

## 掲載内容 (サマリー):

小規模 SMES に期待されるもの  
超電導関連 10月-11月の催し物案内  
電力貯蔵とは  
低温超電導 SMES の開発状況  
高温超電導 SMES の開発状況  
電力会社側からの SMES の視点  
超電導関連製品ガイド - 超電導産業応用機器 (一部開発中) -  
新聞ヘッドライン (8/21-9/19)  
超電導速報 - 世界の動き (2002年8月)  
標準化活動 今月のトピックス 超電導関連研究開発プロジェクトとの一体的推進はじまる -  
9/10 バルク超電導体実験衛星打ち上げ成功  
電気学会東京支部連合研究会  
特許情報  
CIGRE パリ大会報告  
隔月連載記事 - バルク超電導磁石の誕生 (その5)  
読者の広場(Q&A) - 燃料電池とはどのようなもので、超電導とは関係があるのでしょうか?

[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

〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-3 栄進開発ビル 6F

Tel (03) 3431-4002 Fax(03) 3431-4044

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。

## 小規模 SMES に期待されるもの

超電導技術の電力分野への応用の中で、超電導電力貯蔵装置（SMES：Superconducting Magnetic Energy Storage）は、従来のエネルギー貯蔵装置と比べて、貯蔵効率が高い、エネルギーの出し入れ速度が速いなどの特長を有している。このような優れた機能を持つ SMES は、電力システムの安定化、電力品質の維持、さらには負荷平準化など非常に広範囲の効果が期待できる。

このような中で、電力の自由化の進展等による分散型電源の増大、電力変動の大きな負荷や電源の増加などに伴う電力系統制御技術の高度化要請を背景に、市場ニーズがあり、実用化の可能性が見込まれる小規模な系統制御用 SMES にターゲットを絞った技術開発を進めている。開発の主要課題は、コストの低減であり、超電導コイル等の低コスト化技術開発を NEDO の委託事業として、ISTEC において平成 11 年度より平成 15 年度までの予定で実施している。

表 1 に SMES の用途と規模の関係を示す。

表 1 SMES の用途と規模

用途	規模	マイクロ 1kWh級	小規模 100kWh級	中規模 10MWh級	大規模 GWh級
瞬時電圧低下 安定度向上 負荷変動補償 周波数調整 負荷平準化					

小規模系統制御用 SMES は、表 2 に示すとおり様々な機能を有している。電力システムへ導入されることにより、電力システムの安定化、電力品質維持などに高い性能を発揮できるとともに、二酸化炭素排出削減による地球環境面への貢献や技術波及効果による産業界への寄与など非常に広範囲の効果が期待できるものである。

表 2 小規模系統制御用 SMES の機能

用途	設置場所	系統安定度制御			周波数制御		電圧制御	負荷追従制御		信頼度制御
		定態 (動態) 安定度	過渡 安定度	電圧 安定性	ガバナリ-LFC 領域 の周波数調整	領域の周波数 調整制御	電圧調整	秒単位の 動揺制御	分単位の 動揺制御	瞬停 瞬低 回避
系統安定化用	発電所									
	中間開									
周波数調整用	超高圧									
	1・2次変									
負荷変動補償用	1・2次配									
	需要家									

凡例： □：効果大、 □：効果中、 □：効果小

本プロジェクトは、NEDO による中間評価において高い評価を受けるなど順調に進捗しており、平成 14~15 年度に経済設計モデルコイルによる機能の検証とコストの見極めを行う計画である。さらに、システムとしての信頼性実証等を経て 2010 年頃を睨んだ実用化が期待されている。（ISTEC 調査企画部 高祖聖一）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導関連 10月-11月の催し物案内

### 9/30-10/4

Second German-Japanese Workshop on Industrial Application of Superconductivity Technology, including Laboratory Tour

場所：Forschungszentrum Karlsruhe, Germany

(Organized by the German-Japanese Cooperation Council for High-Technology and Environmental Technology)

### 10/17

第4回冷凍部会例会/第2回超電導応用研究会「SQUID 応用と冷凍機」

場所：産総研臨海副都心センター（東京・お台場）

（主催 低温工学協会）

### 10/18-19

東北・北海道支部市民講演会「生活・地域への磁気応用」

場所：岩手大学工学部（盛岡市）

（主催 低温工学協会）

### 10/22

第3回超伝導スクール

場所：超電導工学研究所（東京）

（主催 応用物理学会）

Tel: 03-3238-1043

### 10/29

第3回材料研究会/九州・西日本支部第1回研究会

場所：長崎大学（長崎市）

（主催 低温工学協会）

### 11/11-13

第15回国際超電導シンポジウム (ISS 2002)

場所：パシフィコ横浜（横浜市）

<http://www.istec.or.jp/ISS/ISS.html>

（主催 ISTE C）

### 11/17-19

第11回国際超電導産業サミット (ISIS-11)

場所：京王プラザホテル（東京）

（主催 ISTE C、共催 CSAC, CONECTUS）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 電力貯蔵とは

電力貯蔵とは、2次エネルギーである電気エネルギーを化学エネルギー、熱エネルギー、磁気エネルギー、機械エネルギー、位置エネルギーなどとして一時的に蓄える技術を指す。

電気は、発電と消費が同時であるという本質的とも言える性質がある。したがって、我々が電気の恩恵に浴するためには、供給側（発電所）は時々刻々変化する需要に応じて電力を供給する必要がある。このため、供給側と需要側の間に電線網を張り巡らせ、需要側が必要な時に任意の量を消費できる大システムを備えている。具体的には、需要側の年間、季節間、日間、昼夜、地域間など需要電力（負荷という）の変動は供給側で調整することが必要になる。さらに、最近の電力利用の多様化、自然エネルギー発電などの分散電源の普及、非常時電源需要などに対して、電力系統間運用、季節料金制、夜間料金制、調整能力の高い水力発電や揚水発電の見直しなどが推進されているが対応しきれない事例もあり、電力貯蔵設備の拡充と新規貯蔵設備開発が不可欠になっている。電気工学ハンドブックによると、将来の電力系統に必要な電力貯蔵容量は全電力設備容量の10%（2010年で約3,000万kW）に達すると推定されている。

