

掲載内容（サマリー）：

トピックス：

- 超電導技術動向報告会 2012 開催報告
- イットリウム系高温超電導モータで実用化に大きく前進
ー特殊形状の実用規模大型コイルの実証に世界で初めて成功ー
産業用超電導線材・機器技術研究組合は、「『イットリウム系超電導回転機用電磁石の開発（NEDO 希少金属代替・削減技術実用化開発助成事業）』において、世界で初めて 500kW 級超電導モータ向けの特殊形状(平笠型)大型コイルの実証ー3 T、150 MPa の電磁応力に耐えるーに成功した。」という内容でプレス発表を行いました。詳細は、[リンク先](http://www.istec.or.jp/topics/pdf/press-20120427.pdf) (<http://www.istec.or.jp/topics/pdf/press-20120427.pdf>) をご参照下さい。

特集：冷凍・冷熱技術

- 超電導電力機器の冷凍・冷却技術の進展
- 磁気冷凍技術の現状
- 低熱侵入多段（ガス冷却）電流リード
- 超電導機器用低熱侵入ペルチェ電流リードの開発

- 超電導関連 2012 年 6-7 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（4/20-5/19）
- 超電導速報ー世界の動き（2012 年 4 月）
- 「未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会シンポジウム」報告
- 「2012 Materials Research Society (MRS) Spring Meeting」報告
- 「ICSM (International Conference on Superconductivity and Magnetism) 2012」報告
- 隔月連載記事ー超電導磁石開発のこれまでとこれから（その 3） -（都合により 7 月号にて掲載します）
- 読者の広場(Q&A)ーモット転移の本質が明らかに」という新聞記事がありました。どのような技術により可能になったのでしょうか。また、どのような応用が期待されるのでしょうか？

超電導 Web21

〈発行者〉

公益財団法人 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) 3536-5717

超電導 Web21 トップページ：<http://www.istec.or.jp/web21/web21.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 2012 開催報告」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
普及啓発部
部長 宮崎 智

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) は、2012 年 5 月 21 日 (月) 9:30~17:00、都市センターホテル (東京都千代田区平河町 2-4-1) で超電導技術動向報告会 2012 を開催しました。

本報告会は ISTEC が受託し進めているイットリウム系超電導電力機器技術開発を始めとした各種プロジェクトの成果について報告すると共に、超電導技術に関連した研究開発を進めている企業・大学・研究機関から最新のトピックスについて報告いただき、超電導技術の産業化への展望や研究開発の方向性等を討議する機会として、財団法人 JKA から競輪の補助金を受けて開催しております。



報告会は、ISTEC 清川寛 専務理事の開会挨拶で始まり、そして経済産業省 産業技術環境局 福島洋 研究開発課長、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 佐藤嘉晃 省エネルギー部部長から来賓祝辞を頂きました。その後、11 の講演 (午前に 5 つ、午後に 6 つ) が行われ、本年は YBCO 系高温超電導体の発見から 25 年目の年であるため、報告会のテーマを「YBCO 発見 25 周年 超電導の更なる展開」とし、これらの講演においては YBCO 系高温超電導体に係わる歴史や動向についても触れられました。

講演内容の詳細につきましては、本誌次号 (7 月号) において、講演者自身による執筆記事にてご紹介させて頂く予定です。



講演内容について、簡単にご紹介させて頂きますと、基調講演は、ISTEC/SRL 塩原所長が「期待されるイットリウム系線材の実用化とその応用」と題して、共通基盤技術の一つとされる超電導線材技術に係わる研究開発動向や、風力発電機及び医療用重粒子線加速器への適用等について報告しました。

また、住友電気工業株式会社 佐藤フェローが「JST/S イノベにおける超電導システムの開発」と題して、プログラムオフィサーとして推進される研究開発（超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出）について、プログラムの特徴や構成する研究開発テーマの実施体制、成果や今後等について報告しました。

更に、九州大学 木須教授が「第三世代線材への期待」と題して、日立製作所 神鳥主管研究員が「超電導磁気センサ（SQUID）を用いた医療計測応用」と題して、明星大学 仁田教授が「超電導電力機器への期待」と題して、鉄道総合技術研究所 富田室長が「次世代鉄道システムへの超電導応用」と題して、応用科学研究所 長村特別研究員が「超電導線の通則に関する国際標準化の進捗と今後の超電導関連標準化」と題して、報告をしました。ISTEC/SRL からは、田辺副所長が「鉄系超電導材料の研究動向」と題して、和泉部長（線材研究開発部）が「線材開発の現状と今後」と題して、大熊部長（電力機器研究開発部）が「イットリウム系超電導電力機器技術開発の状況と今後について」と題して、日高室長（デバイス研究開発部 低温デバイス開発室）が「多素子化で広がる超電導検出器の世界」と題して、報告しました。

報告会は ISTEC 近藤亮平 常務理事の閉会挨拶を持って終了しました。

本年の報告会は約 140 名の方々から参加を頂き、この場を借りて御礼申し上げます。

ISTEC は、今後も超電導技術の産業化の推進の一助となるよう本報告会を企画、開催して参ります。引き続きご指導、ご協力を賜りますようお願いいたします。

尚、次回開催は会場を変更し、2013 年 5 月 20 日（月）にタワーホール船堀（東京都江戸川区船堀 4-1-1）での開催を予定しております。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍・冷熱技術 「超電導電力機器の冷凍・冷却技術の進展」

大陽日酸株式会社

開発エンジニアリング本部 つくば研究所 超電導プロジェクト

奈良範久

超電導技術は次世代の省エネルギー電力技術の切り札として位置付けられている。高温超電導電力機器が実用化研究の段階に入り、冷凍機の開発も実用化に向け加速している。高温超電導電力機器用の冷凍機では、①超電導維持に必要な冷却温度と冷却能力、②長期連続運転が可能な高い信頼性、③運転時の冷却効率（省ランニングコスト）、④コンパクト化（設置の省スペース化）、⑤設備コストの低減などの項目が求められている。

現在、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使用温度域は 40 K から 80 K で、冷凍能力は 80 K 運転で 2 kW から 10 kW くらい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 80 K 運転で 1 kW 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、深冷空気分離装置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、冷凍能力の面であまりにも過大である。そこで高温超電導電力機器冷却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ネオン冷凍機が 2007 年に試作された。

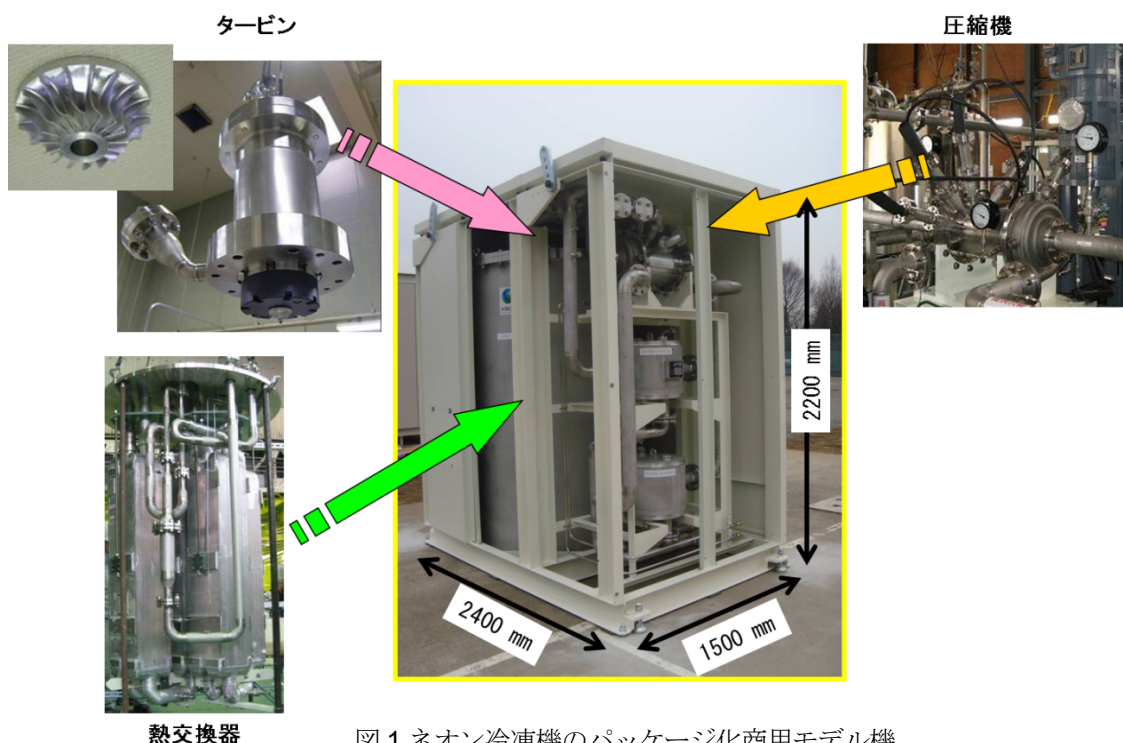


図 1 ネオン冷凍機のパッケージ化商用モデル機

その後、冷凍機の主要機器であるターボ圧縮機の新開発、膨張タービンの改良改善や冷凍機のプロセス検討を行い、冷凍能力は 65 K 運転で 2.2 kW が得られた。また、磁気軸受の採用により圧縮機及び膨張タービンは摺動部を有しないため、メンテナンスフリーの冷凍機が実現できる。さら

