

掲載内容（サマリー）：

トピックス：

- 第 19 回国際超電導産業サミット（ISIS-19）報告
- 米国シアトルにおける IEC/TC90 会合の開催について

特集：超電導電力機器

- 超電導電力機器の開発動向
- SMES 技術開発
- Bi 系超電導ケーブル開発について
- Y 系-66 kV 超電導電力ケーブル開発
- Y 系-275 kV 超電導ケーブル開発
- 超電導変圧器の技術開発 ～実用化技術の確立に向けて着実に進捗～

- 超電導関連 11 -12 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（9/20-10/19）
- 超電導速報—世界の動き（2010 年 9 月）
- 「電気学会の H22 年度電力エネルギー部門大会」報告
- 隔月連載記事—もっとやさしい「超電導」のおはなし（その 6）
- 読者の広場(Q&A)—有機分子の鎖状配列からなる微小の超電導体が作製されたと聞きましたが、どのような材料でどのような応用が予想されるのでしょうか？

[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

〒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：第 19 回国際超電導産業サミット（ISIS-19）報告

財団法人国際超電導産業技術研究センター
国際部

部長 津田井昭彦



ISIS-19 で講演する塩原融・超電導工学研究所所長

平成 22 年 10 月 5 日（火）～6 日（水）、イタリア、セストリレバンテで第 19 回国際超電導産業サミット（ISIS-19）が開催された。今次会合は日、米、欧、ニュージーランド、及び韓国から約 50 名の参加があった。セストリレバンテはジェノバ郊外にあり、ジェノバから電車で 1 時間程度の所である。ジェノバには、 MgB_2 のコロンバス・スーパーコンダクター社や加速器等のマグネットで有名な ASG スーパーコンダクター社が拠点を置いている。

今次サミットでは、韓国が ISIS への正式加盟を求め、加盟国全会一致でこれが認められた。これにより、サミットの正式メンバーは日米欧、ニュージーランド、韓国の 5 カ国となった。

今次会合のテーマは、「Enabling Sustainable Solutions」。開会の挨拶に引き続き、サミットメンバー国それぞれからの基調講演、超電導プロジェクトの現状と将来、実用化に向けた課題と国際協力に関し、講演及び意見交換が行われた。日本からは、塩原融・超電導工学研究所所長が 2020 年の本格実用化時期に向けた我が国の超電導技術開発についての基調講演を行った他、原築志・東京電力（株）フェローが高温超電導ケーブル実証プロジェクト、大熊武・超電導工学研究所電力機器研究開発部長が Y 系電力機器開発、和泉輝郎・産業用超電導線材・機器技術研究組合特別研究員（超電導工学研究所線材研究開発部長）が Y 系線材開発につき、それぞれ我が国の現状及び今後の計画についての講演を行った。また、田辺圭一・産業用超電導線材・機器技術研究組合技術研究部長（超電導工学研究所副所長）は、国際協力について我が国の取り組みを紹介した。当初、米国のスマートグリッドにおける超電導の位置づけは明確ではなかったが、徐々に超電導ケーブル、超電導限流器、超電導変圧器といった超電導電力機器がスマートグリッド用機器として位置づけられ、政府予算の支援の下、その開発が進められるようになってきている。また、超電導 SMES の開発も再開された。これ以外にも、超電導ケーブルや超電導限流器の計画が進行しており、昨年、完全民間ベースの直流超電導ケーブルの商用化を目指した Tres Amigas プロジェクトもスタートした。大型風力発電の分野でも、超電導の優位性に着目した検討が進められている。これら超電導応用機器には Y 系線材が採用される予定であり、その線材開発、製造は国立研究所等の公的研究機関の支援を受け、アメリカンスーパーコンダクター社とスーパーパワー社の 2 社が担っている。また、エレクトロニ

クスの分野でも超電導回路、超電導フィルターの開発やビジネスに積極的に取り組んでいる。欧州では、 MgB_2 の実用化にも力を入れており、その線材の開発やマグネット等各種応用の検討も積極的に進められている。また、HTS 線材の分野でも、電動機・発電機、誘導ヒーターといった応用領域で開発・ビジネス活動を展開している。現在、ニュージーランドでは、超電導マグネットの開発・事業化活動を活発に進めているところであるが、電力応用を目指した Roebel ケーブルの開発や、これを変圧器に適用するための研究開発にも力を入れている。韓国においては 2001 年に開始された DAPAS (Development of the Advanced Power system by Applied Superconductivity technologies) 計画が最終フェーズに入り、また新たに韓国電力主導の GENI プロジェクトもスタートするなど高温超電導実用化に向けた動きを加速している。

今次会合の重要なディスカッション・ポイントは、実用化拡大に向けた課題と国際協力の在り方であった。高温超電導技術の本格的実用化に向けては、市場をいかにデマンドプルに切り替えていくか等解決すべき課題も多い。現在世界で進められている超電導応用機器の開発、実証プログラムを着実に進め、超電導応用機器の優位性を目に見える形で示して、将来のユーザーの信頼と確信を得ることが重要である。会議の場でも、超電導技術の価値を明確な形で示すこと、ユーザーの意見をくみ上げることが必要である等の意見が出された。また、超電導技術開発は各国がしのぎを削っているものの、可能な範囲で国際協力という局面も出てこよう。実際に、一部の米国の超電導プロジェクトにおいては欧州やニュージーランドの企業、機関が参加しており、過去には日本企業が米国の超電導ケーブルプロジェクトに参加したという実績もある。サミットは一般の学会とは異なり、企業、研究機関の経営幹部や技術リーダーが意見交換を行う場として機能してきており、今後、このような議論が一層深まっていくことを期待したい。また、今回韓国が新規メンバーとして加盟したこともあり、今後サミットが一層発展し、国際的にも議論が広がっていくことが期待される。

次回会合は、2011 年度、韓国で開催されることが合意された。

[超電導 Web21 トップページ](#)

トピックス：米国シアトルにおけるIEC/TC90会合の開催について

IEC/TC90国内委員会事務局

財団法人国際超電導産業技術研究センター

常務理事 奥田昌宏

電気・電子技術に関する国際規格を開発・発行する国際機関である国際電気標準会議（IEC）は、去る10月11～15日、米国シアトルのワシントン州コンベンション・トレードセンターで第74回総会を開催した。この総会期間の前後を含め2週間にわたり、IECの約90（予定）の専門委員会（TC）や分科委員会（SC）も、各種の会合を持った。この中で、超電導を担当するTC90は、11～12日に、既に発行されている規格の改訂や新しい規格の作成を検討するため、9つの作業グループ（WG）の会合を開き、また超電導の標準化に関する新たな取組を議論するため、ミニシンポジウムを各々開くとともに、13日には、TC90自体の会合を開催した。

ここでは、WGやミニシンポジウムの結果も踏まえて総括的な議論が行われたTC90会合の概要について述べる。ちなみに、TC90は、超電導材料や機器に関する国際規格を検討するため、1989年8月にIECのTCの一つとして設置され、2年に1回の割合で会合を開催している（前回会合は2008年6月にベルリンで開催）。また、TC90には、投票権を有するPメンバーとして11カ国が参加し、日本が幹事国（Secretariat）を務めている（幹事は、佐藤謙一住友電気工業(株)技師長）。

今回のTC90会合は、L. Goodrich（米国）議長の下、日本（団長は、松下照男IEC/TC90国内委員会委員長・九州工業大学教授）、米国、ドイツ、中国及び韓国の5カ国、並びにIEC中央事務局が出席して開催された。本会合の概略は、次のとおりであった。

・ 規格の作成・改訂状況

超電導に関する規格の作成・改訂について、担当するWGのコンビナー（主査）から進捗状況が報告され、議論が行われた。ちなみに、超電導に関する規格は、現在、用語・定義や各種の試験・測定方法について15の規格が発行されるとともに（最新のものは、今年6月に発行された電流リードに関する規格）、新たに5つの規格が発行に向け準備作業が進められている。また、発行された規格は随時見直しが行われ、改訂版が発行され、このような規格の作成・改訂の検討を行うため、TC90には現在12のWGが設置されている。

また、発行済みの規格については、IECでの管理方針に従って、担当するWGの検討状況を踏まえつつ、各規格の次回改訂版の発行期限（Stability date）が確認された。

・ 他機関との連携

超電導ケーブルの標準化に関し、今年1月にCIGRE（国際大電力システム会議）にWG B1.31



第74回IEC総会の会場入口

が設置され、現在、超電導ケーブル試験に関する調査が行われていることが報告され、CIGREやIEC内で電力ケーブルを担当するTC20との連携強化のあり方について議論がなされた。

また、従来からTC90と協力して超電導に関する標準化作業を行っているVAMAS（新材料及び標準に関するベルサイユプロジェクト）についても、TWA16（超電導材料）の活動状況が報告された。



IEC/TC90会合の様子

- ・ 新しい規格に向けた取組

日本が提案している超電導線の一般規格に関し、前回ベルリン会合で設置されたAd-hocグループ3の活動状況、特に、直前の10月8～9日に米国バークレイで開催されたワークショップでの議論について報告がなされるとともに、次の段階である新業務項目提案（NP: New Work Item Proposal）を作成することについて出席国多数から賛成が得られ、今後正式な投票や新しいWGの設置等の手続きが進められることとなった。

また、日本のVAMAS提案であるBi系線の曲げ臨界電流試験方法に関するNPの作成、USから提案されたNbの残留抵抗比測定方法に関するNPの作成についても、それぞれ承認された。

さらに、超電導センサーの標準化に関して、日本からAd-hocグループの設置を提案したところ、出席国多数から賛成が得られ、今後Ad-hocグループの設置に向けて、参加各国に専門家派遣の照会等が行われることとなった。

なお、閉会に先立ち、次回TC90会合を2年後に中国で開催することが合意された。

最後に、日本は、IEC/TC90において幹事や各WGのコンビナー等を務め、その活動に主体的に取り組んできた。この機会に改めて関係の方々のご尽力に感謝申し上げたい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導電力機器「超電導電力機器の開発動向」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所 電力機器研究開発部
部長 大熊 武

国内における超電導電力機器の研究開発は、主に経済産業省からの NEDO 事業として進められており、「Y 系超電導電力機器技術開発」プロジェクト（平成 20 年度～24 年度）と Bi 系超電導線材を使った「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」（平成 19 年度～24 年度）が実施されている。

「Y 系超電導電力機器技術開発」プロジェクトにおいては、Y 系超電導線材を作製するプロセス技術の開発を基礎として、この Y 系超電導線材を使った超電導電力貯蔵システム (SMES)、ケーブルおよび変圧器の実用化に向けた技術開発を行っている。

「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」では、Bi 系超電導線材を使ったケーブルや冷却技術等を統合するケーブルシステムを構築して、ケーブル単体ではなく、運転、保守を含めた超電導電力ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を実証するために、実際の 66 kV 電力システムでの実証試験を計画している。

一方、米国における超電導電力機器の研究開発は、主としてエネルギー省 (DOE) の補助を受けて実施されており、これまで Bi 系超電導線材を使ったケーブル等の電力機器の実証プログラムが実施されてきた。また、エネルギー省は新たな超電導電力機器プロジェクト (SPI Project) のなかでケーブルと限流器のプログラムが実施され、ここで開発された超電導機器は実際の電力システムでの実証試験が進められている。また、昨年 11 月にはスマートグリッド関連技術開発の一環として限流機能を持った超電導変圧器プログラムの推進を発表するとともに、今年度から Y 系超電導線材を用いた 3.4 MJ の SMES 開発が 3 年計画のプロジェクトで開始されている。

