

掲載内容（サマリー）：

特集：SQUID 応用の最新動向

- HTS-SQUID を用いた高温超電導線材検査システムの開発
- HTS-SQUID を用いた直交磁場印加型非破壊検査システムの開発
- HTS-SQUID 磁性金属異物検査システムの開発
- STM-SQUID 顕微鏡の開発
- 磁気マーカーを用いた液相免疫検査システムの開発
- ハンディータイプ心磁計のための高温超電導 SQUID システムの開発
- SQUID 脊髄磁場計測装置開発の現状

- 超電導関連 8-9 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（6/18-7/16）
- 超電導速報—世界の動き（2010 年 6 月）
- 標準化活動 8 月のトピックス
- 「未踏科学技術協会低温工学協会合同ワークショップ開催」報告
- 隔月連載記事—超電導モータの過去・現在・未来（その 4）
- 読者の広場(Q&A)—磁気シールドなしで脳磁場を計測するシステムが開発されたと聞きましたが、どのような技術でしょうか？

[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

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

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

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



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

特集：SQUID 応用の最新動向

「HTS-SQUID を用いた高温超電導線材検査システムの開発」

財団法人国際超電導産業技術研究センター

超電導工学研究所デバイス研究開発部

主管研究員 波頭経裕

HTS-SQUID は液化窒素温度で動作可能である取り扱いや、保守の観点では優位性が考えられるが、10 fT 以下の磁気感度を有する LTS-SQUID と、それより 3 桁以上感度は劣るものの、冷却を必要としないフラックスゲート磁気センサの狭間にある。優位性を見込めるアプリケーションを見いだすには、HTS-SQUID の感度を上げることが必要である。

我々は、これまで培ってきた最大で 4 層の超電導層と 4 層の中間絶縁層の積層構造プロセス技術¹⁾を SQUID に応用することで、高感度な HTS-SQUID を実現し、グラジオメータの多チャンネル化にも成功した。この SQUID を応用して実現したのが高温超電導線材非破壊検査システムである^{2),3)}。

図 1 は積層化技術を用いて作製した SQUID グラジオメータである。ランプエッジ接合を用いているため、多チャンネル化する際にレイアウトに自由度があること、耐磁場性能が高いことが特徴である。さらに、フィードバックコイルを検出コイル上に作製することにより、隣接するグラジオメータとの相互干渉を抑制することができる。

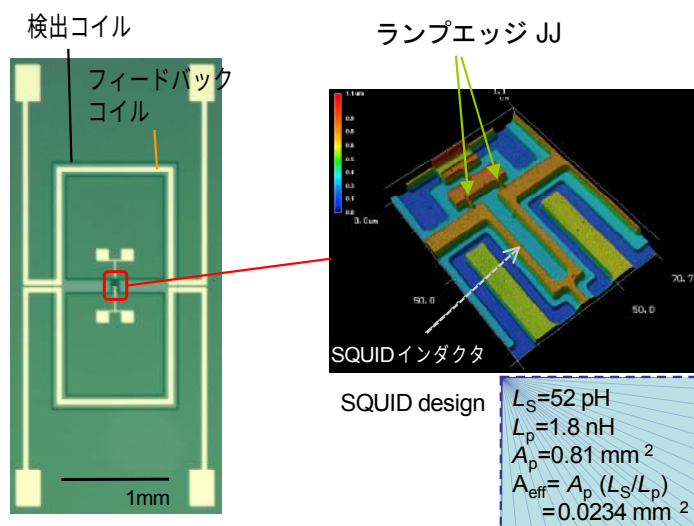


図 1 積層技術を用いた SQUID グラジオメータ

渦電流法非破壊検査装置用高感度センサとしてこのグラジオメータを 5 チャンネル用いたのが、図 2 に示す高温超電導線材検査システムである。この装置はすでに線材開発をサポートするツールとして実際に使用されている。本装置は 500 m の線材に対応するため、直径 480 mm のリール間で線材を送りながら計測できるよう構成されている。超電導テープ線材は、ハステロイ合金基板の上に中間絶縁層を介して Y 系超電導層があり、さらにその上を Ag 安定化層で覆われている。超電導層の欠陥を検出するためには、線材は超電導状態に冷却する必要がある。線材を送りながら 2 台の

冷凍機に接続された冷却ステージと、液化窒素で冷却された補助冷却機構によって熱接触で冷却され、SQUID 下での誘導コイルによる誘導電流は主に超電導層を流れるようになっている。この誘導電流は超電導層内の欠陥を迂回して流れ、そこに生じる垂直磁場成分の傾きを SQUID で検出する。グラジオメータを用いることで、磁気シールドのないシステムを実現している。最大計測速度は 80 m/h である。計測速度は冷却速度に律速されており、低温プローバやサンプラーシステムで培われた熱遮蔽技術が活かされている。電力機器応用を想定し、AC ロスを低減するために 5 mm 幅線材は 1 mm 幅のフィラメント状に分割加工されている。この線材の各フィラメント内の欠陥を、個別に高速で検出できるよう、5 つの 1 mm 幅グラジオメータが配置されている。図 3 は 5 分割線材の分割加工前後で計測した例であるが、フィラメント加工後に剥離欠陥やフィラメント間ショートが新たに検出されている。波形形状である程度欠陥種別を判別できる他、長尺線材の評価を効率よく行うため、ロックオフ自動復帰機構や、しきい値設定による自動欠陥分布集計機能を有している。

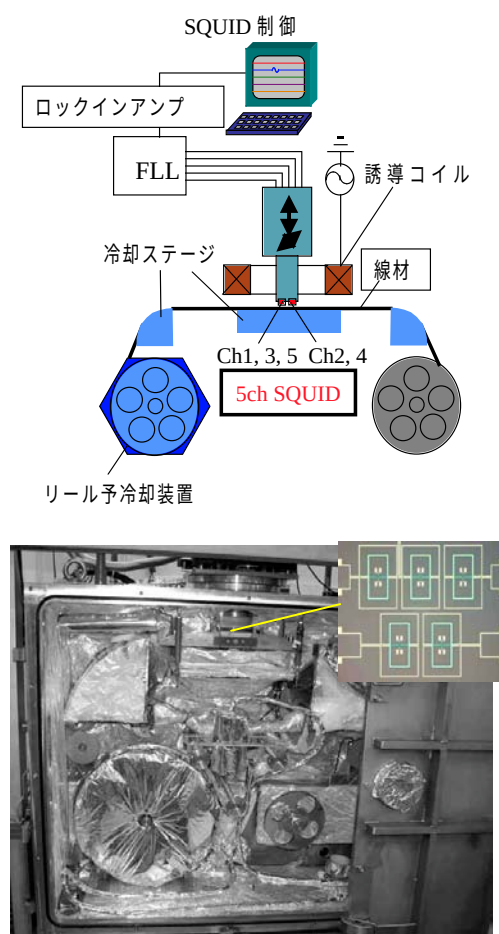


図 2 システム構成と真空チャンバー内およびグラジオメータアレーの写真

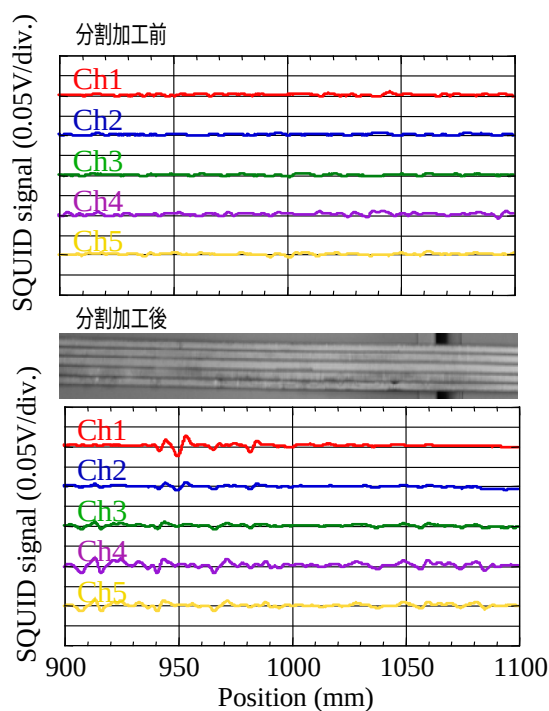


図 3 超電導テープ線材の検査例

参照：

1) K. Tanabe *et al.*, "Advances in High- T_c single flux quantum device", IEICE Trans. Electron., vol.E91-C, p.280, 2008.

2) T. Hato *et al.*, “NDE of coated-conductor using HTS SQUID array”, Physica C 469 (2009) 1630-1633.

3) T. Hato *et al.*, “Non-Destructive Testing of YBCO Coated-conductor by Multi-Channel HTS SQUID Gradiometers”, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 19, no. 3, pp. 804-807, June 2009.

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：SQUID 応用の最新動向

「HTS-SQUID を用いた直交磁場印加型非破壊検査システムの開発」

岡山大学大学院
自然科学研究科
教授 塚田啓二

従来の磁気を用いた非破壊検査は対象物に数 kHz 以上の高周波磁場を印加して、対象物に発生した磁場を計測するものであるが、表皮効果により表面に限定されていた。このため現在では、深部あるいは対象物全体の検査を可能とする低周波計測の研究開発が盛んになってきている。対象物に発生する磁場は、金属で発生する誘導電流によって 2 次的に発生する磁場だけでなく、物質の磁性によるものがある。物質の磁性には強磁性や、常磁性、反磁性等がある。鉄鋼材料などの強磁性体の欠陥検査では、亀裂などの欠陥ではなく、欠陥に至る前の金属疲労を微弱な透磁率変化により検出できることが分かってきた。また、磁化率として非常に小さい反磁性特性を利用して穀物や土壌の水分量を計測できることも明らかにしてきた。このように磁気を用いた非破壊検査は低周波化と高感度化が重要になってきている。こうした磁気特性の計測において、印加磁場強度を上げれば信号も大きくすることはできる。しかし、コンパクトな計測システムが実現できると期待されている HTS-SQUID では、印加磁場を大きくすると磁束トラップによる雑音増大が起りやすいため、耐磁場強度特性の向上が必要とされる。この課題を解決する方法として、図に示すように SQUID と検出コイルを分離する方式を取り、ここで検出コイルの検知する磁場成分と印加磁場成分の方向を直交させ、さらにアライメント微調整機能を持たせたシステムを開発した。除去しきれなかった印加磁場成分は信号解析により除去する解析方法を開発することにより、物質からの真の磁場成分のみを得られるようになった。現在、耐磁場印加特性の高い SQUID の開発を進めており、さらにシステム構成の最適化により、従来にないコンパクトで高精度の磁気特性計測システムを実現できるものと思われる。

