

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 **2011 年 6** 月 号 2011 年 6 月 1 日発行

掲載内容(サマリー):

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
- ○高温超電導ケーブル用冷却システム
- ○ガス循環式冷却技術の開発
- ○直流超伝導ケーブル用冷却システムの研究開発
- ○20 K 冷凍機の開発と水素エンジン自動車
- ○超電導関連 2011 年 6-7 月の催し物案内
- ○新聞ヘッドライン(4/16-5/17)
- ○「2011 MRS Spring Meeting and Exhibit」報告
- ○隔月連載記事ーやさしい超電導リニアモーターカーのお話(その3)
- ○読者の広場(Q&A)ー最近、高温超電導を使用した限流器が注目されていますが、どのような特徴があるのでしょうか?

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

〒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/web21.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





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 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。高温超電導電力機器用の冷凍機としては、①超電導維持に必要な冷却温度と冷却能力、②長期連続運転が可能な高い信頼性、③運転時の冷却効率(省ランニングコスト)、④コンパクト化(設置の省スペース化)、⑤設備コストの低減などの項目が求められている。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 80 K 運転で 2 kW から 10 kW だと考えられている。現在市販されている小型冷凍機は冷却能力が 80 K 運転で 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 2007 年に試作された。

試作のネオン冷凍機の性能は 70 K 運転において冷凍能力 2 kW であった。その後、性能改善のための検討が行われ、2009 年に、プロセスの圧力を高プロセス圧力(高圧側 2.0 MPa/低圧側 1.0 MPa) から低プロセス圧(高圧側 1.0 MPa/低圧側 0.5 MPa)に変更した。冷凍機の小型化と冷凍効率向上、さらに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きた。開発したターボ圧縮機は 1 軸 2 段の遠心圧縮機で、入口圧力 0.5 MPa、圧力比 2.0、流量 1,200 Nm³/hr を得ることができる。また、磁気軸受の採用により圧縮機及び膨張タービンは摺動部を有しないので、メンテナンスフリーの冷凍機が実現できる。小型ターボ圧縮機の単体試験では定格の圧力比 2.0、圧縮機断熱効率 67~70 %が得られた。図 1 は同性能のレシプロ圧縮機とターボ圧縮機を比較した写真である。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化が達成される。



図 1



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

小型ターボ圧縮機の単体試験後に、小型膨張タービンおよび熱交換器と組み合わせ、ネオン冷凍機性能試験を実施した。性能試験ではコンパクト化を意識して、熱交換器のサイズを 4/5 に縮小して実施した。性能試験では小型ターボ圧縮機の運転特性や冷凍機性能などの調査を行い、65 K 運転で冷凍能力 2.0 kW、80 K 運転で冷凍効率(COP)0.059 を確認した。今後、さらなる小型ターボ圧縮機の断熱効率向上を図るとともに圧縮機の安定性、信頼性の向上を目指す。冷凍機運転シミュレーションによる検討を含め、ここまでの結果を総括すれば、目標の 65 K 運転で2 kW 以上の冷凍能力及び 80 K 運転で冷凍効率(COP)0.06 を達成できる状況にある。また、熱交換器を縮小することにより、コールドボックスの小型化も見通しがついた。次段階として、小型膨張タービンのさらなる効率向上と小型ターボ圧縮機の圧縮比増強及び断熱効率の向上が望まれる。

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(変圧器)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。そのため、サブクール液体窒素を生成・維持するために冷媒ネオンガスにより液体窒素を冷却する熱交換器(サブクール熱交換器)の検討を開始した。現状ではサブクール熱交換器として液体窒素中にネオンガスのコイル導管を浸漬した簡便な方式を採用している。このため、超電導機器収納クライオスタットやネオン冷凍機コールドボックスとは別にサブクール熱交換器用容器を設置している。サブクール熱交換器をネオン冷凍機コールドボックスに内蔵し、且つ、冷媒ネオンガスのエンタルピーを有効に利用するために、サブクール熱交換器にプレートフィン熱交換器を選定し、熱交換器の流路形状及び流路数のシミュレーションによる解析を行った。ここまでの検討では、サブクール熱交換器及びネオン冷凍機の最適化を図れば高効率な冷却システムが達成できることが解った。今後、詳細な解析と実験によりこの冷凍効率向上を確認する。



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「高温超電導ケーブル用冷却システム」

株式会社 前川製作所 技術研究所 池内正充

1. 高温超電導実証プロジェクト

高温超電導ケーブル(以下ケーブル)は大容量かつコンパクトな次世代ケーブルとして各国で研究がなされ、日本では2007年度より「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」が実施されている。この計画は高温超電導ケーブルシステムを実系統に連系させ、その運転、保守を含めたトータルシステムとしての信頼性を実証することを目的に、横浜市の東京電力旭変電所にて長期間の試験を行う予定である。本稿では超電導ケーブルの運転において重要な構成機器である液体窒素循環冷却システム(以下冷却システム)の概略および旭変電所搬入前に実施した冷却システムの検証試験について報告する。

2. 冷却システムの構成

冷却システムは、送電電力の変化等により変動する超電導ケーブルの熱負荷に対応し、冷媒である液体窒素の圧力、温度、流量を一定範囲に保ちつつ安定して供給するとともに、高い信頼性が求められる。システムは冷凍機、液体窒素循環ポンプ、リザーバタンクなどで構成される(図 1)。冷凍機台数は想定される熱負荷及び信頼性を考慮し、1 kW 級スターリング冷凍機を 6 台(予備機含む)使用し、冷媒圧力損失の低減、メンテナンス性等を考慮し直列 2 台×3 並列とした。液体窒素循環ポンプについても同様の考慮を行い、予備機を含め遠心型ポンプを 2 台並列配置とした。リザーバタンクは液体窒素の温度変化による膨張収縮を吸収するため、内容量は 1,000 リットルを確保した。検証試験では超電導ケーブルが無いため、その熱負荷を模擬するヒータ(模擬負荷)を設置した。

なお、冷凍機は工場設備の都合上、半分の3台を使用(図中のハッチング部分を除く)し、試験後半にはこの3台を残りの3台と入れ替えることで運転中のメンテナンスを想定した入替え試験も実施した。

