

掲載内容（サマリー）：

トピックス：

- 「超電導技術動向報告会 2008」開催

特集：冷凍機技術開発の進展

- 冷凍機技術開発のニーズ潮流
- 小型タービン方式冷凍機の開発
- 20 K オイルレス 2 段冷凍機の開発
- 超低振動パルス管冷凍機の研究開発
- 大容量（1 kW）パルス管冷凍機の開発
- 熱音響クーラーの研究開発

- 超電導関連 6-7 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（4/19-5/20）
- 超電導速報—世界の動き（2008 年 3 月、4 月）
- 未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会第 34 回シンポジウム
「超伝導技術の発展と拡がり—ヘリウム液化 100 年を記念して」報告
- 隔月連載記事—やさしい超電導電力機器のおはなし（その 3）
- 読者の広場(Q&A)—冷凍機の性能で [COP] が使われていますが、
この値はどのような意味でしょうか？

[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.jp>



トピックス：「超電導技術動向報告会 2008」開催



田中名誉所長の講演

ISTEC は 5 月 19 日（月）東京・都市センターホテルで超電導技術動向報告会 2008 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、福田秀樹・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、超電導開発プロジェクトは既に 20 年継続し、さらに次なるステップへ進もうとしており、このように長期継続したプロジェクトは超電導以外には無く、その重要性を示している。またクールアース 50 実現の革新技術のひとつにも位置づけられる重要な技術であり、環境問題解決の重要なキーテクノロジーとの認識と、実用化への大きな期待を示された。

田中昭二・超電導工学研究所 名誉所長は「超電導研究の昨日、今日、そして明日」と題した基調講演の中で、地球上で現在発生している各種難問の解決には、熱機関の様な極めて普遍的で応用範囲の広い新技術が必要で、室温超電導がそれに当たると考えている。最近の研究の進展は室温超電導に一步近づいていると思われ、研究者へ一層の奮起を促した。

田辺圭一・SRL 材料物性研究部デバイス研究開発部長は、「Y 系線材用高性能材料と評価技術の開発」と題して、Ba-poor 組成材料の提案とインサイド・プルーム法の開発により磁場中での高 J_c 化を達成、また、長尺特性評価法開発と特性分布把握の重要性を紹介し、線材開発へのフィードバックによる開発のスピードアップへ貢献していることを報告した。

平林 泉・SRL 材料物性研究部バルク研究開発室長は、「バルク超電導体の機器応用と材料開発」と題して、超電導バルクの材料開発の進展と最近の技術開発動向をレビューし、各種機器への応用展開の可能性について報告した。

イムラ材料研究所・伊藤佳孝氏は、「小型 NMR を目指した超電導バルク磁石の開発」と題して、円筒型バルク超電導体の中心部磁場均一性を活かした小型 NMR 装置の技術開発について報告した。装置小型化の実現により多方面への応用が期待されることを紹介した。

日高睦夫・SRL デバイス研究開発部 低温デバイス開発室長は、「超電導デバイスの通信機器への応

用”と題して、将来の通信で懸念される課題を解決する超電導技術を紹介。消費電力増大を解決する超電導 SFQ スイッチ、半導体回路の処理能力不足を補う超電導 AD コンバータ、セキュリティの課題を解決する量子通信用 SSPD（超電導単一光子検出器）について報告した。

富士通研究所・山中一典氏は、“マイクロ波超電導フィルタの電力化技術”と題して、限られた無線周波数の有効利用のため、高温超電導の特性を活かした送信用多段フィルタの開発について紹介した。

塩原 融・SRL 所長代行・副所長/線材研究開発部長は、“Y 系線材および機器要素技術開発の現状と今後”と題して、NEDO「超電導応用基盤技術研究開発」プロジェクトで実施した高性能長尺線材、低コスト長尺線材及び極低コスト線材開発の最新の成果と、機器応用の先導研究開発の成果を報告し、次期プロジェクトとしての「イットリウム系超電導電力機器技術開発」への期待について報告した。

東芝・矢澤 孝氏は、“Y 系線材を使用した超電導限流器の開発”と題して、高抵抗 NiCr 安定化 Y 系線材による限流コイルとこれを使用した 6.6 kV 三相限流器システムの開発、限流試験結果などを紹介した。

大陽日酸・上岡泰晴氏は、“高温超電導機器に対応した膨張タービン方式冷凍機の開発と今後”と題して、超電導機器の実用化に対応した冷凍能力、小型化、長寿命化、高効率を実現するため、実績のあるタービン式冷凍機を小型化した新しい膨張タービン方式冷凍機の開発状況について紹介した。

中部電力・長屋重夫氏は、“超電導電力ネットワーク制御技術 (SMES)の成果と今後”と題して、NEDO「超電導電力ネットワーク制御技術開発」プロジェクトのこれまでの開発内容をレビューし、実系統連係試験により SMES システム技術の経済性と性能の両立が検証できたことを報告し、この成果を基に他用途への SMES コイル技術展開を紹介した。

まとめ講演として、塚本修巳・横浜国立大学名誉教授は、“各国の超電導応用機器の研究開発状況と動向”と題し、電力機器を中心とした基調講演で、Y 系線材の長尺化・実用化の見通しを受けて、アメリカ、ヨーロッパ、中国、韓国等で精力的に実施されている超電導ケーブル、限流器、変圧器の開発状況を紹介し、日本でも超電導機器実用化へ向けて積極的に進めるべきとの提言をされた。

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步を踏み出す節目の年にあたり、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。
(ISTEC 調査・企画部長 佐伯正治)



会場風景

特集：冷凍機技術開発の進展 「冷凍機技術開発のニーズ潮流」

大陽日酸株式会社
開発・エンジニアリング本部
副本部長 上岡泰晴

高温超電導機器（以下 HTS 機器）の冷凍機技術は、機器の実用化に対応した開発が十分ではありません。しかしながら HTS 機器の開発は進み、実用化まであと一歩となっていて、新しい冷凍機の開発が急務となっています。これまでの冷凍機としては GM、スターリング、パルス管冷凍機などのクライオクーラと呼ばれるものやタービン式ブレイトンサイクル冷凍機などがありますが、実用化される HTS 機器に適合できる冷凍機は少なく、多くはクライオポンプや、MRI 用冷凍機あるいは実験機器用冷凍機として開発されたものです。実際の HTS 機器に要求される冷凍機としては形状、サイズはもとより、温度、冷凍能力、効率などの性能においてもさらに充実した冷凍機の開発が求められます。また、変圧器、モーター、発電機、限流器、ケーブル、SQUID 応用機器、ミキサー、量子コンピューターなどの HTS 機器への対応は一機種の冷凍機では不可能であり、それぞれの機器に対応した冷却システムが必要になります。

現在入手できる冷凍機で得られる温度は、100 K から 3 K までであり、超電導機器冷却には十分な温度領域がカバーされています。そして、比較的小型の冷凍機で間に合う HTS 機器では、GM 冷凍機などで直接冷却するか、液体窒素などの冷媒の中に入れて、その冷媒を冷凍機で冷却する方法が採られています。従って、これらの方式で冷却が可能なシステムの実用化においては、システム全体が社会に受け入れられるようにブラッシュアップする必要があり、コストと信頼性、安定性、使い易さの向上が重要です。一方、その冷凍能力を見ると、たとえば 70 K では 1 kW 以下のものしかありません。これは、70 K で 1 kW 以上の冷凍機に対する市場がないことや、高圧ガス保安法への対応のため、開発されていないからです。更には、技術的にも GM やスターリング、パルス管冷凍機を数キロワットの冷凍機にすることは、冷凍機内部の熱交換などの問題があり困難でしょう。しかしながら、変圧器、ケーブル、モーターなどの HTS 機器にはより大きな冷凍能力が必要です。一方、100 K で 30 kW 以上のものとしては、冷凍機ではありませんが、膨張タービンを使用した空気液化分離器があり、冷凍機として製作することはできます。温度 40～65 K で数 kW から 10 kW 程度の冷却能力を持つ冷凍機の候補として考えられるのは、小型のブレイトンサイクル冷凍機（タービン式冷凍機）でしょう。現有の冷凍機の性能と、ケーブルやモーターなどの HTS 機器から要求されている冷凍能力を図 1 に示しました。変圧器、ケーブル、モーターの冷却に必要な冷凍機が無く、このサイズの冷凍機を開発する必要があることが分かります。

現在まで 20 年にわたる高温超電導材料開発が行われ、高温超電導応用機器の実用化が近くなりました。実用化を実現するためには、開発に対する思い切ったブレークスルーが必要です。現在のスピードの速い科学技術の進展の中では、かつてのジョセフソンコンピューターがそうであったように、既存の技術の高度化によって高温超電導と言えども出る幕が無くなってしまいうる虞もあります。100 点満点の完成した技術の出現を待たずに、現在の科学技術でできる最高の機器を実現し、社会に送り出すべきでしょう。

