ノート

スターリング冷凍機のエンジンへの改造

大野　宏*

Convert of a Stirling Refrigerator to an Engine

OHNO Hiroshi*

1.　緒　　言

スターリングエンジンはシリンダー内に密封された作動ガスの外部加熱と冷却により得られる圧力変動を利用して動力を取り出す外燃機関である[1)]。工場の未利用熱を有効活用できるため古くから注目されており，エネルギー変換効率は高いが，重量あたりの出力は小さく，耐熱合金が高価なことや作動流体の漏れを防ぐための精密さによる高コストなどの課題がある。一方，スターリングエンジンを電動で逆運転させ冷凍機として利用するスターリング冷凍機は，耐熱性が要求されないため，数社の企業が製品化している。

本研究では，市販の小型スターリング冷凍機を改造し，スターリングエンジンとして動作させ，ファンヒータやペレットストーブの送風ファン電源として利用できないか検討した。送風ファンの電源を商用電源からではなく熱から取り出すことができれば，災害が発生したときの停電時にも使用できる。また，送風ファンを駆動するために必要な電力は数十ワットと比較的小さく，低コストで実現できれば，実際の製品への搭載が可能となる。

2.　スターリングエンジンの概要

図 1 にスターリングエンジンの基本構造を示す。温度差を持つ 2 つのシリンダと 90 度の位相差を持つピストン，加熱器，再生器，冷却器，円滑な連続運転を可能とするためのフライホイールから構成されている。動作原理を図 2 に示す。密閉された空間内の作動ガスをシリンダの

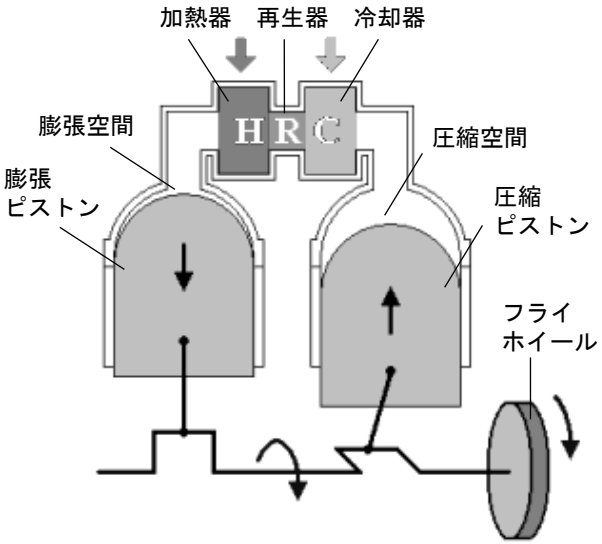

図 1　スターリングエンジンの基本構造

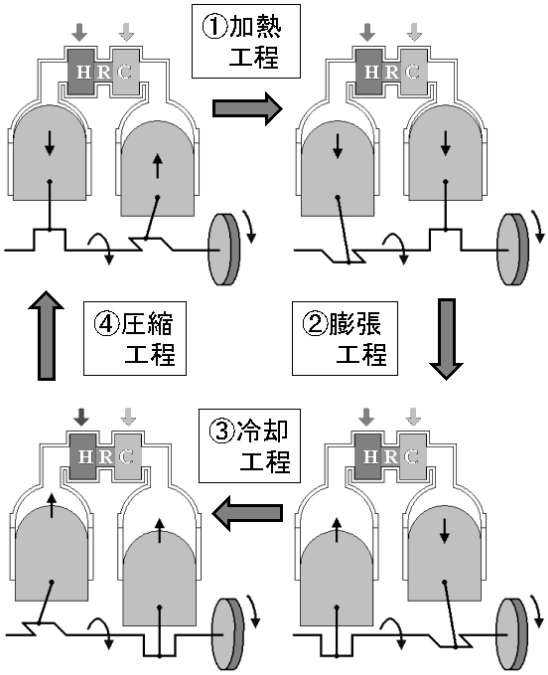

図 2 スターリングエンジンの動作原理

*　下越技術支援センター

外部から加熱すると膨張ピストンは下降し，冷却すると圧縮ピストンは上昇する。圧縮ピストンは膨張ピストンに対して 90 度の位相遅れを保って動くようにクランク機構で接続する。膨張空間と圧縮空間の間には再生器があり，高性能のスターリングエンジンの再生器にはステンレス製積層金属が用いられる。その役割は，高温の作動ガスが再生器の高温側から低温側に移動する際，作動ガスの熱エネルギーを再生器が奪い低温にする。一方，低温の作動ガスが低温側から高温側に移動するとき，再生器から作動ガスへ熱を与える。高温側と低温側の温度差がある一定以上になると，膨張と圧縮が連続的に起こり，スターリングエンジンとして動作する。また，スターリングエンジンを電気で動作させると膨張・圧縮が起き，膨張側では吸熱反応が起きて温度が下がり，スターリング冷凍機として動作する。

