超電導 Web21
Superconductivity

超電導 Web21

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒135-0062　江東区東雲 1-10-13　Tel: 03-3536-7283　Fax: 03-3536-7318

2009 年 **11** 月号　　2009 年 11 月 9 日発行

掲載内容（サマリー）：

特集：超電導電力機器技術の展開

○超電導電力機器の動向
○SMES 技術の新展開
○超電導電力ケーブル技術開発の現状
○超電導変圧器の技術開発
　- 超電導変圧器実用化のキーテクノロジーと低炭素化にチャレンジ！

○超電導関連 11-12 月の催し物案内
○新聞ヘッドライン（9/20-10/16）
○超電導速報―世界の動き（2009 年 9 月）
○ISTEC、ドイツドレスデンにて第 7 回超電導電力機器関連パネル討論会開催
○新冨孝和氏及び早川尚夫氏、平成 21 年度工業標準化事業表彰等受賞
○合同研究会「Y123 線材の強磁界応用に向けて」報告
○「EUCAS2009」報告
○隔月連載記事ーやさしい「不確かさ」のおはなし（その 6）
○読者の広場(Q&A)ー「JT-60SA と ITER の係わりについて教えてください」

超電導 Web21 トップページ

超電導 Web21
〈発行者〉
財団法人　国際超電導産業技術研究センター　超電導 Web21 編集局
〒135-0062　東京都江東区東雲 1-10-13
Tel (03) 3536-7283　　Fax(03) 3536-7318
超電導 Web21 トップページ：http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html

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

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity

2009 年 11 月 9 日発行

超電導 Web21

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：超電導電力機器技術の展開

「超電導電力機器の動向」

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　藤原 昇

最近の超電導電力機器を取り巻く動向について、Y 系線材、日米の政策というテーマで概要を報告する。

Y 系線材

Y 系線材の性能向上が著しい。日本においては、前プロジェクトにおいて 300 A×500 m の線材開発に成功したフジクラは、Y 系超電導電力機器技術開発プロジェクトの成果として 1000 A/cm を超える線材開発に成功したことを発表するとともに、国プロとは別に Y 系線材の販売を開始した。また、米国 Super Power 社は、単長 1000 m を超える線材（280 A/cm）の開発に成功した。電力機器のみならず一般機器にも使用できる Y 系線材の準備が整いつつある。いくつかの具体的な商取引も発表された。AMSC 社は、韓国のケーブル会社 LS ケーブルから 80 km（4.4 mm 幅）におよぶ世界最大の線材を受注したと発表した。LS ケーブルはこの線材を用いて超電導ケーブルを開発し、韓国電力のグリッドに導入する。Y 系線材は研究開発を深化させながら、商業取引も着実に拡大しつつある。

日米の政策

今年 1 月以降の大きな出来事として、米国の大統領、日本の首相が代わったことがあげられ、このことが超電導にも少なからず影響を及ぼしている。オバマ大統領は、電力の安定供給、再生可能エネルギーの導入などを目的としたグリーン・ニューディール政策を掲げており、DOE（米国エネルギー省）はスマートグリッド関連予算を要求した。この中に超電導電力機器（ケーブル、限流器）の予算が含まれている（9 月号報告）。一方日本においては、8 月の衆議院選挙において勝利した民主党は、マニュフェストの中で「超伝導などの環境技術の研究開発・実用化を進める（抜粋）」と記載している。その後、鳩山首相は 9 月の国連気候変動首脳会合において、温室効果ガス削減の中期目標について「1990 年比で 2020 年までに 25 % 削減を目指す」と宣言し注目された。送変電効率の向上や設備のコンパクト化等の特長があり、CO_2 削減に有効な超電導ケーブル、超電導変圧器の早期導入がより一層求められることとなる。また、出力が不安定な再生可能エネルギーを電力系統に導入し活用するためには、電力貯蔵設備が必要である。有効電力の入出力によって電力系統安定化、電力品質の向上に寄与する SMES への期待が高まる。

最後に

ISS（International Symposium on Superconductivity）の SA（Large Scale System Applications）の発表件数について、2008 年は 81 件であったが 2009 年は 110 件を超えるとの事である。超電導線材の性能が向上し、機器に応用可能な線材が手に入れられるようになるにしたがって機器応用の研究が次第に活発化している。実用化に近づきつつある上述の各機器について、今後も国内外の動向から目が離せない。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

特集：超電導電力機器技術の展開

「SMES 技術の新展開」

中部電力株式会社
技術開発本部　電力技術研究所
長屋重夫

電力貯蔵技術は、大きく分けて 2 つのタイプに分類される。1 つは電気エネルギーを何らかの異なる形態に変換し、それを利用して発電を行うことで貯蔵を実現するタイプ、例えば位置エネルギーに変換する揚水発電や物質変化をさせ化学反応を利用する電池等と、もう 1 つは、コンデンサーのように電気エネルギーを直接貯蔵するタイプがあり、前者はその貯蔵エネルギー量・密度の大きさを特徴とし、後者は貯蔵効率の高さが特徴となる。

SMES は、後者の電気エネルギーを直接貯蔵可能な手法であり、電気抵抗がゼロとなる超電導状態では、見かけコイルの電流が減衰しないため貯蔵が可能となる。この為、貯蔵効率の高さだけでなく、その充放電の応答性や繰り返しの耐久性に優れ、更に高出力が他の貯蔵装置に比べ非常に優れている。この特徴を活かし、大出力と瞬時の入出力が必要な電力ネットワークの安定化技術として開発が進められ、既に瞬時電圧低下補償装置として実用化されている。

ここで、酸化物超電導体の適用により、特にイットリウム系の線材化によりこれまでの金属系超電導体を適用した場合とは大幅に特性が改善される SMES コイルの見通しが得られている。

まず、臨界温度の高さからくる安定性と冷却ペナルティーの改善がある。SMES では充放電に伴う交流損失の問題があり、用途によっては大きな制約となるが、酸化物超電導体では臨界温度の高さと大きな比熱から本質的に安定性が高く、従来の金属系で問題となる動作時のクエンチはほぼ発生しない。また冷却に関しては、液体ヘリウムが必須ではなくなり、冷凍機による伝導冷却が可能となる。これは冷却効率の改善だけでなく、クライオスタット構造の大幅な簡略化が可能であり、メンテナンスや信頼性の点で非常に有利となる。

次に、SMES にとって最も大きな利点となる特徴は、特にイットリウム系線材の高い機械強度である。SMES ではコイルの磁気エネルギーの形で電力の貯蔵が行われるが、そのエネルギー貯蔵密度は磁気エネルギー密度に比例し、コイルに発生する応力の限界が電力貯蔵量を決定する。高磁界に耐えられる高強度コイルの実現は、SMES にとって性能、機能、コストのすべての面で有利であり、線材自体が高強度なイットリウム系は、SMES のコイルシステムを飛躍的に改善出来る可能性を秘めている。既に、線材レベルではあるが従来の金属系では対応が不可能な高応力コイルの原理検証が行われ、金属系コイルの 2 倍以上の強度となるコイル応力 600 MPa の設計が行われ、現在進められているイットリウム系超電導電力機器開発プロジェクトにおいて、本年度その実証試験が行われる予定である。

このプロジェクトでは、SMES の心臓部となるコイルシステムへイットリウム系線材を適用し、その限界性能の把握と最適化をコイルのみならずシステムとしても行うもので、従来の金属系では構成が難しく、今後の再生可能エネルギーなどの大量導入で必要とされる大容量電力貯蔵のニーズに対応可能な次世代 SMES の実現を目指した開発を進めている。(開発計画の詳細は、NEDO ホームページを参照)

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

イットリウム系線材の登場で SMES のみならず超電導技術の電力機器応用は大きく飛躍することが期待され、現在、産官学一体となってその実現に向けて着実に開発が進められている。今後、地球環境対策技術としてその重要性がますます高まるとともに日本が国際競争力を持つ重要な技術の 1 つとなると考える。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

特集：超電導電力機器技術の展開

「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
増田孝人

超電導電力ケーブルは大容量の電力をコンパクトな形状で、低損失に送電することができ、将来の大容量送電技術として期待されている。また、昨今問題になっている CO_2 排出量の低減に関しても、低送電損失、コンパクト化による建設工事の簡略化から、貢献できる技術であるといえる。

現在、日本では経済産業省、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクトにて、2 つの超電導ケーブルのプロイジェクトが進行している。

その内の 1 つは、「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」である。本プロジェクトは、ビスマス系線材を用いた 66 kV/200 MVA 級超電導ケーブルを開発し、日本で初めてとなる実系統での長期運転を平成 23 年度から実証しようとするものである。実証場所は、東京電力管内の旭変電所（横浜市）に決定し、低交流損失化技術の開発（1 W/m/ph @ 2 kA）、短絡電流対応（31.5 kA@2 sec）などの要素技術開発が進んでいる。また、実証システムを建設する前に、事前検証として 30 m 級ケーブルシステムを住友電工内の試験場に構築し現在検証試験が実施されている段階である。(写真 1 参照)

写真 1　30 m 検証用ケーブルシステム

他方は、「イットリウム系超電導電力機器技術開発」の中で実施されている超電導ケーブル開発プロジェクトで、イットリウム系線材を用いて、

①大電流・低交流損失型超電導ケーブルの開発、
②高電圧・大容量超電導ケーブルの開発が実施されている。

①は住友電工が担当しており、66 kV/5 kA 級の三心一括型ケーブルの開発を行い、2.1 W/m/ph @ 5 kA の実証を行うことが目標である。②は古河電工が担当しており、275 kV/3 kA の単心型ケーブルの開発を行い、高電圧での検証を行うことを目標としている。それぞれ、平成 23 年度にシステム試験を実施する計画である。

