

掲載内容 (サマリー):

トピックス

電力系統制御用 SMES (超電導電力貯蔵システム) の実証試験開始

特集: 超電導技術動向報告会 2007

超電導技術動向報告会 2007 より

「21世紀の難問に答えて: - 超電導技術の果たす役割 - 」

超電導基盤技術の進展

低消費電力型超電導ネットワークデバイスプロジェクトの成果報告

高温超電導 SQUID を用いた高感度免疫検査装置の開発

日本における YBCO 超電導変圧器・モーター及び冷凍機の開発動向

高温超電導線・システム技術へのチャレンジ

各国の超電導回転機の研究開発状況と動向

超電導関連 7-8 月内外催し物

新聞ヘッドライン (5/19-6/18)

超電導速報 - 世界の動き (2007 年 4 月、5 月)

標準化活動 - IEC-APC、伊藤喜久男氏らに IEC-APC 議長賞を授与

低温工学特別討論会「低温・超電導機器の事業化と産業への発展」(5/16) 報告

高温超電導体の謎に迫る (その 4)

読者の広場(Q&A)

- 高温超電導 SQUID と低温超電導 SQUID ではどのような違い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。

<http://ringring.keirin.go.jp>



トピックス：電力系統制御用 SMES（超電導電力貯蔵システム）の実証試験開始

中部電力株式会社 電力技術研究所
超電導グループ 主任
玉田 勉

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）および中部電力（株）は、電力系統制御用 SMES の実証試験の実施に向けた準備が整ったことから、6月15日に栃木県日光市の超電導試験センターにおいて開所式典を挙行了。

本実証試験は、経済産業省資源エネルギー庁の電力技術プログラムの一環として、NEDOの委託事業を中部電力の他、九州電力（株）と（財）国際超電導産業技術研究センターが共同で受託し実施しているもので、平成16年度から4ヶ年の開発プロジェクトにおいて今年度が最終年度となる。

この電力系統制御用 SMES は、超電導コイルを用いて、電気の貯蔵と放出を高速・効率良く繰り返し行うことができる特長を持っており、電力ネットワークの動揺を抑えることによって、電力品質の向上を行うことができる。

今回、出力1万kWの電力系統制御用 SMES を実際に製作し、工場における機器毎の性能検証試験のみでなく、その効果を実際のネットワークに接続し、2万回以上の繰り返しの負荷変動補償および系統安定化試験により総合的な性能検証を行う。なお、実証試験は変動負荷源である金属圧延工場への供給線路であり、発電設備も有する場所が最適と判断し、古河電気工業（株）殿の協力を得て、古河日光発電（株）細尾発電所（栃木県日光市細尾町）構内に日光超電導試験センターを建設して、以下の内容を約半年間実施するものである。

検証内容

- 1) 電力の繰り返し充・放電による耐久性・安定性
- 2) 電力ネットワークの電圧・周波数変動に対する制御応答性、動作特性
- 3) システムの信頼性

この技術により、将来の電力ネットワークにおいて電力品質向上などの効果が期待される。

表1 電力系統制御用 SMES 主要諸元

| 項目 | 諸元 |
|---------------|-----------|
| 変換器設備容量 | 1万kW |
| 超電導コイル蓄積エネルギー | 19MJ |
| 超電導コイル導体種別 | 金属系(NbTi) |
| 運転温度 | 4.2K |
| 運転電流 | 1,350A |
| 運転電圧 | 1.1kV |
| 最大磁界 | 4.4T |

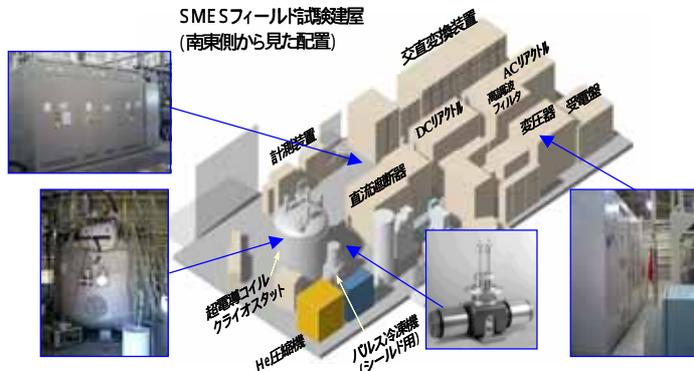


図1 SMES 試験設備鳥瞰図



図2 開所式典状況

特集：超電導技術動向報告会 2007 「超電導技術動向報告会 2007 より」

ISTEC は 5 月 28 日（月）東京・都市センターホテルで超電導技術動向報告会「省エネ・省資源社会に向けて」を開催した。産・学・官、報道、一般の方々を含め 200 名を超える参加者があり、産業化を目指す超電導技術開発の成果と課題、動向が報告され、熱心な討議が行われた。

安永 裕幸・経済産業省産業技術環境局研究開発課長、福田 秀樹・新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)新エネルギー技術開発部長の祝辞があり、超電導技術は環境問題解決の重要なキーテクノロジーと考えており、実用化への期待も大きい。高温超電導発見から 20 年を経過し、サイエンスまで立ち返えることで実用化へ向けた一段のブレークスルーを期待しているとの激励を頂いた。

田中 昭二・超電導工学研究所長は「21 世紀の難問に因えて：超電導技術の果たす役割」と題した基調講演の中で、超電導技術は省エネ・省資源のみでなく、環境や医療などへの新たな領域への実用化を通して、地球温暖化や産業構造の変化等の多くの難問解決のために多大な貢献ができるとの考えを示した。さらに主要な研究成果や実用化状況を紹介して、2010～2020 年の将来像に向けて着実に研究成果が結びつきつつあるとの見方を示した。

中尾 公一・SRL 材料物性研究部部長代理は、「長尺線材の磁場中特性評価法」と題して、長尺線材に対する磁場中での特性評価法開発と特性分布把握の重要性を紹介し、線材開発へのフィードバックによる開発スピードアップへ貢献していることを報告した。

平林 泉・SRL バルク研究開発室長は、「大型バルク材料開発の進展と各種機器への展開」と題して、宇宙実験の成果で得られた大型高性能バルクの材料開発の進展と最近の技術開発動向、および各種機器への応用展開について報告した。

新日本製鐵・森田 充氏は、「バルクプロセス 新たな通電応用」と題して、バルク超電導体をサンドブラスター法で渦巻き形状に加工するコイル製造の技術開発につき報告した。高温超電導バルクの高磁界により、装置の小型化が実現でき多方面への応用が期待されることを紹介した。

田辺 圭一・SRL デバイス研究開発部長は、「低消費電力型超電導ネットワークデバイス開発プロジェクトの成果報告」と題して、NEDO プロジェクトで実施してきた低温超電導 SFQ デバイス開発の成果、また高温超電導 SFQ デバイス開発の成果、及び今後の展開について報告した。

日立製作所・塚本 晃氏は、「高温超電導 SQUID を用いた高感度磁氣的免疫検査装置の開発」と題して、極微量バイオ物質の高速・高感度計測を目的とした磁気マーカと高温超電導 SQUID 磁気センサーを用いた免疫検査装置について紹介した。

塩原 融・SRL 副所長/線材研究開発部長は、「超電導機器開発に向けた Y 系線材開発：進捗と今後」と題して、応用基盤プロジェクトで実施している高性能長尺線材及び低コスト長尺線材開発の最新の進捗状況と、機器応用の先導研究開発への取組み状況などについて報告した。

九州大学准教授・岩熊 成卓氏は、「日本における YBCO 超電導変圧器・モーターおよび冷凍機の開発動向」と題して、これまで実施した Bi 系線材での変圧器・モーター開発の技術を基に、Y 系線材の磁場中での臨界電流大、低交流損失化、低コストの可能性を活かしたより実用化へ向けた変圧器・モーターの要素技術開発と冷凍機開発の進捗状況などを紹介した。

住友電工・佐藤 謙一氏は、「切り拓けるか?持続可能な社会：高温超電導線・システム技術へのチャレンジ」と題して、Bi 系高温超電導線による各種機器への応用例の紹介と今後の展開について紹介した。

中部電力・長屋 重夫氏は、「SMES 開発の現状と今後」と題して、NEDO SMES プロジェクト第期の開発内容と、得られた成果を基に、SMES システム技術の経済性と性能の両立を検証するための実系統連系試験の進捗状況と今後について報告した。

まとめ講演として、塚本 修巳・横浜国立大学名誉教授は、”各国の超電導応用機器の研究開発状況と動向”と題した基調講演で、回転機を中心にアメリカ・ヨーロッパで精力的に実施されている超電導機器の開発状況を紹介し、やや出遅れていた日本でも、風力発電機の超電導化を巻き返しのチャンスとして積極的に進めるべきとの提言をされた。

超電導各分野での研究開発における着実な成果を基に、実用化へ向けた新たな一歩を踏み出すべく、産学官挙げてのさらなる協力の意義と重要性を再認識できた報告会となった。

(ISTEC 調査・企画部長 佐伯正治)



所長の講演風景



会場風景

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2007

「21世紀の難問に答えて： - 超電導技術の果たす役割 - 」

超電導工学研究所
所長 田中 昭二

はじめに

21世紀に入って世界の経済情勢は一変しつつある。BRIC's と呼ばれる人口大国をはじめ、多くの新興諸国が一斉によりよき生活を求めて高度成長を続けつつあり、その結果として、エネルギーや鉱物資源が不足して価格の高騰を招き、著しい環境汚染や、水不足という事態になりつつある。更に、国連 PPC は CO₂ による地球温暖化は人類の所業であると断定し、2030年までに適切な手当てをしなければ、2050年には地球上で悲惨な状況が出現すると警告している。

このように難問山積の状況を克服するには、新しい技術革新を断行して、新しい局面を展開する必要がある、超電導技術が重要な役割を果たすものと期待出来よう。

以下では、1.エネルギー関連、2.環境関連、3.健康・安全の3分野について最近の開発状況を列記することにする。

1. エネルギー関連分野

ここでは、次世代超電導線材、輸送関連、超電導デバイスについて最近の状況を報告する。

1-1) 次世代線材の開発

この開発プロジェクトは今年で終了するが、中間目標の 200 m、200 A/cm(77K, 0T)はすでに到達し、現在最終目標の 500 m、300 A/cm(77K, 0T)を達成する為に努力中である。また GdBCO を用いた線材が良好な磁場特性を示すことが証明された。

1-2) 輸送関連機器の開発

Bi系線材を用いた磁気浮上列車用磁石は既に完成し、2005年に時速 550 km/h の最高速度で異常なく動作していることが証明された。

また、Bi系線材を用いた船舶用の推進モーターも試作に成功している。

1-3) インターネット用通信機器の開発

最近インターネットの発展は著しく、総通信量は年率約 2 倍の増加を示し、従って、多数のノードに設置されるルータやサーバの容量も急増し、それらの機器の消費電力も無視出来なくなることは明らかである。

CMOS に代わるデバイスとしては、現在低温ではあるが、Nb 系の単一磁束量子 (SFQ) 素子があるが、これは速度で CMOS の 100 倍、消費電力で 1/100 という高性能を示し、かつ安定な素子である。

ちなみに、現在最も新しいルータは Cisco 社の CRS-1 で 1 Tbps の能力を持つが、これで 100 Tbps のルータを構成すると、重量 60 t、消費電力 1.3 MW と膨大なものになる。これを SFQ 素子で置き換えれば、重量で 0.6 t、消費電力は 35 kW と推定されている。従って、近い将来、SFQ 素子を装備したノードが出現する可能性がある。

