

ヘリウムトランスファー用加圧装置の製作

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

1. はじめに

ここ数年ヘリウムの供給が不安定な状態が続いており、今年度(2022年度)に入ってからヘリウムガスの購入ができないという事態にまで発展している。これは外因的な事情によるもので、ユーザーである我々にはいかんともしがたいものがある。一方で、研究を継続するにはヘリウムガスの消費を極力少なくするしかなく、いろいろと工夫をする必要がある。とりわけ、液体ヘリウムをクライオスタットに移送(トランスファー)する際にヘリウムガスボンベから加圧を行っているユーザーの中には、代替の方法を模索されている方も多いのではないだろうか?しかたなしにバルーンを使って加圧している方もいらっしゃるかとは思いますが、破裂の危険があったり、膨らみすぎたバルーンを絞るのに結構な力が必要だったり、これはこれでなかなか骨が折れる作業である。そこで本稿では、我々が数年前から導入しているコンプレッサー(ポンプ)による加圧方法について紹介したいと思う。おそらくこういっ

た装置は低温実験を日常的に行っている研究室ではすでに導入済みかと思う。実際、この企画の話が出てきたときに、金研の佐々木グループからも、同様な方法で加圧を行っているとお話をいただいた。さらには野島グループでは加圧が楽なバルーン(ガスバッグ)を使っているそうなので、ヘリウムガスボンベが入手できずにヘリウムのトランスファーに苦慮されている方々の参考になればと思い、併せて紹介する次第である。

2. コンプレッサー(ポンプ)を使った加圧

さて、もともとのアイデアは、トランスファー時に蒸発して回収するヘリウムガスを加圧してヘリウム容器(ベッセル)に戻せば、加圧ボンベがいなくなるのではといったごく単純なものであった。コンスタントにガスボンベを買わないといけないのも負担に感じており、一度作ってしまえばあとはコストがかからないようにしたいと考えたのが、そもそもの発端であった。



図1 トランスファー用加圧装置の写真。流量調節バルブ(ニードルバルブ)を絞ると加圧され、開けると減圧される。これは電磁弁がついているバージョンであるが、電磁弁は必ずしも必要ではない。

求められる性能は、加圧に必要な流量と圧力が発生できること、リークしないようにすること（吸い込み側・吐出側ともにノズルが取り付けられるような機構になっていること）、動作にオイルを使っていないことなどがあげられる。また、市販のコンプレッサーは凝縮した水を取り除くようなドレインがついていたり、圧力タンクがついていたりするものもあるので、こういったものがないものを選定した。性能については、ヘリウムガスボンベから加圧しているときの流量を見てみると、我々の研究室では 10～15 L/min 程度であった。加圧時の圧力は 0.02 MPa 程度なので、これを満たすようなコンプレッサーを選ばばよい。多くのコンプレッサーは空気を圧縮することを想定しているため、リークタイトかどうかについては実際に購入してみないとわからない。念のため理科学実験用途のものを選ぶことにした。さらに、吸い込み口と吐出口はいろいろと改造する必要があるため、カタログの写真を見て改造しやすそうなものを選んだ。

はじめ我々が選んだのはアズワンで取り扱っている研究用マルチエアーポンプ吸排両用型 LMP-100 という機種である。これはダイヤフラム式でオイルフリー、かつ軸受けからの漏れを心配する必要がないこと、吐出量 18/22 L/min (50/60 Hz) で、排気側の最大圧力も 6.8 bar と安全上も問題なく、カタログの写真を見る限り改造は容易そうである。連続運転時間はカタログに記載はなかったが、真空ポンプとしても使えることから、おそらく長時間の使用に耐えられるであろうと判断した。今回はたまたまこの機種を選んだが、このような条件を満たす機種はほかにもあり、これでないといけないということはない。実際、この後に紹介する機種でも何の問題もない。

圧力の調整ができた方が良いのと、圧力もモニターしたかったので、図1のような接続を組んで圧力の調整ができるようにした。バルブ（キット・N1-A-2-8A）を開けることによって吐出されたヘリウムガスが吸入側（回収側）に戻り、吐出口の圧力を下げることができる。圧力が上がりす

