

液体ヘリウム移送速度の改善

Improvement of Liquid Helium Transfer Velocity

楠田敏之^{1,2}

¹ 京都大学化学研究所, ² 低温物質科学研究センター

Toshiyuki Kusuda^{1,2}

¹Institute for Chemical Research, Kyoto University,

²Research Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University

High-speed transfer of liquid helium has the advantage to enhance research activities in low temperature sciences. The transfer velocity of liquid helium was examined for some parameters such as inner radius of transfer tube, pressure of helium tank and backpressure of vessel. Remarkable improvement of the transfer velocity of liquid helium was achieved by optimizing the parameters.

京都大学低温物質科学研究センター寒剤供給部宇治地区は、京都大学化学研究所極低温物性化学実験室として1970年に設置され、宇治キャンパスの寒剤供給センターとしての機能を担っている。液化機でつくられた液体ヘリウムを、2000リットルの貯層に常時貯蔵し、これを100リットルおよび50リットル容器に小分けしてユーザーへ供給している。貯層から小口容器への汲み出しは液体ヘリウムの供給作業において時間的に大きなウエイトを占めるので、液体ヘリウムの移送速度を速くすることができれば供給業務の効率化につながる。経験上、液体ヘリウムの移送速度には、トランスファーチューブの内径、貯槽の圧力、容器の背圧が関係している。これらについて検討した結果、大幅に移送速度を上げることができた [1, 2]。ここでは各パラメータの液体ヘリウムの移送速度に対する影響を調べた結果を報告する。

1. はじめに

液体ヘリウムの移送には、多くの施設で100 literあたり30分あるいはそれ以上の時間を要している。液体ヘリウムの移送速度を上げる方法の一つに、液体ヘリウムポンプの利用があるが、ポンプを液体ヘリウム貯槽内に収める必要があり、既存の設備に取り付けるためには貯槽の取換えが必要となる。また、ポンプ自体の予冷が必要なため連続使用運転に適している。京都大学・宇治キャンパスでも平成9年度のヘリウム液化システム更新時に液体ヘリウムポンプの導入を検討したが、高価であること、断続的な使用が多いことから導入を断念し、従来からの差圧方式の改良を行うことで、移送速度の高速化を試みることにした。

液体ヘリウム移送速度には、トランスファーチューブの内径（断面積）、液体ヘリウム貯槽の圧力、および小口容器から汲み出し中の蒸発ガスを回収系へ流すための回収配管の配管抵抗による背圧が影響する。そのため、トランスファーチューブの内径を可能な限り大きくし、同時に

回収配管の内径を配管の取り回しを考慮しながら大きくするとともに回収配管の配置も再検討した。その結果 10 liter/min. という従来の 3 liter/min. を大幅に凌ぐ結果が得られた [2]。トランスファーチューブの内径の変更は液化機更新時に行ったが、同時に多くのパラメータの変更を行っている。このため液体ヘリウムの移送速度の向上にどのパラメータの寄与が大きいかについては必ずしも明らかではなかった。今回、各パラメータの液体ヘリウムの移送速度に対する影響を解明することを目的として調査を行ったので、その結果を報告する。

2 測定方法及び結果

液体ヘリウム供給システムの概念図を Fig. 1 に示す。液体ヘリウムの移送速度に影響を与えると考えられるパラメータは、トランスファーチューブ内径、液体ヘリウム貯槽圧力、回収配管からの背圧である。液体ヘリウムの移送速度は液体ヘリウム容器の液量増加分に蒸発ガス量を加えた値から求めた。移送効率も同様に液量増加分と蒸発ガス量も合計と液量増加分の比から求めた。今回蒸発ガス量を測定するために容量式の乾式ガスメーターを回収配管に設置した。

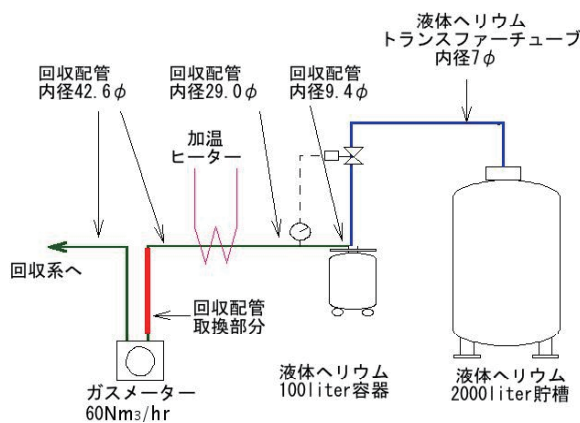


Fig. 1. 液体ヘリウム供給システム

2.1 トランスファーチューブ内径依存性

液体ヘリウムの移送速度を速くするためにはトランスファーチューブの内径を大きくすればよい。しかし、多くの小口容器ではトランスファーチューブの差し込み口の口径が 12.7～13 φとなっているので、トランスファーチューブの外径は 12 φに制限される。また、トランスファーチューブは図の様に真空断熱層を含む三重管構造になっているため、内径も制限される。現在のシステムでは最大限まで太くした 7 φになっている。ヘリウム移送速度のトランスファーチューブ内径依存性の調査はトランスファーチューブの先端（容器側）に真空断熱のための二重管からなる延長管を取り付け、延長管の内側に肉厚を変えたパイプを入れることにより、内径を 3.5 φ～7.0 φで変化させて行った。

