

COMET ヘリウム冷凍設備用低温精製器の開発

○藤井 悠輝^{A)}、岡村 崇弘^{A)}、大畠 洋克^{A)}、大中 政弥^{A)}

^{A)}高エネルギー加速器研究機構 J-PARC センター 低温セクション

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構では、大強度陽子ビームを用いてミュオンが電子へ転換する希少事象を探索する COMET 実験 (J-PARC E-21) が進行中である。本プロジェクトでは複数の超伝導磁石を冷却する (図 1) ため、ヘリウム冷凍設備が必要となる。その設備で用いるヘリウムガス中の不純ガスを除去するため精製器が必要となるが、市販品は高価であるため、我々は低温精製器を開発した。

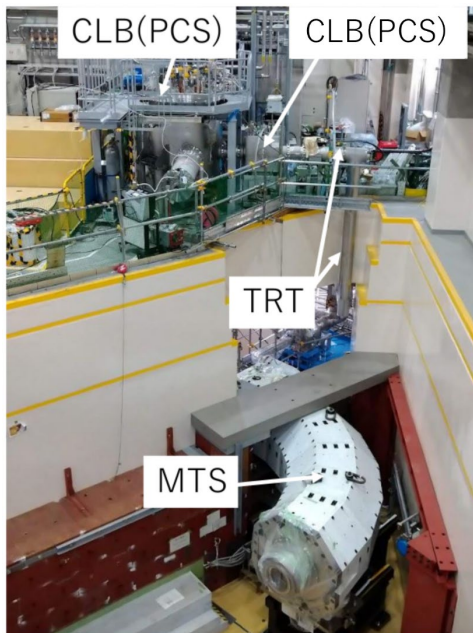


図 1 COMET 実験の冷凍機系

2. 低温精製器

開発した低温精製器 (図 2) は活性炭トラップと熱交換器で構成され、これを既存の液体窒素貯槽に挿入する。液体窒素により活性炭トラップを冷却することで、ヘリウムガス中の不純ガスを活性炭が吸着し、ガスを精製する。

本精製器の開発費は 150 万円以下であり、市販の精製器に比べて大幅なコスト削減を実現した。また、液体窒素供給や活性炭トラップ再生の自動化、複数のセンサー監視により精製試験や運用を行いやすくなったのも、本精製器の特徴である。

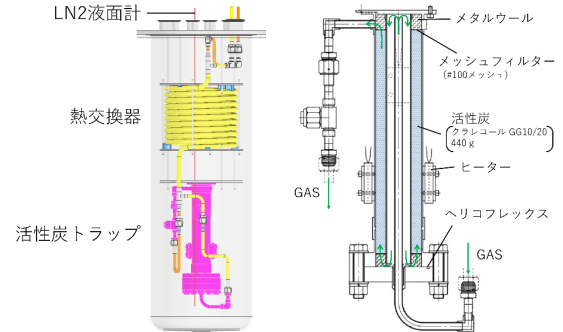


図 2 低温精製器 図 3 活性炭トラップ

3. 精製試験

本精製器の不純物除去性能を調べるため、精製試験を行った。精製試験はヘリウム液化設備の回収ヘリウムを使用して行った (図 4)。

精製時にはバルブ①を調整し、ガス流量を一定に保ちながら精製した。精製開始からしばらくすると活性炭が破過して、精製器出口での窒素濃度が急上昇する (図 5)。精製器出口の窒素濃度が 10 vpm を超えた時点で精製終了とした。精製終了後、液体窒素を抜きヒーターで活性炭トラップを加温すると、活性炭から不純ガスが離脱し、精製器の内圧が上がる。精製器の内圧が 0.3 MPaG になると電磁弁が開いて不純ガスを大気に放出し、N₂ 流量計で不純ガス量を測定する (図 6)。活性炭トラップが常温に戻るまでに N₂ 流量計で測定された値を積算し、精製器の吸着量とした。

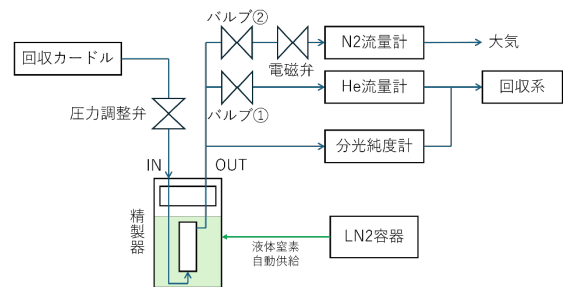


図 4 精製試験フロー図

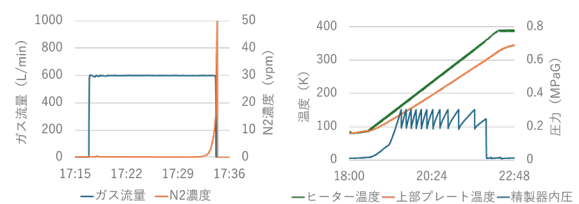


図 5 精製トレンド 図 6 再生トレンド

4. 精製試験結果

精製試験での流量とガスの吸着量の関係を図 5 に示す。不純ガスの吸着量は、精製時のガス流量 600～700 L/min でピークとなることが分かった。

活性炭トラップ内でガス流速が速いと、ガスと活性炭がよく混ざり吸着量が増える。一方で流速が速すぎると吸着しきれないガスが出てくる。この結果、中間的な流量で吸着量のピークとなったと考える。

