

掲載内容（サマリー）：

トピックス

- 世界初、液体酸素温度で超電導浮上
- 宇宙実験試料の回収に成功
- 超電導技術動向報告会 2003 より／ISTEC 通常理事会開催

特集：SQUID

- 深部対応型 MEG システムの開発
- 心磁計 MCG 開発の現状－臨床医療機器認可の意義
- SQUID 非破壊検査の話題－C/C コンポジットへの適用
- SQUID による送電線検査装置の開発
- 超電導関連製品ガイド－超電導量子干渉素子（SQUID）関連製品－

- 超電導関連 7－8 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（5/20-6/19）
- 超電導速報－世界の動き（2003 年 5 月）
- 標準化活動 7 月のトピックス
- 特許情報
- 第 68 回春季低温工学・超電導学会報告
- M2S-HTSC-VII 会議報告
- 隔月連載記事－パルス管冷凍機の誕生と変遷（その 4）
- 読者の広場(Q&A)－磁場の生体への影響と安全基準についてわかり易く教えてください。
また、磁場について日常心掛けるべきことも教えてください。

[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。

世界初、液体酸素温度で超電導浮上

ナノテクノロジーによる組織制御で高性能化に成功

(財) 国際超電導産業技術研究センター、超電導工学研究所、盛岡超電導技術応用研究所と岩手県工業技術センターは世界ではじめて液体酸素温度（氷点下 183℃、絶対温度 90K）での超電導浮上実験に成功し、その成果を 2003 年 6 月 30 日から 7 月 2 日の日程でドイツのイエーナで開催される第 4 回バルク超電導体の基礎と応用に関するワークショップで発表する。

高温超電導体の液体窒素温度（氷点下 196℃、絶対温度 77K）での超電導浮上実験は、科学館や理科の祭典などでも一般に行われており、現在では中学や高校の授業でも取り上げられている。

また、中国では、超電導浮上を利用した磁気浮上列車の開発も進められている。

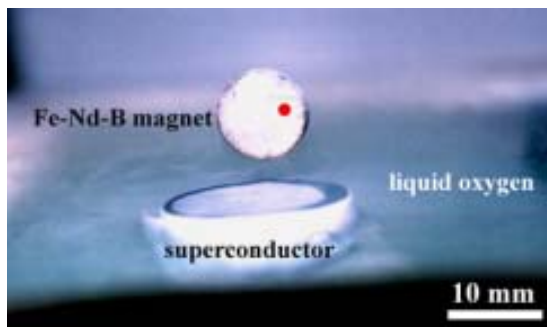
産業応用に関しては、液体酸素の利用分野も広く、医療現場における酸素ガス供給源や、ロケット発射用の液体燃料などとして利用されている。このため、高温超電導体を液体酸素冷却で実用化しようとする試みもあった。

しかし、これまで、液体窒素温度以上の高温での応用が可能な Y-Ba-Cu-O 系超電導体の臨界温度は、氷点下 182℃（絶対温度 91K）程度であり、液体酸素温度での、超電導体の特性が十分ではなく、この温度での応用は不可能とされていた。

今回、同研究グループは、Y-Ba-Cu-O よりも臨界温度が 4℃高い氷点下 178℃（95K）の(Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O 系において、液体酸素温度での臨界電流密度を向上する目的で、微細な Gd211 相の分散を試みた。

具体的には、添加する Gd211 相をボールミル粉碎により 70nm（ナノメートル）程度まで微細化して、超電導体を製造した。この際、粉碎に利用したセラミックスボールの原料である Zr（ジルコニウム）がわずかに試料に混入し、20 – 50nm 程度の超微細な Zr-Gd-Ba-Cu-O の組成からなるナノ粒子が試料内に分散することが分かった。この結果、液体酸素温度における臨界電流密度が、液体酸素温度の 90K において、従来のほぼゼロの状態から 40000A/cm² という高い値に向上し、液体酸素冷却によっても超電導浮上させることが可能となった。

本研究は、超電導応用基盤技術研究体の研究として、(財) 国際超電導産業技術研究センター・超電導工学研究所が、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から委託を受けて実施したものである。



超電導工学研究所
盛岡超電導技術応用研究所
所長代理 腰塚 直己

今回開発した(Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O 超電導体を液体酸素で冷却し、その上に永久磁石を浮上させた写真。永久磁石に日本の国旗を貼り付けている。
液体窒素は無色透明であるが、液体酸素は薄く青みがかったきれいな色をしている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

宇宙実験試料の回収に成功

超電導工学研究所材料物性研究部バルク開発研究室では、人工衛星を用いた微小重力環境下において、大型バルク超電導体の無容器溶融成長実験を行っており、今回、実験試料の回収に無事成功した。回収衛星で実験を行った試料の回収は、日本では初めてのことである。

この実験は、無人宇宙実験システム研究開発機構（USEF）が開発した次世代型無人宇宙実験システム（USERS）衛星を利用して行ったもので、USERS 衛星は、2002 年 9 月 10 日、H-IIA ロケット 3 号機により打ち上げられた。

今回の実験では、直径 127 mm、厚さ 20 mm の円盤状 Gd123 系大型材料の溶融成長が行われた。試料の上面中央部には Nd123 系種結晶および実験装置との接続部が融着されており、この接続部を微小重力環境下で把持することにより、1 点支持の状態での結晶成長が行われた。試料は、3 台の実験炉にそれぞれ 1 個ずつ配置し、3 回の実験が行われた。電気炉は、試料を複数のヒータで囲み、外側を高性能断熱材で覆って全体をチャンバ構造とした雰囲気炉である。電気炉の模式図を図 1 に示す。また、打ち上げ時の振動から実験試料を保護する機構と、微小重力下で種結晶部を把持して試料の非接触実験を可能とする機構を有している。さらに、種結晶部近傍からの積極的な排熱と、試料周りに配置した複数ヒータの発熱を勾配に合わせ変化させることにより、その中心の種結晶設置部の温度が最低となるように、径方向／厚さ方向の 2 方向の温度勾配がつく構造となっている。

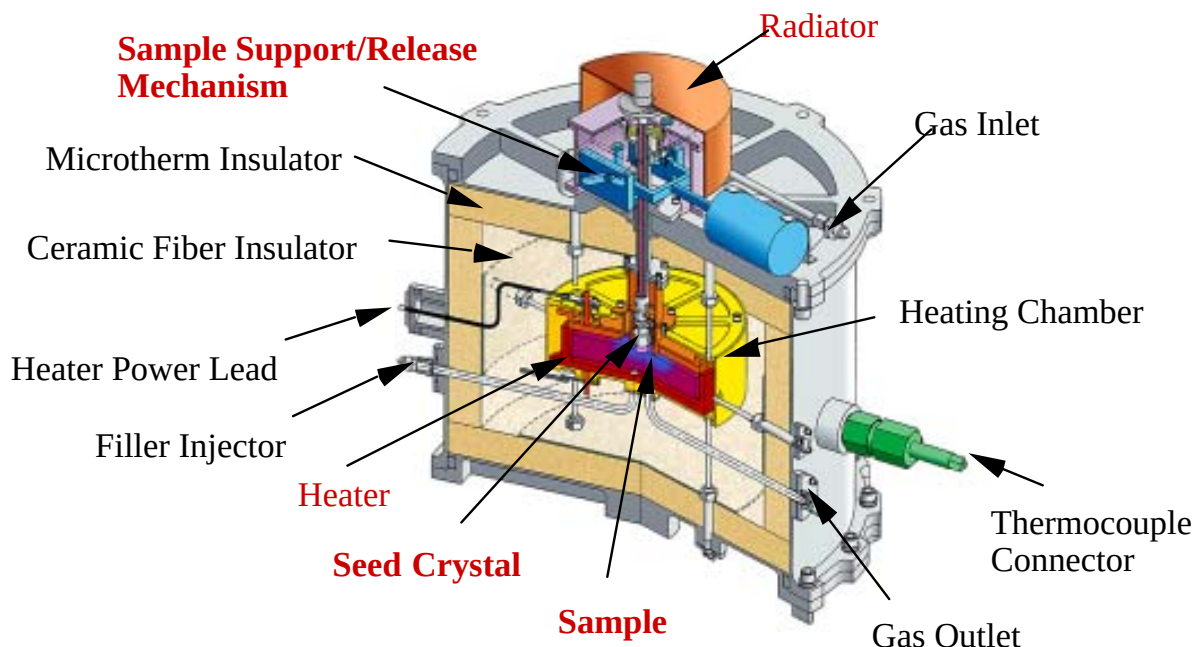


図 1 宇宙実験炉の断面模式図

第 1 回目の実験は 2002 年 10 月 2 日から始まったが、いくつかの問題が生じたため、実験を途中で変更した。2 回目以降は条件に修正を加えた結果、実験は予定通り進んだ。この時得られた温度分布・圧力変化・酸素濃度変化・酸素吸収および供給状態など衛星から送られてくるデータを解析することにより、試料の溶融・結晶成長は、ほぼ予測通りに進んでいるとみなされた。

