

掲載内容 (サマリー):

特集: 超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術

超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術の進展
次世代移動通信基地局向け送信用超電導フィルタの開発と IMD3 評価
送信用超電導フィルタのための高温超電導薄膜の耐電力特性
JISH7307:2005「超電導体のマイクロ波表面抵抗試験方法」とメンテナンス事項
固有ジョセフソン接合を利用したテラヘルツ電磁波発振の可能性
超電導トンネル接合を用いたテラヘルツイメージング技術
超電導関連製品ガイド - 超電導マイクロ波デバイス関連製品 -

超電導関連 2-3月の催し物案内

新聞ヘッドライン (12/20-1/19)

超電導速報 - 世界の動き (2005年12月)

特許情報

Asian Conference 2005 on Applied Superconductivity and Cryogenics (ACASC 2005) 会議報告

隔月連載記事 - 超電導心磁計が市場にでるまで (その1)

読者の広場(Q&A) - 「モリオカマテリアル」とは何でしょうか?

[超電導 Web21 トップページ](http://www.istec.or.jp/Web21/toppage)

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：超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術

「超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術の進展」

山形大学

工学部 電気情報工学科

教授 大嶋重利

「超電導 Web21」の2006年2月号に「超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術」の特集号が組まれることになり、大変タイムリーな企画として喜んでいる。超電導デバイスの分野で、アナログ系高周波デバイスが最も実用化が早いと期待されていたが、中々進まない状況に少しばかり不安になっていた。ここに来てやっと実用化レベルのデバイスが幾つか米国以外でも提案されるようになり、ほっとしている。この特集号では、第4世代移動体通信基地局用フィルタや超電導トンネル接合を用いたテラヘルツイメージング技術に関しては詳細な報告があるので、それ以外の分野での最近の状況を紹介したい。マイクロ波帯では、携帯電話の基地局用受信フィルタシステムへの応用がやはりメインであろう。最近、中国の精華大学 Cao 教授のグループが、北京郊外において実施した830MHz帯携帯電話基地局の超電導フィルタシステムのフィールド試験の結果を報告している。3基の基地局に14チャンネルのHTSフィルタシステムを搭載し、良好な結果を得たことや5基の基地局に30チャンネルのHTSフィルタシステムの搭載を準備中であることなどである。超電導フィルタシステムの長期間安定性の確認や通話品質の向上などが実証され、今後の中国での超電導フィルタシステムの広がりが期待できる状況になってきた。また別な応用として、英国パーミング大学の Lancaster 教授のグループは電波天文の感度を向上させるための市中ノイズ低減用超電導フィルタシステムを提案している。超電導フィルタを用いて電波望遠鏡の感度が極めて向上したと発表している。これと同じことは既に日本の(独)情報通信研究機構により2年前に発表されている。鹿島34m宇宙電波観測用パラボラアンテナに2GHz帯の超電導バンドパスフィルタシステム(株)デンソー製)を組み込み、隣接する周波数ノイズを除去し、極めて微弱な電波を受信できるシステムの構築に成功したことを報道している。超電導バンドパスフィルタは、市中ノイズの低減や無線通信の混信を防ぐのに極めて有効であり、その方面での応用の拡大も期待できる。また、東芝-NHKが開発している、地上波デジタルTV放送用中継基地局の超電導フィルタシステムも有望であり、今後の進展が期待できる。

サブミリ波-テラヘルツ波帯での応用は、現在のところ電波天文に使うSISミクサーが代表的な応用である。チリのアタカマ高原に大型の電波天文施設を作ることが国際共同研究で進められており、そこには超電導ミクサーが搭載されることが決定されている。大型施設と並行に、可搬型のサブミリ波電波望遠鏡も設置されることになり、既に492GHzのスペクトルを観察するSISミクサーが日本のグループにより設置され、良好なスペクトル観察に成功している。

マイクロ波・テラヘルツ波の超電導デバイスは、既に実用化されているものや現在検討・試作中のものが沢山出てきた。超電導デバイスが世の中で「普通に見られる」ことを祈っている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術

「次世代移動通信基地局向け送信用超電導フィルタの開発とIMD3評価」

富士通株式会社

赤瀬川 章彦、山中 一典、甲斐 学、中西 輝

低損失で急峻な周波数遮断特性が実現できる超電導フィルタは、移動通信基地局の受信ばかりでなく送信用にも適用できれば、その実用化が拡大すると予想される。ここでは、次世代移動通信基地局向け送信用超電導フィルタの研究開発の一端を紹介する。

伝送速度100Mbps/s以上の高速伝送を可能とする¹⁾次世代移動通信システムへの応用のために、候補として中心周波数4GHz、帯域幅0.1GHzの超電導フィルタを検討した。送信系パワーアンプの出力先に超電導フィルタを導入することによって、パワーアンプの非線形性による隣接チャネル漏洩電力を抑圧でき、周波数の有効利用や送信の高効率化などの利点が期待できる。²⁾しかし、その超電導フィルタへ数W~数十Wのハイパワー入力を想定すると、受信フィルタで用いられる小型のマイクロストリップライン型フィルタではクエンチ現象を起こしてしまうなど耐電力が低い。また、フィルタ回路に非線形性があると、パワーアンプと同様に帯域内および帯域外に歪波、特に3次相互変調歪波(IMD3)が発生し、移動通信では深刻な問題となる。³⁾一方で、冷凍機への負荷の軽減などを考慮すると出来るだけ小型フィルタが望まれるが、通常、RF電力特性と小型化にはトレードオフの傾向があるため、実用上、満足する送信用超電導フィルタを達成するには構造設計や実装などの創意工夫が必要となる。

そこで、電流集中を緩和できるTM₁₁モードのディスク型共振器を選択し、この共振器パターンの上に積層誘電体を形成することにより、高耐電力かつ低IMD3特性が得られた。⁴⁾さらにこの積層誘電体を利用してデュアルモード発生用積層導体層を設けて、フィルタ多段化・小型化を進めた。⁵⁾

図1に示した超電導フィルタのパッケージ内には、YBCO膜/MgO基板構成の4GHz帯TM₁₁モードのディスク型共振器を2個配置した構造で、デュアルモード発生用超電導膜小型ディスクパターンを有するLaAlO₃誘電体を積層している。これにより、通過端近傍の遮断特性が単純直列結合させた場合の3~4倍の共振器数に相当する小型フィルタを得ることができ、実際の試作においても確認した。⁶⁾そして、試作フィルタの耐電力およびIMD3特性についてCW連続波を約10Wまで入力して評価したところ、70Kにおいて低損失性を維持し、基本波に対し-60dBc以下の低歪特性を得ることができた。⁷⁾

尚、本研究の一部は、情報通信研究機構(NICT)からの委託研究「移動通信システムにおける高度無線信号処理技術の研究開発」により実施した。



図1 4GHz帯超電導送信フィルタ

参考文献

- 1) 川澤, 井上, 桑原, 山中, 吉田, 信学技報告, RCS2005-119 (2005).
- 2) K. Yamanaka, A. Akasegawa, M. Kai, T. Nakanishi, IEEE Trans. on Appl. Supercond., 15, No.2 p1024 (2005).
- 3) K. Yamanaka, A. Akasegawa, M. Kai, T. Nakanishi, IEICE Trans. on Electronics, Feb., 2006, to be published.
- 4) 甲斐, 中西, 赤瀬川, 山中, 電子情報通信学会 2005年総合大会, C-2-87.
- 5) K. Yamanaka, M. Kai, A. Akasegawa, T. Nakanishi, EUCAS2005, TH-P4-114, Sep., 2005.
- 6) A. Akasegawa, K. Yamanaka, T. Nakanishi, M. Kai, ISS2005, FD-11, Oct., 2005.
- 7) K. Yamanaka, A. Akasegawa, T. Nakanishi, M. Kai, ISS2005, FDP-45, Oct., 2005.