ぎないように別途リリーフバルブ（スウェージロック・B-4CPA4-3）を取り付けてある。このバルブは内部にあるねじを調整することによって圧力のリミットを 3～50 psi (0.021～0.35 MPa) の範囲で調整できるようになっている。

出来上がったコンプレッサーは試運転しながらスニファー式のリークディテクターでリークをチェックしてみたが漏れはなく、加圧も問題なく行うことができた。一つ注意点があるとすると、始動時に吐出側の圧力が高いとモーターが始動しないことがあるので、圧力が低い状態でスイッチを入れる必要がある。

この構造だと、トランスファー終了後にうっかり流量調整バルブを閉め忘れていたりすると、あるいはコンプレッサーは電源を切った後に吐出口と吸い込み口が内部でつながった状態になっていると、回収側のヘリウムガスが吐出側に回って大気に逃げってしまう可能性がある。仕組みを理解している人たちが使っている分にはあまり問題にならないが、よくわかっていない人が使う場合を想定して、吸い込み口に電磁バルブ（CKD・AB41-02-5-AC100V）を取り付け、加圧ポンプを OFF にしたときに自動的に回収ラインからの供給を閉じるバージョンも作ってみた（図1がそうである）。コンプレッサーのスイッチではなく、スイッチ付きのテーブルタップで集中的に ON-OFF するようにしている。

3. 使用感

最初はいろいろなことを心配して使い始めてみたが、使ってみると問題なく動作しており、案外便利である。流量調整バルブも、トランスファーの最初に一度調節してしまえば途中で微調整する必要はない。同じ条件であれば、最初の調整もいらない。ガスボンベだと空になるたびに交換する必要があったが、コンプレッサーを使えばその心配もない。すでに3年以上使用しているが、不具合はない。問題があるとすれば、振動とノイズに注意する必要があるところだろうか。気になるようであれば除振マットを敷くとか別電源を

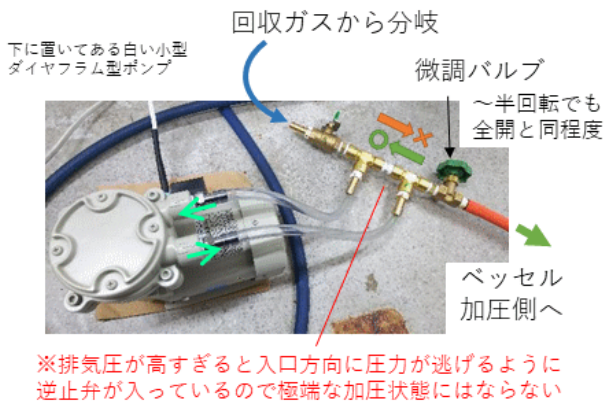


図2 金研佐々木研で用いている加圧ポンプ。

用意するなどすればよいと思う。

現在のところ耐久性がどのくらいかもう少し様子を見る必要があるが、十分元は取ったように思う。あとは、もう少し安く作れないかといったところであるが、これについては次節で詳しく紹介する。

4. よりシンプルに

はじめにでも述べたが、金研佐々木グループでも同じような方法で加圧をしておられるので、許可をいただいて紹介させていただく。彼らは我々よりもシンプルに、図2にあるようなやり方で接続している。ポンプはアルバック製DAP-15（加圧減圧両用ダイヤフラム型）で、吐出量が15/18L/min（50/60 Hz）である。逆止弁（エーチェック インラインチェックバルブ、AT1022）と流量調整バルブがついており、圧力のコントロールもできる。圧力はベッセルの圧力計でわかるので、ポンプ側の圧力計は省かれている。シンプルであるが、無駄がなく、安全性、性能ともに十分である。おそらく我々よりも安価に作られていると思われる。なお、逆止弁のクラッキング圧は1 psi（0.007 MPa）で、調整はできない。金研では回収側にも1 psiの逆止弁がついているため、ベッセル側は最大14 kPa（=0.014 MPa）の圧力がかかるようになっている。この装置を用いてMPMSへのトランスファーを行っている。