2003 年 3 月半ばに超電導材料製造実験は終了し、その後サービスモジュール (SEM) にて引き続き実験を行う機器によるミニマムサクセス実験を行った後、5 月 30 日、午前 4 時 06 分 (日本標準時)、USERS 衛星のリエントリモジュール (REM) を SEM から分離し、次いで、午前 5 時 45 分に軌道離脱モーターに点火され、帰還軌道に入った後、REM 先端のカプセル部であるリカバリービークル (REV) は大気圏に再突入した。午前 6 時 34 分頃小笠原東方公海上に着水した REV を航空機が目視確認し、その後回収船が着水点に到着し、午前 9 時 50 分頃 REV の回収に成功した。REV の回収風景を図 2 に示す。

陸揚げされた REV はアイ・エイチ・アイ・エアロスペース (IA) の川越事業所に運ばれ、REV 解体およびミッションパネルの取り外しが行われ、現在 IA 富岡事業所にて、ミッションパネル (図 3 参照) から電気炉の取り外し作業を行なっている。7 月 7 日より超電導工学研究所にて電気炉の解体および試料の取り出し作業に着手する。今後は、回収したバルク試料の特性・組織等の評価を行うとともに、地上にて対照実験を行い、地上と微小重力環境下での実験との差異を明確化し、地上での高性能バルク材料の作製に役立てることが期待されている。



図 2 REV 回収風景
(赤いフローティングバック
下の海中にあるのが REV)

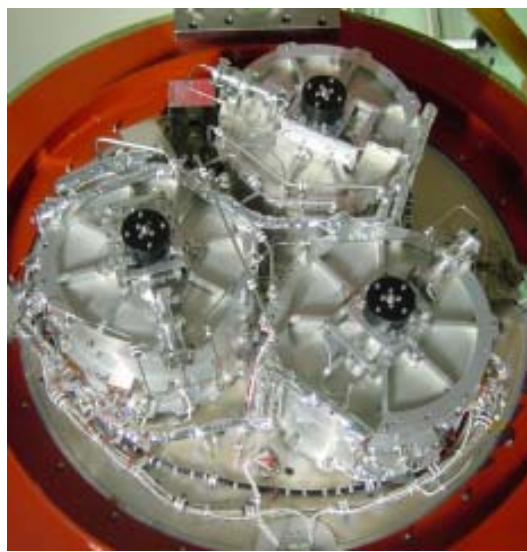


図 3 ミッションパネル上に設置された
3 台の電気炉 (打ち上げ前)
回収後の電気炉表面は海水で
腐食されていた。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部 バルク研究開発室 坂井直道)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導技術動向報告会 2003 より

ISTEC は 2003 年 6 月 3 日（火）東京・都市センターホテルで超電導技術動向報告会「急加速した超電導技術」を開催した。産・学・官、報道、一般参加者を含め約 240 名の参加があり、産業化を目指す超電導技術開発の成果と課題、動向が報告され、熱心な討議が行われた。

経済産業省産業技術環境局研究開発課の本部彦課長、新エネルギー・産業技術総合開発機構新電力技術開発室の名取一雄室長の祝辞があり、研究開発の成果と早期実用化への一層の期待と激励を頂いた。ひき続き、超電導工学研究所の田中昭二所長は基調講演の中で、高温超電導体の発見から 16 年が経過し、最近になり従来の低温超電導体とは全く異なる実像が明らかとなってきた。またその応用技術も在来技術の限界を突破した"量子コンピューターから核融合分野まで"の新たな領域が開拓されつつあるとして、2010～2020 年に向けての将来像を示した。

SRL 材料物性研究部の田島節子部長は、超電導技術開発が、これまでの基礎研究の知見を活かすことで特性向上を図ることができる段階にきたことを報告した。SRL デバイス研究開発部の田辺圭一郎部長は超電導デバイス研究の概要と、低温 SFQ では 2×2 スイッチの 50GHz 動作確認および高温 SFQ 回路 QOS コンバータの 97GHz 動作(35K)等の最近の成果と課題を報告した。

日立製作所の塚田啓二氏は、製品化された低温系超電導 SQUID を用いた心磁計とその臨床例、リアルタイム計測ができる高温系超電導 SQUID を用いた心磁計の実用化、および周辺技術としてハイブリッド超電導磁気シールド、インピーダンス心磁計等の開発成果について紹介した。

SRL の村上雅人特別研究員は、宇宙での大型バルク超電導体製造への期待、プロセス技術の開発による補足磁場特性の飛躍的向上と樹脂含浸による機械強度の向上により、実用期に到達した産業応用分野の具体例として、磁気浮上、磁石応用、導体応用を紹介した。

株式会社ダイアックスの松田隆氏は、バルク超電導体を用いたマグネトロンスパッタリング装置とその成膜特性、さらに特性向上の指針などを紹介した。

SRL 線材研究開発部の塩原融部長は、応用基盤プロジェクト目標である高臨界電流密度および長尺化プロセス技術開発の達成状況と、今後の実用化研究への取り組みについて報告した。

東京大学の大崎博之助教授は、超電導線材の技術開発とコスト予測、および 2020 年に向けての応用機器開発ロードマップと実用化への道筋を明らかにした。

ISTEC の辰田昌功常務理事は、SMES コスト低減技術を基にモデルコイルの設計・製作と各種試験の成果、また高温超電導 SMES の可能性が示されたことから、エネルギー(電力)貯蔵技術の重要性が増し、ニーズも広がると報告した。

SRL 盛岡超電導技術応用研究所の腰塚直己所長代理は、超電導フライホイールの積載力向上、回転損失低減及び軸降下低減の各要素技術開発と、超電導軸受運転試験、フライホイール本体・軸制振等の応用技術開発の成果と今後の課題を報告した。

最後に、東京理科大学の正田英介教授が基調講演において、超電導研究開発プロジェクトのフェーズ更新期を迎えるに当たり、国や社会の技術開発支援に対する考え方に変化が見られることから、長期的な視野からの開発戦略立案の必要性を述べ、また超電導が基盤技術となるためには開発ニーズを再検討し、市場性・社会性の高い応用の開拓と、より広い範囲の知見の集約と超電導に対する関心の惹起が重要との提言がなされた。

超電導応用基盤技術開発プロジェクトのフェーズ更新期を迎え、研究の成果と早期実用化への期待が高まっている中で、産学官挙げての研究開発に取り組むことの意義と重要性を再認識できた報告会となった。



基調講演の田中昭二・超電導工学研究所長



講演風景

(ISTEC 調査・企画部長 佐伯 正治)

ISTEC 通常理事会開催

財団法人国際超電導産業技術研究センター（略称 ISTEC：理事長 荒木浩）は、平成 15 年 6 月 11 日、経団連会館において第 32 回通常理事会及び第 22 回評議員会を開催した。平成 14 年度事業報告並びに収支決算（14 年度支出：約 54 億円）、補助事業の実施、評議員の選任について報告があり、審議後、満場一致で承認された。

(ISTEC 総務部 安住光弘)

[超電導 Web21 トップページ](#)

深部対応型 MEG システムの開発

金沢工業大学
先端電子技術応用研究所
助教授 樋口正法

はじめに

アルツハイマー病などの痴呆の早期診断計測装置として、大脳皮質から海馬などの脳深部に対応する 320 チャンネル全頭型 MEG システムの開発を行った。本研究は、科学技術振興事業団の「石川県地域結集型共同研究事業」“次世代型脳機能計測・診断支援技術の開発”の一環として実施された。実際の開発には、金沢工業大学先端電子技術応用研究所とその産学協同パートナーである横河電機株式会社およびイーグル・テクノロジー株式会社が中心となった。

深部計測用 SQUID センサ

脳機能と痴呆との関連性において、記憶障害はもっとも痴呆を特徴づけるものである。したがって、記憶を司る海馬の様相を調べることは、痴呆診断に大きな指針を与えるものと思われる。しかしながら、従来の MEG 装置においては、通常グラジオメータが用いられており、海馬などの深部からの脳磁場信号を検出することは非常に困難であった。そこで深部計測用センサとして、信号を一番大きく捕らえるマグネトメータ方式を採用した。また、高度な信号処理やデータ処理に対応できるように磁場の 3 方向成分を検出するベクトル型センサとした（図 1 参照）。



図 1 ベクトルマグネトメータ

システム構成

本システムは、マグネトメータを 160 チャンネル、ベースライン 50mm の同軸型グラジオメータを 160 チャンネル、合計 320 チャンネルを稼動させることが可能である。デュワは被験者が仰向けになって測定できる仰臥位タイプ、磁気シールドルームは磁気シールド 3 層、電磁シールド 1 層で、78.9dB@1Hz の磁気シールド性能を有する（図 2 参照）。データ収録装置は 640 チャンネル分の収録性能を有し、連続収録やマルチトリガによるアベレージ収録が可能である。



図 2 デュワと磁気シールドルーム

脳磁場測定例

図 3 に本 MEG システムによる聴覚誘発脳磁場波形を示す。上段はグラジオメータ、下段はマグネトメータの結果を示す。音刺激提示後 100msec 付近の信号の大き

さを比較すると、マグネトメータの方がやや大きくなっている。このときの磁場源は比較的に浅いところであるが、深い磁場源の場合その差はさらに大きくなるものと思われ、深部計測におけるマグネトメータの優位性が示されている。図 4 にはベクトルマグネトメータのデータを用いて磁場分布を表現したものである。従来の法線成分のコンターマップに接線成分の向きと大きさが示されており、磁力線の向きなどが理解しやすくなっている。

