

掲載内容 (サマリー):

特集: 超電導機器関連冷凍・冷却技術

超電導機器用冷凍・冷却技術の現状と展望

0.1W 4K 小型 GM 冷凍機の開発

2W 小型パルス管冷凍機の開発

300W 大型スターリング型パルス管冷凍機の開発

スラッシュ冷媒技術の展望

超電導関連製品ガイド - 小型冷凍機 -

超電導関連 6-7月の催し物案内

新聞ヘッドライン (4/18-5/19)

超電導速報 世界の動き (2006年4月)

標準化活動 - IEC-APC、新富孝和、村瀬 暁両教授らに IEC 国際標準化への貢献を表彰 -

超伝導エレクトロニクス技術シンポジウム報告

2006 MRS Spring Meeting 報告

隔月連載記事 - 超電導心磁計が市場にでるまで (その3)

読者の広場(Q&A) - 最近、どのような新しい超電導物質が話題になっているのでしょうか?

[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

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



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

特集：超電導機器関連冷凍・冷却技術

「超電導機器用冷凍・冷却技術の現状と展望」

大陽日酸株式会社
開発・エンジニアリング本部
執行役員 副本部長 上岡泰晴

超電導機器の実用化が間近になった現在、機器の実用化に対応した冷凍・冷却技術が重要になってきている。ここで使われる冷凍機には、G-M、スターリング、パルス管冷凍機やタービン式ブレイトンサイクル冷凍機などがある。しかしながら、実用化される超電導機器に適合できる冷凍機もあるが、多くはクライオポンプや、MRI 用冷凍機あるいは実験機器用に開発されたものであって、要求される冷凍機としては形状、サイズはもとより、温度、冷凍能力、効率などの性能においてもさらに満足のいく冷凍機の開発が必要である。

高温超電導機器用冷凍機に要求される性能は、40K～70K の温度で、冷凍能力が数ワットから数千ワット必要であるが、温度が下がるほど効率が下がるので、同じ冷凍能力でも温度の低いほど大型の冷凍機になる。また、市場や高圧ガス保安法への対応から、70K で 1kW 以上の冷凍機は市販されていない。しかしながら、実用化される大型の超電導機器には 65K で 5～6kW の冷凍機が必要であり、現在まで製作されたことはない。

このような中で、例えば 70K で 1kW 以下の冷凍機は種々市販されており、これを実用機器に対応させていくことは比較的容易である。ただ、一般市場へ超電導機器を普及させてゆくためには多くの改良改善が重要となる。一方、1kW 以上の冷凍機は先の理由と、このクラスの冷凍機としては一般的な、G-M、スターリング、パルス管冷凍機の大容量化が難しいことから、別の方式の冷凍機の開発が必要である。ここで考えられるのは、タービン式ブレイトンサイクル冷凍機であり、数十 kW 以上のものは、空気深冷分離装置や、ヘリウム液化機等で実績があるが、70K 付近で数 kW のものは製作されたことはなく、タービンや、熱交換器などの構成機器の小型化に技術的な開発要素がある。

こうしてみると、1kW 以下の小型の冷凍機としては、根本的な原理が同じの G-M、スターリング、パルス管冷凍機と、1kW 以上のタービン式ブレイトンサイクル冷凍機の 2つの領域の冷凍機があり、これを実用的な冷凍機として開発する必要がある。さらには、熱交換器や、サブクール液体窒素循環装置などのような、冷凍機と超電導機器を熱的に結ぶ冷却機器も、実際の機器冷却には重要な構成機器となる。

高温超電導機器が実用化の時期に入った今、広く世の中に受け入れられるためには、実用化に適したサイズ、形状、温度、性能、効率、信頼性、メンテナンス性の良い冷凍・冷却システムの開発を急速に進めてゆく必要がある。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導機器関連冷凍・冷却技術

「0.1W 4K 小型 GM 冷凍機の開発」

住友重機械工業株式会社
精密機器事業部 技術部
丸山 徹

1. まえがき

近年の理化学機器、医療機器及び半導体製造装置などの精密化、高感度化が進むにつれ、サンプルや検出器の冷却など、低温の環境はしばしば不可欠になっている。その中で、大学・研究機関が主な顧客である物性測定等の研究・実験用途では、大掛かりな設備を必要とせず、取扱いの簡便な小型冷凍機が求められている。そのニーズに応えるべく、当社は0.1W 4KGM 冷凍機を開発した。

2. 0.1W 4K 小型 GM 冷凍機的主要仕様

本機は4KGM 冷凍機ラインナップの中で最小の冷凍能力であるが、小型、軽量で、消費電力は最も低く抑えられている。本機は4Kを得ることができるだけだけでなく、商用単相100V電源に対応しているため、実験室やオフィスにある一般のコンセントを利用することができる省エネルギー小型4K 冷凍機と云える。

(1) 冷凍機ユニット型式：RDK-101D、圧縮機ユニット型式：CNA-11B

(2) 入力電源：AC100V 単相

省電力(50/60Hz)：定常 1.2/1.3 kW、最大 1.3/1.5 kW

(3) 小型・軽量：7.2kg、442×226×130mm(冷凍機ユニット)

(4) 冷凍能力：1 段階 60K で 3W / 2 段階 4.2K で 0.1W 以上

最低到達温度：2.5K

(5) 全方位取り付け可能

(6) UL、CE 規格に適合

作業流体はヘリウムガスで、ヘリウム圧縮機ユニット、冷凍機ユニット、フレキシブルホース、冷凍機電源ケーブルにより構成される。圧縮機ユニットは使用上の利便性を考慮して、空冷式を採用した。一般の商用単相100V電源に対応しており、ドライヤ並の低消費電力であるので、1次側の電源容量に注意すれば他の計測器と同様に手軽に利用できる。

3. システム特性

冷凍能力は、運転中の冷凍機の冷却ステージに所定の熱負荷を与え、仕様温度以下を維持できる能力を云う。当社の4K 冷凍機は蓄冷器の特殊構造と蓄冷材の最適化により、安定した4Kレベルの冷凍能力を保持している。当初、試作機は1段階の冷凍能力が仕様未達(60Kで2W程度)であったが、蓄冷材の改良により仕様を達成した。また、2段階蓄冷器に特殊構造を採用したことにより、冷凍機姿勢を一回転変化させたときの冷凍能力の低下は、1段階では5%、2段階では15%と低く抑えられ、全方位取付けが可能となった。

電気的特性では、突入電流が40A以下、クールダウン中の最大電流は15A以下となり、一般の商用単相100V電源で使用可能であることを確認した。消費電力は最大1.5kWであり、当社1W@4K GM機の1/5以下に過ぎず、低消費電力で4Kの温度環境を実現している。



冷凍機ユニット
RDK-101D



圧縮機ユニット
CNA-11B

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導機器関連冷凍・冷却技術

「2W 小型パルス管冷凍機の開発」

富士電機アドバンステクノロジー株式会社
機器技術研究所
保川幸雄

小型パルス管冷凍機は、膨張機として可動部を持たないことを特徴とし、低振動化と高信頼性を実現できるため、これまで液体窒素で冷却していた高感度センサなどの用途において、その代替として注目されている。

富士電機システムズと富士電機アドバンステクノロジーでは、冷凍出力 2W クラスのスターリング型小型パルス管冷凍機を開発した（図 1）。スターリング型パルス管冷凍機の特徴である“低振動”と“高信頼性”をベースに、スターリング冷凍機並みの小型化や取り扱いやすさを目指し開発を行った。まず、膨張機部は蓄冷器とパルス管を U 字形に接続することにより冷却部を端部に配置した構造とした。また、位相制御機構の一構成部品であるバッファタンクを圧縮機に一体化させ、冷凍機として一体構造とした。これにより、被冷却体の取り付けや運搬、設置等の扱いについてもスターリング冷凍機並みの扱いやすさを実現した。冷凍能力は冷却端温度 70K、80K にてそれぞれ、2.5W、3.5W である（消費電力 100W 運転，周囲温度 25℃ にて）。



