

掲載内容 (サマリー):

バルク超電導体の応用研究の現状
超電導関連 11 月-12 月の催し物案内
フライホイール電力貯蔵とは
フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発の現状
テクノフェア 2002
GJCC (日独) HTS ワークショップの成果
ドイツにおける超電導応用研究開発の状況
超電導関連製品ガイド - 超電導関連計測機器及び部品 -
新聞ヘッドライン (9/20-10/18)
超電導速報 - 世界の動き (2002 年 9 月)
標準化活動 11 月のトピックス-IEC/TC90 超電導国際会議(ウイーン会議)準備はじまる-
低温工学協会材料研究会より
応用物理学会報告
特許情報
隔月連載記事 - 超電導量子コンピュータの実現に向けて (その 6 最終回)
読者の広場(Q&A) - 超電導が環境技術のどのようなところに役立つのでしょうか?

[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。

バルク超電導体の応用研究の現状

1. はじめに

バルク超電導体は、高温超電導体のかたまりのことで、ここでは $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (RE:希土類元素)系超電導体のことを指す。低温超電導においても、バルク形状での応用が考えられたが、その熱的不安定性のために実用には至っていない。

高温超電導体では高温で超電導応用が可能になったことでバルク形状の超電導応用が実現した。高温超電導体はセラミックスであるため、加工性に劣るうえ、元素数が多いため、その制御が非常に難しいという問題を有する。

バルク超電導体製造においては、プロセス開発によって、これら問題がクリアできたので、特性の制御が可能となり、応用開発が活発化している。

バルク超電導体の応用分野は大きく3分野に分類される。そこで、それぞれの分野での応用研究の現状を簡単にまとめてみた。

2. 浮上応用

バルク超電導体を利用した応用のキーポイントは、無制御で安定浮上が可能であるという点につきる。浮上させる技術は数多く存在するが、ピン止め効果のおかげで、安定浮上できるのは唯一バルク超電導浮上だけである。

この応用で、現在さかんに研究が進められているのが、本特集号でも紹介されているエネルギー貯蔵用のフライホイールである。超電導を利用すれば、回転損失を大幅に低減できるために、長時間の貯蔵が可能になる。最近では、機械式フライホイールも電池に変わって、かなり普及してきているが、やはり回転損失の低減が可能であるという利点は重要である。

米国では、コンピュータのバックアップ電源への適用が提唱されている。日本では、主に変電所に設置して昼夜間の負荷平準化を目的として大型フライホイールの開発が進められているが、小型モデルで実績を積むことも重要であろう。

また、浮上を利用したものとして半導体の搬送や、物流への応用が検討されている。中国では、図1に示すように、なんと5人乗りの磁気浮上カーをつくってしまった。これは、Fe-Nd-B磁石製のガイドレール上にバルク超電導体を液体窒素で冷却したものを搭載した車両が浮いている。レール方向にはほとんど摩擦がないので、簡単なりニアモータ駆動で前後に自由に動かすことができる。国による事情の違いもあろうが、江沢民国家主席まで試乗したようで、国を挙げて支援する体制が整いつつある。



図1 中国の西南交通大学が開発した、バルク超電導体の磁気浮上を利用した5人乗りマグレブ。Fe-Nd-B磁石をガイドレールとしている。(西南交通大学パンフレット)

3. 磁石応用

バルク超電導体が有する能力を有効に活用するという観点では、磁石応用が最も適した応用である。浮上応用では、外部の磁場源を頼っているため、その出力がバルク超電導体の能力のかなり低い部分しか使っていない。

一方、磁石応用では、超電導体のピン止め力をすべて有効に活用している。このため77Kでは3Tを超

え、30K では15T に達する能力を発揮できるのである。このような強磁場を発生するバルク磁石というものが過去に存在しなかったため、超電導線材や超電導デバイスのように、低温超電導における応用という見本がない。よって、強磁場利用という立場から応用開発を進める必要がある。

そこで、アイシン精機とイムラ材料開発研究所は図2に示すようなバルク超電導磁石の磁場を利用できる装置開発を行った。研究用の磁場発生装置を提供するというアイデアはバルク超電導応用の一里塚として重要であろう。

一方、バルク超電導磁石の利点を見事に活かした応用例としては、日立製作所が開発した水浄化用磁気分離装置であろう。従来の水浄化用磁気分離装置では、分離をフィルターを使って行っている。しかし、フィルターに付着した汚濁物質を洗浄する必要があるため、その作業が必要であった。バルク超電導磁石を利用したタイプでは、磁石はフィルターに付着した汚濁物質をフィルターから引き離すのに利用する。このため、フィルターは常にきれいな状態が保たれるうえ、バルクを利用すると高濃度の汚泥が分離できるため、効率も高いという利点を有する。

また、最近、名古屋大学のグループがマグネトロンスパッタリング装置の永久磁石のかわりに、バルク超電導磁石を利用することで高性能薄膜を製造できる可能性を示し、実際に装置開発を行っている。

以上のように、バルク超電導磁石応用に関しては、アイデア次第で新しい産業応用を開拓する可能性がある。

4. 導体応用

バルク応用のひとつとして、高温超電導発見当初から、電流リードに応用しようという研究がさかに行われている。実際に、冷凍機冷却による超電導マグネット運転が可能になったのも、高温超電導リード開発のおかげである。ただし、機械特性が劣るという欠点のために、ハンドリングにかなりの注意が必要である。

また、現在電流リードとして主要な材料はBi-Sr-Ca-Cu-Oであるが、この材料系では磁場中の臨界電流が低いため、磁場をシールドあるいは、磁場源から電流リードを遠ざける必要があった。

一方、RE123系材料では磁場特性に優れるが、すでに紹介したように機械特性に問題があった。この問題は、図3に示すように、エポキシ樹脂含浸法で解決することができた。最近では、疲労試験などによって、樹脂含浸 RE123 バルク電流リードは、磁気浮上列車の浮上超電導コイル用の電流リードとしても利用可能であることが明らかになり、鉄道総合技術研究所で本格的な開発が始まろうとしている。



図2 アイシン精機が販売を開始したバルク超電導磁石を利用した磁場発生装置。自由空間に3T程度の磁場を発生できる。開発はイムラ材料開発研究所と名古屋大学が共同で行った。

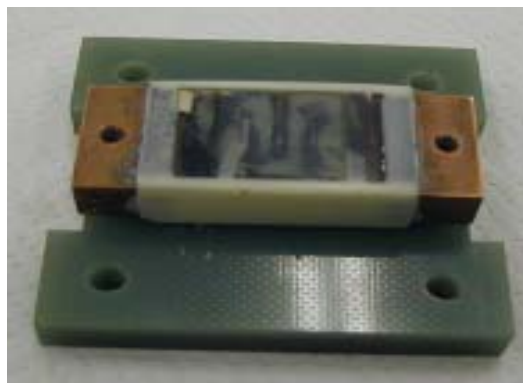


図3 エポキシ樹脂を含浸して強化したバルク超電導リード。磁気浮上列車搭載を想定した試験を行う予定である。
(鉄道総研富田優氏提供)

5. おわりに

バルク RE123 系超電導材料は、超電導応用の基本である臨界電流向上と大型化という第一関門をプロセス技術の改良によって突破し、第二関門であった機械特性の向上に関しても、エポキシ樹脂含浸法で解決することができた。さらに樹脂含浸により耐食性も向上するというおまけまでついてきた。これら技術開発によって、ようやくバルク超電導材料を、本格的な産業応用に結びつける下地ができたことになる。すでに、紹介したように、いくつかの産業応用は動き出しているが、アイデア次第では、さらに面白い応用が飛び出す可能性が大きい。今後も楽しみな分野である。

(SRL/ISTEC 第1・3 研究部長 村上雅人)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 11月-12月の催し物案内

11/11-13

15th International Symposium on Superconductivity (ISS 2002)

