

掲載内容 (サマリー):

特集: 超電導フライホイール

超電導フライホイール開発の展望
超高速回転体の技術開発と展望
超電導軸受の技術開発の状況
軸受用超電導バルクの現状
フライホイール市場の展望

超電導関連 10-11月の催し物案内

新聞ヘッドライン (8/20-9/17)

超電導速報 - 世界の動き (2003年8月)

標準化活動 - JNC、メンテナンスのためのDCに投票 -

低温技術夏合宿 - 7T超伝導マグネットへの挑戦 -

「ナノサイエンス・サマー道場」レポート

「Superconductivity for Electric Systems 2003 Annual Peer Review」の印象

隔月連載記事 - やさしい超電導のおはなし (その5)

読者の広場(Q&A) - 超電導リニアと常電導リニアとではどう違うのでしょうか?

[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。

超電導フライホイール開発の展望

フライホイール電力貯蔵装置は、電気エネルギーをはずみ車（フライホイール）の回転エネルギーとして貯え、必要に応じて発電機により取り出すシステムである。電力の有効利用を図るための負荷平準化や負荷変動補償用として有望であり、低損失、大型システムの実現が期待されている。また、近年、半導体工場やデータセンター等に不可欠な無停電電源（UPS）へのニーズが高まり、現在、1～5 kWh 程度の貯蔵容量をもつ機械軸受や磁気軸受を使用したフライホイール UPS が商用化されている。しかし、大型データセンター等には少なくとも数分程度の電力供給が要求され、数 10 kWh 以上の貯蔵容量が必要である。さらに待機時の回転損失の低減が強く望まれているが、この大型化、低損失化の両方を従来軸受により実現することはこれまで不可能であった。この二つを可能とするものとして登場した軸受が超電導バルクを利用した軸受である。小規模システムの開発を経て、現在、日、米、独において超電導軸受を利用した 10～30 kWh 級のフライホイール電力貯蔵技術の開発が国の支援の下で行われている。

我が国の NEDO プロジェクト「フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発」は、ISTEC が受託し、再委託先企業 5 社とともに、低損失大型装置の実現を目指してその基盤技術の開発を行っている。具体的には、大型化に有利なラジアル型の 100 kWh 級超電導軸受要素技術の開発およびシステム実証としての 10 kWh 級電力貯蔵装置の製作、運転試験評価である。2000 年にフェーズ II を開始以来 3 年半を経過したが、軸受要素技術については、回転体を支える力である載荷力や回転損失に関する当初目標をほぼ達成した。また、時間経過による回転軸の降下という超電導特有の課題も解決できる見込みを得た。

10 kWh 級運転試験装置については、当初、高重量フライホイールを高速安定回転させることが大きな課題であったが、磁気軸受を使用した回転試験装置において 400kg のフライホイール回転体を 12,000 rpm まで回転することに成功するなど、高速回転の見通しを得て、現在、再委託先の石川島播磨重工業において運転試験装置を製作中である。今後工場試験を経て、来年度には四国総合研究所・松山 FW 研究センターにおいて、長期繰り返し運転試験を実施する計画である。その試験においては、超電導軸受試験や回転損失特性、各部損失、効率評価、軸振動安定性試験等を行い、実用化に向けたシステムとしての課題を明らかにすることを目標としている。10 kWh 級の運転試験に成功すれば、これは世界初の実機レベルの超電導フライホイール電力貯蔵の実証であり、今後の実用化に向けた大きなステップになると考えられる。

（SRL/ISTEC 盛岡超電導技術応用研究所 所長代理 腰塚直己）

[超電導 Web21 トップページ](#)

超高速回転体の技術開発と展望

石川島播磨重工業株式会社
技術開発本部 基盤技術研究所
齊藤 修

フライホイール電力貯蔵装置は、フライホイールを回転させることで電気エネルギーを回転エネルギーとして蓄える。貯蔵エネルギーはフライホイールの重量に比例、回転数の2乗に比例するため、貯蔵量の増大にはフライホイールを高速回転させることが有効である。

NEDO プロジェクトで開発が進められている 10kWh 級運転試験装置を図 1 に示す。直径 1m のフライホイール本体には高速回転に耐える CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) が用いられている。また、回転軸の振動の抑制には磁気軸受を使用する。このようなフライホイールでは、フライホイール本体が高速回転に耐えることは当然であるが、強烈な遠心力によりフライホイール本体が不均一に変形することを防止する製作技術の確立が課題である。これは、不均一に変形することで回転体のバランスが悪くなり高速回転ができなくなるためである。また、振動を抑制する磁気軸受では、貯蔵効率の低下につながる回転損失の低減技術および磁気軸受による高速回転制御技術が課題である。

これら課題の克服のため、大型フライホイール本体の製作・加工技術の開発、磁気軸受では野波教授(千葉大)が開発されたゼロパワー制御を適用するなどして、回転制御試験装置においてフライホイール回転体を 12,000 rpm まで回転させることに成功し、高速回転の見通しを得た。

今後は、10kWh 級運転試験装置の工場試験および四国総合研究所でのフィールド試験を行い実用化に向けたシステムの課題を明らかにしていく。

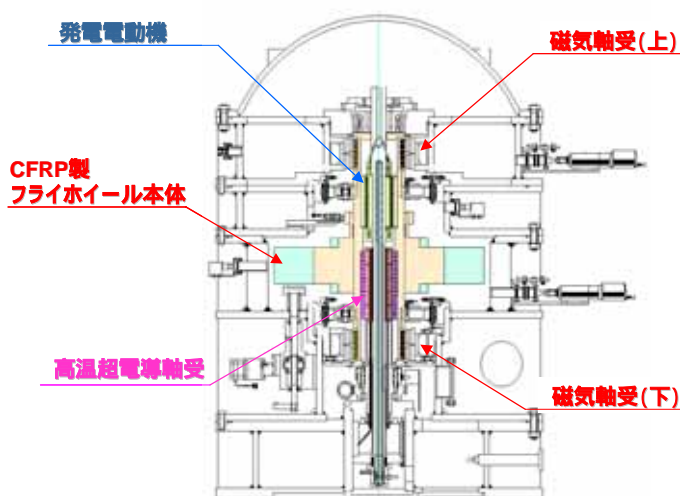


図 1 10kWh 級運転試験装置

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導軸受の技術開発の状況

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

超電導軸受の開発は、その非接触低損失という特長を最大限に生かせるフライホイール電力貯蔵用をターゲットに、国のプロジェクトなどで専ら行われている。

超電導軸受は、高温超電導体と永久磁石とを対向させて、超電導体の磁束ピン止め力により載荷力を得るものであるが、その対向のさせ方には、超電導体と永久磁石を平面对向させるアキシャル型(スラスト型ともいう。)と両者を円筒状に対向させるラジアル型の2タイプがある(図1,2)。いずれの場合も載荷力は、超電導体と永久磁石が対向する面積に大略比例するので、より重量物を支えるためには、超電導軸受を大きくして対向面積を増やす必要がある。この場合、アキシャル型では軸受の直径を大きくする以外に方法はないが、ラジアル型では直径と軸方向を長くする方法が採れる。大径化できる限界は、回転側に設置される永久磁石の耐遠心力で決まる。実験室レベルでは、原理的にも分かり易く比較的製作も容易なアキシャル型が使われることが多いが、国のプロジェクトでは、最終的に大型システムを指向する必要性からラジアル型(図2)を開発している。

ラジアル型超電導軸受の載荷能力は、現在、超電導体と永久磁石の対向面積当たりで最大10N/cm²レベルに達しており、図2のラジアル型で例示すれば、現在開発中の10kWh級フライホイール用軸受では、円筒状超電導体部分の外径が12cm、高さが30cmであるので、最大で1tの荷重を支持する能力をもつ。実際には、載荷力に余裕をもたせる必要があるので、400kgの回転体を支持する設計としている。

プロジェクトでは、次の段階として100kWh級フライホイール用の超電導軸受の開発に着手している。概略設計では、前述の10kWh級用のものよりも径は一回り大きくなって、円筒状超電導体の外径は20cm程度になる。現在、径は実寸で軸方向の長さを10cmとした部分モジュールの試作を進めており、これが完成すれば数トン級の回転体を支えるための超電導軸受技術の目処が立つことになる。