2. 環境関連機器の開発

最近大阪の製紙工場に設置された超電導線材を用いた磁気分離装置は順調に稼働し、2000 t/day の

能力を発揮している。

またバルクを応用した磁気分離装置も開発され、海底油田やオイルサンド油田での活用が検討されている。

3. 健康、衛生関連機器の開発

地球の温暖化に伴って、南方から、マラリヤのような悪性の感染症が北上する可能性があり、特に「鳥インフルエンザ」は重要である。それを防ぐには、高速でかつ精密な「免疫診断機器」の開発が急務である。

3-1) 高性能高温スクイド素子を用いた免疫診断システム

免疫診断は、抗原に適当な抗体を付着させて測定するが、この場合、磁性微粉末を抗体に付着させて、スクイドによって微弱な磁場を測定する。九州大学と日立で開発した診断システムは 12 検体を 100 秒で判定できる。

3-2) 超電導バルクを用いた簡易型 NMR 測定システム

直径 6 cm、厚さ 6 cm 以上の大型バルクの中心に測定孔をあけると、中心部では非常に均一な磁場を得ることが出来る。これを用いて、小型で移動可能な NMR 測定システムが試作されている。これが完成すれば、地方の小病院でも、人体からの代謝物を容易に判定できると期待される。

まとめ

前にも述べたように、21 世紀の難問は地球的規模であり、また、関連分野も多方面に及んでいる。従って、超電導技術を真の「産業技術」として、一刻も早く完成させることが望ましいと言えよう。

(注) 本講演内容に係る記事は、同報告会の予稿集をそのまま転載したものである。

特集：超電導技術動向報告会 2007 「超電導基盤技術の進展」

本報告では、「長尺線材の磁場中特性評価」(超電導工学研究所 以下 SRL、中尾)、「大型バルク材料開発の進展と各種機器への展開」(SRL 平林)及び「バルクプロセス 新たな通電応用」(新日鐵 森田)の3件について報告する。

Y系線材は、既に幅1cmのテープ状線材で200m超、臨界電流値(以下 I_c)も200A超が製造できるようになっている。超電導線材は磁場中で機能しなければならないし、また製造プロセスを完成させるために全長検査による特性分布の情報も不可欠である。磁場中の超電導特性の中でも特に I_c を全長に渡って連続的に測定する技術の確立が最重要となる。報告者はこの測定方法の開発途中経過について紹介した。現在開発されている測定装置としては、米国のロスアラモス国立研究所のNd₂Fe₁₄B永久磁石(発生磁場強度0.53T)を用い、線材を連続的に移動させ、4端子法により I_c を測定している例はあるが、実用上必要とする印加磁場よりも相当低い磁場強度であることが難点である。今一つは、SRL(名古屋)が開発した5Tまで印加できる装置で、被測定長尺線材を連続的に移動できるリールを具備したもので、この装置で有用なデータは得られているものの、印加磁場が測定部以外の場所にも影響するため、不都合が生じることがある。そこで、報告者はホール素子を用いた方法や、誘導法を用いた方法で磁場中での I_c 測定法を開発中で、中でも誘導法を用いた測定方法が有望ではないかと期待している。これはテープ状線材の表面に垂直に磁場を印加し、ドライブコイルとピックアップコイルを用いて非接触で測定するものである。(詳しくは K.Nakao *et al.*:Physica C426-431(2005),1127 参照)

「大型バルク材料開発の進展と各種機器への展開」では、宇宙での酸化物高温超電導バルク体の製造実験(USERS 宇宙実験)の成果を受けて、既に地上で直径約14cm級のバルク体を作製できるようになった。

機器への展開では、モータ、風力発電機、NMR、高輝度X線発生装置(アンジュレータ)等への適用検討結果について紹介があった。直径14cmのバルク体の総磁束は直径6cmのバルク体に比べて約4倍で、これをモータに適用するとトルクが約2倍になるので大型化することに意味がある。また、風力発電機への超電導の適用検討をNEDOのFSで行った結果が紹介された。検討対象は洋上10MW、界磁超電導化検討、従来技術との比較等である。発電効率、体格、重量、コスト等に関しては10MW級の大容量化の際に優位であるという検討結果を紹介した。バルク磁石を用いた高分解能NMRの応用可能性についても報告があった。発想は非常に面白いが、厚みのあるバルクの製造が結構難しそうである。

新日鐵(株)森田氏からは、バルク応用を、浮上応用、バルクマグネット、通電応用に分類し、今回は主に通電応用について興味ある報告がなされた。新日鐵(株)では、以前よりバルクを渦巻状に加工してマグネットとしての利用を検討していた。今回、直径85mm、145mmのバルクを組成勾配法という手法にて磁場特性の均一性を得、これを渦巻状に加工してスプリット型マグネットを製作・試験した。加工はサンドブラストという方法を用いて、厚さ1mmのバルクを線幅2.1mm、線間隔0.5mmで渦巻状に加工したとのことであった。通電試験は、定常電流通電と高速励消磁通電を行い、温度52Kで2.15T(720A)、高速励消磁では4.2T/s(@54K)を達成している。ヒートサイクル試験においても劣化はなかったとしている。新しい応用が見つかりそうである。大変素晴らしい報告であった。

(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上徹)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2007

「低消費電力型超電導ネットワークデバイスプロジェクトの成果報告」

超電導に特有の磁束量子を情報担体とする超電導単一磁束量子 (Single flux quantum: SFQ) デバイスは、シリコン CMOS に代表される半導体デバイスに比べ約 2 桁高速でかつ電力消費が 3 桁以上小さいという特長から、半導体の限界を超える次世代の論理デバイスの一候補として期待されている。今年の 3 月で終了したこの NEDO プロジェクトでは、ISTEC-SRL を中心とした産学連携開発体制のもとで、ネットワークルータやサーバなどの大規模情報通信機器を将来の製品ターゲットとするニオブ系低温超電導 SFQ デバイスと、基地局通信機器用のアナログ-デジタル変換器 (AD コンバータ) や超高速計測機器などの小規模分散配置機器をターゲットとする酸化物系高温超電導 SFQ デバイスに対し、回路規模拡大に必要なプロセス技術や設計技術の開発とともに、小規模システムのプロトタイプが開発された。

ニオブ系デバイスに対しては、データ経路の切り替えを行う 4 入力 4 出力のスイッチと、データの衝突防止制御を行うスケジューラ回路を集積化した SFQ チップを冷凍機冷却したラックサイズの SFQ スイッチプロトタイプシステムが開発され、接続された 4 台の PC 間で動画像を転送・表示するデモに成功した。また、今後の光通信技術の主流となる 40 Gbps の高速光信号を 4 チャンネルの 10 Gbps 電気信号に変換し、SFQ スイッチプロトタイプシステム内のスイッチで経路切り替えを行った後、室温空間に取り出し 40 Gbps の光信号に変換するというデモも行われた。これらのデモは、SFQ 技術が誰でも使うことができ、光通信やデータ転送などリアルワールドの仕事ができることを示すと共に、その半導体を超える潜在能力を実証したという大きな意義をもち、システム専門家からも高い評価を得ている。

酸化物系デバイスに対しては、高温超電導サンプラーチップをスターリングクーラーを含む重量 4 kg 以下の冷却系に実装した、デスクトップ型の高速度波形計測システムプロトタイプが開発され、市販の半導体サンプリングオシロスコープを超える 100 GHz 以上の広帯域性能が実現できる見通しが示された。また、超電導/半導体ハイブリッド型 AD コンバータプロトタイプが開発され、超電導 AD コンバータとしては世界最高の性能が実証されると共に、半導体 AD コンバータの性能を大きく超える道筋が示された。現状では超電導回路部分にはニオブ系回路が用いられているが、酸化物回路で置き換えることをねらいとした主要要素回路の動作実証も行われた。

このように、SFQ 技術を利用した情報通信機器、計測機器の半導体製品・システムを凌駕する性能やポテンシャルが実証されることにより、その実用化に向け大きく前進した。

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部長 田辺圭一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2007

「高温超電導 SQUID を用いた高感度免疫検査装置の開発」

株式会社日立製作所 基礎研究所
健康・計測システムラボ 主任研究員
塚本 晃

医療診断，医薬開発等の分野では高感度かつ迅速に目的のバイオ物質を検出するニーズが大きい。我々は九州大学等と連携し、磁気微粒子で標識された検査試薬（磁気マーカ）を用い SQUID で信号を検出する、新しい方式の免疫検査システムの開発を進めている。

1) この磁氣的検出法では、抗原（被測定物質）に磁気マーカを反応させ、続いて

外部磁場を印加し磁気マーカを一方向に磁化した後、磁気マーカから発生する磁気信号を SQUID で検出する（図 1）。SQUID により微弱な磁気信号を測定できるため、微量な生体物質の測定が可能になる。また、従来の光学的方式では未結合マーカからも信号が発生するため、未結合マーカの洗浄処理（BF 分離）が必要であったが、磁氣的方式の場合、未結合マーカの磁気モーメントがブラウン運動によりランダムに配向し、互いの信号を相殺するため BF 分離が不要である。さらに、磁気信号は生体物質を透過できるため、溶血した検体や糞便試料など光学的方式では測定が困難な不透明な試料でも計測可能である。これらの特長により、迅速、高感度な免疫検査が可能になると期待されている。

我々は磁気信号による免疫検査技術を確認するため、高温超電導 SQUID を使用した検出システム、²⁾ 磁気マーカ、及び非磁性反応容器の開発を行い、1pg 以下の極微量タンパク質（IgE：免疫グロブリン E（アレルギーに関連したタンパク質））の検出を行った。図 2 に示すように、現在、2.4pg（約 10 アトモル）の IgE まで検出が可能であり、さらに洗浄処理を行った場合、0.3pg の IgE まで検出できている。³⁾ 光学的方法に比べ 10～100 倍高感度なことを示している。また、夾雑物が多く含まれるヒト血清中の IgE を測定し、血清中でも測定できることも確認できている。³⁾

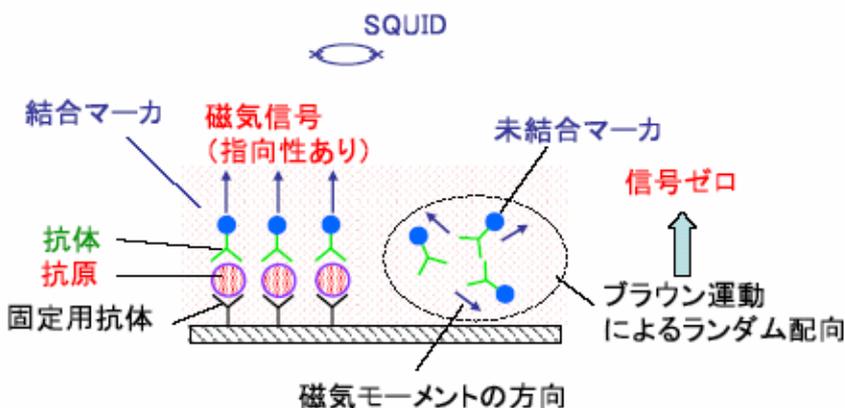


図 1 磁氣的免疫検査の原理

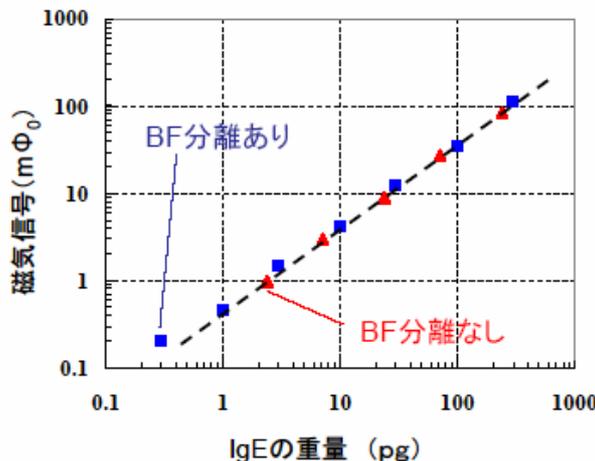


図 2 IgE の測定結果（磁気信号の IgE 重量依存性）

今後は実用化に向けて、さらなる高感度化、迅速化を図るとともに、医療機器として信頼性の向上、臨床有効性の実証に取り組んでいく必要がある。なお、本研究の一部は経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業により研究委託を受けて実施した。

