

掲載内容 (サマリー):

特集: 超電導デジタルデバイスの進展

超電導デジタルデバイスの応用展開
SFQ パッケージスイッチ回路・実装技術の現状
超高速 HTS サンプラー技術の進展
アナログ/デジタル変換器の進展
ポスト CMOS 技術の展望

超電導関連 10-11 月の催し物案内

新聞ヘッドライン (8/20-9/16)

超電導速報 - 世界の動き (2005 年 8 月)

東北・北海道支部主催若手セミナー「新たな展開のための超電導講座」

隔月連載記事 - やさしい超電導デジタル応用のおはなし (その 5)

読者の広場(Q&A) - エレクトロニクス分野で言われている“ムーアの法則”とはどのようなことでしょうか?

[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。

特集：超電導デジタルデバイスの進展 「超電導デジタルデバイスの応用展開」

超電導デジタルデバイスの歴史は古く、70-80年代のいわゆる“ジョセフソンコンピュータ”に代表されるラッチング回路の研究開発に遡る。ラッチング回路は、ジョセフソン接合 (JJ) を能動素子として使っているが、半導体回路と同様に電圧の高低を“1”と“0”に対応させるレベル論理回路であり、原理的にクロック周波数が数 GHz 程度止まりのため、当時急速に進展してきたシリコン CMOS デバイスを凌駕することができなかった。一方、超電導の特徴である磁束量子を利用した論理デバイスは、70年代に最初のアイデアが日本で生まれていたが、90年代初頭にニューヨーク州立大学の Likharev が Rapid Single Flux Quantum (RSFQ) と名付けたゲートファミリを発表して以来、超電導デジタルデバイス開発の主流になってきている。一般的に SFQ デバイスと呼ばれるこのデバイスでは、超電導ループに磁束量子がある状態とない状態を論理値の“1”と“0”に対応させる。JJ をスイッチとして、接続された超電導ループ上を磁束量子が伝搬すると同時に、超電導線には高さが mV 程度で数 ps 幅の量子化された電圧パルス信号が伝わっていく、いわゆるパルス論理をその特徴とする。SFQ デバイスは、小信号振幅、高速スイッチング、パルス論理という特徴に加え、無損失超電導配線の使用が可能なることから、100 GHz を超えるクロック動作が LSI レベルで可能な唯一のデバイスである。また CMOS に比べ 2 桁以上低消費電力という特徴から、最近ようやく見えてきたシリコンデバイスの限界を打破する最も有望な新論理デバイス候補として、国際半導体技術ロードマップ (ITRS) にも取り上げられている。

さて、SFQ デバイスの主な応用としては、必要な集積度 (JJ 数/チップ) の小さな順に並べると、サンプラーやデジタル SQUID などの計測装置 (20-100 JJ)、計測用・無線通信用のアナログ-デジタル (AD) 変換器 (500-10⁴ JJ)、電波天文や粒子線・核物理計測用のデジタル信号処理装置 (10⁵-10⁶ JJ)、ハイエンドネットワークルータ用スイッチ (10⁵-10⁶ JJ)、サーバ・スパコン用プロセッサ (10⁶-10⁷ JJ) などが想定されている。97,98 年頃から SFQ デバイスのための基盤技術開発が国家プロジェクトとしてスタートした我が国では、プロセス技術や設計技術の進展により、低温 Nb 系回路で約 1 万 JJ 規模、材料の複雑な高温 Y 系回路でも 200JJ 規模の回路動作が可能になっており、世界をリードする技術レベルになっている。現在、Nb 系ではネットワークルータ、サーバ、AD 変換器など大・中規模装置、酸化物系では小型冷凍機を用いたサンプラーや AD 変換回路など小・中規模装置の部品レベルでの性能実証を目指した開発が進められている。SFQ デバイスを用いた装置・システムの実用化には、環境温度や信号レベルの異なる半導体デバイス・装置との接続が不可欠であり、数 GHz から 100 GHz という高速のインターフェイス技術の開発に特に力が入れている。

(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の進展

「SFQ パケットスイッチ回路・実装技術の現状」

SFQ デジタル回路は高速・低消費電力で知られている。この動作の特徴を良く生かした応用としてパケットスイッチが提案されており、将来のハイエンドルータのサブシステムを目指した研究開発が続けられている。ターゲットとなる回路は大規模なものとなるため、プロセス技術、設計技術（セルライブラリ、EDA ツール、配線）の研究が進められている。開発された技術を用いてパケットスイッチ回路・スイッチスケジューラ回路のプロトタイプが設計され、試作されたチップは 40GHz 動作に成功した。図 1 にパケットスイッチのチップ写真を示す。回路としては高速動作を検証したが、実際にサブシステムとして動作させるためには、実装技術の確立が必要不可欠である。第一段階として 1 チャンネルあたり 10Gbps の電気信号入出力が可能な 32 チャンネルの冷凍機システムの開発が進んでいる。図 2 にその構成図を示す。開発要素は、マルチチップモジュール、高速多ピンプローブ、極低温動作半導体アンプ、冷凍機利用を前提とした室温 - 低温のインターコネクション、など多岐にわたる。各要素技術にはめどができてきた。現在はインテグレーションの段階に来ており今後の進展が期待される。

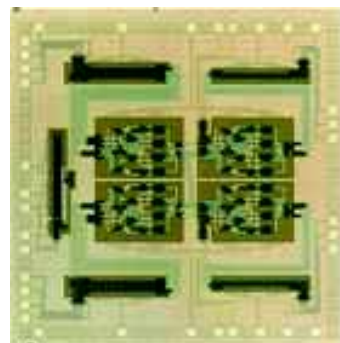


図 1 クロック速度 40GHz で動作する 4x4 スイッチのチップ写真。チップサイズは 5mm 角。

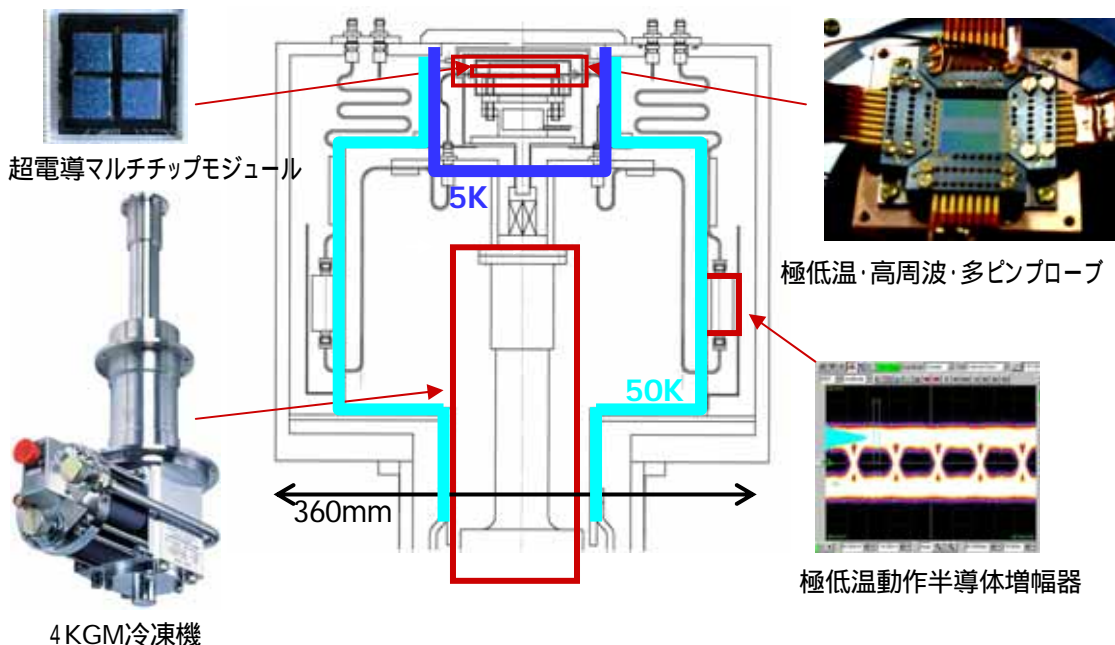


図 2 開発中の冷凍機システム

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部 低温デバイス開発室 萬 伸一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導デジタルデバイスの進展 「超高速 HTS サンプラー技術の進展
- オンチップサンプラーにより SFQ パルスの観測に成功 - 」