なお、超電導軸受は非接触ではあるが、実際の超電導軸受では永久磁石の回転方向の磁束不均一や機械的振動による超電導体内のヒステリシス損などが発生して回転損失がある。この回転損失を機械式軸受の摩擦係数に換算すれば10⁻⁵~10⁻⁶レベルであり、機械式軸受のそれよりも桁違いに小さいことが確認されている。

このように、超電導軸受の開発は、現在ではトン級の回転体を支える段階へと進みつつあり、実用化に向かって着実に前進していると言える。

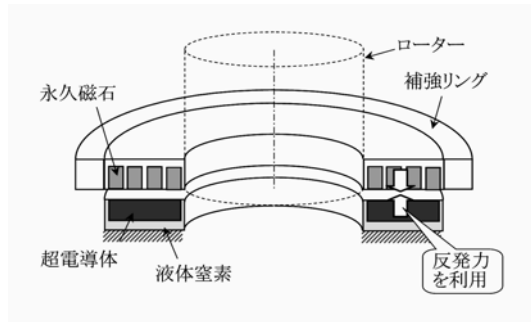


図1 アキシャル型超電導軸受

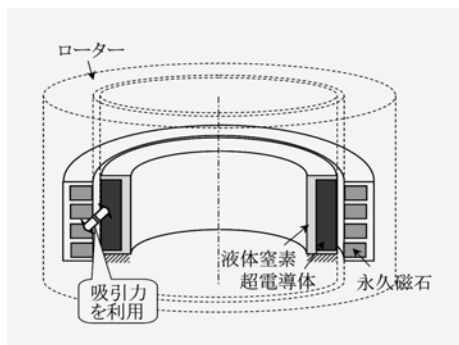


図2 ラジアル型超電導軸受(アウターロータータイプ)

軸受用超電導バルクの現状

四国電力株式会社

原子力本部 原子力保安研修所 安全技術研究グループ

松永晃治

NEDOプロジェクト「フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発」の中で、外側が永久磁石磁気回路の回転子、内側が超電導バルク集合体の固定子により構成される、アウターロータタイプのラジアル型超電導軸受の研究開発が進められている。この内、本稿では軸受固定子に用いる、Y系超電導バルクの開発状況を述べる。

1. 10kWh級フライホイール軸受用Y系超電導バルク

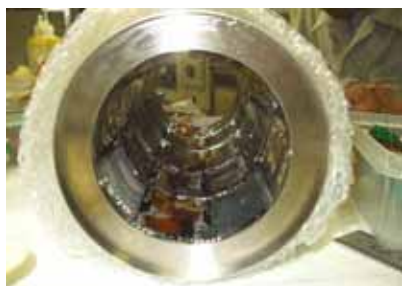
10kWh級運転試験装置用超電導軸受に適用するY系超電導バルクは、外径123.2mm、内径93.2mm、高さ60mmの円筒を周方向に8等分割した瓦形である。H14年度までに実施した、52個の瓦形Y系超電導バルクの捕捉磁場分布及び永久磁石との反発力の測定結果を基に、性能の良好なもの40個を選定し、軸受の固定子を作製した。すなわち、8個の瓦から成る円筒を5段重ねた形で、円筒型クライオスタット内部に接着・固定を行った。また、温度計測用のセンサも同時にセッティングした。組み込み完了後の様子と、液体窒素浸漬試験の状況を図1に示す。

その後、同軸受固定子は10kWh級運転試験装置組立て担当社の石川島播磨重工業(株)殿に送付し、現在組立て・調整等が行われているところである。

2. 100kWh級フライホイール軸受用Y系超電導バルク

100kWh級フライホイール用超電導軸受相当の寸法及び形状（図2参照）を有する、Y系超電導バルクの性能評価を進めている。図3に液体窒素温度における捕捉磁場分布の測定例（磁場センサと超電導バルクの距離は1mm）を示すが、良好な特性が得られている。

今後、軸受モジュールの製作・試験が行われ、軸受としての性能が評価される予定である。



組立て完了後の様子



液体窒素浸漬試験状況

図1 10kWh級運転試験装置用軸受固定子の製作及び試験状況

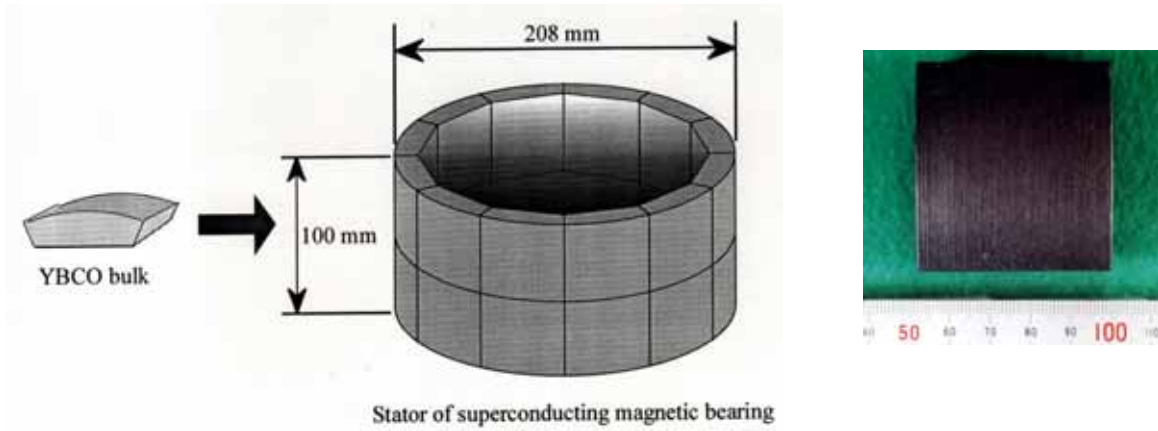


図2 100kWh級軸受相当のY系超電導バルク

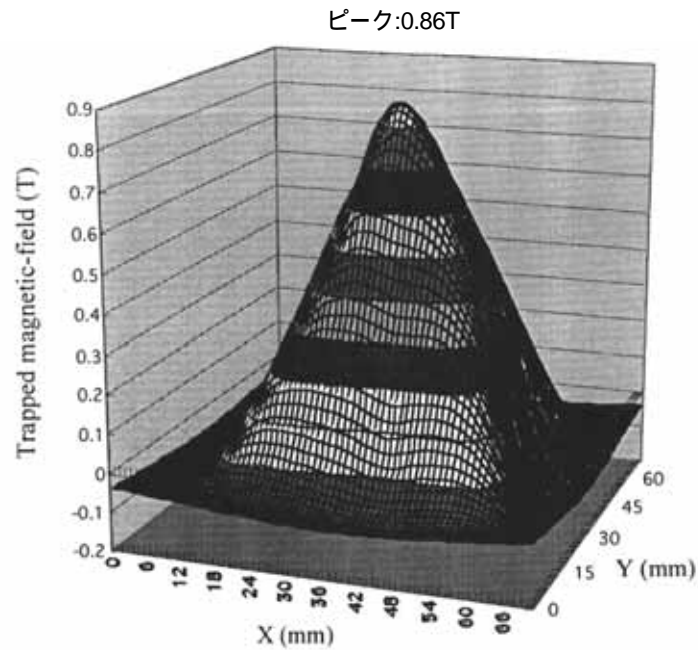


図3 100kWh級軸受相当Y系超電導バルクの捕捉磁場分布

[超電導 Web21 トップページ](#)

フライホイール市場の展望

株式会社 三菱総合研究所
エネルギー政策研究部
諸住 哲

現在、市場に出ているフライホイールは大きく分けると、水車発電機技術をベースとする大型フライホイールと、常電導磁気軸受けなどを利用し高速回転技術を駆使した小型フライホイールに大別できる。前者は、日本原子力研究所の JT-60 用のパルス電源や京浜急行の直流き電の電圧安定化用、あるいは沖縄の変動負荷による系統動揺吸収用の用途で導入されている。最近、市場に急速に普及しつつある、後者のフライホイールは主に瞬時電圧低下、停電対策用として利用されている。