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術

「送信用超電導フィルタのための高温超電導薄膜の耐電力特性」

独立行政法人 産業技術総合研究所
エネルギー技術研究部門
小原春彦

携帯電話などの移動体通信の基地局で使われる、高温超電導薄膜を利用した受信用フィルタが、高温超電導のエレクトロニクス分野でいち早く実用化に成功したことは周知の通りである。超電導薄膜の優れた低損失性と高温超電導がもたらした高い動作温度により、従来のフィルタにはない高い性能と、小型冷凍機を用いた信頼性の高いシステムの実現がこのような超電導マイクロ波デバイスの実用化につながったものと考えられる。一方、商品化に成功しているのは米国の一部ベンチャー企業のみであり、当初期待されたような市場規模の広がりが見えていないのも事実である。

そこで、超電導マイクロ波デバイスの導入効果をさらに高めるため、受信用だけでなく送信用デバイスの超電導化が検討されている。代表的なものが送信用フィルタである。送信用超電導フィルタが実現すると、その低損失性とすぐれた周波数特性により、送信アンプの小型化や帯域外漏洩電磁波の低減が期待できる。しかし、送信用デバイスには受信用に比べて高い電力の電磁波が通るので、優れた耐電力特性が要求される。

超電導デバイスの耐電力特性は、薄膜、デバイス、システムといったさまざまな段階で評価する必要がある。ここでは、超電導薄膜の耐電力特性について解説する。超電導マイクロ波デバイスでは、電磁波は基本的に薄膜の表面近傍（超電導の磁場侵入長の範囲）に流れる遮蔽電流によって反射される。したがって、超電導薄膜の耐電力特性は薄膜の表面、あるいは誘電体基板との界面の性質に敏感である。図は、異なる表面形態を持つ超電導薄膜の表面抵抗（超電導マイクロ波デバイスの損失を決める基本的な物性値）の電磁波の電力依存性の測定結果である。表面形態が粗いほど、大きな電力依存性を示している。このような大きな電力依存性は電磁波に対する超電導薄膜の非線形性として現れ、信号歪みや帯域外漏洩電磁波の発生など、今日の高度なデジタル通信にとって深刻な問題となる。

さらに単結晶に近い優れた特性を示す超電導薄膜でも、いわゆる d 波超電導によって非線形性が生じることが近年指摘されるようになった。ここでは紙面の関係上詳細な解説はできないので参考文献 1) を参照して頂きたい。d 波超電導では、電流の流れる方向によっては超電導ギャップが開いていない。したがって、低い電力の電磁波でも表面抵抗に電力依存性が生じ、非線形性が現れる。この効果は低温になるほど顕著となる。

今日、良質な高温超電導薄膜の作製技術が確立し、ここで取り上げた表面形態による非線形性はほぼ克服されている。また、d 波超電導の効果は、幸運なことに小型冷凍機を用いた超電導デバイスの動作温度（60K～80K）では顕著に現れない。超電導送信用デバイスは、精力的な研究開発によってさまざまな課題を克服しつつある。送信用デバイスの研究課題は、耐電力特性のすぐれたデバイス形状や、冷凍機まで含めたシステムの開発に移っている。通信分野で送受信デバイスの超電導化に成功すれば、より大きな市場規模が期待できる。特に、この分野では日本から優れた研究成果が報告されており、超電導マイクロ波デバイスがより広範な分野で実用化普及することに期待したい。

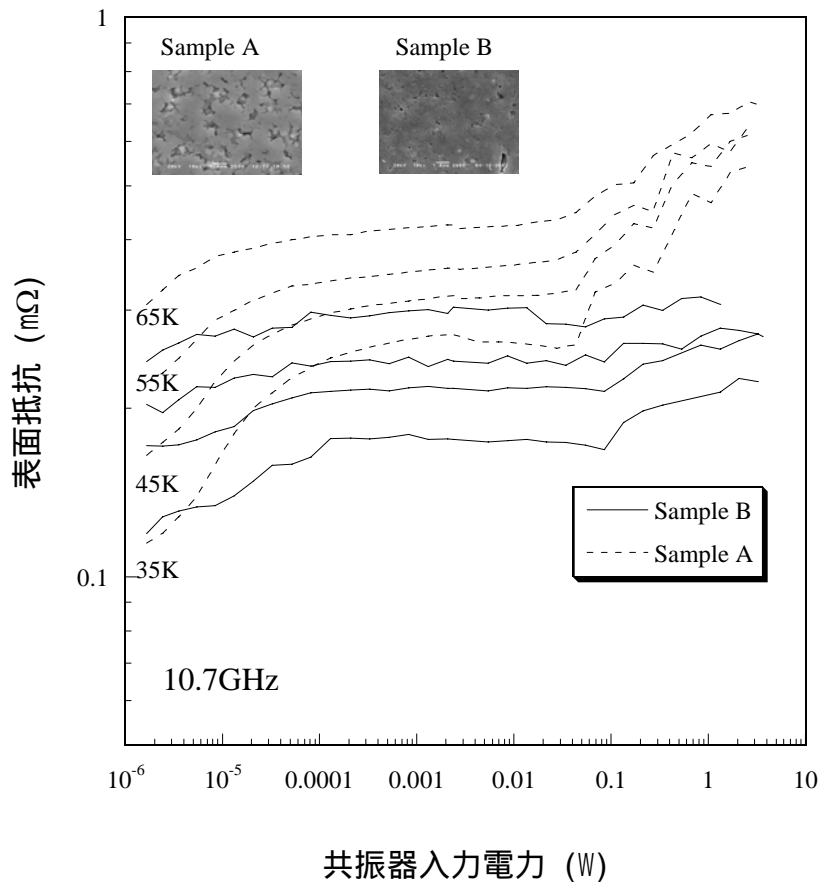


図 異なる表面形態（写真は薄膜表面のSEM像）の超電導薄膜の耐電力特性の測定結果。横軸は測定に用いている誘電体共振器への入力マイクロ波電力。縦軸は超電導薄膜の表面抵抗。表面形態が粗いsample A（点線）の方が大きな電力依存性を示している。

参考文献

1) D. E. Oates, S. H. Park, and G. Koren, Physical Review Letters 93, 197001 (2004)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術

「JISH7307:2005「超電導体のマイクロ波表面抵抗試験方法」とメンテナンス事項」

独立行政法人 産業技術総合研究所
評価部
次長 幸坂 紳

超電導エレクトロニクス応用関連分野の最初の JIS 規格である JISH7307:2005「超電導体のマイクロ波表面抵抗試験方法」は、IEC の国際規格、IEC61788-7 Superconductivity - part 7:Electronic characteristic measurements – Surface resistance of superconductors at microwave frequencies (2002 年発行) に整合化した規格として作成・審議され、2005 年 2 月に制定された。移動体通信基地局への設置が検討されている高温超電導マイクロ波帯フィルター等の性能を支配するキーパラメータである超電導薄膜の表面抵抗を測定する試験方法規格を提供している。測定の主なスペックは、周波数領域 8 GHz ~ 30 GHz、測定分解能 0.01m Ω (10 GHz 換算)、測定温度範囲 30 K ~ 80 K、変動係数 (標準偏差を平均値で除した値) 20%未満、である。

