

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

掲載内容 (サマリー) :

トピックス :

- 第6回理事会の開催

特集 : 超電導線材技術の進展

- フジクラにおける PLD 法 RE 系線材の展望
- DI-BSCCO 線材の現状と 2015 年の展望
- MgB₂ 線材のプロセス技術の進展
- 核融合炉用 HTS 導体技術の進展

- 超電導関連 2015 年 4 月 - 5 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (2/20-3/19)
- 「世界の動き」
- 標準化情報 超電導関連技術に関する国際標準化の状況
- 標準化情報 「ビスマス系超電導線の曲げ歪みによる臨界電流の維持率測定方法」の国際標準化
- 「低温工学・超電導学会第4回材料研究会」報告
- 「風力熱・太陽熱応用 日独シンポジウム」報告
- 隔月連載記事 IEA-ISS (その2)
- 読者の広場 鉄系超電導の原理検証に「京」が使われたと読みました。どういうことをされ、何がわかったのでしょうか? Web で詳細も見てみましたが、ちょっと難しかったです。室温超電導の発見に繋がりそうで面白いのですが、簡単に解説を、と言っても難しいのでしょうか?

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

〈発行者〉

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3 丁目 2 番 1 号 KSP A-9

Tel 044-850-1612 Fax 044-850-1613

超電導 Web21 トップページ : <http://www.istec.or.jp/web21/web21.html>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

トピックス ; 第6回理事会の開催

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター
専務理事 清川 寛

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) 第6回理事会が、平成27年3月25日に KSP ホテル会議室で開催され、平成27年度事業計画、平成27年度収支予算が満場一致で議決されました。また賛助会費規定を一部変更すること、顧問として新たに内田慎一東京大学名誉教授を選任することなども議決されました。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

特集：超電導線材技術の進展

「フジクラにおける PLD 法 RE 系線材の展望」

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
研究開発部長 飯島康裕

PLD 法 RE 系線材は主に日本の NEDO プロジェクトにおいて IBAD 中間層基板と組み合わせて早期に長尺開発が進められたが、当社においては PLD 設備の蒸着領域全体を均熱炉方式で輻射加熱する超電導層成膜設備（ホットウォール方式）により 300-500 m 長に於いて全長均一成膜を実現しており、現在製造キャパシティ拡大のためロードロック機構を備えた大型のホットウォール方式製造装置のライン化を進めている。最近ではレーザー発振器の性能向上と共に reel-to-reel 式蒸着装置が市販されるようになって、ロシア資本の Super-OX 社等、新興勢力の参入も見られる。

PLD 法は高いエネルギーを持って蒸発する材料を高速で結晶成長させることから、微細な結晶欠陥が万遍なく粒内に分散する傾向があり、これが比較的磁束ピン力が大きくなる理由の一つと考えられる。とくにコイル設計上重要な低温領域における磁場中特性について高温域における測定結果と再現あるスケール則が維持されることから、長手方向の均一性が使用温度磁場領域に於いて充分期待し得るところがメリットとなっている。今後均一性・生産性共に高く保った薄肉の人工ピン線材を実現させることで、RE 系線材の課題であるコストダウンに繋がっていくことが期待される。

一方 RE 系線材は構造的に引き剥がし方向の力に弱く、コイル巻線時に樹脂含浸を行う際には何等かの形で樹脂と線材間で離型機能を持たせることが望ましい。2012 年にフジクラにおいて作製された 20 cm ボアの 5 T 級マグネットについては、機械剛性を保った形で含浸時に工夫を施しこれを実現しているが、これまで 2 年間の稼働に於いて劣化等の問題は生じていない。本コイルで用いられた線材を含め、これまで安定化のための銅被覆については製造コストの低い半田による銅箔貼り合せ方式が市販されてきたが、現在は銅メッキによる全周コート方式のほか、新たに銅箔で包みこむ構造を構成する銅フォーミング方式が開発され、エッジ部の引き起し応力耐性、水分に対するハーマチック性が従来品に対し大きく改善したものとして、2015 年度より市販を開始する予定である。

以上、これまでに引き続き歩留改善努力を継続し、人工ピンを含めより高い生産性を求めた工程改良により顧客の求める生産量に対応出来る体制を構築していくと共に、RE 系線材の弱点であるコイル巻線時の各種応力に対する耐力をより強く確保出来る機械的信頼性高い線材の開発を進めている。また、NMR, MRI や加速器等の高精度磁界応用に於いては、平角線の遮蔽電流低減のための細線化が必須であり、今後市販を開始する 4 mm 幅銅フォーミング構造線を用いて、生産性高くスクライブ構造を導入する検討を進める予定である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

特集：超電導線材技術の進展

「DI-BSCCO 線材の現状と 2015 年の展望」

住友電気工業（株）
超電導製品開発部
部長 林 和彦

住友電気工業株式会社が製造している DI-BSCCO 線材は、国内外問わず、ケーブル応用、コイル応用や電流リード応用等の幅広い分野の実証試験や研究に供給されている。

多芯化された Bi2223 超電導体フィラメントを銀または銀合金で被覆することで、酸化物で脆い超電導体が細線化され可とう性を有するテープ形状の超電導線材となっている。しかし、高い銀の体積占有率により線材の機械強度が弱い問題があった。この問題を解決するために、素線の Type H 線材の両面に金属箔（補強材）を、半田接合によりサンドイッチさせる方法が取られており、実際にコイル応用で主に使用される Type HT-SS 線材やケーブル応用で主に使用される Type HT-CA 線材が販売されている。しかしながら、20 T 以上の高磁場マグネット応用や大型マグネット応用では、超電導線材の引張強度として 400 MPa 以上が必要となる。そこで現在製品ラインアップしている DI-BSCCO 線材よりも高強度の線材の検討・試作を進めた結果、引張強度が 400 MPa を満足する Type HT-NX 線材を開発した。Type HT-NX 線材の補強材には、ステンステープより高ヤング率で高耐力を持つ高強度な Ni 合金を使用している。図 1 は Type HT-NX 線材の 77 K での引張試験の結果を示す。これまで BSCCO 線材は強度不足と言われていたが、この 400 MPa の強度を持つ Type HT-NX 線材が超電導マグネット応用の設計自由度を広げる線材と期待しており、Type HT-NX 線材を早期に製品ラインアップに加える予定である。

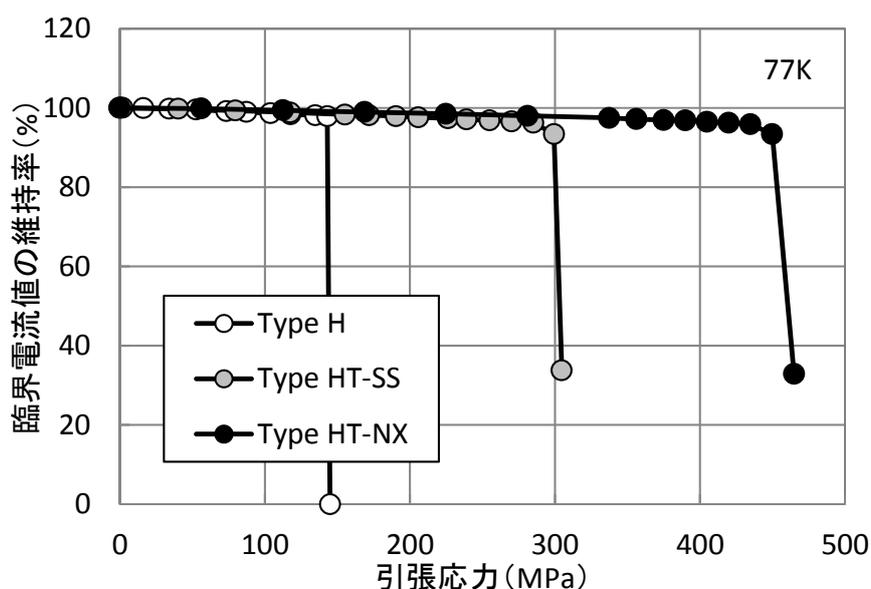


図 1：77 K における引張応力と臨界電流値の維持率の関係、線材は Type H、Type HT-SS および Type HT-NX の 3 種類

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

表1は、現状の製品及び2015年の予定新製品ラインアップを示す。Type Gは被覆材に金-銀合金を使用することにより、低熱伝導率を実現した線材で、電流リード応用に使用され、これまで加速器や核融合応用を始め世界中のマグネットメーカーに数多くの納入実績がある。Type ACT-CAは交流応用に開発されたスリム線材であり、Bi2223超電導フィラメントをツイストし、交流損失を低減したタイプである。

