CODEN:FSNEFR
2012-10-18

一般社団法人 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

FSST NEWS

Forum of Superconductivity
Science and Technology News
No.135

発 行
一般社団法人
未踏科学技術協会
平成 24 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.135 目次＞

＜トピックス 1＞
希土類系高温超電導線材開発の現状と今後の展望
国際超電導産業技術研究センター 吉積 正晃 ……2

＜トピックス 2＞
低温超高分解能レーザーARPES 装置の開発と鉄系超伝導体 KFe_2As_2 における超伝導ギャップの観測 東京大学 岡崎 浩三 ……6

＜トピックス 3＞
MRI 装置の被災状況と今後の課題
物質・材料研究機構 野口 隆志 ……10

＜会議報告 1＞
第 79 回ワークショップ会議報告 物質・材料研究機構 松本 明善 ……14

＜会議報告 2＞
2012 年度秋季第 73 回応用物理学会会議報告 熊本大学 藤吉 孝則 ……15

＜会議報告 3＞
M2S2012 会議報告(1) 産業技術総合研究所 中島 正道 ……16
M2S2012 会議報告(2) 東京大学 山本 明保 ……17

＜会議報告 4＞
IUMRS-ICEM2012 会議報告 物質・材料研究機構 熊倉 浩明 ……19

＜研究室紹介＞
(1)豊橋技術科学大学 環境・生命工学系 センシング応用研究室 ……21
(2)岡山大学 大学院自然科学研究科 野原研究室 ……22
(3)高知工科大学 環境理工学群 堀井研究室 ……23
(4)北海道大学 大学院理学研究院 物理学部門 高圧物理学研究室 ……24
(5)東北大学 大学院工学研究科 小池研究室 ……25

○第 1 回超伝導科学技術セミナーのご案内 ……27
○第 80 回ワークショップのご案内 ……28
○第 17 回超伝導科学技術賞候補者公募 ……29
○研究会の動き ……30
○国内超伝導関連会議／国際会議及び国外の主要な会議 ……31

＜トピックス 1＞

希土類系高温超電導線材開発の現状と今後の展望

Development and future prospects of REBCO coated conductors

超電導工学研究所
吉積 正晃, 和泉 輝郎
Superconductivity Research Laboratory, ISTEC
M. Yoshizumi and T. Izumi

1. はじめに

$YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO)に代表され、YBCOのYを希土類で置き換えた$REBa_2Cu_3O_{7-x}$ (REBCO)を含めたY系高温超電導材料の発見から25年が経過した[1]。Y系超電導材料は液体窒素中で超電導となり、高磁界中でも高特性が期待できるため、発見以来、応用に向けた開発が盛んに行われてきた。様々な応用形態の中でも、応用の裾野が広く、実用化への期待が大きい線材応用は、世界中で激しい開発競争が繰り広げられてきた。従来技術に類似のPIT（Powder in Tube）法により線材化が可能なBi系材料と異なり、結晶粒の三次元配向が必要なY系線材開発には、技術課題克服に多くの時間と努力が必要であった。

Y系線材は、一般的に、金属基板（50～100 μm厚）、中間層（0.3～数μm厚）、超電導層（数μm厚）、安定化層（数～数十μm厚）から成る多層構造のテープ線材であり、この層構造に由来してcoated conductor、またはBi系線材の次の世代の線材としてsecond generation (2G) 線材とも呼ばれる。このため、材料自体の特徴に加えてその構造にも起因する、複数のメリットが開発の主なモチベーションとなり、困難な技術課題にも関わらず開発が進められてきた。

Y系線材は現在、世界中で開発が進められており、研究機関毎に異なるプロセス及び材料が用いられているため、多様な構造・特徴を有する。激しい開発競争が続けられた結果、近年の開発の進展は著しく、複数の線材メーカーからY系線材が販売されるに至った。しかしながら、広く普及出来る性能及び価格の超電導機器を実現出来るようになったとは言い切れない。近い将来の様々な超電導機器の実用化を目指して行われている現在のY系線材の研究開発は、（磁場中）臨界電流（I_c）特性向上などの性能向上と、プロセスの高速化・歩留まり向上などのコスト削減、冷却負荷を低減する交流損失低減技術の開発が大きなテーマである。本稿では、Y系線材開発の現状として、幾つかの最近のトピックを紹介すると共に、今後の線材開発の見通しについて概説する。

2. Y系線材開発の現状

高い特性を有するY系線材の作製には、結晶粒の三次元配向が必要であるが、REBCO層の成膜時に直接結晶粒配向を与える手法は最近になって磁場を用いる磁場配向法が開発されたものの[2]、実用レベルには至っていない。このため、実用レベルの線材プロセスにおいて結晶粒配向を実現する手法としては、下地層において三次元結晶粒配向を実現し、超電導層をエピタキシャル成長させる手法が採用されている。結晶粒配向を与える方法としては、RABiTS (Rolling Assisted Biaxially Textured Substrate)法[3]に代表される、金属基板を配向させる方法、IBAD (Ion Beam Assisted Deposition)法[4]に代表される、中間層の段階で結晶粒配向を与える方法があり、特徴を活かして利用されている。この他にも、Al_2O_3の単結晶線材を基板とするプロセス[5]も最近提案されている。

超電導層の成膜にも様々なプロセスが用いられているが、100 mを超える長尺線材の作製に用いられているのはPLD (Pulsed Laser Deposition)法[6]、MOD (Metal Organic Deposition) 法 [7] 、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法 [8] 、RCE (Reactive Co-evaporation) 法[9]である。図1に、各手法を用いて作製された線材の臨界電流（I_c）×長さ（L）値の進展を示す。$I_c \times L$値は線材能力を示す指標であり、大きい程実用性が高い線材と言える。近年、Y系線材の$I_c \times L$値の上昇は著しく、40万Amを超え、商業ベースで販売されているBi系線材[10]と同等以上の値になっている事が分かる。これは、超電導機器の開発から導入、普及という実用化の段階を考えた時、導入レベルの超電導機器に使用可能な線材レベルに到達したと言え

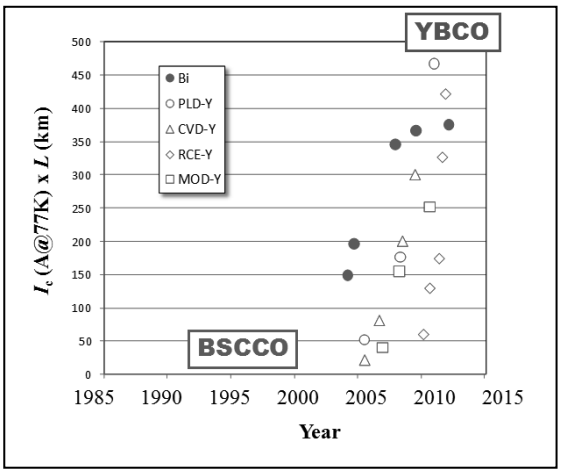


図1. 様々なプロセスにより作製されたY系線材の$I_c \times L$値の進展

る。今後は普及レベルを目指して、コスト削減や更なる特性向上に注力していくことになる。これまで、高特性長尺線材の開発は日米欧が中心となって来たが、最近は韓国の伸長著しく、この分野でも強力なライバルとなりつつある。現在は日本が国際的にも優位性を保持しているが、中国、ロシアなどの新興国でも超電導機器の開発と共に線材開発が行われており、新たなライバルとなる可能性もある。今後も日本が技術的優位性を維持するためにも世界をリードする研究開発の取り組みが期待される。

モーター・発電機・SMESなど、超電導機器の多くは磁場中応用であり、磁場中I_c向上、磁場印加角度依存性の低減などの磁場特性の向上は機器の応用領域の拡大や運転温度向上にも繋がるため、活発な研究開発が行われている。磁場特性の向上には、磁束のピン止め点の導入が効果的であり、効果的なピン止め点となる材料の探索と導入プロセスの開発が進められている。効果的な材料としては$BaZrO_3$が知られており、原材料（ターゲット、原料溶液）への添加により、超電導層中に微細な粒子が導入される。気相法であるPLD[11]、CVDを用いて成膜した場合には直径5 nm程度のナノロッドを形成し、超電導層のc軸に平衡に導入されて$B//c$に特に効果が高いピン止め点となる。一方、化学液相法であるMODを用いた場合には直径20 nm程度の球状粒子として分散し、等方的なピン止め点となる。様々な材料が試される中で、最近BZOと同じ結晶構造を有する$BaHfO_3$（BHO）がBZOを凌ぐ効果的な材料である事が見出され、注目を集めている[12]。図2にBZO、BHOを導入したPLD-GdBCO線材の膜厚と磁場中特性（I_c^{min}）の関係を示す。BHO導入により、高いI_c^{min}特性が得られており、3 μm程度の厚みまで直線的にI_c^{min}が増加している。また、低温ではBZO添加による特性向上の効果は弱くなると指摘されているのに対し、BHOはその効果を低温でも発揮しており、65 K、5 TでのI_c^{min}は200 Aを超え、液体窒素を冷媒とする回転機の実用化が視野に入ってきた。TEM観察の結果、BHOはBZOよりも細く、短いナノロッドを形成している事が分かっており[12]、これにより磁場印加角度依存性が小さく、高いI_c^{min}特性が得られるものと理解出来る。また、上部臨界磁場（B_{c_2}）は超電導層の物質固有の特性であり、ピン止め点の導入により変化はしないと考えられてきたが、GdBCO線材においてBZO、BHOの導入によりB_{c_2}が向上する事が明らかになった[13]。新たな現象の発見により、ピン止め材料の探索、効果的な導入プロセスの開発が進むことが期待される。

交流損失の低減も、重要な開発課題の一つである。Y系線材の交流損失の低減は、テープ状である事を利用した後加工と、岩熊効果[14]を利用する方法とが考えられている。後加工は、作製されたテープ線材の幅を小さくする事で交流印加時の磁束の移動距離を短くし、交流損失を抑制する手法である。線材幅と交流損失は正比例の関係にあるため、Y系線材をフィラメント状に細く分割加工することで分割加工数に応じた交流損失の低減が可能となる。この手法を用いるには、小さな線材幅でも十分な電流パスを確保するため、線材に高い均一性が求められる。長尺線材においても図3に示すように磁化損失の分割加工による低減が確認されており、コイル形状においても適切な巻線手法を用いてコイル化することにより分割加工数に応じた交流損失低減が確認された[14]。MOD法による成膜では、インクジェット法を用いた塗布方式を採用することにより直接フィラメント状に成膜する技術も開発されてはいるが[15]、線材の断面が矩形にならないために臨界電流密度の分布が一様ではなく、効果的な交流損失低減には至っていない。

一方、岩熊効果は、最近発見されたY系線材特有の現象で、低温・高磁場で磁化ヒステリシスループが大きく潰れる現象である[16]。発生メカニズムなど詳細

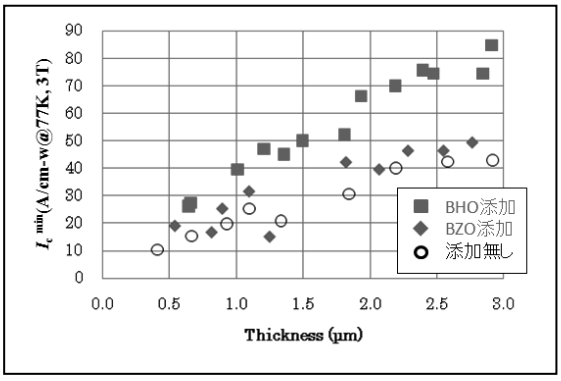


図2　PLD-GdBCO線材のI_c^{min}（@77 K, 3 T）値の膜厚依存性

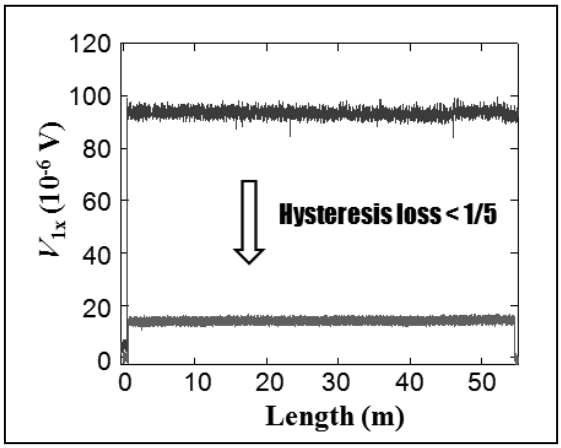


図3　MOD-YBCO長尺線材の分割加工前後での磁化分布

は明らかになってはいないが、印加された磁束がある角度範囲の中では、超電導体の中を*ab*面に平行に貫き、超電導状態を破壊する事無く自由に移動出来るようになるため、磁化が大きく減少するメカニズムが提案されている。従来、特性の高い材料は同時に大きな磁化ヒステリシスループを描くため、大きな損失を有する事が一般的であったが、本現象の発現領域では、高い特性でありながら損失が非常に小さいため、制御出来れば大きな交流損失低減に繋がると期待されている。

3. 今後の展開

Y系線材の特性向上、プロセス開発の進展により、超電導機器への実用化が視野に入りつつある。Y系線材は様々な機器応用に対して、その有効性を実証するレベルには達しているものの、実機として、一般に普及させるレベルには十分とは言えない。本節では、今後の研究開発の展望として、各超電導機器から線材に求められる仕様と現状との比較、今後のY系線材における技術開発動向を考える。

主なY系線材の応用分野としては、ケーブル、変圧器、超電導電力貯蔵システム（SMES）などの電力応用、モーター、発電機の回転機応用、加速器やNMRなどの強磁場マグネット応用が挙げられる。

あらゆる応用に共通して求められるのは安い線材であり、コスト削減がY系線材実用化を左右する最大の要因である。超電導線材のコストパフォーマンスは、線材の能力指標である$I_c \times L$値を用いて、電流（A）・長さ（m）あたり値段で示される。現時点でのY系線材の価格は、一概に出すのは難しいが、10～20円/Am（@77K, 自己磁場）とされている。超電導機器の普及段階では、線材価格を2円/Am以下とする事が求められており、現状との差は小さくない。現状では、市場が小さく規模のメリットが発揮されていないこと、また、求める線材仕様（I_c、長さなど）によっても歩留まりが大きく変化することなどに因る。コストパフォーマンスの向上には、製造速度の向上などの1 mあたりの単価を下げる努力と、特性向上によるAあたり単価を下げる努力の2つの方向がある。今後は、Y系線材を用いた超電導機器開発が進んでY系線材市場が成長することで規模のメリットが発揮される（＝1 mあたり単価削減）ようになると期待される。歩留まり向上や特性向上などの技術開発が進むことによる効果も併せて、線材価格が下がっていくと見られている。超電導機器の普及段階で求められる、2円/Am以下の線材価格に早期に到達出来るよう、各研究機関及び線材メーカー各社による努力が続けられている。

コスト面以外の性能については、磁場中特性や機械強度、交流損失や均一性などの項目において、応用毎に異なる要求がある。何れも、普及レベルの機器に必要な項目を満足する線材が開発されたとは言えず、今後も更に高いレベルを目指した線材の開発が必要となる。ここで、更に高いレベル、とは、Y系線材を用いて開発される超電導機器が、競合機器に対して圧倒的な優位性を持つレベルであり、現状より桁違いに高い仕様で低コストな線材、いわゆる第三世代線材の実現を指す。市場の要求を超えるような線材の開発により、来るべき超電導機器を用いたエネルギー効率の高い社会、スマート社会の到来が加速されると思われる。

4. まとめ

応用展開を目指す希土類系高温超電導テープ線材の開発動向について、最近のトピックを紹介すると共に今後の展開を概説した。長尺線材の作製においては、近年の開発の進展により超電導機器の開発に必要なレベルをクリアしているが、機器の普及に必要な、圧倒的なメリットを有するレベルには至っていない。磁場中特性の改善、交流損失の低減においては、最近発見された材料・現象により今後大きく開発が進む可能性があり、注目される。コスト・特性などの点で開発が進み、第三世代と呼べるほどの線材を開発することにより、将来の超電導機器普及が進むと期待される。

謝辞

本稿で引用した研究成果は、新エネルギー産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託を受け、実施したものを含みます。

参考文献

[1] J. G. Bednorz and K. A. Muller: Z. Phys. B **64** (1986) 189-193.

