

掲載内容 (サマリー):

特集: マイクロ波デバイス

超電導マイクロ波デバイスのニーズ動向
わが国の超電導マイクロ波デバイス技術の動向
超電導薄膜基板とは
超電導関連製品ガイド - 大面積超電導薄膜と応用製品 -

超電導関連 3-4 月の催し物案内

新聞ヘッドライン (1/18-2/18)

超電導速報 - 世界の動き (2003 年 1 月)

標準化活動 3 月のトピックス

特許情報

第 4 回材料研究会 / 関西支部合同研究会より

電気学会 静止器、超電導応用電力機器、リニアドライブ合同研究会

隔月連載記事 - パルス管冷凍機の誕生と変遷 (その 2)

読者の広場(Q&A) - 超電導フィルタはどのような構造になっているのでしょうか?

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

発行者

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集部

〒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>

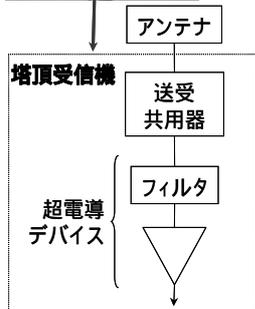


この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

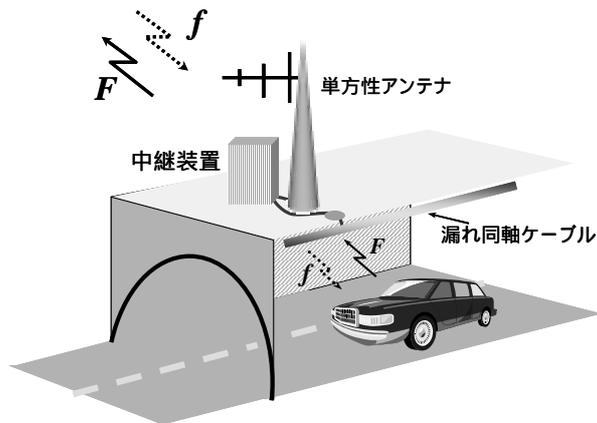
超電導マイクロ波デバイスのニーズ動向

北海道大学大学院
工学研究科
教授 野島俊雄

高温超電導マイクロ波フィルタは、従来になく画期的に優れた伝送特性を実現する。米国での最初の基本デバイスの提案から約 10 年の研究開発を経て、現在我が国を含む世界各国で実用レベルのデバイスが製造可能となっている。それらは、従来のデバイスと比較し、二桁以上 Q 値の高い低損失高選択性を持ち、しかも平面回路構成による集積化が可能という利点を持つ。増幅器などの能動デバイスを融合した高機能 IC に発展する高い可能性がある。高選択フィルタは、通信、放送等様々な領域への適用性を持つが、近年世界中で爆発的に普及している携帯電話基地局で特に高いニーズが顕在化している。基地局では、多数の端末からの電波を集約して受信するため、他の周波数の電波（他の事業者の端末が発射するものや他のシステムが利用するもの、さらに違法電波など）を除去して影響を回避する必要があるからである。超電導フィルタと冷却受信増幅器の基地局への適用は、通信の高品質化と高信頼化（通信が切れなくなる）及び高感度化（携帯電話の使用時間と通信容量の増大）を可能にする。実用化に関して、現時点では米国での試行的な商用導入が始まった段階であり、通信途中での回線切断が数十%改善されるとの報告もある。一方、我が国では第三代移動通信（FOMA 等）への適用性が実験確認されているが、具体的導入には至っていない。装置コストと第三代の加入者数が期待ほど伸びていないことが障壁となっている。それでも移動通信は進化し続けるだろうから、新周波数開拓と既利用帯域の有効利用の必要性が益々重要となって、超電導フィルタへのニーズが今後高まることが予想される。この他、携帯電話のつながり難いトンネル内などに電波を増幅中継するブースタ中継装置では高選択性が必要なため超電導フィルタが有効であり、商用導入される高い可能性がある。これが本格的ニーズ喚起のきっかけとなることが期待される。



(a) 携帯電話無線系アンテナと塔頂受信機



(b) 不感地帯用ブースタ中継装置

[超電導 Web21 トップページ](#)

わが国の超電導マイクロ波デバイス技術の動向

山形大学
工学部
教授 大嶋重利

超電導マイクロ波デバイスで最も実用化の高いものは、無線通信基地局用超電導バンドパスフィルタシステムと超電導アンテナシステムであろう。ここでは、それに的を絞り、日本での技術動向を紹介したい。

超電導バンドパスフィルタシステム

超電導フィルタシステムは従来のフィルタシステムと比較して極めて性能が高く、高速、高品質無線通信を実現する基地局用フィルタとして注目されている。米国では STI 社がコンダクタス社を吸収合併し、独占的に第 2 世代の移動体通信基地局用バンドパスフィルタを生産・販売している。すでに 2000 台以上を設置し、また、ブラジルにも販売を開始するという報道もある。日本では、PHS との混信が懸念されている第 3 世代の移動体通信 IMT-2000 用として注目されており、フィールド試験も終わり良好な結果を得ている。しかし、日本における第 3 世代の携帯電話の普及が、図 1 に示されるように思うように進んでいないのが実情で、基地局用の採用に黄信号が点っているのが残念である。しかし、通話品質の向上、環境電磁波問題の解消等を考えると、超電導バンドパスフィルタは極めて重要な技術であり、実用化は間違いのないであろう。現在日本で

超電導バンドパスフィルタシステムのプロトタイプを試作・発表している企業は、富士通研究所、東芝、デンソー（クライオデバイスの技術を受け継ぐ）の 3 社である。少ない人数で頑張っているが、日本での販売をターゲットとしている STI 社と比較すると実用化の技術レベルを更にアップする必要がある。STI 社は理研電具製造株式会社（03-5798-2396、担当岩脇）を販売代理店に選び、本格的に日本に上陸しようとしてい

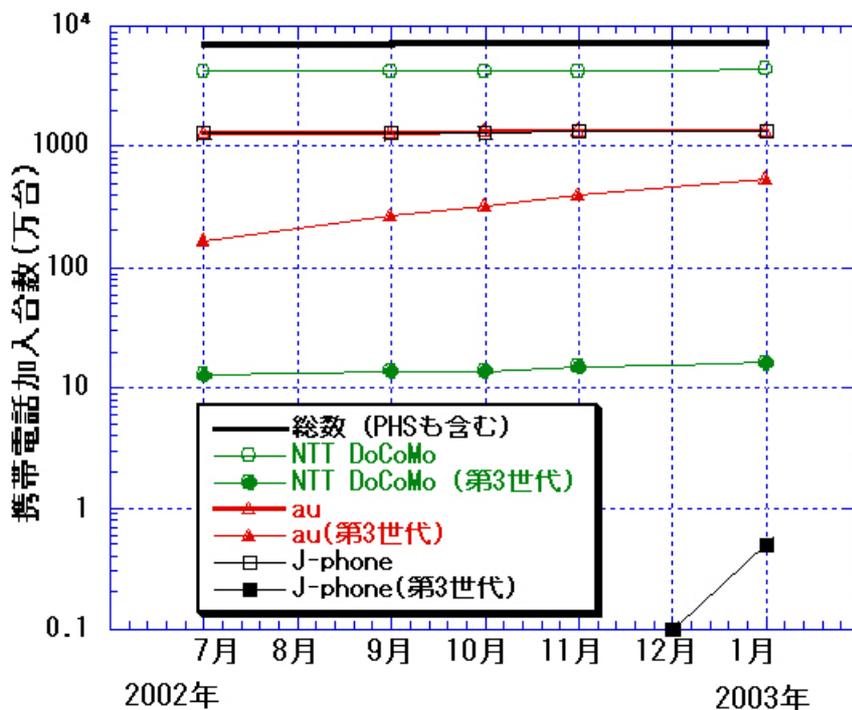


図 1 携帯電話の加入者数の推移 (2002.7 ~ 2003.1)

