

ヘリウムガス吹き出し防止弁の試作と評価

極低温科学センター 壁谷典幸 (kabeya.noriyuki@mail.clts.tohoku.ac.jp)

1. はじめに

東北大学では片平及び青葉山キャンパス内にヘリウムガスの回収ラインが整備されており、寒剤利用により蒸発したヘリウムガスは各地区の低温センターにて回収・圧縮・純化を経て液化され、再度液体ヘリウムとして再利用される。このヘリウムリサイクルシステムにより、液体ヘリウムを外部から購入するよりも大幅に安価に使用することができる。

ヘリウムリサイクルシステムの要点は当然ながらヘリウムガス回収率を十分に高く保つことである。供給側である極低温センターでは、古くなった主幹配管の更新や、回収ガス純度モニタリングシステムの構築、再凝縮器から排出される低純度ガスの精製再回収などによりヘリウムガスの漏出防止と運営効率化に努めている[1, 2]。一方、消費側であるヘリウムユーザーの回収率は2017年度の大学全体平均で90%であり[3]、損失分はユーザー負担金を主な原資として外部購入により補填している。ヘリウムガスは限りある天然資源でありその全量を輸入に頼っている状況に鑑みると、今後はユーザー側での回収率の向上がこれまで以上に重要となると考えられる。

各ユーザーの液体ヘリウムの使用状況はそれぞれで踏み込んだ対策は難しいものの、回収率向上の要点は、装置や実験室配管からの定常的な漏出防止、及び汲み出し時の漏出防止の2点に集約されると考えられる。前者は定期的な点検と整備により低減できるため一步一步着実な改善が可能である[4]。一方、後者の汲み出し時の漏出量については汲み出し操作を行う者の熟練度に大きく依存する部分があり、対策が困難であった。

2. 汲み出し時のヘリウム漏出の原因と対策

液体ヘリウム汲み出しの際は、センターから供給される小分け容器（ベッセル）と実験装置（冷凍機）を専用のトランスファーチューブで連結するが、その際に汲み出しポートとベッセルを大気開放するためヘリウムガスが漏出する。特に、汲み出し直後の冷凍機内部は蒸発するヘリウムにより低温かつ加圧状態となるため、チューブを抜いた直後にポートから低温ガスの吹き出しが生じる。吹き出すガスの量や流速は冷凍機の状態に依存するが、場合によっては凍傷のおそれがある勢いとなり、その際のヘリウムガスの漏出はかなりの量となる[5]。汲み出しに慣れた者はポートの開閉を素早く行うことで吹き出し量を抑えられるが、毎年未経験者が入ってくる大学の研究室などにおいては、操作者の熟練度に依存しない根本的な対策が必要である。本技術ノートではその対策として試作・設置した、汲み出しポートにトランスファーチューブを差し込む事で開き、抜くことで閉じる弁（吹き出し防止弁）の構造と効果の検証について報告する。

3. 吹き出し防止弁の構造と動作原理

吹き出し防止弁として必要な機構は、トランスファーチューブの抜き差しに連動して自動的に開閉する常時閉鎖型の弁である。理想的には気密性を備えた弁であることが望ましいが、今回は気密性については考慮せず今後の課題とした。試作品として、押し扉の様に板状の弁を動作させるタイプ（ヒンジ式）と、昔のラムネの瓶の様にボールを弁とするタイプ（ボール式）の2種類を設計し、機器開発・研修室に工作を依頼した。以下で簡単な模式図と併せて動作を説明する。

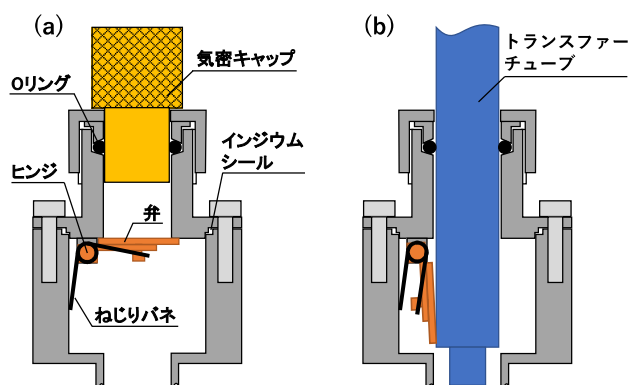


図1. ヒンジ式吹き出し防止の概略図。(a) 通常時。ヒンジに装着されたねじりバネが弁を上押ししている。気密のために別途気密キャップが挿入されている。(b) トランスファーチューブ挿入時。ヒンジが開きトランスファーチューブの進路を開く。

