超電導 Web21
Superconductivity

超電導 Web21

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

2007 年 **8** 月号　　2007 年 8 月 1 日発行

掲載内容（サマリー）：

特集：超電導医療機器技術
○心磁計技術の進展と用途展開
○マグネティックドラッグデリバリーシステム（MDDS）
○欧米系 3 メーカーによる日本市場における MRI の高磁界化
○（独）理研における NMR の活用と最近の技術開発
○超電導関連製品ガイドーSQUIDー

○超電導関連 8-9 月内外催し物
○新聞ヘッドライン（6/19-7/18）
○超電導速報ー世界の動き（2007 年 6 月）
○特許情報
○超電導エネルギー貯蔵研究会「第 19 回超電導電力貯蔵研究発表会」報告
○International Superconductive Electronics Conference (ISEC) 07 報告
○Workshop-The Road to Room Temperature Superconductivity 報告
○隔月連載記事ー超電導送電事始（その 4）
○読者の広場(Q&A)
　ーSQUID で微弱磁界を測定するためにはどのような手順で行うのでしょうか?

超電導 Web21 トップページ

超電導 Web21
〈発行者〉
財団法人　国際超電導産業技術研究センター　超電導 Web21 編集局
〒105-0004　東京都港区新橋 5-34-3　栄進開発ビル 6F
Tel (03) 3431-4002　　Fax(03) 3431-4044
超電導 Web21 トップページ：http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html

この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。
http://ringring.keirin.go.jp

© ISTEC 2007 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2007 年 8 月 1 日発行

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

特集：超電導医療機器技術　「心磁計技術の進展と用途展開」

岡山大学
大学院自然科学科
教授　塚田啓二

心磁計は, 心臓から発生する磁場を超高感度な磁気センサである SQUID で計測する装置である。この装置は，心臓の電気生理学的現象の時間変化を画像化できるものである。昨年の隔月連載記事「超電導心磁計ができるまで」のなかで，心磁計を世界に先駆けて臨床機として実用化するまでの歴史を紹介した。2007 年には，心臓病に関して最先端の国立循環器病センターで，臨床診断機器として通常の臨床検査に用いられ始めている。また，筑波大学や岩手医科大学では臨床研究が継続されている。国内外での心磁計の臨床用途としては，不整脈診断が古くからおこなわれているが，現在では心臓疾患の中で最も罹病率が高い虚血性心疾患の早期診断の可能性に関心が集まっている。

また，心電図検査が難しい胎児に対し，心磁計測では良質な信号が得られることから胎児心磁研究が増大してきている。心磁の臨床応用が着実になってきている現在，新しい動きとして霊長類を用いた心磁の研究が, 医薬基盤研究所霊長類医科学研究センターにおいて世界で初めて開始された。人にもっとも近い霊長類の心疾患モデルを用いて心磁図の解析を行うことにより，心臓疾患の病態メカニズムがより詳細に解明されるばかりでなく，心磁図の診断基準作りが加速されるであろう。

心磁計の普及には，臨床診断技術ばかりでなく，低価格な装置を実現していく必要がある。すでに，成人用の健康診断用途を目指した小型でメンテナンスが容易な心磁計として 51ch 高温超電導 SQUID 心磁計を以前報告した。高温超電導 SQUID の大きな課題は，低温系 SQUID の感度(<10fT/√Hz)と比べ感度が 1 桁程度低いことである。しかし，開発した高温超電導 SQUID では約 50fT/√Hz 程度まで向上させることができ，成人の心磁計測に適用できることを実証した。高温超電導 SQUID の高感度化は多くの研究機関で進められており, 例えば Jűlich では 20fT/√Hz 程度まで感度を向上させ，さらに磁気シールド中で複数個の SQUID を用いてノイズキャンセレーションを行うことで加算処理なしで胎児心磁波形が得られることなどが報告されている。このように高温超電導 SQUID が実用化されるのは，遠い将来ではないことが確信される。しかし，低価格を実現するためには，もう一つの大きな課題である磁気シールド技術の向上が現在強く求められているところである。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
2007 年 8 月 1 日発行
超電導 Web21
財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

特集：超電導医療機器技術　「マグネティックドラッグデリバリーシステム（MDDS）」

株式会社日立メディコ
マーケティング統括本部　副統括本部長 理事
佐々木 明

近年、究極の治療手法と言われる Drug Delivery System（DDS）が脚光を浴びている。DDS とは、「必要な薬物を、必要な時に、必要な部位で作用させるためのシステム」（注：日本 DDS 学会の定義）で、具体的には、薬剤を内包した粒子を腫瘍等の治療対象部位に集め、薬剤を必要な時に徐放し、対象組織のみに直接的に薬物を作用させ続けることである。

「薬剤効果は優れているが、副作用が強い薬剤」でも、投与量の削減と目標とする腫瘍部位での強力な治療効果が得られれば、理想的な治療方法になると期待される。

近年、安定なキャリア粒子（薬物運搬体）と、臓器個別に選択性を持つ抗体などの開発が進み、急激な勢いで DDS の研究開発がなされる様になった。[1) 2) 3)]

「腫瘍へのターゲティング指向性を向上させる」ための開発には、①キャリア粒子の大きさ制御や抗体の付加、といった粒子そのものを改良する方法や、②磁場などの外部エネルギーによる粒子のターゲットへの誘導・保持、③超音波照射などによる薬剤効果の増強・活性化などの方法がある。

本稿では、「磁気誘導によるターゲッティング（Magnetic DDS：MDDS）」について解説する。

本来、ターゲッティング治療は、薬剤のみで DDS 効果が充分に得られることを理想とするが、実際は「薬剤の血中での安定性と経時的徐放」という、相反した効果を両立させる薬剤を開発することが課題とされている。この課題を解決する手段として、外部エネルギーを用いて治療効率向上を図ると言う方法が考えられている。現在、利用可能な外部エネルギーには、光や超音波などが挙げられるが、その中に磁力を使った DDS がある。

MDDS とは、この磁力を利用してナノサイズ磁性粒子に薬剤を付着させたキャリア粒子を、体外から強力な磁力で特定の患部に誘導するシステムである。この研究は 70 年代から始まっているが、当時はナノ粒子を誘導するだけの充分な磁力が得られなかったこと、血中内での安定したナノ粒子薬剤ができなかったことなどの理由で、未だに実用化に至っていないのが現状である。[4) 5)]

本邦でも MDDS の開発が進んでおり、村垣らは 50 ㎜の遠方でも高い磁場勾配を発生し得る 5T 超電導バルク磁石を用いて、径 100nm 磁性体粒子を誘導するシステムの構築を試みている[6)]。本システムでは、「担磁薬剤を静注して血管内の血流にのせて循環させ、血管分岐部において体外から超電導磁石を使い目的とする腫瘍部位への血管へ分岐誘導させる。この誘導を体内循環毎に繰り返すことで目的患部へ薬剤を送達させる」ことを目標としている。本システムの使用により血管分岐部における磁性体粒子の誘導効率が格段に向上したと報告している。

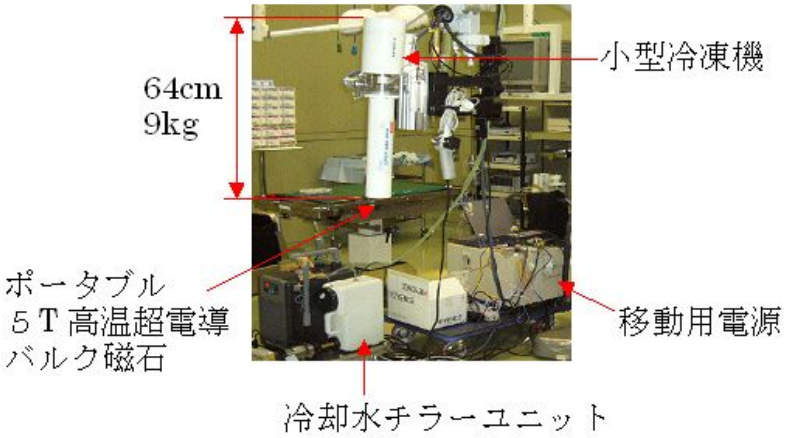
血管分岐部による誘導の概念図

「強力集中磁場の発生による磁性体内包粒子の誘導」が可能となれば、MRI によるキャリア粒子集積度の確認も可能であり、MDDS は誘導・集積・存在確認を可能とする優れた方法となる。更に、

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

集積した薬剤に集束超音波をフォーカスし、キャリアのカプセルを破砕することで、ターゲティングした部位での薬剤の徐放が可能となり、安全でかつ副作用の少ない効率的な治療が可能となり、新たなるシステムの構築が実現できると期待される。



NEDO における MDDS 開発機器

なお、本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の平成 18 年度委託事業の助成を受けて行われたものである。

参考文献

1)　橋田充 他編「DDS 研究の現状と将来展望」2005 DDS 学会編　PHARM TECH JAPAN Vol.21 No.12　(2005)
2) 田畑泰彦編「ドラッグデリバリーシステム DDS 技術の新たな展開とその活用法」遺伝子医学別冊メディカルドゥ (2003)
3)「経済産業省における医療機器産業政策について」2006 年 11 月医療福祉機器研修会資料　医療・福祉機器産業室
4) 西嶋茂宏、武田真一他　「磁性ハイブリッドナノ粒子による次世代ドラッグデリバリーシステムの開発」第 72 回超電導学会 (2005)
5) Jeffrey H. Leach,　“Magnetic Targeted Delivery”
6) 村垣善浩、伊関洋、佐保典英、西嶋茂宏、武田真一、佐々木明、窪田純、田畑泰彦、山本雅哉　「超電導バルク磁石を用いた磁気誘導ドラックデリバリーシステム（MDDS）の開発」第 23 回日本 DDS 学会 (2007)

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

特集：超電導医療機器技術「欧米系 3 メーカーによる日本市場における MRI の高磁界化」

磁気共鳴断層診断装置は、Magnetic Resonance Imaging の略称である MRI として知られている。現在、日本の超電導 MRI 市場は 1.5 テスラ MRI が主流であるが、2005 年頃から欧米系 3 メーカ GE 横河メデイカルシステム（株）、（株）フィリップスエレクトロニクスジャパンメディカルシステムズ及びシーメンス旭メデイテック（株）による 3 テスラ MRI の本格的な導入がはじまった。日本市場には、すでに約 80 台の 3 テスラ MRI が欧米系 3 メーカのみによって導入され、臨床現場である病院並びに脳医科学の研究機関から支持を得つつある。この数字は、現状のわが国の超電導 MRI 市場の 20%にも満たない規模ではあるが、この数年で年間約 50 台規模の導入が見込まれるとのことである。