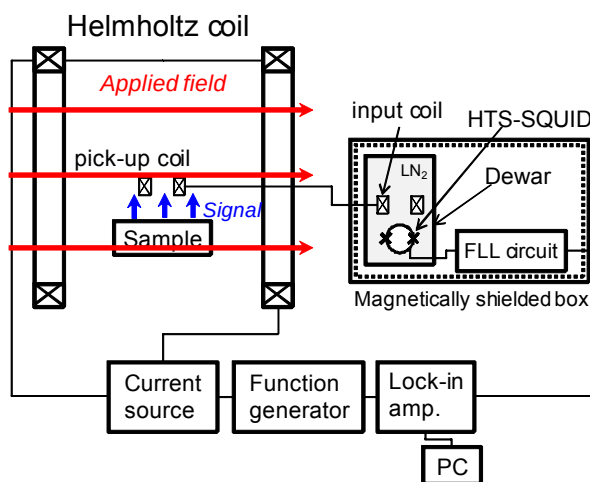


図. HTS-SQUID を用いた直交磁場印加型非破壊検査システム

特集：SQUID 応用の最新動向

「HTS-SQUID 磁性金属異物検査システムの開発」

豊橋技術科学大学
工学部
教授 田中三郎

超高感度高温超電導 SQUID 磁気センサを開発し、従来技術では不可能であった工業製品内の 50 ミクロン程度の極小磁性金属を、高感度で検出することが可能な実証装置の開発を行っている。リチウムイオン電池や IC 封止材、セラミックパッケージなどのハイテク製品に 100 ミクロン程度の金属異物が混入すると、信頼性が低下することが明らかになっている。リチウムイオン電池では 2006 年にノート PC の発火事故が相次ぎ、その原因が製造過程で混入した金属極微小金属であった可能性が高いことが報告されている。また、プリウスなどに代表されるハイブリッド車の大容量蓄電池には現行機種ではニッケル水素電池が使用されているが、同じ電力容量の体積を 1/2 にできるリチウムイオン電池の利用が検討されており、信頼性の確保が重要な課題となっている。セラミックスパッケージにおいても、金属微小異物が原因で焼成後にクラックが生じる、あるいは使用中に応力破壊することがあるとわかっている。しかしながら、毎分 30 m 以上での製造ラインで、これに適用できる検出技術がなく、超電導技術を用いた SQUID 磁気センサによる方法が期待されている。我々は平成 20-23 年度文科省 浜松・東三河地域知的クラスター創成事業（第 II 期）の助成を受け、工業製品向け SQUID 異物検査装置の開発を行っている。

装置開発のポイントは磁性金属異物からの磁気信号を大きくするために、特殊な顕微鏡タイプのクライオスタットを開発したことである。図 1 に示すように、クライオスタットの先端部には、サファイアロッドに搭載した 2 つの平面型高温超電導グラジオメータが設置されており、SQUID と対象異物までの距離を 1～2 mm まで短縮することができた。

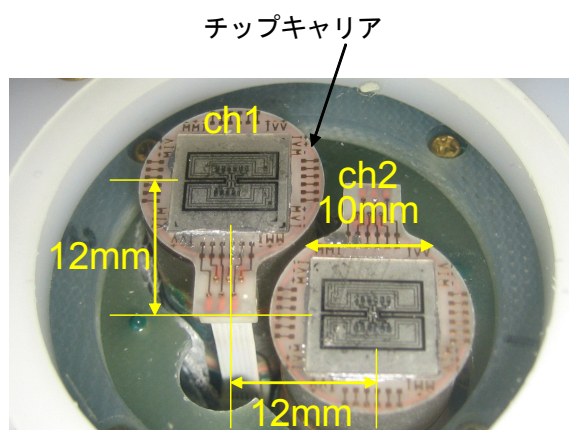
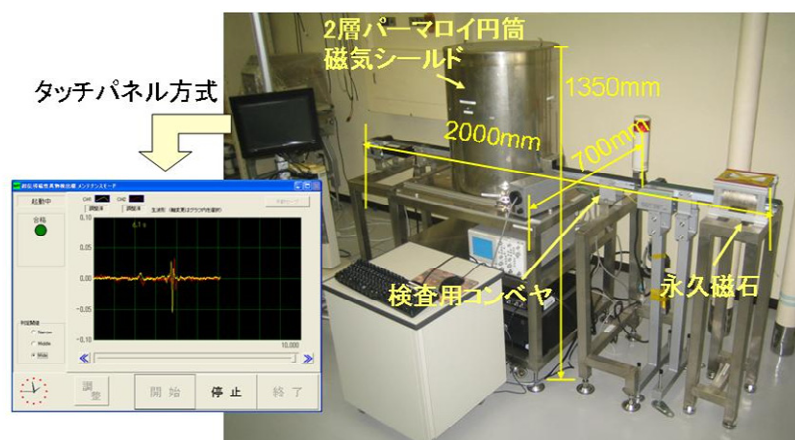


図 1 クライオスタット先端部写真

図 2 に試作機の外観写真を示す。本システムは永久磁石、パーマロイ磁気シールド内の SQUID グラジオメータ、および 2 つのベルトコンベヤから構成されている。大きさはおよそ W2000×D700×H1350 で、操作および表示用のタッチパネルは独立している。



リチウムイオン電池正極材用 金属異物検査装置

図 2 試作機の外観写真

この異物検査装置で、どのくらいの大きさまでの異物を検出できるかを評価するために、大きさの異なる鉄球 (S50C) $\phi 40 \mu\text{m}$ 、 $50 \mu\text{m}$ 、 $75 \mu\text{m}$ を用意した。この鉄球を、異物検査装置のグラジオメータの ch1 直下約 3 mm 離れたところを通過したときの信号を検出した。このとき、SQUID は図 3 のように、対角配置となるように設置されている。ch1 の出力信号と異物の大きさの関係から、検出可能な最小サイズを評価した。図 4 にグラジオメータで検出した鉄球からの信号を示す。鉄球の直径が小さくなるにつれて、磁気信号も小さくなるが、 $\phi 40 \mu\text{m}$ においても十分な感度があることがわかる。

今後、実用化に向けて、より幅の広いものに対応できるようにマルチチャンネル化を図っていき

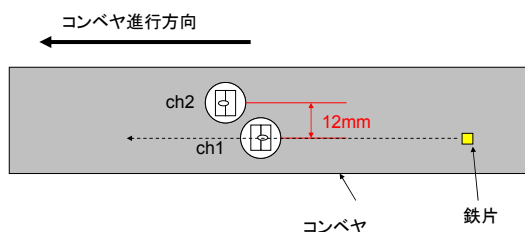


図 3 検出部上面図

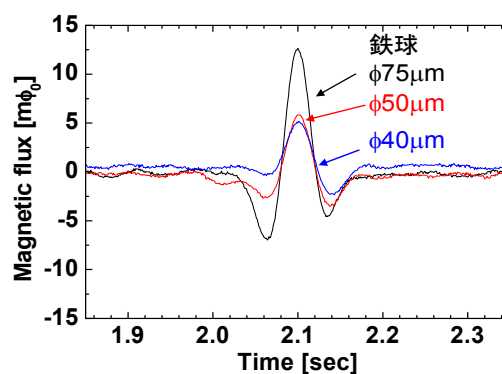


図 4 検出部上面図

特集：SQUID 応用の最新動向

「STM-SQUID 顕微鏡の開発」

大阪大学大学院
基礎工学研究科
教授 糸崎秀夫

SQUID 応用のひとつに磁気顕微鏡がある。磁気ハードディスクの高密度化やナノ磁気ビーズ開発、またスピントロニクスデバイス開発など、磁気材料やデバイスの微細化研究が進んでおり、これら磁気材料の評価として、磁気構造の微細な様子を観察することが必要となっている。磁束密度が大きくても、構造が微細化すると、そこに有する磁束量が減少するため、微小な磁束を捉えることが必要となり、SQUID を用いた磁気顕微鏡の開発が求められている。

SQUID 顕微鏡は微小な SQUID ループまたは微小なピックアップループをセンサヘッドとして開発が行われ、数ミクロンから数十ミクロンの分解能を有する SQUID 顕微鏡が開発され、磁気インクで印刷された紙幣の画像や超電導体にできた磁束の観察が行われた。

大阪大学と NIMS（物質材料研究機構）では、SQUID 顕微鏡の空間分解能を改善するべく、センサヘッドとして高透磁率の鋭いニードルを用いて試料表面を走査し、ニードルの先端とは反対側の根元に HTS-SQUID を置いて磁気を図る方式を開発し、高分解能化を進めた。その結果、ミクロンサイズの観察ができるようになり、磁気トナーなどの観察に成功した。ここで分解能を決める要因の一つとして重要な点は、いかにニードル先端を試料に近づけるかであった。針を試料に接触させると簡単に変形してしまうため、ニードル先端を光学的に観察しながら試料に接近させてもミクロンオーダーが限界である。そのため、ニードル型 SQUID 顕微鏡の空間分解能の限界はミクロンスケールとなり、ニードル先端と試料の距離をナノスケールで制御する技術の導入が必要であった。

そこで、開発したものが、STM-SQUID 顕微鏡である（図 1）。すなわち、ニードル先端と試料の間にバイアス電圧を印加し、先端を試料に近づけて、トンネル電流が観察されるところで電流を一定に保ち試料を走査させることにより、ニードル先端と試料表面をナノスケールで一定に保つことが可能となる。これは STM（トンネル顕微鏡）そのものである。この状態で、ニードルの根元に設置した SQUID により磁場を観察すれば、ニードル先端付近の磁場も同時に観察が可能である。すなわち、STM による表面像取得と、ニードル型 SQUID 顕微鏡による磁気像取得が同時に可能となった。この結果、SQUID 顕微鏡の空間分解能は大きく改善された。図 2 は、ハードディスクの磁気構造を観察したものである。明瞭に磁気構造が観察されている。

