

## 掲載内容（サマリー）：

### トピックス：

- （財）国際超電導産業技術研究センター、江東区豊洲に移転
- 第 11 回 IEC/TC90（超電導）国際会議、ベルリンにて開催

### 特集：超電導技術動向報告会

- 超電導の昨日、今日、そして、明日
- 超電導基盤技術の進展
- 超電導デバイスの通信機器への応用
- Y 系超電導線材と機器要素技術開発の現状と今後
- Y 系線材を使用した超電導限流器の開発
- 超電導電力ネットワーク制御技術開発（SMES）の成果と今後
- 各国の超電導応用機器の研究開発状況と動向ー電力機器を中心としてー

- 超電導関連 7-8 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（5/21-6/19）
- 超電導速報ー世界の動き（2008 年 5 月）
- 「低温工学協会関西支部第一回講演会・見学会」報告
- 隔月連載記事ー粒子加速器と超電導（その 4）
- 読者の広場(Q&A)ー計測における 不確かさって何ですか？  
超電導関連計測にも関係するのですか？

[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

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

Tel (03) 3536-7283 Fax(03) 3536-7318

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



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



## トピックス：「(財) 国際超電導産業技術研究センター、江東区豊洲に移転」

財団法人 超電導産業技術研究センター（理事長 荒木 浩）は、当財団事務所を港区新橋から下記住所に移転し、平成 20 年 7 月 1 日より通常業務を行うことになった。

なお、この移転に伴い 7 月 1 日付けで組織とその連絡先も下記のように変更された。

### 【移転先住所】

〒135-0062

東京都江東区東雲 1 丁目 10 番 13 号

代表電話：03-3536-5703

(超電導工学研究所と同所在地)

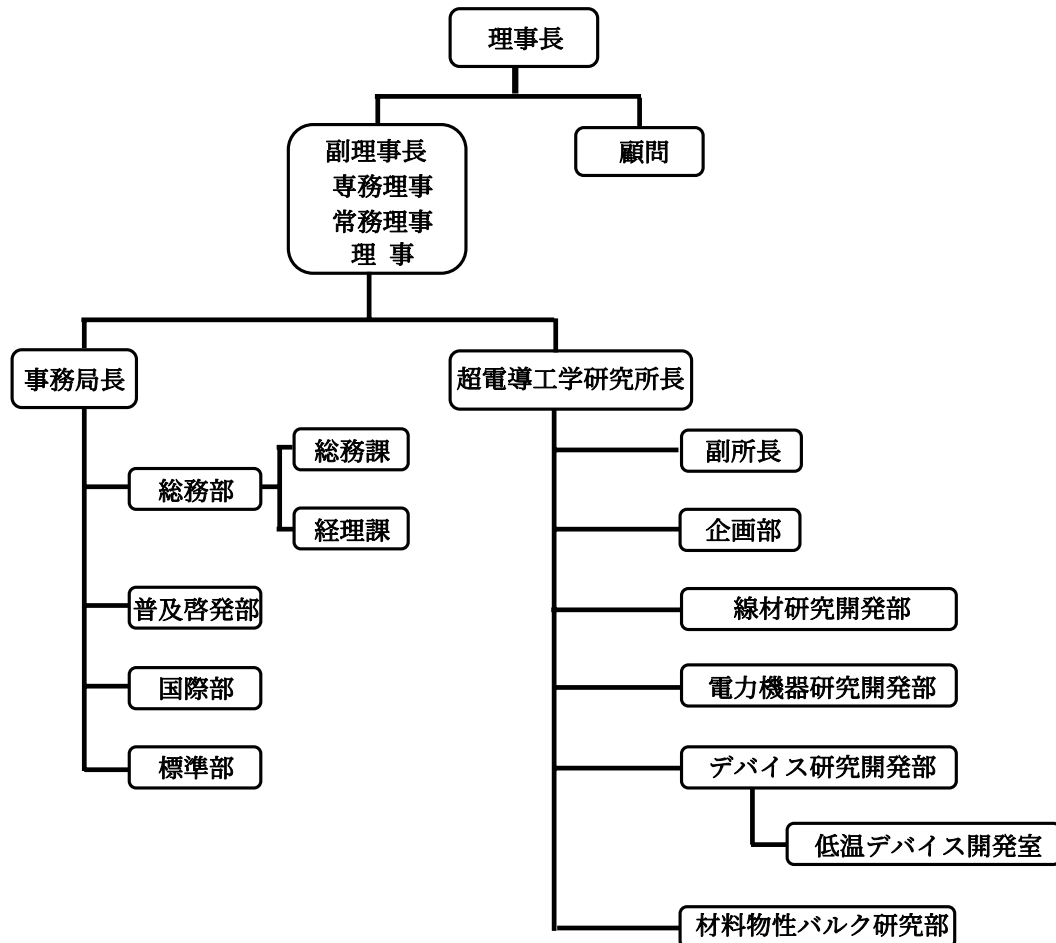
最寄駅：

東京メトロ有楽町線、

豊洲駅 5 番出口より徒歩 10 分



### 【新 組 織】



【新連絡先】

| 部 署 名            | TEL 番号        | FAX 番号        |
|------------------|---------------|---------------|
| 総 務 部（代表）        | (03)3536 5703 | (03)3536 5717 |
| 普及啓発部（旧 調査・企画部）* | (03)3536 7283 | (03)3536 7318 |
| 国 際 部            | (03)3536 7284 | (03)3536 7318 |
| 標 準 部            | (03)3536 7264 | (03)3536 7318 |
| IEC/TC90 超電導委員会  | (03)3536 7214 | (03)3536 7318 |
| 企 画 部            | (03)3536 7327 | (03)3536 5714 |
| 線材研究開発部          | (03)3536 5711 | (03)3536 8311 |
| 電力機器研究開発部        | (03)3536 5702 | (03)3536 5705 |
| デバイス研究開発部        | (03)3536 5709 | (03)3536 5705 |
| 材料物性バルク研究部       | (03)3536 5707 | (03)3536 5705 |

\*超電導 Web21 編集局

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## トピックス：「第 11 回 IEC/TC90（超電導）国際会議、ベルリンにて開催」

IEC/TC90（国際電気標準会議 第 90 専門委員会 超電導）の第 11 回国際会議が、2008 年 6 月 9 日から 6 月 11 日までドイツ、ベルリン VDE Haus にて開催され、中国 2 名、ドイツ 10 名、韓国 5 名、ポーランド 1 名、日本 11 名、米国 1 名（議長）、スイス 1 名（中央事務局）及びスウェーデン 1 名（オブザーバ）の総勢 32 名の参加のもとで、成功裏に終了した。

IEC/TC90 の国際会議は、近年では 2 年ごとにアジア、ヨーロッパ及び米国の輪番で開催されている。第 10 回は 2006 年京都にて開催し、今回第 11 回をベルリンにて開催した。

会議は、ワーキンググループ会議（6 月 9 日から 6 月 10 日）、ミニシンポジウム（6 月 10 日）、本会議（6 月 11 日）及び懇親会（6 月 10 日）から構成されており、IEC の国際会議開催マニュアルに則して実施された。

6 月 9 日から 10 日に、WG1、WG4、WG5、WG8、WG9、WG11 及び WG12 の 7 つのワーキンググループ会議が開催され、超電導関連用語規格及び試験方法規格のメンテナンス案に関する審議が行われた。特に、第 10 回京都会議における合意に基づく超電導関連規格への不確かさ（uncertainty）の導入に関し、各 WG 固有の問題点について活発な意見交換がなされた。

6 月 10 日に、新しい試みとしてミニシンポジウムが開催され、超電導ケーブル、VAMAS 活動、不確かさ及び超電導線をテーマとして、超電導技術や標準化関連知識に対する理解の深化と今後の標準化活動への展開について活発な意見交換がなされた。特に、超電導ケーブルに関して、IEC/TC90 と国際大電力会議 CIGER SC B1（絶縁ケーブル）の議長である Fredrik Ruter 氏との発展的な情報交換がなされ、今後の標準化活動に有効であった。



ミニシンポジウムの状況（超電導線の提案をする長村光造氏）

6 月 11 日に、Loren F. Goodrich 議長による IEC/TC90 本会議の開会宣言に続き、VDE/DKE の Stefan Emde 氏から IEC/TC90 ベルリン会議への歓迎の言葉と IEC/TC90 活動への期待のメッセージがあった。その後、議題確認、前回京都会議議事録確認、審議案件の進捗報告、メンテナンス 7 案件の審議承認、各国における標準化活動報告がなされた。韓国からは国際標準化活動に併行して

超電導電力ケーブルなどの国内標準化活動の状況報告がなされた。

また、我が国から提案した「非破壊電流密度試験方法」及び「ハイパワーマイクロ波試験方法」の新規 2 業務項目が、審議承認された。

さらに、今後の標準化の方向性として、超電導電力ケーブルについてはまず CIGER へのワーキンググループの設置提案を、また超電導線については TC90 内に新規アドホックグループを設置することがそれぞれ承認された。

最後に、議長任期を 3 年間延長することが承認され、次回第 12 回国際会議を第 75 回 IEC 総会とのジョイント開催として 2010 年 10 月 6 日から 10 月 15 日まで米国、シアトルにて開催することが基本合意された。



VDE/DKE の Stefan Emde 氏の挨拶と本会議の状況

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 特集：超電導技術動向報告会「超電導の昨日、今日、そして、明日」



田中名誉所長の講演

昨年の報告会では、BRIC's 諸国の影響が論じられたが、今年度、更に「MENA (Middle East - North Africa)」とよばれる地域が高度成長を始めた事が報告されている。地球上で、エネルギー、資源、水、食糧の不足が予測され、また国連 ICPP の報告によると、CO<sub>2</sub> 等の増加により地球温度は 2030 年迄に 2 °C 上昇するという。

似たような状態は 18 世紀末にも発生した。人口が爆発的に増加、食糧不足が憂慮された。マルサスは「人口論」を発表し、究極的には「人口一定、食糧一定の状態となり、人々は最低の生活水準に陥る」という「マルサスの罠」といわれる結論を発表した。