高速なネットワークシステムの開発のために計測システムの高速度が進んでいる。2005年の4月には半導体技術による100GHz帯域のサンプリングオシロスコープの製品化が発表された。超電導技術を用いたさらに高速なシステムや電流計測システムが期待される。

超電導サンプラーの研究開発は1980年IBMのS.M.Farisによる提案後1986年のHypres社によるLTSを用いたHeガス冷却による製品化が行われた。その後、NECの日高氏により1994年からより実用的なシステムを目指した冷凍機冷却によるHTSサンプラーの研究開発が行われた。¹⁾ この成果を引き継ぎ2003年より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工学研究所において100GHzを超える超電導サンプラーの研究開発を行っている。昨年報告した電流入力方式によるそれまでの最高周波数20GHzを超える45GHzの波形観測²⁾に続き、アドバンテスト研究所と協力して開発した超電導サンプラー用の高周波モジュール(図1)を用いた電圧入力方式でも50GHzの波形観測に成功した。³⁾ しかしこれまでの測定結果では同軸ケーブルやモジュール等の信号ロスやサンプリングパルスのジッタなどの影響があり超電導回路が真に高速で動作しているかを評価することが困難であった。

チップ自身の高速性能を評価する一つの方法としてサンプリングに使用する単一磁束量子(SFQ)を用いた短パルス発生器を二つ用意しSFQパルスを同様のSFQパルスで測定する回路を設計・試作した(図2)。冷凍機を用いたサンプラーシステムにより40Kに冷却し、HTSサンプラーでは初めてSFQパルスの波形観測に成功した(図3)。今回測定されたSFQパルス幅は約10psであり、この結果からチップ自身の帯域幅は現在のプロセス技術(典型的な接合パラメータ $I_c R_n$ 積: 0.7mV)を用いても100GHzが可能であると見積もられた。

また、サンプリングパルスのジッタや熱雑音がサンプラーの帯域特性に影響を与えていることが明らかになってきており、これらの対策とプロセスの均一性や

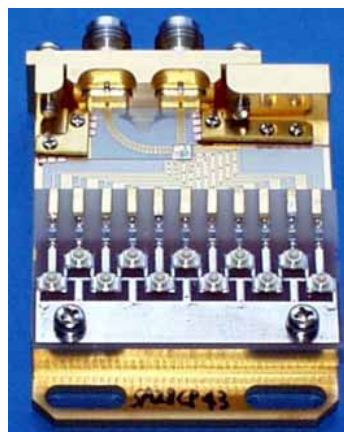


図1 高周波モジュール

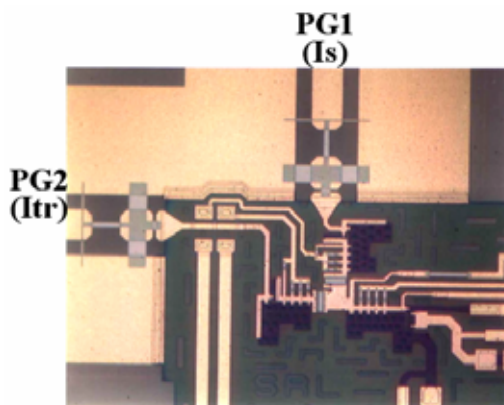


図2 オンチップサンプラーチップの写真

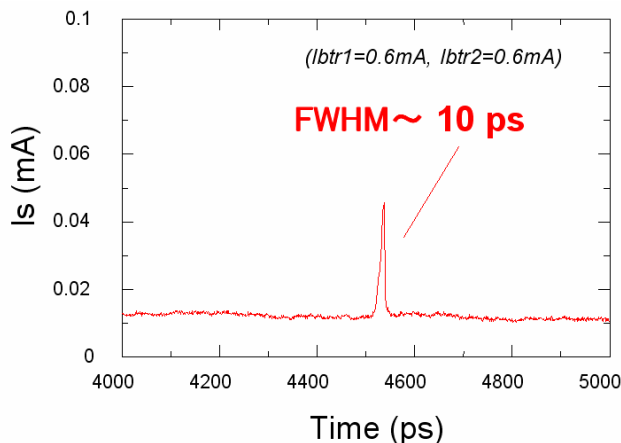


図3 観測したSFQパルス波形

再現性の改善により高性能化が図られる。さらに、最近信号入力部にフォトダイオードを用いた超電導サンプラーの基本動作にも成功しており、近い将来帯域幅 100GHz を得ることが可能と考えている。

- 1) 日高睦夫、丸山道隆、佐藤哲郎、電子情報通信学会論文誌 2003 年 11 月号 1128-1135 頁
- 2) 鈴木秀雄、「超電導 Web21」2004 年 9 月号 4 頁
- 3) 鈴木秀雄 他、ISS2004 (Physica C, 2005, ISS2004 プロシーディングスに掲載予定)

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部 鈴木秀雄)

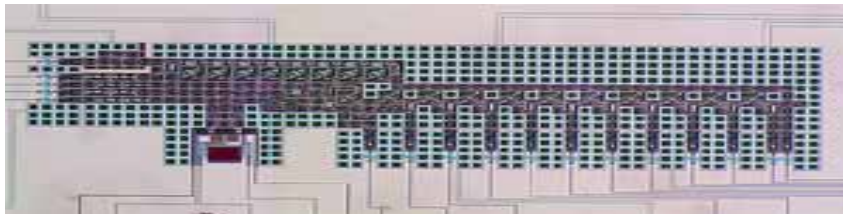
[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導デジタルデバイスの進展「アナログ/デジタル変換器の進展」

名古屋大学大学院
工学研究科 量子工学専攻
教授 藤巻 朗

超電導単一磁束量子 (SFQ) 回路を利用したアナログ- デジタル変換器 (ADC) は、次世代無線通信技術であるソフトウェア無線受信機への応用が提案されて以来、オーバーサンプリングと呼ばれる型が開発の主流となっている。このオーバーサンプリング ADC の特徴は高精度性である。SFQ 回路は、数十 GHz に達する高速動作と磁束量子を利用した正確な負帰還が可能のため、他では達成し得ない高い精度を実現できる。複数の無線信号を同時に直接デジタル値に変換し数値的に復調やチャンネル選択を行う受信機 (デジタル RF 受信機) は柔軟性の高い理想の無線受信機となるが、そこに使われる ADC への要求を満たすものとして SFQ-ADC の高速性や高精度性が必要と考えられている。また、最近では X 線やテラヘルツ波の検出器として使われる超電導トンネル接合 (STJ) の多素子化の要求も高まっている。その際、各素子からの出力の多重化に SFQ-ADC と SFQ 多重化回路を利用するアイデアも提案され、この観点からも SFQ-ADC の早期開発の要求が強くなっている。

