

掲載内容 (サマリー):

特集: 冷凍・冷熱技術の進展

大型スター型パルス管冷凍機の進展
磁気冷凍用磁性体技術の進展
水素エネルギーにおける液体水素システム技術の展望
室温磁気冷凍機の開発
超電導関連製品ガイド - 小型冷凍機 -

超電導関連 6月-7月の催し物案内

新聞ヘッドライン (4/20-5/18)

標準化活動 - IEC、超電導関連規格1件を改正・発行 -

未踏科学協会・超伝導科学技術研究会

第33回シンポジウム「二十歳を迎えた高温超伝導」報告

MRS2007 Spring Meeting 報告

隔月連載記事 - 超電導送電事始 (その3)

読者の広場(Q&A) - イットリウム (Y) 系高温超電導線で、最近 Gd (ガドリウム) BCO 線が話題になっていますが、これまでの YBCO 線と比較してどのようなところが優れ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。

<http://ringring.keirin.go.jp>



特集：冷凍・冷熱技術の進展 「大型スターリング型パルス管冷凍機の進展」

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
大橋義正

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。この冷凍機は、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、磨耗部位がなく、ガス汚染の要因が少ないことから、今までの同種の冷凍機にない高い信頼性が期待されている。アイシン精機株式会社では、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 時間以上の耐久性性能を確認済みであり、スターリング型パルス管冷凍機は本質的に長寿命という特徴がある。

アイシン精機株式会社では、2004 年度より中部電力株式会社殿と共同で、SMES(超電導電力貯蔵システム)用の冷却装置として、大型スターリング型パルス管を開発してきた。2006 年度までに、評価機の製作が完了し、本年度より、耐久試験および SMES システムと連携した実証試験を実施していく予定となっている。本冷凍機の特徴として、パルス管および蓄冷器を 2 本ずつ使用したことが挙げられる。このことは、大型化に伴い、パルス管および蓄冷器内の作動ガス(ヘリウム)の流れが乱れることを防ぎ、均一化を図ることに貢献している。さらに低温での効率向上のために、蓄冷器の改良を行い、蓄冷器内の作動ガスの整流化を図った。この整流化による性能向上は、蓄冷器内に充填される蓄冷材の充填方法の見直しを行うことにより実現した。

これらの改良により、蓄冷器内の損失の低減を図り、到達温度 40K 以下を達成した。冷凍機の効率向上を果たすことにより、消費電力も低減することができた。また、到達温度を下げることにより、77K 以下での大幅な性能向上をはたしている。実験室レベルにおいて以下の性能を達成している。

- ・消費電力 約 6kW (3 200V)
- ・冷凍出力 77K300W
- ・到達温度 約 38K

今後は、大型スターリング型パルス管冷凍機の耐久性性能の確認を進めるとともに、ユーザーに満足される冷凍機を目指し、消費電力の低減、各部のブラッシュアップを図っていく予定である。

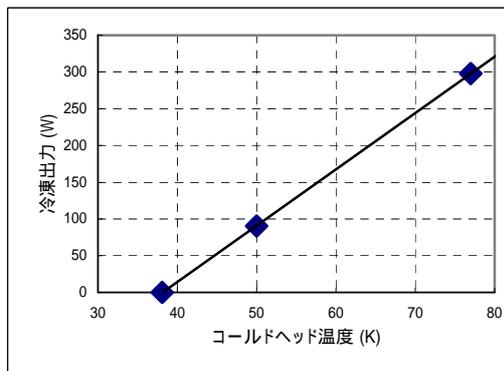


図 1 冷凍出力線図



図 2 スターリング型パルス管冷凍

特集：冷凍・冷熱技術の進展 「磁気冷凍用磁性体技術の進展」

千葉大学大学院
工学研究科
中込秀樹

超低温を生成するための断熱消磁法を、より高い実用的な温度レベルに適用しようという磁気冷凍法の研究は米国から始まり、我国でも1979年頃より1987年頃まで実施された。図1はヘリウム液化用のピストン駆動方式の磁気冷凍機である。カルノー型磁気冷凍機は磁性体に磁場を印加して発生した熱を高温側の熱スイッチを介して逃がす(図2)。その後熱スイッチを切った状態で消磁して磁性体の温度を下げる。液体ヘリウム温度近くで低温側の熱スイッチが入って、冷凍を行う。図1の冷凍機ではピストン中の磁性体を磁場内外に交互に移動させることにより動作させる。



図1 駆動方式磁気冷凍機

最近になって、常温域や液体水素温度用の磁気冷凍機が新たに開発されつつある。それはこの20年の間に磁性体、超電導磁石、永久磁石等の主要コンポーネントの性能が大きく向上してきたためと考えられる。

常温域では冷蔵庫やクーラーの実用化を目指してAMR方式(Active Magnetic Regenerator, 能動蓄冷方式)が取り入れられている。この方式は蓄冷材と磁性材の両方の役割を持たすことにより、永久磁石のつくる1テスラ程度の磁場で20K以上の大きな高低温度差を実現できている。今後ランタン・鉄・シリコン系の1テスラ以下で大きなエントロピー変化が望める磁性材料の適用によりさらなる性能向上が期待される。

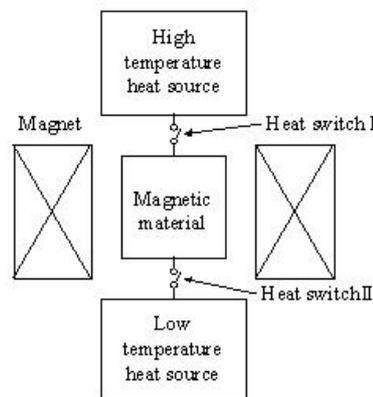


図2 カルノー型磁気冷凍機の原理図

水素液化用にもカルノー型とAMR型を組み合わせた方式を開発中である。水素を液化するカルノー型の部分に関しては50%カルノー以上の効率を確認済みであり、今後AMR型により動作温度スパンの拡大を目指していく。

