

## 掲載内容 (サマリー) :

### トピックス :

○DOE Peer Review 2009 開催 (August 4-6, 2009)

○超電導関連 9-10 月の催し物案内

○新聞ヘッドライン (6/18-8/19)

○超電導速報—世界の動き (2009年7月)

○「第21回超電導電力貯蔵研究発表会」報告

○「関西支部・超電導応用研究会シンポジウム」報告

○隔月連載記事—やさしい”不確かさ”のおはなし (その5)

○読者の広場(Q&A)—「スマートグリッド」と言う言葉をよく見かけますが、  
超電導電力機器との関係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>



トピックス : DOE Peer Review 2009 開催 (August 4-6,2009)

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  
企画部 友金仁志



1 日目 共通会議

アメリカ DOE 主催の HTS Program Peer Review 2009 がバージニア州アレキサンドリアの The Westin Alexandria にて 8 月 4 日から 6 日までの 3 日間開催された。参加登録者数は、総勢 172 名、発表テーマは 40 件であった。

開催場所であるアレキサンドリアは、バージニア州北部に位置する町で、ポトマック川の西岸、首都ワシントン D.C. の南約 10 km の位置にあり、レンガ作りの建物が多い町である。

この Peer Review は、報告された内容が評価されて今後の DOE 開発予算が決定する会議である。従って、この 1 年間のアメリカ HTS 分野における最新かつ詳細な技術開発成果、および今後の計画に関する情報の収集をし得る場であり、電力システムのための HTS の研究とその開発に携わっている研究者が集う場でもある。

また、今回の Peer Review は、関連業界、国立研究所、アカデミックなコミュニティのネットワークに対して、ベストプラクティスの共有や相乗効果の発揮できる分野を探し出す機会を提供している。

1 日目は、共通テーマとして HTS ケーブルや HTS FCL (限流器) の最新情報についての概要、2 日目と 3 日目は、「2nd GENERATION WIRE SESSION」、「STRATEGIC RESEARCH SESSION」、「SUPERCONDUCTIVITY APPLICATIONS SESSION」の 3 テーマ毎に別れて各々の現状ならびに今後の計画について報告があった。

主な内容として、「2nd GENERATION WIRE SESSION」では、AMSC 社は、MOD-配向金属基板線材で 500 m-250 A/cm-W の長尺線材とともに、塗布仮焼プロセスで厚塗り高特性技術開発を行い、1.2 ミクロン/回で 445 A/cm-W を得た。一方、SuperPower 社は、MOCVD-IBAD 基板線材で、1065m-282 A/cm-W (300,330 Am) の長尺線材 (世界記録更新) とともに、長尺プロセスへのピン導入技術開発を行い、長手方向において磁界中特性が均一な線材の作製に成功した。

SuperPower 社は相変わらず先行し、AMSC 社が巻き返してきた感じであった。

「STRATEGIC RESEARCH SESSION」では、LANL は、IBAD 材料として TiN を開発し、 Hastelloy 金属上への直接成膜と、LMO 層との 2 層中間層構造を実現した。ORNL は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の単結晶ワイヤの周囲に超電導層を作製する線材を昨年提案していたが、これを用いて実際に成膜を行い 2.3 MA/cm<sup>2</sup> の高 J<sub>c</sub> 膜を得ると共に、高強度化、低コスト化技術も開発中との事であった。これは最新情報、有効な内容であった。

「APPLICATIONS SESSION」では、HTS ケーブル 4 つ、HTS FCL 4 つの DOE のプロジェクトが推進されていることもあり、HTS ケーブルと HTS FCL のテーマが多かった。ケーブル分野では、ORNL は Southwire 社と共に、オハイオ州コロンバスにある AEP 社の Bixby 変電所に設置されている HTS ケーブル (Bi 系線材、200 m、13.2 kV、3.0 kA、69 MVA) の運用、熱流解析や誤作動による温度上昇、回復時間の計算などの様々なシナリオのための実験データのベンチマーキング設定などを行っている。また、ニューオリンズの Entergy の送電網への HTS ケーブル (Y 系線材、1760 m、13.8 kV、2.0 kA、48 MVA) の設置では、この地域の需要増加が見込まれず設置が遅れた。このため長距離 HTS ケーブルの全般的な開発は継続されているが、Entergy 変電所に関する開発は可能な限り縮小されている。FCL 分野では、AMSC 社、Siemens 社、Nexans 社は、115 kV、1200 A の単相の FCL (限流効果 63 kA→40 kA) を製造し、一定の能力を持っていると認められ、システム全体が構築される前にシステム設計の整合性や機能性を確認するために実験が行われた。最終的な目的は、115 kV-138 kV、2000 A、3 相システムを製造、設置し、電力送電網 (Southern California Edison 社) の中で運用することにある。候補となるサイトの評価や送電網でのシステムのパフォーマンスを予測するために、モデリング技法を活用した。

何れのプロジェクトも、実際の送電システムへの適用に向けて着々と実験が進んでいる感じを受けた。なお、次世代型送配電網のスマートグリッドに関する講演は、今回はなかった。



3 日目 Applications 会場でのレビューアールとの質疑応答

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 9 月 - 10 月の催し物案内

**9/7**

第 25 回低温工学基礎技術講習会

場所：大阪市立大学文化交流センター (9/7)、神戸大学及び大阪市立大学 (9/8)

主催：低温工学協会関西支部

問合せ：低温工学協会関西支部庶務幹事 川山巖 (大阪大学レーザーエネルギー研究センター)

Fax: 06-6879-7984、E-mail: kawayama@ile.osaka-u.ac.jp

**9/7-12**

M<sup>2</sup>S-IX: 9<sup>th</sup> International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity

場所：Keio Plaza Hotel, Tokyo

主催、協賛：日本物理学会、応用物理学会

問合せ：M2s2009@isc-inc.co.jp、<http://www.m2s-tokyo.org/>

**9/13-15**

2009 年度東北・北海道支部/材料研究会/金研強磁場センター合同研究会

場所：秋保温泉「緑水亭」、仙台市

主催：低温工学協会東北北海道支部/材料研究会/金研強磁場センター

問合せ：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 渡辺和雄 (中谷幸子)

Tel: 022-215-2147、Fax: 022-215-2149、E-mail: nakaya@imr.tohoku.ac.jp

**9/15**

7<sup>th</sup> Panel Discussion on International Standardization related to Superconducting Electric-power Devices

