

掲載内容（サマリー）：

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波技術

- 超電導エレクトロニクスの新展開：マイクロ波からテラヘルツ・フォトニクスへ
- 酸化物超電導膜の大電力マイクロ波応用の技術課題
- ミリ波、サブミリ波帯検出器の開発
- ミリ波・サブミリ波帯ミキサによる遠隔計測技術
- 超電導トンネル接合素子によるテラヘルツ波直接検出とイメージング

- 超電導関連 2-3 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（12/19-1/19）
- 超電導速報－世界の動き（2006 年 11 月、12 月）
- 標準化活動－IEC/TC90（超電導）、新規 WG12（電流リード）を設置－
- 特許情報
- 第 34 回応用物理学会超伝導分科会研究会「高温超伝導発見から 20 年」報告
- 隔月連載記事－超電導送電事始（その 1）
- 読者の広場(Q&A)－超電導と核融合とはどのような関係があるのですか？

[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。

<http://keirin.jp>



特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波技術

「超電導エレクトロニクスの新展開：マイクロ波からテラヘルツ・フォトニクスへ」

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター
教授 斗内政吉

超電導エレクトロニクスにおいて高周波応用は重要な課題であり、これまでに、SIS接合の電波天文応用や、米国では、高温超電導体マイクロ波フィルターなどが実用化してきた。中国では、北京オリンピックにおいて、高温超電導フィルターの利用を目指しており、わが国においても、地上デジタル放送基地局への利用が検討されている。また、大電力化することで、送電用アンテナとしても期待されている。一方、近年、テラヘルツ分野の発展が著しく、超電導エレクトロニクスがその一翼を担うことも期待される。高周波応用のみならず、X線検出器、超電導量子ビットなど様々な展開も、可能となってきており、筆者は、新しい展開として、“超電導エレクトロニクス”と“オプトエレクトロニクス”を融合させる“超電導フォトニクス工学”の創成を提案している。

超電導フォトニクス工学は、X線からマイクロ波までをカバーし、図に示すように、光通信コンポーネント、光ルーター、超高速論理回路、量子コンピューター、新機能分析・イメージング機器、超LSI不良解析装置などの応用ターゲットを持ち、安全・安心社会の構築、次世代情報通信、バイオ・医療、基礎科学など様々な分野において活躍できる分野を構成できる。

最も基本的な素子として、光検出器がある。X線検出器の性能は極めて優れており、実用化されつつある。赤外領域の検出器の需要としては、光通信用信号と超高速論理回路との入力インターフェイスがある。特に、SFQ回路への超高速・低消費電力型インターフェイスの開発は、次世代計算機には

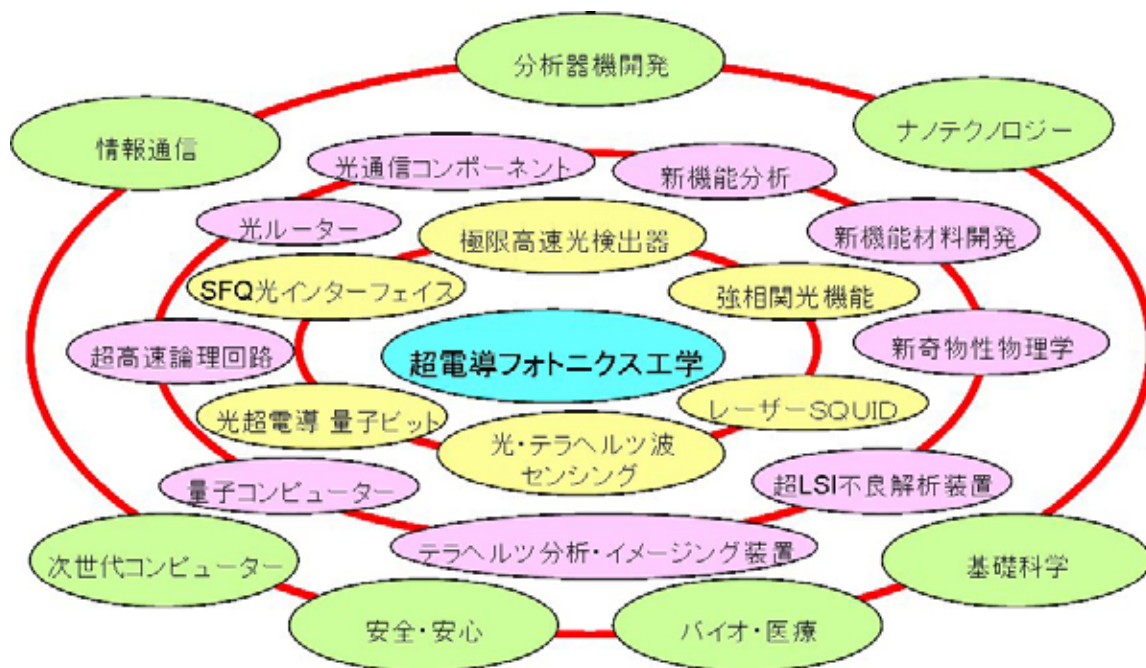


図 新超電導研究分野“超電導フォトニクス工学”

不可欠なものと位置づけることができる。テラヘルツフォトン検出器は、テラヘルツ分野の急速な進展により様々な展開が予想される。SISやHEBを用いたデバイスは、電波天文や地球環境計測には不可欠であり、また、焦点面アレー検出器を構成することで、超高感度テラヘルツカメラが誕生し、セキュリティ応用など高付加価値システムの開発へと展開可能となる。テラヘルツシングルフォトンカウンターは、量子情報通信のキーデバイスとして重要な役割を持っている。

レーザーSQUIDなど、光をアクティブに用いた応用も展開でき、また、超電導量子ビットデバイスも次世代のキーデバイスとして注目されているが、光と組み合わせることで新しい展開も期待される。以上のような新規分野の創成に向けて様々な取組みを総合的に推進することが望まれる。

参考文献

斗内政吉、日本学術振興会第146委員会第80回研究資料、p.2、2006.

斗内政吉、応用物理, 75, 160, 2006.

斗内政吉監修、“テラヘルツ技術”、オーム社、2006年5月

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波技術

「酸化物超電導膜の大電力マイクロ波応用の技術課題」

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

受信用バンドパスフィルタに代表されるマイクロ波帯における酸化物超電導膜を用いた受動デバイスは、携帯電話の基地局用として実用化普及に成功している。酸化物超電導体を用いたエレクトロニクス応用としては早い段階で実用化に成功した例としてしばしば取り上げられるが、¹⁾ 商品化に成功しているのは Superconductor Technologies Inc. (STI) 社など米国の一部企業のみであり、当初期待されたような市場規模の広がりは見えていない。特に日本においては米国とは異なるシステム、基地局の低コスト化の要求などにより超電導フィルタシステムは携帯電話の基地局には普及していない。

超電導受動デバイス普及の起爆剤として期待されているのが、送信用フィルタなど大電力マイクロ波応用の実用化である。そもそも超電導体自体は、高磁界マグネットや送電ケーブル用の線材として、高い電流密度を実現できる点に大きな特長がある。図は $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 膜の 10GHz 帯マイクロ波に対して膜表面に流れる遮蔽電流と表面抵抗の関係を、マイクロ波の電力を変化させながら測定した結果である。若干低い電流密度で表面抵抗に変化が見られるが、臨界電流密度に匹敵する電流密度まで低い表面抵抗が維持されていることが分かる。このことは、超電導膜の大電力マイクロ波応用の可能性を示すものである。

送信用フィルタが実用化すると、受信用フィルタと冷却装置を共有できることから、大きなコスト増を伴わずに帯域外の電磁波の漏洩、送信アンプの出力の低減などの利点が見られる。したがって、大電力マイクロ波応用の研究は日米欧で盛んに行われている。日本においては、総務省が「電波資源拡大のための研究開発」の中で超電導フィルタ技術を取り上げ、送信用フィルタの実用化を目指したプロジェクトを実施している。²⁾

送信用フィルタの実現には、耐電力特性の優れた膜、デバイス、システムの開発が必要である。デバイス、システム

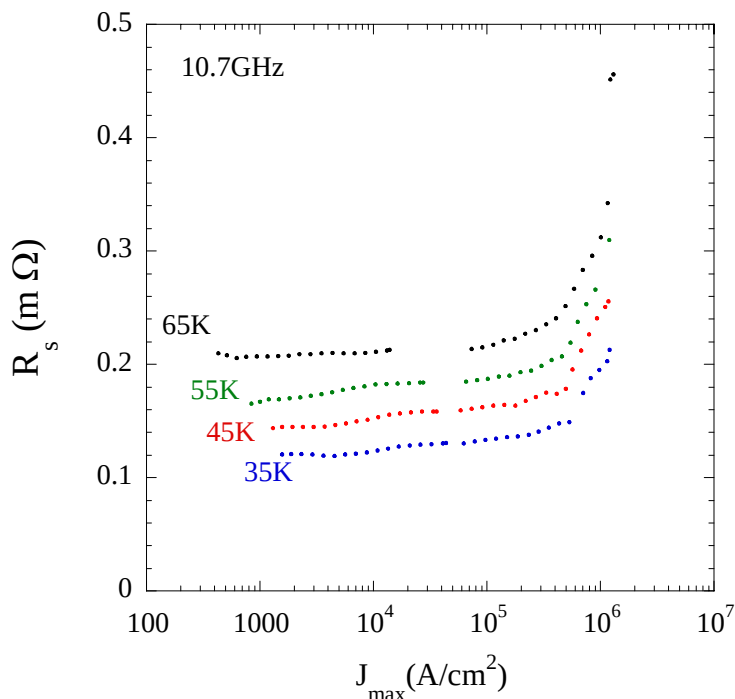


図 膜表面に流れる遮蔽電流の最大の電流密度 $J_{\max}$ と表面抵抗 R_s の測定例。膜は THEVA 社 YBCO 膜で膜厚は約 500nm。

開発においては、受信用デバイスとは異なるデバイス設計³⁾や、伝送線からの熱侵入の除去など研究課題も多い。膜に関しては超電導体の優れた耐電力特性に加えて、膜製造技術の進歩によりすでに耐電力特性の優れた膜を得ることはそれほど難しくはないように思われがちであるが、マイクロ波デバイスでは、超電導体の磁場侵入長に比べて十分厚い膜（通常 500nm 程度以上）が必要となる。このように比較的厚い膜で、超電導特性と表面平滑性に優れた膜を安定に作製する必要がある。特に、超電導膜表面の粗さやクラックなどの欠陥はマイクロ波特性を著しく劣化させる。加えて、安価な誘電体基板も超電導デバイスの低コスト化には必要なので、サファイア基板上への良質な超電導膜の作製など、取り組まなければいけない研究課題も少なくない。

受信用フィルタの商用化では、残念ながら日本は米国に遅れをとった形になったが、技術レベルでは十分太刀打ち出来る力を持っている。国のプロジェクトによる支援もあり、送信用デバイスでは日本がイニシアチブをとれる可能性が高く、大電力マイクロ波応用という超電導受動デバイスの新しい市場が開拓されることを期待したい。

参考文献

- 1) 例えば「超電導 Web21」2006 年 2 月号特集.
- 2) プロジェクト概要は http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/pdf/051027_1_1.pdf.
- 3) K. Yamanaka, A. Akasegawa, M. Kai, *et al.*, Physica C-Superconductivity and Its Applications 445, 998 (2006).