図 1 2W 小型パルス管冷凍機

可動部がないことにより低温端部での振動は発生しないが、液体窒素で冷却する場合と同等レベルの低振動化を実現するためには、圧縮機の低振動化が重要な課題となる。そこで、圧縮機は対向ピストンとすることにより基本振動をキャンセルした。また、ピストンを支持しているフレクチャーベアリングは径方向剛性を高くしピストン動作の直線性を高めた。両ピストン間の構成アンバランスにより発生する不釣合い力低減も超低振動化に寄与している。ピストンユニットの組み込みに

は自動位置出し装置を使用することで、完全無摺動のクリアランスシールを構成することが可能となった。これらの工夫により、低温端での振動レベルは $1\mu\text{m}$ 以下を、固定フランジ面では $0.1\mu\text{m}$ 以下を実現した。高信頼性においても 40,000 時間の連続運転を実証している。

パルス管冷凍機の課題であった設置方向による性能低下も解決した。低温部を下向きに設置した場合と上向きに設置した場合の性能差は 77K において 3% 以下であり、使用上全く問題のないレベルであると言える(図2)。今後は圧縮機に起因する電磁ノイズの影響が問題となる超高感度センサ等の用途向けに、低温部を圧縮機から分離し、可撓性のある接続管により連結した分離型冷凍機を商品化する予定である。

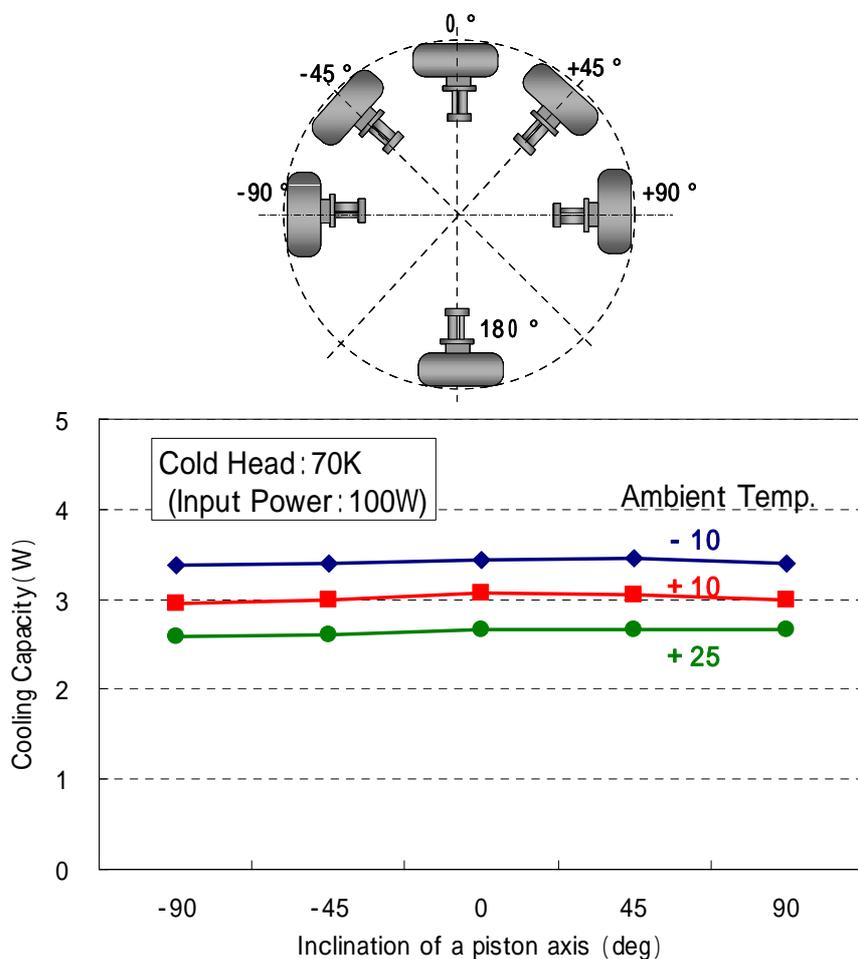


図2 設置方向による冷却能力の影響

特集：超電導機器関連冷凍・冷却技術

「300W 大型スターリング型パルス管冷凍機の開発」

アイシン精機株式会社
エネルギーシステム部 真空・低温グループ
グループマネージャー
奥村 暢朗

スターリング型パルス管冷凍機は長寿命・高効率を目指して開発されてきている。その特徴として、無摺動の圧縮機および可動部のないパルス管冷凍機を組み合わせた構成をしており、本質的に磨耗部位がなく、ガス汚染をする要因が少ないことから、今までの同種の冷凍機にない信頼性が期待されている。アイシン精機(株)では、超電導機器や放射線検出器の冷却のための冷凍機として1997年より販売している小型スターリング型パルス管冷凍機 SPR-05 を用いて、50,000 時間以上の耐久試験を実施済みである。

現在開発している 300W 大型スターリング型パルス管冷凍機は、SMES(超電導磁気エネルギー貯蔵)システムへ搭載することを目的としている。本スターリング型パルス管冷凍機は、圧縮機、パルス管冷凍機、位相調節器の3個の要素を主として構成されている。圧縮機はフレクシャベアリングを用いた無摺動型とし、磨耗部位がなく長寿命が期待できる構造となっている。ネックチューブを採用した位相調節器は第3世代といわれるパルス管冷凍機を実現する手段として用いられ、パルス管冷凍機の高効率化に貢献する。

本スターリング型パルス管冷凍機の最大の特徴として、蓄冷器およびパルス管をそれぞれ独立に2本用いた構成とした2気筒の構造が挙げられる、すなわち、1つの圧縮機で2個の冷凍機を動かしていることとなる。この2気筒化は、特に、蓄冷器及びパルス管でのガスの流れのばらつきを抑える為に採用されており、1本のパルス管では必要なPV仕事(膨張仕事)を得るためにはパルス管が太くなりすぎ、ガスの流れが乱れ性能が劣化の要因となりうることを回避している。本スターリング型パルス管冷凍機では、この構造の採用により、所定の目標を達成した。

本スターリング型パルス管冷凍機の性能としては以下に示すように、9kW の電気入力に対して77Kにおいて300Wの冷凍出力を実現している。

仕様 (2006年3月現在)	
冷凍能力	300W (77K)
消費電力	9kW 以下 (200V 三相 商用電源)
外形寸法	横幅 1200mm × 奥行き 700mm × 高さ 1600mm



[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導機器関連冷凍・冷却技術

「スラッシュ冷媒技術の展望」

東北大学
流体科学研究所
教授 大平勝秀

スラッシュとは極低温流体中に同一流体の固体粒子（大きさ 1 mm 程度）が混在する固液二相流体である。スラッシュ水素およびスラッシュ窒素の技術開発が実用面から進められている。¹⁾ 固体重量率 (wt%) 50% のスラッシュ水素 (温度 14 K) は、液体水素 (温度 20 K) に比べ、密度が約 16% 増加し、蒸発して 20 K のガスになるまでの寒冷保有量は約 18% 増加する。同様にスラッシュ窒素 (温度 63 K) の場合、密度が約 16%、寒冷保有量が約 22% 増加する。この特徴を生かして、スラッシュ窒素を高温超電導材の冷媒として利用すると、液体窒素 (温度 77 K) で冷却するよりも線材の能力向上が期待でき、侵入熱、クエンチなどの発熱に対しても熱容量の増加による効果が期待できる。固体高分子形燃料電池の普及に伴い、燃料となる水素を液体水素の形でローリー輸送し、燃料電池自動車の車載タンクに貯蔵する技術が既に実用化されている。スラッシュ水素については、燃料電池がさらに普及し、金属系高温超電導材 (MgB_2) を利用した超電導機器が実用化された場合、燃料電池の燃料として移送・貯蔵するガス水素、液体水素の代わりにスラッシュ水素を利用すると、超電導送電、超電導エネルギー貯蔵装置などの冷媒として期待できる。例えば、図 1 に示すように水素をスラッシュ水素の形でパイプラインを使って移送・貯蔵する場合、金属系高温超電導材 (MgB_2) を利用した超電導送電も併せて可能となり、燃料電池用の燃料と電力が同時に輸送できる複合効果が期待できる。短距離移送では (移送量にもよるが) 配管への浸入熱等により気液二相状態となることを防ぎ、流体の温度振動など超電導材に好ましくない現象も低減することができる。