伝導冷却方式の超電導磁石により高磁場が簡便に使えるようになったこと、1テスラレベルの高磁場永久磁石の実用化、ランタン・鉄・シリコン系などの磁性体の高性能化、などにより今後磁気冷凍法に大きな技術的進展が見込まれる可能性が出てきた。

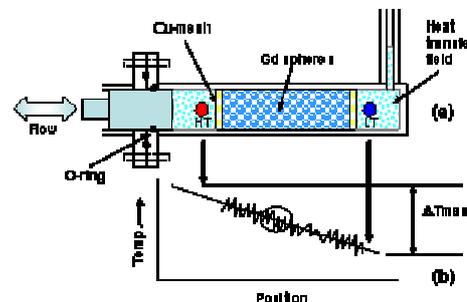


図3 AMR型磁気冷凍機

参考出典

- 橋本魏洲:磁気冷凍と磁性材料の応用,工業調査会(1987).
- 沼澤健則:まぐね, Vol.1, No.7, 316(2006).
- 斉藤明子, 小林忠彦, 辻秀之:まぐね, Vol.1, No.7, 308(2006).
- 中込秀樹:まぐね, Vol.1, No.11, 541(2006).

特集：冷凍・冷熱技術の進展 「水素エネルギーにおける液体水素システム技術の展望」

川崎重工業株式会社
技術研究所 化学技術研究部
神谷祥二

先の IPCC(気候変動に関する政府間パネル)で、CO₂ 増加による温暖化が進み、環境破壊が顕在化し、その対策として省エネルギー対策の徹底、新エネルギー導入拡大の提言がなされた。このような状況の中で水素エネルギー社会実現に向けた関連技術の開発及び規制緩和が国内外で推進されている。本格的な水素導入時期は 2020 年頃とされるが、水素利用機器（水素自動車、定置式燃料電池等）の低コスト化と共に、水素源から利用系までの CO₂ ガス排出量（Well-to-Tank）と水素供給コストを最小化する高効率の水素エネルギーパスの構築が必要とされる。図 1 は水素源から利用系までの各エネルギーパスを示す。エネルギーパスの評価は水素利用形態、水素供給量、輸送距離、及び地域性等にも影響され現在論議されている段階であるが、水素源の多様化は水素エネルギーの特徴でもある。また水素源は化石エネルギーから徐々に再生可能エネルギーに移行していく。

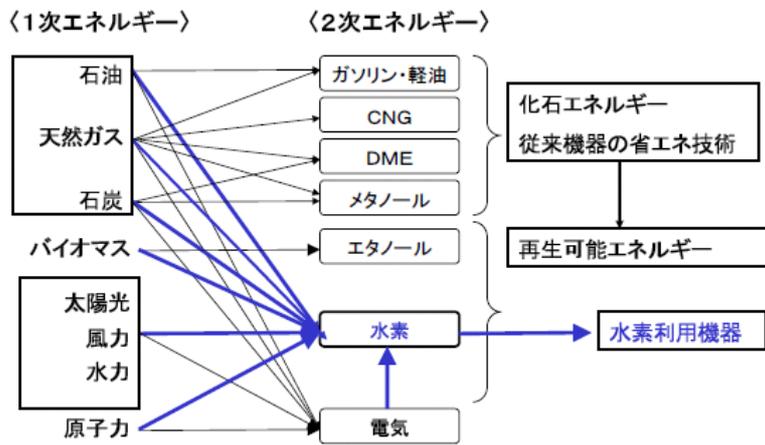


図 1 水素エネルギーパス

液体水素が他水素媒体と競合しながら水素エネルギーパスにどのように導入されていくか、その導入予想は検討すべき要因が多岐にわたり難しい。ロケット燃料等の特定分野で使用されてきた液体水素は、体積が常温・常圧の水素ガスの約 1/800 で、高压ガス、吸蔵合金等の他水素媒体より重量効率（水素重量/システム重量）が高い。現在、水素源と水素供給形態が異なる水素自動車用ステーションが国内外で実証されているが、液体水素ステーションもその一つで、国内で一箇所、海外では数箇所稼働している。図 2 に水素自動車までの液体水素供給フローを示す。将来は、水素貯蔵量 5kg を必要とす

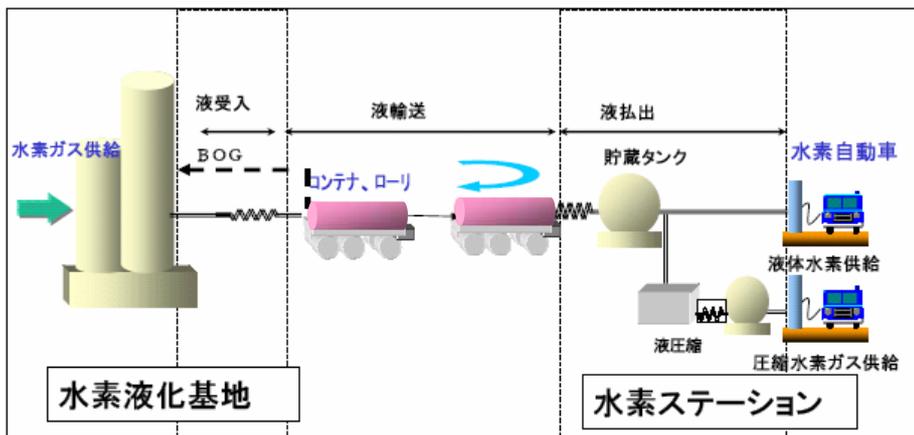


図 2 水素自動車までの液体水素供給フロー

る水素自動車から船舶（例 600TUE クラス、水素貯蔵量 1,000ton、航空機（例エアバス 310 クラス、水素貯蔵量 15.6ton）等の大型輸送機器に拡大することが予想される。こうなると大量の水素輸送貯蔵に適した液体水素のメリットが高まる。しかし水素保有エネルギー（高位発熱量）の約 30% を占める液化動力ロス、及び蒸発・移送ロス等の問題があり、ロス低減に向けた液化機等のシステム構成機器の高性能化と利用系を含めた総合的な検討が必要となる。また水素供給コストを現在コストの約 1/3 の 40 円/Nm³（ガソリン熱量相当のコスト）に下げることが水素エネルギー市場自立に必要な条件の一つとされ、低コストを達成するための技術課題を分析することも重要である。液体水素システムを社会に大規模に導入して行くうえで、液体水素と同じ可燃性液化ガスである LNG（液化天然ガス）の技術進展と商業化の経緯も今後の参考となろう。

