R&D最前線

フロンレスを実現する 磁気冷凍技術

磁気で冷やす 環境に優しい冷凍技術

冷蔵や冷凍、室内冷房、ガスの液化など、低温を生成 する技術は、現代社会に欠くことのできない技術です。 このような汎用の冷凍技術では、フロンや代替フロンに 代表される冷媒気体の圧縮ー膨張サイクルを応用した 気体冷凍が幅広く利用されてきました。しかし、オゾン 層保護や地球温暖化防止など地球環境への配慮が国際的 に進むなか、フロンや温暖化ガスを用いない新しい冷凍 技術への要請が急速に高まっています。

東芝は、従来の気体冷凍技術とは異なり、磁性体の 内部自由度(エントロピー)を利用したまったく新しい原 理の磁気冷凍技術に注目し、高効率で環境に優しい、将 来の冷凍技術の実現に向けて研究に取り組んでいます。

はじめに

京都議定書の発効により、地球温暖 化対策が国際的に動き出しました。こ の中には、地球温暖化係数が二酸化炭 素(CO₂)の千倍以上にもなる代替フロ ンの削減計画も盛り込まれています。 冷凍技術を用いた製品分野において. 東芝は、家庭用冷蔵庫のノンフロン化 や、エアコンの高効率化によるCO₂排 出量の削減を進めてきました。しか し、将来的には、地球温暖化の懸念が なく、より効率の高い新しい冷凍技術 の実用化が求められます。

そこで当社は、気体の圧縮ー膨張を 応用した従来の冷凍技術とはまったく 異なる原理で,磁性体に磁場を作用さ せることにより低温を生成する磁気冷 凍技術に注目し、高効率で環境に優し



図1. 磁気熱量効果の模式図 — 磁場がないときは、磁性を担う電子スピンは ランダムな向きの状態をとることができるため、電子スピン系のエントロ ピーは大きく、磁場が印加されると、電子スピンは磁場の方向にそろった状 態しかとれないため,エントロピーが小さくなります。このとき,エネルギー を格子系に与えるため、格子振動が激しくなって磁性体の温度は上昇します。 電子スピンの状態変化は,規則正しく結晶化した氷が,周囲から熱を吸収し て、ランダムな運動自由度のある水に変化することと、よく似た現象です。

磁気冷凍の原理 例えば、1 cm³の鉄の内部には磁気

究に取り組んでいます。

を担う10²⁰以上もの電子スピン(自転 する電子)が含まれ、高密度な自由度 の宝庫となっています。磁気冷凍は. このような膨大な数のスピンを熱だめ として利用するものです。

い、将来の冷凍技術の実現に向けて研

磁性体に外部から磁場を加え、断熱 状態で磁場を変化させると物質の温度 が変化する可逆的な現象は、磁気熱量 効果と呼ばれ、古くから知られていま す。図1に磁気熱量効果の模式図を示 します。磁場を印加した状態と取り除 いた状態では、磁性体内部のスピン系 の自由度の相違に起因して、電子系の エントロピーが変化します。このエン

トロピー変化に伴い、磁性体内部では 電子系と格子系との間で瞬時にエネル ギーのやり取りが生じ、これによって 磁性体の温度(格子振動の度合い)が変 化します。この現象を利用して熱サイ クルを組み、冷凍を行うのが磁気冷凍 です。

磁気冷凍技術の常温域への適用

歴史的に磁気冷凍は、気体冷凍では 生成が困難な極低温や超低温を生成す る手段として発展してきました。これ は、大きな温度変化を得るために超電 導磁石などによる高い磁場を必要とし たことや、常温域では磁気熱量効果が 低下するという課題があったためです。 このような課題の解決策として、磁 気熱量効果の阻害要因となる格子振動 を逆に積極的に蓄熱効果として利用す



に外部から磁場を印加. (2)媒体により温熱を高温 端側に輸送,(3)磁性体から磁場を除去,(4)媒体に より冷熱を低温端側に輸送 の四つの過程を繰り 返すことにより 定営運転状態では磁気冷凍作業 室内部の磁性体に温度こう配が生まれ, 高温端と 低温端の間に大きな温度差が生成されます。

る, AMR (Active Magnetic Refrigeration) サイクルが提案されました。 図2はAMRサイクル過程の模式図で す。磁性体は、磁気冷凍作業室の内部 に熱輸送媒体の流路を確保できるよう に球状などの形態で収納され、作業室 の両端には媒体の流出入口が設けられ ています。四つの過程;(1)磁性体に 外部から磁場を印加,(2)媒体により高 温端側に温熱を輸送。(3)磁場を除去。 (4)媒体により低温端側に冷熱を輸送, を繰り返すと、磁気熱量効果により生 成された冷熱は磁性体自身に蓄えら れ、磁気冷凍作業室内部は徐々に温度 こう配の大きな熱だめとなって、定常 状態では両端に大きな温度差が生成さ れる仕組みです。

また、磁場に関しても、近年の高性 能希土類永久磁石の発明と普及によ り, 超電導磁石に頼らずに1テスラク ラスの高磁場が得られる環境が整って きました。

回転軸

当社では、このような高性能永久磁 石を用いたAMR原理の試験機にガド リニウム(Gd) 強磁性体の球状粒子を 搭載し、磁気冷凍動作により、室温域 で25℃以上の温度差を得ることに成 功しています(図3)。更に、低磁場で もより大きな磁気熱量効果が期待でき るメタ磁性転移(図4)の特性を持つ, ランタン-鉄-シリコン(La-Fe-Si)系 磁性体の開発も併せて行っています。 最終的には、回転型のシステム構成 (図5)とすることで、磁気トルク相殺 による駆動力低減などを図り、小型シ ステムの構築を目指します。



磁化:磁気モーメントの総和量

2000

Gd強磁性体の 球状粒子

⊿T_{max}=25 °C

1000

時間(s)

図4. 磁性体の磁化曲線と磁気エントロピー変化の模式図 -一般の強磁性体では印加磁場の増加に伴ってスピンが徐々に そろい、これに伴う磁化の増大が見られます。一方、メタ磁性 体ではある温度域で、印加磁場の増加に伴ってスピンが急激 にそろうことによる磁化の急激な増大が見られ,これをメタ 磁性転移と呼びます。このときの磁気エントロピーの変化は、 Maxwellの関係式から水色の面積に比例するため、低磁場で も大きな磁気エントロピーの変化が期待されます。



図5. 回転型AMR式磁気冷凍機の概念 — 回転に同期して, 永久磁石による磁場を磁気冷凍作業室 内部の磁性体に印加したり除去することができます。

今後の展望

歴史的には極低温や超低温の生成手 段として発展してきた磁気冷凍技術も, 熱サイクルの工夫や永久磁石の高性能 化、更には高性能な磁気冷凍材料の開発 など、近年の様々な研究の進展によっ て、常温域における実用的な技術への新 たな展開の兆しが見え始めています。

今後も、高効率で環境に優しい将来 の冷凍技術の実現に向けて、常温磁気冷 凍技術の研究に取り組んで行きます。

なお、この研究の一部は、独立行政 法人 科学技術振興機構から受託した革 新技術開発研究事業によるものです。

斉藤 明子

研究開発センター 機能材料ラボラトリー主任研究員