

## 掲載内容 (サマリー) :

### トピックス :

- 超電導工学研究所所長、塩原融就任の挨拶

### 特集 : 超電導産業機器技術の進展

- 超電導産業機器技術の展望
- 携帯型超電導バルク磁石システム技術の展望
- HTS バルク磁石を用いるドラム缶洗浄廃液磁気ろ過技術の展望
- 磁気力を利用した汚泥処理技術の展望

- 超電導関連 3-4 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (1/20-2/20)
- 超電導速報—世界の動き (2009年1月)
- 低温工学協会 超電導応用研究会シンポジウム「高感度 NMR と医療用加速器」報告
- 隔月連載記事—やさしい「不確かさ」のおはなし (その2)
- 読者の広場(Q&A)—磁気分離に係わる“磁気力”はどのような力なのでしょうか?

[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>



## トピックス：超電導工学研究所所長、塩原融就任の挨拶

早春のみぎり、ますますご健勝のこととお慶び申し上げます。

さて、私儀、平成21年2月1日付けで超電導工学研究所所長に就任致しました。田中昭二先生が初代所長として設立され、これまで素晴らしい業績を蓄積されてきた超電導工学研究所の所長であることの責任の重大さを実感しています。

もとより超電導物性物理の分野でまだまだ浅学非才の身ではございますが、材料学の基礎知識に加え、この二十余年で学んだ超電導の知識とさらには研究開発マネジメントの経験を土台として、超電導線材開発のみならず、電力機器、電子デバイス、新超電導物質探索等の研究開発を、副所長（田辺圭一）はじめ各部長、研究員とともに、研究所一丸となって、超電導研究のCOE (Center of Excellence)として自他ともに評価される研究所をめざします。

お陰様で、経済産業省/（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構から委託を受けて実施し、平成20年度で終了しました「超電導応用基盤プロジェクト第II期」のプロジェクト事後評価も非常に高く、また、平成20年6月からスタートした「リ튠系超電導電力機器技術開発プロジェクト」も順調に進んでいます。

今後も引き続き超電導工学研究所が主軸となり、プロジェクトへの貢献が求められているものと真摯に受け止めています。

平成20年下半年以降、百年に一度の不況に陥り、このような未曾有の不況の回復、さらには雇用不安の解消には特に技術立国である日本は従来技術に頼った産業から新規産業・雇用創出を目指した持続可能な新規技術開発が重要であると認識しています。

変革の時代の中、環境・エネルギーの分野で期待の大きな超電導材料の実用化基盤研究開発を加速し、「Yes, we can. Yes we will」の精神で社会に役立つ新規技術・産業の創出に専心努力致す所存でございます。

今後とも一層のご指導ご鞭撻を賜りたくひとえにお願い申し上げます。

（超電導工学研究所所長 塩原 融）

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導産業機器技術の進展 「超電導産業機器技術の展望」

大阪大学大学院工学研究科  
環境・エネルギー工学専攻  
教授 西嶋茂宏

超電導機器として実用化し普及している装置としては、NMR、MRI 及び結晶引き上げ装置があげられる。NMR を分析装置、MRI を診断装置として分類するならば、産業用途として超電導が使用されている装置としては結晶引き上げ装置のみとなる。超電導機器が普及するためには、産業機器としての超電導装置の開発が必要である事は言を待たないであろう。現在、各種機器の開発が精力的に進められている。例えば、超電導送電、変圧器、限流器、モーター、SMES、フライホイール 等が挙げられる。いずれも電力機器である。これらについての R&D の経緯は、随所に報告されている。

超電導応用は電力分野のみならず、強磁界を有効に利用した応用が考えられている。しかしながら磁気力制御についても現状で産業用途として実用化しているのは、廃水処理装置のみである。廃水処理装置については、製紙廃水処理装置、ドラム缶洗浄廃水処理装置がある。また機能性鉄粉を利用した環境処理装置も実地検証を実施しているところである。廃水処理装置としての超電導磁気分離装置は、事業規模は小さいが既に実用化していると言え、その応用範囲の拡大に努力が払われている。また、その運転コストの低減に R&D の対象が移っており、従来装置とのトレードオフが本格化している。この意味からも、産業機器としてその存在が認められてきたと言えよう。従来装置に、コスト面での優位性を有する条件を明示する事が今後の課題である。

さて、廃水処理装置以外の磁気力制御の装置として、各種分野で R&D が精力的に行われている。この種の R&D の特徴は、使用を希望するエンドユーザーがある程度明確なことである。それゆえ、導入の可否も短期間で決定されることになるかと推測される。具体的には、粉黛からの強磁性粒子の分離、粘性流体からの強磁性粒子の分離などが検討されている。いずれも、工業製品あるいは食品、薬剤の製造プロセスでの用途を想定している。これらのプロセスでは強磁性粒子が紛れ込むことがあり、これを製品から分離することが求められている。これは、製造プロセスのパイプ内部が製品で磨耗する際に発生したり、しゅう動部分からの磨耗粉であったり、稼働部の破片であったりする。それらの材料は主にステンレスであるが、強加工されているためにマルテンサイト変態を起し、強磁性を示すようになる。従来は永久磁石の磁気分離を行っていたが、その能力に限界（磁気力の大きさやその作業空間の大きさ）があるため、超電導磁気分離の可能性が検討されている。

さらに資源循環への利用も積極的に検討されている。例えば、半導体加工の際に排出されるスラリーの再利用である。これは、以前も検討されたが、当時は再利用の社会的要望が少なく、産廃低減が主な目的であった。現在は、資源逼迫の可能性が見えてきており、積極的に再資源化する動きがある。本手法では、加工時にスラリーに混入する鉄粉を分離することが目的となるが、磁気分離の得意な分野である。薬品を加えて鉄粉の溶解も試みられているが、新たな廃棄物を発生する恐れがあり、必ずしも成功しているとは言えないのが現状である。半導体加工スラリーの再生以外にも、磁気力を利用すると資源再生が容易に行い得る分野は多く、その検討が始まっている。ただし、永久磁石や電磁石との住み分けが重要になり、そのトレードオフがなされるようになると思われる。

磁気力を利用した超電導磁石の産業応用の現状と今後の可能性の一端を述べた。今後、この分野

は裾野を拡大していくことになると思われるが、従来の機器と同様に、他の機器と同じ土俵でその得失を議論されることになる。超電導技術がその得失の議論に勝ち残るためには、ライフサイクルコストの検討も重要になってくるものと考えられる。このような検討が、産業応用を目前に控えて、始まったところである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導産業機器技術の進展「携帯型超電導バルク磁石システム技術の展望」

株式会社日立製作所  
機械研究所  
主管研究員 佐保典英

小型軽量で、着磁後超電導状態を維持したまま容易に乗用車で輸送できる携帯型超電導バルク磁石システムは、局所的に強力な磁気力を発生できる特性を生かし、磁性物質の高速磁気分離、血管内においてナノサイズ磁性薬剤を病巣へ磁気誘導するドラッグデリバリーシステム (MDDS)、高磁界応用の研究開発分野などでの需要が高まると期待されている。