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

このように、日本では着実に超電導ケーブルの技術開発が進展しているが、海外においても米国、韓国などを中心に実系統でのプロジェクトが多数進行あるいは計画されている。このような状況の中、超電導ケーブルの国際的な規格づくりが必要との要望が各国から出てきている。日本でも、日本 IEC の TC90/TC20 のメンバーからなるアドホック委員会を中心に、超電導ケーブルの標準化について検討を行ってきており、標準化の早期実現に向け IEC（国際電気規格）に働きかけた結果、IEC は CIGRE（国際電力大会議）に標準化の可能性検討を要請し、昨年度、CIGRE SC-B1 のタスクフォース（TF）にて事前検討が行われてきた。結論として、今秋から超電導ケーブルの試験法に関する国際標準化の可能性の調査を行うワーキンググループ（WG）が立ち上がり、3 年間の予定でその活動を開始することになった。日本からもこれに参加し、2 つのプロジェクトの成果、データを提供し、積極的にこれに提案していく。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

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 - 超電導変圧器実用化のキーテクノロジーと低炭素化にチャレンジ！」

九州電力株式会社
総合研究所　電力貯蔵技術グループ
林 秀美

変圧器は超電導線材を適用することにより、小型・高効率（低炭素化）でかつ不燃性となる。特に、Y 系超電導線材（YBCO, GdB CO）は高磁界中での臨界電流が大きく、細線化による損失低減が図れ、将来の低コスト化も期待されることから、平成 20 年度から資源エネルギー庁の補助事業「イットリウム系超電導電力機器技術開発」の一環として、NEDO から受託し、Y 系線材による超電導変圧器の実用化技術開発に取り組んでいる。超電導変圧器の適用は、需要増に伴う変圧器の新増設、高経年変圧器のリプレース対応および既存変圧器の課題対応（高効率化、小型化、不燃、長寿命化）の適用が期待されている。また、変圧器に限流機能を付加することにより、電力系統での限流器としての運用に加え、超電導ケーブル適用時の送電容量と短絡容量の対策にも貢献すると考えられる。

本プロジェクトでは、66 kV/6 kV-20 MVA 級配電用変圧器の実用化を目指した次のコンセプト、

① 超電導変圧器の要素技術開発；超電導線材の安定供給 （目標；線材≧100 m 長、5 mm 幅・3 分割、40 A@0.1 T）、巻線技術（低損失≦1/3、2 kA 級大電流、66 kV 耐電圧）、冷却システム技術 （2 kW@65 K、COP 0.06@80 K）

② システム技術開発（66/6 kV-2 MVA 級モデルの開発・検証、実用器設計指標）

③ 限流機能付加技術の開発（数 100 kVA 級単相モデル）

④ 導入効果・導入指標および国際標準化の指標策定、で技術開発に取り組んでいる（図 1）。

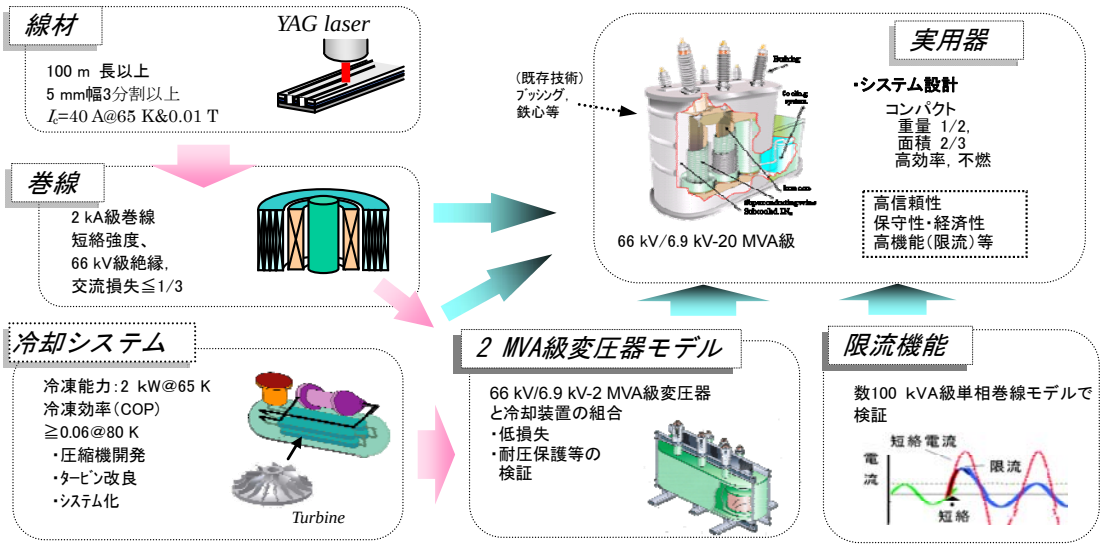


図 1 超電導変圧器技術の開発内容と目標

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

Y 系線材はイオンビームアシスト蒸着法（IBAD）基板に、パルスレーザー蒸着法による IBAT-PLD 線材および有機酸塩熱分解法による IBAT-MOD 線材の歩留まり向上を目指した安定供給技術を開発して供給している。また、線材加工は 10 mm 幅線材の 2 分割の高速切断技術、および 100 m 長線材 3 分割の I_c 劣化低減を図った高速処理技術を開発している。これまでに YAG レーザーとエッチングの組み合せにより、30 m 長線材を細線化し、線材臨界電流（I_c）の低下率は 14.7 %、フィラメント間抵抗は 100 kΩ/30 m（許容値 0.3 kΩ/30 m）と良好な成果を得た（図 2）。さらに、支援技術として、連続 I_c 測定のテープスター、SQUID 検査装置、基板間抵抗評価装置などの技術や装置を開発して、迅速かつ高精度な評価を行い開発にフィードバックしている。

巻線は、多並列巻線（実機 24 並列）の基礎技術として、66 K 液体窒素中で素線 3 並列の巻線モデル（内径φ250 mm、12 ターン）の I_c 測定と過電流試験（素線当り短絡電流相当）を実施した（図 2）。過電流 1,395 A（465 Arms/1 素線）の電流分流は均一化され、通電後の I_c 低下は無く巻線は健全であった。今後、大電流化技術等を開発予定である。

変圧器の限流技術は、巻線モデル基礎試験、4 巻線構造変圧器でのメカニズム検証および数 100 kVA 級限流機能付加変圧器モデル検証のステップで開発を進めている。今回、巻線モデル（φ250 mm, 12 ターン, I_c;150 A）にての短絡相当の過電流試験を実施し、電圧の発生等から限流効果が確認できた（図 3）。

冷却システムは、小型化、高効率、保守性（摺動部レス）からネオン冷媒のタービン方式を採用し、冷凍能力 2 kW@65 K 等を目指して開発している。これまでに、膨張タービンのインペラーを開発して断熱効率 65 % 以上を検証している。今後、ターボ圧縮機やシステム化技術等を開発予定である。

さらに、以上の技術を複合して、66 kV/2 MVA モデルとして変圧器をシステム化し、検証・評価する予定である。併せて、これらの成果等に基づき導入効果や試験法等の国際標準化にも取り組んでいる。なお、本研究は、ISTEC、九州大学、岩手大学、株式会社フジクラ、昭和電線ホールディングズ株式会社、大陽日酸株式会社、財団法人ファインセラミックスセンターおよび当社の協働にて実施している。

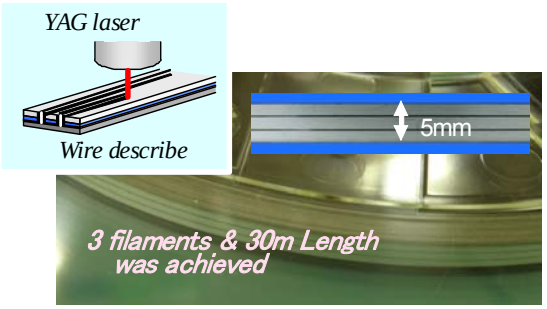


図 2 Y 系線材の細線化（5 mm 幅,3 分割 30 m）

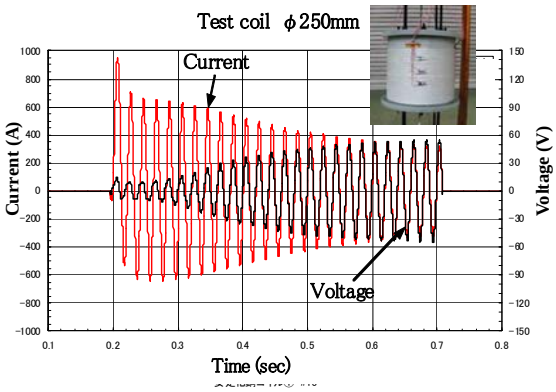


図 3 巻線モデルの短絡試験結果

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

超電導関連 11 月- 12 月の催し物案内

11/2-4
第 22 回国際超電導シンポジウム、22nd International Symposium on superconductivity（ISS2009）
場所：つくば国際会議場、EPOCHAL TSUKUBA、つくば市
主催：（財）国際超電導産業技術研究センター、ISTEC
問合せ：ISS2009 事務局
E-mail: iss@istec.or.jp, http://www.istec.or.jp/ISS/

11/4
第 3 回超電導エレクトロニクスパネル討論会－超電導センサ
場所：国際会議場“EPOCHAL TSUKUBA”2 階、#201A
　　第 22 回超電導国際シンポジウム直後（5:40pm-7:50pm）、国際会議場内にて
主催：（財）国際超電導産業技術研究センター内 IEC/TC90 超電導委員会
問合せ：（財）国際超電導産業技術研究センター内 IEC/TC90 超電導委員会　事務局　田中靖三
Tel: 03-3536-7214、Fax: 03-3536-7318、E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

11/14
市民講演会　超電導応用と照明応用－先端の話題と身近な話題
場所：北海道大学　情報科学研究棟　11F 会議室、札幌市
主催：低温工学協会、東北・北海道支部
問合せ：北海道工業大学　電気デジタルシステム工学科　槌本昌則
Tel: 011-688-2315、Fax: 011-681-3622、E-mail: tsuchi@hit.ac.jp

11/16-18
2009 KEPRI-EPRI Joint Superconductivity Conference
(9th Annual EPRI Superconductivity Conference)
場所：Korea Electric Power Research Institute, Daejeon&Gochang, Korea
主催：Electric Power Research Institute, EPRI, Korea Electric Power Corporation, KEPCO, and The Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, KIASC
問合せ：Korea Electric Power Research Institute, Daejeon, Korea
Tel:+82-55-212-1337、Fax:+82-55-212-1331
http://www.2009kepri-epri.org/