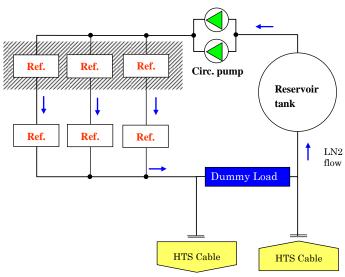


図1冷却システムフロー



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

3. 検証試験

試験は健全性確認試験、制御確認試験、切替運転試験、信頼性試験、メンテナンス試験等を実施 した。以下に主な試験の結果について報告する。

a.加圧制御試験

超電導ケーブルの良好な電気絶縁性能を維持するため液体窒素圧力を一定値以上に保ち、ケーブル内での気泡の発生を防ぐ必要がある。加圧方式は、リザーバタンク内のヒータ加圧方式、外部の窒素ボンベを用いるガス加圧方式に加え、外部動力を全く必要としない自然加圧方式(液体窒素の一部を熱交換器で蒸発させて加圧源とする)の3方式を採用した。これらを適切に組み合わせることで安定的に圧力を維持できることを確認した。

b.温度制御試験

今回のシステムではケーブル供給温度を冷凍機の運転台数制御により一定範囲に保持することとしている。試験結果の例を図2に示す。模擬負荷を変動させても冷凍機の発停により、目標温度制御範囲である ± 1 K 範囲での安定運転が可能であることを検証した。

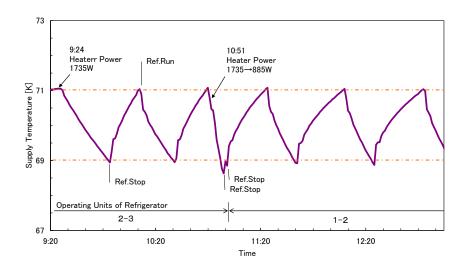


図2 温度制御試験結果

本研究は「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」として新エネルギー・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。



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「ガス循環式冷却技術の開発」

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

高温超電導線材はエネルギー密度が高く、超電導機器の大型化・大出力化に優位です。超電導コイルの大出力化を図るには高電圧化が必要となりますが、コイルに固体絶縁を施すことで絶縁性能が向上します。一方、高温超電導線材は臨界温度が高く、金属系に比べ熱的に裕度があるため、冷凍機から絶縁を施した超電導コイルを直接冷却することが可能となります。

従来、冷凍機から直接冷熱を取り出す冷却システムとして伝導冷却方式がありますが、これは冷 凍機からの固体熱伝導により冷却が行われていました。しかし、機器が大型化になると伝熱距離が 長くなり、超電導コイルにおいて熱勾配が発生し、発生する熱が大きいと超電導状態を維持できな い懸念があります。そのため、冷凍機をコイル近くに配置し、熱勾配を小さくし冷却する必要があ ります。しかし、この方法では冷凍機をコイル周囲に配置(大型コイルでは1つのコイルに複数台 配置)する必要があり、機器配置の制約や、メンテナンスに手間がかかるといった課題があります。 そこで今回、長距離冷却が可能で、発生する熱を確実に冷却する方法として、ガス循環式冷却技術 を開発したので紹介します。

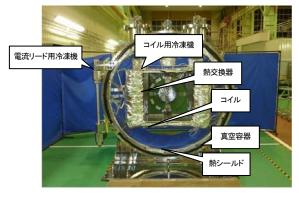
ガス循環式冷却方式は、均等に冷却出来るようコイル表面にアルミで製作した伝熱板を張り付け、この伝熱板にヘリウムガスを循環できる配管を埋め込みます。この配管の中に冷凍機で冷却したヘリウムガスを循環させることで、コイル全体を均等に冷却することが可能です。また、冷却ガスは遠くまで運ぶことができるため、冷凍機をコイルから離れた場所に集中配置することで、メンテナンスの簡素化も期待できます。図にガス循環式冷却試験装置を示します。

今回、試験装置を用いて、次の特性を確認する ことができました。

- 1) 20 K 温度下でのコイル表面熱流東 3 W/m²以上の冷却が可能。
- 2) 真空・20 K 温度下での 6 kV の電気絶縁性能を 有する。

この冷却技術は、超電導機器の大型化にも対応 できることから、産業分野や電力分野など幅広い 応用を可能とします。

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す。



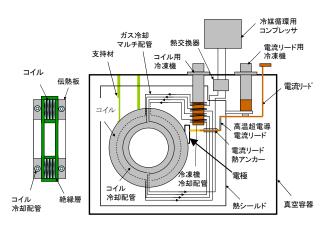


図 ガス循環式冷却試験装置



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「直流超伝導ケーブル用冷却システムの研究開発」

中部大学

超伝導・持続可能エネルギーセンター

教授 山口作太郎

中部大学では直流超電導送電の研究開発を 2005 年から本格的に開始した。このシステムではケーブル部損失は、低温系への熱負荷でほぼ決まる。つまり、冷却システム性能がシステム成立性を決めることになり、中部大での多くの研究は低温系への熱侵入量低減を目指してきた。以下では 200 mケーブル実験装置を中心に低温システム研究を概説する。

1. 細いケーブルの利用

超伝導ケーブルが細いと断熱 2 重管も細くできる。これによって低温系への熱侵入量を低減できる。したがって、高電流密度の細いケーブルを作ることは重要である。ケーブル仕様は同軸往復導体で±10kV、2kA@78Kで外形寸法が35 øとなった。

2. 直管を利用した断熱2重管

直管は表面積が少ないので輻射による熱侵入を最小化できる。また、冷媒循環にとって圧力損が最小化できる。更に、輸送用ドラムにはケーブルのみを巻くことによって、ケーブル接続部を少なくできる。これはケーブル建設コストを下げ、安全性を向上させる。図1にケーブルと断熱2重管を示す。内外管径は50 A, 200 A であり、従来の断熱2重管の管径比に比べて内管が細い。これよって排気コンダクタンスを大きくでき、真空ポンプの配置が容易になり、断熱2重管をベーキングすることなく高真空を達成できる。200 m ケーブル実験装置では、ベーキングすることなく真空度10⁴[Pa]を達成できた。また、10 L/min の循環量に対して圧力損は2~3 [kPa]となった。以上は設計目標値に近い値になったが、今後更なる工夫が必要であると考えている。