オーバーサンプリング ADC は、前段部の変調器と後段部の間引きフィルタによって構成される。変調器には超高速性が求められ、そこには SFQ 技術が必須である。一方間引きフィルタは超高速デジタル集積回路であり、この部分を SFQ 回路で実現するか、あるいはデータを並列化して速度を落とし半導体回路に任せるかは、それぞれに一長一短がある。ただ Nb による SFQ-ADC を前提にすると、SFQ 回路による信号処理でいろいろな付加価値を付けられる前者の方が有利と考えられる。そこで我々は STJ 多素子システムに向けた ADC の開発を進めた。また、これはデジタル RF 受信機開発の最初の段階とも位置づけられる。写真は実際に Nb/AIOx/Nb 接合 NEC 標準プロセスによって試作した SFQ-ADC である。総接合数は 807 個で、内蔵された発振器によって変調器、間引きフィルタともに 14GHz で動作している。この ADC は高感度を実現するために磁気結合入力を採用しているほか、外部からの雑音低減と信号対雑音比 (SNR) の向上を図るために 2 個の量子化器を搭載している。実測された SNR は 20MHz の帯域幅に対し 7.5 ビットであるが、間引きフィルタの高度化によって目標の 14 ビットに達することが分かっている。一方米国 Hypres 社は、すでに 11.8 ビットを実測しており、またデジタル RF 受信機へ向けた 12000 接合からなる ADC の開発にも成功している。今後は ADC の更なる高性能化とともに、実際のシステムへの実装が強く求められると考える。



試作した ADC の顕微鏡写真

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導デジタルデバイスの進展 「ポスト CMOS 技術の展望」

横浜国立大学大学院
工学研究院
教授 吉川信行

これまで、デバイス寸法の縮小により飛躍的な性能向上を果たしてきた CMOS 技術もここにきて多くの困難に直面している。主な理由は、リーク電流の増大により低しきい値化とゲート酸化膜の低減が難しくなり、結果として消費電力が下げられなくなったためである。回路の動作時間に占める配線遅延の増大もまた、回路性能の悪化を招いている。ITRS のロードマップによれば、2016年に開発予定の22nm 世代までは、CMOS 技術の性能向上が見込まれるとしている。しかしながら、そのためには、ひずみ Si 技術、高誘電体ゲート絶縁体技術、SOI 技術、3次元 MOS 構造技術等、様々な新技術を開発する必要がある。しかもこれら1つの技術の開発だけではだめで、全ての技術を段階的に導入して初めてロードマップの性能が達成できる。そのため、今後、CMOS 技術の開発にはますます多大な労力と費用を要するようになる。

一方、ロードマップではポスト CMOS 技術の候補として表1に示すような幾つかの新規論理デバイス技術が紹介されている。このうち、SFQ 回路と共鳴トンネルデバイス以外は、論理回路のレベルでの高速動作実証は行われておらず、未知数が多い。既に1万接合規模の集積回路の動作が実証されている SFQ 回路は、ポスト CMOS 技術の最有力候補と言えよう。

表1 新規論理デバイス技術とその性能 (ITRS ロードマップより引用)

	寸法	回路スピード	動作エネルギー
SFQデバイス	300 nm	250 ~ 800 GHz	2×10^{-19} J
1次元FETデバイス	100 nm	30 GHz	2×10^{-18} J
共鳴トンネルデバイス	100 nm	30 GHz	$> 2 \times 10^{-18}$ J
単一電子デバイス	40 nm	1 GHz	1×10^{-18} J
分子デバイス	不明	1 MHz	1×10^{-16} J
量子セルオートマトン	60 nm	1 MHz	1×10^{-18} J
スピンドデバイス	100 nm	30 GHz	2×10^{-18} J

SFQ 回路は微小物理量である単一磁束量子を情報担体とした論理回路であり、極めて高速かつ低消費電力で動作する。その動作スピードは、ジョセフソン接合の寸法に比例して向上するが、最終的にはその最大値は超電導エネルギーギャップで制限される。超電導材料として Nb を用いた場合の SFQ 回路の限界性能を表2に示す。これを22nm CMOS の限界性能 (16 GHz, 3G トランジスタ/cm²) と比較すると、動作周波数において約

表2 SFQ 回路の限界性能 (Nb 材料を用いた場合。マイクロプロセッサ等の大規模システムを想定)

接合サイズ	0.3 μm
臨界電流密度	100 kA/cm ²
クロック周波数	125 GHz ~ 250 GHz
消費電力	25 ~ 50 nW/gate
集積密度	~ 100 M接合/cm ²

10 倍の優位性が見込まれる。集積密度の低さは、3次元集積化により補うことができる。更に、酸化超電導体材料を用いればテラヘルツに達するクロック周波数も可能である。また、SFQ回路では、超電導伝送線路をもちいた SFQ パルスの光速バリステック伝送が可能であり、配線遅延に制限されないゲート間通信が可能である。このため、CMOS回路では達成できない高い性能の情報処理システムを構築できる。

現在、名大と横浜国大では、将来の高性能サーバの実現を目指して SFQ マイクロプロセッサの開発を行っている。図1には、最近の SFQ マイクロプロセッサの性能の進展を示す。開発したマイクロプロセッサは、命令数が少なくワード長も短いため、CMOSとの直接の比較はできないが、最新の設計では CMOS マイクロプロセッサに匹敵する 1GOPS が達成され、現在、実験による性能評価を行っている。今後、微細化と多層化された新プロセス技術の利用により、CMOS を超える性能の実証も近い。

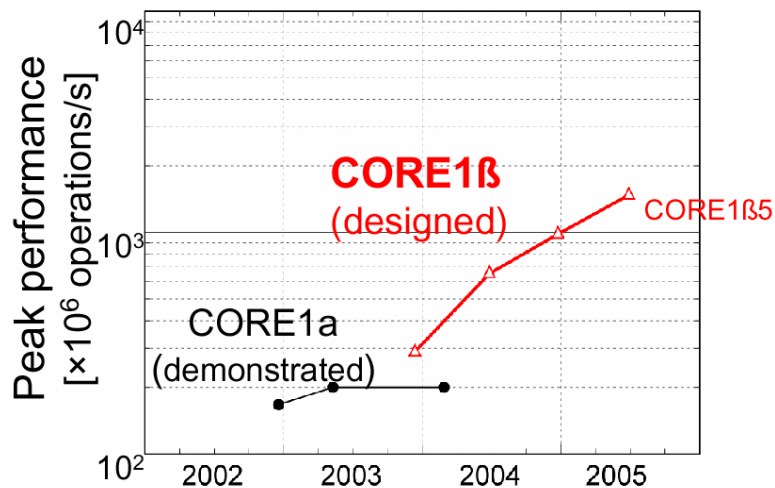


図1 SFQ マイクロプロセッサの性能の向上。CORE1 α は動作実証済み。CORE1 β は設計を完了し、現在、動作性能を検証中。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 10-11月の催し物案内