表1：現状の製品及び2015年の予定新製品のラインアップ

線材タイプ		Type H	Type HT-SS	Type HT-CA	Type HT-NX	Type G	Type ACT-CA	
平均幅	mm	4.3±0.3	4.5±0.3	4.5±0.3	4.5±0.3	4.3±0.3	2.8±0.3	
平均厚さ	mm	0.23±0.03	0.30±0.04	0.36±0.04	0.31±0.04	0.23±0.03	0.31±0.04	
補強材	-	-	ステンレス	銅合金	Ni合金	-	銅合金	
臨界電流値@77K, 自己磁場	A	180, 190, 200					60, 70	
許容引張応力@77K*	MPa	130	270	250	400	90	270	
許容両曲げ直径@室温*	mm	70	60	60	40	110	40	

*：臨界電流値が95%維持するレベル

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

特集：超電導線材技術の進展

「MgB₂線材のプロセス技術の進展」

独立行政法人 物質・材料研究機構
超伝導線材ユニット
特命研究員 熊倉浩明

ここでは最近の MgB₂ 線材開発の状況を簡単に報告することとしたい。まず、原料粉末を金属管に充填して線材に加工し、その後熱処理をする powder-in-tube(PIT)法では、ポーランド Institute of High Pressure Physics のグループが固体粉末を圧力媒体として使った Hot isostatic press(HIP)で高い J_cを得ている¹⁾。素線材は Nb バリアを有する銅シース単芯線材を集合させたモネルシース 6 芯ならびに 18 芯の多芯線材で、米国 Hypertech 社から提供を受けており、SiC を添加したもの、ならびに無添加のものである。これを短尺線材に切断して、グラファイトあるいは BN 粉末を圧力媒体としてステンレス容器に入れ、200 MPa、700 °C で 5 分間の HIP 処理をした。ただし、熱容量が大きいので温度の上昇と下降はかなり低速であるとしている。このようにして HIP 処理した線材は通常熱処理に比べて高い J_cを示す。特に無添加線材では、通常熱処理が 35 A/mm²(4.2 K, 10 T) であるのに対して HIP 処理した場合は 100 A/mm²(4.2 K, 10 T)以上と大幅に高い値が得られたとしている。グラファイトと BN の比較では BN の方が若干高い J_cが得られるようである。

この PIT 法に対して、B 粉末層の外部から Mg を拡散によって供給して MgB₂ を生成させる内部 Mg 拡散(internal Mg diffusion(IMD))法は MgB₂ 層の充填率を高くすることが可能で、MgB₂ 層当たりの J_cを大幅に向上させることができるという利点があり、IMD 法による線材開発も最近活発に進められている。オハイオ州立大学のグループは IMD 法による単芯 MgB₂ 線材において、カーボンコートした B 粉末に Dy₂O₃ ナノ粉末を添加することにより、J_c特性の向上を得ている²⁾。2 wt.%の Dy₂O₃ を添加した場合は MgB₂ 層あたりの J_cが 1.35×10⁵ A/cm²(4.2 K, 10 T)と高く、Dy₂O₃ 添加しない場合に比べて約 30 %の J_c向上がみられるとしている。また、この添加による J_cの向上は、温度が高いほど顕著である。これに関連して、良く知られている炭素や炭素化合物添加の場合は、4.2 K では J_c改善に非常に有効であるが、温度が上がって 20 K 以上になると添加効果がほとんど見られなくなるのとは対照的であるとしている。Dy₂O₃ 添加で J_cが上昇するのは、添加によって磁束ピンニングが向上すると言うよりも、むしろ不可逆磁界が上昇するためであるとしている。

一方、物材機構では、芳香族炭化水素の一種であるコロネン(C₂₄H₁₂)を添加した硼素粉末(平均サイズ 250 nm)を使い、IMD 法を適用して、10 T、4.2 K で J_cが 10⁵ A/cm²以上、J_eも 10⁴ A/cm²以上の MgB₂ 線材を作製している³⁾。この C₂₄H₁₂ を使うことで高い J_cと J_eが得られる理由の一つは、C₂₄H₁₂ の融点 (438 °C) はその熱分解温度及び MgB₂ の生成温度より低いいため、反応熱処理の前に、硼素粉末表面に C₂₄H₁₂ を均一にコーティングすることができ、これによって MgB₂ の硼素原子サイトの炭素原子による置換が均一に得られることが考えられる。最も良く知られた炭化物添加はナノ SiC 添加であるが、SiC 添加の場合、硼素粉末内に均一分散させることが難しく、また熱処理後に Mg₂Si が不純物として析出するので、C₂₄H₁₂ などの炭化水素の方が添加物としては適すると考えられる。最近では IMD 法を適用して C₂₄H₁₂ を添加した 100 m 級線材も作製されており、今後の進展に期待が持たれる。

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

参考文献

- 1) T. Cetner, *et al.*, Supercond. Sci. Technol. 28(2015) 045009.
- 2) G.Z. Li, *et al.*, Appl. Phys. Lett. 105(2014) 112603.
- 3) S. J. Ye, *et al.*, Supercond. Sci. Technol. 27(2014) 085012.

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

特集：超電導線材技術の進展

「核融合炉用 HTS 導体技術の進展」

自然科学研究機構

核融合科学研究所 柳 長門

本稿では、核融合炉用マグネットへの適用を想定した高温超電導 (HTS) 大型大電流導体開発の現状を紹介する。背景や関連の情報として、超電導 Web 21 の 2014 年 4 月号、および、2010 年 4 月号も参照されたい。

現在、国際熱核融合実験炉 ITER の建設がフランスのカダラッシュにおいて進んでおり、参加 7 極 (EU、日本、ロシア、米国、中国、韓国、インド) におけるコンポーネント製作が行われている。日本では、特に、トロイダル磁場コイルの製作が軌道に乗っている。一方、ITER の建設と並行して、その先に想定される核融合原型炉への移行についても各極で議論が行われている。このうち、EU では、原型炉開発のためのロードマップがまとめられ、2030 年代前半の建設開始を模索している。また、中国では、ITER より小さいながらも独自の実験炉となる CFETR (China Fusion Engineering Test Reactor) を建設する計画が具体化しつつある。一方、日本では、「核融合原型炉開発のための技術基盤構築の中核的役割を担うチーム (合同コアチーム)」が組織され、今後の方向性に関する報告書がまとめられた

(<http://www.jspf.or.jp/2015/genkeiro/index.html>)。これによると、2020 年時点で原型炉の工学設計段階に入るかどうかを問う「中間チェック&レビュー」を行うこととなり、今後、概念設計と要素技術開発を加速することとなった。

磁場閉じ込め方式の核融合炉において超電導マグネットは最重要コンポーネントであり、原型炉には ITER よりさらに大型・強磁場が求められる。超電導導体について現在の基本方針は、低温超伝導 (LTS) 線材を束ねたケーブルインコンジット (CIC) 導体を選択することであり、Nb₃Sn 線材を第 1 候補として ITER や JT-60 SA の導体技術をさらに深化することが要求される。第 2 候補には、より歪に強い Nb₃Al 線材を用いることが挙げられている。さらに、第 3 候補として、HTS 線材が浮上した。この選択肢は、現状、長期的視野に立った開発という位置付けではあるものの、数年前までは議論に取り上げられなかった状況を考えてみると極めて大きな進展と言える。これは、近年 HTS 線材の開発が長足の進歩を遂げ、すでに実用線材が製造されるに至った結果の反映である。ここで、核融合炉用マグネットの導体にはイットリウム系線材の適用が有望とされるが、これは銀の放射化の問題、および、機械強度の観点からの選択である。

核融合炉用 HTS 導体の開発に関する議論は、特に、欧米において盛んであり、2011 年から HTS4Fusion Conductor Workshop が 2 回開催され、今後、白書の作成も行う方向である。ただし、いずれの研究機関も予算的に苦しく、国際協力によって研究を進展させることを相談している。欧米では、現在、HTS 大電流導体として以下の 5 種類が議論の主流となっている。(1) ドイツ KIT の Roebel-Assembled Coated Conductor (RACC) 導体、(2) 米国 MIT の Twisted Stacked-Tape Cable (TSTC) 導体、(3) 米国 ACT の Conductor on Round Core (CORC) 導体、(4) スイス CRPP の Round Strand Composed of Coated Conductor Tapes (RSCCCT) 導体、(5) イタリア ENEA の Slotted Core HTS 導体。これらは、いずれもテープ線材間に撚りや転移を導入するための手の込んだ工夫を入れており、現在、10 kA 級の電流値をターゲットとしてプロトタイプ導体の開発が行われている。

