

# 液体ヘリウムポンプと他流体ポンプの比較

東大 物性研究所<sup>A</sup> 東大 総合文化研究科<sup>B</sup> 分子研<sup>C</sup>

鷺山 玲子<sup>A</sup> 井上 春恵<sup>B</sup> 土屋 光<sup>A</sup> 高山 敬史<sup>C</sup> 吉田 辰彦<sup>A</sup> 小田嶋 豊<sup>B</sup>

## 1. はじめに

東大 総合文化研究科の小田嶋氏をリーダーとして、液体ヘリウムポンプの開発プロジェクトが、2001年の春より始まった。このプロジェクトは低温に携わっている技官が定員削減や様々な事情により物づくりから離れたつつある現状において、部局を超えて協力することにより、何かを生み出す事が可能ではないか?そういったサジェスションがベースにある。

前置きはさておき、実際に開発するに値するものは何か?と様々な事を検討した結果、日々の仕事に欠かせないトランスファーチューブの先につける事が可能な、液体ヘリウムポンプの開発を行うことにした。ちなみに、液体ヘリウムポンプは現状で手に入るものは、非常に高価である。しかし、良いもの = 高価 というままでは昨今の世情からしても、多くの人にとって関心の高い事柄にはなりえない。そこで、「安価に作れる」ということを必要条件として開発を進めることになった。ここではその開発の過程で、物性研究所(以下物性研)の保有するLinde社製液体ヘリウムポンプと他流体ポンプに関して調査したことに関して報告を行う。なお、他流体ポンプとは家庭用電動灯油ポンプを指し、液体ヘリウムポンプに関しては実際に分解して調べることは保証上の問題があるので文献より調査したことをごく簡単に紹介するにとどめる。

## 2. 液体ヘリウムポンプについて

物性研では、遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプ(Centrifugal immersion pump for Liquid and Supercritical helium)を1996年より導入しており、これを日々の供給で使用している。この遠心式汲み上げポンプはドイツのWalter Meissner研究所で開発されたもので、液化機メーカーとして有名なLinde社が製造販売を行っている。価格は非常に高価なもので安易に導入というわけにはいかない。また、故障すると部品も容易に手に入れることができず、我々だけでは対処することが難しい。専門の技術者

に来て貰うか、状況によっては本国に輸送し修理を行って貰わなくてはならないのが現状である。しかしながら、年間供給量が20万Lに達しようとしている物性研ではこのポンプなしでは供給が成り立たず、重要な位置を占めている機器である。

このポンプの構造を簡単に説明すると、磁気によって回転子を浮上、回転させ、遠心力を発生させることによって液体ヘリウムを汲み上げている。磁気浮上をさせることにより接触がなくなり、液体ヘリウム温度下でもメンテナンスフリーで稼働することが可能である。回転子の回転数は最大150rpmまで可変であり、最大で約2500L/hをくみ出すことが可能である。回転子のフリクションロスは50%以下となっており比較的効率も良い。物性研のシステムでは100Lの容器に供給するのに約10分程度で汲み出すことが可能である。また、圧力を必要としないため加圧して供給を行う方式に比べ、供給

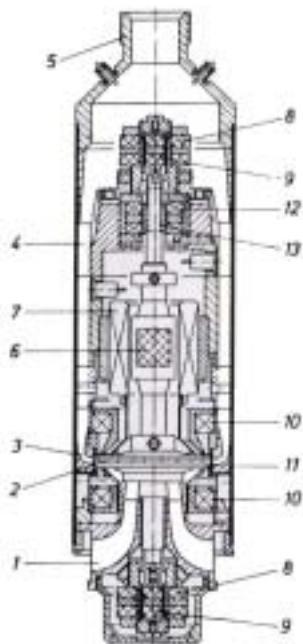


図1 遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプ

(1)入り口(2)回転翼(3)ガイドホール(4)流路(5)接続出口(6)モーターの磁石(7)モーターの巻き線(8+9)ラジアルベアリング(放射状ベアリング)(10)シャフト上の可動ベアリング(11)インペラー(羽根車)(12+13)軸位置センサー

