

掲載内容 (サマリー):

特集: 超電導機器の冷凍・冷却技術

超電導機器関連冷凍技術の現状
パルス管冷凍機技術の展開
超電導モーターの冷却技術開発
超電導電力ケーブルの冷媒循環技術開発
MRI 用冷凍機の展望
超電導心磁計の冷却技術の展望
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 (4/20-5/20)

超電導速報 - 世界の動き (2005 年 4 月)

「フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術開発」成果報告会より

2005 年度第 1 回超電導応用研究会シンポジウム報告

文部科学省、KEK 春山教授、東北大学渡邊教授、住重機櫻庭氏らに科学技術賞授与

隔月連載記事 - やさしい超電導デジタル応用のおはなし (その 3)

読者の広場(Q&A) - 超電導ケーブルや超電導限流器を導入すると、それぞれどのようなメリットが生まれるのでしょうか?

[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：超電導機器の冷凍・冷却技術 「超電導機器関連冷凍技術の現状」

住友重機械工業株式会社
精密機械事業本部 クライオユニット事業センター
技術部 伊藤勝彦

超電導技術ならびに低温断熱技術の進歩は極低温冷凍機の市場を押し広げてきた。MRI 用超電導マグネット冷却を中心に、シリコン単結晶引上装置などの新規用途へも展開されている。また昨今の高温超電導線材の進歩と共に、従来から話題になっていた SMES、限流器、変圧器などの新分野に対しても明るい話題が多い。超電導機器の冷却方式も、旧来の寒剤のみの冷却から 10KGM 冷凍機を使用した輻射シールド冷却、さらに 4K 冷凍機を使用した液体 He の再凝縮へと進化を遂げてきた。10KGM 冷凍機の適用は煩雑な寒剤の充填頻度を低減させ、さらに 4KGM 冷凍機による再凝縮方式は輻射シールド板を不要としコストダウンを可能とし、貴重な資源である液体 He の消費量をも削減した。これら冷却技術の進歩は超電導機器の操作容易性、装置の低価格化などの市場原理が牽引役を果たしたことは言うまでもない。MRI 用 4K 冷凍機の管理台数は、数年先には 10000 台を突破する見込みである。

4KGM 冷凍機による伝導冷却方式を採用した超電導機器は、取り扱いが煩雑な液体 He を不要とし、スイッチ一つで容易に起動できることを特長とし、研究用途を中心に広がった。現在では一部 MRI やシリコン単結晶引上げ装置への適用も開始されている。冷却方式には旧来からの冷媒浸漬方式、冷媒循環方式など幾つかの方式があり、それぞれ長所、短所あるが、ユーザー側の視点から見た場合、超電導機器の進むべき冷却方式は伝導冷却方式であると考えられる。今後の課題としては極低温冷却システムの信頼性が挙げられる。低温部に可動部を持つ GM 冷凍機は長期的な運転で摺動部品が摩耗する為、定期的な修理を必要とする。また、超電導機器の信頼性を考える上で、冷凍システムの占めるウエイトが高いのは明らかである。近年、飛躍的な進歩を遂げた 4K パルスチューブ冷凍機は、低温部に可動部をもたないことから高い信頼性をもつとされているが、産業用途として認知されるまでには依然いくつかの課題が残されている。

一方、めざましい進歩を遂げている高温超電導線材は、超電導機器に新たな可能性をもたらしている。冷却温度が高い為に冷却システムに対する負荷も小さく、より低消費動力の冷凍システムでの運転が可能となる。環境・省エネという観点からも期待が大きい。これら用途としては、効率面で優れる大型のスターリングパルス冷凍機を使用した伝導冷却方式が有望である。超電導機器冷却システムの技術開発は、今後も超電導技術の進歩と共存関係にあることは明らかである。



4K パルスチューブ冷凍機

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導機器の冷凍・冷却技術 「パルス管冷凍機技術の展開」

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所
春山富義

GM 冷凍機に比べ、振動や保守の簡易さなどで勝りながら冷凍能力に差があったパルス管冷凍機は、徐々に性能を上げて来ており、広い温度範囲で実機としての応用が始まっている。4K レベルの超電導機器冷却では、超電導磁気浮上式鉄道（超電導リニア）に搭載された超電導磁石や、MRI マグネットの低振動での冷却に期待されているが具体的な報告はまだほとんどない。

超電導リニアの輻射シールド冷却に使われる液体窒素再凝縮用に、80K で 150W 以上の大きな冷凍能力を発生するパルス管冷凍機（GM 型）の研究開発が進んでいる。¹⁾ また、80K で大冷凍能力を効率よく達成するためスターリング型パルス管冷凍機の研究も進められている。ロータリーバルブによる損失を無くすことで高効率化を狙うことができ、200W@77K を得た実験が報告されている。²⁾

超電導機器冷却ではないが、物理や医学の科学研究分野でパルス管冷凍機がもつ特徴を前面に押し出した報告がいくつかなされている。重力波検出用レーザー干渉計の鏡を低温冷却するため、振動をナノレベルにまで低減した 4K および 80K パルス管冷凍機の研究開発が行われている。国内で商品化された 4K パルス管冷凍機をベースにして、振動低減の独自技術を加え、0.5W@4.5K+15W@44K、低温端の垂直振動 50nm 以下という性能を実現した。³⁾ 重力波検出実証用装置の重要な要素技術として、既に 4K 用 4 台および 80K 用 6 台のパルス管冷凍機システムが、地面振動の非常に小さな神岡鉱山地下に設置され、試験運転が行われている（図参照）。

また素粒子検出にもパルス管冷凍機が適用されている。液体キセノンは高エネルギー粒子に対する感度等が優れ、低温液体検出器として用いられる。大気圧下の沸点が 165K なので、従来から液体窒素による冷却・再凝縮が行われてきたが、高精度温度制御が難しく、寒剤消費を伴う。このため、165K で 200W 近くの大冷凍能力を持つパルス管冷凍機が開発され、液体窒素を全く使わない液体キセノン検出器が可能になった。⁴⁾ 液体キセノンをを用いた暗黒物質検出や PET 装置をはじめ、半導体シリコン検出器の冷却等、165K 付近の温度での応用が試験されている。これらの実験装置では長期間にわたって微弱な光や電子を取り扱うため、振動が小さく保守が簡単であるパルス管冷凍機の特長が生かされている。

医学では低温治療、特に皮膚疾患治療用に小型パルス管冷凍機が開発されている。従来の液体窒素に変わる皮膚の凍結用に 170K で



図 神岡鉱山地下に設置された重力波検出鏡冷却用 4K および 80K 低振動パルス管冷凍機システム

10W の冷凍能力が目標とされた。50Hz 駆動のスターリング型圧縮機を用いたモデル装置が試作され、ほぼ目標とする性能が達成されている。⁵⁾

参考資料

- 1) Y. Kondo et al., Cryocoolers 13, Springer, New York (2005) p681-687
- 2) 大谷ら、第 70 回低温工学・超電導学会講演概要集(2004) p.119
- 3) T. Tomaru et al., Cryocoolers 13, Springer, New York (2005) p695-702
- 4) 春山ら、第 71 回低温工学・超電導学会講演概要集(2005) p.74
- 5) P.E. Bradley et al., Cryocoolers 13, Springer, New York (2005) pp. 671-679

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導機器の冷凍・冷却技術 「超電導モーターの冷却技術開発」

大陽日酸株式会社
超低温プロジェクト
吉田 茂

2005年1月に大陽日酸を含む産学協同研究グループにより、世界初の実用化レベル液体窒素冷却超電導モーター（超電導界磁コイル）が開発され、引き続いて4月には全超電導モーター（超電導界磁コイル及び超電導電機子コイル）が発表された。超電導モーター、全超電導モーターはともに回転数 100rpm で 12.5kW の出力を持ち、冷却系は同様のものを使用している。但し、全超電導モーターでは電機子コイル用のクライオスタットが追加された形となっている。