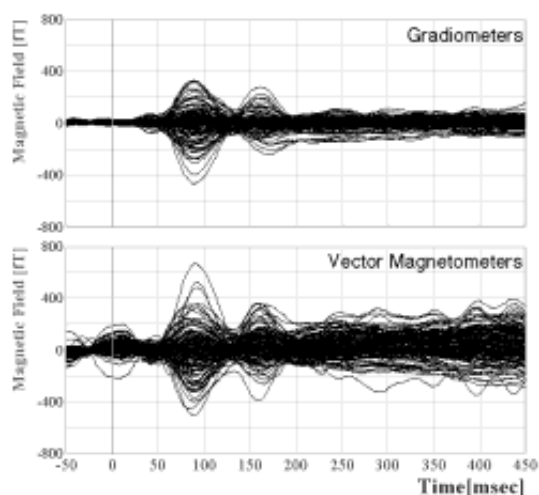


図 3 聴覚誘発脳磁場測定例

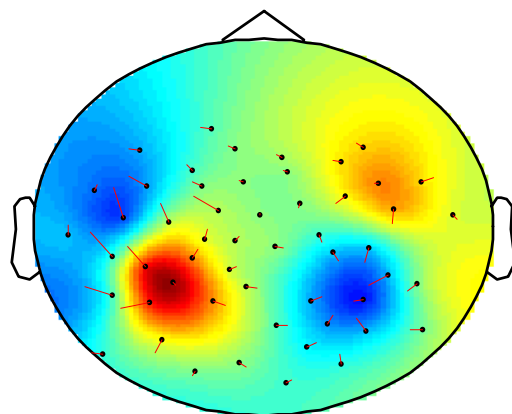


図 4 ベクトルマグネトメータによる磁場分布表現

[超電導 Web21 トップページ](#)

心磁計 MCG 開発の現状 一臨床医療機器認可の意義

株式会社 日立製作所 中央研究所
メディカルシステム部
塚田啓二

心臓の電気生理学的活動に伴って発生する磁場の空間分布及び時間の変化を高感度な磁気センサである SQUID を多数配置して計測するものとして心磁計がある。同様な装置として脳磁計があり、基本的に異なるのは測定対象が脳と心臓といった臓器の違いであり、これによりセンサアレイ形状が異なる点だけである。すでに、脳磁計は国内だけでも 40 台近く設置されており、臨床では癲癇や手術前の切除可能な機能部位判定などに使われている。一方、心磁計測の歴史は古いものの臨床検査としては使われてなかった。これは心磁計が医療機器として認められてなかったことによる。脳磁計は米国が先に承認したものだが、心磁計は今回昨年末に初めて米国よりも先行して日本で薬事承認された(図 1)。



図 1 LTS 64 チャンネル心磁計
(日立ハイテクノロジーズ社製)

すでに医療の現場では心臓の心電現象の異常を検査するものとして心電計があり、一般的に 12 組の電位差を計測する標準 12 誘導心電計が用いられる。しかし、誘導点がまだ少ないため、詳細な空間情報を捕らえる目的で上半身くまなく 100 点程度の電極を貼る体表面心電計が開発された。しかし、電極を貼ることが困難で、接触不良などで良好な信号が得られにくい問題があったため、現在ではほとんど使われていない。この詳細な空間情報を得たい要望が、非接触な計測である心磁計により打開されたと考えられる。心磁図の臨床研究を行っている筑波大学や国立循環器病センターから不整脈における興奮伝播の異常の可視化や、狭心症や心筋梗塞などの虚血性心疾患、胎児の不整脈などについて多くの論文が発表されている。



図2 HTS 16 チャンネル心磁計

現在の心磁計は冷媒として液体ヘリウムを用いる LTS システムであるが、次世代のものとして液体窒素あるいは冷凍機で冷却する高温超電導 SQUID を用いた HTS 心磁計も開発している。高温超電導 SQUID の大きな課題は感度と量産性にあると考えられる。今回経済産業省および NEDO の実用化開発助成事業を受け 16 チャンネルのコンパクトな心磁計を実現した（図 2）。省スペース化するため、回転扉付の円筒開放型磁気シールドと、座位で計測できるシステム構成を新たに開発した。磁気シールドと信号処理により、まだ LTS-SQUID より一桁近く雑音が大きいが $100\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下の感度の達成により成人の心磁波形を加算処理なしに捕らえることが可能となった。

HTS 心磁計と LTS 心磁計はそれぞれの特徴を生かして、前者では心臓検診等の予防診断用として、後者では治療判定や最も微弱な信号計測である胎児検査などを含んだ精密検査装置として使い分けられていくであろう。今後、心磁計の普及とともに超電導がより身近なものとなってくるであろう。

[超電導 Web21 トップページ](#)

SQUID 非破壊検査の話題 — C/C コンポジットへの適用

産業技術総合研究所
エレクトロニクス研究部門
葛西 直子
東海林 彰
廿日出 好

最近、先進複合材料の一つである C/C（炭素繊維炭素強化複合材料）は軽量、高比強度、高比剛性に加えて 3000℃の高温にも耐えることができるなどの性質を持つため、スペースシャトルや航空機、自動車のブレーキディスクなどに使用されはじめている。他方、C/C に発生する微細な母材亀裂や繊維断線が複雑に分布した、複合欠陥は、X 線や超音波を用いた従来の非破壊検査手法では検出することが大変困難である。

産業技術総合研究所では、被検体に電流を流した際に欠陥部分を電流が迂回することに着目し、外部から被検体に電流を誘起し、その迂回電流を可視化することによって電流迂回範囲から欠陥発生範囲を推定するとともに、迂回電流量から欠陥状態を推定するという新しい SQUID 非破壊検査技術を開発した。

迂回電流は磁界の空間微分から近似的に変換できる。そのため、SQUID グラジオメータを用いて計測した磁界の空間微分から直接電流分布図を作成することができる。

宇宙科学研究所の協力を得て、厚さ 3mm の C/C 板材に引張負荷を加えながら亀裂のみを発生させた状態、これに繊維断線が加わった状態、最終破壊直前の状態のサンプルを作成し、本手法を適用した。得られた迂回電流マップを図 1 に示す。電流の向きが変化している範囲から欠陥分布範囲を推定できる。また、図 1 から求めた欠陥分布範囲を迂回する電流量と欠陥状態とは強い相関を示した（図 2）。これら実験結果は炭素系複合材料の品質管理、安全管理のための劣化診断および余寿命評価の可能性を示している。

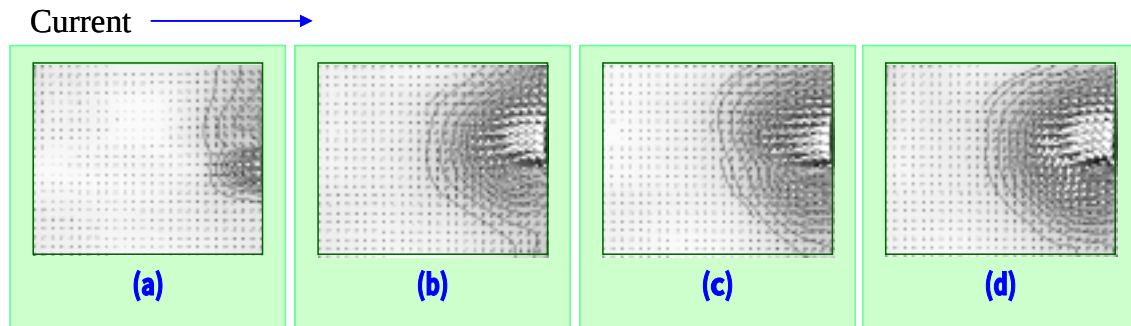


図 1. C/C の劣化進展に伴って広がる迂回電流分布範囲。(a)無荷重、(b)亀裂発生段階
(c)繊維断線発生段階(d)最終破壊直前段階

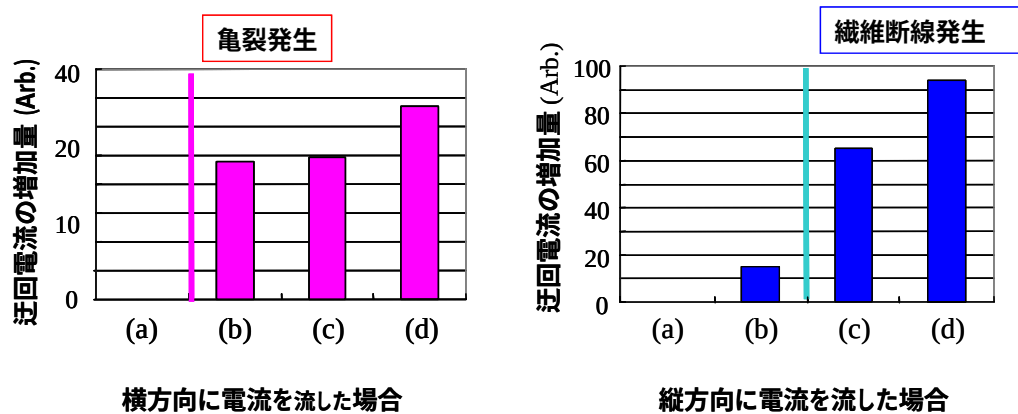


図2 迂回電流量と欠陥状態との関係。
無負荷状態からの変化を示している。

[超電導 Web21 トップページ](#)