[2] S. Horii, T. Tanoue, M. Yamaki, T. Maeda and J. Shimoyama: Supercond. Sci. Technol. **24** (2011) 055001 (5pp).

[3] A. Goyal, D. P. Norton, J. D. Budai, M. Paranthaman, E. D. Specht, D. M. Kroeger, D. K. Christen, Q. He, B. Saffian, F. A. List, D. F. Lee, P. M. Martin, C. E. Klabunde, E. Hartfield and V. K. Sikka: Appl. Phys. Lett. **69** (1996) 1795-1797.

[4] Y. Iijima, K. Onabe, N. Futaki, N. Tanabe, N. Sadakata, O. Kohno and Y. Ikeno: IEEE Trans.

Appl. Supercond. **3** (1993) 1510-1515.

[5] A. Goyal and P. Paranthaman: presented at High Temperature Superconductivity Program Peer Review 2009 [http://www.htspeerreview.com/2009/pdfs/presentations/day%202/strategic-research/8-Strategic-Substrate-Development-Conductors.pdf].

[6] 柿本 一臣, 五十嵐 光則, 羽生 智, 菊竹 亮, 須藤 泰範, 森田 克洋, 中村 直識, 鈴木 龍次, 富士 広, 朽網 寛, 飯島 康裕, 齋藤 隆: 第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集 (2011) 185.

[7] M. W. Rupich, X. Li, S. Sathyamurthy, C. Thieme and S. Fleshler: Physica C **471** (2011) 919-923.

[8] V. Selvamanikam, Yimin Chen, Xuming Xiong, Y. Y. Xie, M. Martchevski, A. Rar, Yunfei Qiao, R. M. Schmidt, A. Knoll, K. P. Lenseth and C. S. Weber: IEEE Trans. Appl. Supercond. **19** (2009) 3225-3230.

[9] G. Kim, W. Jo and W. Moon: Abstracts of ICEC24-ICMC2012 Conference (2012) 55

[10] N. Ayai, K. Yamazaki, M. Kikuchi, G. Osabe, H. Takaaze, H. Takayama, S. Kobayashi, J. Fujikami, K. Hayashi, K. Sato, K. Osamura, H. Kitaguchi, S. Matsumoto, T. Kiyoshi and J. Shimoyama: IEEE Trans. Appl. Supercond. **19** (2009) 3014-3017.

[11] T. Kato, H. Sasaki, Y. Gotoh, Y. Sasaki, T. Hirayama, K. Takahashi, M. Konishi, H. Kobayashi, A. Ibi, T. Muroga, S. Miyata, T. Watanabe, Y. Yamada, T. Izumi and Y. Shiohara: Physica C **445-448** (2006) 628-632.

[12] H. Tobita, K. Notoh, K. Higashikawa, M. Inoue, T. Kiss, T. Kato, T. Hirayama, M. Yoshizumi, T. Izumi and Y. Shiohara: Supercond. Sci. Technol. **25** (2012) 062002 (4pp).

[13] T. Matsushita, H. Nagamizu, K. Tanabe, M. Kiuchi, E. S. Otabe, H. Tobita, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara, D. Yokoe, T. Kato and T. Hirayama: Accepted to Supercond. Sci. Technol.

[14] M. Iwakuma, H. Hayashi, H.Okamoto, A. Tomioka, M. Konno, T. Saito, Y. Iijima, Y. Suzuki, S. Yoshida, Y. Yamada, T. Izumi and Y. Shiohara: Physica C **469** (2009) 1726-1732.

[15] J. Feys, P. Vermeir, P. Lommens, S. C. Hopkins, X. Granados, B. A. Glowacki, M. Baecker, E. Reich, S. Ricard, B. Holzapfel, P. Van Der Voort and I. Van Driessche: J. Mater. Chem. **22** (2012) 3717-3726.

[16] M. Iwakuma, A. Ibi, T. Izumi and Y. Shiohara: Supercond. Sci. Technol. **23** (2010) 075009 (12pp).

＜トピックス 2＞

低温超高分解能レーザーARPES 装置の開発と鉄系超伝導体 KFe_2As_2 における超伝導ギャップの観測

Development of low-temperature ultra-high-resolution laser ARPES apparatus and observation of superconducting gaps in the iron-based superconductor KFe_2As_2

東京大学物性研究所
岡崎 浩三, 辛 埴
Institute of Solid State Physics, Univ. of Tokyo
K. Okazaki and S. Shin

1. はじめに

光電子分光法は電子状態を直接観測できる強力な実験手法であり、超伝導体において超伝導転移温度(T_c)以下の温度で測定できれば、超伝導ギャップが直接観測できる。さらに、単結晶試料を用いて角度分解光電子分光（ARPES）を行えば超伝導ギャップの異方性、ノード構造なども知ることができる。しかしながら、光電子を放出させるためには、仕事関数よりも十分高いエネルギーの光で励起する必要があるため、超伝導ギャップの大きさに比べるとかなり高い運動エネルギーを持つ電子を分光しなければならない。光電子を透過させて輻射熱を遮蔽する窓は存在しないため、試料冷却に制限がある。などと言ったエネルギー分解能、測定温度における難しい課題が存在する。近年、励起光に真空紫外レーザー光源を用い、さらにラジエーションシールドを工夫するなどにより、これらの課題への取り組みに驚くほどの進捗が見られている。これについては、既に詳細な解説記事が出版されているのでそれらを参照して頂きたい[1][2][3][4]。本稿では、ごく最近の進捗、特に現時点では世界最高性能と言えるエネルギー分解能70 μeV、最低温度1.5 Kに達成した新型超低温高分解能レーザーARPES装置の開発について紹介し、この装置を用いた研究の成果として、鉄系超伝導体の1つであり、超伝導ギャップにノードの存在が示唆されていたが、T_c=3.4 Kというこれまでの ARPES装置では超伝導ギャップの観測が不可能であったKFe_2As_2の超伝導ギャップの観測とその解析結果について紹介したい[5]。

2. 超低温分解高分解能レーザーARPES装置の開発とその性能

図1は我々が建設、改良してきたレーザーARPES装置の概略図である。装置は主に光源系、電子エネルギー分析器（アナライザ）、冷凍機（クライオスタット）から成る。光源には準連続波（q-CW, 繰り返し周波数 120 MHz）のNd:YVO_4レーザーの3倍波（λ = 355 nm）をエタロンで狭幅化し、非線形光学結晶$KBe_2BO_3F_2$ (KBBF)[6]により6倍波（$h\nu$ = 6.994 eV）を得ている。エタロンにより7eVの線幅ΔE_lは約25 μeVまで狭幅化できる。アナライザにはVG-Scienta社と共同開発した静電半球型アナライザHR8000を使っている。従来のR4000WALでは、もっとも幅の狭い半球の入射スリットが100 μmであったのが、HR8000では50 μmまで使えるようになっており、電源系もさらに安定化されている。アナライザのエネルギー分解能ΔE_aは

$$\Delta E_a = E_p \frac{w}{2R}$$

で与えられる。ここでE_pは半球を通過できる電子のエネルギー（パスエネルギー）、wは半球の入射スリットの幅、Rはアナライザ半径（= 200 mm）である。最も幅の狭い50 μmのスリットを用いると、E_P = 0.5 eVでΔE_a = 62.5 μeVが期待できる。光源の線幅とアナライザのエネルギー分解能を合わせた全エネルギー分解能

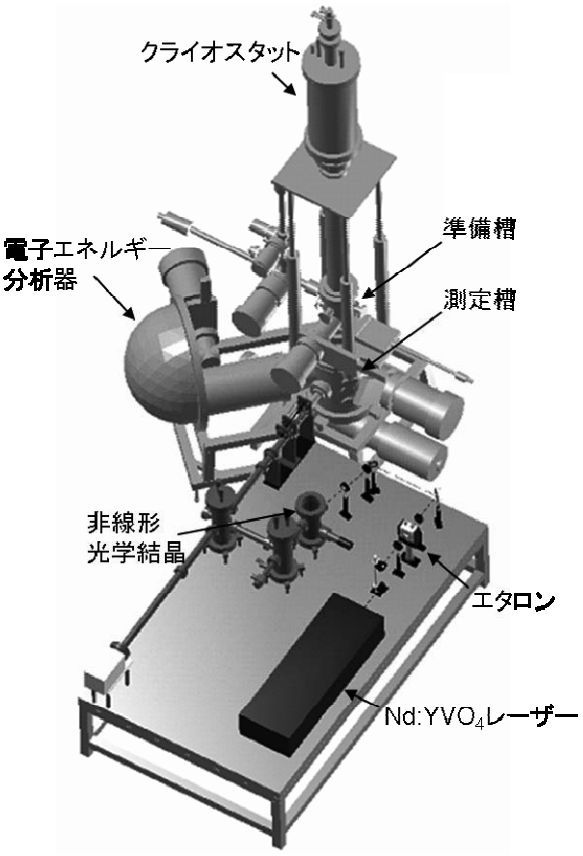
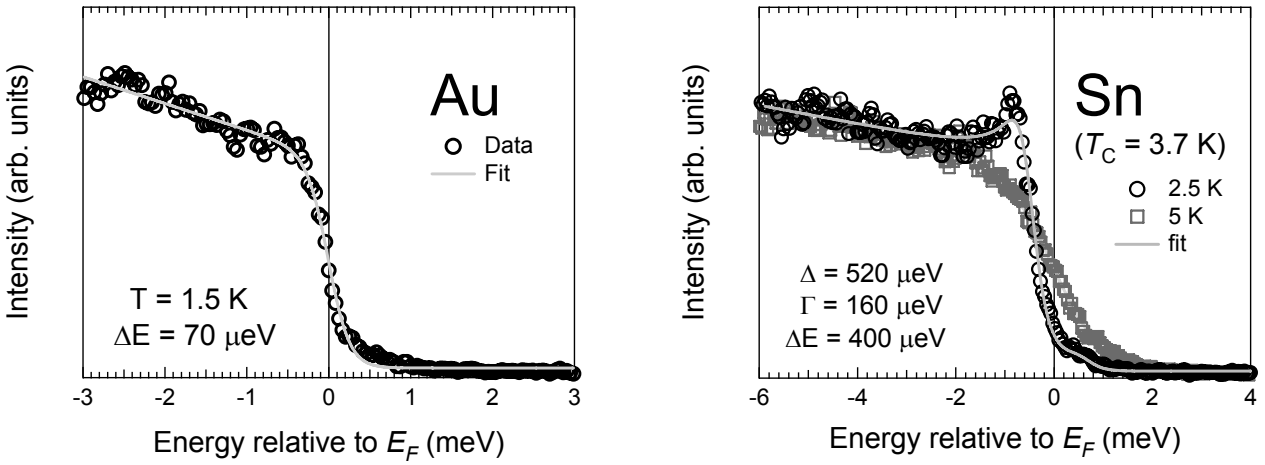


図1. 新型レーザーARPES装置の概略図



(a) 金(Au)のフェルミエッジ　　**(b) T_c = 3.7 K の錫(Sn)の超伝導ギャップ**

図2. 新型レーザーARPES装置の性能

ΔE_{total}は

$$\Delta E_{\text{total}} = \sqrt{E_l^2 + E_a^2}$$

で与えられるので、最高 67.3 μeV に達すると期待できる。

図2(a)はこの装置で測定した金(Au)のフェルミエッジにおける光電子スペクトルである。フェルミエッジの光電子スペクトルは測定温度のフェルミ分布関数をエネルギー分解能に対応するガウス関数を畳み込んだ関数になるので、その関数を用いてスペクトルをフィッティングすることにより、測定温度やエネルギー分解能を評価することが出来る。エネルギー分解能を70 μeVに固定し、温度を変数として最小二乗法でフィッティングすると温度が1.5 K以下となることから、分解能については期待できる最高分解能である約70 μeV、温度について約1.5 Kを達成できたと結論した。

図2(b)は超伝導転移温度T_c = 3.7 Kの錫(Sn)のTc上下での光電子スペクトルである。T_c以下では超伝導ギャップが開いていることがわかり、超伝導コヒーレンスピークも確認できる。超伝導状態での状態密度を反映するDynes'関数

$$\rho(E) = \mathrm{Re}\frac{E - i\Gamma}{\sqrt{(E - i\Gamma)^2 - \Delta^2}}$$

にフェルミ分布関数を乗じて、エネルギー分解能に内応するガウス関数を畳み込んだ関数でフィッティングすることにより、超伝導ギャップや測定温度を評価した。結果、測定試料では蒸着した金(Au)よりも少し高い約 2.5 K になっていると結論した。これは T_c = 3.4 K の $KFe_2As_2$0の超伝導ギャップを観測するには十分低温だと言える。