欧州における超電導電力機器の研究開発は、欧州連合 (EU) または各国が資金を提供するものと、企業が独自に進めるものが混在しているが、EU の第 6 次フレームワークプログラム (FP6) の下、Y 系超電導ケーブルの試作、機能実証プロジェクト (Super 3C) が実施された。また、現在の第 7 次フレームワークプログラム (FP7) の下では、Y 系超電導限流器の実証プロジェクト (ECCOFLOW) が 2010 年 1 月にスタートしている。さらに、Siemens 社、Nexans 社、Zenergy 社等の欧州メーカーは、上記米国におけるケーブル及び限流器の開発プログラムにも参画して研究開発が進められている。

上記米欧以外では、中国、韓国、ニュージーランド等での開発が活発化してきており、特に韓国では 2001 年から政府補助での 10 年計画 DAPAS プログラムの下、ケーブル、変圧器等の超電導電力機器及び高温超電導線材の開発を実施している。Y 系超電導線材については、韓国電気技術研究所 (KERI) 及び民間企業の SuNAM 社がその開発を担っており、これと並行して Y 系超電導線材を使った SMES の開発も行っている。また、韓国電力の資金による GENI プログラムが 2009 年からの 5 年計画でスタートし、Y 系超電導線材を使ったケーブル及び限流器の開発が行われており、実際の電力システムでの実証試験を 2011 年に計画している。

ここでは、最近の超電導電力機器の動向について、国内外における概要を紹介したが、以下に国内における超電導電力機器 (SMES、電力ケーブル、変圧器) の開発状況について、各プロジェクトの担当者より報告をいただく。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導電力機器「SMES 技術開発」

中部電力株式会社

技術開発本部電力技術研究所

超電導プロジェクトリーダー 長屋重夫

超電導技術を用いた電力機器のうち **SMES** は、電力ケーブルや変圧器などと異なり超電導ならではの特徴を活かした機器である。また、その機能・応用は従来機器のリプレースではなく、電力ネットワークの多様性・柔軟性を高める為に必要不可欠なエネルギーバッファの機能を持ち、今後の地球環境対策を進める上でのキーテクノロジーの 1 つとなる。

これまで **SMES** の技術開発は電力ネットワークの制御システムとして進められ、その成果は従来の金属系超電導体を用いて瞬低補償用途に実用化されており、超電導電力機器としては唯一商用化された超電導電力機器となっている。

しかしながら、**SMES** に限らず超電導機器は、極低温冷却を伴う特殊な機器であり、コスト面のみならず運用・保守の面からも制約があり、今後幅広い応用を実現させるには更なる技術革新が求められてきた。

高温超電導体、中でもイットリウム系超電導体は磁場特性に優れ、**SMES** の低コスト・高性能化に有利な高磁界化が可能で、また線材自体に機械強度の高い基材が使用可能であるため、高磁界化コイルでの課題となる高フープ応力対応化が容易となる。

現在、日本に続き米国、韓国でこのイットリウム系超電導線材の機械的高強度特性を活かした高磁界コンパクト **SMES** 開発が始められているが、日米韓の 3 つのプロジェクトすべてにおいて、**SMES** コイルの基本構成はトロイド配置の高磁界型であり、これまで日本で検討してきた構造・構成とほぼ同一となっている。これはこのコイル構成が、現時点でのイットリウム系線材が持つ磁場特性の角度依存性や線材形状・特性を活かす最適構造であることを示していると考えられる。

SMES にとって、超電導コイルに必要な機能は、可能な限り大きな磁気エネルギーが蓄えられることであり、他の電力貯蔵技術に比べエネルギー貯蔵密度が低い **SMES** の高磁界化は貯蔵密度を高め、またこれによりコンパクト化を図ることが出来る。また、超電導機器でのコンパクト化は冷却システムへの負荷を下げることにつながり、ランニングコストも含めた大幅なコストダウンが実現する。

SMES に限らず超電導機器の普及のためには、技術的な実用化ではなく、機器自体の価値がその機能・便益に対して上回ることが必須であり、特にコスト面でのメリットが要求される。これが成立しない場合、ごく限られた特殊用途に実用化される可能性はあっても、幅広い応用は不可能となる。

これまで **SMES** の特徴は、貯蔵エネルギーに比べ、容易に大出力化が図れる点にあったが、イットリウム系超電導線材の登場により、高磁界化による大容量化も可能となる。しかし、システムに占める必要線材量が大幅に増える。現状、イットリウム系超電導線材には開発の余地が残されているが、コスト面ではまだまだ不十分であり、さらに見かけの線材特性の高 I_c 化による A/m を指標とした線材の低コスト化 (円/ A/m) では、機器コストに反映しない場合もある。

機器開発と線材開発は表裏一体の関係にあるが、既に海外では線材は量産化による商用化も始まっており、機器開発は一段と加速されると考えられる。今後、単に技術的に可能な手法・特性ではなく、量産化を前提として実際に製造可能な技術やコストによる評価を、超電導機器実用化に向けて進めていく必要があると考えられる。

2008 年からスタートした NEDO プロジェクトでは、大きく分けて前半の 3 カ年でイットリウム系 SMES コイルシステムの特徴である、線材強度を活かした高強度高フープ応力コイル構成技術と、伝導冷却システムの構成技術の確立を図り、後半では伝導冷却 SMES コイルとして特性評価を行い、将来の 2 GJ 級電力系統制御用大容量 SMES 開発へ向け、イットリウム系超電導線材を用いたコイルの限界性能（耐久性・信頼性など）を把握することを目的としている。

現時点で、高強度高フープ応力コイル開発では、従来の金属系コイルの 2 倍以上の耐応力となる 600 MPa の目標値を大きく超える 854 MPa の実証に成功しており（図 1）、今後はコイル性能に線材構造・構成が及ぼす影響を把握し、コイル構造の最適化を図ることとしている。また、大型コイル冷却に向けて十分な熱伝達を得るため、ガス冷媒配管を一部活用した冷却システムを製作し（図 2）、20 K において現状技術の熱流束 3 W/m^2 を大幅に上回る 21 W/m^2 を可能とする高熱伝導冷却システムの開発に成功している。



図 1 高耐フープ応力試験（NbTi バックアップマグネットに挿入された Y 系集合導体コイル、4.2K で実施）

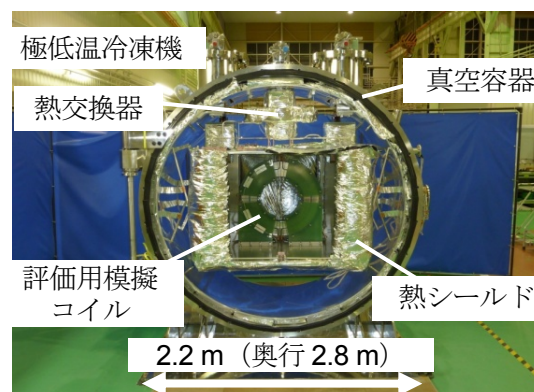


図 2 SMES コイル用冷却システム

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導電力機器「Bi 系超電導ケーブル開発について」

東京電力株式会社

技術開発研究所

本庄昇一 三村智男 原 築志

実系統での超電導ケーブルの送電実証試験を行うことを目標とした国家プロジェクト「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」を進めている。本プロジェクトは平成 19 年度からの 6 年間の研究期間で、住友電気工業株式会社・株式会社前川製作所・東京電力の 3 社で経済産業省ならびに新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から受託をし推進している。

プロジェクトの最初の 2 年間で、超電導ケーブルの要素技術開発を実施した。具体的には、交流 2 kA 通電時の交流損失を 1 相あたり 1 W/m 以下に低減する技術開発、実用化時に必須となる大容量のケーブル端末部、および中継接続部の技術開発、短絡電流に対する超電導ケーブルの健全性や再冷却特性の検証などであり、短尺モデルケーブル等を用いた検証試験を実施し、良好な結果を得ている。

平成 21 年度においては、実系統での実証試験に先立って、30 m 長の超電導ケーブルを用いた事前検証試験を行った。図 1 に試験システム概略図を示す。線路は 30 m 長の三心一括型超電導ケーブルで構成され、曲げ半径 5 m の 90 度曲がり部を有する。また、マンホールを模擬したスペースにて、中間ジョイントを施工している。これらケーブルシステムを冷却システムにて循環冷却し、各種試験を実施中である。これまでに、臨界電流測定試験、絶縁性能試験、損失測定試験等の性能検証試験を実施し、さらに 1 ヶ月にわたる長期連続課通電試験を実施した。これらの結果、超電導ケーブルは設計通りの特性を有していることを確認している。また、本システムを用いて、昇温・再冷却試験や、過電流通電時の特性検証などの過酷試験を行い、超電導ケーブルの健全性を確認している。また、ここまでの成果を NEDO 中間評価分科会にて審議いただき良好な結果を受け、引き続きプロジェクト推進の了解を得た。



図 1 30 m 試験システム外観図

平成 22 年度には、旭変電所用冷却システムとしての機器基本性能確認、冷凍機・ポンプ等の複数台運転制御の確認を目的として現在実施中である。試験全体概要を図 2 に示す。平成 22 年度から現地整備工事を開始しており、平成 23 年から超電導ケーブル、冷却システム等を設置する工事を着手し、平成 23 年秋より実証試験運転を行う予定である。

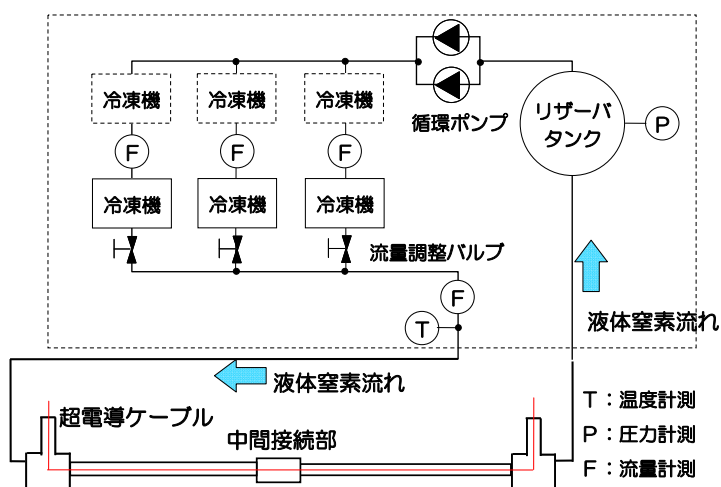


図 2 冷却システム検証試験全体概要

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導電力機器「Y 系-66 kV 超電導電力ケーブル開発」

住友電気工業株式会社
超電導・エネルギー技術開発部
大屋正義

地中電力ケーブルは、都市部変電所への電力供給設備や変電所間の連系設備として広く用いられているが、都市部への電力需要集中に伴い、電力需要ピーク時には過負荷運用をしている回線も少なくない状況である。一方、過密化した都市部の地下においては、新たな管路や洞道を建設することは非常に困難になってきており、既設管路を利用して大容量の送電が可能な超電導ケーブルの実用化が期待されている。