SQUID による送電線検査装置の開発

関西電力株式会社
総合技術研究所 電力技術研究所
発電設備研究室
副主任研究員 服部 修

当社は、SQUID 検査装置を使用して送電線や吊り橋のケーブルを傷つけることなく内部の劣化状況を検査する方法を開発しました。

送電線などの電力設備は、高度経済成長時に多数の設備が建設されたため、経年設備が今後増大していくことが予想されます。電力需要の伸びが鈍化した現在、経年設備の取替え時期は個々の設備の信頼度維持と使用状況に合わせて最適に決定することが求められています。

電線は法定耐用年数が 40 年ですが、劣化がなければこれ以上使用しても良く、劣化状況を詳細に把握することで取替え時期を大幅に延伸することが可能になります。

当社では、電線の劣化検査を目視によって行っていますが、内部の劣化まで確認することは従来の超音波や渦電流を用いた探傷技術では難しいという課題がありました。今回開発した方法は、既存の SQUID センサーとセンサー駆動装置をベースに、新規に開発した画像処理方法と検査対象物の前処理を組み合わせることで、電線を切断したり傷つけることなく、モニター上で内部の腐食や傷の様子を確認できるようにしたもので、「芯」の部分が鋼鉄の素線をより合わせた構造になっている電線をはじめ、吊り橋のケーブル等にも適用できる技術です。

SQUID センサーは、物理計測や医療用に開発された微小磁場を測定するためのものです。磁気を測定するためには、磁気を電流に変換し、その電流を計測する必要がありますが、超電導素子を使えば、電流への変換効率が飛躍的に高まるため、地磁気(50 μ T)の 100 万分の 1 という、極めて高い感度で磁気を検出できます。

また磁気センサーを利用して、物質が劣化した場合に生じる磁気の変化を捉えることで、材料の傷や腐食を検出できることは以前から知られていましたが、フラックスゲート素子など一般的に使用されている磁気センサーは、感度や分解能が十分でないために微細な劣化を検出することができませんでした。一方 SQUID は、分解能は高いものの、感度が高すぎるため、空気中の電気ノイズの影響を受けやすく検出技術としては実用化できていませんでした。

今回、既存の SQUID 検査装置に改良を加えて組み合わせたことで、以下の 2 つの課題を解決し、SQUID 検査装置を適用した新しい検査方法として開発に成功しました。

1) 高すぎる検出感度と電気ノイズによる検査への障害

電線の劣化を示す信号と電気ノイズとをセンサー部分で区別し、感度を抑え、劣化を示す信号のみを取り出すことができるようにすることで、屋外での検査を可能にした。

2) 測定した信号から劣化程度の判別が困難

測定信号を電線用データ処理機能を追加した画像処理方法を採用することで、モニター上でビジュアル的に劣化状況を検査できるようにした。

当社はこの検査方法について、数年後を目途に、鉄塔上などの高所で実際に使用できるまで小型・軽量化を図った実用装置を目指し開発を行う予定です。

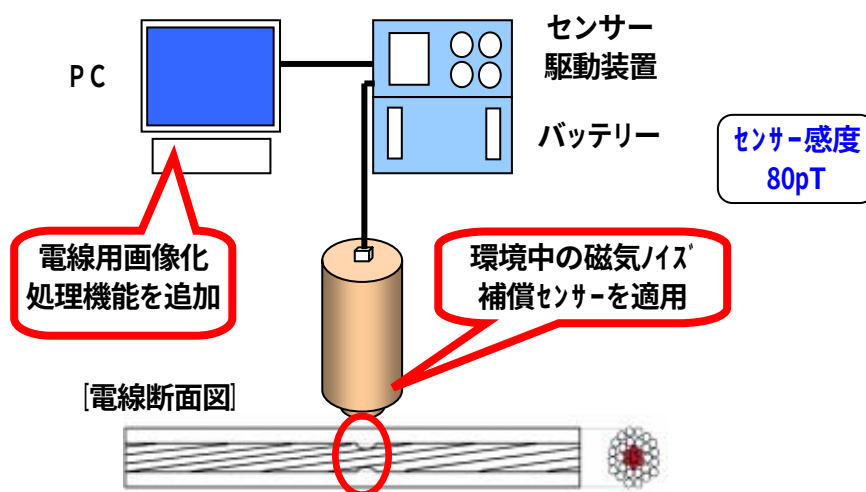


図1 SQUID検査装置の装置構成

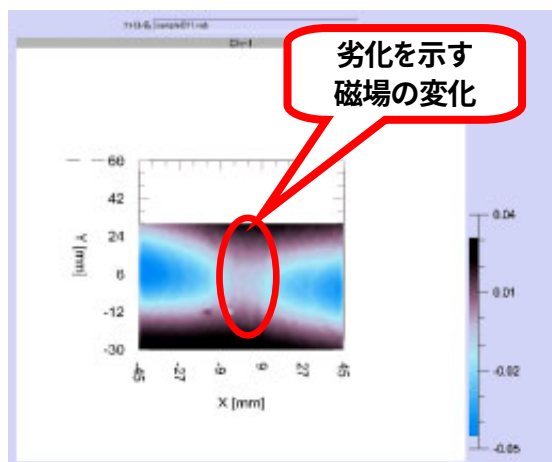


図2 SQUID検査装置による電線の検査例
劣化が磁場の変化となって画像表示されている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイド ― 超電導量子干渉素子 (SQUID) 関連製品 ―

○島津製作所

SQUID 磁力計、生体磁気計測装置 (ベクトル型 129 チャンネル SBI-100 : 脳磁計 MEG)

Tel: 075-823-1271、Fax: 075-811-8185、e-mail: medical@shimadzu.co.jp

○ 住友電工ハイテックス株式会社

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

担当 (営業) 大橋 ; Tel: 03-3423-5921、Fax: 03-3423-5924

(技術) 永石 ; Tel: 072-771-3022、Fax: 072-771-3023

○ セイコーインスツルメンツ株式会社 科学機器事業部

Nb 系低温走査型 SQUID 顕微鏡他

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

担当 : ナノテク営業部 渡邊幸弥

○ 株式会社 日立ハイテクノロジーズ ライフサイエンス事業統括本部 医用マーケティング部

MC-6400 日立心臓磁気計測システム

Tel : 03-3504-5818、Fax : 03-3504-7756

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

担当 : 心臓磁気計測システム専門部長 内藤茂昭

○ 横河電機株式会社 航空宇宙・特機事業本部 MEG センター

脳磁計 (MEG)、小型・微弱磁場計測装置

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

担当 : 宮部敏秀

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 7 - 8 月の催し物案内

6/30-7/2

PASREG2003-4th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials

場所: Jena, Germany

e-mail: habisreuther@ipht-jena.de

7/8

SMES 研究開発の最新状況と実用化への展望

場所: 中部電力(株) 寛政変電所 超電導実験センター (名古屋市港区善進本町 571 番地)

(主催: 低温工学協会 超電導応用研究会)

e-mail: ohsaki@ee.t.u-tokyo.ac.jp

7/7-11

International Superconducting Electronics Conference

場所: Sydney, Australia

<http://www.tip.csiro.au/ISEC2003/>

7/7-16

Advanced Studies on Superconducting Engineering Euro Summer School

場所: Budapest, Hungary

e-mail: secretary@supertech.vgt.bme.hu

7/20-23

The 7th International Symposium on Research in High Magnetic Fields(RHMF 2003)

場所: Toulouse, France

e-mail: rhmf@cict.fr

7/28-31

IWCC11/The 11th International Workshop on Critical Currents in Superconductor

場所: 日本大学文理学部百年記念館 東京(世田谷区)

(主催: 日本大学文理学部)

e-mail: otabe@csc.kyutech.ac.jp

<http://iwcc2.s26.xrea.com/>

8/4

エレクトロニクスと薄膜

場所: 長岡技術科学大学 (長岡市)

(主催: 低温工学協会 超電導応用研究会)

8/11-12

磁気分離夏の学校ー磁気分離を応用した水処理

場所: つくばクリエーションセンター

(主催: 電気学会 超電導応用電力機器技術委員会)

e-mail: HIGA.Shouji@nims.go.jp

8/17-22

ICR2003, 21st Congress International Institute of Refrigeration

場所: Washington, DC

e-mail: csa@huget.com

8/18-20

第2回ナノサイエンス・サマー道場ー超伝導・磁性の新しい方向を目指してー

場所: 長野県飯綱高原「ホテルアルカディア」

(主催: 社団法人未踏科学技術協会)

e-mail: nano-sci@sntt.or.jp

8/25-27

第8回超伝導・低温若手セミナー

場所: ウェルサンピア仙台(仙台市)

(主催: 低温工学協会 東北・北海道支部)

e-mail: nojima@imr.tohoku.ac.jp

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (5/20-6/19)