10/21-23

5th PASREG 2005: 5th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials
場所：東京海洋大学（東京都）
<http://pasreg5.s114.xrea.com/>

10/24-26

第18回国際超電導シンポジウム(ISS2005)
場所：つくば国際会議場（エポカルつくば）（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：ISS2005 事務局
Tel:03-3431-4002、Fax:03-3431-4044

<http://www.istec.or.jp/ISS/>

10/25

VAMAS/TWA16-IEC/TC90 合同会議
場所：つくば国際会議場（エポカルつくば）2階201号室（つくば市）
主催：VAMAS/TWA16-IEC/TC90
問合せ：
-VAMAS/TWA16-（独）物質・材料研究機構 強磁場研究センター 伊藤喜久男
Tel:029-863-5519、Fax:029-863-5441
E-mail:itoh.kikuo@nims.go.jp
-IEC/TC90 事務局 田中靖三
Tel:03-3459-9872、Fax:03-3459-9873
E-mail:tc90tanaka@istec.or.jp

10/25

超電導電力機器の技術開発と技術継承に関するパネルディスカッション
場所：つくば国際会議場（エポカルつくば）2階202号室（つくば市）
主催：IEC/TC90（超電導）国内技術調査委員会
問合せ：IEC/TC90 事務局 田中靖三
Tel:03-3459-9872、Fax:03-3459-9873
E-mail:tc90tanaka@istec.or.jp

10/27-28

第14回国際超電導産業サミット(ISIS-14)
場所：つくば国際会議場（エポカルつくば）（つくば市）
主催：(財) 国際超電導産業技術研究センター

（編集局）

問合せ：事務局（津田井昭彦）
Tel:03-3431-4002、Fax:03-3431-4044
<http://www.istec.or.jp/index-J.html>

10/28-29

低温工学・超伝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（静岡県伊東市）
主催：低温工学協会 冷凍部会
問合せ：(独)物質・材料研究機構 強磁場研究センター 佐藤明男
Tel:029-863-5453、Fax:029-863-5470
E-mail:inquire@akahoshi.nims.go.jp

11/4

東北・北海道支部 10周年記念事業と特別講演
場所：東北大学金属材料研究所（仙台市）
主催：低温工学協会 東北・北海道支部
問合せ：東北大学金属材料研究所 渡辺和雄
Tel:022-215-2150、Fax:022-215-2149
E-mail:kwata@imr.tohoku.ac.jp

11/5

未来を拓く宇宙利用とロボット工学
場所：せんだいメディアテーク スタジオシアター（仙台市）
主催：低温工学協会 東北・北海道支部
問合せ：東北大学金属材料研究所 渡辺和雄
Tel:022-215-2150、Fax:022-215-2149
E-mail:kwata@imr.tohoku.ac.jp

11/8

超伝導科学技術研究会 第62回ワークショップ「超高感度磁気センサ SQUID を用いた実用システムの開発」
場所：商工会館（東京都千代田区）
主催：(社)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会
<http://www.sntt.or.jp/fsst/index.html>

11/14-17

International Symposium on Magneto-Science 2005 (ISMS 2005)
主催：新磁気科学研究会
問合せ：
<http://dione.shinshu-u.ac.jp/magnet/ISMS2005>

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (8/20-9/16)

スピン梯子の量子相転移 理研、兆候観測に成功 メモリー・演算素子に応用 8/22 日刊工業新聞
シリコンで量子ビット 保持時間2ケタ長く 量子計算機 実用化に道 8/22 日刊工業新聞
メスを使わず日帰り入院 子宮筋腫の超音波治療 8/22 朝日新聞
実用化近づく超電導 ビスマス系線材量産化 「日本だからこそ」の焼成炉 8/23 電気新聞
実用化近づく超電導 電中研の送電実証実験 冷却システム不具合も克服 8/24 電気新聞
実用化近づく超電導 モーター製品化へ 業種横断の産学連携の成果 8/25 電気新聞
実用化近づく超電導 イットリウム系線材 開発情報集積 高競争力生む 8/26 電気新聞
キーワード MRI 磁力使い病巣発見 8/29 日本経済新聞
技術の“道しるべ”「技術戦略マップ」その意義と課題 国際競争力 国際標準の主導権握る
8/29 日刊工業新聞
粒子線治療 注目高まる 三菱電機、日立などが開発 20大学・自治体ら設計設置 放射線のイメージ改善も 電力が導入支援 8/29 電気新聞
微少な機械歪み高感度検出 超電導の近接効果利用で実現 NTT 原子間力顕微鏡を高性能化
量子計算機に応用も 9/1 日刊工業新聞
ITER 関連3施設、青森に 文科省決定 遠隔実験や炉研究 9/2 朝日新聞
トカマク型核融合原型炉 2050年の実用化にめど 原子力委検討会が見通し 9/2 日刊工業新聞
大日薬 小動物用MRI販売 NEOMAXなど2社と契約 9/2 日刊工業新聞
最速120ギガヘルツ 超伝導の回路 名大など開発 9/3 朝日新聞、日本経済新聞、フジサン
ケイビジネスアイ、読売新聞、中日新聞、東京新聞、毎日新聞
集積回路 最高動作周波数120ギガヘルツ 名大など 超高速コンピュータに道 9/5 日刊工
業新聞、日経産業新聞、電気新聞
超電導工学研 イットリウム系高温超電導材料 従来比2.5倍、実用化にめど 9/6 日刊工業新
聞、日経産業新聞、毎日新聞、電気新聞
磁石で廃水浄化し再利用 大阪大開発、紙工場向けに 9/6 東京新聞
周りの細胞への影響をおさえ、体の奥の病巣に集中照射 先端医療をささえる三菱電機の粒子線
照射技術 9/6 朝日新聞、日本経済新聞
水素ロータリー開発 ガソリンでも走行可能 9/7 フジサンケイビジネスアイ
超イオン伝導体中のリチウムイオン 拡散挙動を直接測定 原研・高エネ研が新手法 9/8 日刊
工業新聞
永久磁石を組み込んだモーター 主変換装置は水冷式 9/14 毎日新聞
ITER 「機構」の詳細論議 6極が立地決定後、初会合 9/14 電気新聞
MRI 低価格化へ一歩 高温超伝導で電磁石 日立など開発 9/16 朝日新聞、日刊工業新聞、日
経産業新聞、電気新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 世界の動き (2005年8月)

電力

SuperPower, Inc.(2005年8月3日)

Intermagetics General Corporation (IMGC)子会社 SuperPower Inc.は、206m長の次世代線材で(臨界電流)100A以上という世界記録を達成した。これは Am 換算で 22,000Am に達する。これは SuperPower 社が 2005 年 1 月に達成した記録の倍以上の値であり、これまでの世界記録をも上回るものである。IMGC 社最高責任者 Glenn H. Epstein は、「次世代線材の長さが 100m を越えたということは、我々が次世代線材の商品化及びそれを組み込んだ装置の開発を進めるに当たって非常に重要である。」と語った。SuperPower 社の次世代線材は、以前のものに比べて 35 – 50%薄くなっている。これは、基盤の厚みを減らすことによって達成したものである。この新しい線材は、Los Alamos 国立研究所における導体としての機械的耐久性を確認するためのプロト・コイルに組み込まれる予定。