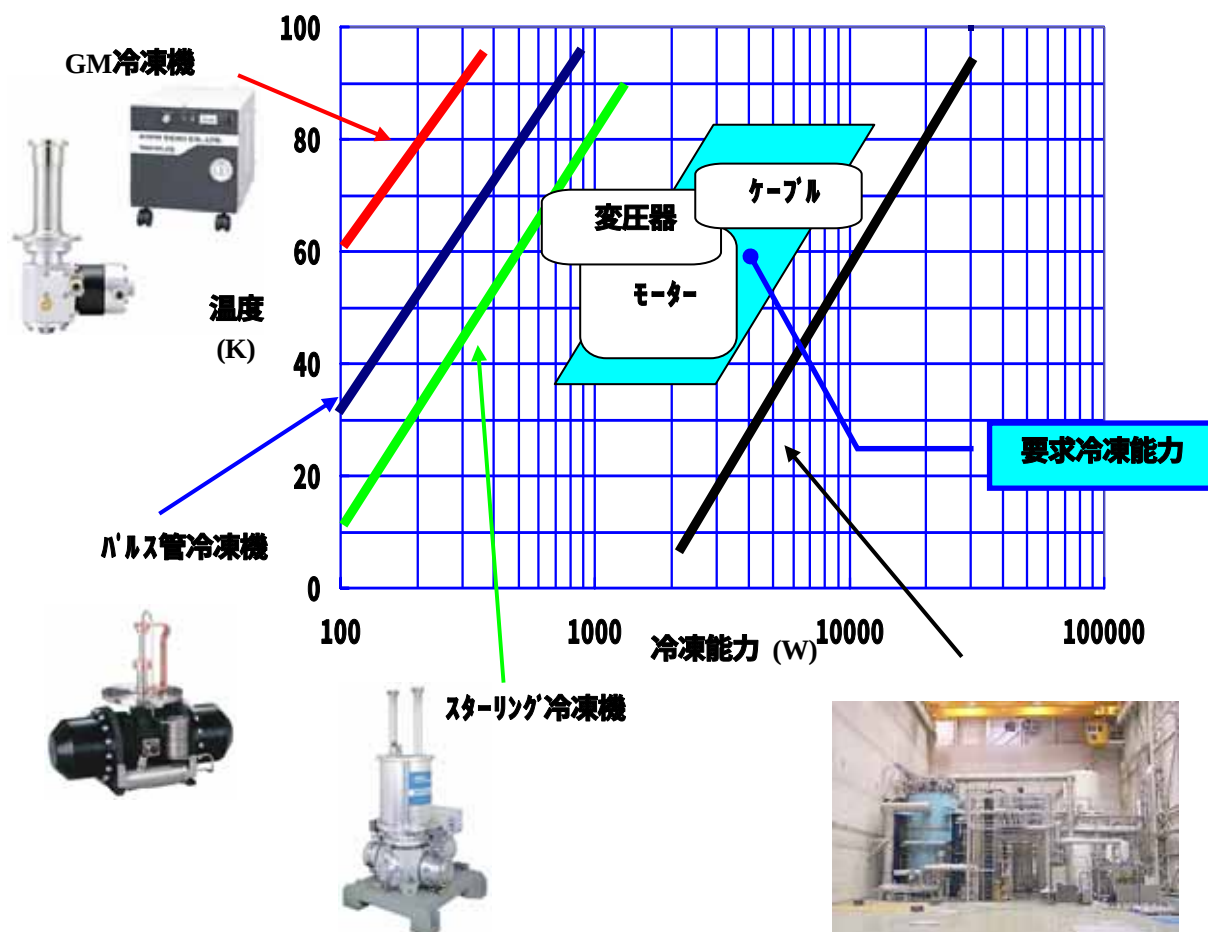


図1 現有の冷凍機の性能と高温超電導機器に必要な冷凍能力

出典

創刊号 低温ジャーナル 2007 vol.1, 低温工学協会

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍機技術開発の進展 「小型タービン方式冷凍機の開発」

大陽日酸株式会社
開発・エンジニアリング本部
副本部長 上岡泰晴

高温超電導変圧器、ケーブル、モーターなどの冷却には 70 K で 2～10 kW 規模の冷凍機が必要です。この規模の冷凍機になると GM やスターリング冷凍機では小さすぎて対応できません。タービン式のブレイトンサイクル冷凍機が候補になりますが、タービンの製作技術から考えると小型すぎて難しい面が多い。しかしながら要求される冷凍能力を満たす為には、この方式が唯一の選択肢と思われます。平成 18 年度から 19 年度にかけて実施された NEDO 委託事業のうち、ISTEC と大陽日酸（株）により、ネオンガスを作動流体とした小型タービン式ブレイトン冷凍機の開発が行われました。開発した冷凍機を組み合わせた冷却システムのフロー図を図 1 に示します。図 2 には冷凍機 Cold Box 写真を示しました。

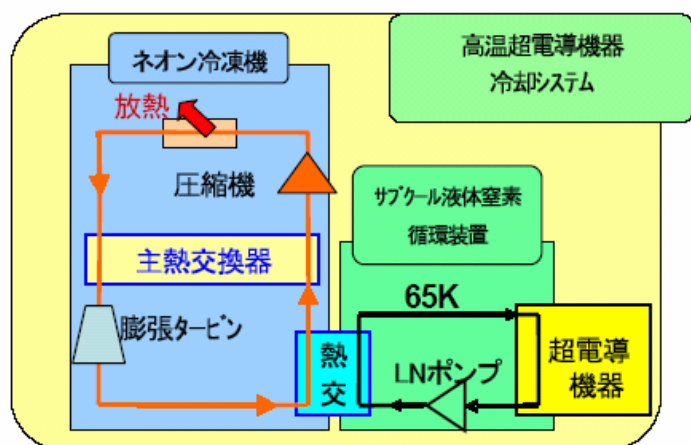


図1 冷凍機フロー図



図2 冷凍機 Cold Box

開発した冷凍機は、サブクール液体窒素循環装置によって循環している液体窒素を冷却し、この液体窒素が超電導機器を冷却します。冷凍機単体としては表 1 に示しましたように、2 kW@65 K が得られました。設計値及び実測値は表 1 の通りです。

冷凍機開発に当たっては、現有の技術を最大限使って製作することとし、小型膨張タービン（直径 25 mm）とプレートフィン熱交換器が採用されました。圧縮

表 1 冷凍機仕様設計値と実測値

			設計値	実測値①	実測値②
①	高压側圧力	MPa	1.9	1.91	1.90
②	低压側圧力	MPa	0.9	0.86	0.86
	流量	Nm3/hr	1200	1132	1151
③	ET 回転数	rpm	96000	95820	95520
④	冷凍能力	kW	2.0	2.75	2.03
⑤	設定温度	K	70	69.9	64.9
⑥	所用動力	kW	50	57	57
	冷凍効率	COP	0.04	0.047	0.035

機の開発は今後の技術開発に委ねることとし、ここでは入手できる市販品を採用していますので、小型化や高効率化については最適化されていません。実用化に際しては圧縮機の開発が重要と考えています。

このたびの冷凍機は、分子量の大きなネオンを使用することによって小型タービンの性能を十分に発揮出来るようにしたもので、2 kW @65 K というタービン式では小型の冷凍機が完成しました。ネオンを作動流体とした小型タービン式冷凍機は世界初であり、タービンは設計値である毎分 10 万回転で作動しました。この結果、世界に先駆け高温超電導機器冷却に適した冷凍機の提供の道が切り開けたと言えるでしょう。タービンはメンテナンスフリーという特長を有している機器ですが、現在実用化されているタービン式冷凍機には大流量を処理する空気用タービン式冷凍機あるいはヘリウム用タービン式冷凍機があります。しかしながら、両方とも数十 kW、数百 kW の大型であり、数 kW の冷凍能力の冷凍機の開発が望まれていました。タービンは小型のものほど良い性能にするのは困難であり、2 kW 以上の冷凍機は今回の冷凍機製作の技術によってより容易に設計・製作することが可能となります。

引き続き熱交換器の最適化、さらには圧縮機のターボ化を検討し、小型堅牢な超電導実用機器用冷凍機として開発を進めていく計画であり、この計画が進めば次世代のエコ装置として開発が進められている高温超電導機器の実用化、市場導入が大きく促進するものと思われます。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍機技術開発の進展 「20 K オイルレス 2 段冷凍機の開発」

中部電力株式会社 電力技術研究所
超電導グループ
研究副主査 玉田 勉

中部電力（株）およびアイシン精機（株）は、スターリング型 20 K オイルレス 2 段冷凍機について、冷凍能力 100 W、連続 20,000 時間以上運転可能な冷凍機を開発した。

スターリング冷凍機は主にクライオポンプ等の小容量の冷却に用いられてきたが、超電導電力貯蔵装置に用いるには 20 K 100 W 以上の冷却が必要となっており、メンテナンスが容易で大容量の冷凍機が求められてきた。

従来の冷凍機は、圧縮や膨張を行うピストン部に気密性を上げるための潤滑油を使っており、冷凍機の運転に伴う劣化のため定期的な清掃が必要であった。また、連続運転結果より、潤滑油が熱分解し、水素や炭化水素（汚損ガス）の発生が確認された。これにより、ガスが蓄熱部で固化・堆積することで、熱交換を阻害し冷凍性能が低下する。そこで、これらを解決するために以下の改良を行った。

<主な改良点>

- 1) 駆動部に仕切りを設け、ピストン摺動部をオイルレス構造とした。
- 2) 汚損ガスを吸収する複合フィルタを組み込んだ。
- 3) 摩耗するピストンのシール部を 20,000 時間以上耐える構造とした。

表 1 20 K オイルレス 2 段冷凍機諸元

項 目	諸 元
冷凍能力 (@20 K)	100W 以上
消費電力	16 kW 以下
電圧・周波数	AC200V・60Hz
運転サイクル	6 Hz
所要冷却水 (30°C 以下)	1.0m ³ /h 以上
大きさ	W1.2m×L1.1m ×H1.5m
質量	約 1,300kg

上記改良を行った上に、冷凍部構造を最適化し、冷凍能力 100 W 以上 (@20 K) の冷凍機を開発することができた。

今回の開発した冷凍機は、耐久性もあり、電力貯蔵装置のように大容量な用途にも使うことが出来るため、冷凍機用途の拡大により冷凍機のコストダウンが期待できる。

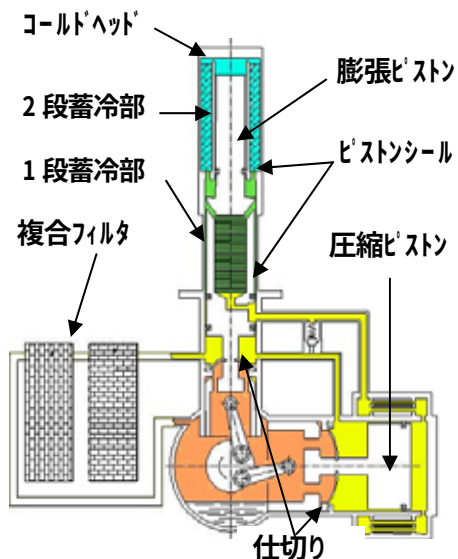


図1 20 K オイルレス冷凍機構造

なお、本開発は経済産業省資源エネルギー庁の電力技術プログラムの一環として、NEDO の委託事業を中部電力の他、九州電力（株）と（財）国際超電導産業技術研究センターが共同で受託し実施し、平成 16 年度から 4 ヶ年の開発プロジェクトにおいて実施したものである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍機技術開発の進展 「超低振動パルス管冷凍機の研究開発」

住友重機械工業株式会社
精密機器事業部技術部ソリューショングループ
幾島悠喜

クライオクーラとは極低温まで冷却を可能とする冷凍機械である。図1に示す4 K GM冷凍機は、液体ヘリウム温度で 1 W程度の冷凍能力を有し、超電導マグネットを用いたMRI、NMRをはじめとして、4 K（ケルビン）を必要とする低温機器に広く使用されている。極低温の取扱いに利便さをもたらすクライオクーラであるが、課題のひとつとして振動レベルが高いことが挙げられる。クライオクーラは高感度な分析機器に導入が検討されることが多く、クライオクーラを扱うユーザーからは低振動の要求が高まってきている。

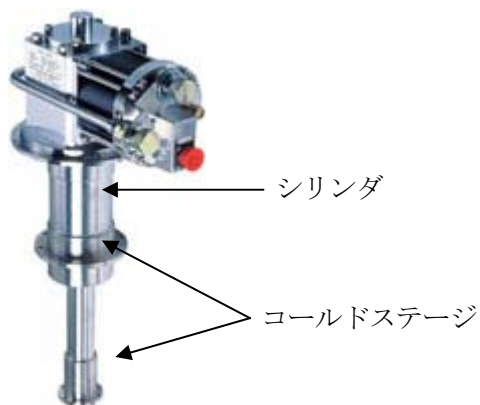


図1 GM 冷凍機（コールドヘッド部）



図2 パルス管冷凍機（コールドヘッド部）

クライオクーラの振動の代表的な原因として、固体部品の機械的な運動が挙げられる。GM冷凍機では、ディスプレイサと呼ばれる固体可動部品がシリンダ部に存在し、その往復運動に伴う振動がクライオスタットに振動加速度を伝えることが問題であった。近年、クライオクーラの振動問題に対する解決策となるパルス管冷凍機（図2）が実用化された。パルス管冷凍機は低温部に固体可動部品がないため、GM冷凍機に比べてクライオスタットへ伝える振動加速度を2桁も低減することを可能にした。しかし、パルス管冷凍機においてもコールドステージ部で数十 μm 程度の振動振幅を有するという問題が残っていた。これは10気圧以上の圧力変化（膨張圧縮）に伴うパルス管の弾性変形によるものであり、パルス管の肉厚を厚くするなど、剛性を高めることによる振動低減が可能であるが、熱侵入の増加を招くため根本的な解決に至っていなかった。