幸いにも、1765 年に Watt により蒸気機関が発明され、各種産業が勃興し、「マルサスの罠」に陥ることなく人類は発展、大英帝国の基礎が築かれた。

20 世紀においては、「量子力学」が 1927 年に完成し、微視的物性論は発展して半導体産業を興し、核物理からは核崩壊による原子力産業を生み出し、更に「高速増殖炉」から「核融合」への道を開きつつある。

そして現在では、巨視的量子現象である「超電導技術」が発展しつつあり、また量子コンピュータの開発も進められている。

超電導応用基盤技術開発プロジェクトも成功裏に第 2 期を終え、開発された超電導線材の各種電力機器への応用が期待される。しかし、熱機関のような「普遍性」を付与するには、「室温超電導」の出現が必要であろう。

### 1. 超電導の昨日

高温超電導体は、全て 2 次元の CuO<sub>2</sub> 面を含み、この面内で超電導現象が発生している。これから今後の物質開発に引き継がれる因子があるか？これまでの経験から見て、新超電導物質の構造を予測できるか？

- 1) 出発物質は、全て絶縁体である
- 2) 大量のドーピングが必要：1～10 %以上
- 3) ドーピングによって結晶構造は不変
- 4) 2 次元の面を含むので、結晶構造は 2 次元構造である
- 5) 以上の見地から、新物質はコヴァレント結合よりは、イオン結合の物質になる？
- 6) なぜ 2 次元面は必要か？

### 2. 今日

#### 最近の新展開

- 1) Nernst 効果の実験から、擬ギャップの解明が進み、相転移の実態が明らかになりつつあり、擬ギャップの発生と同時にペアリングが発生しており、Phase Fluctuation により超電導化しなかったと解釈される。

これが事実なら、250 K でペアリングが起っていることになり、室温超電導に一步近づいたことになる。

- 2) 最近、東工大の細野氏の発見した物質は、鉄と砒素からなる 2 次元層を含み、 $T_c$  も 45 K を越えているので、極めて興味深い物質である。

### 3. 明日

地球上で現在難問が山積し、人類の将来まで憂慮される状態である。これを克服するには、18 世紀の熱機関のような極めて普遍的で、応用範囲の広い新技術を開発する必要がある。筆者の知る限り、室温超電導がこれに相当するのではないかと考えている。

研究陣の健闘を祈る次第である。

(超電導工学研究所 名誉所長 田中昭二)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：超電導技術動向報告会「超電導基盤技術の進展」

筆者は「Y 系線材用高性能材料と評価技術の開発」と題した講演で、今年の 3 月で終了した NEDO「超電導応用基盤技術開発（第 II 期）」プロジェクトにおいて、材料物性研究部が主として担当した材料高度化技術および長尺線材評価技術の開発の成果を紹介した。銅酸化物超電導材料は強い異方性をもつため、超電導電流を流すことのできる最大の磁場である不可逆磁場を向上させることが、SMES やモーター等の高磁場中で用いる機器用の線材材料開発の重要課題となる。プロジェクトの中では、Y 系材料のキャリア濃度の制御、希土類元素 Gd の選択、Ba 欠乏の薄膜組成の採用などの方法を提案し、磁場中の臨界電流密度  $J_c$  を向上させた。これらの方法は長尺線材の作製にも実際に適用されている。また、PLD 法による超電導薄膜作製の際に、レーザーブルーム中に基板を配置し成膜を行うインサイドブルーム法を提案した。ターゲット組成を調整することにより、成膜速度を 3~5 倍にできるだけでなく、人工ピンを導入した短尺線材では、77 K において、c 軸に平行な 3 T の磁場中でも 100 A を超える臨界電流  $I_c$  が実現された。一方、Y 系長尺線材の機器応用には、 $I_c$  やマクロ欠陥分布の非破壊評価が必須となる。これまで直接通電法、ホール素子法、磁気光学法に基づく評価装置の開発を行ってきたが、交流機器に用いられるフィラメント化加工線材中のマクロ欠陥を高速評価できる技術として、SQUID 磁気センサーを利用し、超電導状態に冷却した加工線材中に誘起した渦電流の乱れを高感度で検出する装置を最近開発した。酸化物薄膜積層技術を利用した磁場差分型の高温超電導 SQUID5 チャンネルアレイをデバイス研究開発部で新たに開発し用いることにより、5 mm 幅 5 分割線材中のマクロ欠陥位置を 30 m/h の速度で検出できることを実証した。

同研究所の平林泉バルク開発研究室長による講演では、バルク超電導材料の機器応用に向けた最近の技術進展が紹介された。バルク超電導材料は、組成やピン止め中心導入の最適化、プロセス改良等により、65 K、4 T における  $J_c$  が  $1 \text{ MA/cm}^2$  に近づく一方、直径 150 mm の大型材料が作られている。バルク超電導材料を利用した超電導磁気軸受けの開発では、超電導バルク分割配置による回転損失を低減するため、バルク材料の形状や配置の工夫により、一様回転対称性が実現された。応用上重要なパルス着磁方法については、温度と磁場パルスの工夫により岩手大学において 5.2 T の着磁記録が達成されると共に、大型バルク材料用の 2 重着磁コイルが東京海洋大学で開発されている。また、最近の高輝度 X 線発生装置アンジュレータへの適用検討において、リング状のバルク超電導体と永久磁石列を用い、電磁誘導により着磁を行う方法が開発されると共に、真空含浸により補強された試料において数万回に及ぶ着磁耐久性が実証された。今後のバルク材事業化には、材料の低コスト化に加え、高効率の着磁技術、冷却技術の開発や安全性の確保が課題となる。

(株) イムラ材料開発研究所の伊藤佳孝主任研究員による講演では、日本電子 (株)、理研、ISTEC と共同で行った小型 NMR を目指した超電導バルク磁石開発（一部は NEDO の委託事業）の最近の成果が紹介された。NMR 装置は、高磁場印加により 1 GHz 以上の周波数を用いた高分解能の構造解析用大型装置と、400 MHz 以下の汎用小型装置の 2 極化が進んでいる。従来用いられている超電導コイルに代わりパルス管冷凍機で冷却した超電導バルク材料を利用することにより、漏れ磁場が小さく、保守が容易な超小型の NMR 装置実現が期待できる。一方、バルク材の適用には、均一磁場空間の実現が鍵となる。磁場均一化に有利な円筒型形状のバルク材を検討し、超電導マグネットによる 4.7 T の均一磁場中で着磁する方法を採用した。円筒内で直径 3 mm、長さ 5 mm の均一磁場空間を確保するためのバルク材サイズの設計を、磁場分布シミュレーションにより行った。製造技術の進んだ Gd 系材料は、常磁性モーメントの影響が大きく、印加磁場が乱れることにより均一化が困難となる。この問題を解決するため、磁化の小さな Sm 系バルク材で Gd 系バルク材をサン



ドイッチする方法や、厚さ 70 mm の Eu 系バルク材を開発した。その結果、直径 1 mm、長さ 5 mm の検出領域で 0.5 ppm 以下の磁場均一性や、0.78 Hz/h の磁場安定性など、NMR 磁石の要求仕様を満たす性能が実証された。

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部兼材料物性研究部 部長 田辺圭一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：超電導技術動向報告会「超電導デバイスの通信機器への応用」

「いつでも、どこでも、誰とでも」という意味のコネクティクスネットワークに代表されるように、将来の通信は様々な機能を実現していき、単なるインフラを越えて人と人とを結びつける社会システムになっていくと期待されている。これを実現するために、世界中に張り巡らされた通信ネットワークは、通信速度と通信容量を爆発的に増やしていく必要がある。この時、ノードと呼ばれるネットワークの分岐点における通信機器での情報処理量が膨大になり、既存技術だけでは解決できないいくつかの問題が発生すると指摘されている。

その中でネットワーク機器による消費電力増大は最も深刻である。2015 年における電気情報通信産業の電力消費量は、2004 年の 33 倍にも増加すると予想されており、各通信事業者は懸命に省エネ対策に取り組んでいる。2000 年に超電導工学研究所の田中昭二所長（当時）が指摘した問題が現実のものとなった。特にルータと呼ばれるアドレスに応じてパケットの行き先を切り替える装置は、今後益々大型化することが予想されており、消費電力が 1.3 MW に達するモンスターマシン（シスコ社 CRS-1）もカタログに登場するようになった。超電導単一磁束量子（SFQ）回路と呼ばれる超高速・低消費電力回路を使用すれば、このモンスターマシンと同等の処理能力を有するルータの消費電力が、冷凍機込みで 1/30 以下に低減できる可能性がある。超電導工学研究所では、ルータの中で最も高速処理が必要とされるスイッチと呼ばれる部分を SFQ 回路で実現し、この SFQ スイッチと 4 台のパソコンから構成された LAN において画像データを転送する実験に成功している。

半導体技術だけでは処理能力が不足すると懸念されている技術もある。その代表がアナログ信号をデジタル信号に変換する AD コンバータである。高精度および高速を特徴とする二種類の超電導 AD コンバータが開発されている。いずれも超電導回路独自の性質を利用することにより、半導体 AD コンバータに比べてより単純な構成で実現できるため、高性能化が容易である。また、SFQ 回路の高速性も性能向上に貢献している。

痕跡を残さずに盗聴することが絶対不可能であるため、究極のセキュリティーを約束する量子通信を実現するための検出器として、超電導単一光子検出器（SSPD）が期待されている。量子通信に使用する単一光子の検出には、低雑音、高速の SSPD が最適と見なされている。距離 100 km の量子暗号鍵配布実験が既に行われており、量子通信は 5 年以内の実用化が期待されている。

以上述べたように、超電導デバイスを通信機器の適所に適用していくことによって、従来技術では解決できない問題を解決でき、将来の通信をより豊かなものにしていくことが期待されている。

(SRL/ISTEC 低温デバイス開発室長 日高睦夫)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：超電導技術動向報告会「Y 系超電導線材と機器要素技術開発の現状と今後」

