

「超電導電力貯蔵システム技術開発」プロジェクトの概要

超電導電力貯蔵装置 (SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage) は、超電導の電気抵抗がないことを利用して、超電導コイルに電流を流し続けることで電気エネルギーを磁気エネルギーとして貯蔵し、そのエネルギーを高速に出し入れすることができる装置である。

このSMESは、従来のエネルギー貯蔵装置と比べて、貯蔵効率が80~90%と高く、エネルギーの出し入れ動作時間が20msec以下と従来に無い高速で行え、有効電力と無効電力を独立に制御できる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が電力システムに導入されると、単にエネルギー貯蔵のみでなく、電力システムの安定化や電力品質の維持などにも高い性能が発揮でき、系統制御の高度化に多大な効果が期待されるものである。また、エネルギーの利用効率の向上により地球環境対策にも貢献することができるとともに、本プロジェクトで得られる技術開発成果は、他の超電導応用技術への波及効果も大いに期待されるものである。

本プロジェクトは、100kWh級超電導電力貯蔵システム(SMES)パイロットプラントの実現に必要な要素技術を開発した前フェーズに続き、実用化が

見込まれる小規模系統制御用SMESに的を絞り、電力システムにおいて現用および最近開発されている他の技術とのコスト面での競合性を踏まえ、実用化に向けた低コスト化を目指した要素技術開発と、これと並行して高温超電導SMES実現可能性についての技術調査について実施するものである。

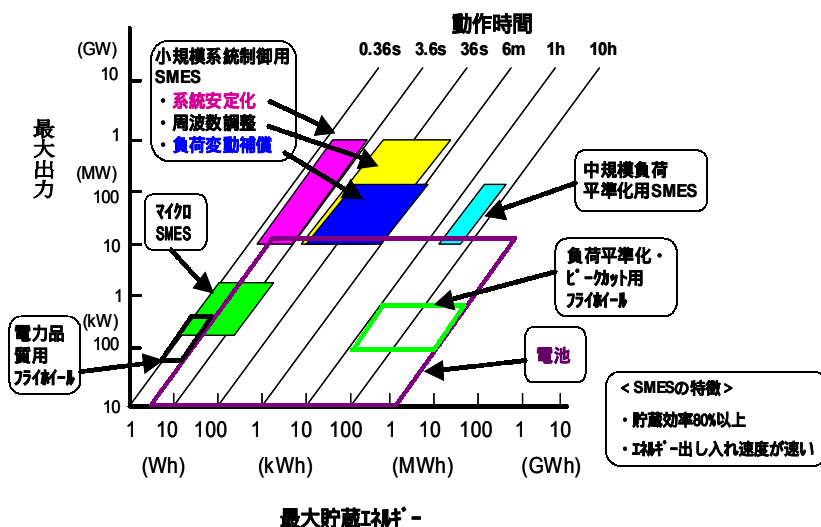
これまでに経済性の成立を確認でき、現在、金属系SMESの実用化に向けた最適導体・コイル方式の設計を進めているところで、本プロジェクトにおいて、コスト低減要素技術の確立の見通しがはっきりしつつある。

将来を展望すれば、本プロジェクトにおける電力系統制御用SMESのコスト低減技術開発の成果を踏まえ、交直変換器、冷却システムなどのSMESシステム実用化に必要な周辺機器等を含めたシステム全体としての検証を目的とするパイロット機の開発を経て、実用超電導電力機器としての技術が確立されるものと期待される。また高温SMESの技術開発についても、要素技術の開発を経て、実用化に向けた開発がさらに進むと期待される。

なお、本プロジェクトは、(財)国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)が、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)より委託を受け、平成11年度より平成15年度までの計画で実施しているものである。

(ISTEC 常務理事 辰田 昌功)

電力貯蔵装置の種類と規模



超電導関連11-12月の催し物案内

11/15-16

APPLICATION OF SUPERCONDUCTORS in Electronics, Communications and Computing

<http://www.knowledgefoundation.com>

場所: Seaport Hotel and Conference Center, Boston, MA, USA

(主催: The Knowledge Foundation)

11/23-25

第65回秋季低温工学・超電導学会

場所: 福井工業大学、福井市

(主催: 低温工学協会)

11/23-26

日韓応用超伝導・低温工学ワークショップ

場所: 福井工業大学及び国際交流会館、福井市

(主催: 低温工学協会)

11/26-30

MRS Fall Meeting

場所: Boston, MA

(主催: MRS)

12/19

第3回材料研究会・見学会

場所: 京都大学工学部

(主催: 低温工学協会)

目次

「超電導電力貯蔵システム技術開発」プロジェクトの概要	1
超電導関連11-12月の催し物案内	1
【解説】エネルギー貯蔵とは	2
SMESの実用化展望	2
新聞ヘッドライン	2
SMES用超電導体技術の現状 - 低温超電導体	3
SMES用超電導体技術の現状 - 高温超電導体	3
超電導速報 - 世界の動き	4
ISS2001 ビック1: 物理、化学分野	5
ISS2001 ビック2: バルク分野	5
ISS2001 ビック3: 薄膜・結合、デバイス分野	5
ISS2001 ビック4: 線材分野	5
特許情報	5
金属テープ上のTFA-MOD超電導膜で世界最高特性を実現	6
EUCAS2001のビック1	6
EUCAS2001のビック2	7
MT-17報告	7
【隔月連載記事】高温超電導 SQUID	7
読者の広場(Q&A)	9

【解説】 エネルギー貯蔵とは

1956年ウーロン大学のティリング教授が「電気はエネルギー配達人である」というように、電気は良質で利便性の高いエネルギーであり、家庭電器、交通機関、情報通信など私たちの日常生活にはもはや不可欠になっている。

しかし、この有用な電気にも次の3つの弱点がある。(1)1次エネルギー源である石炭、石油、天然ガス、ウランなどは有限である。(2)電気は、2次エネルギーと呼ばれ、1次エネルギーから2次エネルギーに変換するための熱効率が火力発電で約40%と低く、大半の1次エネルギーが失われる。(3)電気エネルギーは効率よく貯蔵することができない。