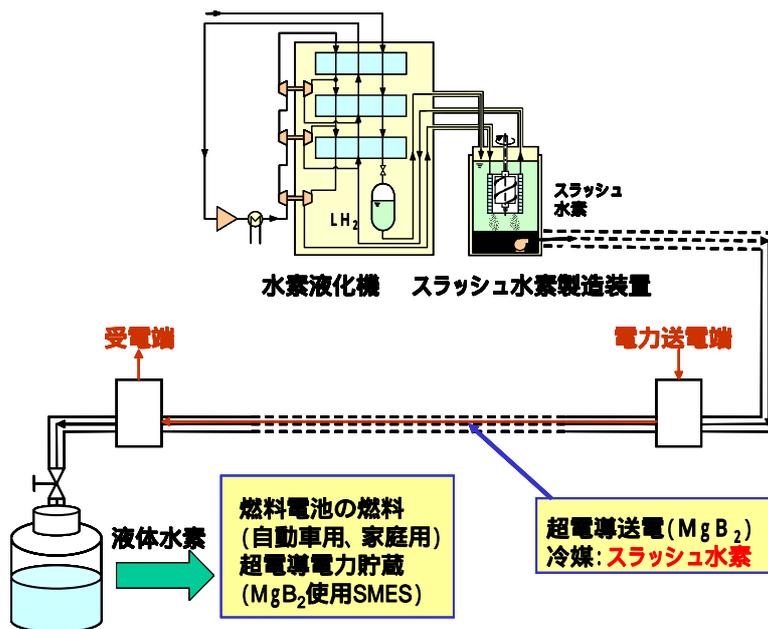


図 1 スラッシュ水素と超電導機器の組み合わせによる複合効果

固液二相流体をパイプラインで移送する場合、通常は管内流動時の圧力損失が増大し、図1に示すポンプ動力が増大することが懸念される。筆者が現在実施中のスラッシュ窒素の配管内（内径 15 mm）流動試験では、図2に示すような特性が得られている。レイノルズ数（ Re ）が増加するにつれ圧力損失係数（ λ ）が低下し実用とする領域（ $Re > 10^5$ ）において、液体（実線）と同等、もしくは液体よりも圧力損失係数が小さくなる傾向（破線）が見られる。スラッシュ水素でも同様な報告例があり、水素を効率良く輸送すると共に超電導材の冷却温度も低くできるメリットがある。

スラッシュ水素は液体ヘリウムと比べ、製造動力および蒸発潜熱の面から冷媒として良い特徴を持っており、今後、物性面での各種実験データの取得や機器の設計手法の整備など実用化技術の開発を期待したい。スラッシュ流体用の密度計、質量流量計や核沸騰熱伝達特性については文献を参照されたい。^{1), 2)}

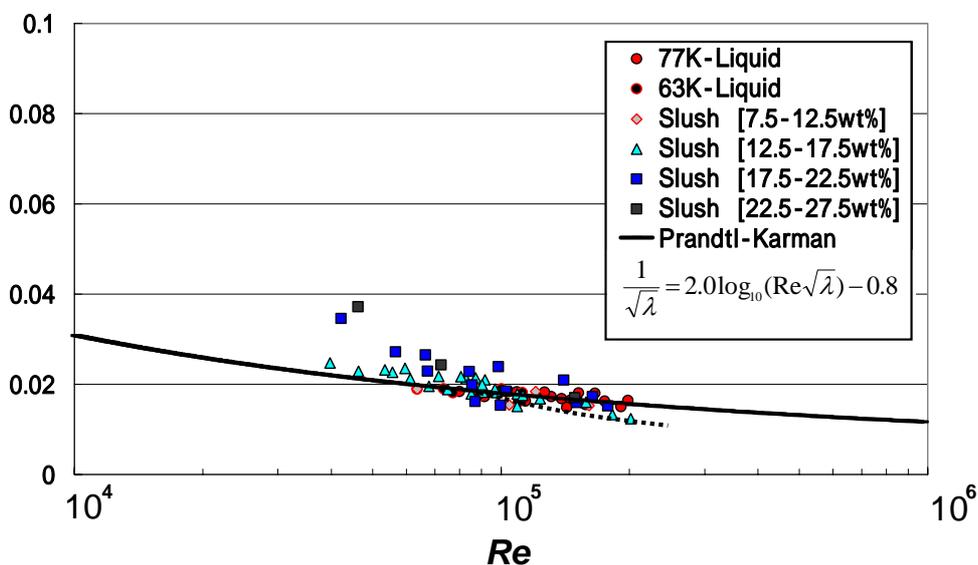


図2 スラッシュ窒素管内流動時のレイノルズ数（ Re ）と圧力損失係数（ λ ）

参考文献

- 1) 大平勝秀、低温工学、Vol.41(2006)、pp.61-72.
- 2) 大平勝秀、低温工学、Vol.40(2005)、pp.396-403.

超電導関連製品ガイド - 小型冷凍機 - (社名五十音順表示)

スターリング小型冷凍機

アイシン精機株式会社 エネルギーシステ

ム部 真空・低温グループ

- パルス管冷凍機

- スターリング冷凍機

Tel:0566-24-8805

Fax:0566-24-8859

担当: 近藤

スマック株式会社

- 小型冷凍機

Tel:06-6949-6955

Fax:06-6949-6965

e-mail: kawahara.s@jp.panasonic.com

担当: 河原

富士電機システムズ株式会社

- スターリング冷凍機

- パルス管冷凍機

Tel:042-585-6410

Fax:042-587-0084

担当: 秋信美継

ギフォード・マクマホン(GM)小型冷凍機

アイシン精機株式会社 エネルギーシステ

ム部 真空・低温グループ

- パルス管冷凍機

- GM 冷凍機

Tel:0566-24-8805

Fax:0566-24-8859

担当: 近藤

岩谷瓦斯株式会社 低温機器部

- 4KGM 小型冷凍機

- 1K 冷凍機 (LHe フリータイプ)

- パルスチューブ小型冷凍機

Tel:03-5405-5795

Fax:03-5405-5985

担当: 森田健司

住友重機械工業株式会社 精密機器事業部

営業部

- 4KGM 冷凍機

- 10KGM 冷凍機

- 80K パルスチューブ冷凍機

- 4K パルスチューブ冷凍機

- クライオポンプ

- GM-JT 冷凍機

Tel:03-5488-8410

Fax:03-5488-8302

e-mail:cryo@shi.co.jp

担当: 小島

大陽日酸株式会社 超低温プロジェクト

Tel: 03-5788-8610

Fax:03-5788-8707

モディファイドソルベイ小型冷凍機

岩谷瓦斯株式会社 低温機器部

Tel: 03-5405-5795

Fax: 03-5405-5985

担当: 森田健司

希釈冷凍機

オックスフォード・インストゥルメンツ株式

会社 超電導事業本部

Tel:03-5245-3261

Fax:03-5245-4477

E-mail:supercon@oxinst.co.jp

大陽日酸株式会社 超低温プロジェクト

- 無冷媒希釈冷凍機

Tel: 03-5788-8610

Fax:03-5788-8707

日本オートマテック・コントロール株式

会社 理科学システム部

Tel:03-5434-1600

Fax:03-5434-1630

e-mail:nacc-c@naccjp.com

断熱消磁冷凍機

日本オートマテック・コントロール株式

会社 理科学システム部

Tel:03-5434-1600

Fax:03-5434-1630

e-mail:nacc-c@naccjp.com

サブクール液体窒素循環装置

大陽日酸株式会社 超低温プロジェクト

Tel: 03-5788-8610

Fax: 03-5788-8707

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 6-7月の催し物案内

5/28-6/3

The 9th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI2006)

場所: EXCO Center, 大邱、韓国

主催: Pohang Accelerator Laboratory (PAL)

問合せ: Spring-8/JASRI 鈴木

E-Mail: msyszk@spring8.or.jp

<http://SRI2006.postech.ac.kr/>

6/4-9

CIMTEC 2006: 11th International Conference, 4th Forum on New Materials on "Science and Engineering of New Superconductors"

場所: Acireale, Sicily, Italy

主催: WAC、ICF、IUMRS

問合せ: <http://www.cimtecongress.org>

E-Mail: congress@technagroup.it

6/6-8

10th IEC/TC90 Superconductivity Meeting

場所: 京都大学百周年時計台記念館

主催: IEC/TC90 超電導委員会

問合せ: IEC/TC90 事務局 田中靖三

TEL: 03-3459-9872、FAX: 03-3459-9873

E-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

6/14-16

14th International Cryocooler Conference (ICC14)