SIGNA EXCITE 3.0T 提供
GE 横河メデイカルシステム株式会社

しかし、フィリップスメディカルシステムズの高瀬英知 MR 部長が指摘するように、今回の 3 テスラ MRI の導入をコンピュータ断層撮影装置（CT スキャン）、1.5 テスラ MRI、超音波診断装置、X 線撮影装置、核医学診断装置、PET（陽電子放射断層装置）など各種医療用画像診断装置と共存する機能補完器の一つと位置づけており、現行の 1.5 テスラ MRI 全てが 3 テスラ MRI に置き換わる事はなさそうである。

日本の年間約 300 台の超電導 MRI 市場に限ってみれば、これまで欧米系 3 メーカと日本 1 メーカがそれぞれ 1.5 テスラ MRI 市場を 4 分の 1 ずつ長期に亘ってシェアーしていた。このような安定した市場のバランスが崩れようとする背景には、日本の診療報酬制度、臨床試験（地験）を伴う薬事法認可制度や高磁界 MRI ニーズに対するメーカの考え方の相違によるものと解釈される。すなわち、日本のメーカでは診療報酬制度に関して 1.5 テスラ MRI と 3 テスラ MRI では同じ診療報酬点数であること、3 テスラ MRI に 1.5 倍から 2 倍のコストをかけかつ長時間に及ぶ薬事認可の煩雑さとを 3 テスラ MRI の臨床効果と見比べた結果、3 テスラ MRI の導入が遅れたと解釈される。一方、欧米系メーカでは診療報酬点数などの経済性よりも臨床現場や医学研究機関のニーズを将来的展望をもって最優先し、3-5 年の長期に及ぶ地験を前提とする薬事認可手続きをクリヤーしたことの違

© ISTEC 2007 All rights reserved.

いによると思われる。

国際的にも国内的にも最大の販売実績を持つ GE 横河メデイカルシステム（株）は、まず 2003 年に頭部に限定した 3 テスラ MRI に対する薬事法承認を国内ではじめて獲得した。続いて 2005 年には欧米系 3 メーカが揃って全身型 3 テスラ MRI に対する薬事法承認を受けた。かくして欧米系 3 メーカは、3 テスラ MRI 導入競争を日本において展開することになった。また、欧米系 3 メーカは、臨床現場や医学研究機関のニーズの根幹にある「体内の暗黒」と「診断時間の壁」にいち早く対応するために、これまで蓄積した技術力を駆使し、IT 等新たな診断・分析技術の付加によって医療現場の支持を得ることで、新規市場が確保できたといえる。

従来の MRI 技術では肥満体の小腸などの腹部組織や海馬などの脳の深部組織が十分診断できない、いわゆる「体内の暗黒」部位に対して、3 テスラ MRI の適用による S/N 比倍増の結果としてより高精細な画質を提供すると共に、傾斜磁界や RF 送受信技術による対象部位の的確な断層診断技術も向上した。一方、危惧されていた MRI の高磁界化に伴って計測波長が減少し、診断可能な深度が浅くなる傾向をも 3 テスラ MRI において見事に克服し、MRI にとって「体内の暗黒」部位は解消された。

また、従来 MRI は、他の競合医療用画像診断装置に比べて診断時間が長いと言う、いわゆる「診断時間の壁」が課題であった。この課題も 3 テスラ MRI において見事に克服されている。特に、腸や血流など動く対象との同期を採り、撮像時間の短縮化、画像計算スピードの大幅改善などにより総合的な診断時間を従来の 30 分間から 5 分間に短縮することも可能になった。これによって、GE 横河メデイカルシステム（株）マーケッテイング部長明田晴広氏によると、脳卒中の原因が「脳梗塞」であるか「脳出血」であるかの判断に要する診断時間の短縮化が達成され、徳島大学では 3 時間と言う投薬治療の時限に対しても余裕をもって救急外来対応が出来るようになったとのことである。これらは、元来日本の優位技術であった脳医学や機能的 MRI（fMRI）などの生体機能科学分野とも連携できる将来の技術である。

MAGNETOM Trio, A Tim System
提供　シーメンス旭メディテック株式会社

さらに、3 テスラ MRI の臨床現場における作業性や被験者に対する総合的な配慮も各社それぞれ特徴を発揮している。フィリップスメディカルシステムズは、臨床現場における作業性を確保するために従来の 1.5 テスラ MRI とほぼ同等のコンパクトな寸法設計と被験者の閉塞感を緩和するため

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

の開口朝顔角の大きい 3 テスラ MRI を提供している。また、シーメンス旭メデイテック（株）は、プロダクトマネージャー諸井貴氏の言う、被験者のみならず MRI 関係技術者に対しても IEC 規格 99dB 以下の平均値遵守の静音化や SAR（電磁波の比吸収率）低減までも配慮した MRI の提供による差別化が必要になっている。

MRI の高磁界化に関して、少なくとも GE 横河メディカルシステム（株）は、今後全身用 MRI の高磁界化が 7 テスラ程度まで進むとニーズ分析している。すでに 7 テスラ MRI を新潟大学に設置し、臨床研究に着手している。また、高磁界型 MRI は、生体機能科学やアルツハイマー病究明の分野からのニーズも高く、その成果に期待が高まっている。しかし、巨額の設備コスト、高磁界 MRI の設置環境制限、漏れ磁界領域の拡大、被験者の磁気酔い、被験者やメンテナンス技術者の SAR 問題など新たに発生する課題を一つ一つ解決しなければならないという。

（編集局）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

特集：超電導医療機器技術　「(独) 理研における NMR の活用と最近の技術開発」

理化学研究所　ｹﾞﾉﾑ科学総合研究ｾﾝﾀｰ　上級技師
横浜市立大学大学院　生体超分子科学専攻　客員准教授
前田秀明

(独) 理研横浜研究所は世界最大の NMR[*1] 施設を有し、これを「NMR 立体構造解析パイプライン」として、「タンパク 3000 プロジェクト」(文科省) に活用してきた。既に 900 以上の高等真核生物を対象としたタンパク質の立体構造解析に成功している。2005 年度には、NMR によるヒトやマウスのタンパク質構造の決定において、PDB (世界最大のデータベース) 登録の 70%にあたる 375 構造を決定する成果を上げた。「タンパク 3000 プロジェクト」は本年 3 月で終了し、新たに「ターゲットタンパク研究プログラム」(文科省) がスタートする。これは「タンパク 3000」で構築した基盤をベースに、学術研究や産業振興に重要なタンパク質を選択し、技術開発と併せた研究を行うものである。理研では、この研究プログラムに NMR 施設を活用していく。更に、本年度から NMR 施設の外部開放の準備を進めている。国の事業も活用しながら、バイオ、材料、有機化学など幅広い分野への施設開放を進める。

技術開発では、昨年の 10 月から、JST[*2] の先端計測分析技術・機器開発事業として、高温超電導を用いた「超 1GHzNMR の開発」を開始した。事業の中核機関は (独) 物質・材料研究機構であり、物質・材料研究機構と (株) 神戸製鋼所が高温超電導コイルを担当し、理研と日本電子 (株) が、NMR 計測技術を担当する。既設の NMR 磁石を増強して 1GHz 超の磁場発生を図る。高温超電導コイルには微弱な抵抗があり、超電導接続も不可能なので、NMR に要求されるレベルでの永久電流は不可能である。従って、高温超電導コイルは通電モードでの運転を想定している。電源電流の変動で NMR 信号に変調が加わらないように、通電下でサンプル磁場を一定に保持できる手法の開発を進めている。他の開発は、4 ケルビン NMR プローブである。NMR プローブの RF アンテナを冷却すると熱ノイズが減り信号感度が向上する。既に、20 ケルビンの装置が市販されている。理研では、小型冷凍機を従来の GM[*3] 冷凍機から GM-JT 冷凍機に変えることで、4 ケルビンまで冷却できる装置の開発に成功した。室温に比べて 6 倍以上の感度向上を得ている。今後、タンパク質の NMR 計測に活用していく予定である。

*1 NMR　Nuclear Magnetic Resonance
*2 JST　Japan Science and Technology Agency
独立行政法人　科学技術振興機構
*3 GM　Gifford-McMahon

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

超電導製品ガイドー超電導量子干渉素子（SQUID）関連製品ー（社名五十音順表示）

○エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社
超電導関連製品（SQUID、TES）
Tel: 047-391-2142、Fax: 047-391-0960、e-mail: satoshi.nakayama@sii.co.jp
担当：技術部　技術 5G　中山哲

○住友電工システムソリューション株式会社
高温超電導磁気センサを用いた「SQUID 入門キット」、「SQUID 実験キット」、「SEIQUID II」、「SQUID 顕微鏡」、「生体磁気計測装置」、「抗原抗体反応検査装置」、「磁性異物検出装置」、「半導体検査装置」、「地質調査装置」等
担当　永石、太田；Tel: 072-771-3022、Fax: 072-771-3023

○横河電機株式会社　ライフサイエンス事業部　MEG センター
脳磁計（MEG）
Tel: 076-258-7012、Fax: 076-258-7026
e-mail: meg@csv.yokogawa.co.jp
担当：冨澤英明

（編集局　田中靖三）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

超電導関連　8-9 月の催し物案内

7/31-8/1
「超伝導材料・デバイスの最近の動向」
場所：八戸工業高等専門学校　管理棟 2F（中会議室）
主催：低温工学協会　材料研究会／東北・北海道支部合同研究会
協賛：日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第 146 委員会「マイクロ波～光」分科会
オルガナイザー：中村嘉孝（八戸高専）、淡路　智（東北大）、大嶋重利（山形大）
問合せ：八戸工業高等専門学校電気情報工学科　中村嘉孝
Tel/Fax: 0178-27-7285、E-mail: naka-e@hachinohe-ct.ac.jp

8/9-10
第 6 回高温超伝導バルク材「夏の学校」in　岩手
場所：ぬくもりの里 NUC、岩手県雫石町
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: fijishiro@iwate-u.ac.jp

8/21-24
5th Annual Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors-MEM'07
場所：Princeton, NJ, USA
主催：NEDO and ASC
問合せ：Meeting coordinator: Kate Liu, E-mail: meeting @kateliu.net