る。これを迎え撃つのは容易ではなく、本格的な大型予算投入による新技術開発が必要であろう。小型フィルタの設計・試作、薄膜製造技術、小型・低コスト冷凍機の開発等を手がけるプロジェクトの立ち上げが必須である。

超電導アンテナ

超電導アンテナも魅力的なマイクロ波デバイスである。従来のアンテナと比較し、小型・高性能なアレーアンテナが実現でき、実用化の期待が高い。しかし、現在の日本経済の悪化を反映し新たな開発を着手できない企業が多く実用化研究が遅れている。山形大学や九州大学ではアンテナとミキサーや光導波路とを結合させたハイブリッドデバイスの検討が行われており、ユニークなデバイスが実現できるものと期待されている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導薄膜基板とは

住友電気工業株式会社
エネルギー環境技術研究所
小西 昌也

はじめに

超電導材料は臨界温度(T_c)以下では直流通電時の電気抵抗がゼロになる特徴を持つ。そのため、送電線や変圧器等の電力機器分野や、SQUID、マイクロ波フィルタ等の電子機器分野等への適応研究が行われており、その超電導材料の形態の一つに超電導薄膜基板がある。超電導薄膜基板の構造は厚み約1mmの単結晶基板の上に、1 μm 程度の超電導の薄膜が形成されている。この薄膜超電導基板はSQUID、マイクロ波フィルタ、超電導限流器等の用途の研究開発がなされている。そのうち、マイクロ波フィルタ用と限流器用の超電導薄膜の開発について述べる。

マイクロ波フィルタ用超電導薄膜

酸化物超電導体を使ったマイクロ波フィルタは、誘電体基板の両面に酸化物超電導薄膜を形成したマイクロストリップライン型の構成を採用することが多い。これは、小型化に有利、超電導の動作に必要な冷却が容易、半導体プロセスで実績のあるパターニング技術を超電導薄膜に応用することで精度良い加工が出来る、1枚の超電導薄膜上に多段のフィルタが構成可能等の理由がある。その材料となる超電導薄膜は、多段のフィルタが構成できる程度のサイズ(2~3インチ径)を持ち、かつ、その中で特性が均一である事が重要である。また誘電体基板の両面に超電導薄膜を形成する必要がある。

住友電工のグループが開発したマイクロ波フィルタ用超電導薄膜基板^{1)~4)}を開発例として紹介する。これは3インチ径の LaAlO_3 単結晶基板の両面に超電導薄膜として $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (HoBCO)薄膜を形成したものである(図1)。

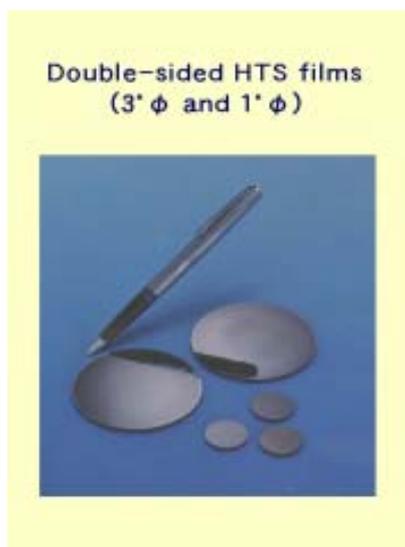


図1 3インチ径両面超電導薄膜基板

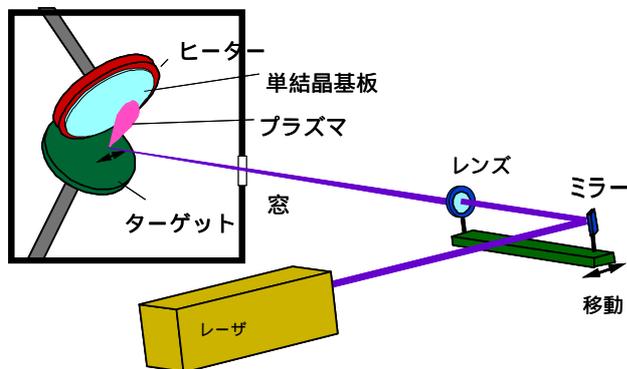


図2 レーザ走査 PLD 法成膜装置概略図

この超電導薄膜の作製方法として、大面積基板への高速成膜が可能な、レーザ走査オフアクシス PLD (Pulsed Laser Deposition)法を採用している。その装置の概要を図2に示す。PLD法では成膜室は100mTorr前後の酸素雰囲気中で、その中に超電導材料のターゲットと単結晶基板が設置される。ターゲット表面には成膜室外からパルスレーザ光を照射し、レーザ光のエネルギーでターゲットから原料がプラズマとなって飛散し、基板の上に堆積させる。このとき、基板を750程度に加熱することで基板上で原料が結晶化し、超電導薄膜が形成される。また、レンズとミラーで構成される光学系が移動する事で、レーザ光がターゲット上を走査し、基板の上に均一に原料を堆積させる様になっており、この機構により、超電導薄膜基板の大面積化を実現している。また、非接触加熱をしており、表面を成膜後に基板を反転し、裏面を成膜する事で、単結晶基板両面に超電導薄膜を形成している。3インチ径 HoBCO 両面超電導薄膜基板は両面で臨界電流密度 $J_c > 2\text{MA}/\text{cm}^2$ 、マイクロ波表面抵抗(R_s)の温度依存性(図3)では HoBCO 材料は YBCO 材料に比べて、 R_s が低く、また、70K 以下の温度で R_s の温度変化が少なく、マイクロ波フィルタに適した超電導薄膜といえる。