図1に冷却装置のフロー図を示す。液体窒素供給装置には 200W@80K の GM 冷凍機が設置されており、GM 冷凍機はコールドヘッドに組み込まれた電気ヒーターにより 64K の一定温度で運転されている。この GM 冷凍機により装置内の液体窒素は大気圧下で 66K の過冷却状態に冷却され、液体窒素ポンプによりクライオスタットに送液される。サブクール液体窒素の循環流量は約 1L/min であり、68K の液体窒素が戻ってくる。

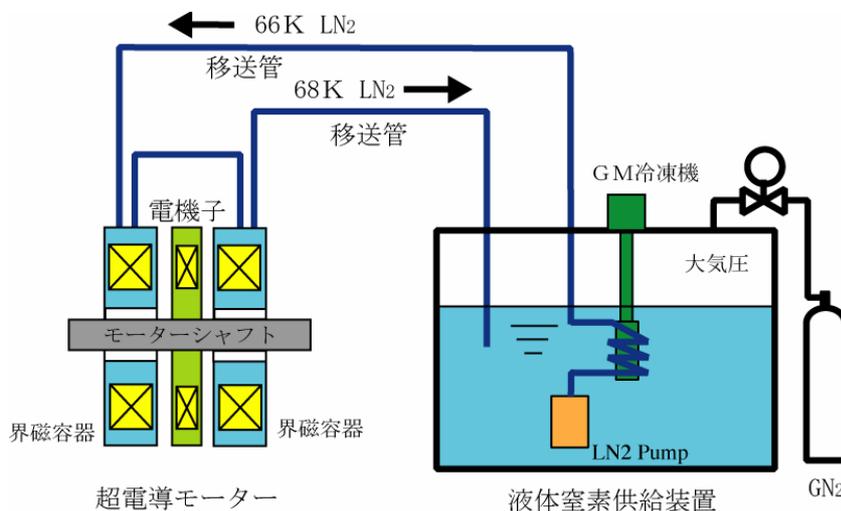


図1 超電導界磁型モーター冷却系フロー図

冷凍機の冷凍能力から求めた冷却装置全体の熱負荷は、モーターが無負荷運転時において約 60W であった。これに対して試算ではクライオスタット及び電流リードの熱侵入量が約 20W、移送管及び液体窒素供給装置への侵入熱量が約 40W であったから、ほぼ設計通りの熱負荷と言える。

図2に超電導界磁型モーターと全超電導モーターの写真を示す。モーターは交流機器であるということを考慮して、モーターを収納するクライオスタットはFRP（ガラス繊維強化プラスチック）で製作している。超電導モーターの重要な特長である小型化を達成するために、断熱真空層は 3-5mm という極めて薄いスペースしか採っていない。FRP の場合、金属に比べてヤング率が小さく、大気圧による変形で断熱真空層が潰されてしまう危険がある。そこで、モーター用クライオスタットには圧潰を防ぐ工夫がされている。また、モーター用クライオスタットとは設置向きが異なり、横置きに使用されている。この状態でクライオスタット内の超電導コイルが満遍なく液体窒素に浸漬されるためには、クライオスタット内に窒素ガス滞留部分が生じることが絶対避けなくてはならない。そこで、クライオスタット及び移送管内は全てサブクール液体窒素が満たされ、ポンプにより循環運転されている。

これらの超電導モーターは船舶用の POD 推進装置用の電動機として開発されたものであるが、電動機としての用途を制限するものではなく、陸上用機器への適用も視野に入れている。このように、最近の高温超電導電力機器関連の研究開発は、実機を想定した開発課題へと移行している。これに伴い、サブクール液体窒素を冷却媒体として使用する例が増えてきた。サブクール液体窒素はその低価格に加えて、耐電圧特性や環境保全性能が特に優れており、今後冷媒として多くの需要が期待されている。

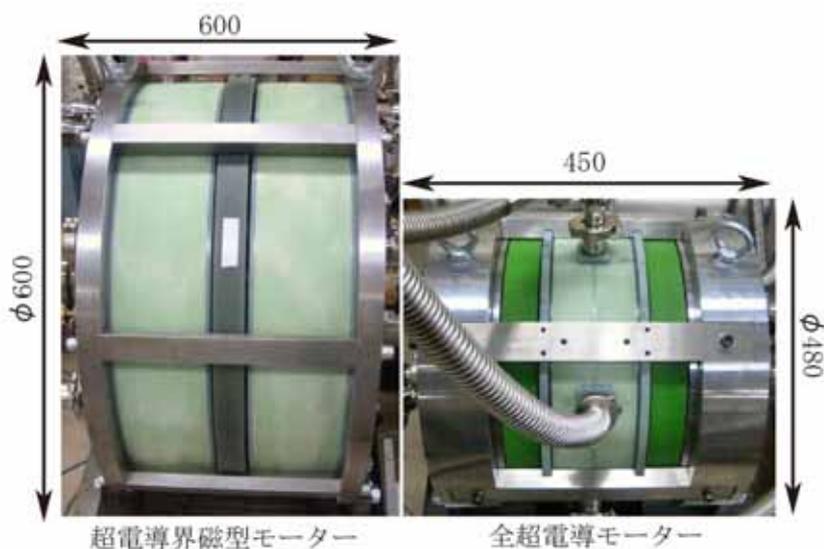


図2 超電導モーター外観図

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導機器の冷凍・冷却技術 「超電導電力ケーブルの冷媒循環技術開発」

古河電気工業株式会社
環境・エネルギー研究所
向山晋一

高温超電導ケーブルを実用化するためには、延長数 km のケーブルを液体窒素（77K）を循環して冷却しなければならない。液体窒素の長距離循環について詳細に確認する必要があり、経済産業省の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が、Super-GM に委託した「交流超電導電力機器基盤技術の研究」の一環として、電力中央研究所と古河電工が世界最長となる 500m 超電導ケーブル（図 1）のフィールド試験を実施した。



図 1 500m 超電導ケーブルの構造
(Super-Ace プロジェクト (NEDO))

高温超電導ケーブルの冷却システムとして一番重要なことは、液体窒素がケーブルの冷却だけでなくケーブルの電気絶縁の含浸材をかねることである。超電導ケーブルの極低温電気絶縁は、絶縁紙を導体上に積層してさらに絶縁紙に液体窒素を含浸させることで高い絶縁性能を得ている。この方式では、絶縁体中に気泡が発生すると、その部分で部分放電が発生し、そこを起点に絶縁破壊を起こすために、液体窒素が沸騰しないサブクール状態で液体窒素を循環する必要がある。圧力損失の観点からもサブクール状態で循環することが望ましい。超電導ケーブルのロス（交流損失、侵入熱、粘性損失など）は、循環する液体窒素の比熱分だけで冷却される。

