

掲載内容（サマリー）：

トピックス：

- フジクラ Gd123 線材で世界記録更新
- IHI 世界最大出力・液体窒素冷却ビスマス系超電導モータの開発

- 超電導関連 11-12 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (9/18-10/18)
- 超電導速報ー世界の動き (2007 年 8-9 月)
- 標準化活動ー山藤 馨氏、和田 仁氏、松下照男氏の 3 氏、超電導標準化関連で受賞ー
- 第二回極低温技術スクール「計測技術、ヘリウム、超伝導に親しむ」報告
- 九州西日本支部「低温物性・超電導特性の測定法」報告
- 「EUCAS2007」報告
- 隔月連載記事ー高温超電導の謎に迫る (その 6)
- 読者の広場(Q&A)ー電力系統における負荷変動補償はなぜ必要なのでしょうか？

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

〈発行者〉

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

〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-3 栄進開発ビル 6F

Tel (03) 3431-4002 Fax(03) 3431-4044

超電導 Web21 トップページ：<http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.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>



トピックス： Gd123 線材で世界記録更新

株式会社 フジクラ
材料技術研究所
技師長 齊藤 隆

Gd123 を含むイットリウム系超電導線の特長は臨界電流密度が大きく、また液体窒素温度において磁界下での臨界電流が大きいことからケーブルのみならず超電導電力貯蔵装置、モーター、発電機、変圧器等への応用が期待されています。

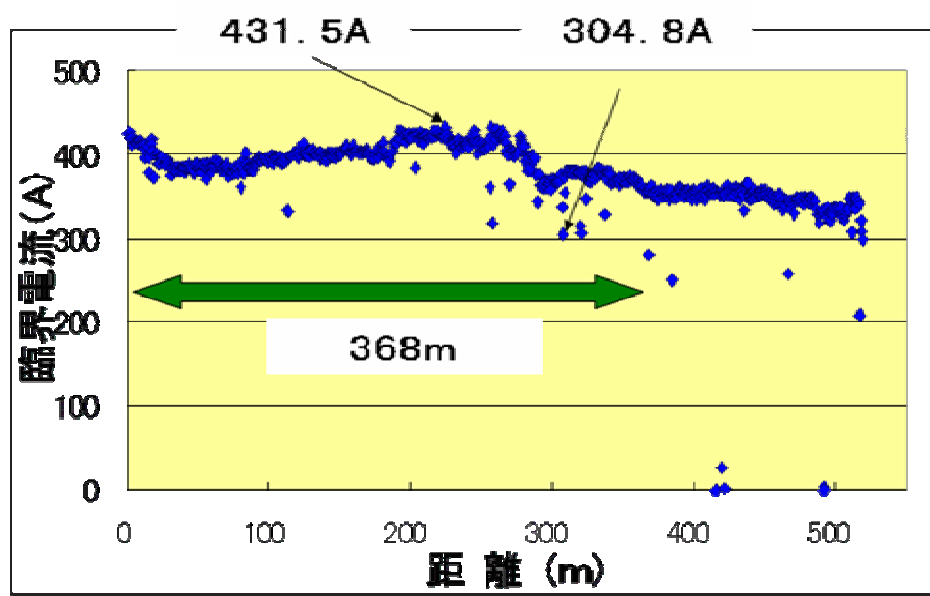
フジクラでは 2004 年に世界に先駆けて長さ (m) と臨界電流値 (A) が 100 を超える線材に成功し、超電導応用基盤技術研究開発プロジェクトの目標である 500 m、300 A の達成に向けて研究開発を行ってきました。線材作製プロセスは IBAD/PLD 法と称される IBAD 法による中間層作製プロセスとレーザー蒸着法 (PLD 法) による超電導層作製プロセスの組み合わせで実施しています。

今回の線材の作製にあたっては SRL 名古屋高温超電導線材開発センターにおける成果を適用し、従来の Y123 超電導材料から、より高い臨界電流密度や良好な磁界特性が見込まれる Gd123 超電導材料を使って線材の長尺化を行いました。また、線材作製にあたっては結晶配向度を高め高品質の中間層を作製するとともに、超電導層の作製条件を見直し長時間にわたる線材作製において変動を小さくするようターゲット駆動方法の変更や基材加熱の制御方法を見直しました。

500m を超える長さに渡って成膜を行い、全長を 0.7 m 毎に臨界電流を測定した結果、概ね 350 ~430 A に分布していたものの 750 カ所の測定箇所のうち 10 箇所程度で臨界電流の低下した部分が存在しておりました。300 A を超える連続長では 368 m が得られ、臨界電流と長さの積である $I_c \cdot L$ 値は 112,166 Am を達成しております。これは米国 Super Power 社が 2007 年 8 月に発表した 102,935 Am を上回り世界記録を更新しました。



今回作製した Gd123 超電導線



500m 長 Gd123 線材の臨界電流分布

[超電導 Web21 トップページ](#)

トピックス：世界最大出力・液体窒素冷却ビスマス系超電導モータの開発

株式会社 IHI
船用超電導推進事業室
高木健次

株式会社 IHI を取りまとめ役とする産学グループ^{*A}は、液体窒素冷却によるものとしては世界最大出力となる「365 kW 超電導モータ」の開発に成功しましたので、概要を報告します。

従来開発されてきた超電導モータの冷却冷媒には液体ヘリウム（7 K・約-266 °C）や液体ネオン（30 K・約-243 °C）が使用されてきました。ヘリウムやネオンを使用すると極低温のため断熱構造が大きくなり、モータの小型化が難しいこと、液体窒素（77 K・約-196 °C）と比較すると価格が約 10 倍（ヘリウム）から約 100 倍（ネオン）のため、オペレーションコストが高くなるなどの問題がありました。そこで安価な液体窒素を冷媒にした場合の研究も進められてきましたが、他の冷媒に比べて高温のため、コイルに大きな電流を流すと発生した強い磁界がコイル自身に影響し、ついには電流を流せなくなるという問題があり、実用化が困難とされていました。

産学グループでは、磁束をコイルに鎖交させないで大きな電流を流すという発想をもとに、「ビスマス系超電導線（DI-BSCCO）」を用いた超電導コイルの中心に磁束を集中通過させるための「フラックスコレクタ（FLC）^{*B}」を開発し、平成 17 年に世界初の実用化レベルの液体窒素冷却超電導モータの開発に成功しました。その後、実用に向けて大型化に取り組み、今回の 365 kW の超電導モータを開発し、富士電機システムズ(株)川崎工場にて負荷試験が終了したものです。

今回の開発に成功したモータの大きな特色は、以下の 3 点です。

1. 他で開発されている超電導モータでは、直流コイル（界磁コイル）のみを超電導にしていますが、産学グループは FLC を採用したことで交流コイル（電機子コイル^{*C}）に発生する AC ロス（交流損失^{*D}）を低減させ、世界で初めて交流部分を超電導コイルにすることに成功しました。
2. 超電導コイルを並列して使用すると、コイルの両端にだけ大電流が流れるという超電導コイルの偏流現象（コイルに電流が均一に流れない現象）^{*E}が発生します。これに対しては、コイル一つ一つに流れる電流を調整し、均一に流すことが可能な「電流調整器」を開発して対応しました。
3. 他の超電導モータでは軸部分を使用して冷却剤を流していますが、産学グループでは超電導部分（電機子部分）を固定したことで、軸を使わずに冷却することを実現しました。これにより軸の両端を連結等の目的で使うことが可能となり、モータのタンデム連結（モータ容量の大型化）を可能にしました。

現在、産学グループでは、この超電導モータ（365 kW）と昨年、試験的に開発した超電導モータ（50 kW）の 2 台をタンデムにつなげ、2 重反転プロペラを直接駆動する推進装置の組み立てを開始しています。

今後、船用機器市場における省エネ化への期待に応えるべく、平成 20 年以内に 400 kW クラス超電導モータの市場投入を目指し、また 2,500 kW 大型化への開発も継続していく予定です。

<モータの仕様>

出力：365 kW、回転数：毎分 250 回転、大きさ：直径 1.2 m×長さ 0.8 m、重量：4.4 t

*A 産学グループ（五十音順）

(株)IHI、住友電気工業(株)、大陽日酸(株)、ナカシマプロペラ(株)、新潟原動機(株)、
(株)日立製作所、国立大学法人福井大学 杉本英彦教授、富士電機システムズ(株)

*B フラックスコレクタ (FLC)

コイルの中心に高透磁材料を入れたコイルシステムで、フラックスコレクタ部分に磁束を集中透過させる仕組み。このシステムの採用により液体窒素温度でも大きな電流を流すことができるようになった。その結果、従来のモータの 1/10 の大きさで、かつ大容量のモータが製作できるようになった。

*C 交流超電導コイル

ビスマス系超電導線を用いたダブルパンケーキコイルを積層した交流超電導コイル。電磁力や機械的振動に耐える巻線構造やコイル固定方法を採用すると共に、交流損失を速やかに冷媒へ伝達する構造を有す。