11/22-24
2009 Workshop on Coated Conductors for Application
場所：Barcelona, Spain
問合せ：http://www.icmab.es/cca2009/

12/6-8
応用超電導・低温工学アジア会議 2009 (ACASC2009)
場所：くにびきメッセ－島根県立産業交流会館－、松江市
主催：低温工学協会 (Cryogenics Association of Japan)
共催：The Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics
China National Center for the Research and Development of Superconductivity
Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Science
Inter-University Accelerator Center, India
問合せ：国際交流委員会　宮城大輔（岡山大学）、E-mail: miyagi@elec.okayama-u.ac.jp

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

12/11

第 8 回低温工学・超電導若手合同講演会
場所：大阪市立大学文化交流センター　大セミナー室、大阪市北区梅田
主催：低温工学協会、関西支部
問合せ：大阪府立産業技術総合研究所情報電子部　筧 芳治
Tel: 0725-51-2671、Fax: 0725-51-2639、E-mail: kakehi@tri.pref.osaka.jp

（編集局）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

新聞ヘッドライン（9/20-10/16）

○識者に聞く政権交代　科学技術振興機構理事長　北澤宏一　専門家置いて政策実現を　9/20　読売新聞
○「理系人間」よ、発言せよ　環境エネルギー革命に必要な大局観　9/21　朝日新聞
○室温超電導物質の探索　銅酸化物系では兆候　鉄系・有機系でも新物質　9/24　日経産業新聞
○疾病関連たんぱく　MRI で可視化　京大、種類区別の新手法　9/24　日経産業新聞
○VB、独自技術で創薬支援　生きたまま効能検査　高温下で使える酵素　9/24　日本経済新聞
○脳のかゆみ反応部　解明　生理学研　新薬開発に道　9/25　日刊工業新聞、日本経済新聞（夕）
○09 年ノーベル賞　小川教授が有力候補　トムソン・ロイターが予測　fMRI の原理発見　9/25　日刊工業新聞、日経産業新聞
○風力発電の出力安定化　サンケン電気システム　無停電電源装置の蓄電池活用　不足供給、過剰時は充電　9/25　日刊工業新聞
○次世代送電網　多業種参加で研究会　エネ総工研　2030 年実現策を検討　9/25　電気新聞
○リニア、大阪まで延伸すると・・・　総工費 7 兆～8 兆円　JR 東海が試算　9/27　日本経済新聞
○エネルギーのものさし　水と水蒸気のエネルギーの差　状態変化しても温度上昇しない「潜熱」9/29　電気新聞
○シンガポール　マイクログリッド実用化へ　ジュロン島で実証　9/29　電気新聞
○気になる　低周波音　体への影響は　9/29　読売新聞
○非弾性中性子散乱　新手法で実証試験　原子力機構など成功　物質内部の原子自在に観察　10/2　科学新聞
○次世代送電網に蓄電池　川重が参入「ニッケル水素」容量 10 倍に　今年度中、製品化にメド　10/2　日経産業新聞
○HV などのモーター　希土類使わず高出力　大阪府立大とダイキン　安価な磁石で代替　10/2　日経産業新聞
○経産官僚が仕掛けた電力改革　「発送電分離」は時を経て蘇るか　10/5　The A sahi Sh imbun Globe
○エネルギーのものさし　高位発熱量と低位発熱量　蒸気の潜熱、一般には利用できず　10/6　電気新聞
○世界最大電波望遠鏡　チリで建設本格化「アルマ計画」宇宙の進化解明に期待　66 台のアンテナで観測　10/6　毎日新聞
○2030 年への挑戦　次世代産業技術　アルツハイマー病早期診断　原因物質、発光させ判別　10/6　日経産業新聞
○インターネットや携帯電話と同様の変革をもたらすか　スマートグリッドが変える電力事情　10/7 秋季　環境市場
○経産省「非化石タウン」実証へ　次世代送配電網技術など　APEC 域内で　10/7　電気新聞
○透過型電顕の EDS 分析　エネルギー分解能一桁向上　新開発の分析装置　ナノレベル　高精度分析実現　10/9　科学新聞
○フッ素磁気共鳴信号をオフ・オンスイッチング　浜地・京大教授ら新原理発見　10/9　科学新聞
○最先端研究開発支援プログラム　700 億円執行停止へ　補正予算見直し　10/9　日刊工業新聞、科学新聞
○エネルギーのものさし　ハイブリッド車の省エネ性　エンジン、モーターの両方を生かす　10/13　電気新聞

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

○品川～新大阪　最速 67 分　リニア新幹線　JR 東海試算　10/14　朝日新聞、毎日新聞、読売新聞、日本経済新聞、日刊工業新聞、Fuji Sankei Business i
○テラヘルツ光で検知・試料分析　信州大学理学部→先端赤外　10/15　Fuji Sankei Business i
○脳の血流で認知症診断　京都府立医大　早期発見目指す　10/15　日本経済新聞
○猿、道具の訓練で脳膨張　理研など　MRI 使い発見　10/16　日刊工業新聞
（編集局）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

超電導速報―世界の動き（2009 年 9 月）

財団法人国際超電導産業技術研究センター
国際部

部長　津田井昭彦

電力

American Superconductor Corporation（2009 年 9 月 9 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) は、同社のパワエレ及び超電導ソリューションを急速に成長しているインドの風力発電・電力グリッド市場に供給するため、海外事務所、AMSC インドを新たに開設した。AMSC インドは、デリーの地域本部事務所及びプーンのサービス事務所から構成される。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「インドは再生エネルギーの利用を開始しており、電力グリッドの処理能力と信頼性の大幅改善のため巨額の投資を行っているところである。我々のパワエレ製品及び超電導ソリューションは、短期、長期的なこれらニーズに対応できるものである。AMSC インドの開設により、我が社の風力発電機の新規顧客に高い品質の技術サービスを提供する他、インドの大きな再生エネルギー・電力グリッド市場への将来的な営業基盤が築かれた。」最近、インド政府は 2012 年までに全電化するという計画を打ち上げ、電力供給の安定化と電力利用人口の増加を図ろうとしているところである。この計画によれば、発電量を 140,000 MW から 225,000 MW まで増加させることが必要であり、送配電インフラに対し数十億ドルの投資が求められる。現在、AMSC 社は風力発電に関して Ghodawat Energy Limited 及び Inox Wind Limited の 2 社の顧客を有しており、この 2 社からそれぞれ、5 基及び 3 基のシステムの発注を受けている。

出典:
“AMSC India Formed to Address India’s Rapidly Growing Wind Energy and Power Grid Markets”
American Superconductor Corporation press release (September 9, 2009)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1329462&highlight

Zenergy Power plc（2009 年 9 月 10 日）

Zenergy Power 社は、その完全子会社 Zenergy Power Pty が Australian Research Council から 3 年間の研究開発補助金を受けることになったと発表した。この 80 万オーストラリアドル（約 72 万 5000 米ドル）の補助金は、現在進めている高電圧限流器開発に使われる予定であり、特に、新しい磁性材料と磁心・コイル配置の研究に充当される。これにより、小型、軽量、安価な限流器を狙う。

出典:
“Australian Grant for FCL Development”
Zenergy Power GmbH press release (September 10, 2009)
http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009/2009-09-10-Australian-Grant-for-FCL-Development.pdf

Zenergy Power plc（2009 年 9 月 16 日）

ドイツ連邦環境協会は、Zenergy Power 社及び Bültmann 社に 2009 年ドイツ環境賞を授与した。この賞は、超電導技術を産業機械に応用した功績に対し与えられたもの。両社は共同して、世界初

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

の金属プロセス向けの超電導ヒーターを開発して、市場に投入した。この応用は、商用製造プロセスにおける超電導の経済的、環境的な優位性を明確に実証したものであり、半加工金属産業から大きな関心が寄せられている。このシステムを使えば生産性が 25 % 向上し、同時に従来の加熱装置に比べ 50 % の省エネを図ることができる。世界のエネルギーの 3 % が金属加熱を行う産業で消費されていることを考えれば、この技術の環境面での優位性は明らかである。
出典:
“Prestigious Environmental Award for Success of Superconductors”
Zenergy Power GmbH press release (September 16, 2009)
http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009/2009-09-16-European-Environmental-Prize.pdf

American Superconductor Corporation（2009 年 9 月 23 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) は、同社のパワエレ及び超電導ソリューションを急速に成長している韓国の風力発電・電力グリッド市場に供給するため、海外事務所、AMSC 韓国を新たに開設した。AMSC 韓国の本部は釜山に置かれ、LS Cable, Korea Electric Power Company (KEPCO), Korea Electric Power Research In stitute (KEPRI), Korea Ele ctrotechnology Research Institute (KERI), Doosan Heavy Industries, Hyundai Heavy Industries といった多くの顧客にサービスを提供する予定である。AMSC 社上級副社長兼超電導事業部総支配人 Dan McGahn は次のように述べた。「韓国は、エネルギー技術の革新と優れた製造能力に注力しており、我が社にとって鍵となる地域である。韓国は、電力グリッドの強化に何十億ドルも投資しており、風力発電機のようなクリーンエネルギー技術の主要輸出国になりつつある。AMSC 韓国の開設により、韓国内での我が社のパワエレ、超電導ソリューションの採用を加速でき、同時に韓国の顧客に付加価値の高いサービスが提供できる。」新しい韓国再生エネルギー計画（総額 858 億ドルで、その 1/3 が政府資金）の一環として、韓国政府は約 769 億ドルを再生エネルギーに 88 億ドルをグリーン技術の開発に配分した。韓国は、風力発電機等再生エネルギー技術の主要な輸出国に成長していくものと期待されている。
出典:
“AMSC Korea Formed to Capitalize on Substantial Wind Energy and Power Grid Opportunities”
American Superconductor Corporation press release (September 23, 2009)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1334700&highlight

