

K2-6

## 二重管を利用した逆スターリングサイクル冷凍機 Reverse Stirling Cycle Refrigerator Using a Double Tube

○川岸祐輝<sup>1</sup>, 田中勝之<sup>2</sup>, 田中誠<sup>2</sup>

\*Yuki Kawagishi<sup>1</sup>, Katsuyuki Tanaka<sup>2</sup>, Makoto Tanaka<sup>2</sup>

In this study, refrigerator using a double tube was proposed to miniaturize the pulse tube refrigerator. To design a double tube refrigerator, experiments changing parameters such as pulse tube volume, tube length, tank volume were carried out by a pulse tube refrigerator.

### 1. 諸言

スターリングサイクルは等温過程、等容過程の 2 つから成り立つサイクルである。主に外燃機関のエンジンに用いられ、また逆サイクルは冷凍機にも用いられている。一般にこのサイクルは 2 つのピストンと再生器から成る。しかし本研究室では 1 つのピストンで動作し、出力を得ることができるエンジンが研究されている<sup>[1]</sup>。よって逆サイクルである冷凍機でも 1 つのピストンで動作可能ではないかと考えた。調査の結果 1 つのピストンで逆スターリングサイクルを実現させているパルス管冷凍機が存在している。

スターリング冷凍機は 2 つのピストンのうち片方を等温過程に、もう一方を等容過程に利用している。前者をパワーピストン (PP)、後者をディスプレイサピストン (DP) と呼称する。この二つのピストンに位相差 90° をつけることで逆スターリングサイクルは実現されている。

パルス管冷凍機のピストンは PP のみである。DP の代わりはパルス管領域に存在する作動流体がピストンとしての役割を担いガスピストンと呼ばれている。そしてスターリング冷凍機と同様にガスピストンと PP に位相差をつけるため冷凍機をチューブでタンクと接続している。Fig. 1 はスターリング冷凍機とパルス管冷凍機の概略図である。

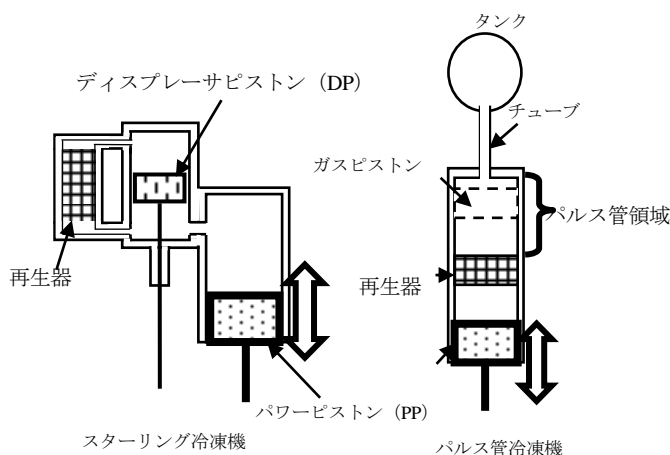


Figure 1. Stirling refrigerator and pulse tube refrigerator

### 2. 二重管構造の冷凍機の提案

通常のパルス管冷凍機は位相差をつけるためのタンクが外に存在しているため小型化が難しい。そこで二重管を用いてタンクを冷凍機内に取り入れた構造を提案する。Fig. 2 に二重管を利用したパルス管冷凍機の概略図を示す。二重管の外側に再生器を配置し、その先の空間をパルス管領域とする。そして二重管の内側をタンクとした。二重管の外側から内側に作動流体が流れることにより通常のパルス管冷凍機と同じ動作が再現可能と考えた。本研究では二重管構造における最適設計を行うためパルス管領域、チューブ、タンクを変更し基礎実験を行った。

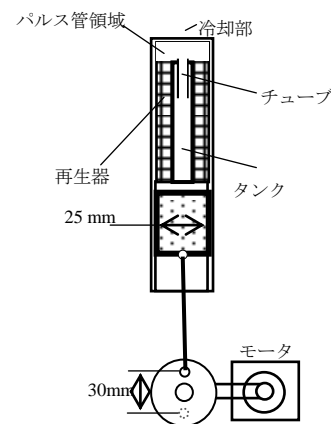


Figure 2. Overview of double tube refrigerator

### 3. パルス管冷凍機の基礎実験

最適設計を行うために通常のパルス管冷凍機を用いた基礎実験を行った。製作した冷凍機を Fig.3 に示す。ピストン径 25 mm, ストローク 30 mm, 再生器にステンレスウールを用い、再生器容量は  $3.8 \times 10^3 \text{ mm}^3$  である。

仕様としてパルス管の容量は  $8.9 \times 10^3 \text{ mm}^3$ , チューブは内径 2 mm, 長さは 1500 mm である。タンクの容量は  $500 \times 10^3 \text{ mm}^3$  である。動作時の回転数は 500rpm を基準として実験を行った。Fig.4 に冷凍機の時間と温度の関係を示す。動作開始時から温度低下をはじめ 20min ほどで温度変化がみられなくなった。これを到達温度とし、以降実験における測定温度の指標とした。

