

## 掲載内容 (サマリー) :

### トピックス

- 第20回国際超電導産業サミット (ISIS-20) 報告
- 2011年秋の所長表彰

### 特集 : 第24回国際超電導シンポジウム (ISS2011)

- 第24回国際超電導シンポジウム (ISS2011) 開催
- ISS2011 トピックス : 物理・化学・磁束物理分野
- ISS2011 トピックス : バルク・特性分野
- ISS2011 トピックス : 線材・テープ材・特性評価分野
- ISS2011 トピックス : 薄膜・接合・エレクトロニクスデバイス分野
- ISS2011 トピックス : 大型システム応用分野

- 超電導関連 2011年12-2012年1月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (10/19-11/18)
- 超電導速報—世界の動き (2011年10月)
- 標準化情報 「エジソン賞受賞」報告
- 標準化情報 「超電導技術の国際標準化に係る第9回パネル討論会」報告
- 「第6回東アジア超電導エレクトロニクスシンポジウム EASSE 2011」報告
- 隔月連載記事—やさしい超電導リニアモーターカーのお話 (その6)
- 読者の広場(Q&A)—超電導で最も高い磁場を発生する磁石を開発、との新聞記事がありました、どのようにして高い磁場を発生することが可能になったのでしょうか? 今後はどのような展開が期待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) 3536-5717

超電導 Web21 トップページ : <http://www.istec.or.jp/web21/web21.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20回国際超電導産業サミット (ISIS-20) 報告

財団法人国際超電導産業技術研究センター  
特別研究員 蓮尾信也



ISIS-20 会場の様子

平成23年10月31日(月)～11月1日(火)、韓国の昆池岩(コンジウム)リゾートで第20回国際超電導産業サミット(ISIS-20)が開催された。今回の会合には、従来の日本、米国、欧州、ニュージーランド、韓国に加えてロシアからも参加があり、総参加者は約50名であった。コンジウムリゾートはソウルの南東約50kmに位置したスキーリゾートである。

今回の会合のテーマは、「100 years of Superconductivity – Role in an Era of Renewable Energy」であった。最初に主催者側の KICS(Korea Industries Confederation for Commercialization of Superconductivity)会長の Hyun 氏から挨拶があった。「KICS は新しい市場(ケーブル、限流器、モーターなど)を探している。ISIS は大きな貢献をしている。今後新しいマーケットが開発されて行くだろう。とくに、スマートグリッド、グリーンテクノロジーに貢献する技術が開発されるだろう。この会合の後イチョンの変電所を見てもらう。韓国の技術を見てほしい」と述べた。

韓国電力(KEPCO)の副社長 Park 氏からは、「環境機器、気候変動、石油価格変動に対応するため、グリーン技術やローカーボンの技術を開発する必要がある。KEPCO はそのリーダーシップを発揮したい。そのためには超電導技術が不可欠である。韓国では DAPAS (Development of the Advanced Power system by Applied Superconductivity technology) プロジェクトを行った。イチョン変電所で信頼性の試験も行った。今後も超電導技術者を育てていきたい。ISIS 参加各国の協力が得られれば良いと考えている」という挨拶があった。

ISIS の会長の Louder 氏は、「ISIS-20 は KICS が初めてホスト国になった歴史的な会議である。KICS は 2007 年に設立されて 2010 年に ISIS に参加した。韓国はこの 10 年超電導でリーダー役を果たしている。マーケットからの要求で FCL HTS 技術の開発を進めている。イチョン変電所では FCL が実証実験に使われている。ISIS には各国の代表が集まるが、多くの産業界のリーダーが集まっているのが素晴らしい。産官学の橋梁が必要である。ISIS は 20 年前に始まった。超電導産業の基礎になる様々な技術が開発されてきた。今後も ISIS メンバーで生産性の高い意見交換を続けて行

きたい」と述べた。

その後、韓国、米国、日本、ニュージーランドから超電導研究開発の状況が説明された。

次に、今回の主題である「再生可能エネルギーの時代」に関する発表が行われた。米国におけるワシントン・ニューヨーク間のリニアモータ構想、日本の再生可能エネルギーへの取り組みの紹介、韓国済州島におけるスマートグリッドへの HTS 応用、ニュージーランドにおける HTS を用いた NMR と MRI の開発状況が紹介された。

エレクトロニクスについては発表が少なく、米国ノースロップグラマンと ISTEK から現状紹介があった。

最後のセッションでは次世代線材の商用化見通しが議論された。韓国、日本、米国、そして欧州からそれぞれに今後の市場展開についての意見が述べられた。

ISIS のプログラムとしては以上で終了したが、翌日 (11 月 2 日) イチョン変電所の見学会が行われた。既存のイチョン変電所に超電導ケーブル (22.9kV/50MVA) を 500m 敷設した。超電導限流器 (SFCL) も組み込んでいる。2011 年 9 月 28 日にグリッド接続し、その安定性の試験を行っている。

今回の ISIS では韓国とニュージーランドが熱心に HTS 応用を進めているのが印象深かった。ロシアも力を入れ始めた。これまで日米欧を中心に議論されていた HTS 応用がグローバルに議論され始めたことは好ましいことである。

なお、来年のサミット (ISIS-21) は、Applied Superconductivity Conference (ASC) が 10 月 7 日(日)―12 日(金)に米国ポートランドで開催されるので、その前の週の 10 月 4 日(木)―5 日(金)に同じくポートランドで開催することを検討中である。また、今回のロシアはオブザーバー参加であり、今後のロシアの参加状況によって ISIS のメンバーになるかどうか審議される

参考) イチョン変電所に関する資料

[http://mydocs.epri.com/docs/publicmeetingmaterials/1110/7TNRSL46577/06%20-%20The%20Research%20Progress%20Concerning%20the%20Application%20of%20Superconducting%20cable%200system%20on%20Power%20Grid%20in%20Korea%20\(Ryu\).pdf](http://mydocs.epri.com/docs/publicmeetingmaterials/1110/7TNRSL46577/06%20-%20The%20Research%20Progress%20Concerning%20the%20Application%20of%20Superconducting%20cable%200system%20on%20Power%20Grid%20in%20Korea%20(Ryu).pdf)

超電導 Web21 トップページ

## トピックス：2011年秋の所長表彰

超電導工学研究所では毎年2回（春秋）、特に功績のあった研究者を選び、表彰をおこなっている。この秋の表彰は11月15日に行われ、所長賞など以下の表彰が行われた。

所長賞：「次世代 SQITEM 用高性能 SQUID 磁力計の開発」（デバイス研究部 波頭、塚本、安達）、  
「SFQ 回路製造プロセス検査法の確立と 7 万 JJ シフトレジスタ回路感染動作による高信頼性の実証」（低温デバイス部 永沢）、  
技術賞「MOD 法による高 Ic 長尺線材作製プロセス開発」（線材研究開発部 高木、中岡、高橋）、  
他、功労賞 3 件。（詳細は [http://www.istec.or.jp/web21/pdf/11\\_12/1112J2list.pdf](http://www.istec.or.jp/web21/pdf/11_12/1112J2list.pdf)）



所長表彰受賞者記念撮影

参考：所長表彰の概要

所長賞： 超電導に関わる研究開発の業務を通じて、世界的に、産業界あるいは学会において高い評価を得るなど、優れた業績、功績を挙げた者

技術賞： 超電導に関わる研究開発の業務を通じて、我が国の超電導に関わる産業界あるいは学会において高い評価を得るなど、優れた業績、功績を挙げた者

功労賞： 次の各号に掲げる事項のいずれかに該当する者

1. 超電導に関わる研究開発の業務を通じて、研究開発活動の支援上顕著な功績があったとき
2. 研究管理、運営、または支援の業務を通じて、研究開発活動に著しく貢献したとき
3. 業務の効率化および合理化策について著しく貢献したとき

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：第24回国際超電導シンポジウム (ISS2011)

「第24回国際超電導シンポジウム (ISS2011) 開催」

財団法人国際超電導産業技術研究センター  
普及啓発部  
部長 宮崎 智

(財)国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)は、平成23年10月24日(月)～26日(水)の3日間、タワーホール船堀(東京都江戸川区)にて国際超電導シンポジウム(ISS2011)を開催した。ISSは国内外の超電導に関する研究や技術開発の成果発表と国際交流を通して、超電導産業技術の開発と実用化の促進、一般社会への普及・啓蒙を図ることを目的に毎年開催しており、今年で第24回目を迎えた。今回は、海外参加131名を含め総参加者555名、参加国15ヵ国となった。発表は招待講演者65名を含め、口頭講演118件、ポスター講演298件の合計416件となった。講演の論文は査読を経た後、Physics Procediaもしくはspecial issue of Physica C(共にElsevier)に掲載される予定。また、9企業・団体による超電導関連材料と製品、技術の展示会も同時開催された。

第1日目は田中昭二ISTEC超電導工学研究所名誉所長の開会挨拶、枝野幸男経済産業大臣(代読 経済産業省 産業技術環境局 中西宏典氏)の来賓祝辞に続き、円福敬二氏(九州大学)、K.R. Marken氏(Los Alamos National Laboratory)の両プログラム委員長の司会で、2件の特別基調講演と6件の基調講演が行われた。

特別基調講演では、P.H.Kes氏(Leiden University)が「THE EARLY HISTORY OF SUPERCONDUCTIVITY」、塩原 融(ISTEC 超電導工学研究所)が「FUTURE PROSPECTS OF HIGH  $T_c$  SUPERCONDUCTIVITY ; EXPANDING THE FRONTIERS OF MATERIALS AND ELECTRIC POWER APPLICATIONS」と題して講演された。