最近、液体水素を超電導ケーブルの冷媒に適用する研究が国内外で進んでいる。この電力輸送と水素エネルギー輸送を兼ねる技術は、省エネルギー対策と新エネルギー導入を同時に可能にする技術として期待されるが、その前提となる実現性のシナリオ構築提示が重要と考える。今後、液体水素システムの開発を推進するには、利用系機器と他水素貯蔵形態等の技術動向を睨みながら「着眼大局 着手小局」(Think global Act local) 的な取り組みが望まれる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍・冷熱技術の進展 「室温磁気冷凍機の開発」

中部電力株式会社
電力技術研究所 超電導グループ
平野直樹

地球温暖化を防止するため、従来のフロンや代替フロンガスを利用した気体冷凍機に変わる冷凍機の開発が期待されている。また、エアコンや冷蔵庫といった冷凍機を用いた電気機器は、使用時間が長い省エネルギー型の機器開発が進められている。ここで、ある種の磁性体（以下磁気作業物質という）に磁界の変化を与えると、その温度が変化する現象（磁気熱量効果）を利用した磁気冷凍技術は、環境にやさしく高効率で省エネが期待できる技術であり、その実用化に向けた開発を進めている。

磁気冷凍は、気体冷凍と比べ

- ・理論効率に近い運転の実現が期待でき省エネ効果がある
- ・フロンや代替フロンを用いないため環境にやさしい
- ・コンプレッサーを用いないため静かで振動も少ない

という特徴があり、この磁気冷凍機の冷凍能力を向上させるためには、

- ・大きな磁界変化を与えること
- ・熱交換効率を向上させること
- ・熱侵入量を低減すること

が有効である。

最近、永久磁石のもつ磁界を最大限に活用できるように、その形状と配置を工夫する（磁石をV字型に配置することで磁界の反発力を高める）ことで大きな磁界変化（1.1 テスラ）を可能とした冷凍機を開発した。この装置は熱交換器の構造を最適化し（水の流れる管の長さを短くし）熱交換流体の流速を従来の3倍以上に高めるとともに、永久磁石が回転する際にシステム外筒部（鉄ヨーク）に発生する渦電流による発熱を、磁気回路の構造の最適化（外筒部を輪切りにして絶縁体を挟み込むこと）により低減し、熱侵入量を抑える構造となっている。これらにより、平成15年度に達成した冷凍能力60Wのおよそ10倍となる540Wの世界最高性能を達成した。

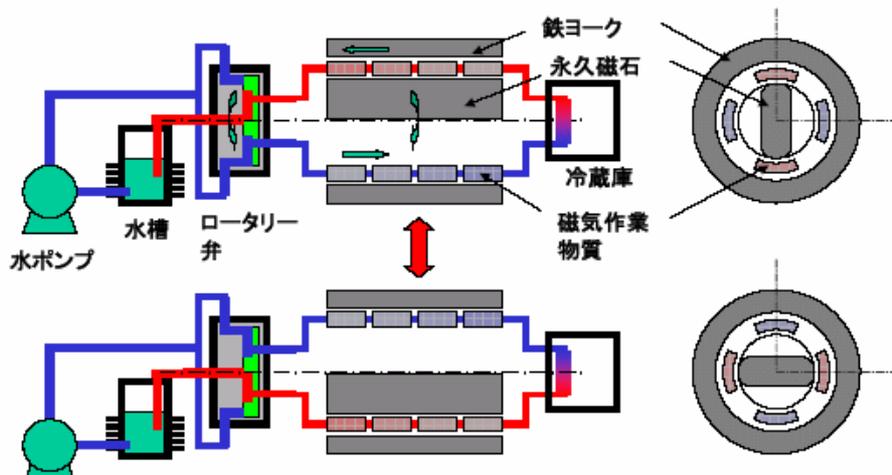
また、消費電力をおさえ、効率の高いシステムを実現するため、効率よく熱交換するために循環する熱交換媒体の流し方を工夫し、圧力損失を下げることで水ポンプの動力を抑え、加えて永久磁石の回転による磁気抵抗力の軽減を図ることで、モータの動力も低減した。これらにより、磁気冷凍システムとして世界最高となる成績係数（COP）1.8を達成している。

室温磁気冷凍システムの緒元比較

	開発システム	従来システム
磁界発生源	永久磁石	永久磁石
磁界の強さ	1.1 テスラ	0.77 テスラ
磁気作業物質	ガドリニウム	ガドリニウム系合金
熱交換媒体	水+アルコール	水+アルコール
運転周期	2.4 秒	2.4 秒
冷凍能力	540W	60W
成績係数	1.8	0.1
本体部寸法	H410mm x W400mm x D390mm	H270mm x W270mm x D430mm

今後は、磁気冷凍技術を用いたエアコンや冷蔵庫などの早期実用化をめざし、高い磁気熱量効果を持つ材料の安定製造技術の開発や、さらにコンパクトでより高効率な装置の開発を進める計画である。

磁気冷凍システム構成と動作フロー



室温磁気冷凍システムの外観



なお、本開発は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から受託して進めている地球温暖化防止新技術開発プログラムの国家プロジェクト「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」の一環として進めているものであり、国立大学法人東京工業大学大学院総合理工学研究科、北海道大学大学院工学研究科、九州大学大学院理学研究院物理学部門との共同で産官学が連携して行っている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

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 エネルギー企画部 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:0566-24-8865