に、ターボ圧縮機の回転数調整を利用した冷凍能力可変運転を実施し、実用 HTS 機器冷却時における熱負荷変動への対応検討を開始した。冷却温度 60 K から 80 K において、圧縮機回転数を変更した際の冷凍機の冷凍能力測定を行い、圧縮機回転速度と冷凍能力の相関や圧縮機の挙動等のデータを得た。特に冷却温度 65 K での運転では回転数調整により定格の 2 kW から 0.5 kW までの冷凍容量調整が可能であることを確認した。今後、容量調整の可能な範囲や回転数の自動制御方法などについて検討と確認を行う。また、小型ターボ圧縮機の採用は既存レシプロ型やスクリ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、高温超電導電力機器冷却用冷凍機に要求されるコンパクト化が達成される。図 1 は商用イメージのモデル機として、省スペース化を優先してパッケージ化したネオン冷凍機である。

今後の高温超電導機器の冷却システムの実用化において、開発した冷凍機の冷熱をどのように取り出し、被冷却体である高温超電導電力機器（変圧器）に伝えるかなど冷却システム全体の研究が重要である。そのため、サブクール液体窒素を生成・維持するために冷媒ネオンガスにより液体窒素を冷却する熱交換器（サブクール熱交換器）の検討を開始した。低温ネオンガスのエンタルピーを最大限利用できるよう、熱交換器内のフローや構造（形式）などの各種検討の結果、70 K から 67 K までのサブクール液体窒素の冷却において、ネオンガスのエンタルピーが 69 K まで利用可能な高効率な熱交換器を設計製作した。今後、冷凍機単体試運転を行い、サブクールシステムおよび変圧器用クライオスタットを含めた事前運転を経て、HTS 変圧器との総合評価試験を行う予定である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍・冷熱技術 「磁気冷凍技術の現状」

中部電力株式会社

電力技術研究所 超電導プロジェクト

研究副主査 玉田 勉

磁気冷凍とは、気体の圧縮や膨張による冷凍サイクルで冷熱を作り出すのとは異なり、ある種の磁性材料（以下「磁気作業物質」という。）に磁界を印加すると発熱し、磁界を取り除くと吸熱することで冷熱を作り出す冷凍サイクルです。図 1 に気体冷凍と磁気冷凍による冷凍サイクルの比較を示します。

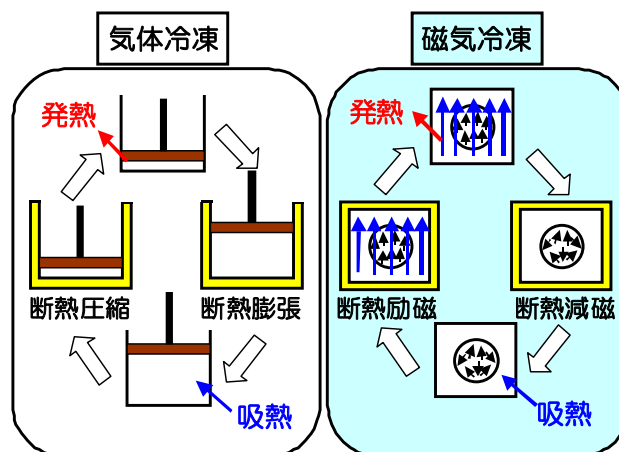


図 1 冷凍サイクルの比較

気体冷凍は冷媒ガスの圧縮・膨張を伴うため、効率を上げるのに限界があるのに比べ、磁気冷凍は固体である磁気作業物質の温度変化を利用するため、理論効率に近い運転実現の可能性があり、省エネ効果が期待されています。さらにはフロンや代替フロンを使わないことから、オゾン層破壊や地球温暖化に寄与しない環境にやさしい技術です。

磁気冷凍は、従来 4 K 以下の極低温温度を作り出すことのできる技術として知られていましたが、水素社会を目指した 20 K 温度を実現する冷凍システムのひとつとして期待されており、国内では NEDO プロジェクトの水素製造・輸送・貯蔵システム等の技術開発において物質・材料研究機構や金沢大学が開発を進めています。また、磁気冷凍技術は、従来磁気作業物質の特性から単体では大きな温度差は得られないものの、大きな冷凍能力を有する特徴を生かして、クライオスタット等の冷却システムに有望であると言われてきましたが、異なる磁気作業物質を組み合わせたシステムにすることで、一般空調のような大きな温度差を持つ冷却システムにも適用可能です。

そこで中部電力では、省エネ効果が期待される磁気冷凍技術を幅広い用途に使えるよう、JST や NEDO プロジェクトに参画し、異なる磁気作業物質を組み合わせ、大きな温度差を得ることができる高効率なシステムの開発を進めています。開発要素として、冷却温度に応じて高い熱量効果が得られる磁気作業物質の材料探査と、磁気作業物質の温度変化を効率よく取り込む装置の開発を行っています。これらを実現することで、低炭素社会実現に向けた電気自動車の普及拡大に不可欠となる高効率のカーエアコンや、鉄道車両内の空調、業務用冷凍空調設備、自動販売機などへの適用も可能となります（図 2）。

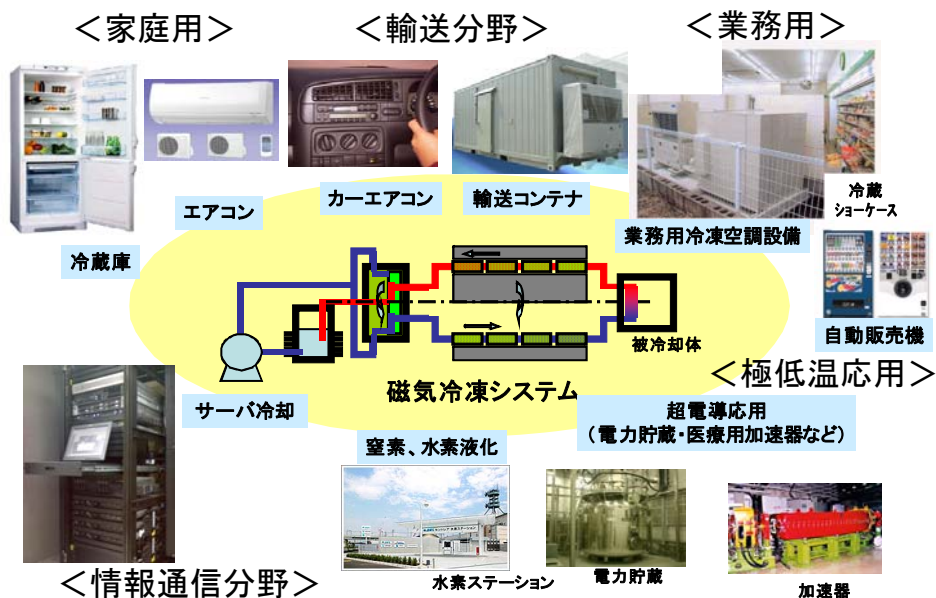


図 2 磁気冷凍の普及が期待される適用先

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍・冷熱技術 「低熱侵入多段（ガス冷却）電流リード」

中部大学
超伝導・持続可能エネルギー研究センター
教授 山口作太郎

1. はじめに

超伝導マグネットでは損失となる低温への 90 % 近い熱負荷が電流リードからの熱侵入である。また、超伝導送電システムでは、距離が 2 km 程度までであれば、大部分の損失は端末での熱侵入である。また、電流値が大きいと端末での熱侵入量は電流に比例して大きくなるので、低電圧大電流の機器は端末での熱侵入が大きい。したがって、ここでの熱侵入を減少させることができれば、超伝導システムの経済性は飛躍的に向上する。しかし、もしこれを材料特性で達成しようとするれば、電流は通すが熱は通さない材料が必要になり、物理特性として矛盾した要請であることはすぐに分かる。山口等はこの問題に対して、ペルチェ材料を用いて熱侵入量を低減する研究開発を中部大学に移籍した後に実験的研究を始めた。これはペルチェ効果を利用して断熱を行う方式であり、上記の物理的に矛盾した要請を満足し、電流当たりの熱侵入量は半分程度になった。

2. 多段電流リード

では、それ以外に電流リードからの熱侵入量を低減する方法は無いのであろうか？これが本研究の課題である。最終的な目的は冷凍機が消費する電力が削減できればよいので、冷凍機の COP 向上でも端末での熱侵入を実質的に下げることができる。図 1 に銅を使った電流リード（電流は 100 A で 300 K と 77 K の温度差をつないでいる）の単位電流当たりの熱流束をプロットした。銅リード部が発熱し、熱は低温側に流れていくため、熱流束は低温側で大きくなる。銅は低温になるにつれて抵抗率が下がるため、このグラフは温度が高い時に急激に上昇し、温度が低くなると上昇率が減少する。

