

掲載内容（サマリー）：

○トピックス： 第 16 回国際超電導産業サミット報告

特集：超電導デジタルデバイス技術

- 超電導デジタルデバイス技術における最近の動向
- 低温 SFQ デバイスによるスイッチデモンストレーションと今後の展望
- 高性能超電導コンピュータを目指した基盤技術の開発
- 高温超電導デスクトップサンプラーの開発

○超電導関連 10- 11 月の催し物案内

○新聞ヘッドライン（8/18-9/18）

○超電導速報－世界の動き（2007 年 8 月）

○標準化活動－IEC/TC90、米国フィラデルフィアにて第 1 回 WG12 会議開催－

○IEC/TC90「超電導機器に関する第 4 回パネル討論会」報告

○第 6 回高温超電導バルク材「夏の学校」報告

○「5th MEM'07」報告

○隔月連載記事－超電導送電事始（その 5）

○読者の広場(Q&A)－MRI と NMR 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： 第 16 回国際超電導産業サミット報告

平成 19 年 8 月 29 日（水）、30 日（木）、米国フィラデルフィアで第 16 回国際超電導産業サミット（ISIS-16）が開催された。今次会合は日、米、欧及び韓国から約 40 名の参加があった。フィラデルフィアは、米国独立戦争後初めて首都が置かれ、独立宣言が起草、各州代表によって署名された歴史的な町である。また、シルベスター・スタローンの主演映画「ロッキー」の舞台となったことでも知られている。

米国では、エネルギーを輸入原油、特に、政治的に不安定な中東原油に頼りすぎているとの批判が高まっており、国家安全保障の観点からも、各種の手立てを講じる必要性が声高に論じられるようになってきている。また、地球温暖化問題への対処も重要な政治課題となりつつある。米国内電力設備の老朽化も大きな問題である。この中で、ローバスト性を持ち、信頼性、経済性、効率が高く、環境にやさしい新たな電力グリッドとして「Modern Grid」という概念が紹介された。このような「Modern Grid」という観点からは超電導技術は重要なオプションの 1 つであると考えられる。

会議では日米欧から各々の現状及び今後について報告が行われた。次世代線材については日米間での開発競争が激しさを増してきている。欧州においても次世代線材の実用化に向けドイツ連邦経済産業省が開発資金を新たに支出することが決定された。米国では現在、DOE の SPI (Superconductivity Partnership Initiative) の下 Ohio 州 Columbus、New York 州 Albany、同州 Long Island で超電導ケーブル実証プログラムが進行している。これらプロジェクトには日欧の企業も参加しており、国際プロジェクトの色彩も帯びている。これに加えて、DOE は米国の HTS 技術開発と応用、また電力グリッドの近代化促進を目指し、ケーブル及び FCL に的を絞った総額約 1 億ドルのプロジェクト（5 案件）を新たにスタートさせようとしている。更に、米国国家安全保障省は、テロ、自然災害等に対してローバスト性を持つ電力グリッドを目指した計画を打ち上げている。これは HTS 電力グリッド技術の開発及び Con Edison 社のニューヨーク市配電ネットワークへの適用を目指している。欧米では、この他、超電導モーターを始めとした応用機器の開発が着実に進められてきており、技術の厚みは年々増してきている。

エレクトロニクスの分野では、我が国が SFQ をベースとした超電導回路により世界で始めて超高速ルーター用のスイッチの実証に成功したことは会議参加のエレクトロニクス関係者にとって大きな驚きであったようだ。まだまだ先の技術と考えられていたものが、一挙に現実のものとして示されたことは大きなインパクトであった。

エネルギーが、我々の持続的発展にとって不可欠ではあるが、それを無尽蔵に使うことはもはや許されない時代に突入した。地球温暖化が我々の生活を脅かし始めている。多くの文明がエネルギーの枯渇により滅亡した事実を思い起こすべきときなのかも知れない。次に文明が滅亡するとすれば、それは地球規模で起こるに違いない。自然エネルギーの利用技術、省エネ技術は我々の継続的な経済発展を約束するものである。このことは、党派を問わず世界的な合意となりつつある。超電導技術は大きな選択肢の 1 つである。超電導技術は、これまでの投資が実を結ぶ時を迎えようとしている。超電導関係者は突きつけられた課題に対し、経済的合理性を持ち、技術的に妥当な回答を準備しておかねばならない。今次会合ではこのことを改めて認識させられた。

次回サミット（ISIS-17）は、日本で開催することが合意された。



ISIS-16 で講演する日本代表団



ISIS-16 全体風景

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導デジタルデバイス技術

「超電導デジタルデバイス技術における最近の動向」

超電導デジタルデバイス技術開発に関しては、この 1 年間で大きな進展があった。国内では、最終年度を迎えた NEDO「低消費電力型超電導ネットワークデバイス開発」プロジェクトにおいて、Nb 系低温超電導単一磁束量子 (SFQ) デバイスを用いたスイッチシステムおよび酸化物系高温超電導 SFQ デバイスを用いたデスクトップサンプラーの開発とデモンストレーションが超電導工学研究所 (SRL) で行われ、半導体機器を凌駕する性能をもつ超電導システム実現への見通しが示された。詳細は本特集の他の記事に譲るが、これらの成果は 6 月に米国ワシントン DC で開催された超電導エレクトロニクス国際会議 (ISEC2007) の招待講演で報告され、大きな反響を呼んだ。これらのデモは、低温で超高速動作する SFQ 回路の実装技術と室温エレクトロニクス間のインターフェイス技術の開発により、超電導を意識せずに利用できるレベルに達したということに大きな意義があり、大規模化や性能の一層の向上という課題はあるものの、システム専門家からも高い評価を得た。

SFQ デバイスに関連した新しいプロジェクトもいくつかスタートしている。SFQ デバイスをハイエンドコンピュータに応用しようとした場合、大容量メモリとのデータのやりとりがボトルネックとなって、超高速 SFQ プロセッサの良さが活かせないという問題が従来指摘されていた。一方、科学技術計算の分野では、多数の浮動小数点演算ユニットとスイッチネットワークを組み合わせることにより、メモリへのアクセスを最小限にして高速計算が可能な新しいアーキテクチャが考案されている。これは正に SFQ に適したアーキテクチャであり、将来のデスクサイド型のテラフロップス (TFLOPS) コンピュータの実現をねらいとし、このアーキテクチャに基づく SFQ プロセッサの基盤技術開発を目的とした JST-CREST のプロジェクト (名大、九大、横国大、SRL) が昨年 10 月に開始された。また、NbN や MgB₂ のようないわゆる MTS* 材料を用いた SFQ デバイス研究を中心とする文科省の特定研究プログラムも同時期に開始されている。さらに、今年の 6 月からは、NEDO「次世代高効率ネットワークデバイス技術開発」プロジェクトの中で、大規模ルータ用の光デバイス技術、システム化技術に加え、SFQ スwitchの大規模化に不可欠な光入出力技術や低温実装技術などの開発がスタートした。

ISEC2007 での発表や情報に基づく、米国では軍のサポートを受けた HYPRES 社のデジタルレシーバ (低温 SFQ 回路を利用し、無線アナログ信号をマイクロ波領域でデジタル化し処理するシステム) 開発が順調に進められている。また、Northrop Grumman 社は技術的に難しい 2 次の超電導 S-D 型 AD 変換器の開発に成功している。欧州では、スウェーデンの Chalmers 大学のグループが、HYPRES 社の Nb プロセスを利用し、無線通信基地局での干渉低減処理のために 1 万接合規模の SFQ デジタル信号処理回路の開発を行っており、今年中に冷凍機に実装してデモを行う計画になっている。EU の大規模予算はついていないが、SFQ 回路開発を目的とした "FLUXONICS" と呼ばれるネットワークが欧州の多数の大学間にはあり、特定の大学が回路チップ作製のファウンドリの機能を担っている。SFQ デバイスを中心とする超電導デジタルデバイス分野で、日本が世界をリードしているのは、低温系および高温系ともに優れた作製プロセスを構築していることに負うところが大きく、本格的な実用化に至るまでこれをいかに維持していくかが非常に重要な課題である。

*MTS : Middle Temperature Superconductor

(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：超電導デジタルデバイス技術

「低温 SFQ デバイスによるスイッチデモンストレーションと今後の展望」

超電導体としてニオブを用いる低温単一磁束量子 (SFQ) 回路は、100 GHz を越える高速性とゲートあたり 0.1 μW の低消費電力性が両立でき、しかも高集積化が可能なデバイスであり、既存技術の限界をブレイクスルーすることが期待されている。一方、データの行き先をアドレスに従い高速に切り替えるスイッチは、ネットワークルータで最も高速性が要求されるパーツであり、SFQ 回路の超高速、低消費電力特性が有効に活かせる応用である。超電導工学研究所は、NEDO「低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発」事業におき、低温 SFQ 回路を用いて超電導スイッチプロトタイプシステムを試作し、このシステムを用いた LAN (Local Area Network) において 4 台の PC 間での動画伝送実験に成功した。これにより、超電導スイッチを搭載する超低消費電力ネットワークルータ等が実現可能であることを示した。

本プロトタイプシステムの心臓部は、冷凍機で極低温 (-269°C) まで冷却された超電導マルチチップモジュール (MCM) であり、毎秒 100 億ビット (10 Gbps) で伝送可能な電気信号線を 32 本用いて室温からアクセスできる。超電導 MCM は SFQ スwitchチップと出力用超電導アンプチップの 2 チップから構成され、両チップの間は 10 Gbps の SFQ パルスで信号が伝送される。Switch チップは、パケット衝突防止用のスケジューラ回路と 4×4 (4 入力、4 出力) スwitchから構成されている。この Switch チップには、約 2,000 個のジョセフソン接合が集積されており、1 秒間に A4 用紙 480 万枚分の文字データを処理することができる。膨大な処理量にも関わらず、消費電力はわずか 0.66 mW である。

超電導 MCM を電源やインターフェイス回路などの周辺機器とともに 1 ラックに収納した SFQ スwitchプロトタイプシステムを図 1 に示す。中央にある赤い部分に超電導 MCM が格納されている。このシステムと 4 台の PC で LAN を構成し、イーサネット LAN で一般的に用いられるデータフォーマットであるイーサフレームによる動画伝送実験を行った。この結果、1 台のパソコンから同時に複数のパソコンに対して動画伝送要求を出した場合でも、超電導 Switch の衝突防止機能により、きちんと画像が送られることを確認した。図 2 に動画伝送デモンストレーションの一例を示す。また別の実験から、 10^{-13} 台のビットエラーレート (BER) が得られている。一般にネットワークに使用されるデバイスの BER は 10^{-12} 以下が必要とされており、本 SFQ スwitchシステムの信頼性がネットワークに適用できるレベルにあることを実証することができた。

