

掲載内容（サマリー）：

- | | | |
|-------------|-----------------|-------|
| ○年頭挨拶 | 理事長 | 荒木 浩 |
| ○2009 年を迎えて | 超電導工学研究所長代行 | 塩原 融 |
| ○2009 年のご挨拶 | 経済産業省産業技術環境局審議官 | 西本 淳哉 |

トピックス

- 超電導 EXPO2008 開催

- 超電導関連 1- 2 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（11/20 - 12/19）
- 超電導速報－世界の動き（2008 年 11 月）
- 低温工学協会材料研究会「21 世紀の課題と新超電導材料科学」報告
- Coated Conductors for Applications 08 (CCA08)報告
- 隔月連載記事－やさしい「不確かさ」のおはなし（その 1）
- 読者の広場(Q&A)－1 GHz 以上の NMR 装置の開発が各国で進められていますが、
どのような技術開発がなされているのでしょうか？

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

〈発行者〉

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

Tel (03) 3536-7283 Fax(03) 3536-7318

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>



年 頭 挨拶

財団法人 国際超電導産業技術研究センター

理事長 荒木 浩



あけましておめでとうございます。

昨年は、当財団設立 20 年という節目の年であると同時に、鉄系の超電導新物質の発見、JR 東海による 2025 年でのリニア新幹線開業計画の公表、洞爺湖サミットを契機に策定した「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」の 21 の革新的技術の 1 つとして「超電導高効率送電」技術が選定されるなど、超電導技術が脚光を浴びた 1 年でした。

一方、昨年は、平成 15 年度より行ってきました「超電導応用基盤技術研究開発（第Ⅱ期）」プロジェクトと、平成 16 年度より行ってきました「超電導電力ネットワーク制御技術開発」プロジェクトが、3 月に成功裏に終了しました。6 月には、これらの研究成果を活かし発展させる形で、「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクトがスタートしました。このプロジェクトは、超電導電力貯蔵システム(SMES)、超電導電力ケーブル、超電導変圧器の 3 つの超電導電力機器の早期実用化に向けた技術開発であり、今年度も、プロジェクト参画企業・団体各社と緊密な連携をとりつつ、研究を加速してまいりたいと考えております。

また、超電導技術は、地球温暖化防止のみならず、エネルギー、エレクトロニクス、輸送、医療、環境改善など幅広い分野において技術革新をもたらすと同時に、私たちの生活を豊かにするものがあります。当財団としましては、こうした期待に応えるべく積極的に技術開発に取り組んでまいり所存であります。

最後になりますが、皆様方のご繁栄を心からお祈り申し上げるとともに、本年も一層のご支援、ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

[超電導 Web21 トップページ](#)

2009 年を迎えて

超電導工学研究所
所長代行兼副所長 塩原 融



新年明けましておめでとうございます。

昨年下半年の未曾有の不況とともに経済対策・社会保障等の問題が浮き彫りになった状況で 2009 年を迎えることになりました。しかし、振り返ると、エネルギー問題では昨夏の洞爺湖サミットで 2050 年までに CO₂ 排出を半減することに世界中で合意を得たことなど、種々の長期施策を決定した重要な年であったと思います。CO₂ 排出量の削減を大命題とすると、電気エネルギーが種々のエネルギーの輸送形態のなかで最も効率的且つ効果的であることは自明であり、今後、超電導技術は益々期待されるものと考えられます。また、昨年における超電導関係の出来事としては、鉄・砒素系のニクタイド系新超電導材料の発見、JR 東海殿による東京・名古屋間の MAGLEV リニア新幹線の実用化・開業計画の発表等、材料から応用に亘る出来事があった年でもあります。

経済産業省殿及び NEDO 殿の御支援のもとでの超電導線材の実用化を目指した「超電導応用基盤技術研究開発」プロジェクトが昨年の 2008 年 3 月に成功裏に終了しましたが、引き続き、新規「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクトがスタートしています。2009 年は、これまでの二十余年に亘る酸化物超電導材料及び線材の研究開発を超電導機器研究開発へ本格的にシフトする重要な年と考えています。特に、低コストで高特性が大いに期待できるイットリウム系超電導線材に関して、経済性と信頼性の向上の両立（コスト 1/10、歩留まり 10 倍）を可能とする更なる技術開発と電力の大容量安定供給を目指した高温超電導ケーブル、高温超電導電力貯蔵装置（SMES）、高温超電導変圧器の重要な技術開発に邁進する年になります。なお、超電導送電技術開発としての本プロジェクトは、低炭素社会を目指し、我が国の最重要課題の一つとして重点化する 36 件の「環境エネルギー技術」（平成 20 年 5 月 19 日総合科学技術会議決定）施策中の一つに選定されています。

また、情報通信ネットワーク全体の消費電力量の抑制という喫緊の課題に対応するため、省エネルギー・高機能の革新的なデバイス・装置の技術開発を行う「次世代高効率ネットワークデバイス技術開発」プロジェクトが、2007 年度から進められています。超電導単一磁束量子（SFQ）回路は、この中で究極の省エネルギー化が期待されるデバイスとして位置付けられています。オール光通信処理技術開発の一環としての本プロジェクトは、他国の追随を許さない世界トップレベルの技術であり、持続的な経済成長と豊かな社会の実現を可能とする最重要政策課題の一つとしての「革新的技術」（平成 20 年 10 月 31 日総合科学技術会議）に選定された 23 件の中の一つに位置付けられています。さらに、Nb 系の低温デバイスにおいて課題となっていた大規模集積化技術が進展し、「超高速ルータ」や「超高速サーバ」への道が開かれつつあります。また、早期実用化を目指して、既存の半導体回路に比して 7~8 倍の高速演算が可能となる高性能小型システムの開発も進められています。

このように、2009 年は超電導技術が実用化の域に飛躍する重要な年と考えています。このような進展も過去二十余年に亘り営々とした研究者の努力の結果であり、本年度もこれまで同様、会員企業各位はじめ、皆様方の倍旧の御指導・御支援、御協力を賜りますよう、お願い申し上げます。

[超電導 Web21 トップページ](#)

2009 年のご挨拶

経済産業省産業技術環境局審議官
(産業技術・環境担当)
西本 淳哉



平成 21 年の新春を迎え、謹んでお慶び申し上げます。

現在、我が国経済を取り巻く環境は大変厳しい状況にあります。

少子高齢化の進展や新興国の台頭に加え、世界の金融・資本市場が危機に陥る中、我が国経済も、生産・輸出が減少し、業況感や雇用環境の悪化、消費の冷え込みが見られるなど、様々な問題に直面しているところです。

しかしながら、こうした厳しい時期にこそ、将来の産業の種を生み出すような研究開発に積極的に取り組んで行くことが重要であると考えております。

経済産業省は、昨年 9 月に改訂した「新経済成長戦略」に基づき、新産業・新市場の創出につながる研究開発を重点的に支援して参る所存です。

財団法人 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) が取り組んでいる「超電導技術」は、送電線やエネルギー貯蔵、交通システム・最先端の医療システムなどへの応用を通じて、社会や生活に変革をもたらす可能性がある革新的な技術であり、人類の未来に貢献する大きなインパクトを与えることが期待されています。

