

液体ヘリウム汲み出し作業におけるトランスファーチューブの必要な深さ

津々美章子[#]

大阪大学 大学院工学研究科 (コアファシリティ機構 低温科学支援部門)

概要

液体ヘリウムを貯槽から容器に汲み出す際に、容器に挿入するトランスファーチューブの必要な挿入長について、充填量と蒸発量の関係および時間効率の観点から検討した。また、各容器の内部温度を測定・グラフ化し、考察した。

1. はじめに

液体ヘリウム貯槽の液体ヘリウムを容器に小分けする際、従来はトランスファーチューブを可能な限り奥まで挿していた。しかし、本当に奥まで挿す必要があるのか。2021年 千葉大学吉本氏の発表[1]によると、全挿入とネック下部までの2パターンでは、違いが見られていない。しかし、さらに浅く挿入した場合はどうだろうか。充填容器にトランスファーチューブを挿入する際の必要な挿入長について、日常的に汲み出し業務を行うと同時に検討を重ねた。

2. 検討条件・方法

2.1 阪大吹田のトランスファーチューブとその予冷

貯槽上部から逆U字型に伸びているトランスファーチューブ (U字汲み出し用トランスファーチューブ) は、逆U字型のフレキシブルホースの先に直管が伸びていて、先端70cmは容器に挿入できるように細くなっている(図1)。このように阪大吹田のトランスファーチューブは長いため、汲み出し前の予冷は基本的に2段階に分けて行っている。



図1. トランスファーチューブの予冷1段階目の様子

予冷1段階目は、トランスファーチューブを回収ホースに接続し、ホースが硬くなるまでヘリウムを流す(図1)。ちなみに、ここで予冷しすぎるとホースが外れなくなってしまう。次に予冷2段階目で、トランスファーチューブを容器に半分程度挿入し、ヘリウムを流す。容器に入れる長さを半分程度にするのは、もし最初から全挿入すると、蒸発ガスが大量に発生し、ガスメーターに負荷がかかってしまうためである。そして容器内圧の低下を確認した後、トランスファーチューブを奥まで入れ、そのまま充填する。

2.2 検討方法

全挿入の深さ70cmから、5cmまたは10cm等、段階的に挿入するトランスファーチューブを短くし、各挿入長で汲み出しを行った際の充填量と回収ガス量の相関や時間効率を記録、比較した。

3. 結果

本報告では、汲み出しの機会が多かった容器であるRH100、CMSH200、IC-100について報告する。経験的に、1本目(その日初めて汲み出す時、またはしばらく時間を置いてから汲み出す時)と、連続で汲み出す時の2本目以降とでは、充填量に対する回収ガス量の値は大きく異なることが知られている。そのため、1本目と連続汲み出し2本目以降を分けて、それぞれグラフにまとめた。

また通常は、回収配管圧力0.40kPa未満、回収ガス速度75m³/h以下で汲み出しを行っている。1本目の予冷1段階目での回収ガス量は約0.5m³で、参考までに予冷1段階目終了後のトランスファーチューブの表面温度を測定したところ、10.6°C(室温13.7°C)であった。

3.1 RH100

本報告では、トランスファーチューブの挿入長70cm、20cm、15cmのデータを示す(図2、図3)。これらの条件では、充填量に対する回収ガス量は、1本目および連続2本目以降共に差異が見られなかった。一方挿入長10cmの場合は、回収配管圧力は0.60kPa、回収ガス速度は99m³/h越えとなり、充填の継続が困難であった。つまり、RH100は挿入長15cm必要であることがわかった。

3.2 CMSH200

トランスファーチューブの挿入長70cm、10cm、6cmで差異は見られなかった(図4、図5)。しかし、挿入長5cmでは、RH100の挿入長10cmのように充填の継続が困難になることはなかったものの、回収ガス量が増加した(図5)。つまり、CMSH200は挿入長6cm必要であると考えられる。

3.3 IC-100

トランスファーチューブの挿入長70cmと50cmで差異は見られなかった(図6、図7)。一方挿入長45cmでは、回収配管圧力は0.60kPa、回収ガス速度は95m³/hとなり、充填の継続が困難であった。つまり、IC-100は挿入長50cm必要であることがわかった。