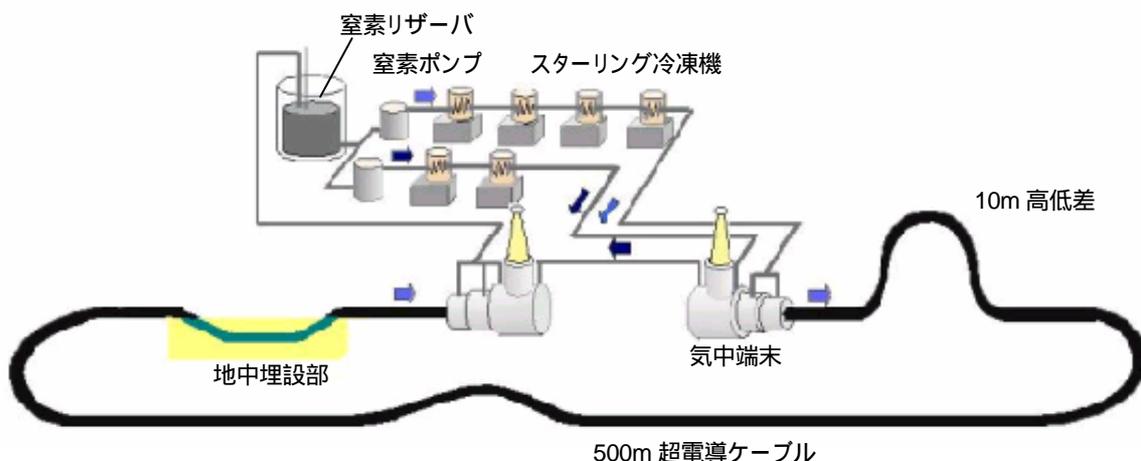


図 2 500m 超電導ケーブルフィールド試験 システム構成図

500m 超電導ケーブルの冷却システムは、加圧した液体窒素を循環ポンプで液送してスターリング冷凍機で冷却してケーブルに供給・循環するシステムを考えた。冷却システムと500m 超電導ケーブルのシステム構成図を図2に示す。システムは末端冷却系、超電導ケーブル冷却系の2系統に分離し、独立に液体窒素が循環するようにした。気中末端の冷却システムを分離することで、気中末端からの熱侵入をケーブルに伝わらないようにしてケーブルの冷却特性の測定精度向上と、初期冷却時に気中末端からの熱侵入を抑えて初期冷却期間の短縮ができた。液体窒素の加圧は、液体窒素リザーバを窒素ガスで加圧している。当初加圧ガスにHe ガスを用いたところ、He ガスが液体窒素中に溶け込み、それが系内の最も圧力の低い10m 高さで気泡化する問題が発生した。それより、加圧ガスは冷媒と同じ窒素ガスを用いることにした。

本冷却システムは5000時間近くの運転をして、大きなトラブルも無く試験を終了することができた。さらに、冷凍機トラブルを想定した冷凍機の停止実験などを行ない、ケーブルが部分放電の発生無く数時間課通電できることを確認した。最後に、当初長距離の液体窒素循環は難しいのではないかと心配もあったが、実際には簡単にかつ安定に液体窒素が循環できることが分かった。今後、超電導ケーブル用冷却システムに期待するところは、冷凍能力と冷却効率の向上と考えている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導機器の冷凍・冷却技術 「MRI 用冷凍機の展望」

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
清水道夫

1980年代前半のMRIの黎明期には、MRI用の超電導磁石は、液体窒素で冷却する77Kシールドと、蒸発したヘリウムガスにより冷却する20Kシールドの2層の熱シールドを備えていた。液体窒素を毎週、液体ヘリウムを毎月補充する必要があった。その後、液体窒素の蒸発防止のために液体窒素とGM冷凍機を併用する機種が販売された時期があったが、1980年代半ばには、液体窒素は不要となり、2段の10KのGM冷凍機で70Kと20Kの2層のシールドを冷却する方式が定着した。現在は、4KのGM冷凍機で蒸発したヘリウムを再液化する方式が主流となりつつある。シールドは1層であり、GM冷凍機の1段目で冷却する。

近年性能が向上してきたパルスチューブ冷凍機は稼働部分がないので振動・騒音が少ない。MRIでは振動はそれほど問題にならないが、「患者に優しい」点からは、騒音が小さいことは大きな利点である。また、稼働部分がないことから、故障が少ないことも期待される。

パルスチューブ冷凍機の室温部フランジと2段の冷却ステージの寸法をGM冷凍機のものと同じにすれば、既存のMRIマグネットの4K GM冷凍機を4Kパルスチューブ冷凍機に簡単に換装できそうである。問題は、冷凍機の向きである。パルスチューブ冷凍機は、正立していないと能力が出ない。しかし、既存の4K GM冷凍機付きのマグネット

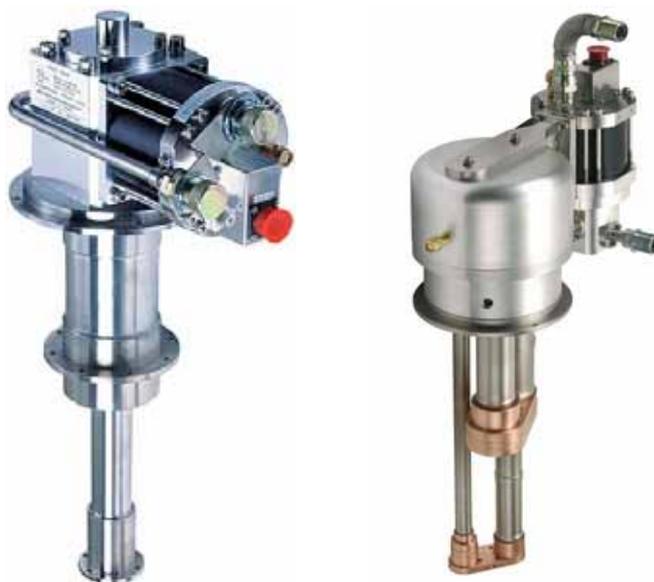


図1 4K GM 冷凍機（左）と4Kパルスチューブ冷凍機（右）（住友重機械工業）

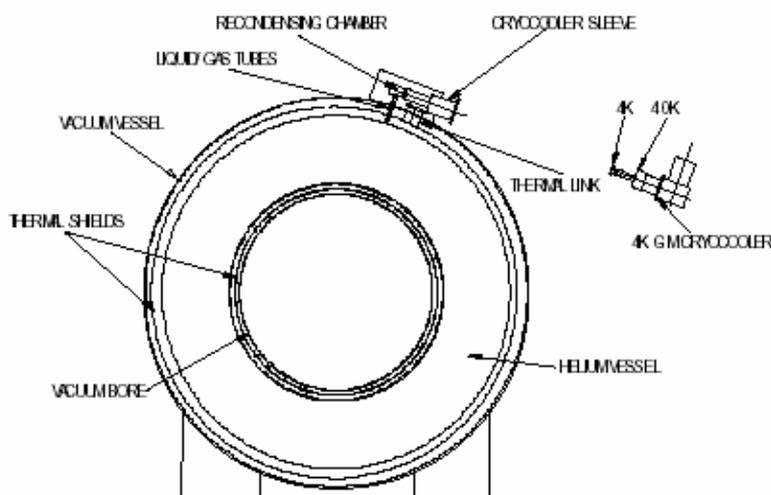


図2 4K GM 冷凍機付きマグネットの構造（冷凍機横置き、GE）

の多くは、天井が低い部屋でも冷凍機の保守ができるように、冷凍機は横向きになっている。このようなマグネットに、パルスチューブ冷凍機を取り付けることはできない。

最近の 4K GM 冷凍機付きのマグネットには、将来パルスチューブ冷凍機へ移行できるように、冷凍機を正立させたものもある。コストが下がり、信頼性が確認されれば、4K GM 冷凍機から 4K パルスチューブ冷凍機への移行の可能性がある。



図3 4K GM 冷凍機付きマグネット（冷凍機縦置き、Siemens）

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導機器の冷凍・冷却技術 「超電導心磁計の冷却技術の展望」

岡山大学
工学部 電気電子工学科
教授 塚田啓二

冷凍機の生体磁気計測装置の適用が最近検討されつつある。

早くはダイキン工業が秋田脳研に導入した脳磁計があり、SQUID の冷却として液体ヘリウムの代わりに冷凍機が使われた。ここで冷凍機の大きな問題である振動によるノイズを信号処理によって除去することが試みられた。しかしながら、最近の脳磁計の開発ではより微小な信号をとらえるため、SQUID としてマグネトメーター方式を用いて、環境ノイズ除去なども極力最初から排除するように高精度の磁気シールドを用いる方向に進んでいる。

一方、心磁計では2つの方向性があり、一つは不整脈などの異常部位の推定や胎児の微弱な信号を計測するための精密診断用があり、脳磁計と同等の感度をもつ液体ヘリウムで冷却する低温系 SQUID を用いている。もう一つの流れとして、心臓疾患の予防を目指した健康診断や集団検診用としての簡易型心磁計の開発がある。これについては液体窒素で冷却する高温系 SQUID を用いたマルチチャンネルシステムが日立によって開発され臨床応用が試みられている。計測点が1点の高温 SQUID 心磁計用として、液体窒素のかわりに冷凍機として振動が少ない Pulse Tube 冷凍機を使ったものが Twente 大で開発されている。単体の SQUID の冷凍機冷却法は、特に非破壊検査分野において開発が活発化しており、岩手大や豊橋技術大から発表されている。