現在、後者のタイプのフライホイールは、欧米メーカーが中心となって市場展開を行っている。例えば、米国では Active Power、Beacon など、欧州では Pillar、Urenco などそれぞれ数社が参入している。日本でもベンチャー企業が事業を始めているが、国内市場の動向を見ても、現在は日本に代理店を持つ外国勢が優勢である。

この電力品質用フライホイールの市場は、2000年、2001年と急成長をしており、Pillar や Active Power の実績を見ると、日本の同時期での 100MVA 以上の UPS 市場規模に匹敵するくらい世界で販売を伸ばしている模様である。さすがに IT 不況が深刻であった 2002 年の売り上げは 2001 年を下回ったものの、IT 関連事業が次のフェーズに進歩した場合には、おそらく再び成長カーブに乗る可能性が高い。特に、フライホイールは、鉛蓄電池を持たないのでメンテナンスが楽で、後年度負担が少ないとされている。また、停電時にはフライホイールのイナーシャで非常用発電機も起動するので、停電復旧が予想できないケースでも概ね対応が出来ることがメリットとして受け入れられている。

過去におこなったフライホイールの市場試算では、もし日本の IT 産業が順調に成長し、一方で電池型 UPS の市場をカバーした場合、2010 年にはデータセンター関連のバックアップ市場で 250 億円の規模になると試算された。このときの前提は、フライホイールの単価は 10 万円 / kW で計算されている。データセンターは既存ビルの改築程度で建設されているケースが多く、このためフライホイールが既存のビルに入るような設計であることも重要であると見られる。

フライホイール金額市場(百万円)

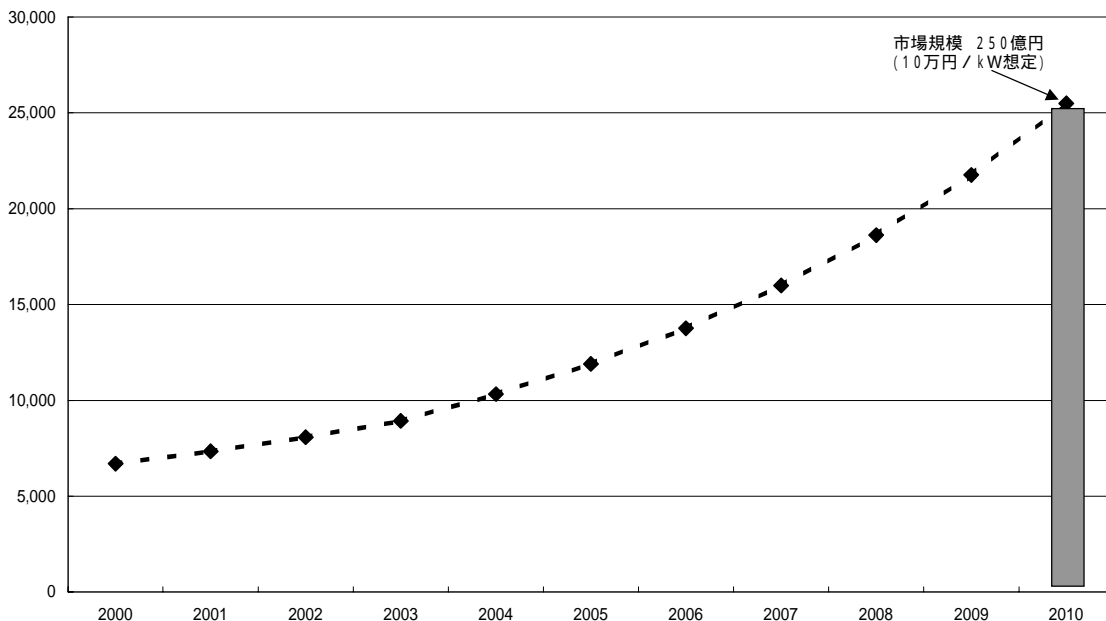


図 2010年でのフライホイール市場規模への成長カーブ

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 10 - 11月の催し物案内

10/6-18

SCENET the European Network for Superconductivity 4th SCENET school on superconducting materials and applications

場所: INSTITUT D'ETUDES SCIENTIFIQUES DE CARGESE(France)

主催: the European Commission 8 GROWTH Programme within SCENET project

<http://orchidea.maspec.bo.cnr.it/school/home.html>

10/9

低温超電導材料及び高温超電導材料の機械的性質と臨界電流の歪効果

場所: KKB 函館 (函館市)

主催: 低温工学協会 材料研究会 東北・北海道支部

e-mail: ogawa@hakodate-ct.ac.jp

10/10

超電導を用いた電力技術とその競合技術

場所: 大阪市立大学 文化交流センター (大阪市)

主催: 低温工学協会 関西支部

e-mail: ohmatsu-kazuya@sei.co.jp, shirai@energy.kyoto-u.ac.jp

10/20-24

MT-18/18th International Conference on Magnet Technology

場所: ホテル メトロポリタン盛岡 (盛岡市)

主催: 物質材料研究機構、岩手県

<http://akahoshi.nims.go.jp/MT-18/>

10/25

磁気分離研究開発に関するワークショップ

場所: 盛岡地域交流センター会議室 (盛岡市)

主催: 磁気分離研究会

e-mail: okada@iwate-techno.com

<http://www.joho-iwate.or.jp/>

10/27-29

第16回国際超電導シンポジウム(ISS2003)

場所: つくば国際会議場 (つくば市)

主催: (財) 国際超電導産業技術研究センター

<http://www.istec.or.jp/ISS/ISS.html>

11/5-7

第7回新磁気科学シンポジウム

場所: 物質・材料研究機構 (つくば市千現)

主催: 新磁気科学研究会

e-mail: mfe@akahoshi.nims.go.jp

<http://akahoshi.nims.go.jp/mfe/>

11/22

おもしろい超伝導技術と応用

場所: いわき明星大学 (いわき市)

主催: 低温工学協会東北 北海道支部

e-mail: tknk@iwakimu.ac.jp

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (8/20-9/17)

オゾン層破壊物質 微弱電波を検出 通信総研 受信機に超電導体 8/20 日経産業新聞
ITER EU、サイト一本化 8月末までに 誘致協議再開に道 8/20 電気新聞
酸化物の高温超電導は電子の不安定状態が原因 電中研と米研究所が発見 8/21 日本工業新聞、
電気新聞、日刊工業新聞
超電導解明に道筋 2つの電子集合体作用 電力中央研 8/25 日経産業新聞
2005年に走り出す HSST 万博「リニア」でGO! 「HSST」乗り心地抜群、急坂も楽々 8/25
読売新聞(夕)
文科省概算要求 原子力関連9%増に ITERの誘致など柱 8/28 電気新聞
超電導体リード線開発 原研、ITERに応用も 8/29 日経産業新聞、日刊工業新聞
トピックス 水に磁場かけたら魚がよく育つ? 8/31 日本経済新聞
2003 分析展 幕張メッセ ポストゲノム時代を迎え質量分析装置と核磁気共鳴装置に大きな期
待 9/3 日刊工業新聞
中国高速鉄道計画 リニア方式前途多難 上海 試運転でトラブル発覚 9/4 毎日新聞
青学大・NTT 研・科技事業団 ナノチューブで超電導現象確認 量子計算機開発に道 9/5 日
経産業新聞
電力各社の技術開発計画 03年度計画の概要 公益的課題の解決へ 競争力強化など柱 全体
の研究費は1443億円 電力貯蔵技術開発に注力 系統の高度化や超電導中心に 9/11 電気新聞
シリコン系超電導体 同位体で機構を解明 大阪市大など 量子計算機に応用期待 9/15 日刊
工業新聞
電子を光のスピードに 英ラザフォード研がシンクロトロン加速施設 9/15 日刊工業新聞



[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 (2003年8月)