現在実施又は開発されている主要な電力貯蔵技術として、電池電力貯蔵、圧縮空気貯蔵、フライホイール、超電導磁気エネルギー貯蔵装置(SMES)などを挙げることができる。電気エネルギーを化学エネルギーとして蓄える電池電力貯蔵として、汎用鉛電池、負荷平準化用ナトリウム-硫黄(NAS)電池(2MW/16MWh級)、レドックス電池(数100kW/数100kWh級)、家庭用リチウムイオン2次電池などの実用化と開発がなされている。夜間岩盤に圧縮空気を貯蔵し昼間にガスタービン発電を行う圧縮空気貯蔵はドイツやアメリカで実用されている。フライホイールは電気エネルギーを機械的なエネルギーとして蓄えるため、将来的にはフライホイールの軸受に高温超電導体を用いるMWh級高温超電導フライホイール電力貯蔵システムに開発が期待されている。SMESは電気エネルギーを超電導コイルによる磁気エネルギーとして蓄える極めて貯蔵効率が高く、大出力のエネルギーを高速で出し入れできる設備であり、系統安定化用として100MW/500kWh級SMES、負荷変動補償・周波数調整用として100MW/15kWh級SMESなどの技術開発が進められている。

電力貯蔵は、設備として最大出力と最大貯蔵エネルギー水準に対して色々な規模の機器を提供することは技術的に可能な段階にある。さらに、現実には個々の電力貯蔵技術の特長を最大限に活かし、需要側の多様なニーズに選択性、迅速性、安全性かつ経済性を備えた電力貯蔵設備を供給し、鉛電池のように普及させることが望まれている。

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 低温超電導 SMES の開発状況

九州電力株式会社 総合研究所  
電力貯蔵技術グループ長 谷口俊二

Nb-Ti など低温超電導体を用いた超電導エネルギー貯蔵装置 (SMES) の開発は、既存技術で製作が可能な数 MW/数 MJ 規模のいわゆるマイクロ SMES において、技術的には既に実用化段階に達している。また、それより大きい規模のものについては、導体、コイルを始めとする各種要素技術が開発段階にあり、実用化のためには、今後、さらにパイロットプラントによる制御性や信頼性などのシステム検証が必要であると考えられる。最近の主な開発状況は以下のとおりである。

国内を見ると、国家プロジェクトである「超電導電力貯蔵システム技術開発」において、ISTEC を実施主体に参加電力会社、メーカーにおいて小規模系統制御用 SMES の技術開発が精力的に進められている。プロジェクトでは平成 14～15 年度にかけて、九州電力で系統安定化用途 (100MW/15kWh (54MJ))、中部電力で負荷変動補償・周波数調整用途 (100MW/500kWh (1.8GJ)) のそれぞれの要素モデルコイル (10kA 級 CIC 導体、貯蔵容量はそれぞれ 2.8MJ、10.5MJ) の性能評価試験が予定されている。

このほか、九州電力では、今宿総合試験センターにおいて平成 10 年 3 月に 1MW/1kWh (3.6MJ) 級モジュール型 SMES (2 モジュール構成) を設置している。この装置は負荷平準化、系統安定化、負荷変動補償などに SMES を適用するための要素技術の検証や電力系統での有効性を確認すべく設置されたものであり、各種のモジュール特性試験、系統連系試験や過負荷試験など SMES の機能拡大に向けた先進的な試験が 4 年間に亘り実施されている。また、中部電力では、主として送電線への雷撃事故時に発生する瞬時電圧低下を補償する 5MW/7.5MJ のマイクロ SMES を平成 15 年度目途で開発中である。この SMES は、国内で初めて実際の需要家に設置し、瞬時電圧低下を補償できるシステムを検証することを目的に製作検証が進められているものである (最終的には 10MW クラスの酸化物超電導マイクロ SMES を指向)。

一方、海外で注目されるものとしては、米国の American Superconductor 社が出力 3MW 程度のマイクロ SMES を既に商品化しており、2002 年 9 月現在、20 台以上が米国内を始めとして数カ国の電力系統に設置されている。

また、2004 年の試験開始を目指して、Center for Advanced Power Systems が 100MJ/100MW の SMES を設置する計画があるとの情報がある (超電導 Web21 2002 年 9 月号「ASC2002 より」参照)。

これまで述べた国内外の SMES はいずれも超電導マグネットに Nb-Ti 線材を使用している。これは安価で加工性に優れ、安定した性能を有するものとしては、現段階で、Nb-Ti が最も適しているという面があるためである。今後は、更なるコスト低減化を目指して高温超電導体を使用した SMES の開発が進展することが期待される。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 高温超電導 SMES の開発状況

財団法人 電力中央研究所 狛江研究所  
電気物理部長 秋田 調

SMES が高温超電導線材を用いて実現できれば、超電導状態での臨界温度までの余裕を大きくとれ、また、超電導コイルの比熱が低温超電導コイルと比較して極めて大きくなるため、従来の油冷などによる電力機器と同様な極めて運転しやすい SMES が実現可能である。具体的には、電力を出し入れする運転時の過渡的な温度上昇が許容できるとともにクエンチが起こりにくい超電導コイルを実現することが可能である。

現在、ISTEC を中心に資源エネルギー庁による NEDO プロジェクトとして研究開発を進めている「高温超電導 SMES の技術調査」では、このような高温超電導 SMES のメリットが活かせる冷却方式として、冷凍機からの伝導冷却方式を中心に検討を進めている。これは、伝導冷却では超電導コイルの温度が大きく変化しても同一の冷却システムで冷却可能であるため、超電導コイルの比熱を活用した過渡的運転が可能となるためである。例えば、電力系統安定化運転のような短時間だけ大きなエネルギーを吸収したい場合には、臨界電流を越える電流を SMES 用の高温超電導コイルに流すことも可能である。また、瞬低対策用の SMES においては、動作時に冷却システムの能力を超える交流損失の発生を許容できる。

