

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-5717 **2011 年 11** 月 号 2011 年 11 月 4 日発行

掲載内容(サマリー):

トピックス

- ○「日米欧三極における希少金属対策 "1st EU-JAPAN-US Trilateral Critical Materials Initiative" 会議」報告
- ○ISTEC 蓮尾特別研究員が IEEE から応用超電導貢献賞を受賞

特集:超電導電力機器技術の展開

- ○超電導電力機器の開発動向
- ○大電流超電導電力ケーブル技術開発の現状
- ○275 kV 超高圧超電導ケーブルの開発
- ○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 2011 年 11-12 月の催し物案内
- ○新聞ヘッドライン (9/16-10/18)
- ○超電導速報─世界の動き(2011年8月、9月)
- ○標準化情報 11月のトピックス
- ○「電子情報通信学会ソサイエティ大会」報告
- ○「SCC:超電導 100 周年会議」報告
- ○「Magnet Technology (MT-22)」報告
- ○隔月連載記事ーイットリウム系超電導線材の開発の道のり(その6)
- ○読者の広場(Q&A) 鉄系超伝導体の転移温度上昇抑制原因を特定との新聞記事がありましたが、どのように特定されたのでしょうか。今後はどのような展開が期待されるでしょうか?

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





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

トピックス:「日米欧三極における希少金属対策

"1st EU-JAPAN-US Trilateral Critical Materials Initiative"会議」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

所長 塩原融



" EU-JAPAN-US Trilateral Critical Materials Initiative"会議 Agenda の表紙

2011 年 10 月 4-5 日の 2 日間、米国 Washington D.C.において開催された日米欧三極における希少金属対策" EU-JAPAN-US Trilateral Critical Materials Initiative" の会議に参加した。本会議は The European Commission's Directorate General for Research and Innovation、日本の経済産業省、米国 The U.S. Department of Energy (DOE) エネルギー省の共催で実施された(上図掲載 Agenda 表紙参照)。

初日の午前中及び昼食時には以下の招待者による Keynote スピーチ等の講演が行われた。

Keynote Addresses (8:50-9:20 am) Moderator: Bart Gordon, Partner, K&L gates LLP David Sandalow, Assistant Secretary for Policy and International Affairs, <u>U.S. Department of Energy</u>.

Reinhard Bütikofer, Member, Vice Chair, Group of the Greens/European Free Alliance, Member, Committee on Industry, Research and Energy, <u>European Parliament</u>

Ichiro Fujisaki, Ambassador of Japan to the United States

Implications of Material Supply Challenges for Innovation, Security and Trade (9:20-11:20 am) Gwenole Cozigou, Director, Chemicals, Metals, Mechanical, Electrical, Construction Industries and Raw Materials, Directorate General for Enterprise and Industry, European Commission

Herbert von Bose, Director, Industrial Technologies, Directorate General for Research and Innovation, <u>European Commission</u>

Cyrus Wadia, Senior Policy Analyst, Environment and Energy Division, Office of Science and Technology Policy, <u>United States</u>

Charles Cogar, Legislative Director, Congressmann Mike Coffman, <u>U.S. House of</u> Representatives

Komei Halada, Managing Director, Center for Strategic Natural Resources, National Institute for Materials Science, <u>Japan</u>



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

Keiichi Kawakami, Deputy Director General, Manufacturing Industries Bureau, Ministry of Economy, Trade and Industry of <u>Japan</u>

Environmentally and Economically Sustainable Production of Rare Earths (11:30 am - 1:00 pm) Stephen Collocott, Group Leader, Novel Alloys, Magnetics and Drives, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), <u>Australia</u>

Anil Arora, Assistant Deputy Minister, Minerals and Metals Sector, Natural Resources <u>Canada</u> Alain Rollat, Technology Development Manager, Rhodia Rare Earth Systems <u>France</u> Maurits Van Camp, Coach, Recycling and Extraction Technology Platform, Umicore <u>Belgium</u> Jim Sims, Vice President, Corporate Communications, Molycorp <u>USA</u>

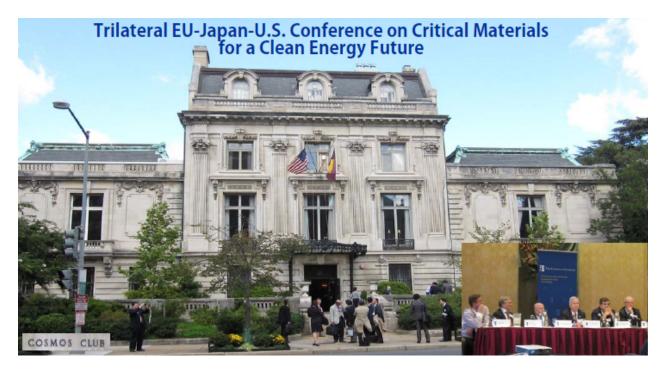


写真:会場(Cosmos Club)の外観とパネルディスカッションにおける壇上のパネラー

日米欧 3 極からの keynote スピーチの内容は、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の対策について、特に希少金属、希土類元素に関しての 3R(Replace, Reduce, Recycle) の重要性が講演された。

日本からは藤崎米国大使が 30 年前のオイルショックを引用し、"Sudden cut in supply"は、ハイブリッド車のモータに使用されている Nd(Dy)FeB 磁石の部品、コンピュータに使用されている CeO_2 を例示しハイテク工業製品の価格高騰に繋がると講演し、"Sense of urgency without duplication" 緊急事態であると締めくくった。また、川上景一氏(経済産業省大臣官房審議官、製造産業局担当)からは希土類元素の使用量は、現状で日本が全世界の 48 %を占めており、米国の18 %、フランスの7 %を大きく上回っていることを紹介し、電気自動車 (EV)、ハイブリッド車、風力発電機を例示し、今後、その用途は世界中に拡大されることなどが講演された。

講演の後のパネル討論において、対策として重要なことは、以下の ABCD&R であると議論された。

A: Alternative (代替・選択), B: Broader International Cooperation (国際協調), C: Conservation (保護・管理), D: Diversification (多様化), R: R&D (研究開発)。



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

米国からは DOE の対策として 2 年前から開始された ARPA-E プロジェクトが紹介された。"Clean Energy, Critical Material" に重点をおいたプロジェクトであり、今年度の予算が先週決定されたと紹介された。今年度の DOE, ARPA-E 第 4 次競争公募では 5 分野で 60 件のプロジェクトに総額 1 億5,600 万ドルのグラントが授与された。重要技術におけるレアアース代替(REACT: Rare Earth Alternatives in Critical Technologies)の分野にヒューストン大学が Leader で(National Renewable Energy Lab., SuperPower, Tai-Yang Research, TECO-Westinghouse Motor Company と共同開発)の"High Performance, Low Cost Superconducting Wires & Coils for High Pow er Wind Generators"(\$3,123,750) が含まれており、今後の開発を注視する必要がある。

(参考: http://arpa-e.energy.gov/ProgramsProjects/REACT.aspx)

初日の午後並びに2日目には以下の Workshop (A,B 2 グループのパラレル講演) 並びに Closing Session が開催された。

Workshop A: Substitutes and Efficient Use of Rare Earth Magnets

Session A1: Reducing neodymium and dysprosium requirements for magnets (including predictive modeling) (Tuesday, October 4, 15:00-18:00)

- New compositions or structures that are high energy density, low rare earth content
- Heat management approaches that reduce the need for dysprosium

Session A2: Component and system-level substitutions (Wednesday, October 5, 9:30-12:30)

- Induction or reluctance motors
- New approaches to magnetic circuit design
- Advanced hydraulic transmission for drive train systems
- High-temperature superconductor generators (HTSG)/ motors(HTS-SM)

Workshop B: Resource efficiency: reusing, recovering, recycling

Session B1: Materials and processes for environmentally sound, economical separation of rare earths in diverse ore bodies and recycling streams (Tuesday, October 4, 15:00-18:00)

- Organic solvents
- Supercritical solvents
- Nano-porous membranes
- Biological processes
- Ion exchange

Session B2: Recycling technologies and optimization (Wednesday, October 5, 9:30-12:30)

- Design of materials and products for recyclability
- Processes uniquely suited to recycling
- Logistics optimization

Concluding Plenary: Findings and Next Steps (Wednesday, October 5, 14:00-15:30)

- Report out from workshops
- Next steps for collaboration

Workshop A (Substitutes and Efficient Use of Rare Earth Magnets)の参加者は以下のとおりである。 Session A1: Discussion Lead: Suresh Baskaran, Pacific Northwest National Laboratory

- William McCallum, Ames Research Laboratory, Approaches for Enhanced Rare-Earth- Free Permanent Magnets
- Dimitris Niarchos, Demokritos, A Scientific Response to Scarcity of Rare Earths: REFREEPERMAG



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

- Migaku Takahashi, Tohoku University, Research and Development of Iron-Nitride-Based New Permanent Magnetic Materials with Less Rare Earth Elements or Free of Rare Earth Elements
- · George Hadjipanayis, University of Delaware, High-Performance Magnets with Reduced Neodymium and Dysprosium Content
- Viorel Pop, Babes-Bolyai, Exchange Spring Nanocomposite Magnetic Materials: A Path to Strong, Hard Magnetic Materials with Low Rare Earth Content
- Laura Lewis, Northeastern University, New Directions in Permanent Magnets: Developing Anisotropy without Rare Earths
- Hirotoshi Fukunaga, Nagasaki University, Numerical Modeling for Magnetic Materials

Session A2: Discussion Lead: Ed Jones, Lawrence Livermore National Laboratory

- Steve Constantinides, Arnold Magnetics, Magnetic Material and Device Design Options
- · Akira Chiba, Tokyo Institute of Technology, Development of Rare-Earth Free Motors for Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles
- John Miller, Oak Ridge National Laboratory, Permanent Magnets and Motors: The Challenge
- Venkat Selvamanickam, University of Houston, High Temperature Superconducting Materials for High-Power, Light-Weight Generators for Wind Energy and Other Applications
- Yuh Shiohara (SRL-ISTEC), Japanese Efforts and Current Status of R&D on Superconducting Motors
- · Navin Manjooran, Siemens, High Temperature Materials Needs

効率向上が見込まれ、誘導モータの代替として今後の導入加速が想定されている同期モータ、一層の導入が計画されているハイブリッド自動車・電気自動車、大型風力発電機等の同期回転機の回転子に使用される Nd(Dy)FeB 永久磁石の構成元素である希土類希少金属の使用量削減に関しての日米欧の取り組みが議論された。

超電導技術に関して、海外からは Houston 大学の講演のみであったが、内容はこれまでの高温超電導技術の紹介であり、Y 系線材、ケーブル、変圧器、モータの講演であり、風力発電への高温超電導技術の適用並びに希少金属削減効果に関しては定性的に非常に大きいとの講演で、効果の解析結果並びに技術的な詳細に関しては講演に含まれていなかった。尚、日本からは小職が高温超電導酸化物材料の構成元素に希土類元素である Y, Gd が含まれているものの、Y 系超電導線材を用いる超電導回転機の開発の現状と今後の開発成果による期待等を講演した。 Nd(Dy)FeB 永久磁石を用いた同期モータの回転子を Y 系超電導電磁石 (界磁回転子) で代替し、高磁場発生・効率向上と軽量化等を見通す基本概念設計を紹介するとともに、今後導入が期待される洋上風力発電機に代表される大型風力発電機の超電導技術の適用によるコンパクト化・軽量化メリット、更に、モータ及び永久磁石同期発電機に使用される希土類希少金属の使用量が超電導回転機による代替により大幅に削減される (同出力永久磁石同期回転機に比して約 1/100 の使用量に削減が可能である) ことを講演し、早急なる研究開発並びに成果の検証・実用化への期待等のコメントを多く頂いた。

