

## 掲載内容 (サマリー):

### 特集: 第19回国際超電導シンポジウム(ISS2006)

第19回国際超電導シンポジウム(ISS2006)開催

ISS2006 トピックス: 物理・化学分野

ISS2006 トピックス: 磁束物理分野

ISS2006 トピックス: パルク/特性評価分野

ISS2006 トピックス: 線材・テープ材/特性評価分野

ISS2006 トピックス: 薄膜・接合及びエレクトロニクスデバイス分野

ISS2006 トピックス: 大型システム応用分野

超電導関連 12-1月の催し物案内

新聞ヘッドライン (10/20-11/19)

超電導速報 - 世界の動き (2006年10月)

標準化活動 - 超電導標準化、第3回パネル討論会開催 -

低温工学会 第2回超電導応用研究会シンポジウム報告

隔月連載記事 - 超電導心磁計が市場にでるまで (その6 最終回)

読者の広場(Q&A) - 電力の「質」に、善し悪しってあるのでしょうか?

[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://keirin.jp>



## 第19回国際超電導シンポジウム(ISS2006)開催

(財)国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)は、平成18年10月30日(月)～11月1日(水)の3日間、名古屋国際会議場にて第19回国際超電導シンポジウム(ISS2006)を開催した。ISSは国内外の超電導に関する研究や技術開発の成果発表と国際交流を通して、超電導産業技術の開発と実用化の促進、一般社会への普及・啓蒙を図ることを目的に毎年開催しており、今年で第19回目を迎えた。今回、海外参加158名を含め総参加者715名、参加国22ヶ国となり、参加者はここ数年で最多となった。発表は招待講演者83名を含め、口頭講演145件、ポスター講演390件の合計535件となり昨年に比べ42件増となった。講演の論文は論文誌 Physica C (Elsevier B.V.) の特別号として出版される予定。また、企業11社による超電導関連材料と製品、技術の展示会も同時開催された。

第1日目は田中 ISTEC 副理事長の開会挨拶、甘利経済産業大臣(代読 中部経済産業局地域経済部長 奥田昌宏氏)の来賓祝辞に続き、水谷宇一郎氏(豊田理化学研究所)、T. Claeson 氏(チャルマース工科大学)の両プログラム委員長の司会で、2件の特別基調講演と6件の基調講演が行われた。特別基調講演では、田中昭二氏(ISTEC/超電導工学研究所長)が「日本における超電導技術の最新動向 実用化の進展」、また、D. Peterson 氏(ロスアラモス国立研究所)が「米国における高温超電導開発の概要」について講演された。基調講演では、秋光 純氏(青山学院大学)が「MgB<sub>2</sub> 超電導体と関連する物質」、P. C. W. Chu 氏(香港科学技術大学/ヒューストン大学)が「高温超電導の科学技術における YBCO の発見とその影響」、J. Martinis 氏(カリフォルニア大学サンタバーバラ校)が「2個のジョセフソン接合からなる量子ビットのエンタングルメント」、塩原 融氏(ISTEC/超電導工学研究所)が「日本における高温超電導研究開発プロジェクトの最新動向」、D. U. Gubser 氏(米国海軍研究所)が「極低温エレクトロニクスと超電導船舶用モーター」、岡 徹雄氏(新潟大学)が「高温超電導バルクの発展と応用」の講演をされた。また、夕方からバンケットが開催され、参加者の活発な交流の場が提供された。



開会挨拶をする田中 ISTEC 副理事長

第2日目、3日目は、物理・化学及び磁束物理、バルク/特性評価、線材・テープ材/特性評価、薄膜・接合及びエレクトロニクスデバイス、大型システム応用の5分野に別れての口頭発表と、4回のポスターセッションが開催され、熱心な報告と討議がなされた。

物理・化学分野では、「異方性超電導体におけるアンドリーフ反射」と題するミニシンポジウムが企画され、超電導の新材料や超電導機構の解明などの最新トピックスが議論された。バルク分野では、大型化や臨界電流向上を目指した製法研究や実用化へ向けた評価技術などの最新トピックス、最新成果の報告と議論がなされた。線材・テープ材分野では、「高温超電導体の発見から20年；線材・テープ材の研究開発」と題した特別セッションや、日米欧におけるY系高温超電導線材・テープ材に関する最先端技術開発の成果、テープ線材の電流密度、交流損失などの特性評価方法、さらに電力機器分野での応用などが報告され活発な議論が行われた。薄膜・デバイス分野ではY系高温

超電導の SQUID、フィルター開発のトピックス、そして、Nb 系低温超電導の AD コンバータ、ルーター、SFQ プロセッサなど高集積デバイス、超高速低消費電力サーバー開発に向けた開発成果が報告された。

さらに大型システム応用分野では、超電導マグネットやモーター、発電機・変圧器、磁気浮上ベアリングなどの産業応用、ケーブル、SMES、限流器など電力システム応用の実証試験を含む開発の進捗が報告された。

第 3 日目午後のクロージングでは、前田京剛氏(東京大学) が物理・化学 / 磁束物理分野を、D.U.Gubser 氏(米国海軍研究所)がバルク分野を、山田 穰氏(ISTEC/超電導工学研究所)が線材・テープ材分野を、田辺圭一氏(ISTEC/超電導工学研究所)が薄膜・デバイス分野を、大崎博之氏(東京大学)が大型システム応用分野での各発表をそれぞれ総括された。最後に ISS2006 組織委員長の田中 ISTEC 副理事長から閉会スピーチがあり、来年 11 月 5 日から 11 月 7 日の 3 日間につくば市で開催予定の ISS2007 での再会を願って盛会裏に閉幕した。



オーラルセッション



展示会

(ISTEC 調査・企画部長 佐伯正治)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## ISS2006 トピックス：物理・化学分野

東京大学  
大学院総合文化研究科  
助教授 前田京剛

数年前より ISS では、何かトピックスを選んで Mini-symposium のような形のセッションを設けている。今年度は「超電導体のアンドレーフ反射」がそのテーマとして選ばれた。銅酸化物超電導体に代表される新超電導体は、超電導状態に従来超電導体にはない数々の新しい側面をもっており、それらをよく理解することが、最適な応用への第一歩である。そのために鍵となるコンセプトがアンドレーフ反射であり、これら新超電導体の超電導状態での不純物効果、磁束量子の運動・エネルギー散逸、ジョセフソン効果など、超電導状態でのほとんど全ての現象はアンドレーフ反射に始まり、アンドレーフ反射で終わるといっても過言ではない。これらに対して超電導研究者が理解を共有することを目的として Mini-symposium 「超電導体のアンドレーフ反射」が設けられた。このセッションでは、高柳（NTT）がアンドレーフ反射のレビューに加えて、カーボンナノチューブで非常に高磁場まで近接効果が観測されていることを報告し、聴衆を驚かせた。異方的超電導体でのトンネル効果の理解にアンドレーフ反射が本質的であることを指摘した先駆者の一人である柏谷（産総研）は、異方的超電導体のトンネル効果のレビューを行い、同じく先駆者の田仲（名大）は強磁性体がバリアにあるときなどに必須となってくる奇周波数クーパ対について講演した。前田（東大）は高温超電導体の磁束量子のフロー運動では、従来超電導体と異なり、磁束量子コアの境界でのアンドレーフ反射が支配的な役割をはたし、準粒子と超流体が渾然一体となった大きな散逸が生じてしまっていることを実験結果に基づき示した。磁束量子の運動を応用する場合は、この散逸を抑える何らかの工夫が必要であろう。この他にも、西田（東工大）は STM を用いた磁束量子のコア観察について最新のデータを報告した。Wei（トロント大）は、逆に、アンドレーフ反射を手段として利用して、最近注目されている充填スクッテルライト超電導体  $\text{PrOs}_4\text{Sb}_2$  の複雑な超電導状態の相図を決定することができることを示した。この様に、Mini-symposium は一応当初の目的を達することができたと思われる。