参考文献

- 1) K.Enpuku *et al*, IEICE Trans. on Electronics, E88C,158-167(2005).
- 2) A.Tsukamoto *et al*, IEEE Trans. Appl. Supercond., 15,660-663(2005).
- 3) 隈 博幸 他、臨床化学 36 巻 1 号 6-12 頁(2007)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2007

「日本における YBCO 超電導変圧器・モーターおよび冷凍機の開発動向」

九州大学

超伝導システム科学研究センター 准教授

岩熊 成卓

超電導応用基盤技術研究開発（第 期）において行なわれている変圧器、モーターおよび冷凍機の要素技術開発について、設定されている目標と開発の現状を簡略に紹介する。

1) 変圧器

変圧器については、開発目標を配変用 66/6.9kV-20MVA 器と設定し、これを実現するための要素技術開発が行われている。実器の製作は次フェーズに計画されている。主要開発項目は、(1)低交流損失化技術、(2)大電流容量化技術、(3)耐電圧技術である。

YBCO テープ線材の低交流損失化は、従来の超電導線材が多芯線形状であり、交流損失の定量的表式および低交流損失化の指針が明確になっているのとは対照的に、これまでなら具体的手法が論じられてこなかった。応用基盤プロジェクトでは、低交流損失化が電力機器実現のためのキーテクノロジーであるとの認識の基に、薄膜テープ線材の低交流損失化の新規手法を提唱し、これを検証しつつある。まず、幅数十ミクロンのレーザ光を線材長さ方向に連続照射し、YBCO 超電導層とこの上の銀保護層を等幅のフィラメントに分割する。YBCO 層の下の中間層である CeO_2 および GdZrO 層は絶縁体であるから、ハステロイ基板の上にフィラメントが張り付いていても各フィラメントは電気的に分離、絶縁されている。通常、これだけでは自己磁界効果により電流は均等に流れず、また電極でフィラメント同士は短絡されるためコイル形状では遮蔽電流が誘起され、低交流損失化は実現できない。しかし、応用基盤プロジェクトでは、このレーザ光によりスクライビング処理した薄膜テープ線材をある特殊な巻き方をすることにより、フィラメント間のインダクタンスのバランスをとることができ、通電電流の均流化、低交流損失化が実現できるとしている。すでに、10mm 幅線材を 3 フィラメント構造に加工した 34m 長線材を用いて 16 層のコイルを製作し、フィラメントに加工しない線材を用いて製作した同寸法のコイルと比較して、交流運転時の交流損失が 1/3 に低減されていることを検証し、臨界電流 100A までの通電で各フィラメントの電流が均等であることも確認している。さらに、5mm 幅線材を 5 フィラメント構造に加工した 74m 長線材を用いて、同様にコイル形状で交流損失が無加工線材と比較して 1/5 に低減されることも検証している。この低交流損失化技術は、変圧器のみならず SMES を含むすべての電力機器の低交流損失化に適用可能である。

大電流容量化については、今年度、1kA 級の導体の試作と通電試験が計画されている。導体構造は転位並列導体であり、複数本のテープ線材を用いて巻線工程において導体化し、転位も施す予定である。

高電圧化については、JEC2000 で定められた規定(雷インパルス電圧 350kV、交流過電圧 140kV)を満たすべく、これに耐えうるコンパクトな絶縁構造を模索するため、ターン間モデルコイル、相间モデルコイルを製作し、耐電圧試験が行われている。

2) モーター

モーターの超電導化は、現状の鉄と銅で構成され、鉄の飽和磁束 1.7T で発生パワー密度が制限さ

れる常電導モーターを、超電導巻線の高磁界・低損失・軽量という特長を活かし、小型・軽量・高効率化しようとするものである。

すでに応用基盤プロジェクトでは、昨年度までに、超電導固定界磁、常電導回転電機子方式ではあるが、360rpm-15kWのモーターを試作し、三菱重工業(株)長崎造船所の試験用水槽において、直径50cmのプロペラと組み合わせ、水中推進試験を実施、設計通りの性能を確認している。現在、これに引き続き、超電導回転界磁、常電導固定電機子方式の7.5kWのモーターの設計を終え、その製作に取りかかっている段階である。

3) 冷凍機

YBCO超電導線材を用いた超電導ケーブル・変圧器、SMES等が開発、導入された暁には、機器本体の横に小型・軽量・高効率・低メンテナンスコストの冷凍システムが付随しなければならない。要求される冷却能力は、ケーブル、変圧器用として64-77Kで数kWから10kW、SMES用として20Kで1kW前後である。この冷却容量を確保するには、現状ですでに市販されているスターリン、GM方式等の冷凍機の適用を仮定すると複数台を並列運転する必要があり、小型・軽量・高効率の冷却システムを実現することは困難と考えられ、またメンテナンス時間間隔も要求されるレベルには到達していない。そこで、応用基盤プロジェクトでは、必要な冷却能力を単機で実現し(実際の運用は複数台)かつメンテナンス時間間隔も3万時間を有する冷凍機の開発に着手している。方式としては、ヘリウム冷凍機で長期信頼性、製作実績のあるタービン膨張方式(逆ブレイトンサイクル)を採用し、このタービンの小型化を目指す方向で開発が進められている。今年度末の開発目標は、2kW@80Kの冷凍機であり、この7月にはタービンの回転試験が行われる予定である。しかし、今回のシステムではコンプレッサーは市販のレシプロ式のものであり、今後、タービン式コンプレッサーの開発も念頭に置かれている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2007 「高温超電導線・システム技術へのチャレンジ」

住友電気工業株式会社
研究開発本部 支配人
佐藤 謙一

高温超電導線は、資源豊富で安価な液体窒素で冷却されると、抵抗ゼロで銅の210倍の電流を流すことができ、省エネルギーでありながら革新的性能を持っている。電力ケーブルに適用すれば、送電ロス低減、建設コスト削減、系統拡充のほか長距離直流ケーブルで電力のグローバルネットワーク、さらにユニバーサルネットワークにつながる。リニア・船舶用モータに適用することにより、高効率輸送のグローバルネットワークの確立、また1GHz以上の高分解能NMRに必要な超高磁場マグネットの実現に寄与し、ライフサイエンス研究の高度化に寄与する重要な技術である。

その鍵は、賦与の性能を引き出し実現する材料技術とそれを使いこなすシステム技術であり、これらを両輪として持続可能な社会構築に貢献してゆきたい。

Bi-2223超電導線を例にとると、材料としてのチャレンジは、数nmの結晶をkmの長さに渡り制御し、“nm(10^{-9} m)”の構造を“km(10^3 m)”で実現(10^{12} のギャップ)していることに尽きている。このポイントは、セラミックスであるBi系超電導の部分を密度100%に持ち上げた技術開発の成果である。現状は、4mm幅で210Aの臨界電流達成と1,800m長尺化の進展がある。

システム技術のチャレンジは、(1)三次元での問題-熱機械的問題(0.3%の収縮)、(2)銅は発熱することで種々の制約があるが、高温超電導は抵抗ゼロおよび“冷やす”ことのメリット(温度が一定、液体窒素はふんだんに使われている)、(3)移動機器への適用(小型、軽量化が必須)、(4)銅・アルミでは技術が飽和：長尺体への適用(電力ケーブル)、(5)高磁場の実現(不可能を可能に)、がある。

移動機器用HTSモータやマグネットは、今後の高効率輸送機器に必須の技術と期待があり、環境対応のためには、将来の候補技術のすべてに必要となると考えられる。

ケーブルは、Albanyでの350m長・三心一括型ケーブルの9ヶ月(7,000時間)の安定運転の実績が確認され、今後は交流応用に並行して直流ケーブルが脚光を浴びると考えられる。特に、太陽電池などの自然エネルギーとHTS直流ケーブルの組み合わせは、低電圧・大電流の高効率電力輸送技術として、“不可能を可能に”する技術である。

8.1T/200mmポアの高磁場マグネットの実現は、実使用可能なマグネットとして、磁気分離など、今後の環境対応技術として持続可能な社会作りに貢献できるものと期待される。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2007 「各国の超電導回転機の研究開発状況と動向」

横浜国立大学 名誉教授
上智大学 客員教授
塚本 修巳

超電導を応用することにより鉄心を使用せずに低い損失で高い磁束密度を得ることできるため、超電導回転機は従来機に比較して、大幅な軽量、コンパクト化、高効率化が可能になる。特に高トルクになるほど軽量、コンパクト化の効果は大きく、船舶推進用の低回転大トルクモータ、さらに風力発電機への応用が期待されている。一方、鉄心を持たないことで回転子の軽量化が可能で、耐遠心力性が高く、高速回転機もメリットがあり、ガスタービンによる直接駆動の発電機も実現可能となる。また、空心であること空隙が大きくなることにより、磁界分布の空間高調波成分が少なくなる。このため、運転騒音が非常に小さく、さらに、発電機の場合、出力電圧に高調波が少なく、電動機の場合はトルク脈動が少なく、トルクの制御性も優れている。以上のようなメリットに着目して、米国および欧州(主としてドイツ)で船用、電力用さらに産業用超電導回転機の研究開発が進められている。



| | |
|--------------|--|
| Rating | 8 MVAR (prototype) 12 MVAR (production) |
| Voltage | 13.8 kV line to line |
| Ambient Temp | -30° to +40°C |
| Losses | 1.2% rating at 8MVA |
| | Including 30kW 480V auxiliary power |

図1 HTS同期回転機を用いた同期コンデンサ (AMSC社)

アメリカのベンチャー企業のAMSC社が超電導回転機の開発に精力的で、Bi系銀シース線材を用い、すでに36.5MW/120rpmの船舶推進用のモータを開発しており、また、12MVAの超電導同期回転機を用いた同期コンデンサを製作し(図1)電力システムに導入して系統電圧の安定化を図っている。ドイツシーメンス社はやはりBi系銀シース線材を用い、船舶用の4MW/3600rpmの発電機を開発を行い現在性能の試験を行っている(図2)。また、イギリスの電力機器メーカーのConverteam社やドイツの線材ベンチャーTrithor社などのジョイントで1.7MW/214rpmの水力発電機が開発が始まった。本機は超電導回転子、銅コイル電機子共に鉄心付で、重量、大きさはほとんど従来機と変わらないが、効率を従来機の92%から98.5%に大きく向上させることが目的である。この発電機は2009年からドイツ国内の小規模水力発電所で試験を開始する予定である。

| | |
|-------------|----------|
| Data | |
| Output: | 4 MVA |
| Voltage: | 6,6 kV |
| Speed: | 3600 rpm |
| Frame size: | 500 mm |
| Efficiency: | 98,7 % |
| HTS wire: | 6 km |



図2 4MVA船用発電機(シーメンス社)

