

掲載内容 (サマリー):

世界初の 3 心一括型高温超電導ケーブルシステムの長期課通電試験終了
超電導関連 8 月-9 月の催し物案内
超電導と直流応用
Super-ACE (交流超電導電力機器基盤技術研究開発) の進捗について
超電導関連製品ガイド - 開発中電力機器 -
新聞ヘッドライン (6/19 - 7/18)
超電導速報 世界の動き (2002 年 6 月)
標準化活動 今月のトピックス
「超伝導の夢」 - 超伝導科学技術研究会 第 28 回シンポジウムから -
ナノ組織制御で高温超電導体の磁場特性を飛躍的に向上
特許情報
IUMRS 報告
SPA 出張報告
隔月連載記事 - バルク超電導磁石の誕生 (その 4)
読者の広場(Q&A) - 飛行機の金属疲労は SQUID で診断できるのでしょうか?

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

発行者

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

〒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



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。

世界初の3心一括型高温超電導ケーブルシステムの長期課通電試験終了

東京電力株式会社、住友電気工業株式会社及び財団法人電力中央研究所は、2001年6月から(財)電力中央研究所横須賀研究所において実施していたビスマス系酸化物超電導ケーブルの実用性検証試験(長期課通電試験)を予定通り6月をもって終了した。

このビスマス系酸化物超電導ケーブルは、3心一括型であること、低温絶縁方式であること、世界初の100m長ケーブルの長期試験が織り込まれていることなどの特徴をもっている。また、一連の実用性検証試験には、実線路を想定した(1)初期試験、(2)定格課通電試験、(3)負荷変動試験、(4)過負荷試験及び(5)4回の冷却サイクル試験が含まれており、そのあらまは次のようなものであった。

まず、(1)初期試験において、ケーブル全長を室温から液体窒素温度(77.3K)まで冷却するに要した時間は約35時間であったこと、冷却に伴う熱収縮応力を約1/5に低下できたこと、液体窒素温度における臨界電流2,760A(223MVA相当)を確認できたこと、導体と逆相の超電導シールド電流が確認できたこと、1kArms・50Hzにおける断熱損失及び交流損失がそれぞれ約2.5W/m及び約2W/mであった。(2)定格課通電試験において、対地電圧40kV(相間66kV相当)三相電流1kAの定格課通電を約1ヶ月継続したこと、この間静電容量、tan δ が良好であったこと、部分放電の発生が感度以下であった。(3)負荷変動試験において、対地電圧40kV(一定)のもとで1kAで8時間維持後0.4kAに低下させて16時間維持するパターンと1kAで16時間維持後0.2kAに低下させて8時間維持するパターンのいずれの負荷パターンにおいても安定であった。(4)過負荷試験において、設計1kAを上回る通電を行ったが、安定であった。(5)3回の冷却サイクル試験において、導体の臨界電流測定、熱損失測定、シールド電流測定、課電特性試験などによるシステムへの熱機械的並びにケーブル性能への影響は認められず、良好な特性であることが検証された。今後、最後の1回となる4回目の冷却サイクル試験を実施予定とのことである。

また、超電導特性、絶縁特性等の状態を調査するため、今年度、ケーブル他の解体調査を実施する予定とのことである。

(ISTEC 総務部 安住光弘)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 8月-9月の催し物案内

8/1-2

International Workshop on Processing and Applications of Superconductors

場所：Gatlinburg, Tennessee, USA

(主催 MRS)

8/4-9

Applied Superconductivity Conference 2002

場所：Houston, Texas, USA

(主催 ASC, Inc.)

<http://www.ascinc.org>

8/19-24

冷凍部会特別企画低温技術講習夏合宿

場所：高工ネ研(つくば市)

(主催 低温工学協会)

8/20-27

LT23/23rd International Conference on Low Temperature Physics

場所：広島

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/lt23/>

8/25-27

九州・西日本支部若手セミナー

場所：鹿児島大学工学部(鹿児島市)

(主催 低温工学協会)

9/5-6

第2回材料研究会/東北・北海道支部合同研究会 - 揚水発電所見学会

場所：古河電工鬼怒川保養所(栃木県藤原町)

(主催 低温工学協会)

9/12-14

東北・北海道支部第7回超伝導・低温若手セミナー

場所：しいざき温泉(佐渡)

(主催 低温工学協会)

9/13

関西支部第18回低温工学基礎技術講習会

場所：大阪市立大学文化交流センター(大阪市)

(主催 低温工学協会)

9/30-10/4

Second German-Japanese Workshop on Industrial Application of Superconductivity Technology

場所：Forschungszentrum Karlsruhe, Germany

(Organized by the German-Japanese Cooperation Council for High-Technology and Environmental Technology)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導と直流応用

(財)電力中央研究所 狛江研究所
電気物理部長 秋田 調

現在、日米欧で高温超電導電力ケーブルの研究開発が進んでおり、平成 15 年にはわが国でも電力中央研究所の横須賀研究所で 500m の長尺超電導ケーブルの試験が開始される予定です。ところで、これらの電力ケーブルはすべて交流電流を通電するケーブルです。

皆様ご存知のように、エジソンは直流で電力の供給を開始し、わが国でも最初の電灯は直流で灯されました。電力供給が次第に広域化してくると、直流送電では途中の電圧降下が大きくなり、変圧器で簡単に高電圧化できるため、数百 km の長距離送電も容易に出来る交流送電に取って代わられました。さらに、交流では、一定電力を送電できる 3 相交流送電の発明と 3 相電流が作る回転磁界を利用したモーターの発明により、送配電において不動の地位を占めることとなりました。

その後、水銀整流器を経て半導体素子が電力変換に使用できるようになり、交流を直流に変換して長距離を送電する技術として直流送電が使用されるようになりました。わが国では北海道と本州の間および四国と紀伊半島間の送電に直流送電が使用されています。これはこの区間では海峡があるため、海底ケーブルで送電する必要がありますが、交流ではケーブルの静電容量のため送った交流電流のほとんどが途中でシールド側に流れ出てしまうため、直流を用いることが不可欠だからです。この他に、50Hz と 60Hz をつなぐためと、60Hz 同士を相互影響を排除して接続するため、送電距離が短い直流送電が使われています。これを、Back-to-back 直流送電と呼んでいます。電力の送配電以外では電話交換ビル、データセンタービルなどでコンピューターに電力を供給するため、ビル内で直流配電が使用されています。