本試験方法では 2 共振器法が採用されている。誘電体損失の極めて小さいサファイア円柱の両端を 2 枚の超電導薄膜ではさんで誘電体円柱共振器を構成し、この共振器の Q 値を測定する。直径が等しく、長さの比が 1:3 である二つの共振器の Q 値から超電導薄膜の表面抵抗を算出する。10 GHz 換算で 0.1m Ω オーダーという極めて小さな表面抵抗を目標とする精度で測定するためには、誘電体円柱共振器の構造やサファイア円柱のサイズ (直径、長さ) の選択が重要であり、国内機関が中心となって行ったラウンドロビン測定のノウハウが規格に反映されている。特に、IEC の国際規格審議段階では必ずしも明らかではなかったが、サファイアの誘電定数の異方正を考慮した共振モードの解析から、サファイア円柱のサイズの変更により、より高精度な測定が可能となることが明らかになった。サファイア円柱サイズ推奨値の変更は、現在進行中の IEC 国際規格のメンテナンス (2006 年 11 月発行予定) に反映される予定であるが、JISH7307 ではこの変更を先取りする形で、その付属書において記述されている。

IEC 国際規格のメンテナンスにおいては、このほかに、測定周波数の拡張 (現行の 12 GHz に 18 GHz, 22 GHz を加える) が議論されている。IEC 国際規格のメンテナンス終了後に、JIS のメンテナンスに反映されることとなる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術

「固有ジョセフソン接合を利用したテラヘルツ電磁波発振の可能性」

弘前大学
理工学部 電子情報システム工学科
教授 中島健介

固有ジョセフソン接合は、Bi-2212 等の異方性の強い高温超電導体の c 軸方向の電流輸送特性が CuO₂ 層間のジョセフソン結合に支配されるいわゆる固有ジョセフソン効果を利用しており、高品質な単結晶を微細加工することで比較的容易に特性の揃ったアンダーダンプな接合スタックが実現できることから、その発見当初からフラックス・フローなどを利用した超高周波発振への応用が有望視されてきた。固有ジョセフソン接合による高周波発振へのアプローチは、大まかに (1)Nb/AlOx/Nb などの金属超電導 SIS 接合では既に実現されているフラックス・フロー発振 (FFO) を利用する方法、(2)接合スタック内にジョセフソン電流と電磁波が結合したいわゆるジョセフソン・プラズマを励起し、そのエネルギーの一部を取り出す方法、(3) 多数の固有ジョセフソン接合を含む二次元接合アレイを用いてジョセフソン誘導放射を実現する方法が考えられている。最近、筑波大の門脇らはジョセフソン・プラズマをフラックス・フローにより励起することを試み印加磁場 1T 付近において固有ジョセフソン接合から放射をポロメータによって検出したことを発表している。この結果は、立木らによって理論的に予測された(2)の方法による放射の可能性を強く示唆するものであり、今後のスペクトルメータなどによる発振周波数の同定が待たれる。

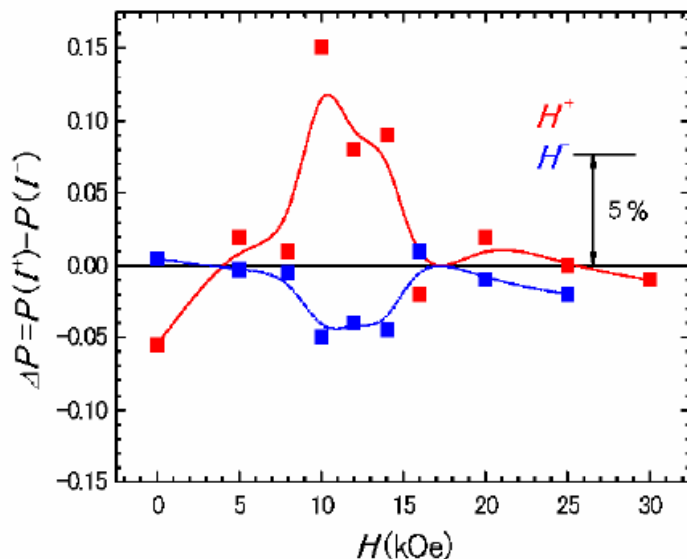


図1 ジョセフソン・プラズマからの放射と見積られるパワーΔPの磁場方向(H⁺, H⁻)依存性。1T 付近でフラックス・フロー方向の違いを反映したパワーの差が見られる。

出展：K. Kadowaki, Sci. Technol. Adv. Mater. 6 (2005) 589-603,
K. Kadowaki, I. Takeya, T. Yamamoto, T. Yamazaki, M. Kohri and Y. Kubo, Physica C, in press

また、物質・材料研究機構の Wang らは 2.8T の磁場を印加した固有ジョセフソン接合内に約 340GHz に共鳴した電磁波が励起されていることを I-V 特性から見出している。彼らは、こういった特性を持つ固有ジョセフソン接合を 2 次元アレイ化し多数の接合を同期させることで(3)の方法によるジョセフソン誘導放射を目指している。

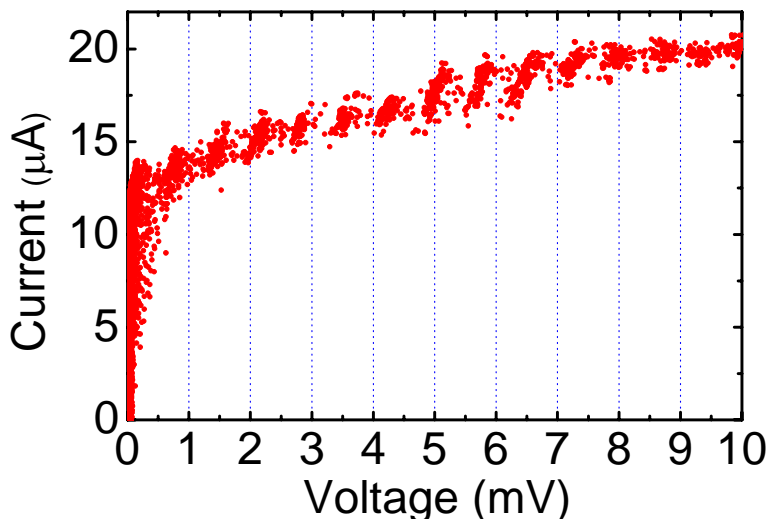


図 2 磁場中で測定したサブミクロン幅 (0.6 μm) の固有ジョセフソン接合の典型的な電圧 - 電流特性。2.8 テスラの磁場下において約 700mV の等間隔に電流ステップは、固有ジョセフソン接合内に約 0.34THz の電磁波が誘起されていることを示している。こういった特性は 40K の温度まで観測される。

データ提供：物質・材料研究機構 王 華兵氏

これらの研究の進展によって将来、先行している感のある量子カスケードレーザ(QCL)やプロトン発振器に対して、電力や周波数可変範囲の点で優位な超電導テラヘルツ波源が実現できる可能性は十分にあると考えられる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波デバイス技術