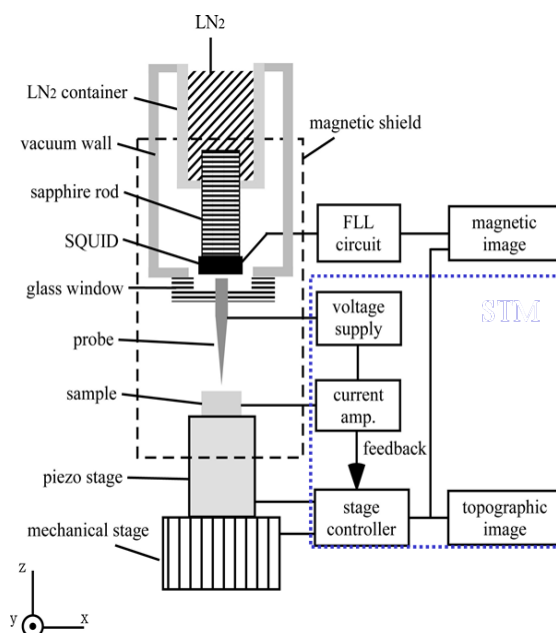


図 1 STM-SQUID 顕微鏡の構成図

高空間分解能な磁気顕微鏡としては、MFM（磁気力顕微鏡）があり、AFM（原子間力顕微鏡）などと併用することにより高解像度な磁気観察が行われている。MFM の場合にはセンサヘッドとして微小な磁石をもちいて試料との磁気力を利用しているため、表面付近では、原子間力の影響をうけることなどから、凹凸の試料では、表面形状の影響が大きくなる傾向がある。一方、STM-SQUID 顕微鏡では、磁気そのものを観察しているため、表面の影響はみられず凹凸のある試料にも十分微小磁気の観察が可能である。

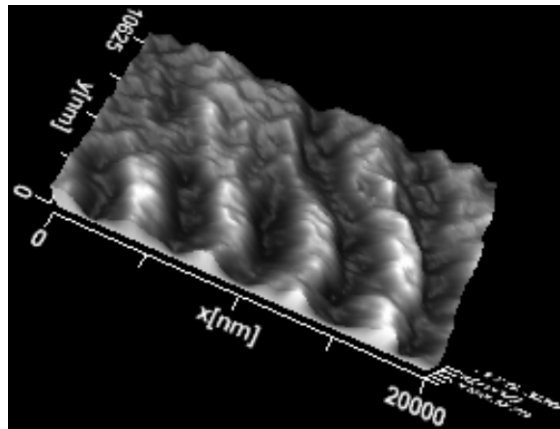


図 2 STM-SQUID 顕微鏡による磁気ハードディスクの磁気像

このように、STM-SQUID 顕微鏡は、これまでにない優れた空間分解能を有する磁気顕微鏡として開発が進んできており、今後多様な磁気材料の観察手段としての利用が期待されている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：SQUID 応用の最新動向

「磁気マーカーを用いた液相免疫検査システムの開発」

九州大学
システム情報科学研究所
教授 円福敬二

血液検査等の医療検査において、疾患由来の蛋白質や病原菌等のバイオ物質を抗原抗体反応を用いて検出することを免疫検査と総称している。この検査においては、バイオ物質（抗原）に選択的に結合する検査抗体を用いてバイオ物質の種類と量を検出する。この際、抗体はマーカーで標識されており、マーカーからの信号を測定することにより抗原抗体の結合反応が検出される。現在は光学マーカーを用いた光学的な検査法が用いられているが、これに代わる方法として、ナノメートルサイズの磁気マーカーを用いた磁気的な免疫検査法が近年注目されている。

この磁気的な検査法には光学的手法にはない二つの大きな特長がある。一つは磁気マーカーは微小な磁石と見なすことができ、その信号は大きさと方向を持ったベクトル量になることである。この性質を磁気マーカーの溶液中でのブラウン回転運動と組み合わせることにより、光学的手法で必要とされる”洗い工程”を省いた液相での検査が可能になる。”洗い工程”には多くの手間と時間を必要とするため、これを省くことにより迅速な検査が可能となる。もう一つの特長は、光を透過しない試料でも検査が可能になることであり、全血での検査や体内診断への展開も研究されている。

図 1 に我々の開発している液相免疫検査法の模式図を示す。マイクロメートル程度のポリマー粒子の表面に固定用抗体を付けており、これに抗原を結合する。この後に検出用の磁気マーカーを投入すると、一部は結合して結合マーカーとなり残りは未結合マーカーとなる。未結合マーカーは溶液中で高速にブラウン回転するのに対して、結合マーカーはほとんど回転しない。この結果、両者の磁気特性は大きく異なり、この違いを利用することにより“洗い工程”なしで両者を磁気的に識別することが可能になる。

図 2 は本方法を用いて IgE と呼ばれる蛋白質を検出した例である。図の横軸は IgE の量であり、縦軸は SQUID で検出した磁気信号を示している。図に示す様に、IgE の量と検出信号の間には良い相関が得られており、アトモレベルの微量な検出が可能なが分かる。参考のため、通常の“洗い工程”を用いた固相法の結果も示しているが、両方法で同じ結果が得られていることが分かる。

なお、本研究は長崎国際大学と日立製作所基礎研究所との共同研究により行なわれた。

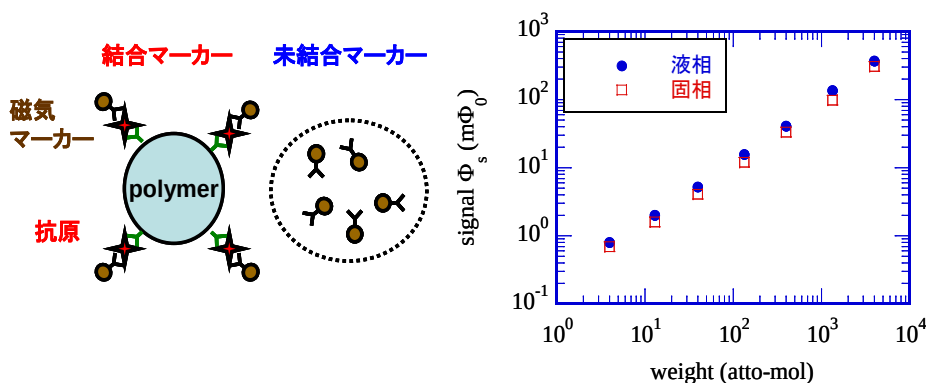


図 1 固定用ポリマービーズを用いた液相免疫検査法 図 2 蛋白質(IgE)の検出

特集：SQUID 応用の最新動向

「ハンディタイプ心磁計のための高温超電導 SQUID システムの開発」

岩手大学工学部
電気電子情報システム工学科

准教授 小林宏一郎

生体磁気計測において、液体ヘリウム温度で動作する超電導量子干渉素子（SQUID）磁束計が広く利用されている。一方、生体磁気計測の臨床応用には、より簡単に扱うことのできる装置の開発が求められる。特に、液体ヘリウムを用いずに聴診器のように手で持って扱えることや、磁気シールドルーム（MSR）を用いずに生体磁気を計測できるシステムが強く望まれている。その第一歩として、高温超電導 SQUID を用いたハンディタイプ心磁計の開発を行い、実際に心磁図を計測して可能性の確認した。

図 1 に開発したハンディタイプ SQUID 磁束計を示す。液体窒素で冷却することができると高温超電導 SQUID を用いた。この SQUID は、非微分型の磁界感度領域 (0.8 mm^2) を持ち、磁界感度が $2.7 \text{ nT}/\Phi_0$ である。また、図 1 に示したように、デュワーとして手に持つことのできる大きさの小型の真空容器を用いている。心磁図は地磁気や環境ノイズに対して極めて小さい信号であるため、手に持った状態や MSR 外での動作には広いダイナミックレンジが必要である。広いダイナミックレンジを簡易なハードウェアで得るため著者らが開発したデジタル FLL システム^{1,2,3)}を利用した。

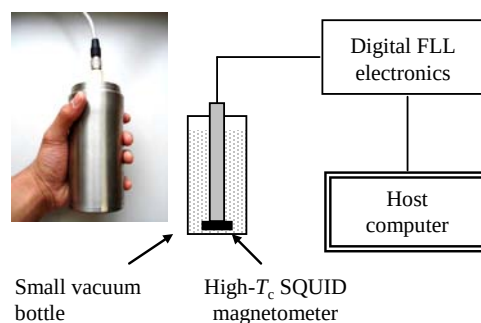


図 1 ハンディタイプ SQUID 磁束計の概要

開発したハンディタイプ SQUID 磁束計を用いて、以下の 2 つの心磁図計測を行った。MSR 内で仰向けに寝ている成人男性の胸から 2 cm 程度離れた位置に片手でデュワーを保持し、心磁図計測を行った。図 2 に測定風景と計測した波形および 5~40 Hz のバンドパスフィルタと 15 回の加算平均処理を行った心磁図波形を示す。デュワーを保持する手の位置変動によって約 10 nT の磁界変動が生じているが、SQUID は安定して動作し、心磁図を検出していることが確認できた。次に、MSR 外の実験室に設置した台の上にデュワーを置き、心磁図計測を行った。図 3 に測定風景と計測した波形および 40 Hz のローパスフィルタと 63 回（1 分間計測）の加算平均処理を行った心磁図波形を示す。約 3 nT pp の商用電源ノイズが存在しているが、SQUID は安定して動作し、心磁図を検出していることが確認できた。

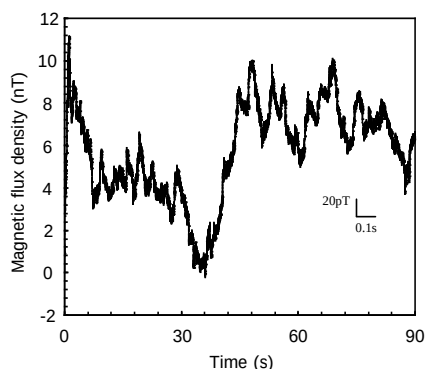


図 2 MSR 内でデュワーを手で持って計測した心磁図

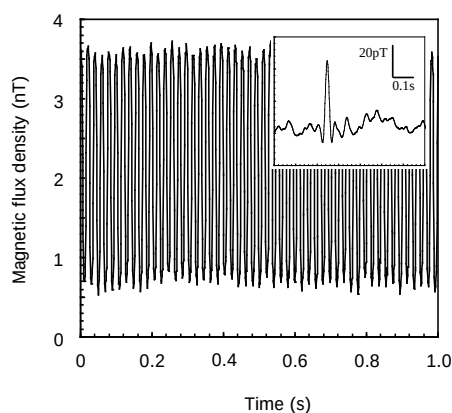


図 3 MSR 外で台の上にデュワーを置き計測した心磁図

今回、高温超電導 SQUID を用いたハンディータイプ心磁計の開発を行った。試作した心磁計を用いて、MSR 外での心磁図の計測および MSR 内ではデュワーを手で持って心磁図の計測が可能となった。しかし、これらの心磁図波形には多くのノイズが含まれており、臨床応用へはさらなるノイズ除去が必要である。

参考文献：

- 1) 小山大介、小林宏一郎、吉澤正人、清水隆行、中居賢司、内川義則：SQUID 用ダブルカウンタ方式によるデジタル FLL システムの開発、日本応用磁気学会誌、Vol.29, No.3, 351-355, 2005.
- 2) D. Oyama, K. Kobayashi, M. Yoshizawa, Y. Uchikawa : Development of Digital FLL System for SQUID Using Double Counter Method, IEEE Trans. Magnetics, Vol.42, No.10, 3539-3541, 2006.
- 3) D. Oyama, K. Kobayashi, M. Yoshizawa, Y. Uchikawa: Mobile High- T_c SQUID System for MCG Measurement, IEEE Trans. Applied Superconductivity, Vol.19, Issue 3, Part 1, June 2009 Page(s):871 - 873.