ただし、7.0 φは内側にパイプを入れない場合の延長管自体の内径である。液体ヘリウム貯槽圧力はヘリウム液化機運転時の 0.045 MPa と

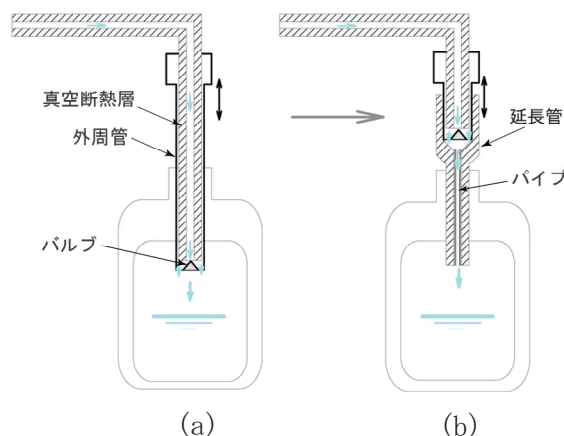


Fig. 2. トランスファーチューブ先端の構造. (a) は従来のトランスファーチューブの構造。真空断熱層（斜線部分）を含む二重管の周りに、先端に開閉制御のためのバルブ（三角部分）を持つ外周管（太線）が取り囲む三重管構造になっている。内部の二重管に対して外周管を上下させることで、開閉を行い、容器に液体ヘリウムを取り出す。(b) 移送速度の内径依存性の調査のため、トランスファーチューブの先端（容器側）に真空断熱のための二重管からなる延長管を取り付け、延長管の内側に肉厚を変えたパイプを入れたもの。見やすいように (b) ではトランスファーチューブを短く書いてある。

し、回収配管は最も内径の大きな 42.6 φ とした。Fig. 3 に延長管内に入れたパイプの内径と移送速度の関係を示す。液体ヘリウムの移送速度とパイプの内径は比例関係にあることが分かる。しかし、5.3 φ と延長管のみの 7 φ の間では変化は見られなかった。

2.2 液体ヘリウム貯槽圧力依存性

ヘリウム液化機運転中には貯槽圧力は自動制御されており変更は出来ないため、液体ヘリウム貯槽圧力の影響の調査は液化機停止時に貯槽圧力を変化させることにより行った。延長管は内部にパイプを入れないこととし（内径 7.0 φ）、回収配管は最も内径の大きな 42.6 φ とした。その結果を Fig. 4 に示す。液体ヘリウムの移送速度は液体ヘリウム貯槽圧力と比例関係にあることが分かる。

2.3 回収配管内径及び背圧依存性

液体ヘリウム移送時の小口容器の内圧は回収配管の内径（断面積）に依存した背圧の影響を受ける。背圧が小さいほど移送時の圧力差が大きくなり、液体ヘリウムの移送速度を大きくできるので回収配管の径は大きいほどよいが、屋内の配管スペースにより制限されるため 1.5 インチ φ を採用した。また、低温部分は蒸発ガスの密度が高いため 1 インチ φ とした。回収配管には低温の蒸発ガスを室温に戻すために加温ヒーターを設置しているが、この加温ヒーターに入る前の低温部分の温度は 80K 以下であるため、ガス密度から室温部の 1/2 程度の径にすれば良い。また容器のガス出口は沸点に近い温度であるためガス密度から 1/10 の径にすればよい。Fig. 1 に示す様に容器出口の最も細い部分は 9.4 φ、回収配管の加温ヒーターまでは 23.0 φ、それ以降は 42.6 φ を採用しており、十分な径を確保している。

回収配管の内径の影響は、今回設置したガスメーター直近の配管の一部の 2m の部分を内径 17.5 φ ~ 42.6 φ に取換えることにより変化させて測定を行った。その結果を Fig. 5 に示す。36.7 φ 以下では比例関係にあるがそれ以上では変化していない。10 liter/min. の液体ヘリウムの移送速度付近では回収配管内