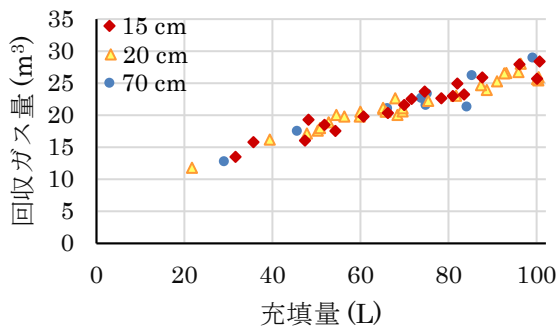


図 2. RH100 (1 本目) 充填量と回収ガス量

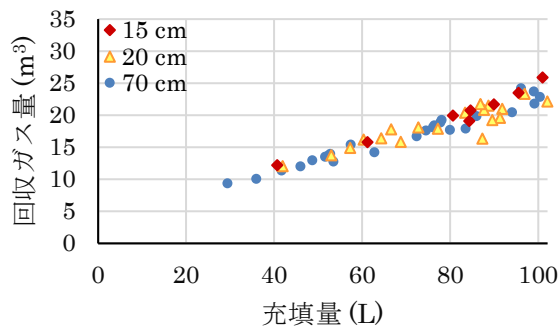


図 3. RH100 (連続 2 本目以降) 充填量と回収ガス量

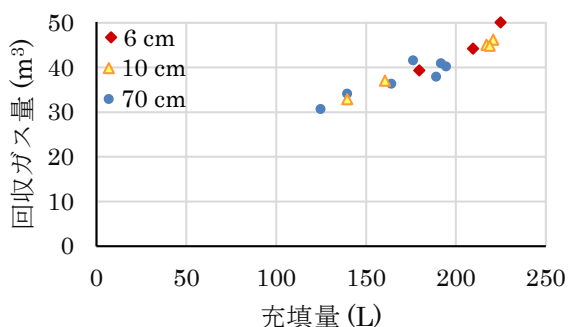


図 4. CMSH200 (1 本目) 充填量と回収ガス量

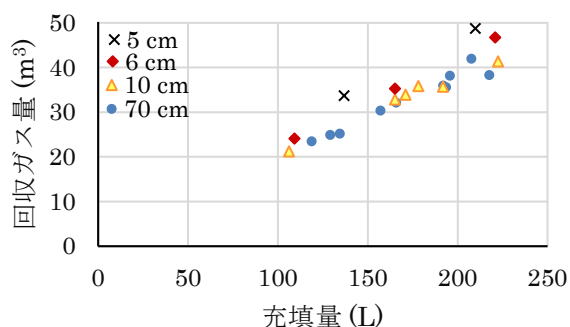


図 5. CMSH200 (連続 2 本目以降) 充填量と回収ガス量

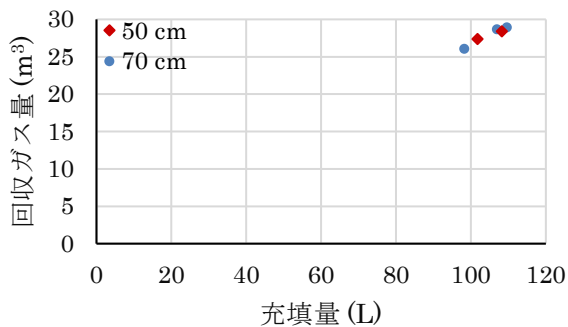


図 6. IC-100 (1 本目) 充填量と回収ガス量

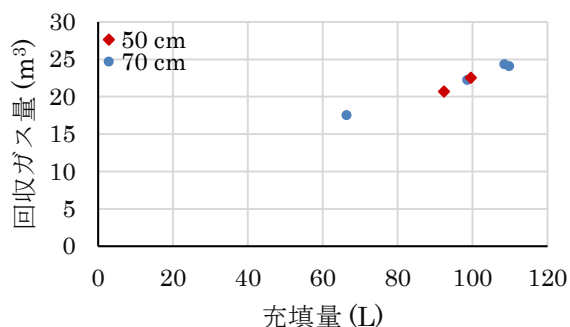


図 7. IC-100 (連続 2 本目以降) 充填量と回収ガス量

3.4 連続汲み出し

トランスファーチューブ (TT) を浅く挿すことが次の汲み出しに与える影響について、データ数の多い RH100 の挿入長 70 cm と 20 cm に焦点を当て検証した。2 本連続挿入長 70 cm で汲み出した場合の 2 本目と、2 本連続挿入長 20 cm で汲み出した場合の 2 本目を比較した結果、差異は見られなかった(図 8)。つまり、トランスファーチューブの挿入長が連続汲み出しに与える影響は無視できるとわかった。

