

ヘリウム液化用圧縮機定期メンテナンス

○金本真知^{#,A),B)}、藤澤真士^{A),B)}、大熊哲^{B),C)}

A) 東京工業大学 オープンファシリティセンター

B) 東京工業大学 極低温研究支援センター

C) 東京工業大学 理学院物理学系

1. はじめに

液化用圧縮機のメンテナンスの話をする前に、ヘリウムリサイクルについて簡単に説明する。ヘリウムはすべての元素のうちで最も低い沸点 4.2 K をもつため、極低温を得るための寒剤として広く利用されている。ヘリウムは地球上で限られた資源であり、天然ガスの副生成物としてのみ、まとまった量を手に入れることができる。日本では産出されず、需要の全量を輸入に頼っている。このため、国内の主要な大学、研究機関では、液体ヘリウムを寒剤として利用したのちに蒸発ガスを回収し、再利用するヘリウムリサイクルが行われている。

リサイクルのために必要な工程は主に回収と液化という2つのプロセスに分けられる。回収プロセスでは学内に張り巡らされた配管を通してヘリウムガスが集められ、回収用圧縮機によって最大 14.7 MPa の高圧ガスとして、長尺ガスボンベに貯蔵する。液化プロセスでは液化用圧縮機によってヘリウムガスを圧縮し、タービンで膨張させることにより冷却し、液化する。液化したヘリウムは真空断熱構造の巨大な貯槽に貯められ、小分け容器に詰め替えて各研究室に供給する。ヘリウムは回収による劣化がなく、何度でも再利用できるため、回収率が 90% とすると、捨てる場合と比較して 10 倍もの量を使うことができる。

しかし、高圧ガス容器は高額で場所も取るため、所有するヘリウムに対して十分な容量がない。定期的に液化を行わないとすぐに満杯になってしまう。通常の供給を続ければ 2 週間、供給を絞っても 1 か月持たない。ヘリウムリサイクルは走り続けると倒れてしまう自転車操業である。

液化機本体は海外製であり、故障の修理には長い期間を要する。液化機の故障は液体ヘリウムの供給を不可能にするだけでなく、貴重なヘリウムガスの保管自体も危うくする。故障を未然に防ぐことが、液体ヘリウムを安定して安価に供給することにつながる。

2. メンテナンス概要

東京工業大学大岡山キャンパスのヘリウム液化機は 2011 年に更新された。現在に至るまで、タンク底部継手からのオイル漏れ[1][2]など軽微なトラブルはあったが、重大な故障はなかった。2023 年に累計運

転時間が 8000 時間を超えたため、メーカーが推奨しているメンテナンスを行った。今回のメンテナンスでは、主に液化用圧縮機内のオイルセパレーターとオイルフィルター、外部に設置されているコアレスサーフィルターと油分離器内の活性炭の交換を行った。オイルの除去が適切に行われなければ、極低温の液化機内部にオイルが侵入し、配管の閉塞を引き起こし、ただちに故障となる。本章では今回交換した 4 つの部品について説明する。オイルフィルターを除く 3 つの部品は、圧縮機から液化機までの間に、紹介する順で直列に接続されている。

2.1 オイルセパレーター

圧縮機内部のオイルタンク内にある大きな筒状のフィルターである。ガラス繊維のフィルターでエアロゾル状となったオイルを吸着する。やがてオイルはまとまって重力によって自動的に真下のオイルタンクに戻る。

2.2 オイルフィルター

オイルタンク横に 2 つ付いている小型のフィルターである。圧縮機内のオイルに含まれる不純物を濾しとり、浄化する。



図 1. オイルタンク 上部にオイルセパレーターが入っている



図 2. オイルフィルター オイルタンク横の黒い筒状のフィルター

2.3 コアレスサーフィルター

外部に設置されたフィルターである。直列に 2 本ついており、やはりガラス繊維によってオイルを吸着する。下部の配管からオイルを圧縮機に戻す。

2.4 油分離器

大きな筒状の空洞の中に活性炭が約 150 kg 詰められている。これまでのフィルターでは除去できない蒸発してガス化したオイルの分子を、表面に吸着することによって除去する。中圧ガスドライヤーとほぼ同じ仕組みだが、オイルを吸着した活性炭は高温の窒素ガスでも再生できないため、中身を丸ごと交換する。



図 3. コアレスフィルター



図 4. 油分離器

3. 実際の作業の様子

3章では実際の作業について順を追って説明する。作業は小池酸素工業及びコイケテックの技術者3人が12/18～21の4日間で行った。

3.1 1日目

1日目は油分離器内の活性炭を入れ替える作業を行った。上部のフランジを外し、業務用掃除機で吸い出す。吸い出した活性炭を見たが、特に汚れているわけではなく、オイルの吸着具合はわからなかった。吸い出しが終わったら、上部から新しい活性炭を投入する。ドラム缶からポリタンクに移し替え、人力で持ち上げて注ぐ。単純作業だが、150 kgの詰め替えには2時間程度かかった。

詰め替えが終わったら、熱した窒素ガスを流して活性炭中の水分を蒸発させる。内部の温度を上げるため、断熱材で表面を覆った。温度コントローラー付きのヒーターを用いて、180℃に熱した窒素ガスを流した。窒素ガスは極低温センターのCEから中圧ガスドライヤー再生のラインを用いて供給した。窒素ガスは3日目まで2日間流し続けた。

コアレスフィルターの交換を行った。上部がやや汚れている程度だった。上流部分にあるオイルセパレーターとオイルフィルターによるオイルの除去が十分になされているためと考えられる。翌日の作業のため、圧縮機内部の古いオイルをすべて抜いた。