Fax:0566-24-8859

担当：内藤

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:042-585-6791

Fax:042-583-5244

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 エネルギー企画部 真空・低温グループ

- パルス管冷凍機

- GM 冷凍機

Tel:0566-24-8865

Fax:0566-24-8859

担当：内藤

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

- 4 K パルスチューブ冷凍機

- GM-JT 冷凍機

- クライオポンプ

Tel:03-5488-8406

Fax:03-5488-8302

e-mail:cryo@shi.co.jp

担当：生田

大陽日酸株式会社 ガス事業本部 営業開発事業部 超低温分野

Tel: 03-5788-8610

Fax:03-5788-8709

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 ガス事業本部 営業開発事業部 超低温分野

Tel:03-5788-8610

Fax:03-5788-8709

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 ガス事業本部 営業開発事業部 超低温分野

Tel: 03-5788-8610

Fax:03-5788-8709

(編集局 田中靖三)

超電導関連 6月 - 7月の催し物案内

6/10-14

ISEC: International Superconductivity Electronics Conference
場所: Washington, DC, USA
問合せ: <http://www.isec07.org/>

6/21

第19回超電導電力貯蔵研究発表会
場所: 東海大学校友会館、千代田区 霞ヶ関ビル 33階
主催: 超電導エネルギー貯蔵研究会 会長 上之園博
問合せ: 超電導エネルギー貯蔵研究会 筑波研究コンソーシアム内
Tel: 029-847-5366、Fax: 029-847-5120、e-mail: rasmes@trc-net.co.jp

6/22

第35回研究会「超伝導高周波現象の基礎と応用研究の最前線」
場所: 超電導工学研究所、大講堂、江東区 (地図: <http://www.istec.or.jp>)
主催: 応用物理学会超伝導分科会
問合せ: 山中一典 (富士通研)
Tel: 046-250-8362、E-mail: yamanaka.kaz-02@jp.fujitsu.com

6/25-29

2007 PAC: 22nd Particle Accelerator Conference
場所: Albuquerque, New Mexico, USA
問合せ: <http://pac07.org/index.html>

7/11-13

22nd Space Cryogenics Workshop
場所: Huntsville, Alabama USA
主催: Cryogenics Society of America, and National Aeronautics and Space Administration
問合せ: csa@cryogenicsociety.org

7/16-20

CEC-ICMC 2007: 2007 Cryogenic Engineering Conference and International Cryogenic Materials Conference
場所: Chattanooga, Tennessee, USA
問合せ: <http://www.cec-icmc.org/>

7/26

「医療分野における超電導応用展開と超電導材料技術」
場所: 上智大学 四谷キャンパス
主催: 低温工学協会 材料研究会
オルガナイザー: 高尾智明 (上智大学) 田中靖三 (ISTEC)
問合せ: 上智大学 理工学部 電子電気工学科 高尾智明
Tel: 03-3238-3327、Fax: 03-3238-3321、E-mail: takao@eco.ee.sophia.ac.jp

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (4/20-5/18)

市場拡大・進む多様化 バイオマス発電 2014年、48億kW時に倍増 ゴミ発電量の拡充も 立地、全国で活発化 4/23 日刊工業新聞

医療モジュールを共同企画 三井ホームと三井リース MRIやCT共用 4/23 日経産業新聞

変電設備 過電流を抑制し保護 東京電機大開発にメド 超電導技術を応用 4/23 電気新聞

瞬低補償装置を開発 電子関係のニーズ汲む ニチコン 4/24 日刊工業新聞

交流は“両替しやすい電気” 便利さの陰に周波数の安定 4/24 電気新聞

太陽光連系を詳細解析 四国総研 シミュレーター開発 4/24 電気新聞

南方機車 年内に「時速300キロ」 高速鉄道の“中国化”進む 4/24 フジサンケイビジネスアイ

高温冷却で性能発揮 リニアへの活用も視野 金属系超電導磁石システム JR東海、日立が開発 4/24 フジサンケイビジネスアイ

07年度事業計画 超電導線の国際標準化を検討へ 4/25 電気新聞

日東電工 医薬品事業 生きる「粘着技」 張り薬、米で近く後発品 DDSでも強み 4/26 日経産業新聞

半導体進化論 イノベーター列伝 田中昭二 超LSIへの道6 官民共同研究で成果 微細加工技術の基礎築く 米、日本モデルに技術標準化を徹底 4/26 日経産業新聞

NEDO 風力の普及拡大へ カギは蓄電池の開発 コスト低減 出力平滑化 研究受託企業を選定 実践モード 4/26 電気新聞

エネ庁 電磁界対策 電力貯蔵設備 規制検討で2WG 4/26 電気新聞、朝日新聞

ノリタケ、太陽電池関連参入 シルコン再生溶解炉 半導体の端材「多結晶」化 4/27 日経産業新聞

多結晶シリコン 太陽電池半導体用 国内3年連続、15-20%上昇 4/27 日経産業新聞

リニア開業2025年 JR東海目標 首都圏 - 中京圏で 4/27 日本経済新聞、日経産業新聞、毎日新聞

ITER用マイクロ波発生装置 原子力機構が記録達成 出力1メガワット・発振効率55%超 4/30 日刊工業新聞

八戸マイクログリッド 系統から自立実験 三菱電機 10月に安定性見極め 新エネ普及へ 5/2 電気新聞

高温超電導線 住友電工が拡充 高臨界210アンペア級製造めど 5/2 日刊工業新聞

覇権めぐり機能強化 医用画像診断機器 欧米系メーカー 磁気強度倍増3テスラMRI投入 日本メーカー マルチスライスCT操作性アピール 5/2 日刊工業新聞

電磁界の健康への影響 小児白血病発生と関係? 専門機関から精確な情報を 科学的に 5/2 日刊工業新聞

超電導A/D変換器 分解能 最高クラス 国際超電導産技研・日立・横国大 半導体回路と構成 次世代通信 基地局の中核部品に 5/3 日刊工業新聞

NECと理研 量子ビット制御に成功 量子コンピューターへ前進 5/5 日刊工業新聞

高精度で広領域 MRI 軽量RFコイル開発 東芝メディカル 5/5 日刊工業新聞

EU化学物質新規制 「REACH(リーチ)」に戦々恐々 1物質登録に1億円も「先手必勝」狙う米欧勢 日本化学各社戸惑う 5/6 日経産業新聞

系統ゼナール「どこでも同じ」に保つ周波数 需要と供給 バランスが決め手 5/8 電気新聞

21世紀の気鋭 ダイヤモンドが超電導に 高温解明にも応用期待 5/10 日経産業新聞

西洋古典絵画の絵の具 テラヘルツ波で識別 情通機構など 贋作発見に一役 5/10 日経産業新聞

待ったなし温暖化対策 日本主導で世界に新技術 食い違う CO₂ 削減計画 5/10 日刊工業新聞

低電圧でも高出力 電動スクーター用モーター ネオジウム磁石利用 5/10 日刊工業新聞

水銀が絶縁体になる転移現象「ゆらぎ」を初観測 京大など 5/11 日刊工業新聞

地下の金属鉱脈 超電導で検出 JOGMEC が装置 試掘コストを削減 5/18 日経産業新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