しかし、心磁計のようにマッピングに必要なチャンネル数を確保した冷凍機冷却の装置はまだできていない。冷凍機を採用した時の問題点は、振動、温度制御と分布、冷却温度までの到達時間や価格の問題があげられる。大きなコールドヘッドで直接 SQUID のセンサレイを冷却すると、これらの問題はより顕著になってくると考えられる。しかし、冷凍機の使用により、液体窒素がとぎれて液体窒素温度から室温へと温度サイクルを繰り返すと高温 SQUID は特に熱サイクルに対して発生していた故障が解決できる。また、液体窒素を定期的に運搬してきて補給していたメンテナンスの煩雑性がほとんどなくなる。しかし、最初の温度サイクルの問題点は、液体窒素でも直接冷却を行わないで SQUID を真空槽に配置する方法により解決できるとも考えられる。2番目の問題点は、液体窒素とメンテナンスを含めたランニングコストに対して、冷凍機の装置の値段と電気料金の比較になる。このため、今後冷凍機の低価格化と小型化が、簡易型心磁計への冷凍機の適用のかぎになると思われる。

[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:03-5435-7086、Fax:03-5435-7440

担当：竹内孝行

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 業務部 低温業務

- 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 精密機械事業本部

クライオユニット事業センター 営業課

- 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

Tel:03-5488-8412、Fax:03-5488-8302

e-mail:cryo@shi.co.jp

担当：坂島、紫村

大陽日酸株式会社 超低温プロジェクト

- GM 冷凍機

Tel:03-5788-8239、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 業務部 低温業務

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
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:03-5788-8239、Fax:03-5788-8707

日本オートマテック・コントロール株式
会社 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 社理科学システム部

Tel:03-5434-1600、Fax:03-5434-1630

e-mail:nacc-c@naccjp.com

(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

5/31-6/2

春季低温工学・超電導学会

場所：東京大学 山上会館及び大講堂（安田講堂）（東京都文京区）

主催：低温工学協会

問合せ：<http://csj.or.jp/jcryo/conference2.html>

6/3

低温構造材料の最近の話題

場所：東京大学 山上会館 地階会議室
（東京都文京区）

主催：低温工学協会 材料研究会

問合せ：E-mail:kojichiekoshibata@yahoo.co.jp
（柴田浩司）TEL/FAX 042-576-4762

6/23

超伝導科学技術研究会第31回シンポジウム/
第9回超伝導科学技術賞授賞式

場所：アルカディア市ヶ谷（私学会館）（東京都千代田区）

主催：（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研究センター

問合せ：為田郁代 TEL:03-3503-4681

FAX:03-3597-0535、E-mail:fss@sntt.or.jp

<http://www.sntt.or.jp/fsst/31thSPprogram.htm>

6/24

応用物理学会超伝導分科会第31回研究会「将来の超高周波、高速化、高精度を担う超伝導応用技術」

場所：超電導工学研究所（東京都江東区）

主催：応用物理学会超伝導分科会

問合せ：富士通研 山中一典

TEL:044-754-2641

E-mail:yamanaka.kaz-02@jp.fujitsu.com

7/1

特定領域研究第4回強磁場新機能研究会「デバイスと磁場」

場所：千葉大学けやき会館3F レセプションホール（千葉市稲毛）

主催：特定領域研究

問合せ：<http://dione.shinshu-u.ac.jp/magnet/>

7/10-15

SRF2005:12th International workshop on RF Superconductivity

場所：Ithaca, New York, USA

問合せ：

<http://www.lns.cornell.edu/public/SRF2005/>

7/18-20

3rd Workshop on MEM05

(Mechano-Electromagnetic Property of Composite Superconductors)

場所：京都大学時計台記念館（京都市）

主催：京都大学

問合せ：長村光造 TEL:075-753-5434

FAX:075-753-5486

E-mail:kozo.osamura@materials.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

<http://www016.upp.so-net.ne.jp/vabp/MEM05/index.html>

7/31-8/5

LTD-11: 第11回極低温検出器国際ワークショップ

場所：東京大学武田先端知ビル（東京都文京区）

主催：AIST、JAXA、東京大学

問合せ：Mrs.Yiner Chen, TEL:029-861-5080

FAX:029-861-5730

E-mail:ltd-11info@m.aist.go.jp

<http://www.astro.isas.jaxa.jp/ltd11/>

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (4/20-5/20)

米大統領 エネルギー4原則示す 省エネ、自給率向上を強調 4/22 読売新聞
SPRING-8の挑戦 世界最高性能のビーム 新たな科学技術に挑戦 4/22 日刊工業新聞
人が見ている図形 fMRI 情報から識別 ATRと米プリンストン大 4/25 日刊工業新聞
高温超電導メカニズム “日本発”理論に注目 構造わかり正しさ認識 4/25 日本経済新聞
ハイブリッド磁石 無冷媒で 27.5 テスラ達成 東北大と住重 高機能材開発に貢献 4/28 日刊工業新聞
「核融合に成功？」 UCLA「実験室で」 4/28 日本経済新聞(夕)
ITER「日本と合意可能」 パローゾ欧州委員長が表明 4/29 毎日新聞
闘論 ITERの日本誘致 人類の未来に意義大 中性子の影響未解決 5/2 毎日新聞
核磁気共鳴使い 半導体の新素子 NTT物性研など開発 5/2 朝日新聞(夕)
熱核融合実験炉の欧州内建設 EU「日本が軟化」 文科省否定 5/3 朝日新聞、毎日新聞
熱核融合炉 誘致断念へ EUと調整進む 政府、見送り評価 5/4 読売新聞
熱核融合炉 日本側見送り 熱核融合炉、南仏に 日本も合意へ 5/5 日本経済新聞、朝日新聞、日刊工業新聞
核融合炉誘致 今月中にも断念決断へ 政府 役割分担、EUと合意 5/6 朝日新聞
ITER 誘致 役割分担調整で 日欧協議大詰め 首脳会議で政治決着へ 5/9 電気新聞
ITER 交渉「日本誘致が基本方針」文科省 次官会見で強調、仏「フライング」発言連発 5/10 電気新聞
「熱核融合炉合意は最終段階」 5/11 日本経済新聞(夕)
日本におけるドイツ年 2005/2006 シーメンス 人に優しい最先端医療機器の開発を推進 医療技術の革新も両国の交流から 5/12 日本経済新聞(夕)
ITER 誘致 活動継続求める 経団連、文科相に、熱核融合炉誘致大詰め 5/13 日刊工業新聞
ITER 誘致 文科相に再度要請 経団連 5/13 電気新聞
ITER 誘致 「不退転の決意で」 核融合推進議連が総会で 5/16 電気新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 世界の動き (2005年4月)

電力

American Superconductor Corporation (2005年4月5日)

American Superconductor Corporation (AMSC)社は、ドイツで開催された世界最大の工業展示会である2005年ハノーバー・フェアでHTS製品の展示を行った唯一の米国企業である。同社は、超電導シティーという名称の特別展示スペースで、36.5MWのHTS船舶用モーターモデル及びHTS線材を展示した。これは、ハノーバー・フェアで超電導製品が注目を浴びた初めての機会である。Office of Electricity and Energy Assurance部長Kevin Kolevarは次のように述べた。「過去15年の官民協力のもと成功裏に進めてきた開発努力のお陰で、電力グリッド向けのダイナミック・シンクロナス・コンデンサーのようなHTS線材を使った製品が市場投入され始めている。これら技術や製品が名高いハノーバー・フェアで注目を浴びるのを初めて目の当たりにして、非常にうれしく思っている。超電導製品に対する長期間にわたる投資が報いられる兆しが現れ始めている。」

(出典)