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

一方、日本では、現状、上記5種類の導体とは別の発想に基づき、HTS線材を単純に積層して用いる STARS (Stacked Tapes Assembled in Rigid Structure) 導体を核融合科学研究所 (NIFS) と東北大学・量子エネルギー工学専攻が共同で開発している。これは、ヘリカル方式の核融合炉を対象として開発を進めているものである。ヘリカル方式は、ITERに代表され世界の潮流となっているトカマク方式と同じトーラス型の磁場閉じ込め方式であるが、トカマクと違いプラズマ中に巨大な電流を流す必要がないため、本質的に定常炉となり得る特長を有する。ヘリカル系のうち NIFS の大型ヘリカル装置 (LHD) に採用されたヘリオトロン磁場配位を用いる方式は日本独自のものであり、NIFS では LHD を 4 倍大きくしたヘリカル炉 FFHR-d1 の概念設計が進んでいる。ヘリカル炉はパルス運転を伴わないため、HTS 導体を用いる場合、その高い安定性に裏打ちされ、従来の LTS 導体で鉄則とされてきた線材 (素線) の細線化や撚り、空間転位を導入しないという発想を取り得る。よって、この場合、導体全体として機械的に極めて強固なものに仕上げることができる。

この導体のプロトタイプを試作し、NIFS の 9 T 大型導体試験装置を用いて試験を行った。導体には、フジクラ製 GdBCO 線材 (FYSC-SC10、臨界電流~600 A@77 K, s.f.) 全 54 枚を積層して銅ジャケットとステンレスジャケットに収めた (図 1(a))。全長約 3 m の導体をレーストラック形状の 1 ターン短絡サンプルとし、外部磁場を変化させることで通電を行った。直線部の片側には接続部を設け、これに東北大学で開発された機械的ブリッジ接続を入れた。試験の結果、温度 20 K、外部磁場 5.3 T において電流値 100 kA を到達した。また、温度 4.2 K では電流 100 kA を 1 時間に渡って保持することにも成功した (図 1(b))。線材単線の臨界電流特性をもとに導体内の磁場分布・電流分布を自己無撞着に解くと、導体全体の臨界電流が説明できる。また、接続抵抗は 2 nΩ と求まった。この接続構造を用いることで直径 30 m を超えるヘリカルコイルを短尺導体の「接続方式巻線」によって迅速に製作することを提案している。東北大学ではこの接続方式の機械試験も遂行しており、実用化に向けた開発を検討している。また、NIFS では、最大磁場 13 T、ボア径 700 mm を有する大口径高磁場導体試験設備、および、これを冷却する温度可変 (4.2-50 K) 低温設備を整備中であり、近い将来、さらなる HTS 導体の短尺試験やコイル試験を行う計画としている。

以上、核融合炉を対象とした HTS 線材適用の動向について簡単に紹介した。ぜひ今後の進展への期待と応援を頂きたいと考える。

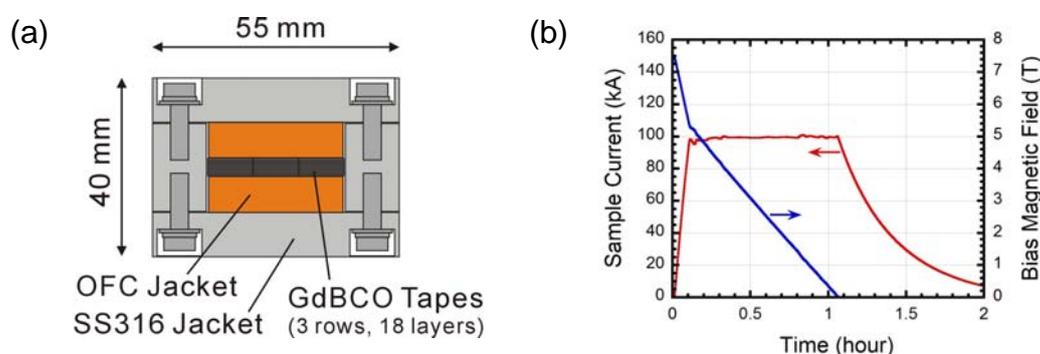


図 1 (a) 100 kA 級 STARS プロトタイプ導体の断面図、および、(b) 試験結果の一例 (100 kA×1 時間通電)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

超電導関連 '15/4月-5月の催し物案内

4/3

次世代 NMR シンポジウム
新エネルギー・産業技術総合開発機構霞ヶ関分室
http://www.csj.or.jp/event/co-sponsor/2015/riken_0403.pdf

4/12-15

Joint UK-Japan Workshop on Physics and Applications of Superconductivity
King's College, University of Cambridge, UK
<http://www.iop.org/events/scientific/conferences/calendar/index.html#/?i=1>

4/15

第1回冷凍部会（公開）例会
産業技術総合研究所臨海副都心センター別館
http://www.csj.or.jp/reitob/2015/1st_0415.pdf

4/15-17

第49回空気調和・冷凍連合講演会
東京海洋大学 海洋工学部 85周年記念会館
http://www.jsrae.or.jp/info/3ren_49.html

4/17

低温工学会 東北・北海道支部 2015年度総会・講演会
東北大学金属材料研究所
http://www.csj.or.jp/tohoku/2015/generalassembly_0417_01.pdf

4/17

第41回シンポジウム/第19回超伝導科学技術賞授賞式
東京・タワーホール船堀
<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20140417.html>

4/22

超伝導エレクトロニクス研究会 (SCE)
機械振興会館地下3階2号室
<http://www.ieice.org/es/sce/jpn/>

4/24

九州・西日本支部 2015年度総会・企業セミナー
九州大学伊都キャンパス
http://www.csj.or.jp/kyushu/2015/generalassembly_0424.pdf

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

5/14-15

第2回冷凍部会例会／第1回超電導応用研究会シンポジウム
北海道大学

http://www.csj.or.jp/reitob/2015/2nd_0514.pdf

5/14-15

第27回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム
ハウステンボス

http://www2.eee.nagasaki-u.ac.jp/sead27/index_sead27.php

5/27-29

第91回低温工学・超電導学会
産業技術総合研究所つくばセンター

<http://www.csj.or.jp/conference/2015s/index.html>

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

新聞ヘッドライン (2/20-3/19)

- 東大 金属・絶縁状態の間 観察 超電導現象解明に応用 日経産業新聞 2/23
- 「地上の太陽」核融合 三菱が挑む次世代エネルギー 日本経済新聞 2/23
- データセンター、省電力化に本腰、冷気・排気分離 外気で冷やす、給電ロス削減、産総研、実験設備で検証 日経産業新聞 3/06
- 学士院賞に9人、細野氏は恩賜賞も受賞 日本経済新聞 3/13
- 分子科研と理研 光照射でオン・オフ動作が可能な超電導スイッチを世界で初めて開発 日刊工業新聞 3/17
- 分子科研と理研 光照射でオン・オフ動作が可能な超電導スイッチを世界で初めて開発 西日本新聞朝刊 3/18

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

世界の動き (2015年2月)

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
特別研究員 山田 穰



★News sources and related areas in this issue

▶経営・決算

超電導事業グローバルレポート

Global Superconductors - Strategic Business Report 2015 (2015年1月27日)

Research and Markets 社から、「Superconductors - Global Strategic Business Report: 超電導体—グローバル戦略事業報告書」と題したレポートが発行されている。

このレポートでは、キープレイヤーやニッチプレイヤーなど、41社もの多くの企業のプロファイルが紹介されており、低温超電導体 (LTS)、高温超電導体 (HTS) といった製品区分別に世界の超電導体市場について調査結果が公開されている。また、磁気共鳴画像 (MRI)、研究開発 (R&D)、エレクトロニクスなど、エンドユーザー区分別に分析されている。米国、カナダ、日本、ヨーロッパ、アジア太平洋、その他地域の総合的分析に加え、2013年から2020年までの年間見積りおよび予測に基づく記述も含まれる。

Source: "Global Superconductors - Strategic Business Report 2015"
(27 Jan, 2015) News Release

<http://www.globenewswire.com/news-release/2015/01/27/700231/0/en/Global-Superconductors-Strategic-Business-Report-2015.html?print=1>

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

Contact: Laura Wood, Senior Manager, press@researchandmarkets.com

編集部注) ただし、かなり高価な報告書である。

AMSC 社決算報告

AMSC 社 (2015年2月5日)