住友重機械工業株式会社では、高エネルギー加速器研究機構と共同で、重力波検出器用としてパルス管冷凍機を用いた超低振動クライオクーラを開発した。重力波検出には極めて感度の高い歪み計測が必要であり、レーザー干渉計の感度の向上に結びつく熱振動ノイズの除去を目的としてクライオクーラの使用が決定された。しかし、クライオクーラによって検出器に振動影響を与えてはならないため、仕様値は振動振幅がサブミクロン、冷凍能力が4.5 K @ 0.5 Wとされた。

本開発では、従来の振動低減策を発展させた新しい振動低減策を導入した。その超低振動クライオクーラの概要図を図3に示す。その特徴は、

- ① VRステージと呼ぶ新たな冷却インターフェースを導入したこと
- ② 振動源となるバルブユニットを分離固定したこと
- ③ コールドヘッドの支持部にベローズを導入し、クライオスタットへの振動を低減したことである。

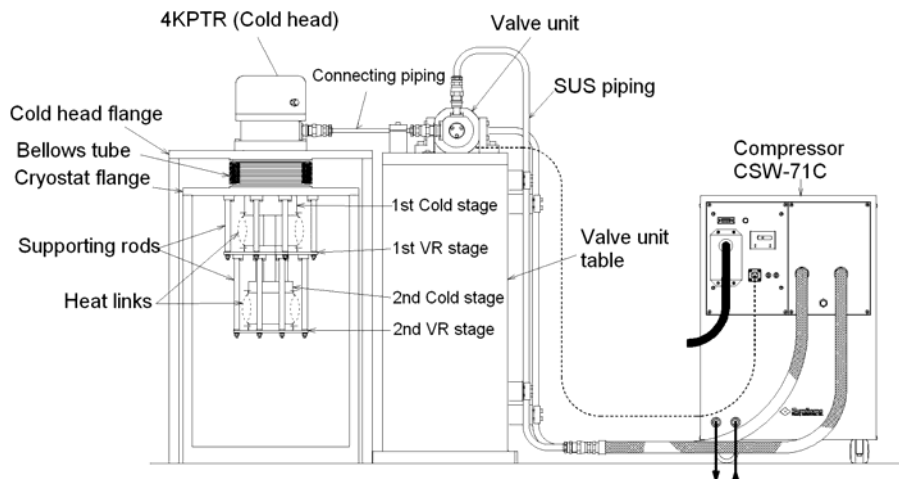


図 3 超低振動クライオクーラの概要

完成した低振動クライオクーラについて、振動振幅測定と冷凍能力測定を行った。その測定結果を表1に示す。振動測定では、パルス管軸方向の振動振幅を3桁低減することに成功し、また、パルス管の横方向を含めた全方向においても、サブミクロン以下を達成したことを確認した。さらに、冷凍能力測定においても、4.5 K @ 0.5 Wを達成し、重力波検出器の要求値を満足することがわかった。現時点ではサブミクロン以下となる4 Kパルス管冷凍機は他には確認されておらず、このクライオクーラは世界最高レベルの低振動性能であるといえる。

表 1 超低振動クライオクーラの測定結果

冷凍能力	第 2 段 VR ステージ (0.5 W)		4.34 K
	第 1 段 VR ステージ (20 W)		50.5 K
振動振幅	第 2 段 VR ステージ	x	±0.61 μm
		y	±0.73 μm
		z	±0.05 μm

この低振動クライオクーラは、4 K型 および80 K型クライオクーラ、合わせて10台が重力波検出器のプロトタイプになるレーザー干渉計へ設置されており、順調に1年以上稼動したことが確認された。さらに、同様の振動低減策は低温物性測定装置等にも使われ始めている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍機技術開発の進展 「大容量（1 kW）パルス管冷凍機の開発」

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

主任研究員 池田和也

大容量パルス管冷凍機は、新幹線の架線電圧 25 kV に対応する超電導主変圧器の冷却システム用として開発を始めた。冷凍機の要求仕様は、温度 65 K における冷凍能力が 1 kW 以上、そして%カルノー18%以上（ $T_h=300\text{ K}$ ）とした。この要求仕様を満たすための開発課題は新幹線車両の軽量化であり、車両搭載機器の中で最も重量の嵩む主変圧器の、コイルを超電導化することによって軽量化を推進することを目的としている。現在新幹線に搭載されている油冷却方式の常電導主変圧器は、N700 系に搭載されているものが質量－容量比 0.69 で、2008 年 4 月現在、最も軽量化の進んだ主変圧器である。質量－容量比がこれよりもさらに小さくなれば、コイルを超電導化することのメリットが発揮される。

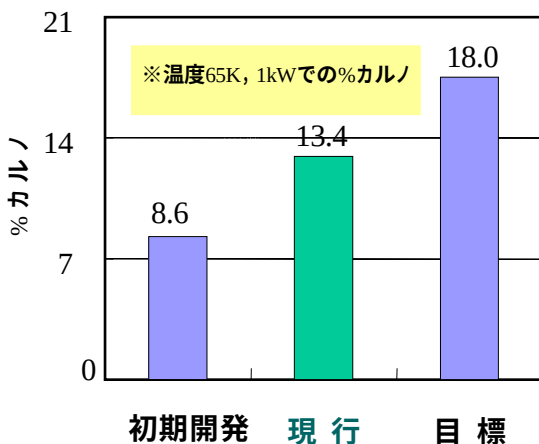


主変圧器実用型パルス管冷凍機（参考図）

超電導主変圧器の設計において、期待できる素線の通電可能電流、鉄心質量を検討した結果、容量 4 MVA とした場合、交流損失が 1 kW 以下となれば、油冷却に代わるサブクール液体窒素冷却システム機器質量が加わったとしても、質量－容量比で常電導主変圧器よりも優位になる目途がついたことから、小型大容量冷凍機の開発が必要となった。

GM 方式パルス管冷凍機を選定した理由は、100 W 級の熱負荷実験装置にて、GM 冷凍機のコールドヘッドに剣山状の熱交換器を接触させた自然循環冷却システムで、小規模な熱負荷吸収の検証ができていたことからシステムの流用が容易と考え、さらにディスプレイサーがないことにより冷凍機単体の軽量化も期待してのことである。

位相制御にアクティブバッファを使用した試作パルス管冷凍機の性能は、温度 65 K で冷凍能力 1.19 kW、%カルノーは約 8.6%となった。圧縮機～冷凍機、冷凍機～アクティブバッファ間の開閉バルブは専用のロータリーバルブではなく、性能評価試験を目的としたため複数の電磁弁を並列に接続したもので代用した。



%カルノーの推移

その後の改良において、蓄冷材構成メッシュの変更、上記回路におけるガスコンダクタンスの改善（電磁弁 Cv 値の増強、電磁弁数量の増強）、圧縮機高低圧回路へのマニフォールドバッファタンクの追設等を行った結果、冷凍能力を低下させることなく、%カルノーを約 13.4 %まで上昇させることができた。以上より、専用のロータリーバルブを最適化設計することによって、当初の要求仕様を満たすことは十分可能との手応えを得たところである。

参考：http://www.rtri.or.jp/rd/openpublic/rd77/CS/cs_1.5.html

また、超電導送電や超電導限流器等、他の高温超電導機器も同様のスペックを有する冷凍機を必要としており、各所が積極的に競合することにより、ますます高性能な冷凍機が研究・開発されることに期待したい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍機技術開発の進展 「熱音響クーラーの研究開発」

東北大学大学院工学研究科
機械システムデザイン工学専攻
准教授 琵琶哲志

気体を伝わる音波は断熱的であって、冷却や冷凍を実現するのは不可能であると考えられてきた。しかし、最近の熱音響研究の発展により、音波による低温生成はそれほど難しいことではなくなってきた。ポイントは細い流路内の音波を使うことにある。細管流路では音波はもはや断熱的に圧縮／膨張するのではなくむしろ、流路を形成する固体壁と音波の間で良好な熱交換を行うことになる。音波冷却はこのような流路壁と音波の熱交換が生み出す多様な熱音響現象の一つである。音波冷却は次に示すような大変に簡単な道具立てで実現できる。

積層金属メッシュで構成した細管流路（蓄冷器と呼ばれることが多い）を一对の熱交換器で挟み込むようにして中空の管に組み付ける。適当な気体で管を満たした後、管の一端からスピーカー等の音源を使って音波を発生させるだけで蓄冷器の軸方向に熱輸送が行われ、一方の熱交換器温度（ T_C ）が低下するとともに他方の熱交換器温度（ T_H ）が増加する。図 1 に、我々の研究室の 4 年生が作成したデモンストレーション用進行波音波クーラーを示した。管外径は 16 mm、全高 1.2 m の装置である。woofer speaker を音源にし、管内気柱の基本振動数の音波を発生させる。冷却水を使って T_H を室温に保ちながら、 T_C を計測した結果をグラフに示した。管内部に充填する気体が空気の場合は $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、ヘリウムガスに置換したときには $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ の低温が得られる。

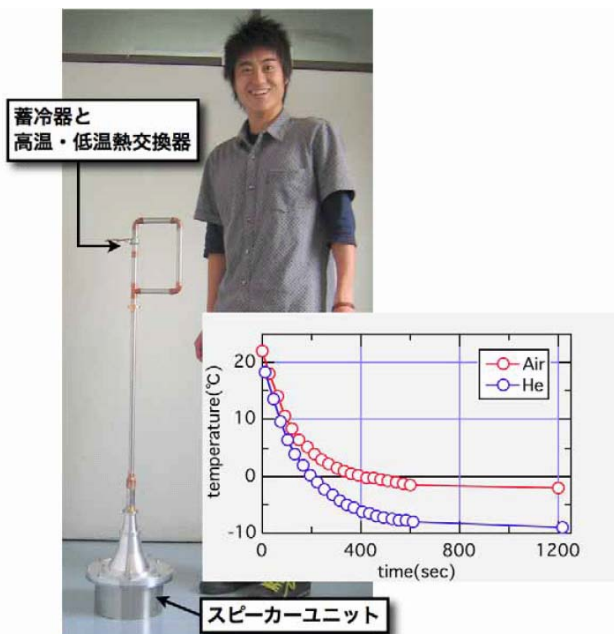


図 1 進行波音波クーラーとその冷却温度

熱音響現象を使うと、音波冷却だけでなく、音波エンジンも実現できる。気柱管の一カ所を加熱し、温度勾配がある臨界値を越すまで熱すると、気柱が自然に固有振動数で振動を開始し、音波エ

ンジンとしての機能が発現する。通常のエンジンは熱で固体ピストンを振動運動させるのに対し、音波エンジンは気柱を振動運動させて音波の形で動力を発生する。加熱して自発的に生み出された音波を使って音波冷却を行うと、全く可動部なしに低温生成ができる。ロスアラモス研究所のグループは、この方式の冷凍機を使って天然ガスの液化プロジェクトを進行中である。¹⁾また中国のグループは、音波エンジンとパルス管冷凍機を組み合わせ、70 K を下回る低温を実現している。²⁾管内音波を使った新しいデバイスは日本国内でも次々に提案されており、特許検索をすると、21 世紀に入ってから件数が大幅に増加していることが分かる。