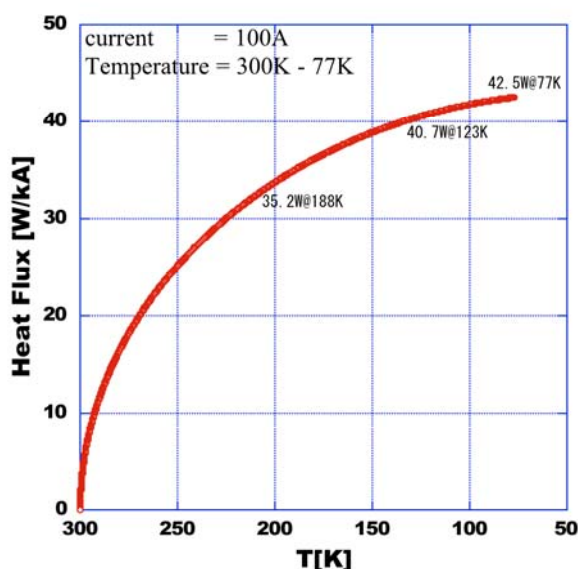


図 1 最適設計を行った電流リードの熱流束と温度の関係

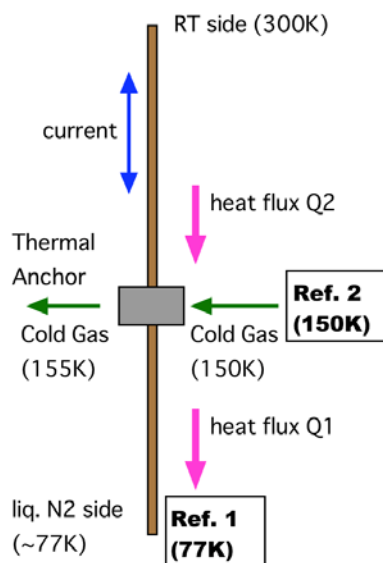


図 2 多段電流リードの基本構造

一方、図 2 に示すように電流リードの途中を別の冷凍機で冷却することによって温度定点を取る。すると、温度定点以下の熱流束は 77 K での冷凍機で吸収され、温度定点までの熱流束は、温度定点を保つための冷凍機で吸収される。この 2 つの熱流束の和は一定であるが、冷凍機は到達温度が高くなると COP が向上する。このため、2 つの冷凍機が消費する電力の和は 77 K 冷凍機一台の時に比べて減少する。77 K 冷凍機と 188 K の温度定点を保つ冷凍機の COP をそれぞれ 0.1 及び 0.4 とする。すると、100 A の電流に対して、77 K 冷凍機のみでの電力消費量は、 $42.5/0.1=425$ [W] となる。一方、2 つの冷凍機を利用した場合の合計消費電力は、 $35.2/0.4 + (42.5 - 35.2)/0.1 = 161$ [W] となり、消費電力は元の 37.9 % となり、60 % 以上の減少となる。

3. 多段ガス冷却電流リード

電流リードからの熱侵入量を低減する方法の一つにガス冷却電流リードと呼ばれる方法がある。これは超電導マグネットなどを冷却する冷媒が熱侵入によって気化し、この低温ガスを電流リードを通して常温側に導く方法である。すると、低温ガスは電流リードと熱交換をして、熱を常温側に輸送するため、電流リードからの熱侵入量が低減できるのである。したがって、この方法を適用することは自然な流れである。

図 3 に一つの冷凍機の冷凍サイクルを示す。低温で熱交換を行った後に出てくるガスはまだ低温であるが、それが圧縮機に入る。圧縮機は常温以上であるため、冷たい低压ガスの温度が上昇してしまい、損失となる。

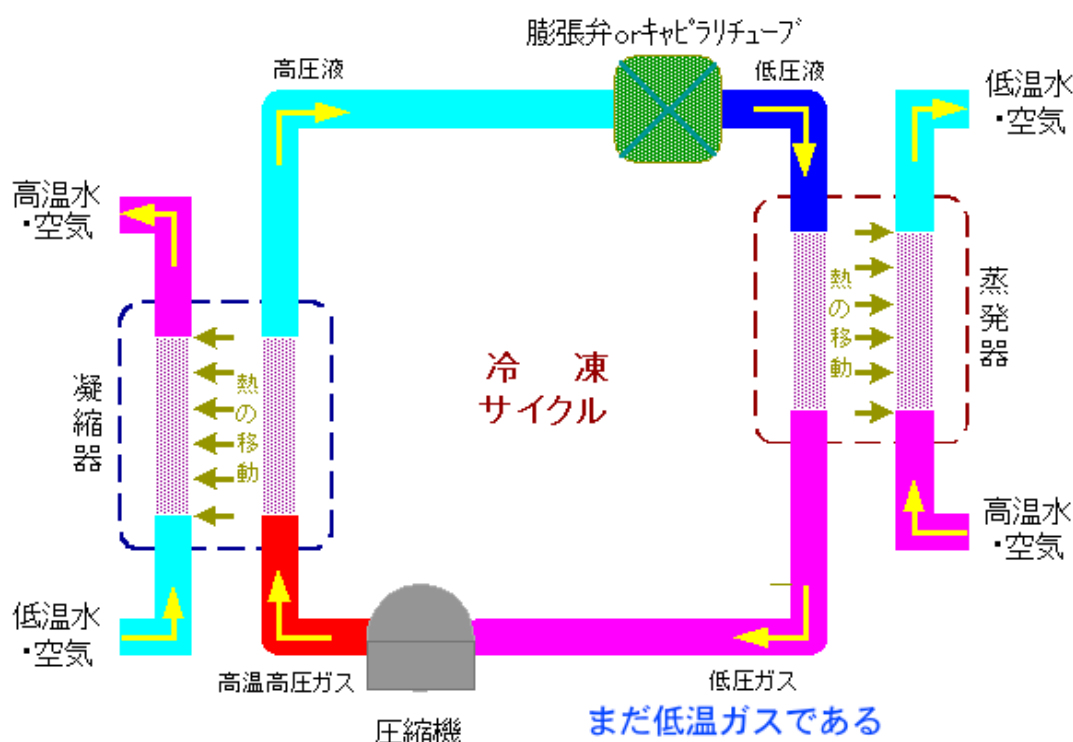


図 3 冷凍機の冷凍サイクル

そこで、図 4 に示すような構造の電流リードを想定する。つまり、冷凍サイクルの冷媒循環に電流リードを組み込むのである。すると、図 3 におけるような低温ガスが圧縮機温度が上がることで発生する損失はなくなる。

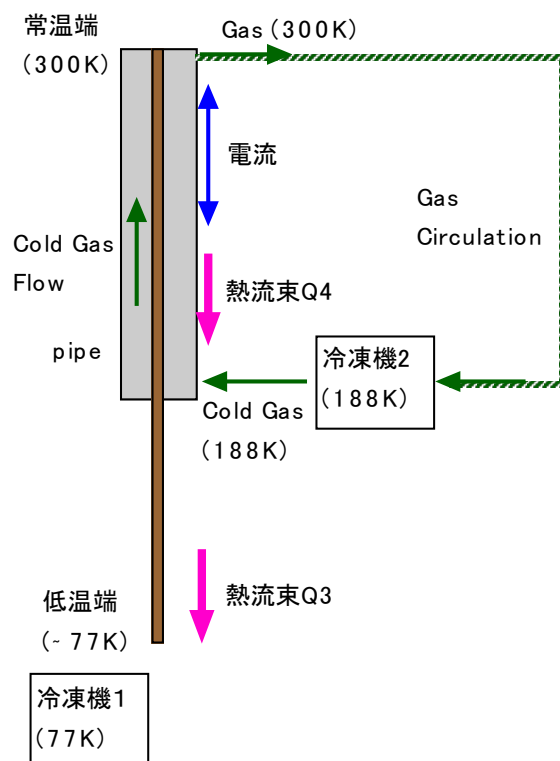


図 4 多段ガス冷却電流リードの原理図

このような構成が取ることができると、2つの冷凍機の消費電力は合計で 118.1 [W]となり、当初の消費電力の 27.8 %となり、実効的な熱侵入量は大きく減少する。

このような構成には色々なアイデアがあり、またペルチェ電流リードとは原理が異なるので、組み合わせも原理的に可能となり、電流リードからの熱侵入量は研究の進展によって大きく減少するであろう。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：冷凍・冷熱技術 「超電導機器用低熱侵入ペルチェ電流リードの開発」

昭和電線ケーブルシステム株式会社
技術開発センター 新エネルギー技術開発グループ
箕輪昌啓

極低温で稼働する超電導応用機器を経済的に稼働させるためには、機器の冷却コストを低く抑えることが必須となる。この為により効率の良い冷凍機の開発や断熱性能に優れた低温容器の開発が進められている。また、通常室温にある電力の供給部と極低温下にある機器を電気的に接続する導体部分からの熱侵入低減は導体サイズが大きくなるほど重要な課題となる。

超電導機器用の電流リードは超電導応用機器に設置され、電源（室温）から超電導機器（極低温）に電力を供給する機能を担っている。導体には通常導電率の大きな銅などの金属材料が用いられるが、一般的に導電率の大きな材料は熱伝導率も大きいため機器の通電容量が大きくなるほど熱侵入量も大きくなってしまいう問題がある。そこで、電流リードには大電流容量と低熱侵入量という相反する性能をより高いレベルで両立させることが求められる。

この課題に対するひとつの答えが導体に高温超電導体を用いた超電導電流リードである。10 K 以下で稼働するような超電導機器では電流リードの設置箇所が多くなる場合 70 K 以下となるため、電流リードの導体に Bi 系の高温超電導体を用いることができる。Bi 系の高温超電導体は金属の複合酸化物であることから、銅よりも熱伝導率が非常に小さく伝熱による熱侵入を低減できる。また、稼働時には大電流をジュール発熱ゼロで通電可能であり、超電導機器用の電流リードとして理想的な性能を有している。近年では更なる大容量化を目指し Y 系の線材を利用した電流リードも開発されてきている。

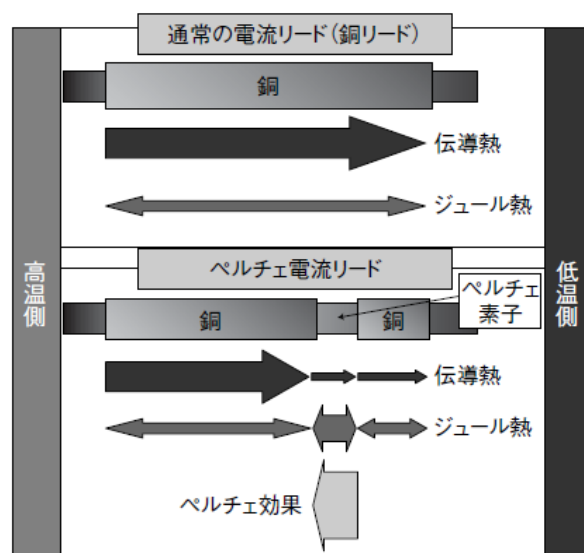


図1 PCLの概略構成²⁾

しかし、Y系線材を利用した超電導ケーブルなど、高温超電導材料を用いた応用製品では電流リード設置箇所温度はより室温に近くなることから、首記の超電導電流リードを用いることができない。この課題を解決するために開発されたのがペルチェ電流リード（PCL）である¹⁾。PCLの通電