AMSC 社は、2014年12月31日締め第3四半期決算を報告した。

2014年度第3四半期の収益は、前年同期の2060万ドルに比べ、2130万ドルであった。前年比増加は、同社の風力部門からの収入増加によるもので、グリッド部門の収益低下を一部相殺する結果となった。2014年度第3四半期の純損失は、前年同期の840万ドルから、640万ドルに減少した。また、2014年12月31日時点での現金及び現金同等物の残高は、2014年9月30日時点の3820万ドルに比べ、3760万ドルとなった。

同社社長兼最高経営責任者である Daniel P. McGahn 氏は、「第3四半期にかけて、当社の収益は70%増加した。また、Ghodawat 社との調停を後回しにし、当社事業の成長ドライバーである製品、市場、そして顧客に注力してきた。」と述べた。風力タービン用の電気制御システムと D-VAR®無効電力補償システムは、確立された2つの製品ラインであり、同社の収益基盤としての強みでもある。さらに、米海軍用の船舶保護システムに加え、超電導技術を利用して電力グリッドの安全を確保する Resilient Electric Grid システムという2つの革新的ソリューションの構築にも焦点を向けている。

同社は、2015年3月31日締め第4四半期収益は、2300万ドルから2500万ドルになり、2014年度通年収益は6800万ドルから7000万ドルになると予想している。

Source: "AMSC Reports Third Quarter Fiscal 2014 Financial Results and Provides Business Outlook" (5 Feb, 2015) Press Release

<http://ir.amsc.com/releases.cfm>

Contact: Kerry Farrell, kerry.farrell@amsc.com

▶エレクトロニクス

光駆動型超電導トランジスタ

分子科学研究所 (2015年2月13日)

近年、量子計算の重要要素として、超電導電界効果トランジスタ (FET) の開発が活発に取り組まれている。この度、自然科学研究機構分子科学研究所の山本浩史教授率いる研究チームにより、光の照射によって可逆にオン・オフが可能な超電導トランジスタが世界で初めて開発された。

2013年、同研究チームは、柔軟性やデザイン性などの元来の利点を生かしつつ、有機超電導体 κ -(BEDT-TTF) $2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ (κ -Br)を用いて、世界初の超電導 FET の開発に成功している。今回の

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

実験では、ゲート電極部分をスピロピラン薄膜に置き換えることにより、新たな光駆動型トランジスタを作製した。このトランジスタは、紫外光の照射によって電気抵抗が急激に減少し、180秒の照射後には超電導状態に転移する。また、紫外光の照射によって、スピロピラン薄膜を分極させることで物質に電荷を蓄積させる。

この研究成果により、「光で超電導をスイッチする」という新しい概念が実証され、将来の高速スイッチング素子や高感度光センサーなど、新しい開発に繋がることが期待される。同研究チームのメンバーである須田理行博士は、「FETを切り替えるのに現地点では紫外光照射に180秒かかるが、さらに高速に作動させることは原則として可能であり、高速情報基盤技術への強い需要を満たす新型デバイス開発への道を切り開くことになるだろう。」と述べた。

Source: "Switching superconductivity by light" (13 Feb, 2015) Press Release

https://www.ims.ac.jp/en/news/2015/02/13_3096.html

Contact: Hiroshi M. Yamamoto, yhiroshi@ims.ac.jp

単原子層ジョセフソン接合

物質・材料研究機構 (2015年2月3日)

物質・材料研究機構および東京大学を拠点とする研究グループは、シリコン基板に形成した原子層超電導体において、原子一個分の高さの段差（原子ステップ）が、超電導電流の流れを制御するジョセフソン接合として働くことを発見した。本研究成果に基づいて原子ステップがジョセフソン接合として働くことを明らかにした。この発見は、原子スケールの超電導ナノデバイスを実現する可能性を秘めており、従来の超電導素子ではジョセフソン接合を個々に作製していた方法とは対照的に、自己組織的に迅速かつ大量に製造できることも意味している。

同研究グループは走査トンネル顕微鏡を用いた実験と、原子層超電導体の原子ステップにジョセフソン量子渦と呼ばれる特殊な超電導状態が発生することを発見した。ジョセフソン量子渦は、電力応用が期待される高温超電導体で重要な役割を果たすことが知られている。高温超電導体の超電導特性の解明にも寄与すると期待が寄せられる本研究成果は、米国物理学会 *Physical Review Letters* 誌に注目論文として掲載されている。

Source: "Discovery of Josephson Junctions Generated in Atomic-Layered Superconductors" (3 Feb, 2015) Press Release

<http://www.nims.go.jp/eng/news/press/2015/01/201412110.html>

Contact: Takashi Uchihashi, uchihashi.takashi@nims.go.jp

▶基礎

アルミニウム“超原子”が100Kでクーパー対を形成

University of Southern California (2015年2月25日)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

南カリフォルニア大学 (USC) 物理学教授である Vitaly Kresin 氏率いる研究グループは、アルミニウム“超原子”が 100 K 付近の温度域でクーパー対を形成し、予測通り殻構造を持つ巨大原子のような動きをすることを発見した。クーパー対を形成する超原子は、超電導分野においてこれまでに無い全く新しい研究領域である。

量子力学では、電子殻はサイズを拡大し、原子核の周囲を回る電子の数を増加させると予測している。超原子もまた大きな一連の電子殻を持つという事実から、USC の科学者たちは、超原子もクーパー対形成を作るかもしれないという仮説を立てた。Kresin 氏と彼の研究グループは、特定サイズのアルミニウム超原子 (32~95 核の個数のアルミニウム原子) を作製して、それに様々なエネルギーと温度のレーザーを浴びせ、跳ね飛ばされた電子数を記録した。実験では、レーザーのエネルギーが強まるにつれ、それに比例してより多くの電子が跳ね飛ばされるという直線関係になるはずである。しかし、37 個、44 個、66 個、68 個のアルミニウム原子を持つ超原子では、その関係が違っていた。これは、特定のエネルギー準位では、電子殻から電子を跳ね飛ばそうとするレーザーの力に対して電子が抵抗していることを示しており、同研究グループは、クーパー対形成が起こり、互いにしがみつこうとする電子同士の力を増しているためであると提案している。このクーパー対形成を示す現象は、100 K に近い温度域で発生している。

Kresin 氏は「これは新しい超電導体の発見かもしれない。他にも、異種の超原子が、より高温で超電導を発生できる可能性に向けて期待が高まる。」と述べた。また同氏は、「おそらく 100 K は超電導転移温度の上限ではない。より高い転移温度を実現する新物質開発の可能性が今始まったばかりかもしれない。」と付け加えた。この研究は、National Science Foundation によって支援され、その研究成果は、1 月 28 日発行 Nano Letters に掲載された。

Source: "Warming Up the World of Superconductors"

(25 Feb, 2015) Press Room

<https://pressroom.usc.edu/warming-up-the-world-of-superconductors/>

Contact: Robert Perkins, perkinsr@usc.edu

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

標準化活動 4月のトピックス

超電導関連技術に関する国際標準化の状況

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター
標準部
部長 山本 潔

超電導関連技術に関する国際標準化は、IEC (International Electrotechnical Commission、国際電気標準会議) の TC90 (第 90 番目の Technical Committee、専門委員会) で審議されている。各専門委員会には幹事国が割り当てられるが、日本は TC90 の幹事国となっており、超電導の標準化の構築に対する国際的な責任を担っている。また、日本国内の審議団体は(公財) 国際超電導産業技術センターが担当している。現在 TC90 では WG1 から WG14 まで 14 の国際 WG (Working Group、作業グループ) を組織している。国内においては、IEC/TC90 超電導委員会の国内技術委員会のもと、国際 WG に対応する形で国内 WG を、また、JIS (Japanese Industrial Standards、日本工業規格) 原案審議のために JIS 原案作成委員会及び対応する JIS の WG を組織し活動している。さらに、日本からの NP (New Work Item Proposal、新業務項目提案) の取組みとして、超電導センサ、検出器の規格を検討する超電導エレクトロニクス技術調査委員会、超電導ケーブルの交流損失測定方法などの規格を検討する超電導標準化委員会を組織し活動している。

現在までに発行されている超電導関連技術に関する IEC 発行物、関連 JIS、また、関連する WG を表 1 に示す。各 WG のもと標準化活動が進められ、IEC 規格では、超電導用語 1 件、試験方法の規格 18 件、超電導機器に関する規格 1 件、また 2014 年度には技術報告書として実用超電導線材の通則 (IEC TR 61788-20) が発行されている。また、IEC 規格に対応する形で現在まで 15 件の JIS が発行されている。