とりわけ、超電導高効率送電技術は、「Cool Earth—エネルギー革新技术計画」に示された、重点的に取り組むべき 21 のエネルギー革新技术の 1 つに掲げられており、その実用化には大きな期待が寄せられております。

昨年一年間を振り返っても、我が国を含めた世界各国における精力的な研究開発により、超電導線材の性能の大幅向上、超電導機器の要素技術開発など、実用化に向けた成果が次々と生み出され、大きな進歩が見られました。また、「鉄系の超電導材料」等の新系統の高温超電導物質の発見も行われ、新たな技術シーズとなる可能性があります。

経済産業省は、昨年度に開始した「イットリウム系超電導電力機器技術開発」による超電導ケーブル、SMES (超電導電力貯蔵) 及び超電導変圧器等の研究開発、さらにはビスマス系超電導材料を用いた「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」等のために、平成 21 年度予算として総額 46.1 億円 (補正予算を含む。) を予定しているところであり、今後とも、技術戦略マップに示されている広範な分野での超電導技術実用化に向けた取り組みを積極的に推進してまいりたいと考えております。

最後に、本年も研究開発政策に対するより一層の御支援、御理解を賜りますようお願い申し上げますとともに、皆様方の益々の御発展を祈念いたしまして、新年の挨拶とさせていただきます。

[超電導 Web21 トップページ](#)

トピックス：超電導 EXPO2008、東京ビッグサイトにて開催

東京都江東区有明の東京ビッグサイトで 12 月 11 日から 13 日までの 3 日間、日本経済新聞社主催の“エコプロダクツ 2008”が開催され、その中に併設する形で“超電導 EXPO2008”が開催された。これは昨年開催された“超電導 EXPO2007”に続く第二回目の超電導技術の展示会であり、超電導テクノロジー&ビジネスフェアと銘打って、超電導技術に係る情報交流、ビジネスマッチングの場を提供し、その開発・実用化を促進するとともに、超電導技術の普及・啓発を行うことを目的としている。

超電導 EXPO2008 には 8 企業・団体（ブース番号順に、昭和電線、古河電気工業、住友電気工業、フジクラ、中部電力、日立電線、NEDO、ISTEC）が出展した。

昭和電線は、Y 系超電導線および電流リードの展示を行うとともに、熱電変換素子を展示した。

古河電気工業は、 Nb_3Sn の低温超電導線材、Y 系超電導ケーブルのカットモデルなどを展示した。

住友電気工業は、電気自動車に搭載した超電導モーターの現物展示を行うとともに、この電気自動車の走行試験の様子をビデオで流した。三相の超電導ケーブルは実物のカットモデルを展示した。また、1 時間毎に超電導に関するレクチャーと超電導巻線コイルを用いた磁気浮上のデモを行い来場者の足を止めさせていた。

フジクラは、500 m の Y 系超電導線、電流リード、Y 系超電導線を用いたマグネットなどを展示した。

中部電力は、小型 SMES を液体窒素で冷却し、SMES に蓄えた電力を LED に放電して“SMES”の文字を光らせていた。また、大型 SMES の模型も展示していた。

日立電線は、核融合実験炉 ITER 用の低温超電導線材（ Nb_3Sn 、 Nb_3Al ）を展示した。

NEDO は、超電導応用の 4 つの分野（エネルギー・電力、産業・輸送、診断・医療、情報・通信）についてそれぞれでの主な応用について解説を行うとともに、来場者にどの分野に最も期待するか投票してもらっていた。4 分野については、ジオラマを用いた説明も行っていた。フライホイールがどのように動作するかを示した模型の展示も行っていた。



写真の中をクリックすると動画が見られます。

ご覧になれない場合は下記より Acrobat Reader (V9) を無償ダウンロードしてご覧下さい。



図 1 ISTEC が展示した超電導技術を応用した未来社会のジオラマ

ISTEC では、“超電導が拓く豊かな未来社会”というキャッチフレーズの大きなジオラマを展示した（図 1）。背景に未来社会のイラストを配置し、9 種類の超電導機器の模型を載せた。電気自動車、電力ケーブル、変圧器、未来の病院、SMES、風力発電、ルータ・サーバ、超電導ポッドモーター船、および磁気分離装置である。

来場した子供から大人までの幅広い層が超電導に興味を示した。とくに担当者に説明を聞いたあとは、「これまで超電導という言葉は聞いたことがあるが内容はよく知らなかった。けれども、今日の説明を聞いてよく分かった」という声が多かった。図 2 に展示会場での来場者の様子を示す。来場者の約半数にアンケートをお願いし、約千人分を回収した。



図 2 ISTEC ブースで担当者の説明に聞き入る来場者

超電導 EXPO2008 への来場者は 2 千人以上であったと推定され、8 企業・団体による出展に多くの来場者の方が興味を示し、超電導に対する理解を深めていただいたことは、今後の超電導技術の発展に好影響を与えるものと期待される。普及・啓発活動としては十分目的を果たしたものである。

（SRL/ISTEC 特別研究員 蓮尾信也）

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 1-2 月の催し物案内

1/16

第 3 回超伝導応用研究会シンポジウム「高感度 NMR と医療用加速器」

場所：日立製作所 大みかクラブ、日立市大みか町

主催：低温工学協会 超電導応用研究会

問合せ：日立電線（株）技術本部 技術企画センター 和田山芳英 要事前登録

Tel: 0294-25-3821、Fax:0294-42-1281、E-mail: wadayama.yoshihide@hitachi-cable.co.jp

1/30

第 3 回極低温技術スクール「低温液体と超伝導を体験しよう！」

場所：筑波大学研究基盤総合センター低温部門、つくば市

主催：低温工学協会 教育・セミナー委員会

問合せ：物質・材料研究機構 材料ラボ 沼澤健則

Tel: 029-863-5454、E-mail: numazawa.takenori@nims.go.jp

2/15-19

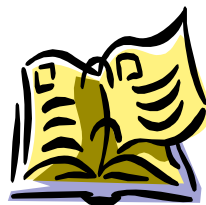
The Minerals, Metals & Materials Society, TMS 2009 Annual Meeting and Exhibition

場所：San Francisco, California, USA

問合せ：TMS Meeting Services、184 Thorn Hill Road, Warrendale, PA 15086 USA

Tel: (724) 776-9000 x243、Fax: (724) 776-3770、Email: mtgserv@tms.org

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (11/20-12/19)