基調講演では、J.J. Gannon Jr.氏(American Superconductor Corporation)が「RECENT ADVANCES IN MOD/RABITS 2G WIRE FOR POWER APPLICATIONS」、立木 昌氏(東北大学)が「SUPERCONDUCTIVITY 100 YEARS PRESENT AND FUTURE」、F.N. Werfel氏(Adelwitz Technologiezentrum GmbH)が「LARGE - SCALE HTS BULKS FOR MAGNETIC APPLICATION」、加屋野 博幸氏(東芝)が「NARROW-BAND TRANSMITTING HYBRID FILTER TECHNOLOGY FOR WEATHER RADAR APPLICATION」、M.Noë氏(Karlsruhe Institute of Technology)が「SUPERCONDUCTIVITY FOR FUTURE ENERGY TECHNOLOGY」、林 秀美氏(九州電力)が「DEVELOPMENT OF REBCO POWER TRANSFORMER」と題して講演をされた。

第2日目、3日目は、物理・化学/磁束物理、バルク/特性評価、線材・テープ/特性評価、薄膜・デバイス、システム応用及び大型システム応用の5分野に分かれての口頭発表と、2回のポスターセッションが開催され、関係する報告と討議がなされた。

今年は超電導現象の発見から100周年に当たる年であり、第3日目の線材・テープ/特性評価の分野では、「Histories of superconducting wires and tapes - Discovery and Development - 」と題したテーマのもと7件の特別講演が行われた。

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-5717

第3日目午後のクロージングでは、P.H. Kes 氏 (Leiden University) が物理・化学・磁束物理分野を、J.R.Hull 氏 (Boeing Research & Technology) がバルク分野を、X. Obradors 氏 (Institute of Materials Science of Barcelona) が線材・テープ分野を、P.Seidel 氏 (Friedrich Schiller University Jena) が薄膜・デバイス分野を、前田 秀明氏 (理化学研究所) が大型システム応用分野の発表を、それぞれ総括された。最後に ISS2011 運営委員長の清川寛 ISTEC 専務理事から閉会スピーチがあり、来年12月3日(月)～12月5日(水)の3日間、東京・江戸川区 タワーホール船堀で開催予定のISS2012の紹介をもって閉幕した。



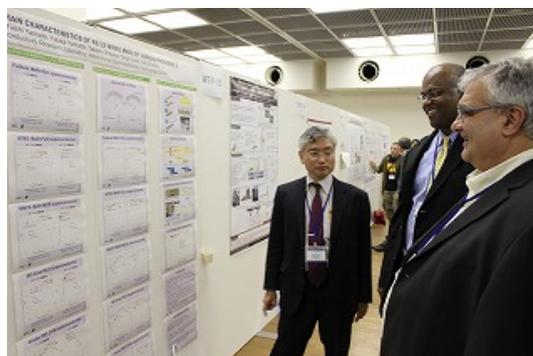
開会挨拶 組織委員長



特別基調講演



オーラルセッション



ポスターセッション

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：第 24 回国際超電導シンポジウム (ISS2011)

「ISS2011 トピックス：物理・化学・磁束物理分野」

名古屋大学  
理学研究科 物理学専攻  
准教授 紺谷 浩

本分野の発表は Oral が 32 件（基調講演 1 件）、Poster が 75 件あった。今年も鉄系超伝導体の発表が目立ち（Oral 講演では 18 件）、本物質の発見から 3 年半が経過した今でも、この分野の研究が益々盛んであることが伺われた。超伝導状態におけるギャップ関数の符号反転の有無（ $s$ ±波状態、 $s++$ 波状態）や、新規な多体電子状態（例えば格子変形を伴わない電子系の 2 回対称（ネマティック）秩序など）が注目を集めている。以下では鉄系および銅酸化物高温超伝導体に焦点を絞り、報告したい。

Analytis 氏（Stanford 大）は  $Ba(Fe,Co)_2As_2$  や  $BaFe_2(As,P)_2$  の斜方晶相や電子ネマティック秩序状態における、電気抵抗の顕著な面内異方性を報告した。また吉澤氏（岩手大）は  $Ba(Fe,Co)_2As_2$  の正方晶相における弾性定数  $C_{66}$  の著しいソフト化を報告し、鉄系超伝導体における軌道揺らぎの存在を強調した。一方 Fernandes 氏（Columbia 大）は、スピン揺らぎに由来するスピンネマティック秩序の理論を報告した。町田氏（原研）は、第一原理計算に基づく軌道秩序の研究を報告した。笠原氏（京大）は輸送現象や磁場侵入長等の実験から、 $BaFe_2(As,P)_2$  における量子臨界点の存在を明らかにした。また Li 氏（物材機構）は  $(Ba,K)Fe_2As_2$  の  $T_c$  に対する不純物効果が小さいことから  $s++$  波状態の可能性を議論し、一方鍋島氏（東大）は  $Fe(Se,Te)$  の不純物効果の測定から  $s$ ±波状態の可能性を議論した。van der Beek 氏（Ecole Polytechnique）は磁束量子のピンニングの強さから  $Ba(Fe,Co)_2As_2$  は dirty superconductor であり、 $s$ ±波状態との不整合を示唆した。また為ヶ井氏（東大）は 122 系では最も  $T_c$  が高い  $(Ca,RE)Fe_2As_2$  における、臨界電流に対する照射効果に関する報告を行った。岡田氏（東大）は  $LiFeAs$  に対するマイクロ波測定を行い、超伝導対称性を議論した。

鉄系超伝導体は現在なお新物質開発が盛んであり、興味深い新物質の報告が相次いだ。Guo 氏（物材機構）と Zhang 氏（Chinese Academy of Science）は、ホール面を持たない新種鉄系超伝導体として注目を集める  $K_xFe_2Se_2$  における、電子状態や格子構造に関する報告を行った。Shirage 氏（産総研）や片桐氏（東工大）は、ペロブスカイト型鉄系超伝導体と呼ばれる物質群の合成や、超伝導状態に関する研究の報告を行った。また仲島氏（東大）は新種超伝導体  $Lu_2Fe_3Si_5$  の超伝導状態に関する報告を行った。

また本会議では、銅酸化物高温超伝導体に関する最新の研究結果が多数報告された。藤田氏（Cornell 大）は精密な STMS 測定より、擬ギャップ領域におけるネマティック秩序の存在を示した。山本氏（NTT）は分子ビームエピタキシー法により  $Pr_2CuO_4$  や  $Nd_2CuO_4$  の純良薄膜を作成し、キャリアドープを行わずして超伝導状態が発現することを示した。また野島氏（東北大）は電界ドープの手法によって、 $p$  型化合物 YBCO を  $n$  型金属にすることに成功した。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：第24回国際超電導シンポジウム (ISS2011)

「ISS2011 トピックス：バルク・特性分野」

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  
線材開発研究部  
坂井直道

本分野では、RE系、Bi系、 $MgB_2$ 等の材料特性向上に関わる研究や、小型強力磁石応用および浮上応用等が報告されていた。以下、応用検討を中心にいくつかの発表を抜粋し報告する。

まず、プレナリー講演において、Werfel氏 (Adelwitz Tech. GmbH、ドイツ) より、RE系バルク超電導体研究開発の全体像の紹介から、非接触バルク超電導ベアリングを用いたフライホイール電力貯蔵装置開発、およびマルチシート法による製造コスト削減に関する報告がなされた。また、全長80mもの人間浮上ビークル(2人乗り)のデモの様子がビデオ上映された。バルク材を磁石として用いる際には着磁が必要である。小型の装置内で着磁するためにはパルス着磁が有効であるが、効率よく着磁することが難しかった。Fujishiro氏(岩手大)らは、材料の不均一性をも考慮したパルス着磁による磁場捕捉状態を実験およびシミュレーションにて考察し、より高効率に着磁させるための方法として、10sec程度のロングパルス、マルチパルスおよびボルテックスコイル着磁および磁場の通り道をつくることを有効であることを示した。Murakami氏(芝浦工大)らは、再生医療分野への適用として、膝の軟骨損傷の治療時に着磁バルクの強力磁力で再生用成分を患部に集めて効率良く治療しようと医療関係者と共同で検討していた。まだ結果は出ていないが、着磁バルクの強力な磁場と磁場勾配を生かして、新たな分野に利用できることを期待する。Chuzawa氏(大阪大)らは、着磁バルクの磁氣的薬剤搬送システムへの利用を検討しており、基礎的な磁気吸引力の確認試験等が報告されていた。高磁場捕捉バルクは、RE系だけでなく $MgB_2$ でも作製可能となってきたようである。Tomita氏(鉄道総研)らは、 $MgB_2$ バルクに約3Tが着磁できることを示した。また、リング状に加工したRE系バルクで可搬マグネットを作製し、NMR、MRIなどへの利用可能性について報告した。さらに、バルク体と磁石の磁気カップリングを利用した液体窒素用ポンプの試作に関する報告がなされた。また、機器応用分野においても着磁バルクを用いたNMR応用や磁気分離装置等に関する報告がいくつか見られたことも付け加えておく。上記の他、材料制御や特性評価に関する報告も多数見受けられたが、都合により割愛させて頂いた。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：第 24 回国際超電導シンポジウム (ISS2011)

「ISS2011 トピックス：線材・テープ材・特性評価分野」

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  
線材開発研究部  
部長 和泉輝郎

線材関連の分野では、Special Plenary Lecture 及び Plenary Lecture を含めて約 30 件の口頭発表と約 70 件のポスター発表が行われた。

