

筑波大学におけるヘリウム液化設備の維持管理について

○近藤 裕、泉谷 勝行

筑波大学研究基盤総合センター技術室（低温部門）

1. はじめに

筑波大学研究基盤総合センター低温部門では、学内のユーザーに対して液体ヘリウム、液体窒素を供給している。年間の供給量は液体ヘリウムが約 1.8 万リットル、液体窒素が約 12 万リットルとなっている。

当部門では 2010 年に導入されたヘリウム液化機 (LINDE 社製 L280)、液化用ヘリウム圧縮機 (KAESER 社製 ESD441) によるヘリウムの液化を行っている。

液化されたヘリウムは実験等で使用され、気化したヘリウムを回収し、精製した後、再液化するリサイクルシステムとなっている。これにより安価に液体ヘリウムを利用することが可能となっている。

ヘリウム液化設備の適切な維持管理は、安定した液体ヘリウム供給に必要不可欠である。

本報告では、当部門がこれまで行ってきたコストを抑えたヘリウム液化設備維持管理等について述べる。

2. ヘリウム液化機メンテナンス

2.1 液化機バルブメンテナンス

ヘリウム液化機は 2010 年に導入された LINDE 社製 L280 で運転時間は 1 万時間を経過している。近年、定期検査時の気密試験において気密を保てない事象が発生した。ヘリウム液化機バルブの多くは、長い棒状の先端にパッキンが取り付けられており、蛇腹部分を空圧で伸縮させ上下動で開閉する構造である。そのためパッキンが押しつけられ薄くなり、僅かな隙間ができて気密が保たれなくなると考えられる。

今回は、図 1 のヘリウム液化機フロー概略図に示す CV3615、CV3401、CV3420、CV3415、PV3435 についてバルブパッキンおよび O-ring、PV3410 についてはパッキンの交換を行った。

