

技術紹介

ITER 用超臨界ヘリウム循環ポンプの試験設備

Performance Test Facility of Super Critical Helium Circulator for ITER

青木 淳* 宮井 怜* 熊木 卓也* 信時 実*
 AOKI Jun MIYAI Ryou KUMAKI Takuya NOBUTOKI Minoru

1. はじめに

ITER (国際熱核融合実験炉) は、世界 7 極の国際協力の下で仏カダラッシュでの建設が進められている。ITER の低温分配システムは、冷媒として用いられる超臨界ヘリウムを 7 基の Auxiliary Cold Box (以下 ACB)において生成して、被冷却体である各超伝導コイルへと供給する機能を有し、インド極である ITER-India (Institute for Plasma Research)がシステムの調達を担当している。各 ACB において使用されるコールドサーキュレータは、世界最大級の超臨界ヘリウム循環性能が必要とされており、当社は、このコールドサーキュレータの性能試験設備である Test Auxiliary Cold Box (以下 TACB)を ITER-India より受注した。2015 年 12 月に試験場所である量子科学技術研究開発機構 (当時は日本原子力研究開発機構) 那珂核融合研究所 (以下 QST 那珂研) での性能試験を終了し、2016 年 3 月に納入した。

2. 設備概要

2.1 プロセス関係

本設備の概略系統図を図 1 に示す。TACB に必要とされる機能は、2 台のコールドサーキュレータ (CC1 及び CC2)を切り替えて性能試験を行うこと、将来的に超伝導コイル冷却を行えるよう ITER 実機と同等の流路構成を有すること、高精度な温度・圧力・流量の計測機能を有すること、及び低ヒートロード設計等である

TACB の冷却には、QST 那珂研のヘリウム冷凍機 (冷凍能力 5 kW at 4.5 K) が用いられた。表 1 に示すように、コールドサーキュレータの運転による熱負荷が冷凍機負荷の大部分を占め、冷凍機と TACB との接続に用いられる移送配管への入熱等を除くと、超臨界ヘリウム循環ループとしては、36W の低侵入熱を実現することが必要とされた。このために、

TACB には液体窒素冷却による輻射シールドを保有し、低温弁等の侵入熱源となる構成機器は、輻射シールドからの熱アンカーを設けることで侵入熱の低減を図った。

表 1 TACB の運転モード

運転モード	CC 負荷	循環系入熱	移送配管入熱	ヒータ調整代
100%スピード (設計点)	3998 W	36 W	94 W	857 W
110%スピード (大流量)	4757 W	36 W	94 W	97 W
110%スピード (高ヘッド)	4193 W	36 W	94 W	661 W
100%スピード (1000kPaA)	4419 W	36 W	94 W	436 W
100%スピード (吸入 6.0 K)	3926 W	36 W	94 W	928 W

循環する超臨界ヘリウムは、TACB 内の液化ヘリウムを貯留する容器 (LHe-bath) 内に設置された浸漬式アルミプレートフィン熱交換器において冷却される。それらの寒冷源は、ヘリウム冷凍機からの中圧低温ヘリウムガスをジュールトムソン膨張により液化させることによって生成する。LHe-bath 内の液体ヘリウムレベルはヒーターにより制御され、このヒーター入力値がシステムとしての余剰能力に相当する。

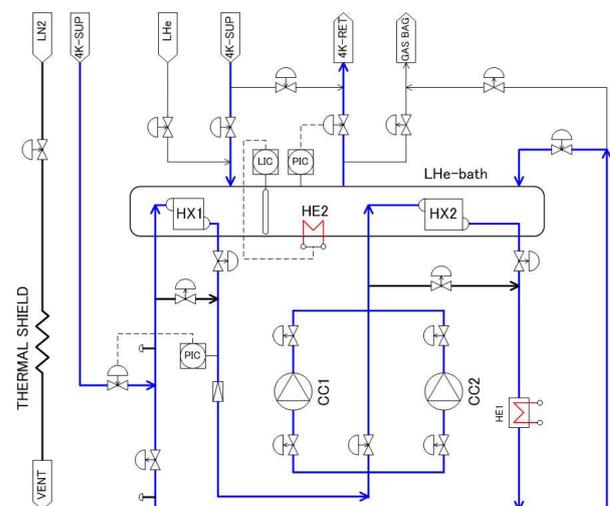


図 1 システムの概略系統図

* オンサイト・プラント事業本部 PEC SCE プロジェクト部

超臨界ヘリウム循環系統の運転圧力は、600~1000 kPa であり、ヘリウム冷凍機の高圧低温ヘリウムがガス源として用いられ、LHe-bath にジュールトムソン膨張させることで運転圧力を調整した。

上述の要求仕様を満足することに加えてシステムとしての運転裕度を確保するために、LHe-bath 内の熱交換機の上部空間には 500 L の液体ヘリウム容量を考慮して LHe-bath の内容積は 2852 L とした。19 台の低温弁や LHe-bath を収納するために横置円筒式コールドボックスが採用された。TACB の外観を図 2 に示す。

