

技術紹介

温度可変ヘリウム液化冷凍設備

Variable Temperature Helium Liquefier/Refrigerator System

熊木 卓也* 檜垣 春弘* 撫原 浩嗣**
 KUMAKI Takuya HIGAKI Haruhiro NADEHARA Kouji

1. はじめに

核融合科学研究所 (National Institute for Fusion Science, 以下「NIFS」と略す) では、主として大型超伝導機器の研究および試験と旧設備の老朽化のため、ヘリウム液化冷凍設備を更新した。更新後は、旧設備と同様にヘリウム液化能力として 250 L/h 以上、4.5 K での冷凍能力 600 W 以上、4.5 K 以下の超臨界ヘリウム循環能力 50 g/s 以上の能力を有することが要求された。さらには、4.5 K レベルでの液化冷凍能力に加え、高温超伝導体や MgB₂ などのマグネット応用に関する開発研究のため、4.5~300 K の任意の温度に設定されたヘリウムガスを寒冷として供給できることも新たに要求された^{1,2)}。

当社は 2015 年に、これらのヘリウム液化冷凍能力についての要求を一つのコールドボックス内で満たした、温度可変ヘリウム液化冷凍設備 (以下「本設備」と略す) を構築し NIFS に納入した。本設備では、ヘリウムガス循環圧縮機、コールドボックスおよび制御システムを更新し、他方、バッファタンク、液体ヘリウム貯槽、液体窒素貯槽およびヘリウムガス回収・精製装置は旧設備を再利用している。

2. 設備の概要

2.1 設備の構成

本設備のコールドボックス周辺概略系統を図 1 に示す。コールドボックス (Linde Kryotechnik 社製) は、膨張タービン 2 台を備えたクロードサイクル型液化冷凍機であり、熱交換器 (図 1 HX1~HX5) および不純物除去のための 20 K・80 K 吸着器が設置されている。本設備の特徴として、旧設備では寒冷発生用と超臨界ヘリウム発生用に分かれていたコールドボックスを、気液分離器 (図 1 (2)) に 4.5 K 以下の超臨界ヘリウムが発生可能な熱交換コイルを内蔵することで一つのコールドボックス内に収めている。さらに、任意の温度のヘリウムガスを生成するため、各温度レベルに対応した供給弁 (図 1: V1~V5) を設置し、それらからのヘリウムガスを混合することで 4.5~300 K のヘリウムガスを実験設備に供給できる機能

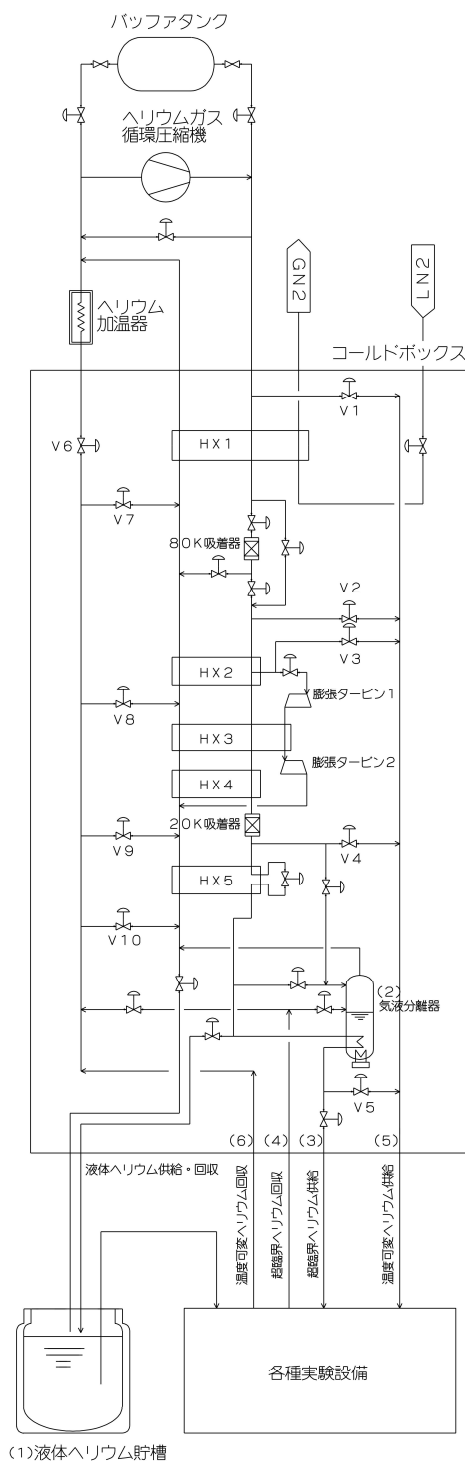


図 1 本設備の概略系統 (コールドボックス周辺)

* オンサイト・プラント事業本部 PEC/SCE プロジェクト部

** オンサイト・プラント事業本部 プラント事業部 SCE 営業部

を有する。従って、液体ヘリウムのみならず超臨界ヘリウムおよび温度可変ヘリウムガスを一つのコールドボックスで供給することが可能となり、設備の省スペース化も図られた。実験設備から戻されたヘリウムガスは、その温度に応じて回収弁（図1 V6～V10）より熱交換器またはヘリウム加温器側に回収され、常温に戻された後再び系内を循環する。