電力

American Superconductor Corporation (2003年8月6日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2003年6月30日で終わる同社の2004会計年度第1四半期の結果を報告した。純収入は2003年度の第1四半期における290万米国ドルと比較して171%増加し780万ドルとなった。一方、純損失は2003年度第1四半期の1,080万ドルから今回報告する四半期では840万ドルに減少した。AMSCは、営業費と資本支出を減らすことにより、年間の現金を消費する速度を減らし続けている。同社は、2004年度は現金支出を1,300から1,500万ドルにすることを予想している。AMSCは、2004年度第1四半期に、新規の注文と契約を1,720万ドル受注して、合計受注残高を8,740万ドルとした。この受注残高のうち約3,200万ドルは、2004年度の残余期間中の収入となることが期待される。HTS モーター、発電機および同期コンデンサーを設計、開発および製造する SuperMachines 事業部はこの第1四半期にはじめて利益を上げ、最終的には、550万ドルの収入から11,900ドルの純利益を上げることができた。この事業部は、今年度の残りの期間も好収益を上げ続け、約150万ドルのキャッシュを生成することが期待される。

(出典)

"American Superconductor Reports Fiscal 2004 First Quarter Results"

American Superconductor Corporation press release (August 6, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/106010118401.html>

Intermagnetics General Corporation (2003年8月6日)

産業用ガス、冷媒およびその関連機器の供給では数十億ドル規模の世界的リーダーである BOC Group は、現在、New York 州 Albany で進行中の HTS ケーブルのプロジェクトに参加する見込みである。BOC Group は、HTS ケーブルの冷却に必要な大規模な極低温冷凍装置の開発を引き受けるものと思われる。同グループは、この4年間のプロジェクトの実施期間中、冷凍装置を設計、据付、監視および運転する予定である。BOC の上席副社長 Neil Greenfield は、「BOC は、このプロジェクトの厳しい要求に適合し、また、商業用としても成り立つ HTS 技術に必要な費用対効果や信頼性を有する極低温冷凍装置の開発を行う準備ができています。当社は、長期にわたる顧客サポートの提供を約束している。そのことが公益事業における HTS 技術の成功を保証する重要な要素であると当社は考える」と述べた。

(出典)

"Intermagnetics Announces BOC to Join Albany HTS Cable Partnership"

Intermagnetics General Corporation press release (August 6, 2003)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=93

Intermagnetics General Corporation (2003年8月14日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC)は、米国エネルギー省(DOE)が電気事業者の電力システムを電流サージによる損傷から保護するための新型 HTS 漏電リミッターの開発に必要と予想されている1,200万ドルの半分を提供する予定であると発表した。Matrix Fault Current Limiter (MFCL)として知られるこの装置は、IMGC の関係会社である SuperPower, Inc.が開発した工業所有権をもつ技術によるものである。また、Nexans も戦略的パートナーとしてこの開発チームに参加し、この計画の民間部分のコストを分け合うことに加え、この装置で使用される予定の熔融鑄造("melt cast")超電導体を供給する予定である。Nexans 社の"melt cast"超電導体は、その他の普通に使用されるワ

イヤやテープより通電容量がかなり大きい。このプロジェクトは DOE の Superconductivity Partnership Initiative (SPI)計画の一部として実施される予定である。また、Electric Power Research Institute (EPRI)[米国電力研究所]もこのプロジェクトに 60 万ドルを約束した。また、Argonne、Los Alamos および Oak Ridge の各国立研究所もこのプロジェクトに参加し、高電圧工学、極低温科学および分析技術の各分野の専門家らに参加させる予定である。IMGC 会長兼 CEO である Glenn H. Epstein は、「当社は幾つかのプロトタイプの開発を予定しており、恐らくここ 3 年以内には電力会社の送電用変電所で 138 kV の HTS マトリクス漏電リミッターの据付を完了できるだろう」と予測した。

(出典)

"Intermagetics Announces DOE Funding of \$6 Million for Project to Develop HTS Device Designed to Protect Utility Grids"

Intermagetics General Corporation press release (August 14, 2003)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=94

Electric Power Research Institute (2003 年 8 月 25 日)

最近、米国東北部やカナダ東部で発生した停電事故は、米国における電力系統設備の老朽化やその近代化の必要性に関して改めて注意を喚起した。Electric Power Research Institute (EPRI)が発行した最近の報告書では、米国の電気部門が直面する現在の課題を検討して、今後の経済面、規制面および技術面に関する指針として「行動の枠組み」を示している。電気事業者、連邦政府や州政府の規制当局、企業や事業者、消費者グループ、労働組合、および環境問題研究家を含む、広範な分野の利害関係者からの意見を収集してこの報告書は作成された。この報告書には、電力市場の安定化、公共の利益の提供、環境保護、消費者の教育とそれに対する権限付与、そして老朽化電力系統の洗練された対話型電子制御システムへの転換という拘束のない自由な技術革新、というこの報告書の言う 5 つの目標を達成するための重要な成功因子は技術であると述べられている。2 巻から構成されるこの報告書やこの報告書の要約版へは、次の URL にアクセスされたい。

<http://www.epri.com/corporate/esff/viewpdfs.asp>.

(出典)

"EPRI Board Releases Report Detailing Vision for the Future for U.S. Electric Power"

Electric Power Research Institute press release (August 25, 2003)

http://www.epri.com/corporate/discover_epri/news/2003releases/082503_esff.html

American Superconductor Corporation (2003 年 8 月 25 日および 29 日)

American Superconductor Corporation(AMSC)は、同社の普通株 400 万株の公募案に関する登録届書を証券取引委員会宛に提出した。この株式公募引き受けに関する主幹事会社は Needham & Company Inc.である。この株式公募には、必要があれば、幹事会社に対する追加割当をカバーするため 60 万株までの追加買付けがオプションとして含まれている。この公募は、もはや AMSC が買付ける予定がない、ターム・ローン、転換可能な劣後債および流動資産信用枠の形で 5,000 万米ドルの資金を調達するための以前発表された担保付きの借入れによる資金調達計画に取って代わるものである。

(出典)

"American Superconductor Announces Plan for Common Stock Offering"

American Superconductor Corporation press release (August 25, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/106181295601.html>

"American Superconductor Announces Filing of Public Offering Registration"

Statement"

American Superconductor Corporation press release (August 29, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/106783294602.html>

材料

Superconductive Components Inc. (2003年8月15日)

Superconductive Components Inc.は、2003年6月30日で終わる同社の第2四半期における財務結果を報告した。第2四半期の総収入は、前年同期より12.4%減少して627,765ドルとなった。しかし、この第2四半期における売上総利益率は前年同期の31.2%と比較して32.7%に改善した。この改善は主として政府契約による収入によるものである。Superconductive Componentsの会長兼CEOであるDan Rooneyは、「第2四半期中、当社はバランスシートを簡略化して、売上改善の実行計画を開始し、あとは当社の長期の戦略的成長の機会に力を注いできた。当社で最も大事なことは、収入を増やすことと黒字に戻ることである」と述べた。

(出典)

"Superconductive Components, Inc. Reports Second Quarter Results"

Superconductive Components, Inc. (August 15, 2003)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/ne/earnings/scci23.htm>

NMR および電磁石

Oxford Instruments Superconductivity (2003年8月18日)

Oxford Instruments Superconductivityは、日本における最新の技術水準を誇るNMR、Varian's Inova™ NMR スペクトロメーターの重要な部品である2基の900 MHz NMR 電磁石の据付を問題なく完了したことを報告した。この電磁石の磁界強度は21テスラ以上で、これ以前の磁界発生装置より11%も強力である。磁界強度の改善により、スペクトル分解能を高めて、感度の改善およびS/N比を20%も向上させることができた。このNMR スペクトロメーターは、先端的な薬物研究および環境保護に関する研究に使用される予定である。

(出典)

"900MHz NMR magnet technology big in Japan"

Oxford Instruments Superconductivity press release (August 18, 2003)

<http://www.oxford-instruments.com/SCNNWP699.htm>

Oxford Instruments Superconductivity (2003年8月19日および20日)

Oxford Instruments Superconductivity社は、医学用や科学研究用に設計される、世界における最初の商用の、そして高性能のハイブリッド・イオン・トラップ・フーリエ変換型質量分析計(FTMS)といった新世代の機器の出現を可能にするべく、Thermo Electron Corporationへの磁気技術の主要な供給業者として選ばれた。FTMSは、通常の医薬品や生化学の研究用には理想的である。FTMSの市場は、今後5年間で指数関数的に成長することが期待されている。初期の供給業者契約は、今後18ヶ月で300万ユーロの規模になる見込みであり、100万ユーロは既に契約済みである。

(出典)

