
掲載内容（サマリー）：

特集：超電導デジタルデバイス技術の現状

- JJ 接合規模による超電導デジタルデバイス用途の展望
- 大規模超電導デジタル回路実用化への技術課題
- 半導体を凌駕するための高速信号計測用超電導 A/D コンバータ技術の技術課題
- 量子暗号通信に不可欠な超電導単一光子検出器（SSPD）技術の現状

○超電導関連 10-11 月の催し物案内

- 新聞ヘッドライン（8/20-9/19）
- 超電導速報—世界の動き（2008 年 8 月）
- 応用物理学会「鉄系新高温超伝導体特別セッション」報告
- 「Applied Superconductivity Conference（ASC2008）」報告
- 隔月連載記事—やさしい超電導電力機器のおはなし（その 5）
- 読者の広場(Q&A)—「超電導フォトニクス工学」という新しい分野が生まれたと聞きましたがどのような分野ですか？

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

〈発行者〉

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

Tel (03) 3536-7283 Fax(03) 3536-7318

超電導 Web21 トップページ：<http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



特集：超電導デジタルデバイス技術の現状「JJ 接合規模による超電導デジタルデバイス用途の展望」

ジョセフソン接合 (JJ) を用いた超電導回路で一番接合数が少ないのは、RF-SQUID の 1 個である。次が DC-SQUID の 2 個であり、これらは究極の磁気センサであり色々な用途に数多く用いられているが、デジタル回路とは言い難い。デジタル回路の範疇に入るかどうかは微妙だが、JJ のスイッチを用い単一磁束量子 (SFQ) の超電導ループへの出し入れを行うことにより、電気信号波形を測定するサンプラは最低 JJ 5 個で構成でき、少し機能を付加したものでも 15 個である。¹⁾暗号などに用いる乱数発生回路には、約 30 個の JJ が使われている。²⁾二つの入力の間時間差を 10 ピコ秒以下の精度で測定できる Time to Digital Converter (TDC) は約 600 個の JJ で構成できる。³⁾高速波形をリアルタイムに測定できるリアルタイムオシロスコープのキーコンポーネントであるフラッシュ型 Analog to Digital Converter (ADC) は、4 ビットがエラー補正回路、高速出力回路を入れて 5,000 個の JJ 程度で作製できる。⁴⁾アメリカの HYPRES 社が米軍に既に納入しているデジタル RF レシーバーに使用されている高精度 ADC は、周辺回路も含めて約 12,000 個の JJ である。⁵⁾これらの回路は、乱数発生回路を除けば計測器のヘッドであり、半導体では実現不可能な高速、高感度の性能が必要な部分だけ超電導回路を用い、素子数が必要となる複雑な処理はすべて低速の半導体回路で行われている。

デジタル信号処理を高速に行う Digital Signal Processor (DSP) も SFQ 回路の魅力ある応用の一つであり、半導体の限界を大きく越える性能が期待されている。代表的な DSP である Fast Fourier Transfer (FFT) 回路は 64 ビットのものが約 8 万個の JJ で構成できる。⁵⁾

Transition Edge Sensor (TES) に代表される超電導検出器は、他の追従を許さない高感度の検出器である。一方、検出面積が狭いという欠点があり、これを補うためにアレイ化が進められている。しかし、アレイ化した多数の超電導検出器からそれぞれ室温へ信号線を取り出すことは、熱流入の観点から困難である。このため、極低温環境で信号を多重化し、取り出し線の数を大幅に削減することが求められている。この多重化のための回路として、検出器と同じ極低温で動作し、消費電力が極めて小さい SFQ 回路が注目されている。この多重化のための SFQ 回路はそれほど研究が進んでいるわけではないが、1 ch あたり 200 個 JJ という試算があり、⁶⁾これだと 100×100 アレイが 2 百万個の JJ で構成できる。検出器アレイは数が増えた分だけ使い勝手が確実に向上するので、途中段階の例えば 10×10 アレイ用多重化回路 (2 万個 JJ) でもユーザに対する貢献は大きい。

半導体回路でも超電導回路と同じ性能のものを作るのは可能だが、消費電力が許容範囲を越えてしまうという応用がある。代表的なものがネットワークルータとスーパーコンピュータである。例えば、超電導回路では冷凍機も含めて 10 kW の消費電力と見積もられる 100 Tbit/s クラスのルータ用スイッチが、半導体回路では 330 kW の消費電力が必要となる。このような応用において半導体と差別化を行うためには、ある程度規模が大きいことが必要である。ルータ用スイッチは 2×2 スイッチを基本構成単位として、これを繰り返すことによって規模を拡大していくことができる。超電導工学研究所では、SFQ 2×2 スイッチのコンパクト化に取り組み、74 個の JJ で構成することに成功した。半導体回路では発熱のため 1 ラックでは実現できないと言われている 10 Tbit/s クラスのルータ用スイッチの必要 JJ 数を見積もると、80 Gb/s の I/O を仮定して約 33 万個 JJ となる。⁷⁾この他に制御用のスケジューラ回路や入出力回路が必要となるため、全部で 100 万個 JJ 弱の接合が必要になると思われる。100 Tbit/s クラスのルータ用スイッチは、そのまま拡張すると 100 倍 (n^2)

の素子数が必要となるため 1 億個 JJ 弱となるが、方式を工夫して 30 倍 (nlogn) 程度に抑えると 3,000 万個 JJ 程度となる。通常のコンピュータに付加することで性能をスーパーコンピュータ並みに向上できるアクセラレータとして、SFQ Reconfigurable Data Path (RDP) が提案されている。これはスーパーコンピュータにおけるメモリ不足問題を解決する新しいアーキテクチャであるが、半導体回路では発熱のため実現が難しいと言われており、SFQ 回路を用いた実現が期待されている。⁸⁾RDP の基本構成要素となる Floating Processor Unit (FPU) は約 5 万個の JJ を要する。10 TFLOPS ディスクサイドスパコンが可能となる 32×32 構成では、約 5,000 万個 JJ となり、FPU 間を可変接続するネットワークスイッチにも同程度の JJ が必要となるため、合計 1 億個 JJ 程度の規模になると見積もられている。

ニオブ SFQ 回路は、現在のところ 1 万個 JJ 規模の回路が動作している。超電導工学研究所ではアドバンスドプロセス (ADP) と呼ばれるより微細なプロセスを準備しており、これを用いて 3 年以内に 10 万個 JJ 規模の回路を実現する計画である。ADP における最小 JJ 径は 1 μm であり、半導体の先端プロセスと比べると 10 倍以上パターンサイズが大きい。このため、半導体先端プロセス装置を用いて SFQ 回路を微細化し、集積度を向上することは十分可能である。試算によると、0.25 μm の最小 JJ 径プロセスを用い、チップの大きさを現在の 5 mm 角から 11 mm 角に拡大すれば、次稿で述べる大規模化にともなう問題点は存在するが、1 チップ上に 1 千万個の JJ を集積することが可能である。⁹⁾また、SFQ 回路は超電導配線を用いることで 100 Gb/s/ch チップ間データ伝送が可能であり、¹⁰⁾複数チップを超電導配線を配した基板の上に並べたマルチチップモジュール (MCM) をあたかも一つのチップのように動作させることができる。このため、1 億個 JJ の回路でも 5 cm 角程度の MCM で実現することも不可能ではないと考えられる。

参考文献

- 1) K. Tanabe et al., IEICE TRANS. ELECTRON., E91-C, 280-292 (2008).
- 2) Y. Yamanashi et al., ASC08, 3EPC07.
- 3) K. Taketomi et al., ASC08, 1EB05.
- 4) M. Maruyama et al., ASC08, 1EB03.
- 5) K. Taketomi et al., ASC08, 2EZ06.
- 6) A. Fujimaki et al., NVLS-2007, 30-31.
- 7) T. Nakagawa et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., to be published.
- 8) N. Takagi et al., IEICE TRANS ELECTRON., E91-3, 350-355.
- 9) M. Hidaka et al., Supercond. Sci. Technol., 19, S138-S142 (2006).
- 10) Y. Hashimoto et al., Appl. Phys. Lett., 87, 022502-022504 (2005).

(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の現状「大規模超電導デジタル回路実用化への技術課題」

超電導工学研究所では、ニオブを超電導材料とした単一磁束量子 (SFQ) 回路を用いて 4×4 スイッチプロトタイプシステムを作製し、このシステムを介した 4 台の PC 間動画転送実験に成功した。このシステムのスループットは 320 Gbps であり、A4 用紙 480 万枚分の情報を 1 秒間に通信できる能力に相当する。一方、SFQ 回路の消費電力は 1 mW 以下であった。また、ビットエラーレート (BER) も通信において必要とされている 10^{-12} 以下であり、十分な信頼性を有していることも実証されている。しかし、この SFQ スイッチシステムのスループットを半導体スイッチと比べて十分に魅力のある 10 Tbps 以上に拡張するには、解決すべきいくつかの課題がまだ残っている。

ニオブを用いた SFQ 回路は、冷凍機を用いてその動作温度である 4 K 付近まで冷却される。一方、SFQ 回路の高速性を引き出すには、広帯域の信号ラインを用いて SFQ 回路への入出力を行うことが不可欠である。先に上げた SFQ スイッチシステムでは 32 本の広帯域電気信号ラインを用いて SFQ 回路への入出力を行っているが、これらのラインを通しての冷凍機への熱流入が約 800 mW であり、現状では冷凍機の冷却能力のほとんどがこの熱流入によって消費されている。スループットの大きな大規模回路では入出力線の本数は当然増えるため、この問題の解決無しには SFQ 回路の低消費電力特性を活かすことができない。解決策として光ファイバーを用いた入出力が提案されている。光ファイバーは熱伝導度が極めて低だけでなく、電気信号ラインよりはるかに広い帯域を有しており信号線 1 本あたりの大きなスループットが期待できる。超電導工学研究所では、光ファイバーを用いた SFQ 回路への入出力技術を開発しており、現在までに 40 Gbps の光入力により SFQ 回路を動作させることに成功している。

回路が大規模化すると SFQ 回路に供給するバイアス電流が増加する。バイアス電流はできるだけ分散して流れるよう設計を行うが、ある程度電流が集中する場所が発生することは避けられない。SFQ 回路はジョセフソン接合を含んだ超電導ループで構成されており、高感度の磁気センサーとして知られている SQUID と同じ構造であるため極めて磁界に敏感である。このため、バイアス電流により誘起される磁界によって回路の動作マージン低下が起これ、大規模回路を動かすことが難しくなる。この問題を解決する手段として、現在バイアス電流ラインを磁気遮蔽効果が高い超電導体で囲む構造が用いられている。しかし、この構造は 1 万接合規模までの回路では有効であるが、大規模回路には不十分である。超電導工学研究所では、ニオブの多層構造を用いて、バイアスラインとジョセフソン接合を含むアクティブ層の間に複数の超電導層を配置し、さらに磁気遮蔽効果を高めるための開発を行っている。