*D AC ロス（交流損失）

磁界の変動や電流を流すことによって、超電導導体中で消費されるエネルギーのこと。
産学グループはFLCを採用することで、ACロスにより超電導の特長である「電気抵抗（損失）がない」というメリットがなくなることを防ぐことを可能にした。

*E 偏流

並列に配置した超電導コイルに交流電流を流したときに、各コイルに流れる電流の大きさ、位相に差、またはズレが生じる（コイルに電流が均等に流れない）現象

超電導関連 11 月ー12 月の催し物案内

10/29-11/1

2007 National SBIR/STTR Fall Conference

場所：Richardson, TX, USA

問合せ：<http://www.texasone.us/site/PageServer>

11/5-7

20th International Symposium on Superconductivity (ISS2007)

場所：EPOCHAL TSUKUBA, つくば市

主催：(財) 国際超電導産業技術研究センター

問合せ：<http://www.istec.or.jp/ISS>

11/5

第 1 回超電導能動素子の実用的試験方法に関するパネル討論会

場所：1:40pm-3:10pm、中会議室#406、EPOCHAL TSUKUBA, つくば市

共催：(財) 国際超電導産業技術研究センター・(独) 新エネルギー産業技術総合開発機構

問合せ：(財) 国際超電導産業技術研究センター 標準部 田中靖三、檜山由紀子

Tel: 03-3459-9872、Fax: 03-3459-9873、E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

11/6

第 5 回超電導電力機器に関するパネル討論会

場所：6:40pm-8:40pm、中会議室#406、EPOCHAL TSUKUBA, つくば市

共催：(財) 国際超電導産業技術研究センター・(独) 新エネルギー産業技術総合開発機構

問合せ：(財) 国際超電導産業技術研究センター 標準部 田中靖三、檜山由紀子

Tel: 03-3459-9872、Fax: 03-3459-9873、E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

11/8

国際ワークショップ「超伝導応用とその関連分野」

場所：上智大学 四谷キャンパス 2 号館 17 階 1702 室

主催：上智大学 理工学部

問合せ：上智大学 教授 高尾智明 Tel: 03-3238-3327、e-mail: takao@eco.ee.sophia.ac.jp

11/8-10

International Working on Coated Conductors for Applications (CCA2007)

場所：Suites Hotel, Jeju island, Korea

問合せ：School of Materials Science & Engineering, College of Engineering, Seoul National University, Associate Professor, e-mail: pchan@snu.ac.kr

<http://www.cast.re.kr/cca2007>

11/9-11

第 13 回日米高温超伝導体ワークショップ

場所：長良川国際会議場、岐阜市：<http://www.g-ncc.jp>

主催：(独) 物質・材料研究機構、文部科学省（依頼中）、(社) 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

問合せ：(社) 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 担当 大貫留美子 Tel: 03-3503-4681、Fax: 03-3597-0535、e-mail: fsst@snitt.or.jp

11/16

関西支部第 3 回講演会「超電導モータ」

場所：大阪市立大学文化交流センター 研修室（3）小セミナー室

主催：低温工学協会 関西支部

問合せ：京都大学大学院工学研究科電子工学専攻 鈴木実 Tel: 075-383-2263、Fax: 075-383-2264、
E-mail: Suzuki@kuee.kyoto-u.ac.jp

11/26-30

2007 MRS Fall Meeting

場所：Hynes Convention Center and Sheraton, Boston, Massachusetts, UAS

問合せ：<http://www.mrs.org/>

12/2-4

応用超伝導・低温工学アジア会議 2007（ACASC2007）

場所：Xi'an, China（西安、中国）

共催：低温工学協会（日本）、韓国超電導・低温工学会(KIASC)、中国科学院(CAS)

問合せ：産業技術総合研究所 淵野修一郎 Tel: 029-861-5819、Fax: 029-861-5822、
E-mail: s.fichino@aist.go.jp

12/8

公開シンポジウム「大停電を防ぐ技術ー世界一の電気エネルギーシステムを作るにはー」

場所：福岡市民会館小ホール

共催：電気学会、九州工業大学寄附講座、九州電力、九州大学寄附講座

問合せ：電気学会事業サービス課 e-mail: symp@iee.or.jp、Fax: 03-3221-3704

12/10-14

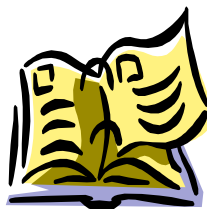
13th International Conf. on Fusion reactor Materials(ICFRM-13)

場所：Nice, France

主催：Euratom-CEA Association

問合せ：<http://www-fusion-magnetique.cea.fr/icfrm13/index.html>

（編集局）



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (9/19-10/19)

- 体内移植の効果、MRI で把握 幹細胞の働き追跡 国立循環器病センター ガドリニウム封入 9/20 日経産業新聞
- 日本と欧州、系統構成の違いは 電力系統構成の基本形態 ループと放射の組み合わせ 9/25 電気新聞
- 瞬時に代替電力供給 中部電力など 超電導の貯蔵技術確立へ 9/25 フジサンケイビジネスアイ
- 超電導電力貯蔵に着目 新型コイル使って実験 都市型の SMES 施設を提案 9/28 科学新聞
- いろいろ使えるミリ波の世界 「電波の目」車の衝突防ぐ ミリ波応用拡大 高速無線通信も 9/30 日本経済新聞
- 核融合審議を再開へ 原子力委 ITER 進展踏まえ 2 年ぶり 10/1 電気新聞
- 若者が夢を持つ社会 科学技術振興機構新理事長 北澤宏一氏に聞く イノベーション成果を伝えたい 10/1 日刊工業新聞、日経産業新聞
- 送電磁界規制 国際指針と同一基準に 超低周波 健康被害の判断焦点 保安部会電磁界対策 WG 10/1 電気新聞
- 環境テクノロジー 超電導ケーブル 住友電気工業 送電ロス銅線比で半減 10/1 日経産業新聞
- 宇宙を見る 口径 45 メートルの目 巨大ブラックホール発見に貢献 10/1 読売新聞(夕)
- パワーシステムのキャパシター 電流供給3-5倍に 購入電力のピークカット 10/2 日経産業新聞
- 理研の最前線 宇宙 初期状態の物質創成を謎解く 金の原子核同士衝突させ新物質創出 電子・電子対で性質解明 10/2 日刊工業新聞
- 外輪系統は50万Vの「貯水池」 東京電力の電力系統 供給線、調整しやすい放射状 10/2 電気新聞
- 蓄電池を複数組み合わせ 風力発電、出力安定へ 富士電機など 4社で実験開始 10/2 電気新聞
- 超電導回路 線幅100ナノ以下 光照射で「一筆書き」配線作り直しも簡単 10/2 日経産業新聞
- MRI爆発事故 作業員2人逆転有罪 仙台高裁「爆発の予見できた」 10/2 読売新聞(夕)
- 電力安定装置 風力発電向け実証試験 富士電機系など4社 効率運用めざす 10/3 日経産業新聞
- 理研とNEC 超電導量子ビット使用 人工原子でレーザー発振 量子コンピュータに応用期待 集積化容易、単光子源にも 10/4 日刊工業新聞
- 電力貯蔵装置を輸出 日本ガイシ、東電と 米仏から受注 生産能力3割増強 10/4 日本経済新聞
- 外輪系統に3つの役割ー中部 中部電力の電力系統 27万Vの過不足分を吸収 10/9 電気新聞
- 仏エア・リキード ヘリウム、日本に優先供給 CEO表明 カタール産振り替え 10/12 日本経済新聞
- 50万系統は変則ループー関西 関西電力の電力系統 電源と需要の接続方法を工夫 10/16 電気新聞
- リニア建設費4兆ー6兆円 東京ー名古屋間でJR東海試算 10/17 フジサンケイビジネスアイ
- 洋上風力向け 超電導発電で合弁 米国2社 高出力の実用化へ 10/17 電気新聞
- 肝臓・骨盤1回で検査 東芝メディカル MRIを発売 10/19 日刊工業新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（2007 年 8 月、9 月）

電力

American Superconductor Corporation（2007 年 9 月 5 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国半導体チップ製造業者から産業用電圧回復装置（Power Quality Industrial Voltage Restorer (PQ-IVR)）の追加発注を受けた。107 MVAR で 10 基の D-VAR®モジュールを含むこの装置は、東南アジアの大型ウェーハー製造施設で使用される予定。この発注は、半導体産業からの全工場電力品質管理に向けた第 3 番目の主要な注文であり、米国外への出荷としては最初のものである。この PQ-IVR は電圧の瞬間的な低下を防ぐものであり、稼働中断の 90 %以上を防ぐことができる。PQ-IVR 装置は、配電線と工場の間に設置され、この間で生じる電圧変化を検知して瞬時に電圧を通常値に回復する。これにより、繊細な半導体ベースの製造装置を保護することができる。AMSC 社はこの PQ-IVR を東南アジアの工場において 2008 年 前半に立ち上げる予定。