"Oxford Instruments wins major order enabling a new generation of Mass Spectrometry based

bio-tools”

Oxford Instruments Superconductivity press release (August 19, 2003)

<http://www.oxford-instruments.com/OIGNWP700.htm>

“Superconducting magnets - essential technology at the heart of new mass spectrometry technique”

Oxford Instruments Superconductivity press release (August 20, 2003)

<http://www.oxford-instruments.com/SCNNWP701.htm>

センサー

National Institute of Standards and Technology (2003年8月12日)

National Institute of Standards and Technology および Boston University は、光パルス 1 個をカウントすると同時に、間違っ てカウントすることを殆どゼロにする検出器を開発した。この新しい装置は、光ファイバ通信で使用されるなどの近赤外波長領域で使用される。この検出器は、光ファイバ通信回線と組合せたタングステンのフィルムで構成される。タングステン・フィルムはその超電導転移温度である 120 mK にまで冷却され、光ファイバ通信回線から 1 個の光量子がタングステン・フィルムに供給されるとその温度が上昇して、この装置はその結果としての電気抵抗の増加を検出する。この検出器は、安全確実な量子通信や暗号化技術の開発におけるキー・テクノロジーである。つまり、暗号作成者は 1 つまたは 2 つの異なる状態にある高速の一連の光子群を使用して解読が不可能な暗号による情報を送信することができる。このプロジェクトの資金は、Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) と NIST Advanced Technology Program (ATP) により提供された。詳細は、*Applied Physics Letters* の 7 月 28 日号を参照されたい。

(出典)

“Single photon detector conquers the dark side”

National Institute of Standards and Technology press release (August 12, 2003)

http://www.eurekalert.org/pub_releases/2003-08/nios-spd081203.php

通信

Superconductor Technologies Inc. (2003年8月7日)

Superconductor Technologies Inc. は、2003 年 6 月 28 日で終わる同社の第 2 四半期と 6 ヶ月間の財務結果を発表した。第 2 四半期の総純収入は、前年同期の 760 万ドルから 49% 増加して 1,130 万ドルになった。第 2 四半期の商品純収入は、同年第 1 四半期に稼いだ 530 万ドルと比較して 79% 増加して 890 万ドルになった。政府やその他の契約による収入は前年同期の 78 万 5000 ドルと比較して 230 万ドルに増加した。第 2 四半期の総純損失は訴訟費用の 66 万 6000 ドルを含めて、310 万ドルであった。STI の社長兼 CEO である M. Peter Thomas は、「STI にとって第 2 四半期は、特に販売や製造部門では確実な結果が得られた。」語った。同社は、この四半期末の製品受注残高は 710 万ドル。STI はこの第 2 四半期中に株式の第三者割当取引で 1,010 万ドルを調達した。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Announces Second Quarter Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 7, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=92444>

ISCO International Inc. (2003年8月11日)

ISCO International Inc.は、ネットワークの干渉による障害を防止するため、動的チューナブル・フィルタにより無線通信帯域内をスキャンする次世代の Adaptive Notch Filter (ANFTM) Flex 製品を発売した。消費者は、容易にこの製品をプログラムして、全帯域幅または消費者の指定した帯域幅サブセットをスキャンし保護することができる。ISCO International の顧客のうちの数社はこの装置のプロトタイプを評価してきたので、この製品への関心が強いものと思われ、既に幾つかの注文を受けている。7 つまでの CDMA 搬送波をスキャンできる製品は、完全な特注生産として顧客の現在および将来の需要に合わせる事ができる。ISCO International の CEO である Abdelmonem 博士は、「これは、広帯域装置に使用の幅の拡大に向けた製品進歩の主要なステップである」と述べた。
(出典)

“ISCO International Announces Arrival of Next Generation ANF Product”

ISCO International, Inc. press release (August 11, 2003)

<http://www.iscointl.com/>

Superconductor Technologies Inc. (2003年8月14日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、PCS無線市場向けに設計された新型 SuperLinkTM Rx 1900 一体型極低温受信フロントエンド (CRFE)を発売したと発表した。この製品は、屋外用に設計された STI 社の完全一体化システムの第 1 号機で、耐候性のある装置に 1 個の SuperLink Rx フロントエンドと 6 個までの二重 HTS-ReadyTM 送受切換器を内蔵している。この製品の特徴は、その極低温技術の核心であるスターリング・クーラーを採用したパッシブな熱管理方式を採用していることである。この製品は既に出荷され配備されており、商業用に注文も受けている。最近の都市部の 1xRTT クラスタにおける試験では、システム感度を改善したことによりデータ速度が 50 %以上も劇的に向上した。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Expands SuperLink(TM) Rx Family

With Introduction OF SuperLink(TM) Rx 1900 Designed for PCS Networks”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 14, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=92773>

ISCO International Inc. (2003年8月21日)

ISCO International Inc.は、400万ドルの融資枠で700,000ドルの手形を発行したと発表した。同社は、同社の大株主の企業2社から2002年10月の融資枠を確保した。この契約の償還期限は2004年3月31日である。70万ドルを執行したところであるが、400万ドルの信用供与枠はISCO International による利用にまかされている。

(出典)

“ISCO International Announces Credit Line Financing”

ISCO International, Inc. press release (August 21, 2003)

<http://www.iscointl.com/>

ISCO International Inc. (2003年8月22日)

2003年8月21日、裁判所は、昨年、Superconductor Technologies Inc. (STI)に対してISCO International Inc.が起こした特許権侵害事件の陪審員評決に関して、ISCO International Inc.の提出した「法律問題としての判定(JMOL)」申請、およびSTIの提出した「不公正な処置および強制不能の判定」および弁護士費用に対する申請に関して判決を下した。裁判所は、ISCO側の不公正競争に

関する陪審決定を破棄し、STI に対する 387 万ドルの陪審裁定を含む、その損害に対する要求をすべて否定した。しかしながら、裁判所は、特許の無効性や不公正な行為を理由とした差し止め要求に強制力がないことに関する陪審決定は破棄せず、ISCO が新しく訴えを起こすことを認めなかった。ISCO は、引き続き、同社特許が法的強制力のある特許と信じており、次にとるべき手段を検討中である。これには控訴の可能性も含まれる。

(出典)

“ISCO International Announces Court Rulings in Patent Litigation Post-Trial Motion Process”

ISCO International, Inc. press release (August 22, 2003)

<http://www.iscointl.com/>

Superconductor Technologies Inc. (2003年8月25日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、ISCO International により STI に対して起こされた特許係争訴訟事件の最終判決が出たと発表した。裁判所は、不公正な処置により「215 特許」は無効で法的強制力はないと述べた全員一致の陪審評決を支持した。しかし、裁判所は、ISCO International 側の不公正競争や背信および補償的損害賠償裁定およびこの訴訟に付随した法的費用の弁済に関する陪審評決を破棄した。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Receives Judge's Final Ruling on '215 Patent Infringement Lawsuit”

Superconductor Technologies Inc, press release (August 25, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=93276>

基礎科学

Los Alamos National Laboratory (2003年8月21日)

National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL ; Los Alamos National Laboratory の1部門)の研究者達は、超電導の根幹に関わるメカニズムに関する先端的な理論を支持すると思われる証拠を掴んだ。ビスマス、ストロンチウム、ランタン、銅および酸素を組成とする数種類の高温超電導体を使用して、研究者達は、ホール効果における急激な変化が超電導の原因と通常考えられている相転移と非常によく対応していると述べている。相転移の正確な性質は確認されていないものの、この発見と今後の研究により超電導に対する我々の理解は進むものと思われる。NHMFL におけるパルス磁界発生施設のユニークな計測装置や高磁界発生機能により、ここはこの種の研究が可能な世界でも数少ない場所の1つとなった。高磁界を使用することにより、超電導現象自体による妨害を受けることなく、或る種の材料の超電導に影響する粒子の性質の観測が可能になる。詳細内容については、雑誌 *Nature* の8月21日号を参照されたい。

(出典)

“Scientists explore complex nature of superconductivity”

Los Alamos National Laboratory press release (August 21, 2003)

