超電導 Web21
Superconductivity

超電導 Web21

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒135-0062　江東区東雲 1-10-13　Tel: 03-3536-7283　Fax: 03-3536-7318
2010 年 6 月号　　2010 年 6 月 1 日発行

掲載内容（サマリー）：

トピックス：
○超電導技術動向報告会 2010 より
○「希少金属代替材料開発プロジェクト」開始にあたって

特集：冷凍・冷熱技術
○超電導電力機器の冷凍・冷却技術の進展
○スラッシュ窒素冷却システムの研究
○ヒートパイプを用いた高効率コイル伝導冷却技術の開発
○脳磁計用ヘリウム再凝縮装置
○GM 冷凍機を用いた小型水素液化装置の開発
○超電導関連製品ガイド- 小型冷凍機

○超電導関連 2010 年 6-7 月の催し物案内
○新聞ヘッドライン（4/19-5/18）
○特許情報―特開 2010-44969「テープ状酸化物超電導体及びそれに用いる基板」
○「韓国における超電導技術開発状況」報告
○隔月連載記事－超電導モータの過去・現在・未来（その 3）
○読者の広場（Q&A）－「高温超電導線材を回転機に使う場合、線材にはどのような特性が重要となるでしょう？」

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
〒135-0062　東京都江東区東雲 1-10-13
Tel (03) 3536-7283　　Fax(03) 3536-7318
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.jp

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
2010 年 6 月 1 日発行
超電導 Web21

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

トピックス：超電導技術動向報告会 2010 より

財団法人国際超電導産業技術研究センター
普及啓発部
部長　佐伯正治

塩原所長の講演風景

ISTEC は 5 月 24 日（月）東京・都市センターホテルで超電導技術動向報告会 2010 を開催した。産・学・官、報道、一般の方々を含め約 200 名の参加者があり、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。

土井良治・経済産業省産業技術環境局研究開発課長、市村知也・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）新エネルギー技術開発部長の祝辞があり、超電導は国の重要技術と位置づけており、Y 系電力機器開発プロジェクトをはじめとしたプロジェクトが順調に進行している。ISTEC はその中核研究所としての役割を果たし、ここに参集された産官学の方々の協力を得て成果達成と早期の実用化を期待しているとの激励を頂いた。

塩原 融・ISTEC/超電導工学研究所（SRL）所長は「イットリウム系超電導線材開発とその応用－環境とエネルギーへの貢献－」と題した基調講演の中で、地球環境問題の解決へ向け、NEDO 委託プロジェクト「Y 系超電導電力機器技術開発」の概要や、超電導線を使用した風車用発電機を例に、その意義と超電導技術が CO_2 の大幅削減に貢献できることを強調した。

和泉輝郎・ISTEC/SRL 線材研究開発部長は、「Y 系超電導線材の高機能化と長尺化技術開発の現状と今後」と題して、応用基盤プロジェクトでの成果をもとに、Y 系超電導電力機器技術開発での各電力機器に対応した線材の高機能化、低コスト化へ向けた開発状況と今後の課題について報告した。

物材機構　熊倉浩明氏は、「Bi 系、MgB_2 線材開発及びその応用」と題して、ビスマス系線材および MgB_2 線材について、結晶構造と特徴、線材作成方法、その応用と今後の課題について紹介した。

藤原 昇・ISTEC/SRL 電力機器研究開発部長は、「Y 系超電導電力機器（ケーブル、変圧器、SMES）の開発状況」と題して、NEDO プロジェクトで実施している SMES（電力貯蔵）、超電導ケーブル、超電導変圧器についての開発状況と今後の進め方について報告した。

東京電力　技術開発研究所 所長・原築志氏は、「Bi 系超電導ケーブル実証と今後の期待」と題して、超電導ケーブル開発の意義、ビスマス系高温超電導ケーブル実証プロジェクトの進捗状況、および実用化へ向けた今後の展開について紹介した。

日高睦夫・ISTEC/SRL デバイス研究開発部 低温デバイス開発室長は、「超電導デバイスのミックスドシグナル応用」と題して、アナログ信号とデジタル信号を同時に取り扱う AD コンバータや DA コンバータなどのミックスドシグナル回路では、より高速、より高精度が求められており、超電導回路の高速性と量子効果の有効な利用により、シンプルな構成で高性能かつ高信頼なデバイスが実現できると報告した。

九州大学　圓福敬二教授は、「HTS-SQUID（S-イノベ）」と題して、JST「戦略的イノベーション創出推進事業（S-イノベ）」プログラムの一つとして採択された「高温超伝導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」の研究内容につき紹介した。本プログラムは、産業応用が可能な高性能で高信頼性の高い SQUID システムを確立し、医療診断や再生医療のためのバイオセンシン

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

グ技術や分析・評価のための非破壊検査技術を開発することを目標としている。

中尾公一・ISTEC/SRL 材料物性バルク研究部　特別研究員は、「機器用 Y 系線材の加工・評価技術の進展」と題して、電力機器に適用される Y 系線材における交流損失低減のため、細線化加工技術の開発状況と成果、その評価技術の進捗と今後の課題につき報告した。

田辺圭一・ISTEC/SRL 副所長は、東工大　細野秀雄教授の「世界最先端プロジェクト「新超電導体とその関連機能の探索と線材応用」の概要」と題した講演を共同提案者として代行した。鉄系超電導体の発見の経緯や、その後の進捗などを説明し、本プロジェクトを物質・機能探索チームにより、物質的に広がりのある新しい高温超電導物質を探索し、それを受けて線材応用チームで評価する体制で進めることを紹介した。

九州工業大学　松下照男教授は、「地球環境問題と超電導電力機器関連国際標準化」と題して、国際標準化までの道のりを示し、近い将来の超電導電力機器の導入スタートを予想して、今から国際標準化を始めることが必要である。また、超電導は国の重要技術であり幹事国である日本が世界を主導していく必要があると訴えた。

まとめ講演として、科学技術振興機構（JST）北澤宏一理事長は、「超電導で叶える低炭素社会」と題して、歴史に残るものは、象徴的なモニュメント（法隆寺や出雲大社などの文明）であり、コストパフォーマンスや勤勉ではない。JENESIS Project や Sahara Solar Breeder Plan ほかを例に、地球規模のエネルギー問題の解決には超電導が活躍できる舞台がある。さらに、日本国内は閉塞感があり元気を失っていると言われているが、日本ほど海外収支が黒字の国はなく、日本はやる気になればできる国。世界のために生きる、後世の子孫に Monument を遺す、子孫の資源や環境の保持が、日本のこれからの進むべき道との提言をされた。

超電導各分野での研究開発における着実な成果を基に、実用化へ向けた新たな一歩を踏み出し成果も見え始めており、産学官挙げてのさらなる協力の意義と重要性を再認識できた報告会となった。

会場風景

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

トピックス：

「希少金属代替材料開発プロジェクト」開始にあたって

産業用超電導線材・機器技術研究組合
特別研究員　和泉輝郎

この度、平成 22 年 3 月 17 日付けで、産業用超電導線材・機器技術研究組合（以下、研究組合と略す）及び東北大学、早稲田大学、名古屋大学、九州大学は、「希少金属代替材料開発プロジェクト」のうち、「Nd-Fe-B 系磁石を代替する新規永久磁石及びイットリウム系複合材料の開発」（超軽量高性能モータ等向けイットリウム系複合材料の開発）事業を受託し、研究開発を開始した（終了予定日：平成 23 年 3 月 20 日）。研究組合とは、超電導技術を利用した次世代の産業機器及び線材の研究を行なうことを主たる目的として、（財）国際超電導産業技術研究センター、（株）フジクラ、昭和電線ケーブルシステム（株）により平成 21 年 9 月 24 日に設立された機関である。

上記プロジェクトでは、現在多用されているディスプロジウムを含有する永久磁石モータ部材に対して将来的に代替の可能性のある次世代モータ部材（電磁力）を実現するイットリウム系複合材料（イットリウム系超電導線材：Y 系線材と略す）を開発することを目的としている。現行の Fe-Nd-B 永久磁石には保持力を高めるために Nd の一部を Dy に置換して使用している。この Dy 及び Nd は希土類と呼ばれ希少金属の一種で地球上での存在量が少なく、産出が偏っていることから、材料戦略上、使用量低減が求められている。一方、同等の磁界を発生する電磁石を Y 系線材で作製すると希少金属である希土類元素の使用量を 1/10 程度に低減可能であり、上記の目的達成に有効であると考えられる。この Y 系超電導電磁石コイルを用いた超軽量モータを実現するためには、接続損失低減及び機械的強度向上の観点から単長が長い Y 系線材の開発が必要であり、本プロジェクトにおいては、1 km 長で 300 A/cm 幅を有した線材を作製する技術を目指した開発が行われている。ここでは、これまで 500 m 長線材開発に実績のあるパルスレーザー蒸着法及び三弗化酢酸塩有機酸塩堆積法を選択し、大型装置と共にそのプロセスの開発を行う。

加えて、これまで長尺実績はないものの原理的に希少金属使用量の更なる低減が期待できる手法を選択し、そのプロセス開発を行うと共に、Y 系線材の特徴を活かしたモータを実現するために必要な概念設計さらには線材の巻線技術等の要素技術を開発することになっている。

本プロジェクトの成功は、目的である希少金属の使用量低減に寄与するだけでなく、これまでに装置上の制限で米国に遅れを取っていた超長尺線材開発が促進されると共に、他の現行プロジェクトではカバーされていない Y 系線材を用いた回転機の開発にも着手することになり、成果が期待されるところである。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：冷凍・冷熱技術