今回の ISS における特徴的な催しとして、超電導発見 100 周年を記念した特別セッションが行われた。本セッションでは、線材部門として歴史を振り返る趣旨でプログラムが組まれた。現存する主たる超電導線材として金属系の Nb 系と  $MgB_2$  系の 2 種類の線材を、酸化物系では Bi 系と Y 系超電導線材の 2 種類の線材を選択して、材料発見もしくは重要基礎技術開発のテーマと、長尺高性能線材開発テーマに関して日本人の有識者が講演した。何れも、各講演者の歴史、専門に加えて、個性を強く反映した講演で非常に楽しめるセッションとなった。

Y 系超電導線材に関しては、これまでの開発指針としてきた  $I_{cL}$  積において、(株)フジクラから世界最高値である 467 kAm (572 A x 816 m) の線材が報告された。これに対して、米国勢からは目立った進展がみられなかったが、韓国の進展には目を見張るものがあった。韓国の SuNAM 社では、RCE-DR プロセスと呼ばれる共蒸着法で線材開発を進めており急激な伸びを見せている。今回のシンポジウムでも更新値が報告され、247 kAm (405 A x 610 m) を有する線材の作製に成功したとの報告があった。技術的なトピックスとしては、ISTEC による新規人工ピン止め点の開発が最も特徴的であった。すなわち厚膜時の磁場中  $J_c$  特性の低下がなく、3  $\mu$ m 厚さで 81A/cm-w(77K,3T)を実現したものである。

そんな中、Special Plenary Lecture での塩原氏及び筆者の発表において、線材開発での次なる目標の提示が行われた。これは、第三世代線材と称されるもので、 $I_c$  では 2  $\mu$ m 厚さの膜で 2000 A を有し、低損失岩熊効果を広い温度、磁場条件で発する。また、磁場中特性として液体窒素温度の 5 T の磁場下で 500 A 以上などの非常に高い特性を有する線材仕様とするものである。同線材の特徴的な概念として、現在の開発の延長線上の技術レベルを超えた線材であることがポイントである。この線材が実現できれば、より多くの機器をより広く普及することが可能となり所謂“超電導ワールド”を実現するためには必要な線材であるとのことであった。

また、世界のプロジェクト(PJ) 動向に関する報告が複数みられた。日本では、Y 系超電導電力機器 PJ が主体であるが、米国では DOE を中心とした材料開発 PJ は殆どが終了し、ARPA-E と呼ばれる PJ で風力発電用線材開発が残るだけであり、この新規 PJ に関しても、その内容は明確にはされていない。韓国においては、機器関連の PJ は立ち上っているものの、材料に関しては DAPAS PJ の後継が決まっていない。一方、欧州では、ここにきて新たな動きがあり、EUROTAPE という名の線材開発 PJ が始まるとのことであった。

Bi 系超電導線材においては、住友電工が DI-BSCCO の作製プロセスの適正化を推し進めることにより短尺特性で 250 A (77 K,s.f.) を、長尺特性でも 200 A (同左) を実現していることが報告された。また、 $MgB_2$  に関しては、京大の土井氏より薄膜成長研究の成果として、4.2 K ながら 10 T の磁場下で 1 MA/cm<sup>2</sup> を超える  $J_c$  を得たことが報告された。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：第24回国際超電導シンポジウム (ISS2011)

「ISS2011 トピックス：薄膜・接合・エレクトロニクスデバイス分野」報告

財団法人国際超電導産業技術研究センター  
特別研究員 蓮尾信也

上記分野では、口頭発表 21 件（うち 1 件は基調講演）、ポスター発表 57 件であった。これらの中からいくつか報告する。全体としては、SQUID やセンサ関連の発表が多くデジタル関連は例年に比べると少なかった。

基調講演では、東芝の加屋野氏から「気象レーダ用狭帯域ハイブリッド送信フィルタ技術」と題して発表があった。気象レーダ用の送信機からパルスの電波が出されるが、そのパルス波形のサイドローブをカットする必要がある。帯域が 40 MHz もあれば従来型と超電導のフィルタの挿入損失はあまり変わらないが、帯域が 3 MHz になるとその差は大きい。

パワーの大きいところは従来のフィルタ（ウェーブガイド型）で処理し、周辺の周波数のパワーの小さいノイズは超電導フィルタで取り除くシステムを構成した。この技術を使ってハイブリッドフィルタを試作した。ウェザーレーダシステムに接続して使用した。100 kW クライストロンの傍にフィルタシステムを同じラックにマウントして、新横浜サイトと埼玉新都心サイトに設置した。0.055 %帯域で 100 kW 動作を実施し、挿入損失 1.7 db、減衰量 33.5 db を確認した。

ドレスデン大学の Siedel 氏からは鉄系超電導デバイスの開発について報告があった。エピタキシャル成長した  $\text{BaFe}_{1.8}\text{Co}_{0.2}\text{As}_2$  (Ba-122) 薄膜（厚み：80 nm）を用いて Ba122-Au-PbIn のジョセフソン接合を作り、シャピロステップを確認した。バリアは約 5 nm の Au 薄膜である。そのほかにも鉄系に関しては口頭発表 5 件、ポスター 7 件の発表があった。

岡山大学の塚田氏からは DC 方式と AC 方式の HTS SQUID 磁束計のシステム開発について発表があった。燃料電池と太陽電池の欠陥検査、米、土、コンクリートの磁氣的性質測定などへの応用が報告された。

九州大学の円福氏からはリッツ線のピックアップコイルを用いた HTS SQUID 高感度磁束計の報告があった。通常の単線の銅線に比べ撚線したリッツ線によるピックアップコイルを用いると、フィールドノイズを  $1 \text{ fT/Hz}^{1/2}$  ( $f > 30 \text{ kHz}$ ) 以下にできることを示した。

ISTEC の河野氏は HTS SQUID 磁束計を用いた磁化材料の非破壊検査を行った。分離型のインプットコイルを SQUID に接続し、SQUID 自体は Bi2223 バルクで磁気シールドした。強磁性サンプルを測定し、スリットの位置を計測できた。またフェライト磁石 (10 mT) を Al 板の上に載せて測定したが、その影響は全くなかった。

豊橋技術科学大学の廿日出氏らは平打組物炭素繊維強化ポリマー (CFRP) の HTS SQUID による非破壊検査の発表についてポスター発表を行った。CFRP にカーボンナノファイバー (CNF) を混ぜたものと混ぜないものの機械的性質の評価と引張り試験を行った。HTS SQUID の磁束計を用いて測定した結果、CNF の有無による機械的性質および引張り強度に明確な違いがあることを示した。

そのほか SQUID に関しては 15 件以上の発表があった。ここで紹介した SQUID 関係の発表だけでなく多くの発表が、ISTEC で作成した HTS SQUID を用いており、ISTEC の役割が十分に機能していることを示していた。

デジタル関係では、Savoie 大学の Febvre 氏が SNIS 構造を用いた接合のデジタル回路への応用について述べた。Nb/Al-AIOx/Nb 構造で Al を 30-100 nm と厚くすることにより、ヒステリシスのな

いセルフシャント型の電流－電圧特性を得ることができる。シャント抵抗がいらぬので集積面積は従来型の 1/4 になる。

名大の北山氏は、動的電力を減らした超低消費電力 SFQ 回路について報告した。電流を減らす場合と電圧を減らす場合を検討した結果、消費電力が同じならば電流を減らすのがスピードが落ちないので良いという結論を得た。

Delft 工科大学の Dorenbos 氏は NiTiN の SSPD (超電導単一光子検出器) を用いて単一電子の検出を行ったことを報告した。SSPD を電子顕微鏡の中にセットして電子ビーム源からの電子を検出し、最終的に一個の電子まで検出できることを示した。そのほか  $\alpha$  線源や  $\beta$  線源からの粒子の検出も行った。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：第24回国際超電導シンポジウム (ISS2011)

「ISS2011 トピックス：大型システム応用分野」

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

大型システム応用分野では、基調講演を含む口頭発表 28 件、ポスター発表 91 件の合計 119 件の発表がエントリーされた。応用分野別の内訳は、回転機 15 件、ケーブル 15 件、限流器 13 件、SMES 11 件、変圧器 5 件、マグネット 19 件、マグネット応用 9 件、その他 25 件であった。ここ数年、回転機、ケーブル、限流器、SMES 等の応用機器の件数が多く見受けられ、特に回転機については増加傾向にある。

基調講演では、M.Noë 氏 (KIT : PL-5) より各国のケーブル、回転機、変圧器、SMES、限流器等の電力応用機器の開発概要を紹介する中で、ドイツにおける新しいプロジェクト (2011 年/9 月~2015/8 月) の紹介があり、40MVA/10kV/1km 級限流機能付き交流ケーブル開発の概要が紹介された。また、H.Hayashi 氏 (九州電力 : PL-6) より、日本における「イットリウム系超電導電力機器技術開発 (M-PACC)」プロジェクトのうち「Y 系超電導変圧器の技術開発」について、交流損失の低減、400 kVA 級限流機能付き変圧器モデルによる限流試験の試験結果などが紹介された。来年度は、2 MVA 級変圧器モデルと冷凍機を組み合わせたシステム検証試験を実施する予定である。

口頭発表のうち NMR、MRI 関係では、S.B.Kim 氏 (岡山大 : SA-8) より REBCO 薄膜を使用した NMR 用マグネットの開発や M.Sekino 氏 (東京大 : SA-28) より NMR 用スリット入りバルク平板による磁場均一性の検証結果などが紹介された。

回転機関係では、S.K.Baik 氏 (KERI : SA-16) より韓国における同期モータについて、HTS 線材の適用効果と、Bi2223 導体を使用した 100HP/380V(1800 rpm) 、および 1MW/3.3kV(3600 rpm) HTS モータの開発状況について紹介された。また、米国および韓国より 10 MW 級風力発電用の 2G Wire を用いた HTS 発電機的设计結果について、J.Gannon 氏 (AMSC : SA-18) および G.-H.Kim 氏 (Changwon 大 : SA-19) から報告された。