回路大規模化にともなうもう一つの問題は、供給するバイアス電流の絶対値が増えることである。先に上げた複数のニオブ膜によってチップ内で発生する磁界を低減できたとしても、外側からリード線を通して流入するバイアス電流が作る磁界によって回路動作が阻害される恐れがある。一方、バイアス電流は直流であるため、一度使った電流を何回でも使い回しできる。ただし、これを実現するにはグラウンドを分離し、異なるグラウンド間では信号電流を直流的に切り離すためにインダクタンス、もしくはキャパシタンスを用いた結合を行う必要がある。この技術をカレントリサイクルと呼んでいる。カレントリサイクルが適用できるようになれば、極低温環境に供給するバイアス電流を大幅に低減することができる。

大規模超電導デジタル回路を実現するためには、プロセス、設計技術を高度化する必要が当然ある。ただし、今までの研究でこれらの技術にはある程度方向性が見えてきており、今後リソースがどのくらいかけられるかの問題になると思われる。

本稿に述べた技術のうち、光入出力技術、カレントリサイクル技術は NEDO「次世代高効率ネットワークデバイス技術開発」において研究を実施している。また、ニオブ多層構造による磁気遮蔽は、JST「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」において研究を行っている。

(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の現状「半導体を凌駕するための高速信号計測用超電導 A/D コンバータ技術の技術課題」

超電導 A/D コンバータ (ADC) は大きく分けて二つのタイプに分類できる。その一つは高分解能 (高ビット数) を特長とするオーバーサンプリング型、他は高速性を特長とするフラッシュ型であり、後者はハイエンドのデジタルオシロスコープやディジタイザなど高速信号の計測分野で重要である。本稿ではフラッシュ型に関して、これまでの歴史を振り返りながらその技術課題を整理するとともに ISTEK での取り組みを紹介する。

フラッシュ型超電導 ADC はその歴史は古く、1975 年 IBM の Zappe による提案にさかのぼる¹⁾。その原理は、アナログ入力信号に対して量子干渉素子 (SQUID) に入る磁束の量子化に伴う周回電流の周期性を用いたものであり、基本的には現在も同一概念を利用している。半導体を用いた場合には n ビットの ADC を構成するには $2^n - 1$ 個のコンパレータが必要であったものが、超電導では n 個のコンパレータで構成できる。図 1 はその概念を示した図であり、ジョセフソン接合を一個含む超電導ループにアナログ信号を与えると、その振幅の増加に伴って磁束量子 (Φ_0) が一個ずつループ内に入り (量子化される)、超電導ループを流れる周回電流が周期的に変化する。適当な電流レベルに閾値を決めると出力は“1”と“0”が交互に繰り返す、グレイコードと呼ばれるデジタルデータに変換される。N ビットの ADC は図 2 に示すように R、2R の抵抗網による電流分配回路と N 個のコンパレータにより実現できる。このように量子化現象を利用することによるコンパレータ数の削減は半導体では実現できない大きなメリットである。

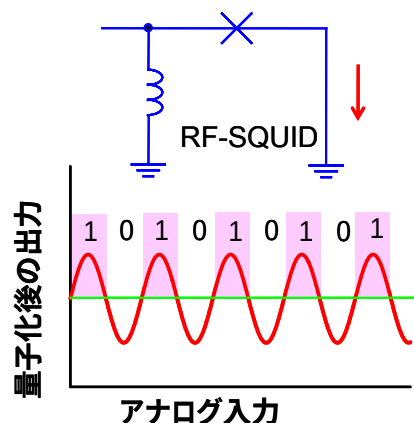


図 1 超電導 ADC の基本原理図

初期のコンパレータ回路は、ヒステリシスを有する複数接合の SQUID を用いて、量子化とサンプリングを同時に行うため、高速性と精度上の問題があった。その欠点を補うために、ヒステリシスのない特性を利用し、量子化とサンプリングを分離した Quasi-one junction SQUID (QOS) コンパレータを UC Berkeley の Ko が提案²⁾、その後 Hewlett Packard Laboratories に雇われてデジタルオシロスコープなどの計測器応用をめざして研究開発が続けられた。その当時はラッチングロジックと呼ばれるジョセフソン接合のゼロ電圧状態と電圧状態を使用していたため、AC バイアス駆動による動作速度の限界と、発熱によるコンパレータの閾値レベルの変動などが問題となり実用化には至らなかった。これらの問題は SFQ 回路を用いた ADC の提案により解決あるいは改善がなされた³⁾。超電導のベンチャー企業である HYPRES では、有効ビット数 6 ビット

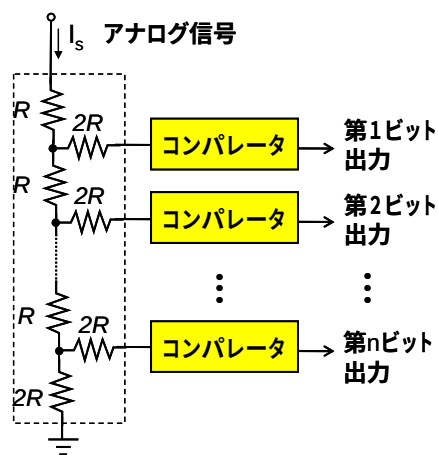


図 2 N ビット超電導 ADC の構成図

トで帯域 10 GHz を超える性能を目指した研究開発が行われ、1 GHz 帯域で 6 ビット、20 GHz 帯域で 3 ビット動作までの基本動作の実証がなされた。⁴⁾また熱雑音などによる、閾値のゆらぎによりおこる重大なエラーを避けるデジタル補正回路や、ADC のビット数を増加するためのインターリーブと呼ばれる手法（2 ビット程度の分解能の増加が可能になる）なども提案された。その時点では一部の回路動作の機能試験が行われるにとどまったが、これらの研究によってフラッシュ型 ADC に必要な基本的技術が確立されたと言える。

高速フラッシュ型の ADC の性能（帯域とビット数）を制限する本質的な要因として、1) スルーレートによる周波数帯域の制限と、2) 熱雑音に起因する閾値電流の揺らぎによるビット精度の限界がある。前者はアナログ信号が入力された際に、どれだけたくさんの磁束量子が超電導の SQUID ループに入り SQUID がアナログ信号に追従できるかの問題であり、有効なビット数を制限する。一方後者は、ジョセフソン接合の臨界電流が熱雑音によって変動し、SQUID の閾値が変動することにより、アナログ信号をデジタルの“1”、“0”に変換する際の不確定さに影響を与える。これらの問題を解決するにはジョセフソン接合の臨界電流密度を高めるとともに微細化によりスイッチング速度を高速化することが有効な手法である。また、スルーレートを高めるような回路構成の工夫によっても性能改善が見込める。

従来よりも高速化動作が見込めることから、
・ NEDO の次世代高効率ネットワークデバイス技術開発の研究として現在超電導工学研究所で開発中である相補型のコンパレータ回路（1 ビットの ADC）を図 3 に示す。この回路を用いて 4 ビットの ADC を構成した際に、最高サンプリング周波数 $f_s(\max)$ が臨界電流密度 J_c の増加によりどれだけ高速化が図れるかをシミュレーションにより求めた結果が図 4 である。基本的には、 $f_s(\max)$ は J_c の平方根に比例して増加する。ここで、アナログ信号としてはナイキ

スト周波数であるサンプリング周波数の 1/2 の周波数を与えた。半導体を用いた高速の ADC は、最近報告された CMOS によるサンプリング周波数 23 GHz で、6 ビット（有効ビット数としては 4 ～5 ビット）が最高速である。これまで、SRL の Nb 標準プロセスでは J_c は 2.5 kA/cm² であったが、40 kA/cm² の ADC 技術が確立されれば、半導体の ADC では実現が困難なサンプリング周波数 100 GHz を越える ADC の実現が可能となる。高 J_c の接合作製技術以外に、高速なアナログ信号を複数のコンパレータでデジタル化する際に回路技術上の課題がある。図 2 に示した抵抗網回路は発熱を伴うとともに物理的な長さを持つ。また、超電導のコンパレータはインダクタンス成分を持

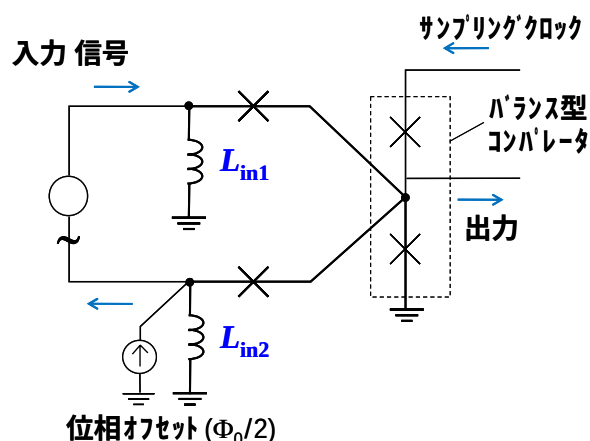


図 3 相補型超電導コンパレータの等価回路

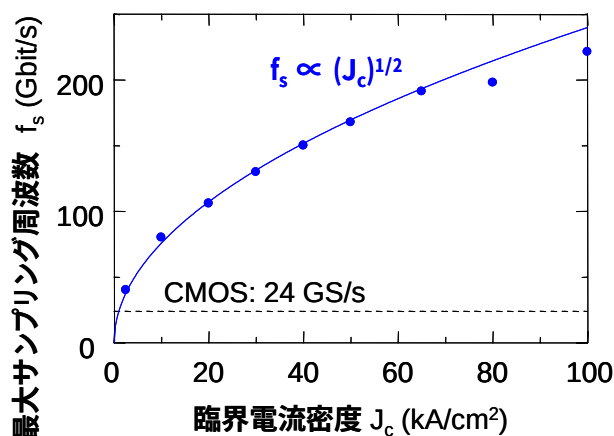


図 4 最大サンプリング周波数と臨界電流密度の関係
（相補型超電導コンパレータを用いたシミュレーション結果）

つため、これらを含むアナログ入力回路の高周波設計技術が重要な課題である。SFQ 回路は高いクロック周波数でデジタル回路を動作させることは得意であるが、アナログとデジタルが混在したミックスドシグナルでの高周波動作を実現することはチャレンジングな取り組みである。しかし、これらは超電導デバイスの特長が生かされる分野でもあり、半導体技術では実現が困難な高性能な ADC の実現を目指して研究開発を進めている。

関連記事

- 1) H. H. Zappe, IBM Tech. Disc. Bull., vol. 17, pp. 3053-3054, Mar. 1975.
- 2) H. Ko and T. Van Duzer, IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 23, pp. 1017-1021, Aug. 1988.
- 3) P. Bradley and H. Dang, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 1, pp. 134-139, Sep. 1991.
- 4) S. B. Kaplan, et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 9, pp. 3020-3025, Jun. 1999.
- 5) 丸山他、電子情報通信学会総合大会 2008 春予稿集 C-8-12

(SRL/ISTEC 低温デバイス開発室 鈴木秀雄)

[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の現状「量子暗号通信に不可欠な超電導単一光子検出器（SSPD）技術の現状」