Mini-symposium 以外には、角度分解光電子分光（ARPES）（井野（広島大）他）で最新の結果がいくつか報告されたが、ARPES のデータも、装置の進化などにより、年々、他のプローブによる結果との整合性がよくなっているという印象を受けた。あと数年すると、何が本当に重要な結果かの整理がさらに進むと期待される。高温超電導の物理・化学で常に最重要課題とされる電子相図の理解に関しては、Dagan（テルアビブ大）が、電子超電導体の輸送特性データに基づき、 $x=0.16$  の量子臨界点の存在を主張した。また工藤（東北大）は SIM のデータに基づき、特殊な秩序状態の存在を示唆した。（会議では報告されなかったが）我々はマイクロ波で超電導ゆらぎを詳細に調べることにより、不足ドーパ・最適ドーパの境目に大きな変化があることを主張しており、あと数年でこれらの主張が一つの統一した秒像として開花することを期待したい。物質面では、ポロンドープダイヤモンドを初めとして、いくつかの新物質関連の興味深い講演があったが、Jin（中国科学院）がキャリアの空間分布をより秩序化させることにより  $\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  で 95 K の  $T_c$  を実現したというのが印象的であった。まだまだ既成の  $T_c$  が上昇する可能性が示唆されたように思われる。このように、高温超電導 20 周年の記念すべき年に行われた ISS を終えた感想として、20 年たった今なお、銅酸化物高温超電導体は現象の宝庫であり、様々な興味深い研究題材、応用の可能性を提示してくれているということを再認識した。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## ISS2006 トピックス：磁束物理分野

磁束物理分野については、口頭発表が13件（招待1件）、ポスター発表が18件であった。口頭発表のうち5件がMgB<sub>2</sub>関連であり、その他、MoGe膜、Bi2212系、メゾスコピック系などの報告があった。以下、口頭発表を中心に各分野のトピックスをまとめる。

MgB<sub>2</sub>は非常にクリーンな系であることから、disorderの導入によりH<sub>c2</sub>等の物性が大きく影響を受けることが知られている。Putti（ジェノバ大）らは欠陥の導入が各種物性にどのように影響するのかを中性子照射を用いて系統的に調べ、欠陥量の増大とともにバンドとバンドにおける散乱時間や超電導エネルギーギャップが大きくなることを明らかにした。また、中性子照射によるJ<sub>c</sub>値の増加について、今まではH<sub>c2</sub>の増大効果によるものという説が有力であったが、ピン力密度の解析から新たなピン止め中心が導入された効果もあると結論づけた。一方、東北大の野島らはAlドープMgB<sub>2</sub>の磁気トルク測定から、H//ab近傍でlock-in現象がみられることを示し、バンドの超電導性を反映している可能性を提案した。その他、希土類ドープ効果について南西交通大学のZhaoら、ならびに東大の桂らより報告があった。

磁束ダイナミクスに関しては、MoGe系について小久保（九大）らが通電測定およびモードロッキング測定から磁束フロー状態での磁束コヒーレンスの変化する相転移の存在を、また、大熊ら（東工大）は極低温において観測される量子磁束液体転移はdisorderによらず、-Mo-Ge、-Mo-Si等の系に共通してみられる現象であることを報告した。

一方、最近は、加工技術の発達により、メゾスコピック系における磁束の研究が盛んに行われている。神田（筑波大）らは非対称な形状をもつ微小超電導リングにおいて、1D磁束という特異な状況が実現することを実験的に示した。また、加藤（大阪府大）らはメゾスコピック系においては表面効果により超電導体の対称性がサイズや形状によって大きく影響を受けることを計算機シミュレーションの結果から示した。石田（大阪府大）らは四角格子状に穴をあけたPb膜における磁束分布をSQUID素子で観察し、編み目が半分占有された状態ではチェッカーボード状に自己配列する等興味深い現象が現れることを示した。

（SRL/ISTEC 材料物性研究部 筑本知子）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## ISS2006 トピックス : バルク / 特性評価分野

芝浦工業大学  
大学院 工学研究科長  
工学部 材料工学科 教授  
村上雅人

基調講演において新潟大学の岡は、バルク RE-Ba-Cu-O 超電導体のプロセスと応用についてまとめた。特に、開発から 10 年程度で、材料が商業化されたこと、それにともなってバルク超電導体を利用した応用開発が活発化したことを指摘した。IFW の Krabbes らは、バルク超電導体の応用が進んでいるが、材料そのものにも改良の余地があることを指摘した。例えば、大型バルク材においても Zn や Li ドープによって特性改善が得られることを指摘し、マクロなレベルで組織制御が可能であることを示唆した。CRISMAT の Noudem らは Y211 バルク前駆体に人工孔を設け、その後 Ba-Cu-O を浸透させる手法でバルク体を作製することで、0.6mm-1mm 径の孔を 50 個以上導入されたバルク体を作製した。この孔に低融点合金を含浸させることで、パルス磁場の捕捉能が 60% 以上改善することを示した。Cambridge 大学の飯田らは、MgO ドープした Nd-Ba-Cu-O を種結晶とすることで、cold seeding 法によっても特性にすぐれた単ドメイン Gd-Ba-Cu-O の合成に成功したと報告した。KAERI の Kim らは、ボールミリングで微細粉碎した BaCeO<sub>3</sub> ナノ粒子の Y-Ba-Cu-O への添加効果について報告した。粒子の微細分散が得られ、局所的な臨界電流は向上するが、現時点ではマクロな偏析が生じるため、バルク全体での特性改善にはつながらないと報告した。超電導工学研究所の成木らは、微細粉で作製した前駆体にクラックなどの欠陥が生じやすいことに注目し、微量の有機バインダーを添加することで、欠陥生成が抑制されることを示した。また、有機バインダーを添加することで、厚膜なども含めた様々な種類のニアネットシェープ体が欠陥の導入なく製造できることを報告した。新日本製鐵の森田らは、バルク超電導体をらせん状に加工して電流端子を設けることにより、捕捉磁場型ではなく、通電コイル型の磁石を製造できることを示した。1mm 厚程度のらせん状コイルを重ねて励磁して、54K で 2.3T の磁場を発生するのに成功している。理研の中村はイムラ材料開発研究所との共同研究で、バルク超電導磁石を利用した NMR 分析装置の開発に関して報告した。将来的には医療現場において糖尿病の診断などに有効となる可能性を示唆した。超電導工学研究所の坂井らは、直径 140mm を超える大型バルク超電導体の特性について報告した。5T で磁場中冷却した際、65K における捕捉磁場は 2 個重ねた中間位置で 5T を記録した。高捕捉磁場の他にも、総磁束量が多い、より遠方まで磁場が届くなどの利点もある。東京海洋大学の木村らは、直径が 100 から 140mm の大型バルク超電導体のパルス磁化特性について報告した。同グループが開発したうずまき状コイル 2 対でバルクをはさむことで、比較的高い磁場の捕捉に成功しているが、大型バルクの特徴を引き出すためには、今後さらなる検討が必要であることも示唆した。岩手大学の藤代らは、複数回のパルス着磁をする際に、初期段階での捕捉磁場分布が、それ以降の着磁特性に影響を与えることに着目し、どのような磁場分布が適しているかを報告した。以上の口頭発表の他にも、基礎から応用の多岐にわたるポスター講演が 58 件あった。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## ISS2006 トピックス：線材・テープ材 / 特性評価分野

線材のセッション (WT) では、高温超電導発見 20 周年を記念して各分野からの招待講演が 2 日に開催され、日米欧からの代表者による発表があり、夜遅くまでディスカッションが続いた。住友電工、フジクラ、AMSC、SuperPower などの会社、研究機関から YBCO、BiSCO、 $MgB_2$  に関する長尺の発表があり、発見当時は  $T_c$  特性しかなかった材料が大きく育ち、改めて 20 年の進展ぶりを感じた。

研究発表では、主に YBCO の発表が多かった。中でも米国 SuperPower 社の進捗が目覚しく、線材作製量、作製速度、特性とも他社、他機関に比べて大幅な進捗があった。彼らは、IBAD+CVD で線材を作製しているが、今回、IBAD プロセスは 120m/h、スパッタによる中間層は 80m/h、CVD は 45m/h の高速化を達成した。これにより安定して 200A クラスの線を作成している。また、最高特性の線は、 $I_c=191A$ 、長さが 427m であり、いわゆる  $I_c \times L$  で 81550Am を記録し、今年の夏に自身が記録していた値を大幅に更新した。さらに、彼らは米国 Albany ケーブルプロジェクトに参加しており、このための YBCO ケーブル用に 5 月から 9 月にかけて総長 12km の線材を作製したとのこと。2 番手グループは、日本の SRL 名古屋 (212mx245A, IBAD-PLD)、米国 AMSC 社 (94mx300A, TFA-MOD) などであるが、その製造速度、作製総量など大きな差がついており、巻き返しが期待される。欧州は日米に比べ大分遅れていたが、今回、EHTS 社が IBAD-PLD 法で 100m-253A の線を作製し、ようやく追いついてきた感がある。表に日米欧の現在の主な長尺結果を示した。新しい材料では、SRL 名古屋のグループが長さは 60m と短いが磁場中特性が従来の YBCO に比べ 3 倍優れる GdBCO を開発した。これは製造速度も YBCO に比べ 3 倍速いので、線材実用化に非常に有望である。