すなわち、私たちが電気の恩恵を受受するためには、高効率エネルギー変換技術、省エネルギー技術、エネルギー貯蔵技術、新エネルギー技術などの開発が不可欠である。特に、「電力分野産業技術戦略」(平成12年、資源エネルギー庁)によると、電力自由化・規制緩和への対応として、電力コストの低減技術、分散電源や電力貯蔵技術、新しい電力供給システム技術開発が重視されている。超電導電力貯蔵装置(SMES)の開発も、電力分野産業技術における有望なプロジェクトである。

SMESは、効率の高い貯蔵機能のほか、有効電力・無効電力を同時かつ高速に制御できることから系統安定化、負荷変動補償、周波数調整などの機能を兼ね備えている。SMESには、1秒以内の短時間動作を必要とする瞬低対応の出力MW級マイクロSMES、分散電源導入に伴う電力品質低下対応としての出力100MW級小規模系統制御用SMES、電力需要の増大・ピーク需要の先鋭化対応としての貯蔵容量100MWh級の中規模負荷平準用SMESなどが開発されている。

SMESの競合技術として、次の6種類がある。(1)出力密度数100W/kg、貯蔵容量数Whから数MWh級のリチウムイオン電池、ニッケル水素電池、鉛電池などのバッテリー(移動体用電源)。(2)出力100kW級、貯蔵容量kWh級のフライホイール。(3)貯蔵容量数Whから数MWh級の変電所、ビル、個人住宅用のキャパシタ(4)半導体工場、ビルなどに設置し、負荷平準化機能、非常用電源機能、瞬低対策機能及び無停電電源機能(UPS)を兼ねるNAS、レドックスフローなど出力MW、貯蔵容量数100kWhから数10MWh級の燃料電池。(5)無効電力制御装置である発電機PSS、SVCなどの系統安定化装置。(6)出力GW級、貯蔵容量数GWh級の典型的な大型負荷平準化用貯蔵装置である揚水発電。

これらエネルギー貯蔵装置の種類選定や導入時期の決定に際して、個々の装置の機能特性並びに経済性を基に総合的な判断を下す必要がある。

(編集局 田中靖三)

SMESの実用化展望

株式会社 三菱総合研究所
エネルギー技術研究部
主席研究員 諸住 哲

SMES(超電導電力貯蔵システム)はマイクロSMESとして、MRIに次いで、磁気分離、携帯電話基地局用フィルターなどと同時期に、実際に商品として世に出た超電導応用製品である。マイクロSMESがまず市場に出るチャンスを得たのは、昨今のIT化に無縁ではない。欧米では、早くから瞬時電圧低下(瞬低)と呼ばれる1秒以内の極短時間の電圧異常現象による、半導体製造の不具合発生や計算機の停止などの影響を回避する技術に注目してきた。瞬低による被害は、一説には米国では年間数兆円に達するとも言われており、日本では公開情報はないものの年間で数百億~数千億円の被害額になっていると推定される。また、電力品質に敏感な半導体産業のような需要家では、現在のマイクロSMESのコストでも十分経済性が成立すると言われている。

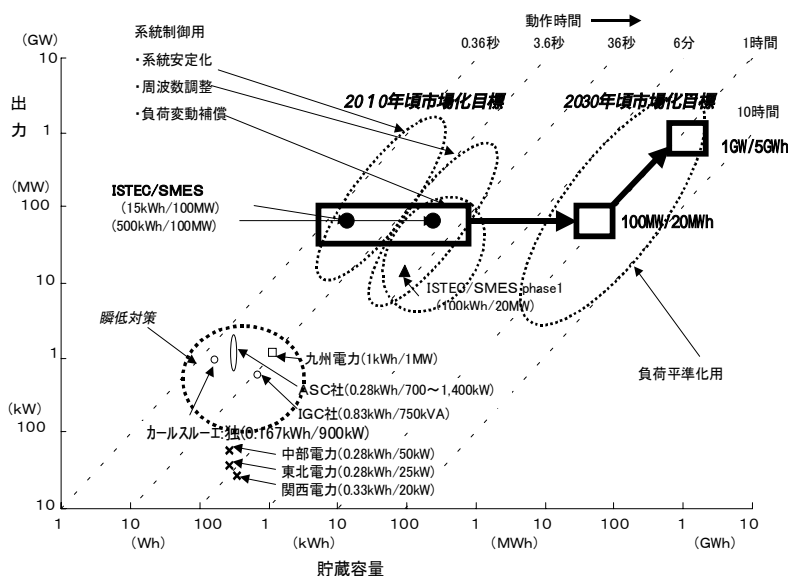
現在、系統安定化、周波数制御などの電力系統制御用SMESの経済性成立も、国プロの第2フェーズ前半の検討で見通しが立ってきている。また、自然(再生可能)エネルギー発電や出力変更が難しい原子力などの電源が増えると見られる2010年以降の日本では、周波数制御、負荷シフトとより大容量のSMESのニーズが次第に増えていくものと見られる。水力系統を中心に安定度の問題を抱える北米太平洋岸やカナダなどの海外の系統では、自由化の進展とともに100MW級の送電容量向上

が大きな便益を生むようになってきており、このような系統へは意外に早くSMESが導入されるかも知れない。

新聞ヘッドライン

(9/14-10/18)

神戸超電導国際会議 国際超電導産
技センター 技術フェアも開催
25日から 9/18 日刊工業新聞
9/21 電気新聞
「電気を通す絶縁体」発見 東北大
9/19 読売新聞(夕)
超電導線 製造コスト10分の1 超
電導工研など 2007年実用化目標
9/20 日経産業新聞、電気新聞
国際超電導シンポジウム開幕 400件
の研究発表 9/26 日刊工業新聞
超電導研究テーマに技術セミナーを
開催 10/5 日刊工業新聞
ホウ素系超電導物質実用化へスクラ
ム 青学大・日立など産学官で
10/12 日刊工業新聞
出てこい元気 リニアで日本の交
通体系は一変 東海旅客鉄道会長須
田寛 10/12 日本経済新聞(夕)
人工太陽への挑戦 先行するトカマ
ク型 10/16 日経産業新聞
粒子線医療 病巣部だけ放射線で狙
い打ち 副作用少なく効果的
10/16 日本経済新聞
人工太陽への挑戦 研究進むヘリカ
ル型 10/17 日経産業新聞
人工太陽への挑戦 建設費安いレー
ザー型 10/18 日経産業新聞