- 陽子線医学利用研究センター（茨城県） がん治療の人材育成担う 11/21 日経産業新聞
- IEC 副会長に日立・藤沢氏 燃料電池 日本に追い風 11/22 Fuji Sankei Business i
- レアメタル権益 確保せよ 商事・物産、譲れぬ安定供給 「脱中国」を模索 11/24 Fuji Sankei Business i
- 米核融合エネルギー協会 本島氏に優秀功績賞 11/26 日刊工業新聞
- 次世代産業技術 量子コンピューター 「冷蔵庫型」に熱い視線 11/26 日経産業新聞
- 詰め替え不要の MRI 用造影剤 コニカミノルタエムジー 11/26 日経産業新聞
- 宇宙太陽光発電 日本も研究本格化 温暖化防止の切り札に 12/1 日本経済新聞
- オンリー1 ファクトリー ITER 計画の部材を加工 UEX 伊勢原スチールサービスセンター 「200 mm 厚鋼板を切断」 12/1 日刊工業新聞
- 粒子線治療装置 三菱電機が提案強化 民間や海外なども視野 12/2 電気新聞
- 米大、MRI 解像度アップ 12/3 日経産業新聞
- 450 mm のウェハー搬送容器 ミライアル・信越ポリマー 次世代向け先行開発 12/4 日刊工業新聞
- 磁性細菌で有害物質回収 東京農工大が浄化手法 細胞膜を加工 12/4 日経産業新聞
- 理研の最前線 河野行雄 「近接場」テラヘルツ検出器で物質の謎に迫る 電子の振る舞い解明へ 実用性高い測定装置開発 12/9 日刊工業新聞
- 「南部理論」裏付け期待 ノーベル物理学賞 対称性の破れ 未知クォーク 加速器で検証 反粒子の謎 「超対称性も」 12/9 日刊工業新聞
- 竹中工務店 MRI 検査室に「窓」 磁気など遮断、採光可能に 12/10 日経産業新聞
- Y 系高温超電導線材 フジクラがコスト低減 製造速度増し量産可能に 12/10 電気新聞
- 南部と「巨人たち」の出会い 真空の概念を変えた 12/11 読売新聞
- 超電導 EXPO 実用化の利点伝える 技術や製品、一堂に紹介 12/12 電気新聞
- 低炭素時代は新エネルギーと原子力の推進 CO₂を 50 年までに 50 %削減の「クールアース 50」を 12/12 Fuji Sankei Business i
- 海外での建設が進む 風力発電 12/12 Fuji Sankei Business i
- 電気自動車とガソリン車のエネルギー効率 電気自動車 どこまでエコ CO₂排出は減少 資源面で制約も 12/14 日本経済新聞
- 世界に誇る「J-PARC」利用開始 大強度陽子加速器で物質・生命の謎に迫る きょう東海村で記念式典 新しい科学を切り開こう 12/16 Fuji Sankei Business i
- ITER 用 TF コイル 線材の製造を本格化 日立電線 神鋼子会社 超電導素線、初出荷へ 12/16 電気新聞
- 世界レベル研究へ 連携協力で調印式 東京理科大と物材機構 12/17 日刊工業新聞
- 科学の進歩ベスト 10 トップは iPS 細胞 東工大の鉄系高温超電導も 12/19 日刊工業新聞、朝日新聞
- 最強加速器、再稼働は来夏 12/19 朝日新聞

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（2008 年 11 月）

電力

American Superconductor Corporation（2008 年 11 月 4 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) は、2008 年 9 月 30 日に終了する第 2 四半期の収支を発表した。当期収入は前年同期 2,160 万ドルに対し 87 % 増の 4,040 万ドルであった。粗利益率は、前年同期 26.0 % に対し、当期が 26.5 %。純損失は、前年同期の 670 万ドルに対し、当期は 410 万ドルであった。AMSC 社は 2008 年第 2 四半期の操業により 30 万ドルのキャッシュを生み出した。2008 年 9 月 30 日現在、現金、現金等価物、市場流通証券、一部制約のかかった現金の総額は 1 億 2,1890 万ドルである。利払い、税金、経常外収支、減価償却、減損等を除いた利益 (EBITDAS) は、前年同期のマイナス 230 万ドルに対し、当期プラス 110 万ドルであった。第 2 四半期終了時点での受注残は 5 億 9,700 万ドル。なお、前年同時期の受注残は 1 億 8,000 万ドル。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「我々は全ての事業分野で良好な成績を収めている。第 4 四半期には GAAP（一般に認められた会計原則）ベースで我が社の創業以来初めて利益を生み出すことになる。主要市場での我が社の強さ、ユニークな製品・サービス、そして中国市場でのプレゼンスが相まって、世界経済が下降している中、我が社は今後とも継続した成長が期待できるという良好なポジションにいる。」AMSC 社は 2008 年通年の以前の予測である、収入 1 億 7,500 万～1 億 8,500 万ドル、準損失 1,300～1,500 万ドル、EBITDAS の黒字 700～1,000 万ドルを再度確認した。

出典:

“AMSC Reports Second Quarter Fiscal 2008 Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (November 4, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1221570&highlight

Zenergy Power plc（2008 年 11 月 10 日）

Zenergy Power plc は、商用 HTS 限流器の試験を成功裏に終了し、商用電力グリッドへの組み込みのための性能を持つことを確認した。この限流器は昨年設計、製作、試験が行われた開発モデルをベースとして製作されたもの。この新製品は、2008 年 12 月に Southern California Edison (SCE) に出荷され、同社の商用電力グリッドに設置される予定である。この限流器は、2009 年第 1 四半期に実際にグリッドに組み込まれると見られる。Zenergy 社の HTS 限流器は同社特許である飽和コア限流器の設計を採用している。この限流器は複数の電力変動に即時、かつ自動的に応答してこれを吸収することにより、下流のユーザーへの継続した、安定的な電力を供給しつつ、停電や同時並行して生じる損傷を抑止することができる。この限流器に対しては他の顧客も興味を示しており、これら電力の潜在的な顧客にも提供することができる状態にある。

限流器の世界市場は年間 50 億ドル程度と見込まれている。同社プレス発表の中で、Zenergy 社役員は次のように述べている。「米国電力グリッドに HTS 電力機器の導入を加速するため 5,000 万ドル以上の投資を行うとした米国 DOE の昨年のコミットメントは、限流器の市場の大きな支えとなっている。米国において HTS 電力機器の利用を積極的に推進するという DOE の決定は、老朽化し、限界状態で非効率な米国電力グリッドを近代化するための全体戦略の中で、HTS 機器が果たすであろうと人々が信じている中心的な役割を示唆するものである。この DOE のコミットメントに加え、信頼性の高い、経済的で環境にもやさしいエネルギーを各種各様な形態で安定して全米国民に供給することを確かなものにするために、HTS 材料や機器が中心的な役割を果たすことを連邦政

府自体も支持している。

出典:

“Key FCL Milestone: Successful testing and Launch of Commercial Grid Stability Device”

Zenergy Power plc (November 10, 2008)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-11-10-fcl.pdf

Zenergy Power plc (2008 年 11 月 17 日)

Zenergy Power plc は、EU 委員会から低コスト次世代 HTS 線材製造技術開発のため 47 万 5,000 ユーロの補助を受けた。この補助金は、金属や他の材料の表面にセラミック層を塗布するために使うことができるある種のインクジェット技術開発を加速するために EU 委員会が予算措置を講じている 355 万ユーロのプロジェクトの一部として支出されるものである。このプロジェクト名は「Environmental Friendly Electro-ceramics Coating Technology and Synthesis [EFFECTS]」。この EU 委員会からの補助は、Zenergy 社が確信を持って現在進めている次世代 HTS 線材量産向け低コストプロセス開発が認知された結果である。このプロセスはロール・ツー・ロール・プロセスの中でニッケル基板にインクジェット技術を使って超電導セラミックスを塗布する工程を含むことになる。ロール・ツー・ロール・プロセスという連続工程は、コスト的に効率的で、高収率という意味で、次世代線材の量産には理想的である。Zenergy 社によって開発された全化学プロセスは世界で唯一のものであり、その利点は他の次世代 HTS 線材生産で使われている時間や労力がかかるバッチ処理をなくしてしまえるということである。

