

小動物用 MRI からのヘリウム回収

○津々美 章子^{A)}、大城 秀治^{A)}

^{A)}大阪大学 大学院工学研究科 (コアファシリティ機構 低温科学支援部門)

1.はじめに

大阪大学 コアファシリティ機構 低温科学支援部門 吹田分室は、吹田キャンパス内に液体ヘリウムを供給している。ヘリウムは貴重な資源であるため、吹田分室から供給を受ける利用者には、ヘリウム回収配管の敷設を求めている。

小動物用 MRI を設置している保健学科は、現在ヘリウム回収配管の敷設に向けて検討・調整を進めているものの、複数の課題により実現には至っていない (図 1)。そのため、現状は業者から年間約 400 L の液体ヘリウムを購入し、小動物用 MRI の超伝導マグネットを維持している。しかし、この間も貴重なヘリウムが大気放出され続けている。

装置担当者がヘリウム回収に強い意欲を示していることを踏まえ、配管が敷設されるまでの暫定措置として、可搬型ガスバッグを用いたヘリウム回収を実施することとした。

本報告書は、読者が知見を活かしやすいよう、ヘリウム回収の上流から下流に向けて技術要素ごとに整理・記述する。必ずしも時系列順になっていない点にご留意いただきたい。

2.小動物用 MRI 装置上部の改造

小動物用 MRI は、クエンチ発生時に備えて、破裂板を介したクエンチダクトが標準装備されており、通常運転時に発生する自然蒸発ガスもクエンチダクト側へ排出される構造である。このように本装置はヘリウム回収を前提とした設計ではないため、標準仕様では回収ラインの接続ができなかった。そこで装置メーカーBRUKER と相談・検討し、装置上部の改造を依頼した (図 2、3)。具体的には、回収ライン接続用の T 字管、緊急時にクエンチダクトへ切り替え可能にするためのバルブ 2 つ、圧力計の取り付けを想定した T 字管を、全て NW25 継手で取り付けた。本取付工事は、2024 年 12 月に BRUKER により実施された。図 2 の赤バルブが半開なのは、トランスファー前に装置内部の圧力を開放している状態を撮影したためである。

BRUKER による工事が完了した後、上側の T 字管にフレキシブルホースを接続、その先に 500 cc/min



図 1 小動物用 MRI (年間 LHe 補充量約 400 L)

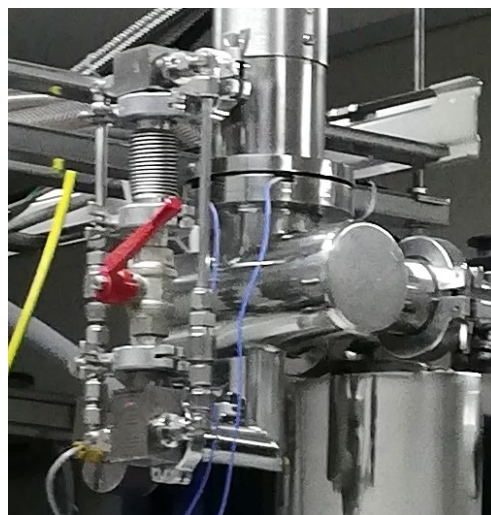


図 2 小動物用 MRI 上部 改造前



図 3 小動物用 MRI 上部 改造後

流量計や可搬型ガスバッグをポリウレタンホースでつなぎ、ヘリウム回収を試みた。しかし、試験開始当初、流量計は全く動かず、ガスバッグもわずかに膨らむ程度であった。流量計のレンジが大きすぎて抵抗になっている可能性を考え、より微量で動く流量計に交換してみたが、状況は変わらなかった。そこで、予想される回収量を計算したところ、計算結果と実際の回収量に大きな差異が見られた。具体的には、仮に 40 cc/min (流量計の最小目盛りは 50 cc/min) で流れているとすると、1 週間で 0.4 m³、すなわち 1 m³ ガスバッグが溜まるのに 2 週間以上かかる計算となる。また液体換算すると、1 か月で 2.5 L 程度、1 年で 30 L 程度の蒸発となり、トランスファー回数を考えると明らかに少ない。ここから、どこかでヘリウムがリークしている可能性を疑い、リークチェックを実施したところ、クエンチダクト側にもヘリウムが流れていることが判明した。