現在世界で最も進んでいる我が国の超電導技術が当該分野においても進出していくために、今後の動向には注視していく必要があると実感した。

次回の会議は来年3月末あるいは4月初めを東京で開催することが提案された。



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

トピックス:ISTEC 蓮尾特別研究員が IEEE から応用超電導貢献賞を受賞

当財団の蓮尾信也特別研究員は、オランダのハーグで9月18日-23日に開催された「超電導100周年会議」の中で、IEEE(米国電気電子学会)から表彰を受けた。

IEEE の中に超電導に関する分野を担当する超電導分科会 (IEEE Council on Superconductivity; CSC) があり、今回はその CSC からの表彰である。この表彰は 2001 年に始まり、今回が第 11 回目に当たる。10 年前に設立されたこの賞はこれまで 42 人が受賞している。そのうち過去の日本人受賞者は、受賞順に、東海大学教授 太刀川恭二氏、元高エネルギー物理学研究所教授 平林洋美氏、元国鉄浮上式鉄道技術開発推進本部長 京谷好泰氏、ISTEC SRL 名誉所長 田中昭二、名古屋大学名誉教授 早川尚夫氏、元米国ブルックへブン国立研究所研究員 末永正樹氏、高エネルギー加速器研究機構教授 山本明氏の 7 名である。なお、過去の受賞者全員は、http://www.ewh.ieee.org/tc/csc/index.htmlの "Awards"から見ることができる。

CSC には3種類の賞があるが、蓮尾特別研究員が受賞したのは Award for continuing and significant contributions in the field of applied superconductivity という賞である。これは超電導の応用分野で長年にわたって功績のあった者に与えられる。このほかに、応用超電導の発展に献身的努力をした者に与えられる Max Swerdlow 賞、応用超電導の分野での起業に成功した者に与えられる Carl H. Rosner 賞がある。これら3つの賞を併せて超電導分科会では毎年4名前後が受賞しているが、今年は超電導100周年の記念すべきすべき年であるため8名が受賞した。ローレンスバークレイ研究所 R. M. Scanlan 氏、アメリカンスパーコンダクター社 A. P. Malozemoff 氏、スーパーコン社 J. Wong 氏、フェルミラボ A. Tollestrup 氏、MIT フランシスビターマグネット研究所 岩佐幸和氏、CEA カラダッシュ B. Truck 氏、トウェンテ大学 H. Rogalla 氏、それにISTEC 蓮尾特別研究員である。このうち3名はこの会議の前週にフランスのマルセイユで開催されたMT-22(22nd International Conference on Magnet Technology)で表彰されていたため、今回の会議では残る5名が表彰された。

図 1 は蓮尾特別研究員が表彰委員会長の M. Nisenoff 氏から楯を受けた時の写真である。ちなみに左側にいるのが CSC 会長の E. K. Track 氏である。



図1表彰式の様子



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

表彰の楯は A3 サイズほどの大きさで、表面には下記の文章が刻まれており、Track 氏および Nisenoff 氏のサインがある。

CSC **�IEEE**

IEEE Council on Superconductivity

Award for Continuing and Significant Contributions in the Field of Applied Superconductivity

is presented to

Shinya Hasuo

For significant and sustained contributions in the field of small scale applications of superconductivity, in particular, for directing the superconducting digital effort at Jujitsu Laboratories in the 1980s which developed a whole wafer process capable of fabricating fully functional niobium chips with Josephson junction densities greater than 20,000, for fabricating and testing a superconducting microprocessors with a critical path capable of operating at frequencies more than 10 times faster than a comparable GaAs circuit, which was then state of the art, and in recent years, for directing the superconducting digital effort at the International Superconductivity Technology Center (ISTEC) in Japan.



September 2011

Martin Niseroff Martin Nisenoff Awards Chair IEEE Council on Superconductivity

図2表彰の楯の文章

これが同時に与えられたメダルであり、超電導材料であるニオブで作られている。メダルの直径 は約5cm である。





図3表彰のメダル(左が表で、右が裏)

(編集局)



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

特集:超電導電力機器技術の展開「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

我が国における超電導電力機器の研究開発は、主に経済産業省と新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の事業として進められており、現在「Y系超電導電力機器技術開発」プロジェクト(2008年度~2012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」(2007年度~2012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、超電導電力機器による都市部への大容量安定供給を目指し、この Y 系超電導線材を用いた超電導電力貯蔵システム (SMES)、送電ケーブル、変圧器の実用化に向けた技術開発が進められている。2010年度にプロジェクトの前期 3 カ年の成果を NEDO 中間評価にて審議いただき良好な結果を得ている。

「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」では、Bi 系超電導線材を用い、ケーブル単体のみではなく冷却技術などを統合したケーブルシステムを構築し、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 電力系統に連系した実証試験を計画している。2010 年度に現地整備工事を実施し、2011 年度は超電導ケーブル、冷却システム等の設備を設置し、各種確認試験等、実証試験の準備を行っている。

一方、海外における超電導電力機器の研究開発について、SMESの開発では、米国において昨年より ARPA-E プロジェクトの中で、Y系超電導線材を用いた 3.4 MJ 級 SMES の開発が 3 年計画で開始されており、韓国においてもY系超電導線材を用いた 2.5 MJ 級 SMES の開発が進行している。

超電導ケーブルの開発では、米国の Tres Amigas SuperStation(ニューメキシコ州に設置を計画)で、Y 系超電導線材を用いた 5 GW 級直流ケーブルにより 3 大電力網を接続することを計画しており、一方 HYDRA プロジェクトでは、13.8 kV 級限流機能付きケーブルの開発が 2012 年までの計画で進められている。また、韓国の LS Cable 社では韓国電力の系統への超電導ケーブル導入(2012-2013 年頃)を計画しており、オランダでは 2015 年からの普及をめざし限流機能付き 3 相同軸ケーブルの開発が進められ、さらに 150 kV 単心ケーブル開発へとより高電圧階級を目指している。Bi 系超電導線材を用いたケーブルでは、ロシアのモスクワ市内変電所にて 200 m 長 20 kV 級ケーブルの実証試験、中国では河南省の工場内にて 360 m 長 10 kA 級直流ケーブルの適用を計画している。

超電導変圧器の開発においては、米国が Y 系超電導線材を用いた 70.5kV/12.4kV-28MVA 級限流機能付き超電導変圧器の開発プロジェクトを推進している。

超電導限流器の開発では、ドイツで Y 系超電導線材を用いたシールドタイプの誘導型限流器の開発プロジェクトが 2010 年から進められており、前期 2 年間にフルスケール 3 相限流器の開発・製造を行い、各種確認試験を行った後に電力系統に連系した実証試験を計画している。また、ECCOFLOW プロジェクトでは、4 年間にわたる Y 系線材を用いた超電導限流器の設計開発フェーズが完了し、Nexans 工場で実機製作に入り、スペインの変電所にて各種試験を終了後、電力系統



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

における長期試験を計画している。

欧州の Converteam HYDROGENIE プロジェクトでは、1.7 MW 級高温超電導発電機の開発を進めており、現在 Zenergy Power 社が供給した HTS コイルを使い、発電機の製作を行っている。これは、EU 資金によるプロジェクトの一環として進められているものであり、ドイツの水力発電プラントに設置し、今年後半の運転開始を目指している。

以上、最近の超電導電力機器の動向について、国内外における主な概要を紹介したが、以下に「Y 系超電導電力機器技術開発」プロジェクトにおける各機器の開発状況について、紹介していただく。



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

特集:超電導電力機器技術の展開「大電流超電導電力ケーブル技術開発の現状」

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、需要ピーク時に過負荷運用をしている回線も少なくなく、その送電能力の増強が望まれている。しかし過密化した都市部の地下に新たな管路や洞道を建設することは困難になってきており、新たな送電ルートを設けることは難しい状況である。その解決策の一つとして、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。

このような背景の中、「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクト (H20~24 年度) において、住友電工は薄膜線材を用いた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。イットリウム系薄膜線材は、ビスス系線材に比べて臨界電流密度がいたが、より大容量の電力を低損失が小さいため、より大容量の電力を低損失で送電可能な超電導ケーブルの開発が期等されている。本プロジェクトの主要な開発目標は以下のとおりである。

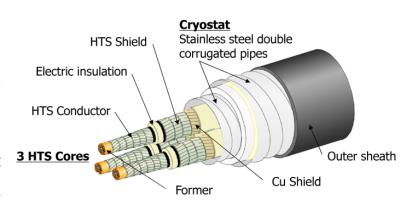


図1 三心一括型超電導ケーブル

- ・ 低損失化:交流損失 2W/m/phase@5kA 以下(送電ロスを従来ケーブルの 1/3 程度に低減)
- ・ 事故電流対応:31.5 kA×2 秒の過電流に対してダメージ無し(66 kV 級遮断器規格に対応)
- · コンパクト化: 既設 150 mm φ 管路へ収容可能

本プロジェクトの前期 3 年間(H20~22 年度)においては、上記目標を達成するための要素技術 開発を ISTEC、京都大学および早稲田大学とともに実施し、当初計画通りに全ての開発目標を達成した。

低損失化開発におけるキーテクノロジーは以下の2点である。1点目は、配向性磁性基板の弱点とも言えるヒステリシス損失を低減するため、従来のNiW基板に比べて損失が1/25となるクラッド基板を開発した。2点目は、ケーブル化した際の線材集合断面形状を円形に近づけて垂直磁場の発生を抑制するため、4mm幅の細線化線材を採用した。上記線材を用いたケーブルを試作して交流損失特性を検証した結果、図2に示すように1.8W/m/phase@5kAの損失を実証し、開発目標を達成した。また、本測定結果は京都大学の解析結果とよく一致することも確認しており、解析が非常に困難な薄膜線材を用いた多層構造ケーブルの交流損失をシミュレートする解析モデルを構築することができた。事故電流対応においては、早稲田大学にて実施した過渡シミュレーション結果をもとにケーブルの保護設計を行い、モデルケーブルの短絡電流試験を実施して、31.5kA×2秒の過電流に対してもケーブルにダメージが発生しないことを確認するとともに、ケーブルの温度上昇も



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

シミュレーション結果から予想される範囲内であることを確認した。さらに、既設の常電導機器と接続するために必要な 5 kA 級終端接続部電流リードの開発も行い、5 kA の大電流を安定に通電できることを確認した。

後期2年間(H23~24年度)においては、前期に開発した要素技術を集合して15 m長のケーブルシステムを建設し、要求特性を満足することを確認するとともに、30年間運用に相当する加速試験条件にて長期課通電試験を行うことを計画している。

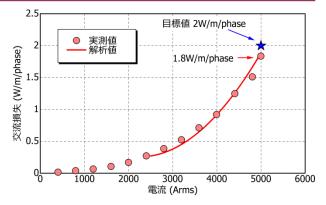


図2 大電流ケーブルの交流損失検証結果



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

特集:超電導電力機器技術の展開「275 kV 超高圧超電導ケーブルの開発」

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 部長 向山晋一

現在、YBCO線材を用いた 275 kV-3 kA級高温超電導ケーブルの開発を進めている。国内の主要基幹線路に超電導ケーブルを適用することを考えて、送電容量 1.5 GW (275kV-3kA) に加え、送電損失 0.8 W/m、短絡電流耐性 63 kA 0.6 s、ケーブル外径 150 mm 以下にする開発目標を掲げて、2008 年より開発を進めている。

275 kV ケーブルは、ひとつの液体窒素断熱管のなかに一つの超電導ケーブルコアを収納したタイプであり、古河電工において開発が進められている。ケーブルに用いられる REBCO テープは、フジクラにより製作された IBAD 基板の上に、昭和電線ケーブルシステムによって YBCO 層をTFA-MOD 法により形成し、古河電工で安定化のために銅被覆が施されている。

275 kV 超電導ケーブルでは、交流損失による導体の発熱は、交流損失の上昇、電気絶縁の性能低下を引き起こす可能性を持つために、低損失化が重要な開発課題である。そこで、交流損失低減のために、使用される幅 5~mm の REBCO テープの両端をカットして 3~mm 幅とし、線材幅での均一性の改善と、断面構造を円柱化することで交流損失を顕著に低減した。この結果、導体を 73.7~K に冷却して I_c =9020 A とすることで 3~kArms の交流損失は、1~e=前の交流損失の半分になる 0.124~W/m(図 1)にすることができた。

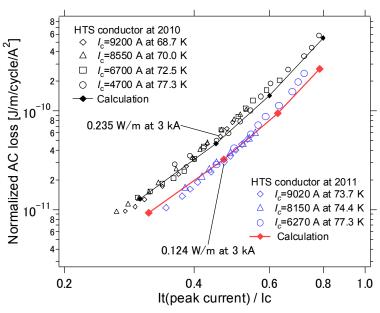


図1 3kA イットリウム系超電導導体の交流損失測定結果

275 kV の絶縁については、これまでの国内での超電導ケーブルの開発に対して 4 倍の高電圧であり、海外でも Nexans 社の 138 kV の 2 倍の高電圧をめざしている。電気絶縁の開発は、液体窒素含浸積層絶縁を採用し、AC 絶縁耐圧、インパルス耐電圧試験、部分放電開始ストレス試験 (PDIE)、長期寿命試験 (Vt) および誘電損失測定を実施してポリプロピレン・ラミネート紙 (PPL 紙) を絶