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波技術 「ミリ波、サブミリ波帯検出器の開発」

国立天文台
ALMA 推進室
助教授 野口 卓

1. はじめに

ミリ波、サブミリ波帯の極微弱の宇宙電波の観測に利用される高感度受信機には、超電導体-絶縁体-超電導体トンネル接合（以下、SIS 接合と呼ぶ）素子がヘテロダイン・ミキサ（以下、単にミキサと呼ぶ）素子として利用されている。国立天文台では、1980 年代半ばから、Nb を基本材料とした SIS 接合およびそれを用いた低雑音ミリ波、サブミリ波帯受信機の研究開発を行ってきた。本稿では、宇宙電波の観測に利用される高感度受信機の心臓部となる SIS ミキサの研究開発の現状を紹介する。

2. SIS ミキサを用いた低雑音受信機の現状

Nb/AlOx/Nb SIS 接合の電流-電圧特性には、Nb のエネルギー・ギャップ($2\Delta \sim 3 \text{ meV}$)を反映して、ギャップ電圧 $V_g (=2\Delta/e; e$ は電子の電荷)付近で急激に電流が増加する。SIS ミキサは、このギャップ電圧付近の強い非線形性を利用して、電磁波の混合、検波を行うデバイスである。特に、SIS 接合のサブギャップ領域でのリーク電流が著しく小さく、ギャップ電圧での電流の立ち上がりが非常に急峻な場合、量子極限 $h\nu/k_B$ に迫る雑音温度をもつヘテロダインミキサが実現できる。ここで、 h 、 k_B 、 ν は、それぞれ、プランク定数、ボルツマン定数、信号周波数である。

図 1(a)に SIS ミキサを用いた 500 GHz 帯ミキサの直流電流電圧特性と室温と 77 K の標準雑音源からの輻射を入力したときの IF 出力の電圧依存性を示す。SIS ミキサでは、ギャップ電圧のすぐ下側に現れる IF のピークで内部雑音が最小となり、この時の入力換算雑音温度を受信機雑音温度 T_{RX} と呼ぶ。図 1(b)に、典型的な 500 GHz 帯受信機の雑音温度の周波数依存性を示す。この帯域では、最小受信機雑音温度 $T_{RX} \sim 60 \text{ K} (@430 \text{ GHz})$ が得られている。この雑音の大きさは量子極限の雑音 $h\nu/k_B$ のわずか 3 倍程度であり、極めて雑音の小さな受信機が実現できていることがわかる。

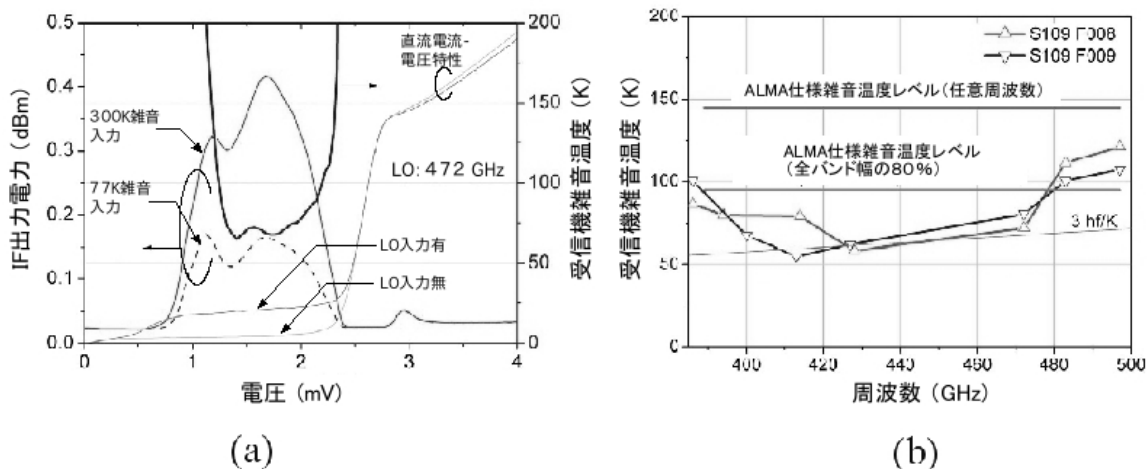


図 1 SIS ミキサを用いた 500 GHz 帯受信機の特長。(a)受信機の応答特性。(b)受信機雑音温度の周波数依存性。2 本の直線は、アタカマ大型ミリ波・サブミリ波電波干渉計の要求する雑音温度レベルを示す。

図 2 に、これまでに報告されているミリ波帯からサブミリ波帯の SIS 受信機の雑音温度を示す。100 GHz から 1000 GHz にわたって、非常に低雑音の受信機が実現できていることがわかる。ところで、この図から明らかなように、Nb を基本材料とした SIS ミクサを用いた受信機では、700 GHz 以下の周波数帯で量子極限の 3 倍 ($3h\nu/k_B$) 程度の雑音性能を示すが、700 GHz 以上の周波数帯では受信機雑音温度が急激に上昇している。これは、主に、Nb のギャップ周波数(約 700 GHz)以上の周波数で、配線や同調(共振)回路を構成する Nb 膜での電磁波の吸収に伴う損失が増加することによるものと考えられる。我々のグループでは、現在、Nb 系 SIS 接合と 1 THz 付近で吸収損失の小さな NbTiN 薄膜を組み合わせた SIS ミクサの開発を進めており、1 THz 帯の低雑音 SIS ミクサの実現を目指している。

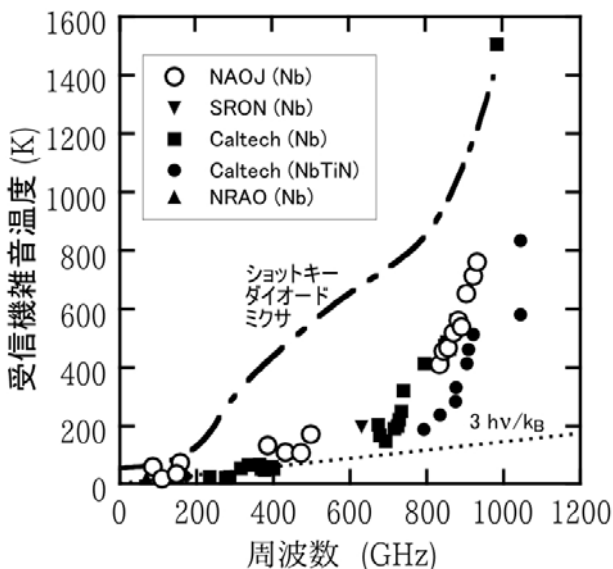


図 2 これまでに報告された SIS ミクサを用いたミリ波、サブミリ波帯受信機の雑音温度。図中、左上に示した略称は、以下の各国の研究機関を示す。NAOJ: 国立天文台(日本)、SRON: オランダ宇宙研究機構、Caltech: カリフォルニア工科大学(米国)、NRAO: 国立電波天文台(米国)。

3. おわりに

1987 年に野辺山 45m 電波望遠鏡に SIS ミクサを利用した 40GHz 帯の受信機が搭載されて、今年がちょうど 20 周年という節目の年にあたる。この間、さまざまな改良や新しい技術の開発により、1THz におよぶ高周波化や量子極限に迫る雑音性能をもつ受信機が実現できるまでに到っている。そして現在、南米チリ北部のアタカマ高原に建設中のアタカマ大型ミリ波・サブミリ波電波干渉計(図 3 に完成予想図を示す)へ搭載する SIS 受信機の開発を行っている。今年末には、その第 1 号機が完成し、チリに向けて出荷される予定である。

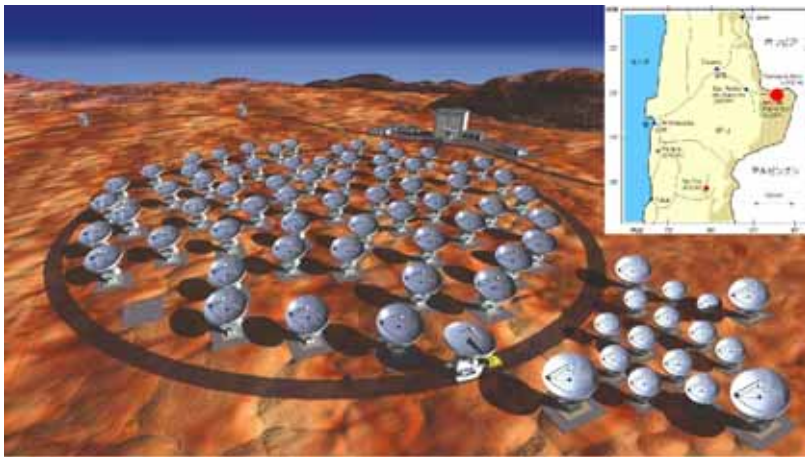


図 3 アタカマミリ波・サブミリ波大型電波干渉計 (ALMA) の完成予想図

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波技術

「ミリ波・サブミリ波帯ミキサによる遠隔計測技術」

独立行政法人 情報通信研究機構
第 3 研究部門 電磁波計測研究センター
環境情報センシング・ネットワークグループ
入交芳久

ミリ波・サブミリ波帯超電導受信機システムは、オゾン破壊や地球温暖化に関連した成層圏微量分子 (HO_x , NO_x , ClO_x , BrO_x) を観測する有力な手段の一つである。分子の放射する電波スペクトルをヘテロダイン方式により受信し、リムサウンディングと呼ばれる大気縁を観測する手法で、高感度・高高度分解能でこれらの分子の高度分布を測定することが出来る。

我々は気球搭載型超電導サブミリ波リム放射サウンダ(BSMILES: Balloon-borne Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)の開発を行い、2003、2004、2006 年に宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部の三陸大気球観測所において放球実験を行った。BSMILESは、アンテナ・較正系、光学系、受信機系、中間周波系、分光系、データ取得・制御系、姿勢検出系、電源、気球工学系(コマンド・テレメトリ系等)から成る。図1にシステムブロックを示す。ゴンドラサイズは約 1.35mx1.35mx1.26m、放球時の総重量は約 600kg、消費電力は約 150W である。サブミリ波帯には大気分子から放射される電波スペクトルが多く存在し、その放射強度も強く観測に有利であるが、気球を用いて成層圏に装置を上げることによって、対流圏中の水蒸気の吸収を受けない観測が可能となる。

アンテナ系はビームスキャン用の平面鏡、直径 300mmのオフセットパラボラアンテナ、副鏡より成る。1スキャン毎に、較正用のスイッチングミラーにより、ホットロードとコールドスカイ(仰角 50°)に切り替えて較正データを取得する。受信機には、液体ヘリウムにより 4K に冷却されたサブミリ波(650GHz)帯超電導受信機、SIS (Superconductor-Insulator-Superconductor) mixerが用いられている。SIS 素子には PC TJ 型¹⁾の Nb/ AlO_x /Nb 素子が用いられている。SIS ミキサの DSB システム雑音温度(アンテナ前で測定)の最良値は、630GHz 帯において約 300K である。ミキサにより中間周波(5-7GHz)に変換された信号は、HEMT(High Electron Mobility Transistor) アンプ(15K 冷却)や常温アンプによって増幅され、音響光学型分光計(帯域 1GHz、分解能約 1MHz)によってスペクトルが取得される。得られたデータは、搭載 PC の PC カードに記録され海上回収される。ゴンドラの姿勢を検出するために 3 軸光ファ

