

掲載内容 (サマリー) :

トピックス :

- 第9回 M2S 国際会議、日本にて久々に開催

特集 : 超電導デジタルデバイス技術の現状

- 超電導デジタルデバイス技術の話題
- 超電導リアルタイムオシロスコープの開発の現状
- 精密計測のための磁束量子デジタル/アナログ変換器
- SFQ 物理乱数発生器の開発展望
- SFQ 回路による低電力高性能プロセッサの研究開発の現状

- 超電導関連 10-11 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (8/20-9/18)
- 超電導速報—世界の動き (2009年8月)
- 「第8回高温超電導バルク材「夏の学校」」報告
- 「低温工学協会 東北・北海道支部 第14回超伝導・低温若手セミナー—ここまで進んだ超伝導—超伝導材料の基礎と先端研究—」報告
- 隔月連載記事—超電導と MRI / NMR (その5—「技術戦略マップ」と世界の動向)
- 読者の広場(Q&A)—「オスミウム酸化物超電導体について教えてください」

[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>



トピックス：「第9回 M2S 国際会議、日本にて久々に開催」

東京理科大学
理学部応用物理学科
教授 福山秀敏

国際純粋・応用物理学連合 (IUPAP) 支援のもとに国際会議 M2S (Materials and Mechanisms of Superconductivity) が9月7日-12日東京・新宿で開催された。1998年スイス Interlaken で開催された第1回から数えて第9回目、1991年金沢での第3回以来日本での2回目の開催である。さまざまな超電導物質について多様な報告がなされそれに対して活発な意見交換が行われた。

新しい超電導物質の発見は常に凝縮系が持つ可能性についての新しい知見をもたらす。従って、以下では「物質」の観点から会議を概観する。1996年の銅酸化物の発見は「ドーピングされたモット絶縁体」というそれまでに確立された「バンド理論」を越える「強相関電子系」という新しい可能性を明らかにしその内容の豊かさゆえに発見から20年経過した本会議でも中心テーマの一つであった。

これと並んで、当然であるが、それ以上に注目を浴びたのは鉄ニクタイド (FePn) 系である。2008年2月に発表された FePn 系での高温超電導は磁性の象徴とも言うべき Fe の d 電子が担っているという点で大きな意外性がある。当初の (1111) 系に加えて矢継ぎ早に (122)(111) (11) 系、更に今年になって (2426) 等関連物質系が発見され本物質系の驚くほどの広がり見られる。(1111)(122)(111) 等では「母物質」(parent compound) での反強磁性がキャリアーのドーピングに伴い消滅した状況で超電導が出現し、この際にオルソテトラの構造変化が伴う。この反強磁性-超電導の関係は見かけ上銅酸化物と同様であり、そのことを強調する講演もあった。しかしこの議論は固体電子論の基本「単位胞がもつ電子数の偶奇性」を無視した議論であるので注意すべきである。銅酸化物・FePn はそれぞれ奇数・偶数電子系であり前者はモット絶縁体、後者はバンド絶縁体（厳密には価電子帯と伝導体帯の重なりにより半金属）となっている。従って、磁性発現の舞台が異なる。銅酸化物では反強磁性の超交換相互作用が重要な役割を果たしていることは今でははっきりしているが FePn における高温超電導発現機構については未だに明確な概念提示がなされていない。しかし、いずれも電子・格子相互作用に基礎をおく BCS 機構の範疇には収まらないことは広く認められている。

一方、従来から知られていたフラレン系では Cs ドーピング加圧下で $T_c \sim 40$ K が、また分子性結晶芳香族ピセン (Pc) について $KxPc(x \sim 3)$ で $T_c \sim 20$ K の出現が注目を集めた。後者は単なるドーピングではなく新しい構造のもとでの超電導出現の可能性もあり、もしそうであれば新しい「キャリアー導入」のタイプとなる。また電解液 (イオン性液体) を用いた「電界効果」によって絶縁体表面に誘起されたキャリアーによる超電導の発見も新しい可能性の提示であり、注目された。

本会議では物質・物性究明・理論それぞれを対象とし Matthias, Kamerlingh Onnes, Bardeen の名称を冠した賞が従来から設定されているがその Matthias 賞を細野秀雄・前野義輝両氏が受賞されたことはわが国の物質開発の活発さを物語る。誠に慶事である。

会議登録者数が予想を下回ったのは社会的な状況の反映とはいえ意外であったが多くの方々の協力により無事終了できたことをここで秋光純先生共々に心より感謝いたします。

なお次回は 2012 年アメリカとカナダが協力して主催することとなった。それまでに臨界温度の上昇があるかどうか、楽しみである。

[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

「超電導デジタルデバイス技術の話題」

名古屋大学大学院
工学研究科量子工学専攻
教授 藤巻 朗

単一磁束量子回路（SFQ 回路）が超電導デジタル回路の主流として世界的に研究され始め、ほぼ 15 年が経過した。当初は、半導体に比べ 1/1000 以下の消費電力と数十 GHz の動作速度が大きな魅力として捉えられ、SFQ 回路の大規模集積化が研究の中心課題として据えられていた。しかし、技術の成熟と取り巻く環境の変化から、最近では研究開発の方向性に変化の兆しが見られるようになってきた。ここでは、その新しい動きについて簡単に報告する。

表 1 は、SFQ 回路の主な適用先に対して、使われる回路の種類、利点、欠点、ならびに現在の開発の方向性をまとめたものである。適用先としてはこのほかにも、本特集号で取り上げられている交流電圧標準やデジタルオシロスコープなどのほか、デジタル SQUID、超電導量子ビットの制御・読出しなど数多く提案されている。また開発の方向性として表には記載していないが、回路自身の大規模化は引き続きどの応用にも求められている。この点に関しては、日本が世界を先導する形で開発が続けられており、すでに 14,000 個のジョセフソン接合を有する集積回路が超電導工学研究所の Nb/AIOx/Nb 標準プロセスを利用して実証されている。さらに同研究所で開発された 10 層多層配線プロセスをもとに、名古屋大学などでは 100 GHz に迫る動作速度のもと集積密度を 5 倍に向上させることにも成功している。

表 1 SFQ 回路の主な適用先

適用先	主たるSFQ回路	利点	欠点	開発の方向性
超電導検出器 アレーシステム	・アナログ-デジタル 変換器もしくは時間- デジタル変換器 ・多重化回路	・時分割多重回路 導入によるシステムの 小型化、熱流入の低減 ・検出器の低温環境を そのまま利用	・システム性能が 検出器自身の性能に 依存 ・アナログ多重化 回路との競合	・検出器の大規模化 ・システムとしての 高性能化 ・低電力化
デジタルRF無線機 (ソフトウェア無線機)	・アナログ-デジタル 変換器 ・デジタル-アナログ 変換器	・量子フィードバック による高精度性 ・デジタル回路による 柔軟性の向上 ・高性能超電導フィルタ の利用による性能向上	・高コスト ・基地局のみへの適用	・大ダイナミックレンジ 化 ・システムの高性能化 ・小型・軽量化 ・信頼性の向上
ハイエンドルータ	スイッチ	・高スループット化 ・システム低電力化	・既存システムとの 技術差	・低電力化 ・小型化
高性能計算機	デジタル回路全般	・システムとしての 省スペース高性能 低電力化 ・冷却コストの隠蔽	・既存システムとの 技術差	・低電力化 ・小型化

さて、表 1 に基づき、最近の変化を見てみる。第一に挙げられるのが、新たな適用先として超電導検出器システムが日欧で開発されるようになったことである。超電導転移端センサが高いエネルギー分解能を持つことが示されて以降、超電導検出器の開発が活発に進められるようになった。現在は、その検出面積の拡大に向け、多くの検出器の出力を多重化する技術が、重要な開発課題となっている。SFQ 回路は、その信号波形がインパルス形状であること、超広帯域性を有することから、将来一万個以上のマルチピクセル化に耐えられる技術として注目されている。その一例として図 1 に名古屋大学で開発している中性子回折装置向け SFQ 回路を示す。この回路では、2 個の検出器それぞれの出力に基づき、中性子の飛行時間を計測し、多重化する機能を持っている。一般的には、検出器は極低温で利用されるため、SFQ 回路にも現在の 1/100 程度の低電力化が求められる。

さらなる低電力化は、低消費電力を謳い文句としてきた SFQ 回路のこれまでの応用にすら、強く求められるようになった。これが最近の第 2 の変化である。環境問題が大きな話題となるに連れ、IT 機器に対しては、高速性よりも低電力性が重視される傾向となっている。現在の SFQ 集積回路では、電流供給のための抵抗において、SFQ 回路本来の電力の 10 倍程度が消費されている。これを本来の電力程度にまで下げる努力が、さまざまな形で進められるようになった。米国では、新しい論理方式が提案されているほか、欧州では臨界電流値を下げる事が検討されている。日本でも抵抗をチョークコイルに置き換える試みがなされている。システムとしての低電力化も重要で、この観点から冷凍機も含めた最適化が今後の課題となる。

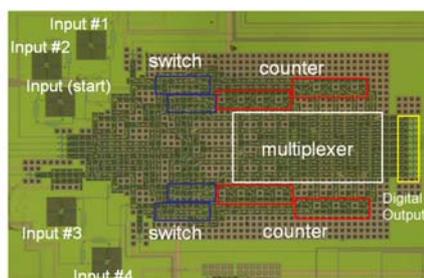


図 1 中性子回折装置向け SFQ 時間-デジタル変換回路、2 チャンネルの多重化回路を含む

以上、SFQ 回路研究の新しい動きについて概説した。現在は以前にも増して研究開発の方向性が明確となり、実用化へ向け着実に進展しているというのが著者の感想である。応用の幾つかはここ数年の間で実用化に至ると確信している。

特集：超電導デジタルデバイス技術の現状

「超電導リアルタイムオシロスコープの開発の現状」

財団法人国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所
低温デバイス開発室

室長 日高睦夫

情報通信社会を支える光ネットワークの高速化は着実に進展しており、イーサネットを例にとると現在 1 G イーサが主流であるが、2015 年には 10 G イーサと主役の座が入れ替わると予想されている。さらに 2011 年には 100 G イーサの標準化が行われる予定である。100 G イーサは現在のところ 25 Gb/s × 4 本で伝送されることになっているが、この光通信波形をリアルタイムで観測できるリアルタイムオシロスコープは今のところ存在しない。25 Gb/s 波形をリアルタイム観測するには、最低でも 1 秒間に 50 G サンプリング (50 GS/s) 以上のサンプリング周波数が必要である。リアルタイムオシロスコープのサンプリング速度を向上するには、そこに使われるアナログ/デジタルコンバータ (ADC) を高速化する必要がある。