同部門豊中分室より、類似装置においてクエンチダクトにつながるフランジに挟まれている破裂板が損傷 (ヒビ、割れ) していたことで、ヘリウム回収率が悪くなった事例があるとの情報を得た。この点も踏まえて BRUKER に調査を依頼したところ、目視で破裂板に損傷は確認されなかったものの、新品への交換とフランジの増し締めを行った結果、リークが止まった。すると流量計が動くようになり、ガスバッグも相応に溜まるようになった。2025 年 1 月 29 日時点で 300 cc/min であった。

また装置内部の圧力を把握する手段がなかったため、BRUKER と相談・検討し、装置上部配管の下側の T 字管に 50 kPa 圧力計を取り付けた (図 4)。



図 4 小動物用 MRI 上部 圧力計取り付け後

3. 自然蒸発ガス回収ユニットの製作、設置

±1 MPa 圧力計、2 kPa リリーフ弁、500 cc/min 流量計、および捨てバルブから構成される自然蒸発ガス回収ユニットを製作し、小動物用 MRI 上部からのフレキシブルホースと可搬型ガスバッグとの間に設置した (図 5)。

当初は、この回収ユニットの捨てバルブにトランスファーラインを接続し、トランスファー時に発生するガスについても回収する運用を想定していた。このため、トランスファー時にリリーフ弁等の各構成要素を遮断可能とする目的で、それぞれの手前にバルブを設けた。しかし捨てバルブにトランスファーラインを接続すると、フレキシブルホース径に対して流路断面の小さいバルブをヘリウムガスが通過することとなり、回収時に当該バルブが流動抵抗となる恐れがある。このため現在の運用では、トランスファー時には自然蒸発ガス回収ユニットを切り離し、フレキシブルホースとトランスファーラインを直接接続する方式を採用している。本来であれば、不要なバルブを除去することでユニットの軽量化を図りトランスファー時の着脱作業性を向上させることが望ましいが、本件は配管敷設までの臨時的対応であることから現状構成のまま運用を継続している。

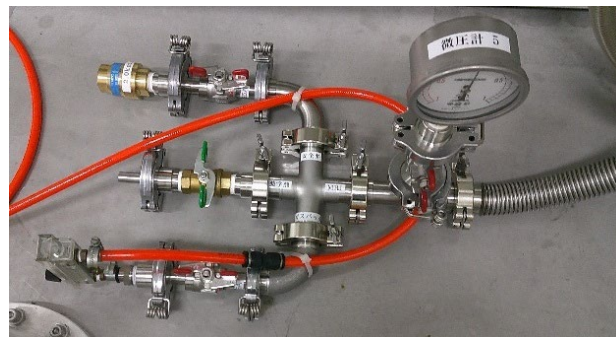


図 5 自然蒸発ガス回収ユニット

4. ガスバッグの設置、台車製作

ガスバッグの設置に向けて必要なスペースの確保を利用者に依頼したところ、設置空間が限られるためガスバッグを縦置きにできないかとの相談を受けた。この要望に対応するため、廃材のステンレス棒等をつなぎ合わせ、さらにガスバッグをそのまま運搬可能とするためのキャスターを取り付け、縦置き型台車 (1 m³ スカイピア版) を製作した (図 6、7)。ガスバッグ上部は、皮革用縫針セット (エスコ EA916J) でシルバーのポリエチレンシートを縫い付けて補強した。その後、15 mm 両面ハトメパンチ (藤原産業 SK11 No.1100) でハトメを 5 カ所取り付け、インシュロックで台車骨組みに固定した (図 8)。