<http://www.lanl.gov/worldview/news/releases/archive/03-112.shtml>

(ISTEC 国際部 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 10月のトピックス

- JNC、メンテナンスのための DC に投票 -

2003年5月16日から回付されていた IEC (国際電気標準会議) /TC90 (超電導) 規格のメンテナンスのためのコメント用審議文書 DC に対する投票が同9月26日締め切られた。日本国内委員会 JNC は、この DC に対して新たなコメントを付けて賛成投票した。また、同時に各ワーキンググループ WG の専門家の再確認並びに WG4 及び WG7 のコンビーナの推薦を行った。

JNC から追加された主要なコメントはつぎのようなものであった。

- (1) IEC 61788-1, WG2 (Nb-Ti 複合導体の I_c 試験方法): ローレンツ力の inward 及び outward の確認、用語 three-component superconducting wire 追加並びに試料調整作業中の温度上昇注意喚起
- (2) IEC 61788-2, WG7 (Nb₃Sn 複合導体の I_c 試験方法): one-mandrel 法を新 annex D に記載
- (3) IEC 61788-3, WG3 (銀シース Bi 系導体の I_c 試験方法): 追加コメントなし
- (4) IEC 61788-4, WG4 (Nb-Ti 複合導体の残留抵抗比試験方法): 追加コメントなし
- (5) IEC 61788-6, WG5 (Nb-Ti 複合導体の室温引張試験方法): Cu/Cu-Ni/Nb-Ti、Nb₃Sn 並びに銀シース Bi 系導体にスコープ拡張
- (6) IEC 61788-7, WG8 (表面抵抗試験方法): 温度領域 30K から 80K 以外の記述、Fig.5、Fig.A・3 並びに Fig.A・4 更新、並びに新規 closed-type 共振器用 mode chart(TE_{011} 及び TE_{013})追加
- (7) IEC 61788-10, WG11(臨界温度試験方法): Cu/Nb₃Al、MgB₂ 並びに Y 系 coated conductor にスコープ拡張、及び Adiabatic method と Quasi-adiabatic method の記述訂正

今後、これらのメンテナンスサイクルはつぎの順序で推進される。なお、各 WG におけるメンテナンスは、見直し期日までに(6)段階までの作業をすべて完了しなければならない。

- (1) TC 幹事によるコメント/提案の集約
- (2) 各 WG において、集約されたコメント/提案を精査し、改正原案作成
- (3) 各 WG から改定原案を沿えたメンテナンスサイクル報告書 MCR を TC 幹事に提出
- (4) 委員会原案 CD 作成・受理・審議
- (5) 委員会原案投票 CDV
- (6) 最終規格原案 FDIS 審議
- (7) 規格 IS 発行

(ISTEC 標準部 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温技術夏合宿 - 7T 超伝導マグネットへの挑戦 - つくば夏合宿実行委員会

高エネルギー加速器研究機構
加速器研究施設
細山謙二

(社)低温工学協会冷凍部会主催の恒例の第6回低温技術講習夏合宿 - 7T 超伝導マグネットへの挑戦 - が、つくばの高エネルギー加速器研究機構で1週間の日程(8月18日(月)~23日(土))で、韓国からの1名を含めた7名が参加して、開催された。

この低温技術講習会では、参加者が実際に「中心磁場 7T の小型の超電導ソレノイドマグネットを設計し、3 日間にわたる巻線作業でコイルを完成させ、電流リードや計測線の配線作業の後、クライオスタットに挿入、液化ヘリウムでの冷却、励磁、クエンチ試験を実施、その性能を実際に確かめる」というもので、一連の設計、製作、実験等の実作業を通して、低温や超電導技術に関する理解をより深めることを目的に企画されており、対象を超電導マグネットの製作に関心がある人だけと狭く限定せず、幅広く超電導・低温技術に関心がある人を対象とした。

製作する超電導ソレノイドは、コイル内直径 44mm、外直径 108mm、長さ 91mm、ステンレス製の巻枠に SSC 用の超電導マグネット用に開発された直径 0.7mm のフォルマル絶縁被覆された高性能な NbTi 超電導線材(フィラメント径 6mm, Cu/S = 1.8)を 40 層、総巻数 3840 を巻いて製作され、150A の励磁電流で中心磁場 7T が達成できる。

コイルの巻線作業は、各層のコイル端部での隙間を埋める補修作業を含めると、長時間を必要とするため、全員で受講する「超電導マグネット概論」、「超電導ソレノイドの設計」、「クライオスタットの構造や低温での測定技術」、「液化窒素やヘリウムの取り扱いを含めた低温技術」等の早朝の講義以外の時間はコイル巻線にあてた。コイルの巻線作業は、通常3名で構成されるグループが約2時間交代で引き継いで行き、その間、巻線をしていない人は、それと並行して行われるマグネットの設計、パソコンを使ったマグネットの磁場解析等の演習を行う。

完成した超電導マグネットの冷却・励磁試験は、測定する項目を最少に絞り込み(温度、コイル両端電圧、励磁電流、中心磁場、ヘリウム液面)それらの記録に3ペンレコーダーと打点式記録計を採用し測定のための準備の負担をできるだけ軽減した。

夏の暑い中、毎晩夜遅くまでコイルの巻線作業、コイルの組み立て、実験のための配線・組み込み作業を行い、8月22日(金)には冷却・励磁試験を行い、無事終了した。最初のクエンチ電流が122Aで9回のクエンチで140A、中心磁場6.6Tに到達したところで、翌日の報告会の準備もあるためここで実験を終了した。残念ながら目標の7Tには届かなかったが、夏合宿の目的が十分に達成されたものと思っている。

不安を抱えて始めた私達のこの野心的な企画も今年で6年間継続し、参加者の総数も50名を超えた。この間、1999年には、この夏合宿の海外版として、アジアの若手研究者を対象に日本学術振興会の主催で中国の北京で開催された「アジア加速器スクール」の中の1週間の実習講座として、4台の巻線機と2台のクライオスタット及び励磁電源、測定装置等を含む、実習に必要な機材一式を北京に持ち込んで、日本を含むアジアからの若手研究者50名を対象に同時に4台のマグネットを製作し、それら総べての冷却・励磁試験を無事に行うことができた。

本講習会がこんなに長く続けることが出来たのは卒業生を含めた多くの人達の協力と支援のおかげと感謝する。

[超電導 Web21 トップページ](#)

「ナノサイエンス・サマー道場」レポート

(社)未踏科学技術協会主催の第二回サマー道場が、お盆明けの2003年8月18日-20日に例年通り長野飯綱高原で開催された。大学院生や企業の若手研究者が対象と聞いていたが、参加して驚いたことに、第一線を退かれた大学名誉教授クラスの先生方から、学部2年生という“超”若手まで、年齢層が非常に広く、所属機関も大学、公的研究所、企業と多岐に渡っていた。総勢76名の参加者(同伴者除く)の内、学生が28名いたのが(講演者にとっては)救いであった。このような企画に11社もの企業が資金を提供しているのにも感心した。

今年は、青山学院大学の秋光教授が校長となり、テーマと講師の選定が行われた。テーマは「超伝導・磁性の新しい方向を目指して」。各講師は、それぞれの得意分野で1時間から1時間半の講演を行ったが、学生向けに易しく話す努力をしたにもかかわらず、会場からは「ちっとも易しくない」との不満の声も聞かれた。しかし、中堅レベル以上の研究者にとっては他分野を勉強する大変よい機会になったと思う。質問は大変活発で、学生からもたくさんの発言があったのは、ある意味で企画の成功を示しているのではないかと思う。

講演タイトルを幾つかピックアップすると、「新しい超伝導体を求めて」(秋光)「高温超伝導研究の面白さと難しさ」(田島)「物質中の宇宙論」(永長)「磁性物理における対称性の効用」(白鳥)「超伝導・半導体結合構造における量子効果」(高柳)「極磁性体の特異な性質：表と裏の色の違い」(有馬)等々。“磁性”と“超伝導”がキーワードであるが、両者が影響しあっている現象は、高温超伝導など限られたもので、それ以外は、磁性と超伝導それぞれの分野での新しい現象・物質・応用の紹介だった。参加者の中には「新しいビジネスチャンスの芽を探す」ことを目的に来られた人もいたが、ビジネスという観点では、少し遠い感じがした。講演はどれも「力作」だったと思う。各分野で着実に新しい方向性をさぐる努力がなされていることが印象づけられた。学生にとっては、将来の自分の研究テーマを選択するための指標となり、現役の研究者にとっては、物性物理の発展のために今後向かうべき方向を考えさせられる機会となった。

