

ヘリウム液化装置

著者	廣井 政彦, 小山 佳一, 伊藤 昌和, 重田 出
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要=Reports of the Faculty of Science, Kagoshima University
巻	44
ページ	27-32
別言語のタイトル	Helium-liquefier system
URL	http://hdl.handle.net/10232/12220

ヘリウム液化装置

著者	廣井 政彦, 小山 佳一, 伊藤 昌和, 重田 出
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要=Reports of the Faculty of Science, Kagoshima University
巻	44
ページ	27-32
別言語のタイトル	Helium-liquefier system
URL	http://hdl.handle.net/10232/00010772

ヘリウム液化装置 Helium-liquefier system

廣井政彦・小山佳一・伊藤昌和・重田 出*

Masahiko HIROI, Keiichi KOYAMA, Masakazu ITO, Iduru SHIGETA

Abstract: A description of the compact helium-liquefier system which was installed in the Faculty of Science, Kagoshima University last fall (October 2010) is given. The Helium liquefier system consists of three parts; a helium gas recovery system, a helium gas purification system, and a helium liquefier. The system allows us to recycle evaporated helium gas used in experiments and to store the gas in a storage tank. The helium liquefier is equipped with two GM refrigerators and can produce 2l liters/day of liquid helium.

Keywords: helium-liquefier, helium gas recovery system

1. はじめに

ヘリウムは原子番号2の元素で、常温常圧で気体で、空気より軽く希ガスで反応性は乏しい。そのため、風船などで使われておりなじみのある気体である。しかし、地球上に存在する量は限られており、大気中には約5.2 ppmしか存在しない。我々が使用するヘリウムは、天然ガスから取り出しており貴重な資源であり、日本では100 % 輸入に頼っている。従って、ヘリウムは高価であり、また、資源の有効利用の観点からも、使用したヘリウムは回収して再利用することが望ましい。

ヘリウムは、最も液体になりにくい元素で、永久気体と言われた時代もあったが、1908年オランダのカマリン・オネスが初めて液化に成功した。引き続いてオネスは1911年水銀において超伝導を発見した。これらが、現在の低温物理学の発展の礎になっている。

ヘリウムは、常圧で絶対温度4.2 Kで液体になり、絶対零度まで液体である¹。液体ヘリウムは最も低温の液体であるので、絶対零度に近い環境での極低温実験や、超伝導磁石を冷却するための寒剤として使われる。特に、超伝導磁石は、物理学や物質科学・工学の研究はもとより、MRI (magnetic resonance imaging – 磁気共鳴画像) 装置という医療機器などにも使われて広く応用されるようになってきている。そのため、極低温での物理学や超伝導磁石を使用する教育・研究を十分に進めるためには、液体ヘリウムを供給し、回収・再利用できるような設備があることが望ましく、大学に必要な基盤的な設備といえる。

昨年 (2010年10月)、鹿児島大学理学部にもそのような機能を持つ小型ヘリウム液化装置・システムが導入されたので、以下で、その紹介をしたい。

* 鹿児島大学大学院理工学研究科 物理・宇宙専攻

Department of Physics and Astronomy, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University

1 ヘリウムが絶対零度まで液体であるのは量子性が大きいので、さらに、飽和蒸気圧下2.12 Kで超流動状態になるなど、それ自身の性質も大変興味深いものである。さらにここでのヘリウムは、天然に産出するうちのほぼ100%を占める質量数4のヘリウム4のことであるが、安定な同位体に、質量数3のヘリウム3がある。ヘリウム3も含めるとさらに低温で豊富な物理現象がある。また、ヘリウム3は1 K以下の冷却において重要であることを付記しておく。