図 6 縦置き型台車

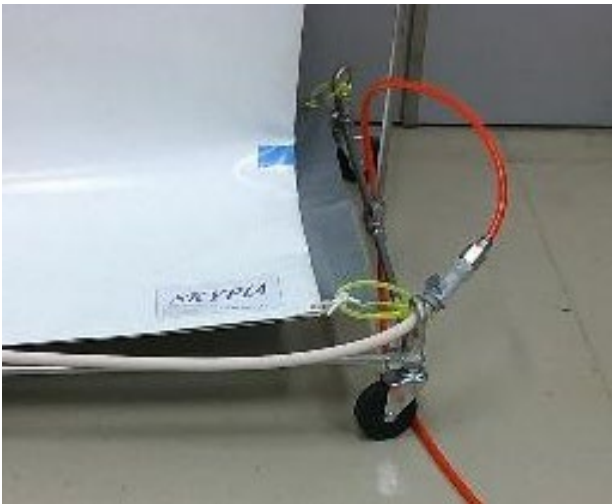


図 7 ガスバッグと回収チューブの接続の様子

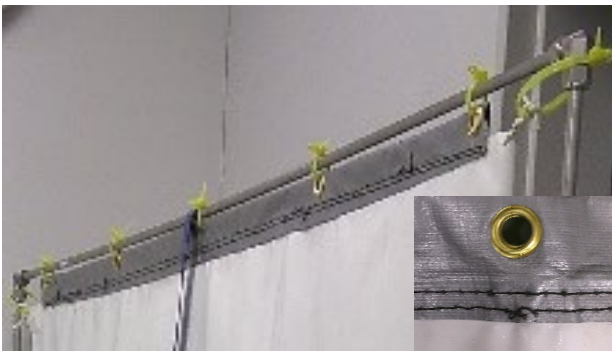


図 8 ガスバッグ上部の様子 (右下は拡大写真)

実際に使用してみると、運搬時に船の帆のように風を受けるため扱いにくかった。加えて、骨組みのステンレス棒がガスバッグの重みに耐えられずに歪んでしまい、約 2 週間で使用を中止することとなった。

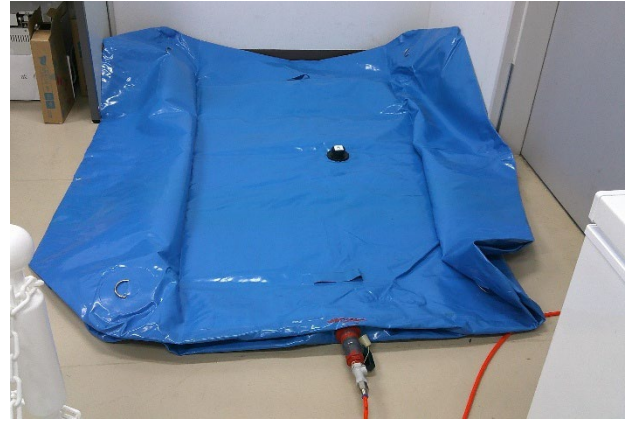


図 9 直置きガスバッグ



図 10 CPC カプラーを接続したガスバッグ先端



図 11 直置き用台車、吊り下げ型台車

この経験を受け、その後必要なスペースを確保し、直置きで 2 m^3 ガスバッグを設置した (図 9)。これは、医薬基盤研究所から NMR を移設する際に使用した水バッグである^[1]。

このガスバッグおよび回収ラインの先端には、切り離すと両側とも自動的に栓をされる CPC カプラーを使用している (図 10)。またガスバッグの継ぎ手部分には、液状ガスケット (スリーボンド製液状ガスケット 1207C) を塗布し、継ぎ手部分からヘリウムがリークしないようシールした。

ガスバッグの運搬には、スパーシア製パイプ ($\phi 28\text{ mm}$) 等を使用して製作したガスバッグ運搬台車を使用した (図 11)。沖縄県工業技術センターの荻氏

から作り方を教わり、自分たちで製作したものである。使用中に一度キャスターが外れたことがあったが、付け直して以降は問題なく使用できている。

また、スぺーシア製パイプ ($\phi 19\text{ mm}$) 等を用いて吊り下げ型台車 (1 m^3 水バッグ版) も製作した (図 11)。しかし実際に使用してみると、ヘリウムの軽さのイメージとは異なり、ガスバッグはきれに上方へ膨らまず、下方で横に広がろうとする力が働いた。その結果、接続口が下向きになってしまい、使い勝手が悪かった。また、ベルトを接着している部分が剥がれやすく、頻繁にメンテナンスが必要であった。