“American Superconductor to Showcase its High Temperature Superconductor Products at Hannover Fair 2005”

American Superconductor Corporation press release (April 5, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=692155&highlight

American Superconductor Corporation (2005年4月6日)

Hawi Renewable Development LLC (HRD)は、American Superconductor Corporation 社(AMSC)と General Electric 社の子会社である GE Energy 社両社をハワイ島のハワイ風力発電所向けの電圧制御システム納入業者として選定した。納入される製品は2台の AMSC 社製 D-VAR と GE 製の付属装置類である。風力発電所は、稼動を開始すれば、16基の Vestas 社製 V47 風力発電機を動かすことにより 56MW の発電能力を持つことになる。発電所は、2005年11月完成予定。

(出典)

“American Superconductor and GE Energy Receive Order for Low Voltage Ride- Through (LVRT) Solution for Hawaiian Wind Farm”

American Superconductor Corporation press release (April 6, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=692404&highlight

Trithor (2005年4月7日)

Trithor は、世界最大の工業技術展示会であるハノーバー・フェアで新しいタイプの誘導加熱装置のプロト機を展示した。これが、新しい誘導加熱装置の初めての展示である。誘導加熱は金属加工工業においては標準的なプロセスであり、金属を電磁界中に置いて金属内部で電力を直接熱に変換する方法である。高温超電導体をこのプロセスに用いることにより、エネルギー効率が劇的に改善される。銅やアルミニウムの場合、効率は90%になり、通常の誘導加熱のほぼ2倍に改善される。Trithor GmbH 専務 Carsten Bühner は、次のように述べた。「操業コストを半分にしたり、製品の品質を改善したりという明白な経済的なインセンティブということではないが、このシステムを使えば、立地条件にもよるが、大量の冷却水をなくしたり、また、無効電力の消費を抑えたり、ガス燃焼炉から誘導過熱炉への転換に当たって設備の大幅なアップグレードの必要がなくなるといった利

点がある。」HTS 誘導加熱法は、数年の内にガス加熱炉や、従来型の誘導加熱炉を置き換えていくものと期待されている。この HTS 誘導加熱装置は、Trithor 社及び Bültmann 社によって共同で販売される。

(出典)

“HTS Induction Heater First Time on Display at the Hannover Fair”

Trithor press release (April 7, 2005)

http://www.trithor.de/pdf/2005-04TrithorInductionHeater_ENG.pdf

American Superconductor Corporation (2005年4月11日)

中国の4つの代表的研究機関及び企業である Institute of Electrical Engineering (IEE)、Chinese Academy of Science (CAS)、Technical Institute of Physics and Chemistry (TIPC, CAS) 及び Changtong Power Cable Company Ltd. は共同して中国北西部の電力グリッドにおいて75 m、3相、HTS電力ケーブルのデモンストレーションを成功させた。AMSC社のHTS線材を使った“warm dielectric”設計のケーブルは、2004年12月通電が行われた。予備試験では、10.5kV定格で、1,600Aの交流電流を通電した。これは、負荷要求のみから決められたものである。なお、臨界電流は直流では5,300A、交流では3,500Aであった。

中国における電力消費は、主要な都市部地域では2桁の伸びを示しており、いくつかの地方では、需要に追いつかず停電を余儀なくされることもあった。AMSC社最高責任者Greg Yurekは、次のように述べた。「これから数十年間、中国の送配電システムを大幅に拡充していく必要があることは、多くの人が認識していることである。我々はChangtongケーブル・プロジェクトの成功を喜んでいる。今後10年、また、それ以降、このプロジェクトが将来のさらに大掛かりなプロジェクトに、さらには高容量な商用HTS電力ケーブル建設へと繋がっていくものと確信している。」

(出典)

“High Capacity Power Distribution Cable Successfully Demonstrated in China’s Electric Power Network”

American Superconductor Corporation press release (April 11, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=693729&highlight

American Superconductor Corporation (2005年4月26日)

カナダ、オンタリオ州のKingsbridge風力発電プロジェクトが新たに立ち上がり、American Superconductor Corporation社 (AMSC)が、ゼロエミッション風力発電所向け中央制御システムとして使用される予定のD-VAR®電圧制御システムを受注した。運転開始後は、この39.6MWプロジェクトの下、年間104,000MWhの再生可能な電気エネルギーが生み出されることになる。これは米国、カナダでは9番目の風力発電所であり、全世界では風力で発電した電力を安全かつ信頼性高く送電網に接続するためにAMSC社のD-VARを採用した10番目の発電所である。AMSC社は、7月に出荷を予定している。AMSC社最高責任者Greg Yurekは次のように述べた。「世界的に見て、風力エネルギーは最も成長速度が速いエネルギー源である。非常に高い信頼性を持って電圧変動を抑制できるために、D-VARが風力発電電力を送電網に送るときの最も好ましいソリューションとなっている。」

(出典)

“American Superconductor’s Voltage Regulation System Tapped by Ontario Wind Farm in Zero-Emission Energy Effort”

American Superconductor Corporation press release (April 26, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=700932&highlight

NMR

Lawrence Berkeley National Laboratory (2005年4月8日)

米国DOEのLawrence Berkeley国立研究所(Berkeley Lab)、カリフォルニア大学バークレー校及びアーヘンのTechnical Chemistry and Macromolecular Chemistry研究所が共同で、研究室外の現場で測定ができる可搬式高分解能NMR装置を開発した。この装置はex situ法を使っており、エネルギー、印加時間、タイミングを正確に変えることのできる一連の高周波を使って、全体的に均一性のない磁場中でも試料のデータを取ることが可能である。装置は、測定開始から3分以内で8ppmのケミカル・シフトを測定できる。商品として目標としているのは、これを1ppmの感度にまで高めること。たんばく質研究に使われる超電導NMRにはかなわないが、国家安全保障面での応用や、診断、考古学上の解析、宇宙探査といった展開が期待されている。この結果は、Scienceの4月8日号に掲載される。研究資金はDOEのOffice of Science及びドイツ Forschungsgemeinschaftから提供された。

(出典)

“Portable High-resolution NMR Sensor Unveiled at Berkeley”

Lawrence Berkeley National Laboratory press release (April 8, 2005)

<http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/MSD-NMR-sensor.html>

冷凍機

National Institute of Standards and Technology(2005年4月21日)

米国NISTは、100mKまで物質の温度を下げることのできるチップ・スケールの冷凍機を設計、製作して、世界で初めてバルクの対象物を冷却した。この固体冷凍機は、25×15ミクロンの大きさで、通常の金属、絶縁体、超電導金属のサンドイッチ構造をしている。これに電圧を印加すると、熱い電子が通常金属から絶縁体を通して超電導体へトンネルし、通常金属側の温度が著しく低下する。このようにして、冷凍機は冷やすべき対象から電子エネルギー、振動エネルギーを奪い去る。NISTの研究者は、この冷凍機を用いて、上にゲルマニウムの立方体を貼り付けたシリコン膜を冷却した。この立方体の体積は、冷凍機全体の11,000倍もの大きさがある。冷凍機、立方体ともに200mKまで冷却された。また、今後さらに冷凍能力を高めていく予定。このような小型冷凍機は、半導体の検査や宇宙研究に用いられる高感度装置用極低温センサーへの応用が考えられる。この結果は、Applied Physics Lettersの4月25日号に掲載される。この研究はNASA及びNISTのOffice of Microelectronics Programsから資金提供を受けている。

(出典)

“Chip-scale refrigerators cool bulk objects”

National Institute of Standards and Technology press release (April 21, 2005)

http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2005_0421.htm#chip_scale

通信

ISCO International, Inc. (2005年4月7日)

Business Ethics Magazineは、ISCOに「100の最も優れた会社」賞を贈った。この賞は、ガバナンス、環境、社員、製品などの要素を加味して与えられる。ISCO最高責任者John Thodeは次のように述べた。「技術を売りにした商売で競争力を持つためには、ISCOのような会社はあらゆる手