「超電導電力機器の冷凍・冷却技術の進展」

大陽日酸株式会社
開発エンジニアリング本部　超電導プロジェクト
奈良範久

高温超電導電力機器が実用化研究の段階に入り、冷凍機の開発も実用化に向け加速している。現在、高温超電導電力機器を冷却する為に用いられる冷凍機の使用温度域は 40 K から 80 K 位で、冷凍能力は 80K で 2 kW から 10 kW だと考えられている。また、保守性やコンパクト性も重要な課題である。現在市販されている小型冷凍機は冷却能力が 80 K で 1 kW 以下であり、またその構造上摺動部を有しており、通常年 1 回程度のメンテナンスを必要としている。一方、深冷空気分離装置やヘリウム液化機等の極低温大型冷凍機では冷凍能力・耐久性に実績のある膨張タービン方式が採用されているが、高温超電導電力機器冷却用としては冷凍能力の面であまりにも過大である。そこでこの領域に適した冷凍機を開発すべく、ネオンガスを作動ガスとした膨張タービン式冷凍機が試作された。

最初の試作冷凍機はネオンガス流量 1,200 Nm^3/hr、システム圧力 2 MPa/1 MPa であった。冷凍能力は 70 K で 2 kW を達成し、冷凍効率（冷凍能力／消費電力）は 80 K で 0.05 程度であった。冷凍効率は冷凍機の性能を示す一つの指標であり、高温超電導電力機器運用の経済性に直結するので、非常に重要な数値である。この数値を可能な限り高める事が冷凍機開発の大きな目標でもある。膨張タービン式冷凍機では、膨張比 2 の近辺で冷凍効率が極大値を持っており、この知見を元に作動ガスであるネオンガスにて冷凍機のシミュレーションを行ったところ、システム圧力が 1 MPa/0.5 MPa で最大の冷凍効率を持つことが解った。

そこで、昨年、レシプロ圧縮機を改造し、更に、膨張タービンを低圧用に改良し性能試験を行った。性能試験はネオンガス流量 1,200 Nm^3/hr、システム圧力 1 MPa / 0.5 MPa で行った。その結果、冷凍能力は 65 K で 2.0 kW、80 K で 2.5 kW であった。また、膨張タービンの断熱効率は 68 %から 70 %で目標値 65 %を達成した。

しかし、試作冷凍機は無摺動な膨張タービンを使用している一方で、圧縮機は摺動部を持つ既存のレシプロ型を用いており、保守性、効率ともにまだ実用的な高温超電導電力機器冷却に供せる冷凍機となっていない。そこで、膨張タービン式冷凍機の冷凍効率向上とメンテナンスフリーを目指し、膨張タービンの高効率化と無摺動小型ターボ圧縮機の開発を進めている。圧縮機及び膨張タービン共に摺動部を有しない冷凍機は消耗部位が存在せず、メンテナンスフリーの冷凍機が実現できる。さらに、小型ターボ圧縮機の採用は既存レシプロ型やスクリュー型圧縮機を用いた冷凍機に対してその設置面積が小さくなり、高温超電導電力機器冷却用冷凍機に要求されるコンパクト性が達成される。

現在、小型ターボ圧縮機の開発は、インバータの高調波ノイズ対策、磁気軸受アセンブリ精度などの検討、詳細設計、組立を完了し、単体試験運転が窒素ガスで行われている。窒素ガスで最大回転速度 31,500 rpm（ネオンガスでの回転速度 36,000 rpm と等価）までの試験データが得られ、小型ターボ圧縮機は約 67 %の断熱効率を達成した。

高効率の小型ターボ圧縮機は、まだ試作冷凍機本体に組み込まれていないが、断熱効率を 65 %と仮定しても冷凍効率は 65 K で 0.046、80 K で 0.06 となり、最終的な目標である冷凍能力 65 K で 2 kW、冷凍効率 80 K で 0.06 を予定通りに見通せる情況に来ている。

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

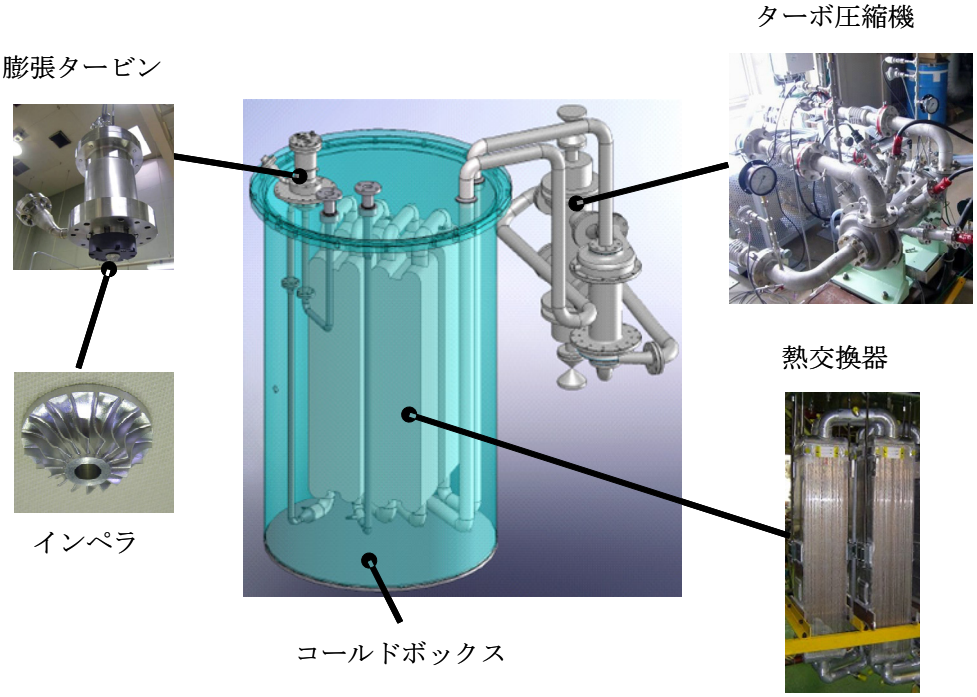

図 1　試作膨張タービン式ネオン冷凍機

上の図はターボ圧縮機を組み込んだ試作膨張タービン式ネオン冷凍機のイメージ図である。各要素機器を眺めてみると、熱交換器が冷凍機のコールドボックス内で大きな容積を占めているのがわかる。冷凍機の小型化を検討する上で、熱交換器の最適化は重要な要因である。一方、熱交換器の縮小は冷凍効率を下げてしまうので、慎重に行わなければならない。このため、膨張タービン式ネオン冷凍機用に開発した冷凍プロセスシミュレータを用いて、熱交換器寸法の検討を行っている。シミュレーションの結果によれば、配管等を改造することにより熱交換器を 5 ブロックから 3 ブロックに減らすことが可能である。次の段階として、熱交換器のブロック数を減らした実験を行い、実験データとシミュレーションを比較することによってシミュレータの精度を向上していく予定である。

また、開発した冷凍機の冷熱をどのように取り出し、被冷却体である高温超電導電力機器に伝えるかなど冷却システム全体の研究が今後重要である。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
2010 年 6 月 1 日発行
超電導 Web21
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：冷凍・冷熱技術

「スラッシュ窒素冷却システムの研究」

株式会社前川製作所
技術研究所
池内正充

スラッシュ窒素といわれてもなじみのない言葉であり、イメージがつかみにくいかと思われる。スラッシュ（slush）とは元来半解けの雪を示す。そこでスラッシュ窒素（以下 SN_2）とは固体窒素と液体窒素が混じりあった混合流体のことで、固体の融解潜熱を利用することで従来の液体窒素冷却よりも低温かつ大きな熱容量を有する。そのため、この大きな熱容量を有効に利用できれば、超電導ケーブル（以下ケーブル）等の冷却効果を改善できる可能性がある。

これまでの研究では、基礎研究だったこともあり簡便な真空引き（FREEZE TH AW 法）にて SN_2 を生成し、超電導ケーブルの冷却を念頭に、搬送特性、熱特性を明らかとしてきた。しかし、FREEZE THAW 法では連続生成ができず、また生成する固体窒素の粒径制御が困難であることや、その平均粒径は 1.4 mm であり（図 1）、低流速域（1 m/s 以下）では重力の影響で沈降してしまうことが明らかとなった。

超電導ケーブルの冷却を考えると、ケーブル内を流れる液体窒素（以下 LN_2）の流速は早いほど熱伝達率が向上し冷却効果は高まるが、逆に圧力損失は流速の二乗で増加することから、ケーブル冷却では 0.2～0.3 m/s 程度の流速が適当とされている。しかし。前述のように、この流速では FREEZE THAW 法で生成した SN_2 は固液分離してしまう。そこで、固体が微細化できれば低流速でも搬送可能と考え、シミュレーションにより 100 μm 以下であれば沈降せずに管路を流れる可能性を見出している。

これまでも微細化研究として FREEZE THA W 法とは別のエジェクタノズル法により 100 μm 程度の固体粒子の生成を確認した [1)]。しかし、この方法は、LN_2 の液滴の微細化と固化のために使用したヘリウムガスが SN_2 中に融解し、搬送中に管路内で気相として析出する可能性 [2)]があり、さらに生成方法を検討した。