出典:

“European Commission Grant”

Zenergy Power plc (November 17, 2008)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-11-17-european-comission-grant.pdf

American Superconductor Corporation (2008 年 11 月 18 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、中国の有数の産業機械メーカーである Shenyang Blower Works (Group) Co., Ltd. (SBW) と契約を取り交わし、二重型 2-MW 誘導風力発電機の共同開発を進めていくこととなった。これにより、SBW 社は中国市場で風力発電機の主要サプライヤーとなることが期待される。契約では、AMSC 社の完全子会社である AMSC Windtec™ が SBW 社に風力発電機の設計を開示する。また、AMSC 社は SBW 社を支援して、風力発電機の主要部品が現地調達できるようにし、風力発電機製造ラインを確立、原型一号機の製作、試験を行うこととなっている。これらにゴーサインが出れば、SBW 社は主として中国市場で風力発電機を製造販売していく計画である。また、SBW 社は 2009 年に原型一号機を設置、運転し、2010 年には生産にこぎつけたいとしている。

出典:

“AMSC Partners with Shenyang Blower Works for Development of 2 Megawatt Wind Turbines”

American Superconductor Corporation (November 18, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1227696&highlight

NMR

Bruker BioSpin (2008 年 11 月 19 日)

Bruker BioSpin は、King Abdullah University of Science and Technology (KAUST) から 10 台の

NMR 装置の注文を受けた。その中には 950-MHz の超電導 NMR マグネットも含まれている。発注総額は約 2,000 万ドル。KAUST はサウジアラビアの大学院大学である。BioSpin 社の 950-MHz 超電導 NMR マグネットは世界最高レベルの能動シールドによる高解像度超電導マグネットシステムである。この 22.3-T 超電導マグネットは、160 km の線材が使われており、2 階相当の高さを持ち、重量は 8 トンある。この NMR システムの据付は 2009 年に開始され、一部のシステムは KAUST の開校に合わせて 2009 年 9 月に稼動するものの、全ての完成は 2010 年までかかると見込まれている。

出典:

“Bruker Announces Order for 10 NMR Systems to Enable World-class Scientific Research at King Abdullah University of Science and Technology (KAUST)”

Bruker BioSpin press release (November 19, 2008)

<http://www.bruker-biospin.com/pr081119.html>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2008 年 11 月 12 日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、2008 年 9 月 27 日に終了する第 3 四半期の収支を発表した。第 3 四半期純収入は、前年同期 410 万ドルに対し、当期は 360 万ドルである。当期純製品売り上げは、前年同期 230 万ドルに対し、270 万ドルであった。政府契約やその他契約による収入は前年同期 180 万ドルに対し、当期は 854,000 ドル。同社社長兼 CEO、Jeff Quiram は次のように述べた。「第 3 四半期には、顧客である通信事業者が、機器の性能改善のための投資を増やした。その結果、我が社の製品売り上げは大幅に改善し、対前期比で 100 %、前年同期比で 20 % の伸びであった。現在の経済的な不透明さが将来通信事業者の投資優先順位や支出決定にどう影響するか不明であるが、第 3 四半期の結果は我々を勇気付けるものであった。政府契約収入の減少は 2008 年第 3 四半期における米国空軍との SURF フェーズ 1 契約の終了によるものであり、現在フェーズ 2 契約の最終承認を待っているところである。」Quiram はさらに加えて以下のように述べた。「我が社の材料技術を次世代送電システム向け HTS 次世代線材開発イニシアティブに適用するための DOE-Los Alamos National Laboratory との共同研究契約においても前進を続けている。」当期の純損失は、前年同期の 200 万ドルに対し、当期は 320 万ドルであった。2008 年 9 月 27 日時点で、同社の運転資本は、現金及び現金相当物 1,070 万ドルを含め、総額 1,570 万ドルである。STI 社の受注残は、前年度末の 647,000 ドルに対し、217,000 ドルである。

出典:

“Superconductor Technologies Inc Reports Third Quarter 2008 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (November 12, 2008)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1225504&highlight>

HYPRES, Inc. (2008 年 11 月 17 日)

Hypres Inc. は、新たに特許を取得した Digital-RF™ スイッチマトリクス技術のデモを行った。この技術を使えば、高周波の送信、ルーティング機能が完全にディジタル無線アーキテクチャーの中で実現できる。このデモンストレーションは Hypres 社の主要マイルストーンが達成された証であり、最初の商用システムとしての実証でもある。ディジタル無線スイッチマトリクス技術は、ソフトウェア無線のような高性能で構成変更可能なマルチバンド、マルチチャンネル無線システムである。Hypres 社研究開発担当役員 Deepnarayan Gupta は次のように述べた。「アナログ型の無線ス

スイッチマトリクスは、信号の減衰、クロストークといった面で大きな欠陥を抱えている。また、スケラビリティがなく、構成の変更もできない。我々のデジタル無線スイッチマトリクス技術は、アンテナ以降は全デジタルとすることで、このような問題点を解決し、スイッチレイヤーをトランスシーバ・デジタル・ドメインに組み込むことを可能としている。Hypres 社 CEO、Richard Hitt は次のように述べた。「マルチバンド、マルチチャンネル応用に必要な例えば数十 GHz のような超高速スイッチングということを考えれば、Digital-RF™による送信やルーティングは高性能な超電導集積回路でしか実現できない。この集積回路は、ピコ秒オーダーのスイッチング速度を持っており、産業界では他に比類なきものである。」

出典:

“Hypres Demonstrates Digital-RF™ Distribution and Routing, a New Milestone in Software Radio Technology”

Hypres Inc. press release (November 17, 2008)

http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/digitalswitchmatrix.pdf

基礎

Brookhaven National Laboratory (2008 年 11 月 5 日)

米国 DOE-Brookhaven National Laboratory は、高温超電導体のエネルギースペクトル画像をより鮮明にする技術を開発した。この画像技術により、特別な方向のみであるが、超電導体を電流が流れるために必要な電子対が臨界温度以上で生成されていることを確認できた。研究所では、臨界温度以下及び以上に保持された銅酸化物に National Synchrotron Light Source の放射光を照射し、試料からはじき出された電子のエネルギースペクトルを解析した。角度分解分光法 (ARPES) として知られるこの分光画像手法は、基本的にはフェルミ面以下の電子のエネルギーレベルのみを可視化することができる。フェルミ面上の電子エネルギーを可視化するため、研究所では星間画像の分解能を改善するために天文学者が使っているものと類似の解析手法を応用した。その結果、臨界温度以上で、擬ギャップの場所に、フェルミ面の上下に電子対を示唆する対称なエネルギーギャップを観察した。これは、臨界温度以上で電子対が生成していることを強く示唆している。興味深いことに、この電子対は超電導材料の特別な結晶方向にのみ生成している。このような電子対の生成やそれが方向依存性も持つという結果は、スピン密度波や電荷密度波から導き出される高温超電導の発生のいくつかの説明は成り立たず、むしろ、モット絶縁体や電荷ストライプを含む競合理論を支持するものとなっており、高温超電導の我々の理解を前進させるものと考えられる。研究結果は、Nature 2008 年 11 月 6 日号に掲載された。