部はペルチェ素子を銅導体で挟み込んだ構造となっている。ペルチェ素子は熱伝導率が銅導体よりも小さいことから伝熱による熱侵入を小さくすることができる。また、通電時には銅導体よりもジュール熱は多く発生するが、ペルチェ効果により低温側から高温側に熱を汲み上げることで、低温側への熱侵入量を低減することが可能である。図 1 に PCL の概略構成を示す²⁾。

2009 年より昭和電線では中部大学との共同研究により PCL の大容量化に取り組み、大学内に敷設された 200 m 超電導直流送電実証試験装置 (CASER-2) において、PCL の性能を検証してきた³⁾。CASER-2 では正極側、負極側それぞれに 23 本の PCL と比較用に数本の銅リードが実装された。PCL と銅リードの温度分布測定結果を図 2 に示す³⁾。PCL ではペルチェ素子両端に大きな温度差が付いていることが確認された。これにより、ペルチェ素子より低温側の電極では銅リードよりも温度勾配が小さくなり、低温部への熱侵入が減少していることが確認された。この時の電流リード 1 本あたりの熱侵入量は銅リードが 4.3 W であったのに対し PCL では 3.6 W であった²⁾。また、通電時の電気抵抗率の実測値から求められた熱侵入量は約 32 W/kA と十分に低い値が得られた²⁾。

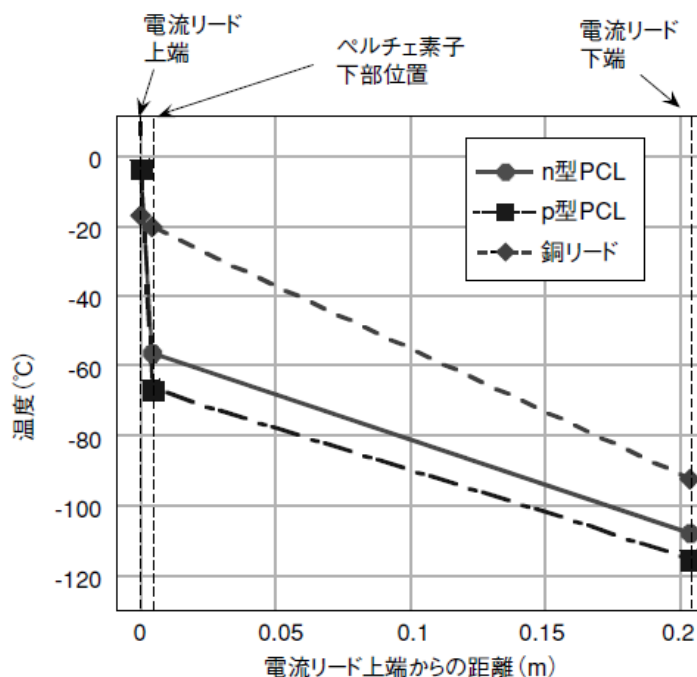


図 2 非通電時における電流リード上の温度分布

CASER-2 での評価結果により 100 A 級 PCL の原理検証を行うことができたが、PCL の実用化に際しては適用する機器の容量に応じた通電容量の向上が必須である。そこで、素子形状や配列、接続方法の最適化により 200 A 用の PCL を試作し、通電性能を評価した結果を図 3 に示す。素子低温側の温度はペルチェ効果により通電量が大きくなると徐々に低くなる。200 A 用の PCL では低温側温度が最低となる電流値がより高電流側にシフトしており 200 A 用の PCL として有効に機能することを確認できた⁴⁾。この結果を踏まえ今後は 1 kA 以上の通電容量を有する PCL を開発する予定である。

超電導応用機器の高出力化や大規模化が進むにつれ、電力供給部からの熱侵入低減は経済性を確保する上で大きな課題になっていくものと思われる。PCL はこの問題を解決できる重要な部品のひとつであると考えられる。将来的には PCL と絶縁技術を組み合わせることにより、超電導ケーブルや機器用の高性能、かつ、コンパクトな電力端末部品として製品開発を推進していきたい。

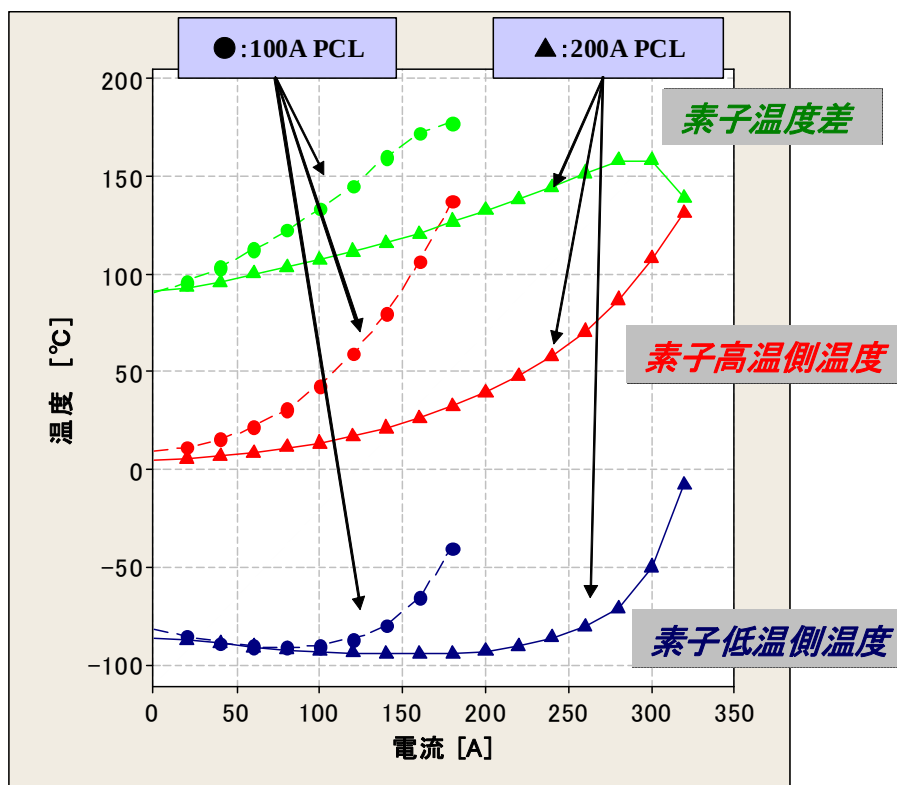


図3 PCL 通电試験結果

参考文献：

1. S. Yamaguchi *et al.* : Proc. ICEC16/ICMC, p.1159 (1997)
2. 引地康雄, 他 : 昭和電線レビュー, Vol. 59 No.1, p.12 (2012)
3. 河原敏男, 他 : 第 83 回 2010 年度秋季低温工学・超電導学会 講演梗概集, p.55 (2010)
4. H, Sugane *et al.* : ICEC24-ICMC2012, 15P-P07-05 (2012)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 ‘12/6 月-7 月の催し物案内

6/6

低温工学・超電導学会

第 1 回超電導応用研究会「JAXA における衛星搭載超電導技術の進展と将来展望」

場所：JAXA, 相模原キャンパス

問合せ：http://www.csj.or.jp/application/2012/1st_0606.pdf

6/29

低温工学・超電導学会

第 1 回材料研究会「MgB₂ 超電導体における材料化研究開発の現状と今後の展開」

場所：東京大学浅野キャンパス

問合せ：http://www.csj.or.jp/materials/2012/1st_0629.pdf

7/9-12

IOP Institute of Physics

Superconductivity Summer School 212

場所：Wolfson College, Oxford, UK

問合せ：

https://www.eventsforce.net/iop/frontend/reg/tOtherPage.csp?pageID=85597&ef_sel_menu=2318&eventID=222&eventID=222

7/19

電子情報通信学会

超伝導エレクトロニクス研究会「信号処理基盤技術及びその応用、一般」

場所：機械振興会館

問合せ：<http://www.ieice.org/es/sce/jpn/>

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (4/20-5/19)

