

## 掲載内容 (サマリー):

田中昭二超電導工学研究所長 応用物理学会業績賞受賞

### 特集：冷凍機冷却型超電導マグネット

冷凍機冷却型超電導マグネット特集 - その使いやすさと将来性に期待 -  
超電導マグネットの冷却  
2K 冷凍機を用いた冷凍機冷却型マグネット  
磁気シールド付き冷凍機冷却型マグネット  
大口径化する冷凍機冷却型マグネット  
超電導関連製品ガイド - 小型冷凍機

超電導関連 5 - 6 月の催し物案内

新聞ヘッドライン (3/20-4/18)

超電導速報 - 世界の動き (2003 年 3 月)

標準化活動 5 月のトピックス

特許情報

第 64 回応用物理学会学術講演会(平成 15 年春季応用物理学会)報告

第 2 回複合超電導体の機械 電磁気特性に関するワークショップ

隔月連載記事 - パルス管冷凍機の誕生と変遷 (その 3)

読者の広場(Q&A) - 超電導電流リードって、どんなものですか?

[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。

## 田中昭二超電導工学研究所長 応用物理学会業績賞受賞

(財)国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所の田中昭二所長は、2003年3月27日(社)応用物理学会より業績賞を受賞した。同賞は、応用物理学の発展に顕著な、また学術・産業にも極めて大きなインパクトを与えた業績をあげた同学会会員に対して贈られるものである。第3回となる今回は、田中所長とカーボンナノチューブで著名な飯島先生(名城大)の2名に授与された。また、2003年3月28日神奈川大学横浜キャンパスにおいて、『高温超電導への道』と題して受賞記念講演が行われた。



“業績賞”盾

受賞記念講演は、同学会の後藤会長のご挨拶/祝辞と座長を勤められた榊先生(東大)による田中所長の紹介のあと始まった。まず、東大において半導体研究を開始した頃の話から始められた。「群れから離れて」と書かれた OHP を示し、地道な良質試料作製からコツコツと研究を開始したことを回想し、良質試料へのこだわりの重要性が強調された。70年代の半ばから二次元物質  $\text{MX}_2$  に興味を持ち、CDW やフレーリッヒ超電導の話聞きながら二次元超電導に思いを馳せたこと、また、一方では酸化超電導体  $\text{Ba}(\text{Pb},\text{Bi})\text{O}_3$  の低濃度キャリアでありかつキャリア濃度で超電導性が変わるといった面白さに取り憑かれていったことが語られた。当時研究費の苦しい中で SQUID 帯磁率計を自分達で立ち上げたことが、後の高温超電導の確認に決定打を与えることとなる。そして、'86年の秋/冬を迎え、ペドノルツ/ミュラー論文と出会い、世界に先駆けて高温超電導の確認に成功する。'86年11月はまさにミラクルマンズと呼ぶに相応しい一ヶ月であった。高温超電導の姿がくっきりと見えてきた時、それが酸化物でしかも二次元物質であったことは、思わず JJAP に単名論文を投稿してしまうほど感慨深いものであったという。講演の後半は、現在までの高温超電導研究の進展、特に応用を視野に入れた内容が語られた。・複雑な結晶構造、・二次元超電導、・d波対称性、・短いコヒーレンス長、・磁束量子のソリトン伝播などをキーワードとして、応用のために活かすべき特徴と克服すべき課題について指摘し、今後の展望までが示された。

受賞記念講演の締め括りとして、お気に入りの詩、「あかあかと一本の道とおりたり たまきわるわがいのちなりけり」(齊藤茂吉「赤光」)を紹介した。座長から「研究室から始まった小さな種がこんなに大きな広がりをもったことにどのような感想をお持ちですか」と質問されたところ、「特に意図したわけではない」と照れくさそうに答えた。最後に満員の聴衆から万雷の拍手を受け講演会は終了した。

(SRL/ISTEC 安達 成司、田辺 圭一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 冷凍機冷却型超電導マグネット特集 その使いやすさと将来性に期待 -

冷凍機冷却型超電導マグネットは、従来の液体ヘリウムによって冷却する超電導マグネットとは根本的にことなる構成と利便性を備えた設備で、その用途拡大と市場拡大に大きな期待が寄せられている。

利便性は、まず、従来の超電導マグネットのように高価な液体ヘリウムを用いることなく、したがって、専門知識と熟練を要する液体ヘリウムの取り扱いが不要になったことにある。また、磁界を発生させる操作は、所望の磁界の強さ、方向、傾きなどをキーボードへの打ち込み方式へと簡略化された。さらに、超電導マグネットの体格が小型・コンパクト化し、携帯可能な装置や移動可能な超電導応用機器の開発も可能になった。



このような利便性の高い超電導マグネットは、従来の定置型用途に加えて様々な用途への展開に大きな期待が寄せられている。具体的には、半導体産業の原点となるシリコン単結晶引き上げ装置（MCZ）、核融合プラズマ加熱、セラミックス焼成用などのジャイロトロン、冶金分野における熔融金属の電磁制御、水浄化などの磁気分離装置などへの適用が進んでいる。特に、シリコン単結晶引き上げ装置への適用はすでに数十例実用されており、直径 12 インチを対象とする MCZ においては、ISTEC 報告書：超電導材料の試験・評価方法等の国際標準化動向調査報告（平成 15 年 3 月）によれば、わが国だけでも年間 80 台の需要が見込まれている。

これらの冷凍機冷却型超電導マグネットに不可欠なものとして、高温超電導電流リードと小型冷凍機がある。高温超電導電流リードは、高温超電導体の電流を通しやすく、熱を通しにくい性質を利用するもので、冷凍機への熱負荷を大幅に軽減した。一方、小型冷凍機は、半導体産業におけるクライオポンプに牽引されたわが国が最も得意とする技術分野であり世界市場の 70%を占有しているとも言われている。したがって、現在、冷凍機冷却型超電導マグネットに適用されている小型冷凍機は、4K-GM 冷凍機に代表される GM（ギフォード・マクマホン）タイプが主流である。さらに、最近では、軍用、宇宙用、通信用として米国で発展した小型スターリング冷凍機に加え、GM タイプやスターリングタイプと組み合わせた各種パルス管冷凍機の開発が進展し、小型実用冷凍機として仲間入りしようとしている。

このように冷凍機冷却型超電導マグネットは、わが国の小型冷凍機技術と超電導マグネット技術とを融合したユニークな製品である。この冷凍機冷却型超電導マグネットの市場導入によって、われわれの日常生活に疎遠であった超電導が一層身近なものになりつつある。

（編集局 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導マグネットの冷却

東北大学  
金属材料研究所  
教授 渡辺和雄

1981年に東北大学金属材料研究所でハイブリッドマグネットを中心とする定常強磁場施設の建設が始まり、32mmの室温ボア中心に31Tを発生するハイブリッドマグネットの開発(52mmボアで28T)が目標に定められた。我が国で初めてのハイブリッドマグネット建設であったため、52mm室温ボアに23Tを発生するハイブリッドマグネットが練習用として先に開発された。外側の超電導マグネットはコイルの重量が1900kgでコイル支持などの構造物を含めた冷却重量は3200kgとなり、大学が所有する超電導マグネットとしては大型の装置である。このマグネットを室温から初期冷却するためにスターリング型のヘリウム冷凍機を使用した。蓄冷材として80K側が銅メッシュ、20K側は鉛小球による冷凍機であった。20Kで50Wの冷凍能力が得られるスターリング冷凍機であるが、熱負荷が1W程度なら15Kまで鉛のエントロピーが使えることになっていた。金研のハイブリッドマグネットは銅電流リードからの熱侵入が数Wと大きく1Wの冷凍能力は問題外であったので、その後の小型冷凍機が超電導マグネットの運転を可能にするまでに発展するとは思っても寄らなかった。しかし、このわずかに残された鉛のエントロピーを活用して低温発生用の小型冷凍機が発展して行ったのが、半導体産業の低温吸着用真空ポンプとして用いられる鉛の蓄冷材を持った10KのGM冷凍機であった。