場所：パシフィコ横浜（横浜市）
（主催 ISTECS）

11/14-15

第3回韓日応用超電導・低温工学ワークショップ

場所：ソウル（韓国）
（共催 韓国超電導・低温工学会、低温工学協会）

11/15-16

第3回磁気分離研究開発に関するワークショップ

場所：東京都立大学国際交流会館
（主催 磁気分離研究会、共催 物質・材料研究機構、岩手県地域結集型

共同研究事業、学術振興会未来開拓渡辺プロジェクト）

11/17-19

第11回国際超電導産業サミット（ISIS-11）

場所：京王プラザホテル（東京）
（主催 ISTECS、共催 CSAC, CONECTUS）

12/2-6

MRS Fall Meeting

場所：Boston, MA
（主催 MRS）

12/20

第3回超電導応用研究会「超電導技術の輸送分野への応用」

場所：山梨実験センター
（主催 低温工学協会）

祝 スーパーコム発刊10周年！！

超電導情報研究会による「超電導コミュニケーションズ (SUPERCOM)」の発刊10周年をお祝い、ISTECによる「超電導 Web21」とともに益々発展することを望みます。

スーパーコムの Web サイト：

<http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/>

超電導 Web21 の Web サイト：

<http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>

[超電導 Web21 トップページ](#)

フライホイール電力貯蔵とは

株式会社 四国総合研究所
負荷平準化・電力利用研究部長
石川文彦

フライホイール電力貯蔵とは、電気エネルギーをフライホイールの回転エネルギーの形で蓄える技術を指す。

フライホイールは弾み車のことであり、エンジンなどの回転機械装置に取り付けて一時的に機械エネルギーを蓄える手段として古くから馴染みがある。フライホイール電力貯蔵システムでは、電気と機械エネルギーとの間の相互変換のためにフライホイール回転軸に電動/発電機を連結し、電力の貯蔵/放出に伴ってフライホイールを加速/減速させる。実用例としては、小さなものではコンピュータの無停電電源装置(0.1kWh程度)が、大きなものでは核融合試験装置用電源(1,000kWh程度)などがある。しかし、これらは全て機械式軸受を用いているために、その摩擦によるエネルギー損失が大きく、エネルギーを取り出せる時間(発電時間)は高々、分オーダーまでの短い用途に限られている。

この欠点を解決するために研究開発されているのが、超電導フライホイールである。高温超電導バルク体が持つ強力な磁束ピン止め力を利用した超電導磁気軸受でフライホイールを浮上させることにより、機械式軸受を排して非接触化を図ることができ、時間オーダーのエネルギー貯蔵においても貯蔵効率を80%以上にできる可能性がある。なお、超電導フライホイールという用語は、まだ学術的に統一されたものではないが、「超電導浮上を利用したフライホイール電力貯蔵システム」という意味を込めて超電導フライホイールと略称することが多くなっている。

超電導フライホイールの特長は、軸受の非接触化によるエネルギー貯蔵効率の向上以外に、フライホイール高速化によるエネルギーの高密度化がある。フライホイールに蓄えられるエネルギーは、重量を W 、回転数を R とすれば、理論的に $W \times R^2$ に比例するので、貯蔵エネルギーを大きくするには重量よりも回転数を上げる方が効果的である。そこで、高速化が可能な超電導フライホイールのフライホイール材料には、専ら CFRP(カーボン繊維強化プラスチック)が使われる。それによりフライホイールの重量を軽くでき、超電導フライホイールの特徴をより発揮させることができる。

超電導フライホイールの研究開発は、イットリウム系高温超電導材の発見とその製法の発明を契機にして1991年頃から国内外で始まった。現在は、kWh級の試作に成功して10kWh級の開発を競っている段階である。100kWh規模が開発されれば、出力が1,000kW級の無停電電源装置などに利用でき、さらに10,000kWh規模になれば電気事業の日負荷平準化用へと用途が広がる。高温超電導バルク体の磁気浮上応用の試金石となることが期待されている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発の現状

フライホイール電力貯蔵は、エネルギー貯蔵密度が高い、高速繰り返し充放電が可能、有害廃棄物がなく環境にやさしいなどの利点を有し、電力の負荷平準化や負荷変動補償システム、データセンターなどの無停電電源への応用が期待されている。機械軸受や磁気軸受を利用した従来システムは、回転損失が大きく待機時における電力消費が大きいこと、また磁気軸受のみでは載荷力が不十分のために大型化が難しい等の難点をもつ。載荷力と回転損失に革新をもたらす技術として登場したものが、高温超電導バルク体と永久磁石を組み合わせた超電導軸受である。フライホイール電力貯蔵システムに適用可能な超電導軸受の実現を目指して、その技術開発が通産省(現経産省)・NEDOのプロジェクトとして1995年に開始され、2000年度より第2フェーズが進められている。これには、ISTECのほか四国総研、IHI、光洋精工、住特金、イムラ材研の5社が参加し、産総研の協力を得ている。

このプロジェクトでは、フライホイール電力貯蔵システム用として大型化に適したラジアル型超電導軸受に関し、載荷力向上、回転損失低減、クリープ低減等の技術開発に取り組み、100kWh級フライホイール電力貯蔵システム用超電導軸受の技術的見通しを得ること、また、10kWh級の超電導フライホイール電力貯蔵試験装置を実際に作製して、運転試験を行うことによりシステム要素技術課題を明らかにすることを目的としている。

軸受要素技術の研究としては、現在、YBCOバルク固定子およびNdFeB永久磁石回転子から成る10kWh級のラジアル型軸受モジュールの作製、評価を行っている。載荷力については、目標値である77Kにおいて 10N/cm^2 に対し約 8N/cm^2 、回転損失は目標値 2mW/N に対して 2.5mW/N の値が得られている。磁束クリープによる軸降下に関しては、過冷却や予荷重という方法がその抑制に有効であることを明らかにしている。

10kWh級運転試験機については、CFRPフライホイールを含む約400kgの回転体を15,000rpm以上で回転させる計画であるが、このように重い回転体を高速で回転する際に生じる振動の制御や機械強度が課題である。磁気軸受を使用した中型回転試験機を用いて試験を重ね、フライホイールの重量アンバランスの改善、軸制振に使用する制御磁気軸受の磁極や制御方法の工夫により高速安定回転の見通しを得た所である。現在、2003年度における10kWh級運転試験機の製作・試験に向けて、装置の詳細設計、構成部品の作製を進めている。

(「フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発」PL、SRL/ISTEC 盛岡研究所長代理 腰塚直己)

[超電導 Web21 トップページ](#)

テクノフェア 2002

2002年10月3、4日、中部電力(株)技術開発本部(名古屋市緑区大高)で、テクノフェア 2002(主催 中部電力)が開催された。台風の影響により開催が1日遅れとなったが、電力関係者を始め、技術に興味を持つ一般の方々の入場も多く盛況であった。展示は、仮設のテーマパビリオン、各研究棟、本館棟それぞれで行われ、中部電力(株)の研究開発について精力的に出展されていた。

超電導関係では、瞬低用 SMES、超電導軸受けフライホイールの展示およびモデル実演、磁気冷凍装置試作機の展示の他、液体窒素によるバラの花冷凍、サイコロ大の超電導バルクの磁気浮上、リニアモーターカーに見立てた磁気浮上のプラレールは超電導を触って実感できる楽しい企画もあり盛況であった。超電導体を用いた人間浮上実験の浮上用円盤に乗ってみると、バランスが難しいかと心配したがスムーズに回転し安定していて驚いた。

専門的なものでは、超電導バルク体、高温超電導コイル、磁気冷凍、SMES等の試作品、実物が展示されていた。超電導を広く理解してもらうことが出来たのではないかと思う。

最近の関心を反映してテクノフェア全体として、環境・リサイクルに関連した展示や、研究成果を商品化したものの展示に力を入れている印象を受けた。

(ISTEC 調査企画部 安部秀行)