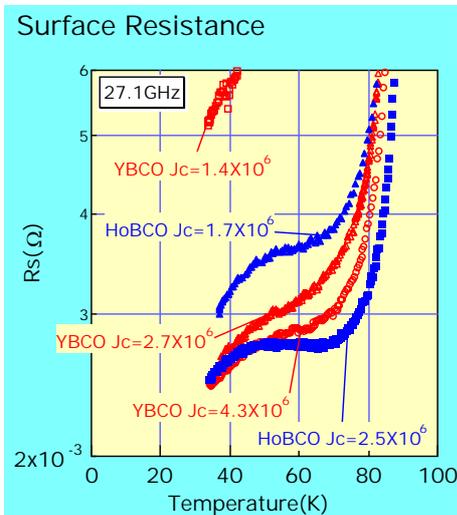


図3 表面抵抗 R_s の温度依存性

限流器用超電導薄膜基板

限流器とは、電力系統の短絡事故時の電流制御を行う機器である。SN 転移型超電導限流器では超電導状態から常電導状態への SN 転移を利用して、通常時は超電導状態で大電流を低抵抗で流し、事故時には常電導状態の大きな抵抗を発生させることで、事故電流の増大を抑制し、機器の保護を行う。そのため、大面積サイズでかつ高特性、均一性を有する高温超電導薄膜が必要となる。有力候補として、サファイアを基板とした RE-123 構造 (RE = 希土類元素、Y) の超電導薄膜の開発が精力的に行われている。サファイア基板は、比較的安価で大面積サイズが可能でかつ化学的にも安定な基板であるが、限流素子に用いた場合には低温での熱伝導に優れるため良好なヒートシンクとなる利点がある。これまでに PLD 法、⁵⁾⁻⁸⁾ 熱共蒸着法、⁹⁾⁻¹¹⁾ スパッタリング法^{12),13)}等の物理蒸着法を用いて大面積の RE-123 膜の開発が進められている。いずれのグループでもサファイア基板と超電導薄膜の間に酸化セリウム (CeO_2) を中間層として蒸着しているが、この中間層の役割としては、化学的な相互反応を防ぐ、格子整合を良くすることが挙げられる。¹³⁾ また、TFA-MOD 法¹⁴⁾や塗布熱分解法^{15),16)}の化学溶液プロセスを用いた RE-123 膜の開発も進められている。

住友電工 - Super-GM は、SN 転移型限流素子に適用することを目的にサファイア単結晶上の HoBCO 超電導薄膜の開発を実施している^{5),6)} SN 転移型限流素子用の薄膜に用いるため、大電流を通電でき、かつ常電導転移時の発生抵抗が確保できるような要求から幅広かつ長尺の大面積超電導薄膜の開発を行っている。大面積超電導膜を作製する技術開発として、「2次元揺動 PLD 法」による成膜手法を提案している。この手法では、PLD 法で発生させたプラズマに対して基板を2次元的に揺動させ、その運動を繰り返すことにより均一な所定の膜厚を有する薄膜が得られる。これまでに中間層として CeO_2 を蒸着したサファイア基板上に $3\text{cm} \times 10\text{cm}$ サイズの HoBCO 超電導膜を開発し、ばらつき $\pm 10\%$ 以内の膜厚均一性と $3\text{MA}/\text{cm}^2$ を超える $J_c(77\text{K})$ 特性が確認されている。

超電導工学研究所のグループでは、非真空の化学溶液プロセスの一つである TFA-MOD 法を用いて超電導膜の開発を行っている。¹⁴⁾ 高純度溶液が高特性の鍵であり、SIG (Solvent-Into-Gel) 法により得られる高純度溶液を用い、CeO₂(PLD)/YSZ 単結晶上に膜厚 0.23 μm、Jc(77K)=8.1MA/cm² の超電導膜が得られている。

産業技術総合研究所のグループでは、塗布熱分解法を用いて YBCO 薄膜を作製している。¹⁵⁾ 強酸性の TFA 溶液の代わりに、中性に近い acacPyTFA および acacPyTFA 錯体溶液を調整している。これらの錯体溶液を各種基板の上に塗布し、空気中で急加熱分解することで仮焼膜を作製し、さらに含水蒸気雰囲気中で熱処理することにより YBCO 膜を作製している。

ドイツの THEVA のグループは、サファイア基板上の YBCO 薄膜を作製しており、その薄膜を用いた限流特性の試験を行っている。⁹⁾ YBCO 薄膜の作製方法として、熱共蒸着法を用いている。¹⁰⁾ 最高で 8 インチ径までの大面積サイズを作製している。4 インチ径までの YBCO 膜は市販されており、Jc(77K)>2MA/cm² を有している。¹¹⁾ ただ、サファイア基板を用いた場合には基板と膜の熱膨張のミスマッチによる膜厚限界から 0.3 μm までしか作製できない。

このように各社で、色々な製法で大面積超電導薄膜の開発を行っており、今後は、実用化に向け、大面積、高特性、均一性ととも、低コスト化の研究も行われつつある。

参考文献

- 1) T. Nagaishi and H. Itozaki : "YBa₂Cu₃O_{7-x}: thin film over 3 in. substrate using off-axis excimer laser deposition", J. Vac. Sci. Technol. A14 (1996) p.1995
- 2) K. Fujino, M. Konishi and K. Sato : "Large Area YBCO Film Fabricated by Pulsed Laser Deposition", Appl. Supercond., 5 (1997) p41
- 3) K. Fujino, M. Konishi and K. Sato : "Large Area YBCO Film Fabricated by Pulsed Laser Deposition", Advances in Superconductivity X (1998) p.971
- 4) M. Konishi, K. Fujino and K. Sato : "Growth and Characterization of 3-inch-dia. Double-sided HTS Thin Film" Proceedings of ISS'98 (to be published)
- 5) 母倉、他 : 「2次元揺動 PLD 法によるサファイア単結晶上 HoBCO 膜」、第 65 回 2001 年度秋季低温工学・超電導学会予稿 (2001)19.
- 6) 大松、他 : 「回転成膜 PLD 法によるサファイア単結晶上 HoBCO 膜」、第 65 回 2001 年度秋季低温工学・超電導学会予稿 (2001)20.
- 7) Lorenz et. al, "High-quality Y-Ba-Cu-O Thin Films by PLD Ready for Market Application", IEEE Transactions on Superconductivity, 11(2001)3209.
- 8) Schey et. al, "Large Area Pulsed Laser Deposition of YBCO Thin Films", IEEE Transactions on Superconductivity, 9 (1999)2359.
- 9) Heinrich et. al, "Fault Current Limiting Properties of YBCO- Films on Sapphire Substrates", IEEE Transactions on Superconductivity, 9(1999)660.
- 10) Kinder et. al, "YBCO Film Deposition on Very Large Area Up to 20 x 20cm²", Physica C 282-287(1997)107.
- 11) THEVA Technical Product Information
- 12) Wördenweber et. al, "Large Area YBCO Films for Microwave Application", IEEE Transactions on Superconductivity, 9 (1999)2486.
- 13) Face et. al, "Tl₂Ba₂CaCu₂O₈ and YBa₂Cu₃O₇ on Large Area MgO and Sapphire Substrates for High Power Microwave and rf Application", IEEE Transactions on Superconductivity, 9 (1999)2492.
- 14) 荒木、他 : 「TFA-MOD 法による YBCO 線材の開発」、第 65 回 2001 年度秋季低温工学・超電導学会予稿 (2001)15.
- 15) 真部、他 : 「含フッ素中性溶液を用いた塗布熱分解法による Y123 膜の作製」、第 64 回 2001 年度春季低温工学・超電導学会予稿 (2001)17.
- 16) Kumagai et. al, "Characterization of 50-mm-diameter Y123 films prepared by a coating-pyrolysis process using an infrared imaging furnace", Proceedings of ISS 2001, Kobe, Japan.