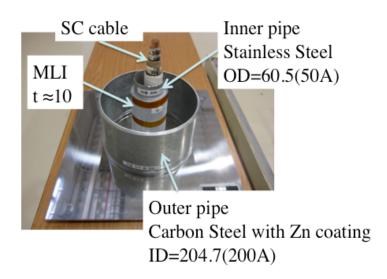


図1 断熱2重管及びケーブル断面写真



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

3. ケーブル等の熱収縮吸収

冷却するとケーブル及び断熱 2 重管内管は 0.3 %程度熱収縮する。200 m ケーブルでは 60 cm の熱収縮となる。一方、テープ線材に応力を印加すると臨界電流が減少する。したがって、この熱応力を緩和するために、ケーブル両端末を熱収縮方向には固定しなかった。そして、端末クライオスタットをレールに乗せて熱収縮に応じてベローズを介して可動する構造とした。図 2 に模式図を示す。TV カメラでケーブル端を観測し、画像処理に

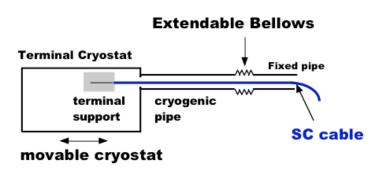


図2 ケーブル端支持と可動クライオスタット端末構造

よって自動運転ができる装置を開発した。一方、今後ケーブルが長くなり、例えば 10 km では熱収縮量は 30 m にもなる。このため、図 2 に示したようなベローズのみを利用した熱収縮吸収方法は改善が必要であると考えている。

4. 低熱侵入端末

端末では、常温部の銅ターミナルと超伝導素線を銅リードによって直接接続するので熱侵入量が大きい。従来端末では 50 W/kA 程度であり、ケーブルの 4 つの端末で合計 200 W/kA の熱侵入量となる。これが減れば短距離低電圧でも利用できるので、給配電システムへの適用が可能となる。中部大ではペルチェ効果を利用した電流端末(PCL)の開発を進めて来た。200 m ケーブル実験装置のPCL では 25 W/kA 程度の熱侵入量が設計値であるが、10 W/kA 以下の電流リードも原理的には可能であり、開発を計画している。

5. 断熱 2 重管外管を鉄管利用

200 m ケーブル実験装置では断熱 2 重管外管に世界で初めて鉄管を利用した(図 1 参照)。輻射を低減するために亜鉛メッキを施し、これによって真空容器としても利用できるようになった。そして、安価になり(ステンレスに比べて価格は 1/5 以下)、資源制約性も緩和された。更に、直流送電では電力変換器が大型インダクタを必要とするが、外管が強磁性体であるため、単芯ケーブルであればインダクタンスが大きくなり、外部インダクタが不要になる可能性があり、データを収集し検討を進めている。

2010 年 3 月に 200 m ケーブル実験装置は一応完成し、今までに 3 回の冷却昇温を通じ、数々の実験を行ってきた。2011 年も引き続き 2 回ほどの実験を予定している。現時点では、全体として銅やアルミの送電線に比べて損失が 1/5 以下と評価している。また、コスト的にも導入可能なレベルまで来ている。そして、次のステップとして 2 km 規模のケーブル実験装置の建設検討を始めた。3.11 震災後、日本のセキュリティー向上のため広域送電網の検討が行われようとしている。この状況で直流超電導送電システムの研究が進展し、利用されることを望んでいる。



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「20 K 冷凍機の開発と水素エンジン自動車」

東京都市大学 総合研究所 水素エネルギー研究センター 兼 工学部 エネルギー化学科 准教授 山根公高

冷凍・冷熱技術は、医療面では MRI (Magnetic Resonance Imaging) の超電導磁石に、宇宙では 赤外線望遠鏡の望遠鏡筒を冷却するヘリウムガスの再液化、地上では電力輸送、リニア新幹線のリ ニアモータに、また液化ガスを作る手段としてなくてはならないものになっている。

東京都市大学(旧武蔵工業大学)は、将来の化石燃料の枯渇化問題と、その燃料が内燃機関(以下エンジンと称す)に使われ排気ガスとして出てくる有害物質(一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、窒素酸化物(NOx))による公害問題を解決するために、化石燃料を水素燃料に替えてエンジンに使えないだろうかと考え、1970年より故古浜庄一先生(前武蔵工業大学学長)の指導の基で、筆者の同期湯浅誠治さんと筆者とで水素エンジンの研究、すなわち、水素燃料の性質がエンジンの動力性能や排気性能にどのような影響を及ぼすかの研究を開始した。

1次エネルギーとして自然エネルギー(太陽エネルギー(光、熱、風、水力、波力等)、地熱、潮力、バイオマス)と、地球に豊富な水を使って、水素を作る。水素と空気を燃焼させるので排気ガスには温暖化ガスの一つである二酸化炭素(CO2) は発生しない。厳密に言うと、エンジンには化石燃料を使うときと同じように、炭化水素系の潤滑剤が必要である。潤滑剤は水素燃料と一緒に燃え、数~10 数 ppm の CO2,CO,HC を発生し、空気と水素を燃焼させることから、運転条件によってはNOx が排気管から出てくる。しかしそれらは、数~10 数 ppm のレベルであるので公害問題を引き起こすことはない。初期のテストエンジンを用いた研究結果から、水素燃料は化石燃料と同じようにエンジン自動車の燃料として使えることが分かった。それを証明するために今までに 12 台の水素エンジン自動車を開発した。公道を走行するために技術基準がつくられた。この数年はその技術基準に基づいた 35 MPa 高圧水素ガス用軽量樹脂タンク水素供給システムを用いて白ナンバーを取得し、公道走行実証運転試験を行っている。液体水素燃料供給システムについては、そのような技術基準がまだ検討もされていない。後述する理由から、早期に液体水素についても技術基準が整備されることを願う。

