

# 液体ヘリウムを消費しない極低温冷却装置の開発 より簡便な極低温環境の生成へ

寒剤としての液体ヘリウムを使わずに、機械式冷凍機によって 0.6 K（ケルビン）までの極低温環境を実現できる極低温冷却装置を開発した。これは、循環式  $^3\text{He}$  冷却装置を備えており、 $^3\text{He}$  の断熱膨張冷却を利用している。簡単な操作で長期間の連続運転を行うことができ、温度計校正装置をはじめ安定した極低温環境を必要とする機器に広く応用することもできる。

We developed a  $^3\text{He}$  cryocooler that can reach down to 0.6 K. It consists of a mechanical refrigerator and a closed-cycle  $^3\text{He}$  Joule-Thomson expansion circuit. Since the cryocooler uses a mechanical refrigerator for pre-cooling, it does not require cumbersome liquid helium as a cryogen. The developed cryocooler can run for over a month with a simple procedure. We are developing a thermometer calibration apparatus on the basis of the developed cryocooler. The cryocooler can also be applied to other general apparatuses that require low temperature environment.

## 極低温環境とその応用

“極低温”という言葉が意味する温度領域は、分野や業界によって違うが、低温工学、超伝導工学分野などでは、おおむね液体ヘリウム（元素記号 $^4\text{He}$ 、沸点4.2 K）を寒剤として得られる温度、つまり4.2 K以下の温度である。

近年、この極低温領域に特有の超伝導現象などを利用した高感度、高分解能検査機器、検出器の応用が基礎科学分野だけでなく医療、先端的工業分野などで進んでいる。例えば、MRI診断装置、非破壊探傷装置、高感度X線検出器などは、超伝導現象を巧みに利用し、きわめて高感度かつ高分解能で信号を検出している。特にX線検出器などは4 K以下の極低温環境を必要とすることが多い。

環境の利用を促進している。また、高感度検出器の動作には4 K以下の冷却が必要なことも多く、液体ヘリウム寒剤を使わずにさらに低温まで到達できる冷却装置の利用価値は高い。

そこで、機械式冷凍機に循環式 $^3\text{He}$ 冷却装置を組み合わせることで、比較的簡単な構造ながら、これまで同様の方式では到達できなかった0.6 Kでの連続冷却ができる装置を開発した。なお、天然に存在するヘリウムのほとんどは質量数4の $^4\text{He}$ であるが、その安定同位体である質量数3の $^3\text{He}$ も1.3 ppm程度存在する。 $^3\text{He}$ の沸点は3.2 Kであり極低温において全ての純物質の中で最も高い蒸気圧を持つ。

## 極低温冷却装置

図1に極低温冷却装置の模式図、図2に外観を示す。装置は、機械式冷凍機と $^3\text{He}$ （動作気体）を循環させて断熱膨張冷却を行う循環式 $^3\text{He}$ 冷却装置となり、冷却部は全て断熱真空容器内に納められている。循環式 $^3\text{He}$ 冷却装置は、気体のある温度（気体の物性に依存）以下で小径のバルブなどを通して断熱膨張させると、膨張した気体の温度が低下する現象（ジュール・トムソン効果）を利用する。

島崎 毅 しまざき たけし  
t.shimazaki@aist.go.jp  
計測標準研究部門  
温度湿度科 低温標準研究室 研究員  
(つくばセンター)

これまで、超伝導温度センサーの開発、液体ヘリウム中での高度に非定常な熱伝達現象の解明、極低温冷却技術を利用した赤外線望遠鏡衛星に関する基礎研究などに携わってきた。入所後は低温域における温度標準の実現と供給体制確立のための研究を行っている。今後も国際的に整合性の取れた温度目盛の普及と、簡便な低温生成技術の開発、低温環境の工業的応用の促進などに貢献したい。



## 極低温環境の生成

従来、極低温環境の生成には、液体ヘリウムを寒剤として定期的に補充することが多く、それが極低温環境を利用する際の利便性や操作性向上の大きな障壁になっていた。そのような中、液体ヘリウム寒剤を必要とせず、スイッチ操作ひとつで4 K程度までの極低温環境を実現できる機械式冷凍機が普及しつつあり、その手軽さが極低温