今までに発行された規格の改訂、新規規格の開発の両面から標準化活動が進められている。

今までに発行された国際規格の改訂については、現在、IEC のプロジェクトとして、超電導関連用語 (IEC 60050-815) の改訂と、Cu/Nb-Ti の残留抵抗比試験方法 (IEC 61788-4) と Nb₃Sn 超電導体の残留抵抗比試験方法 (IEC 61788-11) との統一規格とする改訂に向け活動が進められている。

また、新規規格の開発のうちで NP の国際承認がなされた IEC の正式なプロジェクトとして活動している案件は、①実用超電導線の試験法、②超電導センサ及び検出器の通則、③Nb の残留抵抗比試験方法、④ビスマス系超電導線の曲げ歪みによる臨界電流の維持率測定方法の 4 件があり、②～④の 3 件は 2014 年度にスタートしたものである。

一方、新規規格の開発のうちで今後の IEC への NP 提出を目指し活動している案件として、イットリウム系超電導線材の室温引張試験方法、イットリウム系超電導線材の臨界電流試験方法がある。また、2014 年度からは超電導ケーブルの交流損失測定方法の素案作成に向けて活動をスタートした。

現状では超電導に関する IEC 規格の大部分が試験方法に関するものであり、製品に関しては、電流リードの試験方法 (IEC 61788-14)、実用超電導線の通則 (IEC TR 61788-20) の 2 件がある。今後、超電導特有の特性を評価する試験方法の標準化に加え、製品規格についてもさらに整備していく予定である。また、電流リードや超電導センサなどの既存 TC で扱っていない超電導特有の応用製品については、TC90 で標準化を進め、一方、電力ケーブル応用など既に別の TC で取り扱っている分野については、該当する既存 TC と連携して標準化を進めていく。

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

表 1 超電導関連 IEC 発行物、関連 JIS 及び関連 WG (2015年3月現在)

IEC発行物			関連JIS			関連WG	規格化の対象
参照番号	Ed.	発行年	規格番号	Ed.	発行年		
国際規格 (International Standard, IS)							
IEC 60050-815	Ed.1.0	2000	International Electrotechnical Vocabulary - Part 815: Superconductivity	H 7005	Ed.1.0	2005	WG1 超電導用語
IEC 61788-1	Ed.2.0	2006	Superconductivity - Part 1: Critical current measurement - DC critical current of Nb-Ti composite superconductors	H 7301	Ed.2.0	2009	WG2 Nb-Ti超電導線の臨界電流測定法
IEC 61788-2	Ed.2.0	2006	Superconductivity - Part 2: Critical current measurement - DC critical current of Nb ₃ Sn composite superconductors	H 7302	Ed.2.0	2009	WG7 Nb ₃ Sn超電導線の臨界電流測定法
IEC 61788-3	Ed.2.0	2006	Superconductivity - Part 3: Critical current measurement - DC critical current of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors	H 7305	Ed.2.0	2010	WG3 酸化物超電導線の臨界電流測定法
IEC 61788-4	Ed.3.0	2011	Superconductivity - Part 4: Residual resistance ratio measurement - Residual resistance ratio of Nb-Ti composite superconductors	H 7306	Ed.2.0	2012	WG4 Cu/Nb-TiとNb ₃ Sn超電導線の残留抵抗比測定法
IEC 61788-5	Ed.2.0	2013	Superconductivity - Part 5: Matrix to superconductor volume ratio measurement - Copper to superconductor volume ratio of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires	H 7304	Ed.1.0	2002	WG6 複合超電導線のマトリックス比測定法
IEC 61788-6	Ed.3.0	2011	Superconductivity - Part 6: Mechanical properties measurement - Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors	H 7303	Ed.2.0	2013	WG5 複合超電導線の引張試験方法と電磁機械的特性
IEC 61788-7	Ed.2.0	2006	Superconductivity - Part 7: Electronic characteristic measurements - Surface resistance of superconductors at microwave frequencies	H 7307	Ed.2.0	2010	WG8 電気的特性測定方法
IEC 61788-8	Ed.2.0	2010	Superconductivity - Part 8: AC loss measurements - Total AC loss measurement of round superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field at liquid helium temperature by a pickup coil method	H 7310	Ed.2.0	2013	WG9 超電導線の交流損失測定法
IEC 61788-9	Ed.1.0	2005	Superconductivity - Part 9: Measurements for bulk high temperature superconductors - Trapped flux density of large grain oxide superconductors	H 7313	Ed.1.0	2007	WG10 超電導バルクの捕捉磁場測定法
IEC 61788-10	Ed.2.0	2006	Superconductivity - Part 10: Critical temperature measurement - Critical temperature of composite superconductors by a resistance method	H 7309	Ed.2.0	2012	WG11 複合超電導線の臨界温度測定法
IEC 61788-11	Ed.2.0	2011	Superconductivity - Part 11: Residual resistance ratio measurement - Residual resistance ratio of Nb ₃ Sn composite superconductors	H 7312	Ed.1.0	2007	WG4 Cu/Nb-TiとNb ₃ Sn超電導線の残留抵抗比測定法
IEC 61788-12	Ed.2.0	2013	Superconductivity - Part 12: Matrix to superconductor volume ratio measurement - Copper to non-copper volume ratio of Nb ₃ Sn composite superconducting wires	H 7308	Ed.1.0	2006	WG6 複合超電導線のマトリックス比測定法
IEC 61788-13	Ed.2.0	2012	Superconductivity - Part 13: AC loss measurements - Magnetometer methods for hysteresis loss in superconducting multifilamentary composites	H 7311	Ed.1.0	2006	WG9 超電導線の交流損失測定法
IEC 61788-14	Ed.1.0	2010	Superconductivity - Part 14: Superconducting power devices - General requirements for characteristic tests of current leads designed for powering superconducting devices	H 7314	Ed.1.0	2013	WG12 電流リード
IEC 61788-15	Ed.1.0	2011	Superconductivity - Part 15: Electronic characteristic measurements - Intrinsic surface impedance of superconductor films at microwave frequencies				WG8 電気的特性測定方法
IEC 61788-16	Ed.1.0	2013	Superconductivity - Part 16: Electronic characteristic measurements - Power-dependent surface resistance of superconductors at microwave frequencies				WG8 電気的特性測定方法
IEC 61788-17	Ed.1.0	2013	Superconductivity - Part 17: Electronic characteristic measurements - Local critical current density and its distribution in large-area superconducting films				WG8 電気的特性測定方法
IEC 61788-18	Ed.1.0	2013	Superconductivity-Part 18: Mechanical properties measurement- Room temperature tensile test of Ag- and/or Ag alloy- sheathed Bi-2223 and Bi-2212 composite superconductors				WG5 複合超電導線の引張試験方法と電磁機械的特性
IEC 61788-19	Ed.1.0	2013	Superconductivity - Part 19: Mechanical properties measurement - Room temperature tensile test of reacted Nb ₃ Sn composite superconductors				WG5 複合超電導線の引張試験方法と電磁機械的特性

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

技術報告書 (Technical Report, TR)				
IEC TR 61788-2014 Ed.1.0, 2014	Superconductivity - Part 20: Superconducting wires - Categories of practical superconducting wires - General characteristics and guidance			WG13 実用超電導線の通則

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

標準化活動 4月のトピックス

「ビスマス系超電導線の曲げ歪みによる臨界電流の維持率測定方法」の国際標準化

住友電気工業株式会社
山田雄一

超電導技術分野でも既に JIS が定められ、例えば「高温超電導」とは「臨界温度が約 25 K 以上の超電導物質」と定義されている。JIS は日本の工業規格であるが、この超電導関係の JIS は、基本的に IEC (国際電気標準会議) の IS (国際規格) に対応して作成されている。現在超電導の IS は IEC の中の 90 番目の TC (専門委員会) にて立案、審議され、標準化されている。日本はこの IEC/TC90 の設立以来幹事国を務め、IEC から 20 件の国際規格、1 件の TR (技術報告書) が発行されている。

ビスマス系超電導体は日本で発見された材料であり、線材の工業製品化がなされ、さらに超電導線材を応用した製品も販売されている。ビスマス系超電導体はレアアース系 (RE123 系) 超電導体と同様、銅酸化物であり、応力や歪みにより臨界電流値が変化する。工業製品として利用されるには、製品化過程における応力や歪みによる臨界電流値の変化程度を把握する必要がある。この応力や歪みにはいくつかの種類があるが、今回は線材を使用した製品を製作するにあたって受ける曲げ歪みを対象とした測定方法を標準化することとしている。