自動車の原動機の必須条件は、その目的から言って高出力、軽量、小型で安価である。これを満す必要から、水素燃料もエネルギー密度の高い液体水素を搭載する必要がある。とても難しい技術ではあるが液体水素高圧ポンプを使って液体水素を車上で高圧化し、外気やエンジン冷却水より熱をもらってガス化してエンジンに供給するシステムは、すでに本学で完成している。このシステムを使うことによって、燃焼圧力の約2倍の圧力でエンジン内に直接水素を噴射することができ、水素燃料特有の異常燃焼発生を阻止し、同じ大きさの化石燃料エンジン出力の約1.2倍の出力を得ることが出来る。さらに最適制御運転を実施することにより、熱効率が化石燃料エンジンより大きくできることが期待されている。その結果、液体水素燃料を使うことで理想的水素エンジン自動車が出来る10。

しかし、化石燃料用燃料タンクを使って、液体水素を車載すればたちまちに蒸発して燃料タンク



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

から液体水素はなくなってしまう。それを閉じ込めれば、燃料タンク圧力は高圧になり破壊に至る。 完全断熱が必要であるが物理的に成立しない。そこでリンデは BMW 社が開発した水素エンジン自 動車に搭載できる断熱効率の最も高い断熱性能を持つ液体水素燃料タンク(液体水素貯蔵容量約 100~130 (a) の開発を行い、公称蒸発損失 1 %/day の液体水素タンクを開発した。しかし公称蒸発 損失 1 %/day の超断熱タンクは、コストが高くて自動車には実用的でないことが判明した。現時点 で、実用的な液体水素燃料タンクの蒸発損失は5%/day前後といわれている。将来自動車はさらに インテリジェント化されるので今よりも多くの電力を必要とする。BMW 社は、自然蒸発した水素 の利用法の一つとして、小型燃料電池を搭載してボイルオフ水素を電気に変換し電力として使う考 えを挙げたこともある。しかし、液体水素を燃料とする自動車を利用するユーザーにとっては、走 行のためにタンクに貯蔵しておいた液体水素燃料が車を走行させないうちに、自然蒸発でその量が 減少してゆくことは許し難いことである。ユーザーはできるだけ安く、便利に自動車を利用したい。 液体水素を燃料とする水素エンジン自動車は、走行中は液体水素燃料を利用するのでほとんど液体 水素燃料タンク内圧力は上昇しない。走行中に万一タンク圧が許容値以上に達した場合は、ガスと してエンジンに供給し、動力に変換してしまえばよい。問題は、長期の駐車やガレージでの保管等、 走行をしないときである。タンク圧力が許容圧力より高くなればタンクから放出しなくてはならな い。放出水素ガスの安全性を確保するために、その処理法を考える必要もある。例えば、燃料電池

自動車では、ボイルオフガスを水素吸蔵合金に貯蔵しておき、走行時は貯蔵された水素を使って走行するシステムを研究している²⁾。それでも長い時間止まっていれば、吸蔵合金が貯蔵できる限界もあるので難しくなる。

自然蒸発による液体水素燃料タンク 内の液体水素燃料を、本来の目的である自動車の動力を得るために使う以外 に消費させることは、車の利便性から 合理的ではない。よって、蒸発した分 だけ液体水素燃料を充填してかかる費 用と、小型冷凍機で液体水素燃料タン ク内に侵入した熱(実際は蒸発した液 体水素の潜熱)を外部にくみ

出す冷凍機電力の費用を比較 検討することによって、ユー が一にとってどちらが得であるかを検討するために図1を 作成した。横軸に1000の液体水素が充填できるタンクの 蒸発損失量(%/day)、縦軸に費用をとった。液体水素充填で 調をとった。液体水素充填の 売値費用をパラメータに取り、 冷凍機の場合は、実用化されている小型GMサイクル冷凍

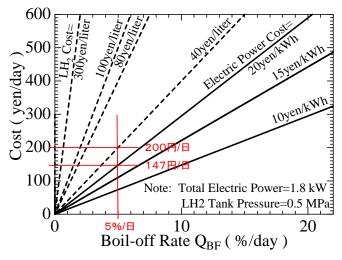


図1液化電力と液体水素再充填のコスト比較

表 1 小型冷凍機の種類と特徴比較

小型冷凍機の種類	特徴	軽量小型		車載適応1 構造簡単	_
マイクロジュール トンプソン冷凍機	数十MPaの高圧ガスが必要 軽量で取り扱いやすい 動く部分がなく低振動、低騒音	0	0	0	× (高圧ボンベ)
蓄冷式冷凍機 ・スターリングサイクル ・ヴェルミエサイクル ・GMサイクル ・ソルベイサイクル	大きなコンプレッサーが必要 振動が起こる 長い開始時間(約10分) 重い、大きい 切換え弁がある	×	Δ	×	× (大型圧縮機)
パルス管冷凍機	構造が単純 冷凍部に可動部がないので 振動がほとんど生じない 長時間の稼動に対し高い 信頼性が得られる	0	0	0	0



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

機の効率データから液体水素タンク内での条件にあわせるため、その効率のデータを内挿して求め、それに合わせ電力売値をパラメータにとってそれぞれを比較した。液体水素充填費用で最も安価な値段は、ユーロケベックプロジェクトで計画した液体水素の値段(40円/0)であり、実現はしていないが著者の知っている限りでは最も安価な液体水素の値段である。また、最も高い売値電力価格は、家庭用電力(20円/kWh)である。蒸発損失を自動車に使える実現的な5%/dayとすると、蒸発した液体水素をタンクに再充填するためには1日当たり200円の費用がかかり、冷凍機を使った場合は147円かかることが分かる。高価な電力を使っても液体水素充填費用より安価である。2002年にはNEDOのWE-NET革新アイデア募集への研究提案を行い採択され、パルス管冷凍機の世界的権威である松原洋一先生を中心に、本件に関心のある研究者総勢10名で液体水素燃料蒸発ロスゼロ化プロジェクトを結成し、自動車搭載条件にマッチした小型冷凍機調査と選定のために、机上検討を実施した。その結果を表1に示す。自動車搭載用冷凍機としては、パルス管冷凍機の適性が高いことが判った。