そのような背景の中、「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクト（平成 20 年度～24 年度）では、配向性クラッド基板の上に PLD 法（パルスレーザー堆積法）により製膜した Y 系線材を用いて、66kV/5kA 級三心一括型超電導ケーブル（図 1）の開発を実施している。Y 系線材は、Bi 系線材に比べて高い臨界電流密度が実現されており、その薄膜構造に起因して平行磁場に対する交流損失が非常に小さいことから、より大容量の電力を低損失に送電する超電導ケーブルの開発が期待できる。本プロジェクトにおける主要な開発目標は以下のとおりである。

- ・ 交流損失：2W/m/ph@5kA 以下（送電ロスを現行の 1/3 程度に低減）
- ・ 短絡電流：31.5 kA、2 秒の過電流に対してダメージ無し（66 kV 級遮断器規格対応）
- ・ コンパクト：既設 150 mm φ 管路へ収容可能



図 1 機械試作した三心一括型超電導ケーブルのサンプル

本プロジェクトにおけるこれまでの成果として、細線化 Y 系線材（2 mm 幅、4 mm 幅）を用いてモデルケーブルを作製し、実測とシミュレーションとの比較から交流損失低減の方策を見出した。本成果を反映して、1.5W/m@5kA（図 2、導体部のみ）の低損失を実証し、最終目標達成への目処を得た。また、機械製造ラインを通した 10 m 三心ケーブルコアの試作を行い、細線化線材を用いたケーブル製造を実証するとともに、ケーブルコアサンプルに対して 31.5 kA の短絡試験を実施し、ケーブルにダメージがないことを確認した。さらに、大電流化に対応した終端接続部電流リードの開発を行い、5 kA の大電流連続通電に成功している。

現在、本プロジェクトは 5 カ年計画の 3 年目を迎えており、平成 22 年度中に要素技術開発を完了した後、平成 23 年度に 15 m 三心一括型超電導ケーブルの製造、平成 24 年度にケーブルシステム長期課通電試験を計画している。

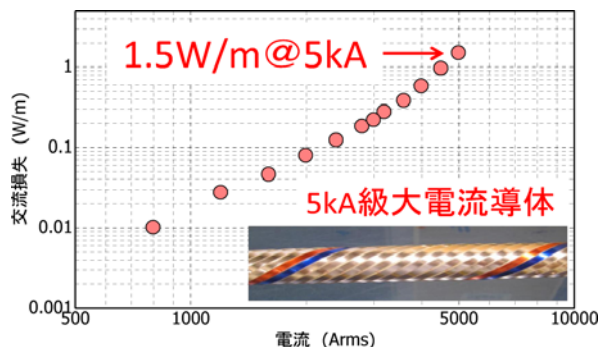


図 2 大電流導体の交流損失検証結果

特集：超電導電力機器「Y 系-275 kV 超電導ケーブル開発」

古河電気工業株式会社
パワー&システム研究所 超電導応用開発部
向山晋一

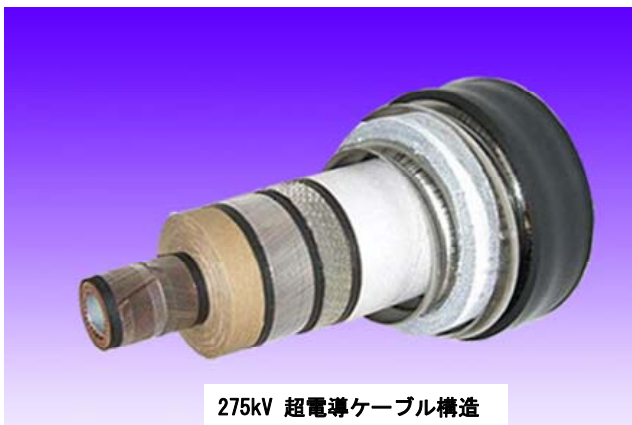
これまで日本国内において、高温超電導ケーブルの開発は主に 66kV/77kV の電圧階級で開発がおこなわれてきた。66/77kV 超電導ケーブルは、150 mm 管路に 275 kV 級の CV ケーブルや OF ケーブルと同じ容量のケーブルを実現できることから、将来の老朽化した地中送電線の引き換えケーブルとして期待されてきた。

一方、日本国内の電力系統は、郊外に建設された発電所から、発電所に付随する架空送電設備で 500 kV または 275 kV に昇圧されて送電網に送出され、都市近郊の基幹系変電所で 275 kV の電圧に降圧され 275 kV 地中送電ケーブルで都市内部へ導入されている。将来の地球温暖化ガス低減のために送電線路の省ロス化も重要であり、275 kV 級の高電圧送電線の超電導化は効果があると考えられている。そこで、平成 20 年度より新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクトの一環として、Y 系線材を用いた 275kV/3kA 高電圧ケーブル開発を、超電導工学研究所、古河電気工業、昭和電線ケーブルシステム、フジクラ、京都大学、早稲田大学、名古屋大学が担当して行っている。高電圧超電導ケーブルの開発は、世界でも最高電圧となる 275 kV の電気絶縁の基礎的な調査からスタートする必要がある。また、電気絶縁厚が厚くなることによる導体冷却の問題が懸念され、これまで以上の交流損失の低減が求められる。

交流損失低減研究においては、数値解析等により YBCO テープ線を巻きつけた超電導ケーブル導体の交流損失は、線材間のギャップと、線材の端部の I_c の低下が影響することから、交流損失を低減する方法として、線材の幅を 3 mm にして線材内部の臨界電流分布を均一化し、フォーマ上に隙間なく密に巻くことを試みた。この結果、3 kA 通電で、世界最小の交流損失となる 0.235 W/m @ 3 kArms の低損失を実現することができた。

電気絶縁についても、超電導ケーブルの電気絶縁は、部分放電が設計のポイントになると考え、部分放電の発生メカニズムの解明、部分放電発生電界の精度の良い測定と、それにより集積した電界値により、合理的かつ誘電損失の低い電気絶縁設計を試みている。現在、300 kV 級の電圧がかけられる気中終端接続箱を用意して、10~20 mm の電気絶縁厚さの超電導ケーブルモデルの交流課電試験やインパルス試験を実施して、設計データの集積を行っている。すでに、20 mm 厚の電気絶縁を持つ超電導ケーブルモデルで 320 kV 10 分の課電に耐えることを確認しており、信頼性も含めて高電圧絶縁技術を確立していきたいと考えている。

交流損失低減、高電圧絶縁の他にも、63 kA 0.6 秒の短絡電流保護など 275 kV 超電導ケーブルの実現に必要な技術開発を進めてきている。これまで培ってきた基盤技術・要素技術を用いて同プロジェクトの後半 2 年間で 30 m 長のモデル試験を実施する予定である。



275kV 超電導ケーブル構造

特集：超電導電力機器

「超電導変圧器の技術開発 ～実用化技術の確立に向けて着実に進捗～」

九州電力株式会社

総合研究所

電力貯蔵技術グループ長 林 秀美

イットリウム系超電導電力技術開発プロジェクト（以下、Y系プロジェクト）の一環として進めている超電導変圧器技術開発では、九州電力が主体となり、九州大学、岩手大学、国際超電導産業技術研究センター（ISTEC）、フジクラ、昭和電線ケーブルシステム、太陽日酸及びファインセラミックスセンター（JFCC）と共同で、要素技術及びシステム技術の開発を進めている。9月に行われたY系プロジェクトに対する中間評価分科会では、これまでの着実な進捗状況及び世界初となるY系超電導変圧器による短絡試験や新たな機能である限流機能（詳細は、超電導 Web21 の10月号参照）等について報告した。

本開発ではこれまでに、① 巻線技術開発、② 冷却システム技術の開発、③ 限流機能付加変圧器技術の開発、④ 変圧器対応線材の安定供給技術の開発、⑤ 66/6.9kV-2MVA 超電導変圧器モデル及び配電用 66/6.9kV-20MVA 級超電導変圧器の設計検討を進めてきた。その結果、現段階では、線材の安定供給における細線化の一部を除き着実に成果を挙げている（図1、表1）。特に、それらの好進捗を受け、低コストの観点から追加的に取り組んだ IBAD-MgO 基板線材（以下、MgO 基板線材）の細線化や巻線試験で良好な結果が得られるとともに、限流機能の基礎検証でも理論どおりの十分な性能が確認できた。これらの成果を踏まえ、超電導変圧器の実用化促進の観点から、MgO 基板線材の安定供給技術開発を一層確実にするため線材工程を1年延長し、代わりに数百 kVA 級限流モデルの試作を1年前倒しした。

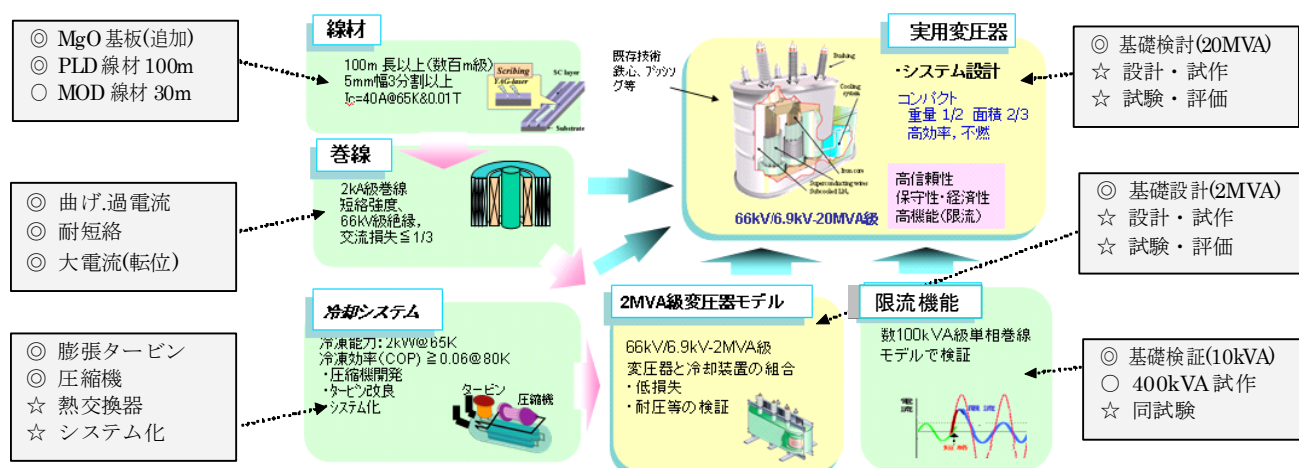


図1 超電導変圧器技術開発の目標達成状況（◎中間目標達成、○今年度中に達成、☆最終迄に達成）

表 1 超電導変圧器技術開発の主要成果

	中間目標(H22 末)	成 果	今後
巻線技術開発	- 短絡強度の検証 (20MVA, %Z: 15%相当) - 最適な転位技術の確立	400kA 短絡モデル変圧器で定格の 6 倍の短絡電流に対する健全性を確認 - 転位均流モデルで偏差 14%以下を確認	
冷却システム技術開発	- 膨張タービン: 断熱効率$\geq 65\%$ - ターボ式圧縮機: 断熱効率$\geq 65\%$	- 膨張タービン効率は約 70% - ターボ式圧縮機効率は約 68% - 熱交換器の小型化を解析で確認 - 冷熱伝達構造の簡素化を解析で確認	
限流機能付加技術開発	- 変圧器巻線構造モデルで限流機能検証 - 数百 kVA 級の試作	- 巻線モデルで限流機能を検証 - その成果から 400kVA 限流機能付加変圧器を設計、試作を前倒し(追加)	同変圧器の試作 (H22)
線材安定製造技術の開発	安定製造 5 mm 幅 3 分割 100 m 以上 ($I_c=40A@65K\&0.01T$)	- PLD 線材は 100m で性能確認 - MOD 線材は 30m で性能確認 - 低コスト化に有効な MgO 基板の適用性を確認(追加)	MOD 線材の検証 (H22)
2MVA 変圧器の検証	66/6.9kV-2MVA 級変圧器のシステム設計	2MVA 級変圧器モデルを設計 - 試験計画を整理	