風力発電機の超電導化に関して欧州で関心が高まっている。風力発電はスケールメリットが有り、大容量化開発が欧州で精

力的に行われている。現在 5MW 級のものが開発されており、さらに大容量化が望まれている。しかし、大容量化に伴い風車の径が大きくなり、それに伴い騒音の問題から回転速度を遅くする必要があって、このため、発電機はますます大トルク低回転型となる。従来技術では 5MW を大きく超える容量のものは実現が困難であると考えられており、これに対して、高温超電導を導入することにより、容量限界をブレイクスルーすることが期待されている。実際、上述の Convertteam 社が 2011 年からの製造を目指し 8MW/12rpm の直接駆動方式超電導機を開発を始めており、すでに設計を終了し、超電導化に伴う課題は解決したとのことである。超電導化により、永久磁石型で最適設計された発電機の重量・大きさが半分になり、従来機器に比較し 10-20% 発電コストの低減が可能であるとしている。

わが国においても風力発電機の超電導化に関して、NEDO により FS 委員会が構成され、超電導化によるメリットの検討が行われた。その結果、図 3 に示すように大幅な発電機重量の低減が可能であることが示された。わが国の超電導技術は世界をリードしており、風力発電機の超電導化に関しても、日本が主導的な役割を果たすことが期待される。

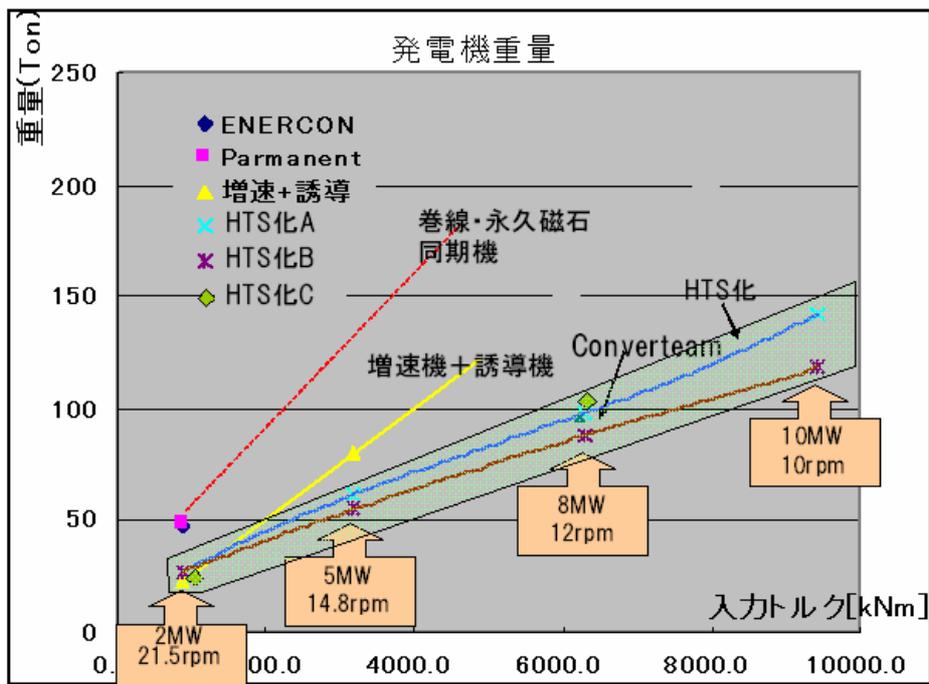


図 3 超電導風力発電機の重量比較 (従来機: 増速機重量を含む、超電導機: HTS 化 A, B: 渦巻きバルク巻線型、HTS 化 C: 線材巻線型)

超電導関連 7月-8月の催し物案内

7/11-13

22nd Space Cryogenics Workshop

場所：Huntsville, Alabama USA

主催：Cryogenics Society of America, and National Aeronautics and Space Administration

問合せ：csa@cryogenicsociety.org

7/16-20

CEC-ICMC 2007: 2007 Cryogenic Engineering Conference and International Cryogenic Materials Conference

場所：Chattanooga, Tennessee, USA

問合せ：<http://www.cec-icmc.org/>

7/26

「医療分野における超電導応用展開と超電導材料技術」

場所：上智大学 四谷キャンパス

主催：低温工学協会 材料研究会

オルガナイザー：高尾智明（上智大学） 田中靖三（ISTEC）

問合せ：上智大学 理工学部 電子電気工学科 高尾智明

Tel:03-3238-3327、Fax:03-3238-3321、E-mail:takao@eco.ee.sophia.ac.jp

7/31-8/1

「超伝導材料・デバイスの最近の動向」

場所：八戸工業高等専門学校 管理棟 2F（中会議室）

主催：低温工学協会 材料研究会 / 東北・北海道支部合同研究会

協賛：日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第146委員会「マイクロ波～光」分科会

オルガナイザー：中村嘉孝（八戸高専） 淡路 智（東北大） 大嶋重利（山形大）

問合せ：八戸工業高等専門学校電気情報工学科 中村嘉孝

Tel/Fax:0178-27-7285、E-mail:naka-e@hachinohe-ct.ac.jp

8/9-10

第6回高温超伝導バルク材「夏の学校」in 岩手

場所：ぬくもりの里 NUC、岩手県雫石町

問合せ：岩手大学工学部材料物性工学科 藤代博之

Tel/Fax: 019-621-6363、e-mail: fijishiro@iwate-u.ac.jp

8/21-24

5th Annual Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors-MEM'07

場所：Princeton, NJ, USA

主催：NEDO and ASC

問合せ：Meeting coordinator: Kate Liu, e-mail: meeting @kateliu.net

8/21-26

The 22nd IIR International Congress of Refrigeration

場所：Beijing, P.R. China

問合せ：<http://www.icr2007.org/>

8/27-31

MT-20: 20th International Conference on Magnet Technology

場所 : Philadelphia, Pennsylvania, USA

問合せ : <http://www.mt-conference.org/>

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (5/19-6/18)

- 中国 核融合へ一歩 実験装置を公開 5/20 読売新聞
- リニア試乗「関係者」限定 一般向け打ち切り、地元反発 JR、議員後援会などには継続 5/22 朝日新聞
- 系統セミナー 船通過時の送電停止が端緒 「連鎖的拡大」で欧州第停電に 5/22 電気新聞
- 水素エネルギーの可能性 持続型社会の実現へ 安価で効率よく大量に 風力エネルギーの利用 5/22 フジサンケイビジネスアイ
- 核磁気共鳴装置を活用 たんぱく質同士の結合 観察 サントリー研 5/24 日経産業新聞
- 新たなビッグプロジェクトが始動 リニア中央新幹線 中部空港第2滑走路 5/25 フジサンケイビジネスアイ
- 核融合研 六ヶ所村(青森)に研究拠点 核融合燃料 シミュレーション技術確立 5/25 日刊工業新聞
- 核融合の未来を考える 東大・立花ゼミ 27日にシンポジウム開催 2/25 日刊工業新聞
- 中国 リニア計画一時中断 上海-杭州 住民が健康を心配 5/27 日本経済新聞
- 超電導のネプツニウム 東北大など化合物 $NpPd_5Al_2$ 発見 5/28 日刊工業新聞
- 磁力でかわいらしい動き 玩具「ハコロボ」 5/28 日経産業新聞
- 認知症、手術で治る場合も 特定症状に注目 5/29 日本経済新聞(夕)
- Np化合物で超電導 東北大、阪大、原子力機構 定説覆す発見に 5/29 電気新聞
- ISTEC 省エネ、省資源に焦点 最新の技術9件を報告 5/29 電気新聞
- 系統セミナー 基幹送電線はループ状連系 電流が上限超えると次々遮断 5/29 電気新聞
- 新エネ技術開発支援 VBや大学など対象 NEDOが新事業 6/1 日刊工業新聞
- NY地下に超電導送電網 コン・エジソン AMSC社 投資額約47億円 大停電やテロに備え 6/1 電気新聞
- 三菱重工 リニア実験線 新設 広島、海外向け車両開発 6/2 日本経済新聞
- 未発見の粒子捕らえる羽根 1周27キロメートルの地下トンネル 光並みの速さで陽子を衝突させる 6/4 読売新聞(夕)
- カスケード防ぎ安定度 系統内で「位相のずれ」抑える 6/5 電気新聞
- 次世代LSI CNT配線実現に一歩 セリート「弾道伝導」を確認 6/5 日刊工業新聞
- クライオポンプ 省エネ型で参入 住友重機、メンテを効率化 6/5 日経産業新聞
- NEDO 超電導を用いたLANシステム動作実験成功 消費電力は1/1000 半導体の100倍の速度 6/6 半導体産業新聞
- 電気抵抗 磁力で階段状に変化 京大など新物質 磁気ヘッドに応用も 6/8 日経産業新聞
- 超電導線材に銅複合 物材機構など メッキ技術開発 6/9 日刊工業新聞
- セメント C12A7 が金属になる うっかり焼いたら、電氣流れた 東工大細野秀雄教授 6/11 読売新聞(夕)
- 系統セミナー 計画的送電停止から事故に 3つに分断された欧州系統 6/12 電気新聞

希少金属 備蓄積み増し 需要増で急騰 品種拡大も検討 経産省が総合対策 6/12 日本経済新聞

銅メッキ短時間で厚く 超電導線材 物材機構が新技術 6/12 日経産業新聞

セメント原料 超伝導に成功 東工大教授ら 6/13 朝日新聞(夕)

SMES 実系統に連系 性能評価試験を開始 中部電力が開所式典 6/18 電気新聞、日経産業新聞、日刊工業新聞

平成 19 年 6 月 26 日、(財)国際超電導産業技術研究センターの天沼周次郎常務理事が退任し、7 月 1 日付で後任に田島克己氏が就任した。



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報 世界の動き (2007年4月、5月)

電力

Zenergy Power plc (2007年4月2日)

Zenergy Power plcの完全子会社である SC Power Systems (San Mateo, California)は、カリフォルニア州電力委員会(CEC)と同州内の電力グリッドで限流器を設置し試験を行うことを目的とした50万ドルの契約を締結した。この限流器は、カリフォルニア州最大の電量会社である Southern California Edison (SCE)が所有している電力グリッドに設置される。カリフォルニア州電力委員会と Southern California Edison は両者で試験を監督することになるが、将来米国内に設置される全ての限流器に対して適用すべき性能基準となる標準ガイドラインの作成も視野にいれている。限流器は Australian Superconductors 社の設計を取り入れ、Zenergy Power 子会社の Trithor 社が製造したコイルを内蔵している。この限流器は Zenergy Power が以前開発したプロトタイプのスケールアップ版である。製造、設置及び試験は2007年末までには終了の予定。限流器の世界市場は年間50億ドル程度と見積もられている。

出典:

“California Energy Commission grant for the installation of innovative grid stability device”

Zenergy Power plc press release (April 2, 2007)

<http://zenergypower.com/pdf/press-en/2007-04-02-California-Energy.pdf>

American Superconductor Corporation (2007年4月10日)

Dongfang Steam Turbine Works Corporation (DTC)は、American Superconductor Corporation (AMSC)完全子会社の Windtec™社と 2.5-MW 風力発電システムのポートフォリオ作成を目的とした契約に調印した。Windtec 社は一号プロトタイプ機の製作、据付の間プロジェクト管理も行う。これはエネルギー関連開発として中国の会社と結んだAMSC社の3番目の数百万ドル規模の契約である。Dongfang Steam Turbine Works Corporation は、中国風力発電機メーカーとしてはトップ4に入る企業である。Dongfang Steam Turbine Works Corporation 副本部長兼首席技師 Wang Wei Min は次のように述べた。「我が社は、中国風力発電市場に確固たる地位を築いてきた。今後、より高出力なシステムの生産を通じ市場シェアを上げていきたいと考えている。Windtec 社のような先進企業と協力することにより、速やかかつ効率的に大型システムの生産を始めることができる。」Dongfang Steam Turbine Works Corporation は、2009年末までに2.5-MW 風力発電機の生産を行いたいとしている。