8/21-26
The 22nd IIR International Congress of Refrigeration
場所：Beijing, P.R. China
問合せ：http://www.icr2007.org/

8/27-31
MT-20: 20th International Conference on Magnet Technology
場所：Philadelphia, Pennsylvania, USA
問合せ：http://www.mt-conference.org/main.asp

8/31
4th panel discussion on superconducting power devices
場所：Philadelphia Marriott Downtown, Philadelphia, Pennsylvania, USA (詳細は受付掲示板参照)
問合せ：（財）国際超電導産業技術研究センター　標準部　田中靖三
Tel: 03-3459-9872, Fax: 03-3459-9873, E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

9/3-8
低温工学協会　低温技術講習会夏合宿「7T 超伝導マグネットへの挑戦(10)」
場所：高エネルギー加速器研究機構　STF 棟、つくば市大穂
問合せ・申込み：物質・材料研究機構/強磁場共用ステーション　佐藤明男
E-mail: inquire@akahoshi.nims.go.jp、Fax: 029-863-5470、Tel: 029-863-5453

9/9-14
Gordon Research Superconductivity Conference
場所：Conference Center, Les Diablerets, Switzerland
問合せ：http://www.grc.org/programs.aspx?year=2007&program=supercon

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

9/10-13
EUROMAT 2007- Materials for Fusion Applications
場所：Nuremberg, Germany
問合せ：http://www.euromat2007.fems.org/

9/12-14
低温工学協会関西支部　第 23 回低温工学基礎技術講習会
場所：大阪市立大学文化交流センター（9/12）、大阪大学及び大阪市立大学理学部 (9/13-14)
申込み：低温工学協会関西支部事務局（大阪大学低温センター内）
Fax: 06-6879-7986、E-mail: kousyu2007@mail.jcryo-kansai.ltc.osaka-u.ac.jp

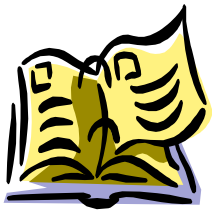
9/13-15
PASREG, 2007
場所：Corpus Christi College and the Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge, England
問合せ：Mrs. Julie Bazin, Fax: +44(0)1223 332662, E-mail: jb520@cam.ac.uk

9/19-20
EUCAS'07: 8th European Conference on Applied Superconductivity
場所：Brussels, Belgium
問合せ：http://www.eucas2007.org/

9/22-27
ESF-EMBO Symposium Biomagnetism and Magnetic Biosystems Based on Molecular Recognition Processes
場所：Hotel Eden Rco, Sant Feliu de Guixols(Casta Brava), Spain
問合せ：　E-mail: conferences@esf.org、http://www.esf.org/conferences

9/30-10/5
8th international l Symp. On Fusion Nuclear Technology
場所：Heidelberg, Germany
問合せ：http://iwrwww1.fzk.de/isfnt/

（編集局）



超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

新聞ヘッドライン（6/19-7/18）

○理研の最前線　冷凍永久磁石による次世代アンジュレータ　大幅性能向上へ高温超電導体を併用　6/19　日刊工業新聞
○GE 子会社・徳島大病院　高磁力 MRI　ち密に診断　脳梗塞、時間の壁破る　特効薬、副作用の危険排除　6/19　日経産業新聞
○進化する東海道新幹線　コーナリング性能アップ　東ー阪 5 分速く　6/21　日刊工業新聞
○実現へ　リニア動き加速　2025 年の営業運転目標　既存新幹線のバイパスに　重い 10 兆円の整備事業費　国交省　整備新幹線を優先　6/21　日刊工業新聞
○ITER 施設　日欧が運営委員　都内で初開催　6/22　日本経済新聞
○東京女子医大　日立など　磁力で薬を誘導　患部に集中、副作用抑制　6/2　日本経済新聞
○「地上の太陽」へ新段階　国際熱核融合実験炉、年内にも仏で着工　トカマク型中心続くか　技術継承に長い目必要　6/22　朝日新聞
○理研の最前線　XFEL、伝統技術の革新で夢の光を手に入れる　短距離で短波長光創出　装置小型化フェムト秒の高精度操作　6/26　日刊工業新聞
○系統ゼミナール　ゆとりのなさが連鎖遮断に　安定運用のルール「N-1」　6/26　電気新聞
○放射線治療　求む「物理屋」　日本には「30人」　施設・装置が先行　6/26　日本経済新聞
○東北大、超電導で挑む　はるかなるMPU覇権　「ポストCMOS」10年　6/22　日経産業新聞
○高温超電導　阻害因子を解明　名大など　6/26　日経産業新聞
○ITが支える医療現場　デジタル画像診断　MRI、3テスラ主流に　小腸観察　普及へ一歩　6/28　日経産業新聞
○蓄電池事業に各社本腰　用途広く多分野で需要　新エネ系統安定化も期待　6/29　電気新聞
○NTT　真空中の原子　安定捕捉　量子コンピューター実現に道　7/2　日刊工業新聞
○小型水力発電所　東京発電が全国展開　割安コスト武器　地元企業と連携も　7/2　日経産業新聞
○系統ゼミナール　「N-1」計算せず送電停止　異なる上限値が認識の差に　7/3　電気新聞
○青森県　核融合計画を契機に　人材育成や研究開発推進　検討委が初会合　7/3　電気新聞
○国際核融合エネルギー研究センター　六ヶ所村で除幕式典　次世代へ手綱ともに　7/4　電気新聞
○「アルツハイマー」国際研究　国内25施設と米欧豪　脳や血液検査解明へ　7/4　朝日新聞
○高温超電導　原子レベルで可視化　電中研が米大、阪大と　理論化へ道筋　7/5　電気新聞
○最新型CT検査　64列マルチスライスCT　心臓への負担少なく　7/6　読売新聞（夕）
○発電効率の壁破れ　太陽電池「量子ドット」従来型の倍以上に　筑波大、実用化にメド　主流シリコン　コストに課題　7/6　日本経済新聞
○産総研が手術支援ロボ　MRI活用し安全・精確に　素材にチタンなど仕様　超音波モーター使い徹底的に磁性排除　7/9　日刊工業新聞
○「ポスト京都」目指す戦略は　多様な新エネルギー生かす　マイクログリッド　7/8　読売新聞
○炭素イオン高速照射　痛みなく、麻酔も必要なし　手術難しいがん　重粒子で治療　7/9　読売新聞（夕）
○中性子センでがん治療　小型加速器を試運転　京大など 10 月にも　原子炉代替設備容易に　7/9　日本経済新聞
○自由化で周辺国経由の潮流増　自然相手の風力も予測困難　7/10　電気新聞
○ITER 暫定理事会　11、12 日に都内で開催　7/10　電気新聞
○がん細胞へ薬物送達　光や超音波使い治療　日立など、副作用少なく　7/11　日経産業新聞
○脳磁計の冷却用液体ヘリウム　補充せず 1 年使用可能　東大が循環システム　年間使用量 100 分

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

の１に　7/11　日刊工業新聞
○参加 7 極が課題協議　ITER 都内で暫定理事会　7/12　電気新聞
○2007 年度技術トレンド調査（第 2 回）第 1 位セメント材料「導電性」に、希少金属代替も　7/12　日経産業新聞
○来年度予算や採用計画審議　ITER 暫定理事会　7/13　日経産業新聞、日刊工業新聞、電気新聞
○超伝導技術用　ヘリウム使用量を劇的に減少　武田・東大教授ら研究グループ　7/13　科学新聞
○系統ゼミナール　周波数低下し揚水・負荷遮断　自動で“ブラックアウト”防ぐ　7/17　電気新聞
○100 万キロワット直流送電線　ABB、英蘭から受注　両国連系に総額 420 億円　7/18　電気新聞
○超電導で風力出力増強　8000 キロワット級、英で構想具体化　7/18　電気新聞

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

超電導速報―世界の動き（2007 年 6 月）

電力

American Superconductor Corporation (2007 年 6 月 20 日)

American Superconductor Corporation は、証券取引委員会に一般株式 470 万株の公募を届け出た。この公募は、70 万 5 千株の追加購入権のオプションが付いている。この届出が正式に受理されるまで、債券の取引は行うことができない。この公募の主幹事会社は Morgan Stanley 社が予定されている。

出典:
"AMSC Announces Filing of Registration Statement for Public Offering"
American Superconductor Corporation press release (June 20, 2007)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1017694&highlight

Trithor GmbH　（2007 年 6 月 25 日）

Zenergy Power Group の一員である Trithor GmbH は、HTS 電磁コイルの各種試験及び評価を成功裏に終了し、商用風力発電機への応用が可能になったと発表した。この試験は、Converteam Group SAS によって実施され、電気特性、容量、効率ともに期待した以上の性能をしめすことが報告されている。Converteam 社は、Zenergy グループに 60 万ユーロの発注をすでに行った。以前の発表通り、Zenergy グループと Converteam 社は世界の風力発電及び水力発電市場向けの小型、軽量、高効率発電機を共同して開発、製造、販売していくことで合意している。この発電機により、海上風力発電コストを 25%削減できるものと期待されている。この技術的な成功は、風力発電市場における両社の事業目標実現にむけた重要なステップである。

出典:
"Successful Qualification of HTS Coils for Wind Power Generators"
Trithor GmbH press release (June 25, 2007)
http://www.trithor.com/pdf/press-en/2007-06-25-Commercial-Order.pdf

U.S. Department of Energy (2007 年 6 月 27 日)

米国エネルギー省(DOE)は、米国の HTS 技術開発と応用、また電力グリッドの近代化促進を目指したコストシェア・プロジェクト 5 件を推進するため総額 5,180 万ドルを支出すると発表した。内 2 件は電力ケーブルの信頼性及び効率向上を目指したもので、他の 3 件は限流器の開発を目指したものである。これらプロジェクトは、2～5 年間実施され、エネルギー省傘下の国立研究所がそのマネージメントに当たる。プロジェクトはエネルギー省と選定された（開発）チームとのコストシェアリング方式で推進され、その総額は 1 億 360 万ドルである。エネルギー省の資金は 2007～2012 年にわたって支出されるが、議会の承認を得る必要がある。5 件のプロジェクトの詳細は以下の通りである。

