

掲載内容（サマリー）：

トピックス

- NEDO、平成 16 年度事業「超電導電力ネットワーク制御技術開発」プロジェクトの委託先、（財）国際超電導産業技術研究センターら 3 機関に決定

特集：超電導エレクトロニクスー広がる SQUID 応用

- SQUID による免疫反応検出法
- 高温超電導体磁気シールドを用いたモバイル SQUID 脳磁計
- HTS レーザーSQUID 顕微鏡による半導体検査
- デジタルデバイスプロセスへの走査型 SQUID 顕微鏡の応用
- 高温超電導 SQUID を用いた地質調査技術の開発
- 超電導関連製品ガイドー超電導量子干渉素子（SQUID）関連製品ー
- 超電導関連 7ー8 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（5/20-6/20）
- 超電導速報ー世界の動き（2004 年 5 月）
- 標準化活動ー平成 16 年度 IEC/TC90 超電導委員会運営委員会開催ー
- 平成 16 年度低温工学協会第 1 回材料研究会報告
- 未踏科学技術協会、第 8 回超伝導科学技術賞授与
- 低温工学協会、2004 年度総会において同協会褒賞授与
- 隔月連載記事ーやさしい超電導エレクトロニクスのおはなし（その 3）
- 読者の広場(Q&A)ー生体磁気ってなんですか。また、どのようにして検出するのですか？

[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

〒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。

NEDO、平成 16 年度事業「超電導電力ネットワーク制御技術開発」プロジェクトの 委託先、(財) 国際超電導産業技術研究センターら 3 機関に決定

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）は、平成 16 年度事業「超電導電力ネットワーク制御技術開発」プロジェクトの委託先を公募していたが、審査委員会の審査を経て、平成 16 年 6 月 8 日付けで（財）国際超電導産業技術研究センター（理事長：荒木浩）、中部電力株式会社及び九州電力株式会社の 3 機関に決定した。

このプロジェクトの期間は平成 16 年度から平成 19 年度までの 4 年計画で、初年度にあたる平成 16 年度の予算規模は 6 億 8 千 4 百万である。また、このプロジェクトの目的は、実用化を目指したトータル SMES（超電導電力貯蔵装置）システムの低コスト化及び実系統連系試験によるネットワーク制御システム技術の開発・検証を行うこととしている。

具体的につぎの各項の研究開発内容が明らかにされているが、当財団は、この中の SMES システムの適用技術標準化研究について、一部を（財）電力中央研究所へ再委託しながら、具体的検討を行うとともに、プロジェクトが整合的かつ効率よく推進できるように、有識者からなる委員会の運営を行い、研究開発実施者間相互の協力連携、総合調整を図ることとしている。

このプロジェクトの最終年度の目標は、SMES を用いた 100MW 級（系統安定化用：15kWh、負荷変動補償・周波数調整用：500kWh）電力ネットワーク制御システム技術を確立することである。

(1) SMES システムの開発

ーシステム構成技術の開発

○低コスト大容量電力変換システム

○高磁場酸化物系 SMES コイル

○高信頼性極低温冷凍機

○高耐電圧伝導冷却電流リードシステム

ー実系統連系運転試験によるシステム性能検証

ーシステムコーディネーション技術開発

(2) SMES システムの適用技術標準化研究

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導エレクトロニクスー広がる SQUID*応用

「SQUID による免疫反応検出法」

九州大学

超伝導システム科学研究センター

教授 円福敬二

医療診断において病原菌やガン細胞などを検出する際には、図 1(a)に示すような免疫検査という手法が用いられる。検出すべき物質は抗原と総称されており、その検出には抗原に選択的に結合する検査試薬（抗体）が用いられる。この際、抗体はマーカーと呼ばれるもので標識されており、マーカーからの信号を計測することにより抗原－抗体の結合反応が検出される。

現在用いられている一般的なマーカーは蛍光酵素などの光学マーカーである。これとは異なる新しい検査法として、磁気マーカーと SQUID センサを用いた磁気的な免疫検査が最近注目されている。SQUID を用いることによりマーカーからの微弱な磁気信号を測定できるため、極めて高感度な免疫検査が可能になると期待されている。この磁気的検査の感度を向上させるためには、(1)大きな磁気信号を発生する磁気マーカー、(2)室温の試料との距離を 1 mm 程度に近接した SQUID 装置、(3)磁界検出法（磁化率、磁気緩和、残留磁気）の最適化、等が必要である。

図 1(b)に残留磁気法を用いた免疫検査の結果を示す。抗原としては、ガンなどの診断の際に用いられる Interleukin 8 (IL8) と呼ばれる蛋白質を用いた。図の横軸は IL8 の重さ $w(\text{pg})$ であり、縦軸は SQUID で検出した磁束信号 Φ_s である。両者には良い相関関係が得られており、本実験では 0.03 pg までの IL8 が検出できている。この結果は従来の光学的方法に比べて 30 倍以上高感度であることを示している。なお、本システムの改良により 0.01 pg 以下の IL8 の検出は可能であり、これが実現されれば従来に比べて 100 倍以上高感度となり、免疫検査分野における画期的な装置となる。

参考文献

1) 円福、応用物理、73巻1号、28頁(2004)

* SQUID は、Superconducting QUantum Interference Device 超電導量子干渉素子の略。

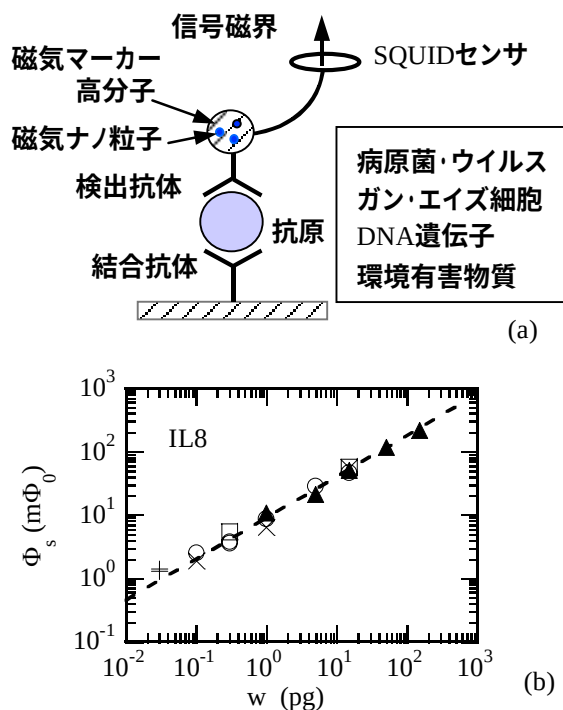


図 1 (a)磁気マーカーと SQUID を用いた磁気的免疫検査。
(b)免疫検査により得られた抗原(IL 8)の重さ w と信号磁束 Φ_s の関係。

特集：超電導エレクトロニクスー広がる SQUID 応用

「高温超電導体磁気シールドを用いたモバイル SQUID 脳磁計」

独立行政法人 情報通信研究機構
無線通信部門 ミリ波デバイスグループ
太田 浩

情報通信研究機構は、SNS(Superconductor/Normal Metal/Superconductor)素子を用いた SQUID と超電導磁気シールドを組み合わせた SQUID 脳磁計（図 1）を完成し、パーマロイの標準的な磁気シールド室を用いた SQUID 脳磁界計よりも、1 ヘルツ以下の低周波で 100 倍以上高感度であることを実証した。2003 年 2 月 26～28 日、幕張メッセ展示場で開催された「ナノテク 2003」と、2004 年 3 月 17～19 日、東京ビッグサイトで開催された「ナノテク 2004」とにおいて 2 度のデモ実験を行い、雑踏の中での脳磁界の観測に 2 度とも成功した。今年（2004 年）3 月のビッグサイトでの実演デモでは、前回の幕張メッセでのデモ実験よりも信号対雑音比（SN ratio）を大幅に改善できた。今回は、会場と日程上の都合から、20kVA 発電機と冷却水用チラーを用い、エアサスペンション付き 10 トントラックに積載した状態で、SQUID システムの起動を余儀なくされたが、結果

的には、モバイル SQUID 実現のために要求される構成概念をより一層明確に把握することができた。この実験の成功により、心のケアのための移動診療所（mobile clinic for mental care）への一步を踏み出したといえよう。