場所：Room 101 Auditorium Centre, TU-Dresden, Germany

主催：International Superconductivity Technology Center, ISTECS, Japan

問合せ：Y. Tanaka

Secretary, Japan National Committee for the IEC/TC90 Superconductivity

c/o International Superconductivity Technology Center, ISTECS

10-13, Shinonome, 1-chome, Koto-ku, Tokyo, 135-0062 JAPAN

Tel: +81 3 3536 7214, Fax: +81 3 3536 7318, E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

**9/13-17**

EUCAS2009: 9<sup>th</sup> European Conference on Applied Superconductivity

場所：Dresden, Germany

問合せ：<http://www.eucas2009.eu/>

**10/18-23**

MT-21: 21<sup>st</sup> International Conference on Magnet Technology

場所：Hefei, Anhui, China

問合せ：<http://mt21.ipp.ac.cn/>

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

## 新聞ヘッドライン (7/18-8/19)

- 希土類化合物 磁性、軌道の形が関与 横国大 省電力素子に応用 7/20 日経産業新聞
- エネルギーのものさし エクセルギー 資源生産性の高い使い方が重要に 7/21 電気新聞
- 中央リニア維持運営 東名直線で年 1620 億円 JR 東海など 最長 1810 億円と試算 7/22 日刊工業新聞、Fuji Sankei Business i、毎日新聞
- リニア駅誘致、神奈川の陣 橋本、相模原、新横浜? 「通過駅」の可能性も 7/24 朝日新聞
- 核融合 炉壁材に光明 欧州の研究施設、実用化に挑む 超高温への対処が課題 7/24 朝日新聞
- 理研の最前線 NMR 装置技術研究チームリーダー 前田秀明 世界初の 1 ギガヘルツ (23.5 テスラ) 超 NMR 開発 高温超電導で新技術 計測装置の感度向上 7/28 日刊工業新聞
- NTT と東工大 電荷量子ビット集積 多機能演算素子を開発 7/28 日刊工業新聞
- 未来に伸ばせ ナノファイバー 加速する次世代材料研究 進む CNT 研究 新たな特性を生み出す 7/28 日刊工業新聞
- それってほんとにエコ? 持続可能な社会とは 7/28 電気新聞
- エネルギーのものさし エクセルギー 生物界におけるエクセルギー 植物の光合成が果たす「再生」の役割 7/28 電気新聞
- 電中研 スマートグリッド向け試作機開発 電圧制御にめど、実用化へ一歩 7/29 Fuji Sankei Business i
- 東大 最先端の超電導紹介 APET が公開講演会 7/29 電気新聞
- EMC (電磁整合性) 電子機器のノイズ対策 7/29 日経産業新聞
- 末梢神経 鮮明に撮影 オランダと日本チーム MRI 改良、死角なし 世界初 7/30 毎日新聞(夕)
- 地上にミニ太陽を 海水からエネルギーを生み出す 核融合発電 7/30 電気新聞 地域版
- 黒鉛系の超電導物質 独自の電子構造制御 岡山大 臨界温度上昇に期待 7/31 日経産業新聞
- リニアに乗って きょう開幕 8/1 読売新聞
- 自・公・民 マニフェスト 科学政策 存在感薄く 科技会議の行方注目 8/2 読売新聞
- 人工衛星や宇宙船 燃料使わず軌道制御 日米欧豪チーム 導電性ケーブル使い実験 8/3 日本経済新聞
- 風車 健康被害 訴え続々 低周波音? 「頭痛」「耳鳴り」 風力発電 8 年で 13 倍に 環境省、初の現地調査へ 8/3 日本経済新聞
- ブラジル長距離直流送電 ABB、設備など受注 8/4 電気新聞
- エネルギーのものさし エクセルギー 生物界におけるエクセルギー 太陽の恵みで実現する「食物連鎖」 8/4 電気新聞
- エネルギーから見る歴史の総括 立体的に浮かぶ流れ 8/4 電気新聞
- 重粒子線治療施設 12 日にも試験稼動 群馬大 前立腺がんなど臨床 8/5 日刊工業新聞
- 電波割り当て 競売案 民主、政策集に盛り込む 欧米で兆円規模の収入例 総務省は警戒 8/5 朝日新聞
- 「太陽帆衛星」打ち上げ 太陽光で宇宙旅行 JAXA 世界に先駆け実証 来夏 8/5 日刊工業新聞
- 注目のテクノロジー 画像診断 造影剤使わず短時間撮影 8/5 日経産業新聞
- リニアの開業で 「のぞみ」廃業へ JR 東海会長 8/6 日刊工業新聞
- 大振幅原子振動で重い電子出現 一首都大学東京の堀田准教授ら一 近藤温度の逆同位体効果理論的に予言 8/7 科学新聞
- 次世代産業の芽 鉄に存在感 東工大 鉄系化合物の超電導物質発見 東大 鉄の歴史を地球史から見渡す NEDO 高純度鉄の量産技術狙う 8/10 日刊工業新聞



- ITER 研究者の子ども対象 国際教育施設を整備 8/10 電気新聞
- 超電導ケーブル製造設備 日高工場に導入 日立電線 ITER 向け 8/11 日刊工業新聞、日経産業新聞、電気新聞
- 核融合研 原子力機構 核融合開発で連携合意 人材相互活用し進展狙う 8/11 電気新聞
- エネルギーのものさし エクセルギー 仕事と熱の関係 互いに変換可能、同じ単位を使用 8/11 電気新聞
- 次世代送電網 エネ庁、調査本格化 技術面の課題を検証 国際標準化へ展望探る 8/11 電気新聞
- 送電ロス減 超電導物質 太陽電池 効率 50% 改善 文科省が開発戦略 20 年に実用化 8/12 毎日新聞
- 「LHC」11 月に運転再開へ 8/16 読売新聞
- トカマク装置超電導導体 原子力機構、製作に着手 8/17 電気新聞
- 日本発 革新技術の芽 環境対応で常識破る ロス減らす直流送電 水からクリーン燃料 8/18 日本経済新聞
- エネルギーのものさし エクセルギー 仕事と熱の関係 熱を仕事に変えるエンジン、タービン 8/18 電気新聞
- 博報堂 20 人の新組織 脳科学でマーケティング支援 8/19 Fuji Sankei Business i
- リスクアセスメントによる設備の安全性向上 まず記権限を調査・指摘 設備誤使用の考慮も必要 8/19 日刊工業新聞
- 欧米で大規模エコ発電 風力 洋上に数千基 太陽熱 砂漠から送電 新計画相次ぐ 日本は地理的制約 8/19 日本経済新聞
- 岩手医大 超高磁場 MRI 施設 11 年稼動 脳神経疾患の拠点に 8/19 日経産業新聞

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導速報—世界の動き (2009年7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