Y 系高温超電導線材はハステロイ®などの金属基板の上に酸化物中間層、超電導層( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ )、安定化層を順に成膜した多層構造から成り、その開発は、超電導電力機器開発に利用するための高性能化と、将来の実用化を睨んだコスト削減とを大きなテーマとして進められている。また、線材を用いた機器要素技術開発としてはケーブル・モーター等の試作及びコイル化や導体化技術の開発を行い、我が国においてはこれら線材開発から機器要素技術開発までを一貫して国家プロジェクトとして推進している。

### 高性能線材の開発

高性能線材のカテゴリーでは、ハステロイ®テープを金属基板として選択、イオンビームアシスト法 (Ion Beam Assisted Deposition : IBAD) により 2 軸配向した酸化物中間層を成膜し、パルスレーザー蒸着法 (Pulsed Laser Deposition : PLD) によりキャップ層と超電導層を成膜する事で均一で高い  $I_c$  特性を有する線材を開発した。2005 年には当時の世界記録となる  $I_c \times L$  (線材長さ) 5.2 万 Am を持つ線材の作製に成功し、更に  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  超電導層の Y の一部あるいは全部を Gd、Sm などの RE 元素に置き換える事によって特性改善を図る手法を開発した。また、ジルコニアを添加する事によりバンパー構造と呼ばれる微細な  $\text{BaZrO}_3$  (BZO) ロッドが超電導層中に分散した構造を実現し、この BZO ロッドが磁束ピンニングセンターとして磁場中特性を大きく改善する事を明らかにした。これらの技術は (株) フジクラに移管され、503.5 m-349.6 A/cm-w の世界記録となる高性能長尺線材の作製に至った。

### 低コスト化

超電導線材の低コスト化には、非真空プロセスなどの安価な装置を用いたプロセスの採用やプロセスの高速化が有効な手段として挙げられる。一例として超電導層の成膜において非真空プロセスである MOD (金属有機酸塩熱分解) 法を適用し、中間層の成膜において、従来法における最大の高コスト要因である IBAD プロセスの高速化によりコスト削減を目指してきた。これまでに、SRL では MOD 溶液組成の最適化や有機分の熱分解速度を改善する等、材料溶液を改良すると共にマルチターンプロセスを開発し、SWCC に移管して大型化装置を導入する事により、250 m-310 A/cm-w の低コスト線材の開発に成功した。また、磁場中特性の向上においても人工ピン止め点を導入し、 $I_c$  特性の磁場印加角度依存性の改善に成功した。IBAD 法においては材料とイオンビームの角度を調整する事により必要な結晶粒面内配向度を達成するための成膜時間を 100 倍以上改善し、大幅な製造速度向上とコストの低減を可能とした。この新型 IBAD プロセスを用いて PLD 法、MOD 法による超電導層成膜によってそれぞれ 41 m-353 A/cm-w、5 m-260 A/cm-w の線材作製に成功した。また、比較的安価である配向金属基板を用いた MOD プロセスによる極低コスト線材開発においても SWCC により 50 m-208 A 線材が作製された。

これらの線材を超電導電力機器として用いるために、線材の切断、細線化、絶縁被覆などの後加工技術を開発した。また、20 m 長ケーブルやコイルを試作し、耐過電流試験や交流損失の低減、限流動作等を確認した。

### 今後の方針

今年度からはイットリウム系超電導電力機器技術開発プロジェクトが始まり、超電導電力貯蔵システム、超電導電力ケーブル、超電導変圧器の開発を行うと共に、それらの開発に要する線材の開発・供給を行う。

## 謝辞

本稿で紹介した研究成果は、超電導応用基盤技術研究開発業務の一環として、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託により実施したものを含みます。

(SRL/ISTEC 所長代行兼副所長兼線材研究開発部長 塩原 融)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：超電導技術動向報告会「Y 系線材を使用した超電導限流器の開発」

株式会社 東芝 電力・社会システム技術開発センター  
計測・検査技術開発部

主査 矢澤 孝

経産省プロジェクト「超電導応用基盤技術研究開発」の中で、H18～H19 年度に超電導限流器要素技術開発を実施した。本要素開発は、プロジェクトで開発された次世代線材の限流器への適用性検証が目的である。

本開発では、IBAD/PLD 法により製作されたハステロイ®基板 YBCO 線材および GdBCO 線材を使用した。高抵抗化を図るため、安定化金属層として NiCr を使用した。この線材を 2 並列化し無誘導に巻線した、定格 72 Arms のコイルを 3 相分製作した。これらのコイルを一つのサブクール窒素冷却容器に組み込み、運転温度は 70 K とした。吊具に固定した三相コイルの写真と、冷却容器と冷凍機用圧縮機の写真を図 1 に示す。その後、これらを周辺機器と組み合わせて、6.6 kV の限流器システムとした。周辺機器は、遮断器、電圧・電流の計測系 (VT, CT)、シーケンス系である。必要な構成要素は、盤の中に収納した。開発した限流器盤の写真を図 2 に示す。盤は、右から、超電導機器が入るクライオ盤、遮断器盤、および受電盤に分かれる。



図1 三相分の限流コイル(左)、サブクール窒素冷却容器と冷凍機圧縮機(右)



図2 限流器盤 (受電盤、遮断器盤、クライオ盤からなる)

6.6 kV 三相限流器において、実施した主な試験の一覧を表 1 に示す。

コイルを容器に組み込む前に、それぞれの通電性能を、直流通電、交流通電、にて確認した。コイル容器に収納した時点と盤として構成した時点で、6.6 kV 機器の耐電圧仕様である交流 22 kVrms × 1 分間を対地間、相間ともに確認した。次に三相超電導限流器を短絡発電機と組合せて 3 線地絡事故を模擬した限流試験を実施した。温度環境は、70 K に、100 kPa である。限流試験では、1560 A の事故電流を第 1 波で 840 A (54 %)に抑制することに成功した。この時の電流波形はシミュレーション結果ともよく一致した。事故モードとして、三相地絡だけではなく、二相短絡も実施し、6.6 kV 印加に対する良好な限流効果と、所定のシーケンス動作が機能することを確認した。最後に 6.6 kV 三相限流器システムを、東京ガス/千住テクノステーションに設置し、ガスエンジン発電機と電



力系統との接続状態で連続運転する連系実証試験を行い、システムの健全性を確認することができた。

表1 6.6 kV三相限流器に実施した主な試験の一覧

| 試験項目       | 結果                                                                                                         |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 各相のコイル通電性能 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・定格72 Armsで線材間の電流分配±2 %</li> <li>・交流損失 約3.5 W/相</li> </ul>          |
| 耐電圧性能      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・RST-対地間 22 kVrms×1分</li> <li>・相間 22 kVrms×1分</li> </ul>            |
| 限流試験       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・3相地絡 6.6 kVrms限流</li> <li>・2相短絡 6.6 kVrms限流</li> </ul>             |
| 系統試験       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・自立運転 6.6 kVrms/66 Arms</li> <li>・連系運転 6.6 kVrms/72 Arms</li> </ul> |

高抵抗化を図った IBAD/PLD ハステロイ<sup>®</sup>基板 YBCO 線材および GdBCO 線材を用い、限流器用コイルを開発し、最終的に 6.6 kV 三相限流器を構築して、限流試験、系統試験などの検証試験を実施した。本研究開発により、次世代線材の限流器への適用性を検証し、さらに超電導限流器の実用化へ向けて大きな知見を得ることができた。

#### 謝辞

本プロジェクトは、経済産業省プロジェクト「超電導応用基盤技術研究開発」の一環として、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から委託を受けて実施したものである。

また、本プロジェクトは、ISTEC殿、横浜国大殿、フジクラ殿と共同で実施した。さらに、系統試験については、東京ガスと共同で実施したものである。

注) ハステロイ<sup>®</sup>は、Haynes International, Inc. の登録商標である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：超電導技術動向報告会「超電導電力ネットワーク制御技術開発（SMES）の成果と今後」

中部電力株式会社  
技術開発本部 電力技術研究所  
超電導グループ長 長屋重夫

電力応用に於いて SMES が期待されている点は、その高速応答性と高い充放電に対する耐久性、貯蔵容量に対して高出力化が可能な能力にある。過去、能力的に揚水発電所の代替のような時間単位の負荷平準化用途の検討から始まって、最近はマイクロ SMES と呼ばれる落雷などによって発生する秒単位の瞬時電圧低下を補償する用途で実用化が図られている。米国では 1000 kW から 3000 kW 級の SMES システムが実用化され、日本では現在 1 万 kW 級のシステムが稼働している。

ここで、これまでの SMES 開発の経緯と概要を簡単に紹介する。

超電導技術は、その高い電流密度特性から大電力をコンパクトに取り扱え、かつ電力損失の低減も可能なことから、発電、送変電、貯蔵と幅広い電力応用が可能である。酸化物超電導体発見の超電導フィーバーの中、従来の金属系超電導体を用いた電力機器開発もスタートし、SMES 開発は、平成 3 年から電力各社でのモデル試験も含めた FS の結果をうけて、資源エネルギー庁の国家プロジェクトとして本格的な開発が開始された。

開発目標は、パイロットプラント建設に向けて SMES が技術的に実現可能であるか？また、その系統制御能力は？などの検討が進められ、技術的に実現可能であること、また有効・無効電力を独立に制御可能で、高い制御・応答性を持つことなどが検証された。

しかし、種々の問題点・課題も明らかとなり、特にコスト面が実用化の大きな障害であることが示された。これは、超電導技術はその性能の高さから、ともすれば万能な機能を求めがちで、またそれが可能であるため、どんな用途にも対応可能な導体・コイル構成となり、導体は交流損失の低減を考えた 7 次撚り構造の強制冷却導体、定格電流値も 20 kA と超電導でしか実現できないようなシステムとなり、システムコストとしては 400 万円/kW 以上、開発した導体も 14 円/Am となった。

