

# 高温超電導機器冷却用 ターボブレイトン冷凍機

SATテクノロジー・ショーケース2016

## ■ はじめに

大陽日酸(株) 超電導プロジェクトでは高温超電導電力機器の冷却をターゲットにしたターボブレイトン式ネオン冷凍機(以下、ネオン冷凍機)および冷却システムの開発と製品化に取り組んでいる。高温超電導機器は、冷却温度 $-200^{\circ}\text{C}$ において冷凍能力 $2\sim 10\text{kW}$ が必要とされているが、当社では2013年に冷凍能力 $2\text{kW}$ のネオン冷凍機を商品化した。これは高温超電導電力機器を主なターゲットとした冷凍機としては世界初である。現在は $10\text{kW}$ 級ネオン冷凍機の開発に取り組んでおり、冷凍機を中心として液体窒素循環システム、超電導電力機器を収納する容器(ケーブル端末)、これらを監視する遠隔監視システムなど、超電導機器冷却系全体を運用するシステムを構築している。

## ■ 超電導材料と冷却

超電導とは、特定の物質を一定の温度まで冷却すると電気抵抗値が0となる現象である。1911年に水銀を液体ヘリウム温度( $-269^{\circ}\text{C}$ )まで冷却したときに超電導現象が発見されて以来、世界中で超電導に関する研究が行われ様々な超電導物質が発見されてきた。1986年には液体窒素温度( $-196^{\circ}\text{C}$ )以上でも超電導現象を示す物質が発見された。一般的には液体ヘリウム温度付近で超電導となるものを低温超電導材料、液体窒素温度付近で超電導となるものを高温超電導材料と呼んでいる。

低温超電導に対して高温超電導では液体ヘリウムより安価な液体窒素が利用でき、冷却に必要なエネルギーが少なく環境面でも優れているなどの特長がある。

## ■ 高温超電導機器用冷凍機

高温超電導は電力ケーブル、変圧器、限流器などへの応用開発が積極的に進められている。これらの機器を運用するためには、冷却温度 $-200^{\circ}\text{C}$ において冷凍能力 $2\sim 10\text{kW}$ の冷凍機が必要とされている。図1に一般的な各種冷凍機の冷却温度と冷凍能力の関係および高温超電導機器が必要とする冷凍機能力を示す。

これまでの高温超電導機器に関する研究開発では、容積型圧縮機を備えたパルスチューブ冷凍機、G-M冷凍機、スターリング冷凍機などの小型冷凍機が主に利用されてきた。しかし、これらの小型冷凍機の冷却能力は最大で約 $1\text{kW}$ (冷却温度 $80\text{K}$ )であり、さらに容積型圧縮機は摺動部の定期的なメンテナンスが必要となる。

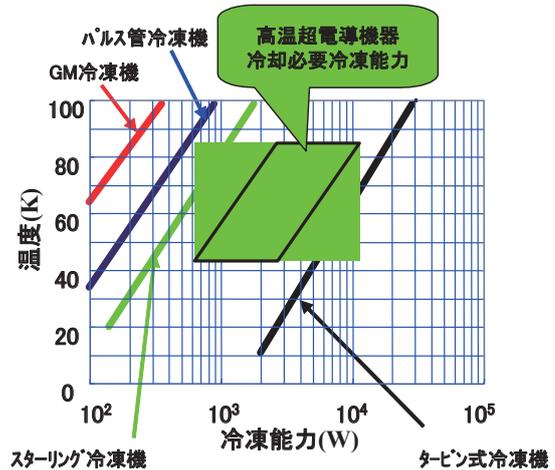


図1: 冷凍機の冷却温度と冷凍能力の関係

一方、高温超電導電力機器の冷凍機には冷凍能力以外にも、以下のような仕様が要求される。

1. メンテナンス間隔が長いこと。
2. 高効率であること。
3. 設置スペースが小さいこと。

当社ではこれらの要求を満たす最適な冷凍機を開発した。今回はその特徴や仕様および冷却システムについて紹介する。

## ■ 2kWネオン冷凍機の特長

従来のヘリウム冷凍機とは異なり、冷媒にはヘリウムガスよりも分子量の大きいネオンガスを採用している。これによりターボ圧縮機の段数削減が可能となる。また、ターボ圧縮機では同一仕様の容積型圧縮機と比べて大幅な小型化が実現できる。

