
掲載内容（サマリー）：

トピックス：

- 超電導技術動向報告会 2009 より

特集：冷凍・冷熱技術の現状

- 超電導機器の冷凍・冷却技術の進展
- 連続型断熱消磁冷凍機（ADR）技術の現状
- パルス管冷凍機を用いた希釈冷凍機開発の現状
- 水素用磁気冷凍機の開発の現状
- 液体水素冷熱を活用する超電導マイクログリッド構想
- 超電導関連製品ガイドー小型冷凍機

- 超電導関連 6-7 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（4/21-5/20）
- 超電導速報ー世界の動き（2009 年 4 月）
- 低温工学協会東北・北海道支部「東芝における超電導技術開発の歴史と将来展望」報告
- 隔月連載記事ー超電導と MRI / NMR（その 3ー磁界の均一性と強度）
- 読者の広場(Q&A)ー液化水素の安全な取り扱いについて教えてください。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

〈発行者〉

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

Tel (03) 3536-7283

Fax(03) 3536-7318

超電導 Web21 トップページ：<http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



トピックス：

- 超電導技術動向報告会 2009 より

ISTEC は 5 月 25 日（月）東京・都市センターホテルで超電導技術動向報告会 2009 を開催した。産・学・官、報道、一般の方々を含め約 170 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、および福田秀樹・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から次の趣旨の祝辞があった。「超電導研究開発は ISTEC 創立当初から日米協力のもとで進んできた。また、H19 年度に終了した応用基盤と SMES プロジェクトともに優良評価を得て、引き続き Y 系超電導電力機器技術開発プロジェクトが始まった。日本は実用化・応用が得意な分野であり、2020 年の電力機器実用化へ向けて、海外との熾烈な競争にうち勝つためには ISTEC 始めとしてここに参集された企業の方々の頑張りを大いに期待している」との激励を頂いた。

塩原 融・ISTEC/超電導工学研究所（SRL）所長は「Y 系超電導電力機器基盤技術開発」と題した基調講演の中で、NEDO 委託プロジェクト「Y 系超電導電力機器技術開発」の概要とその意義を説明し、世界的な環境・エネルギーへの関心の高まる中、超電導電力機器を適用することで CO₂ の大幅な排出削減に貢献できることを強調した。

和泉輝郎・ISTEC/SRL 線材研究開発部長は、「電力機器応用に対応する Y 系線材作製プロセスの開発」と題して、応用基盤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踏まえ、新たに始まった Y 系超電導電力機器技術開発での線材開発の重要性、最新の研究成果と今後の課題について報告した。

九州工業大学・松本 要教授は、「高 J_c-B 特性を目指したピン止め点導入 Y 系線材」と題して、Y 系線材の磁界特性改善へ向けたピン止め点の導入に関する基本的な考え方から、ピン止め点導入の各種実験結果、シミュレーションによる可視化と将来設計について紹介した。

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

住友電工 林 和彦氏は、「住友電工における Bi 系線材開発と応用」と題して、ビスマス系高温超電導線の性能向上と機械特性改善により、各種の高温超電導ケーブルプロジェクトへの適用が始まった。また船舶用や自動車用超電導モータなどの小型化や省エネ効果を期待した用途開拓の状況について紹介した。

日高睦夫・ISTEC/SRL デバイス研究開発部 低温デバイス開発室長は、「ニオブ系超電導デバイス開発の新展開」と題して、超電導材料中で最もデバイス作製が容易で安定な材料であるニオブを用いた超電導 SFQ は究極の省エネデバイスであり、すでに小規模システムの開発が行われている。これらの超電導システムは既存技術を凌駕する性能を有しており、この優位性を有効に発揮できる適用場所を見いだすことが重要と報告した。

東芝・賀屋野 博幸氏は、「次世代気象レーダー用超電導フィルタシステムの開発」と題して、無線



塩原所長の講演風景

LAN 等の爆発的な利用増による周波数帯域確保のため、隣接する 5 GHz 帯気象レーダーシステムの占有周波数を狭帯域化する方向が予想される。その実現には送信スペクトルの狭帯域化と低スプリアス化が必須で、高温超電導体の表面抵抗と高い無負荷 Q 値を持つ共振器を利用した超電導フィルタ開発により実現できたことを報告した。

田辺圭一・ISTEC/SRL 副所長／材料物性バルク研究部長は、「低交流損失 Y 系線材に向けた加工・評価技術の開発」と題して、電力機器に適用される Y 系線材における交流損失低減のため、細線化加工技術の開発状況と成果、その評価技術の進捗と今後の課題につき報告した。

鉄道技術総合研究所 長嶋 賢氏は、「フライホイール用高温超電導バルク体磁気軸受けの開発」と題して、鉄道用フライホイール蓄電装置の支持軸受けに適用する超電導バルク体と超電導コイルを用いた磁気軸受けの技術開発につき報告した。従来に比べ単位面積当たり 10 倍以上の大きな荷重容量が得られ、装置の小型化が期待されることを紹介した。

田中靖三・ISTEC 標準部部長は、「超電導国際標準化のこれまでと今後」と題して、超電導技術は我が国の卓越した先進技術との自惚れに固執していると、外国からの驚異を感じなくなりガラパゴス化するのではと提示し、これを打破するためには、超電導技術力（知財）を押さえ、国際標準化をすることが必須。幸いにも我が国が IEC/TC90（超電導）の国際幹事国であり超電導国際標準化戦略にとって非常に有利な立場であり、国際標準化を進めることへの理解と協力を訴えた。

まとめ講演として、明星大学・仁田旦三教授は、「電力機器応用と酸化物超電導」と題して、現状の電力システムの特徴から、高効率エネルギー利用と低炭素化社会へ向けての最終エネルギー形態として電気エネルギーの利用が拡大すると予測し、発電・変電・送電・配電における超電導電力機器の活かすべき分野について提言をされた。

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し成果も見え始めており、産学官挙げてのさらなる協力の意義と重要性を再認識できた報告会となった。

(ISTEC 普及啓発部長 佐伯正治)



会場風景

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍・冷熱技術の現状「超電導機器の冷凍・冷却技術の進展」

大陽日酸株式会社
超低温技術部

吉田 茂

高温超電導電力機器が実用化研究の段階に入り、冷凍機の開発にも力が入ってきた。図に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性能と現在の冷凍機の性能を現した。

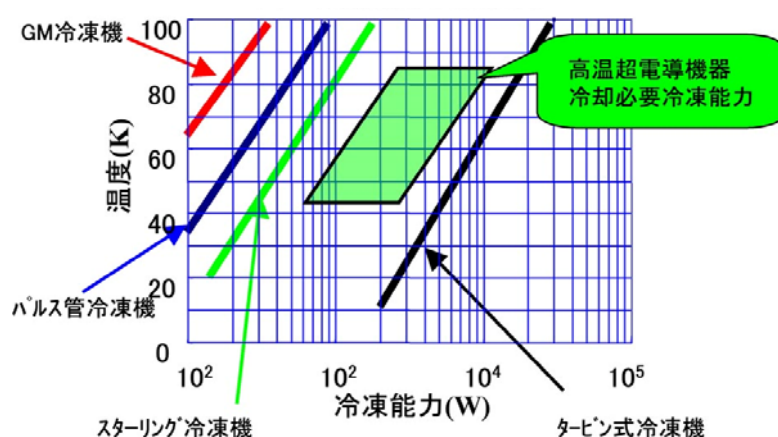


図 1 冷凍機冷凍能力

図を見ると解るように必要温度域は 40 K-80 K 位で、冷凍能力は 2 kW -10 kW (@80 K)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 1 kW(@80 K)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、空気分離プラント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、高温超電導機器冷却用としては冷凍能力の面であまりにも過大である。そこでこの領域に適した冷凍機を開発すべく、ネオンガスを作動ガスとした膨張タービン式冷凍機が試作された。試作冷凍機はネオンガス流量 $1,200 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ 、システム圧力 2 MPa/1 MPa で 2 kW(@70 K)の冷凍能力を達成した。しかし、試作冷凍機は無摺動な膨張タービンを装着している一方で、圧縮機は摺動部を持つ既存のレシプロ型を用いている。このため、試作冷凍機は保守性、効率ともにまだ実用的な超電導機器冷却に供せる冷凍機となっていない。そこで、膨張タービン式冷凍機の冷凍効率向上とメンテナンスフリーを目指し、膨張タービンの高効率化と無摺動小型ターボ圧縮機の開発が次の課題となっている。圧縮機及び膨張機共に摺動部を有しない冷凍機は消耗部位が存在せず、メンテナンスフリーの冷凍機が実現できる。さらに、小型ターボ圧縮機の採用は既存レシプロ型やスクル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、超電導機器冷却用冷凍機に要求されるコンパクト性が達成される。