SMESの規模と市場予測

【ビジネスの鼓動】

SMES 用超電導導体技術の現状 - 低温超電導体

堤 克哉^{*1}, 長屋重夫^{*2}
九州電力(株)総合研究所
電力貯蔵技術グループ長^{*1}
中部電力(株)電力技術研究所
電力グループ
超電導・新素材チームリーダー^{*2}

平成11年度から始まった第2フェーズの超電導電力貯蔵システム技術開発プロジェクトにおいては、系統安定化及び負荷変動補償・周波数調整用SMESシステムの実用化に向け、システムコストに占める割合が大きい超電導コイル及びその周辺装置を主体とした低コスト化のための要素技術開発を行っている。

SMES用超電導導体・コイルを設計する場合、系統安定化用はその運転特性から、交流損失の低減より、むしろ高出力であるため電流変化率が大きくコイルの高耐電圧化、高強度化が、また、負荷変動補償・周波数調整用は貯蔵容量が大きく、連続パルス運転であるためコイルのコンパクト化、交流損失の低減が要求される。

一方、導体・コイルの製造コストを低減させるためには、超電導材料や安定化材等の物量削減、構造の簡素化や製作性向上等による製作工数

の削減、廉価材の使用による材料費の削減等が必要であり、また、冷却動力を極力抑制し運転コストの低減を図ることも重要である。

プロジェクトでは、導体・コイルの要求性能を満足し、かつコストに係わる様々な要因の削減の可能性を考慮に入れ、コスト低減が期待できる4種類の方式を用途毎に設定し、詳細設計、コスト試算・分析を実施した。

また、詳細設計結果を基に導体の製造性と設計性能を検証するため、約1m長の短尺導体を試作し、臨界電流、安定性及び交流損失を評価した。現在までの成果としては、交流損失の低減において世界でもトップレベルにある安定化銅分離のNbTi強制冷却CIC導体の開発を始め、直径約1mmの超電導素線にアルミ安定化材を被覆し高い安定性を持つCIC導体の開発、またNb₃Sn素線を使用しエネルギーの高密度化を図りコイルを小型化し、それらを複数個並列に接続することにより大容量化する技術の有効性等を確認した。

導体の性能評価試験とシステムコストの試算結果等を基に選定したコスト低減に最適な導体方式を表に示す。選定した導体のコスト試算結果は、系統安定化用では3.3円/Am(5.66T)、負荷変動補償・周波数調整用では2.3円/Am(4.8T)程度で、第1フェーズのSMES要素技術開発において開発された導体の推定コスト14円/Am(5.6T)と比較すると約1/5に低減できた。

SMES 用超電導導体技術の現状 高温超電導体

(財)電力中央研究所 狛江研究所
電気物理部 部長 秋田 調

これまで、SMESの技術開発は金属系超電導体による低温超電導導体を用いて、進められてきた。これは、SMESでは、電気絶縁が困難とならない数~数十kVまでのコイル端子電圧で、エネルギーを出力するためには、kA級以上の大電流量導体が不可欠であるが、高温超電導線でこのような大電流導体を実現できたのはここ2~3年であるためである。

平成11年度からISTECにおいて開始された超電導電力貯蔵システム技術開発プロジェクトでは、低温超電導導体を用いたSMESのコスト低減のための研究開発に加え、高温超電導SMESの技術調査を行うこととなった。これは、高温超電導導体を用いることにより、高磁界化によるコイルの小型化、運転温度を上げることにより運転効率の向上が可能になるなど、更なるコスト低減の可能性が期待できるからである。

平成12年度までの調査では、既到大電流量導体を実現しているBi2212丸素線によるラザフォード導体に関しては、素線の引っ張り歪による臨界電流の低下特性、ラザフォード導体としての引っ張り応力に対する耐力、交流損失などに関して調査を行った。この結果、Bi2212ラザフォード導体は200MPa以上の機械的耐力を有するなどSMESに適用可能な機械的特性があることが明らかとなった。

さらに大電流量導体への適用が可能な、5種類のBi系高温超電導素線(Bi2212線材が3種類、Bi2223線材が2種類)に関しては、直径14cm級で自己磁界が0.5Tである、冷凍機伝導冷却による線材特性評価用の高温超電導コイルを試作し、それぞれの線材の特性を評価した。この結果、Bi2212線材は20Kでは十分伝導冷却運転が可能であり、Bi2223では50Kでも運転できる可能性があることが実証された。また、いずれの線材によるコイルも電磁力に対しては線材の機械的耐力までのフープ応力に耐えることが明らかとなり、高温超電導SMESへの適用可能性があることが示された。

平成13年度以降は、評価コイルとして高温超電導SMESの伝導冷却の可能性を検証する電流量3kA級の小型モデルコイルとBi2223線材の大電流化の可能性を検証する大電流導体モデルを試作し、調査を継続する予定である。

用途	系統安定化用	負荷変動補償・周波数調整用
導体方式	<p>表面酸化アルミ安定化 NbTi強制冷却CIC導体</p>	<p>安定化銅外部分離 NbTi強制冷却CIC導体</p>
定格電流	9.6kA	9.65kA
臨界電流値	28.9kA (at 5.66T, 4.5K)	>10.1kA (at 6.4T, 4.5K)
Al:Cu+CuNi:NbTi比	4.4:2:1	2.08:1.12:1
安定性マージン	380kJ/m ³	1,860kJ/m ³
交流損失	30,090mJ/m	151mJ/m

(注) 臨界電流値, 安定性マージン, 交流損失については短尺導体での実測結果

選定した超電導導体

【ビジネストレンド】

超電導速報 世界の動き (2001年9月)

電力応用

American Superconductor (2001年9月11日)

American Superconductor は、TVA から電力グリッド向け D-SMES を受注した。この D-SMES は 2001 年 11 月に TVA の電力グリッドに連結される。これは、2000 年 7 月以来、American-Superconductor が電力グリッド向けに販売した 10 台目の D-SMES である。他に、Wisconsin Public Service, Alliant Energy 及び Entergy が既に同社 D-SMES を電力グリッドに連結している。なお、American-Superconductor と General Electric Company は米国内の電力会社向け D-SMES 販売で提携関係にある。

(出典)

“American Superconductor and GE Receive D-SMES Order from TVA”
(American Superconductor Press Release; Sept. 11, 2001)
<http://www.amsuper.com/>