CV3615 は液体窒素ライン、その他は内部精製に関するラインのバルブに該当する。

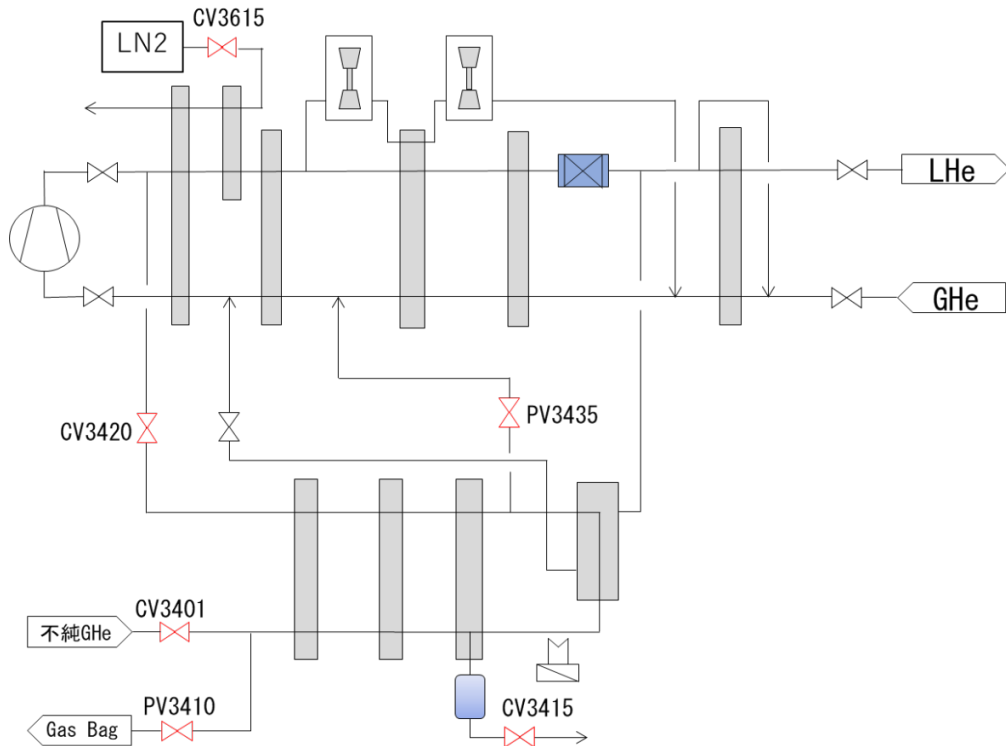


図 1 ヘリウム液化機フロー概略図

ここでは特に劣化の激しかったパッキンについて述べる。

まずは、CV3615 であるが、これはヘリウムガスを初期予冷するための液体窒素入口のコントロールバルブである。図 2 に取り外したパッキンを示す。

パッキンには、無数のヒビ割れが確認できる。



図 2 CV3615 パッキン

さらに新品のパッキンよりも薄くなっていることも気密を保てなくなった原因と考えられる。これは新品のパッキンに交換し、気密試験を実施して漏れの無いことを確認した。

次に内部精製系の CV3415 である。これは内部精製器で熱交換により除去された液体空気を大気放出するためのバルブである。

図 3 に CV3415 のパッキンを示す。パッキンの半分が変色しているのが分かる。



図 3 CV3415 パッキン

図 4 に変色部分の拡大図を示す。真鍮、銅、アルミの粉末がびっしりとパッキンに食い込んでいる。液化機製造時に配管内に残ったバリが剥がれ落ちてパッキンに食い込んだと考えられる。

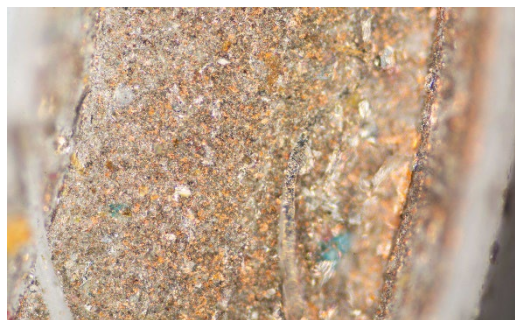


図 4 CV3415 パッキン拡大図

内部精製系のバルブパッキンも全て新品に付け替え、気密試験を実施して漏れの無いことを確認した。

2.2 ヘリウム圧縮機カップリング交換

液化用ヘリウム圧縮機は KAESER 社製 ESD441 で水冷式スクリータイプタイプの圧縮機である。モーターとスクリー部をカップリングで連結し圧縮運転を行っている。

今回、モーターとスクリー部の連結部分にある図 5 に示すカップリングの経年劣化対策を行った。



図 5 カップリング

圧縮機導入から 12 年経過した 2022 年頃、カップリングの樹脂に微細なクラックが発見された。このことについてメーカーに問い合わせたところ、特に気にするレベルではない、との回答を得た。

しかし、樹脂製品であるため、劣化が進行することはあっても改善することはないと判断し、定期的な観察を続けることとした。さらに劣化が進み完全に割れる前に対策を講じようと、代替品を入手するべく調査にとりかかった。

メーカーに依頼すれば簡単に済む話ではあるが、見積り額が高額になることが予想されたため、コストを抑えてカップリングを入手できないか模索した。

まずは、圧縮機の取扱説明書の部品番号等から検索した。すると、とある通信販売サイト上に部品番号が一致する製品が見つかった。しかし、正規品とは似ているが全く同一と言える製品ではなかった。

引き続き検索していたところ、正規カップリングと思われる製品を取り扱う日本の代理店を見つけることができた。

しかし、この製品が間違いなく現在使用しているものと同一かが判然としなかったため、代理店と幾度となくやり取りして、間違いのないことを確認し見積りを依頼した。見積りを確認し発注となったが納期は2か月ほどであった。

2022年にはほんの小さなクラックであったが、2023年には図6に示すようにカップリング表面全体にまで細かなクラックが入る状況まで劣化が進行した。



図6 カップリング劣化状況

2024年初頭にカップリングを入手し、交換作業を行おうとしたところ、同梱されていた六角ボルトのサイズが合わないことが判明した。そのことから、カップリング固定用ボルトは再利用することとして取り付けを行った。

後日、圧縮機の運転を行い問題ないことを確認した。

2.3 計装空気ライン継手メンテナンス

ヘリウム液化機にはバルブ駆動用の圧縮空気を通す配管がある。その配管には図7に示すワンタッ

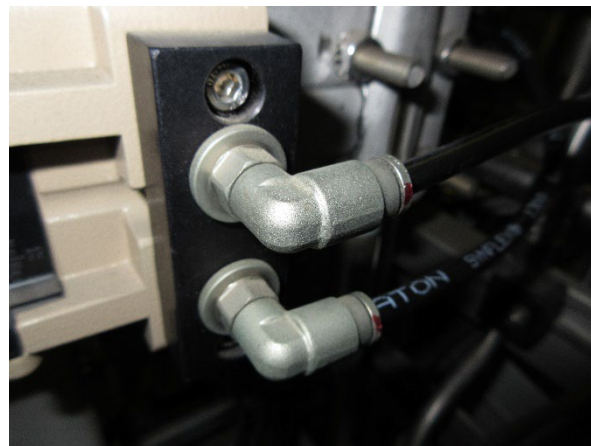


図7 ワンタッチ継手

チ継手が多用されている。このワンタッチ継手も経年劣化により圧縮空気の漏れが生じる。その場合は、単純に新品を用意して交換すれば済むことではあるが、純正品を用意するとなると海外製品であるためひと手間かかる。