冷凍効率（冷凍能力／消費電力）は冷凍機の性能を示す一つの指標であるが、超電導機器運用の経済性に直結するので、非常に重要な数値である。現段階の冷凍効率は 80 K で 0.05 程度であり、この数値を可能な限り高める事が冷凍機開発の大きな目標でもある。膨張タービン式冷凍プロセスでは、膨張比 2 の近辺で冷凍効率が極大値を持っており、この知見を元に実ガスであるネオンガスにて冷凍プロセスをシミュレーションしたところ、システム圧力が 1 MPa/0.5 MPa で最大の冷凍効

率を持つことが解った。そこで、次段階として低圧システム（1 MPa/0.5 MPa）での小型ターボ圧縮機、膨張タービンを装着した冷凍機の開発を検討している。

ところで、他の要素機器を眺めてみると、タービン式冷凍機のコールドボックス内で大きな容積を占めているのが熱交換器である。冷凍機の小型化を検討する上で、熱交換器の最適化は重要な因子である。このため、冷凍プロセスシミュレーターを作成し、熱交換器寸法の検討も行っている。さらに、開発した冷凍機の冷熱をどのように取り出し、被冷却体である超電導機器に伝えるかが大きな課題である。冷媒としてサブクール液体窒素を介在させる場合や熱伝導により直接冷却する場合など、超電導機器の要求や形態に合わせた冷却システムを工夫する研究が今後重要となる。

試作膨張タービン式ネオン冷凍機

膨張タービン



コールドボックス



[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍・冷熱技術の現状「連続型断熱消磁冷凍機（ADR）技術の現状」

独立行政法人 物質・材料研究機構
沼澤健則
NASA ゴダード宇宙飛行センター
Peter Shirron

断熱消磁法（ADR）は超低温や極低温の発生手段として広く知られているが、ここで取り上げる連続型 ADR は、過去 10 年ほどで基本概念が実証された古くて新しい冷凍技術である。ADR は磁界による磁性体の磁気エントロピー変化（磁気熱量効果）を利用して寒冷を発生する。磁性体はマグネット中に設置され、さらに吸熱と排熱のステージが熱スイッチを介して磁性体に結合され、磁界変化と熱スイッチの ON/OFF で効率の高いカルノーサイクルを駆動することができる。しかし、ADR のカルノーサイクルでは、断熱または等温状態における磁化と消磁の 4 過程が逐次実行されるため、排熱と吸熱過程が同時に行われることがなく、冷凍サイクル全体を通して吸熱ステージの温度を一定に保持することが困難である。このような冷却の間欠性は、常に一定の温度を保持しなければならない実験、例えば超流動ヘリウムや固体ヘリウムの生成等に大きな障害となる。換言すれば、従来の ADR は冷凍機ではなく、一定時間を保持するだけの冷却器であったということになる。

連続型 ADR はこのような間欠性を回避するために考案された方式で、ADR を真の冷凍機とすることに成功している。NASA の Peter Shirron は 2 つの ADR のカルノーサイクルの位相を半分ずらして結合し、低温を発生する ADR からの磁化熱を、高温側の ADR が消磁によって時間遅れなく吸収してやるというサイクルを考案した。この場合、低温側の ADR は一定温度を保持する熱バッファの役割を果たし、熱を通過するためだけに使われる。また、このような ADR を複数段組み合わせると、それぞれのサイクルが独立して短時間で駆動できるようになり、磁界や磁性体質量の大幅な軽減に寄与する（図 1 参照）。

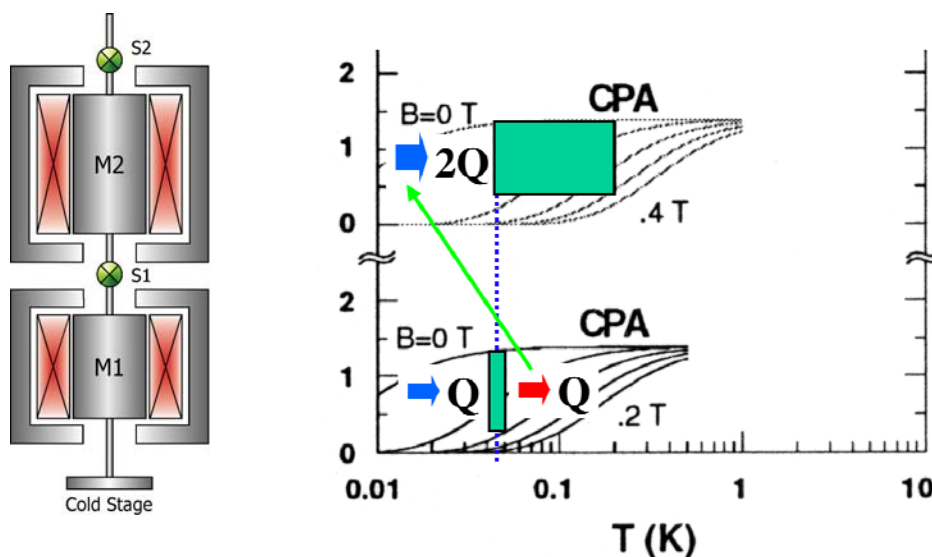


図 1 連続型 ADR の概念図：左は 2 つの ADR 構成図、右はこれに対応した磁性体（CPA）のエントロピー線図上でのカルノーサイクル。磁性体ユニット M1 は一定温度を発生し、M2 は M1 からの排熱を吸収する。M1 のカルノーサイクルは熱を通過させるためにだけ使われる。

NASA がプロトタイプの開発に成功した連続型 ADR では、吸熱温度 60 mK、排熱温度 4.2 K でカルノー効率 45 % 以上、冷凍能力 10 μ W、温度安定度 ± 10 μ K を達成している。これに続き物質・材料研究機構では、宇宙実験用連続型 ADR を NASA および JAXA の協力で開発した（図 2 と写真 1 参照）。この ADR はより汎用性を目指し、冷凍能力を 100 μ W（100 mK）まで向上させるために、新開発磁性体（GdLiF₄）を採用すると共に冷凍サイクルを 30 分以下にまで高速化させた。また、4 K-GM 冷凍機と組み合わせることにより無冷媒化を達成し、かつ ADR を含めたクライオスタットは直径 45 cm、高さ 90 cm、総質量は 60 kg 以下まで小型・軽量化されている。

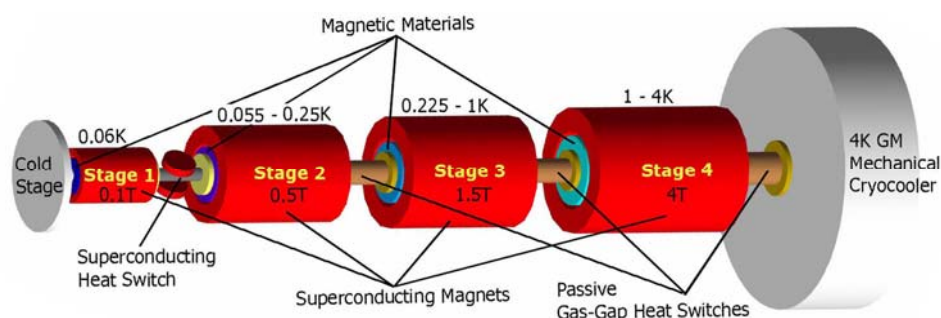


図 2 NIMS における 4 段式連続型 ADR 概念図：磁性体、超電導マグネット、熱スイッチから構成され、ADR の排熱は GM 冷凍機に伝達される。



写真 1 4 段式連続型 ADR 装置：空間配置を最適化した実際の ADR 装置主要部。直径 30 cm、高さ 35 cm に納められている。

以上のように、連続型 ADR は実証から実用の段階に入り、希釈冷凍機に十分対抗できる技術にまで成長している。しかしながら ADR 特有の課題も存在し、ここでは以下の 2 点を指摘しておく。(1) 4 段もの ADR を組み合わせ、独立してカルノーサイクルを同時駆動するための複雑さ、主に駆動制御回路とソフトウェアの洗練性、(2) 高温側の ADR ユニットの一定温度を維持できないため、いわゆるサーマルアンカーとしての使い方ができない。比較的熱容量が大きく、熱侵入を考慮しなくてはならない実験では大きな障害となる。従って、現状では希釈冷凍機の代替と考えるにはいささか無理があるが、いずれも解決可能な課題であるため、従来の冷凍方式と棲み分けをしながら本格的に普及していくものと考えられる。

特集：冷凍・冷熱技術の現状「パルス管冷凍機を用いた希釈冷凍機開発の現状」

大阪市立大学
大学院理学研究科
教授 畑 徹

1 K 以下の温度を得るためには次の 3 つの方法がある。一つはヘリウム 3 クライオスタットで、これは液体ヘリウム 3 を減圧することで低温が得られるが 0.3 K 止まりである。二つ目は、断熱消磁法で磁性塩を磁界で磁化させ、その後断熱的に消磁することによって低温を得ることができる。これは後述する希釈冷凍機の出現で一時消滅していた技術だが、真空ポンプが要らないなど小型化・軽量化、また無重力下でも使用できることから、宇宙ステーションで用いる冷凍機として脚光を再び浴びている。三つ目は、希釈冷凍機で mK まで連続的に低温が得られることから広く物性測定用として普及しているが、それ以外の分野への広がりほとんどないのが現状である。その最大の問題は、装置が大型であること、液体ヘリウムを定期的に補充しなければならないこと、それにもまして操作手順が複雑で素人では扱えないことにある。これらの問題点を一気に解決する三つ目の発展的手法ともいえる方法として、液体ヘリウムを用いる代わりにパルス管冷凍機を用いた希釈冷凍機に期待が高まっている。