脳の神経電流がつくる磁場は地磁気よりも遙かに弱く、従来はパーマロイの磁気シールド室が用いられてきた。しかし、半径数キロメートル以内にいる電車や車の通行



図 1 開発した脳磁界計測装置

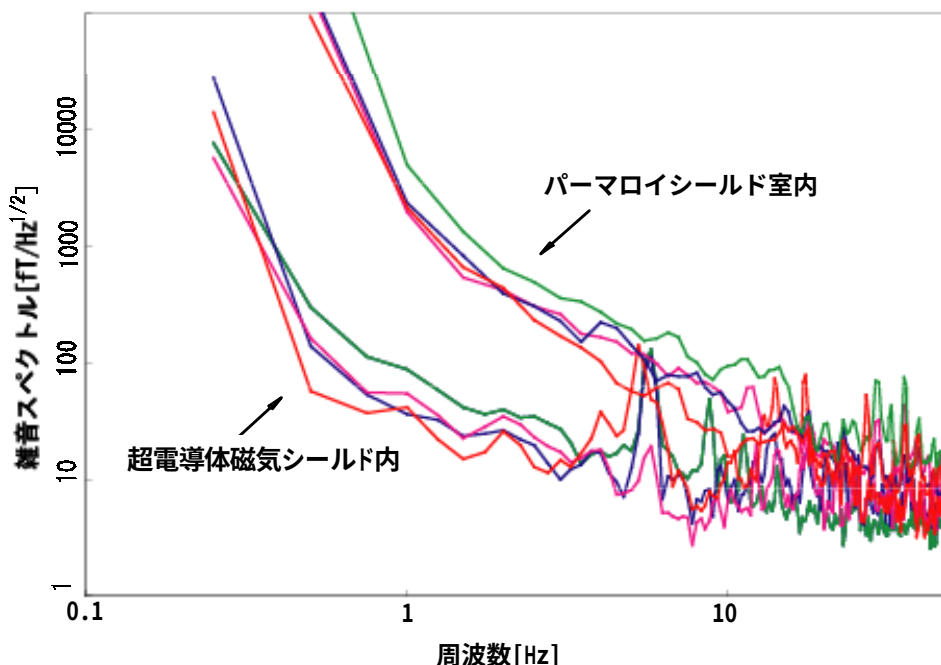


図 2 従来のパーマロイシールド室内と超電導体磁気シールド内での SNS 接合の SQUID の性能比較
（同一色の折れ線が同一の SQUID を用いた計測結果を表す。）

(鉄の固まりの移動) による環境磁気雑音は、0.1Hz 付近にピークを持つ。BSCCO の高温相の超電導磁気シールドは完全反磁性で、0.1Hz 以下の超低周波でもシールド率が落ちない。同一の SQUID センサーを用いて、パーマロイシールドと超電導磁気シールド内で測定した雑音スペクトルの比較を図 2 に示す。図に示したようにシールドの違いが 1Hz 以下で 100 倍以上の感度差を生むことがわかる。この SQUID システムを用いて、これまでに約 100 人以上の被検者の脳磁界が測られた。

図 3 は、今度は横軸を時間として、64 チャンネルを同時に表示したものである。250 ms 以降の長潜時に 6 Hz のシータ・リズムが観測されている。特に、長潜時におけるシータ・リズムの振動の節の部分のくびれが細いことは、この装置の低周波雑音が小さいことを端的に示している。正中神経刺激など単純な感覚刺激による脳磁界は一般には 250 ms ぐらいまでに終わってしまう。250 ms 以降の長潜時の信号は、第 2 体性感覚野などに現れ、脳のより高次の機能と関係している。長潜時に観測されるこれらの律動性後発射 (rhythmic after-discharge) は、後脱分極 (after-depolarization) か、後過分極 (after-hyperpolarization) による。今後、長潜時の脳の機能を調べて視床・大脳皮質神経回路 (thalamo-cortical network) についての研究が進むと予想される。

過分極活性型陽イオンチャンネルの電流 hyperpolarization-activated cation current I_h の時定数は、約 1 秒であり、視床、海馬だけでなく、心拍数も制御している。また、記憶、学習の関与するカルシウムイオンチャンネルの時定数は 1 秒よりも遙かに長く、その測定には超電導磁気シールドが必要になる。

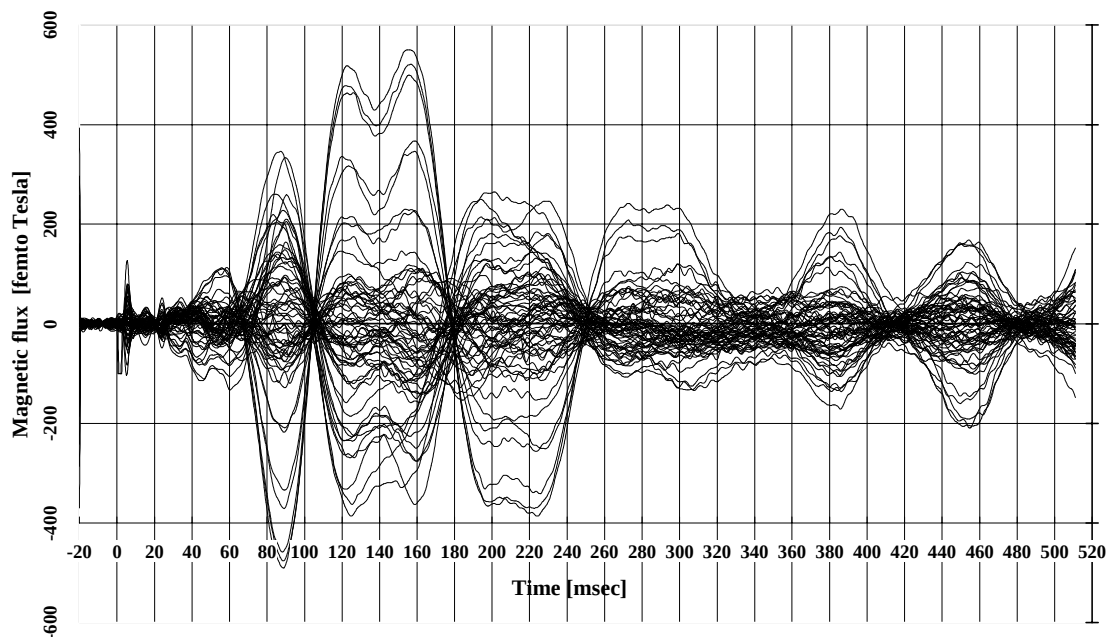


図 3 脳磁界の計測例

SQUID 装置は、人間の脳機能に対する理解そのものであるニューラルネットワークモデルの実証に用いられることになる。

技術的に明確な優位性を持つことが実証された高温超電導磁気シールドを用いたこの新しい脳磁計は、今後、脳神経科学の研究や医療分野に広く用いられることになるであろう。多くの研究者の永い努力の積み重ねによって達成されたこの研究成果に、Biomag2004 の主催者も強い興味を示してくれた。この研究の詳細は、2004 年 8 月 8 日～12 日にボストンで開催される Biomag2004 で発表される。

特集：超電導エレクトロニクスー広がる SQUID 応用

「HTS レーザー SQUID 顕微鏡による半導体検査」

岩手大学

工学部 電気電子工学科 電子システム工学講座

大坊 真洋

SQUID（超電導量子干渉素子）は、固体デバイスの中で最も高感度な磁気センサーであるが、例えば半導体の磁場分布を測定しようとした場合、大きな問題に直面する。それは空間的に細かな分布で測定できないことである。この主因は、観測対象物が室温にあるのに対して、SQUID は真空断熱によって低温に維持しなければならない、対象との距離が離れてしまうことにある。また SQUID のサイズを小さくすると折角の感度が犠牲になる。そこで、我々は対象物に集光したレーザー光を照射して、そこで誘発される磁場の変化を SQUID で計測する原理のレーザー SQUID 顕微鏡を開発している。観察できるのはレーザー光によって磁場変化が現れるような対象物に限定されるが、レーザーは原理的に波長程度まで集光できるので、空間分解能は集光面積に磁気信号源広がりを加えた程度まで向上する。

図 1 にレーザー SQUID 顕微鏡の

図 1 レーザー SQUID 顕微鏡のブロック図

ブロック図を示す。HTS-SQUID マグネトメータを磁気シールド中で使用している。レーザー光の振幅変調と同期してロックイン検出をするので、磁気シールドは生体磁気計測に用いるような厳重なものは不要である。レーザーは、対象とする半導体のバンドギャップに応じて、紫外線から近赤外線までの各種波長が選択できる。磁気ノイズが最小となるようにセラミクス試料ステージを用い、ピエゾアクチュエータで位置精度 $0.3\mu\text{m}$ でサーボ制御している。

図 2 はシリコンウェハー中に熱拡散形成された電力用ダイオードを計測した一例である。この製造工程途中の試料は、p-n 接合が同心円状に配置された構造となっているが、それに対応した磁場分布が得られている。この試料の最小拡散層線幅は $20\mu\text{m}$ であるが、十分に識別されていることが確認できる。また 4 種類のレーザー波長を用いて、光電流（磁場）の波長依存性から少数キャリアの拡散長を計測する方法も開発し