[超電導 Web21 トップページ](#)

GJCC (日独) HTS ワークショップの成果

2002年9月30日、10月1日に開催された本ワークショップは、日独両政府が合意した技術協力で、外務省が管轄する日独ハイテク・環境技術協議会の事業の一環として実施されたものである。

1996年以来、環境技術、情報技術、ハイテク分野において、専門家会議、シンポジウム、ワークショップ(以下WS)合わせて17回開催されている。

ハイテク分野における超電導技術に関しては、2000年10月にISTECが事務局となり東雲の超電導工学研究所を会場として「高温超電導材料研究の現状と展望」と題したWSが開かれた。

今回、ドイツ側の強い要望で、超電導技術に関する第2回目のWSとしてドイツのカールスルーエ研究センターで開催された。日本側の代表委員は一原嘉昭氏(東京電力 顧問)。

1日半にわたる発表と討論のテーマは、研究政策(1/3) 導体とMgB₂開発(2/3) エレクトロニクス/産業応用(2/3) バルク応用(1/1) 冷却技術(1/1) 電力応用(2/4)。

()内数字の上段はドイツ側発表件数、下段は日本側発表件数。日本側発表が15件に対してドイツ側は9件。

今回のWS開催の主旨はオリジナルな研究成果の発表にとどまらず、研究から産業化に至る問題を深く議論することであった。しかし、産業化への道筋という非常に難しい内容については各発表者が意識していることは窺えたが、議論するには十分な時間がとれなかったというのが印象である。

研究教育省のDollinger氏によれば、政府は超電導技術の応用に重点を置き、そのため産業界が自力で技術開発する方向に持っていきたいとの意向で、来年から国の研究費が削減される。このような背景もあってか、ドイツでの超電導開発は必ずしも活発とは言えない。市場が大きくなるとも実用化できるものから作り上げていくという精神が強く出ていたように感じられた。例えばJENAにあるIPHT(Institute for Physical High Technology)ではSQUID関係のSupracomというベンチャーを作り構内で使用させるとか、JeSEF(Jena Superconductive Electronics Foundry)を構内に設置しニオブ薄膜のファウンドリとしての役割を果たす等している。Siemens社はHTSモータを2006年に船舶用に向けて商用化するという明確な目的を持って開発を進めている。その後の展開も十分視野に入れている。'92年に設立されたCryoelecta社は、特徴ある基地局用フィルターの開発を行っており、市場進出を虎視眈々と伺っている姿勢が感じられた。会社が小さいので、小さな市場からでも参入するという考えである。バルク関係では、これも小さな会社であるATZ社(Adelwitz Technologiezentrum GmbH)からY系に白金または銀を添加して特性向上を図り超電導ベアリングの開発を行っているという報告があった。この目的はフライホイール応用の他、高速回転光学デバイス、半導体応用等を視野に入れている。Accel社は'93年にSiemens社から独立した会社で、加速器用装置製作を重点的に開発・営業している。

以上のように、ドイツにおいては小規模の会社が小さな市場からでも特徴を持って参入している様を感じることができた。一方、我が国では小規模企業が超電導産業に係わっている例はないし、大企業は大きな市場しか見ていないというところに超電導の普及が遅れている原因があるのではないかと感じられた。正田先生(東京理科大)のご講演にあったように、既に技術としてスタンバイしている超電導ケーブルなどは直流配電に適用できるし、トランスの技術はSMESに適用可能である。問題は誰がこのような市場に意欲をもって参入するか、またそのための仕組みはどんな形のものか、考えさせられるWSであった。

(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上 徹)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ドイツにおける超電導応用研究開発の状況

2002年9月30日、10月1日の日独WSに引き続きドイツにおける主要な超電導開発機関を見学した。見学先は、研究機関として、カールスルーエ研究センター、IPHT(Institute for Physical High Technology; イエーナ)。民間企業では、ブルーカー社(カールスルーエ)シーメンス社(エルランゲン)、アクセル社(ベルギッシュ-グラッドバッハ)、バキュームシュメルツ社(ハナウ)の6機関。

研究機関:

(1) カールスルーエ研究センター

NMR用と核融合用の高磁場超電導マグネットの開発が主。NMRでは2~3年後を目途に25T(1GHz以上)マグネットの完成を目指している。NMRマグネット用テストファシリティとしてMTA装置がある。解像度0.2Hz、時間安定性10Hz。Bruker社との強い連携で開発を進めている。

材料開発は、YBCOの開発とBi-2223テープの低損失化及び大電流化を目的に開発している。Bi系のこれはEUのACROPOLISプロジェクトの一環として進めているものである。

(2) IPHT

バルクとSQUIDを中心とした薄膜関連の研究開発が行われている研究機関で、大学ではない。薄膜関係では、Nbのプロセスラインを持つ研究機関で、これだけでも実用化を強く意識していることが分かる。研究内容は、()高温超電導フィルター ()電圧標準 ()SQUID応用機器。フィルターは臨界温度の高いタリウム系、水銀系膜を用い、既に米国で市販されている携帯電話基地局用フィルターと差別化することを考えている。電圧標準では、SIS接合を19,700個用いた10V標準と8,192個用いた1V標準を開発し、簡単な磁気シールドで安定動作を示していた。SQUID応用では低温超電導グラディオメーターを使った心磁計で、これもシールドルームを必要としない簡便な方法で測定できることをデモしてくれた。その他考古学への応用として、地中に埋まった古代の城壁跡から発生する磁場を測定することにより、形状を観測する方法を開発していた。また、構内にSupracomというベンチャーを作りSQUIDセンサーなどを製作している。

バルク応用では、1回に16個のY系バルク体(38×38×17mm)を大気中で作製でき、77Kで1Tの捕捉磁場性能が得られている。バルク体の大型化には接合方法を採用し、接合面にTm-123を用いている。応用として、フライホイール電力貯蔵システム(10kWh)を試作中である。また、オズワルド社等との共同研究で、バルクモータ(150kW)を開発中である。

民間企業:

(1) Bruker Biospin 社

1960年にEPR用マグネットを作ったのを皮切りに78年には全身用MRI、82年には質量分析計、83年に全自動NMRなどを製作し、95年には超電導マグネットを用いたEPRを製造販売している。Bruker社を3つの会社に分け、X線装置を担当するAXS社、磁気共鳴装置を担当するBiospin社、及び光学装置を担当するOptic社となっている。見学したBiospin社には3,000人が働いている。ドイツには1,400人、あとはスイス、フランス、米国である。カールスルーエと共同で900MHz機を開発している。ここの哲学はコア技術を持つことが重要と考え、その技術は超電導システム技術、デュワー技術及びシムコイル、補正コイル及びプローブ技術などである。

(2) Siemens 社

全社の研究開発費は6.8BEUROで売り上げの7.8%に相当する。6.8BEUROの内4%は本社負担。ここでも情報通信関係に研究費の多くが配分されている。R&Dに従事する人は56,100人で、この内23,300人が外国にて勤務。

エネルギー部門では固体燃料電池、固体高分子型燃料電池、超電導及び低温、トランスデューサー・システム、電気化学、プラズマスイッチング等を担当。将来の描像として、電力関係では高効

率、CO₂削減、インテリジェント送配電、分散電源の新技术等を考えている。エルランゲンにあるこの工場は、20,000人が在籍し、Siemens社の中でも有力な事業所のひとつで、ここには製造部門はなく、マーケティングリサーチ等の部門がある。超電導に関しては、Neumüller氏を筆頭に25人ほどが従事している。超電導MRIは年間3BEUROの売り上げでSiemensの占有率は25%。超電導材料ではVacuumschmelze社と強い関係にある。

ここで進めている超電導関係の開発は、

()限流器：サファイア基板(100mm)上のYBCOを用いた1MVAのモデル機。将来のコストターゲットは298EURO/MVA。kAm当たり100EUROのYBCOを使ったとしたら、1,580EUROと予測され、成立しない。材料費は全体の25%以内でないと商品にならないという考え。