液体ヘリウムフリーという点では、1993 年にドイツの Uhlig が GM 冷凍機を用いた希釈冷凍機を製作したがさほど注目を集めなかった。それは大型であったことと GM 冷凍機がおおきな振動を伴うことにあったと思われる。ところが近年振動の少ないパルス管冷凍機が 3K を切るようになったことにより、小型化も進み米国での商品化に始まり、ここ 2、3 年で英国、フランス、オランダ、フィンランドからも売り出されるようになった。大阪市大でも JST のプロジェクトとして岩谷瓦斯（株）との共同で、パルス管冷凍機仕様の小型の希釈冷凍機の開発に成功した（写真）。



左半分がパルス管冷凍機で右側が希釈冷凍機。希釈冷凍機のトップフランジからの長さは 80cm 程度である。

本来、希釈冷凍機はヘリウム 3、4 の混合ガスを液化して動作させる。液体ヘリウム 4 は 2 K 以下で超流動になりクライオスタット内に留まるため、ヘリウム 3 のみが室温と低温を循環する。そのため、室温から循環してきたヘリウム 3 ガスを液化する必要がある。通常の液体ヘリウム仕様の希釈冷凍機は、液体ヘリウムを 1 K ポットに導入減圧することにより 3 K の温度をつくり、ヘリウム 3 ガスを液化する。一方パルス管冷凍機ではまだ 3 K 止まりであることから、ヘリウム 3 ガスを 3 K からジュール・トムソン膨張させることによって液化する。この点が液体ヘリウム仕様とパルス管冷凍機仕様の最大の違いである。我々も室温から入ってくるヘリウム 3 ガスをうまく冷却させるために頭を悩ませたが、案ずるより産むが易しで、最初の試運転で約 50 mK に下がった。これは本学が世界最高レベルの希釈冷凍機を自作してきた経験によるところが大きい。ところが、開発にはトラブルがつきもので、数回の冷却成功後に装置を移転させたところ、冷却が遅くなる、あるいは混合ガスの液化が進まないなどのトラブルに何回も見舞われた。後になってわかったことだが結局、断熱真空と輻射熱の 2 点のいずれも低温生成の基本中の基本の問題であることがわかった。

今回開発した希釈冷凍機は不純ガス除去のための内部液体窒素トラップを設置したことにより、液体窒素も必要としないものとなった。運転の自動化も行った結果、液体ヘリウム仕様の希釈冷凍機を自作し稼働させている者として、こんなに簡単に操作できるものかと驚くほどであり、将来液体ヘリウム仕様の希釈冷凍機は特殊な場合を除きこれに取って代わられるであろうと確信した。残念ながらまだ開発費等により高額になると思われるが、量産化が進めばヘリウム資源の枯渇などが叫ばれていることを考え合わせ、近い将来急速に普及するものと思われる。現時点ではまだ利用範囲は物性計測の領域向けであるが、高感度、高分解能のために、超電導素子を用いた分析機器の領域に広がることが期待される。

さて、最後に商品化されているいくつかの希釈冷凍機との比較をしておく。希釈冷凍機が定常に動作しているときはどれも変わりはなく、能力としての最低到達温度 10 mK、100 mK での冷凍能力 200 μ W は、我々のものを含めてどれも標準的に達成されている。違いは室温からの予備冷却方式で、液体窒素を用いるもの、別循環ラインを有するもの、交換ガスを用いるもの、水素の熱スイッチを用いるものなどがあり、一長一短がある。いずれにしても冷却時間として約 1 日となっているが、ここには工夫の余地が残っており、将来的には半日程度まで短縮されるものと思われる。また自動化に関しては、我々のような液体窒素も不要な完全自動化のものではなく、まだ液体窒素を必要とするものや半自動のものがほとんどであるので、この点も今後改善を要する。問題は、素人でも扱えるようになるため、如何にメンテナンスフリーにできるかが今後のポイントとなるようだ。現に、低温リークなどで稼働しない等の問題も出ているようだ。

大阪市立大学大学院 超低温物理学研究室 URL

<http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/phys/ult/>

超電導 Web21 トップページ

特集：冷凍・冷熱技術の現状「水素用磁気冷凍機の開発の現状」

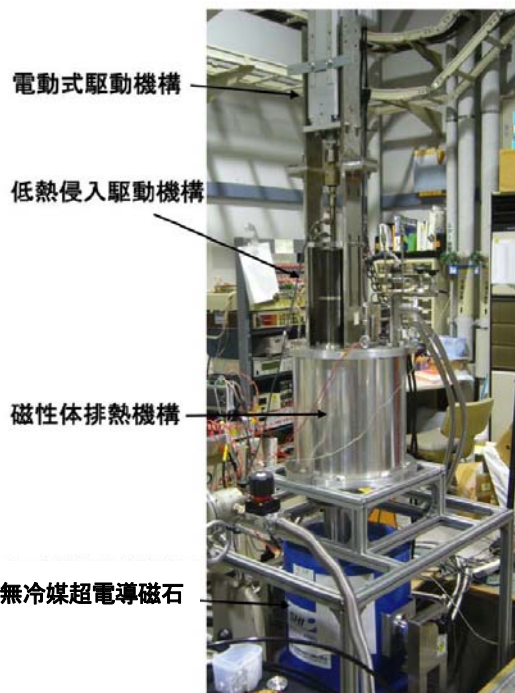
金沢大学
理工研究域
准教授 松本宏一

水素は燃料電池の実用化などからクリーンエネルギーとして注目されているが、700気圧程度の圧縮ガスの生成に要する仕事は、水素液化に必要な仕事と大差なくなり、大規模な貯蔵・輸送においてはエネルギー密度の点で液体水素が有利である。しかし、現状のガス膨張による水素液化機の効率は熱力学的理想効率の30 %台にとどまっており、液体水素の利用には液化機の効率向上が必須である。

磁気冷凍法は磁性体に磁界変化を与えたときに、磁性体の温度が変化するという磁気熱量効果を基本原理に用いた冷凍法である。磁気冷凍法は低温物理学の分野では超低温の発生に古くから使われていたが、近年では室温を含めた種々の温度領域で実用化に向けた研究が盛んになっている。磁気冷凍による水素液化機の特徴は、(1) 原理的には可逆サイクルによる高効率が可能、(2) 高密度である磁性体による小型化、(3) 高圧の水素圧縮機が不要、(4) 高信頼性などが上げられる。一方、磁気冷凍法実現の技術的ポイントとして数テスラの磁界の発生があるが、最近は冷凍機直冷型の超電導磁石や高温超電導の応用研究の進展により液体ヘリウムなしで高磁界が発生可能になり、水素用磁気冷凍法の実用化が検討されるようになってきた。

水素の液化を目指した磁気冷凍機の研究は1990年代から本格化した。CryoFuel社は「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (We-Net)」プロジェクトの一環として、経済性の調査検討と磁性材料などの要素研究を行った。それによれば、磁気冷凍の設備費はガス膨張冷凍機の3割になり、液化プロセス効率は60 %の高効率が可能であると報告されている。磁性材料の研究は世界的に盛んであり、我が国では東北大学で一次相転移を利用した新しい磁性材料、大阪大学で希土類窒化物の研究などが行われている。冷凍システムでは、三菱重工がパルス型超電導磁石を用いた静止型磁気冷凍機で水素の液化に成功した。最近、NEDOのプロジェクトのもとで、物質・材料研究機構と金沢大学のグループが磁性材料と冷凍システムの両方について研究を行っている。ガーネット系の磁性材料を用い、写真に示される冷凍機直冷型超電導磁石を用いた実用的駆動型カルノーサイクル磁気冷凍機 (AMR) の研究を進めている。また、カナダ・ビクトリア大学では室温磁気冷凍の研究成果を水素液化温度に拡張しようとしている。

このように水素用磁気冷凍法は研究が進展しつつあるが、実用化に向けて磁性材料の水素化や蓄冷サイクルの高効率化などの課題も残されており、さらに実証研究の推進が求められている。



冷凍機直冷型超電導磁石を用いた駆動型磁気冷凍機(物質・材料研究機構、金沢大学グループ)