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：SQUID 応用の最新動向

「SQUID 脊髄磁場計測装置開発の現状」

金沢工業大学
先端電子技術応用研究所
准教授 足立善昭

われわれは、脊髄の神経活動に伴って発生する微弱な磁場を SQUID 磁束計で検出し、脊髄の機能を調べる装置の開発に取り組んでいる。手足の麻痺やしびれなどの症状の原因は脊髄の圧迫障害によることが多く、従来の神経学的所見や MRI や X 線 CT などの形態的な画像情報だけでは正確な診断が困難な場合があった。われわれの開発した脊髄磁場計測装置 (Magnetospinography: MSG) を適用することにより、脊髄神経の活動の様子を非侵襲で観測する脊髄機能イメージングが可能となり、脊髄障害部位の診断に役立てることができる。

図 1 は脊髄磁場計測装置の構成図および外観写真である。仰臥位で横たわる被験者の背側から検査できるように、特別な形状の低温容器を開発した¹⁾。低温容器は円筒形の容器本体の側面からセンサ保持部が突き出たような構造をしており、センサ保持部の上面に沿って LTS-SQUID 磁束計アレイが配置されている。これまではおもに頸部脊髄から発生する磁場を対象としていたが、突出部を延長した低温容器を新たに開発し、腰部などのほかの部位へも適用が可能になった。

試作機は東京医科歯科大学整形外科に設置され、健常被験者および手術をひかえた脊髄障害患者を対象として脊髄磁場計測の実証試験を行っている。この試作機は 5×8 の 40 箇所マトリックス状に配置したベクトル SQUID 差分型磁束計を装備し、90 mm×140 mm の領域の磁場分布を一度に検出できる。計測現場で頸部の X 線撮像を行うことで、被験者の頸椎とセンサの位置関係を明らかにする形態的な画像が得られる。

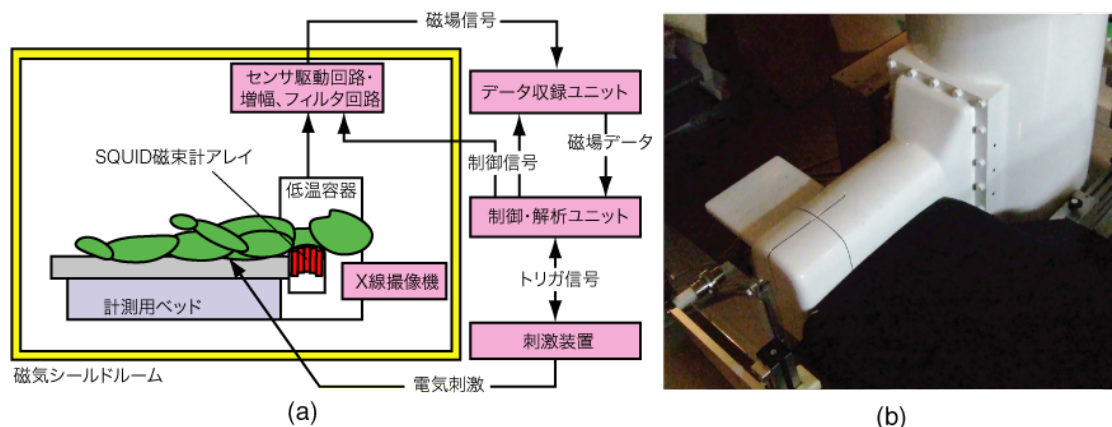


図 1 脊髄磁場計測装置の構成図(a)と外観(b)

首都大学東京の協力により、計測した磁場データと X 線撮像データをもとに、磁場源解析アルゴリズムを適用して、脊髄周囲の電流分布の時間的な変化を可視化できるソフトウェアが開発された。これにより、臨床の現場でユーザーが比較的簡便に脊髄の機能イメージングを行うことが可能となった^{2), 3)}。このソフトウェアを用いて検出された脊髄磁場分布に空間フィルタ法による磁場源解析

を適用し、再構成された電流分布を頸部 X 線像に重畳させて表した脊髓機能イメージングの例が図 2 である。神経信号が脊髓を上行するようすが確認できる。

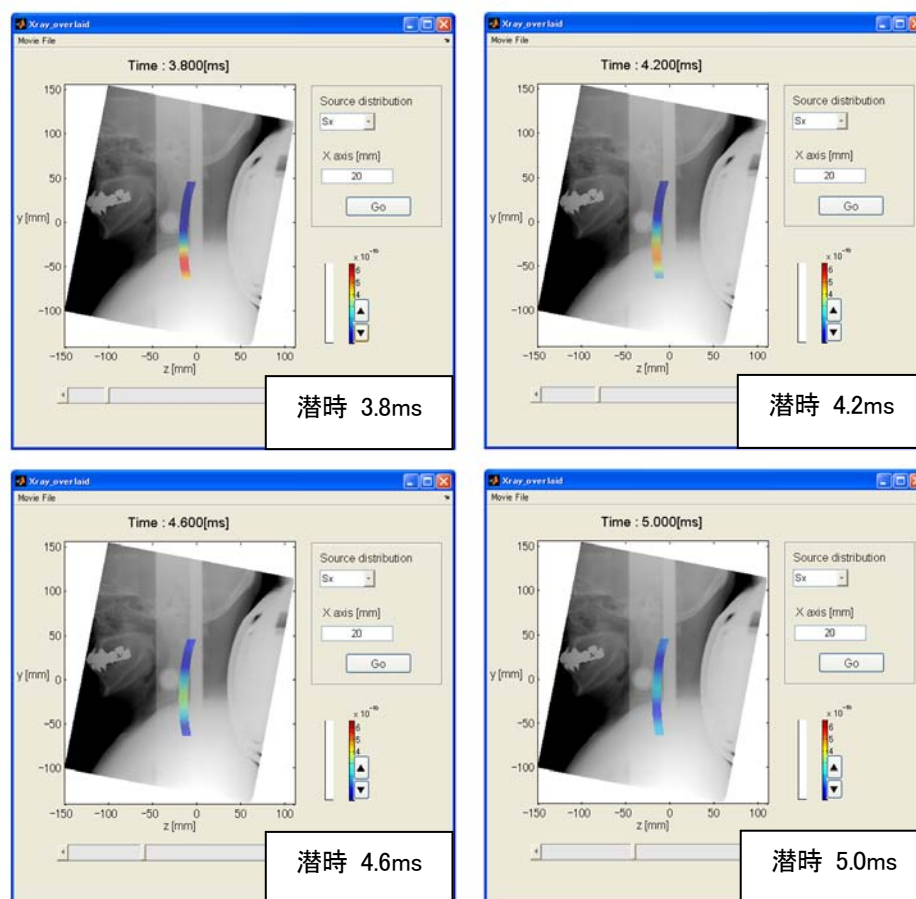


図 2 脊髓機能イメージングの例 (文献 3 より引用)

以上のように、システムとしての脊髓磁場計測装置は医療現場で実用に堪えうるものになってきた。今後は脊髓磁場計測のより広範囲への普及のために、装置の導入コストやランニングコストを低減する研究開発や、脊髓磁場に適した磁場源解析法の開発を中心に進めていく。

参考文献

- 1) Y. Adachi, et al. "A SQUID System for Measurement of Spinal Cord Evoked Field of Supine Subjects", IEEE Trans Applied Superconductivity, 19, 861-865, 2009.
- 2) T. Sato et al, "Functional Imaging of Spinal Cord Electric Activity from Its Evoked Magnetic Field", IEEE Trans Biomedical Engineering, 56, 2452-2460, 2009.
- 3) 佐藤朋也ほか, " 脊髓機能イメージングソフトウェア Sea-viewer の開発", 臨床神経生理学, 37, 123-129, 2009.