出典:

“AMSC Receives Order from Dongfang Steam Turbine Works to Develop and Deploy 2.5 Megawatt Wind Energy Systems”

American Superconductor Corporation press release (April 10, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=983070&highlight

American Superconductor Corporation (2007年4月17日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、世界の風力発電市場向けパワエレソリューションが継続して成長していると報告した。VRB Power Systems, Inc. (Vancouver, Canada)は、AMSC社の PowerModule™電力変換装置を独自の風力電力貯蔵システムに組み込むことを計画している。この新たなシステムは、需要が小さい時には過剰電力を貯蔵し、需要が発電能力を上回る

時には電力を放出することにより電力を平準化する機能を持つ。このようにして、このシステムは風力発電の供給信頼性を向上させ、発電所の余剰発電能力のためのコスト削減を図ることが期待される。

AMSC 社は、また、6-megaVAR D-VAR®無効電力補償システムの新規受注を報告した。このシステムは Scottish Hydro Contracting 社所有のスコットランドのミレニアム風力発電所と地域電力グリッドを接続するために使用される。ミレニアム風力発電所は、AMSC 社の D-VAR システムを使う世界で 26 番目の風力発電所となる。AMSC 社は 2007 年後半にシステムを出荷の予定。

出典:

“AMSC Receives PowerModule™ Order for VRB Power Systems Wind Energy Storage Device”

American Superconductor Corporation press release (April 17, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=985762&highlight

American Superconductor Corporation (2007 年 4 月 19 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、Doosan Heavy Industries & Construction Co., Ltd. (Doosan, South Korea)及び Korean Electrotechnology Research Institute (KERI)が、同社の HTS 線材を用いて、民生、軍用両用の小型、高効率超電導モーターの開発、デモンストレーションに成功したと発表した。このモーターには、約 5000 m の HTS 線材が使われており、3,600 rpm で 1,300 馬力の出力がある。このシステムは、従来の同型モーターに比べ非常に小型、軽量、静音、高効率である。AMSC 社の創立者で最高責任者の Greg Yurek は次のように述べた。「HTS 回転装置は今や（開発フェーズから）製造フェーズに入り、我が社の超電導線材及びコイル事業に大きなビジネス機会を提供してくれるようになった。」Doosan 社は 2010 ~ 2011 年頃に軍用、民生用のモーター生産開始を計画している。AMSC 社は 1,000 馬力以上の工業用モーター市場は年間 10 億ドルであると見ている。

出典:

“AMSC Wire Instrumental in Successful South Korean Superconductor Motor”

American Superconductor Corporation press release (April 19, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=987314&highlight

American Superconductor Corporation (2007 年 4 月 24 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、風力発電所とグリッドとの接続基準を満たす D-VAR®無効電力補償システムの発注を受けた。この風力発電所は現在カナダ、トロントの Ventus Energy Inc.によって建設が進められており、2008 年秋に稼動を始める時には 55 基の発電機、総発電規模 99 MW の発電所となる。これは、全世界で AMSC 社の D-VAR システムが組み込まれる 27 番目の風力発電所となる。

出典:

“AMSC Announces D-VAR® Order for New Wind Farm on Prince Edward Island, Canada”

American Superconductor Corporation press release (April 24, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=989255&highlight

Zenergy Power plc (2007 年 4 月 26 日)

Zenergy Power plc (グループ) は、機関投資家向けに通常株 4,285,746 株の新規発行を行うと発表した。1 株当たり 140 ペンスで総額 600 万ポンド分の募集を予定している。集めた資金は、現在進めている HTS 材料研究開発の加速等の運転資本として使われる。特に、この資金は高効率、軽量、小型のオフショア風力発電所向けの各種風力発電機開発のため Convertteam SAS 社と協力して

行っている仕事に使われる。この新規発行はロンドン証券取引所が承認することが条件となっている。

出典:

“Institutional Placing to raise £ 6,000,000”

Zenergy Power plc press release (April 26, 2007)

<http://zenergypower.com/pdf/press-en/2007-04-26-Placing-April.pdf>

American Superconductor Corporation (2007年5月1日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、以前に発表した Power Quality Systems, Inc. の買収手続きを完了した。買収総額は約 400 万ドル。PQS 社の 2006 年売り上げの 1.3 倍に相当する。PQS 社は、同社特許のサイリスタスイッチ技術をベースとした Static VAR Compensators (SVCs)を生産している。この製品は、送配電グリッドの電力信頼性を向上させ、生産工程での電力品質を改善するためのもの。AMSC 社の創立者で最高責任者の Greg Yurek は次のように述べた。「この買収で我々が得た実地検証済みのサイリスタスイッチ技術は、我が社の無効電力補償製品の性能改善と電力グリッド事業者や世界の産業界向けの売り上げ向上のための技術開発コスト何百万ドルと時間を節約してくれる。」AMSC 社は 2008 年 3 月 31 日に終了する年度末までに PQS 社のこの製品の売り上げを約 67%増の 500 万ドルにしたいとしている。

出典:

“AMSC Completes Acquisition of Power Quality Systems, Inc.”

American Superconductor Corporation press release (May 1, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=993352&highlight

SuperPower (2007年5月2日)

SuperPower 社は、同社の次世代線材 10km を使って住友電工大阪工場で製造された 30m 次世代ケーブルがすでに出荷され、ニューヨーク州オルバニーに向かっていると発表した。このケーブルはオルバニーケーブルプロジェクトに使われるもの。このケーブルは北オルバニーサービスセンターに今年後半設置される予定であり、電力グリッドにおける初めての次世代ケーブルとなる。

出典:

“Shipment of Completed 30-Meter HTS Cable For Installation Into The Albany HTS Cable Project Announced”

SuperPower press release (May 2, 2007)

http://www.superpower-inc.com/News%20_%20Events.aspx?NewsID=106

American Superconductor Corporation and Nexans (2007年5月8日、9日)

American Superconductor Corporation (AMSC)と Nexans は、次世代線材から製造された世界初の電力ケーブルの試験に成功したと発表した。30m の送電ケーブルは Nexans が AMSC 社の次世代線材を使って製造したもので、Nexans 社のドイツ、ハノーバー高電圧施設で試験が行われた。ケーブルは 138 kV で 435 MVA を送電し、試験は成功した。この電力は 25 万世帯以上に供給するのに十分な電力。ケーブルの定格は、同じ電圧において従来ケーブルに比べ 50%以上高い。

出典:

“AMSC and Nexans Announce Successful Testing of World’s First Power Transmission Cable Made With 2G HTS Wire”

American Superconductor Corporation press release (May 8, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=996931&highlight

Nexans press release (May 9, 2007)

<http://www.nexans.com/eservice/navigation/NavigationPublication.nx?navigationId=142482&publicationId=-9574&CZ=Corporate&language=en>

American Superconductor Corporation (2007年5月16日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、オーストラリアの鉱山及び風力発電会社で使用される D-VAR®電圧制御システム 2 件の新規発注を受けた。1 台の D-VAR は、銅・金鉱山で操業により生じる電力変動を抑制するために使われる。この D-VAR は 2007 年後半に出荷予定であり、産業用途電圧制御向けとしては AMSC 社の 4 番目の受注である。AMSC 社創業者で最高責任者 Greg Yurek は次のように語った。「生産性向上のための産業分野における我々の D-VAR 採用は当該分野での市場における成長の第 1 段階である。今後 12 ヶ月またはその先での当該産業への販売は、これまで風力発電、電力事業で達成してきた収入増加をさらに加速するものと期待している。」

2 番目の D-VAR の発注は Suzlon Energy Australia Pty. Ltd からのもので、88.2-MW 風力発電所を地域グリッドに接続するのに必要な基準を満たすために使われる。Suzlon 社は 2006 年後半に 1 台目の D-VAR を発注した。これは、今回受注したものととも今年後半に出荷予定。この D-VAR は風力発電所の電圧制御、電力調整、変動抑制に使われる。鉱山向けシステムも含め今年後半に出荷予定。

出典:

“AMSC Receives D-VAR(R) Orders for Australian Mining and Wind Farm Operations”

American Superconductor Corporation press release (May 16, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1002881&highlight

American Superconductor Corporation (2007年5月21日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、Consolidated Edison, Inc. (Con Edison)と新しい HTS 電力グリッド技術の開発及び同社のニューヨーク市配電ネットワークへの適用を目的とした契約を締結した。これは、「Secure Super Grids」として知られているものである。この「Secure Super Grid」は、最適化した HTS 線材、HTS 電力ケーブル及び付属の制御システムを用いて起こりうる急激な変動を抑制してより大量の電力を送るためのシステムレベルのソリューションである。この技術は高容量 HTS ケーブルと限流器の利点を組み合わせた最初のものであり、スペース及びコストの面で利点を有する。これにより都市部の電力インフラの容量、安全性、効率性を大幅に改善できると見込まれる。米国国土安全省は、この技術開発に 2,500 万ドルを投資する見込みである。米国国土安全省科学技術担当次官 Jay M. Cohen は次のように述べた。「米国の電力グリッドは最も大事な財産の 1 つであり、我々は最も進んだ技術を使ってその安全を確保するための必要な措置を講じているところである。我々は AMSC 社と Edison 社にニューヨーク市があらゆる状況下で商業センターとして機能し続けることを確保するための超電導ソリューションを実証するよう依頼したところである。あらゆる状況とは悪天候、事故、テロリストの攻撃などを含む。」この計画は「Project Hydra」と称し、個々の送電線に問題が生じた場合システムの信頼性を維持するため市内の電力グリッド内で送電路を複数確保しておくというものである。AMSC 社が主契約者であり、国土安全省と 170 万ドルの契約を結んだ。この内国土安全省は、約 110 万ドルの資金援助を行う予定である。Edison 社は AMSC 社の副契約者となる。また、Southwire 社も副契約者となる予定であり、ケーブル及び終端部の詳細設計を行う他、HTS Triax ケーブル・デザインによる超電導ケーブルの製造を行う。全体のプロジェクト費用は 3,930 万ドルを見込んでおり、この内国土安全省は 2,500 万ドルを支出する。この高容量、変動抑制 HTS ケーブルシステムの適用には今後 3 年が見込まれており、2 つのフェーズに分けて実施される。すなわち、プロトタイプの開発(現在進行中)及び運転と Edison

社電力グリッドへの1号「Secure Super Grid」システムの適用である。プロトタイプの実験完了は2008年末を予定している。また、13 kV HTS ケーブルシステムの運転は2010年早期に開始される予定である。AMSC 社創立者で最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。「Project Hydra は我々3機関のビジョンが結晶したものである。Edison 社は超電導技術によりニューヨーク市の将来システムの創造に寄与していきたいというビジョンを、国土安全省は先端技術を利用して電力グリッドの安全性を高めるというビジョンを、AMSC 社は電力グリッド向けに超電導技術を実用化したいというビジョンを持っている。このプロジェクトにより超電導技術の実用化の第1歩が始まりニューヨーク市の人々やビジネスに利益をもたらすだけでなく、このプロジェクトにより全世界の人々にアピールする新たな電力グリッドソリューションの実証を行うことができる。」

出典:

“AMSC, Homeland Security Department and Consolidated Edison Commence Project to Protect New York City's Power Grid” and “AMSC Introduces Surge-Suppressing, High-Capacity Superconductor Power Grid Technology”

American Superconductor Corporation press releases (May 21, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1004588&highlight

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1004590&highlight

Zenergy Power plc (2007年5月22日)