独立行政法人情報通信研究機構

未来 ICT 研究センター

三木茂人

現在の情報通信ネットワークでは、計算量的安全性保証に基づく暗号が用いられているが、この従来方式は科学技術の進展如何で常に解読の脅威にさらされている。これに対して、量子暗号鍵配送（QKD）システムは不確定性原理により無条件情報安全性を保証する新しい技術形態である。しかし、単一光子検出器の性能が直接的に QKD 性能を律速するために、現在用いられている半導体光子検出器の性能限界が QKD 性能改善への大きなボトルネックとなっていた。これに対して情報通信研究機構（NICT）や米国立標準技術研究所（NIST）が、高性能かつ可搬の超電導単一光子検出（SSPD）システムを開発し、QKD 実験へ適用して上記のボトルネックを解消する道筋を示した事により SSPD システムの有効性が認識される事となった。



図 1 SSPD システム写真

量子暗号通信応用を考えた場合、SSPD システムは小型・簡便・連続駆動可能な冷却方式であること、多チャンネル入出力構成であること等が必要不可欠となってくる。NICT や NIST では無冷媒かつ AC100 ボルト電源で動作可能な、小型可搬式のギフォード・マクマホン（GM）冷凍機を用いた汎用 SSPD システムの開発に成功している（図 1 参照）。これらのシステムは超電導受光素子を最大 6~8 個まで搭載可能であるため、システム 1 台で量子暗号鍵配送試験に必要なチャンネル数（例えば BB84 方式では 4 チャンネル）をカバーすることが可能となっている。現状での SSPD システム性能として、暗計数率 100 Hz, システム検出効率 1~3 %, 動作速度 30~50 MHz 程度（表 1 参照）が達成されており、半導体素子に対しての優位性を確保している。¹⁾さらに、汎用 SSPD システムを利用した量子暗号鍵配送試験への応用はすでに始まっており、例えば日本電気株式会社（NEC）、NICT、NIST 共同チームによる敷設光ファイバー 97 km 間 BB84 暗号方式を用いたフィールド試験

では、従来のフィールド試験 100 km 圏で 100 倍、室内実験をいれても 10 倍の鍵生成速度に成功したとの報告がなされた。²⁾

表 1 SSPD システム仕様・性能

チャンネル数	6~8 チャンネル
システム検出効率	1~3 %
暗計数率	< 100 Hz
応答速度	50 MHz
ジッター	50 ps
バイアス電流	10 - 50 μ A
電源	AC 100 V, 15 A
動作温度	2.9 K

上記に示した汎用 SSPD システムの性能は、SSPD 本来が持つポテンシャルと比較すると十分であるとはいえないが、基礎研究レベルでは着々と性能改善がなされている。例えば、米国シカゴで行われた ASC2008 国際会議では、超電導受光素子の吸収効率向上によるシステム検出効率の向上（～40 %程度）や、多素子化あるいは並列ストリップ化による動作速度向上等が報告された。これらの成果を、如何にして汎用 SSPD システムへ反映させるかが今後の焦点となるであろう。

参照

- 1) S. Miki, *et. al.*, Appl. Phys. Lett., vol. 92, pp. 061116, 2008.
- 2) <http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h19/080326/080326-2.html>

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 10-11 月の催し物案内

10/10

第 2 回超電導応用研究会シンポジウム「超電導エレクトロニクス素子の展望」

場所：山形大学工学部 9 号棟 3 階 300-2、山形県米沢市

主催：低温工学協会超電導応用研究会

問合せ：山形大学大学院理工学研究科 大嶋重利

Tel: 0238-26-3286、Fax:0238-26-3293、E-mail:ohshima@yz.yamagata-u.ac.jp

10/27-29

21st International Symposium on Superconductivity (ISS2008)

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、ISTEC

問合せ：<http://www.istec.or.jp/ISS>

10/27

第 6 回超電導電力機器関連パネル討論会－標準化調査－

場所：3:30-5:30pm、中会議室#202、EPOCHAL TSUKUBA、つくば市

主催：(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: 03-3536-7214、Fax:03-3536-7318、E-mail:tc90tanaka@istec.or.jp

10/28

第 2 回超電導エレクトロニクス関連パネル討論会－標準化調査－

場所：6:30-8:30pm、中会議室#202、EPOCHAL TSUKUBA、つくば市

主催：(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: 03-3536-7214、Fax:03-3536-7318、E-mail:tc90tanaka@istec.or.jp

10/30-11/1

2008CHATS on Applied Superconductivity Workshop

場所：つくば市

問合せ：Naoyuki Amemiya, Kyoto University, E-Mail:chats2008@rain.dnj.ynu.ac.jp

<http://www.chats-as.org/News/news.html>

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (8/20-9/19)

- 座禅 瞑想で増す 脳の厚み 8/21 読売新聞
- グリーン電力証書 自然エネルギー発電委託／環境付加削減の証し 8/22 日刊工業新聞
- 頭部用小型 MRI 吉田製作所 手術室に設置可能 8/22 日経産業新聞
- 新粒子加速器 9 月運転開始 8/22 朝日新聞
- 小学生に先端実験 DNA 抽出や超電導を再現 8/22 日本経済新聞 (夕)
- ミュー粒子で何でも透視 宇宙線が不正を見抜く エックス線より応用分野広く 8/24 日本経済新聞
- 神の粒子を探して 本命は「未発見の何か」 8/24 読売新聞
- 経産省概算要求 エネ革新技术に 1,000 億円 温暖化対策てこ入れ 8/25 電気新聞
- 東海大学・森本雅之教授 電気自動車向けモーター 高速回転で小型・効率化 8/25 日刊工業新聞
- 4 つの発電方式とその特徴 燃料の多様性に対応してきた「汽力」 8/26 電気新聞
- 新エネルギーに 1,300 億円 概算要求へ 経産省方針 今年度予算の 1.5 倍 8/26 毎日新聞
- J-PARC 利活用、より幅広く 文科省は報告書公表 8/27 電気新聞
- 経産省 一般会計 4,753 億円で 09 年度概算要求 低炭素社会へ重点 8/27 電気新聞
- 経産省 09 年度概算要求 エネ特会、14.3 %増 温暖化対策に重点 8/27 電気新聞
- 新型超伝導体 最高の転移温度実現する 最適な結晶構造明らかに 産総研など成功 8/29 科学新聞
- 09 年度概算要求 一般会計 86 兆 1,300 億円 3 兆 700 億円増 国債費が最高 8/29 フジサンケイビジネスアイ、読売新聞
- 文科省 宇宙・ライフサイエンス拡充 国家機関技術を強化 09 概算要求 8/20 日刊工業新聞
- 科学技術振興費 22.6 % 文科省 iPS 細胞など重点 8/29 日刊工業新聞
- 文科省概算要求 原子力関係は 5.3 %増 2,753 億円 FBR へ大幅増額 8/29 電気新聞
- 原子力機構 ITER 炉心ブランケット 世界初、実規模モデル 8/29 電気新聞
- ITER 実験炉 部品開発 原子力機構 トリチウムを増殖 8/29 日経産業新聞
- 三菱電機 手のひら大の加速器 医療施設向け 可搬型は世界初 8/29 日経産業新聞
- 微細振動検出に成功 超電導量子干渉素子 微小構造に加工 NTT 9/1 日刊工業新聞
- 鉄系超電導物質 臨界温度を高く 産総研など結晶構造 9/1 日本経済新聞
- 火力の導入と性能向上の変遷 大容量、高温・高圧化、そして新技術 9/2 電気新聞
- 非等方な p 波気体 生成 東大、超電導実現へ前進 9/2 日刊工業新聞
- ITER 試験用ブランケット 第 1 壁、実規模で性能実証 原子力機構 熱処理工程を改良 9/2 日刊工業新聞
- リニア 年内本格調査へ 政府、慎重姿勢を転換 9/2 毎日新聞
- 国際標準化で主導権握れ 経営で重要性認識を 競争部分と分け不可欠 9/2 日本経済新聞
- 新型の高温超電導物質 単結晶薄膜を作製 東工大など 性能向上に貢献 9/4 日経産業新聞
- リニア新幹線の消費電力 電力 3 社発電能力の 1 % JR 東海 新たな発電所不要 9/4 日刊工業新聞
- 欧原子核研で注目の衝突実験 生まれるか ブラックホール 9/5 フジサンケイビジネスアイ
- 臨界プラズマ実験装置「JT-60」役目終える 6 年かけ高性能化 9/5 朝日新聞
- 古河電工の素材力 「技術転化」で事業広げる 手戻り防ぎ研究効率化 9/5 日刊工業新聞
- 心臓病 高度治療を確立 1,400 万投入 EU が 4 年計画 9/5 日刊工業新聞
- 大型加速器は宇宙の究極物質を探る ビッグバン直後を「再現」 質量の謎など解明 「世紀の

発見」期待 9/7 日本経済新聞

○ITER が挑む 核融合の壁 実用化へ熱を帯びる実験炉予定地 2040 年には原型炉稼動 9/7 毎日新聞

○ITER 向け基盤技術 強磁場で大電流通電 原子力機構など 大型コイル開発 9/78 日経産業新聞、電気新聞

○汽力発電の蒸気条件向上① 再熱サイクル導入で蒸気を有効利用 9/9 電気新聞

○質量の謎に迫る 超大型加速器あす始動 ジュネーブ郊外 ビッグバン直後の宇宙再現 9/9 朝日新聞（夕）

○リニアモーターカー 2025 年までに営業運転へ 9/9 読売新聞（夕）

○世界最大の加速器始動 欧州合同原子核研究機構 素粒子など観測 9/10 日刊工業新聞

○GE 横河 MRI の最上位機種 鮮明画像、毎秒 2700 枚処理 9/10 日経産業新聞

○世界最大の加速器稼動 欧州の研究機関 質量の謎解明期待 9/11 日本経済新聞、フジサンケイビジネスアイ

○鉄系超電導物質を発見 高臨界温度物質に挑む 科学技術振興機構研究員 神原陽一 9/11 日経産業新聞

○フラーレンで新超電導物質 英リバプール大教授 ロゼインスキーに聞く 9/12 日経産業新聞

○シーメンス旭 MRI、高画質で撮影 内径広げ圧迫感減らす 9/12 日経産業新聞

○国際標準化に助っ人 担当の交渉力アップ 海外専門家を活用 経産省 9/15 日刊工業新聞

○高温超電導物質 鉄・セレンで構成 台湾の研究所開発 9/15 日本経済新聞

○汽力発電の蒸気条件向上② 「欧米を追い越した」国産技術の進歩 9/16 電気新聞

○超電導研究第 2 期プロ Y 系線材、テーマに NEDO 成果報告会を開催 9/17 電気新聞

○超電導技術の現状 今後の展望を解説 甲府で講演会 9/18 山梨日日新聞

（編集局）



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（2008 年 8 月）

表彰

Oxford Instruments（2008 年 8 月 6 日）

英国 Oxford Instruments 創立者の Martin Wood 卿は IEEE の Max Swerdlow を受賞した。受賞理由は応用超電導コミュニティへのたゆまざる貢献である。この賞は応用超電導コミュニティへのたゆまざる貢献を通じ超電導技術の発展に寄与したと認められる者に与えられるものである。Martin Wood 卿は超電導マグネット及びそのシステムの商業化のため革新的かつ大胆なアプローチを図り、超電導技術の世界的リーダー企業である Oxford Instruments 社を創立した。米国シカゴで開催された 2008 年 Applied Superconductivity Conference 期間中の授賞式で授与された。