最後に、二日目夜の和鋼博物館館長村川氏による特別講演「たたらと玉鋼日本刀に秘められたナノテクノロジー」も、大変好評だったことを付け加えておく。にわか日本刀通が増えたかもしれない。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部長 田島節子)

[超電導 Web21 トップページ](#)

「Superconductivity for Electric Systems 2003 Annual Peer Review」の印象

住友電気工業株式会社
エネルギー環境技術研究所
超電導研究部
藤野 剛三

2003年7月23日～25日、ワシントンD.C.においてDepartment of Energy (DOE)主催の超電導関連 Annual Peer Review が開催された。23日の午前中は Superconductivity Partnership with Industry (SPI)に基づいたパワー応用関係のプロジェクトの紹介があり、午後から 2nd Generation Wire(2G)、Strategic Research、SPIの3セッションに分かれての報告となった。ただし、Strategicのセッションも大半は2G関連の発表であり、米国の超電導関連予算の多くが2Gに充てられていることが良く分かる。本報では、筆者が出席した23日、24日の2Gセッションの概略を報告する。

Los Alamos National Laboratory(LANL)では、IBAD法によるMgO中間層を採用しており、形成速度が非常に速いことが特徴である。現状で面内配向性 4.5° のMgOを36m/hで形成できる。SuperPower Inc.はLANLよりIBADの技術移転を受け、18m長のYSZ-IBAD中間層上にMOCVDを用いてYBCOを形成し、全長で $I_c=111A$ を得ている。Oak Ridge National Laboratory(ORNL)ではRABiTS基板の開発を進めており、粉末冶金によりNi-3%atW基板で面内配向性 $5\sim 6^\circ$ を得ている。10cm幅の基板も作製可能とのこと。AMSCは、ORNLより技術移転を受けRABiTS基板を用いて、TFA-MOD法により10m-30本の線材を試作した。最高値は $I_c=184A$ (10m全長)、Southwireがこの線材を24本集合し、1.25m長のプロトタイプ導体を試作。ORNLで評価を行い直流 I_c で4200Aを達成している。Oxford Superconducting Technologyでは真空溶融法によりRABiTS基板を作製。Microcoating Technologyで中間層、超電導層の形成を検討。短尺で $J_c=2MA/cm^2$ を得ている。Lawrence Berkeley National LaboratoryからはPLD-IBAD、ITEX法による中間層形成に関する報告があった。

全体的にRABiTS関連の報告が多く、コスト的に最も有利とされているRABiTS、TFA-MODの組み合わせで高特性が得られていることが特に印象的であった。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導のおはなし(その5)

超電導工学研究所
芝浦工業大学
教授 村上雅人

1. オンネスの夢

超電導を発見したオンネス教授は、この画期的な物理現象を何とか人類に役立つ技術開発に結びつけようと考えた。電気抵抗がゼロと聞くと、すぐに送電線に使ったらいいのではと考えがちであるが、液体ヘリウムを使って冷やす作業は大変な手間と労力を要する。¹ オンネス教授が考えた応用は、電磁石への応用であった。超電導であれば電気抵抗がないので、小さなコイルに大電流を流すことができるうえ、応用上問題となる発熱もない。今にして思えば、卓越したアイデアであったと感心させられる。

しかし、オンネス教授の夢は、すぐに挫折することになる。それは、超電導がわずかな磁場で壊れてしまうことが分かったからである。超電導が持続できる限界の磁場を臨界磁場(critical field: H_c)と呼んでいる。当時の超電導体は、数100(G)という弱い磁場で超電導が壊れてしまったのである。これでは、強い電磁石をつくることなど不可能である。

その後の研究の結果、超電導状態は、温度と磁場と電流の限られた範囲内でしか生じないことが明らかとなった。これら臨界値を、臨界温度、臨界磁場、臨界電流と呼んでいる。よって、工業的な応用を進めるためには、これら臨界値をできるだけ高くする必要がある。そのためには、これら臨界値がどのような機構で決まっているかを理解することが重要である。臨界温度については、すでに前号(「超電導 Web21」2003年8月号)で紹介しているので、ここでは、臨界磁場について考えてみよう。

2. 臨界磁場の壁

マイスナー効果の発見によって、超電導状態が常電導状態とは異なる新しい熱力学的状態であることが明らかになったということを説明した。これは、超電導状態では、外部磁場が超電導体内に存在できないことに対応している。

しかし、超電導体内に入ったとたん突然磁場がゼロになるわけではなく、表面に薄いながらも磁場が変化している層がある。この層の厚みを専門的には磁場侵入長(λ)と呼んでいる。実は、この領域には、超電導電流が流れていて、外部磁場が侵入するのを防いでいるのである。このしゃへいできる磁場の大きさは、流れる超電導電流の大きさに比例する。よって、外部磁場を大きくしていくと、電流も大きくなる。超電導電流が無限に流れるのであれば問題がないが、残念ながら限界がある。よって、ある磁場以上はしゃへいできないことになる。この限界が臨界磁場である。

しかし、それがたったの数100(G)というのは情けない。超電導ももっとがんばれと言いたくなるが、問題は磁場侵入長である。この厚みが0.1~1 μm 程度しかない。例えば、100(Oe)(磁束密度を磁場に換算した単位で100Gに相当する)は8,000(A/m)という磁場の強さに相当する。この磁場をしゃへいするには、 λ が1 μm の厚みとすると、なんと8,000,000,000(A/m²)という電流密度に相当する超電導電流が流れる必要がある。あらためて数値をみれば超電導はすごいと実感できる。

¹ 電力需要が加速するのは第二次世界大戦以降であり、さらに電力事情が逼迫したのは最近のことである。

しかし、これだけ弱い磁場で超電導が壊れたのでは、ほとんど使いものにならない。オンネスが超電導マグネットの夢を捨てざるを得なかったのも、これが原因である。残念ながら、オンネスの存命中に彼の夢はかなわなかったが、新しいタイプの超電導体の登場によって、彼の夢は実現することになる。

3. ヒーローの登場

1960年代に入って、超電導応用にとって歴史的なできごとが起こる。それは、オンネスが発見した超電導体とは磁場に対する応答が異なる新しい超電導体の出現であった。

さきほど、磁場侵入長の話をした。この薄い層の中を超電導電流が流れていて、そのおかげで、外部磁場がしゃへいされている。この時、磁場分布をみても、超電導体内に入るにしたがって、磁場が小さくなり、 λ の深さになったところでゼロになるという分布をとる(図1参照)。実は、この時、超電導電子の密度も変化しているのである。ただし、変化する長さは λ とは異なり、コヒーレンス長(ξ)と呼ばれている。

つまり、超電導体と外部との境界では磁場があり、超電導電子の密度はゼロである。これが、超電導体内にいくにしたがって、磁場は弱まり深さ λ でゼロになる一方で、超電導電子の密度は上昇し、深さ ξ のところまで本来の値に達する。実は、超電導体がマイスナー状態を示すのは、これら2つの特徴的な長さに関係がある。オンネスが発見した超電導体では、 ξ が λ よりも長いのである。

本来は自由エネルギーにもとづいた熱力学的考察が必要であるが、ここでは、おおざっぱに損得という観点で考えてみよう(図1)。コヒーレンス長(ξ)が磁場侵入長(λ)よりも長いということは、超電導体が外部磁場と接すると、超電導電子が壊れる体積が大きいにもかかわらず、磁場が入ることのできる体積は小さいということに対応する。つまり、入る磁場のわりには、犠牲になる超電導電子の数が多ということである。実は、マイスナー状態で、磁場をしゃへいするということは、超電導体は余分な仕事をしていることになる。ちょうど、水の中のボールが水圧を受けているような状態である。よって、磁場を超電導体内に取り込めれば、磁場をしゃへいするための仕事が小さくなるので、できれば磁場を中に入れたいのである。

ところが、磁場を入れることで得をする分よりも、超電導電子の犠牲の方がより大きいため、トータルで損をすることになる。よって、超電導体は磁場との接触面積ができるだけ小さくなるような行動をとる。これがマイスナー状態である。