圧力振動を伴う流体の振動運動（音波）を利用したエネルギー変換・輸送デバイスには、パルス管冷凍機やギフォードマクマホンなどの蓄冷式冷凍機、スターリングエンジンやドリームパイプも含まれる。これらを統一的に議論するのが富永により提唱された熱音響理論である。³⁾熱音響理論では流体の振動運動に伴って発生する「熱流」、「仕事流」、「エントロピー流」が中心的な物理概念であり、これら流れの大きさを左右する重要なパラメータの一つが流体の圧力振動と流速振動の位相差 Φ である。圧力と流速の同時計測の方法や、⁴⁾² センサー法^{5),6)}により仕事流や位相差 Φ の計測が可能になってきた結果、熱音響現象に対する実験的理解が深まりつつある。⁷⁾最近では、エネルギー流に注目することで従来型のパルス管冷凍機の室温ー液体窒素温度付近の効率が格段に向上する可能性も示された。⁸⁾高温超電導応用に利用可能な熱音響クーラーに発展することが期待されている。

参考、出典

- 1) <http://www.lanl.gov/projects/thermoacoustics/index.html>
- 2) W. Dai et al., A heat-driven thermoacoustic cooler capable of reaching liquid nitrogen temperature, Applied Physics Letters 86, 224103 (2005).
- 3) 富永昭, 「熱音響工学の基礎」 内田老鶴圃.
- 4) T. Yazaki, and A. Tominaga: Proc.R. Soc. Lond.A 454, 2113 (1998).
- 5) A. M. Fusco, W. C. Ward, and G. W. Swift: J. Acoust. Soc. Am. 91, 2229 (1992).
- 6) T. Biwa, Y. Tashiro, H. Nomura, Y. Ueda, T. Yazaki: Rev. Sci. Inst., 78, 086110 (2007).
- 7) 例えば T. Biwa Y. Tashiro M. Ishigaki Y. Ueda, T. Yazaki: J. Appl. Phys., 101, 064914 (2007).
- 8) 上田祐樹, 加藤千幸, 日本機械学会論文集 B 編 727 839 (2007); 上田祐樹, 琵琶哲志, 低温工学 41, 73 (2006).

超電導関連 6-7 月の催し物案内

6/9-12

ICC 15: International Cryocooler Conference

場所：Long Beach, CA, USA

問合せ：<http://www.cryocooler.org/>

6/30

「超伝導の将来ビジョンー30 年後まで語るー」

場所：東京大学 本郷キャンパス 山上会館大会議室、東京都

共催：応用物理学会超伝導分科会、(社)低温工学協会材料研究会、未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会

問合せ：東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻 下山淳一

Tel: 03-5841-7705、Fax: 03-5802-2908、E-mail: shimo@sogo.t.u-tokyo.ac.jp

7/21-25

ICEC22-ICMC2008 100 YEARS OF LIQUID HELIUM

場所：COEX InterContinental Hotel, SEOUL, KOREA

主催：Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics

問合せ：Tel: +82-55-295-1016, Fax: +82-55-295-0344

E-mail: secretariat@icec-icmc-seoul.org <http://www.icec-icmc-seoul.org>

7/28-8/1

IUMRS-ICEM 2008 Symposium R: Superconductors, Electronics and Magnetic Materials

場所：Hilton Sydney, Sydney, Australia

問合せ：Symposium R Secretary: Germanas PELECKIS,

Tel: +61 2 42215728, Fax: +62 2 42215731,

E-mail: peleckis@uow.edu.au <http://www.aumrs.com.au/ICEM-08/>

(編集局)

第 10 回 (2008 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、モチベ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(2008 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 受賞は毎年 1 件ないし 2 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(研究室)、推薦団体からそれぞれ一件とします。
7. 推薦方法 所定の推薦用紙に必要事項をご記入の上、締切期日までに到着するよう下記事務局

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 2008 年 8 月 1 日（金）

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 2008 年 9 月の予定です。

11. 賞の贈呈 2008 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

TEL: 03-5245-3261 FAX: 03-5245-4466 E-mail: msf@oxinst.co.jp <http://www.msforum.jp>

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (4/19-5/20)

- 大型 2 次電池 国内市場規模 6 年で 2 倍に リチウムイオンは 8 倍に/ハイブリッド車が成長牽引 4/19 フジサンケイビジネスアイ
- 新エネルギーの現状と課題④ 燃料電池発電—高効率化の歩み着実に 信頼性と経済性の向上が重要 4/21 日刊工業新聞
- 研究開発最前線 北海道大学・末宗幾夫教授 超電導・光工学を融合 量子情報網の構築目指す 4/21 日刊工業新聞
- マテリアルフローコスト会計 環境負荷もコストも下げ 生の製品、負の製品 ロス・ゼロを目指す 4/22 日経産業新聞
- キーワードは「再生可能エネ」「需要含め最適化」「デジタル技術」 電力会社と需要会社と需要家が協調 日本らしい系統の未来を 4/22 電気新聞
- 脳の同じ部位が反応 金銭報酬受けた時 好評価を受けた時 生理学研が解明 4/24 日刊工業新聞
- マテリアルフローコスト会計 国際標準へ規格化開始 国内導入 100 社に 廃棄物削減に効果 4/24 日経産業新聞
- 鉄系超電導物質 4 万気圧で抵抗ゼロ 東工大と日大 高温化に可能性 4/24 日経産業新聞、日経産業新聞
- 石炭火力発電 熱効率、日本の経済を世界に 4/28 フジサンケイビジネスアイ
- 新エネルギーの現状と課題⑤ バイオマス発電—バイオマスの利用意義と課題 廃棄物利用し環境型社会構築を 4/28 日刊工業新聞
- 高性能磁石 希土類の添加量半減 阪大 ハイブリッド車向け 4/28 日本経済新聞
- 高温超電導 電子の分布が関与 電中研や阪大など解明 4/28 日経産業新聞
- 先端機能材料化学分野 博士後期課程に新設 物材機構と北大理学院 5/2 日刊工業新聞
- 大強度陽子加速器、産業利用拡大へ推進組織が近く発足 5/9 電気新聞
- 地上にブラックホールか 欧州の巨大粒子加速器 「安全」今夏稼働 5/11 読売新聞
- 高温超電導物質の電気特性 強力な磁場で消滅 京大など 5/14 日経産業新聞
- 線材の長尺・大電流実現 イットリウム系超電導線 フジクラが開発 5/15 日刊工業新聞、電気新聞
- カザフスタン、ITER 計画参画へ—今冬にも正式加盟の見込み 5/16 電気新聞
- ISTEC 最新の成果 11 件報告 超電導線 線材や電力応用など 5/20 電気新聞
- コンバインドサイクルの登場 熱エネルギー「複合」利用で効率化 5/20 電気新聞

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（2008 年 3 月、4 月）

電力

Zenergy Power plc（2008 年 3 月 26 日）

Zenergy Power plc は自社特許の HTS 限流器を米国 Consolidated Edison, Inc. ("Con Edison") 向けに適用するための技術検討を行う契約を締結した。この検討により、Zenergy 社の限流器が Con Edison 社電力グリッドにおける電力擾乱により生じる損害からニューヨーク市を守れるかどうか明らかとなる。Con Edison 社は、また、この検討結果を基にこの限流器が米国における "Secure Super Grids" を建設する上で果たすべき役割を評価する。この技術解析は、プロジェクト Hydra の一部として実施される。プロジェクト Hydra は米国国家安全保障省が安全な電力グリッドを開発するための 3,900 万ドルのプログラムである。現在、Zenergy 社はプロジェクト Hydra 向けのスタンダードアロン HTS 限流器の独占供給事業者である。国家安全保障省送配電信頼性室長 Kevin Kolevar は次のように述べた。「エネルギー省では HTS 技術は、米国電力グリッドの近代化にとって極めて重要であるとしている。我々は、エネルギー省が過去 20 年国内企業とのパートナーシップの下で作り上げてきた基礎の上にニューヨーク市における Secure Super Grid プロジェクトが構築されることを喜ばしく思っている。Secure Super Grid プロジェクトは、短距離 HTS 応用に向けた当然の帰結であり、一方で、エネルギー省は引き続き長距離かつ高電圧応用のための線材の性能向上、材料開発を引き続き進めているところである。これらの活動が一体となって、HTS 技術が実用化に向かって進んでいくのである。」

出典:

"Commercial Contract for Department of Homeland Security Project"

Zenergy Power plc press release (March 26, 2008)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-03-26-hydra.pdf

Zenergy Power plc（2008 年 3 月 31 日）

Zenergy Power plc は、2007 年 12 月 31 日に終了する年度の概要を報告した。年間を通じてのハイライトは、2008 年出荷予定の HTS 誘導ヒーターの最初の販売、世界の再生可能エネルギー市場へのチャンスとなる Converteam SAS 社との 5 ヶ年の独占契約、世界初 HTS 発電機の開発と商用水力発電所への据付を目指した E.ON AG 社と共同のプロジェクトの開始、次世代 HTS 線材開発のための ThyssenKrupp GmbH との 5 ヶ年契約、中容量限流器の開発、試験、据付を行う California Energy Commission との 50 万ドルの契約、高電圧限流器の開発、試験、据付のための米国エネルギー省からの 1,100 万ドルの資金援助、Zenergy 社が特許を持つ中容量限流器の完成と試験の成功、Zenergy 社が特許を持つ低価格、大量生産向け全化学プロセスによる 10 m の HTS 線材の製造の成功、1,600 万ポンドの資金調達が挙げられる。Zenergy 社会長 Michael Fitzgerald は次のように述べた。「2006 年に商売を初めて最初の年間の報告ができることは大きな喜びである。当社の事業部門すべてにわたって、驚異的な電気性能を有する我々のコア技術である HTS 技術は商業化に向けて大きく前進した。上記成果に先立つ多年にわたる投資、開発、他社との関係構築もあって、多くの高度にプロGRESSで要求条件の厳しい取り組みにより、所期の成果に急速に近づいている。このことは我々グループに更に大きなチャンスを与えるものでもある。」

出典:

"Preliminary Results"

Zenergy Power plc press release (March 31, 2008)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-03-31-preliminary-results.pdf

American Superconductor Corporation (2008 年 4 月 2 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、中国北京の Sinovel Wind Corporation Limited から 1,800 万ドル相当の風力発電電気システム及び主要電気コンポーネントの注文を受けた。AMSC 社は、Sinovel 社に向こう 15 ヶ月で出荷の予定。このシステムは、AMSC 社子会社の AMSC Windtec 社との契約により開発された 3-MW 風力発電機に組み込まれることになっている。Sinovel 社は現在、AMSC 社の主要電気コンポーネントを組み込んだ 1.5-MW 風力発電機を販売、設置しているが、近い将来 5-MW モデルを開発することを計画している。

「中国風力発電 2007」(世界風力発電協議会、グリーンピース、中国再生可能エネルギー産業協会の共同執筆)では、中国が風力発電分野の開発で世界をリードし、気候変動との戦いでも大きな役割を果たすものと予測している。また、同報告書では、中国の風力発電総量(現在、6 GW で、内 3.4 GW 分は 2007 年に設置された)が 2010 年までに 10 GW、2020 年までに 120 GW に達するものと予測している。

出典:

“AMSC Receives \$18 Million Order from Sinovel Wind for 3 MW Wind Turbine Core Electrical Components”

American Superconductor Corporation press release (April 2, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1124799&highlight

Bruker BioSciences Corporation (2008 年 4 月 2 日)