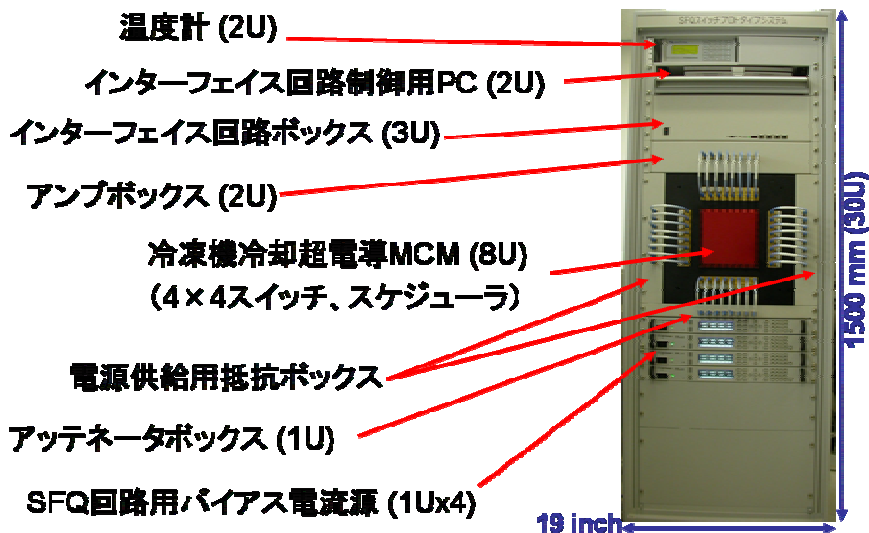


図 1 SFQ スwitchプロトタイプの外観 (冷凍機コンプレッサは別置き)

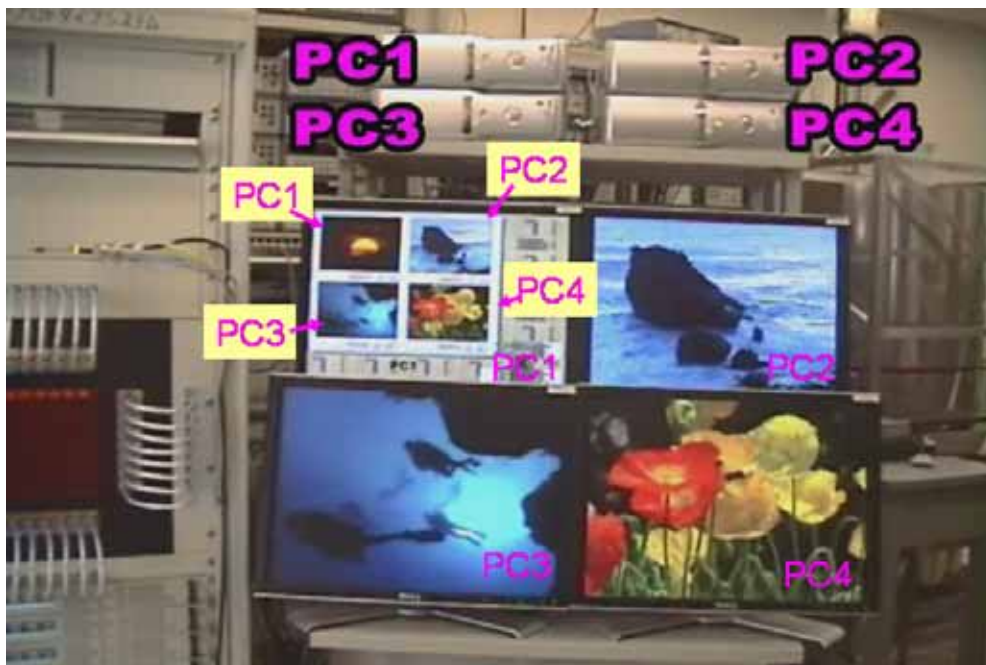


図2 SFQ スイッチを用いた LAN における 4 台の PC 間動画伝送実験風景

本デモンストレーションによって、SFQ スイッチの実用性と潜在能力の高さを示すことができた。しかし、本プロトタイプにおいて SFQ チップが消費するエネルギーは 1 mW 以下だが、32 本の高速電気信号ラインを通して極低温環境に流れ込む熱は約 1 W であり、冷凍機の冷却能力のほとんど全てがこの流入熱によって消費されている。システムが大規模化した場合はこの流入熱はさらに大きな問題となる。この問題を解決するには、熱をほとんど通さない光ファイバを用いた入出力を行う方法が有効である。このためには、極低温における光/SFQ、SFQ/光変換を実現する必要がある。現在 NEDO「次世代高効率ネットワークデバイスの技術開発」事業において、光入出力を始めとするシステム化技術の開発に取り組んでいる。この開発は将来の大規模超電導ルータを睨んだものであるが、このシステム化技術を用いて小型 SFQ システムを早期に実用化することも期待されている。

(SRL/ISTEC 低温デバイス開発室長 日高睦夫)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導デジタルデバイス技術

「高性能超電導コンピュータを目指した基盤技術の開発」

横浜国立大学 大学院工学研究院

知的構造の創生部門

教授 吉川信行

様々な科学技術計算において、高性能コンピュータが必要とされており、これまでその性能は凄まじい勢いで向上してきた。いうまでもなく、これらの性能向上は、CMOS を基盤とする半導体集積回路技術の進歩によるところが大きい。しかしながら、最近の半導体プロセッサの開発動向を見ると、性能向上の手段に変化が見られるようになった。これまでは単純にクロックスピードの増加でプロセッサの単体性能を向上させてきたが、最近では比較的低い性能のプロセッサを多数並列化することによって性能向上を図っている。例えば、IBM、東芝、SONY により開発された CELL プロセッサでは、20 GOPS 程度のプロセッサを 9 個並列に動作させ、200 GOPS 程度の性能を得ている。Renesas で開発された Matrix プロセッサでは、200 MHz で動作する 2bit 演算器を 2000 個並列化し、40 GOPS の性能を得ている。このようなプロセッサの設計思想の路線変更は、主に CMOS の消費電力密度の増大によるところが大きい。CMOS では、消費電力密度の増大によりもはやクロック上昇による演算器単体の性能向上は難しく、電力あたりの演算効率を向上させた低速のプロセッサを多数並列動作させるようになってきた。しかしながら、このような並列プロセッサは、その応用分野が限られる上に、並列化による性能向上もいずれ飽和する。したがって、単体性能が優れたプロセッサの開発は、今後、かならず必要になる。

超電導ループ中の単一磁束量子(SFQ)を情報単位とする SFQ 回路は、半導体に対して 10 倍以上の動作スピードで動作し、消費電力は 1000 分の 1 以下である。また、超電導配線を用いて SFQ パルスの弾道的伝搬が可能のため、配線によるスピードの低下や消費エネルギーの増大もない。したがって、SFQ 回路を用いれば、CMOS プロセッサを凌駕する高い電力あたりの演算性能を有するプロセッサを実現できる。我々は、NEDO の支援のもと、名古屋大学とともに SFQ プロセッサの開発を進めてきた。本稿では、これまでに我々が開発を進めてきた CORE プロセッサについて紹介する。

図 1 には、これまでに動作実証に成功している最も規模が大きな SFQ マイクロプロセッサである CORE1β ver.9 のチップ写真を示す。CORE1β ver.9 は、14 個の命令を持つ 8 ビットプロセッサであり、10995 個のジョセフソン接合で構成されている。最小線幅 2 μm の SRL 2.5 kA/cm² Nb 標準プロセスを用いて 8 mm チップ上に作製された。チップは、25 GHz のクロック周波数で動作し、その時の演算性能と消費電力はそれぞれ 1.4 GOPS、3.4 mW であった。単位エネルギーあたりの演算性能は 400

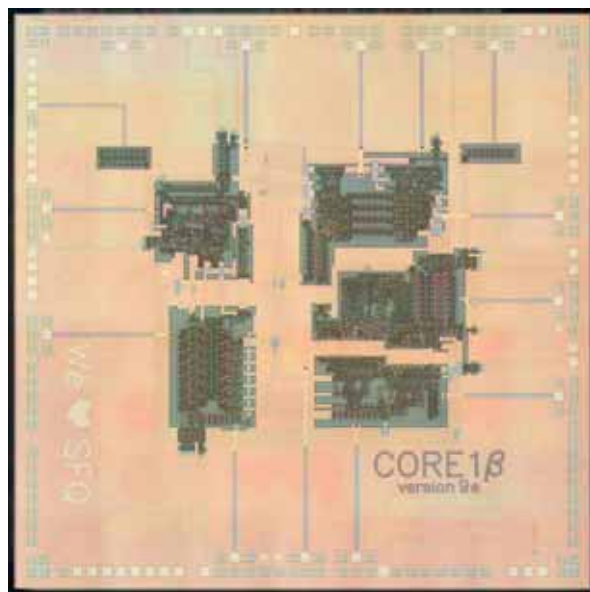


図 1 CORE1β ver.9 のチップ写真
チップ寸法は、8 mm 角

GOPSW を上回り、これは Blue Gene に対して 3 桁優れた性能である。

CORE1 β ver.9 のアーキテクチャ上の特徴は、まず、データ処理が 1 ビット単位（ビットシリアル）で行われることである。これにより、演算器の小型化が図られている。プロセッサは 2 つのカスケード接続された ALU を有し、1 つの命令で 2 つのレジスタ演算を実行できる。また、命令処理は 4 段のパイプラインステージで実行される。パイプライン制御には SFQ 回路に適した one-hot エンコーディングという方法が用いられおり、回路の大幅な簡略化が図られている。

CORE1 β ver.9 の回路構成上の特徴は、まず、磁気に強いセルライブラリが用いられていることである。全てのバイアスラインは超電導シールド層によりおおわれ、バイアス電流による磁界が回路動作に影響することを防いでいる。また、全ての回路ブロック間は超電導配線で接続されており、回路ブロック間のデータ転送遅延の大幅な低減と消費電力の低減が図られている。

これら 1 万接合を超える回路規模の SFQ 回路の高速動作実証の成功は、SRL の安定した Nb プロセスと動作余裕度の広いセルライブラリ等の開発によりもたらされたが、特に名古屋大と横浜国大の学生の献身的な努力によるところが大きい。

以上の NEDO プロジェクトは 2006 年度を持って終了したが、後継プロジェクトとして文科省科研費特定領域研究「局在電磁波集積回路」と JST CREST「単一磁束量子回路による再構成可能な低電力高性能プロセッサ」がスタートした。前者は、チップ性能として 1 TOPS を上回る信号処理回路の実現を目指す。後者は、10 TGOPS の演算性能が可能なスーパーコンピュータをデスクサイドに実現するための基盤技術の確立を目指す。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導デジタルデバイス技術 「高温超電導デスクトップサンプラーの開発」

インターネットに代表される情報通信の需要は 21 世紀にはいり爆発的に増大し、ネットワークの高速化の要求はとどまるところなく進んでいる。現在 40 Gbps のネットワークシステムの普及が進みつつあり、さらには 100 Gbps を超えるシステムの研究開発が行われている。これらを支える高速計測技術としてその高速性能と高感度性能から超電導 SFQ 技術が生かされる可能性が高い。特に超電導サンプラーは数十接合と小規模な集積化技術で作製可能なことから高温超電導 SFQ 回路の応用として最も実用化に近い応用と考えられる。超電導工学研究所では NEDO の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一貫として、超電導サンプラーの研究開発を行ってきた。高周波特性など性能面での研究開発とともに実用レベルのシステムとして市販の計測器並のデスクトップタイプのシステム開発を目指した。