限流器関係では、A.Morandi 氏 (Bologna 大 : SA-12) より、電力系統における限流器の有効性について紹介があり、Y.Shirai 氏 (京大 : SA-13) からは、3 相- 三軸変圧器タイプの HTS(Bi2223) 線材を用いた超電導限流器の設計および実験結果についての紹介があった。また、W.Gong 氏 (Innower, China : SA-14) より、220kV/300MVA 級飽和鉄心型超電導限流器を製作し、その工場試験結果と、Tianjin (天津) にて 3 年間の系統連系試験を計画していることが紹介された。

ケーブル関係では、日本の M-PACC プロジェクトのうち「Y 系超電導電力ケーブルの技術開発」における成果について、M.Ohya 氏 (住友電工 : SA-25) より 66kV/5kA/15m 級 HTS ケーブルの開発状況と、M.Yagi 氏 (古河電工 : SA-26) より 275kV/3kA/30m 級 HTS ケーブルの開発状況について報告され、両ケーブルともに 2012 年にはシステム検証試験を実施する計画であることが紹介された。

M.Park 氏 (Changwon 大 : SA-24) より、韓国におけるプロジェクトについて紹介された。GENI プロジェクトでは、22.9kV/50MVA/500m HTS 交流ケーブルおよび 22.9 kV 級限流器の系統連系試験を計画しており、さらにこれとは別に Jeju (済州) 島にて実施するスマートグリッド試験のなかで、風力発電の電力送電として 80kV/60MVA/500m HTS 直流ケーブルおよび限流器の系統連系試験を計画している。

L.Xiao 氏 (Chinese Academy of Sciences : SA-10) より、中国におけるプロジェクトについて紹介された。1.3kV/10kA/360m HTS DC ケーブルの実証試験を 2011 年 10 月より開始しており、さらに 110kV/2~3kA/1km 級の HTS AC ケーブルの開発も行っている。また、10 kV 級超電導変電所として、これまで実施された 10kV/1.5kA/75m HTS 電力ケーブル、10kV/400V/630kVA HTS 変圧器、1MJ/0.5MVA SMES および 10 kV HTS 限流器の実証試験について紹介された。

[超電導 Web21 トップページ](#)

**超電導関連 12月一'12/1月の催し物案内**

**12/2**

公益社団法人低温工学・超電導学会 関西支部特別講演会（第10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

問合せ：[http://www.csj.or.jp/kansai/2011/10th\\_1202.pdf](http://www.csj.or.jp/kansai/2011/10th_1202.pdf)

**12/12**

社団法人電気学会 超電導現象発見100周年シンポジウム

場所：東京

問合せ：[http://www2.iee.or.jp/ver2/fms/sys/02-conference/08-11.html#j\\_2395](http://www2.iee.or.jp/ver2/fms/sys/02-conference/08-11.html#j_2395)

**12/15-17**

エコプロダクツ2011

場所：東京ビッグサイト

問合せ：<http://eco-pro.com/eco2011/>

**12/26**

公益社団法人低温工学・超電導学会 第2回材料研究会/九州・西日本支部合同研究会「超電導体における最新の磁束ピンニング技術の現状と今後の展開」

場所：九州工業大学戸畑キャンパス

問合せ：[http://www.csj.or.jp/materials/2011/2nd\\_1226.pdf](http://www.csj.or.jp/materials/2011/2nd_1226.pdf)

**1/7**

応用物理学会東海支部 第25回上田記念講演会「超伝導百周年と日本の科学技術の未来」

問合せ：<http://www.jsap.or.jp/>

**1/17**

応用物理学会 超伝導分科会 第44回研究会

ジョセフソン効果50周年記念『超伝導エレクトロニクスにおける新しい胎動』

場所：埼玉大学 東京ステーションカレッジ A1-A3 教室

問合せ：<http://annex.jsap.or.jp/support/division/super/kenkyukai/44th.pdf>

**1/26**

超伝導エレクトロニクス研究会 1月研究会（超伝導センシング基盤技術およびその応用、一般）

場所：機械振興会館

問合せ：<http://www.ieice.org/es/sce/jpn/>

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (10/19-11/18)

- 中国大手 レアアース 1ヶ月生産停止 日本経済新聞 10/20
- ユーラス、資金得やすく 東電から豊通の子会社に 日経産業新聞 10/20
- 包鋼稀土 レアアース生産1ヶ月停止 日経産業新聞 10/20
- 中国レアアース企業が生産調整 毎日新聞 10/20
- 中国の風力発電が世界進出 国営銀の多額融資が後押し Fuji Sankei Business i. 10/21
- 「超伝導に関与」電子の異常な磁気揺らぎ観測 「世界初」極低温まで 原子力機構が米国と共同 科学新聞 10/21
- 電力自給「地産都消」で 4生協など秋田に風車 都市部少ない適地 朝日新聞 10/23
- 風力発電向け供給拡大 中国工場年内稼働 日本精工 日経産業新聞 10/24
- 福島沖に浮体式洋上風力 産官学で構想 13年までに安全指針 電気新聞 10/24
- 太陽光と風力 メガ設備建設 愛知・田原で検討 三井化学など 日刊工業新聞 10/24
- ISTEC 国際超電動シンポが開幕 第一線の研究を報告 電気新聞 10/25
- 大型風力向け発電機を開発 永久磁石採用で軽量化 日立 電気新聞 10/25
- 風力発電の子会社 東電が株20%売却 Fuji Sankei Business i. 10/26
- 洋上風力・地熱 規制見直し ピーク時間帯電気料金上げ 政府計画原案 朝日新聞 10/26
- 風力最大手の株 東電、一部売却へ 豊田通商に 朝日新聞 10/26
- ユーラス株を売却 豊田通商に20%譲渡 電気新聞 10/26
- 東電、風力会社株の売却発表 日本経済新聞 10/26
- ユーラスエナジー株20% 東電、200億円で 豊田通商に売却 日刊工業新聞 10/26
- 英風力、1年間で20%増 洋上も223万キロワットが建設中 急拡大も認可制度に課題 電気新聞 10/27
- 日・ベトナム官民レアアース合弁 首脳階段で合意へ 国内需要の2割生産狙う 日本経済新聞 10/28
- 日印でレアアース開発 原子力協定は交渉継続 外相会談 日本経済新聞 夕刊 10/29
- レアメタルの再利用策検討 経産省 日本経済新聞 10/31
- レアアースバブル崩壊? 大手2社が生産停止 Fuji Sankei Business i. 11/01
- レアアース含む新鉱物 佐賀・東松浦半島で発見 九大 日刊工業新聞 11/02
- 日の丸超電導 先手打て 住友電工など早期実用化へ Fuji Sankei Business i. 11/02
- レアアース取引に納品証 中国 日本経済新聞 11/02
- 洋上風力発電施工で特許 建設ラッシュ期待 第一建設機工 Fuji Sankei Business i. 11/03
- レアアース加工品増産 中国、15年までに3倍計画 毎日新聞 11/03
- レアアース 加工に軸足 中国 価格維持へ生産抑制 日本経済新聞 11/03
- 原子1層で超電導状態 物材機構 素子の高集積化に道 日経産業新聞 11/04
- 原子レベルの超電導材 シリコン表面原子1層物質 物材機構が発見 日刊工業新聞 11/04
- 深層断面 レアアース 「脱中国依存」なるか 日刊工業新聞 11/04
- 風力発電で水素発生 日立 装置一式を極地研に納入 昭和基地で燃料に活用へ 電気新聞 11/08
- 中国レアアース抑制 当局者に聞く 市場の動向に対応 磁石や電池、加工品に重点 日経産業

新聞 11/09

- レアアース採掘・開発 日本企業の投資誘致へ 日本経済新聞 11/11
- 風力発電、アクセス義務化 総出力1万キロワット以上新設で 毎日新聞 11/12
- 風力、環境アセス対象に 12年10月施工へ 7500キロワット以上、変更工事も 電気新聞 11/14
- ワタミ 2月から風力発電 グループ飲食店の電力3%まかなう Fuji Sankei Business i. 11/15
- レアアース値下がり 車向け 中国買い控え需要減 日本経済新聞 11/16
- 希少金属回収カプセル 森下仁丹が試験生産 日本経済新聞 11/16
- レアアース採掘 中国が制限強化 毎日新聞 11/17
- 電気抵抗ゼロの原子一層物質 世界初 物材機構が実証 超伝導デバイスに応用期待 科学新聞 11/18
- 住重 MRI 冷凍機 「6度の壁」克服し大躍進 日経産業新聞 11/18
- 風力利用し水素発電 日立製作所 離島・極地向けに 日経産業新聞 11/18
- 風力連系 増量20万キロワット 北海道電力 実験参加者募る 電気新聞 11/18
- GE、日本で大型蓄電池 来年、風力など産業用参入 日本経済新聞 11/18

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導速報—世界の動き (2011年10月)

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  
特別研究員 蓮尾信也

### 希少金属対策会議

#### 日米欧三極における希少金属対策会議 (2011年10月4-5日)

2011年10月4日、5日の2日間、米国ワシントンDCにおいて“EU-Japan-US Trilateral Critical Materials Initiative”会議が開催された。この会議は The European Commission's Directorate General for Research and Innovation, 日本の経済産業省、The U.S. Department of Energy (DOE) の共催で開催された。

日米欧3極からのキーノートスピーチでは、世界の需要に対して供給が一国(中国)に偏っており、この逼迫している状況に対してとくに希少金属希土類元素について 3R (Replace, Reduce, Recycle)の重要性が強調された。