このような、過渡的な SMES 運転が可能かどうかを調査するため、これまでに Bi-2212 および Bi-2223 線材を使用した直径 10cm 級の 5 種類の特性評価のための小型コイルを試作し、冷凍機伝導冷却条件で過渡的通電試験を実施した。この結果、電力系統安定化運転では臨界電流を越える通電が可能であることが明らかとなっている。また、SMES 用の高温超電導コイルでは、線材の特性から容易にコイルの特性が推定でき、過渡的な特性を含めて高精度な機器設計が可能であることも示された。現在は、伝導冷却条件で生ずる高温超電導コイル内の温度分布が予測設計可能であるかどうかを調査するために試作した、直径 70cm 級の Bi-2212 線材による小型モデルコイルの運転特性を調査中である。

また、高温超電導 SMES では電流リードからの侵入熱が支配的となるため、伝導冷却方式では大電流電流リードが SMES 実現の鍵となる。そこで、GM 方式パルス管冷凍機に電流リードを組み込む方式を考案し、850A まで安定に通電できることを確認した。

我国では以上のように、高温超電導 SMES 実現に必要な技術の検討が着々と進められている。しかし、最大の技術開発課題は SMES 用の高温超電導導体の実現であるため、諸外国ではこのような導体の実現を待ってから高温超電導 SMES 開発を始めようとの考えが強い。このため、現時点では我国の高温超電導 SMES 技術が他を引き離しているといっても良いであろう。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 電力会社側からの SMES の視点

中部電力株式会社 電力技術研究所  
超電導・新素材チームリーダー 長屋 重夫

電力分野において電力貯蔵技術は、過去、昼夜の負荷平準化を目指した開発が進められ、SMES においても、地下の岩盤をその構造支持に利用し、揚水発電所の代替となるような概念の SMES が提案され、また酸化物超電導体の発見ともあいまって、90年代に活発な開発が行われた。

当時、金属系超電導体を用いたマグネットは、貯蔵エネルギーが MJ 以下の小型のものならば製作に課題は少なく、SMES の開発としては、実験室レベルの SMES を製作し、主にその導入効果面での検討が、電力システムを模擬した実験装置を使って進められた。これは、電力貯蔵技術にまず第一に求められる性能である効率、特に電力の変換効率が SMES の場合、電気エネルギー / 磁気エネルギー変換であるため、他の手法、手段に比べ非常に高く、開発の関心が主にその効果に向けられたからである。

その結果は、電力への導入効果としては、負荷平準化はもちろん、有効、無効電力が独立して制御可能で、その時間応答性も高いため、電力系統制御装置としては非常に優れた機能を持つことが実験的に確認された。

そうならば、効果の確認された比較的小型の系統制御用 SMES を開発し、将来の大型負荷平準化 SMES の実用化へ向けて、導入が行われるはずであるが、SMES は他の超電導機器と同様にコスト面では非常に課題が多く、また、近年の電力の部分自由化や分散電源の導入など、電力を取り巻く環境の大きな変化により、負荷平準化などではなく、SMES の持つ特徴を活かした用途への適用が検討され、開発が進められている。

その用途は大きく分けて 2 つの用途に集約される。1 つは、高速応答性を活かして秒オーダーで全貯蔵エネルギーの充放電を行う用途、これは供給側においては系統安定化が図れ、負荷側では瞬低補償が可能となる。もう 1 つは、繰り返しの充放電による劣化が少なく、電池などに比べ圧倒的なサイクル寿命を持つことから、鉄道などの使用頻度の高い負荷の平準化や風力などの変動電源の安定化を目指したものである。

既に、海外ではマイクロ SMES と呼ばれる小型の系統安定化 SMES が実用に供され、日本においても近く瞬低補償 SMES が実用化されるが、現在の金属系では、SMES のコストを支配する高磁界化に限界があり、磁場に対して特性が高く、また臨界温度が高く信頼性の高い運転が可能となる酸化物超電導線材を用いた SMES の実現が、今後の真の実用化の鍵を握る。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導関連製品ガイド

### - 超電導産業応用機器（一部開発中） -

#### 超電導半導体単結晶引き上げ装置

三菱電機株式会社

「シリコン単結晶引き上げ装置用超電導マグネット」

担当：電力・産業システム事業所 加速器・超電導応用技術課 湊 恒明 Tel: 078-682-6124

株式会社東芝

低温超電導体を用いたシリコン単結晶引き上げ装置

高温超電導体を用いたシリコン単結晶引き上げ装置（1号機製作完了）

担当：電力システム社 原子力事業部 商品開発推進部 河津象司 Tel: 03-3457-3793

#### 超電導磁気浮上式鉄道（実用評価試験中）

財団法人鉄道総合技術研究所

「超電導磁気浮上式鉄道 山梨実験センター」低温超電導体（LTS）を用いた車両による長期走行など実用評価試験中

担当：浮上式鉄道開発本部

#### 超電導発電機（開発中）

神鋼電機株式会社

バルク超電導磁石を用いた発電機および試験装置、<http://www.shinko-elec.co.jp>

担当：サーボアクチュエータ営業部 Tel: 03-5683-1324 Fax: 03-5683-1168

（編集局 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 新聞ヘッドライン (8/21-9/19)