高温超電導デバイスは 50 K 近辺での動作が可能であることから小型冷凍機での冷却が可能で、システム全体を小型化できることが一つのメリットである。しかし、パッシブなデバイスである超電導フィルタを除きシステムとして実現した例は見当たらない。今回、高温超電導サンプラーチップを搭載した小型の冷却システムと、計測制御システムを含むシステム全体の開発をプロジェクトの目標とし、図 1 に示すポータブルなデスクトップサイズの高温超電導サンプラーを開発した。そのために必要な 1) チップ作製、2) 実装、3) 計測部の全てに渡って研究開発を進めた。



図 1 高温超電導 SFQ サンプラーシステム

1) サンプラーチップを作製するために、ランプエッジ形状の表面改質型ジョセフソン接合 (IEJ 接合) と多層薄膜化技術による高温超電導単一磁束量子 (SFQ) 回路の集積回路作製技術を開発した。図 2 は高温超電導集積化技術を用いて作製したサンプラーチップの一例である。サンプラー回路の作製にあたって、インダクタンスを低減化し漏れ磁界を少なくする必要があるため、超電導グランドプレーン上に回路を作製する技術を開発した。チップの入力部はコプレーナ線路になっており、また高周波信号の反射を低減するためのマッチング抵抗を集積化した。

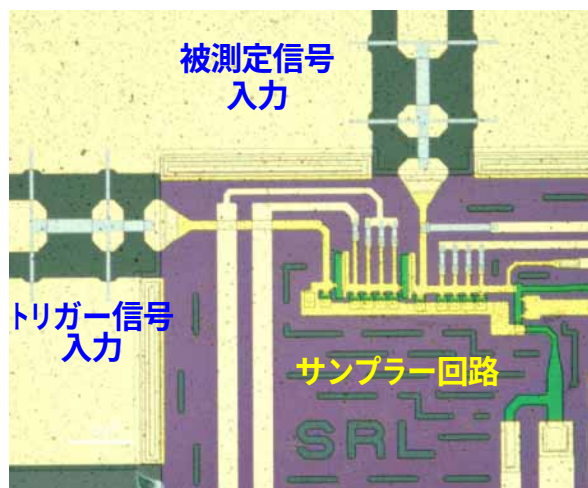


図 2 高温超電導サンプラーチップ

2) 実装技術では、冷却システムを含む全体のシステムをポータブルなサイズにし、かつ冷却時間を短縮することが重要な開発課題であった。開発した冷却システムは信号ラインやチップを実装する高周波モジュールの材料や形状などを適切に設計することで、熱流入と熱容量を最小限に抑えた。

その結果、小型の一段スターリングタイプのクライオクーラー（冷却能力：80 K で 1 W 以上、消費電力：60 W）が使用可能となった。また、電源投入後 60 分以内で 45 K への冷却が可能になった。高周波モジュールとチップ実装は再委託先であるアドバンテスト研究所とともに開発し、初期バージョンでは 100 g 以上あったモジュールは最終バージョンでは約 25g と軽量化し冷却時間の短縮に寄与した。このサンプラーモジュールを組み込んだ冷却システムは、140 mm（幅）× 高さ 150 mm（高さ）× 200 mm（奥行き）で重量 4 kg 以下と小型軽量化が実現できた（図 3）。

3) また、計測システムも一新し、計測器の標準化の一つである PXI をベースとしたワンケースサイズのものを開発した。パルス発生器、ディレイライン、DC バイアス電源、A/D コンバータなど、超電導サンプラーの動作に必要な全ての機能部品を 3U サイズ（高さ 177 mm）、19 インチラック幅の PXI ケースに収めることができた。サンプリングするタイミングを変えるディレイラインはこれまでは機械的可変で動作が遅かったが、電気的可変のものを開発し、またサンプリング周波数を従来の 100



図 3 小型クライオクーラーを用いたサンプラー冷却システム（内部写真）

KHz から 10 MHz と二桁の高周波化をはかった。その結果、観測波形を表示する際のスイープ速度が数秒程度と市販のものと遜色がないほどに高速化できた。電気的な性能に関しても、スルーレートの高い 10 MHz サンプリングや基準発振器を用いた新たな方式の開発によりジッタを従来の 5 ps 位から 1 ps 程度までに低減化できた。

図 4 が開発した超電導サンプラーシステムを用いて測定した 50 GHz の波形であり、これまでになくクリアな波形を高感度で観測することに成功した。今回開発したシステムにより、サンプラー動作を制御する PC を含めた全システムが、従来のラック一台のサイズからデスクトップサイズへと実用化レベルで小型化された。実験段階ではデスクトップタイプ PC を使用しているが、PXI ケースにモジュールタイプのものが収納可能である。このような冷却システムを含むポータブルなシステムを実現したことは今後の実用システムへの発展に向けた重要な一歩になると期待される。

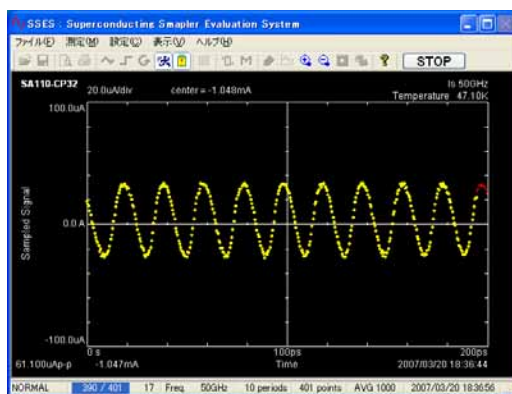


図 4 観測した 50 GHz 正弦波信号

関連記事

- 1) 鈴木秀雄、超電導 Web21 2004 年 9 月号 4 頁
- 2) 鈴木秀雄、超電導 Web21 2005 年 10 月号 3 頁
- 3) 鈴木秀雄、超電導 Web21 2006 年 10 月号 12 頁

(SRL/ISTEC 低温デバイス開発室 鈴木秀雄)

超電導関連 10- 11 月の催し物案内

9/30-10/5

The 8th International Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-8)

場所：Heidelberg, Germany

問合せ：<http://iwrwww1.fzk.de/isfnt/>

10/5

「超伝導入門－高温超伝導のなぞ－」

場所：群馬工業高等専門学校 大講義室、前橋市

主催：電気学会 関東支部 群馬支所

問合せ：群馬工業高等専門学校電子メディア工学科 小幡常啓

Tel: 027-254-9160、Fax: 027-254-9080、E-mail: obata@elc.gunma-ct.ac.jp

10/12-13

第 3 回冷凍部会例会国際会議報告「低温工学・超電導工学における国際情勢と動向について」

場所：ルネッサ赤沢、伊東市

主催：低温工学協会 冷凍部会

問合せ：<http://csj.or.jp/>

10/15-16

標準化と品質管理全国大会 2007

場所：虎ノ門パストラルホテル

主催：財団法人日本規格協会

問合せ：03-3583-8008、Fax: 03-3582-0698

10/18

日本学術振興会 超伝導エレクトロニクス第 146 委員会－設立 25 周年記念シンポジウム

場所：タワーホール船堀 小ホール、江戸川区、東京

主催：日本学術振興会 超伝導エレクトロニクス第 146 委員会

問合せ：

日本学術振興会第 146 委員会幹事

室蘭工大 松田 (0143-46-5550 matsuda@mmm,muroran-it.ac.jp)

富士通研究所 吉田 (044-754-2253 yoshida.akira@jp.fujitsu.com)

<http://www.towerhall.jp/4access/access.html>

10/29-11/1

2007 National SBIR/STTR Fall Conference

場所：Richardson, TX, USA

問合せ：<http://www.texasone.us/site/PageServer>

11/5-7

20th International Symposium on Superconductivity (ISS2007)

場所：EPOCHAL TSUKUBA, つくば市

主催：(財) 国際超電導産業技術研究センター

問合せ：<http://www.istec.or.jp/ISS>

11/5

第 1 回超電導能動素子の実用的試験方法に関するパネル討論会－標準化調査－

場所：1:40pm-3:10pm、中会議室#406、EPOCHAL TSUKUBA, つくば市

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒105-0004 港区新橋 5-34-3 Tel: 03-3431-4002 Fax: 03-3431-4044

共催：(財) 国際超電導産業技術研究センター・(独) 新エネルギー産業技術総合開発機構

問合せ：(財) 国際超電導産業技術研究センター 標準部 田中靖三、檜山由紀子

Tel: 03-3459-9872、Fax: 03-3459-9873、E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

11/6

第 5 回超電導電力機器関連パネル討論会 ―標準化調査―

場所：6:40pm-8:40pm、中会議室#406、EPOCHAL TSUKUBA, つくば市

共催：(財) 国際超電導産業技術研究センター・(独) 新エネルギー産業技術総合開発機構

問合せ：(財) 国際超電導産業技術研究センター 標準部 田中靖三、檜山由紀子

Tel: 03-3459-9872、Fax: 03-3459-9873、E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

11/7

2nd IEC/TC90/WG12 Meeting ―国際標準化事業―

場所：2:00pm-3:30pm、中会議室#202、EPOCHAL TSUKUBA, つくば市

主催：IEC/TC90/WG12

問合せ：(財) 国際超電導産業技術研究センター 標準部 田中靖三、檜山由紀子

Tel: 03-3459-9872、Fax: 03-3459-9873、E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

11/8-10

International Working on Coated Conductors for Applications (CCA2007)

場所：Suites Hotel, Jeju island, Korea

問合せ：School of Materials Science & Engineering, College of Engineering, Seoul National University, Associate Professor, e-mail: pchan@snu.ac.kr

<http://www.cast.re.kr/cca2007>

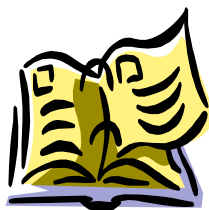
11/26-30

2007 MRS Fall Meeting

場所：Hynes Convention Center and Sheraton, Boston, Massachusetts, UAS

問合せ：<http://www.mrs.org/>

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (8/18-9/18)