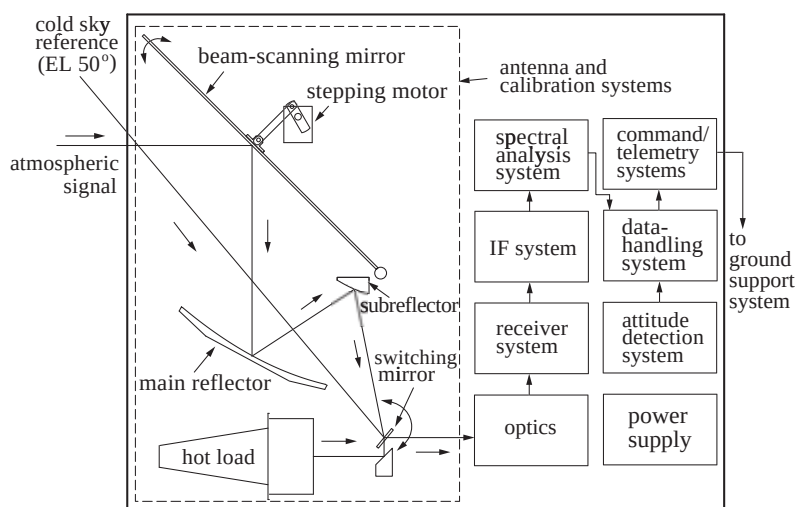


図1 BSMILES のブロック図

イバジャイロ、3 軸加速度計、2 軸地磁気センサを搭載している。機器は防水やノイズシールド等のため、窒素ガスを封入した与圧容器に入れられている。電源には 30 時間保つように設計されたリチウム電池が使われる。

2004 年の観測で得られた O_3 、 O_3 同位体、 $H^{35}Cl$ 、 $H^{37}Cl$ 、 HO_2 等のスペクトルを図 2 に示す。データは高度方向にスキャンしたもので、1 本のスペクトルの積分時間は約 1 分である。この観測で HO_2 という極微弱な電波を放射する微量分子の短時間観測に成功した。システムノイズレベル (r.m.s.) は約 70mK である。

気球搭載型の超電導サブミリ波帯受信機システムは、オゾンのみならずその破壊に関連した微量分子との同時観測が出来る装置であり、有力な大気観測装置の一つである。超電導を利用した高感受受信機を搭載していることで、これまで観測が困難であった微量分子の短時間観測が可能になり、未解明であった成層圏における光化学過程を解明し、オゾン層の将来予測に大きく貢献することが期待出来る。さらに将来的には HEB(Hot Electron Bolometer) mixer を搭載することで、THz 帯ヘテロダイン受信機の開発や大気観測 (OH ラジカル等)、天体観測にも貢献することが期待される。

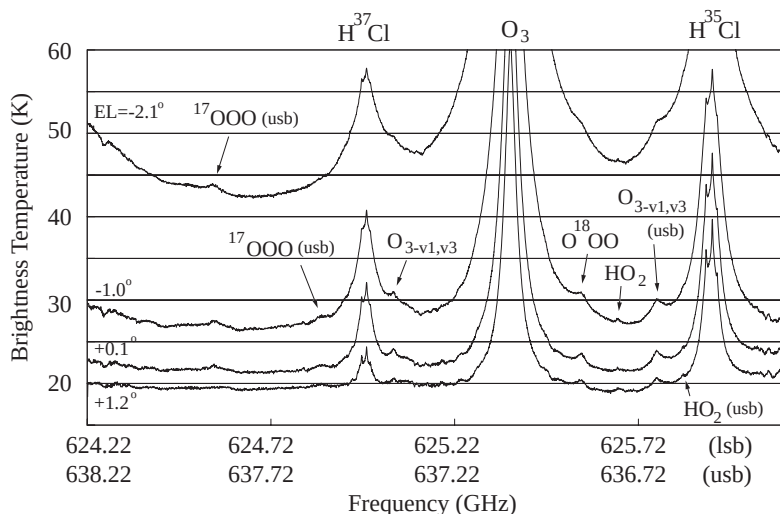


図 2 O_3 、 $H^{35}Cl$ 、 HO_2 等の放射電波スペクトル

参考文献

- 1) J. Zmuidzinas, H. G. LeDuc, J. A. Stern, and S. R. Cypher, "Two-junction tuning circuits for submillimeter SIS mixers," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 42, no. 4, pp. 698-706, Apr. 1994.

特集：超電導マイクロ波・テラヘルツ波技術

「超電導トンネル接合素子によるテラヘルツ波直接検出とイメージング」

独立行政法人 理化学研究所

テラヘルツ光研究プログラム テラヘルツイメージング研究チーム

大谷知行、有吉誠一郎

埼玉大学 工学部 田井野徹

テラヘルツ(THz)帯においては、様々な分光・イメージング応用が期待されているが、従来の THz イメージングの多くは単画素の検出器で行われており、物質透過性と空間分解能を活かすために高性能のアレイ検出器開発が求められている。我々は、Nb/Al/AIOx/Al/Nb という 5 層膜の超電導トンネル接合素子 (STJ) を用いた 2 種の高性能の THz 波直接検出器の開発を進めている。

1 つめの検出器は、光支援トンネリングを利用したバンド型検出器アレイである(図 1)。その 1 画素は、Nb の平面アンテナおよび Nb マイクロストリップラインを STJ 素子で橋渡しした構造を持ち、Nb の 2Δ (約 3meV、周波数 0.7 THz 相当) 以下で動作する。この検出器は電氣的に高周波 LCR 回路を構成する。中心周波数 0.65 THz、帯域幅 10%以上、雑音等価電力 10^{-16} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、ダイナミックレンジ 4×10^6 以上という性能を達成し、STJ 検出器初の THz イメージングにも成功している(図 2)。¹⁾ また、5 画素リニアアレイの周波数特性の一致を確認し、²⁾ 応用として南米チリ・ASTE 望遠鏡への 3×3 アレイの搭載試験も開始した。³⁾

一方、2 つめの検出器は、吸収体単結晶基板で発生する高周波フォノンを利用する。基板内を伝搬して STJ 素子に到達するフォノンが 2Δ 以上のエネルギーを持つと、Cooper 対を解離して余剰準粒子を生成する。この基板フォノンを受ける手法は X 線や粒子線検出で倉門らによって開発されたが、THz 帯という低エネルギーの光子検出の実証は初めてである。また、波長可変光源を用いた周波数特性評価により、少なくとも 1-2THz でフラットな特性を示すことを確認しており、THz スペクトルの利用に適した広帯域検出器として期待される。⁴⁾

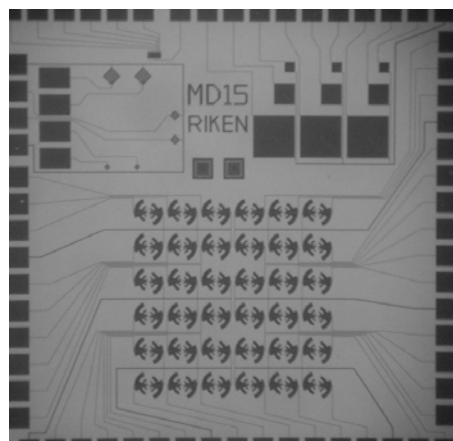


図 1 サファイヤ基板の 6×6 画素アレイ

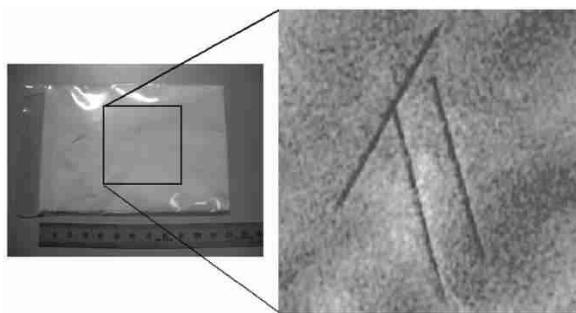


図 2 THz イメージの例 (粉ミルク中の針)

参考文献

- 1) S. Ariyoshi et al., Appl. Phys. Lett., 88, 203503 (2006).
- 2) S. Ariyoshi et al., Jpn. J. Appl. Phys., 43, 5637 (2006).
- 3) H. Matsuo et al., proc. SPIE, 6275, 627504 (2006).
- 4) C. Otani et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., 15, 591 (2005).

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 2-3 月の催し物案内

2/4-7

The 9th ACFA ILC Physics & Detector Workshop & ILC GDE Meeting

場所：Beijing, China

主催：IHEP (CERN)

<http://bilcw07.ihep.ac.cn/>

2/20

“ 強磁場 MRI が拓く新しい世界についてのシンポジウム ”

強磁場 MRI—生命の可視化—

場所：東京大学医学部教育研究棟 14 階鉄門講堂

主催：新領域創成科学研究科、医学系研究科

後援：文部科学省、未踏科学技術協会

問合せ：東京大学新領域創成科学研究科

e-mail: e-hatano@ams.k.u-tokyo.ac.jp

2/21-22

National Electricity Delivery Forum

場所：Renaissance Washington Hotel, Washington, D.C., USA

主催：U.S. Electricity Delivery Working Group

e-mail: mamalloy@naruc.org, Tel : 202-898-221 (Michelle Malloy, NARUC)

2/26

Technical and Economical Impact of Superconductors on Wind and Hydro Power Workshop

場所：Osnbrueck, Germany

e-mail: c.tusche@dbu.de, Fax: +49(0)541|9633-990

3/5-9

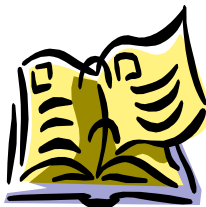
APS March Meeting

場所：Colorado Convention Center, Denver, CO, USA

主催：American Physical Society

e-mail: gaier@aps.org, Fax: 301-209-0866

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (12/19-1/19)

- ハイブリッド車 家庭充電式開発 モーター走行拡大 トヨタ、日産も着手 12/19 毎日新聞
- 期待される企業 テクノエーオーアジア 最先端の技術成果を市場へ 電磁波から健康を守る 12/19 フジサンケイビジネスアイ
- エネ先進国に向けた取り組み スペイン 成長背景に進む再開発 太陽熱・HP も積極導入 12/20 電気新聞
- 量子ビームで協定締結 原子力機構など 電池材料など開発 12/21 日経産業新聞
- 文科省 FBR 推進に 400 億円 原子力全体は 42 億円減 12/21 電気新聞
- 07 年度予算原案 エネ特会 374 億円減に 経産省分 電源立地対策は増 12/21 電気新聞
- 自動車メーカーEV 戦略 富士重工の決断 電池開発に投資集中 12/21 電気新聞
- 量子ビームで研究協力 物質・材料研/理研/原子力機構 人材交流促進 12/21 電気新聞
- 高温超電導線材の製品応用 GE 研究所と提携 住友電工 発電機、医療装置など開発 12/21 電気新聞
- 自動車メーカーEV 戦略 三菱自の挑戦 実用化へ電力と連携 12/22 電気新聞
- 脳卒中治療 29 病院 最高評価 「実力病院」日経調査 12/24 日本経済新聞
- 脳卒中 治療成績編 チーム医療 救命のカギ 救急と診療科、連携巧み 12/24 日本経済新聞
- 「SCU」設置病院 3 割に満たず 人員態勢課題 12/24 日本経済新聞
- 研究開発を再構築 住友電工 兵庫・伊丹に新拠点 12/25 日刊工業新聞
- 中小ものづくりと TRIZ 課題解決の糸口提供 コスト削減・納期短縮を実現 12/27 日刊工業新聞
- 原子核作り 4000 種可能に 理研が新加速器施設 元素誕生の解明目指す 12/29 朝日新聞
- 極低温で新磁気現象 原研など、超電導解明に期待 1/4 日経産業新聞
- 電線 注目の次世代超電導線材 古河電工・フジクラ 住友電工を追撃 1/4 日刊工業新聞
- 07 年始動「最高」加速器 欧州ヒッグス粒子発見に向け 日本中性子の産業応用視野に 1/5 朝日新聞
- 素粒子物理の新たな幕開け 欧州で 11 月大型ハドロン衝突型加速器実験開始 新物理法則発見も 国際リニアコライダー 直線に加速 高エネ実現 節目は 2010 年ごろ 日米で一騎打ちか 1/8 日刊工業新聞
- 無酸素銅と合金 三菱マテ 09 年度 3 割増産 中国向け、4-5 倍に拡大 1/10 日刊工業新聞
- 極低温 長時間可能に 産総研 対応温度の範囲広く 1/11 日経産業新聞
- ウエーブ 木元教子 ITER のカラダッシュに行く 1/11 電気新聞
- 導電性・磁性持つ有機物質 東大、初めて生成 1/12 日刊工業新聞
- 穀物水分量 磁気で測定 岡山大 高精度、手早く検査 1/12 日経産業新聞
- 超電導電力貯蔵装置の商用 1 号機 中部電 シャープ亀山工場（三重）に 落雷時の電圧低下対策 1/15 日刊工業新聞
- がん病巣に正確照射 三菱重、放射線治療装置に参入 今夏、日米欧で認可取得 X 線撮影機搭載 初の「国産」実用化 1/15 日刊工業新聞
- 量子暗号の発信器 室温で安定動作 北大と三菱電機 長距離通信に道 1/16 日経産業新聞
- 三菱電機 粒子線がん治療装置 6 件目 群馬大から受注 1/17 電気新聞
- 発送電一貫の重要性 日本が率先し発信を 1/17 電気新聞
- 消費電力 1/100 実現へ 単電子トランジスタ試作 東大、1-2 年で実用水準 室温で動作確認 1/19 日経産業新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（2006 年 11 月、12 月）