特集：冷凍・冷熱技術の現状「液体水素冷熱を活用する超電導マイクログリッド構想」

東北大学大学院工学研究科
電気・通信工学専攻
教授 濱島高太郎

世界の人口の爆発的な増加と世界経済の急速な発展はエネルギー消費を激増し、地球に深刻な環境問題を惹き起こしている。エネルギー発生には環境に優しい再生可能エネルギーの有効利用、および、無尽蔵に貯蔵可能で、発電や再生が可能な水素のエネルギーサイクルが有効である。また、高度な産業や質の高い生活レベルを維持発展させるには、電気エネルギーの高度な利用が不可欠であるから、その発生、輸送、貯蔵、消費の各段階で高効率、かつ省エネルギーのシステムが要望され、超電導技術はその切り札である。超電導技術と水素の両者を一体化した液体水素冷却超電導システム技術は次世代の重要な技術と位置づけられる。

液体水素を含む冷媒の特性を表 1 に示す。液体水素(LH₂)は液体ヘリウム(LHe)より蒸発潜熱が大きいので、安定に超電導状態を保持できる。粘性も液体窒素(LN₂)より低いので長距離輸送が有利となる。また、逆カルノーサイクルの成績係数の逆数は LHe より 1/5 程度に少ないので、原動機動力も少なく済む。さらに、2 次エネルギーとして貯蔵が可能であるという、他の冷媒にない特徴を有する。

表 1 液体水素と液体ヘリウム、液体窒素の比較

		LH ₂	LHe	LN ₂
沸点	K	20.3	4.22	77.3
蒸発潜熱	kJ/kg	443.0	20.4	198.6
粘性	μPa·s	12.5	3.2	142.9
熱量	MJ/kg	114.9	---	---
逆カルノーサイクルの成績係数の逆数		13.8	70.4	3.8

一方、水素は貯蔵密度の高い液体状態で LH₂ タンクに貯蔵し、かつ、超電導機器の冷媒として使用することにより、冷却のための液化動力を分担できる大きな利点が出てくる。これを利用したマイクログリッドはその一例で、環境に優しく、持続性社会を目指した次世代型電力システムであり、回路図を図 1 に示す。図中の中段の左側が、再生可能エネルギー源である風力(WT)や太陽光発電装置(PV)であり、余剰のエネルギーを貯蔵したり、不足のエネルギーを補償するのが、下段の貯蔵・発電装置で、早い応答をするアクセス型装置と大容量を貯蔵・発電できる容量型装置との 2 種類で構成する。再生可能エネルギーは変動が激しいので、その出力を平均値と変動分に分離し、平均出力は水素による燃料電池発電(FC)、または水の電気分解で水素として貯蔵する容量型の貯蔵装置で対応し、早い変動分は高効率で、瞬時に大電力の入出力可能な超電導電力貯蔵装置(SMES)が対応して、エネルギー有効活用の最適化を図る。また、貯蔵水素を液化機で液体水素にして大量に貯蔵すると同時に、その冷熱を利用して SMES や

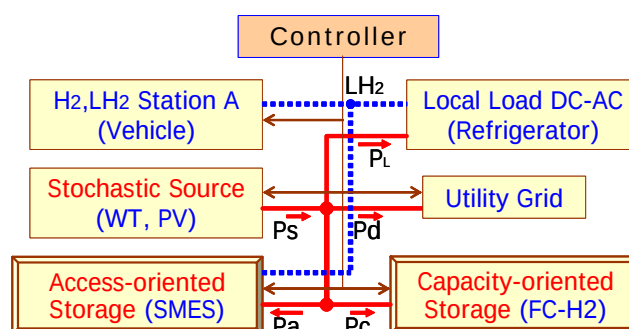


図 1 次世代型超電導マイクログリッドの回路図

超電導ケーブルを冷却し、さらに電力と水素エネルギーのハイブリッド輸送を行うことにより、電力の格段の輸送効率を上げることができる。図の実線は電力のフローを表し、細線は制御信号系、破線は液体水素の流れを示す。

実際の運転では、燃料電池のような容量型の発電装置はフル稼働までに時間を要するので、予測制御を必要とする。カルマンフィルターを用いた約 1 分の平均値予測は予測誤差を 10 % 程度に期待できるので、図 2 に示すように、要求電力に対して自然エネルギーの出力が少ない場合には、不足エネルギーの平均値を FC 発電運転で、変動分を SMES の ms 応答で組合せて供給すると、最適な電力制御が可能となり、次世代の水素冷却超電導マイクログリッドシステム技術が実現可能となる。

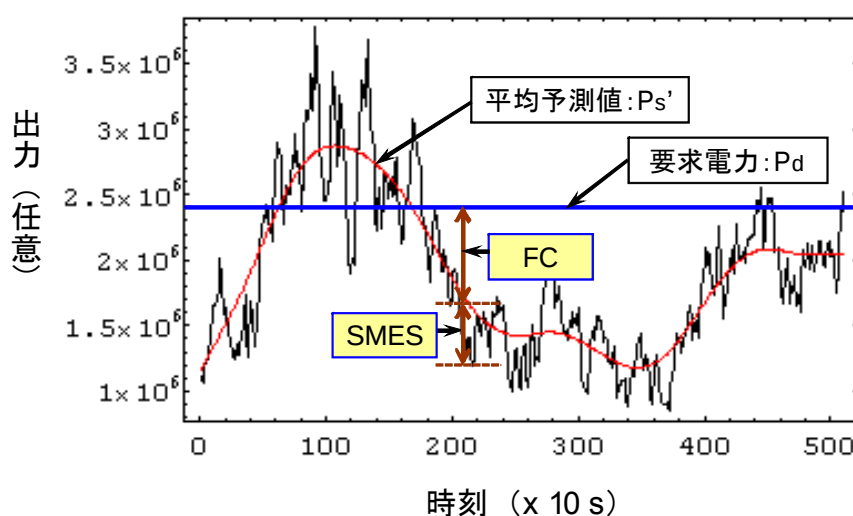


図 2 自然エネルギーの分解と貯蔵発電装置の制御アルゴリズムの概念

超電導関連製品ガイド- 小型冷凍機 一会社は五十音順表示一

スターリング小型冷凍機

○アイシン精機株式会社 L&E 商品企画部 ペルチェ・冷凍機グループ

ーパルス管冷凍機

ースターリング冷凍機

Tel: 0566-24-8860

Fax: 0566-24-8859

担当：近藤

○スマック株式会社

ー小型冷凍機

Tel: 06-6949-6955

Fax: 06-6949-6965

e-mail: kawahara.s@jp.panasonic.com

担当：河原

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 L&E 商品企画部 ペルチェ・冷凍機グループ

ーパルス管冷凍機

ーGM 冷凍機

Tel: 0566-24-8860

Fax: 0566-24-8859

担当：近藤

○岩谷瓦斯株式会社 低温機器部

ー4KGM 小型冷凍機

ー1K 冷凍機 (LHe フリータイプ)

ー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

○大陽日酸株式会社 ガス事業本部 営業開発事業部 超低温分野

Tel: 03-5788-8610

Fax: 03-5788-8709

モディファイドソルベイ小型冷凍機

○岩谷瓦斯株式会社 低温機器部

Tel: 03-5405-5795

Fax: 03-5405-5985

担当：森田健司

希釈冷凍機

○オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社 超電導事業本部

Tel: 03-5245-3261

Fax: 03-5245-4477

E-mail:supercon.jp@oxinst.com

○大陽日酸株式会社 ガス事業本部 営業開発事業部 超低温分野

ー希釈冷凍機

ー無冷媒希釈冷凍機

ー³He 冷凍機

Tel: 03-5788-8610

Fax: 03-5788-8709

○日本オートマテック・コントロール株式会社理科学システム部

Tel: 03-5434-1600

Fax: 03-5434-1630

e-mail:nacc-c@naccjp.com

断熱消磁冷凍機

○日本オートマテック・コントロール株式会社理科学システム部

Tel: 03-5434-1600

Fax: 03-5434-1630

e-mail:nacc-c@naccjp.com

サブクール液体窒素循環装置

○大陽日酸株式会社 ガス事業本部 営業開発事業部 超低温分野

Tel: 03-5788-8610

Fax: 03-5788-8709

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 6-7 月の催し物案内

6/16-19

ISEC2009: 12th International Superconductive Electronics Conference

場所：福岡市

問合せ：<http://www.isec09.org/>

6/23-25

Space Cryogenics Workshop

場所：Arcadia, CA, USA

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

6/24

共催研究会「超電導材料と先端ナノ材料における自己組織化」

場所：東京大学山上会館 http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam01_00_02_j.html

共催：(社) 低温工学協会材料研究会、(社) 未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会

問合せ：(財) 国際超電導産業技術研究センター 田中靖三

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

Tel: 03-3536-7214、Fax: 03-3536-7318、e-mail: tc90tanaka@istec.or.jp

テーマ：超電導材料と先端ナノ材料における自己組織化

日時：平成 21 年 6 月 24 日 (水)、13:00-17:00

場所：東京大学山上会館 http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam01_00_02_j.html

〒113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1 Tel:03-381-2111 (代表)

参加費：低温工学協会/材料研究会員：3,000 円 (資料代込み)

