

世界初方式 マイナス200℃級大容量冷凍機を開発

— 冷凍能力4～10倍でメンテナンス不要 高温超電導機器開発を促進 —

財団法人国際超電導産業技術研究センター
国立大学法人九州大学
大陽日酸株式会社

このたび、財団法人国際超電導産業技術研究センター（理事長 荒木浩）、九州大学（総長 梶山千里）及び大陽日酸株式会社（社長 松枝寛祐）は、ネオンガスを冷媒とする膨張タービン方式の冷凍機の開発に世界で初めて成功し、マイナス200℃（液体窒素温度域）において2kW（従来型の約4倍）以上の冷凍能力があることを実証しました。

今回の成果は、現在日米欧を中心として世界中で展開されている高温超電導機器の開発に向けた技術開発競争を冷却技術の側面から強力に支援し、高温超電導機器の実現を加速度的に早めるものであるとともに、現在各種冷凍機にて冷却されている広範な機器等についても改良の道を開くことになる、画期的なものです。

この成果は、（財）国際超電導産業技術研究センターが（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より受託しております「超電導応用基盤技術研究開発プロジェクト」（プロジェクトリーダー：塩原融 （財）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）において達成したものです。

高温超電導機器は、マイナス200℃付近まで冷やすと「電気抵抗がゼロ」という特長を示す高温超電導線材を用いることで電気が流れる段階で発生する電力損失を大きく低減できる装置であり、地球温暖化防止のためのCO₂削減、飛躍的な性能向上・軽量化・コンパクト化等を実現するキーテクノロジーとして、多くの分野で実用化が期待されています。経済産業省が作成した「技術戦略マップ2007」においても、超電導技術の進展により、2015年頃に20MVA級の高効率変圧器、数百～数MW級の高効率・小型超電導モータ、更には、低損失超電導送電ケーブル、超電導電力貯蔵装置の実現が見込まれており、次世代の省エネルギー電力機器の切り札と位置付けられています。

今回、毎分10万回転が可能な直径25mmのネオン用小型タービンの開発等により、設計値であるマイナス203℃（70K）、2kW以上の冷凍能力を達成したことを冷却試験において確認しました。この結果、数kW級のタービン式冷凍機的设计・製作が可能となりました。

今回の成果により、高温超電導機器本体と冷却装置を一体とした、高効率かつ小型・軽量の超電導システムの開発が可能となります。小型堅牢で実用性の高い冷凍機を開発することが、高温超電導機器の実用、冷却式計測機器類の改良等に繋がると考えられます。今後は、連続運転試験等により、タービン式冷凍機の特長である長寿命について確認していく予定です。

本冷凍機は、ネオンガスを作動流体^{※2)}とした膨張タービン式冷凍機^{※3)}です。

膨張タービンはメンテナンス不要という特長を有している機器ですが、現在実用化されているタービン式冷凍機には、大流量を処理する空気用タービン式冷凍機（流量：数万m³/h r）とヘリウム^{※4)}用タービン式冷凍機（流量：数千m³/h r）があります。空気用タービン式冷凍機の場合、マイナス 190℃近辺で空気が液化してしまうため、これより温度を低下させることはできませんでした。また、ヘリウム用タービン式冷凍機ではヘリウムの分子量が小さく軽いため（ネオン分子の約 1/5）小型タービン（小流量：1,200m³/h r）では性能を十分発揮することができませんでした。一方、レシプロ型のGM冷凍機、スターリング冷凍機^{※5)}等がこの温度域で実用化されていますが、冷凍能力は数 Watt～1 kW程度までであり、これ以上の大容量化は困難な状況です。また、レシプロ型冷凍機は通常 1年に 1 回程度のメンテナンスが必要であり、超電導機器用冷凍機として不便であると考えられてきました。

本プロジェクトでは、ネオン用小型タービンを開発するとともに、使用温度と流量を考慮した高性能熱交換器を設計・製作し、冷凍機としてシステムアップすることに成功しました。具体的には、高温超電導機器冷却に適した設計として、メンテナンス不要であること、冷却温度マイナス 220℃～200℃において 2～5 kW の冷凍能力があること、を条件としました。そして、設計、製作を大陽日酸株式会社山梨研究所及びつくば研究所で行い、つくば研究所で冷却試験を実施した結果、所定の能力であるマイナス 203℃ (70K) で 2 kW 以上の冷凍能力を確認しました。

引き続き熱交換器の最適化、さらには圧縮機のターボ化を検討し、小型堅牢な超電導実用機器用冷凍機として開発を進めていくことで、次世代のエコ装置として開発が進められている高温超電導機器の実用化、市場導入を大きく促進するものと考えられます。まずは、連続運転試験等により、タービン式冷凍機の特長である長寿命について確認していく予定です。

今回の冷凍機は、メンテナンスが不要であるだけでなく、単体で高温超電導機器冷却に必要なとされる数 kW の能力を有しており、世界的に競争が激化している高温超電導機器の開発を押し進める技術として大きな意義があります。

また、フロン式冷凍機等によりマイナス 50℃程度の冷却が行われている分析・計測機器や食品冷凍等においても、今回の成果を適用した場合、小型化や性能および使い勝手の向上等のメリットがあり得ることから、改良の可能性が広がると考えられます。

この件に関する問合せ先：

超電導工学研究所 副所長 塩原 融 （電話：03-3536-5711）

大陽日酸株式会社 開発・エンジニアリング本部 鈴木 佳明 （電話：029-877-2117）

※ 1) 高温超電導 :

マイナス 200℃ (付近) 以上の温度で物質の電気抵抗がなくなる現象を言います。この材料で作製した線材は従来 (銅線) の 100 倍以上の電流を流すことができます。

※ 2) ネオン :

分子量 20、無色・無臭・単純窒息性、不活性ガス、沸点-246℃

※ 3) タービン式冷凍機 :

タービン式冷凍サイクルは、気体を圧縮機で圧縮し、熱交換器で冷却した後、膨張タービンで動力回収して圧力・温度を下げることで低温を得る冷凍機の熱サイクルです。

小型軽量であるため、開放型のものが航空機の客室用空調に用いられています。また、-150℃以下でより効率がよくなることを生かして、密閉型のものが空気・天然ガスの液化など大規模なプラント用冷凍サイクルに用いられています。

※ 4) ヘリウム :

分子量 4、無色・無臭・単純窒息性、不活性ガス

※ 5) GM冷凍機、スターリング冷凍機 :

各冷凍機共に往復動式冷凍機で比較的冷凍能力の小さい冷凍機であり、主にクライオポンプ、小型超電導マグネットの冷却等、小規模の冷却に用いられています。



ネオン冷凍機コールドボックス



ネオン冷凍機
計測制御装置

ネオン冷凍機仕様

冷凍能力 (W)	2,000
温度 (K)	70
ねり流量 [Nm ³ /hr]	1200
高さ [mm]	1900
外径 [mm]	1600
重量 [kg]	2500

使用圧縮機

所用動力 (kW)	65
吐出圧力 (MPa)	1.9
吸入圧力 (MPa)	0.9
定格流量 [Nm ³ /hr]	1350
重量 [kg]	1500

冷凍機フロー図