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

縁材料として、必要絶縁厚さを決定した。特に、送電系統の事故は、社会的な影響が大きいことから、絶縁に対する高信頼性を達成するために、各種測定データは、ワイブル分布評価を行い 0.1 %確率で設計電界を決定している。さらに、Vt 試験では 30 年の経年劣化を見積もって部分放電フリーの設計を行った。この結果、275 kV のケーブルの誘電損失が 0.6 W/m、トータルのケーブル損失 0.8 W/m 以下を達成して、必要電気特性をクリアするケーブルを得ることができた。これら絶縁設計の確認のために、275 kV モデルケーブルの製作をして、国内外の電力規格である JEC 基準および IEC 基準に準じた課電試験(図 2)を実施して、その性能を確認した。また、短絡事故対策としては、ケーブルフォーマ、シールド保護層に短絡電流がバイパスする方法を用いることで、63 kA 0.6 s に耐えることをモデルケーブルによる短絡試験を実施することで確認した。



図2 275 kV 超電導ケーブル端末モデルと気中終端接続部

後期2年のプロジェクトにおいて、ケーブル、気中終端接続部、中間接続部の個々の開発のトータルシステムとしての評価のために、ケーブル長30mのプロトタイプを試作して、1カ月以上の課通電試験を予定している。現在、そのための線材製造、およびシステム設計を行い、来年7月から試験を実施する予定でいる。

なお、本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発研究機構(NEDO)の委託により実施したものである。



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

特集:超電導電力機器技術の展開

「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 超電導変圧器サブリーダー 林 秀美

イットリウム系超電導電力機器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、富士電機、大陽日酸及び JFCCと共同で要素技術及びシステム技術の開発を平成 20~24 年度で行っている。本開発では、 ①超電導変圧器対応線材開発、②巻線技術開発、③冷却システム技術開発、④限流機能付加技術開発、⑤2 MVA 級超電導変圧器モデル検証を進めてきた(詳細は、本号の特集記事を参照)。

平成 24 年度末で終了する Y 系プロジェクトの終盤を迎え、これらの技術開発項目は表 1 に示す それぞれの最終目標に向け着実に成果を挙げており、今回は①と④の現況について紹介する。

表 1 超電導変圧器技術開発の最終目標

技術開発項目	最終目標
① 超電導変圧器対応線材開発	・安定製造、加工技術の向上 (歩留向上)
② 巻線技術開発	・2 kA 級巻線技術の確立
	・巻線の低交流損失≦1/3(対細線化なし線材)
③ 冷却システム技術開発	・冷凍能力 : 2 kW@65 K
	・冷凍効率(COP): 0.06 @ 80 K
④ 限流機能付加技術開発	・数百 kVA 級限流機能付加変圧器による機能検証
	(過大電流を定格電流の3倍以下に抑制)
⑤ 2 MVA 級超電導変圧器モデル	・課通電試験による 66/6.9kV-2MVA 変圧器モデルの検証
検証	

1. 超電導変圧器対応線材開発

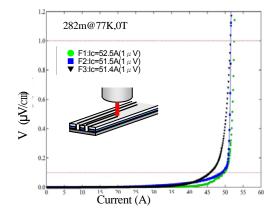


図 1 細線化後の各フィラメント I_c測定結果 (Y 系線材 282m@77K,0T)

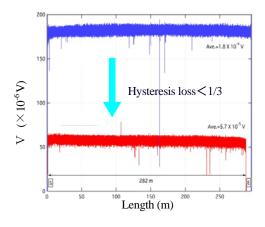


図2 同左 Y 系線材の損失測定結果



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

超電導変圧器の開発を進めていく上では、交流損失の低減が不可欠である。このため、イットリウム系超電導線材(以下、Y 系線材)の細線化が必要となり、本開発ではレーザー加工による長尺 Y 系線材の細線化技術(5 mm 幅線材、単長は $100\sim300$ m 級)を開発中である。図 1 は、3 分割線材としては最長となる 282 m の長尺 Y 系線材の一例で、各フィラメント I_c はほぼ同じ値となっている。また、同線材のヒステリシス損は細線化後に 1/3 以下に低減しており、良好な結果が得られている(図 2)。

2. 限流機能付加技術開発

超電導変圧器の新たな機能として、限流機能の付加技術を開発中である。本開発では最初に、 超電導から常電導への転移に伴う発生抵抗を利用した限流機能を単相 10 kVA 変圧器モデルで実 証し(詳細は、超電導 Web21 の平成 22 年 10 月号参照)、その次に、実用化検証用に巻線構成を 最適化した単相 400 kVA 限流機能付加超電導変圧器を製作し、同変圧器で限流特性を確認した。

変圧器巻線は、事故対応面から一定時間の短絡電流耐力が必要であるため、配電線保護の整定値 0.2 秒等を参考に短絡電流を 0.25 秒間通電し、定格電流の 3 倍までに抑制されるかを確認することにした。図 $3\sim5$ は試験回路、試験状況及び試験時の電圧・電流波形である。試験の結果、短絡電流は 0.25 秒間で定格電流($I_n:58$ A)の 9.6 倍(559 A)から 3 倍(174 A)程度に限流された。また、試験前後での変圧器巻線の電圧-電流特性には変化(劣化)がなく、巻線の健全性(短絡電流強度)を確認した。

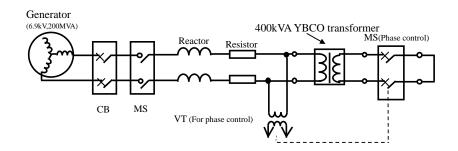
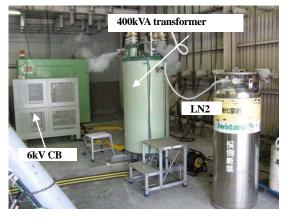
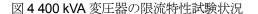


図3 400 kVA 変圧器の限流特性試験回路





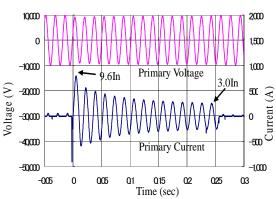


図5 変圧器の限流特性試験結果

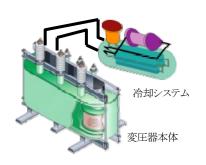


財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-5717

3. 今後の取組み

今後も引き続き大電流化や低損失化の巻線技術、冷却システム技術の開発を進め、2 MVA 級変圧器モデル(図 6)を開発・実証する予定である。さらに、冷却システムや 2 MVA 変圧器の開発成果を反映し、20 MVA 級配電用変圧器の実現に向けた設計精度の向上を図り、適用性や経済性の検討も行う予定である。

本開発では、将来的な 20 MVA 級配電用超電導変圧器 (図 7) の実現を目指して進めているが、同技術は各種の超電導変圧器に適用できる技術でもある。図 8 に示すように電力用のみでなく、事業用や輸送用などの様々な分野の適用先が考えられる。それらの超電導変圧器の技術開発に Y 系プロジェクトの開発成果が大きく貢献し、早期実用化に結びつくことを期待する。



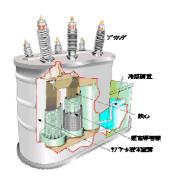


図6 2 MVA 変圧器モデル

図7 20 MVA 級実用超電導変圧器の概念図

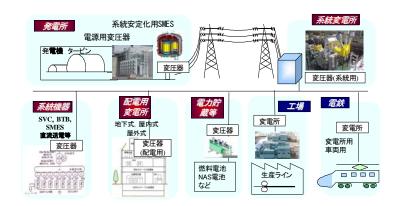


図8 超電導変圧器の適用例



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

超電導関連 11月-12月の催し物案内

10/31-11/1

The 20th International Superconductivity Industry Summit (ISIS-20)

場所: Konjiam Resort, Gyeonggi-do, South Korea 問合せ: http://eng.super-kics.or.kr/conference

11/4

公益社団法人低温工学·超電導学会 第3回関西支部講演会「超電導発見100周年記念」

場所:大阪大学 中之島センター

問合せ: http://www.csj.or.jp/kansai/2011/3rd_1104.pdf

11/7-9

日本金属学会秋期大会(沖縄)

場所:沖縄

問合せ: http://www.soc.nii.ac.jp/jim/

11/8-10

Jubilee 10th International Specialized Exhibition Cryogen-Expo

場所: Moscow, Russia

問合せ: http://www.cryogen-expo.com/

11/9-11

2011 年度秋季低温工学·超電導学会

場所:金沢歌劇座

問合せ: http://www.csj.or.jp/conference/2011a/index.html

11/16-18

Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics (ACASC 2011)

場所: New Delhi, India

問合せ: http://www.iuac.res.in/ACASC2011

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

12/12

社団法人電気学会 超電導応用電力機器 【金属・セラミックス/超電導応用電力機器合同】超電導

現象発見後 100 年の進展と将来展望

場所:東京

問合せ: http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/15-research/index020-07.html



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

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/

(編集局)



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

新聞ヘッドライン(9/16-10/18)

- ○レアアースの高騰 製品価格にじわり波及 日本経済新聞 9/16
- ○青森経済特集 風力発電、相次ぎ立地 再生可能エネ先進県に 日本経済新聞 9/20
- ○レアアース 一部値下がり ネオジム ジスプロシウム セリウム 日経産業新聞 9/20
- ○風力発電、メンテ充実急ぐ エコ・パワー、保守・点検要員増強 低コストでの遠隔監視も 日 経産業新聞 9/20
- ○韓国、洋上風力発電を建設へ Fuji Sankei Business i. 9/21
- ○風力発電 参入後押し 農水省 日刊工業新聞 9/21
- ○超伝導磁石の世界最高磁場 24T の発生に物材機構など成功 科学新聞 9/23
- ○洋上風力 地の利を生かせ Fuji Sankei Business i. 9/24
- ○鹿島灘沖に風力発電 100 基構想 Fuji Sankei Business i. 9/30
- ○リニア先行開業断念 神奈川-山梨 工事長引く予想 朝日新聞 9/30
- ○3 電力、風力拡大へ実験 日本経済新聞 10/01
- ○風力発電拡大へ 3電力実証実験 毎日新聞 10/01
- 〇心臟 MRI 検査 6 断面像 自動推定 日刊工業新聞 10/03
- ○風力導入拡大へ実証 連系可能量の増強図る 電気新聞 10/03
- ○風力発電の導入 拡大 東電など電力3社 14年度に実証実験 日刊工業新聞 10/03
- ○風力発電拡大へ実験 東電など3社、14年度にも 日経産業新聞 10/03
- ○レアアース 米、アフガンに関心 埋蔵量試算、中国を意識か 日本経済新聞 10/03
- ○日米欧、レアアースで中国包囲網 Fuji Sankei Business i. 10/04
- ○レアアース戦略 日米欧で連携へ 朝日新聞 10/04
- ○レアアース安定確保で3極会議 日米欧 協調確認へ 日刊工業新聞 10/04
- ○レアアース 安定供給へ日米欧協調 毎日新聞 10/04
- ○新電力網で再生エネ普及 日本経済新聞 10/04
- ○淡路風力が工事再開 電気新聞 10/04
- ○東センリース 風力発電に参入 日経産業新聞 10/06
- ○世界一複雑な原子配列持つ高温超伝導体 -岡山大、名大、東大の研究グループ発見- 鉄系で3番目に高い転移温度実現 科学新聞 10/07
- ○超電導電力貯蔵実用化へ 最新研究成果を報告 電気新聞 10/07
- ○海底レアアース探査船 文科省、220億円、4年後完成目指す 日本経済新聞(夕刊) 10/08
- ○レアアース急落 セリウム半値 企業、使用量を削減 日本経済新聞 10/09
- ○高温超電導の送電実験開始 日経産業新聞 10/10
- ○韓国電力 LS 電線 超電導設備を運開 実用線路で世界で2例目 電気新聞 10/11
- ○風力発電 コンサルに商機 日経産業新聞 10/12
- ○GE、印で風力発電合弁 複数計画で 50 万キロワット分参画 日経産業新聞 10/13
- ○秋田の風力発電に融資 ワタミが事業主体 昭和リース、建設費で 日経産業新聞 10/13
- ○風力発電で保守サービス 三井造、買い取り制にらむ 日経産業新聞 10/14