- 超電導材料結晶サンプル 無人宇宙実験システム USERS から 26 日回収 経産省 5/20 日刊工業新聞
- 電磁波 体への影響? 家電製品は安全基準内 WHO「携帯でがん」否定 5/21 読売新聞
- 超電導体を薄膜化 ISTE C 無線基地局で利用 5/22 日経産業新聞
- 液体ヘリウム使わず手軽 新型冷凍機で強磁場 東芝と物材機構 5/23 日経産業新聞、日本工業新聞、日刊工業新聞
- 核磁気共鳴装置を受注 日本電子 国の研究機構から 5/23 日経産業新聞、日刊工業新聞
- 大気圏再突入を延期 無人宇宙実験システムの帰還用カプセル 5/23 日刊工業新聞
- 宇宙で育った超電導体 宙に浮き結晶化 「世界最大」の期待 5/25 日本経済新聞
- 神戸(機械金属加工) 得意技術 医療分野で開花 中小連携、販路開拓カギ 5/26 日本経済新聞
- くも膜下出血 動脈のこぶが突然破裂 2 ミリ拡大なら手術検討 5/27 日本経済新聞(夕)
- 高磁場 NMR システム受注 日本電子が岡崎国立共同研究機構から 5/28 日本工業新聞
- 宇宙実験カプセル、あす帰還 超伝導物質を均質化 5/29 朝日新聞
- 宇宙実験 9 ヶ月 カプセルお帰り 5/30 朝日新聞(夕)、日本経済新聞(夕)、読売新聞(夕)、毎日新聞(夕)
- 超電導体回収後の衛星活用 一般の電子部品 宇宙で転用実験 無人宇宙実験機構 6/2 日本経済新聞
- 宇宙製の超電導材抱えて 実験カプセル“無事帰国” 6/3 日経産業新聞
- CERN ゴールデン・ハドロン賞 古河電工が受賞 超電導磁石用の線材開発 6/3 日本工業新聞
- 韓国、ITER 参加表明 開発計画 6 ヶ国 1 地域で 6/9 電気新聞
- 横国大など 超電導物質でメモリー 動作速度、半導体の 10 倍 6/12 日経産業新聞
- ITER 青森誘致実現を要望 県関係者、遠山文科相に 6/12 電気新聞
- 地中海に面した建設予定地。高速鉄道も整備中だ 核融合実験炉の誘致なるか 雇用増加に大きな期待 6/13 日本経済新聞
- リニア新幹線 実用化へ検討課題 車両小型化など 運行コスト縮減必要 6/16 日本工業新聞
- 標準化戦略を早急に 知財調査会報告 大学評価制で提言も 6/17 日本工業新聞
- 超電導線材安価に 国際超電導センター昭和電線電纜 2008 年めど実用化 6/18 日経産業新聞
- セラ材料で研究協力 物材機構とバルセロナ研 エレ向けなど開発 6/18 日刊工業新聞、日本工業新聞
- JR 東海 超電導リニアが登場 各パビリオンの展示構想 6/18 日経産業新聞(夕)
- 生体の磁場計測システム 脳内の活動部位など検出 大学 VB 人 金沢工業大学教授 賀戸 久氏 6/19 日経産業新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 ― 世界の動き (2003 年 5 月)

電力

American Superconductor Corporation (2003 年 5 月 14 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2003 年度年間純収入が 2100 万ドルと記録を更新したと発表した。2002 年度の純収入は 1170 万ドル。純損失は、第 4 四半期のノンキャッシュ・チャージ 4530 万ドルを含む 8760 万ドル。この損失額は 2002 年度の 5700 万ドルよりも増加している。第 4 四半期単独では、純収入は 1090 万ドル (前年同期 320 万ドル)。2003 年度末の時点で、同社が保有する現金、準現金及び長期投資総額は 2000 万ドルであり、長期債務はない。4 月までの時点で同社には 9200 万ドルの受注残があり、収入増加に向けての強い基盤となっている。同社は今後とも現金を得るための方策を探り、次世代 HTS 線材製造技術のスケールアップを図っていく。

(出典)

“American Superconductor Reports Fiscal 2003 Fourth Quarter and Year End Results”

American Superconductor Corporation press release (May 14, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/105290973471.html>

Intermagnetics General Corporation (2003 年 5 月 14 日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC)は、Philips Medical Systems との間で Philips の MRI システムに使用されている能動シールド磁石の独占的供給契約をさらに拡大するための契約を結んだ。新たな契約により IMGC に更に年間 2000 万ドルの収入がもたらされる。当初 2 年契約であったものがこれにより 7 年契約となる。新契約は 5 年契約である。両社は、さらなる MRI 製品の可能性についてさらに検討を深めていく予定。

(出典)

“INTERMAGNETICS ANNOUNCES EXPANDED STRATEGIC AGREEMENT WITH PHILIPS MEDICAL SYSTEMS”

Intermagnetics General Corporation press release (May 14, 2003)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=86

Intermagnetics General Corporation (2003 年 5 月 14 日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC)は、2003 年 5 月 25 日に終了する当年度第 4 四半期の予想収入 (1 株当たり 25~26 セント) を再確認した。IMGC と Philips Medical Systems の契約変更 (前報告参照) にともない第 1 四半期の出荷が低下することに伴う一時的な収入減は見込まれるものの、2004 年度全般の成長が予想されている。新しい契約により数年間に亘って収入が改善されることが見込まれる。同社社長 Glenn Epstein は、「両社の協力関係強化を目指した本契約の効果は次の期こそ利益は低下するものの、長期的に見れば我々の目標に沿ったものとなると期待している。次の第 1 四半期の非常に低い業績のため 2004 年度はこれまでの予測に比べて低い業績とならざるを得ないが、その次の年以降平均よりも高い成長が期待できよう。」と語った。専門家は、ここしばらくは MRI 市場は年 9~10% の率で成長すると見ている。この成長率は、新しいタイプの MRI や神経系、心臓診断といった新しい応用が生まれれば更に大きなものとなる。

(出典)

“INTERMAGNETICS REAFFIRMS 2003 EXPECTATIONS, PROVIDES INITIAL GUIDANCE FOR FISCAL 2004”

Intermagnetics General Corporation press release (May 14, 2003)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=85

American Superconductor Corporation (2003 年 5 月 19 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、新しい PM1000 PowerModule(TM)電力変換システムの販売を開始した。この装置は可変速モーターや発電機/モーターセット、風力タービン、燃料電池、電力補償といった強電分野での電圧／電流制御に用いられる。この PM1000 は同社の Power Electronic Building Block (PEBB)を基礎にしており、色々な用途に適用可能な高いフレキシビリティ、プログラマビリティ、スケラビリティを持っている。PowerModule ソリューションは、従来品に比べ 1/3 の体積である。この商品の最初の顧客は高速モーター、発電機メーカーの Calnetix である。Calnetix は PM1000 を使って英国海軍向けの 2MW 船舶用発電機を製作する。Calnetix から 4 基の 2MW システムを受注している。それぞれの 2MW システムにはフィルター、変圧器、インダクター、関連機器の他 6 台の PM1000 が搭載されている。4 基のシステムは 2004 年 1 月から 2005 年半ばにかけて出荷の予定。

(出典)

“American Superconductor’s PowerModule(TM) Power Converters To Be Used in Royal Navy Application”
American Superconductor Corporation press release (May 19, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/105309461641.html>

American Superconductor Corporation (2003 年 5 月 28 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、次世代 HTS 線材を Ultera 社に最初の出荷を行った。Ultera 社は米国 Southwire 社とデンマーク nkt cables 社とのジョイントベンチャー。同社は電送ケーブルの主要部分である多芯 HTS ケーブル導体の製造、試験を Oak Ridge National Laboratory (ORNL)と共同で行う。Ultera-ORNL のチームは、液体窒素浸漬時に 110A の通電能力を持つ 30 本の 1.5m ワイヤーを発注している。これに対応して AMSC 社は、10m 長のワイヤーを作成して所定の長さにこれを切断して供給している。このロットの通電能力は 10m 長で 180A レベルに達しており、新しい工業標準となるものである。出荷した線材の平均通電能力は 150A。Ultera-ORNL のチームは、7 月に開催される DOE のピアレビュー会合で HTS ケーブル導体の試験結果を発表する予定。

(出典)

“American Superconductor’s Delivery of Second Generation High Temperature Superconductor Wire Sets Stage for Future Market Expansion, New Applications”

American Superconductor Corporation press release (May 28, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/105405711691.html>

材料

Superconductive Components, Inc. (2003 年 5 月 16 日)

Superconductive Components, Inc.は、2003 年第 1 四半期の収入が 16%低下したと発表した（2002 年度第 1 四半期は 783,379 ドル、2003 年度第 1 四半期は 657,879 ドル）。操業による現金収入は前年同期の 50,489 ドルから 109,087 ドルへと改善した。販売収入は前年同期の 714,148 ドルから 624,546 ドルに低下。研究契約からの収入も NSF からの第 2 期 SBIR の終了に伴い減少した。このため、収益については前年同期の 186,370 ドル（収入比 23.8%）から 149,218 ドル（収入比 22.7%）に減少した。

(出典)

“Superconductive Components, Inc. Announces First Quarter Results”

Superconductive Components, Inc. press release (May 16, 2003)

<http://www.targetmaterials.com/ne/earnings/scci13.htm>

通信

ISCO International, Inc. (2003 年 5 月 15 日)

ISCO International, Inc. は、2003 年 3 月 31 日に終了する四半期の純収入が 123.5 万ドルであったと発表した。前年同期は 156.3 万ドル。しかしながら、グロスマージンは 2% から 49% に改善している。当該四半期の純損失は 315.1 万ドル。前年同期は 378 万ドル。最大のコスト増加要因は特許侵害訴訟に関わる出費である。この費用は 2003 年第 1 四半期の純損失の大部分を占めることになる。

(出典)

“ISCO International Reports Financial Results for the First Quarter 2003”