1 線材安定供給技術の開発

MgO 基板は GZO 基板より極端に薄く、基板製造速度の向上 (約 100 倍) により線材コスト低減が期待されている。そのため追加的に実施した変圧器用としての適用性確認試験では、曲げ歪み特性、過電流特性 (図 2) 及び細線化線材の素線間抵抗 (1 M Ω /m 以上) を測定して良好なデータを得た。また、細線化の目標 ($I_c=40A@65K\&0.01T$ 、3 分割以上) については、PLD 線材は 5 mm 幅切断及び 3 分割スクライビング溝加工後に 100 m 長で目標を達成 (図 3) しているが、MOD 線材は 30 m 長に留まっているため、今後も長手方向及び幅方向の超電導特性の均一性向上等の更なる技術開発が必要である。

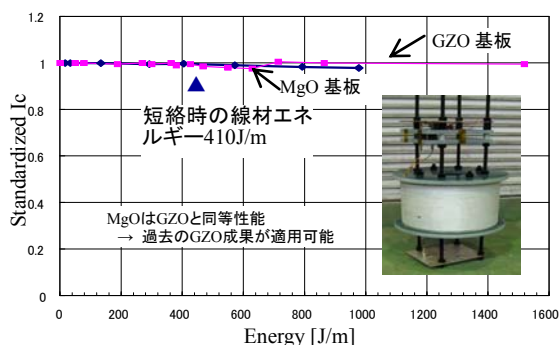


図 2 MgO 基板線材の過電流試験結果

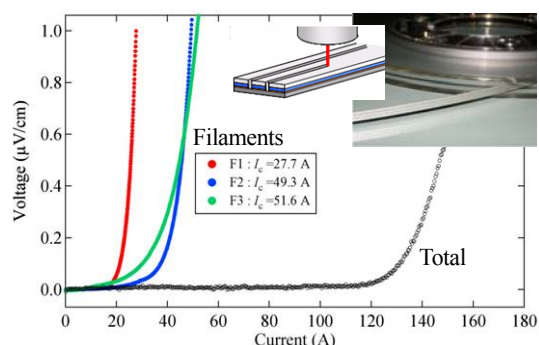


図 3 細線化前後の I_c 測定結果 (PLD 線材)

2 巻線技術の開発

巻線技術開発では短絡性能、大電流化及び低損失化の各技術をそれぞれ検証した。このうち短絡性能の実証は超電導 Web21 の 10 月号に記載したので、ここでは残りの 2 つについて述べる。まず大電流化技術については、実用器の 2 kA 級通電に向け、3 重ね巻線モデルで安定化銅付の線材曲げ試験、及び短絡時のエネルギー (410J/m) の 2 倍の過電流試験における健全性を確認した。また、多層並列導体 (線材 12 重 2 並列) の転位均流巻線モデルで各素線間の電流分流の不均一は最大 14 % (図 4) と、変圧器への適用が可能なことを実証した。次に低損失化技術については、5 mm 幅線

材を 3 分割した細線化線材による巻線モデルのフィラメント間の電流分流特性 (図 5) を確認した。今後、100 m 級 3 分割線材による低損失モデルを試作し、交流損失低減を検証する予定である。

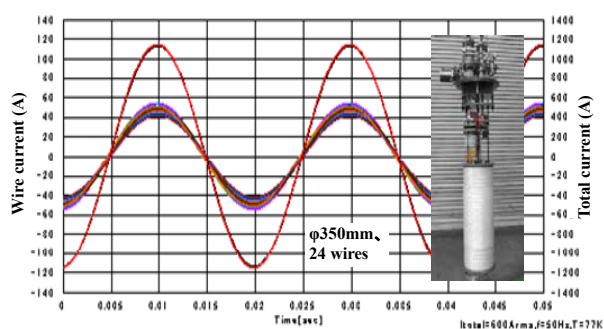


図 4 転位均流モデルの素線間電流分流特性

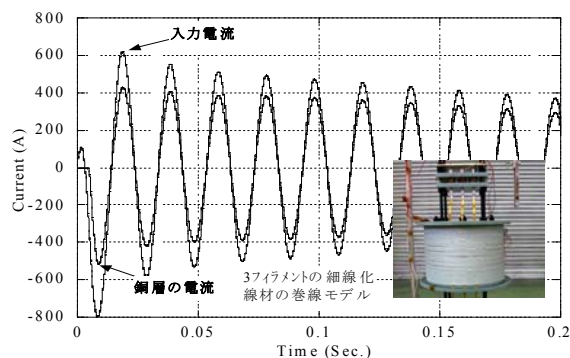


図 5 細線化線材による巻線の電流分流特性

3 冷却システムの開発

冷却システムは、前プロジェクトの成果に基づきネオン冷媒 (図 6) を採用するとともに、効率向上、高信頼性及び長寿命化を目指して 5 軸制御型磁気軸受の無摺動膨張タービンを開発し、断熱効率目標の 65 % 以上を実証 (図 7) した。また、摺動部レスのターボ圧縮機では、インペラー等の部品の構造・応力の解析から、5 軸制御型磁気軸受の小型ターボ圧縮機を試作し、断熱効率は 68 % (目標 65 % 以上) を実証した。さらに、開発したネオン冷凍機プログラムにて 3 ブロック (従来は 5 ブロック) の熱交換器で性能を確保できることを確認した。以上の成果に基づいた冷却システムの運用シミュレーションでは、最終目標の COP0.06 程度が理論的に見通せることを確認した。

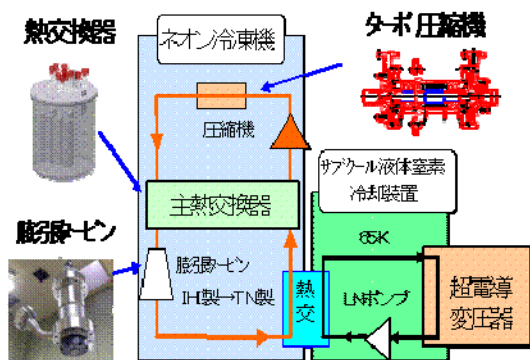


図 6 冷却システムの構成

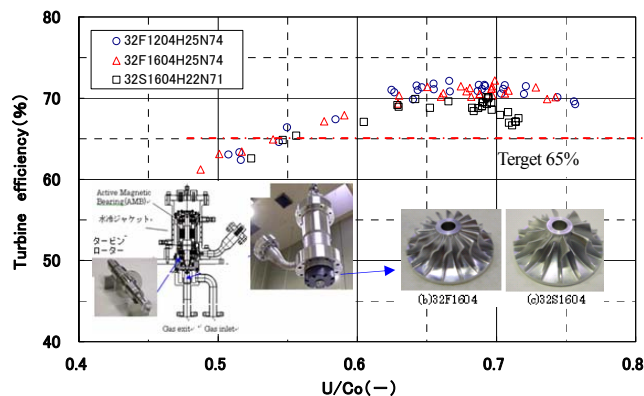


図 7 無摺動膨張タービンの特性

4 変圧器システム技術の開発

配電用 20 MVA 級超電導変圧器の実現にあたっては、巻線構成等を考慮すると、製作技術や特性を見通すための最低容量としては 2 MVA 変圧器モデル (図 8) で検証する必要がある。その設計にあたっては、① 定格 66 kV の耐電圧や機器構成等の関係から、極力実機相当の技術を適用、② 特に巻線技術は多層並列導体や転位均流化モデル技術を適用、③ 各要素技術開発成果を反映、などの方針で実施した。また、課通電試験 (変圧器単体、冷却試験、定格通電試験等) についても検討した。さらに、20 MVA 実用変圧器の概略設計を行い、既存変圧器に比べ損失は約 1/6、重量は約 1/2 になることを理論的に確認した。

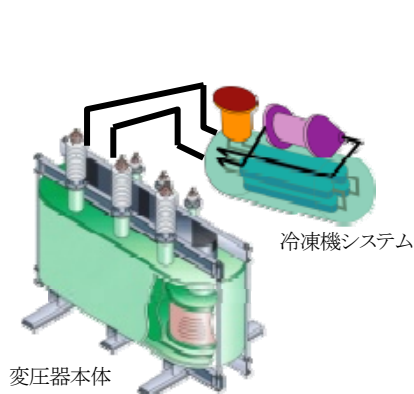


図 8 2 MVA 変圧器モデル

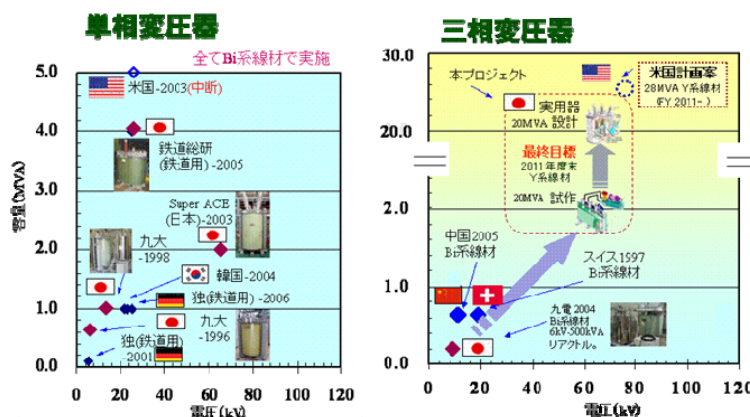


図 9 国内外の超電導変圧器の開発状況

以上の成果に加え、中間評価分科会では超電導変圧器開発の国際比較（図 9）や他分野への適用拡大についても報告した。海外では以前 Bi 系線材で開発されていたが、交流損失低減や絶縁等の課題から基礎技術の段階で中断していた。しかし、最近、米国では 28 MVA 級の計画等が再開されている。現段階では日本のプロジェクトがトップランナーと考えられるが、引き続き技術開発に邁進する必要がある。また、適用拡大では、殆どの電力機器は変圧器を有しており適用先は多い。特に、小型化・高効率化は低炭素社会へも貢献するため産業用や輸送用への適用拡大が有望であり、電力用についても限流機能付加変圧器として超電導ケーブルとの複合適用が考えられる。

今後も現在進行中の本プロジェクトを着実に遂行し、2 MVA 変圧器モデルの開発と実証を経て、20 MVA 級配電用変圧器の早期実用化を目指す。

超電導関連 11 -12 月の催し物案内

11/1-3

第 23 回国際超電導シンポジウム (ISS2010)

場所：エポカルつくば：茨城県つくば市

主催：財団法人 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC)