試作した超電導バルク磁石システムは、磁石本体重量が 9.5kg で図 1 の概観写真に示すように、容易に 1 人で持ち運べる携帯性を実現した。磁石本体のサイズは、先端部の真空容器直径が 79 mm で、長さが 640 mm である。磁石部には Gd 系高温バルク超電導体 (外径 45 mm、厚さ 15 mm、6 層) を使用し、圧縮機一体型の小型ヘリウム冷凍機で直接冷却する構造とした。バルク超電導体の着磁はフィールドクール法で行った。冷凍機によるバルク超電導体の冷却温度は 38.1 K で、クールダウン時間は 6 時間 30 分であった。冷凍機の消費電力は 195 W (水道水冷却の場合) で、冷却水チラーユニットを含めた磁石システムの消費電力は 457 W (冷却水循環方式) で、いずれの場合においても少ないエネルギーで運転できるようにした。

印加磁界強度 6 T において行った着磁実験の結果、真空容器表面での垂直方向 (z 軸方向) の最大磁束密度は 5.07 T で、磁束密度勾配 (磁気勾配) は 750 T/m であった。また、真空容器表面から 50 mm 離れた位置での磁気勾配は 9.5 T/m であった。本着磁条件における臨界電流値を、ビーモデル法を用いて実験結果から求め、その値を用いて算出した 3 次元の磁気力係数  $f_m$  (磁束密度×磁気勾配) の分布図を図 2 に示す。本図から、バルク超電導体の表面部 ( $X=0$  mm で  $Z=8$  mm) に、 $1000 \text{ T}^2/\text{m}$  以上の  $f_m$  の領域が発生したことが分る。



図 1 試作した超電導バルク磁石

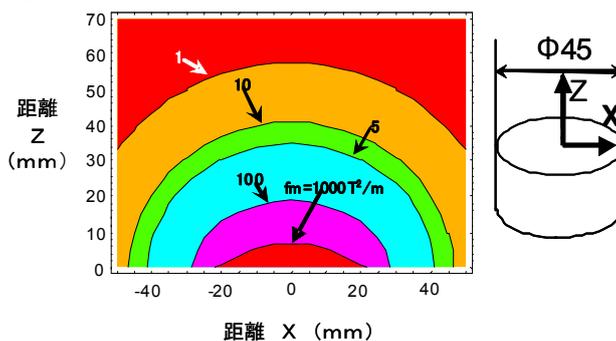


図 2 超電導バルク体表面の磁気力係数  $f_m$  の分布図

また、図3に本領域での磁気力を水の反磁性で可視化した水道水のモーゼ現象写真を示す。  
一方、本磁石システムを、輸送車内の100V電源を使用し、冷却運転を継続した状態で1,500km支障なく輸送できることを検証した。

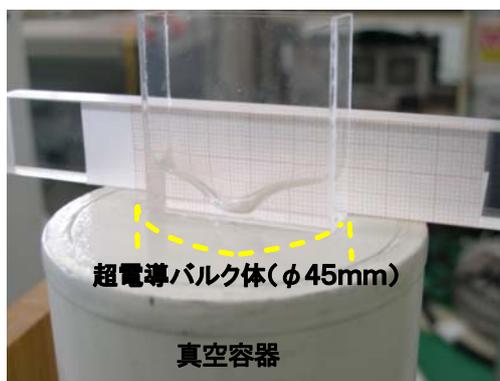


図3 磁石表面での水道水のモーゼ現象

近い将来、携帯型超電導バルク磁石システムが実用化され、ユーザ側で高価な着磁用超電導磁石を所有せずに、メーカーから送達される高磁界超電導バルク磁石をいつでも使用することができるシステムが普及すると期待される。

なお、本システム技術開発は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の平成18年度委託事業の助成を受けて行われたものである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：超電導産業機器技術の進展

### 「HTS バルク磁石を用いるドラム缶洗浄廃液磁気ろ過技術の展望」

大阪大学大学院工学研究科  
環境エネルギー工学専攻  
特認研究員 三島史人

使用済みのドラム缶が野積され、その残留廃棄物の漏洩など環境悪化が問題となり、現在では使用したドラム缶を洗浄して再利用する流れが浸透しつつある。

しかしドラム缶1本当当たりの洗浄に利用する水は70リットル、国内ドラム缶洗浄工場だけでも現状で1,350万本あり、年間、約100万トンの洗浄水が消費されている。その洗浄廃水を適切に処理・再利用することが可能となれば、環境保全に貢献するのみならず、工業用水の使用量を減少させ、経済的メリットも期待できる。

そこで磁化シーディング機で、洗浄廃水中の汚濁物質を強磁性フロック化（常・反磁性の物質に強磁性微粒子を添加し磁気種付けを行う。）した後、HTSバルク磁石の近傍を通過させることで、磁気力により高効率に浄化する磁気ろ過システムの開発を行っている。

近年では廃水処理装置として、粒子径の小さい被分離対象物質を高速大量に処理する磁界を利用したろ過システムは（高勾配超電導磁気分離装置：HGMS）存在するが、そのハード面は本ろ過システムと全く異なる基本概念である。HGMSでは高勾配磁界の形成のために、コイルボア中に強磁性体フィルタ（強磁性細線）を挿入し、ろ過（分離）を行うことを基本としている。そのため、ボア内のフィルタの処理能力が低下しないようにフィルタを洗浄する装置の導入などが必要になる。それに対して、本システムでは、樋状の流路の底部にHTS（高温超電導）バルク磁石が配置される構造となっている。そのため、扱い易いやすく、流路内に捕捉された強磁性フロックの洗浄においても、磁界発生源を捕捉部から遠ざけるなど簡単な機構で対応可能である。

磁界発生源にHTSバルク磁石を用いた理由として、着磁した後のバルク磁石は、永久磁石と同様に扱うことが可能な点と、磁石中央が最も強い円錐型の磁界形状で、高磁界を発生でき、磁石単独で高い磁界勾配を形成できる特徴を持つ点が挙げられる。よって粒子径の小さい物質を高速大量に処理する能力を十分持ち合わせていると考える。

さらに高性能な磁気ろ過を実施する場合、本システムにも強磁性体フィルタをシステム内に容易に配置でき、より高い磁界勾配を発生することが可能なため、さらに高性能な磁気ろ過を実施することも期待できる。

従来にはないこのシステムはコンパクト、安価、操作が容易、拡張性がある等の特色が期待される。またこのシステムは廃水処理装置としてだけでなく、システムを多少変更することにより、コンタミ除去用などの精密磁気分離装置となるため、様々なニーズの被分離対象物質に対応可能な装置であると考えられる。設備の流通経路も確保できているため、短期間でHTSバルク磁石を用いた本システムは普及する可能性があると言える。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：超電導産業機器技術の進展「磁気力を利用した汚泥処理技術の展望」

宇都宮大学大学院  
工学研究科  
准教授 酒井保蔵

水の浄化技術と汚泥の処理技術が表裏一体の関係にある。たとえば日本では 140 億  $m^3$ /年の下水を浄化し、4 億  $m^3$ /年の汚泥が発生しているといわれる。最も普及している有機廃水の水処理法である活性汚泥法は、汚泥発生が少ない水処理法といえるが、それでも分解した有機物量の半分程度が微生物の菌体に変換され、汚泥となる。凝集沈殿法は、汚濁物質の何倍もの凝集剤を加えて大量の汚泥を発生させる。汚泥処理技術の方向性として①汚泥を抑制すること、②汚泥を有効活用することの 2 つの考え方がある。