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

- ○風力発電、日本に再参入 独シーメンス 3000 キロワット級の大型機受注 日本経済新 10/14
- ○ISTEC 24 日から国際超電導シンポ 電気新聞 10/14
- ○レアアースの輸出規制緩和を 経産相、中国首相に 日本経済新聞 10/15
- ○シーメンス再参入、国内勢も増強急ぐ 風力発電市場 陣取り激化 Fuji Sankei Business i. 10/15
- ○ガーナ環境・科技相 Jパワー風力を視察 電気新聞 10/17
- ○次世代超電導線材の量産めど 古河電工 市場先駆け米メーカー買収 Fuji Sankei Business i. 10/18
- ○米の超電導線材会社 古河電工が買収 日経産業新聞 10/18
- ○グリーンパワーインベストメント 島根と愛媛に風力発電 日経産業新聞 10/18
- ○古河電工 米スーパーパワー買収 超電導関連事業を拡大 日刊工業新聞 10/18
- ○古河電、超電導事業を加速 米線材メーカー買収 日本経済新聞 10/18
- ○古河電工 米超電導線材社を買収 電気新聞 10/18

(編集局)



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

超電導速報―世界の動き(2011年8月、9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

ニューヨーク超電導技術サミット

SuperPower (2011 年 8 月 5 日)

General Electric 社、Philips 社、SuperPower 社、米国電気電子学会(IEEE)は共同で、超電導発見から 100 周年を記念して第 2 回ニューヨーク州超電導技術サミットを主催した。このサミットには、首都圏とニューヨーク州から様々なビジネスリーダーや公務員、著名な科学者やエンジニアが参加した。サミットでは、産業界、学界、そして政界から集められた世界トップクラスの講演者が、超電導技術の現況と将来に与える影響を討論し、超電導技術の事業化に向けての見通し及びビジネスチャンスについての議論も交わされた。

またニューヨーク州では、超電導体のトンネル現象を発見し、1973年にノーベル賞を受賞した Ivar Giaever博士、Philips社 MRI システムの心臓部ともいえる超電導磁石を製造している Intermagnetics General Corporation (Latham, NY) の創立者Carl H. Rosner氏、超電導エレクトロニクスのプロトタイプ開発とデモンストレーションを行なったHypres社 (Elmsford, NY) の Richard Hitt氏、高温超電導線材の開発とその商業化のパイオニアであるSuperPower社 (Schenectady, NY)のVenkat Selvamanickam博士、そして粒子線加速器の超電導磁石を設計し構築に携わったBrookhaven National Laboratory (Upton, NY) のWilliam Sampson博士など、総勢23 名が超電導に貢献した功績が称えられ表彰された。

またこのサミットにおいて、SuperPower 社のマーケティング事業部長であるTraute Lehner 氏は、「超電導を利用した実用機器は、低温領域で動作する医療用MRIから、より高い温度で作動 する装置へと拡大しており、とくにエネルギー分野においても幅広い実用機器に超電導を適用出来る可能性があるなど、我々はその適用範囲の拡大化へのはっきりした見通しが立てられる段階に到達した。

さらに、これらの実用機器を可能とする超電導線材は、ニューヨークのSchenectady市で製造し、"クリーン、グリーンそしてスマートに"をモットーとする新しいシステムの開発に従事する各国の事業団体に出荷している。我々SuperPower社はニューヨーク州のハイテクコミュニティーの一員であることを誇りに思っている。」とコメントした。

"NY BUSINESS & TECHNOLOGY LEADERS CELEBRATE CENTENNIAL ANNIVERSARY OF SUPERCONDUCTIVITY"

SuperPower press release (August 5, 2011)

http://www.superpower-inc.com/content/ny-business-technology-leaders-celebrate-centennial-an niversary-superconductivity

研究開発助成



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

Fermi National Accelerator Laboratory (2011年8月16日)

Fermi 国立加速器研究所の材料科学者 Alex Romanenko 氏には、米国エネルギー省科学局から 5年間に亘って 250 万ドルの研究開発助成金が授与されている。この助成金は、医学、エネルギー、そして発見科学など、様々な分野に適用できる超電導加速器のコンポーネントを開発するために、同氏による革新的な研究が必要であるとの判断から研究開発を支援展開することを目的としている。

また、金属ニオブでできた超電導ニオブ無線周波空洞共振器の特性を研究している Romanenko 氏に、The Early Career Research Program 賞が授与された。毎年与えられるこの名 誉ある賞は、キャリアは浅いが将来有望と見なされた研究者のみに授与されるものである。

Romanenko 氏の研究では、超電導空洞共振器が、なぜ、他では有り得ないほどの高い効率で荷電粒子を加速することができるのかを説明し、この空洞共振器をさらに強化する方法を見つけ出すことに注力している。特にニオブ空洞共振器内にある特定の欠陥や不純物が、超電導無線周波空洞共振器の性能にどのような影響を与えるかを調査している。Romanenko 氏は、「これら空洞共振器の技術は、近年急速に開発しているため、それを説明する科学が追いつかないほどだ。我々はある一定のレベルの性能を有する空洞共振器をどうやって作ればよいか分かっているが、なぜそうなるのかという背後にある物理学を完全に理解しているわけではない。私は、この空洞共振器がなぜある一定の性能を出し得るのかをまず理解した上で、その後改良を行い、既に取得した知識を他の材料にも適応できることを望んでいる。」と話した。

"Fermilab scientist receives \$2.5 million award for innovative accelerator work"

Fermi National Accelerator Laboratory press release (August 16, 2011)

http://www.fnal.gov/pub/presspass/press_releases/2011/SRF-Research_20110816.html

GE Global Research (2011年8月30日)

General Electric 社の技術開発部門である、GE グローバルリサーチは米国エネルギー省から受託した 300 万ドルのプロジェクトにおいて、2 年間に亘る第 1 段階の作業に着手した。このプロジェクトは、10~15 MW 範囲の大型風力に適用できる次世代風力発電機を開発することが目的である。当部門の風力技術のリーダーである Keith Longtin 氏は、「自然風力を最大限に取り入れることのできる、より大型の MW クラスの発電機への期待が、米国そして世界中の産業界で高まる中、我々はより大型の風力プラットフォームの実現に向けて新技術を開発する必要がある。主な課題は、規模とコストが見合った解決策を生み出すということだ。過去 30 年以上に亘る、医療用 MRI システムの超電導マグネット開発の経験を生かし、我々は風力発電のコスト削減に貢献しながら、より多くの電力を供給する革新的な新しい発電機の技術開発に取り組んでいる。」とコメントした。

さらに、「MRIシステムでは、我々は、低コストで高画質なシステムを作るために、超電導マグネットを適用している。風力タービンでも、電力コストをさらに削減しつつ、より強力な風力発電を生成するために、超電導マグネットを適用したいと考えている。適用の対象は異なるが、基本的な技術は同じである。」と付け加えた。風力タービンに超電導技術を適用することで、発電機のサイズと重量の削減、速度の低下、およびトルクの増進等、大幅な改善が期待される。当部門の超電導を利用した機械設計には、機械全体の信頼性を向上させるために、その斬新なアーキテクチャと実績のある低温冷却技術を活用していく予定である。なお、このプロジェクトは、当部門と The Oak Ridge 国立研究所の提携事業として推進される。(出典)

"GE Applying MRI Magnet Technology to Cost-effectively Scale-Up to 15MW Wind Turbines"



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

GE Global Research press release (August 30, 2011)

人事

American Superconductor 社(2011年8月16日)

American Superconductor 社 (AMSC) は、2011年8月16日付けにて、新理事長として John W. Wood Jr.氏を任命した。Wood 氏は、今年初めに退職した前会長であり会社創設者である Gregory J. Yurek 氏の後任として就任する。彼は 2006 年から当社の社外取締役を務めており、当理事会に所属する前は、Analogic 社(医療画像とセキュリティシステムの設計及び製造会社)の最高経営責任者を務めていた。Wood 氏はマサチューセッツ工科大学で電気工学の修士学位を取得している。Wood 氏の当社における最初の任務の一つが、指名委員会およびコーポレートガバナンス委員会会長として活動することである。

なお、同氏が以前会長を務めていた監査委員会会長には、Pamela F. Lenehan 氏が後任として 就任することになっている。

(出典)

"John W. Wood Jr. Appointed Chairman of the Board at American Superconductor" American Superconductor Corporation press release (August 16, 2011)

決算

Superconductor Technologies Inc. (2011年8月10日)

Superconductor Technologies社は、2011年7月2日締め第2四半期の決算報告を行った。今年度第2四半期の純利益は、前年同期の240万ドルに比べ大幅に減少し110万ドルとなった。また、第2四半期の純損失については前年同期の310万ドルに比べ320万ドルとなった。

当社の社長兼CEOのJeff Quiram氏は、「弊社の商用ワイヤレス事業は、引き続き弱体化を体験するかもしれない。しかし、我々は次世代(2G) HTS線材分野におけるリーダーとしてこれからも進展を続ける。今年の初め、実証試験によって有効性が確証された線材のサンプルを提供した。そのことで、HTS線材の製造者としての我々の技術力が実証できたと言える。我々の顧客は、弊社のHTS線材技術の性能が世界でトップクラスであることを確信している。このような技術面での成功により、弊社のHTS線材への注目をさらに集めることになり、また、顧客から線材サンプルの要請を引き続き受ける結果になっている。」とコメントした。

そしてさらに「現時点では、既存のアプリケーション並びに新製品に利用される線材が安定して供給できるよう、商業契約の確保に重点を置いている。我々は顧客が要求する長尺線材を製造するのに必要な技能を高めることを目的に資本設備への投資を行った。さらに、現株主が所持する株式の目減りを最小限に止めることを考慮しながら、この2G HTS線材プログラムに継続して注力していく。これらを含め我々が採用する資金メカニズムによって、自己資本の増加を達成出来ると信じている。」と付け加えた。

2011年7月2日時点で、当社は現金及び現金同等物の残高1,270万ドル、受注残高94,000ドルを 所有している。

(出典)

"Superconductor Technologies Reports Second Quarter 2011 Results"

Superconductor Technologies Inc. press release (August 10, 2011)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1594987&highlight



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

American Superconductor 社(2011年8月11日)

American Superconductor 社 (AMSC) は、2011年3月31日以降、グローバル規模で約30% (150名の社員に相当)の人員削減に踏み切り、年間で約3,000万ドルという経費削減を実行してきた。このリストラは、最大の顧客である Sinovel Wind 社 (中国) との契約問題によって、収益が大きな打撃を受けたことで、予想収支の下方修正が懸念される中、経費削減策として施行された。

なお、当社の社長兼最高経営責任者である Daniel McGahn 氏は「 Sinovel 社との契約問題が発生したことによるこのような人員削減は、我が社の健全な事業経営を遂行するために必要不可欠な手段である。経費については事実上全ての部門、職位、および主要地域に亘って削減されている。しかし、今後弊社が成長を続けて多様化するために不可欠である顧客対応と研究開発に関しては、経費削減の影響を最低限に留めるよう努力している。 」とコメントしている。

当社は 2011 年 6 月 30 日締め四半期収支決算において 1,000 万ドル未満の収入に対し、深刻な 純損失がある旨報告する予定である。また、ナスダック株式市場に対し、ナスダックの上場基準 の中で今後どのようにしてそのコンプライアンスを回復することができるかを説明した計画書を 提出する意向である。

なお、当社は、2011 年 3 月 31 日と 2011 年 6 月 30 日締め四半期決算の財務諸表を作成する 傍ら、2010 年 9 月 30 日と 2010 年 12 月 31 日締め四半期決算の財務諸表の修正作業も引き続き 行っている。

(出典)

"American Superconductor Announces Workforce Reduction"

American Superconductor Corporation press release (August 11, 2011)

American Superconductor Corporation (2011年8月18日)

American Superconductor 社 (AMSC) はナスダック上場審査部 から一通の手紙(通知書)が送られた。内容は、当社が 2011 年 6 月 30 日締め四半期決算報告書を期限内に提出できなかったことに対して、ナスダック上場基準に従っていないというものであった。この通知書は、ナスダック標準手続に従って発行されたものであるが、2011 年 3 月 31 日締め通年決算報告書を本来の期限内に提出できなかったという通知書を過去にも受けていたということからも通知の対照となった。しかしながら、この通知書によって、当社普通株式の上場に直ちに影響するとは考えにくい