### 表彰

#### Oak Ridge National Laboratory (2009年7月20日)

DOE の Oak Ridge National Laboratory (ORNL) は、8 件の R&D 100 Awards を受賞した。この賞は R&D Magazine が、毎年なされた大きな技術革新に対して授与するもの。この賞の内の 1 件が、Amit Goyal が率いるチームの SSIFFS (Structural, Single-Crystal, Faceted Fibers) 上のエピタキシャル成長により作製された超電導線材の発明に対して授与された。このフレキシブルな単結晶高温超電導線材は、高性能線材としての利点があり、電力グリッド応用向けへの期待が大きい。従来の線材と異なり、ORNL が開発したこの線材は丸型であり、その形状が熱損失やエネルギー損失を低下させ、より長距離電送を可能にする。この線材は束ねれば色々な形状を持つ大型線材としても使用可能で、特別な用途、設計への展開も可能である。このプロジェクトは DOE の Office of Electricity Delivery and Energy Reliability から資金を得て、実施された。

出典:

“ORNL researchers win 8 R&D awards”

Oak Ridge National Laboratory press release (July 20, 2009)

[http://www.ornl.gov/info/press\\_releases/get\\_press\\_release.cfm?ReleaseNumber=mr20090720-00](http://www.ornl.gov/info/press_releases/get_press_release.cfm?ReleaseNumber=mr20090720-00)

### 電力

#### Zenergy Power plc (2009年7月20日)

Zenergy Power plc は、世界最大のアルミニウム製造企業 Sapa Group のイタリア子会社 Sapa Profili Srl から高エネルギー・低エネルギー両用の誘導ヒーターの発注を受けた。この誘導ヒーターは、北イタリアのアルミニウム工場に設置されている従来型ガスヒーターに替わって使用される。Zenergy 社の超電導ヒーターに置き換えることにより、工場の運転効率の向上、ひいては全般的な商業的アドバンテージの向上が期待されている。実際、Sapa 社は、この超電導ヒーターが柔軟に各種用途に対応できることから、同じ工場でいくつかの異なるタイプのアルミニウム合金を加熱することを計画している。これは従来のヒーターでは実現不可能であった。Zenergy Power 社 CEO、Jens Müller は次のように述べた。「これまで高性能誘導ヒーターを販売してきた実績から、我が社の高スループットな運転条件が実現でき、かつ、非常に効率の高い技術の経済的な魅力が十分に証明されてきている。従って今回の受注により、世界的競争の激化と弱含みの需要という環境下で、超電導技術から得られる商業的アドバンテージを明確に実証することになる。」

出典:

“Induction Heater Sale to World’s Largest Aluminum Extruder”

Zenergy Power plc press release (July 20, 2009)

[http://www.zenergypower.com/images/press\\_releases/2009/2009-07-20-IH-Sale.pdf](http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009/2009-07-20-IH-Sale.pdf)

### Zenergy Power plc (2009年7月22日)

Zenergy Power plc は、同社の新しい設計による限流器の試験を成功裏に終了したと発表した。その製造及び試験は、Zenergy 社特許による高電圧限流器の開発のため、米国エネルギー省からの資金を得て実施される現行プロジェクトの一部をなす。その2次設計は、コンパクト設計と称されており、Zenergy 社高電圧限流器のベースとなるものである。Zenergy 社は現在、将来パートナーとなる可能性のある電力事業者と、米国電力グリッドで初めての高電圧限流器の設置を予定している次期 DOE プロジェクトについて意見交換を行っているところである。この高電圧限流器は、現在の Zenergy 社の中電圧限流器とともに、電力グリッドの中電圧セクション及び高電圧セクション両方に存在する、高電力安定性の課題に対応できるグリッド安定化ソリューションの基礎をなすものと期待されている。

出典:

“Successful Testing of FCL Design – U.S. Department of Energy Project Update”

Zenergy Power plc press release (July 22, 2009)

[http://www.zenergypower.com/images/press\\_releases/2009/2009-07-22-Successful-Testing-of-FCL-Design.pdf](http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009/2009-07-22-Successful-Testing-of-FCL-Design.pdf)

### American Superconductor Corporation (2009年7月29日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、Sinovel Wind Corporation Limited との多年契約を変更し、Sinovel 社が中国内での 1.5-MW 風力発電機の需要増加に対応できるように当初の 36 ヶ月出荷を 28 ヶ月出荷へと短縮した。変更契約の下では、全ての出荷は 2011 年 4 月末までに完了することとなっている。また、PowerModule PM1000 電力コンバーターの一部は、風力発電用途に調整された PowerModule PM3000W 電力コンバーターに格上げされた。その結果、契約金額が約 2,000 万ドル増加し、総額 4 億 7,000 万ドルを超えた。AMSC 社の創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「Sinovel 社への出荷の前倒しは、最近の中国における新しい大型風力発電所向けの風力発電機の受注状況から見て必要なものであった。今後 10 年間 Sinovel 社が急速に成長していくものと期待しており、その結果として AMSC 社への主要電力部品の新たな発注は、2011 年、またそれ以降も増加していくものと見込んでいる。」

出典:

“AMSC Accelerates Shipments of Wind Turbine Components Under Amended Sinovel Supply Contract”

American Superconductor Corporation press release (July 29, 2009)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1313821&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1313821&highlight)

### American Superconductor Corporation (2009年7月30日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は 2009 年 6 月 30 日に終了する第 1 四半期の収支を発表した。当期収入は、前年同期 3,980 万ドルに対し 7,300 万ドルへと 83 % 増加した。粗利益率も、前年同期の 29.2 % から 30.9 % に増加した。一般会計原則に照らした純利益は、前年同期の 610 万ドルの赤字に対し、当期は 180 万ドルの黒字であった。一般会計原則によらない従来通りの決算によれば、純利益は、前年同期の 100 万ドルの赤字に対し、当期は 550 万ドルの黒字となる。2009 年 6 月 30 日時点で、現金、現金等価物、市場流通証券、拘束性現金合わせて 1 億 320 万ドル、受注残 4 億 9,700 万ドルである。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「風力発電事業及び電力グリッド事業の確固たる売り上げにより我が社は再度記録的な四半期を終えることができた。我々は、電力グリッド関連 D-VAR®製品の収入を大幅に伸ばしたし、我々の最大顧客である Sinovel 社も、中国での 1.5 MW 風力発電機の需要増加に対応するため、これに必要なコ



ア電気部品の追加注文を出してきた。」AMSC 社は本年度通年の収入予想を 2 億 6,000 万ドル～2 億 7,000 万ドル、粗利益率を 32～34 %へと上方修正した。

出典:

