123系バルクの応用にも小型MRIなど新しい進展が見えかけており、鉄系超伝導体についても線材やデバイスとしての応用の可能性が議論できる成果が揃いつつあり、今年の実績から目が離せません。

本会は昨年、第77回ワークショップ「極限を測る超伝導技術の最前線」を3月10日に、第37回シンポジウム「超伝導2011 -新たな100年の幕開け-」を6月24日に、そして10月27-29日に第15回日米超伝導ワークショップを開催しました。本年も本FSST誌第132号の発行を皮切りに第二期(2008年以降)の活動趣旨“超伝導産業を支える”に沿った諸活動を展開する予定です。

最後に読者の皆様のますますのご繁栄を祈念し、さらに様々な超伝導科学技術分野において予想を超えた“昇竜”の展開が起こることを期待し、年頭の挨拶を結ぶことにいたします。

## <トピックス>

### ALCA 特集「概要および期待すること」 Perspective of Superconductivity System Program in Advanced Low Carbon Technology R&D Program (ALCA)

財団法人 電力中央研究所  
秋田 調  
CRIEPI  
S. Akita

平成22年度から開始された先端的低炭素化技術開発(Advanced Low Carbon Technology R&D Program, ALCA)では、今後の中長期(2030~2050)にわたる温室効果ガスの排出量を大幅に削減し、明るく豊かな低炭素社会の実現に大きく貢献する先進的技術を創出するための挑戦的な研究開発の推進を目標としている。このため、将来の見通しが明確な技術の展開ではなく、新たに構築されるべき体系的な学理(サイエンス)に裏付けされた新原理探究とその応用などのチャレンジな研究開発による、ブレークスルーの実現や既存の概念を大転換する『ゲームチェンジング・テクノロジー』の創出を目指している。ALCA全体としては、特定領域として、超伝導システムに加え、太陽電池および太陽エネルギー利用システム、蓄電デバイス、耐熱材料・鉄鋼リサイクル高性能材料、バイオテクノロジーの5分野にわたり研究を展開している。さらに、非特定領域として、これらの特定分野に含まれない低炭素化技術に関しても研究開発を支援している。

超伝導システム分科会では、平成22年度採択分として、超伝導関係4テーマ、非特定領域テーマ6件を採択した。非特定領域に関する採択件数が多いのは、ALCA全体として極めて多数の非特定領域への応募があったためである。ここでは、超伝導関係の研究開発テーマに関して概要を紹介したい。

超伝導関係4テーマのうち、3テーマはMgB<sub>2</sub>関連である。これは、純粋に超伝導関連提案のうちMgB<sub>2</sub>に関連する提案が優れていたためである。加えて、2030年以降の世界のエネルギーシステムを想定した時、現在以上に太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーの活用が進んでいるものと予想され、電力システムに加え、貯蔵可能な2次エネルギーとして水素システムの活用が進みつつあることが想定されることから、これまで十分な体系的検討が行われてこなかった液体水素温度における超伝導システムに関し、線材開発、液体水素による冷却特性、風力発電と液体水素冷却による超伝導

エネルギー貯蔵システムの各研究テーマを連携しつつ進めることとした。具体的には以下の3テーマである。

- ①「未来の水素利用社会を支える低コスト高性能MgB<sub>2</sub>線材の開発」
- ②「新しいエネルギーインフラのための液体水素冷却超伝導機器に関する研究」
- ③「自然エネルギー有効利用のための先進超伝導電力変換システム」

それぞれのテーマの詳細な内容は個別報告を御覧戴きたいが、密な情報交換によりまさに超伝導システムとして研究開発が進められている。これまで、MgB<sub>2</sub>関連の国が支援するプロジェクトがほとんどなかったことから、今回のALCAにおける研究により、相当程度の見通しが得られるものと期待している。

もう一件の採択テーマは「原子レベル制御による120 K級超伝導線材の開発」である。銅酸化物系薄膜線材において圧力効果を取り入れることにより120 Kにおいても使用可能な線材開発を目指している。チャレンジングな研究テーマではあるが、実現できれば『ゲームチェンジング・テクノロジー』として、超伝導システムの活用分野が一層拡大することを期待している。

超伝導システム分科会では、平成23年度以降も公募による研究テーマの採択を継続しており、超伝導関係研究者の方々が奮って応募されることを期待している。

### (1) 未来の水素利用社会を支える低コスト 高性能 MgB<sub>2</sub> 線材の開発 Development of low cost and high performance MgB<sub>2</sub> wires

物質・材料研究機構  
熊倉 浩明

National Institute for Materials Science  
H. Kumakura

#### 1. はじめに

低炭素化社会を実現させる切り札とされているのが太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーの利用であるが、これらの自然エネルギーを利用する際の一つの問題点は、安定性や制御性に劣る、ということである。そこで、これらの自然エネルギーを、制御性や貯蔵性に優れた水素に置き換える技術が注目されている。水素を貯蔵、輸送する手段としてはエネルギー密度や取り扱い易さの点から液体水素が注目され、研究が進んでいる。一方超伝導技術の欠点は冷却が必要となる点であるが、液体水素冷却(沸点20 K)で超伝導機器を運転で

きると、上述した貯蔵、輸送される液体水素をそのまま冷媒として使うことができるので、冷却の煩わしさから解放される[1]。具体的には液体水素貯蔵タンクを利用したSMES、液体水素輸送ラインを利用した超伝導送電、液体水素冷却超伝導モータと燃料電池を組み合わせた自動車や磁気浮上列車などが考えられる(図1)。

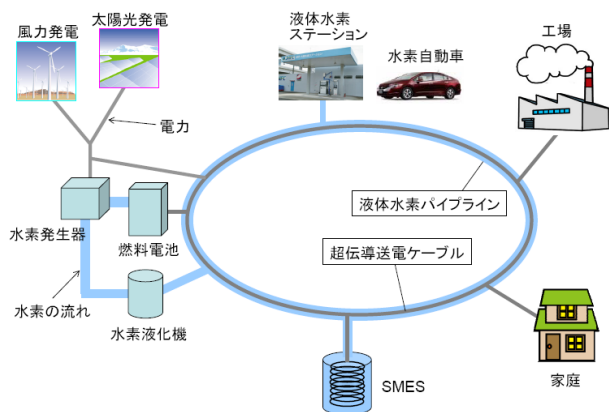


図1 液体水素と超伝導を組み合わせた電力システム概念図 [2]。

本プロジェクトでは、これらの液体水素利用の高効率電力利用システムを実現させるための、高性能、低コスト  $MgB_2$  線材を開発しようとするものである。

## 2. 本研究開発によって創出を目指す技術

将来のクリーンエネルギーとして期待される(液体)水素エネルギー利用技術と電気抵抗がゼロの超伝導技術とを組み合わせると相乗効果が発揮されて高効率な電力システムが構築でき、温室効果ガスが排出されず、かつ豊かで住みやすい未来社会が実現すると期待されるが、そのためには低コストで高性能な超伝導線材の開発が必要不可欠である。本課題では液体水素冷却超伝導機器実用化の要となる、高性能多芯  $MgB_2$  超伝導線材製造技術ならびにその超伝導接続技術の確立を目指す。研究開発期間としては5年間を予定しており、ここで得られた成果を受けて、次の5年間で10 km級の実用  $MgB_2$  線材を企業との連携のもとに開発するとともに、永久電流スイッチを開発する。

## 3. 本研究で取り組む課題

本提案では、液体水素を利用した超伝導技術の基盤となるkm級の低価格、高性能  $MgB_2$  多芯超伝導線材ならびにその超伝導接続技術の開発を課題とする。超伝導応用のためには、変動磁場下において問題となる交流損失の低減や、超伝導システムで不可欠となる超伝導接続技術ならびに永久電流スイッチの開発などの

要素技術の確立が必要である。

液体水素冷却で超伝導を示す線材として、酸化物高温超伝導線材の開発が先んじているが、高コストに加え、本質的に低いキャリア密度に起因する短いコヒーレンス長によって磁束クリープが大きいために、本格的な永久電流モードでの運転が不可能であるばかりでなく、超伝導接続もまた不可能であると考えられる。また多芯化による交流損失低減技術は困難を極めており、低損失導体の開発には至っていない。一方、 $MgB_2$  は金属系超伝導体としての高いキャリア密度と長いコヒーレンス長という特徴から磁束クリープのはるかに小さく、また超伝導接続も可能になる。さらに多芯化については、Y系コーテッド・コンダクタのような本質的困難はなく、またBi系のようなフィラメントのブリッジングも起こらないので、極細多芯化による超低損失線材も実現できると期待される。以上より、液体水素冷却による実用的な超伝導機器は  $MgB_2$  を使用して初めて可能になると考えられる。

しかしながらこれまで研究が進められてきたパウダー・イン・チューブ (PIT) 法による  $MgB_2$  線材では、実用上重要な臨界電流特性が十分高くないという問題点がある[3, 4]。これは線材における  $MgB_2$  コアの充填密度が低いこと、粒界に超伝導電流の流れを阻害する障害物が存在すること、有効なピン止め点が導入されていないこと、等によると考えられ、これらの方面でのブレークスルーが必要である。そこで従来のPIT法に加えて、Mg 拡散法や酸素制御法、各種の炭化水素添加などの新しい手法を駆使して、液体水素冷却を念頭に置き、20 K近傍の温度ならびにSMESや電気自動車、磁気浮上列車等において要求される5テスラ程度の磁界中において、実用レベルの臨界電流特性を有するkm級、低損失の多芯線材の製造技術を開発するとともに、将来の超伝導機器応用に必要となる永久電流スイッチを実現させる超伝導接続技術の確立する。長尺線材の開発においては、臨界電流特性とその長手方向のバラツキはもちろん、熱的・電磁氣的安定性、応力や歪みに対する耐性、なども念頭に置いて研究開発を進め、実用線材としての可能性を総合的に評価する。長尺線材の開発は  $MgB_2$  線材を研究開発している企業等と連携をとって進める。

## 4. 研究のマイルストーン

温度20 K、5テスラの磁界において、超伝導層あたりの臨界電流密度  $J_c$  が  $10^5$  A/cm<sup>2</sup> 以上、線材全断面積あたりの  $J_c$  ( $J_c$ ) が  $20,000$  A/cm<sup>2</sup> 以上の実用レベルの特性を持つ長さ1 m程度の多芯線材の製造技術、ならびに超伝導接続技術の確立を当面5年間の開発目標とする。Mg 拡散法や酸素制御法、炭化水素添加などの新

しい手法により短尺多芯 $MgB_2$ 線材を作製するとともに、これらの線材の超伝導接続を試みる。微細組織を走査電顕や透過電顕、光学顕微鏡、X線回折ならびに熱分析によって評価するとともに、走査型ホール素子顕微鏡などにより、臨界電流特性やその分布を精密に評価する。これらのデータに基づいて微細組織と臨界電流との関係について考察し、どのような微細組織が臨界電流にどのように影響するかを突き止める。この知見を線材作製にフィードバックして線材ならびに超伝導接続作製法に改良を加え、さらに高い臨界電流特性を目指す。

まず最初の3年程度で上述の三つの手法を駆使して長さが5cm程度の多芯短尺線材を試作して微細組織や電流分布等の解析を進め、この結果を線材作製にフィードバックする実験を繰り返す。これらの結果をもとに3~4年目から極細多芯化を目指すとともに線材のスケールアップを目指す。また超伝導接続の開発を進める。

## 5. 研究開発の優位性

超伝導技術は将来の省エネルギー技術として大いに期待される。超伝導技術の欠点は冷却が必要となる点であるが、液体水素冷却(沸点20 K)で超伝導機器を運転できると、上述した貯蔵、輸送される液体水素をそのまま冷媒として使うことができるので、冷却の煩わしさから解放される。具体的には液体水素貯蔵タンクを利用したSMES、液体水素輸送ラインを利用した超伝導送電、液体水素冷却超伝導モータと燃料電池を組み合わせた自動車や磁気浮上列車などが考えられる。このような水素利用技術と超伝導技術とを組み合わせると相乗効果によって二酸化炭素を発生させず、高効率の各種電力利用システムが構築でき、クリーンな環境で住みやすい社会が実現すると期待される。

液体水素温度で利用可能な超伝導材料としては、現段階では銅酸化物超伝導材料と $MgB_2$ がある。電力応用で必要となる線材化の観点から、 $MgB_2$ は銅酸化物にくらべて以下の点で優れている。1) 銅酸化物のような結晶粒の向きを揃えること(配向化)が不必要であり、簡便な線材化が適用可能で低コスト化につながる。2) 本質的に長いコヒーレンス長を反映して凝縮エネルギーならびにピンニングエネルギーが大きく、フラックスクープがはるかに小さい。また、単芯線材ではすでに超伝導接続が得られている。3) 原料が豊富で銅酸化物にくらべてはるかに安価である。4) 銅酸化物に比べて硬度が高く機械的にタフである。5) 実用に適した丸線が可能で、これを使用したコイルの幾何学的精度が上がり、高精度の磁場発生が可能である。以上を勘案すると、液体水素冷却の実用的な超伝導機器は $MgB_2$ 線材を使っ

て初めて可能になると考えられる。

水素の輸送、貯蔵については、現在高圧タンクや水素貯蔵合金も検討されているが、本技術開発が成功すれば、超伝導の利点を生かせる液体水素利用の方が、エネルギー効率の面でもコスト面でも有利になると考えられる。

## 参考文献

- [1] 低温工学, 第43巻第10号(2008) 特集 超伝導と水素の複合エネルギーシステム.
- [2] M. Grant: Industrial Physicist, 7(2001), 22-23.
- [3] H. Kumakura: J. Phys. Soc. Jpn. **81**(2012) 011010(1-11).
- [4] 松本明善、熊倉浩明:日本金属学会誌, 第71巻第11号(2007) 928-933.