本稿を書くにあたり、もう少し工夫ができないかと思い、改めて機種選定をして圧力調整の方法

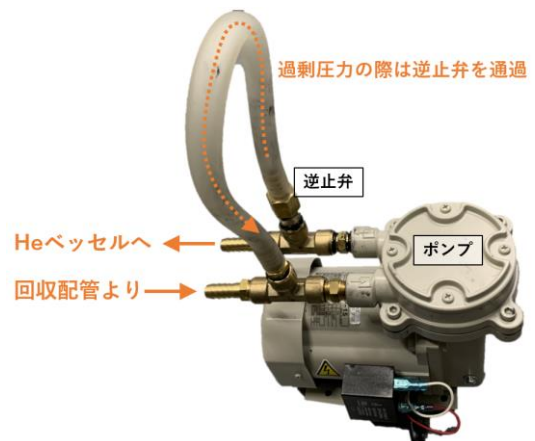


図3 逆止弁を一体化した加圧ポンプ。

も見直してみた。ポンプは、佐々木グループで使用しているものがより安くコンパクトなので、こちらを採用した。また、ポンプと逆止弁を一体化し、取り回しが簡便になるように構造を変更した。DAP-15の吸排気口には、購入時に9mmのホースニップルが取り付けられているが、それを取り外すことでPT 1/4規格の管用テーパ雄ねじを取り付けることができる。この部分に逆止弁等の必要部品を取り付けてポンプと圧力調整配管を一体化したものが図3である。なお、DAP-15の仕様により停止している状態でも順方向にはガスが流れるため、ポンプの使用後には吸気もしくは排気ラインのバルブを忘れずに閉じる必要がある（この点はLMP-100と同様である）。

最大到達圧力の設定のため、入手が容易な逆止弁をいくつか検討した。比較的安価に入手できた弁のクラッキング圧力は0.007 MPa（アソー・AT1022）と0.02 MPa（CKD・CVF02-02A）の二種類のみであった。これらを使用したポンプでトランスファーを行った際のベッセルの最大到達圧力を表3に示す。意外なことに、ベッセル側の圧力はどちらを用いた場合も0.01MPa程度となった。おそらく逆止弁の構造によってクラッキング後の再封止圧が異なるためだと考えられる。

この圧力が適当である場合はこれらの逆止弁をそのまま利用すればよいが、場合によっては異なる圧力が望ましいこともあるだろう。そこで、簡単な改造により最大到達圧力の変更を試みた。逆止弁の圧力変更はB-4CPA4-3を用いれば可能

であるが、比較的高価（6,000 円程度）であり、可変範囲が広いため微調節が難しい。そこで先の逆止弁 AT1022（1,700 円程度）のばねを交換することで設定圧力の変更を行った。交換用のばね（500 円程度）はミスミから購入した。ばねを交換した場合のトランスファー時の圧力を表3に示した。なお、ばねの交換には逆止弁内部の C リングを外す必要があるが、専用工具が無い場合はピンセットでも簡単に取り外せる。

上記は組み立て時の圧力設定であるが、ポンプ使用時の圧力調整が可能であれば使い勝手がよいであろう。そこで小型のレギュレーター（AR-20-12BG-1N-A、SMC）をポンプの排気側に取り付けた構造も試してみたが、これは全くの失敗であった。実際に使用すると、設定圧力をいくら調節しても、ガスが流れ始めるとそれをはるかに上回る圧力まで加圧されてしまう。これはポンプ側（レギュレーターの高圧側）の圧力が流量によって変動することが原因とみられる。ポンプとレギュレーターの間大きな体積をもつバッファを挿入すれば解決すると思われるが、安価で取り回しのよい加圧機構というコンセプトからは外れてしまうため、これ以上の検討は断念した。

上記のようなポンプユニットを組み立てる際、管用テーパねじの気密保持にしばしばテフロンテープが用いられるが、テープの巻き方や締め具合によっては勘合時にリークが発生することがある。この対策としてテフロンテープの代わりに溶媒揮発型の液状ガスケット（KE3418-100、信越化学工業）を用いたところ、リークに悩まされることはなくなった。これは別の用途で購入した高温用の製品であるが、液状ガスケットであればより安価な製品でも使用できると思われる。

5. バルーン（ガスバッグ）を使う方法

最後に本稿の趣旨とは外れるが、ガスボンベの代替ということで、バルーンによる加圧方法について紹介する。バルーンを使うメリットは手軽さにある。電源も必要なく置き場所にも困らない。単純につながりだけなので準備も楽で安全である。