当社には、2010年9月30日と2010年12月31日締め四半期決算報告書の修正再表示を含む財務諸表を完了し、監査のための追加の時間が必要とされる。当社は、コンプライアンスを回復するための計画を詳細に説明し、また、必要な報告書の提出期限延長を書面にてナスダックに提出している。

(出典)

Source: "American Superconductor Receives NASDAQ Notification Letter" American Superconductor Corporation press release (August 18, 2011)

American Superconductor Corporation (2011年9月23日)

2011年4月1日、American Superconductor 社(AMSC) は、今会計年度の開始以来、風力発電と電力系統市場において、約1億ドルに相当する新規契約を獲得していると発表した。これら契約は、中国、インド、そして韓国の風力タービンメーカーとの取引だけでなく、アメリカとヨーロッパでの系統連携並びに電圧制御に関する受注や、韓国向けの主要高温超電導線材の出荷等が含まれている。



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

とくに、風力タービン用の電気制御システム(ECS) に関しては、JINGCHENG New Energy 社 (中国北京) と新たに複数年間に亘る契約を締結した。契約に基づいて、出荷は暦年 2011 年後半頃から開始され、暦年 2014 年に終了する予定である。また、風力タービン ECS の契約は Inox Wind 社 (インド) とも締結され、出荷が暦年 2011 年後半頃から開始され、暦年 2012 年に終了する予定である。

韓国では、Hyundai Heavy Industries 社と暦年 2011 年以内に、風力タービンのコア電気部品を提供する契約が締結された。

電力系統のアプリケーションについて当社は、フロリダ州にある電力公益事業団体の Keys Energy Services に D- VAR®システムを提供することで、数百万ドルの契約を締結し、さらに、ヨーロッパとアメリカにおいて、風力発電所や太陽光発電所用の新しい電力系統の統合ソリューションに関する契約をいくつか締結した。最近では、2010 年 10 月に交わした LS Cable & System 社(韓国)との複数年間に亘る供給契約の一環として、当社はついに Amperium™線材の初出荷に至った。

(出典)

"AMSC Reports Full-Year Fiscal 2010 and First Quarter Fiscal 2011 Financial Results" American Superconductor Corporation press release (September 23, 2011)

American Superconductor Corporation (2011年9月23日)

American Superconductor 社 (AMSC) は、2011年6月30日締め2011年度第1四半期の決算報告と同時に、2011年3月31日締め2010年度通年決算報告を行った。これで同社は、証券取引委員会監視のもと、対応した通年及び四半期決算報告書の両方を提出したことになり、ナスダックが掲げた上場基準におけるコンプライアンスを回復できると期待している。

当社の2010年度年間収益は、前年度の3.16億ドルに対して、2.866億ドルとなった。また純損失は1.863億ドルであった。2010年度収益について言えば、中国の特定顧客への2010年9月1日付け出荷売上並びにSinovel Wind Group 社への2010年10月1日付け出荷売上に対して現金決済が採用されたため、その適用金額が年間収益に含まれた影響を受けている。2010年度純損失には、一時的な資産評価損及び減損を計上し、さらにSinovel社との関係断絶の判断に基づいて第4四半期中に発生した未払費用が含まれており、その純損失は1.585億ドルにも上る。

2011年度第1四半期の収益は、前年同期の9,720万ドルに対して、910万ドルとなった。この減収については、主にSinovel 社からの売上が減少したことが影響している。尚、第1四半期の純損失は3,770万ドルであった。The Switch Engineering Oy 社買収提案に関する前渡金約2,060万ドル、そして当社の現金及び現金同等物残高、有価証券、拘束預金当を合わせて、2011年6月30日付け純資産は1.662億ドルであった。社長兼最高経営責任者であるDaniel McGahn氏は、「2010年度通年及び2011年度第1四半期の決算報告は、単なる過去の業績の反映であると言える。我々は、我が社をより良く再建させるために努力を続けている。コスト削減に向けて成果が既に現れており、年間で3,000万ドル以上のコスト削減に成功し、事業に関してはより市場向けの風力と電力系統部門の再編に注力している。さらに、今会計年度開始以来、約1億ドルに相当する新規契約を既に獲得しており、これらの努力は、顧客基盤を拡張し、収益源を多様化し、企業の成長を取り戻すことにつながると確信している。」とコメントした。

現時点では、当社の2011年9月30日締め今四半期収益が1,800万ドルを超える見通しである。 また、Sinovel 社に対する訴訟費用と既に公表済みの事業リストラ費用を含めた純損失は、3,800 万ドル以下に納まることが予想される。当社の契約解除と訴訟費用およびサプライチェーンにお ける債務負債にもかかわらず、当社の現金、現金同等物、有価証券および拘束預金を合わせ、1 億ドル以上を保有して2011年度第2四半期を終了する見通しである。



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

(出典)

"AMSC Announces Nearly \$100 Million in New Contracts Across Product Lines and Geographies"

American Superconductor Corporation press release (September 23, 2011)

ヘリウムガス価格

Air Products 社(2011年8月15日)

Air Products 社は、2011 年 9 月 1 日付けで、北米における液体及びバルクヘリウムガスの価格 を 15 %引き上げる旨発表した。この価格調整は、供給に大幅な低下が見られる中、根強く続く 需要の強さに対応する目的で行われた。

米国土地管理局 (The U.S. Bureau of Land Management) では、世界中から集まった多くのヘリウム資源を容量範囲内で運営管理し、その産出物の配分を実施している。しかし、最新のヘリウム資源のほとんどは米国外に存在し、また、その価格は非常に高値をつけている。結果、天然および加工済み液体ヘリウムの卸売価格がさらに値上がりする傾向にある。ヘリウムの需要はこ2、3年にかけてその供給を上回って伸び、市場での供給不足は当面続くであろうと予想される。

(出典)

"Air Products Announces North America Price Increase for Liquid and Bulk Helium Gases" Air Products press release (August 15, 2011)

量子コンピューティング

National Institute of Standards and Technology (2011年8月10日)

米国国立標準技術研究所 (NIST) の物理学者たちは、世界で初めてレーザー光線ではなくマイクロ波を利用して2つに分離したイオンを操作し、その量子的性質を結合させることに成功した。それは、部屋のサイズほどもある風変わりな量子コンピューター"laser park"の代わりに、スマートフォンなどで使用されているような小型化された市販のマイクロ波技術を使用出来る可能性があることを示唆している。

マイクロ波は以前から単一のイオンを操作するために使用されていたが、本研究では、最初にマイクロ波源を対象イオンの30ミクロン以内に配置させることによって、エンタングルメント(量子コンピュータの情報を伝えたり、エラーを補正したりするにあたって極めて重要な量子現象)を引き起こさせるのに十分な環境を作り出した。

今回の実験装置では、チップサイズのイオントラップに直接マイクロ波源の配線をすることで、レーザー、ミラー、レンズをデスクトップの大きさに収めることができた。これは、以前の装置と比べると1/10ほどである。これまで使用していた複雑で高価なレーザー光源とは対照的に、マイクロ波部品はその拡張やアップグレードがさらに容易になり、量子コンピューティングやシミュレーションに必要かつ実用的なシステムを、何千ものイオンによって構築することができる。

当機関の物理学者Dietrich Leibfried氏は、「精巧に作られた機械装置の総面積が通常のデスクトップコンピューターと匹敵するようになるのと同様に、平凡なサイズの量子コンピューターも、将来的にはレーザーポインターのようなデバイスが付いたスマートフォンのようなものになることが想像できる。



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

量子コンピューターは、誰もが使いたいと思うような便利なデバイスというわけではないが、スマートフォンで使われているようなマイクロ波電子機器となれば多くの人が使用する可能性はある。現在、技術革新の支援とコスト削減のため、これらマイクロ波部品は一般大衆市場に向けて急速に開発されている。」とコメントした。

マイクロ波を使用することで、イオンによるレーザーの自発的放出というエラーだけでなく、レーザー光線の位置決めおよびそのパワーの不安定によって引き起こされるエラーも低減することができる。しかしながら、マイクロ波の操作で実用的な量子計算またはシミュレーションを促せるためには、さらなる改善が必要である。現時点で行われている実験では、研究者たちは76%という割合でエンタングルメントに達成している。この結果は量子的性質の始まりを定義するのに必要な50%という最低基準を大きく上回っているが、最適レーザーで制御された操作の結果(99.3%)にはまだ及ばない。当機関研究グループの功績はNatureの8月11日版に記載されている。

(出典)

"NIST physicists 'entangle' 2 atoms using microwaves for the first time"

National Institute of Standards and Technology press release (August 10, 2011)

http://www.nist.gov/pml/div688/microwave-quantum-081011.cfm

University of California - Santa Barbara (2011年9月1日)

カリフォルニア大学サンタバーバラ校の物理学者は、量子情報処理について新しいパラダイムの実証を行った。量子効果を利用して、従来型コンピューターと同じフォンノイマン型アーキテクチャーを備えた集積回路のデモンストレーションを行ったのである。この集積回路はその機能の全てが単一のチップに組み込まれており、量子中央演算処理装置を用いることで、長寿命の量子ランダムアクセスメモリをプログラムすることができる。

また量子フォンノイマン型アーキテクチャーによって、量子版古典コンピューターに必要な主要要素を持ち合わせているとも言える。ここで報告されているハードウェアは、超電導量子回路を使って作成されているので、量子的性質を実現するために冷却する必要がある。集積回路には、量子ビットが2つ、量子通信用パスが1つ、量子メモリが2つ、そして簡単な量子コンピューターを構成するのに必要なリセットレジスタが1つ含まれている。当大学物理学科の博士研究員である Matteo Mariantoni 氏は、「計算速度に関して言えば、1ステップあたり数十億分の1秒という古典コンピューターに匹敵する速度ではあるものの、この量子コンピューターが発揮する威力は、多数の計算を同時に実行できるという点にある。我々が開発している新たなUCSBアーキテクチャーでは、他の量子計算を実行しながらメモリに量子情報の書き込みが出来るかどうかを調べている。」とコメントした。

量子大規模集積の実現に向けて手の届くところまで来ていることを説明した当研究チームの成果は、Science Express のオンラインで公開されている。 (出典)

"UCSB physicists demonstrate the quantum von Neumann architecture" University of California – Santa Barbara press release (September 1, 2011) http://www.physics.ucsb.edu/news/announcement/548-090211

強磁場

Los Alamos National Laboratory (2011年8月23日)



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

Los Alamos 国立研究所 (LANL) にある国立高磁場研究所 のパルス磁場研究施設の研究グループは、今までにない最強の磁場を非破壊磁石で生成するという世界新記録を樹立した。

8月18日、当研究グループはドイツ科学者チームが保持していたそれまでの記録を上回る92.5 Tという記録的な磁場を生成した。次いで8月19日、前日達成した記録をさらに上回る97.4 Tという数値の磁場を生み出した。

非破壊磁石で極度に強力な磁場を生成できるようになれば、その能力は、金属や超電導体、そして半導体や絶縁体に至るまで、様々な材料の基本的物性を研究するために利用できる。また、材料物性という点で貴重な糸口を提供してくれることから、これらの材料の中にある高磁場と電子の相互作用の研究にも、大きく役立つことであろう。

当研究所のパルス磁場研究所では、95 T という磁気パルスが日常的に提供できるようになることで、世界中からの利用者を引き寄せたいと考えている。 (出典)

"Los Alamos achieves world-record pulsed magnetic field" Los Alamos National Laboratory (August 23, 2011)

電力

LS Cable & System (2011年9月19日)

LS Cable & System 社と韓国電力公社 (KEPCO) 両社は、韓国電気研究院と韓国電力研究院との共同で、次世代型超電導電力送電系統プロジェクトの実施を目的とした大規模な研究開発に取り組む方針であることを発表した。これは、韓国の行政機関である知識経済部が最初に手掛けたプロジェクトであり、2016 年までにスマートグリッド技術を開発することを目的としている。

プロジェクト発足当初、超電導技術を利用することによって大容量且つ高効率、その上環境に優しい送電技術の開発、さらにはこれら技術が実際の送電系統に適応出来るか否かに高い期待が寄せられた。

プロジェクトの目的は、超電導機器応用のシステムを選択し、そのシステムを分析しながらシステムインテグレーションの計画を開発すること、そして技術の商業化と安全な運用基準、メンテナンス手順、およびエンジニアリング技術を綿密にサポートできる手段を発見することにある。また、DC/AC 送電用超電導ケーブルの製造システム及び送電用超電導限流器を開発することも、このプロジェクトの一部である。