## (2) 再生可能エネルギーを有効利用するための先進超伝導電力変換システムの研究開発 Development of Advanced Superconducting Power Conditioning System (ASPCS) for Effective Use of Renewable Energy

東北大学 大学院 工学研究科  
濱島 高太郎, 津田 理, 宮城 大輔  
Tohoku University Graduate School of Engineering  
T. Hamajima, M. Tsuda and D. Miyagi

### 1. はじめに

将来の人類の持続可能な社会では、再生可能エネルギーを主体としたエネルギー源を有効に活用して地球温暖化に寄与する二酸化炭素の排出を削減することが重要である。しかし、主要な再生可能エネルギー源である太陽光発電(PV)と風力発電(WT)は出力変動が激しいため、直に電力系統に接続すると、電力システムに周波数変動などの不安定を誘起する。したがって、今後予想される大量の再生可能エネルギーを有効に利用するには、制御した電気出力に変換する必要がある。そのために、図1に示すように、応答性が速く繰り返し運転が可能な特長を有する超伝導電力貯蔵装置(SMES)と、大容量の貯蔵と長時間の電力発電が可能な電気分解装置(EL)－水素( $H_2$ )－燃料電池(FC)を組み合わせたハイブリッド貯蔵装置、および、再生可能エネルギー源、液体水素ステーション、電力系統から構成する先進超伝導電力変換システム(ASPCS)を提案した[1-4]。



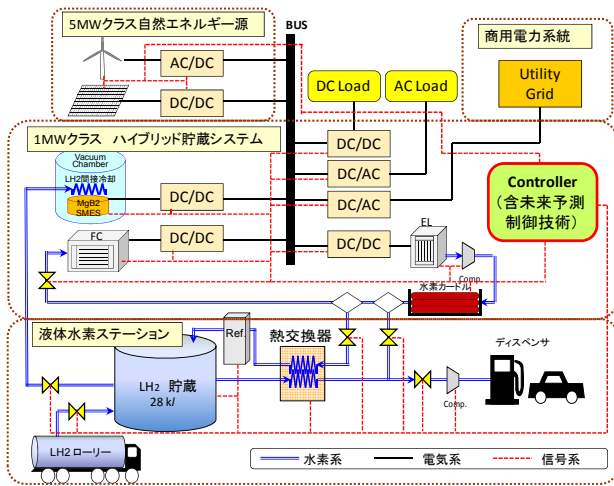


図1 ASPCSの概念図

## 2. ASPCSの概要

確率論的に変化する再生可能エネルギーを激しく変動する成分と、その変動の平均値に分解し、両者の差の電力をSMESが対応し、平均電力と要求出力の差をEL-H<sub>2</sub>-FCで対応する。各装置の分担を確実にするにはカルマンフィルタを用いて平均値の事前予測を行う[1]。図2の上段には、再生可能エネルギーの代表例として風力発電波形 ( $P_{wind}$ ) を示し、下段にはその一部の時間を拡大する。要求電力 ( $P_{out}$ ) を3 MW一定出力と仮定した時の平均予測電力 ( $P_{pred}$ )、SMESの入出力 ( $P_{SM}$ )、ELとFCの電力波形 ( $P_{EL}$ ,  $P_{FC}$ ) も示す。ハイブリッド貯蔵装置からの入出力は次式の電力バランスの関係を満足する。

$$\begin{aligned} P_{SM} &= P_{wind} - P_{pred}, \\ P_{EL} &= P_{out} - P_{pred}, \quad P_{FC} = P_{pred} - P_{out} \end{aligned} \quad (1)$$

図から、平均予測は風力の激しい変化に少し遅れるがほぼ平均値を追っていることが分かる。また、SMES入出力は早い変化で行われ、時間積分するとほぼゼロに近くなり、SMES容量は比較的少なくても良い。一方、要求電力と平均予測の差の電力は時間積分すると大きな容量となり、水素ガス貯蔵が望ましい。

図2に示す風力波形に対するASPCSの電氣的効率は、SMESの入出力一巡効率を90%、ELの入力効率を80%、FCの出力効率を40%として求めると、総合の電氣的効率は要求出力の関数となり、最大で約80%に達する場合がある[1]。

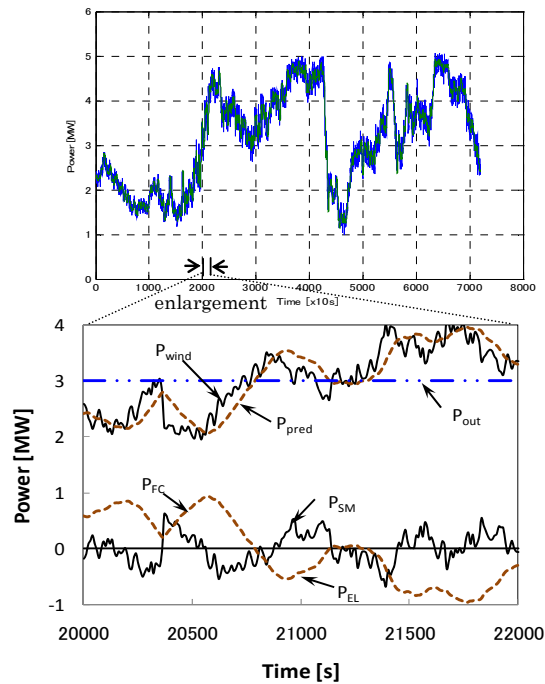


図2 風力波形と予測電力、各装置の入出力波形

## 3. SMESの概念設計

図3には、図2のSMES入出力容量のヒストグラムを示す。図から、入出力の平均容量は約5 MJ、標準偏差 $\sigma$ は約7.5 MJで、正規分布を仮定するとSMESの入出力容量の99.7%を占める容量が $\pm 3\sigma$ となるから、約45 MJの入出力容量をSMESが持つと十分といえる。実質的な貯蔵容量は50 MJクラスが最適となる。

将来、日本各地に液体水素ステーションの設置が計画されているので、その冷媒を利用できるMgB<sub>2</sub>超電導線材でSMESを製作し、運転コストの低減を図る。現在、MgB<sub>2</sub>の工学的臨界電流密度  $J_c$  は200 A/mm<sup>2</sup> at 2 T, 20 Kであるので、最大磁界を2 Tに設定した時の50 MJ級SMESの概念設計を行った。その外形図を図4に示す[5]。SMESは液体水素ステーションの近傍に設置するので、4極コイル配置を用いて漏洩磁界を低減する。コイルの上部に液体水素タンクを配置し、超電導コイルの冷却に安全性と信頼性の高いサーモサイフォン冷却方式を用いる。全体の規模は直径約5 m、高さ約5 mで、従来の金属系超電導コイルと比較すると大きい。また、導体の運転電流はコイル保護を考慮して2.2 kAとし、図5のように49本のMgB<sub>2</sub>素線を撚り合わせた導体構成とし、更に、それらを高純度Alの中に配置してコイルの熱伝導を高くする。

## 4. まとめ

再生可能エネルギーを有効利用するためにASPCSを提案し、それを用いて変動するエネルギーを制御可

能な電力に変換できることを示し、変換の電気効率が約80%に達する場合があることも分かった。その結果に基づいて概念設計した液体水素冷却SMESコイルはMgB<sub>2</sub>の性能が従来の超電導線と比較して低いので少し大きくなったが、現在、世界中で性能向上の開発が進められており、将来200 A/mm<sup>2</sup> at 5 T, 20 Kが達成できると、コンパクト化や低コスト化が可能となるので、ASPCSの実現性が一層高くなると期待される。

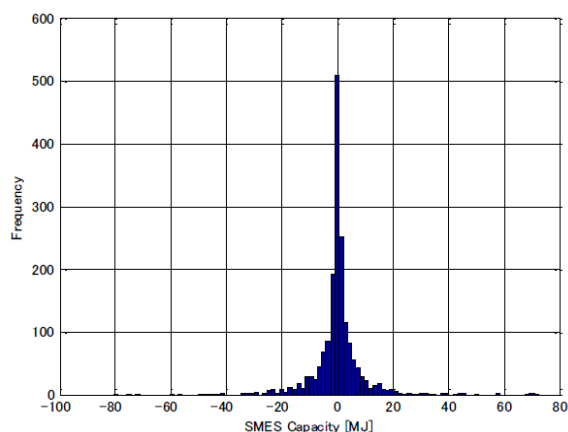


図3 SMES入出力容量のヒストグラム

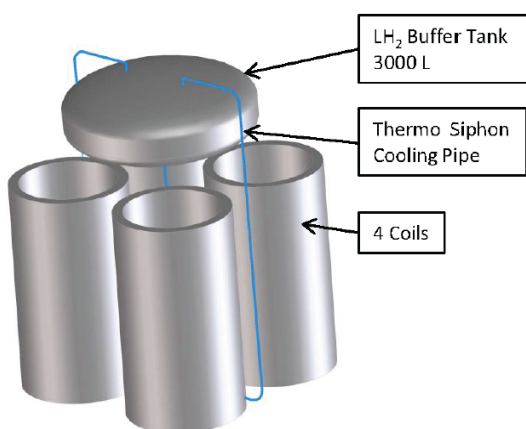


図4 50 MJクラスSMESの外形図 ( $B_{max} = 2$  T)

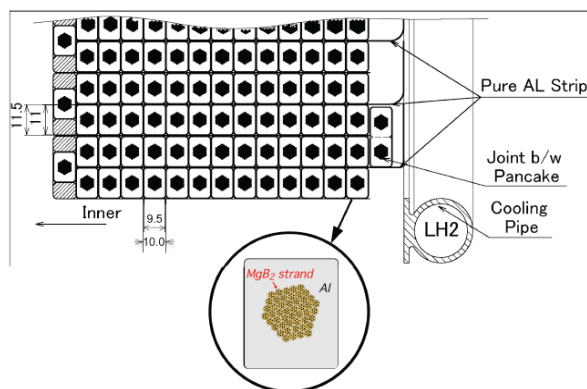


図5 コイル断面と導体構成図

## 謝辞

本研究の一部はJST-ALCAの委託を受けて行った。共同研究者:新富孝和(日本大学)、榎田康博(高エネルギー加速器研究機構)、高尾智明(上智大学)、宗像浩平、梶原昌高(岩谷産業)

## 参考文献

- [1] T. Hamajima, H. Amata, T. Iwasaki, N. Atomura, M. Tsuda, D. Miyagi, T. Shintomi, Y. Makida, T. Takao, K. Munakata, M. Kajiwara, 3EP2-4, **MT-22** (2011).
- [2] H. Louie and K. Strunz, IEEE Trans. Appl. Supercond. **17** (2007) 2361-2364.
- [3] 中山、谷貝、津田、濱島、低温工学、Vol.45、No.3、(2010) 99-106.
- [4] M. Sander and R. Gehring, IEEE Trans. Appl. Supercond. **21** (2011) 1362-1366.
- [5] T. Shintomi, Y. Makida, T. Hamajima, M. Tsuda, K. Munakata, Y. Miwa, 3EP2-3, **MT-22** (2011).

## (3) 新しいエネルギーインフラのための液体

### 水素冷却超電導機器に関する研究

Studies for Liquid Hydrogen Cooled Superconducting Apparatus towards Innovative Energy Infrastructure

国立大学法人京都大学

白井 康之

Kyoto University

Y. Shirai

独立行政法人日本原子力研究開発機構

達本 衡輝

H. Tatsumoto

Japan Atomic Energy Agency

独立行政法人宇宙航空研究開発機構

稲谷 芳文、成尾 芳博、小林 弘明

Japan Aerospace Exploration Agency

Y. Inatani, Y. Naruo, H. Kobayashi

## 1. はじめに

先の東日本大震災を機に、低炭素化とともにエネルギーシステムの多様化・柔軟性が求められている。環境負荷の小さい水素エネルギーと電力を融合した水素・電力協調エネルギーシステムの構築は、解決策の1つであるといえる。

われわれの研究グループでは、(独)科学技術振興機構の平成22年度先端的低炭素化技術開発事業とし

て、「新しいエネルギーインフラのための液体水素冷却超電導機器に関する研究」というテーマで研究をスタートさせたところである。液体水素の冷媒としての特性把握からスタートし、高温超電導機器冷却形態の検討とその冷却システムの設計、および、冷却システム要素技術開発、さらに、液体水素中での高温超電導線材特性、導体設計を段階的に進め、要素機器の検証モデル開発とその実証試験までを視野に入れている。また、液体水素を民生応用のステージに持ってくる上での安全性、関連法規による規制などの課題・問題点を、超電導電力機器冷媒の観点から明らかにするとともに、必要な要素技術の開発も実施する計画である。

この研究の成果により、新しい持続的発展のための水素・電力協調エネルギーインフラの基盤技術となる液体水素冷却超電導大容量機器(超電導発電機をはじめとする電力機器)の開発が発展し、実用化への見通しが得られると考えている。

## 2. 水素・電力協調エネルギーインフラ

液体水素の持つ特殊性を考えれば、電力系統内の発電所や変電所など管理区域での集中的な利用が適切である。蒸発潜熱が大きく安定な貯蔵が期待でき、エネルギー源としての価値も高く、超電導機器冷媒との相乗効果が期待出来る。図1に示すように、水素エネルギーシステムを持った発電所や変電所をキーとして、出力変動電源の変動吸収や系統内エネルギーフローの最適化をはかり、自然エネルギー発電の導入を促進し、原子力発電の有効利用を可能とする水素・電力協調エネルギーインフラの構築が、温室効果ガス排出削減の一つの方向性である。

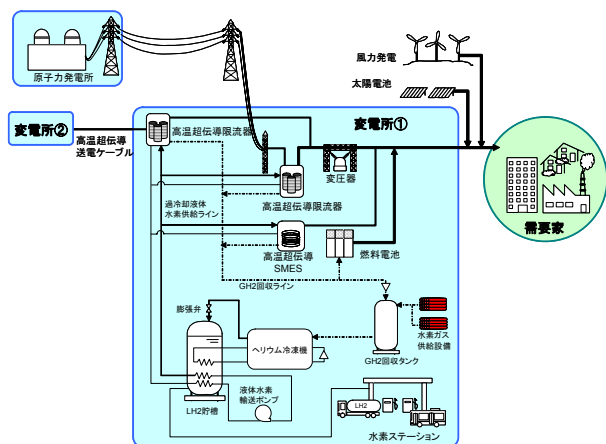


図1 水素・電力協調エネルギーインフラの概念図

このようなシステムの実現には、液体水素に特有な物性に関して、他の冷媒のとの対比も含めた十分な理解、その超電導材冷媒における優位性を引き出すための導

体構造、循環ポンプを含む冷却システムの開発が不可欠で、これには従来に例がないため実験装置や手法においてもブレークスルーを必要とする。さらに液体水素環境への電力エネルギー導入に関して、防爆対応をはじめとする法規制への対処も重要課題となる。

これらの中で、まず液体水素の熱伝達特性基礎データの整備を進めている[1]、[2]。超電導機器冷却設計に必要な液体水素の熱伝達特性データを収集し、データベースを構築する予定である。

