



Title	低温センター豊中分室のヘリウム液化システムの更新
Author(s)	笹尾, 愛
Citation	大阪大学低温センターだより. 2017, 167, p. 14-19
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/62120
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

低温センター豊中分室の ヘリウム液化システムの更新

理学研究科 笹尾 愛

E-mail: sasao@tech.sci.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

低温センターは、液体ヘリウム等を学内に供給するため、吹田・豊中両キャンパスに設置されている。物理系のみならず化学系、生物系等の幅広い分野で液体ヘリウムは利用されており、理系の約40%の研究室が直接・間接に利用している。ヘリウムガスは海外の限られた天然ガス田からしか分離精製されず、100%輸入に頼る稀少な資源で、非常に高価である。そのため、実験室で使用后に発生するヘリウムガスを回収し、センターで貯蔵・精製して、それを効率よく液化することにより、安価で安定した液体ヘリウムの供給を実現して、教育研究の支援に大きく貢献している。同時に、実験室等で連続運転して使用する冷凍機と比較して大幅な節電も実現している。

私は、低温センター豊中分室でヘリウム液化・供給システムを運転し、その維持管理に努めている。平成27年度、設置後12年経過して傷んだ液化機の更新が行われることになり、この機会にヘリウムの安価で安定した供給とその維持管理をさらに発展させるため、更新内容の優先順位づけと新しい仕様を検討し、液化装置とシステムの一部を更新したので、紹介する。

2. ヘリウム液化システムの更新目的

今回は経年劣化に伴う更新であるが、限られた予算のため、液化機本体の他、液化機周辺装置の更新の優先順位をつける。その際、メンテナンス費用と電気代の削減、作業の効率化、職場環境の向上を含めた安全衛生対策も視野に入れて、新しい仕様を考える。

3. ヘリウム液化システムと学 内のガス回収の流れ

図1は、豊中分室における更新後のヘリウム液化システムの概略図を示す。まず、運搬用液体ヘリウム容器で研究室の実験装置に供給された液体ヘリウムは、利用後、気化して大量のヘリウムガスが発生し、それが回収配管を經由してセンター内のガスバッグに戻ってくる。ガスバッグに一時的に貯蔵

