

## 音波共鳴容器および 1K 冷凍機の製作

木村 豊 (きむら ゆたか)

所属：理学研究科 数物系専攻

超低温物理学研究室 後期博士課程 2 年

専門分野：物性物理学 (低温物理)

趣味：映画鑑賞, 読書



超低温とは、ヘリウム 4 の沸点 4.2K, ヘリウム 4 の超流動転移点  $T_\lambda = 2.17\text{K}$ , ヘリウム 3 の超流動転移点  $T_c \sim 2\text{mK}$  といった絶対零度に非常に近い低い温度のことをいいます。当研究室では、超低温領域において超流動ヘリウム 4 および超流動ヘリウム 3 中で生じる様々な現象について研究を行っています。超低温の実現には冷凍機を使用します。最近では商用の冷凍機も販売されていますが、当研究室においてはほとんどを手作りしています。私も、実験を行うに当たり、新たに 1K 冷凍機を製作しました。必要な部品は、自作可能なものは自分で旋盤加工などを行いますが、大半は自作は難しく工作技術センターへ加工を依頼します。本稿では、1K 冷凍機の一部および、この冷凍機を使用して行った実験について述べます。

液体ヘリウムは大気圧下では沸点は 4.2K ですが、これを密閉容器内に入れてポンプで排気し、強制的に蒸発させること (減圧排気) で、温度は飽和蒸気圧曲線に沿って下がっていきます。最も簡単には、二重のガラスデュワー瓶を用いたガラス蒸発冷凍機により 1K を得ることができます。ちなみに、これらのガラスデュワー瓶は工作技術センターガラス工作部門に製作依頼したもので、定期的に断熱真空槽の真空引きも依頼しています。しかしながら、ガラス冷凍機では、1K という温度を長時間維持するという点で難があるために、私は 1K-pot 付き冷凍機を製作することにしました。こちらでは、液体ヘリウムを溜めるためのデュワーは 1 台で済みます。また、1K-pot と呼ばれる部品を取り付けることで低温を長期間維持することが可能になります。ただし、デュワー内の液体ヘリウムの 4K と、1K-pot およびサンプル空間の 1K を熱的に分離するため、Vacuum-can (V-can) という新たな断熱真空構造も必要になります。

今回製作依頼した V-can は、使用したデュワーの首が細い (最細部が 60mm) という構造による外径の制約と、なるべく内部の空間を確保したいという二つの目的を満たすため、以下の方法を採用しました (図 1)。(i)V-can 上部と受け手側の部品に  $5^\circ$  のテーパをつける。(ii)テーパ部に、真空グリスを塗っておき、中を真空排気したときの圧力差によって、この

部分の真空をシールする。V-can の真空シールが弱いと、内部にガスが侵入し断熱効果が薄れるので、サンプルが冷えなくなってしまいます。そのため、テーパー部にはキズがあってはいけない、二つの部品はすっぽりはまる、といった条件が必要になります。このような部品を使用して製作した 1K-pot 付き冷凍機（図 2）は最終的に、最低到達温度は 1.3K で、1 ヶ月以上に渡り低温を維持可能になりました。

次にこの 1K-pot 付き冷凍機を使用して行った実験について述べます。私は、液体ヘリウムに強力な音波を励起したときに、液中に泡が生じるキャビテーションという現象の研究を行いました。キャビテーションとは、液体中に強力な負の圧力が加わったとき（音響キャビテーションの場合は音波振動の膨張期）に、液体が引き裂かれて泡が生じる現象で、水中で高速回転するスクリューの回りに発生する泡や、超音波洗浄機の原理として、一般的に良く知られています。ところが、キャビテーションの発生条件は、本来なら液体そのものの性質や液体を構成する分子間の引力、1 次相転移の核生成問題といった本質的な物理を含む重要な物理学なのですが、液中に元々存在している不純物やマイクロな泡などに強く依存してしまいます。従って、定量的で精密な測定を行うには非常に高度な純粋化装置が必要となってしまう、キャビテーションの基礎的な研究は一部を除いてあまり進行していませんでした。そこで、私が注目したのが、超流動ヘリウムという液体です。なぜならば、超流動ヘリウムは不純物を全く含まない超純粋な液体であるためです。そして、液体ヘリウムが超流動転移する温度、および温度や圧力を一定に保つ必要があったので、1K-pot 付き冷凍機の製作が必要となったのです。

液中に強力な音波を励起するには、定在波共鳴法を用いました。これは、液中に、両端に圧電振動板を持つ円筒状の共鳴セルを用意し、そこに、音速と共鳴セルの長さから決まる周波数を持つ振動を励起したときに生じる定在波を利用する方法です。定在波により、小さな変位で強力な音波を得られます。図 3 は、製作依頼した 5 つの部品から成る実際の共鳴セルです。両端の真鍮の部品で二枚の圧電振動板（ピエゾ振動子）