3. スターリング冷凍機での発電実験

冷凍能力が 150W～40W のフリーピストン型スターリング冷凍機を県内企業が製品化しており，最初は 40W のスターリング冷凍機を改造した。このスターリングエンジンを加熱し，発電電力を測定した。図 3 に実験回路の構成を示す。交流 100V で 500W のヒータを使ってエンジンを加熱し，反対側は空冷させる。ある程度熱を与えたところで，周波数 86Hz，電圧 20V の交流を一瞬与えてピストンを動かすとエンジンが起動し，連続的に動作する。発電する電圧の大きさは 20V 程度であるが，昇圧回路で 100V まで上げ，LED 電球を点灯させる。起動してから 5 分後の発電電力は 8W であった。これは，この装置をスターリング冷凍機で動作させたときの消費電力が 10W 程度なので，妥当な結果と思われる。

次に，150W のスターリング冷凍機を改造し，熱を与えた時の発電量を測定した。サーモサイフォンでエンジン内部まで加熱し，30W を発電した。ペレットストーブのファン電源としては

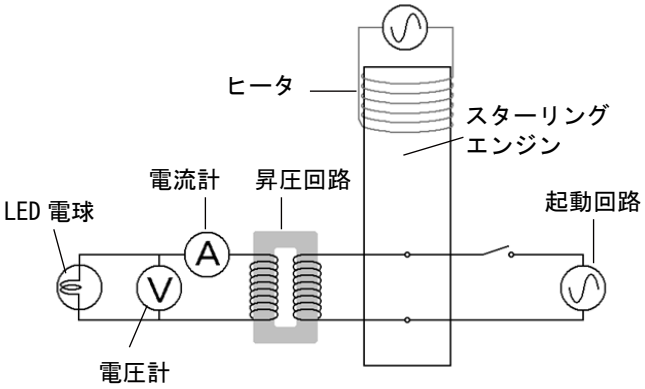

図 3　実験回路

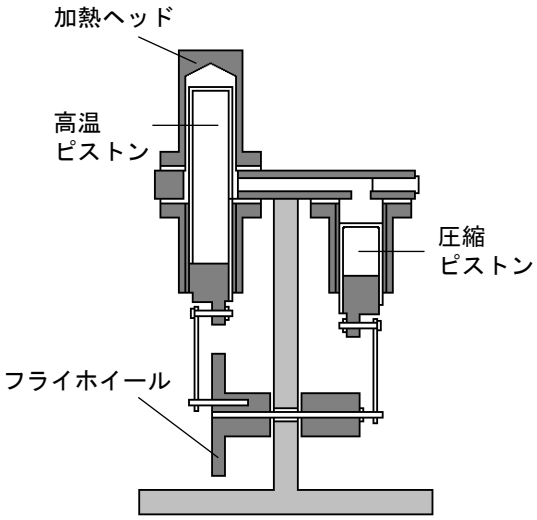

図 4 小型スターリングエンジンの概要

十分な発電量であるが，元となるスターリング冷凍機自体が高価であり，実用化にはコストが課題となる。

4. 大気圧型小型スターリングエンジンの製作

スターリングエンジンは内部にヘリウムガスを充填し気圧を高めて出力を大きくしているが，気密を保つために高コストになる。一方，サンデン（株）は 30 年ほど前に，大気圧で最大出力 23W のスターリングエンジン（ピストン径 45mm ，ストローク 23mm）を開発販売した。本研究でも大気圧型のスターリングエンジンを製作することとし，最初は製作の容易な小型のエンジンを製作した。その概要を図 4 に示す。スターリングエンジンは，密閉された外部から

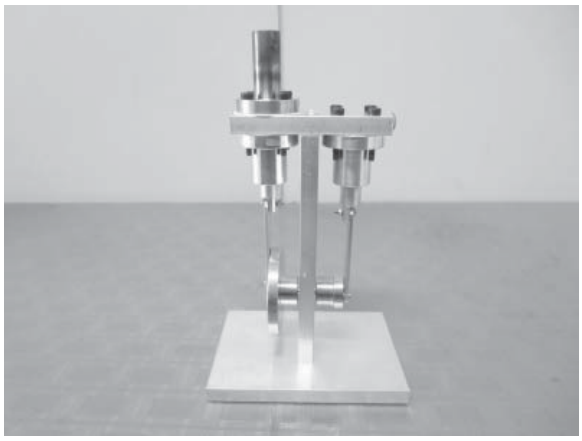

図 5　製作したスターリングエンジン

加熱・冷却することで作動ガスが膨張・圧縮されピストンが動作する。そのため，作動ガスの漏洩を極力少なくし，摺動部における摩擦低減を図る必要があり，シリンダとピストンに市販のガラス製注射器を使用した。ピストンの直径 10mm，ストローク 8mm である。発電機を接続していないが，回転数が 1,500rpm であれば発電量は 40mW が期待できる。実際に製作したスターリングエンジンを図 5 に示す。現在，より出力を大きくするため，ピストンの直径 36mm，ストローク 40mm のスターリングエンジンの製作に取り組んでいる。

5. 結　　言

(1) スターリング冷凍機を改造し，30W を発するスターリングエンジンとして動作することを確認した。ペレットストーブのファン電源としては十分な発電量であるが，実用化にはコストが課題となる。

(2) 市販の注射器を使用し，大気圧で動作する小型スターリングエンジンを製作した。これは発電量が 40mW と小さいため，ペレットストーブの送風ファンを駆動できる出力のエンジン製作に取り組んでいる。

参考文献

1) “模型スターリングエンジン”，山海堂，1997，P18.