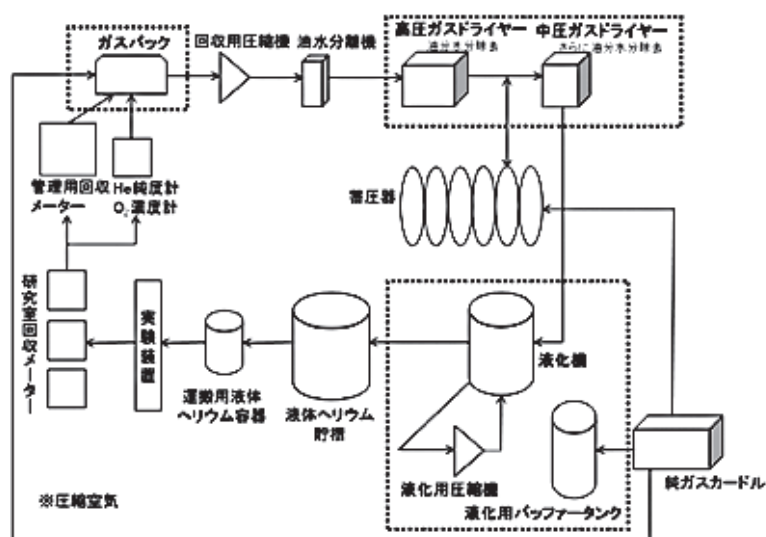


図1 ヘリウム液化システムの概略図（点線枠内は更新部分）

されたガスは、回収用圧縮機で14.7 MPaに圧縮し、油水分離器、高圧ガスドライヤーで油や水分を除去した後、蓄圧器に貯蔵される。液化する前に、蓄圧器のガスは中圧ガスドライヤーで2.5 MPaまで降圧し、液化機のコールドボックスの内部精製器へ送られ、液化機ラインに供給される。液化用圧縮機で圧縮されたガスは、液化機内の2基の膨張タービンにて9.8 Kまで冷却され、ジュール・トムソン弁（以後JT弁と言う）を通じて液化され、三重管式移送管で液体ヘリウム貯槽に移送し液体ヘリウム状態で貯蔵される。これを、適宜、運搬用液体ヘリウム容器に充填して、研究室に運び、再利用される。液化用バッファータンクと純ガスカードルを付帯設備として備える。なお図1の点線枠内は、平成27年度に更新した範囲である。

4. ヘリウム液化システムの状況と更新のための優先順位の検討

更新に先立ち、私は、旧システムの問題点を把握するため、表1のような項目に分けて、更新の優先順位を検討した。

4-1) ヘリウムガス回収・貯蔵系

液体ヘリウムのコストを抑えるために最も重要なことのひとつは、ヘリウム回収率の向上である。各研究室でも回収率の向上に努めてもらっているが、センター内では

高圧ガス状態のヘリウムを大量に扱っており、ガス漏れが問題となる。そこで、保安上の問題も含めて回収用圧縮機、高圧ガスドライヤー、蓄圧器、ガスバッグに注目し、ガスが漏れていないか確認した。結果、全ての装置からガス漏れがあり、各々対応した。

回収用圧縮機の漏れ箇所は特定できず、3台から2台運用に切り替えた。高圧ガスドライヤーの自動式エアー駆動バルブからの漏れは、部品等の交換が困難なため、使用を極力控えた。一方、手動式は増し締めを行うことで、漏れは生じなくなったので、こちらを主に用いた。蓄圧機は漏れ箇所を特定し、増し締め作業後は、漏れは生じなくなった。ガスバッグは2つあり、片方は漏れていることがわかったが、漏れ箇所は目視、リークディテクター共に特定できなかった。これらから更新順位は、1機が壊れると、油分水分が除去されない不純なヘリウムガスが送られ、液化運転が困難となるので、高圧ガスドライヤーを1位とした。ガス漏れがあり、漏れ箇所を特定できなかったガスバッグを2位とした。

4-2) ヘリウム予冷系

ヘリウムガスの予冷に用いる液体窒素について、貯槽関係と断熱配管ともに大きな故障は見つからなかった。しかし、経年劣化に伴う液体窒素汲み出し口につながる貯槽の元バルブからの液

(1)回収系	1. ガスバッグ 2. 回収用圧縮機、油水分離器 3. 高圧ガスドライヤー 4. 蓄圧器
(2)予冷系	5. 液体窒素貯槽 6. 液体窒素断熱配管
(3)液化系	7. 液化用バッファータンク 8. 液化用圧縮機 9. 圧縮空気装置（吸着式圧縮空気除湿装置を含む） 10. ヘリウム液化機 11. 中圧ガスドライヤー 12. 液体ヘリウム貯槽（液面計含む） 13. 運転制御システム（監視モニター含む） 14. 冷却水循環設備（冷却塔、チラー）
(4)移送系	15. 三重管式移送管 16. 二重管式ヘリウム汲み出し管

表1 ヘリウム液化装置とシステム（太字は更新）

漏れや、一定圧力以上になるとガス放出し、圧抜きするブリーザー弁の故障があったので、安全のために更新前に早急に修理した。これは故障の都度検討し、早急に修理することにして、暫定的に、このまま使用を継続することにした。断熱配管は、室温まで温度を上昇させて真空排気する必要があり、通常のヘリウム液化時は作業できないため、真空再排気し、再利用することにした。

4-3) ヘリウム液化系

経年に伴って部品の消耗や、電気系統の不具合による故障が増加し、各々の故障原因を解明した。その際、今回の更新の主な目的として、①更新前と同様に純ガスでの液化能力200 L/hrを維持すること、②液化用圧縮機の吐出圧力及びヘリウム液化機本体圧力を1.0 MPa未満の低圧することに重点をおいた。