(参考) [http://www.istec.or.jp/web21/pdf/11\\_11/J1.pdf](http://www.istec.or.jp/web21/pdf/11_11/J1.pdf)

### エレクトロニクス

#### HYPRES, Inc. (2011年10月4日)

HYPRES 社と Stony Brook 大学は、世界最速の演算論理装置 (ALU) の開発に成功したと発表した。この ALU は、HYPRES 社のファブリーで作製されたものであり、デジタル超電導チップに 20 GHz 動作の 8 ビット回路が組み込まれている。今回の成功は、さまざまな超高速計算機応用を可能にするために、エネルギー効率が高く且つ高性能な次世代デジタル回路開発の重要な一歩を示す画期的な出来事と言える。デジタル超電導単一磁束量子エレクトロニクスでは、CMOS 回路のような大きな電力消費を必要とせず、数十ギガヘルツプロセッサの速度を実現することができる。ALU チップの開発においては、Stony Brook 大学の研究グループが、新たに非同期式ウェーブパイプラインプロセッサ用のマイクロアーキテクチャおよび完全なセルレベルでの設計を行った。この ALU は 32 ビットおよび 64 ビット処理まで拡張可能である。一方、HYPRES 社の研究グループは、実際のチップの設計技術を開発し、その製作に取り組むとともに ALU の高速動作の検証実験を行った。HYPRES 社の副社長で事業部長の Oleg Mukhanov 博士は、「HYPRES 社と Stony Brook 大学両機関によるこの素晴らしい共同研究は、デジタル超電導プロセッサの性能向上に向けて新しい扉を開いた。我々はこの技術を実用的応用に向けて着実に推進していく。」とコメントした。

(出展)

“HYPRES and Stony Brook University Collaborate to Achieve A 20 GHz 8 Bit Digital Circuit for Future Microprocessors”

Hypres Inc. press release (October 4, 2011)

<http://www.hypres.com/newsroom/press-releases/hypres-and-stony-brook-university-collaborate-to-achieve-a-20-ghz-8-bit-digital-circuit-for-future-microprocessors/>

## 電力機器

### American Superconductor Corporation (2011年10月13日)

Nexans 社、Siemens 社、そして American Superconductor 社は、HTS 線材を利用することによって十分な性能を発揮する抵抗型限流器 (FCL) の開発に成功したと発表した。抵抗型超電導 FCL が送電網内のアプリケーションに適した電力レベル (絶縁階級 138 kV、公称電流 900 A) で開発され且つ実証試験が行われる中で、このような成果が出たのは初めての事である。抵抗型 FCL は、分路リアクトルと並列に作動する低インダクタンス超電導コイルで構成されている。このタイプのシステムは低インピーダンスで、障害が発生しない限り、電力網でそのシステムは“透明 (あってもなくても同じ)”である。障害が発生した際は、超電導コイルが故障電流を抑制するために伝導性から抵抗性の状態に変わる。現システムでは、故障電流レベルを 50 %以下にすることができることで、他のグリッド機器への損傷とストレスを制限できるようになった。超電導 FCL の開発と実証試験は、Nexans 社、Siemens 社、American Superconductor 社、そして米国エネルギー省のコスト共有プロジェクトの一環として実施された。Siemens 社は、FCL が抵抗状態に切り替えられるまで、電力網内で透明である低インダクタンスコイルの技術を開発し、Nexans 社は、高電圧端子の設計・製造およびクライオスタットにある FCL モジュールまでの接続を担当した。また、American Superconductor 社は、システム内で使用される独自の Amperium™ HTS 線材を提供した。

(出展)

“Industry Leaders Successfully Demonstrate Transmission Voltage Superconductor Fault Current Limiter”

American Superconductor Corporation press release (October 13, 2011)

## X線源

### Cornell University (2011年10月25日)

Cornell 大学の研究グループは、エネルギー回収型リニアック (ERL) と呼ばれる今までにない極めて強力な X 線光源の構築に向けて、2 件の画期的な研究開発成果に至ったことを発表した。これらは、電子銃の記録的な電子放射率の開発、およびそれを超電導リニアック空洞共振器に使用するための電子銃プロトタイプを検証である。この電子加速器は、現存するどの加速器より 1000 倍もの明るさを有するコヒーレント X 線ビームを発生することができ、最終的にはこの技術をコーネル大学高エネルギーシンクロトロン光源 (CHESS) のアップグレードのために使用したいと考えている。このプロジェクトは一部、米国国立科学財団によって補助金が支給され、プロトタイプ機器の構築並びに ERL コンセプトのテスト費用として、2006 年から 2014 年にわたり 5000 万ドルが支給されることになっている。

後者の研究開発成果に関して言えば、当研究グループは 7 セル型超電導無線周波 (SRF) 空洞共振器のプロトタイプを構築し、検証試験を既に実施している。将来、この SRF 空洞共振器は、インジェクターから放射された電子を非常に高いエネルギーになるまで加速し、X 線を発生するために使用されることとなる。空洞共振器は、絶対温度の零度をわずかに超える環境で操作される。この試験では、空洞共振器が高輝度の ERL に電力を絶えず供給するのに必要な性能仕様を満たしていることが確認された。次のステップとして、2012 年にはこの空洞共振器の有効性を把握するために更なる検証試験が実施される予定である。

(出展)

“Cornell reaches two milestones toward a new coherent X-ray source”

Cornell University press release (October 25, 2011)

<http://news.chess.cornell.edu/articles/2011/CoherentOct2011.html>

## SQUID 応用

### BioMed Central (2011年10月27日)

BioMed Central のオープンアクセスジャーナルである *Breast Cancer Research* で発表された新しい研究において、腫瘍を標的にした磁気ナノプローブと超電導量子干渉デバイス (SQUID) センサーを用いて乳癌を検知するという高感度で新しい腫瘍発見方法が説明された。New Mexico 大学医学部及び癌研究治療センター、Senior Scientific 社、そして Sandia 国立研究所にある統合ナノテクノロジー施設で構成される研究チームが作成した、HER-2 に対する抗体に酸化鉄磁性粒子を添加してできるナノプローブである。HER-2 とは、全乳癌の約 30 % ケースにおいてみられる過剰発現したタンパク質のことである。これらナノプローブは、HER-2 が存在する細胞とそうでない細胞を区別することができ、マウスの生検結果から HER-2 癌細胞を識別することが可能である。最終テストとして、当チームは人工胸を使用し、システムの感度がどの程度高いものであるか測定が図られた。Helen Hathaway 博士は、「我々は、4.5 センチメートルの深さにある 100 万個の癌細胞の塊がどこに存在しているか正確に位置決めすることができた。これは、乳房の触診で感知することのできる腫瘍のわずか千分の一の大きさであり、マンモグラフィ X 線撮像に比べても 100 倍の高感度である。このようなナノ粒子と同水準の取り込みがクリニックでもなされるとまでは期待していないものの、我々のシステムを利用することによって、従来のマンモグラフィでは隠れてしまう密度の高い乳房組織が、SQUID センサーで検知される低周波磁場によって透かし出せるというところに利点がある。」とコメントした。システムの改良がさらに進捗すれば、腫瘍の画像化だけでなく発現に応じてタンパク質の分類ができるようになり、病気の進行の予測並びに患者の生存率を高める治療戦略に向けての今後の展望に期待できる。

(出展)

“High tech detection of breast cancer using nanoprobe and SQUID”

BioMed Central press release (October 27, 2011)

## 量子コンピューター

### D-Wave Systems (2011年10月28日)

Southern California 大学 (USC)、Lockheed Martin 社、そして D-Wave Systems 社は、世界最初の商用および業務用量子コンピューターのアカデミックセンターを、USC 情報工学研究所 Viterbi 工学部に設立したことを発表した。このセンターでは、D-Wave 社の量子コンピューター用チップを収納できるような高性能な量子コンピューティングセンターの構築を目指し、超電導技術が使用されている。D-Wave 社の量子コンピューター用チップは、最近、Lockheed Martin 社が購入し、情報技術に対する適用性を考慮して USC に提供された。USC と Lockheed Martin 社は共に協力し合って、128 キュービットのコンピューター用チップの可能性を探求することになる。USC Viterbi 工学部長である Yannis C. Yortsos 氏は、「The USC Lockheed Martin 量子コンピューティングセンターは、魅力的な量子計算の世界に新たな窓を開くものだ。このセンターは、新技術の可能性についての我々の理解を一層深め、より速く且つ安全な計算の探求への新たなパラダイムを提供してくれるだろう。」と語った。

(出展)

(出展)

“USC to Establish First Operational Quantum Computing System at an Academic Institution”  
D-Wave Systems press release (October 28, 2011)

## HTS マグネット

### Oxford Instruments (2011年10月28日)

核融合研究会社であるTokamak Solutions社は、Oxford Instruments社、Czech工科大学、そしてプラハにあるプラズマ物理研究所と共同で、トカマクの構築に初めて高温超電導マグネットを使用していることを発表した。クライオスタットで冷却された高温超電導コイルは、プラハにあるゴーレムトカマクの中にある2つの銅線界磁コイルと置き換えて使用されている。プラズマパルスは、通常の方法で作成され、トカマクは期待どおりに作動した。現在、引き続き一連の追加試験が計画されている。Tokamak Solutions社の主幹研究員であるMikhail Gryaznevich博士は、「これは核融合研究分野にとって重要なステップを踏んだ事になる。我々は、このトカマクで高温超電導体の実用化について多くを学んだ。これらの新素材が存在する今、核融合制御の将来において重要な役割を果たせる確信を持っている。」とコメントした。

(出展)

“High temp superconducting magnets on a tokamak”  
Oxford Instruments press release (October 28, 2011)