出典:

“Electron pairs precede high-temperature superconductivity”

Brookhaven National Laboratory press release (November 5, 2008)

http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=853

National Institute of Standards and Technology (2008 年 11 月 13 日)

National Institute of Standards and Technology 及び他の共同研究機関は鉄系高温超電導体に関し最近 2 件の論文を (Nature Materials and Physical Review に) 投稿し、掲載された。この中で、磁性と超電導の関係は以前考えられていたよりももっと複雑であり、いくつかのタイプの超電導体では全く新しいメカニズムが働いているかもしれないと報告されている。研究グループは中性子を使って鉄系超電導体の原子レベルでの構造を調べ、ドーピングが磁性や超電導性にいかに影響を与え

ているかという面で銅酸化物と似ていることを見出した。ドーブされていない鉄系超電導体を調べると、適当な圧力で結晶体積が異常に高い比率で圧縮される。さらに、試料はなんらの磁性の痕跡もなく超電導体となる。圧力下でのこの異常な振る舞いは、全く異なるメカニズムが鉄系超電導体では働いている可能性があることを示唆している。一方で、一般的には磁性は両タイプの高圧超電導性を特徴付ける深層メカニズムという点で、高圧超電導体の（重要な）付加要素とも言えるかもしれない。

出典:

“Iron-based materials may unlock superconductivity’s secrets”

National Institute of Standards and Technology press release (November 13, 2008)

http://www.lanl.gov/news/index.php/fuseaction/home.story/story_id/15126

Los Alamos National Laboratory (2008 年 11 月 24 日)

Los Alamos National Laboratory は、超電導体が非磁性であると同時に磁性であるという新しい物性状態である可能性があるという、新規超電導体における超電導性に関する新たな考え方を提案した。研究グループは、Ce-Rh-In 化合物を絶対 0 度直上で超電導状態になるまで冷却、その後圧力及び磁場を加えて材料中の電子の配列に外乱を与えた。各種圧力、温度下での材料の振る舞いから、研究グループはこの材料が完全絶対 0 度で量子臨界点に達するものと確信した。この状態では材料は金属の性質を保持しているが、これまで決して考えられなかった状態でもある。研究グループは、この量子臨界点が電子対を生み出し、超電導状態を生成する量子状態を生み出すものであると考えている。換言すれば、今回の結果はフォノンを含まない超電導メカニズムを示唆している。今回の結果及び考え方は Nature 2008 年 11 月 20 日号に掲載された。

出典:

“Los Alamos Scientists See New Mechanism for Superconductivity”

Los Alamos National Laboratory press release (November 24, 2008)

http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2008_1112.htm#htc

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学協会材料研究会「21 世紀の課題と新超電導材料科学」報告

(社) 低温工学協会材料研究会は、2008 年 11 月 12 から 14 日、高知市文化プラザかるぽーと、高知市中央公民館において開催された第 79 回低温工学超電導学会と同じ場所において、11 月 11 日に平成 20 年度第 3 回材料研究会を開催した。第 79 回低温工学超電導学会前日にもかかわらず 37 名の参加者のもとで成功裏に終了した。

今回の材料研究会のテーマは、「21 世紀の課題と新超電導材料科学」であった。

研究会は、淡路 智氏（東北大学）及び松下照男（九州工業大学）によって進行された。

まず、松本 要委員長（九州工業大学）は、ユニークな超電導特性を広く社会に浸透させるためには、超電導の一連の技術史の中で製造技術の進展もさることながら、その基礎となる材料科学的視点によって飛躍的な進展を遂げていることが判る。また、新超電導物質の研究開発にとっても材料科学的視点は重要であるとの挨拶がなされた。

一松下照男氏（九州工業大学）から「21 世紀の課題と新超電導材料科学の必要性」と題した講演がなされた。多くの人が期待するユビキタス超電導社会を目指すための一つのルートに超電導の磁界応用がある。磁界応用を科学的にアプローチするためには、超電導材料別の T_c 、 H_{c2} などの超電導特性及びピンニング特性に関する科学的理解を更に深化させながら長尺線材化やマグネット化を進めるべきであるとの指摘がなされた。

一下山淳一氏（東京大学）から「固体化学の観点から一強い超電導材料の設計と創成」と題した講演がなされた。超電導材料科学として、超電導体自体のマトリックスの正体があまり解明されないままであることが指摘され、超電導体のマトリックスにおける組成のゆらぎ、クラスター生成など原子オーダーの理解を深めることが臨界電流密度の向上に有効との提言がなされた。

一野祐亮氏（名古屋大学）から「原子・分子を積み上げる一ナノ構造と超電導特性」と題した講演がなされた。Y123 に BZO の自己組織化及びナノドットの導入によって J_c -B 特性が向上したこと、PLD 法における LTG プロセスや CVD 法における VLS (Vapor-Liquid-Solid-growth) プロセスの適用が有効であるとの主張がなされた。

一木須隆暢氏（九州大学）から「電磁氣的観点から一実用材料の開発に向けて」と題した講演がなされた。研究段階から実用段階の超電導材料の評価は、ナノメータからキロメータを俯瞰したマルチスケールに亘る評価手段の適切な選択が必要である。また、材料プロセスや応用設計には、超電導材料の熱的、電磁氣的及び構造的複合評価手法の確立が必要との提案がなされた。

一雨宮尚之（京都大学）「超電導材料科学の過日をユビキタス超電導につなげるために」と題した講演がなされた。“ユビキタス超電導社会”における“使いやすい材料”の観点で言えば、酸化物超電導線材はテープ形態よりも丸線形態が望ましいとの主張がなされた。しかし、超電導応用に必要なのは、現実に入手可能な材料を先入観に捕らわれることなく応用設計し、使いこなす努力がさらに要求されるとの指摘もなされた。

一全体討論において、酸化物超電導体の研究開発がスタートして 20 年が経過し、応用分野においてもようやく実用材料としての形態や特性をイメージし、具体的な機器設計に取り込める段階に至ったことは誠に喜ばしいことであるとされた。今後、個々の応用分野における直流的或いは商用周波数の交流的な固有の要請を取り込みつつ発展するものと思われる。個々の分野における固有な要件として、更なる高い臨界温度、更なる高い導体電流密度、更なる低い交流損失などを上げることができ、これらへの対応手段の一つとして超電導材料に対する材料科学的アプローチが一層重要になるとの確認がなされた。

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

「Coated Conductors for Applications 08 (CCA08)」報告

CCA08 (Coated Conductors for Applications 08) は、2008 年 12 月 4 日から 6 日まで米国テキサス州ヒューストンの Hilton University of Houston において開催された。日米欧を中心に 63 件のセッション発表と 18 件のポスター発表が行われた。発表件数内訳は下表に示すが、米国が半数を占め研究活動が活発であることが窺えた。参加者は 9 カ国より 141 名であった。