①汚泥抑制の方向で磁気力を利用した技術として筆者らが研究開発中の磁化活性汚泥法があげられる。活性汚泥に利用される微生物フロックを、マグネタイトで磁気シーディングすることで微生物フロックの磁気分離を可能とし、磁気分離した微生物を反応槽に戻すことで、原理的には磁気分離濃縮の限界濃度まで汚泥を反応槽に閉じ込めることが可能となった。高濃度の微生物で有機物を処理すれば個々の微生物は栄養不足の状況となり、微生物の死滅分解は促進し、増殖は抑制される。微生物の死滅分解と増殖が拮抗する微生物濃度で水処理を継続すれば、微生物の増殖による汚泥の発生をゼロで水処理を継続することが可能となる。50 人規模の下水処理パイロットプラントで、すでに余剰汚泥ゼロで数年間運転をおこなっており、低濃度の有機廃水に対しては実用に近いレベルにあるといえる。汚泥抑制の方向を追求する利点として、磁気分離のために添加するマグネタイトなど磁性粉のランニングコストも抑制できる点がある。汚泥を抜いてしまえば、そこから磁性粉を回収して戻すか、または、新規に添加しなければ磁性粉濃度が不足して磁気分離が破綻してしまうからである。

汚泥減量の他のアプローチはオゾン処理法や微生物の溶解法、特殊微生物の利用などが提案され、一部、実用化されているが、コスト、安定性、汚泥減量の効果などで全てを満たす技術は開発されていない。磁気力を利用した活性汚泥法のアプローチは、活性汚泥法の大きな欠点であった固液分離の安定性の問題と汚泥減量の課題を同時に解決でき、世界中どこでも簡単に有機廃水を浄化できるサステナブルな水処理法として活躍できると考えている。



図1. 磁化活性汚泥法パイロットプラント—50 人分の下水を余剰汚泥を発生させずに処理できる。

②汚泥の有効活用の方向で磁気力を利用した技術として、磁気力による汚泥の濃縮、脱水の効率向上がある<sup>1)</sup>。一般に廃水処理から発生する汚泥は 99 %程度の水分を含んだ液体である。汚泥にマグネタイトなどで磁気シーディングをして高速分離する手法は、活性汚泥の磁気分離、アオコの分離、製紙廃水処理などで報告例は多いが、これらの方法は磁気力を利用して汚泥を効率よく簡易濃縮し磁気分離の利点を生かしていると考えられる。我々の研究でも、フィルタープレスといった機械圧縮のレベルまで脱水できなくても、高压の圧搾などをおこなわず磁気力で汚泥を水中から引き

上げるだけで 90～96 % の汚泥が得られた。簡易なプレス脱水を組み合わせればさらに数%の脱水も可能であった。含水率 90 % 以下の汚泥を磁気分離ドラムの 1 回転の動作の中でおこなわせることができる。このような省エネ、時間短縮の効果は磁気分離でしか実現できないものといえるのではないか。水処理における汚泥処理の中で、濃縮や脱水は時間・コスト・薬剤を必要とする部分であり、磁気分離のメリットは大きいといえる。課題として磁性粉を添加する必要があり、このランニングコストを上記の利点で相殺できれば、磁気分離を汚泥の濃縮や脱水に利用する技術が実用化できるかもしれない。

## 参照

1) 酒井保藏ら 磁気力を利用した汚泥濃縮・脱水プロセスとその応用, 第 78 回 2008 年度春季低温工学・超電導学会講演要旨集 P125

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導関連 3-4月の催し物案内

### 3/4

関西支部 35周年記念シンポジウムー産学連携が拓く次世代産業ー

場所：大阪大学中之島センター(<http://www.onc.osaka-u.ac.jp/index.php>) 7階セミナー室

主催：(社)低温工学協会関西支部

問合せ：大阪大学レーザーエネルギー学研究センター レーザーテラヘルツ研究部門 川山 巖

Tel: 06-6879-7983、Fax: 06-6879-7984、E-mail: [kawayama@ile.osaka-u.ac](mailto:kawayama@ile.osaka-u.ac).

### 3/4

第8回冷凍部会例会/第4回超電導応用研究会シンポジウム「超電導電力機器の進展」

場所：東京電力 技術開発研究所 1F プレゼンテーション、

横浜市鶴見区 (<http://www.tepco.co.jp/company/rd/kaihatsu/map/index-j.html>)

主催：低温工学協会 冷凍部会 超電導応用研究会

問合せ：産業技術総合研究所 淵野修一郎

Tel: 0298-61-5819、Fax: 0298-61-5822、E-mail: [s.fuchino@aist.go.jp](mailto:s.fuchino@aist.go.jp)

### 3/11

未踏科学超伝導科学技術研究会ワークショップ「鉄系高温超伝導誕生から1年、新超伝導物質の可能性を探る」

場所：東京大学武田ホール、文京区弥生、東京大学浅野キャンパス

主催：(社)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

問合せ：(社)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 大貫

Tel: 03-3503-4681、Fax: 03-3597-0535、E-mail: [fsst@sntt.or.jp](mailto:fsst@sntt.or.jp)

### 3/30

第56回応用物理学会関係連合講演会 シンポジウム「超伝導」使える技術から使われる技術へ」

場所：筑波大学

主催：応用物理学会 超伝導分科会

問合せ：応用物理学会 <http://www.jsap.or.jp/>

### 4/8-10

2009 INTERNATIONAL CERAMIC EXHIBITION

場所：東京ビッグサイト

主催：日本セラミックス協会、フジサンケイビジネスアイ、他

問合せ：<http://www.cnt-inc.co.jp/ceramics/>

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)



新聞ヘッドライン (1/20-2/20)

- 静かで低消費電力 グリーン対応サーバ 富士通 1/20 日刊工業新聞
- リニア新幹線 14年度に着工 JR 東海 1/20 日刊工業新聞
- Change 代替エネルギー促進 脱ブッシュ路線、鮮明 1/20 電気新聞
- オバマ氏とグリーン・ニューデール 実行へ難関山積 具体策の提示を 茅陽一 1/21 Fuji Sankei Business i
- 180ギガ超える電磁波吸収 高速無線通信向け 磁性材料を開発 1/21 日刊工業新聞
- 「オバマ銘柄」人気 環境政策に期待感 「次世代蓄電装置」FDK82%、日本風力発電は52%上昇 1/21 日本経済新聞
- 川重子会社事業に参入 小規模水力発で、簡単に 1/21 日経産業新
- インボリュート鉄心 トクデンが量産技術 新エネ向け 変圧器の電流損失低減 1/21 日刊工業新聞
- Change 温暖化対策大きく転換 国際強調、本腰の布陣 1/21 電気新聞
- 原子力機構 絶対零度の相転移を解明 高温超電導体の発見に指針 1/22 日刊工業新聞
- ABB 直流ドライブ供給 ポタン社クレーン用 1/22 電気新聞
- 超電導発生 物質の振る舞い解明 原子力機構 核磁気共鳴法を活用 1/22 電気新聞
- Change 原子力政策の先行き DOE 新体制、焦点に 1/22 電気新聞
- 直流48V給電システム ソリューション拡充 NTT-F 1/23 電気新聞
- 原子力委 核融合報告を了承 近藤委員長 知識の蓄積機関 必要 1/23 電気新聞
- 多様化・国際標準化するBCP 組織内責任を明確化 不測の事態への対応力向上 1/27 日刊工業新聞
- 標準化知識の普及策拡充 消費者参加型セミ開催 経産省 1/28 日刊工業新聞
- J-PARC、入射成功 原子力機構 高エネ機構 来月に本格運転 1/29 日刊工業新聞
- 国際標準化戦略 幹事引受数が増加 エネ・ロボ分野に照準 1/29 日刊工業新聞
- J-PARC 利用開始 中性子関連産業を育成 1/29 Fuji Sankei Business i
- 住宅用普及へ経産省懇談会 太陽光発電の標準化推進 1/31 Fuji Sankei Business i
- 効果見えます 新抗がん剤 放射線医学総研が開発 脳腫瘍 治療予測 容易に 1/31 読売新聞(夕)
- 無限の動力 潮流発電 20年までに投資家から25億ポンド 2/2 Fuji Sankei Business i
- 科学研究にオバマ景気 エネルギー助成 勢いづく大学 2/4 Fuji Sankei Business i
- 日立メディコ 放射線治療に高級機種 米社から販売権取得 2/6 日経産業新聞
- 太陽光や風力発電 義務量上積み検討 経産省 コスト増 各社反発も 2/8 毎日新聞
- リニアに「反対」 市民団体が発足 2/8 朝日新聞
- ダイヤに似た構造の新結晶 「K4」金属結晶を確認 東北大がスパコン計算 生成法見通し 2/13 日刊工業新聞
- NTT-F 400V直流九電対応 コンセントなど開発 2/13 電気新聞
- 100年目の産業興亡 四半期VS.四半世紀 投資尺度、危機で変わった 2/14 日本経済新聞
- 文化財保存、クリーニング 「超臨界液体」応用広がる 排せつ物からエネルギー 2/16 読売新聞(夕)
- イットリウム系超電導線 フジクラ、供給体制構築 NEDO の払い下げほか 自社設備を導入 2/17 日刊工業新聞
- 日本の大動脈を守るリニア中央新幹線 東京ー大阪 1時間、東京ー名古屋 40分で結ぶ 2/18