Intermagnetics General Corporation (2001年9月20日)

MRI 部門における超電導磁石の堅調な需要と機器部門の順調な販売もあり、Intermagnetics General Corporation は、2001 年 9 月 20 日、同年度第 1 四半期の純収入が対前年度比 50% 増加し、360 万ドルに達したと発表した。当期 (8 月 26 日に終了) の売上も記録を更新、対前年度比 (3,170 万ドル) 26% 増の 4,010 万ドルであった。また、同社は、当期において新製品開発及び長期的な成長を見込んだ設備投資も行っている。長期的成長を睨んだ同社に対する与信も 2,700 万ドルから 5,000 万ドルに増加した。

(出典)

“Intermagnetics Reports Q1 Net Income Up 50% To \$3.6 Million”
(Intermagnetics General Corporation Press Release; September 20, 2001)
<http://www.igc.com>

通信

ISCO International, Inc. (2001年9月17日)

ISCO International, Inc. (ISCO) は、特許侵害の件で Conductus, Inc. と Superconductor Technologies, Inc. に対し損害賠償及び弁護士費用の 3 倍額を要求すると発表した。同社社長 George Calhoun は、同社が持つ知的所有権について厳格にその権利行使する意向を明らかにした Conductus

及び STI の製品が ISCO 特許を侵害していることは明らかだとした上で、訴えを起こしたにも関わらず依然として特許侵害行為を継続しているのは意図的なものであり、ISCO としては法の許容する限り最大の賠償を求めていくと語った。裁判所は、陪審が被告の特許侵害が意図的なものであると認定した場合、損害賠償及び原告弁護士費用の 3 倍を認めることがある。

一方、ISCO は、問題の製品の使用を継続せざるをえない Conductus 及び STI の顧客に対しては、訴訟が起されたことが明らかになった時点で使用している該当製品に関するライセンスを供与する用意があることを明らかにしている。このライセンス費用は、Conductus 及び STI に転嫁されることとなるであろうとの含意。しかしながら、ISCO は訴訟提起が明らかとなった時点 (9 月 17 日) 以降も特許侵害製品の供給を受けている顧客及び Conductus 並びに STI に対しては、ライセンスを供与する意図はないことも明らかにしている。

(出典)

“ISCO Seeks Triple Damages from Conductus and Superconductor Technologies; Company Offers Licenses to Competitors' Customers for Pre-Existing Product”
(ISCO International, Inc. Press release; September, 17)
<http://www.iscointl.com/>

ISCO International, Inc. (2001年9月25日)

ISCO International は、同社製品の英国及びアイルランド共和国における独占的販売業者として、Patrick Farfan Associates, Ltd を指名した。Patrick Farfan Associates, Ltd は、英国、アイルランド、ヨーロッパにおける基地局サービスを含む無線通信関連の供給業者である。同社は、これまで英国及びアイルランドの通信事業者と協力しつつ ISCO 製品の性能実証に携わってきている。これまでの実証試験の成功を踏まえ、Patrick Farfan Associates, Ltd は、最低限 300 セットの Cryogenic Receiver Front-End (CRFE) システムの購入を決めている。

(出典)

“ISCO International Appoints Patrick Farfan Associates Ltd. As Exclusive Distributor for the UK and Ireland”
(ISCO International Press Release; Sept. 25, 2001)
<http://www.iscointl.com/>

Superconductor Technologies Inc. (2001年9月20日)

Superconductor Technologies Inc. は、新たな SuperPlex™ シリーズ製品を発表した。この製品により、複数の周波数レンジにおいて受信及び送信回路共用で信号の処理、フィルタリングが行える

ことになる。SuperPlex™ は、当初北米 PCS、セルラー市場に投入される。その後、アジア、ヨーロッパでも 2 G と共存する 3 G システム向けとして市場投入の予定。

(出典)

“Superconductor Technologies Announces New SuperPlex™ Product Family”
(Superconductor Technologies Press Release; Sept. 20, 2001)
<http://www.suptech.com>

Superconductor Technologies Inc. (2001年9月25日)

Superconductor Technologies Inc. は、9 月 25 日、ISCO の 215 特許が無効である旨の裁判所判断を求めるため、Conductus と共同歩調をとっていることを明らかにした。STI 及び Conductus は、おのおのの独自の調査に基づき、ISCO の訴えを否定、215 特許が無効であり特許侵害は存在しない旨の正式な判断を求めている。本件に関し STI 及び Conductus は共通の利害関係にあることから、他業者を圧迫し、また、何の利益もないと考えられる行為を退けるために協力することを決めたもの。

(出典)

“Superconductor Technologies and Conductus Join Forces To Invalidate ISCO Patent”
(Superconductor Technologies Inc. Press release; September 25, 2001)
<http://www.suptech.com>

Superconductor Technologies Inc. (2001年10月1日)

昨今の経済不振のため

Superconductor Technologies Inc. は、2001 年第 3 四半期 (9 月 29 日締) の売上 (監査前) 見込みを当初より低い 170 万ドルであると発表した。前年同期の売上は 160 万ドル。また、同社第 3 四半期のコマーシャル・ベースのネット収入 (監査前) は、前年並みの 120 万ドル。総合ネット収入 (監査前) は、前年同期の 240 万ドルに対し、今期 210 万ドル。STI は、2001 年第 3 四半期の確定収支を 10 月 24 日に発表予定。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Expects to Report Third Quarter 2001 Gross Commercial Revenues of \$1.7 Million”
(Superconductor Technologies Inc. Press Release October 1, 2001)
<http://www.suptech.com>

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

【科学・研究の先端 国内】

ISS2001 トピックス 1 : 物理、化学分野

「新超電導体」にテーマを絞ったミニシンポジウムでは、今年初頭に発見された MgB_2 を中心に、最近話題の新超電導体についての発表が行われた。 MgB_2 については、超電導ギャップが幾つあるかという問題を除けば、かなりの物性がわかってきたと言える。もちろん実用化を考えた場合に必要な材料開発は今後の課題である。一方、ベル研が絶縁体に100V以上の高い電場をかけ超電導化した C_{60} ($T_c=117K$) については、岩佐氏(東北大)によって興味深いレビューが行われた。化学置換で超電導化した場合との比較をいろいろな角度から行ったが、高電場をかけた時に何が起きているのか、何が超電導にとって本質なのか、については不明ということであった。またその場での質問に答えて、同グループが同じ方法で銅酸化物の絶縁体 $CaCuO_2$ においても正孔を注入し、 $T_c=80K$ が得られたらしいという情報が伝えられた。(後日この結果は Nature に掲載された。)