()変圧器：用途は、電力用と鉄道用を考えている。鉄道用は重量、大きさ、環境(オイルレス等)で有利で、とりわけ重量は重要な因子で、2倍になっても5~6年先には元を取り戻せるとしている。また、通常の車両の床下に横置きで設置できるのも特徴。これには高信頼性のために鉄心を冷却するcold iron core conceptを採用している。

1MVA,50HZ。Bi-2223/Ag/AgMg 導体長は6.8km(重量54kg) 65K運転を考えている。テスト結果は良好で、今後コンバータと連携した運転テストを実施予定。導体コストとして20EURO/kAm以下が必須としている。

()モーター：開発の当面の目的はフィージビリティデモでプロトタイプ製作ではない。

仕様は380kW@1,500rpm。ローター表面には1.1Tの磁場がかかる。導体長9km。

冷却はNeの2層流。見学時はローターをステータから抜き取りローターのみの調整作業を行っていたので、回転しているところは見ることができなかった。

(3) Accel Instruments 社

93年にSiemens社から独立した会社で、ライン河のほとりのテクノロジーパーク(ケルン)に位置する場所にある。従業員160人で年間売り上げ20MEURO。もともとは高エネルギー加速器用マグネットを主に開発・製造している会社で、見学時にはLHC用双極マグネットの巻き線中であった。超電導を用いたライナック(TESLA) 四極マグネット、空洞共振器、タンパク質解析用X線ビームライン等多くの加速器用マグネットを手がけている。また、住友重機の2段冷凍機(一段35W@50K、二段1.5W@4.2K)を用いた再凝縮方式のSMES(2MJ)を開発している。更にドイツ研究教育省の援助を受けて10kV、800A用の限流器も製作中であった。

また、核融合用ITERのコイルシステムの最終アSEMBルも担当している。

(4) Vacuumschmelze 社

99年にMorgan Crucible社に吸収されたが本業は溶融炉と真空装置の製造会社で、01年の売り上げは3,192MEUROで、従業員は3,122人の規模の会社である。随分以前からNb-Tiを中心とした超電導線材の製造を行っているが、超電導は主力商品ではなく、電力変換器や情報通信用部品が主力である。見学時はNb-Tiを中心とした線材が巻かれた巻棒が所狭しと積み上げられていたが全てMRI用とのことで、線材はMRI装置の中間製品であるため利幅は小さいそうである。

この会社はY系線材の開発には手を着けておらず、高温超電導では専らBi-2223テープ線材の開発が中心である。長尺連続Ic測定の様子を見学した。特性は、幅4mm、厚み0.2mmのテープでIcは75Aが標準的な性能である。コストは現在250EURO/kAmであるが、将来的には、電流値で3倍、プロセスで1/3を目標にコストを現状の1/10にしたいとKrauth氏は述べていた。

以上、ドイツにおける超電導開発機関6カ所を見学した感想は、小さな会社がニッチな分野からでもとにかく事業にしようという姿勢を強く感じたことと、カールスルーエやIPHTのような公的機関と連携を強くして事業化を進めるという戦略が徹底していること、更に公的機関も事業化を十

分に意識して協力しているということであった。

1,000km以上に及ぶバスでの移動は大変疲れたが、学ぶところが多く、かつドイツ側のアレンジも大変行き届いていた。有意義な見学会であった。

(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上 徹)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイド

- 超電導関連計測機器及び部品 -

電圧計測器

ケースレーインスツルメンツ株式会社
2182 型ナノボルトメータ、2002 型スーパーデジタルマルチメータ、2002 型 DMM 用ナノボルトブリアンプ、7001 型スイッチングシステム本体、7168 型 8ch ナノボルトスキャナカード
担当：マーケティング内山、Tel:03-5733-7555
Fax:03-5733-7556、e-mail:info.jp@keithley.com
URL:<http://www.keithley.jp> (日本語)
<http://www.keithley.com> (英語)

温度センサー・温度計測機器

株式会社東洋テクニカ
キャパシタブリッジ 2700A 型、温度コントローラ 331 シリーズ、AC レジスタンスブリッジ 370 型
担当：汎用計測機器営業部 Tel: 03-3279-0771
Fax: 03-3246-0645、e-mail:gpi@toyo.co.jp
<http://www.toyo.co.jp>
仁木工芸株式会社
Cryogenic Control Systems 社製高精度温度コントローラ Model62, Model84, Model32, Model32B
担当：低温機器グループ Tel:03-3456-4700
Fax:03-3456-3423、<http://www.kagaku.com/niki>
日本オートマテック・コントロール株式会社
モデル 9700 高性能温度コントローラ、酸化ルテニウム温度センサー（磁場中使用可）モデル RO600&RO105
担当：理科学システム部 守屋
Tel:03-5434-1600、Fax:03-5434-1630
e-mail:nacc-toc@xa2.so-net.ne.jp

データ収録システム

ケースレーインスツルメンツ株式会社
2701 型インターネット対応マルチメータデータ収録システム、2700/2750 型スイッチ/測定システム
担当：マーケティング内山、Tel:03-5733-7555
Fax:03-5733-7556、e-mail:info.jp@keithley.com
URL: <http://www.keithley.jp> (日本語)
<http://www.keithley.com> (英語)

電源関連機器

ケースレーインスツルメンツ株式会社
2400 型シリーズソースメータ、6430 型超ワイドレンジ電流源
担当：マーケティング内山、Tel:03-5733-7555
Fax:03-5733-7556、e-mail:info.jp@keithley.com
URL: <http://www.keithley.jp> (日本語)
<http://www.keithley.com> (英語)

クライオスタット関連機器

株式会社ジェック東理社
LHe&LN₂ 各種クライオスタット、サブクール LN₂ 循環冷却システム、He フリーSCM クライオスタット
担当：本社・工場 Tel:049-225-7555
Fax:049-225-7558
日本オートマテック・コントロール株式会社
NMR 用クライオスタット、トップロードクライオスタット
担当：理科学システム部 守屋
Tel:03-5434-1600、Fax:03-5434-1630
e-mail:nacc-toc@xa2.so-net.ne.jp

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (9/20-10/18)

IHI 極低温ヘリウム冷却設備 CERN 向け 1 基完成、9/24 電気新聞
糖尿病性足病変 MRI 使い早期発見 GE 横河 滋賀医大と診断技術 9/26 日経産業新聞
かまぼこ・木工・超伝導 豊富な人材生かせ 技術者や「出前授業」ものづくり魅力紹介 10/1 朝日新聞
中部電力 テクノフェア、きょう開幕 明日を拓く新技術テーマに 10/2 電気新聞
中部電力・東芝 磁気冷凍システム開発 永久磁石で室温冷凍実現 10/3 電気新聞
電力業界の技術開発 安定供給を支える技術開発 電力貯蔵など 9 テーマ 中電協中心に 電力各社が共同研究 10/3 電気新聞
「私学の励み “舞の海” だよ」青山学院大学秋光純教授 10/3 日本工業新聞
風力発電出力安定化装置 IHI エネルギー・プラント事業本部 電力変動を平準化 フライホイールと電動発電機を組み合わせ 10/3 電気新聞
超電導にびっくり 小田原の小学校 研究者が実演授業 10/4 神奈川新聞
超電導で電力貯蔵 中電、12 月から実証実験 10/4 日経産業新聞
ふれ合い広場 楽しい科学実験 10/5 読売新聞
科学用語にも流行「常温超電導」「高温超電導」??? 認知度、マスコミ掲載で左右 10/6 毎日新聞
最軽量金属のリチウム「最も高温で超電導」阪大が確認 10/11 日経産業新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】 超電導速報 世界の動き (2002年9月)