(出典)

"LSC&S and KEPCO accelerate next-generation superconducting transmission network development"

LS Cable & System press release (September 19, 2011)

Stanford University (2011年9月22日)

スタンフォード大学の地球気候変動とエネルギープロジェクト (GCEP) は、電力系統のエネルギー貯蔵容量を劇的に向上させる新技術の開発に携わった大学 5 校の研究者たちに、350 万ドルを賞与することを発表した。

当プロジェクトの研究イニシアチブとして、高効率の電気化学ストレージシステムとフライホイールを開発するための新たなアプローチに焦点を当てている。

3 つの革新的な技術が 12 人の審査員の焦点となっているが、そのうちの 1 つが、低価格なフライホイールのエネルギー貯蔵システムである。テキサス大学の研究者たちは、超電導性質を持つ



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

高強度カーボンナノ物質を使用した**2**つの斬新なデザインのフライホイール(振り子型フライホイールとハブ無しフライホイール)を研究し、大幅にコストを引き下げながらエネルギーの貯蔵容量を増やそうと考えている。

テキサス大学オースティン校電気機械センターのエンジニアリング部門上級科学者である Richard Thompson 氏は、「GCEP の賞を受賞したことで、我々は革新的なフライホイールのデザインに関する理解を一層深め、その結果、エネルギー貯蔵にかかるコストが他の技術と比べて 10 倍減少できる可能性も出てきた。」とコメントした。

当プロジェクトは、学界と産業界における科学と工学団体のコラボレーションでもあり、ExxonMobil 社、 General Electric 社、Schlumberger 社、そしてトヨタ自動車株式会社などの企業が支援を行っている。

尚、このプロジェクトは、効率的で環境に優しく、またコスト削減に優れたエネルギー技術の 実現を目指す将来性の高い科学を研究するために設立された。

(出典)

"GCEP awards \$3.5 million for energy research"

Stanford University press release (September 22, 2011)

http://news.stanford.edu/news/2011/september/gcep-energy-awards-092311.html

American Superconductor Corporation (2011年9月29日)

American Superconductor 社 (AMSC) は、約50 MWクラスの電力を送配電できる世界最長の配電電圧超電導ケーブルシステムを、韓国のソウルに近いI'cheon変電所で運転開始したことを発表した。この電圧 22.9-kVのAC ケーブルシステムは、当社のAmperium™超電導線材によって作動されており、韓国電力公社 (KEPCO) の電力系統の中に設置されている。KEPCO建設事業部の取締役副社長であるYup Heo氏は「I'cheon変電所での運転開始は歴史的にみて重大な意義を有し、韓国の電力技術が世界トップクラスのレベルに到達したことを証明している。このケーブルシステムの設置に関する技術とノウハウを基盤に、我が社は送電電圧の超電導電力ケーブルの開発を続行し、世界トップクラスの超電導技術と市場での地位を確保する所存である。」とコメントした。また、LS Cable & System社の社長であるJong-ho Son氏は、「KEPCOの将来ビジョンを実現するための支援とグローバルビジネスへの拡張を目標に始まった我々の事業は、韓国や世界において一層伸び続ける電力需要を満たすために、これからも超電導技術に出資していく予定である。」と付け加えた。

(出典)

"First Superconductor Cable Energized in Korea's Power Grid"
American Superconductor Corporation press release (September 29, 2011)

訴訟

American Superconductor Corporation (2011年9月14日)

American Superconductor 社 (AMSC) は、Sinovel Wind グループ社(中国)が当社の知的財産を不正使用したと主張し、Sinovel 社に対して中国国内で刑事および民事訴訟を起こしている。訴訟は、AMSCと法執行機関当局双方による徹底した調査を行って執行される。

AMSC は、Sinovel 社が 1.5 MW の風力タービンシステムの性能を高めるために、AMSC の知的財産を不法入手し企業機密を利用することによって、中国で提示されているグリッドコードに適合させ、他のメーカーからの風力発電気用コア電気部品を購入出来ることを目論んだとして、



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

知的所有権違反で Sinovel 社を告訴している。さらには、排除措置命令と同時に、この侵害行為による経済的損失を補償するための金銭的損害賠償も求めている。

そして、過去に発生した製品出荷代金の全額を当社に支払い、また、未納入であっても契約書に交わされているコア電気部品は全て Sinovel 社が受諾するという仲裁請求も提起されている。 AMSC は Sinovel 社がもはや顧客ではなくなるということを想定して、事業を展開している。 (出典)

"AMSC Filing Criminal and Civil Complaints Against Sinovel"

American Superconductor Corporation press release (September 14, 2011)

事業再編

Zenergy Power plc (September 15, 2011)

Zenergy Power 社は、今後、限流器 (FCL) 製品の開発とマーケティングに焦点を置き、事業再編を図ることを発表した。当社は、HTS 磁石に依存しない次世代の FCL 設計の開発に集中することで、事業の簡素化並びに製造コストの大幅な削減を達成できると考えている。また、次世代 HTS 線材と磁気式ビレットヒーターの開発に向けてこれ以上の投資を行わないこと、さらにはドイツにある子会社の Zenergy Power GmbH に関しても、これ以上資金配分をしないことも決定した。全社レベルで社員が 70 %も削減されるなか、アメリカとオーストラリアにある FCL 事業及びその運営チームはリストラから免れることになる。今回のリストラの施行によって、キャッシュバーンレートを 3分の 2 まで、すなわち年間 4 百万ポンドが抑制できると予想される。現在、当社の手元現金残高は約 6 百万ポンドである。

当社は、「我が社は次世代 HTS 線材と磁気式ビレットヒーターの開発でこれまで大きな進歩を遂げてきたが、この様な進歩を成してもまだ外部の関心を引くには不十分であったと考えられ、全社的に見た場合有意義な投資やライセンス供与、そして戦略的なコラボレーションを果たすまでには行かない結果となった。取締役会は、これら製品分野における当社の知的財産を完全に商業化するための、大規模な投資と時間の浪費は非現実的であると結論づけた。当面の間、これら研究開発プロジェクトに向けたこれ以上の資金が配分されることは有り得ないであろう。」と表明した。

(出典)

"Corporate Restructuring – Business Focussed on New Design FCL" Zenergy Power plc press release (September 15, 2011)

基礎

SLAC National Accelerator Laboratory (2011年9月4日)

SLAC 国立加速器研究所の研究者は、将来有効に利用できる電子特性を有する新種素材につながりそうな画期的な発見をしたことを報告した。当研究チームは、2 つの非磁性絶縁体を挟んだ時、その重なり合う層には、通常共存することができない「磁性」と「超電導」の両方の領域がある現象を発見した。

複合酸化物として知られるこれら物質は、データの保存や、計算処理に必要な「新しい形態の計算メモリ開発」につながる可能性が高く、この発見は今後の研究開発に向けた第一歩とみなさ



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

れ、超電導と磁性の共存がその鍵となっている。さらに、活発に磁性と相互作用する超電導の未知なる新形態を発見できるかどうかが今後の研究の重要なステップになるであろう。

マサチューセッツ工科大学の研究者たちによって同時に公表された彼ら独自の研究報告でも、 物質の界面での磁性の存在が別の手段で測定され確認されている。当研究チームの成果は Nature Physics に報告されている。

(出典)

"Novel magnetic, superconducting material opens new possibilities in electronics" SLAC National Accelerator Laboratory press release (September 4, 2011)

https://news.slac.stanford.edu/press-release/novel-magnetic-superconducting-material-opens-new-possibilities-electronics

CNRS (2011年9月8日)

CNRS (フランス国立科学研究センター) 強磁場研究所の研究チームは、強磁場を用いて物質の超電導性を不安定にすることで、高温超電導体を線状フィラメントに配置できることを検証した。当研究チームは、まず YBaCuO 系酸化物のサンプルを強磁場にさらした後、核磁気共鳴を利用して超電導体を原子スケールで調べたところ、強磁場環境下において、物質の電子は"ストライプ"と呼ばれる直線状フィラメントに配列する傾向があることを発見した。これまで、このような配列は、非超電導性や弱超電導性物質のみに観察されている。

今回の発見は、強磁場が超電導性を弱めることによって、このような結果を引き起こすのではないかと考えられている。しかしながら、この新たな観察結果が超電導性のメカニズムとどのような関連性があるかは不明である。当研究チームの実験結果は Nature に発表されている。(出典)

"Superconductivity: the puzzle is taking shape!" CNRS press release (September 8, 2011) http://www2.cnrs.fr/en/1901.htm



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

標準化情報 11月のトピックス

三戸利行氏及び山崎裕文氏、平成 23 年度 IEC1906 賞受賞-



IEC1906 賞受賞者記念撮影 (最後列左 3 番目 三戸利行氏、7 番目 山崎裕文氏)

平成 23 年 10 月 17 日 (月) 都市センターホテル 3 階「コスモスホール」にて平成 23 年度工業標準化表彰式が行われた。同時に行われた IEC1906 賞表彰を核融合科学研究所連携研究統括主幹の三戸利行氏および産業技術総合研究所超電導技術グループ長の山崎裕文氏が受賞した。

三戸利行氏は、平成 19 年から 5 年間、IEC/TC90/WG12(超電導ー超電導電力機器ー超電導機器 用電流リードの特性試験に対する一般要求事項)のコンビナー及び WG12 の国内審議委員長として、 超電導電流リードの国際規格 IEC 61788-14 の国際提案に関する国内外の意見の取りまとめに尽力 するなど、超電導分野の標準化に多大な貢献をされたことによる。

山崎裕文氏は、平成 18 年から 6 年間、IEC/TC90/WG8(超電導-電気特性試験方法-大面積超電導薄膜の局部的臨界電流密度とその分布)の専門家(平成 21 年から IEC の Expert)として、超電導薄膜の国際規格 IEC 61788-7 の国際提案に関する標準化活動を遂行するなど、超電導分野の標準化に多大な貢献をされたことによる。

また、IECトーマス・エジソン賞授与式での日本人の受賞について紹介があり、本年はIEC/TC90で国際幹事を 22 年間務められた住友電気工業株式会社フェローの佐藤謙一氏が内定し、10 月 24日 IECメルボルン大会の SMB 会議で授与式が挙行される予定であることが報告された。

(編集局)



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

「電子情報通信学会ソサイエティ大会」報告

財団法人国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所低温デバイス開発室 室長 日高睦夫

秋に行われる電子情報通信学会ソサイエティ大会は、基礎・境界、通信、エレクトロニクスの 3 ソサイエティ合同の大会であり、毎年 3 月に行われる総合大会と並ぶ同学会最大の行事である。今回は北海道大学で 9 月 13 日から 16 日の日程で行われ、一般 1709 件、シンポジウム 191 件の合わせて 1900 件の発表があった。超伝導エレクトロニクスはエレクトロニクスソサイエティに属しており、15 件の一般講演が行われた。

ISTEC の永沢は、Nb9 層のアドバンストプロセス (ADP) のシフトレジスタ (SR) による評価 を報告した。SR は 1 チップ上に 16 ビットから 2560 ビットまでの 6 種類が数個ずつ配置されてい る。各ビットは 4 個のジョセフソン接合(JJ)を使用しているため、1 チップ上に約 7 万個の JJ がある。リークや断線などの別のプロセス欠陥テスト結果と SR のイールドに高い相関があること が報告された。一方、プロセス欠陥テストだけでは説明できない現象もあり、系統的な露光不具合 に起因する JJ 面積縮小がその原因として考えられることが述べられた。横国大の桑原は、SFQ 回 路出力増幅用ジョセフソンラッチングドライバ(JLD)バイアス抵抗をシャントして測定機器のイ ンピーダンスと合わせることでマージンが大きく改善することを報告した。横国大の島村は、ADP による浮動小数点乗算器のクロック供給法とタイミング設計を見直すことにより、40 GHz 動作に 成功した。名大の川口は、SFQ 回路の論理設計検証を行うための新しい回路の論理動作記述法を提 案した。横国大の島村は、コラッツ問題という整数問題を解くための SFQ 回路を提案した。現在 証明されている 3×2^{53} を超える証明を行うには、19000JJ 程度の回路でいいが計算時間は 10 億年 かかるそうである。東北大の小野美は、組み合わせ最適化問題を解く超伝導ニューラルネットワー クにおいて従来の結合 SQUID を用いたニューロンに時間遅れを伴う制御性自己結合を導入するこ とにより、局所解状態を不安定化でき 4-Queen 問題で正解率が向上できることを数値解析により示 した。名大の北山は、SFQ 回路の電源電圧を低減し JJ のスイッチ時間を長くすることにより、ゲ ートあたりの消費電力を数 nW に低減できることを示した。この回路のエネルギー遅延積は、従来 の SFQ 回路と比べて 13 倍向上しており、半導体回路と比べて 5 桁優れている。横国大の井上は、 究極の低消費電力回路である断熱型磁束量子パラメトロンの最適パラメータを検討し、±30 %以上 のバイアスマージンを保ったまま 0.003 aJ まで消費電力を低減できることを示した。この値は SFQ 回路の動的消費電力と比べて2桁小さい。