出典:

"Intermagetics' SuperPower Subsidiary Sets New World Record in Second-Generation HTS Wire Performance"

Intermagetics General Corporation press release (August 3, 2005)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=88261&p=irol-newsArticle&ID=739115&highlight>

American Superconductor Corporation (2005年8月3日)

American Superconductor Corporation(AMSC)社は、4.4-mm 幅の 3 つ重ね線材でその長さの記録更新、この線材を用いたコイルの製作及び試験(Oak Ridge 国立研究所で 0.32-Tesla 磁場を生成) 次世代線材の性能記録更新といった次世代 HTS 線材の商業化に向けたいくつかの重要なベンチマークをクリアした。長さの点で言えば、以前は同様の長さの 1-cm 幅の次世代線材しか製造できなかった。現在は 4.4-mm の線材が、AMSC 社の reel-to-reel プロセスを用いて 4-cm 幅の線からテープ形状に切り出される。切り出された線材は銅被覆又は他の金属被覆が施される。このプロセスにより、4-cm 幅の線が切断後は 8 本の HTS 線材となる。この成果により、次世代線材の電気的及び機械的安定性を増し、製造コストを減少させることができ、結果的にその実用性を増進することとなる。AMSC 社は、100m 長次世代線材のルーチン生産を現四半期中に実現させ、2005 年 12 月までには同社が保有する次世代 HTS 線材製造技術が問題のない状態であることを確認する予定であり、現在、予定通りに進んでいる。AMSC 社は、今後 12~15 ヶ月の間で 10,000m の新しく開発した線材を顧客に出荷し、2007 年 12 月までに、年産 300,000m の生産規模に拡大する予定である。

出典:
"American Superconductor Achieves Important Benchmarks for Commercialization of Second Generation High Temperature Superconductor Wire"

American Superconductor press release (August 3, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=739161&highlight

American Superconductor Corporation (2005年8月4日)

American Superconductor Corporation 社は、2005 年 6 月 30 日に終了する第 1 四半期の収支を発表した。収入は前年同期比で 4%減の 1,220 万ドルであった。当期の純損失は、前年同期の 490

万ドルに対し、当期は 560 万ドルであった。当期末の、現金及びその等価物、短期及び長期投資総額は 8,150 万ドル（前年同期 8,760 万ドル）であり、長期債務はない。第 1 四半期には新規受注及び新規契約にともない 240 万ドルの収入があった。また、期末の受注残及び契約上の未収金が 2,430 万ドルである。AMSC 社最高責任者 Greg Yurek は、次のように述べた。「本年度の新規受注見込みに基づく収入見通しによれば、2006 年度の収入は 5,500 ~ 6,500 万ドル程度になるものと考えられる。現在の収入見通しに加え、産業及び風力発電所向け D-VAR、海軍用 HTS モーターの受注可能性を考えれば、第 2 四半期は第 1 四半期よりも好調であると考えられる。包括エネルギー法が大統領の署名を得て法律となったことは心強いことである。この法律により新たな発注や契約が結ばれることになるであろうし、それにより受注残が増加し、来年度以降の収入にも明るい見通しが持てる。新しいエネルギー法は HTS ケーブル・プロジェクトに対する予算支出を認めており、これにより、米国の電力グリッドの問題を解決すべく HTS ケーブルが採用されることを加速するだろう。この新エネルギー法に加え、上院はエネルギー省に対し超電導予算を 500 万ドル増額した。これと最近のエネルギー省の超電導デモンストレーション・プログラムの公募予定の発表とを考え合わせれば、我々の HTS 線材が新たな市場を獲得することは間違いがない。」新エネルギー法は、風力発電所及び電力事業者向け D-VAR 及び SuperVAR の販売にも追い風となるものと期待される。AMSC 社はこの領域が次年度の大きな成長源となるものと期待している。

出典:

"American Superconductor Reports Fiscal 2006 First Quarter Results"

American Superconductor Corporation press release (August 4, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=739539&highlight

Siemens (2005 年 8 月 15 日)

Siemens は、船舶推進用 HTS 発電機の運転について発表した。この新しい HTS 発電機は定格 4 MVA、極めて高効率で、銅励磁コイルを使った従来の発電機のほぼ半分の重量及び大きさである。新しい発電機は巡航艇及び大型ヨットに適している。Siemens Corporate Technology 社、Siemens Business Groups Industrial Solutions & Services/ Industrial Plants/Marine Solutions 社 (I&S IP MAS) 及び Automation & Drives/Large Drives 社 (A&D LD) は共同で HTS 発電機の開発を進めてきた。線材は European Advanced Superconductors GmbH & Co. KG (EAS) のもの。発電機はネオンを冷媒とした冷凍機を使用している。発電機の開発には、ドイツ連邦教育科学省から資金援助を受けている。間もなく各種システム試験に入る予定。

出典:

"Economical Ships Thanks to Superconductivity"

Siemens press release (August 15, 2005)

http://www.siemens.com/index.jsp?sdc_p=fmls5uo1290499ni1079175pcz3&sdc_bcpaht=1178916.s_5%2C&sdc_sid=23429735134&

SuperPower, Inc.(2005 年 8 月 31 日)

SuperPower, Inc. は BOC グループが、Albany ケーブル・プロジェクトの冷凍システムの組み込みを問題なく終えたと発表した。この冷凍システムは産業実用レベルの高い信頼性要求を満たすもので、事故電流を含む実際の電力グリッドにおける事象に対応できるものである。BOC はペンシルバニア州の Remote Operations Center からケーブル及び冷凍機のモニターを行う。次の工程は、350m の超電導ケーブルの設置である。住友電工は、第 1 フェーズのケーブルを完成させ出荷したところである。ケーブルは 2005 年 9 月現場に到着予定。

出典:

“Intermagmetics’ SuperPower Subsidiary Announces Progress at Albany HTS Cable Project”

SuperPower, Inc. press release (August 31, 2005)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=163

材料

Superconductive Components Inc. (2005年8月1日)

Superconductive Components, Inc.社は、2005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7.9%増の713,535ドル。製品販売収入は5.4%増の624,002ドル。これは新規及び従来からの顧客への販売双方を含んでいる。契約収入は、前年同期69,374ドルに対し、当期は89,533ドル。この契約収入は主としてエネルギー省のSBIR フェーズ2によるものである。SCI社最高責任者 Dan Rooney は次のように述べた。「2005年第2四半期の結果は、我々のコアビジネス分野での更なる進歩を反映したものである。直近の四半期の収入は2002年第3四半期以来最も高く、予約も2003年第3四半期以来最高である。将来純利益の増加が期待できる。今後当面運転経費は、収入の伸びより低い速度でしか増加しない。これらを総合すれば、長期的なパフォーマンスは改善されることになる。」

出典:

“Superconductive Components, Inc. Reports Improved Second Quarter Results”

Superconductive Components, Inc. press release (August 1, 2005)

<http://www.targetmaterials.com/ne/earnings/scci25.htm>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2005年8月3日)