「超電導トンネル接合を用いたテラヘルツイメージング技術」

理化学研究所

有吉誠一郎、大谷知行、佐藤広海

電波と光波の境界領域に位置するテラヘルツ光は、産業分野における各種非破壊検査や癌診断、生体内構造解析、天文分野における銀河形成進化の観測的研究などを行う上で重要な周波数バンドとして期待される。しかし、このバンドで高感度かつ大規模イメージングを行うために必要な多素子検出技術は未開拓である。そこで我々は、超電導トンネル接合素子 (STJ) を用いた超高感度・広帯域テラヘルツ光直接検出器とそのイメージングアレイ化に向けた研究開発を進めている。検出器 1 画素は、ニオブ超電導体の平面アンテナと超電導マイクロストリップラインを STJ 素子で橋渡しした膜構造をとる (図 1)。超電導体のギャップエネルギーは数 meV であり、これが数 100 GHz の光子周波数に相当するため、テラヘルツ光の検出が可能である。電気的には、STJ 素子は抵抗と静電容量の並列回路、超電導マイクロストリップラインはインダクタンスとして動作するので、検出器全体は一種の LCR 回路を構成し、狭帯域の共鳴周波数ピークが複数個立つ。STJ 素子のサイズ・位置・臨界電流密度などを最適化するとこの共鳴周波数を制御でき、所望の中心周波数を有する帯域幅 10% 程度の検出器が実現可能である。中心周波数は、当面は天文観測適地の大気透過窓に合わせた 0.65 THz に設計している。また、検出感度は、低バックグラウンド下において雑音等価電力 (NEP) で 10^{-16} W/ Hz を達成している。¹⁾

イメージングに向けた開発の第 1 歩として、テラヘルツ連続波光源 (後進波管) と理研で構築されたイメージング・システム²⁾ を使用して、STJ 検出器 (1 画素) を用いた初のテラヘルツイメージングに成功している。取得したテラヘルツ透過画像の一例を図 2 に示す。イメージ品質の改善に向けて、STJ 検出器や光源の調整、ノイズ除去等を行った結果、現在では既存の焦電検出器に比べて少なくとも 3.5 桁高い S/N 比を実現している。画像

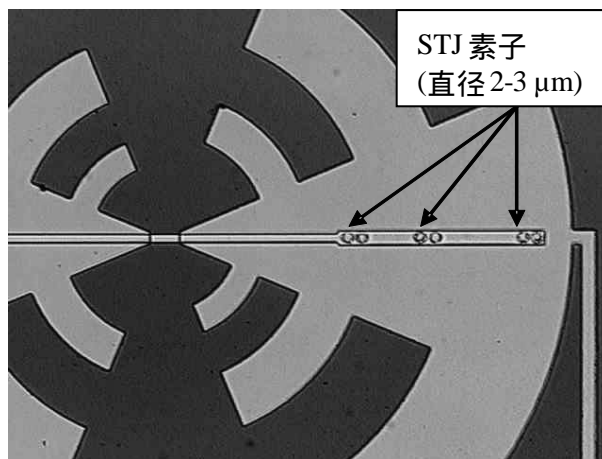


図 1 STJ 検出器の拡大写真。対数周期アンテナ (半径 140 μm) と STJ 素子 (線路上の小さな丸) が水平に走るマイクロストリップ線路で接続されている。

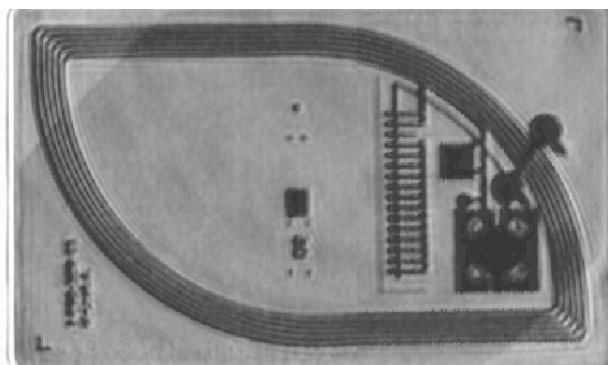


図 2 STJ 検出器を用いて取得した IC カードのテラヘルツ写真 (サイズ : 50 mm x 85 mm、厚さ 1 mm)

の空間分解能は約 0.6 mm で、使用した光学系の回折限界に近い像が得られている。

今後、検出器の大規模アレイ化と簡便な冷却システムの実現により、より広範な応用分野の開拓を進めたいと考えている。検出器アレイ（当面 100 画素）実現に向けては、既に最大 $6 \times 6 = 36$ 画素のアレイの作製や複数素子によるイメージング試験を始めており、今後、アレイ配置の電磁界解析や周辺の光学系も含めた最適化を進めて行く予定である。また、検出器のバンド選択型の周波数特性を活かしたマルチカラー（多波長）検出器アレイの実現も計画している。高感度検出システム構築では、冷媒（液体ヘリウム）が不要な機械式冷凍機を新規導入し、冷却が簡便で連続運用が可能なシステムの構築を目指す。

参考文献

- 1) S. Ariyoshi et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., 15, pp.920-923, 2005
- 2) A. Dobroiu et al., Applied Optics, vol.43, No.30, pp.5637-5646, 2004

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイド - 超電導マイクロ波デバイス関連製品 - (社名五十音順表示)

1. 大面積超電導薄膜

山形大学 工学部電気電子工学科

フッ素フリースピンコート法による YBCO 薄膜の作製 (研究開発中)

TEL:0238-26-3286、FAX:0238-26-3293、大嶋重利

2. 超電導アンテナ

山形大学 工学部電気電子工学科

HTS マイクロ波～ミリ波アレーアンテナ (試作開発中)

TEL:0238-26-3286、FAX:0238-26-3293、大嶋重利

3. 超電導送受共有器

山形大学 工学部電気電子工学科

超電導送受共有器 (Duplexer、Multiplexer) (試作開発中)

TEL:0238-26-3286、FAX:0238-26-3293、大嶋重利

4. 超電導フィルタ

株式会社富士通研究所

高温超電導フィルタ (試作開発中)

TEL:046-250-8362 担当

山形大学 工学部電気電子工学科

HTS クロスカップル型フィルタ、集中定数型フィルタ (試作開発中)

サファイア・磁性 ロッドトリミング、第3次高調波評価

TEL:0238-26-3286、FAX:0238-26-3293、大嶋重利

理研電具製造株式会社

超電導フィルタ (サプライヤー)

TEL:03-5798-2396、FAX:03-5798-4316、岩脇良見

(編集局 田中靖三)



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 2-3月の催し物案内

2/17

大型核融合装置の設計状況と先進超電導導体の核融合装置への適用

場所：核融合科学研究所 研究棟 4階 大会議室、岐阜県、土岐市

主催：低温工学協会 材料研究会

問合せ：超電導工学研究所 名古屋高温超電導線材開発センター 千葉紀弥花

TEL: 052-871-4002、FAX: 052-871-4090

E-mail: kimi-chiba@istec.or.jp

2/21

理化学用 NMR 装置開発の最先端

主催：低温工学協会 超電導応用研究会、冷凍部会

場所：横浜市立大学大学院講義室 1、横浜市

問合せ：理化学研究所 前田秀明

TEL:045-508-7211、FAX:045-508-7360

E-mail:maeda@jota.gsc.riken.jp

2/27-3/2

メゾスコピック超伝導とスピントロニクスに関する国際シンポジウム

場所：NTT 厚木研究開発センター講堂、神奈川県、厚木市

主催：科学技術振興機構、NTT 物性科学基礎研究所

問合せ：東北大学大学院 新田

TEL:022-795-7315、FAX:022-795-7374

E-mail:nitta@material.tohoku.ac.jp

<http://www.brl.ntt.co.jp/event/ms+s2006>

3/7

電気学会若手セミナー「超電導が拓くニューパラダイム（第3回）」

場所：名古屋大学 IB 電子情報館北館 7階 071 講義室、名古屋市

主催：電気学会東海支部

問合せ：名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻 早川直樹

TEL:052-789-3325、FAX:052-789-3143

E-mail:nhayakaw@nuee.nagoya-u.ac.jp



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (12/20-1/19)