高温超電導体の最初の実用化は、10KのGM冷凍機と組み合わされた無冷媒超電導マグネットの開発とセットになって実現した。超電導マグネット用の高温超電導電流リードは、無冷媒超電導マグネットの実用化に対して不可欠な構成要素となっている。1992年にわずか0.5Wの冷凍能力で400Aの運転が実証された金研と住友重機械の無冷媒超電導マグネット開発はその後も発展している。23Tハイブリッドマグネットの運転には年間に5万リットル以上の液体ヘリウムを必要としてきたが、図1に示すような世界で初めての無冷媒ハイブリッドマグネットによって21.5Tまで試験され液体ヘリウムを不要なものとするに成功した。現在、無冷媒ハイブリッドマグネットは30Tまでのグレードアップを狙って新に建設中である。無冷媒23Tハイブリッドマグネットの開発効果は絶大で、これまでの100L/hのヘリウム液化機を用済み

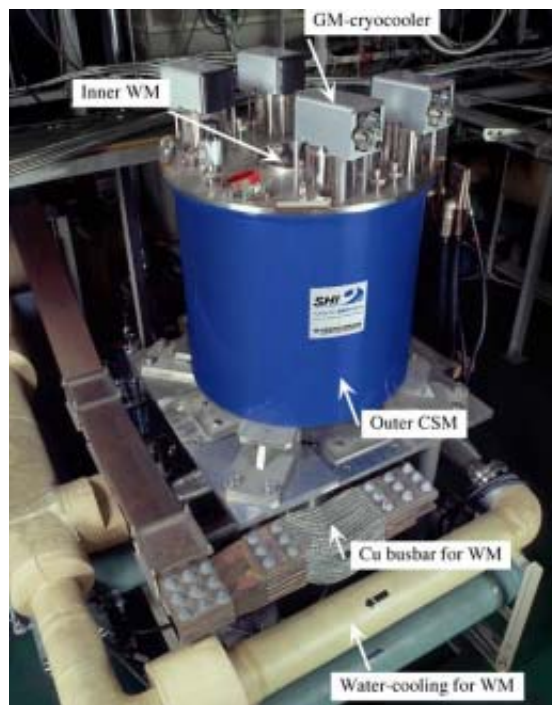


図1 無冷媒23Tハイブリッドマグネット  
無冷媒6T超電導マグネットと15.5T水冷マグネット  
の組み合わせで21.5Tまで試験されている。

にさせた。高温超電導インサートコイルと組み合わせられた無冷媒 19T 超電導マグネットの開発も進められている。超電導マグネットの冷却に GM 冷凍機が大いに活躍するようになったのは、 $\text{Er}_3\text{Ni}$ ,  $\text{Ho}_{1.5}\text{Er}_{1.5}\text{Ru}$ ,  $\text{HoCu}_2$  などの蓄冷材が開発され 4K 以下までの磁気的エントロピーが活用できるようになったことに依る。小型冷凍機による超電導マグネットの冷却は、我が国が世界の最先端に位置しており、今後益々発展することを期待している。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 2K 冷凍機を用いた冷凍機冷却型マグネット

株式会社 東芝 京浜事業所  
機器装置部  
主務 下之園 勉

これまでの冷凍機冷却型マグネットには、一部高温超電導マグネット冷却用の 20K 冷凍機を除いて、そのほとんどに 4K レベルの冷凍機が搭載されている。高磁界でボアの大きいマグネットを開発するために 4K 冷凍機の冷却能力向上が計られてきた。近年になって NMR など高磁界化への要求が高まっている。しかし、15 テスラを超える高磁界を 4K 冷凍機を用いて達成するには、現時点では酸化物超電導体を使わざるを得ない状況にある。これは、製造コストが格段に跳ね上がることを意味する。

当社は、物質・材料研究機構との共同開発により 1.8K で 1W 以上の冷凍能力がある小型の GM/JT 冷凍機を開発し、今回さらに、これが高磁界マグネットへ適用できることを実証するため、2K レベルでの伝導冷却を考慮した Nb<sub>3</sub>Sn と NbTi から構成される超電導マグネットを製作した。(写真参照) 既存の 2K 冷却マグネットは、冷媒に超流動ヘリウムを使用しているため、取扱が煩雑で、冷却装置自体も大きいという欠点があった。今回開発・製作したマグネットは、4K 冷却マグネットに比べてコンパクトで、簡単なスイッチ操作で 2K レベルまでの冷却、高磁界の発生が可能であるという冷凍機冷却型のメリットも踏襲している。

2K 冷凍機の応用は高磁界マグネットにとどまらない。10 テスラ級 NbTi マグネットでも 2K に冷却することで廉価に製作できる可能性がある。物性試験試料冷却用にも応用できるだろう。2K 冷凍機の用途は今後多岐にわたるものと期待される。



[超電導 Web21 トップページ](#)

## 磁気シールド付き冷凍機冷却型マグネット

三菱電機株式会社  
電力・産業システム事業所  
湊 恒明

### はじめに

約10年前に初めて開発された冷凍機冷却型マグネットはその可能性が徐々に大きくなっている。当初は100kJ程度の蓄積エネルギーの小型マグネットのみがその守備範囲と考えられたが、現状では1MJを越えるマグネットや2mを越えるサイズのマグネットも実用化が可能となってきた。当社では常温ボア内で磁場を使用するが、マグネット外では磁場が小さいほうが良いという要望に応え、磁気シールド付きの冷凍機冷却型マグネットを開発・納入してきている。

ここでは特に単一のソレノイドコイルではなく、複数のコイルを内蔵するマグネットの例を報告する。

### 結晶引上げ装置用マグネット

直径1mを越える常温のボア内にカスプ磁界を発生させるためのマグネットである。(図1)マグネット外部を作業者が通るため、作業者に対する安全確保から漏洩磁場を小さくする要請があり、磁気シールドを取り付けている。現在、結晶サイズの増大に合わせて直径1.5m超のマグネットも開発中である。

### ECR イオン源用マグネット

多価イオンビームを生成するためにボア内に高温プラズマ発生するためのマグネットである。(図2)発生したビームの軌道に悪影響を及ぼさないため、磁気シールドが必要である。また、発生するビームのパラメータ調整のため、内蔵する4コイルは3回路から構成されており、それぞれ独立して通電可能である。4つのコイルの内、中央のコイルは逆方向の通電が可能である。



図1 結晶引上げ装置用マグネット



図2 ECR イオン源用マグネット

### クライストロン用マグネット

Xバンドの電磁波を生成するために、電子ビームの動作を制御するためのマグネットである。(図3)マグネット外部の電子ビームに悪影響を及ぼさないよう磁気シールドを備えている。コイルは3コイルからなり、直列接続されている。

### 開発のポイント

磁気シールドは当然、コイルとの間に大きな電磁力を発生する。特に、複数コイルがマグネット内にある場合は、コイルと磁気シールド間の電磁力はもちろん、コイル間の電磁力にも注意して設計・製作を行う必要がある。ECR イオン源用マグネットのように個々のコイルの通電電流を変えられる場合は、どのような通電条件でも成立つように設計を行う必要がある。コイルの固定方法、位置精度の確保および支持方法にはそれぞれ工夫を凝らしている。



