

汲み出しポンプ付液体ヘリウム移送管の導入と運用

金属材料研究所/極低温科学センター

原子分子材料科学高等研究機構*

中村慎太郎、丹野伸哉、細倉和則、緒方亜里、渡辺好治*、野島 勉

1. はじめに

平成 21 年度に片平地区のヘリウム液化システムの更新が概算要求で認められ、新しい液化システム[1]が導入された。旧液化機の更新時は年間5万リットル程度だった液体ヘリウムの使用量は現在では約3倍(片平地区分のみ)に増えているため、更新に伴って液化機本体の液化能力も150 l/h から 200 l/h に増強された。十数年前、極低温科学センターによる液体ヘリウムの供給量のネックとなっていたのは蒸発ヘリウムガスの回収作業であった。当時は電気通信研究所、多元研究所からの蒸発ガスを各研究所のサブセンターの回収コンプレッサでガスボンベに詰め、極低温科学センターのトラックで搬送してガスの回収を行っていた。100 l のヘリウム容器を一本供給すると、合計で約 700 kg のガスボンベをトラックで運搬しなければならず、この運搬作業が供給量を制限していた。しかしながら、この問題は平成 10 年度に片平地区にヘリウムガスの回収用配管網が敷設されたことによって解決された[2]。現在は、蒸発ガスは各研究所のサブセンターから低圧コンプレッサによって回収配管を通して極低温科学センターの回収ガスバッグに自動的に回収される。パイプラインによるガスの輸送能力はトラックに比べて桁違いに大きく、回収も自動的に行われるため、蒸発ガスの回収作業はもはや供給量の制限要素ではなくなった。

近年、液体ヘリウムの供給量の新たなネックとなってきたのは液体ヘリウムの大型貯槽からヘリウム容器(小分け容器)への汲みだし作業である。従来は、断熱二重管で貯槽とヘリウム容器を接続し、貯槽を加圧する一方ヘリウム容器を

大気圧にして差圧による汲み出しを行っていた。この方式では100 l 容器一本に40分程度の汲みだし時間がかかるため、1日に供給可能な100 l 容器の本数は10本程度が限界であった。また、金属材料研究所の強磁場超電導材料研究センターで使われる500 l 容器は差圧式の汲み出し法では充てんに一本あたり3時間かかるため、500 l 容器を供給する日には100 l 容器による供給を制限する必要があった。このような状況を改善するため、今回の液化システムの更新にあたって汲み出しポンプ付の液体ヘリウム移送管(三重管)を導入することにした。

2. 移送システムの構成

液体ヘリウム移送システムの構成の概略は図1、2のようになっている。液体ヘリウムの貯槽中には吐出量1000 l/hの単段式遠心ポンプが設置されている。貯槽内のヘリウムは最初は貯槽とヘリウム容器間の差圧によって移送管中心部の供給管を通してヘリウム容器に送られる。供給管がヘリウムガスによって15 K 以下に予冷されると温度センサーがそれを感知してコントローラーがポンプを始動させ、液体ヘリウムはポンプによってヘリウム容器に送り込まれる。移送途中およびヘリウム容器内で発生した蒸発ガスは移送管内で供給管を同心円状に覆っている回収管中を逆流し、液化機運転時は液化機に戻されて再び液化され、液化機停止時は加温器で温められてガスバッグに回収される。供給管と回収管はさらに断熱真空槽によっておおわれている。ヘリウム容器の重さはロードセルで計測され、容器の重さの変化によって容器内に溜まった液量をモニターす

るようになっている。ロードセルは500 g の精度で重量を測ることができ、750 kg まで計測可能である。コントローラーにヘリウム容器の空重量をあらかじめ登録しておくことでロードセルからの信号を受けてコントローラーが容器の充てん度を感知し、満杯になると自動的にポンプを停止する。