その結果、回転羽根で冷却面から微細な固体を剥離させる掻取法（オーガ法）に着目し、試験装置を製作（図 2）、連続生成方法の研究を実施中である。

この装置の特徴としては、連続生成が可能であり、かつ、粒径の調節が可能なことが挙げられる。図 3 に本試験装置で

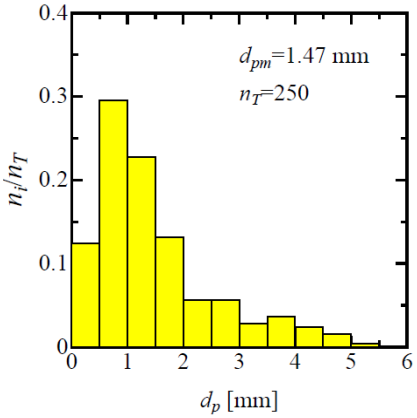

図 1　FREEZE THAW 法で生成した固体窒素の粒径分布

図 2　生成試験装置（オーガ法）

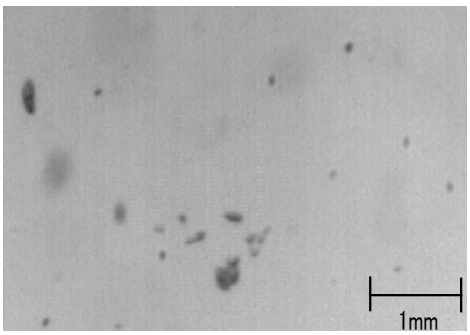

図3　粒子の様子（100rpm）

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

生成した固体窒素を示す。図 4 には回転羽根の回転数を変えた場合の固体粒径のヒストグラムの 1 例を示す。これらより、回転数を変化させることで粒径制御が可能であり、さらに 100 μm 程度の微細粒径の固体窒素の生成を確認した [3)]。

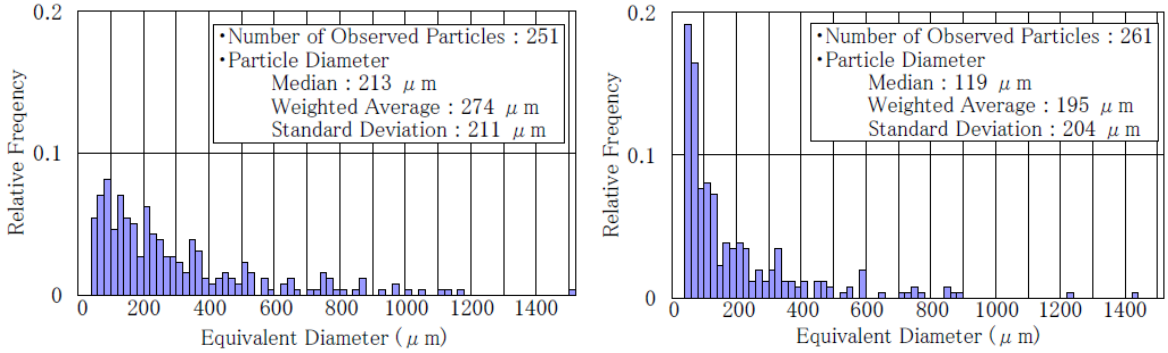

図 4　生成した固体窒素粒径のヒストグラム（左 17 rpm　右 100 rom）

現在、この生成試験装置を元に循環運転可能な試験装置検討を行い、冷却特性の研究を実施中である。

参考：

1) 池内他、“スラッシュ窒素の生成に関する基礎研究”、第 68 回低温工学・超電導学会　講演概要集、低温工学協会（2003）、p.159
2) 超電導発電関連機器・材料技術研究組合、“平成 16 年度委託業務成果報告書「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」”、NEDO（2005）、p171（古河電気工業株式会社分）
3) 駒込他、“高感度カメラによるスラッシュ窒素（オーガ法）の粒子系計測“、第 81 回低温工学・超電導学会　講演概要集、低温工学協会（2010)、p.209

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 6 月 1 日発行
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：冷凍・冷熱技術

「ヒートパイプを用いた高効率コイル伝導冷却技術の開発」

中部電力株式会社 電力技術研究所
超電導プロジェクト
研究副主査 玉田 勉

中部電力（株）および核融合科学研究所は、超電導マグネットの新たな冷却技術として、シート状の自励振動式ヒートパイプを組み込むことにより、マグネット内の発熱を効率的に除去できる冷却構造を開発している。自励振動式ヒートパイプ（Osillating Heat Pipe: OHP）の低温での動作実験を行い、17 K －80 K の幅広い温度範囲での動作を確認すると共に、高純度金属の低温での高熱伝導率に匹敵する高い熱輸送特性を観測した。これらの実験結果に基づき、超電導マグネットの高効率冷却への適用について紹介する。

一般に OHP は、加熱部と冷却部の間で一本の細管を何回も折り曲げた構造をしている。その配管内部において、蒸気圧曲線上で気液 2 相混合の状態になるように、適当な量の作動流体を封入する。これを加熱すると加熱部では液が蒸発し、冷却部では凝縮する。その相転移に伴う圧力変化により振動流が形成され熱が輸送される。図 1 に製作した OHP を、図 2 に OHP の動作概念図を示す。

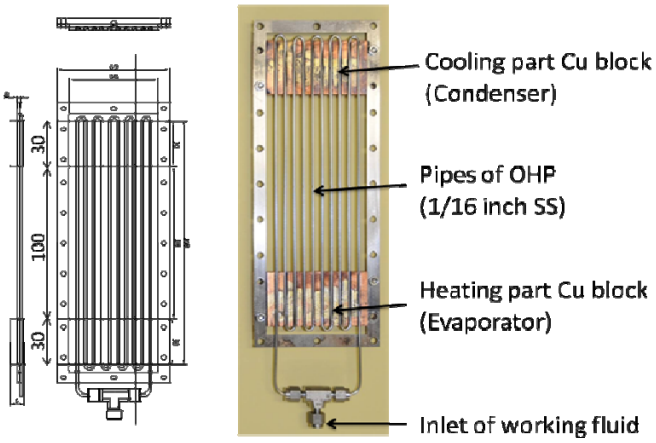

図 1 製作した OHP の設計図と写真

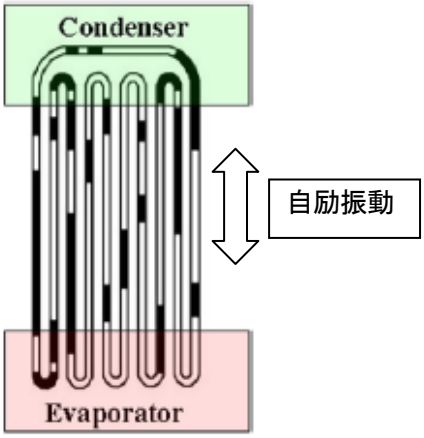

図 2 OHP 動作概念図

内径 0.78 mm （外径 1/16 inch）の SUS の配管を用いて OHP を製作し実験を行った。下部が加熱部、上部が冷却部となる配置における実験結果を表 1 に示す。自励振動式ヒートパイプの上側冷却、下側加熱の設置方向で窒素、ネオン、水素共に安定な動作を観測することができた。

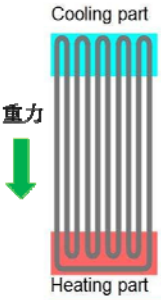

表 ﾋｰﾄﾊﾟｲﾌﾟ動作結果

作動流体	冷却部温度 [K]	液体封入量 [体積%]	ヒーター入熱量 [W]	動作温度範囲 [K]	実効的な熱伝導度* [W / m * K]
N_2	67 - 69	17 - 70	0 - 7	67 - 91	5,000 - 18,000
Ne	26 - 27	16 - 95	0 - 1.5	26 - 34	1,000 - 8,000
H_2	17 - 18	31 - 80	0 - 1.2	17 - 27	500 – 3,000

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

一方、コイル冷却にむけてはいろんな方向での OHP の配置が必要となるため、反対に上部を冷却部、下部を加熱部にした場合の実験を実施した結果、下側を冷却端にする設置方向では、自励振動が発生しない。

そこで、この問題を解決するために、異なる設置方向の OHP を接続し、連動させる手法を試みた。その連結された OHP の模式図が図 3 である。

図 4 に示すように、2 つのヒートパイプの直列接続により、上側加熱－下側冷却のヒートパイプに自励振動を誘発することができ、両者を同時に動作させることが可能となった。このことから、様々な設置方向の複数の自励振動式ヒートパイプを組み込む必要がある超電導マグネットでは、ヒートパイプの直列動作によって、全体として自励式ヒートパイプを動作させる見込みが得られた。

また、図 5 に複数の OHP 冷却パネルを組み込んだ超電導マグネットの冷却構成例を示す。今後これらの検証を実施していく予定である。

なお、本開発は、NEDO の委託事業「イットリウム系超電導電力機器技術開発」において実施したものである。

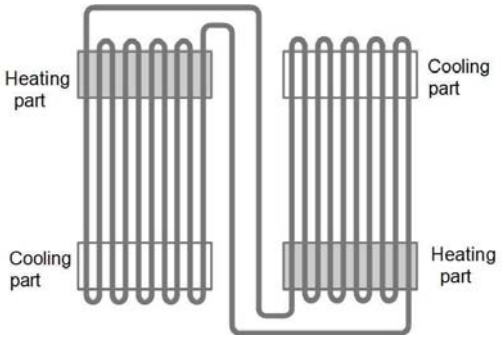

図 3　連結 OHP の概略図

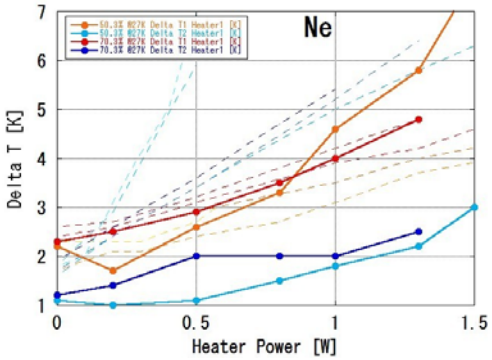

図 4　加熱部と冷却部の温度差

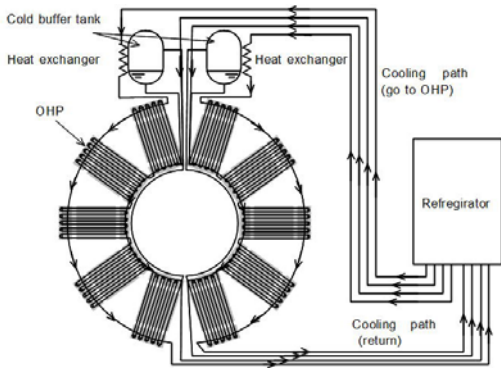

図 5　OHP 冷却構成例

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 6 月 1 日発行
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：冷凍・冷熱技術