1) 配電装置―Southwire Company（エネルギー省負担 1,330 万ドル）
   ニューオーリンズ中心部の電力負荷問題を解決することを目的として、13.8-kV 超電導ケーブルにより 2 箇所の変電所をつなぐ予定。開発チームは、Oak Ridge National Laboratory とドイツの nkt cables 社。
2) 配電装置―American Superconductor Corporation（エネルギー省負担 900 万ドル）
   次世代線材ケーブル実用展開及び単相プロトタイプケーブル実証に必要なキーコンポ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

ーネントを開発する。Long Island Power Authority (LIPA)の電力グリッドに設置予定。開発チームは、LIPA、フランスの Nexans 社、Air Liquide Advanced Technologies U.S. LLC 社。

3) 配電装置—American Superconductor Corporation（エネルギー省負担 1,270 万ドル）
3 相、高電圧の 115-kV 限流器（名称 SuperLimiter™）が次世代線材を使って開発される。SuperLimiter™は、Siemens の開発した低インダクタンスコイル技術に特徴があり、抵抗状態にスイッチされるまでグリッド側からは「見えなく」なっている。開発チームは、Southern California Edison、フランスの Nexans 社、ヒューストン大学、Los Alamos National Laboratory、Siemens AG。

4) 限流器—SC Power Systems（エネルギー省負担 1,100 万ドル）
138-kV 飽和リアクトル型限流器の設計、試験を行い、Southern California Edison 社のグリッドでデモを行う。この設計では、抑制すべき電流の流路と（電磁）結合している鉄心を飽和させるために HTS 材料を用いて直流電力が供給される。開発チームは、Southern California Edison、Los Alamos National Laboratory,、Air Products and Chemicals Inc.、Cryo-Industries of America Inc.、Consolidated Edison Company,、California Edison Inc.、Delta Star Inc.、ドイツの Trithor GmbH。

5) 限流器—SuperPower Inc.（エネルギー省負担 580 万ドル）
138-kV 限流器の設計、試験を行い、American Electric Power (AEP)社のグリッドでデモを行う。この限流器は並列の次世代線材要素とコイルから構成されるマトリクス設計が特徴である。開発チームは、American Electric Power、日本の住友電工、日本の日産、BOC Group Inc. Oak Ridge National Laboratory。

出典:
"DOE Provides up to $51.8 Million to Modernize the U.S. Electrical Grid System"
U.S. Department of Energy press release (June 27, 2007)
http://home.doe.gov/news/5180.htm

American Superconductor Corporation (2007 年 6 月 28 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2 件の新規 HTS プロジェクト推進のため、エネルギー省から総額 2,170 万ドルの資金を得ることになったと発表した。同社の次世代線材（344 超電導線材）を使って、HTS ケーブルをグリッドに設置するプロジェクトと限流器プロジェクトである。HTS 電力ケーブルは Long Island Power Authority (LIPA)電力グリッドに設置され、現在すでに設置されている第 1 世代 HTS ケーブルシステムをさらに拡大するものとなる。送電電圧は 138 kV。AMSC 社はプロジェクトマネージャーであり、線材供給を行う。Nexans 社はケーブル製造、Air Liquide Advanced Technologies U.S. LLC 社は冷凍システムと担当する。エネルギー省の資金負担は 900 万ドルであり、プロジェクト総額は 1,800 万ドルである。

第 2 のプロジェクトは 115-kV、3 相限流器を開発するというものであり、AMSC 社の 344 線材が使われる。開発した限流器は電力グリッドに設置される予定である。限流器は、Siemens の開発した低インダクタンスコイル技術に特徴があり、抵抗状態にスイッチされるまでグリッド側からは「見えなく」なっている。AMSC はプロジェクトのマネージメントを行い、Nexans 社、ヒューストン大学、Los Alamos National Laboratory がプロジェクトに参加する。エネルギー省の資金負担は 1,270 万ドルであり、プロジェクト総額は 2,500 万ドルである。

AMSC 社の創立者で最高責任者の Greg Yurek は次のように述べた。「エネルギー省が米国の電力インフラ近代化計画のための 2 つの超電導プロジェクトのリーダーにわが社を選んだことを嬉しく思っている。これらエネルギー省のプロジェクトは、わが社の 344 線材の販売に直結するものであ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

り、その量産を 2007 年に予定している。」AMSC 社は他の 3 つのエネルギー省プロジェクトの少なくとも 1 つ又はそれ以上のケーブル及び限流器プロジェクトからも線材を受注したいと考えている。
出典:
"AMSC Wins Two New Department of Energy Superconductor Power Grid Projects"
American Superconductor Corporation press release (June 28, 2007)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1020516&highlight

Trithor GmbH　（2007 年 6 月 29 日）

Zenergy Power plc の完全子会社 Trithor GmbH は、米国エネルギー省が同じく Zenergy Power plc の完全子会社である SC Power Systems, Inc.に、高電力限流器の設計、試験及びカリフォルニア電力グリッドへの設置を目的として、1,100 万ドルの資金を提供することになったと発表した。この新たな限流器は Zenergy 社が特許を保有する電力グリッド安定化装置を大型化したものである。SC Power 社このプロジェクトのリーダーであり、チームには他に Trithor 社、Los Alamos National Laboratory、Delta Star, Inc.、Southern California Edison (SCE)、Consolidated Edison Company of New York, Inc.が参加する。限流器は Consolidated Edison Company の協力の下 Southern California Edison のグリッドで試験が行われる。
出典:
"US $11 Million Grant from the U.S. Department of Energy for High-temperature Superconductor Fault Current Limiters"
Trithor GmbH press release (June 29, 2007)
http://www.trithor.com/pdf/press-en/2007-06-29-DOE%20Grant.pdf

通信

National Institute of Standards and Technology(2007 年 6 月 1 日)

National Institute of Standards and Technology (NIST)は日本の NTT、スタンフォード大学と協力して、最新の暗号化技術である量子鍵を世界記録である 200km 光ファイバー伝送することに成功した。伝送距離の世界記録に加え、最初のギガビット伝送試験にチャレンジ、安全な暗号鍵を作り出した。量子暗号鍵は 1 又は 0 を表す異なる電場を持った光子 1 個を伝送するもので、暗号化及び解読の量子鍵として使われる。盗聴は光子の状態を変えるので、量子暗号は理論的に破ることができない。この実験の核心は超高速超電導単一光子検出器を使ったところにある。超電導 NbN 製のナノワイアーからできたこのロシア製の検出器は、優れた時間分解能を持ち、極低温運転による低雑音のため誤り率が非常に低い。この検出器の動作原理は次の通りである。単一光子はナノワイアーに入射すると局所的に電流密度を上昇させ臨海電流を上回って、非超電導状態へと転移を起こすホットスポットを作り出す。これが電流の傷害となり電圧パルスを生み出す。電圧パルスの起点が光子の到達時間を決定する。今回の実験の結果は、通信衛星を使った都市間長距離無線システムに加え、地上の実用量子通信ネットワーク利用への道を開くものである。この結果は、6 月 1 日の Nature に掲載された。
出典:
"Long-distance record – 'Quantum keys' sent 200 kilometers"
National Institute of Standards and Technology press release (June 1, 2007)
http://www.nist.gov/public_affairs/releases/qkd_longdistance.html

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

ISCO International, Inc. (2007 年 6 月 26 日)

ISCO International は 2007 年 8 月に赤字施設のリストラを行うことで債権者と合意に達した。支払い期限を迎えた約 1,170 万ドルに上る負債及び予定利率(9%)は次のように処理される。1)150 万ドルは即時に同社の一般株式に転換される（1 株 18 セント）。2)1,020 万ドルは利率 7%の転換社債（償還期限 2009 年 8 月）とし、転換比率を 1 株 20 セントとする。新規転換社債は、通常の社債転換ルール、取引終了手順に従い、転換に関連した承認を得て実行される。また、これには、発行可能株式の増加及び社債転換に伴う新株発行に関する株主の承認も必要である。ISCO 社最高責任者 John Thode は次のように述べた。「償還期限が来る負債に関し株主の方々にご心配をおかけしている。我々の負債に関し債権者との間で好意的な解決方法が合意できたと報告できることは、喜ばしいことである。子会社も含め２つの大口債券者がいる。我々は、大口債券者との間で債務を低利率の転換社債に転換し、さらに追加資金を得て資金ポジションを改善することで合意できたということは、わが社の戦略に対する力強い信任であると受け取っている。」

出典:
"ISCO International Announces Debt Restructuring Agreement"
ISCO International, Inc. press release (June 26, 2007)
http://www.b2i.us/profiles/investor/ResLibrary.asp?ResLibraryID=20423&f=1&BzID=826&Nav=1&LangID=1&s=0&Category=135

核融合

Oxford Instruments plc (2007 年 6 月 26 日)

Oxford Instruments plc は完全子会社の米国 Oxford Superconducting Technology とフランス Alstom Magnets and Superconductors がアライアンスを組んで、ITER で使われる NbTi 超電導より線の EU における供給契約に挑戦していくことで合意したと発表した。ITER は核融合の科学的、技術的実証を目指した国際的研究開発プロジェクトである。ITER では、核融合反応の閉じ込めに大量の NbTi を使用し、その量は 500 トン以上になると見られている。この線材のうち、90 トンは EU から調達されると考えられ、その市場価値は 4700 万ユーロにのぼる。Alstom-Oxford Instruments コンソーシアムは ITER への NbTi 超電導より線の競合事業者の 1 つとなる。Oxford Superconducting Technology 最高責任者で、Oxford Instruments plc の市場担当部長 Steven Parker は次のように述べた。「ITER への超電導より線供給で協力する機会が得られたことを嬉しく思っている。わが社の先端を行く NbTi 超電導線設計、製造技術は、Alstom 社の強力な製造能力と相まって、共同して ITER プロジェクトに（線材）供給を行うロバストなプラットフォームを作りだすことになろう。」

出典:
"Alstom Magnets and Superconductors and Oxford Superconducting Technology announce EU alliance"
Oxford Instruments plc press release (June 26, 2007)
http://www.oxford-instruments.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Internet/Press/Current+News/Alstom+Magnets+and+Superconductors+and+Oxford+Superconducting+Technology+announce+EU+Alliance