会場 Hilton University of Houston



セッションの様子

参 加 国	発 表 組 織 数	セッション発表数				ポスター発表数(*)			
		企 業	研究所	大 学	合 計	企 業	研究所	大 学	合 計
日 本	7	4	9	3	16	0	2	0	2
米 国	20	9	17	5	31	1	5(2)	3(2)	9(4)
欧州 6 カ国	7	2	7	3	12	0	1	3(3)	4(3)
韓 国	4	1	2	1	4	0	1(1)	2(1)	3(2)

*括弧内 Oral Poster Summaries 発表数を再掲

HTS Applications Requirements

M.J.Gouge 氏 (ORNL) から、昨今の超電導ケーブルプロジェクトについて総括があった。電流値は Columbus-2700 A、電圧値は LIPA-138 kV、長さは LIPA-610 m が最高であり、計画中のものとして Ultera による 13.8 kV-1760 m や韓国 DAPAS の YBCO-154 kV-1000 MVA、日本 M-PACC の 66 kV-5 kA、275 kV-3 kA が挙げられた。D.Lindsay 氏 (Southwire) からは、商用 HTS ケーブルでは 30~40 年の寿命が期待されライフサイクルコストが重要視されること、電力系統負荷は常に変動し常時設計最大電流が流れていないことを交流損失設計に考慮する必要があるとした。V.Mehrotra 氏 (Waukesha) からは 115/13 kV-25 MVA 変圧器の設計例が示され、必要線材量が単長 400 m 総量 18 km、損失 44 mW/m 以下、要求コスト \$20/kAm 以下であるとした。日本からは、古河電工により 66 kV-YBCO ケーブル、東芝により 6 kV-YBCO 限流器、住友電工により BSCCO モータおよび電気自動車への適用、九州大により変圧器要素技術とそれぞれの研究成果が報告された。K.Seong 氏 (KERI) からは 3 MJ-LTS-SMES および 600 kJ-HTS-SMES の開発結果を踏まえ 2010 年に 2.5 MJ-HTS-SMES を開発する旨報告された。

Long-Length Coated Conductors

AMSC 社は配向金属基板上に TFA-MOD 法による YBCO 超電導層を形成する方法で $200\text{ m} \times 250\text{ A/cm-w}$ を得ている。生産性を意識した 3.6 MA/cm^2 (Single-Coat YBCO : $0.8 \sim 1.2\text{ }\mu\text{m}$) の高特性が得られており、 4 cm 幅 $\times 100\text{ m} \sim 500\text{ m}$ の長尺作製を実施する計画である。V.Selvamanickam 氏 (University of Houston) は Super Power 社の成果を報告した。Super Power 社は MOCVD 法による超電導層を形成しており、6 年前の $1\text{ m} \times 100\text{ A/cm-w}$ から今日では $1,030\text{ m} \times 227\text{ A/cm-w}$ の特性向上が得られている。AMSC 社と同様に生産性を意識し、製造速度 120 m/h @ 12 mm-w の線材作製が可能であり、 km 級長尺作製を計画している。両社とも線材の特性劣化を減少させることにも力を注いでいる。韓国の SuNAM 社ではスパッタ法により欠損はあるものの 500 A/cm-w の長尺が得られている。日本からは山田氏 (ISTEC) より IBAD (GZO) -PLD (GdBCO) 線材でフジクラが $500\text{ m} \times 350\text{ A/cm-w}$ を得ていることが報告され、ISTEC では高特性な 500 A/cm-w ならびに BZO をピン止めとして導入した長尺線材の高磁界特性について報告された。和泉氏 (ISTEC) より TFA-MOD 法による超電導層を形成している昭和電線で $500\text{ m} \times 300\text{ A/cm-w}$ を得ていることが報告された。最後に長尺作製における Table Discussion で、生産性に対する技術的向上 (低コスト、高特性、高速製造、低 AC-loss、歩留り向上、工程の短縮) と妥協が必要であることが総括された。

Low-Cost Coated Conductors

V.Selvamanickam 氏 (University of Houston) より、超電導線材のコスト低減化開発の動向について総括があった。YBCO 線材が市場に受け入れられるためには、年間 1000 km を販売想定量として、 $J_c = 750\text{ A/cm-w}$ 以上の線材特性で $\$30/\text{kAm}$ の製造単価、 $\$50/\text{kAm}$ の販売単価を達成することによりビジネスモデルとして成立し得ることが示された。

コスト低減手法として、RABiTS+MOD 法による中間層生産工程を軽減する線材製造工法、IBAD マルチターンを用いた工法、化学処理による新結晶製造法、TFA-MOD 法を用いた高 J_c 線材 (GdBCO-BZO 760 A/cm-w) の提案と開発状況報告があった。また、今後は製造段階における検査手法の改善により歩留りを向上させる方法、高 J_c 化のための超電導層の厚膜化工法の開発等による線材能力向上がコストダウンに必要であることが示された。

Effective Approaches

D.Larbalestier 氏 (NHMFL) より、超電導線材の主にピンニングを用いた磁界中性能向上手法について総括があった。YBCO 結晶を微細化し層中にピンニング粒子を多く混在させる手法、層端のピンニング結晶を大きくする手法の報告があった。また、YBCO 線材用ピンニング材として特に Yb_3TaO_7 が YBCO との格子結晶が大きく不整合ギャップによるピンニング効果が優れているとのデータが示された。線材製造事例として、TFA-MOD 法を用い YGdBCO 線材に BZO ピンニングを導入して製造した超電導線材では、純粋な YBCO 線材と比較し 3 倍超、 $J_c = 760\text{ A/cm-w}$ へと性能向上した事例が紹介された。

線材の評価方法として、YBCO 線材上のピンニング効果を測定するのに有効な、細線化による線材端の測定誤差、熱ゆらぎの影響、線材の材料内部・外部要因の相関関係の解析手法、測定方法などの報告があった。

Y 系材料の J_c は現状でも理論限界 (depairing J_c) の 20-30 % 程度とかなり差が大きい。磁束クリープ速度に注目すると、ナノロッドのみを導入した試料は低温で顕著なピークを示すが、ナノ粒子とナノロッドが共存した試料はクリープをもたらす磁束の動きが抑制され高磁界中 J_c を示すことが報告された。磁束ピン止めの熱ゆらぎに対する強さは材料の T_c と異方性に依存し、仮に室温超電導体が発見されても異方性が Y 系と同程度であると電力機器応用が難しく、 T_c が 90 K 程度で異方性の小さい材料の方が有用であることが示された。

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 T el: 03-3536-7283 F ax: 03-3536-7318

最終日にはヒューストン大学の超電導研究施設「TCSUH」見学がオプションツアーとして企画され、研究員が熱心に質問する姿が見受けられた。

次回の CCA2009 は 11 月 23 日～25 日、スペインのバルセロナにて開催予定である。



YBCO 発見記念プレート (TCSUH)



オプションツアーの様子

(SRL/ISTEC 電力機器研究開発部 帆引一範、企画部 矢野正高、線材研究開発部 市川裕士)

[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 1)