Zenergy Power plc (グループ) は HTS 誘導ヒーターを製作し、その試験の結果画期的な成功をおさめた。予想通り、誘導ヒーターは、従来ヒーターの効率 35~45% に対し、90% 以上の効率を示した。必要電力の大幅な削減は、加熱装置の年間電力消費が全電力の 1~5% を占める先進工業国に朗報である。German Environmental Fund の技術専門職 Dirk Schötz は次のように述べた。「Zenergy 社により開発されたこの HTS 製品は現在炭素排出を抑制しようという世界的な動きに非常に大きなインパクトを与える可能性を持っていると確信する。この HTS 製品の高い効率は世界の多くの工業プロセスに対するエネルギー需要を変えることになるであろうし、世界最初のこの HTS 製品の開発を支援してきたことを誇りに思っている。」

Zenergy グループの HTS 誘導加熱装置は現在販売を行っているところであり、第1号の商品はこれまでこの商品に関心を示しているある顧客に販売されることになるであろう。コスト削減の観点から、この誘導ヒーターがフル運転をすれば5年もすれば初期投資コストを回収できるものと見込まれる。現在の誘導加熱装置の市場は年間20億ドルと推定される。

出典:

“Key Development Milestone”

Zenergy Power plc press release (May 22, 2007)

http://zenergypower.com/pdf/press-en/2007-05-22-Induction_Heater.pdf

American Superconductor Corporation (2007年5月24日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は2007年3月31日に終了する第4四半期及び通年の収支を発表した。当期収入は、前年同期1,430万ドルに対し1,910万ドルであった。当期の純損失は、前年同期の1,100万ドルに対し、当期は1,140万ドルであった。通年の収入は、前年の5,090万ドルから、5,220万ドルに増加した。純損失は、前年度の3,090万ドルに対し、当年度は3,470万ドルであった。AMSC 社は当期末時点で、現金、現金等価物、短期投資併せて3,530万ドルを保有している。前年同期は6,570万ドル。年度末受注残は訳8,000万ドルであった。前年度末は2,380万ドル。AMSC 社は2008年3月31日に終了する2007年度の受注残として5,800万ドル程度を予想している。AMSC 社は4月及び5月に1,000万ドルの受注があり、これは2007年度中に代金を

受け取ることができるものである。AMSC 社創業者で最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。
「第 4 四半期は AMSC 社が大きく前進した時期である。この勢いは 2007 年度にも継続している。最近の 2 社の買収、事業のリストラと再編成、新規受注と新たなプロジェクト、第 4 四半期の記録的収入により、今後の力強い成長の舞台は整った。」

出典:

“AMSC Reports Fourth Quarter and Full Fiscal Year Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (May 24, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1006530&highlight

材料

Superconductive Components Inc.. (2007 年 5 月 3 日)

Superconductive Components, Inc.社は、2007 年 3 月 31 日に終了する第 1 四半期の収支を発表した。当期収入は、前年同期の 120 万ドルに対し 104%増の 250 万ドル。これは主として光学関連及び薄膜電池製品関連の売り上げ増によるもの。粗利益は、前年同期 30 万ドルから 68%増の約 50 万ドルであった。研究開発支出は、前年同期 47,176 ドルに対し、当期は 63,164 ドルに増加した。2007 年 3 月 31 日時点での受注残は 330 万ドルで、前年同期の 4 倍となっている。

出典:

“Superconductive Components, Inc. Reports Improved First Quarter 2007 Results”

Superconductor Components, Inc. press release (May 3, 2007)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/investors/ne/earnings/scci17.htm>

NMR

Massachusetts Institute of Technology(2007 年 5 月 15 日)

Massachusetts Institute of Technology (MIT)の原子・ビットセンターは、NMR の革新的な手法について報告した。その非常に高感度な評価方法においては、分子構造を測定するのに必要な蛋白質サンプルの量が少なくすむマイクロスコピックなディテクターを用いる。この手法を使うことにより、デスクトップサイズの NMR 装置が研究所や医療現場に広がっていく可能性があり、治療可能な初期段階での緑内障や白内障のような種々の疾患の診断に計り知れない恩恵をもたらすことが期待される。この新たな手法では従来のようなコイルは用いず、ラップトップ・コンピューターで使われる Wi-Fi アンテナのような指向性電波が用いられる。MIT のグループはレーザーを使って金属平板材料にストリップラインとして知られる微小な切り込みを作った。ストリップラインからもれ出る磁場は均一であり、この切り込みを NMR プローブとして使用する。ディテクターは、クレジットカードの 1/3 のサイズのプラスチックカードの上に固定されており、便利かつ安価である。現時点ではディテクターは超電導磁石を収納する筐体中に設置しなければならないが、研究者グループは新しい手法により試料の量が少なくすめば今後より小型のデスクトップサイズの NMR 生産にはずみがつくものと期待している。ディテクターに必要な試料が少量ですむならば、バイオ医療の研究の進歩は格段に早まるであろうし、新薬やバイオロジーの研究も加速されるであろう。研究グループの研究結果は Proceedings of the National Academy of Sciences オンライン版 5 月 14 日号に掲載された。この研究は National Science Foundation の支援を受けて行われた。

出典:

“NMR advance relies on microscopic detector”

Massachusetts Institute of Technology press release (May 15, 2007)

<http://web.mit.edu/newsoffice/2007/microdetector.html>

マグネット

Florida State University (2007年4月4日)

Florida State University と National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL) は、Hahn-Meitner Institute (HMI; Berlin, Germany) と 870 万ドル相当の強磁場ハイブリッドマグネット建造のための契約に調印した。このマグネットは中性子回折実験に使用される。NHMFL の Series-Connected Hybrid コンセプトの基づくこのマグネットは、25 ~ 30T 磁場を発生することができ、中性子実験用としては世界最高性能である。現在 HMI に設置されているマグネットは 15T。Series-Connected Hybrid コンセプトとは、外部銅コイルマグネットと液体 He で冷却される内部超電導マグネットを融合したものである。この融合により得られるマグネットは、同じ性能の従来マグネットの 1/3 の電力で非常に強い磁場を発生することができる。HMI に設置されるマグネットは、円錐状ポアを持ち、広い範囲の角度での中性子回折を行うことができるようになっている。ポアは水平な状態であり、大部分の強磁場マグネットのように垂直ポアではない。2011 年に完成すれば、新しいマグネットは Berlin Neutron Scattering Center に設置される。

NHMFL の研究者は HMI と協力して 2005 年からこのマグネット設計を進めてきた。このマグネットに使われる新たな技術の開発はドイツ研究教育省から資金提供を受けて行われた。マグネット価格 870 万ドルに加え、その運転に必要な冷却、電力供給インフラとしてさらに 1,440 万ドルが必要である。

出典:

“FSU’s Magnet Lab to build the world’s strongest magnet designed for ‘neutron scattering’ experiments”

Florida State University press release (April 4, 2007)

<http://www.magnet.fsu.edu/mediacenter/news/pressreleases/2007april3.html>

通信

ISCO International, Inc. (2007年5月3日)

ISCO International, Inc. は、2007年3月31日に終了する第1四半期の収支を発表した。純総収入は、前年同期 130 万ドルに対し、当期は 100 万ドル。純総損失は、前年同期 170 万ドルに対し、当期は 240 万ドル。製品粗利益率は、前年同期の 38% から 26% に減少した。ISCO 社 CEO の John Thode は次のように述べた。「我々は、当然、第1四半期の結果に失望している。2006年第1四半期にも同様なことがありこれを避けるべく大きな努力を行ってきた。我々は製品の品揃えや顧客層を拡張、変化させていくが、産業構造の変革に伴い我々の市場セグメントには需要の弱さが残っている。我々の戦略はこの変化を利用しようとするものではあるが、依然として顧客の需要、資金の使い方に影響を受けている。」ISCO 社は今年を通じて需要が伸びるものと期待しており、2007年の収益増の目標は変えていない。

ISCO 社は完全デジタルプラットフォームの完成向け大きな前進を遂げたと報告しており、その中で製品のアップ・デートを発表した。顧客からのフィードバックに基づき、このプラットフォーム

ームの水平展開についての評価も開始している。

出典:

“ISCO International reports financial results for the first quarter 2007, product update and investor call”

ISCO International, Inc. press release (May 3, 2007)

<http://www.b2i.us/profiles/investor/ResLibrary.asp?ResLibraryID=19824&f=1&BzID=826&Nav=1&LangID=1&s=0&Category=135>

加速器

CERN (2007年4月10日)

CERNは、Large Hadron Collider (LHC)の第1セクターを1.9 Kまで成功裏に冷却したと報告した。このセクターは全LHCリングの1/8であるが、それでも今日までで世界最大の超電導装置である。最終的には、LHCを構成する全部で8つのセクター-27-kmリングが冷却される。この中には1650基の超電導マグネットが含まれ、これらマグネットは陽子ビームをガイドし、集束する。各セクターは3段階で冷却される。まず80 Kまで冷却する。この温度で90%の収縮が起こる。各セクターは約3.3 km長であり、収縮は9.9 mになる。LHCの装置はこの収縮を補償するよう特別に設計されている。装置の損傷が生じていないことを確認するための試験が完了した後、主マグネットが液体Heで満たされ4.5 Kまでの冷却という第2段階に入る。最後に巧妙に作られたポンプシステムによりHeを加圧し、1.9 Kまで冷却する。冷却主任のSerge Claudetは次のように述べた。「10年以上にわたり人々が設計、建設、試験を各セクター別に行ってきた、初めてすべてを一緒に試験をするわけであり非常に感激している。」

出典:

“For the first time the LHC reaches temperatures colder than outer space”

CERN press release (April 10, 2007)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2007/PR03.07E.html>

CERN (2007年4月26日)

最後の2重極マグネットをLarge Hadron Collider (LHC)トンネルに下ろしたことを記念してCERNで式典が執り行われた。これにより加速器を構成する1700以上のマグネット全ての据付が基本的に完了した。LHCプロジェクトリーダーのLyn Evansは次のように述べた。「35,000トン以上の材料が無事に地下に下ろされ、15kmトンネル中を運搬、1/10mm精度で据付が行われた。これはすばらしい成果である。」位置決めが完了すると、冷却システムにつながる。この冷却システムは加速器全体を1.9 Kに冷却する。LHCは2007年末に運転を始める。

出典:

“Closing the gap:descent of the last LHC magnet”

CERN press release (April 26, 2007)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2007/PR05.07E.html>

基礎

Princeton University (2007年5月30日)

Princeton University は、新しい画像技術を開発して、ナノスケールレベルで超電導体の振る舞いを可視化することに成功した。特別な工夫をこらしたトンネル顕微鏡を使い、臨界温度以上の高品質セラミックス超電導体においても小さな、孤立した超電導状態の断片領域が存在することを確認した。試料は全体として超電導を示すには温度が高すぎるが、試料内に孤立した一部の部分にはクーパー対が認められた。この現象は従来は臨界温度以下でしか起こらないと考えられていたものである。この孤立部分はわずかなノメートル幅ではあるが、50度以上も臨界温度より高い温度でクーパー対が見られる。研究論文の主執筆者である Ali Yazdani はこれら超電導状態にある断片が高温でなぜ存在するのか、この状態をいたるところでいかに作り出すかを理解することで臨界温度をさらに高めることができるのではと考えている。この結果は、5月31日の Nature に掲載される。

出典:

“Nanoscale imaging reveals unexpected behaviors in high-temperature superconductors”

Princeton University press release (May 30, 2007)

<http://www.princeton.edu/main/news/archive/S18/01/00O69/index.xml?section=newsreleases>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【標準化情報】