- 系統セミナー 別ルートから送電し復旧図る 江東線事故復旧の概略イメージ 朝の需要急増で発電所停止 8/21 電気新聞
- 電磁界 WG WHO 報告書を議論 低周波の発がん性 因果関係を否定 8/21 電気新聞
- 新エネ部会 蓄電池開発、課題に 5 ヶ月ぶり議論再開 概算要求反映へ 8/21 電気新聞
- 磁石の強さ 12 けたまで計算 理研・名大・米コーネル大「微細構造定数」を変更 8/23 フジサンケイビジネスアイ、日経産業新聞
- 進む省エネ半導体開発 炭化ケイ素製 電力損失半減 節電効果 原発 4 基分 8/24 日本経済新聞
- がんの患部を狙い撃ち 放射線治療の新機器「トモセラピー」一億円台、普及これから 8/26 朝日新聞
- 大阪大学・北岡良雄教授 高温超電導の仕組み探る 実験積み重ね理論実現へ 8/27 日刊工業新聞
- 放射線医療 がん治療に陽子線を活用 若狭地区での研究本格化 8/27 電気新聞
- エネ特会、8.1%増加 経産省 08 年度概算要求 温暖化対策など重点 8/27 電気新聞
- 経産省 税制改正要望 省エネ、バイオ推進へ 業務用ビルなど 高効率化を支援 8/27 電気新聞
- 系統セミナー 放射状の運用、事故で一度停電 系統から切り離し波及最小に 8/28 電気新聞
- 半導体進化論 量子コンピューターに道 NEC、基本回路を試作 8/29 日経産業新聞
- 半導体進化論 不良解析が生んだノーベル賞 量子力学応用し高速素子 8/30 日経産業新聞
- 三菱重工がリニア実験線 和田沖工場に来春500m 海外向け車体検証 8/31 日刊工業新聞
- 乳がん検査 MRI装置整備 厚労省、拠点病院に 9/2 日本経済新聞
- 石ころのナノテク 酸化物が半導体に 有機EL応用へTAOS広める 東工大細野教授 9/3 日刊工業新聞
- UHV送電技術 国際規格化に前進 標準化団体がWG設置へ 10年後にも策定の見通し 9/3 電気新聞
- 長尺の超電導線材開発 フジクラ、長さ500メートル目指す 9/4 日経産業新聞、日刊工業新聞、電気新聞
- 超電導モーター「液体窒素」で出力最大 IHIが365キロワットを開発 8/4 日経産業新聞、日刊工業新聞、電気新聞
- 系統セミナー 復旧時間、より短縮するには？ 発電所間の連携効率化が課題 9/4 電気新聞
- 半導体進化論 格子からドットへ 量子デバイスを開拓 9/4 日経産業新聞
- 超伝導で超効率送電 住友電工、米で実証試験中 電流、銅線の200倍 9/7 朝日新聞
- 超電導で直流送電 電力ロス1/20に低減 中部大グループ 9/7 日本経済新聞
- 風力発電 電力会社の系統制約 発電量調整では「厄介者」 9/7 日経産業新聞
- ヘリウム世界的に不足 高騰・使用制限 日本に影響も 9/9 読売新聞
- 米で国際超電導サミット 研究報告など活発に 9/10 電気新聞
- 系統セミナー 単独系統、需要近郊保てず停電 緊急連携作業は自動化有効 9/11 電気新聞
- ものづくり力 国家戦略に盛る 始動する科学技術政策 現場の“知”と結合、挑戦へ 9/12 日刊工業新聞
- 移植幹細胞 MRIで成長追跡 循環器病センター研が技術 9/12 日刊工業新聞
- 名大 核融合研と連携提携 共同研究の強化目指す 9/14 日刊工業新聞

- SMES向け 新型コイルを開発 東工大 強磁場発生に成功 9/14 電気新聞、日刊工業新聞
- 系統セミナー 風力急増、接続ルール後手に 日本はあらかじめ導入に工夫 9/18 電気新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（2007 年 8 月）

電力

SuperPower, Inc.(2007 年 8 月 7 日)

Philips Holdings USA の子会社 SuperPower, Inc.は、DOE の 2007 年 Peer Review において超電導電力システムの分野で超電導マグネットについてのいくつかの新しい成果と世界最高記録に関する報告を行った。最初に、SuperPower 社は今日までで世界最長のバッファード・ワイヤーの生産について報告した。5 層ナノ・レイヤーと完全なバッファテンプレートからなる 1,350 m の線材を数本作製し、面内テクスチャー 6~7 度、均質度 2~3%を達成した。4 mm 幅の線材の製造速度 350 m/時を達成し、SuperPower 社のパイロットスケールの生産プロセスが長尺線材を高いスループットで生産できることを実証した。SuperPower 社社長 Philip J. Pellegrino は次のように述べた。「線材性能及び線材長さに関する成果に加え、プロセス速度、スループット、材料コスト低減の更なる改善により、線材の価格低減を図ることができる。これにより、2010 年までには銅線と同程度の価格にまで引き下げることを目指している。我々は正にこの目標に向かって着実に前進している。」Albany HTS ケーブル・プロジェクト及び各種用途屋内機器実証向けに 2006 年 12 月 9.7 km の次世代線材を住友電工に出荷したのに加え、SuperPower 社は世界の 25 の研究機関、大学、民間企業に 2006 年 7 月 6.4 km 以上の 4 mm 幅相当の次世代線材を販売した。これら線材はケーブル、限流器、マグネット等幅広い応用分野に使われることになる。

さらに、SuperPower 社及びプロジェクト・パートナーである住友電工は、米国グリッドに世界初の次世代線材ケーブルを成功裏に組み込んだことを報告した。これは Albany HTS ケーブル・プロジェクトの重要要素の組み込みが完了したことを意味する。SuperPower 社の 9.7 km の次世代線材を使い住友電工は 30 m、3 相完全シールドケーブルを製造した。ケーブルの設置が現在進められているが、その後試験を経て 2007 年 11 月に全システムに再通電が行われる予定である。このケーブルシステムは約 6 ヶ月稼働の予定。ケーブル・プロジェクトの前段階のフェーズでは、Bi 系ケーブルが 9 ヶ月無事故で稼働したという実績がある。

また、今回の Peer Review では、SuperPower 社と National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL)は（超電導マグネットで）26.8 Tesla の世界記録を報告した。これは超電導により生成された最も強い磁場である。

最後に、SuperPower 社は Oak Ridge National Laboratory とともに、次世代線材で 2007 R&D 100 Award を受賞したことを報告した。この賞は、LMO ベースの高性能 HTS 線材により SuperPower 社に与えられたものであり、過去 1 年の間に市場に投入された最も技術的に優れた 100 の技術の 1 つとして選ばれたもの。この線材は強度、柔軟性、加工性に優れ、高スループットかつ低コストであり、コイルやモーターといった応用に必要な条件を備えている。この賞は、今年の秋に開催される授賞式で発明者に授与される。

出典:

"SuperPower Announces New World Records in Wire and Magnet Technologies"

SuperPower, Inc. press release (August 7, 2007)

<http://www.superpower-inc.com/20070807.aspx>

American Superconductor Corporation（2007 年 8 月 9 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は 2007 年 6 月 30 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 1,400 万ドルに対し 41%増の 1,980 万ドルであった。特に、

AMSC Power Systems の収入は前年同期に比して 305%増加した。当期の純損失は、前年同期の 670 万ドルに対し、当期は 970 万ドルであった。この損失には、株価の増加によるワラント引き当て調整のための費用、リストラ、AMSC Superconductors における価値減損費用及び出荷を予定していた SuperVAR ®の減価償却に係る約 290 万ドルなどいくつかの一時費用が含まれている。当期末の保有現金、現金等価物及び短期投資は、3,050 万ドルである。AMSC 社はこれまでに増資により約 9,400 万ドルを得ている。2007 年 6 月 30 日現在で、同社の受注残総額は 7,500 万ドルである。その後、AMSC 社は中国の Sinovel Wind 社から記録的な発注を受けた他、国家安全保安省からの 2,400 万ドル、DOE からの 2,170 万ドルを加え、受注残は 1 億 4,000 万ドルに増加している。同社上級副社長兼会計責任者 David Henry は次のように述べた。「最近の増資により得られた資金により成長機会を逃さないための新規投資が可能となり、利益追求に向け全力で取り組んでいく。第 1 四半期に作り上げたこの勢いで 2007 年度の年間収入を従来の 7,500～8,000 万ドルから上方修正して、前年比 67%増の 8,500～9,000 万ドルと予測している。また、2007 年度の純損失は、2,100～2,400 万ドル程度と見ている。従来の純損失予測は 2,200～2,500 万ドルであった。2007 年第 4 四半期には季節調整済み利益をプラスにできるものと考えており、2008 年度は年間で黒字化を果たすことができそうな勢いである。」

出典:

“AMSC Reports First Quarter Fiscal 2007 Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (August 9, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1038763&highlight

Zenergy Power plc (2007 年 8 月 9 日)

Zenergy Power plc は、ドイツで HTS コイルの重要特許が認められた。この特許は、新しい高エネルギー効率、小型、軽量発電機の主要コンポーネントに関するもので、非常に重要である。この発電機は発電効率向上を目指す再生可能エネルギー関連の民間企業をターゲットとしており、オフショア風力発電コストを 25%程度削減できるのを初めとして再生可能エネルギー生産のコスト低減を果たすものと期待されている。そこに使われているコイルは、EU 委員会、ドイツ経済産業省、英国通商産業省を含め、いくつかの政府、公的機関の援助を得て、Zenergy Power Group 及びそのパートナーにより開発が進められている。風力発電及び水力発電市場における年間の HTS コンポーネント（発電機）市場規模は 26 億ドルを超えるものと見られている。現在、Zenergy Power Group は世界最初の HTS 水力発電機をドイツの商用水力発電所に導入する作業を進めているところである。試験の後、1.25-MVA の超電導発電機は約 2,000 戸の家庭の電力を供給する予定。Zenergy のコンポーネント（発電機）は、水力発電の場で 98% を超える効率を達成している。

出典:

“Core Patent in Key Renewable Energy Markets”

Zenergy Power plc press release (August 9, 2007)

<http://www.trithor.com/pdf/press-en/2007-08-09-Core-Patent-Coils.pdf>

American Superconductor Corporation (2007 年 8 月 28 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国及びスコットランドで建設中の風力発電所向け、60-MW 及び 48-MW 級 D-VAR ®システムの発注を受けた。これらは地域グリッド接続要求仕様を満たすために使われる。D-VAR システムの据付は 2008 年早期に予定されており、両風力発電所とも据付後 12 ヶ月以内に稼動を始めることが予定されている。この注文は全世界で 32 番目及び 33 番目の D-VAR システムの購入である。今回の発注の他、AMSC 製品が使われている風力発電所の延べ発電量は 5.7 GW に達しており、昨年 9 月の 3 倍である。

出典:

“AMSC Receive New D-VAR® Orders for Wind Farms in the U.S. and Scotland”

American Superconductor Corporation press release (August 28, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1045380&highlight

U.S. Department of Energy (2007 年 8 月 28 日)

DOE 送電・信頼性担当新任次官 Kevin M. Kolevar は、ルイジアナ州グレタの Energy Louisiana Operations Center を訪問し、ブッシュ政権の送電網への新技術適用政策及び送電網の近代化、安全性の向上に向けた 5,180 万ドルの投資について説明した。Entergy Corporation, Oak Ridge National Laboratory 及び nkt cables (ドイツ)は協力して Southwire 社主導のプロジェクトに参加し、ニューオルリンズ近郊の電力問題解決のため 13.8-kV の HTS ケーブルを設置する予定である。DOE はこのプロジェクトのため 1,330 万ドルを支出する。

以前の発表の通り、他の 4 つのコンソーシアムが DOE によって選ばれ、米国電力グリッド近代化のためのコスト・シェア・プログラムに対し総額 5,180 万ドルが供与される。この内 2 つのコンソーシアムは American Superconductor (各々 900 万ドル、1,270 万ドル) がリーダーとなる。その他、1 つは SC Power Systems (1,100 万ドル) が、1 つは SuperPower Inc (580 万ドル) 主導する。これらプロジェクトは 2 年から 5 年継続される予定。