測定方法自体は既にビスマス系超電導線材における取引仕様にも使用されている、いわゆるデファクト標準になりつつあったが、今回の標準化は、そのデファクト標準をデジュール標準に発展させる作業となる。

原案は応用科学研究所の長村、NIMS (物質・材料研究機構) の西島と住友電工の山田が作成した。これをもとに、韓国安東国立大学の申、ドイツ KIT (カールスルーエ工科大) の Goldacker、イタリア・ボローニャ大学の Breschi と日本の 3 機関でラウンドロビンテストを実施した。その結果、十分小さな不確かさで評価できると判断、IEC に NP (新業務項目提案) を提出した。

1 月 23 日に締め切られた投票では、権限のある P メンバー 10 カ国のうち、過半数の賛成 (日米韓独伊露 6 カ国が賛成、1 カ国 (中国) が反対) が得られ承認条件の 1 つをクリアした。しかし、もう 1 つの承認条件である 4 カ国以上の Expert (専門家) の参加に対してはノミネートしたのは日本だけであった。この場合 1 ヶ月以内に Expert が追加で参加し、合計 4 カ国以上となれば NP が承認される。そこで、関係各位のご協力を得て、最終的には米国 (SuperPower 社)、ロシア (VNIIEP)、ドイツ (KIT)、韓国 (安東国立大学) の Expert 参加が追加され、2 月末に正式に NP が承認された。今後、2018 年に国際標準化することを目標に、IEC の国際 WG (作業グループ) にて審議を進めることになる。

測定方法は、応用製品の製造工程の中で線材がプリーを繰り返して通る際に線材の両方向に曲げが加わることを想定したものである。線材の歪みを加える前に臨界電流測定を行い、所定の直径のマンドレルに沿わせ (図 1 参照)、一旦元に戻した上で、反対方向に曲げて解放する。両曲げを加えた後、直状で再度臨界電流測定を行い、その変化を評価する。通常の I_c 測定では、電圧端子を半田付けで行うことがあるが、そうすると、曲げる際に半田等による想定外の歪みや応力が加わる可

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

能性がある。この測定方法では、それを防ぐために、クリップを用いた電圧端子取り等 (図2 参照) により、半田付けしない方法で臨界電流測定を行うことを規定していることが大きな特長である。



図1.線材の曲げ方

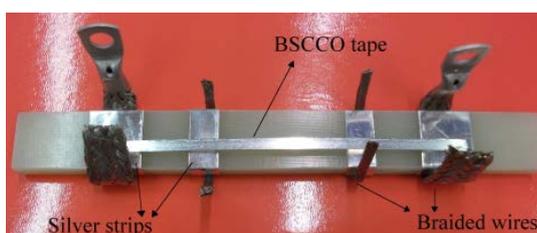


図2. I_c 測定治具の例

本測定方法により測定したビスマス系超電導線の曲げ直径と臨界電流の維持率の関係を図3に示す。図中 DI-BSCCO の Type HT-NX はこの4月より住友電工が正式販売を開始するニッケル合金を用いた非常に高強度の線材であるが、同時に従来品よりも曲げにも強いことが証明されている。

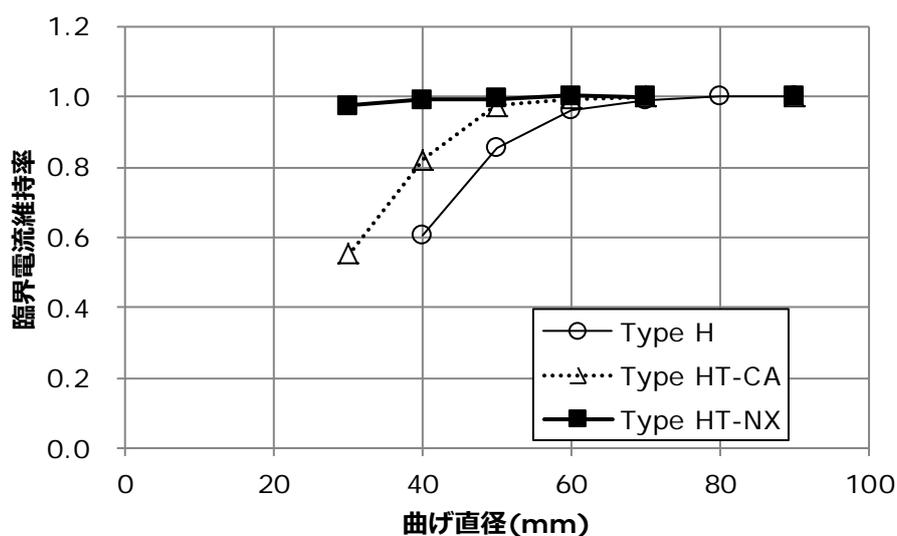


図3. DI-BSCCO 線材の曲げ直径と臨界電流の維持率

現在までに国際標準化された超電導線材の測定方法は、超電導面積比、残留抵抗比、機械的特性 (応力、ヤング率等)、(一般的な) 臨界電流値などであり、何らかの過程による超電導特性の変化を測定するような測定方法としては、これが最初の標準である。

また、超電導の標準化作業のリーダーが民間企業のメンバーであることも初めてであり、超電導が真の工業製品への段階に進んだことを示す非常に意義のあることだと考えられる。



湾岸所 マエストロ・シマヤ こと
山田雄一

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

「低温工学・超電導学会第4回材料研究会」報告

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 線材・パワー応用研究部
部長代理 主管研究員 町 敬人

2015年3月2日(月)に低温工学・超電導学会第4回材料研究会『高品質超伝導体作製と物性および新超伝導体の探索』が開催された。有機物、高圧合成、強相関系と様々な観点からの新規超伝導体とその関連物質の探索について、および種々の作製方法を駆使した従来の高温超伝導体の高品質、高機能化の取り組みについて、講演と討論が行われた。開催場所は東大物性研柏キャンパスで、参加者は31名であった。

1 物性研の矢島健氏は「混合アニオン系超伝導体の合成と物性」と題した講演を行った。複数種のアニオンが秩序を持って配位した ATi_2Pn_2O において、これまで $A=Ba$, $Pn=As$ で電子ドーピングの報告はあったが超伝導は発見されていなかった。そこで、 As を Sb や Bi に変えた物質の合成に成功し、 $BaTi_2Sb_2O$ で $T_c=1.2$ K, $BaTi_2Bi_2O$ で $T_c=4.6$ K の新超伝導体を発見した。これは CDW を抑制した結果、狙い通り超伝導体となったと考えられる。 $BaTi_2Pn_2O$ には2つの超伝導相が存在し、電子相図では2ドーム構造を示した。現在は、異なるブロック層で Bi を含む新物質を探索している。

2 物性研の森初果氏は「有機超伝導体の開発と最近の動向」と題した講演を行った。これまで発見された有機超伝導体は約130種類で、 $C60$ も有機超伝導体と捉えれば一次元から擬一次元、二次元 ($T_c > 10$ K), 三次元 ($T_c \sim 38$ K) へと発展してきた。有機超伝導体は圧力に敏感で例えば圧力印加によって AF から SDW を経て超伝導が出現したり、チャージオーダーが singlet を生じて低圧から超伝導化する場合もある。無機物の超伝導体は磁場に弱い、磁場で超伝導が誘起される有機超伝導体も存在する。今年になって光誘起有機超伝導トランジスタが報告され話題となっている。また炭化水素系では2012年に $T_c=33$ K が報告されているが追試が難しい系である。2014年に報告された単成分超伝導体は、第一原理計算によるバンド構造が実験とよく一致している。ダイマーモット相が低温でチャージオーダーを生じ、そのためパウリブロッケードされて遍歴電子の自由度が生じて超伝導を示す系も発見されている(2013)。大きな分子単位で組替えが可能な有機超伝導体は設計の幅が広いので、今後もさらに新しい超伝導体が発見されていくであろう。