出典:

“Sir Martin Wood receives award for outstanding contribution to the field of applied superconductivity”

Oxford Instruments press release (August 6, 2008)

<http://www.oxford-instruments.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Internet/Press/Current+News/Sir+Martin+Wood+receives+award+for+outstanding+contribution+to+the+field+of+applied+superconductivity>

電力

Ames Laboratory（2008 年 8 月 15 日）

米国 DOE、Ames Laboratory の物理研究者 John R. Clem は、超電導限流器のコストを低減し効率を高めることが期待できる新たな設計戦略を明らかにした。Clem は次のように述べた。「Siemens 及び American Superconductor 社が開発している現在のバイフィラー型限流器を計画通り設計変更することで、システムにおける交流損失の低減が図れることを理論的に確認することができた。」これは DOE との契約の下、Southern California Edison 社の電力グリッド中でデモンストレーションが行われる送電電圧で作動する超電導限流器に関するものである。Nexans 社と Air Liquide 社もこのプロジェクトに参加している。現在のバイフィラー設計はパンケーキコイル中の隣接する超電導テープの電流が逆方向に流れ、テープ中の磁場を相互にキャンセルして損失を低減するという構造を採用している。Siemens 及び American Superconductor 社は Clem にテープ幅の増加により交流損失がどのように変化するかを予測するよう依頼した。American Superconductor 社 Chief Technical Officer の Alex Malozemoff は次のように報告している。「標準的な条件下では、隣接テープの距離が小さいとき、結果は非常にシンプルであることが明らかになった。即ち、テープ幅を増加させ、テープ間距離を縮めれば、損失は低下する。」Siemens 及び American Superconductor 社は、この重要な結果を使ってバイフィラー型限流器の設計を最適化するとしている。Clem が得た知見は Physical Review B 最新号に掲載された。この研究には DOE の Office of Science と Basic Energy Sciences Office から資金が提供されている。

出典:

“Ames laboratory physicist develops 'electrifying' theory”

Ames Laboratory press release (August 15, 2008)

<http://www.external.ameslab.gov/final/News/2008rel/Clem.html>

American Superconductor Corporation (2008 年 8 月 5 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は 2008 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 1,980 万ドルに対し 101 %増の 3,980 万ドルという記録的な数字であった。粗利益率も、前年同期の 18.1 %から 29.2 %に増加した。純損失は、前年同期の 970 万ドルに対し、当期は 610 万ドルであった。この純損失には、当期中に同社株の価格が上がったためにワラント債の調整に必要となった 240 万ドルが含まれているが、実質的には現金の支出は伴っていない。利払い、税、その他支出、減価償却、弁済及び株式配当前の利益 (EBITDAS) は当期 170 万ドルの黒字となった。なお、前年同期は 530 万ドルの赤字であった。AMSC 社は 2008 年第 1 四半期の操業により 320 万ドルのキャッシュを生み出した。2008 年 6 月 30 日現在、現金、現金等価物、市場流通証券、一部制約のかかった現金の総額は 1 億 3,150 万ドルである。当期末時点での受注残は、前年同期末は 1 億 7,300 万ドルに対し、約 6 億 3,400 万ドルであった。

出典:

“AMSC Reports First Quarter Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (August 5, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1183477&highlight

American Superconductor Corporation (2008 年 8 月 6 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、同社知的財産である WT1650 風力発電機の設計ライセンスをトルコの最初のメガワット級風力発電機メーカー Model Enerji, Ltd.に許諾したと発表した。本契約では、Model Enerji 社は WT1650 風力発電機の製造、据付、運転及び維持管理に関しトルコにおいては排他的、中東及び東ヨーロッパ地域では非排他的実施件を保有することとなる。Model Enerji 社は最初の 1.65 MW プロトタイプ機を 2009 年半ばまでに設置、運転を行う計画であり、2009 年末までには発電機の生産にこぎつけたいとしている。Model Enerji 社総支配人 M. Celal Keki は次のように述べた。「トルコは、豊富な風力資源、開けた土地、整備された工業インフラがあり、世界で最速で成長する風力エネルギー市場の内の 1 つであると見られている。我々の経験豊かなマネージメント・チームはトルコのエネルギー産業界の中で幅広い専門性を有している。AMSC Windtec の設計と専門知識を活用し、我が社はトルコで最初の風力発電機メーカーとなる。また、この将来性のある市場において資本を集めるという点でも理想的な立場にある。」AMSC 社は、前払い金に加え、Model Enerji 社が製造する最初の 425 台の WT1650 風力発電機に関してロイヤルティーを受け取ることとなっている。

トルコの風力発電総量は 2007 年、198 %増加して 146 MW となった。また、全部で 600 MW を超える 12 の新規プロジェクトが 2009 年末までに完成するものと見込まれている。トルコエネルギー市場規制庁は、今後何年かの内には 10,000 MW 相当の新規許可を与えるものと見込んでおり、同庁によれば最終的には 30,000 MW くらいになるのではと考えられている。

出典:

“AMSC Enters Power Market in Turkey with Wind Turbine License to Model Enerji Ltd.”

American Superconductor Corporation press release (August 6, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1184160&highlight

SuperPower (2008 年 8 月 6 日)

SuperPower 社は、2008 年 DOE、Annual Peer Review of Superconductivity for Electric Systems において、多くの新規成果と世界記録となる性能について報告した。SuperPower 社の技術責任者 Venkat Selvamanickam は次のように報告した。「我々は世界で初めて km 級 Y 系高温超電導線材の製造に成功した。これは、ニューヨーク州 Schenectady 工場で製造されたものであり、長さは 1,311

m に達する。線材の臨界電流は最小部分で 153 A であり、 $I_c \times L$ 値は世界最高の 200,580 A・m である。これは、2008 年 3 月に達成したこれまでの我々の世界記録 158,950 A・m を上回るものである。」世界記録を達成したこの線材は高速スループット・プロセスにより製造されたもので、長い区間で非常に良好な均一性を有している。加えて、線材は 945 m の区間にわたって臨界電流が最低でも 200 A/cm の部分があり、ここだけで見てもやはり世界記録 189,000 A・m である。SuperPower 社は、磁場中性能の改善も報告している。これは、超電導体のデポジション時に採用した新たなドーピングの結果であり、特に、77 K, 1 T で 229 A/cm、65 K, 3 T で 340 A/cm の性能が得られている。これらの磁場中特性は 2007 年に報告したもの に比べ性能が倍向上している。SuperPower 社は現在 1,300~1,500 m の完全 5 層バッファー・テンプレート をルーチンで生産している。また、同社は交流損失が重要なモーター、発電機、変圧器向けに工業規模でのマルチ・フィラメント線材製造プロセスを開発し終え、現在、連続プロセスで 15 m 長の新しいマルチ・フィラメント線材を製造している。最後に、SuperPower 社は 2 件の National Federal Laboratory Consortium (FLC) 賞の受賞を報告した。1 つは Los Alamos National Laboratory からの IBAD 技術の技術移転の成功に対してであり、その他は Oak Ridge National Laboratory からのバッファー層技術移転の成功に対してのものである。

また、SuperPower 社は現在同社で進めている超電導限流器 (SFCL) プログラムの進捗についてもコメントした。同社 HTS 機器部長 Charles Weber は次のように述べた。「我が社の Y 系線材が超電導限流器技術にとって最適の選択であることを実証する中で大きな技術進歩を果たした。我々は、限流器応用の面で我が社の Y 系線材が非常に大きな熱的、機械的、電気的な力に耐えることができることを実証した。Y 系線材は負荷電流が流れている最中に (限流状態から) 超電導状態に復帰する能力をも保有している。このような特性があれば、電力ユーザーは限流状態から低インピーダンス状態に復帰する途上でも限流器を系統に繋いだ状態で使用することが可能である。今日の時点で、我々が世界で唯一このような性能を実証した会社である。」超電導限流器プロジェクトは、DOE、EPRI から資金を受けて実施されており、SuperPower, Sumitomo Electric Industries 及びホスト電力として American Electric Power (AEP) が参加している。

出典:

“SuperPower reports recent achievements at annual U.S. Department of Energy Peer Review”
SuperPower press release (August 6, 2008)
<http://www.superpower-inc.com/news.php?n=157>

Zenergy Power plc (2008 年 8 月 18 日)

Zenergy Power plc は、ドイツ Rheinbach 工場の大増設に着手したと発表した。この拡張により、工場の能力は大きく改善され、同社の HTS 誘導ヒーターの生産能力が向上する。この誘導ヒーターの潜在市場は 20 億ユーロと見積もられており、Zenergy 社はすでに、世界的金属メーカー 2 社から HTS 誘導ヒーターの注文を受けている。工場の増設により HTS マグネット、コイル、Y 系線材の生産能力も拡大する。この工場増設は工業プラントに対する EU エネルギー効率基準に合致するものであり、工場に供給される電力は全て再生可能エネルギーから生み出されたものである。

出典:

“Extension of Manufacturing Facilities”
Zenergy Power plc press release (August 18, 2008)
http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-08-18-factory-extension.pdf

材料

SCI Engineered Materials, Inc. (2008 年 8 月 5 日)

SCI Engineered Materials, Inc.は、2008 年 6 月 30 日に終了する第 2 四半期の収支を発表した。第 2 四半期の同社の収入は、前年同期の 3,403,742 ドルに対し、1,517,513 ドルであった。利払い、税払い、減価償却、弁済及び株式配当前の利益（“EBITDA”）は、前年同期の 181,962 ドルに対し、当期は 11,138 ドルであった。全収入に対する粗利益率は、前年同期の 15.1 %から、当期は 28.9 %に改善された。2008 年 6 月 30 日時点での受注残は 270 万ドル。一方、前年同時期の受注残は 200 万ドル。同社会長 Dan Rooney は次のように述べた。「我が社の第 2 四半期の結果は支出の増加を反映したものとなった。我々は果敢に半導体、薄膜分野での機会追求を継続していく考えである。粗利益の低下は収入の低下によるものであり、原材料の高騰がひびいている。総収入は期待はずれであったが、注文は第 2 四半期中に大きく伸びてきている。2008 年 6 月 30 日時点での受注残は 2008 年 3 月 31 日と比べて 80 %増の 270 万ドルに達しており、2008 年後半の収益改善に向け好位置につけている。」

出典:

“SCI Engineered Materials, Inc. Reports Second Quarter 2008 Results”

SCI Engineered Materials, Inc. press release (August 5, 2008)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/investors/ne/earnings/scci28.htm>

SCI Engineered Materials, Inc. (2008 年 8 月 8 日)