次に、超電導材料(YBCO、BSCCO、MgB<sub>2</sub>)の液体水素冷却における電気磁気特性の測定を計画している。近年酸化物超電導材料を用いた線材の開発が進み、機器設計の視点から見れば、超電導材料が何度で超電導特性を示すかではなく、何度での運用設計を行うかが重要な視点となる。BSCCO系、YBCO系超電導線の特性は、液体水素温度では大幅に改善されるため、適用可能な領域は大幅に広がる。また、大きな蒸発潜熱や低い粘性(液体窒素の1/10)は強制対流を利用した冷却に有利である。超電導導体の超電導特性・温度マージンや構造材料の比熱、冷却安定性などを考慮すれば、液体水素による冷却を前提とした超電導応用機器の可能性は非常に大きい。

しかし、可燃性の液体水素冷却超電導導体の開発はほとんどない。液体水素の取り扱いも含めてそのメリットと課題を明らかにするため、液体水素冷却超電導導体の開発を実施する予定である。

## 3. 液体水素熱流動特性試験

### 3.1 液体水素熱流動特性試験装置

まず、液体水素浸漬冷却、強制対流冷却を想定した超臨界圧まで含めた液体水素熱流動特性試験を実施している。試験装置は試験体を設置するクライオスタット(設計圧力2.0 MPaG)、サブタンク、流量調整弁付トランスファーライン、水素ガスライン、放出用ベントラインからなる。図2に写真を示す。クライオスタットの充填容積は50 Lであり、液量とその変化は重量計で計測する。

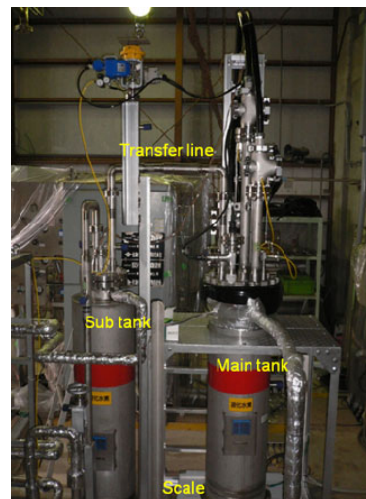


図2 液体水素タンクの写真



### 3.2 液体水素の熱伝達特性試験

プール沸騰冷却について、種々のサブクール度において定常および過渡熱伝達特性を測定した(大気圧～1.1 MPa)。マンガニン平板に、熱入力指数関数状となるように通電し、発熱体表面熱流束と加熱度を求めた。図3に飽和過渡沸騰熱伝達特性実験結果の一例を示す。 $\tau$  (period) は、加熱速さのパラメータである。液体窒素の過渡沸騰で見られるような非沸騰域から膜沸騰への直接遷移は見られなかった。

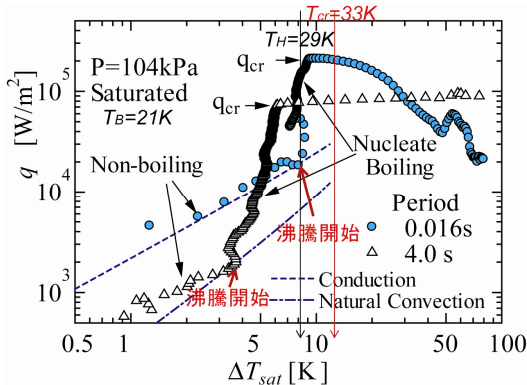


図3 飽和過渡熱伝達特性実験の例

また、強制対流冷却について、圧力、サブクール度、流速を変化させ、管径、長さをパラメータとした円管流路における熱伝達特性の測定を進めている。図4に、実験結果の一例を示す。SUS円管(直径6 mm、加熱部100 mm)を発熱体として通電加熱し、種々の流速での強制対流下で熱伝達特性を測定した。

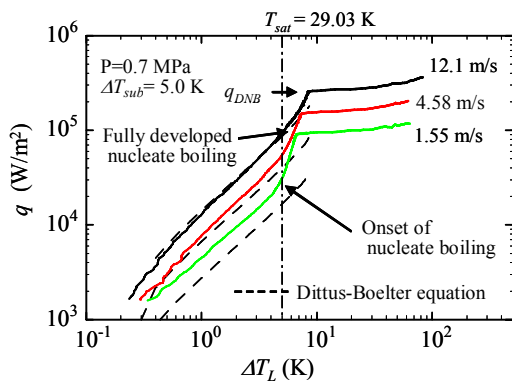


図4 強制対流熱伝達実験結果の例

### 4. まとめ

プロジェクトはスタートしたばかりであるが、液体水素が超電導応用においてどのような位置づけとできるのかを念頭に、液体水素の浸漬冷却・強制冷却基礎特性データベースの構築、 $MgB_2$ をはじめとした超電導材料の液体水素冷却における電気磁気特性データベースの構築を着実に進め、冷却形態の検討、冷却システム

の要素技術開発、液体水素冷却超電導導体の開発につなげたいと考えている。

### 参考文献

- [1] Yasuyuki Shirai, *et al.*, “Boiling heat transfer from a horizontal flat plate in a pool of liquid hydrogen”, *Cryogenics* **Vol. 50** (2010) 410–416.
- [2] Yasuyuki Shirai, *et al.*, “Forced flow boiling heat transfer of liquid hydrogen for superconductor cooling”, *Cryogenics* **Vol. 51** (2011) 295–299.

### (4) 原子レベル制御による 120 K 級超伝導線材の開発

#### Creation of a 120 K superconducting wire through atomic-level control

九州工業大学  
松本 要

Kyushu Institute of Technology  
K. Matsumoto

我々のチームでは、昨年度のJSTの先端的低炭素化技術開発事業の公募に掲題の件名で応募し、採択された(チームは九州工業大学、名古屋大学、東北大学、物材機構の研究者で構成されている)。最終的なヒアリングは、東日本大震災直後の3月13日に東京で実施され、大変緊迫した中でのプレゼンとなった。幸いにもプロジェクトは採択され実施の運びとなったが、構成員の中には大震災で被災し、人的被害はなかったものの、実験装置が壊れたり動かないなどの被害に見舞われた。同時期に採択された他チームにおいても同様の事情が発生しており、各チーム、しばらくは復旧に尽力するという異例のスタートとなった。ようやく最近では、通常の研究推進モードになってきており、今後の進展が期待される状況に至っている。この小文では、我々チームが提案している研究ターゲットについて簡単に紹介したい。

本研究では、原子レベルからの格子制御・キャリア制御・ナノ構造制御というコンセプト(原子レベル制御)に基づき、銅酸化物超伝導薄膜の臨界温度 $T_c$ 、不可逆磁場 $B_{irr}$ 、臨界電流密度 $J_c$ を同時に向上させ、現状の超伝導線材の特性を大きく超えて、より高温・高磁場中において使用可能な120 K級超伝導線材を実現することを目的としている。より具体的には、図1に示すように、従来の線材性能を大きく凌駕して、①応用の基本となる超伝導線材の $T_c$ を向上させ、②熱ゆらぎの効果を抑制して冷却コストを低減し、かつ③高温・高磁場中における

$B_{irr}$  と  $J_c$  を増大させて、図中の網掛けの領域のように、線材の適用範囲を飛躍的に拡大することを目指すものである。本提案のような120 K級超伝導線材が実現できれば、低炭素化技術として超伝導を広く普及させていくために大きな推進力になると期待できよう。21世紀、人類社会は化石燃料主体のエネルギー消費型社会から、CO<sub>2</sub>排出の少ない原子力、風力、太陽光などから電気を生み出しこれらを高効率で利用する低炭素型エネルギーネットワーク社会へと徐々に移行していくと考えられている。電気の効率的な“貯蔵・輸送・利用”を可能とする超伝導は、CO<sub>2</sub>排出削減・エネルギー損失低減が要求される低炭素型社会にマッチした不可欠な技術となるだろう。来たる普及時期において、本研究の120 K級超伝導線材技術が確立していれば、数々のメリットから、人類は既存技術から一歩踏み出し、“電気抵抗ゼロ”の超伝導を広く利用する可能性がある。

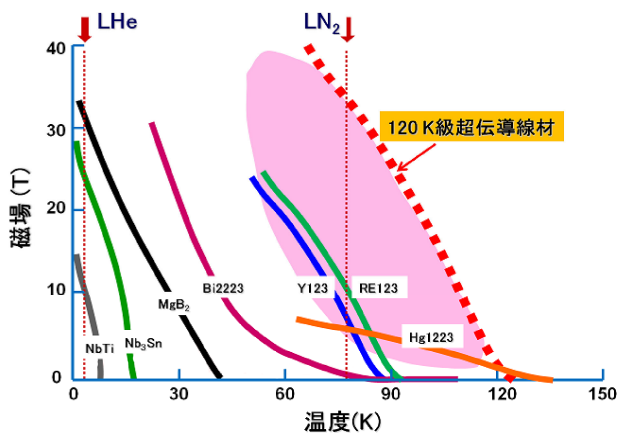


図1 本提案の120 K級超伝導線材と従来線材の特性

120 K級超伝導線材実現に向け、本研究ではエピタキシャル銅酸化物超伝導体薄膜に着目している。物質群としては Hg1212、Hg1223 ( $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+x}$ 、 $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$ )、Bi2212、Bi2223 ( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ ) や RE123、RE124 ( $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ 、RE=希土類) 等を想定している。よく知られているように、Hg1223は超伝導体の中で最高の  $T_c = 134$  Kを示すが、図2に示すように、 $T_c$ は30 GPaという超高压(静水圧)では、室温の半分の164 Kに達する[1]。これは、現存する銅酸化物超伝導体の  $T_c$  や  $B_{c2}$  が必ずしも最適化されておらず、格子制御やキャリア制御によって調整可能なことを意味する[2]。

本研究では、格子制御・キャリア制御・ナノ構造制御という原子レベル制御によって上記の銅酸化物超伝導薄膜  $T_c$  制御を行う。このとき上部臨界磁場  $B_{c2}$  も増大することから、 $B_{irr}$  も増大すると期待できるので、提案者らが取り組んできた  $J_c$  向上のためのナノ構造制御によって

適切な人工ピンを導入し、従来材料の限界を超えて高  $T_c$ ・高  $B_{irr}$ ・高  $J_c$  を同時に達成する超伝導薄膜の実現を目指すものである。さらに発展させて、金属基板上において同様な効果を確認することで線材化を進めていく予定である。

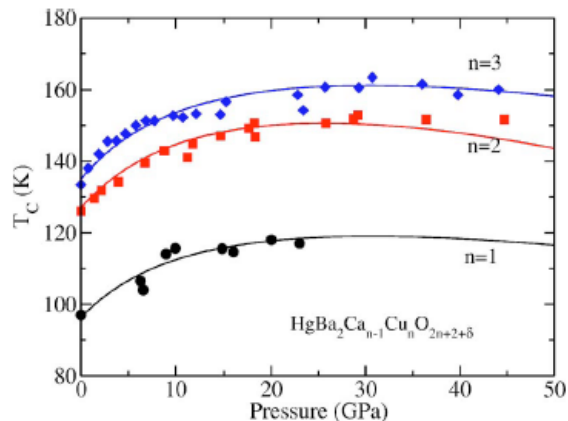


図2 (a)  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+x}$  の  $T_c$  の圧力依存性

本研究の背景と意義は次のようである。銅酸化物高温超伝導体の発見以来、1/4世紀を経て、現在ようやく実用的な超伝導線材が生み出されてきた。それは、送電ケーブルに利用されているBi2223銀シース線材と、各種応用が期待されるRE123薄膜線材である。これらは高い  $T_c$  を有するため、安価な液体窒素を用いて“電気抵抗ゼロ”という競合相手のない優れた機能を実現する。その恩恵は計り知れない。電力送電においては、エネルギー損失を大きく低減してCO<sub>2</sub>の削減効果も大きくなり、長距離になるほどその効果は増大する。電力機器やモータにおいても、性能向上・エネルギー損失の低減とともにCO<sub>2</sub>削減、装置の小型化を実現し大容量化につれメリットが大きくなる。

しかし抵抗ゼロの技術を支える現状の線材特性には一長一短がある。Bi系の  $T_c$  は100 K以上ではあるが、 $B_{irr}$  が低いいため77 Kにおいてはケーブル応用に限られる。Y系の  $B_{irr}$  は高いが、 $T_c$  が約90 Kであるため77 K使用においては熱ゆらぎの影響が大きく、磁場応用には65 K以下まで冷却する必要がある。これら応用上の制約は、Bi系やY系自身の結晶構造や電子構造に起因しており、これらを克服するには多くの困難を伴っている。

本研究は、この限界を打破するべく原子レベル制御というコンセプトに基づいて、高温・高磁場で使用可能な120 K級超伝導線材の創出を目指している。銅酸化物超伝導体の基本特性が向上すれば、学術上および応用上、大変大きなインパクトが得られよう。本提案の手法が有効であることが証明されれば、銅酸化物超伝導体の見直しが始まるかもしれない。本研究は、“電気抵抗ゼロ”の超伝導技術の普及を推し進めることに直結し

ており、超伝導が低炭素化技術の重要技術として発展していくことに一役買うことになるかと期待するものである。

#### 参考文献

- [1] L. Gao *et al.*, Phys. Rev. B **50**, 4260, 1994.
- [2] 高橋博樹、“マテリアルサイエンスにおける超高压技術と高温超伝導研究”、日大叢書、2006.