段を使って、他社との差別化を図らなければならない。最近のような（競争）環境下では、あらゆる側面で優良会社となろうと努めることが非常に重要である。」

（出典）

“ISCO INTERNATIONAL NAMED ONE OF THE "100 BEST CORPORATE CITIZENS" BY BUSINESS ETHICS MAGAZINE”

ISCO International, Inc. press release (April 7, 2005)

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

ISCO International, Inc. (2005年4月20日)

ISCO は、2005年3月31日に終了する第1四半期の収支を発表した。グロスの利益率は前年同期27%から42%へと増加した。これは、（販売量の増加にともなう）ボリューム効果によるものである。総純損失は、前年同期の1,958,000ドルに対し、当期は482,000ドルであった。これは、主として収入の増加とそれに伴うグロスの利益の改善によるものである。同社最高責任者 John Thode は次のように述べた。「わが社は、第1四半期の間、小額ではあるがキャッシュフローをプラスの状態で作業してきた。これはこれまで達成できなかったことである。受注残は1,500,000ドルの状態、我々は第2四半期に入った。また、この受注残の数字は4月中も大きくなり続けている。」

出典:

“ISCO International Reports Financial Results for the First Quarter 2005”

ISCO International, Inc. press release (April 20, 2005)

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

（ISTEC 国際部長 津田井昭彦）

[超電導 Web21 トップページ](#)

「フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術開発」成果報告会より

NEDO プロジェクト「フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発」(H12年度～H16年度)の成果報告会がH17年5月18日にISTEC超電導工学研究所(SRL)にて開催された。本報告会は、本年3月末のプロジェクト終了に伴い、研究開発成果を公表し、議論することにより、研究開発者間の相互交流・啓発を図ることを目的にISTECが主催したものである。参加者数は約75名に上り、超電導フライホイールに対する関心の大きさを改めて実感した。報告に先立ち、田中SRL所長、経済産業省小林調整官、NEDO小井沢部長より挨拶がなされた。

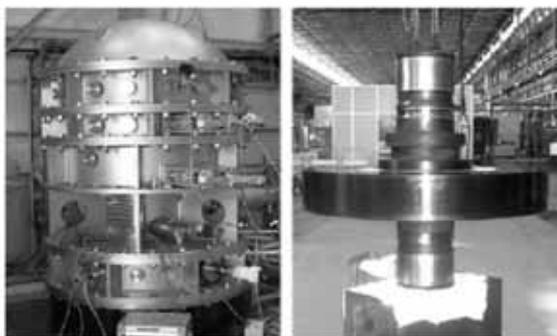
最初に、腰塚プロジェクトリーダー(SRL)よりプロジェクトの全体概要について報告がなされ、続いて各テーマ別に全10件の詳細報告がなされた。

軸受要素技術開発に関しては、主に載荷力向上・回転損失低減・軸降下低減について報告された。載荷力では、軸受用Y系バルクの高性能化やテーパ形状磁気回路の開発による磁場強度向上により、目標を上回る $11\text{N}/\text{cm}^2$ の載荷力密度を得た。回転損失については、磁場バラツキの低減、損失特性を明確化、損失低減対策等により、目標値 $2\text{mW}/\text{N}$ 達成の見通しを得た。軸降下については、予荷重法、過冷却法の効果を検証すると共に、新たに温度変化法を提案し、その有効性を確認した。

軸受応用技術開発に関しては、 10kWh 級運転試験装置の開発・試験施設の建設・運転試験について報告された。軸制振用の制御型磁気軸受(AMB)は、非線形ゼロパワー制御と小型ホモポラ型AMBの適用により、大幅な回転損失低減に成功した。IHI工場試験では $7,500\text{rpm}$ (電力貯蔵量 2.24kWh)での安定回転を実現し、超電導軸受の成立性を実証した。またシステム課題として、電力変換機、発電電動機など超電導軸受以外の要素技術の開発等が挙げられた。

最後に石川サプリーダ(株)四国総研)より、四国電力(株)より支援を受け実施した運転試験にて、超電導フライホイールとしては世界最大である 5kWh ($11,250\text{rpm}$)の電力貯蔵に成功したとの報告がなされ、成果報告会を締めくくった。本報告会が盛況であったことをプロジェクトの一員としてうれしく思う。

10kWh級運転試験装置および フライホイールロータ



工場運転試験結果(IHI)

回転数: $7,500\text{rpm}$ (電力貯蔵容量 2.24kWh)

載荷力密度: $7.75\text{N}/\text{cm}^2@77\text{K}$

回転損失: $68\text{W}@6,000\text{rpm}$

軸変位: 0.05mm 以下@3時間(予荷重法)

(SRL/ISTEC 企画本部 兼 材料物性研究部 バルク研究開発室 市原卓巳)

[超電導 Web21 トップページ](#)

2005 年度第 1 回超電導応用研究会シンポジウム報告

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ネットワークグループ
主任研究員 淵野修一郎

2005 年度第 1 回超電導応用研究会シンポジウムは、2005 年 4 月 8 日に「液体水素と超電導応用」をテーマとして、産業技術総合研究所臨海副都心センターで開催され、参加者は講演者を含めて 22 名であった。

まず、平林先生（高エネ研）より、「水素利用技術の概要」と題して、講演が行われた。液体水素の利用技術の歴史的背景や取扱いに関して、荷電粒子検出用の水素泡箱等の事例を基に紹介があった。水素泡箱での極めて高度なテクノロジーがロケット燃料等の宇宙分野での技術に繋がった。水素はすぐ「危険」というイメージがあるが、百年前のガソリンと同じような状況であり、今後の啓蒙と教育により安全なものになりうる。

次に神谷氏（川崎重工）から「液体水素の物性・貯蔵・輸送」と題して、講演が行われた。液体水素は他の形態の水素に比べて重量密度と容積密度が大きく貯蔵効率が良い。また、他の液化ガス（LPG, LNG）に比べて、低沸点で、蒸発潜熱、密度、粘性が非常に小さく、可燃性範囲が広いが拡散性が大きいので事故例は少ない。水素輸送は、国内では主に圧縮ガス、LH₂で行われるが、欧米では水素パイプラインが大規模に構築されており、補完的にローリ等で LH₂輸送が行われている。

次に濱島先生（東北大）より、「液体水素、超電導と燃料電池のシナジー効果」と題して、講演が行われた。地球規模のエネルギー消費の伸びと地球環境を考えると水素利用は必須技術となり、これと MgB₂ を用いた超電導機器を組み合わせると多くのシナジー効果が発揮できるとのことで貯蔵・輸送面におけるシナジー効果を述べられた。輸送面では 2 次エネルギーと電力を同時に輸送できるため、冷却コストの削減と電力輸送効率向上が期待できる。貯蔵面では液体水素タンクによる 2 次エネルギー貯蔵と SMES による電力エネルギー貯蔵が同時に行えるため、冷却コストの削減と電力品質の向上が期待できる。

最後に見学に先立って、青田氏（昭和シェル石油）より「有明水素ステーションの概要」と題して、講演が行われた。有明水素ステーションは、経済産業省の JHFC プロジェクトにおける水素ステーションであり、また、東京都の「有明水素ステーション・パイロット事業」のステーションとして昨年の 12 月まで燃料電池バス（都バス）への水素供給を行った。有明水素ステーションの特徴は日本で唯一の液体水素ステーションで、自動車メーカーの中では GM が唯一液体水素を使用した燃料電池自動車を開発している。

[超電導 Web21 トップページ](#)

文部科学省、KEK 春山教授、東北大学渡邊教授、住重機櫻庭氏らに科学技術賞授与

文部科学省は、平成 17 年 4 月 20 日、虎ノ門パストラルにおいて平成 17 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰式を実施した。今年度の受賞対象者は科学技術賞(89名)、若手科学者賞(63名)、創意工夫功労者賞(984名)合計 1,136 名と創意工夫育成功労者学校賞 21 校であった。