ところが、研究室に転がっているバルーンはたいがいゴム製で、トランスファーに必要な圧力だと膨らみすぎて破裂したり、加圧に相当な力が必要となったりと扱いが大変である。おそらく網でできた袋をかぶせたりして工夫している方もいらっしゃるのではないと思う。

そんななか、当センターの野島グループから（株）ニシヤマ製のシームレスガスバッグ（HS-140-100）が非常に良いとの情報をいただいた。このガスバッグはガス管の内部で膨らましてガスの流れを遮断するために使われるもので、0.1 MPa の圧力をかける仕様となっているため、トランスファー時の圧力でも過度に膨らまない。そのため、加圧が容易で、図4のように台の上で体重を乗せて（心臓マッサージをするような感じだそうだ）押せば、楽に加圧できるようなのである。今後ガスボンベが入手できるようになっても、こちらを使うかもしれないとのことで、なかなかよさそうである。ただし、残念ながらこのガスバッグは現在廃番となっており、入手困難になっている。同じ用途の物であれば別のメーカー、形状のものでも使える可能性はある。



図4 （株）ニシヤマ製ガスバッグを使った加圧。

最後に、本稿で紹介した加圧装置の部品表を載せておく。研究室で製作される際の参考になれば幸いである。合計価格はモノタロウなどの表示価格から計算した。出入りの業者から入手することでより安価に入手することもできるかもしれない。

表 1 図 1 の加圧装置の部品表

品名	規格・型番	個数
ポンプ	LMP-100	1
ニードルバルブ	N1-A-2-8A	1
逆止弁 (圧力調整型)	B-4CPA4-3	1
グリセリン入圧力計	SPA1/4R50×0.2MPa	1
六角ニップル	PT 1/4	8(7)
ホースニップル	PT 1/4 ホース山径 φ10.5	8
チーズ	可鍛鉄製 1/4	5
エルボー	可鍛鉄製 1/4	2
ボールバルブ	UBVN-14B-BU-R	1
電磁弁	AB41-02-5-AC100V	1(0)
電源タップ	TAP-3405	1(0)
合計価格 (税込) : ¥110,000 程度 (¥105,000)		

()内の数字は電磁弁を使わない場合の個数、価格。

表 2 図 2 の加圧装置の部品表

品名	規格・型番	個数
ポンプ	DAP-15	1
逆止弁 (Acheck)	AT-1022	1
ニードルバルブ	N1-A-2-8A	1
六角ニップル	NT-1022	2
ホースニップル	PT 1/4 ホース山径 φ10.5	4
チーズ	1/4	2
ボールバルブ	ZET シリーズ 1/4	1
合計価格 (税込) : ¥50,000 程度		

表 3 図 3 の加圧装置の部品表

品名	規格・型番	個数
ポンプ	DAP-15	1
逆止弁 (Acheck)	AT-1022	1
六角ニップル	NT-1022	2
チーズ	1/4	2
ホースニップル	PT 1/4 雄ねじ ホース山径 φ10.5	3(2)
ホースニップル	PT 1/4 雌ねじ ホース山径 φ10.5	1
ボールバルブ	ZET シリーズ 1/4	(1)
合計価格 (税込) : ¥48,000 程度		

()内の数字は図 3 に掲載されていないベッセル側の手元バルブを構成するための部品

表 4 逆止弁の型番とベッセルの最大到達圧力

型番、メーカー名	クラッキング圧力	到達圧力
CVF02-02A、CKD	0.02 MPa	0.011 MPa
AT-1022、アソー	0.007 MPa	0.010 MPa
+ UV5-10	-	0.007 MPa
+ UY5-10	-	0.012 MPa
+ UR5-10	-	0.035 MPa
+ UV5-15	-	0.016 MPa
+ UY5-15	-	0.029 MPa

+ に続く文字はバネの型番 (ミスミから入手)

謝辞

井口敏氏には佐々木研で使用している加圧ポンプの資料を提供していただいた。野島勉氏にはガスバッグの情報と写真を提供していただいた。ここに感謝申し上げます。