表 1 日米欧の代表的長尺特性

機関	$I_c \times L$	$I_c$	L	製法
SuperPower (米国)	81550Am	191A	427m	IBAD+CVD
AMSC (米国)	28200Am	300A	94m	RABiTS+MOD
SRL 名古屋 (日本)	52087Am	245A	212.6m	IBAD+PLD
EHTS (ドイツ)	25300Am	253A	100m	IBAD+PLD

短尺試料による特性向上では、SRL 東雲の TFA-MOD による Ba-poor 組成による報告があった。この方法で現在、700A 以上の  $I_c$  が得られている。また、同機関は長尺でも 30m、50m 級線材で  $I_c$  が 200-300A のものを得ている。同様に、短尺試料であるが、磁場中で  $J_c$  特性をあげる人工ピンの研究も盛んである。単結晶基板でスペインの Obradors のグループは TFA-MOD 法 YBCO に  $BaZrO_3$  を入れることで、また、名大の吉田のグループは低温成膜法と低  $T_c$  相を混合する方法でいずれも高い  $J_c$  特性を得ている。1T の  $J_c$  にして、1-2MA/cm<sup>2</sup> の値であり、金属基板に比べて数倍高い。これが将来線材に生かせればさらに有望な進展になるであろう。

また、線材の応用化検討も進んでおり、長尺化とともにコイルによる磁場特性の検討も進んでいる。長尺化の実績を生かし、SuperPower社は2.4Tコイル、AMSC社は1.5Tコイルを作製した。また、SRL名古屋は磁場中特性に優れるGdBCO線材で1.2Tのコイルを作製した。各コイルとも、温度は64K(減圧液体窒素)である。SRL名古屋はこのGdBCOコイルをさらに液体He温度で励磁して、5.7Tの高磁界を得ていた。通電電流は895Aで臨界電流密度は7.45MA/cm<sup>2</sup>にもなる。発生磁場だけでなく、電磁力や冷却ひずみなどにも十分実用域に達する線材であることが実証できた。

総じて大幅な進歩が各特性で見られた。まとめると、長尺化は500mクラス、臨界電流は0Tで200-300A、短尺では0Tで700A級、1Tで200A、3Tで50-80A級が得られており、実用線材としての可能性が大幅に高まったと言える。

(SRL/ISTEC 名古屋高温超電導線材開発センター長 山田 穰)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## ISS2006 トピックス：薄膜・接合及びエレクトロニクスデバイス分野

本分野では、30件の口頭講演、75件のポスター発表が行われ、論文総数は昨年とほぼ同数であった。California大のMartinis氏によるジョセフソン接合を用いた量子ビット(Qubit)に関する基調講演に加え、磁束Qubitに関する3件の招待講演がこの領域をリードするMooij(Delft大)、Nakamura(NEC)、Semba(NTT)の各氏により行われた。現状では、2つのQubit間の絡み合い(entanglement)やC-NOTゲート動作が実証され、より多数のQubitをどのように結合していくかが、コヒーレンス維持時間の改善と共に大きな課題となっている。講演では、Qubitそのものを用いる結合方法やLC共振回路を用いる方法が示された。また、d波超電導体であるY系薄膜を用いた粒界接合やBi系固有接合において、マクロ量子トンネル現象の観測が報告され、Qubit応用への可能性が示された。

MgB<sub>2</sub>に関しては、Tiバッファ層を用いたZnOやフレキシブル基板上への薄膜成長が岩手大や島根大グループから報告された。SISトンネル接合については、自然バリアあるいは熱酸化バリアによりギャップ構造が明瞭に見える接合は得られるものの(Arizona大報告)、リーク電流が大きく、有用な接合の作製にはまだ多くの課題があるように思える。また、NMR応用をねらいとした薄膜共振回路作製の試みが日立より報告された。

SQUID応用では、Nb系SQUIDを用いた高度な心磁計測システムの報告(韓国、KRISS)に加え、高温超電導SQUIDを用いた免疫検査装置(日立)、LSI検査装置(NEC)、非破壊検査技術(豊橋技大)、NQR検査装置(NIMS、阪大)の開発状況が報告された。高温超電導SQUIDに関しては、市販品に比べ数倍高感度なものへのニーズが大きいようである。高周波応用では、第4世代基地局用送信フィルタの開発に関し、Y系超電導薄膜上の誘電体層積層(富士通)やバルク材料(山形大)を用いることで耐電力特性が大幅に改善されることが示された。その他、ALMA計画用SISミキサの開発(国立天文台)やテラヘルツ応用をねらいとした高感度のトンネル接合検出器開発(理研)の進展が報告された。

デジタル応用では、NEDOプロジェクトによる、スイッチ応用をねらいとしたNb系単一磁束量子(SFQ)デバイス開発及び計測器などの小規模応用をねらいとした酸化物系SFQデバイス開発の進展がSRLや名大、横国大より報告された。Nb系、酸化物系共に、プロセス技術や回路設計技術に関しては世界を大きくリードしており、また冷凍機実装したスイッチ回路による高速信号処理やコンパクトなサンプラー計測システムのデモンストレーションの準備が進んでいる。海外では、米国で軍のサポートを得て無線用ADコンバータの開発を行っているHYPRES社が、民生応用に向け、受信側だけでなく送信側のデジタル信号処理もSFQ技術で行うデジタル-RFトランシーバと呼ぶシステムの開発も開始している点が注目された。

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部長 田辺圭一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## ISS2006 トピックス：大型システム応用分野

東京大学 大学院新領域創成科学研究科  
先端エネルギー工学専攻  
教授 大崎博之

大型システム応用分野では、基調講演として1件、オーラルセッションで5件の招待講演を含む9件、ポスターセッションで51件の発表があった。このうち、電力機器に関するものは34件であり、他には船用回転機、磁気浮上・磁気軸受、磁気分離、ドラッグデリバリー、NMR、MRI等、幅広い超電導応用機器・システムをカバーしていた。また、韓国から電力機器を中心に25件の発表があり、韓国における最近の活発な研究開発状況を反映している。

D.U. Gubser (Naval Research Laboratory、米国) は、軍事船舶用同期モータの研究開発現状として、2004年に試験された5MW同期モータと、現在製作が進められ、2007年始めに完成予定の36.5MW機について報告があった。さらに固定子巻線も超電導化し、駆動回路も低温化して一体化した全超電導機の研究も進められている。H.-W. Neumueller (Siemens、ドイツ) からは、4MVA、3,600rpmの同期機の開発と試験結果概要の報告があり、さらに4MW、120rpmの船用回転機の計画についても紹介があった。

米国 Albany の高温超電導ケーブルプロジェクトにおけるケーブル敷設と試験結果の報告が、住友電工のH. Takigawa からあった。3心一括の34.5kV、800A、48 MVA、350m長ケーブルは2006年7月20日に運転が開始された。2007年夏には30m区間が2G線材のケーブルに置き換えられ、同年秋には運転が開始される予定である。韓国 KEPCO Gochang ケーブルプロジェクトについても3つのポスター発表があった。22.9 kV、1250A、100m長の超電導ケーブルは、すでに現地に設置、試験も実施された。また、古河電工のS. Mukoyama からは、Y系線材を使用した電力ケーブル開発について報告があった。2mm幅線材で交流損失0.054W/m @1kAが得られ、次ステップとして、66/77kV級500A、20m長のケーブルの製作、デモンストレーションを計画している。

M. Noe (FZK、ドイツ) からは、Y系線材を使用した超電導限流器の開発について報告があった。線材の基板と保護膜間を線材長手方向に連続的に接続することが、線材の様なSN転移に有効であることを示した。1m程度までの長さの線材を使用して、臨界電流が場所によって最大3倍程度異なるような特性均一度の悪い線材であっても、線材にダメージを与えることなくSN転移することを実証した。

パルク超電導体の強力な磁石としての応用研究として、理化学研究所のT. Tanaka からはシンクロトロン放射光源としてのアンジュレータへの応用について、大阪大学のS. Nishijima からはドラッグデリバリーシステムへの応用について発表があった。

全体的に、Y系線材を利用した、あるいは想定した研究発表が増えており、これは、Y系線材開発の進展に伴う応用への期待の高まりや、線材開発と機器開発の同時進行による実用化へ向けた開発のスピードアップ化を反映している。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導関連 12-1月の催し物案内