そこで、どの様にしたらコストの大部分を占める超電導コイルのコスト低減が可能か、またどこまでコスト低減が実現すれば SMES の持つ機能の便益が競合・代替技術のコストから妥当であるか、コスト目標値をライフサイクルコストで算出し、これを目標値とするコスト低減技術開発に取り組んだ。平成 11 年からの 5 年間の開発において、コスト低減にあたっては、システムの用途に応じた仕様・構成を最適化し、2 つの用途、系統安定化及び負荷変動補償・周波数調整用の SMES に的をしぼり、SMES の心臓部であり、またコストの支配要因であるコイルの開発を進めた。

具体的なコスト低減策としては、導体、コイル、システム、の設計、製作、運転、各部、各段階でのそれぞれの裕度を評価し、用途に必要な機能・性能を、用途に求められる仕様のもと、見直し、最適化する手法を検討し、モデルコイルを試作、評価し、その手法の妥当性・信頼性を検証した。

連続した繰り返し充放電を行う負荷変動補償用などでは、これまで通電安定性を確保するために、アルミ・銅などの良電導体を、素線の段階から複合化させて何段階もの加工を加えて導体化しているが、導体化の段階で銅線を超電導線と同時に撚り合わせることで、複合加工を省略し、また構成がシンプルになったために設計以上の安定が実現され、想定以上の急峻な電流変化や高磁場下で使用出来る導体を実現した。コイルでは、SMES は磁場でエネルギーを貯蔵しているため、磁場の漏

洩を考慮した設置空間の制約があるが、4 つのコイルを組み合わせ、隣り合うコイルの極を反転させる配置（マルチポールシステム）を開発し、この実用上の問題を解決した。加えて、SMES の場合、変換器などを含めてシステム側からコストの視点で考えた場合、実は超電導の特徴である大電流化は、大きなコストアップの要因となる。今回開発した導体とコイルは 10 kA の定格電流値であるが、高い安定性を利用して導体としては高電流密度、コイルとしては高エネルギー密度が可能となり、大幅なコスト低減が可能となった。このような開発成果から、前フェーズの試算では 800 億円弱となる負荷変動補償 SMES が 1/6～1/7 の 120 億程度で構成可能となる見通しが得られ、SMES の便益から算出されるライフサイクルコストにおける系統安定化用途では 7 万円/kW、負荷変動補償用途では 20 万円/kW を下回るコストで SMES 実現の見通しが立った。

冒頭に述べた 1 万 kW 級の瞬低補償 SMES は、このコイルコスト低減技術開発の成果を適用して初めて実用化が可能となったものである。

コスト面での見通しが立ったことから、残された課題である系統制御能力の実証に向けてシステム化の開発が行われた。この開発が今回の超電導電力ネットワーク制御技術開発であり、早期の実用化へ向けて実系統での系統連系を行い、系統制御機器としての SMES の評価を行うことを目標とした。

また、SMES はケーブルや変圧器などの電力機器と異なり、その性能がシステムとしての構成で決定される。特に電力系統と連系し電力の入出力を行う交直変換機の構成は、システムの性能だけでなく超電導コイルに必要な性能も左右される。反面、変換器は組み合わせ技術であり構成の考え方で性能、コストが大きく変化する。電流源である SMES には、回路構成から考えれば電流型の変換器が適しているが、現状、変換器を必要とする電源の多くは電圧源であり、電圧型の変換器が広く普及している。SMES の電源として電圧型を採用する場合、インバーター以外にチョッパとコンデンサーを組み合わせる必要があり、半導体素子など構成部材が増えるが、汎用技術が適用可能なことや数量効果が期待できる。今回の実証システム開発にはこのような点を考慮し、これまで電流型を前提としていたシステム構成にこだわらず、コスト面や技術動向、またプロジェクト後半での実連系試験での変換器システム実証の点から再検討を行った。目標としては、98 % 以上の変換効率と低コスト化の両立を目指し、実際に利用する出力当たりで 2 万円/kW が技術的に実現可能な構成を検討した。その結果、大容量の半導体素子を適用した電圧型が、性能やコスト、信頼性や拡張性などバランスのとれた構成が可能であり、またコイル構成によっては、コイルと変換器を 1 対 1 に組み合わせ、変換器側で出力を合成するマルチセル方式が、将来のイットリウム系 SMES には高い自由度をもつ結果が得られた。他にも、ほぼメンテナンスフリーを実現した高信頼性高効率冷凍機や 15 kV 以上の高電気絶縁性能を持つ電流リードなど、SMES のシステム化に不可欠な要素技術の開発に成功した。

選定した変換機システムとこれまでの SMES 開発で製作可能となった 20 MJ 級コイルを用いて、2 つの系統安定化モード、1 つは SMES の特徴である繰り返しの充放電特性を要求される変動負荷補償、もう 1 つは系統に何らかの故障が発生した場合の安定化動作、この 2 つの検証を古河電気(株) 日光事業所殿の協力を得て、金属圧延工場の負荷を変動負荷補償の対象として、またこの日光事業所に電力を供給している古河日光発電(株) の水力発電所の安定化検証を実施した。

変動負荷補償動作の検証は、試験期間の制約もあったが、当初目標の 2 万回の充放電を大きく超える 5 万回以上の、そして系統安定化動作は水力発電機に対して負荷遮断を行うことで、SMES の持つ動揺抑制効果を確認、実証することが出来た。

今回のプロジェクトによって SMES の電力制御機器としての実力は当初の想定以上の能力を持

つことが証明され、いよいよその実用化が、急速な技術の進展をみせたイットリウム系次世代線材、磁場特性に優れ、SMES コイルにとって最も有利な高機械強度特性、この 2 つの特徴によって、より確実なものになったと考えられる。

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 特集：超電導技術動向報告会「各国の超電導応用機器の研究開発状況と動向－電力機器を中心として－」

横浜国立大学  
大学院工学研究院  
特任教授 塚本修巳

電力システムへの高温超電導の応用は、最も有望かつ規模の大きい応用と考えられている。超電導技術を応用することにより、個々の機器の大幅な軽量・コンパクト化、高効率化、高性能化を可能とし、また、従来なかった新機能を持つ機器を実現できるため、電力システムをより信頼性の高い、より柔軟性のあるシステムに変革することができる。ますます複雑大規模化する電力システムは立地や環境問題など種々の課題を抱えており、近い将来、従来技術の延長では解決が難しくなると予想されている。これらの課題の有力な解決策として超電導技術に期待がかかっている。そのため世界各国で戦略的かつ精力的に超電導機器の開発が進められている。

本報告会では主要な電力機器、超電導ケーブル、限流器、変圧器について、世界の開発状況について述べた。

現在 30 m を超える超電導ケーブルのプロジェクトは計画中也含め、日、米、韓国、中国合わせて 12 件で、そのほとんどが実際に電力システムに超電導ケーブルを接続し試験を行うものである。特に米国では開発が盛んで、全体件数の半数を占めており、現在試験中のもの 3 件、計画中のもの 3 件がある。今まで、通電試験済みのケーブルで最も長いものは日本で開発された 500 m のものであったが、つい最近、アメリカのロングアイランドのプロジェクトで 600 m のものが通電に成功し、これが現在最長である。現在アメリカで計画中のプロジェクトでケーブルの開発に成功すればそのままシステムに組み入れられ運用が続けられる予定のものもある。現在、長尺ケーブルのほとんどは Bi 銀シース線材を用いているが、一層の交流損失の低減に向けて Y 系線材を用いたケーブルの開発が日米で行われており、米国では一部 Y 系線材ケーブルを Bi 線材ケーブルにつなぎ実システム試験を行っている。このように超電導ケーブルは実用化に向かって着実に進んでいる。

超電導を応用した限流器は、短絡電流を第 1 波から自律的に限流する機能を持ち、短絡電流を増やさずに、電力システム同士を連系させることができる。このため、電力システム設計の自由度を増すことができ、また、分散電源などの新たな電源の導入量の制約を大幅に緩和できると期待されている。現在、日本、米国、中国、韓国、ドイツでシステム導入を目指した開発が行われており、要素技術レベルでの開発はイタリア、イギリス、イスラエルなどでも行われており、多くの国が開発に関心を持っている。現在、超電導ケーブルと並んで、実用化に最も近い機器として考えられている。超電導限流器の方式は種々考えられているが、配電系用には薄膜線材を限流素子に用いた超電導・常電導転移型が主流になりつつある。システム用のより高い電圧レベルには鉄心飽和型が適していると考えられ、現在、米国、中国でシステム導入試験を目指し開発が行われている。

超電導変圧器の開発は、以前は日米欧各国で盛んであったが、現在は開発を行っている国は減っている。中国では Bi 線材を用いた 3 相変圧器を開発し試験を行っているが、米国で行われていた開発は現在停滞している。わが国では、変圧器の一層の交流損失の低減を目指し、超電導層を細分化した Y 系線材を用いたコイルを作り、交流損失の大幅低減を実証している。また、新幹線搭載を目指した軽量・コンパクト、高効率の Bi 線材を用いた変圧器の開発が行われているなど、わが国での開発活動は盛んである。



## 超電導関連 ‘08/7 月－8 月の催し物案内

### 7/21-25

ICEC22-ICMC2008 100 YEARS OF LIQUID HELIUM

場所：COEX InterContinental Hotel, SEOUL, KOREA

主催：Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics

問合せ：Tel: +82-55-295-1016, Fax: +82-55-295-0344

E-mail: secretariat@icec-icmc-seoul.org

<http://www.icec-icmc-seoul.org>

### 7/26-8/1

6th International Conference of the “Stripes and high Tc Superconductivity”

場所：Enrice, Sicily, Italy

問合せ：<http://www.roma1.infn.it/stripes/>

### 7/28-8/1

IUMRS-ICEM 2008 Symposium R: Superconductors, Electronics and Magnetic Materials

場所：Hilton Sydney, Sydney, Australia

問合せ：

Symposium R Secretary: Germanas PELECKIS, Tel: +61 2 42215728, Fax: +62 2 42215731,