一方、初期の金属系超電導技術では交流通電および交流磁界を印加した場合の交流損失低減技術が十分ではなく、磁界が小さく同心円状であるためテープ線材が適用可能な電力ケーブル以外への商用周波応用は夢の技術でした。高温超電導が発見された頃に、NbTi 超電導線材の超電導フィラメント直径を 0.1 μm 程度まで細径化するとともに 1mm 程度のピッチでツイストする技術が完成し、引き続き交流磁界中でも超電導線が使用できるコイル化技術も完成したため、超電導変圧器、全超電導発電機、巻線型の超電導限流器などの開発が一斉に開始されました。その後、銀シースビスマス系線材では長尺化技術が完成し、低交流損失化は十分ではないものの、電力ケーブル导体には適用可能であるため、最初に述べた高温超電導ケーブル開発が活発化しているのが現在の状況です。「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」では高温超電導線を交流磁界中で使用するための技術開発も進んでいます。

ところで、表題の超電導を直流で使用する技術開発の状況はどうでしょうか。現時点では、発電機の界磁巻線に NbTi 超電導体を利用する「超電導発電機基盤技術研究開発」が直流応用といえます。この他に、SMES も直流応用です。これらの応用では交流損失が小さいため、金属系超電導線材を用いて研究開発が進められています。では、直流送電はどうでしょうか。送電ケーブルは長距離を敷設するため、断熱を通しての侵入熱が他の応用よりも大きく、直流ケーブルでも高温超電導が有利です。直流送電は今のところ海峡横断送電のような特殊なところにしか使用されないため、高温超電導直流ケーブルの開発は、世界的にも進められていません。しかし、適用個所が具体化すれば一気に研究開発が進むことが期待できます。また、ビル内の直流配電に利用できるような手軽な直流超電導ケーブルが開発されれば、すぐにでも利用される可能性があります。今後は、超電導電力応用技術開発でもこのような応用が重要になると予想されています。

[超電導 Web21 トップページ](#)

Super-ACE (交流超電導電力機器基盤技術研究開発) の進捗について

超電導発電関連機器・材料技術研究組合 (Super-GM) 交流機器部技術部
中司徹 (ケーブル技術課) 岩館和仁 (静止機器技術課)

経済産業省の革新的温暖化対策技術プログラムの一環として、2000年より5ヵ年計画の「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」(Super-ACE) プロジェクトを NEDO から受託し、送変電分野への交流超電導技術の早期導入を目指した研究開発を開始した。

本プロジェクトでは、交流送変電機器を超電導化して低損失化と小型軽量化を図り、現用機では困難な省エネ化を実現する。その中核は超電導ケーブル、SN 転移型限流器、電力用超電導マグネットの開発である。以下にこれまでの進捗状況を報告する。

超電導ケーブルでは、最大通電容量 3kA 以上、交流損失 1W/m 以下、また液体窒素による 500m 長の冷却技術の確立を目指し、その要素技術として 1) 大容量・低損失導体構成技術、2) バリア層形成技術、3) ケーブル用長尺冷却技術の研究開発に取り組んでいる。1) について、ケーブル導体用に交流損失を熱的に測定する装置を開発し、Bi 系ツイスト線材を用いて巻きピッチ調整を行った 3kA 級短尺導体の検討を行った。その結果、交流損失 1W/m 以下達成の見通しがたった。また、Y 系薄膜テープ線材について模擬導体を用いた検討から導体化の可能性が示された。2) について、ハニカム構造を持つ 19 心 Bi 系バリア線材を試作し、交流損失低減が実証された。また、交流損失発生の一因である超電導フィラメント間ブリッジングの成長速度を測定した。3) について、30m 級モデルケーブルを作製し、冷却試験を実施した結果、ケーブル敷設、熱収縮で I_c 低下は見られなかった。熱侵入はケーブルで 1W/m (直線部)、2W/m (曲線部) を得た。また、断熱管の最適化を行いさらに低熱侵入を実現した。これらのデータを元にケーブル仕様の最適化、試験方法の検討等を行い 500m 冷却試験を平成 15 年度下期から実施する。

SN 転移型限流器では、大きさ 10cm × 30cm で臨界電流密度 (J_c) 1MA/cm² 以上の超電導膜を形成する技術と素子の直並列接続による 6.6kV の高電圧化技術および 1kA の大電流化技術の開発に取り組んでいる。超電導膜作製装置 (PLD 法) を製造し、3cm × 10cm の単結晶基板上へ HoBCO 超電導膜を作製し、 $I_c=76\sim 148A/cm$ 、 $J_c=3.3MA/cm^2$ (通電法) を得た。大電流化では、素子構造および配置について、電流の均一化、限流時の温度上昇、熱応力等の検討を行い、1kA 級超電導膜の仕様と素子配置構成 (8 並列接続、多角形状配置の 2 直列) を決定し、その最適化を目指している。高電圧化では、限流素子の熱特性を高め、900V ピーク/12cm 長素子 (印加可能電圧 75V/cm) を達成し、直列数 12 枚の限流モジュール ($I_c=90A$) でピーク電圧 5.4kV の限流試験に成功した。

マグネットでは、66-77kV/10MVA 級変圧器用鉄心マグネットと整流器型限流器を想定した 66kV、最大電流 500A、応答性 500A/5ms の空芯マグネット技術を開発するため、その要素技術として高電圧化、大電流化、冷却技術の研究に取り組んできた。高電圧化では、絶縁基礎特性把握のため、サブクール液体窒素、気液混合状態等で、モデルコイル、ブッシングの絶縁試験を実施し 66-77kV 級の機器設計に必要なデータを得た。大電流化では、kA 級を目指して、導体構成の最適化 (損失低減) やコイルの通電特性、電流分配特性等を評価し、さらに過電流通電時の過渡応答特性を把握した。冷却技術では、冷却システムを作製し、初期冷却時間や冷却特性を把握した。今後、これらを基に電力用マグネット技術の確立を目指す。