Fuji Sankei Business i

○オバマ時代と向き合う 新たな競争の幕開け 鉄道復権 全米 11 カ所で新線建設 欠かせない  
世界標準の戦略 2/19 日刊工業新聞

○技術で超える 「超電導」再び脚光 新材料で MRI 小型化 「20 年振り新鉦脈」 2/20 日本  
経済新聞

(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1月)

### 電力

#### American Superconductor Corporation (2009年1月6日)

American Superconductor Corporation は、16 MegaVAR 出力の D-VAR システムを受注した。これは、中国内モンゴルにおける 220-kV 送電グリッドのダイナミック無効電力補償要求に対応するもの。無効電力補償により、電力グリッドの電圧安定化、混雑緩和、高効率化、停電防止を図ることができる。Beijing SNTA Electric Power Technique Company, Ltd.が発注したものであるが、同社は総計 600 MW 出力の 7 基の風力発電所が繋がる変電所にこのシステムを設置する予定である。この D-VAR は当該変電所に繋がる電力グリッドの安定的な運転を保証するものであり、風力電力を負荷に確実に送ることを可能にする。D-VAR は SNTA 社に 2009 年半ばに出荷される予定である。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「中国は急速に成長する経済の要求を満たすべく電力グリッドを建設し、またその性能向上を図っており、この要求を速やかかつ最も有効な方法で満たす先端技術を求めている。我々のソリューションはこの要請を満たすものであり、我々は今後何年にもわたって中国の電力グリッド市場が力強く成長していくものと考えている。」

出典:

“AMSC Receives First Order for Chinese Power Grid”

American Superconductor Corporation press release (January 6, 2009)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1240673&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1240673&highlight)

#### American Superconductor Corporation (2009年1月8日)

American Superconductor Corporation は、米国の最大手発送電事業者の 1 つである Basin Electric Power Cooperative から D-VAR 「STATCOM」無効電力補償システムを受注した。このターンキー D-VAR ソリューションは、ワイオミング州 Wright に設置され、地域の送電システムの安定性と信頼性を確保するための安定した過渡電圧補償を行う予定である。このシステムは連続状態で定格 34 MVAR、急激な変化の場合には定格 91 MVAR の出力が可能であり、北米最大の SATCOM の 1 つである。このシステムは 2009 年末までに出荷される予定である。

出典:

“AMSC Receives Turnkey D-VAR® Order for the North American Power Grid”

American Superconductor Corporation press release (January 8, 2009)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1241923&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1241923&highlight)

#### Southwire Company (2009年1月10日)

Southwire Company とそのパートナーである American Electric Power (AEP)、American Superconductor Corporation, Oak Ridge National Laboratory 及び Praxair は、AEP 社の Bixby 変電所 (オハイオ州 Groveport) に設置された HTS Triax®超電導ケーブルシステムが、2009年2月6日で運転 2 年半の節目を迎えたことを報告した。この 200-m の HTS ケーブルは、その運転期間中 8,600 の家庭と事務所に電力を送り続けた。この間ケーブルシステムは落雷など 75 回以上の過渡現象を経験し、これらの殆どが事故電流事象であった。これらの事象によりシステムの温度や圧力の変化は全く記録されておらず、2 年半の期間中システムダウンもなく連続的に運転された。Southwire 社のエンジニアリング・配電応用担当役員 David Lindsay は次のように述べた。「Y 系線材によるケーブル設計と冷却系に関わる新技術の採用により、Bixby 変電所における運転の結果、

HTS Triax ケーブルシステムが都市部における高効率配電のコスト削減につながり、高い信頼性をもつことが証明された。」

出典:

“HTS Triax Superconducting Cable brings more power to more people”

Southwire Company press release (January 10, 2009)

[http://www.southwire.com/processGetArticle.do?commonId=bf229534774fe110VgnVCM1000002702a8c0\\_\\_\\_\\_\\_](http://www.southwire.com/processGetArticle.do?commonId=bf229534774fe110VgnVCM1000002702a8c0_____)

### American Superconductor Corporation (2009年1月13日)

American Superconductor Corporation と Northrop Grumman Corporation は、フィラデルフィアの米国海軍統合電力システム陸上試験所において、世界最初の 36.5-MW 高温超電導船用モーターのフルパワー試験を成功裏に完了したと発表した。この試験は、大型軍艦向けの電気推進システムとしては初めてのフルパワー試験の成功例であり、海軍の試験の記録を塗り替えて定格 36.5 MW という従来の 2 倍の出力を成功させたもの。この HTS モーターは海軍研究所との契約により設計、製造されたものであり、将来の全電化船舶、潜水艦向け HTS モーターの有効性を実証するためのものである。この試験は Naval Sea Systems Command (NAVSEA) からの資金と指導の下に実施された。この HTS モーターは、同規模の船舶向け従来モーターに比べ半分の大きさであり、重量も 200 メトリック・トン低減している。AMSC 社上級副社長で総支配人の Dan McGahn は次のように述べた。「HTS モーターのこの負荷試験の成功は船舶推進技術の新たな時代の始まりである。このモーターは米国海軍に今後明らかな性能上のアドバンテージをもたらすものであり、大きさ、ストレス性、耐久性、持続性の面で大きな自由度を与えるものである。我々は、海軍研究所、Naval Sea Systems Command 及び Naval Surface Warfare Center の変わらぬ支援に感謝している。」海軍はこの船用推進 HTS 技術の開発にこれまで 1 億ドルを投じている。

出典:

“AMSC and Northrop Grumman Announce Successful Load Testing of 36.4 Megawatt Superconductor Ship Propulsion Motor”

American Superconductor Corporation press release (January 13, 2009)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1243844&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1243844&highlight)