ISTEC では NEDO 「次世代高効率ネットワークデバイス技術開発」事業の一環として、25 Gb/s の光信号を観測できる超電導リアルタイムオシロスコープに向けて SFQ 回路を用いた高速 ADC の開発を行っている。SFQ 高速 ADC は従来から知られていたが、「非線形性」と「非対称性 (オフセット)」という二つの問題点があった。前者は、回路パラメータ ($L I_c$ 積) を十分に小さくできないことに起因する。後者は、 L/R 時定数に起因するものであり、どちらも超電導回路がもつ本来の高速性能を劣化させる原因となっていた。ISTEC はこれらの問題点を解決できる相補型 QOS* コンパレータと呼ばれる新方式を提案した。図 1 は相補型 QOS コンパレータを用いた 4 ビット ADC サンプリング周波数の J_c 依存性を示すシミュレーション結果である。ここで J_c は回路に用いるジョセフソン接合 (JJ) の臨界電流密度であり、SFQ 回路は J_c の平方根に比例して動作速度が増加することが知られている。図 1 から J_c 増加にともないサンプリング周波数は向上し、 $J_c=40 \text{ kA/cm}^2$ では 150 GS/s を越えるサンプリング周波数が期待できる。図 1 には、参考として従来の超電導 ADC、半導体 ADC、半導体リアルタイムオシロスコープの最高サンプリング周波数が記入されている。従来の超電導 ADC サンプリング周波数は、前述した「非線形性」と「非対称性」によって 12 GS/s が最高であった。半導体 ADC は Notel が開発した CMOS ADC の 24 GS/s が最高である。この ADC は 150 MS/s の ADC を 160 個インターリーブして 24 GS/s を実現している。しかし、インターリーブを行う場合は、全ての ADC の特性が揃っていること、サンプリング位相が正確に制御されていることという厳しい制約があり、これらが満たされない場合は観測された波形が歪むという弊害がある。実際問題として 160 個もの ADC の特性を揃えることは困難であるため、ソフトウェア的な補正が必須である。また、リアルタイムオシロスコープの最高システム性能として 50 GS/s の製品が販売されているが、これもインターリーブを行っており、既知の信号を使った観測結果の補正は必須となる。これらのことから、インターリーブなしで 150 GS/s を超えるサンプリング周波数が期待できる SFQ 高速 ADC を使用した超電導サンプリングオシロスコープは、100 G イーサ時代に使用される 25 Gb/s 光信号波形の観測手段として極めて有望である。

*QOS: Quasi-One junction SQUID

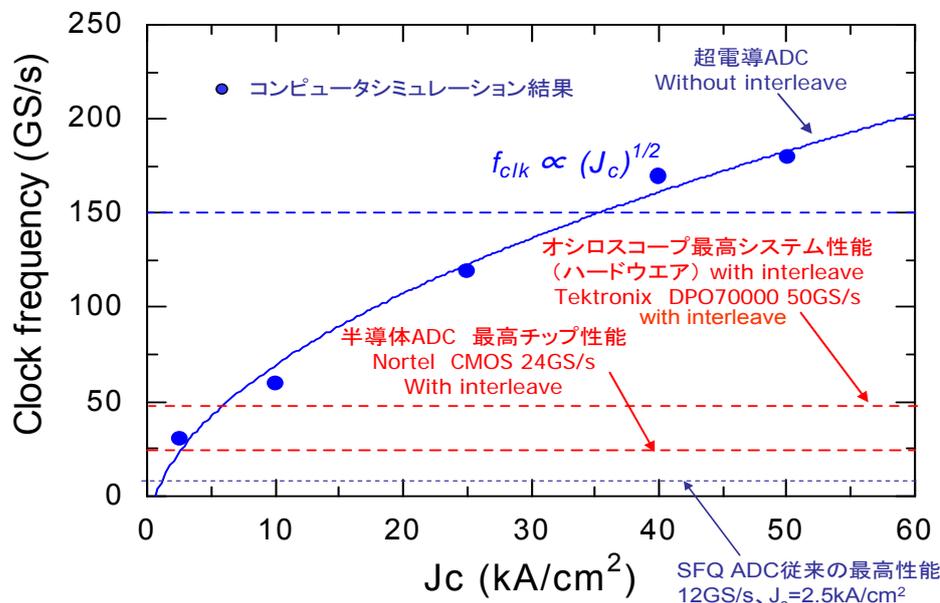


図1 相補型 QOS コンパレータを用いた SFQ 高速 ADC サンプリング周波数の J_c 依存性

ISTEC では、図 2 にチップ写真を示す相補型 QOS コンパレータを用いた 4 ビット ADC を試作し、特性評価を行い、 $J_c=2.5 \text{ kA/cm}^2$ の JJ を用いてシミュレーション通りのサンプリング周波数が得られる見通しを得た。今後 J_c を 10 kA/cm^2 に上げてサンプリング周波数の高速化を行う。また、 $J_c=40 \text{ kA/cm}^2$ の JJ を開発中である。光信号入力で SFQ 回路を動作させる実験には、すでに 40 Gb/s まで成功しており、今後これらの技術を統合することによって、 100 G イーサ時代に備えて 25 Gb/s 光信号が観測できる超電導リアルタイムオシロスコープの開発を行っていく。

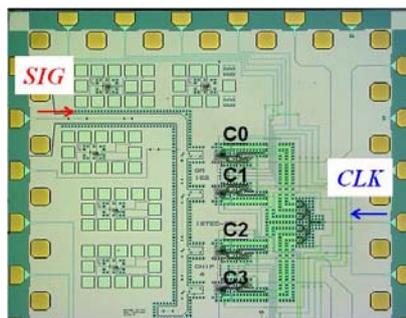


図2 4ビット SFQ 高速 ADC のチップ写真

特集：超電導デジタルデバイス技術の現状

「精密計測のための磁束量子デジタル／アナログ変換器」

独立行政法人 産業技術総合研究所
エレクトロニクス研究部門
前澤正明

1. はじめに

単一磁束量子 (SFQ) 回路の最もユニークな特長は厳密に量子化された磁束 $\Phi_0 = h/2e$ の運動を利用して演算を行うことです。これを積極的に利用し、任意電圧波形を正確に発生できる磁束量子デジタル／アナログ (D/A) 変換器の開発に取り組んでいます。磁束量子 D/A 変換器は、次世代交流電圧標準など精密計測分野での幅広い応用が期待されています。

2. ジョセフソン効果に基づく高精度電圧

よく知られているジョセフソン効果の電圧一位相関係式 $v = (\Phi_0/2\pi)d\varphi/dt$ を時間積分して平均化すれば、 N を整数として、

$$V = (\Phi_0/2\pi) N \omega = \Phi_0 N f \quad (1)$$

となります。すなわち、周波数 f の電磁波で励起されたジョセフソン接合には f に比例する電圧が発生します。物理定数である磁束量子 Φ_0 は不変量であり、整数 N は中途半端な値をとり得ず厳密に決定できます。さらに、周波数 f は一般的に取り扱える物理量の中で最も正確に決定できる量です。例えば、原子時計に基づく周波数標準の不確かさは 10^{-14} ときわめて小さな値です。式(1)は、ジョセフソン効果により周波数と同等の高精度で電圧を発生できることを示します。整数 N あるいは周波数 f を制御して時間変化させると式(1)は、

$$v(t) = \Phi_0 N(t) f(t) \quad (2)$$

となり、交流電圧波形 $v(t)$ の高精度発生に拡張できます。

3. 磁束量子 D/A 変換器開発の現状

図 1 に、式 (2) を動作原理とする磁束量子 D/A 変換器の構成を示します。三つの要素回路で構成され、周波数 f_c の基準クロック Ref に全体が同期して動作します。基準クロック Ref はパルス数増倍回路 (PNM) で実効周波数 mf_c の高速磁束量子パルス列に変換され、 N ビット二進デジタルコード $C_i(t) = 0, 1$ に従い、パルス分配回路 (PD) により電圧増倍回路 (VM) の各ビットへ分配されます。最終的な出力電圧 $v(t)$ は、周波数 f_c と整数 $M(t) = m\sum_{i=1}^{N-1} C_i(t)$ で正確に決定されます。

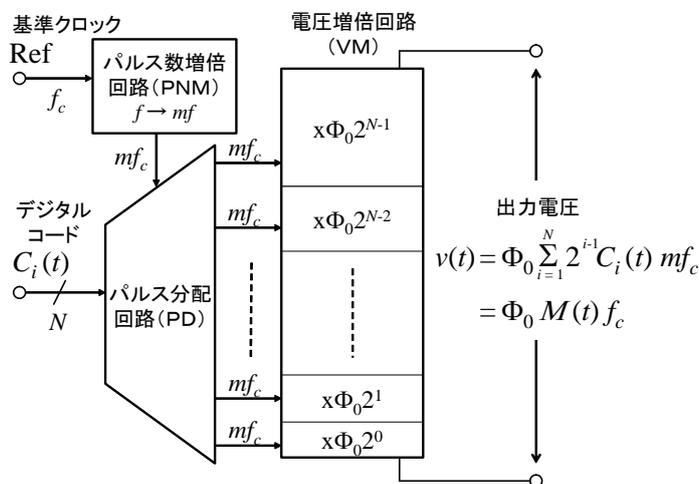


図 1 磁束量子 D/A 変換器の構成

図2は試作したプロトタイプ10ビット磁束量子D/A変換器チップと出力波形の例です。現在、精密計測や交流電圧標準に応用でき得る高い精度を実証すべく、出力電圧波形の詳細な評価を進めています。

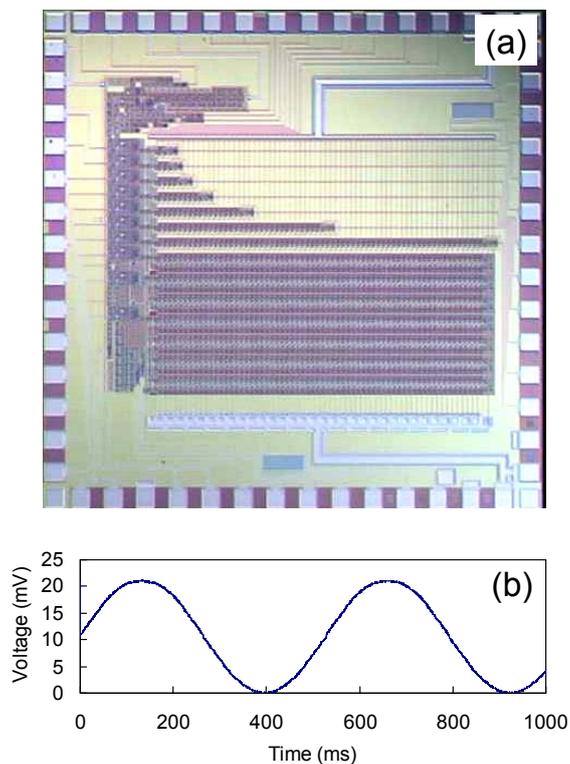


図2 10ビット磁束量子D/A変換器と出力波形例

[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

「SFQ 物理乱数発生器の開発展望」

横浜国立大学
学際プロジェクト研究センター 電子情報工学
特任助教 山梨裕希

乱数列はシミュレーションや暗号通信などの広い分野で用いられる。特にセキュリティ分野で用いられる乱数列はその質が重要で、乱数列の質が低い場合は暗号鍵が予測できてしまうなど、その安全が脅かされる。このために、本質的にランダムな物理現象を利用して乱数列を生成する物理乱数発生器の開発が進められている。本稿では我々が開発を進めている超電導単一磁束量子 (SFQ) 回路を用いた物理乱数発生器について述べる。