その他、超電導ケーブルの系統導入効果について系統解析結果から、現用ケーブルと比較して電圧安定性や送電可能な最大電力が向上することがわかった。また、超電導ケーブルを新增設する場合、現用ケーブルよりコストが有利になる条件を確認した。

Super-GM では産官学の英知を結集してこれらの研究課題に取り組み、成果を挙げてきた。これらが世界に先駆け交流超電導電力機器を実用化するための原動力になり、この交流超電導プロジェクトが若い技術者達の活力の元になることを期待する。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイド

- 開発中電力機器 -

電力ケーブル

東京電力・住友電工共同開発

対象：100 m 長三心一括型 66 kV 級 114 MVA

高温超電導ケーブルシステム

開発段階：実用性検証試験終了

試験サイト：電力中央研究所

「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」プロジェクト

対象：500 m 長高温超電導ケーブルシステム開発

開発段階：30 m 長高温超電導モデルケーブル製作

PL：植田清隆；超電導発電関連機器・材料技術研究組合 交流機器技術部長

Tel:06-6361-1051

変圧器

富士電機・九大・九工大共同開発

対象：1000 A 級小型酸化超電導トランス

開発段階：試作動作試験

限流器

「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」プロジェクト

対象：

1) 超電導限流器基盤技術の研究開発 (S/N 転移型)

2) 限流器用超電導リアクトルの研究開発

開発段階：

1) 大面積超電導膜作製の技術開発、6.6 kV 級超電導限流器モジュール開発でピーク電圧

5.4 kV の限流試験に成功

2) 66 kV 級リアクトル型限流器用コイルの絶縁試験、過電流通電試験、およびブッシングの絶縁試験

PL：植田清隆；超電導発電関連機器・材料技術研究組合 交流機器技術部長

Tel:06-6361-1051

SMES

「超電導電力貯蔵システム技術開発」プロジェクト

対象：系統安定化用並びに負荷変動補償・周波数調整用 SMES に関する要素技術開発

開発段階：LTS100 MW 級 15 kWh 及び 500 kWh SMES 並びに HTS 要素技術開発

PM：辰田昌功；(財)国際超電導産業技術研究センター 常務理事 Tel:03-3431-4002

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン

(6/19 - 7/18)

超電導で電力貯蔵 中部電など 3年以内に商品化 6/19 日経産業新聞
世界最長超電導ケーブル 来年度から試験へ NEDO が 500メートル級実証 6/25 電気新聞、日経産業新聞
週刊ニュース 6/25 電気新聞
超電導 ADC 用フロントエンド回路 最速 40 ギガヘルツで正常動作 日立 FSQ 回路で JJ2518 個集積 超電導 ADC 実用化へ 6/27 日刊工業新聞
中部電力 超電導技術で世界最先端を誇る 6/28 日本工業新聞
高速・省エネ・快適性を追求 超電導で新分野開拓 7/2 日刊工業新聞
科学の秘境 脳に迫る 言語・記憶進む研究 磁気共鳴手法で加速 7/8 日経産業新聞
立ち上がり始めた超電導研究 電力機器の将来担い着実に進展 NEDO/5 プロジェクトを推進 超電導工学研究所/電力貯蔵関連技術を展開 Super-GM/発電機開発プロなど柱 電力各社/実用化へ各種検証 7/9 電気新聞
宇宙で大型超電導磁石を 液体窒素温度対応に挑戦 微小重力環境で“ものづくり” 7/10 日本工業新聞
S/N 比従来の 1.6 倍 東芝が高磁場 MRI 新製品 7/10 日本工業新聞、日経産業新聞、7/11 日刊工業新聞
世界シェア MRI 7/12 日経産業新聞
量子コンピューター開発競争 「超電導素子」軸に激化 NTT・米 IBM も参戦 7/12 日本経済新聞
知る創る 高温超電導 実用化に道開く 7/16 読売新聞
言語機能 脳磁計使い究明 金沢工大 MIT などと研究 7/16 日経産業新聞
スピン偏極キセノンガス 高効率生成装置を開発 肺や脳の血流測定正確に 7/17 日刊工業新聞
エネ庁 新電力 NW で研究会 22 日初会合 分散型の課題等検討 7/17 電気新聞
国際超電導産技研など 15 テスラの不可逆磁場 17K で達成 超電導材料の開発 7/18 日刊工業新聞、日本経済新聞、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(2002年6月)

電力応用

American Superconductor Corporation (2002年6月19日)

American Superconductor Corporation の商用 PQ-SMES(Power Quality SMES)が、ヨーロッパで超電導応用機器の連続運転最高記録を打ち立てた。SMES は、1999年6月以来オーストリア、グライスドルフの Georg Fischer Mössner 社(自動車部品製造)において瞬時電圧降下を防止するために使われている。この SMES は、落雷等電圧変動に由来する種々の問題からプラントを保護するものである。ほんの 100 ミリ秒程度の電圧低下でもコンピューター制御機器を停止させたり損傷を与えたりする可能性があり、そのために操業率が低下する。PQ-SMES を導入する前には、例えば 1998 年には電圧降下のために 15 万ユーロもの損失を出していた。設置されている PQ-SMES は、電圧降下が起こった場合時間にして 0.8 秒、1.4MW の電力保障を行うことができる。負荷が軽ければより長時間の電力保障も可能である。なお、American Superconductor Corporation の製品は現在では 5MW 以上の電力保障が可能である。

(出典)

"American Superconductor Power Quality Solution

Now Europe's Longest Running Commercial Superconductor Power System"

(American Superconductor Corporation press release; June 19, 2002)

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

MicroCoating Technologies (2002年6月20日)