場所: Annapolis, Maryland, USA

問合せ: <http://www.cryocooler.org>

6/16

第1回材料研究会「先進超電導材料とその応用展望」

場所: 超電導工学研究所 大会議室(江東区)

主催: (社)低温工学協会 材料研究会

問合せ: 上智大学理工学部電気電子工学科 高尾智明

TEL: 03-3230-3327、FAX: 03-3238-3321

E-mail: takao@eco.ee.sophia.ac.jp

6/22

第32回超伝導科学技術研究会シンポジウム及び第10回超伝導科学技術賞授賞式

場所: つくば国際会議場エポカル

主催: (社)未踏科学技術協会、超伝導科学技術研究会

問い合わせ: (社)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 担当 為田

TEL: 03-3503-4681、FAX: 03-359-0535

E-mail: fsst@sntt.or.jp

<http://www.sntt.or.jp/fsst/32thSPprogram.htm>

6/25-28

HTSHFF 2006: 9th Symposium on High Temperature Superconductors in High Frequency

場所: Cardiff, UK

問合せ:

E-mail: HTSHFF@cf.ac.uk

6/26-30

10th Biennial European Particle Accelerator Conference

場所: Edinburgh, UK

問合せ:

<http://epac06.org/>

6/29

「高感度分析・分光技術のための超伝導検出器」

場所: 超電導工学研究所、大会議室、江東区

主催: 応用物理学会超伝導分科会第33回研究会

問合せ: 応用物理超伝導分科会、産総研 神代

TEL: 029-861-5561、E-mail: s-kohiro@aist.go.jp

7/2-5

MEM06

場所: Durham, England

問合せ: D. P. Hampshire

TEL: +44-(0)191-334-3626(or 4-3745)

FAX: +44-(0)191-334-5823

E-mail: physics.office@durham.ac.uk

7/3-5

CCA 2006

場所：Ludwigsburg, Germany

主催：the European Network SCENET

問合せ：<http://www.cca2006.com>

Herbert C. Freyhardt

TEL:+49-551-39 5011

E-mail:hfreha@gwdg.de

7/9-14

M2S-HTSC-VIII: 8th International Conference
on Materials and Mechanisms of Superconductivity
and High Temperature Superconductors

場所：Dresden, Germany

問合せ：<http://www.m2s-dresden.de/main.asp>

7/17-21

CryoPrague2006:21st International Cryogenic
Engineering Conference (ICEC21) and
International Cryogenic Materials Conference
(ICMC2006) and 9th Cryogenics 2006

場所：Praha, Czech Republic

問合せ：<http://www.icaris.info/CryoPrague2006/>

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (4/18-5/19)

永久磁石モーター 新構造でトルク2倍 大分大 電気自動車など活用 4/18 日刊工業新聞
次世代スパコン開発スタート “京、けい”の処理速度競争 産業基盤強化へ 4/18 日刊工業新聞
理研最前線 量子素子へ挑戦 デバイス性能向上へ 4/20 日刊工業新聞
重粒子線がん治療装置 小型・高効率化を実現 放医研 線形加速器を開発 4/20 日刊工業新聞、日経産業新聞
高温超電導 夢と現実 発見から20年 運輸利用に期待急浮上 船舶向け始動 自動車・鉄道も エネルギー効率高く 4/24 日経産業新聞
家電品の磁界測定器を発売 HIOKI 4/25 日経産業新聞
テラヘルツ光で検査 半導体特性や税関の荷物 栃木ニコン 幅広い物質特定 4/25 日経産業新聞
ITER計画 貢献で国際賞 元原研理事長の吉川氏らが受賞 4/25 日刊工業新聞
スーパカミオカンデ 小さな青白い光が大発見生む 4/26 毎日新聞
重粒子線装置、1/3に小型化 次世代がん治療、普及へ光明 放医研 4/26 毎日新聞
工業標準化の人材育成策 電子工学分野に力 大学などに講師も派遣 4/27 日刊工業新聞
超電導の線材 長さ500メートルめど フジクラ 中間層を長尺か 実用視野に イットリウム系 幅広い応用期待 4/28 日経産業新聞
超電導電力貯蔵 系統安定へ連系実証 中部電力が来年5月に 1万キロワット級で 4/28 電気新聞、日刊工業新聞
JR東海 リニア実験線 延伸 3000億円投じ実用化急ぐ 4/28 日刊工業新聞
高温超電導 夢と現実 発見から20年 半導体を超える日 最速・小型スパコン 携帯送受信鮮明に 5/1 日経産業新聞
四国電力高松支店 超電導の実験など子どもたち大喜び 発明の日フェアで 5/2 電気新聞
がん治療で注目 放医研 重粒子線装置 小型化に成功 5/2 朝日新聞(夕)
経産省 技術戦略マップ2006策定 超電導など追加 5/8 電気新聞
次世代高温超電導線材 フジクラが長尺化に成功 「500メートル」達成にめど 5/8 電気新聞
誤用される「ムーアの法則」 限界説、課題見失う 5/9 日経産業新聞
中部電 超電導研究を加速 来春、名古屋に新実験棟 5/9 日刊工業新聞
早期食道がん検出 GE横河メディカル 国立研とシステム 5/9 日刊工業新聞
原子力機構 高圧プラズマ長時間維持 5/9 日経産業新聞、読売新聞
物材機構など 19.5テスラに磁場発生ニオブ・アルミで超電導コイル 5/11 日刊工業新聞、日経産業新聞
AFM探針がゲート電極の役割 電界で超電導スイッチ 東大とスイス大が成功 一筆がきでナノデバイス 5/11 日刊工業新聞、日経産業新聞
核融合研究作業部会 タスクフォース設置 初会合開く ITER計画推進へ 5/12 電気新聞
第3の保冷技術 高電圧かけ食品鮮度維持 フィールテクノロジー 5/15 日経産業新聞
粒子線治療装置 三菱電が民間初納入 小型加速器で360度から照射 5/15 日刊工業新聞、日経産業新聞
「JT-60」プラズマの28秒間維持に成功 ITER計画の実現性高める 5/15 電気新聞
ナノテクノロジーで未分野を拓く 間隔1ナノメートルの電極形成 二つのスピンの反射制御 5/15 日刊工業新聞
高磁場MRIを投入 日立メディコ 画像を高速処理 サポートも強化 5/19 日経産業新聞
脳の働き 細かくMRIで観察 京大 5/19 日本経済新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報 世界の動き (2006年4月)

電力

Oak Ridge National Laboratory (2006年4月3日)

米国 Oak Ridge National Laboratory は、配列した柱状の非超電導ナノドットを超電導体に埋め込むことにより、高磁場下でも線材中の大きな超電導電流を維持することができる方法を開発した。このナノドットは有効なピン止め効果を持ち、高磁場下でも大きな超電導電流を可能とする。この研究は、モーター、発電機、航空機搭載の軍事用途などの超電導応用の範囲を大幅に広げる可能性をもっている。この結果は Science で報告された。

出典:

“ORNL uses nanodots to boost superconductivity”

Oak Ridge National Laboratory press release (April 3, 2006)

http://www.ornl.gov/info/press_releases/get_press_release.cfm?ReleaseNumber=mr20060403-00

Intermagetics General Corporation (2006年4月3日)

Intermagetics General Corporation は、2006年2月26日に終了する第3四半期の収支を発表した。純収入は、前年同期の730万ドルに対し14%増の820万ドル。調整後の純収入は、前年同期の480万ドルに対し当期は550万ドル。当期全収入は、前年同期6,900万ドルに対し12%増の7,700万ドルであった。IGC社は、対前年比で年間15%以上の成長率、即ち、約30,800万ドルの売り上げという目標に向け予定通りの成長を続けている。

出典:

“Intermagetics Reports Increased Q3 Sales, Net Income”

Intermagetics General Corporation press release (April 3, 2006)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=88261&p=irol-newsArticle&ID=838301&highlight>