横国大の高橋は、超伝導質量分析システムに用いる SFQ デジタル遅延測定回路(TDC)の開発 状況を報告した。概ね良好な結果が得られているが、まだ原因不明のエラーもある。実用的な回路 であるだけに今後の迅速な進展が望まれる。埼玉大の明連は、超伝導トンネル接合検出器(STJ)を用いたフォトン検出において STJ 出力を SFQ 回路で信号処理するための量子化器の報告を行った。STJ からのアナログ信号を SFQ パルス列に変換するもので、10 nA~4 μ A の電流が検出できることを示した。この電流は STJ 出力に対応している。埼玉大の照井は、ダイナミックレンジは広いが感度が低いデジタル SQUID の欠点を補うために感度の高いアナログ SQUID を付加した回路の報告を行った。まだアナログ SQUID の性能は不十分であるが、今後の進展に注目したい。ISTEC の鈴木は、フラッシュ型 SFQ ADC の入力帯域向上について報告した。入力トランスを小型化することにより従来 7 GHz であった 4 ビット相当出力の最高周波数を 15 GHz に改善した。また、ADC



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

を構成する各ブロックから個別にバイアス電流を引き抜くことで動作が安定することを示した。名大の楠本は、超伝導検出器の信号処理回路に使用する相補型 ADC に積分器を付加することによって 5 MHz 正弦波測定における SN 比を 27.52 dB から 40.57 dB に改善できたことを報告した。この実験におけるサンプリング周波数は 5 GHz であり、周波数を 15 GHz に高めることと間引きフィルタの間引き率を増やすことにより目標とする 74 dB 以上の SN 比が得られる見通しを示した。電通大の水柿は、交流電圧標準を目的とした SFQ パルス数増倍回路について述べた。今回 64 倍の増倍率まで実験によって確認した。電通大の黒岩は、同じく交流電圧標準への使用を目的としたパルス周波数変調型 DA コンバータの発表を行い、3 ビット動作に成功したことを報告した。どちらの回路も従来のスイッチ切り替え型交流電圧標準と比較してより高周波に対応できることが特徴である。実際に交流電圧標準に用いるにはどちらも 10 ビット必要とのことであり、今後回路の大規模化が必要となる。



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

「SCC: 超電導 100 周年会議」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 特別研究員 蓮尾信也 デバイス研究開発部 塚本晃 線材研究開発部 吉積正晃

今年は超電導現象が発見されてちょうど 100 年ということで、世界中の多くの場所で記念行事が行われている。ヨーロッパで隔年開催される EUCAS も、100 周年を記念して今回は ISEC および ICMC と共同で超電導 100 周年会議 (SCC) を開催した。ちなみに、会議名は下記正式名称の略称である。

EUCAS; European Conference on Applied Superconductivity

ISEC; International Superconductive Electronics ICMC; International Cryogenic Materials Conference SCC; Superconductivity Centennial Conference

9月18日から23日までの一週間、場所はオランダのハーグにあるワールドフォーラムにおいて記念すべき会議が開催された。

これが会議の開催されたワールドフォーラムで、NOVOTEL ホテルに併設された大きな国際会議場である。世界中から 1,105 名の参加があった。国別には日本からの参加者が最も多く 222 名であった。18 日(日) 夕方のレセプションから始まって、23 日(金) の午前中までスケジュールがぎっしりの密度の高い会議であった。



図1 SCC が開催されたワールドフォーラム

発表件数は口頭発表 302 件、ポスター発表 742 件であった。セッションはエレクトロニクス、大型応用、材料、ワイヤ・テープの四分野に分かれ、それぞれ 318 件、259 件、311 件、148 件の発表があった。午前の前半に 2 件の基調講演が行われた後、オーラル・ポスターの発表が続いた。

中日の水曜日は「History Day」として、超電導の主な分野のこれまでの進展の歴史が語られた。 最初はライデン大学の P. Kes 教授が、カマリン・オンネスの超電導現象発見前後の状況を当時の写真を使いながら興味深く紹介した。J. Rowell 教授によるジョセフソン効果実証当時の緊張した雰囲気も紹介された。その後、超電導材料、超電導線材、SQUID、デジタルエレクトロニクス、超電導



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

マグネット、超電導電力機器などが、それぞれ開発の当初から関わっている専門家によって紹介された。まさしく、超電導のすべての歴史を網羅した一日であった。

ここでエレクトロニクス分野とワイヤ・テープ分野の全体の雰囲気と、外国から発表されたトピックスを中心に紹介する。

エレクトロニクス分野では、センサー分野が活躍している。各種 SQUID の応用だけではなく、SIS 受信機、TES アレー、SSPD などである。デジタルは相変わらず日本が中心であるが、米国では低消費電力 SFQ に力を入れている。

SQUID 関連については、非破壊検査応用では HTS-SQUID の発表が多く、生体磁気応用と LF-NMR では LTS-SQUID の割合が高い。日本、ドイツ、台湾、米国の順で発表件数が多かった。 日本、ドイツ、台湾ではバイオ応用から非破壊検査まで幅広く SQUID の研究が行われている。米国は SQUID 応用で現在一番注目されている低磁場 (LF) -NMR/MRI の分野で先行している。

M.I.Faley (Julich) らは、HTS-SQUID で LTS-SQUID に匹敵する SN 比で、聴覚刺激の脳磁信号を計測できることを示し注目された。彼らは別の基板上に作製したマルチターン構造の磁束トランス (16x16 mm) と HTS-SQUID をフリップチップ構造で重ね、集積型 SQUID と同等な検出効率を得ている。

Magnelind (LANL) は LTS-SQUID 7ch のシステムで ULF-f MRI の模擬実験を報告した。f MRI (functional-MRI) は画像と同時に血流動態等を測定する手法であるが、静止した水に含まれた流れる水のみ画像抽出できることを報告し、ULF-f MRI 実現へ一歩踏み出した状況である。また、R.Koerber (PTB) らは、LF-MRI による Direct neuronal current imaging (DNI) の模擬実験について報告。DNI とは、LF-MRI 信号が生体磁気により変化することを直接画像で捕える新しい生体磁気計測法として期待されている。現状では感度が不足しているが、Bp を大きくする、雑音を下げることなどで 100 倍の感度改善余地があり、実現の見込みがあるとの見解を示した。

H.-G. Meyer (IPHT) らはモンゴルでの残留磁気信号による遺跡調査結果を報告した。LTS-SQUID グラジオメータを車で牽引して草原をスキャンし、紫禁城に似た構成の埋没した遺跡(面積 1.2x1.2 km²、調査期間 11 日)を発見したことを報告した。

メモリ関係では、O. Mukanov ら(HYPRES)がジョセフソン接合のトンネルバリアに磁性体を挟むことにより、メモリ効果があることを示した。いろいろな材料を試して I_cR_n の大きいものを探しているが、Nb-Al-AlOx-PbFe-Nb の接合で I_cR_n が 100 μ V の値を得ている。メモリを小型化するために有望と主張している。

SFQ 関係では、ノースロップグラマン社と HYPRES 社が独立に低消費電力型 SFQ 回路を開発している。前者は Reciprocal Quantum Logic という回路で 8 ビットの先見桁上げ加算器を構成し、6.2 GHz のクロックで 1 μ W 以下の消費電力で動作させている。後者は 8 ビットの ALU(算術論理ユニット)を作成(7,700JJ)し、20 GHz クロック、7 μ W の消費電力で動作させている。低消費電力型 SFQ が主流になりつつある。

ワイヤ・テープの分野では、高温超電導体(Y系、Bi系)、鉄系、 MgB_2 が対象であったが、Y系が多くを占めていた。Y系線材の開発という観点からすると、Materials セッションとの並行セッションであり、聴講を両セッションのY系に絞ったので、そこから幾つか紹介する。

研究テーマとしては、MOD、特にインクジェットの研究発表が複数のグループから多数発表されていたのが印象に残った。個別の内容では、Glyantsev(STI 社)らの報告で、RCE プロセスを用いて、MOD 平坦化+IBAD&epi-MgO のシンプルな中間層上に YBCO を成膜する構造で静止成膜ながら 4.8MA-0.7 μ m(3.0MA-3.35 μ m)の高い特性が得られていた。Prusseit(THEVA 社)らの報告では、ISD 法を用いて作製した基板を用いて PVD 法で成膜する事により超電導層を斜めに成長させることが出来、厚膜まで a 軸成長を抑えて J_c 一定の膜が得られるとのことであった (5.9 μ m 厚-1018 A/cm)。



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

応用に向けた長尺線材開発、生産の観点としては、これまで開発をリードしてきた企業・研究機関に加えて米国 LANL からのベンチャー企業(STI、iBeam Materials)、ロシアの国プロで開発を行っている企業(SuperOx)など、新たなプレーヤーも出てきており、Y 系線材を使った電力ケーブルなどの応用は世界的に魅力的な分野なのだと感じた。

また、23 日(金)の午後は超電導の発見者であるカマリン・オンネスがいたライデン大学へのバスツアーがあった。ライデンはハーグとアムステルダムの中間に位置する。

ライデン大学には、1908年にオンネスが初めてヘリウムガスを液化することに成功した液化機や、当時の写真などが展示してある。壁にはこの研究所を訪問した著名な研究者のサインが残されていた。アルバート・アインシュタイン、ニールス・ボアなどのほかに日本人では久保亮吾氏のサインもあった。



図2 カマリン・オンネスがヘリウム液化に用いた冷凍機

SCC は 1 週間のスケジュールの中に発表件数が 1,000 件以上という大規模な会議となった。100 年間の技術の進歩を振り返る講演も数多く配置されており、超電導 100 周年を記念するにふさわしい会議であったといえる。



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

「22nd International Conference on Magnet Technology (MT-22)」報告

独立行政法人日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 研究主席 奥野 清



会議場(マルセイユ・パークシャノー)前での参加者 (一部) の集合写真

MT-22 が 9 月 12 日から 16 日にかけて、マルセイユで開催されました。今回は超電導発見 100 周年、さらに応用超電導 50 周年ということで、様々な意味で記憶に残る MT となりました。会議 参加者は 935 人、提出されたアブストラクトは 979 件、論文 632 件、ポスター発表 600 件、口頭 発表 130 件はこれまでの MT の中で最多となりました。

会議はITER機構長の本島教授によるITER計画に関する基調講演に始まり、2日目には超電導分野での最高権威の一人である M. Wilson博士が「超電導の百年」と題する基調講演を行い、満員の会場は最高潮に達しました。一般公演では、加速器や核融合の大型マグネット、高磁場や NMR 用マグネット、医療応用、電力応用、磁気浮上、冷凍技術など、常電導と低温・高温超電導を織り交

ぜ、多岐に渡る分野で着実な進展や大きな成果が報告されました。さらに、技術者や研究者と産業界との接点である企業ブースには40社に及ぶ展示があり、マグネット技術が産業界や一般社会に浸透し、その重要性が増々高まっていることが強く窺えました。そのフォーラムとしてのMTも増々重要と認識されたと理解しております。これらに加え、過去のMT主催者やIEEE、日本の電気学会などのご協力のもと、MT-1(1965)からMT-21(2009)までのすべてのプロシーディングスを電子化し、ひとつのCDにまとめて参加者に配布し、MTとしても一つの節目となりました。



基調講演に聞き入る参加者

会議期間中は用意されたかのごとく好天に恵まれ、参加者は南仏の太陽を思う存分楽しみました。 これまでにない大勢が参加したコンファレンスディナーでは、贅沢なフレンチのフルコースととも