MicroCoating Technologies (MCT)社は、次世代 HTS 線材の高品質バッファ層製造デモを行った。線材は CCVD 法により RABiT 基盤上(RABiTSTM)に作りこまれる。CCVD 法は、真空中での線材の製造方法ではあるが、従来の方法に比べ長尺線材をリール・ツー・リールで格段に安価に製造できるという大きな利点がある。得られたバッファ層は、1m 以上にわたり高い格子整合性と均一な特性を持つ。その上に PLD 法で YBCO を積層することにより、 $1\text{MA}/\text{m}^2$ 以上の臨界電流密度が得られる。MCT 社は、CCVD-RABiTSTM バッファ層が、HTS 線材の開発・製造のための基盤材料の選択肢の 1 つとなり、他の超電導積層技術も含めよい意味での競争が進むことを期待している。CCVD-RABiTSTM バッファ層・メタル又はアロイは MCT 社から入手可能である。この技術は MCT 及び Oxford Instruments Superconducting Technology が、オークリッジ研究所管理の下 DOE の資金により開発したものである。両社はこの技術の商業化初期段階での協力を行うとしている。

(出典)

"MCT announces CCVD RABiTSTM buffered tapes for use in second-generation high temperature superconductors"

(MicroCoating Technologies press release; June 20, 2002)

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

通信

HYPRES, Inc. (2002年4月30日)

HYPRES, Inc は、海軍研究所と超電導バンドパス AD コンバーター(ADC)の開発に係る 150 万ドルの契約を締結した。このコンバーターは 5GHz を中心周波数とし、10~400MHz の範囲でダイナミックに通過帯域をプログラム

することが出来るというもの。この契約により、同社は超電導技術をベースとした超高速で超低消費電力 ADC のファミリー開発を継続できる。この単チップ ADC は、RF 信号を格段に優れた SN 比とインパルスノイズに強いダイナミック・レンジを持つデジタル信号に変換することができる。この素子は、レーダーや通信応用に向けた全デジタル受信機の心臓部となるもので、その開発は非常に重要である。

(出典)

"HYPRES Awarded Contract to Continue Superconductor Bandpass ADC Development"

(HYPRES, Inc. press release; April 30, 2002)

http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/pr_bandpass.htm

ISCO International, Inc. (2002年6月4日、6日)

American Stock Exchange (AMEX)は、ISCO International 社の株式登録を認めた。株式取引は2002年6月7日から開始される。同社のシンボルはISO。この結果、同社は従来予定していた株式統合を見送る見込み。この株式登録により機関投資家の投資や、株式アナリストがISCOに関する調査報告書を発行することが可能になる。

(出典)

"ISCO International to Be Listed on American Stock Exchange; Reverse Split To Be Cancelled", "ISCO International to Begin Trading on American Stock Exchange on Friday, June 7, 2002 Under New Symbol 'ISO'"

(ISCO International, Inc. press releases; June 4 and 6, 2002)

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

基礎

Brookhaven National Laboratory (2002年6月17日)

DOE の Brookhaven National Laboratory、DOC の National Standards and Technology (NIST)及びオスロ大学の研究者グループは、 MgB_2 の超電導機構に関連する新たな知見を報告した。この結果は、2002年6月17日付けのPhysical Review Lettersに掲載される。研究グループは、X線吸収分光(Brookhavenのシンクロトロン光源を利用)及びTEMを用いたEELSにより MgB_2 の電子構造を調べた。これら相補的手法によりホール(電子空孔)の分布と数を正確に決定することができた。この結果、 MgB_2 の超電導は、電子ではなくホール間の相互作用によることが確認できた。さらに、相互作用は相互に積層されているマグネシウムとボロンの面内で起こり、面間では起こりづらい。研究者グループは、この結果が超電導のマクロな特性を説明し、超電導の起源と関連づけることができればと考えている。

(出典)

"New insight into origin of superconductivity in magnesium diboride"

(Brookhaven National Laboratory press release; June 17, 2002)

<http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/2002/bnlpr061702.htm>

(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 今月のピックアップ

超電導標準化ロードマップ改訂着手

IEC/TC90 超電導委員会（委員長：斉藤茂樹（財）国際超電導産業技術研究センター専務理事）は、同運営委員会の同意事項であるわが国の標準化戦略に準拠した超電導標準化戦略に則り超電導標準化ロードマップの抜本的な改訂に着手することを明らかにした。

これまで超電導標準化ロードマップは、1990年にIEC/TC90超電導委員会発足当時に確認されたものを基本としていた。これまでの基本となる標準化活動は、超電導関連用語標準化及び試験方法標準化を対象とするものであった。すでに超電導関連用語1件、試験方法規格8件の合計9件の国際規格並びにこれらに整合したJIS規格5件を発行する成果を収め、現在も6件の審議が継続されている。また、超電導産業界は、幸にも年間約3,000億円の市場を背景に穏やかではあるが発展しつつづけている。しかし、わが国の超電導関連技術力は世界的に高水準でありながら、グローバルな超電導産業界においては必ずしも十分には発揮されていないことが重要視されている。一方、わが国の標準化戦略は、産業競争力強化などわが国の産業政策に沿うものとして時機を得たものであり、これに則した超電導標準化戦略の遂行に期待されている。

超電導標準化戦略は、超電導標準化と（1）市場適合性であること、（2）国際性があること及び（3）研究開発との一体的推進を実施することである。特に、（1）の市場適合性と（3）の研究開発との一体的推進の指針となるべき超電導標準化ロードマップを改訂し、時代的並びに社会的要請に応えることが急務となっている。IEC/TC90超電導委員会では、過去13年間進めてきた超電導標準化指針をこれらの要請に適合・刷新すべく検討を重ねてきた。同委員会の技術委員会のもとに設置されている製品規格準備委員会においては、すでに過去2年間に亘り検討してきた超電導標準化ロードマップを本年度（2003年3月目標）完成することとなった。

改訂される超電導標準化ロードマップには2つの特徴がある。一つは、上述の（1）市場適合性を明確にするため、現在市場にあるあるいは近未来市場導入される超電導製品をバイオ・医療分野、大型研究開発分野、電力産業機器分野及びクライオエレクトロニクス分野に分けて抽出し、それらを時系列化して標準化活動に組み入れたことである。いま一つは、上述（3）研究開発との一体的推進を実行するために、現行並びに近く開始される超電導関連国家プロジェクトと連携し、研究開発成果をその進展段階に則した公開仕様書（PAS）、技術仕様書（TS）などとして最終的な規格に繋がる成果物に発展させることをも標準化活動に取り入れたことである。したがって、改訂される超電導標準化ロードマップには、これら2つの特徴が盛り込まれ、時系列的かつ視覚的に表示されることとなっている。