(SRL/ISTEC 第2研究部長 田島節子)

ISS2001 トピックス 2 : バルク分野

バルクセッションでは、応用とプロセスで大きな進展があった。まず、中国の西安交通大学の王所長らが、永久磁石レールを使ったバルク超電導浮上マグレブ開発の現状を紹介した。5人での走行高さが約2cmであり、現在、2kmのライン製造を計画中である。将来的には都市間交通として使いたいという意向を示した。江沢民国家主席も試乗しており、開発への支援を表明している。慶応大学の沢らは、樹脂含浸したバルク超電導体を対向させて機械的に押し付けるだけで超電導電流が流れることを示した。将来のPCS開発に期待が持てることを示している。



写真 ISS2001 口頭発表の一コマ

プロセスでは、まず、超電導工学研究所の成木らが、液体窒素温度でも3TKラスの強い捕捉磁場を有するバルク体が開発されたことを報告した。新日鉄の沢村らが複数の種を用いて大型のバルク超電導体を製造する技術を初披露した。超電導部を2層に分け、上部に融点の高いRE123相があり、この部分では多結晶となるが、下部のRE123相は方位のみ受け継いで、単一ドメインを形成するという技術である。将来の大型に有望な技術と考えられる。また、超電導工学研究所の飯田、吉岡らが、大型バルクの接合技術を紹介した。接合面の方位を(110)面に平行とすることで、接合部に通常生じる偏析を抑制できることを明らかにした。将来、大型バルク体の接合に重要な技術となる。

(SRL/ISTEC 第1・3研究部長 村上雅人)

ISS2001 トピックス 3 : 薄膜・接合、デバイス分野

薄膜・接合、デバイス分野のトピックスを簡単に紹介する。HTS SQUIDに関しては、グラジオメータとエレクトロニクスによるノイズキャンセル技術により、非シールド空間での心磁測定が可能になっている。新しい応用として、シリコンLSIチップにレーザービームを照射し、誘起される電流が作り出す磁場の乱れからpn接合部の欠陥を1mmの空間分解能で検出する技術(NEC)が注目された。マイクロ波応用では、米国のConductusおよびDuPont、国内のクライオデバイス社、東芝から移動体通信基地局用の超電導フィルタを用いたレーバシステムの開発の現状が報告された。高感度化による不通話領域の解消、隣接バンドとの干渉の抑制などの利点は十分実証されてきているが、基地局への大規模な導入には、コスト低減に加え、通信事情や情勢の変化などのきっかけが必要のようである。デジタル応用分野では、SUNY、TRWによるSFQプロセッサチップ(66,000個のNb系接合を含む)の設計・試作の結果が注目されたが、試験は9月以降とのことであった。国内でも、セルベース設計などの技術の進展により、2,400接合を含むSFQ回路(2x2スイッチ、NEC)が動くようになってきている。HTS SFQ回路に関しても、界面改質バリアを有するランプエッジ接合の特性均一性の向上により、AD変換器のフロントエンド回路の100GHz動作(日立)が実証された。また、集積化プロセスに適した薄膜材料として、Y-123以外のRE-123系材料を組み合わせた試み(東芝、SRL)が注目された。

(SRL/ISTEC 第6研究部長 田辺圭一)

ISS2001 トピックス 4 : 線材分野

線材分野では、従来からの研究テーマである、YBCO系線材、Bi系線材、Nb-Ti線材に加え、昨冬発見されたばかりの MgB_2 線材に関する研究発表が加わった。発表件数より全体の動向を見てみる。

YBCO系線材では、YBCO膜形成プロセス及びそれに関連する発表が多く22件、基板・中間層の製造法に関して8件の報告があったのに対し、 J_c ・ピンニングなどの特性に関しては、4件であった。YBCO膜形成法関連の中では、含フッ素前駆体を用いた金属有機物堆積法が9件、液相工ピタキシャル法が8件、電子線蒸着法が4件、パルスレーザー蒸着法が1件の報告があった。YBCO膜形成法の確立に向けて、研究の重点が置かれていることが分かる。

Bi系線材では、作製法・製造法に関して13件の発表があったのに対して、ac lossなどの特性に関して10件、応用に関して6件の発表があった。研究が線材作製段階から、製造・応用に向けて着実に変化していることが窺えた。

MgB_2 に関する8件の発表は、発見からまだ日が浅いにも関わらず、線材化と特性評価に関する研究であった。従来の金属系超電導体、Bi系超電導体で開発された手法が、研究の進展に寄与していると考えられる。従来の金属系超電導体に置き換わり得るかどうかの評価も比較的早く下されると期待される。

(SRL/ISTEC 第5研究部 山田容士)

特許情報

平成13年度第2四半期の公開特許
平成13年7月~9月間に公開されたISTEC出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁のホームページ内にある特許電子図書館等の特許データベースをご利用下さい。

- 1)特開2001-223400「ジंकフィルタ」:デジタルフィルタ回路の1種で、単一磁束量子(SFQ)パルス列を高速で計数する回路方式。
- 2)特開2001-251177「ダイナミック型単一磁束量子論理回路」:SFQ回路におけるバイアス電流の漏洩による隣接接合への干渉を防止し、自動リセット機能を持つ回路方式。
- 3)特開2001-251178「単一磁束量子論理回路」:不要な磁束をトラップしやすいSFQ回路のリセット機能で排除できる回路方式。
- 4)特開2001-251179「単一磁束量子論理回路」:SFQ回路におけるバイアス電流の漏洩による隣接接合への干渉を防止する回路方式。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