また、これまで経験的かつ感覚的な知見であった 1 本目と 2 本目の回収ガス量の差(図 2 と図 3、図 4 と図 5、図 6 と図 7)について、2 本目以降は 1 本目比べて約 5 m³ 減少するという数値情報が得られた。

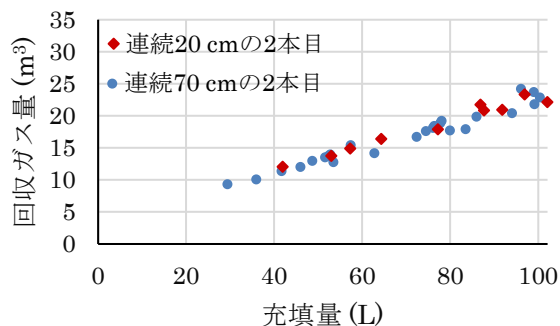


図 8. TT 挿入長が連続汲み出しに与える影響

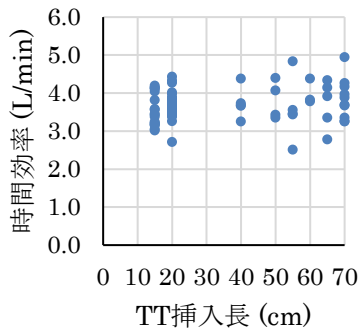


図 9. RH100 (1 本目) TT 挿入長の充填効率への影響

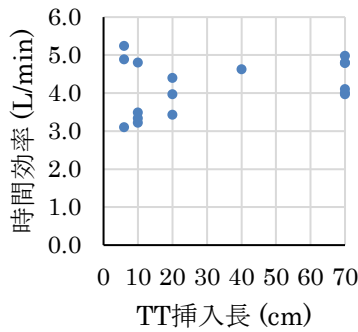


図 10. CSMH200 (1 本目) TT 挿入長の充填効率への影響

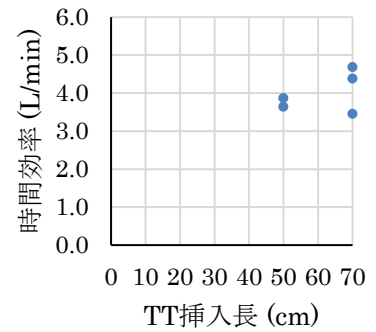


図 11. IC-100 (1 本目) TT 挿入長の充填効率への影響

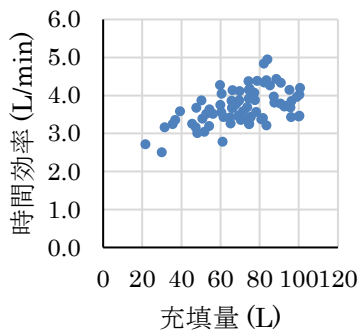


図 12. RH100 (1 本目) 充填量と充填効率の関係

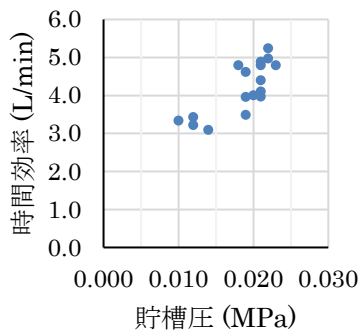


図 13. CSMH200 (1 本目) 貯槽圧と充填効率の関係

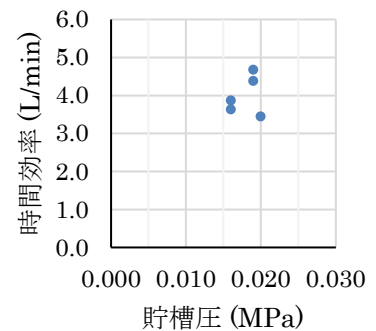


図 14. IC-100 (1 本目) 貯槽圧と充填効率の関係

表 1. トランスファーチューブの必要な挿入長 と 各容器の各種寸法

	RH100	CSMH200	IC-100
トランスファーチューブの必要な挿入長	15 cm	6 cm	50 cm