SCI Engineered Materials, Inc.は、株式シンボルを“SCIA”に変更すると発表した。即日実施される。同社株式は、Over-The-Counter Bulletin Board 市場で取引されている。同社の以前の株式シンボルは “SCCI”であった。

出典:

“SCI Engineered Materials, Inc. Ticker Symbol Changes to ‘SCIA’”

SCI Engineered Materials, Inc. press release (August 8, 2008)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/investors/ne/news/scia080808.htm>

SCI Engineered Materials, Inc. (2008 年 8 月 18 日)

SCI Engineered Materials, Inc.は、“Flux Pinning Additions to Increase J_c Performance in BSCCO-2212 Round Wire for Very High Field Magnets.”という名称の Small Business Innovation Research (SBIR) 第 2 期契約（契約期間 2 年）を DOE と締結した。SCI Engineered Materials の提案では、750,000 ドルの資金提供を求めている。しかしながら、最終的な金額は DOE との（今後の）交渉の結果にゆだねられる。今回の契約は、SCI Engineered Materials 社が臨界電流を添加物により改善できることを実証した SBIR 第 1 期契約を基礎としたものである。同社会長、最高責任者 Daniel Rooney は次のように述べた。「我々は第 2 期 SBIR 契約を嬉しく思っている。これは我々のこれまでの実績や高温超電導の応用市場の現在の関心事を反映したものである。今回の契約は我が社のコア競争力を明確化するためのものであり、技術能力の維持拡大に大きく寄与する。」

出典:

“SCI Engineered Materials, Inc. Awarded Phase II Research Contract”

SCI Engineered Materials, Inc. press release (August 18, 2008)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/investors/ne/news/scia081808.htm>

マグネット

Oxford Instruments (2008 年 8 月 21 日)

英国 Oxford Instruments 社は、全超電導マグネットを 4.2 K、22.07 Tesla で運転することに成功した。このマグネットは 78-mm ボアの 20 T の LTS マグネットに 2 つの HTS コイルを組み込み製作されたもの。この LTS マグネットそれ自身は、初めて 4.2 K で作動する大口径ボアの超電導マグネットであり、大きな成果である。全超電導 25~30 T マグネットシステムに向けては、LTS マグネット大口径ボア内部に複数の HTS インサートコイルを組み込むことも可能である。現在使われている HTS コイルは Bi-2212 丸型線材による 10 cm 高さの複数の同軸ソレノイドである。そのコイル内径はそれぞれ 20 mm 及び 55 mm である。一方、LTS マグネットは NbTi 及び高性能 RRP™ Nb₃Sn 線材が使われている。LTS 及び HTS 線材は Oxford Instruments グループの Oxford Superconducting Technology (OST) が開発、供給したものである。重要なことは、4.2 K で動作することにより、超電導マグネットがより少量の液体 He しか必要とせず、また、再液化した冷媒の使用が可能であるということである。例えば、冷凍機を使用して、2.2 K で動作する従来の大口径ボア強磁場マグネットに比べてさらに液体 He 消費量を低減している。また、従来の強磁場マグネットは今回の全超電導マグネットと異なりその運転に大電力と特別なインフラが必要であった。

この 22 T マグネットの成功は、高性能 HTS マグネット応用のための設計統合モデルパッケージの開発を目指した IMPDAHMA プロジェクトにとっても大きな一歩である。この 22 T マグネットは他の HTS コイルが作る強磁場の計測に使用され、HTS モデリングツール開発に重要なデータを取得する予定。IMPDAHMA プロジェクトは 3 年間の共同研究プロジェクトであり Oxford Instruments NanoScience, Vector Fields Ltd. 及び Southampton University の低温研究所が参加している。このプロジェクトは英国 Technology Strategy Board から資金の一部を援助されている。

出典:

"Oxford Instruments achieves the first 22 Tesla at 4.2 Kelvin fully superconducting magnet using LTS and HTS materials"

Oxford Instruments press release (August 21, 2008)

<http://www.oxford-instruments.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Internet/Press/Current+News/Oxford+Instruments+achieves+the+first+22+Tesla+at+4.2+Kelvin+fully+superconducting+magnet+using+LTS+and+HTS+materials>

通信

HYPRES, Inc. (2008 年 8 月 19 日)

Hypres Inc. は、米国国防総省 Office of Naval Research (ONR) に 2 台の Digital-RF™ 受信システムを納入した。このシステムは、衛星及び戦術通信、信号情報、電子戦装置、ソフトウェア無線等の無線通信向けデジタル高周波技術の評価を行う多目的テストベッドとして使用される。また、このシステムには高温超電導アナログフィルタと低温デジタル電子デバイスとの統合を可能とするため付加的に温度制御ステージも組み込まれている。Hypres の CEO、Richard Hitt は次のように述べた。「このテストベッドの納入は我々 Hypres の全員にとって大きな成果であり、重要なマイルストーンでもある。このシステムは顧客の個別の運用パラメータに適合するよう我が社の受信システムを組み上げるためのデバイス設計を効率的に評価するためにも使うことができる。」2 台のテストベッドの開発のために、ONR の第 3 期 Small Business Innovative Research (SBIR) による支援を受けた。その総額は 65 万ドルであり、この中には AD コンバーターの開発のために、7 万 5000

ドルの追加オプションが付加されている。

出典:

“Hypres Delivers Two Digital-RF™ Receiver Systems To U.S. Office of Naval Research For Test and Evaluation Applications”

Hypres Inc. press release (August 19, 2008)

<http://www.hypres.com/>

Superconductor Technologies Inc. (2008 年 8 月 12 日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、2008 年 6 月 28 日に終了する第 2 四半期の収支を発表した。純収入は、前年同期 470 万ドルに対し、当期は 290 万ドルである。ネットの商品販売収入は、前年同期 370 万ドルに対し、当期 130 万ドル。政府契約及びその他契約収入は、前年同期 100 万ドルに対し、当期 160 万ドル。純損失は、前年同期の 200 万ドルに対し、当期は 330 万ドルであった。STI 社最高責任者 Jeff Quiram は次のように述べた。「我々の第 2 四半期の結果は、2008 年前半における（顧客の）投資順位付けに変化があったことを意味している。即ち、多数の顧客は既存の基地局の増強に力を注いだということである。顧客が性能向上に向けた投資に戻った時に速やかに対応できるよう準備を行ったところであり、この変化はすでに始まっていると確信している。」2008 年 6 月 28 日現在で、STI 社は 1,300 万ドルの現金及び現金等価物を保有し、その受注残は 12,000 ドルである（前年同期受注残は 143,000 ドル）。

出典:

“Superconductor Technologies Inc. Reports Second Quarter 2008 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 12, 2008)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1186448&highlight>

加速器

CERN (2008 年 8 月 7 日)

CERN は、Large Hadron Collider (LHC) の中を 450 GeV (0.45 TeV) の入射エネルギーでビームを周回させる初めての試験を 9 月 10 日に行うと発表した。この発表は、粒子加速器の長い起動プロセスの中の冷却フェーズが成功裏に終了した後に行われた。この試験は Eurovision 及びウェブ上 (<http://webcast.cern.ch>) 見ることができる。この LHC は世界で最も強力な粒子加速器であり、(2010 年ころと見られる) 設計性能に達すれば、以前の装置と比べて 7 倍のエネルギー、30 倍もの強度のビームを生み出すことができる。現在、LHC の起動作業が進められており、数週間の内に 2 回の同期試験が行われる。

出典:

“CERN announces start-up date for LHC”

CERN press release (August 7, 2008)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2008/PR06.08E.html>

CERN (2008 年 8 月 11 日)

CERN は、Large Hadron Collider (LHC) の起動作業に関して最新情報を発表した。時計回りビームを加速器に同期させて入射することについては成功裏に試験を終了した。試験では、数粒子から構成される単一粒子束が SPS 加速器からトランスファーラインを経て LHC に打ち込まれた。条件最適化の後、粒子束はトランスファーラインから LHC ビームパイプに打ち込まれ、LHC 本体を

3 km にわたって周回した。この試験は（粒子束）のトランスファープロセス最適化を図るため、数回繰り返して実施された。反時計回りの同期試験は、今後実施される予定。

出典:

“LHC synchronization test successful”

CERN press release (August 11, 2008)

<http://lhc-first-beam.web.cern.ch/lhc-first-beam/News/LHCsyncTest.html>

CERN (2008 年 8 月 25 日)

CERN は、第 2 回目及び最終回の Large Hadron Collider (LHC) ビーム同期システム試験を成功裏に終了したと発表した。以前実施した時計回りビームトランスファーシステム試験と同様、反時計回りの試験についても 8 月 22 日成功裏に終了した。LHC プロジェクトリーダー Lyn Evans は次のように述べた。「すばらしい開発チームのおかげで、時計回り、反時計回りの試験は何の問題もなく終了した。我々は、LHC 全周にわたってのビーム周回の試みも、極めて良好な結果が得られるものと楽しみにしている。」

出典:

“Final LHC Synchronization Test a Success”

CERN press release (August 25, 2008)

<http://lhc-first-beam.web.cern.ch/lhc-first-beam/News/FinalLHCsyncTest.html>

基礎

University of California – Santa Barbara (2008 年 8 月 5 日)

University of California – Santa Barbara では、量子物理実験の中で革新的な発見をした。同大学の研究グループはジョセフソン位相 Q-bit として知られている超電導電子回路を使って、超電導高周波共鳴器に 1 回に 1 個のマイクロ波フォトンが制御された状態でポンピングした。この方法を使って、Fock 状態として知られる複数のフォトンが存在する状態を、制御された状態で作り出した。これは従来成し遂げられなかったことである。また、同じ方法で、他の特別な状態であるコヒーレント状態をも作りだした。また、研究グループは非量子的状態の様相（解析結果から判定）を示す比較的作りやすい状態を調べ、上に述べたのと同じ方法でそこに隠された量子状態を明らかにすることにも成功した。ドイツからの留学生でポスドクの Max Hofheinz は次のように述べた。「この共鳴器はふりこの電氣的等価物である。このふりこの振幅は有限のステップ、即ち量子的である。我々は初めてこの量子状態を可能とする共鳴器を注意深く準備し、これを制御された状態で実現してこれを測定した。その後、ふりこを直接駆動したが、その駆動方法は量子的な制約なくその強度はいかようにも選択できるものであった。しかしながら、共鳴器中の Q-bit を見ると、その（個別の）振幅は量子的なステップを持ち、同時にいくつかの状態が重なっていた。従ってこれを平均すれば量子的なステップに制約されていないという風に見える。」この研究は量子計算機の研究に役立つものと考えられる。研究結果は、Nature 7 月 17 日号に掲載された。

出典:

“UCSB researchers make milestone discovery in quantum mechanics”

University of California – Santa Barbara press release (August 5, 2008)

<http://www.ia.ucsb.edu/pa/display.aspx?pkey=1822>

National Institute of Standards and Technology (2008 年 8 月 6 日)