### Zenergy Power plc (2009年1月16日)

Zenergy Power plc は、HTS 誘導ヒーターに関するドイツ特許を取得した。この特許は、HTS ヒーターでは他に例を見ない加熱制御、性能、生産性をもたらす鍵となる運転プロセスをカバーしている。この特許の取得により、HTS 誘導ヒーターがもたらす生産性向上を可能とする重要な設計仕様が保護されることになる。

出典:

“Induction Heater Patent”

Zenergy Power plc press release (January 16, 2009)

[http://www.zenergypower.com/images/press\\_releases/2009-01-16-induction-heater-patent.pdf](http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009-01-16-induction-heater-patent.pdf)

### American Superconductor Corporation (2009年1月20日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は 2008 年 12 月 31 日に終了する第 3 四半期の収支見込を発表した。AMSC 社は、第 3 四半期の収入が 4,000~4,100 万ドルの範囲内であると考えており、これは以前の予測通りである。一方、第 3 四半期の純損失は 800~900 万ドル程度であり、以前の予測と比べて高いが、これは為替の影響によるものである。AMSC 社は、2008 年度通年の

収入が1億7,500万ドル~1億8,500万ドル程度であるという予測は変えておらず、2009年度の収入は2億2,500万ドル以上になると考えている。同社は、2008年第4四半期には一般会計基準上、利益を生み出せるものと考えており、2009年度には通年での利益も可能であると予測している。

出典:

“AMSC Provides Preliminary Third Quarter Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (January 20, 2009)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1246456&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1246456&highlight)

#### American Superconductor Corporation (2009年1月22日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、中国 CSR Zhuzhou Electric Locomotive Research Institute Co., Ltd. (CSR-ZEKRI) から同社特許である PowerModule™ PM3000W 電力コンバーターを含め100セットのコア電気部品の発注を受けた。これは風力発電所向けのもの。これらの部品は AMSC Windtec®社が設計した 1.65-MW 風力発電タービンに使われる。出荷は2009年末に予定されており、これにより CSR-ZELRI 社の風力発電タービンの増産を支援する。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「CSR-ZELRI 社は短期間の内に高性能風力タービンの生産増強に向け多くのことをやってのけた。我々は CSR-ZELRI 社が引き続き急速に成長し、今後数年間で中国風力発電タービン市場の大きなシェアを握るものと期待している。」

出典:

“China's CSR-ZELRI Orders 100 Sets of Wind Turbine Core Electrical Components from AMSC”

American Superconductor Corporation press release (January 22, 2009)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1247122&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1247122&highlight)

#### American Superconductor Corporation (2009年1月27日)

American Superconductor Corporation は、Long Island Power Authority (LIPA) との契約に基づき Long Island の電力ネットワークの運営を行っているエネルギー事業者 National Grid から大型ダイナミック無効電力補償システム(D-VAR®)の注文を受けた。この D-VAR 「STATCOM」は Long Island 東部に設置され、電圧安定、電力グリッド混雑低減、電力の効率向上及び停電防止により地域電力グリッドの信頼性を確保するために必要な無効電力を供給する。Long Island Power Authority 会長兼 CEO Kevin S. Law は次のように述べた。「信頼性があり高い品質の電力を供給するため、特に我々は Long Island の人口が最大となる夏季数ヶ月間のピーク電力時に電圧を安定させるためのソリューションが必要であった。」AMSC 社は、36 MVAR 基準電力 D-VAR STATCOM の設置、維持管理、LIPA への技術支援を含むフルターンキーソリューションを提供する。このシステムは2010年半ばに運転開始予定。この注文による D-VAR は、LIPA 電力グリッドに設置される第2番目のものである。

出典:

“AMSC Announces Turnkey D-VAR® Order for Long Island Power Grid”

American Superconductor Corporation press release (January 27, 2009)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1248613&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1248613&highlight)

#### 基礎

#### Boston College (2009年1月27日)

Boston College の研究者は、東北大学（日本）及び国立固体物理研究所（中国）と共同して、超

電導の発生により、擬ギャップは消滅せずに生き残って超電導と共存し、お互いに競合している可能性があることを報告した。透過型電子顕微鏡及び角度分解光電子スペクトル測定装置を使って Bi2201 を調べ、擬ギャップが超電導に先行して起こるものではなく、材料が超電導状態になってもこれと共存していることを発見した。また、研究グループは、擬ギャップが超電導ギャップから電子を引き離そうとしていること、即ち、擬ギャップは超電導と競合している可能性があると考えている。研究グループはこれら競合状態の真の姿の研究を継続する考えである。研究結果は *Physical Review Letters* に掲載された。

出典:

“The pseudogap persists as material superconducts”

Boston College press release (January 27, 2009)

[http://www.bc.edu/bc\\_org/rvp/pubaf/09/MadhavenPseudogap.pdf](http://www.bc.edu/bc_org/rvp/pubaf/09/MadhavenPseudogap.pdf)

#### Massachusetts Institute of Technology (2009年1月27日)

Massachusetts Institute of Technology (MIT) の研究者は、名古屋大学（日本）及び Brookhaven National Laboratory と協力していくつかの高温超電導体は原子スケールでフェルミ面が変化していることを発見した。このような（フェルミ面の）変化はこれまでいかなる材料でも観察されたことはなかった。フェルミ面とは電子でエネルギー空間を埋めていったときに生じるエネルギー面である。これまで、フェルミ面はいかなる材料中でも均一であると考えられていた。トンネル顕微鏡及び準粒子干渉を使って、MIT 研究者は 2 種類の Bi 系超電導体で原子レベルでのフェルミ面の変化を観測した。これらの変化は単に奇妙であるという一方で、強電子相関材料として知られる幅広い新しい一連の材料が、何故高温超電導を含むエキゾチックな特性を示すのか、を理解しようと努めている研究者にとって重要な鍵を示している可能性もある。研究結果は、オンライン版 *Nature Physics* 1月25日号に掲載された。

出典:

“Physicists discover surprising variation in superconductors”

Massachusetts Institute of Technology press release (January 27, 2009)

<http://web.mit.edu/newsoffice/2009/superconduct-0127.html>

(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 超電導応用研究会シンポジウム

「高感度 NMR と医療用加速器」報告

日立電線株式会社  
技術本部 技術企画センター  
和田山 芳英

(社) 低温工学協会の第 3 回超電導応用研究会シンポジウムが、2009 年 1 月 16 日 (金) に茨城県日立市の (株) 日立製作所 大甕クラブにおいて開催された。テーマは、「高感度 NMR と医療用加速器」で、Bi コイルや極低温ソレノイドアンテナを用いた NMR の高感度化、ならびに日立製作所における医療用加速器技術について、計 5 件の講演と見学が行われた。

大崎委員長の開会挨拶に続き、木吉氏 (物質・材料研究機構) と前田氏 (理化学研究所/横浜市立大) より、超 1 GHz を目指した NMR システム開発について講演があった。これは、磁界強度を増加することで高感度化を実現させるもので、その第一段階として、既存の 500 MHz システムの内層コイルを Bi コイルに置き換えて NMR 評価を実施した。この研究は (独) 科学技術振興機構の先端計測分析技術・機器開発事業として進められたものである。現状、HTS コイルは永久電流運転が困難であるため、励磁は電源駆動モードとし、極めて安定度の高い電源が使用された。電源駆動モードで形成された磁界には、電源側の不安定性に加えて、Bi テープ線に生じるシールド電流の減衰による磁界ドリフトが認められたが、磁界周波数を一定に制御する内部ロックによって、NMR 評価に必要な時間安定性が得られている。今後は、920 MHz 磁石の最内層コイルを Bi コイルと交換し、1.05 GHz の安定磁界発生と NMR 計測へ展開する予定である。