ITER 建設候補地 六ヶ所村弥生台平地区に 政府・青森県 8/21 日本経済新聞、8/22 電気新聞

医療バイオ R&D MRI、手術利用を拡大 8/21 日本経済新聞

国際核融合実験炉・ITER 誘致本格化へ 日本技術が先導役担う 8/22 電気新聞

たんぱく質解析 感度 10 倍 日立・文科省など NMR 装置開発に着手 8/23 日刊工業新聞

世界最強磁場を発生 物材機構 装置開発、運用始める 8/26 日経産業新聞

小脳梗塞 若年世代に多く 30 過ぎたら脳検査を 8/26 毎日新聞

最強磁場で稼動 NMR 装置開発 物材機構、運転開始 8/26 日本経済新聞

3号機 来月打ち上げ H2A 商業利用なるか 正念場 8/27 読売新聞

異方性導電デバイス 超電導磁石に着目 物材研とポリマテック 8/27 日刊工業新聞

NMR 基幹部分完成、運用開始 物材研 8/27 日刊工業新聞

ニオブ・アルミ超電導線で 13 テスラの磁場発生 原研 8/30 日刊工業新聞、日本工業新聞、9/2 日本経済新聞、日経産業新聞

H2A3 号機 実用化へ正念場 実験衛星搭載 10 日に打ち上げ 9/2,9/9(夕) 日本経済新聞、毎日新聞、9/4 朝日新聞、9/8 毎日新聞

バルク超電導磁石の発電機など JR 東海に納入 9/4 日刊工業新聞

H2A3 号機も成功 初の実用機 2 衛星軌道投入 9/11 読売新聞

H2A 打ち上げ成功 3号機実用衛星 2 基、軌道に 9/11 毎日新聞 9/16 日本経済新聞

国際核融合実験炉の建設費負担 国内立地なら 47% 9/16 日本経済新聞

富士通研 超電導体で小型増幅器 高感度、携帯基地局向け 9/17 日経産業新聞

エネルギー産業 実用化・商品化続く新技術 電気抵抗ゼロが特徴 超電導技術実用化に期待 9/18 日刊工業新聞

超電導体ニオブ系 SFQ 回路 初めて 35 ギガヘルツで動作 NEC パケットスイッチ開発 半導体に比べ 50 倍高速 9/19 日刊工業新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 【ビジネストレンド】超電導速報 - 世界の動き (2002年8月)

### 材料

#### Superconductive Components, Inc. (2002年8月16日)

Superconductive Components, Inc. (SCCI)は、2002年6月30日に終了する第2四半期の純損失(一般株式割当分)が38,305ドルであったと発表した。前年同期の同損失は、5,720ドル。当期総収入は、前年同期905,071ドルから20.8%減の716,747ドル。製品売上は、前年同期801,336ドルに対し642,445ドル。この減少は、米国経済の低迷、売上及び研究契約収入の減少によるものである。第2四半期の収入減は、保険収入の39,083ドルにより幾分緩和されている。同社社長 Dan Rooney は楽観的であり、「SCCIは最近オペレーティングユニット統合してSCI Engineered Materials を設立した。このリストラにより、内部の製造能力を十全に活用することができ、また開発能力の向上にも繋がる。これにより目指すマーケットにおける地位を高めることができるだろう。」と語った。さらに、DOEの10,000ドルSBIR(第1期)を受けることが決まっており、これは第3四半期にスタートする。

(出典)

“Superconductive Components, Inc. Reports Second Quarter Results”

Superconductive Components, Inc. Press Release (August 16, 2002)

<http://www.investquest.com/iq/s/scci/ne/earnings/scci22.htm>

### 通信

#### Conductus, Inc. (2002年8月6日)

Conductus Inc.は、2002年6月30日に終了する第2四半期及び半期(6ヶ月)の収支を発表した。第2四半期の収入は対前年同期に比べて7%減の1,549,000ドル。しかしながら、製品販売は27%増の955,000ドル(前年同期752,000ドル)であった。この販売収入の増加は、主にClearSite®の出荷増によるものである。しかしながら、契約収入は33%減の639,000ドルに留まったため、収入は前年同期の1,684,000ドルから減少した。第2四半期の純損失は、540万ドル(前年同期480万ドル)であったが、これには560,000ドルの過剰在庫及びISCOとの訴訟経費が含まれている。また、景気の影響で顧客がコスト低減や人員削減を行ったりといったことで、購入意思決定が遅れていることにも影響を受けている。

(出典)

“CONDUCTUS REPORTS SECOND-QUARTER RESULTS”

Conductus, Inc. Press Release (August 6, 2002)

<http://www.conductus.com/pressReleases/press96.html>

#### Conductus, Inc. (2002年8月8日)

Conductus は、日本の OEM 顧客から HTS フィルターシステムのプロトタイプ 2 セットを受注した。このプロトタイプは新しいコンフィギュレーションで非常に高い選択性を持つ HTS フィルターシステムであり、第 4 世代に用いることを目指している。これらは本年後半及び 2003 年の早い時期に出荷される予定である。Conductus は、過去 18 ヶ月の間に日本の顧客から 100 万ドル以上の注文を受けている。日本では、2003 年及び 2004 年に HTS システムの展開が始まることから、Conductus では引き続き受注があるものと期待している。

(出典)

“Conductus Receives Order to Provide Prototype 4G Systems to a Major Japanese Supplier”

Conductus, Inc. Press Release (August 8, 2002)

<http://www.conductus.com/pressReleases/press97.html>

#### ISCO International, Inc. (2002年8月14日)

ISCO International, Inc. (ISCO)は、第2四半期の収支を発表した。過去3ヶ月及び6ヶ月の総収入はそれぞれ134,000ドル(前年同期1,374,000ドル)及び1,697,000ドル(前年同期1,886,000ドル)であった。また、過去3ヶ月及び6ヶ月の純損失はそれぞれ4,009,000ドル(前年同期5,529,000ドル)及び7,789,000ドル(前年同期10,276,000ドル)であった。純損失の減少は、事業所の統合を含むコスト低減努力によるものである。ISCOは販売の減少の主な理由は市場条件への果敢な挑戦のためであり、これまで、新たな市場条件に適応するための現実的な方策を講じてきている。これら方策には、人頭経費のさらなる抑制、赤字販売の圧力に対する措置、販売促進のための保証書の発行、Superconductor Technologies Inc.とConductus Inc.への特許侵害訴訟が含まれる。(裁判は2003年1月13日前に予定)

(出典)

“ISCO International Reports Quarterly Results”

ISCO International, Inc. Press Release (August 14, 2002)

<http://www.prnewswire.com/news/index.shtml>

## 基礎

#### US Department of Energy/Lawrence Berkeley National Laboratory(2002年8月14日)

Marvin Cohen 及び Steven Louie 両教授をリーダーとするローレンスバークレー国立研究所及びカリフォルニア大学バークレー校の理論家チームは、第1原理計算により  $MgB_2$  の特性を計算し、この超電導体のいくつかの特異な性質を説明した。BCS理論及びグループの一員である HyoungJoon Choi 博士により開発された手法を用いて世界の色々な研究所で得られた一見矛盾する結果を首尾一貫して説明できることを見出した。また、開発した手法は複雑な電子構造を持つ材料のBCS方程式を解くことを可能にする。これらの知見はNature 8月15日号に掲載された。 $MgB_2$ は転移温度が39Kであるとか、これまで理論的に予想されていたが実験的には確認されていなかった複数の超電導ギャップ等特異ないくつかの性質を持っている。これらの特異な性質は、“red”とか“blue”とか呼ばれている2種類の電子に由来しているらしい。この2種類の電子は、超電導体の原子間の異なる結合に寄与している。この計算結果から、他の材料では見られない2種類の超電導ギャップのような実験的に確認されている事実を導くことができる。この知見は、また、同様な電子構造を持つ新しい材料の創製に繋がる可能性を秘めている。