加速器

Argonne National Laboratory（2007 年 6 月 8 日）

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

米国で最先端の原子核構造研究施設である Argonne タンデム線形加速器(ATLAS)は重要な増強が図られる。ATLAS は重イオン用超電導加速器としては世界で最初のものである。今回の増強は、CARIBU 即ち「Californium Rare Ion Breeder Upgrade」として名が知られている。これにより、Californium-252 源からの中性子を多量に含む分裂生成物の加速が可能となり、宇宙の多くの部分を構成する重い元素の中性子を多量に含む核構造の研究が可能となる。この結果、今日まで現有の施設ではむずかしかった不安定同位元素の研究が可能となる。Argonne 研究所の研究者 Don Geesaman は次のように述べた。「CARIBU によりこれまで不可能であった 400 の新たなビームを生み出すことができる。」CARIBU に要する費用は 475 万ドル、内 360 万ドルは新規予算であり、残りは既存の ATLAS 予算のやりくりで捻出される。このプロジェクトはエネルギー省 Office of Nuclear Physics の予算によりまかなわれる。2009 年度第 2 四半期に完成予定。
出典:
“ATLAS upgrade allows scientists to reach even further for the stars”
Argonne National Laboratory press release (June 8, 2007)
http://www.anl.gov/Media_Center/News/2007/PHY070608.html
本記事の掲載は、Argonne National Laboratory の厚意によるものである。

CERN (2007 年 6 月 22 日)

CERN は Large Hadron Collider (LHC)の運転開始は 2008 年 5 月になると発表した。LHC の装置設置、試験中に小さな遅れが重なり、また、インナートリプレットと呼ばれる部品の 1 つが加圧試験に失敗したこともあって、今年予定されていた低エネルギー運転ができなくなった。LHC の一部を運転温度 1.9 K まで下げるのも予定より時間がかかったが、運転チームは初期トラブルを解決することができた。この経験は他の 7 セクターの冷却のための貴重な経験となった。LHC プロジェクトリーダーの Lyn Evans は次のように述べた。「今年末に予定していた低エネルギー運転は多くの小さな遅れが重なって厳しくなり、インナートリプレットのトラブルで不可能となった。予想されていたことではあるが、我々は、2008 年 5 月に運転を開始する、一回でフルエネルギー状態に持って行きたい。」一部セクターの出力上昇試験はすでに開始している。次のセクターも間もなく試験に入る。

CERN 委員会は 2008～2011 年の予算増に同意した。CERN 所長 Robert Aymar は次のように述べた。「これは、将来の欧州の素粒子物理にとって重要な決定である。これにより、研究所のインフラを統合し、将来の LHC 改造に向けた準備や、長期的な研究開発プログラムの再構築が図れる。」
出典:
“CERN announce new start-up schedule for world’s most powerful particle accelerator”
CERN press release (June 22, 2007)
http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2007/PR06.07E.html

（ISTEC 国際部長　津田井昭彦）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

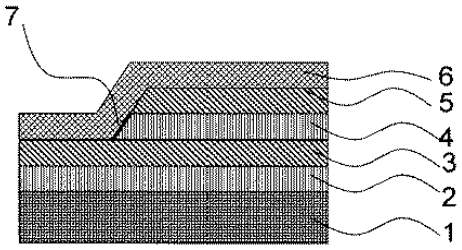
特許情報

◆平成 19 年度第 1 四半期の公開特許

平成 19 年 4 月～6 月に公開された ISTEC 出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁のホームページ内の特許電子図書館等の特許データベースをご利用下さい。

1)　特開 2007-109717「超電導素子および超電導素子の製造方法」：

本発明は、酸化物系超電導素子のランプエッジ型ジョセフソン接合 7 の形成に関するものである。ジョセフソン接合は、超電導グランドプレーン層 2 や絶縁層 3 などの下地層の上に形成されるが、この下地層の表面粗さが接合特性の均一性に大きく影響している。平均表面粗さが 2nm 以下であることが望ましいとされているが、再現性の良い製法は報告されていない。本発明では、酸化物基板 1 上に、第 1 超電導体薄膜 2、第 1 絶縁体薄膜 3、第 2 超電導体薄膜 4 および第 2 絶縁体薄膜 5 を順次形成する。接合の形成は、第 2 超電導体薄膜 4 および第 2 絶縁体薄膜 5 に、第 1 絶縁体薄膜 3 に対して鈍角をなす斜面を形成する。さらに、第 2 超電導体薄膜 4 の斜面に極薄い絶縁体薄膜を形成した後、第 3 超電導体膜 6 を積層する。この際、第 1 超電導体薄膜 2 および第 2 超電導体薄膜 4 は、パルスレーザ蒸着法で形成したセリウム酸化物を採用することにより、平均表面粗さが 2nm 以下の絶縁体薄膜および超電導体薄膜を再現性よく実現できる。また、酸素透過性に優れたセリウム酸化物絶縁体の採用で、表面粗さを誘起する要因の 1 つである酸素アニール工程が大幅に短縮された。

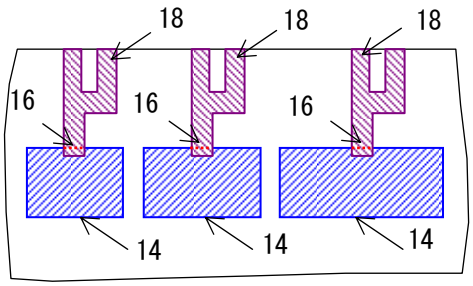


2)　特開 2007-115592
「臨界電流密度特性に優れた RE-Ba-Cu 系酸化物超電導長尺体とその製造方法」：

本発明は、金属基材上のバッファ層上に、パルスレーザデポジッション法により形成された RE-Ba-Cu 系酸化物超電導膜とその製造法に関するものである。本発明の超電導膜は、RE:Ba:Cu=1:(2-x):3　（ただし、0.01≦x≦0.2）の組成比を有し、Ba 組成が化学量論組成より小さいことを特徴とする。また、その製法は、Ba 組成が化学量論組成より小さい RE-Ba-Cu 系酸化物をターゲット材料として用いることを特徴とする。本発明による超電導膜は、臨界温度（T_c）が 93K、臨界電流密度（J_c）が 2.2×10^6A/cm^2　と優れた超電導特性を示す。

3)　特開 2007-115930　「超電導接合素子および超電導接合回路」：

本発明の発明者らは、下部電極 14 と上部電極 18 とこれらにはさまれた障壁層からなる超電導接合素子において、接合 16 の臨界電流が接合寸法のみならず接合の下部電極寸法にも依存することを見出した。本発明では、超電導接合の下部電極の面積に基づいて接合の臨界電流を設定したことを特徴とした超電導回路を提供している。本発明により、超電導回路の設計と安定動作の確保が容易になった。

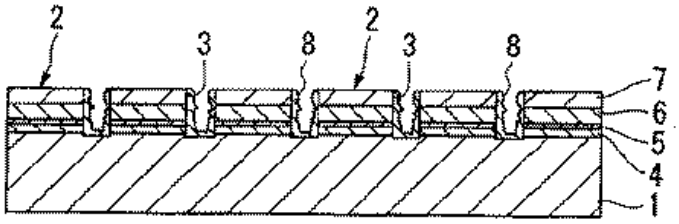


© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

4)　特開 2007-141688　「低交流損失酸化物超電導導体及びその製造方法」：

本発明は、金属性基体 1 上に酸化物絶縁層 4,5 を介して酸化物超電導層 6 が設けられた多層構造の超電導導体の細線加工に関するものである。本発明では、前記超電導体の長さ方向に沿ってレーザスクライブ等で形成した細線化溝 3 により、酸化物超電導体層 6 を複数のフィラメント導体 2 分離し、さらに細線化溝 3 の内面に高抵抗酸化物層 8 を形成していることを特徴とする。本発明は、超電導体の多層構造を有効に活用したもので、分断した個々のフィラメント導体どうしの絶縁性を高めることができ、低交流損失の酸化物超電導体を得ることができる。



5)　特開 2007-165153　「厚膜テープ状 RE 系（123）超電導体の製造方法」：

TFA-MOD（金属有機酸塩塗布）法を用いた本発明による厚膜テープ状 RE123 系超電導体の製造方法は、2 軸配向性基板上に、$RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_y$ 超電導体を構成する金属元素のフッ素を含む金属有機酸塩と有機溶媒からなる原料溶液を塗布した後、仮焼熱処理と超電導体生成の熱処理を行う超電導体を製造する方法において、仮焼熱処理と超電導体生成の熱処理との間に、$RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_y$ 超電導体の生成温度未満の中間熱処理を行うとともに、仮焼熱処理を混合溶液中の有機溶媒の揮散および金属有機酸の分解温度以上で、かつ中間熱処理の熱処理温度より低い温度で行うことを特徴とするものである。従来の TFA-MOD 法では、ポアやクラックの発生で 1μm 程度の超電導膜に止まっていたが、本発明により、約 2μm の厚さを超える YBCO 超電導膜を有するテープ状 RE 系（123）超電導体の製造が可能となった。

（SRL/ISTEC 開発研究部長　中里克雄）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

超電導エネルギー貯蔵研究会「第 19 回超電導電力貯蔵研究発表会」報告

超電導エネルギー貯蔵研究会（RASMES）は、平成 19 年 6 月 21 日、東海大学校友会館にて第 19 回超電導電力貯蔵研究発表会を開催した。同研究会は、発足 20 年目に当たり、大学等学術研究機関の専門家、電力事業・重電・電線、低温機器・建設・シンクタンク等多くの専門家が約 100 名参会し、活発な討論がなされた。また、研究会終了後、懇親会も催された。

会は、新冨孝和氏（同常務理事・事務局長）及び秋田調氏（同理事、（財）電力中央研究所）の司会によって進行され、つぎの技術研究発表と特別講演があった。

－技術研究発表－

(1)　SMES 研究会における平成 18 年度の研究成果　秋田調（電力中央研究所企画グループ）
(2)　マイクログリッド開発　馬場旬平（東京大学大学院工学系研究科）
(3)　大強度陽子加速器計画（J-PARK）と SMES　新冨孝和（日本大学大学院総合科学研究科）
(4)　J-PARK 主リング電源変動補償　伊瀬敏史（大阪大学大学院工学研究科）

－特別講演－

「高温超伝導材料の高性能化と電力エネルギー貯蔵」　松本要（九州工業大学工学部物質工学科）

今回の研究会の特徴は、利用側及び分散電源側における系統への電力変動の影響を緩和する技術の議論であった。現在、高エネルギー加速器研究機構(高エネ研、KEK)で 2001 年から進められている大強度陽子加速器用電磁石電源として、SMES を直流側に接続する方式が提案された。この提案方式によって、交直変換器を増設することなく、系統電圧の変動を許容値に制御することが可能である。また、自然エネルギー、新エネルギーなど分散エネルギーの適用に伴う、系統への負担の軽減や電力変動を極小化する手段として､マイクログリッドシステムを構築することは有効である。わが国の卓越したマイクログリッド開発力をどのように実現するかが今後の課題である。