超電導関連製品ガイド - 大面積超電導薄膜と応用製品 -

1. 大面積超電導薄膜

住友電気工業株式会社、エネルギー環境技術研究所 超電導研究部
3 インチ、丸、HoBCO レーザーアブレーション膜
Tel:06-6466-5639、Fax:06-6466-5705、小西昌也

2. 超電導アンテナ (試作開発中)

山形大学 工学部電気電子工学科
HTS アンテナ
Tel:0238-26-3286、Fax:0238-26-3293、大嶋重利

3. 超電導送受共有器 (Duplexer) (試作開発中)

山形大学 工学部電気電子工学科
超電導送受共有器
Tel:0238-26-3286、Fax:0238-26-3293、大嶋重利

4. 超電導フィルタ (試作開発中)

(株)デンソー基礎研究所
移動体通信基地局用 HTS フィルタ
Tel:05617-5-1050、Fax:05617-5-1185、榊原伸義
株式会社富士通研究所
高温超電導フィルタ
Tel:046-250-8261 担当
山形大学 工学部電気電子工学科
HTS クロスカップル型フィルタ
Tel:0238-26-3286、Fax:0238-26-3293、大嶋重利

(編集局 田中靖三)



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 3 - 4 月の催し物案内

2/22-3/6

International Workshop on Physics and Technology of Thin Films

場所：Physics Department, Sharif University of Technology, Tehran Iran

E-mail：moshfegh@sina.sharif.edu

3/3-5

2nd Workshop on Mechano-Electromagnetic Property of Composite Superconductors (MEM03)

場所：Kyoto International Conference Hall (KICH), Kyoto, Japan

(連絡：長村光造 京都大学教授 Tel:075-753-5434, Fax:075-753-5486,

E-mail:osamura@hightc.mtl.kyoto-u.ac.jp)

<http://www.mtl.kyoto-u.ac.jp/groups/osamura-g/MEM03/index.html>

3/3-7

Annual APS March Meeting

場所：Austin, Texas

<http://www.aps.org/meet/MAR03/index.html>

3/17

平成 15 年電気学会全国大会シンポジウム「ナノテクノロジーと超電導材料の展望」

場所：東北学院大学 泉キャンパス

主催：電気学会 (A 部門 金属・セラミックス技術委員会企画)

<http://www.iee.or.jp/fms/>

3/28

平成 15 年春季第 50 回応用物理学関係連合講演シンポジウム「超伝導膜から広がる次世代技術」

場所：神奈川大学 (横浜市)

主催：応用物理学会 (超伝導分科会企画)

4/21-25

2003 MRS Spring Meeting

場所：San Francisco, California, USA

<http://www.mrs.org/meetings/>

4/22-25

International Conference on Cryogenics & Refrigeration, ICCR '2003

場所：Hangzhou, China

4/27-30

105th Annual Meeting & Exposition of the American Ceramic Society

場所：Opryland Hotel, Nashville, Tennessee

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (1/18-2/18)

電力変換効率 97% 液体窒素で着磁 高温超電導モーター 北野精機などが開発 1/22 日刊工業新聞

有機系超電導 温度の最高記録 埼玉大など達成 1/23 日経産業新聞

超電導磁石、磁力 2 倍に 福井大など 船舶モーター向け 1/23 日経産業新聞

有機超電導体の記録温度を更新 埼玉大と東大物性研 1/24 日本工業新聞

MRI で脳の「構造」も「機能」も見えてきた「内なる宇宙」fMRI 活動の様子、つぶさに 手術に最新の「地図」提供 1/25 朝日新聞(夕)

国立がんセンター 標的細胞に遺伝子高精度で送り込み たんぱく質と鉄の複合材に内包 磁場当てて誘導 ウイルスベクターより安全 1/29 日刊工業新聞

超電導磁石、鉄道総研など開発 小さくたって世界最強 1 平方センチで小型自動車持ち上げます 1/30 日本経済新聞、日経産業新聞、日本工業新聞、日刊工業新聞、毎日新聞、読売新聞、電気新聞

シンデレライト 焼却灰をゼオライトに 超電導で重金属を無害化 1/30 日本工業新聞

フラーレン事業離陸 成否分ける用途開発 ナノテクの試金石 1/30 日経産業新聞

米、核融合計画に復帰 建設費の 1 割負担を表明 1/31 日本経済新聞、読売新聞(夕)

米、ITER 計画に復帰 核融合用い新エネ源開発へ 2/3 日本工業新聞、日刊工業新聞

核融合研究を統合へ 文科省、ITER に重点 2/5 日経産業新聞

米政府が 1200 万ドル要求 ITER 参加予算で 2/5 日本工業新聞

原子力委 ITER 活用法検討 核融合部会 各種方式の位置付けも 2/7 日本工業新聞

米、「水素社会」めざす 大統領宣言 5 年で 17 億ドル投資 2/8 朝日新聞

10 テーマ標準化 産総研取り組み 環境・エネ分野 2/12 日経産業新聞

産総研と東横化学 MRI の感度 100 倍に スピン偏極キセノンガス 製造装置を実用化 2/13 日刊工業新聞、日経産業新聞、2/17 日本工業新聞

船舶用超電導プロも始動へ キーマンに聞く 東京商船大学海事交通共同研究センター 田村英世氏 2/13 日刊工業新聞

NEC 基礎研と蘭大 JJ 利用 マイクロ波で操作 新量子ビット実験に成功 状態判別 SQUID で 60% 2/14 日刊工業新聞

「日経先端技術」から 高温超電導体で新合成法 2/17 日経産業新聞



[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1月)

電力

American Superconductor Corporation (2003年1月14日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、MVAR D-VAR™電力制御システムを風力タービン製造事業者である Nordex USA Inc.に販売した。MVAR D-VAR の定格は通常の D-VAR の 1/8。このシステムは個々の風力発電装置用に取り付けるよう設計されている。Nordex は MVAR D-VAR をノースダコタ州ミノットにある 2.6MW の風力発電施設に取り付ける予定。風力発電装置の起動時の電圧変動から送電システムを保護することが目的であり、風力発電装置からの出力を大きく動かすことが可能。Nordex USA 社長 John Fedorko は、「AMSC の D-VAR 電圧制御システムは電力グリッドの余力が少ない地域の風力発電事業者が抱える問題を解決してくれ、風力発電マーケットの拡大に貢献するものである。」と語った。米国風力エネルギー協会は、2020 年までに風力発電が 100,000MW の規模になるものと見積もっている。

(出典)

“American Superconductor Sells Voltage Regulation System to Wind Turbine Manufacturer”

American Superconductor Corporation Press Release (January 14, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/104376405291.html>

SuperPower, Inc. (2003年1月21日)

SuperPower, Inc.は、同社で初めて 10m 長、1,069A-m の能力を持つ次世代 HTS 線材の製造に成功したと発表した。これは、エネルギー省の Energy Wire Development Workshop で報告されたもの。同社社長 Philip J. Pellegrino は「SuperPower, Inc.は当初目標である 2003 年 12 月よりも早い時期に 10m 超、1000A-m の線材を安定して製造することができるようになるであろうと述べた。SuperPower, Inc.は次世代 HTS 線材製造施設のスケール・アップに加えて、その量産技術開発に関して Los Alamos 研究所及び Argonne 研究所と共同研究を進めている。

(出典)

“SuperPower, Inc. Announces New Coated Conductor Performance Achievements”

SuperPower, Inc. Press Release (January 21, 2003)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=82

