

作動ガス圧力が冷凍能力に与える効果

Effect of gas pressure on refrigerator performance

○矢田敬祐¹, 井口久大¹, 田中勝之², 田中誠³*Keisuke Yada¹, Hisahiro Iguchi¹, Katsuyuki Tanaka², Makoto Tanaka³

Abstract: High pressure in cylinder makes high refrigerator performance. On the other hand, working gas is easy to leak due to its pressurization. And then, refrigeration capacity becomes decrease. In this work, the Stirling refrigerator adopted for the piston seal to prevent leakage of working gas will be constructed. And pressure dependence of the refrigeration capacity will be investigated..

1. はじめに

スターリング冷凍機の特徴は、気体の膨張を利用して冷凍が可能である。従来の冷凍機は、相変化を利用するので冷媒の沸点以下まで冷やすことは出来ないが、顕熱を利用すると理想的には絶対零度近くまで冷やす事が出来る。また冷凍機内部の圧力を上げると体積あたりの質量が増え熱容量が増えるため、吸熱量が大きくなり冷凍能力が上がる。これまで小型冷凍機の研究では大気圧下での実験が主であった。本研究では機器内部にシールを施すことで封入圧力を大気圧以上に上昇させ、冷凍能力がどう変化するか調べる。

2. 冷凍原理

Figure1 はスターリング冷凍機のサイクルである^[1]。これは逆スターリングサイクルといい、冷凍サイクルを表している。縦軸は圧力 P, 横軸は体積 V を表している。状態変化を行わず膨張, 圧縮で冷凍を行っているため、圧力と体積の関係で表す事が出来る。Figure1 で示した 1 から 2 の等温膨張が、周囲の熱量を吸収し冷やす事が出来る冷凍部分にあたる。3 から 4 の過程で吸熱した熱を放熱している。このサイクルは等容冷却で放熱される熱を再生器に送る事でスターリング冷凍機の効率を高めている^[2]。

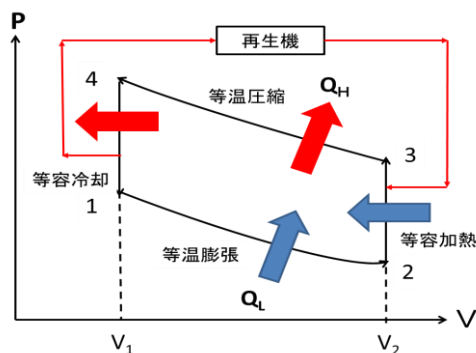


Figure1 Reverse Stirling cycle

Figure1 に示す通り吸熱は等温膨張時に起こるため、吸熱量は次のように表す事が出来る。

$$Q_L = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (1)$$

ここで Q_L は吸熱量, P_1 はシリンダー内の気体が膨張前の圧力, V_1 はピストンでの膨張前の体積, V_2 はピストンでの膨張後の体積の事である。式(1)より圧力を高くすれば吸熱量は比例して大きくなる。また体積を増やしても吸熱量は増えるが今回は冷凍能力向上をさせるため圧力を上げる。

本研究室での $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 型の三種類のスターリング冷凍機のデータを参照して、同じ行程容積のスターリング冷凍機を作る場合、 $V_1 \cdot V_2$ を同じ値で、式(1)の計算結果から冷凍能力を出した。Figure2 より圧力増加に比例して冷凍能力が大きくなる。よって、本研究では、冷凍機内部の圧力を大気圧以上に上げる。

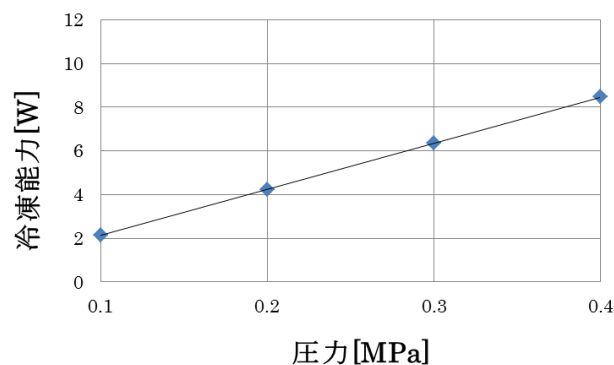


Figure2 The relationship between refrigeration capacity and pressure

3. 製作する冷凍機について

まず、本研究で製作する冷凍機の型式を決定する。今まで本研究室では α , β , γ 型の冷凍機を製作してきた。式(1)の吸熱量を基準に過去の本研究室の研究データから比較し冷凍能力の高い型式を選ぶ。過去の冷

1 : 日大理工・学部・精機、Nihon-u CST・student・Department of Precision Machinery Engineering

2 : 日大理工・教員・精機、Nihon-u CST・assistant Professor・Department of Precision Machinery Engineering

3 : 日大理工・教員・精機、Nihon-u CST・professor・Department of Precision Machinery Engineering