2. ヘリウム液化装置の構成

このヘリウム液化装置は、(株)大陽日酸製で、ヘリウム凝縮装置、ヘリウム回収装置、ヘリウム精製装置から構成されるシステムである。液化装置の概略図を図1に示す。ヘリウム凝縮装置、ヘリウム精製装置などの装置の主要部分(図2)は理学部1号館1階101室に置かれている。101号に隣接する屋外には、冷却水を循環・供給する冷却水循環装置とヘリウムガス貯蔵用のストレージタンク(5 m³)が設置され、ボンベ庫にはヘリウムガスおよび窒素ガスボンベとともに回収圧縮機が置かれている(図3)。

ヘリウム回収配管は理学部1号館1階の実験室(101, 102, 103室)に設置され、この実験室で使用され蒸発したヘリウムガスは回収配管を通してガスバッグ(図4)に回収される。ガスバッグに回収されたヘリウムガスは回収圧縮機により圧縮され、屋外に設置された容量5 m³のストレージタンクおよび、室内の100 lのストレージタンクに、0.9 MPaの圧力までヘリウムガスを貯めることができる。実験を行わない間はそれだけのヘリウムガスを保管できる。室温のヘリウムガスは液体ヘリウムの約700倍の体積なので、およそ65 lの液体に相当するヘリウムを貯蔵しておくことができる。ただし、液化のための精製が必要で、その過程で失われる分があるので、100%液化できるわけではない。

液体ヘリウムを使用する場合、ヘリウム凝縮装置を運転し貯蔵されたヘリウムを液化する。純度95%以上のガスだけを回収するようになっているが、それでも、回収ガスには、水分、空気などが含まれ、このまま低温にして液化しようとすると、これらが凍り配管を閉塞させ液化の障害になる。従って、回収ガスの水分や空気を除去し精製する必要がある。まず、ガス中の水分を除去するために乾燥器を通す(図2右)。乾燥器は吸着剤により水分を除去する。その後、分離膜方式のプレ精製器を通して純度99%以上の