液体水素を燃料とする水素エンジンの 液体水素蒸発ロスゼロ化は、液体水素燃 料を使うことで可能となる理想的エンジ ン自動車が実用化されることと全くの同 意語である。しかし、2002年に液体水素 燃料蒸発ロスゼロ化プロジェクトでの調 査でも、ほとんどの冷凍機の研究開発は 液化ヘリウムか液体窒素であり、液体水 素での研究はみあたらなかった。水素エ ンジン自動車に対するパルス管冷凍機の 適性が高いことを訴えてきたが、なかな か支援を受けることが出来ずに時間が過 ぎた。2008年に文部科学省の科研費「萌 芽研究」と本学の「重点先行研究」とし て液体水素蒸発ロスゼロ化実験が認めら れ、パルス管冷凍機を研究するための実 験室と、試作を始められる資金が得られ た。さらに幸いなことに松原洋一先生に ご指導を頂けることになり、手始めとし て図2に示す構造の1段式パルス管冷凍 機を試作し、パルス管冷凍機の実験が出 来るようになり、水素エンジンの液体水 素蒸発ロスゼロ化の実現に向かって研究 は進んでいる。図3は、試作した1段式 パルス管冷凍機実験装置の全景である。 パルス管冷凍機の目標性能は、当面は、 300 W の投入電力に対して、1 W の冷却 エネルギーを得ることである。将来はそ

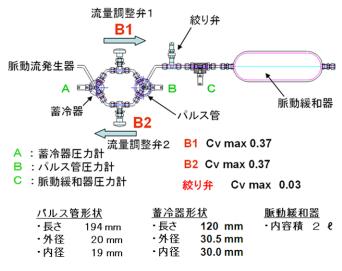


図2試作した1段式パルス管冷凍機



図3 試作した1段式パルス管冷凍機試験装置実験装置の全景

れを 100 W の投入電力で、1 W の冷却エネルギーを得られる技術を目標としたい。構成要素は、冷蔵庫に使われているものとほぼ同じと考えると、車載するためのコストは、多量生産を考え 10 万円以下になると思っている。



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

参考文献:

- 1. 山根公高(他 6)、「図解 水素エネルギー最前線」、工業調査会、第 1 刷、 p .77-142、ISBN 4-7693-7118-7、2003.7.
- 2.橋正好行(他 5)、「車載用液体水素タンクのボイルオフ低減技術の開発(第 3 報)-ボイルオフ低減技術の実証実験-」日本自動車研究所、自動車研究、Vol.30, No.7, 2008.7, pp.41-44



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

6/5-10

Gordon Research Conference: Superconductivity / 2011

場所: Waterville Valley, USA

問合せ: http://www.grc.org/programs.aspx?year=2011&program=supercon

6/8-10

24th Space Cryogenics Workshop

場所: Coeur d'Alene, ID, USA

問合せ: http://www.spacecryogenicsworkshop.org/

6/13-17

Cryogenic Engineering Conference and International Cryogenic Materials Conference 2011 (CEC-ICMC 2011)

場所: Spokane, WA, USA

問合せ: http://www.cec-icmc.org

6/24

第37回シンポジウム/第15回超伝導科学技術賞授賞式

場所:タワーホール船堀

問合せ: http://www.sntt.or.jp/~fsst/37thSP.pdf

7/13

超伝導エレクトロニクス研究会 7月研究会

(超伝導マイクロ波応用、信号処理基盤技術及びその応用、一般)

場所:機械振興会館

問合せ: http://www.ieice.org/es/sce/jpn/index.html

7/25 -29

15th International Conference on RF Superconductivity (SRF2011)

場所: Sheraton Chicago Hotel & Towers http://conferences.fnal.gov/srf2011/index.html

(編集局)





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(4/16-5/17)

- ○リニアのバイパス機能を評価 国交省小委が最終答申案 日本経済新聞 4/22
- ○軌道に乗り始めたレアメタル対策 進む代替・削減技術 異例の予算 1000 億円 日刊工業新聞 4/25
- ○ビッグバンを再現 超大型加速器 日本へ誘致の動き加速 建設費試算 6000 億円 日経産業新 間 4/25
- ○中国 レアメタル生産抑制 今年、伸び率1ケタに 日経産業新聞 4/27
- ○新幹線 日本列島縦断 JR 東海 リニア計画推進 日刊工業新聞 4/28
- ○レアアース騰勢強める 中国の供給抑制世界需要旺盛 需給逼迫懸念生じる 日刊工業新聞 4/28
- ○第 16 回日経アジア賞 呉茂昆氏(台湾・中央研究院物理研究所長)高温超電導の扉を開く 日本経済新聞 5/05
- ○レアアース 蛍光灯から回収安く 産総研 電磁石活用で新技術 日本経済新聞 5/12
- ○国交省審議会「直線」で最終答申 リニア耐震追加策なし 毎日新聞 5/13
- ○単一光子検出器 半導体使い開発 日大と NTT 量子暗号通信に道 日刊工業新聞 5/16
- ○超電導直流送電に光 電気抵抗ゼロ 発熱ロス、20分の1 メーカー参入が課題 日経産業新聞 5/17
- ○ヘリウム循環装置 脳磁計稼動コスト大幅低減 新領域技術研究所 日刊工業新聞 5/17

(編集局)



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

「2011 MRS Spring Meeting and Exhibit」報告

九州工業大学 工学研究院 物質工学研究系 教授 松本 要

米国サンフランシスコにおいて 2011 MRS Spring Meeting and Exhibit が開催された(平成 23 年 4 月 25 日~29 日)。MRS は Materials Research Society が主催する研究集会であるが、春と冬の年 2 回開催され、毎回国内外より 5000 人規模の研究者が集まる大規模なもので実質上は定例の国際会議である。最近では、超電導関連シンポジウムは毎回春に開催されており、これまで Y 系線材や Bi 系線材の進展に大きく貢献した。筆者は、超電導シンポジウムのオーガナイザーの一人として参加した。今年の春のシンポジウム総数は 51 件で、アモルファス Si 薄膜、太陽電池、酸化物薄膜、固体イオニクス、等々が議論されており、エネルギー材料関連の研究が近年盛んになりつつある。超電導シンポジウムもこの流れの中に位置づけることができると考えられよう。しかしながら今年のテーマは「Future Directions in High-Temperature Superconductivity -- New Materials and Applications」であり、Y 系線材等の開発が一段落したことから、次代を探ろうとする企画者の意図が伺えるタイトルとなっている。