### 11/27-12/1

MRS Fall Meeting

場所：Hynes Convention Center & Sheraton Boston Hotel, Boston, Massachusetts

主催：Materials Research Society

問合せ：

Tel:724-779-3003、Fax:724-779-8313

e-mail:info@mrs.org

<http://www.mrs.org/>

### 12/7

第5回低温工学・超伝導若手合同講演会

場所：大阪市立大学文化交流センター 研修室

主催：低温工学 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

### 12/7

超伝導科学技術研究会 第65回ワークショップ「新分野を拓く高磁界・大容量超伝導線材」

場所：化学会館、東京、千代田区

主催：未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会

問合せ：

Tel:03-3503-4681、Fax:03-3597-0535

e-mail:fsst@sntt.or.jp 為田

<http://www.sntt.or.jp/fsst/index.html>

### 12/14-15

第34回研究会「高温超伝導体発見から20年」

場所：超電導工学研究所 大会議室、東京、江東区

主催：応用物理学会超伝導分科会

問合せ：Tel:042-388-7229

e-mail:minaito@cc.tuat.ac.jp 内藤

<http://annex.jsap.or.jp/support/division/super/>

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

## 新聞ヘッドライン (10/20-11/19)

明るいがん講座 放射線治療 厄介な副作用 10/20 読売新聞  
国際標準の獲得戦略 政府が原案 官民で人材育成 10/22 読売新聞  
早期肺がん 放射線で撃退 手術との比較試験開始 ピンポイント照射、負担軽く 転移があれば治せず 10/23 朝日新聞  
電力貯蔵用リチウム電池 開発の規格を決定 慶大など 10/24 日経産業新聞  
再生エネルギーの現場から 国際シンポジウムに見る現在・未来 自立分散型システム創生を 10/26 フジサンケイビジネスアイ  
電気事業者の新エネ導入量 エネ庁が新目標設定 2014年度まで きょう調査会 10/26 日刊工業新聞  
超電導技術でシンポ 30日 - 11月1日 名古屋国際会議場 約20カ国から650人参加 10/27 日刊工業新聞  
自然エネルギー比率上げ 電力量の1.5 - 2% 2014年度 電力会社に供給義務 経産省検討 風力・太陽光など 10/27 日本経済新聞  
超電導コイルの巻線法改善 交流損失1/3に 国際超電導産技研・九大など 10/30 日刊工業新聞、電気新聞  
超電導技術開発 500件の成果を発表 ISTE、名古屋で国際シンポ 10/31 電気新聞  
就職力 芝浦工業大学 工学部材料工学科 視野広げる技術者教育 10/31 朝日新聞(夕)  
「ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構」 東大は発足式 NEC・日立など学内にラボ 10/31 日刊工業新聞  
超電導コイル エネルギー損失1/3 ISTE 変圧器など応用期待 11/1 日経産業新聞  
MRI用の造影剤 がん発見しやすい新素材 慶大、2-3年で実用化 11/1 日経産業新聞  
日立金属 産業用磁石子会社を吸収 TOB実施、最大973億円 11/7 日本経済新聞、日経産業新聞  
冷凍能力 世界最高の540ワット実現 室温磁気冷凍システム 中部電などが開発 11/8 日刊工業新聞  
脳卒中 未然に防ぐ 突然、強烈なめまい MRIで脳動脈瘤発見 11/9 朝日新聞  
高砂熱学など 太陽光も水素で保管 エネルギー貯蔵システム 11/9 日経産業新聞  
燃料電池鉄道 開発進む 架線不要、景観にもメリット JR東が走行試験 コスト・運用に課題 11/9 日経産業新聞  
環境ルネサンス 電磁波 安全?危険? 送電線VS住民 埋まらぬ溝 11/10 読売新聞  
放射線治療「トモセラピー」 複数がん 撮影と共に撃つ 11/10 読売新聞(夕)  
環境ルネサンス 電磁波 安全?危険? リスクの有無より対策を 11/11 読売新聞  
コジェネセンターがシンポ 普及拡大へ議論 SMES等導入事例を報告 11/15 電気新聞  
電源特別会計2勘定 財務省、統合を打診 税配分の維持焦点に 11/16 電気新聞  
粒子加速器「国際リニアコライダー」 日米、威信かけた誘致合戦 米が一步リード? 11/19 読売新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導速報 - 世界の動き (2006年10月)

### 電力

#### American Superconductor Corporation (2006年10月3日)

American Superconductor Corporation は、韓国の Korea Electrotechnology Research Institute (KERI) から 10 年計画の SMES 開発への使用を目的とした第 1 世代 HTS 線材 22,000m の注文を受けた。大部分の商用 SMES は LTS を用いるが、HTS 線材を用いた SMES は LTS に比べ 5~10 倍高い温度で動作させることが期待でき、電力グリッド用途としてはより効率的で、頑丈、かつ使いやすくなる。AMSC 社副社長兼線材部門統括責任者 Angelo Santamaria は次のように述べた。「KERI の SMES システムには独特な高性能 4 層超電導線材が求められている。これは、我々が KERI と共同して開発した第 1 世代線材をベースとした製品である。我々は次世代線材の開発を進めると同時に、第 1 世代線材についても顧客の要求仕様に速やかに対応していける能力を有しており、これが、この注文を勝ち取った重要な鍵と言える。」KERI プロジェクトは、韓国科学技術省の資金を得て進められている。

AMSC 社は 2006 年 9 月 30 日に終了する 2007 年会計年度第 2 四半期に、ほぼ 150,000m の第 1 世代 HTS 線材の注文を受けた。AMSC 社は第 2 四半期の初めに 400,000m の第 1 世代 HTS 線材の受注残を有していた。同社は 2007 年 12 月までに現在の在庫の大部分が販売できるものと考えている。また、この時期までに次世代線材については年間総生産量は 720,000m に達しているはずである。AMSC 社は 2006 年 6 月 30 日に第 1 世代 HTS 線材の生産を終了している。

出典:

“American Superconductor Wins New HTS Wire Order from Korean Technology Developer”

American Superconductor Corporation press release (October 3, 2006)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=911368&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=911368&highlight)

#### American Superconductor Corporation (2006年10月10日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、Windtec Systemtechnik GmbH (Windtec) から 450 セットの PowerModule™ PM1000 の追加注文を受けた。Windtec 社はオーストリアの風力タービンシステムの開発を手がけ、その設計ライセンスを有すると同時に風力発電システムの開発、販売も行っている。Windtec 社は中国の大手風力発電システムメーカー向けに、PowerModule システムに他の電子部品を組み込み出荷する。今回の新しい注文は、2006 年 2 月の Windtec 社からの PowerModule 発注の 3 倍にのぼる。Windtec 社社長 Gerald Hehenberger は次のように述べた。「AMSC と Windtec は Windtec 社風力発電システム設計に必要な PM1000 システムの電圧制御及び電気制御最適化のため緊密な連携をとってきた。AMSC 社の PowerModule システムは最高であり、顧客向けに我々が設計するシステムに大きな柔軟性と性能をもたらしてくれる。我々は、AMSC 社との関係を発展させ、急速に伸びている風力発電市場でこの関係を最大限有効に活用していきたいと考えている。」AMSC 社は PowerModule システムを 2008 年 3 月 31 日に終了する四半期に出荷する予定。今回の注文は、過去 12 ヶ月、Windtec 社からあった 4 回目でかつ最大の注文である。AMSC 社最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。「風力発電の世界市場は AMSC 社にとって大きな成長分野となった。我々はこれが将来長きに亘って継続するものと考えている。Windtec 社は我々の PowerModule システムにとって中国市場への重要なチャンネルである。我々は、風力によるゼロエミッション発電のため、中国や他の急速に発展している国々の目的に見合うよう Windtec 社との緊密な関係を継続していく。」今回の注文により、AMSC 社の D-VAR® 及び

PowerModule ソリューションは 2,500MW を超える風力発電電力に使われることとなり、これは 2007 年 3 月 31 日までに 2,000MW という AMSC 社の目標を上回る。

出典:

“American Superconductor Receives Follow-on Order from Windtec for PowerModule™ Systems to be Utilized in 450 Chinese Wind Turbines”

American Superconductor Corporation press release (October 10, 2006)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=913740&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=913740&highlight)