出典:

“AMSC Receives Follow-on Order from Semiconductor Chip Manufacturer for Power Quality Solution”

American Superconductor Corporation press release (September 5, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1048065&highlight

American Superconductor Corporation（2007 年 9 月 18 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は、中国北京の Sinovel Wind Corporation Limited から約 2,000 万ドルの風力発電システムの追加発注を受けた。この注文は今年 7 月の Sinovel Wind 社からの 7,000 万ドルの発注に続くものである。今回の注文については、AMSC 社年度で 2008 年度（2009 年 3 月 31 日に終了）に出荷される。この電力エレクトロニクスシステムは Sinovel 社の 1.5- MW 風力発電装置に組み込まれる予定。AMSC 社創立者で最高責任者の Greg Yurek は次のように述べた。「AMSC 社の風力発電事業は世界規模で発展を続けている。中国はその中でも我々の最大の市場である。Sinovel Wind 社は生産力をどんどん上げており、我々は中国の他の 2 社の顧客とも緊密な連携をとって中国のゼロエミッション風力電力の成長しつつある需要に応えるべく、これら顧客企業の風力発電機生産開始を支援していく考えである。我々は今年度中に第 4 の中国の顧客の獲得の可能性が高いと考えており、他の新規顧客企業とともに（中国以外の）海外における営業活動をさらに伸張させていきたいと考えている。」Global Wind Energy Council は、2006 年に中国で 1,347 MW の風力発電能力の拡大があったと推定しており、2007～2010 年の間に更に 8,000 MW の能力増強があるものと考えている。

出典:

“AMSC Receives Follow-on Order for \$20 Million in Power Electronics for Chinese Wind Turbines”

American Superconductor Corporation press release (September 18, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1052543&highlight

Zenergy Power plc（2007 年 9 月 24 日）

Zenergy Power plc は、最初のフルスケール商用 HTS 誘導ヒーターの注文を受けた。この注文はアルミニウム製造業者の Weser Alu GmbH からのもの。Weser Alu GmbH は、ドイツ Minden の自社製造施設における現有銅ベースのヒーターをこの HTS ヒーターに置き換える予定。この HTS ヒ

ーターは 1 トンのアルミニウムを加熱するエネルギー量を 270 kWh から 160 kWh と約半分にする
ことができる。エネルギー効率を 90 %以上（従来の銅ベース誘導ヒーターでは 35 % ～45 %）に
することができる他、この HTS ヒーターは加熱時間を短縮し、熱均一度を改善できるので、従来
のヒーターに比べ生産性を上げることが可能になる。Weser Alu 社や他の顧客各社は、HTS ヒータ
ーの性能は従来のヒーターに比べ格段に素晴らしいと言う。Zenergy 社は、今回の注文が HTS 材料
を使った商用装置の第 1 号の販売であるとしている。

4 ヶ月前に開発、試験を終えた第 1 号機は、Bültmann GmbH と Zenergy 社が、ドイツ環境基金
の援助を受けて開発、製造した。ドイツ環境基金の気候変動抑止・エネルギー局課長 Dirk Schötz
は次のように述べた。「環境基金として、企業の工業プロセスに良い影響を与える能力を持つ技術や
製品を追求し、これに投資していくことは我々の責務である。Zenergy 社のヒーターはその中の 1
つであり、環境に適合した企業活動を行わしめる能力を持つという意味では稀有な製品の 1 つと言
える。このような意味で我々は HTS 誘導ヒーターの開発を支援してきたし、我々は目標とした産
業に早々と受け入れられるのを目の当たりにしている。コスト削減、生産能力、環境適合性の観点
からこのヒーターは強い競争力を持つ製品となっており、その開発を支援したことを我々は誇りに
思っている。」誘導ヒーターの現在の年間市場規模は 20 億ユーロと見積もられている。

出典:

“Commercial Order for Full Scale HTS Induction Heater”

Zenergy Power plc press release (September 24, 2007)

<http://www.trithor.com/pdf/press-en/2007-09-24-IH-Sale.pdf>

American Superconductor Corporation (2007 年 9 月 25 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、Static VAR Compensator (SVC)という新製品
を投入し、北西太平洋地域で 75 %の高電圧送電シェアを持つ Bonneville Power Administration
(BPA)から、送電用 SVC の最初の注文を受けた。この SVC はオレゴンの送電ラインに 95 MVAR の
無効電力を供給する能力を持つ。AMSC 社ではその運転を 2009 年早期に開始することを予定して
いる。

この SVC 製品は 2007 年 4 月に買収した Power Quality Systems, Inc. (PQS) 保有のサイリスタ
スイッチ技術をベースにしている。PQS 社は（買収）以前にすでに北アメリカで 60 基のサイリス
タシステムを設置した実績を有している。これら装置は電圧のダイナミック制御に用いられ、高い
電力品質を維持し、電力網の不安定性を抑止する。このサイリスタ技術により、AMSC 社の SVC
システムは、従来品に比べ、初期コスト、維持コストが安価で、低損失であり、設置面積も小さい。
AMSC 社は成長する送電グリッド市場向け SVC システムの北米唯一の製造事業者である。AMSC
は、無効電力補償装置の世界市場を年間 2 億 5 千万ドルと見積もっている。この市場は世界電力需
要の伸張、そして事業者の電力グリッド信頼性改善のための投資とともに急速に拡大するものと期
待される。

出典:

“AMSC Introduces Static VAR Compensator Product Line and Receives First Order”

American Superconductor Corporation press release (September 25, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1055083&highlight

Zenergy Power plc (2007 年 9 月 26 日)

Zenergy Power plc は世界的金属製造事業者から、非鉄重金属プロセス向けの HTS 誘導加熱装置
の設計を委託された。この特殊仕様 HTS 誘導加熱装置は、非常に過酷な条件下で非鉄金属ビレッ
トを加熱するのに使われる。Zenergy 社が知的所有権を有するこの HTS コンポーネントにより、ヒ

ーターの消費電力を大幅に削減し、運転コストと炭素放出量を大幅に減らすことができる。Zenergy 社によると、この委託は HTS 誘導ヒーター技術の効率向上により、産業的に大きい利益が得られると認められた結果であるとしている。

出典:

“HTS Induction Heater Design Contract”

Zenergy Power plc press release (September 26, 2007)

http://www.trithor.com/pdf/press-en/2007-09-26-HTS-IH-Design_Contract.pdf

マグネット

HTS-110 Ltd. (2007 年 8 月 3 日)

ニュージーランドの HTS-110 社はドイツ、ベルリンの Hahn-Meitner Institute に 5 T ビームラインマグネットを出荷した。このマグネットは、ドイツの先端シンクロトロン放射施設である Berlin Electron Synchrotron (BESSY)における磁気散乱研究に使われる。マグネットの重量は 100 kg 以下で、手荷物用スーツケース程度の設置面積である。このマグネットは HTS-110 社としては今日までで最も強力なものであり、試験中に 5.4 T を達成した。マグネットはパルスチューブ冷凍機で冷却され、メンテナンスが簡便で、静寂、振動も小さい。同研究施設の試料環境グループリーダーの Michael Meissner 教授は次のように語った。「HTS-110 社のクライオマグネットは、3 段式閉冷却サイクル冷凍機を使っており、磁界中で試料の回転が可能である。このユニークな装置を使えば、冷媒のない環境下でビームラインを使った固体の研究ができ、温度域としては 0.6 K~600 K、5.4 T までの磁場下での実験を行うことができる。」

HTS-110 社は 2 台目のビームラインマグネットを近々 Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO) にも出荷したいとしている。

出典:

“HTS-110 ships class-leading 5 tesla beamline magnet to HMI, Germany”

HTS-110 press release (August 3, 2007)

<http://www.hts-110.com/news/coverage/5T-HMI-BESSY.html>

量子計算機

National Institute of Standards and Technology (2007 年 9 月 26 日)

National Institute of Standards and Technology (NIST)は、2つの Q ビット間で微細に加工されたアルミニウム線に沿ってマイクロ波を使って情報を伝達することに成功した。(装置は) ケーブル TV の伝送ラインと同様のセットアップであり、超電導回路と量子力学の原理に従う多機能データビットから構成される。この「量子バス」は超強力な量子計算機でも使用可能である。さらに、この装置で使われる超電導素子は非常に簡単に加工、商用レベルまでスケールアップできるという利点を有しており、量子計算機中のデータ保存、転送の観点からは他の競合技術よりも優れた点を持っている。本プロジェクトを担当している NIST 研究者の Ray Simmonds は次のように述べた。「我々は量子情報システムのための新たな仕組みを試験した。我々は簡単な単一素子を使って、より多くの Q ビットを結合し、それらの間で情報を容易に転送できるようになったという意味で画期的である。この結果は、9 月 27 日の Nature に掲載された。Yale University により Nature に報告された結果(次の記事参照)とともに、今回、将来の超電導ベース量子プロセッサに基本機能とし