我々が提案した SFQ 物理乱数発生器は、2 個のジョセフソン接合で構成される SFQ 比較回路 (コンパレータ) を用いて構成される。SFQ 比較回路は入力に対して出力が得られる確率を、外部から供給する直流制御電流によって変えることができる回路で、この出力確率を 0.5 に設定することによって、出力 '0' と '1' がちょうど 0.5 の確率となる乱数列を得ることができる。

この回路において乱数のランダム性の起源となるものは、回路中に存在する抵抗の熱雑音である。SFQ 回路は電流に対して高感度な回路であるため、半導体物理乱数生成回路のように雑音を増幅する必要がなく、極めて単純な回路構成で高速動作が可能な物理乱数発生器を実現することができる。さらに SFQ 回路においては信号は時間幅 10 ピコ秒程度の電圧パルスで表わされるため、回路が高速動作しても隣り合う出力には相関がなく、超高速に高品質な乱数を生成することができる。シミュレーション結果では超電導工学研究所の 2.5 kA/cm^2 Nb プロセスを仮定すると、SFQ 物理乱数発生器は 4.2 K の動作温度において、毎秒 30 Gbit の生成レートで真性乱数を生成することができる。この生成レートは既存の物理乱数発生器に比べてはるかに速い。

これまでに試作した超電導物理乱数発生器を用いて、オンチップ高速テストによって毎秒 20 Gbit の速度で乱数列の生成に成功している。20 kbit から成る乱数列を 30,000 セット生成し、NIST が定める乱数のテスト方法である FIPS 140-2 に基づいて統計的な評価を行ったところ、生成した乱数列が実用的な応用に十分使用できる質を持っていることがわかった。

SFQ 物理乱数生成器は極めて小規模な回路で、既存のデバイスに比べてはるかに高い性能を持つ。超電導回路の実装技術の進歩や、高温超電導体による SFQ 回路の使用などによって、実用化、商品化への道が大いに期待できる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

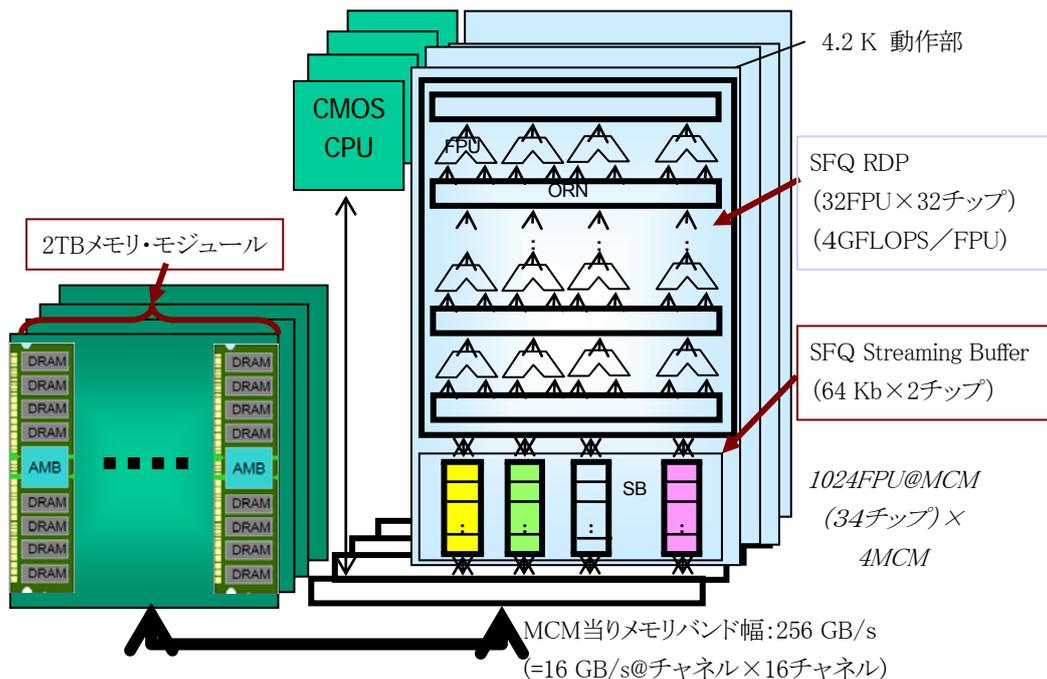
特集：超電導デジタルデバイス技術の現状

「SFQ 回路による低電力高性能プロセッサの研究開発の現状」

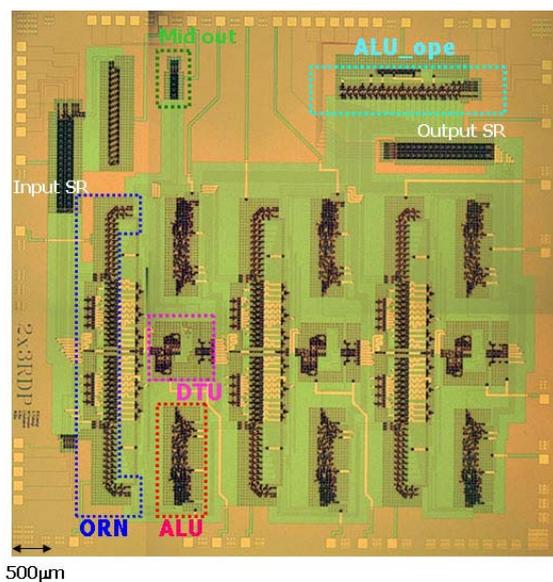
名古屋大学大学院情報科学研究科
情報システム学専攻
教授 高木直史

超電導単一磁束量子 (Single Flux Quantum: SFQ) 回路は、半導体回路では実現が困難な超高速・超低電力の処理を実現できる回路技術として期待されている。SFQ デジタル回路は、極めて小さな電圧パルス (SFQ パルス) を情報担体とし、パルス論理で動作する。論理ゲートにおいてパルスの待ち合わせが必要であり、論理ゲートは基本的にクロックト・ゲートとなる。このため、ストリーミング型のデータをパイプライン処理することに適している。

我々は、JST-CREST のプロジェクトとして、平成 18 年 10 月より、SFQ 回路による再構成可能な大規模データパス (Reconfigurable Data Path: RDP) を有する低電力高性能プロセッサの研究を行っている。RDP は、数千個規模の多数の浮動小数点演算ユニット (FPU) とそれらを接続する再構成可能なネットワーク (ORN) からなるデータパスであり、これを大規模計算に現れる繰り返しループの一連の計算に合わせて再構成し、多数の FPU を並列、パイプライン動作させて、データ依存関係のある複数の命令を直接実行することにより、高い計算性能を実現する。一旦 ORN の接続が構成されると、RDP 内ではデータが一方に流れ、各 FPU には処理すべきデータが次々に送り込まれるので、SFQ 回路による実現に適している。図に、SFQ-RDP を有する 10 テラフロップス級コンピュータの構成を示す。RDP、および、RDP と高速にデータをやり取りする Stream Buffer は、SFQ 回路で構成する。一方、プロセッサ本体や主メモリ等は、半導体回路で構成する。0.35 μm 程度の SFQ 集積回路プロセス技術が確立されれば、実現可能であると考えている。



分子軌道計算等のアプリケーションの解析による、FPU の機能や ORN の構成等の RDP アーキテクチャの最適化とともに、SFQ 回路による FPU、ORN の開発等を進めており、2 μm ISTEK 標準プロセスによる半精度浮動小数点加算器および乗算器、ALU 2x3 段 RDP (写真) を試作し、25 GHz 程度での動作を確認している。



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 10月-11月の催し物案内

10/15-16

標準化と品質管理 全国大会 2009/09/07

場所：都市センターホテル、千代田区平河町

主催：(財)日本規格協会

問合せ：(財)日本規格協会 普及事業本部 標準化と品質管理全国大会事務局

Tel: 03-3583-8008、Fax: 03-3582-0698

10/18-23

MT-21: 21st International Conference on Magnet Technology

場所：Hefei, Anhui, China

問合せ：<http://mt21.ipp.ac.cn/home.html>

10/30

低温工学協会 関西支部 第3回講演会・見学会

場所：京都大学本部キャンパス 百周年時計台記念会館 会議室 IV

主催：低温工学協会 関西支部

問合せ：(株)神戸製鋼所 技術開発本部 電子技術研究所 美樹孝史 Tel: 078-997-5652、

E-mail: miki.takashi1@kobelco.com

京都大学エネルギー科学研究科 白井康之 Tel/Fax: 075-753-3328、

E-mail: shirai@energy.kyoto-u.ac.jp

11/2-4

第22回国際超電導シンポジウム、22nd International Symposium on superconductivity (ISS2009)

場所：つくば国際会議場、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：ISS2009 事務局

E-mail: iss@istec.or.jp, <http://www.istec.or.jp/ISS/>

11/4

第3回超電導エレクトロニクスパネル討論会—超電導センサ

場所：つくば国際会議場 “EPOCHAL TSUKUBA” 2階、#201A

第22回超電導国際シンポジウム直後 (5:40pm-7:50pm)、国際会議場内にて

主催：(財)国際超電導産業技術研究センター内 IEC/TC90 超電導委員会

問合せ：(財)国際超電導産業技術研究センター内 IEC/TC90 超電導委員会 事務局 田中靖三

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

11/16-18

2009 KEPRI-EPRI Joint Superconductivity Conference

場所：Korea Electric Power Research Institute, Daejeon, Korea

主催：Electric Power Research Institute, EPRI, Korea Electric Power Corporation, KEPCO, and The Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, KIASC

問合せ：Korea Electric Power Research Institute, Daejeon, Korea

Tel: +82-55-212-1337、Fax: +82-55-212-1331

<http://www.2009kepri-epri.org/>

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (8/20-9/18)