電力

American Superconductor Corporation（2006 年 11 月 2 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2006 年 9 月 20 日に終了する第 2 四半期の収支を発表した。収入は、前年同期 1,090 万ドルに対し、当期は 960 万ドル。当期の純損失は、前年同期の 680 万ドルに対し、当期は 700 万ドルであった。この結果、第 2 四半期末の時点で現金、現金等価物、短期投資を合わせて 4,610 万ドルを保有している。AMSC 社は 2007 年度後半には現金支出が減少するものと予想しており、従前の予定通り 2007 年度末での現金、現金等価物、短期投資は併せて 3,800 万ドルとなる予定。AMSC 社は、今年度中に米国海軍からの 1,200 万ドルを含め相当の現金収入を見込んでいる。同社は第 2 四半期中に 1,580 万ドルの受注及び契約を獲得しており（前年同期は 520 万ドル）、これにより受注及び契約の残高は 4,260 万ドルに達している。これは、前年同期の倍以上の額である。また、この 4,260 万ドルには 10 月中に獲得した 620 万ドルの新規契約及び受注は含まれていない。これら契約等には、36.5-MW HTS 船舶推進システムの設計、製作に関わる米海軍との新規契約や風力発電所用グリッド接続向け D-VAR®、上海電力ケーブル研究所からの線材の新規受注が含まれている。2007 年度中には HTS 及びパワエレ製品の注文も予想されるが、これらは 2008 年度の受注残として計上されることになる予定。AMSC 社は、2007 年度通年の収入を 5,000～5,200 万ドル、純損失を 2,300～2,700 万ドルと予想している。

出典:

“American Superconductor Reports Second Quarter Fiscal 2007 Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (November 2, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=925403&highlight

American Superconductor Corporation（2006 年 11 月 16 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2007 年 3 月 31 日が最終日となる 2007 年度に出荷を予定している 344 超電導製品の大部分が FCL の開発に使われることになると発表した。

「HTS-FCL の市場における先陣争いが始まっている。国内外で FCL に対する強い需要があり、344 超電導製品を使った大きなビジネスチャンスに対する投資が始まっている。」 AMSC 社最高責任者で、同社の創立者 Greg Yurek は言う。続けて、「わが社と Siemens 社の協力による FCL 開発に加え、少なくとも 4 カ国で 7 つの電力装置開発機関が、FCL 開発のため 344 超電導製品を使っている。これは、DOE が数十億ドルに上ると予想している大きな新規市場である。」としている。

出典:

“American Superconductor Reports Increasing Demand for 344 Superconductors Used in Fault Current Limiter Applications”

American Superconductor Corporation press release (November 16, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=931951&highlight

American Superconductor Corporation（2006 年 11 月 29 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は、Windtec 社の買収契約に調印した。Windtec 社は風力タービンシステムの設計開発を行い、その特許及び製品を販売しているオーストリア企業である。この取引は 2007 年 1 月に完了する。AMSC 社はこの買収が風力発電市場における同社の成長を強力に支え、その収益性の強化を図るための時間を短縮できるものと期待している。Windtec

社の買収額は、AMSC 社一般株式 130 万株相当、約 1,240 万ドルに上る。この契約には 2008 年 3 月末から 1 年間に収入成長目標を達成した場合に発生する追加支出（AMSC 株 140 万株相当分）も含まれている。この買収により、審査中のものも含め風力タービンに関する 27 の世界で通用する特許を取得することになる。AMSC 社は、Windtec 社の 2006 年 12 月 31 日までの 1 年間の収入が 1,300 万ドル、その内、利益は 100 万ドル（利益率 8%）と予測している。この数字は、2005 年 1 年の同社の収入 270 万ドル（収益分岐点）をはるかに上回るものである。Windtec 社は現在 2,000 万ドル以上の受注残を抱えており、AMSC 社はこれが 2008 年度収入となるものと考えている。取引が有効となれば、Windtec 社は AMSC 社の完全子会社となる。AMSC 社は負債は引き継がないので、子会社として第 1 四半期から収益に寄与するものと期待している。

出典:

“American Superconductor to Acquire Windtec™”

American Superconductor Corporation press release (November 29, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=936714&highlight

American Superconductor Corporation (2006 年 12 月 18 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、第 3 四半期及び通年の収支見通しを改定した。その第 1 の理由として、Long Island Power Authority グリッド向け HTS 電力ケーブル設置に関し DOE から追加資金を満額受け取れないことが挙げられる。議会が閉会前に Energy and Water 支出法案を可決しなかったため、支払いが遅れ、月次ベースでの支払いとなっている。関連の支出は、少なくとも 2 月 15 日までは、暫定予算下での支出となる。この資金の遅れにより、AMSC 社の収入は第 3 四半期に減少し、悪くすれば第 4 四半期にもその影響を受けることになる。この支払いの遅れはあるものの、AMSC 社は 2007 年運転開始予定のケーブル・プロジェクトを粛々と進めていく考えである。第 2 に、AMSC 社は 2006 年末までに開発を行ってきた 36.5-MW 超電導モーターの海軍受け入れが完了するものと考えていた。しかしながら、超電導とは関わりがない部分でのひび割れのため、モーターの引渡しは 2007 年 3 月にずれ込む見通しである。この問題解決に要する費用は 300 万ドル程度と見込まれる。モーター出荷による海軍からの費用受け取りは 2007 年度第 4 四半期及び 2008 年度第 1 四半期となる可能性が高い。2 台目の SuperVAR の出荷は予定通り 2007 年 3 月になる。2 台の SuperVAR に係る収入 190 万ドルは、2008 年第 1 四半期となる。このような遅延の結果、第 3 四半期の予想収入は減少し、損失が増加した。第 3 四半期の収入は約 900 万ドル、損失は 900～1,100 万ドルになるものと予想している。同社の収支は、2007 年第 4 四半期には大幅に改善する見込みである。AMSC 社は 2007 年度の損失を 2,900～3,200 万ドルに修正した。(以前の予想は 2,300～2,700 万ドル) また、2007 年 3 月 31 日時点でのキャッシュバランスは以前の予測通り 3,800 万ドル以下となる。通年収入予想については、AMSC 社は 5,000～5,200 万ドルであることを再度確認した。上記の理由により超電導機器及び線材事業は予算未達ではあるが、パワエレ事業の売り上げは継続して急成長しており、同事業の予想収入は、2,250～2,500 万ドルに上方修正された。

出典:

“American Superconductor Provides Updated Financial Forecasts for Fiscal 2007”

American Superconductor Corporation press release (December 18, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=942869&highlight

General Electric Company (2006 年 12 月 20 日)

General Electric 社の中央研究機関である GE Global Research は、住友電工と高温超電導体を使った工業応用製品を共同で開発していくと発表した。住友電工は超電導線材の開発を、GE Global

Research は超電導線材の応用製品の設計及びプロトタイプの開発を行う。GE は現在、先端超電導材料の利点を発揮できる医療機器、発電タービン、各種ドライブ装置といった幅広い製品群の開発に取り組んでいる。GE Global Research の先端技術担当副社長 Michael Idelchik は次のように述べた。「住友電工との協力は同社の超電導線材技術の力とエネルギー及び医療分野で新たな商業応用を可能とするわが社の設計、製造技術とのシナジー効果を狙ったものである。我々は共に超電導市場に大きなビジネスチャンスを生み出す新たな技術を提供できるよい機会を得たと思っている。」

出典:

“GE, Sumitomo Electric Industries Enter Research Collaboration to Develop Industrial Equipment Using Higher Temperature Superconducting Materials”

General Electric Company (December 20, 2006)

http://home.businesswire.com/portal/site/ge/index.jsp?ndmViewId=news_view&newsId=20061220005803&newsLang=en&ndmConfigId=1001109&vnsId=681

SuperPower, Inc. (2006 年 12 月 21 日)

SuperPower 社は 9.7 km の次世代線材を住友電工に出荷した。これは、2007 年 Albany HTS Cable Project の第 2 フェーズで設置される世界初の HTS ケーブルに使用される。このプロジェクトの第 1 フェーズでは、2006 年 7 月に火入れが行われ、以来問題なく稼動している。

出典:

“SuperPower, Inc. Delivers 2G HTS Wire to Sumitomo Electric Industries”

SuperPower, Inc. press release (December 21, 2006)

http://www.igc.com/SuperPower/News%20_%20Events.aspx

材料

Superconductive Components Inc. (2006 年 11 月 1 日)

Superconductive Components 社は、2006 年 9 月 30 日に終了する第 3 四半期の収支を発表した。当期総収入は、前年同期の 100 万ドルに対し、倍以上の 200 万ドル。粗利益は前年同期の 276,409 ドルに対し、469,007 ドル。また、昨年同期の赤字 38,023 ドルに対し、当期は純利益が 116,532 ドル。期末受注残は 340 万ドルであった。同社最高責任者 Dan Rooney は次のように述べた。「わが社の第 3 四半期における記録となる収入の結果は、わが社のおおのの市場における確固たる売り上げ増を反映したものであり、特に光学関係の顧客への大きな売り上げが牽引した。」

出典:

“SUPERCONDUCTIVE COMPONENTS, INC. REPORTS RECORD THIRD QUARTER REVENUE”

Superconductive Components, Inc. press release (November 1, 2006)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/investors/ne/earnings/scci36.htm>

マグネット

Oxford Instruments (2006 年 12 月 13 日)

Oxford Instruments は、「Integrated Modeling Package for Designing Advanced HTS Materials Applications」という名称の総額 155 万ポンド、3 ヶ年の研究開発計画のリーダーに選ばれた。このプロジェクトには英国通商産業省から 778,368 ポンドの補助が与えられる。このプロジェクトは、

Oxford Instruments NanoScience 社が Vector Fields Ltd、Southampton 大学と共同で進める。このコンソーシアムの下、HTS の物性評価やモデリング、強磁場マグネットへの HTS の組み込み、製造過程での HTS 材料の振る舞いの検討を含め、先端 HTS 製品、システムの設計に向けた統合モデリング・パッケージを開発する。このプロジェクトの目標は、HTS の商業利用を可能にし、MRI、NMR、FMTS 向けの新たな、又は改良のための設計に結びつくようなモデリング技術及び設計ソフトウェア・ツールを開発することである。また、超強磁場マグネット (25T 以上) のインサート・マグネットや高温 (4.2K 以上) 中磁場用マグネット等への展開も考えている。Oxford Instruments NanoScience 役員 Jim Hutchins は次のように述べた。「この補助金はわが社の世界レベルのエンジニアリングの力が認められたものである。我々の真にオリジナルな超電導マグネット製品の開発、製造実績は自社におけるモデリング能力に支えられている。この仕事を得られたのは、Oxford Instruments が行っている HTS 線材開発のお陰でもある。この補助により我々は他機関と協力して解析技術を開発し、急速に拡大する HTS 分野に応用していくことができる。この技術を各方面で利用し始めることになるが、これは我々のビジネス向けにより早く、より効率的な製品開発を行う基礎となるものである。」