National Institute of Standards and Technology (NIST) と Boulder の University of Colorado の共同研究機関である JILA は極低温に冷却された原子ガスの観察のための新しい電子分光技術の有効性を実証した。従来の電子分光は材料中の電子のエネルギーを調べるものであったが、新たな手法は極低温に冷却されたガス状態のナトリウム原子を調べることができるよう改善されている。研究グループは新たな手法を使って超流動性、特にフェルミガスとしての原子が、Bose Einstein 凝縮状態から超電導体中の電子対と同様の状態へのクロスオーバーする時にどのように振舞うかを調べた。このクロスオーバー領域では、極低温ガス中の原子の間にお互いに強い相互作用が働き、原子個別の特徴が見えなくなる。トラップされたナトリウム原子対の雲に高周波の場を印加し、強く相互作用しているナトリウム原子雲から数個の原子をはじき出し、その後レーザートラップのスイッチを切った。引き続いて（レーザートラップのスイッチを切った結果）膨張したナトリウムガスの測定結果を基に、トラップされた元の状態での原子のエネルギー状態と運動量を計算した。原子の元の状態のエネルギーレベルをマッピングすると、大きなエネルギーギャップを示すパターンが認められた。このエネルギーギャップは原子対を壊すために必要なエネルギーである。粒子のエネルギーと運動量を同時に測定することが可能となるこの新たな技法は、極低温ガスを調べるための情報量を飛躍的に増加させるものである。原子ガスの超流動に関する研究は高温超電導体中のエネルギーギャップの理解の助けとなる可能性を持っている。研究結果は、Nature 8 月 7 日号に掲載された。

出典:

“New JILA technique reveals hidden properties of ultracold atomic gases”

National Institute of Standards and Technology (August 6, 2008)

http://www.nist.gov/public_affairs/releases/ultracold_080608.html

Rice University (2008 年 8 月 13 日)

Rice University と Rutgers University は、比較的転移温度の高い新しいクラスの超電導体である鉄プニクタイトの複雑な電子的、磁氣的性質の一部を説明できる新しい理論を発表した。この新しい理論は、銅酸化物とプニクタイトの間の類似点及び異なる点のいくつかを説明できる。例えば、2 つのタイプの材料における原子配列は強く相関する電子システムを作り出している。強く相関する電子システムにおいては、電子は協調的に相互作用し、集団的な振る舞いを見せる。Rice University と Rutgers University の研究者は、プニクタイトは磁氣的フラストレーションと呼ばれる性質を持つことを提案した。磁氣的フラストレーションとは鉄原子がお互いに磁氣的に配列しようとする傾向を抑制するような原子配列を言う。このようなフラストレーション効果は高温超電導の発現に必要な磁氣的な量子ゆらぎを増加させる。Rutgers University の理論家 Elihu Abrahams は次のように述べた。「我々はその正確なメカニズムを知らないが、プニクタイトの振る舞いに関していくつかの一般的な予言をすることができる。また、我々はこれら予言をテストするための多くの実験を提案した。」この理論は Physical Review Letters に掲載された。

出典:

“New theory for latest high-temperature superconductors”

Rice University press release (August 13, 2008)

<http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=11301&SnID=1162213282>

Brookhaven National Laboratory (2008 年 8 月 27 日)

米国 DOE 所管 Brookhaven National Laboratory は、Cornell University、東京大学、University of California-Berkeley 及び University of Colorado と共同で、電子間の結合エネルギーを増加させようという試みが、高温超電導体の臨界温度の向上になぜつながらないかを説明できる実験的証拠を報

告した。研究グループの結果によれば、電子対の結合エネルギーの増加とともに、当該電子は量子力学的「交通渋滞」に巻き込まれる傾向が超電導体実現に必要な相互作用を上回る。この量子力学的「交通渋滞」（より正確にはモット性）が銅酸化物の超電導性にどのような影響を与えているかという機構の詳細な理解が得られれば、研究者たちがより高い臨界温度（を持つ材料）の開発を可能にするかも知れない。

高温超電導体は、そもそも非金属のモット絶縁体から得られるものである。このような材料の（電子間）結合エネルギーの増加は、金属超電導体に見られるような臨界温度の上昇をもたらさず、むしろ臨界温度を絶対温度 0 度に向けて減少させる働きをする。高温超電導は、クーパー対を生み出す電子間の磁氣的相互作用から生じていると考えられている。研究グループは、走査電子顕微鏡による準粒子干渉像を利用して、銅酸化物超電導体の電子構造を調べ、ホール数を減らせば減らすほど先に述べた磁氣的相互作用強くなることを見出した。しかしながら、電子間の結合エネルギーの増加は、むしろモット性を増加させ、超電導電流が流れる能力を低下させる。トップオーサーの J.C. Seamus Davis の解説は次の通りである。「今回の研究の本質は、系における超電導性の増加に必要と信じられている磁氣的相互作用は、系の「量子的交通渋滞」を引き起こすというものである。

「量子的交通渋滞」状態では、ホール数の欠如が電子の移動を不可能ならしめ、元の位置に固定してしまう。あたかも（多くの）車にガソリンを入れ、同時に高速道路に送りこむと渋滞が起こるのに似ている。エネルギーはあるが、どこへも行けない。」研究グループは、新たに見出された鉄基超電導体も含め、強い電子間相互作用はあるが、モット性は示さない材料を調べ、上記問題の解決方法を見出す努力を継続していく計画である。今回の研究結果は、Nature 2008 年 8 月 28 日号に掲載された。

出典:

“Scientists reveal effects of quantum 'traffic jam' in high-temperature superconductors”

Brookhaven National Laboratory press release (August 27, 2008)

http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=819

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

超電導 Web21 トップページ

応用物理学会「鉄系新高温超伝導体特別セッション」報告

東工大・細野教授のグループにより今年 2 月に発見された鉄系オキシニクタイト超電導体は鉄系新高温超電導（「鉄系」と略す）物質群として注目を集めた。2001 年に MgB_2 の超電導性が発見されて以来、久々にホットな話題だ。応用物理学会秋期講演会の講演申し込み時点ではこの物質に関係する発表は 5 件だった。その後、Web サイトには関連物質の超電導特性や超電導転移温度の更新などの報告が次々と掲載され、とくに、より高い転移温度をもつ物質の探索は日ごと熾烈を極めた。このような状況から応用物理学会は、すでにプログラムが決まっていたにもかかわらず、急遽特別セッションを企画した。限られた時間と会場をやりくりして、5 件の講演の前に昼食時間を割いて招待講演 2 件、さらにポストデッドライン講演 4 件を、通常の講演の終了後に追加した。聴衆が溢れ途中で会場を変更したり、帰りの最終バスの時間を気にしながら議論はつづいた。

招待講演は、神原、細野（東工大）と伊豫（産総研）が「鉄系新高温超伝導体の作製法」について、ノウハウもふくめて報告した。かつて銅酸化物超電導体（「銅系」と略す）では、試料の物性が作製条件に非常に敏感であり、超電導特性の本質を抽出するのにずいぶん遠回りをした苦い経験がある。再現性のある試料を確保するには製法を確立するのが第一であるから、招待講演のテーマは当を得た企画であった。

鉄系オキシニクタイト LnFeAsO (Ln:ランタノイド) は砒素 (As) を構成元素として含むので、猛毒アルシン (AsH_3) の発生や 615 °C で昇華する点に神経をつかって試料を作製しなければならない。また、酸素の欠損量やフッ素の置換量の同定など、信頼性の高い試料に基づいたデータの蓄積が望まれる。報告では、二重の石英管に封入したり高压合成による製法が紹介された。この物質群には、一説によると 8000 種類もの元素置換体が考えられるそうだ。細野教授は、効率よく物質探索を進めるにはエピタキシャル成膜法を確立するのが先決と強く言われた。まずは「銅系」の経験を生かすことができるパルスレーザー蒸着法がよさそうだ。三角（古河電子）は砒素化合物 LnAs の商品化を目指していると報告した。自作しにくいターゲット材が入手しやすくなることを期待したい。一方で「鉄系」は「銅系」と互いに補いながら高温超電導メカニズムの解明に新しい鍵を提供すると期待されている。そのためには単結晶育成が不可欠である。願わくは La_2CuO_4 に匹敵する質、サイズの単結晶を望みたい。

「鉄系」の特性はこれから明らかにされていくだろう。ここでは、特別セッションを聞き終えた後疑問として残った感想を述べる。

産総研グループが進めている酸素欠損型の LnFeAsO_{1-y} は LnO 層の酸素欠陥量を制御して FeAs 層にキャリア注入する。酸素 (O) の一部をフッ素 (F) で置換する必要がない。Ln の種類に関係なく $y = 0.3 \sim 0.4$ 付近で T_c は高い値をしめす。Ln = La では $T_c = 28 \text{ K}$ であるが、Ln のイオン半径を小さくしていくと Nd、Sm、で $T_c = 54 \text{ K}$ に達して以後 Gd、Tb、Dy では T_c は下がる。格子定数は Ln イオン半径に対応して単調に減少するので化学的圧力は次第に増加していると解釈できる。しかし、 T_c は、化学的圧力の増加とともに高くなり最大値を越えて低下する。さらに不思議なことには、加圧下ではすべての試料で T_c は下がる。化学的圧力と外部圧力の効果を同等に考えると、この実験結果は理解できない。食い違いは何故起きるのか。TI 系銅酸化物超電導体はつねに過剰ドープ状態にあり、外部加圧で T_c は下がることが知られている。「鉄系」は「銅系」に比べて格子歪の T_c に及ぼす影響が著しいことを考えると、外部圧力により LnO 層と FeAs 層との間隔が縮まりキャリア移動が助長されて過剰ドープとなったのだろうか。それとも、李（産総研）が中性子回折の結果から指摘したように、 FeAs_4 正四面体が歪んだ結果 T_c が下がったのだろうか。

「鉄系」と「銅系」に共通な際だった特徴は、超電導相の下地が磁気秩序相（反強磁性）である

点だ。

野村（東工大）によると、「鉄系」 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ の母結晶である LaFeAsO は、温度を下げると 160 K で正方晶から斜方晶に結晶構造が変わり、140 K 以下では反強磁性をしめす。そこで、斜方晶とつじつまが合う、スピン・ストライプ構造の可能性を指摘した。一方、 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ は正方晶のまま超電導状態に向かう。斜方晶は超電導の発現に不利な環境なのだろうか。それとも注入されたキャリアが斜方晶の構造を不安定にするのだろうか。