て要求される 3 つの本質的な動作を実証した。

情報の保存、伝送に加え、NIST の共鳴ケーブル (resonant cable) は、超電導 Q ビットのレフレッシュにも利用できる。さらに設計改良を行えば、NIST の技術は繰り返しのデータレフレッシュにも使用でき、Q ビットの寿命を 100 倍にも延ばせる可能性を持っている。この Q ビットの寿命は量子計算機メモリーの実現には十分な長さであり、一時記憶 (装置) としては実現可能性を十分秘めている。また、このケーブルは理論的には固体と光の間の情報とのやりとりにも使えるものと考えられ、量子計算機を非常に安全な量子通信システムに繋げることも可能かも知れない。

この研究は一部 Disruptive Technology Office の援助を得て実施された。

出典:

“Digital cable goes quantum”

National Institute of Standards and Technology press release (September 26, 2007)

http://www.nist.gov/public_affairs/releases/quantum_cable.html

Yale University (2007 年 9 月 26 日)

Yale University は、量子計算機実現に向け重要な 2 つの課題をクリアした。同大学では、量子計算機設計のための構成要素として、マイクロチップ形式の固体デバイスを使用する方法について研究を進めてきた。今回、超電導 Q ビットからのワイアを通じた要求に基づき光子信号を送信し、同じチップ上の離れた場所にある第 2 の Q ビットに信号を伝送することに成功した。この成功により、量子計算において情報を蓄積することから、情報を通信することへと進歩させた。これまでは、超電導システム上の情報を 1 つの Q ビットから隣接の Q ビットへ転送するに留まっていた。Yale University は、同じチップ上の離れた Q ビットで情報を蓄積し、伝送するのに使用可能な超電導通信バスを作り出すことに成功した。更に、同大学では継続して 1 個、1 個の光子を作り出すことのできる光子源の開発にも成功した。同大学ではこの成功は量子計算を有用なものとする第 1 歩と考えている。原理的には、この方法は多くのパーツを結合した将来のより複雑な多 Q ビットシステム量子計算機にも拡大応用可能なものである。この成果は Nature (9 月 20、27 日号) に掲載された。

出典:

“Yale scientists make 2 giant steps in advancement of quantum computing”

Yale University press release (September 26, 2007)

<http://www.yale.edu/opa/newsr/07-09-26-01.all.html>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2007 年 9 月 24 日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、Hunchun BaoLi Communication Co. Ltd. (BAOLI) と合弁企業設立のための条件書 (Term Sheet) に調印した。この合弁企業は、中国市場で STI 社の干渉低減ソリューションである SuperLink® の製造とマーケティングを行うことを予定している。STI 社は同社技術の排他的ライセンスを与え、BAOLI 社は製造と財務に責任を持つ。合弁企業は中国情報産業省や関連機関と協力して、SuperLink® 技術が China Telecom, China Mobile, Netcom, Unicom Railcom 及び Satcom によって使えるか否かの評価を行う。合意書では BAOli 社が合弁企業の 55 % を保有し、STI は残りの 45 % を保有する他、製品販売によるロイヤルティーを受け取ることになっている。両社は、2007 年末までに最終合意書に調印する予定である。BAOLI 社総支配人 QiangHua Shao は次のように述べた。「SuperLink の性能は既に実証されており、中国における生産によりコスト低減が図れることから、我々は中国の第 3 世代ネットワークに必要なソリューシ

ョンを提供していけるものと考えている。中国の通信市場は、隣接チャンネル間にガードバンドが設けられておらず、また、複雑な周波数配分（という問題）を抱えている。相互干渉を抑止し、基地局感度を上げることができる STI 社 SuperLink リューションは大きな利点を持つものである。」

出典:

"Superconductor Technologies Signs Term Sheet for Joint Venture With Hunchun BaoLi Communications"

Superconductor Technologies Inc. press release (September 24, 200)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1054844&highlight>

ISCO International, Inc. (2007 年 9 月 25 日)

ISCO International, Inc.は、RF2 製品ファミリーとして、新しい最先端のデュプレクサー・フィルターを発表した。この新たなデュプレクサー・フィルターは、米国主要 CDMA 事業者とともにフィールド評価を終了し、隣接周波数バンドからの干渉を保護する能力が画期的であることを確認している。この ISCO リューションは、優れた総合性能を持ち、他社の高価で複雑なソリューションを置き換えることになる。（フィールド評価を共同で行った）この顧客は既に 70 万ドル以上の新たなデュプレクサー・フィルターを発注している。これは 2007 年第 4 四半期に出荷予定である。

出典:

"ISCO International Unveils High Performance Duplexer/Filter"

ISCO International, Inc. press release (September 25, 2007)

<http://www.b2i.us/profiles/investor/ResLibrary.asp?ResLibraryID=21556&f=1&BzID=826&Nav=1&LangID=1&s=0&Category=135>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 11 月のトピックス

―山藤 馨氏、和田 仁氏、松下照男氏の 3 氏、超電導標準化関連で受賞―

山藤 馨氏（福岡工業大学 学長）は IEC（国際電気標準会議）1906 賞を、また和田 仁氏（東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授）及び松下照男氏（九州工業大学情報工学部 教授）は平成 19 年度工業標準化事業表彰経済産業大臣表彰を、それぞれ受賞した。

IEC（国際電気標準会議）1906 賞の伝達式並びに平成 19 年度工業標準化事業表彰経済産業大臣表彰式は、平成 19 年 10 月 15 日（月）虎ノ門パストラルホテル新館鳳凰の間で行われた。この表彰式は、平成 19 年 10 月 15 日から 16 日まで（財）日本規格協会が実施した「平成 19 年度標準化と品質管理全国大会 2007」に先立ち、経済産業省副大臣新藤義隆氏、産業技術環境局長石田徹氏、基準認証担当審議官廣田恭一氏、日本規格協会理事長島弘志氏、主婦連合会事務局長佐野真理子氏、日本工業規格調査会副会長正田英介氏等のご臨席のもとで執り行われた。

表彰式は、冒頭経済産業省副大臣新藤義隆氏の挨拶にはじまり、工業標準化事業表彰内閣総理大臣表彰 1 名、同経済産業大臣表彰 23 名、同済産業大臣表彰（団体）7 団体、国際標準化貢献者表彰産業技術環境局長表彰 21 名、国際標準化奨励者表彰産業技術環境局長表彰 13 名及び IEC1906 賞 27 名に対して、各賞の授与と IEC1906 賞の伝達が行われた。

今回受賞された山藤 馨氏は「IEC60050-815 並びに IEC61788 シリーズの国際標準化と国際規格化のための国際合意に関して、これらの円滑な推進への多大な貢献に対する功績」が、和田 仁氏は「IEC/TC90（超電導）/WG3（臨界電流）の国際コンビナーとして、VAMAS における研究活動と連携しながら IEC 規格の制定に尽力。また、臨界電流に関する国内委員会の委員長として新技術分野である超電導技術用語及び Bi 系酸化物超電導線の臨界電流試験方法の JIS 制定に関与するなど、高温超電導分野の標準化に多大な貢献」が、また松下照男氏は「IEC/TC90（超電導）/WG1（用語）のコンビナーとして、Nb-Ti 及び Nb₃Sn 超電導導体の残留抵抗比試験方法の標準化を進めるとともに、新たな分野である高温超電導材料並びに超電導製品にかかわる IEC 規格の開発に尽力。また、IEC 規格に整合して JIS 制定に貢献し、従来の超電導関連産業の発展のみならず新たな高温超電導関連産業の市場導入という経済波及効果に多大な貢献」が、それぞれ評価されたものである。



（編集局）

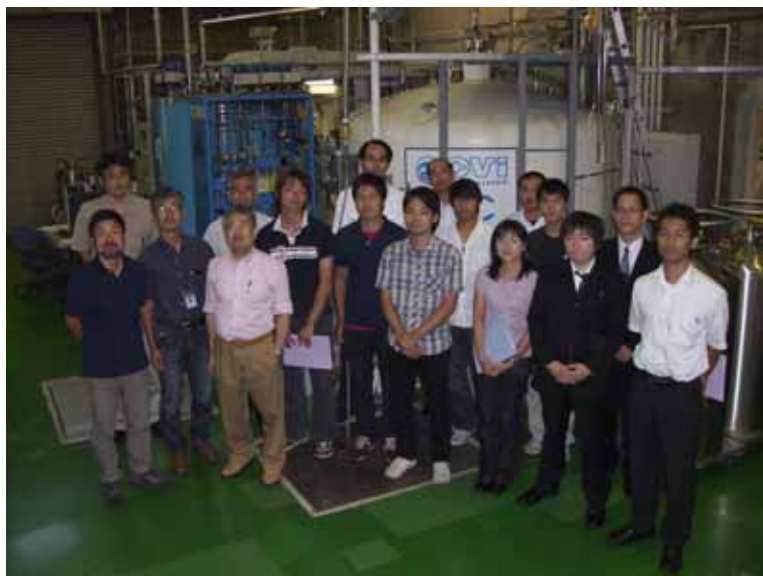
[超電導 Web21 トップページ](#)