科学技術賞は、開発部門、研究部門、科学技術振興部門、技術部門及び理解増進部門に対して表彰された。研究部門は、わが国の科学技術の発展等に寄与する可能性の高い独創的な研究または開発を行ったものを対象として 31 件に表彰され、うち超電導に関連するものにはつぎの 2 件が表彰された。

1 件は、高エネルギー加速器研究機構(KEK)素粒子原子核研究所教授の春山富義氏、同技師の笠見勝祐氏、KEK 機械工学センター技師の井上均氏、東大素粒子物理国際研究センター助手の三原智氏が受賞した。このグループへの科学技術賞は、春山教授らの「液体キセノンカロリメータ用パルス管冷凍機の研究」に対して贈られた。



KEK 春山富義教授らグループ受賞者

もう 1 件は、国立大学法人東北大学金属材料研究所教授渡邊和雄氏と住友重機械工業株式会社技術開発センター主席研究員櫻庭順二氏が受賞した。このグループへの科学技術賞は、「無冷媒超伝導マグネットの研究」に対して贈られた。



東北大学渡邊和雄教授及び住重機櫻庭順二主席研究員

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導デジタル応用のおはなし(その3)

SRL/ISTEC

デバイス研究開発部 低温デバイス開発室

室長 日高睦夫

その3: ネットワークルータ3

超電導工学研究所に勤める健くんには文香さんという婚約者がいる。文香さんは将来夫となる人の仕事を理解しようと色々勉強しているが、どうもわからないことが多い。特に健くんが研究しているSFQ(単一磁束量子)回路というものが何の役に立つのかさっぱりわからない。そこで健くんはSFQ回路が何の役に立つのか聞いてみることにした。

光ルータとSFQ技術

文香: この前の話でSFQを使うと半導体では実現できないような大容量ルータができるってことは分かったんだけど、新聞見てたら大容量の光ルータを開発中って記事が出てたわよ。光ルータってSFQルータのライバルなの?

健: そこがよく誤解されるんだけど、僕たちはそうは思っていないよ。むしろ、お互いに助け合う関係にあるという方が当たっているんじゃないかな。

文香: でも半導体では難しい大容量のルータを実現するってことじゃ目標がもろにバッティングしているんじゃないの。

健: 目標は同じだよ。でも、光技術でその目標を達成するためにSFQ技術が大きな力になるんだよ。

文香: どういうこと?

健: 実は光ルータには二種類あるんだ。一つが光波長ルータで、波長単位で光の行き先を切り替えていくものなんだ。もう一つが光IPルータで、IPパケット単位で行き先を切り替えるものなんだ。

文香: それがどうSFQと関係するの?

健: 光波長ルータから説明するね。大容量の通信には光ファイバーが使われているんだけど、その中を伝わる光の波長は種類じゃなくて、たくさんの波長を束ねて情報を送る波長多重技術(WDM)という方式が使われているんだ。

文香: たくさんの波長の光を使うと何かいいことがあるの?

健: 波長の違う光はお互いに混じり合わないから、それぞれの波長に別々の情報を乗せて送ることができるんだ。例えば、100波長使えば、一本のファイバーで100倍の情報が送れるんだよ。

文香: ファイバーが効率よく使えるってわけね。

健: そういうことだね。例えば、Aの波長を大阪行き、Bの波長を福岡行き、Cの波長を広島行きと決めてやって、波長ごとに行き先を切り替えてやれば、ルーティングができるだろ。このとき、波長によって行き先を固定してしまうと、ネットワークの柔軟性が損なわれるので、行き先を可変にして状況に応じて切り替えられるようにするんだ。これが光波長ルータなんだ。一つの波長で送られる情報量はものすごく大きいので、行き先を切り替える時間がそんなに早くなくても、1秒あたりにルーティングできる情報量、つまりスループットは大きくで

きるんだよ。

文香：そうか。そうすれば、大きな情報がうまく捌けるわね。

健：でも、波長ルータはIPパケットの固まりをルーティングしているだけで、個々のIPパケットをルーティングしているわけではないんだ。例えていうと、波長ルータは、手紙のいっぱい入ったコンテナを積んだ列車をポイント切り替えて別の線路に通しているだけで、その先では必ず手紙ごとにそれぞれの宛先に振り分ける作業が必要になるんだ。

文香：それはそうね。

健：そこで、光波長ルータが発達して大容量の情報を捌くようになればなるほど、その後に来るIPルータに高いスループットが要求されるようになるんだ。

文香：そこでスループットの大きいSFQルータの出番ってわけね。

健：そのとおり。ネットワークは一続きのものなので、一部だけ性能が上がっても別の場所がボトルネックになってトータルの性能は上がらないんだ。だから、大容量の光波長ルータを使うのなら、それに匹敵するような大容量のIPルータを導入する必要があるんだよ。SFQルータはその有力な候補ってわけさ。

文香：でも、さっき光IPルータというのがあるって言ったじゃない。光でIPルータができれば、SFQなんていらんんじゃないの。

健：そうでもないんだな。確かに、光IPルータは光信号を光のまま処理できるんで、ものすごく魅力的なんだ。しかも、例えば160Gbpsくらいの高いポート速度に対応したスイッチもできるからね。でも、光技術だけでは光IPルータの実現は難しいと言われているんだ。

文香：どうして？

健：スイッチを実現するには、経路の切り替え機能だけじゃダメでスケジューラと呼ばれる制御回路が必要になるんだ。

文香：スケジューラって何？

健：IPパケットの行き先を切り替える時に、二つのパケットが同時に一つの出口に行こうとすると、必ずどちらかがはねとばされてエラーになるだろ。これを衝突というんだけど、スイッチでは衝突を回避することが必要なんだ。このために、あらかじめ全てのパケットの行き先を見て、衝突が起こらないようにスイッチに入るパケットの順番を決める回路がスケジューラだよ。スケジューラはパケットの行き先を順番に見ていく必要があるんで並列処理に不向きな回路である上、一つのパケットの長さ以内の時間で処理を終わる必要があり、高速性が要求される回路でもあるんだ。しかも、パケットをスイッチに入れる優先順位をある規則に従って逐次更新していく必要があるんで、結構複雑な論理回路なんだ。

文香：複雑な論理回路で高速性が要求されるんだったら、SFQにピッタリの回路じゃないの。

健：そのとおり。高速のスケジューラが作れるってことがSFQの大きな強みの一つなんだ。でも、光回路は複雑な論理機能を持たせることが難しいので、現在の技術ではスケジューラは作れないんだ。しかも、光の高速スイッチに対応できるような高速スケジューラは、半導体では難しくSFQでないと実現できないと言われているよ。そこで、光スイッチの切り替えをSFQスケジューラで制御するSFQ/光ハイブリッドIPルータを超電導工学研究所では提案していて、光IPルータを研究している人達にもずいぶん興味を持ってもらっているよ。

文香：それじゃライバルってわけじゃないわね。

健：そうなんだ。光ルータが高度なものになればなるほどSFQ技術が必要になるし、SFQルータが使われるためには、光ネットワーク環境がもっと進化する必要があるんだ。だから、僕たちはSFQ技術と光技術はお互いに助け合う関係にあると思っているんだよ。

スーパーコンピュータとSFQスイッチ

文香：この前から教えてもらってSFQスイッチを使ったネットワークルータがすごいのは分かったけど、SFQスイッチって他のことには使えないの？

健：いい質問だね。SFQスイッチはコンピュータ間のデータ交換に使ってもすごい性能を発揮すると思うよ。文香は地球シミュレータって知ってる？

文香：すごく大きくて、すごい性能のコンピュータでしょう。

健：名前だけは聞いたことがあるってことね。地球シミュレータは

日本の海洋研究開発機構にある世界最大の汎用スーパーコンピュータで、半年前までコンピュータ計算性能世界一の座に2年半に渡って君臨していたんだ。進歩の早いコンピュータの分野で世界一の座に2年半もいたというのはたいしたことだと思うよ。これが地球シミュレータの鳥瞰図（図1）だけど50m x 65mの体育館みたいな建物いっぱいを占めるすごく大きなコンピュータだよ。