【標準化情報】

- IEC、超電導関連規格 1 件を改正・発行 -

IEC、International Electrotechnical Commission/国際電気標準会議は、現行の超電導関連規格 14 件について順次メンテナンスを実施しており、2007 年 4 月 24 日に次の 1 件を改正・発行した。この改正・発行によって、現行の超電導関連 IEC 規格は 6 件改正されたことになる。

IEC 61788-4-Ed. 2.0: 2007-4 Superconductivity - Part 4: Residual resistance ratio measurement
- Residual resistance ratio of Nb-Ti composite superconductors*

*: Maintenance result date on 2011

この規格は、2004 年米国アルゴンヌにて開催された第 9 回 IEC/TC90 (超電導) 国際会議から実質的なメンテナンスが開始され、2006 年京都にて開催された第 10 回 IEC/TC90 国際会議において、投票用委員会原案、CDV、が審議され、次の技術的内容及び編集上の誤りを再確認し、最終国際規格案、FDIS、段階へ移行することが承認された。

特に、2006 年の京都会議では、IEC/TC90 関連 IEC 規格に"uncertainty"をはじめて導入することが決議され、CDV 段階にあった本件が、適用第 1 号に選定された。したがって、本件以降の IEC/TC90 関連 IEC 規格には、すべてに"uncertainty"が適用される。

主要な改正内容は、次の通りである。

規格本体中の数量で示される"accuracy (正確度)"をすべて"uncertainty (不確かさ)"に改正。

"uncertainty"に係わる理解を深めるための新規附属書追加

図 1 における温度 - 電圧の関係を、温度 - 抵抗の関係に変更・改正。

(編集局)

未踏科学協会・超伝導科学技術研究会

第 33 回シンポジウム「二十歳を迎えた高温超伝導」報告

住友電気工業株式会社
電力・エネルギー研究所
佐藤謙一

4月17日、虎ノ門パストラルにおいて、(社)未踏科学技術協会・超伝導科学技術研究会、(独)物質・材料研究機構 超伝導材料センターの主催で、第33回シンポジウム「二十歳を迎えた高温超伝導」が開催された。米国、中国からの招待者も含め、7件の講演と超伝導科学技術賞の授賞式が執り行なわれた。1986年の高温超電導発見後、20年を経て、人間で言えば一人前となって自立をすべき年となっており、現在の高温超電導の研究開発の現状を俯瞰し、種々の問題点を抽出して将来を展望することを目的としている。

超伝導科学技術研究会・太刀川会長の挨拶後、米国の A.P. Malozemoff(AMSC)、中国の P.-X. Zhang(Northwest Institute for Nonferrous Metal Research) からそれぞれ講演が行われた。米国での 2G 線材の現状は 70\$/m(103 円/Am)から、2008 末には 20\$/m へと低下を望んでいる。応用としては、ビスマス系線材を用いた、電流リード、8-12MVAR のコンデンサーの紹介があり、今後 30K 冷却の 36.5MW モータの負荷試験が行われる予定である。2G 線材の応用には、限流器があり、13kV/2.25MVA の単相コイル(無誘導巻き)がデモされている。中国では、BSCCO、2G、MgB₂、ITER がらみで NbTi、Nb₃Sn の線材化が進行し、応用もケーブル、限流器、変圧器、SMES、フィルターと幅広く取り組んでいる。

理化学研究所・花栗は角度分解光電子分光法(ARPES)、走査型トンネル分光法(STS)の組合せにより、高温超電導発現機構の理解が一段と進んだことを報告し、九大・木須は、パーコレーションモデルによる巨視的な通電特性の解析と局所的な電磁特性計測を組み合わせることにより、臨界電流制限因子の解明とプロセス改善に役立つことを報告した。この二つの例は、異なる手法の組合せにより、今まで解明できなかった現象がより正確に究明でき、今後の性能向上や新物質探索に効果あることを示している。

住友電工・佐藤は、最近の Bi-2223 超電導線の 210A 臨界電流達成と 1,800m 長尺化の進展、Albany での 350m 長・三心一括型ケーブルの九ヶ月の安定運転、8.1T/200mm ポアの高磁場マグネットなど、応用開発の現状と今後の直流ケーブルへの展開の必要性を紹介した。SRL・塩原は、日本における 2G 線材の 200A/200m の達成と BaZrO₃ ナノロッド添加や Gd 等の RE 元素の利用による磁場特性の向上、機器応用へ向けての要素技術開発の成果である線材の分割化や小コイル作成、モータ、限流器について紹介した。九大・円福は、高温超電導 SQUID が、既に製品化され材料検査に用いられ、心磁計、非破壊検査、資源などの磁気探査用に、フィールド試験されている現状を紹介した。

このように高温超電導の最近の進展は目覚しく、今後の人類には不可欠の技術となってきている。今回のシンポジウムで超伝導科学技術賞を授賞された方々には心からのお祝いを捧げるとともに、ますますの御活躍を祈念したい。最後に木村・未踏科学技術協会理事長の閉会の挨拶があり、盛会のうちに終了した。

[超電導 Web21 トップページ](#)

MRS2007 Spring Meeting 報告

春の Materials Research Society (MRS) が 4/9 (月) - 13 (金) の日程で、例年通り、米国カリフォルニア州サンフランシスコで開催された。企業展示 110、シンポジウム総数 36 が開催された今回の学会では超電導のシンポジウムは "Progress in High-Temperature Superconductors" と題して 4/10 - 12 の 3 日間開催され、14 のセッションに区切って口頭発表 56 件、ポスター発表 20 件が行われた。