金属テープ上のTFA-MOD超電導膜で世界最高特性を実現

超電導工学研究所と(株)フジクラ及び中部電力(株)は、2001年9月19日に低コスト化が可能なY系酸化物超電導材料の線材化技術の開発に成功した事を明らかにした。

現在は、Y系超電導線(テープ形状)を作製するには、真空中で、パルスレーザー法と呼ばれる方法にて作製することが主流となっている。今回の発表は、非真空中で、塗布法による、TFA-MOD法と呼ばれる方法で超電導線を作製するものである。この方法は、電流密度を高くすることはできるが、膜を厚くすることが困難であるため、線材に流し得る電流値を大きくすることができなかつた。今までは米国での71Aが最高であったが、今回、電流密度を下げることなく、膜塗布を数回繰り返すことにより、膜を厚くし、150A以上という大きな電流値を得ることに成功した。非真空中での作製であることから、製造コストを従来の10分の1に低コスト化することが可能となり、Y系超電導線材の開発に弾みをつける大きな成果である。

この度、日本の独自技術である(株)フジクラが開発したIBAD法で作製した中間層金属テープ上に、さらなる次のような具体的な技術的工夫を行って上述のTFA-MOD法により電流密度を下げることなく、超電導厚膜の作製に成功した。

(1) 薄膜コーティングと仮焼を繰り返すマルチコート法による均一で緻密な前駆体作製に成功した。

(2) 上記前駆体を用いて、超電導相生成のための本焼条件の適正化を行った。具体的には、低水蒸気分圧条件での焼成で厚膜での高品質結晶膜育成を実現した。

(3) 上記技術開発をIBAD法による金属基板を用いた高配向中間層上に適用し、高臨界電流特性を実現した。

今回の技術開発により高臨界電流密度特性を維持した厚膜結晶を金属基板上で実現したことは、日米で開発競争が続いているY系超電導線材プロセスにおいて大きく前進したことになる。

本技術開発は、日本で平成11年から実施中の「超電導応用基盤技術開発」プロジェクトにおいて気相法(PLD法)とともに技術的一翼を担うものである。今回の成果は、酸化物超電導線材の実用化に不可欠な実用コスト目標である\$30-50/kAmへのアプローチの一歩として位置づけられる。もう一つの技術課題である長尺化の技術開発を更に進め、ケーブルやマグネット等の応用開発への寄与が望まれる。

なお、本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託により実施したもので、9月25日(火)から9月27日(木)、神戸国際会議場で開催されたISS2001に於いても発表されたものである。

(編集局 田中靖三)

【科学・研究の先端 国外】

EUCAS2001のトピックス1

マグネット応用を中心に以下報告する。

(1) 欧州ではドイツがもっとも超電導に注力しており、中でもジューメンスが超電導電力機器開発に注力している。

(2) 超電導送電ケーブルの開発は日米欧共に注力し始めた。デンマークでも電力各社が共同して開発に取り組んでいる。

(3) 低温超電導は高I_c材料-物理研究用として、粒子加速器用の大型マグネットの開発・製作が活発で、欧州共同体(CERN)のLHCと呼ばれる加速器に約5000億円の費用が投入されている模様。

(4) 話題のMgB₂は各国での線材化開発が盛んであるが、その位置づけは数テスラの間接磁場領域用としての意識が強い。

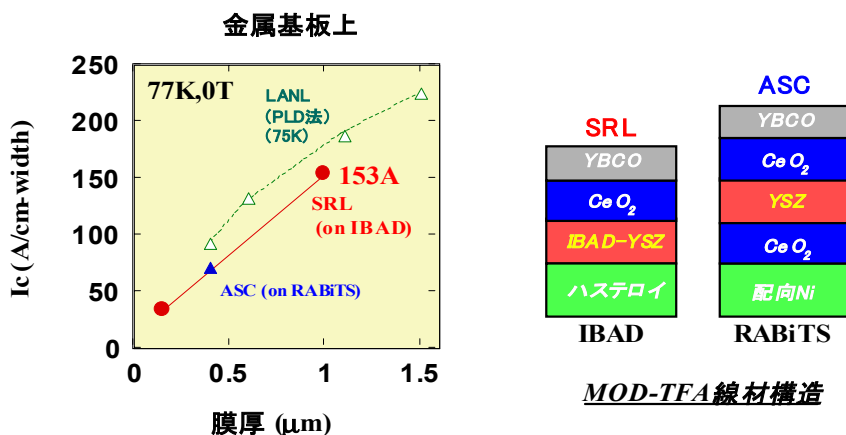
(5) 冷凍機に関しては、Air Liquid社からCoaxial Pulse Tube 冷凍機の概念が新たに出された。

(6) 欧州で、READYプロジェクトなるものが立ち上がった。予算規模等は不明であるがEUが費用を出す。READYとはRefrigerated Efficient AC conductor by Deposition of YBCOの略で、YBCOを用いたデモ用の電力機器開発を目的として、9つの機関が共同して4年間の予定で進めるものである。YBCOの開発も行う。

(7) 次世代線材に関しては、米国では中間層作製には日本と同様IBADが主流となりつつあり、特に注目されるのは、中間層の材料に導電性のよいものを開発しているということである

(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上 徹)

膜厚に対するI_c依存性



臨界電流I_cの膜厚依存性における従来報告との比較



EUCAS2001 のトピックス 2

今回のEUCAS2001のエレクトロニクス分野のアブストラクト投稿は274件と全体の約1/3を占めており、他の分野と同様、ドイツに次いで日本の寄与が大きかった。欧州の研究は、SQUID応用は別として、全体的に基礎寄りのものが多く、例えば接合技術に関しても、-SQUIDを用いた低バイアス電流単一磁束量子(SFQ)ゲートの提案やサブマイクロランプ接合の作製、環状接合を用いたq-bitの提案などが注目された。一方、ランプエッジ接合やBi系イントリンシック接合(いずれも欧州が研究の発祥地である)の特性均一性の向上など作製技術に関しては、国家プロジェクトのサポートを受けた日本の進展が際だっていた。ただし、デジタルデバイス分野では、SFQデバイスの開発をねらいとしたFLUXONICSという欧州の大学や国研のネットワークが形成され、Nb(LTS)、NbN(MTS)、YBCO(HTS)の各材料を用いたデバイスのファンダリ(それぞれ独のJena、仏のGrenoble、オランダのTwente大に設置)が試作を開始しており、今後の研究の進展が注目される。
(SRL/ISTEC 第6研究部長 田辺圭一)