第二回極低温技術スクール「計測技術、ヘリウム、超伝導に親しむ」開催報告

独立行政法人 物質・材料研究機構

材料ラボ／磁場共用ステーション

沼澤健則



第二回極低温技術スクール開催風景（筑波大学）

2007 年 9 月 21 日、つくば市にて第二回極低温技術スクール（低温工学会教育・セミナー委員会主催）が開催されました。本スクールではより実践的な技術教育に重点を置き、体験を通して極低温技術に関する理解と興味を深めることを目標としています。平易に記述されたオリジナルのテキストを用い、まず基礎知識の講習を行います。その後いよいよ実験装置を用いてデータを取得するとともに、必要に応じて解析も行い、知識が体験を通して理解できるように工夫しました。学生をはじめとする初心者のみならずベテランまでを対象としており、実際、ベテランの方々からは「知っていたつもりだったが実は初めての実験体験で、本当によく理解できた」と好評を得ています。また、開催期間を 1 日の日帰り可能な時間帯とし、講習費を個人でも気軽に参加できるものと設定しました（一般 5 千円、学生 3 千円）。この結果、12 名の方々が参加されました（一般 5 名、学生 7 名）。

今回のスクールは「計測技術、ヘリウム、超伝導に親しむ」を標題とし、午前中に低温計測の基礎と比熱計測技術、午後にヘリウムの液化と超流動ヘリウム、さらに新設された超電導の基礎について、絞り込んで行いました。比熱計測では産総研で開発された断熱法による高精度比熱測定装置を用い、その構造から実験操作までを実習しました。また、PID コントローラによる温度制御を実感してもらうために、温度制御装置、および温度計とヒーターを用い、各パラメータを変化させ最適値を求める実験と解析を行いました。

ヘリウムと超電導に関しては筑波大学の低温センターにて、実際の液化機を前にし、液化の方法から制御方法までを学びました。さらに、液体ヘリウムの注入や超流動ヘリウムの生成方法を実習しました。ガラスデューワーを用い可視化できるようにしたため、ヘリウムの液面の様子が手に取る

ようにわかり、特に噴水効果の実験には多くの方々が釘付けとなりました。また、超電導の実験では、高温超電導体を用いたデモによって超電導の本質に触れることが出来ました。

以上のように、第二回の極低温技術スクールもお陰様で盛況のうちに修了することが出来ました。極低温技術というのはクライオスタットを使うことが多く、中身を見ることができないため、いかに自動化された装置でも一度トラブルが起こるとその解決にはどうしても経験が必要となります。その意味で、実践的な技術をどのように伝えられるのかが、今後のテーマの一つです。例えば極低温実験トラブル集などは、面白い企画ではないかと内心想っています。このように魅力的な技術スクールを目指して内容の充実をはかる予定ですので、今後の皆様のご参加をお待ちしております。

[超電導 Web21 トップページ](#)

九州西日本支部「低温物性・超電導特性の測定法」報告

九州工業大学
情報工学部 電子情報工学科
准教授 小田部 荘司

低温工学協会九州・西日本支部では、大学や企業の若手研究者や技術者を対象として、毎年、超電導技術や低温工学の基礎を理解してもらうことを目的として若手セミナーを開催してきました。第 6 回目となる 2007 年度は 2007 年 9 月 25 日から 9 月 27 日の 3 日間で、北九州市の北九州国際会議場において、学生 20 名、講師 7 名、教員 7 名の合計 34 名の参加者で、「低温物性・超電導特性の測定法」というテーマのもと、講義、懇親会、工場見学などを行いました。

今回のテーマの「測定法」です。九州・西日本支部ではいくつものユニークな又は洗練された測定方法を使って低温工学・超電導工学の発展に寄与しているという実績があり、これを踏まえてこのテーマを決めました。測定方法はほぼ確立されて学会等での報告では、その原理原則や具体的な測定方法についてはあまり詳しいことを知ることはできません。この若手セミナーでの講義を通じて、測定方法の裏方や目的としていることなどを知ってもらうことを目標にして、各講師に講義をお願いしました。

初日は超電導体の損失測定の方法について九州大学の岩熊成卓先生と鹿児島大学の川畑秋馬先生に講義をいただきました。岩熊先生は鞍型ピックアップ法を完成させ、それにより高温超電導体の損失を幅広い温度、周波数、磁界領域において非常に精度よく測定できるように尽力されてきました。川畑先生はポインティングベクトルを直接測定することにより損失を測定するという難しい測定方法を紹介され、これまでにない特徴的な測定ができることを説明されました。九州工業大学の松下先生からはこれら 2 つの測定が本質的には同じであり、ピックアップ法では外部磁界が一定であることを前提に測定しているのだということを指摘していただきました。この後、恒例の参加者の自己紹介をグループごとに行っていただき、その後そのまま懇親会を行いました。若手研究者たちの交流に役立っていれば幸いです。

二日目はさまざまな測定方法が紹介されました。九州大学の波多聰先生からは電子顕微鏡について講義がありました。先生は透過型電顕の専門家ですが、走査型電顕についても解説してくださいました。原理や観察によって得られる画像を詳細にしかも非常に分かりやすく説明されたので、学会や雑誌で報告される画像の意味がはっきりと分かるようになりました。次に東北大学の西島元先生は東北・北海道支部との交流により講義に来ていただきました。九州・西日本では行われていない、機械特性について解説していただきました。結局機械特性が分からなければ、実際に超電導線を利用できないという、あたりまえのことをきちんと示され、その重要性、そして測定の難しさについて独特の語りで講義していただきました。午後には福岡工業大学の倪宝栄先生から Campbell 法による超電導体の電磁評価を講義していただきました。Campbell 法は微小交流磁界重畳法とも言われ、測定方法が若干込み入っているのですが、超電導体内の臨界電流密度以外にも得られる情報が多いのが特徴で、演習問題付の講義でした。佐世保高専の重松利信先生からはバイブレーション法による超電導体のピンニング情報の測定について講義をいただきました。先生は高専におられることから、教育面でも幅広く活躍されていることがよく知られており、超電導体を使い工夫された独特のデモについても紹介していただきました。最後に、九州大学の木須隆暢先生からは LTSLM (low temperature laser scanning microscopy), SEI (Seebeck effect imaging), SSM (scanning SQUID microscope) を駆使して総合的に得られる高温超電導体の電流制限因子の解明について講

義をいただきました。電顕に代表されるミクロスケールと、四端子法に代表されるマクロスケールの測定方法の間を埋めることができることから、これらの手法は大変注目されており、興味深い講演でした。

三日目は北九州市を代表する安川電機でのロボット工場見学でした。安川電機では 1978 年に最初の全電気モーター型の産業ロボットを出してから、特に自動車工場用の 6 自由度のロボットではリーディングカンパニーとしてよく知られています。最近では液晶 TV のパネル搬送ロボットなど、時代の要請に応えるロボットを次々と開発してきています。この工場見学では実際にロボットがロボットを作っているところを見学し、そしてゲームを通じて協調型ロボットの性能の高さを実感する体験コーナーなどを楽しむことができました。

参加者からのアンケートでは、「各大学でユニークな測定法が行われていることが分かり非常に勉強になりました。それと同時に、自分の知識のなさにも気付かされたセミナーでもありました。今後行われる学会等にも積極的に参加し、知識をより深めていきたいと心から思うことができましたので、非常に有意義な時間が過ごせたと思っています。」といった感想をいただきました。

三日間を通じて、無事にセミナーを終了できたのは参加者の協力があつたからです。またお忙しいところ快く講師を引き受けてくださった先生方には大変感謝しております。ここに謝意を表して報告とさせていただきます。

[超電導 Web21 トップページ](#)

「EUCAS2007」報告

【概要】

2007 年 9 月 17 日（月）～20 日（木）、ベルギー ブリュッセルにおいて EUCAS2007 (8th European Conference on Applied Superconductivity)が開催されました。2 年に 1 度の欧州における超電導に関するカンファレンスということもあり、46 カ国から 795 名の参加者があり大変盛況に行われました。国別の参加者では日本が 207 名で最も多く、次いでドイツ 99 名、英国 55 名でした。

会場となったブリュッセルエキスポは、ブリュッセルの中心部から 7～8 km、地下鉄を使って 15 分程度のところにあります。ブリュッセルエキスポは大変広い場所で、EUCAS2007 はその一部分を用いて行われました。ちなみにこの場所は、1958 年にブリュッセルで万博が行われた会場であり、今回の EUCAS2007 のシンボルにも用いられた鉄の分子の 1650 線倍の模型「アトリウム」がそびえ立っています。日本で言えば、大阪万博の「太陽の塔」といったところでしょう。