超電導シンポジウム(Symposium VV)は期間中の 4 月 26 日~29 日の 4 日間行われた.初日のテーマは、「Role of High- T_c Superconductors in the Future Society」と「Strategies for Enhanced, Low-cost Superconducting Wires」で、2 日目は「Mechanisms for High- T_c and the Quest for New Superconductors」、3 日目が「Transport Properties in New High- T_c and Cuprates Superconductors」と「Role of Strain and Defects in Pinning」、4 日目が「Vortex Pinning」という構成であった。発表件数はオーラル、ポスター合わせて約 70 件ほどであった。以下順を追ってトピックスについて報告する。

「Role of High- T_c Superconductors in the Future Society」では、元 EPRI の P. Grand,NHMFL の D. Larbalestier、BNL の Q. Li、Karlsruhe の W. Goldacker らがそれぞれの立場からレビューを行った。Grant は、超電導ケーブルで自然エネルギーを含む発電設備を結ぶことで、電力利用の効率化を目指す未来社会について述べた。彼は Physics World 誌超電導 100 周年特集にも一文を寄せている。Larbalestier は、今後の超電導開発においてもマグネット開発が牽引役であることを強調した。Li は、素粒子加速器は SMES とみなすこともでき、巨大な SMES と Grid との連携などの可能性を指摘した。「Strategies for Enhanced, Low-cost Superconducting Wire s」では、MgB2 線材(C. Senatore, Geneva)、IBAD 線材(V. Selvamanickam,Houston)、RABiTS 線材(S. Sathyamurthy,AMSC)、IBAD 線材(S. Yoo,Seoul)らの最新の開発状況の報告があった。

2日目は、鉄系超伝導体や非 Y 系、非 Bi 系超伝導体に関する発表があった。この分野では欧州の研究者の発表が目立った。これ以外には C. Chu (Houston) による圧力効果、J. Mannhart (Ausburg) による $LaAlO_3/SrTiO_3$ 界面超電導体の発表などがあった。S 日目と S 日目は、S 系薄膜の組織とピン止めに関する報告があった。S 7. Puig (ICMAB-CSIC) は、S MOD-S 系薄膜中のナノ粒子周辺の微細組織について S HAADF 画像を用いて詳細に解析し、周辺には多くの転位ネットワークと層のバックリングなどが存在することを示した(これらに起因するものをマイクロ歪と呼んでいる)。これらの高密度欠陥がピン止めの原因であり、ナノ粒子そのものはピン止めには寄与していないと主張した。S Harrington (Cambridge) は、S 系薄膜中のナノロッドを切断し、さらにランダムに配列することで S の角度依存性が上昇することを示した。また、S Wee (ORNL) は、S S NBZO を利用す



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

ることで77 K、1 T のピン止め力が向上し、容易に $1 MA/cm^2$ を超える J_c が得られることなどを示した。

最後に、米国ではエネルギー省の Y 系線材関連のプロジェクトが一段落したことで、競争力のある超電導研究者を維持できないという問題が発生しているようである。欧州では、大型線材プロジェクトの公募が進んでおり夏以降に決まるとのこと。 MgB_2 線材か Y 系線材のどちらかのプロジェクトが進む可能性が高い。このように超電導を取り巻く予算状況は変化しており、MRS の超電導シンポジウムも今後その内容が様変わりしていくかもしれない。ちなみに 2012 年の MRS Spring Meeting の超電導シンポジウムは、日本の応用物理学会超伝導分科会と MRS との共同で開催されることが決まっている。筆者は MRS 2012 年のシンポジウム企画にも関係しているので、日本からの多くの参加を期待したい。



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】

やさしい超電導リニアモーターカーのお話(その3)

~JR-Maglev 開発のあゆみ~

公益財団法人鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 低温システム研究室長 長嶋 賢

1. 開発の背景

前回は JR-Maglev の原理について紹介したが、開発当初からこの方式が決まっていたわけでは無い。今回はこの方式が確立するまでの開発のあゆみについて紹介したい。

話はだいぶ遡るが、東海道新幹線は、東京オリンピックの開幕を控えた 1964 年 10 月 1 日に開業した。その 2 年前の 1962 年、当時の日本国有鉄道(国鉄)の技術者は、次の目標を東京~大阪間1時間として、新幹線を上回る超高速鉄道の開発研究をはじめた。

在来の鉄道のように、鉄のレールと鉄の車輪の粘着力に依存する方法では、最高速度に限界があるため、全く新しい駆動方式を採用することが検討された。研究は駆動力としてのリニアモータを中心に保守性、耐震性、安全性から研究を進め、やがて浮上式鉄道の方法が模索されるようになった。浮上方式の比較も、磁気浮上や空気浮上等が白紙の状態から行われた。その結果、リニアモータ駆動と磁気浮上の組合せが良さそうだと考えられるようになった。

一方、超電導磁石を用いた磁気による浮上・案内の方式は、1966年にアメリカのブルックへブン国立研究所の J. Powell と G. Danby の二人が米国機械学会に発表し(リニア同期モータによる推進の組み合せは 1969年に発表)、その後、各種模型による実験がなされたが、大きな進展はなかった。当時の国鉄は、このパウエルとダンビイの方式に着目し、超電導リニアモーターカーの開発を進めることとした。こうしてアメリカで考案された超電導リニアモーターカーが、日本で形を変えて育っていくことになった。

2. 国立での研究開発 (ML100A まで)

この超電導リニアモーターカーの開発の中心となったのは、中央線国立駅の北側にある国鉄の鉄道技術研究所(現在の公益財団法人鉄道総合技術研究所)であった。

最初は、誘導反発(超電導磁石の磁界を短絡コイルが横切ると、コイルに電流が流れて、超電導磁石と同じ極の磁石となり、相互に反発し合うこと)による浮上力の確認から研究を始めた。続いて、超電導磁石の下で6個のコイルを取り付けた円盤を回転させる模擬試験装置を作り、1971年3月には、超電導磁石を収納したクライオスタット(低温容器)を浮上させることに成功した。さらに、リニアモータ推進によって浮上走行させる試みを行うことになり、延長220mのガイドウェイが研究所構内に設置された。ガイドウェイの底面には浮上コイル、側面には推進コイルを設け、このガイドウェイを、超電導磁石を内蔵した箱型の実験車が走行した。1972年3月のことである。これが、超電導磁石を用いたリニアモータ推進による、電磁誘導浮上走行の世界初の成功であり、この実験車は後にリニア同期モータ(Linear Synchronous Motor)と軌道の長さにちなみ、LSM200(図1)と名付けられた。ただし、この実験では左右の案内はローラーで代用していた。