図3 クライストロン用マグネット

### むすび

冷凍機冷却型マグネットは今後ともその守備領域を拡大しながら、発展してゆくと思われる。メーカーとして使いやすいマグネットを心がけつつ、要望に対応していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 今井 他, 「ボア 1m 級大型伝導冷却式超電導マグネットの開発」, 第 58 回 1998 年度春季低温工学・超電導学会予稿集
- 2) Arai, H. et al. , “Effect of minimum strength of mirror magnet field( $B_{min}$ ) on production of highly charged heavy ions from RIKEN liquid-He-free superconducting electron-cyclotron resonance ion source (RAMSES)”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 491(2002)9-14
- 3) 横山 他, 「液体ヘリウムを使わない伝導冷却方式のクライストロン用超電導マグネット」, T IEE Japan, 115-D, No.10(1995)

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 大口径化する冷凍機冷却型マグネット

ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー株式会社 東京営業部  
主任部員 渋谷 和幸

冷凍機冷却マグネットの適用範囲は着実に増加しつつある。弊社がこれまでに出荷した 100 台を超える冷凍機冷却マグネットから、最近の傾向のひとつ、ボアサイズの大口径化について見てみよう。弊社の出荷例を下表に示した。

表 大口径冷凍機冷却マグネット例

例	最大中心磁場	室温貫通ボア径
1	0.7T	1015mm
2	3T	400mm
3	5.5T	400mm
4	10T	180mm

例 1 は、既存の鉱物磁選プロセスのスケールアップに対応したもので、欧州の生産現場で稼動中である。そのほかの例は実用化一步手前のプロセスが多いとされる磁気分離、磁場配向、着磁などが主な用途である。これらの分野からは冷凍機冷却マグネットはどの規模（発生磁場とボアサイズの組み合わせ）

まで可能か、問い合わせが増加しつつある。技術的には、液体ヘリウム浸漬型で実現可能なマグネット規模にはすべて対応可能だと考えられる。MRI 用で最大規模とされる、液体ヘリウム浸漬型研究用 8T-800mm などはひとつの目安となるだろう。実際には、励消磁などプロセスに依存する条件、経済性などを的確に判断し対応することで、実用プロセスが順次稼動しはじめるものと期待している。



写真1 3T-400mm ソレノイド型



写真2 5.5T-400mm ソレノイド型

[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  
(会社は五十音順表示)

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営業部 E&E 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  
ダイキン工業株式会社 半導体機器部  
- パルス管冷凍機  
Tel:072-243-2412  
Fax:072-243-2652  
e-mail:masahiro.ohyama@daikin.co.jp  
担当：大山 雅博  
富士電機株式会社  
- 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

e-mail:cryo@shi.co.jp  
担当：坂島、石川、菅野、渡邊  
ダイキン工業株式会社 半導体機器部  
- GM-J/T 管冷凍機  
Tel:072-243-2412  
Fax:072-243-2652  
e-mail:masahiro.ohyama@daikin.co.jp  
担当：大山 雅博  
大陽東洋酸素株式会社 ガス事業本部  
工業ガス事業部 超低温部 超低温課  
Tel:03-3231-9845  
Fax:03-3272-3270  
三菱電機株式会社 電力・産業システム事業所  
磁気応用先端システム部  
- 4KGM 冷凍機(3 段型、2 段型)  
Tel:0791-46-2140  
Fax:0791-46-2222  
e-mail:matumoto@ako.melco.co.jp  
担当：松本隆博

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営業部 E&E 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  
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  
- 20KGM 冷凍機  
- 80K 単段 GM 冷凍機  
- 80K パルス管冷凍機  
- 4K パルス管冷凍機  
Tel:0424-68-4094  
Fax:0424-68-4254

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:06-6303-1165  
Fax:06-6304-2170  
担当：越智靖司  
ダイキン工業株式会社 半導体機器部  
Tel:072-243-2412  
Fax:072-243-2652  
e-mail:masahiro.ohyama@daikin.co.jp  
担当：大山 雅博

液体ヘリウム - 希釈冷凍機

大陽東洋酸素株式会社 ガス事業本部  
工業ガス事業部 超低温部 超低温課  
Tel:03-3231-9845  
Fax:03-3272-3270

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導関連 5 - 6 月の催し物案内

### 5/20

第1回材料研究会「応用分野の広がりを支える超電導材料と関連材料」

場所：物質・材料研究機構 物質研究所(旧 無機材料研究所)共同研究棟 4F409&410 セミナー室(つくば市)

<http://akahoshi.nims.go.jp/jcryo/>

(主催 低温工学協会 材料研究会)

### 5/20-24

U-Super—International Workshop on Unconventional Superconductors

場所：University of Campinas, Campinas, Brazil

E-mail:kopel@ifi.unicamp.br or delima@ifi.unicamp.br.

### 5/22-23

Applied Electrodynamics of High-Tc Superconductors and Microwave Electronics

場所：Kharkov, Ukraine

E-mail: cherpak@ire.kharkov.ua

### 5/25-28

ICMC'03/Topical International Cryogenic Materials Conference

場所：University of Twente, The Netherlands

<http://www-It.tn.utwente.nl/icmc03/welcome.htm>

### 5/25-30

M2S-HTSC-VII/7th International Conference on Material and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors

場所：Rio de Janeiro, Brazil

<http://www.m2srrio.cbpf.br>

### 5/30

応用超電導の最前線とトピックス

場所：慶應義塾大学 矢上キャンパス理工学部 セミナールーム(横浜市 日吉)

(主催：電気学会 東京支部 神奈川支所講習会)

e-mail:kazu.hayashi@toshiba.co.jp

### 6/3

超電導技術動向報告会 - 急加速した超電導技術

場所：都市センターホテル 3F コスモスホールII

(主催：(財)国際超電導産業技術研究センター)

<http://www.istec.or.jp>

### 6/30-7/2

PASREG2003-4th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials

場所：Jena, Germany

E-mail:habisreuther@ipht-jena.de

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 新聞ヘッドライン (3/20-4/18)

宇宙で作った超電導材料回収へ 3/23 日本経済新聞  
27日から横浜市 第50回連合講演会 応用物理学会 3/25 日刊工業新聞  
新時代の規格・認証制度のあり方 JISC体制を整備 経産省が報告書案 国際提案の迅速化を図る  
3/26 日刊工業新聞  
再構築へ動く原子力発電 海外で再評価機運 米国、「推進」に転換 4/1 日本工業新聞  
産総研など手法 耐熱タイルなどのC/Cコンポジット 非破壊で欠陥を検出 超電導量子干渉素子  
子使い 4/1 日本工業新聞  
風車用ネオジウム磁石リング 最大の外径276ミリ 住特金 4/1 日経産業新聞  
多層カーボンナノ中心部 炭素が一直線の新しい分子合成 名城大「1%の割合」4/2 日経産業  
新聞  
人に優しい医療探る 年代別に細かい対応 予防や生活指導も重視 医工連携 日本でも機運  
4/2 日本経済新聞(夕)  
脳磁計システム試作 金沢工大と横河電など 神経活動 瞬時に捕捉 4/3 日刊工業新聞  
新しい価値の創造で 21世紀のヘルスケアに貢献 日立メディコ 4/3 日本経済新聞(夕)  
リニア新幹線「8~9兆円」 国交省、事業費を初試算 4/4 毎日新聞  
実現するか巨大線形加速器 建設費5千億円 質量の起源など探る 4/5 朝日新聞(夕)  
MRI用造影剤 日本市場に投入 独の製薬大手 4/6 朝日新聞  
元素の起源探る 巨大な実験設備 4/7 日本経済新聞  
宇宙で超電導材料 帰還へ最終準備 衛星USERS 4/7 日経産業新聞  
量子コンピューター イオン並べ基本回路 インスブルック大 演算処理に成功 4/9 日経産  
業新聞  
CFRP製フライホイール 5.7kW時の電力貯蔵達成 石播とISTEC 高温超電導方式にめど  
4/10 日刊工業新聞、日本経済新聞、日経産業新聞、日本工業新聞、電気新聞  
見えた! 量子コンピューターの可能性 「重ね合わせ」で暗号を一発解読 スパコン1千万年  
も瞬時 実用化めざし大競争 4/12 朝日新聞(夕)  
燃料いらす “電子レンジロケット” 東大グループが実験成功 4/12 読売新聞(夕)  
最新の科学お目見え 新制度で変わる高校理科教科書 4/16 朝日新聞