## <会議報告 1>

### (1) ISS2011 会議報告 (物理・化学・磁束物理分野) Conference report on ISS2011 (Physics, Chemistry and Vortex Physics)

(財)国際超伝導産業技術研究センター  
筑本 知子

International Superconductivity Technology Center  
N. Chikumoto

本分野では特別基調講演1件、基調講演1件、物理化学5、磁束物理1の合計6つの口頭講演セッションで31件の講演、そしてポスター発表は75件であった。全体を通して、鉄系超伝導体関連の発表が数多くみられ、発見から3年以上が経過してもなお、活発に研究が行われていることが伺われた。

今年には超伝導現象発見100周年ということもあり、初日の特別基調講演では、超伝導発見の地であるライデン大のKes氏よりKamerlingh Onnesのノートや数多くの写真・図面などの資料をもとに明らかになった、発見当初の状況についての詳細が報告された。また東北大の立木氏は、基調講演にて超伝導の100年の歴史についてレビューを行った。BCS理論が発表された当時は、なかなか受け入れられず、日本でもこれをめぐるシンポジウムが開催され否定的な意見が大多数であったということが、印象に残った。

2日目以降の口頭講演セッションの物理・化学分野では、鉄系超伝導体の超伝導状態におけるギャップ関数が $s_{\pm}$ か $s_{++}$ かということや、電子系のネマティック秩序などがホットな話題であった。

スタンフォード大のAnalytis氏はCoドーブ及びPドーブBa122単結晶における輸送特性の面内異方性のドーブ量依存性について測定し、underdope状態でみられた異方性を電子ネマティック秩序と関連づけて議論した。吉澤氏(岩手大)はCoドーブBa122の超音波測定を行い、 $C_{66}$ のソフト化の度合いのドーブ量依存性から、 $T_c$ と構造不安定性に強い相関があることを見いだした。Fernandes氏(コロンビア大)は、鉄系超伝導体の異方的な電子状態に関して、Ising-nematic stateを提案した。町田ら(原研)は第一原理計算に基づく軌道秩序の計算を行い、吉澤氏の実験結果を良く説明することを指摘した。笠原氏(京大)はPドーブBa122について輸送特性や磁場侵入長の測定から、量子臨界点が存在することを見いだした。

Huangら(Hefei大)は $K_{0.8}Fe_{2-y}Se_2$ のFeサイトのMn, Co,

Ni及びZn置換効果について報告し、Mn以外の添加により超伝導性が著しく抑制されることを述べた。一方、NIMSのLi氏はKドーブBa122の鉄サイトに様々な元素置換を行っても $T_c$ に対する影響が小さいことから、ギャップ関数が $s_{++}$ であると示唆した。一方、東大の鍋島氏はFe(Se,Te)に対するCo添加効果から、 $s_{\pm}$ 波であると結論づけた。

新奇超伝導体関連では、東大の仲島らが二ギャップ超伝導体 $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ における不純物効果について、 $T_c$ の低下とともに両方のギャップが小さくなり、 $\text{MgB}_2$ と異なるふるまいであると指摘した。Kaczorowski(ポーランド科学アカデミー)は重い電子系超伝導体 $\text{Ce}_2\text{PbIn}_8$ でのFFLO状態の可能性について、広島大の鬼丸氏は $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ における超伝導状態と反強磁性状態の共存について、それぞれ議論した。また、最近、反転対称性をもたない物質系が注目を集めているが、大阪大の瀬川らは $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の合成に成功し、輸送特性、比熱測定などから、超伝導性を確認したことを述べた。続いて、京大の藤本氏は反転対称性をもたない超伝導体で期待される物性について理論的考察を述べた。理研の挽野らはSN接合によって、大きなスピンHall効果が得られることを予測し、将来のスピンロニクス素子として有望であると述べた。

鉄系超伝導体の新物質についても、いくつかの興味深い報告があった。Guoら(中国科学アカデミー)はFeSeにKをインターカレートした構造をもつ $\text{K}_x\text{Fe}_2\text{Se}_2$ の物性に関する報告を行なった。続いてZhangら(中国科学アカデミー)は同物質のFeサイトのMn, Co, Ni及びZn置換効果について報告し、これらの置換による局所的な格子の歪みが特性に影響していることを示唆した。またペロブスカイト構造をブロック層に含む新超伝導体について、Shirageら(AIST)は $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_{6y}\text{Fe}_2\text{Pn}_2$  (Pn=As:28.3 K, P:17.1 K)及び $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_{5y}\text{Fe}_2\text{Pn}_2$  (Pn=As:30.2 K, P:16.6 K)を見出し、東工大の片桐ら(東工大)は $\text{Sr}_2\text{VFeAsO}_3$ の単結晶合成を行ない、その物性について報告した。東大の為ヶ井らは希土類ドーブCa122の臨界電流特性について、また東大の岡田らは $\text{LiFeAs}$ のマイクロ波測定に基いて電子状態の対称性について、それぞれ議論した。

銅酸化物系についても、メカニズムに関わる新たな知見がいくつか報告されていた。藤田(Cornell大)らは、STM/STS測定結果より、擬ギャップ領域において、ネマティック秩序が生じていることを示唆した。NTTの山本らは214系についてキャリアドーブが0の場合にも超伝導状態が発現することを報告し、従来の報告で反強磁性となったのは、頂点酸素の存在が電子を散乱して対破壊していたためと指摘した。また東北大の野島らは電気

化学的手法により、YBCOをn型金属まで還元することに成功したことを報告した。

磁束物理については、まずvan der Beekら(Ecole Polytechnique)が鉄系超伝導体のピン止め特性に対する不純物添加や欠陥の影響について、欠陥サイズや電子状態の対称性の観点から議論した。また筑本ら(ISTEC)はBa122単結晶におけるピン止め特性に対するP添加とCo添加の違いについて報告した。大阪府大のHoらは90  $\mu\text{m}$ サイズに加工したMoGe膜についてSQUID顕微鏡で磁束線観察した結果を報告した。東京理科大の西尾らは $\text{MgB}_2$ の磁束観察結果から第1.5種超伝導体となっていることを指摘し、東北大の小山らは非局所的GL理論から $\xi < 1$ のとき、磁束間に引力があらわれることを見出した。最後に藤林ら(大阪府大)はCorbino diskにおいて電流を流した時の磁束挙動の計算結果を紹介した。

## (2) ISS2011 会議報告(線材・大型応用)

Conference report on ISS2011

(Wire & Application)

(財)国際超電導産業技術研究センター

坂井 直道

International Superconductivity Technology Center

N. Sakai

今年超電導発見の100周年かつHTS発見の25周年記念ということで、線材分野では、超電導線材開発の歴史を辿る特別セッションが催された。まず、LTSの発見と線材化の歴史から始まり、Bi系材料の発見と線材化、 $\text{MgB}_2$ の発見と線材化、Y系およびFeAs系の線材化に至るまで、その開発の道のりと今後の方向性を示すレビューが各専門家からなされた。線材・大型応用分野で最も報告件数が多かったのがY系関係であることから、以下、Y系に焦点を絞り報告する。

Y系線材の実用化にあたり現時点での主な課題として、磁場中 $J_c$ の向上、交流損失の低減、剥離を含めた機械的特性を向上させ機器利用時の信頼性を高めることの3つが多く挙げられていた。もちろん、製造コストの低減や長尺化がある程度達成されていることが前提である。これらの課題を解決するための検討結果が数多く報告されており、その一部を報告する。

Y系線材の長尺化は着実に進歩しており、フジクラがPLD法を用いて作製したGd123系線材で、572 A  $\times$  816.4 m=466981 Amと $I_c \times L$ の最高値を塗り替えたと報告があった。また、SuperPowerでは1400 mを超える線材



をコンスタントに生産し、年産数百kmの線材製造が可能になっているとのことである。

$J_c$ 向上に関するトピックスとして、Tobita氏 (ISTEC) は、 $BaHfO_3$ (BHO)をドープしたPLD線材において、膜厚を厚くしても3 Tの磁場中 $J_c$ が低下しない線材が得られたと報告した。通常、 $BaZrO_3$ ナノロッドは膜厚上昇に伴いロッドが傾き磁場中 $J_c$ が低下してしまうが、BHOナノロッドは膜厚上昇に伴うロッドの傾きが少なく、かつBHOロッド径が細くマッチングフィールドが高いことが磁場中 $J_c$ が低下しない理由であろうと報告していた。

交流損失の低減方法としては、スクライブ加工による線材の細線化、線材間隔を狭くするなど配置の精密な調整、線材幅方向の $J_c$ の均一化、など様々な方法が提案され、その有効性が示されていた。

機械特性として、コイル化時にエポキシ含浸樹脂と線材の熱膨張係数差により剥離が生じることがあると報告されていたが、樹脂材料の変更や樹脂固定部分を少なくすることで、剥離による特性劣化が抑制できることが、理研および東芝から報告された。また、AMSCからCuラミネート幅の増加による剥離強度の改善、Houston大等から剥離検査方法の提案がなされた。Sugano氏 (原研) から、放射光を用いた線材の内部歪計測に関する検討結果が報告され、各種作製プロセスで製作された線材の応力・歪特性の違いが、基板の機械的特性の違い、残留応力および結晶方位の違いに大きな影響を受けていることが示された。

大型応用のセッションでは、ケーブル、限流器、変圧器、強磁場マグネット、電力貯蔵、回転機応用など現在国内外で進められている様々なプロジェクトや検討に関する報告がなされた。

超電導体化のメリットとして、高磁場化、高効率化、サイズ・重量の低減、などが挙げられる。例えば、ダイレクトドライブ方式の10 MW風力発電機では、従来のCu線を用いると重くかつ大きくなりすぎて実用的でなくなってしまう。しかし、HTS超電導化により、現在の4.5 MWの体格で10 MWの超大型機の製作が可能であり、大幅なダウンサイジングが図れると報告された。また、1 GHz超の高感度NMRも、HTS利用でしか達成できない分野である。このように、既存製品の小型化・高性能化のみならず、HTSにしかできない応用に関しても広く検討されていた。

Closing RemarkにおいてMaeda氏 (理研) より、機器開発側の意見として、HTS線材の機器応用開発は幅広く進められているが、現時点では、線材と機器開発との間にギャップがある、これは、線材を機器に組み込んだ際の挙動や信頼性に関わる箇所でも未知なところがあり、それらを明らかにするために、コイル化技術など基礎的

な研究を積み重ねて、明確にしていく必要があるとの提言がなされた。HTS線材の機器応用開発はまだ始まったばかりであり、応用により様々な課題が出つつある。これらを線材開発にフィードバックすることで、より高特性で信頼性の高い材料を開発することが望まれている。

### (3)ISS2011 会議報告(薄膜・デバイス)

#### Conference report on ISS2011 (Thin films and devices)

(財)国際超電導産業技術研究センター  
尾尾 信也

International Superconductivity Technology Center  
S. Hasuo

薄膜・デバイス関係の発表から主なものを紹介する。この関連では、口頭発表21件(うち一件は基調講演)、ポスター発表57件であった。このうち、SQUIDに関する発表が17件、鉄系薄膜に関する発表が12件と多かった。これらの中からいくつか報告する。全体としては、SQUIDやセンサ関連の発表が多くデジタル関連は例年に比べると少なかった。

基調講演では、東芝の加屋野氏から「気象レーダ用狭帯域ハイブリッド送信フィルター技術」と題して発表があった。気象レーダ用の送信機からパルス電波が出されるが、そのパルス波形のサイドローブをカットする必要がある。帯域が40 MHzもあれば従来型と超電導のフィルターの挿入損失はあまり変わらないが、帯域が3 MHzになるとその差は大きい。パワーの大きいところは従来のフィルタ(ウェーブガイド型)で処理し、周辺の周波数のパワーの小さいノイズは超電導フィルターで取り除くシステムを構成した。この技術を使ってハイブリッドフィルターを試作した。ウェザーレーダーシステムに接続して使用した。100 kWクライストロンに傍にフィルターシステムを同じラックにマウントして、新横浜サイトと埼玉新都心サイトに設置した。0.055%帯域で100 kW動作を実施し、挿入損失1.7 dB、減衰量33.5 dBを確認した。

ドレスデン大学のSiedel氏からは鉄系超電導デバイスの開発について報告があった。エピタキシャル成長した $BaFe_{1.8}Co_{0.2}As_2$ (Ba-122)薄膜(厚み: 80 nm)を用いてBa122-Au-PbInのジョセフソン接合を作り、シャピロステップを確認した。バリアは約5 nmのAu薄膜である。そのほかにも鉄系に関しては口頭発表5件、ポスター7件の発表があった。

岡山大学の塚田氏からはDC方式とAC方式のHTS SQUID磁束計のシステム開発について発表があった。

燃料電池と太陽電池の欠陥検査、米、土、コンクリートの磁氣的性質測定などへの応用が報告された。

九州大学の円福氏からはリッツ線のピックアップコイルを用いたHTS SQUID高感度磁束計の報告があった。通常の単線の銅線に比べ撚線にしたリッツ線のピックアップコイルを用いると、フィールドノイズを $1 \text{ fT/Hz}^{1/2}$  ( $f > 30 \text{ kHz}$ )以下にできることを示した。

ISIECの河野氏はHTS SQUID磁束計を用いた磁化材料の非破壊検査を行った。分離型のインプットコイルをSQUIDに接続し、SQUID自体はBi2223バルクで磁気シールドした。強磁性サンプルを測定し、スリットの位置を計測できた。またフェライト磁石(10 mT)をAl板の上に載せて測定したが、その影響は全くなかった。さらに従来は $dB_z/dy$ しか測定できなかったが、インプットコイルを立体型にしたことにより $dB_z/dz$ が測定できるようになった。

豊橋技術科学大学の廿日出氏は平打組物炭素繊維強化ポリマー(CFRP)のHTS SQUIDによる非破壊検査についてポスター発表を行った。CFRPにカーボンナノファイバー(CNF)を混ぜたものと混ぜないものの機械的性質の評価と引っ張り試験を行った。HTS SQUIDの磁束計を用いて測定した結果、CNFの有無による機械的性質および引っ張り強度に明確な違いがあることを示した。

そのほかSQUIDに関しては15件以上の発表があった。ここで紹介したSQUID関係の発表だけでなく多くの発表が、ISTECで作製したHTS SQUIDを用いていた。このSQUID作製の詳細についてはISTECの安達氏が報告した。とくに今回の報告はY系線材を用いてベースラインが13 cmのグラジオメータの作製について述べた。

デジタル関係では、Savoie大学のFebvre氏がSNIS構造を用いた接合のデジタル回路への応用について述べた。Nb/Al-AIOx/Nb構造でAlを30-100 nmと厚くすることにより、ヒステリシスのないセルフシャント型の電流-電圧特性を得ることができる。シャント抵抗がいらぬので集積面積は従来型の1/4になる。

京大の高木氏は科学技術振興機構(JST)の再構築可能なデータプロセッサ(RDP)プロジェクトの紹介を行った。現在、43,413個のジョセフソン接合を含む4ビット×4ビットのRDPをテストしていることを明らかにした。ISTECのアドバンスドNbプロセス(ADP)に対応した論理セルライブラリを用いることにより、従来に比べると回路面積を81%小さくすることができた。

名大の北山氏は、動的電力を減らした超低消費電力SFQ回路について報告した。電流を減らす場合と電圧を減らす場合を検討した結果、消費電力が同じならば電流を減らすほうが動作速度を高速に維持できるという

結論を得た。

横国大の吉川氏は、断熱量子磁束パラメトロン(Adiabatic Quantum Flux Parametron)を提案した。磁束量子の状態を変化させることによって1、0を切り替える究極の省エネルギー回路である。最小のスitchングエネルギーは $k_B T \ln 2$ であることを示した。

Delft工科大学のDorenbos氏はNiTiNのSSPD(超電導単一光子検出器)を用いて単一電子の検出を行ったことを報告した。SSPDを電子顕微鏡の中にセットして電子ビーム源からの電子を検出し、最終的に一個の電子まで検出できることを示した。そのほか $\alpha$ 線源や $\beta$ 線源からの粒子の検出も行った。