電力

American Superconductor Corporation (2002年9月4日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国ボストン連邦地裁が同社に独占的に供与されている Massachusetts Institute of Technology(MIT) の高温超電導ワイヤーに関する基本特許を支持し、その範囲を確認した。

この裁判所の決定の重要なところは特許の範囲であり、この特許は銀のような金属と接触する高温超電導複合体のいかなるものにも適用される。ASC 社及びその競合社は現在製造している高温超電導ワイヤー及び現在開発中の新たなワイヤーにおいてこのような構造を採用している。

同特許発明者及び ASC 社社長 Gregory J. Yurek は、「この特許は材料組成に関わる基本特許であり超電導体と接触する銀等の金属を使用する全ての超電導複合体ワイヤーに適用される。」と述べた。さらに付け加えて、「高温超電導複合体及び金属(noble metal) を使う限り、ワイヤーをどのように作るか、最終的なアーキテクチャーがどのようなものかは問わない。本特許はこれらを網羅している。」と述べた。裁判所の決定は、ASC 社 の市場における立場をより確固たるものにした。

同社は、さらに、過去2年間に46の米国特許及び20の外国特許を受けたと報告した。

(出展)

“Court Ruling Strengthens American Superconductor Patent Estate in HTS Technology” (American Superconductor Press Release, September 4, 2002)

<http://www.amsuper.com/press.htm>

American Superconductor Corporation (2002年9月15日)

American Superconductor Corporation と Electricité de France は、ASC 社 の開発した電力制御システムを Altis Semiconductor 社が設置したと発表した。目的は、製品に悪影響を及ぼす電力変動を防止するため。Altis Semiconductor 社 の Didier Lamouche 社長は、「電力品質に起因する不確定要素により生産が中断されることは許容できない。ASC 社の電力制御システム(PQ-IVR)により、製造工程に有害であり、工場の効率を低下させる電力変動を抑止することができるようになる。」と説明する。設置された電力制御システムは ASC 社の SMES 技術を応用したものである。このシステムは、Altis 工場における 7MW の電力システムを保護し、生産に用いられる電力の 30%をカバーする。このシステムは Electricité de France が 2000 年に購入し、設置前に入念な試験が行われてきたものである。

(出展)

“American Superconductor Power Quality Solution Installed at Altis Semiconductor to Improve Productivity”
American Superconductor Corporation Press Release (September 15, 2002)

<http://www.amsuper.com/press.htm>

Intermagnetics General Corporation (2002年9月19日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC)は、2003年度第1四半期(2002年8月25日締め)の純収入が370万ドル(1株当たり21セント)に増加したと発表した。前年同期は、360万ドル(1株当たり21セント)。同期の純販売高は3520万ドル。前年同期同販売高は4010万ドル。

同社社長 Glen H. Epstein は、「我々の厳密なコスト管理により、売上が比較的軟調であったにも関わらず相応の収益が得られた。予想通り、2002年第4四半期に比べて売上は低下したものの、継続的なコスト

管理により年間のみならず 4 半期の利益増を報告することができた。Operating Profit は 15%とこれまで最高である。」と述べた。

Epstein 社長は、さらに付け加えて、「利益改善により、研究開発投資を従来の対売上高 9%から 10%に増加させることができた。」と語った。

(出展)

“Intermagnetics Reports Q1 Net Income Increases to \$3.7 Million” (Intermagnetics General Corporation Press Release, September 19, 2002)

<http://www.prnewswire.com/micro/IMGC>

Pearl Street, Inc. (2002 年 9 月 23 日)

Pearl Street, Inc.は、“Energy Storage: The Sixth Dimension of the Electricity Value Chain”という報告書を出した。同報告書では、エネルギー貯蔵は、今後 15 年間で米国経済に 1750 億ドルの効果があると述べている。同社社長 Jason Makansi は、「エネルギー貯蔵は電力の品質を向上させ、再生可能エネルギーを電力システムに投入することを可能にする。また、同時に既存の発電、送配電システムの生産性を向上させ、電力市場の効率とセキュリティの向上に資する。」と語った。報告書は、SMES やフライホイールを含む主要なエネルギー貯蔵技術、既存の施設及び現在の市場の売れ筋について記述している。報告書の概要が必要な方は、Richard Baxter 氏 (rbaxter@pearlstreetinc.com) に連絡されたい。

(出展)

“Energy Storage Projected to Have \$175 Billion Positive Impact on US Economy According to Pearl Street’s New Energy Storage Executive Briefing Report”

Pearl Street, Inc. Press Release (September 23, 2002)

[http://www.pearlstreetinc.com/Energy%20Storage%20to%20Have%20\\$175%20Billion%20Positive%20Impact%20on%20US%20Economy.htm](http://www.pearlstreetinc.com/Energy%20Storage%20to%20Have%20$175%20Billion%20Positive%20Impact%20on%20US%20Economy.htm)

American Superconductor Corporation (2002 年 9 月 30 日)

American Superconductor と電力システム製造会社 Bridex Technologies Pte. Ltd.は、販売契約を締結したと発表した。その内容は、Bridex Technologies Pte. Ltd が ASC 社の電力品質保証システムを、日本を除くアジア太平洋地域に販売するというもの。この契約に含まれるのは、D-VAR™, D-SMES 及び PQ-IVR™システム。ASC 社社長 Greg Yurek は、「この契約は、わが社にとって戦略的に重要である。これにより、世界で最も工業生産が伸びている地域に販売網を広げることができる。」と述べた。

(出展)

“American Superconductor Announces Distribution Agreement with Leading Asia-Pacific Power Systems Integrator”

American Superconductor Corporation Press Release (September 30, 2002)

<http://www.amsuper.com/press.htm>

医療

National Institute of Neurological Disorders and Stroke (2002 年 9 月 5 日)

脳磁計は、母体にある胎児の脳が光にどのように反応するかを調べるのに使われてきた。この技術を使えば母体の条件次第で起こりうる胎児の脳の障害を調べ、これを防止することもできる。SARA (SQUID Array for Reproductive Assessment)という名前で知られるこの装置は、SQUID を用いて胎児の脳が作り出す磁場を検知する。National Institute of Neurological Disorders and Stroke により資金提供されたこ

の研究結果は、The Lancet の 9 月 7 日号に掲載される。

(出展)

"New device detects fetal brain response to light: May help prevent brain damage"

NIH/National Institute of Neurological Disorders and Stroke Press Release (September 5, 2002)

http://www.ninds.nih.gov/news_and_events/index.htm

通信

Superconductor Technologies Inc. (2002年9月12日)

Superconductor Technologies Inc.は、主要製品である SuperFilter ®が延べ 2000 万時間のフィールド運転時間を超えたと発表した。1997 年に始まり、今日までに SuperFilter は米国をはじめとして全世界で 1600 台と、無線通信の業界で最も広く用いられている高温超電導体関連製品である。昨年だけで、1000 万時間の運転時間を加えた。

(出展)

"STI'S SuperFilter ® Surpasses 20 Million Hours of Field Operation In Wireless Base Stations Worldwide"

Superconductor Technologies Inc. Press Release (September 12, 2002)

<http://www.prnewswire.com/micro/SCON>

Superconductor Technologies Inc. (2002年9月17日)

Superconductor Technologies Inc.は、新たな HTS-Ready™ Duplexer 850 Series HP を発表した。これにより、市場で入手可能なシステムの中で最低の挿入損で最大の信号が取り扱えることになる。新しいデュプレクサーにより、地上局の効率を最大限度引き出せるようになる。次世代ネットワークをサポートするため通信事業者は既存のインフラの性能向上を図っており、多くの事業者がアンテナの統合等のためにデュプレクサーを設置しようとしている。」と STI 社製品マネージメント担当副社長 Neil Fenzi は語った。同氏によれば、The Duplexer 850 Series HP は市場で大きく伸びている高出力デュプレクシングに直接対応するものであり、ネットワークプランナーやデザイナーに効率的で高性能なネットワーク展開に当たっての新しい自由度を与えるものである。HTS-Ready™ Duplexer 850 Series HP は 2001 年に市場に投入され、200 万ドル以上、全米 800 の地上局に使われている。