「脳磁計用ヘリウム再凝縮装置」

大陽日酸株式会社
開発・エンジニアリング本部 超低温技術部
技術課長 梅野高裕

ヘリウムは不活性の単原子ガスで、全ての元素の中で最も沸点が低く、加圧下でしか固体にならない。このヘリウムは地球の大気中に 0.0005 %（5 ppm）しか存在せず、天然ガスと共に産出した微量なヘリウムガスを収集・精製し製品ガスとしており、地球資源としても貴重なガスである。ヘリウムガスは気球や小型飛行船などの浮揚用ガスとしてよく知られており、極低温装置の冷媒ガスとしても用いられている。また、液体ヘリウムは超電導機器用低温寒剤として必要不可欠なものである。

本装置は、脳磁計用の液体ヘリウム（LHe）容器から蒸発したヘリウムガス（GHe）を再び凝縮・回収する装置である。脳磁計（MEG : Magnetoencephalograph）の SQUID（超電導量子干渉素子）磁気センサは、LHe 温度（4.2 K）に冷却する必要があり、MEG の LHe デュワー内にセットされている。その脳磁計測システムの LHe 消費に伴うランニングコストを低減するため、脳磁計用ヘリウム再凝縮装置を開発した。

このヘリウム再凝縮装置は、装置本体、操作盤および 2 台の圧縮機から構成される（図 1、2 参照）。装置本体は、2 台の小型冷凍機が搭載されたコールドボックス（真空断熱容器）と昇降機からなる。装置本体は幅 740×奥行 740×高さ 1790（300 kg）、操作盤は幅 800×奥行 700×高さ 1600 である。再凝縮された液体ヘリウムは、装置本体から延びるトランスファー部を通り LHe 容器に溜める構造で、取り付ける LHe 容器はφ15 の取付ポートがあれば市販の LHe 容器（60 リットルや 100 リットルなど）に対応している。

図 1 脳磁計用ヘリウム再凝縮装置外観

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

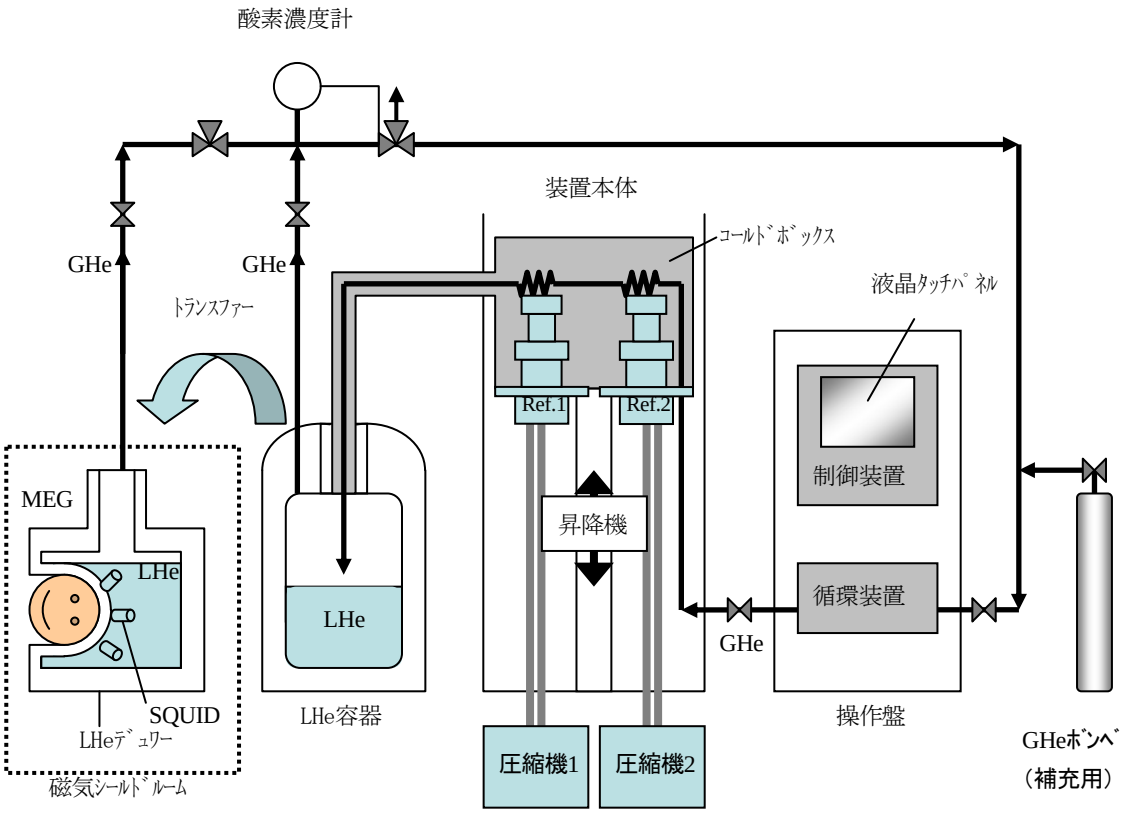

図 2　フロー概略図

図 2 にシステム全体のフロー概略図を示す。MEG は脳神経細胞の発する極めて微弱な磁界を外部から測定し、高精度に検査する装置である。外部からのノイズを避けるために磁気シールドルーム内に設置されており、ノイズ源となる本装置から隔離されている。MEG から蒸発し回収された GHe は、操作盤の循環装置を通り、装置本体のコールドボックス（小型冷凍機の冷却ステージに取り付けられた熱交換器）にて冷却・再凝縮され、一旦 LHe 容器に溜められる構造である。LHe 容器に溜まった LHe は、定期的に MEG の LHe デュワーにトランスファーされる。また、トランスファーロスによる GHe の大気放出分は、ガスラインに接続された GHe ボンベ（補充用）から導入する。

操作盤は液晶タッチパネル式であり、液晶画面にて装置の運転状況を監視できる。さらに、シーケンスプログラムによって循環装置をコントロールし、装置の自動運転化を実現している。また、装置の安定的な運用を行うため、ガスライン途中の酸素濃度計にて、回収される GHe 濃度を常に監視している。

ヘリウム再凝縮装置の仕様を表 1 に示す。ヘリウムの再凝縮能力は 10 リットル／日（標準型）である（18 リットル／日タイプも有）。また、小型冷凍機の圧縮機は水冷式と空冷式を選択できる（冷凍機のメンテナンスは 1 万時間毎、圧縮機は 2 万時間もしくは 3 万時間毎）。

一般的には、LHe 容器に本装置のトランスファー部を直接挿入し一体化させ LHe ロス無しでの長時間の連続運転が可能であるが、今回開発した脳磁計用ヘリウム再凝縮装置は、脳磁計を冷却している LHe デュワーから蒸発した GHe を回収・再凝縮させ、LHe 容器に溜める構造である。

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

天然資源としてのヘリウムガスは少なく、その価格は徐々に上昇し高価になってきている。そこで、貴重なヘリウムガス資源を霧散させることなく、超電導機器を運転することが今後とも重要である。

表 1 ヘリウム再凝縮装置の仕様

再凝縮能力	10 Liter / 日
ユーティリティ	電力容量：24 kVA 冷却水：14 L/min 以上
設置スペース	W 3,000×D 2,500×H 2,600
定期ﾒﾝﾃﾅﾝｽ	冷凍機：10,000 時間毎 圧縮機：20,000 時間もしくは 30,000 時間毎
装置本体重量	300 kg

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 6 月 1 日発行
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：冷凍・冷熱技術

「GM 冷凍機を用いた小型水素液化装置の開発」

独立行政法人産業技術総合研究所
エネルギー技術研究部門 エネルギー社会システムグループ
中納暁洋

これまで我々のグループでは水素の製造・貯蔵・利用を行う統合型水素利用システムに関する研究を進めてきており、現在、業務用建築設備向けシステムの開発に取り組んでいる。これは水電解・燃料電池一体型セルと水素吸蔵合金タンクで構成され、夜間、水電解・燃料電池一体型セルを水電解モードで運転することにより水素ガスの製造を行い、それを水素吸蔵合金タンクに貯蔵する。昼間、貯蔵した水素を利用して水電解・燃料電池一体型セルを燃料電池モードで運転し、建築物に電力供給を行うというのがこのシステムの基本コンセプトである。統合型水素利用システムはこの電力平準化目的のみならず､再生可能エネルギー導入や副生水素利用も視野に入れ開発を進めており、最終的には系統電力安定化への寄与や電気・水素自動車へのエネルギー供給が可能である強靭なエネルギーシステムとすることを目標としている。水素ステーションから供給される副生水素の利用では市街地での利用を考慮し、安全性の観点から液体水素を選択する。その場合、液体水素タンクを敷地内に敷設し、そこから生じるボイルオフガスは全て水素吸蔵合金タンクに回収・貯蔵し利用することになる。しかし、液体水素のボイルオフガスは、ほぼ全てがパラ水素で構成され、我々が普段使用している水素（ノーマル水素：オルソ水素約 75 %、パラ水素約 25 %）とは成分が異なる。オルソ水素とパラ水素は原子核のスピンの向きが異なり 2 つのスピンの向きが平行なものがオルソ水素、対向しているものがパラ水素と呼ばれる。それらの密度は全く同じであるが熱伝導率などの熱物性値に差が生じる。よって、本システムの将来的利用形態においてパラ水素に対する水素吸蔵合金の吸・放出特性を把握しておく必要があることから、その実験のためのパラ水素供給装置として 2 段式 GM 冷凍機を用いた小型水素液化装置の設計・製作を行った。