ウィルソンシールからガス放出弁まで (図 15①)	15.7 cm	5.0 cm	14.6 cm
ウィルソンシールから断熱層上端まで (図 15②)	21.5 cm	10.0 cm	21.3 cm
ウィルソンシールからネック下端 (図 15③)	51.7 cm	56.2 cm	61.3 cm
ウィルソンシールからパイプ下端 (図 15④)	53.2 cm	58.7 cm	60.6 cm

3.5 充填時間との関係

RH100、CSMH200、IC-100 の各容器において、トランスファーチューブ (TT) の挿入長が充填時間に与える影響を調査した(図 9、図 10、図 11)。充填時間は一般的に、充填量に比例して増加すると考えられる。したがって、充填時間自体を単純に比較するのではなく、充填量を充填時間で除した時間観点からの充填効率を比較した。その結果、どの容器においても充填効率は 2.5~5.2 L/min であり、トランスファーチューブの挿入長の違いによる影響は見られなかった。充填効率に幅があるのは、充填量や貯槽圧の影響を受けているためと思われる。RH100 は充填量に、CSMH200 と IC-100 は貯槽圧に比例傾向が見られた(図 12、図 13、図 14)。

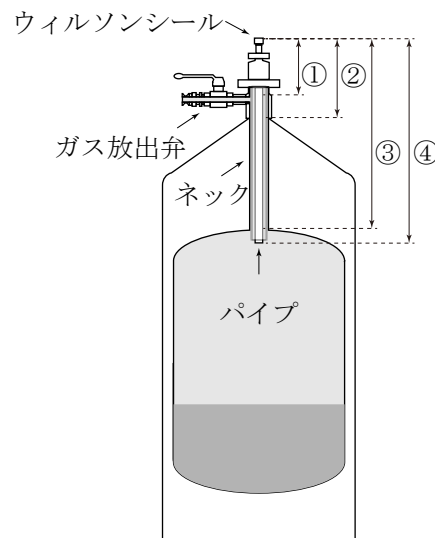


図 15. RH100 構造と寸法

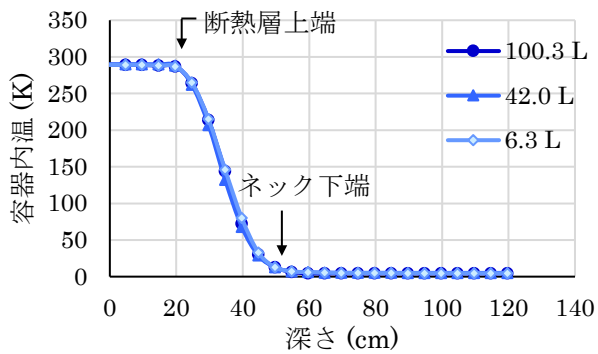


図 16. RH100 容器内温 (5 cm 間隔)

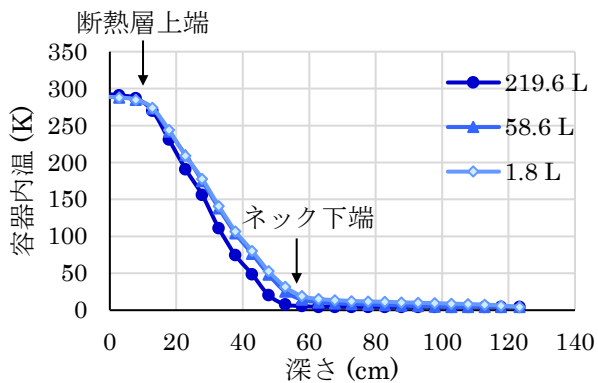


図 17. CMSH200 容器内温 (5 cm 間隔)