- 第 69 回 CO₂削減の相場観 目標設定にリスクも 8/25 電気新聞
- エネルギーのものさし 仕事とエネルギー エネルギーの「移動」と「保存」に法則 8/25 電気新聞
- これも知りたい 太陽熱発電 独自技術で日本巻き返し 8/25 日本経済新聞 (夕)
- 超電導技術を民間へ展開 ケーティ・サイエンス 川口社長 8/27 日刊工業新聞
- 次世代送電網 技術的課題整理へ エネ庁、研究会立ち上げ 8/27 電気新聞
- 次世代送電網 国際標準獲得へ始動 経産省研究会 31日に第1回会合 8/27 電気新聞
- 低炭素社会実現へ戦略 来年度予算で具体化へ 総合的な研究開発必要 文科省 8/28 科学新聞
- ワイヤー状のナノ材料に電圧 カーボンナノチューブに変身 阪大 電子回路の配線 期待 8/28 日刊工業新聞
- 核融合エネルギーが地球の未来を拓く 核融合科学研所長 小森彰夫に聞く 8/28 Fuji Sankei Business i
- MRI 画像 体動いても精度高く 東芝メディカルが改良 腹部など再検査減らす 8/28 日経産業新聞
- 電線業界 押し寄せる M&A の波 欧州 2 社が統合交渉 遅れる日本勢の再編 新興国市場に欧州勢力の壁? 超電導 標的 8/31 日刊工業新聞
- エネルギーのものさし 仕事とエネルギー 仕事と熱はエネルギーの伝達手段 9/1 電気新聞
- 超電導臨界温度「冷蔵庫」レベルに道 東工大など 上昇妨げる現象特定 9/4 日経産業新聞
- 経産省 国際標準の提案支援 研究開発 企業検証費を負担 9/7 日刊工業新聞
- 高機能の新炭素材料「グラフェン」 実用化へ研究加速 富士電機や NTT など 環境・新エネで期待 大電流に耐え強度も優れる 9/7 日本経済新聞
- リニア新幹線沿線動く 上 品川始発優位に 大交流エリア形成へ期待 最短ルート、長野説得カギ 直線前提に批判 9/8 日本経済新聞
- 日本風力開発 日立と連携 スマートグリッド技術開発 今年度末メド具体化 9/8 日経産業新聞
- エネルギーのものさし 圧力とエネルギー 熱を圧力に変えて働くピストン 9/8 電気新聞
- 次世代送電網 青森県が実証事業へ 風力活用 有識者会合で計画策定 9/8 電気新聞
- 実像スマートグリッド 関連産業多岐 ブーム過熱 目的多様 各国の必要性ごとに 9/8 電気新聞
- リニア新幹線沿線動く 中 駅誘致へ綱引き過熱 「建設補助」そろって要求 9/9 日本経済新聞
- 宇宙太陽光発電を開発 産学官で推進 11 年度にも地上実験 来月、新組織旗揚げ 9/9 日刊工業新聞
- 実像スマートグリッド 特異な日本型 太陽光 2800 万キロワット導入 周波数変動 最大の壁 9/9 電気新聞
- 実像スマートグリッド 課題対応着々 電力系統高度化の先 鍵は次世代メーター 9/10 電気新聞
- 脳磁場測定、遮へい不要 コイル改良、場所選ばず 日立など新装置試作 9/10 日経産業新聞
- リニア新幹線沿線動く 下 環境・技術 壁残る 新政権、民間主導でどこまで 9/10 日本経済新聞
- 平均 90 億円 最先端技術支援に 30 人選定 審査 1 ヶ月 駆け込み決着 「実績重視」に疑問も 説明・質問とも 10 分 予算どう調整? 9/11 朝日新聞

- 「最先端研究」支援の30人決定 2700億円配分 拙速の声も 審査1ヶ月余り 新進研究者 発掘できず 9/13 読売新聞
- エネルギーのものさし エネルギーとエンタルピー 発熱量は燃焼前後のエネルギーの差 9/15 電気新聞
- 実像スマートグリッド 事業の中核役 次世代電力量計の意義 需給双方の情報媒介 9/15 電気新聞
- 次世代送配電網を展望 NEDO 日米実証の概要報告 9/16 電気新聞
- 2キュービット超伝導 プロセッサーを実証 9/18 科学新聞
- 永久磁石型MRI生産 日立メディコ 中国に完全移管 5年以内、蘇州に専用工場 9/18 日刊工業新聞
- ナノ材料で研究連携を加速 国際標準化、海外と協力必要 9/18 日刊工業新聞

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き (2009年8月)

財団法人国際超電導産業技術研究センター
国際部
部長 津田井昭彦

表彰

Air Force Office of Scientific Research (2009年8月19日)

米国空軍研究所研究員 Paul Barnes は、2009年科学・技術・工学・数学賞を受賞した。受賞理由は超電導材料分野における傑出した成果。受賞者は、ナノ技術を使った先端超電導体の新規で革新的な加工手法の研究を行ってきている。空軍研究所推進研究部主任研究員 Alan Garscadden は次のように述べた。「我々は、現在及び次世代の兵器システムの革新のため超電導に関する発明や応用に先頭を切って道を切り開いてきた Barnes 博士が当研究所の職員であることを誇りに思っている。」

出典:

“Air Force Research Lab scientist wins award for groundbreaking research”

Air Force Office of Scientific Research press release (August 19, 2009)

<http://www.wpafb.af.mil/news/story.asp?id=123163582>

電力

Zenergy Power plc (2009年8月3日)

Zenergy Power plcはフルスケール超電導発電機の製作に必要な28組の超電導コイルを完成した。この発電機は、2010年早期に E.ON Wasserkraft GmbH の商用水力発電所に設置が予定されている1.7-MW 水力発電機の主要部を構成する。設置後、この発電機は地域3,000世帯に電気を供給する。この超電導コイルの完成により、Zenergy Power 社の高品質で信頼性のある製品をいつでも、同じように量産できる能力が実証された。完成したコイルは試験を終え、最終組み立てを行う Convertteam UK Ltd.に引き渡された。

出典:

“Coil Delivery for Superconducting Renewable Energy Generator”

Zenergy Power plc press release (August 3, 2009)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009/2009-08-03-Coil-Delivery-for-Superconducting-Generator.pdf

Zenergy Power plc (2009年8月5日)

Zenergy Power plc は、そのドイツ子会社が政府からの追加補助金40万ユーロを受け取ったと発表した。これは、現在進行している次世代 HTS 線材量産のための低コスト生産技術 (Zenergy Power plc 特許) 開発のための資金である。この資金は、特に現在の次世代線材開発プログラムを支援し、加速するための先端積層技術の開発に使われる予定。Zenergy Power plc の全化学製造法は HTS 線材コストを大幅に低下することが期待されており、再生エネルギー世界市場への高効率超電導発電機の供給を加速することができる。超電導の発電機応用は再生エネルギーのコストを大幅に下げる

ことができるものと考えられる。

出典:

“Development Grant for 2G wires”

Zenergy Power plc press release (August 5, 2009)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009/2009-08-05-Development-Grant-for-2G-wires.pdf

SuperPower, Inc. (2009年8月18日)

SuperPower Inc. は、2009年DOEの超電導電力応用ピアレビューで、同社が達成した世界最高性能等最近の成果について報告した。製品の性能、生産技術の改善、製品構造の改善の面での多くの新しい成果を報告したが、その成果達成は、電力グリッドの近代化やエネルギーインフラの信頼性と安全性の改善に必要な要求事項に応える次世代HTS線材の開発を促進するというDOEの目標に沿うものである。

まず、SuperPower社は、以前の同社の記録を更新し、線材の新たな世界記録を達成した。即ち、最小でも282 Aの電流が流せる1,065 m長さの線材で、電流・長さ積が300,330 A・mを達成した。以前の世界記録は、227 Aの電流が流せる1,030 m長さの線材で、電流・長さ積が233,810 A・mであった。

また、SuperPower社は開発と製造に重点を置いた組織再編を行ったと報告した。SuperPower社総支配人 Arthur P. Kazanjian は次のように述べた。「昨年まで SuperPower 社の技術開発部門と生産部門は Schenectady 事業所に所属しており、長尺化、高スループット、歩留まりの問題は技術グループが担当していた。しかしながら、我々は、急速に増加する顧客からの注文に対応するためには、生産部門の技術者が直接ルーチン生産に関与すべきであるという結論に達した。一方、線材高性能化、高効率プロセス、新しい高性能線材アーキテクチャーのための技術の進歩は次世代線材商業化にとって非常に重要であるので、我が社の技術開発部門は Houston に集結し、製造はもっぱら Schenectady が担当することにしたものである。」

このほか、いくつかの技術の進展について報告を行ったが、最も重要な成果は高い均一性を確保しつつ、2.5 倍の磁界中特性改善を実現したことである。SuperPower 社統括技師長 Venkat Selvamanickam は報告の中で次のように述べた。「300 m の長さにわたって、77 K、1 T の磁界下で（無磁界の場合の）28 % の電流を維持することができた。また、この磁界特性は全長にわたって 3 % 以内の均一性を保っている。この成果により、SuperPower 社は、65 K で 2.5 T の磁界を発生するコイルの実証を行うことができた。この成果は、変圧器やモーターのような電力機器応用向けの高性能コイルについて DOE が設定した 2009 年度 2 T という年度目標を上回るものである。」さらに、SuperPower 社は高効率プロセス、特定顧客向け仕様の新しい線材アーキテクチャーについても報告した。

また、SuperPower® 2 G HTS 線材を使って新しい作製したマグネットコイルを液体ヘリウムで 4.2 K 冷却することにより、10.4 T の (Y 系線材で) 世界最高磁界を達成したことを報告した。19.89 T バイアス磁界が印加された状態で上記コイル (4.2 K) の試験を行い、全磁界 27.4 T を達成した。これも世界記録である。液体窒素で 77 K まで冷却した場合、このコイルは 1.38 T を発生し、65 K でバイアス磁界 3 T の場合、全磁界は 4.6 T であった。Florida State University の国立強磁界施設 (上記マグネットの試験を行った施設) 主任材料研究官 David Larbalestier は次のように述べた。「この線材技術は 30 T を超える全超電導マグネットの製造に使用可能であることは間違いない。23.5 T でしか稼動しない Nb マグネットに対し、これは大きな利点である。」

超電導 FCL プログラムに関しては、SuperPower 社高電圧担当主任技師 Juan-Carlos Llambes は次のように報告した。「超電導 FCL については、Y 系線材のみを使ったデバイスモジュールに焦点

を当てた開発のため若干の手戻りはあったものの、過去1年でよりコンパクトなモジュール設計に成功し、使用するモジュールの数を調整することで用途に応じた電圧と電流に関する色々な要求に対応できるようになった。従って、この技術は送電仕様、配電仕様両方にも適用できる。このことを報告できることは大変喜ばしいことである。」

締めくくりとして、Kazanjian は次のように述べた。「昨年他には並ぶものがない線材性能を達成し、我が社はより深く市場へ浸透した。我々は全世界で顧客層の良好な基盤を構築し、ルーチ的に線材を製造してエネルギー、代替エネルギー、輸送、医療、軍事、科学、研究の分野で使われる応用機器向けにこれを出荷している。技術開発、製造、マーケティングとうい3つの領域で進歩を成し遂げつつあることを誇りに思っており、このことがこの革新技術の実現のための最前線に我々を踏みとどまらせている大きな理由であると確信している。」