なお、EUCAS2009 は、2009 年 9 月 13 日～17 日ドイツの Dresden にて行われる予定です。



シンボルが掲げられた会場の入り口

【報告トピックス概要】

○Y 系線材開発競争

Y 系線材開発では日本とアメリカの開発競争が際立っている。日本からは SRL の和泉氏より Y 系線材開発プロジェクトの総括がなされた。フジクラが 304.8 A、368 m(112,166 Am)の世界記録を達成したことや、SRL、昭和に続き住友電工が 200 m、205 A を達成するなどプロジェクトとして多くの成果を上げている報告があった。一方、米国からは American Superconductor 社の発表で、Y 系線材を商材として供給することや、将来計画として幅広(10 cm)の線材を成膜した後カットすることで線材コストを下げるという発表が印象的であった。

○ケーブル・ネットワーク関連

アムステルダム 6 km 超電導ケーブルプロジェクトが公表された。2 変電所間を結ぶ既設 3 回線(150 kV ガスパイプケーブル)のうち 1 回線を 50 kV 超電導ケーブルにレトロフィットにて張り替える。NKT cables による 3 相同軸 Triax ケーブル、Praxiar によるパルス管冷凍機を採用する。2010～2011 年の運転開始を目指す。公的プロジェクトではなく、商用ニーズであると主張していた。他にもアメリカでの各超電導ケーブルプロジェクトについて多くの報告があり、ケーブルに関してはオングリッドすなわち系統連系が当たり前という情勢になってきている。

ケーブルに関連して、中国・韓国といったところでの超電導ネットワーク構想が提案されていた。特に韓国のソウル一帯 20 kV 超電導化は、かなり具体的にになってきた感がある。韓国の主張する超電導 3 点セットはケーブル・限流器・変圧器であり、特に限流器を重視している点が韓国の本気を感じさせた。

○限流器 他

上述の韓国からは、20 kV/600 A/3 相クラスの開発が進み、近々に 2 年間の実証試験が予定されているとの発表があった。また、東京電機大 柳父研から 7.2 kV/600 A-12.5 kA 級のテストデータが紹介された。限流動作時に、高速スイッチを常電導コイル電流にて直接駆動させる self-trigger な設計である。超電導限流器の特徴の一つは事故時に外部検出が不要（事故電流により自己のみで S/N 転移する）ということであり、高速スイッチを self-trigger とするのは理に適っている。この他にも、イギリス サウサンプトン大の HTS スwitch の発表で、「HTS 電力機器応用には HTS スwitch が必要」というキャッチコピーが目をつけた。「平常時に電流を流す」ことが電気屋の表の仕事なら、「事故時に電流を切る」ことは電気屋の裏の仕事である。スitch の動作にまで研究が及んできたということで、今回の EUCAS2007 は、超電導の電力機器応用における一つのターニングポイントと言えるかもしれない。

○モータ 他

回転機は、あまり目新しい発表は無かったが、アキシアル型の中小容量機の発表が多数あった。ラジアル型大容量機では、IHI/住友電工/福井大の 365 kW モータが目立った程度である。招待講演に立った Siemens (EUCAS2007 メインスポンサー) の Nick 氏からは「ラジアル型大容量機としては、船用モータが最有力だろう」とのコメントがあった。Siemens においても 4 MW/120-190 rpm 機の試験を 2009 年に計画しているとのことであった。

○エネルギー貯蔵

SMES は日本オンリーという状況であった。その日本のプロジェクトを代表して、中部電力 式町氏から 100 MW 級 SMES コイル設計に関する発表があった。

フライホイールについてはドイツから 50 kW/5 kWh 級実証プロジェクト(2005-2007)の成果報告があった。今後、本年 11 月には産業用途、具体的には UPS としてオンフィールド予定とのことであった。2008 年からは 400 kW/15 kWh 級へのチャレンジを始めるとのことであった。ヨーロッパでは短時間 (数十秒～1.2 分) の power fault すなわち供給支障が電力品質確保におけるメインテーマであり、この用途には超電導フライホイール UPS が最適のソリューションであるとの主張であった。これに対して、日本では短時間供給支障の発生率が極めて低く、電力品質の概念に入らないことが間々あるのと比べて、彼我の違いを感じた次第である。これについては、日本の電力会社にとって「供給支障」という単語は「電気工作物の損壊」と同じく由々しきものであって、冷静に電力品質として扱うことに大きな抵抗感があることも影響しているのだろう。

○電力機器分野全般として

ヨーロッパ学術研究の伝統は、基礎重視であり、裏を返せば応用軽視であろうかと思う。ASC(米国)や ISS(日本)に比べて、EUCAS は電力機器応用のセッションが極めて低調であった。機器応用動向調査のための出張者としては辛い限りであったが、日本はともかくアメリカ・韓国・中国からの参加者が極めて少ない状況では仕方なからう。今年 11/5-11/7 開催の ISS のほうが、機器応用の観点からは有益かと思われる。また、ヨーロッパでは



発表会場の様子

MgB₂ に対する関心が高いようである。機器応用分野でも、MgB₂ アプリケーションが散見された。今後の機器応用において、しばらくは Y 系中心の状況が続くとは思われるが、MgB₂ 動向についても注意が必要かと思われる。

○エレクトロニクス分野として

エレクトロニクス分野の報告は 161 件であった。内訳としてはアナログ応用(センサ、SQUID、マイクロ波)が 98 件に対し、デジタル応用に関する報告は 26 件であった。エレクトロニクス関係については、一言でいえば日本は基礎から応用まで幅広く進めており、米国はどちらかといえば応用が中心であり、逆に欧州は基礎的な研究に特化している傾向にある。

エレクトロニクスで件数が多かったのは SQUID である。プレナリでは UCB の Clarke 教授が SQUID 技術の現状を紹介するとともに、現在開発を進めている μ T 領域での NMR や MRI の紹介を行った。量子ビットの読み出し回路への応用や、axon と呼ばれる暗黒物質の検出への応用、さらには μ T MRI と MEG の組み合わせによる新しい医療機器への応用など、幅広く紹介してくれた。SQUID に関しては非破壊検査、医療応用、バイオ応用など幅広く研究が行われているが、Clarke 教授の影響のためか、 μ T の SQUID MRI の研究が盛んになってきている。LTS だけでなく HTS の SQUID を用いた実験も行われている。たとえば、イルメナウ工科大学では地磁気を利用して HTS-SQUID を用いた NMR の研究を行っている。また、HYPRES は磁界の変化に対応して SFQ パルスを発生させるデジタル SQUID を開発している。

○マイクロ波応用

STI の Robert 氏が超電導フィルタの開発現状について招待講演として報告した。STI 全体で約 100 名が働いている。HTS フィルタを導入した基地局では携帯電話の電力が 3.2 dB 少なくすむようになり、また接続中断 (Dropped call) の割合が 28 %減少した。これまでの累積販売台数は約 6,000 台である。しかし台数の年次変化を見るとここ数年の伸びが少なく、飽和傾向にあることが気がかりである。チューナブルフィルタでは 716.75 MHz $\pm$ 3.9 %を開発中であり、その他にも、帯域が 1,100-1,300 MHz および 2,050-2,250 MHz、NF(ノイズ指数)が 0.5 dB のフィルタを開発している。次世代のフィルタは寸法が 3 $\times$ 5 $\times$ 11 インチになり、重量 5 ポンド、消費電力が 30 W になるだろうと述べた。

○デジタルエレクトロニクス

デジタルエレクトロニクスは日本が完全にリードしている。筆者は日本の現状を紹介し、エレクトロニクス分野以外の欧米の研究者にも日本の技術レベルの高さを理解してもらった。デジタルエレクトロニクスのオーラルセッションでは 5 件中 3 件が日本、2 件がドイツという構成であった。名大の藤巻教授が招待講演としてプロセッサ技術を紹介した。ポスターセッションでは約 20 件の報告があった。ここでも半数近くが日本からの発表であった。ポスター発表の中からいくつか紹介する。HYPRES は Nb 接合のプロセス評価について発表した。直列接続したジョセフソン素子のグランドコンタクトに近い 1 個の接合がいつも他の接合より I_c が大きくなる。グランドコンタクトから接合までの距離を離すと影響が少なくなる。これは途中のプラズマプロセスによるものだろうと推定していた。ドイツの IPHT からは European FLUXONICS network というグループで共同利用しているファンドリ技術の紹介をしていた。接合の J_c は 1 kA/cm² であり、いろいろなセルライブラリ (DC/SFQ、TFF、DFF、など) を利用できるようにしている。回路規模は 4 ビットカウンタや 4 ビットシフトレジスタが動かせる程度である。米国では HYPRES 社がファンドリサービスを行っているが、欧州でもこのファンドリを多くの研究機関が利用している。超電導エレクトロニクスの広範な普及のためには、このようなファンドリの存在が不可欠であることを再認識した。イル