E-mail: peleckis@uow.edu.au

<http://www.aumrs.com.au/ICEM-08/>

### 7/29

「伝導性透明酸化物」-世界をリードする透明導電膜の国内 2 大研究拠点から-

場所：(社) 日本化学会 501 会議室、東京都千代田区

問合せ：未踏科学技術協会 <http://www.snnt.or.jp/snnt/sws/sws080729/sws080729.htm>

FAX: 03-3597-0535 E-mail: mito-sws@snnt.or.jp

### 7/31-8/5

7<sup>th</sup> Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals

場所：Wroclaw, Poland

問合せ：<http://apollo.int.pan.wroc.pl/cc2008/>

### 8/1-5

Physical Phenomena at High Magnetic Fields. VI

場所：Tallinn, Estonia

問合せ：<http://pphmf6.edu.ee/>

### 8/3-5

Conference on Micro- and Nanocryogenics

場所：Helsinki, Finland

問合せ：<http://tli.tkk.fi/PICO/conference.html>

### 8/5-6

第 2 回材料研究会/東北・北海道支部合同研究会「実用が見えてきた超伝導技術－物質と応用－」

場所：ウエルサンピア山形（山形厚生年金休暇センター）、山形市蔵王飯田

問合せ：山形大学大学院理工学研究科 大嶋重利

TEL/FAX: 0238-26-3286/26-3293 E-mail: ohshima@yz.yamagata-u.ac.jp

**8/6-13**

25<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics

場所：Leiden, Netherlands

問合せ：<http://www.lt25.nl/>

**8/8-9**

第 7 回高温超伝導バルク材「夏の学校」in 岩手

場所：八幡平ライジングサンホテル、岩手県八幡平温泉郷

問合せ：岩手大学工学部材料物性工学科 藤代博之

TEL/FAX: 019-621-6363 E-mail: [fujishiro@iwate-u.ac.jp](mailto:fujishiro@iwate-u.ac.jp)



**8/14-17**

ULT2008; Frontiers of Low Temperature Physics

場所：London, UK

問合せ：<http://www.rhul.ac.uk/physics/>

**8/17-22**

2008 Applied Superconductivity Conference

場所：Chicago, USA

問合せ：<http://www.ascinc.org/>

**8/24-29**

XXIIIrd ICMRBS, International Conference on Magnetic Resonance in Biological Systems

場所：San Diego, California, USA

問合せ：<http://www.icmrbs2008.org/>

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 新聞ヘッドライン (5/21-6/19)

- 東大物性研 世界最強の磁場発生装置稼動 高温超電導など研究加速 5/22 日刊工業新聞
- 先端医療へのソリューション 5/26 日刊工業新聞
- 「有効エネルギー」を多く得る 温度の落差が“仕事量”の決め手 5/27 電気新聞
- 常温核融合?熱が発生 発熱量 測定難しく証拠不足 阪大名誉教授が公開実験 5/23 日経産業新聞
- 日本電機協会・中部電気協会「名古屋通常総会」発明など特別功績者、6 件を紹介 瞬時電圧低下補償用超電導電力貯蔵システムの開発 短時間に大電流の出し入れ可能 5/27 電気新聞
- 迫られる改革 能力を最大限に 社会還元が必要 研究・国際標準化一体で 5/28 日刊工業新聞
- ポスト京都へ挑戦 燃料電池実用化へ邁進 5/29 フジサンケイビジネスアイ
- ポスト京都へ挑戦 水素社会の担い手に 燃料電池、家電並み普及へ 5/30 フジサンケイビジネスアイ
- 構想延伸 リニア中央新幹線 片道 1 万 1000 円 東京-名古屋 40 分 通勤圏に 地元合意どう得る 6/1 毎日新聞
- フジクラ 高温超電導線材 500 メートルに 実用化にメド、試験供給へ 6/2 日経産業新聞
- J-PARC 完成間近 中性子利用へ産業界乗り出す 茨城県東海村 原研と高エネ研が共同推進 高温超電導や燃料電池の開発に道 6/2 日刊工業新聞
- リチウムイオン蓄電システム 新エネ連系時も安定 北陸電力など試作 10 年度、系統試験 6/2 電気新聞
- 世界総発電量の 67 %は火力「石炭」が主流、「ガス」も高い伸び 6/3 電気新聞
- 核融合実験炉向け工場 新日鉄エンジ 超電導コイル素材生産 6/4 日経産業新聞
- リニア新幹線 期成同盟会総会 6/5 日本経済新聞
- 極微世界の探求 始動 J-PARC、12 月本格実験 超電導、中性子で迫る 宇宙の根元には K 中間子で 6/6 朝日新聞
- 使用する燃料で異なる役割 石炭・ガスはベース、石油は負荷調整 6/10 電気新聞
- 電線断面積 2 倍で省エネ 工場の CO<sub>2</sub> 大幅削減 JECTEC が試算 6/11 電気新聞
- ベアリイグレスモーター 純水ポンプ用実用化めど 東京理科大発 VB ネオジム磁石使い 5 軸制御 特徴生かし用途開発 6/13 日刊工業新聞
- 国内最大級の風力発電所 鹿児島で 10 月稼動 2400 kW 型で市場けん引 九州電・三菱重工 6/13 日刊工業新聞
- 世界初の超電導自動車 住友電工が試作 6/13 朝日新聞、日経産業新聞、電気新聞
- 電気事業の CO<sub>2</sub> 削減に向けたさまざまな技術開発 ガス化炉の性能向上など評価/社会全体でコスト最小化 6/16 電気新聞
- 新エネ電源用蓄電池 算定・評価手法を確立へ 国際標準規格化も狙う 6/16 電気新聞
- 最高水準をいく日本の熱効率 コンバインド発電で飛躍的に向上 6/17 電気新聞
- 太陽電池政策 現実的対応はどこへ 6/17 電気新聞
- 東京カソード研 熱伝導性 銅の 4 倍 グラファイト加工・販売 6/17 日経産業新聞
- 電気自動車 燃料電池 エコカー夢の両輪 課題はコスト減 6/17 毎日新聞
- クルマ社会の未来予想図 電気自動車 こうすれば普及する 6/18 日刊工業新聞
- 脱デジタル家電 欧州電機の挑戦 フィリップス 医療にシフト 6/18 日経産業新聞
- ITER 青森で理事会開催 カザフ産かなど議論へ 6/18 電気新聞
- ITER 理事会が閉幕 6/19 電気新聞

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導速報—世界の動き（2008 年 5 月）

### 電力

#### American Superconductor Corporation（2008 年 5 月 8 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は 2008 年 3 月 31 日に終了する第 4 四半期と通年の収支を発表した。当期収入は前年同期 1,910 万ドルに対し記録となる 101 %増の 3,840 万ドルであった。粗利益率も、前年同期の 5.7 %から 33.2 %に増加した。当期の純損失は、前年同期の 1,160 万ドルに対し、当期は 180 万ドルであった。

2007 年度通年の収入は 1 億 1,120 万ドルで、前年の 5,220 万ドルに対し 115 %の増加。通年の粗利益率は、昨年度マイナス 0.6 %に対し、当年度はプラス 28.5 %となった。純損失は、前年の 3,470 万ドルに対し、当年は 2,510 万ドルであった。2007 年度の EBITDAS 損失は、前年度の 2,810 万ドルに対し、910 万ドル。2008 年 3 月 31 日時点で、AMSC 社は 1 億 602 万ドルの現金、現金等価物及び市場で換金可能な債権を持ち、受注残は約 1 億 9,900 万ドルに達している（前年度末は 7,680 万ドル）。

同社財務担当副社長兼 CFO、David Henry は次のように述べた。「我が社は 2008 年度を大きなモーメンタムと先への見通しを持って迎えた。また、2008 年度を通じて大きな成長が期待できるとの確信がある。2008 年度の収入は 1 億 6,500 万～1 億 7,500 万ドルを予測している。我々は 2008 年度に大きな底上げを図るとともに、純損失を 900 万～1,200 万ドルに抑えようと考えている。2008 年度の EBITDAS は、300 万～700 万ドル程度と見ている。」

出典:

“AMSC Reports Fourth Quarter and Full Year Fiscal 2007 Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (May 8, 2008)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1141990&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1141990&highlight)

#### Zenergy Power plc（2008 年 5 月 19 日）

Zenergy Power plc は、HTS 誘導ヒーターの設計、運転に関わる包括的なコア特許の証書を受け取った。この特許は、誘導ヒーターの性能を左右するいくつかの重要な設計仕様を保護するものである。重要な点は、この特許が世界の金属製造事業者の間で関心が高まってきている HTS ソリューションに対応する所期の性能や価格を可能としているということである。Zenergy Power 社社長 Michael Fitzgerald は次のように述べた。「ドイツ特許庁から認められたこの特許は、我が社の長期にわたる非常にエネルギー効率の高い HTS 技術の商業利用を保護するものであり、グループ会社や株主にとっても大きな利益となるものである。」現在の Zenergy 社の誘導加熱装置の市場は年間 20 億ドルと推定される。

出典:

“Induction Heater Utility Patent”

Zenergy Power press release (May 19, 2008)

[http://www.zenergypower.com/images/press\\_releases/2008-05-19-ih-utility-patent.pdf](http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-05-19-ih-utility-patent.pdf)

#### American Superconductor Corporation（2008 年 5 月 20 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国、カナダ及び英国から風力発電所とグリッドとの接続ソリューションである D-VAR®の発注を受けた。発注した風力発電会社は 3 社の異なるタービン製造会社の発電システムを利用する。すべてあわせて 200 MW 以上の電力に対し電圧補

償を行うこの D-VAR<sup>®</sup>システムは今後 12 ヶ月以内に出荷される予定である。現在、AMSC 社は今後の出荷予定も含め、全世界約 7,350 MW 相当分の D-VAR<sup>®</sup>ソリューションを提供している。

出典:

“AMSC Receives Four D-VAR(R) Orders for Wind Farms on Three Continents”

American Superconductor Corporation press release (May 20, 2008)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1148108&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1148108&highlight)