- 「リニア駅は新大阪」合意 府市と関西経済団体 早期着工を優先 毎日新聞 4/21
- 100 戸に次世代送電網 会津若松市と地元 VB など 日経産業新聞 4/23
- 磁束が超電導細線透過 新構造の量子ビット作成 理研・NEC 日刊工業新聞 4/24
- WTO で中国と協議 日米欧、レアアース問題で 日本経済新聞 4/26
- 風力発電に翻弄される東独の送電系統運用者 電気新聞 4/26
- 日欧の核融合原型炉 設計活動順調に進捗 スパコンで概念案提示へ 電気新聞 4/26
- 再生エネ参入促進に軸足 買い取り価格、企業の要望くむ 家計負担と両立課題 日本経済新聞 4/26
- 商機到来、じわり始動 再生可能エネ価格決定 普及へ規制緩和不可欠 日刊工業新聞 4/27
- 6 月にも中国提訴 レアアース問題 日本、WTO に 朝日新聞 4/28
- カザフからレアアース 脱中国狙い開発合意へ 朝日新聞 4/29
- 体積 6 倍の超電導コイル 富士電機九大など 産業用モーター向け 日刊工業新聞 4/30
- インド産レアアース輸入 日本需要の 1 割、8 月から 日本経済新聞 5/01
- レアアース インドから 年間 4 千トン輸入に合意 朝日新聞 5/01
- 富士電機など Y 系超電導モーター用 大型コイルの実証成功 電気新聞 5/02
- 脱・中国依存官民で急ぐ レアアース調達先拡大 カザフと共同開発 日本経済新聞 5/02
- 深海レアメタル探査 重力検知 まず駿河湾で実験 東大など 日本経済新聞 5/06
- レアアース半減の車用磁石 大同特殊鋼、生産を倍増 中国・蘇州工場の設備増強 日経産業新聞 5/08
- JR 東、鉄道に次世代電力網 日刊工業新聞 5/09
- 米での次世代網実証始動 NEDO スペイン、13 年度から 電気新聞 5/10
- 超電導技術を駆使 イットリウム系高温超電導線材を使った、実用規模の大型コイルを世界で初めて開発できた 日刊工業新聞 5/10
- 次世代送電網 米で試験 既存系統に自然エネ追加 NEDO と東芝など 9 社参加 日経産業新聞 5/11
- 中国の風力発電に参入 シンガポール政府系セムコープ 日経産業新聞 5/14
- 超電導で水素効率移送 NEDO 九大 世界初試験に成功 電気新聞 5/11
- 磁石のミクロな運動 超伝導体で高精度測定 原子力機構と理研が共同 科学新聞 5/11
- 超電導ケーブルで送電 住友電工など 11 月に実証実験 日本経済新聞 5/15
- リニア新幹線 延伸工事着々 朝日新聞 5/15
- 電磁力 2000 メガパスカルに対応 中部電が超電導コイル 日刊工業新聞 5/15
- レアアース問題、日米欧と協議中 Fuji Sankei Business i. 5/17
- 超電導 送電ロス削減、蓄電も 実用化へ日本が先陣 日経産業新聞 5/18

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（2012 年 4 月）

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所

特別研究員 山田 穰



★ 記事のニュース発信地

加速器

CERN（2012 年 4 月 5 日）

欧州合同原子核研究所（CERN）は、LHC（大型ハドロン衝突型加速器）実験のデータ収集が 2012 年に初めて再開したことを発表した。"安定した"2 本の陽子ビーム（ビームあたり 4 TeV）が、LHC の 4 つの相互作用点で衝突し、世界新記録となる 8 TeV の衝突エネルギーを発生させた。この記録の達成により、本加速器の発見能力を大きく高めることができる。この衝突エネルギーの増加は比較的緩やかであるが、超対称性粒子またはスタンダードモデルのヒッグス粒子で予測されているような特定の仮想粒子にとっては、潜在的発見能力が数倍も高められる。LHC は、2014 年後半に計画しているビームあたり 6.5 TeV のエネルギーレベルでの作動に向けて長期の準備期間に入るため、2012 年度末にはその作動を停止する予定である。

（出典）

"LHC physics data taking gets underway at new record collision energy of 8 TeV"

CERN press release (April 5, 2012)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2012/PR10.12E.html>

Contact: CERN press office, Email: press.office@cern.ch

物性、デバイス

University of Cambridge (2012 年 4 月 5 日)

Cambridge 大学 Cavendish 研究所の科学者たちは、世界で初めて光を使用して量子トンネル効果を制御した。Jeremy Baumberg 教授は、「電子に壁のすり抜け方のコツを教えるには、電子を光と結婚させることである。」と説明し、研究員である Peter Cristofolini 氏は、「この結婚で生まれた子孫は、実際には光と物質の両方で作られた新しい不可分粒子であり、スラブ状になった半導体の壁を自由自在にすり抜けて消える。」と説明を続けた。これら新しい粒子は"ディポラリトン"と名付けられ、その特徴の 1 つは、棒磁石のようにその形を一定の方向に伸ばし、非常に強力な力で粒子同士の間を作用するということである。超電導体や超流動体に相当する、すなわち損失なしで半導体の中を動く凝縮物の形成に取り組む半導体物理学者たちは、この強力に相互作用した粒子にかなりの関心を集めている。当グループの研究結果は Science に掲載されている。

(出典)

"Controlling quantum tunneling with light"

University of Cambridge press release (April 5, 2012)

<http://www.cam.ac.uk/research/news/controlling-quantum-tunnelling-with-light/>

Contact: Gabriel Christmann, Email: gprmc2@cam.ac.uk

線材

AMSC (2012 年 4 月 10 日)

AMSC 社は、Sinovel Wind Group 社と Dalian Guotong Electric 社を相手取った民事訴訟において、海南高等裁判所が海南省第 1 中級人民裁判所を支持し訴訟却下命令を下したことに對し、中国最高人民裁判所に控訴を提起した。AMSC 社は Sinovel 社に対して現在 4 つの法的措置を提起しており、問題となるこの訴訟はその中でも最も小規模なものである。AMSC 社は、Sinovel 社側の契約違反に伴う契約済み製品出荷費並びにその従業員による知的財産窃盗の損害賠償として合わせて 12 億ドル以上の回収を要求している。なお、問題となる現訴訟には著作権侵害訴訟も含まれており、AMSC 社は排除措置命令と合わせて総額約 20 万ドルの損害賠償を要求している。AMSC 社が最高人民裁判所へ上訴したのは、契約上の問題というよりはむしろ著作権侵害の論争がその理論的根拠であり、それゆえ訴訟は民事裁判所のシステムに従属するのが相当である。その上、同じような訴訟であるソフトウェア著作権侵害論争では、北京第 1 中級裁判所は、Sinovel 社側の訴訟却下要求を否定する判決を下しており、これは現訴訟で Sinovel 社が申し立てている管轄区域反対の根拠が、実質的にも法的にも不十分で認められないことを示している。最終的に、Guotong 社に対する訴訟については、AMSC 社と Guotong 社間の契約関係の欠如にもかかわらず取り下げられ、調停を通してその論争を解決することは不可能となった。AMSC 社の副社長兼顧問である John Powell 氏は、「我々は、北京第 1 中級人民裁判所の判決を称賛し、海南裁判所は矛盾した不適切な判決を下したと堅く信じ失望している。今回の訴訟で、金銭的な面ではたいした損傷は受けなかったものの、このケースはグローバルにおいて重要な課題であり、中国の法廷を通しこれからも正義を追求しつづけるつもりである。」と述べた。

(出典)

"AMSC Submits Appeal to China's Supreme People's Court"

AMSC press release (April 10, 2012)

<http://ir.ams.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=662919>

Contact: Jason Fredette, Email: jason.fredette@ams.com

線材

Superconductor Technologies Inc. (2012 年 4 月 11 日)

Superconductor Technologies 社 (STI) は、ナスダック上場審査部から、同社の普通株式の入札価格が 30 営業日連続して 1.00 ドルを下回ったため、ナスダックの最低入札価格規定を満たしていないという通知を受け取った。この時点では、この通知による同社普通株式の上場には影響はない。同社には、猶予期間として 2012 年 10 月 2 日までの 180 日間が提供されるが、コンプライアンスを取り戻すには、猶予期間中少なくとも 10 日連続で普通株式の入札価格が終値 1.00 ドルもしくはそれ以上であることが要求される。今回のコンプライアンス回復に失敗しても、追加としてもう一度 180 日間の猶予期間が同社に与えられる可能性はまだあるかもしれない。同社は、普通株式最終入札価格を監視する計画を立てており、必要に応じて、コンプライアンス回復に可能なオプションの実行に向けて検討する動きもある。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Receives NASDAQ Bid Price Deficiency Letter”

Superconductor Technologies Inc. press release (April 11, 2012)

物性

Carnegie Institution (2012 年 4 月 12 日)

Carnegie 研究所の科学者たちは、新しい静的圧縮技術の開発に成功した。これにより、12 K から室温程度という温度範囲であれば、今まで達成することのなかった圧力 (300 ギガパスカル、すなわち通常の大気圧の約 3 百万倍) の下で、水素が観察できるようになる。高圧下において水素は金属に変換すると推測され、決して凍ることのない超電導体または超流動体になる可能性さえある。もしそうであれば、これは完全に新奇な物質の状態を表すことになる。同研究グループは、非常に高い圧力まで水素の分子状態が安定したままであったことを発見し、原子間の化学結合に異常な安定性があることを確認した。緻密な分子相の中に半金属的性質を示す証拠を見出したものの、この物質は完全な金属に比べて電気伝導性がかなり下回る性質を持っている可能性が高い。300 K という比較的高い温度と 220 ギガパスカルを超える圧力で発生する別の水素分子相の証拠も見られた。この相では、水素は、炭素構造のグラフェンに似た 6 個の原子リングで構成されるハチの巣状の形を形成した。同研究グループの研究結果は、Physical Review Letters の中で 2 つの別論文にしてオンライン公開されている。

(出典)

“Probing hydrogen under extreme conditions”

Carnegie Institution press release (April 12, 2012)

http://carnegiescience.mobi/news/probing_hydrogen_under_extreme_conditions

Contact: Tina McDowell, Email: tmcdowell@ciw.edu

デバイス

RIKEN Advanced Science Institute (2012 年 4 月 18 日)

理研基幹研究所の研究者並びに共同研究者のグループは、“位相スリップ量子ビット”と呼ばれる新しいタイプの量子ビットを開発し、世界で初めてコヒーレント量子位相スリップ (CQPS) の実