American Superconductor Corporation（2009 年 9 月 23 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) は、超電導ケーブルの商用販売を促進するため韓国 LS Cable Ltd.と戦略アライアンスを組んだ。両社は、今後 5 年間で少なくとも 10 km の超電導ケーブルを商用電力グリッドに展開するために協力していく。LS Cable 社が製造する超電導ケーブルには、AMSC 社の 344 超電導線材が使用される予定であり、このアライアンスにより AMSC 社からの高性能超電導線材供給が保障される。LS Cable 社執行副社長兼 CTO、Joon Hyung Cho は次のように述べた。「今日電力事業者が直面している電力需要とグリッド信頼性の課題に対処すべく、我が社は超電導ケーブルの広範な適用促進にコミットしている。すでにいくつかの超電導実証を終え、韓国の電力グリッドは今後アップグレードを図るべき時期にきている。我々は、AMSC 社と戦略アライアンスを組み、将来の韓国電力グリッドを支えるために超電導ケーブルの商業生産を進めたいと考えている。我々は、AMSC 社との関係が更に深まり、我が社の商用超電導ケーブル製造に必要な第 1 級の超電導線材が確保できたことを嬉しく思っている。」

この発表に関連して、AMSC 社は現在 LS Cable 社が Korea Electrotechnology Research Institute

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

(KERI) と共同で 2011 年に Gochang 電力グリッドに設置予定の 100 m、154 kV 超電導ケーブルの開発を進めていることを明らかにした。この超電導ケーブルは約 13 km の 344 超電導線材を使う見込みであり、韓国において送電レベルで稼動する初めての超電導ケーブル実証となる。
出典:
“American Superconductor and Korea’s LS Cable Form Strategic Business Alliance”
American Superconductor Corporation press release (September 23, 2009)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1334704&highlight

Zenergy Power plc（2009 年 9 月 23 日）

Zenergy Power 社は American Electric Power (AEP) と送電電力級限流器の据付及び運転のための協力協定を締結したと発表した。これは、米国電力グリッドに設置される初めての送電電力級限流器となる。この限流器は 2011 年後半、オハイオ州 Steubenville 近郊の 138-kV Tidd 変電所に設置される見込みである。AEP 社が電力事業者のグリッドに対する要求事項という観点から評価を行った上で、この協定が締結された。2007 年 6 月に発表された現行 1,100 万ドルプロジェクトの一環として、この高電圧限流器の製造据付の資金の一部は米国エネルギー省から提供を受けることになっている。AEP 社送電部門担当上級副社長 Michael Heyeck は次のように述べた。「我々は将来に向けて再生エネルギーや他の形態の新しい電力に対応すべく送電グリッドの拡張、更新を行っているが、超電導限流器を適用することにより、新しい装置を既存のグリッドに付加する場合にも追加投資をしなくてすむようになる。限流器の採用は、経済的かつ高信頼性が確保できるため、これらの課題に対処するには有効である。」
出典:
“American Electric Power FCL Agreement”
Zenergy Power GmbH press release (September 23, 2009)
http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009/2009-09-23-AEP-FCL-Agreement.pdf

American Superconductor Corporation（2009 年 9 月 29 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) は、中国北京の Sinovel Wind Corporation Limited と Sinovel 社 3-MW 風力発電機向けコア電気部品供給に関する新しい契約を締結した。この契約の総額は 1 億ドル以上。AMSC 社は 2010 年 3 月から部品の出荷を始め、2011 年末に全ての出荷を完了する予定。Sinovel 社は現在中国最大の風力発電機メーカーである。Sinovel 社は、何千基もの 1.5-MW 風力発電機の生産に加え、上海沖の中国最初のオフショア風力発電所にすでに数基の 3-MW 風力発電機を設置している。
出典:
“AMSC and Sinovel Sign $100 Million Follow-On Electrical Components Contract for 3 Megawatt Wind Turbines”
American Superconductor Corporation press release (September 29, 2009)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1336479&highlight

量子計算機

University of California – Santa Barbara（2009 年 9 月 23 日）

University of California – Santa Barbara では、超電導電子回路を使って、量子力学上の大きな進歩を成し遂げた。同大学の研究者グループは、超電導電子回路を使ってエンタングル状態の Q-bit

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

を測定し、量子的相関を検出した。検出された量子相関は、古典的な方法から得られたものより強く、量子力学の法則がマクロなシステムでも見られることを示した。エンタングル状態（スピンの方向が逆の対粒子）の測定は、Bell 不等性として知られる量子力学と古典力学の間の相違についての厳密なテストを可能にする。このような測定は、「Bell 不等性の破れ」として知られている。研究グループは、エンタングル状態の 2 つの Q-bit を使って明確な Bell 不等性の破れを測定、報告し、マクロな電子回路が量子システムを再現できることを実証した。研究グループの主要メンバーの 1 人、John Ma rtinis は次のように述べた。「今回の実験は超電導回路内の Bell 不等性の破れを測定するという課題を実現するものであり、ジョセフソン Q-bit 対の非常に高度な測定を行うことにより達成された。この実験には Q-bit 状態の準備、Q-bit エンタングルメント、エンタングル状態の Q-bit の非常に厳密な状態測定が求められる。マクロ電子回路におけるこのような現象の唯一の説明は量子力学のみであるということを、この実験は直接的に示している。」研究グループの今回の結果は Nature に掲載された。
出典:
“Physicists at UC Santa Barbara make discovery in quantum mechanics”
University of California – Santa Barbara press release (September 23, 2009)
http://www.ia.ucsb.edu/pa/display.aspx?pkey=2094

加速器

Bruker Energy & Supercon Technologies, Inc.（2009 年 9 月 8 日）

Bruker Energy & Supercon Technologies, Inc. (BEST) は、ドイツ子会社の Bruker ASC GmbH が、Stanford University の SLAC National Accelerator Laboratory 、韓国 Pohang Accelerator Laboratory、スエーデンの University of Lund など世界のいくつかの研究機関とシンクロトロンに関する契約を締結したと発表した。これらの契約総額約 370 万ドル。同社シンクロトロン・ビームライン・X 線光学部門長 Wolfgang Diete は次のように述べた。「今回の契約は、最近の Bruker 社の買収の後シンクロトロン事業を更に伸ばすという我々の計画上非常に重要な成果である。我々の技術的な経験を生かし、この重要な装置を稼動させ国際的な顧客が科学的な目的の実現を図り、また、新しいブレークスルーを果たすよう支援していきたいと考えている。」
出典:
“Bruker Energy & Supercon T echnologies A warded Multiple Contract s for S tate-of-the-Art Accelerator and Synchrotron Instrumentation”
Bruker Energy & Supercon Technologies, Inc. press release (September 8, 2009)
http://www.bruker-est.com/pr090908.html

Thomas Jefferson National Accelerator Facility（2009 年 9 月 17 日）

米国 DOE の Thomas Jefferson National Accelerator Facility (Jefferson Lab) は、現在提案されている国際線型加速器 (ILC) 用超電導 RF ニオブ空洞（米国 1 号機）の試験に成功した。この空洞は、より高エネルギー状態の物質を調べるための次世代電子・陽電子衝突加速器 ILC の建設に必要な技術開発の一環として、DOE が資金を提供する研究開発の一部として製作されたもの。超電導 RF 空洞は、この加速器のなくてはならない部品であり、ILC が建設される場合 16,000 組のニオブ空洞が必要になる。世界中のメーカーが、厳しい ILC の要求仕様を満たす空洞の製造にしのぎを削ってきた。Jefferson Lab で今回試験された空洞はニューヨークの Advanced Energy Systems, Inc. によって製作されたものである。

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

出典:
“American-made SRF cavity makes the grade”
Thomas Jefferson National Accelerator Facility press release (September 17, 2009)
http://www.jlab.org/news/releases/2009/SRF-Cavity.html

基礎

Rice University（2009 年 9 月 23 日）

Rice University を筆頭とする 7 つの大学チームが米国国防総省と 500 万ドルの契約を締結した。この契約は高温超電導体を調べるためのシミュレーターの製作のためのもの。このシミュレーターは、高温超電導体のような複雑な物質を調べるためのものであり、レーザーによって光学格子の中に作り出された超冷却状態の原子を使う。この契約は、光学格子エミュレータープログラムの早期フェーズで得られた結果を元に締結された。このプログラムでは、高温超電導体をシミュレートするのに必要な構造を超冷却状態の原子とレーザーによって作り出すことができるということが確認されている。チームの主任研究者 Randy Hulet は次のように述べた。「現実の物質で超電導を研究するのは困難である。それは 1 つには、結晶のわずかな欠陥も実験結果に影響を与える可能性があるからである。しかし、光学格子は、100 %の確かさで欠陥が存在しないと言える。我々は Hubbard モデルの本質を現実に調べることができる。」
出典:
“Rice awarded $5M for light-based crystal simulator”
Rice University press release (September 23, 2009)
http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=13089&SnID=1920094913

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

標準化情報 11 月のトピックス

－ISTEC、ドイツドレスデンにて第 7 回超電導電力機器関連パネル討論会開催－

ISTEC は、NEDO の後援のもとで、2009 年 11 月 15 日、ドイツドレスデン工科大学 Auditorium Centre101 室にて、NEDO 委託事業「イットリウム系超電導電力機器技術開発」の一環として第 7 回超電導電力機器関連パネル討論会を開催し、8 ヶ国 18 名参加のもとで成功裏に終了した。

会議は、松下照男氏（九州工業大学、超電導電力機器技術調査委員会委員長）の司会のもとで行われた。司会者の過去 6 回のパネル討論会の成果概要の報告に続いて、佐藤謙一氏（住友電工）をリーダとする超電導電力ケーブル及び長村光造氏（応用科学研究所）をリーダとする超電導線の 2 つのテーマに関する技術動向並びに国際標準化に関する理解の深化と討論がなされた。

1. 超電導電力ケーブル

◇超電導電力ケーブルの技術動向

－湯山洋康氏（住友電工）から日本国内の現在、進行中の超電導電力ケーブルのプロジェクト 3 件の紹介がなされた。これは Bi 線材を用いた横浜プロジェクト、ISTEC が推進する YBCO コート線材を用いたプロジェクト及び中部大学が推進する直流超電導ケーブルのプロジェクトである。