問合せ：http://www.istec.or.jp/ISS/main_J.html

11/8-12

APS-Division of Plasma Physics Annual Meeting

場所：Chicago, IL, USA

問合せ：<http://www.apsdpp.org/index.php>



12/1-3

第 83 回低温工学・超電導学会

場所：かごしま県民交流センター

主催：低温工学会

問合せ：<http://www.csj.or.jp/conference/2010a/index.html>

12/7-8

第 13 回スターリングサイクルシンポジウム

場所：大田区産業プラザ Pio

問合せ：<http://www.jsme.or.jp/event/201005/101207c.htm>

12/9-11

エコプロダクツ 2010

場所：東京ビックサイト 東展示棟

主催：社団法人 産業環境管理協会 日本経済新聞社

問合せ：<http://www.eco-pro.com/eco2010/>

12/10

第 9 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 大セミナー室

主催：低温工学協会関西支部

問合せ：<http://www.jcryo-kansai.com/>

12/15

第 76 回超伝導科学技術研究会ワークショップ「省エネ・低炭素社会を目指す取り組みと超伝導」

場所：埼玉大学 東京ステーションカレッジ A1-A3

主催：未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会低温工学会

問合せ：<http://www.snitt.or.jp/~fsst/20101215.html>

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (9/20-10/19)

- SOFC の電解質 結晶粒界ない膜に作製 物材機構・ローマ大 伝導率で最大を記録 低温小型に期待 日刊工業新聞 9/20
- 次世代送配電網 実証試験場が開所 高岳製作所 小山工場で 生産ラインも拡張 電気新聞 9/21
- 三菱電機 重粒子線装置を受注 佐賀のがん治療施設へ 電気新聞 9/21
- 燃料電池材料 低温動作可能に 物材機構など薄膜開発 日経産業新聞 9/21
- 陽子線がん治療 ぶれずに腫瘍に照射 日立・北大 動く臓器も正確に 日経産業新聞 9/21
- 次の成長分野ロボット狙う キヤノン 日本の「お家芸」活用 読売新聞 9/21
- 熱電発電、素子開発に熱く 潜む温度差 電気生む 温泉や工場、昼夜問わず 日経産業新聞 9/22
- 東電、アジアで発電拡大 中印越に投資、成長狙う 日経産業新聞 9/22
- 陽子線がん治療システム 北大・日立共同開発へ 精度良く安全性向上 日刊工業新聞 9/22
- 次世代送電網 市場規模、10 年で 6 倍 関連分野のすそ野拡大 日本経済新聞 9/23
- 東電 資源確保へ布石 電力の安定供給図る 海外事業に 1 兆円 読売新聞 9/23
- 中国、レアアース禁輸 日本向け、外交圧力か 追加制裁も検討 朝日新聞 9/24
- 物材機構 材料同士の摩擦半減 酸化亜鉛の薄膜で被覆 日経産業新聞 9/24
- レアアース対日輸出禁止か 米紙報道 中国政府は否定 Fuji Sankei Business i. 9/24
- レアアース禁輸の情報 中国は日本向け措置否定 日本政府が本格調査 日本経済新聞 9/24
- レアアース 対日輸出停止を確認 経産相「WTO 規定に違反」 読売新聞 9/24
- 中国「レアアース対日禁輸」 米紙報道 漁船衝突、対抗措置か 中国商務省は否定 毎日新聞 9/24
- 中国のレアアース 対日輸出滞る 日中政府は禁輸否定 日経産業新聞 9/24
- ユーラス 米最大の太陽光発電所 事業費 185 億円 日本勢、進出続く 日本経済新聞 9/24
- パイロクロア格子を持つ新しい遍歴電子磁性体 東大物性研の研究グループ発見 科学新聞 9/24
- 学術研究の大型プロ 7 分野 43 計画 文科省 評価結果を公表 科学新聞 9/24
- 産業界「圧力」なお警戒 訪日客「すぐに戻らない」 「レアアース」車生産に影響 中国人船長釈放へ 読売新聞 9/25
- 日立とパナソニック 次世代送電網で提携 通信手順など統一 住宅、省エネ徹底 新興国の都市開発照準 日本経済新聞 9/25
- 中国のレアアース対日禁輸 「在庫増」「代替」産業界は冷静 Fuji Sankei Business i. 9/25
- 次世代送電網事業 国際標準化へ連携 日立・パナソニック Fuji Sankei Business i. 9/25
- レアアース 輸出手続き停滞 「中国リスク」露呈 産業界「長期なら痛手」 ハイテク製品に不可欠 毎日新聞 9/25
- レアアース禁輸 中国が指示否定 毎日新聞 9/26
- 磁性絶縁体から電気エネルギー 原子力機構・東北大が成功 熱電変換素子へ応用 日刊工業新聞 9/27
- ファイバレーザ 薄板を高速加工可能 フジクラ、高出力品を開発 日経産業新聞 9/27
- 「太陽エネを北アフリカに」 官民合同で現地説明会 技術 PR 欧州に対抗 日経産業新聞 9/27
- 重粒子装置を受注 佐賀のがん治療財団向け 日経産業新聞 9/27

- 「原子力大綱」見直し論多く 日経産業新聞 9/27
- 高速増殖炉 アジアで開発加速 中国・インド、基礎実験成功 日本経済新聞 9/27
- 高速増殖炉 米仏と研究 使った以上の燃料生む 水・蒸気系装置や炉の素材 原子力機構 日本経済新聞 9/27
- 放射性廃棄物の管理技術で協力 政府、アジア各国で 日本経済新聞 9/27
- 深紫外光 半導体 光へ変換、効率40% 京大など開発 寿命1万時間に 日本経済新聞 9/27
- レアアース高騰 中国禁輸で供給不安 日刊工業新聞 9/28
- 東電など最大級メガソーラー Fuji Sankei Business i. 9/28
- 堺の太陽光発電所運転 来月5日に前倒し 日刊工業新聞 9/28
- 米加州にメガソーラー ユーラスエネジーHDなど 総出力4万5000KW 建設 日刊工業新聞 9/28
- 物質材料研究機構 燃料電池に新素材 より低温で作動可能に 電気新聞 9/28
- 東北電からメガ太陽光 日新電機 仙台発電所向け 2000キロワット、受注規模 過去最大事業の”旗印”に 電気新聞 9/28
- 東芝 電力受注、4件目を獲得 メガ太陽光 八戸発電所へ一括で 電気新聞 9/28
- 太陽光試験所、世界各地に 新エネ認証 事業を強化 米UL 次世代送配電網の規格普及に力 IECとの連携も 電気新聞 9/28
- レアアース禁輸 解除 中国、姿勢軟化の動き 朝日新聞 9/29
- ナノ炭素シート量産技術 ロールから連続加工 飯島澄男氏ら 産総研チーム 希少金属代替 日本、実用化で巻き返し 液晶電極向け 日刊工業新聞 9/29
- フジクラ ファイバーレーザー拡大 5年後売上高100億円に 日刊工業新聞 9/29
- レアアース 残り1ヶ月分に危機感 経産相 資源の全体像調査 日刊工業新聞 9/29
- 米・豪州・カザフなど レアアース生産拡大 中国依存脱却へ動く 日本経済新聞 9/29
- 東電、5549億円増資 原発新設や海外展開加速 日刊工業新聞 9/30
- NEDO レアアース使わず開発 HV向けモーター 日刊工業新聞 9/30
- 東電、世界に照準 海外発電 10年で3倍 攻めの経営へ 電力各社、進出を加速 官民で総力戦 発電輸出拡大 ベトナム事業受注へ 日刊工業新聞 9/30
- 低リスク 早い成果 火力発電に高い期待 ネットワーク整備 リスク分散型で アジア市場攻略 日刊工業新聞 9/30
- 次世代自動車駆動モーター レアアース不要に NEDO・北大 出力50キロワット実現 日本経済新聞 9/30
- 多孔薄膜で高性能熱電材料 日経産業新聞 9/30
- 豪ライナス レアアースを生産 来年後半 年1.1万トン輸出計画 日経産業新聞 9/30
- レアアース「脱中国」 研究 代替品開発に汗 生産 カザフ・南アでも 低コスト武器に中国は生産拡大 朝日新聞 9/30
- 次世代車開発 日本勢に弾み NEDO レアアース不要のモーター Fuji Sankei Business i. 9/30
- レアアース「脱中国」加速 輸出再開にも残る不信感 Fuji Sankei Business i. 9/30
- 次世代送電網 日立、中国で構築 「天津エコシティー」に参画 日本経済新聞 9/30
- 重粒子線がん治療 国内外へ展開視野 推進協議会発足 科学新聞 10/01
- 世界最先端がん治療施設 群馬大で重粒子線治療を開始 長年の経過を振り返って 多くの
人々の苦労・協力による成果 科学新聞 10/01

- 酸化亜鉛鉛の結晶配向性制御 低摩擦特性獲得 機械駆動部の省エネ化期待 物材機構 科学新聞 10/01
- ハイブリッド車向けモーター レアアース使わず NEDO が開発 科学新聞 10/01
- 固体酸化燃料電池開発へ 物材機構が新素材 結晶粒界ない BZY 薄膜 科学新聞 10/01
- 海洋発電に政府支援を 毎日新聞 10/01
- 酸化物人工格子の界面 チタンの磁性検出 高輝度光センター 日刊工業新聞 10/01
- レアアース 中国、輸出の通関許可 日本企業向け 正常化には時間 日本経済新聞 10/01
- 大学などの特許 3700 件 研究用、企業に無償開放 科学技術振興機構 京大・東工大など参加 日本経済新聞 10/01
- 経産相 安定調達の前倒し表明 レアアース「脱中国」を加速 Fuji Sankei Business i. 10/01
- レアアース備蓄強化 経産省が総合対策 安定調達へ 5 項目 日本経済新聞 10/01
- レアアース調達 モンゴルからも 政府、月内にも探査 朝日新聞 10/03
- 資源開発で協力 モンゴルと一致 首脳・企業 懇談会 日本経済新聞 10/03
- レアアース輸出問題 中国「解決に努力」 経産相要請に回答 日本経済新聞 10/03
- レアアース 安定確保へ対策 5 本柱 経産相 技術開発や備蓄推進 日刊工業新聞 10/04
- 超電導 特殊電子状態で発生 岡山大解明 常温物質探求に道 日経産業新聞 10/04
- レアアース調達先分散 各企業、独自ルート開拓 双日は豊田通商とベトナム 日刊工業新聞 10/04
- 大容量 110 万ボルト整備へ調査 東電 ベトナムで送電線網 Fuji Sankei Business i. 10/05
- ベトナムに超高压送電 東電、インフラ建設を提案 日経産業新聞 10/05
- レアアース代替技術 開発支援など要望 経団連会長、経産相に 読売新聞 10/05
- 10 倍熱に強い触媒材料 物材機構が非ガス処理用 レアメタル使用削減へ 日刊工業新聞 10/06
- スピンの量子引きこもり現象 東工大が構造解明 日刊工業新聞 10/06
- レアアース代替 開発 経済対策原案 総額 5 兆円に 読売新聞 10/06
- レアアース対日輸出停止 中国に是正要求 政府 日本経済新聞 10/06
- 洋上風力発電 「浮体式」東電が実用化 中計に明記「20 年代に」 日本経済新聞 10/06
- ノーベル賞 根岸、鈴木氏 化学賞 有機合成で クロスカップリング確立 読売新聞 10/07
- 雲南省 越境送電の拠点 Fuji Sankei Business i. 10/07
- 酸化亜鉛コーティング膜 低摩擦性能を実現 物材機構 日刊工業新聞 10/07
- 5 兆円対策を閣議決定 円高・デフレ対応 地域活性化など柱 朝日新聞 夕刊 10/08
- 脱・レアアースへ 390 億円 補正予算、設備投資に補助 日本経済新聞 10/08
- 高温超伝導の発現背景 異常金属相と完全に共存 岡山大の研究グループ 世界初 実験で解明 科学新聞 10/08
- 海洋鉱物資源活用を 分布・埋蔵量など調査へ 新たな高性能探査機投入へ 海洋機構 今年度補正で前倒しして実施 科学新聞 10/08
- 重粒子線がん治療装置 三菱電 佐賀の財団から受注 科学新聞 10/08
- 新型のトポロジカル絶縁体 東北大など発見 次世代省エネデバイスに期待 科学新聞 10/08
- セメントが電気を通す機構 東北大、東工大の研究グループ解明 科学新聞 10/08
- 高速電力通信規格 日本発の技術が世界標準 IEEE が最終承認 家電ネットワーク化加速 日刊工業新聞 10/11
- 産総研の R&D RoHS 指令に対応する重金属分析用プラスチック認証標準物質 認証値、精密決