凍機の大気圧での実験で、20°Cのヒータプレートを冷やした時の冷凍能力を比較したグラフを Table1 に示す。

Table 1 Quantity of heat absorption of different types of Stirling refrigerator

形式	α 型	β 型	γ 型
冷凍能力 Q_L [W]	0.31	0.20	0.34
パワーピストン行程容積[cm ³]	9.8		
ディスプレイサーピストン行程容積[cm ³]	9.8		

Table1 より、Figure 2 の 0.1[Mpa]の大気圧での値と Table1 の各冷凍能力を見ると、出力を見ると圧力を上げたほうが冷凍能力が大きい事が分かる。よって今回は冷凍能力が高く、製作が簡単なγ型のスターリング冷凍機を製作する。製作するγ型スターリング冷凍機を Figure3 に示す。γ型はふたつのピストンが管でつながった別々のシリンダー内で往復動作し圧力の変動を起こし放熱と吸熱を行うパワーピストンと、作動ガスの入れ換えを行うディスプレイサーピストンで構成されている。パワーピストンは Figure 1 で示した 1～2, 3～4 での等温行程を行っており、ディスプレイサーピストンは 2～3, 4～1 の等容行程を行っている。

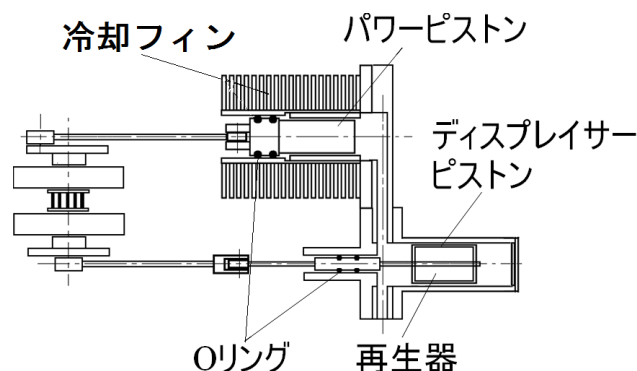


Figure 3 The γ-type Stirling refrigerator

Figure3 よりパワーピストンは、圧力の変動を起こし放熱と吸熱を行うピストンで Figure1 で示した 1～2, 3～4 での等温行程を行っており、ディスプレイサーピストンは作動ガスの入れ換えを行い 2～3, 4～1 の等容行程を行っている。またパワーピストン側は放熱側となりアルミニウムより伝熱性の高い真鍮を用いる。さらにフィンを多数施すことで表面積を大きくし放熱を良くする。従来では冷凍機の作動ガスは大気圧下で使用していた。今回は冷凍機内部の作動ガスを大気圧よりも高い圧力で封入し動作させる。そのため冷凍機内部と外部の圧力差が大きくなり、作動ガスの漏れが多くなると予想される。作動ガスの漏れは直接、その冷凍機の持つ冷凍能力を低下させる原因となり、製作する冷凍機にこれまでよりも厳密なシールが必要である。

液体と気体の漏れにはOリング、パッキンなどを用いてシールを施すのが一般的であり、今回製作する冷凍機のパワーピストン及びディスプレイサーピストンには Figure 4 に示すようにゴム製のOリングを取り付ける。Oリングを取り付けることで、ピストンとシリンダーからの作動ガスの漏れを防ぐことが可能であると考えた。

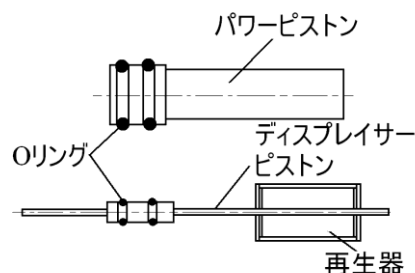


Figure 4 Power piston and Displacer piston

さらに冷凍機のシリンダー内部に圧力の高い作動ガスを外部から注入するため冷凍機自身に作動ガスの注入口として逆止弁付のコネクタを用いてガスの注入する。さらに冷凍機内部の圧力を測定するために圧力計を用いて測定する。また本冷凍機はモータとのテンションの張り具合によって安易に調整が可能なベルトを用いて、動力を伝達し動作させる。

4. 結び

スターリング冷凍機は作動ガスの圧力を高める事で冷凍能力が上がる。しかし、冷凍機内部と外部の圧力差が大きくなると、作動ガスが漏れて冷凍能力が落ちる。本研究ではシールをピストン部分に用いる事で作動ガスの漏れを防ぎ、高压の作動流体が冷凍能力に与える影響について検討する。

5. 参考文献

- [1]平田哲夫他：「基礎からの冷凍空間」, 森北出版, pp32-pp43, 2008 年
- [2]平田哲夫他：「例題でわかる 工業熱力学」, 森北出版, pp130-pp132, 2009 年
- [3]山下巖他：「スターリングエンジンの理論と設計」, 山海堂, pp173-pp191, pp314-pp325, 1999 年