

研究室紹介

物質・材料研究機構材料ラボ・先進低温工学材料グループ

沼澤健則

物質・材料研究機構 材料ラボ/強磁場共用ステーション

〒305-0003 茨城県つくば市桜3-13

1. はじめに

当研究室は独立行政法人物質・材料研究機構・材料ラボ・インテンス研究グループに所属しており、現在、研究者2名と研究スタッフ2名(常勤と非常勤、大学院生を含む)で構成されています。独法化などの大幅な機構改革のため、当研究室でも所属先にいくつかの変遷がありました。元を手繰ると、科学技術庁時代の金属材料技術研究所・極低温機器材料研究グループがその原点となります。当時は高温超伝導体発見の黎明期であり、後にBi系高温超伝導体を発見した前田弘博士(強磁場センター長、東北大学教授などを歴任)の研究室から派生してきた研究グループです。筆者は入所当時から極低温技術、特に磁気冷凍の研究を行い、紆余曲折はあったものの、幸いにもこれまでにほぼ一貫して同じ研究テーマに取り組んでいます。

ところで、極低温とは主に液体窒素温度(77K)以下を指しますが、その発生技術は物性物理などの基礎科学や超電導技術と歩調を合わせ、それらを支える形で進展してきました。身近なところでは、磁気共鳴診断装置(MRI)が挙げられます。多くのMRIには超電導マグネットが使用されており、4.2Kの液体ヘリウム温度で冷却・保持される必要があります。しかし液体ヘリウムの取り扱いが簡単ではないため、MRIが開発された当初は、その実用化に困難がありました。その後、4.2Kを発生する極低温冷凍機の製品化が日本で成功し、今日のMRIの本格的な普及を支えています。このように、極低温技術は利用される対象があつて初めて生かされるものであり、我々も日頃から様々なニーズを模索し、これに適合した技術開発を進めています。

そのような極低温技術の中で、筆者を長年にわたり魅了してきたのが、磁気冷凍です。これは、磁性体の磁気熱量効果を利用する冷凍技術で、簡単に言えば、磁性体に磁場をかけると発熱し、磁場を取り去ると吸熱する現象です。気体冷凍でいえば、圧縮と膨張に相当します。重要な点は、磁性体内の磁気モーメントが一様に磁場に反応するため、

熱量効果の発生がほとんど瞬時に損失なく生ずることです。このため、原理的にカルノー効率を満足することが可能です。また、圧縮機を必要としないため、小型・軽量化が可能であり、環境負荷冷媒を使用しない冷凍方式として近年注目を集めています[1]。

以上のような研究を実施するために、当研究室はつくば市桜地区にある、物質・材料研究機構・強磁場共用ステーションに実験室を保有しています。当ステーションは世界で2番目に強力なマグネットを一般利用に提供しており、極低温実験環境においても第一級の設備を有しています。

2. 磁気冷凍

磁気冷凍は適切な磁性体と磁場、熱スイッチを組み合わせることで、原理的には室温から0.1K以下の超低温まで対応させることが可能です。特に近年、室温での高性能磁気冷凍材料の開発が活発化し、空調などへの応用も視野に入ってきました。我々もこの分野には大きな興味がありますが、まずは最も得意とする極低温からスタートし、その対象を順次拡大する方向で展開しています。

2.1. 水素磁気冷凍

液体水素の高効率な生成方式の確立は、水素の精製・貯蔵・輸送技術に重要です。我々はNEDO水素安全利用等のプロジェクトに参画し、磁気冷凍による水素液化の実証を試みてきました。図1には開発された水素液化実証機を示します。希土類系セラミックス磁性体を磁場中で上下に駆動し、水素ガスを直接凝縮することにより、従来の方式を大幅に上回る50%以上の水素液化効率を達成しました[2]。さらに20Kから77KまでをカバーするAMRという新しい冷凍サイクルの開発も進行中で、これまでの基礎研究から実証研究へ一歩踏み出そうとしています。本研究は、金沢大学や大阪大学、千葉大学との協力で進められています。



図1. 水素液化用駆動型磁気冷凍試験装置

2.2. 超低温磁気冷凍

本研究は、連続的な冷却が困難であった断熱消磁冷凍機 (ADR) を、複数段の冷凍サイクルを組み合わせることで希釈冷凍機のように定常的に超低温を維持可能にするもので、連続型ADRと呼ばれています。我々はNASAと協力し、JAXA宇宙環境利用プロジェクトの支援によって、宇宙で作動可能な連続型ADRを開発しました。これを図2に示します。この冷凍機は航空機のパラボリックフライトによる微小重力環境でテストされ、宇宙空間で作動可能なことを実証しました[3]。現在、国際宇宙ステーションでの実験に利用することが検討されています。



図2. 宇宙用連続型ADR

0.1Kを0.1mWの冷凍能力で連続発生することが可能であり、本体重量はわずか15kgほどです。

3. 極低温応用磁性材料

極低温では磁性体本来の特性が顕著に現れるため、物性の観測のみならず、様々な応用が考えられます。我々は知的基盤整備推進事業に参画し、磁性材料の熱・磁気特性を調べてきました。その中で、4K領域で巨大な体積比熱を有する材料を見出し、その製造・加工技術を確立することによって、機械式冷凍機に不可欠な磁性蓄冷材料の実用化に成功しています。この材料 (Gd₂O₃S) はすでに製品化されており、新しいタイプの4K冷凍機には不可欠なものとして、普及が進んでいます[4]。

4. まとめ

以上のように、我々は磁性材料や極低温発生方法に関する知見をもとに、これを融合した新しい低温発生技術の開発に取り組んでいます。水素磁気冷凍機や室温磁気冷凍の実用化にはもう少し時間がかかるかも知れませんが、日本のオリジナル技術として、若い方々の参加も得ながら、その実現に努力しています。

記号

ADR : Adiabatic Demagnetization Refrigeratorの略で断熱消磁冷凍機。

AMR : Active Magnetic Regeneratorの略であり、蓄冷器と磁場による磁気熱量効果を併用した蓄冷方式。

参考文献

1. 沼澤健則;冷凍空調便覧、II巻 (2006) 390.
2. K. Kamiya, T. Numazawa and K. Matsumoto; Cryocoolers 14 (2007) 637.
3. 沼澤健則; 日本マイクログラビティ応用学会誌、23, No.3, 139-144, 2006.
4. T. Numazawa, K. Kamiya, T. Satoh, H. Nozawa and T. Yanagitani, Cryocoolers 13 (2005), pp. 373-380.