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

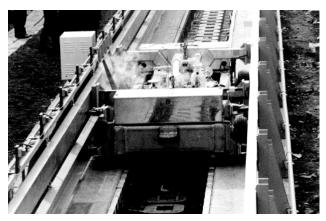


図1 世界初の電磁誘導浮上で走行した LSM200

1972 年は、1872 年に日本で初めての鉄道が新橋〜横浜間を走ったときから、ちょうど 100 年の節目の年であった。この鉄道 100 年を記念して様々な行事が行われたが、その一環として、超電導磁気浮上車の走行実験を公開することになった。実験車は、超電導磁石を両側に取り付け、車内には 4 人分の座席を設けたものであり、鉄道 100 年にちなんで ML100 (図 2) と名付けられた。研究所構内に設けられた長さ 480 m のガイドウェイを走行し、推進方式としては地上一次(推進コイルに電力を供給する方式)のリニア誘導モータを採用していた。鉄道 100 年の記念日である 10 月 14 日の公開走行では、多くの観客が見守る中で、速度 60 km/h ではあったが、浮上に成功している。この車両は現在も鉄道総研前に展示されている。この ML100 はデモンストレーションを目的としていたため、それまでの開発経緯から、推進に同期モータではなく、誘導モータを使用し、車両の左右の案内もシューという鉄のそりのようなものを用いていた。そこでその後、リニア同期モータへの移行とあわせて、地上の推進コイルを車両案内にも併用できる方式が考案され、1974 年に地上一次リニア同期モータ推進、超電導磁気浮上案内の ML100A (図 3) が試作され、初めて完全非接触浮上の走行実験に成功した。これは、次項で述べる宮崎実験線の ML500 の雛形となった。







図3完全非接触浮上走行に成功したML100A

3. 宮崎での実験 (ML-500 から MLU002N まで)

国立での成果を受けて、いよいよ 500 km/h での走行が可能な実験線について検討が行われ、1974年、国鉄の浮上式鉄道開発会議において実験線の建設が決定された。ガイドウェイの長さは単線の7 km でほぼ直線とするが、若干の曲線の実験も可能な路線とし、勾配は特に設けないこととした。実験線候補地としては、全国で数カ所が候補にあがったが、最終的には宮崎県の日向市から都農町にかけての、日豊本線沿いの場所に決定した。



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

宮崎実験線は1974年に着工され、1977年4月には実験センターが発足した。7月には最初に完成した1.3 km のガイドウェイを使用して、実験車の ML-500(図 4)の走行実験を開始した。名前の「500」は目標速度500 km/h を意味している。ガイドウェイはモノレールのような逆 T 型と呼ばれる形状をしており、T の縦棒にあたる中央突起の両側に推進・案内併用コイルを設置し、T の横棒にあたるガイドウェイの底面に浮上コイルを配置した。実験車両は一両で、長さ13.5 m、重さ10 t、逆 T 型のガイドウェイにまたがる格好をしていたため、乗車スペースは無かった。逆 T 型のガイドウェイ構造を採用したのは、リニアモータの推進力およびブレーキ力が車両の重心近くに発生させ得るので、車両運動的に安定するためである。当時は大きな超電導磁石の製作が難しかったため、浮上用と推進・案内用の超電導コイルを搭載していた。それぞれの超電導コイルが、地上コイルと向き合うように配置されているので、後ろから見ると超電導磁石が L 字型の構成になっていた。ガイドウェイは3.1 km、4.7 km と伸びていき、1979年8月には計画どおりの全線7kmが完成した。その間、模擬トンネルによるトンネル内走行試験や、ヘリウム冷凍液化装置を車上に搭載した車両 ML-500R(図 5)の試験なども実施し、車載冷凍機の可能性が示された。ML-500Rの「R」は冷凍機(Refrigerator)の頭文字からきている。その後、再び ML-500 を用いて速度向上試験が行われ、1979年12月に実験線での目標最高速度を上回る、517 km/h を達成した。



図 4 517 km/h (世界記録) を達成した ML-500



図5 車載冷凍機を搭載した ML-500R

1980年からは、乗車スペースが確保できるように車両を箱形構造にするとともに、ガイドウェイ構造をU型に改造する工事が行われた。新しい車両はMLU001(図 6)と名付けられ、2両の先頭車と1両の中間車の3両編成であった。長さは、先頭車が10.1m、中間車が8.2mで、重量は全車両ともそれぞれ約10tであった。先頭車には8人分、中間車が16人分の座席を設けていた。超電導磁石は各車両とも両側に配置し、1つの超電導コイルで浮上用と推進・案内用を兼用できる磁力の大きな超電導磁石の製作が可能となったため、推進・案内コイルと超電導磁石が向き合った1字型の構成となっていた。走行試験では、2両連結で1981年に405 km/hを、3両連結では1989年に352 km/hを達成した。

その後、将来の営業線に向けた各種の機能確認とあわせ、多くの人々に試乗してもらうことを目的として、MLU002 を製作することになった。1987 年 3 月に完成した MLU002 には、44 人分の座席を設け、快適性、信頼性、安全性を確認することとした。また、超電導磁石を高性能化して個数を減らし、集中配置方式とした。1987 年 4 月に国鉄が分割・民営化されたのにともない、超電導リニアの研究開発は、財団法人鉄道総合技術研究所(2011 年 4 月に公益財団法人鉄道総合技術研究所へ移行)に継承された。MLU002 では、それまで適用されていたガイドウェイの底面に浮上コイルを並べて設置する「対向浮上方式」と異なる「側壁浮上方式」(前回紹介)の実験も行われた。また、この車両は多くの人々に試乗され、超電導リニアの乗り心地を体験する機会を提供していたが、不幸なことに1991 年 10 月、実験走行中に車両火災を起こして全焼してしまった。