大阪府立大の石田氏は、 $\text{MgB}_2$ のニュートロン検出器について報告した。200 nm厚で $1 \mu\text{m}$ 幅の $\text{MgB}_2$ 薄膜をメアンダー状に配置した。動作点は冷凍機の中で25.0-26.3 Kとした。8chの回路を作り、そのうちの4chを用いて $1.5 \mu\text{m}$ の光を検出することができた。

## <会議報告 2>

### 第15回日米超伝導ワークショップ会議報告 The 15<sup>th</sup> Japan-US Workshop on Advanced Superconductors

#### (1) HTS Tape (Bi Tape, YBCO Tape) 1

京都大学  
Kyoto University  
土井 俊哉  
T. Doi

第1日目午前中前半のセッションでは、Y系線材に関して3件の講演があった。フジクラの菊竹氏から“Development of 800-m Class RE123 Coated Conductors by IBAD/PLD”と題して、フジクラにおけるコート線材の研究開発状況が紹介された。816.4 mの長尺PLD-GdBCO/CeO<sub>2</sub>/IBAD-MgO/Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni基耐熱合金テープ状線材において572 Aの高い $I_c$ が得られており、 $I_c \times L$ は446,981 Amの世界最高値を記録した。フジクラ製の線材は磁場中特性にも優れ、人工ピン導入無しの2.26  $\mu\text{m}$ 厚の線材の磁場中 $J_c$ は50 K、3 Tにおいて1.7 MA/cm<sup>2</sup>に達している。またこれらの線材を用いて6個のパンケーキコイルを重ねたコイルを作製し、50 Kの伝導冷却状態で中心磁場1.27 Tを発生したことを報告した。線材の剥離に関する改善結果も報告され、剥離問題もほぼ解決しつつあることが示された。

アメリカンスーパーコンダクタ (AMSC) 社の J. J. Gannon 氏からは、“Key Progress in MOD YBCO / RABiTS™ 2G Wire Technology”と題して、AMSC 社が開発を進めるMOD-YBCO / RABiTS 線材の最新状況が報告された。YBCO 層をシングル厚塗りで形成した線材の磁場中  $J_c$  とその角度依存性の詳細なデータや、様々なアプリケーションに対応したデザインの線材が紹介された。MOD-YBCO/RABiTS 線材は低コスト化が期待されているが、Ni-5at%W 合金テープが有する強磁性が AC 応用の際に問題となることが指摘されている。今回の発表では W 濃度を高めることでヒステリシスロスの低減を狙った Ni-W 合金テープに関する結果も報告され、今後の進展が期待された。

ISTEC-SRL の吉積氏は、“Introduction of artificial pinning centers into RE123 coated conductors”のタイトルで、IBAD テープ上に形成する Gd123 超伝導層中に人工ピンとして BaSnO<sub>3</sub>, BaZrO<sub>3</sub>, BaHfO<sub>3</sub> を導入した結果について報告した。何れの物質も Gd123 層中でナノロッドを形成してピン止め点として機能したが、BaHfO<sub>3</sub> が最も有効であり、77 K における  $J_c$  は自己磁場中で 685 A/cm-W、3 T における  $J_c$  は 0.3 MA/cm<sup>2</sup> と非常に高い値が得られたことを報告した。また、他のピン止め材料と異なり、BaHfO<sub>3</sub> を使用した場合は少なくとも 3 μm までは膜厚化しても磁場中  $J_c$  が低下しないことを示した。

## (2) HTS Tape (Bi Tape, YBCO Tape) 2

独立行政法人物質・材料研究機構  
北口 仁  
National Institute for Materials Science  
H. Kitaguchi

初日のコーテッド・コンダクタ関係セッションの後半では3件の講演があった。京大・土井は、“Development of new YBCO coated conductor using {100} <001> textured Cu tepe”と題して、銅の再結晶配向組織を利用した基板材料について発表した。Ni合金系基板では交流損失につながる磁性が問題となったり、コストが問題となったりする。このため、磁性が無く、より安価な銅を基板として用いることを提案するものであった。銅で懸念される強度不足に対する解決策とともに、一層安価な基板材料とするべく、圧延と焼鈍の組み合わせで集合組織とした 30 μm 厚銅テープを 100 μm 厚ステンレス合金と貼り合わせたテープを検討した。それを基板として作製した YBCO は良好な配向を示すと共に、下地である銅の粒界を反映するような凹凸も表面には認められず、2

MA/cm<sup>2</sup>を超える  $J_c$  を有すると報告した。SuperPower 社・Zhang はコーテッド・コンダクタにおける剥離の問題を論じ、様々な評価手法が報告されているが、特性が一桁以上異なっている状況であることを指摘し、剥離に対する標準的な評価手法が必要であると述べた。剥離の問題は実用上も重要であり、活発な意見交換が行われた。KEK・菅野は、コーテッド・コンダクタの  $J_c$  の歪依存性が製法等によって異なることについて、結晶  $a$  軸方向と  $b$  軸方向で歪感受性が異なることに起因するとの結果を述べた。

## (3) Large Scale 1

九州大学大学院システム情報科学研究院  
井上 昌睦  
Graduate School of Information Science and Electrical  
Engineering, Kyushu University  
M. Inoue

本セッションでは、超伝導応用に関する講演が6件行われた。

鉄道総研の Nagashima 氏からは、希土類系高温超伝導線材によるコイルを採用した Maglev の研究について報告がなされた。レーストラック形状のシングルパンケーキコイルを4層積層したモデルコイルでの試験では、50 K にて 1 T を超える磁場を発生させることに成功している。また、冷凍機フリーの冷却においては初期温度の 20 K から 50 K までの温度上昇に要する時間は約 9 時間であった。今後は、5 T 級のマグネット開発を進めるとのことである。

九州電力の Okamoto 氏および住友電工の Ohya 氏からは、それぞれ NEDO の Y 系電力機器開発プロジェクトに係る変圧器開発および電力ケーブル開発についての報告がなされた。変圧器は付随する限流機能を含めて計画どおりの進捗とのことであった。電力ケーブル開発では、東日本大震災の影響で当初予定からの延期を余儀なくされたものの、旭変電所での実系統での試験に向けた準備が進められているとのことである。

NIMS の Matsumoto 氏からは、希土類系高温超伝導線材を内層コイルに用いた 24 T 級マグネットの開発について報告がなされた。17.2 T でのバックアップ磁場中で GdBCO コイルに 321 A を印加し、24.03 T (ホール素子による測定) の中心磁場を得ている。24 T 級マグネットの成功の報告の一方で、線材に起因するコイルの不安定性についても言及しており、一部の線材では、線材の臨界電流 ( $J_c$ ) より低い通電電流で焼損したり、通電試験を

繰り返す度にコイル $I_c$ が低下することだった。これは、超伝導特性の局所的な劣化に起因するものと考えられることから、その原因を明らかとすることが重要である。

MITのIwasa氏からは、YBCO薄膜線材を用いた小型NMRの開発に関連する研究について報告がなされた。研究のひとつは、SuperPower社の40 mm超幅の線材を切り出して25 mmのボア径を設けたものを積層した超伝導マグネットの作製である。各線材の超伝導特性を考慮した積層を施すことにより、空間均一性を向上させることに成功している。また、磁化緩和については、0.21 Tの補足磁場の場合、緩和初期で101 ppm/hr、2時間で28 ppm/hrとのことであった。研究のもうひとつは、46 mm幅のYBCO線材を用いたシムコイルの作製である。フレキシブルな平板線材を用いることにより接続部位の無い1ターンコイルを作製し、Z1シムコイルに適用しようという趣旨である。線材の一部にヒーターを取り付けることにより、電流印加状態と永久電流モードの切り替えを実現するなどの工夫がなされており、将来の実現を感じさせる内容であった。

LANLのTajima氏からは、RF空洞への適用を指向した $MgB_2$ 薄膜の研究について報告がなされた。共蒸着法により作製された厚み200 nm、300 nmの $MgB_2$ 薄膜では、全ての温度領域でNbを超える磁束の侵入磁場 $B_{pen}$ が得られていることから、 $MgB_2$ 薄膜のコーティングによるRF空洞で高い加速勾配が得られることが期待されることである。

## (4) Large Scale 2

鹿児島大学  
川越 明史  
Kagoshima University  
A. Kawagoe

第15回日米先進超伝導ワークショップ (The 15<sup>th</sup> Japa-US Workshop on Advanced Superconductors)は、2011年10月27日～29日に、大阪の住友クラブ、大阪製作所にて開催された。28日午後の後半のセッションについて報告する。

本セッションでは4件の発表があった。

京都大学の雨宮らは、重粒子線治療用への応用を目指し、コイル支配型FFAG加速器に使用するマグネットの設計結果について報告した。マグネットに使用する巻線には、フラットワイズの曲げ半径で20 mmまで、エッジワイズ曲げの曲げ歪は0.3%以下までを許容して設計されていた。磁場精度に及ばず線材磁化の影響や機

械的な特性を考慮して設計を行なっているとのことであった。

川崎重工の梅本らは、船舶用ポッドに使う小型で高効率の高温超電導モータの開発を行った結果について報告した。このモータは空芯のコイルを使用しており、回転子を高温超電導化している。使用線材はBSCCO-2223線材である。このコイルで、450 kWの出力を98%の効率で達成した結果について報告した。さらに全超電導化を行なうことによって、出力1 MWを達成することが可能であると報告した。

京都大学の中村らは、超電導誘導同期回転機の自律安定性について報告した。かご形誘導機の2次側を超電導化した本回転機には、同期回転が可能など、既存回転機にない新機能を有している。本回転機は、かご形誘導機と同等の基本構造を有していることから、2次巻線が低抵抗だと回転不安定になることが指摘されていたことについて、起磁力依存の非線形抵抗を利用することによって回転安定性が保証されることを、20 kW級の試作機によって実験的に示した。実験では、無負荷状態の加速試験や、さまざまな負荷印加時の加速試験を行なって、実際に安定して回転していることを確かめたと報告した。

理研の前田らは、YBCO線材で巻線したコイルの劣化や熱暴走について報告した。エポキシ樹脂で含浸したYBCOコイルでは、樹脂硬化時やコイル冷却時に、線材基盤とYBCO層との間に剥離力が働き、劣化が生じると報告した。これに対し、YBCO線材をポリアミド被覆することによって、劣化を抑えられることを報告した。また、YBCO線材内に誘導される遮蔽電流の減衰に伴ったコイル内磁界のドリフトについても報告した。

## (5) A15, $MgB_2$

独立行政法人物質・材料研究機構  
戸叶 一正  
National Institute for Materials Science  
K. Togano

本セッションではA15型および $MgB_2$ の線材、バルクについて日本側から4件の講演が予定されていたが、1件が急遽キャンセルとなり3件の報告があった。

東海大学の太刀川恭治先生は、Sn基合金シートとNbシートを用いたJerry Roll (JR)  $Nb_3Sn$ 線材について報告をおこなった。上記JR  $Nb_3Sn$ 線材は最高の $T_c$ と $H_{c2}$ を有するが、今回はさらなる特性向上を目的としてNbシートの厚みや線径を変えて組織、特性に与える影響



を調べた。Nbシートについては100  $\mu\text{m}$ から160  $\mu\text{m}$ に厚くすることによってJR部にTiを含む $\text{Nb}_3\text{Sn}$ 層がらせん状に生成され、余剰Snによって生成されるシース部とコア部の $\text{Nb}_3\text{Sn}$ 層が薄くなる効果が観察された。その結果22 T以下のnon-Cu  $J_c$ の向上に大きな効果がみられたという。また線径を細くすると $\text{Nb}_3\text{Sn}$ の体積比が増し、non-Cu  $J_c$ が増加することも報告された。

NIMSの竹内孝夫氏は、急冷法(RHQT)  $\text{Nb}_3\text{Al}$ 線材の低磁界不安定性を解決する目的でCuバリアーを有する新たな線材を試作し、その評価結果について報告した。通常のNbバリアーではNbが超伝導状態を保持する1 T以下で磁界不安定性を示し、核融合、加速器等への応用にはその解決が望まれている。そのためTaをバリアーとする線材が開発されているが加工性に難がある。これに対し本報告では、Cu/Ta(Nb/Al)をフィラメント素線とする多芯線を作製した。磁化測定の結果から線材のフラックスジャンプは大幅に抑制され、Cuバリアーの存在が安定化に顕著な効果があることを示した。

東大の山本明保氏は冷凍機冷却による15-30 Kでの応用を念頭において、 $\text{MgB}_2$ のバルク磁石材料の捕捉磁場特性の評価を行った。バルク体はMgとB粉末から*in-situ*法によって作製した。直径30 mm、厚さ10 mmと大型であるが、組織は均一でGlobal  $J_c$ が $10^5$  A/cm<sup>2</sup>以上の良質なものであることを確認している。超伝導マグネットにより6 Tの磁界中で着磁を行い、捕捉磁界を測定した結果、同心円状の理想的な分布を示し、さらに二つのバルク体を対向させることにより17.5 Kで3 T以上の高い中心捕捉磁界が得られたと報告した。さらなる特性の改善も可能で、数テスラ級の新しいバルク磁石材料として有望といえる。

## (6) Thin Film Devices & New Materials

(財)国際超伝導産業技術研究センター

筑本 知子

International Superconductivity Technology Center

N. Chikumoto

名古屋大の川口らはMBE法による鉄系超伝導体 $\text{NdFeAs}(\text{O},\text{F})(\text{Nd}1111)$ と $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ (PドーブBa122)薄膜作製について報告した。Nd1111の成膜に関しては、酸素分圧 $PO_2$ の調整が鍵を握っており、 $PO_2$ が高すぎても、低すぎてもRMS値が大きくなり良い膜が得られないということであった。またFの導入は、成膜後 $\text{FeF}_3$ セルからFを導入する*in-situ annealing*によって行っており、F濃度またはアニール温度によりFドーブ量のコントロー

ルが可能であることを示した。一方、Ba122においても、 $x=0-1$ の範囲でPのドーブ量をかえた薄膜の作製に成功しており、抵抗率の温度依存性、 $T_c$ 値ともに、バルクの値とほぼ同じ特性が得られていると述べた。