今回開催されたセッションの中では、応用基盤プロジェクトに特に関連の強いセッションとしては、MOD、線材プロセス、ピンニング、AC ロスが挙げられるが、本報告では、それらのうち特筆すべき発表が行われた線材プロセスとピンニングの 2 セッションの主な内容を紹介したい。

線材プロセスのセッションでは、米国 SuperPower 社により I_c : 173A - 595m 長、 $I_c \times L$ 値にして 102,935Am と、世界で初めての 10 万を超える $I_c \times L$ 値を有する線材の作製に成功したとの報告がなされた。今年 1 月に同社によるニュースリリースとともに米国学会で発表されていたが、今回、国際学会での初の報告となった。また、ユニークな長尺プロセスとして、Ni 単結晶上に Cu, Ni-W を配向成膜、Cu の部分を溶かして配向 Ni-W テープを得ると言うプロセスが米国ロードアイランド州、ブラウン大学のグループから報告された。

ピンニングのセッションでは、多種多様なプロセスと材料を用いての特性向上が図られていたが、超電導体内に導入する材料としては BZO が非常に良いとの報告が主流であった。ただし、 Y_2O_3 の方がより有効な場合もあるとの報告が日本の京大を含む複数のグループから報告された。また、プロセスとしては PLD が圧倒的であったが、ドイツの IFW-Dresden のグループにより 10~20nm サイズの $HfBaO_3$ 粒子を MOD 法により導入することに成功したとの報告もあった。バルセロナグループによる MOD-BZO 導入法と共に、今後の研究成果に注目したい。

全体として、超電導セッションの発表件数は減少傾向にあるようで、米国外からの参加が少なく、世界的に超電導の研究ベクトルが応用に向かい続ける中で、MRS という材料全般の学会と方向性にズレが出てきているようにも感じられた。

(SRL/ISTEC 線材研究開発部 吉積正晃)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導送電事始（その3）

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

3. 「引いても駄目なら押してみな」発想の転換

超電導ケーブルと従来ケーブルとの最大の相違点は、超電導ケーブルが液体窒素の環境下（約 -200℃）で使用されることにある。これは、常温において気体である媒体を液状で使用するという状態変化、ならびに -200℃ という温度そのもの、あるいは温度変化が及ぼす各種性能への影響が、従来ケーブルには無い検討課題である。

これらの課題は、超電導ケーブルの開発当初より、低温ケーブル固有の問題点として取り上げられ、液体窒素下での絶縁特性、常温～-200℃間の温度変化に伴う熱挙動対策、超電導線材や絶縁体の熱機械的長期信頼性（劣化特性）、断熱性能、等が検討されており、特に絶縁特性や長期性能は超電導線材やケーブルの各種設計に関わることから、これまでに多くのデータが蓄積されてきている。

一方、住友電工が長尺製造を実現したビスマス系超電導線材、ならびに米国での世界初の地中送電線路となった3心一括型超電導ケーブルの開発においても、超電導線材の高性能化（品質向上、性能安定化）、超電導ケーブルの熱収縮対策を実現する新技術などが適用されている。ここでの新技術においては、新たな試みや発想の転換が適用されており、その一例として、「ビスマス線材の加圧焼成技術」、「3心一括型超電導ケーブルの3心弛み構造」を取り上げ紹介する。

3.1 ビスマス線材加圧焼成技術（DI-BSCCO®）

住友電工では約20年前から第1世代高温超電導線とも呼ばれるビスマス系超電導線（ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ）の開発、実用化を進めており、そのビスマス系超電導線（以下Bi線）の「臨界温度（ T_c ）」と「臨界電流（ I_c ）×線材長（L）」を高性能化の変遷として図1に示す。「臨界温度×線材長」の指標は、高温超電導線材が長尺で安定して供給する使命を有し、この指標が超電導線材および超電導応用機器の実用化展開に大きく関係することから重要視されている。また、ここで特筆すべき事項は、性能を大幅に向上させ、世界最長レ

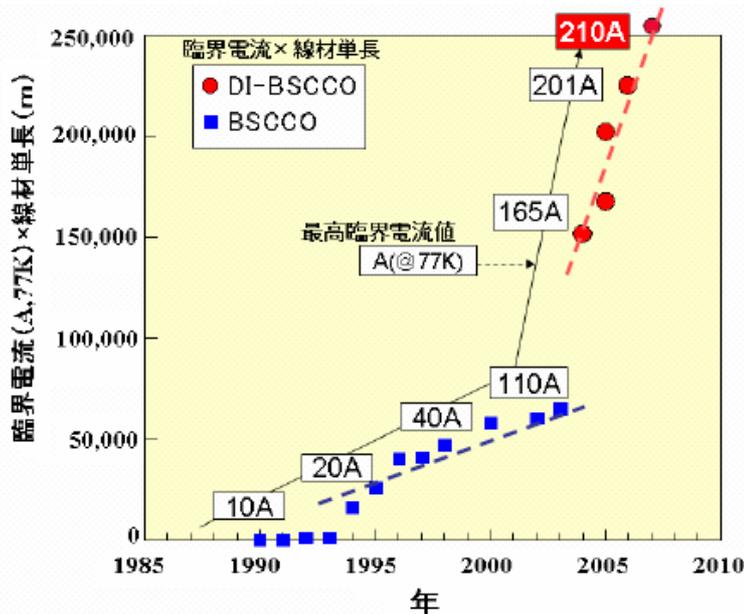


図1 ビスマス高温超電導線の性能の変遷

ベルの高性能高温超電導線を商用ベースで供給することを実現した「加圧焼成技術の適用」であり、この革新的ビスマス系超電導線を DI-BSCCO® (Dynamically-Innovative BSCCO) と称している。