超電導関連 8 - 9 月の催し物案内

8/1-8/6

2010 Applied Superconductivity Conference

場所 : Washington, DC, USA

問合せ : <http://www.ascinc.org/>

8/1

8th Panel Discussion on International Standardization related to Superconducting Wires and Electric Power Devices

場所 : Washington, DC, USA

問合せ : <http://www.istec.or.jp/Operation/tc90-201008-E.html>

8/1-8/6

東北・北海道支部第 15 回超伝導・低温若手セミナー テーマ : ここまで進んだ超伝導 (3)

場所 : 洞爺湖温泉洞爺パークホテル天翔

問合せ : http://www.csj.or.jp/tohoku/2010/15th_Jr_Seminer_0830.pdf

9/27-9/28

2010 IEEE Technologies Conference for Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply

場所 : Waltham, MA, USA

問合せ : <http://ieee-energy.org/>

9/28-10/2

International Conference on Nanoscale Magnetism

場所 : Istanbul, Turkey

問合せ : <http://web.gyte.edu.tr/ICNM/2010/>

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (6/18-7/16)

- スマートグリッドサミット開催 ”国際標準”で各国連携 6/18 日刊工業新聞
- 風力普及へ業界の結束を固め 活動強化へ2団体統合、新体制スタート 日本風力発電協会 代表理事 永田哲郎氏 6/18 電気新聞
- 来年度に物価プラス デフレ脱却へ目標 新成長戦略 6/18 朝日新聞 夕刊
- 文科省 未来技術予測から エネルギー 太陽光に高い注目 6/18 日経産業新聞
- 成長戦略を閣議決定 「強い経済」へ需要創出 環境など4分野 雇用500万人 デフレ脱却来年度にも 6/18 日本経済新聞 夕刊
- 超伝導体へ磁気注入 量子コンピュータへ道 原子力機構、東北大など世界初 6/18 科学新聞
- 室温ガス排出6.2%減 08年度前年度比 景気後退が影響 6/19 朝日新聞
- 温暖化対策 排出ゼロ発電 国別目標 APEC エネ相宣言案 原発の新設促進 6/19 日本経済新聞 夕刊
- 新成長戦略 デフレ脱却へ330の施策 効果が相反する政策も 6/19 読売新聞
- 経産省「温暖化対策と成長両立」 APEC エネ相会合閉幕 6/20 日本経済新聞
- 核融合実験炉 完成遅れも 国際計画 欧州、追加負担に難色 6/21 日本経済新聞
- 新成長戦略 総合科技会議見直し 研究開発投資 GDP比4%以上 6/21 日経産業新聞
- スマートグリッド標準化動向セミ 国際規格新設・融合に期待 パネル討論会開催 6/21 日刊工業新聞
- 新エネルギーの技術開発工程表 経産省が作成へ 6/22 日経産業新聞
- 成長戦略描くカギに パワーレボリューション 次世代電力網 東京工業大学教授 柏木孝夫氏 低炭素型の暮らし提供 6/22 日刊工業新聞
- 放射性同位元素 効率的発見 4日で新たに45種 理研 6/22 毎日新聞
- テラヘルツ波 検出感度100以上 パナソニック トランジスタ開発 6/23 日経産業新聞
- 海運が変わる 環境技術に日本の底力 CO₂削減の圧力 6/24 日本経済新聞
- コンテナ船 温暖化ガス排出3割減 IHIMU 太陽光で蓄電も 6/24 日経産業新聞
- 新興国、風力導入急ぐ 中南米の発電能力、1年で倍に 日本企業の期待大きく 6/24 日経産業新聞
- 抵抗値変化10万倍 アナログで記憶 「メモリースター」実用化へ パナソニック ”脳機能”素子に応用 6/24 日刊工業新聞
- グリーン成長戦略、韓国先行 日本の政策、迫力欠く 6/25 日経産業新聞
- 電気自動車で路線バス 走行中に地下から充電 6/28 読売新聞
- 佐世保重工が洋上浮上体式 風力発電、長崎で来夏実証 12年メド2000キロワット、島の沖合に 6/29 日経産業新聞
- 水力発電機 3社が統合 次世代送電網で強み 中枢技術で攻勢狙う 7/03 日本経済新聞
- RASMES 最新の成果、3件報告 超電導研究会発表会開く 7/06 電気新聞
- 室温ガス25%削減 「対話し見直しを」 電気事業連合会会長 清水正孝氏 7/07 朝日新聞
- 住宅、エネルギー自給型に 太陽光の蓄電装置 パナソニック、普及へ数十万円 次世代送電網、弾み 7/08 日本経済新聞
- 電力ケーブル 大径化で環境負荷低減 経産省、規格化へ調整 7/08 日刊工業新聞
- 太陽光発電など 8分野に重点 総合科技会議が行動計画 来年度予算編成へ指針 科技関連

を効率に配分 7/09 日刊工業新聞

○ 超電導磁石 1 車両当たり 400 キロ軽く 鉄道総研 冷却機使わず省エネ 7/09 日経産業新聞

○ 新超電導の世界開拓 東工大・細野秀雄教授 鉄系物質で線材開発狙う 7/10 日経産業新聞

○ 風力・太陽光 スペイン岐路 買い取り価格高すぎ/料金転嫁不十分 政府、見直しに着手 7/11 朝日新聞

○ 経済成長の鍵? スマートグリッド 市場 50 兆円 厚い視線 電気、自動車 参入競う 7/14 毎日新聞

○ がんの最新治療を追う 深い患部に粒子線照射 少ない副作用 課題は治療費 7/16 日本経済新聞夕刊

○ 絶縁体内の粒子 磁場で曲がることを確認 東大 理研 エネ損失ゼロの回路に道 7/16 日刊工業新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（6 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

電力

Tres Amigas, LLC（2010 年 6 月 2 日）

Tres Amigas, LLC は、Viridity Energy, Inc.が Tres Amigas SuperStation で使用される電力売買プラットフォームの設計、製造、運転を行うことになったと発表した。Viridity Energy 社は、Tres Amigas の送電サービス、関連する電力エネルギーの販売、その他付随する商品及びサービスといった電力ネットワーク及び商業運用に関わる業務を提供する。Tres Amigas の社長兼 CEO、Phil Harris は次のように述べた。「SuperStation の商業運用には複数地域にわたる送電システムネットワークの運転やサービスの経験が不可欠であり、電力卸売市場に関する知識も必要である。Viridity Energy 社は、Tres Amigas がサービスを提供する個々の地域電力及びその信頼性要求を満たすのに必要な開発力と運転に係る専門性を有している。」現在、Viridity Energy 社は米国東部及び西部地域電力市場におけるマイクログリッドシステムに対し先端的なネットワーク運用サービスを提供している。Tres Amigas SuperStation は、現在同期が取れていない東部電力網、西部電力網及びテキサス電力網の間の数千メガワットに及ぶ電力融通を実現するものであり、再生可能エネルギー市場のハブ機能、また、これら電力網の電力需給バランスサービスを提供することになる。

出典:

“Tres Amigas and Viridity Energy Announce Commercial Operations Agreement”

Tres Amigas, LLC press release (June 2, 2010)

<http://www.tresamigasllc.com/docs/Tres-Amigas-Press-Release20100602.pdf>

Zenergy Power plc（2010 年 6 月 2 日）

Zenergy Power GmbH とパートナー企業 Bültmann GmbH は「2010 European Business Award for the Environment」を受賞した。この受賞は同賞のプロセスカテゴリーでのものであり、金属産業における効率と生産性向上を実現した磁気ビレットヒーターの開発がその受賞理由である。磁気ビレットヒーターにより、押し出し加工時の金属加熱に必要なエネルギー消費量を 50 %低減させることができる他、優れた温度均一性のため生産性が 25 %改善される。欧州委員会は、2 年に 1 度のこの European Business Awards の選定を行うが、今年は受賞者を EU 加盟 24 カ国及びその候補国の 141 の企業の中から決定した。

出典:

“Zenergy Power Selected by European Commission for Environmental Award”

Zenergy Power GmbH press release (June 2, 2010)

<http://www.zenergypower.com/images/Presse/PM/2010-06-02-pm-ebae.pdf>

American Superconductor Corporation（2010 年 6 月 9 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) と Hyundai Heavy Industries, Co., Ltd. (HHI, 韓国) は、これまでの戦略アライアンスを拡大し、オフショア向け 5-MW フルコンバージョン風力発電機の共同開発を行うことになったと発表した。AMSC 社子会社 AMSC Windtec™ 及び HHI 社は共同してこの 5-MW 風力発電機的设计・開発を行う。HHI 社は 4-MW 風力発電機の量産を 2011 年末までに開始したいと考えており、同社は戦略アライアンス契約条項に基づき AMSC 社からこれに必要なパワエレ部品を購入する。今回のアライアンス契約は、従来の 1.65-MW 及び 2-MW 二重誘導型風力発電機に関する AMSC Windtec の設計ライセンス等を対象とした既存の契約を拡大したものとなる。今日までに、HHI 社は 1.65-MW 風力発電機用に約 80 組の電力制御システム及び電気部品と 2-MW 風力発電機用に 10 組の電力制御システムを発注している。

出典:

“AMSC and Hyundai Heavy Industries Expand Wind Power Strategic Alliance”

American Superconductor Corporation press release (June 9, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1436158&highlight

Zenergy Power plc (2010 年 6 月 14 日)

Zenergy Power GmbH は、誘導型限流器の販売、マーケティングのため英国の Applied Superconductor Limited (ASL) と協力していくこととなった。ASL 社は、2010 年 1 月に Zenergy Power 社限流器の初めての顧客となり、英国 CE Electric 社の配電グリッドに設置する 11-kV 限流器を購入した。このプロジェクトの成功が、今回の協力体制に繋がり、Zenergy Power 社の英国市場への正式参入に道を開いた。ASL 社 CEO、Herbert Piereder は次のように述べた。「我が社が Zenergy Power 社との関係をこのような形で実現できたことは喜ばしい。配電ネットワーク事業者との長期にわたる協力関係から、我々は英国における事故電流処理の必要性を深く理解しており、Zenergy Power 社の誘導型限流器が英国電力グリッドシステムの維持、拡大に係る大きな課題に対処するため、重要な役割を果たすものと確信している。」

出典:

“Zenergy Power enters into UK Marketing Collaboration for FCL's”

Zenergy Power GmbH press release (June 14, 2010)

American Superconductor Corporation (2010 年 6 月 15 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は重要なマイルストーンを達成したと発表した。同社が知的所有権を有するパワエレ・ソリューションは全世界 15,000 MW 以上の発電をサポートしており、これは 2009 年末現在の全風力発電容量のほぼ 10 %に相当する。同社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「急速に成長する世界の風力発電事業は今後とも我が社の事業の柱である。我々は、世界 7 カ国、12 以上のカスタマーに風力発電機的设计と生産支援サービスを提供している。この中にはアジア太平洋地域の 10 のカスタマーも含まれる。これらカスタマーが製造する風力発電機には我が社のコア電気部品が使われており、これは風力発電機的主要部分を構成している。また、D-VAR RT 電圧低下ソリューションも含め我が社の D-VAR グリッド接続技術は、風力発電機を地域電力網につなぐための要求事項に対応すべく、世界 7 カ国の 70 以上の風力発電所に採用されている。再生可能エネルギーの比率を上げたいと考えている国々があり、我が社は再生可能エネルギー市場の入り口に立った。」最近の産業報告書は、次の 10 年間に風力発電機の設置台数はさらに加速的に増加すると予測している。

出典:

“Nearly 10 Percent of World's Wind-Generated Electricity ‘Powered by AMSC®’”

American Superconductor Corporation press release (June 15, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1438087&highlight

Bruker Energy & Supercon Technologies Inc. (2010 年 6 月 28 日)