## 陽子線治療

### Mevion Medical Systems (2011年10月31日)

Mevion Medical Systems社は、ミズーリ州セントルイス市にあるBarnes Jewish病院SitemanがんセンターのS. Lee Kling陽子線治療センターとWashington大学医学部に、世界初の超電導シンクロサイクロトロンを提供した。残すはTriNiobium Core™で稼働する初代MEVION S250陽子加速器モジュールの出荷で、いわゆる製造過程の最終段階となる。従来の陽子線治療の利点を備えているこの新しいデバイスを利用することによって、これまでがん治療として陽子線治療が本格的な普及に至らなかった壁とも言える機器のサイズ、コスト、そして複雑さが低減されることになる。このシステムの設置は2012年初期には完了する予定である。また、追加で2カ所の施設が同様のシステムを設置している最中で、これらも2012年に完了する予定である。(注：Mevion Medical Systems社は、以前はStill River Systems, Inc.として知られていた。MEVION S250陽子線治療システムは、まだアメリカ食品医薬品局から臨床応用の承諾を受けていない。)

(出展)

“Mevion Medical Systems Delivers the World’s First Superconducting Synchrocyclotron for Proton Therapy to Barnes Jewish Hospital”  
Mevion Medical Systems press release (October 31, 2011)

## 大型契約

### Bruker Energy & Supercon Technologies, Inc. (2011年11月1日)

Bruker Energy & Supercon Technologies 社 (BEST) は、磁気共鳴画像 (MRI) システムのトップメーカーである既存顧客から、金属系低温超電導体の複数年にわたる大型契約二件を獲得したことを発表した。2014年9月まで続くこの契約二件の総発注額は、最低でもおよそ7100万ドルと言われ、実際の売上総額は、最低契約額よりも25%増に上る可能性もある。BESTの社長兼最高経営責任者である Burkhard Prause 氏は、「我々が長期誓約を交わしている主要顧客のサポートとして低温超電導体の生産能力を予定どおり増強していく中で、これら二件の新規複数年契約は、将来の需要に備えて新たな見通しを提供してくれる。我々は、MRI 分野で活躍している見識の高い主要顧客が、BEST の高品質で高性能な超電導体の複数年契約を交わしたことを、非常に嬉しく思っている。」と語った。

(出展)

“Bruker Energy & Supercon Technologies (BEST) Announces Two Large, Multi-Year Superconductor Contracts from Leading MRI Manufacturers”

Bruker Energy & Supercon Technologies press release (November 1, 2011)

## 決算

### Superconductor Technologies Inc. (2011年11月2日)

Superconductor Technologies 社 (STI) は、2011年10月1日締め第3四半期の決算報告を発表した。第3四半期の純利益は、前年同期の200万ドルに比べ大幅に減少し47万9000ドルとなった。第3四半期の純損失については、前年同期の340万ドルに比べ、330万ドルであった。当社の社長兼最高経営責任者である Jeff Quiram 氏は、「顧客サイドでは第4世代 (4G) データネットワーク拡張に注力する動きがある中、我が社の商用ワイヤレス事業の挑戦は今後も続くことが予想される。しかし、我々の方針は、次世代 (2G) HTS 線材において我々が取り組まなくてはならない戦略を立て、それを遂行していくことにある。初年度が終了すると間もなく、線材基板 (バッファ層の付いたテープ) の長さを劇的に長くする新しい高度な開発機器の設置を開始し、2012年月中旬にはそれを完了する予定である。来年の見込み客の要望に応じて、今こうして長尺 HTS 線材の生産に取り掛かることは、我々のビジネスプランにとって重要なステップと言える。」とコメントした。2011年10月1日時点で、当社は現金及び現金同等物の残高970万ドルと受注残高4000ドルを所有している。

(出展)

“Superconductor Technologies Reports Third Quarter 2011 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (November 2, 2011)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化情報 12月のトピックス

「エジソン賞受賞」報告

住友電気工業株式会社

フェロー

佐藤謙一

10/24、IECメルボルン大会の標準管理評議会（SMB）において、Thomas A. Edison Awardを受賞しました。議長であるJ.E. Matthews（IEC副会長）から、受賞理由の説明及び表彰状と記念のメダル授与がありました。1分ほどの受賞スピーチを実施しました。

例えば1988年からのIEC理事会直轄のSpecial WGでの幹事、1989年のIECブライトン大会でのTC90設立、その後のTC90の幹事としての活動、と23年にわたる関わりを持ってきたこととなります。これまでの活動を支えていただいた経済産業省、日本技術委員会、ISTECの皆様のバックアップに感謝いたします。

IEC Thomas A. Edison Awardは、IECの各委員会において、効率的な運営を通じてもたらされた顕著な成果や貢献などに対して贈られるもので、2010年のIECシアトル大会から表彰が実施されています。

今回は、11名の候補がノミネートされました。15名のSMB委員の投票で、少なくとも9名の委員の賛成が得られた最大7名までに贈られるもので4名が投票で選ばれた。

IECにおける超電導分野の活動は、材料の特性評価方法の一層の充実と部品・製品レベルへの拡大へと発展期にさしかかっています。IEC/TC20やCIGREとの協力関係の構築のもと、今後とも更なる御協力を御願いたします。



受賞の記念メダル

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 標準化情報 12月のトピックス 「超電導技術の国際標準化に係る第9回パネル討論会」報告

九州工業大学  
大学院情報工学研究院  
名誉教授 松下照男

2011年度の第24回国際超電導シンポジウム開催中の10月25日(火)の午後7時から、シンポジウム会場の船堀タワーホールの303号室で超電導技術の国際標準化に関する第9回パネル討論会が開催された。まだポスターセッションが行われていた時間帯であるにもかかわらず、日本、米国、中国、韓国、ドイツ、スペインの6国から計37名の参加者があった。

松下(九工大)が過去の8回のパネル討論会の経緯の報告を含めてオープニングを行った後、前回のパネル討論会で最大の懸案事項となった、IEC(International Electrotechnical Commission)のTC90(超電導委員会)の第13作業グループで検討された「実用超電導線」の通則(General and Guidance)についての案が長村委員長(応用科学研究所)から報告された。とくに2011年7月に米国で開催された同グループ会合での検討を受けて「分類」と「特性の試験法」と二分割構成とすることとそれぞれの中身について説明があり、「分類」における必須事項である出荷のときのラベル付けの内容や、試験すべき特性項目について議論された。また、今後の議論を実りあるものにするため、専門家の議論への参加が長村委員から要請された。次いで、増田氏(住友電工)からCIGREのB1.31作業グループにおける超電導電力ケーブルの審議状況と同じくCIGREのD1.38作業グループにおける超電導電力機器の審議状況について説明があった。その後の議論で、超電導直流ケーブルが対象に含まれない理由についての質問や、ケーブルの負荷試験に電圧の試験はあるが温度上昇試験が含まれていないことの指摘などがあった。

その後、各国の超電導電力機器応用についての紹介が行われた。まず、Selvamanickam氏(米国、Houston大)からは米国における線材の製造に関する現状が報告された。これによれば出荷している線材量が急速に増加していることや、現在、特性改善のために人工ピンを導入する研究が進んでいることなどが示された。Noe教授(ドイツ、Karlsruhe工科大学)からは自身が委員長を務めているCIGREのD1.38作業グループの活動の報告がなされたが、とくに活動が盛んな限流器についての紹介があった。Xiao氏(中国科学技術院)は最近、上海交通大学で開発が行われているYBCOコート線材や以前からあるBi系テープ線材、金属系実用線材の開発の状況を説明し、新しいMgB<sub>2</sub>線材や鉄系超電導体の線材化研究の紹介もした。Park氏(韓国、昌原大)はこれまでの韓国の超電導電力機器開発の国家プロジェクトの流れを説明し、今後のチェジュ島での国家プロジェクトの中で開発を行う各種超電導電力機器の目標値などを明らかにした。以上の各国からの現状紹介を受けて全体討論を行った。この中で、次の標準化の対象となる可能性が最も高いと期待される限流器についてCIGREのD1.38で議論されているにもかかわらず、IEC/TC90の中にはそのような動きがまったくない現状から、限流器の標準化の議論をするにあたって、IEC/TC90が本当にふさわしい機関かどうかという疑問が出された。しかし、超電導に関するものであればIEC/TC90が取り扱うのが筋であり、したがって、今後、この分野でのIEC/TC90とCIGREの協力関係を早急に模索していく必要性が認識された。

最後にad-hoc4グループの大久保委員長(産総研)から世界の超電導センサーの現状についての紹介と今後の活動スケジュールについての報告があり、用語がいろいろとあって、その統一が容易ではないケースがあることなどが紹介された。

報告および審議内容が多かったため、閉会は予定時間を少し越えて21時10分となった。

[超電導 Web21 トップページ](#)

「第6回東アジア超電導エレクトロニクスシンポジウム

(The 6<sup>th</sup> East Asia Symposium on Superconductive Electronics: EASSE 2011)」報告

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

副所長 田辺圭一

本シンポジウムは、2001年に仙台で第1回目が開催されて以来、台湾・台北（2003年）、韓国・慶州（2005年）、インド・ニューデリー（2007年）、中国・南京（2009年）と回を重ね、第6回目となる今回は、10月27日から29日まで山形大学工学部（米沢）において開催された。参加者は約80名（海外約20名、国内約60名）で、SQUID応用、デジタル応用、マイクロ波応用、検出器応用、材料・薄膜、接合、新規デバイスなどに関し32件の口頭講演と32件のポスター発表が行われた。以下には、特に海外の機関による発表が多かった分野についてその概要を述べる。