－Dag Willen 氏（ULTERA, Denmark）からヨーロッパ及びロシアにおける幾つかのプロジェクトの紹介があった。

－Ying Xin 氏（Innopower, Chaina）から中国における 2 件のプロジェクトの紹介があった。

－Steven Fleshler（AMSC, USA）氏から米国における LIPA のプロジェクトの紹介があった。

◇超電導電力ケーブル国際標準化

－佐藤謙一氏からこれまでに行われた、そして現在、進行中及び計画中の超電導ケーブルのプロジェクトの紹介があり、ついで、参加できなかった Lindsay 氏の代理として、高温超電導電力ケーブルについての CIGRE と IEEE の活動の紹介があった。

－Pre-standard 活動をする CIGRE において新しいワーキング・グループを作ることが合意される予定で、今後、試験方法などについて検討が行われ、3 年くらい後に IEC に勧告が出される見通しであることが紹介され、了承された。

－ケーブルについて従来の標準を主体とするか、新しい標準とするかについて質問があった。今後、IEC/TC90 から超電導ケーブルについての特殊性がある事項の情報を IEC/TC20 に提供し、この件について詰めていくこととした。

2. 超電導線

◇超電導線の技術動向

－Chan Park 氏（Seoul N. Univ., Korea）から DAPAS プロジェクトで開発されている SmBCO コート線材の報告があった。

－Ying Xin 氏（Innopower, China）から中国で開発されている ITER 用の Nb-Ti、Nb_3Sn 線材、Bi-2223 テープ、2G 超電導線材、MgB_2 線材についての紹介があった。

◇超電導線の国際標準化

－長村光造氏から、これまでの議論をベースに IEC/TC90 のアド・ホック・グループ 3 で作成した超電導線の標準化のドラフト（Ver.1 と委員からの修正を加えた Ver. 2）が配布され、これについての説明が行われた。

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

－Scope の定義の中で超電導線を”monolithic strand”としていることについて異議が提出された。会議での議論の結果、定義を”single strand”とすることについて異論はなかった。
－Label に normative information として何を載せるかについて、特に contract title の中に材料名（材質名）を記載することについて意見交換を行った。代表的な意見は「取引の当事者は材料についてはよく承知しているので contract 番号等、当事者間で了解できる内容に留めればよい。」であった。しかし stock yard (stock room) に数種の超電導製品が置かれていることを想定すると、当事者が現場作業員に指示する時点では、“材料名”、“重量”、“長さ”などを具体的に提示されている方が望ましいと想定される。他の材料、例えば銅線、アルミニウム線等における Label の調査は参考になると考えられる。企業からの専門家にさらに調査と意見の提出を依頼することになった。
－ドイツの参加者より、HT 線材と LT 線材を分け、LT 線材についてはすでに当事者間に *de f acto* 的な線材仕様が決められているので、新しく standard を作る必要性はないという意見が提出された。これに対して、本来の International Standard の精神は共通化した知識・技術を open にして市場を活性化させることである。将来的に新しく市場に参入する者にとり HT 線材と LT 線材を分けることより、統一的なしかも open な standard のほうが理解しやすく、扱い易いという意見も出された。なお、現状において、Nb-Ti インゴット、MRI 等の原材料、製品は国際的な一部企業が独占しているため、IEC/TC90 で International Standard を作成することは不可能である。
－工業製品である超電導線を議論する委員会に企業からの委員を加えるべきとのドイツからの意見に基づき新しいメンバーを追加したアド・ホック・グループ 3 メンバー構成にするため、最初のメンバーに追加を行った新しいメンバー案を紹介した。会議でさらにアメリカ、ドイツにメンバーとしての参加を要請したところ、Fleshler 氏から Cooley 氏と相談してみるとの発言を得た。
－今後、新しいメンバーを加えたアド・ホック・グループ 3 で議論していくこととなった。

なお、この情報は、同パネル討論会へ出席された松下照男氏の出張報告にもとづくものである。

（編集局）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

標準化情報　11 月のトピックス

－新冨孝和氏及び早川尚夫氏、平成 21 年度工業標準化事業表彰等受賞－

平成 21 年 10 月 15 日（木）都市センターホテル 3 階「コスモスホール」にて平成 21 年度工業標準化事業表彰等授与式が行われた。同授与式において、日本大学教授新冨孝和氏が経済産業大臣表彰を、名古屋大学名誉教授早川尚夫氏が経済産業省産業技術環境局長貢献者表彰をそれぞれ受賞した。また、同時に行われた IEC1906 賞表彰を名古屋大学名誉教授早川尚夫氏が受賞した。

新冨孝和氏は、1992 年から IEC/TC90/WG6（超電導体に対するマトリックス体積比試験方法－銅安定化ニオブ・チタン複合超電導導体の銅比及びニオブ 3 すず複合超電導線の非銅部に対する銅部体積比）のコンビナー及び同 WG の国内審議委員長として、我が国オリジナルの 2 件の提案及びその後の改正活動において国内外の意見調整など中心的役割として多大なる貢献。また、国際規格の JIS 化にも原案作成委員として参画するなど、超電導分野の国内外標準化活動に積極的に貢献されたことによる。

早川尚夫氏は、1997 年から 5 年間、IEC/TC90/WG8（超電導－超電導エレクトロニクス特性試験方法－超電導のマイクロ波表面抵抗）のコンビナー及び WG8 の国内審議委員長として超電導表面抵抗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活動に多大な貢献をされたことによる。

（編集局）

経済産業大臣表彰受賞者記念撮影
（後第 2 列右 3 番目　新冨孝和氏）

経済産業省産業技術環境局長表彰受賞者記念撮影
（後列左 4 番目　早川尚夫氏）

IEC1906 賞受賞者記念撮影
（後列左 2 番目　早川尚夫氏）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

合同研究会「Y123 線材の強磁界応用に向けて」報告

東北大学　金属材料研究所
強磁場超伝導材料研究センター
准教授　淡路 智

標記研究会が，低温工学協会東北・北海道支部，低温工学協会材料研究会及び東北大金研強磁場超伝導材料研究センター研究会の合同で、2009 年 9 月 13 日（日）から 15 日（火）まで、仙台秋保（あきう）温泉「緑水亭」にて開催された。東京で開催された第 9 回超伝導物質と発現機構に関する国際会議（M^2S-IX）の直後であり、EUCAS2009（Dresden, Germany 開催）の日程と重なったこともあり、講師の確保や参加人数について心配されたが、講師を含む 25 名の参加者となった。ちょうど 12-13 日と、仙台の中心街で「定禅寺ストリートジャズフェスティバル」が開催されており、杜の都で音楽を楽しんだ後に、温泉に泊まり込んで研究会を行い、議論を深めるという趣向であった（図 1）。

今回の研究会の目的は、開発のめざましい $REBa_2Cu_3O_y$（RE123:RE は希土類元素）線材に絞り、その開発状況と特性の現状について、各方面の先端研究・開発を行っている研究者を講師にお招きし、RE123 線材についての現状を把握することとした。特に講師としては、国プロの関係者、各線材プロセスのメーカーの開発者、及びその特性について大学における新進気鋭の研究者を迎えることができ、開発現状だけでなく、応用上重要なその基本特性についても、深い議論を行うことができた。以下に、各講演の概要をまとめる。

和泉輝郎氏（超電導工研）は、2008 年度から進行中の NEDO プロジェクトの中で、材料高度化及び低コスト化に関する目標と進捗状況を世界的な現状を含めて整理して紹介した後、主に TFA-MOD 法について詳細な解説をした。 NEDO プロジェクトでは、高性能・低コスト・極低コストの 3 種類の開発目標で開発が進んでおり、高性能線材の主流となっている PLD 法では、インプルーム法により、歩留まりと成膜速度の向上が謀られている。MOD 法では、Y サイトに Gd を混ぜて混晶とし、さらに Zr を添加することで、J_c の向上に加えて角度依存性を非常に小さくすることに成功している。MOD の場合には、PLD 法や CVD 法とは異なり、$BaZrO_3$ がナノ粒子として存在するため、強いランダムピンとして導入されていることが主に影響していると考えられている。

長屋重夫氏（中部電力）は、主に SMES 開発とこれに用いるための、化学気相法（CVD 法）による Y123 テープ線について解説した。現在 NEDO プロジェクトの一環として開発中の 2MJ-SMES（将来的には 2GJ）では、1 cm 幅の線材を 4 枚バンドルした導体を用い、通電電流 2 kA、最大応力 600 MPa で設計している。このため、2010 年秋頃には、直径 760 mm のテストコイルを 4 T のバックアップ磁界中でテストを行うことを計画している。 CVD-Y123 線材は、I_c =200 A の線材が単長で 200 m、総量で 15 km が作製できている。安定した長尺線の合成には、ハステロイ基板の表面を電解研磨することが重要であり、Y サイトを Gd との混晶とすることによりさらなる特性向上を狙っていると述べた。

目黒信一郎氏（古河電工）は、古河電工では CVD 法による Y123 線材開発を行っているが、 現状の Y123 テープ線材開発が、Nb_3Sn 線材の初期のテープ線材と類似していることから、 Nb_3Sn コイル開発の経験から学ぶ点がおおいにあると述べた。特に、テープ線材で良く用いられるパンケーキコイルでは、巻線張力が内層では緩和され、十分なパフォーマンスが得られないことがあり、コイル内部の応力解析や含浸技術が重要との見解を述べた。

飯島康裕氏（フジクラ）は、フジクラで取り組んできた Y123 線材開発の経緯について、当初の

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

銀シース Y123 から 1 軸配向テープを経て IBAD 法発見に至るまで、その配向原理も含めて解説した。また、最近の成果として IBAD-MgO の高速化に成功し、1 km/h で Δf≈ 4°の基板が合成できたことや、Hot wall 型 PLD 法により、厚膜化による J_c の劣化の少ないテープ線材の作製が可能となったことなどを示した。最終的には 1 円/Am の低コスト化が可能とのことであった。