Bruker Energy & Supercon Technologies Inc.は、磁界中の Y 系線材の特性試験の結果を報告、同社が特許を有する製造技術の改善により特性改善が図られていることを確認した。BEST 社が製造した 4-mm 幅 Y 系線材は 4.2 K、面内方向 18 T の磁界下で臨界電流 1,925 A の記録を達成した。これは cm 幅に換算すると 4,810 A となり、電流密度は 27 MA/cm²である。面に垂直方向の磁界を印加した場合、臨界電流は 7 T で 1,000 A、10 T で 732 A であった。この臨界電流試験は、ドイツの Karlsruhe Institute of Technology の強磁場試験研究所と共同で実施された。BEST 社研究開発マネージャー Alexander U soskin は次のように述べた。「今回の磁界中臨界電流の値は 4 mm 幅 HTS 線材がこれまで同一の磁界下で達成した値の倍以上である。今回の試験で使った線材の長さは 5~10 m であるが、これは Y 系線材大規模生産プロセスのサンプルとして適切なものと考えている。我々が特許を有するマルチビームレーザーデポジション法を使った新たなプロセスにより、高磁界対応 Y 系線材の製造が可能となった。我々は、このプロセスが歩留まり向上という点でよりロバストなものと考えている。」BEST 社 CTO、Klaus Schlenga は更に付け加えて、「使用した線材はスチール基板といった強度増強のための対策を講じなくても十分な機械強度を有しており、このような線材で得られた今回の磁界中臨界電流評価の結果は格別印象的なものである。このように大幅に改善された磁界特性により、Y 系線材の臨界電流が重要な要素である高磁界応用にはずみがつくものと期待される。用途としては、超電導ダイポールマグネット、NMR 用超強磁界マグネット、高エネルギー研究用の新しい超電導マグネット等が挙げられる。」

出典:

“Bruker Announces Order by Kennedy Krieger Institute for Ultra-High Field 11.7 Tesla Pre-Clinical MRI System with First 500 MHz CryoProbe™”

Bruker Energy & Supercon Technologies, Inc., press release (June 28, 2009)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=121496&p=irol-newsArticle&ID=1442039&highlight>

医療

Elekta (2010 年 6 月 7 日)

Elekta 社 (スウェーデン、ストックホルム) は、スペインのバルセロナで開催された Organization of Human Brain Mapping の第 16 回年次総会で次世代脳磁計を発表した。この Elekta Neuromag® TRIUX プラットフォームは、通常及び異常な脳の活動をモニターするための鍵となる要求事項を満たすものであり、基本的にはどのような医療現場環境でも稼動するように設計されている。このシステムの特徴は、従来システムに比べ 3 倍のダイナミックレンジを持ち、すでにシールドが組み込まれていることである。この他、より使用が容易であるとか、患者にやさしいという特徴も備えている。このシステムはターンキー方式の装置としても、既存の Elekta 社 Neuromag モデルのハード、ソフトのアップグレードという形のいずれでも提供可能である。

出典:

“Elekta Introduces Next Generation MEG System for Monitoring the Brain in Action”

Elekta press release (June 7, 2010)

http://www.elekta.com/corporate_international_press_releases_400610.php?url=aHR0cDovL2ZlZWQubmUuY2lzaW9uLmNvbS9jbGllbnQvd2F5bWFrZXIxL1dPTFJlbGVhc2VGaWxlMfZcHg/aWQ9MTYyNzY2NiZmbj1yZWxiYXNlMh0bWw

免責事項：Elekta Neuromag® TRIUX は現在開発中のものであり、仕様及び製品の詳細は事前の通告なく変更されることがありうる。

Bruker (2010 年 6 月 17 日)

Bruker 社は、米国ボルチモアの Kennedy Krieger Institute 付属 F.M. Kirby Research Center for Functional Brain Imaging から超高磁界 MRI CryoProbe™の発注を受けた。この 500-MHz MRI CryoProbe は北米で初めて設置されるものであり、11.7 T のウルトラシールド冷却超電導マグネットや AVANCE™エレクトロニクス等から構成される予防診断用医療機器 MRI BioSpec®の一部を成す。Bruker 社のこの MRI CryoProbe システムは、MRI で通常使われている室温 RF コイルに比べ信号・ノイズ比が 2.5 倍高い極低温 RF コイルとプリアンプを内蔵している。また、この極低温 RF コイルはクローズドサイクルで冷却される。この新しいシステムは、感度が飛躍的に向上し、生体中の微細な構造の高精細画像を得ることが可能である。これを使えば、小動物の神経欠陥を調べることもできる。

出典:

“Bruker Announces Order by Kennedy Krieger Institute for Ultra-High Field 11.7 Tesla Pre-Clinical MRI System with First 500 MHz CryoProbe™”

Bruker BioSpin press release (June 17, 2009)

www.bruker.com/mricryoprobe

量子エレクトロニクス

Raytheon Company (2010 年 6 月 22 日)

Raytheon Company の完全子会社 Raytheon BBN Technologies 社は、光と超電導の結合に関連した量子情報技術に大きな進歩があったと発表した。通常の条件下では、超電導原子は特定の周波数で光子を吸収する。Raytheon BBN Technologies 社の研究グループは、National Institute of Standards and Technology と共同で、異なる周波数の第 2 の場を印加することでこの吸収を抑制し、超電導原子を実効的に透明な状態にできることを見出した。この発見は、qubit として知られる超電導量子ビットの効率的な結合に使える可能性がある。Raytheon BBN Technologies 社の副研究員 Will Kelly は次のように述べた。「超電導を使った人工原子は高速で信頼性の高い信号処理が可能であり、光は高速で信頼性の高い長距離信号伝送が可能である。超電導を使った人工原子と光を組み合わせれば、両者の特徴が利用でき、大型量子計算機の開発にとって有望な技術となる。」今回の結果は Physical Review Letters に掲載された。

出典:

“Raytheon BBN Technologies Achieves Quantum Information Breakthrough”

Raytheon Company press release (June 22, 2010)

<http://raytheon.mediaroom.com/index.php?s=43&item=1583&pagetemplate=release>

基礎

Brookhaven National Laboratory (2009 年 6 月 14 日)

Bar-Ilan 大学（イスラエル）及び Brookhaven National Laboratory は、超電導ナノワイヤーとループからなる大規模配列パターンを薄膜に作りこむに成功した。超電導ナノワイヤーの製作は、不可能ではないにしても、これまで困難であった。というのは、超電導状態を維持するためにはそのサイズを比較的大きくしなければならなかったからである。しかしながら、層構造を持つ銅酸化物においては、コヒーレント長がずっと短い。また、超電導状態も高温まで維持される。したがって、実際の応用の面では魅力が大きい。今回報告された研究では、Brookhaven の研究グループが高精度技術（分子ビームエピタキシー）を使って、1 回に 1 原子レイヤーずつ積層していった。Bar-Ilan 大学のグループは電子ビーム描画技術を使って、薄膜表面に何千ものループを作製した。得られたナノワイヤーの直径はわずか 25 ナノメートル、長さは 500 ナノメートルであった。電気抵抗測定の結果、これらナノワイヤーは 30 K 以下で超電導状態にあることが確認された。さらに、研究グループは外部磁界を加えることで意外な形でこれらの電気抵抗が変化することを見出した。超電導線に直角に磁界を印加した場合、ループの抵抗は単調に増加するのではなく、増減を繰り返し振動することが分かった。Brookhaven の研究者 Ivan Bozovic は次のように述べた。「抵抗が増減して振動する振幅は大きく、その周期はディスクリットな磁束量子に対応している。即ちループを貫く磁界強度に対応しているということである。磁気抵抗がこのようにディスクリットにオン・オフする、即ち超電導状態と非超電導状態が交互に入れ替わる材料は新しいデバイスを設計する上で非常に役に立つ。」この研究グループ結果は Nature Nanotechnology 2010 年 7 月 13 日号に掲載された。

出典:

“Scientists create nano-patterned superconducting thin films”

Brookhaven National Laboratory press release (June 14, 2009)

http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=1148

University of Florida (2010 年 6 月 27 日)

University of Florida の研究グループは高温超電導体の原子レベルでの構造因子がいかに電流を阻害するかを正確に記述することに成功した。特に、研究グループは超電導体内の結晶を隔てる粒界が電流をいかに阻害するかの数学モデルをくみ上げた。研究グループは、単一粒界に対する理論モデルを作り、高温超電導線材の同様な粒界全てに適用可能なものとした。この新しいモデルは電流を阻害しているバリアーを取り除く方法を示すものではないが、研究者にとっては過去、将来の実験結果を解釈するためのよりよい道具として使うことができるものと思われる。研究結果は、オンライン版 Nature Physics に掲載された。

出典:

“Physicists explain why superconductors fail to produce super currents”

University of Florida press release (June 27, 2010)

<http://news.ufl.edu/2010/06/27/superconductor/>

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 8 月のトピックス

－村上雅人 芝浦工業大学副学長、IEC-APC 議長賞受賞－

財団法人国際超電導産業技術研究センター
標準部

部長 三村正直

平成 22 年 5 月 26 日(水)、第 20 回 IEC 活動推進会議総会において、IEC 活動推進会議(IEC-APC)は、IEC 国際標準化に顕著な貢献をした芝浦工業大学 村上雅人副学長ら 10 名に IEC-APC 議長賞を授与した。

IEC-APC は IEC (国際電気標会議) への日本の貢献と産業界の意見反映を目的に平成 3 年に設立された団体で、平成 7 年より IEC に係わる標準化活動に従事している方々を対象として、顕著な功績・貢献のあった個人またはグループに対して IEC-APC 議長賞を毎年授与している。

今回の村上雅人氏(芝浦工業大学副学長 工学部材料工学科 超伝導材料研究室)の受賞理由は、IEC/TC90 における国際標準化を推進し、国際標準化への貢献が極めて顕著であると認められたことによるものである。同氏は、我が国初の IEC の TC 幹事国業務において IEC/TC90 (超電導) の WG10 (バルク材の補足磁束密度試験方法) コンビナーとして活動され、日本のオリジナル提案に対する各国からのコメントの取りまとめに尽力された。平成 12 年以降、IEC/TC90 の WG10 における活動を通じて、IEC/TC90 並びに VAMAS における国際標準化を推進し、日本並びに国際の標準化活動に貢献されている。



受賞者記念撮影 (後列右端、村上雅人氏)

[超電導 Web21 トップページ](#)