それでは、もし、これら2つのパラメータの大きさが逆であつたらどうだろうか。この場合は、すこし超電導電子を犠牲にするだけで、磁場をごっそり中に取り込むことができる。つまり、磁場との接触面積を増やせば、それだけ得をすることになる。

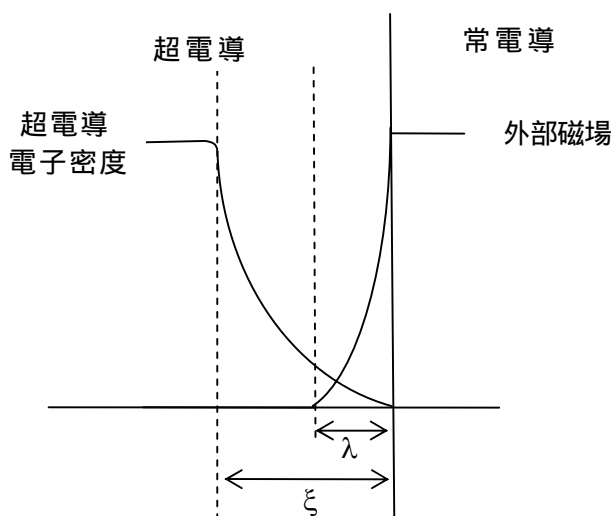


図1 超電導体に外部磁場が加わったときの超電導体表面付近の磁場分布と超電導電子密度の変化の模式図。外部磁場は、超電導体内に入るにしたがって減少し、深さ λ のところでゼロとなる。一方、超電導電子の密度は、表面ではゼロとなるが、深さ ξ のところまで本来の値となる。

実は、このような超電導体の存在が 1960 年代になって確認されたのである。ここで、オンネスが発見した超電導体を第 I 種超電導体と呼び、新しいものを第 II 種超電導体と呼んで区別している。図 2 に 2 種類の超電導体の外部磁場に対する応答の違いを模式的に示した。オンネスの時代の超電導体は、磁場が低いときには磁場を完全に排除するマイスナー状態をとるが、臨界磁場以上の磁場がかかると、常電導に転移してしまう。一方、第 II 種超電導体では、低磁場ではマイスナー状態をとるが、ある磁場から超電導体に磁場が侵入する。この磁場を下部臨界磁場 (H_{c1}) と呼んでいる。磁場の侵入を許すことで、磁場を排除するためのエネルギーを緩和できるのである。

また、超電導体に侵入した磁場は、その可能な最小単位をとる。これは、量子化磁束と呼ばれる。なぜなら、超電導と常電導の界面を大きくした方がエネルギー的に得をするからである。

この時、磁場が侵入した領域は常電導になっている。つまり、第 II 種超電導体は、自分の身を一部犠牲にしながら、磁場との折り合いをつけることで安定を保っていると考えられる。このため、オンネスの超電導体を純粹型と呼び、新しいタイプの超電導体を妥協型と呼ぶこともある。

つまり、磁場が侵入した状態では、超電導と常電導が共存することになる。このため、この状態を混合状態と呼んでいる。外部磁場が大きくなると、超電導体内に侵入する磁束の本数がどんどん増えていき、やがて、超電導全体が磁束で埋めつくされると常電導に転移することになる。この磁場を上部臨界磁場 (H_{c2}) と呼ぶ。この磁場は、種類によっても異なるが、10(T) つまり 100,000(G) をはるかに超えるものもある。つまり、強磁場中でも超電導を使えるのである。このニューヒーローの登場によって、オンネスの夢であった超電導マグネットの実現にわれわれは一步近づくことになる。しかし、世の中はそれほどあまくはなく、もう一波乱待ち受けているのである。

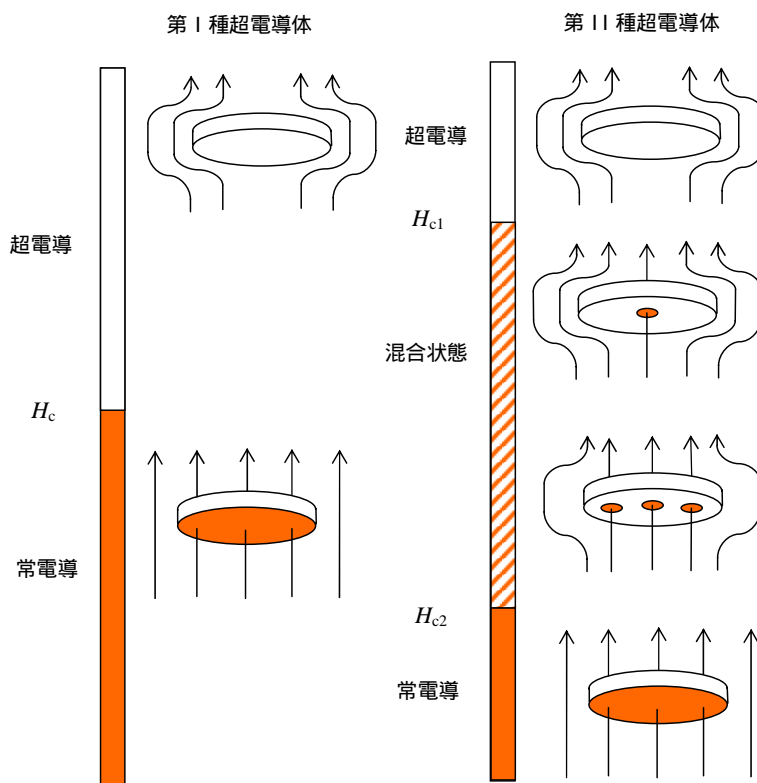


図 2 第 I 種超電導体と第 II 種超電導体の磁場に対する応答の違い

読者の広場

Q&A

Q：超電導リニアと常電導リニアとではどう違うのでしょうか？

A：「リニアモーター」とは、通常の回転式モーターを直線状に引き延ばしたもののことをいいます。リニアモーターカーは、モーターの回転子と固定子の役割を車上側及び地上側に配し、電力を供給する側（1次側）の極性を制御することによって推進力を得ています。ここでどのような磁石方式を採用するかによってその呼び方が変わります。それでは、「超電導」リニアと「常電導」リニアの特徴を説明しましょう。

まず、山梨県において（財）鉄道総合技術研究所及び東海旅客鉄道（株）が走行試験を実施している「超電導」リニアでは、推進方式にリニアシンクロナスモーター（LSM）方式を採用しています。車上側に強力な磁場を発生させる超電導磁石をN・S極が交互に発生するように配置し、地上側に設置される推進コイルに電流を流したときに発生する磁界との間の、N・S極が引き合う力、N・N極同士・S・S極同士が反発する力により車両を前進させます。浮上する力は、車両に搭載されている超電導磁石が、軌道の左右に配置されている浮上案内コイルの横を高速で通過するときに地上側のコイルに電流が流れて電磁石となり、車両を押し上げる力（反発力）と引き上げる力（吸引力）が発生することによって得られます。また、左右の浮上・案内コイルは電線により結ばれ、車両が中心からどちらかにずれると自動的に車両の遠ざかった側に吸引力・近づいた側に反発力が働き、車両を常に中心に戻します。この方式では、大きな浮上力を得ることが出来るので、高速での安定走行が可能となっています。

一方、愛知県において中部HSST開発（株）が開発を行っている「常電導」リニアでは、推進方式にリニアインダクションモーター（LIM）方式を採用しています。この方式では、車上側に常電導磁石を、地上側にはアルミを配置し、発生する渦電流によって推進力を得ています。浮上する力は、軌道に配置された鉄製レールを車上側の電磁石が吸引することにより車体を浮かせ、同時に左右方向の案内力制御も行っています。この方式では、車両が停止したままで浮上できるというメリットがある反面、浮上力が小さいので、浮上ギャップ長が10mm程度と小さい特徴をもっています。

超電導ケーブルやその他の超電導応用機器同様、超電導リニアでも、より高い性能でより安い超電導材料が望まれます。ISTECは、このような超電導材料の研究・開発に取り組んでいるのです。

[超電導 Web21 トップページ](#)