

# スターリング逆サイクルを利用した温度差発現装置の改良

○中木村雅史

名古屋大学全学技術センター（工）

## 1. 概要

熱サイクルの一つであるスターリングサイクルは、熱の再利用という特徴をそなえているため、非常に効率の高い熱サイクルであり、さらに環境に低負荷という特徴も持ち合わせている。スターリングサイクルを用いた模型エンジンはシンプルな構造のため、多くの大学・高専などで、教育教材や実習テーマとして採用されている。また、本サイクルはエンジンだけでなく、逆サイクルの応用により、冷凍機として利用する試みもなされている。スターリング冷凍機はフロンなどの冷媒を使わない、極めてクリーンな冷凍機として知られ、国際的な研究開発の対象となっている。実際にスターリング冷凍機は多くの企業で技術開発が進められ、商品化も実現されている。しかしながら、冷凍機作製にあたっては作動に必要な温度差を数百度まで上げられるエンジンと異なり、発現温度差が小さいため、製作にデリケートな精度が要求される。そのため、エンジンに比べ、参考資料およびデータが極端に少ないのが現状である。

しかしながら、エンジンのように高温部分を用いることなく安全に仕事から熱へのエネルギー変換の様子が観察できる冷凍機はエンジンよりも優れた教育用教材となり得る可能性がある。そのような観点から、昨年度、構造が極めてシンプルなスターリング型パルス管冷凍機を製作したところ、十分な冷凍性能が得られ、様々な機会において教育用教材として活用された。ただ、使用を重ねる中で、「大型で運びづらい」「100V 電源が必要」といった問題点が出てきた。そこで具体的な対策として (1) 装置のコンパクト化、軽量化を行う、(2) モータ駆動方式を手動による駆動方式に変える、といった設計構想を立てた。本稿ではこれらの問題の解決を試みた改良型パルス管冷凍機について報告する。

## 2. 従来型スターリング冷凍機

従来型冷凍機<sup>1), 2)</sup>の外観を図1に示す。作動実験において室温から6分で-32℃に達するという優れた冷凍効果が得られ、冷却部において霜の発生が確認できた。(図2) また、この冷凍機は、実際に仕事から熱へのエネルギー変換のデモンストレーション用教育教材として (1) 授業「熱力学」の中で熱サイクルの応用例として紹介、(2) 学生実験の中で紹介(図3)、あるいは(3) 市民向けものづくり講座の学生実習の紹介などに幅広く活用された。



図1 従来型冷凍機外観（2007 製作）



図2 作動実験の様子



図3 「学生実験」におけるデモの様子

## 3. 問題点および対策

昨年度製作した冷凍機は教育用教材として幅広く使われてきたが、いくつかの問題点も明らかとなった。まず、大型で運びづらいということ、そして100Vの電力供給が必要だということである。加えて電源のみならず足元に配置される電気コードのわずらわしさが判明した。そこで改良機は、(1) 装置のコンパクト化および軽量化、(2) モータ駆動方式を手動による駆動方式に変える、を設計指針とした。改良型冷凍機的设计3D図を図4に示す。大きな特徴として、全高が低くなったこと、そしてモータが無くなり手廻しハンドルがついたことが挙げられる。

#### 4. 改良型スターリング冷凍機

新しく製作した冷凍機を図 5 に示す。上部には取手がつけられ、持ち運びに適した形になっている。冷凍サイクル実現に必要なクランク軸回転数は 700rpm であり、コイルスプリングを内蔵した遠心力式回転計で所望の回転数を得る構造になっている。本装置を手動で 2 分間作動させたところ、室温から  $-3^{\circ}\text{C}$  まで温度を下げる事ができた。冷却部には従来機同様、霜の発生が確認できた。(図 6)



図 4 改良型冷凍機 3D 図

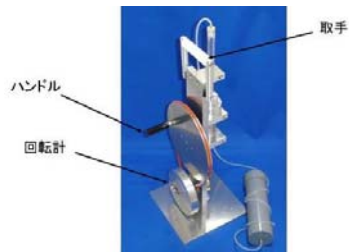


図 5 改良型冷凍機外観

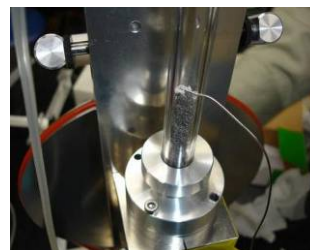


図 6 改良機での作動実験の様子

#### 5. スペック比較

従来機と改良機のスペック比較を表 1 に示す。当初の目的であった小型・軽量化および手動化の実現に成功したといえる。また、モータ駆動式から手動式に変更したことにより、人の手が行う仕事エネルギーが冷凍効果に変わる様子が視覚的に理解でき、エネルギー変換教材としての理想デバイスに一步近づいたと考えている。

表 1 仕様比較

	従来型	改良型	備考
ボア×ストローク (mm)	25.5×30	←	
サイズ (mm)	220×200×750	200×200×570	コンパクト化(高さ24%減)
本体重量 (kg)	8.7	5.7	軽量化(35%減)
作動気体	空気	←	
供給エネルギー	電力	人力	使用場所を選ばない

#### 6. まとめ

従来機の欠点であった「大型で運びづらい」「100V 電源が必要」という問題点を、コンパクト化・手動化に改良することで解決することができた。さらに性能面においても従来機と遜色ない冷凍効果が得られた。これにより、教育用教材として多様な場でのさらなる活用が期待できる。

今後の課題としては、軽量化も視野に入れたデザインの洗練、そして持ち運びの際に装置を守るための保護カバーの装着を考えている。また機会があれば、日本工学教育協会主催のスターリングテクノロジー・クーラ部門に出品したい。

#### 8. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、明星大学の濱口和洋教授にはスターリングエンジン国際会議展示会において、冷凍機の試作に関する懇切なる助言を頂き、さらに設計の詳細を記述した学会論文を送付して頂くなど、多大なご支援を賜りました。先生のご協力に心から感謝いたします。

#### 9. 参考文献

- (1) スターリングサイクルを利用した温度差発現装置の試作と検証 中木村雅史 千田進幸 福森 勉 立花一志 平成 19 年度核融合科学研究所技術研究会 2008 年 3 月
- (2) Kazuhiro Hamaguchi, Yoshikatsu Hiratsuka, Takeshi Hoshino "Performance Characteristics of an Atmospheric Pulse Tube Refrigerator", 2nd International Energy Conversion Engineering Conference 16-19 August 2004, Providence, Rhode Island