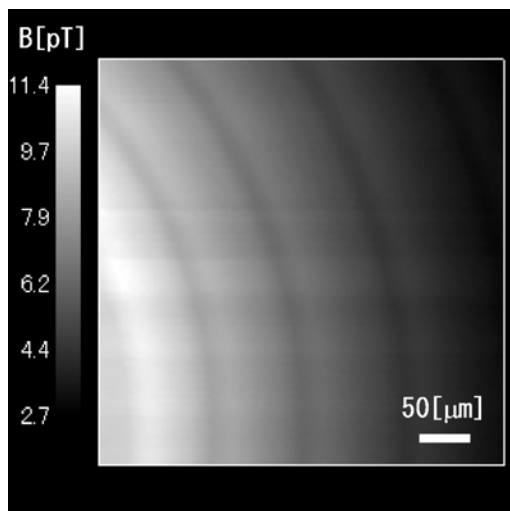
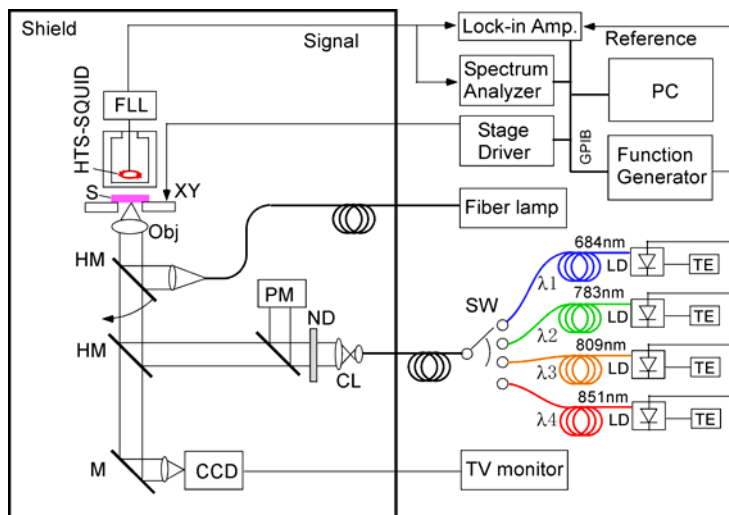


図 2 シリコンウェハー中のダイオードの p-n 接合

ている。

次に、太陽電池などに使われる多結晶シリコン基板では、結晶粒界が効率低下の原因となるので、その評価が重要となる。結晶粒界では磁場が急激に変化するので、磁場分布を空間的に 2 階微分した (図 3)。レーザー SQUID 法では、外部に電流を取り出さないで、光生成されたキャリアは全て再結合している。内部再結合電流が最大の状態の磁場分布が測定できることが、太陽電池へ適用するメリットである。

まとめ

レーザーと SQUID の組合せは、SQUID の空間分解能を改善するのに有効である。また、このレーザー SQUID 顕微鏡による半導体の計測では、非接触で電氣的構造の情報が得られるので、絶縁性の表面酸化膜や窒化膜が存在しても計測でき、プローブ接触による金属汚染の懸念も無いので、製造プロセス途中での評価や迅速なフィードバックに役立てることができる。

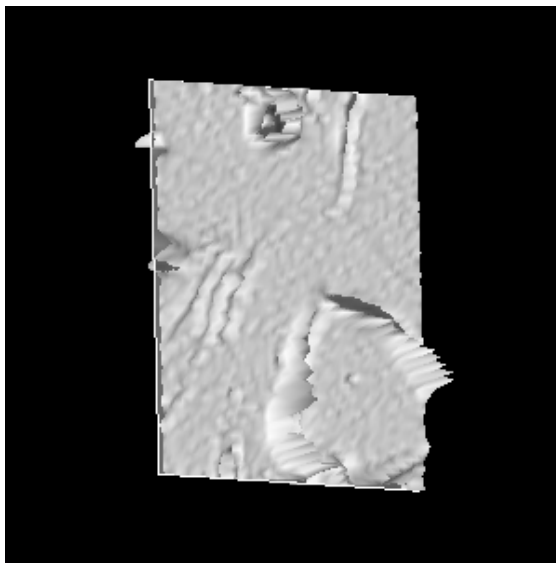


図 3 多結晶シリコンウェハーの結晶粒界
(磁場分布の 2 階微分画像)

参考文献

- 1) M. Daibo et al., Physica C, Vol.357-360, pp.1483-1487, 2001.
- 2) M. Daibo et al., Physica C, Vol.372-376, pp.263-266, 2002.
- 3) M. Daibo et al., IEEE Trans. Appl. Supercon., Vol.13, No.2, pp.223-226, 2003.
- 4) 大坊真洋他, 第 64 回応用物理学会学術講演会, 2a-X-4, pp. 222, 2003.
- 5) 大坊真洋他, 計測自動制御学会産業論文集, Vol.2, No.3, pp.19-26, 2003.

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導エレクトロニクスー広がる SQUID 応用

「デジタルデバイスプロセスへの走査型 SQUID 顕微鏡の応用」

走査型 SQUID 顕微鏡装置は、SQUID 素子を試料表面上に走査させることで局所的な磁束状態を観察することが出来る装置である。この装置は 1990 年代前半に超電導エネルギーギャップ対称性の研究などに用いられたことで知られるが、現在は、国内でも（株）エスアイアイ・ナノテクノロジーなどによって商品化されており、身近な研究手段になりつつある。走査型 SQUID 顕微鏡装置は、特に、超電導デバイス分野で大きな威力を発揮する。単一磁束量子（Single Flux Quantum：SFQ）を情報担体とする超電導 SFQ 回路は磁場の影響を敏感に受けやすい。そのため、回路の磁束状態を走査型 SQUID 顕微鏡で観察し、その結果を回路設計にフィードバックさせて、磁場に強くより信頼性の高い回路を設計することが非常に重要である。ここでは、そのようなプロセスを経て磁束捕捉用のモート（溝）構造¹⁾配列を設計した SFQ サンプラー回路²⁾の磁束像観察結果を紹介する。図 1 は、超電導工学研究所において回路設計・製作した超電導グランドプレーン層付き YBa₂Cu₃O_y (YBCO) SFQ サンプラー回路を約 1μT の磁場中で 10K 以下まで冷却した後に、Nb 系 dc-SQUID 搭載の走査型 SQUID 顕微鏡システムによって観測した磁束密度像である。ピーク構造は冷却時に回路にトラップした磁束量子 $\Phi_0 (=2.07 \times 10^{-15} \text{Wb})$ である。一方、磁束捕捉用にグランドプレーン層に加工した幅 4μm の細長いモート構造に磁束が捕捉され、モート配列によって囲まれたジョセフソン接合などを含む回路主要部分には磁束がトラップしていないことがわかる。さらに、モートに囲まれた領域へ磁束が侵入してくる外部環境磁場の敷居値を調べることで、必要な磁気シールドのレベルを知ることが出来る。ここで述べたのは一例にすぎないが、走査型 SQUID 顕微鏡観察は、超電導デバイスの開発において、回路設計の重要な指針を与える研究手段である。超電導デバイス回路の実用化が近づくにつれ、今後は一層、その重要性が増すと考えられる。

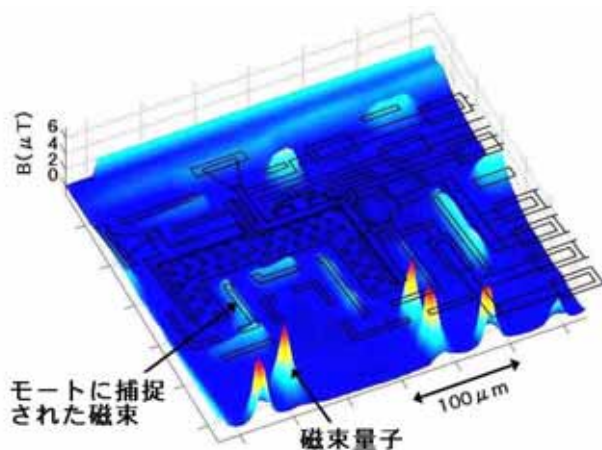


図 1 走査型 SQUID 顕微鏡システム（エスアイアイ・ナノテクノロジー社製）を用いて観測した、モート構造を加工した超電導グランドプレーン層を有する YBCO SFQ サンプラー回路の磁束密度像

参考文献

- 1) K. Suzuki, H. Suzuki, S. Adachi, T. Utagawa, U. Kawabe, K. Tanabe: Physica C, vol.378-381 (2002) 1301-1305.
- 2) 日高睦夫、丸山道隆、佐藤哲朗：電子情報通信学会論文誌 2003 年 11 月号 1128-1135.