出典:

"Oxford Instruments NanoScience, Vector Fields and University of Southampton awarded DTI grant for advanced HTS materials"

Oxford Instruments press release (December 13, 2006)

<http://www.oxford-instruments.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Internet/Press/Current+News/Oxford+Instruments+NanoScience%2C+Vector+Fields+and+University+of+Southampton+awarded+DTI+grant+for+advanced+HTS+materials>

エレクトロニクス

HYPRES, Inc. (2006 年 11 月 7 日)

HYPRES Inc. は 20 kA/cm^2 の臨界電流密度を持つ集積回路を製造、その試験に成功した。この成果は HYPRES 社の第 3 世代集積回路製造プロセスによるもので、80 GHz 超のクロックで作動可能な全デジタル受信装置への道を開くものである。HYPRES 社はすでに、325 GHz デジタル周波数分割装置、4 ビット・バイナリー・カウンタ、各種入出力装置などいくつかの RSFQ デジタル回路の製造、試験に成功している。HYPRES 社最高責任者 Richard Hitt は次のように述べた。

「この試験の結果は、素早く開発を進めてきたこの技術が世界の無線通信分野にもたらす極めて優れた性能の一端を示したに過ぎない。今後数年の内に、デジタル超電導受信機、スイッチ、プロセッサが日々の通信に大きなインパクトを与えることになり、非常にエキサイティングな状況となろう。」この製造技術は海軍研究所の支援を得て行われたものである。

出典:

"New Fabrication Process Paves Way for Next Generation All-Digital Transceiver Capable of Operation In Excess Of 80 GHz Clock Speed"

HYPRES Inc. press release (November 7, 2006)

http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/criticalcurrent.pdf

HYPRES, Inc. (2006 年 12 月 11 日)

HYPRES Inc. は、米国陸軍 Communications-Electronics Research, Development and Engineering Center (CERDEC) と新規契約 2 件を締結した。これは軍事衛星通信用超電導デジタル・エレクト

ロニクス開発のためのもの。2 件の契約の総額は約 150 万ドル。SBIR フェーズ 2 の契約（73 万ドル）は、Ka/EHF バンドの信号を直接デジタル変換することができる AD 変換装置(ADC)の開発を目的としている。この変換装置は、最大バンド幅 1 GHz で 20 GHz の高周波信号をデジタル化するように設計される。第 2 の SBIR フェーズ 2 契約（73 万ドル）は、デジタル超電導エレクトロニクス及び FPGA から構成されるハイブリッド・デジタル受信機の開発のためのもの。その一環として、HYPRES のマルチ GHz 受信機と通常の常温信号処理装置と結合するため高速デジタル・インターフェースの設計も行われる。このようなインターフェースの開発は、優れた利得を持つデジタル超電導部品の特性である超高感度、良好な線形性、低ジッター、超高速クロックを十分に生かすことのできる X-band 及び K-band 軍事衛星通信用受信機に必須のものである。

出典:

“U.S. Army Awards HYPRES \$1.5M To Develop Digital RF Electronics For MILSATCOM”

HYPRES Inc. press release (December 11, 2006)

http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/cerdec.pdf

HYPRES, Inc. (2006 年 12 月 13 日)

HYPRES Inc.のシニアパートナーElie K. Track は、2007 年に起こるであろう超電導分野のブレークスルー・トップ 10 リストを作成した。このリストは、産業界の広範な調査、多くの世界の専門家との意見交換、HYPRES における進行中の研究開発を踏まえた結果であり、世界の広範な超電導プロジェクトからの情報をまとめたものである。これにより、2007 年に起こりうるであろう革新的な進歩やブレークスルーについて議論を行うことができよう。そのトップ 10 のリストは以下の通りである。

- (1) 低コスト MRI。これにより超電導技術の底上げが図られる。オープン環境下で色々な条件の下でもより容易に、より安価な診断が可能になる。
- (2) 超高速インターネット・スイッチ。これによりより大量でより複雑な情報をインターネットを通じて交換できるようになる。このスイッチは、超電導技術を使い、回路間をつないで光信号を処理する。将来は 100 Tbps ルーターへの道を拓く。
- (3) 大容量電力系統。超電導ケーブルを使って、インフラの増設なしに地域に電力を送る。
- (4) 超電導エレクトロニクスをベースとした無線デジタル受信機のフィールド・デモ。軍事、民生用途の大幅に性能が向上した無線通信システムに繋がっていく。
- (5) FDA が超電導センサーを使った心磁計に認可を与える。
- (6) 10 TFLOPS ワークステーション設計の確証。将来小型システムを代替することになる。
- (7) 超電導船舶推進システムのデモ。米海軍向け。
- (8) アナログ量子コンピューターの開発が進展。複雑な数学計算処理のスピードが向上し、数年かかる計算が数分で実行可能となることが期待される。
- (9) SCUBA-2 カメラのデモが成功。ハワイの James Clerk Maxwell 望遠鏡に設置されたこのカメラのデモはこれまで行われた超電導エレクトロニクスのデモの中で最も複雑なもの。
- (10) AC ジョセフソン電圧標準装置の増設。電気信号測定の正確さが大幅に改善される。

出典:

“Cheaper MRI Machines and Ultra-Fast Internet Switches Top the List of Predicted Superconductivity-Based Breakthroughs For 2007”

HYPRES Inc. press release (December 13, 2006)

http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/breakthroughs.pdf

加速器

CERN (2006 年 11 月 20 日)

CERN は、これまでで最大の ATLAS バレル・トロイド・マグネットが最初の試験で通常の運転条件にまで出力上昇することに成功したと発表した。このマグネットは、2007 年 11 月運開予定の新しい素粒子加速装置である CERN の Large Hadron Collider (LHC) に設置されている主要素粒子ディテクターの 1 つに強力な磁場を発生させるためのものである。ATLAS バレル・トロイドは 5m 幅、25m 長さ、重量 100 トンの超電導コイル 8 個から成っている。全体は 45m 長さ、25m 幅、高さ 25m であり、素粒子物理の分野で建設された中で最大の容積を持つディテクターである。このマグネットは、最初、2006 年 7～8 月に 6 週間かけて 4.15 K に冷却された。その後、11 月に順次 21 kA まで出力を上昇させた。電流は現在切られているが、マグネットは 55.16 K まで温度を上げて、全部で 1.1 GJ の蓄積エネルギーが安全に放出、除去された。

出典:

"World's largest superconducting magnet switches on"

CERN press release (November 20, 2006)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2006/PR17.06E.html>

CERN (2006 年 11 月 28 日)

Large Hadron Collider (LHC) 向けの 1624 台のフルセットのマグネットが CERN に納入された。このマグネットを用いて世界最大、最高の能力を持つ粒子加速器が建設される。LHC の建設は CERN や全世界 200 社以上の協力企業にとって、技術的にも供給の面でも大きなチャレンジである。超電導コンポーネントとして、粒子ビームの飛翔を制御する 1232 台のマグネット、粒子を収束させる 392 台のマグネットがある。ダイポール・マグネットはドイツの Babcock Noell GmbH、フランスのコンソーシアム Alstom MSA-Jeumont、イタリアの Ansaldo Superconduttori が CERN の要求仕様に従って組み立て、主要部であるクアドラポール・マグネットはフランスの CEA-DAPNIA 研究所が設計し、ドイツの ACCEL Instruments が組み立てを行う。最終組み立ては 2007 年半ばに完了、LHC は 2007 年 11 月に運転を開始する。

出典:

"Last LHC superconducting main magnet completes the suite at CERN"

CERN press release (November 28, 2006)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2006/PR18.06E.html>

基礎

University of Illinois at Urbana-Champaign (2006 年 11 月 27 日)

University of Illinois at Urbana-Champaign は、ルテチウム系超電導体において、時間反転対象性を保持しない複雑なオーダー・パラメーターを持つ p 波対象性の動かぬ証拠を見出したと発表した。理論家の予想はあったが、このような複雑で奇妙な対象性はこれまで完全には確認されていない。10 年前に同大学で開発されたジョセフソン干渉計の技法を用いて p 波対象性の証拠が今回得られた。この技法は超電導オーダー・パラメーターの位相差を直接測定でき、これを用いてクーパーペアの対象性を明確に決定した。この研究チームの発見は Science 誌 11 月 24 日号に掲載される。

出典:

"Complex order parameter in ruthenate superconductors confirmed"

University of Illinois at Urbana-Champaign press release (November 27, 2006)

<http://www.news.uiuc.edu/news/06/1127superconductors.html>

Cornell University (2006 年 12 月 5 日)

Brookhaven National Laboratory と Cornell University は、高温超電導体に関し驚くべき知見を報告した。銅酸化物超電導体において、離れた電子ペアを引き離すのに必要なエネルギー分布と電子を引き付ける方向とで典型的なクローバー・パターンを形成する。これまで、物理研究者達は擬ギャップをうまく説明できていない。驚いたことに、Brookhaven と Cornell の研究者は、いかなる温度でも超電導にならない銅酸化物でも同じクローバー・パターンが存在することを見出した。研究グループは非超電導 LBCO をほぼ絶対 0 度まで冷却し、材料が超電導に影響を受けない状態でその電子構造を初めて測定した。同じ材料で非常に異なる状態のサンプルが同様のエネルギー・ギャップを持つというこの発見は、超電導現象を理解する上で重要な意味を持つ。研究結果は Science Express 11 月 16 日号に掲載された。また、Science 誌にも掲載の見込み。

出典:

“‘Stripes’ and superconductivity – Two faces of the same coin?”

Cornell University press release (December 5, 2006)

<http://www.news.cornell.edu/stories/Dec06/pseudogap.ws.html>

National Institute of Standards and Technology (2006 年 12 月 22 日)

JILA (NIST と University of Colorado at Boulder の共同研究機関)は、回転パターン中で欠陥や擾乱を可視化する手法を開発した。この技術は光学格子とあたかも太陽の周りを回る惑星のようにトラップ中で回転するボーズ・アインシュタイン凝縮した原子群とを利用したもの。この手法を用いると、超電導体中にいかにして欠陥が生じるかをシミュレートできる。JILA の実験では 300 万個のルビジウム原子を磁気トラップ中に保持し、これを回転させることにより 100 個のボータックスの超流を作り出した。その後、ボーズ・アインシュタイン凝縮した原子群にレーザー照射してその上に光学格子を生成した。光学格子とボータックスを同じ速度で回転させると、お互いがロックされた。光学格子がエネルギーピークを持つ部分は、ローカルなボータックスの周りを流れる超流の密度が小さくなる所でボーズ・アインシュタイン凝縮した原子群にピン止めされる。写真及び画像処理技術を使って、JILA の研究者はピン止めされたボータックス格子の構造、繰り返しパターンを可視化することに成功した。ボーズ・アインシュタイン凝縮体と光学格子は正確に制御できるので、この技術を使えば超流や超電導中のパターンを研究することができる。この結果は、オンライン Physical Review Letters 12 月 12 日号に掲載される。

出典:

“‘Vortex lattices’ may help explain material defects”

National Institute of Standards and Technology press release (December 22, 2006)

http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2006_1221.htm#vortex

(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 2 月のトピックス

－IEC/TC90（超電導）、新規 WG12（電流リード）を設置－

IEC/TC90（超電導）は、新規業務項目(NWIP)に係わる国際投票（平成 18 年 9 月から 12 月）を実施した。投票の結果、新規ワーキンググループ（WG12）の設置が承認され、超電導機器に使用する電流リードの特性試験方法に係わる標準化が開始されることになった。また、この投票において、三戸利行氏（大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所 教授）がコンビーナとして就任することも同時に承認された。