[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 (2003年3月)

電力

**American Superconductor Corporation (2003年3月3日)**

American Superconductor Corporation の2003年3月31日に終了する年度の予想総収入は2,050万ドル程度となる見込み。これは現在の受注残及び出荷計画に基づいて予測されたものである。同社の現在の受注残は3,300万ドルであり、そのうち2,400万ドルが海軍との新規契約によるもの。この契約から発生する収入は来年度現金化されることになる。

(出典)

“American Superconductor Forecasts Initial Backlog”

American Superconductor Corporation Press Release (March 3, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news.html>

**American Superconductor Corporation (2003年3月3日)**

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国海軍研究所とHTSモーター(36.5/120 rpm MW)の設計、製造契約を締結したと発表した。多年度契約で、総額は7,000万ドル。同社は、Northrop Grumman社と電気推進軍艦の電動機設計及びインテグレーション最適化及び機器試験の分野で協力していく予定。Northrop Grumman Marine Systemsは、システム要求と仕様を固め、モーター駆動系及び部品を設計・製作すること、及びシステム・インテグレーション、試験に関して責任を持つ。HTSモーターを使用する一連の電気推進軍艦はNorthrop Grumman Ship Systemsによって開発されている。この開発には、この他、Ideal Electric Motors, Syntek Technologies, Mississippi State University, Center for Advanced Power Systems at Florida State University 及び MSCL LLC (バージニア州海事コンサルタント会社)が参加している。この契約は American Superconductor Corporation がこれまで締結したものの中で最大のものである。海軍研究所長 Jay M. Cohen 海軍少将は、「米国海軍は、艦船の電氣化を進めている。超電導技術は、モーター、発電機、電送系、その他電氣系を小型、軽量にするために大きな役割を果たしており、電氣化への移行のスピードを上げる上で大きな助けとなるだろう。」と語った。HTSモーターは、従来のものに比べ重さは1/3、大きさは半分になると見られている。

(出典)

Source:

“American Superconductor Wins Multi-Year \$ 70 Million U.S. Navy Contract to Design and Build HTS Electric Propulsion Motor”

American Superconductor Corporation Press Release (March 3, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news.html>

**American Superconductor Corporation and GE Industrial Systems (2003年3月18日)**

American Superconductor Corporation (AMSC) と GE Industrial Systems は、D-VAR™を新たに1システム販売したと発表した。このシステムは、50万の産業、商業、一般顧客を持つ中西部の電力会社が運用している20マイル長、34.5kV電送線の電圧レベルをアクティブに調整するために使用される。D-VAR™は、グリッドを常時監視し、変動に速やかに追従することにより電圧を安定化させ、信頼性の高い電力電送を可能にする。今回のシステムは、電圧問題解決のために D-VAR 技

術がグリッドに適用される初めての例である。従来は、グリッドの信頼性向上と電力電送量を増加させるためのみに使用されていた。18のAMSC電力システムがすでに北アメリカの電力グリッドに設置されている。この数字は同業他社を抜いてトップである。

(出典)

“AMSC Widens Gap in D-VAR Sales”

American Superconductor Corporation Press Release (March 18, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news.html>

## Intermagnetics General Corporation (2003年3月18日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC)は、第3四半期の利益が420万ドルであったと発表した。一方前年同期の利益は390万ドル(一過性のものを除く)。同期の純利益は、株式及びヘリウム冷凍事業の売却益を含め310万ドル。これら一時的な利益は、同社機器事業のリストラ費用に使用された。2003年2月23日に終了する四半期の純販売は、前年同期の3,720万ドルに対し、3,780万ドル。同社社長 Glenn H. Epstein は、「本年の各四半期の収入は継続して改善してきており、次年度についても厳しい世界経済にもかかわらず、収入は新たな記録を作り出すべく予定通りに進んでいる。これは、コスト管理と操業効率の改善に向けた努力の賜物である。」と述べた。

同社のMRI事業は、医療向け3.0T磁石を売り出したこともあって好調である。一方、機器事業はとりわけ中国等のアジア各国顧客拡大に向け大きく前進した。第3四半期のMRI事業の売上は、前年同期の3,100万ドルに対し、3,210万ドルに達した。

同社は、第3四半期に子会社のSuperPowerに前年と同額の1,500万ドルを投資した。

(出典)

“Intermagnetics Reports Q3 Net Income Climbs to Record \$4.2 Million”

Intermagnetics General Corporation Press Release (March 18, 2003)

[http://www.igc.com/news\\_events/news\\_events.asp](http://www.igc.com/news_events/news_events.asp)

## University of Illinois at Urbana-Champaign (2003年3月19日)

昨年、イリノイ大学 Urbana-Champaign 校は、大容量超電導エネルギーパイプライン、いわゆる SuperGrid について検討するための“National Energy SuperGrid Workshop”を開催した。この SuperGrid は、将来のエネルギー需要を満たすため電力及び水素燃料を全米に送ることを目指している。この構想は、そもそも EPRI の創始者であり名誉会長でもある Chauncey Starr が提案したもので、化石燃料の消費を抑制するためにも有効である。カリフォルニア州パロアルトで2002年11月6~8日に開催されたワークショップの最新の報告は、ウェブサイト ([www.energy.ece.uiuc.edu/SuperGridReportFinal.pdf](http://www.energy.ece.uiuc.edu/SuperGridReportFinal.pdf)) で見ることができる。SuperGrid は、LTS と冷媒である液体水素を内封したパイプラインを地下に埋設することにより構成されることになるだろう。都市部に設置されたセンターが遠隔の原子力発電所、石炭火力、再生可能エネルギー発電所と結ばれる。このようにして、SuperGrid は大量の電力を送る一方で、代替燃料である水素をも供給する。ワークショップのオーガナイザーである Thomas Overbye は、「SuperGrid の考え方は、現在の未来水素経済の考え方を超越したものであり、電力と水素が統合エネルギーインフラのシナジー要素となって働くのである。大量の電気エネルギーを貯蔵が容易な水素燃料で転換できるということは、より柔軟にエネルギー需要に対応できるようになる。・・・ エネルギーを水素燃料として貯蔵できれば、太陽エネルギーや風力エネルギーのような中間的な電力源もより有効に使えるようになる。」と語った。この SuperGrid の建設には新たな科学技術上のブレークスルーは必要ではないが、環境への影響を可能な限り小さくし、経済的、社会的効用を最大化するためには大きな技術イノベーションが必要である。ワークショップの報告書は、プロジェクトの第1ステップと

して、冷媒としてさらには電送可能なエネルギー源としての水素利用の研究を行うことを勧告している。

(出典)