液化用圧縮機は、油とヘリウムガスの混合状態をスクリューで圧縮し、液化機に挿入、循環させる。これには大きな故障はなかったが、システム更新では、吐出圧力を1.0 MPa未満にするため、廃棄することにした。

液化機は、凝縮方式による内部精製器を備えており、純度80%以上の原料ヘリウムガスで液化運転が可能で、熱交換器、2基の膨張タービン、弁類、配管等から構成されたクローズドサイクルである。この液化機で、以下の3件の異常が生じ、各々について対応した。

(異常1) 第1膨張タービンと第2膨張タービンの回転数不足が発生したため、スピードセンサーを交換した。

(異常2) 液体ヘリウム貯槽内圧の異常が発生し、割れていたJT弁のバルブシートを交換した。

(異常3) 第1膨張タービン入口バルブが開かないため、タービンにガスが流れず、第1膨張タービンと第2膨張タービンの回転数不足が発生したが、バルブ交換せずしばらく監視した。

今回のシステム更新では、液化機の吐出圧力を1.0 MPa未満にするため、旧液化機は廃棄する。

その他、ヘリウム液化時の温度や圧力制御に必要な「運転制御システム」や、「中圧ガスドライヤー」の故障が目立った。特に、運転制御システムは、旧設備において、戻りガス圧力の異常値表示や瞬時変動、制御モニターの電源が落ちるという低温センターの安全に係わる異常が生じた。部品交換、または部品交換できないものは、監視にて対応した。

加えて、ヘリウム液化機や液化用圧縮機を冷やすために、冷却水循環設備の冷却塔とチラーを用いているが、この冷却塔の配管が腐食して減肉した(図2(a), (b))。腐食防止のため、交換前と同素材の鉄製配管にエポキシ樹脂を塗装したものと交換し(図2(c))、防腐とレジオネラ菌対策のための薬品を投入した。しかし、1年後には塗装が剥がれ、下地の鉄素材になり、少し腐食が生じ始めた。チラーは、大きな故障はなかったが、タービン冷却水のセンサー不良で、ヘリウム液化機が起動しないことが、以前あった。これらから、運転制御システム、中圧ガスドライヤー、冷却設備を廃棄することとした。

付帯設備のヘリウムガスを自動的に貯蔵する液化用バッファータンクは、液化装置で内部精製器を使用する液化運転時に、精製器内に吸着した不純物を定期的に加熱除去する工程に必要な純ガスの供給用に利用する。これは故障してはいないが、現在の16 m³ではタンクの容量が小さく、

再生時間が不足し、液化運転が持続できないので、もう1基、追加することとした。



図2 冷却塔配管の腐食
(a) 交換前の錆, (b) 交換前の配管内部の錆, (c) 新品交換塗装品

これらを踏まえ、1位を液化用圧縮機、2位をヘリウム液化機、3位を運転制御システムで、4位を液化用バッファータンクの追加、5位を中圧ガスドライヤーを更新する事とした。さらに、腐食や錆の影響を受けた冷却水循環設備（冷却塔、チラー）の更新と、空気中の水分をさらに除去するために吸着式圧縮空気除湿装置を新規に加えることとした。液体ヘリウム貯槽（液面計含む）は、今回は使用を継続することにした。

4-4) ヘリウム移送系

液化機本体と液体ヘリウム貯槽との位置関係が変更され、前述のように、三重管式移送管は新しく更新することにした。二重管式ヘリウム汲み出し管は、外側に霜が発生せず、問題がないので、真空再排気して再利用することにした。

5. ヘリウム液化システム更新の仕様と工夫

今回の更新の主な目的は、①純ガスでの液化能力200 L/hrの維持、②液化用圧縮機の吐出圧力及びヘリウム液化機本体圧力を1.0 MPa未満の低圧することである。これらを踏まえ、以下の各項目についても取り組んだ。