- 定が必要 分析法 国際整合性を証明 日刊工業新聞 10/11
- 中国、EV・風力発電に重点 次期 5 ヶ年計画素案 国民の富にも配慮 日刊工業新聞 10/11
 - 岩谷産業 ヘリウム事業 足場固め 大阪に大規模供給拠点 権益取得、アジア需要に的 日経産業新聞 10/11
 - 丸紅、グーグルと送電網 米東部 洋上発電所と結ぶ 最大 5000 億円 日本経済新聞 夕刊 10/12
 - 米風力工場、建設始まる 三菱重工 北米地域拡販への戦略拠点 ナセル生産、11 年秋稼動へ 電気新聞 10/12
 - 次世代送電網 韓国実証プロに参画 独 SAP 通信最大手と協業 電気新聞 10/12
 - 演算回路 超電導で 45 ギガ実現 名大、次世代スパコン向け 日刊工業新聞 10/13
 - 次世代送配電網 独、新技術の標準化着手 民間組織と協議開始 電気新聞 10/13
 - リニア「直線」で決着 中央新幹線ルート 投資効果決め手 国交相諮問会議 優位性示す試算公表へ 日本経済新聞 10/13
 - 丸紅 海底送電線開発へ 米大西洋岸 グーグルなどと共同 毎日新聞 10/13
 - 中国、レアース対日輸出制限 「戦略物質」鄧氏が予見 日本経済新聞 10/13
 - 中国電メガ太陽光受注 東芝 3000 キロワット 電力向け 5 件目 電気新聞 10/14
 - TDK 無線給電、来年にも実用化 電磁誘導式の部品開発 日経産業新聞 10/14
 - 東芝、太陽光発電所を受注 中国電から 日経産業新聞 10/14
 - 太陽光発電、GE と連携 メガソーラー開拓 ソーラーフロンティア 日経産業新聞 10/14
 - 近接場光、自ら道開く 光で動く LSI 実現 東京大学教授 大津元一氏 日経産業新聞 10/14
 - リニア、直線で決着へ 朝日新聞 10/14
 - レアース対日輸出 中国、通関に新条件 朝日新聞 10/14
 - リニア「直線」で確定へ 東京-名古屋間「経済効果、最も高い」20 日試算公表 読売新聞 10/14
 - リニア直線で決着へ 審議会「建設費最小で優位」 毎日新聞 10/14
 - 先端放射線治療機器 がん治療 新たな段階に 日刊工業新聞 10/14
 - 最先端技術をビジネスと結ぶ 「センサエキスポジャパン 2010」 期間 11 月 24～26 日 Fuji Sankei Business i. 10/15
 - 商用 EV「200 万円以下」来年発売 三菱自、ヤマトと実験 低価格化・新装置開発・・・ 充電にも試み続々 朝日新聞 10/15
 - レアース精製 インドに新工場 豊田通商、HV 増産向け 朝日新聞 10/15
 - インフラ輸出、成功のカギは 事業の構造見定めを 日経産業新聞 10/15
 - 核融合研究の全貌 国内機関の役割分担明確に 原子力機構 核融合研究開発最前線 二宮博正部門長 科学新聞 10/15
 - 日本の海洋情報一目で 地形や資源分布 海保が「台帳」ネットで公開 日本経済新聞 10/15
 - 徳島大 次世代 EV に要素技術 グリーン・イノベーション支える パワーエレクトロニクス 新しいセンサーレス制御 希土類不要のシステムへ 日刊工業新聞 10/18
 - 経頭蓋磁気刺激コイル 磁束密度 1 テスラ以上に 大分大・西日本電線 年度内に試作品 日刊工業新聞 10/18
 - 次世代送電網 欧州で実証参加支援 NEDO 日本企業の進出促す 日経産業新聞 10/18
 - アブダビの 1500 億円発電事業 住商・韓国電連合に 日経産業新聞 10/18
 - 太陽光発電 大型設備、規制緩和へ 安全基準満たせば 建築基準法、適用せず 日経産業新

聞 10/18

- 古河電工 次世代送配電網の関連技術 開発強化へ研究拠点 日刊工業新聞 10/18
- 風力発電、海上に進出 普及する「着床式」、研究進む「浮体式」 「日本流ノ開発を」 朝日新聞 10/19
- 超電導産業サミット 最新の研究動向紹介 伊で開催 業界団体首脳集う 電気新聞 10/19
- 次世代電力量計 標準化へ官民連携 経産省 協議体に専門組織 EMS の国際展開視野 電気新聞 10/19
- エコカー電池 始まった争奪戦 国際規格、欧・中と攻防 技術の優位だけでは限界 新興国を見方に 日本経済新聞 10/19
- 中部電・伊藤中 米火力発電所に投資 5ヶ所 収益の一部受け取る 日本経済新聞 夕刊 10/19
- レアアース 来年の輸出枠 中国、3割減検討 日本経済新聞 夕刊 10/19
- 来年のレアアース輸出 中国、さらに3割減 政府系紙報道 読売新聞 夕刊 10/19

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（9 月）

財団法人国際超電導産業技術研究センター
国際部

部長 津田井昭彦

電力

Zenergy Power plc（2010 年 9 月 8 日）

Zenergy Power 社は、2010 年 6 月 30 日までの 6 ヶ月間の暫定収支についての発表を行った。当該 6 ヶ月間の収入は、前年同期の 214,000 ユーロに対し、646,000 ユーロ。当該期間の粗利益は、前年同期の 29,000 ユーロから 34,000 ユーロに増加した。2010 年 6 月 30 日時点での受注残は 3,606,000 ユーロ、現金残高は 23,204,000 ユーロであった。当該期間中の契約による現金収入は予想より低く、収入の面ではマイナス要因であった。2010 年後半の売り上げは、3 台の超電導ヒーターの出荷により改善の見込み。2010 年前半のハイライトは、Weseralu GmbH からの超電導ヒーターの再度の受注と中間電圧 FCL の初めての受注（据付を含む）であり、総額 2,000 万ユーロ強の売り上げが見込まれる。

出典:

“Interim Results”

Zenergy Power press release (September 8, 2010)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2010/2010-09-08-interim-results-2010.pdf

通信

Superconductor Technologies Inc.（2010 年 9 月 1 日）

Superconductor Technologies Inc. は、1 株当たり 1.5 ドルで売り出すとしていた一般株式公募（引き受け保障付）手続きを全て完了した。同社は一般株式 400 万株、総額 600 万ドル相当を販売。引き受け保障金、手数料等を差し引き、同社の手取りは約 530 万ドルとなる見込み。

出典:

“Superconductor Technologies Inc. Announces Completions of Public Stock Offering”

Superconductor Technologies Inc. press release (September 1, 2010)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1465312&highlight>

加速器

Bruker BioSciences Corporation（2010 年 9 月 22 日）

Bruker Energy & Supercon Technologies Inc. (BEST) の子会社 RI Research Instrument GmbH は、ドイツの Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) 機構と総額 2,490 万ユーロの契約を締結した。これは、欧州 X-Ray Free Electron Laser (XFEL) 施設で使われる超電導高周波加速キャビティー

300 台の納入のための契約。このキャビティが完成すれば、1 秒当たり 27,000 回の極超短波長 X 線パルスの発生が可能となり、その輝度は従来の最高性能 X 線源の 10 億倍となる。その結果、科学研究や産業用途向けに新たな研究の道が開かれることになる。RI Research Instruments 社は、当該キャビティの製作、表面処理及びヘリウム容器への組み込みを担当する予定。このキャビティは、ニオブ超電導体の薄い壁体を電子ビーム溶接した構造となっており、損失が殆どなく、高周波の歪み等も極めて小さい。BEST 社は、2012 年初めに製品出荷を始め、2014 年には全ての契約を完了させる計画である。DESY は、将来さらに超電導高周波キャビティの増設を計画している。

出典:

“BEST Subsidiary RI Research Instruments Announces Contract Award for 300 S Superconducting RF Cavities for European XFEL Facility”

Bruker Corporation press release (September 22, 2010)

<http://www.bruker-est.com/pr100922.html>

Bruker BioSciences Corporation (2010 年 9 月 27 日)

Bruker Energy & Supercon Technologies Inc. (BEST) の子会社 RI Research Instrument GmbH は、フランスの Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) と新たな契約を締結し、Thales 社とコンソーシアムを組んで、欧州 X-Ray Free Electron Laser (XFEL) 施設で使われる 670 基の大電力高周波カプラーを供給することになった。この大電力高周波カプラーは、このプロジェクトで使われる超電導加速モジュールのキー部品であり、高周波電力を電源から加速キャビティへと伝送する機能を持つ。総額 1,480 万ユーロのこの契約は、Thales Electron Devices (TED; France) と RI Research Instruments とのコンソーシアムが一方の当事者となる。2 社はそれぞれの得意分野を有し、RI Research Instruments の契約総額に対する持分は 50 %をやや下回る。高周波カプラー 1 号機は 2011 年に出荷予定であり、2013 年に全ての出荷が完了する。

出典:

“BEST Subsidiary RI Research Instruments Awarded Contract for High-Power RF Couplers for European XFEL in Consortium with Thales”

Bruker Corporation press release (September 27, 2010)

<http://www.bruker-est.com/pr100927.html>

CERN (2010 年 9 月 17 日)

CERN 評議会は、2011 年から 2015 年までの研究機構中期計画改定案を承認した。この改定案は 6 月に評議会に提出され、その中で経費削減措置に関する提案が行われた。何回かの改定の後、CERN 評議会は計画案を了承した。この計画案によれば LHC プログラムを維持しつつ経費削減が可能となる。CERN 機構長 Rolf Heuer は次のように述べた。「評議会に提出した計画は、科学的な観点から整理されている。この計画は、無用に将来の研究計画を縮小することなく、当初の研究速度を注意深くかつきちんと調整し、研究費を削減したものである。この削減には苦痛が伴うが、現在の財政状況を考えれば妥当なものである。」この経費削減策により、LHC のビーム強度増強工事は、当初の 2015 年から、2016 年へ変更される。また、2012 年に予定されている LHC のシャットダウンでは、その範囲を拡大し、CERN 加速器全体をその対象として含めることになる。

出典:

“CERN Council approves Laboratory’s Medium-Term Plan”

CERN press release (September 17, 2010)

<https://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2010/PR18.10E.html>

基礎

Swinburne University (2010 年 9 月 2 日)

オーストラリア Swinburne University の研究グループは、極低温環境下での量子力学の知見を深めるという観点から大きな進展を遂げた。物理学者で研究リーダーの Chris Vale は次のように述べた。「極低温まで気体を冷却すると、量子力学の法則が優位となり、気体中の原子が粒子というよりも波動的な振る舞いを見せるようになる。大きな系での量子的振る舞いは、例えば磁性、超流動、超電導といった現象を生み出す。我々の最新の研究では、極低温中でフェルミ粒子がいかんして対形成するかに着目した。この対生成は超流動の前駆現象である。」 Swinburne University の研究グループは、研究室でフェルミ粒子の対生成を支配する一般則の実験に成功し、その正当性を初めて証明した。この研究グループの結果は Physical Review Letters に掲載された。