“Synergistic SuperGrid could meet nation’s energy needs in 21st century”

University of Illinois at Urbana-Champaign Press Release (March 19, 2003)

[http://www.eurekaalert.org/pub\\_releases/2003-03/uoia-ssc031903.php](http://www.eurekaalert.org/pub_releases/2003-03/uoia-ssc031903.php)

### American Superconductor Corporation (2003年3月25日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、超小型船舶用電気推進 5 MW/ 230 rpm HTS モーターの無負荷工場試験を成功裏に終了したと発表した。この超電導モーターは、現在フェリーや小型貨物船で使用されている通常の銅線ベースのモーターと同じクラスのものである。しかしながら、超電導モーターは従来のものに比べ半分の重量、1/3 のサイズでありながら、同じパワーとトルクを持つ。超電導モーターは燃料効率がよく、メンテナンス費用も従来モーターに比べて安い。この AMSC のモーターは米国海軍研究所との契約により設計されたもので、将来ある種の軍用船舶の標準になるものと期待されている。無負荷試験は、英国の Rugby の ALSTOM's Power Conversion Business で実施された。100%負荷試験を含む次のステップの試験は 6 月に終了の予定である。ALSTOM は、AMSC 社のサブ契約者としてプロジェクトに参加している。AMSC 社は、今後 12~15 ヶ月で民生用途の船舶搭載の注文が来るものと期待しており、その出荷は 2005 年に始まることになると考えている。米国以外のいくつかの国でも海軍が HTS 船舶推進モーターの使用を検討している。2010 年までに、船舶推進モーターの市場は急速に成長し 20 億ドルの規模になるものと期待されている。

(出典)

“AMSC Successfully Completes No-load Factory Tests”

American Superconductor Corporation Press Release (March 25, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news.html>

### American Superconductor Corporation (2003年3月31日)

American Superconductor Corporation は、2003年3月31日に終了する第4四半期に 450km の HTS 線材の注文を受けたと発表した。この受注量は新記録である。比較してみると、過去 9 ヶ月間では 20km の線材の注文を受けたにすぎない。この発注は、4 カ国の 11 の顧客からのものであり、モーター、発電機、プロセス装置、特注磁石などに使用される。今日まで同社は 88km の線材を出荷しており、さらに 166km を今期中に出荷する予定である。残りは受注残として来年度出荷される。また、2003年6月30日に終了する次年度第1四半期にも新たに 120km の線材を受注する予定である。この内半分は 2004年3月までに出荷する。AMSC の顧客である DuPont はエネルギー省の SPI の下に開発しているフルスケールの磁気分離装置に使用する線材 50km の注文をすでに出している。

(出典)

“American Superconductor Books Record HTS Wire Orders in Fourth Fiscal Quarter”

American Superconductor Corporation Press Release (March 31, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news.html>

## 通信

### ISCO International (2003年3月11日)

ISCO International Inc. (ISO)は、2002年12月31日終了する四半期(3ヶ月)及び一年間の純収入がそれぞれ150万ドルと370万ドルであったと発表した。年間の純収入については、前年の200万ドルを上回っている。同社は、年間を通じた利益を初めて計上した。同社社長 Amr Abdelmonem は、「収入は第2四半期から第4四半期にかけて増加した。2003年の第1四半期も2002年の第4四半期と同様になるであろうと考えている。」と語った。

(出典)

“ISCO International Reports Results for 2002”

ISCO International Press Release (March 11, 2003)

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

### Superconductor Technologies Inc. (2003年3月17日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、大手通信事業者と行った最近のフィールドテストの結果を発表した。この通信事業者は、STI社の SuperLink™ Rx 極低温フロントエンド・レシーバーを通信ネットワークで使用することによりドロップ・コールの43%、ブロック・コールの26%が減少したと報告した。このテストは、都市部で通信が混雑する時間帯に行われた。その結果、1週間ベースで、ドロップコール5,000件、ブロック・コール2,500件を防ぐことができたものである。STI社社長 M. Peter Thomas は、「これは控えめな見積もりではあるが、より少ないドロップ・コールやブロック・コールしか発生しない場合でも、これらの製品を使うことによって、6ヶ月以内の投資は回収できるだろう。」と語った。

(出典)

“Field Trial with Major Wireless Carrier Demonstrates Performance, Cost Benefits of Superconductor Technologies’ SuperLink™ Solutions”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (March 17, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNews.aspx?product=MzgwU1ZJPVAKWQEQQUALSTOEQUALSTO&partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKQUALSTO>

### Superconductor Technologies Inc. and Heinz Corp. (2003年3月17日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、無線通信エンジニアリング・サービス会社である Heinz Corporation を STI 社の SuperLink™ を設置する事業者として認定したと発表した。この合意は、以前の2社間のインターフェース試験、モデリング、解析に関する契約を拡大したものである。STI社社長 M. Peter Thomas は、「Heinz社とのアライアンスは、当社顧客である通信事業者に対するサービスのスピード・アップと便宜を考えたものである。これにより短時間でターンキー引渡しが可能となり、特に大規模に基地局展開している通信事業者に大きな意義をもつものである。」と語った。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Expands Strategic Alliance with Heinz Corp. to Offer One-stop performance Solution to Carriers”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (March 17, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNews.aspx?product=MzgwU1ZJPVAKWQEQQUALSTOEQUALSTO&partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKQUALSTO>



### Superconductor Technologies Inc. (2003年3月18日)

CTIA Wireless show (3月17~19日) 初日の講演において、STI 社技術担当副社長 Robert B. Hammond は、通信事業者は、継続的成長とネットワーク・パフォーマンスの改善という2つの課題を克服するために代替技術を準備しておく必要があることを指摘した。さらに、音声及びデータ通信向け HTS 製品がネットワーク・コストパフォーマンス改善に費用対効果の高いソリューションをいかに提供するかを概説した。事実、HTS ソリューションは感度と選択性を同時に改善でき、帯域外の干渉を抑制できる唯一の製品である。

Hammond はさらに、顧客満足度に関して 2003 年以降無線通信ネットワークの改善をさらに進めていく必要があるとした。背景には、新規顧客はそれほど増えないにもかかわらず通信時間は年率 50%もの速度で伸びている事実がある。Hammond は、「使用時間の継続的な伸びのため、今後、通信事業者は厳しい財政上の問題に直面し、一方で新しい基地局のサイト確保はずっと難しくなる。従って、新しい基地局を増やしていくというのは最適解ではない。通信事業者は、より少ない投資でより多くのことをやらなければならない。今こそ知恵を出し、リスクを取って代替技術、ソリューションにチャレンジする時だ。」と述べた。

(出典)

“Wireless Carriers Must Learn to ‘Do More with Less’ to Continue Growth in 2003, STI Executive Tells CTIA Audience”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (March 18, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNews.aspx?product=MzgwU1ZJPVAKWQEQUALSTOEQUALSTO&partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUALSTO>

### Superconductor Technologies Inc. (2003年3月31日)

Superconductor Technologies は、第 4 四半期 (2002 年 12 月 31 日終了) の純収入が 700 万ドルであり、対前年同期比 119%増であったと発表した。純製品販売額は 430 万ドルで、対前年同期比 139%増であった。政府契約収入は、2001 年第 4 四半期の 140 万ドルから、2002 年第 4 四半期には 270 万ドルに増加した。当期純総合損失は、前年同期 500 万ドルから 290 万ドルに減少。また、合併した Conductus の収支は、合併から期末の 13 日間について統合収支報告に記載されている。2002 年の純収入及び純製品販売額は、対前年比でそれぞれ 81%、132%の増加であった。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Reports Fourth Quarter and Year-end 2002 Results”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (March 31, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNews.aspx?product=MzgwU1ZJPVAKWQEQUALSTOEQUALSTO&partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUALSTO>

