

## 512 液柱振動式ポンプの実験的研究

## An Experimental Study of Stirling Pump

○学 犬伏 政人 (室蘭工大院) 正 戸倉 郁夫 (室蘭工大)  
櫻井 裕二郎 (新陽社)

Masato Inubushi, Ikuo Tokura, Muroran Institute of Technology, Mizumoto27-1, Muroran, Hokkaidou  
Sakurai Yujiro, Shinyousha

Liquid-piston Stirling engine (Fluidyne) has not been in practical use because of its low thermal efficiency. However, Fluidyne has many advantages, that it has a simple structure with fewer moving parts, and it works silently even in a low temperature difference. In this study, a Stirling pump of U-tube type was constructed and its output power and thermal efficiency were experimentally determined. Effect of the input power and the length of a resonance tube on the performance of the combined system of the Fluidyne and the pump were also evaluated. Total thermal efficiency decreased considerably when a pump was combined by the Fluidyne.

*Key Words*: Stirling Engine, Fluidyne, Pump, Thermal Efficiency

1. 序論 本研究では、三連U字管式水スターリングエンジンとポンプを組合わせた実験を行ない、その性能の評価を行なった。このエンジンは、水の流動損失のため、実際の効率が極めて低いのが欠点である。しかし、かなり小さい温度差(100℃以下)でも作動できるため、排熱や太陽熱の利用が可能であり、また構造が簡単であるため製作、保守、耐久性の面で非常に優れているといった長所も持ち合わせている。そこで、本研究ではエンジンとポンプの組合わせに対して、ヒータ入力と共鳴振動管の長さを変化させた場合の出力と熱効率を調べた。

2. 実験装置 実験装置の概略を Fig.2 に示す。ディスプレイU字管は、底部が硬質塩化ビニール管から成る2本のパイレックスガラス管(内径100.4mm、長さ750mm)で構成される。ディスプレイU字管の底部から水平に延長された共鳴振動管には二種類の管を使用した。長さ固定の硬質塩化ビニール管(内径(d)56mm、全長6150mm)と、長さ可変の軟質塩化ビニール管(内径50mm)である。共鳴振動管の先端に垂直透明アクリル管(内径54mm、全長1170mm)を設置した。再生熱交換器は、鋼管にスチールウールを充填したものである<sup>(2)</sup>。このエンジンの高熱源は電気ヒータ(470~670K)であり、低熱源は実験室内の空気(290~300K)である。試験液体には、水道水を使用した。出力管の上方と、冷却室上部に圧力変換器を設置し圧力変動を測定した。

3. 実験方法および実験条件 出力管の最上部にストップ弁を設け、弁開度を変えることによって共鳴振動管側の負荷を調節した。ディスプレイU字管側及び出力管側の体積変動を測定するために、出力管中の水の振動をビデオカメラで撮影し、画像処理装置を用いて、水面位置の変化を測定した。以上より、1サイクルの出力をP-V線図を用いて算出する。さらに、これらの実験結果をもとに、ポンプを取り付け、その性能を評価した。共鳴振動管長さ一定の状態ヒータ入力電力およびストップ弁開度をそれぞれ5段階(95, 141, 189, 248, 315W)と3段階(5, 3, 1.6mm)に変化させて、圧力の測定を行なった。さらに、最終的なポンプ取り付け位置を決定するために共鳴振動管側出力とディスプレイ側出力を同時測定した。つぎに、ヒータ入力一定(315W)、出力管は大気開放の状態、共鳴振動管の長さを最長10.9mから順に短くしていき、最適な共鳴振動管長さを求めた。さらに、得られた最適長さにおいて、