出典:

“SuperPower Reports Latest Achievements at 2009 U. S. Department of Energy Peer Review”
SuperPower Inc. press release (August 18, 2009)

<http://www.superpower-inc.com/content/superpower-reports-latest-achievements-2009-u-s-department-energy-peer-review>

American Superconductor Corporation (2009年8月18日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、韓国 Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. (HHI) から AMSC 社特許 PowerModule™ 電力変換機を含め 17 基の風力発電システムを受注した。これらは、Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. が AMSC Windtec™ のライセンスの下に製造する 1.65-MW の 2 次励磁制御誘導風力発電機に組み込まれる。また、Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. は、2-MW の 2 次励磁制御誘導風力発電機設計、マーケティング及び販売に係る権利について AMSC Windtec と契約を締結しており、この契約は北米を含む世界の大部分の国において有効である。Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. 電気システム担当上席役員 Young N. Kim は次のように述べた。「我が社は AMSC Windtec からライセンス供与を受けた後わずか1年で風力発電機1号機の生産に成功した。我が社の再生エネルギー事業が、世界市場に向けた風力発電機の量産を機に新しいフェーズに入ったことを発表できて嬉しく思う。」AMSC 社は 2010 年 1 月末までに上記電気システムの最初の出荷を予定している。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「期待通り、Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. はプロトタイプフェーズを通り抜け、速やかに量産フェーズへと移行した。Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. の野心的な事業計画と製造技術の優秀さについての評判があれば、同社が世界市場でキープレーヤーになるであろうことは間違いない。韓国グンサン新風力発電機工場において今秋から製品生産が開始されるが、我々は同社が初期生産段階からステップアップして追加注文を行うことを楽しみにしている。」

出典:

“Hyundai Heavy Industries Orders Initial Wind Turbine Electrical Systems from AMSC”
American Superconductor Corporation press release (August 18, 2009)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1321825&highlight

American Superconductor Corporation (2009年8月26日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は D-VAR システムの 2 回目の注文を受けた。この D-VAR システムは中国の電力グリッドのダイナミック無効電力補償の要求事項を満たすことが必要。中国国立大手企業 China National Machinery Industry Complete Engineering Corporation (CMCEC) がこのシステムを北京近郊の Guanting 風力発電所に設置する。AMSC 社は、2009 年末までに注文を受けたシステムを出荷する予定。完成後 Guanting 風力発電所は 150 MW の電力を地

域グリッドに供給する。

また、AMSC 社は CMCEC 社が中国電力グリッド市場向け第 2 番目のパートナーとなる見込みであると発表した。

出典:

“AMSC Receives Second D-VAR® Order for Chinese Power Grid”

American Superconductor Corporation press release (August 26, 2009)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1324456&highlight

マグネット

SCI Engineered Materials, Inc. (2009年8月18日)

SCI Engineered Materials, Inc.は、2年間の SBIR 第2期契約を締結した。契約タイトルは「高磁界マグネット用 BSCCO-2212 均一丸線」。この契約により SCI 社は高臨界電流 BSCCO-2212 線材の開発を継続する。この線材は、高エネルギー物理実験向けに開発される新世代マグネットに必要なものである。SCI 社は 650,000 ドルを予算申請したが、最終契約額は DOE との交渉によって変わる可能性がある。

出典:

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

SCI Engineered Materials, Inc. press release (August 18, 2009)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/investors/ne/news/scia081809.htm>

医療

Varian Medical Systems (2009年8月20日)

Varian Medical Systems はスウェーデンの新しい陽子治療センターの装置納入業者に選定された。この契約は、超電導シンクロトロン、ビームライン、治療室のガントリー、情報処理ソフト、治療計画ソフトを含め 6,000 万ドル相当である。この治療センターはスウェーデンに建設される最初の陽子治療センターであり、2013 年に開所の予定である。Varian 社会長兼 CEO、Tim Guertin は次のように述べた。「激しい競争入札やスウェーデンの放射線癌治療界の多くの専門家による我が社陽子治療技術の詳細なチェックを経て、我が社がこの重要なプロジェクトの業者として選ばれたことは非常に名誉なことである。これが陽子治療に関する計画、管理、装置納入全般にわたる我が社の初めての仕事である。この陽子治療は癌治療のための有力な武器となることは疑いがない。この契約は、Varian 社の粒子治療事業の大きなマイルストーンである。」

出典:

“Varian Medical Systems Selected for New Proton Therapy Center in Sweden”

Varian Medical Systems press release (August 20, 2009)

<http://varian.mediaroom.com/index.php?s=43&item=699>

クライオジェニックシステム

Oxford Instruments (2009年8月5日)

Oxford Instruments は、12-T 超電導マグネットの付属機器として世界最初の Cryofree®ダイリユーション冷凍機を出荷した。このシステムは 1 基のパルスチューブ冷凍機のみを用い、冷却のための液体ヘリウムを必要としない。温度は 12 T の磁界下で 10 mK 以下から 30 K までの範囲内で制御でき、試料環境の外部操作は一切不要である。これは中性子回折実験にとっては重要な機能である。過去 6 ヶ月間、Oxford Instruments は無冷媒ダイリユーション冷凍機の経験を積み、その間 20 基以上のシステムを出荷した。

出典:

“Innovative Cryogen-free instruments”

Oxford Instruments press release (August 5, 2009)

<http://www.oxford-instruments.com/news/Pages/news.aspx>

Oxford Instruments (2009年8月5日)

Oxford Instruments NanoScience 社は、同社の低温部品や超電導マグネットで消費するヘリウム量の低減が可能な最凝結デュワー IntegraAC を開発した。この再凝結デュワーは既存の機器がそのまま使えるため、実験の障害を最小限にとどめることができる。5 台のデュワーがすでに出荷された。Dartmouth College の Rimberg 教授は次のように述べた。「この IntegraAC は、完全に新規設備を購入することなく、この再凝結クライオスタットを使って既設のダイリユーション冷凍機を使うことを可能にしてくれる。また、試料の遮蔽に関しても大きな変化をもたらした。クライオスタットは常に冷却されているので、試料冷却に要する費用を小さくすることができる。もっと重要なことは、Integra AC は我々が使っているクライオスタットのヘリウム消費を 80 % 低減してくれる。このため、実験でより長時間冷却が可能になり、限られたヘリウム予算を有効に使うことができるようになった。」

出典:

“The cool alternative to liquid helium”

Oxford Instruments press release (August 5, 2009)

<http://www.oxford-instruments.com/news/Pages/news.aspx>

量子計算機

University of California – Santa Barbara (2009年8月11日)

University of California at Santa Barbara は、量子力学的動作可能な、5 つのエネルギーレベルを持つ新しいタイプの超電導回路を開発した (通常の Qubit は 2 つのエネルギーレベル)。このような回路は「Qudit」と呼んでもいいかも知れない。ここで「d」はエネルギーレベルの数を表す (今回の場合は $d=5$ である)。研究主任 Matthew Neeley は次のように述べた。「Qudit 回路はより多くのエネルギーレベルを持ち、それゆえ単一の Qubit よりも豊かな物理が実現される。従って、Qubit で見られるものを超えた量子力学の探索が可能になる。今日、多くの研究者は Qubit システムに注力しているが、我々は今回の実証実験をきっかけとして量子情報処理装置としての Qudit により多くの努力が振り向けられるよう期待している。」研究グループのこの結果は、Science 8月7日号に掲載された。

出典:

“Experiments at UCSB push quantum mechanics to higher levels”

University of California at Santa Barbara press release (August 11, 2009)

<http://www.ia.ucsb.edu/pa/display.aspx?pkey=2068>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2009年8月6日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、2009年6月27日に終了する第2四半期の収支を発表した。第2四半期純収入は、前年同期290万ドルに対し、当期は260万ドルであった。当期純製品売り上げは、前年同期180万ドルに対し、130万ドルであった。政府契約やその他契約による収入は前年同期160万ドルに対し、当期は854,000ドル。STI 社会長兼 CEO、Jeff Quiram は次のように述べた。「第2四半期は市場の安定が継続しており、引き続き製品販売と受注残が増加している。この傾向は第3四半期も継続すると考えており、嬉しく思っている。また、政府からの収入は、第1四半期後半に発表した空軍との410万ドルの契約による納入が始まっていることから増加してきている。」当期の純損失は、前年同期の330万ドルに対し、当期は400万ドルであった。2009年6月27日現在で、STI社は1,320万ドルの現金及び現金等価物を保有し、その受注残は873,000ドルである（前年同期受注残は12,000ドル）。第2四半期に、STI社は特定の投資家からの増資により1,050万ドルの収入を得た。

出典:

“Superconductor Technologies Inc. Reports Second Quarter 2009 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 6, 2009)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1317741&highlight>

加速器

CERN (2009年8月6日)

CERN は、Large Hadron Collider (LHC) が今年11月に再開し、最初に1ビーム当たり3.5 TeVのエネルギーレベルで運転が行われる予定であると発表した。この発表は、装置の高電流接続部の全ての試験が完了した後行われた。この試験は安全に装置を運転するためこれ以上の修理は必要ないことを確認するために実施されたもの。3.5 TeVのエネルギーレベルは、装置を安全に運転する経験を積むと同時に、実験による新たな発見が期待できるという観点から選定された。最初の高エネルギーデータは、最初のビーム入射後数週間で利用可能になる。重要なデータが得られれば、エネルギーレベルを1ビーム当たり5 TeVにまで増加させる予定である。鉛イオンの打ち込みは、2010年末に開始する予定。その後、LHCは運転を停止し、1ビーム当たり7 TeVのエネルギーレベルまで増加できるよう装置改良を行う予定。

出典:

“LHC to run at 3.5 TeV for early part of 2009-2010 run rising later”

CERN press release (August 6, 2009)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2009/PR13.09E.html>

Lawrence Berkeley National Laboratory (2009年8月19日)

Lawrence Berkeley National Laboratory は、American Recovery and Reinvestment Act に基づく1,130万ドルの資金を受け取った。この資金は同研究所のAdvanced Light Source (ALS) の改良のためのもの。このALSは、紫外光及びX線ビームの世界で最も強力な光源の1つである。資金の一部200万ドルは、動的現象を研究するためのフェムト秒X線パルスの新たな光源に必要な楕円編極アンジュレーターの製造、据付に使われる。これにより、既存の設備の超高速測定能力が倍化することになる。具体的には、硬軟X線ビームを同時に利用して、超電導体のような複雑な材料の新

たな研究を行うことができるようになる。また、150万ドルはX線散乱ビームラインのための特別な超電導マグネットの開発に使われる。この新しいビームラインにより、人工磁気ナノストラクチャーや他の物質の構造に新たな光を当てる実験を行うことが可能になる。