（編集局 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

「超伝導の夢」 - 超伝導科学技術研究会 第28回シンポジウムから -

社団法人未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会(会長 太刀川恭治)は、平成14年6月22日に東京大学安田講堂において、「超伝導の夢 - チャレンジする最先端の研究者たち - 」と題した第28回シンポジウムと超伝導科学技術賞授賞式を開催した。

シンポジウムではつぎの4つのセッションが組まれていた。

まず、山崎芳男氏(早稲田大学)は、QMG法によるYBCOバルクをワンターンボイスコイルとするコーン型の電磁誘導型超電導スピーカを公開し、神秘的なきれいな音をだす実演を行った。きれいな音を出す秘訣は、通常のコーン型ダイナミックスピーカにおけるエッジとダンパーをなくすことによる機械的損失の低減、YBCO使用による磁気回路の強化、銅製駆動コイルの冷却による電気抵抗の低下などにあるとのこと。

つぎに、北澤宏一氏(科学技術振興事業団)は、「自然エネルギー時代を開く超伝導 - 3つの超伝導地球ネットワーク - 」と題した講演を行った。人類の繁栄に不可欠な電力、物流、情報通信の分野で自然エネルギーに依存する割合が今後増大すると想定されるが、その場合超伝導がつぎの3つの切り札となる。すなわち、超伝導送電ケーブルを地球上に張り巡らせ風力発電、太陽電池などと連携する超伝導グローバル電力ネットワーク、超伝導MAGLEV(リニア・モーター・カー)を地上に張り巡らせLDCの経済水準向上と人口爆発を抑制させる超伝導マグレブ地球ネットワーク及び単一磁束量子SFQ素子を基本とする低消費電力型デバイスによる超伝導通信・情報地球ネットワークである。

さらに、「日本の技術と発見 - 世界のスタンダードへ - 」と題して、最先端の4研究者の講演があった。前田秀明氏(理化学研究所)は、タンパク質の構造決定のための超伝導マグネットを用いる高性能NMR分析装置と病気の診断にいまや不可欠な超伝導マグネットを用いるMRI装置について講演した。林和彦氏(住友電気工業株)は、市販されたBi系酸化物線材について講演し、電力ケーブル、変圧器、シリコン単結晶引上用マグネットなどの応用研究に合わせて線材自体の特性を現在の2から5倍に向上させる研究開発の必要性を強調した。飯島康裕氏(株フジクラ)は、Y-123系線材化に尽力し、世界に通用するIBAD法の技術確立によって11年間で線材長30mにまで進展したこと及び今後線材長500m実現に挑戦する決意を明らかにした。永松純氏(青山学院大学)は、21世紀の新超伝導物質であるMgB₂の発見者の一人として、発見に至る経緯と新鮮味溢れる研究者の素顔を紹介した。

最後に、「室温超伝導は出現するか？」をテーマとするパネルディスカッションが行われた。鯉沼秀臣氏(東京工業大学)の司会で、小林速男氏(分子科学研究所)、谷垣勝己氏(大阪市立大学)、内田慎一氏(東京大学)及び野原実氏(東京大学)をパネリストに迎え活発な討論がなされた。

一方、シンポジウムの中ほどで第6回超伝導科学技術賞授賞式が行われた。小川恵一選考委員会委員長の紹介で、太刀川会長より「特別賞」の三井恒夫氏「超伝導電力技術開発の推進」をはじめ7件29名に対して「科学技術賞」が授与された。

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ナノ組織制御で高温超電導体の磁場特性を飛躍的に向上

(77Kで14T以上世界最高の磁場特性)

- 高温超電導体の高磁場応用に大きく期待 -

超電導工学研究所は岩手県工業技術センターと共同で、RE-Ba-Cu-O系バルク超電導体（REは希土類元素）のナノメートルオーダーの微細組織を制御することにより、臨界電流密度の磁場依存性を飛躍的に改善する技術の開発に成功した。

現在、高温超電導材料開発は、その実用化に向けて活発な応用開発が進められている。中でも、RE-Ba-Cu-O系バルク超電導体は、永久磁石の数倍も強力な超電導バルク磁石が作製できることから注目されている。超電導バルク磁石とは、バルク超電導体内に微細な非超電導物質を分散させた構造からなっており、非超電導物質の強いピン止め力を利用し、大きな磁場を捕捉させたものである。さらに、より強力な磁石を作製する方法としては、材料の大型化とともに臨界電流密度の磁場依存性を高めることが重要である。ここで、実際に臨界電流密度を高めるには、微細な非超電導物質の粒子を多数添加することが有効である。

RE-Ba-Cu-O系バルク超電導体において、現在最も広く研究開発が進められている材料はY-Ba-Cu-Oバルク超電導体であるが、液体窒素温度（77K）において、磁場を加えるとともに臨界電流密度が低下していき、約5T前後で臨界電流密度がゼロになってしまう（図1参照）。しかし、以前に超電導工学研究所が開発したOCMG法によって作製したLRE-Ba-Cu-O系バルク超電導体（LREは希土類元素のうち、La、Nd、Sm、Eu、Gd）は、高磁場中での臨界電流密度の特性が上がり、約8T前後まで磁場特性が改善できた。これは、低酸素雰囲気下で結晶成長させることにより、RE123超電導体内に微細なピン止め点が生成されたためである。