験的検証に成功した。CQPS では、磁束量子が 1 つの絶縁体から別の絶縁体に超電導層を横切って移動する（ジョセフソン効果とは双対の現象）。ジョセフソン接合で起こる電子の量子トンネル現象の代わりに、位相のコヒーレントスリップが発生するのである。長年理論立てはされていたが、ついに理研の研究者と共同研究者が、酸化インジウム(InOx) でできた超電導細線において CQPS の直接観察に初めて成功した。2 つの絶縁層の空間に挟まれた薄膜超電導線とともに、微細な超電導細線が大きな超電導ループに挿入され、位相スリップ量子ビットと呼ばれる新しいデバイスが作製された。当研究グループは、照射するマイクロ波の周波数をスキャンしながら、このループを貫通する磁束を同調させる測定によって、理論の予測する通りに 2 つの磁束状態のエネルギー曲線にバンドギャップができることを確かめている。この CQPS の存在を確かめる実験に成功したことから、量子位相スリップのユニークな多機能性を開拓する新規なデバイスが続々と生まれることに期待が寄せられている。当研究グループの研究結果は **Nature** で報告されている。

(出典)

“A new kind of quantum junction”

RIKEN Advanced Science Institute press release (April 18, 2012)

<http://www.riken.jp/engn/r-world/info/release/press/2012/120419/index.html>

Contact: RIKEN Global Relations Office, Email:koho@riken.jp

磁気センサー

National Institute of Standards and Technology (2012 年 4 月 19 日)

米国国立標準技術研究所 (NIST) が開発した小型の原子磁気センサーが、人の脳波測定に使用され、心的プロセスや神経疾患の研究などバイオ医療分野への原子磁気センサーの応用として、その潜在能力の検証に成功した。この小型センサーは、磁場の増加に伴ってルビジウム原子がより多くの光を吸収するようになる性質を利用しており、気体のルビジウム原子約 1000 億個を収めた容器、低出力赤外線レーザー、そして磁場強度を記録する光源の検出用光ファイバーで構成されている。このセンサーの測定結果は、SQUID によって記録された信号と比較することによって検証された。現時点では、SQUID を活用した磁力計はこの種の実験では“究極の評価基準”として用いられている。NIST の小型センサーは、SQUID と比べると今のところやや感度が劣るものの、小型で持ち運び可能、低コストといった優位性がある上、今後同等の性能を供給できる可能性を秘めている。重いヘルメット型のフラスコに埋め込まれ、わずかに絶対温度 4 度にまで冷却しなければならない SQUID アレイとは異なり、チップスケールの NIST センサーは角砂糖 1 個程度のサイズであり、室温で動作することができる。これらの特徴を生かし、このセンサーは、軽量・フレキシブル化が可能、かつ比較的安価な脳磁図ヘルメットに利用できる可能性がある。

(出典)

“NIST mini-sensor measures magnetic activity in human brain”

National Institute of Standards and Technology (NIST) press release (April 19, 2012)

<http://www.nist.gov/pml/div688/brain-041912.cfm>

Contact: Laura Ost, Email:laura.ost@nist.gov

線材

SuperPower (2012 年 4 月 23 日)

SuperPower 社は、ドイツ・ハノーバーメッセ国際見本市（2012 年 4 月 23 日～27 日）に参加し、次世代高温超電導線材（2G HTS 線材）の応用に焦点を当てて出展した。以下がその概要である。

2G HTS 線材をベースに作られた世界初の抵抗型超電導限流器（SFCL）には、SuperPower 社の 2G HTS 線材が使用されている。この SFCL は、微粉炭機や粉砕機に給電する電源装置の短絡回路保護機能を提供するために、最近ではドイツの発電所に設置された。2G HTS 線材によって、運用コストを下げ、短絡回路への応答時間の短縮を実現し、既に低損失である導体材料の損失を約 90 % も減少させた。

Oswald Elektromotoren 社もまた、超電導モータープロジェクトにおいて SuperPower 社の 2G HTS 線材を選択した。この 2G HTS 線材を利用して、より高効率で寿命の延長も実現でき、より小型で軽量のモーターの開発が可能となった。加えて、さまざまな作動状態で臨界電流の性能向上をもたらす SuperPower 社製 Advanced Pinning (AP) 線材を使用することで、モーターへの応用で重要な課題である交流損失の削減も可能となる。

三つ目として、磁場発生の世界新記録（35.4 テスラ）がある。2011 年 10 月、フロリダ州立大学米国国立強磁場研究所において、SuperPower 社製 2G HTS 線材 1 本で構成された 4.4 テスラの層巻マグネットを 31 テスラの常電導磁石の内側に組み込んだ超電導電磁石を用いることによって、この新記録が達成された。

最後に、2011 年 10 月には、核融合研究会社である Tokamak Solutions 社が、世界で初めてトカマクに HTS 磁石を使用すると発表した。

デバイスメーカーと協力することで、SuperPower 社は、顧客の価格や性能への要望に応え、2G HTS 線材に求められる機械的特性やその他の要求事項に関する理解を一層深めることができた。現在、SuperPower 社は特別に設計された 2G HTS 線材を 3 種類提供している。①ケーブル及びケーブル関連応用、②モーター、発電機、その他高磁場機器などの磁場中応用、そして③高抵抗基板を必要とする限流器応用である。化学組成、線材の寸法、基板と安定化層の厚さ、絶縁材、そして線材単長を長くする低抵抗接合を含めて、顧客の要望に応じて、カスタマイゼーション（特注生産）することが可能である。

（出典）

“SUPERPOWER'S HIGH PERFORMANCE SUPERCONDUCTOR WIRE IS SUCCESSFULLY INCORPORATED INTO A GROWING NUMBER OF DEMANDING APPLICATIONS”

SuperPower press release (April 23, 2012)

<http://www.superpower-inc.com/content/superpower%E2%80%99s-high-performance-superconductor-wire-successfully-incorporated-growing-number-d>

Contact: Traute F. Lehner, E-mail:tlehner@superpower-inc.com

量子シミュレーター

National Institute of Standards and Technology (2012 年 4 月 25 日)

米国国立標準技術研究所（NIST）の物理学者ら研究チームは、何百もの量子ビット間で相互作用を設計できる量子シミュレーターを開発し、その機能は従来のものと比べて 10 倍も大幅に改善されている。シミュレーターは、ペニング・トラップと呼ばれるデバイス内に浮かぶ何百ものベリリウムイオンの微小単結晶で構成されている。各イオンの最外殻電子は小さな量子磁石として機能し、量子ビットとして使用される（従来のコンピューターでは '1' または '0' の量子に相当する）。シミュレーターは、重要な一連のベンチマークテストを無事通過し、科学者たちは現在、何百もの粒子が集まって起こる量子的ふるまいに依存すると考えられる特性を持つ高温超電導体を合理的に設計

するなど、従来のコンピューターでは具体化できない物質科学の諸問題を研究する態勢を整えている。重ね合わせ状態など量子力学的性質を活かすことに加え、ここで重要なのは、この NIST のシミュレーターは、第 2 の量子特性、すなわち物理的に遠く離れた粒子でも、しっかり相互接続できる量子ビット間のエンタングルメントも生成することができるということである。同研究グループの研究結果は **Nature** で報告されている。

(出典)

“NIST physicists benchmark quantum simulator with hundreds of qubits”

National Institute of Standards and Technology (NIST) press release (April 25, 2012)

<http://www.nist.gov/pml/div688/qubits-042512.cfm>

Contact: Laura Ost, Email: laura.ost@nist.gov

[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シンポジウム」報告

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター

超電導工学研究所低温デバイス開発室 室長 日高睦夫

特別研究員 山田 穰

未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会主催の第 38 回シンポジウムが、4 月 17 日に江戸川区のタワーホール船堀小ホールにおいて開催された。また、本シンポジウムでは超伝導科学技術賞授賞式が行われた。

超伝導科学技術賞は超電導に関する分野で卓越した研究成果を上げられた方々を顕彰するもので、今回で 16 回目となる。今回は、特別賞として MIT の岩佐先生、科学技術賞として 5 件 13 名の方々が受賞された。受賞者と受賞件名については、未踏科学技術協会ホームページ

<http://www.sntt.or.jp/~fsst/shou16.html> を参照していただきたい。ISTEC からはデバイス研究開発部の石丸喜康主管研究員が「鉄系超伝導体薄膜材料に関する先駆的研究」で東工大の片瀬氏、平松氏とともに受賞した。



超伝導科学技術賞選考委員長の立川先生、
未踏協会木村理事長、超伝導科学技術研究会下山会長と超伝導科学技術賞受賞者の方々

シンポジウムは、「超伝導 2012—超伝導が拓いた強磁場応用—」と題して超電導マグネットに的を絞った講演が行われた。超電導の重要な応用の一つに強磁場マグネットがあるが、最も身近なものとしては医療診断用の MRI があり、すでに病院等で広く使われている。2027 年開業の磁気浮上列車に、さらに将来のエネルギー源として期待されている核融合炉においては、高磁場の超電導マグネットの使用が必須と考えられており、現在国際熱核融合炉 (ITER) の開発が国際連携の下で進められている。このため、本シンポジウムでは強磁場応用の超電導を考えるべく下記のプログラムで講演があった。

- ・基調講演「マグネットテクノロジーのこれまでとこれから」
M.I.T. Francis Bitter Magnet Laboratory 岩佐幸和
- ・基調講演「マグネット用線材—開発の経緯と展望」
物質・材料研究機構 戸叶一正
- ・「加速器における超伝導マグネット」 高エネルギー加速器研究機構 荻津 透
- ・「ITER における超伝導マグネット応用」 日本原子力研究開発機構 小泉徳潔
- ・「CZ 法 Si 結晶成長における磁界印加効果と研究開発の経緯」 信州大学 千川圭吾
- ・「高温超伝導を用いた NMR の開発」 理化学研究所 前田秀明
- ・「MRI と超伝導マグネット」 物質・材料研究機構 和田 仁