(出展)

"Superconductor Technologies Inc. Announces General Availability Of HTS-Ready™ Duplexer 850 Series HP"

Superconductor Technologies Inc. Press Release (September 17, 2002)

<http://www.prnewswire.com/micro/SCON>

Superconductor Technologies Inc. (2002年9月19日)

Superconductor Technologies Inc.は、現在最も小型で最も消費電力の低い極低温受信システムを搭載した SuperLink™ Rx 850 を発売した。これは現在広く使用されている SuperFilter ®の次世代バージョンである。米国通信業者の何社かはこの新製品に強い興味を示している。この製品は 10 月出荷予定。製品には、極低温に冷やされたローノイズアンプを搭載し、鉄塔を新たに付加することなくネットワークパフォーマンスを劇的に改善する。この新製品は、従来の the SuperFilter II の半分の大きさで、消費電力は 1/3、ノイズ・フィギュアも低い。

(出展)

News Source:

"Superconductor Technologies Inc. Expands SuperLink™ Rx Family Of Wireless Solutions With Introduction of SuperLink Rx 850.

Superconductor Technologies Inc. Press Release (September 19, 2002)

<http://www.pnewswire.com/micro/SCON>

核融合

Massachusetts Institute of Technology (2002年10月1日)

Massachusetts Institute of Technology の技術者は、150 トンの電磁石を開発した。これにより、将来のエネルギー源である核融合に一步近づいた。しかしながら、その試験結果のより深い理解が必要である。これによりさらなるコスト削減も可能になり、最終の目標である International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) に使用する 925 トン磁石も実現できる。米国議会は最近 ITER に大きな関心を寄せており、DOE は、再度 ITER に参加すべきであるという勧告を出している。(1999年 ITER 計画は、研究開発の継続が決定されたものの、米国は不参加。)

(出展)

"150-ton magnet pulls world toward new energy source"

Massachusetts Institute of Technology Press Release (October 1, 2002)

<http://web.mit.edu/newsoffice/nr/2002/magnet.html>

(ISTE C 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

IEC/TC90 超電導国際会議（ウイーン会議）準備はじまる -

IEC/TC90 超電導委員会は、来る 2003 年 2 月 24-26 日オーストリアのウイーンで開催予定の IEC/TC90(超電導)国際会議（略称ウイーン会議）に向けて準備作業を開始した。

平成 14 年 9 月 13 日平成 14 年度第 2 回 IEC/TC90 超電導委員会技術委員会において、ウイーン会議に向けて、現在審議中の進捗報告に加えて新たにつぎの 4 項目の資料提出が暫定的に承認され、同資料の作成を開始することとなった。

現行 10 規格のメンテナンス体制提案並びに改正構想案

- IEC60050-815:2000 超電導関連用語
- IEC61788-1:1998 Nb-Ti 複合超電導導体の直流 I_c 試験方法
- IEC61788-2:1999 Nb₃Sn 複合超電導導体の直流 I_c 試験方法
- IEC61788-3:2000 ビスマス系酸化物超電導導体の直流 I_c 試験方法
- IEC61788-4:2001 Nb-Ti 複合超電導導体の残留抵抗比試験方法
- IEC61788-5:2000 Nb-Ti 複合超電導導体の銅比試験方法
- IEC61788-6:2000 Nb-Ti 複合超電導導体の室温引張試験方法
- IEC61788-7:2002 超電導導体のマイクロ波帯域表面抵抗試験方法
- IEC61788-10:2002 複合超電導導体の臨界温度試験方法
- IEC61788-12:2002 Nb₃Sn 複合超電導導体の銅比試験方法

超電導製品規格構想提案書並びに試験方法等製品規格補完規格化項目提案書

第 1 順位製品規格項目（Nb-Ti 複合超電導導体、Nb₃Sn 複合超電導導体、超電導電流リード、冷凍機冷却型超電導マグネット）提案書並びに関連補完規格項目提案書。ただし、これらの製品規格については、いずれも今後規格原案作成の主体となる内外企業の協力が不可欠であり、資料作成に先立って企業の合意を取り付ける必要性が指摘されている。

改訂超電導標準化ロードマップ

国家プロジェクトとの一体的活動、各 WG 活動等国内標準化活動報告書

これらの資料を各 WG、各委員会並びに事務局が協力して 2003 年 1 月末までに作成し、2003 年 2 月 5 日（予定）国内技術委員会において最終確認されることになっている。

（ISTEC 標準部 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学協会材料研究会より

低温工学協会主催で平成 14 年度第 2 回材料研究会・第 3 回低温工学北支部合同研究会が、2002 年 9 月 5-6 日古河電工保養所鬼怒川荘において開催され、26 名が参加した。また、研究会終了後東京電力今市場水式発電所にて見学会も行われた。

研究会は、「高温超電導合成技術の展望と特性改善」をテーマとしたつぎの 8 件の報告と特別講演が行われ、活発な意見交換が行われた。

- (1) 磁場中凝固した Bi 系超電導体の異方性 永田明彦 (秋田大学)
- (2) 高 Jc Bi-2212 線材の開発と評価 小泉勉 (昭和電線)
- (3) Bi-2223 超電導線材の高性能化 兼子哲幸 (住友電工)
- (4) ビスマス 2212 系 ROSAT 線材及びコイルの特性・最近の進展から 岡田道哉 (日立研究所)
- (特別講演) 古河電工の超電導研究 木村昭夫 (古河電工)
- (6) Y 系高温超電導線材の線材化合成技術 尾鍋和憲 (フジクラ)
- (7) RE123 熔融凝固体の磁場印加効果 堀井滋 (東京大学)
- (8) TFA-MOD 法による Y 系超電導線材作製プロセスの開発 和泉輝郎 (ISTEC)
- (9) 強磁場 CVD 法による YBCO 膜の組織と機能制御の可能性 淡路智 (東北大学)

高温超電導合成技術のトピックスとして、合成プロセスにおける磁場効果と TFA-MOD 法の長尺化プロセスを挙げることができる。前者で、磁場効果は高温超電導体結晶の磁化率異方性、外部磁場の強さの自乗及び結晶サイズに比例し、界面エネルギーに対する磁気エネルギーの大きさに支配されること、Bi-2212、RE-123 など単相熔融凝固反応が支配的なプロセスでは磁場効果があること、Bi(Pb)-2223、(211)分散 RE-123 など添加元素や異相混合系の合成プロセスでは磁場効果が不確定であることなどが明らかにされた。後者で、LaAlO₃(100)単結晶基板(10x10mm)上での TFA-MOD 法による厚膜(0.9 μm)において得られた高特性(Jc=3.1MA/cm²、Ic=280A/cmw)を長尺 IBAD 金属基板に実現するための研究開発が行われていること、Y-123 多層厚膜の成長速度が水蒸気圧の平方根に比例しフッ化水素濃度に支配される機構を解明したこと、短尺材における低水蒸気分圧(2.1vol%)指針を反映し線材長手方向の水蒸気分圧分布を確保するために水蒸気を線材の横方向から流す長尺線合成プロセスを考案したこと、この結果長尺 IBAD 金属基板上で Ic=165A/cmw 達成が見込めることなどが明らかにされた。

特別講演において、古河電工の超電導は 1963 年から 39 年間の歴史を有していること、現在の主力超電導製品はヨーロッパの国際プロジェクト LHC 向け撚線型 Nb-Ti 超電導導体(100t 製品を世界 6 社の一つとして分担)と NMR 用高性能 Nb₃Sn 超電導導体(Jc>1kA/mm²、12T、4.2K)であること、超電導発電機技術研究開発、超電導電力貯蔵システム技術開発、核融合研究所 SMES などプロジェクト向け LTS 導体を開発中であること、超電導応用基盤技術開発及び交流超電導電力機器基盤技術研究開発プロジェクト向け HTS 導体並びにケーブルシステムを開発中であることなどが報告された。