この事故の教訓を生かして、防火対策を施した新しい実験車 MLU002N(図7)が1993年1月に



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

完成し、走行実験を開始した。MLU002N による速度向上試験により、1994 年 2 月には無人走行で 431 km/h を、1995 年 1 月には宮崎実験線における有人走行で最高の 411 km/h を達成した。また、この車両で前回紹介した PLG 方式の地上コイルを用いた走行試験も行われた。

JR-Maglev の開発は表 1 にまとめたように、多くの実験車両を用いた走行試験を経て、リニア同期モータによる推進、側壁浮上コイルによる浮上、側壁浮上コイルのヌルフラックス接続による案内、という現在の方式が確立され、山梨実験線に引き継がれた訳である。







図7 411 km/h(有人)を達成した MLU002N

表 1 JR-Maglev 開発の歴史

車両名称	導入 年	技術的トピックス等	推進方式 Propulsion	浮上方式 Levitation	案内方式 Guidance
LSM200	1972	初の超電導磁気浮上走行に成功	リニア同期モータ		機械式
ML100	1972	超電導磁気浮上走行を公開	リニア誘導モータ		(ローラー、シュー)
ML100A	1974	初の完全非接触浮上に成功		電磁誘導方式	
ML-500	1977	最高速度517km/hを達成		(対向浮上)	電磁誘導方式 (推進コイルの ヌルフラックス接続)
ML-500R	1979	へリウム冷凍機搭載走行を実施			
MLU001	1981	I字型超電導コイルで推進浮上案内兼用、 3両編成での走行を実施	リニア同期モータ		
MLU002	1987	超電導磁石集中配置、 <mark>側壁浮上</mark> 走行実施		電磁誘導方式	電磁誘導方式 (浮上コイルの
MLU002N	1993	有人走行で最高速度411km/hを達成、 PLGコイルによる走行実施		(側壁浮上)	ヌルフラックス接続)



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

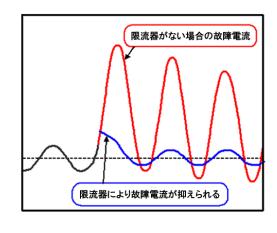
Q:「最近、高温超電導を使用した限流器が注目されていますが、どのような特徴があるのでしょうか?」

A: 電力を送る送電線や送電設備において、自然災害(落雷、台風)や他物接触(樹木、鳥獣、クレーン)、またトランスなど電気設備の老朽化により絶縁破壊が生じると、送電系統のインピーダンスが低下して、事故点に向かって大量の電流が流れる地絡事故、短絡事故が発生します。地絡/短絡事故(以後短絡事故)は停電を引き起こす原因となるために、電気設備はこれら事故が起きないように保守点検を行うことはもとより、万一これら事故が起きた場合に、瞬時に事故回線を切り離して健全な線路への停電の波及の防止と、大電流による遮断器や電力ヒューズが損傷しないように保護することが行われています。

これら事故対策の保護設備としては、継電器、限流ヒューズ、限流リアクトルなどが用いられ、 そのなかで中枢となるのが保護継電器です。保護継電器は、線路の電流値をモニターし過大電流を 検知すると線路を遮断する遮断器から構成され、短時間で回路を切ることができます。その遮断ス ピードも技術進歩していて、古くは数秒かかっていたものが、現在では 0.1 秒以下で遮断すること ができます。

現在、電力系統の巨大化や複雑化、分散電源の導入により短絡電流容量が増加してきており、も し将来的に短絡事故による短絡電流の規模が現行の保護機器の容量を超えてしまうと、遮断器では 回路を切れなくなる問題が生じてくる可能性があります。系統を構成する全ての機器を増強するに は多額のコストが必要となるために、対策として系統連系点等に限流器を導入し短絡電流を抑制す ることが提案されています。

限流器は、通過する電流が小さい時にはそのインピーダンスを小さく、大きい時には大きくして過電流を抑制するものです。右図に示すように、通常の送電時においては抵抗なく電流は流れているのに対して、過電流が流れる状況において電流の増加に応じてインピーダンスが増加して電流を抑えるようにしています。そのため、従来の遮断器のように時間遅れもなく過電流の第1波目から電流の抑制ができ、また最大到達電流を低くすることができます。このインピーダンスを変化させる方式には実はいくつかあり、ダイオードと超電導コイルを用いた超電



導整流器型、直流超電導磁石で磁気飽和させた鉄芯に巻線してインダクタンスの変化を利用する磁気飽和型、そして超電導の SN 転移を用いる抵抗型と呼ばれる方式があります。この中でも過大な電流が流れると超電導素子が超電導状態から常電導状態へと瞬時に転移する現象を利用して過電流を抑制する SN 転移抵抗型限流器は、高温超電導素子を用いることにより低損失、小型化が望めます。また、SN 転移抵抗型限流器の利点は、予想を超える超過大電流が流れると超電導素子が焼損してオープン状態になること、また冷凍機故障など超電導を維持できなくなると常電導になり電流



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

を流さない方向となることから、フェイルセーフ機能を有すると考えられています。

そのような特徴をもつ限流器は、欧米で試験的に系統導入が始められています。ヨーロッパでは、 国際的な電力融通の必要上、多国間の電力系統を結ぶメッシュ系統が広く使われており、事故時に は広範囲に停電が広がる恐れがあるため、配電系の低電圧限流器の開発が進められています。米国 では老朽化した電力基幹系の信頼性向上のため、100 kV 級の高電圧限流器の開発が進められていま す。日本においては、将来のスマートグリッド導入における事故波及拡大の防止や、分散電源の導 入による増加する故障電流の抑制への適用が将来ニーズと考えられています。

また、「イットリウム系超電導電力機器技術開発」**で開発が進められている「限流機能付加超電 導変圧器」は、超電導変圧器の超電導巻線を SN 転移抵抗型の限流器として利用するものです。限 流動作時に変圧器の超電導巻線が瞬時に電気抵抗をもつことで電圧低下を抑制することが可能で、 健全系統の瞬時電圧低下防止にも有効であることが報告されています。

* (http://www.kyuden.co.jp/press_h100819-1.html)

回答者: 古河電気工業株式会社 パワー&システム研究所 超電導応用開発部長 向山晋一様