林 和彦氏（住友電工）は、 DI-BSCCO 線材の開発状況とその製品に加え、RE123 線材について、住友電工における取り組みについて解説した。加圧焼成法によって特性の向上とともに、安定した供給が可能となっている DI-BSCCO 線材であるが、現在は Brass や SUS と複合化することにより、銀シース線材の欠点であった機械特性が改善され、300 MPa を越える強度を有する高強度線材も開発されている。また、SPring8 における放射光を用いた実験や、低温レーザー顕微鏡により、J_c 特性はさらに向上する余地があることを示した。RE123 線材に関しては、日本で唯一機械配向基板を用いた低コスト線材の開発を行っており、77 K 自己磁界の I_c が 200 A を越える長尺線が開発されているとした。また、Bi2223 線材と RE123 線材の比較を行い、高温高磁界特性は明らかに RE123 が優れているが、低温強磁界下では、競合する状況であると述べた。今後、低温高磁界応用に関しては、両者の競合が予想されるが、今のところ機械特性の点で RE123 に分があるように思われる。しかし、Bi2223 線材の補強方法も確立されてきており、今後のさらなる発展が期待される。

雨宮尚之氏（京都大学）は、NMR や加速器用マグネットのような磁界精度が要求される超電導マグネットに、テープ線材を適用した場合、磁化電流の影響により、発生磁界に多極成分が乗ることを実験と計算により示した。

菅野未知央氏（京都大学）は、RE123 線材の機械特性について、主に疲労特性に焦点をしぼり解説した。特にハステロイ基板を用いた線材は、高い機械特性を有することが知られている。ハステロイの降伏応力（弾性限界）は約 1.3 GPa であるが、疲労強度は成膜プロセスによる熱処理を経験することで減少する。また、疲労限界が、多層構造を有する RE123 線材のどの層から起こるかは、負荷する応力により異なる事を示した。 さらに、疲労サイクルにより、I_c が向上する現象を示した。RE123 線材における I_c の歪み/応力依存性は、従来の Nb_3Sn などとは異なり、残留歪みなどだけで説明が付かない。これら特徴的な機械特性の理解が、今後の応用に向けて重要性を増すと思われる。

井上昌睦氏（九州大学）は、RE123 線材の評価について、低温レーザー顕微鏡、SQUID 顕微鏡、熱電顕微鏡による連成解析により、線材の欠陥の種類と局所的な J_c 特性の関連などのイメージングが可能となり、線材プロセスにフィードバックすることで、線材特性向上に有効とした。また、パーコレーションモデルを、電界–電流密度特性（*E-J* 特性）の温度、磁界、磁界印加角度、歪み依存性に適用することで、その詳細な *E-J* 特性を反映した詳細な超電導機器設計が可能であることを、強磁界マグネットの設計例を出して説明した。

なお、インフォーマルなナイトセッションでは、民主党のマニフェストに、環境技術分野で、太陽電池がかかれていないのに、超伝導が「伝」の字で書かれていることで盛り上がったことを申し添えたい。

低温工学協会東北・北海道支部では、毎年秋頃に東北の祭りに合わせて研究会を行っています。皆様のご参加を毎年お待ちしています。最後に、お忙しいところ、時間を割いて研究会に講演に来て頂いた講師の先生方にこの場を借りてお礼を申し上げます

図 1 研究会会場の様子

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

「EUCAS2009」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
線材研究開発部部長補佐　吉積正晃
材料物性バルク研究部主管研究員　Sergey Lee
電力機器研究開発部主任研究員　市川裕士

会場前に掲げられた大会開催旗

【概要】
第 9 回 EUCAS（European Conference on Applied Superconductivity）が 2009 年 9 月 13 日～17 日（5 日間） Germany Dr esden University of Technology Dre sden のキャンパス内にある TU Dresden Auditorium Centre にて開催され、42 ヶ国 711 名の参加者と 650 件の発表があり、日本からは 146 名が参加した。また 24 の企業展示があり活況を呈していた。大会は Dresden 中央駅よりバスやトラム（路面電車）で約 5 分と立地に恵まれた通勤通学に便利な場所で開催された。

次回 EUCAS2011（第 10 回）は Kamerlingh On nes が水銀超電導を発見して 100 年ということもあり、2011 年 9 月 18 日～23 日（6 日間）The Hague Netherlands World Forum Convention Center（WFCC）で開催されます。また同大会では、ISEC2011（International Superconductive Electronics Conference）、ICMC2011（International Cryogenic Materials Conference）が同時開催される予定である。

【大会トピックス概要】
超電導線材開発
超電導線材開発においては、日米欧それぞれから発表があった。AMSC（米）は 40 mm 幅基板を用いて MOD 法による 500 m の超電導線材を作製した。I_c=100 A（4 mm 幅）の特性を有した年間 720 km（4 mm 幅）の線材作製が可能であることを発表した。また基板幅 40 mm から 100 mm へ変更し更なる製造能力の増大と低コスト化を図ることも発表した。
フジクラ（日）は IBAD-MgO 基板を用いて PLD 法による高特性線材 260 m を作製し、一部劣化があるものの I_c＞600 A の特性を有した超電導線材であることを発表された。
Bruker（欧）はステンレス基板上に製造速度 ABAD-YSZ＞30 m/ h、PLD＞70 m/ h の超電導線材作製システムを構築すると発表された。
Zenergy Power（欧）は NiW 基板を用いてオールケミカル量産技術を用いた超電導線材を作製していることを発表した。
線材開発において、日本・米国は長尺化・量産化へ、欧州は基礎・長尺作製の開発を行っているが、今後は機器応用への発展が進み線材の量産化・販売が必要になると思われる。

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

電力機器応用

ケーブル

オランダ（アムステルダム）では、限流機能付 50 kV@50 MAW-6 km Y 系 Triax ケーブルを布設する計画があることが発表された。また超電導電力ケーブルを風力発電と連結し直流送電することも検討しているとの発表がされた。

ロシア（モスクワ）では、3 相 3 m - 20 kV/1.5～2.0 kA の 2 層ケーブルを作製し、2008 年に評価を実施したとの発表があり、2009 年には 3 相 200 m、20 kV - 1500/2000 A の試験を行うと発表した。また AMSC の Y 系線材の交流損失および線材特性が調査・報告された。

スペイン（バルセロナ - ENDESA）では 25 kV/3200 A@138 MW HTS ケーブルを実系統に導入するシミュレーションの実施および使用エネルギーの抑制および低炭素への貢献について発表がなされた。

ISTEC より Y 系ケーブル開発プロジェクト 66 kV-5 kA、275 kV-3 kA の開発目標および進捗について発表された。

住友電工より Bi - HTS ケーブル 66 kV-3 kA 実証の概要および 30 m ケーブルの試験、進捗状況、今後の計画について発表された。また Y 系 - HTS ケーブル 66 kV-5 kA の概要および clad 基板による損失低減、モデル導体における交流損失の実験結果について発表がなされた。

NEXANS は ASL（UK）で 12 kV/ 100 A （変電所内の母線連絡-限流機能付）、Vattenfall（Germany）で 12 kV/ 800 A （補助電力供給線）の commercial project を実施しているとの発表があった。

発表会場の雰囲気

超電導線材の応用において、ケーブルの実用化が近づいており、発表件数が多く各国で研究が盛んに行われていることを実感した。また超電導機器は CO_2 削減に寄与するとの発表もあり、超電導機器導入に弾みをつけたいことが感じられた。

限流器

Inno-power（中）では Bi 線材を使用した SFCL35 kV/1.5 kV-41/23 kV 90 MVA を作製し、2008 年から実系統の変電所に導入していることが発表された。

Bruker（欧）では、40 mm 幅ステンレス基板を用いて超電導線材を作製し、40 mm 幅を用いた 1400 A 以上の限流器を作製したとの発表がなされた。

Siemens（欧）より DOE-Project で HTS-SCL138 kV-2000 A（FC-80 kA）の開発が行われており、2011～2012 年に導入予定であるとの発表がなされた。

KERI（韓）より 22.9 kV、154 kV 系統の HTS-FCL のシミュレーションについて発表があった。また DAPAS プロジェクトより 22.9 kV/1.26 kA-50 MVA の HTS-cable と 22.9 kV/630 A の HTS-FCL の開発および 154 kV 系統構成の代わりに 22.9 kV HTS-System（系統構成）のシミュレーションについて発表がなされた。

変圧器・SMES・Flywheels

名古屋大より SCCLT（限流機能付変圧器）が紹介され、設計コンセプト、構造、試験結果について発表された。

中部電力より CVD-YBCO 線材の開発状況および SMES の進捗状況について発表がなされた。

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

ATZ（独）は 5 kWh/250 kW のフライホイールを作製・評価し、電力貯蔵用などの使用方法について検証しているとの発表がなされた。

アジア（韓国・中国）、欧州（英・波蘭）などで SMES 用モデルコイルを作製・評価を行い、SMES の使用方法についても検討しているとの発表がなされた。

コイル・モーター

SuperPower 社より Y 系線材を用いたコイルを作製し、4.2 K　self field で 10.4 T を得たとの報告がなされた。

川崎重工業（日）は Bi 線材を使用しヘリウムガス冷却による 1 MW class 675 kV/1200 A の HTS モーターを 2009 年に作製すると発表した。

電力網

ドイツの Robert Bach 氏らは、都会における超電導機器の使用について検証を行い、普及のためのコスト計算や超電導機器の効果について発表がなされた。

エレクトロニクス

エレクトロニクスでは、日本は基礎から応用まで幅広く研究開発を行い、米国は応用を中心に、欧州では基礎から応用に移行する傾向にある。今大会では SQUID や単一光子検出器などのセンサー応用が多数発表された。NIST（米）の Irwin が電磁波検出器のレビューを行い、マイクロ波、赤外線から X 線に至る広範囲の検出器の現状を紹介された。検出器は SIS ミキサ、STJ、TES、HEB、MKID やナノワイヤなど多岐にわたり、周波数や感度により使い分けをする。それぞれの検出器は完成に近づいているが、低温度から室温までの信号の取り出し方法が重要であることから、利害得失を含めた議論がなされた。

IPHT（独）では SQUID を用いた資源探査を行っており、誘導コイルに電流を流し、地下資源からの応答をヘリコプターに搭載した SQUID システムで検出するシステムについて発表された。