研究会後、有効貯水量 620 万 m³の栗山ダム(上部ダム)と今市ダム(下部ダム)との有効落差 524m を利用した今市場水発電所を見学した。この発電所は、岩盤を繰り抜いた地下式発電所に世界最大級のポンプ水車(36 万 kW)発電電動機(39 万 kVA)3 基を備えており、最大総合出力 105 万 kW を誇り、昼夜電力変動の調整と電力系統安定化に寄与するものであった。

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

応用物理学会報告

線材・薄膜プロセス分野

平成 14 年秋季応用物理学会が新潟大学で開催された。ここでは特に線材・薄膜プロセス関係を中心にトピックスを紹介する。

Y 系線材の超電導特性に関し九大の木須らのグループからフジクラの IBAD 線材に関して、ピンニング力の解析、極低温レーザー顕微鏡による局所超電導特性、クリーブ理論からの不可逆磁界特性および E-J 特性、 J_c 角度依存性等と包括的な発表があった。中でもレーザー顕微鏡によりレーザー照射によるトランスポート特性の変化から、特性のゆらぎや局所 J_c 分布を求める手法はオンラインモニタリングへの応用が期待され興味深い。

電中研の一瀬らは減圧酸素処理フッ化バリウムプロセスによる膜のトランスポート測定の結果を発表した。良好な J_c -B 特性を示し、自己磁場下 J_c は 4-6 MA/cm² に達している。

線材をターゲットとした TFA-MOD 法による塗布熱分解法の研究が盛んである。SRL の寺西等は多層塗布により IBAD 基板上に 171A を得ている。荒木らは 10MA/cm² を超える J_c を単結晶基板上に再現性良く得ることに成功しており、その条件として、原料の精製と焼成プロセスの最適化が重要であることを指摘した。名大の井口等は RE(Gd,Dy,Ho,Er)123 膜を TFA-MOD 法で作製し、超電導特性を検討した。a 軸配向粒の抑制などに関連し Dy-123 の特性が優れていることを見いだしている。そのほかアセチルアセトナート原料を用いる塗布熱分解法で産総研の眞部らが、2 インチ径と 3×15cm² のセリア中間層のサファイア基板上に成膜を行い、MA/cm² クラスの J_c を得ている。また今後の計画として 30×10cm² までの大面積化を明らかにした。

RF 応用に関しては、SRL の鈴木等が TFA-MOD 膜で 20GHz、77K の R_s が 1m Ω 、真部等の LAO 上の膜が 12GHz、77K で 0.41m Ω と良好な値を示していたのが印象的であった。山形大の大嶋の J_c vs. R_s の関係式との関連についても触れていた。

(SRL/ISTEC 特別研究員 平林 泉)

デジタルデバイス応用、薄膜・接合・回路プロセス分野

デジタルデバイス応用と薄膜・接合・回路プロセスの分野に関するトピックスを紹介する。高温超電導 SFQ 集積回路の実現にはジョセフソン接合の特性ばらつき低減が最大の課題であるが、界面改質型接合のトンネルバリアの構造や特性ばらつき要因がかなり解明され、例えば上部超電導薄膜堆積時の基板位置を最適化することなどにより、1000 個の接合の臨界電流値の標準偏差が 7.3%まで低減された。また、新しい超電導材料、絶縁層材料の組み合わせや薄膜堆積条件、酸素導入条件の最適化により、多層構造のインダクタンス値が低減され、リングオシレータ回路の高速動作 (20 K で接合あたり 1.8 ps の遅延時間) やラッチ型インターフェイス回路の 30 K 動作の実証につながっている。プロセス技術で先行する低温 Nb 系 SFQ 回路に関しては、1500-2500 接合規模のパケットスイッチ回路やアナログ - デジタル変換回路の 40 GHz 高速動作が報告されると共に、超電導受動配線間のクロストークの評価や直流バイアス電流の回路動作への影響の検討など、より大規模な回路の実現を目指した研究が精力的に行われており、今後この分野での急速な進展が期待される。

(SRL/ISTEC 第 6・7 研究部長 田辺圭一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

平成 14 年度第 2 四半期の公開特許

平成 14 年 7 月 - 9 月に公開された ISTEK 出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁のホームページ内の特許電子図書館等の特許データベースをご利用下さい。

- 1) 特開 2002-187798 「酸化物超電導薄膜積層基板」: SiO_2 基板上に、140 ~ 400Å 程度の極薄の白金 (Pt) バッファ層を介して、70K 以上で c 軸配向の YBCO123 系銅酸化物超電導体膜を形成した積層基板。これにより、高周波应用到に有利な低誘電率基板が得られた。
- 2) 特開 2002-198214 「超電導磁石用パワーリード」: 超電導磁石装置の“液体窒素温度に冷却される輻射熱シールド部”内を通して“液体ヘリウム温度に冷却される超電導コイル”へ電流を供給するためのパワーリードにおいて、電流リード材の“輻射熱シールド部内に位置せしめられる部位”の少なくとも一部を、臨界温度が液体窒素温度よりも高い酸化物高温超電導バルク体で構成したことを特徴とする、超電導磁石用パワーリード。
- 3) 特開 2002-203439 「テープ状酸化物超電導体」: テープ状金属基板に対して斜め方向からイオンを照射しながら、基板上にターゲットから発生した YSZ 又は $\text{Zr}_2\text{Rx}_2\text{O}_7$ (Rx:Y,Nd,Sm,Gd 等) 粒子を堆積させた第 1 中間層、 CeO_2 又は Y_2O_3 からなる第 2 中間層及び F を含む金属有機酸塩を塗布後熱分解させて形成した $\text{RE}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超電導層を順次形成する。これにより、高い c 軸配向性及び面内配向性を有し、 J_c 値を向上させたテープ状酸化物超電導体を実現。
- 4) 特開 2002-279838 「酸化物薄膜の製造方法及び酸化物薄膜を用いた超電導体構造物およびその製造方法」: ペロブスカイト構造を有する基板上に REGaO_3 (RE は、Nd,Sm,Gd 等) からなる非晶質の酸化物層を室温で形成した後、大気圧雰囲気中の熱処理で結晶化させ、この酸化物層を種膜層として LPE 法等により酸化物超電導体を形成することを特徴とする。簡便な種膜作製工程が大面積化や長尺化に適している。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導量子コンピュータの実現に向けて（その6 最終回）

NEC 基礎研究所
主席研究員 蔡 兆申

超電導磁束量子ビット

ジョセフソン接合を使って量子ビットを構成するもう一つの方法に、磁束量子ビットがある。これは前回までに述べた超電導電荷量子ビットと量子共役関係にある素子である。磁束量子ビットでは、RF-SQUID がその基本構造である。図6（その4、超電導Web21 2002年7月号掲載）に記した二つの超電導量子ビット素子では、電荷に対して磁束、電圧に対して電流、キャパシターに対してインダクター；直列に対して並列（ドット・ループ）等と要素が入れ替わっている。この場合、接合抵抗は前者電荷量子ビットでは量子抵抗 R_Q より高く、後者ではその逆になっている。量子状態は前者では容量界面のスクリーンポテンシャル V_s が、また後者ではループ上のスクリーン電流 I_s が関係し、両者とも膨大な数の電子が関与する巨視的量子状態を形成している。

これまでに多くの量子コヒーレンスの実験（つまり1 量子ビットの実験）がこのRF-SQUID を使って行われてきた。⁷⁾ この単純な回路を使った量子情報処理の可能性も指摘されていた。⁸⁾ ごく最近になってストーニーブルック⁹⁾ とデルフト¹⁰⁾ のグループがそれぞれこの量子コヒーレンスの証拠としてエネルギーバンドにギャップが存在することを初めて報告している。しかし未だに量子ビットの実験には成功していないようである。