“AMSC Reports First Quarter Fiscal 2009 Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (July 30, 2009)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1314131&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1314131&highlight)

### **Bruker Energy & Supercon Technologies (2009年7月30日)**

Bruker Corporation の子会社 Bruker Energy & Supercon Technologies (BEST; 旧 Bruker Advanced Supercon) は University of Houston (UH) と共同研究契約を締結した。この研究には補助金がついている。共同研究は Y 系線材の試験と評価に重点が置かれる。BEST 社は、University of Houston に最適化された Y 系線材を供給し、University of Houston は線材を評価して BEST 社に結果と改善策を報告する。資金に関わる条件は公表されていない。

出典:

“Bruker Energy & Supercon Technologies Enters Into R&D Collaboration Agreement with the University of Houston”

Bruker Energy & Supercon Technologies press release (July 30, 2009)

<http://www.advancedsupercon.com/pr090730.html>

## マグネット

### **HTS-110 Ltd. (2009年7月22日)**

HTS-110 社は冷媒フリーの高温超電導交流スキャンニング・マグネットを日本の Nissin Ion Equipment Co. Ltd.の実験用イオン打ち込みビームラインに設置したと発表した。このマグネットの設計には、HTS 線材の交流損最小化、極低温部品の渦電流低減、頑丈な非金属真空容器の製造、新しい電源の製造といったいくつかの革新技术が盛り込まれている。高温超電導マグネットを採用することにより、装置全体を小型・軽量にすることができ、その結果として、Nissin Ion 社はビームラインを短縮したり、消費エネルギーや冷却水コストを低減することが可能になる。HTS-110 の CEO、Donald Pooke は次のように述べた。「交流スキャンニング・マグネットのような製品は、各地域の会社の支援を得ながら我が社が継続的に進めている事業の好例である。HTS-110 社が製品開発を進め、現時点でユーザーにすぐにでも提供できる標準マグネットは 16 T までである。また、開発中の新製品は高温超電導技術とニュージーランドの革新技术を組み合わせたものであり、ニュージーランドの高温超電導産業に全く新しい市場を生み出してくれるであろう。」

出典:

“HTS-110 cryogen-free superconducting AC magnet installed at Nissin Ion, Japan”

HTS-110 press release (July 22, 2009)

<http://www.hts110.co.nz/wp-content/uploads/2009/07/hts-110-nissin-ion-ac-magnet-media-release-20709.pdf>

## NMR 及び EPR

### **Bruker BioSPin (2009年7月1日)**

Bruker BioSpin は、世界初の商用ミリ波 263-GHz 常磁性電子共鳴装置 (EPR)、ELEXSYS™ E780 第 1 号機の注文を受けた。この E780 は、12 T までの磁界発生が可能な超電導マグネットと最適な感度を持つ新しい EPR プロブシステムを装備し、大きさ 5 mm の試料の測定が可能である。第 1 号機はベルリンのヘルムホルツ研究所に 2009 年遅くに設置予定であり、設置後、太陽エネルギーや光発電研究における先端的な評価に使用される予定である。発注総額は、220 万ドルであり、ドイツ活性化資金からの資金援助を受ける。また、今回の受注により、ヘルムホルツ研究所と Bruker 社との新しい共同研究がスタートする。

出典:

“Bruker Announces Order for World’s First Commercial 263 GHz EPR Spectrometer from the Helmholtz-Zentrum in Berlin for Solar Energy and Photovoltaic Research Applications”

Bruker BioSpin press release (July 1, 2009)

<http://www.bruker-biospin.com/e780>

## メタマテリアル

### Universitat Autònoma de Barcelona (2009年7月7日)

Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) の物理部門では、DC メタマテリアルと言われる装置を設計した。この装置は非常に低周波の電磁波で見ると物体が透明になるというものである。この装置は、物体を囲む磁界をその外部の磁界を変動させることなくゼロにする。このようにして、この装置は電磁波によって物体を検知できなくし、透明マントとして機能する。この装置は、英国の Ben Wood と John Pendry の理論研究に基づくものである。UAB が開発したメタマテリアル装置は、超電導体の不規則なネットワークから構成されており、磁界や低周波電磁波から見えなくなるよう、特殊な磁気的特性を作り出すことができる。次のステップとして、研究室レベルのプロトタイプを製作し、その装置を磁界検知応用に適用することを考えている。

出典:

“Discovery at UAB brings us nearer to making the dream of invisibility true”

Universitat Autònoma de Barcelona press release (July 7, 2009)

<http://www.uab.es/servlet/ContentServer?c=Page&pagename=UAB%2FPage%2FTemplatePlanaDivsNoticiesdetall&cid=1096476786473&noticiaid=1247033268934>

## 加速器

### RI Research Instruments GmbH (2009年7月9日)

Bruker Advanced Supercon, Inc.の子会社である RI Research Instruments は、米国エネルギー省傘下の Thomas Jefferson National Accelerator Facility と約 600 万ドルの契約を締結した。この契約により RI Research Instruments は、86 の超電導加速キャビティを製造する。この契約により、Continuous Electron Beam Accelerator Facility (CEBAF) の加速エネルギーを 12-GeV へと改造するために必要な 86 の超電導キャビティの調達が行われる。Nb 超電導キャビティは加速モジュールの核となるコンポーネントであり、その組み立ては Thomas Jefferson National Accelerator Facility で行われる。キャビティの出荷は 2010 年、2011 年に予定されている。RI Research Instruments は、これまで常伝導及び超電導加速キャビティを米国、欧州の他のいくつかの加速器に供給した実績を持つ。

出典:

“RI Research Instruments GmbH Awarded Contract for Production of 86 Superconducting Accelerator Cavities for ARRA-Funded 23 GeV Upgrade of the DOE Thomas Jefferson National Accelerator Facility”

RI Research Instruments GmbH press release (July 9, 2009)

<http://www.research-instruments.de/press-090709>

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 「第 21 回超電導電力貯蔵研究発表会」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  
電力機器研究開発部 帆引一範

超電導エネルギー貯蔵研究会主催の第 21 回超電導電力貯蔵研究発表会は、平成 21 年 7 月 3 日（金）、東海大学校友会館にて開催された。

冒頭、同研究会の上之菌会長から「超電導技術の普及には冷却技術が鍵、超電導の持つ限界を目指した技術開発を」、仁田理事長から「低炭素社会の実現には電気エネルギーが不可欠、超電導がキーテクノロジーである」と、超電導技術の更なる発展を期待する挨拶が行われた。