それまでの Bi 線は、臨界電流、強度などの性能面、生産面（歩留り）で、実用化レベルに到達するには課題が多く、特に液体窒素中での使用において温度が急上昇した際に発生する Bi 線のバルーニングが問題視されていた。バルーニングに対しては、その原因となる線材への液体窒素の侵入をブロックすることを目的とした金属テープによるハーメティック処理等、Bi 線のシーラに相当する部材や加工の検討が主であった。ここで、「超電導部の密度をほぼ 100%とする究極の状態」を実現することで、バルーニングの要因である液体窒素の超電導線材への侵入が抑制されるばかりか、臨界電流の向上、高強度化にも好結果が得られることが新しい試みとして提案された。むろん、このような技術開発および製品化においては、大型設備導入の決断、最適焼成技術（条件）の見極め等、多くの課題をクリアする必要があった事は言うまでもない。

加圧焼成技術の適用による性能向上を図 2 にまとめて示す。臨界電流が 200A を越え、機械強度、単長ともに大幅な向上が図れ、特に歩留の向上は Bi 線の低価格化に大きく寄与する。住友電工は、2007 年 4 月、臨界電流 180A の「DI-BSCCO」のサンプル供給を開始し、200A 級の市販が視野に入って来た。また、さらなる高性能への取り組みが進められている。

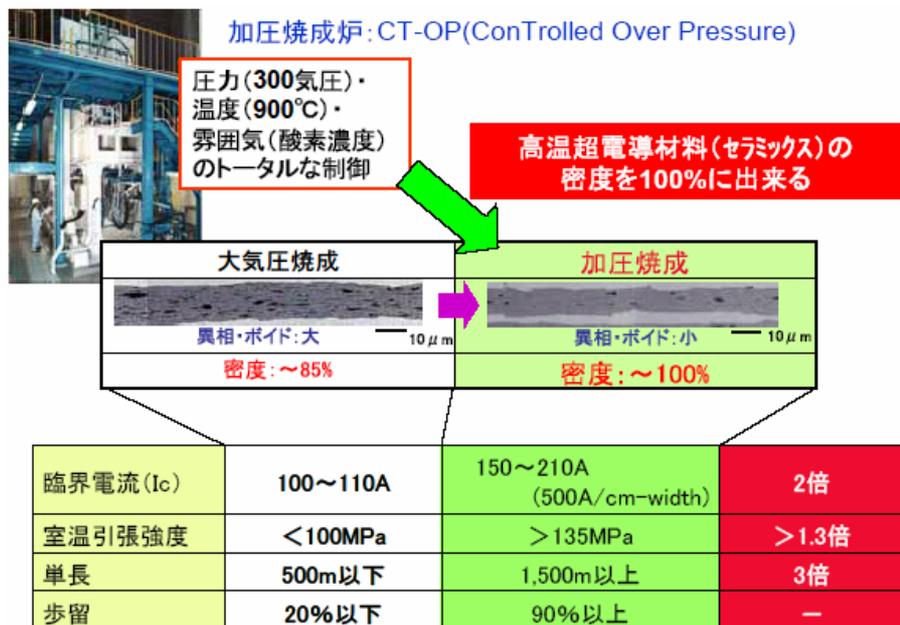


図 2 加圧焼成技術によるビスマス高温超電導線の性能向上

3.2 超電導ケーブルの冷却時収縮対策（3心弛み構造）

既存の電力ケーブルは送電により発熱し、温度が上昇し、その温度変化によってケーブルが伸縮する。そのため、地中送電線ではマンホール内において伸縮を吸収するオフセットの形成、ケーブル全長をスネーク状に布設する方式、などが採用されている。いずれも温度変化により生じる応力を利用してケーブル自身を変形させて吸収する方式である。また、ケーブルの使用最高温度は、使用する絶縁体の耐熱性能、絶縁性能で決まり、概ね 80~90 である。

一方、高温超電導ケーブルは液体窒素(-197)に冷却して使用され、使用中の温度変化は非常に小さいものの、常温~冷却時の温度差は 200 を越える。この温度差は、既存ケーブルの 3

倍に相当し、既存ケーブルと同様の布設形態においてこの温度変化に伴うケーブルの伸縮を吸収することは困難である。また、高温超電導ケーブル固有の問題として、既存ケーブルが温度上昇であるのに対し、超電導ケーブルは温度下降であること、超電導ケーブルの主構成部材である2重断熱管において、内管は液体窒素で冷却されるものの、外管は常温のまま保持されること、超電導コアに引張り張力が加わると、曲り部で断熱管にコアから側圧が加わるため、断熱性能への影響が生じること、等が挙げられる。

従来の電力ケーブルはケーブルを弛ませる必要が無く、引張った状態で製造、布設されるのが一般的であるのに対し、超電導ケーブルは冷却時の収縮を吸収させるために、これまでに例の無い「3心コア弛み構造」を適用した。すなわち、「押しでも駄目なら引いてみな」とは逆に、ケーブルコアを引張らずに(製造時に)押し込み、ケーブルコアを弛めた状態にすることでその収縮代を確保したことから、まさしく「引いて駄目なら押してみな」の試みである。この方法は東京電力殿と共同で実施した3心一括型高温超電導ケーブル実用性検証試験(2001年)に適用され、その後、韓国KEPRI向け、米国ALBANYプロジェクトの3心一括型超電導ケーブルにも採用されている。3心弛み構造への適用により、3心一括型高温超電導ケーブルはケーブル自身が熱伸縮吸収機構を有し、かつ端末およびケーブルコア、超電導線に加わる機械的応力を軽減させるとともに、断熱管の断熱性能維持にも寄与している。3心一括型高温超電導ケーブル実用性検証試験における3心弛み構造の伸縮吸収の状況は図3に示す通りであり、熱収縮対策を講じない場合の張力50kNに対し9kNと冷却時の張力を低減することが確認されている。3心コア弛み構造はケーブルのさらなるコンパクト化を指向して最適化の検討が望まれるものの、この方式が3心一括型高温超電導ケーブルの実用において有効かつ有用であると言える。

以上の通り、超電導線材の抜本的な性能向上を目指した取り組み、超電導ケーブルの従来のケーブルとは異なる(というより真逆の)発想による取り組みの事例について紹介した。これまでの経験や実績に基づく検討に加え、新たな発想や試みにより超電導線材の性能向上や、超電導応用機器の実用化技術の開発を進めることも重要である。