- IEC-APC、伊藤喜久男氏らに IEC-APC 議長賞を授与 -

平成 19 年 5 月 24 日（木）に開催された第 17 回 IEC 活動推進会総会において、IEC 活動推進会議 (IEC-APC)は、(独)物質・材料研究開発機構の伊藤喜久男氏ら 21 名に IEC-APC 議長賞ほかを授与した。

今年は、議長特別賞 1 名、議長賞 11 名及び感謝状 10 名が表彰された。

IEC-APC 議長賞は、IEC（国際電気標準会議）への日本の貢献と産業界の意見反映を目的に平成 3 年に設立された IEC-APC によって、日本提案の IEC 規格作成など、IEC 分野で顕著な貢献をした個人又はグループに毎年表彰されるものである。

伊藤喜久男氏（物質・材料研究開発機構 超伝導材料センター 主席研究員）の IEC-APC 議長賞の受賞は、IEC/TC90（超電導）国内技術委員及び超電導技術調査員等を努め、国内の超電導技術を国際規格化するための戦略を提言されたとともに、TC90 とのリエゾン関係にある VAMAS（Versailles Project on Advanced Materials and Standards：新材料と標準に関するベルサイユプロジェクト）との連携に貢献されたことによる。



（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学・超電導学会特別討論会「低温・超電導機器の事業化と産業への発展」開催

低温工学協会は、千葉大学けやき会館において 2007 年度春季低温工学・超電導学会を開催した。同学会は、学会期中平成 19 年 5 月 16 日に第 3 回特別討論会実行委員委員会を開催し、約 100 名の参加のもと活発な討論がなされた。

まず、同実行委員長 上岡泰晴氏から特別討論会実施の背景及び経過が報告された。続いて、次の 5 件についてパネラーから講演がなされた。

(1) 大学発ベンチャーの生み方 (高橋昌義氏 千葉大学 産学連携・知的財産機構)

千葉大学では大学内に産学連携と知的財産を管理する機能を内包している。産学連携では、共同研究、受託研究、奨学寄付金、技術指導及び大学発ベンチャーが効率的に運営されている。また、知的財産機構では、一般の TLO (技術移転機関) も果たしており、「脳梗塞バイオマーカーの開発」など 4 件の千葉大学発ベンチャーが生まれた。

(2) 新規ベンチャーへの期待 (安田修氏 みずほ情報総研)

わが国では、開業率よりも廃業率が高いという逆転傾向にあり、(新規技術力×事業)への取組み意欲に期待したい。Jカーブ効果という一般的な事業に対する不確定リスク特性の理解が必要である。ベンチャーキャピタルの評価を獲得するためには、公的支援策(助成・補助)の活用や自主財源による 5-7 年間根気強い試行錯誤が必要である。

(3) 大学ベンチャー企業 (矢山英樹氏 九州大学大学院、クライオアドバンス兼)

2006 年 7 月に九州大学の一画に、磁気冷凍機を中心とした極低温機器の開発・製造・販売の会社を設立した。その動機は、自己専門技術力の発揚、自己啓発及び大学法人化の風潮による。しかし、現実には厳しく、技術力や意欲に加え、経営力、営業力、資金調達力、PR 力など研鑽に明け暮れているとのこと。

(4) 超電導機器ビジネスに対応する冷凍機及び開発課題 (小泉達雄氏 住友重機械工業)

現在の冷凍機ビジネスは、半導体クライオポンプ、4K 冷凍機、宇宙事業展開へと発展しており、世界市場として 300 億円と推定している。2020 年の NEDO 技術戦略マップから推定すると約 3 倍の 1000 億円に成長することを期待している。今後、電力機器、産業機器、エレクトロニクスへの用途展開に鑑み、「強い製品(4K 冷凍機)」の技術力を足場とした信頼性(目標 4 万時間 5 年メンテ) 低コスト、高効率、容易操作性をモットーに冷凍能力 100W 級から kW 級の品揃えに貢献したい。

(5) 高圧ガス保安法 (上岡泰晴氏 大陽日酸)

わが国では法が悪いのではなく、技術進展に見合う法改正へのアクションの遅れが課題である。したがって、ガス種の追加、冷凍トン変更など申請事項の集約と申請アクションが必要な時期にある。今後の課題は、法的に無人運転できる冷凍技術の確立である。

講演後の自由討論と低温工学協会副会長 堀上徹氏の総括から、つぎの各項が印象的であった。

低温・超電導事業を興すには、一にも二にもその分野の技術で裏打ちされた起業家本人の意欲である。

この意欲を持続させる手段として国家プロジェクトなどの基盤強化事業を位置づけることができる。

特に、低温・超電導分野では新規市場の成長が緩やかで新規事業化が難しい時期ではあるが、国家プロジェクトに加えこの分野における多くの経験者による、たとえばシニアボランティア(技術協力登録制)による下支えも有効である。



第3回特別討論会のパネリスト

右から下山淳一氏（司会者）、安田修氏、高橋昌義氏、矢山英樹氏、小泉達雄氏及び上岡泰晴氏

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

高温超電導の謎に迫る (その4)

東京大学
大学院理学系研究科
教授 内田慎一

前回まで、高温超電導にかかわる基本的な謎について記してきた。(その3)で「擬ギャップ」について長く述べたのは、これまでに様々な、最高水準の実験手法が適用され、日々新しいデータが発表されているにもかかわらず、その正体がわからないからである。その1つの理由は、実験結果が「不安定」なことである。同じ実験手段を使っても異なる研究者間で結果が微妙に違うこと、同じグループの同じ実験でも結果が時間とともに変化する、結果が試料の状態(La系、Y系、Bi系などの違い、結晶の乱れやドーピング量)に対して過敏である等々、従来の固体物理学研究では経験しなかったような事態が起こっている。これが障害となっていて高温超電導の本質の理解への歩みを遅らせているのである。

勿論、高温超電導の最大の謎は「何故Cu酸化物の T_c が高いのか？」であり、これまで述べてきた様々な謎と密接に関係していると考えられるのであるが、誰もそれらの関係を明解に説明することはできない。今回は、「安定」な実験事実、状況証拠を基にCu酸化物の T_c が高い理由を考えてみたい。

4. 高温超電導体の舞台と俳優達

舞台

高温超電導の舞台の骨組みはCuO₂面である。1986年以来、Cu酸化物も含めて様々な物質で従来の T_c の記録($T_c=23K$, Nb₃Ge)を破る30K級の超電導体が見つかった(図1)。これらの物質(系)の共通点は、B, C, N, Oという軽元素を含んでいることと、軽元素同士あるいは軽元素と金属元素が強く化学結合して基本構造を作っていることであるが、それ以外には共通性を見出すことができ

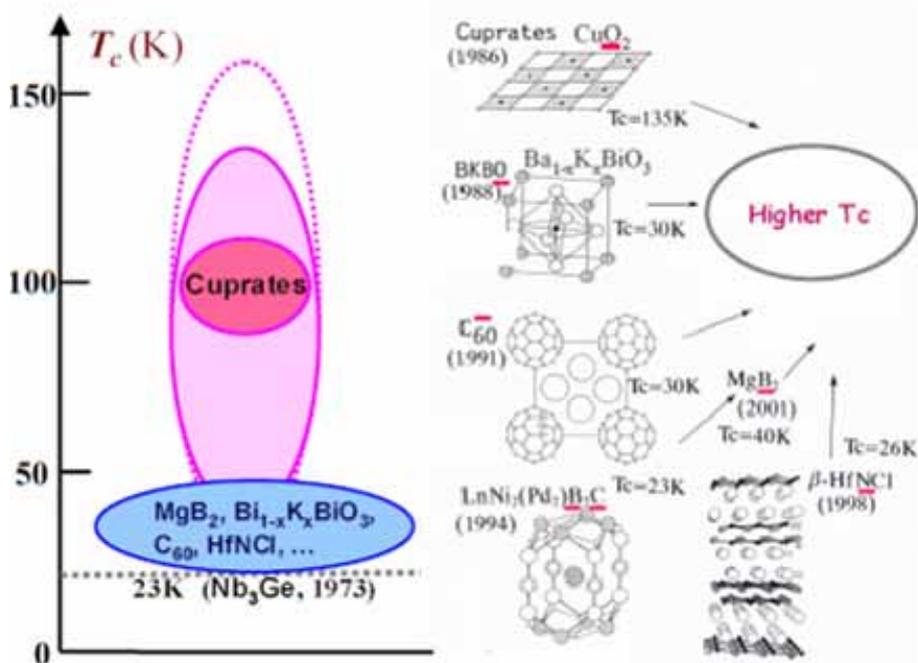


図1 様々な高温超電導体と T_c の分布

ない。Cu 酸化物はそれらの中でも唯一 T_c が 100K を越す物質であり、しかも超電導を示す Cu と同じ遷移金属酸化物（例えば、現在 Ti, V, Co 酸化物で超電導が実現している）と比べても T_c の高さは際立っている。従って、CuO₂ 面に特有な電子構造上の特徴を出現させるための必要条件となっていると考えてよいであろう。それは、これまでの研究の歴史と経験から、次の 3 条件であるとほぼ特定できる：

(1) 2 次元、(2) Cu3d と O2p との強い混成（化学結合）(3) スピン 1/2。(1) と (3) の意味はそれぞれ熱力学的、量子力学的ゆらぎを大きくして磁気秩序の形成を妨げていることであろう。(2) は CuO₂ 面で Cu の 3d 準位と O の 2p 準位が偶然接近するために生じたもので、Cu 酸化物を特別なものにしていく条件と考えられる（図 2）。同時に、(2) の条件が様々な物理量のエネルギースケールを巨大なものにしていく。磁気的な相互作用の強さを表わすスピン交換相互作用 ($J \sim 0.15\text{eV}$) は他の磁性物質の数倍、そして Cu と O との強い共有結合のために酸素の振動にかかわるフォノンエネルギーが (0.1eV 程度) 大きくなっている。

これら 3 条件を同時に満たす物質は、今のところ Cu 酸化物以外には知られていない。例えば、同じ Cu 酸化物でも、1 次元的な Sr₂CuO₃ と 3 次元ペロブスカイト構造の LaCuO₃ は、2) と 3) の条件を満たしているが、超電導は実現していない。また La₂CuO₄ と同じ結晶構造のバナジウム酸化物 Sr₂VO₄ は 1) と 3) の条件を満たすが、V3d 準位と O2p 準位のエネルギー差が大きく 2) を満たさない。

舞台の骨組みの特殊さはこのように特定することが可能である。しかし、真の舞台は CuO₂ 面で実現する相（秩序）である。すでに述べたように超電導相だけが舞台ではない。反強磁性相、フェルミ液体相、ストライプ相そして未解明であるが「擬ギャップ相」も CuO₂ 面上で実現する舞台であり、更にそれら以外の未知の舞台も存在するかもしれない。これらの舞台は互いに競争し合っているが、どちらが勝つかは骨組みの微妙な変化によって決まり、ある場合には際どく共存している。その理解は一筋縄ではいかない。

俳優達

低温超電導でもそうであったように高温超電導の主役は電子である。しかし、CuO₂ 面上を動き回る電子（正孔）は、互いに複雑に絡み合った電子であり、多くは化学結合に参加している。残りは金属や半導体中の電子のように、ほぼ自由に CuO₂ 面を動き回る。しかし、絡み合いの影響（強電子相関）として、2 種類の異なった粒子（準粒子）として測定に現われる。同時に、それらが動くときフォノンなど様々な励起を引きずることになる。通常の超電導体では電子が引きずる励起（フォノン）が接着剤となって電子対をつくる。