今回開発した材料は、このOCMG法の技術をさらに発展させたもので、

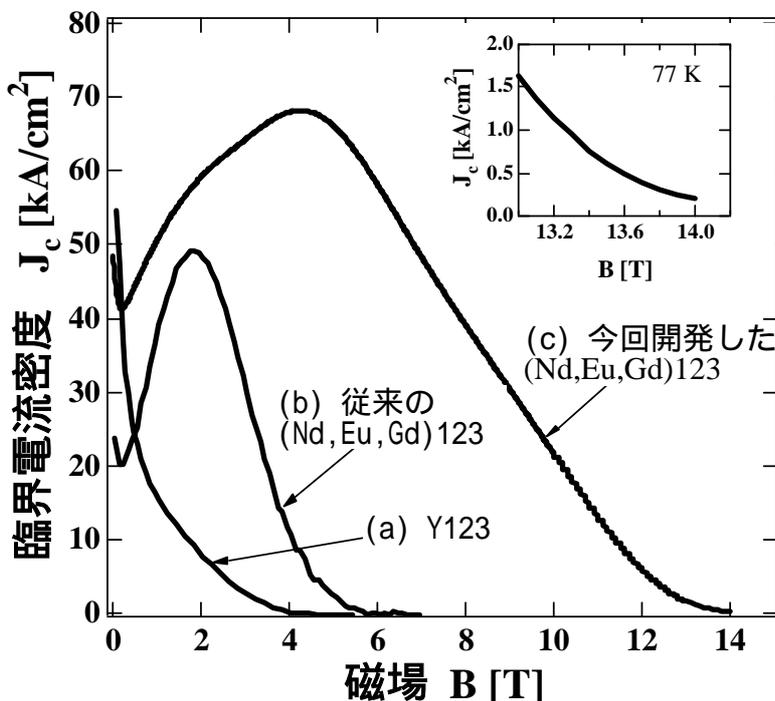


図1 従来のY123系バルク体(a)、(Nd, Eu, Gd)123 (Nd:Eu:Gdの比は1:1:1)バルク体(b)および今回開発した(Nd, Eu, Gd)123系 (Nd:Eu:Gdの比は33:38:28で5%の(Nd, Eu, Gd)211を添加している)バルク体(c)の臨界電流密度(J_c)の外部磁場(B)依存性(77Kにおいて、試料のc軸に磁場を平行に印加して測定)。14TにおいてもJ_cがゼロになっていない(14Tまで超電導体として利用可能であることを示す)。

Nd と Eu および Gd を混合させ、さらに、組成および作製プロセスを最適化したものである。これにより、図 1 に示す様に、高磁場下で世界最高の臨界電流密度（10T で $20000\text{A}/\text{cm}^2$ ）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た。作製したバルク材料の微細組織を透過型電子顕微鏡（TEM）により観察したところ、20 ナノメートル以下の縞状の組織が見られた。また、同材料を走査型トンネル顕微鏡（STM）により観察したところ、大きさが数ナノメートルの粒状の物質が縞状に並んだ組織が観察された。この縞状に析出させた組織が、臨界電流密度の磁場依存性の大幅な向上に寄与していると考えられる。

Y-Ba-Cu-O バルク超電導体においては、現在、液体窒素温度（77 K）において 1T 程度の超電導磁石が作製されている。この度開発した材料は、強い磁場下で臨界電流密度が飛躍的に向上していることから、液体窒素温度（77K）で 10T を超える強い磁石を作製できる可能性がある。それにより、液体窒素温度のような高温域における強力バルク磁石などへの高磁場応用が促進されるものと期待される。強力バルク磁石の応用としては、水浄化装置、磁気断層撮影装置、資源回収用の磁気分離装置、励磁装置、強力磁気浮上装置、等が考えられる。

なお、本研究の成果は 2002 年 8 月 4 日から米国で開催される超電導体に関する国際会議 ASC（Applied Superconductivity Conference）2002 で発表する予定である。

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。

本件に関する問い合わせ先：

（財）国際超電導産業技術研究センター

超電導工学研究所 第三研究部長 村上 雅人

電話：03-3454-9284

超電導工学研究所 盛岡研究所 電話：019-635-9015

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

平成 14 年度第 1 四半期の公開特許

平成 14 年 4 月～6 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 2002-104900 「酸化物超電導構造体の製造方法」: 基板上に銅元素を含まない種結晶用酸化物層の採用により、その上に液相エピタキシャル法により形成する 123 系酸化物超電導結晶膜成膜条件を大幅に緩和した。
- 2) 特開 2002-111273 「磁気シールド変圧器」: バルク高温超電導体で磁路を取り囲むことにより、漏れ磁束、鉄損によるエネルギー損失、効率低下の問題を軽減した磁気シールド変圧器を実現。
- 3) 特開 2002-124711 「ジョセフソン素子のバリア層評価方法」: 酸化物超電導体ジョセフソン素子の特性の均一化のために、界面改質バリア型ジョセフソン素子のバリア層の評価方法を提供。
- 4) 特開 2002-136144 「超電導電源回路」: 特に超電導集積回路に必要な低電圧かつ大電流の直流電源を、高い変換効率で得ることが可能な超電導電源回路を提供。
- 5) 特開 2002-150854 「酸化物超電導導体とその製造方法」: 金属基材、酸化物中間層、種膜層、液相エピタキシー法による酸化物超電導層からなる多層構造超電導体の作製で、種膜層、超電導層の新しい材料組成により大幅な歩留まり向上と、良質の酸化物超電導層を実現。
- 6) 特開 2002-150855 「酸化物超電導線材およびその製造方法」: 多結晶金属基材、バッファ層、超電導層からなる多層構造の超電導線材の作製に関し、バッファ層が金属基材の表面酸化物と第 2 の酸化物バッファ層からなる構成とした。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[超電導 Web21 トップページ](#)

IUMRS 報告

材料科学学会の国際連合体(International Union of Materials Research Society)が主催する会議の中で電子材料に関する第8回目の国際会議(IUMRS-ICEM2002)が、2002年6月10~14日に中国の古都、西安で開催された。本会議は、ナノ材料、半導体材料、磁性材料、強誘電体材料、分子材料、超電導材料など16のシンポジウムから構成され、約1200件の論文投稿があった。

西安は、人口700万人弱、学術振興に力を入れており、40以上の大学があるとのことであった。さて、超電導のシンポジウムは、材料・薄膜技術、Bi系イントリンシック接合、SQUID、マイクロ波デバイス、接合技術・デジタル応用、検出器など幅広い分野の発表約70件で構成されていた。招待講演中心の構成であったため、最新の研究開発状況を効率的に聞くことができた。注目されたものとしては、米国のコンダクタス社による周波数可変超電導フィルタの開発、カリフォルニア大におけるペタフロップスコンピュータ用のクライオ CMOS メモリの開発、オーストラリアのCISROが中心となっていて行っている航空機搭載 SQUID システムを用いた鉱物探査(300M\$相当のニッケル鉱脈を発見したとのことである) 通総研による MgB₂ SIS トンネル接合の作製などがあるが、他にも質の高い発表が多かった。中国の大学研究者は、SQUID 生体磁気計測、フィルタ、また高温超電導接合の研究にも取り組み始めている。欧米や日本の著名研究機関滞在を経験した研究者が多く、国の強力なサポートがあれば、近い将来かなりのレベルに到達するように感じられた。