しばらくは両方の台車を併用していたが、徐々に吊り下げ型台車を使用しなくなった。そこで、トランスファー時に 2 m^3 ガスバッグを 2 個同時に運ぶことを想定し、吊り下げ型台車を平型台車へ組み替えた (図 12)。この台車は、写真下部に写っているベルトを台車の前後に装着し、前方ベルトで台車を引き、後方ベルトで方向を調整する仕組みである。この平型台車は強度が弱く、早々に破損してしまった。



図 12 ガスバッグ平型台車



図 13 直置き用台車 2 号

そこで、破損した平型台車を直置き用台車 2 号に組み直した (図 13)。この台車は使用中にパイプが外れることがあるものの、現在も使用している。

以上より、パイプ径 $\phi 19\text{ mm}$ では強度が弱く、実用性・安定性の面で課題が生じた。台車製作においては、パイプ径 $\phi 28\text{ mm}$ が適切だと考えられる。また利用者より、台車は一体型より分離型の方が融通が利いて使い勝手が良く、ガスバッグの容量は 1 m^3 より 2 m^3 の方が作業しやすいとの意見が得られた。

5. 近くの既設配管に回収受入口を設置

ヘリウムを可搬型ガスバッグで回収すると、ガスバッグからヘリウムを抜き取る作業が必要となる。そして少数のガスバッグかつ省スペースで運用するには、ガスバッグを頻繁に持ち運ぶ必要がある。さらに屋外を運搬する場合、天候の影響も受ける。加えてガスバッグからのヘリウム抜き取り作業は、低温センター職員ではなく利用者自身に実施していただく運用を想定していた。これらを踏まえて、保健学科からの距離、利用者が抜き取り作業を行うスペースを確保できること、さらには将来的な配管延長の可能性を考慮し、小動物用 MRI から約 120 m 離れた薬学部既設配管に回収受入口を新設した (図 14)。本工事は、2024 年 12 月 18 日に配管施工業者により実施された。



図 14 既設配管に新設した回収受入口

小動物用 MRI のある保健学科は医学部に属しているが、回収受入口を設置した配管は薬学部に位置している。そのため、本計画の実現には部局を越えた調整が必要であった。低温センター職員が薬学部へ相談した結果、回収受入口の使用が回収時のみであること、ならびに使用エリアが限定的であることから、薬学部の下承を得た。また、将来薬学部で配管を延長する可能性を考慮し、この部分を分岐ポイントとして利用できるよう、捨てバルブを設けた。

回収受入口は、分岐バルブ、既設配管との縁切りバルブ、配管、ガスメーター、回収ポートから構成される。将来的に保健学科まで配管を延長する可能性を踏まえ、分岐バルブは下向きに設置し、その下には免振フレキシブルホースを取り付けられるスペースを確保した。また、将来配管を敷設した場合、縁切りバルブより上部は不要となることから、撤去作業性を考慮し、ガスメーターは壁面固定とせず、仮支持金物を用いて既存配管部に取り付けた仮設パネルに固定した。

この回収受入口を設置した配管の上流側には NMR1 台、下流側には NMR6 台とその他装置が接続されている。工事中に既設配管へ大気が混入することを防ぐため、既設配管に切り込みを入れる前に工事箇所の前後のバルブを閉め、上流側の NMR の蒸発ヘリウムは 30 L サンプリングバッグ (アズワン 1-6332-18、1 ロコック) に回収した (図 15)。

回収受入口の設置後、ヘリウムパージを実施して工事完了とし、その後工事箇所前後のバルブを下流側、上流側の順に開け、さらにサンプリングバッグに回収していたヘリウムを通常通りガスメーターを通して低温センターへ向かう配管に流した。

6. ダイヤフラムポンプの設置

当初はポータブル電源を使用し、抜き取り作業の度にダイヤフラムポンプとポータブル電源を台車に乗せ、ガスバッグとともに持ち運ぶ運用を想定していた。しかし回収受入口の設置にあたり、この建物内で液体ヘリウムを利用している教員 (工事箇所の上流側 NMR の管理者) へ一報を入れたところ、同一壁面沿いの外階段下にポンプを常設する案をご提案いただいた。さらに配管近くにある屋外コンセントの使用についてもご了承いただき、ポンプ使用時の音に関しても理解を示していただいた。加えて、「ヘリウム回収率を向上させることは、すべてのヘリウム利用者にとってメリットがあり、そのためにわずかな電力を使用することは全く問題ない」との非常に協力的かつ心強いご意見をいただいた。