(出典)

Source:

“A most unusual superconductor and how it works”

US Department of Energy/Lawrence Berkeley National Laboratory Press Release (August 14, 2002)

<http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/MSD-superconductor-Cohen-Louie.html>

#### University of Illinois at Urbana-Champaign (2002年8月26日)

University of Illinois at Urbana-Champaign の研究者らは、低温走査型トンネル顕微鏡を用いて銅酸化物超電導体の銅酸素平面の画像を初めて撮影することに成功した。Physical Review Letters 8月19日

号に掲載された結果によれば、超電導体の表面に安定して銅 酸素平面を形成できる。この表面層の挙動は超電導体の内部層の挙動と異なっている。Ali Yazdani 教授は、「以前の研究と異なり、我々はこの銅 酸素平面が低エネルギー領域でトンネルコンダクタンスが異常に小さいことを見出した。この面における電子の軌道対称性がトンネル過程に影響を及ぼし表面で見られる奇妙な振る舞いに繋がっているのかもしれない。」と語った。原子レベルでの画像により正確さが大きく増す。研究者らは走査型トンネル顕微鏡によりサンプル結晶の広い領域を観察し、その形状画像を X 線によるデータと比較検討して各々の銅 酸素平面を同定、その電子状態を測定した。直接超電導体結晶の表面を観察できる手法が得られたことから、表面の下層を変化させることにより結晶の性質をも操作できる。

(出典)

“Copper-oxide plane at surface of superconductor has surprising properties”

University of Illinois at Urbana-Champaign Press Release (August 26, 2002)

<http://www.news.uiuc.edu/scitips/02/0826copper.html>

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 今月のトピックス

## 超電導関連研究開発プロジェクトとの一体的推進はじまる -

2002年6月IEC/TC90超電導委員会技術委員会のもとに設置されている超電導調査委員会（委員長長村光造京都大学教授）において、超電導標準化と超電導関連研究開発プロジェクトとの一体的な推進が実質的に開始した。

ここに至る背景は、2000年4月政府が策定した国家産業技術戦略（全体戦略）を受け、2001年9月日本工業標準調査会標準部会が作成した標準化戦略（総論編）のひとつに、「標準化活動と研究開発の一体的な推進」が明記され、これを受け2001年11月IEC/TC90超電導委員会の基本問題検討委員会において超電導標準化戦略のひとつに、「超電導標準化と研究開発の一体的な推進」が明記されたことにある。この活動の目的は、先端的な超電導研究開発の成果を公開仕様書(Publicly available specifications: PAS)、技術仕様書(Technical specifications: TS)などとして国際の場に開示することによってわが国の技術力を明らかにすると共に超電導関連事業の競争力を醸成しようとするものである。

具体的な活動として、「超電導電力貯蔵システム技術開発」、「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」、「超電導発電機基盤技術研究開発」並びに「フラールホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発」の各プロジェクトリーダー又はプロジェクトマネージャーに活動要請を行い、基本的に標準化活動への協力合意を取り付けた。さらに、「超電導電力貯蔵システム技術開発」プロジェクトとは平成14年度版PAS素案の作成を、「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」プロジェクトとは14年度版TS素案構想の作成をそれぞれ開始した。

今後、PAS素案、TS素案などの準規格原案に仕上げるため、協力合意を得た各プロジェクトの進捗に合わせた技術内容の充実を図るとともに、これら以外のプロジェクトへの協力要請を継続する予定である。

（ISTEC 標準部 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 9/10 バルク超電導体実験衛星打ち上げ成功

2002年9月10日、17時20分、H-IIA ロケット3号機が予定されたスケジュール通り(珍しいことらしい)種子島宇宙センターより無事打ち上げに成功した。このことは、新聞やテレビにおいて大々的に報道されたため、記憶に新しいと思う。今回の打ち上げでは、実用衛星を2機搭載したDual-launch という方式をとっていた。打ち上げ約14分後、まず次世代型無人宇宙実験システム(USERS)衛星が高度450kmで切り離され、約29分後にデータ中継技術衛星(DRTS、のちに「こだま」と命名された)が切り離された。

ここで、USERS 衛星の中で行われる実験の一つとして、バルク超電導体の結晶成長実験が実施される。報道には一切出てこなかったが、実験を担当しているのが、超電導工学研究所である。超電導工学研究所では、RE-Ba-Cu-O系(RE;希土類元素)大型バルク超電導体を用いた、磁気ベアリング、磁気分離装置および超電導永久磁石などへの実用化検討を進めている。RE-Ba-Cu-O系バルクに捕捉可能な磁場は、臨界電流密度とバルクの直径に比例する。しかしながら、地上では基板材料との反応や液相の漏洩などにより、大型でかつ特性にすぐれたバルクを作製することは難しい。微小重力環境下では、基板材料を用いずに種結晶の一点支持によりバルクを把持し結晶成長させることが可能であり、特性劣化のない均質な大型バルクを作製することが原理的には可能である。今回の実験では、製造される材料が直径127mm、厚さ20mmと大型のものであり、成功すれば、77Kにおいて5T近くの磁場捕捉が可能と予測されている。(ただし、今回の成長実験は、これまでに微小重力空間で実施された成長実験の10~数千倍と大きく、かつ宇宙実験においては様々な制約条件が付けられるため、かなり難易度が高い実験と宇宙実験の経験者の間では言われている。)実際の実験内容の詳細および進捗状況等は、後日紙面が許されれば紹介させて頂きたいと考えており、ここでは割愛する。

衛星に話を戻すと、打ち上げ後、目視で確認できるのは3~5分間程度で、その後はH-IIAおよび衛星から送られてくるデータによりその成否が判断された。9月16日の情報では、USERS衛星は、予定軌道(515km)に自力で上昇し、9月17日よりバスシステムのチェックアウトを、9月26日より実験機器のチェックアウトを実施し、10月2日より超電導工学研究所の実験が開始出来る見込みである。