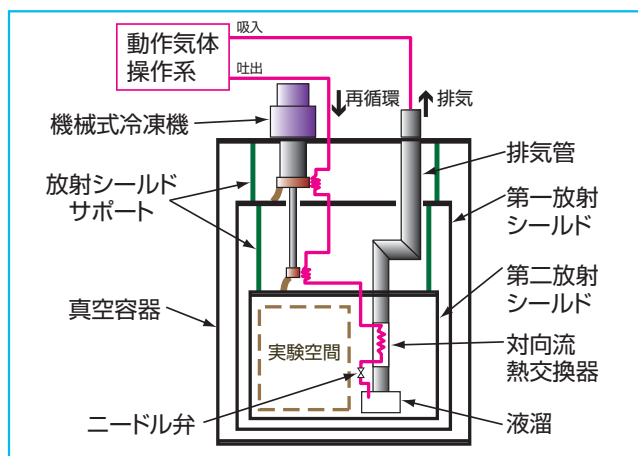


図1 極低温冷却装置の模式図



図2 極低温冷却装置の外観写真

動作気体操作系から吐出された $^3\text{He}$ ガスを、機械式冷凍機と対向流熱交換器によって予冷した後、ニードル弁を通して膨張させ冷却する。冷却対象物は、液溜と熱接触させることで冷却する。冷却温度はニードル弁の開度で調節できる。温度を下げる時はニードル弁を締めて断熱膨張冷却の程度を高めて $^3\text{He}$ を液化し、液溜に溜まる液体 $^3\text{He}$ の蒸気圧が極力低くなるように排気する必要がある。この装置では、液溜の排気管としての排気効率を高めた対向流熱交換器を開発し、液体ヘリウム寒剤を使わずに最低到達温度0.6 Kを達成した。また、動作気体を循環させているため、数カ月間の連続運転も可能である。

図3にこの装置の運転時の温度変化の例を示す。まず、機械式冷凍機だけを起動して装置冷却部の予冷を行いその後、循環式 $^3\text{He}$ 冷却装置も起動する。図4は、循環式 $^3\text{He}$ 冷却装置の起動後の温度変化を拡大して示している。

### 今後の展開

極低温を利用した高感度、高分解能機器が性能を発揮し、また安全に動作するためには、装置の極低温領域における正確な温度測定や温度制御が不可欠である。われわれは、温度

測定の基準となる1990年国際温度目盛 (International Temperature Scale of 1990, ITS-90、定義下限温度は0.65 K) に基づいた極低温における温度標準の実現と温度計校正サービスに向けた研究を行っている。現在、開発した極

低温冷却装置をベースに、世界に先駆けて液体ヘリウム寒剤を必要としない極低温用温度計校正装置を試作中である。また、この冷却装置の開発を通して得られた技術を極低温環境を必要とする機器に広く応用していきたい。

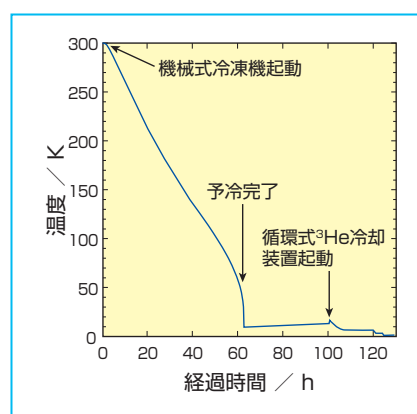
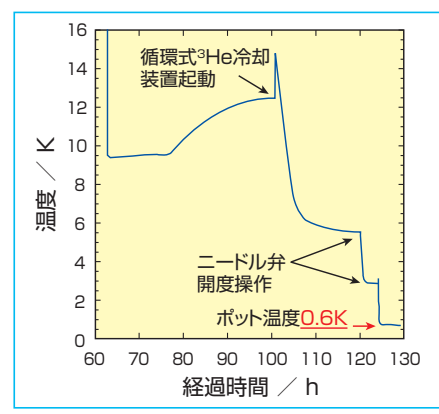


図3 極低温冷却装置運転時のポットの温度変化

図4 循環式 $^3\text{He}$ 冷却装置起動後のポットの温度変化

### 関連情報：

- 共同研究者：豊田恵嗣、田村収 (計測標準研究部門)
- T. Shimazaki, K. Toyoda, O. Tamura: Rev. Sci. Instrum. Vol. 77, 034902 (2006).
- T. Shimazaki, K. Toyoda, O. Tamura: Proceedings of CryoPrague 2006, ICEC 21, Prague, Czech Republic, July 17-21, 2006, to be published
- 特願 2005-171569 「機械式冷凍機とジュール・トムソン膨張を用いた極低温冷凍機」 島崎毅、豊田恵嗣