Bruker Corporation の先端超電導事業部門は、ドイツ IFW Dresden の Solid State and Materials Research と MgB_2 超電導線材の共同開発のための正式契約に調印した。この共同開発の直近の目標は、1) MgB_2 超電導線材の臨界電流の改善と 2) 1-km 線材の製造能力の確立である。将来的には、大型 MgB_2 線材製造及び次世代 MRI マグネットや高エネルギー・核融合研究用マグネットの製造事業者との協力が視野に入れられている。現在の契約では、IFW Dresden が MgB_2 粉末、材料に関する現在及び将来のノウハウ、研究結果を提供し、Bruker 社があらゆるタイプの超電導材料応用に係る広範な経験と大型製造能力の面で寄与することとなっている。Bruker 社先端超電導事業部門の Burkhard Prause は次のように述べた。「我々はすでに 過去数年にわたって IFW Dresden との協力関係を続けてきている。我々の開発は、より高性能かつ大規模工業生産に向けた MgB_2 線材開発のための現在の協力関係を強化、拡大していける段階に達している。将来 10 K 以上の温度でヘリウムなしで稼動する「ドライ」MRI やエネルギー研究用マグネット分野での MgB_2 線材の市場は大きなポテンシャルを持っているものと確信している。」

出典:

“Bruker's Advanced Supercon Business Signs Cooperation Agreement with IFW Dresden for Further Development of MgB_2 Superconducting Wire”

Bruker Corporation press release (April 2, 2008)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=121496&p=irol-newsArticle&ID=1124644&highlight>

American Superconductor Corporation (2008 年 4 月 9 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、Windtec WT1650 風力発電システムの設計、製造ノウハウをインド、マハラシュトラの Ghodawat Industries Pvt. Ltd. (GIPL)に使用許諾した。これは、中東、南アジア、アフリカの国々向けのものである。GIPL 社は 2004 年以来風力発電塔を製造してきており、インドの 4 つの州で風力発電所を所有、運用している。同社は、AMSC 社の

知的財産である、設計、技術、主要電気コンポーネントを使って、国内での使用及び中東、南アジア、アフリカへの輸出を目的とした風力発電システムの製造を計画している。GIPL 社は 2009 年には 1.65-MW 風力発電機を製造したいとしている。数百万ドルの前払い金に加え、AMSC 社は GIPL 社が製造する最初の 500 台の WT1650 風力発電機に関してロイヤルティーを受け取ることとなっている。また、AMSC 社は GIPL 社が製造するすべての風力発電機向けの電気システム、主要電気コンポーネントの販売優先権 (right-of-first-refusal) を持つ。AMSC 社創立者で最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。「今回の GIPL 社とのライセンス契約により、我々はインドの風力発電のみならずその電力グリッド市場への足がかりを得ることができた。GIPL 社は急速に伸びているインドの風力発電市場において速やかにビジネスを伸ばしていくための経験、知識を持っている。インド市場への参入を果たし、我々は次の 20 年間大きく拡大していくインド電力グリッド市場へ深く食い込んでいきたいと考えている。」

世界風力エネルギー協議会の最近の報告によれば、インドは全世界の風力発電総量の中で 4 位を占めている。インドの 2007 年の風力発電量は 28 % 増加し、8 GW に達している。インド再生可能エネルギー省によれば、同国は 60 GW の風力発電ポテンシャルを有しているとのことである。

出典:

“AMSC Enters Market in India with First Wind Turbine License to Ghodawat Industries (India) Pvt. Ltd.”

American Superconductor Corporation press release (April 9, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1127487&highlight

European High Temperature Superconductors (2008 年 4 月 15 日)

European High Temperature Superconductors (EHTS)は、全長 2000 m のイットリア安定化バイアキシャル・バッファ・テープ工程で収率 90 % を達成した。テープは同社特許である ABAD 法 (Alternating Beam-Assisted Deposition) を用いて製造された。ABAD 法は、ステンレス基板上に YBCO をつけるという形のコストの面で優れた線材製造に使われる。ETHS 社 Y 系線材研究開発部門長 Alexander Usoskin は次のように述べた。「基板バッファの収率の著しい改善は、Y 系線材の再現性確保、生産能力拡大に寄与する。従来この工程が線材生産のボトルネックであった。」ABAD 法によって達成された改善された品質は、YBCO の高レートパルスレーザー蒸着法と相俟って、40-m 長 Y 系線材の最大臨界電流 306 A/cm 幅 (自己磁場、77 K) という大きな性能改善へと繋がった。この結果は過去の 253 A/cm 幅を大きく上回るものである。EHTS 社は現在 1 km 以上の高臨界電流 Y 系線材の一貫生産目指して、生産効率改善を図っていくことを考えている。

出典:

“EHTS achieved a 90% yield for biaxial buffering that allows critical currents of more than 300A/cm-width in coated conductors”

European High Temperature Superconductors press release (April 15, 2008)

http://www.brucker-ehs.com/fileadmin/Press_Release/2008/Pressemitteilung_EHTS_HTS_YBCO_HMI_2008.pdf

Zenergy Power plc (2008 年 4 月 21 日)

Zenergy Power plc は、その生産協力事業者である Bültmann GmbH とともに、革新的 HTS 工業用ヒーター (開発の成果) に対し Hermes 賞を授与された。このヒーターは広く工業プロセスで使用される超電導技術の初めての工業応用である。権威ある技術賞 (毎年授与) である Hermes 賞は、2008 Hannover フェアの開会時に Zenergy 社に授与された。Zenergy 社は、工業上の利益が大きく、これが厳格な産業トライアルを経たか又は応用段階にある優れた技術製品に与えられるこの

Hermes 賞を受賞したわずか 5 番目の企業である。また、その賞金は 10 万ユーロである。ドイツ教育研究省 Annette Schavan (Hermes 賞の授賞者) は次のように述べた。「Zenergy 社の HTS 誘導ヒーターは気候変動との戦いに大きな寄与を果たすもので、環境保護に有用である。また、この結果は、エンジニアリング産業、電気産業が気候変動抑制の試みの中で成功が期待できるパートナーであることを明確に実証した。」

出典:

“Zenergy’s High Temperature Superconductor (‘HTS’) Induction Heater Wins Prestigious Hermes Award”

Zenergy Power plc press release (April 21, 2008)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-04-21-hermes-award-win.pdf

American Superconductor Corporation (2008 年 4 月 22 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国及びカナダの 2 社から、グリッド接続ソリューションである D-VAR の発注を受けた。また、これらの風力発電所は、北米市場で 200-MW 以上の電力を供給することになる。この D-VAR システムは 2008 年末に出荷される。この注文の結果、AMSC 社の D-VAR ソリューションを使う風力発電所の総計は、北米で 20 か所、全世界で 35 か所に達することとなる。

世界風力エネルギー協議会の最近の報告によれば、2007 年に風力発電能力は全世界で 27 %伸び、94 GW に達している。また、2007 年に米国では 45 %、カナダでは 26 %、風力発電容量が増加した。

出典:

“AMSC Receives Orders for Grid Interconnection of North American Wind Farms”

American Superconductor Corporation press release (April 22, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1133104&highlight

Zenergy Power plc (2008 年 4 月 29 日)

Zenergy Power plc は、1 株あたり 1 ペンスの新規通常株式 6,873 株のストックオプションを行使したと発表した。新規通常株式に対する（ストックオプション行使の）申請は、AIM 株式取引所で取引が 2008 年 5 月 6 日頃の取引ができるよう行われた。この新規通常株式は、従来の通常株式と同じ位置づけであり、満額払い込みと同時に割り当て、発行される。(今回の申請が)認められれば、Zenergy Power plc の議決権付株式総数は通常株式で 44,027,804 株となる。

出典:

“Issue of equity and total voting rights”

Zenergy Power plc press release (April 29, 2008)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-04-29-issue-of-equity-and-tvr.pdf

American Superconductor Corporation and Siemens AG (2008 年 4 月 30 日)

Long Island Power Authority (LIPA)は、American Superconductor Corporation (AMSC)及び Nexans とともに、商用電力グリッドで世界最初の HTS 電力ケーブルが稼動したと発表した。600 m、138-kV、574 MVA のシステムは 2008 年 4 月 22 日に火入れが行われ、LIPA の配電網で順調に稼動している。AMSC 社は、このプロジェクトの主契約者であり、ケーブル製造のための線材を供給した。ケーブルシステム及び野外の 6 基の LIPA グリッドとの接続部は Nexans が設計、製造した。この HTS ケーブルは Air Liquide 社の液体窒素冷凍システムにより低温に維持されている。これら企業に加え、米国エネルギー省はプロジェクトコスト 5,850 万ドルのうち 2,750 万ドルの資金援助

を行っている。フル稼働状態で、新しい HTS ケーブルは 30 万戸の電力に相当する 574 MW の配電能力を持つ。LIPA は、そのグリッドに HTS ケーブルを設置した第 3 番目の電力企業であるが、LIPA の HTS ケーブルは最も長く、また送電電圧で稼働した初めてのケーブルである。LIPA は、このケーブルシステムの性能及び経済性レビューが完了すれば、これを永続的にグリッドで稼働させることを予定している。

出典:

"World's First Transmission Voltage Superconductor Cable Energized in LIPA's Power Grid"

American Superconductor Corporation press release (April 30, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1137104&highlight

"World's first transmission voltage superconductor cable energized successfully in LIPA's power grid"

Nexans press release (April 30, 2008)

http://www.nexans.com/eservice/Corporate-en/navigatepub_142482_-16156/World_s_first_transmission_voltage_superconductor_.html

Bruker BioSciences Corporation (2008 年 4 月 30 日)

Bruker Corporation は、米国マサチューセッツ州 Billerica に新しい子会社 Advanced Supercon, Inc. を創設した。Advanced Supercond 社は、米国における Bruker 製品に関し、ビジネスの開拓及び顧客サポートを担当する。将来、一部超電導装置関連研究開発は米国で行われる可能性はあるものの、Advanced Supercon (製品) の製造及び研究活動はヨーロッパで行われる。American Superconductor Corporation の前副社長兼財務責任者 Tom Rosa が Advanced Supercon 社の上級副社長兼財務責任者として入社した。Rosa は次のように述べた。「私は Advanced Supercon に参加できて嬉しく思っており、財務のみならず高品質な LTS 及び HTS 線材及び関連装置供給事業者としての当社の世界的な認知度を高めていくために重要な役割を果たしていくことを楽しみにしている。我々は、近い将来、我々の事業が北米及びアジア太平洋地域で拡大していけば、米国内で新たに人を増やしていきたいと考えている。我々は、自社の幅広い超電導製品の (優位性) を世の中に示していくとともに、Bi 系及び Y 系線材、中低温超電導 MgB_2 線材を含めた Advanced Supercon 社の事業を発展させていきたいと思っている。Advanced Supercon 社はすでに何万 km にも及ぶ LTS 線材を製造、世界に販売し始めている。これらは主として、MRI、NMR、物理研究、核融合実験用途である。

出典: "Bruker's New Advanced Supercon, Inc. (ASCI) Subsidiary Starts U.S. Operations and Hires Tom Rosa as CFO and Senior VP"

Bruker Corporation press release (April 30, 2008)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=121496&p=irol-newsArticle&ID=1137653&highlight>

エレクトロニクス

Institute of Physics (2008 年 3 月 28 日)