American Superconductor Corporation (2003年1月22日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、NIH から高分解能 NMR 用次世代 HTS 線材開発に関する第 2 フェーズ SBIR を受けることとなった。金額は 75 万ドル、期間は 2 年。この線材は、発生磁場を 25T またはそれ以上のレベルまでブーストする NMR 用電磁石に使われる。現在市販されている NMR 用磁石の最高は 21.1T である。25T が実現できれば、分子解析の精度を 20% 上げることができ、NMR の感度は非常に高くなる。HTS 線材は NMR 応用に要求される所用の電流を継続して流すことができなければならない。加えて線材は強力な磁場に耐える高い機械的強度を持たなければならない。AMSC の高電流、強磁界次世代線材はこのような NMR 用途に適しており、HTS 線材の MRI 応用などの新たな市場機会を生み出す可能性を秘めたものである。

(出典)

“American Superconductor Receives Grant from National Institutes of Health to Develop Second Generation HTS Wire”

American Superconductor Corporation Press Release (January 22, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/104367870871.html>

American Superconductor Corporation (2003年1月30日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、HTS ダイナミック・シンクロナス・コンデンサー-SuperVAR™を商品化した。このシステムは、交流グリッドの電力信頼性を確保するために必要な無効電力を供給することにより、既存の送電グリッドの能力を増加させ、かつ最適化することができる。また、コスト・パフォーマンスに優れている。SuperVAR は既存技術を改善したもので、標準のシンクロナス・コンデンサー構造と通常のスーター・コイルに加え、高い性能を持つ HTS ローター・コイルからなる。この HTS ローター・コイルのおかげで、定格の 8 倍の電力を短時間に補償し、連続的ないしは過渡的な電力補償要求に応えることができる。テネシー開発公社からすでに 5 台の発注を受けている。これは、AMSC の HTS 線材技術が組み込まれた初めての商品である。これら 5 台のシステムは同公社からの資金を得て開発される原型モデルをベースに製造されることになる。また原型モデルは 2003 年 11 月に公社のグリッドに据え付けられる予定。AMSC 社長 Greg Yurek は、「SuperVAR により全く新しい市場が切り開かれる。これからの 10 年間にグリッドへの新たな投資が急増すると予想されているが、この SuperVAR の導入はこれと期を一にするものである。我々の市場分析によれば、SuperVAR の米国市場の規模は年間約 2 億ドル、総合的な市場は年率 15%以上で成長していくものと見ている。世界市場はこの 4 ないし 6 倍はあるであろう。」と語った。

(出典)

“American Superconductor Announces Commercial Launch”

American Superconductor Corporation Press Release (January 30, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/104393668111.html>

医療

CardioMag Imaging, Inc. (2003年1月14日)

CardioMag Imaging, Inc. (CMI)は、ニューヨーク州開発事業を行っている New York State Urban Development Corporation から 50 万ドルの投資を受けた。この投資は CardioMag が心磁計の FDA(Federal Drug Agency)の最終認可を受けるために必要な 560 万ドル資金調達の一部となる。FDA の認可は 2003 年中には得られる見込みである。また、John Hopkins 病院はドイツの Klinikum Hoyerswerda 病院とともに複数センター臨床試験に主要機関として参加する予定。これにより、システムの安全性と効果を示す臨床データの取得を図る。

(出典)

“CardioMag Imaging Receives \$500,000 New York State Investment”

CardioMag Imaging, Inc. Press Release (January 14, 2003)

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

通信

Superconductor Technologies Inc. (2003年1月21日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、2002 年 12 月に終了する 2002 年第 4 四半期の収入が

670～700万ドル程度と予想している。同社社長 M. Peter Thomas は、「2002年には STI は商品売上収入をほぼ 130%伸ばし、設置延べ台数を倍にした。我々は新規顧客を開拓し、革新的な新製品を市場に出し、新たな国際市場に参入し、そして Conductus との合併及びそれに伴う新規 2000 万ドルの資金を得て、大きく前進した。」と述べた。第 4 四半期の収入には、米国の新規大手通信事業者及びブラジルの通信事業者に対する売上が含まれている。STI は Portugal Telecom/Telefonica SA の子会社であるブラジル最大の通信事業者 Global Telecom からの初めての注文も受けている。Conductus との合併はすでに完了した。STI のサニーベール工場は政府契約を実施する研究開発拠点となった。STI は 2002 年の収支結果を 3 月に発表の予定。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Announces Preliminary Fourth Quarter Revenues”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (January 21, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUALSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQALSTOEQUALSTO&storyId=79484>

ISCO International, Inc. (2003年1月22日)

ISCO International, Inc. は、イスラエルの通信事業者から、50万ドルの Adaptive Notch Filter™ (ANF) の注文を受けた。出荷は 2003 年第 1 四半期の予定。ISCO 社長 Amr Abdelmonem は、「これは、北米外で初めての ANF のフィールド展開である。帯域内干渉を起こす既存の CDMA 網の効率改善に顕著な効果が認められることを、この通信事業者と協力して明確にしてきた。この事業者が ANF を通信ネットワーク向けに購入することを決定してくれてうれしく思う。」と述べた。

(出典)

“ISCO International Announces Sale of In-Band Interference Solution”

ISCO International, Inc. Press Release (January 22, 2003)

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

Superconductor Technologies Inc. (2003年1月30日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、SuperLink™ Rx の MTBF (Mean Time Between Failure) が 500,000 時間を超えたと発表した。これは 1 年半前の同社の発表した数字の倍である。この結果は、運転時間の蓄積が進んだというのみならず、SuperFilter® や SuperLink Rx 850 の出荷の大幅増加をもたらした品質、製造技術の改善によるところが大きい。STI は、2003 年 1 月 2000 台目の SuperLink Rx を出荷した。また、フィールドに展開している全てのシステムの延べ運転時間は 2300 万時間に達した。同社社長 M. Peter Thomas は、「製品の優れたパフォーマンスが認められ、STI から HTS 製品を購入しようとする市場の動きが加速している。今日の非常に高度なネットワークの下では、製品の信頼性が最も大きな訴求点である。顧客は高い信頼性とパフォーマンスを求めており、我々はその要求に応えている。」と語った。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Achieves Milestones in Reliability and Market Acceptance”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (January 30, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUALSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQALSTOEQUALSTO&storyId=80273>

(ISTEC 国際部 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 3月のトピックス

- 国際規格 IEC 61788-11 「ニオブ3・すず複合超電導導体の RRR 試験方法」制定 -

2003年1月21日、国際規格 IEC 61788-11 「ニオブ3・すず (Nb₃Sn) 複合超電導導体の RRR 試験方法 (略称)」が制定された。この規格は、国際電気標準会議 (IEC: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION) の超電導関連規格として 11 番目に制定されたものである。なお、この規格の有効期限は、2007年1月30日である。

この規格の正規の名称は、次のように英語とフランス語が併記されたものである。

Title (English):

Superconductivity – Part 11: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors

Titre (Français):

Supraconductivité – Mesure du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs composites de Nb₃Sn

この規格は、Nb₃Sn 複合超電導導体の残留抵抗比 (RRR) を決めるための、いわゆる 4 端子法による試験方法について規定したものである。この試験方法は、矩形又は円断面をもち、RRR が 350 未満で、断面積が 3 mm² 未満で、かつ反応熱処理済の直線状超電導導体に適用するもので、すべての測定において磁界を加えないものとしている。