平成 20 年度研究成果として、野村新一氏（東京工業大学）より「IEA からの依頼による SMES ロードマップの作成」と題し報告があった。これは IEA（国際エネルギー機関）が再生可能エネルギーの積極導入により 2050 年までに CO<sub>2</sub> 排出を半減させるシナリオにおいて電力貯蔵に着目し、日本の SMES 開発実績から同研究会にロードマップの作成を依頼したもの。SMES が NaS 電池・電気二重層キャパシタ等競合する他の電力貯蔵方式と比し、出力密度や応答性に優れていることを示し、続いて超電導コイル開発実績に基づくロードマップを示した。周波数調整や負荷・発電変動補償を対象とした 1 MWh クラスがまず実用化され、2020～30 年頃には負荷平準化を対象とした 100 MWh クラスが、2030～40 年頃には揚水発電代替となる 1 GWh クラスが導入される見通しを示した。また、SMES は立地上の自由度および運転効率の高さから、ライフサイクルコスト比較において他の電力貯蔵装置に比して優位であることが示された。

佐藤皓氏（筑波技術大学）より「医療用加速器へのエネルギー貯蔵装置」と題し報告があった。放射線がん治療に使用される小型シンクロトロンは、計画中のものを含め国内において 20 箇所以上にもなり、これらはビームを取り出すためパルス運転され、電力系統側に与える擾乱を抑えるため負荷変動補償装置が必要となる。医療用加速器は 20～30 年の設備寿命において 10<sup>7</sup>～10<sup>8</sup> 回もの運転回数となることから、補償装置にも相応の寿命と耐久性が要求される。寿命の点に加え、繰返し周期に対する応答性にも優れる SMES が適しており、SMES のマーケットとして有望である。併せて電力貯蔵装置として負荷平準化への適用も可能であり、受電設備容量を下げることも可能となる。

本島修氏（自然科学研究機構核融合科学研究所顧問）より「超伝導技術によってここまで進んだ核融合エネルギー研究」と題し特別講演があった。核融合研究の歴史、大型ヘリカルコイル LHD 研究概要等の他、研究における苦労話もご披露頂いた。ヘリカルコイルがクエンチを起こし、再通電時に電流が流れないトラブルが発生、原因は複数ある超電導コイルの中にクエンチしていないコイルが残留磁束を持っていたためで、再開までに 3 週間を要したとのこと。現場ならではの貴重な体験であり、大変参考となる。今後の計画として、核融合発電所を 10 年後頃より建設開始、27 年後に電力系統に連系し電力供給を行うとした。3 年後に 300 W の電気出力を得ることが当面の目標とのことである。最後に地磁気の話をご紹介頂いた。なんでも 1000 年後には地磁気が消滅、宇宙からの有害な放射線を遮ることが出来ず地球には生物が住めなくなるとのこと。しかし心配は無用、地球を超電導コイルで覆い地磁気を発生させればよい。100 万 kW 級原発 1000 基で電力供給！スケールの大きい話である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

「関西支部・超電導応用研究会シンポジウム」報告

神戸大学大学院  
海事科学研究科  
教授 武田 実

2009 年 7 月 17 日 (金) 13 時 30 分～16 時 50 分、情報通信研究所 (NICT)・神戸研究所 未来 ICT 研究センター (KARC) にて 2009 年度第 2 回関西支部講演会・見学会／第 1 回超電導応用研究会シンポジウムが以下のとおり開催された。

1. 「脳白質と灰白質での神経活動を計測する磁気共鳴イメージング法」  
劉 国相 氏 (KARC バイオ ICT グループ)
2. 「超伝導単一光子検出器と量子情報応用」  
王 鎮 氏 (KARC ナノ ICT グループ)
3. 施設見学

超電導プロジェクトおよび脳情報プロジェクト等関連施設

最初に劉氏より、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) によるイメージング法の最先端研究として、脳白質と灰白質での神経活動に伴う磁気共鳴信号の検出方法、左・右視野の言語刺激及び左・右運動野の運動刺激に伴う脳梁活動の解明等の研究が鮮やかな画像とともに紹介された。これらの画像を解析することにより、視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚に反応する脳の部位が同定され、その反応度 (理解度) を判断できる。更に、体温や血圧、心拍、瞳孔や発汗等の生理的な指標も組み合わせて計測すると、人間の感情すなわち心の動きも判断でき、人間科学的に極めて興味深いと感じた。

王氏の講演は、量子暗号鍵配送 (QKD) の説明から始まった。これは、微弱な光の粒子性 (光子) の物理的性質を暗号鍵として利用するものである。量子暗号を実用化するためには、光子の状態を正確に制御・検出するとともに送受信時刻を正確に記録することが重要である。このため、超電導単一光子検出器 (SSPD) の研究開発が NICT を中心として精力的に行われている。既にいくつかの技術課題を克服し、小型冷凍機を組み込んだ世界最高性能の SSPD システムの開発や、QKD の 100 km 圏フィールド実験にも成功している。今後は更なる性能向上を目指しており、情報通信分野のみならず質量分析、量子光学、宇宙物理学等さまざまな分野への応用が大いに期待される。

続いて、KARC の紹介ビデオが上映された後、2 組に分かれて施設見学が行われた。ナノ ICT ゾーンでは、SSPD システム、量子コンピューター実験装置、希釈冷凍機、分子フォトンクス実験装置、クリーンルーム等を見学した。またバイオ ICT ゾーンでは、MRI 装置、148 チャンネル脳磁界測定装置、磁気シールドルーム等を見学した。何れの実験装置も最新のものであり、非常に高いアクティビティーを感じた。

[超電導 Web21 トップページ](#)



【隔月連載記事】

やさしい「不確かさ」のおはなし (その5)

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

6. 標準不確かさの B タイプ評価

6.1 B タイプ評価

標準不確かさの 2 つの評価方法のうち、今回は B タイプ評価について説明します。B タイプ評価とは、統計的解析以外の方法によるものと GUM は定義しています。すなわち、A タイプでないものすべて、ということになります。