ヘリウムガス循環圧縮機（Kaeser Kompressoren 社製）は、油噴射型スクリー圧縮機であり、循環流量 101.7 g/s、吐出圧力 0.95 MPa である。圧縮機の消費電力は更新前の 450 kW から 239 kW と約 47 %削減され、旧設備と同等以上の性能でありながら大幅な省電力化が図られている³⁾。

2.2 制御システム

本設備の制御システムには、当社開発のデジタル計装システムを採用した。図2にシステム構成を示す。

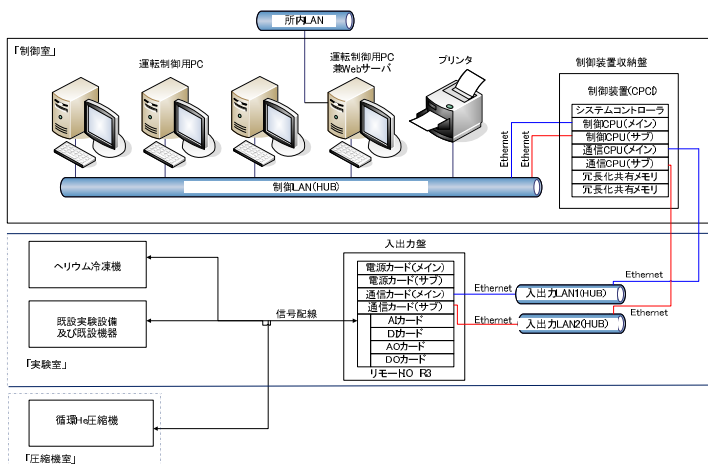


図2 システム構成図

制御コントローラには、産業用コンピュータの標準バス規格の一種であるコンパクト PCI システムを採用し、制御 CPU や入出力機器との通信部を二重化して信頼性を向上させている。

設備状況の監視や運転操作、データ収集を行う SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) システムには当社開発の HITS (Human Interface Tool System) を採用し、マルチ画面表示や構内 LAN を経由した Web 監視も可能である。

入出力機器は、コールドボックス近傍に設けた入出力盤内に収納し、制御コントローラは、HITS のインストールされた運転操作 PC とともに約 50 m 離れた空調設備のある制御室に設置している。入出力機器と制御コントローラは Ethernet で接続することにより省配線化、信頼性向上を図っている。

2.3 性能確認試験

本設備を設置後、性能確認試験を実施した³⁾。本設備の仕様値および性能確認試験結果を表1に示す。

ヘリウム液化量は、液体ヘリウム貯槽（図1(1)）の液面上昇により測定し 278.9 L/h の性能を確認した。4.5 K 冷凍能力は、気液分離器（図1(2)）のヘリウム液面を一定に保つようにヒーター制御し、670 W の性能を確認した。超臨界ヘリウム冷凍能力は、超臨界ヘリウム供給・回収ポート（図1(3) および(4)）に試験用ヒーターを設置し、407 W、供給温度 4.42 K (0.79 MPa)、流量 51.3 g/s の性能を確認した。また、同図(5)、(6)の温度可変ヘリウム供給・回収ポート（図1(5) および(6)）にも試験用ヒーターを設置し、各温度レベルからのヘリウムを混合することで 20 K および 40 K に制御されたヘリウムを生成・供給し、それぞれ 1085 W (流量 24.8 g/s) および 1603 W (流量 33 g/s) の冷凍能力を有することを確認した。

表1 本設備のヘリウム液化冷凍能力

項目	仕様値	試験結果
ヘリウム液化能力	250 L/h 以上	278.9 L/h
4.5 K 冷凍能力	600 W 以上	670 W
超臨界ヘリウム冷凍能力	350 W, 50 g/s 以上	407 W, 51.3 g/s
冷凍能力	供給温度 4.5 K 以下	供給温度 4.42 K
20 K 冷凍能力	1000 W, 18 g/s 以上	1085 W, 24.8 g/s
40 K 冷凍能力	1500 W, 20 g/s 以上	1603 W, 33 g/s

3. まとめ

超伝導マグネットを中心とした多様な実験に対応できる様、液体ヘリウムを含め幅広い温度のヘリウムガスが供給可能なコールドボックスを含む設備を構築し、NIFS に納入した。性能確認試験において、本設備が仕様値以上の能力を提供できることを確認した。

本設備を利用することで、超伝導マグネットを利用した核融合や加速器の将来的な技術開発につながることが期待される。

参考文献

- 1) 三戸利行 他. 大型超伝導実験用温度可変低温設備, 低温工学・超電導学会講演概要集, 2014, 90, p129.
- 2) 岩本晃史 他. NIFS 液化冷凍設備の更新と実験設備の増設, 低温工学・超電導学会講演概要集, 2015, 91, p32.
- 3) S. Hamaguchi *et al.*, Commissioning Test Results of Variable Temperature Helium Refrigerator/Liquefier for NIFS Superconducting Magnet Test Facility, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2016, Vol.26 Issue3, Article# 9500404