

ヘリウム液化受託の取組み

○伊藤 義浩^{A)}、笹尾 愛^{B)}、日高 志郎^{B)}、

^{A)}大阪大学 基礎工学研究科、^{B)}大阪大学 理学研究科

1. はじめに

近年、ヘリウム価格の急騰により、液体ヘリウムを使用する分析装置の停止件数が増加している。ヘリウムガスを再液化するシステムの運用は、大学をはじめとする研究機関等に限られている。

2023 年 7 月、本学と奈良工業高等専門学校（以下「奈良高専」）との間で開始したヘリウムリサイクルの取組みについて報告する。

2. NMR とヘリウム

奈良高専には NMR(JNM-ECX 400)が 1 台設置されている。これまで装置内の液体ヘリウムはボイルオフガスとなり大気へ放出されていた。減少した液体ヘリウムは 4 ヶ月に一度の頻度でメーカーが補充を行ってきた。この液体ヘリウムの支払いは年間保守契約に含まれている。ヘリウムの市場価格の高騰に伴い保守料金が値上がりし、装置の運用が維持できなくなる可能性が出てきた。

装置停止を回避すべくヘリウム液化機を所有している本学にヘリウムガス再液化の相談が寄せられた。

3. 琉球大学（以下「琉大」）の取組みに学ぶ

これまでにガスボンベに充填されたヘリウムガスを本学に受け入れ、液化依頼を受託したことはあった。しかし、ボイルオフガスそのものの状態で液化依頼を受けたことがなく、その実現可能性から検討する必要があった。そこでヘリウムリサイクルについて先進的な取組みを行っている琉大[1]の手法を参考にした。琉大では学外の 3 機関とヘリウムのリサイクルを行っており 2 つ方式で運用している。

3.1 ガスボンベ方式

沖縄科学技術大学院大学（以下「OIST」）には圧縮機があり、ヘリウムガスをガスボンベ 10 本組のカードルに充填して琉大まで移送している。両機関間の距離 40 km を OIST のスタッフがトラックで運送している。

3.2 ガスバッグ方式

沖縄県工業技術センター（以下「工技センター」）と沖縄健康バイオテクノロジー研究開発センターにそれぞれ NMR が 1 台設置されている。ガス回収用の圧縮機がないため、両センターともに 1m³ サイズ（縦 2.0m 横 1.6m）のガスバッグを活用してヘリウムガスを琉大まで移送している。移送作業は主に運送

業者である赤帽への委託によって行われ、一部はヘリウムユーザー自身が自家用車で運んでいる。両センターと琉大との距離は 20 km 弱である。この拠点間におけるガスバッグの運送費を検討した結果、最も安価な赤帽が選択された。赤帽は距離制運賃であり 20 km までは一律 5,500 円で、3 m³ 近くのヘリウムを運ぶことができる。ヘリウムガス運送単価はおよそ 1,800 円/m³ となる。

また液体ヘリウムの充填作業時にはボイルオフガスが 10 m³ 以上発生する。そのガスを全て回収するためにガスバッグ 12 個程度準備する。



図 1 スカイピアバッグ 1 m³（ダイゾー社製）

4. 奈良高専のリサイクルシステム設計

奈良高専には圧縮機が設置されておらず取り扱うガス量が少ないことから、ガスバッグ方式で実施することを第一候補とした。この時点ではガス蒸発量を把握できていなかったが、メーカーによる液体ヘリウム補充量から 1 ヶ月に 7 から 9m³ 程度ではないかと推測した。

4.1 回収設備

ヘリウムガスを回収するための設備としては、ブレードホースと複数のガスバッグを設置できることが望ましい。初めから多くのガスバッグを用意できれば一度に回収できるガス量が増え、液体ヘリウム充填作業時などの運用面においてのバッファとなる。しかし、スカイピアバッグは 1 個 25 万円であるため、いくつ用意できるかは予算次第となる。工技センターではガスバッグの数をまず 1 つからスタートし、少しずつ増やして 6 個程度で安定運用に至った。このような立ち上げに関する経緯を聞くことができ大変参考になった。