（SRL/ISTEC デバイス研究開発部 鈴木宏治）

特集：超電導エレクトロニクスー広がる SQUID 応用

「高温超電導 SQUID を用いた地質調査技術の開発」

住友電工ハイテックス株式会社
システム機器事業部 開発グループ
参事 永石竜起、太田 肇

石油天然ガス・金属鉱物資源機構
金属資源探索推進グループ
探査第一チーム サブリーダー
荒井英一

金属鉱床探査は、近年鉱床の潜頭化、奥地化が進んでいるため、遠隔探査法である物理探査への期待が高まっている。誘導コイルを用いた手法が一般的であるが、さらにその精度を高めるべく、高感度な SQUID をセンサとした探査技術が期待されている。また、誘導コイルが磁界の時間変化を計測するのに対し、SQUID は磁界の変位そのものを計測するため、地中で急激に減衰する誘導電流の計測においては、SQUID の方が優位とされている。

高温超電導 SQUID の地質調査技術への応用はオーストラリア、ドイツで精力的に検討がなされてきた。^{1,2)} 国内では、1998 年から石油天然ガス・金属鉱物資源機構（旧金属鉱業事業団）が中心となって開発を進めている。

SQUID を用いた地質調査は図 1 に示すように、地表に張った磁界送信ループに矩形電流を流し、地表に設置した SQUID で電流切断後に地下で誘起される誘導電流が作る誘導磁界を計測する。深度方向に拡散する電磁界の時刻 t における拡散深度は t の平方根に比例することから、電流切断後の磁界強度の時間依存性は地下の抵抗率の深さ方向のプロファイルとなる。

地質調査応用に供する SQUID には独自の性能が要求される。例えば、①地磁気下での冷却、磁気シールドレス動作、②数百ナノテスラオーダの矩形磁界中での安定動作、③実用的な側面から、パソコンでの SQUID 調整から測定データおよび積算データ表示、データ保存機能、④バッテリー駆動等である。

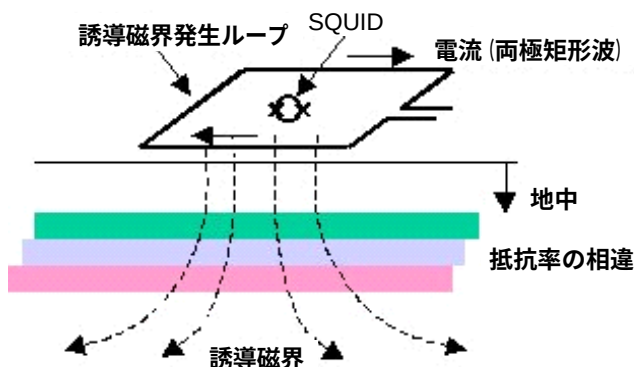


図1 SQUID を用いた地質調査方法



図2 開発した SQUID システム
（左：センサ部、右：計測部）

これらの性能を追求して開発したシステムは、従来機器を超える性能を得るに至っている。図2に示すシステムは3軸3ch(1ch×2も可)で、駆動回路を一体化したプローブと液体窒素デュワ、コントローラ、A/Dコンバータ、パソコン、バッテリーから構成される。ノイズは地磁気下で100fT/√Hz以下、スルースレートは7.3mT/secが得られている。性能等の詳細については、参考文献³⁾⁻⁷⁾を参照されたい。

SQUID システムの有効性を確認するために、国内複数箇所フィールドテストを実施した。ここでは、秋田県の小坂鉱山跡地での試験結果を示す。図3では、時間とともに急一緩一急の傾きが得られているが、これは地表から高ー低ー高の抵抗率の層が順に存在することを示している。誘導コイルでは低抵抗層の下層の情報が見られにくいという課題があったが、SQUIDでは明瞭に観察できている。図4は従来型システムとの比較のため SQUID 計測データを微分して同じグラフ上にプロットした結果である。誘導コイル型では10msecで計測値が飽和しているのに対し、SQUIDでは30msec以降まで計測できている。つまり、SQUIDではより深い探索深度が得られることを示している。

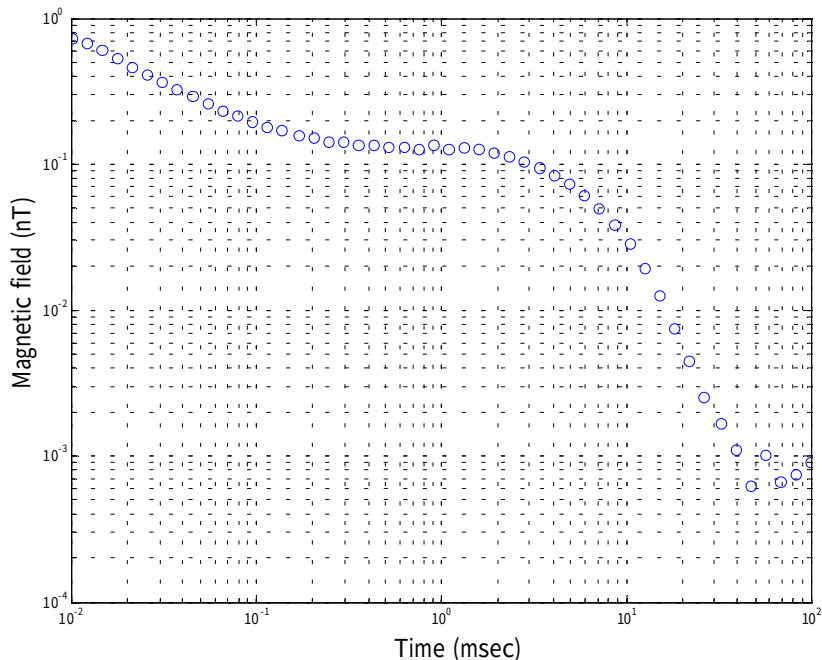


図3 SQUID による計測例

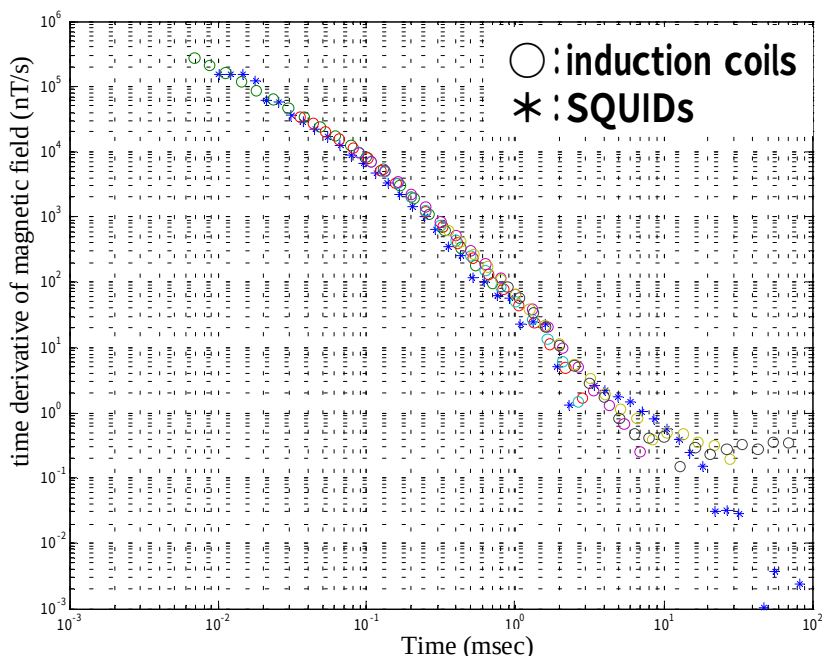


図4 誘導コイルと SQUID データの比較結果

このように、当初期待されていた SQUID の有効性を明らかにした。今後、系の安定性や携帯性向上等実用化に向けた開発を行い、完成度を高めていく予定である。

本研究開発は、経済産業省の委託事業「鉱物探査技術開発等調査 高精度物理探査技術の開発」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) C. P. Foley, K. E. Leslie, R. Binks, C. Lewis, W. Murray, G. J. Sloggett, S. Lam, B. Sankrithyan, N. Savvides, A. Katzaros, K. -H. Muller, E. E. Mitchell, J. Pollock, J. Lee, D. L. Dart, R. R. Barrow, M. Astén, A. Maddever, G. Panjkovic, Mark Downey, C. Hoffman and R. Turner, "Field Trials using HTS SQUID Magnetometers for Ground-based and Airborne Geophysical Applications", IEEE Trans. Appl. Superconductivity, vol.9, no.2, pp.3786-3792, June 1999.
- 2) M. Bick, G. Panaitov, N. Wolters, Y. Zhang, H. Bousack, A. I. Braginski, U. Kalberkamp, H. Burkhardt, U. Matzander, "A HTS rf SQUID Vector Magnetometer for Geophysical Exploration", IEEE Trans. Appl. Superconductivity, vol.9, no.2, pp.3780-3785, June 1999.
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：開発項目「災害予知技術の開発」成果報告書（2000）
- 4) 経済産業省・資源エネルギー庁：平成 13 年度鉱物資源探査技術開発等調査報告書 高精度物理探査技術の開発（2002）
- 5) 経済産業省・資源エネルギー庁：平成 14 年度鉱物資源探査技術開発等調査報告書 高精度物理探査技術の開発（2003）
- 6) 経済産業省・資源エネルギー庁：平成 15 年度鉱物資源探査技術開発等調査報告書 高精度物理探査技術の開発（2004）
- 7) 荒井英一、"SQUID 磁力計を用いた金属鉱床探査のための電磁探査法測定システム開発"、低温工学、Vol.38、No.9（2003）

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイドー超電導量子干渉素子 (SQUID) 関連製品ー (社名五十音順表示)

○エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社

Nb 系低温走査型 SQUID 顕微鏡他

Tel: 043-211-1338、Fax: 043-211-8067、e-mail: yukiya.watanabe@sii.co.jp

担当: 営業一部 営業一課 渡邊幸弥

○住友電工ハイテックス株式会社

高温超電導磁気センサを用いた「SQUID 入門キット」、「SQUID 実験キット」、「SEIQUID II」、「SQUID 顕微鏡」、「生体磁気計測装置」、「抗原抗体反応検査装置」、「食品等混入磁性異物検出装置」、「半導体検査装置」、「地質調査装置」等

担当 永石、太田; Tel: 072-771-3022、Fax: 072-771-3023

○株式会社 日立ハイテクノロジーズ ライフサイエンス事業統括本部 医用マーケティング部
MC-6400 日立心臓磁気計測システム

技術窓口: 内藤茂昭 (株式会社日立ハイテクノロジーズ)