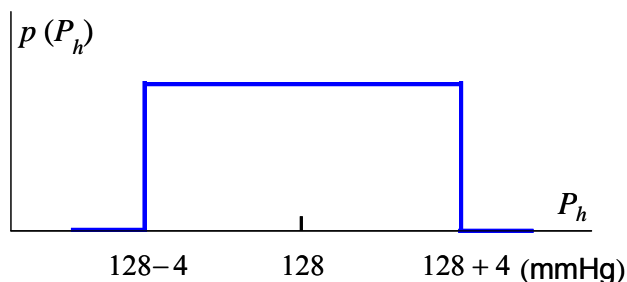


図 1 正しい目盛りの血圧計で得られると予想される測定結果に対する確率分布

家庭用血圧計の例 (3 節) に戻ると、血圧計の仕様書における「精度 ±4 mmHg」の記述を「目盛りのずれは ±4 mmHg を超えることはない」とまづ解釈しました。これから、もし厳密に正しい目盛りによって測定したと仮定したときの測定結果は、実際に得られた値 128 mmHg を中心とする ±4 mmHg の範囲にあると考えることができます。この範囲内でどの値がより確からしいかの情報はないため、これを表現する確率分布として図 1 (再掲) のような一様分布が想定できます。この分布の標準偏差 (一様分布の場合、半幅/√3) から、血圧の測定結果  $P_h$  の標準不確かさ  $u_2(P_h)$  を

$$u_2(P_h) = \frac{4}{\sqrt{3}} = 2.31 \text{ mmHg}$$

と求めることができます。このように、何らかの入手可能な情報から確率分布を想定し、その標準偏差を求めるとというのが、典型的な B タイプ評価の方法です。

情報源としては、仕様書以外に、測定器の校正証明書、理科年表の類のデータ集、測定系や測定対象に関して専門家が有する経験や知識、過去のデータなどがあり得ます。このような情報は、不確かさ評価で用いられることを前提に提供されているものばかりではないので、それを確率分布に置き換える際に主観が入ったり、曖昧さが残ったりする可能性があるのはある程度やむを得ません。例えば、血圧計の仕様書の「精度」の中に、血圧計側に原因があるばらつきの効果が含まれているかも知れません。すると A タイプ評価した不確かさと部分的に二重カウントしている可能性があります。

ます。

この対策として、Aタイプ評価の際に、このようなばらつきの効果を、血圧自体の変動とは分離して評価する実験を行うことが考えられます。これにより、二重カウントした場合とそうでない場合で結果にどのような差が出るかは少なくともわかります。実際にこのような実験する価値があるかどうかは、不確かさをどこまで厳密に評価する必要があるか、対象となっている不確かさ成分が他の成分と比べて無視し得ない寄与を持ちそうかどうかの専門家の予測などにもとづき判断することになります。血圧計の場合は、血圧計側のばらつきよりも被測定側の血圧自体の変動の方が大きいと考えられ、血圧計のばらつきが仮に二重カウントとなっても、大きな過大評価にはつながらないと考えられます。

### 6.2 Bタイプ評価で用いられる確率分布

一様分布は、不確かさ評価ではよく用いられる確率分布です。上下の限界値で不連続な飛びを有する点で、現実の何らかの現象を表現する分布としては不自然で、むしろ手元にある知識の状態を表現したものとするべきものです。数学的理屈をつければ、確率変数が上下限の範囲内にあるという制約条件のもとで情報量のエントロピーを最大にする分布が一様分布となります。これは最大エントロピー法という考え方の適用例です。

一様分布がよく使われるのは、考え得る最も簡単な確率分布であることと、限界値 $\pm\Delta$ から求めた標準偏差 $\sigma$ が、他の一般的な分布（例えば、三角分布ならば $\sigma = \Delta/\sqrt{6}$ 、 $\pm 3\sigma$ を限界値とみなした正規分布ならば $\sigma = \Delta/3$ ）と比べて大きめとなり、安全側に評価したい場合には好都合という事情によると思われます。ただし不確かさの過大評価が望ましいわけではありません。

Bタイプ評価では、一様分布以外に図2に示すような確率分布が想定されることもあります。外部からの情報は、しばしば $\pm\Delta$ 以内という存在範囲の限界の形で解釈できることが多いため、図では確率分布の特徴的な点と存在範囲 $\pm\Delta$ を関係づけて示しています。

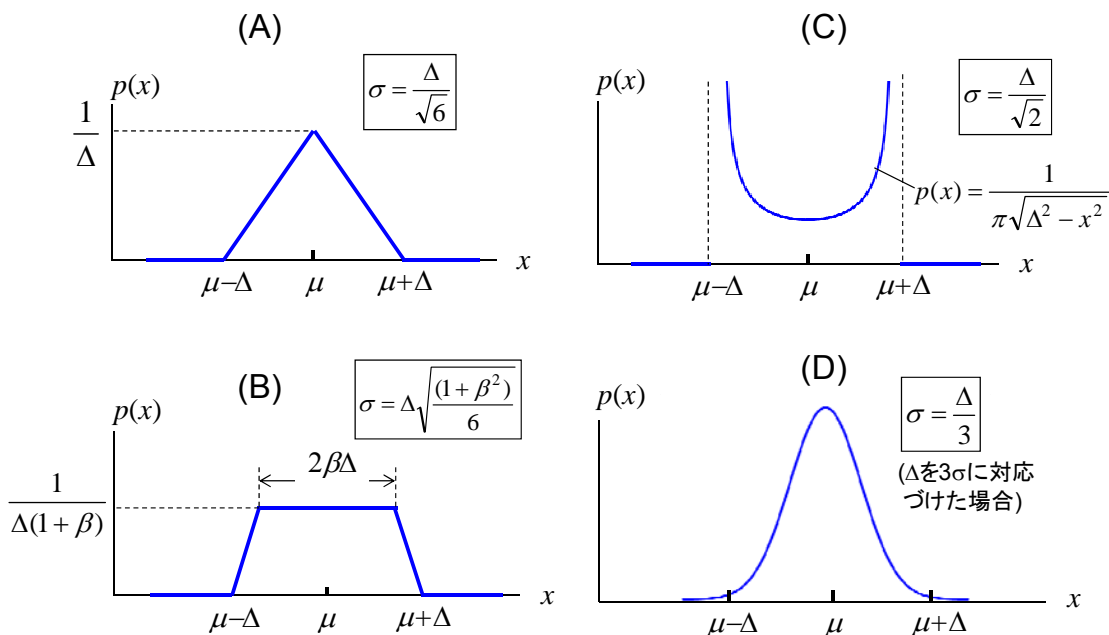


図2 Bタイプ評価における代表的な確率分布

図 2(A) の三角分布は、中心に近い点ほど可能性が高いと思われる場合に適当な分布で、一様分布のような不連続な飛びが生じません。標準偏差の大きさは  $\Delta/\sqrt{6}$  です。

図 2(B) は台形分布で、一様分布と三角分布の中間的な分布です。 $\beta$ は上底の下底に対する比で、 $\beta=1$  では一様分布、 $\beta=0$  では三角分布に一致します。一様分布において、限界値 $\Delta$ の値自体の情報が曖昧であるとして $\Delta$ の値に一様分布を想定し、一様分布二つの畳み込み積分を行うことからこの分布が出てきます。標準偏差は  $\Delta\sqrt{(1+\beta^2)/6}$  です。