Superconductor Technologies Inc.社は、2005年7月2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36%増の860万ドルであった。販売純収入は67%増の760万ドル。政府契約やその他契約による収入は前年同期180万ドルに対し、当期は972,000ドル。純損失は、前年同期890万ドルに対し第2四半期は200万ドルに減少した。商品販売収入の増加により、営業効率向上に向けた活動にはずみをつけることができた。当期、在庫は260万ドルに減少している。2005年7月2日時点での受注残は、前年同期510万ドルに対し333,000ドル。この減少の原因は、第1四半期末の大口受注分を第2四半期に出荷してしまったため。第2四半期終了時点での運転資本は、670万ドルの現金及び現金相当物を含め、1,020万ドルである。

出典:

“Superconductor Technologies Inc. Announces Second Quarter 2005 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 3, 2005)

<http://phx.corporate-ir.net/staging/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=739298&highlight>

Superconductor Technologies Inc. (2005年8月11、16日)

8月11日、Superconductor Technologies Inc.は、直販による1,250万ドルの証券引き受け約束が得られたと発表した。8月16日に締め切られたこの取引は、1,700万一般株式及び機関投資家向け行使価格\$1.11(1株当り)の5年ワラント債340万株分からなる。これにより、1,140万ドルが得られた。個々の投資家は90日間のうちにさらに購入株式の20%相当の追加購入を同じ購入価格で

購入できるというオプションが与えられている。これら追加オプションが行使されれば、次の取引の締切日である2005年の12月にSTIはさらに230万ドルの資金を得ることができる。

出典:

“Superconductor Technologies Inc. Announces \$12.5 Million Registered Direct Offering”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 11, 2005)

<http://phx.corporate-ir.net/staging/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=742267&highlight>

“Superconductor Technologies Closes \$12.5 Million Directed Public Offering”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 16, 2005)

<http://phx.corporate-ir.net/staging/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=743807&highlight>

ISCO International, Inc. (2005年8月22日)

ISCO International, Inc は、第3四半期の収支を発表した。第3四半期半ばの受注もあり、ISCO Internationalの当期収入は130万ドル、当期末までの1年間の収入は700万ドルに上った。これは2004年通年の収入260万ドルのほぼ3倍に相当する。ISCOは今後有望と考えられる顧客からRF2の最初の発注を受けたほか、主要顧客から新たに市場投入したPCS製品のフィールドテスト実施の約束を取り付けた。

出典:

“ISCO INTERNATIONAL PROVIDES BUSINESS UPDATE”

ISCO International, Inc. press release (August 22, 2005)

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

加速器

Oak Ridge National Laboratory (2005年8月19日)

Oak Ridge National Laboratory は、2006年6月 Spallation Neutron Source (SNS) 施設完成に向けてのマイルストーンである超電導リニア加速器の運転開始を発表した。SNS リニアックは2つの部分から構成される。本年1月に運転を開始した室温部分及び超電導部分、即ち、冷たい部分である。冷たい部分はリニアック駆動のための大部分のエネルギーを供給するところで、既に、光の速度の約75%に相当する865 MeVを達成している。SNS リニアックは、陽子加速用に超電導を用いた世界最初の高エネルギー、高パワーリニアックである。

出典:

“‘Cold linac’ commissioning major step for ORNL’s Spallation Neutron Source”

Oak Ridge National Laboratory press release (August 19, 2005)

http://www.ornl.gov/info/press_releases/get_press_release.cfm?ReleaseNumber=mr20050819-00

基礎

Cornell University (2005年8月25日)

Cornell Universityの原子固体物理研究所では、酸素のような過剰な電荷を担う原子を超電導体に付加すると、局所的には電気伝導は減少するものの、いかに全体的な電気伝導を増加させるかを示した。STEMを使って、研究者は超電導分子構造の個々の酸素原子の位置を特定し、その情報を基にいかに原子が近傍の原子での電気の流れに影響を与えるかを調べた。その結果、酸素原子の位置

は、以前エネルギーの乱れた部分として確認されている領域と相関関係があることが判った。酸素原子の働きには平均的なものと、局所的なものと 2 通りあるらしい。「このような情報は高温超電導のメカニズム解明に向けた重要なステップである。次のステップはいかに転移温度を上げるかである。」と大学院生の James Slezak は語った。この結果は、8月12日の Science に掲載された。

出典:

“Researchers identify location of crucial atoms and move closer to elusive goal of creating high-temperature superconductor”

Cornell University press release (August 25, 2005)

<http://www.news.cornell.edu/stories/Aug05/Davis.superconductors.lg.html>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

東北・北海道支部主催若手セミナー「新たな展開のための超電導講座」

東北大学大学院
工学研究科電気・通信工学専攻
教授 濱島 高太郎

本セミナーは2005年8月17日(水)～19日(金)の3日間、山形蔵王温泉で開催されました。本セミナーでは、大学や企業の若手研究者や技術者、学生を対象に、超電導の基礎から、線材やデバイス、さらに低温技術、超電導応用の理解を目的に、それぞれの分野で活躍されている一流研究者・技術者を講師にお迎えして毎年開催しています。今回は、装いを新に「新たな展開のための超電導講座」と題して3年間継続し、第一回目は「超電導の基礎と先端材料、応用、測定」をテーマに、学生、正会員、講師を合わせて29名が参加しました。

セミナー初日の午後から開始し、東北大学の海老澤丕道先生から「超電導基礎理論入門」と題して、超電導を特徴付けている現象を理論的に講義していただき、さらに、ナノサイズと磁束量子の最近の動向に至る幅広い理論入門編でした。2日目の午前では、国際超電導産業技術研究センターの坂井直道氏より「高温超電導バルク材料の基礎と応用」と題するバルク材の基礎から最近のチャンピオンデータである17Tの超強力磁石まで興味のある解説をしていただきました。午後は高エネルギー加速器研究機構の土屋清澄先生から「加速器用超電導マグネットと計測」と題する超電導コイル固有の現象から、LHCの現状と今後のアップグレード計画にいたるまでを講義していただきました。続いて、恒例のヤングミキサーと称する、参加学生の所属する研究室と自身の研究を紹介するコーナーでは、研究成果のみでなく、研究室での取り組みや雰囲気なども実感を伴って知ることができました。最終日は、国際超電導産業技術研究センターの町敬人氏より「MO磁束観察法の解説と最近のトピックス」と題する原理から最近の磁束量子のMO観測に至るまでの研究開発成果を中心に講演していただきました。それぞれのご講演について活発な議論が交わされ盛況でした。最後に、大嶋支部長から学生受講者全員にセミナー修了証書が手渡され、終了いたしました。

宿泊形式で参加者と講師、あるいは、日頃気軽に話す機会のない方々との交流や、銘酒を酌み交わしての忌憚りの無いお話で、一層の親睦も深めることができました。本若手セミナーは、来年以降も続けていきますので、多数の学生、若手研究者・技術者が参加して一層深い知識の習得や交流を期待しています。



参加者の写真(会場にて)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導デジタル応用のおはなし(その5)

SRL/ISTEC

デバイス研究開発部 低温デバイス開発室

室長 日高睦夫

その5: 高温超電導サンプラー

超電導工学研究所に勤める健くんには文香さんという婚約者がいる。文香さんは将来夫となる人の仕事を理解しようと色々勉強しているが、どうもわからないことが多い。特に健くんが研究しているSFQ(単一磁束量子)回路というものが何の役に立つのかさっぱりわからない。そこで健くんはSFQ回路が何の役に立つのか聞いてみることにした。