出典:

“Delving into the world of the ultra-cold”

Swinburne University press release (September 2, 2010)

<http://www.swinburne.edu.au/chancellery/mediacentre/media-centre/news/2010/09/delving-into-the-world-of-the-ultra-cold>

Rice University (2010 年 9 月 3 日)

Rice University の理論物理研究グループは、強磁性の起源を説明できる概念モデルを開発した。このモデルはもともと、量子磁性に起源を持つ近藤効果として知られる現象を基礎に、高温超電導や他のハイテク材料の量子的性質を深く調べるために開発されたものである。物理グループは、近藤格子、即ち実際の物質における近藤効果を調べる際の微細な格子状に配列した電子を記述するモデルを開発した。このモデルにより、量子スケールで金属磁性の起源を厳密に説明できる。また、このモデルで予測される強磁性状態は、実験的に観察される重い電子の磁性と量子的な意味で非常によく似た特徴を持つ。この結果は、Proceedings of the National Academy of Sciences で報告された。

出典:

“Magnetism’s subatomic roots”

Rice University press release (September 3, 2010)

<http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=14710&SnID=2100836610>

Helmholtz Association of German Research Centres (2010 年 9 月 10 日)

Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) の研究グループは、他の海外の研究グループと協力して、親物質の化学的性質が異なる各種鉄基超電導体で生じる共通の磁気的特徴を発見した。特に、この研究グループでは、鉄基超電導体の磁気オーダーの対称性と超電導シグナル（磁気共鳴）の対称性が正確に対応することを見出した。また、数種類の鉄・テルル・セレン結晶を作製し、X 線と中性子回折によりその化学構造を決定した。中性子回折では、結晶の磁気信号も計測した。その結果得られた磁気的対称性は、鉄砒素化合物のような鉄基の親物質の磁気的対称性とは著しく異なっていた。しかしながら、この違いは超電導の生成には影響を与えず、その磁気共鳴が持つ対称性は、調べた鉄基化合物の磁気的対称性と同一であった。今回の結果は Nature Physics に掲載された。

出典:

“Many roads lead to superconductivity”

Helmholtz Association of German Research Centres press release (September 10, 2010)

<http://idw-online.de/pages/en/news385858>

Rice University (2010 年 9 月 29 日)

Rice University 等 7 大学の研究チームが、3 年間の開発の結果、レーザー光と超冷却原子ガスによる光学格子を使った精密な超電導シミュレーターの製作に成功したと報告した。このプロジェクトは Optical Lattice Emulator (OLE) プログラムとして知られているもので、Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) から資金援助を受けている。リチウム原子を絶対温度、数十億分の数度まで冷却し、レーザー光で形成されるチューブに配列することで、1 次元超電導ワイヤーを正確に模擬した構造を作り出すことに成功した。このシミュレーターでは、超冷却リチウム原子が電子の役割を担うことになる。レーザー光でこれら原子をトラップし、原子間距離と相互作用を色々変えて、あるタイプの超電導体やその他の物質で電子がどう振舞うかを調べた。特に、同時に超電導や磁性を調べるための工夫をこらした。この成果を基に、いわゆる「FFLO」状態、即ち、過剰なスピンや電子対による周期構造から磁気モーメントが生じるという特殊な状態の下で、磁性と超電導が同時に形成されるという理論的に予測されている状態を、実験的に観察できるようになるものと思われる。研究チームの研究結果は **Nature** に掲載された。

出典:

“One-dimensional window on superconductivity, magnetism”

Rice University press release (September 29, 2010)

<http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=14813&SnID=2100836610>

[超電導 Web21 トップページ](#)

「電気学会の H22 年度電力エネルギー部門大会」報告

九州電力株式会社
総合研究所 電力貯蔵技術グループ
主幹研究員 岡元 洋

平成 22 年の電気学会[B]電力・エネルギー部門大会は、9 月 1～3 日、九州大学（伊都キャンパス）で開催された。発表（セッション数 48）は 376 件（内訳：口頭 331、ポスター 45）であった。パネルディスカッション「あなたの街が電気自動車の街になる」、特別講演「焼酎アイランド九州」、座談会（5 件）、企業展示（21 社）、テクニカルツアー（メガソーラー大牟田発電所、水素エネルギー国際研究センター）が併催された。

電気学会は 5 部門（A～E）で組織され、研究成果の発表として、全国大会と部門大会（A：基礎・材料・共通、B：電力・エネルギー、C：電子・情報・システム、D：産業応用、E：センサ・マイクロマシン）が各々年 1 回開催される。

今大会の「超電導応用」セッションでの発表（7 件）は、超電導変圧器（1 件）、超電導ケーブル（4 件）、超電導限流器（2 件）であった。概要は以下のとおり。

1 超電導変圧器の巻線技術開発(2)-耐短絡特性-（九州電力）は、イットリウム系超電導変圧器プロジェクトの変圧器巻線について耐短絡特性の試験結果を示した。過大電流通電時の超電導線材の保護層銅の厚み依存性のシミュレーション結果を基に 400 kVA 超電導モデル変圧器を設計・製作した。短絡試験では、設計どおりの変圧器巻線の短絡電流特性と健全性を確認した。

2 「高温超電導ケーブル実証プロジェクト-30 m ケーブルシステム検証試験結果-」（住友電工）は、23 年度計画のビスマス系 66kV200MVA 級超電導ケーブル（200～300 m 長）実系統（東京電力(株)旭変電所）での長期連系試験に先立ち実施した試験結果を示した。最大事故電流の 2 相短絡（20 kArms-2 秒）時の発熱量と圧力上昇について、30 m ケーブル試験とシミュレーションの比較によりケーブル特性に劣化なしを確認し、実系統試験のためのケーブルおよび機器の設計データを取得した。

3 「高温超電導ケーブル実証プロジェクト-ケーブルシステム検討状況-」（東京電力）は、上記のビスマス系超電導ケーブルにおける冷却システム（冷凍機、循環ポンプ等）停止時のケーブル冷却能力の確認試験結果を示した。冷却システムの故障例（ポンプ稼動中に冷凍機全停止）では、定格運転（電流 1750 A、温度 74 K）で 3 時間の送電可能（温度 77 K 到達）であることを確認した。

4 「275kV-3 kA 高温超電導ケーブルの電気材料評価（その 2）」（古河電工）は、イットリウム系 275 kV 超電導ケーブルの絶縁材料の交流およびインパルス破壊試験結果を示した。誘電損失が小さい材料として、PPLP[®]と Tyvex[®]の電気絶縁試験結果等を比較し PPLP[®]を選定し、コンパクト設計に対応する 10 smm 厚の PPLP[®]の電気絶縁特性を示した。

5 「超電導限流ケーブル（HTS-FCL Cable）の導入と限流・復帰に関する考察」（名古屋大学）は、長尺超電導ケーブルのフラックス抵抗による限流特性と復帰のシミュレーション結果を示した。配電系統への超電導限流ケーブル導入の可能性を示したが、系統インピーダンス値は、実（電力）系統の定数を考慮した検討がコメントされた。

6 「超電導限流器の短絡試験」(東京電機大学)は、超電導限流コイルと真空バルブを直列に接続した電磁反発式超電導限流器の短絡試験結果を示した。真空バルブは、並列コイルの発生する磁界で駆動の電磁反発板により、過電流通電の半サイクルで開極することで、超電導限流コイルの負担軽減(保護)の役割がある。超電導限流コイルの無誘導化に対するコメントがあった。

7 「超電導限流変圧器(SFCLT)の限流・復帰シミュレーション」(名古屋大学)は、SFCLT(二次巻線は限流機能の有・無の巻線を直列接続)の限流・超電導復帰特性を検証するために構築したシミュレーションモデルの妥当性を示した。電気回路と熱伝導の連立方程式により電気・熱特性を算出した電圧-電流-温度特性が、既開発のSFCLT実験結果と一致することを確認した。



大会併催の企業展示ブース

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

もっとやさしい「超電導」のおはなし（その 6）

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所材料物性研究部
特別研究員 中尾公一

この解説も今回が最終回です。これまで超電導現象がなぜ起こるか、超電導状態ではなぜ電気抵抗が消失するかなど、ごく基本的な内容について説明してきましたが、最終回では実際に超電導体を応用するときの問題になってくる、いくつかの注意点と、実際に使われている、または近い将来使われるはずの超電導体についてお話ししたいと思います。

1. 超電導性が維持される範囲

超電導現象が発現するのは、ある決まった臨界温度以下であることは繰り返し説明しました。従って温度の上昇が超電導性を失わせることは言うまでもありません。それ以外にも大きすぎる磁場によっても超電導性は破壊されます。さらに、超電導体といえども無限に大きな電流が流せるわけではなく、大きすぎる電流によっても超電導性は破壊されます。超電導性が維持される最大の磁場及び電流密度を臨界磁場、臨界電流と呼びます。したがって超電導体を用いた装置を設計するときには臨界電流密度以下の電流しか流れないように、かつ臨界磁場以下の磁場しか加わらないようにしなければいけません。臨界磁場及び臨界電流の値は温度に依存し、特殊な例外を除けば低温ほど大きな値を持ちます。超電導体の特性を表現するのに、図 1 に示すような温度、磁場、電流密度の 3 次元空間における臨界面を用いることもあります。

もし超電導体の使用中に何らかの原因により温度、磁場、電流密度のいずれかが臨界値を超えたら何がおこるでしょうか。超電導状態が破壊されます。すると電気抵抗が発生しますから、もし電流密度がすぐにゼロにならないとすると大きな発熱が起こります。すると超電導体の温度はますます上昇し、ますます発熱が大きくなります。このように連鎖的に温

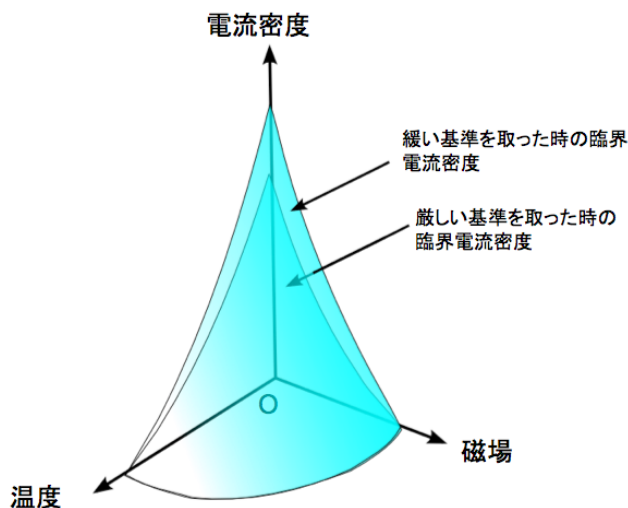


図 1

度が上昇する事故が起こりえて、これはクエンチ現象と呼ばれます。この現象は場合によっては深刻な被害をもたらすので、装置を設計する場合には、クエンチが起こらないようにするか、少なくとも起こった場合でも破局に至らずに収拾できるように配慮しておく必要があります。