未踏科学技術協会/超伝導科学技術研究会員：無料、資料代 2,000 円

学生：無料、資料代 2,000 円

一般：2,000 円、資料代 2,000 円

共催：(社) 低温工学協会材料研究会、(社) 未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会

プログラム：

13:00-13:05 開会の挨拶 材料研究会委員長

13:05-14:05 自己組織化の工学的アプローチ 物材研 中山知信

14:05-15:05 パイオに学ぶ自己組織化と"ゆらぎ"機能 東大 田畑 仁

15:05-15:20 休憩

15:20-15:50 化学的なナノ組織制御 SRL 吉積正晃、和泉輝郎

15:50-16:20 外場による高効率組織制御 フジクラ飯島康裕、SRL 山田穰

16:20-16:50 人工的又は局部的自己組織化 電中研 一瀬 中

オルガナイザー：高尾智明 (上智大学)、岡田道哉 (日立製作所)、田中靖三 (ISTEC)

問合せ先：(財) 国際超電導産業技術研究センター 田中靖三

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

Tel:03-3536-7214、Fax:03-3536-7318、e-mail:tc90tanaka@istec.or.jp

6/28-7/2

CEC & ICMC: Cryogenic Engineering Conference & International Cryogenic Materials Conference

場所: Tucson, Arizona, USA

問合せ: <http://www.cec-icmc.org/>

(編集局)

第 11 回 (2009 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 (2009 年 4 月 1 日現在) の若手研究者。国籍は問わない。
4. 賞の内容 受賞は原則として毎年 1 件とし、受賞者には賞状、賞金 50 万円と英国のいくつかの大学への講演旅行の機会が与えられます。
5. 推薦依頼先 関係専門分野の有識者、関連諸学会
6. 推薦件数 各推薦者から一件とします。
7. 推薦方法 所定の推薦用紙に必要事項をご記入の上、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 2009 年 8 月 1 日 (土) 消印有効
9. 選考 サー・マーティン・ウッド賞選考委員会にて審査、選考します。
10. 決定 2009 年 9 月の予定です。
11. 賞の贈呈 2009 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 : 03-5245-3871 FAX : 03-5245-4466 E-mail : msf@oxinst.com <http://www.msforum.jp/>



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (4/21-5/20)

- 微小電気機械の薄膜材 疲労試験法で国際標準 NEDO など日本主導で 4/21 日刊工業新聞
- 気になる 成田-羽田リニア 実現は 4/21 読売新聞
- 極低温冷媒に対応 ロータリージョイント 超電導モーター向け 東京海洋大と北野精機が開発 4/22 日刊工業新聞
- 神戸バイオメディクス MRI 向けクッション 患者の体を固定 画像乱れず正確に診断 4/23 日経産業新聞
- 鉄系高温超伝導体の電子型・ホール型で 共通の対称性を発見 東北大グループ 4/24 科学新聞
- 米 GE ヘルスケア 日本初 MRI 中国で拡販 環境対応型 今年度販売 20 % 増へ 4/24 日刊工業新聞
- 環境省 ヒートアイランド制御実験へ 地中に循環 大都市の熱気 夏場の地中熱ヒートポンプシステム 4/25 Fuji Sankei Business i
- 超電導現象 磁石の相性、通説覆す 東邦大発見 MRI 材料開発に道 4/28 日経産業新聞
- 文科省 ITER に 25 億円 4/28 電気新聞
- 新エネルギー開発 最先端走る NEDO 国際標準化競争にらむ 海外機関と R&D 連携 外部リソース活用積極化 4/29 日刊工業新聞
- 「技術戦略マップ」策定 経産省 開発のヒント提起 4/30 日刊工業新聞
- 超電導研究で新理論 磁界ゆがみ戻す「働き」確認 ロスなく送電技術に貢献 九工大の松下教授 5/1 西日本新聞
- 東電、東工大、東芝など次世代送電システム 来年度から国内初の実証試験 5/2 Fuji S ankei Business i
- 太陽光の算入に上限 電力会社の自然エネルギー導入目標 風力など多様化促す 経産省が見直し方針 5/3 日本経済新聞
- フィリップスジャパン「3 テスラ MRI」拡販 今年 50 台目標 撮影時間 40 % 短縮 5/6 日刊工業新聞
- 国際標準獲得へ戦略加速 経産省、ISO・IEC の提案倍増 専門家の育成が課題 中国追い上げに危機感 5/6 日刊工業新聞
- 事故電流 超電導素子で抑制 産総研 分散電源に応用期待 5/12 日経産業新聞
- 次世代産業技術 がんの可視化 MRI・PET も高度化 5/13 日本経済新聞
- 「新エネ」って、どんなエネルギー？ 太陽光や風力が代表的。水力はダム発電を除く 5/14 朝日新聞
- 不景気に沈むな！ 省エネ船 出航 太陽発電 超電導・・・ 開発進む 5/15 読売新聞
- オープンイノベーション戦略の実行を 技術力だけでは残れない 東京大学先端技術研究センター教授 渡辺俊也 5/19 Fuji Sankei Business i
- 超電導プロ 1 年延長 高効率送電を実証 ケーブル、早期に実用化 東電など、NRDO と 5/19 日刊工業新聞

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)



超電導速報—世界の動き (2009 年 4 月)

電力

LS Cable (2009 年 4 月 7 日)

韓国 LS Cable 社は、新しい「グリーンビジネス研究開発戦略」を発表した。同社はこの 3 年間の野心的な研究開発戦略により、2011 年までにエコ技術関連商品の比率を 55 %から 90 %に引き上げる計画。この新たなエコソリューション活動の一環として、LS Cable 社はインテリジェント送電、HTS ケーブル、新しい再生可能エネルギーソリューションの開発等「スマートグリッドソリューション」に注力していく考えである。HTS ケーブルは 2009 年 1 月に韓国政府が発表した 15 の将来性あるグリーンエネルギー分野の 1 つである。2010 年に始まる HTS ケーブルの韓国内での応用は現在計画段階にある。この技術の国レベルでの商用化により、年間 1 兆ウォン以上のコスト削減になるものと見込まれている。

出典:“LS Cable Announces Green Business R&D Strategies”

LS Cable press release (April 7, 2009)

http://www.lscable.com/pr/news_read.asp?idx=2046&pageno=1&kType=&kWord

Office of Naval Research (2009 年 4 月 17 日)

米国 Office of Naval Research (ONR) は、米国海軍艦船の機雷に対するリスクを低減させる画期的な超電導消磁システムのデモに成功したと発表した。消磁システムは艦船の磁気的な痕跡を消すために用いられる。2008 年 7 月超電導消磁システムのプロトタイプが駆逐艦 Higgins 号に搭載され、本年 4 月 1 日 (サンディエゴの) 米国海軍 Magnetic Silencing Range を無事通過して、海軍軍艦に搭載した HTS 消磁システムとして初めての測定を完了した。ONR の HTS 消磁システムプログラム・マネージャー George Stimak は次のように述べた。「陸上の地雷と同様、海上の機雷はその敷設後ずっと危険性が継続するものである。本プログラムチーム全員、機雷の危険性を少なくするよりよい方法を見出したということを誇りに思っている。我々の仕事は人命を救うのだから。この HTS 消磁システム技術により、将来の進んだ消磁システムの設計者に新たな選択肢を与えることになるだろう。」先進消磁システム技術を装備する艦船にとって、HTS 消磁システムは従来のものに比べ総重量の 50~80 %低減を実現し、燃料消費量の大幅な削減の可能性、ひいては、(HTS 消磁システムがない場合には搭載できない) 他の装備の追加を可能にすることになるだろう。

出典:

“Office of Naval Research demonstrates revolutionary new counter-mine technology for ships”

Office of Naval Research press release (April 17, 2009)

<http://www.onr.navy.mil/article090417.asp>

American Superconductor Corporation (2009 年 4 月 20 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、同社商標の 344-Y 系線材約 80,000 m の注文を、韓国 LS Cable 社から受けたと発表した。これは Y 系線材 1 回分の注文としては世界最大のものである。LS Cable 社はこの線材を使って、韓国電力 (KEPCO) の商用配電ネットワークに設置予定の 22.9 kV ケーブルシステムを製造する。このケーブルはソウル市近郊に 2010 年に設置される予定である。この超電導ケーブルは約 0.5 マイルの長さであり、これが実現すれば世界で最長の配電用超電導ケーブルとなる。LS Cable 社技術開発グループ担当副社長 Joon Hyung Cho は次のように述べた。「AMSC 社の過去 20 年に亘る超電導分野をリードしてきた実績、過去の我が社の超電

導ケーブル実証試験への寄与、新しい 344 超電導線材の強度を考慮し、AMSC 社とともにこの記念すべき超電導ケーブルプロジェクトを進めていくことを決めた。我々は超電導ケーブル技術には 10 億ドル規模の市場があると考えており、AMSC 社や韓国電力とのアライアンスにより我が社の市場におけるリーダーとしての地位が確立できるものと確信している。」