冒頭岩佐先生から「マグネットテクノロジーのこれまでとこれから」と題して、超電導マグネット研究の歴史と今後の展望が、ユーモアを交えて語られた。NIMS の戸叶先生は、マグネット用線材の歴史を Nb-Ti や Nb₃Sn の金属系から酸化物系まで、開発の経緯を交えて詳しく紹介された。

高エネ研荻津先生から、加速器に使用するマグネット開発の歴史と超電導化によるメリット、現在世界の加速器で使われている超電導マグネットの紹介があった。原研の小泉先生からは、ITER に使われる超電導マグネットについての説明があった。ITER に使われる超電導マグネットは、質、量ともに類例のないものであるため、超電導分野にも大きな進展をもたらすものであることが述べられた。

CZ 法 Si 結晶成長における超電導マグネットへの期待が、信州大の千川先生により述べられた。LSI 用ウエハを作製する CZ 法 Si 結晶成長では、Si 融液の熱対流を制御するために、年間 9,000 トン以上生産されている直径 300 mm 以上のウエハでは磁界印加が必須となっており、超電導マグネットへの期待が語られた。理研の前田先生から、NMR 用超電導マグネットの紹介があった。より微量の物質をよりピークが分離した状態で分析するためには、強磁界化は必須の流れであり、高温超電導体への期待が述べられた。NMR 磁石に求められる性能は、強磁界だけでなく高い空間的均一性と高い時間的安定性も重要であることが説明された。今後高齢化社会の医療においてさらに重要となると考えられる MRI 用超電導マグネットについての講演が、NIMS の和田先生より行われた。MRI も強磁界化による性能向上が求められている。また、fMRI にオープン型ができれば、被験者の負担が減るだけでなく、与える刺激の多様性が一気に膨らむ可能性が述べられた。

[超電導 Web21 トップページ](#)

「2012 Materials Research Society (MRS) Spring Meeting」報告

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所
副所長 田辺圭一

米国 Materials Research Society (MRS) の春の定例講演会である Spring Meeting が、4 月 9 日から 13 日の 5 日間、サンフランシスコの市中心に近い Moscone コンベンションセンターと Marriott Marquis ホテルで開催された。全体で 55 のシンポジウムを含む大きな講演会であるが、その中の一つ、超電導材料関連のシンポジウムとして、Symposium I “Recent Advances in Superconductors, Novel Compounds & High- T_c Materials” が応用物理学会の協賛で開催された（9 日は Tutorial 講演のみ、一般講演は 10 日～13 日）。シンポジウムの Chair は、東大・下山淳一氏、フロリダ州立大・Eric Hellstrom 氏、イタリア CNR-SPIN の Marina Putti 氏、九工大・松本 要氏、九大・木須隆暢氏の 5 名である。発表件数は約 100 件で、内訳は Y 系線材関連が 43 件、鉄系材料関連 37 件、残りは MgB_2 、Bi 系、新物質に関するものであった。以下に、注目されたトピックスを紹介する。

Y 系長尺線材の製造については、日本のフジクラや米国 SuperPower 社に次いで韓国の SuNAM 社が最近急速に記録を伸ばしているが、今回のシンポジウムではソウル国立大の Yoo 氏が SuNAM 社の製法である RCE-DR 法で作製した GdBCO 超電導層の生成機構と組織観察結果、特性などについて報告した。金属元素共蒸着から低酸素圧で反応させることにより、 Gd_2O_3 と液相に短時間で変わる。その後の高酸素圧下でのアニールにより GdBCO ができるが、膜中には比較的大きな Gd_2O_3 粒子が残り、表面には液相成分が押し出されている。1000 m^2 のクリーンルームで製造を行っており、2012 年 1 月の段階で、 $422 A \times 1000 m = 421,700 Am$ 、 $445 A \times 995 m$ とフジクラのチャンピオンデータに迫る $J_c \cdot L$ 値を記録している。製造スピードは 4 mm 幅換算で 360 m/h と非常に速いが、組織や表面状態を見る限り、均一性や機器応用の際の安定性等に課題があるように思えた。これまで SuperPower 社、Houston 大では、Y 系線材の低交流損失化をねらいとしたマルチフィラメント線材作製法として、化学エッチング、ドライエッチング、テンプレート法などのスクライビング方法について報告しているが、今回はダイヤモンドチップを使った機械式スクライビングについて報告した。酸素中アニールをした後に Cu を電着で付けると溝には成長せず、フィラメント間抵抗がある程度確保できる。ただし、チップが消耗するため長尺への適用は難しいと考えられる。東北大の淡路氏は、 $BaHfO_3(BHO)$ 等のナノロッド入り GdBCO 線材の J_c の磁場依存性に関する考察について報告した。 $B//c$ のピークは 60 K 程度で最大になり、30 K 以下では消えるナノロッドに由来する c 軸相関ピンとランダムピンの両者が強調して効いているが、低温では不可逆磁場が大きくなるため、前者のピン留めへの相対的な寄与は小さくなる。ナノロッドは角度分散があるため、低温、高磁場では $B//c$ のピークが消えるが、 J_c 向上には依然として効果があると説明した。

鉄系超電導材料については、薄膜や線材の J_c 向上が特に注目された。名大の生田氏は、MBE 法による $NdFeAs(O,F)$ ($Nd1111$) 薄膜と $BaFe_2(As,P)_2$ ($Ba122$) 薄膜作製の進展について報告した。 $Nd1111$ 薄膜のキャリアドーピング法として、従来は $Nd-F-O$ キャップ層からの F 拡散を利用していたが、接合等のデバイス応用をねらいとして、 FeF_3 の分解を利用した in situ アニールを試み、F 拡散法より少し低い 45 K 程度の T_c を得た。 $BaFe_2(As, P)_2$ 薄膜 ($x = 0.24$) を 24 度 MgO バイクリスタル基板上に堆積し、 $J_c = 1.1 MA/cm^2$ と東工大-ISTEC の昨年の結果より 5 倍程度高い J_c を得た。電流-電圧特性や磁場依存性は弱結合的な振る舞いを示すが、粒内の J_c は非常に高く低温で 10

MA/cm² 程度あるようである。Wisconsin 大の Lee 氏は、PLD 法による Co ドープ Ba122 薄膜の超格子作製について報告した。SrTiO₃ を周期的に挿入した場合は c 軸相関ピンができないのに対して、ノンドープ Ba122 を積層すると ab 面に平行にナノ粒子が形成されるとともに、c 軸相関ピン (BaFeO₂ ナノロッド) もできて J_c-B 角度依存性が改善される (J_c は 14 T でも 0.25 MA/cm² と高い) と報告した。IFW Dresden の Holzapfel 氏は、彼らの特徴である Fe バッファ層を用いた PLD 法による鉄系超電導薄膜作製の進展について報告した。従来の Co ドープ Ba122 に加え、11 系の Fe(Se,Te) についても高品質薄膜が形成できる。また、MgO バイクリスタル基板、IBAD-MgO バッファ層付き金属基板上の膜作製に加え、Fe 層と超電導層の超格子作製も試みている。以前の東工大-ISTEC の IBAD-MgO 上薄膜の結果では、7° 程度の面内配向度でも 1 MA/cm² 以上の J_c が得られたが、彼らの結果では、高 J_c を得るために面内配向度を 2.4° と改善したバッファ層を用いている。Brookhaven 国立研究所の Li 氏は IBAD-MgO バッファ層付き金属基板や RABiTS 基板上の 11 系 Fe(Se,Te) 薄膜の作製について報告した。11 系材料は異方性が小さく、30 T という高磁場においても 0.1 MA/cm² 以上の高い J_c が得られる (温度は 2.5 K)。Florida 州立大、国立高磁場研究所の Hellstrom 氏は、Powder-In-Tube (PIT) 法による高 J_c 線材の作製について報告した。原料をグローブボックス内で微細粉末に粉碎したときの発熱反応を利用して、不純物の少ない (Ba,K)Fe₂As₂ 多結晶を比較的低温で作製し、これを用いて作った Ag シース PIT 線材 (コア径は 400 μm) で 120 kA/cm² と NIMS の昨年の結果に比べ約 1 桁高い J_c (4 K, self-field) を達成した。15 T でも 10⁴ A/cm² 程度の J_c を示す。結晶粒界に不純物がなくクリーンなのが特徴である。今回の発表でもわかるように、鉄系超電導体の J_c や粒界特性は、材料の製法や均一性の改善、有効な人工ピン導入によりさらに向上する余地があるように思える。材料の T_c は Y 系材料に比べ低い、ほぼ Y 系に匹敵する上部臨界磁場やより小さな異方性という特徴を有しているので、粒界特性等がさらに改善され、丸線に近い線材ができるようになれば、低温での高磁場応用の可能性が広がるものと期待される。

11 日夜には、前 JST 理事長の北澤宏一氏による "Fukushima and Role of Nano-T echnology Research in Japan" と題した基調講演が行われた。東日本大震災の爪痕や原発事故による放射能汚染など日本が抱える大きな問題を示すと共に、これを解決するために安全なエネルギー源や省エネのためのゲームチェンジング技術の開発が必要であることを指摘し、それにはナノテクノロジーや超電導技術が重要な働きをすると強調した。

[超電導 Web21 トップページ](#)