二つの高温超電導体の磁氣的性質は高温超電導を解明するための重要な鍵と考えられるので、「鉄系」 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ と「銅系」 $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4$ とを比較しながら多少考察してみる。「鉄系」は磁性原子 Fe を構成元素として含むことを殊更に強調されるが、「銅系」を構成する Cu^{+2} イオンも磁性をもつ。その意味では両者に本質的な違いはない。では、それぞれの母結晶 LaFeAsO と La_2CuO_4 が示す磁性を比べてみる。前者では FeAs 原子層、後者では CuO_2 原子層で二次元的な反強磁性配列が現れる。そこで、元素の一部を原子価の違う元素で置換して磁気配列層にキャリアを注入していくと、反強磁性配列は壊れて超電導状態が発生する。問題は FeAs 層と CuO_2 層とで反強磁性配列を生ずるメカニズムの違いにある。FeAs 層は金属的、言い換えれば、動き回る電子（遍歴電子）が仲介して Fe のスピンの配列する。一方、 CuO_2 層は絶縁体的、すなわち、電子は互いに強いクーロン反発を受けて金縛りとなり動けない（強相関電子）。 Cu^{2+} に局在したスピンは自ら相互作用を及ぼしあって配列する。このように、反強磁性配列でも全く違ったメカニズムが働いているにも関わらず、見かけでは、どちらもキャリアを注入すると超電導が現れる。

「銅系」 $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4$ では、注入するキャリアの量が増えるにつれて超電導状態を不足ドープ、最適ドープ（ T_c が最高値）、過剰ドープと三領域に分ける。不足ドープ領域ではキャリアの効果は弱いのでスピンの局在性は維持されて「キャリアを注入された反強磁性」から超電導に移る。過剰ドープ領域ではふんだんなキャリアによる遮蔽効果のために相関が弱まり、スピンは動きやすくなり「反強磁性を帯びた金属」から超電導に移る。「鉄系」の FeAs 層では、もともと金属的な原子層にさらにキャリアを加えるのだから過剰ドープ領域に似た磁性が考えられる。「鉄系」の T_c がキャリアの量に鈍感な理由もこの辺りにあるかも知れない。より高い T_c を期待するには、FeAs 層に代わってスピンの局在性を加味した磁性層にキャリア注入して最適ドープを実現できないものだろうか。前に述べたように、高圧合成した LnFeAsO_{1-y} ではすべての Ln に対して加圧下では T_c が下がる。これは過剰ドープの特徴と矛盾しない。しかし、 $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4$ がすべての領域で加圧で T_c が上がる説明はできない。

鉄系新超電導体の出現で、局在スピンから遍歴スピンまでの多様な磁性が超電導性に集約される描像が明らかになることを期待しよう。

(ISTEC/SRL 主管研究員 普及啓発部 森下忠隆)

[超電導 Web21 トップページ](#)

「Applied Superconductivity Conference (ASC2008)」報告



概要

2008 年 8 月 17 日 (日) ~22 日 (金)、米国 Hyatt Regency Chicago において、Applied Superconductivity Conference (ASC2008) が開催された。本会議は 2 年に 1 回開催される米国の会議であり、今回は 40 カ国から 1,605 人の参加者 (米国 669 人、日本 296 人、ドイツ 92 人、韓国 85 人、中国 62 人、英国 46 人、フランス 36 人で、学生は 327 人) があり大変盛況に行われた。発表は 1,351 件 (ただし一部キャンセルになったものを含む) で、内訳は、「Material」515 件、「Electronics」432 件、「Large Scale」404 件であった。

報告トピックス

Plenary Sessions

毎朝一番に Plenary Session が行われた。1 日目「超電導電子デバイスによる電波望遠鏡」、2 日目「超電導技術を用いた飛行機」、3 日目「超電導サイクロトロン」、4 日目「各超電導線材の将来コスト」、5 日目「中国におけるラージスケールの研究開発状況」についてそれぞれ報告があった。



Plenary Session の様子

Material (線材)

超電導線材性能の指標として用いられる L (長さ) $\times I_c$ (臨界電流値) の値において、米国 Super Power 社から 1,000 m を超える長さの線材 ($1,030 \text{ m} \times 227 \text{ A} = 233,810 \text{ Am}$) の開発に成功したとの報告があった。これは、直前の 7 月に開催された DOE Peer Review における発表 ($1,311 \text{ m} \times 153 \text{ A} = 200,580 \text{ Am}$) を上回る記録更新となった。また、従来日本に劣る傾向にあった I_c を向上した線材 ($630 \text{ m} \times 302 \text{ A} = 190,260 \text{ Am}$ 、 $540 \text{ m} \times 337 \text{ A} = 181,980 \text{ Am}$) 開発にも成功したとの報告もあった。このほか、LANL (ロスアラモス国研) から PLD の最適化により $1,550 \text{ A/cm}$ 幅@77 K、0 T の世界記録の報告や、ORNL (オークリッジ国研) と Super Power から MOCVD 法で初めて人工ピンの導入に成功し磁場中での高 I_c 化に成功したとの報告があった。

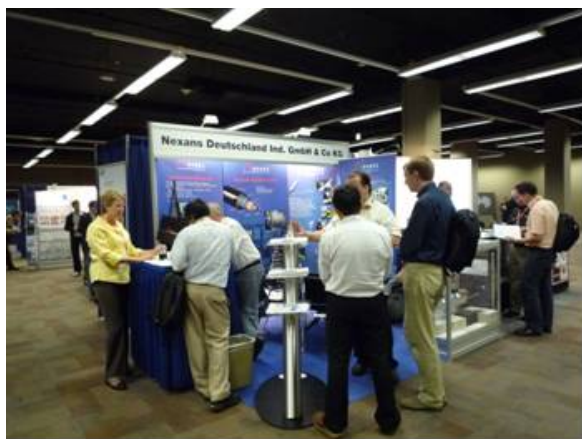
Electronics (デバイス)

今回の ASC は Transition Edge Sensor (TES) が 10 セッション、ナノワイヤ (SSPD) が 4 セッションと超電導ディテクター関係のセッションが数多く組まれていたのが大きな特徴であった。これらは最近の進歩が目覚しく、今後も大きく進んでいく分野だと思われる。デジタル回路においてはプロセッサ開発では日本が先行しているのに対して、米国は HYPRES 社の AD コンバータ開発で着実な進歩を遂げていた。量子ビットに関しては、量子ビットの読み出しや結合に用いる超電導

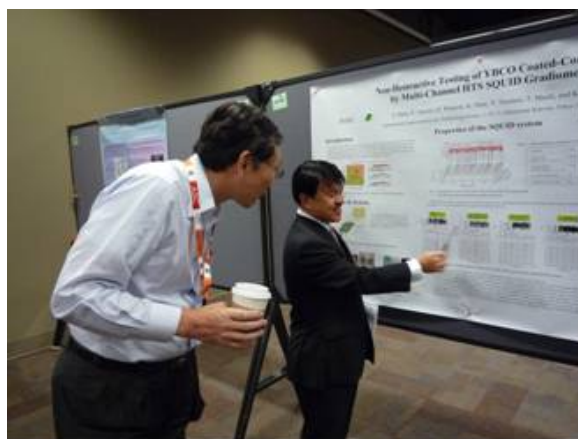
共振器に関する発表が目立ち、共振器の内部ロスをいかに少なくするかに議論が集中していた。SQUID の応用に関しては低磁界 NMR (MRI) に大きな進展が見られた。低磁界 MRI による脳画像と MEG による脳磁図の同時測定や、低磁界 NMR による化学物質の検出が行われていた。

Large Scale (機器応用)

米国のケーブルプロジェクト「Albany」、「LIPA1」、「AEP」の各プロジェクトが順調に進捗していることの報告と、Y 系線材による次期プロジェクト「Hydra」について報告があった。また、韓国の DAPAS プロジェクトにおいて 154 kV、1,000 MVA のケーブルを開発するとの報告があった。このほか、米国を中心とした限流器の研究成果、韓国の SMES プロジェクトの成果と今後の計画などの報告があった。詳細な内容は超電導 Web21/11 月号の特集で紹介する。



展示会の様子



Poster Session の様子

(代表執筆 SRL/ISTEC 電力機器研究開発部長 藤原昇)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導電力機器のおはなし (その 5)

横浜国立大学
大学院工学研究院
名誉教授 塚本修巳

某日某所で、大手商社の経営に携わっている役員の叔父さんと、メーカーの研究所で高温超電導機器開発に携わっている甥との間で超電導応用のことが話題になりました。その続きで、超電導回転機が今回のテーマです。

図の引用の間違いのお詫び

甥「前回のやさしい超電導電力機器のおはなし (その 4) 電力エネルギー貯蔵のところで、図の引用に誤りがありました。NEDO/JR 東海のフライホイール開発プロジェクトに関して、原稿の図 5 は本体の構造図ではなくモデル機のものでした。この間違いに関して関係各位にご迷惑をおかけしたことをお詫びいたします。なお、本体の構造図は NEDO のホームページに本プロジェクト (P04017 超電導電力ネットワーク制御技術開発) の報告書が載っており、そこで見るができます。」

5.1 はじめに

甥：今回は超電導回転機のお話をしたいと思います。

叔父：つまり、超電導モータ、超電導発電機のことだろう。

甥：はい、モータも発電機の原理的な構造はほとんど変わらないので一般に回転機といっています。また、モータでも発電機でもない同期調相機という回転機にも超電導が応用されています。

回転機に超電導を応用する利点は、従来型の銅導体および、磁界を強めるために用いられる鉄心を用いた回転機に比べ、より強い磁界をより広い空間に作るができること、巻線 (コイル) の電流密度 (単位面積あたりに流せる電流値) を大幅に大きくできることです。これにより、機器の小型・軽量化、高効率化さらに電気的性能の向上が可能になります。

叔父：電気的性能といっても効率以外に何かあるのかね。

甥：回転機の電気的性能というのは少し専門的になりすぎわかりにくいと思いますが、超電導発電機を電力系統に連系することにより、電力系統の安定性を向上させることができます。また、交流回転では、騒音の低減や、電流・電圧波形がきれいな正弦波になるなど、これらも発電機の超電導化の大きなメリットと考えられています。

超電導回転機の開発の歴史は古く、実用的な低温超電導線が開発された 1960 年代に開発が始まりました。低温超電導では液体ヘリウム温度レベルでの冷却が必要なため、冷却にかかるコストが高く、それを上回るメリットを出す必要から大容量の電力用発電機の開発を目標として、日米欧、旧ソ連など世界各国で開発競争が 1990 年代まで続けられました。1986 年の高温超電導の発見とその後の導体化技術の進展により、高温超電導が回転機にも適用できる見通しがついてきました。高温超電導を用いることにより、超電導巻線の冷却温度を液体ヘリウム温度より大幅に高く、場合によっては液体窒素温度レベルにまで引き上げることができるので、冷却に伴うコストを大幅に低減できます。このため、より小規模の回転機でも超電導化のメリットが活かせるようになり、超電導回転機の応用範囲が大きく広がりました。図 1 に示すように、超電導回転機の応用範囲は大型風力発電機のような 1 分間

ータとなり、負荷に電流を流すようにすれば発電機となります。電機子には交流電流が流れるので巻線は室温部に置かれた銅コイルになっています。前にお話しましたように電機子巻線も超電導にできたらいいのですが、交流になると超電導線材に交流損失が発生してしまい損失が過大となります。そこで、電機子巻線は室温の銅コイルになっています。超電導機では電機子巻線および界巻線の間には鉄心をおく必要がないので、従来機に比べ軽量、小型化が可能です。