American Superconductor Corporation (2006年4月4日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、世界で最初のフルスケール消磁超電導ケーブルの実証試験に成功した。消磁ケーブルは、海軍艦艇に使用されており、磁気的な痕跡を小さくして、(敵の)探知を難しくしている。AMSC社の実証試験用 HTS 消磁ケーブルは40m長で、4100Aターンの能力を持つ。これは、従来の銅ベースの消磁ケーブルと同等の性能である。しかしながら、HTS 消磁ケーブルの動作電圧は0.5V以下であり、従来の銅ケーブルに比べ1000倍も小さい。さらに、HTS 消磁ケーブルは、重量が従来の銅ケーブルの20%である。重量、サイズ、必要とする終端数の低減により、従来の銅消磁ケーブルに比べ、設置に要する費用を40%引き下げることができるものと考えられる。現在の消磁ケーブルシステムの世界市場は、年間で1億ドルである。

出典:

“American Superconductor Demonstrates World's First Full-scale High-temperature Superconductor Degaussing Cable for Military Ships”

American Superconductor Corporation press release (April 4, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=838425&highlight

American Superconductor Corporation (2006年4月5日)

American Superconductor Corporation (AMSC)と Tennessee Valley Authority は、IEEE Spectrum 及び EE Times magazine から、SuperVAR®ダイナミック・シンクロナス・コンデンサー(の開発、実用化に)により、Technology in the Service of Science 賞を受賞した。受賞理由によれば、SuperVAR は人類に大きな利益をもたらす可能性のある技術であるとされている。SuperVAR 技術は、送電網の電圧を安定させ、電力供給の信頼性を向上、さらには送電電力を最大化することができる。このことによって、送電網のボトルネックを解消できる。また、SuperVAR 技術は、昨年10月にも R&D magazine から prestigious R&D 賞を受賞しており、2006年1月には IEEE Spectrum の5つの “Winners” の1つにあげられている。

出典:

“American Superconductor’s SuperVAR® Dynamic Synchronous Condenser Wins Award for ‘Technology in the Service of Science’ from IEEE Spectrum and EE Times”

American Superconductor Corporation press release (April 5, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=839059&highlight

Intermagnetics General Corporation (2006年4月11日)

Intermagnetics General Corporation は、子会社の Invivo Corporation が米国国防省と50万ドルの契約を結び、多くの困難な症例に対応して有効な診断と治療ができるような脳損傷に関わる高分解能 MRI に関するハードウェア及びソフトウェアの開発を行うことになったと発表した。Invivo 社のソリューションは、Intermagnetics 社の3.0 Tesla 磁石を使った高磁場 MRI システムに組み込まれる予定。Invivo 社は海軍研究所と協力して、この技術を開発する。この撮像用ハードウェア及び解析ソフトウェアの評価モデルは今年中に開発され、その後、海軍の脳神経科医、脳神経外科医、脳損傷の専門家たちがプロトタイプ機の科学的、臨床的評価を行う予定。

出典:

“Intermagnetics’ Invivo Subsidiary Awarded \$500,000 Federal Grant to Develop Advanced MRI System to Diagnose, Treat Brain Injuries”

Intermagnetics General Corporation press release (April 11, 2006)

<http://www.igc.com/pdfs/Invivo-041106.pdf>

American Superconductor Corporation and GE Energy (2006年4月18日)

American Superconductor Corporation (AMSC) と GE Energyは、Aquila, Inc.から8MVARのD-VARを受注した。装置はAquila 社の配電システムの電圧安定化のために使用される。AMSC社は2006年3月に装置を出荷した。この装置は2006年6月にカンザス中央部にあるAquila 社のPlainville変電所に設置され運転開始される予定。Aquila社の配電担当役員Carl Husligは次のように語った。「AMSC社の我々の配電システムに対する緻密な解析に強い印象を受けた。AMSC社は、コストパフォーマンスのよい、効率的で安定な電力を顧客に提供するため、わが社及び地域電力会社の助けとなる実証済みのソリューションを提供してくれた。」

出典:

“American Superconductor and GE Energy Receive D-VAR Order From Aquila, Inc.”

American Superconductor Corporation press release (April 18, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=843628&highlight

HTS-110 Ltd. (2006年4月19日)

HTS-110 Ltd.と Long Electromagnetics Inc.は、今年の Hanover Fair に軽量ポータブルな HTS(BSCCO)発電機を展示した。新しい5-MWの発電機は、ガスタービン及び付属の(制御)パワーエレクトロニクスを加えても全重量が1500 kgであり、同性能の従来発電機と比べて大幅な重量減となる。全てのシステムを船舶用コンテナ 1個の中や小型トラックに入れることができ、小型でどこにでも持っていける災害用又は短期的な産業用の緊急電源として使用できる。発電機は2年以内に商品化の見込み。

出典:

“Lightweight generator a world first for emergency power”

HTS-110 press release (April 19, 2006)

<http://www.hts110.com/news/coverage/lightweight-generator.html>

American Superconductor Corporation (2006年4月24日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、自社特許次世代HTS線材で最高の電気特性を達成したと発表した。AMSC社では、従来比で10%増の492 A-cmの電気特性を得た。これは数ヶ月前に達成したのものより44A大きな電流、かつ、商用で必要な300 A-cmのスレッシュホールドを大幅に上回るものである。500 A-cmという値はHTSの広範な商業用途に適用されるスレッシュホールドと考えられている。さらに、AMSC社は2006年3月31日までに344超電導線材を2,500m出荷するという目標を達成したと発表した。即ち、トータルで2,738mのHTS線材を中国、ドイツ、日本、韓国、ニュージーランド、ノルウェイ、スイスの19の顧客に出荷した。AMSC社は本年度、即ち2007年3月31日までに、10,000mの344超電導線材を出荷するとしている。

AMSC社はステンレス・クラッドの344線材も品揃えしたところである。344Sとして知られる新たな線材は、両面をステンレスでクラッドしたテープ形状の次世代線材である。このコンフィグレーションにより限流器に必要な高抵抗電流路を確保している。新線材は少量ではあるが、限流器用途としていくつかの機関、会社にすでに販売された。

出典:

“American Superconductor Announces Record Electrical Performance for Proprietary 2G High-temperature Superconductors”

American Superconductor Corporation press release (April 24, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=846129&highlight

Bültmann and Trithor (2006年4月25日)

Bültmann 社及び Trithor 社は、LIMODRAW™のパイロット・プラントの運転を開始したと発表した。LIMODRAW パイロット・プラントは、20 x 1.4(mm)径の銅管を 16.7 x 1.4(mm)径に非接触で、電磁力を使った LIMODRAW™により線引きするものである。LIMODRAW™内部では、金型前部の押し出し力として半分の力を使い、金型後部の引っ張り力として残り半分の力を使う。このシステムを使うと、従来技術で達成可能なスピードよりずっと高速で銅管を引くことができる。現在 LIMODRAW™技術による性能及び線引きのデモンストレーションが、Bültmann 社で一般公開されている。この技術は EU からの支援により開発された。

出典:

“LIMODRAW pilot plant in operation”

Trithor press release (April 25, 2006)

http://www.trithor.com/pdf/press-en/2006-04%20LIMODRAW%20Kurznnotiz_en

American Superconductor Corporation (2006年4月27日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、海軍研究所との追加契約を締結した。これは総額1,330万ドルで電気推進軍用艦向け36.5-MW HTS船舶用モーターを設計、製作、出荷する契約の追加分で、製作後工場試験まで行われる。AMSC社は、36.5-MWモーターを2006年9月にフィラデルフィアの海軍試験施設に納入する予定。現在、3期の開発プロセスの内の予備設計、詳細設計のデザインレビューを含む第2期までが完了している。AMSC社は、このモーターをNorthrop Grumman Marine Systems社及びNorthrop Grumman Ship Systems社と共同開発している。

出典:

“American Superconductor Receives \$13.3 Million Contract Amendment from U.S. Navy’s Office of Naval Research”

American Superconductor Corporation press release (April 27, 2006)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=848526&highlight

HTS-110 Ltd. (2006年4月27日)

HTS-110 Ltd.と Progression Inc.は、特殊な性能を持つマグネットの供給に関し、新しいジョイントベンチャーを立ち上げた。新たなNMR用マグネットのシリーズは80 MHz用で、磁場は2 Teslaである。ねらい目の市場は、石油・ガス産業での精製用途、教育機関における研究開発用、製薬、生化学応用である。新たなベンチャー会社の本部は米国のテキサス州ヒューストンに置かれる予定。