一方、特別講演においては、成人期（20 年）を迎えた高温超電導材料について、平易な解説がなされた。各種電力機器への高温超電導材料の適用の可能性について、その適用対象は高温超電導材料の磁界特性と線材コストによって支配されることが指摘された。Bi 系材料は比較的低磁界へ、また Y 系材料は比較的高磁界の電力機器へと応用形態が分かれつつあるとのことであった。

（編集局）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

International Superconductive Electronics Conference (ISEC) 07 報告

International Superconductive Electronics Conference (ISEC)は、隔年ごとに日米欧持ち回りで開催される超電導エレクトロニクスに特化した国際会議である。11 回目となる今回は、米国ワシントン DC の Omni Shoreham ホテルで 6 月 10 日から 14 日までの日程で 157 名の参加者を集めて開催された。講演は全てシングルセッションで行われ、デジタル回路、SQUID、量子ビットなど全ての超電導エレクトロニクス領域をカバーするものであった。

デジタル応用では、今年 3 月に終了した我が国の NEDO プロジェクト成果と米国 HYPRES 社の成果が抜きんでていた。NEDO プロジェクト成果では、ISTEC から単一磁束量子（SFQ）回路を用いたスイッチシステムの成果が報告された。これは、冷凍機で冷却された SFQ 回路に 32 本の高速信号線を使ってアクセスするシステムで、デモンストレーションとして 4 台のパソコンとつなぎビデオ画像転送を行ったことが報告された。SFQ 回路を用いたこのような実用的なシステムは世界でも初めてであり、大きな注目を集めた。また ISTEC から、高温超電導体を用いた波形観測システム（サンプラー）の報告があった。これは、冷凍機も含めて半導体波形観測装置と同程度の大きさに仕上げたもので、50GHz 正弦波形の観測結果とともに、システムとしての完成度の高さが高く評価された。横国大の吉川らは、NEDO プロジェクトにおける SFQ マイクロプロセッサ開発の成果を報告した。25GHz で完全動作し、ピーク性能が 1400MOPS の 8 ビットマイクロプロセッサ（11,000 接合）を始め、数多くの動作実証例が紹介された。

HYPRES 社からは、デジタルレシーバシステムの報告がなされた。これは数 GHz 帯域の通信用信号を SFQ オーバーサンプリング型 AD コンバータを用いて、ダイレクトにデジタル化するもので、米陸軍や空軍向けに開発を行っている。冷凍機のコンプレッサも含めて 1 ラック化されており、非常に完成度が高いという印象を受けた。すでに、試作器が HYPRES の手を離れて軍によってテストされており、実用化が近いことが述べられた。Northrop Grumman からは、2 次の AD コンバータの動作を実証したとの報告があった。これは、フィードバックの時間的余裕が 1ns ほどあるのを利用し 50 個の SFQ を発生させて、フィードバックを行うものである。2 次の AD コンバータの性能が優れていることは従来から指摘されてきたが、動作実証も含めた具体的な発表がなされたのは今回が初めてである。

SQUID では、様々な魅力的な応用が報告された。中でも UC Berkeley などから報告された SQUID を検出に用いる極低磁場 MRI は、現在 1.5T 必要な医療用 MRI の磁場を 4 桁低い 150μT に低減することが可能となる画期的なものであった。他にもオーストラリア CSIRO の鉱物探索や NIMS の SQUID 顕微鏡などよく工夫された応用例の報告があった。SQUID 関係の新しい試みとして、大きさの異なる多数の SQUID ループを並列または直列に並べて干渉させることによってゼロ磁場近傍に現れる大きなピークを利用する SQIF（ドイツ Tuebingen 大）やカーボンナノチューブを用いた微小 SQUID（フランス CNRS）などが報告された。

量子ビットでは、UC Santa Barbara から、マイクロ波照射による量子 Tomography を用いたジョセフソン位相量子ビットの量子状態の高い精度測定により得られた 2 量子ビットの量子もつれ状態の観測結果が報告された。NEC からは、2 つの磁束量子ビットの間に第 3 の結合用量子ビットを配置し、マイクロ波による非線形相互作用を利用して磁束量子ビットをチューナブルに結合した実験結果の報告があった。この方法を拡張すれば、全ての量子ゲートが形成できるとのことであった。

次回は 2009 年の 6 月 16～19 日に福岡で開催される。

(SRL/ISTEC 低温デバイス開発室　日高睦夫)

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

Workshop-The Road to Room Temperature Superconductivity 報告

RTS 会議の行われた Alexandra ホテル（中心の白い建物）

この会議はノルウェーのローエンというフィヨルドの村で、2007 年 6 月 18 日から 22 日までの 5 日間開催された。会場には Alexandra というリゾートホテルが使われた（右図）。参加者は講師が約 30 名で、総勢 60 名ほどのこじんまりした会議であった。この会議は H. Weinstock (米国空軍研究所)、P. W. Chu 教授（香港科学技術大学）、H. Rogalla 教授 (トウェンテ大学) などの呼びかけで、米国空軍、欧州空軍、香港科学技術大学、トウェンテ大学がスポンサーとなり開催されたものである。

D. Scalapino 教授（UCSB）や M. Cohen 教授（UCB）などの大御所のほか、Y 系超電導の発見者 Chu 教授、Hg 系超電導の発見者の E. Antipov 教授（モスクワ州立大学）、MgB_2 の発見者の秋光純教授（青山学院大学）など高温超電導へ貢献した多くの人々が参加していた。日本からは秋光教授のほか、内田慎一教授（東大）、清水克也教授（阪大）、阪大の大学院生の清水氏および筆者が参加し、全部で 5 名であった。

5 日間ともに同じ時間スケジュールで開催された。午前中からお昼にかけての 8:30-13:00 の間は講師 6 名による各 40 分間の講演、午後 1:00-5:00 は昼食および自由時間、午後 5:00-8:00 は 1～2 名の講師による講演と午前の講演に対する Q&A のセッションであった。午前の講演に関する質問を紙に記入して講師に渡す。講師は休憩時間に回答を考えるというスタイルで行われた。

現在いろいろな材料や作成方法を用いて T_c を上げる試みがなされているが、100K を越えるような高温超電導はいまだ銅酸化物のみであり、他の物質でも高 T_c 化の努力はなされているが、室温という観点からはまだ遠い道のりである。会議全体の印象としては、結局銅酸化物がより高い T_c への現実的な材料であるという考え方が多いように感じられた。

Chu 教授は次のように講演した。銅酸化物についてはこれまでいろいろな物質が調べられており、水銀系より T_c が上がるとは思えない。別のメカニズムを探さなければならない。過去を知ることは重要だがとらわれてはいけない。彼が並べた候補は、Na/WO_3、ナノクラスター、など多くの種類があった。負の誘電率が超電導になる可能性があることも述べた。また、これまでの USO（未確認超電導体）の例をいろいろ取り上げ、これらを無視してよいとは限らないとコメントした。

また、内田教授は次のように述べた。いきなり室温超電導を目指すとなるといろいろ候補があって難しいが、より高い T_c を目指すということで考えると、銅酸化物が最も可能性のある材料である。Disorder の制御でもっと T_c が上がる可能性がある。Sr_2CuO_3 を高圧下で合成すると T_c が 95K まで上がる。理論的には CuO 面の数を増やせば T_c は上がるはずである。Hg 系では CuO 面が 3 層で T_c

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

が最大になるが、もし電子相互作用が層間で一様にできれば 4 層で T_c を 170-190K まで上げることが出来るかもしれない。Apical oxygen の制御が重要である。
筆者は「室温超電導体のエレクトロニクス応用」と題して講演した。室温超電導体の応用分野としては、フィルタやプリント基板配線のような受動素子に向いており、SFQ や SIS など能動素子への応用には熱雑音の影響が避けられないことを述べた。受動素子だけでも室温での応用範囲は無限にあり、実際に利用できるようになればユビキタス超電導エレクトロニクスの時代を迎えるだろうと締めくくった。

J. Mannhart 教授（Augsburg 大学）、Cohen 教授、Scalapino 教授の三名が総括講演を行った。いずれも今回議論されたいろいろなアプローチを総括した。Negative-U、Light elements、Na_xWO_{3-y} や Li_xWO_{3-y} など、高圧力による T_c 向上、金属あるいは半導体のナノチューブ束、メソ・ナノスコピック構造、B ドープのダイヤモンドなどである。これらのいろいろな登山道を通って、ペアリングエネルギーというアルプスを越えなければならないが、今回議論した登山道以外にも"Another way"があり得る。また、Cohen 教授は、「20 年前のちょうどこの日（1987 年 6 月 22 日）に、Anderson、Cohen、Doniach、Pines、Scalapino がバークレーの Chez Panesse に集まって、室温超電導が何時得られるかを議論した。その時の議論が今回のワークショップでそのまま続いているようだ」と述べ、重い課題であることを感じさせた。その後、化学者と物理学者の協調体制の必要性に関する議論などがあった。
閉会の挨拶では Chu 教授がコメントし、「何時室温超電導が出現するかを予言するのは難しい、しかし銅酸化物の T_c がさらに向上する可能性はある」と述べた。これは本人が講演の時述べたこととは矛盾するが、この会議を終えて皆の考えがすぐに室温超電導を目指すのではなく、より高い T_c という方向を向いていることを考慮して述べたられたものと考えられる。

この会議の最終日に Weinstock が参加者全員にアンケートを実施した。いくつか設問があったが、その中に「10 年後の T_c は何度になっていると思うか？」という問いがあった。結果は、最高値 340K、最低値 145K、平均値 212K で、最も得票数の多い値は 200K であった。これが今回の出席者の意識を象徴しているように思える。すなわち、室温超電導がいきなり出現するのではなく、やはり地道な努力の積み上げによって T_c が上がり続けていくと考えている研究者が多いということではなかろうか。
（SRL/ISTEC 特別研究員　蓮尾信也）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

【隔月連載記事】

超電導送電事始（その 4）

住友電気工業株式会社
超電導・エネルギー技術開発部
主幹　廣瀬正幸

4.「無事、これ名馬なり」超電導ケーブルの信頼性

電力ケーブルの開発の歴史は、高電圧化、大容量化の歴史であり、大容量化するほど（システムの重要度が増すことから）要求される信頼度は高くなる。超電導ケーブルにおいても、（高電圧か大電流かの相違はあるものの）既存ケーブルと同様に 30 年を越える寿命とともに高信頼度が要求される。それは、電力ケーブルが社会のライフラインとして非常に重要なインフラであることに加え、設備新設や更新が容易でないことにも関連する。