「未踏科学技術協会低温工学協会合同ワークショップ開催」報告

(社) 未踏科学技術協会/超伝導科学技術研究会と(社) 低温工学協会/材料研究会は、2010 年 6 月 16 日東京大学本郷キャンパス武田ホールにて、「超電導線材オールスターズ開発・応用動向と高性能化の可能性」をテーマとした第 75 回ワークショップを合同開催し、113 名の参加のもとで成功裏に終了した。



第 75 回ワークショップの会場風景

まず、前田敏彦低温工学協会材料研究会委員長（高知工科大学教授）から開催の挨拶とこの合同研究会の趣旨説明がなされた。その後、同前田教授を座長として、現在すでに実用化されている Nb-Ti 線材や Nb₃Sn 線材、並びに Nb₃Al 線材技術の現状とその特性向上の可能性について講演がなされた。

田中靖三氏（元国際超電導産業技術研究センター）から Nb-Ti 線材について講演がなされた。Nb-Ti 線材、MRI、粒子加速器などがすでに約 5.2 千億円国際超電導市場の 70 % を担っている。Nb-Ti 合金は 1961 年に発見され、本来の優れた塑性加工性に加えて、複合加工技術及び加工熱処理技術という 2 つのブレークスルーによって臨界電流密度として 50 倍以上改善することができ、工業的に最も普及する材料になった。その後第 3 のブレークスルーとして人工ピン導入技術は開発されたものの、実用化するには至らず、この人工ピン導入技術はむしろ後進の RE 系酸化物超電導線の特性向上に継承されている。

宮崎隆好氏（神戸製鋼所）から Nb₃Sn 線材について講演がなされた。Nb₃Sn 化合物は Nb-Ti 合金よりも早く発見された（1953 年）ものの、機械的歪による特性劣化の克服が障害となり工業化が遅れた。この機械歪みによる特性劣化を緩和するためのブロンズ法、高すずブロンズ法並びに W&R コイルの技術開発によって優れた高磁界特性を発揮し、10 T から 23 T 級の高磁界マグネット、NMR 分析装置、核融合実験装置には不可欠な工業材料になっている。

竹内孝夫氏（物質・材料研究機構）から Nb₃Al 線材について講演がなされた。Nb₃Al 化合物は Nb₃Sn 化合物よりも耐歪特性に優れることから、粒子加速器並びに核融合装置開発から早期の実用化が望まれている。しかし、化学量論比の Nb₃Al 化合物は、高温でのみ安定であることがその線材化の大きな障害になっている。現在、高温から急冷した bcc 過飽和固溶体に、安定化銅を電気メッキすることによって複合後加工し、W&R 法コイル化後変態熱処理を行う製造工程の実証と、高磁界マグネットにおける検証実験がなされている。

休憩後、熊倉浩明氏（物質・材料研究機構）を座長として、現在開発中の Bi 系酸化物線材、RE 系酸化物線材及び MgB₂ 線材の講演がなされた。

林和彦氏（住友電気工業）から Bi 系酸化物線材について講演がなされた。Bi 系 2223 酸化物超電導線材は、銀マトリックス中で 1 軸配向した Bi-2223 相を焼結する過程で形成される空孔を、消滅させるための加圧焼結技術の開発によって、テープ線材の実用化が急速に進展した。現在、電力ケーブル、モータ、発電機などの大型の開発プロジェクトからの要請に応じるべく、テープ幅を小さくした交流損失低減、銅合金を貼り付けた高強度化、接続長尺化、電流密度向上による低コスト化などの技術開発が着実に進められている。

飯島康裕氏（フジクラ）から RE 系酸化物線材について講演がなされた。これまで RE 系酸化物線材の技術開発は、国家プロジェクトの傘下で進められていたため線材の一般供給ができなかったが、わが国においても 2009 年から 300 A/数百 m 長級のテープ線材を一般供給できる技術水準に達した。しかし、RE 系酸化物線材は、1 軸配向した Bi-2223 線材よりも技術的にさらに難しい 2 軸配向技術が要求されることから、製造プロセスはいまなお開発中である。製造プロセスの中で、1 km 長、 $\Delta\phi$ 4 度級 CeO₂/MgO-IBAD 基板技術はほぼ確立された。この基板上に RE 系超電導相を形成するプロセスとして PLD 法、TFA-MOD 法などが開発中である。特に、ホットウォール法 PLD 法は、製膜中の時間的溫度変化を 1-2℃に制御できることからマクロ欠陥を画期的に低減し、線材の長手方向の特性の均一化の見通しが得られている。RE 系酸化物線材を工業材料にするためには、電流量の向上（400-650 A）、人工ピン導入、交流損失の低減、安定化銅の貼り付け、コイル化、低コスト化などの技術開発が必要である。

和久田毅氏（日立製作所）から MgB₂ 線材について講演がなされた。MgB₂ 線材化は、ヘリウム資源枯渇対応のヘリウムフリー化、高温超電導体で唯一永久電流モード運転可能、低コスト、軽量・低放射化などの理由から工業的に重要である。現在、In-situ 法による線材化が有望視されているが、MgB₂ 生成時の体積減少に伴う密度低下の回避技術として、拡散法やホットプレス技術が開発中である。また、10 K 運転 MRI を想定すれば、臨界電流密度を現状の 2 倍程度、導体電流密度を 5-10 倍、長尺均一化する技術が必要である。

この後松本要氏（九州工業大学教授）の司会で、超電導産業を創出する超電導線材の高性能化の可能性と将来展望と題したパネルディスカッションが開催され、先の 6 名の講師に加え木吉司氏（物質・材料研究機構）、長嶋賢氏（鉄道総合技術研究所）、堀上徹氏（低温工学協会前副会長）及び柳長門（核融合科学研究所）の 4 名のパネリストが参加した。

堀上氏は、テクノロジーは材料技術者とユーザーとの間で明確な目標を設定し、その技術課題が明らかにさせているならば必ず実現できるものである、との提言がなされた。

木吉氏は、超電導による省エネルギー効果よりも小型・軽量化を主張できる汎用製品（例えば 100 V 動作小型冷凍機冷却マグネット）の開発・普及が必要であると提言した。

長嶋氏は、浮上式鉄道技術の開発経験から、高温超電導線材を適用した 50 K 近傍の熱容量を最大限に活用した、冷凍機切離型で昼間のみ動作するモバイル超電導マグネットが創出できたとの報告がなされた。

宮崎氏からは Nb₃Sn 線材の大型プロジェクトに頼らない定常市場への展開の提案が、竹内氏からは Nb₃Al 線材を適用した隙間製品市場への展開の提案がなされた。

柳氏からは 2040 年の実用核融合炉を建設するためには、現状水準の高温超電導線材@2 万 km/基を必要とし、2050 年以降@20 基/年を建設するためには@100 万 km/年の線材供給が必要との試算例が示された。

21 世紀はクリーンな電気の世界であり、超電導への期待がますます高まると想定される。かかる期待に応じるためにも、線材のむやみな特性向上よりも工業規模に見合った特性の見定め、効率的な技術開発、それぞれの立場で確固とした将来展望を持ち、クリーンな電気エネルギーシステムを創造することであるとの認識がなされた。

最後に、下山淳一超伝導科学技術研究会会長（東京大学准教授）から、それぞれの線材はそれぞれの市場を食い合うのではなく、それぞれの線材特性を生かし合い、補完し合って超電導の社会的寄与を総体的に向上させることが将来的に必要なとの閉会の言葉があった。

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導モータの過去・現在・未来（その 4）

京都大学大学院
工学研究科電気工学専攻
准教授 中村武恒

ある程度応用検討が可能なビスマス系高温超電導長尺線材が開発されるようになると、まずは欧米を中心に高温超電導モータの研究開発が開始された¹⁾⁻⁵⁾。開発ターゲットの主流は、回転界磁形の同期機であり、界磁巻線を高温超電導化するレトロフィット機であった。なお、ビスマス系線材を使用した回転機に関しては、近年になりその性能向上に足並みを揃えるように韓国⁶⁾や我が国⁷⁾においても同様のモータ開発が実施されており、また誘導子形回転機⁸⁾、永久磁石形回転機⁹⁾、単極機¹⁰⁾、かご形誘導機¹¹⁾他、実応用を指向した応用だけでもバラエティーが増えている。

巻線形高温超電導機の特長として注目すべき点は、既存機のように過負荷耐量や短時間定格の概念がある程度成立することが挙げられる。銅巻線を用いる従来形常伝導機では、銅線に連続的に流せる電流（積極的な冷却をしなければ、室温で $4 \sim 5 \text{ A/mm}^2$ 程度）によって連続定格を決定するが、短時間であれば上記値を超える大電流を流すことができ、冷却方式やケーシング構造に応じて短時間定格が別途設定される。この場合、例えば始動加速時に要求される最大出力は短時間定格で対応することになる。しかしながら、低温超電導線材では臨界電流を超える電流を通電すると瞬時に常伝導転移し、また所謂不可逆磁界 $\equiv$ 上部臨界磁界¹²⁾であることから、損失状態を積極的に使用することは一般に不可能であり、さらに熱安定性の問題も重なり、短時間定格を設定するシステムは成立しない。つまり、低温超電導回転機に関しては、たとえ最大出力を要求する時間が極めて短時間であっても、最大出力 $\equiv$ 連続定格出力として設計しなければならない。一方、高温超電導線材では、高温運転に伴う高い比熱とブロードな電界-電流密度特性が幸いして、ある程度の損失が発生しても、冷却系や放熱特性とのバランスさえ問題無ければ、磁束フロー状態を過負荷耐量として積極的に利用する可能性が期待される。このことは、高温超電導巻線形モータの最適設計の考え方の変更を促すものであり、低温超電導回転機で行われていたような、使用線材の臨界電流密度-磁界特性と巻線磁界ロードラインの交点を基準に設計するのではなく、電界-電流密度特性の形そのものを精密に議論する設計法の見直しが必要である（この概念は、モータ以外の応用分野においても重要と考えられ、筆者らは大分前より同概念に基づくマグネットやケーブル特性解析・設計を実施している¹³⁾）。

高温超電導モータの導入が最も精力的に検討されている応用分野は、船用推進システムと考えられる。上記分野では、モータに要求される運転モードが比較的可変速頻度の低い低速（数百 rpm）回転であることから、まず米国で軍事利用目的の研究開発が進められた。AMSC 社（米）は、同社で開発したビスマス系線材を適用し、5 MW 級機（230 rpm, 6 極）の開発に成功した後¹⁾、36.5 MW 級大形機（120 rpm, 16 極）²⁾を開発している。構造は、一般的な回転界磁形同期機であり、界磁巻線を高温超電導化するレトロフィットタイプモータである。