SQUID応用分野では、国立台湾大学のYang教授、国立台湾師範大学のHorng教授らのグループによる、高温SQUIDを用いた低周波NMR/MRIや磁気バイオマーカー検出などへの応用研究の進展が目された。100 mT程度の分極磁場、数十 $\mu$ Tという低い測定磁場を用いる低周波NMR/MRIは、高磁場を用いるNMR/MRIに比べ低コストのシステムができると共に、縦緩和時間の違いを利用した物質や組織の識別ができるというメリットがある。Yang教授は、ラットの肝臓ガン細胞に加え人の肺ガン細胞が正常細胞に比べ明確に長い緩和時間を示すことを報告した。Horng教授は、磁気微粒子標識を付着した抗体を用い、アルツハイマー病と関係のある $A\beta$ というタンパク質の血中濃度を、従来法に比べ2~3桁高感度検出できることを報告した。豊橋技科大の田中教授は、JSTのS-イノベプロジェクトにおける高性能高温SQUID（ISTECが開発）を用いた先進バイオ・非破壊センシング技術開発の概要を紹介した。また、8チャンネルのSQUIDセンサーを用いたリチウム電池正極シート中の金属異物検査装置の開発について報告した。直径30  $\mu$ m程度の鉄粒子の検出が可能となっており、浜松地区プロジェクトでは、年内に正極シートの連続検査が可能なプロトタイプ装置を開発する予定である。筆者は、NEDOプロジェクトで開発した高温SQUIDセンサーアレイを用いたY系線材や多層導体の非破壊検査装置について主に報告したが、ISTECの高性能高温SQUIDには台湾グループも大きな関心を示していた。

マイクロ波応用分野では、中国・精華大学のCao教授が様々な周波数帯の高温超電導フィルタの作製やマルチプレクサの設計・試作について報告した。以前より注目されている携帯基地局用のフィルタサブシステムについては、現在、北京市内の8局で48のシステムが試用されていると述べた。韓国・建国大学のLee教授は、空洞共振器応用をねらいとし、反応性共蒸着法、HPCVD法等の異なるプロセスで作製した $MgB_2$ 薄膜のマイクロ波表面抵抗の温度依存性について詳細に調べた結果について、また国立台湾大のWang教授はUWB通信用途をねらいとした2帯域通過フィルタの設計と試作について報告した。東芝の加屋野氏は、気象レーダー用に開発した透過型と反射型の2つのハイブリッド送信フィルタについて報告した。気象レーダー用の超電導フィルタシステムは2つのサイトで既に1年半運用されているが、反射型の構成により1/2程度の小型化が可能になると述べた。

検出器応用分野では、理研の大谷氏がテラヘルツ波センシングおよびイメージング用のトンネル接合型（STJ）とマイクロ波カイネティックインダクタンス型（MKID）の検出器の高性能化を目指した研究開発の進展について報告した。一方、中国・南京大のChen教授は、NbN極薄膜を用いたホットエレクトロンボロメータ（HEB）とナノワイヤ構造の超電導単一光子検出器（SNSPD）開

発について報告した。また、上海マイクロシステム・情報技術大学の You 教授は、日本の NICT が作製した SNSPD を用いた量子鍵暗号通信システムの開発について報告するなど、中国での本分野に対する関心は高い。理研の有吉氏は、テラヘルツ領域で高感度と広帯域性を両立できる伝送線路型の検出器の開発と、検出器性能向上をねらいとした単結晶薄膜を用いた Al/MgO/Al 接合作製の試みについて報告した。また、産総研の大久保氏は、質量と電荷数の比 ( $m/z$ ) を検出する従来の質量分析器と異なり質量そのものを評価できる超電導分子検出器の開発について報告した。

本シンポジウム期間中には、国際運営委員の話し合いが行われ、議長が韓国・ソウル大学の Khim 教授から山形大学の嶋教授に引き継がれ、次回のシンポジウムが 2013 年に台湾で開催されることが決まった。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## やさしい超電導リニアモーターカーのお話（その6）

### ～次世代高温超電導線材適用の試み～

公益財団法人鉄道総合技術研究所  
浮上式鉄道技術研究部  
低温システム研究室長 長嶋 賢

前回の最後に高温超電導体の適用について触れた。また、今回は「やさしい超電導リニアモーターカーのお話」の最終回である。そこで、超電導リニアの将来につながる話として、現在鉄道総研で実施している、次世代高温超電導線材適用の試みについて紹介したい。

#### 1. 高温超電導線材適用のメリット

高温超電導線材適用という、これまで高価な液体ヘリウムで冷却していたのが安価な液体窒素で冷却できるようになるという事が良く強調される。しかし、高い磁場を発生する超電導磁石への適用を考えた場合、話はそう簡単ではない。まず、図1の赤い曲線を見て欲しい。この曲線は市販されている次世代高温超電導線材の臨界電流値を測定したものである。77 K、自己磁場中であれば、今の次世代線材は4 mm幅で100 A程度の臨界電流値を有するのが一般的であるが、このグラフのデータは凡例にあるように5 Tの磁場を印加した状態で臨界電流値を測定したものである。それより大分小さな値を示している。超電導送電ケーブルなどと異なり、超電導磁石の場合は線材が自身の発生する磁場によって臨界電流値を低下させてしまう問題がある。もちろんこれらの問題は、人工ピンの導入などによって今後解決されることが期待されるが、この実験結果を見る限り、液体窒素温度で5 Tの超電導磁石を製作することは当面難しいと考えられる。では、液体窒素冷却で無ければ高温超電導磁石は魅力が無いかというとそうでは無い。

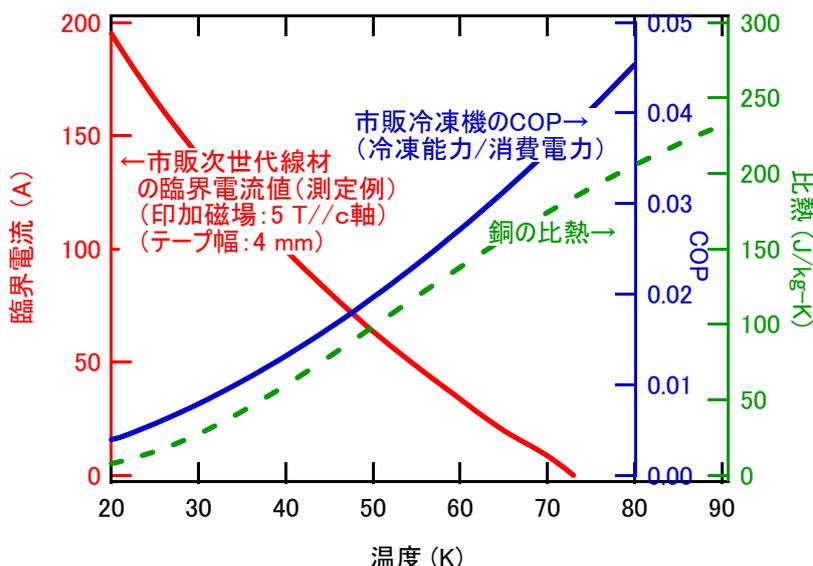


図1 次世代線材の臨界電流値、冷凍機のCOPおよび銅の比熱の温度依存性

図1の青い曲線は、前回紹介したM.Nisenoffの文献から冷凍機のCOP（成績係数＝冷凍能力/消

費電力)を求めたものである。これによると温度を上げれば冷凍機のCOP、いわば効率を大きく向上することがわかる。同じ冷凍能力であれば、必要な消費電力は大幅に低減されるし、同時に冷凍機の質量も低減される。前回説明したとおり、冷凍機の消費電力は質量と比例関係にある。超電導線材の臨界電流値と冷凍機のCOPは需要供給曲線の様に見える。温度が上がれば線材の性能は低減するため、磁石を製作するために必要な線材量(コスト)は増えるが、COPは向上するため冷却に要するコストは低減する。どこかに全体コストを最小にする温度があると考えられる。その温度は線材の性能が向上すると高い温度に推移するはずである。

もし運転温度を液体ヘリウム温度から50 K程度まで上昇できれば、下記のような利点が考えられ、これまでの超電導磁石システムを大幅に変更できる可能性がある。

- ・構造が単純で信頼性も高い単段冷凍機で伝導冷却できる。
- ・超電導コイルの輻射熱シールドが省略できる。
- ・断熱構造が簡略化できる。

これにより超電導磁石クライオスタット断面の小面積化が可能となるので、質量や製造コストの大幅低減が期待できる。この場合の超電導磁石の構成は図2の様なものと考えられる。従来の超電導コイルを囲んでいたシールドが無くなる分、超電導コイルを地上コイルに近づけることができるので、超電導コイルの浮上力を増大することもできる。

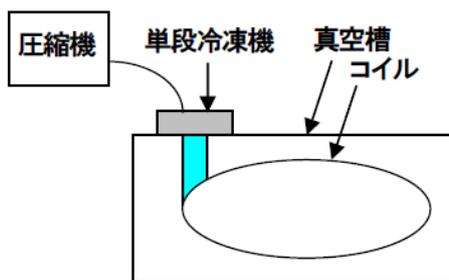


図2 単段冷凍機で冷却する超電導磁石の模式図

一方、図1の緑色の破線は、一般的な金属の代表として銅の比熱を示している。温度が上昇すると比熱は飛躍的に増大している。銅の場合、50 Kでは4 Kの約1000倍となる。金属が主な構成要素である超電導コイルの熱容量も同様に温度の上昇につれて飛躍的に増大する。同じ熱侵入であればコイル温度の上昇が(銅の比熱で考えると)約1/1000ですむため、1日程度であれば冷凍機を車上に搭載せず、コイル部の熱容量により走行時の保冷を行うなどの運用も考えられる。その場合、夜間は車両基地等で地上に設置した大型冷凍機により、20 K程度まで磁石の冷やし込みを行い、昼間の走行時に50 K以上にならないような熱設計を行えば良い。この時、20 K~50 Kの温度領域での熱侵入を低減する必要があるためシールドは必要である。この場合、超電導磁石の構成は図3の様なものと考えられる。