Tel: 03-3504-5818、Fax: 03-3504-7756

e-mail: naito-shigeaki@nst.hitachi-hitec.com

営業窓口: 花岡 寛 (フクダ電子株式会社)

Tel: 03-5684-1233、Fax: 03-5684-1315

e-mail: hanaoka@fukuda.co.jp

○横河電機株式会社 航空宇宙・特機事業本部 MEG センター
脳磁計 (MEG)、小型・微弱磁場計測装置

Tel: 0422-52-5662、Fax: 0422-52-5946、e-mail: meg@csv.yokogawa.co.jp

担当: 富澤英明



(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 7-8 月の催し物案内

7/6

「実践技術経営の考え方：企業の開発・事業家に役立つ MOT とは」

場所：アルカディア市ケ谷

主催：(社) 未踏科学技術協会

申込み：(社) 未踏科学技術協会「特別講演会」係

Tel：03-3503-4681、

e-mail：mito-mot@sntt.or.jp

7/19-23

The 20th General Conference of the Condensed Matter Division

場所：Prague, Czech Republic

主催：European Physical Society

7/25-30

第 14 回超高速現象国際会議

場所：朱鷺メッセ、新潟市、新潟

主催：応用物理学会、日本物理学会他

問合せ：Tel:03-5841-4227、Fax:03-5841-4165

e-mail：fujiyama@femto.phys.s.u-tokyo.ac.jp

7/26-30

SCES704 The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems

場所：Karlsruhe, Germany

8/6-7

第 2 回材料研究会／東北・北海道支部合同研究会「高温超伝導薄膜・バルクの合成と物性評価技術」

場所：弘前大学理工学部（弘前市）

主催：低温工学協会／東北・北海道支部

問合せ：Tel&Fax：0172-39-3636、

e-mail:knaka@si.hirosaki-u.ac.jp（中島健介）

8/25-27

第 9 回超伝導・低温若手セミナー「今、学ぶ人のための超伝導講座 3-極低温材料評価と超伝導の先端・基礎・応用-」

場所：繋温泉 清温荘（盛岡市）

主催：低温工学協会／東北・北海道支部

問合せ：代表 Tel&Fax：019-621-6412、

e-mail：katagiri@iwate-u.ac.jp（片桐一宗）

8/30-9/10

SCENET, the European Network for Superconductivity 5th SCENET SCHOOL ON SUPERCONDUCTING MATERIALS AND APPLICATIONS

場所：Hotel Monterrey, Salamanca, Spain

主催：SCENET

問合せ：

SCENET, IMEM-CNR, Secretariat (I. Rinaldi);

Tel:+39-0521-269284;

Fax:+39-0521-254352

8/31

平成 16 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会テーマ付きセッション「高温超電導材料」

場所：仙台国際センター

主催：(社)電気学会 基礎・材料・共通部門 電気学会東北支部

問合せ：<http://www.iee.or.jp>、

<http://www.ecei.tohoku.ac.jp/Abumon>

（編集局）



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (5/20-6/20)

- 電気・電子機器の環境配慮設計 日本主導で国際規格 規格テコに競争力向上 5/25 日刊工業新聞
- 国際熱核融合実験炉 誘致へ抛出 1000 億円増額 政府 EU の断念期待 5/26 日本経済新聞
- 熱核融合炉 誘致なら抛出金増額 最大 500 億円 政府、EU に抵抗 5/27 読売新聞
- EU 対抗へ基本方針 ITER 誘致 関係閣僚が会合 5/28 電気新聞
- ITER 誘致 「来月ヤマ場」 茂木科技担当相 5/31 日経産業新聞
- ITER 誘致の国際会合 18 日ウィーンで 5/31 毎日新聞(夕)
- テラヘルツ波技術 光源などの発展が支え がん細胞判別に道 5/31 日刊工業新聞
- ISTEC が技術動向報告会 収穫期迎える超電導産業 ITER 開発着手が刺激 6/1 化学工業日報
- 実験開始から一年半 上海リニア宙に浮く? 本格導入めどたたず いまや“観光列車” 6/1 読売新聞
- シーメンス旭 検査時間 7 割短縮 MRI の新画像処理技術 6/1 日経産業新聞
- 高温超電導磁気センサー使用 日立が可搬型心磁計 6/2 日刊工業新聞、電気新聞、日経産業新聞
- ボイラ循環 電磁石でスケール防止 平成理研 水処理システム発売 6/4 日刊工業新聞
- 固体試料向け NMR 装置 ハイブリッド磁石実用化へ 物材機構・東大・京大・新日鉄 6/4 日刊工業新聞
- 超電導工学研究所 “ブーム” から 10 数年 実用化研究が本格化 6/4 日刊工業新聞
- 関大など装置開発 脳機能の変化 連続計測 梗塞で運動障害 回復過程を解明 6/4 日刊工業新聞
- リニモ、本線スイスイ 6/4 朝日新聞(夕)
- 謎の宇宙線起源探れ! 超高エネルギー粒子 国際観測計画 新理論開き可能性も 6/9 読売新聞
- 仏大統領、訪日に意欲 首脳会談 6/9 日本経済新聞(夕)
- 物理学ニッポン健在 世界流行 51 研究論文引用率高く 6/10 毎日新聞
- 永久磁石式の磁気回路 磁界 5.5 テスラ実現 NMR 装置 低価格化に道 6/10 日刊工業新聞
- 大型瞬低装置 補償切替え 世界最速 日新電機、北陸電力など 6/11 電気新聞
- 日新電機、太陽光を稼動 燃料電池風力など ネットワーク化図る 6/14 電気新聞
- 加速器計画貢献へ 東芝が電磁石製作 磁場発生性能確認 陽子衝突、正確に 6/15 電気新聞
- ITER 協議 ウィーンで 18 日次官級会議 6/16 電気新聞
- ITER 日本誘致 建設地決定先送り 6/19 朝日新聞
- 元素つなげて丸く 立体周期表ヒット 6/19 朝日新聞(夕)

平成 16 年 6 月 30 日、(財)国際超電導産業技術研究センターの辰田昌功、内藤 修 両常務理事が退任し、7 月 1 日付で辰田氏の後任に村山正純氏、内藤氏の後任に天沼 周次郎氏が就任した。

[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 (2004 年 5 月)

電力

American Superconductor Corporation (2004 年 5 月 13 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2004 年 3 月 31 日締めの第 4 四半期及び年間の収支について発表した。2004 年度の純収入は 97%増の 4,130 万ドル（前年度は 2,100 万ドル）。純損失は 2003 年度の 8,760 万ドルに対し 2004 年度は 2,670 万ドル。第 4 四半期については、純収入が、前年同期の 1,090 万ドルに対し、当期は 6%増の 1,160 万ドルであった。一方、純損失は前年同期 5,400 万ドル（非現金費用の 4,530 万ドルを含む）に対し、当期は 450 万ドルである。この結果同社は年度末時点で、現金及び現金等価資産、長短期投資併せて 5,260 万ドルを保有しており、長期負債はない。AMSC 社の線材事業部門は、2005 年度に入った段階でこれまでの新記録である HTS 線材受注残 55 万メートルを有している。これらは、2005 年度中には製造、出荷の予定である。同社社長 Greg Yurek は、「我々は 2005 年度にも同程度の追加発注を受けることを期待しており、これにより、2005 年度には 65 万メートルの HTS 線材を製造、出荷すると予想している。これは、2004 年度の 4 倍以上に相当し、HTS 線材産業としては世界記録となる。」と語った。

同社はさらに、電力システム事業部門が主要な米国半導体メーカーから 4 台の電力安定化システムを受注したと発表した。この 4 台の PQ-IVR™ (Power Quality-Industrial Voltage Restorer)は、D-VAR の一般産業向けシステムであり、2004 年 8～12 月に据付予定である。PQ-IVR™により、電圧変動等の電力品質に係る問題から半導体製造設備を保護して、生産性が格段に向上することが期待されている。

(出典)

“American Superconductor Reports Fiscal 2004 Fourth Quarter and Year End Results”

American Superconductor Corporation press release (May 13, 2004)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/10335061601763.html>

Nexans (2004 年 5 月 18 日)

Nexans は、ドイツ・ジーゲン近郊の RWE Energy 社 10kV グリッドに 10MVA の超電導限流器 (SFCL)を設置したと発表した。今後同地においてフィールド・テストが行われる。Nexans が溶融鋳造法により SFCL のコンポーネントを製造した。現在、110kV 級向けの開発が計画されている。

(出典)

“Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) with Nexans components goes on line at RWE grid”

Nexans press release (May 18, 2004)

<http://www.nexans.com/internet/Content.nx?f=h&contentId=796>

American Superconductor Corporation (2004 年 5 月 25 日)

American Superconductor Corporation は、北米の大手風力発電会社に 2 台の D-VAR システムを販売したと発表した。連続運転状態で 8 MVA、過負荷常置で 24 MVA の 2 台の D-VAR システムは送電グリッドの擾乱を緩和し誘導性の風力発電機によってもたらされる電圧変動を補償するためのものである。D-VAR はダイナミックに必要な無効電力を正確に送り込み、送電グリッドの電圧を望みの値に維持する。このシステムは、2004 年末までに設置、運転開始を予定している。