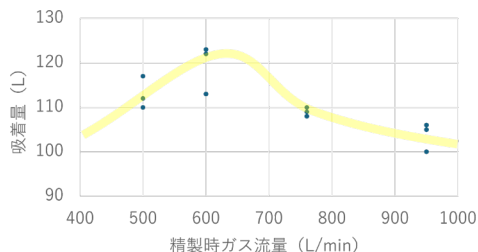


図 7 不純ガス吸着量

5. 最大吸着量測定

精製器の最大吸着量を測定した。活性炭が破過し、窒素濃度が上昇した後もしばらくガスを精製器に流し続けた後で、測定した吸着量を精製器の最大吸着量とする。

精製器にガスを流し続けると、活性炭が破過して少し経った後、精製器出口圧力がわずかに上がることを分かった (図 8)。

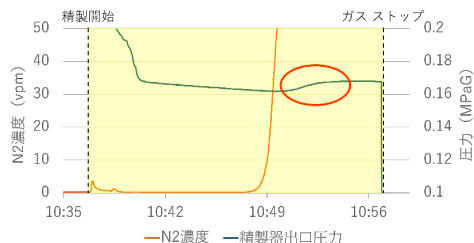


図 8 最大吸着量測定

精製時の流量などの条件を変え、最大吸着量を測定した結果が表 1 である。2 回目の測定の際には精製の差圧が大きく、出口圧力が他より低くなっている。3, 4 回目の測定では破過後の出口圧力上昇を確認し、圧力上昇が落ち着いた時点でガスを止めている。

精製器の最大吸着量は、精製時の流量に寄らないことがわかる。また、破過後の圧力上昇後すぐに止めても、20 分流しても吸着量が変わらないことから、圧力上昇した時点で活性炭が完全に飽和したと考える。2 回目測定で最大吸着量がわずかに他より少なくなっているのは、精製器内の圧力が他より小さくなっていることも起因していると考えられる。

表 1 最大吸着量

精製時流量	備考	最大吸着量
760 L/min	破過後 25 分流す	137 L
680 L/min	差圧が大きい	130 L
600 L/min	出口圧力が上がり	137 L
500 L/min	きったら終了	137 L

6. 精製運転

2026 年 1 月中旬に 3 日程度かけて、本精製器を使用してヘリウム冷凍設備系内の循環精製を行った (図 9)。精製運転開始直後には、精製器出口の窒素、水分濃度が 0 vpm であり、精製器が十分に機能していることを確認してから精製運転を行った。精製運転時の冷凍機内窒素濃度の変化を図 10 に示す。精製開始時には 6 vpm あった窒素濃度が終了時には 0 vpm、2.5 vpm あった水分濃度は 0.0 vpm となり、系内の不純ガスを十分に除去できた。

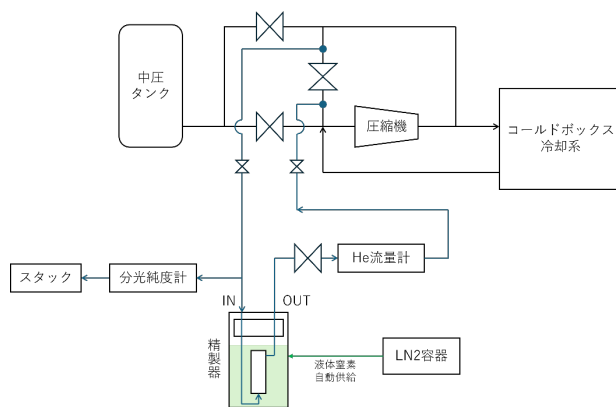


図 9 精製運転時フロー図

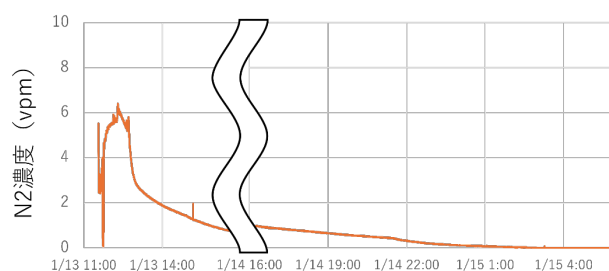


図 10 精製運転時 N2 濃度変化