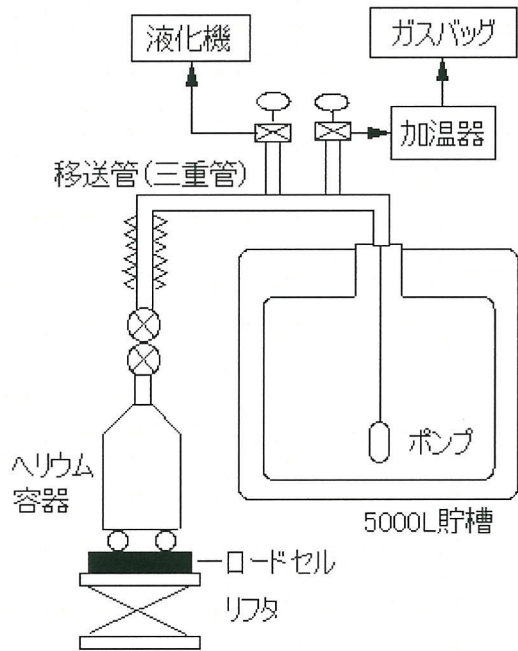


図1. 液体ヘリウム移送システムの構成図。

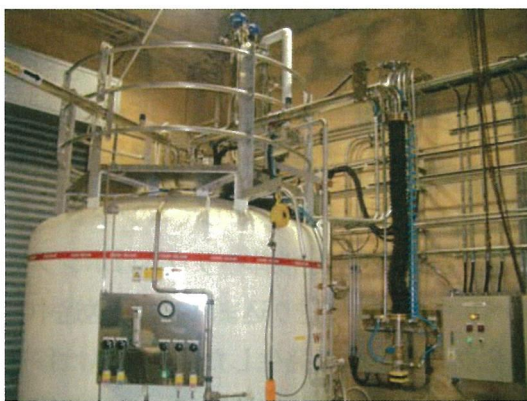


図2. 5000 ℓ 貯槽と移送管（三重管）。

3. 運用上の問題点と対策

極低温科学センターでは利用者の要求にこたえるため、さまざまなタイプのヘリウム容器で液体ヘリウムを供給している。特に片平地区では容

器の種類は60 ℓ 用から500 ℓ 用まで多種多様である。実際に液体ヘリウム移送システムを運用してみるといくつかの問題点があることが分かった。まず、容器によっては汲み出し時の液体ヘリウムの蒸発量が多すぎて、ポンプの吐出量 (1000 ℓ/h) が大きくても実際の汲み出し速度は300 ℓ/h程度にしか上がらない場合があることである。こういう場合は汲み出しに伴う蒸発量が大きすぎるため、ヒータ式の加温器 (6 kW) が蒸発ガスの冷却能力に負けてしまい、ガスバッグに送られる蒸発ガスの温度が低くなりすぎ、安全装置が働いてポンプが停止してしまう。この現象の容器別発生頻度を調査してみると、ヘリウム容器の内挿容器の首の部分の長さが長く、細い容器ほど汲み出し速度が遅く、汲み出し時の蒸発ガスが多い傾向があることがわかった。

