

MRI のトランスファー放出ガス回収の報告とヘリウム純度計の紹介

○浅田 瑞枝、石田 向日葵、高山 敬史

自然科学研究機構 分子科学研究所 機器センター

1. はじめに

産業、医療、科学分野で非常に貴重な資源であるヘリウムは世界的な供給不足により価格が高止まり状態である。限りある資源を有効活用するため、同一敷地内の生理学研究所(生理研)にある MRI から放出されるヘリウムガス回収を試みた。また、ヘリウムガス回収時の純度測定等に使用するヘリウム純度計をシンプルで安価に製作したので紹介する。

2. MRI からのヘリウムガス回収

生理研には MRI が 5 台あり、定期的な保守作業や計画停電後に液体ヘリウムを補充しており、これまで蒸発ガスは大気放出されていた。今回、各所で話題となっている^[1,2]市販の塩ビ製貯水袋を使用して計 4 回、回収を試みた。実験室内外のガス回収可能な配管やガスバッグの輸送経路を検討した結果、MRI から延びるクエンチダクトからの回収を行うことにした。ヘリウム回収については、事前に MRI 保守会社より許可をいただいた。

2.1 ヘリウムガス回収の事前準備

MRI の建物外にある様々な形状のクエンチダクトに市販の換気用アルミダクトを接続した。ダクトは $\Phi 150 \rightarrow \Phi 100 \rightarrow \text{NW}40$ フレキシブルチューブに変換して接続し、配管内が低圧のまま回収できるようにした。安全対策として放出用バルブと作動圧 2kPa の安全弁を接続し、微圧計で圧力を確認しながら作業できるようにした。(図 1) 貯水袋は事前に真空引きしたものを持ち込んだ。



図 1 準備した配管の概要

2.2 貯水袋の性能テスト

2.2.1 膨らみ確認

貯水袋はかたくて膨らみづらいとの情報を聞いたため、袋内にガスを送り、その時の圧力を微圧計にて計測したところ今回購入したものは 0.05~0.1 kPa で貯水袋が膨らむことが確認できた。

2.2.2 貯水袋の容量

どれくらいまでガスが入るのか、流量計を通して圧縮空気で確認した結果を表 1 に示す。2 m³貯水袋は実際に膨らませるとたわんで最大 2.4 m³まで充填できることが分かった。3 m³貯水袋は 3.08 m³でかなり張りがある状態となり、物によってばらつきがあるため流量計を通して回収量を正確に計測する必要がある。

表 1 購入した貯水袋の最大充填量

貯水袋の規格	2 m ³	3 m ³
サイズ	2×1×1m	2×1.5×1m
重量	9.45 kg	16 kg
最大充填量 (張りがある状態、 圧縮空気、20℃)	2.4 m ³	3.08 m ³

2.2.3 ヘリウム回収速度

分子研でのガス回収方法としてドライ真空ポンプを使用した場合と回収配管に直接接続した場合を検討した。それぞれの回収速度を比較した結果を表 2 に示す。ドライ真空ポンプで回収するほうがわずかに速いことがわかった。回収配管からの回収は 1ヶ所を接続してバルブを開けるだけなので作業時間は短縮できるが、貯水袋がある程度しぼむと低速になり最後までは吸い出せなかった。一方ドライ真空ポンプは全量を吸い出せるので真空ポンプを使用して回収することにした。

表 2 ヘリウムガス回収速度の比較

	ドライ真空ポンプ	回収配管に接続
規格	250 L/min	-0.2 kPa (負圧)
配管径	NW25	
回収速度	5.56 min/m ³ = 10.8 m ³ /h	5.73 min/m ³ = 10.5 m ³ /h

2.2.4 ヘリウムガス透過量

ヘリウム分子は非常に小さく透過しやすい。ヘリウム用のガスバッグと異なりアルミ蒸着されていない貯水袋がどの程度ガスを透過するか確認するために、7 m³ボンベから純ヘリウムガス 2.2 m³を充填・密閉し、6 日後のガス量と純度を確認した。ガス量は N5 流量計を通して計測し、ヘリウム純度計が設置されている回収ラインで回収した。結果を表 3 に示す。142 時間後の体積は 0.096 m³減少(4.4%減少)、純度は 1.3%減少、約 1.6 L/m²・day の透過量だった。ヘリウム用のガスバッグ (5.5 cc/m²・day・atm) ¹⁾よりはるかに透過量が多いものの、今後近隣施設での蒸発ヘリウムガス回収に使用する際、短期間の設置で回収量が充分見込める場合は問題なく使用できることが分かった。