ISCO International, Inc. press release (May 15, 2003)

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

(ISTEC 国際部 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 7 月のトピックス

—IEC 規格 2 件発行—

国際電気標準会議、IEC は、2003 年 4 月及び 2003 年 5 月に相継いで超電導関連試験方法規格を発行した。これらはいずれもニオブ・チタン複合超電導導体の交流損失試験方法に係わるもので、その有効期限は 2008 年 12 月 31 日である。

●IEC 61788-8: 2003 Superconductivity-Part 8: AC loss measurements-Total AC loss measurement of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field by a pickup coil method

本件は、1Hz 又は 4T/s 以下の横交流磁界中にあるフィラメント径 1 μm から 50 μm 、結合時定数 40ms、線径 0.2mm から 1mm のニオブ・チタン複合超電導導体のピックアップコイル法による全交流損失試験方法規格である。

●IEC 61788-13: 2003 Superconductivity-Part 13: AC loss measurements-Magnetometer methods for hysteresis loss in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites

本件は、マグネトメータ法（VSM: vibrating-sample magnetometry）によるニオブ・チタン複合超電導導体の交流損失（ヒステリシス損失）試験方法規格である。

なお、これら IEC 規格の入手方法は、IEC ホームページ<<http://www.iec.ch/>>からの Web 購入又は(財)日本規格協会ホームページ<<http://www.jsa.or.jp/>>からの斡旋購入が可能である。

—平成 15 年度 IEC/TC90 超電導委員会運営委員会開催—

IEC/TC90 超電導委員会（会長：斉藤茂樹／ISTEC 専務理事）は、平成 15 年 6 月 10 日森ビル新橋アネックス会議室において第 16 回 IEC/TC90 超電導委員会運営委員会を開催した。

この会議において、平成 14 年度事業報告書（案）、平成 14 年度収支決算（案）、平成 15 年度事業計画書（案）並びに平成 15 年度収支予算（案）が承認された。平成 15 年度における特徴的な事業は、現在経済産業省の平成 15 年度公募事業に応募中の「超電導電力機器技術基盤の標準化に関する標準化調査」である。

この標準化調査は、わが国における産業技術力強化戦略の一環として、現行の研究開発プロジェクトと一体的な連携のもとで、その研究開発成果を受け、超電導電力貯蔵システム（SMES）、超電導発電機などの超電導電力機器技術に係わる公開仕様書（PAS）原案作成や技術仕様書（TS）原案作成を最終目的とするものである。

（ISTEC 標準部 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

◆平成 14 年度第 4 四半期の公開特許

平成 15 年 1 月～3 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 2003-020225 「**酸化物超電導体の製造方法及び酸化物超電導体**」：本発明は、LPE 法を用いた YBCO 系超電導体の成膜に関するもので、従来法における薄い膜厚時の臨界温度の劣化（例えば、厚膜で 90K 以上の T_c が薄膜では 77K 程度）を改善するもので、希土類系酸化物超電導体の構成元素に加えてカルシウムを含む融液を用いた LPE 法により、1～3 μm の膜厚でも 90K 以上の高い T_c が得られるようになった。
- 2) 特開 2003-031861 「**電源回路**」：動作速度 100GHz を越える SFQ 論理回路用の電源回路に関するもので、各論理回路の回路要素への電源供給線を抵抗と超電導線で構成し、かつ回路要素との接続部分の超電導線が特性インピーダンスの不連続点となるように構成した。これにより、漏洩電流の抑制による動作周波数の向上と消費電力の低減、電源供給線の占有面積の縮小などが図れた。
- 3) 特開 2003-034527 「**厚膜テープ状酸化物超電導体及びその製造方法**」：フッ素を含む有機酸塩（例えば、TFA 塩）を出発原料とする有機酸塩堆積法（MOD 法）による高品質な高温超電導体膜の作製に関するもので、基板に原料を塗布・仮焼熱処理を複数回施し、厚膜酸化物超電導前駆体を作製する工程の最適化と、さらに水蒸気雰囲気中で行う結晶化熱処理工程の最適化により、膜厚が 0.5 μm 以上で 77K における臨界電流密度が 0.7MA/cm² 以上の超電導体膜が得られた。
- 4) 特開 2003-055765 「**MOCVD 法を用いた超電導薄膜形成方法**」：原料ガスとしてジピバロイメタン（DPM）を用いる MOCVD 法（有機金属化学的気相成長法）は高品質な高温超電導薄膜の製法として優れているが、超電導体構成元素の全ての MO 原料ガスの熱分解反応を大面積に亘って一様に維持するのは難しい。本発明では、最も低い温度で熱分解する Cu の原料ガスに β -ジケトンとを混合することにより熱分解反応を緩和できることを発見し、前記欠点を大幅に改善した。
- 5) 特開 2003-055766 「**MOCVD 法を用いた超電導薄膜形成方法**」：原料ガスとしてジピバロイメタン（DPM）を用いる MOCVD 法（有機金属化学的気相成長法）は高品質な高温超電導薄膜の製法として優れているが、超電導体構成元素の全ての MO 原料ガスの熱分解反応を大面積に亘って一様に維持するのは難しい。本発明では、最も低い温度で熱分解する Cu の原料ガスとして従来の Cu(DPM)₂ に代えて Cu(DPM)₂ とエチレンジアミンの結合体を使用することにより熱分解反応を抑制できることを発見し、前記欠点を大幅に改善した。
- 6) 特開 2003-059352 「**表面が平坦な高温超電導体膜**」：本発明はスパッタ法やレーザ蒸着法等により作製される 123 系高温超電導膜に生成する析出物やパーティクルの削減に関するものである。構成する金属元素イオン半径の差が大きいグループ（Y-Ba-Cu など）と差の小さいグループ（Nd-Ba-Cu など）では析出物等の発生機構が異なることを見出し、この 2 グループの組

成比率を適正に選択することで著しい効果が得られた。

- 7) 特開 2003-069094「ランプエッジ型ジョセフソン接合素子及びその製造方法」: 本発明は 123 系高温超電導ジョセフソン接合の形成に関するもので、接合特性の改善と臨界電流のばらつきを低減する方法を明らかにしている。すなわち、上部電極と下部電極を RE-Ba-Cu-O の 4 元素成分構成を RE 及び Ba に置換元素を添加した 5 元素成分以上の組成とすることで、両電極の成膜温度差が拡大し平滑膜の形成が可能となり、下部電極の特性劣化の抑制、 I_{cRn} 積の増大、 I_c ばらつきの低減等の効果が得られた。
- 8) 特開 2003-089516「 MgB_2 系超電導体並びに MgB_2 系超電導体の製造方法」: PIT(Powder in Tube)法による MgB_2 超電導体の作製に関するもので、重量比 1:2 の Mg 粉末と B 粉末の混合粉を銅製パイプに封入し、700℃で 12 時間熱処理することにより、臨界温度 39K の MgB_2 超電導体を得られた。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[超電導 Web21 トップページ](#)

第 68 回春季低温工学・超電導学会報告

2003 年 5 月 21 日から 5 月 23 日の 3 日間、つくば市の産業技術総合研究所のつくばセンター共用講堂で第 68 回春季低温工学・超電導学会が開催された。主催側によれば、参加人数は 489 人で、3 日間に渡り活発な議論が交わされた。

Y 系線材関係の発表について報告する。特に、今回は PLD-IBAD 法 Y 系線材のセッションが新たに設けられ、今年 4 月から発足した ISTECSRL の名古屋高温超電導線材開発センターが 4 件連番で、また、これまで PLD-IBAD 法 Y 系線材で世界をリードしてきている(株)フジクラが 2 件連番で行われた。まず、名古屋高温超電導線材開発センターから、今年 2 月に導入した IBAD-PLD の大型装置とその装置による 3 ヶ月間の結果について概略が紹介され、その後が続いて、各々のプロセスでの詳細が報告された。IBAD 中間層では 20m 長を作製、PLD-CeO₂ キャップ層では 20m/hr の速度で作製、PLD-YBCO 層では大型装置によってテープ静置で $I_c=100A$ が得られており、本装置の今後の有望性が報告された。続いて(株)フジクラからは、YBCO を積層成膜により作製した長さ 100m の線材で、100m 全長に渡って 30A 以上の I_c が得られ、長さ特性の面で更なる大きな進展が報告された。

他には、SRL から、新原料を用いた TFA-MOD 法において、 $I_c=210A$ が得られたことが報告された。昭和電線電纜(株)から、TFA-MOD 法 YBCO 用の長尺炉により、20cm 長で $I_c=31A$ が得られたことが報告された。電力中央研究所からは、BaF₂ を前駆体として水蒸気圧を用いないプロセスで作製した YBCO 膜において、平面 TEM 観察から YBCO 膜は厚さ方向にツイン構造をもっており、また球状の異相が存在することが判明したと報告された。九州大学大学院から、積層成膜による厚膜 YBCO と 1 回成膜による厚膜 YBCO とについて、その臨界電流のゼロ磁場における特性および磁界中での J_c 低下は同程度であると報告された。更に、九州大学大学院から、低温走査レーザー顕微鏡の測定結果より得られるパーコレーション確率を用いて再現されたマクロスケールの E-J 特性は、四端子法による測定結果と定量的に良い一致を示すことが報告された。