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

1. はじめに

測定の信頼性が問われる局面で、「不確かさ (uncertainty)」という指標を目にする機会が増えています。不確かさが使われる機会が増えた理由には二つあります。一つは、これまでの「測定誤差」や「精度」といった指標に代わるものとして不確かさが使われるようになったことです。測定データを図示する際にエラーバーをつけることは、従来から行われてきましたが、そのエラーバーが何を意味するかについて、統一的な決まりはありませんでした。 $\pm\sigma$ (σ は標準偏差) であることも、 $\pm 2\sigma$ であることもあり、さらにその σ が単に短時間での繰り返し測定の際のばらつきをあらわすものなのか、あるいは他の要因も考慮したものなのかといったことについて、十分な注意が払われるケースは少なかったと言えます。

測定結果の信頼性を表す考え方が技術分野や国によってまちまちであることは、科学技術の発展や商取引の障害になり得ることは疑いありません。この状況に警鐘をならしたのは CIPM (国際度量衡委員会) で、CIPM の決議に基づき 1970 年代の後半から統一的で合意された方法の確立にむけて国際的な努力が開始されました。まず 1980 年に、INC-1 と呼ばれる短い勧告が作成されました。後に採用されるようになった用語はまだ使われていないものの、不確かさ評価の考え方を最も手短かにまとめた資料として、INC-1 の内容を確認しておくのは無駄ではありません (囲み記事 [1] 参照)。その後、ISO (国際標準化機構) の TAG 4 (度量衡) のグループにより詳細なガイドの作成が行われ、最終的に、計測に関与する 7 つの主要な国際組織 (BIPM, ISO,

[1] INC-1 勧告(1980)

— 不確かさに関する最初の公式文書 —

BIPM を事務局として組織された国際的な作業グループにより、「実験の不確かさの表現」の統一に向けた最初の文書である INC-1 と呼ばれる勧告が 1980 年にまとめられました。INC-1 は A4 用紙 1 ページに満たない短い資料です。以下にその内容を紹介しします (一部抜粋)。

- 1) 測定結果の不確かさは、通常、幾つかの成分からなる。各成分は、その大きさを評価する方法に応じて、次の 2 カテゴリーに分類できる。
 - A. 統計的方法により評価されるもの
 - B. 他の方法によって評価されるもの
 カテゴリー A 及び B への分類と、従来からの「偶然的」及び「系統的」不確かさへの分類の間には、単純な対応関係は必ずしも存在しない。「系統的な不確かさ」という用語は紛らわしいので避けるべきである。
- 2) カテゴリー A の成分は、分散の推定値 s^2 (もしくは標準偏差の推定値 s) と自由度 ν により特徴づけられる。
- 3) カテゴリー B の成分は、それに対応する分散が存在すると想定し、分散の近似的な値と考えられる量 u_j^2 により特徴づけるべきである。 u_j^2 は分散のように扱い、 u_j は標準偏差のように扱う。
- 4) 合成された不確かさは、分散を合成する通常の方法によって計算される値で特徴づけられる。合成された不確かさは、「標準偏差」の形で表現する。
- 5) 合成された不確かさに何らかの係数を掛けて総合された不確かさとして表す必要がある場合には、その係数を明示しなければならない。

IEC, IUPAP, IUPAC, OIML, IFCC) による調整と合意を経て、“Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” が 1993 年に出版されました^{1),2)}。このガイドは世界的に GUM と略称されています。GUM では、従来の様々な経緯を含んだ測定誤差や精度といった用語に代えて「不確かさ」を用いることとし、その評価方法の詳細な手順や背景にある考え方が示されました。GUM に則って評価した不確かさの利用は、基礎物理定数の表記や計測標準の国際比較など、測定の信頼性が厳しく問われる分野でまず速やかに浸透しました。

不確かさが使われる機会が増えたもう一つの理由は、測定結果の信頼性の表記が要求される機会自体が増えたことにあります。国際的な商取引を円滑に進めるには、ある国の試験結果が別の国の試験結果と整合することが必要です。特に EU (欧州連合) の経済統合の過程において、このような要求が大変切実なものとなったと言われています。そのため、これまで自主的な活動として行われていた測定のトレーサビリティの確保が、第三者による審査などによって客観的に証明される必要性が高まり、国際的に共通の方法で測定の信頼性を評価・表現することが必要になりました。客観的な証明を可能にする制度として、国際的には各国の国家計量標準の同等性を確認するための仕組みが、また国内的には各国の国家計量標準へのトレーサビリティを確認するための仕組みが最近十数年ほどの間に急速に整備されて来ました。「不確かさ」は、このような目的にちょうど適うものだったため、測定のトレーサビリティの証明が必要である場合には、必須要件として不確かさが表記されるようになっていきます。

とはいえ、これまでに用いられてきた測定の信頼性表記の考え方や取り決めを、ただちに GUM の方式で置き換えることは必ずしも容易ではありません。技術分野によっては不確かさの採用が必ずしも順調に進んでいない分野もなお多くあります。国際単位系 (SI) の普及に時間がかかったように、不確かさの普及も時間をかけて地道に進めることが必要で、これは現在、計測分野においてとりわけ重要な課題となっています。例えば、BIPM は SI の普及の中心として活動してきた組織ですが、SI の普及が一段落した今、不確かさの利用の普及を SI 普及に替わる次の主要事業と位置づけています。

ここでは、測定の不確かさについての解説を数回にわたって本誌に掲載する機会を頂きましたので、できるだけ肩の凝らない説明を心掛けたいと思っています。不確かさの評価を一から解説するとなると、まず統計的手法に関わる数理を説明した上で、A タイプ評価の方法 (統計的方法)、B タイプ評価の方法 (統計的方法以外) を説明し、次に伝播則による不確かさの合成、最後に拡張不確かさの表記方法というのが、オーソドックスな順序と思われますが、ここではこの順序には必ずしもこだわらず、むしろ事例を含む heuristic な解説を行おうと思います。最小限の統計的概念や手法は必要であるだけでなく有用と思われるので、折に触れて数理的背景についても説明する予定です。補足的な内容については、囲み記事として記載します。

2. GUM の特色

測定の信頼性評価に関わる従来の考え方と比べたとき、GUM に特徴的な考え方は次の三点です。

- (1) 不可知量である「測定量の真値」や「測定誤差」といった概念を、評価手続きのルールの中に持ち込まない。
- (2) 統計的解析以外の方法で評価する不確かさ成分についても、「分散 (あるいは標準偏差)」として評価する。
- (3) 測定器や測定方法ではなく、測定結果 (つまり測定後に得られる特定の値) に対して評価する。

測定結果には多かれ少なかれ誤差が含まれており、測定量の真値を厳密に知ることは不可能です。

ある測定結果が真値とどれだけずれているかを確認するためには、別の測定を行わざるを得ず、その測定にもむろん誤差が含まれます。真値を厳密には知り得ないのは、測定という操作が原理的に持つ特徴と言えます。「測定誤差 = 測定結果 - 真値」という定義は確かにわかりやすいのですが、この素朴な定義に基づく誤差評価がしばしば混乱したため、GUM では、不確かさ評価の手続きの中に不可知量を持ち込まず、評価可能な量だけで評価の手続きを書き下すことをポリシーとしました。不確かさに対する次の一見複雑な定義もこの考え方によります。

不確かさ = 測定結果に付随する、合理的に測定量に結びつけられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ

この定義については項をあらためて説明します。なお、真値や測定誤差という概念自体が無用になったわけではなく、これらは測定の中でお重要な概念であることに変わりはありません。

(2) の特徴は、INC-1 の 3) に相当するもので、系統的成分（かたより）についても偶然的成分（ばらつき）と同じように扱うことを述べています。従来の誤差評価では、かたよりをどう扱うべきかが明瞭にされていないことが多かったので、(2) は GUM の最も重要なセールスポイントの一つと言えます。GUM の Annex E は、何故、系統的成分を偶然的成分と同じ土俵で扱うことが妥当なのかを長々と説明しています。ここでは習うより慣れよで、連載の次号では簡単な事例について(2)の評価を実際に示したいと思います。

(3) の特徴は、不確かさ評価は計測器の性能評価とはもともと立場が違うことを意味します。この点はしばしば見落とされていますが重要な点です。誤差というと、誤りとか狂いとかのニュアンスがあるため、その要因としては、測定器や測定方法など測定側システムに存在する何らかの理想的でない振る舞いが想定されることが多いと言えます。一方、被測定側が理想的な振る舞いをしないために生じる曖昧さも存在します。例えばヒトの最高・最低血圧は、一般に測るたびに結果が違いますが、これは血圧計の問題というよりはヒト側、被測定側の安定性の問題と考えられます。機械的ポンプの脈動の最高・最低圧を測定する場合は、もっと安定した結果が得られるからです。(3) の帰結として、不確かさ評価では、このような被測定側の要因も含め、測定後の我々の知識の曖昧さに寄与する要因はすべて考慮しなければならないことになります。従来からの誤差評価は、しばしばこの点が曖昧のまま行われてきました。

[2] GUM の国際文書としての地位

GUM は、度量衡、産業、物理学、化学、医薬学、法定計量にわたる分野を代表する7つの国際機関がオーソライズした文書であり、国際単位系(SI)の拠り所となっているSI文書（SI Brochure; 最新版が www.bipm.org/en/si/si_brochure/ から、またその日本語訳が www.nmij.jp/library/units/si/ からダウンロード可能）と同格の文書と考えられています。ISO や IEC によって発行される規格の中では、不確かさを用いることになっており（ISO/IEC Directives, Part 2）、これらの規格の上位文書と考えられます。ただし、文書自体は強制力のないガイドで、発行母体が複数の機関にわたっていることもあり、文書の性格が一般の人にはわかりにくいことも事実です。そこで ISO/IEC では、GUM をあらためて ISO/IEC ガイドとして 2008 年に発行しました（ISO/IEC Guide 98-3）。また国によっては、GUM を国内規格として採用している国もあるほか、7国際機関のそれぞれで、独立のガイドとして（ただし中身は GUM を無修正で）発行しようという計画も進んでいます。

GUM は SI 文書のように、誰もが自由にダウンロードできる状態になっていることが理想です。現在の GUM の著作権は、ISO/TAG4 が執筆を担当した歴史的経緯から、ISO が保有しており、当然ながら ISO 事務局は GUM のオープン化には抵抗しています。著作権問題がクリアされれば、機関毎のガイドについて、自由なダウンロードが可能となる可能性があります。

今回は GUM に関する歴史的経緯とその考え方の大枠を紹介しました。次回は簡単な事例について実際に不確かさ評価を行いたいと考えています。なお、不確かさ評価に関する理屈や能書きを述べた解説は（この解説を含めて）少なからずありますが、不確かさ評価の実際の事例についてのまとまった情報は多くは存在しません。このため、2009 年 3 月 9 日東京において、様々な分野における不確かさ評価事例を集めた発表会の開催を計画しています。

詳細については、産業技術総合研究所 計測標準研究部門の不確かさ

WEB (<http://www.nmij.jp/mprop-stats/stats-partcl/uncertainty/club2.html>)

を参照下さい。

参考文献

- 1) International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland.), “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” (初版 1993、修正版 1995)
- 2) 飯塚幸三監修：ISO 国際文書 「計測における不確かさの表現のガイド」 日本規格協会 (1996) (文献 1 の翻訳)

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q:「1 GHz 以上の NMR 装置の開発が各国で進められていますが、どのような技術開発がなされているのでしょうか？」

A: NMR 装置は使用する磁界の増加とともに性能（感度と分解能）が大幅に向上します。このため磁界に比例する水素 (^1H) の共鳴周波数 (2.3487 T で 100 MHz) を使って、例えば 500 MHz の NMR 装置と呼ぶことが歴史的に行われてきました。現在は 950 MHz の NMR 装置まで開発されており、NMR 装置の長年の夢とされた 1 GHz まであと一歩のところまで到達しています。

1 GHz に相当する 23.5 T という磁界は超電導磁石にとっても大きな節目と考えられています。これまでの NMR 用超電導磁石は Nb-Ti 線材と Nb₃Sn 線材で製作されてきました。最近の Nb₃Sn 線材の特性向上の結果、1 GHz の NMR 装置はこれまでと同様に Nb-Ti 線材と Nb₃Sn 線材で製作できると期待されていますが、Nb₃Sn 線材の臨界磁界を考えると、23.5 T を大幅に超えることは不可能です。酸化物系超電導線材は 30 T の磁界中でも実用に十分な臨界電流密度を持っていますので、1 GHz を超える NMR 装置への使用が期待されています。

しかしながら NMR 用超電導磁石は単に磁界を発生するだけでなく、発生する磁界の質（空間的均一性と時間的安定性）について、他の応用と比較しても厳しい条件が要求されています。これまでの NMR 用磁石は 100 年運転しても磁界の減少が 1 % 以下という時間的な安定性が得られる永久電流モードで運転されてきました。このため使用する線材すべてに抵抗がなく、かつ 0.01 nΩ 以下の抵抗で線材同士を接続すること（超電導接続）が要求されました。これはビスマス系超電導線材にとって極めて困難なハードルで、現在もビスマス系線材を他の線材と超電導接続する技術は確立されていません。また、これまでの NMR 用コイルはすべて、均一性の点で有利と考えられる整列巻きで製作されましたが、この巻き方は Bi-2223 線材のようなテープ形状の線材では困難でした。

今年になって NIMS・理研・神戸製鋼・日本電子のグループが、Bi-2223 コイルを内層コイルとする 500 MHz の NMR 磁石を使用して、既存の NMR 装置に匹敵する高分解能 NMR 計測を行ったことを報告しました。これはブロンズ合金で補強し、厚みを増加した Bi-2223 線材を整列巻きし、磁石全体を安定性に優れた電源で励磁するとともに、電源が生じる磁界変動を補償する技術を適用することで得られました。この結果、酸化物系超電導線材の NMR 用磁石への適用が大きく加速されました。現在は、1.05 GHz (24.7 T)、1.1 GHz (25.8 T)、そして 1.3 GHz (30.5 T) の NMR 磁石の検討が、ビスマス系やイットリウム系線材を内層コイル線材として精力的に進められています。また、MRI 等の他の精密計測への応用が加速されることも期待されています。

回答者：(独) 物質・材料研究機構 マグネット開発グループ 木吉 司 様

[超電導 Web21 トップページ](#)