図 5. 断熱材で覆われた油分離器



図 6. 窒素加熱用ヒーター



図 7. コアレスフィルター 上が新品で下が使用後 少し汚れている

3.2 2日目

液化用圧縮機内部のオイルセパレーターの交換を行った。オイルタンク上部のフランジにつながる配管を外し、フランジを開けようとしたが、ここでトラブルが発生した。本来の仕様では横にスライドさせる形で作業を行えるはずだったが、中央のパイプが抜けず、横にスライドさせるとパイプが折れてしまうため、急遽手動のチェーンブロックを上部に設置して真上に引き上げる形で作業を行った。オイルセパレーターはオイルでかなり汚れていた。新しいオイルを上から投入し、新品のオイルセパレーターを取り付け、配管を元に戻した。

3.3 3日目

作業はほとんどなく、油分離器を通した窒素ガスの露点が-64℃を指したことを確認して、ヒーターの電源を切った。ヒーターが冷えたことを確認して、窒素ガスの流量を減らした。

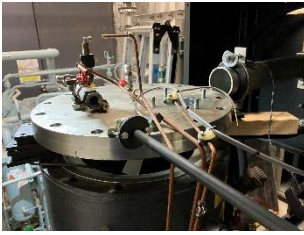


図 8. オイルタンク上部
フランジ

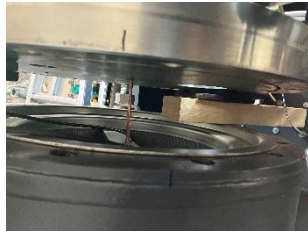


図 9. 抜けないパイプ
フランジ



図 10. 引き抜かれたオイル
セパレーター 汚い



図 11. 新品のオイルセパ
レーター 白い

3.4 4日目

液化用圧縮機オイルタンク横のオイルフィルターを交換した。ねじ込み式で容易に交換できた。配管の接続を元に戻し、真空ポンプと中圧タンクのヘリウムガスを用いて配管のフラッシュを行った。液化用圧縮機の試運転を行い、圧力が上がることを確認した。時間が遅くなっていたため液化は行わなかった。

4. メンテナンス後のトラブル

この章ではメンテナンス後のトラブルについて述べる。結論から言えば、つなぎ直した配管からガスのリークが発生したが、対応できた。

メンテナンス終了後はすでに夕方だったので、その翌日に液化運転を行った。液化運転は問題なく終了したが、週明けの月曜日に異変が見つかった。HPラインの圧力が2.5 barまで低下していた。リークが疑われたが、液化運転に支障はないと判断し、その日は液化を行った。液化終了後にバルブを操作し、(1)液化用圧縮機、(2)コアレッサーフィルター、(3)油分離器、(4)液化機の4部分に分け、翌日まで放置して気密を測定した。結果は(1)液化用圧縮機だけ圧力が低下していた。携帯用のリークディテクターを用いて検査を行い、作業に伴って付け外しした配管の継ぎ手部分でリークが見つかった。組立後に業者がリークテストしていた箇所だったが、見逃していたか、

あるいは運転の振動によってリークしたと思われる。過去にも一度リークしたことがある箇所だった。まし締めを行い、リークがなくなったことを確認した。それ以降は圧力の低下は起こっていない。

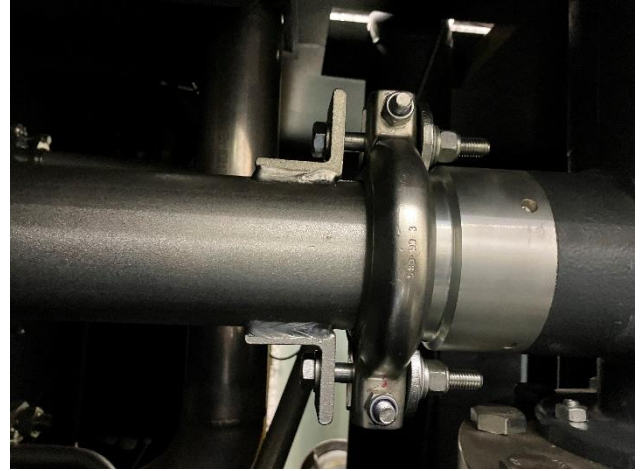


図 12. リークした配管継ぎ目

5. メンテナンス後の改善点

この章ではメンテナンスによって改善された点を紹介する。前面のパネルで液化用圧縮機の運転中の圧力が確認でき、メンテナンス前はおよそ9.4 barを示していたが、メンテナンス後は8.8 barへと低下した。これはオイルセパレーターを交換したことにより、圧力損失が減少したためである。液化機手前の圧力計は9.2 bara(=8.2 bar)となるよう調節されており、メンテナンス前は約1.2 barの圧力損失があったのに対し、メンテナンス後は0.6 barまで低下したことになる。また、これまでは冬季の気温が低い時期に oil filter dp というエラーメッセージが表示されることがあった。これは、オイルフィルターでの圧力損失が大きくなっていることを示すメッセージで、推奨される対処はオイルフィルターの交換である。このエラーメッセージは2/27現在までは出ていない。

6. まとめ

ヘリウム液化用圧縮機の運転時間が累計8000時間を超えたため、メーカーが推奨する定期メンテナンスとして、液化機内部へのオイルの混入を防ぐためのフィルター類の交換を行った。結果として、フィルターによる圧力損失が減少した。今後も故障を未然に防ぐため、整備・点検を欠かさずやっていきたい。

参考文献

- [1] 藤澤真士、金本真知、大熊哲 “東京工業大学極低温物性研究センターの紹介”、高エネルギー加速器研究機構 技術研究会報告集 2016、P4-2.
- [2] 藤澤真士、金本真知、大熊哲 “東京工業大学大岡山キャンパスにおけるヘリウム液化施設の維持管理” 技術研究会 2020 千葉大学 報告集 p5-2.