1) スピン励起（反強磁性ゆらぎ）

Cu²⁺ に付随する $S=1/2$ のスピン励起は量子効果と超交換相互作用 J の巨大さから、高いエネルギーに広がった砂時計状の特異な分散を示す¹⁾（図 3(a)）。特に、分散のくびれの部分に相当するスピン励起モード（ $\sim 40\text{meV}$ ）は、超電導状態で中性子を共鳴的に散乱させるので、超電導秩序形成に

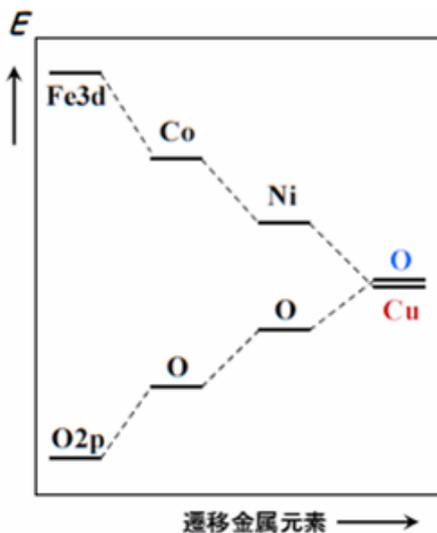


図2 遷移金属酸化物中の 3d 準位と酸素 2p 準位。周期表で右に行く程両者のエネルギー差が小さくなる

重要な役割を担っていると主張されている。

2) 電荷ゆらぎ

絡み合いの効果によって電荷を運ぶ電子は、質量の軽いノード準粒子と、質量の重いアンチノード準粒子の性質の異なる2種類の準粒子としてCuO₂面中を動き回る(図3(b))。それに伴う電荷密度のゆらぎはプラズマ振動(プラズモン)であるが、そのエネルギースケールは1.0eV程度になっている。

3) フォノン

長い間、高温超電導にはフォノンが関与していないというのが多数意見であった。しかし、最近、この考えが見直されつつある。現実には、O¹⁶ O¹⁸の同位体置換に対しT_c及び超流動密度ρ_sが大きく減少する(アンダードープ域)。また、光電子分光(ARPES)で測定された準粒子の分散関係にフォノンとの結合を示していると考えられる折れ曲がり(キंक)が観測される(図3(c))。最近では、STMでもフォノンが見えてきた(「超電導 Web21」2006年10月号)。クーパー対を準粒子に分解すると、それに伴ってフォノンが飛び出してくるのが観測されたのである。

4) 乱れ

CuO₂面内の結晶乱れは、Zn置換で代表されるように超電導の強力な破壊者である。面内の乱れは、故意に導入しない限り、通常は問題にならない。しかし、多くの物質では面外の元素置換や過剰酸素の導入によってドーピングが行われているため、面外は必然的に乱れを含んでいる(図3(d))。フォノンと同様、この乱れは高温超電導に影響を殆んど与えていないと考えられてきたが、STM観測で結晶の乱れがCuO₂面の超電導状態に局所的に影響を与えることがわかってきて、この考えも見直しを迫られている。

面外の乱れは2つの側面をもっている。1つは文字通り超電導状態を擾乱させてT_cを下げ、高温超電導体の真の性質を覆い隠す効果である。最近、CuO₂面に隣接する頂点酸素を含む原子層の乱れがある程度T_cを減少させていることがわかってきた。³⁾特に、CuO₂面を一枚もつ物質、例えばBi₂Sr₂CuO_{6+x}のT_cが低いのはそのせいである。しかし、一

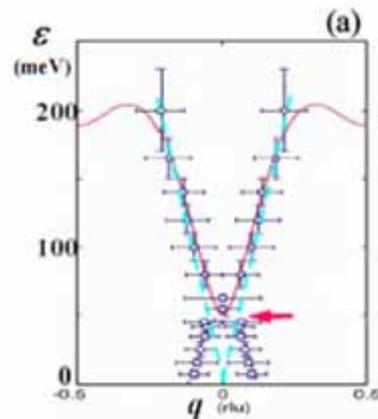
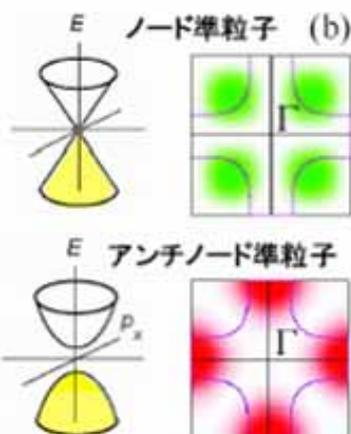
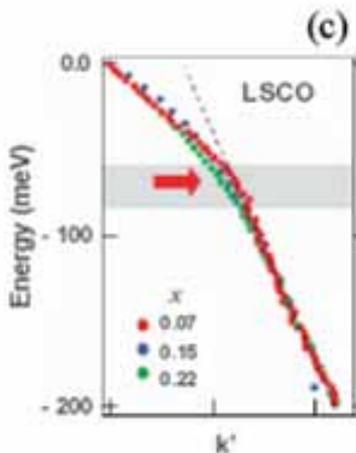


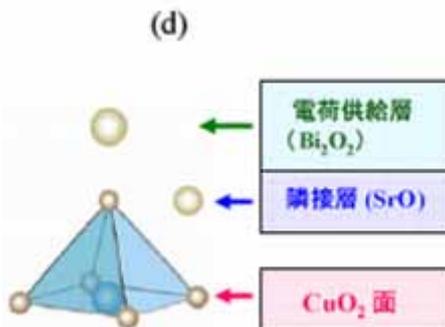
図3(a)スピン励起の分散(エネルギー対運動量)関係



(b)CuO₂面上の2種類の電子(準粒子)



(c)ノード準粒子の分散にみられる折れ曲がり(キंक)



(d)CuO₂面外の結晶乱れが存在する場所

方で、乱れが最も少ない物質とされている Y 系 (例えば、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ は結晶の乱れを含まない) の T_c (=93K) は「乱れた物質の代表」である Bi 系 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ - Bi2212) の T_c (=98K) よりむしろ低いという事実がある。また、乱れに弱いはずの d 波超電導がこれまでにない高い T_c の超電導を支えていることから、乱れの影響を無効化する作用が CuO_2 面に存在することも確かである。あるいは、乱れを積極的に活用して高い T_c を実現するための舞台設定、演出ができていているという見方もできる。

現在のところ、これらのどれが主役であると言い切れる実験結果はない。むしろ、それぞれが確実に高温超電導発現に何らかの役割を果たしているようにみえる。磁気励起やフォノンのエネルギーが大きいのは、これらが電子対をつくるための強力な接着剤となっている可能性を示唆する (単純に BCS 理論で考えると、 $T_c \sim \omega_0 e^{-1/\lambda}$ であり、励起のエネルギー ω_0 が大きいと T_c は高くなる)。しかし、このような接着剤 (引力) がクーパー対を形成しているという考え方に対して、斥力だけでも超電導は起こり、むしろ、この方が T_c が高くなりうるという説もあり、両者は鋭く対立している。実験結果は「みかけ上」前者を支持しているが、擬ギャップ等多くの未解決の問題とも関連し、容易には決着をみない。

参考文献

- 1) J. M. Tranquada *et al.*, Nature 429, 534 (2004).
- 2) A. Lanzara *et al.*, Nature 412, 510 (2001).
- 3) K. Fujita *et al.*, Phys. Rev. Lett. 95, 097006 (2005).

読者の広場

Q&A

Q： 高温 SQUID と低温 SQUID ではどのような違いがあるのでしょうか？

A：低温 SQUID には通常 Nb が用いられ、液体ヘリウム(4.2K)で冷却されて、使用されます。一方、高温 SQUID には $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ が用いられ、液体窒素(77K)による冷却、あるいは冷凍機によって冷却して使用されます。表 1 にそれぞれの SQUID の応用分野と特徴をまとめました。低温 SQUID は相対的に高感度であり、高い磁場分解能を必要とする脳磁計測等に用いられています。高温 SQUID は冷却の簡便性を活かした、持運び可能な計測器として、非破壊検査等に利用されています。

表 1 SQUID の種類と応用分野

| SQUID の種類 | 計測装置・計測分野 | 装置・計測の特徴 |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 低温 SQUID (Nb) | 帯磁率測定 | 高磁場中測定 |
| | 心磁計測 | 多チャンネル |
| | 脳磁計測 | 多チャンネル、高感度(<5fT) |
| | NMR | 高感度(<10fT) |
| | 磁気顕微鏡 | 場所分解能：数 μm (試料真空中) |
| 高温 SQUID ($YBa_2Cu_3O_{7-x}$) | 非破壊検査(金属材料欠陥、食品中金属異物) | ポータブル、2,3次元計測 |
| | 磁気顕微鏡 | 場所分解能：数十 μm |
| | 免疫検査 | 高速・高感度検査 |
| | 心磁計測 | 多チャンネル |
| | 地質探査・鉱物探査 | 地層深部の探査 |

低温 SQUID と高温 SQUID で、測定磁場感度にどれだけの差があるのでしょうか。SQUID の磁束雑音は温度とともに高くなりますから、高感度を実現するには低温環境が必要と言えます。動作温度比は液体窒素温度と液体ヘリウム温度で 18:1 ですが、雑音振幅は温度の 0.5 乗に比例しますから、4.3:1 程度です。実際に作製された SQUID で報告されている実験室レベルで最高の磁場感度は高温 SQUID で 10 fT、低温 SQUID で 1 fT 程度です(市販の SQUID では、高温で 50-200 fT、低温で 5-20 fT 程度)。動作温度の比以上に感度の差が大きい理由は、回路パラメータの設定余裕度の差異と、SQUID の作製技術レベルの違いによるものです。すなわち、Nb を用いた低温 SQUID では、動作温度が臨界温度の 1/2 以下のため、100 μV 程度の高い出力信号が得られます。一方、 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ を用いた高温 SQUID では、エネルギーギャップの大きな高温超電導材料を用いているとはいえ、臨界温度(薄膜では 85~90 K)が液体窒素温度に近いと、高い出力電圧を得るのは困難です。また、Nb 系 SQUID 回路ではサブミクロンの加工や積層構造をもつコイルもさほどの困難なく実現されていますが、 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 系薄膜で 1 μm 程度以下のパターンを形成したり、積層構造を作製した上で信頼性を確保するのは容易ではありません。しかしながら、高温超電導デバイス作製技術も、例えば最近の SFQ デバイスの開発プロジェクトの中で大きく進展してきています。液体窒素温度で感度が低いという問題も、超電導接合の微細化やコイル構造の積層化で克服でき、10-20 fT 程度の感度の高温 SQUID が定常的に作製できるようになると期待されます。

一方高温 SQUID には、液体窒素冷却や冷凍機冷却による冷却容器の簡便さによってもたらされる利点があります。すなわち、(a)冷却コストが低い(液体ヘリウムと液体窒素の価格比で 50:1 程度)、

(b)持ち運び容易なこと、(c)1層の冷却容器を用いるので、SQUID センサーと試料間の距離を近づけられること、などです。高温 SQUID では、その冷却法の簡便さを活かした、2次元、あるいは3次元マッピングの必要な非破壊検査、磁気観察(SQUID 顕微鏡)等の応用があります。心磁計測では必要感度(～20 fT)と多チャンネル化の要請から、低温 SQUID が実用装置に供されています。高温 SQUID の素子技術レベルが向上すれば、装置価格や運転コストが大幅に低減できるので、高温 SQUID 心磁計の実用化が期待されています。

回答者：SRL デバイス研究開発部 樽谷良信

[超電導 Web21 トップページ](#)