(出典)

“American Superconductor Receives Order for Two D-VAR® Voltage Control Systems for Large

North American Wind Farm”

American Superconductor Corporation press release (May 25, 2004)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/10335061601764.html>

NMR 及び MRI

Intermagetics General Corporation (2004 年 5 月 17 日)

Intermagetics General Corporation は、民間会社である MRI Devices Corporation (MRIDC)を現金及び株式 1 億ドルで買収した。MRIDC 社は MRI 用高周波コイル製造のリーディング会社である。この買収は、当局の承認待ちではあるが、直ちに利益やキャッシュ・フローにつながり、2004 年 5 月 31 日に始まる 2005 年度には全体でほぼ 3 億ドルの収入が予想される。IMGC 社社長 Glenn H. Epstein は次のように述べた。「この買収は相補的かつ戦略的なものである。MRIDC 社と当社子会社の Medical Advances, Inc. (MAI)を合体して高性能の高周波コイルやその他 MRI 関連アクセサリ設計、製造、販売の分野で医療デバイスに関するグローバル・リーディング・カンパニーを生み出していくつもりである。MAI は人体の腕とか手のような先端部用の高周波コイルの設計に強く、MRIDC は心臓血管や神経用コイルに力を入れている。さらに、最近の Invivo Corporation の買収によって戦列に加わった世界レベルの販売チームもあって、その戦力の増加は計り知れないものがある。」

(出典)

“Intermagetics to Acquire Privately Held MRI Devices Corporation For \$100 Million in Cash and Stock”

Intermagetics General Corporation press release (May 17, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=10215&storyId=114348>

Oxford Instruments Superconductivity (2004年5月26日)

Oxford Instruments Superconductivity (OIS)は、GE Healthcare 社が同社に対して生体外におけるダイナミック原子核分極(dynamic nuclear polarization (DNP))技術の実施権を独占的に供与する予定であると発表した。これによりオックスフォード社は世界で初めての DNP-NMR 装置を製造することができるようになる。DNP-NMR は GE Healthcare 社の研究室で試験されたものであり、生体外における分子解析に画期的なブレークスルーをもたらすものである。この新しい技術により、既存の NMR に比べて情報を多量に含む観測の感度を数倍に上げることが可能になる。この技術にはフリーラディカルの標識付けや低温、高磁場の組み合わせ環境下での測定が含まれており、S/N 比の大幅な改善ができる。特に、この技術は従来の NMR が ^{13}C や ^{15}N のような原子核に不感であったものを補完することができる。今回の合意の下で、オックスフォード社は当該技術（を使った装置）の開発、製造及び商品化を担当し、GE Healthcare 社はこの技術の中核をなす同社特許の試薬を提供する。

(出典)

“OXFORD INSTRUMENTS ANNOUNCES MAJOR TECHNOLOGY LICENSING DEAL WITH GE HEALTHCARE”

Oxford Instruments Superconductivity press release (May 26, 2004)

<http://www.oxinst.com/SCNNWP726.htm>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2004 年 5 月 21 日)

Superconductor Technologies は、Needham & Company, Inc 及び Merriman Curhan Ford & Co. によって裏書された一般株式 20,000,000 株の応募価格を 0.8 ドル/株とすると発表した。その結果、STI 社にとって最終的には 1,460 万ドルの収入となる。裏書人は追加で 3,000,000 株の購入オプション（期間 30 日間）を行使できる。

（出典）

Source:

“Superconductor Technologies Announces Pricing of Common Stock in Public Offering”

Superconductor Technologies Inc. press release (May 21, 2004)

<http://ir.suptech.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=114594>

加速器

U.S. Department of Energy and Fermi National Accelerator Laboratory (2004 年 5 月 11 日)

シカゴの近くにあるエネルギー省 Fermi National Accelerator Laboratory(Fermi Lab)と欧州ジュネーブにある核物理研究所 CERN は、Fermi Lab から CERN への最先端 9T の収束用 4 極子超電導マグネットの輸送を発表した。これは、Fermi Lab により設計製作される 9 台の同型マグネットの 1 台目であり、CERN で建設が進められ 2007 年に運転を開始する重粒子加速器(Large Hadron Collider (LHC))で中心的な役割を担うものである。このマグネットは、粒子加速器用次世代マグネットとして Fermi Lab の研究者たちが 10 年にわたり設計、製作、試験を行ってきた集大成である。米国内で製造される 9 台のマグネットの他、Fermi Lab では、日本の KEK で設計、製造されたより小型の類似の 18 台のマグネットも組み立て、CERN に輸送する予定。

（出典）

“First Fermilab LHC magnet leaves Illinois, bound for Geneva”

Fermi National Accelerator Laboratory press release (May 11, 2004)

http://www.fnal.gov/pub/presspass/press_releases/lhcmagnet_5-11-04.html

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 7 月のトピックス

—平成 16 年度 IEC/TC90 超電導委員会運営委員会開催—

IEC/TC90 超電導委員会（会長：斉藤茂樹／ISTEC 専務理事）は、平成 16 年 6 月 7 日、都内会議室において第 17 回 IEC/TC90 超電導委員会運営委員会を開催した。同会議にはわが国の超電導に係わる業界 8 団体及び研究関連 4 機関合計 12 機関が参加し、超電導標準化事業の継続的運営と IEC/TC90 幹事国としてのわが国のプレゼンスとについて審議された。

この会議において、まず、平成 15 年度事業報告書（案）、平成 15 年度収支決算（案）、平成 16 年度事業計画書（案）並びに平成 16 年度収支予算（案）が全会一致で承認された。平成 16 年度における特徴的な事業は、経済産業省の継続委託事業「超電導電力機器技術基盤の標準化に関する調査研究」、(財)日本規格協会からの諸事業「幹事国業務」、「国際回答原案作成」、「JIS 原案作成」、並びに(社)電気学会からの請負事業「送変電機器標準化事業」であった。これら平成 16 年度事業には、平成 16 年 9 月 1 日から 3 日米国アルゴンヌ国立研究所において開催予定の第 9 回 IEC/TC90 国際会議に向けた委員派遣・審議項目の調整・準備及び第 10 回 IEC/TC90 国際会議の日本への招致提案が含まれていた。

引き続きわが国の超電導標準化について話し合われた。わが国は 1990 年以来 IEC/TC90 の幹事国として「幹事国業務」を遂行してきた。この「幹事国業務」の意義は、超電導標準化を通じた国際貢献と同時に日本の超電導技術力のプレゼンスでもある。超電導関連市場が凡そ 4,000 億円規模に成長したことを背景に、「幹事国業務」における超電導標準化対象も従来の基本的試験方法規格から製品規格へと移行しつつある。しかし、超電導市場そのものの穏やかな成長率に鑑み、当面の標準化活動は研究開発プロジェクトとの一体的推進が主体になることへの理解がなされた。



この意味で、平成 16 年度の新規請負事業として実施する「送変電機器標準化事業」は、平成 16 年度で終了予定の国家プロジェクト「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」との一体的推進活動の一環であるとの理解がなされた。この事業の目指すものは、近い将来市場投入される高温超電導体を適用した超電導送変電機器に係わる試験一般要求事項（通則）の技術仕様書 TS 試案の作成である。

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

平成 16 年度低温工学協会第 1 回材料研究会報告

核融合科学研究所
炉工学研究センター
教授 西村 新

平成 16 年度低温工学協会第 1 回材料研究会は、「加速器用超伝導線材の開発と展望」をテーマとして、2004 年 5 月 27 日に成蹊大学で開催された。講師の方々を含め 17 名が参加された。

まず、高エネルギー加速器研究機構の土屋清澄氏から「LHC の現状とアップグレードの構想」について講演がなされた。今回のプロジェクトでは NbTi 線材への要求内容が厳しく、これまでに完納したのは日本の企業一社だけである。1,000 台を越える双極磁石や四極磁石、6,000 台を越える補正磁石などはすべて発注契約が終了し、CERN の厳しい指導監督下で製作が進められている。約 10 年先を見越した LHC のアップグレードとして、双極磁石の磁場を 15 テスラ(T)に増強する計画が紹介された。

続いて、古河電工の三好一富氏が「LHC 用線材の特性と製造」について講演された。これまでにない厳しい仕様を満たすために、多くの「改善」が積み重ねられ、最終的に 92 トンの NbTi 線材を CERN に完納された。約 500 本のビュレットの伸線加工時に何回断線があったか、どの様にして線径の振れ幅を押さえたか、作業者がいかにその腕を上げて行ったかなど、大変興味深い、実際の生産現場のお話を要領よくまとめてお話いただいた。

高エネルギー加速器研究機構の新富孝和氏が「LHC の高温超伝導電流リードの最近の状況」と題して講演された。LHC では NbTi 線材のコイルが加圧超流動ヘリウム (1.9 K) で冷却され、その熱負荷を低減するために、電流リードに Bi 系の高温超電導テープが用いられる。13 kA 用が 64 本、6 kA 用が 258 本で、補正コイル用の 600 A のものが 708 本である。13 kA の電流リードのモデル試験が行われ、設計が固められた。13 kA の電流リードはイタリアの CECOM 社が、6 kA と 600 A の電流リードはロシアの BINP (Nobosibirsk) が製作を担当している。