3. 鉄系超伝導体 KFe_2As_2 における超伝導ギャップの観測とノード構造

2008年に東工大細野グループの神原氏らによって発見された鉄系超伝導体[8]の1つであるKFe_2As_2はホールドープ系$Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ (BaK122)[9]のKエンドにあたる。BaK122は最適ドープx ~ 0.4でT_c ~ 38 Kを示し、超伝導ギャップはノードが無いフルギャップであると報告されている[10][11]。最適ドープではブリルアン・ゾーン(BZ)中心近傍にホールフェルミ面を持ち、BZ端近傍に電子フェルミ面を持つことから、ホールフェルミ面と電子フェルミ面間のバンド間散乱がクーパー対形成に重要であり、超伝導対称性は$s_{\pm}$対称性であると提案されている[12][13]。一方、x = 1のKFe_2As_2(K122)はホールドープの結果、もはや電子面は存在せず、BZ端近傍のフェルミ面もホール的になっていることがわかっており、比熱[14]、熱伝導率[15]、磁場侵入長[16]などの測定から超伝導ギャップにノードが存在することがわかっていた。理論的には、電子面が無くなるともはやホール面と電子面間のバンド間散乱は働かず、バンド内散乱のみが効いてくるために超伝導対称性はd波になるという提案がある[17]。しかしながら、その場合、超伝導対称性がドーピングによってs波→d波と変化することになる。BaK122の相図[9]によるとKドープによってT_cは連続的に変化していることから、s波とd波の間に$s+id$波のような相が存在していたとしてもT_cの連続的な変化は説明することが難しい。こういった理由から、K122の超伝導対称性はノードを持つs波であるのかd波であるのか非常に興味が持たれており、その理解は鉄系超伝導における超伝導機構全般の理解にも非常に重要であると考えられていた。しかしながら、超伝導ギャップの異方性を直接観測できるARPESではT_c = 3.4 Kというかなり低いT_cの超伝導ギャップを測定することはかなり難しく、今回の

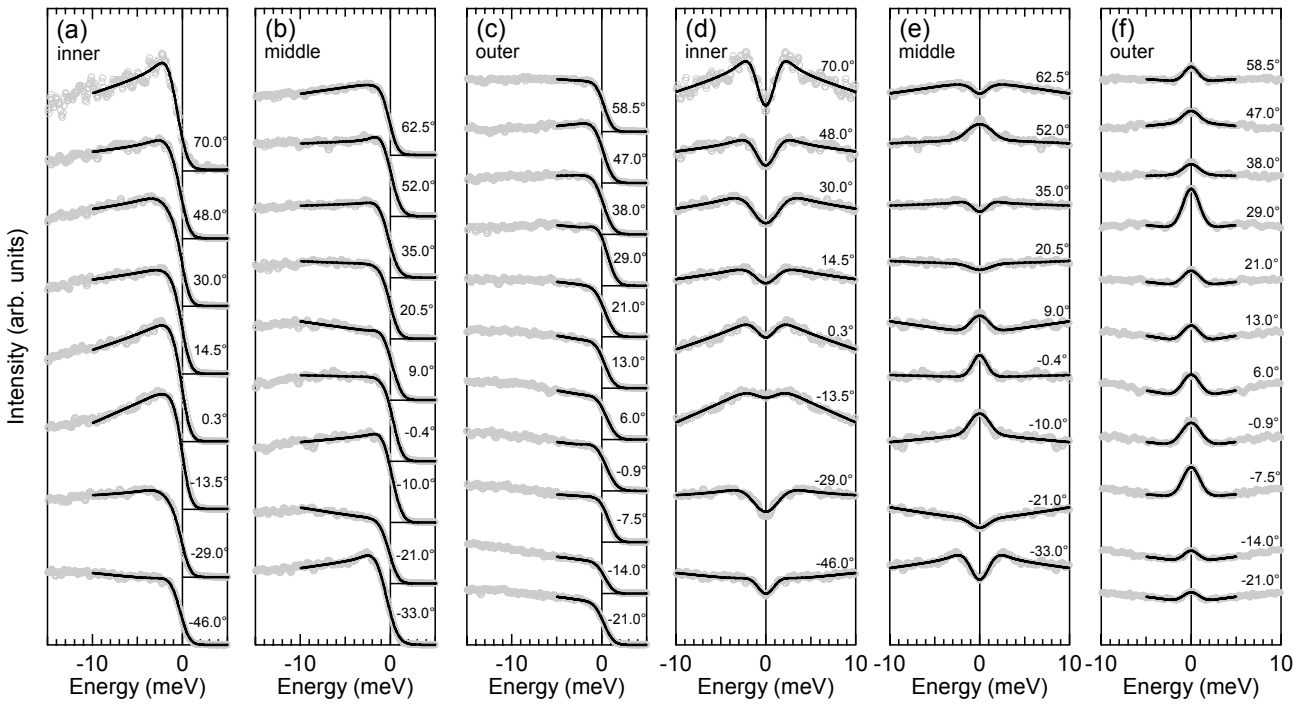


図3. KFe_2As_2におけるΓ点周り３枚のホールフェルミ面(inner, middle, outer)のT_c以下でのエネルギー分布曲線(EDC) (a) innerフェルミ面 (b) middleフェルミ面 (c) outerフェルミ面とE_Fに対して対称化したEDC (d) innerフェルミ面 (e) middleフェルミ面 (f) outerフェルミ面

我々の新型超低温高分解能レーザーARPES装置の開発によって初めて可能になった。

図3は新型レーザーARPES装置で測定したK122の超伝導状態(T = 2.0 K)における光電子スペクトルである。単結晶試料は、産総研においてフラックス法で育成されたものである[7]。K122にはBZ中心近傍にホールフェルミ面が３枚存在し、内側から順にinner、middle、outerフェルミ面と呼ぶが、(a)-(c)は各フェルミ面のフェルミ波数(k_F)におけるエネルギー分布曲線(EDC)、(d)-(f)はEDCをフェルミレベル(E_F)に関して対称化したものを示している。各EDCには対応するフェルミ面角φ (= atan(k_y/k_x))が示されている。(d)に示したinnerフェルミ面の対称化EDCを見ると、すべてのフェルミ面角でE_F近傍にディップ構造を持っていることがわかる。これはこのフェルミ面内すべての方向で超伝導ギャップが開いていることを意味し、このことから超伝導対称性はs波であると結論できる。(e)に示したmiddleフェルミ面では、超伝導ギャップの異方性によってギャップが明らかに開いているところとほぼ閉じているように見えるところがあることがわかる。(f)に示したouterフェルミ面ではすべてのフェルミ面角でE_F上にピーク構造を持ち、フェルミ面内すべての方向で超伝導ギャップは開いているとしても極めて小さいことがわかる。

さらに、各EDCに対してDynes'関数を用いてフィッティングすることにより、超伝導ギャップの大きさを定量的に評価した。図3中の実線がフィッティング関数である。得られた各フェルミ面の超伝導ギャップの異方性などをまとめたのが図4である。光電子強度における入射レーザーの偏光依存性から求めた各フェルミ面の軌道成分も合わせて示しており、innerフェルミ面はxz/yz軌道、middleフェルミ面は$xz/yz+z^2$軌道、outerフェルミ面はx^2-y^2軌道から成ることがわかった。各フェルミ面における超伝導ギャップの異方性は

$$\Delta(\varphi) = \left|\Delta_0\left[1 + A\cos(4\varphi) + B\cos(8\varphi)\right]\right|$$

という結晶構造の正方対称性を反映し、cos(8φ)の高次項まで含めた関数で再現できることがわかった。さらに、middleフェルミ面については、$\varphi \sim \pm 5°$のところにノードが存在することがわかった。

中性子散乱の実験結果によると、ホールフェルミ面しか存在しないK122においてもスピン揺らぎの存在が示唆されている[18]。このスピン揺らぎの波数はほぼBZ中心のフェルミ面とBZ端のフェルミ面を結ぶ波数に対応する。このスピン揺らぎがクーパー対形成に重要なのであれば、第一原理計算によりBZ端のフェルミ面における軌道の寄与はxz/yz軌道が主なことから、middleフェルミ面においてz^2軌道の寄与が大きいところやx^2-y^2軌道からの寄与が主であるouterフェルミ面ではスピン揺らぎは抑制され、超伝導ギャップは小さくな

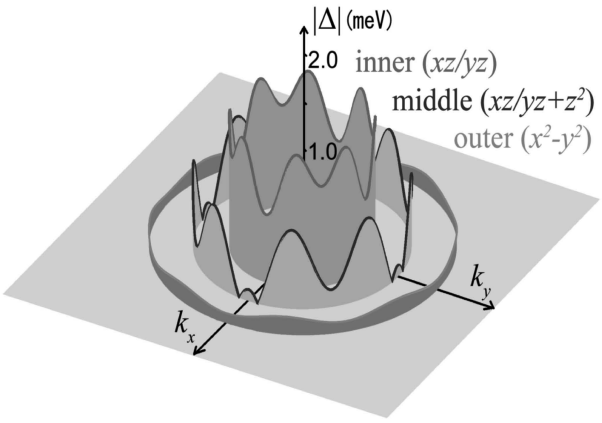


図4　レーザーARPESによって得られたKFe_2As_2における各フェルミ面の軌道成分と超伝導ギャップの異方性

ると予想される。バンド計算によるとmiddleフェルミ面の$\varphi = 0°$方向ではz^2軌道の寄与が大きく、スピン揺らぎ機構に基づく予想と一致する。実際、RPAの計算からmiddleフェルミ面にほぼ垂直なノードが再現できることもわかった。また、最近の理論計算によると、バンド内散乱とバンド間散乱の強さがほぼ縮退していると、超伝導対称性はs波になり、middleフェルミ面にノードが入るという我々の実験と整合する、という報告もある[19]。我々の結果は、鉄系超伝導体においてs波対称の超伝導が普遍的であることを示唆している。

4. まとめと今後の展望

以上、現在世界最高性能と言える最高エネルギー分解能70 μeV、最低温1.5 Kに達した新型超低温高分解能レーザーARPES装置の紹介とこの装置を用いることで始めて可能になったT_c = 3.4 Kの鉄系超伝導体KFe_2As_2の超伝導ギャップの観測とそのノード構造について紹介させて頂いた。$B_{1-x}K_xFe_2As_2$の最適ドープでは超伝導ギャップはノードが存在しないフルギャップであり、異方性も大きくないため、KFe_2As_2との間の組成でそれらがどのように変化していくのかも非常に興味深い。ごく最近では、さらに低温化を進めて約1.0 Kを達成し、T_c = 1.7 Kのレニウム(Re)の超伝導ギャップの観測にも成功している。低温化がここまで進むと、これまで比熱、熱伝導度、磁場侵入長などの測定からノードの存在が示唆されていても光電子分光では到底不可能と思われていた超伝導ギャップの直接観測が可能になる。今後はそのような超伝導体なども測定対象とし、超伝導についてより深い理解を進めて行きたい。

謝辞

本研究は、大田由一、小谷佳範、Walid Malaeb、石田行章（東京大学物性研究所）、下志万貴博（東京大学工学部）、木須孝幸（大阪大学基礎工学部）、渡部俊太郎（東京理科大学総合研究機構）、Chuangtian Chen (Chinese Academy of Science)、木方邦宏、李哲虎、伊豫彰、永崎洋（産総研）、齊藤拓、深澤英人、小堀洋（千葉大学理学部）、橋本顕一郎、芝内孝禎、松田祐司、池田浩章（京都大学理学部）、宮原英之、有田亮太郎（東京大学工学部）、Ashish Chainani（理研）各氏との共同研究である。

参考文献

[1] 木須孝幸, 横谷尚睦, 辛埴: 固体物理36巻 (2001) 83-90.

[2] 木須孝幸, 横谷尚睦, 辛埴: 固体物理40巻 (2005) 353-361.

[3] T. Kiss, T. Shimojima, K. Ishizaka, A. Chainani, T. Togashi, T. Kanai, X.-Y. Wang, C.-T. Chen, S. Watanabe, and S. Shin: Rev. Sci. Instrum. **79** (2008) 023106.

[4] 辛埴, 木須孝幸, 石坂香子, 下志万貴博, 渡部俊太郎: 固体物理 44 巻 (2009) 877-886.

[5] K.Okazaki, Y. Ota, Y. Kotani, W. Malaeb, Y. Ishida, T. Shimojima, T. Kiss, S. Watanabe, C.-T. Chen, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, T. Saito, H. Fukazawa, Y. Kohori, K. Hashimoto, T. Shibauchi, Y. Matsuda, H. Ikeda, H. Miyahara, R. Arita, A. Chainani, and S. Shin, Science, **337** (2012) 1314-1317.

[6] C.-T. Chen, Z. Xu, D. Deng, J. Zhang, G. K. L. Wong, B.-C. Wu, N. Ye, and D.-Y Tang, Appl. Phys. Lett., **68** (1996) 2930-2932.

[7] K. Kihou, T. Saito, S. Ishida, M. Nakajima, Y. Tomioka, H. Fukazawa, Y. Kohori, T. Ito, S. ichi Uchida, A. Iyo, C.-H. Lee, and H. Eisaki, J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) 124713.

[8] Y. Kamihara, T. Watanabe, M. Hirano, H. Hosono, J. Am. Chem. Soc **130** (2008), 3296-3297.

[9] M. Rotter, M. Pangerl, M. Tegel, and D. Johrendt, Angew. Chem. Int. Ed. **47** (2008) 7949-7952.

[10] H. Ding, P. Richard, K. Nakayama, K. Sugawara, T. Arakane, Y. Sekiba, A. Takayama, S. Souma, T. Sato, T. Takahashi, Z. Wang, X. Dai, Z. Fang, G. F. Chen, J. L. Luo, and N. L. Wang, Europhys. Lett. **83** (2008) 47001.

[11] K. Nakayama, T. Sato, P. Richard, Y.-M. Xu, Y.

Sekiba, S. Souma, G. F. Chen, J. L. Luo, N. L. Wang, H. Ding, and T. Takahashi, Europhys. Lett. **85** (2009) 67002.
[12] I. I. Mazin, D. J. Singh, M. D. Johannes, and M. H. Du, Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 057003.
[13] K. Kuroki, S. Onari, R. Arita, H. Usui, Y. Tanaka, H. Kontani, and H. Aoki, Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 087004.
[14] H. Fukazawa, Y. Yamada, K. Kondo, T. Saito, Y. Kohori, K. Kuga, Y. Matsumoto, S. Nakatsuji, H. Kito, P. M. Shirage, K. Kihou, N. Takeshita, C.-H. Lee, A. Iyo, and H. Eisaki, J. Phys. Soc. Jpn **78** (2009) 083712.
[15] J. K. Dong, S. Y. Zhou, T. Y. Guan, H. Zhang, Y. F. Dai, X. Qiu, X. F. Wang, Y. He, X. H. Chen, and S. Y. Li, Phys. Rev. Lett. **104** (2010) 087005.
[16] K. Hashimoto, A. Serafin, S. Tonegawa, R. Katsumata, R. Okazaki, T. Saito, H. Fukazawa, Y. Kohori, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, H. Ikeda, Y. Matsuda, A. Carrington, and T. Shibauchi, Phys. Rev. B **82** (2010) 014526.
[17] R. Thomale, C. Platt, W. Hanke, J. Hu, and B. A. Bernevig, Phys. Rev. Lett. **107** (2011) 117001.
[18] C. H. Lee, K. Kihou, H. Kawano-Furukawa, T. Saito, A. Iyo, H. Eisaki, H. Fukazawa, Y. Kohori, K. Suzuki, H. Usui, K. Kuroki, and K. Yamada, Phys. Rev. Lett. **106** (2011) 067003.
[19] S. Maiti, M. M. Korshunov, A. V. Chubukov, Phys. Rev. B **85** (2012) 014511.