## HTS-110 Ltd. (2006 年 10 月 19 日)

HTS-110 社は、総額 120 万ドルの HTS マグネット 2 台の設計・製作契約を結んだ。1 台は Hahn-Meitner インスティテュート・ベルリンのエレクトロン・シンクロトロン施設向け、1 台は Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO)の新しい OPAL 中性子施設向けである。現在、シンクロトロン・ビームラインに使われるマグネットは銅か LTS マグネットであるが、ベルリンに設置されるマグネットは世界初の HTS マグネットである。この HTS マグネットは、高い性能(5T)及びコスト競争力の観点から選ばれたもので、パルスチューブ冷凍機により約 20K に冷却して運転される。HTS-110 社最高責任者 Sohail Choudhry は次のように述べた。「このマグネットの開発はシンクロトロン・ストレージのみならずビーム・ライン実験の分野という大きな領域を切り開くものであり、HTS 産業にとっては大きなチャンスである。」

ANSTO のマグネットは、重量 250kg、線材総延長 10km と、HTS-110 社がこれまで製造した中で最大のものである。オーストラリア、ニュー・ウエールズ州で運転準備が進められている OPAL 中性子施設に設置される予定。このマグネットはその運転に液体ヘリウムを必要としないので、経済的かつ取り扱いが容易である。

出典:

“Two overseas contracts scored for high-tech magnets”

HTS-110 press release (October 19, 2006)

<http://www.hts-110.com/news/coverage/new-orders.html>

## American Superconductor Corporation (2006 年 10 月 25 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国海軍 Naval Sea Systems Command (NAVSEA)と HTS 船用モーター及びパワーエレクトロニクスシステムの設計、最適化を目的とした総額 530 万ドルのコスト・プラス・フィー契約を結んだ。最初の 190 万ドルは、DDG-1000 and CG(X) 海上戦闘艦への搭載が可能となるよう、モーター、ドライブ及び電気システムオプションの最適化に重点的に使われる。契約第 1 期は今後 6 ヶ月で完了することになっている。AMSC 社最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。「この契約は今後の米国海軍との一連の契約の最初のものになると我々は確信している。また、この契約を契機に、我々は将来の米国海軍の海上戦闘艦や他の海軍船舶向け HTS モーターやパワーエレクトロニクスドライブの最適化の仕事を継続していけるのではないかと考えている。また、この開発は商用船舶への革新的な高性能モーター採用の基礎固めにも寄与することとなる。AMSC 社の技術は、従来技術を上回る重要かつ唯一の恩恵をもたらすものであり、我々は海軍にこれを提供していきたいと考えている。」

AMSC 社は現在、海軍研究所向けに 36.5-MW HTS 船用モーターのコンポーネントを組み立て、試験を進めているところである。このモーターは完成すれば、重量 75 トン、従来の銅ベースの船用モーターシステムに比べサイズは半分、重量は 1/3 となる。工場試験は 2006 年末に終了予定。

出典:

“American Superconductor Wins New U.S. Navy Contract for HTS Motor Design and Optimization”

American Superconductor Corporation press release (October 25, 2006)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=920995&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=920995&highlight)

### Zenergy Power plc (2006年10月26日)

Zenergy Power plc は、E.ON Wasserkraft GmbH がドイツ、バイエルン州の水力発電所に世界初の HTS 水力発電機を設置することを決めたと発表した。1.25MW の水力発電機は Zenergy が特許を持つ HTS 材料を組み込んだもので、98%以上の効率を可能とするものである。発電機の効率向上は再生可能エネルギーの経済性を改善するものである。予想される全開発費及び設置費は 344 万ユーロで、内、185 万ユーロを EU が負担する。水力発電機は、Converteam 社 (以前の ALSTOM Power Conversion 社) が Trithor GmbH の超電導コイルを用いて製造する。メンテナンス・フリーの冷凍機は Stirling 社によって製造されている。この超電導発電機は、試験、据付が完了すれば約 2000 世帯に電力を供給することになる。E.ON Wasserkraft GmbH 電気工学部門の責任者 Ulrich Fuchs は次のように述べた。「HTS 材料を発電機に組み込む世界初の会社になることは、当社にとって非常に大きな将来展望が開けるということである。ヨーロッパ最大の水力発電事業者として、我々は Zenergy の技術が再生可能エネルギーによる発電にもたらす経済的利点を楽しむ理想的な位置取りができるものと考えている。この発電機を現在のグリッドに組み込むことに大いに期待しており、この画期的な仕事を支援してくれた EU に感謝している。」

出典:

“Hydro-Generator Collaborative Project with E.ON Wasserkraft GmbH”

Trithor press release (October 26, 2006)

[http://www.trithor.com/pdf/press-en/2006-10-26%20Hydro%20Power%20Generator%20Trithor\\_en.pdf](http://www.trithor.com/pdf/press-en/2006-10-26%20Hydro%20Power%20Generator%20Trithor_en.pdf)

### American Superconductor Corporation (2006年10月31日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、中国の電線、ケーブル産業のための開発、標準化を進めている主要機関である Shanghai Electric Cable Research Institute (SECRI)と戦略的ビジネス・アライアンス契約を結んだ。このアライアンスにより、中国における HTS 電力ケーブルの利用を開拓、推進する。この契約の下で、AMSC 社は SECRI への優先的 HTS 供給業者となり、また、将来も含め (SECRI のライセンサーとしての) 全ての超電導ケーブル製造業者に対しても優先的に推薦を受けることができる。SECRI は、全中国の電力ケーブル製造業者向けに HTS 電力ケーブルを開発、認証することを計画している。この目的に向けた第 1 歩として、SECRI は AMSC 社の HTS 線材を使った 110kV、30m 長の電力ケーブル・プロトタイプの開発、試験を予定している。完成したケーブルは、おそらくは上海の電力グリッドに組み込まれることとなると見られる。SECRI は、また、AMSC 社の D-VAR(R)システムを全中国の意思決定権者に紹介することにより同社を支援する。

Frost & Sullivan 社のエネルギー・アナリストによれば、2004 年の中国の電力の伸びは世界の電力需要の伸びのほぼ 41%を占めている。

出典:

“American Superconductor and Shanghai Electric Cable Research Institute Announce Strategic Business Alliance”

American Superconductor Corporation press release (October 31, 2006)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=923811&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=923811&highlight)

## 通信

### ISCO International, Inc. (2006年10月3日、26日)

ISCO International, Inc.は、第3四半期の収支を発表した。ISCO社は、2006年9月に、同社が2005年1年間を通じて挙げたよりも高い収入を得た。これは、過去の同社の歴史で4番目の好決算である。第3四半期は、純収入も好調であり、50万ドルとキャッシュフローという面でも好調であった。第3四半期の収入は、前年同期の200万ドルと比べて3倍以上の640万ドルに達した。同社は第4四半期初めに100万ドルの受注残を有していた。(昨年と同じ時期の受注残は極めて少なかった。)当期の純損失は、前年同期の60万ドルに対し、当期は約70%改善して、20万ドルであった。

出典

ISCO INTERNATIONAL ANNOUNCES \$6 MILLION IN THIRD QUARTER REVENUE”

ISCO International, Inc. press release (October 3, 2006)

<http://www.b2i.us/profiles/investor/ResLibrary.asp?BzID=826&ResLibraryID=17249&GoTopage=1&Category=135>

“ISCO INTERNATIONAL REPORTS RECORD REVENUE, NET OPERATING INCOME AND POSITIVE CASH FLOW IN ITS FINANCIAL RESULTS FOR THE THIRD QUARTER 2006”

ISCO International, Inc. press release (October 26, 2006)

<http://www.b2i.us/profiles/investor/ResLibrary.asp?BzID=826&ResLibraryID=17588&GoTopage=1&Category=135>

### ISCO International, Inc. (2006年10月19日)

ISCO International, Inc.は、2年連続で Deloitte Technology Fast 500 の1社に選ばれた。これは、北アメリカで最も早く成長している会社500社を選ぶもの。ISCO社最高責任者 John Thode は次のように述べた。「今年の目標は昨年よりもずっと高いものであった。我々はこの目標をクリアし、最もパフォーマンスがよい会社の1つとなったことに誇りを感じている。」Media and Telecommunications社の Deloitte's Technology 副主幹 Tony Kern は次のようにコメントしている。「今日のような競争の激しい環境で成功するためには、企業は過去よりもよりよく、より賢く、より革新的にならなければならない。Technology Fast 500 に選ばれた企業はまさにそれを実践している。我々は ISCO International 社が一層激しくなる競争社会において急速に成長する会社であると考えている。」

出典:

“ISCO INTERNATIONAL RECEIVES ANOTHER DELOITTE TECHNOLOGY FAST 500 AWARD”

ISCO International, Inc. press release (October 19, 2006)

<http://www.b2i.us/profiles/investor/ResLibrary.asp?BzID=826&ResLibraryID=17488&GoTopage=1&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 12月のトピックス