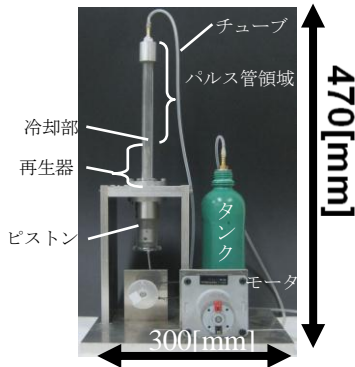


Figure 3. Overview of pulse tube refrigerator

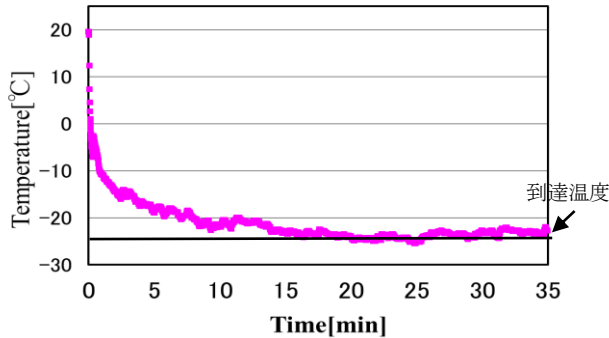


Figure 4. Temperature change at cooling process

### 3-1. パルス管容量の依存性

パルス管領域の長さを 0, 30, 60, 140, と変更し, パルス管領域の容量を変更し実験を行った. Fig. 5 にパルス管の容量と到達温度の関係を示す. パルス管の容量が再生器容量と同じ  $3.8 \times 10^3 \text{mm}^3$  より小さくなると比例的に到達温度は上昇し, 大きくなると到達温度に大きな変化は見られなくなった. パルス管領域はガスピストンの発生に大きく関わるためと考える. よってパルス管の容積は最低でも再生器の容積と同等以上必要であることが判明した.

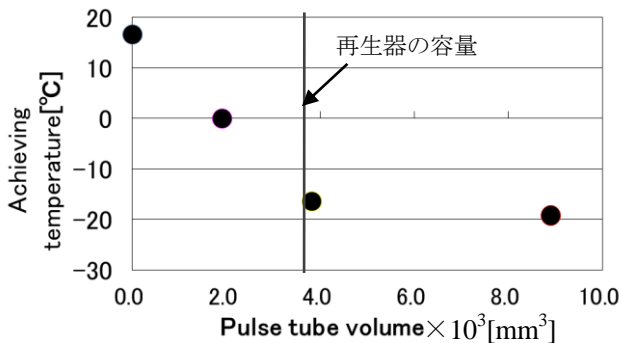


Figure 5. Effect of pulse tube volume on achieving temperature

### 3-2. チューブ長さの依存性

チューブの長さを 50, 100, 250, 500, 1000, 1500, 2000 mm と変更し実験を行った. Fig. 6 にチューブの長さと到達温度の関係を示す. 到達温度はすべて  $-20^\circ\text{C}$  近くまで冷却された. チューブはタンクと冷凍機をつなぐ流路の役割であり, 到達温度に長さが依存しないこと

が判明した. よってチューブの長さはタンクと冷凍機の接続に必要な長さで設定が可能である.

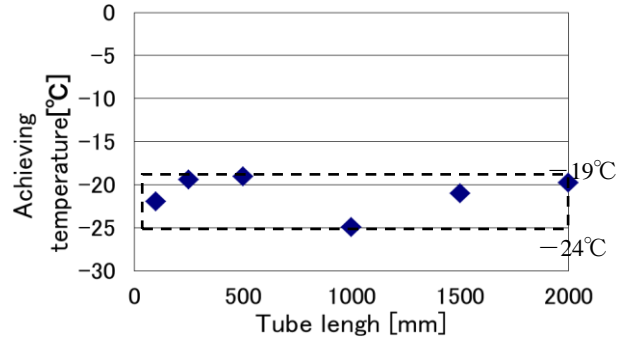


Figure 6. Effect of tube length on achieving temperature

### 3-3. タンク容量の依存性

タンクの容量は 0, 100, 200,  $500 \times 10^3 \text{mm}^3$  と変更し実験を行った. Fig. 7 はタンクの容量と到達温度について示したものである. すべての状態で温度低下を確認できたがタンクが存在していない状態のみ到達温度の値が高い. これはタンクが存在しないためにガスピストンの位相差が取れなかったためと考える. よって少量であってもタンクの設置が必要である.

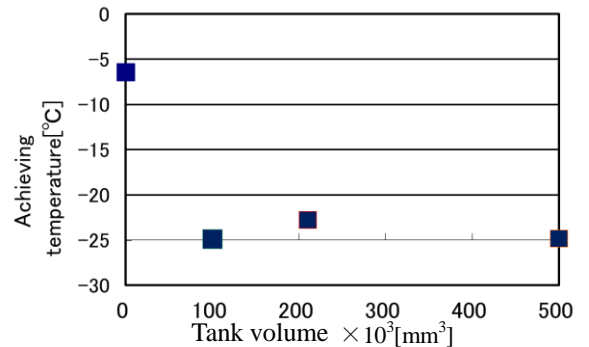


Figure 7. Effect of tank volume on achieving temperature

## 4. 結論

実験結果より二重管を利用した冷凍機における最適設計をすることができた. その仕様は, 再生器の容量とパルス管領域の容量を  $9.8 \times 10^3 \text{mm}^3$  で一致させ, チューブの長さは 50 mm とし, タンクの容量は  $20 \times 10^3 \text{mm}^3$  とした. 現在装置を製作し動作の確認を行っている.

## 5. 参考文献

- [1]鈴木裕貴「修士研究論文：再生機構造が1ピストン型スターリングエンジンの性能に及ぼす研究」pp74-76, 2011