＜トピックス 3＞

MRI 装置の被災状況と今後の課題

The disaster situation of MRI systems and the future problems

物質・材料研究機構 マグネット開発グループ
野口 隆志
Magnet Development Group,
National Institute for Materials Science
T. Noguchi

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、多くの医療機関においてMRIも被災した。その被災の状況を調査すべくMRI医療関係者で調査グループを組織し、混乱の治まりを待って調査を開始した。その一部は本会講演会第79回ワークショップ「3.11震災を乗り越えて」で報告した。まだ集計は完了していないが、調査対象の医療機関数を以下の表 1 に示す。2012年9月24日現在、調査票調査対象件数984件に対する回答数は45%の443件となった。

表1. 調査対象地区と対象医療機関数

調査地区	対象数	回収数	回収率
岩手県	85 件	60 件	72%
宮城県	105 件	58 件	55%
福島県	74 件	48 件	65%
茨城県	124 件	65 件	52%
千葉県	214 件	85 件	40%
埼玉県	151 件	46 件	30%
東京都	231 件	81 件	35%
合 計	984 件	443 件	45%

＊2012 年 9 月 24 日現在

調査内容は主に地震発生時の状況と被害の程度、当日の行動、事後の処置、今後の対策への提言などである。“被災”の詳細や地震に起因した“事故”については、個別の二次調査となる。

本稿ではその二次調査前に明らかとなった事実と、特に低温工学関係者にとって、今後考えてゆかなければならない超伝導応用機器としてのMRI装置に関する新たな課題を紹介する。

2. 工学的調査の主旨

MRI本体および設置環境が正常であれば、日常の安全管理の手順に示されている現象以外、想定外の危険現象が発生するのはごく稀なことである。たとえば

MRIに使用される超伝導マグネットで、日ごろから注意を払わなければならないのは“強磁場による磁性体の吸着・吸引”である。また“突然のクエンチ”も、日ごろから意識しておかなければならない。

これら十分認識されている“危険現象”については、その“危険回避機構”が本体や周辺設備に備えられており、その点検と事後の安全行動は標準化されている[1]。しかしそんな日常においても、インシデント事例は少なからず報告されている[2]。

日常的な環境であればインシデントで治まる事例も、非常時には重大事故につながる惧れがある。大型地震に遭遇した場合など、装置そのものの正常動作を疑い、環境自体の正常さも疑わなければならない。

例えばクエンチの発生事態は様々な安全機構が危険を回避するが、被災により設置環境が正常でなければ、クエンチは危険な現象となり得ると言わざるを得ない。

激しい振動が加わり、大きな磁性体が吸着した場合の、あるいは水没した場合のマグネットの挙動、火災にあった場合、撮像室の天井が崩れてきた場合、床と共に落下した場合のマグネットの挙動など、できる限り“想定”しておく必要がある。

今回の被災状況に関する工学的調査と検証は、そういった特殊環境下でMRIはどういう振る舞いをするかに注目しており、特殊環境下でMRIに何が起こるのかを、今回の調査で得られる知見から“推定”することが、工学的調査の主目的である。

3. MRIの被災状況

回収された調査票および伝聞情報から、個別の事例として「クエンチ」「浸水・水没」「磁性体吸引」について聞き取り調査した。

被災しクエンチしたもの14件について表2に簡単にまとめた。クエンチ発生原因の詳細については、二次調査で明らかになる予定である。

表2. クエンチ事例数とクエンチ発生時期

クエンチ確認事例	14 件について
数時間以内に発生	6 件
半日から数週間	7 件
未確認・未確定	1 件

半日から数週間後にクエンチが発生したもののほとんどは、液体ヘリウムの液位低下による自然クエンチと思われる事例である。液体ヘリウムのサブクール型4 K冷凍機は、その熱設計によって、数日も持たないものがある。シールド冷却型冷凍機の場合は、液体ヘリウムの蒸発量増加がゆっくりと進むため、冷却不足によるクエンチ発生に至るまでに数週間を要したものもある。

いずれにせよほとんどの超伝導型MRI用マグネットにはヘリウム冷凍機が搭載されており、そのほとんどが水冷式であることから、停電のみならず断水によっても冷凍機が停止してしまう事態となったようである。

この表2の内、浸水・水没したものについて、件数およびクエンチ有無を表3に示した。これによると水没しただけでは直ちにクエンチに至ることは稀であろうと推察できる。ただしここに挙げた事例が、冠水したものか否かについては二次調査で明らかとなる。また、数時間以内にクエンチした1例は、強制クエンチ回路が水没によって誤動作したものであり、数日以内にクエンチした2例は、いずれも強制クエンチ回路の人為的作動によるものである。

ちなみに超伝導型MRI以外、永久磁石型MRI 6件の水没が確認されており、浸水・水没MRIの計10件すべては全損となった。水没したMR1の画像[3]をY. Satohが紹介している。

表3. 浸水・水没事例とクエンチ発生件数

浸水・水没確認事例	4 件について
数時間以内にクエンチ発生	1 件
半日から数日後にクエンチ	2 件
クエンチせず	1 件

＊この 4 例は超伝導型 MRI のみ

このほか、磁性体の吸引・吸着についても多くの事例が確認されたが、人身の損傷に結びついた事例は確認されていない。また、懸念された重大事故として“高圧ガス破裂”と推定できる事例も確認されていない。

4. 医療機関における課題

通常の診療中であった医療機関では、患者の避難誘導が直ちに行えたところと、何らかの障害があったところがあった。またメーカーと連絡が取れず、その間に“緊急停止処置”を取らなければならない事態となり、マグネットを強制減磁させるか否かの判断に躊躇があった様子が伺えた。

冷凍機が自然停止し、その後、液体ヘリウムの蒸発量増加がどの様な固有値で変化するかの情報がなく、クエンチ発生までの猶予時間の見積もりができないところも問題となり得る。

4.1. 緊急停止ボタンに関連した課題

通常、緊急減磁装置:クエンチボタンについては人

身にかかわる緊急事態に備えて装備されている。その動作後のシステム挙動について情報が少ないことがうかがえる。

以下などが懸念される問題点であり、いろいろ必要情報が明確になっている必要がありそうだ。

1. クエンチボタンや緊急電源遮断ボタンの名称が、メーカーによって異なる
2. 同一メーカーであっても、クエンチボタンの表記や形状が操作室と撮影室で異なる
3. 同一メーカーであっても、ボタンの表記とマニュアルの表記が異なる
4. 同一のマニュアルの中でも呼称が一定しない、異なった呼称を用いている例がある
5. 2つのボタンが近くに設置されていて紛らわしいケースが見受けられる
6. いずれのボタンも表記が具体的に何を意味するのか直感的につかみにくい
7. マニュアルや参考資料にはボタンの機能は説明されているが、判断の基準については記載されていない
8. 緊急撮影停止ボタンは各社により異なり、統一した基準が無い
9. 筐体の赤色ボタンと操作卓のボタンが同一機能でない事例がある

4.2 MRIの防災対策における今後の課題

1. 激震下で撮影装置から患者を救出する方法
2. どのような場合にマグネットを強制クエンチさせるべきかの基本指針の確立
3. 大規模火災が発生した場合の処置
4. 消磁のソフト化、励磁の低コスト化
5. 装置の緊急停止の標準化、段階化、自動化
6. 自己チェック機能（ネットワーク遮断への対策）
   停電対策（特に冷却系）
7. 検査室が実施する緊急点検プロトコルの策定
   リスクコミュニケーションの確立

震災に関しては医療機関の防災計画全体の中で、その医療機関の実情を基にしてMR検査室で起こりうる事象を予測し、震災時の対処方針を考える必要があり、地震情報をいち早く現場に周知する体制が望まれる。

5. 低温工学に関連した課題

MRI装置のメーカーは医療機器の専門メーカーであり、最近では超伝導マグネットを自社で製造しない例も増えている。超伝導マグネットの専門メーカーへ製造を委託しているというより、MRI装置として必要な“磁場発生装置”を外注しているに等しい。すなわち表向きの仕様についてはMRIメーカー側で設計するが、要求される仕様をどの様に満たすかはマグネットメーカーに委ねられることがあるようだ。

こういった背景から、マグネットおよびクライオスタットの内的固有特性について、MRIメーカーが知らないことも増えてきているように思える。たとえば超伝導維持のための液体ヘリウム液位の最下限値、冷凍機停止時の液体ヘリウム蒸発量の変化固有特性、クエンチ発生時の焼損リスクの定量化方法など、緊急事態に備えて使用者が知っておきたい技術情報が、MRIメーカーから、あるいはメーカーのサービス技術員から満足に得られないこともあるように思える。

そんな中で、超伝導応用技術の普及を目指す低温工学関係者には、MRI用マグネットをシステムと捉えて新たな課題を発掘する姿勢が望まれる。

5.1 永久電流方式マグネットの『無害化処置』の標準化

そのまま放置することは“危険”であるとの認識の下で

1. どの様に『消磁』するか。
2. どの様に『昇温』するか。
3. どの様に『圧力開放』するか。

システムを廃棄することなく『無害化』する手段を検討する課題がある。この内、消磁に関しては使用者が操作可能な機構である必要がある。

クエンチボタンと称する“緊急減磁装置”のスイッチの多くは、強制クエンチを起こさせる機構である。その作動の決断は“人身にかかわる緊急事態”、あるいは確実にその場を退避しなければならない火災などの場合に限られる。しかし今回の震災で、水没など装置の全損が明らかな場合を除き、その場を善意の第三者へ明け渡す事態となった場合に、すなわちそこそこの猶予時間がある場合に、マグネットを安全・非侵襲的に消磁・減磁する機構が備わっていれば、使用者の迷いが生じない分、安全性は高まると思われる。

昇温と圧力開放については、マグネット撤去の際に取られる手段であるが、再起動を前提とした昇温と圧力開放は、具体的に検討されていないように思われる。被災時に必要な処置として、使用者だけで作業可能な『無害化処置』法を、検討しておきたい。

5.2 使用者のための『安全知識』の整備

クエンチを伴わない『減磁方法』の検討が重要な理由として、MRI関係者がクエンチについて誤った情報を持っていることが挙げられる。最近は多くのクエンチ映像がWebで提供されているが、病院に設置された状態で、各部がどのような挙動を示すかを理解するには不十分といえる。不十分なばかりではなく、正しく挙動

を理解する妨げとなるような映像も多い。

例えば、冷媒が勢いよく放出されるときの放出配管の外壁で生じる空気の液化など［図1］は、意識的に教育的映像を意図して撮影したものでなければならない。また配管の閉塞例、クライオスタット内の閉塞条件についても、映像を交えた模擬体験と講義が必要だろう。

強磁場・高磁場勾配による磁性体の吸引・吸着の回避方法や、吸着させてしまった後の処置方法についても、使用者が一時対応可能なように“教育的映像”が有効である。

これらの資料製作については、第三者機関が取りまとめる必要があり、マグネットメーカー、MRIメーカーの参画はもとより、公的機関の主導を検討したい。

図1. 強制冷媒放出時の配管外壁に流れ出した液体空気 場合によっては窒素は凍り付き、流れ落ちるのは酸素だけとなる。

6. まとめ

MRIの被災状況調査の内、工学的調査に特化して報告した。まだ様々な事例が二次調査：個別取材によって明らかになると思われる。

たとえば3.11の震災後、数回の余震ごとにクエンチを起こすマグネットの事例がある。これについては具体的な調査を計画している。

また廃棄される実際のMRI用超伝導マグネットを用いて、極限現象の検証を試みる計画もある。と同時に“教育的映像”作成も試みようと考えている。

MRIを使用する当事者に、『安全マニュアル』ではなく状況判断のための正しい知識と現象観を持っていただけるよう、低温工学の一関係者として努力したい。

参考文献

[1] （社）日本画像医療システム工業会規格(JESRA) http://www.jira-net.or.jp/publishing/jesra.html

[2] 土井、山谷、上山、錦、小倉、川光、土橋、松田、熊代：日本放射線技術学会雑誌、第 67 巻 8 号（2011）895-904

[3] Yusuke Satoh “The dividing line between life and death” A record of medical support in the area affected by the Great East Japan Earthquake and Tsunami. http://blog.140b.jp/satoh/wp-content/uploads/2011/10/english.pdf

＜会議報告 1＞

第79回ワークショップ 会議報告

Report on 79th FSST workshop

物質・材料研究機構 松本 明善
National Institute for Materials Science
A. Matsumoto

7月19日の全日通霞が関ビル会議室において第79回ワークショップが開催された。今回のテーマは「3.11震災を乗り越えて」であった。2011年3月11日の東日本大震災によりダメージを受けた超伝導機器、超伝導機器を含む大型施設に焦点を当て、事故当時何が起こったのか、その事故からの復旧されたあるいは復旧途中の超伝導システムに焦点を当て、そこから抽出される課題を検証議論し、今後の対策に役立てることを目的として本ワークショップが開催された。

物質・材料研究機構（NIMS）の清水禎氏からはNMRの被災および復旧についての講演があった。今回の震災でクエンチしたNMRは非公式情報ではあるが、19台あり、そのうち大半は欧米社製のものだった。欧米では地震がほとんど起こらないため、地震のような揺れに対する設計思想が考慮されていないのかもしれないとのことであったが、詳細は不明である。さらに今回の報告ではNIMSの930 MHz級NMRの被災についての詳細な報告があった。クエンチは起こしてないが、様々な問題が発生していた。まず、消磁に必要な電極用ソケットがマグネット内部に脱落し、それを回収することから復旧作業が始まった。この作業が終了するまで、永久電流モードで強磁場が発生し続ける状態が続いていた。さらに、室温ボアチューブの断裂、真空槽の破壊等の被害があった。今後、それらの被害の復旧を行うとともに、免震・除振・制振構造を取り入れた補強を行い、今年度末の復旧を目指していると言うことだった。

高エネルギー加速器研究機構の槙田康博氏からは茨城県東海村にあるJ-PARCの被災状況および復旧についての講演があった。J-PARCは地震だけでなく、海岸近くに立地している関係上、津波の影響も多少受けている。まず、地震によっては敷地内の道路陥没があり、全体的に地盤沈下が起こっていることが報告されているが、建物自体は大きな被害は見あたらなかった。一方、建物と建物周辺の補強の違いにより、建物から出ている冷却管等の配管部分で変形等がみられたが、リーク自体はそれほど起こっていないようだったことが報告された。全体的にはJ-PARCは昨年12月には復旧しており、本年1月から共用運転がスタートしており、巨大設備の割に復旧がスムーズに進んでいることを報告していただいた。