図に製作した液化装置の全景写真とその概略を示す。

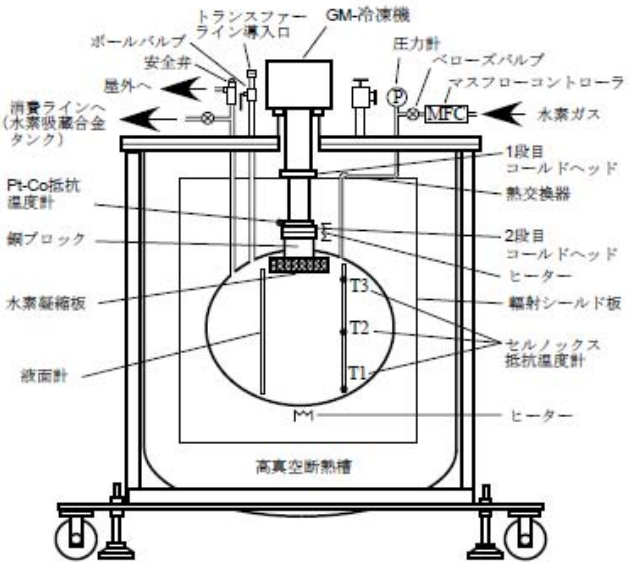

図　液化装置の全景写真、及び概略

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

高真空断熱槽中の輻射シールド内に納めた液体水素容器の容量は約 30 L で容器内上部の水素凝縮板を 2 段式 10K-GM 冷凍機（住友重機械 : RDK-408S）の 2 段目コールドヘッド（仕様値 : 5.4 W @ 10 K）で冷却し水素ガスを凝縮・液化させる。ただし水素の凝固点温度が約 13 K であることから、実際の液化の際はこの温度を下回らないよう 2 段目コールドヘッドに取り付けた白金-コバルト 1（Pt-Co）抵抗温度計の値をモニターしながら温度コントローラ、及びヒーターを用いて温度調節を行う。凝縮板上で液化した水素は自重で流下し容器内に蓄積される。なお、水素凝縮板表面にはオルソ-パラ変換を促進させる目的で酸化鉄を塗布している。冷凍機の 1 段目コールドヘッド（仕様値：30 W @ 45 K）は水素導入管と容器を取り巻く輻射シールド板に接しており、導入水素ガスの予冷却と周囲からの輻射熱低減に寄与するよう設計している。また、水素吸蔵合金タンクへのパラ水素ガス供給のため容器底部の真空断熱槽側に蒸発促進用ヒーターを設置している。容器の耐圧は 0.6 MPa $_{(abs)}$で設計しており、内圧がこの値を越えると安全弁が作動する仕組みとしている。一晩かけ装置の予冷を行い、室温の水素ガスをほぼ大気圧の条件で液化した時のこの装置の最大液化速度は導入水素ガス体積流量（室温）で 12.1 NL/min、液体水素製造能力の最大値は 19.9 L/day であった。なお、本液化装置の詳細設計、及び製作は（株）ジェック東理社によるもので、これは高圧ガス保安法に係る高圧ガス製造施設であることから移動式製造施設として茨城県の許可を受けており常時排気が行われる水素実験ブース内に設置している。このブース内に設置している全ての機器は防爆仕様もしくは水素専用仕様である。冷凍機コンプレッサー、温度コントローラ、ヒーター電源、及びデータ収集用 PC 等は水素実験ブースの外に設置している。

近年、国内外において液体水素を超電導機器の冷媒に適用する研究が進んでいる。超電導機器関連開発の場においてもこのような小型の水素液化装置の需要が見込まれることを期待している。

本研究は（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が実施する「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」事業の委託契約に基づいた「水素貯蔵装置及び水電解・燃料電池一体型セルの研究開発（平成 19ー21 年度）」による支援を受け、高砂熱学工業株式会社）と共同で進めたものである。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 T el: 03-3536-7283 F ax: 03-3536-7318

超電導関連製品ガイド- 小型冷凍機 －会社は五十音順表示－

○アイシン精機株式会社　L&E 商品企画部　ペルチェ・冷凍機グループ
－パルス管冷凍機
－スターリング冷凍機
－パルス管冷凍機
－GM 冷凍機
Tel: 0566-24-8860
Fax: 0566-24-8859
e-mail : E400@ee.aisin.co.jp
担当：近藤

○アルバック・クライオ株式会社　第一営業部
－4 K 冷凍機
－10 K 冷凍機
－クライオポンプ
Tel: 0467-85-0303
Fax: 0467-85-9356
E-mail: nobukazu_shirai@ulvac.com
担当：白井伸和

○岩谷瓦斯株式会社　低温機器部
－4 KGM 小型冷凍機
－1 K 冷凍機（LHe フリータイプ）
－パルスチューブ小型冷凍機
－モディファイドソルベイ小型冷凍機
－パルスチューブ冷凍機搭載無冷媒全自動希釈冷凍機
Tel: 03-5405-5795
Fax: 03-5405-5985
E-mail: morita@iig.iwatani.co.jp
担当：森田健司

○オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社　超電導/MR 事業本部
－希釈冷凍機ｍ３He 冷凍機（LHe クライオスタット装着型）
－PTR 搭載全自動無冷媒希釈冷凍機
－PTR 搭載３He 冷凍機
Tel: 03-5245-3871
Fax: 03-5245-4466
E-mail: supercon.jp@oxinst.com
担当：飯島

○株式会社　鈴木商館　営業本部　低温機器部　営業課
－GM 冷凍機

© ISTEC 2010 All rights reserved.

－希釈冷凍機
－サブクール液体窒素循環装置
－ガス循環冷却装置
Tel: 049-225-7551
Fax: 049-226-8971
担当：松澤、宮本

○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

○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
－GM 冷凍機
－希釈冷凍機
－無冷媒希釈冷凍機
－3He 冷凍機
－サブクール液体窒素循環装置
Tel: 03-5788-8610
Fax: 03-6866-0534
E-mail: U04200@tn-sanso.co.jp

○日本オートマティック・コントロール株式会社理科学システム部
－希釈冷凍機
－断熱消磁冷凍機
Tel: 03-5434-1600
Fax: 03-5434-1630
e-mail: nacc-c@naccjp.com

（編集局　三村正直）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

超電導関連 6- 7 月の催し物案内

6/10-11
超電導応用電力機器研究会（超電導応用ならびに材料関連技術）
場所：九州電力（株） 総合研究所 大会議室 福岡市南区塩原 2-1-47
http://www.kyuden.co.jp/company_tech_outline_organization
主催：電気学会
問合せ：http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/15-research/index020-07.html

6/16-18
スマートグリッド展 2010
場所：東京ビックサイト東 ホール
主催：日刊工業新聞社
共催：独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
問合せ：http://www.nikkan.co.jp/eve/smart/index.html

6/16
社団法人未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会 第 75 回ワークショップ
「超伝導線材オールスターズー開発・応用動向と高性能化の可能性ー」
場所：東京大学 本郷キャンパス 武田ホール（武田先端知ビル）
〒113-0032 東京都文京区弥生 2-11-16
問合せ：http://www.sntt.or.jp/~fsst/20100616.html

6/20-24
37th IEEE International Conference on Plasma Science
場所：Norfolk, VA, USA
問合せ：http://www.eng.odu.edu/icops2010/

6/29-7/1
DOE 2010 Superconductivity Peer Review
場所：Norfolk, VA, USA
問合せ：http://www.htspeerreview.com/index.html

7/19-23
ICEC 23-ICMC 2010 : International Cryogenic Engineering Conference & International Cryogenic Materials Conference
場所：Wroclaw, Poland
問合せ：http://www.icec-icmc.wroc.pl

（編集局）

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

第12回（2010年度）サー・マーティン・ウッド賞受賞候補者推薦要項

1. 趣旨　凝縮系科学に係わる若手研究者に対して研究のインセンティブ、モティヴェーションを与えます。
2. 対象分野　広い意味の凝縮系科学（例：凝縮系物理学、無機・有機固体化学、材料科学、表面・界面科学）
3. 候補者日本における研究機関で、凝縮系科学における優れた業績をあげた40歳以下（2010年4月1日現在）の若手研究者。国籍は問わない。
4. 賞の内容　受賞は原則として毎年1件とし、受賞者には賞状、賞金50万円と英国のいくつかの大学への講演旅行の機会が与えられます。
5. 推薦依頼先　関係専門分野の有識者、関連諸学会
6. 推薦件数　各推薦者から一件とします。
7. 推薦方法　所定の推薦用紙に必要事項をご記入の上、下記事務局にお送り下さい。自薦も受け付けております。自薦、他薦共に、候補者の業績内容を最も良く理解していると考えられ、当方より問い合わせ照会のできる2名の方（推薦者以外の方）の氏名、所属、肩書き、連絡先を記入して下さい。
8. 締切期日　**2010年8月1日（日）消印有効**
9. 選考　サー・マーティン・ウッド賞選考委員会にて審査、選考します。
10. 決定　2010年9月の予定です。
11. 賞の贈呈　2010年11月に英国大使館で行う予定です。
12. 推薦書提出先及び連絡先

〒135-0047　東京都江東区富岡2-11-6　オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社内
ミレニアム・サイエンス・フォーラム事務局　http://www.msforum.jp/
TEL：03-5245-3871　FAX：03-5245-4466 E-mail：msf@oxinst.com