IEC/TC90/WG12 の目的は、超電導マグネット、超電導エネルギー貯蔵装置（SMES）、超電導電力ケーブル、超電導変圧器、超電導限流器、超電導回転機など超電導機器に電力を供給するための電流リードに係わる関連用語、試験方法などの国際規格化である。

標準化対象の電流リードは、銅などの常電導体及び／又は酸化物超電導体などの超電導体から構成されている。

また、電流リードの特性試験項目として、従来の標準化におけるような単一の基本的特性の試験方法の規格化とは異なり、製品として具備すべき機械的特性（応力・歪み効果試験）、熱的特性（熱負荷試験）、電気的特性（定格通電試験、接触抵抗試験、電圧低下試験、耐電圧試験）、水力的特性（定格ガス圧低下試験、気密試験）、安全率関連特性（ガス流量試験、クエンチ試験）など複数の特性の試験方法を一括した規格化が想定されている。

WG12 の体制は、コンビーナ三戸利行氏のもとに、日本、米国、イタリア、ドイツ及びポーランドの 5 カ国から推薦された専門家によって WG12 を組織し、活動することになっている。すでに、専門家として今野雅行氏（日本）、Huub Weijers 氏（米国）、Ballarino Amalia 氏（イタリア）、Reinhard Heller 氏（ドイツ）及び Jacek Sosonowski 氏（ポーランド）が推薦されている。

WG12 の今後の作業項目と目標日程は、概ね次の通りである。

- | | |
|---------------------|-------------|
| (1) WG12 組織体制確立 | 2007 年春 |
| (2) 作業原案(WD)素案 | 2007 年夏 |
| (3) 作業原案(WD)提案 | 2007 年秋 |
| (4) 委員会原案 (CD) 提案 | 2008 年 1 月 |
| (5) 投票用委員会原案(CDV)提案 | -2009 年 |
| (6) 及び最終国際規格案(FDIS) | -2010 年 |
| (7) 国際規格 (IS) 発行 | 2010 年 12 月 |

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

◆平成 18 年度第 3 四半期の公開特許

平成 18 年 10 月～12 月に公開された ISTEK 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 2006-268928 「直流電源駆動型超伝導センス回路」：

本特許は、超電導ランダムアクセスメモリ（RAM）の直流電源駆動センス回路に関するものである。直流駆動センス回路として、センス信号の前縁から定められた時間内にセンス信号が立下れば記憶データは「1」、立下がらなければ記憶データは「0」と判定する方式が提案されている。この従来例では、複雑なタイミングシーケンスを必要とし、かつ、バイアス電流の動作マージンが狭く記憶容量の拡大に適さない。本発明によるセンス回路は、読出しゲートを縦続接続したセンスラインと直流電流供給端子に接続したバイアス抵抗と負荷抵抗と負荷インダクタンスで構成したセンスライン情報検出部を SFQ 回路構成の RS フリップフロップ（RS-FF）回路に接続することを特徴とする。こうした回路構成により、記憶データ「1」のセルが選択されると、読出しゲートは電圧状態に遷移し、記憶データ「1」の信号データとして複数の単一磁束量子（SFQ）パルスを RS-FF 回路に伝達する。記憶データ「0」のセルを選択した場合、読出しゲートは電圧状態に遷移することではなく SFQ パルスを発生しない。本発明により、直流電源で動作する際、複雑なタイミングシーケンスを必要とせずバイアス電流の動作マージンが大きい、SFQ パルス出力の取得が可能となった。

2) 特開 2006-269347 「テープ状酸化物超電導線の製造方法及びその製造装置」：

本発明は、超電導前駆体を塗布したテープ状線材を一对のリール間に掛け渡し、反応管内を通過させながら超電導前駆体を反応性ガスと反応させて長尺超電導線を作製する熱処理炉に関するものである。本発明では、テープ面に垂直な方向から反応性ガスを供給し超電導前駆体と反応させ、テープの両側面方向から反応後のガスを排出することを特徴とする。テープ状線材のテープ幅に合わせて、ガス供給孔とガス排出孔を複数配置する。また、テープ線材の走行方向に沿ってガス供給孔とガス排出孔から成る反応領域を複数箇所設けることも可能である。テープ表面に水平な位置にガス供給孔を設けてテープ表面に水平なガス流を実現させている従来装置では、テープ幅の増大と共に、テープ両側端で前駆体の反応速度に差が生じ幅方向に均一な超電導特性が得られない。本発明は、この課題を解決すると共に、幅広テープ線材への適用も可能で製造速度が向上する。

3) 特開 2006-270282 「直流電源駆動型超伝導ループドライバ回路及びドライバ方法」：

本発明は、超電導ランダムアクセスメモリのメモリセルを選択するための単一磁束量子（SFQ）素子を用いたドライバ回路及びドライバ方法に関するものである。メモリセルアレイは通常 2 次元マトリクスアレイで、マトリクスの行と列に選択信号を供給し特定のメモリセルを選択する。選択信号は、行または列に属する全メモリセルに同時に供給するため、レベル論理信号（矩形波信号）を増幅している。本発明は、SFQ パルスの入力を受けて複数の SFQ パルスを発生する増幅ゲート（AMP）と、前記複数の SFQ パルスが入力側に戻ることを防ぐバッファゲートと、AMP で発生した複数の SFQ パルスにより一時的に電圧状態にスイッチする磁気結合型量子干渉ゲート（SQUID）とで構成されるドライバゲート及び同様の構成のリセットゲートを用いることを特徴とし、SFQ パルスの入力により動作し、所望のレベル信号を複数のメモリセルを負荷に持つ被駆動超電導ストリップライン線路に出力でき、かつ直流電源で動作可能な超電導ドライバ回路を提供する。

4) 特開 2006-278384 「超伝導ランダムアクセスメモリおよびその製造方法」：

本発明は、超電導ランダムアクセスメモリのメモリセルの構造とその製法に関するものである。本発明によるメモリセルの構造は、複数の超電導グランド層（GP 層）を含んだ多層構造で、最上層の超電導 GP 層上に、Nb 系ジョセフソン接合を含んだ超電導ループと抵抗層とを有していることを特徴とする。超電導 GP 層と GP 層の層間には抵抗層やインダクタンス層あるいは高速信号伝送に最適な超電導パッシブトランスミッションライン層等を積層している。本発明により、超電導ループを構成するインダクタンスの上部にグランド層がなくメモリセルを小型化でき、また、複数の GP 層によって直流電源配線が発生する磁場を効率的に遮蔽できる。さらに、ジョセフソン接合形成前の工程ではプラズマ CVD 等の高温プロセスが採用することができ、高誘電率材料の絶縁層の形成や歩留まり改善が可能になった。

5) 特開 2006-310259 「RE123 系酸化物超電導体とその製造方法」：

本発明は、新たな製法に基づく RE123 系超電導線材に関するものである。本発明は、少なくとも RE_2BaO_4 と Ba-Cu-O 系原料粉の混合原料を用いて形成した $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 系酸化物超電導体層、及び、超電導体層を保持する保持部材からなることを特徴とする。また、本発明では、混合原料を低酸素雰囲気中で加熱すると、まず Ba-Cu-O 系原料が液相化（液相成分）し、さらに昇温すると、液相成分は RE_2BaO_4 系原料（融点温度の高い固相成分）と反応して結晶配向した RE123 相を生成する新たな固相－液相反応を開示している。この RE123 相の生成温度は、RE123 系原料を用いた溶融法の RE123 相の生成温度より大幅に低い温度である。

（SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄）

[超電導 Web21 トップページ](#)

第 34 回応用物理学会超伝導分科会研究会「高温超伝導発見から 20 年」報告

東京農工大学
工学部 物理システム工学科
教授 内藤方夫

ベドノルツとミュラーによる高温超電導体の発見から 20 年が経過する。応用物理学会超伝導分科会では、発見 20 周年を記念する企画を 2006 年に 2 回行った。1 回目は、2006 年 3 月の応用物理学会講演会（会場：武蔵工業大学）で行った「発見から 20 年、高温超伝導研究の最前線」と銘打ったシンポジウムである。シンポジウムでは、超電導物理研究、超電導物質開発の 20 年間のレビューに始まって、実用化研究の最前線が紹介された。企画の第 2 弾が昨年の暮れの超伝導分科会第 34 回研究会「20 年間に発見された代表的超伝導物質の基本データ」である。この研究会は 2006 年 12 月 14、15 日の 2 日間、超電導工学研究所で行われた。有料入場者数は学生・若手研究者を中心に計 55 名を数え、盛況な研究会であった。

研究会の趣旨は、高温超電導物質に対する信頼性の高いデータベースの構築と高温超電導科学の体系化である。20 年間に高温超電導体に関して発表された論文・解説等の数は膨大であり、情報量は 1 人の人間が把握できる容量をはるかに超えている。情報の氾濫がこの分野の混沌を増幅しており、我々の手で情報を取捨選択・整理し、信頼性の高いデータベースを構築する必要がある。それなくしては「高温超電導」科学の体系化は難しい。さらに、20 年間は当事者にはあつという間であったが、気付いてみれば 1/5 世紀が経過しており、研究者の世代交代が始まっている。高温超電導科学・技術の継承には、生い茂った小枝を思い切って剪定して、根幹が見えるようにする必要がある。この趣旨に沿って、超伝導分科会は、スクールテキスト「高温超伝導体（上）－物質と物理」（2004 年 3 月刊、254 ページ）、「高温超伝導体（下）－材料と応用」（2005 年 12 月刊、340 ページ）を刊行してきた。今回の研究会の内容についても「高温超伝導データブック」として編纂する計画がある。

前置きが長くなったが、研究会では、ペロブスカイト酸化物及び銅酸化物の固体化学の導入解説に始まり、代表的な銅酸化物について、物質毎に 90 分から 120 分の丁寧なレビューがなされた。以下に各講演を簡単に振り返る。

1 日目（12/14（木））

(1) 10:00-11:00 「ペロブスカイト酸化物と銅酸化物の基礎（トレランス因子、銅酸化物の特殊性）」岸尾光二（東大）

- ・ペロブスカイト酸化物 (ABO_3) は磁性・誘電・圧電・熱電・触媒等、機能の宝庫である。
- ・ペロブスカイトの安定性はイオンサイズを基礎とする幾何学因子（トレランス因子）に支配され、この制約の中で柔軟な化学組成変化と物質設計が可能である。
- ・電気伝導に関しては絶縁体から金属 (ReO_3 等) まで広く分布する。超電導が発現する物質は中程度（半金属レベル）の伝導性を持つ。
- ・銅酸化物の特徴（＝高温超電導発現の ingredient）は、混成により一体化した銅と酸素軌道のネットワークの形成にある。 $Cu3dx^2-y^2$ 軌道と $O2p$ 軌道のエネルギーが非常に接近していること、 $Cu3dx^2-y^2$ と $O2p$ 軌道が角を突き合わせていることが銅-酸素間のホッピング積分を大きくしている。 CuO_2 面が平坦なほうが良いのも、この観点から理解できる。

(2) 11:00-12:30 「214 系銅酸化物（LSCO、LBCO 等）」小池洋二（東北大）

- ・La-214 系は低 T_c ながら、簡単な結晶構造、容易なドーピング制御のために、プロトタイプ高温超電導体として、発見初期から現在に至るまで 20 年間研究が継続されている。古い文献の中に良品多い。

・トレランス因子の値が相安定のボーダーにあるために、温度の低下とともに結晶構造は複雑に歪み (HTT->LTO->LTT)、構造歪みに関連した「1/8 異常」のために観測される物性は複雑である。高温超電導の促進因子と抑制因子の切り分けが難しい。