物質・材料研究機構の野口隆志氏からはMRIの被災状況およびそこから浮かび上がる課題について講演があった。今回の震災は地震だけでなく、津波による災害が大きいことが特徴である。NMRやMRIは電源が喪失しても永久電流モードで運転されている場合、冷却が保たれている間強磁場が発生し続けるという特殊状況にある。それは津波が襲ってきても同じであった。ある海岸近くの病院では建物が津波で流されているにもかかわらず、MRIマグネットがそのまま取り残され、周辺の金属等を吸い寄せて巨大な瓦礫となっている状況も見られた。また、地震で耐強磁場対策がされている部屋が損壊した場合、その周辺にある金属等がMRIに吸引されてクエンチするまで、手が出せない状況に陥ることもあった。以上のように、地震等で放置されてしまうことによる危険性がMRIにはあり、今回の震災をきっかけに、これらの状況を整理し、対策を行う必要性があることを強く講演された。なお、本講演についてはトピックスに詳細が記載されているので参照されたい。

中部大学の山口作太郎先生からは超伝導ケーブルシステムとしてこれから必要な地震対策を含めて検討した結果についての講演があった。一般的に地中配管は地上配管に比べて地震に強いことが言われており、基本的に地中配管となる超伝導ケーブル敷設は地震に強い。超伝導ケーブルがどのように入るか未定ではあるが、都市内では共同溝等、また、都市間も含めた広域では高速道路への敷設がもっとも妥当な案であり、法規制上も簡単になる。ただし、共同溝等に敷設する際は地上と同じ法規制を受けるため、地震対策が必要となってくる。超伝導ケーブルはこれからの技術であるが、最も近い例としては、天然ガスの配管が参考になるため、これらの技術を参考にしながら、地震対策を進めるのがよいとの結論であった。

東京工業大学の西敏夫先生からは免震・制振対策の実情と言うことで、超伝導に限らず、広く一般的な講演があった。西先生らが提唱しているゴム材料を利用した免震、制振システムが今回の東日本大震災に対してきわめて有効であったことが多数報告された。免震ビルと在来建屋を比較した場合、在来建屋3Fで加速度は最大で3倍に増幅されるのに対して、免震ビルではほとんど1Fと同じ程度であった。上層階ほど顕著に制振効果があることが報告された。今回の震災では以上のような報告が多数あり、今後免震システムを採用した建物が増えることが期待されている。また、中国では、昆明新国際空港の総免震化、雲南省における

免震タウン計画、香港～マカオ間の橋梁免震化等の巨大プロジェクトが目白押しであることも講演された。

最後に今回のパネルディスカッションでは、それぞれの講演者に対して、時間内にできなかった質疑応答が行われた。超伝導はまだ、広く一般に知られていない技術であり、その問題点すらあまり理解されていないのが現状である。一方で、比較的一般に普及しているMRIでは誤った理解、中途半端な理解がされていることが今回の震災で明らかになりつつある。今後、超伝導システムが普及される際にどういったことが問題になるか議論を始めなければならないのではないかと感じた。緊急事態が発生した場合、超伝導機器のそばにいるのが超伝導の専門家ではないが多く、その対策も含めて考えていく必要がある。今回のワークショップが議論を始める良いスタートとなることを期待したい。

パネルディスカッション風景

＜会議報告 2＞

2012 年度秋季第 73 回応用物理学会学術講演会報告

Report on the 73rd Japan Society of Applied Physics Autumn Meeting 2012

熊本大学大学院自然科学研究科
藤吉 孝則
Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University
T. Fujiyoshi

2012年度秋季第73回応用物理学会学術講演会が、9月11日～9月14日に愛媛県松山市の愛媛大学城北地区および松山大学文京キャンパスで開催された。応用物理学会の扱う領域は広く多岐にわたり、秋季大会では毎年約6,000人の参加者を集めている。今大会では、41の口頭発表会場と2つのポスター会場を使って17の大分類分科と2つの合同セッションにおいて、3,401件の一般講演、20件の分科内招待講演、3件の海外研究者招待講演、4件のチュートリアル、22件のシンポジウム等が開催された。また、ポスター会場では、100社以上の企業・団体からの展示会も開催された。

大分類分科の一つである「超伝導」は、「基礎物性」、「薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」、「臨界電流、超伝導パワー応用」、「アナログ応用および関連技術」、「接合、回路作製プロセスおよびデジタル応用」の5つの中分類分科からなる。それぞれの中分類分科での発表件数は、「基礎物性」で48件、「薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」で36件、「臨界電流、超伝導パワー応用」では、分科企画シンポジウムの8件を含む33件、「アナログ応用および関連技術」で33件、「接合、回路作製プロセスおよびデジタル応用」で20件であり、合計170件であった。本稿では、筆者が主に聴講した「薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」と「臨界電流、超伝導パワー応用」の講演の中から報告する。

「薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」のセッションでは、まず11件の鉄系超伝導に関する報告があった。鉄系超伝導体では、臨界温度T_cが高いNdFeAs(O,F)等の1111系、異方性の小さい(Ba,K)Fe_2As_2等の122系、Fe(Se,Te)等の11系の3種類の物質群で特に応用に向けた研究が盛んであるようである。たとえば、成蹊大の三浦氏は、As/P組成比の異なる$BaFe_2(As_{1-x}P_x)_2$薄膜をPLD法により作製してx = 0.33においてT_c=26.1 Kを得ており、異方性パラメータγ= 1.54を得ている。また、P-richになるほど、T_cの低下や異方性の増加を確認している。また、名大の川口氏は、MBE法を用いて、MgO-bicrystal基板上にNdFeAs(O,F)薄膜の超伝導接合の作製を試みている。I-V特性の測定の結果、RSJ的な特性を得ている。東理大の平氏は、In-situ法による(Ba,K)Fe_2As_2のPIT線材の作製を試みている。結果として臨界電流密度J_c～10^3 A/cm^{2}で磁場印加でJ_cが急激に低下することから、特性改善が望まれる。

午後のセッションでは、京大の常松氏が、Al合金基板上に電子ビーム蒸着法によりMgB_2薄膜を作製し、基板の表面粗さの効果を調査した。基板の表面粗さは、T_cやJ_cにほとんど影響を与えず、零磁場、4.2 Kで最大J_c=6.8 MA/cm^2、20 Kで最大2.3 MA/cm^{2}の値を得ている。物材機構の松本氏は、スパッタ法で作製したBi,Pb2223薄膜をBi,Pb2223ペレットともに焼鈍熱処理を施すことにより、T_c=100 Kを超えるBi,Pb2223薄膜を得ている。今後Bi,Pb2223超伝導体の生成メカニズ

ムの解明や有効なピンニングセンターの解明が期待できる。超電導工研の宮田氏は、高速な線材プロセスの開発を目指して、IRレーザーアシストCVDシステムを設計・導入してその性能を評価した。レーザー照射エネルギーを調整することにより、58 μm/hの高速レートを維持しながら、J_c=1.8 MA/cm^2（I_c=133 A）を達成している。

「臨界電流、超伝導パワー応用」のセッションでは、まず分科企画シンポジウム「高温超伝導マグネット開発の最前線」が開催された。東芝の田崎氏は、Y系線材が高臨界電流密度などの性能面やコスト面で高いポテンシャルを持っており、かつ機械的特性についても従来の超伝導線材では得られない優れた特性を持つことからY系超伝導マグネット開発の状況が紹介された。現在各国で試作されたY系超伝導マグネットの結果や問題点を指摘した。現在、超伝導薄膜の剥離問題を克服して、設計通りの特性を有するコイルの製作技術が確立しつつあり、国内では、Y系超伝導マグネットを用いたNMR、モータ、がん治療用重粒子線加速器等、海外ではSMES、発電機/モータなどの機器開発プロジェクトが立ち上がっており、Y系線材のさらなるコストダウンと機器製造技術の確立により、Y系超伝導機器の応用が加速することを指摘した。

物材機構の北口氏は、Bi2223線材およびそれを用いたマグネット開発について紹介した。Bi2223テープ線材は、加圧焼成法の開発により、現在液体窒素温度自己磁場中で200 Aを超える特性が得られており、機械的特性もステンレスや銅合金テープ材をBi2223テープ線材に半田複合することで、300 MPaを超える引張強度を有する線材が提供さている。これらの線材特性の向上を背景として、Bi2223線材を用いたマグネットの開発が数多く行われ、たとえば、強磁場発生用インサートコイルでは、4.2 K、外部磁場12 T中で3.3 Tの発生に成功している。伝導冷却MRI用マグネットの製作も試みられており、エポキシ塗り込みのよる巻き線により1.5 Tでの運転に成功しており、MR画像が得られている。

九大の木須氏は、最近開発され注目されている$BaHfO_3$を人工ピンとして導入したPLD-GdBCO線材を用いたマグネットの概念設計について報告した。$BaHfO_3$を導入したPLD-GdBCO線材では、77 K、自己磁場下で600 A級のI_cを有する同程度のPLD-GdBCO線材に比較して、65-77 Kの磁場中の不可逆磁場やI_cが飛躍的に向上し、またI_cの磁場角度依存性においてもかなり広い角度範囲で特性向上することを指摘した。これらの線材の輸送特性と有限要素法による電磁界解析を用いてコイル設計を行い、65 Kにおいて5.5 Tを発生可能なコイル形状を検討し、人工ピンを導入していない場合は、必要線材長が1800 mであるのに対して、人工ピンを導入した場合は、980 mとなり、コイルのコンパクト化が図れることを述べた。

シンポジウムに続くセッションでは、高知工科大の春田氏が$BaNb_2O_6$ナノロッドを導入したRE123薄膜の臨界電流特性が成膜温度に依存ことを目的として、PLD法により$(Y_{1-x}Er_x)$BCO薄膜を作製について報告した。x=0.125の薄膜では、臨界電流密度特性が成膜温度に対して依存しないことを示した。またTEMによるナノロッドの微細組織観察からナノロッド形態と成膜温度との関係も明らかにしている。物材機構の熊倉氏は、in-situ PIT法によるMgB_2線材の充填密度が低い問題を解決する目的で、Mg棒を利用する内部Mg拡散法においてB粉末にMg粉末を添加してMgB_2線材の試作を行った。6 at.%のMg添加によりJ_cが最大を示すことを報告した。

＜会議報告 3＞

M2S 2012 会議報告（1）

Report on Materials and Mechanisms of Superconductivity Conference 2012

産業技術総合研究所
中島 正道
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
M. Nakajima

2012年7月29日から8月3日までの日程で、米国のワシントンD.C.において、M2S 2012（International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity）が開催された。会場となったOmni Shoreham Hotelはワシントンを代表するホテルの一つであり、その会議施設は政府関係者によく利用されており、歴代大統領の就任パーティーが行われたこともあるという。本会議は3年に1度開催される、超伝導の国際会議としては最大級のものであり、発表の内容は多岐に渡っている。今回の発表件数は、口頭発表が約200件、ポスター発表が約450件であった。この発表件数は3年前に日本で行われた前回のM2Sと比べると大分少なくなっており（前回は口頭、ポスター合わせて約900件の発表があった）、会場自体は素晴らしかったものの空席が目立つ場面も多くあったが、活発な議論がセッションを盛り上げていた。図1に示しているのは会場の様子を撮影した写真である。

M2Sでは超伝導に関する賞の授賞式も行われてい

る。物質面での貢献を称えるBernd T. Matthias賞にはI. Božović、J. N. Ecksteinの各氏、理論面での貢献を称えるJohn Bardeen賞にはS. A. Kivelson、J. A. Sauls、C. M. Varmaの各氏、優れた実験に対して授与されるHeike Kamerlingh Onnes賞にはØ. H. Fischer、T. M. Klapwijk、H. A. Mook, Jr.の各氏が選出された。受賞講演ではちょっとした昔話や研究の様子を知ることができ、興味深く聞くことができた。

筆者は主に鉄系超伝導体のセッションを聴講した。銅酸化物高温超伝導体の研究に伴う測定技術の向上もあり、鉄系超伝導体の研究は驚異的な速度で進んでいる。当初、精密な物性測定は単結晶試料の育成が比較的容易である122系を中心に進められてきたが、最近では結晶構造のバリエーションが増えていることもあり、実に多彩な物質に対して精力的な研究が行われている。今回の会議でも様々な研究結果が報告されたが、高温超伝導体研究において最も我々を興奮させるものはやはり新超伝導体の発見、そしてT_cの向上であろう。以下、新物質開発やT_c向上に関連する報告をいくつか紹介する。

Maryland大学のS. R. Sahaは$CaFe_2As_2$のCaサイトをランタノイド元素で置換することによりT_cが47 Kにまで向上することを報告した。この結果は、$(Ba,K)Fe_2As_2$の持つ122系におけるこれまでのT_cの最高記録38 Kを凌駕する。しかしながら、超伝導の体積分率は非常に小さく、現状ではバルク超伝導の兆候は見られていない。この超伝導が何に起因するものなのか、今後突き詰めていく必要があるだろう。

Ludwig-Maximilians大学のD. Johrendtは最近発見された超伝導体$Ca_{10}(Fe_{1-x}Pt_xAs)_{10}Pt_nAs_8$（$n$=3, 4、それぞれ10-3-8相、10-4-8相と呼ばれる）の物性を報告した。この物質は岡山大学の野原グループが発見し、Princeton大学のCavaらを含めた3グループによって結晶構造の解析が行われ、2つの相が異なるT_cを示すことが分かっている。発表では、10-3-8相はxの小さい領域では非超伝導体であるが、Ptドープにより最大でT_c=15 Kの超伝導体になること、10-4-8相はx=0の時点で既にT_c=38 Kの超伝導体であり、ドーピングにしたがってT_cが下がっていくことが示された。

Oxford大学のS. J. Blundellは$FeSe$の層間にリチウムとアンモニアを挿入した$Li_x(NH_2)_y(NH_3)_{1-y}Fe_2Se_2$が$T_c$=43 Kの超伝導体であることを発見し、発表した。$FeSe$はもともとT_c=8 Kの超伝導体であり、高圧下では電気抵抗率に見られるT_cのオンセットが37 Kにまで上昇するため、T_c向上の期待が持たれていた物質である。これまでにもアルカリ金属元素を挿入することで高いT_cを持つ超伝導体（例えば$K_xFe_{2-y}Se_2$はT_c=30 Kを示す）が得られることは知られていたが、分子の層間への挿入は全く新しいアイデアであり、今後の物質設計の広がりが期待される。

中国科学院のX. J. Zhouは、$SrTiO_3$基板上に作製した単層の$FeSe$薄膜にアニールを施すことにより、T_cが65 K程度の超伝導体になる可能性を示した。測定手法は角度分解光電子分光であり、エネルギー分散スペクトルにギャップが開くことを超伝導の根拠としている。他の実験手法における追試が待たれるところではあるが、これが本物の超伝導であるならば、現在の鉄系超伝導体の記録であるT_c=55 Kを塗り替えることになり、非常に興味深い発見である。

ここでは新物質、T_c向上に関する報告を取り上げたが、会場では超伝導発現機構を含む様々な話題について白熱した議論が交わされた。多くの実験結果や理論が積み重ねられ、鉄系超伝導体の研究は新たな局面に入ったように感じられる。今後、鉄系超伝導体の理解がさらに進み、T_cの向上や応用に繋がっていくことを期待したい。