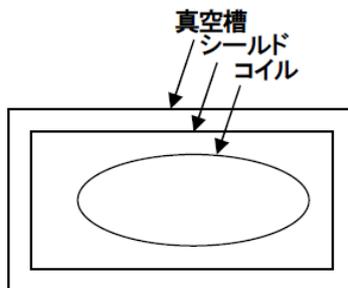


図3 冷凍機を搭載しない超電導磁石の模式図

この構成では車載冷凍機が無いので、大幅な質量低減や車上の消費電力の大幅な低減が可能となる。また、高圧ガス関連機器を車上に搭載しないですむため、高圧ガス保安法に抵触しなくなること、台車の軽量化が進むため、乗り心地が向上すること、などの副次的なメリットも考えられる。

## 2. 鉄道総研での取り組み

鉄道総研は 2005 年以降、国土交通省主催の「超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会」の提言を受け、高温超電導磁石の技術開発を進めてきている。この技術開発は国土交通省から一部国庫補助を受けて実施しているが、その中で、高温、高磁場中での臨界電流密度が大きい、高強度である、銀を使わないために低コスト化の見込みがある、などの理由で鉄道総研は次世代線材に注目してきた。市販の高温超電導線材の性能については、メーカから自己磁場中、かつ液体窒素温度（77 K）での臨界電流値のデータは提供されるものの、外部磁場中あるいはより低温における臨界電流値はわからないのが現状である。しかし、実際にコイルを設計する際には、巻線に用いる線材のデータを正確に把握することが不可欠である。

そこではじめに高温超電導線材評価試験装置の開発を行った。試料の最低温度は 10 K、最大磁場強度はリニア応用で想定される 5 T 以上の 5.5 T、磁場角度は線材平面に対して $-5\sim 95^\circ$  で、超音波モータの適用により低温状態で任意の角度に設定できる機能を有している。また、通電容量は 1000 A なので、サンプルとなる試料を前処理なく 10 cm 程度の長さに切れればそのまま評価できる独自の装置である ([http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd77/CS/cs\\_2.5.html](http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd77/CS/cs_2.5.html))。図 1 の赤い曲線はこの装置で得た測定結果の一例である。最近では部外からの依頼で試料の評価試験も行うようになった。また、メーカから人工ピンの入った線材試料提供を受けて評価し、情報交換も行なっている。これらの結果から次世代線材の性能は現状でも十分検討に値し、さらに人工ピンの導入等により、さらなる性能向上が確実であることがわかったので、より具体的な検討を進めている。

図 2 に示した様な「単段冷凍機で冷却する超電導磁石」は運用上の扱い易さという点では、冷凍機のスイッチを入れておけば低温が維持できる車載冷凍システムは魅力的である。単段冷凍機としてはアクティブバッファ型パルス管冷凍機が適用しやすい。パルス管冷凍機は現在最も普及している GM 冷凍機の低温ディスプレイサのかわりにパルス管（ステンレス製の管）があるだけで、低温部に動作部品を持たず、機器の信頼性、メンテナンス性も高い。これを車載冷凍機として使用する場合には具体的には図 4 の様な構成が考えられる。図の破線で囲んだ筒状の冷凍機部分に圧縮機からガスを供給すると、筒中央の冷却部が冷える構造なので、浮上式鉄道用超電導磁石への組み込みに適している。また、冷凍機部は単純な構造なので、図のように複数の冷凍機を 1 台の圧縮機と組み合わせて運転を行うことも可能であり、車上の艤装性も良い。現在、鉄道総研では 50 K で 100 W 級の冷凍機を開発中である ([http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd77/CS/cs\\_1.2.html](http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd77/CS/cs_1.2.html))。

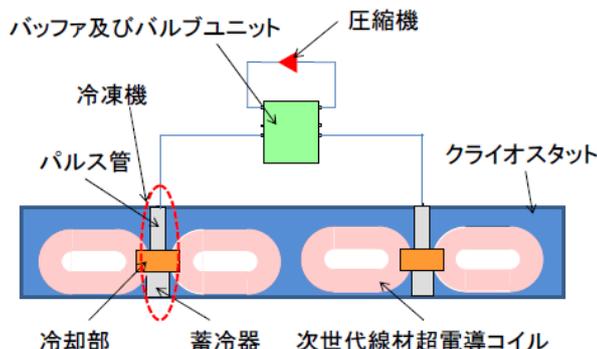


図 4 浮上式鉄道用超電導磁石に単段パルス管冷凍機を組み込む構成イメージ

図3の「冷凍機を搭載しない超電導磁石」を指向した研究では、次世代線材で実機の1/4程度の大きさの高温超電導コイルを製作し、長時間保冷が可能な断熱容器に収納して、小型の超電導磁石を完成させた。図5に示すこの超電導磁石は、コイル温度50 Kにおいて1 T以上の磁場を発生することができる。また、高温超電導コイルの周囲に配置した金属の熱容量を利用することと、断熱容器内部に設置した活性炭で容器内の真空度を保持する工夫により、一度低温ヘリウムガスでコイルを20 Kまで冷却すると、コイル温度50 K以下を約9時間保持する保冷能力があることを確認した。また、実機の超電導磁石の場合、実験と計算から20 Kから50 Kになるまでの時間は24時間を超えることが見積もられた ([http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd77/CS/cs\\_1.4.html](http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd77/CS/cs_1.4.html), [http://www.istec.or.jp/web21/pdf/10\\_12/all.pdf](http://www.istec.or.jp/web21/pdf/10_12/all.pdf))。



図5 次世代線材を用いた小型超電導磁石

この「冷凍機を搭載しない超電導磁石」はかなり究極的な考え方であるが、この方式の検討で得られた知見は冷凍機伝導冷却方式の安全対策にも役立つ。この検証は冷凍機がトラブル等で停止した場合、どの程度の時間、超電導コイルが使えるかという磁石の冗長性検証そのものだからである。

今後はこれまでの成果を受けて、実機の磁場に相当する5 Tの磁場を発生する高温超電導磁石を次世代線材で製作し、更に検討を深度化させる予定である。現在計画されている中央新幹線が実現し、超電導磁石に次世代線材を適用することによって、超電導リニアシステムがより優れたシステムに進化していくことを祈念して本連載を終えたい。

一年間ありがとうございました。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 読者の広場

### Q&A

**Q:**「超電導で最も高い磁場を発生する磁石を開発、との新聞記事がありました。どのようにして高い磁場を発生することが可能になったのでしょうか？ 今後はどのような展開が期待されるのでしょうか？」

**A:**「高温超伝導材料を利用した次世代 NMR 技術の開発」(JST /S-イノベ)において、高温超伝導材料 (HTS) を利用した NMR システムの開発を行っており、HTS を活用したコンパクトな NMR マグネットの開発を目指しております。NMR マグネットは、発生磁場に伴いサイズが大きくなりますが、マグネットがコンパクトになり、同じ設置空間へ、より強い磁場のマグネットの導入や、同じ磁場でも設置台数を増やすことができればユーザーにとって大きなメリットです。マグネットをコンパクトにするには、より大きな臨界電流密度をもち、耐電磁力特性にも優れた超伝導線材が必要です。これに応えられる線材のひとつに、RE 系線材が挙げられます。NMR マグネットでは、磁場の強度と均一度が求められるため、製作精度とコイル断面あたりの線材密度を高くできるレイヤー巻コイル製作技術を、RE 系線材に対して確立する必要性がありました。これまで、RE 系線材を用いた試験コイルを多数個製作し、限界を超えるまでの励磁試験を行い、その過程でコイル製作技術を蓄積してまいりました。得られた製作技術をもとに、株式会社フジクラ製 Gd-Ba-Cu-O (GdBCO) 線材 (絶縁込み寸法 幅 5.10 mm×厚み 0.25 mm、100 μm 厚 HASTELLOY<sup>®</sup>基板) を用いて、NMR マグネットの実機サイズの内外径を持つコイル (内径 50.27 mm、外径 112.80 mm、コイル長 88.33 mm) を製作し、Nb<sub>3</sub>Sn と Nb-Ti コイルからなる中心磁場 17.2 T のマグネットに内挿し、4.2 K で試験を行いました。GdBCO コイルは、コイル発生電圧基準 0.1 μV/cm 内で 321 A まで通電に成功しました。ホール素子で測定した中心磁場は 24.07 T に到達し、これまでの世界記録 23.5 T を更新しました。最大の電磁力 (磁場×電流密度×コイル半径) は 408 MPa であり、低温超伝導マグネットですら許容されるレベルの 2 倍近い電磁力に耐えており、RE 系線材の特長を活かすことができました。今回の試験ではコイルのクエンチは起こりませんでしたが、RE 系コイルでは、クエンチによりコイル性能が劣化する場合があると報告されており、実機で性能の劣化を起こさないための手法が必要で、現在、検討を進めております。GdBCO コイルが、24 T の磁場発生に成功し、高い耐電磁力特性を示したことは、HTS-NMR システムの開発を前進させる重要な成果であり、今後、30 T 級の強磁場マグネット開発も期待できる成果と考えております。

回答者：独立行政法人物質・材料研究機構

超伝導線材ユニットマグネット開発グループ 松本真治 様

[超電導 Web21 トップページ](#)

「Web 2 1 についてのご意見・ご感想、「読者の広場」その他で取り上げて欲しい事項、その他のお問い合わせは、超電導 Web21 編集局メール [web21@istec.or.jp](mailto:web21@istec.or.jp) までお願いします。」