3-1. ヒンジ式

トランスファーポートに蝶番（ヒンジ）で支持された板状の弁を設けた構造で、トランスファーチューブを差し込むと押し扉を開くように弁が開く。トランスファーチューブを抜く際は、ヒンジに据え付けのねじりバネにより弁が自動的に閉じてポートを塞ぐ。弁そのものは金属同士が密着するのみであるため気密性はないが、汲み出し時の漏出低減には十分である。なお、ヒンジ動作空間の密閉のためにインジウムシールを利用しているが、これは冷凍機予冷の際の液体窒素による冷却に耐えるためである。次に紹介するボール式と比べ、高さ方向が短いが高さ方向にスペースを必要とする。

3-2. ボール式

トランスファーチューブの挿入口に設置されたボールを弁とする構造の吹き出し防止弁である。通常時はボールの下に設置された圧縮バネによってボールが上部に押し当てられているが、チューブを差し込むとボールが斜めに移動し、進路を開ける構造である。この構造では複数の穴の軸を合わせて精度良く切削する技術が必要である。加工には主に放電加工を用いた。先に紹介したヒンジ式と比べて高さ方向に長いが高さ方向以外の水平方向の必要スペースが少ない。

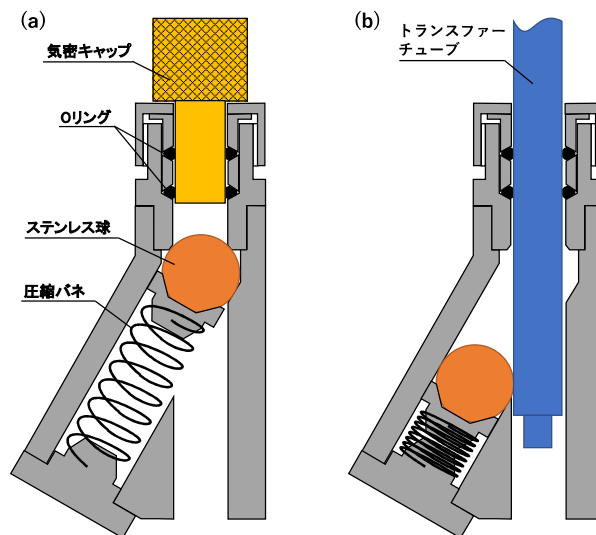


図2. ボール式吹き出し防止弁の概略図。(a) 通常時。圧縮バネがボールを上部に押しつけている。(b) トランスファーチューブ挿入時。チューブに押されたボールは本体の穴の内径の違いによって斜め下に移動し進路を開く。

4. 効果の検証

吹き出し防止弁の効果の検証のため、実験室（極低温センターシールドルーム）の希釈冷凍機2台にヒンジ式吹き出し防止弁を取り付け、実験室と容器置き場のヘリウムガス回収量を計測し、液体ヘリウム使用量との差分からヘリウム収支と回収率を算定した。測定期間は2016年7月から2017年12月までであり、2016年7月から12月が防止弁なしの期間、2017年1月から12月が防止弁ありの期間である。なお、液体ヘリウム汲み出しの際には、別途購入したヘリウムガスボンベによる加圧を行っているため、回収量が使用量を上回ることがあり得ることを断っておく。ボール式吹き出し防止弁はセンターの管理する磁化測定装置（SQUID 磁化測定装置-A, Quantum Design 社製 MPMS2）に設置したが[6]、設置からの期間が短いため効果の検証は行っていない。

図3に四半期ごとの液体ヘリウム収支、使用量、回収量、および回収率を示す。液体ヘリウム使用量および回収量は時期によって変動するものの、その差である収支は2016年の四半期当たり-60 L程度の収支（損失）に対し、2017年では四半期当たり+6 L から-12 L と明らかに減少してい

る。ヘリウムガスの回収量と液体ヘリウム使用量から算出される回収率は2016年1-6月の平均では98.1%であったが2017年の平均では99.8%であり、吹き出し防止弁の設置以降は回収率が平均1.7%向上した。