なお、USERS衛星は、打ち上げ8ヶ月後にREM(Re-entry module)とSEM(Service Module)が分離し、実験終了後のバルク試料を載せたREMは小笠原沖に帰還し、回収される予定となっている。その後、SEM中において数々の民生部品の宇宙環境利用実験が約2年半に渡り行われる予定である。

(SRL/ISTEC 第3研究部 坂井直道)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 電気学会東京支部連合研究会

2002年9月10日 - 11日、早稲田大学理工学部において、電気学会東京支部連合研究会が開催された。研究会と特別講演で構成され年1回の開催である。

研究会の一つとして、金属・セラミックス研究会「超電導デバイスとその応用」が、論文数12件、参加者数十名で行われた。最初に、吉川信行氏（横国大）から調査専門委員会「超電導材料と電子デバイス」の活動状況について報告があり、引き続き、SQUID、SFQLSI等について、SFQLSIの高性能化に向けた受動配線の研究（NEC）、高温および低温超電導SFQインターフェース（富士通）、(NbN/TiNx)n/NbN多重積層接合の作製（産総研）、小型SFQマイクロプロセッサの試作状況（横国大）等の発表があった。

SFQ回路の大規模・高速化に際して、配線が大きな問題であり、一般に使われているジョセフソン伝送線路（JTL）は、配線遅延や消費電力、素子数などの増大を招くため、JTLを受動配線に置き換える研究開発が進められている。「SFQLSIの高性能化に向けた受動配線の研究」では、現在、進められているハイエンドルーター実現を目指したプロジェクトについて報告された。受動配線の線幅の縮小、受動配線間クロストーク影響の評価および対策が検討課題であり、近いうちに成果が期待され、SFQ回路の性能を最大限に引き出すため、最適な配線スキームの検討も必要とのことであった。

特別講演としては、「電力市場自由化における電力系統計画・運用の技術的課題」と題し、横山明彦氏（東大）の講演があった。ホットなトピックスであり、電力会社、メーカー、大学等から多数の技術者が参加した。電気事業分科会、調査専門委員会の調査内容等を交え、各方面から電気事業に出された質問への回答という形で講演され、国内外の最新情報も交え興味深い内容であった。

（ISTEC 調査企画部 安部秀行）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特許情報

### 成立特許の紹介

最近成立した特許を紹介します。

特許第 3257000 号「銅酸化物超電導体及びその製造方法」特開平 8-143311（平成 3 年度出願）

本特許は、Y 系銅酸化物超電導体である Y123 系と Y124 系超電導体の線材化において、機械的加工により粒子配向しやすい扁平状粒子の材料と製造方法に関するものです。

材料に関しては、RE123 系および RE124 系（RE：Y を含む希土類元素）で、RE は Ca と、Ba は Ca, Sr 等と Cu は Al, Fe 等と置換しても良い組成の扁平状粒子の銅酸化物超電導体です。また、製造方法に関しては、銅酸化物超電導体を構成する各金属のアルコキシド溶解した混合溶液を作製し、加水分解後のゲル粉を乾燥・焼成しています。

なお、本発明の詳細は、特許庁のホームページから特許電子図書館（IPDL）をご利用下さい。

（SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄）

[超電導 Web21 トップページ](#)



## CIGRE パリ大会報告

中部電力株式会社 電力技術研究所  
平野直樹

CIGRE ( Conference Internationale des Grandes Reseaux Electriques ( 仏語 ) ) とは、電気関係の標準を決めていた IEC から、送変電技術の技術問題を討議することを目的に独立して作られた会議体である。パリで開催される本大会は2年ごとに開催され、電力分野では最も権威のある国際会議のひとつである。

今回の大会は、2002年8月25日から8月30日まで、パリ市内のパレ・ド・コングレ国際会議場で開催された。参加人数は78カ国、2,270名で、日本からの参加者は世界第4位の102名であった。論文数は事前に各国の委員会における査読を受けることから全体で313編の規模であった。

CIGRE パリ大会は、通常の国際会議と異なり、提出した論文に対する事前の質問事項に回答・意見する発表を、発電機や変圧器、ケーブル、電磁環境、系統解析などの15のグループに分かれて行う形式が取られる。ここで、超電導関係は酸化物超電導体が発見された超電導フィーバの項に独立したグループを作ることが検討されたが、材料の信頼性などが不明であり時期尚早との判断から、今回も発電機や電力用材料、高圧絶縁ケーブルなどのグループに分散しての発表となった。しかし、現状のグループを再編成する検討が進められ、例えば中部電力が発表した高温超電導コイルの電気絶縁性能に関する評価結果など、超電導材料の信頼性が議論できる最近の開発状況を踏まえて、超電導を含む新材料・新技術のグループが構成されることがすでに決まっている。この流れを受け、今回の大会において高温超電導の電力応用に関するワークショップが開催された。ワークショップでは、EDFの超電導応用の取り組みや住友電工の100m長電力ケーブルの試験結果、中部電力のSMESや超電導フライホイール、次世代線材開発の現状などが紹介された。

会議に合わせてCIGRE EXPOという展示会も開催され、今回は84件の出展があり、超電導関係では超電導ケーブルをNKTとNEXANSがそれぞれ展示しており、また、中部電力のブースでは瞬時電圧低下補償用SMESの展示があり、多くの来場者が興味深く展示関係者の説明に耳を傾け、大変盛況であった。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 【隔月連載記事】

### バルク超電導磁石の誕生（その5）

SRL/ISTEC 第1・3研究部長  
村上雅人

#### 1. バルク超電導磁石の機械特性

高性能の単ドメイン高性能バルク超電導材料が合成できる種結晶法溶融プロセス技術が開発され、また、Y系よりも臨界電流密度の高いRE系が発見されたことで、超電導バルク磁石の捕捉磁場は飛躍的に向上した。

