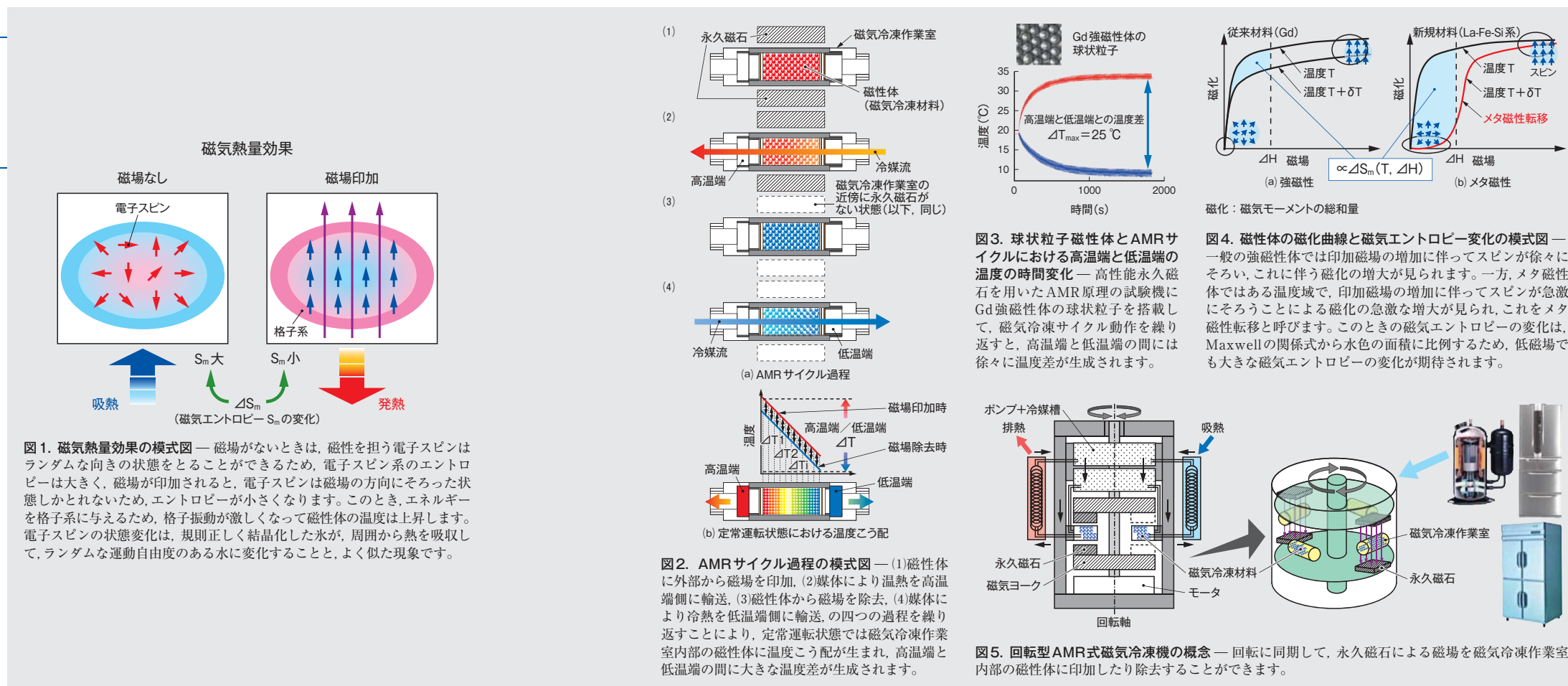


フロンレスを実現する 磁気冷凍技術

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-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-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

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。

磁気冷凍の原理

例えば、1 cm³の鉄の内部には磁気を担う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。

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

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。

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。

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いきます。

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术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