図 2(C) は U 字型分布で、例えば温度がフィードバック制御されているなどのために時間的に正弦波的にふるまう場合、温度の分布はこのような形で表されます。 $\pm\Delta$ の限界値に近づくほど大きくなるのは、正弦波では最大振幅付近の滞在時間が長いからです。標準偏差は  $\Delta/\sqrt{2}$  です。

正規分布の場合  $\pm 3\sigma$  の範囲をはずれる確率は 0.3 % 以下なので、 $\pm 3\sigma$  を「ほぼ確実にこの範囲内に入る限界値」と解釈して  $\pm\Delta$  と同一視すると  $\sigma=\Delta/3$  となります。図 2(D) はこのような正規分布を表しています。

情報として与えられている値が何シグマに相当するかが最初から明瞭な場合には、必ずしも確率分布の形を想定する必要はありません。拡張不確かさが記載された、測定器の校正証明書などがこのような場合に相当します。

同じように確率と言っても、A タイプ評価に付随して考える確率分布（例えば第 4 回の図 1）と B タイプ評価で想定する上図のような確率分布では、確率の意味が微妙に違います。この点については、囲み記事 [7] で説明します。

### 6.3 A タイプ評価と B タイプ評価の区別

不確かさ評価が A タイプなのか B タイプなのかを厳密に分類することに実際上の意義はありませんが、過去のデータを用いた評価が A タイプなのか B タイプなのかがときどき議論の対象になりますので、ここで整理しておきます。GUM に厳密に従うと、

- (1) 測定結果  $\bar{x}$  を求めるためのデータセット  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  と  $u(\bar{x}) (=s/\sqrt{n})$  の  $s$  (実験標準偏差)

を求めるデータセットが同じ場合が本来の A タイプ評価

- (2) これに準じるケースとして、別のデータセットで  $s$  を求めているが、 $\bar{x}$  と  $s$  は、管理状態にあることが確認された同一の測定系で得られている場合も A タイプ評価

で、それ以外は B タイプ評価に分類されます。つまり、A タイプ評価は、測定結果を出すためのデータの背後に想定される母集団と同じ母集団からサンプリングされたと考えられるデータを用いて実験標準偏差を計算している場合に限定されます。

単に「実験を行った場合」に A タイプと呼ぶということではない点にも注意しておきたいと思えます。例えば後述する感度係数（偏微分係数）を計算によらず実験的に求める場合がありますが、それと A タイプかどうかは無関係です。

A タイプとするか B タイプとするかは、単に定義の問題ですので、繰り返しますが、これらを厳密に分類することに大きな意義はありません。

### 6.4 A タイプ評価から B タイプ評価へ

A タイプ評価と B タイプ評価のどちらが信頼性が高いとか、どちらが望ましいとかいうことが一般論としてあるわけではありません。特定の不確かさ成分に着目したとき、それをどちらの方法で

評価すべきかは、多くの場合ほぼ自動的に決まります。もしどちらの方法も利用可能ならば、得られる不確かさ自体の信頼性と評価のコストを勘案して検討することになります。

不確かさ評価の事例が蓄積され、社会的に共有されるようになれば、Bタイプ評価で利用できる情報が増えるはずで、これによりAタイプの不確かさ成分の割合が少ない（あるいは全く含まれない）評価（ただし最小限の性能チェックはむろん必要でしょう）が行える可能性が増えると考えられます。評価コストは一般にAタイプの方が高いので、生産現場での日常測定のように、不確かさ評価を厳密に行うより、コストがかからない簡便な評価を行うことが重要であるような局面でも不確かさが利用されるようになるためには、Bタイプ評価が行いやすい状況が広がることが望まれます。

基礎物理定数を集めた CODATA データベース (<http://www.codata.org>) はこの点では優等生で、リストされているすべての基礎物理定数に不確かさが付与されています。また、最近の測定器の校正証明書では、校正值に対する不確かさが記載されたものが多くなっています。一方、理科年表などの古くからあるデータ集では、不確かさの手掛かりになるような情報はまだ手薄です。今後改善されてゆくことを期待したいと思います。

## 6.5 過大評価の問題

Bタイプ評価では、手持ちの情報をどのように料理するかについて、何らかの主観的判断が関与することがしばしばあります。その際、安全側評価との観点で、不確かさが過大に評価されることがよくあります。逆に、稀なケースですが、市場競争の厳しい測定器のメーカーの立場で競争を有利に進めるなどのため、不確かさを小さめに評価するケースもあります。

健康診断で、血液のある成分の分析値が用いられている場合を想定します。分析値には誤差が含まれ得るため、本来なら正常とすべき人を異常ありと判定する誤り（あわて者の誤り、あるいは第一種の誤りとも呼びます）と、本来ならば異常ありとすべき人を正常としてしまう誤り（ぼんやり者の誤り、あるいは第二種の誤り）の2通りの誤りが生じ得ます。ぼんやり者の誤りの方が罪が深いことは明かです。従って、分析の不確かさの大きさに応じて、正常と判定する範囲を不確かさと同程度の大きさだけ狭い範囲に設定することは合理的です。不確かさの過大評価が安全側というのはこの意味です。しかし必要以上に狭くすると、少しのことで再検査に回される人が増え、無駄な再検査が増えるだけでなく、検査の信頼性が失われて、異常との結果が出て再検査にやっとならない人が増える可能性があります。判定限界値は、2種類の誤りで生じる損失のバランスを考慮したリスク解析により設定すべきで、これを合理的に行うには、リスク算定の基礎となる不確かさの大きさは過大でも過小でもなく評価されている必要があります。不確かさ自身に不確かさがあることへの配慮も、リスク解析の中で行うのが合理的です。

原子炉の熱出力の拡張不確かさは現在2%程度と言われており、このうちのほとんどは、冷却水の流量を求める流量計の不確かさに起因すると言われていています。この不確かさの存在を見込んで、可能な最大出力から少しだけ低めに実際の出力が設定されます。流量計の不確かさを低減することができれば、熱出力をそれだけ増加させることが可能になります。流量計の不確かさが1%に減らせれば日本全体で原子炉1基の半分ぐらいの出力をここから生み出すことが可能と考えられています。原子炉1基の建設費用が数千億円ですので、不確かさの低減が莫大な経済効率の向上につながるということがわかります。過大でも過小でもない、妥当な不確かさ評価を行うことが、効率化を進めるためにはたいへん重要になります。