さらにターボ圧縮機と膨張タービンに磁気軸受を採用することによりメンテナンス間隔を長くすることができる。磁気軸受は電磁力により軸を非接触で支持するため、摺動部がなく、動圧気体軸受のような起動・停止時の軸との接触もない。

- キーワード: (1)ターボブレイトン冷凍機  
(2)高温超電導

代表発表者 **塚野 草太 (つかの そうた)**  
 所属 **大陽日酸(株) 開発・エンジニアリング本部  
 プロジェクト推進統括部 超電導プロジェクト**  
 問合せ先 **〒300-2611 茨城県つくば市大久保 10  
 TEL: 0285-29-8369 FAX: 029-877-2118  
 E-Mail : Sota.Tsukano@tr-sanso.co.jp**

### ■ 2kWネオン冷凍機の仕様

表1に2kWネオン冷凍機の仕様を示す。冷却温度70Kでの冷凍能力は2.0kWである。

図2に冷凍機のプロセスフローを示す。ネオンガスはターボ圧縮機で0.5MPaから1.0MPaまで昇圧されたのち、コールドボックス内にある主熱交換器に入り、膨張タービン入口において68Kまで冷却される。タービンで膨張したネオンガスは60K程度となり、液体窒素を冷却した後、主熱交換器を通りターボ圧縮機へと戻る閉サイクルとなっている。

図3に商品機の外観に示す。冷凍機に必要な熱交換器、コールドボックス、ターボ圧縮機、膨張タービン、制御装置を全てユニット化することで設置簡易性の向上とコンパクト化を図った。

表1: 2kWネオン冷凍機の仕様

Cooling power	kW	2.0
Cooling temperature	K	70
Power supply	V	400
Input power	kW	50
Pressure	MPa	0.5 / 1.0
Flow rate	kg/s	0.3
Turbine inlet temperature	K	68
Turbine rotational speed	rps	1100
Compressor rotational speed	rps	550

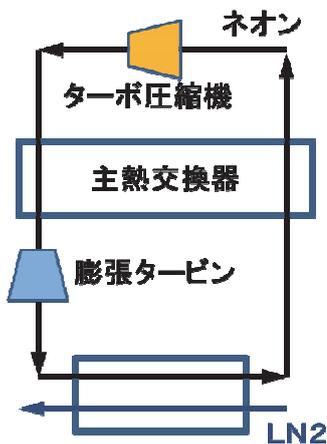


図2: ネオン冷凍機フロー

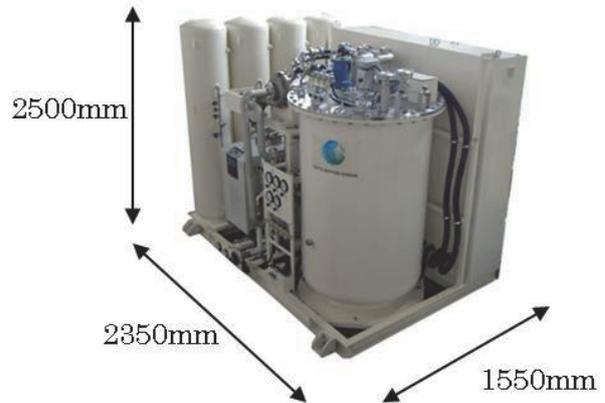


図3: 2kWネオン冷凍機外観

### ■ 冷凍機と冷却システム

図4に送電ケーブルを例とした冷却システムの概要を示す。冷却システムは開発したネオン冷凍機を中心に下記の機器から構成される。

1. ネオン冷凍機
2. 液体窒素循環システム
3. ケーブル端末などの断熱容器
4. 遠隔監視システムによる運転管理

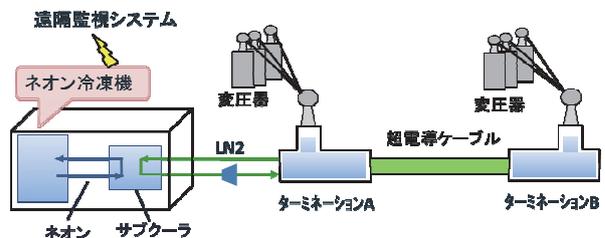


図4: 冷却システム概要

### ■ まとめ

高温超電導機器の開発は実験段階からフィールド試験レベルに移行しつつあり、一般的な普及は2020年から2030年頃と予測されている。社会にとって非常に有効な超電導技術の普及を早めるため、世界に先駆けて2kW冷凍機を商品化した。現在はさらに高性能な10kW冷凍機を開発中であり、超電導技術の普及へ貢献していく。