効率も上がっている。図 1 に構造図を示す。表 1 に遠心式汲み上げポンプの性能を示すが、これは Linde 社が提供している販売用のカタログ、マニュアルより抜粋したものであり「典型的なポンプについて」との注意書きがある。

汲み上げ能力	85 g/s(40.44L/min)
最大圧力差	0.3 bar
入り口圧力	1.0 ~ 1.20 bar
最大回転数	9000 rpm
コントロールユニット電源	220V, 1A, 50-60Hz
重量	約 1.5 kg
サイズ	直径 50 mm 高さ 210 mm
操作条件	縦置き、つり下げ式

表 1.遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプのスペック

開発元の Walter Meissner 研究所のポンプに関する報告書(参考文献[1][2])を調べたところ、以下のよう  
に記されていた( 1)。重要と思われる部分をピックアップする。設計上の最大回転数は 10000rpm まで、磁気  
式ベアリングは 30000rpm まで回転可能である。外側のガイドホイールノズルの角度は 8° であり、汲上率にヒ  
ステリシスが生ずることなど、が記されていた。また、羽根車なしでシャフトを回転させたところ、420rps まで回  
転させることは可能であるが 20W のロスがあるので、200rps を最大回転数にする、とあった。

1 詳細に関しては原文を参照されたい。

### 3. 他流体ポンプについて

他流体ポンプということで、どのポンプを調査対象にするか迷ったが、同じ遠心式のポンプ、価格の安さ、一  
般家庭でよく使用されている手軽さから、家庭用電動灯油ポンプを調査することにした。また、以前分子研  
究技術課の方が作られた液体ヘリウムポンプの翼が灯油ポンプの物を模したということも小耳に挟んだことも対  
象にした理由の一つである。このポンプの構造を文献だけで調べるという形も良いかと思えたが、文献も少な  
いことも伴い実際にポンプを購入し、分解して調査を行うことにした。以下に調査した事項を記す。なお、製造  
会社の違う物 2 機を調査した。家庭用電動灯油ポンプの外観と駆動部を図 2 に、調査事項を表 2 に示す。



図 2.家庭用電動灯油ポンプの外観と駆動部

(左:外観 中央:モーターの内部 右:モーター外観)

調査した結果、汲み上げ能力には差異があったが、これはポンプの長さの違い(揚程高さの違い)とホース  
の径に因るものと考えられる。モーターは一般工作用の全く同じ物(マブチモーター RE-280)が使用されてい  
た。このモーターのスペックは表 3 に示す。どちらのポンプも使用温度範囲が - 5 ~ となっているが密閉式の  
ケースもしくはゴム製の被膜で覆われている他は特に対策はしていなかった。また、モーターの種類も図 3 に  
示すように一般的なブラシのあるモーターであった。翼の形状は表 2 に示すとおり、ほぼ同じ形状の物であ  
った。


製造会社	A 社	B 社
調査項目		
汲み上げ能力(水) 実測値: (L/h) (灯油) 表示値: (L/h)	8.00 10	9.06 10
翼の形状  撮影のため翼の上部を着色		
使用モーター	マブチモーター RE-280	マブチモーター RE-280
使用温度範囲	約-5 ~ +45	約-5 ~ +40
サイズ (直径はモーターの納めされている部分)	直径 31.6 × 長さ 630mm	直径 30.5 × 長さ 605mm
揚程高さ	450 mm	430mm
電源	単一電池 2 本 3V	単一電池 2 本 3V
主材料	ポリエチレン・ポリプロピレン・ ポリアセタール	塩化ビニール・ポリエチレン・ ABS
ホース部 直径	15.5mm	14.4mm

表 2. 家庭用電動ポンプの性能調査

限界電圧	5 ~ 3.0V
適正電圧	3.0V
適正負荷	15.0g-cm
消費電力	650mA
回転数	6600rpm
シャフト径	2.0mm
重量	30g
外観寸法	30.5 × 24.2mm