出典:

“Berkeley Lab’s Advanced Light Source Receives \$11.3 Million To Enable New Types Of Scientific Inquiry”

Lawrence Berkeley National Laboratory (August 19, 2009)

<http://newscenter.lbl.gov/press-releases/2009/08/19/als-arr-funding/>

基礎

Brookhaven National Laboratory (2009年8月2日)

Brookhaven National Laboratory は、磁気的性質の直接測定が可能十分な大きさの BSCCO 高温超電導体の結晶成長に成功した。この結晶は、特別な手法を用いて、2つの炉を2年間連続運転して成長させたもの。得られた結晶の磁気特性の測定(中性子回折により実施)の結果は、高温超電導体の超電導電流の生成には磁性が関与しているという解釈の中で、一般的になされてきた仮定に疑問を生じさせるものであった。物理研究員 Guangyong Xu は次のように述べた。「材料の電子構造を基礎とした計算(物質が冷却されて超電導状態になると電子構造は変化する)は、超電導転移温度以下で磁気特性も変化することを予測している。しかし、我々の直接的な磁気測定の結果磁気的性質はほとんど変化しなかった。このことは、理論家が磁気特性を記述するために使ってきたモデルが不完全であることを示唆している。磁性が異なったやり方で電子構造に影響を与えているのかも知れないし、磁性と電子構造に関わる何物かが両者に異なった道筋で影響を与えているのかも知れない。」特に、磁気測定の結果は、親化合物(絶縁体)が持っていた磁気的な性質のいくつかは、材料が超電導になった後も保持されていることを示しており、一部電子は波動として電流を担い、他の電子は局所的に固定されて磁性を担っていることを示唆している。研究グループの結果はオンライン Nature Physics 8月2日号に掲載された。

出典:

Magnetic Measurements Question Assumptions About High-Tc Superconductors”

Brookhaven National Laboratory press release (August 2, 2009)

http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=989

University of British Columbia (2009年8月19日)

カナダ University of British Columbia の研究グループは、高温超電導体の振る舞いを計算、予測するためのモデルである単一バンド・ハバードモデルの問題点を報告した。研究主任 Darren Peets は次のように述べた。「単一バンド・ハバードモデルは銅酸化物超電導体がいかにホール(電子空孔)を収容しているかを予測するため20年間使われてきた。しかしながら、この分野の多くの理論研究の元になるアプローチは我々が研究している多くの超電導体でうまく機能していないように思える。現在我々が見ている銅酸化物のフェーズダイアグラムはそれほど奇妙なものではなく、ひょっとすると新しい物理を見ているのかも知れない。いずれにしても、従来の理論アプローチはうまく機能していない。」オーバードープ銅酸化物結晶から新しいエビデンスが得られた。一般的にオーバードープ銅酸化物結晶を作るのは困難であり、よく調べられていない。ハバード・モデルは、通常のドープレベルの材料中の電子の振る舞いを説明するが、オーバードープ材料中の電子の振る舞いを説明しない。チューナブルエネルギーX線を使ってオーバードープ結晶を調べ、電子空孔が基本

的に異なった状態で結晶中に存在し、空孔同士の相互作用が変化していることを研究グループは見出した。研究結果は、Physical Review Letters 8月19日号に掲載された。

出典:

“UBC research pokes holes in Hubbard model”

University of British Columbia press release (August 19, 2009)

<http://www.science.ubc.ca/news/303>

Stanford Linear Accelerator Center (2009年8月20日)

Stanford Linear Accelerator Center と Stanford University の共同運営組織である Stanford Institute for Materials and Energy Science (SIMES) は、金属酸素の特性が探れる可能性のある水素リッチ化合物を合成した。Si 原子 1 個当たり 4 個の水素原子を含むことのできる純シランは、金属水素生成に必要な圧力よりも低い圧力で金属化することが、以前の研究で示されていた。SIMES グループの目的は、水素とシランの混合体からなる合金の性質を調べることであった。1 つの合金は水素とシランが同量、もう 1 つは 5:1 で水素を多量に含むものである。これら試料はダイヤモンドアンビルで 6 GPa を超える圧力まで加圧された。研究グループは、これら試料が水素単体よりもずっと低い圧力で固体になることを見出した。特に 99 % 水素を含むような水素リッチ合金でも固体になる。シランの量が最小の場合であっても、水素-水素間相互作用は激変する。水素合金中での原子の性質の理解を深めることができるという意味でも、この結果は画期的である。この結果は Proceedings of the National Academy of Sciences 8月17日号に掲載された。

出典:

“Hydrogen-rich Material Promises Advances in Energy Transmission, Fuel Storage”

Stanford Linear Accelerator Center press release (August 20, 2009)

<http://today.slac.stanford.edu/feature/2009/silane.asp>

Dartmouth College (2009年8月21日)

Dartmouth College は、研究室内で量子スケールのブラックホールを生み出す新しい方法を提案した。この方法を使うとホーキング輻射 (ブラックホールからの光子放出現象で、35年前にホーキングが提案した) のよりよい理解が得られる可能性がある。研究グループの提案は次の通りである。SQUID アレーからなるマイクロ波電送路に磁気パルスを印加すると、ブラックホール輻射と類似の物理現象が起こる。しかも、そこでは高エネルギー・量子特性がよく理解できるよう直接それを制御できる。論文の著者の 1 人である Miles Blencowe は次のように述べた。「我々は印加磁界の強度を操作して、ホーキングが考えた以上のブラックホール輻射を SQUID で測定することもできる。今回提案の装置を使えば、量子重力効果のアナロジー研究が可能になるほか、従来のものに比べ、ホーキング輻射をより直接的に検知することができる可能性がある。研究グループの理論は、Physical Review Letters 8月20日号に掲載された。

出典:

“Dartmouth researchers propose new way to reproduce a black hole”

Dartmouth College press release (August 21, 2009)

<http://www.dartmouth.edu/~news/releases/2009/08/21a.html>

Brookhaven National Laboratory (2009年8月27日)

Brookhaven National Laboratory の研究グループ及び日本の共同研究者は、高温超電導体の分光学的痕跡が臨界温度以上で残っていることを初めて示した。この結果は、超電導状態がより高温で存在できる条件が実際に存在することを確認するものである。物理研究主任 Seamus Davis は次の

ように述べた。「超電導状態の分光学的痕跡の存在は、より高温で超電導体に必要な電子対が存在するが、何らかの理由で電流を流すためのコヒーレンシーを維持できていないことを明確に示している。」以前の研究で間接的には、銅酸化物の高温状態はコヒーレントではない量子状態、即ち、電子対は存在するが低温時のようにコヒーレントに電流が流れない状態であることを示唆する結果が得られていた。走査トンネル顕微鏡の画像処理法を改善して S/N 比の改善を図るとともに、10 日間にわたる測定の平均を行い、超電導状態から臨界温度の 1.5 倍に相当する 55 K にまで温度を上げても、超電導に特徴的な分光学的状態は変化していないという明確な結果を得ることができた。位相がコヒーレントでない超電導状態の存在が以上のような現象の唯一可能な説明であると思われる。研究グループの研究結果は、**Science** 8 月 28 日号に掲載された。

出典:

“Scientists detect ‘fingerprint’ of high-temp superconductivity above transition temperature”

Brookhaven National Laboratory press release (August 27, 2009)

http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=994

[超電導 Web21 トップページ](#)

「第8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年にバルク材研究者の研究交流、情報交換と大学院学生の教育の場として発足し、毎年8月に岩手県内の温泉地で開催されている。「バルク夏の学校」は、バルク材の基礎から応用までを勉強できる良い機会であると考えている。

第8回となる今回は、8月10日（月）、11日（火）に岩手県雫石町の休暇村岩手網張温泉において、大学院生13名を含む26名の出席者を集めて開催された。最初に校長の芝浦工業大学の村上雅人氏から、「バルク超伝導体のプロセスの進展と応用の可能性」と題して、超電導バルク応用におけるバルク作製や冷凍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。東京大学の下山淳一氏から、「RE123における化学組成と超伝導特性」と題して、RE123化合物の超伝導特性における不定比化学組成の重要性から、新しい高機能バルク作製法の可能性まで、体系的な研究成果を紹介して頂いた。ISTEC-SRLの筑本知子氏から、「自己組織化を利用した実用超電導材料におけるピン止め中心の導入」と題して、REBCOテープ線材開発における新しいピン止め中心導入の展開についての報告があり、バルク材への適用可能性について討論した。（財）鉄道総合技術研究所の長島賢氏は、「バルク超伝導体のフライホイール用磁気軸受への応用」と題して、バルク体と超電導コイルの組み合わせを工夫して試験用超電導磁気軸受を試作して、静加重試験や回転試験を行った結果を紹介した。（株）イムラ材料開発研究所の柳陽介氏は、「超電導バルク磁石のスパッタ装置への応用」と題して、着磁によりバルク内に発生する応力と強度対策や磁界中冷却着磁によるバルク磁石の室温空間での発生磁界、及びスパッタ装置への応用の現状を紹介した。大阪大学の西嶋茂宏氏は、「HTSバルク磁石を用いたドラム缶洗浄廃水磁気ろ過システムの改良」と題して、磁気分離への超電導バルク磁石の応用の現状と、バルク磁石の医療、生命工学への応用の可能性について講演した。新潟大学の岡徹雄氏は、「バルク超伝導体による強磁界発生装置の着磁技術への応用」と題して、バルク磁石の静磁界を用いたNd-Fe-B系永久磁石の着磁応用への展開の現状を報告した。岩手大学の藤代は「超伝導バルクの着磁現象と新しいバルク磁石応用」と題して、パルス着磁研究の進展と、マルチバルク磁石を用いた磁気分離や有機半導体結晶成長プロセスへの応用の可能性について報告した。

恒例の若手研究者による研究紹介では、芝浦工業大学村上研究室、東京大学大崎研究室、東京大学岸尾研究室、東北大学濱島・津田研究室、秋田県立大学二村研究室、岩手大学藤代研究室など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、2日目の講演終了後には、3本のリフトを乗り継いで岩手山方面へ散策し、岩手の短い夏を満喫した。

これまでの「バルク夏の学校」の内容を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](#)

「低温工学協会 東北・北海道支部 第14回超伝導・低温若手セミナー「ここまで進んだ超伝導ー超伝導材料の基礎と先端研究」」報告

新潟大学大学院
自然科学系情報理工学系列
准教授 福井 聡

東北・北海道支部主催の第14回超伝導・低温若手セミナーが8月28日(金)~29日(土)の2日間にわたり開催された。本セミナーは企業の若手研究者や大学生など超電導を学び始めた人たちに超電導および低温工学の基礎を習得してもらうことを目的として毎年開かれているものである。14回を数える今回は昨年度から始まった新テーマの2回目として「ここまで進んだ超伝導(2)ー超伝導材料の基礎と先端研究-」を掲げて、第1日目は新潟大学、第2日目は新潟市ウェルサンピア新潟にて超電導材料研究の第一人者の先生方3名に講義をお願いした。今年度は、大学関係者を中心に学生24名を含む33名の方にご参加いただき、活発な議論と親近感溢れる深い交流がなされた。