・低ドーピング側の過剰酸素、高ドーピング側の酸素欠損、酸素ケミストリーはドーピング量に依存し、複雑である。
・抵抗率、帯磁率、比熱の温度依存性は、高温から低温へかけて、反強磁性スピン相関発達 (T_0)、擬ギャップ開 (T^* 、起源は不明)、局在 ($T_{\min}$ 以下) と統一的な解釈が可能である。

(3) 14:00-16:00 「123 系 (Cu 系) 銅酸化物 (YBCO、REBCO)」坂井直道 (超電導工学研究所)

・20 年間、特に応用研究の面で、高温超電導研究の柱である。
・La を除き、大きなイオンサイズの RE (軽希土類) ほど T_c が高くなる。
・一方、軽希土類では RE-Ba 置換が起こり、超電導特性が低下する。置換を抑制するには、低酸素分圧合成が有効である。

・相安定性、酸素ケミストリー、斜方晶転移等は RE (または Y) に大きく依存する。系統的なデータが揃っているのは Y のみ。

・初期の応用研究では YBCO が主力だったが、現在の応用研究 (特にバルク応用) にはピンニング特性に優れる軽希土類の RE が用いられる。

(4) 16:15-17:45 「Bi 系銅酸化物 (Bi-22(n-1)n)」下山淳一 (東大)

・Bi 系銅酸化物の大きな特徴は結晶構造に起因する強い異方性である。このため、へき開性に富み、配向試料を作りやすい。

・へき開により清浄表面が容易に得られ、STM や光電子分光等の表面敏感な測定はほとんど Bi 系の独壇場である。「d 波」、「擬ギャップ」、「ミクロな不均一」、「ジョセフソンプラズマ」、「固有接合」といった後半 10 年の高温超電導物理のトピックスを提供してきた。

・反面、単相試料作製困難、顕著な変調構造のために材料のキャラクタリゼーションは不十分である。第一に T_c のドーピング依存性のデータが収束していない。その原因は金属組成の不定比にある (Sr サイトへの Bi 置換)。

・減圧合成で Bi-Sr 置換が抑制され、ほぼ化学量論比の Bi-2212 が得られる。異方性の低下、ピン止め力上昇が見られ、臨界電流は $1\text{MA}/\text{cm}^2$ まで向上する (ごく最近の下山らの発見)。

・住友電工の加圧焼成 (Bi,Pb)-2223 実用ケーブルを大気中 700°C アニールすることにより Sr/Ca の ordering が進み、 T_c が 120K に迫る (これもごく最近の下山らの発見)。

2 日目 (12/15 (金))

(5) 9:30-11:00 「平面四配位 (電子ドーピング) 系銅酸化物 (T' 構造、無限層構造)」内藤方夫 (農工大)

・ヤーン・テラー効果のため Cu^{2+} の酸化物は本質的に平面四配位を好む。RE₂CuO₄ 化合物についても、K₂NiF₄ (T') 構造ではなく、Nd₂CuO₄ (T') 構造が本来の姿である。

・平面四配位銅酸化物の超電導は頂点不純物酸素の存在によって著しく損なわれる。

・ T' 酸化物は、これまでホールドーピングは不可能で、電子ドーピングにより超電導化するとされてきた。しかし、ごく最近、ドーピング無しの T' -(La,RE)₂CuO₄ においても超電導が確認されている。

・相安定性、酸素ケミストリーは 123 系と同様、RE に大きく依存する。

・平面四配位系の固有の電子相図の構築には不純物酸素の徹底除去が不可欠である。その目的のためには、 T' 系の複雑かつ濃厚な酸素ケミストリーを明らかにすることが重要である。

(6) 11:00-12:30 「TI 系銅酸化物 (TI-12(n-1)n、TI-22(n-1)n)」島川祐一 (京大化研)

冒頭、島川より、高温超電導体の中性子回折において大きな業績を残してきた Argonne 国立研究所の Jorgensen 博士が 2006 年 9 月に 58 歳の若さで病死されたことが告げられた。高温超電導体の構造解析の論文においては、著者に Jorgensen の名が含まれていれば全幅の信頼を置くことができただけに、大きな柱を失った感がある。ご冥福を祈りたい。

- ・ TI 系は Bi 系を越える 130K に迫る T_C を有するが、最大の難点は TI の毒性（神経毒、脱毛、但し過去には頭部手術の際にもちいられた）と高い蒸気圧である。最近の報告例は少ない。
- ・ TI 系においては、 CuO_2 層数だけでなく、電荷供給層 TIO の層数も 1 枚 (TI-12(n-1)n) と 2 枚 (TI-22(n-1)n) のものがある。このため単相試料を得ることは困難である。
- ・ TI 系の特徴は、 $\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{1+}$ の価数揺動によるセルフドーピングで、過剰ドーブ状態になりやすいことである。反面、不足ドーブ領域に踏み込むことができない。
- ・ クリーンな過剰ドーブから最適ドーブにわたる物性変化を系統的に追うことができる。その領域だけを見る限り、電子相関は余り強くないフェルミ流体に見える。

(7) 14:00-15:30 「Hg 系銅酸化物 (Hg-12(n-1)n)」 山内尚雄 (東工大)

- ・ 銅酸化物中最高の $T_C \sim 140\text{K}$ を示すが、Hg の高い蒸気圧のために合成困難で、発見が 1993 年と遅れた。
- ・ 大きな正の圧力依存性を持ち、30GPa で 165K となる。
- ・ 電荷供給層の HgO 層にはほとんど酸素が存在しておらず、上下の酸素と結合して、 Hg^{2+} イオンに特有な O-Hg-O のダンベル構造を取る。
- ・ 高 T_C の理由は、平坦な CuO_2 面と銅酸化物中最長の Cu-O_{ap} 距離にある。Cu-O_{ap} 距離はホールドーピングによっても距離が縮まらない。
- ・ Hg の Re 置換でピンニング特性が向上する。

(8) 15:45-17:15 「 MgB_2 」 熊倉浩明 (物材機構)

- ・ 二元化合物、シンプルな結晶構造、通常金属、弱異方性、長コヒーレンス長といった利点を有するために、超電導応用に有望である。
- ・ 同位元素効果から MgB_2 は電子-格子相互作用にもとづく BCS 超電導体であることが確立している。高 T_C は軽元素由来の高周波格子振動に起因する。
- ・ 大型バルク単結晶成長が難しいが、高品質エピタキシャル薄膜作製技術は確立している。
- ・ 大 (7meV) 小 (2.5meV) の 2 つのギャップを有する 2 ギャップ超電導体。
- ・ 純粋試料では上部臨界磁場が高くないために、不純物添加 ($\text{MgB}_{2-x}\text{C}_x$) により上部臨界磁場を改善する試みが行われている。
- ・ 競合する Nb 系線材や銅酸化物線材と、動作温度や最大磁場の観点から比較検討し、 MgB_2 線材の市場を明確にする必要がある。

最後に、銅酸化物が何故高温で超電導を示すのか？20 年間様々なモデルが提唱されてきたが、万人に納得いく決定的な結論は得られていない。モデルの正否は、究極的には、モデルに則った新材料開発が成功するか否かである。銅酸化物を越える超電導材料が発見されていない以上、現状のモデルはすべて否か、又は、銅酸化物を越える超電導体はない（「高温超伝導の壁」）かのどちらかである。前者であると信じたい。壁にぶつかったときには、捜査の原点に立ち返ることが基本である（原点回帰）。

「科学的な予測の方法を学びたい人は、抽象的な推論に頼るのではなく、自然記録、すなわち実験的事実から出発して自然の秘密の言葉を解き明かすことを勧めたいと思います」(Born, 1943, 「高温超伝導体 (上) - 物質と物理」の第 2 章 (岸尾光二著) からの孫引用)。Bi 系では「異方性が強い」という先入観のために、金属組成比の問題が蔑ろにされ材料制御の努力がなされなかった。電子ドーブ系でも「電子相関はホールドーブ系と同じだろう」という憶測のために、不純物酸素の問題が切り捨てられた。高温超電導体のような複雑な系では、高度な材料制御なくして真の物理に迫ることはできない。その意味で、銅酸化物をもう一度先入観無く素朴に眺めてみる必要がある。

【隔月連載記事】

超電導送電事始（その 1）

住友電気工業株式会社
電力・エネルギー研究所
主幹 廣瀬正幸

2006 年 7 月 20 日米国ニューヨーク州都 ALBANY 市に於いて、超電導ケーブルによる地中送電が世界で初めて開始された。この米国プロジェクトに適用された超電導ケーブルは、住友電工と東京電力とが共同で開発した三心一括型高温超電導ケーブルを基本としたもので、超電導送電線の今後の実用化に向けての礎となるものと注目されている。ここに、6 回にわたり超電導ケーブルに関して連載する機会を得、第 1 回目として、超電導送電事始①「一石＊鳥」と称して、超電導ケーブルのメリットについて解説する。引き続き、②「餅は餅屋」、③「引いても駄目なら押してみな」、④「無事、これ名馬なり」、⑤「郷に入れば郷に従え」、⑥「論より証拠」と題しましての連載を予定しますので、ご期待下さい。

第 1 回：「一石＊鳥」超電導ケーブルのメリットを中心に

高温超電導ケーブルは、送電ロスの無い夢の送電線として 20 世紀後期に注目されたものの、液体窒素温度での運用「所謂、強制冷却電力ケーブル」に対する信頼性検証、実製品となり得る超電導線材の実現（価格、高性能化）開発課題、ならびに電力需要面での大容量低損失送電線路への NEEDS、ともに熟成せず、これまで実用化には至っていなかった。その後、京都議定書の発効に伴う低損失化への期待、超電導線材の高性能化、低損失化の展開、米国の大停電に代表される大容量低損失送電線への NEEDS 等、超電導ケーブル送電線への期待が再度高まり、内外でデモプロジェクトが進められている。

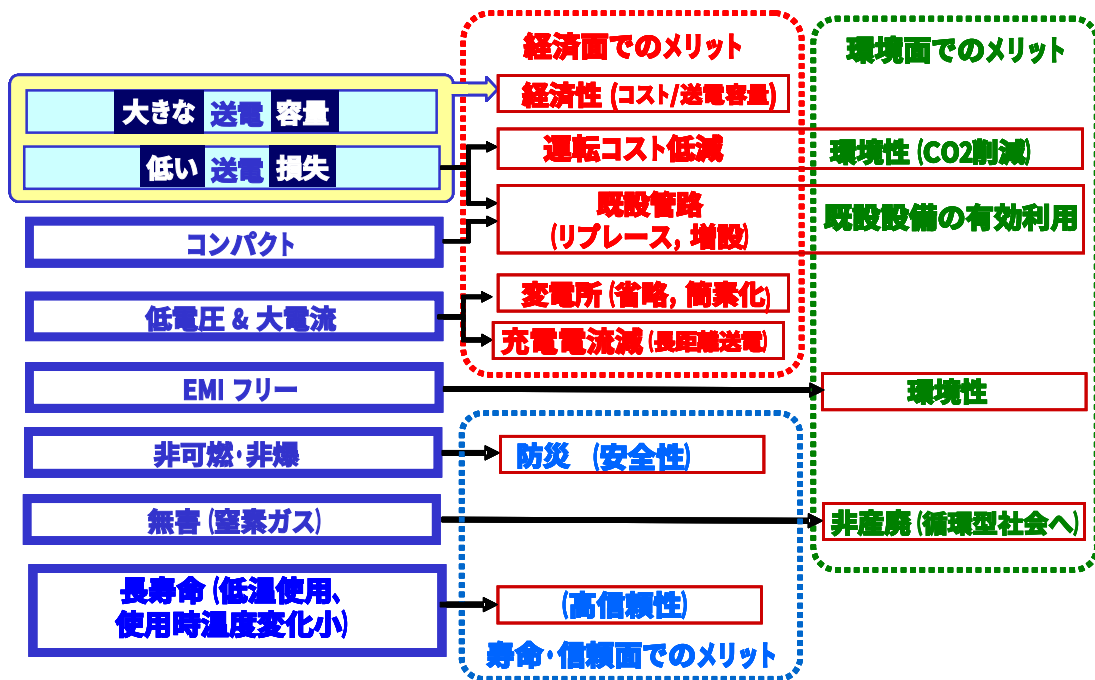


図 1 超電導ケーブルのメリット

超電導ケーブルに期待されるメリットは、図 1 に示す通り、経済面、環境面、信頼面に大別される。信頼面については、④「無事、これ名馬なり」の稿に記す予定であり、ここでは経済面、環境面について整理して取り纏める。