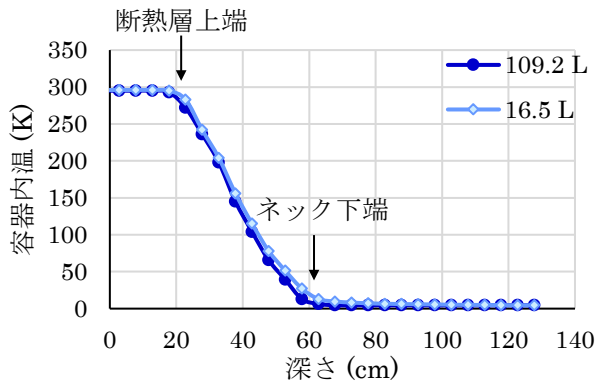


図 18. IC-100 容器内温 (5 cm 間隔)

4. 考察

4.1 容器構造

トランスファーチューブの必要な挿入長と各容器の各種寸法を表 1 に示し、表 1 の参考として RH100 の容器断面を示す(図 15)。

トランスファーチューブの必要な挿入長とウィルソンシールからガス放出弁までの長さを比較すると、RH100 と CMSH200 については概ね長さが一致した。つまり、これらの容器の場合は、充填時にトランスファーチューブをガス放出弁の高さまで挿入する必要があると考えられる。

一方 IC-100 は、ウィルソンシールからガス放出弁までの長さが 14.6 cm であるのに対し、トランス

ファーチューブの必要な挿入長は 50 cm であった。IC-100 が RH100 や CMSH200 と異なる傾向を示したのは、RH100 や CMSH200 のパイプ長がネック長より長いのに対し、IC-100 のパイプ長がネック長よりも短いことが要因ではないかと推測する。

4.2 容器内温

4.1 で述べた容器構造の違いが与える影響を調査するため、各容器の内部温度を測定した(極低温工業用白金・コバルト测温抵抗体 R800-6[2]を使用)(図 16、図 17、図 18)。各容器とも断熱層に覆われる部分から内部温度が低下し始め、ネック下端で傾斜が緩やかになり 30 K 以下に達することが確認された。つまり、断熱層に覆われているネック部分で室温から 30 K 以下まで低下することが示された。また容器内の液体ヘリウム量が多い場合、ネック部分や内槽のガス層の温度がやや低くなる傾向が見られた。

4.3 容器内温とトランスファーチューブの必要な挿入長の関係

上述の通り、静置中の内部温度はどの容器も、断熱層に覆われているネック部分で室温から 30 K 以下まで低下することが示された。ではなぜ各容器でトランスファーチューブの必要な挿入長に違いがあるのだろうか。それは、充填中の容器内部は、静置中とは異なる温度環境にあるからではないかと想像する。

充填中は、トランスファーチューブから液体ヘリウムが流入し、容器内部でヘリウムガスの対流が起こると考えられる。RH100 と CMSH200 は、パイプ長がネック長よりも長く、冷たいガスがガス放出弁まで上昇しやすいと考えられる。一方 IC-100 は、パイプ長がネック長より短いため、冷たいガスが上昇しにくい可能性がある。これが、IC-100 が RH100 や CMSH200 に比べてトランスファーチューブを深く挿す必要がある要因ではないかと推測する。

5. まとめ

充填時におけるトランスファーチューブの必要な挿入長は、RH100 は 15 cm、CMSH200 は 6 cm、IC-100 は 50 cm であった。これら必要な挿入長の違いは、容器の構造の違いに起因すると推測し、パイプ長がネック長より長い容器は、ガス放出弁の高さまで挿入する必要があると考察した。また、静置中の容器の内部温度は、断熱層に覆われているネック部分で室温から 30 K 以下まで低下することがわかった。

6. 謝辞

本発表のきっかけをくださり、検討結果について議論させていただいた琉球大学 宗本久弥 技術専門職員、および容器内温測定をサポートいただいた大阪大学 大城秀治 技術専門職員に感謝する。

参考文献

- [1] 吉本 佐紀, “業務改善の試み〜トランスファーチューブ挿入量とバーコード形状〜”, 総合技術研究会 2021 東北大学報告誌, 2021 年 3 月, P97-98.
- [2] <https://service.chino.co.jp/jp/serv/products/detail/?did=85>