続いて、日立製作所における加速器開発の歴史と医療分野への応用について、竹内氏 (日立製作所 日立事業所) より講演があった。70 年代にシンクロトロン用電磁石の製作を始めて以来、これまでに大型放射光 (SPring-8) や超電導リングサイクロトロン (SRC)、大強度陽子加速器 (J-PARC) 等に用いられる多数の常電導/超電導の電磁石を製作してきた。また近年、癌の早期発見に活躍している陽電子放射断層撮影装置 (PET) や陽子線治療装置についても広範囲にわたる概要と実績の説明があった。

その後、和久田氏、岡田氏 (日立製作所 日立研究所) より、新方式の NMR システムについて講演があった。これは NMR プローブを極低温冷却のソレノイド型コイルとすることで高感度化を実現するもので、研究の一部は文科省科学技術振興調整費委託研究として実施された。まず、NMR 用のスプリット型超電導磁石開発に必要なコイル位置精度や非軸対称の不整磁界を補正するシムなどが説明された。開発した磁石システムは、600 MHz と 300 MHz の 2 種で、後者のクライオスタットには、世界初の He 循環冷却方式が採用されている。続いてこの磁石システムと組合せて使用されるソレノイド型のプローブの説明があった。このプローブは SN 感度を向上させるために、He ガス循環方式で極低温冷却されると共に、低温の受信回路が採用されている。これら新システムによるタンパク試料の測定実績も併せて報告された。

講演会の後に、日立研究所の敷地内にある NMR 研究施設へバスで移動し見学会が行われた。新方式 NMR 装置の一般公開は、この見学会が初めてであったため、装置類と展示パネルを前に熱心な説明と質疑がなされた。参加者は 40 名を越える盛況ぶりで、有意義な研究会シンポジウムであった。

[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2)

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

3. 不確かさ評価の例 — 家庭用血圧計

3.1 評価の実際

習うより慣れよの精神で、簡単な例で不確かさ評価を実行してみます。家庭用血圧計を用いて、最高血圧  $Ph$  を測定し、128 mmHg の値が出たものとします。その不確かさ  $u(Ph)$  を評価します。 $u(Ph)$  という記号は、不確かさが  $Ph$  の関数であることを意味するのではなく、「測定結果  $Ph$  に対する標準不確かさ」を意味する GUM 流の表記です。

血圧は測るたびにばらつきます。まずこのばらつきを評価するため、引き続き測定を繰り返して、次のデータを得たとします。

128, 132, 123, 121, 125 (mmHg)

最初のデータ 128 mmHg (=  $q_1$  とします) はもとの測定結果、残りの 4 つのデータ 132~125 mmHg ( $q_2 \sim q_4$ ) は不確かさ評価を行うために追加測定したデータです。これらの 5 個のデータの実験標準偏差 (囲み記事 [3] 参照) は  $s = 4.32$  mmHg となります。そこで  $u(Ph)$  のうち、測定のばらつきによる成分を  $u_1(Ph)$  と書くことにすると、

$$u_1(Ph) = s = 4.32 \text{ mmHg} \tag{1}$$

となります。

[3] 実験標準偏差

$n$  個の測定データの組  $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  があるとき、これに対する実験標準偏差  $s$  は、次のように求めます。

[Step 1]

$$\text{平均値} : \bar{q} = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{n}$$

[Step 2]

$$\text{平方和} : S = (q_1 - \bar{q})^2 + (q_2 - \bar{q})^2 + \dots + (q_n - \bar{q})^2$$

[Step 3]

$$\text{実験分散} : V = \frac{S}{S \text{ の自由度}} = \frac{S}{n-1}$$

[Step 4]

$$\text{実験標準偏差} : s = \sqrt{V}$$

平方和の計算に出てくる  $(q_i - \bar{q})$  という量は全部で  $n$  個ありますが、これらを全部足すと必ずゼロになります。

$n$  個のうち  $(n-1)$  個の値がわかっている場合、最後の 1 個は自動的にわかるため、情報の個数としては  $(n-1)$  個しかありません。これが Step 3 の計算で  $n-1$  が自由度と呼ばれている理由です。

後で説明する予定ですが、 $q$  の母分散を  $\sigma^2$  と書くと、 $V$  の期待値が  $\sigma^2$  となります。従って、 $\sigma^2$  のかたよりのない推定値として  $V$  が使えます。これが  $S/n$  でなく、 $S/(n-1)$  によって  $V$  を定義する理由です。

なお、「実験標準偏差 (experimental standard deviation)」というのは GUM 用語です。通常の統計学の教科書にいう「試料標準偏差」や「不偏分散の平方根」と同じ意味です。ただし試料標準偏差が  $\sqrt{S/n}$  を表す流儀もあるため、混乱を避けて「実験標準偏差」という用語が使われていると考えられます。

一方、血圧計の目盛りがずれている可能性があります。家庭用血圧計はデジタル表示ですから外から見える目盛りはありませんが、ここでは内部的な目盛りのずれを考えています。「かたより」に相当する成分です。血圧計の説明書の仕様の欄を見ると「精度  $\pm 4$  mmHg」の記述があります。これをどう解釈するかは単純ではありませんが、「目盛りのずれは  $\pm 4$  mmHg を超えることはない」と解釈することにします。測定結果は 128 mmHg ですから、正しい目盛りで測定したと想定するときの測定結果は  $128 \pm 4$  mmHg の範囲内にあると考えられます。この範囲の中で、どれが最も確からしいという情報はないので、どの値も同じように確からしいと考えるのは不合理ではありません。この状況を確率分布として表現したものが図 1 です。

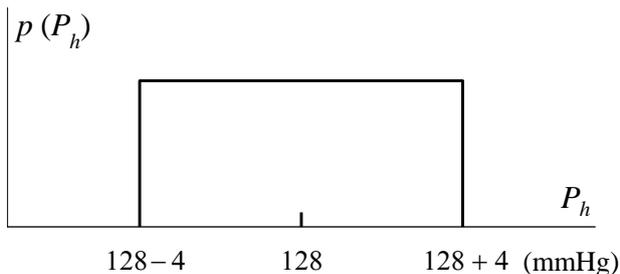


図 1 正しい目盛りの血圧計で得られると予想される測定結果に対して確率分布を想定する

目盛りのずれを考慮することによって、測定結果に図 1 の確率分布であらわされるようなぼけ（あるいは拡がり）が出てきたこととなります。このぼけの大きさは、確率分布  $p(P_h)$  の標準偏差（囲み記事 [4] 参照）で表すことができます。図 1 のような確率分布は一様分布と呼ばれ、その標準偏差は半幅  $\sqrt{3}$  で計算できます。半幅は 4 mmHg ですから、目盛りのずれによる不確かさの成分を  $u_2(P_h)$  と書くことにすると、

$$u_2(P_h) = \frac{4}{\sqrt{3}} = 2.31 \text{ mmHg} \quad (2)$$

となります。

全体としての不確かさ  $u_c(P_h)$  は、 $u_1(P_h)$  と  $u_2(P_h)$  を次の二乗和のルールで合成して求めます。

$$u_c^2(P_h) = u_1^2(P_h) + u_2^2(P_h) \quad (3)$$

これは統計学で分散の加法性といわれる定理に相当しています。不確かさ評価の文脈では、不確かさの伝播則と呼ぶルールのもっとも単純な場合に相当します。式 (3) 右辺の  $u_1(Ph)$ 、 $u_2(Ph)$  は標準偏差相当の大きさとして表現した不確かさという意味で、いずれも標準不確かさ (standard uncertainty) と呼ばれます。左辺の  $u_c(Ph)$  は合成標準不確かさ (combined standard uncertainty) です。