次回の本会議は2015年にスイスで開催される予定である。

図1. 会議場の様子

第10回国際超伝導会議(M^2S 2012)報告（2）

Report on the International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity 2012

東京大学
山本 明保
The University of Tokyo
A. YAMAMOTO

国際超伝導会議(International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity, M^2S)は、超伝導の材料特性と発現機構に関する会議として

は大規模なものであり、2, 3年おきに世界各地で開催されている。今回の会議は2009年の東京での開催に続き、アメリカ合衆国のワシントンD.C.で7月29日から8月3日まで6日間にわたって行われた。議長はアルゴンヌ国立研究所のGeorge Crabtree、イリノイ大のLaura Greene、ブルックヘブン国立研究所のPeter Johnsonらが務めた。

会議が開催されたのはOmni Shoreham Hotelである。2010年のASC国際会議の会場でもあったのでご記憶の方もいらっしゃると思う。ホワイトハウスから北に2マイルほど離れた森の中に佇む瀟洒なホテルで、合衆国大統領の就任パーティが開かれる場所だそうである。

会議には30カ国から581名の参加者があり、国別で最も多いのが開催地のアメリカ、そして日本、中国と続く。全体的にアジア系の参加者が多いように感じた。発表は基調講演(9件)と、5つのパラレルオーラルセッション(発表総数203件)、及びポスターセッション(476件)からなり、全体で688件であった。材料別の発表件数でみると、鉄系超伝導体が最も多く、銅酸化物系が続き、MgB_2や金属系、有機系超伝導に関する研究もあった。応用に関する研究よりも、超伝導発現機構などに関する基礎研究が多かった。講演が5会場パラレルであり、また著者の日程の都合上、会議に参加した日が限られてしまったため、内容がごく一部の分野のみとなっていることをあらかじめお詫びしたい。以下,基調講演・招待講演を中心に発表のいくつかを紹介する。

Nanjing大学のWen氏は「Overview on the experimental progress in iron pnictide/chalcogenide superconductors」と題した基調講演の中で、多くの実験が$s\pm$モデルを支持し、マルチバンド超伝導が確認されていること、ギャップがノードレスであること、非磁性不純物による散乱効果が弱いことなどを紹介した。また、自グループの研究結果からも反強磁性スピンフラクチュエーションが超伝導発現に関与している可能性が高いと述べた。

東大の高木氏はマティアス則から始まって、BCS超伝導の極限、エキゾチック超伝導体や電界誘起超伝導まで、分かりやすいレビューを行った。

東工大の細野氏は1111系鉄オキシニクタイドにおける電子ドープ効果について報告した。酸素サイトへの水素(H^-)の置換によって系へのキャリアドーピングが可能であり、高濃度の水素置換によって相図上に2つ目のドーム(two dome structures)が現れることを報告した。LaFeAs(O,H)系において超伝導転移温度T_cを水素置換量xに対してプロットすると、$0.05<x<0.2$の範囲にT_cが最高で29 Kの1つ目のドームが、$0.2<x<0.5$の範囲にT_cが最高で36 Kの2つ目のドームが生じた。また、同じく電子ドープ系である$(Ba,RE)Fe_2As_2$系薄膜の超伝導特性や、新材料の探索についても報告がなされた。

産総研の永崎氏は高圧法によってLaからDyまでそれぞれのREFeAsO単結晶を合成し、結晶構造パラメータと超伝導特性の関係について詳細に議論した。

BlundellらはFeSe系の層間距離を制御することを意図し、分子インターカレーションを行った。リチウムイオン、アミド、アンモニアをインターカレートした$Li_x(NH_2)_y(NH_3)_{1-y}Fe_2Se_2$の合成に成功し、超伝導($T_c$ = 43 K)が得られたことを報告した。一方、ECのKlimeczuk氏はREFeAsO系と同じ結晶構造を持つNpFeAsOとPuFeAsOを初めて合成したことを報告した。Fe, Oサイトへそれぞれ Co, F置換を行ったが、現在のところ超伝導は得られていないとのことである。

最後に、残念ながら今回の会議は前回の東京と比較してあまりよくオーガナイズされていないという声が多く聞かれた。全体としてはよい会議であったが、福岡のICEC-ICMC会議の後だったため、著者も余計にそう感じた。編集部からの依頼があり、以下にいくつか記す。まず、参加登録費が高い(早期割引で750$)。会場費が高いのだろうが、バンケットは別料金で、ソーシャルはウェルカムレセプション(ドリンク券1枚)とコーヒーブレイクのみだったように思う。プログラムのウェブ公開も遅かった。また現地でプログラムが冊子やCD, USBとしては配布されず、会場にWiFiもないため、オーラルセッションでは発表者が登壇するまで次の講演が誰なのか分からなかった。(参加者からの指摘で、後半は入口にプログラムが掲示されるようになった。)企業展示は4社のみであった。アメリカの景気が影響しているのかもしれないが、僭越ながら次回はよりよい運営がなされるように期待したいと思う。

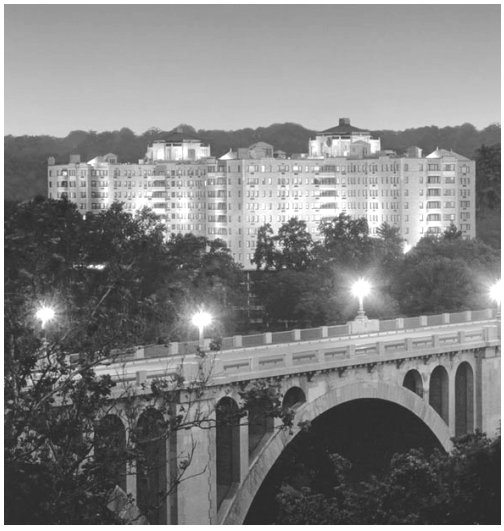


図1. 会場となったOmni Shoreham Hotel

＜会議報告 4＞

IUMRS-International Conference on Electronic Materials (IUMRS-ICEM 2012) 会議報告

Report on IUMRS-International Conference on Electronic Materials(IUMRS-ICEM)

物質・材料研究機構　熊倉浩明
National Institute for Materials Science
H. Kumakura

今年の9月23-28日に、横浜の「パシフィコ横浜」でIUMRS(International Union of Materials Research Society)-ICEMと題した国際会議が開催された。この会議は電子材料に関して隔年に開かれている国際会議であり、今回はMaterials Research Society of Japan (MRS-J)の主催で開催された。この会議は数多くのシンポジウムから構成されているが、その中のシンポジウムB4として先進超伝導材料が取り上げられた。この先進超伝導材料のシンポジウムにおいては、発表論文数は約70件と多くはなかったが、4日間にわたって新しい超伝導材料から超伝導の応用にまたがる幅ひろい分野の多彩な研究発表がなされた。海外からの出席者の比率も高く、小さな会場で出席者も比較的少なかったので自由な雰囲気で活発な議論が展開された。

以下に報告者にとって印象に残った発表について簡単に報告するが、私の専門が超伝導線材なので以下の報告も線材に関連したものであることをあらかじめお断りしたい。

まず、鉄系超伝導材料では、中国科学院、電工研究所のMa氏が「Recent progress in iron-based superconducting wires and tapes」と題して、同研究所で進める線材化研究について報告した。同氏は鉄系超伝導体が発見されてから真っ先に線材化に取り組んできているが、今回の発表では、まずこれまでの研究の経緯を述べた後に最近の成果にふれた。通常のPIT法で線材化を進めているが、最近では鉄系の中では異方性が小さくて線材化が比較的簡単なSr-122系に力を注いでいる。粒間の弱結合の問題を解決するためには結晶粒の配向化が重要であるとし、強加工（圧延）で作製したテープでは、4.2 K、10 Tで1万A/cm^{2}をはるかに超えるJ_cを得たと発表した。ただし、具体的なテープ作製条件には触れなかった。

ウイーン工科大のM. Eisterer は、「Critical Currents in Iron Based Superconductors」と題して、Sm-1111バルク、Ba-122バルクおよびFe(TeSe)-11薄膜について、中性子照射によるJ_cの変化について報告した。バルクのJ_cは磁化法で、また薄膜のJ_cは抵抗法で評価している。中性子照射によって大きさが数ナノメートルの球状の欠陥がランダムに形成されるが、これによっていずれの試料もJ_cが向上している。また照射によるJ_cの上昇率は高温ほど大きいとしている。Sm-1111やBa-122バルク材においては照射によるJ_cの向上が大きいのに対して、Fe(TeSe)-11薄膜におけるJ_cの向上は小さいが、これはFe(TeSe)-11薄膜では薄膜生成時にすでに多くの欠陥が導入されて磁束線ピンニングセンターとして有効に働いているためであるとしている。

Florida State大のC. Tarantiniは「Iron-based Superconductors: Study of Properties Useful for Applications」と題して同グループの最近の研究を紹介した。高密度のナノロッドを導入したCoドープしたBa-122薄膜のJ_cについては、20 Tの磁界までJ_c(H//c)はJ_c(H//ab)よりも高く、またJ_c(4.2 K, 20 T)は10^5A/cm^{2}を超えると述べた。またBa-122バルクについて低温で合成する手法を開発し、結晶粒界に低融点の不純物を含まないバルクを合成することができると述べた。また、このバルクを粉砕した粉末を用いてPIT法で丸線材を作製し、HIP処理をすることにより、4.2 K、10 Tで10^4A/cm^{2}の鉄系線材としては相当高いJ_cを得ている。

イタリアのColumbus Superconductors社のG. Grassoは「Scaling up of *ex-situ* multifilamentary MgB_2 superconducting wire」と題して同社のMgB_2線材開発について発表した。MgB_2粉末を金属管に詰めて線材に加工後、熱処理をする*ex situ* PIT法を適用している。すでに、芯数は61まで、長さは6 kmまでの長尺丸線材を作製している。またこの方法でMgB_2の充填率も高くすることができ、Engineering J_c(J_e)も高めることが可能であるとしている。また直流マグネット用として、12芯のテープ線材を銅テープで挟み込んだ線材を作製している。中心の超伝導テープにおけるMgB_2の充填率は20%に及ぶとしている。応用としては、12芯のテープ線材が医療用のMRIシステムに使用され、また最近では世界初の液体水素冷却の超伝導輸送システムのプロトタイプにも使われた、と述べた。さらに多芯丸線は直流の超伝導送電ケーブルにも使う計画があるとしている。

オーストラリアWollongong大のJH-Kimは、「Microscopic role of carbon on MgB_2 for critical current density」と題して発表した。MgB_2においては、炭素化合物やカーボンナノチューブなどの炭素の添加によって臨界電流特性が向上することが知られており、そのメカニズムとしては炭素原子のボロン原子サイトの置換が報告されているが、Kimらはmalic acid（リンゴ酸）をドープした試料について詳しく調べた。その結

果、炭素がボロン粉末に取り込まれ、これがボロン粉末の凝集を抑制して、その結果として試料中のボイドの形成が抑制される効果があると述べた。また、このボロン粉末に取り込まれた炭素によってMgB_2結晶中に積層欠陥が多く導入され、これも特性向上の理由の一つであるとしている。

ソウル大のSang-Im Yooは、「Recent progress in long-length high-I_c GdBCO coated conductors by the reel-to-reel RCE-DR process」と題して、韓国でのコーテッドコンダクタの最近の研究開発状況を述べた。SuNAM 社では、RCE-DR (Reactive Co-Evaporation Deposition & Reaction) プロセスの研究を進め、ハステロイ基板を用いた$GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$/$LaMnO_3$/Epi-MgO/IBAD-MgO/Y_2O_3/Al_2O_3 構造のテープにおいて、77 K、自己磁界において421.7 A x 1,000 m =421,700 A·mを得たとしている。また本方法におけるGd-123相形成のメカニズムについて考察した。

＜研究室紹介＞

（1）豊橋技術科学大学 環境・生命工学系 センシング応用研究室
Sensing Application Laboratory, Department of Environmental and Life Sciences, Toyohashi University of Technology

(1) 研究室スタッフ

教授：田中三郎、准教授：廿日出 好、研究員：阿部貴之、大谷剛義

事務補佐員：佐野清美、河合奈穂子

(2) 研究室の簡単な紹介

豊橋技術科学大学、環境・生命工学系では、人類の活動を持続的に発展させるために、生態循環系の修復・改善・維持を工学的に支援することを狙い、電気電子工学を用いた環境応用技術、センシング技術、生物機能とエレクトロニクスの融合、資源・エネルギーの新技術、地球科学と環境計画等にわたる幅広い知識と問題解決能力をもつ技術者を育成しています。

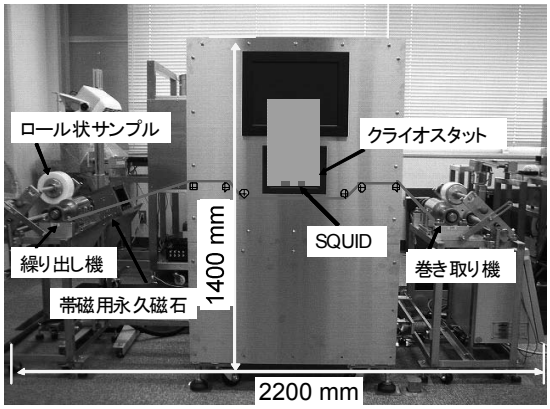
我々の研究室では、超伝導現象を利用したSQUID (Superconducting QUantum Interference Device) 磁気センサに関する研究を行っています。SQUIDを用いることで地磁気の10億分の1の微小磁場検出が可能です。従来は液体ヘリウムを使用しなければ動作せず、それらの用途は脳磁計測、重力波の検出などの狭い分野に限られていました。しかしながら、近年、高温超伝導SQUIDが開発されて、液体窒素で冷却するだけで動作できるようになり、その応用範囲が拡がっています。我々は高温超伝導SQUID磁気センサ開発と、バイオ分野などの新しい応用技術の研究を行っています。

(3) 主な研究テーマ

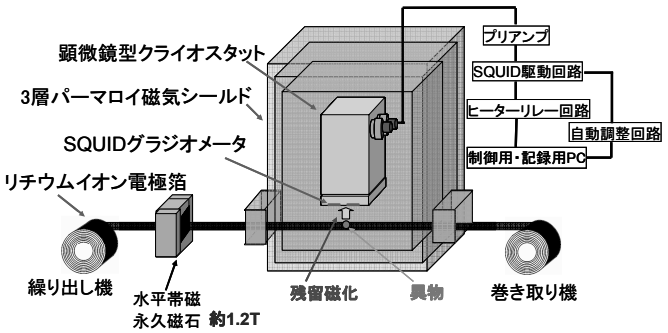
・食品内金属異物検査技術の開発（SQUID磁気センサ法および低磁場MRI法による）
・Liイオン電池部材用極微小金属異物検査技術の開発
・バイオ応用に向けた分離型SQUID低磁場MRI技術の研究
・非破壊検査技術の研究（組物複合材料、摩擦攪拌接合界面）
・バイオ細胞計測応用技術の研究
・高磁場耐性SQUIDの研究