4.2 ガスバッグ方式の運送費

まず運送費について試算を行った。本学と奈良高専の距離は、自動車での移動距離にして 45 km。奈良高専がガスバッグを 6 個準備できるものと仮定した場合、トラックをチャーターし一度に 5 個のガスバッグを運び、残りの 1 個は奈良高専でガスを回収用として使用する。このときトラックのチャーター料金を 5 (m³) で割った値がヘリウムガス運送単価 (円/m³) となる。大阪や奈良の運送会社に見積もりを取った結果、ヘリウムガス運送単価はおおよそ 5,000 円/m³ となった。上記 2 センターで活用している赤帽に運送委託した場合と比較すると運送単価が約 3 倍高くなる。これに本学が奈良高専に課す液化料金 (1,200 円/L) を加算すると、奈良高専が液体ヘリウム 1L を得るためのコストが約 5,000 円/L となる。奈良高専がメーカーと結んでいる保守契約料金と比較すると、トラックで本学へ運送しリサイクルの方がランニングコストは安価となる。

しかし、初期に準備するガスバッグが 6 個だけでは液体ヘリウム充填作業中に発生するボイルオフガスを全て回収することは難しい。このガスを全て回収するために必要なガスバッグ 12 個を初めから揃えることが可能であれば、1 m³あたりの運送単価およびランニングコストを削減できる。

初期にガスバッグの個数になるべく多く揃えるかあるいは順次追加購入をすれば中長期的なコストダウンにつながる。

4.3 定置式圧縮機

ガスバッグ移送方式の試算と並行してガス回収用圧縮機設置についても検討を行った。小型の圧縮機のラインナップを調べたところ次のようなものがあることがわかった。Bauer 社の G60-V は 0.5 m³ のガスバッグを内蔵、吐出量が 3 m³/h。価格は 1,000 万円。東亜潜水社の YS-55A、YS-75A は吐出量が 5～11 m³/h。価格は 300～400 万円。ガスバッグは別途必要である。

NMR1 台だけのボイルオフガス (月間 7～10 m³) を回収するためだけに圧縮機を設置するには初期コストが高すぎるのではないかと考えられた。また第二種製造者 (処理量 300 m³/日未満) として行政へ届出をする心理的ハードルは、ヘリウムユーザーにとって低くはない。更にこの場合にはガスボンベも必要になり、圧縮機の定期自主検査を行う負担も生じる。これらの理由により圧縮機の設置は見送ることになった。



図 2 G60-V



図 3 YS-55A

4.4 移動用圧縮機

奈良高専とのガスの移送方法についてどうするか模索していた折に、本学の高圧ガス製造施設の定期自主検査を委託している大和熔材の上林専務に相談にのっていただいた。上林氏は、約 50 年前レシプロ式ヘリウム液化機を取り扱う営業マンとして小池酸素工業に勤務し、その後、産業ガスや工作機械を取り扱う大阪の大和熔材へ移られた経歴をお持ちである。そうした背景もありヘリウムリサイクルについて強く共感を示してくださった。上林氏から提案されたプランは次のとおりである。

大和熔材が空気充填用として使用している移動用圧縮機 YS-75A (東亜潜水機社製) を、ヘリウムも充填できるようガス種追加の届出を行う。奈良高専に設置したガスバッグにヘリウムが一定量貯まった時点で、大和熔材が移動用圧縮機とガスボンベを奈良高専へ持ち込む。ガスバッグと移動用圧縮機をホースで接続し、ヘリウムガスをボンベへ充填する。そのガスボンベを大和熔材が本学へ運送する。

この方式では、ボンベ 1 本でガスバッグ 6 個分のガスを運べるため運送コストを大きく削減できる。また液体ヘリウムを NMR へ充填作業中に生じるボイルオフガスも、移動用圧縮機を用いることでほぼ全量を回収可能となる。ガスバッグを直接運送する方式や定置式圧縮機を新設する方式いずれも導入コストが高額となるが、ガスの圧縮作業を協力会社に外注することでイニシャルコストを最小限に抑えることができる。

本学と奈良高専間の液体ヘリウム容器運搬とガスボンベの貸与に関しても、大和熔材が引き受けてくれることになった。これによりヘリウムの物理的移送方法について目処が立った。実際にヘリウムガス回収を始めたところ 4 週間で 6m³ が貯まったため、ボンベへの充填作業を 4 週間に一度行なうことになった。