式 (3) で実際に計算すると、

$$u_c(P_h) = \sqrt{4.32^2 + 2.31^2} \\ = 4.898 \dots \cong 4.9 \text{ (mmHg)} \quad (4)$$

不確かさは最終的に 2 桁で表すことが一般的なので、4.9 と丸めます。測定結果の最小桁を不確かさの最小桁に合わせ、結局、測定結果は 128.0 mmHg、その合成標準標準不確かさは 4.9 mmHg となります。

不確かさの最終報告は、このように合成標準不確かさを使うのが一つの方法です。例えば基礎物理定数のデータベース (<http://www.codata.org/>) では合成標準不確かさが使われています。もうひとつの方法は合成標準不確かさに一定の数因子  $k$  (包含係数と呼ばれます) をかけた拡張不確かさとして表すものです。包含係数としてしばしば、 $k = 2$  が用いられます。これを用いると、不確かさの最終報告は、「測定結果 128.0 mmHg の拡張不確かさは 9.8 mmHg (包含係数  $k = 2$ )」となります。拡張不確かさを使うときは必ず包含係数の値を併記することになっています。拡張不確かさ  $U$  を用いる理由は、 $\pm U$  を信頼区間として用いることができるからです。 $k$  の選択の考え方についても後にあらためて説明する予定です。

#### [4] 確率分布の標準偏差

確率密度関数  $p(x)$  で表される確率分布に対して、期待値  $E[x]$ 、分散  $V[x]$ 、及び標準偏差  $\sigma$  は次のように定義されます。

$$\text{期待値: } E[x] = \int x p(x) dx$$

$$\text{分散: } V[x] = \int (x - E[x])^2 p(x) dx$$

$$\text{標準偏差: } \sigma = \sqrt{V[x]}$$

囲み記事 [3] の計算が有限個のデータに対するものであったのに対し、データが連続で無限個ある場合への自然な拡張がこのような定義になります。

### 3.2 検討すべき課題

不確かさの評価は、上で見たように、個別の不確かさ成分を数え上げ、それぞれを標準偏差相当の大きさとして評価し、分散 (標準偏差の二乗) の加法性を使って合成するという手順で行います。複雑な手順ではありませんが、次の点について注意しておく必要があります。

#### A) 不確かさは測定結果の属性

上では血圧の測定結果  $Ph$  は、ただ 1 回の血圧測定値  $q_1$  であるとして (  $Ph = q_1$  )。しかし不確かさ評価のために 5 回の繰り返しデータ  $q_1 \sim q_5$  をとっています。もしこれらの平均値  $\bar{q} = 125.8$  mmHg を測定結果として使う (  $P_h' = \bar{q}$  ) ならば、不確かさは違ってきます。具体的には、式(1) に換えて

$$u_1(P_h') = \frac{s}{\sqrt{5}} = 1.93 \text{ mmHg} \quad (5)$$

とばらつきの寄与が小さくなります。 $\sqrt{5}$ の5は、平均値をとったデータの個数です。式(5)の由来については機会をあらためて説明します。

ここで重要なポイントは、測定器や測定方法が決まっても不確かさは決まらないという点です。同じ方法を使っている場合でも、測定にうまいへたがある場合もあり、測定量の大きさが違うと不確かさが違うこともあり得ます。すなわち、不確かさは測定器や測定方法ではなく、測定結果（つまり特定の値）の属性ということになります。

## B) ぼやけた真値

5つの血圧測定値のばらつきの主な原因は、血圧計の不安定性ではありません。むしろ脈拍毎に、あるいは短時間の間に最高血圧の値が変動しているためと考えられます。また「最高血圧」という測定量がどのように定義されているかもここでは問題になります。それは、「1回の脈拍に対して」なのか、「5分間の平均値」なのかといったことです。つきつめて考えると、ほとんどの測定でこの種の定義の曖昧さが存在します。曖昧さが少ないに越したことはありませんが、それは測定系の設計の問題であって、不確かさ評価の問題ではありません。

つまり、測定量の真値はただ一つの値ではなく、測定対象の時間的変動や測定量の定義の曖昧さなどによってぼやけていることがしばしばあり、不確かさ評価ではこれらも考慮する必要があるということです。「誤差」というと、測定器や測定方法が理想的でないふるまいをすることに起因するというニュアンスがあるため、従来の誤差評価では、被測定側の要因をどこまで考慮するかには曖昧な点がありましたが、不確かさ評価では全部考慮します。

## C) 不確かさ成分の分割

上では不確かさの成分を、ばらつきとカタよりの二つの成分に分けて評価しました。上の例ではこれは自然な分割と思われませんが、このような分割にはしばしば注意が必要です。これについて次節であらためて検討します。

## 4. カタよりとばらつき

### 4.1 カタよりとばらつきは区別できるか

測定におけるカタより（系統誤差）とばらつき（偶然誤差）は意外にやっかいな概念です。ここではカタよりは、長さ測定における熱膨張の補正、質量測定における浮力補正など、補正可能な既知の効果はすべて補正した後になお残る効果のことを意味するものとします。計測標準を用いた校正が可能であれば、そのような校正も行った後に残る効果です。その値を知ることは原理的に不可能なものがカタよりです。

カタよりとばらつきをどのように切り分けられるかがまず問題になります。前節の5つの血圧測定データの相互の違いは、原因はどうあれ、ばらつきと呼ぶのは妥当そうです。図2の場合はどうでしょうか。この図は、温度目盛りの国際的な整合性を確認するため、水の三重点（気体、液体、固体が共存する温度）を実現する三重点セルという装置を複数の国の国家計量標準研究所（NMI; National Metrology Institute）の間で回付して測定したラウンドロビンテストの結果の例です。縦軸は参加した全NMIの測定結果の単純平均（これが真値というわけでは決してありません）からの差を示しています。

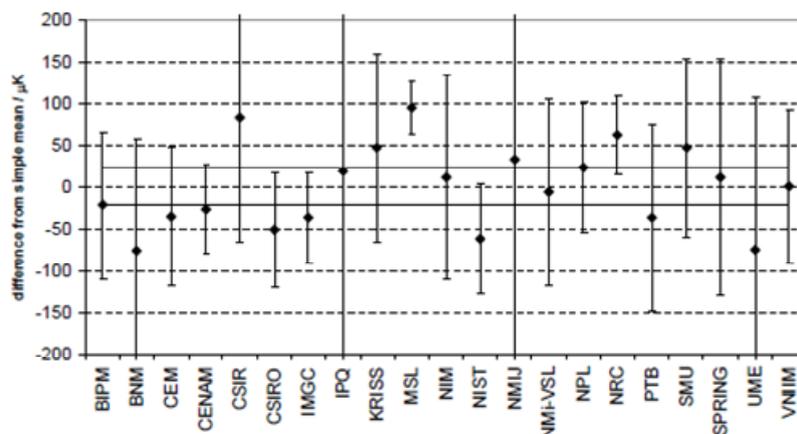


図2 水の3重点に対する国際比較の例 (M. Stock et al. "Final Report on CCT-K7: Key comparison of water triple point cell", Metrologia **43**, 03001 (2006) )