- 超電導標準化、第3回パネル討論会開催 -

(財)国際超電導産業技術研究センターは、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の協賛のもとで、超電導標準化に係わる第3回パネル討論会を2006年10月31日名古屋国際会議室において開催した。同パネル討論会には5カ国(日本、韓国、EU、米国、中国)から32名が参加し、超電導電力機器に係わる技術開発と展望について討論がなされ、成功裏に終了した。

同パネル討論会は、財団法人 応用科学研究所の長村光造氏の司会のもとで、まず次の7名のパネリストから関連情報の提供がなされた。

- (1) 長村光造(応用科学研): 超電導標準化活動の現状
- (2) 堀上 徹(ISTEC/SRL): 超電導電力機器関連市場動向
- (3) 田中靖三(ISTEC/標準部): 実用超電導線材の標準明示事項について
- (4) 小泉徳潔(JAEA): ITER用線材試験の現状
- (5) S. S. Oh(KERI): 韓国における超電導電力機器用線材試験の現状
- (6) P. X. Zhang(北西非鉄金属研究所): 中国における超電導電力機器用線材試験の現状
- (7) A. P. Malozemoff(AMSC): 次世代高温超電導線材の開発と試験方法について
- (8) H.-W. Neumueller(Siemens): Siemens AGの超電導回転機用線材試験の現状

これらのパネリストからの情報をもとに以下の議論がなされた。

(1) 超電導関連標準化の現状

超電導標準化は日本を幹事国とする IEC/TC90 を機軸として 1989 年以降継続的に推進されていること、すでに用語規格 1 件、試験方法規格 13 件の合計 14 件が国際規格化されたこと、現在、試験方法規格の充実、現行規格のメンテナンス、製品規格化への展開、パネルディスカッションによる国際合意の醸成がなされていることなどの認識がなされた。

(2) 超電導電力機器関連の市場性

低温超電導導体と適用した SMES などがすでに市場に導入されているが、本格的な市場導入は高温超電導導体を適用した超電導電力機器に期待されている。

高温超電導導体を適用した超電導電力機器の本格的な市場導入時期は 2010 年以降との市場予測に対して、電力ケーブル、回転機などではこの予測が前倒しになるとのコメントがあった。

(3) 標準化の階層

超電導標準化の対象階層について、SMES システムを例に説明がなされた。すなわち、材料、線材、導体、デバイス機器、システムと対象階層が上昇するに伴い、要求仕様が特殊化・個別化するため、上位階層ほど標準化対象に選定することが難しくなる。

したがって、多くの超電導電力機器に共通性の高い超電導線材を標準化対象階層として継続的に検討することの有用性が理解された。

(4) ITER プロジェクトに係わる標準化

ITER プロジェクトでは大量の超電導線材の国際調達を控えており、特性試験方法も含めた調達仕様の整備がなされている。ケーブルインコンジット導体(CICC)の特性試験は、試験可能な機関が世界的に限られるため、ローカル規格で対応せざるを得ない。

一方、CICC に使用する Nb<sub>3</sub>Sn 超電導素線に関しては、共通性が高いため IEC61788-2Ed.2 に基づく試験方法が基本的に適用される予定である。ただし、無歪み状態の臨界電流試験はチタン合金

を用いた one-mandrel 法が適用できる。なお、CICC を想定した超電導素線自体の長手方向に亘る周期的曲げ歪効果の試験方法の開発が急務とのことであった。

#### (5) 高温超電導線材の試験方法

高温超電導線材は、目下 Bi 系、Y 系、テープ線、丸線、撚線、補強線材など様々なものが開発中である。また、同時にケーブル、変圧器、モータ、限流器などへの応用研究開発も行われている。

したがって、高温超電導線材の試験方法は、線材や導体の構造、製造プロセス、応用分野に大きく依存して多種多様であることが認識された。また、高温超電導線材が工業材料として一般に受け入れられるためには、将来的には標準化の確立は不可欠であるが、当面 Reference test methods(基準試験方法)を整備して関係者間で共有する事が急務とのことであった。さらに、工業製品の観点から、品質管理事項として扱われるべきであるとの認識もされた。

第 3 回超電導電力機器の技術開発と展望に関するパネル討論会において、次の集約がなされた。

(1) 超電導電力機器の技術情報交換を通じて、超電導関連標準化の現状並びに国際標準化の有用性と必要性に対する理解が深化した。

(2) 超電導線材は、高温超電導線材はもちろんのこと低温超電導線材においても、多様なニーズに適用すべく、弛まず技術開発が続けられていることが認識された。かかる状況に鑑み標準化を推進するためには、当面の標準化対象として市場により近いもの、或いは多くの超電導電力機器に共通な部材にすることの妥当性が理解された。

(3) 今後のパネルディスカッションについて十分な議論はできなかったが、過去 2 回のパネルディスカッションと同様に国際標準化の推進の必要性認識と超電導標準化知識の深化に有効であったと総括できる。将来的にも、この種の会合がますます重要になるであろうことが認識された。



パネル討論会

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 低温工学会 第2回超電導応用研究会シンポジウム報告

独立行政法人 理化学研究所 横浜研究所  
ゲノム科学総合研究センター  
タクバク質構造・機能研究グループ 上級技師  
前田秀明

2006年10月5日(木)に、(独)理化学研究所和光研究所仁科加速器研究センターにおいて、低温工学会主催の第2回超電導応用研究会シンポジウムが開催された。シンポジウムのテーマは「大型加速器における超伝導応用の実情」である。理化学研究所で建設中のRI ビームファクトリーを中心に、LHC や J-Park も含めて、加速器における超電導開発の報告があった。2年前に同様のシンポジウムを理化学研究所で開催しているが、RI ビームファクトリー施設がほぼ完成し本格稼動に入るので、施設見学の最後のチャンスでもあり、再度、理化学研究所で開催する事になったものである。

シンポジウムに先立ち施設見学会が行われたが、既にほぼ完成しており、その大きさと構成の複雑さが印象的であった。

シンポジウムでは、最初に、理化学研究所仁科加速器センターセンター長の矢野安重氏から、RI ビームファクトリーの概要の説明があった。本施設は既設の重イオン加速器の能力を増強する施設である。超電導サイクロトロン(SRC)を含む3基のリングサイクロトロンで、ウランビームや安定核ビームを加速する。超電導 RI ビーム発生装置(BigRIPS)で、加速ビームを標的にぶつけて RI ビームを得ると共に、下流で分離して特定核を得る。ビームのエネルギーが十分大きいので、新しい同位元素の発見に決定的な貢献ができる。今後が楽しみである。また、医療応用や花の品種改良などビーム応用にも力を入れているとの事であった。

ついで、理化学研究所の奥野広樹氏から超電導リングサイクロトロン(SRC)の報告があった。SRCは、世界初のセクター型の超電導リングサイクロトロンである(直径19m、高さ9m)。磁石は6セクターからなり、セクター毎に主コイルが納められており、全体を鉄で覆う。最大磁場は3.8T、蓄積エネルギーは235MJ、総重量は8300トンである。昨年8月から励消磁試験を繰り返しながら調整を進めており、本年12月にはビームコミッショニングを開始する。次に、理化学研究所の日下健祐氏からRI ビーム発生装置(BigRIPS)の報告があった。BigRIPSは、6組の常電導偏向コイルと、14組の超電導四極コイルからなる、77mのビームラインである。ビーム標的の近傍の超電導四極コイルについては、ビームによる熱負荷(上流の2コイルで200W)を考慮して、大型ヘリウム冷凍機で冷却している。一方、下流の超電導四極コイルについては、鉄心方式である上に、GM/JT小型冷凍機で冷却する方式をとる。2007年までに完成させる予定。

シンポジウムの後半では、高エネルギー加速器研究機構の山本明氏から、CERNにおけるラージハドロン・コライダー(LHC)開発の現状と、わが国の貢献について報告があった。LHCは直径9kmの大型加速器で、既設の加速器トンネル内に超電導加速器を設置し、7兆eVまで加速した陽子同士を衝突させる。既に大量生産を終了し、トンネル内への設置を進めている。日本は衝突点近傍の超電導四極コイルの製作や、Atlasなどの大型検出器の製作で大きな貢献をした。また、古河電工(超電導ケーブル)と石川島播磨工業(冷却技術)には、LHD加速器建設における顕著な貢献に与えられるLHC golden awardが贈られた。今後、LHCを上回る加速器の製作は容易ではないので、LHCの特性を更に向上させる事が重要である。このために、Nb<sub>3</sub>Alなどわが国の独自技術が活用できる可能性があるとの事であった。次に、高エネルギー加速器研究機構の荻津透氏からJ-PARCニュートリノ超電導システムの概要と現状について紹介があった。高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究開発機構が共同で建設を進めている大強度陽子加速器J-PARCにおいて、50GeVリン