(SRL/ISTEC 第6・7研究部長 田辺圭一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

SPA 出張報告

去る2002年6月16日～20日、中国の西安にてSPA/ICMC 2002(Superconductors for Practical Applications, Topical Conference of International Cryogenic Materials Conference)が開催された。学会には、15カ国から総勢300人近くが参加し、その内、中国以外からの参加者は約100名で、日本からの30人とフランスからの参加者が多かった。

全体としては、中国の潜在的なパワーなるものを感じた。聞くところによると、発展スピードが非常に早く、5年も経つと街が大きく変化しているとのこと。経済成長率が10%を超えているというのは、ダテではなさそうだ。また、発表でも紹介されていたが、携帯電話の普及台数の伸び率も非常に早く、試算では5～10年後には、台数では日本を追い抜くそうである。多くの諸外国が、中国を次の大きな市場として期待しているのもうなずける。

私個人の興味を引いた発表を一つ紹介すると、磁気光学(Magneto-Optical imaging)法を用いた磁束の動的観察に関するOslo大学のT.H.Johansen教授の報告が面白かった。磁束の動的観察は他にいくつかの装置にて既に報告されているが、この装置の特徴としては、比較的簡単な装置で、時間分解能が高い観測が可能ということが挙げられる。発表では、NbSe₂を4Kにて観測していたが、この方法がHTSCに適用できる様になることを期待する。なお、本装置に関しては、Supercond. Sci. Technol. Vol. 14 (2001) 729.に既に報告されているので、そちらを参照して頂きたい。

(SRL/ISTEC 第3研究部 坂井直道)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

バルク超電導磁石の誕生 (その4)

SRL/ISTEC 第1・3研究部長
村上雅人

1. はじめに

前回までに、超電導磁石開発に必要なピン止めセンターの導入がバルク超電導体で可能であるという説明をした。しかし、高温超電導体には大きな異方性があるうえ、結晶粒界が弱結合になってしまう。つまり、高性能磁石をつくるためには、結晶方位のそろった大きなバルク体をつくる必要がある。しかも、超電導電流が、その結晶の ab 軸方向に優先的に流れることを考えると、大きな磁場を発生するためには、磁場を発生したい方向に、結晶の c 軸が配向した構成とする必要がある。ここで、発生できる磁場を磁化 M とすると、バルク超電導体では

$$M = AJ_c r$$

という関係が成立する。ただし、 A は形状効果を含んだ定数であり、 J_c は臨界電流密度、 r は超電導ループの流れる大きさである。 J_c はピン止め効果と結晶方位に依存し、 r は弱結合のない大型試料をいかに作製するかにかかっている。

2. 温度勾配法

方位のそろったバルク体の製造方法として試みられたのが、温度勾配を制御する方法である。結晶成長の際に温度勾配を利用すると、結晶は温度の低い位置から徐々に成長していく。このとき、温度勾配をうまく制御することで、結晶方位まで制御できる可能性がある。

しかし、この方法では結晶が成長する方向は、ある程度制御できるものの、結晶方位を完全に制御するまでには至らなかったのである。

3. 種結晶法

一般の結晶成長においては、適当な種結晶を用いることで単結晶育成が試みられている。例えば、半導体用のシリコン単結晶は種結晶を利用した引き上げ法により作製されている。

高温超電導体においても同様の手法が使えるのではないかという観点から、種結晶を利用したバルク体製造法が数多く試みられた。種としては、バルク超電導体と反応せずに、エピタキシャル成長するものが望ましい。

まず、試みられたのが、超電導相の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ と同じ構成元素からなり融点の高い Y_2BaCuO_5 相を種として用いる方法である。この場合、種から結晶成長が始まるものの、結晶方位の制御ができないことが分かった。

つぎに、試みられたのが、高温超電導体の薄膜成長において利用される基板材料である。中でも MgO 単結晶は、高温に加熱しても $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ と反応しないうえ、超電導相がエピタキシャル成長するため、大きな成功を収めた。ただし、 MgO 単結晶の格子定数と、超電導結晶の ab 軸との整合性が良くないため、完全に c 軸配向した結晶が得られないという欠点を有している。これに対し、ドイツのグループは、その詳細を明らかにしていないが、 MgO 単結晶を用いた場合でも、自由に配向制御ができると主張している。

種結晶として、もっとも大きな成功を収めたのが、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ と同じ結晶構造を有しながら、融

点の高い $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ や $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 結晶である。これら結晶を使うと、成長する $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ はその方位を受け継ぐため、配向制御が可能となる。

最近では、 MgO 単結晶基板上に蒸着した $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 薄膜 (RE: 希土類元素) を種として用いる手法も考案されている。この場合、薄膜であるにもかかわらず、 MgO で拘束されているため、高温に加熱しても膜が分解しないことが指摘されている。

写真 1 は、溶融法で作製した Nd-Ba-Cu-O バルク体を種として結晶成長させた Y-Ba-Cu-O バルク体である。このように種結晶を用いることで、完全に c 軸配向した結晶を製造することが可能になった。

このようなバルク体を磁場中で冷却すると、量子化磁束がバルク体内のピン止めセンターに捕捉される。その後、外部磁場を取り除いても、磁束はそのままバルク体に残留し、永久磁石と同様の機能を果たすことになる。図 1 は種結晶を用いて温度勾配下で成長させたバルク Y-Ba-Cu-O に液体窒素温度で磁場を捕捉させた場合の捕捉磁場の分布である。ピークで 1T の磁場を捕捉している。この捕捉磁場は、温度低下とともにピン止め力 (臨界電流) が飛躍的に向上するため、かなり大きなものとなり、50K 程度では 5T 以上となる。