ところが、超電導バルク磁石を応用に供しようとする、いくつかの問題点があることが判明してきた。まず、バルク磁石はREBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>系からなるが、この系では超電導化するために酸素富化処理が必要となる。この際、正方晶から斜方晶への変態が生じるが、この変化にともない、c軸が長くなるが、その応力緩和機構がなくc軸に垂直な方向にクラックが形成される。これらミクロクラックが均一かつ微細に分散していれば機械特性という観点では、その向上につながるが、実際には不均一に分布し、マクロクラックも生成してしまう。このようなバルク体を液体窒素などで直接冷却すると、クラックが進展し、場合によっては破壊してしまう。目に見えるクラック進展がない場合でも、冷却や励磁を繰り返すと、次第に捕捉磁場が低下していく現象が観察される。これは、冷却や昇温時に熱応力が発生することに一因がある。バルク超電導体の熱伝導率は低いため、冷昇温時の表面と内部には大きな温度差が発生し、大型のバルク超電導体では、それにとまなう熱衝撃は100MPaを超えてしまう。この値は、バルク体の引張強度よりも大きい。

また、捕捉磁場が大きいほど、つまり超電導特性にすぐれたバルク磁石ほど、励磁の際に発生する電磁力が大きくなる。特に、磁場中冷却を行う際には、大きな外部磁場が存在する条件下で、誘導電流が発生するため、バルク体に大きな電磁力が働き、その結果バルク体が破壊されるのである。

#### 2. バルク超電導磁石の劣化

高温超電導体の特徴として、温度を低下させると、臨界電流密度が急激に上昇することが知られている。その結果、捕捉磁場が飛躍的に向上することから、世界各地で捕捉磁場の記録が競われるようになった。その値として10Tを超えるものも報告されたが、残念ながら、高い捕捉磁場をねらった実験では測定中にバルク体が破壊され、その後の測定ができなくなってしまうのである。しかも、高い捕捉磁場を記録しても、簡単に割れてしまうのでは、使いものにならない。バルク磁石の超電導特性から換算すると、その磁石性能は非常に高いが、低い機械特性のために、その性能を十分生かすことができないのである。

さらに、バルク超電導体を使った永久磁石の浮上デモが、各所の科学博物館で行われているが、その担当者から、使っているうちにバルク体がぼろぼろになってしまうという苦情が寄せられるようになった。実は、バルク体は水と反応してしまうのである。バルク超電導体にはわずかではあるが、未反応のBa-Cu-Oが残存している。特にクラックが発生している箇所には、このような未反応物質が存在する。これが水と反応して水酸化バリウム、炭酸バリウムへと反応が進んでしまうのである。

よって、機械特性の向上と耐食性の向上が実現されない限り、バルク超電導体の本格的な応用は難しいということが判明したのである。耐食性に関しては、なんらかのコーティングを行うことで対処できるが、機械強度は本質的な問題である。このため、バルク応用開発研究の課題は、超電導

特性向上ではなく、いかに機械特性を向上させるかに移行したのである。

### 3. バルク超電導磁石の機械特性向上

まず、超電導体そのものの機械特性向上には銀添加が有効であることが分かった。しかし、これだけでは不十分であるため、金属製のリングでバルク体のまわりを囲い、熱膨張係数の差を利用して、圧縮力がバルク体に加わるような処理を施す技術が開発された。しかし、この方法は円柱状の試料には有効であるが、四角形や六角形ものには適用できない。

ここで、画期的な技術が誕生した。樹脂含浸技術である。セラミックス材料では、表面欠陥の存在が、その機械特性の劣化につながるということが知られている。さらに、熔融バルク体には残留ガスや酸素の発生で空孔が形成される。この空孔の存在もバルク体の機械特性低下につながっている。

樹脂含浸技術は、低温超電導コイルにおいて電磁力による素線の動きによるクエンチを防ぐために開発された技術である。しかし、コイルではないバルク体に、どの程度の効果があるかは疑問であった。ところが、エポキシ樹脂を 100 前後に加熱して溶かした中にバルク体を浸し、外気を真空引きし、常圧にもどすと、図 1 に示すように、表面クラックを通じて樹脂がバルク体内に浸透することが分かったのである。しかも、クラックにつながっている空孔にも樹脂が浸透し、このおかげで機械特性が飛躍的に向上することが明らかになった。

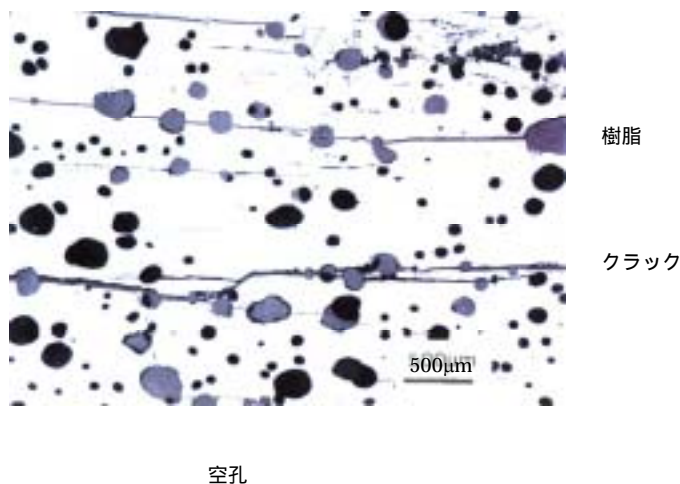


図 1 エポキシ樹脂含浸処理を施した熔融 Y-Ba-Cu-O バルク超電導体の断面図。バルク超電導体には、図に示すようなクラックや空孔が内在する。バルク超電導体を熔融したエポキシ樹脂に浸し、脱気すると、表面クラックを通して、樹脂がバルク体内に浸透する。写真において、グレーの領域が樹脂の浸透した部分である。クラックを通して、内部の空孔まで樹脂が浸透し、充填している様子が見られる。

さらに、樹脂含浸には、さらに大きな効果があった。まず、樹脂が表面を覆うことで耐食性が飛躍的に向上したのである。完全にバルク体と外気の接触が遮断されるため、腐食性雰囲気においても、まったく問題がなくなったのである。さらに、樹脂の熱伝導率が低いため、バルク体を急激な熱変化にさらしても、バルク体に働く熱応力が大幅に緩和されることも分かった。よって、たとえ、液体窒素中にバルク体を直接浸しても、劣化するという心配がない。素人のデモにも耐えることができる。もちろん、冷却には時間を要するが、その分、冷却装置が止まっても、すぐに温度が上がらずに、超電導状態をしばらく保つことができる。さらに、樹脂含浸は金属リング強化と一緒に施すこともできる。この技術の開発で、バルク体をいろいろな環境下で自由に使いこなせるようになった。