この規格は、2000年3月29日にワーキンググループ WG4 から提案され、2000年5月19日に新規業務項目 (PNW) として正式に承認された。WG4 は、中国の北京有色金属研究所 C. Hua 教授をコンビーナ、九州工業大学松下照男教授をコ・コンビーナとして作業原案 WD が作成され、その後 2001年2月2日に委員会原案 1stCD 提出、2001年7月29日に CD 投票、2002年10月11日に国際規格最終原案 FDIS 提出、2002年12月18日に国際規格としての投票結果 (投票権保有 P メンバー 13 ヶ国の批准率 100%) 公表を経て、2003年1月21日に国際規格 IEC 61788-11 として制定された。

この規格審議過程における技術的課題は、試験試料の初期状態の規定の仕方、試験精度に係わる変動係数 COV (標準偏差を平均値で除した値) の算出方法、COV をどのような値にするか、COV を規格本体に規定するか否か、ラウンドロビン試験 RRT の進め方などであった。国際的な活発な議論の結果、試験試料の初期状態は反応熱処理後のできる限り直線状とすること、COV は過去の RRT 試料を精査して COV 5% 以内と規定することなどで、すべての課題は合意され、結審した。

(ISTEC 標準部 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

平成 14 年度第 3 四半期の公開特許

平成 14 年 10 月-12 月に公開された ISTEK 出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁のホームページ内の特許電子図書館等特許データベースをご利用下さい。

- 1) 特開 2002-326817 「**酸化物超電導体およびその製造方法**」: 実用化に近い Bi2223 よりも磁場特性に優れていると言われる Bi2212 の特性改善に関するもので、その構成元素 (Bi, Sr, Ca, Cu, O) 組成の適正化により臨界電流密度は 1 桁、不可逆磁界は 3 倍の特性改善が可能になる。
- 2) 特開 2002-338392 「**酸化物結晶膜 / 基板複合体の作製法**」: LPE 法等の液相により、基板上に Y123 系の超電導酸化物結晶膜を作製する際に、低酸素濃度雰囲気を導入することにより溶液温度を 850 以下にすることが可能になり、金属基板複合体上にも超電導結晶膜を形成できる。
- 3) 特開 2002-338393 「**酸化物結晶作製用溶液**」: LPE 法等の液相法により Y123 系の超電導酸化物結晶膜を作製する際、Ba/Cu 比を最適化した BaO-CuO-BaF₂ 系溶媒を採用し、結晶育成温度の低温化を可能にする。
- 4) 特開 2002-344307 「**単一磁束量子論理回路および単一磁束量子出力変換回路**」: 高速パルス信号を利用する単一磁束量子(SFQ)回路を外部回路と接続するには、半導体回路などが動作できるパルス幅と電圧レベルに信号変換しなければならない。従来は SFQ/DC 回路と SQUID 回路等により信号変換していたが、磁気的な結合回路を用いた新 SFQ/DC 回路により SFQ/DC 回路の直列接続が可能になり、パルス幅変換とともに電圧レベル変換も容易になる。
- 5) 特開 2002-359408 「**永久電流スイッチとその使用方法**」: 樹脂含浸により機械的強度と線膨張係数を高めた RE 系バルク超電導体の加圧接触時に超電導電流が流れることを用いた機械式永久電流スイッチで、接触面を ab 面に垂直な面とするとより有効である。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[超電導 Web21 トップページ](#)

第4回材料研究会 / 関西支部合同研究会より

核融合科学研究所
大型ヘリカル研究部 装置技術研究系
西村 新

低温工学協会主催の第4回材料研究会 / 関西支部合同研究会が、2003年2月13日に核融合科学研究所で開催された。テーマは「大型核融合装置用超伝導コイルシステムの材料」であり、24名が参加した。下記の5件の講演と総合討論が行われた。

- (1)ITER マグネット設計と製作準備 杉本 誠 (日本原子力研究所)
- (2)ITER マグネット用構造材料 中嶋秀夫 (日本原子力研究所)
- (3)極低温下での構造材料の機械試験法 進藤裕英 (東北大学)
- (4)LHD の極低温構造物の製作経験から 今川信作 (核融合科学研究所)
- (5) Nb_3Sn 、 $NbTi$ の大量製造方法 和田克則 (古河電工)

杉本氏の講演では、はじめにITER超伝導コイルシステムの概要が説明され、トロイダル磁場(TF)コイル、中心ソレノイド(CS)コイル、ポロイダル磁場(PF)コイルの各コイルの形状、仕様などが紹介された後、TFコイル、PFコイルの製作手順の検討状況が示された。TFコイル(Nb_3Sn)は高さ14m、幅9m、重量290トンで予備1個を含めて19個製作される。PFコイルは、最大径のものは外形26mであり、合計6個のコイルには $NbTi$ が用いられる。約5年の間にすべての超伝導コイルが製作される必要があり、超伝導材料などの素材の製造、コイル製作工場の建設など時間的な余裕がほとんどないことが示された。日本全国の研究者、メーカーの協力が必要である。

引き続き、中嶋氏がTFコイル構造材料、CSコイル構造材料を説明された後、構造材料と構造設計基準について、溶接継手も含めて、紹介された。ITER用極低温構造材料では、高強度、高靱性材料の開発、評価が終了し、現在、構造設計基準を踏まえた仕様設定、許認可に対応できるデータベースの整備、および厚板の溶接法の確立などが進められている。

ITERは国際プロジェクトであり、試験機関間での機械的特性の測定値の分散を低く抑えるために、機械試験法、評価法の標準化が重要である。進藤先生から極低温構造材料の機械試験法の標準化の取り組みの歴史と現状が紹介された。これまでの諸活動が要領よくまとめられている。金属材料では、引張試験、弾塑性破壊靱性試験、疲労試験がJIS規格となり、その一部はISO規格として認められようとしている。複合材料については、圧縮試験、層間せん断試験など、一定した値が得られにくいものがあり、その評価方法が種々検討されていることが示された。

今川先生から、LHDの電磁力支持構造物の材料選択、構造設計基準、溶接施工方法、製作精度などが紹介された。コイル容器や電磁力支持構造物の製作精度は、磁気面の精度に直接関わるため、溶接方法、溶接手順などの管理が重要であることが指摘された。ITERはLHDよりさらに大きな構造物であり、その製作精度管理のあり方が重要であることが再度認識された。

超電導線材供給者側の立場から、和田氏が Nb_3Sn 、 $NbTi$ の大量製造方法について紹介した。それぞれの超電導線材の製造過程を説明した後、 J_c や銅比のばらつき、製造時の不具合事項や発生頻度、製造能力、製造に必要な期間などについて紹介された。率直な意見交換があり、ITER建設に向けて素線供給側としても協力していく姿勢が示された。

[超電導 Web21 トップページ](#)

電気学会 静止器、超電導応用電力機器、リニアドライブ合同研究会

テーマ「超電導導体とその応用」として、2003年1月30日-31日の二日間にわたって、(財)国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所(東京都江東区)において、超電導関連の電気学会合同研究会が開催された。参加者は約百名、発表論文32件であった。

内訳はバルク5件、超電導ケーブル2件、限流器3件、変圧器1件、コイル3件、交流損失7件その他で、バルクおよび交流損失が多かったようである。バルクについては、坪井(東大)のバルク超電導モータ、鴨志田(早大)、赤松(早大)のバルク超電導体を用いた浮上装置、超電導磁気軸受基礎特性等の大学での研究成果の詳細な報告が、超電導ケーブルについては、向山(古河電工)のNEDOプロジェクト交流損失低減技術として「カロリメトリック法」について、限流器については梅田(産総研)の共振切り替え型限流器、持田(京大)の電圧維持効果等の報告があった。上条(鉄道総研)は鉄道車両用高温超電導変圧器の設計について検討状況を報告した。