(4) 最近のトピックス

文部科学省 知的クラスタ創成事業（H20-23）により、リチウムイオン電池や半導体封止材、フイルムなどに含まれる金属異物を超高感度で検出できる装置を開発しました。これは30ミクロン以上の磁性金属異物を確実に検出できる装置です。下図に装置外観および概略図を示します。ロール・ツー・ロール方式でシート状の検査物に対応しており、100 m/分までの高速での検査が可能となりました。センサには8個の高温超伝導SQUIDグラジオメータ（差分計）を使用しており、幅70 mmのシート内の異物検査を行うことが出来ます。電池メーカーの協力を得て、Liイオン電池の正極材を用いた実際の検査を行い、検査感度が実用的なレベルであることが確認されました。



装置外観写真



装置概略図

(5)連絡先、ホームページアドレス等

田中三郎　tanakas@ens.tut.ac.jp

研究室ホームページアドレス:

http://ens.tut.ac.jp/squid/index.html

(2) 岡山大学大学院自然科学研究科数理物理科学専攻(理学部物理学科) 野原研究室

Nohara Lab: Solid State Physics and Chemistry Research Group Department of Physics, Okayama University

(1)研究スタッフ

野原実(教授)、工藤一貴(助教)

(2)研究室の紹介

鉄やイリジウムなどの遷移金属元素を含む無機化合物における新超伝導体や、フラットバンド機構による熱電材料の物質開発に取り組んでいます。博士1名、修士7名、4年生3名の学生が在籍しています。

(3)特徴ある装置

無機のバルク材料の合成に必要な電気炉、グローブボックス、ドラフト、磁化測定装置を整えています。周りに超高圧、核磁気共鳴、光電子分光の研究室があるのが岡山大の強みです。また大型放射光施設SPring-8へも簡単にアクセスできます。

(4)これまでの成果、最近のトピックス

ニクタイドで初のハニカム格子の超伝導 SrPtAs(転移温度2.4 K)、電荷移動により二次元電子系が形成された超伝導 $SrPt_2As_2$ (5.2 K)、鉄白金系超伝導体 $Ca_{10}(Pt_4As_8)(Fe_{2-x}Pt_xAs_2)_5$ (38 K)、格子の巨大ソフト化で増強される超伝導 $BaNi_2(As_{1-x}P_x)_2$ (3.3 K)など、ぞくぞくと新超伝導体を発見しています。

最近の発見はイリジウム三角格子の超伝導 $Ir_{1-x}Pt_xTe_2$ (3.1 K)です。銅酸化物や鉄系の超伝導は、規則的に配列したスピン(磁石)をバラバラに融解したところで発現します。今回、私たちが発見した$IrTe_2$の超伝導は、磁石の融解ではなく、分子配列の融解(化学結合の切断)によって発現します。$IrTe_2$は、イリジウム原子が規則的に配列した三角格子からなる層状物質で、室温では正三角形の格子です。ところが約250 Kまで冷却すると、Ir原子が*b*軸方向に化学結合を形成し、分子状のIr鎖ができあがります。このとき、化学結合が形成される*b*軸が縮み、格子は二等辺三角形へと変形します。ここに僅か3%の白金(Pt)を添加すると、Ir鎖の全ての化学結合が切断され、転

移温度3.1 Kの超伝導が現れました。$IrTe_2$における分子状Ir鎖の形成は、Irのt_{2g}軌道の秩序化が関係していると考えられます。すなわち、t_{2g}軌道に属するd_{xy}, d_{yz}, d_{zx}軌道の一つを電子が選択的に占有することで軌道が規則的に配列し、電子雲が伸びるb軸方向にだけ化学結合が形成されたという仮説です。このような軌道の規則配列は、銅酸化物や鉄系のスピンの規則的な配列(反強磁性秩序)に類似し、これらがバラバラに融解したところで超伝導が発現することも類似しています。軌道秩序の観察や、軌道揺らぎによる超伝導など、今後の展開が期待されています。

(5)連絡先、ホームページアドレス

〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 岡山大学理学部物理学科 野原実
http://www.physics.okayama-u.ac.jp/nohara_homepage/

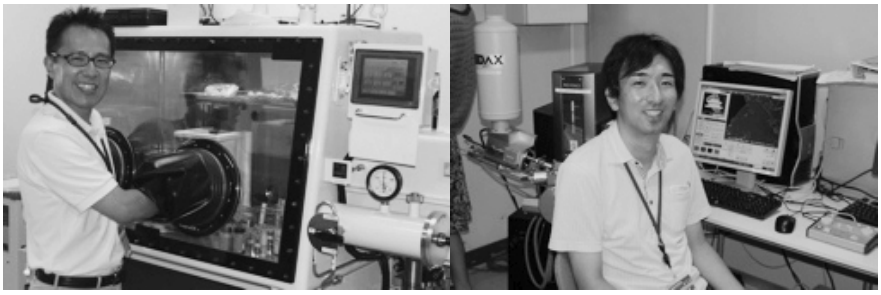


図1. グローブボックスと走査電子顕微鏡

(3) 公立大学法人 高知工科大学
環境理工学群 堀井研究室
Kochi University of Technology
School of Environmental Science and Engineering
Horii Laboratory

(1)研究室メンバー(平成 24 年 9 月現在)

准教授:堀井滋　助教:春田正和　博士課程2年:山木桃子
修士課程2年:2名、修士課程1年:4名、学部4年:5名(計14名)

(2)研究室紹介

高知工科大学は2009年4月に私立大学としての学校法人から「公立大学法人」へ移行し実質的に県立大学の枠組みをもつ組織として再出発しました。「堀井研究室」は公立大学法人化直後に発足し、2012年10月をもって3年半が経過します。環境理工学群には遺伝子を扱う生物系からイオンビームを扱う物理系まで多様な研究室が存在し、学生の立場から見た堀井研究室は無機化学と物理の中間領域を扱う実験系研究室と認識されているようです。現在、当研究室は大きく分けて以下の2つのテーマを扱っています。

①エピタキシー技術を利用しない磁場配向法による層状機能性物質の高次配向制御

②ナノロッド導入を中心としたナノ組織制御した高性能希土類系高温超伝導薄膜材の開発

(3)特徴ある装置

弊学には液体ヘリウム液化装置を所有していないことおよび高知における液体ヘリウムの市販価格(約4000円/L)は、低温物性・臨界電流特性評価に関連する研究設備の導入に実質的な制限をかけていることになります。堀井研究室は4 K冷凍機を利用した伝導冷却式超伝導磁石(2台)とクライオスタットを

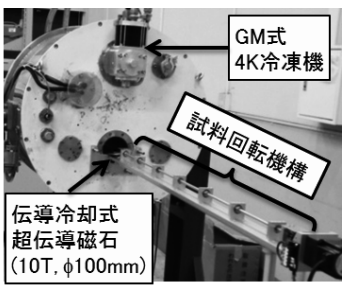


図1. 10テスラ級超伝導磁石と試料回転制御システム

所有し、地方が抱える寒剤事情を日本発の超伝導・低温技術の粋から生まれた設備の導入によって解決しています。ただし、現状として臨界電流密度については、液体窒素での直接冷却から決定しています。

また、三軸磁場配向実験には試料回転制御システムと上記の超伝導磁石を併用して行っている他、試料作製面では、試料合成用電気炉12台、真空封入システム、電気泳動堆積装置、遊星式ボールミル、超音波ホモジナイザーを、評価面では10 K冷凍機、熱電能測定装置、粘度計、XRD（共通）、SEM（共通）、TEM（共通）を所有し、合成から評価まで行える最低限の自給自足型研究スタイルが構築されつつあります(10 T, ϕ100 mm)

(4)これまでの成果、トピックス

<u>①磁場配向</u>　三つの結晶軸を磁場で整列する技術の詳細については超電導WEB21（2011年1月号「読者の広場」欄）に譲りますが、変調を加えた回転磁場により実用高温超伝導物質であるビスマス系および希土類系の三軸結晶配向を原理証明レベルで実現しました。特に、希土類系の場合、面内配向度・*c*軸配向度とともに2度以内を実現し、現在三軸結晶配向セラミックスの創製に向けて、磁場印加法の最適化や構造対称性や磁性イオン、化学組成制御を利用した物質の磁気異方性制御を進めています。

<u>②希土類系高温超伝導薄膜</u>　送電能力の耐磁場性に直結する磁束ピン止め点導入法として、ナノロッド導入を目指したナノ組織制御をPLD法で進めています。最近の成果として、ナノロッド導入RE123薄膜の臨界電流特性が成膜温度に依存すること、臨界電流特性の成膜温度依存性が超伝導母相の希土類組成に依存することを明らかにしました。つまり、高性能RE123薄膜の製造には、ナノロッドの形態制御だけでなく、超伝導母相の希土類組成も考慮に入れることが重要となります。これらの実験結果を踏まえ、成膜条件に依らない均一な臨界電流特性を生み出せるナノロッド導入RE123薄膜の開発を進めています。

(5)連絡先（堀井）

〒782-8502　高知県香美市土佐山田町宮ノ口185　高知工科大学　環境理工学群
TEL：0887-57-2521　FAX：0887-57-2520　E-mail：horii.shigeru@kochi-tech.ac.jp
研究室ホームページ：http://www.env.kochi-tech.ac.jp/horii/index.html

（4）北海道大学大学院理学研究院
物理学部門
高圧物理学研究室
High Pressure Physics Laboratory, Department of Physics,
Graduate School of Science, Hokkaido University

(1)研究室の概略

北海道大学大学院理学研究院・物理学部門・高圧物理学研究室では、銅酸化物における高温超伝導の発現機構の解明を目指して、その代表的な物質である$La_{2-x}Sr_xCuO_4$（La214）や$Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$（Bi2212）等の電子物性の研究に取組んでいます。研究室名は高圧下での物性研究を行う研究室として発足した当時の名称を引き継いでいますが、現在の主力測定手段は原子スケールの高い空間分解能を有する走査型トンネル顕微鏡（STM）用いたトンネル分光（STS）であり、常圧下での研究が中心です。研究室には（H24年9月現在）、3名のスタッフ（伊土政幸、黒澤　徹、小田　研）に加え、6名の学生が在籍しており、これらのメンバーで銅酸化物高温超伝導体の単結晶作製、STM/STS実験、電子比熱測定等を行っています。また、運動量空間での電子状態に関する情報が得られる角度分解光電子分光（ARPES）装置を立上中であり、将来的にはSTM/STSとARPESを合せて実空間と運動量空間の双方から電子物性の研究が出来るようにしたいと考えています。

(2)これまでの成果、最近のトピックス

銅酸化物高温超伝導体の大きな特徴の一つは、擬ギャップと呼ばれるギャップ様構造がT_cより高温のT^*付近から低温で電子系のエネルギー・スペクトルに形成されることです。擬ギャップは、その発見当初（1990年代初め）から最近に至るまで、「超伝導ギャップの前駆的な現象か、あるいは、超伝導とは競合する新たな秩序（隠れた秩

序）によるか」を巡って活発に議論されてきました。これまでのARPES実験から、擬ギャップは*k*-空間のゾーン境界に位置する（π, 0）近くのフェルミ面にT^*付近から形成され、擬ギャップ状態（$T_c<T<T^*$）でのフェルミ面は（π/2, π/2）付近を中心とするアーク状（フェルミ・アーク）になることが知られています。10年以上前になりますが、私達のグループは、Bi2212のSTM/STS実験で、擬ギャップが（π, 0）付近のフェルミ面に開くのに対して、超伝導転移に実効的な*d*波の超伝導ギャップ（有効超伝導ギャップ）は主にフェルミ・アークに形成されることを指摘しました。このような2種類のギャップが一つのフェルミ面を分けて形成されること（フェルミ面の二分性）は、ARPESの結果とコンシステントです。また、最近のSTM/STS実験では、ギャップの空間的不均一や新奇な電荷秩序が観測されており、これらの現象は“フェルミ面の二分性”との関係から精力的に研究されています。

私達のグループは、Bi2212における最近のSTM/STS実験で、（π, 0）付近のフェルミ面に形成される大きなエネルギー・スケール（超伝導ギャップの数倍）の擬ギャップは電荷秩序に由来すること、また、電荷秩序が著しく発達する試料では、擬ギャップがナノメータ・スケールで空間的に不均一であることを示しました。不均一な擬ギャップを伴った電荷秩序は、T_cより低温でも存続し、フェルミ・アークで起こる均一な超伝導と実空間で共存します。さらに、フェルミ面を二分して形成される擬ギャップと超伝導ギャップは競合関係にあり、このことが擬ギャップ/電荷秩序の発達が顕著となるアンダードープ領域におけるT_c低下の原因であることも分かりました。一方、最近行ったBi2212の光誘起超伝導−非超伝導転移における準粒子ダイナミクスに関するポンプ・プローブ分光実験（北大・応物（戸田グループ）、ヨゼフ・ステファン研究所（ミハイロヴィッチ・グループ）との共同研究）では、高強度のポンプ光超短パルスを試料表面の一部に照射すると、超伝導が局所的に破壊され、同時に擬ギャップ／電荷秩序もある程度抑制されますが、その後の超伝導の形成は擬ギャップ/電荷秩序が元の状態にほぼ回復した時点から始まることを示唆する結果が得られました。したがって、擬ギャップ/電荷秩序は、超伝導と単なる競合関係にあるのではなく、超伝導の発現に必要な電子系の性質と考えられ、その起源の解明は銅酸化物における高温超伝導の発現機構を理解する上で重要と言えるわけです。

（3）連絡先

〒060-0810
札幌市北区北12条西8丁目　北海道大学大学院理学研究院・物理学部門・高圧物理学研究室
小田　研
e-mail：moda@sci.hokudai.ac.jp、　Tel：011-706-3575

（5）東北大学 大学院工学研究科 応用物理学専攻 小池研究室
Koike Laboratory, Department of Applied Physics, Graduate School of Engineering, Tohoku University

（1）研究室のメンバー（2012年9月現在）

教授：小池洋二、准教授：加藤雅恒、助教：野地尚、足立匡、川股隆行、技術職員：佐藤秀孝
大学院生（博士）：4名、大学院生（修士）：10名、学部4年生：4名

（2）研究の概略

固体中の多数の電子が織りなすエキゾチックな物性（超伝導、磁気秩序、電荷秩序、軌道秩序等）のメカニズムを種々の実験手段を用いて解明し、新しい機能性材料を開拓することをめざしています。具体的には、高温超伝導のメカニズムを解明するために、高温超伝導物質および関連物質を作製し、電気抵抗、磁気抵抗効果、ホール効果、熱電能、熱伝導、磁化率、比熱等の基礎物性を研究するとともに、他研究機関とも協力し、ミュオンスピン緩和等の実験も進めています。一方、室温超伝導物質の発見をめざして、新しい高温超伝導物質の探索的研究も行っています。さらに、低次元量子スピン系の物質において発見されたスピンによる大量の熱輸送のメカニズムの解明と、新しい電気的絶縁性の高熱伝導材料の開拓をめざした研究も進めています。