出典:

“Progression Inc. joint venture announcement”

HTS-110 press release (April 27, 2006)

<http://www.hts110.com/news/coverage/progression-jv.html>

NMR

Oxford Instruments (2006年4月23日)

Oxford Instruments は、アクティブシールド型の新製品 700-MHz NMR マグネットの販売を開始した。その占有スペースは 500-MHz のシステム程度。新製品の EShield™は、重量を 65%、冷媒のランニング費用を 70%低減したほか、漏洩磁場（半径 1.0m 以内）が小さい。これは、（設置に当って）穴を掘ったり、冷媒を注入する際に重量物を吊り上げる装置を必要としない唯一の 700-MHz システムである。これにより、現在の建物を改造することなく NMR 装置をアップグレードできるようになる。マグネットには Oxford Instruments が特許を有する超高臨界電流超電導体が使われており、次世代の高分解能 NMR マグネットとあってよい。高い臨界電流密度により、極めてコンパクトなコイル設計で、より大きな磁場を生成できる。また、マグネットの設計には“ femto Ohm ”と呼ばれる超電導体の結合技術が使われており、システムの安定性も高い。EShield は 4K で動作する。

出典:

“The worlds most compact actively shielded 700 MHz magnet for NMR is launched”

Oxford Instruments press release (April 23, 2006)

<http://www.oxinst.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Internet/Press/Current+News/The+worlds+most+compact+actively+shielded+700+MHz+magnet+for+NMR+is+launched>

Bruker BioSpin Corporation(2006年4月25日)

Bruker BioSpin Corporation は、世界で最初のアクティブシールド型 950-MHz マグネット 950 US2 を発表した。950 US2 マグネットシステムは高い感度とスペクトル分散を提供するとともに、冷凍機も 900 US2 と同じサイズと性能があれば十分である。また、950 US2 の 5G の漏洩磁場の領域は 900 US2 と同じである。950 US2 を組み込んだ Avance II NMR システムの設置面積は 600 平方フィート (56 m²) であり、一方、シールドなしの 950-MHz マグネットの設置面積は 3,600 平方フィート (334m²) である。また、950 US2 は外部磁場擾乱を抑制する機能を持ち、安定性や性能も改善されている。現在注文を受けており、出荷には 4~6 ヶ月程度必要。

出典:“The World’s Highest Field Actively-Shielded NMR Magnet at 950 MHz”

Bruker BioSpin Corporation (April 25, 2006)

http://www.bruker-biospin.com/nmr/news/950usplus_release.html

通信

ISCO International Inc. (2006年4月27日)

ISCO International Inc.は、2006年3月31に終了する第1四半期の収支を発表した。純総収入は、前年同期 330 万ドルに対し、当期は 130 万ドル。グロスの利益率は前年同期の 42%から 38%へ減少。これは効率が向上し、販売量が減少したため。当期の総純損失は、前年同期の 40 万ドルに対し、当期は 170 万ドルであった。同社は 2006 年中に出荷見込みの引き合い 500 万ドル分を受けており、引き合いはこれまでほとんど取引のなかった顧客からのものである。現在の市場は弱含みではあるが、ISCO 社は 2006 年は同社史上四半期ベースで最高の収入があげられるものと確信している。

また、ISCO International は 3 つの新製品を発売した。デジタル ANF プラットフォーム(DANF)、地上設置型アンプ(GMA)、柱上設置型アンプ(TMA)である。DANF により同社の顧客層を大幅に広げることができ、一方、GMA と TMA は OEM 地上局と外部から接続するような風雨にさらされる場所での高性能ソリューションである。

出典:

“ISCO INTERNATIONAL REPORTS FINANCIAL RESULTS FOR THE FIRST QUARTER 2006, NEW PRODUCTS, ADDITION OF STEVEN WETTERLING AS EVP SALES AND AN UPCOMING INVESTOR CALL”

ISCO International Inc. press release (April 27, 2006)

<http://www.b2i.us/profiles/investor/ResLibrary.asp?ResLibraryID=15335&f=1&BzID=826&Category=135&Nav=1&LangID=1&s=0>

基礎

Brookhaven National Laboratory (2006年4月26日)

Brookhaven National Laboratory (米国)、The Laboratoire Leon Brillouin (フランス、サクレ)、The Institute for Solid State Physics (ドイツ、カールスルエ)、名古屋大学と東北大学 (日本)はHTS材料にストライプが存在することを支持するさらなる証拠をつかみ、これを論文として発表した。論文は4月27日のNatureに掲載されるが、電荷の空間的な配列であるストライプが抵抗なしに電流を流すためのメカニズム(の解明)に寄与しているのではないかという理論をさらに強固なものとした。以前の

研究によれば、ホールが自己凝縮して反強磁性領域で波打つ電荷ストライプになると言われていた。今回の研究では、これを支持するさらなる実験結果を求めてきた。今回の実験では、ストライプが格子振動に与える影響を調べた。格子振動、即ちフォノンは、従来型超電導体に見られる電子対の生成に寄与していることが知られている。サクレの研究者は、超電導体及び同系統のストライプが存在する非超電導体に中性子を照射して、中性子がどう散乱されるかを調べた。超電導体に中性子を照射した場合、格子振動の周波数のスペクトル範囲が予想より大きく広がる。この異常は明瞭なストライプを有する試料で顕著に見られるものであるが、良好な超電導体でも同様な現象が見られる。両試料に見られるこのような特徴は、良好な超電導体にも動的ストライプが存在することを示唆している。研究者は、このようなストライプは銅酸化物超電導体の共通なものであり、高温超電導メカニズムに重要なものであると考えている。

出典:

"More evidence for 'stripes' in high-temperature superconductors"

Brookhaven National Laboratory press release (April 26, 2006)

http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=06-57

(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 6月のトピックス

- IEC-APC、新富孝和、村瀬 暁両教授らに IEC 国際標準化への貢献を表彰 -

平成 18 年 5 月 10 日(水) 第 16 回 IEC 活動推進会議総会において、IEC 活動推進会議(IEC-APC) は、IEC 国際標準化に顕著な貢献をした日本大学新富孝和教授、岡山大学村瀬 暁教授ら 11 名に IEC-APC 議長賞を授与した。

IEC-APC 議長賞は、IEC (国際電気標準会議) への日本の貢献と産業界の意見反映を目的に平成 3 年に設立された IEC-APC によって、日本提案の IEC 規格作成など、IEC 分野で顕著な貢献をした個人またはグループに毎年表彰されるものである。

今年は、特別賞 1 名、議長賞 11 名及び感謝状 8 名が表彰された。

新富孝和氏(日本大学 大学院)の IEC-APC 議長賞の受賞は、平成 7 年以降 IEC/TC90 (超電導) WG6 における活動を通じて、IEC/TC90 の国際標準化を推進し、WG6 のコンビーナを努めるなど、日本並びに国際標準化に大きく貢献したことによる。

また、村瀬 暁氏(国立大学法人 岡山大学 大学院)の IEC-APC 議長賞の受賞は、日本が IEC/TC90 (超電導) の国際幹事国を引き受けた平成 2 年以降、超電導標準化を推進し、WG11 コンビーナを努めるなど、日本並びに国際標準化に大きく貢献したことによる。



受賞者記念撮影(後列 右 村瀬 暁氏)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超伝導エレクトロニクス技術シンポジウム報告

2006年4月21日(金)東京コンファレンスセンター飯田橋において、(独)日本学術振興会 超伝導エレクトロニクス第146委員会(栗城眞也委員長)主催、応用物理学会、生体磁気学会、低温工学協会、電気学会、電子情報通信学会の協賛により、「超伝導エレクトロニクス技術シンポジウム」が開催された。午前中は超伝導エレクトロニクスの国内、海外動向に関する英語による講演、午後には、国内各社による技術講演と展示が行われ、本委員会としては初の一般無料参加によるシンポジウムということもあり、100名近い参加者があった。