超電導ケーブルの適用用途において、低損失であることに起因する効果、現状のインフラ設備の簡素化やコンパクト性に起因する効果が経済面として、CO₂ 削減、EMI フリー等が環境面でのメリットとして挙げられる。

(1) 経済面でのメリット

経済面について、現用ケーブルと超電導ケーブルとを比較した事例を図 2 に示す。¹⁾

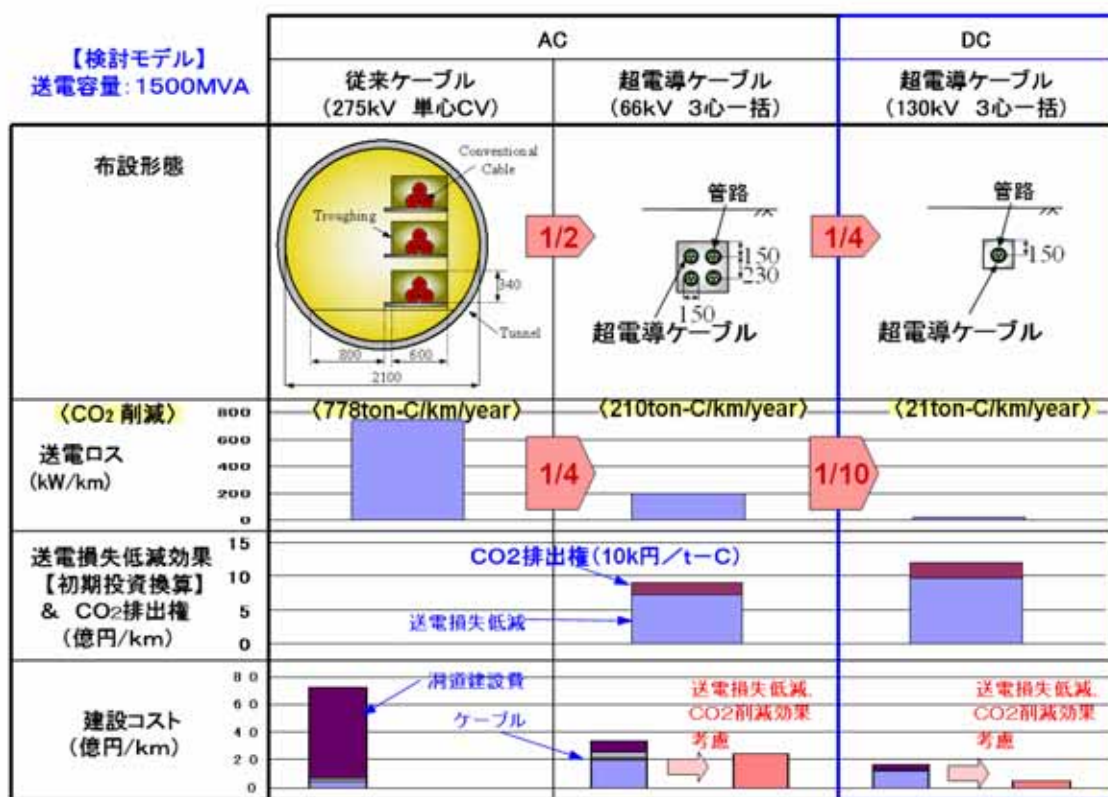


図 2 高温超電導ケーブルの経済性評価例

(超電導線材の検討諸元) I_c (臨界電流@77K): 200A、線材価格: \$20/m
(線路検討条件) 負荷率 (損失率): 1.0、初期投資換算: 30 年 5%複利

大容量送電の場合、超電導ケーブルの適用によりケーブルルートの建設費用が大幅に低減されるとともに、管路の新設、増設による増容量が容易になる等の効果が期待される。一方、送電ロスについては送電路の運用形態によるものの、送電ロスの低減に伴う省エネ効果に加え、排出権取引面での効果 (炭素排出権取引価格は将来ますます上昇するものと考えられる。) も期待される。この効果は、超電導線材の今後の高性能化 (高臨界電流、低交流損失、低価格化)、冷却設備の高効率化に期待するところが大きく、さらなる向上が超電導ケーブルの実用展開にとって (信頼性確認とともに) 今後の重要課題といえる。このような運用面でのメリットは、大電流用途であればあるほど超電導の効果が絶大となる。そのため、現状の性能および価格レベルでも十分効果の得られるケースも想定されており、超電導ケーブルシステムが安心して運用されるために必要な信頼性検証を線材

開発と並行して進めることが重要である。さらに、低電圧大容量送電は、高電圧送電に比して充電電流（送電電圧に比例）が大幅低減でき、長距離送配電が可能となる特徴があり、都市近郊の中間変電所の省略や開閉所の簡素化に有効である。

一方、現状、電力系統として構築されている交流送電用途が主に検討されているのに対し、図 2 に示す通り、高温超電導は直流用途（特に、低電圧大電流用途）において、その能力を最大限に発揮できる。従って、自然エネルギーの活用を地球規模で展開する GENESIS 計画や低電圧大容量が要求されるデータセンター向け電力供給などが検討されている。尚、現在検証されている交流用超電導ケーブル技術はそのまま直流用途にも展開できることが示されている。²⁾

(2) 環境面のメリット

3 心一括型高温超電導ケーブルの構造を図 3 に示す。導体およびシールドに超電導線を適用し、誘導により導体電流とほぼ同じ電流が逆位相でシールドに流すことができることから完全な磁気シールドが形成できる。これは、渦電流損失や導体交流損失の大幅な低減が寄与するのみならず、ケーブルの外側に電磁波を漏洩さない、EMI (Electro- Magnetic Interference) フリーのケーブルである。また、超電導ケーブルの絶縁材料は、従来の OF ケーブルの絶縁に

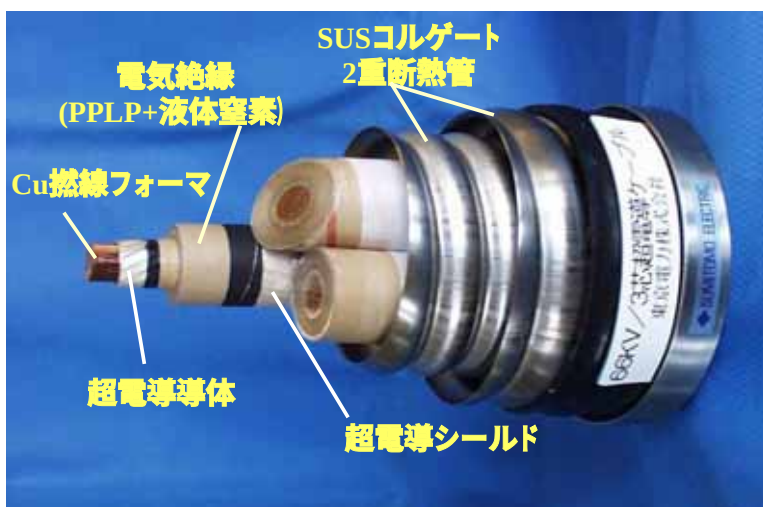


図 3 3心一括型超電導ケーブル

採用されている PPLP® と液体窒素の複合絶縁構造であり、絶縁油を使用しない非可燃・非爆ケーブルである。すなわち、高温超電導ケーブルは、無害で廃棄面での心配もない、「クリーン」で「グリーン」なケーブルであると言える。

このように高温超電導ケーブルは、経済面、環境面を中心とした様々なメリットを兼ね備えた「一石二鳥」以上の効果が期待され、特に電力系統の脆弱な米国において、実線路に適用する複数のプロジェクトが進められる背景となっている。もちろん、超電導ケーブルが社会に大きく貢献するためには、今後クリアすべき課題も明確化されており、超電導線材の高性能化と合わせ、信頼性評価も含めて取り組む必要がある。

次回は「餅は餅屋」と題し、現存ケーブルの基本技術の重要性について述べる予定です。

参考文献

- 1) 廣瀬、山田、増田、佐藤、畑、「高温超電導の実製品化検討」、SEI テクニカルレビュー、第 168 号（2006 年 3 月）
- 2) 廣瀬、増田、佐藤、畑、「高温超電導直流ケーブルについて」、SEI テクニカルレビュー、第 167 号（2005 年 9 月）

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：超電導と核融合とはどのような関係があるのですか？

A：現在、ウランの核分裂を利用した原子力発電は日本においても発電の主要な部分を占めている。これに対し、太陽と同じ原理で発電を行おうとするのが核融合である。核融合というのは、水素や重水素（水素原子に中性子が 1 個ついたもの）、三重水素（水素原子に中性子が 2 個ついたもの：トリチウム）などの元素の原子核同士の反応である。最も実現性の高い核融合反応としては、重水素(D)と三重水素(T)の反応である D-T 反応がある。核融合による放射性廃棄物は、反応生成物である三重水素と、反応により発生した中性子により放射化された構造物に限定されることから、放射能の心配の非常に少ないクリーンなエネルギーであると言える。

しかし、この核融合が起こるためには超高熱（D-T 反応でも約 1 億℃程度）を必要とする。この温度では、原子核とその周囲をまわっている電子がはぎ取られ、プラスの電荷を持った原子核とマイナスの電荷を持った電子に分かれて、高速で不規則な運動をするようになる（この状態をプラズマと呼んでいる）。現在の技術では、核融合に必要な高温プラズマに耐えて、それを閉じ込められる材料は存在しない。そこで、強い磁場の力でプラズマを閉じこめようとする手法が考えられた。1 億℃以上にもなるプラズマを高密度のまま閉じこめるためには、強力な磁場を発生する磁石を使わなければならない。高磁場を発生することができる超電導磁石が必要になるのはそのためである。プラズマは電離しているのでうまく磁場を作ってやれば閉じこめることができるのである。この磁気閉じ込め方式としては、プラズマをドーナツ上の環状部に閉じ込めるトカマク型とヘリカル型が一般的な方式である（この他にも、一般的ではないが「ミラー型」、あるいは磁気閉じ込めで方式でない「慣性核融合」があるが、ここでは省略する）。

従来の常電導磁石の性能を上げ、冷却装置により通電中発生した熱を除去したとしても、常電導磁石と冷却装置等が必要とする電力は核融合で得られる電力より非常に大きいという試算もある。これでは何のための核融合なのかわからない。経済性の面からも超電導磁石は欠かせないものなのである。そのため、核融合研究は、強力に消費電力の少ない超電導磁石の開発と並行して精力的に進められている。

現在、日本での核融合に関する研究としては、日本原子力研究開発機構による「JT-60」プロジェクト（トカマク型）や核融合科学研究所による「LHD」プロジェクト（ヘリカル型）、国際的には、日本をはじめアメリカ、ヨーロッパ、中国、韓国、インドなどとの共同研究（ITER 計画）による核融合実験炉（トカマク型）の開発が進められている（「超電導 Web21」2006 年 5 月号 読者の広場 参照）。

超電導技術や核融合技術が、エネルギー問題、環境問題等の解決に役立ち、21 世紀の私たちの生活をより豊かになるよう、今後のめざましい発展を期待している。

回答者：ISTEC 総務部 久保義昭

[超電導 Web21 トップページ](#)