HV キャパシター用炭素材 川崎に年 100 トンライン 新日石 12/20 日刊工業新聞
超電導の商用化幕開け 応用分野の開発加速 電力ケーブル実利用へ 海外で先行実験 12/22 日刊工業新聞
キャパシター 先端領域で固有技術活用 新日本石油 ハイブリッド車用開発 12/22 日刊工業新聞
巨大加速器、先端医療で活躍 高速粒子でがん攻撃 12/25 日本経済新聞
電子が持つ磁石の性質 高温超電導に関与 東北大 12/26 日本経済新聞
自動車用温水器 排水と熱のみ 燃料電池など 初期費用 1000 万円 普及には壁も 12/26 毎日新聞
危機管理で国際規格 ISO 企業や自治体対象 2008 年夏までに 12/28 日本経済新聞(夕)
フィリップスメディカル 3 テスラ MRI 投入 高精細・高画質を実現 1/4 日刊工業新聞
電気二重層キャパシタ 「M-CAP」搭載 不意の電源トラブルに対応 独自技術駆使した瞬
低補償装置 1/5 日本経済新聞
新・国家エネルギー戦略 資源の安定確保 急務 中国の需要増 露のガス停止 1/6 読売新聞
実用化への取り組み加速 研究で世界の最先端を走る 中部電力 イットリウム系合成技術 転
移導体で交流損失低減 瞬低補償機の実証が順調 直径 15 センチバルク体開発 1/6 電気新聞
手術中でも MRI 診断 国立がんセンター 1/9 日本経済新聞
水素社会は当分来ない 熱効率の悪さ改善必要 茅陽一 1/9 日本経済新聞
高温超電導 大型機械、初の商品化へ 日本勢、線材でもリード 1/12 日経産業新聞
進む再生医療 研究の現場で 国際標準 安全性・倫理確立に課題 1/13 朝日新聞(夕)
高温超電導磁石 小型・低コストに 住友電工が高性能線材 医療機器向けなど応用広く 1/13 日本経済新聞
ナノテク 次のステージへ 国際競争時代の課題 エネ・環境、医療に重点を 川合知二 1/13 日刊工業新聞
シリコン使わぬ太陽電池 パネル供給、08 年にも フジクラ、世生産技術を確立 1/13 日経産業新聞
豪雪 追い風 風力発電、融雪に威力 秋田市の国道橋 1/13 毎日新聞
ITER 計画円滑化へ環境整備 文科省 7 極協議の進展受け 1/13 電気新聞
住友電工 ビスマス系高温超電導線材 世界最高の電流値達成 1/16 電気新聞
高温超電導発見から 20 年 室温超電導は可能か 物質発見 日本がリード 磁石・SQUID は実
用化段階 医用装置の小型化に貢献 1/17 日刊工業新聞
MRI の平面画像処理 呼吸で動く臓器 3 次元画像表示 東大など 手術に活用へ 1/17 日経
産業新聞
ビジネスをストップさせない! ディザスター・リカバリー対策 瞬低・停電対策装置 1/17 日
刊工業新聞
高温超電導発見から 20 年 室温超電導は可能か 超電導工学研究所長 田中昭二氏に聞く 次
世代線材の開発進展 今年は“応元年”に 1/18 日刊工業新聞
エレベーター 磁石使い姿勢安定 東芝エレベーター レール非接触に 1/18 日刊工業新聞
高温超電導発見から 20 年 室温超電導は可能か 東北大学 前川禎通氏に聞く 転移温度上昇
に可能性 定量予測で努力必要 1/19 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 (2005年12月)

電力

American Superconductor Corporation (2005年12月20日)

American Superconductor Corporation 社(AMSC)は、中国の電気工学研究所が電力グリッドにおいて初めて 10.5-kV の超電導限流器の試験に成功したと発表した。装置は電気工学研究所が、中国理化学研究所及び湖南電力社と共同で AMSC 社の HTS 線材を使って製作したもの。2005年8月以来、この限流器は通常の5倍以上の大きな電流スパイクをうまく抑制できている。6ヶ月の試験の後、装置は取り外されて、部品の内部検査を行う予定。装置は必要に応じ改良され、電力グリッドに再度設置されることになっている。AMSC 社最高責任者 Greg Yurek は、「このデモンストレーション・プロジェクトは、非常に大きな市場である中国における超電導限流器の商業化に至る非常に重要なステップである。」と述べた。米国エネルギー省は、超電導限流器の市場は米国だけでもこれからの15年で数十億ドルになるであろうと見積もっている。「中国の急速に膨張しつつある都市部の電力遮断装置はその限界に達しつつあり、我々は(超電導限流器の)中国市場は(米国よりも)もっと大きいであろうと考えている。」と Yurek は述べた。

出典:

“Superconductor Fault Current Limiter Successfully Demonstrated for First Time in China Power Grid”

American Superconductor Corporation press release (December 20, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=797676&highlight

医療

CardioMag Imaging, Inc. (2005年12月14日)

CardioMag Imaging 社は、同社の一般株がロンドン株式取引所の AIM 市場に上場されることになったと発表した。これにともない、同社は約 930 万ドルの資金を入手することになる。同社は、この資金を国際市場への進出や、米国内における製造能力拡大に当てる。市場からの同社の調達資金はこれまでで、5,090 万ドル(発行額面)であった。CardioMag 社は、心磁計の設計、製造、販売を行う会社である。

出典:

“CardioMag Confirms Trading on London’s Stock Exchange AIM Market”

CardioMag press release (December 14, 2005)

http://www.cardiomag.com/about/news/CMI_US_Placing_Release_12-14-05.pdf

通信

ISCO International(2005年12月22日)

ISCO International 社は第4四半期の収支の最新情報を発表した。同社は、初めて年間出荷額 1,000 万ドルを達成した。最終結果の確認は 2006 年 1 月まで待つ必要がある。さらに、同社は新規顧客を獲得した。この新規顧客は 2006 年の業績に大きな寄与が見込める発注をしている。これは、同

社の 2006 年の重要な新しい収入源となる。また同時に、ISCO International 社は、商用トライアルの非常に良好な結果を踏まえ、大手携帯電話事業者と話し合いを進めている。この事業者は ISCO International 社に他地域でのネットワークに対するソリューションについても設計・検討するよう依頼してきている。

出典:

“ISCO INTERNATIONAL PROVIDES UPDATE FOR THE FOURTH QUARTER 2005”

ISCO International press release (December 22, 2005)

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

基礎

Rice University (2005 年 12 月 22 日)

Rice University では、パートナーとなるべきフェルミオンの集団に囲まれた上向きスピンと下向きスピンがミスマッチのペア・フェルミオンクラスターを構成する超流動フェルミオンを生成、観察することに成功した。絶対温度で数十億分の 1 度という温度において、同じ、しかしながら異なるスピンを持つフェルミオンが互いに結合し、一体となって動き始めた。超電導体では、フェルミオンの対によって抵抗なく電流が流れる。従来の理論では、等しい数の上向きスピンと下向きスピンの粒子が存在して超電導が生じることになっており、物理学者はもしこの条件が満たさなければどのようなことが起こるかを考えてきた。Rice University では、Li6 原子を絶対温度十億分の 30 度にまで冷やし、電波を用いて上向きスピンと下向きスピンの原子の比率を変化させた。その結果、不對フェルミオン 10%までは問題なく超流動が維持されることを見出した。予想に反して、ガスはあたかも完全な対を組んでいるかのように振舞った。上向きスピンと下向きスピンの比率が変化して不對上向きスピンの原子が 10%を超えると相変化が発生した。また、不對原子は排除され、過剰上向きスピン原子の殻に囲まれた超流動の核が発生した。超流動及び超電導にひとつの洞察を与えたこの研究は Science に掲載予定。本研究は米国 NSF、海軍研究所、NASA、R.A. Welch Foundation の支援を受けて行われた。