若手の研究成果および研究所等の最新の研究成果の報告であり、活発な意見交換がされたと思う。

(ISTEC 調査・企画部 安部秀行)

[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2)

日本大学 量子科学研究所
教授 松原洋一

第2世代パルス管冷凍機の誕生

前回示した基本型パルス管冷凍機は、たしかに学術的には非常に興味のある冷凍サイクルであったが、その当時主流であったGM冷凍機やスターリング冷凍機に比べると熱力学的な効率が著しく悪く、実用冷凍機にはなり得なかった。しかし1984年にMikulinによって報告された論文によると、基本型パルス管冷凍機のパルス管閉端にオリフィスを介してバッファ容積を取り付けると著しい温度降下の得られることが認められた、⁷⁾とある。

その基本構成は図4のようになり、パルス管内に点線で示されるような‘ガスピストン’を想定することにより、その基本的動作原理を容易に説明することができる。ここで、ガスピストンとは、パルス管内に常に存在しているガスのことで、あたかも伸縮する固体ピストンのように作用することから、この名前が付けられた。

圧力振動によってオリフィスを通過するガスのもたらすエネルギー流変化に注目すると、パルス管内が高圧のとき圧力降下を伴ってバッファに等エンタルピー的に流入するからエントロピーが増加し、パルス管内が低圧のときも圧力降下を伴ってバッファから等エンタルピー的に流出するからエントロピーも増加する。すなわち振動が続く限りエントロピーが増大し続けるの

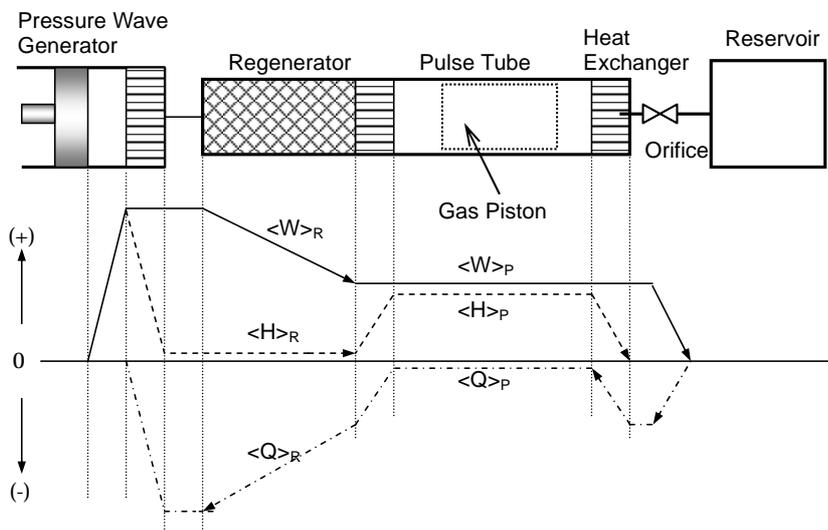


図4 オリフィス型パルス管冷凍機とそのエネルギー流

で、この部分で連続した仕事の吸収(あるいは消費)が行われていることになる。(ただしオリフィス内でのエンタルピー流はサイクル平均ではゼロである。)その結果、パルス管内を一定の仕事が通過していることになり、ガスピストンがあたかも膨張機のように作用して、パルス管と蓄冷器との接合部の温度が低下し、冷凍機として機能する。したがって、冷凍発生のメカニズムは基本型パルス管冷凍機とは全く異なり、むしろGMサイクルやスターリングサイクルの冷凍発生機構に似るものといえよう。

Mikulinらは作業気体に空気を使用していたために、その最低到達温度も100K程度であったが、

ヘリウムを使用すれば 60K 台が得られるであろうと予測していた。1986 年には、その予測どおり Radebough によって 60K が達成され、⁸⁾ その名もオリフィス型パルス管冷凍機と命名され、以来この種のパルス管冷凍機は低温の可動部が無いという特徴を合言葉に積極的な開発が世界中に広がった。特に冷凍発生の原理が Gifford による基本型パルス管冷凍機では必須であった surface heat pumping effect を必要としないので、臨界温度勾配の制限を受けなくなり、基本型パルス管冷凍機では到達し得なかった低温度に達成できた効果は大きい。

しかし、効率に関しては、以下の二つの点で問題が残された。その一つは、膨張仕事が全て熱に変換されるため、仕事として回収することができない。したがって、必要とされる冷凍温度の上昇と共に本質的な%カルノーが悪くなり、特に大容量の冷凍システムには適さない。他の一つは、より深刻な問題で、Stirling や GM サイクルの場合に比較して蓄冷器を通過するエンタルピー流が大きく、冷凍効率が悪い、あるいは大き目の蓄冷器を必要とする、という点である。この二つの問題点は、実は互いに関連しており、その理由を理解するには蓄冷器の基本的機能の説明を要する。

蓄冷器の特性

理想的な蓄冷器とは、無限大の比熱と無限大の熱伝達表面積とを限られた空間内に有しており、しかも流れの軸方向に無限小、径方向に無限大の熱伝導率を持っているような構造体をいう。したがって、例えば、蓄冷器の両端から流入するガス温度がそれぞれ 300K、30K で、蓄冷器が一定の温度勾配を保っていれば、300K で流入したガスは 30K で流出し、30K で流入したガスは 300K で流出する。つまり流れ方向の任意の位置でのガスは温度振動していないことになる。

一方、実際の蓄冷器で最もポピュラーなのは、円形に打ち抜いた目の細かい金網を薄肉ステンレス管に多数枚積層したものであり、当然、理想状態から遠く離れているので、ガスは温度振動し、その結果としてエンタルピーの流れが生じ、実質冷凍量を低減させる。ここで、エンタルピーの流れとは、流体の低圧比熱と温度と流量の積を 1 サイクル周積分した値で、前回<H>で示した。したがって与えられた蓄冷器の効率を向上させる、つまり<H>を減少させるためには流量を減少させるほか無いわけだが、一般に流量の減少は仕事量の減少にもつながる。そこで重要になるのは、いかにして単位流量あたりの仕事量を増大させるかにかかってくる。

前回の図 1 では理想的な蓄冷器を想定しているので蓄冷器内のエンタルピー流（以下エネルギー流の添え字_Rは蓄冷器内、_Pはパルス管内を表す）<H>_Rはゼロになっているが、図 4 のエネルギー流では蓄冷器の非効率を実質冷凍量の減少にどのようにかかわっているかを同時に示してある。まずパルス管内でのエネルギー流に注目すると、図 1 の基本型パルス管の場合と異なり、冷凍の元となる右向きの熱流<Q>_Pが全く無い。もしパルス管内壁が完全断熱ならば熱流は無く<Q>_P=0 であり、したがって<W>_P=<H>_Pであるが実際にはむしろわずかに左向きの<Q>_Pが存在している。にもかかわらず、図 1 の方式より更によく温度が下がる理由は、オリフィスによって吸収される仕事量が、パルス管壁を介しての直接的熱輸送量より著しく大きいからである。つまり、surface heat pumping effect は圧縮比の制限を受けるがオリフィス場合は低圧縮比でもオリフィス開度の調整で通過流量を制御し、仕事吸収量を増大させることが可能だからである。ここでオリフィスを通るエントロピー流がゼロで仕事流が減少するわけだからエントロピーが増大する。その増大したエントロピーは熱交換器内で熱として放出される。つまり仕事が熱に変換されたわけである。