グから射出された陽子ビームをスーパーカミオカンデにむけて曲げるためのビームラインである。射出したニュートリノをスーパーカミオカンデで検知し、ニュートリノ振動を計測する。ビームラインは半径 100m、長さ 150m で 14 台の磁石からなる。場所的、予算的な制約から、偏向コイルと四極コイルを複合化した左右非対称コイルを開発した。蓄積エネルギーは 10MJ である。平成 20 年から設置を開始し、平成 21 年にはビームを受け入れる。新たなノーベル賞に結びつくことを期待したい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導心磁計が市場にできるまで（その6 最終回）

岡山大学大学院自然科学科  
教授 塚田啓二

7. 超電導心磁計を用いた診断学の歩み

7.1 臨床応用

前回は次世代機として高温超電導 SQUID を用いた簡易型心磁計の研究開発について述べた。今回は、最終回であるので低温超電導 SQUID を用いた製品機である 64ch 心磁計に話を戻して、その臨床応用がどのように歩んできて、いまどのような状況にあるのかを紹介したい。医療機器の開発では、ハードウェアとしての特性を達成する必要があるばかりでなく、臨床上どの程度有効なのかを明らかにする必要がある。心磁計を用いた臨床診断は世界中でどの国でもまだ診断方法ができていない状況であった。このため、装置の開発とともに一番苦労したのは、各心臓疾患に対してどのような解析結果が得られるのかを明らかにする必要がある。この臨床評価において、国内の主要な臨床機関の臨床医の先生方の協力を頂くことができ、世界に先駆け多くの知見を得ることができた。協力いただいた先生方の研究成果について紹介したいと思うが、あまりに多いためごく一部の方の紹介になってしまうことをお許しいただきたい。なお、所属・肩書き等は研究当時のものであることをおことわりする。

7.2 心磁図とは

心磁計を用いて得られる時間波形とマッピングは、心磁図と呼ばれる。まず臨床の話に入るまえに、この心磁図について説明しておきたい。心臓の電気生理学的活動に伴って心筋には電流が発生する。さらにこの電流は体内外に磁場を発生させる。磁場は空間的に広がっているため、体の外から、磁場の空間情報を計測することにより、心筋での電気生理学的活動の位置を推定できることになる。空間情報を計測するためには、多点計測が必要となる。当然、活動位置が異なると、各計測点での磁場強度が異なる。このある瞬間の磁場強度分布をマッピングしたものが図1に示す電流アロー図である。これは、磁場強度分布図とともに、磁場の発生源である電流のベクトル（強度と方向）を重ね合わせて表現したものである。この図では各計測での磁場はその直下に電流が独立してあるものとして表現している。心磁図でもう一つ重要な情報として時間変化がある。つま

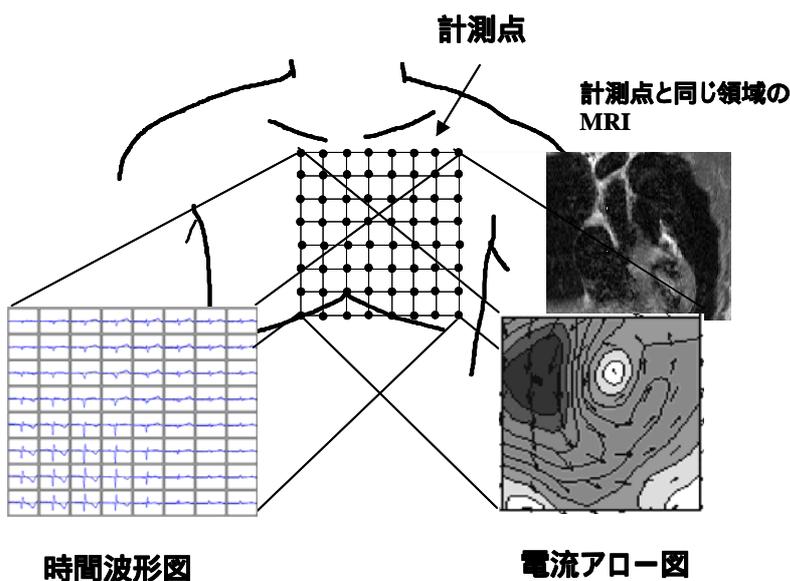


図1 心磁図

り、心臓の活動を捉えるために、活動の大きさだけでなく、活動部位がどのように伝搬していくのか、これら大きさと方向の時間変化情報が必要となる。時間変化情報を表すものとして、時間波形がある。これは、医療検査としてもっとも広く行われている一つである心電図では常に使われている情報である。つまり心電図検査は時間波形の解析である。当然、心電図と心磁図は同じ心臓の電気生理学的活動を計測しているものなので、一件同じ情報を含んでいる。しかし、圧倒的に心磁図の方が空間情報を多くもっているため、心筋の細部での活動を解析することが可能となる。このことにより、心磁図が時間波形情報とマッピング情報の2種類の情報をもつことになる。

### 7.3 心磁図研究の歩み

心磁図を使ってどのように臨床応用が図られてきたか次に話したい。最初に開発した臨床研究用プロト機である 32ch 心磁計を用いて心磁図の臨床応用を始めたのは、当時筑波大学臨床医学循環器外科の三井教授と寺田助教授であった。特に術前術後での心筋活動の回復状態などが多く計測された。その後、小児科の堀米講師は、小児や胎児への応用研究を展開した。特に胎児の研究においては、その計測例は世界でも群を抜き、胎児の QT 延長症候群など世界で初めての出生前診断例を報告している。時間波形で特徴的なピークのところは、それぞれ P,Q,R,S,T 等とそれぞれ名称が付いている。QT 延長症候群とはその Q 波と T 波の時間間隔が正常値より大きいことを示している。この疾患は心筋細胞のイオンチャンネル異常によるもので、突然死につながる疾患である。小児科領域においては塩野医師が川崎病について新たな知見を報告した。この川崎病は、小児の特に乳幼児に多く発生する疾患で、この後遺症として冠動脈の疾患をきたすものであり、心筋梗塞などが起こりえる。このため、後遺症として冠動脈病変があるか長期間フォローしていく必要がある。心磁図検査はまったく人体に何の作用もせず、痛みもなく検査できる無侵襲な方法なので胎児および小児への検査適用は最も適した対象といえる。さらに、国産初の臨床検査機器である 64ch 心磁計が導入されるころ前後して研究の輪は広がり、循環器内科の山口教授が関心を持ち、山田医師が精力的に成人の不整脈や虚血性疾患の研究を大規模に進めた。特に不整脈において、心電図では診断困難な心房性不整脈の機序・起源を研究対象として心磁図計測が行われた。その結果、心電図では単に心房細動としか判定されなかった症例でも、興奮箇所が複数出現してから一つの興奮箇所になり、さらには大きな円環状の興奮へと移り変わった複雑な心房の興奮が発生していたことを画像化するのに成功している。不整脈においては特に興奮部位とその興奮伝搬を解析することは非常に重要である。このため、最近では心臓の中にカテーテル電極を挿入してマッピングする装置が導入されつつある。しかし、この装置は非常に侵襲性が高いため、また時間もかかるため、楽な検査が求められている。心磁図は、代替検査として完全にはむりだが一部は置き換えていくことが可能と考えられる。また、渡辺助教授は虚血性疾患への適用を進めた。虚血性疾患は、成人病として重要な疾患であり、米国では死亡原因の1位に挙げられる。虚血性疾患は狭心症、心筋梗塞さらには心不全となるが、初期の段階の狭心症では心電図検査では検出されないことが多い。このため、核医学検査や、冠動脈造影など多くの検査が行われるが、検査が大掛かりになり検査時間もかかる問題がある。心磁図の虚血性疾患の再分極異常の検出率の高さなどを示し、さらには冠動脈の血行再建術による変化などを報告している。

筑波大学に加えて国立循環器病センターにおいて心磁図の研究がその後開始された。国立循環器病センターにおいては、心臓血管内科の宮武部長や神崎医師、周産科の千葉部長、細野医師などに興味を頂き、精力的に心磁図の研究が進められた。神崎医師は虚血性心疾患における虚血部位における電流量の変化を捉え、心磁図がスクリーニング検査として適応できることを報告した。清水医長は突然死をきたす心疾患としてトピックスとして挙げられていた Brugada 症候群における異常興奮部位の画像化に成功した。細野医師は胎児の数多くの計測を実施し、例えば、期外収縮や、頻脈性不整脈、徐脈性不整脈など様々な胎児の心疾患を世界に先駆けて多く報告した。現在、心磁