出典:

“Ultracold test produces long-sought quantum mix”

Rice University press release (December 22, 2005)

<http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=8101&SnID=327289313>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

平成 17 年度第 3 四半期の公開特許

平成 17 年 10 月～12 月に公開された ISTECS 出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁のホームページ内の特許電子図書館等の特許データベースをご利用下さい。

1) 特開 2005-274485 「超電導サンプラー回路」:

サンプリングパルス発生回路、コンパレータ回路、出力読出し回路で構成の従来の超電導サンプラー回路では、サンプリングパルス発生回路のリセットパルスがコンパレータ回路に流入したり、出力読出し回路が正常にリセットされないという課題を有していた。本発明では、サンプリングパルス発生回路にエスケープゲート用ジョセフソン接合と、出力読出し回路にリセット用ジョセフソン接合を付加し、さらに回路のバイアス電流の供給を適正化することにより、上記課題を解決している。

2) 特開 2005-291707 「磁気情報の読取・評価方法及び装置」:

本特許は、磁気光学効果を用いた磁気検出手段によって物体の磁気情報を読取るとともに二次元的に可視化評価する磁気情報の読取・評価方法に関するものである。本発明では、磁気検出手段として、ガーネット単結晶基板の特定結晶面に下記の化学式で表される Bi 置換磁性ガーネット膜を成膜してなる磁気光学媒体を用いる。この媒体は面内磁化膜特性を有し、高分解能の磁気分布読み取りが可能となる。

化学式： $(\text{Bi}_w\text{R}_{1-w-x}\text{Pb}_x)_3(\text{M}_y\text{Fe}_{1-y})_5\text{O}_{12}$

ただし、R=Lu、Yb から選ばれる 1 種または 2 種、M=Ga、Al から選ばれる 1 種または 2 種、 $0.25 \leq w \leq 0.7, 0 \leq x \leq 0.05, 0 \leq y \leq 0.24$

3) 特開 2005-292163 「磁気光学媒体とその製造方法」:

本発明は、磁場センサーとして用いるのに適した、磁化容易軸が膜面に平行であり、ファラデー効果が大きく、かつ、高い空間分解能を有する磁気光学媒体を提供することを目的としている。本発明では、ガーネット単結晶基板の特定結晶面に下記化学式で表わされる Bi 置換磁性ガーネット膜をエピタキシャル成長させた面内配向磁化膜とその製法を開示している。

化学式： $(\text{Bi}_w\text{RE}_{1-w-x}\text{Pb}_x)_3(\text{M}_y\text{Fe}_{1-y})_5\text{O}_{12}$

ただし、RE は Lu、Yb から選ばれる 1 種または 2 種、M は Ga、Al から選ばれる 1 種または 2 種であり、 w, x, y は次式を満たす。

$0.25 \leq w \leq 0.7, 0 \leq x \leq 0.05, 0 \leq y \leq 0.24$

4) 特開 2005-308465 「超電導体の n 値の測定方法及び測定装置」:

本発明は、超電導体の転移領域の特性を示す n 値を非破壊かつ非接触に求める方法を提供するものである。本発明は、外部交流磁界により超電導体の表面に誘起される電流を非接触で検知し、超電導体の電流電圧特性を評価する方法において、以下の手順で n 値を特定する。

(a) 磁場発生のために、少なくとも 2 つの異なる周波数($f_1, f_2: f_2 > f_1$)の外部交流磁界を、電流 I_d を連続的に変えながら超電導体に印加して、該超電導体の表面に誘起される電流の第 3 高調波成分 W を検知し、少なくとも 2 つの $W-I_d$ 曲線を得て、

(b) 前記の少なくとも 2 つの $W-I_d$ 曲線の相似比 α を算出し、

(c) 相似比 α と周波数(f_1, f_2)から、下記式に基づいて n を算出する

$$n = \{(\log f_2 - \log f_1) / \log \alpha\} + 1$$

5) 特開 2005-310600 「MgB₂線材の製造方法」:

本発明は、臨界温度 T_c=39K を持つ金属間化合物超電導体 MgB₂ の線材製法に関するものである。本発明は、封管法の原料粉として MgB₂ 化合物粉末と Mg および B の粉末を用いることを特徴とするもので、以下の工程により MgB₂ 線材を作製する。

- (a) 粉末状の Mg と B の混合粉末と MgB₂ 粉末とを混ぜ合わせて混合原料とし、
- (b) 得られた混合原料を圧縮成形してペレットとし、
- (c) 得られたペレットを金属管に封入し、
- (d) 上記ペレットを封入した金属管に伸線加工を施して線材とし、
- (e) 得られた線材に不活性ガス加圧雰囲気中で熱処理を行う。

6) 特開 2005-328370 「超電導複数段シグマデルタ変調器」:

本発明は、高次の超電導シグマデルタ変調器の構成に関するものである。従来は、高次の - 変調器を超電導単一磁束量子回路で実現するために、複数の単一磁束量子パルスを帰還するフィードバックドライバ回路等の複雑な回路を用いていた。本発明では、第 1 の積分器及び第 1 の比較器から成る、 - 変調信号を出力する第 1 の超電導 - 変調器と、第 2 の積分器及び第 2 の比較器から成る、 - 変調信号を出力する第 2 の超電導 - 変調器とを有し、第 1 の積分器の出力を磁気結合により第 2 の積分器の入力とする構成の多段の超電導シグマデルタ変調器を開示している。

7) 特開 2005-328371 「超電導回路」:

超高速動作の超電導回路は、超高速の内部クロック信号を外部から供給される外部クロック信号を逡倍することにより生成している。ラダー回路等をこの逡倍回路として用いた場合、クロック信号の間隔の不揃いに起因する、性能や動作マージンの劣化が避けられない。本発明は、第 1 のジョセフソン転送ライン回路と、第 2 のジョセフソン転送ライン回路と、第 3 のジョセフソン転送ライン回路を直列接続した回路構成である。第 2 のジョセフソン転送ライン回路は、第 1 及び第 3 のジョセフソン転送ライン回路に比べて小さなバイアス電流や大きなインダクタンスを採用し、入力した単一磁束量子パルスを鈍化又は遅延して転送することによりそのパルス間隔を均一化して出力する。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[超電導 Web21 トップページ](#)

Asian Conference 2005 on Applied Superconductivity and Cryogenics (ACASC 2005) 会議報告

産業技術総合研究所
エネルギー技術研究部門 エネルギーネットワークグループ
淵野修一郎

第3回目の応用超伝導・低温工学アジア会議(ACASC 2005)が、韓国、釜山市のパラダイスホテルにて、2005年12月12～14日に開催された。

会場は2年続いてリゾート地での開催となったためか、今回も釜山・海雲台にある高級リゾートホテル(カジノ附設)で開催された。参加者は全部で143名(韓国100名、日本26名、中国13名、インド1名、ドイツ1名、ロシア1名、オーストラリア1名)で、やはりホストということもあって韓国からの参加者が圧倒的に多かった。中国からの参加者は12月が会計年度末ということで昨年よりは多かったが余り目立たなかった。発表件数は107件(招待講演12件、口頭発表22件、ポスター発表73件)展示が2件あった。