片瀬(東工大)らは、さまざまな傾角( $\theta_{GB}$ )をもつバイクリスタル基板上にPLD法により $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ (CoドーブBa122)薄膜を成膜し、粒間臨界電流値( $J_c^{BCB}$ )の $\theta_{GB}$ 依存性を系統的に調べた結果、 $J_c^{BCB}$ は約 $9^\circ$ までほぼ一定であり、 $9^\circ$ 以上の角度においても減衰率はY系と比較してはるかに緩やかであることを見出した。また、粒界構造のTEM観察結果から、粒界付近に周期的な転位構造が観察されるが、組成が均一であり、不純物相が見られないことから、良好な接合が形成されていると考えられると述べた。

岡山大の久保園らは昨年ピセンへのアルカリ金属原子ドーピングにより $T_c$ が約18 Kの超伝導性が発現することを発見したが、その後の進展について紹介した。ピセンに対してKを添加したとき、組成式 $\text{K}_x\text{picene}$ について $x=2.9$ のとき、 $T_c=7$  K、 $x=3.3$ のとき $T_c=18$  Kとなるが、それぞれについて、ラマン分光分析を行なった結果、 $x=2$ と3の2つの相により成り立っており、 $x=3$ を含む時のみ超伝導、XRD解析結果からはKをintercalateすると $a$ 軸が著しく伸張すること、圧力効果については $T_c=7$  K相は負なのに対して、 $T_c=18$  Kは正であるなどの違いがあること、などが見出されているということである。これらの知見を鍵に、今後、本系の超伝導機構の解明が待たれる。

## (7) New Materials

物質・材料研究機構

松本 明善

National Institute for Materials Science

A. Matsumoto

15回日米ワークショップの最後のセッションでは鉄系超伝導体についての報告が3件あった。

筑本(ISTEC)からはCo添加およびP添加した $\text{BaFe}_2\text{As}_2$ 超伝導体のフラックスピンギング特性についての報告が行われた。Co添加試料は規格化したプロットにおいて同一のカーブに載ることから1つのピンギングサイトを持つことを示していることを示した。また、Co添加で観られたピーク効果はNdBCO溶融超伝導体と同じ $\delta T_c(\Delta\kappa)$ ピンギングメカニズムを有していることを報告した。一方、P添加試料ではCo添加のようなピーク効果は観察されず、 $J_c$ は磁場印加とともに急激に減少した。また、規格化した $F_p/F_{pmax}$ も同一曲線に載らないことからさらな

る研究の必要性を示した。

戸叶 (NIMS) は (K, Ba)Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>/Ag 線材の作製と超伝導特性についての報告を行った。これまで鉄系線材の報告は中国のグループおよびNIMSの11系の報告に限られていたが、戸叶らのグループによって中国のMaらのグループを超える線材特性が得られたことを発表した。また、本線材はプレカーサー粉末にAgを添加することによって熱処理を行い、さらにAg管に詰め込むことによって作製を行っているが、Agとの反応はなく、空隙を埋める形でAgが存在していることがわかった。これによって粒間の結合性も改善されたのではないかと報告があった。

Hellstrom (FSU)からも122系線材の報告があった。これまでも、鉄系超伝導体の組織と超伝導特性の評価を行って来たグループではあるが、今回、原料粉を高エネルギーボールミルによるメカニカルアロイングで作製し、銀管に詰め込み、線材作製を行った。詳細な作製方法は不明であるが、これによってどのグループよりも遙かに高い $J_c$ - $B$ 特性が得られていることを示した。122薄膜の $J_c$ が数MA/cm<sup>2</sup>であるのに対して、本線材は0.1 MA/cm<sup>2</sup>まで迫っていることを示した。この値は中国科学院のグループやNIMSグループより一桁高い値となっており、現時点で最高の $J_c$ であることを報告した。

## (8) Critical Current AC loss

九州工業大学  
小田部 荘司  
Kyushu Institute of Technology  
E.S. Otabe

会議2日目のBセッションでは4件の発表があった。

九州大学の井上は“Critical Current Property of REBCO/IBAD Coated Conductors”と題して最新のBaHfO (BHO)を人工ピンとして導入したREコート線材の臨界電流密度特性についての詳しい報告があった。これまでBaZrO(BZO)を導入したコート線材では確かに77 Kでの高磁場における臨界電流密度特性が向上するが、臨界温度の低下や20 K付近での低温ではあまり人工ピンによる効果がなく、さらに特性改善が求められていた。これに対してBHOでは臨界温度の低下が少なく、20 K付近でも臨界電流密度の向上を確認することができた。膜厚を厚くしたときも、3 μmまで順調に臨界電流が上昇し、厚膜の時の劣化が少ない。

フロリダ州立大学のPamidiは“AC Loss Measurements on 2G Superconducting Coils and Rings”と題して2Gコイ

ルについての交流損失の報告を行った。サドルコイルと蒸発法による双方の測定をおこなった。蒸発法では侵入熱を0.3 W以下と工夫した。臨界電流密度が2倍も違うのに損失がほぼ同じという結果が示され議論された。またソレノイド磁石の同極を対向させてその間で反発する磁場中に試験コイルをおき、径方向の磁場がかかるときの損失結果についても報告した。このような測定は限流器の際に必要なという。

九州大学の岩熊は“Magnetic Phase Transition of REBCO Superconducting Tapes Producing Extremely Low Ac Loss Property and its Application”と題して報告をおこなった。最近「岩熊効果」と呼ばれるようになった、傾けた磁場中で磁気履歴曲線がx軸を横切るところで磁化がゼロのまま変化し、その結果履歴曲線がつぶれた形となり、交流損失が極端に減少する現象を説明した。一方でこのときの臨界電流密度特性は従来どおりで特性の劣化はない。この現象は臨界状態モデルや磁束の可逆運動などでは説明できないということだった。他機関による確認や今後の応用が期待される。

鹿児島大学の川越は“Measurements of Electromagnetic Properties of High Temperature Superconducting Tapes by Poynting's Vector Method”と題したPoyntingベクトル測定法による最新の電磁界測定について報告を行った。同グループではこれまでもPoyntingベクトル測定法の改良を続けてきており、これまでの方法に較べて、簡便に配線をおこなうことにより信頼度の高い測定ができることを示した。また従来法と比較して正しい測定ができていることを示した。非接触で大きなコイルについても測定できるなど、他の方法にはない利点が多々あるので、さらなる実用化に向けての発展が期待される。

## (9) Critical Current AC loss & HTS Tape (Bi Tape , YBCO Tape)

超伝導科学技術研究会会長  
東京大学大学院 工学系研究科  
下山 淳一  
Faculty of Engineering, Tokyo University  
J. Shimoyama

住友電工の菊地ら(2B-5)は、自社製品のBi2223線材(DI-BSCCO<sup>®</sup>)について最新の開発動向を報告した。最近では1 kmを超える長さの量産線材で $I_c > 200$  A (77 K, 自己磁場)が実現できるようになっており、 $n$ 値を含めて長さ方向の均一性にも優れることが紹介された。さらに、熱処理条件の改善を経て $T_c$ が113 Kに向上し超伝

導転移が鋭くなったことによって $I_c$ が上昇したこと、キャリアのオーバードープ状態に制御することによって低温、磁場中の $I_c$ が向上することが示された。また、ステンレス箔と張り合わせた高強度線材も提供できることが説明された。

九工大の小田部ら(2B-6)からは、住友電工製の多芯Bi2223線材の臨界電流特性を調べた結果が報告された。55芯、121芯および211芯線の評価から、121芯以上の線材において $J_c$ 、不可逆磁場ともに高く、フィラメントの銀界面に接した部分を増やすことが線材特性の改善に有効であることが示された。また、Pbドープ量を増やした線材の方が77 Kでの臨界電流特性に優れ、これが凝縮エネルギーの増加によるピンニング力の向上に起因することが指摘された。

フロリダ州立大のKametaniら(2B-7)は、Bi2212多芯銀シース線材の熔融凝固過程の酸化物フィラメントの組織を観察し、部分熔融時には長さが $50\mu\text{m}$ を超える気泡が多数発生し、凝固後にもフィラメント内部には空隙が残ることが示された。熔融凝固前に298 kpsi (~2 万気圧)でプレスする過程を加えた線材では部分熔融時の気泡が小さくなり、凝固後の線材は4.2 K, 5 Tで $I_c=385.4\text{ A}$ 、 $J_c=807\text{ A/mm}^2$ 、 $n$ 値=21.4を示したことが報告された。

テキサスA&M大のMcIntyre(2B-8)は、部分熔融過程を経ない $c$ 軸配向Bi2212導体の開発経過を報告した。Bi2212粉末を充填した銀管を、ロール圧延によって長さ60 cmのテープ状とし、銀をアンモニアと過酸化水素の混合水溶液によって溶かして取りだしたBi2212層を焼結する方法が紹介され、これによって理論密度の70%弱の配向Bi2212厚膜が得られていた。

物材機構の松本ら(2B-9)からは、Bi2223薄膜の作製とその物性について報告があった。薄膜はSrTiO<sub>3</sub>(100)単結晶を基板として、DCスパッタリング法で成膜されており、as-deposition膜をBi2223焼結体ペレットとともにポストアニールすることによって、 $T_c$ が105 Kで77 Kにおける $J_c$ が $3.3 \times 10^5\text{ A/cm}^2$ の二軸配向薄膜が得られたことが紹介された。

## <会議報告 3>

### 応用超伝導・低温工学アジア会議報告 Report on Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics (ACASC 2011)

東北大学金属材料研究所  
小黒 英俊  
Institute for Materials Science, Tohoku University  
H. Oguro

2010年11月16日より3日間、インドのニューデリーにおいてAsian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenicsが開催された。参加国は韓国、日本、中国、インド、トルコがあり、数名のinvited speakerが欧米から招待されていた。参加者の多くはインドからで、半数以上を占めていた。

今回の会議では、昼食、夕食が用意されており、インドの料理を満喫させてもらった。バンケットでは、ダンスの催しがあり、会議参加者たちを含めてダンスの輪が広がり、非常に盛況だった。

また、最終日にはインドの加速器施設の見学があり、非常に良く使い込まれたシステムが並んでいる、という印象を受けた。最新機器の導入も始まっているため、今後はより良いシステムでの実験がなされていくものと思われる。

発表に関する全体の印象としては、超伝導技術より冷却技術の発表が多かった印象を受けた。特に、インドから多くの冷却技術に関する発表が行われた。超伝導技術に関する発表であっても、低温超伝導(NbTi線材)の発表が多かった。これらは、基本的な技術基盤を固めようとするインドの現状を現すのかもしれない。次に多いのは電力関係で、超伝導の応用に向けた研究の報告が多数あった。ただし、そのような中でも、高温超伝導の基礎特性からマグネット開発に関する発表や、MgB<sub>2</sub>、鉄系超伝導を用いた研究内容も見られ、活発な議論がなされていた。

以下にいくつかの発表を紹介する。

Seong (Korea) の発表では、韓国のDAPASプログラムによる、高温超伝導体のパワー応用の成功例が、動画を交えて紹介された。韓国の高温度超伝導応用技術に関して、非常に分かりやすく紹介された。

核融合に関する発表は、Park (Korea) らによるKSTERの紹介、Pradhan (India) によるSST-1の紹介など、各国で行われている核融合実験装置の説明がなされた。日本からは、Nishimuraにより核融合炉の構造材と、中

性子による超伝導線材の放射化に関する報告があった。ITERに関しても、Serio (France) により、ITERの冷凍システムに関して説明がなされた。

冷却技術に関しては、Chakravarty (India) らにより、インドにおけるヘリウム液化機の開発に関して報告があった。

超伝導関係では、以下の発表があった。Ma (China) より、Fe系超伝導体の線材に関する報告があった。Agをバリア材に使うことや、添加物として入れることが超伝導特性の向上に良いことが示された。Pradhan (India) らにより、NbTiとBi2223の線材を用いて、NbTiコイルが4.2 Kで3 T、Bi2223コイルが77 Kで6 Tの磁場発生に成功したと報告された。Nakashima (Japan) らにより、Bi2223線材の開発の現状に関して報告があった。

今回の会議では、情報の公開が非常に遅かったのが残念な点として挙げられる。インドで会議を行うにあたり、海外からの参加者はビザを申請する必要がある。これに対する対応が遅かった事が残念である。今回はビザが取れずに来られなかった参加者の話はほとんど聞いていないが、余裕を持った対応ができるように、情報を公開して欲しい。また、プレゼンテーションの形式などなかなか公開されなかったり、accomodationの情報が遅く、やはりビザ申請が遅れたり、いくつかの課題はあったように思われる。

会議のプログラムに関して、当日の突然の変更が多かったことや、ポスターセッションの順番が内容に関係なくバラバラだったことも、参加者としては思うように聞きたい発表が聞けず、残念であった。

次回はトルコで開催される予定である。



図1 口頭発表会場の様子



図2 バンケットの様子



### (1) 独立行政法人物質・材料研究機構(NIMS) 超伝導線材ユニット National Institute for Materials Science Superconducting Wire Unit

#### (1) 研究ユニットの概略

独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導線材ユニットでは、エネルギー分野や強磁場分野(各種マグネット)での超伝導応用機器のための超伝導線材とマグネット技術の研究開発応用に取り組んでいます。高温超伝導酸化物をはじめとする超伝導体を実用応用機器につなげていくために、高性能の線材にする技術(線材化)と線材を使いこなす技術(機器応用のための要素技術)を中心として研究しています。ビスマス系酸化物(Bi-2223、Bi-2212)、 $MgB_2$ や $Nb_3Al$ を主な対象として基盤的材料科学(生成反応の化学、原料粉体調整、線材加工プロセス制御)に取り組みながら、線材化して用いることを前提として新規超伝導物質も探索しています。長年にわたってNIMSが開発を進めている強磁場マグネットへの新しい線材の適用をはじめとして強磁場マグネットのための技術の研究も精力的に行っています。

#### (2) 研究ユニットの組織・研究員

超伝導線材ユニットは、次の4つのグループ(主たる研究員)で校正されています。

- 高温線材グループ:  $Bi-2223$ 、 $MgB_2$ を中心とし、鉄系超伝導物質の線材化についても研究しています。(北口 仁、熊倉 浩明、藤井 宏樹、松本 明善、西島 元)
- 強磁場線材グループ: 先進金属系線材として期待される $Nb_3Al$ の実用化に挑戦しています。また、 $Nb_3Sn$ 線材の高性能化にも取り組んでいます。(竹内 孝夫、菊池 章弘、伴野 信哉)
- マグネット開発グループ: 強磁場マグネット技術の研究開発に取り組んでいます。特に、1 GHz 超級NMRやHTS-NMRマグネットの開発を進めています。(木吉 司、松本 真治)
- ナノフロンティア材料グループ: 将来の線材の候補となる超伝導物質の研究を行っています。(高野 義彦、竹屋 浩幸、山口 尚秀)