我々の研究の特徴は、高温超伝導物質および関連物質の基礎物性の研究においては、高品質の単結晶を自

ら作製し、上記の測定から物質の電子状態を明らかにするとともに、単結晶を他の研究グループにも提供し、共同研究を積極的に進めているところです。また、新しい高温超伝導物質の探索的研究においては、原料を適当な割合で混ぜて固めて焼くという陶芸的手法（固相反応法）だけでなく、電気化学法や水酸化物溶融塩を用いた低温合成法などの化学屋さん的手法を用いて、通常の方法では合成が困難な物質の合成にもチャレンジしています。

(3)これまでの成果、最近のトピックス

・高温超伝導のメカニズムの解明をめざした高温超伝導物質および関連物質の物性研究

銅酸化物高温超伝導体において、銅あたりのホール濃度が1/8の組成で超伝導が抑制される現象（1/8異常）を、La系だけでなくBi系やY系でも発見し、電荷とスピンのストライプ相関が銅酸化物に共通に存在し、超伝導の発現に効いている可能性があることを示しました。

La系銅酸化物高温超伝導体において、CuをZn、Ni、Fe等で部分置換した試料の基底状態を調べ、アンダードープ領域ではCuのスピンが局在傾向にあり、オーバードープ領域ではフェルミ液体状態にあることを明らかにしました。

鉄系超伝導体$FeSe_{1-x}Te_x$の高品質な単結晶を作製し、超伝導と磁気秩序に関する相図を完成させるとともに、比熱と熱伝導の測定から、この系では電子相関が強く、スピンの揺らぎ、あるいは、軌道の揺らぎが超伝導の発現に効いている可能性が高いことを示しました。

・新しい高温超伝導物質の探索的研究

電気化学的手法を用いてインターカレーションを行い、K_2NiF_4型構造では初めての電子ドープ型超伝導体$Li_xSr_2CuO_2Br_2$ (T_c = 8 K)と$Li_xSr_2CuO_2I_2$ (T_c = 8 K)の合成、および、マグネシウムのインターカレーション化合物では初めての超伝導体Mg_xZrNCl (T_c = 15 K)、Mg_xHfNCl (T_c = 25 K)の合成に成功しました。

還元剤CaH_2を用いた低温合成法により、Nd_2CuO_4型構造では初めてのホールドープ型超伝導体$La_{1.75}Eu_{0.2}Sr_{0.05}CuO_4$ (T_c = 15 K)の合成に成功しました。

KOHの溶融塩を用いて、300℃の低温で、しかも、わずか1分間で超伝導体$Ba_{1-x}K_xBiO_3$ (T_c = 30 K)を合成することに成功しました。

・量子スピン系物質におけるスピンによる熱伝導の研究

スピン量子数S=1/2のスピンをもつ1次元反強磁性スピン系Sr_2CuO_3、$SrCuO_2$、および、スピン梯子格子系$Sr_{14}Cu_{24}O_{41}$において、スピンによる大きな熱伝導を観測しました。特に、$SrCuO_2$では、スピン欠陥を低減することにより、スピンによる熱伝導率の世界最高値800 W/Kmを達成しました。また、Sr_2CuO_3では、スピンによる熱輸送がバリスティックであることを実証しました。

S=1/2のスピンダイマー系$TlCuCl_3$と$Pb_2V_3O_9$において、低温強磁場下で発現するマグノン（スピンの励起子）のボース・アインシュタイン凝縮相で、マグノンによる熱伝導が著しく上昇することを発見しました。

(4)連絡先、ホームページ

ホームページに、研究装置や研究の分かりやすい解説を載せていますので、ご覧下さい。また、研究室の見学や共同研究のお申し出も歓迎しますので、お気軽にご連絡ください。

小池洋二
E-mail: koike@teion.apph.tohoku.ac.jp
TEL: 022-795-7974
http://www.apph.tohoku.ac.jp/low-temp-lab/

第１回超伝導科学技術セミナー
～若手技術者向け講習会～

主催 一般社団法人未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会
＊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

開催日：平成 25 年 2 月 22 日（金）14:00 ～ 2 月 23 日（土）15:00
場　所：古河電工健康保険組合　鬼怒川荘
http://www.furukawadenko-kenpo.com/jigyo/hoyo_kinu.html
〒321-2522 栃木県日光市鬼怒川温泉大原1060-71
TEL 0288-77-0117
定　員：30名
受講料：20,000円（資料代含む）
問合先: Tel 03-3503-4681　FAX 03-3597-0565　E-mail　fsst@sntt.or.jp

---

概要：皆様良くご存知の通り、この数年、高温超伝導材料の開発が急速に進み、様々な応用分野に展開されつつあります。同時に次世代の超伝導科学技術を担う若手の研究開発者も増えてきました。本企画は研究開発の一層の促進に寄与することを目指して、若手研究者に超伝導に関わる広く横断的な知識を獲得する機会を用意するものです。また、他社、他研究機関の参加者との交流によって、日本の超伝導研究開発に携わる若手ネットワーク構築のきっかけとなることも狙っています。多くの皆様の積極的なご参加をお待ちしています。

＜スケジュール（予定）＞

22日（金）	14:00-14:10	開講のことば、スケジュールの説明、連絡事項等	下山 淳一（東大）
	14:10-15:10	超伝導の基礎（物理的性質）	伊豫 彰（産総研）
	15:10-16:10	超伝導の電気応用基礎	仁田 旦三（明星大）
	16:10-16:20	休憩	
	16:20-17:20	超伝導体の電磁特性、臨界電流特性	木須 隆暢（九大）
	17:20-18:20	超伝導機器の設計技術	田崎 賢司（東芝） ／和久田 毅（日立）
	18:20-19:30	休憩	
	19:30-	夕食	
23日（土）	8:30- 9:10	超伝導材料の科学（総論）	下山 淳一（東大）
	9:10- 9:50	金属系超伝導線材	田中 靖三（低温工学・超電導学会）
	10:00-11:00	高温超伝導線材	飯島 康裕（フジクラ） ／北口 仁（NIMS）
	11:00-12:00	超伝導デバイス	日高 睦夫（ISTEC）
	12:00-13:00	昼食、休憩	
	13:00-14:00	超伝導の医療応用	石山 敦士（東大）
	14:00-14:40	フリーディスカッション 「10 年後、20 年後、30 年後の超伝導」	
	14:40-14:50	アンケート記入、休憩	
	14:50-15:00	閉講式	

一般社団法人未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会

第80回ワークショップ

「電力グローバルネットワークは実現するのか?」

現在、世界の人口は65億人を超え、2050年には90億人に達すると予測されています。さらには今後のBRICs諸国の台頭、発展途上国の経済成長が見込まれる中、全世界での電力需要は増加の一途をたどることになります。一方、地球温暖化ガスの増加に歯止めをかけることは永続的な人類生存のためには必須の課題です。このような背景の中、再生可能エネルギー源の普及とともに、電力を効率的に融通しあうグローバル規模の電力ネットワーク網の構築の必要性も益々増大してくると考えられます。ただし、グローバル規模の電力ネットワーク構築のためには政治面、技術面、コスト面で様々な課題を克服する必要があります。今回は、電力送電の開発に携わる様々な分野の講師の方々をお招きし、開発現状と今後の課題について講演していただきます。

主　催:一般社団法人 未踏科学技術協会　超伝導科学技術研究会
日　時:平成25年1月16日（水）13:30～17:30（予定）
場　所:全日通霞が関ビルディング　8階　大会議室B（予定）
〒100-0013 千代田区霞が関3-3-3　TEL 03-3581-2261
定　員:120名
参加費:■超伝導科学技術研究会員：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）:

13:30-13:35	開会の挨拶	下山 淳一（東京大学）
13:35-14:20	直流海底ケーブルの開発状況	講演者調整中（電源開発）
14:20-15:00	情報通信用電源の直流化と超伝導への期待	武井 務（NTTファシリティーズ）
15:00-15:20	休憩	
15:20-16:00	超伝導送電の経済性評価	林 和彦（住友電工）
16:00-16:40	日本での電力ケーブル開発プロジェクト総括	講演者調整中（NEDO）
16:40-17:20	電力ネットワークへの再生可能エネルギー導入の技術と課題	石井 英雄（東京電力）
17:20-17:25	閉会の挨拶	木村 茂行（未踏科学技術協会）

問い合わせ先:一般社団法人 未踏科学技術協会　超伝導科学技術研究会　担当：大貫
Phone: 03-3503-4681　Fax: 03-3597-0535　e-mail: fsst@sntt.or.jp

第17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を励まし、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、授賞理由等は一般社団法人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、審査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るものとします。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、対象が複数人の推薦の場合、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17回超伝導科学技術賞推薦締切:平成24年12月5日(水)

研 究 会 の 動 き

〔平成 24 年 (2012 年) 7 月 1 日～平成 24 年 (2012 年) 9 月 30 日〕

第 4 回総会

日　時:平成 24 年 7 月 19 日(木)11:30～12:00

場　所:商工会館　7階 D会議室

出席者:会員 20 名 (内欠席表決 15 名)
オブザーバー3 名 事務局 1 名

議　事:

(1) 平成 23 年度事業報告及び収支決算について

(2) 平成 24 年度事業計画及び収支予算について

第 79 回ワークショップ

日　時:平成 24 年 7 月 19 日(木)13:30-17:45

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」

出席者数: 36 名

プログラム:

13:30-13:35 「開会の挨拶」
下山 淳一
(超伝導科学技術研究会会長)

【座長　松本 明善(物質・材料研究機構)】

13:35-14:15 「NMR の被災、復旧の現状、今後の課題」
清水 禎(物質・材料研究機構)

14:15-14:55 「J-PARC での被災、復旧の現状、今後の課題」
槙田 康博
(高エネルギー加速器研究機構)

14:55-15:35 「MRI の被災状況とそこから見えてきた課題」
野口 隆志(東芝)

【座長　田崎 賢司(東芝)】

15:50-16:20 「超伝導ケーブル・システムの震災対策」
山口 作太郎(中部大学)

16:20-16:50 「免震・制震対策の実情」
西 敏夫(東京工業大学)

【司会　下山 淳一(東京大学)】

16:50-17:40 パネルディスカッション
極低温機器に要求される安全対策

17:40-17:45 「閉会の挨拶」
木村 茂行(未踏科学技術協会理事長)

幹事会

平成 24 年度 3 回

日　時:平成 24 年 8 月 9 日(木)14:30～17:30

場　所:学術総合センター11 階 共用会議室

出席者:幹事 9 名 プロジェクト実行委員 1 名
事務局 1 名

議　事:

(1) 第 79 回ワークショップ開催報告

(2) 第 80 回ワークショップについて

(3) FSST NEWS について

(4) 第 1 回超伝導科学技術セミナーについて

(5) 単行本出版について

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
2012 年度秋季 低温工学・超電導学会	H24.11.7～11.9	アイーナ 岩手県盛岡市	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
ASC2012	2012.10.7～10.12	Portland, OR (USA)	www.ascinc.org
ISS2012	2012.12.3～12.5	Funabori (Japan)	www.istec.or.jp/ISS/main_J.html

超伝導科学技術研究会　編集委員会　委員

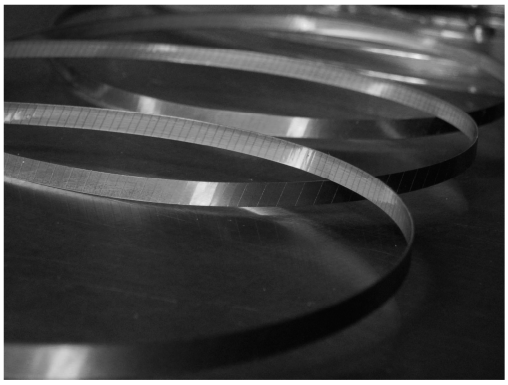
松本　明善	独立行政法人 物質･材料研究機構 超伝導線材ユニット　主任研究員	小泉　勉	昭和電線ケーブルシステム株式会社 技術開発センター 超電導線材開発グループ　グループ長
荒井　有気	公益財団法人 鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 低温システム研究室　研究員	日高　睦夫	公益財団法人国際超電導産業技術研究センター　超電導工学研究所 デバイス研究開発部 低温デバイス開発室　室長
伊豫　彰	独立行政法人 産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 超伝導エレクトロニクスグループ 主任研究員	木村　茂行	一般社団法人未踏科学技術協会 理事長
		大貫留美子	一般社団法人未踏科学技術協会 事務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

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

Fujikura

＜特長＞



- 長尺における高い臨界電流値、長手方向に優れた均一性を実現
- 高磁場における高い臨界電流密度、高い機械強度を実現
- 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

＜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
- 標準臨界電流 Ic>500A/cm-w@77K,0T、単長>300m級にも対応可能

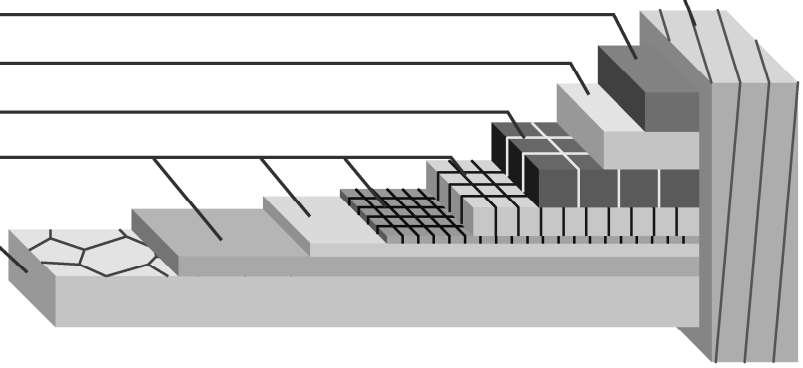
型名	線材幅 *2 (mm)	線材厚さ			臨界電流値 (A) (@77K, 0T)
		基板厚さ (μm)	安定化層厚さ (μm)	総厚さ (mm) *2	
FYSC-SC05	~ 5.15	75	75	~ 0.25	> 250
		100	100	~ 0.3	> 250
FYSC-SC10	~ 10.15	75	75	~ 0.25	> 500
		100	100	~ 0.3	> 500
FYSC-S05	~ 5.15	75	—	~ 0.15	> 250
		100	—	~ 0.2	> 250
FYSC-S10	~ 10.15	75	—	~ 0.15	> 500
		100	—	~ 0.2	> 500

*1 上記仕様は2012年4月時点のものです。仕様のご確認、ご要求等、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。

＜線材構造＞

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 [$GdBa_2Cu_3O_x$] ~ 2μm
中間層 [MgO, etc.] ~ 0.7μm
金属基板 [Hastelloy®] 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