3 日本大学の高橋博樹氏は「圧力効果による超伝導研究の最近の話題」と題して水素ドーピングした1111型の鉄系超伝導を中心とした講演を行った。 $RFeAsO_{1-x}F_x$ では、Fドーピングの元素置換は約12%程度が上限であるのに対し、Hドーピングでは約50%のオーバードープ領域まで元素置換が可能であり、 $LaFeAsO_{1-x}H_x$ では、H濃度に対し T_c がダブルピークを示し、2つのピークの超伝導発現機構が異なる可能性がある。 T_c は圧力に対し上昇し、圧力下の最高 T_c を H 濃度に対してプロットすると、ダブルピークがシングルピークになり、ダブルピークの谷にあたる H 濃度を持つ物質の T_c が高圧下で52 K まで上昇することを明らかにした。また、最近話題の高圧下の H_2S が $T_c=190$ K を示した報告(A.P.Drozdov, et al., <http://arxiv.org/abs/1412.0460>)についても触れた。 GeH_4 , SiH_4 , H_2S などの Metallic hydrogen が超伝導となることは理論的に予想されていたという背景がある。 H_2S に高圧印加する実験は、すでに産総研の坂下さんや藤久さんによって95 GPa まではやられており、分子の乖離層が存在することは確かめられていた。また S については、阪大グループが高圧下で $T_c \sim 17$ K であることを確かめている。2014年にはDuan さんも $(H_2S)_2H_2$ で超伝導性を主張しており、そのような流れの中で今回の報告がなされており、実験としても間違いはないと思える。しかし

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

ながら、まだ電気抵抗のみでマイスナー効果が観測されておらず確認すべきことは沢山あるだろうということであった。

4 東京大学の下山淳一氏は、「化学組成と超伝導物性の関係」と題した講演を行った。銅酸化物超伝導体の物性評価には、見た目にはきれいな単結晶や X 線回折や SEM 観察レベルでは(ほぼ)単相の焼結体が用いられてきたが、例えば単結晶の育成が容易ではない 2:2:1:2 に近い Bi:Sr:Ca:Cu は、やや高い T_c 、短い磁場侵入長、大きな面内異方性と劇的に改善した臨界電流特性を示す。従来 T_c が 110 K 弱であった Bi2223 線材では不定比金属組成を調節する過程を加えると、 T_c は最高 118 K まで上昇し、不純物が生じない程度の $T_c \sim 112$ K の線材では J_c が大きく上昇した。RE123 系では Ba サイトへの RE 固溶が小さいほど照射欠陥の導入によるピンニング力向上の程度は大きいので、固溶の少ない Eu123 を線材化するのが望ましいと強調した。作製条件がタイトな Pr247 も酸素数を合わせて封管することで、作製が容易になったとの報告もあった。

5 NTT 基礎研の山本秀樹氏は、「MBE 法による高品質薄膜の作製と新超伝導体の合成」と題した講演を行った。固相法や高圧合成に比べて、MBE 法はカチオンもアニオンもフラックスレートにより精密な制御ができるため、組成を自由に制御できるという点で非常に強力な試料合成法である。絶縁体から超伝導まで大きく物性が変わってしまう酸化物超伝導体においては酸素エンジニアリングは非常に重要であり、例えばアニール経路によって超伝導になったりならなかったりすることもある。無限レイヤーにおいて金属的な電気抵抗を示せるのはアニオン制御の容易な MBE 試料のみであった。MBE 法で見出された新超伝導体としては、 O_3 を用いて強酸化された $LaCuO_{4+\delta}$ 、 $BaCuO_{4+\delta}$ 、 $SrCuO_{4+\delta}$ や、基板との格子整合による圧力印加を用いた $LaCuO_{4+\delta}$ の T_c の上昇であったりと多くの例がある。最近になって $PrCuO_{4+\delta}$ を O_2 と O_3 の混合低酸素分圧中で成膜してアニール無しでの超伝導性を見出したことも報告した。モット絶縁体でも超伝導にすることのできるのは MBE 法の強みであると強調していた。

6 超電導工研の衣斐頭氏は、「PLD 法を用いた長尺 REBCO 系超伝導層の成膜」と題した講演を行った。REBCO 系線材は金属基板テープである Hastelloy 上に気相法を用いて中間層として複数の酸化物層を成膜しており、中でも IBAD (ion-beam assisted deposition)-MgO 層は線材の 2 軸配向を得るために非常に重要な層となる。現在最も高い特性を持つ PLD-REBCO 系線材は $EuBCO + BaHfO_3$ 線材で、77 K、3 T の磁場中で $I_c > 100$ A/cm-w の線材を作製することが可能となっている。EuBCO は現在線材材料として一般的な GdBCO のように膜厚が増加すると I_c が飽和するという傾向が鈍く、厚膜化によって非常に高い磁場中 I_c が得られていた。下山氏の講演で EuBCO は Ba との相互置換が少ないので線材材料としてふさわしいという報告があったが、衣斐 氏の講演はこれを裏付けるようなものであった。

7 産総研の伊豫彰氏は、「高圧合成法を活用した新超伝導物質探索」と題した講演を行った。高圧下では、比較的短時間に試料が合成できることも物質探索に強みとなる。圧縮により原料同士の接触面積が大きくなるため元素の拡散が容易になること、反応温度を常圧より高く設定できることから、原料同士の反応が常圧より格段に早く進む。産総研では高圧合成によって、2014 年だけでもニクトゲンを含む 4 つの新物質 (Ba_2Bi_3 (4.4 K), $AP_{2-x}X_x$ (6.4 K; A=Zr, Hf, X=S, Se), $(Sr_{1-x}Na_x)Bi_3$ (9 K), Au-Sb-Te alloy (8.1 K)) を発見した。しかも組成を変化させることで T_c がドーム状に変化することも見出した。新物質というのは、狙ったところで発見するのは困難であり、その意味でも多くの試料の合成のできる高圧合成法は非常に強力なツールと言える。

8 理化学研究所の山本文子氏は、「高温超伝導銅酸化物の高圧合成と高圧物性」と題した講演を行

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

った。石英封管法に比べて空孔や粒界の不純物の発生が少ない高圧合成した $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+d}$ (**Hg1223**)を静水圧性の高いキュービックアンビル型装置で電気抵抗率を測定し、15 GPaにおいて今までで最高の $T_c=153\text{ K}$ (ゼロ抵抗温度)を観測できた。Hg1212も単相の試料を作ることが重要で、組成のずれによってベルシェイプのキャリア圧力依存性がシフトしてしまう。Hg1223の圧力係数は最適ドーピングよりも少しキャリア濃度が多い方が高くなった。圧力に対する T_c の変化は、たった1 GPaでも大きく変化する場合もある。例えば最初の2~3 GPaでは電気抵抗率が高くなる場合があり、これはLa214の1/8問題と類似の原因がある可能性が示唆された。Hg1223のキャリア濃度を下げて $T_c=86\text{ K}$ の試料を作製し圧力効果を測定したが、 T_c はほとんど変わらなかった。キャリア濃度が圧力係数に与える影響についてはどのような物理があるのかまだ分かっていない。測定用のアンビルトップを4 mmから3 mmに変更して20 GPaまで印加できるようになったので、今後さらに高い圧力での物性測定を行っていく予定である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

風力熱・太陽熱応用 日独シンポジウム報告

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター

普及啓発・国際部

部長 岡崎 徹

2月25日にドイツ・シュツットガルトで行われた German-Japanese symposium on Wind and Solar Thermal Applications が DLR と ISTEK の共催で行われたので報告する。風力と太陽熱を有機的に結びつけたシンポジウムとしては恐らくは世界で初めてのシンポジウムである(図1)。

ドイツも日本も原発の削減を目指しており、状況は似ている。代替エネルギー源として不安定な再エネの大量導入を考えた場合、何らかの安定化手段が必要である。太陽光発電(PV)より太陽熱発電(CSP)が有利な点は高価な電池の代わりに安価な高温蓄熱(～600℃)や化学蓄熱(長期貯蔵が可能)を採用できる点である。これを風力にも適用するアイデアが日独双方から報告された。



図1 会議の様子。今回はDLR関係者および招待者のみで実施。

日本側は風力熱発電で、故障が少なく安定で騒音なども小さなダイレクトドライブ型を採用し、複数の風車をまとめて合計数十MWよりも大きな大型を得意とする。誘導発電機を利用すると直接発電や系統余剰電力の吸収も可能となる。高温化による高効率化には超電導採用が必須である。ドイツ側はヒートポンプを応用するアイデアで、これも太陽光などの余剰電力も吸収でき、また上記より小型が得意な技術である。どちらも電力系統まで含めた全体最適化を指向している。

この他に要素部品の風力、蓄熱技術、発熱機(日独のメーカーから一つずつ)、制御・シミュレーション技術についての発表があった。また熱を直接利用する淡水化や給湯暖房についての報告もあった。給湯暖房については市販品がそのまま転用出来るため実現へのハードルが低い。