## 材料

### SCI Engineered Materials, Inc. (2008 年 5 月 5 日)

SCI Engineered Materials, Inc.は、2008 年 3 月 31 日に終了する第 1 四半期の収支を発表した。当期純収入は、前年同期の 240 万ドルに対し 30 %減の 170 万ドルであった。粗利益は、前年同期 458,000 ドルに対し、当期は 6 %減の 429,000 ドル。粗利益率は、前年同期の 18.7 %から 25 %に増加した。SCI Engineered Materials 社 CEO 社長 Dan Rooney は次のように述べた。「我々は成長戦略を進めており、市場における戦略は着々と進行している。我々は、2008 年第 1 四半期にもビジネスに対する戦略的投資を継続していく考えである。その中には、半導体、太陽光発電、その他革新的商品開発分野に対応する機器やマーケティングイニシアティブへの投資が含まれる。我々はこれらの投資が 2008 年後半の本格的な受注に繋がるものと考えており、我が社の長期的成長と利益をもたらすあらゆる機会を追求していく考えである。」同社の 2008 年 3 月 31 日時点での受注残は 150 万ドルである。

出典:

“SCI Engineered Materials, Inc. Reports First Quarter 2008 Results”

SCI Engineered Materials, Inc. press release (May 5, 2008)

<http://www.superconductivecomp.com/investors/ne/earnings/sci18.htm>

## MRI

### European Advanced Superconductors (2008 年 5 月 15 日)

Bruker Corporation は、超電導医療市場における 2008 年 Frost & Sullivan Customer Value Leadership Award を、同社子会社である European Advanced Superconductors (EAS) GmbH & Co. KG が受賞したと発表した。この賞は、提供されるハイエンド高付加価値顧客サービスの中で最も優れていると認められたものに贈られる。Frost & Sullivan 会長 David Frigstad は次のように述べた。

「既存の市場参入者は、この競争の激しい（超電導医療）市場の中の限られた需要を争っている。このような市場環境の中では、市場シェアを確保する最も確実な方法は画期的な顧客サービス戦略をとることである。EAS 社は顧客サービス戦略、優れた技術を武器に成果を挙げてきている。」EAS 社は、医療、特に磁気共鳴（MRI）関連超電導市場では強力なプレーヤーである。

出典:

“Frost and Sullivan Awards its Customer Value Leadership Award in the Medical Superconductor Market to Bruker Subsidiary European Advanced Superconductors”

Bruker Corporation press release (May 15, 2008)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=121496&p=irol-newsArticle&ID=1146141&highlight>



## 通信

### Superconductor Technologies Inc. (2008 年 5 月 8 日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、2008 年 3 月 29 日に終了する第 1 四半期の収支を発表した。第 1 四半期純収入は、前年同期 420 万ドルに対し、当期は 350 万ドルであった。当期純製品売り上げは、前年同期 350 万ドルに対し、200 万ドルであった。政府契約やその他契約による収入は前年同期 649,000 ドルに対し、当期は 150 万ドル。当期の純損失は、前年同期の 290 万ドルに対し、当期は 230 万ドルであった。STI 社最高責任者 Jeff Quiram は次のように述べた。「現在、顧客は支出に関して慎重である。第 1 四半期の結果は不本意ではあったが、3 月の 700 MHz のオークションの結果は我が社を勇気付けるものであった。我々は、4 月第 1 週に中国での TD-SCDMA ラボ・トライアルを終え、5 月のフィールド試験の準備を進めているところである。我々は、2009 年には中国で大きなビジネスチャンスに恵まれるものと確信している。」2008 年 3 月 29 日現在で、STI 社は 1,170 万ドルの現金及び現金等価物を保有し、その受注残は 192,000 ドルである（前年同期受注残は 63,000 ドル）。

出典:

“Superconductor Technologies Inc. Reports First Quarter 2008 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (May 8, 2008)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1142453&highlight>

### Superconductor Technologies Inc. (2008 年 5 月 28 日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、米国の機関投資家が同社一般株 200 万株購入のため 600 万ドルを出資することに合意したと発表した。STI 社は、得られる約 560 万ドルを通常運転資本として使う予定。この募集は、2008 年 5 月 30 日に締め切られる。

出典:

“Superconductor Technologies Announces \$6.0 Million Registered Direct Offering”

Superconductor Technologies Inc. press release (May 28, 2008)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1151188&highlight>

## 加速器

### European Advanced Superconductors (2008 年 5 月 20 日)

Bruker Corporation 子会社の European Advanced Superconductors GmbH & Co. KG (EAS)は、同社の特許であるパウダー・イン・チューブ法 (PIT) で製造した Nb<sub>3</sub>Sn 超電導体で最高記録となる臨界電流が得られたと発表した。この PIT 導体は、4.2 K、12 T の磁場下で超電導体部分に流れる電流密度 2,634 A/mm<sup>2</sup> の記録を達成した。この電流（密度）はこれまでの記録より約 5 %大きい。PIT 導体は直径 1.25 インチ、直径 50 μm 以下のフィラメント 288 本を含んでいる。この超電導体は CERN の Next European Dipole (NED)プログラムの下で開発された。EAS 社は PIT 技術をオランダの SMI 社から 2006 年 12 月に導入し、将来の核融合を含む幅広い範囲の応用向けに非常に大電流の Nb<sub>3</sub>Sn 導体を開発してきた。

出典:

“European Advanced Superconductors, a Division of Bruker's Advanced Supercon Business, Reports Record Current with Powder-In-Tube Superconductor”

European Advanced Superconductors press release (May 20, 2008)

[http://www.advancedsupercon.com/news/pr\\_20080520.html](http://www.advancedsupercon.com/news/pr_20080520.html)

## 基礎

### Carnegie Institution for Science (2008 年 5 月 20 日)

Carnegie Institution for Science は、高温超電導体では高圧により超電導が誘起されると報告した。担当の研究者は次のように述べた。「我々は、Bi 系高温超電導体( $\text{Bi}_{1.98}\text{Sr}_{2.06}\text{Y}_{0.68}\text{Cu}_2\text{O}_{8+\delta}$ )で高圧の効果を調べたいと考えた。ラジオのチューニングのように徐々に圧力を加えることにより思いがけない結果が得られた。我々は徐々に超電導にチューニングしていき、幅広い圧力範囲で何が起こるかを見ることができた。」ダイヤモンドアンビルで試料を加圧し、変化を見るためにラマン散乱、X 線散乱のような手法を使って、35 GPa までの圧力の効果をサブ原子スケールで観察した。21 GPa で最適ドープ状態のときに見られるような変化が観察された。このように、圧力とドーピングには関係がありそうである。温度やドーピングのかわりに圧力により高温超電導体の性質を調べるという新しいアプローチを生み出すことができた。結果は Physical Review Letters 5 月 30 日号に掲載される。(ファーストオーサーは Tanja Cuk.)

出典:

“Superconductors get a boost from pressure”

Carnegie Institution for Science press release (May 20, 2008)

[http://www.ciw.edu/news/superconductors\\_get\\_boost\\_pressure](http://www.ciw.edu/news/superconductors_get_boost_pressure)

### Florida State University (2008 年 5 月 28 日)

Florida State University の National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL)は、Oak Ridge National Laboratory (ORNL)と協力して最近 Nature で報告された新しい超電導体の中で驚くべき磁気的性質を見出した。希土類鉄砒素酸化物として知られるこの超電導体は新しいメカニズムで超電導になっているようであり、改良 MRI、研究用マグネット、超電導モーター、発電機、送電線といった応用が期待できる。NHMFL 応用超電導センター長 David Larbalestier は次のように述べた。「必要なのは高温で動き、安価で、丸線が作りやすい超電導体の選択が広がることである。鉄も砒素も安価な材料であり、この新たなクラスの超電導体の主要構成元素である。我々は大変魅力を感じている。まさに考えもしなかった超電導体である。」

NHMFL のハイブリッドマグネットを使って、ORNL から入手した鉄砒素酸化物が試験され、45 T の磁場下でも超電導を維持することが見出された。これは他の超電導体ならば超電導が破れる磁場をはるかに越えている。磁場に対して強いということは、超電導体にとって重要な性質である。鉄砒素酸化物が大きな臨界電流密度を持つのであれば、非常に実用上有用である。

出典:

“Powerful superconductor is in a class all its own”

Florida State University press release (May 28, 2008)

<http://www.magnet.fsu.edu/mediacenter/news/pressreleases/2008/2008may28.html>

### National Institute of Standards and Technology (2008 年 5 月 28 日)

National Institute of Standards and Technology (NIST)は、最近 Nature に報告された新しい鉄系超電導体が従来から知られている銅酸化物超電導体と類似の特異な磁気的性質を持っていることを明らかにした。原子レベルの磁気的性質を調べるための高強度中性子線施設である NIST Center for Neutron Research (NCNR)を利用して、北京の材料研究者から提供を受けた鉄系試料が銅酸化物超

電導体と類似の磁気的様相を有することを明らかにした。即ち、非磁性層の間に磁気モーメントを有する層が分布している。鉄系超電導体の原子層構造は、銅酸化物とのこの類似性が偶然でないことを示唆している。研究結果は、Nature 5 月 28 日号(オンライン版)に掲載された。

出典:

“New iron-based and copper-oxide high-temperature superconductors”

National Institute of Standards and Technology press release (May 28, 2008)

[http://www.nist.gov/public\\_affairs/releases/iron\\_oxide.html](http://www.nist.gov/public_affairs/releases/iron_oxide.html)

#### University of Tennessee at Knoxville (2008 年 5 月 28 日)

University of Tennessee at Knoxville は、Oak Ridge National Laboratory (ORNL)及び National Institute of Standards and Technology (NIST)と協力して、最近発見された新しい鉄系超電導体に関する重要ないくつかの新たな知見を報告した。中国の研究者から得た試料を使い、NIST 及び ORNL の施設を利用して、鉄系超電導体を超電導化するためにドーピングしたとき、その磁性が失われることを見出した。これは、銅系超電導体で見られる現象と同じである。この結果は、磁性と超電導との関連性の重要性を示唆するものである。この結果は、Nature (オンライン版)に掲載される。

出典:

“Getting warmer:UT Knoxville researchers uncover information on new superconductors”

University of Tennessee at Knoxville press release (May 28, 2008)

<http://www.utk.edu/news/article.php?id=4635>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 「低温工学協会関西支部第一回講演会・見学会」報告