ユーリッヒ研究所（独）ではテラヘルツ分光を用いてペットボトルに入っている液体を同定するシステム開発を行っていることが発表された。

NIST（米）では 2.5 kHz、100 kHz、1 MHz の交流電圧標準を作製してことが発表された。

【最後に】

大会全体と通して、oral および poster 発表ならびに展示ブースでは常に活気があり、時間の許す限り議論が絶えず大会参加者の研究に対する熱意が伝わる大会であり、運営委員や補助員および参加者により大変盛況に開催された大会であったことを報告する。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

【隔月連載記事】

やさしい「不確かさ」のおはなし（その 6）

産業技術総合研究所
計測標準研究部門 応用統計研究室
榎原研正

7. 一般的な不確かさの合成を含む例　—液体の体積測定

第 2 回目に紹介した家庭用血圧計の例では、ばらつきとかたよりという不確かさの成分二つを二乗和のルールで合成することを説明しました。この例では、二つの成分がともに血圧の不確かさ（すなわち「血圧」の次元で表される）となっており、不確かさの合成という点では最も単純な例です。最終回となる今回は、もっと一般的な合成の方法を含む例として、次の液体の体積測定の例について不確かさ評価を行います。

ある液体の体積 v を、その質量と密度から求めることとします。まず、液体の質量を天秤で 5 回繰り返し測定し、測定データ [100.0 g, 100.3 g, 99.9 g, 99.7 g, 100.1 g] を得ました。またこの天秤の内蔵分銅の値の不確かさが、天秤の校正証明書に記載された拡張不確かさとして U = 0.10 g (k =2) とわかっているものとします。一方、液体の組成は既知であり、その密度に関する次の情報がデータブックに記載されているものとします。「この液体の密度値は 2.00 g/cm^3 である。この値の誤差は ± 0.01 g/cm^3 を越えない。」

なお、この例は説明のためのモデルで、実際の測定での数値がこのような値になるということではありません。また現実の不確かさ評価では、天秤測定での風袋の効果や液体密度の温度依存性など、他にも考慮すべき要因があり得ますが、話を簡単にするためにこれらは考えないこととします。

不確かさ評価は次の順序で進めます。

7.1 測定の数学的モデルの設定

液体の体積 v は、質量の繰り返し測定値 m_i (i = 1～5) の平均値を $\overline{m}$、データブックに記された密度値を ρ_0 として、次の式で計算することになります。

$$v = \frac{\overline{m}}{\rho_0} \qquad (1)$$

最終的な測定量を、その値を導くために使用する別の量（GUM では入力量と呼ばれます）の関数として表したこのような式を、「測定の数学的モデル」と呼んでいます。測定の数学的モデルは、測定方法や手順に応じて違ったものとなります。例えば、液体の体積をメスシリンダで測定する場合、式 (1) とは異なるモデルとなります。測定の数学的モデルの設定は、大変重要なステップで、モデルがうまく設定できていると、後の評価をスムーズに進めることができます。

現実の測定では、数学的モデルをうまく設定することは意外に難しいことが多く、例えば、観測データを非線形の最小二乗法で理論曲線にあてはめることにより最終的な測定量が求まるといった複雑な場合のように、測定量を入力量の陽関数として表せないことがあります。また逆に、1 回の測定の読み値をそのまま測定結果として使う（ただし測定誤差の要因としてはいろいろ考えられる）といった一見単純そうなケースでも、数学的モデルをどう書き下すかにとまどう場合があります。ここでは詳述する余裕がありませんが、このような場合についても数学的モデルの設定について一定の処方が存在します。

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

$\overline{m}$ = 100.0 g, ρ_0 =2.00 g/cm^3 ですから、式 (1)より測定結果は v = 50. 0 cm^3 と求まります。不確かさ評価は、この 50.0 という数値にどの程度の曖昧さがあるのかを定量的に知ることが目的です。

7.2 不確かさの伝播則

測定の数学的モデルが一般に

$$y = f(x_1, x_2, \ldots, x_N) \qquad (2)$$

で表されるとき、測定結果 y の合成標準不確かさ $u_c(y)$と入力量の値 x_iの標準不確かさ $u(x_i)$ の間に次の関係が成立することが示せます（囲み記事［8］参照)。

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 u^2(x_i) \qquad (3)$$

この式は、従来から誤差の伝播則として知られていたものと本質的に同じものです。この式が成立する条件については囲み記事［8］を参照下さい。

なお$c_i = \partial f / \partial x_i$ のことを GUM では「感度係数」と呼んでいます。f の関数形がわかっているときには偏微分をすれば求まりますが、関数形が簡単な形で書き下せない場合には、数値微分や感度解析の実験によって感度係数を求める手もあります。

式(3)を(1)に適用すると次が得られます。

$$u_c^2(v) = \left(\frac{1}{\rho_0}\right)^2 \cdot u^2(\overline{m}) + \left(\frac{\overline{m}}{\rho_0^2}\right)^2 \cdot u^2(\rho_0) \qquad (4)$$

［8］不確かさの伝播則について

伝播則を導出するとともに、伝播則のバリエーションについて説明します。測定の数学的モデル $y = f(x_1, x_2, \ldots, x_N)$ において、x_iが真値（GUM に忠実に言うと x_iの期待値）μ_iから微少量ε_iだけ離れている（$x_i = \mu_i + \varepsilon_i$）として$\mu_i$のまわりに Taylor 展開し、$\varepsilon_i$について 1 次まで残すことにより、

$$\varepsilon_y = \sum_i \frac{\partial f}{\partial x_i}\varepsilon_i \qquad (A1)$$

が得られます。ただし、ε_yは y と真値$\mu_y (=f(\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_N))$ の差（つまり測定誤差）です。式(A1)の両辺を二乗し、その期待値をとります。ここで、ε_y及びε_iの分散をそれぞれσ_y^2, σ_i^2とし、ε_iどうしは互いに独立（これは期待値の記号を E[ ]とすると、$i \neq j$について $E[\varepsilon_i \varepsilon_j] = 0$ を意味します）とすると

$$\sigma_y^2 = \sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma_i^2 \qquad (A2)$$

が得られます。分散σ_i^2 は不可知量ですが、これをその推定値 $u^2(x_i)$でおきかえることにより、本文の式(3)の伝播則が得られます。

以上からもわかるように、式(3)の伝播則は厳密には、(i) 各ε_iが十分に小さくて $f(x_1, x_2, \ldots, x_N)$の 1 次までの Taylor 展開が良い近似になっている、(ii) 各ε_iが（従って x_iが）独立、の二つの条件のもとで成立します。

x_iどうしが互いに独立でないときには、式(3)にかえて次の伝播則が得られます。

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

以上からもわかるように、式(3)の伝播則は厳密には、(i) 各ε_iが十分に小さくて $f(x_1, x_2, \ldots, x_N)$の 1 次までの Taylor 展開が良い近似になっている、(ii) 各ε_iが（従って x_iが）独立、の二つの条件のもとで成立します。

x_iどうしが互いに独立でないときには、式(3)にかえて次の伝播則が得られます。

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 u^2(x_i) + 2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}\frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{\partial f}{\partial x_j}u(x_i)u(x_j)r(x_i, x_j) \qquad \text{(A3)}$$

ここで、$r(x_i, x_j)$は入力量間の相関係数の推定値を表します。

実際の測定では、測定の数学的モデルが、c と $p_i\,(i = 1, 2, \ldots, N)$ を定数として、

$$y = c \cdot x_1^{p_1} \cdot x_2^{p_2} \cdots x_N^{p_N} \qquad \text{(A4)}$$

のように書けるケースがしばしば生じます。実際、液体の体積測定（本文式(1)）もこのような例の一つです。この場合、伝播則（式(3)）は次の形に変形できます。

$$\left(\frac{u_c(y)}{y}\right)^2 = \sum_i\left(p_i\frac{u(x_i)}{x_i}\right)^2 \qquad \text{(A5)}$$

これは相対不確かさの伝播則と呼ばれています。これが利用できる場合には、通常の伝播則よりも計算が楽で、見通しも良くなります。

7.3 質量の標準不確かさ $u(\overline{m})$

質量の測定結果 $\overline{m}$ の不確かさ $u(\overline{m})$ は、天秤測定のばらつきによる成分 $u_{\mathrm{r}}(\overline{m})$ と、内蔵分銅の値の不確かさから生じる成分 $u_{\mathrm{w}}(\overline{m})$ からなると考えられます。前者は、血圧計の場合の A タイプ評価と同様の考え方で、5 個のデータ [100.0 g, 100.3 g, 99.9 g, 99.7 g, 100.1 g] から求まる実験標準偏差 s = 0.223 g を使って

$$u_{\mathrm{r}}(\overline{m}) = \frac{0.223}{\sqrt{5}} = 0.100 \ \text{(g)} \qquad (5)$$

となります。分母の $\sqrt{5}$ は $\overline{m}$ が 5 個のデータの平均値であることから来ています。一方、$u_{\mathrm{w}}(\overline{m})$ は、内蔵分銅の値に対する拡張不確かさが包含係数を k = 2 として U = 0.10 g とわかっていますので、

$$u_{\mathrm{w}}(\overline{m}) = \frac{0.10}{2} = 0.05 \ \text{(g)} \qquad (6)$$

となります。

ちなみに、個々の測定データ m_i に対する不確かさ $u(m_i)$（これは実際には評価の必要はありませんが）と $u(\overline{m})$ の関係は、それぞれの成分について $u_{\mathrm{r}}(\overline{m}) = u_{\mathrm{r}}(m_i)/\sqrt{5}$ 、$u_{\mathrm{w}}(\overline{m}) = u_{\mathrm{w}}(m_i)$ となりま

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

す。後の式は、内蔵分銅の誤差はかたよりとしてどの m_i にも同じように働くことを意味します。

$\bar{m}$ の全体としての不確かさは、二乗和ルール $u^2(\bar{m}) = u_r{}^2(\bar{m}) + u_w{}^2(\bar{m})$ で合成して、

$$u(\bar{m}) = 0.111 \quad \text{(g)} \qquad (7)$$

と求まります。

なお、$u_i(y) = |\partial f / \partial x_i| u(x_i)$ を定義すると、$u_i(y)$は x_i の不確かさにより生じる y の不確かさ成分と解釈することができ、式(3)は $u_c{}^2(y) = \sum u_i{}^2(y)$ となります。この形で書くと、伝播則はすでに述べた二乗和ルールと本質的に同じであることがわかります。不確かさの合成では数多くの成分が出てきて記号が複雑になることがあるので、記号の表し方を統一しておくことは重要です。原則として次のような表記を用いることが勧められます。