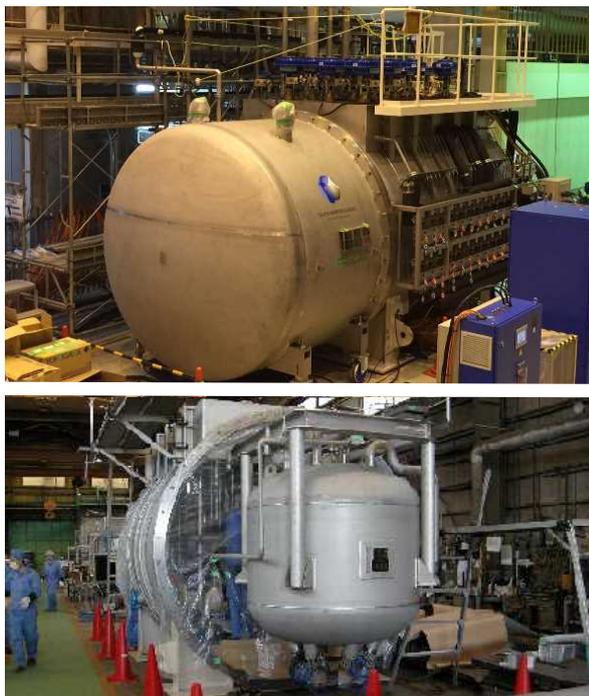


図 2 TACB 外観(上)と内部機器(下)

2.2 計測制御系

コールドサーキュレータの性能評価は、流量・揚程・断熱効率の 3 つのパラメータによって行われる。流量計測にはオリフィス式流量計が採用され、理想気体からのずれの大きい超臨界ヘリウムの流量計算には、物性推算ソフト GASPAK™ を搭載した大陽日酸製制御用コントローラ EzMPICS III を後述する横河電機製 FA-M3 バス上に実装することで実現した。

コールドサーキュレータの設計断熱効率は 70 % であり、この値はコールドサーキュレータの出入口の温度差に換算すると約 0.3 K に相当する。この小さな温度差を精度良く計測するために、CERNOX™ 抵抗温度計による計測に加えて、サーキュレータ前後に配置した蒸気圧式温度計と、蒸気圧温度計間の

差圧を計測することで計測精度を確保した。

TACB の制御システムは、ヘリウム冷凍機の制御コントローラである横河電機製 CENTUM VP small™ や、コールドサーキュレータの SIEMENSE 製 PLC との通信インタフェースを考慮して、横河電機製 PLC (FA-M3) を採用した。CENTUM VP small™ と FA-M3 は Ethernet、SIEMENS 製 PLC、温度変換器 CABTF (Mii 製) と FA-M3 とは Profibus で接続され、TACB の状態監視や操作は横河電機製 FAST/TOOLS 及び当社製 HITS をインストールしたパーソナルコンピュータで行うシステムを構築した。

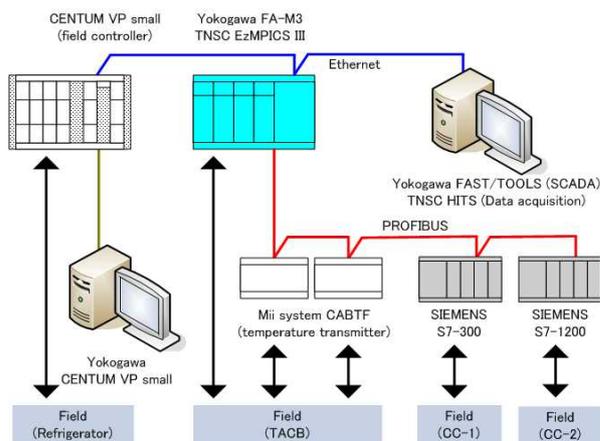


図 3 TACB 計測系のシステム構成図

3. 試運転結果

TACB 単体の初期冷却運転は、2015 年 10 月 23 日より開始された。TACB のクールダウンカーブを図 4 に示す。冷却重量は約 2 ton である。冷却初期の温度の高い状態においては、コールドサーキュレータの循環性能が低いため、冷凍機からの中圧低温ヘリウム (80 K) による強制冷却により、コールドサーキュレータをバイパスさせて冷却を行った。そのため、タービン起動直前までの温度変化は、80K レベルに各部が収束する形態を示す。その後、冷凍機のタービン起動を経て、2015 年 10 月 28 日に液体ヘリウムの生成が確認された。

コールドサーキュレータの断熱効率は、100 % スピード時において、設計値以上の性能が確認されているが、この時の運転時の LHe-bath におけるヒーター入力 は 27 W であった。この値は、表 1 に示したヒーター調整代よりも低い。これは、冷凍機側で冷凍能力を下げていることによるためであり、必要とされる試験モードの全てが遂行されたことから、TACB は所定性能を発揮していたものと考えられる。

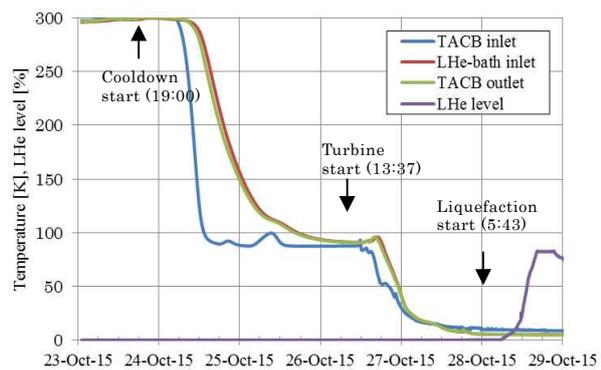


図 4 TACB クールダウンカーブ

4. まとめ

超臨界ヘリウム冷却は、高性能超伝導コイルの冷却に不可欠な技術であり、本試験設備の設計・製造過程で得られた技術を、今後の超伝導応用技術の更なる発展に活かしていきたい。