午前の部では、委員会内に設置されている SQUID、アナログ(高周波)デバイス、デジタルデバイスの3分科会に即して、各分科会主査、九大 円福教授、山形大 大嶋教授、名大 藤巻教授により国内研究動向の総括の後、海外の招待者による海外における技術動向に関して講演が行われた。SQUID分野では、韓国標準科学研究所(KRISS) Yong-Ho Lee 教授により、心磁計の技術動向および臨床応用例が示され、アナログ分野では、中国精華大学 Bisong Cao 教授により、中国における超伝導フィルタを用いた携帯無線基地局フィールドテストに関する詳細な報告がされた。デジタル分野では、米国ベンチャー企業 Hypres 社の D. Gupta 博士が、Nb系 SFQ 回路を用いたこれまでの成果のレビュー、特に超伝導 AD コンバータの最新成果について述べた。

午後の部では、下記の国内7機関が展示に参加し、それぞれ商品・技術に関する講演の後、展示コーナーにおいて具体的な装置を前にして活発な情報交換、討論が行われた。

展示内容：デスクトップ型電圧標準システム(アイカントム)、心磁計(日立)、超伝導フィルタ(富士通)、高温超伝導 SQUID とその応用(住友電気ハイテックス)、LSI 故障解析用走査レーザー-SQUID 顕微鏡(NEC エレクトロニクス)、超伝導デバイス測定装置(NEC)

(当日配布資料に関しては、委員会幹事 吉田(a-yoshida@istec.or.jp)まで。)



午前講演会風景



午後展示会風景

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部 吉田 晃)

[超電導 Web21 トップページ](#)

2006 MRS Spring Meeting 報告

2006年4月17日(月)~21日(金)に、米国カリフォルニア州サンフランシスコで、2006 MRS Spring Meeting が開催された。本会議は複数の材料関連分野からなるが、そのうち、Recent advance in Superconductivity のシンポジウムにおける超電導に関する発表件数は、口頭講演が76件、ポスター講演が32件、計108件であった。日米のYBCO線材開発に関する競争を反映して、実用化へ向けた長尺線材に関する発表や、磁場中での特性を上げるための人工ピンに関する発表件数が多かった。以下に、今後の実用化に際して興味深い長尺線材と人工ピンについて報告する。

REBCO 線材の長尺化

SRL-ISTEC(日)の塩原から日本のRE系線材の現状が、IGC SuperPower社(米)のChenから同社のYBCO長尺線材の開発状況が、ゲッチンゲン大学(独)のFreyhardtから欧州におけるRE系線材の開発状況が、Oak Ridge National LaboratoryのParanthamanから米国における主に中間層の開発状況が、それぞれ報告された。日・米の開発が、欧州、韓国、その他の国をリードしている印象を受けた。フジクラの飯島は、500m級のIBAD-GZO基板が5.0 m/hを超える製造速度で作製でき、結晶面内配向度も18°台という量産化に関して有望な結果を報告した。製造速度が従来の1m/hから大きく増大した。今後の長尺化もかなり有望であるとの印象を受けた。SRL-ISTEC名古屋高温超電導線材開発センター(SRL-NCCC)の衣斐は、昨年212.6m、245AのYBCO線材を作製したばかりであるが、今回は、マルチブルーム・マルチターン-PLD法による32mのGdBCO線材の作製を報告した。全長の I_c は205Aであった。特に、従来になく高速にできる特徴がある。蒸着1回あたりの速度は30m/hで、3回蒸着であるので、全体の速度は10m/hの高速成膜になる。また、 J_c -B特性もYBCOに比べて良好であった。GdBCOの長尺化の報告は他には無いので、今後さらに注目されると思われる。IGC Super-Power社からは、IBAD-MgO基板の長尺化(270m)、製造速度の高速化の報告が行なわれていた。また、同社のMOCVD法YBCO線材の成膜速度も向上しており(蒸着1回あたりのスピードは30m/h)、商業化へ向けて着々と進行している様子が見えた。近い将来長尺特性値 $I_c \times L$ 値などの進展が報告されるであろう。

人工ピンによる磁場中特性改善

本セッションでは、人工ピン導入、RE置換($(Y_{1-x}RE_x)Ba_2Cu_3O_7$)等によるピンニング力向上について各国から多数報告があった。磁場中の臨界電流特性および表面微細観察に加え、人工ピンのメカニズムに対する取り組みが活発化してきた。人工ピンの材料としてY211や酸化物微粒子を用いた発表が多かったが、特に、BaZrO₃を用いた研究が多く、BZOナノロッドに対する関心の高さが伺えた。これに関しては、昨年からはオークリッジ国研、また、超電導工学研究所からバンブー組織として発表され、話題を呼んだものである。引き続き多くの研究がなされており、今後の主流のテーマになると思われる。本分野でも日本勢の発表が目立ち、京大の松本によるAuのナノロッド、名大の吉田によるIBAD金属基板上へのSm123成膜、また、SRL-NCCCの小林によるBaZrO₃ナノロッド(バンブー構造)を用いた厚膜YBCO膜での高臨界電流化(3Tで40A)などの報告が目立った。

最後に、長尺に関するセッションで、AMSC社から2005年12月より長尺線材の販売を開始し、現在、世界7カ国から17件の受注があるとの報告があり、いよいよ商用化に向けた競争が始まったとの印象を受けた。ただ、磁場中での特性はまだ実用域に達するには種々の検討が必要であり、依然として、人工ピンなど基礎研究の重要性も感じた。

(SRL/ISTEC 名古屋高温超電導線材開発センター 衣斐 顕、小林広佳)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導心磁計が市場にでるまで（その3）

岡山大学大学院自然科学科
教授 塚田啓二

4. 心磁計の臨床応用のはじまり

4.1 臨床用心磁計の開発

日本における生体磁気計測装置の研究として、超伝導センサ研究所の果たした役割は大きいことを前回述べた。このとき、臨床応用としてより使いやすく、しかも小型な心磁計の実現を目指して、パソコンで計測できる計測点 16 点の心磁計を開発した。¹⁾ この開発は私と横河と東芝から出向してきていた研究者達とともにやった。心磁計のセンサアレイとして、生体の体表面に水平な成分である接線 (x, y) 成分がはかれるように、ガラス基板上に Nb の薄膜をパターン化した平面型の一次微分検出コイルと SQUID を一体化した薄膜グラジオメーター(図1)を開発した。計測点 1 点ごとにそれぞれの x, y 方向に向けて配置しているので合計 32 チャンネルのセンサアレイ(図2)となった。従来、生体磁気計測装置は体表面に垂直な法線成分を計測しているものだけであったが、今回法線成分を計測することになったのは次の理由がある。



図1 薄膜グラジオメーター

当時の生体磁気計測では、一般的に電流信号源の大きさと位置を推定することが行われていた。これは、磁場計測における

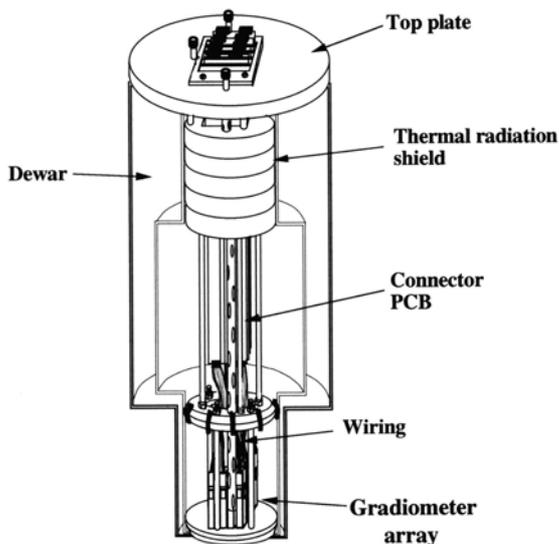


図2 センサアレイとデュワ内部構造

逆問題といわれているものである。特に、心磁計測においては、心臓病の不整脈である WPW 症候群の副伝導路の部位を推定することが行われていた。しかしながら、カテーテル検査の進歩とともに、カテーテル治療の際に不整脈の部位を決定する画像検査がカテーテルで同時に行われはじめている。このため、治療が必要とされる患者さんに対する心磁計測による部位推定の興味は失われつつある。もともと心磁図検査に関しては、大きな課題として臨床上もっとも良く使われている心電図との比較がある。心電図の発展はすでに述べたように、簡易的に計測できるが、より高い空間分解能や局在した情報を得るには限界があった。この限界を打破する可能性があるものとして心磁図がある。しかし、心磁図の検査で単に1個あるいは2個程度の電流源を推定することは、心電図でもある程度は可能である。特にベクトル心電図として単一電流源の向きを大きさの時間変化を求めたものがすでにある。しかし、ベクトル心電図は一般的に使われてなく研究のみである。当時、心臓は大きく複雑な構造を持っているにもかかわらず、その電流源として数個推定する方法には違和感を覚え、心臓各部位での電流分布の変化を画像化することが、より臨床的には役立ち、いままで分からなかった情報が多くでてくだろうと期待した。この電流分布を画像化する上で便利な方法は、従来の法線成分の計測ではなく、接線成分計測であることを考えついた。これは、電流の直上では接線成分が最大となるため、接線成分の磁場分布がそのまま電流分布を投射したのものとして対応付けすることができるからである。