MT 17

(17th International Conference on Magnet Technology) 報告

早稲田大学
理工学部 電気電子情報工学科
教授 石山敦士

9月24日から28日までスイスGenevaでMT-17が開催された。参加者数は約600名。国別では、スイスが約170名(内、HostのCERNから145名)日本が約120名、米国、ドイツが各約50名であった。米中枢同時多発テロの影響によるキャンセルは予想したより少なかった。

HostがCERNであったため加速器(LHC)関連の発表が約4分の1を占めた。また核融合や高磁界マグネットに関する報告が多く、必然的にLTS応用が大勢を占めた。

核融合では、ITER - CSおよびTFコイルの試験結果、W7-Xの開発状況の報告があった。また韓国の核融合装置(KSTAR)に関する報告も多かった。

NMR用高磁界マグネットでは、NIMS(日本)における920MHz(21.6T)をは

じめ、1GHz用マグネットへ向けた開発が行われている。

HTS関連の発表は限流器、変圧器、SMESなどの電力応用を中心に約100件あったが、線材開発およびその特性評価などの発表件数は限られたものであった。その中で、米国ASCから、Bi-2223線材について、 $0.21 \times 4.1\text{mm}^2$ の線材で $I_c=100 \sim 150\text{A}$ ($1 \mu\text{V}/\text{cm}$ 基準、 $\Phi 77\text{K}$)、短尺試料の最高値として170Aが得られていること、長尺試料による特性(均一性)の評価が応用上重要であるという観点から、370mの試料を用いてend-to-endでI-E特性を $\sim 10^{-10}\text{V}/\text{cm}$ の範囲で評価したこと、2004年に10000km/年の生産を可能とする計画などの報告があった。次回(MT-18)は岩手で開催される。

【隔月連載記事】

高温超電導 SQUID (その4 最終回)

- 高温超電導 SQUID の実用化

住友電工ハイテックス株式会社
開発事業部 技師長 糸崎秀夫

高温超電導体が発見されてからすでに15年が経過した。発見当時に期待された応用機器がどこまで実現しているのだろうか。高温超電導SQUIDについてはどうであろうか。もう一歩でイエスと言う状況になっている。どんな新材料でも、実用的に用いられて、はじめて一人前である。そこで、今回は、液体窒素温度で動作する高温超電導SQUIDの実用化を目指した最新の開発状況をご紹介します。

非破壊検査：

金属の亀裂などの非破壊検査にSQUIDを利用しようとする検討がドイツで進んでいる。検査対象物に電磁波を照射し対象物に誘導電流を流すと、傷などによる誘導電流分布の乱れが生じ、電流による磁場を非破壊で計測することで、傷を検知することが可能となる。ドイツでは航空機の検査や橋梁検査などで有効性が実証されている。非破壊検査は、航空機などのより高い信頼性確保の観点から期待されている。また、原子炉など大型プラントの老朽化診断への適用も期待されている分野である。

医療診断装置：

SQUIDは金属系超電導SQUIDの時代から生体磁気計測への応用研究が行われ、300chの大規模脳磁診断装置が、一部実用化しているが、運転に必要な液体ヘリウムの費用が高いことなどから、必ずしも広く普及するには至っていない。一方高温超電導SQUIDにおいては、心臓磁場計測の研究が進められている。我々は、胸部の32箇所同時に微小磁場計測を行い、胸部直上の磁場分布をリアルタイムに計測する装置を試作した。最近では、磁気シールドを用いずに心臓磁場の計測をする試みが進んでいる。大阪大学では、高温超電導SQUIDを複数もちいて、環境磁気ノイズを電氣的にキャンセルし、磁気シールドレス心臓磁場計測システムを開発した。(写真1) この心磁計の実用化により、心臓疾患の非侵襲検査が進展することが期待できる。



写真1 磁気シールドなしで心臓磁場診断が可能な高温超電導SQUIDを用いた心磁計 (提供：大阪大学)

半導体回路検査装置：

IC回路配線の断線やショートなどの不良解析として、SQUID顕微鏡とレーザー顕微鏡を組み合わせたレーザーSQUID顕微鏡が注目されている。1ミクロン程度にしぼったレーザースポットをIC上で走査し、発生する光電流による磁界をSQUIDで計測する方法である。位置分解能がレーザー光により決定されるため、1ミクロン程度の高い位置分解能が得られる。すでにIC配線検査への試みが半導体メーカーで始まり、従来難しかったウェハ段階での検査、非配線、非接触でも電気的な検査が可能なることから、実用化が期待されている。(写真2)また、Si単結晶の成長時に発生する欠陥や不純物濃度の微小な揺らぎを、レーザーSQUID顕微鏡で鮮明に分析した結果がドイツより報告されており、半導体ウェハ製造ラインへの適用が期待されている。

地質調査機器：

地中に誘起した電流の減衰を磁氣的に計測することで、地質電気伝導度の分布を求めることができる。従来は、誘導コイルによる計測を行っていたが、低周波感度が低く深部探査に問題があった。そこでドイツ、オーストラリア、日本で、SQUIDを利用する地質調査機器の開発が進んでいる。屋外、地磁気下での測定など、課題も多いが、SQUIDの優位性はフィールドテストですでに実証され、野外使用可能な可搬式機器開発が進んでいる。(写真3)この装置開発により、地下資源探査の精度向上や、地震や火山地帯の地質調査など災害対策への応用も期待されている。



写真3 地質調査用高温超電導 SQUID (提供：金属鉱業事業団)

金属混入物検査：

SQUIDが超高感度な磁気センサであることから、各種材料へ混入した微小な金属粉検出が可能となる。磁性体では、磁化して検出感度を上げる方法を取り、非磁性体でも誘導電流を誘起することで、磁気を発生させることが可能である。工業原料への金属粉混入は、製品の品質の低下をまねくことから、原料検査は重要である。我々は、銅線に混入した微小な鉄微粉を高速で検査できることを実証した。(写真4)この方法は、工業原料、医薬品などへの混入物検査に応用が可能である。また、安全性が要求される食品や衣料品への金属物混入検査への展開も大いに期待されている。



写真4 銅線中铁微粉混入検査装置 (提供：住友電気工業)