試作したポンプを取り付け、ポンプの効率を求めた。ポンプの出力は揚程と流量より算出した。使用したポンプの概略を Fig.2 に示す。

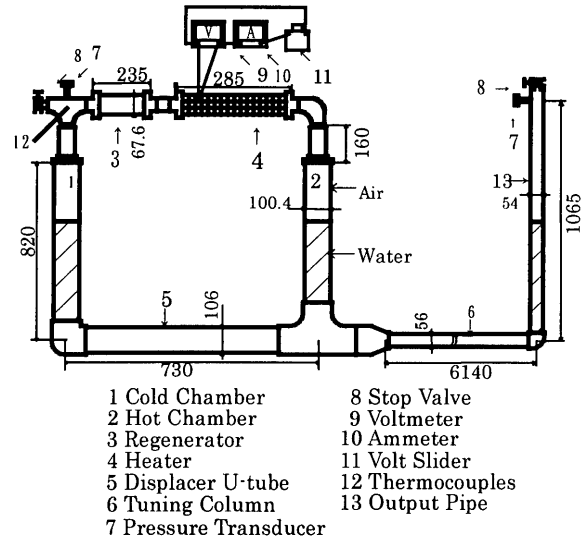


Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

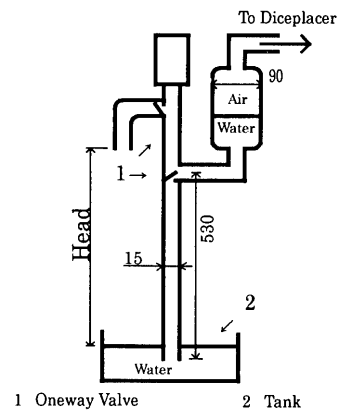


Fig.2 Pump

4. 実験結果および考察 Fig.3 に出力管側とディスプレイ側における、ヒータ入力とエンジンの熱効率の関係を示す。出力管側の出力については、ストップ弁開度が小さいほど熱効率が向上しているの、さらに大きな負荷でも動作可能であると考えられる。また、どちらもヒ-

タ入力が高いほど熱効率が向上しており、特にディスプレイ側が高出力を記録している。以上の結果からポンプを取り付ける場合、ディスプレイ側に設置する方が望ましく、大きな温度差であるほど熱効率が良くなることがわかった。Fig.4 に共鳴振動管の長さに対する熱効率 $\eta$ の関係を示す。共鳴振動管が6mより長い範囲では自然に振動が発生することが無かったため、出力管の液面に力を加えて強制的に振動を発生させてみたが、やがて静止し、力を加えてもエンジン始動のきっかけとすることはできなかった。作動しない原因は共鳴振動管長さが不適切であったと思われる。共鳴振動管が約5.4mの時に最大効率を示していることから、管内の流動損失を考慮した上で、内径50mmの管を使用した場合の最適長さは約5.4mであると考えられる。また、出力管内の振幅の中心が水平管中心から60cmの位置にあることから、これらを足し合わせて6mの長さが必要となる。

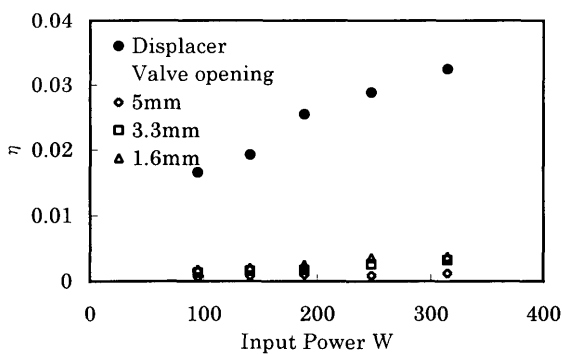


Fig.3 Engine efficiency vs. Input Power (d=56mm)

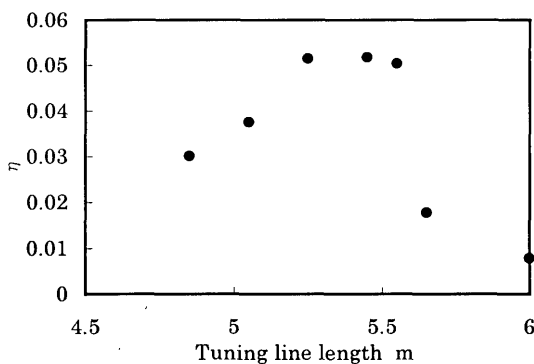


Fig.4 Efficiency vs. Tuning line length (Input Power 315W, d=50mm)