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

にワインが次から次に出され、ボトルの消費も記録的数となったのではないでしょうか。

最後に、国別参加者に目を移しますと、日本と中国が 1、2 番(両者ほぼ同数の 140 人以上)を 占め、地元フランス(120 名程度)を上回っていました。大震災直後にも拘わらず、日本から多く 参加できたことは、皆様の技術開発への弛まぬ熱意の現れと勇気づけられます。なお、MT-23 は 2013 年7月14日から19日まで、ボストンでの開催となったことを合わせて報告いたします。



建設中の ITER サイト (カダラッシュ) へのツアー

(写真はいずれも ITER 機構の提供による。)



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

【隔月連載記事】

イットリウム系超電導線材の開発の道のり(その 6) ~ 使える線材を目指して ~

株式会社フジクラ 超電導プロジェクト室 グループ長 飯島康裕

近年、Y系線材の市販が開始されていくらかの時間が経過し、実際に各種のコイルやケーブル等の試作が進みつつある。高温超電導応用の先輩であるBi系線材が開拓してきた各種の応用を追い駆ける形で、より高性能に、より安く目的を達成出来る可能性がないか、精力的に検討が進められている。Y系線材にはいくつかの特徴があるが、何がメリットに繋がるのかは各用途によって微妙に異なっており、線材に要求される仕様も様々である。Bi系に比べるとプロセスの自由度があるため、適用されるアプリケーション機器の設計指針が定まっていくまでの間、線材設計側へのフィードバックが進められるものと思われる。

Y 系線材の最も判り易いメリットは、回転機界磁コイル等に代表される静磁場発生コイルが、より小型の設計で、より高温での運転が期待出来る点である。Y 系線材の静磁場コイル巻線については、2004 年頃から NEDO 「超電導応用基盤技術開発プロジェクト」内で試作が開始された。2008 年頃に線材の市販が開始されて以降は多数の研究機関で巻線ノウハウの集積が精力的に進められ、既に内外で数 T 級の高性能なコイルが報告され始めている。線材の性能は過去 20 年の開発の過程で大きく向上してきたが、従来寄与してきたのは主に超電導体の結晶配向性と均質性の向上であり、どちらかと言うと膜中欠陥を除く方向で性能向上が進んできた。この方向での性能向上もしばらく進むと思われるが、最近においては更に人工的に欠陥を導入することによってピンニング特性の向上を図ることも可能になってきており、とくに高い温度領域においてその効果が顕著となる傾向がある。従来液体窒素温度付近における磁場発生応用はY系線材でも困難とされてきたが、少なくともサブクール窒素温度においては遠からず検討可能になるものと思われる。

Y 系線材には材料そのもの特性に起因するメリット以外に、線材の構造上生じるメリットがいくつか存在する。これらはそれを狙って開発したというよりも、Y123 超電導体における結晶粒界で生じる敏感な弱結合の克服のために開発した材料プロセス上の要請から必然的に得られた構造である。先ずは銀を多用する必要がないことから価格の低減が可能となることが挙げられるが、基板材料として高強度の金属を使うことが可能となるため(IBAD 法の場合)、強い電磁力に晒される強磁界応用においてその特徴を行かせる可能性がある。IBAD 法では基板選定の自由度が大きく、理想の金属基板として Ni 基耐熱合金が使われた。これはそもそも Y123 薄膜を気相成長させる際に、高温高酸素雰囲気に基板が晒されるためであった。NMR や SMES 等、10 T を超える磁界応用においては線材の強度自体が律速となってコイルの大きさが決まってしまうので、取り立てて補強せずに数 100 MPa の引張強度を持つ線材は大きなポテンシャルがある。現在既に 20 T を超える磁界下において機能するコイルの試作が JST の S-イノベプロジェクト等で進められている。

一方、これまでに最も多く生産されたのは米国、韓国等の国家プロジェクト向け電力ケーブル用線材であり、主に AMSC 社の RABITS 法線材が適用されている。導体の厚さが薄く Joが高い構造である Y 系線材を用いて円筒状にケーブルを構成する場合、モノリシックモデルによる大きな交流損低減の可能性があるとされているが、現実には理想的な配置、電流密度分布にするのは難しく直接その効果は現れ難いと言われている。NEDO「交流超電導電力機器応用プロジェクト」において



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

は、線材の線幅を細く加工する等の工夫によってこの問題を改善しロス低減の試みが行われており、これを用いて 27.5 kV 級大容量ケーブルの試作が検討されている。他に Bi 系にない要素としては、安定化金属層の厚さを自由に調整出来るために、過電流通電時の発生抵抗を制御出来ることで、これによってケーブルに限流機能を持たせることが可能であるとされている。

さらに、積極的に高抵抗を発生し得る線材として、抵抗型限流器向けのY系線材が開発されている。安定化層として使用する銀の厚さを最小限にして、熱的安定を保つためにNi等の高抵抗金属を積層した構造のものである。抵抗型限流器は常電導遷移に伴う線材の熱暴走(クエンチ)を非線形抵抗として積極的に活用するものであるが、復帰能力を得るために液体窒素浸漬冷却である必要があり、低抵抗金属が多量に含む構造では長大な線材を要してコストが過大となることから、現状ではY系線材以外にほぼ選択肢がない。Y系線材を用いた限流器のプロトタイプはNEDO「超電導応用基盤技術開発プロジェクト」で6.6 kV級が製作された後、米国 DOE の国家プロジェクトにおいて138 kV級の大容量機がいくつか試作されている。

窒素温度領域で検討されている応用としてはさらに変圧器がある。これは平角線材の垂直方向に大きな変動磁界が発生することから非常に大きな交流損失が生じる特徴がある。Y系は構造的に電気的に独立した微細フィラメント加工が可能であることから、原理的にはBi系に比べて大きな損失低減の期待があり、5 mm幅の線材に10本程度のフィラメント加工の検証がISTECにおいて進みつつあり、小規模のコイルで実際に損失低減が確認されている。また、Y系線材をコの字型の周期構造にカッティングして、数 cm おきに転移を施して均流化巻き線が可能なように工夫した"ROEBEL"構造等も徐々に試されつつある。これらの交流損低減目的の細幅線材の成果もY系線材ならではのものであり、充分比熱の高い温度領域で交流損低減の可能性を示す先駆的な試みであって、成功すれば変圧器のみならず交流損に悩まされている多くの超電導応用機器にとって朗報となるはずである。

このように、Y 系線材については、超電導特性自体の高性能化とともに、薄い平角形状の制約下ではあるが、線材の構造上の自由度があることから、従来困難であった応用開拓が多数進められており、非常に大きな裾野を持つに至っている。勿論これだけ多種の線材が全て完成域近傍にあるわけではなく、難度の高い交流ロス対策線材等については、充分な長さで量産に至るには相当の時間を要すると思われる。現在はまずオーソドックスな静磁場応用/ケーブル応用線材について、トップデータの更新のみならず、高品質な量産体制を確立するべく各社の努力が続けられている。

今後この線材が工業製品として認知されていくためには、商品としての信頼性の確立が必要となっていく。Y系の場合、線材を構成している主要な金属が主にNi 系合金等であるため、曲げや引っ張りに対する限界強さについては銀をマトリクスとするBi 系線材よりも明らかに大きい。しかしながら、Bi 系のようにマトリクス中に細い多芯フィラメントを分散させた構造ではなく、基板テープから酸化物層を経て安定化金属まで、異種の材料を積層コーティングした構造であるため、線材内部の機械的応力の挙動に注意が必要とされている。従来金属系線材においては、合金であるNbTi はもとより、脆いとされる Nb_3Sn 等においても、Wind&React等の手法により高い信頼性を持つコイル化技術が確立されてきた。このような手段が使えない銅酸化物系材料を用いた線材の宿命として、Y系線材の場合も独特の機械的な脆弱性を考慮した巻線を行う必要がある。しかしながら、これも原理的に不可能と言った類の問題ではなく、既にある程度の大きさのコイルが線材の劣化なく作成可能なことが報告されつつあり、遠からず信頼性ある技術として確立していくものと考える。

以上、20 年以上に渉って開発に携わった Y 系線材について、その黎明期から実用化手前の現在 に至るまで開発現場の立場から概観させて戴いた。Y 系線材に関する研究開発は大変間口が広く、 拙稿ではとてもカバー出来ない多くの重要な仕事がある点については、改めてご容赦いただきたい。 Y 系線材の基本的なコンセプトは、八方塞りの状況で引き出した IBAD 法によって世に認知された



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

ものであるが、当初の技術は大変初歩的なもので、線材として認知していただくにはほど遠いものであった。線材製造技術として確立されるためには粘り強い継続的な努力が必要で、研究現場の努力のみならず、大規模な国家プロジェクトの推進、日米の競争と協調、LCD業界におけるイオンソースやエキシマレーザ技術の進展等、様々な力添えに助けられてここまで進んできた。長い年月をかけ、性能、長さ、コストの壁を徐々に乗り越え、現在漸く信頼性の壁に手をかけつつある。金属系線材で確立されている完成度に近づくにはなお時間を要するけれども、今後起こりえるヘリウム資源の枯渇等も含め、高温超電導が必要とされる社会的背景は決して小さくなく、本線材が産業として独り立ちする日が来ることを期待して止まない。

最後に、株式会社フジクラ、国際超電導産業技術研究センターをはじめ、各大学の先生方、各真空機器・材料メーカを含め、経済産業省のご指導の下、長期に渉る本線材の開発を支えて下さった関係諸氏の皆様、更にライバルとしてご鞭撻頂いた米国を始めとする海外各研究機関の皆様にこの場を借りて御礼申し上げる。



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

読者の広場

Q&A

Q:「鉄系超伝導体の転移温度上昇抑制原因を特定との新聞記事がありましたが、どのように特定されたのでしょうか。今後はどのような展開が期待されるでしょうか?」

A: 角度分解光電子分光という実験手法を用いて鉄系高温超伝導体の電子状態を精密に測定することで、「擬ギャップ」と呼ばれる異常な金属状態が存在しており、それが超伝導の発達を抑制していることを突き止めました。

最近発見された鉄系超伝導体は 55 K を超える高い超伝導転移温度(T_c)を記録しており、 $20 \text{ 年 以上前に発見された銅酸化物高温超伝導体に次ぐ新たな高温超伝導体として、基礎科学だけでなく、産業応用の観点からも大きな注目を集めています。今後更に高い <math>T_c$ を持つ物質を開発する指針を得るためには「高温超伝導メカニズム」や「 T_c の上昇を妨げている要因」の解明が鍵となりますが、多くの研究が行われてきたにも拘らず、これらの問題に関する明確な答えは得られていませんでした。

超伝導をはじめとする様々な物性発現の有無やその転移温度は、固体中の電子状態と密接に関係しています。角度分解光電子分光は、外部光電効果を利用して固体中の電子を取り出し、電子状態を直接決定できる強力な実験手法です。今回我々は、科学技術振興機構(JST)の支援のもと東北大学において建設・改良を進めてきた世界最高水準のエネルギー分解能を持つ光電子分光装置を用いて、鉄系超伝導体の電子状態を精密に測定しました。その結果、 T_c よりも高温から擬ギャップ状態(常伝導でも超伝導でもない奇妙な金属状態)が発達することを初めて明らかにしました。さらに T_c 以下に温度を下げて測定した結果、擬ギャップが存在する領域では超伝導の発達が弱められていることを明らかにし、擬ギャップが超伝導を阻害する要因になっていることを突き止めました。擬ギャップ状態の電子と超伝導状態の電子のエネルギー差は非常に小さく、両者を見分けることは難しいのですが、新たに開発した装置の超高エネルギー分解能を活かして、わずかなエネルギーの違いを直接観測できたことが今回の発見につながりました。擬ギャップの形状から、擬ギャップの起源が鉄電子の持つ磁気的な性質に関係していることも分かってきました。

今回の研究成果は、鉄系高温超伝導体において擬ギャップが T_c の上昇を抑制していることを初めて明らかにしたものです。今後、結晶を構成する元素やその配列の違いが擬ギャップに与える影響を明らかにすることで、擬ギャップの制御が可能になれば、より高い T_c の実現が期待できます。また、擬ギャップは銅酸化物高温超伝導体でも発見されていましたが、長い間その起源は未解明のままとなっていました。鉄系高温超伝導体と銅酸化物高温超伝導体における擬ギャップの比較研究が進むことで、銅酸化物高温超伝導体の擬ギャップの起源や高温超伝導メカニズムの解明に大きな進展が期待されます。

回答者:東北大学 大学院理学研究科 助教 中山耕輔 様 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授 高橋 隆 様