5.3 各種超電導回転機

甥：各種超電導回転機について説明をしましょう。

a. 超電導風力発電機

甥：風力発電装置は太陽光発電装置と並んで重要かつ普及が急速に進んでいる自然エネルギー利用発電装置です。風力発電先進国であるヨーロッパにおいてその大容量化の開発が進められています。現在、銅コイル・鉄心を用いた従来の風力発電発電機で最大のものは 5 千 kW です。風力発電装置はタワーの先端にナセルと呼ばれる発電機およびその周辺装置が入った筐体を設置されており、筐体に入っている発電機に風車がつながっています。5 千 kW 級になると回転翼の直径が 120 m 前後、タワーの高さが 100 m 前後です。このクラスになると、ナセルの重量が回転翼を含め 300～500 t となります。図 3 には従来型の 5 千 kW の風力発電装置の写真が示してありますが、このように巨大となり、5 千 kW 級が従来型の風力発電機の限界と考えられています。一方、今後の更なる風力発電装置の普及には当たって、発電コストの低減のためますますの大容量化が必須であると考えられています。そこで、超電導化による風力発電機の軽量化・コンパクト化のメリットを活かして、1 万 kW を超える風力発電装置実現への期待が高まっています。

叔父：なるほど、それなら過去に日本をはじめ世界各国で開発が行われた超電導発電機の技術を使えばすぐに風力発電の超電導化は可能になるのではないかね。

甥：確かにそう考えられるのですが、過去に開発が行われた超電導発電機は原子力や火力発電用の電力用のもので、発電機の回転数は千数百～3 千数百 rpm と大きかったのに対して、風力発電機では、風切り騒音を抑えるため風車の翼端の速度を大きくできず、5 千 kW 級のものでも 10 rpm と非常に低いです。このため、電力用の発電機に対して、風力発電発電機は出力の割には体格が非常に大きくなり、また、構造が全く異なっています。従って、新たな開発が必要です。

b. 超電導電気推進船

叔父：船舶用の超電導電気推進船だが、従来の船舶の低速ディーゼルエンジンは効率が 50 % を越えるものも有ると聞く。これにスクルーを直結する従来の方式でもかなり効率が良いのではないかね。なぜ電気推進や超電導化が必要なのかね。



図 3 5 千 kW 風力発電機（従来型直接駆動発電機方式、ENERCON 社製）写真左下に止まっている大型バスと比較してその大きさがわかる。

（平成 18 年度 NEDO 報告書：「超電導技術を利用した風力用発電機の実用化可能性調査」より）

甥：確かに一定速度で巡航しているときの効率は良いかもしれませんが、従来の方式ではスクリューやエンジンの配置、船型（特に後部）に制約があり必ずしも造波抵抗、航行抵抗を最小化することができないのです。また、カーゴスペースなどのスペース効率も悪くなります。豪華客船では静粛性が重要視されディーゼルエンジンは好ましくありませんし、客室などでの使用電力が大きく、別途大きな発電装置が必要となります。また、頻繁に寄航、出港を繰り返す内航船では巡航区間が短く、効率の良い運行区間があまりありませんし、操船性が劣ります。このような場合には、エンジンで発電機を回し、その電気でスクリューをモータで駆動する電気推進が適しています。発電機およびスクリュー駆動モータを超電導化すれば高効率、軽量・小型のメリットが生かせます。特に、スクリュー駆動モータは低速、大トルクであるため超電導化のメリットが大きいです。図 4 を見てください。これは超電導モータと従来型のモータの比較を示したのですが、超電導化による軽量・小型化のメリットがわかると思います。スクリュー駆動モータを雨滴状の容器（ポッド）に入れ、船外に設置する方式が電気推進船の方式として優れていると考えられています。このポッド式では本体の船型の自由度が大きく造波抵抗、航行抵抗を大きく減らすことができます。また、ポッドの向きを変えることにより操船性が大幅に向上するので、内航船には特にメリットが生かせる方式です。ポッド方式ではポッドのサイズを小さくするとともに、ポッド内のモータの発熱の冷却が重要で、モータの超電導化のメリットが大いに生かせます。

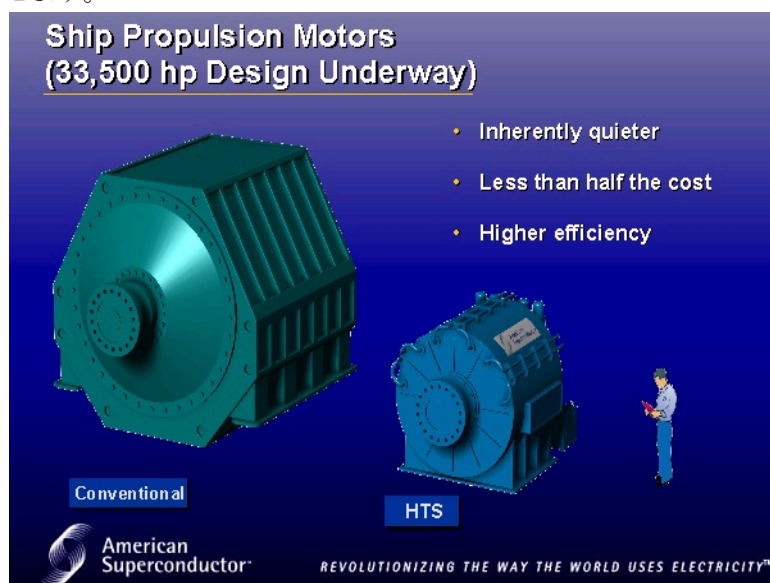


図 4 船舶用電動機の従来型と高温超電導型との比較（AMSC 社の資料より）

c. 高速回転機の超電導化

叔父：電力用産業用の千数百から 3 千数百 rpm の領域の電力用や産業用の回転機の超電導化のメリットはまあ解るが、1 万 rpm を超える高速回転の応用にはどのようなメリットがあるのかね。

甥：ガスタービンやディーゼルエンジンに比べはるかに小型・軽量ですが、回転速度が非常に速く、通常の発電機を用いる場合、減速用のギアが必要です。既にお話しましたように超電導回転機は回転子に鉄心を用いないので回転子の軽量化が可能です。そして高速回転に耐えられる回転子の実現できるので、ガスタービンで直接駆動する発電機が実現できます。応用として電気推進の客船の発電機や、興味あるところでは最近アメリカで開発が始められた電気推進航空機です。ジェットエンジンのタービンで発電をして、その電気でプロペラを駆動するものです。

叔父：ちょっと待ってくれ、プロペラ方式では現在のジェット旅客機より遅くなるなということかね。

ジェット機ではジェット噴射による推進で早い速度が得られているのではないかね。

甥：いいえ、速度は現在のジェット旅客機と同程度です。現在、我々が利用しているジェット機はプロペラ機なのです。すなわち、ガスタービンの回転力でガスタービンに直結しているプロペラを回し推進力を得ています。ターボプロップエンジンといわれています。超音速のコンコルドや、昔あったコメットはジェット噴射で推進力をえるものなので、これらとは違います。ジェット噴射方式は騒音が大きく燃費が悪いです。電気推進方式のメリットは、発電用のガスタービンとプロペラの位置および回転速度を別々にすることができます。したがって、複数のタービン発電機を置いておき、離陸時の高出力が必要なとき及び、巡航時や下降時の出力があまり必要ないときに、出力に応じてタービンの運転台数を加減します。またプロペラの回転数に関係なくタービン回転速度を決められるので、いつもタービンが効率の良い状態で運転できます。これにより大幅な省燃費が可能になります。さらに静粛性が優れるので地上の騒音に基づく航路設定の制約が緩和され、より省燃費につながります。電気推進航空機は言うまでもなく発電機、モータを超電導化して、軽量・小型化をしなければ成り立ちません。

叔父：超電導を応用すればそのようなことができるのだね。いっそのこと超電導自動車はどうなんだ。

甥：テストカーなら既に試作されています。

5.4 各国の超電導回転機の研究開発状況

甥：超電導回転機器の世界の開発状況については、資料の収集の必要もあり次回にしたいと思います。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：『超電導フォトニクス工学』という新しい分野が生まれたと聞きましたが、どのような分野ですか？

A：超電導と、光ファイバー通信などのフォトニクス分野は、これまでほとんど相互のつながりを持たずに発展してきました。しかし、この 5 年ほどで量子情報処理分野の研究が大きな盛り上がりを見せています。その中でも超電導量子ビットは、量子コンピュータを実現する有力候補として注目され、2007 年 12 月 3 日発行の「超電導 Web21、読者の広場」でも、超電導量子ビットについて解説されています。これと並行して量子情報通信、特に単一光子を用いた究極的に安心・安全といわれる量子暗号通信の長距離通信実験・研究も進んできています。将来的にはこれらをつないだ量子情報処理ネットワークへの展開が期待されます。「超電導フォトニクス」は、超電導と光ファイバー通信波長帯域のフォトニクスをつなぐインターフェース技術を開発し、量子情報ネットワークを構築する基盤技術の確立を目指しています。

現在取り組んでいる具体的な研究テーマとして、超電導体を電極に使った発光ダイオード (LED) があります。超電導体としては超電導転移臨界温度 8~9 K を持つニオブを使用し、ここから LED の発光層へクーパー対をしみ込ませ、半導体におけるバンド間発光再結合にクーパー対を直接関与させる試みです。これまでに、光ファイバー通信に使える波長 1.6 マイクロメートル帯で発光する LED において、ニオブ電極が超電導転移することにより発光強度が一桁以上増大することを初めて確認しています。さらにこの発光増強に対応して、発光速度が速くなる（発光再結合寿命が短くなる）ことが最近確認されました。これは、超電導体における電子がクーパー対を形成することによって、巨視的に位相の揃ったコヒーレントな状態で発光領域にしみ込み、LED の発光を増強するためと考えられます。

この研究は、北海道大学を中心として、浜松ホトニクス、NTT 物性科学基礎研究所、東京理科大学、室蘭工業大学の産学連携チームで進められています。半導体の結晶成長・物性評価の得意な大学チーム、高い発光デバイス技術を持つ浜松ホトニクス、超電導で長年培った高い技術を持つ NTT との連携で、このような境界領域の研究が可能になりました。

今後は電子がクーパー対として発光再結合していることを利用し、量子情報ネットワークの高度化に必要な、量子もつれ合い光子対 $\cdot z$ の発生を目指します。半導体を用いたもつれあい光子対発生の研究は、これまで各国の研究者が開発にしのぎを削ってきていますが、かなり困難な状況です。その意味でも、量子もつれ合い光子対の発生は、超電導技術のユニークな応用になる可能性があります。また現在主に研究を進めている LED の発光層を量子ドットに置き換えると、一度に単一の光子、単一の光子対を発生するダイオード光源が実現できるはずですが、これに超電導効果で発光量子効率を高くできれば、少ない電流で効率よく発光する、いわゆる「オンデマンド単一光子源」の実現も有望になります。

回答者：北海道大学 電子科学研究所教授 末宗幾夫 様

[超電導 Web21 トップページ](#)