(ISTEC 国際部 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 標準化活動 5月のトピックス

### - 転換期を迎えた超電導標準化事業 -

1986年に開始したわが国の超電導標準化事業は、16年間の活動を経てひとつの転換期を迎えた。これまで IEC/TC90 超電導委員会と連携してわが国における超電導標準化事業の中核的役割を果たしてきた(財)大阪科学技術センター附属ニューマテリアルセンター(NMC)および(社)日本ファインセラミックス協会(JFCA)は、平成14年度をもってその活動を休止することになった。平成15年度以降の標準化事業は、IEC/TC90 超電導委員会並びに経済産業省産業技術総合研究所(AIST)を中心とした実施体制で推進されることになった。

なお、IEC/TC90 超電導委員会が国際電気標準会議(IEC)のもとに置かれている IEC/TC90(超電導)の幹事国として活動するわが国の標準化基本体制は、今後とも変わることはない。また、IEC/TC90とVAMAS(議長:物質・材料研究機構)とのリエゾン関係も維持されている。したがって、転換期を迎えた部分は、標準化の対象とその実施体制にある。

過去16年間の標準化事業は、超電導分野にとって基本となる超電導関連用語規格と試験方法規格を対象とした活動であった。すでに超電導関連用語規格と10件の試験方法規格が国際規格として、また、5件がJIS規格としてそれぞれ発行された。現在審議中の試験方法規格3件も、向う1年でひとつの区切りを迎えることになる。一方、これら基本的規格のもとに、過去16年間の超電導関連研究開発や技術開発の目覚ましい進展並びに3,000億円を越す超電導市場の拡大を背景として、超電導標準化事業の対象が研究開発成果を反映した準規格化や超電導製品規格化へと多角化しようとしている。

すなわち、今後の多角的な標準化事業内容として、つぎの5項目を挙げることができる。

- (1) 市場にあるものあるいはニーズの高い超電導製品を対象とした製品規格群の構築。
- (2) メンテナンス規格の抽出と既存ワーキンググループにおけるメンテナンス実施。
- (3) 製品規格群の補充・補完規格並びに新規規格項目の抽出・提案。
- (4) 研究開発プロジェクトとの一体的活動によるPAS、TSなど準規格化。
- (5) メンテナンス、新規補充・補完規格化、準規格化並びに製品規格化を網羅した進路図作成。

これらの標準化活動を推進するためには、まず、IEC/TC90を機軸としたわが国の主体的な標準化活動戦略の構築が先決である。つぎに、上記5項目に対する実施体制を再構築することが急務である。さらに、これら一連の標準化活動を円滑に推進し、ニーズ指向かつ時機を得た標準化活動成果を得るために、IEC/TC90 超電導委員会とこれら構成メンバーの結束はもちろんのこと、政策事業予算の継続的かつ効率的な活用が不可欠である。

(標準部 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特許情報

成立特許の紹介

最近成立した特許を紹介します。

**特許第 3384919 号「酸化物結晶の作製法」**特開平 9-124396（平成 7 年出願）

LPE 法などの溶液成長法により酸化物結晶を作製する際に、超電導体酸化物結晶の構成元素を含んだ酸化物（例えば、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ 、 $\text{BaO}$ 、 $\text{CuO}$  など）に超電導体の構成元素を含んだハロゲン化物（例えば、 $\text{BaF}_2$ 、 $\text{CuF}_2$  など）を混合することにより、大気中でも結晶成長温度を低温化することを見出した。Y123 の結晶を作製した場合は、ハロゲン化物を混合しない溶媒では結晶成長温度は 968 - 1007 であったが、混合した溶媒では 945 - 989 で結晶成長した。金属銀の融点（960）以下で結晶成長することは、配向金属基材も基材として使用可能なことを示している。また、この方法は Nd などの希土類系酸化物超電導体にも適用できる。さらに、結晶成長温度の低温化により、超電導体の構成元素以外の不純物元素の混入も削減され、超電導特性の向上をもたらした。

なお、本発明の詳細は、特許庁のホームページから特許電子図書館（IPDL）をご利用下さい。

（SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 第 64 回応用物理学会学術講演会(平成 15 年春季応用物理学会)報告

東京大学工学部  
下山 淳一

この春の応用物理学会は 2003 年 3 月 27 日から 30 日まで横浜市の神奈川大学にて開催された。超伝導分科のシンポジウムおよび一般講演は 194 件で、ほぼ例年の春の学会と同規模である。また、会期中には第 3 回の応用物理学会業績賞を授けられた超電導工学研究所の田中昭二所長より「高温超電導への道」と題した受賞講演があり、多くの聴衆の前で高温超電導に至ったストーリーと将来に伸びる道が熱く語られた。シンポジウムは「超伝導膜から広がる次世代技術」と題された応用物理学会超伝導分科会企画のもので、超電導工学研究所の森下忠隆氏による高品質薄膜形成技術の進展に関するレビューに始まり、SQUID、集積回路、高周波通信、テープ線材といった様々な薄膜応用の最新の状況が報告された。どの応用分野においてもそれぞれに設計・作製技術が向上したことによって実用のターゲットがより明確になり、それらに向けて顕著な進展している印象を受けた。

以下には一般講演について印象に残ったものを簡単に紹介するが、平行して 2~3 会場で行われていたことと紙面の都合で、本学会全体のトピックが網羅できないことをお許しいただきたい。

高温超電導体のマイクロ波フィルター応用が急務になっている現在、低表面抵抗膜の開発に関する研究が盛んになっている。山形大の大嶋重利教授のグループから様々な製法、物質の薄膜を同じ装置で調べた表面抵抗が報告され、RE123 膜としては Y123 が作製プロセスの成熟によって表面抵抗の低減が進んでいるほか、Er123 膜は開発初期にもかかわらずかなり良い性質を示すことがわかった。これは酸素導入による超電導特性の最適化が Er123 のほうが容易であることを反映したものであると思われる。RE123 膜の表面抵抗については良質の薄膜作製技術を誇る NTT 基礎研からも優れた特性の報告があった。RE123 のテープ線材の開発も着実に進んでおり、ISTEC のほか共同研究グループを構成する企業、大学からも作製プロセスや組織、特性の評価に関する報告が相次いだ。特に九大の木須隆暢助教授らより、本格的に磁場中での特性評価と解析に着手したことが報告された。これまで自己磁場下の特性改善が主体であった RE123 テープ線材の磁場中での高特性化の鍵が近く見つかることを期待したい。このほか、磁場応用セッションでの報告ではあったが、新しい高温超電導単結晶の製法として、東大の岸尾光二教授のグループから、急峻な温度勾配を持つレーザー集光方式のフローティングゾーン装置を開発し、高品質の Bi2212 単結晶育成に成功したことが報告された。他の系の大型単結晶育成のほか、超電導磁石内でも育成可能であることから結晶成長における磁場効果の解明にも注目したい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 第2回複合超電導体の機械 電磁気特性に関するワークショップ (2nd Mechano- Electromagnetic Property of Composite Superconductors)