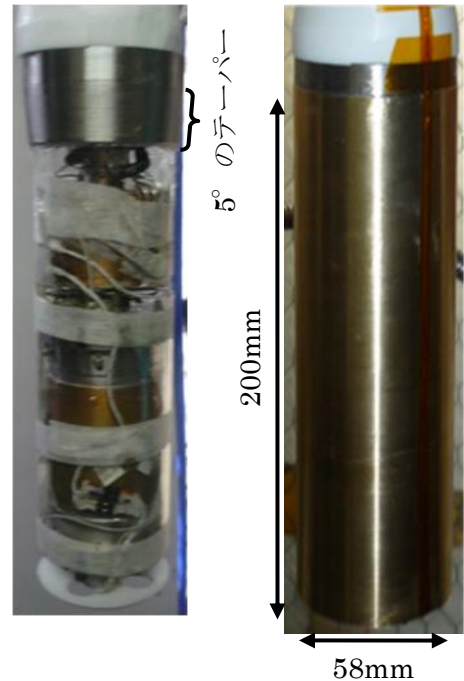


図 1. (左)V-van 内部  
(右)V-can を閉めた様子



図 2. 製作した 1K-pot 付き冷凍機

を固定します。良い共鳴スペクトルを得られるように、ピエゾ振動子を線支持で挟んで固定できるようになっています。真中の部品は、熱伝導を良くするために銅でできており、また、この長さを変えることで共鳴周波数を変化させることも可能です。

図4は得られた入出力特性です。低励起時には入出力比はほぼ一定ですが、高励起時には、出力にばらつきがみられるようになりしました。この時、泡が弾けるような音が冷凍機から聴こえてきました。これは、液中でキャビテーションが発生し、単純な定在波共鳴状態ではなくなっているためだと考えています。

この研究は、私が修士課程のときに行った実験ですが、学部ころから博士課程の現在に至るまで5年間に渡り、工作技術センターの両部門の方々に大変お世話になっています。特に機械工作部門の職員さんには、図面の書き方を専門に学んでいない私が描いた拙い図面から多くの部品を製作していただいています。中には加工が非常に難しいことや、納期の面での無茶なお願いもありましたが、快く受け入れて下さいました。この場を借りて、厚く御礼申し上げます。また、今後もよろしくお願いいたします。

【この装置を使った研究の発表】

・ 日本物理学会

第 66 回年次大会 (26pEG-9)

2011 年秋季大会 (22pHC-13)

第 67 回年次大会 (27pBC-1)

・ 国際学会

LT26:低温物理に関する国際会議

13P-A111

ULT2011 : 国際会議・低温物理学の最前線

PS2-39

QFS2012:量子流体および固体に関する国際会議

P2.30

・ 論文

K. Obara, Y. Kimura, A. Fukui, C. Kato, Y. Nago, H. Yano, O. Ishikawa and T. Hata,

*Journal of Physics: Conference Series* **400**, 012057 (2012).

木村 豊 修士論文 (2012).



図 3. (上)振動板の固定 (右)音波共鳴セル

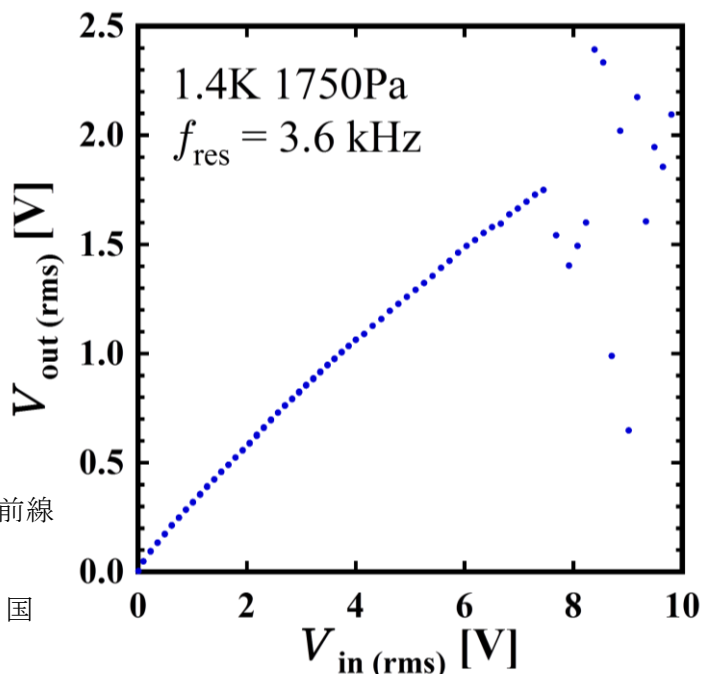


図 4. 入出力特性