具体的に超電導ケーブルシステムに要求される機能を整理すると、

①30 年以上の電気的、熱機械的寿命を有すること
②電力系統からの要求性能（短絡電流他）を満足すること
③高信頼運転を可能にする冷却システムを備えること

に大別され、それぞれの視点から様々な信頼性検討がなされている。

また、停電が殆ど無い現代社会おいて、電力を安定して供給できることを実証することが何よりも重要であることは言うまでも無く、米国 ALBANY プロジェクトにおいて実施された約 9 ヶ月の実系統運転（phase1）のような実績を積み重ねることが、超電導ケーブルの高信頼運用に向けて何よりも重要である。

4.1 ビスマス系超電導線の信頼性

住友電工では約 20 年前からビスマス系超電導線の開発を行っており 1990 年代初より超電導機器に採用され、多くの実績を有している。冷却サイクル、繰り返し歪み・応力、長時間通電、繰り返し励磁・消磁、化学組成変化（酸素など）などが、超電導線の劣化要因として挙げられるが、これまでの長期使用実績からは、超電導線の劣化傾向は認められていない。これらの多くは、前回（超電導送電事始③）紹介した加圧焼成超電導線（DI-BSCCO®）を適用する前であり、加圧焼成による機械強度の向上、バルーニング対策の実現により、信頼性のさらなる向上が図られている。品質保証面では、超電導線出荷時に全長臨界電流特性試験を採用しており、製品の信頼性を全長に亘って保証している。

4.2 超電導ケーブルの寿命評価

従来ケーブルの劣化の主要因として、課電や通電による絶縁性能の低下、および負荷変動や気温の変化に伴う熱機械的劣化が挙げられる。超電導ケーブルは、保守などに伴う昇温を除き、断熱管の中はほぼ一定の温度に保持されているのが特徴的であり、従来ケーブルに比して非劣化型ケーブルとして位置付けることができよう。

①絶縁性能長期寿命特性

超電導ケーブルは、その運用温度が約 -200℃と非常に低く、いわゆる絶縁材料の熱劣化は生じないとされ、課電劣化（*V-t* 特性）について、検討、評価が実施されている。超電導ケーブルの絶

© ISTEC 2007 All rights reserved.

縁は「絶縁テープ＋液体含浸絶縁」で構成され、OF（Oil Filled）ケーブルファミリーと言える。また、液体窒素は OF ケーブルの合成油と電気強度が類似していることから、超電導ケーブルは OF ケーブルと同様の絶縁特性を示し、OF ケーブルの設計に準じて、AC 絶縁破壊、Imp 絶縁破壊等の電気性能試験や *V-t* 試験結果などが報告されている。液体窒素含浸 PPLP（Polypropylene Laminated Paper）®の部分放電発生ストレスでの *V-t* 試験結果を図 1 に示す。30 kV/mm のシート試験において、7000 時間課電後でも絶縁破壊には至っていないものの、仮にこの時点で絶縁破壊したと仮定した場合の *V-t* 寿命係数 *n* 値は 20 以上となり、非常に安定した長期性能を有していることが確認されている。

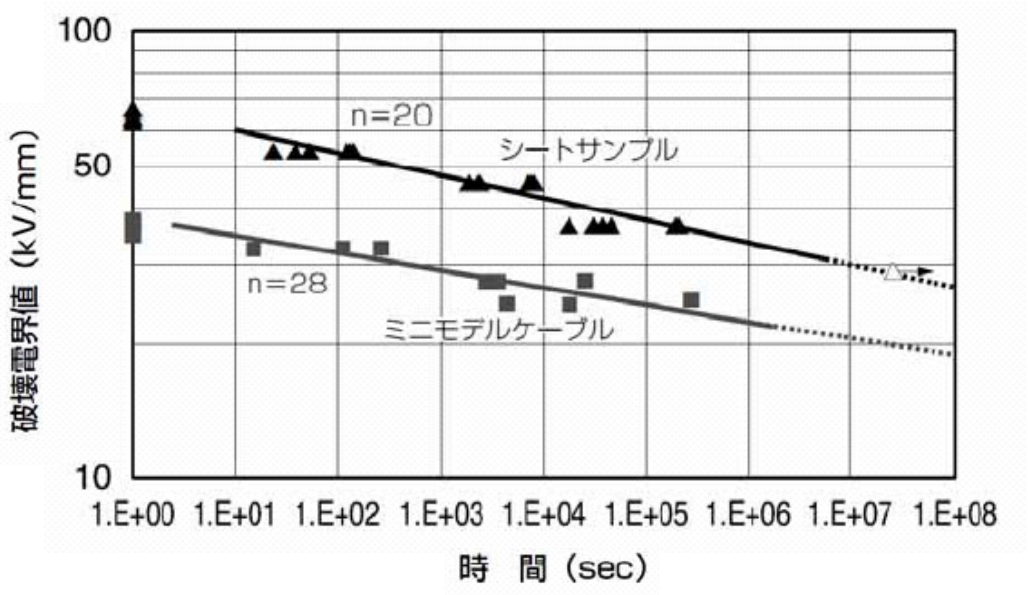


図 1　液体窒素含浸 PPLP®の *V-t* 特性

②機械的劣化

超電導ケーブルは運用中の温度変化が無いため、常温から -200℃への冷却、またはその逆の昇温時の熱機械履歴のみ考慮すればよい。この温度変化に伴う歪履歴 0.3%（歪緩和対策を講じない場合）でも超電導線材（DI-BSCCO®　（高強度仕様））は劣化が生じず、かつケーブルは熱収縮吸収機能を持たせた設計が可能であり、断熱管（SUS 管）は S-N 特性において十分な裕度を有していることから、基本的な問題は無いと言える。尚、ジョイント、端末に代表される特異点（ケーブル線路の不連続点）については、熱機械的挙動を考慮した設計、評価、実証が必要であり、それが実証試験の主目的の一つになっている。3 心一括型超電導ケーブルについては、2002 年の実用性検証試験、韓国 KEPCO プロジェクト、米国 ALBANY プロジェクト等、超電導ケーブル性能を評価しつつ着実に信頼度を高めている状況にある。

4.3 冷却システムの信頼性

超電導ケーブルの冷却システムにおいて、メンテナンスの必要な機器は、回転、摺動部を有するポンプ、冷凍機である。超電導機器の長時間連続運転の事例は少ないものの、延べ数千時間を越えて安定して運転､運用できることがこれまでに実証され､消耗品の調査状況も合わせると 1 年程度の連続運転は十分可能であることが分っている。今後、運用実績を積み重ね、長期連続運転に向けての検討、実証が重要である。

超電導ケーブルシステムの運用において、最も多い質問は、「冷凍機やポンプが停止した場合の対応」であり、この背景には冷凍機やポンプの停止が送電停止に瞬時に直結するとの誤った認識

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

が存在する。

冷却システムを緊急停止した場合、超電導ケーブルによる送電がどの程度継続できるかどうかは重要な設計事項である。冷却システムが停止する状態としては、①冷凍機が停止し循環ポンプが稼動している場合、②両装置ともに停止した場合、の 2 ケースが想定され、これらを模擬した試験がこれまでに実施されている。実用性検証試験（2002 年 66 kV・1000 A 3 心一括型・100 m 線路）では表 1、図 2（温度上昇測定結果例）に示す通り、いずれも 5 時間程度の送電が継続できることを示している。この送電継続時間は実線路の設計条件および運用条件によって個別の対応が必要であるが、特に、温度上昇要因である「超電導ケーブルの AC ロス」の低減が冷却設備停止時の送電継続時間を延伸する上でも重要であり、さらに、AC ロスに相当する損失が無い DC 超電導ケーブルが、事故時送電時間継続の面でも極めて有利となる。

表 1 冷却システム故障模擬試験結果（66kV 1000A 3 心一括型・100m 実用性検証試験）

ケース	実験結果
冷凍機故障、ポンプ運転の場合	ケーブル液温は 1.4K/h の割合で上昇 この時定格電流 1000A を 5 時間通電することができた。
冷凍機故障、ポンプ故障の場合	液が循環していないので、ケーブル端末付近で局所的な温度上昇が見られた。この時、定格 1000A を 5.5 時間通電することができた。

超電導線材については、既に高性能化と量産化が図られて材料サイドの準備が整い、超電導ケーブルは開発段階から実適用検討段階になってきた。超電導ケーブルシステムが、従来のケーブルシステムと同等もしくはそれ以上の高信頼性を有するタフな送電システムとして認知されるためには、何事もなく安定して超電導ケーブルシステムを運用することが何よりも重要であり、かつ難しい課題でもある。

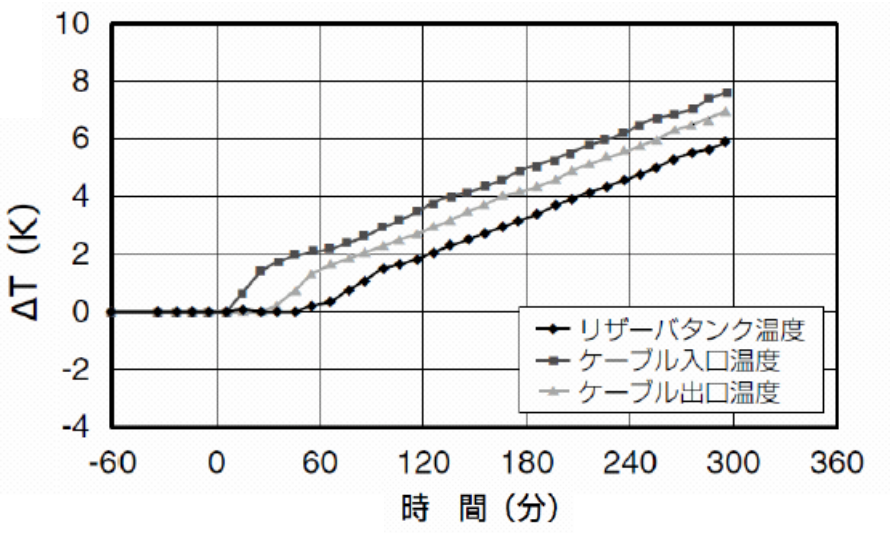


図 2 冷却システム故障模擬試験結果「冷凍機故障、ポンプ運転のケース」（66kV 1000A 3 心一括型・100m 実用性検証試験）

次回は「郷に入れば郷に従え」と題し、超電導ケーブルのニーズについて紹介する予定です。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
2007 年 8 月 1 日発行
超電導 Web21
財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