5-1) メンテナンス費用の削減

図には示されていない膜式精製器は、研究室からセンターへの戻りヘリウムガス純度が、通常約99%と高純度であるので、そのままでも液化できるため、廃棄した。回収用圧縮機、油水分離機、高圧ガスドライ

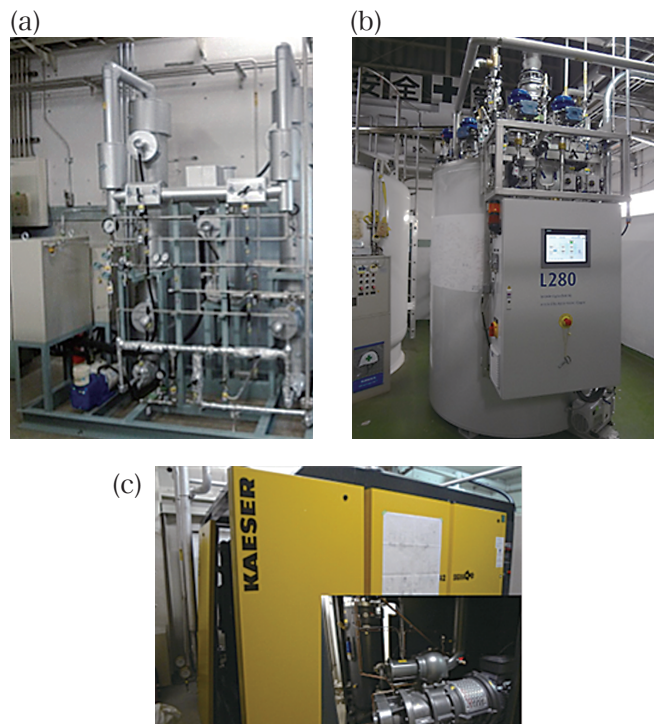


図3 (a) 高圧ガスドライヤー, (b) 液化機
(c) 液化用圧縮機（拡大図：スクリー部）

ヤーを3機から2機に減らした。また高ガスドライヤー（図3(a)）は、より安全で便利にするため、手動式操作で、取り替え可能な切り替え弁、再生温度の上昇、回収用圧縮機と高圧ガスドライヤーの切り替え運転ができるようにした。ヘリウム液化機（図3(b)）と、液化用圧縮機（図3(c)）は、今回の更新の方針に従い、1.0 MPa未満の低压ガス設備にした。

5-2) 消費電力量の削減

更新前の液化運転時のセンター全体の1日当たりの消費電力量は、平均で約400 kWhであり、その内訳は、液化用圧縮機が322.5 kWhで81%に相当する。更新後は、センター全体の1日当たりの消費電力量は、平均で約300 kWhとなり、その内、液化用圧縮機は252.2 kWhであった。更新前と同様の液化能力（純ガスで200L/hr）を保持し、かつ液化機の液化開始までの運転時間が、室温からでは約3時間が約2時間に、連日運転では108分が37分に短くなったことが効いている。更新後のその他の消費電力量は、冷却塔は8.8 kWh増加したが、液化用圧縮機の空調設備は13 kWh、チラーは1.4 kWh減少した。更新前後のセンター全体消費電力量は、平均で100 kWh減少して更新前の25%を削減することができた。

5-3) 作業効率の改善

先に述べたように液化用バッファータンクとして、弁付きの30 m³タンクを追加（図4(a)）し、合計46 m³に増強した。追加により、ヘリウム純度低下時に、購入した純ガスを用いる頻度を減少させ、システム全体の管理がやりやすくなった。

ガスバック（図4(b)）は、ポリエチレン／ポリウレタン製に変更することで、ガスの透過度が減少するので、蓄圧器に備蓄されるヘリウムガスの純度が向上する。

前述のように、冷却塔（図4(c)）は腐食のための修理を行ったが、再度腐食が進行したので更新することにした。以前は防腐とレジオネラ菌対策のための薬品を手動投与していたが、薬品の危険性等を含めて適正な管理を行うため、自動薬品管理装置を導入した。チラーは、以前のタービン冷却水のセンサー不良による配管内の錆の残留が懸念されたので、配管と装置を更新した。冷却塔と、チラーの冷却水は、定期的に交換することにした。