「ICSM (International Conference on Superconductivity and Magnetism)2012」 報告

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所低温デバイス開発室
室長 日高睦夫

トルコのイスタンブール郊外で 4 月 29 日から 5 月 4 日まで ICSM (International Conference on Superconductivity and Magnetism) 2012 が行われた。この会議はトルコにおいて開催される超電導と磁性に関する国際会議であり、今回が 3 回目である。参加者は約 1,300 名であり、規模だけで言えば ASC に匹敵するような大きな学会であった。聞くとところによると、トルコは EU に加盟するために科学、文化面でのイベントに積極的に取り組んでおり、本会議でも初日のレセプションにトルコの科学技術産業大臣が出席するなど、国を挙げてのサポートが感じられた。本稿では筆者が講演したパネルセッション“50 Years of Josephson Effect”にフォーカスして報告を行う。

“50 Years of Josephson Effect”の講演者は、SQUID 研究の第一人者である UC Berkley の Clarke 教授、RSFQ の発明者として著名な SUNY の Likharev 教授と筆者の三人であった。

Clarke 教授はジョセフソン効果の基礎と SQUID 応用の歴史を講演した。1961 年から 1964 年にかけて、磁束量子化の発見、ジョセフソン効果の発見、SQUID の発明があり、超電導エレクトロニクスはこれらにより誕生したと言っても過言ではない三つの大きな出来事が集中して起きた。1964 年当時、コヒーレンス長の提唱で知られるケンブリッジ大の Pippard の下で博士論文の準備をしていた Clarke は、電圧の精密測定に使用することを目的に SQUID を自製した。この SQUID は非常に原始的なもので、その形から Pippard に Slug (ナメクジ) と揶揄されたそうである。そこからおよそ 50 年の技術進歩は目覚ましく、未発見の素粒子である Axion 探索等 SQUID は今では様々な高性能計測に利用されていることが紹介された。

Likharev 教授は超電導デジタル回路の歴史を紹介した。最初の超電導デジタル回路はクライオトロンと呼ばれる超電導体/常電導体転移をスイッチとして用いるものであったが、スイッチ時に熱が発生するため超電導状態への戻りが遅いという致命的な欠点があった。ジョセフソン効果を使ったジョセフソン接合をスイッチとして用いたラッチング回路により、この問題は解決された。Likharev を中心とするロシアグループは、可逆計算回路の研究を通して SFQ パルスを使用する回路を研究し、1980 年代後半に RSFQ 回路として仕上げていった。RSFQ 回路は 1990 年代後半には完全にラッチング回路に置き換わり、現在に至っている。RSFQ 回路は半導体回路と比べて、スピードで 10 倍、製造コストで 1/10、消費電力で 1/100,000 のアドバンテージが実証されていることが述べられた。

筆者はジョセフソン接合と超電導集積回路作製プロセス開発の歴史を日本のアクティビティを中心に紹介した。IBM によって開発された Pb 接合と Nb 接合の問題点を述べ、1983 年に登場しこれらの問題点を一気に解決することで一世を風靡した Nb/AIOx/Nb 接合について詳しく紹介した。また、Nb/AIOx/Nb 接合を用いた初期の集積回路プロセスとそれを用いた日本のラッチング回路、SFQ 回路開発成果をレビューした。後半では、さらなる高速化と多層化が必要になった経緯と、それに応えて ISTEK が開発した Nb10 層プロセスと、それにより作製した SFQ 回路のパフォーマンスについて述べた。最後に、Nb/AIOx/Nb 接合を用いたデバイスは、デジタル回路のみならず様々なハイエンド応用において今後増々重要になるであろうことを述べて講演を締めくくった。

本セッションは夜 9 時開始であったにも関わらず多くの聴衆が集まり、11 時過ぎまで熱心な議論が行われた。



50 Years of Josephson Effect における筆者の講演風景

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q:「モット転移の本質が明らかに」という新聞記事がありました。どのような技術により可能になったのでしょうか。また、どのような応用が期待されるのでしょうか？」

A:

ハバードモデルの厳密解と数値計算による解析

金属中の電子が同じ原子内に来るときに互いに反発するとするモデル（ハバードモデル）（図 1）を用いて、モット転移の本質を明らかにしました^{1),2)}。具体的には、1 次元系では厳密解と動的密度行列繰り込み群法という数値計算法を、2 次元系ではクラスター摂動理論という数値計算法を使って、ハバードモデルのスペクトル関数の振る舞いを調べました（図 2）。その結果、電子密度を変えたときに、電子の状態が次のように変化することがわかりました。電子密度の低い金属状態では、電子は自由電子として振る舞いますが、電子密度が高くなるにつれて、電子の電荷自由度が徐々に凍結し、モット絶縁体になります。その際、電子のもつスピン自由度は低エネルギーの性質を保ち、モット絶縁体の反強磁性的状態へと連続的に変化します。この特徴は、モット絶縁体のスピンと電荷の分離に起因しており、スピンと電荷の自由度が分離しないバンド絶縁体への転移ではこのようなことは起こりません。

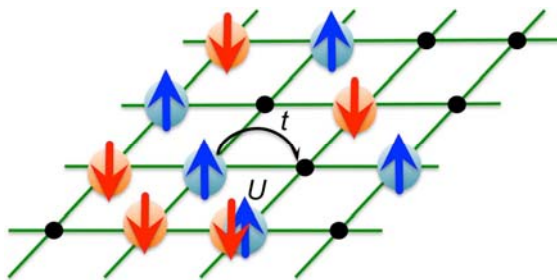


図 1. 2次元ハバードモデルの模式図

電子（矢印はスピンを、丸印は電荷を表します）が原子（正方格子上の黒い点は原子の中心を表します）の間を強さ t で飛び移り、1つの原子内に2つの電子が来ると電子間の電荷反発力によってエネルギーが U だけ上昇する様子を表しています。

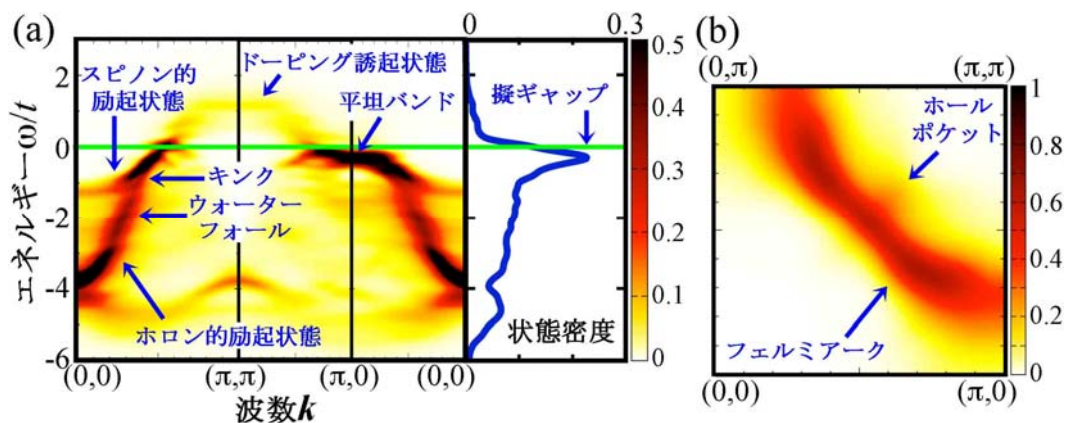


図 2. 2次元ハバードモデルのモット転移近傍でのスペクトル関数の強度分布

(a) 左パネルは波数 k 、エネルギー ω でのスペクトル強度分布を、右パネルは状態密度（波数 k について積分したもの）を示しています。縦軸は、化学ポテンシャルを基準として、エネルギーを電子の飛び移りの強さ t を単位として表しています。各波数 k でスペクトル強度が幅広いエネルギー領域に分布していることは、電子を自由電子のように見なす描像が妥当ではなくなっていることを意味しています。(b) $\omega \approx 0$ での強度分布を示しています。

高温超電導体との関係

銅酸化物高温超電導体は、モット絶縁体にホール（または電子）をドーピングすることによって得られ、超電導相の周辺では様々な異常な振る舞いが観測されています。そのため、高温超電導はモット転移近傍の異常な電子状態と関係しているのではないかと考えられています。今回の研究によって、電子間反発力を取り入れた最も単純なモデルである 2 次元ハバードモデルによって、高温超電導体で観測されていた様々な異常な振る舞いを統一的に説明することができました（図 2）¹⁾。これまで異常と思われてきた振る舞いは、モット転移近傍でスピンと電荷の自由度が分離する兆候として現れる 2 次元強相関電子系の性質であることがわかりました。

応用について

環境・エネルギー問題の解決のために、より高い温度で超電導を示す材料の開発が望まれています。そのためには高温超電導のメカニズムを解明し、新しい高温超電導体の設計指針を確立することが重要となります。今回の研究では高温超電導のメカニズム解明には至りませんでしたが、高温超電導の研究において最も問題となっていた様々な異常な振る舞いを統一的に理解できるようになりました。これにより、今後の高温超電導研究の展望が開け、高温超電導のメカニズム解明に向けて大きく前進するものと期待されます。

参考文献：

1. Masanori Kohno, "Mott Transition in the Two-Dimensional Hubbard Model," Physical Review Letters 108, 076401 (2012).
2. Masanori Kohno, "Spectral Properties near the Mott Transition in the One-Dimensional Hubbard Model," Physical Review Letters 105, 106402 (2010).

回答者：独立行政法人 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
ナノシステム構築グループ：河野昌仙 様

[超電導 Web21 トップページ](#)

「Web21 についてのご意見・ご感想、「読者の広場」その他で取り上げて欲しい事項、その他のお問い合わせは、超電導 Web21 編集局メール web21@istec.or.jp までお願いします。」