一方実際の冷凍量は、図から明らかなように、パルス管を通過する<H>_Pから蓄冷器を通過する<H>_Rを差し引いたものになる。冷凍機に最低到達温度が存在するのは、入力が一固定ならば温度の低下と共に<H>_Pが減少し、同時に<H>_Rが増大し、最終的に冷凍量 Q は <H>_P - <H>_R = 0 となるからである。したがって少しでも最低到達温度を低減させれば、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、<H>_Rを減少させることが重要となる。

以上の検討結果から単位流量あたりの冷凍量を如何にして増大させるかが、パルス管冷凍機に関する新しい研究テーマとして浮上してきた。その結果第3世代のパルス管冷凍機が誕生するわけだが、ここで、その要因の一つとなる従来技術について述べておきたい。

図5はGMサイクルとSolvay（ソルベイ）サイクルとの基本構造である。図は1段膨張式の例であるが、いずれも2段膨張式にしてクライオポンプや超電導マグネット用冷凍機として実用に供されている。両者の相違点は、膨張ピストンの仕事吸収機構にあり、それぞれにいくつかのモディフィケーションがあるが、基本的にはGMでは図に示されている連結管があるため無仕事のディスプレイサとなっており、Solvayでは連結管がないため、仕事を吸収するピストンとなっている。この例は1871年にLongsworthによって提案された気体圧制御方式であるがパルス管冷凍機と比較してみると、固体のピストンを取り去り、そこに気体のピストンがあると思えば、これはオリフィス型パルス管冷凍機に他ならない。となるとGMから固体ピストンを取り去るとどうなるか。実はこれが第3世代のパルス管冷凍機への道を開いている。

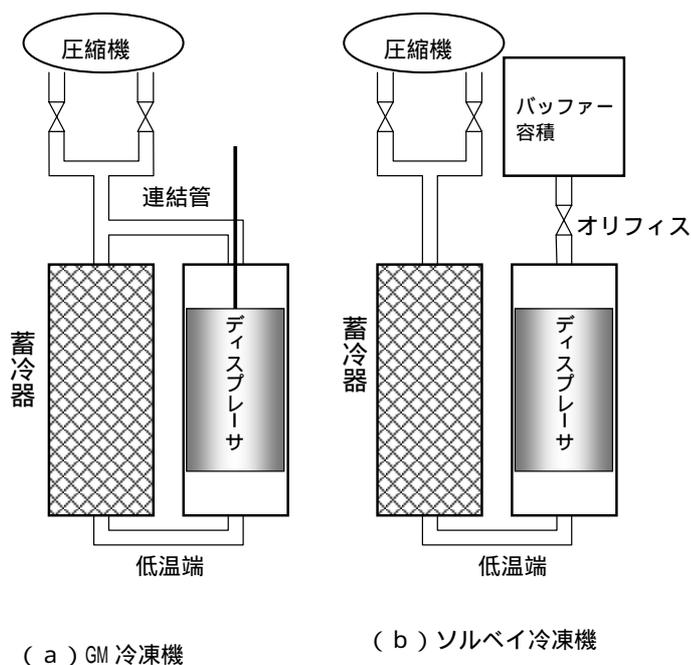


図5 GM冷凍機とSolvay冷凍機の概念図

参考文献

7) E. I. Mikulin, A.A. Tracov and P. Shkrebyonock: Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 29,(1984), pp.629-637.
8) R. Radebaugh, J. Zimmerman, D.R. Smith and B. Louie: Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 31,(1986), p.779.

読者の広場

Q&A

Q: 超電導フィルタはどのような構造になっているのでしょうか？

A: 世の中で最も研究開発が進んでいる超電導フィルタの構造として、平面回路型があげられます。これを例にして説明しますと、この型のフィルタでは、誘電体基板の片面、あるいは両面に酸化物高温超電導膜を堆積しフィルタ回路を構成します。フィルタ回路のパターンの形状・寸法は選択したい信号周波数などの条件や、設計の仕方によって多種多様なパターンが考えられます。

超電導に限らず、GHz帯などの無線でよく使用されるフィルタの用途として、ある周波数範囲の信号をフィルタ内を通過させ、範囲外の信号を遮断したい場合があります。これは、無線受信機(Radio)で、他の周波数の不要な干渉電波を退け、希望の周波数の受信電波だけを選択し受信したい場合などです。この場合、フィルタの構成要素として、高周波電磁場の共振器を複数配置し各共振器を電磁的に結合して連成して振動させる原理のフィルタがよく使用されています。受信機の電波周波数選択で用いられる帯域通過(バンドパス)型では、共振器(共振回路)を適当な結合で多数並べていくと、理想的な条件では選択性を向上できますが、実際には、共振回路を構成する導体、誘電体基板などの材料による信号のエネルギー損失の割合が増し、希望信号の通過量が小さくなり使いものにならなくなります。この指標としてQ値という量が使われますが、エネルギー損失(散逸)が少ないほどQ値が高くなり、フィルタの性能を向上できることになります。

ここで、無線でよく使用されるマイクロ波帯では金、銀、銅など比抵抗が小さい常電導体に比べても、桁違いに導体のエネルギー損失の割合(この損失の評価に高周波では、表面抵抗 R_s (が増すと R_s も増加)という量がよく使われる)を小さくできる材料としてYBCOなどの酸化物高温超電導体(HTS)があげられます。結晶性がよい高品質な酸化物高温超電導体ができることで、冷却温度が数十K程度の冷凍機で超電導フィルタの動作ができるようになり、多くの電波が使用される環境において、無線受信機の高性能化の大事な要素である、希望周波数の信号に対し周波数選択性に極めて優れ且つ低い通過損失のフィルタが可能となりました。

なお上述の共振回路は、集中定数近似の線形回路として考えた場合、抵抗成分がなくインダクタンス(L [H])とキャパシタンス(C [F])からなる理想的な並列または直列の共振回路では、よく周知の通り、その共振周波数 $f(\text{Hz})$ は $1/(2\pi\sqrt{LC})$ で表せます。また分布定数近似では、例えば、誘電体中に導体パターンを設ける場合、およそ1/2波長の共振を起こすように共振器を構成することができます。

上述の帯域通過型フィルタでは、これらの共振回路の励起をフィルタの入力から電気信号で行い、出力側から連成振動の様子を電気信号として取り出すことができます。各共振器は、固有の共振周波数を持つことを利用しこの共振周波数付近の信号を通過させるようにできます。ここで固有振動が同じか近い共振器を用意した場合、連成振動における個々の共振器の振動数は影響しあい、一般に結合の仕方、条件により、相互に少しずらすことができますが、この具合をパターン形状、各部寸法、材料など調整して設計、作製することで、フィルタとしてみると共振周波数付近のある範囲の周波数を通しやすい、即ち帯域通過型フィルタを構成することが出来ます。

回答者：株式会社 富士通研究所

材料・環境技術研究所 無機・高分子材料研究部

主任研究員 山中一典

[超電導 Web21 トップページ](#)