わが国の NMIJ の測定結果の結果は平均値よりすこし上にずれています。このずれはばらつきでしょうか、かたよりでしょうか。NMIJ については、長いエラーバー（±拡張不確かさで表わした信頼区間を意味しています）の中に平均値が含まれているので、ばらつきと解釈するのが妥当かも知れません。しかしこのエラーバーの長さの大部分は系統的な効果を安全側に（過大に）評価したためであることがわかっています。従って次の測定を行った場合、やはり平均値より上に出る可能性は低くありません。とすると、かたよりと解釈してもよさそうです。MSL はニュージーランドの NMI ですが、エラーバーを考慮に入れても、平均値より上に明確にずれていますので、MSL の平均値からのずれは概ねかたよりと解釈できそうです。

一方、参加国のデータ全部をながめたとき、どの国が最も信頼性の高いデータを出しているか判断することは不可能です。その点では、上の血圧測定データのデータと大きく変わりません。国毎のデータはばらついており、平均値や標準偏差の計算といった、通常ばらつきに対して行われる統計的演算にも意味があります。

このように考えると、測定におけるかたよりとばらつきの区別は予想以上に微妙であることがわかります。これをもう少し整理するためには、ばらつきの中にある構造を考える必要があります。これは次回に検討します。

#### 4.2 多数決原理と真値

図2の結果について、MSL 及び NMIJ の名誉のためにも、一言追加しておきます。図2の中で異端にみえる MSL は、かたよりの少ない測定を行っていたと現在では考えられています。これは当時必ずしもよく認知されていなかった、セル中の水の同位体比及び不純物濃度の効果が MSL による測定では補正されていたことによります。多数決原理によっては必ずしも真値に近づけないことを示す例と言えます。

幾つかの国は、これらの効果を補正しないかわりに、不確かさの一部として評価していました。NMIJ のエラーバーが長いのはそのせいで、測定能力が低いということでは必ずしもありません。補正も行わず、不確かさ成分としての考慮もしていなかった NMI もたくさんあったことがわかっています。現在では、この補正をどのように行うべきか知られており、図2の状況は過去のものとなっています。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q: 「磁気分離に係わる“磁気力”はどのような力なのでしょう?」

A: 磁気分離といってもいろいろありますが、今回は私たちが研究している強磁性粒子を利用した磁気シーディングによる磁気分離における“磁気力”を例にとって定性的に説明しましょう。

私たちは、今、水中に浮遊している微生物や懸濁物質に磁気シーディングで強磁性を与え、この分離性能を活用した新しい水の浄化プロセスを展開しています。たとえば、「活性汚泥」とよばれる水処理に利用される微生物凝集体は沈降分離（つまり重力）では 30 分以上静置しないと十分に分離できません。しかし、強磁性粉としてマグネタイトを微生物量と同程度加え磁化活性汚泥として磁気分離すると数秒で分離できるようになります。水中から磁化活性汚泥だけを磁石で引き上げることもできます<sup>1)</sup>。磁石に付着した磁化活性汚泥には  $1\text{ cm}^3$  当たり  $1\text{ g-f}$  ( $1\text{ g}$  の重りを持ち上げる力) 以上の力が作用しているということになります。この力が磁気分離に係わる磁気力と言えます。ピーカースケールの実験で分離時間を比較すると沈降分離に比べて磁気分離は 100 倍ぐらい速いですが、分離推進力としての「重力」と「磁気力」の大きな違いは、実は、力の絶対的な大きさの違いではありません。水と活性汚泥はほとんど密度の違いがありません。活性汚泥は 99% が水であり、のこりの 1% の菌体もほとんどが有機物であり、例えば 1% 濃度で固めた寒天のようなものだからです。重力は汚泥を水にほとんど同じ力を作用させて、力の大部分を無駄にしまうのです。水に加わる力は浮力となってしまいます。「磁気力」は水には作用せず、磁化活性汚泥中の磁性粉にのみ引力を作用します。磁気力には周囲の水の浮力がないのです。(余談ですが、逆に、流体が強磁性の場合にはガラス玉を磁気力で浮かせることもできます)。

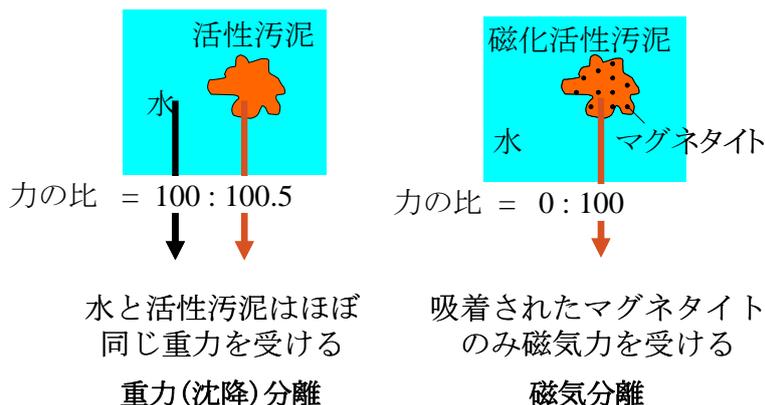


図1 磁気分離における磁気力の選択性

その様子を図 1 に示します。同じ体積当たりで考えます。「重力」は水への力を 100 とすると、活性汚泥へおよそ 100.5 程度ぐらいの力を作用させます。活性汚泥の比重が水と僅かしか違わないためです。水も活性汚泥もほとんど同じ力で引っ張っているのです。その結果、差し引き 0.5 程度の引力しか汚泥に作用させられないのです。「磁気力」は磁化活性汚泥中のマグネタイトにのみ 100 の引力が加わります。水にはほとんど作用しません。その結果、磁気分離と沈降分離の推進力に大

きな差が生じるのです。マグネタイトは活性汚泥に吸着して一体化していますので磁化活性汚泥全体が磁石に引き寄せられます。粒子を移動させたりする磁気力は勾配のある磁界によって発生しますが、分離対象の「磁性」によって“磁気力”が作用したり作用しなかったりする選択性が磁気分離の力の特徴です。密度やサイズに関係なく強磁性である物質には強く作用する力です。常磁性、反磁性の物質には強磁性と比べると無視できる程度の磁気力しか作用しません。磁気シーディングあるいは機能性磁性粒子、磁性ナノ粒子などによって、様々な機能性材料に強磁性を与え、磁気分離の対象をひろげてゆく研究もいろいろなところで展開されています。

定性的なことしかお答えしておりませんが、定量的な議論には様々な条件付けが必要になります<sup>2)</sup>。磁気分離における磁気力の特徴は作用の選択性であり、これを活用することで旧来の分離法の限界を異なった方向から乗り越えることができるかもしれません。

#### 参照

- 1) “Cleaning Up Wastewater Magnetically”, Chemical Engineering News, Dec. 21, 2005
- 2) 磁気分離&磁気力制御 HP, <http://www17.ocn.ne.jp/~jikibun/index.html>

回答者：宇都宮大学大学院工学研究科 准教授 酒井保蔵 様

[超電導 Web21 トップページ](#)