表 3 ヘリウムガス透過量 (20℃換算)

時間	0 h	142 h (6 日後)
充填量、回収量	2.200 m ³	2.104 m ³
ヘリウムガス純度	99.6 %	98.3 %

2.3 ヘリウムガス回収

トランスファー当日に回収配管を設置し (図 2)、トランスファーを開始した直後は放出用バルブを開けてダクト内をヘリウム置換した。その後、放出用バルブを閉めると同時に貯水袋のボールバルブを開けた。トランスファー中はダクト内圧力が上がることを懸念したが、回収中は放出弁を閉めても微圧計で検知できず、安全弁も作動しないまま貯水袋が膨らみ、充分に回収できた。回収結果を表 4 に示す。4 回の合計で 26.7 m³回収することができた。生理研～分子研まで (約 300m) の運搬は、①自作の専用台車に載せて人力輸送、②軽ワゴン車に載せての輸送を併用した。(図 3) 分子研での回収は真空ポンプの排気側をヘリウム回収配管に接続して、回収純度を

後で紹介するヘリウム純度計で確認しながら貯水袋のヘリウムガスを回収した。(図 4,5)



図 2 貯水袋と
クエンチダクトの接続



図 3 分子研への運搬
①自作の専用台車



図 4 ②軽ワゴン車で輸送して
真空ポンプで回収



図 5 純度計で
回収純度の確認

2.4 継手の改良

NW40 から貯水袋への接続で、適当なサイズの継手が見つからなかったため 3D プリンターで NW40 径の専用継手を作製し直接ボールバルブに接着した。(図 6) 3D プリンターの継手は一般的な樹脂製でステンレス製よりも軽く、L 字に造形することも容易である。しかし積層構造の隙間からリークがあったため、エポキシ系接着剤によるコーティングや部材を肉厚にするなど改良が必要である。なお、ト

表 4 MRI からのヘリウムガス回収量

日付	2025.11.5	2026.1.27	2026.1.29	2026.2.5
MRI	Magnetom 7T	BioSpec 11.7T	Verio-B 3T	CimaX 3T
貯水袋 容量[m ³]	2, 2	2, 3, 2, 3	2, 3, 2	3, 2, 3
回収量合計	2.5 m ³ (概算)	9.6 m ³	7.6 m ³	7.0 m ³
ダクトからの回収速度	0.34 m ³ /min	0.10 m ³ /min	0.31 m ³ /min	0.28 m ³ /min
回収純度	98.4 - 98.5 %	100.9 - 102 %	99 - 102 %	99.3 - 100.2 %
運搬	貯水袋 1 つを台車 で人力 2 往復	軽ワゴン車に車載して輸送		

ランスファー時のガス回収の際、低圧のままなるべく早く回収したいのでガス出入口の口径は大きくしたいが、3 m³貯水袋は2 m³のものよりも取水口のバルブ口径が小さかったため、口径の大きい上部の注水口（2 インチ）にバルブを取り付けた。



図 6 作製した専用継手を接着

3. ヘリウム純度計の製作

弊所のヘリウム純度計は東京大学低温センターで開発された^[4] 真空度測定に使用するピラニセンサーを転用したものを使用していたが、自作することにした。原理は既存品と同じピラニセンサーを使用し、基板は東京大学物性研究所の基板^[5]を参考にさせていただいた。既存品を改良しつつ、ネットワーク監視機能を追加してシンプルで安価に製作したので紹介する。

3.1 ケースの変更

金属ケースは穴あけ加工に手間がかかるため、透明プラスチックケースを採用した。ケースは防水 (IP66/67) で、ケーブルの取出位置を自身で穴あけして選択できる。ケースのサイズは3種類で、いくつかの配管純度をまとめて確認することができるよう表示パネル枚数を3枚まで追加可能。(図 7) これまで設置場所に困ることが多かったが、専用の部品を付けることで配管設置も容易である。(図 8)