#### 4. 磁気分離装置

樹脂含浸バルク磁石の応用の第1号は、水浄化用の磁気分離技術である。この装置の原理を図2に示している。この磁気分離では、バルク磁石の強い磁場と磁気勾配を利用して、汚水からフィルターによって濾された汚濁物質(磁性粒子と結合させフロックとしたもの)を分離するものである。この装置には四角形状のバルク磁石が使われているが、超電導コイルを利用して3T程度まで励磁している。この装置開発の成功は、バルク磁石が温度変化、励消磁という条件に耐える機械特性を有することを証明した。さらに、実際の磁気分離は実地で行われるため、耐環境性が要求されるが、この装置開発によって、バルク超電導磁石は、いろいろな環境下で自由に使えることが明らかになったのである。

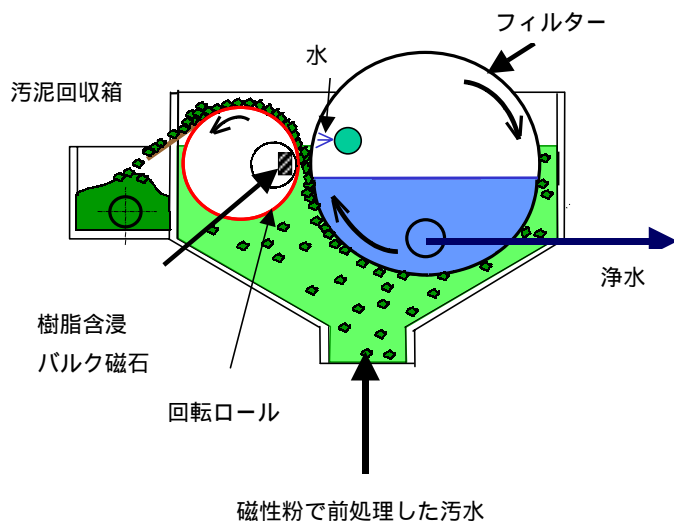


図2 日立製作所が開発した水浄化用の磁気分離装置。フィルターで濾された汚濁物質(磁性フロック)を樹脂含浸処理を施したバルク超電導磁石の強力な磁力でフィルターから引き離して回収する。フィルターの洗浄が不要となるので、連続運転が可能となる。

しかし、樹脂含浸技術でも解決できない新たな問題が生じた。それは熱伝導率が低いがために、バルク体内で一度熱が発生すると温度が上昇してしまうという問題である。このため、磁場変化で磁束が運動して発熱すると、バルク磁石の温度が上昇し、常電導になってしまうのである。当然、大型になればなるほど、この問題は深刻である。なんと発熱の問題があるためにバルク超電導磁石は使いものにならないという論文を発表するグループまで出る始末である。この問題への対処方法は次回最終章で紹介する。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 読者の広場

### (Q&A)

Q：燃料電池とはどのようなもので、超電導とは関係があるのでしょうか？

A：燃料電池と超電導とは今のところ直接関係はありませんが、将来超電導機器の動作電源に燃料電池が適用される可能性があります。

電池と呼ばれるものには、水銀電池、リチウム電池、乾電池など一度放電するとともに戻せない一次電池と鉛蓄電池、ニッケル-カドミウム電池のように放電させた後外部電源により充電して再使用できる二次電池があります。しかし、燃料電池は外部から供給する燃料のエネルギーを電気化学的反応により直接電気エネルギーに変換するところが、一次電池や二次電池と原理的に異なります。

燃料電池の原理は、電気工学ハンドブックによりますと、水素と酸素を燃焼させてその燃焼熱によって発電するのではなく、水素と酸素を電極反応によって直接反応させて水と電極間に起電力を生じさせます。したがって、燃料電池の原理は、水の電気分解の逆反応と理解できます。すなわち、負極から水素を、正極から酸素を燃料として導入し、電極間に標準起電力 1.23 ボルトを発生させるものです。

燃料電池の特長は、発電効率が 40-60%と高く排熱が利用可能、non-CO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 低公害・低騒音、部分負荷でも効率低下がない、小型でも効率が高い、都市部のコージェネレーションに最適など、また難点は、燃料補給が必要、スケールアップ効果が少なく、大型化してもコストがあまり下らない、白金電極寿命・信頼性の実績が少ないなどが挙げられています。

燃料電池の種類は、燃料の種類、動作温度領域、電解質の種類、使われ方（定置形、可搬形など）などで様々な名称が付けられていますが、リン酸電解質(PAFC)、固体酸化物(SOFC)、固体高分子電解質(PEFC)など電解質の種類による分類が一般的です。

リン酸電解質形燃料電池は、電解質を濃厚リン酸水溶液、電極を多孔質炭素板、触媒を白金、反応物質を水素（含 CO<sub>2</sub> 可）燃料源を天然ガス、ナフサ、メタノールなど、作動温度を 190 ~ 220 °C、出力密度約 2,000W/m<sup>2</sup>とするもので、大型設備として例えば東京電力の五井火力発電所構内の 4.5MW の実証プラントが稼動しています。

固体高分子電解質形燃料電池は、電解質をナフィオンなど陽イオン交換膜、電極を多孔質炭素板、触媒を白金、反応物質を水素（含 CO<sub>2</sub> 可）燃料源を天然ガス、メタノール、動作温度を約室温 ~ 100 °C、出力密度約 5,000W/m<sup>2</sup>とするもので、1kW 級の小型携帯電源、高効率化が望まれる数 10kW 級燃料電池自動車用などとして開発競争が本格化しています。例えば、ホンダ燃料電池車 FCX-V4.V3 には出力 78kW の燃料電池スタックが搭載され、時速 140 キロメートルで 300km の航続距離記録を有しています。

超電導機器用としては、固定型の大型燃料電池よりも小型かつ可搬型燃料電池が有効で、将来移動通信基地通信機器用電源、輸送機関用電源などへの適用が期待されます。

（編集局 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)