（注：2002年3月に、第10回JST国際シンポジウムとして量子コンピューティング会議（ICQC02）が開催され超電導磁束量子ビット実験の成功が報告された。補遺参照）

上記の $L_0 \sim \phi_0$ という条件は超電導ループの径を通常100nm 以上にする必要があったが、径の大きさに比例する自発放出によるデコヒーレンスが無視出来ない恐れがある。自発放出を低減するためにループの径を1nm 以下に限定し、かつ明確な二準位系を実現するために Mooij らは3接合SQUID によって構成される磁束量子ビットを提案している。¹¹⁾ この設計では1ms 以上のデコヒーレンス時間、そしてQ は 10^4 以上と期待されている。

Ioffe らは更に大胆な磁束量子ビットの提案をしている。¹²⁾ これは高温酸化物超電導体などで発見されているd波超電導体を使いジョセフソン接合を構成する方法である。二つのs波超電導体の中間に $\langle 110 \rangle$ 結晶方位のd波超電導体を挟んで SDS 接合を作る。このような接合の作製自体大変困難な課題を幾つも含んでいるが、とりあえずこれが実現するとする。オーダーパラメーターの対称性に起因してジョセフソンエネルギーの $\cos \phi$ に比例する項が消滅し、ジョセフソンエネルギーは $E_J \cos^2$ と表される。そのためこの素子では、固有の双安定状態が超電導ループが無くても実現する。この様な二準位系を利用すると、外界との結合の極めて弱い量子ビットが構成できると指摘されている。

一般的に超電導磁束量子ビットは電荷量子ビットに比べると、背景磁束ノイズが背景電荷ノイズより小さい、オンオフ可能なビット間の結合が作りやすい、などの利点がある。後者は磁束ビット間をDC SQUID を含む超電導磁束トランスにより構成できる。結合のオンオフはDC SQUIDの超電導臨界電流を磁氣的に制御することで達成できる。しかしこれが実現可能か否かは実験結果を待つ以外ななんとはいえないだろう。実験についてはデルフト大の3 接合SQUID の実験が一番進んでいるようなので、その結果が注目される。超電導単一クーパー対箱電荷量子ビットがうまくいっているのもうまいいく気がするが、デコヒーレンス時間がどの程度になるかは実験結果を見てみる必要がある。

今後の課題

以上解説してきたように、量子干渉状態を制御して実現する1量子ビット素子の動作が、超電導状態という巨視的量子状態を利用した超電導クーパー対単一電子箱デバイスで実現できることがわかった。しかし実際に実用レベルの量子コンピュータを実現するには、まだまだ道程は長い。我々の電荷量子ビットの研究に限って言えば、これから実証すべき最重要な課題は、

- (1) 2ビット量子ゲートの実現
- (2) 平均値でない単ビットずつの読み出し方の確立
- (3) 量子絡み合い状態の確認
- (4) 量子コヒーレンスを保ちながらゲートオペレーションを最上限で何回行えるかの確認
(量子エラー訂正を使った場合 10 万回程度は必要)
- (5) そして最後に固体電子素子に最も期待されているスケーリングの可能性の確認である。

最後の点に関しては、シリコンデバイスにおいて輝かしい成功を収めた著名な指数関数的スケーリング則が即座に思い起こされる。このムーアの法則をそっくりそのまま借用すると、2010年には約100量子ビットの超電導電荷量子演算回路が実現することになり、実用に近い量子コンピューティングが可能になる。このスケジュールは楽観的過ぎるだろうが、実際これがひとたび実現すると、これまでのコンピュータの計算能力を遥かに凌ぐ、全く新たな情報処理のパラダイムを我々は入手できるであろう。

補遺： 量子ビットの最近の進展について補足する。この原稿を依頼されて連載してきたが、この間に、量子ビットの実験は世界各国で活発化し目覚ましい進展を遂げつつある。

2002年3月12～14日に東京お台場の日本科学未来館で第10回JST国際シンポジウムとして量子コンピューティング会議(ICQC02)が開催された。この会議の報告はこの「超電導 Web21」2002年5月号に掲載されたが、超電導系の量子ビットに新しい結果が報告され、超電導磁束量子ビットの動作にも成功している。この解説の内容が早くも改定を必要とする状態であることや、デコヒーレンス時間もマイクロ秒のオーダーに近づきつつあることを思うと、量子計算機の実現は意外に早いのではないかと思わせる。

参考文献

- 7) 例えば C.D. Tasche, Phys. Rev. Lett., 64, 2358, 1990; R. Rouse, S. Hann, and J. e. Lukens, Phys.Rev. Lett., 74, 1614, 1995 など
- 8) M.F. Becko, A.M. Herr, M.J.Feldman, IEEE Trans. Appl. Supercond. , 3638, 1997
- 9) J.R. Friedman, V. Patel, W. Chen, S.K. Tolpygo, J.E. Lukens, Nature, 406, 43, 2000
- 10) C.H.van der Wal, A. C. J. ter Haar, F.K. Wilhelm, R.N.Schouten, C.J.P. M.Herman, T.P.Orlando, S.Lloyd, J.E.Mooij, Science, 290, 773, 2000
- 11) J.E. Mooij, T.P. Orlando, L. Levitov, Lin Tian, Casper H. van der Wal, Seth Lloyd, Science, 285, 1036, 1999
- 12) L.B. Ioffe, V.B. Geshkenbein, M.V.Feigel'man, A.L.Fauchere, G. Blatter, Nature, 398, 689, 1999

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

(Q&A)

Q: 超電導が環境技術のどのようなところに役立つのでしょうか？

A:超電導は、CO₂など温室効果ガスによる地球温暖化防止、石炭、石油、天然ガスなど化石燃料の効率的利用と省エネルギー、アオコなど湖沼や污水浄化、ヒ素、リンなど有害廃棄物質処理、環境負荷軽減、騒音、振動など大気環境改善など多くの環境技術に役立つことが明らかになっており、すでにいくつかの分野への適用実績があります。

環境技術の対象は、かつては地域的な大気環境、水環境及び土壌環境といった私たちに身近な生活環境でしたが、現在では人間の生活環境以外の生体環境、海洋環境、地質環境などを含めた自然環境からさらに地球環境へと広がっています。したがって、環境問題やこれらに対応する環境技術も、個々の環境へ適用した環境技術であっても、地球レベルでの複合的な環境因子を考慮した効果がなければなりません。例えば、污水浄化装置であれば、この装置の動力源が電気が重油エンジンか、浄化機構が磁石式か沈殿凝集式かなど最終的に最も地球環境に易しくかつ経済的な手段が選択されなければなりません。

具体的に現行技術を超電導環境技術へ適切な割合で置き換えた場合の2010年までの累積の省エネルギー効果とCO₂排出削減効果について、ISTECが実施した調査結果*をもとに説明しましょう。

省エネルギー効果とCO₂排出削減効果の両方が見込める技術として、超電導発電機、超電導モーター、超電導磁気分離装置、Si単結晶引き上げ装置、MRI及びNMRが挙げられており、省エネルギー効果11,866GWh及びCO₂排出削減効果969.56千c-tとそれぞれ見積られています。また、SMES、超電導磁気浮上列車などでは導入時期とも関連してCO₂排出削減効果48.66千c-tにとどまっています。これらの効果は、2010年までの累積値としても全電力の1.3%に相当する節約と0.3%に相当する総CO₂排出量低減に寄与できることとなります。

このように超電導は、21世紀の地球環境に対して有効な環境技術となり得ることがお判りいただけたと思います。現在進められている高温超電導体の材料技術、超電導デバイス技術、超電導応用技術などの進展はこれらの予測をはるかに超えるものと期待されています。

*たとえば、(財)国際超電導産業技術研究センター：超電導応用の省エネルギー効果 - 平成11年度調査報告、電力・産業応用機器編 - 平成12年5月

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)