Institute of Physics は、ロンドン大学 Royal Holloway College で固体物理に関する会議を開催した。会議では、計算能力拡大に向けた量子物理を刺激する超電導の力に焦点をあてた 2 件の発表があった。オランダ Delft University of Technology の Hans Mooij 及び米国 National Institute of Standards and Technology の Raymond Simmons の発表である。Mooij は実際の量子デバイスの製作及び量子力学の基本部分の探索のためにこれを使うという観点からその進歩について講演した。一方、Simmons は、2 つの超電導 Q ビット間の情報伝送実証について講演し、このデバイスが量

子計算用メモリーとして、また、お互いに通信しあっている Q ビットバスとして使えることを確認したと述べた。

出典:

“The future of computing – carbon nanotubes and superconductors to replace the silicon chip”

Institute of Physics press release (March 28, 2008)

http://www.iop.org/Media/Press%20Releases/press_29029.html

センサー

National Institute of Standards and Technology (2008 年 4 月 15 日)

National Institute of Standards and Technology (NIST)は、University of Massachusetts と共同で自然界に存在するテラヘルツ波を検知できる高感度、高解像度イメージシステムの実証を行った。熱電子ボロメーター・イメージャーとして知られるこのデバイスは、早期腫瘍の発見から有害物質の高速で正確な同定まで、化学・生化学分析用の新たなツールとしての可能性がある。NIST のプロトデバイスは、テラヘルツ領域で作動するよう、マイクロエレクトロニクス技術、光学技術を駆使するとともに、超電導検知器を採用している。入射テラヘルツ波は、わずかな入射エネルギーでも温度が変化する超電導薄膜中で生成された安定な内部テラヘルツ波と混合される。2 つのわずかに異なるテラヘルツ信号周波数により、より検知が容易なマイクロ波信号が生成される。受動的に（合成、）放出された信号は非常に微弱で、現在のシステムでは 40 x 40 ピクセルイメージを作り出すのに 20 分かかる。より空間分解能の高い高速な検知デバイスに向け、現在研究が進められている。

出典:

“Prototype terahertz imager promises biochem advances”

National Institute of Standards and Technology press release (April 15, 2008)

http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2008_0415.htm#terahertz

National Institute of Standards and Technology (2008 年 4 月 15 日)

National Institute of Standards and Technology (NIST)は、極低温センサーとマイクロ冷凍機をワンプラットフォーム上で併置することに成功した。この結果は、半導体や星間物質といった材料のより安価で、単純、高速な分析への応用の可能性がある。この極低温センサーは、超電導薄膜から構成される遷移端センサーであり、他のデバイスに比して非常に正確に X 線の痕跡を検知する能力を持っている。このセンサーが通常金属、絶縁体、超電導体サンドイッチ構造の固体冷凍機と組み合わせられた。このデバイスは、検知素子とマイクロ冷凍機の組み合わせとしては、最初の成功である。遷移端センサーは、通常超極低温の運転温度に到達するため大型の複雑な冷凍機を必要とする。第 2 段の冷凍機能（300 mK から 100 mK へ冷却）を持つこの NIST のチップを使って、主冷凍（チップを室温から 300 mK まで冷却）にはずっと簡単な冷凍機で十分になる。このマイクロチップは、Applied Physics Letters に発表される予定。

出典:

“NIST micro sensor and micro fridge make cool pair”

National Institute of Standards and Technology press release (April 15, 2008)

http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2008_0415.htm#microfridge

基礎

Princeton University and the National Science Foundation (2008 年 4 月 10 日)

Princeton University は、超電導は多くの人たちが信じているように「のり (glue)」の効果が重要なのではなく、複雑な状況下で反発力をうまく利用する電子の能力が重要であると発表した。この研究は、University of Illinois-Urbana/Champaign, Brookhaven National Laboratory, 大阪大学(日本)、電力中央研究所(日本)と共同で行われたもの。研究チームは、超電導状態での電子対生成や超電導臨界温度以上での電子反発に予想外の関連があることを見出した。Princeton 大学物理学教授 Ali Yazdani は次のように解説した。「ある局面では最も強い反発力を持った電子同士が別の局面では超電導を最も生じやすくなっているように見える。」

Princeton 大学のグループは、特殊な走査トンネル顕微鏡を使って同じ原子に着目し、試料中の電子が高温では反発しあい、低温では対を組む状況を観察した。対生成の実験的特徴を調べた結果、(非常に高温で)電子間の反発力が最も強い電子が存在する原子が低温で最も強い電子対を組むことが分かった。これは、LTS で見られる電子の振る舞いと正反対である。電子が対を組まない高温まで試料を加熱すると、低温で超電導状態となる電子が独特の量子的性質を示し、これらが非常に強い反発力を持つことが示された。このように、LTS 中とは異なり、高温超電導体の中では非常に対生成力の大きい電子は最も強い相互反発力を持っている。

研究結果は、Science 4 月 11 日号に掲載された。この研究は、エネルギー省 Office of Basic Energy Sciences 及び National Science Foundation (NSF)の援助を受けて行われた。NSF のプログラムマネージャー Charles Bouldin は次のように述べた。「高温超電導体の中では基本的に異なる対生成メカニズムが存在することを明らかにすることができた今回の結果は本分野の研究を新しい方向に進め、また、新物質の探索にも有用なものとなろう。」

出典:

"Where's the glue?"

Princeton University press release (April 10, 2008)

<http://www.princeton.edu/main/news/archive/S20/77/71A47/index.xml?section=newsreleases>

"Attraction at the atomic level"

National Science Foundation press release (April 10, 2008)

http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=111397&org=NSF&from=news

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会第 34 回シンポジウム

「超伝導技術の発展と拡がりーヘリウム液化 100 年を記念して」報告

未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会の第 34 回シンポジウムが、「超伝導技術の発展と拡がりーヘリウム液化 100 年を記念して」と題して 4 月 15 日に虎ノ門パストラルで開催された。様々な分野において超電導技術が本質的に重要な役割を果たしていることが 6 名の講師によって紹介された。また、超電導分野で顕著な功績を挙げた研究者に贈られる超伝導科学技術賞の表彰式も行われ、特別賞 1 件（1 名）、科学技術賞 5 件（18 名）の表彰が行われた。受賞者名は文末を参照されたい。

新富（日大）からは「低温技術の展開」と題して冷凍機を中心にした低温技術の歴史と高エネルギー加速器における超電導コイルの進展が紹介された。スイスにある LHC と呼ばれる加速器周長 26.7 km の世界最大の高エネルギー加速器は、冷却重量 37,000 トン、消費電力 40 MW と従来のものと比べて一桁以上巨大であり、8 台の 18 kW @ 4.2 K 冷凍機で冷却を行っている。この加速器では、超電導コイルなど随所で日本の技術が貢献しているとのことであった。

日高（ISTEC）は「通信の未来と超伝導」というタイトルで、未来の通信機器で懸念されている消費電力増大、処理能力不足、セキュリティへの不安の解決に、超電導デバイスの適所への使用が有効であることを述べた。超電導単一磁束量子（SFQ）デバイスを用いたルータ用スイッチ、AD（アナログ/デジタル）変換器、量子通信用超電導単一光子検出器（SSPD）の開発現状と将来への展望が示された。

島本（原研）からは「核融合と超伝導技術」と題して国際核融合実験炉（ITER）開発の歴史と今後の計画が述べられた。ITER は 1992 年に工学 R&D が開始され、2036 年まで実験が行われる壮大な計画である。参加国も当初の日米欧に露、中、韓、印が加わり、まさに世界規模のプロジェクトである。超電導コイルのコストは全予算 5,000 億円のうち 1,500 億円を占め、超電導技術が重要な役割を果たしている。日本の超電導コイル技術は非常に高く評価されており、全体の約 45 %を日本が受け持つとのことであった。

「超伝導と医療・生命科学」と題して和田（東大）から、強磁場 MRI の医療・生命科学分野への展開の話があった。MRI は最も数多く使用されている超電導応用機器であり、現在は 3 T 以下の磁場で主に水素原子核分布の画像を得ている。この磁場を 11.7 T 以上になると炭素が見えるようになり、代謝のイメージングが行えるなどパラダイムシフトを起こすことができる。東大では、超電導技術の限界に挑むような世界最高レベルの強磁場 MRI 群と生体解析用ヒト・シミュレータ（2012 年完成予定の京速コンピュータ使用予定）を配備した「SuperMRI Complex」を提案している。

大崎（東大）は、「輸送の未来と超伝導」と題してリニアモーターカー、超電導電気推進船、超電導自動車や鉄道用超電導変圧器技術の現状を紹介した。いずれの応用も省エネルギーと環境調和を目指すものであり、試作器が作られ実際に使えることが実証されているが、コスト低減が最大の課題となっているとのことであった。

畑（住電）は、『『エネルギー・資源・環境』における高温超電導（HTS）技術の役割』と題する講演を行った。爆発的な人口増加に起因するエネルギー消費の急増によって、環境問題における非可逆のカタストロフィーが惹起される危険が指摘されている。この問題を解決する有効な解として、太陽電池、風力・水力発電のような太陽を起源とする Recyclable 新エネルギーと高温超電導直流電力ケーブルグリッドを組み合わせる「GENESIS」計画が、歴史的・技術的に必然であると主張した。全世界の電力需要を賄うために必要な太陽電池面積は 800×800 km であり、これは地球上の砂漠の

4 %である。砂漠で発電した電力を世界規模の高温超電導ケーブルグリッドで送電することによりエネルギー問題を一挙に解決できることが述べられた。(文中敬称略)

(SRL/ISTEC 低温デバイス開発室長 日高睦夫)

第 12 回超伝導科学技術賞 *****

特別賞 島本進 殿

「トカマク型核融合炉用超伝導マグネットの研究開発」

科学技術賞

田中三郎 殿、 鈴木周一 殿

「高温超伝導 SQUID を用いた食品内金属異物検査装置の開発」

為ヶ井強 殿、 前田京剛 殿、 西田信彦 殿、 平田和人 殿

「超伝導体単結晶における磁束線状態の研究」

平野直樹 殿、 中林寛明 殿、 式町浩二 殿

「超伝導電力貯蔵システムの実系統への連系」

湯村洋康 殿、 渡部充彦 殿、 芦辺祐一 殿、 滝川裕史 殿

「米国 Albany における超伝導送電ケーブルの実証運転」

松本要 殿、 吉田隆 殿、 向田昌志 殿、 一瀬中 殿、 堀井滋 殿

「ナノ組織制御による高臨界電流超伝導材料の開発」

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導電力機器のおはなし (その 3)

横浜国立大学
大学院工学研究院
名誉教授 塚本修巳

某日某所で、大手商社の経営に携わっている役員の叔父さんと、メーカーの研究所で高温超電導機器開発に携わっている甥との間で超電導応用のことが話題になりました。その続きで超電導電流制限器が今回のテーマです。

3.1 はじめに

甥：今回は超電導限流器の話です。限流器の説明となるとかなり技術的な話をしなければならないので少し我慢をして聞いてもらうことになるかもしれません。

叔父：そもそもゲンリユウキとは何だね？

甥：限流器の説明をするにはまず電気系統の短絡（ショート）事故の話をしましょう。今はあまりなくなりましたが、昔はコンセント等の電線がショートして火花が散り、電線が焼けたり溶けたり、家の中の分電盤にあるヒューズが飛んでしまうこともありましたね。最近はブレーカーがしっかりしており、大きな電流が流れるとすぐブレーカーが動作し電流を遮断して、ヒューズが飛ぶことはめったにありません。しかし、もし、ブレーカーが壊れ、また、ヒューズに銅線をつないであったとしたらどうでしょう。