最後に、この結果から低温ガス吹き出しによるヘリウムガス漏出量を見積る。汲み出し1回当たりの漏出量を、ヘリウム収支を汲み出し回数で割り見積ると、吹き出し防止弁が未設置であった2016年1-6月（収支合計-127 L 汲み出し回数107回）と防止弁を設置した2017年1-12月（収支合計-14 L 汲み出し回数144回）でそれぞれ、

- ・吹き出し防止弁なし：-1.18 L/ 汲み出し
- ・吹き出し防止弁あり：-0.10 L/ 汲み出し

と見積られる。つまり1回の汲み出しにつき約1 Lの液体ヘリウムに相当する損失（標準状態のヘリウムガスとして約790 L）があったと見積られる。全ての冷凍機でここまでの損失削減効果が期待できるとは限らないが、トランスファーチューブを抜き差しする際に低温ガスが勢いよく吹き出る場合には、吹き出し防止弁の設置による回収率向上が期待できる。

5. まとめ

液体ヘリウムの汲み出し時のヘリウムガスの漏出に伴う危険性と損失を低減するため、汲み出しポートに設置する吹き出し防止弁を試作し、効果の検証を行った。吹き出し防止弁の設置により3ヶ月あたり60 L（汲み出し1回あたり1 L）の液体ヘリウムに相当するガス損失量の低減効果が見られた。今後はユーザーに吹き出し防止弁の周知を図り、普及方法を検討する必要がある[7]。

謝辞

ヘリウムガスの回収量の調査は極低温センターの菊地将史、森山弘章、吹上菜穂各技術職員のご協力を頂きました。吹き出し防止弁の作製に当たっては小野寺知美技術職員をはじめとする機器開発・研修室の皆様にご協力を頂きました。この場を借りてお礼を申し上げます。

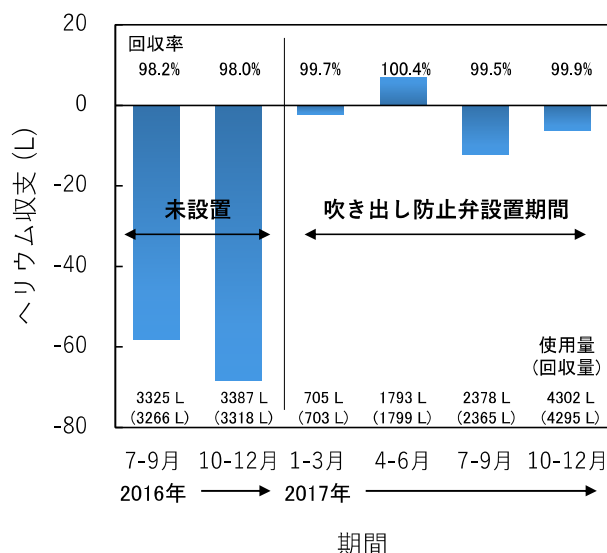


図3. 四半期ごとのヘリウムガス収支（回収量－使用量）の液体ヘリウム換算量の推移。各プロット上の数値は回収率、下の数値は液体ヘリウム使用量（括弧内は液体換算の回収ガス量）。

参考文献

- [1] 木村憲彰, 菊地将史, 森山弘章, 吹上菜穂, 極低温科学センターだより No. 17 (2016) 17.
- [2] 森山弘章, 極低温科学センターだより No. 11 (2010) 14.
- [3] 極低温科学センターだより No. 18 (2017) 28.
- [4] 漏洩箇所の特定のため、極低温センターから各種リークディテクタを貸し出しています。
- [5] 概算として吹き出すガスの温度を10 K、流速を2 L/秒（勢いよく息を吐く程度）、吹き出し時間を5秒間とすれば、漏出ガス量は標準状態で300 L（液体換算で約0.4 L）程度となる。なお、試験を行った実験室の回収率からの見積もりでは790 L（液体換算で約1 L）に達した。
- [6] 設置の際は付属部品のトランスファーアッセンブリを別途購入し、接着されている金属製の気密シール部をガスバーナで炙って外し、吹き出し防止弁に付け替えた。
- [7] この技術ノートで紹介した吹き出し防止弁は非商用利用の場合に限り図面を含む詳細情報を提供します。極低温センター青葉山地区までご連絡ください。