他にも有益な結果が続々と報告され、次回学会での更なる進展が期待される。

(SRL/ISTEC 名古屋高温超電導線材開発センター 室賀岳海)

[超電導 Web21 トップページ](#)

M2S-HTSC-VII 会議報告

2003 年 5 月 24 日から 6 月 1 日、リオデジャネイロにて、7th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (M2S-HTSC-VII) が開催された。

本会議は、高温超電導フィーバー真っ只中の 1988 年 2 月、インターラーケンで第 1 回が始まり、今回で 7 回目を迎える。高温超電導を中心とした超電導材料、物性、理論から応用研究の一部まで含む総合的国際会議である。しかしながら今回は、直前のイラク戦争、新型肺炎騒ぎに加えて、ブラジルという開催場所のせいもあり、参加者数は極端に減少し、580 名程度であった。肺炎の影響で中国からの参加者は全員自粛しキャンセル、またアジアから遠いということもあり、日本を含むアジアからの参加者数は 119 名という発表であった。(北米からはこれとほぼ同数、ヨーロッパは約倍の 208 名。) 一時は 3000 人規模にも膨れた会議だが、前回のヒューストン(約 1500 人)と比べても 3 分の 1 にまで減少したことになる。これが今の世界状況による一時的なものなのか、それとも高温超電導研究の長期的衰退の流れを示すものなのかは、次回 2006 年ドイツ・ドレーズデンでの会議で判定されるであろう。今回参加者数は少なかったが、プログラムの穴はほとんどなく、非常に良く運営された会議であった。

この会議で授与される 3 つの賞については、材料分野の Matthias 賞が青山学院大学秋光教授に、物性実験分野の K.Onnes 賞が G. Crabtree と Eli Zeldov に、理論分野の Bardeen 賞が D.R. Nelson と V.M. Vinokur にそれぞれ与えられた。物性実験と理論の両方の賞が、磁束物理分野の研究者に授与されたことはいろいろな議論を呼んだ。

基礎物性分野の話題としては、電子-格子相互作用が超電導機構に関与する可能性があるものとして復権したことが挙げられる。磁場侵入長や光電子スペクトルに酸素の同位体効果が観測されたという報告がその代表と言える。また、Plenary Talk で Laughlin が「強い電子相関は、超電導機構の本質を隠している可能性がある。」と述べたのも印象的であった。新超電導体については、今年物材機構で発見された“水を吸わせた Co 酸化物”をはじめ、日本からの報告が質・量ともに圧倒していた。逆に 2 年前日本で発見された MgB_2 については、日本以外の国で基礎研究も含め非常に熱心に研究されていることが、発表件数の多さからわかった。実用化研究については、R. Flükiger (スイス) が Plenary Talk を行い、線材を中心とした世界全体の高温超電導実用化研究開発の現状についてまとめた。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部長 田島節子)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

パルス管冷凍機の誕生と変遷（その 4）

日本大学 量子科学研究所
教授 松原洋一

スターリング型パルス管冷凍機の特徴

現在開発されているパルス管冷凍機は、その圧力振動発生機構で分類すると、圧力切り替え弁を用いた GM 型と直接ピストン振動を用いたスターリング型（以後 ST 型と記す）とに大別できる。GM 型パルス管では、切り替え弁の特性制限によって、一般に 1~4Hz 程度の低周波の圧力振動が用いられている。一方の ST 型パルス管では、切り替え弁を使用していないので高速化が可能であるが、蓄冷器の特性制限と商用周波数が直接利用できる簡便さにより、一般に 50~60Hz あるいはそれ以下が用いられている。

冷凍機の駆動周波数を上げられるということは、小型・軽量化を意味するので、人工衛星や航空機のような移動体搭載用冷凍機として適している。従来から、この分野ではスターリング冷凍機が用いられてきているが、いまや ST 型パルス管冷凍機がこれに取って代わろうとしている。ピストンの駆動機構も従来のクランク機構から、振動の少ないリニア対向型駆動機構が採用されるようになってきた。その具体例を図 10 に示す。図中フレクチャーベアリングとあるのは、例えば渦巻状の溝等が切られた板バネのことで、軸方向にやわらかく径方向に硬い特性があり、これを図のように 2 箇所 に 設ける ことによりピストンをシリンダーに接触させずに往復動させる事を可能にしたものである。この方式の基本形は 1986 年に Oxford 大学からスターリング冷凍機用として報告された¹⁾ のが最初で、以後パルス管冷凍機用としても適していることから広く使われるようになり、図のように一対のピストンを対向配置して機械振動を排除する方式が定着してきた。

この圧力振動発生機構（以下 Pressure Wave Generator を略して PWG と呼ぶ）に図 8（「超電導 Web21」2003 年 5 月号参照）のダブルインレット方式のパルス管を組み合わせた冷凍機が開発されてきたが、運転周波数が高いのであれば、もっと効率のよい方式が考えられ、1996 年頃から検討が進められてきた。²⁾ それは当初 Neck-tube 方式と呼んでいたが、現在では Inertance-tube 方式という呼び名が定着している。その構造は、第 2 世代のオリフィスパルス管のオリフィスを流路抵抗がほぼ同程度となるような細長い管に置き換えたものであり、その管内の流体の運動エネルギーを利用して第 3 世代の位相制御機構となるようにしたことが特徴である。

計算例を図 11 に示す。内径 6mm で全長 2m の管の一端に 2 リッターの容積を設け、他端をパルス管の高温端に接続する。封入圧力 2MPa のヘリウムを用い、パルス管高温端付近で 12cm³ の変位

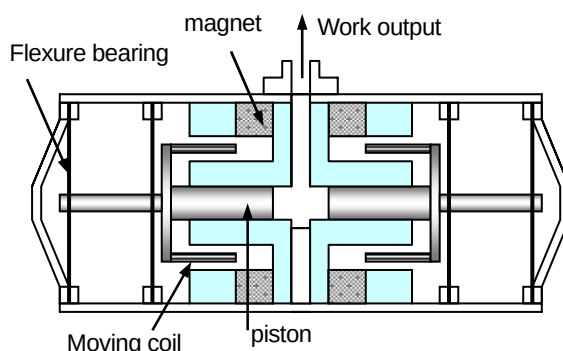


図 10 リニア対向型圧力振動発生機構

を与えた場合の等価 PV 仕事が管に沿って減少していく様子が示されている。この仕事の減衰は主に流路抵抗によるもので、位相の変化はイナータンス効果によるものである。この例ではイナータンス管入り口すなわちパルス管高温端での PV 仕事は 120watt と計算されており、蓄冷器損失等を考慮すると、80K 60watt クラスの ST 型パルス管冷凍機の制御系に対応している。

ヘリウムガスの音速は室温で約 1000m/sec なので 50Hz の 1/4 波長で共鳴させるには単純に 5m と計算されるが、有限の管径では共

振周波数が低くなり、しかも最適周波数として共振点よりも低い動作周波数を選定する必要があるので最適管長は短めになる。この例では管長を 2m にすることによって、確かにパルス管高温端付近での PV 仕事の位相角が 90 度を超え、第 3 世代の位相制御系になっていることが理解できる。この方式の採用によって、従来のダブルインレット方式で不安定性の原因となっていた循環ループが排除されたのと同時に、位相改善のために余分の圧縮仕事を必要としなくなり、安定化と高効率化の両面で優れたパルス管冷凍機が誕生したことになる。ただし、この方式の効果的な採用には制限があり、駆動周波数が低すぎると長くなりすぎ実用的でなくなり、小型化が進むと Inertance-tube の管径が細くなりすぎ十分な位相制御効果が得られなくなる。周波数で 20Hz、小型化で 80K1watt クラスが一応の目途となろう。

図 10 の例は、永久磁石で作られた固定磁場中に、ピストンと直結した可動コイルを配置し、フレキシブルリードを介してコイルに交流を与え、ピストンの往復動を得る方式（電動駆動方式）である。したがって磁場の均一度がよければコイルに径方向力はほとんど発生せずピストン・シリンダーのクリアランスを小さく保つのが容易である。一般に力率を向上させるために可動体の重量とバネ定数とによる共振周波数が要求される駆動周波数付近になるように設計する。一方、永久磁石をピストンに直結させ、固定コイルに交流を与える方式（電磁駆動方式）は、固定リターンヨーク内にコイルを配置することが可能なので、可動コイルのために必要であった磁気回路の空隙が不要となり、更なる高効率化が望める。GM 型パルス管冷凍機は効率の観点から大型化に限界があるが、この方式の PWG の大型化は入力 20kW クラスまで開発されており、HTC 応用等で冷凍機の効率が実用化の鍵を握っている場合への適用が検討されている。

GM 型パルス管冷凍機には、もう一つの欠点、パルス管の方向依存性の問題がある。重力に対してパルス管の低温端が下になる場合は問題ないが、配置が逆転すると冷凍能力の減少、最低到達温度の上昇が見られる。これはパルス管内で自然対流が発生することによるものと考えられ、管径が太く、周波数が低いほど劣化が著しい。ST 型パルス管冷凍機では、相対的に管径が細く周波数も高くなるので重力依存性が少なくなり、特に小型（管径で数 mm クラス）になると方向依存性の全くでない機種も報告されている。