[7] 古典統計とベイズ統計 — 頻度基準の確率と主観確率

Aタイプ評価では、測定量の真の値は（不可知ではあっても）一意的に定まった値であり、逆に測定データは何らかの確率分布に従う確率変数と考えます。多数の測定データをとってヒストグラムを作ることにより、ある測定値はどのような確率で生じるかを実験的に確認することができます。測定データの個数を無限個とした極限で、ヒストグラムから確率密度関数が得られます（図 A-1）。この意味で A タイプ評価で考えている確率は、「頻度基準の確率」と呼ばれます。無限回の繰り返し測定は不可能なので、実際には図 A-1 右側のような確率分布は不可知ですが、頑張れば原理的には実証可能というタイプの確率です。真値は（不可知の）確定数、測定値は確率変数という点がポイントで、これは古典統計学の考え方の中心となる枠組みです。

一方、Bタイプ評価で想定される、本文図 1 や図 2 のような確率分布は、実験による頻度分布から推定したものではなく、手持ちの情報をもとに一般に主観をまじえて想定したものです。このような確率は、「主観確率」あるいは「ベイズ流の確率」と呼ばれ、対応する分布は先験的分布と呼ばれます。本来一意的であるはずの真値をも確率変数として扱う点がポイントで、このような確率はベイズ統計学において取り扱われているものです。

Aタイプ評価と B タイプ評価で確率の数学的意味がこのように違いますが、このために現実の不確かさ評価で大きな混乱が生じるということはありません。現実の測定には、統計学で取り扱える部分とそうでない部分が存在することを反映して、GUM の中に二つの考え方が妥当なバランスで共存していると思います。

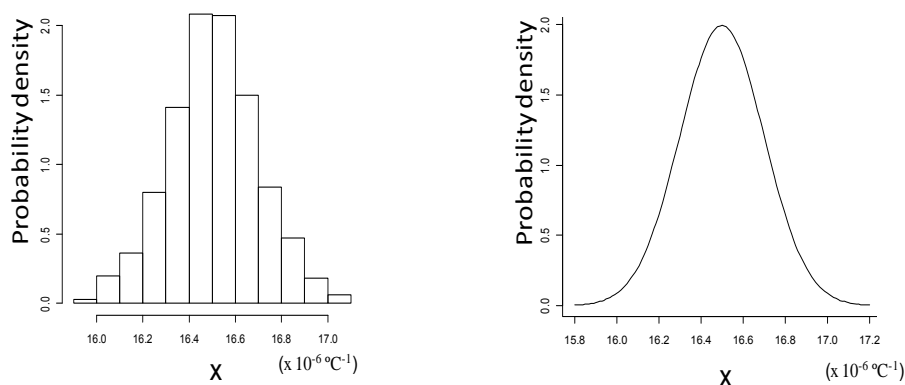


図 A-1 ヒストグラムと確率密度関数

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 読者の広場

### Q&A

**Q:**「スマートグリッド」と言う言葉をよく見かけますが、超電導電力機器との関係について教えてください。

**A:** スマートグリッドとは

最近、テレビや新聞で「スマートグリッド」という言葉をよく耳や目にします。「賢い電力網」などとも訳されているこの言葉は、米国のオバマ大統領が推し進める、電力の安定供給、再生可能エネルギーの導入、雇用の創出などを目的としたグリーン・ニューディール政策のキーワードとして注目されています<sup>1)</sup>。しかしながら、その具体的な技術仕様を定めるものや、明確な定義などは無く、現時点においては概念的なものようです<sup>2)</sup>。と言いつつも、2009年7月20日、DOE（米国エネルギー省）はスマートグリッド開発のための予算措置をしています<sup>3)</sup>。こうした動きとこれまでの知見から、超電導電力機器との関係について説明します。

#### その1: 超電導電力ケーブル

超電導電力ケーブルは、同じ大きさで比較したときに既存の電力ケーブルに比べ3-5倍の電力を送電できるため、増大する電力需要に応える、供給信頼度の向上に寄与することができます。既設の管路などを有効に活用し、電力エネルギー供給量を増大することができます。また、超電導電力ケーブルは送電損失を低く抑えることができため、送電する際の効率が向上します。こうしたことから、電力需要の高い地域に対して超電導電力ケーブルを適用することが期待されています。また、少々大きな話になりますが、電力需要地から遠く離れた場所の再生可能エネルギー（例えば砂漠の太陽光発電や、米国内陸部の風力発電など）を大量に送電する場合には大容量送電技術が必要であり、その候補として超電導電力ケーブルが挙げられています<sup>4)</sup>。

#### その2: 超電導限流器

電力系統の中で電氣的な事故が発生すると、事故点に向かって大きな事故電流が流れ込み、その結果、電力系統の安定性や電力品質に大きな影響を及ぼします。再生可能エネルギーの大量導入を目指すスマートグリッドにおいては、分散電源が電力需要地近傍に多数導入され、より複雑な電力系統になることが懸念されます。こうした電力系統の安定性と電力品質を維持・向上するためには、事故電流を抑制する限流器が有効です。中でも超電導限流器は超電導のクエンチ現象を活かした機器として注目されており、米国を中心に開発が活発化しています。

#### その3: SMES（超電導電力貯蔵装置）

風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーは、自然条件に支配され、発電出力が安定しないことが課題として挙げられます。スマートグリッドでは、ITなどを駆使して電力需要サイドをコントロールする対策や、電気自動車などのバッテリーに各家庭の負荷平準化機能を持たせる対策が検討されています。こうした対策に加え、電力系統レベルで負荷平準化機能を有する電力貯蔵装置を設置することは、電力品質の維持・向上に大変有効な対策です。SMESは、二次電池と同様の電力貯蔵装置ですが、二次電池に比べ非常に早い時間で充電放電が可能であることから、電力品質の維持・向上に有効であることが分かっています<sup>5)</sup>。

## 参考資料

- 1) 「オバマ大統領施政方針演説」2009年2月24日  
補足：この演説の中で「スマートグリッド」、「グリーン・ニューディール政策」という言葉は使われていません。関連するHPは“[It begins with energy.](#)”で検索してください。
- 2) <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>
- 3) <http://www.energy.gov/news2009/7670.htm>
- 4) DOE レポート “Grid 2030 vision”  
[http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/Electric\\_Vision\\_Document.pdf](http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/Electric_Vision_Document.pdf)
- 5) 超電導 Web21 2008年7月1日号 「超電導電力ネットワーク制御技術開発（SMES）の成果と今後」 [http://www.istec.or.jp/Web21/PDF/08\\_7/all.pdf](http://www.istec.or.jp/Web21/PDF/08_7/all.pdf)

回答者：ISTEC-SRL 電力機器研究開発部長 藤原 昇

[超電導 Web21 トップページ](#)