このケーブルプロジェクトは、DAPAS プログラムにおける先端電力システム開発の成功を受けて実施されるものである。なお、DAPAS プログラムでは、超電導システムの開発、実用化のため 1 億ドルの資金が提供された。

出典:

“American Superconductor Receives Wire Order for First Superconductor Power Cable to be Deployed in Korea's Commercial Grid”

American Superconductor Corporation press release (April 20, 2009)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1277941&highlight

Zenergy Power plc (2009 年 4 月 20 日)

Zenergy Power plc は、全株式所有の子会社 Zenergy Power Inc.がニューヨーク Consolidated Edison Company (Con Edison) と契約を結び、ニューヨーク電力システムの安定性と信頼性向上のための単相限流器の製造、試験を行うことになったと発表した。Zenergy 社は 2009 年 8 月末までにプロトタイプを出荷する。これは Con Edison の多くの変電所に適用が可能である。Con Edison のプロジェクトマネージャーで、限流器の専門家である Pat Duggan は次のように述べた。「限流器は電力グリッドの安定性を確保し、その回復力とフレキシビリティを改善するという観点からスマートグリッドに必須の要素である。プラグインハイブリッド自動車のような新たな用途を含め電力需要が増加すれば、限流器は非常に重要なものとなる。」

出典:

“Con Edison Working with Zenergy Power to Develop ‘Smart Grid’ Device to Protect New York City's Electrical System from Power Interruptions”

Zenergy Power plc press release (April 20, 2009)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009-04-20-coned-contract.pdf

Zenergy Power plc (2009 年 4 月 29 日)

Zenergy Power plc は 950 万ポンド (実際の手取り額は 910 万ポンド) の資金を集めた。これは、7,916,667 株の新規発行によるもので、社内向け 1 株 1 ペンス (通常株式)、外部新規及び従来から取引のある機関投資家には 1 株 120 ペンスという価格であった。この株式発行により、Zenergy 社は米国内での活動を拡大し、また、現在の研究開発を継続するのに必要な追加の運転資本を手にした。同社は、米国内のマーケティング、セールス、製造及び事務部門の拡大を図る考えであり、これは米国政府やその他の国の景気刺激策によりエネルギー効率が高い再生可能エネルギー技術開発・利用向け支出される資金に対応するためのものである。この資金は、限流器や誘導ヒーターに関連した Zenergy 社の将来展望にとって大きな意義を持つものである。

出典:

“Institutional Placing to raise £9.5 million”

Zenergy Power plc press release (April 29, 2009)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2009-04-29-placing-april09.pdf

科学機器

Bruker Advanced Supercon, Inc. (2009 年 4 月 3 日)

Bruker Advanced Supercon Inc.は、Varian Medical Systems 子会社 ACCEL Instruments GmbH の研究機器部門の買収を完了した。Varian 社は 2007 年 1 月 ACCEL 社を買収し、研究機器、陽子医療事業をその傘下に収めた。今回の買収では、Varian 社が保持する陽子医療事業 (Varian Particle Therapy 部門として活動) を除き、Bruker 社が物理・エネルギー研究・科学応用を目的とした先端超電導やその他機器・システムの開発、製造を行う RI 事業のほぼ全てを買収した。その製品には、電子・イオン LINAC、超電導及び常電導の加速器向けキャビティー、インサレーションデバイス・コンポーネント、中性子源用サブユニット、特殊超電導マグネット、超電導デバイス (HTS 及び LTS)、X 線・粒子ビームライン、真空、冷凍システムが含まれる。Bruker Advanced Supercon 社 CEO Burkhard Prause は次のように述べた。「今回の買収は我が社事業にとって重要な新しい可能性を開くものである。また、この買収は、再生可能エネルギー研究、より安定でエネルギー効率の高い将来の電力グリッドや次世代材料の研究、製造、そして、先端医療機器用コンポーネントといったいくつかの活発な市場での収入・利益の早期の向上を図る可能性を開くものである。我が社は、電力網安定化のための HTS 限流器、次世代半導体向け結晶成長用マグネット、大型科学研究施設や大型エネルギー研究施設向け超電導デバイス、その他コア RI 技術のような成長市場で新しい事業の拡大を計画している。我々は、今後とも Varian 社に OEM 供給を継続し、同社の陽子医療事業を支援していく考えである。」以上の買収に伴う取引条件は公表されていない。なお、新しく買収した事業は初年度 2,500 万ドル以上の収入が見込まれており、また、将来の大きな成長ポテンシャルを持っている。

出典:

“Bruker Advanced Supercon, Inc. Acquires ACCEL Research Instruments Business from Varian Medical Systems”

Bruker Advanced Supercon, Inc. press release (April 3, 2009)

<http://www.advancedsupercon.com/accelri.html>

通信

HYPRES, Inc. (2009 年 4 月 13 日)

Hypres Inc.は、Space and Naval Warfare Systems Center Pacific 及び ViaSat と共同で初めての全デジタル Link-16 マルチネット受信機のプロトタイプの実証を行った。この実証試験は、Office of Naval Research 及び Space and Naval Warfare Systems Command の資金により進めてきた多年に亘る開発プログラムのハイライトである。実証試験の間、この受信機は 2 つの独立した Link-16 ネットワーク上からの電波信号を同時にデジタル化した。Digital-RF™技術は、デジタル・デホッピングという新しい技術を使って単一のターミナルで複数のネットワークの Link-16 信号受信を同時に行うことができる。このプロトタイプは、Hypres 社の超電導 AD 変換チップに加え、超電導 RF フィルター及び商用のフィールド・プログラマブル・ゲートアレーが組み込まれている。この試験で超電導-半導体ハイブリッドエレクトロニクスによって達成可能なインテグレーションレベルの高さを実証できた。Hypres 社 CEO、Richard Hitt は次のように述べた。「今回の実証試験は、軍用データリンクにおける最も困難な RF 技術チャレンジの 1 つに対応できる我々の全デジタル技術の先端性を示すよい機会であった。」

出典:

“Hypres, ViaSat and SPAWAR Systems Center Pacific Demonstrate Industry's First All-Digital Multi-Net Link-16 Receiver”

Hypres Inc. press release (April 13, 2009)

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

注) Link-16 は、そもそもは米国及び同盟国軍で使われる航空機を介した高速戦術リンクである。これにより、情報交換を通じた状況判断が行われ、また、電子的な妨害に対しても強い。

Superconductor Technologies Inc. (2009 年 4 月 20 日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、有力無線通信機メーカーが行う 700 MHz ネットワーク向け LTE フィールド試験に参加すると発表した。これは、第 1 線通信事業者を念頭に置いている。フィールド試験は 2009 年度第 4 四半期に予定されている。STI 社 CEO、社長 Jeff Quiram は次のように述べた。「今回の試験は、700 MHz 帯域での大きな干渉問題に対応できる我々のユニークなフィルター技術にとって重要なチャンスであると考えている。今回の実証試験参加の取り決めにより、STI 社の OEM パートナーにその能力の価値を実証する機会が与えられた。今回の実証試験が成功すれば、今後の 700 MHz ネットワークの展開に当たって、我が社の SuperLink ソリューションが最先端の LTE ネットワークに組み入れられることになる可能性がある。」

出典:

“Superconductor Technologies Inc. and Major Wireless OEM Plan to Conduct a 700 MHz Field Trial for a Tier-One U.S. Wireless Operator”

Superconductor Technologies Inc. press release (April 20, 2009)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1278302&highlight>

加速器

CERN (2009 年 4 月 30 日)

Large Hadron Collider (LHC) 置き換えマグネットが、加速器停止の原因となった昨年 9 月の事故後に開始された地上での修理作業を終え、加速器トンネルに下ろされた。マグネットは結合され、将来起こる可能性のある事故を防ぐための新しい安全システムが設置された状態で、地下での改修作業が継続される。修理チームは LHC 予備マグネットの準備作業に着手する予定。全部で 53 の LHC マグネットが搬出された。内、損傷が少なかった 16 のマグネットは修繕され再設置されたが、他の 37 のマグネットは予備のものと交換され、これらの使われないマグネットは修繕されて将来予備マグネットとして使われる予定。LHC は、今年秋に再稼働の予定であり、十分なデータが蓄積され最初の結果が発表できるような状況になるまで運転が継続される。

出典:

“Final LHC magnet goes underground”

CERN press release (April 30, 2009)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2009/PR06.09E.html>

基礎

Ames Laboratory (2009 年 4 月 29 日)