叔父：ヒューズがよく飛んでしまうことがあっても絶対に銅線にしないようにという注意は承知している。そんなことをしたら屋内の配線に大きな電流が流れ火事になってしまう。

甥：電力系統で短絡事故が起きたらどうでしょう。もちろん、大きなブレーカーがあり（電力用では遮断器と言います）電流を遮断します。短絡事故が起きると定格電流（常時流れる電流の許容値）より 1 桁大きい電流が流れます。もし、この短絡電流が大きすぎて遮断器の遮断電流容量を超えると、電流が遮断出来ず大電流が流れ続け、送電線のみならず、送電線につながっている多くの変圧器などの電力設備機器が破損し大きな損害が発生します。したがって、今の電力系統はすべての場所で短絡電流が遮断器の容量を上回らないようにしっかり計算して構成されています。短絡電流の大きさは、短絡事故がどこで起きるかによって異なります。すなわち、短絡が起きるのが基幹電力系統である上位系統か、その下につながる中位系統か、さらにその下につながる配電系統のような下位系統であるかによって異なります。遮断容量が大きい遮断器はコストが高いため、それぞれの系統のレベルに応じて適切な容量の遮断器が用いられています。電力の供給信頼度を高くするためには、多くの系統をつなぎ系統の容量を大きくし、ある系統で故障があってもただちに他の系統から電気が供給できるようにすればよいのです。しかし、多くの系統をつなぐと短絡電流も大きくなるので、遮断器の容量を超えないように系統容量の大きさを制限しなければなりません。電力系統設計技術者は、複雑大規模な電力系統のどのような場所でも、短絡事故が起きたら確実に電流が遮断できるようにしなければならず、他の種々の制約をも考慮して、コストの最適化を図りつつ信頼性の高い系統を構成する必要があります。ここに彼らの腕の見せ所があるのです。

叔父：と言っても、要は遮断器の容量の大きいものをどんどん開発して、系統に入れていけばいいのではないかね。

甥：それは一部正しいです。遮断器の大容量化の開発は行われており、日本の技術は世界に冠たるものがあります。大容量遮断器では、電流があるレベルを超えたことを検出することにより短絡事故が起きたことを検出し、それから電流接点を開く機構が動作しだします。それと同時に、開き始めた接点の間にアークが飛びますが、高圧に圧縮した遮断絶縁性能のよいガスをアークに吹きつけて、これを吹き飛ばし電流を遮断します。アークが生じている限り接点がいくら開いていても電流は切れません。このように遮断動作は能動的なもので、これら動作の一部でも故障があれば電流は遮断できないことになります。遮断の失敗は許されないので、特に高い信頼性が必要な大容量遮断器はさまざまな信頼性検証しなければならず、どんどん開発というわけにはいきません。また、短絡が起きたら上記の一連の動作が必要で、瞬時に電流を遮断することはできません。したがって、電流が遮断されるまでは、一般に交流の数サイクル程度（0.1 秒程度）の短い間ですが大きな短絡電流が流れてしまいます。大きな電流が機器に流れると大きな電磁力が働き、焼損は起きないほど短い時間でも、機器は機械的に破損する可能性があります。図 1 は短絡事故に伴い設計値を超えた過電流で変圧器の巻線が電磁力で破壊された例です。電力系統ではどの電圧レベルの系統でも遮断器につながる変圧器などの機器は設置点における短絡電流による電磁力には耐えるようになっていきます。従って、遮断器の性能のみを上げてみてもだめで、つながっているすべての機器も耐短絡電流容量の大きいものに代えなければなりません。このため、まったく新しく系統を構成するなら別ですが、膨大な投資がなされている既存の系統の短絡容量を、単に遮断器の容量を増すだけで増すことはなかなか難しいです。

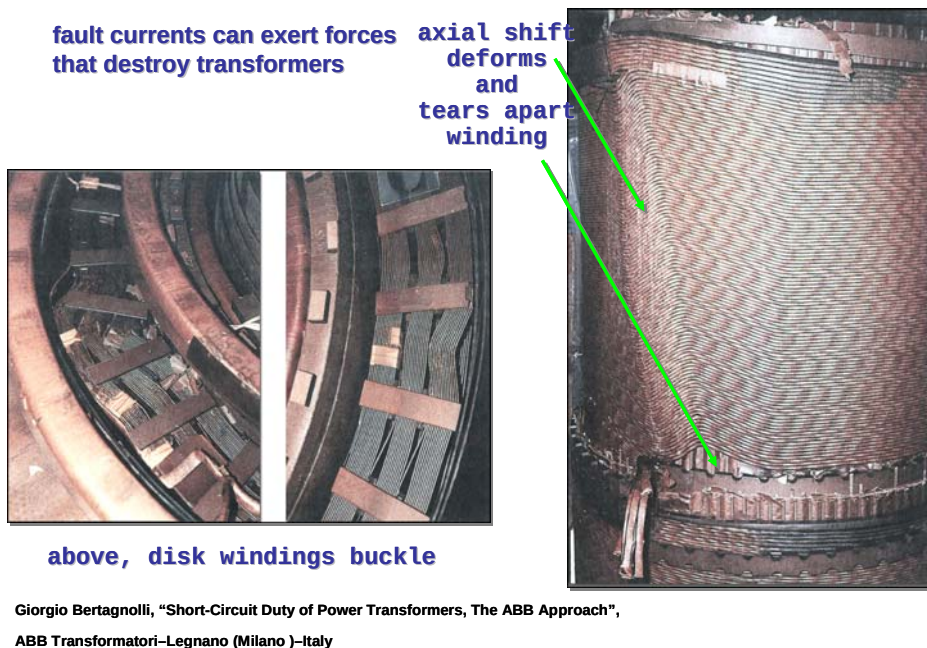


図1 過大な電流で損傷を受けた変圧器の巻線

近年、太陽光、風力などの自然エネルギー発電や発電事業の自由化などにより既存の電力系統に電源を新たに導入する機会が多くなってきています。しかし、新たな電源の導入は短絡電流の増大を引き起こし、導入が制約されることが多くなってきています。

叔父：そういえば、知り合いの会社が発電事業参入を目指し、発電機を系統につなぐべく電力会社に相談に行ったところ、いろいろ制約を付けられ計画を大幅に変えざるを得なくなったと、その会社の者が怒っていたよ。

甥：いま、もし、短絡事故が起き短絡電流がある閾値を超えたら即座に確実に電流を制限する装置

(限流器といいます) ができたら、上述の短絡電流の制約が大きく緩和され電力系統の構成の自由度が大きくなります。より電力供給の信頼性が向上し、より多くの自然エネルギー発電の導入、さらにより自由な発電事業者の参入が可能になります。したがって、優れた性能・信頼性の限流器が開発されれば、電力の安定供給、供給信頼度の向上、CO₂ の削減等により、電力エネルギーシステムの抱える課題の解決に大いに貢献すると考えられます。

このような限流器が超電導技術を応用することで実現できるのです。そのため、超電導限流器に対する強いニーズがあり、現在、世界の多くの国で開発が行われています。

3.2 限流器の動作原理

甥：超電導限流器に関しては従来多くの種類のものが考えられ、開発が行われて来ています。ここでは、現在世界で開発の主流になっている 2 種類、抵抗型（超電導・常電導転移型）限流器、および鉄心飽和型限流器を紹介します。説明には少し電気工学の知識が必要となりますが勘弁してください。

a. 抵抗型限流器

これは超電導・常電導転移型とも呼ばれています。超電導体は、超電導状態のときは抵抗がゼロで電圧の発生がなくそのまま電流が流れますが、電流が臨界電流値を超えるとただちに常電導転移を起こし抵抗が発生する性質があり、これを利用したものです。図 2 は抵抗型限流器の基本的な原理図を示したもので、超電導導体で構成された超電導限流素子とバイパスのインピーダンス素子（交流を流したときに電圧降下を起こす素子で、コイルや抵抗等の素子）から構成されています。正常運転時には負荷電流は超電導状態にある超電導限流素子に電圧降下無しでそのまま流れ、バイパスインピーダンスには電流は流れません。短絡事故が起きて限流素子の臨界電流値を超える大きな負荷電流が流れると、常電導転移を起こし超電導限流素子には電流が流れにくくなり、バイパスインピーダンスに電流が移ります。バイパスインピーダンスに電流が流れれば電圧降下により負荷電流の大きさを制限し続けます。バイパスインピーダンスは無くてもよいのですが、超電導限流素子に常電導転移後にも電流が流れ続けると、発熱により温度が上がり過ぎ素子が破損する恐れがあるので、これを防ぐために用いられます。

抵抗型超電導限流器では限流開始値は超電導限流素子の臨界電流値で決まり、制御を必要とせずに瞬時に自動的に限流を行うことができます。しかも、正常時にはほとんど損失がないという特長を持っています。超電導限流器素子の構造は簡単で、高温超電導線巻いたもの、高温超電導のロッドなどが用いられます。最近は薄膜線材技術が進歩し YBCO 線を用いた前者のほうが限流性能、低コスト性に優れており、これからの開発の主流となると考えられます。ただし、高い電圧に耐えるためには、線材を長くせねばならず、また、線材を長さ方向に均一に常電導転移させる必要であるなどの課題があります。このため、導入されるのは数万 V 以下の配電系レベルの系統と考えられています。

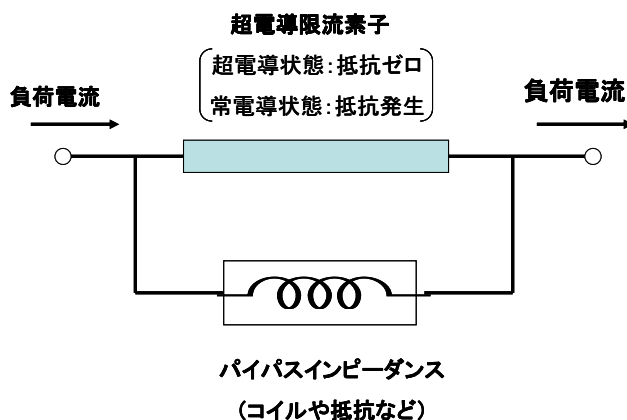


図2 抵抗型超電導限流器の原理図

b. 鉄心飽和型限流器

鉄心飽和型限流器は抵抗型限流器に比べると重く、大きいのですが、高耐電圧性が優れ、限流電流値を調整できるなどの特長があるため開発が進められています。

鉄心飽和型限流器の原理を図 3 に示します。まず、鉄心の働きを説明しましょう。鉄心にコイルを巻いてコイルに電流を流すと鉄心の中に磁束ができます。鉄心にできる磁束の量はコイルのターン数と電流の積（アンペアターンと言います）にほぼ比例します。鉄心がない空心コイルでもアンペアターンに比例した磁束が生じますが、鉄心がある場合の方が同じアンペアターンでも磁束のできる量が数千倍多いです。ただし、鉄心コイルではアンペアターンが大きくなりすぎると飽和現象が起きて、飽和すると、アンペアターンの増加分に対して磁束の増加分は大きく減り、空心コイルとほとんど変わらなくなります。鉄心であれ空心であれコイルにできる磁束の変化速度に比例して逆起電圧が発生します。鉄心コイルに交流を流した場合、鉄心が飽和していないときには大きく磁束が変化し大きな逆起電圧が生じ電流の流れが阻害されます。しかし、鉄心が何らかの理由により飽和しているときは、コイルの逆起電圧が小さく電流はよく流れます。