当初は国内で調達可能な継手を購入し、交換することで対応していた。しかしある時、処分するのであれば一度分解してからにしよう、と取り外した継手を分解してみた。

すると図8に示すような部品構成となっており、中から弾性の全くない硬化したO-ringが出てきた。



図8 ワンタッチ継手分解

その硬化したO-ringの影響で漏れが生じていたため、O-ringを交換すれば済むのではないかと考えた。

そこで適合するサイズ(図8の場合はP-6)のO-ringを挿入し組立てた後、気密試験を実施し、問題なく使用できることが分かった。

これにより、継手を機器から取り外すことなく短時間かつ低コストで補修を行うことができた。

3. 高圧ガス設備の保安検査

当部門は高圧ガス保安法の定めるところの第一種製造者である。法により、「第一種製造者は、高圧ガスの爆発その他災害が発生するおそれがある製造のための施設（経済産業省令で定めるものに限る。以下「特定施設」という。）について、経済産業省令で定めるところにより、定期的に、都道府県知事が行う保安検査を受けなければならない。」とある。

そのため、毎年1回の県による立ち入り検査を受検している。

その立ち入り検査の一か月前からは事前検査を行う。事前検査の内容は、各機器の気密検査、機器や配管の肉厚測定、貯槽の不同沈下率測定、圧力計精度検査や安全弁作動検査等である。

さらにKHKS 0850-1(2017)保安検査基準^[1]「4.3 高圧ガス設備の耐圧性能及び強度」に示された期間の3年に一度、高圧ガス設備の開放検査を行わなければならない。

そこで今回は、図9に示すヘリウム回収圧縮機の開放検査について述べる。



図9 ヘリウム回収圧縮機

当部門ではヘリウム回収圧縮機2基を保有しており、図9に示すA号機(処理量41 m³/h、1997年～)とB号機(処理量100 m³/h、2008年～)となっている。

実験等で使用された液体ヘリウムは、ヘリウムガスとなり低温部門に戻ってくる。そのヘリウムガスを圧縮機で長尺カードルへ最大14.7MPaまで充填する。このガスを再液化することで学内に液体ヘリウムを供給している。

開放検査の目的は、設備の内部から目視検査、非破壊検査等を行い、設備の健全性確認を行うもの

であるため、圧縮機を分解する必要がある。図10に示すようにシリンダーヘッド、バルブ、パッキンをシリンダーから取り外す。



図10 分解したシリンダーヘッドとバルブ

シリンダーとシリンダーヘッドに挟まれるようにバルブが設置されている。開放検査ではシリンダーヘッド及び図11に示すシリンダーについて、バルブの接する面の浸透探傷試験を実施する。



図11 シリンダーの浸透探傷試験

これにより各部に割れ等の欠陥がないか確認している。なお、シリンダー内壁については、浸透探傷試験は行わない。

また、シリンダーは内径を測定し、摩耗による減肉がないことを確認している。

浸透探傷試験については有資格者による検査が必要となるため、非破壊検査会社に依頼することになるが、圧縮機の分解や組み立ては低温部門の技術職員が行う。これにより、必要最低限のコストで開放検査を行っている。

これまでこの方法で開放検査を実施してきたが、圧縮機にトラブルが発生したことはない。

4. まとめ

ヘリウム液化機や液化用ヘリウム圧縮機は導入から15年を迎えようとしている。その他の設備は更に古いため、今後も老朽化が進行し不具合への対応が必要となってくる。

ゴムや樹脂製品については、これまでの経験である程度の劣化までの期間を把握できたため、あらかじめ交換部品を用意することでトラブルが発生する前の対応を行っていきたい。

ヘリウム仕入れ価格が上昇する中、運営費が削減され、人員も補充がない非常に厳しい状況ではあるが、設備のメンテナンスや保安検査の対応についても、全てを業者任せにするのではなく、技術職員として技術を磨くためにも自らの手で保全に取り組むように努めていく。

参考文献

- [1] KHKS 0850-1(2017)保安検査基準（一般高圧ガス保安規則関係（スタンド及びコールド・エバポレータ関係を除く。））

謝辞

本報告にあたり、ご指導ならびにご助言をいただいた数理物質系 古谷野 有 准教授に感謝いたします。