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

新聞ヘッドライン（4/19-5/18）

○昭和電線の技術開発センター　酸化物使う次世代技術 4/19　日経産業新聞
○太陽光で米アリゾナ州立大と連携 4/1 9　毎日新聞
○エネ基本計画　20 年にゼロエミ 5 割　原子力　新増設の目標提示 4/19　電気新聞
○鳩山イニシアチブ　支援方針固まる　対象は COP15 賛同国 4/1 9　電気新聞
○インフラ輸出で勝つ方法　①「システム提案」　ノウハウ提供や支援不可欠 4 /19　日刊工業新聞
○原子力部会　利用拡大で具体策　30 年までに　14 基新増設 4 /20　電気新聞
○エネ基本計画　自主エネ比率 7 割へ　策定委員会で改定案 4 /20　電気新聞
○家庭の CO_2 排出半減　エネルギー計画素案　2030 年までの目標 4/20　朝日新聞
○温暖化対策法案　衆院審議入り　政府、今国会成立めざす 4 /20　日刊工業新聞
○温暖化対策を主導　北澤さん 4 /20　日刊工業新聞
○スマートグリッド　R&D　東大・APET　大規模実証へ土壌作り 4/20　日刊工業新聞
○インフラ輸出で勝つ方法　②「超高圧送電」　国際標準で市場広げる 4 /20　日刊工業新聞
○経産省「エネルギー基本計画」原案　2030 年に原発稼働率 90％目標　4/20 Fuji Sankei Business i.
○宙に浮く？　「25％削減」　温暖化対策法案　国会審議入り　4/21 Fuji Sankei Business i.
○2 兆円バラスト特需狙え　クラレなど　浄水装置開発　4/21 Fuji Sankei Business i.
○温暖化対策　目標に開き　環境省と経産省が計画案　異なる再生エネ導入量 4/2 1　日刊工業新聞
○インフラ輸出で勝つ方法　③「鉄道網」　車両や設備、統合能力発揮 4 /21　日刊工業新聞
○スマートグリッド　R&D　東工大・先進エネ研　産学連携でインフラ研究 4 /21　日刊工業新聞
○新幹線、原発―トップセールスへ　政府主導強化で促進　先端技術輸出　協議会を発足　官民共同 4/21　毎日新聞
○「特会　原則廃止を」民主検証チーム 4/22　日本経済新聞
○超電導材関連研究者を表彰　未踏科学技術協 4 /22　日経産業新聞
○中国の今　送電網増強が課題に　存在感増す風力発電 4/22　電気新聞
○再編・集約で国際競争力　経産省が報告書　産業機械など 11 分野 4/23　日本経済新聞
○国内排出量取引　制度設計　政府内で綱引き　環境省　総排出量　国が上限　経産省　効率改善義務付け 4 /23　日本経済新聞
○国際規格、アジアで評価　経産省　風土に適合へ協調 4/23　日刊工業新聞
○超電導発生に磁性関与　鉄系高温超電導体、理研が解明 4 /23　日刊工業新聞
○太陽光発電　系統安定化の課題整理　経産省　研究会　出力制御など柱 4 /23　電気新聞
○鉄系化合物　超電導の理論的裏付け　理研など　電子構造を詳細分析 4 /23　日経産業新聞
○研究法人　問われる成果　13 法人対象　「仕分け第 2 弾」注目点　再編控え「役割」議論　「ダブり」か「競争」か　資金配分、効果的か 4/23　朝日新聞
○「重い電子」応用に期待　日本先行、超電導など実用化も 4 /25　日本経済新聞
○理研の事業縮減　仕分け 2 日目「コスト意識低い」 4/26　毎日新聞
○JR 東海の挑戦　新幹線米に売り込め　トップ自ら営業　運行システム世界に　競合に中韓も浮上 4/26　日経産業新聞

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

○廃棄物バイオマス、核融合で液体燃料に　京都大学エネルギー理工学研究所教授　小西哲之氏　険しい道、信念抱いて歩む 4/26　電気新聞
○経産省　新興国需要取り込み　電線産業の将来ビジョン 4 /26　電気新聞
○研究内容に踏み込まず　独法仕分け 2 日目　「科学軽視」の批判意識 4 /27　読売新聞
○次世代送電網　再生エネ対応策議論　経産省　2 分野で検討会新設 4/27　電気新聞
○学振は「現状維持」　改善の必要性指摘 4/27　日刊工業新聞
○室温ガス 12%　中小企業から　10 年版白書　初分析 4 /27　読売新聞　夕刊
○次世代送配電網　日産・米 GE が共同研究　電気自動車の蓄電技術活用 4 /27　日本経済新聞
○物材機構の事業「他方人で実施を」　行刷会議　規模は現状維持　事業仕分け 4/ 27　日刊工業新聞
○理研の委託事業　縮減　コスト意識の欠如指摘 4/2 7　日刊工業新聞
○NEDO の研究開発　実施認め規模縮減　取引見直し求める 4/2 7　日刊工業新聞
○JR 東海の挑戦　リニアで「第 2 の創業」　開発に総力結集、漂う高揚感 4/2 7　日経産業新聞
○「マイクログリッド」実証　NEDO と沖縄　ラオスで　興隆アジア　4/28 Fuji Sankei Business i.
○JR 東海　リニア開業延期　25 年から 3 年前後　業績悪化で 4 /28　日本経済新聞
○省エネ　改正法施行　負担と特需　LED など需要拡大・小売り改装大わらわ 4/28　読売新聞
○次世代電力網　アジア 4 カ国と連携　経産省　標準化へ　意見交換の場 4 /28　日刊工業新聞
○総合科技会議　予算要求の重複施策調整 4/28　日経産業新聞
○次世代送配電網　モデル地域創設へ　経産省　海外展開を後押し 4/28　電気新聞
○JR 東海の挑戦　やり合うトップ　成長の源　発想家・戦術家コンビ発車 4/2 8　日経産業新聞
○JR 東海、リニア開業 2 年延期　新幹線、収入減大きく　依存脱却へ海外市場開拓　会長が訪米、輸出売り込み 4/29　日経産業新聞
○リニア開業 2 年延期　東京-名古屋間 4/29　読売新聞
○リニア 2 年先送り　JR 東海 2027 年に計画変更　収益悪化のため 4/29　朝日新聞
○リニア開業 2 年延期　JR 東海　収益悪化で見直し 4/29　毎日新聞
○電力　海外進出熱再び　新興国とアジア発電所受注合戦　4/30 Fuji Sankei Business i.
○超電導技術で日韓交流　商用化へ研究者ら会合 4/3 0　電気新聞
○研究法人「仕分け」あいまい　再編見据え　本質先送り　「ガバナンス強化」指導・方法は独法まかせ 4 /30　朝日新聞
○JR 東、米デ受注参入　高速鉄道　東海とすみわけ　社長表明 5 /01　朝日新聞　夕刊
○米へ新幹線　官民タッグ　1 万 4 千キロ　高速鉄道構想に標準 5 /02　朝日新聞
○「浮かぶ風車」で洋上発電　環境省が実証試験　設置海域広く 5 /03　日経産業新聞
○温室効果ガス削減目標　国際的企業”総量”に舵　生産革新を促し競争力向上 5/ 03　日刊工業新聞
○カーボンフットプリント国際標準化　土地利用の影響調査　経産省 5/03　日刊工業新聞
○ヘリウムガス　カタールで権益取得　岩谷産業　国内消費量の半分 5/07　日本経済新聞
○量子光学素子を開発　超電導の人工原子組み込む　理研・NEC　量子計算機へ応用 5 /11　日刊工業新聞
○新幹線、リニア　米に売り込み　官民一体で積極策　仏、独に遅れ　内需限界　海外に活路 5/12　毎日新聞

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

○米運輸長官、リニア試乗　輸出可能性は明言せず　前原国交相とも会談 5 /12 朝日新聞
○高速鉄道　米へ売り込み　リニアに運輸長官試乗 5 /12 読売新聞
○メガチャイナ　変わる日中　先端科学で日本を猛追　若き才能　世界へ進出 5 /12 読売新聞
○スマートグリッド　国際標準化、中国と進める　5 /14 日刊工業新聞
○鉄系高温超伝導体　新知見　”電子のさざなみ”観測　超伝導機構解明に決定的な手がかり　理研 5/14 科学新聞
○次世代送電網向け　機器の生産・開発加速　三菱電・大崎電　メーター　高岳　変圧器 5/1 5 日本経済新聞
○温対法案　衆院環境委で可決　野党非難「審議生煮え」 5 /17 電気新聞
○次世代送配電網　系統安定の詳細議論　経産省が 2 検討会 5 /17 電気新聞
○経産省　専門委が報告書　エネ基本計画で提言 5/1 8 電気新聞
○次世代エネ・社会システム協議会　経産省、2 検討会設置　系統安定化対策など議論 5 /18 日刊工業新聞
○ミニ原子炉　市場は巨大　ハイペリオンと東芝　来年にも事業化 5/18 Fuji Sankei Business i.
○仕分け 70 法人対象　後半戦　トラック協や宝くじ協 5/18 日本経済新聞
○独法の研究費 100 億円仕分け　経産省案　削減せず他分野に配分 5/18 日本経済新聞
○次世代送電網で 2 検討会 5/18 日本経済新聞

（編集局）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特許情報

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所企画部
部長代理　定方伸行

◆平成 21 年度下期の公開特許
平成 21 年 10 月から平成 22 年 3 月に公開された ISTEC 出願の特許をお知らせいたします。詳しい内容は特許庁ホームページ内の特許電子図書館（IPDL）をご利用ください。

1) 特開 2010-44969　「テープ状酸化物超電導体及びそれに用いる基板」

本発明は、送電ケーブルや電力貯蔵システムのような電力機器及びモーターなどの動力機器への使用に適した酸化物超電導体及びそれに用いる基板に係り、特に前駆体膜を塗布後に加熱焼成することによって基板上にセラミックス薄層を形成する成膜方法を用いて製造される酸化物超電導体に適したテープ状酸化物超電導体及びそれに用いる基板に関するものである。