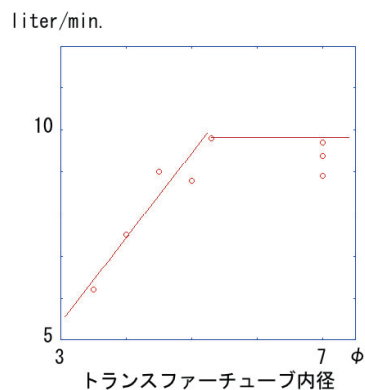


Fig. 3. 延長管内に入れたパイプの内径と移送速度の関係

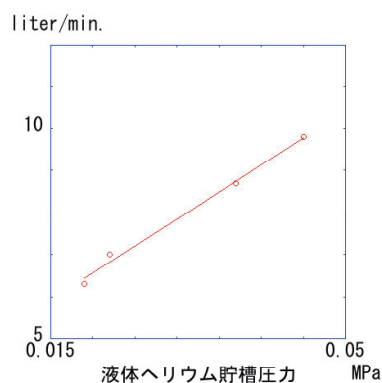


Fig. 4. 貯槽圧力と移送速度の関係

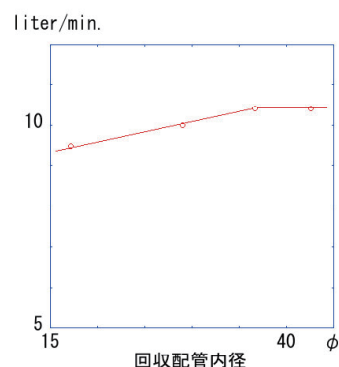


Fig. 5. 回収配管内径と移送速度の関係

径は 36.7 φ 程度あれば充分であることが分かる。

2.4 移送効率

移送効率と液体ヘリウム貯槽圧力の関係を Fig. 6 に示す。液体ヘリウム貯槽圧力が 0.02 MPa の時に約 80% であったが、0.045 MPa の時には約 76% と低下した。圧力上昇に伴い液体ヘリウムの移送速度は向上するが、4% 程度の蒸発量の増加が見られた。これはフラッシュロスによるものと考えられる。

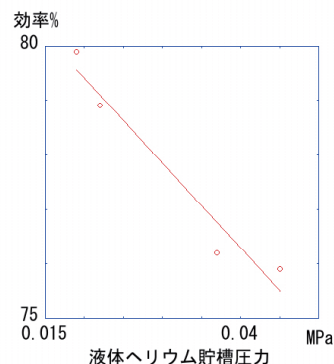


Fig. 6. 移送効率と液体ヘリウム貯槽圧力の関係

3. 他の施設での結果

宇治地区の液化機更新後に設置された吉田地区の液化機を含む全国各地の施設にある液化機において宇治地区の結果を参考にして装置の設計がなされている。大阪大学・低温センター豊中分室と京都大学・低温物質科学研究センター吉田地区の液化機では液体ヘリウム貯槽圧力が 0.022 MPa 時に約 6.3 liter/min. と Fig. 3 のデータに近い値を示している。

4. まとめ

液体ヘリウムの移送速度は主にトランスファーチューブ内管径と液体ヘリウム貯槽の圧力に依存することが明らかになった。また、予想に反して背圧の液体ヘリウムの移送速度への影響は小さい事を確認した。回収配管の内径を十分確保することにより、容器の背圧を下げ、移送速度の低下を抑えることができた。これにより、液体ヘリウム移送後の容器圧力の低下を待つ時間が短縮されるため、作業の効率化が可能になる。

液体ヘリウムの移送速度はトランスファーチューブ内管径 5.3 φ 以上、回収配管の室温部分が 36.7 φ 以上、液体ヘリウム貯槽内圧が 0.045 MPa の時に 10 liter/min. が得られた。また、液体ヘリウムの移送速度は液体ヘリウム貯槽圧力に比例しており、0.020 MPa 時には 6.6 liter/min. の速度が得られた。

トランスファーチューブ内管径を 5.3 φ 以上に大きくしても液体ヘリウムの移送速度の向上は認められなかったが、7 φ にした時に 12 liter/min. という大きな値が得られた場合がある。この現象の原因および再現性について解明するとともに、さらに移送速度の向上が可能であるか今後検討していきたい。

宇治地区での液体ヘリウム移送速度の向上に対する取り組みにより得られた成果は吉田地区の液化機を始め、多くの機関での新規ヘリウム液化システムの設計に反映されている。

なお、この調査研究は平成 16 年度の科学研究費補助金（奨励研究）の補助を受けて行った。

参考文献

[1] 楠田敏之, ヘリウム液化機の更新と供給設備の改善, 高エネルギー物理学研究所 技術研究会報告, P. 105 (1993).

[2] 楠田敏之, 液体ヘリウムの移送速度に与える要素の解析, 大阪大学総合技術研究会予稿集 p37 (2005).

楠田 敏之

略歴

学歴

昭和 50 年 京都工芸繊維大学工業短期大学部機械工学科卒

職歴

昭和 46 年 (財) 生産開発科学研究所 研修員

昭和 48 年 京都大学化学研究所 非常勤職員

昭和 49 年 京都大学化学研究所 文部技官

平成 10 年 京都大学化学研究所 技術専門職員

平成 16 年 京都大学化学研究所 技術専門員

平成 18 年 京都大学低温物質科学研究センター兼務

