

磁気熱量効果を利用した ノンフロン冷凍システムの研究開発

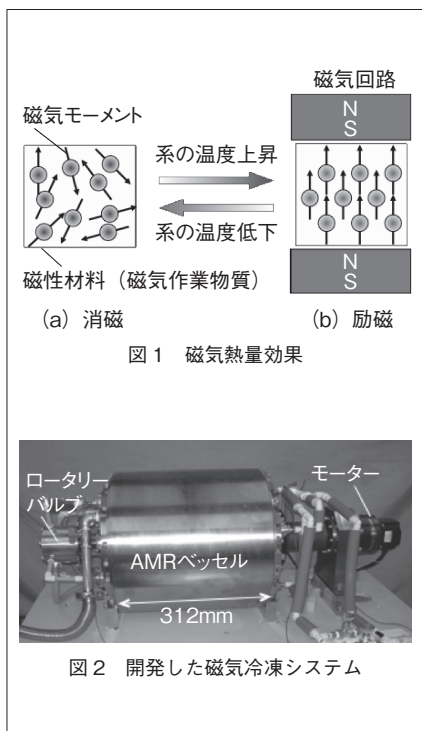


図1 磁気熱量効果

図2 開発した磁気冷凍システム

1. はじめに

現実に影響が現れ始めた地球温暖化の驚異と、それに伴う環境意識の高まりにより、フロン類を用いた従来の冷凍機に代わる、省エネルギーかつ環境調和型冷凍機の開発と普及が期待されている。本稿では、近年、次世代ノンフロン冷凍機として注目され始めている、磁気熱量効果を利用した磁気冷凍機の研究開発動向について紹介する。

2. 磁気冷凍の原理と特徴

ある種の磁性材料（以下、磁気作業物質）に磁場を加えると、原子の対電子に起因する磁気モーメントが磁力線の方向へ規則的にそろえられ、エントロピーの減少分を熱として放出する。逆に磁性体より磁場を取り去ると磁気モーメントの方向は不規則になり、エントロピーの増加分を周囲からの熱で補う（図1）。この現象は磁気熱量効果と呼ばれ、この磁場変化によって生じた吸発熱量を、熱サイクルにより低熱源および高熱源へ移動させることで、冷凍機およびヒートポンプ

として作動させることが可能となる。

磁気冷凍法を従来広く普及している蒸気圧縮式冷凍法と比較すると、以下に示す特徴が挙げられる。

- (1) 冷媒にフロン類を使用せず環境負荷が小さい。
- (2) 冷媒が固体であり密閉空間でもガス漏えいの心配がない。
- (3) 冷媒が固体であるため小型高効率化が可能である。

3. 室温域における課題と AMR

さて、磁気熱量効果を利用した冷凍機は、古くからその理論研究は行われており、現在でも超伝導環境の維持など極低温の領域で用いられている。しかしながら、作動温度を室温近傍にシフトさせた場合には、極低温では無視できた磁気作業物質の格子振動（比熱）が、磁気エントロピー変化によるエネルギー交換量と同程度に大きくなり、その結果、磁場変化に対して得られる温度変化が極めて小さくなるという問題がある。この問題を解決するため Barclay ら⁽¹⁾が、蓄熱・再生型磁気冷凍法（Active Magnetic Regenerator 以下、AMR）という巧妙な冷凍サイクルを提案し、AMR が室温域において冷凍機やヒートポンプの要素として十分効果的であることを実証した。AMR は、磁気作業物質が磁場変化により繰り返し吸発熱する効果に加え、それ自身が蓄熱器および再生器の役割を担うことにより、1 サイクル間での小さな温度変化を、高温端および低温端において大きく拡大していくというサイクルである。現在、室温域での運用のために開発が進んでいる磁気冷凍機は、この AMR の考え方に基づき構成されるのが一般的である。

4. 国内外の研究開発動向

室温域における磁気冷凍機の最初の成功例は、1976 年に Brown⁽²⁾ が、磁気作業物質として板状のガドリニウムを用い、7 テスラの高磁場環境によっ

て高温端 46℃、低温端 -1℃ という温度差を定常的に生じさせたものである。その後、巨大な磁気熱量効果を示す材料が次々と開発されたこと、また、比較的大きな磁場環境が永久磁石を用いても実現できるようになったことを契機に、MIT、アメリカ・Astronautics 社、日本では中部電力(株)のグループなどが相次いで試作機を発表し、現在では日米欧の各研究グループの精力的な研究により、数百ワットクラスの实機稼働というところまで開発が進んでいる。中でも、2006 年に中部電力、東工大、九州大、および筆者らの共同研究グループで開発した室温磁気冷凍機（図2）は、冷凍能力、成績係数とも世界最高の性能を示している⁽³⁾。

5. おわりに

磁気冷凍機の冷凍能力は、材料開発に負うところが大きいというのもこの分野の特徴的なところである。とくに巨大な磁気熱量効果を示す材料の開発には、多くの磁性材料の専門家が活発に議論を重ねている。いっぽう、AMR の基礎特性の把握、新たな冷凍サイクルの考案、設計の最適化などのシステム開発には機械工学の知識と知恵が必要とされる所であり、両者の融合なしには、ブレークスルーとなる技術開発を行うことは不可能である。

筆者らのグループでは、5 年以内をめどに従来の冷凍機と同等、またはそれを上回る性能の室温磁気冷凍機を開発することを目標とし研究開発を進めている。

（原稿受付 2008 年 9 月 22 日）

〔川南 剛 神戸大学〕

●文献

- (1) Barclay, J. A. and Steyert, W. A., US patent 4, 332, 135, (1982).
- (2) Brown, G. V., Magnetic Heat Pumping near Room Temperature, *J. Appl. Phys.*, **47** (1976), 3673-3680.
- (3) 室温磁気冷凍システムの開発について、中部電力プレスリリース, (2006/11/7).