出典:

“Department of Energy Official Touts Bush Administration’s Efforts to Modernize our Nation’s Electric Grid”

U.S. Department of Energy press release (August 28, 2007)

<http://home.doe.gov/news/5342.htm>

マグネット

National High Magnetic Field Laboratory (2007 年 8 月 7 日)

The National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL) と Philips Holdings USA 子会社の SuperPower, Inc. は、超電導マグネット (LTS を含む) で世界最高記録の 26.8 Tesla を達成した。HTS コイルは SuperPower 社が同社の次世代線材を使って製造し、試験は NHMFL が行った。7 月後半、このマグネットは 26.8 Tesla の磁場を生成した (HTS 以外のバックグラウンド磁場は 19 Tesla)。バックグラウンド磁場を除くと、HTS コイルは 4.2 K で 9.5 Tesla を生成したことになる。この新記録は、2003 年に達成された磁場を 1.8 Tesla 上回るものである。Applied Superconductivity Center 責任者兼材料研究主任の David Larbalestier は次のように述べた。「この結果は我々が長く待ち望んでいたものである。現在電力用途で使われている YBCO がマグネット技術の面でも大きなポテンシャルを持つことが示された。この技術は 30 Tesla を超える全超電導マグネットの製造にも使うことができそうである。これは、以前の Nb ベースの超電導マグネットの限界である 22~23 Tesla をはるかにしのぐ。」この記録を達成したことで National Research Council の目標である 30-Tesla 超電導マグネットに 1 歩近づいた。30-Tesla 超電導マグネットができれば、物理、生物、化学の大きな進歩が見込めるであろう。

出典:

“New Mag Lab Record Promises More to Come”

National High Magnetic Field Laboratory press release (August 7, 2007)

<http://www.magnet.fsu.edu/mediacenter/news/pressreleases/2007august7.html>

質量分析

Carnegie Mellon University (2007 年 8 月 23 日)

Carnegie Mellon University では、新しい質量分析装置を用いて大きな（質量の）ビールス及び大きな von Willebrand 因子（高分子糖蛋白の一種）の評価を行った。Macromizer™を用い、HK97 ビールスの外郭蛋白質を解析し、その重量が 12,900 kDa（kDa：分子の重さの単位）であることを明らかにしたほか、被覆蛋白質全体の質量が 17,700 kDa であることを示した（従来の質量分析計では低電荷で 150 kDa 以上の分子の分析は不可能）。分析の結果、分子は 30+の陽電価を持つことが示された。さらに、きちんとした凝固が必要な血液中の複合蛋白である von Willebrand 因子（200～1,100 kDa）の測定も行い、従来より精度の高い結果を得た。このような低チャージの重い未処理生体分子の直接的な質量分析は、従来の装置ではできないものであり、より進んだレベルの分析技術であるといえる。

この Macromizer は極低温ディテクターを基礎とした MALDI TOF 質量分析装置であり、ここには 16 の超電導トンネル接合を持つ素子が組み込まれている。Carnegie Mellon University は全米で 2 台しかないこの装置を保有している。この装置は大重量の未処理蛋白又は蛋白複合体を数秒で分析することができる。一方、従来の分析装置では“bottom-up”手法で数日を要する分析であった。この結果は、質量分析計を用いて速やかな診断への道を拓くものである。同大学の Center for Molecular Analysis 長 Mark Bier 准教授は次のように解説した。「これは質量分析の新たなフロンティアである。我々はこの結果が分子生物学、ビールス学、蛋白質学、ナノテクノロジーの進歩に役立てばと思っている。」

この研究は National Science Foundation の Biological Infrastructure プログラムからの資金援助を得て行われた。この資金を使って、研究グループは次世代重イオン質量分析計の開発も進めている。

出典:

“Carnegie Mellon scientist uses mass spectrometer to weigh virus particle, von Willebrand factor”

Carnegie Mellon University press release (August 23, 2007)

http://www.cmu.edu/news/archive/2007/August/aug23_massspec.shtml

冷凍機

Oxford Instruments plc (2007 年 8 月 20 日)

Oxford Instruments plc は、パルスチューブ技術を使った冷媒不要の冷凍機メーカーである VeriCold Technologies GmbH を買収した。VeriCold 社の冷凍機は、Oxford Instruments 社の研究用及び新領域に向けた LTS 強磁場マグネット製品をカバーしかつその領域を拡大するものである。この買収は、事業に必要な技術を取得することにより企業規模を倍増させるという Oxford Instruments 社の 5 ヶ年計画の一部である。VeriCold 社は、以前と同様本拠をドイツに置くが、量子計算や空港セキュリティといった冷媒フリー技術の需要拡大に対応して研究開発グループを強化していく予定。

出典:

“Oxford Instruments plc acquires VeriCold Technologies GmbH”

Oxford Instruments plc press release (August 20, 2007)

<http://www.oxinst.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Internet/Press/Current+News/Oxford+Instruments+plc+acquires+VeriCold+Technologies+GmbH>

材料

Superconductive Components Inc.. (2007 年 8 月 7 日)

Superconductive Components, Inc.社は、2007 年 6 月 30 日に終了する第 2 四半期の収支を発表した。総収入は、前年同期比 194%増の 340 万ドルであった。この増加の主たる理由は、光学分野での大きな売り上げ増によるものである。粗利益は、前年同期 30 万ドルに対し、当期は 50 万ドルに増加した。2007 年 6 月 30 日時点での受注残は 200 万ドルである。同社最高責任者 Dan Rooney は次のように述べた。「我々は第 2 四半期の結果に満足している。これにより 4 期連続で黒字化を果たしたことになる。長期に利益が期待できる市場での機会を追求するという戦略を継続するとともに、我が社のビジネスをさらに多極化していく考えである。」

出典:

“Superconductive Components, Inc. Reports Strong Second Quarter 2007 Results”

Superconductive Components, Inc. press release (August 7, 2007)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/investors/ne/earnings/scci27.htm>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2007 年 8 月 2 日)

Superconductor Technologies Inc.社は、2007 年 6 月 30 日に終了する第 2 四半期の収支を発表した。純総収入は、前年同期 500 万ドルに対し、当期は 470 万ドル。当期純製品売り上げは、前年同期 390 万ドルに対し、370 万ドルであった。政府契約やその他契約による収入は前年同期 110 万ドルに対し、当期は 100 万ドル。純損失は、前年同期 2,270 万ドルに対し、当期は 200 万ドル（前年同期はのれん償却費用として 2,010 万ドルの支出）。STI 社最高責任者 Jeff Quiram は次のように述べた。「我々は新たに 3 社の新規顧客を獲得したことを満足に思っている。おのおのの顧客が第 2 四半期には 10 %以上の収入に寄与しており、これら顧客は技術評価段階から商業展開の段階に入っている。第 2 四半期には政府契約も順調に伸びてきており、4 月に契約した空軍向け 470 万ドル相当の出荷も終え、将来さらに収入増につながっていくものと期待している。我々は現在の資産を有効に活用し、運転費用の効率的使用を図るという課題に向けても、四半期ベースのブレイクイーブン・ポイントを約 830 万ドルレベルにまで低減することにも成功した。」2007 年 6 月 30 日時点での受注残は、前年同期の 80 万ドルに対し 14 万 3 千ドルである。

出典:

“Superconductor Technologies Inc. Announces Second Quarter 2007 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 2, 2007)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1036133&highlight>

Superconductor Technologies Inc. (2007 年 8 月 11、27 日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、Hunchun BaoLi Communication Co. Ltd. (“BAOLI”, 中国)と契約を締結した。同契約の下で、BAOLI 社は 1,500 万ドルを投資し、STI 社の一般株式を 1 株当たり 1.6275 ドルで 9,216,590 株取得する。この投資の支払いは 4 回分割で行われる。第 1 回目は 2007 年 8 月 31 日に 100 万ドル、第 2 回目は 2007 年 9 月 30 日に 300 万ドル、第 3 回目は 2007 年 10 月 22 日に 200 万ドル、第 4 回目は 2007 年 12 月 30 日に 900 万ドルである。契約に従い、BAOLI 社は将来株主の議決が必要となる事項に関して 2,148,296 株分については議決権を行使せず、残りの議決権についてのみ、他の株主と同等にこれを行行使することで合意している。

これに関連して、STI 社と BAOLI 社は、中国市場向けに push-to-talk (PTT)ヘッドセット及びこれに必要なバッテリー技術の合弁企業設立に向けての話し合いを始めた。この合弁企業は、中国市場で STI 社の干渉低減ソリューションである SuperLink®の製造とマーケティングを行うことを予定している。BAOLI 社社長 QiangHua Shao は次のように述べた。「STI 社は、SuperLink®という商品を持っており、干渉防止技術では世界のリーダーである。我々は中国市場やその他のアジア市場で多くのビジネスチャンスがあるものと考えている。BAOLI 社の製造及び販売網と STI 社の技術が結びつければ、世界で最も大きな無線通信市場である中国での成功の可能性は大きいと確信している。2007 年末までにこの合弁企業を立ち上げることを目指している。」

出典:

“Superconductor Technologies Enters Into \$15.0 Million Investment Agreement”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 22, 2007)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1042612&highlight>

“Superconductor Technologies in Negotiation to Enter Joint Venture With Hunchun BaoLi Communications”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 27, 2007)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1044929&highlight>

基礎

European Science Foundation (2007 年 8 月 7 日)

東京大学の Dr. Masaki Hori は、反陽子の取り扱い及び貯蔵プロジェクトの成果により EURYI 賞を受賞した。ドイツの Max-Planck Institute と協力し、Hori は磁場ではなく電波を利用して反陽子貯蔵の研究を進めてきた。この方法を用い、Hori はゴミ箱大の非常に小型の超電導電磁波 4 重極トラップの開発を目指した。完全な反物質による原子を作り出し、これが予想通りの振る舞いをすることを確認するための装置を使うことを考えている。Hori はすでに反陽子が通常の陽子と正確に同じ質量と反対の電荷を持つことを確認している。

EURYI 賞は European Science Foundation と European Heads of Research Councils から授与されるもので、世界の若手研究者が欧州でその科学発展のために研究を進めることを目的としている。100~125 万ユーロの賞金が与えられる。

出典:

“EURYI award project to store antimatter in box like ‘office bin’”

European Science Foundation press release (August 7, 2007)

<http://www.esf.org/ext-ceo-news-singleview/article/euryi-award-project-to-store-antimatter-in-box-like-office-bin-301.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 10 月のトピックス

IEC/TC90、米国フィラデルフィアにて第 1 回 WG12 会議開催

IEC/TC90（超電導）は、WG12 の第 1 回会議を、平成 19 年 8 月 28 日に米国フィラデルフィア・マリオットホテルにて開催し、オブザーバを含め 10 名が参加のもと成功裏に終了した。

IEC/TC90/WG12 は、平成 19 年 2 月 2 日、コンビーナを三戸利行（大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所 教授）のもと 5 ヶ国 7 名の専門家によるワーキンググループ (WG12) として発足した。WG12 は、IEC（国際電気標準会議）における超電導機器への電力供給用電流リードに係わる国際規格案の作成を目的としている。当面の業務項目は、つぎの規格案の作成である。