DOE の Ames Laboratory は鉄砒素化合物の超電導メカニズムは独特のものであり、他の既知の超電導体とは異なっていることを示した。研究グループは新しいトンネルダイオードレゾネーター技術を使い、様々な砒素化合物で London 侵入長を測定した。試料は鉄—コバルト置換量を変えたバリウム鉄砒素化合物、ネオジウム鉄砒素化合物、ランタン鉄砒素化合物の大型単結晶等である。研究グループは、意外にも、鉄砒素化合物においては、温度と London 侵入長との間には 4 次のパワー・ローが成立しており、従来の超電導体（対数関係）、高温超電導体（線形関係）、 MgB_2 （対数関係、但し全温度域での振舞いを説明するためには 2 ギャップの存在が不可欠）と異なっていることを見出した。London 侵入長は電子対の振る舞いと関連していることから、研究グループの結果は鉄砒素化合物の電子対は他のいかなる既知の超電導体の電子対とも異なっていることを示唆している。また、研究グループは鉄砒素化合物のデータは 2 つの異なる超電導ギャップが存在することによってのみ説明できるという証拠を得ている。これらの結果は、鉄砒素化合物が高温超電導体や MgB_2 と類似の性質を持つことを示唆している。鉄砒素化合物は異方性が小さいことから、ゼロ抵抗電力応用への可能性も期待される。研究結果は、Physical Review Letters 及び Physical Review B Rapid Communications 最新号に掲載された。

出典:

“Iron-arsenic superconductors in class of their own”

Ames Laboratory press release (April 29, 2009)

<http://www.external.ameslab.gov/final/News/2009rel/Ironarsenide.html>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学協会東北・北海道支部

「東芝における超電導技術開発の歴史と将来展望」報告

山形大学
工学部電気電子工学科
教授 中島健介

低温工学協会東北・北海道支部では、2009 年 4 月 24 日金属材料研究所本多記念館 3F 視聴覚室において、(株) 東芝 電力システム社 京浜事業所の花井 哲氏を講師に招き、首記の題目で支部講演会を開催しました。

講演では、1961 年の中央研究所発足と時を同じくして日本の企業として始めて導入された大型ヘリウム液化機の設置に始まる東芝での超電導技術開発の歴史に沿って、金属、銅酸化物超電導体の材料開発から発電機、変圧器、限流器、SMES といった電力システム応用超電導機器開発、国家プロジェクトである核融合用から大学・研究機関向け強磁界発生マグネット、さらに MRI、単結晶引上げなどの一般産業用に至るまで様々な用途の超電導マグネット開発に関して、貴重なデータと共に現場の臨場感に溢れたお話を伺いました。また、講演の最後は、将来に向けて、これまで国プロジェクト等を中心に高めてきた大型超電導コイル製造技術、強制冷却コイル製造技術、高温超電導コイル製造技術を東芝の強みとして、収益基盤となりうる単結晶引上げ用超電導磁石、次には SMES や限流器などの一般産業用超電導機器の開発、普及がより一層強く求められている現状の紹介で締めくくられた。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導と MRI / NMR（その 3—磁界の均一性と強度）

（社団法人）低温工学協会
副会長 堀上 徹

3.1 はじめに

前回までに、MRI や NMR には強力な磁界が必要で、更にその磁界も単に強いだけではなく、空間的にも時間的にも均一でなければならないことを述べた。強い磁界や磁界の均一性を得るためには超電導を用いて永久電流状態にすることが必要であることも述べた。

今回は、実用超電導材料の現状について簡単に説明した後、超電導磁石としてどの程度の均一性が必要とされるかについて説明する。これに関しては、Web21 の 2009 年 1 月 5 日号の「読者の広場」にて（独）物質・材料研究機構の木吉氏が簡単に述べられているので、そちらも併せてご参照ください。

3.2 実用超電導材料

1911 年に水銀が超電導特性を示すということが発見されて以来今日まで、数千種類の物質が超電導性を示すことが分かっている。しかし、その中で実際に使いものになっているのは極めて僅かである。

物質の分類で表せば、表 3.1 に示すように、ごく僅かの金属系の物質と酸化物系の物質が線材として実際に使われているか、あるいは使われる直前にあるという状況である。

表 3.1 実際に実用化されているか又はされようとしている超電導材料

		材料	臨界温度	線材（長さ）
金属系	合金系	Nb-Ti	9 K	自由長
	化合物系	Nb ₃ Sn	18 K	
		MgB ₂	39 K	数100 m
酸化物系	Bi系	BiSrCaCuO (2:2:2:3)	110 K	自由長
		(2:2:1:2)	90 K	
	Y系	YBaCuO	93 K	～1 km (RE：希土類元素)
		REBaCuO (1:2:3)		

表から分かるように金属系の物質はそれを構成する元素数が 2 種類と少なく、銅線のような線状に加工することが比較的容易であるのに対して、酸化物系の物質は 4 種類から 5 種類の元素から構成され、結晶構造も大変複雑であり、線状に加工することが大変困難であった。しかし開発者の努力で、酸化物系の中でも Bi 系材料は、金属系材料と同様な方法で長尺の線材を安定して製造できるようになった。一方、Y 系（RE 系）材料に関しては同様な製造方法が適用できず、開発者達の懸命な努力にも関わらず実用化が遅れていたが、最近になって長さが 1 km 級の線材が製造できるようになり、それを用いてコイル等の機器開発を進めことができるような状況になってきている。

現在普及している MRI に用いられている超電導線材は Nb-Ti のみで、NMR の場合は Nb-Ti と

Nb_3Sn の線材である。表中に示すように Nb-Ti や Nb_3Sn の臨界温度は 9 K と 18 K である。そのため、MRI や NMR の運転温度は絶対零度に近い 4.2 K の液体ヘリウムが用いられるか、またはヘリウム冷凍機を用いた伝導冷却方式（説明は略す）が用いられている。

現状では多くの場合液体ヘリウムを冷媒として用いている。特に MRI の場合は 4.2 K の冷凍機を装備しており、蒸発してくるヘリウムガスを冷凍機で再度凝縮して液体ヘリウムにする方法が採られている。930 MHz というような NMR では温度を 1.5 K まで下げて運転している。

臨界温度が高い Bi 系や Y 系の線材を MRI や NMR に適用できれば、運転に必要な冷却温度を現状よりも高くでき、必ずしも液体ヘリウムを用いなくてもよい状況が実現できる。同時に Bi 系や Y 系の材料は超電導状態を維持できる磁界（臨界磁界）が金属系に比べて極端に高いという特徴があり、強い磁界の発生には適した材料であるので、現在 Bi 系線材を用いた NMR 装置の開発が試みられている。（磁界と超電導材料の関係については次号で説明する予定である）

3.3 必要とされる磁界の安定性（MRI の場合）

前号で説明したように MRI や NMR には、磁界の時間的安定性が非常に厳しく要求される。そのため永久電流状態を実現しているわけであるが、実際、超電導線でコイルを巻き線にする際には線と線の接続部分を避けることができないので、その部分での接続抵抗を極端に低減することが要求される。

MRI の場合、マグネットの大きさは患者の体格により決まる。従来は患者が入る常温の空間が直径 60 cm 程度であったが、最近では 70 cm 程度になっているようである。

図 3.1 に装置の写真を示す。円筒中心部の空間の直径が 70 cm 程度である。



図 3-1 1.5 T MRI 装置（提供 東芝メディカル株式会社）

温度 4.2 K の超電導マグネットと 300 K 程度にある常温空間との間には、断熱材料や傾斜磁界コイル、高周波磁界コイル等が入る空間必要となる（前々回（その 1）図 2 参照）。それを考慮すると超電導マグネットの内径は 100 cm 程度となる。

磁界の空間均一度は、患者の撮像空間において 10 ppm 以下が必要とされる。例えば、診断領域において 0.5 T の磁界であれば、0.05 ガウス（5,000 ナノ T）（地磁気は約 50,000 ナノ T）以下の均一性を保たなければ画像の均一性が劣る。前に述べた MRS、即ち体内分子の化学結合状態をスペクトルで観察するような目的の場合には、更にもう一桁均一度を上げないと、正確な化学結合状態を

調べることができない。

一方、時間的安定性に関しても 1 時間当たり 10 ppm 以下の磁界減衰率、通常は 1 ppm 程度が要求される。先に述べた超電導線材の接続技術等の進展に伴い、現在では余り気にしなくてもよい項目となっている。それは、通常の磁界の減衰に関しては MRI の装置側で共鳴周波数を磁界の減衰に応じて自動的に調整できるようになっているからである。

3.4 必要とされる磁界の安定性 (NMR の場合)

NMR の場合、必要とされる常温空間は、通常 5 mm 直径の円筒状のサンプル管が入り、長さで 20 mm 程度の空間で 1 ppb (MRI の場合と比べて 3 桁高い) の均一度であることが要求される。図 3.2 には共鳴周波数 600 MHz 用の NMR 装置の写真を示した。高さ約 3 m、重量約 1 トンである。タンク形状の容器の中心上下に常温空間が設けられている。



図 3.2 共鳴周波数 600 MHz (中心磁界強度 約 14 T) の NMR 装置
(提供ジャパン・スーパーコンダクター・テクノロジー株式会社 (JASTEC))

均一度が約 1 ppm 程度までは超電導シムコイルというもので補正するが、これ以上は室温シムコイルにより補正する。空間均一度が一桁下がると、NMR 信号の分解能と感度に影響する。前回 (その 2) の図 2.1 で示した NMR スペクトルで見られるように、空間均一度が一桁下がると、判別できるピークの細さが一桁悪くなるということを意味する。さらにスペクトルのピークの幅が広がるとピークの高さも低くなり、ピーク信号とノイズの比 (SN 比) が低下する。これは感度が低下することを意味する。