図 3 に示してある左右の 2 つの鉄心に共通して巻いてある超電導コイルに直流バイアス電流を流し、鉄心を十分飽和させておきます。図の左右の鉄心にはそれぞれ銅コイルが巻かれており、巻く向きは互いに逆になっています。この 2 つの銅コイルを直列につなぎ、交流の負荷電流を流します。鉄心に加わるアンペアターンは、鉄心に巻かれている銅コイルと超電導コイルの巻き方向が同じ場合は両コイルのアンペアターンの和になり、逆の場合はその差になります。正常状態では、超電導コイルのアンペアターンに

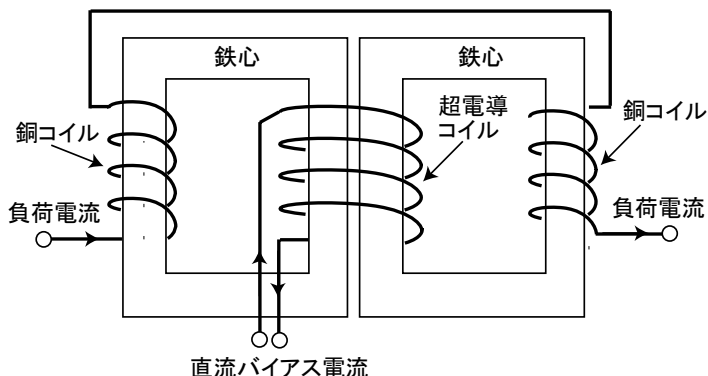


図 3 鉄心飽和型超電導限流器の原理図

対して銅コイルのアンペアターンが十分小さくなるようにしておきます。このため、正常状態では鉄心が飽和状態になっているので、少ない電圧降下で交流負荷電流は流れます。しかし、短絡事故が起こり大きな交流負荷電流が流れると、交流電流の向きにより図 3 のどちらかの鉄心は、そこに巻かれている銅コイルのアンペアターンが超電導コイルのアンペアターンを減ずる方向になります。その鉄心が短絡電流で飽和状態でなくなるように直流バイアス電流を調整しておきます。すると、この鉄心の銅コイルには電流が流れにくくなります。負荷電流の向きが変わると他の方の鉄心が飽和状態でなくなり、やはり電流が流れにくくなります。したがって、負荷電流がある閾値を超えて大きくなると直列につながれたどちらかの銅コイルに電流が流れにくくなるので、負荷電流はその向きにかかわらず限流されることになります。この方式の限流器も抵抗型と同じように負荷電流がある閾値を超えると自律的かつ瞬時に限流動作に入ります。この方式では直流バイアス電流の大きさを変えることによりある程度限流電流値を変える事ができます。また、抵抗型のものに比べ、正常時の損失特性は劣りますが、高耐電圧化への適応性が優れています。この方式で直流バイアス用のコイルに超電導が用いられているのは、限流器の動作中はバイアス電流を流し続ける必要があるため、そのための損失を減すためです。バイアスコイルも銅コイルしたのでは効率が悪く実用的ではありません。

叔父：鉄心に巻いた負荷電流用の銅コイルもいつそのこと超電導にしたらもっと損失が減るのではないかね。

甥：いい質問ですね。超電導は交流で使うと、前にも言ったと思いますが交流損失が発生します。

交流損失の低減の方法については現在鋭意研究がされていますので、将来少ない交流損失の超電導コイルが開発されたら叔父さんの言うようになると思います。

3.3 海外の開発状況

甥：海外の開発状況のお話をざっとしておきましょう。表 1 は海外の超電導限流器の研究開発状況を示したものです。開発されている機器規模いろいろありますが、多くの国で開発研究が進められているのがわかります。

表 1 世界の主な限流器開発プロジェクト（2007 年末現在）

国 名	プロジェクト名/実施者/電力会社比	定格or動作電圧/電流	開発状況	形式	仕様材料
1 日本	Super Ace/三菱・東芝/電中研	3Φ 6.6kV / 1kA	2005年終了	抵抗型	YBCO薄膜
2 日本	Super Ace/東芝/	3Φ 6.6kV / 750A	2005年終了	整流型	Bi2223線材
3 日本	応用基盤/東芝/	1Φ 476Ap (短絡電流 1338Ap)	2008年3月終了 (コイルのみ)	抵抗型	YBCO線材/4コイル
4 中国	InnoPower/雲南電力	3Φ 35kV / 1.2kA	2007年運用開始予定	鉄心飽和型	Bi2223線材
5 韓国	/KEPRI/KEPCO	3Φ 22.9kV / 630A	性能試験実施	ハイブリッド型	YBCO薄膜
6 韓国	KEPRI/HYUNDAI/KEPCO	1Φ 14kV / 3kA	コイルテスト済み	抵抗型	YBCO線材
7 米国	DOE/SuperPower/アメリカン電力 Sumitomo Nissan	3Φ 138kV / 1.2kA	従来のDOE プロジェクトの延長	抵抗型	Bi2212パルク マトリクス型
8 米国	DOE/Trithor/南カルフォルニアエジソン Delta Star	3Φ 138kV 級	プロジェクト発足	鉄心飽和型	YBCO線材
9 米国/ ドイツ	DOE/AMSC/南カルフォルニアエジソン Siemens Nexans	3Φ 115kV / 1.2kA	プロジェクト発足	抵抗型	YBCO線材
10 ドイツ	CURL10/ACCEL/RWE Nexans	3Φ 10kV / 10MVA	フィールドテスト終了 現エレメント評価	抵抗型	Bi2212パルク
11 イギリス	DTI/ロールスロイス/スコティッシュ電力	125A	デモ器開発	抵抗型	MgB ₂ /25K
12 イタリア	CESI	9.5kV / 5MVA (目標)	150-200Aデモ器開発	抵抗型	MgB ₂ /27K
13 イタリア	CESI	3.2kV / 1.2MVA	プロトタイプ試験済	—	Bi2223

図 4 は日本の NEDO/ISTEC/東芝のプロジェクトで開発された抵抗型限流器で、YBCO 導体を用いた限流素子コイルと低温容器に組み込まれた装置の写真です。この限流器は、短絡事故電流が何もしない時には 1560 A であるところを 840 A に限流することが実際の試験により確かめられています。この他、抵抗型限流器の研究開発は多くの国で行われています。米国では実系統導入を目指した本格的な装置が、イタリア、英国では限流素子に低コストの MgB₂ 線を用いたものの研究が行われています。また、韓国では従来型の高速遮断器と組み合わせ、限流素子の負担を軽くし実用性を高めた装置の開発が行われています。図 5 は中国で開発された鉄心飽和型限流器の写真です。すでに製作は終わり、変電所に設置し実際の電力システムに導入して試験を行っているところです。この他、米国では抵抗型より高い電圧レベルの系統への導入を目指した装置の開発が行われており、イスラエルでは構造に工夫を凝らし、軽量小型化を行い、鉄心飽和型の欠点の克服を目指した装置の開発が行われています。



組み立て終了後の三相限流コイル



冷却容器へ組み込み
(約70K, 1気圧)

図 4 日本で開発された抵抗型限流器 (写真 ISTECH/東芝提供)



図 5 中国で開発された鉄心飽和型限流器 (InnoPower 社製 写真: 清华大学: 韓教授提供)

3.4 まとめ

叔父：限流器のことなど何も知らなかったが少しその必要性がわかったような気がする。電力システムのことが通り一遍わかっただけでは限流器の重要性はわからないね。

甥：超電導限流器は今までにない機能を持つ装置であり、今のところ電力系統に導入してその機能を使いこなすというところまでは来ていません。したがって、高性能、高信頼性、そして低コストの限流器の開発とともにその利用技術の研究も重要と思います。超電導限流器は単に短絡電流を抑制し機器の損傷を防ぐという役割だけでなく、電力システムの構成の自由度を増し、より合理的なシステムの構成を可能とするという役割も大きいです。また、超電導ケーブルや超電導変圧器など、短絡電流対策のために設計上の制約を受けて、超電導の特長を活かしきれない場合が多々あります。その場合には限流器との組み合わせにより、短絡電流対策の負担を軽くし、より合理的な機器の構成が可能になると考えられます。このように超電導限流器開発はいろいろな面から重要です。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：「冷凍機の性能で [COP] が使われていますが、この値はどのような意味でしょうか？」

A：COP は Coefficient of Performance の頭文字表記で、「成績係数」と訳されており、冷凍機の所要動力を W 、特定温度での冷凍能力を Q とするとき、

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (1)$$

で定義される。したがって、COP を評価するときは必ず冷凍温度が明らかになっていることが必要である。

一方、冷凍機とは対極にある熱機関では、特定温度での熱源からの入熱 Q による発生動力を W とするとき、効率として、

$$\eta = \frac{W}{Q} \quad (2)$$

が定義できる。(1)式を効率と呼ばずに COP と呼ぶ理由は、(2)式が $0 < \eta < 1$ であるのに対し、(1)式は冷凍温度によっては 1 を超える場合がある ($0 < COP < \infty$) ことによる。

一般に、冷凍機の効率が良いとか悪いとかいう場合の「効率」は(2)式を意味するのではなく、一般的な表現での能率を意味するものととらえる。したがって「冷凍機の効率は成績係数 (COP) で示す」というような表現が使われることになる。

熱力学的に最も理想的な冷凍機の条件は、系内で不必要なエントロピー生成が無いことであり、カルノーサイクルで説明されることが多い。冷凍温度を T_e 、放熱温度（一般には室温）を T_a とすれば、カルノーサイクルによる冷凍機の COP は、carnot あるいは ideal 等の添え字を用いて、

$$(COP)_{carnot} = \left(\frac{Q}{W} \right)_{ideal} = \frac{T_e}{T_a - T_e} \quad (3)$$

で表される。理想的なエリクソンおよびスターリングサイクルによる冷凍機の COP も(3)式と同じになる。したがって COP は本質的に冷凍温度の低下と共に低下する値であることが理解できよう。

なお COP を 100 倍して % で表わす場合もあるが、この場合の 100 % には特定の意味はなく冷凍温度が 150 K 以上の COP では 100 % 以上になり得る。そこで(1)式の(3)式に対する割合を % カルノーと称して、

$$\%Carnot = \frac{COP}{(COP)_{carnot}} * 100 = \left(\frac{Q}{W} \right) \left(\frac{T_a - T_e}{T_e} \right) * 100 \quad (4)$$

で表わし、その冷凍機の熱力学的な性能を評価する。COP だけで冷凍機を評価しようとする、どこまで改善できるのか、その目標値がすぐには見えないが、%カルノーによる評価は冷凍温度の如何にかかわらず、常に目標値が 100 % なのでフェアな比較が可能となる。

いずれの場合でも論文によって入力仕事 W の定義内容が異なることがあるので特に注意しておきたい。一般には W として圧縮機の所要動力（皮相電力：入力電圧×電流）が用いられるが、有効電力（皮相電力×力率）や圧縮機から供給される PV 仕事を W とする場合もある。

例えば、現在市販されている冷凍機の 65 K での COP はおよそ 2~5 % であるが、その % カルノーは 7~17 % なので理論最大値から如何にかけ離れた状態かがよく理解できよう。

回答者：高エネルギー加速器研究機構 共同研究員 松原洋一様