読者の広場
Q&A

Q ：「SQUID で微弱磁界を測定するためにはどのような手順で行うのでしょうか？」

SQUID の動作から順を追って説明します。SQUID は図 1 に示すように、超電導のリングとリング上に作られたわずかな常電導体あるいは絶縁体の部分（ジョセフソン接合と呼ばれています。）からできています。図 1 はジョセフソン接合を 2 つ持つ DC SQUID の例です。

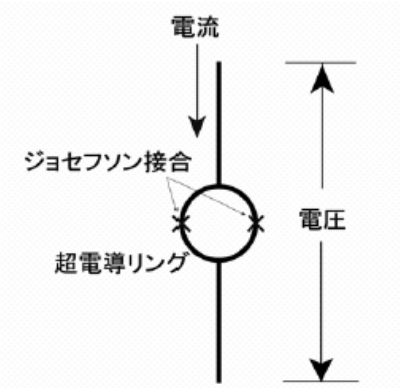


図 1 SQUID の構成図（DC SQUID の場合）

ジョセフソン接合では、超電導電流となる電子対（クーパー対）がその非超電導部をすり抜けること（トンネル現象）により超電導電流が流れます。ジョセフソン接合に流すことができる超電導電流の大きさを I_0 としますと、SQUID に流す電流と SQUID の両端の電圧との関係は、図 2 に示すようになります。超電導領域では抵抗が発生しないため、電流を流しても電圧はゼロのままです。一方、SQUID に流す電流が、超電導電流 I_0 を超えると、ジョセフソン接合に常電導電流が流れ始め、抵抗により電圧を発生するようになります。

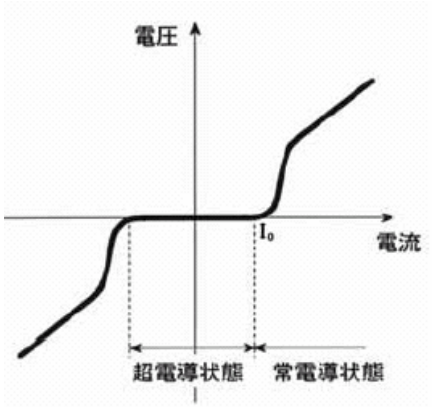


図 2 SQUID の構成図（DC SQUID の場合）

次に、超電導リングに磁界が加わった場合を考えましょう。超電導体では、磁界が加えられますと磁界を排除しようとします。（マイスナー効果と呼ばれ、超電導現象の特徴の一つです。）そのため、図 3 に示すように超電導体には磁界を排除する（逆向きに打ち消す）ための遮蔽電流が発生します。

このとき、磁界を印加しますと遮蔽電流分だけ、外部から与えることができる超電導電流が小さくなります。つまり、図 4 に示すように SQUID に流す電流と電圧の関係は①から②に変化します。

図 3 磁界を印加することにより発生する遮蔽電流

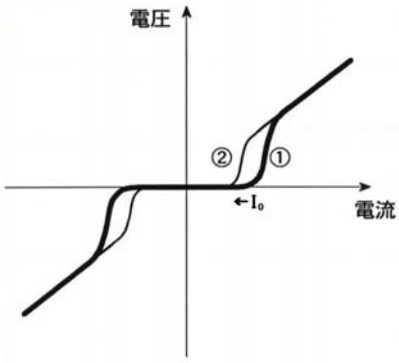


図 4 磁界を印加することにより変化する電流-電圧特性

© ISTEC 2007 All rights reserved.

ここから、少し難しくなります。

磁界により超電導電流の位相が変化することが知られています。リングを流れる電流は、その中で位相の整合が取れるようにジョセフソン接合において位相差Δδを発生します。位相差が発生したとき、ジョセフソン接合に流れる超電導電流はジョセフソン接合に流すことができる最大超電導電流値を I_0 として、$I_0 \sin \Delta\delta$ で与えられます。（ジョセフソントンネル接合の基礎方程式の一つです。）

超電導体中では磁界は量子化されて、その最小単位を ϕ_0（量子化磁束： 2×10^{-15} Wb）と呼びます。ここで、超電導リングにおける位相整合のため、位相差Δδは印加磁界 ϕ と ϕ_0 を用いて $\Delta\delta = 2\pi(\phi/\phi_0)$ と表されます。したがって、ジョセフソン接合に流れる超電導電流は $I_0 \sin 2\pi(\phi/\phi_0)$ となります。つまり、遮蔽電流は ϕ_0 単位で周期的に変化することになり、SQUID に磁界を印加して行くと、図 4 の①と②を往復するように電流-電圧特性が変化します。上記説明について、さらに詳しく勉強されたい方は、参考文献をご参照ください。

このとき、SQUID に一定のバイアス電流をかけておきます。すると図 5 に示すように、SQUID に磁界を印加すると電流-電圧特性が①と②の間を行き来することにより、SQUID の両端に発生する電圧が周期的に変化します。これが磁界による SQUID の電圧発生の原理です。

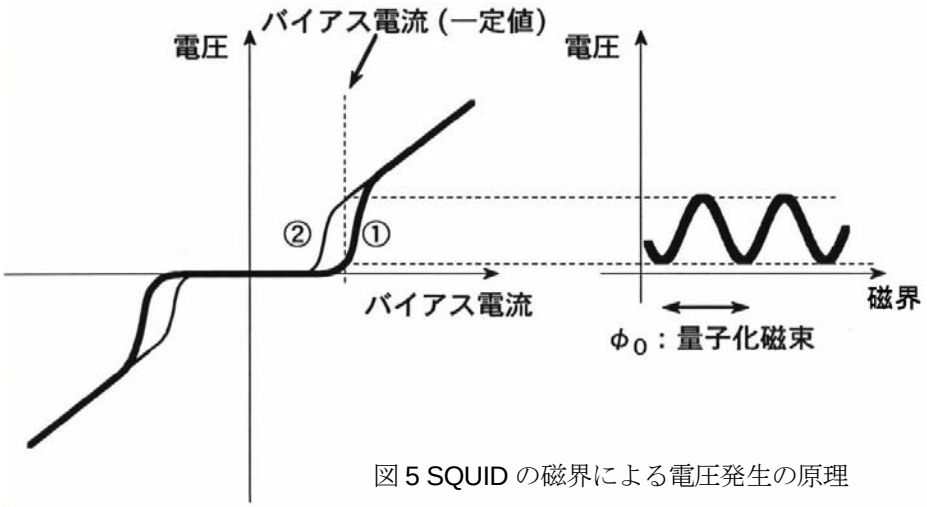


図 5 SQUID の磁界による電圧発生の原理

図 5 で、SQUID が磁界に対して変化する電圧を発生することが分かったと思います。しかしながら、実際に印加された磁界の強度を知るためには印加磁界と SQUID の出力電圧の関係が 1 対 1 の比例関係にならないといけません。そこで、磁界が印加されても SQUID が一定の磁界の強さに留まるように電子回路で印加磁界と反対の磁界を発生させるような工夫をします。（フィードバックと呼びます。）そこで、電子回路が発生する磁界を電圧に変換してやれば、印加磁界と比例するような出力電圧が得られます。

以下に、その内容について詳細に説明します。

先に述べたフィードバック回路は Flux Locked Loop（通称 FLL 回路）と呼ばれています。その回路図を SQUID も含めて図 6 に示します。FLL 回路は、印加磁界により変化する SQUID 出力電圧をアンプで増幅し、積分器によりある一定時間電圧を積分します。その出力電圧をフィードバック抵抗により電流変換して、フィードバックコイルを通して印加磁界と反対の磁界（フィードバック磁界）

© ISTEC 2007 All rights reserved.

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒105-0004　港区新橋 5-34-3　Tel: 03-3431-4002　Fax: 03-3431-4044

を発生させることにより、SQUID は一定の磁界に留まることができます。実際には、印加磁界にフィードバック磁界が追従するように FLL 回路は働きますので、SQUID はその若干の「差」分の磁界の変化を受けることになります。しかしながら、それは積分時間以下の短い時間において発生することですので、必要な計測周波数より十分小さく積分定数を設定しておけば問題になりません。

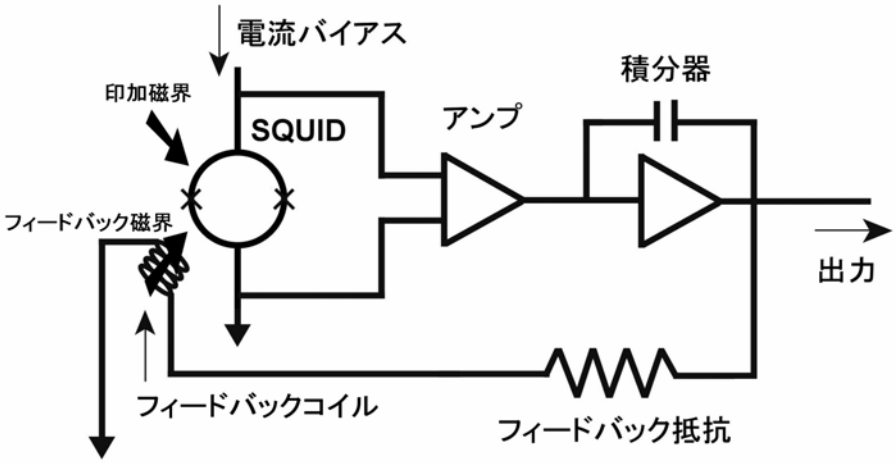


図 6　SQUID を含めた FLL 回路図

フィードバック磁界はフィードバック磁界を作る電流と比例関係にありますので、電流×フィードバック抵抗値（一定値）= 積分器出力電圧は、印加磁界と比例した出力となります。これで、ようやく SQUID に印加される磁界を電圧として計測することができるようになります。
以上が、SQUID で微小磁界を測定する手順です。

参考文献

A. C. ローズーインネス・E. H. ロデリック 超電導入門 産業図書

回答者：　住友電工ハイテックス株式会社
システム機器事業部　開発グループ
参事　永石竜起 様

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2007 All rights reserved.