図 4 移動用圧縮機 YS-75A

5. 本学における受け入れ準備

5.1 利用者に対する規程

学外のヘリウムユーザーが、本学に液化依頼をするために必要な規程の整備を行った。

5.2 回収ガスの計測

47L のガスボンベに 14.7MPa の圧力まで充填すると、ガスの体積は約 7 m³ と認識していたが正確には異なるものと判明し、その認識を改めることとなった[2]。本学内ではヘリウムガスの計測は都市ガス用のメーターを使用している。しかし体積は圧力と温度に依存するため、ガス量を正確に計測するには不向きである。そこでマスフローメーター（質量流量計）を用いることとした。

5.3 購入物品

マスフローメーター（Azbil 社製）、ダイヤフラム型ドライ真空ポンプ、スカイピアバッグ（ダイゾー社製）。

6. ヘリウムリサイクルの課題

6.1 移送コスト

液体ヘリウムの消費地とヘリウム液化施設の拠点間が離れている場合、ヘリウムの移送コストが課題のひとつとなる。移送コストを下げるために研究者が自分で運ぶという選択肢もある。しかし、その場合には研究時間が削られるため、よほど近距離でない限り適さないであろう。拠点間の距離が 20 km 未満であれば、琉大のケースのように赤帽に委託することで、比較的安価なリサイクルシステムを構築できる。それ以上の距離になると、初期投資により圧縮機の導入する方が、中長期的にトータルコストは安くなる。また、ヘリウムの移送距離が短い場合でも、ヘリウム消費量が多い場合は圧縮機導入の経済的メリットが大きい。しかし、圧縮機を設置したとしても、拠点間距離が 100 km を超えるような場合には移送コストの負担は重くのしかかる。

琉大のケースで確立された赤帽に運送委託する方式は、工技センターのヘリウムユーザーが試行錯誤を重ねた結果、生み出されたものである。奈良高専

における移動用圧縮機を活用した方式も、本学のスタッフがあらゆる可能性を探るなかでたどり着いたものである。ヘリウムの移送方法については、他にもっと効率の良い方法を探っていく余地があると思われる。

6.2 ユーザーの負担

液体ヘリウムの補充をメーカーに委託している場合、ユーザーは装置内のヘリウムレベルを確認する程度であり、ヘリウムを管理しているという意識はそれほど高くない。一方、ヘリウムのリサイクルを始めると、ユーザー自らでガスバッグの管理や液体ヘリウムの充填作業を行なう必要が生じることもある。これまでヘリウムの管理をメーカー任せにしていたユーザーにとっては、大きな負担と感ずるかもしれない。

6.3 液化施設側の業務負担

奈良高専の NMR1 台に対して、年に 3 回、50L の液体ヘリウムの供給している。供給サイドで新たに発生した業務は以下のとおりである。バラ瓶 18 本からのガス移送と計測、液体ヘリウム容器の予冷、容器移送中のガスバッグとボイルオフガスの管理。また事務手続きとして、ヘリウムの数量管理、見積書と請求書の作成が挙げられる。

7. 展開可能性

ヘリウム価格が高止まりしている昨今、苦境に立たされているヘリウムユーザーは潜在していると思われる。今後ヘリウム価格が更に高騰することになればリサイクルを求める声が増加するかもしれない。琉大と本学の取り組みから見えてきたことは、事案に応じて移送方法などのシステム設計を行わなければならないということである。真似できるところは流用できるが、個別に改良や工夫が必要なこともでてくる。このようなシステムの構築に取り組める人材と継続的な運用を担うことができる組織体制が必要となるであろう。

8. 謝辞

本リサイクルを進めるにあたり、ご助言をいただいた関係者の方々に感謝を申し上げます。特に多くの有益なご助言をいただいた琉球大学の宗本久弥技術主幹に、心より御礼を申し上げます。

参考文献

[1] 沖縄県で進行する液体ヘリウムのリサイクル, ガスレビュー No.911[2022.9.1]

[2] 宗本久弥「ヘリウムはガスボンベ 1 本で何リットル液化できるのか」平成 25 年度 核融合科学研究所技術研究会, 4-01 (2014).