メナウ工科大学は 4 K で動作する HEMT を用いた SFQ と半導体回路とのインターフェイスを作り、12 GHz で動作させていた。また、南アフリカのステレンボッシュ大学から 4 件の発表があった。聞けば、ナノテクノロジープロジェクトの一環として 10-15 名ほどが SFQ 技術の研究を行っているとの事であった。

ドイツのアウグスブルグ大学の Mannhalt 教授はプレナリで新しい超電導エレクトロニクスの物理とデバイスという内容の講演を行った。その中で、 $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ の超格子構造によって 2 次元電子ガスを利用すれば、HEMT のような高速デバイスが可能になるのではないかという提案を行った。

単一光子検出器や TES (Transition Edge Sensor) などの検出器関連の報告も 20 件ほどあり、これらの分野の研究が盛んになりつつある印象を受けた。

【最後に】

ブリュッセルといえば、世界遺産「グラン・プラス」、小便小僧、チョコレートなどが有名です。カンファレンスでは、ロゴの入った水色のリュックサックが配布されましたが、このリュックサックを背負った参加者を街の中心部で多く見かけることができました。

(ISTEC 総務部部長代理 藤原 昇)
(ISTEC 調査企画部 山田順弘)
(SRL/ISTEC 特別研究員 蓮尾信也)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

高温超電導の謎に迫る（その 6）

東京大学
大学院理学系研究科
教授 内田慎一

連載の最後は、超電導臨界温度 T_c の話で締めくくろうと思う。これまで高温超電導のメカニズムの謎について述べてきた。メカニズムが未解明なのに T_c を議論できるのかという疑問は当然ある。高温超電導の舞台は CuO_2 面であり、 CuO_2 面は、La 系であろうと Y 系であろうと殆ど同じなので、 T_c は各ドーピング量に対して唯一つに決まっているはずである。しかし、現実の銅酸化物の T_c は、物質により大きく異なり、各物質の T_c の最大値は 20 K から 135 K の間に分布している。明らかに、 CuO_2 面の外の環境が T_c に大きな影響を与えているのである。幸いにも、メカニズムに比べ、 T_c がどのような因子で決定されているのか、かなりわかってきている。従って、 T_c を決める因子が CuO_2 面の電子状態にどのような影響を与えているのかを探ることは、メカニズムの解明に有効な方法でありうる。更に、 T_c 決定因子を理解することは、 T_c を向上させるための方策にもつながるであろう。

6.1 T_c の決定因子

BCS 超電導機構の T_c を決める主なパラメーターは、フォノン周波数 (ω_0)、電子-フォノン結合の強さ (λ) である。フォノンとの結合が弱い場合、 $T_c \sim \omega_0 e^{-1/\lambda}$ と書け、電子-フォノン結合が強い場合も含めた、より精密な関係式 (McMillan-Rowell) も知られている。現実の物質の T_c を理論的に予測することは難しいが、原理的には可能である。 T_c は超電導ギャップの大きさと直接結びついている。

高温超電導においては、これまで知られている T_c の決定因子は極めて多数にのぼる。 CuO_2 面に直接関係あるものとしては、(1) ドーピング量、(2) 超流動密度 (ρ_s)、(3) CuO_2 面の枚数、(4) 面内の乱れ (Zn 置換)、(5) 相競合 (ストライプ秩序) がある。しかし、実は (4) の面内乱れを除くと、これらの因子は面外の状況変化によりもたらされている。面外の状況を決めるのは、(6) CuO_2 面外の乱れ、(7) 頂点酸素の位置、(8) La や Sr 等の金属のイオン半径など、結晶化学に関連した因子であることがわかっている。

フォノン BCS 超電導体の場合との大きな違いは、超電導ギャップよりも超流動密度が T_c を支配するパラメーターになっていくことである。同位体効果は T_c ではなく、 ρ_s に現れ (その 1)、アンダードープ領域では、 T_c はギャップの大きさとは無関係に、 ρ_s に比例して増大する (Uemura 関係式として知られる、図 1)。

ρ_s はクーパー対の密度なのでドーピング量とは密接な関係にある。ドーピングは CuO_2 面外の原子への化学操作により行われるが、特に CuO_2 面に隣接する頂点酸素を含む原子層 (頂点酸素ブロック) へのドーピング等による乱れの導入が ρ_s そして CuO_2 面の電子状態に大きな影響を与えることがわかってきた。この乱れは不純物として CuO_2 面の電子 (正孔) の運動を乱す。しかし、(その 5) で述べたように、不純物散乱としての効果は T_c に影響を与える程強くはない。STM の観測から、超電導と他の相 (擬ギャップ相) との競合状況がこの乱れによって変化していることがわかってきた。La 系において、La の一部を同じ希土類元素の Nd に置き換えると、ストライプ相が誘

起されることが知られている（その 2）。La 系以外でも、頂点酸素ブロックの乱れが競合相の勢を強めているのである。Nd³⁺ のようにイオン半径の小さな元素が La の位置を占めると、頂点酸素の位置を局所的にずらし、CuO₂ 面の電子状態を変化させると推定されている。

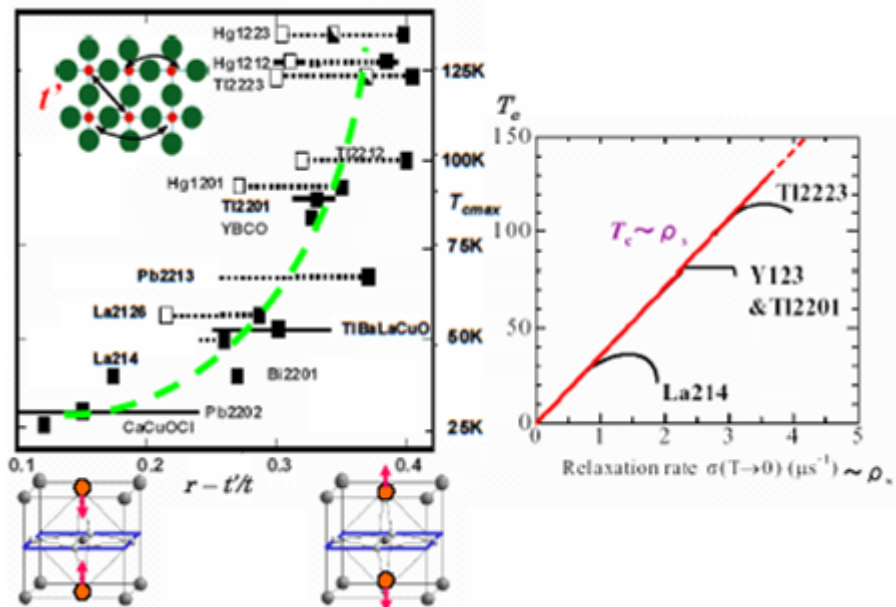


図 1 高温超電導体の T_c と電子パラメーター t' 及び p_s との間に見られる相関。 t' は電子が CuO₂ 面上の隣りあう Cu 原子間を飛び移る確率を表わすパラメーターで、頂点酸素の距離が増大する程、負の大きな値となる。

CuO₂ 面の枚数を増やすこと（多層系）は、イオン半径の小さな Ca や Y の導入によって行われる。一般に、CuO₂ 面の枚数 n が増えると $n=3$ までは T_c が増大するが、 n が 4 以上になると減少を始める（図 2）。減少の理由は、内側の CuO₂ 面が頂点酸素から離れているため正孔が入り難く、ドーピング不足、従って p_s が小さくなるからである。この傾向は T_c が最大になる $n=3$ でもみられる。更に、 $n=3$ においても T_c には物質間で差が見られる。次に述べるように、この差も CuO₂ 面外の頂点酸素の位置に関係しているのである。

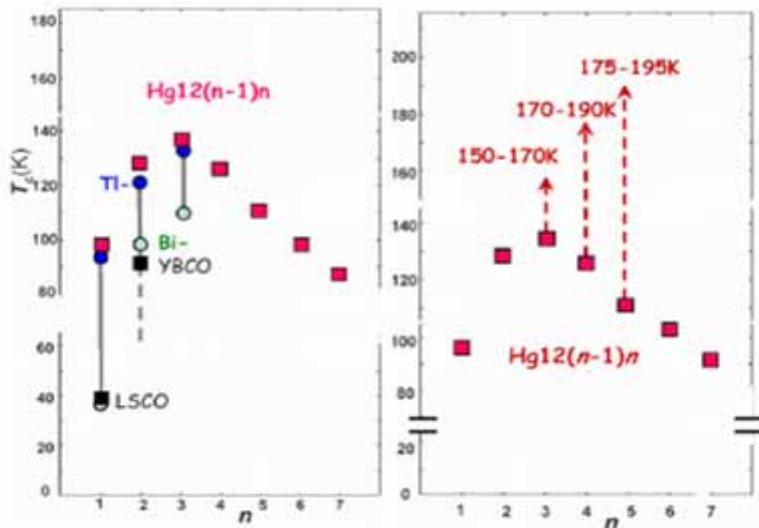


図 2 多層系の T_c と CuO₂ 面の枚数 n との関係。他の多層系の T_c は Hg 系よりも下に来る（左）。右は、内側と外側の CuO₂ 面のドーピング量のアンバランスを縮小させ、頂点酸素の距離を増大させたときに推定される T_c の上昇。