物質・材料研究機構の竹内孝夫氏が「将来の加速器用化合物系超伝導線材の開発」について講演された。将来の加速器用化合物系超伝導線材として開発が進められている Nb₃Sn および Nb₃Al 化合物系線材の開発状況が紹介された。Restacked Rod Process (RRP) で作製された Nb₃Sn の non-Cu J_c は 12 T と 15 T でそれぞれ 3000 A/mm²、1500 A/mm² を越えており、加速器用 Nb₃Sn 線材の中で最も高い non-Cu J_c を示している。さらに、21 T で 330 A/mm² を越えて 1GHz NMR マグネットの有力な候補材料でもある。Nb₃Al 線材は 1,000 °C 以上での高温短時間の変態熱処理によって少なくとも高磁界側で顕著な non-Cu J_c の向上が達成されている。今後、変態熱処理の最適化により 12 - 15 T 領域での non-Cu J_c の改善が進められるものと期待されている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

未踏科学技術協会、第 8 回超伝導科学技術賞授与

未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会（会長：太刀川恭治）は、2004 年 6 月 21 日、日本科学未来館みらい CAN ホールにて、第 30 回シンポジウム開催に合せて、第 8 回超伝導科学技術賞を 6 件合計 16 名に授与した。

- 受賞者と受賞対象は、つぎの通りであった。
- ◇長村光造：超伝導体の材料科学的研究と特性測定法標準化に関する成果
 - ◇外村 彰：超伝導磁束線の直接観察に関する研究成果
 - ◇宇治信也：磁場誘起超伝導の発見
 - ◇内藤方夫：高温超伝導体分子線エピタキシー成長技術の確立
 - ◇藤巻 朗、吉川信行、寺井弘高、萬 伸一、橋本義仁、亀田義男：超伝導単一磁束量子（SFQ）回路設計インフラストラクチャの構築
 - ◇島田達夫、杉本昌弘、高木 亮、伊井秀樹、木村昭夫、坪内宏和：高エネルギー加速器用高品質超伝導導体の製造



特に、「超伝導単一磁束量子（SFQ）回路設計インフラストラクチャの構築」に対する授与の理由は、大規模 SFQ 回路をトップダウン的に設計する手法を世界に先駆けて構築したこと及び同時に自動配置配線や電流密度解析などのツールも開発した業績にある。これらの技術は、従来の 10 倍以上大きい規模の回路を高効率で信頼性高く設計できるものとして、また、半導体を凌ぐ集積回路へ向けた基盤技術として注目されている。さらに、これらの成果は、(財) 国際超電導産業技術研究センター超電導工学研究所が進める NEDO 委託プロジェクト「低消費電力型超電導ネットワークデバイス開発」の一環でもあり、今後の進展に大きな期待が寄せられている。

また、「高エネルギー加速器用高品質超伝導導体の製造」に対する授与の理由は、現在ジュネーブにある欧州原子核研究機構（CERN）に建設中の高エネルギー衝突型ハドロン加速器（LHC）に求められる高エネルギー加速器用超電導磁石に使用される高品質な超電導導体の量産技術を確立した業績にある。特筆すべきことは、この LHC 用超電導導体を供給する世界数企業のうち古河電気工業（株）が最も優れた製造技術を確立したと評価され、LHC プロジェクトの力強い技術面でのリーダーとなっている点である。こうしたわが国の誇るべき技術力は、LHC 建設の実現に留まらず、間もなく実施される国際熱核融合炉（ITER）などの巨大プロジェクトの技術展開に不可欠なものであり、大いに期待されている。

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学協会、2004 年度総会において同協会褒賞授与

低温工学協会（会長：山藤 馨—九州大学名誉教授）は、2004 年 5 月 24 日横浜国立大学で開催された 2004 年度第 70 回低温工学協会総会において、低温工学・超電導工学に関連する論文賞、業績賞、奨励賞及び優良発表賞の各賞合わせて 21 名に低温工学協会褒賞を授与した。

各賞と受賞者は、つぎの通りであった。

◇論文賞

—受賞者：都丸隆行、鈴木敏一、春山富義、新富孝和、山本 明、小山知大、李 端、松原洋一

—対象論文「小型冷凍機の振動解析」（低温工学 第 38 巻 12 号 693-702 頁）

◇奨励賞

—受賞者：菊池章弘

◇業績賞

—受賞者：新富孝和（学術業績）、荻野 治（工業技術業績）

◇優良発表賞 受賞者と対象発表

—大屋正義「超流動ヘリウム冷却 LHD 導体コイルの冷却安定性評価(4)-冷却安定性試験の結果」

—荻津 透「J-PARC ニュートリノビームライン用超伝導磁石システム」

—木須隆暢「YBCO 線材における臨界電流特性の局所観察と巨視的電界-電流密度特性に関する検討」

—下山淳一「RE123 バルクの臨界電流特性の制御」

—中川 貴「磁気冷凍による水素液化システム用磁気冷媒としての希土類窒化物の特性(1)」

—畠山秀夫「In-situ-PIT 法 MgB₂ 線材における不純物添加効果」

—甘日出好「SQUID を用いた非破壊検査技術—炭素繊維系複合材料への適用—」

—平野直樹「5MVA-5MJ 瞬低補償 SMES システムの開発」

—山田 穰「IBAD-PLD 法 YBCO 線材の開発—実用化の検討と取組み—」

—山本 寛「室温超伝導を目指した有機分子/金属超薄膜界面」



特に、高エネルギー加速器研究機構（KEK、機構長：戸塚洋二）は、ひとつの機関としては最多の論文賞、学術業績賞及び優良発表賞を授与された。すなわち、論文賞は、KEK（都丸隆行、鈴木敏一、春山富義、新富孝和、山本 明）、住友重機械工業㈱及び日本大学で構成された低温重力波研究グループの共同研究成果に係わる論文に対するものである。また、新富孝和名誉教授は、長年にわたる低温工学超電導分野への貢献により、同協会の学術業績賞を受賞した。さらに、荻津 透助教授は、J-PARC ニュートリノビームライン用超伝導磁石システム計画に係わる学会発表に対して、優秀発表賞を受賞した。

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導エレクトロニクスのおはなし（その 3）

SRL/ISTEC

特別研究員 蓮尾信也

その 3：超電導エレクトロニクスの具体例（その 2）

前回に引き続き超電導エレクトロニクスの具体例を紹介する。

③ 電磁波検出

ジョセフソン素子は微弱な電磁波にも敏感に応答する。とくにミリ波・サブミリ波とよばれる周波数領域（数 10～数 100GHz）で威力を発揮する。このような周波数領域を日常生活で利用することはまだあまり多くないが、人々の生活に非常に重要な貢献をする場合がある。たとえば、大気中の中層圏に存在するオゾン層には、オゾン分子 O_3 のほかにもオゾン破壊物質である ClO や HCl などの分子が漂っており、これらの分子が 100GHz から 1THz 程度の微弱な電磁波を放出している。実際に 4K に冷却されたジョセフソン素子を用いてオゾン分子の発する電磁波



図 5 ジョセフソン素子を用いたオゾン観測装置¹³⁾

(110GHz) を測定し、そのデータから大気中のオゾン濃度を求める装置が実現されている(図 5)。¹³⁾ つくばの環境省国立環境研究所と北海道「りくべつ宇宙地球科学館」内の陸別成層圏総合観測室に設置され、24 時間連続観測が行われている。高度 20km～80km 上空のオゾン分布が観測できる。

また、天文科学の分野でもジョセフソン素子を用いた電磁波観測技術は大きな威力を発揮する。¹⁴⁾ 星雲を望遠鏡で見ると、多くの星がいろいろな形を形成しているのが分かる。しかし、これを可視光線ではなく異なる波長で捉えてみると違った形に見える。X 線や赤外線などでの観測も行われているが、それらに比べて波長の長いミリ波やサブミリ波で星雲を捉えると、星の誕生の初期段階を観測することができる。パラボラアンテナを多数個並べて宇宙からの電波を捉えることにより宇宙の多くの謎が解明されようとしている。

④ 電圧標準

ジョセフソン素子に周波数の分かっている電磁波を照射すると、その周波数に比例した電圧がジョセフソン素子両端に発生する。周波数 f と電圧 V との間には、 $f = (2e/h) \cdot V$ という関係が成り立つ。その比例係数は物理定数（プランク定数 h と電子の電荷 e ）だけで決まっている。周波数は 10 桁以上の高精度で決めることができるので、これらの物理定数さえ精度よく与えてやれば、物理定数と同じ精度で正確な電圧を作り出すことができる。現在、 $2e/h$ の値は 483597.98 GHz/V と定義