住友電気工業株式会社  
超電導・エネルギー技術開発部  
応用技術グループ 大松一也

神戸大学 海洋科学研究科  
教授 武田 実

2008 年 5 月 12 日（月）14 時より、神戸大学百年記念館(神大会館)会議室 A において低温工学協会関西支部第 1 回講演会・見学会が開催された。参加者総数は 31 名（大学・研究所関係 13 名、会社関係・一般 18 名）であった。講演会では神戸大学六甲台キャンパスで行われている低温物性関係の研究内容が紹介された。プログラムは以下のとおりである。

1. 「多重極限 ESR 測定による物性研究」  
太田 仁氏（神戸大学自然科学系先端融合研究環分子フォトサイエンス研究センター）
2. 「低温におけるマイクロ計測」  
大道英二氏（神戸大学 理学研究科）

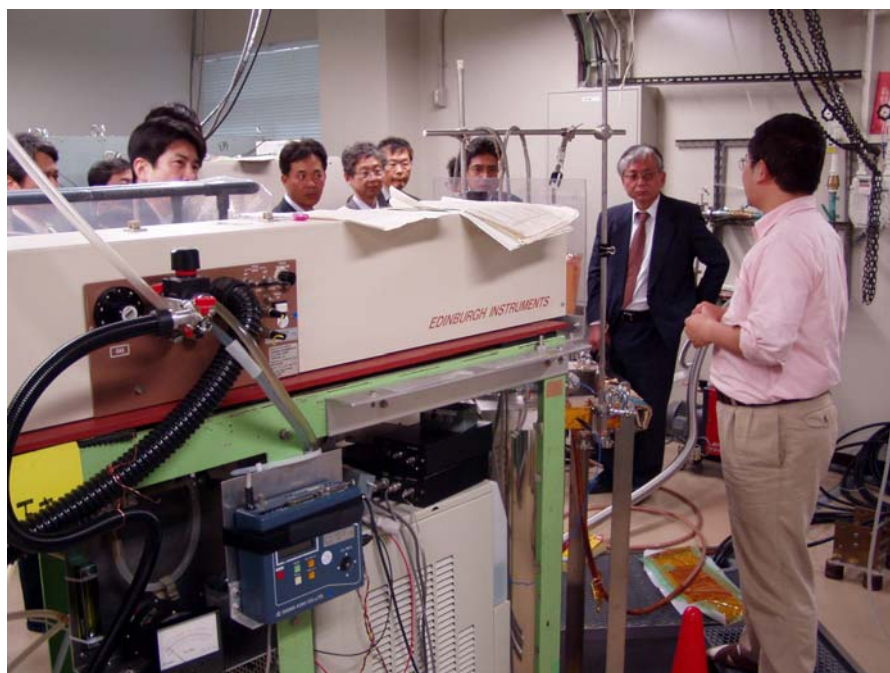
太田氏の講演では、電子スピン共鳴（ESR）とは何かという初歩的な説明から始まり、多重極限下すなわち強磁場・低温・高圧・ナノスケールの条件下における ESR 測定による物性研究の重要性が述べられた。特に、強磁場下では共鳴周波数が増加し、信号強度及び分解能が向上するという利点が出てくる。現在、神戸大学では 55 T のパルス強磁場、1.8 K の低温、1.1 GPa の高圧、マイクロメートルのカンチレバーが実現可能である。多重極限下での研究成果の一例として、 $\text{Y}_2\text{BaNi}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_5$  の強磁場 ESR 測定などの報告があった。非磁性イオン ( $\text{Mg}^{2+}$ ) をドーピングしてスピン  $S = 1$  のチェーンをカットすると、チェーン端部に効果的な  $S = 1/2$  が出現する。測定結果より、奇数チェーンの場合に、低温でスピンエッジ間の相互作用が支配的になることが明らかになった。今後は、さらに低温、高圧及び微小領域での実験が計画されており、多重極限 ESR 測定による物性研究が大きく進展して行くものと期待される。

大道氏の講演では、パルス幅～数十 ms の非破壊型パルス強磁場の利点として簡便性が挙げられ、超電導体・磁性体・半導体・有機導体などの物性研究を行う上で有力な研究ツールとなることが述べられた。一方、パルス強磁場実験では感度が低いことや試料空間が狭いことなどの問題点があるため、測定装置の微小化・高感度化が求められる。このため、マイクロ計測すなわち微小試料 ( $< 1 \mu\text{g}$ )・高振動数 ( $\sim 100 \text{ kHz}$ )・狭い試料空間 ( $< 10 \text{ mm } \phi$ ) による計測の有用性が指摘された。このマイクロ計測による研究成果の一例として、市販の原子間力顕微鏡用のピエゾ抵抗型カンチレバーを用いた高感度トルク測定の報告があった。この方法では、ピエゾ抵抗の精密測定より応力及びトルクを求め、微小磁化の知見を得ることができる。測定の実例として、 $\text{MgB}_2$  の量子振動の磁場方向依存性などが紹介された。測定装置の随所に自作または改造した部分が見られ、今後の更なる実験技術の向上と新規な物理現象の発見が期待される。

講演会の後、場所を移動し、「神戸大学分子フォトサイエンス研究センター」及び「ヘリウム液化



施設」の見学会が行われた。同研究センターの大久保氏より、非破壊型パルス強磁場実験装置、強磁場 ESR 測定装置、各種レーザー発振器などの研究開発状況の説明を受けた。また、同研究センターの櫻井氏より、2005 年 3 月に更新された最新のヘリウム液化システム、液体窒素自動充填システムなどの説明を受けた。



見学会の様子

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 【隔月連載記事】

### 粒子加速器と超電導（その 4）

日本大学  
大学院総合科学研究科  
教授 新富孝和

#### 4.3 クエンチとヒステリシス

高エネルギー加速器用超電導磁石と通常の電磁石との主な違いは、超電導評価においてクエンチすることと励減時にヒステリシスがあることである。

コイルの高い平均電流密度にかかわらず、負荷曲線上の臨界電流値の 85 %程度で運転される。しかし、加速器を構成する超電導磁石の個数が 1000 台にもなるため、定格電流値までクエンチをしないものが要求される。受け入れ試験を行い、多くても 1 ないし 2 回のクエンチで定格に達するものを合格とする。そのため、カラーでプリストレスをかけて導体の動きを抑え、クエンチしないようにする。トンネル内に設置する前に、クエンチ特性の試験をし、同時に磁場測定も実施する。一例として LHC 二極電磁石のクエンチ特性を図 4-4 に示す。定格磁場まで 2 回以下のクエンチ回数であるものを合格とする。

素線の銅比が小さいので、ホットスポットができないようにマグネット全体を常伝導状態にして保護する。MIT を計算し、ホットスポット温度が 400 K 以下になるように設計する。幸い常伝導伝播速度が速いので均一温度上昇しやすいが、必要に応じて保護ヒータをコイルに抱かせる。

素線のヒステリシスがあるために励減時にヒステリシスを生じる。図 4-5 に素線のヒステリシスによって生じる 6 極および 10 極磁場成分の励磁電流依存性を示す。これはフィラメントへの磁束侵入（磁化）のヒステリシスに起因する。フィラメントの磁化の大きさは、外部磁場によらず一定であるので、多極磁場成分のヒステリシスの影響は磁場が高くなると相対的に小さく、磁場の低いところで大きくなり、影響が顕著になる。したがって、加速粒子の入射時に影響がある。

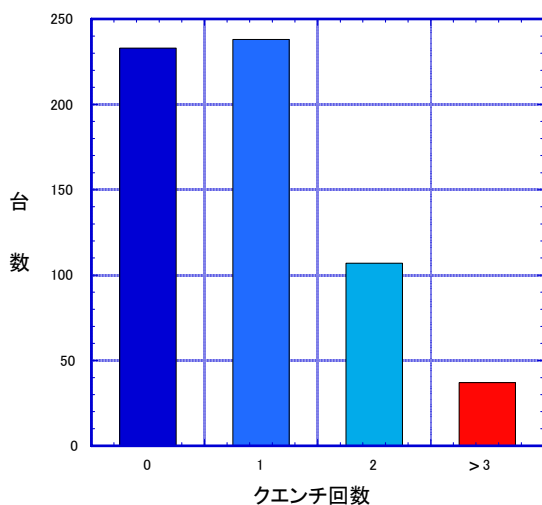


図 4-4 LHC 二極電磁石の定格磁場 (8.33 T) までのクエンチ回数の分布

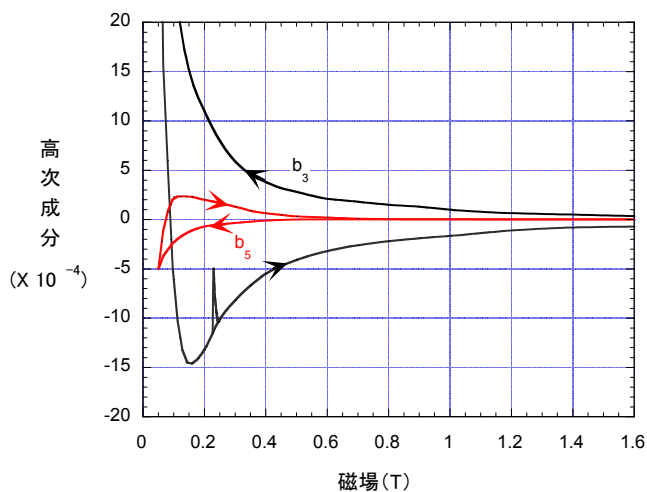


図 4-5 超電導偏極磁石の多極磁場成分 (6 極および 10 極) のヒステリシスの例。例えば、0.25 T での  $b_3$  の振舞いは素線間に誘起された電流変化によるスナップバックである。