Fig.5 に共鳴振動管長さ5.3m、ヒータ入力を315, 248, 189Wに変化させた時のポンプ効率と汲み上げ揚程の関係を示す。汲み上げ揚程を大きくするにつれてポンプ効率が良くなっている傾向がある。また、入力電力を変えてもそれほど大きな違いが無く、一致した値が得られた。しかし、全体としてポンプを取り付ける以前のエンジンの熱効率に比べて非常に低い値となり、最大効率でも0.2%未満でしかなかった。この原因の一つとして、ディスプレイ内の圧力変動が完全にポンプへ伝わらなかったために、ポンプが上手く動作しなかったのではないだろうか。つまり、ディスプレイから伝わる圧力変動がポンプにおける水の吸い上げと吐き出し以外の動作に使われたと考えられる。もしくはポンプの一方向弁が完全に作用していなかったた

めに、揚程が大きい場合の方が、弁がしっかりと閉じることにより結果としてポンプ効率が上がったと考えられる。

Fig.6 は本研究で使用したポンプの揚程曲線である。吐出し量に比例して揚程が減少しているのは一般的に知られるポンプと同様の特徴である。また、入力電力が大きくなるに伴って吐出し量も大きくなっていることがわかる。Fig.5 と Fig.6 を比較するとヒータ入力が高いほど多くの水を汲み上げることが出来る一方で、入力が大きくなると返って効率が落ちてしまうという結果となった。

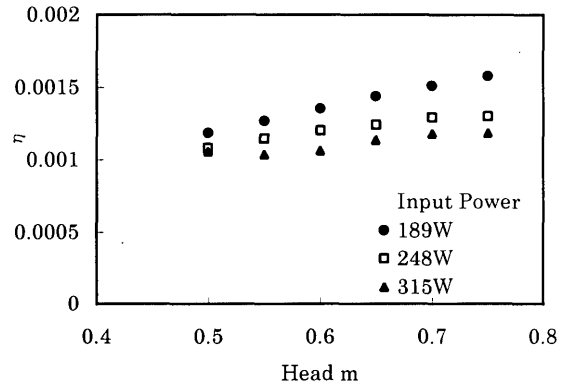


Fig.5 Pump efficiency vs. Head (Tuning line length 5.3m)

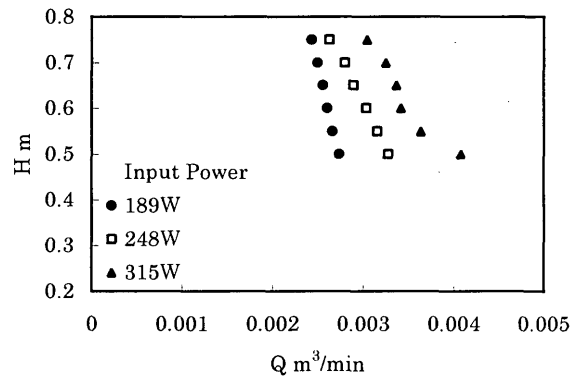


Fig.6 Head curve (Tuning line length 5.3m)

5. 結論 本実験装置では、共鳴振動管の最適長さ(6m)において5%以上のエンジンの熱効率を得ることができた。しかしながら、ポンプを駆動させた場合の効率は極端に低下する(最大で0.2%以下)ので、実用化のためにはさらなる改善が必要である。今後の改良点として考えられることは、作動室内空気の圧縮性をよくするために加熱室、冷却室、ヒータ部および再生熱交換器に要するスペースを可能な限り小さくすること<sup>(3)</sup>、管と管の継ぎ目を段差のない滑らかな構造とすることなどが挙げられる。本実験では、ポンプとして灯油ポンプを改造したものを使用したが、より完成度の高いポンプを用いれば出力の向上につながると思われる。

6. 参考文献 (1) C.D.West, Liquid Piston Stirling Engines, Van Nostrand Reinhold Company, 1983. (2) 兵働務, 米田裕彦共著, スターリングエンジン—その生いたちと原理—, 株式会社パワー社, 1990. (3) 一色 尚次, スターリングエンジンの開発—再浮上した夢のエンジン—, 株式会社工業調査会, 1982.