図の論文は増加しており（図2）その中で胎児の心磁図が急速にしめるようになってきている。これは、胎児の心臓の電気生理学的活動を計測する手段が心磁計以外ないためであるとともに、細野医師と堀米講師の先駆けた研究が、この分野の研究を加速したともいえる。

臨床の各先生方の努力によって心磁図の臨床研究が飛躍的に進んだわけだが、ここで忘れてはならない方たちがいる。私が日立製作所にいた時に、共に心磁計の開発と、解析技術を開発した研究者達である。先ほど、心磁図の基本となるのは磁場分布のマッピングと時間波形であることを述べたが、これらを使って各心臓疾患の特徴を抽出する解析ツールが開発されてきた。神鳥氏や宮下氏、緒方氏は、多くの解析手法を生み出した。例えば虚血性心疾患を早期診断する方法として、軽い運動負荷によって心筋細部での電流分布が変化することを調べ、その変化量により虚血部位の違いを明らかにできる画像化技術カレントレシオマップ法を、神鳥氏が報告した。彼は現在日立製作所での生体磁気計測 Gr のリーダーとして研究を推進している。宮下氏は各計測点での電流ベクトルの強度や方向の時間変化を1つのダイアグラムに集積化する手法を開発し、心筋各部位での電流の不均一性を表示できることを報告した。また、緒方氏は正面と背面の2方向から測定した結果を合成して3次元標準心臓に投射する方法を報告した。

#### 7.4 心磁図の現在

本研究の成果はそのまま多くの論文として報告してきたので、これらをまとめ一冊の書籍として出版しようという話しが昨年持ち上がった。筑波大学病院長山口先生の監修で私が編者になり臨床診断方法として初めてのテキストになる「心磁図の読み方」をコロナ社から（図3）今年7月に出版することができた。この本では心磁図をやさしく解説するとともに、研究成果の多くを集め体系化しているので、本連載で心磁図に興味をいただいた方はぜひ目を通して頂きたい。

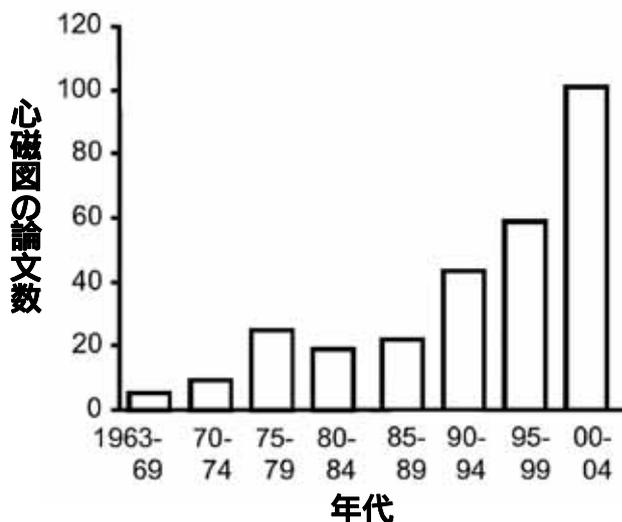


図2 心磁図の論文数推移（英文論文のみ）

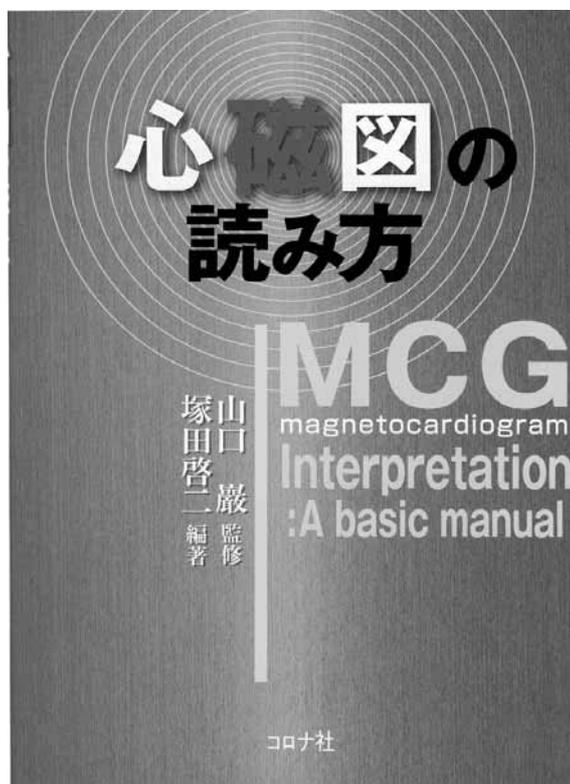


図3 心磁図の書籍

ちょうどこの本と前後して、本年7月8日に東京フォーラムにおいて第21回日本不整脈学会/第23日本心電学会合同学術集会があり、サテライトシンポジウム「心磁図の世界動向」を開くことができた。米国、韓国、台湾、日本からの発表が行われた。最近ではヨーロッパ、日本だけでなく、米国、アジアの国々で心磁図の研究が活発化している。このシンポジウムの発表者からは心磁図の診断基準の標準化が話題となり、それを進めていかなければならないとの共通認識を確認しあうことができた。医療機器の開発の難しさは、このことに示されるように、単にハードウェアの開発だけでなく、診断に適した解析ツールを整備して提供できるようにしなければならないことにある。得られて解析した情報が病院間で異なることのないように、標準化がされているかが必要になってくる。いままで各機関において様々な計測装置が開発されてきたが、現在では診断方法に目が向きどのようにして標準化するかを真剣に考え動きはじめた時であろう。

## あとがき

本連載は、いままでやってきたことを十分紹介できていないかもしれないが、現在超電導技術の実用化を頑張っている方達に、なんらかの参考になれば幸いである。本内容は多くの方たちとともに進めてきた結果の成果であり、ここに関係各位に感謝して筆をおきたい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 読者の広場

### Q&A

Q：電力の「質」に、善し悪しってあるのでしょうか？

A：電力の質について、現在議論の中心となっているのは、「周波数維持」と「瞬時電圧低下対策」の2つです。

「周波数維持」において、島国である日本は不利な立場にあります。東日本の周波数維持目標が $50 \pm 0.2\text{Hz}$ であるのに対し、ヨーロッパでは $50 \pm 0.06\text{Hz}$ になっています。(どちらも実力的には時間滞在率 99%以上であり、ほぼ同条件。出典：風力発電系統連系対策小委員会(第1回)資料5)

「瞬時電圧低下」については、落雷がその発生源であり、現状では完全に回避することは不可能です。周波数は系統内でほぼ均一であるのに対し、電圧は局地的な現象であり、特に需要家サイドでの対策が重要視されます。

また、電力の質以前の問題として、「電気が停まらない」すなわち、「停電しない」という絶対条件がありますが、電気は有効電力・無効電力のバランスが崩れると瞬時にして系統崩壊するという特性があります。また、落雷等の事故発生に起因して、系統が不安定になり崩壊してしまう可能性もあります。これらは「安定度」という用語で総括的に論じられますが、常に安定度の維持向上を図るということも、電力の質という面では重要な要素になってきます。

以上のいずれについても、SMES やフライホイールによって電力貯蔵を行い、適切な変換器制御によって有効電力・無効電力の供給を行うことで、電力の質を向上させることができます。

この他にも、常時電圧維持・高調波成分・三相平衡・ブラックスタート機能など、電力の質としては様々な要素が考えられます。近年、IEC-TC8 が「標準電圧・電流定格および周波数」から「電力供給に関わるシステムアспект」に名称変更されて電力供給システム全体にスコープが拡大されており、電力の質に関する国際標準化が急速に進展するものと期待されています。また、周波数維持の観点から、出力の調整が難しい風力発電の扱いが焦点となってきています。更に、瞬時電圧低下については、半導体工場のような高度・精密製造工程を有する需要家において、殊に対策が必要となってきています。

ひるがえって、ご質問の“電力の「質」に、善し悪しってあるのでしょうか？”に対する回答は、“それは使う人(需要家)次第です”が最も適切かと思われます。需要家それぞれに電力の質に対するニーズが異なる中で、供給者側はどこまでの質を提供すべきか、需要家側でどこまでの負担を許容できるか、という点の議論が今後も続いていくものと思われます。

回答者：ISTEC 調査・企画部 山田順弘

[超電導 Web21 トップページ](#)