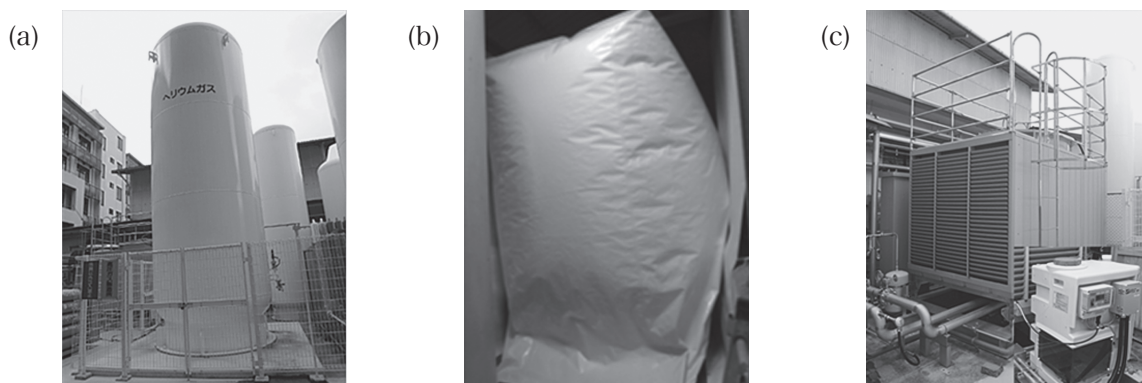


図4 (a) 液化用バッファータンク, (b) ガスバック, (c) 冷却塔（拡大図：自動薬品管理装置）

運転システムに関して、瞬間停電で運転制御システムが故障したことがあったため、無停電電源

供給装置を設置した。警報表示は、更新前は制御用モニターのみであったが、更新後は監視用モニターでも警報を含むデータ収集ができるようになった。運転制御盤と一体化した液化機の設置場所を検討し、安全のための運転制御盤の緊急停止ボタンは、誰でも対応できるように正面入り口に向けた。その結果、液化機本体と液体ヘリウム貯槽との位置関係が変更され、前述のように、その間の三重管式移送管は新しく更新された。

5-4) 安全衛生対策

液化用圧縮機のスライド弁の開閉方式の変更と、低速動作のスクリーによって、騒音の最大値が更新前の98 dBから79 dBに大幅に減少した。また冷却塔の薬品投与を自動で行うことで、薬品事故の危険性も少なくなり、以前より職場環境が改善された。

6. まとめと今後の課題

今回の更新は、経費の制約から、設置後12年経過して傷んだヘリウム液化装置を中心とする必要最低限の更新にした（表1参照）。その中で課題であったメンテナンス費用と電気代の削減、作業の効率化、さらに職場環境向上も含めた安全衛生対策を取ることができた。今後、更新した装置の様子をみながら、日常点検の強化やメンテナンス方法の改訂を進めて行く。しかし、以下の残された課題もあり、対策を取って行きたい。

1. 更新できなかった機器の対策

回収用圧縮機、液体窒素貯槽一式、液体ヘリウム貯槽一式について、早めの更新を目指し、それまで、維持管理を慎重に行う。

2. 増設できなかった機器の対策

蓄圧器について、機会をみて増設し、備蓄量を増加させて、液体ヘリウムの安定供給をめざす。

謝辞

更新に際して、平成27年末から数ヶ月間の液体ヘリウム供給停止をおこない、平成28年度4月より、通常の供給業務を再開することができた。その間、利用者にご不便をお掛けし、大変申しわけなく、また、その間の利用者の寛容な対応に感謝したい。また今回の更新にご尽力頂きました野末泰夫先生、田島節子先生、竹内徹也先生、感謝いたします。この紙面を借りましてお礼申し上げます。