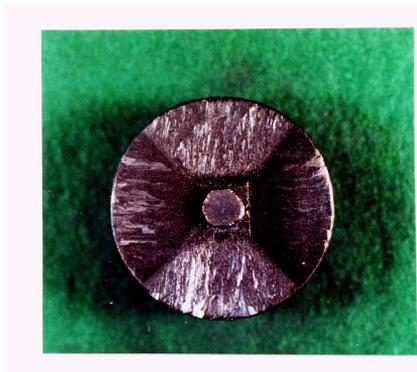


写真 1 Nd-Ba-Cu-O 種結晶を用いて作製した Y-Ba-Cu-O の外観写真。中心にあるのが種結晶である。ほぼ全面にわたって結晶成長が進んでいる。直径は 4.5cm である。

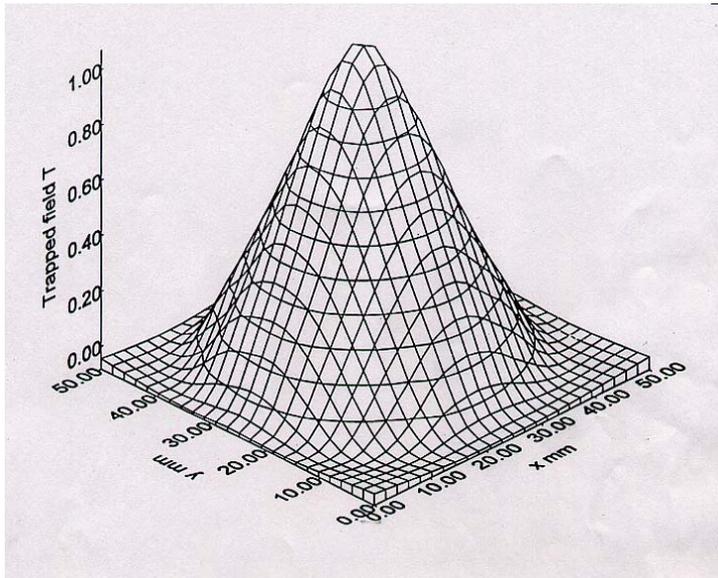


図 1 Y-Ba-Cu-O (4.5cm 直径) の液体窒素温度における捕捉磁場分布。中心で 1T を超えている。

4. 希土類系の登場

このように Y-Ba-Cu-O 系を中心としてバルク超電導磁石の開発は着々と進められていったが、残念ながら Y 系では液体窒素温度 (77K) での捕捉磁場に限界があり、1T 前後であるということが分かってきた。これは、この系の材料の臨界電流特性に依存している。もちろん、低温まで冷却することで捕捉磁場を大きくすることは可能であるが、磁場応用を考えると、77K での捕捉磁場をできるだけ高めたい。

ここで、思わぬ伏兵が登場したのである。 Y 系と同様に多くの $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (RE: 希土類元素) が同じ 123 構造を有し、90K 近傍で超電導を示すことが知られている。ところが原子半径の大きい Nd , Sm , Eu , Gd 系では、 $\text{RE}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 型の固溶体が形成される。RE の Ba 置換量が増大すると、

キャリア濃度が低下し、臨界温度 (T_c) が低下するのである。これら材料を大気中で合成すると、この置換が進みバルク体の特性が劣化してしまう。このため、バルク超電導体の中では、どちらかと言うと劣等生のレッテルを貼られていたのである。ただし、Y系よりも融点が高いという性質から、種結晶の材料としては注目されていた。

しかし、これら $RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_7$ 系材料を低酸素分圧下で合成すると、これら固溶が抑制され、Y系よりも T_c が高い 95K 近傍の値が得られることが明らかとなった。しかも、臨界電流特性も Y系よりもはるかに高い値が得られるのである。これら系の J_c -B(臨界電流密度-磁場) 曲線を見ると、大きなピーク効果が観察される。組織観察の結果、 $RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_7$ 系材料を低酸素分圧下で合成すると、マトリックスはほぼ 123 の化学量論組成に近い $REBa_2Cu_3O_7$ という化学式を有するのに対し、その内部に大きさが数 10nm 程度の $RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_7$ クラスタが分散していることが分かったのである。

これらクラスタは、超電導を示すが、マトリックスよりも特性が低いために、磁場を印加した場合に常電導となってピン止めセンターとして作用する。いわば磁場誘起型のピン止めセンターとして作用することが分かったのである。これが大きなピーク効果の原因である。

このように、臨界電流特性に優れた $RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_7$ 系材料の合成方法は、酸素分圧を制御する必要はあるが、基本的には Y系と同様である。大型の Nd系、Sm系、Gd系バルク超電導体が作製され、Y系よりも優れた捕捉磁場特性が報告されている。特に、Gd系バルク超電導磁石においては 77K において 3T を超える値が報告されている。

以上のように、バルク超電導磁石開発は順調に進んでいるかに思えたが、思わぬ伏兵に足をすくわれることになる。それについては次回紹介する。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場 Q&A

産業技術総合研究所
主任研究員 葛西直子

Q: 飛行機の金属疲労は SQUID で診断できるのでしょうか？

A: 金属疲労の診断は、疲労により発生する微小欠陥の検出、欠陥の定量化、その欠陥が飛行機の運行に支障があるかどうかの評価の3段階に大別される。

欠陥検出については、SQUIDの低周波域までの高感度性から、従来の超音波探傷などに比べて、表面から見えない、とくに奥深いところに発生したより小さな欠陥を検出できる。リベット止めされた複数枚のアルミ合金板に進展した模擬亀裂については、4cm程度の深さまで、位置とともに検出できている。欠陥位置の3次元表示、欠陥の大きさの定量化に関する研究も進んでいる。また、アルミ合金だけでなく、CFRPのような炭素繊維複合材料についても欠陥検出が可能であることが原理的に示されている。

しかし、評価については航空機メーカーとの共同研究が必要であり、ドイツで航空機のホイールの裏側に発生した亀裂検査に適用した例があるのみである。この場合、従来目視で行っていた検査をSQUIDによって行うことによって、定量化ができ、人的ミスの減少、分解せずに検査できるため時間が節約できる利点があげられている。SQUIDによる欠陥検出は可能であるが、実機の診断に適用するには今後の研究が必要である。

[超電導 Web21 トップページ](#)