初日は濱島支部長の挨拶の後、はじめの講義として「超高圧下における超電導のマテリアルサイエンス」と題して新潟大学理学部の山田裕先生にご講義いただいた。超電導の基礎から超電導材料の超電導特性への圧力効果、更に最新の超電導材料研究について凝縮された内容の丁寧な解説であった。参加学生の研究テーマは材料分野から強電応用まで幅広くあったが、山田先生の講義はその面でも非常に細かい配慮がなされており、基礎から先端研究までを一通り俯瞰して理解することができた。講義Iに引き続き、3年前から始まった学生研究発表が行われた。秋田県立大学 二村先生の進行によって学部生から博士課程までの参加学生たちが自身の研究について発表をおこなった。発表6分という限られた時間であったが研究の要点が凝縮されており、各発表において学生および教員から活発な議論が交わされた。なお、講義Iと学生研究発表の間の休憩時間を利用して、新潟大学の超電導応用研究室の見学が行われた。1日目の夕刻から、ウェルサンピア新潟に移動した。夕食・懇親会そして2次会と、徐々に学生諸君らも打ち解け、新潟の地酒を囲みアットホームな雰囲気の中、夜更けまで話は尽きなかった。



講義の様子(1日目)

2日目はウェルサンピア新潟内の研修室にて行われた。講義IIとして「高温超伝導材料と線材の基礎ーピンニング特性を中心に-」と題して九州大学 向田昌志先生にご講義いただいた。高温超電導体内部の磁束ピンニングの基礎から最新の人工ピンニングまで充実した内容であった。講義の中では、向田研究室の大学院生の研究成果が随所に紹介されており、受講学生にも刺激のあるものであったと思われる。最後の講義として新潟大学 岡徹雄先生に「高温超伝導バルク材料の基礎と応用」と題して高温超電導バルクに関するご講義をいただいた。高温超電導バルク材料の合成方法からバルク磁石の応用機器まで実践的な内容の講義であった。講義終了後には濱島支部長から受講

学生全員に修了証書が手渡された。その後初日の学生研究発表における優秀発表者として、今年度は中川和哉君（山形大学）、千葉悠太君（東北大学）、鈴木喜也君（新潟大学）、山崎英誠君（新潟大学）の4名が表彰された。

本セミナーは、例年、参加者全員が打ち解けた雰囲気活発な議論が行われるが、それは今年度も同様であった。また、講師の先生方にはお忙しい中 講義資料を作成いただき、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

本若手セミナーは来年度以降も予定であり（2010年度は北海道で開催予定）、学生、若手研究者・技術者の皆様 多数のご参加をお待ちしております。



セミナー参加者

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導と MRI / NMR (その 5- 「技術戦略マップ」と世界の動向)

(社団法人) 低温工学協会
副会長 堀上 徹

5.1 はじめに

経済産業省は NEDO と連携して、平成 16 年度に、わが国が戦略的に取り組むべき 20 の技術分野の道筋を示した「技術戦略マップ」を作成し、17 年度以降はそれらのマップのローリング (改訂) を行っている。当初は「超電導技術」は採り上げられていなかったが、翌平成 17 年度に新たに「超電導技術分野」が追加された。現在では 31 の技術分野が対象となっている。

本号では「超電導技術分野」の中で採り上げられている「MRI」と「NMR」について紹介する。これにより、国が支援する、しないに関わらず技術開発の方向性を見て取ることができる。併せて世界の開発状況についても簡単に紹介する。

5.2 技術戦略マップとは

平成 17 年 7 月 27 日の「日刊工業新聞」には、超電導が技術戦略マップに採り上げられた理由として、「新たに追加予定の超電導は、最近、先端的な研究成果が認められ、エネルギーや医療、デバイス関連など用途の範囲が広く「市場化を期待できる」(経産省)とみている」と書かれている。

技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービス・コンテンツの需要を創造するための方策を示したもので、経済産業省での研究開発マネジメントに活用するとともに、幅広く産学官に提供し、ビジョンや技術的課題の共有、異分野・異業種の連携、技術の融合の促進に寄与することが作成の目的となっている。

対象としている 31 の技術は以下の 8 つに分類されている。(詳細は以下のホームページ参照)

(<http://www.nedo.go.jp/roadmap/>及び <http://www.nedo.go.jp/roadmap/2009/ene2.pdf>)

31 の技術分野は以下の 7 つのカテゴリーに分類されている。①情報通信(半導体等 6 技術分野)、②ナノテクノロジー・材料 (4 分野)、③システム・新製造 (ロボット等 5 分野)、④バイオテクノロジー (創薬・診断等 5 分野)、⑤環境 (CO₂ 固定化等 4 分野)、⑥エネルギー (超電導技術等 2 分野)、⑦ソフト (人間生活技術等 3 分野)、⑧融合戦略領域 (持続可能なものづくり分野等 2 分野)

技術戦略マップは①導入シナリオ、②技術マップ及び ③技術ロードマップの 3 点セットで構成されている。

超電導技術分野においては、超電導技術が幅広い産業分野に適用できることから、「エネルギー・電力」、「産業・輸送」、「診断・医療」及び「情報・通信」の 4 産業分野に分類し、それぞれの産業分野における導入シナリオ、技術マップおよびロードマップが作成され、それらの技術を支える基盤技術として、超電導線材技術、超電導バルク技術、超電導デバイス技術及び冷凍・冷却技術が検討されている。本稿で採り上げている MRI や NMR は上記産業分野の中で「診断・医療」分野において検討されている。

3点セットの最初の「導入シナリオ」においては、超電導技術分野の目標と将来実現する社会像を明確にし、戦略的な機器について、開発・導入に係る想定シナリオを時系列で示されている。

また、関連施策の取組みとして、導入普及促進策、関連産業連携策、規制緩和、標準化等の関連施策や超電導技術の実用化を促進するため、高圧ガス保安法、電気事業法などの規制について導入促進

のための規制緩和などについても考慮されている。その他、国際標準化や広報・啓発などの促進についても言及されている。

「技術マップ」では、効率的かつ導入目的に合致した研究開発を行うため、技術のカテゴリ分けが行われ、更に開発すべき重要技術が明確にされている。

「技術ロードマップ」では、技術マップに示された各技術課題のうち、重要技術として選定されたものについて、2020年頃迄を目途に、中長期的視点から各技術課題に必要と考えられるマイルストーンが示されている。繰り返しになるが、これら3点は毎年見直しが行われている。

5.3 超電導分野の技術戦略マップ

超電導分野における技術戦略マップでは、上記4産業分野に共通して「社会に役立つ超電導技術」という謳い文句で「2020年の社会像」を予測して作成されている。

「診断・医療」の技術分野においては、「健康長寿生活の実現」を目標として、「早期診断、精密診断、創薬等のニーズに応える先進医療機器の実現」というコンセプトで検討されている。(図5.1)

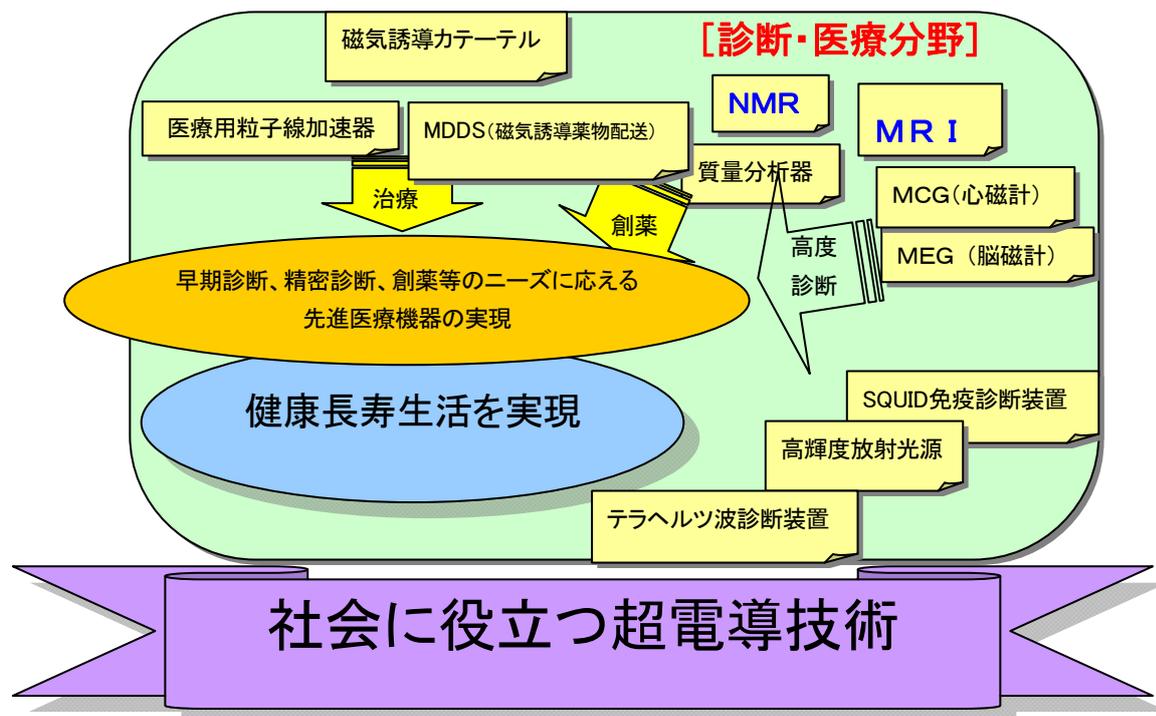


図 5.1 「診断・医療分野」における開発されるべき診断・医療機器

MRI や NMR は早期診断や創薬等に有用であるということで、技術戦略マップの中の「診断・医療」分野で個別装置として採り上げられている。

「診断・医療」分野におけるマップによれば、MRI に関しては、既に磁界強度 3 T の装置が導入されているが、現状はコイル軸長が 1.5 m から 2 m と長く、磁界時間減衰率も 1 ppm/h 程度というものを、2012 年ごろまでには軸長を 1 m と短軸化し、磁界減衰率も 0.1 ppm/h 以下にすることを目標としている。これは汎用機としてこのような仕様の機器の開発が望まれるということ予測しているものである。同時に先端研究用としては MRI 用 10 T 機の技術も完成させ 2015 年までには実用化に入るとしている。