IEC 61788-14 Superconductivity

– Part 14: Superconducting power devices

– General requirements for characterization of current leads for powering superconducting devices

第 1 回 WG12 会議では、コンビーナを三戸利行教授に代わり、新富孝和教授（日本大学）の司会のもとでつぎの審議が行われた。

- (1) IEC/TC90/WG12 メンバー紹介
- (2) 第 1 回 WG12 議題の確認
- (3) WG12 発足の経緯及び審議日程の紹介
- (4) 日本国内委員会（JNC）が作成した国際規格原案（1stWD）の審議

第 1 回 WG12 会議は、第 20 回磁石技術国際会議（MT20）との併催であったことから審議時間が十分には確保できなかった。その結果、つぎの対応をすることが確認された。

- (1) 日本国内委員会（JNC）が作成した国際規格原案（1stWD）について、各メンバーからのコメントを 2007 年 9 月 28 日までにコンビーナ三戸利行教授が集約する。
- (2) 第 2 回 WG12 会議を 2007 年 11 月 5-7 日（国際超電導シンポジウム、ISS'07）に開催する。

（編集局）

IEC/TC90「超電導機器に関する第 4 回パネル討論会」報告

日本大学
総合科学研究科
教授 新富孝和

IEC/TC90 主催による「超電導機器に関する第 4 回パネル討論会」が、第 20 回磁石技術国際会議 (MT20) が開催されたフィラデルフィア・マリオットホテルで、8 月 28 日に開催された。会議は MT20 のセッション終了後の夜 8 時から開催されたにもかかわらず約 30 名が参加し、10 時過ぎまで活発な討論が行われた。

TC90 国内技術委員会委員長である長村光造京都大学名誉教授司会のもとに会議が進められた。IEC/TC90、電流リード、電力ケーブル、超電導限流器及び超電導回転機について夫々パネリストが、開発状況、今後の見通しなどについて報告し、討論を行った。

まず、長村名誉教授 (応用科学研究所) が、本会議の趣旨を説明し、超電導関連標準化に対する IEC/TC90 の全般的な活動状況、超電導材料の試験法と製品の標準化について紹介した。製品の標準化に関する活動の結果として、電流リードの特性試験法に関する通則が取り上げられ、そのためのワーキンググループ (WG12) の活動が今年から開始されたこと、次に取り上げる項目として電力ケーブルに関する標準化が考えられることなどの意見が述べられた。

Tom Taylor 氏 (CERN) は、欧州で建設中の超電導加速器 LHC に用いている 1800 余りの 60 A から 13 kA の広範囲にわたる常電導及び高温超電導 (HTS) 電流リードの設計、製造、試験に至る技術開発状況、それで得られた種々の教訓などについて報告した。HTS 電流リードは、600 A、6 kA 及び 13 kA の 3 種類、1000 ユニットが製作され、デファクト (de facto) スタンドर्डになっていること、HTS 電流リードによる技術開発が今後、恐らく最初に電力ケーブルに生かされるであろうという見通しであった。

David Lindsay 氏 (Southwire Co.) は、電力ケーブルの特長について述べ、アメリカで進行中の電力ケーブルプロジェクトの現状と韓国、中国、日本における開発計画について報告した。電磁界の漏洩が少なく、高い効率などから環境に優しいこと、従来電力ケーブルに比べ 5 倍の容量を持ち、コンパクトであることなどの特長を上げている。また、議論の中で、超電導直流送電の標準化も進める必要があるとの意見が出た。

佐藤謙一氏 (住友電工) は、標準化の観点から、TC90 としては IEC/TC の中の電力ケーブル (TC20) や他の TC と連絡を取っていく必要があると述べた。

続いて、Hye-Rim Kim 氏 (KEPCO) は、韓国における超電導限流器の開発計画、開発状況について報告した。21 世紀フロンティア・プログラムで 2 つの主要な開発プロジェクトが進められている。現在、22.9 kV/630 A 三相と 14 kV/630 A 単相の超電導限流器の開発研究が進められており、今年度フィールド試験を行い、最終的には 2012 年から実用に供する計画 (22.9 kV/3 kA 三相と 154 kV/4 kA 単相) であることなどが報告された。また、標準化に寄与できる資料を提供できると述べた。

Michael Tomsic 氏 (Hyper Tech Research) は、アメリカにおける超電導回転機の最近の開発状況について報告した。AMSC と Northrop Grumman 社による船舶推進用 26.5 MW の HTS モーター、40 MW の DC/同期モーター、空軍発注の GE による 1.3 MW、RE の BSCCO を使った世界初のモーター、GA の DC ホモポーラ・モーター、SuperPower の発電機開発着手、LEI の LH₂ 冷却 2 MW の発電機などの他に、Hyper Tech 社の MgB₂ を用いた 2 MW のローター用コイルの製作などの報告

があった。

今回の MT20 では、高温超電導材料とそれを用いた磁石技術の研究報告が数多くなされ、この分野での技術開発が急速に進んでいると感じた。IEC/TC90 としても技術動向に常に気を付けていく必要があると思われ、製品の標準化について認識を共有する上で意義のあるパネル討論会であったと言える。



佐藤謙一氏の報告



会場風景

[超電導 Web21 トップページ](#)

第 6 回高温超電導バルク材「夏の学校」報告

岩手大学
工学部 材料物性工学科
教授 藤代博之

高温超電導バルク材「夏の学校」in 岩手（通称、「バルク夏の学校」）は、2002 年に岩手大学の能登宏七名誉教授を校長に、バルク材研究者の研究交流、情報交換と若手研究者や大学院学生の教育の場として発足し、以降、毎年 8 月に岩手県内の温泉地で開催されている。バルク材関係の研究発表は、低温工学会、応用物理学会、電気学会、国際超電導シンポジウム(ISS)など、それぞれ参加者や発表者が異なり、「バルク夏の学校」は基礎から応用までを一堂に会して勉強できる良い機会であると考えている。

第 6 回となる今年は、8 月 9 日（木）、10 日（金）に岩手県雫石町網張温泉の「ぬくもりの里 NUC」で過去最高の 33 名の出席者を集めて開催された。今年から「バルク夏の学校」の校長をお願いした芝浦工業大学の村上雅人氏から、「バルク超伝導体-産業化への課題」と題して、超電導バルク応用におけるコスト要因を中心に、現状のまとめと産業化への課題について基調講演があった。新潟大学の岡 徹雄氏は、「バルク超伝導体による強磁場発生機とその応用」と題して、バルク磁石の応用展開の現状を報告した。マグネオ技研の秋山慎一氏は「超伝導ミキサーについて」と題して、これまでの超伝導ミキサーの開発経緯をビデオ映像を交えて紹介した。東京海洋大学の和泉 充氏は「バルク材の改質、パルス着磁と同期電動機への応用」と題して、バルクを用いたモータの開発とそれに伴う研究の進展について報告した。弘前大学の村上 明氏は「Dy 系超電導バルクの機械的性質」と題して、応用上重要な機械的性質の系統的な研究結果を報告した。東京大学大学院の石井悠衣氏は「バルク材の超伝導特性に対するサイト置換効果」と題して、ピン止め中心となる Cu サイトの遷移金属置換についての最近の研究結果を報告した。岩手大学の内藤智之氏は「YBCO 単結晶における磁束ピン止め機構と磁束系相転移」と題して、単結晶の場合の磁束ピン止め機構から見たバルクのピン止め機構について講演した。足利工業大学の横山和哉氏は「超伝導磁石を用いた磁気分離」と題して、コラーゲンの分離を含め、磁気分離全般の研究動向を紹介した。国際超電導産業技術センターの坂井直道氏からは「バルク超電導体の捕捉磁場分布と NMR 応用検討」と題して、最近行っているバルク材の NMR 応用研究についての紹介があった。岩手大学から筆者が「MMPSC 法による超伝導バルクへの捕捉磁場向上のメカニズム」と題して、パルス着磁研究のこの 1 年の進展について報告した。鉄道総研の藤本浩之氏は「運輸分野超電導関連の研究開発の現状紹介」と題して、鉄道総研での最近の超電導応用研究についての紹介があった。

恒例の若手研究者による研究紹介では、参加した芝浦工業大学村上研究室、東京海洋大学和泉研究室、東京大学大崎研究室、名古屋大学生田研究室、弘前大学村上研究室、東北大学濱島・津田研究室、岩手大学片桐研究室、藤代研究室の大学院生から研究紹介があり、活発な質疑応答が行われた。1 日目の夜は懇親会でお互いの親睦を深め、さらに岩手山麓の温泉を十分に堪能した。

これまでの「バルク夏の学校」の開催記録を Web 上に掲載している (<http://ikebehp.mat.iwate-u.ac.jp/natsu.html>)。バルク材に興味を持ち研究を続ける若い研究者が増え、今後益々バルク材研究が発展することを願っており、来年以降もさらに内容を充実させて開催する予定である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

「5th MEM'07」報告

京都大学大学院工学研究科
電子工学専攻
菅野 未知央

5th Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors, MEM07 が米国 Princeton において 8 月 21 日～24 日に開催された。本会議は、実用上非常に重要であるにもかかわらず、学会等でメインのテーマとして取り上げられることの少ない超電導線材の電磁機械的特性に関して、世界中から各方面の専門的な研究者を集めて活発に議論を行うことを目的としている。議長は長村教授（応用科学研究所）および Larbalestier 教授（国立強磁場研究所）である。9 カ国から 60 名の参加者を集めて、シングルセッションで会議が行われた。発表件数は 34 件あり、材料別の内訳は Bi 系 7 件、Coated conductor 10 件、Nb₃Sn 10 件、その他 1 件であった。

Bi 系に関しては、長村らが合金層や強化テープの種類や有無など異なる仕様の Bi2223 テープ材の残留ひずみ状態について、複合則による計算と中性子回折測定による実験値の間に良い整合性が見られることを報告した。中性子回折実験に関しては町屋らがその詳細を報告し、さらに曲率測定と FEM による数値計算の組合せから Ag 合金層の寄与を求める方法についても紹介した。また、落合らは酸化コア部分の幾何形状を考慮した曲げひずみによる臨界電流 (I_c) の劣化について、解析と実験の良い一致が確認されたことを報告した。

Coated conductor に関しては、van der Laan らが YBCO 線材に関して bending beam 法を用いた引張、圧縮の一軸ひずみによる I_c の変化について系統的な報告をした。特に、圧縮側で 1% 以上のひずみ負荷後でも除荷により I_c が可逆的に回復することが確認され、機器応用に向けて Y 系線材の優れた機械的特性が再認識された。また、菅野らは CVD-YBCO 線材の液体窒素中での引張疲労試験結果について報告し、 10^4 サイクル程度では Hastelloy 基板起点の、 10^5 以上のより高サイクルでは Ag 安定化層起点の疲労により I_c の劣化が引き起こされるとした。