発表内容の内訳としては、超電導マグネットと応用関係が54件、Cryogenicsが15件、超電導材料が32件、エレクトロニクスデバイス関係が6件であった。

会議全体の印象としては、やはり中国の経済発展と同様に中国からの発表にパワーが見られたこと、韓国も同様で更に地元ということもあるが、特に若い参加者が多く見受けられた。

発表ではやはり超電導電力応用機器に関する報告が多かったが、トピックスとしてはKSTARの建設がヤマ場を迎えていることが挙げられようか。招待講演として韓国のNational Fusion Research CenterのBak氏から、"Current Status of the KSTAR Construction"と題して、KSTARの建設進捗状況の報告があった。2005年12月1日現在で87%の建設が完了している。16個のTFコイルがケースに入れられ、6個のCSコイルが熟処理終了、4個のPFコイルがassemblyの準備中である。現在TFマグネットのアッセンブリーも含めてヤマ場を迎えている。2007年の8月までに総てのアッセンブリーを終了し、2008年の6月には最初のプラズマ点火の予定である。

この会議のプロシーディングは発刊されないが、セレクトされた二十数編の発表論文がCryogenics誌の特別号として掲載されることになっている。

次回の本会議は2007年に中国の西安で開催される予定である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導心磁計が市場にでるまで(その1)

岡山大学大学院自然科学科
教授 塚田啓二

1. はじめに

心磁計とは、心臓の電気生理学的活動によって体の外まで発生する磁場を計測して、心臓の疾患を検査する装置である。心臓は全身に血液を循環させるために、ポンプとして常に休むことなく活動している。電気生理学的活動は、心臓の筋肉である心筋の収縮・拡張運動を引き起こしている心筋細胞内外でのイオン交換の現象である。ミクロなイオンの流れは、細胞内外での電位差を変化させ電位差がある分極状態と、電位差がない脱分極状態を繰り返し作りだす。この分極状態は心筋全体に同時にではなく、ある伝播過程を経て心臓各部位に伝わっていく。これが等価的に電流の流れとなり、磁場を発生させる。この心臓磁場強度は、数 100fT (フェムトテスラ) から数 10pT (ピコテスラ) 程度である。地磁気が数 10 μ T (マイクロテスラ) であるので、環境磁場に対して心臓磁場は 100 万分の 1 以下と微弱な磁場強度である。このような微弱な磁場は、磁気センサのなかでもっとも高感度な超電導量子干渉素子 (SQUID) によって計測が可能となる。超電導量子干渉素子は、用いている超電導材料によって 2 種類に分類され、超電導状態になる転移温度 T_c が低いので一般的には液体ヘリウム(4.2K)の冷却によって用いる Nb などの金属材料を用いた低温系 SQUID と、 T_c が高く液体窒素(77K)で冷却して用いる酸化物材料 (YBa₂Cu₃O_y 等) による高温系 SQUID がある。現在のところ、感度と信頼性の点から低温系 SQUID が使われているが、次世代のセンサとして高温系 SQUID の実用化が進んでいる。

心臓の電気生理学的活動を磁場ではなく体表面の電位変化として検知するものに、読者がよく知っている心電計がある。心電計を用いた心電図検査は、病気になった時だけでなく、定期健康診断でもよく行われていて、非常に広く普及している検査である。一方、心臓の磁場を計測する心磁図検査は、まだ読者には聞きなれない、あるいは受けたことのない検査である。というのも、心磁計が国内で薬事承認されたのが 2002 年 12 月であり、さらに保険収載されたのが、その 1 年後の 2003 年 12 月と最近になって医療機器として認められたからである。いままで医療機器の認可の多くは、米国厚生省の機関である FDA (Food and Drug Administration) での影響が大きく、米国より早く新しい医療機器が日本で認可されることは少なかった。しかし、これは日本のメーカーが米国より先行して新たな医療機器を開発したことがないからかもしれないので、なんとも判断しにくいところである。しかし、心磁計は米国より早く日本で承認された数少ない医療機器であろう。米国のメーカー (CMI) が開発した心磁計が FDA で承認されたのが 2004 年の 7 月である。このように、最近になって国内外で心磁計の商品化が活発し始めてきている。しかし、心磁計の歴史を振り返ってみると、超電導技術を用いた生体磁場計測装置は MIT の D. Cohen によって報告されたのが 1967 年であるので、非常に長い年月を経て医療機器として実用化されたといえる。この原因には、どのようなことがあるのだろうか。大きくは 2 つあり、超電導分野共通の問題としてよく取り上げられるシステムの高いコストと、医療機器特有の製品化までにクリアしなければならない安全をはじめとして、有効性の実証などの課題の大きさが挙げられる。今回、超電導技術を用いた心磁計を世にだすまでを振り返ってみることで、他の分野で超電導の実用化を目指している方々に役立てないかと、この連載をお引き受けした。

2. 心電計の歴史と心磁計の歴史

心磁計の歴史を振り返るにあたって、心電計の歴史と対比することによって、より理解しやすいのではないだろうか。心臓で生じている電気生理学的活動を、1887年に A. Waller が毛細管電流計で体表面から計測するのに成功した。その後、W. Einthoven によって計測装置の実用化が進められ、弦線電流計が新しく開発された。この装置によって正確な心電波形が計測できるようになり、現在の心電図の基礎が築かれた。彼は、この功績によりノーベル賞を受けている。この心電計をもとにさらに小型が進み世界中に心電計がひろまった。1920年代には、不整脈を中心とした臨床心電図学の体系化が T. Lewis によって行われた。その頃から真空管の発達によりシーメンス社から真空管式の心電計が発売されたのを始めとし、欧米の各社から真空管式の心電計が製品化されていった。初期の弦線電流計を用いた心電計は重さが数 100kg 以上と重くしかも非常に大きなものであったが、真空管式の心電計の小型化により持ち運びができるポータブルなものとなった。1960年代には半導体の発達により IC を用いた心電計が普及し始め小型・軽量化が加速され広く普及するにいたった。初期の頃の心電測定は決して簡単なものでなかった。この原因は信号の小ささにあった。体表面に現れる信号は数 mV であり、商業電源ノイズなどの雑音が大きくシールドルームの中でしか計測できないなど安定した計測ができなかった。現在では、差動増幅回路やフィルター回路により雑音を取り除くことができるので、だれでもがきれいな心電図をとることができるようになってきた。現在、手足 4 箇所と胸部 6 箇所に電極を貼る 12 誘導心電図が臨床上、標準の検査となっているが、より心臓細部の情報を得るために体に約 100 個程度の電極を貼って計測する体表面心電図などが開発されている。しかし、この多点計測することの有用性は分かっているものの、体中に電極を貼るわずらわしさや、電極の接触不良などから一般的には用いられていない。

では、心磁図の歴史を辿ってみると、年代は 100 年程度異なるものの心磁図も同様な道筋をたどっているのではないだろうか。心臓磁場の強度は、環境磁場である地磁気の約 10^{-4} T と比べ、約 10^{-10} T (テスラ) 以下と 6 桁以上小さい信号である。この微弱な心臓磁場は、1963年に G. Baule が、数 100 万回も巻いた誘導コイルを用いて計測に成功した。その後、超電導を用いた高感度な磁気センサである rf-SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) の発明とともに、1970年には D. Cohen によって、精度の高い心臓磁場計測が報告された。1976年には米国 BTi 社から SQUID を一つ使った 1 チャンネル磁束計が製品化され、1984年には 7 チャンネル磁束計が製品化された。1970年代後半には、日本でも心臓磁場計測の研究が開始された。1980年代後半から、半導体製造技術を用いた SQUID のマイクロデバイス化による特性のそろった dc-SQUID が製造できるようになり、多くの SQUID を用いたマルチチャンネル化の流れができた。1989年にはシーメンス社から 31 チャンネル磁束計が発表され、特に心磁計測が進められた。また、同年ヘルシンキ大学から 24 チャンネル磁束計が発表された。このマルチチャンネル化が急速に進んだことを受け、1990年には基盤技術研究促進センターと民間 10 社が超伝導センサ研究所を設立して、数 100 チャンネル以上の SQUID システムの高度化に関する研究開発をすることが行われた。この時同時に、低温系 SQUID を用いた 32 チャンネルの臨床用心磁計や、次世代機としての高温系 SQUID を用いた 16 チャンネル心磁計が開発された。心磁計の開発方向は、心電図で歩んできたように装置の簡易化および小