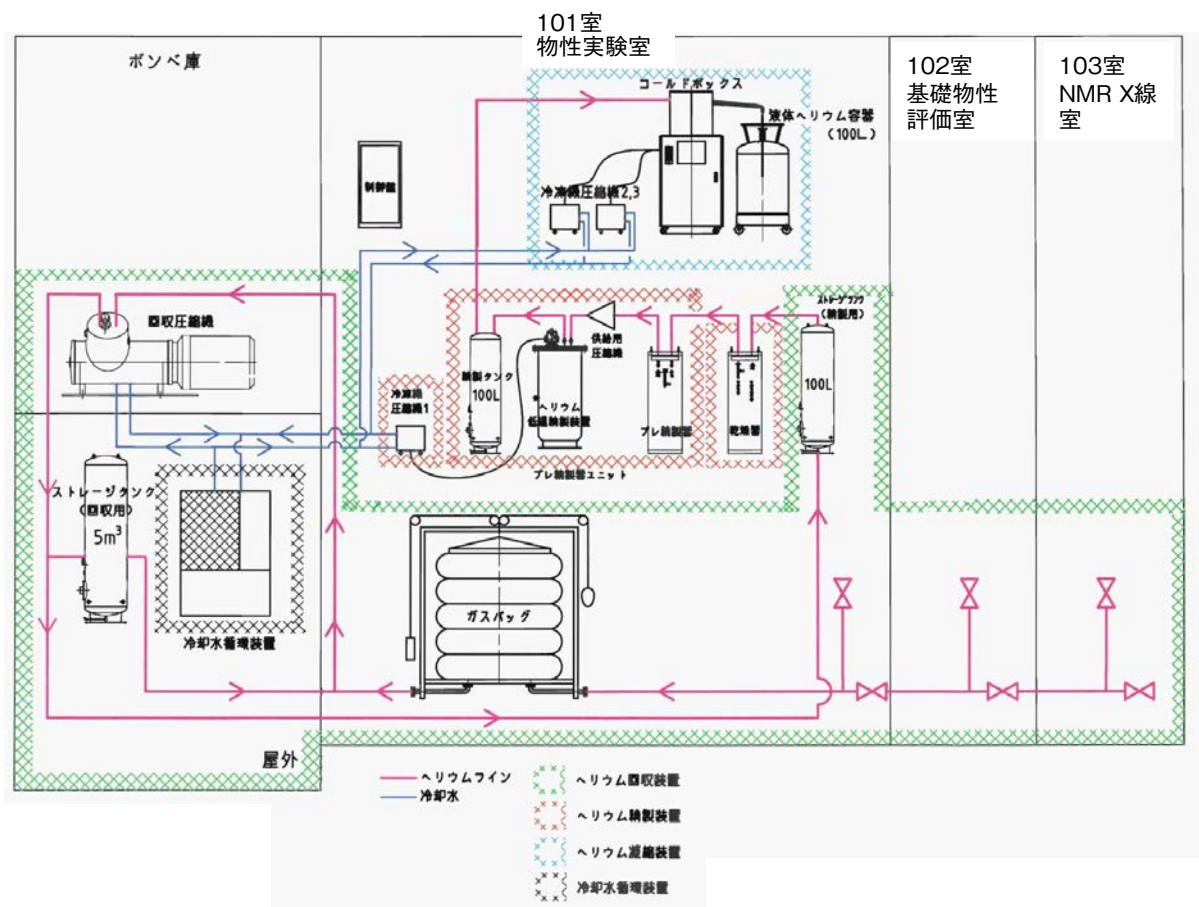


図1. ヘリウム液化装置概略図



図2. 101室に設置されたヘリウム液化装置

ヘリウムに精製し、さらに、低温精製器（図2中）で活性炭等の吸着剤により、空気等の不純物を除去する。この低温精製器はGM冷凍機²によって80 K以下の温度に冷やしており、液体窒素を使わない方式である。

凝縮装置（図5）で精製されたヘリウムガスの液化を行う。ポンペに充填されているヘリウムガスから液化することも可能である。凝縮装置はGM冷凍機を2台用いた凝縮装置で、SQUID磁化測定装置などで、液体ヘリウムをつぎ足しすることなく保持しておくために使用される再凝縮装置と同じものである（以下で、再凝縮装置という名称を使う場合もある）。液化能力は21 l/日で、液化装置としては小型であるが、現在の我々の使用量からみると不足はない。このようなGM冷凍機を用いたヘリウム再凝縮装置を液化装置として使うことはこれまでにほとんど例がないということである。凝縮装置下部にある循環ポンプにより、ヘリウムガスをコールドボックス（図5）を通して循環し冷却していき、液化する。液体はコールドボックスから出ているトランスファー部（図5）から、容量100 lの液体ヘリウム容器（図6）にためる。

3. ヘリウム液化装置の運転

ヘリウム液化装置の運転はヘリウム液化装置制御盤（図7）、および、（再）凝縮装置コントロールパネル（図8）からの操作で行われる。多くの部分が自動化されており、各部の圧力などの情報も制御盤に表示される。実際に液化するときの運転の手順は、まず、乾燥器、低温精製器の再生（ヒーターで吸着剤の温度を上げ、真空に引き吸着能力を回復させる）から始める。その後、ガスを精製し、あらかじめ起動しておいて冷却されたヘリウム凝縮装置に送り込み液化する。液体ヘリウム容器に液体がある場合はすぐに

² ピストンを往復運動させ、ヘリウムを断熱膨張させることによって低温を得る装置。ヘリウムガスは装置内に閉じ込められており、液体窒素・ヘリウムなどの冷媒を使用しないで極低温を得ることができる。最低温度4 K以下に冷却できる物もある。