文香：これが一つのコンピュータというのは驚きね。それで地球シミュレータがどうしたの？

健：地球シミュレータが世界一の座を譲ったのは、ある特殊なプログラムを使ったベンチマークテストの結果で、今でも別の種類の計算ではダントツに世界一の性能なんだ。地球シミュレータには5,120個のプロセッサが使われているんだけど、それらのプロセッサ間でデータが頻繁にやり取りされるような計算では他の追随を許さないんだ。その秘密がプロセッサ間のネットワークに単段クロスバー接続を使っていることにあるんだ。

文香：単段クロスバー接続って何？

健：この図（図2）にあるように、例えば、BとDを接続したい場合は、その交点となる接点をオンにして結合する、というような接続方法だよ。この方法は全ての構成要素が平等に接続できるというメリットがある反面、構成要素数が増えたとハードウェアが膨大になるという欠点があるんだ。この図では構成要素数が5個だからたいしたことないけど、構成要素数が1,000個あれば、接点数は百万になるからね。だから、構成要素数が大きくなってくると、普通は結合の仕方を別のものに変えてハードウェア量を減らすんだけど、そうすると例えば隣り合う構成要素間のデータ転送は速くできるけど、離れた構成要素間のデータ転送にはすごく時間がかかるということになるんだ。

文香：単段クロスバー接続というのは、まじめで実直、頼りになる人ってイメージね。

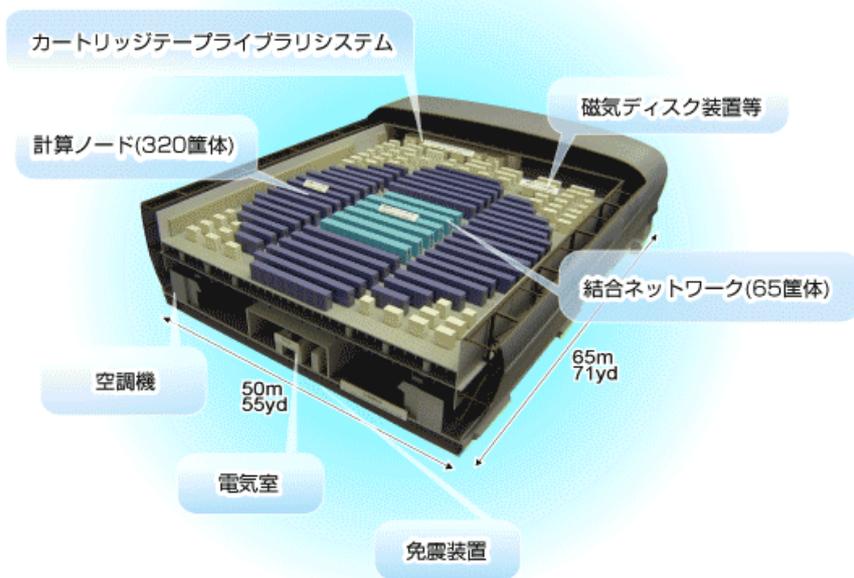


図1 地球シミュレータの鳥瞰図

(<http://www.es.jamstec.go.jp/esc/jp/ES/facilities.html> 参照)

健：まあそうだね。地球シミュレータは 5,120 個のプロセッサを 640 のノードにまとめて、その間を単段クロスバー接続でつないだから、すごい性能が出せるんだけど、この図（図 1）の中央にある水色の 65 個のラックが結合ネットワークの部分なんだ。半導体技術で作ったおそらく世界最大のスイッチだと思うよ。でも、ノード数がこれ以上増えたら、とても作る気にはならないと思うな。

文香：確かにね。そこで SFQ スイッチの出番ってわけね。

健：そう。SFQ スイッチで接続ネットワークを作れば、遙かに小さく作れるしね。ノード数がもっと増えても対応可能だよ。

文香：そうね。面白そうね。でも地球シミュレータって世界に 1 台しかないコンピュータじゃない。そういうコンピュータの性能を上げるのは確かに面白いけど、もっと色々な所に使えないの？

健：使えるよ。最近では PC クラスタといってパソコンをたくさんつなげて、大きな計算をすることが盛んに行われているんだけど、ここに SFQ スイッチを使うと、ネットワークの性能が上がって、今までのものと比べて高性能で応用範囲が広い PC クラスタが作れると思うんだ。そうすれば、もっと多くの人に SFQ スイッチが使ってもらえるんじゃないかな。

文香：それって面白そう。

健：3 回に分けて話してきたけど、ネットワークルータに関する話は今回で終わりにして、次は SFQ をプロセッサに使ったスーパーコンピュータの話をするから、楽しみにしていてね。

文香：SFQ が他にも役に立ってという話楽しみにしてるわ。健君も単段クロスバースイッチ目指して頑張ってるね。

健：なんか変なところだけ記憶に残ってない。

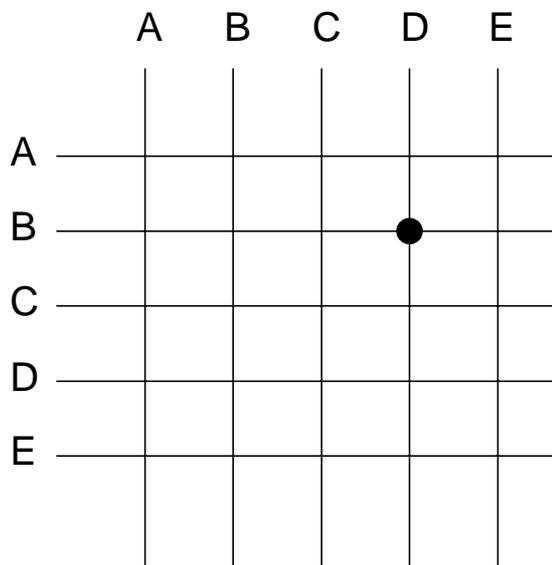


図 2 クロスバースイッチの概念図

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：超電導ケーブルや超電導限流器を導入すると、それぞれどのようなメリットが生まれるのでしょうか？

A：我が国の電力需要は、今後とも都市部を中心に増加すると予想されています。都市部へは主として地中に埋設した送電線路（地中電力ケーブル）で電力を供給していますが、都市の地下空間は既設の送電線路に加え、ガス、水道、地下鉄など多くの生活基盤設備で過密化しています。このため、新しい送電線路建設にはさらに深い空間を利用する必要があり、建設コストが高価となる問題が生じています。このような課題に対し、超電導ケーブルは導体の電流密度が従来のものに比べ約 100 倍と非常に大きく、送電損失もないので大電力輸送をコンパクトに実現できることから、既設の管路（電力ケーブルを格納する管）を有効利用した大容量送電線路の形成などが期待されます。

また、発電所の新增設や、最近では電力自由化に伴う分散電源の連系機会の増加もあり、電力系統規模の拡大・複雑化に伴う事故時電流の増大が予想されています。これに対し、これまでは遮断器の遮断容量の増加や電力系統の接続構成を工夫することなどにより対応してきましたが、将来的には対策費用が莫大になることが懸念されます。そこで、事故時の過大な電流を抑制できる超電導限流器が適用できれば、遮断容量格上げなどの対策なしで電源接続が可能となるなど柔軟な電力系統構成や運用が可能となることが期待されます。また、超電導ケーブルと組み合わせで事故電流を抑制することにより超電導ケーブルの電流耐量即ち建設コストを低減できるというメリットもあります。超電導限流器には、事故電流などをトリガとして超電導状態から瞬時に常電導状態に転位して電気抵抗を生じさせることにより電流を抑制するもの（クエンチ型超電導限流器）などがあり、実系統への適用を目指して国内外で積極的に開発が進められています。

このように、超電導ケーブルや超電導限流器が導入されると従来技術の制約や限界などを解決できるという大きいメリットが期待されますが、実用化にはまだまだ多くの課題解決が必要であり早期の実現が望まれています。

回答者：ISTEC 総務部 久保義昭

[超電導 Web21 トップページ](#)