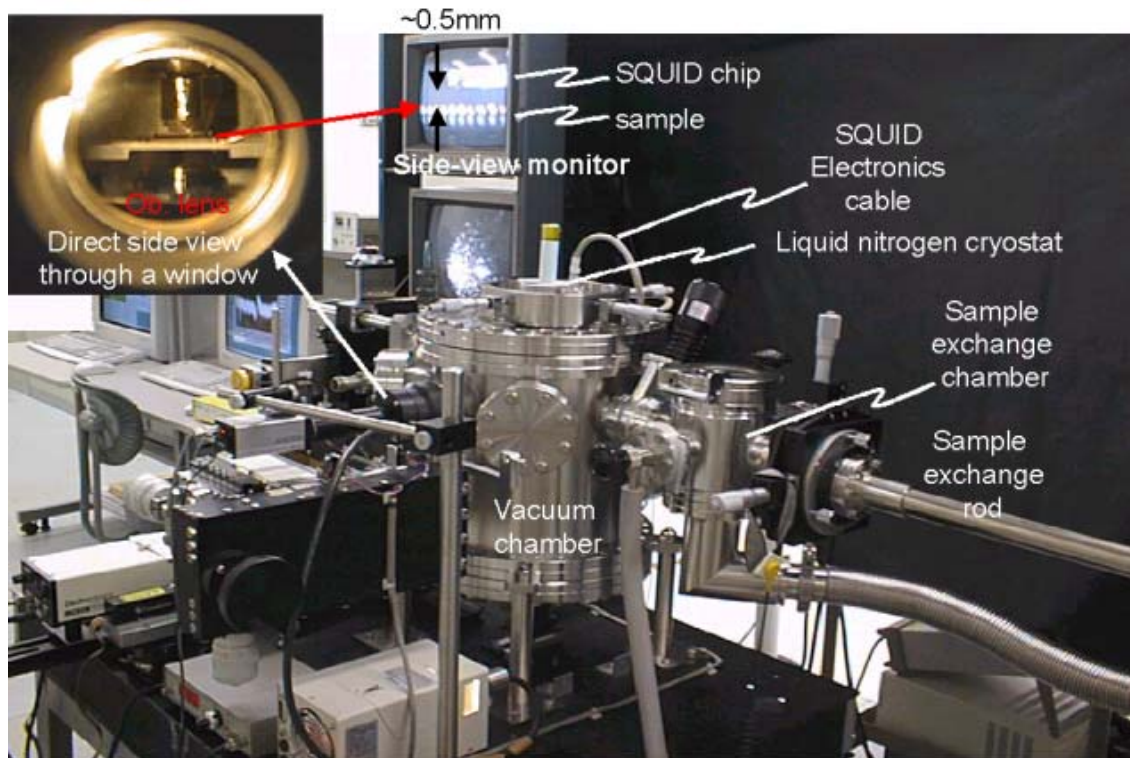


写真2 LSI 検査用レーザー SQUID 顕微鏡 (提供：NEC エレクトロニクス)

(8頁からの続き)

以上のように最近検討が活発化している高温超電導SQUIDの応用機器について列挙した。開発には、SQUID センサメーカー、検査機器メーカー、検査機器ユーザーの連携した開発体制や、大学、国研の支援による実用化の加速が必要であり、関係各位のご協力を期待する。

最後に

隔月4回にわたって「高温超電導SQUID」の記事を掲載させて頂いた。高温超電導の応用研究進捗の一端がご理解頂ければ幸いです。本記事掲載の機会を与えて頂いたISTECおよび超電導Web21編集局の皆様に深く感謝します。

SQUID 情報は

URL:<http://www.shs.co.jp/squid> を参照ください。

【これまでの連載記事の内容】

高温超電導 SQUID

その1 (5月号掲載)

SQUIDの性能とその応用の可能性について

その2 (7月号掲載)

SQUIDの基本構造、基本動作と磁気センサとして利用するために必要な電子回路の解説

その3 (9月号掲載)

- 高温超電導 SQUID キットの開発

その4 (本号掲載、完結)

- 高温超電導 SQUID の実用化

読者の広場

Q&A

Q: MgB₂ は超電導線になるのでしょうか、またどんなところに使えるのでしょうか? (匿名)

A: 新しい超電導線材として有望と思います。酸化物高温超電導体で成功したPowder-in-tube法がMgB₂についても有効であることが分かり、既に長い線材が試作されています。4.2K、ゼロ磁界での臨界電流密度J_cは10⁶A/cm²の実用レベルに達しています。問題は磁界中のJ_cですが、これも急速に改善されていて10Tの磁界中で10³A/cm²を越えるところまでできました。Nb-Ti実用線材の特性に追いつくのは時間の問題でしょう。

当面は4.2KでNb-Ti線材との競合になりますが、J_c以外にどのようなメリットが期待できるでしょう。まず考えられるのは材料価格が安く作製プロセスも簡単なので、線材自身のコストダウンが期待できます。また軽量化が可能なので、航空機、列車等の重量がシビアな応用では優位性を発揮できるかも知れません。また臨界温度が高いことは、例えば永久電流スイッチ用コイルに有望かも知れません。ただし今後は機械的特性、交流損失、安定性等の実用性能を確認していく必要があります。また、高温(20K付近)での磁界特性を改善出来れば可能性はもっと広がるでしょう。

(回答者: 物質・材料研究機構
材料基盤研究センター長
戸叶 一正)

超電導Web21 バックナンバー

Click :

<http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>

日本語 2001/4月号
日本語 2001/5月号
日本語 2001/6月号
日本語 2001/7月号
日本語 2001/8月号
日本語 2001/9月号
日本語 2001/10月号

Click :

<http://www.istec.or.jp/Web21/index-E.html>

英語版 Summer号
英語版 Extra-September-2001

よくある質問

Click :

<http://www.istec.or.jp/Web21/sub2.html>

第15回国際超電導シンポジウム ISS2002 (15th International Symposium on Superconductivity) の開催案内

日時: 2002年11月11日(月)
~ 13日(水)
場所: パシフィコ横浜(横浜市)



SQUIDの応用分野

「読者の広場」のコーナーへのご意見ご質問等、編集局ではみなさんの投稿をお待ちしております。



e-mail to:
web21@istec.or.jp

超電導Web21 11月号

2001年11月発行

< 発行者 >

(財)国際超電導産業技術研究会内
超電導Web21編集局
〒105-0004
港区新橋5-34-3 栄進開発ビル6F
Tel 03-3431-4002
Fax 03-3431-4044
<http://www.istec.or.jp/>



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。