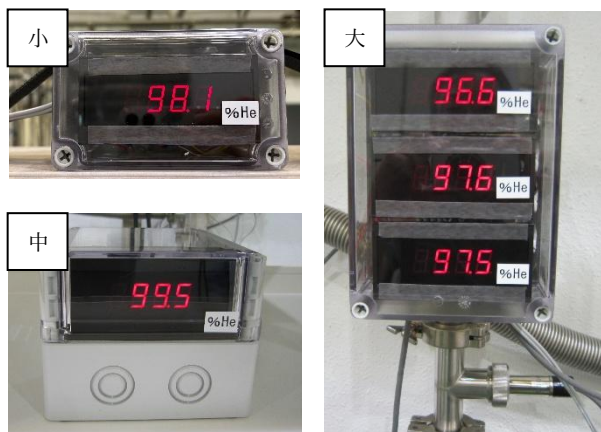


図 7 ケースサイズ小・中・大



図 8 専用部品で配管に設置可能

3.2 他社純度計との比較

同じピラニ式純度計でも純度の温度補正が異なるため、周囲温度の変化による影響に違いが出ると考え、回収圧縮機がある部屋に純度計を設置して比較した。(図 9) 回収圧縮機 1 回の運転で部屋の温度は約 10℃上昇する。矢印の位置で回収圧縮機が起動しており、特に圧縮機が連続で運転している時間 (15-16 時) を比較すると、A 社純度計は運転停止後の温度変化による応答が遅く次の起動まで引きずっているのに対して、今回製作した純度計は停止後すぐに元の純度に戻っている。製作した純度計は周囲温度による純度への応答が速いため、温度変化が激しい部屋ではより正確に純度を計測することができる。

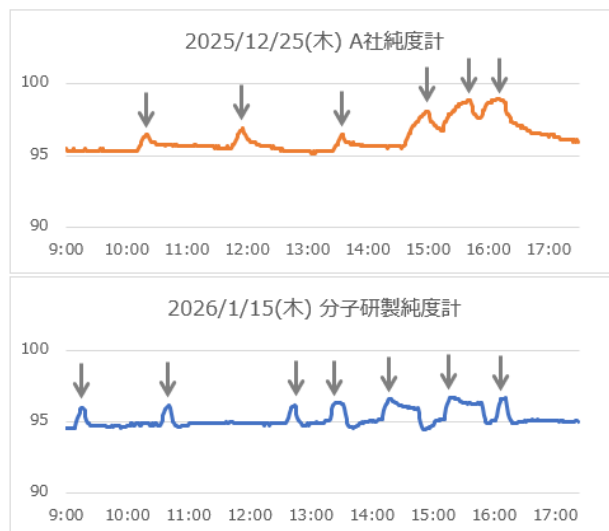


図 9 他社純度計との比較

3.3 ネットワーク監視機能

Raspberry Pi Pico 2W は MicroPython で動作可能なマイコンで、A/D コンバータと Wifi 機能が搭載されている。ヘリウム純度計内部で純度表示するための電圧を A/D コンバータ用端子で読みとり、ネットワーク経由のアクセスに対し純度換算した値を提供するプログラムを組むことで、PC のブラウザ等を経由して遠隔監視可能になった。ただし Raspberry Pi Pico のメモリ容量は少ないため、純度変化をグラフ化する場合は別途サーバーにデータ蓄積する必要がある。

4. 謝辞

ヘリウムガス回収について、シーメンスヘルスケア株式会社とアジレント・テクノロジー株式会社のご担当者様、ならびに、生理学研究所生体機能情報解析室の福永教授、同研究所技術課河合主任にヘリウムガス回収に多大なご協力を賜りました。貯水袋の利用について、千葉大学理学部極低温室の吉本技術専門職員にご助言を賜りました。3D プリンターによる継手製作にあたり、分子科学研究所装置開発室の松尾主任技術員にご協力を賜りました。また、ヘリウム純度計の基板製作にあたり、東京大学物性研究所の土屋技術専門員より回路図を参考にさせていただき、分子科学研究所装置開発室の豊田主任技師に回路設計で多大なご協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献 (URL は 2026 年 2 月 13 日現在)

- [1] 宗本久弥、沖縄県での液体ヘリウムリサイクル実施状況、研究基盤 EXPO2025 研究基盤協議会「共創の場」シンポジウム、(2025) https://www.ltc.u-ryukyu.ac.jp/helium_recycle/helium2025jan.pdf
- [2] 中村光輝、他、他機関とのヘリウムリサイクルシステム構築、2025 年度 埼玉大学 機器・分析技術研究会、O-007、(2025)
- [3] ㈱ダイゾー スカイピア事業部 膜材について <https://www.daizo.co.jp/skypia/membrane/membrane.html>
- [4] 早坂洋、大塚洋一「簡単なヘリウムガスモニター」分子科学研究所技術研究会、4-21、(1993)
- [5] 東京大学 物性研究所 低温液化室「ヘリウムガス純度計取扱説明書」
<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/cryogenic/download/pdf/manual.pdf>