近年になり、我が国においても船舶用高温超電導モータの開発が活発になった。当初は、前号¹⁴⁾で説明した高温超電導パルクモータ開発が先行していたが、その後長尺線材の特性改善に伴って幾つかの検討が実施されている。(株) IHI を取りまとめ役とする産学グループは、まず電機子ならびに界磁巻線の両者を高温超電導化した誘導子形モータを開発し、回転試験に成功した⁸⁾。同モータは、アキシアルギャップ構成であり、電機子と界磁子の両者を非回転とし、誘導子と呼ばれる強磁性材

料において電磁－機械エネルギー変換を行う。誘導子を伴う回転子は、常伝導であることから極低温冷却の必要が無く、また高温超電導機としては世界初となる全超電導化に成功している。さらに、同グループはその後高出力化を検討し、365 kW の実負荷試験に成功したが、その際は界磁子が永久磁石に変更された⁹⁾。この改良機では、界磁子が高温超電導巻線→永久磁石に変更されたが、これまでと発想の異なる超電導回転機の新しい流れであり、興味深い。即ち、既述したように¹⁵⁾、回転機の出力は電気装荷と磁気装荷の積で与えられ、従来の高温超電導機では磁気装荷を上げる検討が殆どであった。一方、上記 IHI のモータは電気装荷を大きくする思想のモータと考えられる。従来の誘導子形常伝導回転機は、一般に高速回転領域で用いられ（研究開発そのものもあまり行われていない）、船舶推進のような低速でメリットを見出せるか不明である。それに対し、永久磁石を適用したタイプでは、高温超電導電機子は依然として非回転であり、界磁は同磁石の着磁束で制約されるものの、電機子起磁力を大きくすることで高出力密度化を図ることが出来るだけでなく、低速におけるトルク特性・効率が改善すると期待される。さらには、回転数も数百 rpm であることから、永久磁石回転子の影響で電機子巻線に発生する逆起電力もあまり問題にならない。従って、高温超電導電機子巻線の交流損失の問題があるものの（フラックスコレクタと呼ばれる強磁性体をコイル内に挿入する方法で低減しているが、どこまで低減されるか不明）、高温超電導回転機開発の一方方向性として今後の展開が大いに期待される。(株)川崎重工・東京海洋大学・海上技術安全研究所他の産学グループは、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託のもとで、船舶用高温超電導モータ内臓ポッド推進システムの研究開発を実施した⁷⁾。小形かつ大トルクの鉄心レス高温超電導モータを開発し、200 kW の実負荷試験に成功するとともに、冷却ペナルティーを含めても 98 %程度の効率が達成できることを検証した。船舶推進用モータは、いよいよ実用化のフェーズに入ってきたという印象を強く持つようになった。

一方、近年急速に開発が進んでいるイットリウム系高温超電導モータについても、米国¹⁶⁾や日本¹⁷⁾で試作・試験が行われている。同線材は、77 K 程度の高温領域においても臨界電流密度の磁界依存性が優れており、また曲げ歪に対する耐性も良好であることから、次世代線材として注目されているが、上記した過負荷耐量の概念を含めて、ビスマス系で開発されて来た設計法がそのまま適用できるか更なる検討が必要と思われる。

以上、今回は高温超電導巻線形モータ開発の考え方と、船舶推進システムへの適用現状を紹介した。船舶推進用モータは、大形機で冷却ペナルティーを相殺出来れば大きな可能性を有しており、米国、ドイツ、日本、韓国で精力的な研究開発が進められている。特に、我が国では産学連携の研究開発によって実用化への力強い流れを感じる。これからの進展が大いに期待される。次号では、船舶以外の輸送機器や産業機器について、高温超電導モータの導入現状を紹介する。

参考文献:

- 1) G. Snitchler, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.15, no.2 (2005) 2206
- 2) AMSC ホームページ: <http://www.amsc.com/>
- 3) S.S. Kalsi, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.17, no.2 (2007) 2026
- 4) H.W. Neumüller, *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol.19 (2006) S114
- 5) M.K. Al-Mosawi, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.15, no.2 (2005) 2182
- 6) Y. K. Kwon, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.17, no.2 (2007) 1587
- 7) NEDO, 「エネルギー使用合理化技術戦略の開発」「省エネルギー革新技术開発事業」平成 21 年度終了テーマ事後評価委員会, 平成 22 年 6 月 24 日開催分資料 (2010)
- 8) T. Okazaki *et al.*, Power Engineering Society General Meeting, IEEE (2006) 6 pages, IHI プレスリリース: <http://www.ihl.co.jp/ihl/ihitopics/topics/2005/0414-1.html>
- 9) IHI プレスリリース: <http://www.ihl.co.jp/ihl/ihitopics/presssm/10075.html>

- 10) S.H. Lee *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.18, no.2 (2008) 717
- 11) T. Nakamura, *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol. 20 (2007) 911
- 12) 山藤馨, 低温工学, vol. 32 (1997) 374
- 13) 中村武恒, 機能材料 (シーエムシー出版), 2 月号 (2004.01) pp. 40-49
- 14) 中村武恒, 超電導モータの過去・現在・未来 (その 4), 超電導 WEB21, 2010 年 6 月
- 15) 中村武恒, 超電導モータの過去・現在・未来 (その 1), 超電導 WEB21, 2010 年 2 月
- 16) J. Voccio *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.17, no.2 (2007) 1591
- 17) M. Iwakuma *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.19, no.3 (2009) 1648

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：「磁気シールドなしで脳磁場を計測するシステムが開発されたと聞きましたが、どのような技術でしょうか？」

A：脳磁場の局所的な勾配を検出する技術です。磁場の空間勾配を検出することにより、比較的均一な環境磁場の中から脳磁場の信号のみを選択的に検出することができます。具体的には、超電導線で構成される差分型検出コイルで検出した磁束をSQUID（超電導量子干渉素子）に伝達することで脳磁場を検出します。差分型検出コイルを用いたSQUID磁束計は「SQUIDグラジオメータ」とよばれ、生体磁気計測では従来から磁気シールドと併用されてきました。従来のSQUIDグラジオメータでは1方向の磁場勾配を検出するのに対して、我々が開発した新方式のSQUIDグラジオメータは、2方向の磁場勾配を検出することが特徴です¹⁾。2方向の磁場勾配を検出することにより、環境磁場を低減すると同時に、脳磁場の信号強度を増幅することができます（図1）。このSQUIDグラジオメータを採用することで、磁気シールドなしで脳磁場を検出することに成功しました²⁾。この技術は、胎児の心磁図を検出するシステムにも応用されています³⁾。

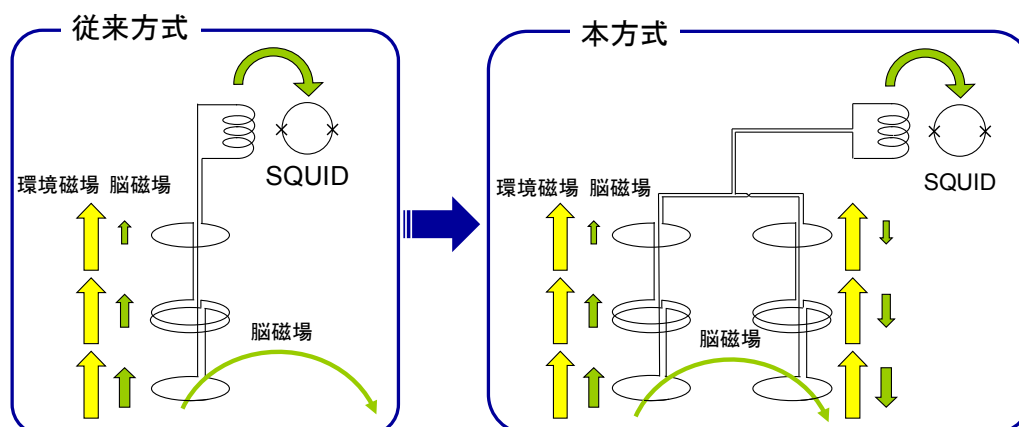


図1 新方式 SQUID グラジオメータの原理

脳磁場は、神経活動に伴って発生する微弱な磁場で、その強度は頭表面において数100フェムトテスラ（フェムトは 10^{-15} ）以下です。これは地磁気の約1億分の1以下に相当します。この脳磁場を計測することにより、脳活動が無侵襲かつ非接触で計測することができます。現在、もっとも広く利用されている脳計測装置（脳磁計）は、ヘルメットのように頭部を覆うクライオスタット（真空断熱容器）に、100個以上のSQUID磁気センサが搭載され、脳の神経活動をマッピングすることが可能です。脳計測法は1ミリ秒以下の高い時間分解能で脳活動を計測できることに加え、頭蓋骨や脂肪、毛髪などの人体組織の影響を受けにくく、同程度の時間分解能を持つ脳波計測法に比べて、高い感度と空間分解能が得られるという特長があります。一方、微弱な磁場を測定することから、環境磁場を遮断する磁気シールドが必要とされ、主に大規模な病院や脳神経科学分野の研究機関で利用されてきました。

そこで、日立基礎研究所では、新方式のSQUIDグラジオメータを採用することにより、磁気シールドを用いない脳磁計を試作しました。試作したシールドレス脳磁計を国立循環器病センターに設置し、同センターの協力を得て聴覚誘発脳磁場を計測した結果、N100mやP50mなどの脳磁場成分を検出し、磁気シールドなしでの脳磁場計測を実証しました。

参考文献：

- 1) Y. Seki and A. Kandori, "Two-dimensional gradiometer," Jpn. J. Appl. Phys. 46, 3397 (2007).
- 2) Y. Seki, A. Kandori, K. Ogata, T. Miyashita, Y. Kumagai, M. Ohnuma, K. Konaka, and H. Naritomi, submitted.
- 3) Y. Seki, A. Kandori, Y. Kumagai, M. Ohnuma, A. Ishiyama, T. Ishii, Y. Nakamura, H. Horigome, and T. Chiba, "Unshielded fetal magnetocardiography system using two-dimensional gradiometers," Rev. Sci. Instrum. 79, 036106 (2008).

回答者：株式会社日立製作所 基礎研究所 研究員 関 悠介 様

[超電導 Web21 トップページ](#)