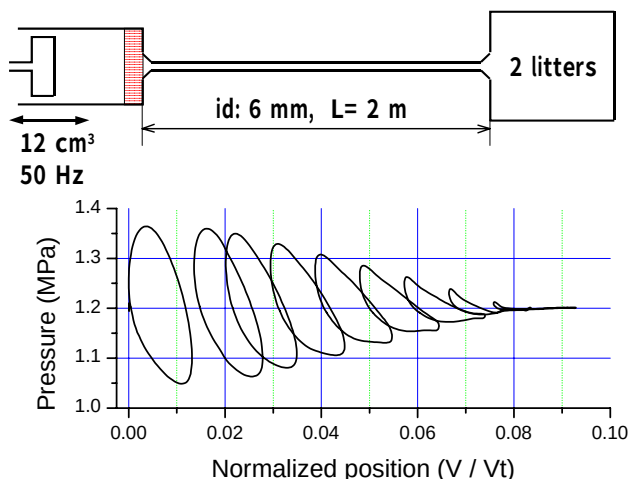


図 11 イナータンス型位相制御機構

運転周波数と蓄冷器効率

ST 型パルス管冷凍機は GM 型に比べて小型化、高効率化が可能で、しかも冷却特性の安定度の高い冷凍機となりえる事を示してきたが、一つの大きな問題を抱えている。それは、冷凍温度を下げようとする著しく効率が悪くなり、GM 型で得られるような極低温度を得にくいことである。図 12 はその理由を計算によって示したものである。直径 26mm 長さ 110mm の円筒に 300mesh の銅網を積層した蓄冷器を室温と 30K との間で動作させる。平均圧力 1.5MPa のヘリウムガスを、まず圧力振幅

0.25MPa、蓄冷器低温端を振幅 0.32g/sec で変位させる。低温端での仕事流 $\langle W_p \rangle$ は 2.6watt で周波数によらない。ところが蓄冷器を通過するエンタルピー流 $\langle H_R \rangle$ は図の丸印のような周波数依存性を持ち、周波数の増大と共に増大する。実質冷凍量は $\langle W_p \rangle$ と $\langle H_R \rangle$ との差に比例するから 34Hz で冷凍量がゼロになる。次に圧力振幅を 0.13Mpa に下げ、 $\langle W_p \rangle$ が等しくなるよう流量振幅を 0.967g/sec に増した結果は三角印のように 50Hz まで使えるようになり、更に 0.06Mpa と 2.1g/sec との組み合わせで 50Hz 以上の高い周波数でもある程度の冷凍量が得られるようになるが、効率の劣化は免れない。

以上の結果をまとめると、高周波運転は低圧力振幅がよい；効率は運転周波数が低いほどよい；低周波運転では高圧力振幅がよい；蓄冷器のエンタルピー流は周波数の 3 乗に比例して増加する。この $\langle H_R \rangle$ の増大は主に蓄冷器内に存在する無効容積 (Void volume) に依存しているので、従来のような単純な金網以外の形状で、有効な熱伝達表面積を減少させることなく、しかも圧力損失を増大させずに無効容積の小さい蓄冷器を開発することが今後の課題となろう。

参考文献

- 1) T. W. Bradshaw, J. Delderfield, S. T. Werreu and G. Davey, Adv. Cryo. Eng., Vol. 31, (1986), pp801-809.
- 2) S. W. Zhu, S. L. Zhou, N. Yoshimura and Y. Matsubara, Cryocoolers, 9 (1997) pp269-278.

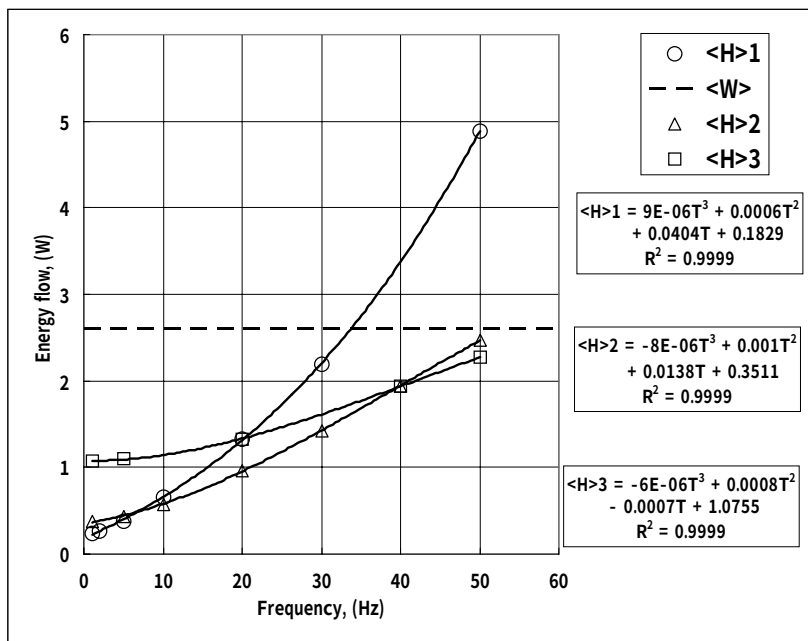


図 12 蓄冷器効率の周波数特性

読者の広場

Q&A

Q: 磁場の生体への影響と安全基準についてわかり易く教えてください。また、磁場について日常心掛けるべきことも教えてください。

A: 磁場の生体への影響または安全性の問題がクローズアップされてきたのは、超電導磁石による高直流磁場、日常生活の低周波磁場など自然界に存在する以上の高い磁場にヒトが曝される機会の増加、磁気共鳴画像（MRI）など医療分野でも磁場を用いた機器が使用されるようになってきたことによる。磁場の生体への影響については、変動磁場と直流磁場に分けて考える必要があり、現在注目されているのは 300Hz 以下の低周波変動磁場である。特に 20 年以上にわたり磁場曝露と発がんとの関連性についての研究が取り上げられ、ヒトを対象にした疫学研究や環境レベルに近い強度の磁界による動物・細胞実験が行なわれてきた。その結果、低周波変動磁場については、実験研究からは影響を示す知見は得られていない。疫学研究からは発がんとの間に弱い関連性を示唆する報告がなされているが、結論は決定的なものでなく、偶然の可能性も指摘されている。一方、直流磁場については古くから研究が行なわれ、2T 以下で急性の有害な影響はないとされている。

磁場に曝される機会が増えていることから生体への影響に関する研究成果を踏まえ、磁場の安全性の議論がなされ、防護指針として勧告されるようになった。その代表例として、非政府機関の国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）が 1994 年に直流磁場について、300GHz 以下の全電磁場スペクトルをカバーした防護指針を 1998 年に公にしました（その 1、2）。直流磁場に対する防護指針を表 1 に示すが、公衆曝露と職業曝露から構成され、公衆への曝露が職業的な曝露より厳しく制限されている。これは 2T 以下で健康に悪影響を及ぼす可能性はないことに根拠をおいている。変動磁場については低周波では刺激作用を高周波では熱作用を評価指標にして防護指針値が設けられている（図 1、詳細はその 2 参照）。一方、安全性・防護指針の根拠となる生物影響の明確な科学的データは不十分であるとの議論もあり、生体影響のメカニズム解明が急務である。

環境レベルの磁場があるような日常生活においては特に心掛けることはないと考えられるが、職場環境では管理区域が設けられていること、幾つかの許容基準があることからそれらを遵守する必要がある。

表 1：ICNIRP の直流磁場に関する指針（1994）（その 1）

曝露条件		磁束密度
職業曝露	作業日（時間加重平均）	200mT
	天井値	2T
	四肢	5T
公衆曝露	連続	40mT

（その 1）ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics 66 100p (1994)

（その 2）ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz). Health Physics 74 494p (1998)

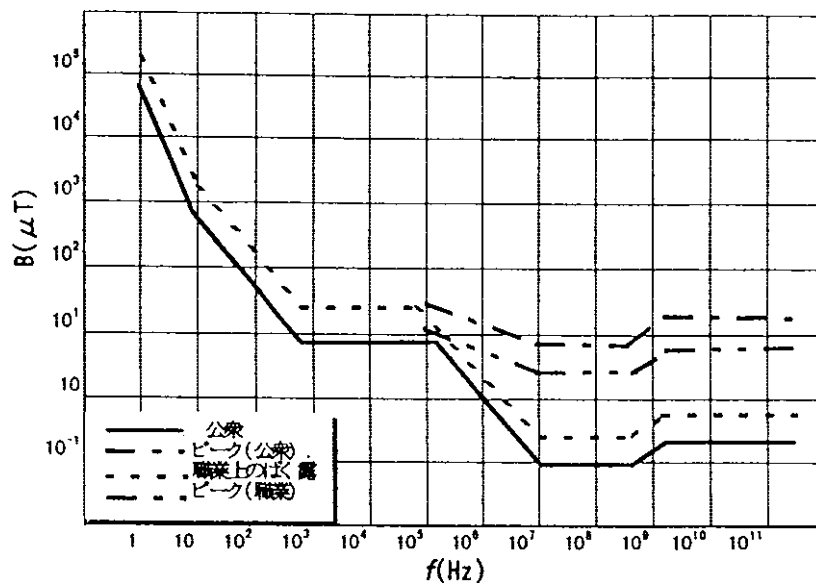


図 1 磁場についての参考レベル (1998) (その 2)

回答者：財団法人 電力中央研究所
我孫子研究所
上席研究員 重光 司

[超電導 Web21 トップページ](#)