図 15 工事中サンプリングバッグにヘリウム回収



図 16 ダイヤフラムポンプ等の保管の様子



図 17 ダイヤフラムポンプ保管箱の内部の様子

これを受けて薬学部の事務に相談したところ、マンホールの定期点検の際にすぐに移動できるようにすることを条件に下承を得た。ポンプ類は防水仕様の青箱に入れて、台車に乗せて保管している (図 16)。

青箱の中には、ダイヤフラムポンプとホース類を収納している (図 17)。ダイヤフラムポンプはアルバック製 DA-121D で、医薬基盤研究所から NMR を移設する際に使用した実績があり、今回も使用可能と判断した^[1]。性能は 0.13 m³/min (実測値) であり、

2 m³ ガスヘリウムを抜き取るのに 18 分かかる計算となる。また 2 本のホースをガスバッグ側とガスメーター側のどちらに接続するかが一目でわかるように、ポンプの上部にテプラで表示を付けた。

青箱の蓋は、本体の内側からも外側からもマジックテープで固定できる仕様である。雨風をしのぐためには蓋を外側に出して固定する方が良いため、そのように運用するよう利用者に伝えた。青箱の上に置いている脚立は、ガスメーターの値を読むときに使用している。



図 18 ヘリウム抜き取り時の様子

表 1 ガスバッグ回収状況

回	実施日	ガスバッグ	回収量
1	2025 年 1 月 31 日	白 1 m ³	0.99 m ³
2	2025 年 2 月 5 日	青 1 m ³ 、青 2 m ³	2.44 m ³
3	2025 年 2 月 7 日	白 1 m ³	1.05 m ³
4	2025 年 2 月 7 日	青 2 m ³	1.30 m ³

※2025 年 2 月 7 日に圧力計設置

※白 … スカイピアガスバッグ

青 … 水バッグ (Amazon にて購入)



図 19 ガスバッグ運搬の様子

7.ダイヤフラムポンプによる抜き取り作業を実施

2025 年 1 月より、ダイヤフラムポンプによる抜き取り作業を実施している (図 18、表 1)。1 回目は低温センター職員のみで行ったが、2 回目以降は利用者にも実施していただき、抜き取り方法を覚えていただいた。

純度は回収受入口から少し進んだ配管の既設の純度計で確認しており、これまでのところ問題なく回収できている。また、ガスバッグの先端に CPC カプラーを使用したことで、学生が接続・切り離しを行うときに汚染を気にせず作業できている。

運搬は 2 名以上で行い、回収のペースは週あたりおよそ 1.5 回である (図 19)。利用者は研究の一環として週 2~3 回ほど動物の床敷交換や給餌作業を行っており、その際に発生する廃棄物もこまめに処理している。元々定期的な作業に慣れていることもあり、ガスバッグの回収も無理なく進められている。

8.まとめと今後

小動物用 MRI からヘリウムを回収することに成功した。利用者と協力しながら体制を整えていき、低温センター職員の業務を圧迫することなくガスバッグにて自然蒸発ガスを回収する仕組みを整えた。

今後は、引き続きヘリウム回収配管敷設の検討を進めるとともに、配管が敷設されるまでの間はガスバッグによるトランスファーガスの回収も実施する。ガスバッグによるトランスファーガスの回収はすでに数回実施済みで、その詳細は改めて報告したい。

9.謝辞

本件は、大阪大学 大学院医学系研究科保健学専攻 齋藤茂芳 教授、齋藤研 森井麻美 秘書、齋藤研の学生の皆様のお力添えにより実施できた。ここに感謝する。また、ポンプの設置等にご協力いただいた大阪大学 大学院薬学研究科 吉田卓也 教授、部局を越えた事務手続きにご協力いただいた大阪大学 大学院薬学研究科 藤田玲子 事務職員、スカイピアガスバッグや水バッグ使用の先駆者であり、運搬台車の製作方法を教えていただいた沖縄県工業技術センター 荻貴之 主任研究員にも感謝する。

参考文献

[1] 大阪大学コアファシリティ機構低温科学支援部門、大阪大学低温センターだより No.175、NMR 装置移設のためのヘリウム回収作業、p16-28、(2026)。