表 3. マブチモーターRE-280 のスペック(マブチモーターWeb サイトより)

#### 4. まとめ

一般流体用ポンプと極低温用ポンプとの技術的な差異に着目し大まかに比較した事を以下に記す。なお、構造上の分類はどちらのポンプも速度型のポンプであり、羽根車を使用し遠心力で流体を流路に流すことにより、圧力を上げ汲み上げている。

二つのポンプの構造を比較すると一番にあげられることは、駆動部の軸受けの構造が接触か、非接触であるか、である。液体ヘリウム温度下では、駆動部の軸受けの潤滑ができず、摩耗、焼き付きをおこし、一般的な軸受けが使用できなくなる。故に、液体ヘリウムポンプのモーターの軸受けは接触式でなく、非接触式の磁気浮上式軸受けとなっており、液体ヘリウム用ポンプの開発において使用する駆動部は非接触式が望ましいと考えられる。

次に翼の形状について比較してみる。基本的にはどちらも流体は中から外に向けて流れるようになっている。しかし、翼の形状、枚数が大幅に異なる。

Walter Meissner 研究所 開発のポンプでは合計 58 枚の翼(回転翼 22 枚、ガイドホイールノズル 36 枚)がある。また、このポンプでは回転翼の枚数を変えて汲み上げ効率の変化を調査した報告があった。翼の枚数を変えた理由に関しては、液体ヘリウムの粘性が非常に低いことによると記されており、回転翼 12 枚、ガイドホイールノズル 36 枚の羽根車との比較があった。比較結果は、有効な粘度の範囲を  $0.5 \times 10^{-6}$  Pa·S とすると、有効な圧力、回転数の範囲も粘度が低いことより狭くなり、また汲み上げ率も回転翼 22 枚のものより下がっている。

一方、家庭用電動灯油ポンプは翼の枚数が 4 枚と少ないが、灯油の粘度は  $\sim 10^{-3}$  Pa·S 程度と推測され、液体ヘリウムより粘度が高いため、翼の枚数が少なくても容易に汲み上げる事が可能だと考えられる。参考までに水の粘度は  $= 1.002 \times 10^{-3}$  Pa·S である。

もう一つ重要な点は、駆動電力である。Walter Meissner 研究所 開発のポンプでは 40W と消費電力も小さい。モーターは発熱するので、駆動にモーターを使用する場合には熱の進入を嫌う液体ヘリウム中ではこれらも低く抑えねばならない。詳細についてはわかりかねるが、Walter Meissner 研究所 開発のポンプの駆動モーターには超伝導線が使用されているらしい。これは熱の面では非常に有利であると考えられる。

このように液体ヘリウムポンプと他流体ポンプの比較を行ってきたが、これからの開発に向けて様々な有用な情報がえられたので、今後の開発の参考にしたいと考えている。

## 5. 参考文献

[1] H. Berndt, R. Doll U. Jahn , and W. Wiedemann

LOW LOSS LIQUID HELIUM TRANSFER SYSTEM, USING A HIGH PERFORMANCE CENTRIFUGAL PUMP AND COLD GAS EXCHANGE

Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 33 P.1147

[2] H. Berndt, R. Doll and W. Wiedemann

TWO YEAR'S EXPRIENCE IN LIQUID HELIUM TRANSFER WITH A MAINTENACE FREE CENTRIFUGAL PUMP

Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 35 P.1039

[3]Linde 社

遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプ カタログ マニュアル

[4]一色 尚次

新しい機械工学 3 わかりやすい熱と流れ SI 版

森北出版株式会社

[5]鈴井光一, 高山敬史, 早坂啓一, 加藤清則, 吉田久史, 浅香修治

液体ヘリウム移送用ポンプの開発

核融合科学研究所技術部技術研究会報告(1994)87

## 6. 謝辞

この報告書を書くに当たり特にお世話になった、東京大学 教養学部 小田嶋 豊氏、物性研究所 液化室 土屋 光氏、同図書室 早瀬 瑞穂 女史 にお礼を申し上げます。