6.2 T_c を向上させるには？

上に述べたことに、 T_c を向上させるためのヒントが 2 つ含まれている。1 つは、結晶乱れを少なくすることである。典型例として Bi 系物質 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$) を挙げると、 CuO_2 面外で乱れを含んでいる原子層 (ブロック) は 3 種類ある (図 3)。BiO ブロックには過剰酸素 ($\delta \sim 0.2$) が存在し、 CuO_2 面に正孔を供給するドーパントであると同時に、BiO ブロックの結晶格子を乱している。Ca ブロックも Ca が欠損したり、他の元素と置き換わったりして、乱れている。しかし、両ブロックの乱れが T_c に与える影響は微小であることがわかっている。

CuO_2 面の電子状態と T_c に目に見える影響を与えるのは、頂点酸素ブロック (SrO ブロック) である。この乱れの主因は Sr^{2+} のイオン半径が小さいことにある。SrO 格子にすき間が多く、 Bi^{3+} イオンを呼び込み易いのである。分析では、Sr サイトの 5 % 程が Bi イオンに置き換わっているという結果が出ている。これが Bi 系物質の T_c に影響を与えていることは疑いなく、実際、 CuO_2 面一枚の $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ (Bi2201) の T_c が異常に低い ($T_c < 40 \text{ K}$) 理由はここにある。従って、物性実験の試料や線材等の材料として用いられている 2 層 (Bi2212)、3 層 (Bi2223) の Bi 系物質の T_c は、本来の T_c よりも低くなっていると考えられる。

では、どうすれば Sr サイトの Bi を追い出すことができ、 T_c をどこまで上げることができるのであろうか？ Bi2212、Bi2223 に対しては有効な方法が見つかった。Ca ブロックの Ca の一部を Y に置き換え、更に BiO ブロックの Bi をできるだけ Pb に置き換えれば良いのである。このような操作を施すと、

通常 $T_c = 90 \text{ K}$ の Bi2212 の T_c を 100 K 近くまで上昇させることができる。Bi2223 に対しても同様な操作が有効で、 T_c を 125 K 近くまで向上させることができると予測される。

同じ多層系である、Tl 系や Hg 系物質では、このような乱れの影響は小さいか、殆ど存在しない。イオン半径の大きな Ba^{2+} を含む BaO が頂点酸素ブロックになっているからである。一層 ($n=1$) 物質の T_c を比較すると、この事がわかる。Bi 系 (Bi2201) の T_c は最高でも 40 K にしかならないのに、Tl 系や Hg 系の $n=1$ 物質の T_c は何もしなくても 90 K を越えている。

一方、頂点酸素ブロックの乱れを極力減らした Bi2212 の T_c の値は、同じ二層の Hg 系物質の $T_c = 128 \text{ K}$ に比べかなり低い。乱れ以外に、 T_c に影響を与えている因子があることは明らかである。その有力な候補として頂点酸素の CuO_2 面からの距離が挙げられている。よく知られているように Hg 系では、頂点酸素の位置が CuO_2 面から最も遠くに離れている。更なる事実として、Hg 系の T_c は圧力を加えると著しく上昇することが知られている。例えば、 $n=3$ の物質の T_c が圧力下で 164 K まで上昇するという実験結果がある。圧力で頂点酸素の距離が伸びることが T_c 上昇の一因と考えられている。

多層化そのものが T_c を向上させる方法の 1 つであるが、その T_c を更に上げる方策も見えている。1 つは、頂点酸素の位置を CuO_2 面からできるだけ離すこと、2 番目は内側の CuO_2 面のドーピング不足をできるだけ解消することである。今のところ、具体的な方法は見つかっていないが、実現すれば $180\text{-}190 \text{ K}$ まで T_c が上昇すると筆者のグループは予測している。(図 2)

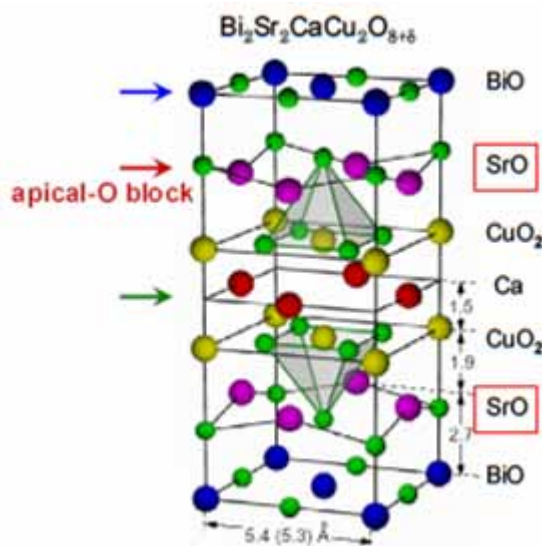


図 3 典型的な銅酸化物 (Bi2212) で結晶乱れが入り易い 3 種の原子ブロック。

6.3 おわりに

高温超電導の謎を解くということは、クーパー対形成のメカニズムと何故 100 K を越える高温まで超電導状態が安定なのかを理解することである。残念ながら、発見後 21 年たった現在、我々研究者が巡り着いたのは本連載で記したところまでである。 T_c が何故高いかについては、「電子のスピン、電荷そしてフォノンのエネルギースケールが大きいからであろう」という域を未だ脱け出していない（その 4）。電子間に働く強い斥力を利用して「擬ギャップ相」をつくり、超電導相とうまく競合・共存させて、超電導状態を安定化させているのだろうということは想像できるのだが（その 5）。

超電導物質開発の最終目標が常温超電導の実現だとすれば、銅酸化物がその先頭にいることは確かである。観測される超電導ギャップの大きさ（ $\Delta_0 \sim 50$ meV）は既に室温超電導スケールであり、 $T_c = 135$ K（あるいは 164 K）が銅酸化物の T_c の上限であるという理由も無い。謎の先に常温超電導が見えてくることを夢想せずにはいられない。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：電力系統における負荷変動補償はなぜ必要なのでしょう？

A：電力市場の自由化の進展や地球環境対策などの自然エネルギーを利用した分散型電源（太陽光、風力発電等）の普及拡大、電圧変動が大きく電力系統の安定性に影響を及ぼす負荷の増加等により、電力系統の安定度や電力品質の低下が懸念されています。一方で、最近の情報通信技術の進展及びコンピュータや電子機器の普及に伴い、電力系統の安定化や電力品質の維持はますます重要になっています。

分散型電源の影響として考えられるのは、風力発電における周波数変動の影響があげられます。風力発電は自然の条件に出力が影響されるため、風力の変動により連系している系統周波数が変動します。風力発電が集中している箇所においては、系統への影響が出てくる事があります。

また、電圧変動の大きいものとしては、鉄鋼などの圧延工場、新幹線などの電気鉄道などが挙げられます。鉄鋼プラントなどは負荷が短時間で大きく変動するため、電圧フリッカなどの影響が生じます。電圧フリッカの現象としては照明等のちらつきや工場設備の起動不良、コンピュータや電子機器の誤動作や故障などがあげられます。新幹線などの電気鉄道においては、パワーエレクトロニクスを利用したインバータ制御方式であるため、制動時に電車の運動エネルギーを電気エネルギーに変換し架線に戻す（回生制御）際に、電圧上昇が生じます。

これらの設備の増加により対策を実施しなかった場合、電力系統の安定性や電力品質の低下が深刻化する事態となり、半導体メーカーなどを始め多くの工場、企業等へ多大な影響が及ぶこととなり、生産性や品質の低下、価格上昇など社会への影響が考えられます。

そのため、最近では超電導電力貯蔵装置（SMES）、ナトリウム硫黄電池、鉛蓄電池などの二次電池、フライホイール、電気二重層キャパシタなど、さまざまな電力貯蔵設備が開発されています。

特に、SMES については、大電力を瞬時に制御可能、貯蔵効率が高い、繰り返し使用に強いなど優れた機能を持ち、負荷変動補償をはじめ電力系統の安定化や電力品質の維持などにも高い性能を発揮できることが期待されています。そのため、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託事業「超電導電力ネットワーク制御技術開発」として、今年度、栃木県日光市の古河日光発電（株）細尾発電所に 10 MVA/20 MJ SMES を設置し、負荷変動補償性能試験を実施しており、実用化に向けた検証が行われています。

回答者：ISTEC 調査企画部 伊東 隆

[超電導 Web21 トップページ](#)