#### 4.4 スナップバックと交流損失

変動磁界によるラザフォードケーブルの素線間に誘起される誘導電流の変化によって、高磁場成分の時間変動が起こる。前節で述べたように、電磁石の電流を変えることによって多極成分のヒステリシスが生じるが、電流変化を止めて一定電流にしておく（例えば入射磁場）、素線間誘導電流の減衰によって多極成分の大きさが時間とともに変化する。加速のために電流を上げていくと、元の値に戻る（図 4-5 の 0.25 T 近傍に現れている現象）。この現象はスナップバックと呼ばれ、HERA で観測され、原因が明らかにされた。

素線間の誘導電流により交流損失が発生する。SSC では、励磁速度を変えたときのクエンチ電流の振る舞いが 2 種類分類できることが分かった。図 4-6 に示すグラフ  $a_1$  は交流損失による劣化であり、グラフ  $b_1$  は素線間誘導電流に起因することが明らかにされている。これらの研究から、安定性と交流損失の双方を解決する方法として、素線間接触抵抗を適当な値に制御する方法が LHC のマグネットで開発されている。

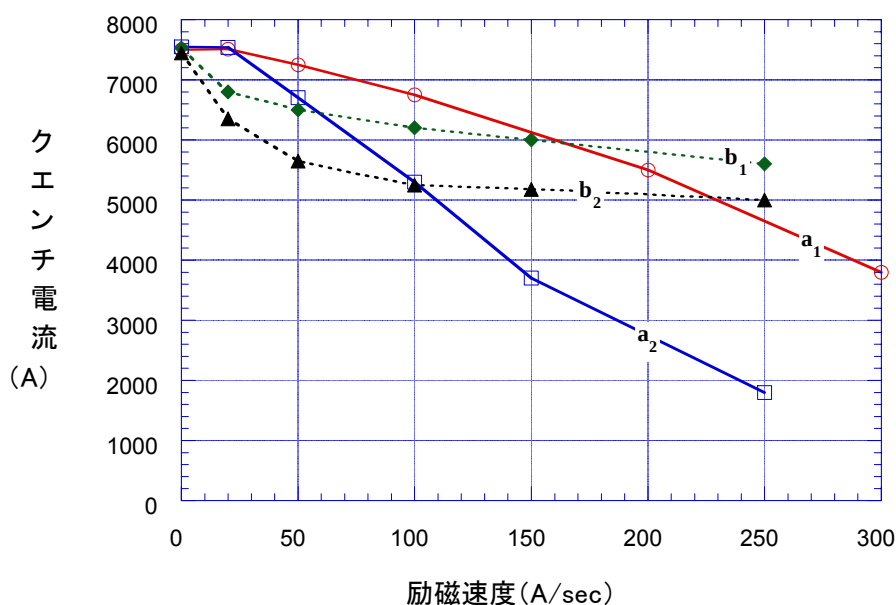


図 4-6 SSC 超電導双極電磁石のクエンチ電流の励磁速度依存性。  $a_1$  および  $a_2$  が交流損失に起因するもの、  $b_1$  および  $b_2$  が素線間にながれる誘導電流に起因するものである。

#### 4.5 放射光

荷電粒子が磁場中で曲げられると接線方向に光を放射する。これを放射光と呼び、物性研究などに使われている。放射光によって損失するエネルギーは

$$\text{放射光による損失エネルギー} \propto \frac{1}{(m_0 c^2)^3} \frac{E^4}{\rho}$$

で与えられる。ここで、 $m_0$  は粒子の静止質量、 $E$  は粒子のエネルギー、 $\rho$  は粒子軌道の曲率半径である。

電子シンクロトロンでは、エネルギーが GeV オーダーになると放射光による損失が問題になる。一方、陽子シンクロトロンでは静止質量が大きいため通常は問題にならないが、LHC 程度のエネルギーになると放射光の発生が問題になってくる。すなわち、放射光によって真空ビームパイプの内

壁から電子やイオンがたたき出されて真空度が悪化する、放射光による損失がそのまま冷凍機の熱負荷になるなどである。ちなみに LHC では、粒子エネルギーが 7 TeV の時に放射光損失が 3.9 kW/beam、換言すると 0.22 W/m/beam になる。超電導磁石の温度上昇をもたらすだけでなく、冷凍機熱負荷としてもバカにならない。

#### 4.6 冷凍機

冷凍機は高エネルギー超電導加速器にとって要である。高エネルギー超電導加速器は、周長が数 km 以上になるので、加速器をセクションに分け、各セクションに冷凍システムを設置し、冷却する。セクションの分け方は、夫々の設計によるが、Tevatron の場合、周長 6 km にわたって 24 サブステーションがあり、比較的小型の冷凍機で冷却される。各サブステーションには、中央液化冷凍機から液が供給される。HERA では、6 km を 2 セクションに分け、3 台の大型冷凍機で冷却する。冷凍能力は 2 台で十分になるよう設計されており、1 台は予備であると同時に初期冷却の時には 3 台を稼働させる。LHC では、周長 27 km を 8 セクションに分け、8 台の大型冷凍機で、液体ヘリウム II を発生して冷却する。1 台の冷凍機が分担する長さは 3.3 km である。夫々の冷凍機の比較を表 4-1 に示す。

表 4-1 高エネルギー加速器に用いられている大型冷凍機

| 装置名称   | Tevatron                                            | HERA                                               | RHIC                              | LHC                    |
|--------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 研究所    | FNAL                                                | DESY                                               | BNL                               | CERN                   |
| 加速器周長  | 6.3 km                                              | 6.3 km                                             | 3.8 km                            | 26.7 km                |
| 液化冷凍能力 | 中央液化機<br>4.9 kℓ/h @ 4.6 K<br>サテライト冷凍機<br>23 kW/24 台 | 6.8 kW @ 4.4 K<br>20.5 g/s @ 4.4 K<br>20 kW @ 80 K | 25 kW max @ 5.5 K<br>55 kW @ 50 K | 18 kW @ 4.2 K 相当/<br>台 |
| 台数     | 1                                                   | 3                                                  | 1                                 | 8                      |
| 冷却重量   | 600 トン                                              | 3,900 トン                                           | 1,080 トン                          | 37,000 トン              |
| 消費動力   | 3,000 kW                                            | 2,800 kW                                           | 17,400 kW                         | 40,000 kW 総計           |
| 納入年    | 1980                                                | 1987                                               | 1986                              | ~2004                  |
| 備考     | 24 台のサテライト冷凍機が付属                                    | 2 台で冷却可能<br>1 台は予備                                 | ISEBELLE 計画のものを改修                 | 加圧 HeII 冷却             |

## 読者の広場

### Q&A

**Q：「計測における“不確かさ”って何ですか？超電導関連計測にも関係するのですか？教えてください。」**

**A：“真の値”は確かめようがない？ しかし、“不確かさ”なら誰でも確かめることができる！！**

まず、“不確かさ”がどのようなものかを説明しましょう。

“不確かさ”とは、測定値や測定データを報告するとき、誰もが納得できる定量的な“誤差”の新しい表記用語です。例えば、臨界電流  $I_c = 300 \text{ A} \pm 12 \text{ A}$  という報告があったとして、この誤差  $\pm 12 \text{ A}$  を誰もが納得できる表記にするために、“不確かさ”が定義されています。

新たに“不確かさ”を定義しなくても、これまで使い慣れた“誤差”のままで良いと思われがちです。しかし、お気づきの方も居られると思いますが、“誤差”という表記にはいろいろ曖昧な事項も含まれています。すなわち、“誤差”の定義自体が誰にも知り得ない“真の値”を基準にしていること、誤差が測定者や報告者にしか確かめようのない値であること、誤差の表記が表 1 に示すようないろいろな意味合いを含んでいることなどを挙げることができます。

そこで、このような測定結果の報告表記に関する概念や曖昧さを統一する作業が 1977 年から国際的に始められました。その結果、ISO, IEC, BIPM, IFCC, IUPAC, IUPAP, OIML などの賛同を得て、“Guide to the expression of Uncertainty in Measurement, 1995 (最新版)” (通称 GUM) にまとめられました。すなわち、測定結果の定量的な表記には、表 1 におけるような用語のややこしい使い分けを避け、“**不確かさ：uncertainty**”のみを統一的に使うこととの指針が出された理由です。

測定の不確かさは、一般には測定に係わる測定試料、測定者、測定装置、測定環境、測定機関などに係わる主要な実験偏差の 2 乗和平方根で合成することによって求められます。

表 1 計量における国際的な用語のいろいろ (岡路正博：低温工学、vol.36 No.2(2001)pp.2-6)

| 英語用語        | 日本語用語          | 用語の意味                                                                  |
|-------------|----------------|------------------------------------------------------------------------|
| true value  | 真の値            | 測定値の正しい値                                                               |
| error       | 誤差             | 測定値－真の値                                                                |
| bias        | かたより           | 測定値の母平均から真の値を引いた値                                                      |
| dispersion  | ばらつき           | 測定値の大きさがそろっていないこと。また、不ぞろいの程                                            |
| precision   | 精密さ*、精度**      | ばたつきの小さい程度                                                             |
| trueness    | 真度             | かたよりの小さい程度                                                             |
| accuracy    | 正確さ*、<br>精確さ** | trueness と precision とを含めた総合的な良さ<br>(計測用語の精度*の意味)                      |
| uncertainty | 不確かさ*          | 測定の結果に付随した、合理的に測定値を結びつけられうる<br>値のばらつきを特徴づけるパラメータ<br>(真の値が存在する範囲を示す推定値) |

\* JIS Z 8103-1990 「計測用語」による

\*\* JIS Z 8402-1991 「分析・試験の許容差通則」による

次に、超電導関連計測との関係について考えます。

国際電気標準会議, IEC (International Electrotechnical Commission) においては、燃料電池や光ファイバーなど先進技術分野や環境関連分野を対象に IEC 規格への“uncertainty”導入が進められています。先進技術分野のひとつである超電導分野 (IEC/TC90) でも、2006 年の第 10 回 IEC/TC90 京都会議において“uncertainty”の導入が承認されました。したがって、2006 年以降に発行される超電導関連 IEC 規格にも“uncertainty”が使われることになります。また、これに整合して発行される JIS 規格にも“不確かさ”が使われ、日常の超電導関連計測や関連製品にも逐次適用されることになります。

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)