京都大学大学院  
工学研究科  
教授 長村光造

本ワークショップは、VAMAS/TWA16(物材機構・和田、伊藤)とNEDOの国際共同研究先導調査事業(京大・長村、松本)が合同で企画したもので、平成15年3月3日~5日にかけて外国からの招待者14名を含めて55人の参加者により京都国際会議場で行われた。超電導技術の実用化にあたり、そこで使用される超電導体は作製過程や実際の動作時に静的なあるいは動的な力学的荷重を繰り返し受けるため、超電導特性や力学特性の劣化が予測される。その影響は広範であるにもかかわらず、これまで体系的な検討が行われて来なかった。そこでBSCCO、 $MgB_2$ 、 $Nb_3Sn$ や $Nb_3Al$ 等の多芯複合体(MFC)、YBCOやREBCO等の被覆導体(CCC)およびバルク複合体(BCC)を対象材料として(1)臨界電流、残留抵抗および交流損失の引張や曲げ応力による変化、電磁力、機械的および温度の繰返しによる特性変化、(2)引張、曲げ、捻りおよび圧縮による特性変化、疲労特性および破壊挙動、(3)統計解析や有限要素解析による機械的性質や臨界電流の予測、(4)機械特性試験、臨界電流の曲げや引張応力依存性試験のVAMAS/TWA16を母体とする国際共同研究の提案等について研究発表、情報交換、討論が行われた。とくに実験技術の観点からみると、機械-電磁気特性の研究のため多種多様な工夫がなされていることに大変興味があった。トエンテ大のU字バネ型およびパックマン型の試料ホルダー兼変位計、ジュネーブ大やダーラム大の改良Waltersスプリング型試料ホルダー兼変位計、カールスルーエ研究所の変位計を一体にしたロードセル、臨界電流と変位の同時測定としては岩手大の引張試験用ホルダー、京大のNyilas型変位計を用いた方式、曲げひずみ用臨界電流測定固定治具等の技術が紹介された。いずれにしても今後、そこで求められる物理量の定義や測定方法について研究者間の共通の理解が必要であり、そのためNb-Ti、 $Nb_3Sn$ 、Bi2223、 $MgB_2$ 等の線材の一つを選び種々の試験方法で得られた結果を比較・検討することが一つの提案として考えられる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

パルス管冷凍機の誕生と変遷 (その3)

日本大学 量子科学研究所  
教授 松原洋一

第3世代パルス管冷凍機の誕生

パルス管冷凍機を世代分けしたのは、筑波大学の富永の提案<sup>1)</sup>によるが、パルス管高温端における圧力とガスの変位との位相差が冷凍機特性に強い影響を与えることに注目したものであり、その特徴は図6の仮想PV線図で説明できる。図の横軸はパルス管の容積で、左端が低温端、右端が高温端に対応し、縦軸が圧力である。したがって左端のPV線図がパルス管低温端で蓄冷器を出入りする気体の軌道を示し、右端のPV線図が位相制御系を出入りする気体の軌道を表している。

図6(a)は第1世代で基本型パルス管冷凍機の場合である。パルス管高温端に特定の位相制御系を持たない閉端となっているため気体の変位はない。言い換えれば、圧力と変位との位相差はほぼゼロ

である。冷凍仕事の発生は管壁との熱伝達によるものであり、低温端での気体の変位量に対する1サイクル当りの発生仕事量、すなわち図示されているPV線図の面積が著しく少ない。(b)は第2世代でオリフィスによって消費される仕事が主体となるため、リザーバ内圧力が変動しない程度の大きさを持っていれば、パルス管とオリフィスとの接合部でのPV線図はほぼ90度の位相差を持つことになる。しかしパルス管は一定の容積を必要とするので、その結果、パルス管低温端では図のように90度より少ない位相差しか得られない。いずれも線図の軌道は時計回りで、低温端から高温端に向かう仕事流のあることが示されている。

一般に冷凍機の低温端では単位流量当りのPV仕事が最大となるような位相関係にあることが最も望ましい。なぜならば、前回(「超電導 Web21」2003年3月号)で明らかにしたように、最低到達温度を低減させたいければ、パルス管を通過する仕事流を一定に保ちつつ流量を減少させ、 $\langle H \rangle_R$ を減少させることが重要であるからである。その最適位相角は条件によって異なるがいずれの場合でも90度以上が要求される。したがってパルス管高温端では更に大きな位相差が必要なわけで、オリフィス方式では到達し得ないことが明らかで

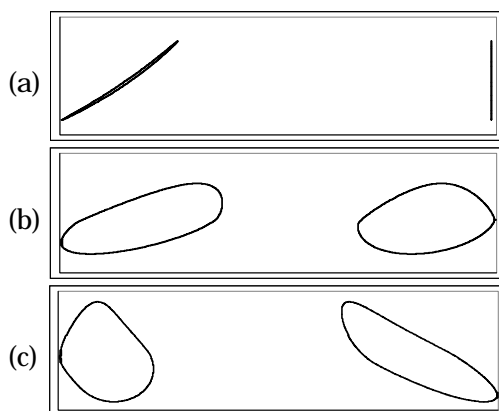


図6 世代別パルス管内での等価PV線図の比較  
(a)第1世代、(b)第2世代、(c)第3世代)

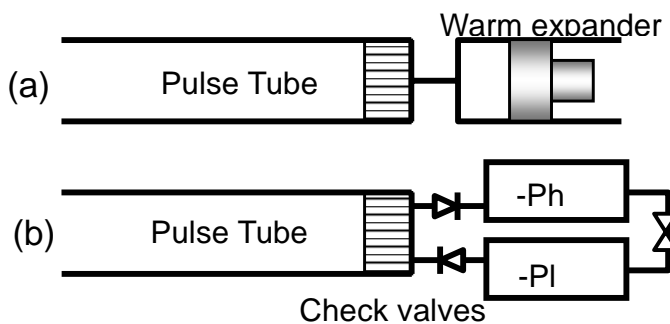


図7 第3世代の位相制御系  
(a)Warm Expander方式、(b)Check Valve方式)

ある。

この問題に最初に着手したのは、1988年の論文で図7の位相制御系が提案された。<sup>2)</sup> 図7(a)は当時 moving plug と呼んでいたもので、現在では warm expander と呼ばれており、可動ピストンをパルス管温端に設け、その変位を制御することによって90度以上の任意の位相を得ようとするものである。図7(b)はチャッキ弁方式で、方向性のある弁を図示のように挿入し、パルス管側からみて気体の吐出側容器圧力を高く、吸入側容器圧力を低く抑えることにより90度以上の位相を得ようとするものである。

その後 Zhu Shaowei らによって図8のようにオリフィスに加えて、蓄冷器とパルス管とをバイパスするような弁を設けたダブルインレット方式<sup>3)</sup>が提案され、第2世代のパルス管冷凍機では、到達温度が60K程度であったのが、一気に30K台が得られるようになった。

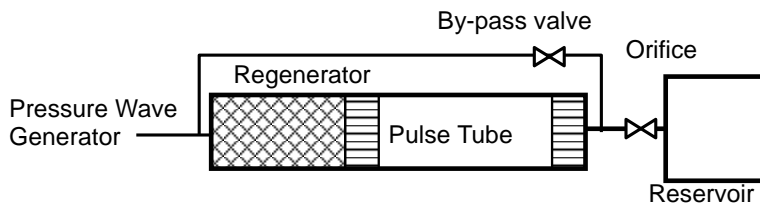


図8 ダブルインレット方式のパルス管冷凍機

特に、この方式は、前回(「超電導 Web21」2003年3月号)の図5で示したGMとソルベイトを組み合わせることで更に固体のディスプレイサを気体に置き換えたものになっていることは興味深い。

以上いずれの方式でも図6(c)のような位相関係が得られるのでこれらを総称して第3世代のパルス管冷凍機として分類されている。第2世代と比較して低温端での変位が減少していること以外にも、蓄冷器を通過する流量が減少することによって圧力損失も減少し、パルス管内での圧力振幅が大きくなっていることも特徴的である。