- 標準不確かさには、小文字の u を用いる
- 必ず $u(x)$, $u(y)$のように「何の」標準不確かさかを明示する
- $u(x)$が幾つかの成分からなるとき、u に添え字をつけて区別する；$u_1(x)$, $u_{rep}(x)$など

7.4 密度の標準不確かさ $u(\rho_0)$

密度の標準不確かさ $u(\rho_0)$ はデータブックの情報をもとに求めます。密度ρの真の値は、ρ_0 = 2.00 g/cm^3 を中心に 1.99 から 2.01 g/cm^3 の範囲内にあると考えられます。他に情報がないため、ρの先験的分布として、この範囲内の一様分布を想定することにすると、次が得られます。

$$u(\rho_0) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.00577 \quad \text{(g/cm}^3\text{)} \qquad (8)$$

7.5 不確かさの合成

あとは一本道で、式 (4) にこれまでに求めた値を全部代入することで $u_c(v)$を求めることができます。この計算の過程をしばしば表 1 のように整理します。このような表は不確かさのバジェット表(budget sheet)と呼ばれています。

バジェット表では、(i) 感度係数を含めて全ての数値の単位を明らかにしておくこと、(ii) 質量のように、入れ子の構造（合成で求めた $u(m)$ がさらに $u_c(v)$ の合成のために用いられる）がわかるようにしておくこと、の 2 点がポイントです。入れ子構造が複雑な場合には、表を分割するか、骨格部分のみをバジェット表にします。

最後に有効数字 2 桁までとって、合成標準不確かさが $u_c(v)$ = 0.15 cm^3 と求まります。

表 1　液体体積測定における不確かさのバジェット表

要因	記号	標準不確かさ $u(x_i)$	感度係数 $c_i = \partial y / \partial x_i$	測定量の標準不確かさ $u_i(y) = \lvert c_i \rvert u(x_i)$	備考
質量測定の不確かさ	$u(m)$	0.111 g	0.500 cm^3/g	0.0559 cm^3	—
繰り返し測定のばらつき	$u_r(m)$	0.100 g	—	—	5回の繰り返し測定(Aタイプ評価)
内蔵分銅の不確かさ	$u_w(m)$	0.050 g	—	—	天秤の校正証明書(Bタイプ評価)
密度の不確かさ	$u(\rho_0)$	0.00577 g/cm^3	-25.0 cm^6/g	0.144 cm^3	理科年表(Bタイプ評価)
合成標準不確かさ	$u_c(v)$	—	—	0.154 cm^3	

© ISTEC 2009 All rights reserved.

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: 03-3536-7318

7.6 不確かさの報告

すでに述べたように、最終的な不確かさは合成標準不確かさ $u_c(v)$、もしくは拡張不確かさ U のいずれかで報告します。U を使う場合は、「拡張不確かさは、$U = 0.31\ \mathrm{cm}^3$ （ただし包含係数 $k=2$）」のように表します。用いた包含係数の値は必ず明示するのがルールです。

8. 終わりに

これまで 6 回にわたって測定の不確かさについて解説する機会を頂きました。当初予定していたにもかかわらず説明の時間がなくなってしまった話題も二、三ありますが、これまでの解説だけで、実際に不確かさ評価を行える測定の例は少なくないと考えています。ただし、測定が複雑になってくるとさらに高度な考察が必要な場合も生じることは当然予想されます。例えば、次のような場合が考えられます。

- 回帰分析を含む測定　－測定が何らかのパラメータの関数として行われる場合
- ばらつきに階層構造があるため、分散分析により各ばらつきを分離して評価する場合
- 包含係数を決めるのに、*t*-分布を利用したい場合

これらは、不確かさ評価に固有の問題というより、むしろ一般的な統計的処理の問題です。これらについても解説させて頂く機会があると良いと思いますが、それまでは、一般的な統計学のテキストを参考にしつつ、このような問題にも取り組んで頂けることを期待しています。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318

読者の広場

Q&A

Q：「JT-60SA と ITER の係わりについて教えてください」

A：国際熱核融合実験炉（ITER）の計画は、欧州連合（EU）、日本、米国、ロシア、韓国、中国、インドの 7 極の共同事業としてフランスに本体を建設することで合意され、核融合エネルギーの研究開発が本格的に開始されました。同時に、日本原子力研究開発機構の JT-60 のトカマク本体を超電導化する JT-60SA 計画が、日本と EU 間の共同プロジェクト「幅広いアプローチ」の中の「サテライトトカマク」プロジェクトとして推進することが合意されました。JT-60SA は、ITER のサテライト装置として、JT-60 や JET などの更新装置として計画された装置で、そのために日本と EU とで合同で装置を準備し、プラズマ実験を通じて核融合エネルギー開発を早期に実現することを目的としています。

JT-60SA は重水素－重水素（D-D）核融合反応を扱うに対して、ITER では重水素－三重水素（D-T）核融合反応を扱うため、JT-60SA の方が放射化のレベルが低く、運転の初期から中期までは人間が装置の修理を行えます。また、装置の規模は、表 1 と図 1 に示すように、装置本体の超電導コイルで比較すると JT-60SA が ITER の約 1/10 の規模になります。しかし、両者の超電導コイルも、ITER 工学設計期間に開発した技術を用いています。トロイダル磁界（TF）コイルと平衡磁界（EF）コイルには、ITER 用ポロイダル磁界（PF）コイル用 Nb-Ti 素線を採用し、また中心ソレノイド（CS）にも ITER 用の Nb_3Sn 超電導素線が使われています。導体製造の治工具や、コイル製造法も ITER で開発してきた技術を用いています。

表 1 JT-60SA と ITER の超電導コイルの比較

	JT-60SA	ITER
TF コイル数	18	18
TF コイルの磁気エネルギー (GJ)	1.5	41
TF コイルの最高磁界 (T)	5.8	11.8
中心ソレノイドの最高磁界 (T)	8.9	13.5
超電導マグネットの重量 (tons)	~ 700	~ 10,100
TF コイルの有効ボア (m)	R:3.98 x H:6.92	R:7.23 x H:11.75

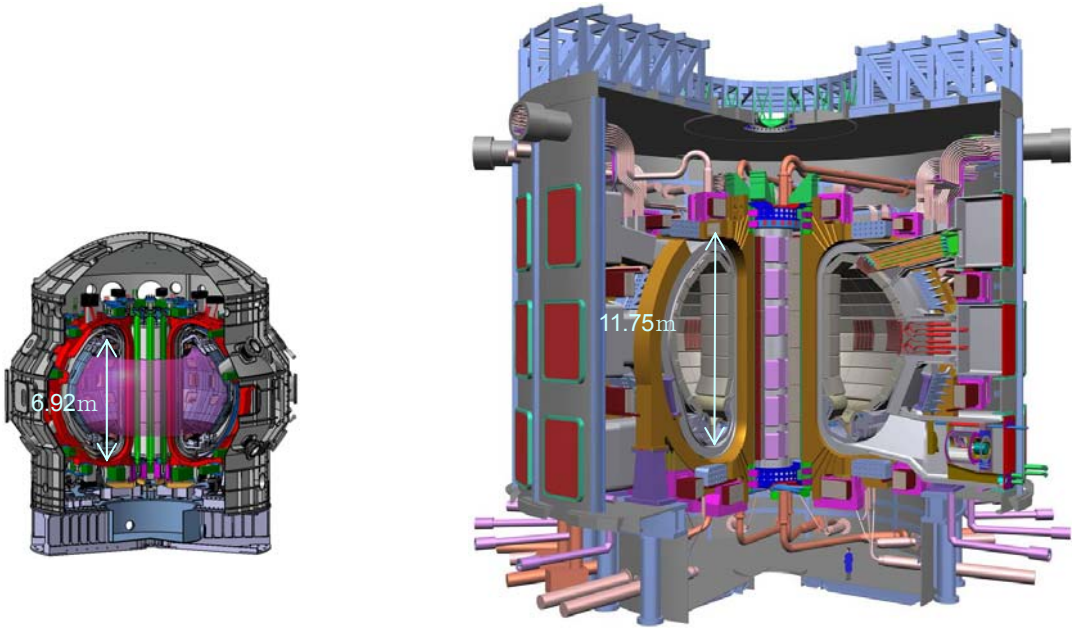
原子力機構は、ITER 向けに 9 個の TF コイルと CS 導体を提供し、また同時に JT-60SA 用の CS、EF コイルを製作して超電導トカマクを組立てます。核融合炉用超電導マグネットの先進的な技術開発は ITER が担当し、プラズマ装置の中で使われる超電導マグネットの総合化技術の開発は、JT-60SA が担当する事になります。ITER と JT-60SA 用の超電導マグネットの開発は、核融合デモ炉建設に結びつく大型・高磁界超電導マグネット技術を段階的にかつ総合的に開発できる計画になり、核融合エネルギーの早期実現に貢献します。

JT-60SA と ITER 計画については、那珂研究所の WEB サイト（http://www.naka.jaea.go.jp）に詳細な内容が公開されています。また、ITER と JT-60SA 用超電導マグネットの設計は以下の WEB から論文を入手できますので参考にしてください。

© ISTEC 2009 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2009 年 11 月 9 日発行

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: 03-3536-7318



(a) JT-60SA (b) ITER

図 1 JT-60SA と ITER のトカマク本体とクライオスタット

参照

1. プラズマ核融合学会 78 巻増刊「ITER 工学設計」(2002)21-38
http://jasosx.ils.uec.ac.jp/JSPF/JSPF_TEXT/jspf2002/jspf2002_01-sup/jspf2002_01-sup-21.pdf
2. 低温工学 44 巻 8 号(2009)346-352
http://www.jstage.jst.go.jp/article/jcsj/44/8/346/_pdf/-char/ja/

回答者：原子力研究開発機構 JT-60 超伝導システム開発グループリーダー 吉田 清 様

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2009 All rights reserved.