“見えない”冷凍機

健:今日は酸化物系の高温超電導体を使ったサンプラーの話をしてしよう。

文香:高温超電導体って、マイナス230度くらいまで冷やさなくてはならないけど、高温って言うてるのよね。

健:ちょっと変かもしれないけど、この前まで説明してきたニオブに比べたら高い温度で動作できるって意味だよ。でもね、前にも説明したけど、このくらいの温度だと冷やすのがとても簡単になるんだ。ランチボックスくらいの大きさの冷凍機で十分冷やせるから、使っている人に分からないように装置の中に組み込むことも簡単にできるんだ。

文香:冷凍機が見えなかったら、使っている人は超電導を使っているって分からないかもしれないね。

健:そう。それが大事なんだ。ユーザーにとっては超電導を使っているのが重要なのではなくて、装置の性能が高いことが重要だ。だから、超電導体を冷やすための冷凍機は、できるだけ見えない方がいいんだ。

文香:じゃ、装置を大きくして隠してしまえばいいじゃない。

健:ダメダメ、そんなことしたら装置の大きさが邪魔になるだけだよ。ここで言う“見えない”というのは、冷凍機を使うことが負担にならないということなんだ。だから、実際に見えないだけじゃなくて値段にも、ノイズにも、振動にも影響が出ないことが大事なんだ。

文香:実際に使っているのに、それはムリね。

健:完全に見えなくするのはムリなんだけど、できるだけそこに近づけることが超電導を使った製品を世の中に広めるための一つのキーポイントになるんだよ。

文香:それで、冷凍機が小さくできる高温超電導体の方が有利なのね。じゃ、ニオブなんて止めちゃって、ルータもスーパーコンピュータも高温超電導体で作ればいいんじゃない。

健:それは前に(その1)説明しただろう。高温超電導体は材料が複雑なので、今のところあまり大きい規模の回路が作れないんだ。だから、高温超電導体を使っても作れるくらいの大きさの回路で、役に立つものを作ることが大事なんだ。

文香:その役に立つものがサンプラーってわけ。

健:そういうこと。もちろん他にもあるけどね。

サンプラーって何？

文香：ところで、サンプラーって何。一度も聞いたことがないんだけど。

健：そうだろうね。サンプリングオシロスコープとも言うんだけど。聞いたことある。

文香：何それ。いきなり文系人間をシャットアウトしてしまいそうな名前ね。

健：困ったな・・・。ドラマか何かで死にそうな人の横で小さなテレビ画面みたいなものに、いろんな線が映っているの見たことない。心臓なんかから来る電気信号の形、つまり波形を見ているんだけど。こういうふうに電気信号の波形を観測するものをオシロスコープと言うんだよ。

文香：それなら見たことある。じゃ、サンプリングって？

健：心臓から来る電気信号は十分遅いから問題ないんだけど、最先端の物理や電子工学の世界では、100ピコ秒(1ピコ秒は1兆分の1秒)以下の時間スケールで変化するような電気現象を観察する必要があるんだ。こういう速い時間変化を直接見れるようなオシロスコープを作ることにはできないから、サンプリングという方法を使うんだ。一つの電気信号波形があって、ある時間間隔で繰り返し現れるとする。例えば、最初に出発点から10ピコ秒経過した時刻の電気信号の大きさを何らかの方法で測るんだ。

文香：そんなに速い電気信号波形は計れないんじゃないか。

健：高速に変化する電気信号波形全体を一度に観測することはできないけど、どこか一点だけなら何とかできるんだ。これを1回の測定だけで計ってもいいし、しつこく何回も計って値を出してもいい。時刻10ピコ秒での信号の大きさがわかったら、次は観測する時刻を10ピコ秒ずらして時刻20ピコ秒での信号の大きさを測る。この操作を次々と例えば100回繰り返すと、1,000ピコ秒までの10ピコ秒おきの電気信号の値がわかるよね。横軸に観測した時刻を取って、縦軸にそれぞれの時刻で得られた電気信号の値をプロットしていけば、観測したかった高速波形が現れるんだよ。

文香：へえー。頭いいのね。でもこの方法って繰り返す波形じゃないとダメなんじゃない。

健：そのとおり。でも、ほとんどの電気信号波形は周期的に繰り返す性質を持っているから、サンプリングオシロスコープの適用範囲は広いんだよ。

文香：サンプリングオシロスコープは分かったけど。これとサンプラーは同じなの？

健：同じ意味で使うこともあるけど、特にサンプリングオシロスコープのセンサーにあたる短い時間間隔で電気信号波形の値を観測していくデバイスのことをサンプラーって言うこともあるよ。

高温超電導サンプラーの原理

文香：どうやって高温超電導体でサンプラーを作るの？

健：高温超電導体を使ってサンプラーを作ろうという試みは、最初 NEC の基礎研究所で行われて、現在は超電導工学研究所に受け継がれているんだ。今はもう少し複雑な回路になっているけど、最初の高温超電導サンプラーはジョセフソン接合をたった5個しか使わないものだったんだ。

文香：それで、小さな回路ならできる高温超電導体に向いていたわけね。

健：そうだね。詳しい話は止めとくけど、この5個のジョセフソン接合で、信号電流を観測するためのSFQパルスを作って、このSFQパルスとジョセフソン接合のスイッチを使って信号電流の値を観測して、読み出すということが出来るんだ。SFQパルスを使っているんで、このサンプラーのことをSFQサンプラーとも言うんだよ。

文香：ちょっと端折りすぎじゃない。もうちょっとだけ教えてよ。

健：この図（図1）を使って高温超電導サンプラーでどうやって特定の時刻の信号電流の大きさを測定するのかを説明するね。図の中の I_s が計りたい電流波形だとするね。ある時刻に SFQ パルス電流 I_p を加えるんだ。そうすると I_p を加えた時刻だけ I_s が持ち上げられて他の部分より値が大きくなるだろ。

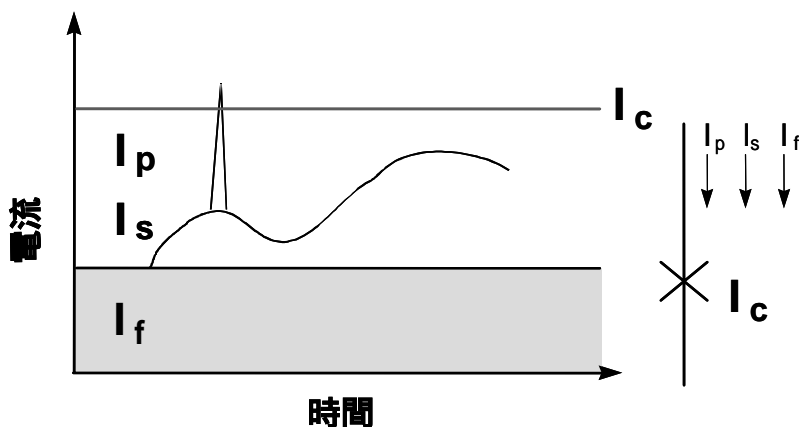


図1 高温超電導サンプラーによる信号電流波形の測定方法。
×印はジョセフソン接合。

文香：それは分かるけど、加えるとか持ち上げるとか具体的にはどうするの？

健：具体的には、あるジョセフソン接合に両方の電流を流すんだよ。ジョセフソン接合は超電導体同士を弱く結合した素子で、ある一定以上の電流（臨界電流 I_c ）が流れると電圧が発生して SFQ が通り抜ける、ということは前に話したよね。