第3世代のパルス管冷凍機が持つもう一つの特徴は、図6の比較で見て取れるように、パルス管両端でのPV線図の間隔が第2世代のそれより長くなっているところにある。つまりPV線図で占める部分はパルス管外部からの気体の出入りがある部分なので、等温的であり、室温と低温との温度差を効率よく保たせるためには、両PV線図の内側に位置する空間すなわち前回(「超電導 Web21」2003年3月号)紹介したガスピストンの長さからそのピストンの変位量を差し引いた部分が十分に長いことが必要になる。その理由は、単に熱伝導による損失を低減させることのみではなく、管壁との相互作用による熱損失を低減させるところにある。

第1世代のパルス管冷凍機では壁との熱伝達が冷凍の発生要因となっていた。したがって壁の温度勾配があるレベルに達すると surface heat pumping effect がゼロになる。今、壁の温度勾配がこの臨界温度勾配を超えたとすると、熱流の向きは高温から低温に向かうようになり冷凍の発生どころか冷凍温度を上昇させる熱損失の要因になる。これはガスピストンの長さに対するその変位量の割合に依存するため shuttle heat transfer loss と呼んでおり、よく設計された第2世代のパルス管冷凍機でも蓄冷器からのエンタルピー損失と同程度の熱損失が発生して

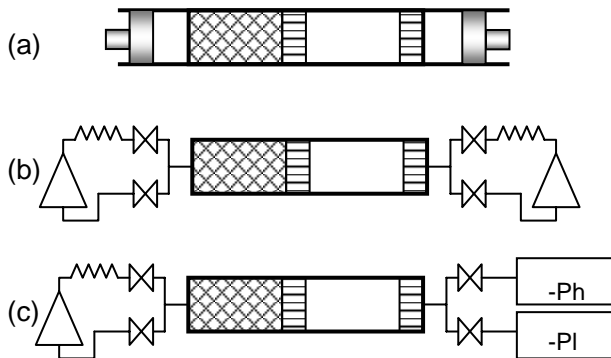


図9 その他の第3世代のパルス管冷凍機  
(a) Warm Expander、(b)4-Valve、(c)Active Buffer)

いる。したがって第3世代の方式では第2世代に比較して短いパルス管の採用が可能になるともいえる。このことは後にパルス管を多段化して極低温を得ようとするときに大いに役に立っている。

この種の新しい形式の位相制御系は、その要求される基本的メカニズムが明らかにされると、類似性を基に多くの異なる形式が現れてくる。例えば、図9(a)は圧力振動発生機構としてピストンのみによるスターリングサイクル冷凍機方式に warm expander を組み合わせたものであるが、循環式圧縮機と切り替え弁との組み合わせによる G-M サイクル方式の位相制御系として(b)の方式が(a)からの類推として考えられ、4バルブ方式として30Kの得られることが実証された。更に(b)からの類推として(c)のアクティブバッファ方式が提案された。方式(b)がバッファを必要としないコンパクト性が特徴であるのに対し、方式(c)は制御用圧縮気体を供給する必要が無いため効率の向上が期待される。

以上のような方法で最低到達温度が低くなるのは熱損失の低減によるものであるから、それは特定温度での冷凍能力が増大することを意味し、第3世代のパルス管冷凍機が、すでに実用化されているGM冷凍機やスターリング冷凍機に匹敵する熱力学的性能を持っていることが明らかにされてきた。そして、固体ディスプレイのような低温の可動部を持たないという特徴があることから、超寿命、低振動、高信頼性、低価格等をうたい文句に多くの研究開発が実施され、学会での発表件数も増加の一途をたどるようになった。

しかし、よい事ばかりではなく、新たな問題も発生した。例えば図8を例にとってみると、バイパス弁を設けたことにより、蓄冷器とパルス管とを含む閉ループが構成され、振動流体がこの閉ループを循環する可能性が生じてきた。特にバイパス弁の流量係数(一般に  $C_v$  値として評価されている)が順方向と逆方向で異なっていることによって発生する循環流は冷凍性能を著しく低減させるため、この流れを相殺させるための新たな手段を必要とするようになった。具体的には、一対のバルブを逆向きに用いて流れが発生しないようにしたり、圧縮機の低圧もしくは高圧側に新たなバイパス弁を設け、流れを相殺させたりする方法が提案され、それなりの効果は実証されている。しかし、閉ループが構成される以上、冷凍温度の不安定性に対する懸念は完全に拭い去られたわけではなく、一抹の不安が残されている。

#### 参考文献

- 1) 富永昭、熱音響工学の基礎、内田老鶴圃、(1998)。
- 2) Y. Matsubara and A. Miyake: Proceedings of fifth International Cryocooler Conference, (1988), pp127-135.
- 3) S. Zhu, P. Wu and Z. Chen: Cryogenics, vol. 30, (1990), p 514.

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 読者の広場

### Q&A

**Q:** 超電導電流リードって、どんなものですか？

**A:** 電流リードとは、液体ヘリウム（4.2K）などの冷媒冷却や冷凍機で直接冷却されている超電導コイルへ電流を供給するため、室温にある電源から電流を流す“ブッシング”のようなものです。一般的に数 100A 程度の電流では銅合金を使用した非冷却のものが用いられ、電流が 1kA を超える大電流ではガス冷却のものが用いられます。電流リードはまた、低温端への熱侵入が小さいほど良く、そのため電気抵抗が小さく（ゼロ）、熱抵抗が大きい材料が求められます。高温超電導材はこの条件を満足するため、電流リードの材料としては理想的です。この高温超電導材を用いた電流リードを「超電導電流リード」と呼んでいます。ただし、超電導材料は臨界温度以下で使用する必要があるため、電流リードに使用する場合には、臨界温度以下（77K 程度）の領域でのみ使用することが前提になります。

超電導電流リードの構成は、常温部から臨界温度以下（77K 程度）の中間温度までは従来型の電流リードと同じ銅を基材としたものを用い、それより低い温度領域では超電導材料を使用するものです。最も一般的なものは、冷凍機冷却の超電導コイルに用いられています。従来の電流リードを用いたのでは、超電導コイルへの熱侵入が多すぎて、温度が上昇し、超電導状態を維持することが困難でした。そこで、この低温部に高温超電導材を使うことにより、超電導コイルへの電流を供給しながら熱侵入を抑え、安定的に超電導コイルへの電流供給が可能になりました。超電導材料としては Bi 系、Y 系のいずれも用いられており、形状としては伝導冷却の場合バルク材が一般的です。

もうひとつの超電導電流リードの実用例として、大型超電導機器への適用があります。超電導加速器等の大型超電導コイルにおいては、従来型の電流リードを用いると熱負荷が全体の 30%以上を占めるようになります。現在 CERN（欧州素粒子物理学研究所）において建設中の LHC（大型ハドロン加速器）では、この点を解決するため超電導電流リードを採用し、熱負荷を全体の数%程度に抑える計画です。超電導電流リードを使用すると低温端への熱侵入量は従来の 10 分の 1 以下に低減することができます。この場合の超電導材料としては、超電導保護の役割も必要であるため Bi 系の銀シース線（銀は合金化し熱伝導率を小さくする）が用いられるケースが多いようです。さらに 50kA を超えるような大電流の用途においても、超電導電流リードの適用が検討されています。

回答者：株式会社 富士電機総合研究所  
機器技術研究所  
主任研究員 保川幸雄



[超電導 Web21 トップページ](#)