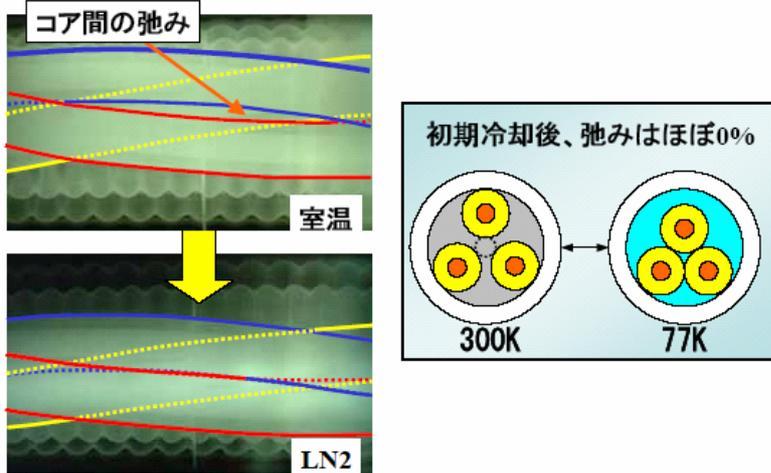


図3 3心一括型高温超電導ケーブルの3心コア弛み効果

次回は「無事、これ名馬なり」と題し、超電導ケーブルの信頼性について紹介する予定です。

読者の広場

Q&A

Q： イットリウム (Y) 系高温超電導線で、最近 Gd (ガドリウム) BCO 線が話題になっていますが、これまでの YBCO 線と比較してどのようなところが優れているのでしょうか？

A： GdBCO 線は $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO) の Y を Gd で置き換えた物質ですが、図 1 に示すように磁場中の臨界電流密度 (J_c) 特性が YBCO 線よりも優れていることが最近見出され、注目を集めています。

高い J_c 特性が得られる原因の一つとして YBCO 線よりも臨界温度 (T_c) が高いことがあげられます。YBCO 線の Y を他の希土類元素で置き換えた場合にも 90K 級の超電導体になることはよく知られておりますが、その T_c 値は一般に元素のイオン半径が大きくなる程高くなります。例えば、線材において YBCO 線の T_c は約 88~89K であるのに対し、GdBCO 線では約 91~93K と 3~4K も高くなります。図 2 に GdBCO 線及び YBCO 線における $J_c=0$ となる温度・磁場境界線 (“Irreversibility line”) を示しますが、この T_c の差の分だけ境界線が高温・高磁場側にシフトしていることがよくわかります。このように $J_c > 0$ となる磁場領域が広がった結果、例えば 77K のような比較的 T_c に近い温度領域においては、GdBCO 線の方がより高い高磁場特性を示すことになります。

さらにイオン半径の大きな元素を用いたら、より T_c が上がるため特性が上がるのではと期待される方も多いかと思いますが、Nd などのイオン半径の大きい軽希土類元素においては、 $\text{Nd}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_7$ で示される固溶体が生成されやすく、組成制御が困難なため、長尺線材プロセスには適さないと考えられます。なお、GdBCO 線でも同様の固溶体が生成しますが、固溶範囲が小さいため、問題になるほどのことはありません。

その他、GdBCO 線で優れた J_c 特性が得られる原因として、パルスレーザー蒸着 (PLD) 法を用いて超電導層を作製した時、c 軸相関ピンとなる欠陥が成膜時に自然に導入されやすいことがいわれています。¹⁾ 残念ながら、今のところ c 軸相関ピンの生成メカニズムについては良くわかっていませんが、前述のような Gd-Ba 固溶体の存在が関わっている可能性もあります。

最近、GdBCO 線 - 200m 長で end-to-end の I_c 値が 300 A を超える長尺線材が、また短尺では I_c (s.f.) > 700A、 I_c (3T) > 40 A の特性が得られてきており、GdBCO 線がますます注目を集めつつあります。また、製造速度や収率の点でも、GdBCO 線が優位であるという報告もあり²⁾、本系が今後の Y 系高温超電導線の実用化において有望な材料となることが期待されます。

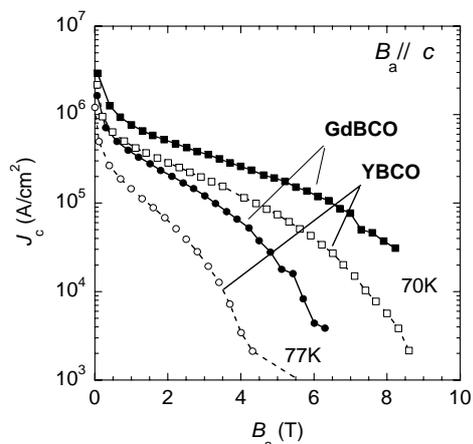


図 1 PLD 法で作製した YBCO 線及び GdBCO 線の臨界電流密度の磁場依存性

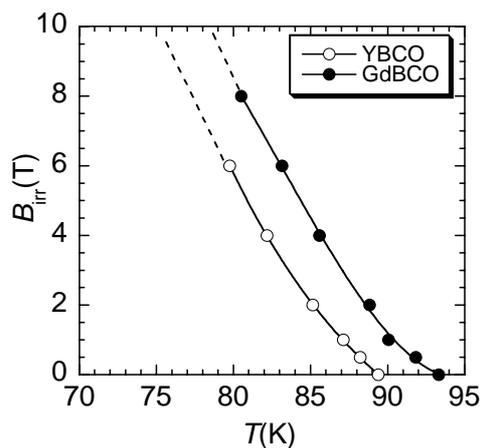


図 2 YBCO 線と GdBCO 線の Irreversibility line の比較

参考文献

- 1) K. Takahashi, *et al.*, Supercond. Sci. Technol. 18 (2005) 1118
- 2) 衣斐顕、宮田成紀、山田穰、塩原融、低温工学 42 (2007) 42

回答者： SRL 材料物性研究部 筑本知子

[超電導 Web21 トップページ](#)