超電導状態が維持されるかどうかは温度、磁場、電流密度の三つのパラメータで決定されると言いましたが、物理的にはこの三つのパラメータはかなり異なる性質を持っています。まず臨界温度は超電導体の種類が決まるとほぼ決まってしまう。それだけに高い臨界温度を持った新しい超電導体が発見されることは重大な意味を持つわけです。一方臨界電流の値は超電導体の種類が決ま

っても一意的には決まらず、様々な要因によって変わります。したがって、より高い臨界電流値を実現することは材料開発者の腕の見せ所になります。面白いのは、超電導体の純度や結晶学的完全性を上げすぎると臨界電流値は却って小さくなることで、臨界電流値を大きくするために適当な不純物や結晶欠陥をわざと導入することもあります。製造プロセスによって改善できるかどうかという点に関して、臨界磁場の場合は臨界温度と臨界電流値の中間位で、基本的には物質が決まると決まりますが、多少はいろいろな外部要因によっても変わります。

超電導体に電流を流した場合、電流が臨界電流値より小さければ電圧はゼロです。電流が臨界電流値を超えると電圧が発生してしまいます。その時の電流と電圧の関係は通常、図 2 に示すような形になります。電圧が初めてゼロでなくなったときの電流値の値が厳密な意味での臨界電流値です。しかし発生している電圧が厳密にゼロなのか小さいけれど有限の値を持っているのかを実験的に区別することは不可能です。電気抵抗が厳密にゼロであるのか、それとも測定できないくらい小さいだけなのかは物理学的には峻別されるべきですが、実験的に、または応用上からは電気抵抗が無視できるくらい小さいのか、無視できない位大きいのか問題になります。実用上は例えば 1 cm あたり 1 マイクロボルトの電圧であれば十分小さいとみなし、この電圧に対応する電流密度を臨界電流密度と見なす事が普通です。もちろん応用の目的によってはこれよりはるかに厳しい基準が要請される事もあり、そのときには図 1 に示した超電導性が維持される範囲が少し小さくなるわけです。

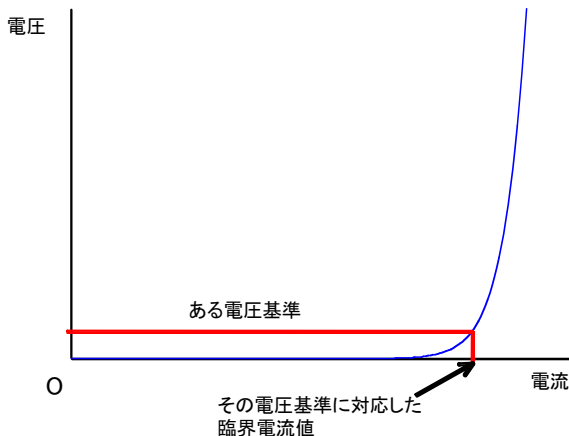


図 2

物性としての超電導性がそのまま実用材料に反映されない原因は他にもいろいろありますが、その一つが結晶粒界の問題です。世の中のほとんどの物質は結晶からなっています。ただし実際には目に見えないほどの小さな結晶がランダムな向きで集まった多結晶体からできています。水晶やダイヤモンドなどは一つの結晶が巨大な大きさまで成長した例ですが、実用材料はほとんどが多結晶体です。そのため至る所に結晶粒同士の境界（結晶粒界）があります。これまで運動量空間やフェルミ面という概念を使って超電導現象を説明してきました。フェルミ面は等しいエネルギーを持つ一電子状態を表す点の集まりでした。これまで簡単のため電子が何もない自由な空間を飛び回っているかのように近似して球面状のフェルミ面を仮定していました。しかし実際には、電子は原子が規則正しく配列した結晶の中を原子の影響を受けながら運動しています。そのため電子の運動の様子は、たとえば原子の配列を基盤の目の様なものとして縦または横方向に運動する場合と対角線方向に運動している場合では一般に異なるのです。このことを異方性があるという言い方をします。従って、フェルミ面は一般には球面ではなく、その物質の結晶構造と同じ対称性をもった独特の曲面になります（フェルミ面が球面に決まっていたら、わざわざフェルミ面などという専門用語をつくる必要もなかったことでしょう。フェルミ面の実際の形状を実験的にまたは計算から求めることは物性物理学の中の一つの大きな分野をなしています）。フェルミ面が球面でなくても超電導現象に関するこれまでの説明はほぼそのまま有効です。また前にも言った通り、それぞれの結晶が目に見えないくらい小さくても、十分マクロな大きさと言えるので、結晶粒内部ではこれまでの説明が有効です。しかし結晶粒と結晶粒の境界では何がおこるのでしょうか。その近くでは原子の配列の向きが変化していますから、一つの運動量空間やフェルミ面では話がすまなくなります。それでも異方性が小さく、フェルミ面が元々球面に近い場合は影響が小さいですが、結晶のタイプにより異

方性が大きい物質の場合は結晶粒界の影響が甚大になります。現在最も高い臨界温度を持ち、実用化の研究開発が盛んに行われている酸化物高温超電導体はあいにく異方性が大きく、これが重大な問題になっています。

2. 実際に使われている超電導体

これまでに数えきれないほどの超電導体が発見されており、今でも超電導体の数は増え続けています。但し、臨界温度の低い超電導体は応用上の見地からはあまり有用でないので専門の研究者以外からはあまり注目されません。現在のところ最も高い臨界温度を有するのは 20 数年前に発見された酸化物高温超電導体の一群です。その中で応用のための研究開発が進んでいるのはビスマス系（臨界温度約 110 K）と、イットリウム系（臨界温度約 90 K）と呼ばれる 2 種類です。臨界温度の点だけからはもっと高い物質がありますが、応用上は総合的にこの 2 種類が有利と判断されているのです。特にイットリウム系は臨界温度もそうですが、臨界磁場が大きいことが特徴です。臨界電流についてはすでに述べた通り、物性だけでなく材料の製造プロセスに大きく依存しますので、それが開発研究の主要な課題になっています。特にこの物質は前節で述べたように異方性が大きいので結晶粒界があるとその影響で臨界電流値が小さくなってしまいます。そのため多結晶体ではあっても結晶粒の向きをできるだけ揃え、結晶粒界の悪影響を極力抑制することが必要で、そのために大変高度な技術が使われています。

既に超電導産業として成立しきっている分野に限れば、使われている超電導体は事実上 NbTi（臨界温度約 10 K）、Nb₃Sn（臨界温度約 18 K）、及びエレクトロニクス分野での Nb 単体（臨界温度約 9 K）に限られています。これらは高温超電導体に対して低温超電導体、または金属系超電導体と呼ばれています。しかしこれらはいずれも冷却のために液体ヘリウムまたはそれに代わる大型の冷凍機を必要とします。その点で安価かつ冷却効果の大きな液体窒素の使える酸化物高温超電導体の産業応用が待たれています。酸化物高温超電導体は、従来からある低温超電導体の応用分野における置き換えとしてだけでなく、従来超電導体が使われていなかった分野においても期待されています。たとえば送電ケーブルへの応用は現在盛んに研究が行われているテーマですが、これは液体ヘリウムを必要とする低温超電導体では事実上不可能だった分野です。

酸化物高温超電導体と低温超電導体以外では、ちょうどその中間に位置する MgB₂（臨界温度約 39 K）についても応用研究が進められています。また 2 年前に発見された鉄系超電導体についても研究が盛んに行われており、基礎研究の分野に限れば現在最も注目されている物質系です。ただし現在までのところ臨界温度が液体窒素による冷却可能温度（77 K）を超えていないこともあり、その将来性について判断するのは時期尚早と思われます。

なお最後に述べた MgB₂ と鉄系超電導体はいずれも日本において発見された超電導体であることを付記しておきます。

3. おわりに

この連載解説を始めるときには、超電導に関して一通りのことは触れるつもりでしたが、実際には触れるべきで触れられなかったことがいくつも残ってしまいました。キーワードだけ並べておくと、第 1 種および第 2 種の超電導、磁束の量子化、磁束のピン止め、不可逆磁場、ジョセフソン効果、などです。これらについて興味ある読者は、このウェブマガジンをはじめ現代ではたくさんの情報源があるので、調べてみてください。また編集部あてに質問をお寄せいただければ、できるだけお答えしたいと思います。

始めて超電導現象が発見されたのは 1911 年のことですから、来年（2011 年）はちょうど超電導の生誕 100 年にあたります。そこで、

超電導初霜おける白寿かな

と詠んだ人がいます。現在知られている超電導体は酸化物高温超電導体といえども冷却が必要で、そのまま空気中に出すとあっという間に霜で真っ白になってしまいます。超電導第 2 世紀においては霜のつかない超電導（室温超電導）が見つかるといいですね。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：「有機分子の鎖状配列からなる微小の超電導体が作製されたと聞きましたが、どのような材料でどのような応用が予想されるのでしょうか？」

A：まず材料について説明します。一般的には有機分子の結晶は電気の不導体ですが、平面 π 共役構造を持つ有機分子を積層させ、酸化還元・電荷移動などで伝導キャリアを作ってやることで、高伝導性の有機分子結晶を作ることができます。今回用いた有機分子 bis (e_thylenedithio) tetraselenafulvalene (BETS) は分子内に硫黄やセレンを含有し、周りの分子とより大きな電子の相互作用をすることができる分子です。BETS は様々なアニオンと組み合わせて高伝導性の結晶を作ることができますが、中でも四塩化ガリウムアニオン、 GaCl_4^- と組み合わせてできる「 λ -(BETS) $_2\text{GaCl}_4$ 」と呼ばれる結晶は 6-7K の低温で超伝導転移を示すことが知られています。我々はこの λ -(BETS) $_2\text{GaCl}_4$ を精密な温度コントロールによる真空蒸着により揮発させ、再び銀基板上に堆積させることで、元の λ -(BETS) $_2\text{GaCl}_4$ の分子配列構造にきわめて類似した、様々な長さ（数分子～数十分子）の孤立した鎖状分子配列を基板上に作ることに成功しました。この微小分子配列を Scanning Probe Spectroscopy (SPS) で測定することにより、僅か 4 ユニット ($(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$ を 1 ユニットとするので、4 ユニットは BETS が 8 分子並んでいることを意味する)、長さにして約 3.5 nm の分子配列において超伝導に起因すると思われるディップが観測されることを確認しました。元の物質が超伝導体でありその分子配列構造に類似していること、転移温度も元物質と等しいことからこの現象は超伝導であると考えられますが、より厳密には今後のゼロ抵抗や磁場効果の確認等が必要と考えています。

さて応用についてですが、近年、高性能デバイスの開発においてより高密度化を進めた電子素子の開発の一環として、単一分子素子をはじめとする微小素子の研究が進められています。このような分子ひとつひとつにトランジスタやワイヤのような機能を持たせようという研究分野を分子エレクトロニクスと呼んでいますが、このような微小な領域においては配線が小さくなればなるほど、通電の際に抵抗から生じる発熱が無視できなくなり、ナノサイズの素子では配線の抵抗発熱で素子が焼き付いてしまうという問題が発生します。その解決策のひとつとしてナノサイズの超伝導物質を配線材料として用いることが考えられています。我々の材料について超伝導が確認されたとしても、転移温度が低いこと、実際に電子材料として分子配線をいかに設置していくかなど課題は多く残りますが、今後の分子エレクトロニクスの進展の一步となることを期待しています。

回答者：独立行政法人産業技術総合研究所ナノシステム研究部門

主任研究員 Abdou Hassanien 様、主任研究員 田中 寿 様

[超電導 Web21 トップページ](#)