されている。¹⁵⁾ ジョセフソン素子を多数個直列接続してマイクロ波を照射すると、全ての素子の電圧が足し合わさって大きな電圧を得ることができる。たとえば、48.359798 GHz のマイクロ波を照射すると、前述の式の関係に従って、ジョセフソン素子一個に $100\mu\text{V}$ の電圧が発生する。これを 10,000 個直列接続して 1V の標準電圧が発生できる。産業技術総合研究所で維持運用している電圧標準装置では、10V を 1 億分の 1V の精度で校正することができる。¹⁶⁾ 現在、日本をはじめ世界の先進国のほとんどはこの方式による国家標準を採用している。超電導材料として Nb もしくは NbN を用いたジョセフソン素子が使われることが多い。また、米国の HYPRES 社からは 1V および 10V の標準電圧を発生する標準電圧発生装置が販売されている。¹⁷⁾

⑤ デジタル応用

これまで述べてきた数々の応用から読者はお気づきと思うが、超電導素子の応用分野はいずれも他の手段では実現できない究極の性能を追求していることが特徴である。超電導素子を用いたもう一つの重要な応用、それがデジタル応用である。人々の生活の中でデジタル回路がいかに重要な役割を果たしているかはいまさら述べるまでもないが、超電導素子の目指すものは究極の高速性能を実現するデジタル回路である。

コンピュータ用の演算素子は、リレー、真空管、トランジスタと進歩してきた。その演算速度はこの 50 年間で約 10 億倍になった。乗り物の速度が速くなったとはいえ、200 年前の駕籠（かご）と現代の新幹線を比較してもわずか 50 倍しか変わらない。ジェット機ですらやっと 200 倍である。コンピュータの進歩がいかに大幅であるかが分かる。最高速のトランジスタを用いて世界最高速のスーパーコンピュータが作られている。地球シミュレータである。¹⁸⁾ 一秒間に 40 兆回もの浮動小数点演算が出来る(40Tflops)。それでも満足できないユーザはさらに高速のコンピュータの実現を待ち望んでいる。

1960 年代から現在に至るまで、Si トランジスタが高速演算素子の主役であった。その主役の座を取って代わろうと狙う高速素子の候補はこれまでに数多く出現した。しかし、Si トランジスタの進歩は目覚しく、Si 以外の素子は出番を迎えないまま消え去って行った。いま、Si に立ち向かう挑戦者として最先端を走っているのがジョセフソン素子である。ジョセフソン素子を超高速演算素子として使う試みは 1970 年代前半から始まった。いわゆるジョセフソンコンピュータを作る試みが行われた。これはジョセフソン素子の両端に電圧が発生していない超電導状態を二進数の“0”に対応させ、電圧が発生している状態を“1”に対応させるものである。この方式を用いて 4 ビットマイクロプロセッサ(MPU)や 8 ビットデジタルシグナルプロセッサ(DSP)が実現された。^{19), 20)} 図 6 に 4 ビット MPU を示す。これはクロック周波数 1GHz で動作した。1980 年代末の当時としては Si や GaAs のトランジスタを用いたプロセッサに比べて十倍以上高速であった。しかし、この方式ではクロック周波数を上げることに限界があり、5GHz 以上は困難であることが分かってきた。

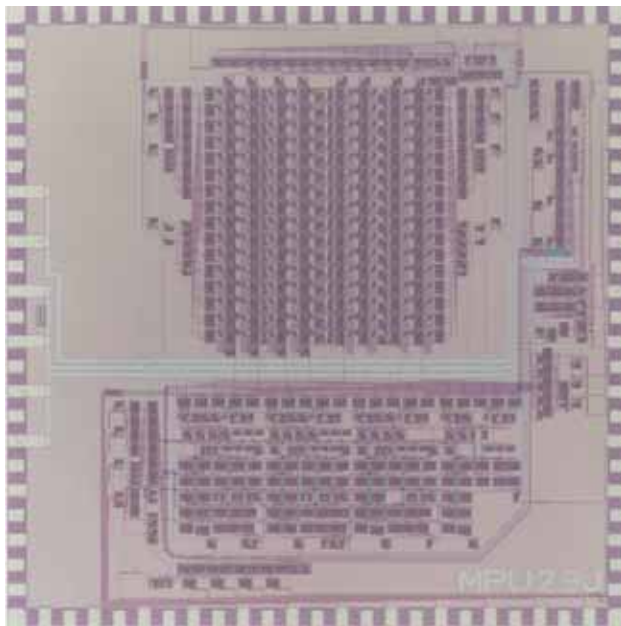


図 6 世界初のジョセフソン 4 ビット MPU¹⁹⁾

ジョセフソン素子を用いて論理演算を行わせる方式には、大きく分けて二通りの方法がある。一つは、先に述べた電圧状態と超電導状態を切り替える方式である。もう一つは、前回の SQUID のところで述べた単一磁束量子 (Single Flux Quantum: SFQ) の有無を二進数の“1”と“0”に対応させるものである。前者の回路は一度電圧状態になると入力信号が切れても状態が保たれることから、鍵を掛けるという意味でラッチ型論理回路と呼ばれている。後者は SFQ 論理回路という。SFQ 論理回路の研究も 1970 年代から行われていたが、本格的に研究が始まったのはラッチ型論理回路の方式に限界が見えてきた 1990 年代の半ばからのことである。SFQ を用いたデジタル回路は、Si トランジスタでは実現不可能と思われる高速動作を実現することができる。クロック周波数が 100GHz 程度の次世代高速デジタル回路の主役となることが期待されている。

今回は、章を改めてこの SFQ 論理回路について述べる。

参考文献

- 13) http://edevise.fujitsu.com/fvd/eco/iso_100.html
- 14) http://www.nro.nao.ac.jp/Misc/radio_obs.html
- 15) <http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0001369/0/0306denatsu.pdf>
- 16) http://www.aist.go.jp/aist_j/museum/keisoku/jyosefu/jyosefu.html
- 17) <http://www.hypres.com/>
- 18) <http://www.es.jamstec.go.jp/esc/jp/>
- 19) S. Kotani et al.:Digest of ISSCC p.150 (1988)
- 20) S. Kotani et al.:Digest of ISSCC p.148 (1990)

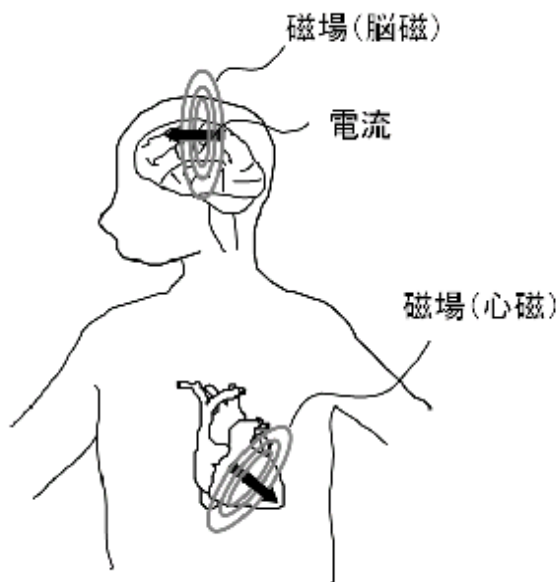
[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：生体磁気ってなんですか。また、どのようにして検出するのですか？

A：人の体では常に生命活動を維持するために、電気的な活動が起こっています。例えば、心臓では体中に血液を送るために、心筋が伸びたり縮んだりしてポンプの役割をしています。また、脳では神経細胞がつくるネットワークにより目や耳、皮膚などでとらえた外界からの刺激に反応したり、ものを考えたりしています。また、体を動かすために手や足などの筋肉を動かします。このように人の体の中では様々な電気現象が起り電流が流れています。電流はその流れている方向に電位差があり、また同時に右ねじの法則から電流のまわりには磁場ができています。皆さんは病気の時以外でも健康診断などで心電図を受けた経験をお持ちだと思います。この心電図は体の表面に現れた電位差を計測するもので、数 mV の電圧信号が得られます。心臓からの電気信号は約 100 年前に計測されましたが、当時はこの電圧を計測することはかなり困難なことでした。しかし、いまではトランジスタの発達により非常に簡単に計測できる信号となっています。一方、生体の電流がつくる磁場はコンパスで検知できる地磁気の大きさに比べて 10 万分の 1 よりも小さく、直流から数 100Hz 程度の低周波信号であるため測定できませんでした。しかし最近では、超電導の技術が進み、超電導量子干渉素子(スクイッド)と呼ばれる超電導の特性を使った高感度な磁気センサが実現されました。これにより他の磁気センサでは検出できなかった微弱な磁場を容易に計測できるようになりました。生体の電気的特性を考えると電圧に関した抵抗値は組織によって大きく異なるため、心臓での信号が体の表面に到達するまで大きく変形を受けてしまいます。しかし、磁場に関しては生体でも空気中에서도ほとんど変化をうけることがありませんので、きれいな信号として観測ができます。このため、生体磁気を計測して心臓や脳の電気的な活動をより詳細に調べることが活発に行われ始めています。詳細に調べるためには、デジタルカメラの画素数と同じようにセンサをたくさん並べて計測する必要があります。このために、生体磁気計測ではスクイッドを 100 個近く並べて同時に計測しています。これにより脳や心臓のどこから信号がでているのか、あるいは病気によってどのように変化しているのか詳しくわかるようになってきたわけです。



回答者：岡山大学

工学部 電気電子工学科

教授 塚田啓二

[超電導 Web21 トップページ](#)