本発明によるテープ状酸化物超電導体は、コア材となる第1の金属層と第2の金属層とを接合した基板の第1の金属層の上に2軸配向した無機材料からなる1層または複数層の中間層及び酸化物超電導層を形成した積層体からなる酸化物超電導体において、第1の金属層及び第2の金属層に、それぞれ第2の金属層の機械的強度より大きく、かつ無配向で非磁性、及び熱伝導率が大きく、かつ電気抵抗の小さい材料を用いる。また、この積層体の酸化物超電導層側の上面及び側面に安定化層を蒸着することにより、超電導層と第2の金属層を電気的に接続するようにしたものである。さらにコア材となる第1の金属層と第2の金属層とを接合し、第1の金属層及び第2の金属層にそれぞれ第2の金属層の機械的強度より大きく、かつ無配向で非磁性の材料及び熱伝導率が大きく、かつ電気抵抗の小さい材料を用いる。

このテープ状酸化物超電導体は、熱伝導率が大きく、かつ電気抵抗の小さい第2の金属層が、コア材となる機械的強度の大きい第1の金属層の中間層側と反対側の面に接合されているため、放熱性に優れ、レーザー加工による超電導層の細線化を容易に行うことができる。また、超電導コイルを製造する場合、Ag安定化層を内側にして巻線する際にこの第2の金属層を経由して超電導層に電流を印加することができるため、超電導コイルの電極の接続部分の設計を簡略化できる。

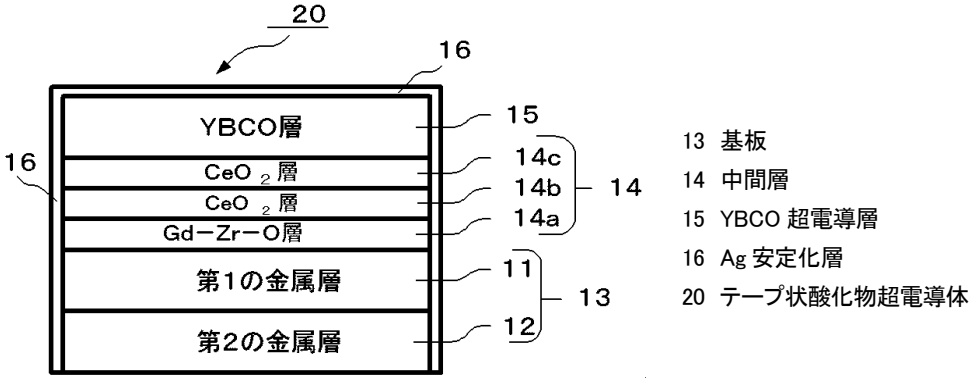

図 テープ状酸化物超電導体の軸方向に垂直な断面図

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

「韓国における超電導技術開発状況」報告

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所 電力機器研究開発部
部長 藤原 昇

「超電導 Web21」5 月号において、第 1 回日韓超電導ワークショップの開催について報告した。韓国における超電導技術開発、特に電力機器に関連した技術開発には目を見張るものがある。今回は、このワークショップで得た情報などから、最近の韓国における超電導技術の開発状況について報告する。

【概要】

韓国の超電導技術開発は、DAPAS プロジェクトと GENI プロジェクトさらに SMES プロジェクトなどがある。概要を表 1 に示す。ちなみに、韓国における電力系統の使用電圧は、765-345-154-22.9kV である。

表 1 韓国における HTS 開発プロジェクト一覧

プロジェクト名	開発項目と目標	
DAPAS	ケーブル	22.9kV/50MVA/100m
		154kV/1GVA/100m
	変圧器	154kVA/33MVA 設計
	限流器	22.9kV600A and 3kA
	モータ	5 MVA
	2G Wire	1 km,500 A/cm
GENI	ケーブル	22.9kV/50MVA/500m
	限流器	22.9kV/630A
		22.9kV/3kA
その他	SMES	2.5 MJ ｸﾗｽ
	フライホイール	100 kWh ｸﾗｽ

DAPAS: Development of Advanced Power System by Applied Superconductivity technologies
GENI: Green Superconducting Electric power Network at Icheon Substation
Icheon：ソウルから南へ 50 km の都市（利川市）

【電力ケーブル】

韓国のケーブル開発は、DAPAS プロジェクトが主導してきた。これまでに、Bi 線材を用いた 22.9kV/50MVA (1260 A) のケーブルを開発し評価を終了した。2007 年度からは 154kV/1GVA (3750 A) のケーブル開発に着手している。このケーブルは AMSC 社の 344 線材を用いている。2010 年には 30 m 級のタイプテストを行い、2011 年には 100 m 級ケーブルをコーチャン試験センターにおいて試験実施する。一方、KEPCO が主導で開発を行っている GENI プロジェクトにおいては、2010 年、22.9kV/50MVA/500m 級のケーブルを変電所にて実証試験を実施する予定で

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

ある。このケーブルも AMSC 社の 344 線材を用いる。

【限流器：SFCL】

電力需要の増大によって電力系統の短絡絡容量が増大し、遮断器の定格が上がっている（345kV:40→63 kA,154kV:31.5kA→50 kA）おり、この対策案の一つとして SFCL の開発を行っている。DAPAS プロジェクトにおいて、6.6 kV, 22.9 kV の開発を行ってきた。現在、GENI プロジェクトの中で、22.9kV/630A の SFCL を 2010 年に変電所に設置し試験を行うべく準備が進められている。さらに 22.9KV/3kA の開発を行うとともに 154 kV 級のコア技術についても開発を行っている。最終的には 345 kV の SFCL 開発を目標とする。

【モータ開発】

2007 年までに Bi 線材 3.5 km を用いた 1 MW 級 (3600 rpm)モータを開発し試験を実施してきた。このモータは所期の目標を達成している。現在、Y 系線材による 5 MW 級モータの開発を行っている。

【SMES】

これまでに、Bi 線材を用いた 1 MJ 級 SMES の開発・評価を行った。現在、Y 系線材を用いたトロイダル形状 2.5 MJ 級 SMES の設計・開発を行っており、そのためのパンケーキコイル試作と評価を行っている。

【フライホイール】

島嶼における自然エネルギーなどの負荷変動対応として超電導フライホイールの開発を行っている。5 kWh 級の開発を終了し、現在 100 kWh 級の設計、要素技術開発を行っている。

【Y 系線材開発】

DAPAS プロジェクトにおいて、KERI および SuNAM 社が IBAD-EDDC 法による Y 系線材の開発を行っている。4 mm 幅、2 km 長さの線材を 600 m/h で製作し、商業化することを最終目標としている。SuNAM 社は、100A/4mm の線材を 900 m/day で製造する能力を有しており、これを 1.5 km/day に向上することを当面の目標としている。

EDDC: Evaporation using Drum in Dual Chamber

参考:

1. KERI：Korea Electrotechnology Research Institute
http://www.keri.re.kr/english/
2. CAST：Center for Applied Superconductivity Technology
http://www.cast.re.kr/english/e_index.html
3. KEPCO: Korea Electric Power Corporation
http://www.kepco.co.kr/eng/

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 6 月 1 日発行
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

【隔月連載記事】

超電導モータの過去・現在・未来（その 3）

京都大学大学院
工学研究科電気工学専攻
准教授　中村武恒

1986 年の酸化物系高温超電導物質の発見以来、臨界温度の更なる向上への期待と共に、様々な応用分野への適用可能性が精力的に検討された。ただし、上記物質はペロブスカイト構造と呼ばれる複雑かつ異方的な層状結晶構造を有しており、その材料化が金属系実用超電導線材のような早さでは進まなかったので、例えば低温超電導線材で検討されていた発電機が一足飛びに高温超電導材料に置き換わることは無かった。一方、モータは発電機に対して比較的小容量機が多いことから、低温超電導機では冷却ペナルティーに関してスケールメリットを生かしにくかったが、高温超電導フィーバーの後押しと共に、海外を中心に高温駆動化の開発機運が高まったようである。

高温超電導体特有の材料化の新しい流れとして、バルク形状の成立が挙げられる。即ち、高温超電導体は高温運転に伴って比熱が高くなり、低温超電導材料で問題となるクエンチが起こりにくく、バルク形状にしても安定な超電導材料として使用可能である。従って、高温超電導体の発見から数年は、高性能長尺線材はすぐには実現しなかったが、焼結体を中心に高温超電導バルク体の研究が基礎ならびに応用の観点から進められた。その結果、高温超電導モータに関しても、当初はバルクモータの開発が小容量機から中容量機で先行していたと思われる。

高温超電導バルク体の特長としては、非常に大きな磁束を捕捉できることが挙げられる。折しも、希土類系永久磁石モータが本格的に注目されるようになったのが 1980 年代後半頃であり、同磁石の現実的な残留磁束密度が 1.5 T 程度であることから、それをベンチマークとして、上記値を超える磁界発生を目標に多くの研究開発が行われた。特に、その後溶融法による単結晶的な高温超電導バルク材料も開発されるようになり、現在ではモータに即適用できるか否かを考えなければ、永久磁石を遥かに超える磁界発生が可能となっている [1)]。また、バルク体のもう一つの特長として、大きな磁気遮蔽特性が挙げられる。そこで、高温超電導バルク体を磁気回路内に挿入し、その反磁性作用を利用することによって直軸と横軸のリラクタンス比を大きくすることが可能となり、その比を利用したリラクタンスモータを実現することができる。