図1 64チャンネル心磁計
(日立ハイテクノロジーズ)

型化にあった。超伝導センサ研究所のプロジェクトが終了した後、参画した日立製作所が心磁計の開発を継承し、独自の構成からなる国産で初めての臨床用 64 チャンネル心磁計を商品化するまでに至った。これにより、いままで計測範囲が小さいため分割して計測していたものが一回の測定で済み、また臨床の場でも良質な信号が得られることから胎児の心臓疾患まで検査できるようになった。また、より小型化、可搬形のシステムを目指して高温超電導心磁計の研究開発が進められている。このように、心磁計は心電計と同じような過程を歩んでいて、しかも心電計で突き当たったマルチチャンネル計測の壁が、心磁計によって破られたのではないだろうか。

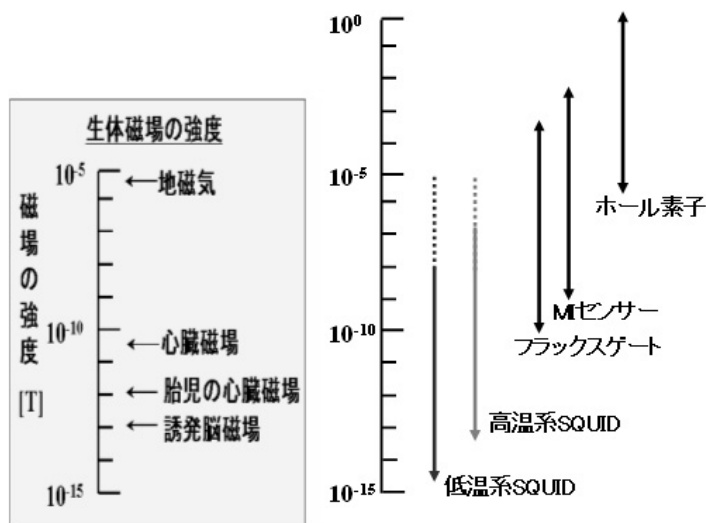


図2 各種磁気センサ感度と生体磁場強度

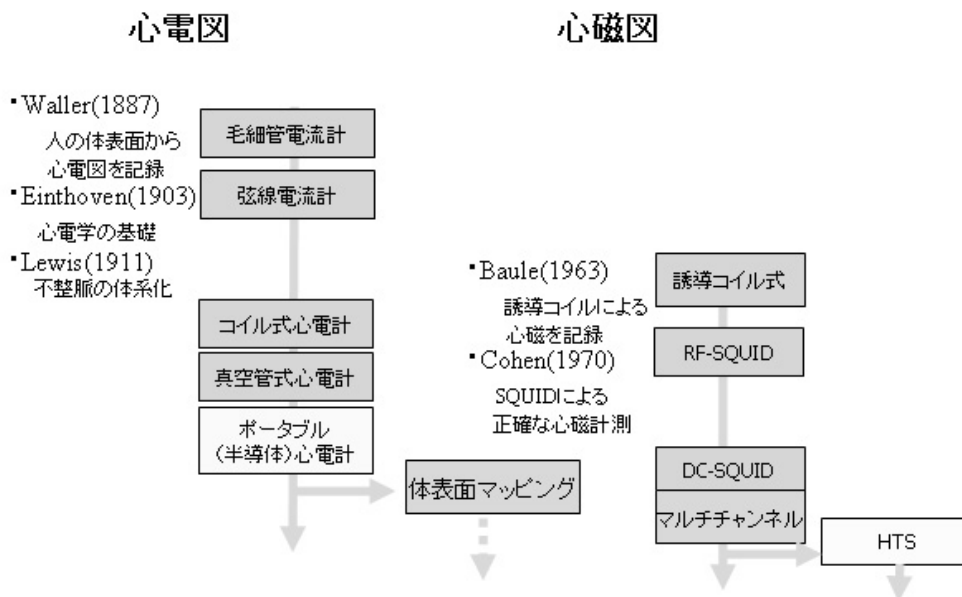


図3 心電図と心磁図の歩み

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q: 「モリオカマテリアル」とは何でしょうか？

A: 高温超電導体 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 溶融合成バルク材の一種で、希土類元素 RE が 3 元混合系の Nd, Eu, Gd または Nd, Sm, Gd からなる物質を「モリオカマテリアル」と呼ぶことがあります。盛岡超電導技術応用研究所のムラリダ研究員らが平成 7 年頃から岩手県工業技術センターと共同で研究開発を進めたことから、このような俗称が生まれました。

REBaCuO 超電導体を低酸素分圧で溶融成長させたバルク材は、優れた超電導特性をもつことが知られていますが、複数の希土類元素を混合した系では、希土類元素の種類や割合を変化させることでさらに高い臨界電流特性をもつことが明らかにされました。例えば、Nd, Eu, Gd の 3 種類を複合した系においては、平均粒径が $0.1\mu\text{m}$ という非常に微細な RE211 相が分散できることが分かり、この結果、液体窒素温度 77K において平成 10 年当時、極めて高い臨界電流密度 (3T で $60,000\text{A}/\text{cm}^2$) を達成しました。これは、3 種類の希土類元素を添加したにもかかわらず、非常に微細な Gd211 相が優先的に析出しており、これが高磁場下でも高い臨界電流を維持する原因と考えられています。

さらに、REBaCuO 溶融バルク材についてナノメートルサイズの組織制御を行うことにより、磁場特性を飛躍的に向上させました。従来の YBaCuO 溶融バルク材の臨界電流密度は、77K において磁場を加えると徐々に低下し、約 5T 前後でゼロになりますが、RE として Nd や Sm 等の軽希土類元素を使用した低酸素分圧溶融法により、約 8T 前後まで改善できました。これを発展させ、RE として 3 元系の Nd, Eu, Gd を用い、組成や作製プロセスの改良により、高磁場下で世界最高の臨界電流密度 (10T で $20,000\text{A}/\text{cm}^2$) を達成し、さらに臨界電流密度の磁場依存性を 14T 以上まで高めることに成功しています。この試料の微細組織を TEM により観察したところ、20nm 以下の縞状組織が観察されました。また、走査型トンネル顕微鏡 (STM) では大きさが数 nm の粒状物質が縞状に並んだ組織が観察され、この縞状組織による磁束ピン止め効果が磁場特性の向上に有効であることが明らかにされました。

「モリオカマテリアル」は、このように臨界電流の磁場特性について現在世界最高の性能をもつバルク材であります。液体窒素温度で 10T を超える強い磁石を作製できる可能性があり、強力バルク磁石として様々な応用が期待されています。

回答者：SRL/ISTEC 盛岡超電導技術応用研究所
所長代理 腰塚直己

[超電導 Web21 トップページ](#)