文香：うん。覚えている。

健： I_s に I_p を加えて持ち上げて他の部分より大きくすると言うのは、 I_p を加えた瞬間には I_s と I_p が足し合わされるので、ジョセフソン接合を流れる電流を他の時刻より大きくする、ということだよ。

文香：観測したい時刻だけ I_p を加えて目印を付けるのは分かったけど、 I_s の大きさはどうやって調べるの？

健：フィードバック電流 I_f と呼ばれる 1 回の観測中は値を変えない電流を 1 回の観測ごとに値を変えてジョセフソン接合に流すんだ。そうすると、 I_f がある値になったときにジョセフソン接合はスイッチして SFQ が通り過ぎて、用意していた SFQ ループに入るんだ。SFQ ループに SFQ が入ると読み出し回路に電圧が発生するから、ジョセフソン接合がスイッチしたかどうか分かるんだ。さっき言ったように I_s は I_p で目印されているから、ジョセフソン接合がスイッチするのは必ず I_p が加えられた時刻になるよね。でも SFQ ループに入った SFQ はリセット動作を行うまでそこにいるから、読み出しはゆっくりでもいいんだ。この操作を行うことで、ジョセフソン接合がスイッチする最低の I_f の値がわかるよね。同じ事を I_s をゼロにして行くと、さっき求めた I_s があるときにジョセフソン接合がスイッチする最低の I_f の値と違うよね。この差が I_p を与えた時刻での I_s の値になるんだよ。この操作を I_p を流す時刻を少しずつ変えながら繰り返していくと I_s の波形全体がわかるんだよ。

文香：ふうー。頭がぐちゃぐちゃになりそう。このやり方で正しいのね。

健：大丈夫だよ。NEC ではこの写真（図2）のような高温超電導サンプラーで波形観測をするための測定システムを作って、いろんな波形を観測しているんだ。その結果、数十ピコ秒周期で変化する電流波形が正しく観測できることが確かめられているよ。超電導工学研究所では、50GHz のサイン波形が正しい周期（20 ピコ秒）で観測されることを確かめているしね。

文香：それはすごいわね。

高温超電導サンプラーの強み

文香：高温超電導サンプラーで実際に波形が観測できることはわかったけど、今までのものに比べて何がいいの？

健：まず、時間分解能が高いことだね。さっき説明したように信号電流のどの時刻を観測するかは、SFQ パルス電流で目印をつけるのだ。時間分解能の高い測定をしたいなら、この目印はできるだけ細かく付けられた方がいいよね。目印が大きいと、どこを計っているか曖昧になってしまうからね。SFQ パルスは条件によっては幅 1 ピコ秒くらいまで細くできるから、すごく時間分解能が高い観測ができるんだよ。

文香：そうか。他には？

健：電流に対する感度が高いことも特徴だよ。ジョセフソン接合は I_c を境にゼロ電圧状態から有限電圧状態に急激に状態をかえるからね。これをつかうことで感度の高い測定ができるんだよ。

文香：時間分解能も電流感度も高いってことね。

健：そうだよ。その他にも、高温超電導サンプラーは電流が直接測定できるっていう強みもあるんだよ。電圧で動作を制御する半導体素子は電流を測定することが苦手なんだ。

文香：でも、電流で計っても電圧で計っても同じなんじゃないの？

健：同じじゃないよ。オームの法則って知っているだろ。計っている場所の抵抗、この場合はもっと一般化してインピーダンスというんだけど、それがわかっていれば、電圧の値からオームの法則を使って流れている電流を知ることができるよ。でもインピーダンスがわからないということは結構よくあるんだ。そういう場合の測定では、電圧を測っても電流はわからないんだよ。

文香：高温超電導サンプラーって、性能も高くておまけに電流まで計れてすごいじゃない。でも、このシステムの写真を見ると、冷凍機ちゃんと見えているじゃない。

健：……。これは超電導を使っていることを宣伝するためにわざと見せているの。



図2 高温超電導サンプラー観測システム

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q : エレクトロニクス分野で言われている “ ムーアの法則 ” とはどのようなことでしょうか？

A : “ ムーアの法則 ” というのは、米国インテル社の創設者の一人であるゴードン・ムーアが、1965年に提唱した半導体集積回路の進歩を予測する経験則のことです。その法則とは「半導体集積回路の集積度は、およそ18ヶ月で2倍になる」というものです。集積度というのは集積回路の複雑さを表すもので、ひとつの半導体チップの上に作りこまれるトランジスタや抵抗、コンデンサなどの部品の数で代表されます。

18ヶ月で2倍ということは、3年で4倍になることを意味します。現実には、1970年に最初のメモリ集積回路である1Kbメモリが作られて以来、ほぼ3年毎に4Kb、16Kb、64Kb、256Kb、1Mb、4Mb、16Mb、64Mb、256Mb、1Gbと4倍ずつ進歩してきました。1Kbメモリというのは、ひとつのチップの上におよそ千個(正確には 2^{10} 個すなわち1,024個)のメモリ素子が作られています。同様に、1Mbメモリはおよそ百万個(正確には 2^{20} 個すなわち1,048,576個)のメモリ素子が、そして1Gbメモリはおよそ10億個(正確には 2^{30} 個すなわち1,073,741,824個)のメモリ素子が作られています。

最初のメモリである1Kbメモリが世に出たのが1970年であり、最新の1Gbメモリが出たのが2003年ですから、メモリの集積度は33年で百万倍になりました。ムーアの法則に従えば、3年で4倍ですから30年で百万倍という計算になります。このことを考えると、現実の半導体メモリの進歩が、いかに正確にムーアの法則にしたがって進歩してきたかが分かります。

これまでメモリのことを述べてきましたが、プロセッサについても同様の進展をとげてきました。1971年に最初のマイクロプロセッサであるインテル4004が世に出て以来、8008、8080、8086、286、386、486、ペンティアム、ペンティアム2、ペンティアム3、ペンティアム4と進歩してきました。これらの中に使われているトランジスタの数は、1971年の4004が2,250個、2000年のペンティアム4が約42,000,000個と増加しています。3年で4倍よりは少し少ないですが、指数関数的にその数が増加してきました。

このように、40年も以前に現在までの半導体の集積度の進歩を予測したムーアの法則がいかに素晴らしいかが理解できると思います。しかしながら、最近の半導体集積回路技術は難しい局面に差し掛かっていることもまた事実です。これまでトランジスタや他の部品の寸法を極限まで小さくして集積度を上げてきましたが、そろそろその限界に到達しているからです。これ以上小さくしたら、トランジスタそのものがトランジスタとしての働きをしなくなるほど小さくなって来ています。このような壁を人類の英知でブレークスルーして今後もムーアの法則に従った進歩を遂げていくのか、それとも超電導素子のように半導体とは全く異なる素子とその進歩のバトンを受け取るのか、今後の進展に期待されるところです。

回答者 : SRL/ISTEC

特別研究員 蓮尾信也

[超電導 Web21 トップページ](#)