会議の結論として条件が様々な再エネは様々な手段で対応すべきだ、オールマイティな技術は無いだろう、という認識が明らかになったと考えている。

他に興味深かったのは魚群が乱流を起さずに泳げることにヒントを得た垂直型風車の最適配置である。風車の高密度配置が可能になるため土地面積あたりのエネルギー回収量が一桁大きくなる。全体最適化という意味で風力熱発電にも通じる点があり、今後期待したい。本シンポジウムは次回を日本で行う予定である。

シンポジウム前後には太陽熱研究所や風力研究所などを訪問した。ドイツでは太陽熱発電を経済的

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

に実現することは難しいが、中東などの適地への輸出を考えテストプラントが建設されている。ここでは色々な種類の受熱器や熱媒体を検討や鏡（ヘリオスタット）の制御研究などを行っている。高温蓄熱が着目され中東地域での太陽熱発電が注目されつつあるため、事業獲得のために設備を増強中であった（図2）。

ケルンの熱力学研究所分室も建家を新設し数年前には10数名だった研究者が50名を越えてきている（図3）。検討項目に特に目新しい物は無かったが、内容的には進歩しており基礎検討からノウハウを着実に積み上げている様子が垣間見られ、出遅れた場合には決定的な差異が生じる可能性があると感じた。今後、世界の動きに乗り遅れないよう熱関連の検討を加速する必要があるだろう。またその際には超電導炉という高温化に必須の技術も検討が必要である。



図2 ユーリッヒ太陽熱発電所。改良増強工事が始まっていた。



図3 新設されたケルン熱力学研究所の前で

DLR：ドイツ航空宇宙センター、8000人規模。日本のJAXA機能はESAという別組織が担当。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

【隔月連載記事】

IEA-ISS ジョイントセッション登壇者の寄稿 (その2)

「IEA-HTS-IA and ISS Joint Session での発表を終えて」

独立行政法人 産業技術総合研究所
 研究員 石田茂之

ISS2014において、IEA-HTS-IA and ISS Joint Session (テーマ “Future Energy Society and My Research Work”) という若手を対象としたセッションが開催されることを知り、これは良い機会なのでぜひ応募しようと考えました。私は現在、新超電導体の探索を行っているのですが、究極の目標を副題に添えて、“Search for new superconductors – Toward room-temperature superconductivity” というタイトルで申し込みました。申し込んだものの、“室温超電導体を探す” という話題がこのセッションに相応しいのか自信がなかったため、定数の2倍もの応募者の中から発表者に選ばれたとの知らせを受けた時は驚きました。また、今回が第1回ということでセッションの雰囲気は予想できず、私の発表以外は超電導線材や磁気分離など応用に直結した話題であることを知った時は、選ばれたもののひょっとしたら場違いかもしれないと、若干不安になりました。

発表資料の作成にあたっては、8分という短い発表時間に加え、“私の研究” と “将来のエネルギー社会への提言” をバランス良く (半々程度で) 盛り込むという制約もあったので、とても悩みました。悩んだ末、室温超電導体が発見されればエネルギー社会に大きく貢献できることは疑う余地がないというスタンスで、室温超電導を実現させるために、どのように取り組んでいるのかを伝えることに重点を置いた内容にしました。

セッション当日、私の発表は7人中6番目で、他の5名の方々の発表を先に聴くことになっていました。主にポストドクや博士課程の学生が発表するのだろうと想像していたので、実際には修士課程が主で、中には学部学生も発表していたことに大変驚かされました。しかも、流暢な英語で発表しプレゼン資料も良く練られており、良い刺激になりました。

自分自身の発表に関しては、場違いではないかという不安は杞憂だったようで、審査員の方々にも興味を持っていただくことができましたように思います。反省点としては、“将来のエネルギー社会” に関する考察・主張が不足していたことです。室温超電導体を用いて、いかにエネルギー社会に貢献できるのか。電力輸送や省電力デバイスをターゲットにするのであれば、どれくらいの効果があるのかを試算する、もしくは室温超電導体ならではの応用があるかを検討するなど、オリジナルな提案があればより良い発表ができたのではないかと思います。

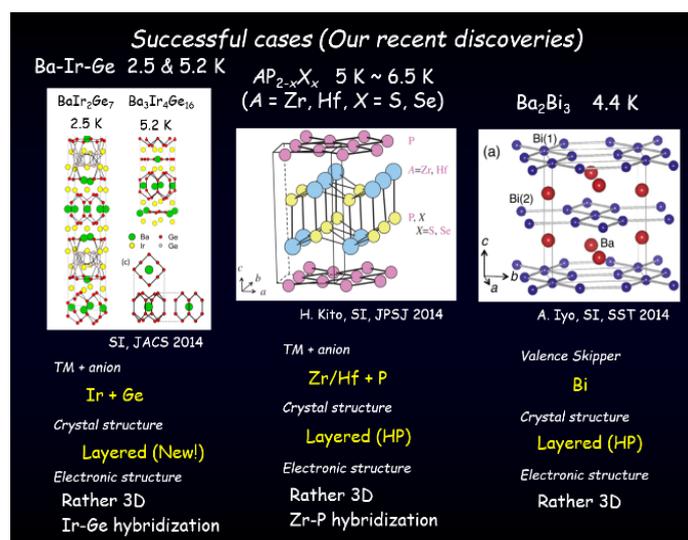


写真 最近発見した新超電導体の紹介 (発表資料より)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

今回の発表は、審査員や発表者の方々と懇親会を含め、とても良い経験になりました。発表の機会を与えてくださった主催者の方々に改めて感謝致します。また発表準備に際してご協力いただいた多くの方々に、この場をお借りして御礼申し上げます。今後もこのセッションが継続され、ますます発展していくことを期待しております。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

読者の広場

Q&A

Q:「鉄系超電導の原理検証に「京」が使われたと読みました。どういうことをされ、何がわかったのでしょうか？Webで詳細も見てみましたが、ちょっと難しかったです。室温超電導の発見に繋がりそうで面白いのですが、簡単に解説を、と言っても難しいのでしょうか？」

A: 鉄系超伝導体の超伝導機構を解明するために、高精度な第一原理計算を行いました。第一原理計算とは、究極的には物質の構成元素の情報と物理の基本法則のみから任意パラメータを用いることなく物質の示す性質を計算する方法です。ただし、固体中に存在する膨大な数の電子(10の23乗というとても大きい数です)に対して厳密な計算を行うことは現在のスーパーコンピュータを用いても不可能で、実際の計算の際には近似を用います。この近似のせいで、従来の第一原理計算では、高温超伝導には本質的な役割を果たす、電子の間に働く相互作用の効果を十分に取り込むことが出来ませんでした。そこで、私たちは相互作用の効果を精密に取り扱える新しい第一原理計算手法を開発しました。固体の中に海のように電子がたくさんつまっていますが、その中で重要なのは電子の「海」の海面の部分だけということが、この手法の基礎となっています。この電子の「海」の海面に相当するものは、著名な物理学者フェルミの名前をとってフェルミ面と呼ばれています。実は、我々が固体の性質として日常感じる性質（電気を流したり、磁石になったりする）のほとんどはこのフェルミ面近傍の電子が担っています(これは我々が海の海面近傍の部分しか見えないことに似ています)。この性質に従って、従来の第一原理計算を基礎にして、フェルミ面近傍の電子の性質を決定する理論模型を導出しました。さらに、その理論模型を「京」を駆使して解析することで、どのように超伝導が生じるかを明らかにしました。

その結果、鉄系超伝導体が電子密度の揺らぎが大きくなる場所(=電子密度が急激に変化するところ)で超伝導が起きやすいことを突き止めました。また、銅酸化物高温超伝導体を記述する最も単純な理論模型(ハバード模型)にたいしても計算を行った結果、やはり電子密度の揺らぎの増大が超伝導をもたらしているという結果を得ました。鉄系超伝導体と銅酸化物高温超伝導体というまったく異なる物質の理論模型に対して共通の超伝導機構が得られたことは大きな驚きであり、この超伝導機構が普遍的(物質によらず成立する性質)であることを強く示唆しています。今後、この超伝導機構を利用してより高い転移温度をもつ物質が発見されることが期待されます。

参考: http://www.t.u-tokyo.ac.jp/pdf/2014/20141222_misawa.pdf

東京大学大学院 工学系研究科物理工学専攻 三澤貴宏 様・今田正俊 様

超電導 Web21 トップページ