本会議中で材料別では Nb₃Sn に関して最も多くの発表があった。特に ITER 関連で、導体中の素線同士が電磁力を受けて径方向の変形を及ぼし合うことに起因する I_c の劣化を説明するためのモデル解析に関する報告が目についた。Nijhus らは導体中の素線の変形を周期的曲げ変形で近似したモデル (TEMLOP モデル) で解釈することにより、実験と解析のよい一致を示した。また、ツイストピッチを大きくすることで素線の劣化応力を改善できるとした。また、Nb₃Sn 線材に関しては、ひずみ、温度、磁場のパラメータに関する I_c のスケーリング則について、Ekin、Hampshire、Markiewicz らからの発表があった。特に、Ekin は提唱されている異なるモデルによるスケーリング則について、統一的なパラメータの設定により共通の式への畳み込みが可能であることを示した。Cheggour らからは、Walters spring 法を用いた I_c の一軸ひずみ効果に関する発表があり、 I_c を定義する電界基準を低くするほど不可逆な I_c の劣化が、小さなひずみから観察可能であることを示した。

会議後にはプラズマ物理研究所の見学も行われた。短い日数ではあったが、テーマを絞って、かつその分野の専門家を集めた議論を行うことにより、密度の濃い有意義な議論がかわされたという印象を持った。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導送電事始（その 5）

住友電気工業株式会社
超電導・エネルギー技術開発部
主幹 廣瀬正幸

5. 「郷に入れば郷に従え」超電導ケーブルのニーズ

超電導送電事始①に示した通り、超電導ケーブルシステムは経済性、信頼性、環境面を中心に様々なメリットを有している。また、その目的、期待する効果が最も発揮できる超電導ケーブルシステムが求められる。

世界の超電導ケーブルシステムの開発および取り組み状況を整理すると、電力需要が急増中の中国、送電網再整備、増強が必要な米国、送電網の簡素化を図る韓国、既存ケーブルの大容量リプレースを想定する日本など、各国の電力事情を反映したものとなっていることが分かり、大変興味深い。一方、重要課題である超電導線材の高性能化、低コスト化が実現されれば、超電導ケーブルはインフラ整備を最小限とする低コスト線路で、かつ省エネルギーかつ CO₂ 低減に貢献する次世代ケーブルとして位置付けられ、その期待は大きい。

従って、超電導ケーブルの検討、開発、実証の状況は各国が直面している状況（ニーズ）と関連することから、米国、そして韓国、日本などのアジアにおける超電導ケーブル開発の背景を整理して紹介する。

5.1 内外の超電導ケーブルプロジェクト

表 1 内外の超電導ケーブルプロジェクト実績および計画

終了、 継続中、 新規							
地域	プロジェクト名	主な参加社	線路条件	絶縁	相構成	端末	試験期間
日本	実用性検証プロ	東京電力、住友電工	66kV、1000A、100m	低温	三心一括	固定	2001-2002
	Super-ACE	Super-GM	77kV、1000A、500m	低温	単心×1		2004-2005
	高温超電導ケーブル実証プロ	東京電力、住友電工、マエカワ	66kV、3000A、200～300m	低温	三心一括	固定	2007-2011
米国	デトロイト	Pirreli	24kV、2400A、120m	常温	単心×3		失敗
	Southwire	Southwire	12.5kV、1250A、30m	低温	単心×3		2000-
	Albany (ph1)	住電、SuperPower,BOC	34.5kV、800A、350m	低温	三心一括	固定	2006-2007
	Albany (ph2)	住電、SuperPower,BOC	34.5kV、800A、30m部分	低温	三心一括	固定	2007-
	OHIO	Ultela, ORNL	13.2kV、3000A、200m	低温	三相同軸		2006-
	LIPA (1)	AMSC, NEXANS	138kV、2400A、600m	低温	単心×3		2007-
	LIPA (2)	AMSC, NEXANS	138kV、2400A、600m	低温	単心×3		
	New Orleans	Southwire, NKT	13.8kV、2.5kA、1760m	低温	三相同軸		2009-2010
欧州	Hydra	Southwire, AMSC	13.8kV、?A、?m	低温	三相同軸		2010-
	コペンハーゲン	NKT	30kV、200A、30m	常温	単心×3		2001-2003
アジア	Nuon	NKT, Plexair	50kV、3kA級、6000m	低温	三相同軸		2008-2011
	雲南	Innopower, InnoST	35kV、2000A、33.5m	常温	単心×3		2004-
	蘭州	中国科学院	10.5kV、1500A、75m	常温	単心×3		2005-
	KEPCO	住友電工	22.8kV、1250A、100m	低温	三心一括	固定	2006-
	DAPAS	LSケーブル	22.8kV、1250A、100m	低温	三心一括		2007-

表 1 に示す通り、超電導ケーブルシステムの実用化に向けて内外で多くのプロジェクトが実

施、計画されている。電圧階級、ケーブル構造（単心、3 心一括、同軸）、プロジェクトの目的、位置付けなどから、プロジェクト毎にいろいろな顔を有している。特に、米国において複数のプロジェクトが並行して実施されていることは非常に特徴的であり、如何に超電導ケーブルの実用化が待望されているかが窺われる。

5.2 米国

米国における大都市停電のニュースがそれほど驚かなくなってきたと思うのは気のせいであろうか。北米の大停電以降、マンハッタンの夜景の消灯や冷房の停止などの報道からも米国の電力供給は非常に逼迫していることが窺え、送電網の増強、整備は米国政府の最重要課題として位置付けられている。さらに NY での老朽蒸気配管の爆発事故のように設備の老朽化が指摘されている。

従って、送電網の補強（増強）の必要性に加え、既存設備の老朽化、低電圧大容量送電ニーズ（EMI 対応）などがあり、既存ルートのリプレースや、低電圧大電流による送配電ネットワーク（電力送配電網整備）を実現する上で超電導ケーブルシステムが非常に有効であり、期待されている。また、米国では超電導がエネルギー輸送のキーテクノロジーと位置付けられており、図 1 に示すように電力送電網に超電導を適用する施策が政府レベルで検討されていることは非常に興味深い。この方針と同調して DOE（米国エネルギー省）の SPI（Superconductive Partnership Initiative）プロジェクトにおいて 3 プロジェクト（Albany、Ohio、LIPA）が進められている。表 1 に示す通り、Albany および Ohio は、それぞれ 34.5 kV、13.2 kV と送電用としては低い電圧であるのに対し、LIPA は 138 kV と電圧階級に差がある。また、電圧が高い場合は絶縁厚の関係で単心型が選択され、電圧が低い場合はケーブル本数が少なくなる 3 心一括型や同軸型の適用が可能になる。さらにケーブルルートによって、超電導ケーブル固有の冷却時の熱収縮の吸収や接続部（ジョイント）の要否などによって、適用可能で最も有効な超電導ケーブルが選定されることになる。Albany、Ohio は既に実運転評価が行われており、LIPA は現在建設中である。さらに、次プロジェクトが公表されていることから、米国において超電導ケーブルシステムの本格採用が急がれているかが分る。また、並行して超電導限流器の検討が SPI プロジェクトで進められており、限流器との組み合わせによって、超電導ケーブルシステムの有効性が向上するとともに、電力向け超電導応用機器としての市場が広がるものと期待されている。

National Energy Policy

2001年5月Cheney副大統領からBush大統領に提出
超電導をエネルギー輸送技術のキーテクノロジーと位置づけ

Office of Electric Transmission and Distribution

老化した時代遅れのグリッドインフラの問題点を扱うために2003年DOE内に設立

A National Vision for Electricity's Second 100 years

2003年4月～検討
2010: 10マイル超電導ケーブル計画
2020: 長距離超電導ケーブル運転
2030: 北米大陸に強固な超電導送電網

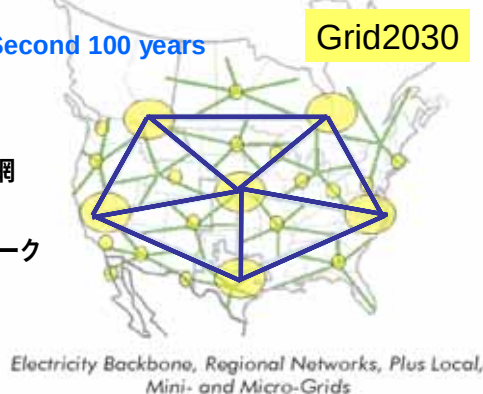
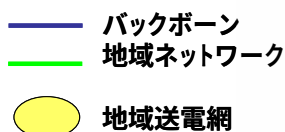


図1 米国における超電導ケーブルへの期待

5.3 日本

日本では米国に先んじて実証試験が行われており、超電導ケーブルの開発が（技術的に）先行している。また、韓国（KEPCO）への超電導ケーブルシステムの納入、米国 Albany プロジェクトでの超電導ケーブルシステムなど、日本の超電導ケーブル技術が適用されていることは特筆すべき事項である。

一方、日本の送配電系統は、設備が新しく、かつ系統運用が堅牢でもあることから非常に高い信頼度を有し、米国のように逼迫した状況には至っていない。しかしながら、従来の電力ケーブルの寿命（30 年設計）により今後電力ケーブルの更新時期が来ること、IT を中心に電力需要が増加していること、より環境面に配慮した設備化が望まれること、NY のマンハッタンのように既存インフラの更新が難しくなることなど、超電導ケーブルに期待されるところは大きく、所謂リプレイス用途を中心に適用検討が進められている。その期待に応えるためには、（超電導送電始④に記述した通り）超電導線ならびにケーブルの高性能化、低価格化の早期実現と並行して、既存電力ケーブルシステムと比して遜色のない信頼性を有することを評価する実線路評価、すなわち実系統での実証プロジェクトの成否が、超電導ケーブルを日本の電力系統で構成し得るかどうかを見極める上でも非常に重要である。

5.4 韓国、中国

韓国、中国における超電導ケーブルシステムの適用例を図 2 に示す。韓国では電力需要の増加に対応して送配電系統を再構築するに当り「変電所の省略」を可能にする超電導ケーブルシステムへの期待が高い。これは、超電導ケーブルの特長の一つである「低電圧長距離送電」（低電圧化に伴う充電電流の低減により送電距離の延伸化が図れる）に着目した広域低電圧送電系統の超電導ケーブル適用例として興味深い。また、中国では電力需要の高い東海岸への大電力供給、ならびに上海、北京地区配電用途において超電導ケーブルの有効活用が検討されている。いずれも大容量送電のニーズと設備規模縮小化の両者を満足するもので、電力設備の充実している日本に比してその重要性、期待は高く、その必要時期は早いと言えよう。