#### (3) 特徴ある装置

原料粉末合成のための装置、線材試作のための加工装置、様々な熱処理炉、微細組織観察のための装置群、物性測定のための評価装置、線材性能評価のための試験装置群と、一連の研究の様々な局面で活躍する様々な装置を有しています。特に、線材で重要となる通電法臨界電流評価では、磁場温度可変(0~12 T、液体He中~90 K)で600 Aまでの通電試験を行うことの出来る装置(現在、1,000 Aへ向けた増強を準備中)や、磁場印加にHTSコイルを用いるとともに、液体窒素の蒸気圧制御で温度可変とした、液体窒素だけで運転可能な臨界電流評価装置(0~1 T、63~90 K)を有します。

#### (4) これまでの成果、最近のトピックス

新材料の線材化では、 $MgB_2$ 線材の製造法として拡散法を開発しました。 $MgB_2$ の線材化法として主流である粉末法(パウダー・イン・チューブ法)では、線材内部でMgとボロンの原料粉末を反応させて $MgB_2$ を生成させる時の体積減少のため、 $MgB_2$ コアの充填率が50%程度と低く、応用上最も重要な臨界電流密度 $J_c$ が低いことが問題でした。そこで、 $MgB_2$ の充填率を向上させる線材作製法として、Mg拡散法を開発しました。金属管中心に純Mg棒を配置し、Mg棒と鉄管との隙間にボロン粉末を充填して線材に加工します。熱処理によりMgがボロン層に拡散させて形成する $MgB_2$ 層は粉末法で得られる $MgB_2$ コアよりも充填率が高く、世界最高(当時)の $J_c$ が得られました。また、鉄系化合物については、パウダー・イン・チューブ法により線材の試作に成功し、超伝導体粉末の製法の工夫や銀添加により、超伝導体結晶粒の結合性を改善、鉄系超伝導線材としては、世界最高の臨界電流密度を達

成しています。Nb<sub>3</sub>Al線材の開発では、準安定Nb-Al過飽和固溶体が良好な延性をもっていることを発見し、引抜き加工のみで安定化・線材化できる工業的 Nb<sub>3</sub>Al製造技術を開発しました。この方法ではフィラメント径を小さくすることができ、耐ひずみ性の向上、交流損失の低減、高安定化が実現できました。

高温超伝導線材の危機応用を実証するための開発として、RE123系コーテッド・コンダクタを用いた高磁場マグネット開発を行っており、超伝導マグネットとしては世界最高記録となる24 Tの発生に成功しました(JST「戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)」で実施、詳細は本誌前号 FSST NEWS No.131に記事掲載)。また、Bi-2223線材に関しては、頭部MRI画像診断装置用マグネットの開発を京都大学医学部他に協力して行い、MRIに必要な高均一磁場の発生に成功しています(JST「先端計測分析技術・機器開発事業」で実施)。

#### (5) 連絡先、ホームページアドレス

〒305-0047 つくば市千現 1-2-1

物質・材料研究機構・超伝導線材ユニット

ユニット長 北口 仁

[http://www.nims.go.jp/units/u\\_superconducting-wires/index.html](http://www.nims.go.jp/units/u_superconducting-wires/index.html)

---

## (2) 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

### Superconducting Electronics Group, Electronics and Photonics Research Institute National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

---

独立行政法人産業技術総合研究所(産総研)は、産業技術の幅広い分野におけるさまざまな技術開発を総合的に行っている、日本最大級の研究機関です。我々の所属する超伝導エレクトロニクスグループは、2011年に発足した新しい研究グループで、情報通信・エレクトロニクス技術の革新にむけた、新奇超伝導材料の物質開発、理論・実験両面からのアプローチによる高温超伝導機構解明、およびそれらの知見に基づく新機能超伝導デバイスの提案と技術開発を目標として研究を行っています。研究室は茨城県つくば市にあり、9名の職員(永崎洋、柳澤孝、伊豫彰、長谷泉、竹下直、鬼頭聖、吉田良行、H. Abdelrahim、柏谷裕美)が中心となり、ポストドク等の契約職員や、東京大学、東京理科大学をはじめとする数名の学生が活動し、以下のテーマを遂行しています。

#### (1) 高温超伝導をはじめとする、興味深い性質を示す超伝導体の物質開発

従来にない高い性能を有する超伝導体や、新しいメカニズムを有する超伝導体の開発を行なっています。特に、我々のグループでは、高圧合成法を用いた新物質探索を積極的に推進しています。高圧合成法は、通常の条件下では不安定となる高密度相の物質を得ることができる極めて強力な新物質探索手法であり、これまでも当グループでは、Ba<sub>2</sub>Ca<sub>n-1</sub>Cu<sub>n</sub>O<sub>2n</sub>(O,F)<sub>2</sub>などの多層型銅酸化物や、酸素欠損型LnFeAsO<sub>1-y</sub>鉄系超伝導体といった新高温超伝導体の開発に成功を収めてきました。現在、銅酸化物、鉄ヒ素系の新物質開発を継続するとともに、これらの物質群に続く新高温超伝導体の探索を開始しています。

#### (2) 高品質単結晶、多結晶試料の作製法の確立と超伝導応用デバイスの試作

高温超伝導メカニズムの解明および新奇超伝導デバイス開発に向け、高品質試料作製方法およびデバイス加工法の向上を目指しています。帯域溶融法(Floating-Zone法)やフラックス法を用いることで、銅酸化物、鉄系超伝導体における高品質単結晶試料の育成に成功しており、我々自身でその基礎特性評価を行うとともに、国内外の様々な研究機関と共同して多面的な物性測定を行っています。又、得られたデバイスの精密特性評価を行い、応用研究への展開の可能性を検討しています。



図 高圧下輸送現象測定装置の写真

### (3) 超伝導体の精密特性評価に基づく高温超伝導メカニズムの解明

高度シミュレーション技術や高圧下物性評価技術、STM・STS測定技術等を活用し、高温超伝導機構の解明、さらには、より高い $T_c$ を持つ超伝導体の開発に向けた物質設計指針の獲得を目指しています。特に、当グループでは、独自に開発した低温用キュービックアンビル型の圧力装置(写真)を用い、室温から液体ヘリウム温度において15 GPaまでの擬似静水圧下での輸送現象測定を迅速に行うことができる体制が整っています。

2005年のつくばエクスプレス(TX)開通により、東京秋葉原とつくば市は最短45分で結ばれて、産総研までのアクセスが格段に良くなりました。研究室見学希望や共同研究の提案などありましたら連絡して下さい。お待ちしております。

### (4) 連絡先

〒305-8568

茨城県つくば市梅園1-1-1 産総研 中央第二事業所 電子光技術研究部門 超伝導エレクトロニクスグループ  
永崎 洋 <http://unit.aist.go.jp/esprit/super-ele/index.html>

E-mail: [h-eisaki@aist.go.jp](mailto:h-eisaki@aist.go.jp) 電話: 029-861-7188

---

## (3) (財)国際超伝導産業技術研究センター 超伝導工学研究所 低温デバイス開発室

**International Superconductivity Technology Center (ISTEC)  
Low Temperature Superconducting Device Laboratory in SRL/ISTEC**

---

### (1) 研究室スタッフ(H24年1月現在)

室長: 日高睦夫

主管研究員: 鈴木 秀雄、永沢 秀一、日野出 憲治、佐藤 哲朗

技術員6名、学生1名

### (2) 研究室の簡単な紹介

低温デバイス開発室は、高温超伝導体の応用技術開発がメインである超伝導工学研究所の中にあつて、唯一ニオブ等の金属超伝導体を用いたデバイスの研究開発を行っています。当研究室は、2002年の7月にそれまで個別に研究を進めていたNEC、日立、富士通の研究者が超伝導工学研究所に集結する形で設立されました。

現在はISTEC東雲(東京都江東区)とつくば市の(独)産業技術総合研究所内の二か所に拠点を構えています。東雲では超伝導単一磁束量子(SFQ)回路を用いた超高速ADコンバータの研究、つくばでは産総研と共同でデバイスプロセスの開発とデバイス試作を行っています。

### (3) 特徴ある装置

東雲ではSFQ回路の設計装置や回路動作評価を行うための各種測定装置を揃えています。また、ニオブデバイスを長時間安定して動作させることが可能な4 K冷凍機を2台所有しており、そのうち1台は高速光信号が入力可能な光入力ポートを備えています。

つくばではニオブ、SiO<sub>2</sub>などのスパッタ成膜装置、フッ素系の反応性イオンエッチング装置、各種洗浄装置を所有しており、産総研所有の露光装置(ステッパー)、スパッタ装置、エッチング装置と組み合わせることで、超伝導デバイスを作製しています。また、デバイスチップ同士を位置決めして貼り合わせることでできるフリップチップボンダーも所有しています。

#### (4)これまでの成果、最近のトピックス

低温デバイス開発室は、半導体の限界を打破する1チャンネルあたり40 Gbit/sのスループットを持つSFQスイッチを用いたPC間動画転送実験に成功するなど発足以来多くの世界的成果を上げており、ニオブデバイス研究の世界的拠点として認知されています。

図1は最近開発したエラー補正回路付きADコンバータのチップ写真です。従来12 GS/sが最高であった超伝導ADコンバータのサンプリングレートを、回路方式の工夫とプロセスの高度化によって50GS/sまで向上することに成功しました。

ニオブデバイスにおけるニオブ層数は従来4層が限界でしたが、新しい平坦化技術を導入することによってニオブ9層デバイスの作製プロセスを確立しました。図2にその断面写真を示します。このニオブ9層デバイスを用いることで、デジタル回路においてジョセフソン接合を含むゲートの下に、上下を超伝導グランドプレーンにはさまれた構造(ストリップライン構造)の超伝導配線(PTL)を縦横自由に配置することが可能になりました。さらに、ゲートに対するノイズ源となる電源ラインを複数の超伝導グランドプレーンで隔てられた最下層に配置することができるようになりました。このデバイス構造において1チップ上で7万個のジョセフソン接合を用いた集積回路が一つの欠陥もなく正常に動作するなど高い信頼性が確認されています。

ISTECでは作製した超伝導デバイスを他の研究機関に供給する活動を行っています。産総研とともに日本の低温超伝導デバイスの供給拠点になることを目指していますので、ニオブデバイスが必要な方はお気軽にご相談ください。

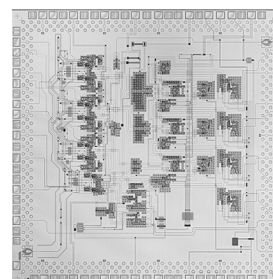


図1 SFQ5ビットADコンバータのチップ写真

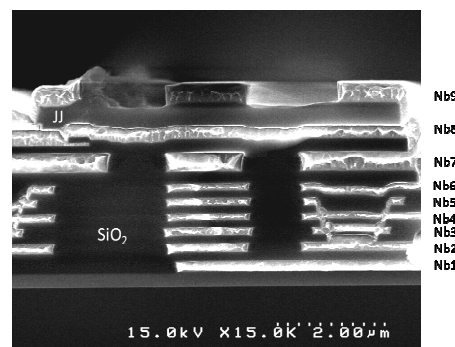


図2 ニオブ9層デバイスの断面構造

#### (5)連絡先、ホームページアドレス

日高 睦夫

E-mail: [hidaka@istec.or.jp](mailto:hidaka@istec.or.jp)

TEL: (つくば)029-861-5055、(東京)03-3536-5712

<http://www.istec.or.jp/lts-device/labo-lts-device.html>

#### 謝辞

成果の一部はNEDO「次世代高効率ネットワークデバイス技術開発」の成果である。別の一部はJST/CREST「単一磁束量子回路による再構成可能な低電力高性能プロセッサ」の成果である。

---

### (4) 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

Railway Technical Research Institute  
Maglev Systems Technology Division  
Cryogenic Systems Laboratory

---

#### (1)研究室スタッフ

当研究室のスタッフは、超電導磁気浮上方式鉄道(超電導リニア)の宮崎実験線や山梨実験線勤務経験者やJR東海からの出向者を含めて合計11名である。年齢的には昨年大学院を修了した20代から国鉄を経験している50代まで幅広く、専門も機械工学から原子力、物理学、化学まで多岐に渡っている。

## (2) 研究室紹介

今年2012年は鉄道総合技術研究所(鉄道総研)の前身である国鉄の鉄道技術研究所が「リニアモータ推進浮上式鉄道」の研究を開始してちょうど50周年という記念すべき年である。

当研究室が属する浮上式鉄道技術研究部はこの50年、一貫して浮上式鉄道の研究開発を行ってきた伝統ある部署であり、現在、当研究室の他に超電導リニアシステムの車両運動、磁気シールドなどに関する研究開発を担当する電磁力応用研究室や超電導リニアのガイドウェイに敷設される地上コイルの研究開発を担当する電磁路技術研究室がある。

低温システム研究室は超電導リニアの車載超電導磁石や車載冷凍システムに関する研究開発を従来担当していたが、最近では、超電導リニアの開業後を見据えて、超電導磁石の非破壊検査技術の開発や、高温超電導磁石の開発に注力している。具体的には光ファイバを用いた極低温環境下での温度分布測定技術の開発、RE系高温超電導線材を用いた超電導コイルの開発、高温超電導磁石に適したパルス管冷凍機やクライオスタットの開発等である。超電導機器だけでなく冷凍システムもあわせて開発しているところに特徴があると自負している。

この他に超電導リニア技術の在来方式鉄道への応用として超電導軸受を用いたフライホイール電力貯蔵装置の研究開発等も行っている。この超電導軸受の特徴は超電導コイルと超電導バルク体を用いることで、浮上安定性と大きな荷重容量を同時に実現したところであり、鉄道総研オリジナルのアイデアに基づいている。また、超電導とは関係ないが、磁気冷凍の原理を使った室温冷凍機の開発も行なっている。

本稿では紙面も限られているので、詳細については下記(5)に掲げる研究室のHPをご覧いただきたい。

## (3) 特徴ある装置

研究室が所有する装置はほとんどが浮上式鉄道用超電導磁石の評価装置である。

超電導リニア用超電導磁石と同等の仕様を有する超電導磁石や、実機超電導磁石に走行時の振動を模擬的に加えることが可能な機械加振試験装置、高温超電導体を用いた電流リードの基礎特性試験装置などがある。これらはすべて実機規模の実験ができることに特徴がある。

前述したように、最近では高温超電導磁石の開発に注力しているため、高温超電導線材の評価試験装置を独自に開発し、現在様々な高温超電導線材の評価を実施し、データの蓄積、公表等を行なっている。装置の諸元は表1の通りであり、市販の線材でも前処理することなくそのまま試料長10 cm程度に切断するだけで、通電試験ができるものである。