図3. 101室に隣接した屋外に設置された冷却水循環装置（手前）、5 m³ストレージタンク（中央）とポンペ庫（奥）



図4. ガスバッグ



図5. 凝縮装置



図6. 100 l 液体ヘリウム容器と回収配管



図7. ヘリウム液化装置制御盤置

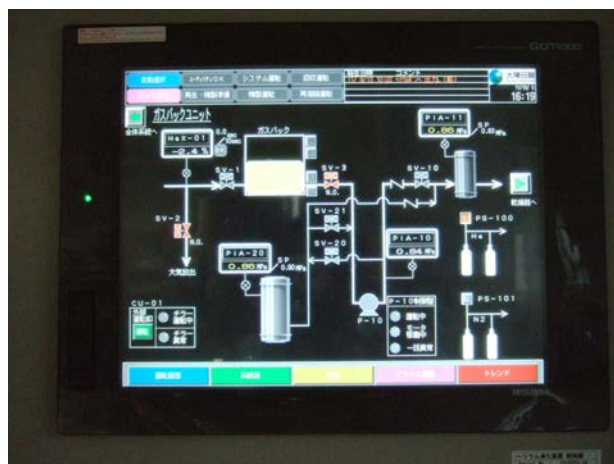


図8. (再)凝縮装置コントロールパネル

液化できる。また、この装置では、室温のヘリウム容器でも、最初からトランスファー部につないでガスを循環させて冷却することにより、液体ヘリウムをためることができる。この場合運転開始から液体ヘリウムがヘリウム容器にたまり始めるまでに2日間ぐらいの時間を要する。その後、実験に必要な量の液体ヘリウムをためていく。既に述べたように、液化のスピードは1日で約20 lであるので、通常、室温から運転した場合、必要な液体ヘリウムを得るのに4～5日要する。

ヘリウム液化装置導入後、実際に運転し、順調に液化することができている。これまでに、約100 lの液体ヘリウムを得て、教育・研究に使用し、超伝導磁石を使用した実験にも使用した。しかし、まだ、十分な運転を経験しているわけではなく、装置の特性を把握し、効率的な運転を行うのは今後の課題である。実際に、空気などの混入による閉塞などのトラブルがあった。しかし、基本的には、タッチパネルからの操作で運転でき自動化されているので、特に面倒な操作や手間は必要ない。

4. おわりに

このようなヘリウム液化装置により、鹿児島大学理学部での液体ヘリウムを使用した極低温環境下での実験や超伝導磁石を使った実験を行う環境は大きく改善された。特に、液体ヘリウムのコストは従来の業者からの購入に比べ約1/3になった。

今後の課題として、液化機運転を効率的に行い、ヘリウムガスの回収率を上げ、ヘリウムをなるべく無駄にしないようにすることである、これにより、ヘリウムの使用のコストを下げ、より多くの液体ヘリウムを使用した実験を行うことが可能になる。また、これまで、この装置には、我々、物理・宇宙専攻に属する教員グループ（設備運用グループ）が関わってきたが、今後、低温での実験を多くの人に知ってもらい、液体窒素・ヘリウムを利用した低温の実験を行う人が理学部や全学に増えてもらうことも課題である。また、前述のように冷凍機を利用した液化装置なので、一定時間（一万時間程度）使うと摩耗のため、メンテナンスが必要となる。現在、大型機器に関わる維持費は認められていないので、これに関わる予算確保が課題となる。

この装置を円滑で効果的な運用をするために、我々は、物理・宇宙専攻外委員を含めたヘリウム液化装置運用委員会を立ち上げた。委員会としてまず低温実験講習会を開催した。低温実験は、普段はさほど危険なものではないが、場合によると酸欠、爆発、凍傷などの恐れがあり、生命の危険に至ることもある。従って、最低限の基礎知識を知り、取り扱い上の注意を守る必要があるため、そのための講習を行った。また、低温でどのような実験ができるのかを知ってもらい、低温の実験を行うための参考になるように、実験装置の紹介を行った。今後、鹿児島大学において、液体ヘリウムおよび液体窒素を用いた低温実験が盛んになり、世界的にも注目される教育・研究が行われ、九州地区での教育・研究拠点のひとつになるこ

とを期待したい。

謝辞

ヘリウム液化装置の導入・設置にご尽力・ご協力をいただいた清原貞夫前理学部長はじめ理学部の関係者の皆様に深く感謝いたします。