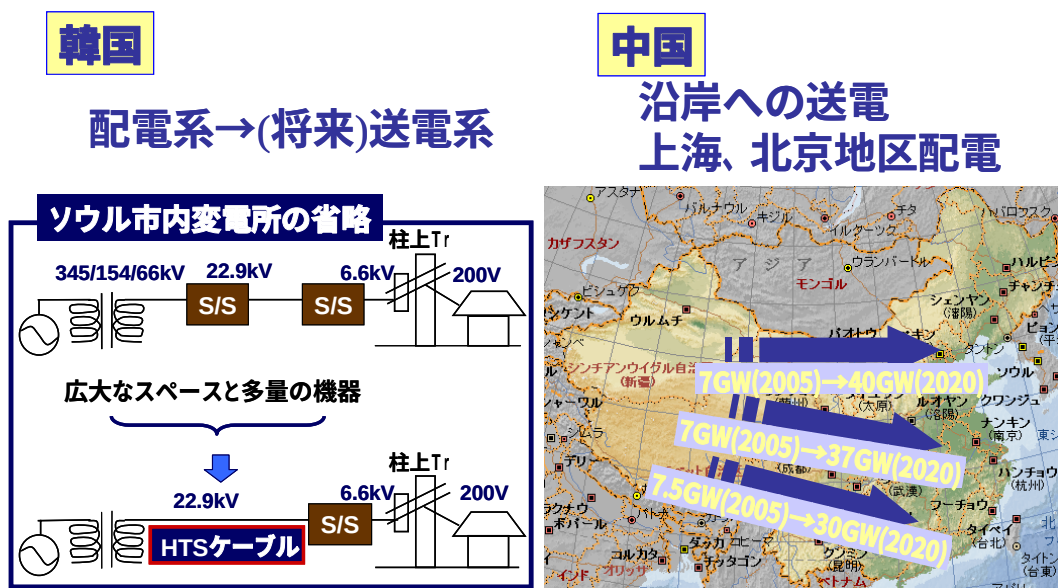


図 2 韓国、中国における超電導ケーブルのニーズ（例）

超電導ケーブルは「より大電流、より低損失」を目指して開発が進められている。この開発において、超電導線材そのものの高性能化はもちろんのこと、よりコンパクトで超電導線材の高電流密度運用に向けたケーブル構造の検討が重要となる。「大電流＝磁場大」の関係から導体サイズをコンパクト化するほど、超電導線材に流れる電流密度が大きくなるほど、交流損失が大きくなる。表現を変えれば、導体およびケーブルサイズを大きくし、定格電流に対する超電導導体の臨界電流を大きくすれば、損失面ではより低減が図れることを意味する。従って、大容量・低損失を実現する検討とコンパクトを重要視する検討とはアプローチが異なり、それぞれのニーズに対応する超電導ケーブルシステムを、経済性も含めて最適化する手法が今後必要になると考えられる。

また、超電導ケーブルの損失等を評価する場合、超電導ケーブルのサイズや超電導線の電流密度などの設計諸元を考慮することが重要であり、よりコンパクトなサイズや超電導線材の使用量を極力少なくしてコストパフォーマンスを高めたケーブルであればあるほど、低損失化が難しくチャレンジブルであることをよく認識しておくことが、超電導ケーブルシステムをよく理解する上でも重要である。それは、最もコンパクトな導体構成である 3 心一括型の技術がそのまま単心型、3 相同軸型に容易に適用し得ることでもある。

各国の送配電システムの現状ならびに将来動向をふまえた超電導ケーブルシステムの検討として、大容量・低損失効果を期待するケース、リブレース等の寸法的制約の中で大容量送電を実現するケース、環境面や立地面で超電導ケーブルによってのみ実現可能なケースなど、具体的なアプリケーションとして議論されるレベルに超電導ケーブルシステムの技術は到達してきたとも言えよう。

次回は、本項でも記載した Albany プロジェクトを中心に、実線路での超電導ケーブル評価の意義を「論より証拠」と称して紹介する。

以上

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：MRI と NMR ではどのような違いがあるのでしょうか？

A： NMR（核磁気共鳴）は磁場中に置かれた原子核のもつ磁気モーメント（スピン：ミクロな磁石としての性質）が電磁波を吸収あるいは放出することを利用した測定法です。NMRは凝縮体での核磁気モーメントの測定を目的として物理学者により発見されましたが、超電導技術を用いた強磁場発生技術の発達、大容量データ高速処理が発達することで実現した高分解能NMRは、有機化学やバイオサイエンスの分野、最近ではたんぱく質など分子量の大きな生体物質の解析に必須の技術となっています。現在超電導の機器応用として定常的な市場が形成されている分野としては、後述のMRIに次ぐ規模であり、MRIとNMRでそのほとんどを占めます。

物質中の原子は同位体を含めると、大部分の核は磁気モーメントを持ち（たとえば ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{31}P など）、したがってNMRはいろいろな物質を探るきわめて有効な手段となります。一様な静磁場中の核スピンは磁場方向に沿い、コマや地球の自転に見られるような歳差運動をしています。磁場強度に比例したある周波数（ラーモア周波数）の静磁場に垂直面に高周波磁場をあてるとコマの章動に対応する運動をして、電磁波を吸収・放出するようになります。この状態から高周波を切ると元のばらばらの位相で歳差運動をしている状態に戻っていきます。この運動は力学的には回転体のトルク方程式に倣ったブロッホ方程式で、量子統計力学では密度行列を用いたファインマンブロッホ方程式で記述されますがその際、観測量されるマクロな磁化は2通りの緩和： T_1 （縦緩和、熱平衡分布へ戻るエネルギー緩和）と T_2 （横緩和、各スピンの運動の位相に関する緩和）で特徴付けられます。

NMR信号は通常パルス法（FT-NMR）法で測定されます。高周波パルスをかけた後に生じる信号をFID（Free Induction Decay）信号と呼びそのフーリエ変換がNMRスペクトルとなります。またその減衰は磁場の不均一性の影響を受けた緩和時間になります。また重要な測定法としてスピンエコー（SE）がありますが、これは磁化を90度傾けるRFパルス（90度パルス）に続いて時間 T_e 遅れて180度パルスをかけるとさらに T_e 後にエコー信号が得られます。 T_e を走査した場合のエコー信号の強度変化が T_2 を与えます。

最終的なFID測定の前の一連のパルスシーケンスすなわち周波数・強度・繰り返し間隔・遅延時間など条件をいろいろ組み合わせ工夫することにより、物質内の特定の位置のスピンを飽和させたり、反転させたり、偏極を移したりするミクロな操作により被測定スピンの磁場環境を変化させることができます。このシーケンスの中の複数の時間パラメータをフーリエ変換したものが多次元NMRでその一例にCOSYやNOESYと呼ばれる手法があり、周囲の電子状態、化学結合状態あるいは空間配置によるスピン間の結合に関する情報が得られ、コンピュータを駆使することによりたんぱく質のような複雑な物質の構造を明らかにすることができます。またNMRはスピン集合体として量子計算を実現する系であり、実際7つの結合した不等価な核スピンを持つ化合物でP. Shorのアルゴリズムに基づく複雑なパルスシーケンスを用いて15の素因数分解が実現されています。

NMR装置はスペクトルの解析ができることが前提で、強磁場とともに高度な均一性が要求されます。それはppb（ppmの千分の一）にもなり、磁場補正が重要となります。補正は超電導磁石がppmクラスであることを前提にシムと呼ばれるコイルで多重極展開に応じて小型機で数段、大型機では10数段に及ぶ補正が必要となります。現在強磁場化は950 MHzまで Nb_3Sn をもちいた大型超電導コイルで実現しています。さらに1.3 GHz、磁場にして30 T に向けて要素研究開発が開始しており、そのためにY系酸化物超電導線材の実用化が期待されます。これほどの強磁場になると、これまで困難で

あった多くの核の高分解NMRが可能となり、各種非晶質金属材料・無機材料の構造解析への応用が期待されています。

一方、現在高分解能NMR装置は一部屋を要する大型装置ですが、小型化できれば測定の高スループットが実現し、また可搬性が向上し、通常の実験室や医療現場とともにフィールドワークへと用途は飛躍的に広がると予想されます。現在ISTECでは、イムラ材料研究所、理化学研究所、日本電子と共同でバルク超電導体をもちいた小型磁石の開発を進めています。さしあたっての目標は4.7 T、200 MHzですが、高分解能NMR装置がデスクトップサイズになるインパクトは大きく、新たな市場拡大につながるものと期待しております。

MRIは磁気共鳴イメージングのことで通常医学診断用には ^1H -NMRを用います。 ^1H は体の組織の主成分として広く分布しています。たとえば水分、脂肪組織、筋肉、骨、血液はその ^1H 密度や緩和時間が異なります。また同じ器官でも癌組織と正常組織の間で細胞活動の差があり ^1H の緩和時間の差があります。したがって、 ^1H 密度や緩和時間 (T_1, T_2) 分布を目的によって変位分取り出すなど工夫をしますと、体内の組織・構造・病変部の像を強調して観察することができます。またMRI造影剤として用いられる希土類Gdはその磁気モーメントで緩和時間 T_1 を短縮する性質を持ちます。

最近ではMRI技術の進歩により、脳の機能もMRIで画像としてみることができるようになりました (f-MRI)。一例としてBOLD (Blood Oxygen Level Dependent) と呼ばれる効果は、脳の生理学的機能をたくみに利用したものです。刺激を加えられた脳の内部が活性化するとき、血流が増加するほどには、脳の酸素消費量は増加しないため活性化部位の酸化ヘモグロビンが増加し、その結果磁化率が減少し緩和時間が長くなる現象で、 T_2 信号を強調した刺激のない場合の状態との差分像をとることによって活性化された部位がわかります。脳の機能解明・診断になくはならない手段となっています。ちなみにまったくの冗談ですが最近インターネットで話題の「脳内メーカ」はこのf-MRI をイメージしたお遊びソフトです。

MRI コイルは静磁場用、傾斜磁場用、高周波送受信用からなり、NMR 装置とは大分異なります。静磁場コイルは通常検査に向くよう横置き超電導磁石が用いられます。磁場は緩和時間測定が基本で高分解 NMR のような均一高磁場は要求されず、通常 1.5 T ですが、現在さらなる高分解能を目指し 7 T 級の開発が行われています。傾斜磁場コイルは特定の位置に共鳴条件を作るために走査が行われます。MRI 検査を受診されたかたはご存知と思いますが、カタカタという雑音はこのコイルが原因です。位置情報の取り出しは身長方向の傾斜磁場とそれにあう RF パルスでスライスし、その励起された 2 次元スライスから位置情報を引き出すための空間エンコーディングを行い画像の再構成を行います。MRI では通常共鳴信号を得るのにスピンエコー法を用い、時間に依存しない磁場不均一性の相殺を行うことにより、静磁場は少々不均一であっても、影響は少なくなります。要求される均一性は試料体積空間で (人体で 20 cm) 数 ppm であり、試料空間は NMR に比べ大きくなりますが、磁場強度および一様性の要求水準は低いことになります。

究極の MRI として磁気共鳴力顕微鏡 (MRFM) の研究が進んでいます。この方法は原子間力顕微鏡 (AFM) に用いられている光テコと磁気共鳴を組み合わせた磁気共鳴検出方法で、この 10 年余の歴史があります。最近、 SiO_2 の酸素空孔に関する E' 中心に付随する不対電子のスピン共鳴 (ESR) をもちいた単一スピンの分布が報告されました。NMR ではまだ単一スピン検出には至りませんが高感度化が報告されており、究極の MRI として、単一分子構造解析をめざし、研究開発が行われています。この技術の超電導との接点も期待しつつ、この稿の筆を置きたいと思います。

回答者：SRL バルク研究開発室長 平林泉

[超電導 Web21 トップページ](#)