高温超電導線材評価試験装置や高温超電導電流リードの基礎特性試験装置は、汎用性もあるので、外部からの依頼により受託試験等も行なっている([http://www.rtri.or.jp/sales/jutaku/shi\\_bunya.html?c\\_fujyo](http://www.rtri.or.jp/sales/jutaku/shi_bunya.html?c_fujyo))。

表1 高温超電導線材評価試験装置の主要性能

電流( $I$ )	0~1000 A
磁場( $B$ )	0~5.5 T (超電導コイル使用)
磁場角度( $\theta$ )	0~100° (無段階)
温度( $T$ )	10 K~ (冷凍機伝導冷却)

## (4) これまでの成果、最近のトピックス

浮上式鉄道のこれまでの開発経緯等に関しては、鉄道総研のHP ([http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd79/yamanashi/maglev\\_frame\\_J.htm](http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd79/yamanashi/maglev_frame_J.htm)) や「超電導web21」の連載記事 ([http://www.istec.or.jp/web21/series/series\\_2011-2.pdf](http://www.istec.or.jp/web21/series/series_2011-2.pdf)) に詳しく書いてあるのでそちらを参照されたい。

最近のトピックスとしては、「冷却システムと励磁電源が分離可能なRE系モバイルマグネット」と題して2010年度の本会誌No.127に寄稿した、高温超電導磁石の開発がある。高温超電導コイルの高い臨界温度と熱容量を利用して、冷凍機無しで長時間利用可能な超電導磁石の概念を提案し、50 Kで1 Tの磁場発生が可能な小型磁石を開発した。

また、前述した「超電導軸受を用いたフライホイール電力貯蔵装置」に関連して、鉄道総研は2011年6月に「超電導等を用いた電力貯蔵技術の研究の推進に関する協定」を山梨県と締結した。山梨県のメガソーラープロジェクトと超電導技術を用いたエネルギー電力貯蔵装置を組み合わせ、再生可能エネルギーの導入を促進しようと



する取り組みである (<http://www.rtri.or.jp/press/2011/20110606.html>)。

低温システム研究室では、今後とも超電導リニアと在来方式鉄道への応用を目指して、超電導技術と低温技術に関する研究開発を推進していく所存である。

#### (5) 連絡先、ホームページアドレス等

連絡先: 長嶋 賢 ken@rtri.or.jp

研究室のホームページアドレス:

<http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd79/rd7920.html>

---

### (5) 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 Superconductor Engineering R&D Dept. Engineering R&D Center SWCC Showa Cable Systems Co., Ltd.

---

当グループは、「はやぶさ」の帰還で知られるようになった、神奈川県相模原市に拠点を置き、酸化物超電導体発見当初より、酸化物超電導体の線材化に取り組んでおります。中でも、Bi-2212線材においては、世界で初めて、酸化物超電導線材の丸線化に成功し、その丸線材を集合させたラザフォード型導体の開発にも成功しました。また、2003年より、国家プロジェクト(超電導応用基盤技術研究開発プロジェクト(第II期):NEDO委託事業)に参画し、TFA-MOD(トリフルオロ酢酸塩・有機酸塩熱分解法)法を用いたイットリウム系超電導線材の開発を、(財)国際超電導産業技術研究センターと共同で進めております。そのプロジェクトにおいて、当グループは、1cm幅換算で300A以上の臨界電流値をもった、長さ500mのイットリウム系超電導線材の開発に成功いたしました。

#### (1) 当社における TFA-MOD 線材の開発

数あるイットリウム系超電導線材作製法のうち、TFA-MOD法は、イットリウム系超電導体を構成する金属塩を有機溶剤に溶解し、その溶液を金属基板の上に塗布し、仮焼、本焼工程を経て作製されます。本法の特長は、作製工程において、高価な真空装置を必要としないことから、低コストで線材を作製することができるため、実用線材の1つとして有望視されております。

当社におけるTFA-MOD線材は、仮焼工程にはリールからリールに巻き取りながら塗布・仮焼を連続的に行うReel-to-reel法を用い、本焼工程には、Bi系線材の開発で蓄積されたノウハウを活かし、一括焼成可能なバッチ方式(図2)を用いております。

バッチ方式による本焼は、小型の実験装置から得られた条件を容易にフィードバックすることが可能であることに加え、処理が安定で且つ短時間でできるという利点を持っており、量産化に適した線材作製方法の1つであります。

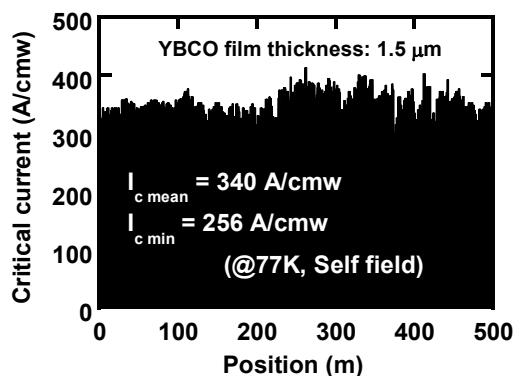


図1 500m長YBCO線材のIc分布

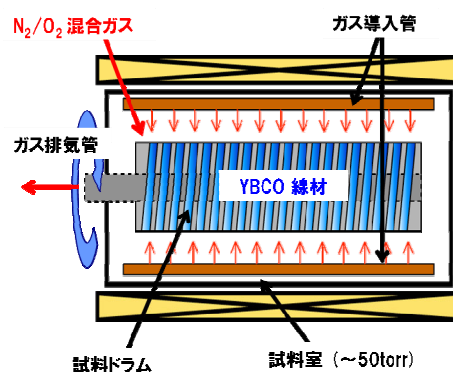


図2 バッチ式焼成炉の模式図

## (2) 今後の取り組み

現在の当社における、イットリウム系超電導線材の開発は、高性能化、長尺化、量産化に向けた開発に加え、磁場中における特性向上についても取り組んでおり、高磁界応用に対応可能な線材についても開発を進めております。

これら線材を開発し、世の中に送り出すことで、地球環境にやさしい低炭素社会への貢献を目指します。

## (3) 連絡先

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  
担当 小泉 勉  
〒252-0253  
神奈川県相模原市中央区南橋本4丁目1番1号  
Tel: 042-773-7163(直通)  
Fax: 042-773-7291  
E-mail: t.koizumi576@cs.swcc.co.jp  
URL: <http://www.swcc.co.jp>

社団法人未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会

## 第78回ワークショップ 「再生可能エネルギー導入へ向けた超伝導・低温技術」

超伝導は低炭素社会実現のためのアイテムのひとつとして期待されています。今後の再生可能エネルギーの大量導入を想定すると、新たな発電、送電、電力貯蔵システムを構築しなければなりません。本ワークショップでは、風力発電および電力エネルギー分野の専門家にそれらの現状および将来展望について語ってもらい、それに対応する超伝導および低温技術の今後の開発の方向性および課題について確認致します。

主催：社団法人 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会  
共催：公益社団法人 低温工学・超電導学会（予定）  
協賛：社団法人 電気学会（予定）

日時：平成24年3月13日（火）13:30-17:45  
場所：東京大学 本郷キャンパス 武田ホール（武田先端知ビル）  
113-0032 東京都文京区弥生2-11-16  
[http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam01\\_04\\_16\\_j.html](http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam01_04_16_j.html)

定員：150名

参加費：■ 超伝導科学技術研究会員、低温工学・超電導学会員：参加費無料、資料代2,000円  
■ 協賛学会：参加費4,000円、資料代2,000円  
■ 一般：5,000円、資料代2,000円  
■ 学生：参加費無料、資料代2,000円

### プログラム(案)：

13:30-13:40	開会の挨拶	下山 淳一（東京大学）
13:40-14:40	風力発電の現状と将来展望	勝呂 幸男（日本風力エネルギー学会）
14:40-15:20	電力貯蔵技術の現状と将来	大和田野 芳郎（産業技術総合研究所）
15:20-15:30	休憩	
15:30-16:10	超伝導応用機器開発の現状と将来	大崎 博之（東京大学）
16:10-16:40	超伝導電力機器用冷却システムの現状と今後	池内 正充（前川製作所）
16:40-17:10	超伝導ケーブル開発	向山 晋一（古河電気工業）
17:10-17:40	総合討論	
17:40-17:45	閉会の挨拶	木村 茂行（未踏科学技術協会）

参加申込はこちらから：<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20120313.html>

問い合わせ先：社団法人 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 担当 大貫  
Phone: 03-3503-4681 Fax: 03-3597-0535 e-mail: [fsst@sntt.or.jp](mailto:fsst@sntt.or.jp)

社団法人未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

## 第38回シンポジウム／第16回超伝導科学技術賞授賞式 超伝導 2012(仮)「超伝導が拓いた強磁場応用」

日時：平成24年4月17日（火）10:00～17:10  
場所：タワーホール船堀 小ホール

## 研究会の動き

〔平成 23 年 (2011 年) 10 月 1 日～平成 23 年 (2011 年) 12 月 31 日〕

### 第 15 回日米先進超伝導ワークショップ

日時:平成 23 年 10 月 27 日～29 日  
場所:住友クラブ、住友電気工業(株)大阪製作所  
出席者:参加者 55 名 事務局 2 名

#### セッション:

1. HTS Tape (Bi Tape, YBCO Tape)
2. Critical Current AC loss
3. Thin Film Devices
4. New Materials
5. A15, MgB<sub>2</sub>
6. Large Scale

### 第 16 回超伝導科学技術賞審査委員会

平成 23 年度第 1 回  
日時:平成 23 年 12 月 26 日(月)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 1 名

#### 議事:

- (1) 第 16 回超伝導科学技術賞授賞者選考

#### 幹事会

平成 23 年度第 4 回  
日時:平成 23 年 12 月 26 日(月)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 11 名 事務局 1 名

#### 議事:

- (1) 第 15 回日米超伝導ワークショップ開催報告
- (2) 第 78 回ワークショップについて
- (3) 第 38 回シンポジウムについて
- (4) 第 16 回超伝導科学技術賞について
- (5) FSST NEWS について

## 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
応用物理学会／春季	H24.3.15～18	早稲田大学早稲田キャンパス (東京都新宿区西早稲田)	応用物理学会
日本物理学会／春季	H24.3.24～27	関西学院大学 西宮上ヶ原キャンパス(兵庫県西宮市)	日本物理学会
日本金属学会／春期	H24.3.28～30	横浜国立大学(神奈川県横浜市保土ヶ谷区)	日本金属学会

## 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
2012 MRS Spring Meeting & Exhibit	2012.4.9～4.13	USA (San Francisco)	<a href="http://www.mrs.org/spring2012/">http://www.mrs.org/spring2012/</a>
International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM-2012)	2012.4.29 ～5.4	Istanbul (Turkey)	<a href="http://www.icsm2012.org/">http://www.icsm2012.org/</a>

## 超伝導科学技術研究会 編集委員会 委員

松本 明善	(独)物質・材料研究機構 超伝導線材ユニット 主任研究員	小泉 勉	昭和電線ケーブルシステム(株) 技術開発センター 超伝導線材開発グループ 主査
荒井 有気	(公財)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 研究員	日高 睦夫	(財)国際超伝導産業技術研究センター 超伝導工学研究所 低温デバイス開発室 室長
伊豫 彰	(独)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 主任研究員	木村 茂行	(社)未踏科学技術協会 理事長
		大貫留美子	(社)未踏科学技術協会

# イットリウム系超電導線材

高温超電導のベストサプライヤー



## <特長>

- 高磁場における高い臨界電流密度、高い機械強度を実現
- 臨界電流値(Ic) × 線材長(L)の値(Ic × L)で世界記録更新(2011.2)  
**572 A × 816 m = 466,752 Am (@77K, 0T)**
- 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



## <標準仕様 \*1>

- 線材幅 (5mm, 10mm)、基板厚さ (75μm, 100μm) に応じた製品ラインアップ
- 単長 ~ 300m、Ic > 500A @77K,0T 級のスペックも対応可能

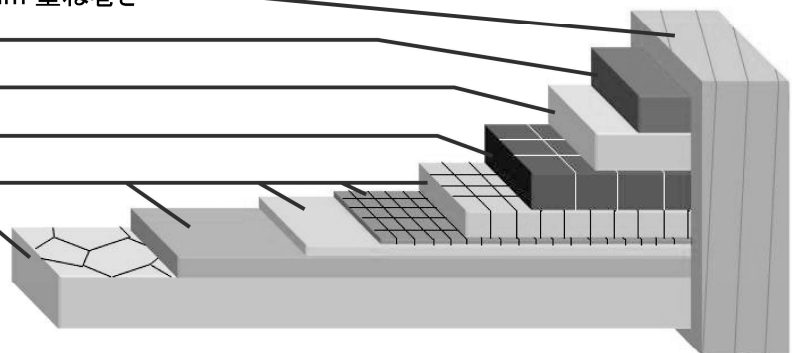
型名	線材幅 *2 (mm)	線材厚さ			臨界電流値 (A) (@77K, 0T)
		基板厚さ (μm)	安定化層厚さ (μm)	総厚さ (mm) *2	
FYSC-SC05	~ 5.15	75	75	~ 0.25	> 200
		100	100	~ 0.3	> 200
FYSC-SC10	~ 10.15	75	75	~ 0.25	> 400
		100	100	~ 0.3	> 400
FYSC-S05	~ 5.15	75	—	~ 0.15	> 200
		100	—	~ 0.2	> 200
FYSC-S10	~ 10.15	75	—	~ 0.15	> 400
		100	—	~ 0.2	> 400

\*1 上記仕様は2011年10月時点のものです。仕様のご確認等、何なりとお問い合わせ頂けますようお願い致します。

\*2 線材幅、厚さは絶縁テープを含む平均値となります。

## <構造>

- 絶縁テープ [ポリイミド] 12.5μm×2層; 25μm 重ね巻き
- 安定化層 [Cu] 75, 100μm
- 保護層 [Ag] 2 ~ 5μm
- 超電導層 [GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub>] ~ 2μm
- 中間層 [MgO, etc] ~ 0.7μm
- 金属基板 [ハステロイ®] 75, 100μm



お問い合わせ

## 株式会社フジクラ

新規事業推進センター 超電導事業推進室

〒285-8550 千葉県佐倉市六崎1440 TEL 043-484-3048 FAX 043-484-2472

E-mail ask-sc@fujikura.co.jp / Web <http://www.fujikura.co.jp>

Fujikura Superconductor