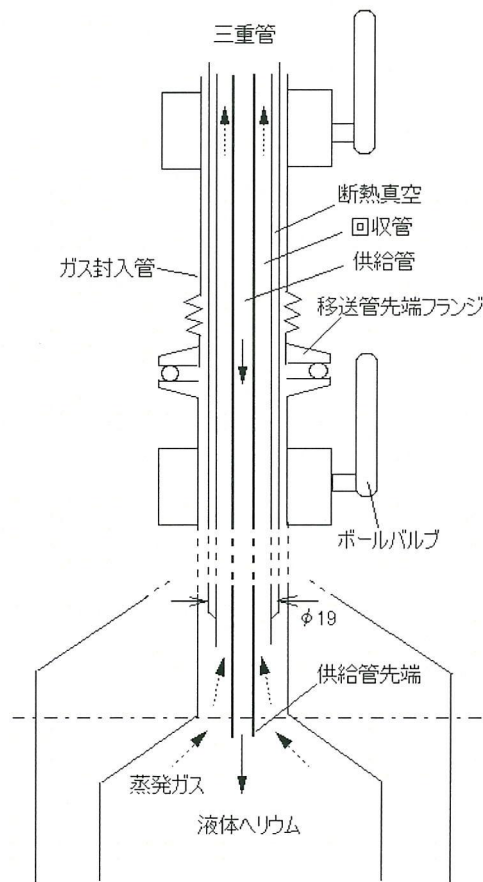


図3. ヘリウム容器内に挿入された供給管と回収管（概略図）およびヘリウムの流れ。

我々は汲み出し速度が遅い容器がある原因を、供給管先端がヘリウム容器の首から下（図3の一点鎖線より下）に出ない状態では供給管から流れ出た液体ヘリウムが蒸発ガスの速い流れに吹きあげられて、容器下部に溜まらず、回収管に直接入ってしまうためではないかと考えた。その対策として、移送管先端部のガス封入管がなるべく短くなるよう業者に改造してもらい、全てのヘリウム容器について供給管先端が図3の一点鎖線の下まで出るようにした。また、大小様々なタイプのヘリウム容器に十分な深さまで供給管を挿入できるよう、テーブルリフトを揚程の長いものに更新した（図4）。油圧式テーブルリフトは天板の停止位置が時間とともに下降し、移送管に容器の重量がかかる恐れがあるため、停止位置が安定する電動機式を選定した[3]。揚程は1600 mmとし、ロードセル(170 kg)と大型容器の重量に耐えられるように耐荷重を1 tとした。テーブルリフトの天板下部には足を挟んだときにリフトが停止するよう安全装置を設置した。また、リフトの大きさに合わせてコンクリートピットの拡張工事を行った。これらの対策を行った結果、現在では100 ℓ容器は10分程度、250 ℓ 容器は20分程度で充てんできるようになった。500 ℓ 容器への汲み出しはまだ行っていないため、汲み出し時間はわからない。

別の液体ヘリウム移送システムの問題点は移送管とヘリウム容器がクイックカップリングで締結されるため、ヘリウム容器の正確な重量がロードセルでモニターできないことである。特にポンプの始動前の移送管内部の予冷時は、ヘリウム容器内部に液体が溜らないにもかかわらず、ロードセルの感知する重量が大きく変化してしまう。移送管の熱収縮によって容器が上方に引っ張られるためと思われる。そこで、実際の汲み出し作業では、移送管内部の予冷が終わり、汲み出しポンプが始動する直前にロードセルの重量を0 kgに補正し、そこから増えた重量をヘリウム容器内にたまった液体ヘリウムの重量とみなすことにして運用している。充てんの停止は自動停止装置を

使わず、作業者が重量計を目視で読み取って手動で停止している。



図4. 液体ヘリウム汲み出し作業。5000 ℓ 貯槽から250 ℓ 容器に小分けしている。テーブルリフトの天板にはロードセルが取り付けられている。

まとめと今後の課題

液体ヘリウムの汲み出し作業時間を短縮し、供給量の増大に対応するため、液体ヘリウム汲み出しポンプ付の移送管を導入した。運用期間が短いため確定的なことは言えないが、供給管がヘリウム容器に深く差し込めるように設備を変更することで、ほぼ予定通りの速さで汲み出しができることがわかってきた。充てん完了時に自動停止する工夫をすることと500 ℓ 容器への充てん時間を検証することが今後の課題である。

脚注

- [1] 液化システム納入業者は大陽日酸社、液化機本体はLinde社（スイス）製。
- [2] 細倉和則他、金属材料研究所技術報告 18（1999）13.
- [3] テーブルリフトはメイキコウ社製、E2-1016AZ.