Moscow Aviation Institute（露）・OSWALD -Elektromotoren（独）他のグループや Oxford 大学（英）は、いち早くバルクモータの研究開発に着手した。開発当初は、バルク体内の量子化磁束のヒステリシスループに相当するエネルギーをトルクに変換するヒステリシスモータの研究から開始し [2)-6)]、その後バルク体の磁気遮蔽特性を利用したリラクタンスモータの研究開発に移行している [7)-12)]。ヒステリシスモータは、電機子による磁束と回転子遮蔽電流によって作られる磁束間の位相差を利用するモータであり、構造が簡単であるという特長を有するが、原理的に低効率・低力率は避けられず、これまで比較的小容量機しか検討されていない。一方、リラクタンス機では、150 kW@3000 rpm 級機の設計も実施され、既存機に対して 3～6 倍程度の高出力密度化が達成可能であることを示している [10)]。ただし、リラクタンス機もヒステリシス機と同様に一般に低効率や低力率であることから、適材適所の使用法を見つけられない限り実用化は難しく、上記グループのバルクモータの研究

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

開発は現在下火のようである。応用例としては、Oxford 大学（英）のグループが、液体燃料循環移送ポンプとして上記バルクモータの特許を取得しており [13)]、Moscow Aviation Institute（露）他と共同で試作も実施している [14)]。また、九州工業大学は、液体窒素循環ポンプ用に高温超電導バルクモータを開発している [15)]。上記応用研究は、被循環液体が高温超電導バルクモータを冷却する冷媒にもなることから、基本的に冷却ペナルティーを考える必要が無く、有用な検討課題であると考えられる。このアプリケーションについては、筆者も財団からの助成を頂いて 2002 年頃に検討した。なお、上記バルクモータの回転メカニズムの基礎検討も、Oxford 大学（英）[16)-18)]、東京大学 [19),20)]、京都大学 [21)-23)]、その他研究機関 [24)-26)]で実施されている。例えば京都大学では、高温超電導バルク体の磁束ピン止め特性や中心到達磁界と回転特性との関係を実験的かつ解析的に検討している [23)]。

一方、高温超電導バルク体を界磁に利用したモータ開発は、ヒステリシスモータやリラクタンスモータに比較して高効率化が期待されることから本命と考えられていたが、当初は着磁束を大きく出来なかったことからあまり進展が見られなかった。その中で、（株）イムラ材料開発研究所・名古屋大学他のグループが電気駆動式ゴルフカートに液体窒素冷却バルク磁石モータを搭載する検討を実施し、世界初の走行試験に成功した [27)]。このデモンストレーション走行は大きなインパクトがあったが、当時は冷却法や着磁の問題から、残念ながら研究開発は終了している。その後、溶融法による高臨界電流密度のバルク体が開発されるにつれて、大きな磁束捕捉特性を利用したモータ開発が活発になっていった。東京海洋大学のグループは、北野精機（株）・福井大学他と共同で船舶推進用の低速バルクモータを開発している。渦巻型の電機子コイルで界磁バルクを着磁する構造であり、液体窒素間接冷却 [28)]や液体ネオン間接冷却 [29)]が検討されている。ただし、実用化のためには更なる着磁束の向上が重要と考えられ、精力的な検討が進められている [30)]。高温超電導捕捉磁束型バルクモータに関しては、材料開発から着磁技術、システム化まで我が国が世界をリードしていると言っても過言では無く、今後更なる技術革新が期待される。なお、バルク超電導体を利用した全超電導モータの試験例は未だ報告されていない。筆者の知る限り、唯一 Cambridge 大学（英）のグループが特性検証用として、着磁されたバルク界磁とイットリウム系電機子巻線を適用した全超電導モータを開発しているようであるが、諸々技術開発課題が多く、未だ回転試験には至っていないようである [31)]。

以上、今回は高温超電導バルクモータの研究開発経緯について説明した。高温超電導バルク体の開発は、我が国が世界的に先頭を走っていると言っても良く、企業や様々な研究機関の努力によって非常に高品質な大型バルク体を手に入れることが可能である。従って、そうした好環境を利用して優れたモータを開発するチャンスにあると思われる。今後、高温超電導バルク体のメリットを最大限生かしたモータ構造の最適化を図れば、大きな可能性を有しているのではないかと考えられる。

参考文献：

1) M. Tomita and M. Murakami, Nature, vol. 421 (2003) 517
2) T. Habisreuther, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 7 (1997) 900
3) L.K. Kovalev, *et al.*: Mater. Sci. Eng., B53 (1998) 216
4) M.D. McCulloch, *et al.*, Inst. Phys. Conf. Ser., no.158, The Netherlands, 30 June – 3 July 1997 (1997) 1519
5) M.D. McCulloch, *et al.*, Proc. ICEM 2000, 28-30 August 2000, Espoo, Finland (2000) 812
6) L.K. Kovalev, *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol.13 (2000) 498
7) B. Oswald, *et al.*, IEEE Trans. Applied Supercond., vol.9, no.2 (1999) 1201
8) L.K. Kovalev, *et al.*, Physica C, vol. 354 (2001) 34

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

9) L.K. Kovalev, *et al.*, Physica C, vol. 357-360 (2001) 860
10) B. Oswald, *et al.*, Physica C, vol. 372-376 (2002) 1513
11) L.K. Kovalev, *et al.*, Physica C, vol. 372-376 (2002) 1524
12) L.K. Kovalev, *et al.*, Physica C, vol. 386 (2003) 419
13) D. Dew-Hughes, *et al.*, UK Patent Application No. 9810361.7, 14th May 1998
14) L.K. Kovalev, *et al.*, Supercond. Sci. Technol., 17(2003) S460
15) M. Komori, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., 14/2, 1659-1662 2004
16) G.J. Barnes, *et al.*, Inst. Phys. Conf. Ser. no.167, Spain,14-17, September 1999 (1999) 1075
17) G.J. Barnes, *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol. 13 (2000) 229
18) G.J. Barnes, *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol. 13 (2000) 875
19) H. Ohsaki and Y. Tsuboi, J. Mater. Proces. Technol., vol. 108 (2001) 148
20) Y. Tsuboi and H. Ohsaki, Physica C, vol. 357-360 (2001) 889
21) I. Muta and T. Nakamura, High Temperature Superconductivity 2 (Engineering Applications) (Springer) (edited by A.V. Narlikar) (2003) pp. 67-80
22) H.J. Jung, T. Nakamura, *et al.*, Physica C, vol. 405 (2004) 117
23) T. Nakamura, *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol. 17 (2004) 1319
24) A.L. Rodrigues, ICEM 2000, 28-30 August 2000, Espoo Finland (2000) 802
25) X. Granados, *et al.*, Physica C, vol. 372-376 (2002) 1520
26) P. Tixador, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 7 (1997) 896
27) 超電導コミュニケーションズ, vol. 4, no.1 (1996)
28) M. Miki *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol. 19 (2006) S494
29) T. Sano *et al.*, Mater. Sci. Eng. B, vol. 151 (2008) 111
30) E. Morita, *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol. 19 (2006) 1259
31) M.D. Ainslie, *et al.*, Physica C, in press

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

読者の広場

Q&A

Q：「高温超電導線材を回転機に使う場合、線材にはどのような特性が重要となるでしょう？」

A：超電導を回転機などの電気機器に応用することの大きなメリットは、電流密度が通常の銅線に比べて 2 桁以上大きくなることです。よって、銅線では考えられないような高磁界を大空間に発生することができまるので、超電導を回転機に適用すれば、高効率化・コンパクト化・軽量化を同時に実現できます。この特性を活かすためには、超電導線の特性を十分考慮した機器設計を行うことが必要です。

さて、高温超電導線材を回転機に適用する場合、線材のどのような特性が重要になるか？ということについて述べます。回転機は、直流機・同期機・誘導機に大別できます。ここでは、同機器に高温超電導を適用することを例にとって、話を進めます。同期機の巻線は、基本的に直流通電する界磁巻線と三相交流を輸送する電機子巻線で構成されています。高温超電導を適用する場合、界磁巻線のみを超電導化するものと界磁・電機子両巻線を超電導化するものが考えられます。現在、研究開発が進んでいる高温超電導回転機は界磁巻線のみを超電導化したものがほとんどです。界磁巻線を超電導化する場合、上述の超電導の特徴を活かすべく、高磁界化する設計が必要になります。回転機内の発電やトルク発生に寄与する領域の磁界を例えば 3 T 程度にするためには、超電導界磁巻線内部の超電導線材が受ける磁界はその数倍の 7～10 T 程度になります。よって、超電導線材に求められる性能として第一に重要な特性は、高磁界下で高い臨界電流性能を有することです。更に、超電導線材は高磁界下で大電流を輸送するので、強大な電磁力に曝されます。超電導線材には高応力下でも臨界電流が低下せず、機械的損傷も受けないということが要求されます。同期速度で運転している同期機では、界磁巻線が発生する磁界と三相電機子巻線が作る回転磁界は同期しているので、基本的に界磁巻線内の超電導線材には交流磁界は印加されません。しかしながら、三相電機子巻線が作る回転磁界にも微小な高調波成分が含まれ、この高調波成分は同期速度とは異なる速度で回転する回転磁界となるので、同期速度で回転している界磁巻線には等価的に交流磁界となります（電機子巻線の設計の仕方によって、高調波成分の大きさは変化します）。また、界磁巻線の励磁電流を変化させて発生トルク等を制御するいわゆる励磁制御を行う場合、界磁巻線は時間的に変動する磁界に曝されます。これら変動磁界は超電導線材に交流損失を発生させます。以前の記事（超電導 Web21 20 06 年 4 月号の Q&A (http://www.istec.or.jp/Web21/PDF/Past-pdf/J-pdf/06_04_all.pdf)）に書かれているように、交流損失は冷却系の容量や回転機の効率に直接影響を及ぼすので、交流損失の低減は（主として直流運転される回転機の界磁巻線の超電導化においても）重要な課題です。現在の回転機の理論や設計手法は、銅線と鉄心を用いることを前提として構築されています。超電導回転機を設計するにあたっては、回転機での電磁気環境下での超電導線材の種々の特性を考慮して設計を行うことが肝要です。

回答者：新潟大学大学院 自然科学研究科 電気情報工学専攻 准教授　福井 聡 様

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.