次に、磁界の時間的安定性が NMR 測定に与える影響はどうだろうか? 要求される磁界安定性は 1 時間当たり 0.1 ppb (10^{-10}) である。永久電流マグネットで実現できるのは 10 ppb 程度で、これ以上は補正コイルを用いて「磁界ロック」という方法で減衰した電流分を補正コイルに電流を流して補正する方法がとられている。減衰した電流をどのように計測するかということに関しては専門的になり過ぎ、筆者の理解も十分ではないのでここでは説明しない。

ここまで述べたように、NMR に要求される磁界の強さや均一性は MRI に比べて桁違いに厳しいものである。

磁界強度が強くなると当然のことながら漏洩磁界も大きくなるため、通常はコイルの外側に主磁界と逆方向の磁界を発生するシールドコイルを設けて、外部への漏洩磁界を強制的に小さくするようにしている。（これをアクティブシールド方式と呼ぶ）

3.4 磁界の強さ

今まで MRI や NMR にはどの程度の磁界の安定性がどうかについて解説してきた。

最後に MRI や NMR に使われている磁界の強さがどの程度のものであるかを簡単に紹介する。医療用 MRI に関して現在主流となっているのは 1.5 T 機である。これは測定部位における磁界強度が 1.5 T である装置のことである。MRI 製品が市場に出回った当初は 0.5 T 機が主流であったが、分解能や感度の点において 1.5 T 機が主流を占めるようになった。

しかし、最近では外国のメーカーが 3 T 機の製品を市場に投入しており、これが徐々に伸びてきている。前にも述べたように磁界が高くなればなるほど空間分解能が上がり、化学物質質量などの分析精度もよくなるとか、撮像時間が短縮されるという利点があるが、一方で、余り共鳴周波数が高くなると高周波の人体に与える影響が無視できなくなるといった問題や、価格が上昇するという問題も生じてくるので、一概に磁界が高ければ高い程いいとは言えないようである。

一般的な医療診断用にはむしろ、装置の長さが短く（短軸化）や常温空間の直径が大きい（大口径化）及び軽量化が強く望まれているようである。短軸化が望まれる理由のひとつには、図 3.1 で見られるように患者が入る空間がトンネルのようになっているので、患者の閉塞感を和らげるという目的もあるようである。閉塞感緩和という目的に対しては別号で説明予定のオープン型の MRI というものが製品化されているが、このタイプのものは 1 T 強のものしかなく、1.5 T 級のものの開発は大変難しいということのようである。何故難しいかは別途説明する予定である。

NMR に関しては、現在 950 MHz までの NMR 装置が開発されており、1 GHz 機（発生最高磁界 23.5 T）は開発中である。

NMR は当初分子量の小さい有機化合物の構造を決定することを目的として用いられていた。超電導マグネット技術の進展による高磁界の発生が可能となり、それに伴って分子量の大きい分子構造、とりわけ蛋白質の立体構造解析がなされるようになった。

NMR 装置の高磁界化技術は積極的に進められているが、市場で多く出回っている装置は数百（700～800）MHz クラスのものである。

3.5 第 3 回目を終えるに当たって

今回は、MRI や NMR に要求される磁界の強さや空間均一度及び時間安定性について説明した。そしてそれらの要求を満たすには超電導を用いるのが適していること、しかし、実際に適用できる超電導材料は極めて限られていることを述べた。

次号では MRI や NMR の高磁界化と超電導材料についても解説する予定である。

謝辞：本稿執筆に当たっては、MRI に関しては東芝メディカル株式会社 MRI 開発部の杉本博主幹から、NMR に関しては独立行政法人理化学研究所 生命分子システム基盤研究領域チームリーダーの前田秀明博士から情報を提供して頂いた。謝意を表します。

読者の広場

Q&A

Q：「液化水素の安全な取り扱いについて教えてください。」

A：

【はじめに】

近年、環境問題やエネルギー安全保障の観点から、水素をエネルギーキャリアとして利用する検討が進められており、特に水素を利用した燃料電池技術開発や水素インフラ技術開発、さらにこれらの実証事業や規制緩和見直しのための研究開発が活発化しています。そのような水素利用技術の拡大が予想される中、水素供給チェーン（水素製造部位から使用箇所まで）を検討するに際し、液化水素が脚光を浴びています。その冷熱利用も期待される液化水素について安全な取り扱いの側面から説明したいと思います。

日本では液化水素はこれまで主として宇宙開発分野で使用されてきました。現在の工業分野では 20 MPa の圧縮水素が未だ主流ですが、純度の高さ、一度で運ぶことの出来る量は、液化水素ローリで約 7 倍、コンテナで約 12 倍も輸送することが可能な輸送効率の高さが大きな長所であり、大量消費となる水素エネルギー社会に適した形態と考えられています。

【液化水素とは】

液化水素の製造は、冷媒を使った冷凍機や液化窒素によって原料水素ガスを冷却した後に断熱膨張機（タービン）とジュール・トムソン弁を併用して液化されます。液化水素は大気圧における沸点が -253°C と低いためヘリウム以外の全てのガス成分は固化する可能性があります。そのため液化水素が流通する系では、含有する不純物が固化して系内を閉塞させる原因となるため空気成分をはじめ不純物はいれないように考える必要があります。

液化水素自体は、無色透明であり、水の 14 分の 1 の比重しかありません。腐食性もなく、また著しい反応も起きませんが、比較的高い熱膨張係数を要しているため、液化水素を取り扱う装置の設計においては考慮しておく必要があります。

【危険性】

液化水素の爆発性・引火性や人体に関する有害性は、水素ガスに関するそれらと同様で爆発燃焼や窒息などがあげられます。液化水素のみに適用される有害性として、極低温であるということに関係するもので、液化水素と接触した場合には極低温のため皮膚に「やけど」と同様の結果となる点です。また液化水素から生ずる非常に低温のガスは凍傷を生じ、眼のように敏感な組織は低温ガスにさらされると種々の火傷をうけるため十分な注意が必要です。

実際、工業分野でのトラブル事例における液化水素および水素ガス取り扱い中の事故で、最も起こりやすいのは凍傷と火傷です。また、密閉した場所では水素が空気を追い出すことにより、酸素欠乏状態となり窒息事故を生じたこともあります。

【安全対策】

液化水素の設備および操作には十分な安全性を考慮する必要があります。これは水素の安全に対する三つの基本原則を遵守した適切な設計、構造、取り扱い方法によって達成されるものです。三つの基本原則とは、漏洩の予防、適切な換気、および着火源の排除です。

漏洩に関しては、液化水素は、水素ガスと同じく分子の大きさが最も小さく、また粘度が極めて小

さいので、非常に小さい孔や隙間からでも漏れ出しやすい性質を持っています。たとえ液化水素の漏洩量が少量であっても膨張して数百倍の容積の水素ガスとなります。低温の水素ガスは、液化水素の沸点と殆ど同じ温度で室温の空気と同じ比重ですが、少し温度が高くなると、空気より軽くなって上昇します。このように、低温の水素ガスが長い時間低いところに漂う可能性は少ないことが予想され、適切な換気が必要であることは理解頂けるとおもいます。更になによりもその可能性（爆発性気体を形成する）があるところには、着火源を排除することです。また考慮しておくべき事項として、漏れ出した液化水素は、空気あるいは空気中の水分を凝縮し、あるいは固体化して白色の煙霧を作ります。この白色の煙霧は、気化・拡散した水素の拡がりを示しますが、可燃性の範囲および酸素欠乏の危険性のある範囲は、この煙霧の境界よりいくらか外側まで及んでいることが知られています。

万が一の事故対処方法として知っておくべきことのひとつとして、水素ガス火災の場合は水素の流れが止められるまで消化してはなりません（消火すると爆発性混合気を形成して大爆発を誘引する可能性がありますから）。散水等は二次災害を消火するため、および火災の拡大を防止するために使用すべきとされていますが、その水素源が液化水素の場合、水は液化水素に対して熱源として働き水素ガス発生量（液化水素の蒸発）を激しくするため、容器の冷たい面に直接散水することは避けなければなりません。

簡単に液化水素について説明いたしましたが、液化水素だからといった特別な取り扱いはありません。その性質を利用して取り扱えば決して危険な物質ではないと思います。クリーンエネルギーとして期待される水素。誤った取り扱いにより事故が発生し、エネルギークリーン化への流れを止めることがないように考えていきたいと思います。

最後に、現在あまり見られませんが今後はよく見かけるようになると考えられる液化水素のローリーとコンテナの写真を添付いたします。



Fig.1 液化水素ローリー 輸送量=16,000Nm³



Fig.2 液化水素コンテナ 輸送量=30,000Nm³

回答者：岩谷瓦斯株式会社 技術部 岩下博信様