4.2 臨床機の設置

心臓疾患検査の有効性を検証するためには、臨床との共同研究が重要であった。共同研究への理解を示していただけたのが、現在は定年退官されている筑波大学臨床医学系循環器外科の三井教授であった。千葉ニュータウンから筑波大学へは、さほど遠くなく利根川を渡って車で資材の運搬や、メンテナンスをしに行くといった具合であった。もっとも大きな課題であったのは、生体磁気計測につきものの磁気シールドをどのようにするかである。当時としては、超伝導センサ研究所に設置した高性能の磁気シールドがあるが、これは、磁場環境レベルをどこまで減少できるか、極限性能を求めたものであるため、計測装置より高価なものでしかもかなり大きなものであった。しかし、世の中に普及するためには、これと逆の方向で、どこまで簡易で小さなものが使えるかが課題となった。臨床応用のためには、さらに患者さんへ精神的苦痛を与えない空間が必要であった。これらのことから、まったく新規に磁気シールドを設計することから始まった。心磁計測のための部屋を提供していただいた部屋は確か3×6平方m位の部屋であり、生体磁気計測の部屋としては、間違いなく当時もっとも小さい部屋であった。磁気シールド材料であるパーマロイを製造していたメーカーに協力を求め、磁気シールドの設計をおこない部屋に収まるものを開発した。心磁計自体も初めて臨床用として開発したもので、より簡単な構成とするため、ベッドなどはMRI検査室に持っていけるストレーチャーを改造したものであった。また、従来は生体とセンサアレイの位置きめするための調整機構は、センサアレイが内蔵された液体ヘリウム容器であるデュワを保持する機構であるガントリにつけられていた。このため、ガントリの構造は複雑で耐振動性から、堅固なものであり、それをささえるために磁気シールドルームのフレームはかなりしっかりしたものが必要とされた。この問題を解決するため、ガントリには単にデュワを支える構造をもたせ、生体との位置合わせ機構はベッドの方にもたせることにした。もともとストレーチャーには高さ調整機能があるので、あとは水平方法に移動させる機構をつけるだけでよかった。これにより、磁気シールドルームは単に簡単な箱構造とすることができ、コンパクトで軽量なものを実現することができた(図3)。

4.3 心磁計の臨床応用のスタート

ようやく装置が設置できたので、システムの基本特性を評価することから始まった。環境雑音はやはり臨床の現場ということで大きなものであったが、磁気シールドの特性と心磁計の薄膜微分検

出コイルにより、きれいな心磁波形を計測することができた。システムでは、いろいろなものが複合化するので、個々の特性が実験室レベルでは得られても現場ではその全体の特性を予想することは難しい。いざ設置したのはよいものの信号が得られなかったらどうしようとかかなり不安な時期があったが、計測がまちがいでなくできることを確認できた時は非常にうれしかった。しかし、その感激に浸っている暇もなく、次の課題としていったいなにを解析すれば、心磁図の有効性が分かるのであろうかに突き当たった。臨床は磁気からなにが分かるのかがイメージを付けにくく、工学サイドではその心臓病のなにが分かれば診断として有効なのかお互いの言葉を理解するのに時間を要した。はじめたころは、心電図検査では困難な右脚ブロックでの右室負荷の評価や心臓外科手術による心筋回復などの評価を行っていた。このほかにも様々な臨床例を積み上げ、多くの臨床データの解析を行っていくにつれ、ようやく心磁図というものがどのようなものかお互いに理解できるようになってきた。しかし、残念なことに超伝導センサ研究所のプロジェクトは1990年から1996年の6年間の研究期間であり、臨床評価は終わりの2年間だけだったので、筑波における臨床評価を一旦終了させる必要があった。その後を引き継ぎ、臨床応用機器として本格的に開発することを、私が戻った日立で行うことになった。

その後の開発は次回から述べる。今回話した接線成分を計測する心磁計は、その後韓国の国立研究所 KRISS(Korea Research Institute of Standard and Science)も製作し、Seoul の Yonsei 大学病院で臨床評価を最近行っている。このように、現在でも広がりを見せていることは興味あることである。



図3 心磁計と磁気シールドルーム

参考文献

- 1) K. Tsukada, et al., Review of Scientific Instruments, Vol. 66, pp. 5085-5091 (1995)

読者の広場

Q&A

Q : 最近、どのような新しい超電導物質が話題になっているのでしょうか？

A : 2001年に発表された MgB_2 以来、実用材料化の対象になるような新超電導物質は見つかっていませんが、ここ数年間は多様な物質で超電導が確認されており、静かな新超電導体ブームに入っていると見えるようです。以下には、この1~2年間に発見された超電導物質のうち、 T_c が比較的高いものや結晶構造的に興味深いものを紹介します。

ダイヤモンドは本来絶縁体ですが、ロシアの Ekimov らは2004年に高圧を利用したホウ素ドーブによってダイヤモンドが金属化し T_c が4 Kの超電導体になることを発見しました。続いて物質材料研究機構の高野らによってB濃度を高めたダイヤモンド薄膜の T_c が11.4 Kに達したことが報告され、さらに最近、組成の最適化によって室温級の T_c に至るとの理論的な予測が出されるなど、久々の注目株になっています。

MgB_2 が発見される以前から、グラファイトの面間に金属イオンをインターカレートさせて超電導を発現させようという試みはいくつもありましたが、アルカリ金属およびK-Hg系でしか成功例はなく、 T_c は最高でも5 Kでした。イギリスの Wallen らは温度が低いLi-Caフラックスを用いることによって CaC_6 の合成に初めて成功し、グラファイト系最高の11.5 Kという高い T_c を実現しました。同様の方法で YbC_6 ($T_c=6.5$ K) や層間距離の長い $Li_3Ca_2C_6$ (Emery ら, $T_c=11.15$ K) も合成されており、今後の T_c の向上が期待されます。

$Na_x(H_2O)_yCoO_2$ の超電導 ($T_c = 5$ K, 2003) は層間に水がインターカレートした初めての超電導体として記憶に新しいですが、最近、東大・高木研の片山らによって、 $Na_x(H_2O)_y(SbS)_{1+}(TaS_2)_2$ においても、 $T_c=3.5$ Kの超電導が発現することが報告されました。

また、青学大・秋光研の川島らは、1968年に合成されて以来物性測定がなされてこなかった W_7Re_3B に着目して物質探索を行い、 $W_7Re_{13}B$ ($T_c=8.3$ K), $W_7Re_{13}C$ (8.1 K), $Mo_7Re_{13}B$ (7.1 K), $Mo_7Re_{13}C$ (7.3 K) の超電導を発見しました。

$LaRuAs_4$ ($T_c=10.3$ K) に代表される充填スクッテルダイトは $LnMX_4$ ($Ln=Y, La-Lu, M=Fe, Ru, Os, X=P, As, Sb$) の組成式で表される化合物群ですが、室蘭工業大の城谷らは4 GPaの高圧下において $La_xRh_4P_{12}$ の合成に成功し、これが17 Kという金属リン化合物最高の T_c を示すことを発見しました。

今回報告できたのは非酸化物超電導体が中心ですが、酸化物でもパイロクロア化合物 $A_2B_2O_7$ や頂点酸素が無く形式価数上Cuが2価でノンドープであるT'構造銅酸化物 $(LaLn)_2CuO_4$ においてそれぞれ超電導物質群が発見されています。物質設計の概念や合成手法がどんどん広がる最近の動向を見ると、今後も新超電導物質が続々と誕生しそうです。

回答者：東京大学

桂 ゆかり、下山 淳一

[超電導 Web21 トップページ](#)