NMR については現在 1 GHz の装置が開発されているが、2015 年までに 1.1 GHz 機が、2020 年

までには 1.5 GHz 機が実用化されるであろうとの予測である。1.1 GHz 機を達成するためには 25.8 T の磁界を発生する必要があり、さらに、磁界の 1 時間当たりの減衰率は 20 ppb 以下という仕様を満たす技術を 2012 年までに確立しておく必要があるとしている。

5.4 わが国の開発状況

外国では 3 T 機が主流であるのに対して、わが国で 1.5 T 機が主流である。これは、わが国においては MRI 全体の市場が減少してきているからであるとの見方もある。因みに「新医療」2008 年 6 月号によると、2006 年の国内での 3 T 機の導入実績が 49 台であるのに対して 2007 年度は 36 台となっている。MRI 全体の納入台数に対する 3 T 機の導入比率は夫々 8.1 %、8.7 % となっている。ということで、ここ暫くは 1.5 T 機と 3 T が並行して普及していくものと考えられる。

更なる高磁界化開発に関しては、先端研究用として、東大の「Super MRI コンプレックス」という計画があるが、残念ながら予算面から実現の可能性はそう高くなさそうである。

先述の技術マップでは、2015 年までには全身用の 10 T の MRI が実用化されると描かれている。MRI を高磁界化すれば、高解像度、超微量分析が可能となるなどの他に水素の原子核であるプロトン以外の核種 (^{13}C や ^{17}O など) の分光が可能となる。さらにヒトや動物の脳や脊髄の活動に関連した血流動態反応を視覚化することも出来るようになる。即ち、脳で行われる様々な精神活動において、脳内の各部位がどのような機能を担っているのかということや、正常状態と比べることで、脳の病気の診断にも用いることができる。このように測定領域が大きく広がるのが高磁界化の魅力なのである。以前にも触れたが、先端研究用として機器開発技術が成熟すれば、いずれはそれらの技術を活用した汎用機が出現するのであるが、残念ながら現時点ではわが国では 10 T 程度以上の高磁界化 MRI の開発はほとんど進んでいないようである。

NMR の高磁界化に関しては、(独)物質・材料研究機構と(株)神戸製鋼所が共同開発した 930 MHz (磁界強度 21.9 T) がわが国の製造での最高磁界を有する NMR である。最近では科学技術振興機構の「先端計測分析技術・機器開発事業」により、高温超電導体を用いた 1.05 GHz (24.6T) NMR 装置の開発が(独)理化学研究所、(独)物質・材料研究機構、(株)神戸製鋼所、日本電子(株)などが共同で開発を進めている。超電導マグネットの提供は(株)神戸製鋼所の関係会社であるジャパン・スーパーコンダクター・テクノロジー(株)(JASTEC)が担っていることが多いが、残念ながらわが国で用いられている高磁界 NMR の大半が外国メーカー製である。

NMR の磁界を高くすれば MRI の場合と同様に、従来は計測が困難であった多核種の計測が可能となる。例えば、たんぱく質の活性や機能の中心となっている酸素や金属原子の核種の NMR 計測が可能になると、標的たんぱく質の阻害剤を選択することが可能になり、創薬技術の進展が期待できるなど様々な分野で計測範囲が広がり、新材料の開発などにも繋がるという利点がある。更に、従来固体サンプルでは精度の高い計測が出来なかったが、1 GHz 超の測定が出来るようになると固体サンプルの計測も可能となる。しかし、機器の開発が技術マップ通りに進むかどうかは定かではない。

5.5 外国の開発状況

MRI では、ドイツのマックスプランク研究所の高磁界 MR センターに人体用の 9.4 T 機と動物用の 16.4 T 機が既に設置されている。これらは、先述の脳の活動に関連した血流動態反応を観察し、脳生理学と神経科学との関連を調べることを目的としている。フランスでは、超流動ヘリウムを冷媒とした核融合炉用超電導マグネット開発で実績がある、サクレー国立研究所が神経画像検査を目的とした高磁界マグネットを開発している。ここでは全身用の 11.7 T のマグネットを開発中である。このマグネットも温度 1.8 K の超流動ヘリウムで冷却する。

NMR 用高磁界発生超電導マグネットに関しては圧倒的に海外メーカーが進んでいる。先号でも

触れたが、ドイツのブルカー・バイオスピン社が既に 1 GHz の装置を市販している。ブルカー・バイオスピン社の他に夫々 950 MHz 機の納入実績を有する、米国のバリアン社及び英国のオックスフォード・インスツルメンツ社が寡占しており、夫々超電導マグネットは主に傘下の EAS 社、マグネス社及びオックスフォード・スーパーコンダクター・テクノロジーズ (OST) 社が供給している。わが国の JASTEC 社も一部超電導線材をブルカー・バイオスピン社に提供しているようである。

米国では、MIT の NMR 装置開発が進んでいる。ここでは、2012 年までに 1.1 GHz 機を開発し、成功すれば 2018 年までに 1.3 GHz 機を開発することになっている。

いずれにしても、1 GHz (23.5T) 以上の NMR には高温超電導体が不可欠で、上記各開発機関では、低温超電導体と高温超電導体のハイブリッド型の超電導マグネットを開発中である。

5.6 第 5 回を終えるに当たって

今回は主に、経済産業省と NEDO が作成した技術戦略マップの紹介と、彼我の開発状況について駆け足で説明した。最近になって低磁界（地磁気程度の静磁界）の MRI/NMR の研究が各国で進展してきている。これについては、「超電導 Web21」2009 年 8 月号に ISTEK の蓮尾特別研究員が「ISEC2009」という電子デバイス関連の国際会議での会議報告で簡単に触れておられる。今後ウオッチしておく必要があると考えている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q : 「オスmium酸化物超電導体について教えてください」

A : オスmiumは周期表で鉄の2つ下に位置する重い元素です。その複合酸化物は、オスmiumイオンが比較的大きいため、ペロブスカイト構造を取らず、パイロクロア構造を有する酸化物 $A_2Os_2O_7$ となります。われわれは2004年にこれとは組成、構造の異なる新しい酸化物 AOs_2O_6 を見つけました。ここでAはアルカリ金属元素 Cs, Rb, Kです。従来の酸化物と区別するために、これをβパイロクロア酸化物と名付けました。その結晶構造は、図1のように、 OsO_6 八面体の作る3次元構造の中にアルカリ金属イオンが入っています。このように比較的大きな隙間(かご)の中に閉じこめられた原子の振動はラットリングと呼ばれ、最近、多くのかご状物質において盛んに研究されています。

βパイロクロア酸化物の超電導転移温度 T_c は、Cs, Rb, Kの順に、3.3 K, 6.3 K, 9.6 Kです。残念ながら、その T_c は銅酸化物や最近発見された鉄ヒ素化合物に比べるとかなり低いですが、従来型の超電導機構では説明できない実験結果がいくつか見つかっており、それなりに面白い超電導であることが分かっています。例えば、もっとも T_c の低い $CsOs_2O_6$ は典型的な弱結合超電導であるのに、 T_c の高い KOs_2O_6 は極端に強結合の超電導です。この変化は、 T_c の上昇と合わせて、単純なBCS理論の枠内では理解できません。超電導の対称性はs波なので、基本的にフォノン引力による超電導ですが、従来のフォノンの代わりに局所振動であるラットリングが超電導を誘起していると考えています。

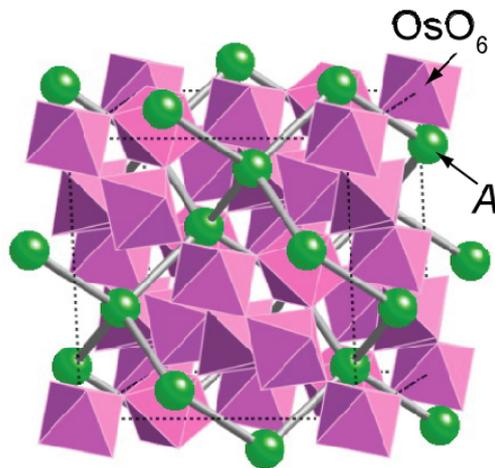


図1 βパイロクロア酸化物 AOs_2O_6 の結晶構造

通常の結晶固体中の原子は、周りの原子とバネで強く繋がれているとみなすことができ、2次関数で表される調和ポテンシャルの中で振動しています。一方、ラットリングしている原子は、周りのかごが大きすぎてふらふらしているため、むしろ4次関数に近い非調和ポテンシャルの中を振動します。そこではポテンシャルの底が平べったいので、原子は低温でもなかなか止まることができず、依然として異常に大きな振幅を保ったまま振動していることとなります。このラットリング原子は、電子を失って正のイオンとなります。失った電子はかごの上を自由に動き回り、ラットリングしているイオンは非常に大きな振幅を持って低いエネルギーで動いているため、電子を引きつける力が異常に強くなります。

われわれはβパイロクロア酸化物における超電導を詳細に調べた結果、この超電導がまさにラットリングによって誘起されたものであるとの結論に至りました。特に、最も激しいラットリングを示す KOs_2O_6 における超電導は、極めて強い結合の超電導であり、ラットリングの非調和性が重要な役割を果たしていると考えています。図2に模式的に示すように、1つの電子がかごの上を通ると近くのAイオンが強く引き寄せられます。電子に比べてイオンの動きはゆっくりなので、電子が通り過ぎた後もイオンはしばらく集まったままであり、正の電荷が多い領域が生じます。これを目掛けて2番目の電子が引き寄せられことになり、その結果、2つの電子の間にはあたかも引力が働いているかのように見なすことができます。この強い引力がクーパー対を生み出し、これが低温

で量子力学的な状態に落ち込んで超電導が起こるのです。

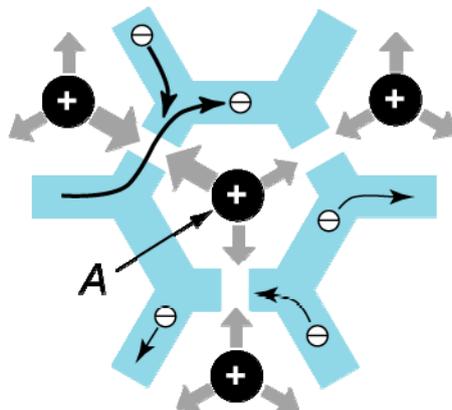


図2 カゴの上を動き回る電子とカゴの中でラットリング振動するアルカリ金属イオン

KOs_2O_6 におけるラットリングのエネルギーは約 60 K であり、 T_c はこの 1/6 に対応します。 T_c を上げるためにはラットリングのエネルギーを上げる必要がありますが、そうすると引力が弱くなって、逆に T_c は下がると予想されます。残念ながら、この物質系、または、このようなラットリング機構でこれ以上 T_c を上げるのは難しそうです。室温超電導を目指して更なる努力を続けましょう。

回答者：東京大学物性研究所 教授 広井善二 様

[超電導 Web21 トップページ](#)