

100W 級スターリングエンジンの性能特性

Performance of 100 W Class Stirling Engine

正 平田宏一（埼玉大） 正 香川 澄（防衛大） 正 竹内 誠（サクシヨン瓦斯）
正 山下 巖（東京電機大） 正 浜口和洋（北職短大） 正 一色尚次（日大）
正 岩本昭一（埼玉大）

Koichi HIRATA, Saitama University
Noboru KAGAWA, National Defense Academy
Makoto TAKEUCHI, Suction Gas Engine Mfg. Co., Ltd.
Iwao YAMASHITA, Tokyo Denki University
Kazuhiro HAMAGUCHI, Hokkaido Polytechnic College
Naotsugu ISSHIKI, Nihon University
Shoichi IWAMOTO, Saitama University

A small 100 W displacer-type Stirling engine, 'Ecoboy-SCM81' has being developed by a committee of the Japan Society of Mechanical Engineers (JSME). The engine contains unique features, a displacer piston has both heating and cooling inner tubes for the working fluid which flows to and from outer tubes. The outer tubes for heating were located at the top of the expansion cylinder and the outer tubes for cooling were located in the middle of the cylinder. A regenerator is located in the displacer piston. The components of the engine adopted some new technologies. For instance, a porous type matrix consisting of pressed zigzag stainless steel wires was adopted for the regenerator. In this paper, the engine performance of this engine is described under experimental results.

Key words: Engine, External Combustion Engine, Stirling Engine, Engine Performance

1. まえがき

1994 年、日本機械学会 RC110 研究分科会においてスターリングエンジンの設計手法が構築され、研究成果報告書が作成された。同学会 RC127 研究分科会（1994～1996）では、RC110 研究分科会において構築された設計手法の検証・確立を目的として、その設計手法に基づき 100W 級スターリングエンジン「Ecoboy-SCM81」の設計・試作を行った。本報では試作エンジンの構造及び性能特性について記す。

2. 試作エンジンの構造

試作エンジンは液化プロパン・ブタンのカセットボンベを燃料とした小型ポータブル発電機用動力源を主用途としており、構造の簡単化・小型化・低コスト化を目指して設計が進められた。これらの設計コンセプトのもとで討論を重ねた結果、図 1 に示す特殊な形式の熱交換器を用いたディスプレイサ形スターリングエンジンが採用された。目標性能及び主な仕様を表 1 に示す。エンジンを小型化するために、アニュラ型再生器をディスプレイサの内部に挿入し、ディスプレイサ上面及び下面にヒータインナーチューブ及びクーラインナーチューブを円周上に配置する。その外側にシリンダに固定したアウターチューブを設置することで従来のバイヨネット形熱交換器と同様な働きをすることが期待できる。

再生器には、従来より用いられているステンレス製積層金網及びスプリングメッシュ（SUS304W1、線径 0.1、密度 1.9g/cm³）と呼ばれるステンレス製の針金を織り込んで圧縮した新しい形式の再生器の 2 種類を用いて実験を行った。スプリングメッシュは低コストで生産が可能であり、組立が容

易であるため実用的なスターリングエンジンの再生器として期待されている。再生器の仕様を表 2 に示す。

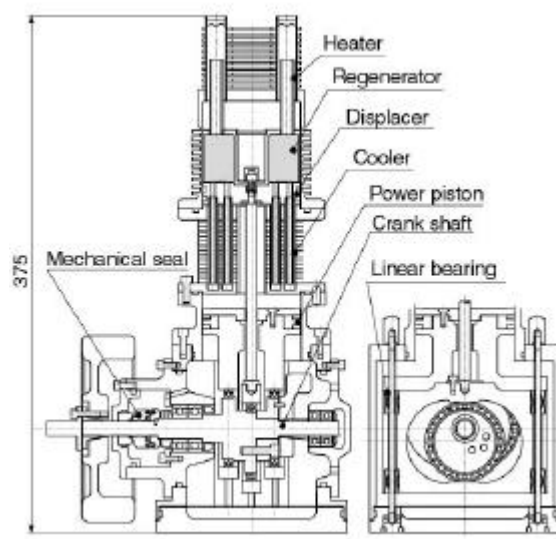


Fig. 1 Schematic view of ECOBOY-SCM81

Table 1 Specifications and target performance

Engine type	Displacer type (gamma configuration)
Working gas	Helium/Air
Mean engine pressure	~ 1 MPa (Max.: 10 kgf/cm ²)
Expansion space temp.	~ 923 K
Compression space temp.	~ 343 K (Water/Air cooling)
Engine speed	1000 rpm
Bore x Stroke	72 x 20mm
Output power	100 W
Thermal efficiency	20 %

Table 2 Details of regenerator matrices

	Wire dia. (mm)	Weight (g)	Surface area (m ²)	Porosity
Spring Mesh	0.100	219	1.10	0.754
Stacked mesh	0.101	280	1.33	0.686

3. 実験方法及び実験条件

試作エンジンの基本特性を測定するため、実験では加熱源に電気ヒータ（最大容量 1kW）を使用し、ヒータ上部壁温度が 700 となるように電気ヒータの入熱量を調整する。冷却方法は流量を一定とした水道水を用い、作動ガスには平均圧力を 0.8MPa としたヘリウムを使用して実験を行った。

また試作エンジンにはトルク測定装置及び市販の直流モータを流用した発電機が取り付けられており、負荷は発電機に接続された抵抗値を変化させることで調整する。

4. 実験結果

図 2 にスプリングメッシュ及び積層金網を用いた場合のエンジン回転数と出力との関係を示す。この図よりそれぞれの出力は回転数の増加に伴いほぼ直線的に増加していることがわかる。また、同一条件において図示出力は再生器に積層金網を使用した方が大きいものの軸出力はスプリングメッシュを使用した方が大きくなっていることがわかる。これは表 2 に示したようにスプリングメッシュは伝熱面積が積層金網と比べてわずかに小さいため伝熱特性に若干劣っているものの、空隙率が小さいことから圧力損失が減少していると考えられる。この圧力損失及び再生器の重量低減によりクランク機構にかかる荷重が減少し、スプリングメッシュを使用した方が機械損失が低減していると考えられる。

また本実験において得られた最大軸出力はエンジン回転数 1300rpm において 74W であり、このときの膨張空間ガス温度は 468 であった。目標出力にわずかに至っていない主な原因として、ヒータの上下方向に大きな温度差が生じており、膨張空間ガス温度が十分に上昇していないことが考えられる。

図 3 にエンジン回転数と内部変換効率 η_{int} 、機械効率 η_m 、発電機効率 η_g 及び図示効率 η_{in} との関係を示す。

それぞれの効率は図示出力 L_i 、膨張空間図示出力 L_{ih} 、軸出力 L_s 及び発電機出力 L_g を用いて次式により算出した。

$$\eta_{int} = L_i / L_h \quad (1)$$

$$\eta_m = L_s / L_i \quad (2)$$

$$\eta_g = L_g / L_s \quad (3)$$

図示効率 η_{in} は冷却水出口温度と入口温度との温度差、冷却水流量及び冷却水の比熱より算出される冷却損失 Q_{reject} を用いて次式により定義した。

$$\eta_{in} = \frac{L_i}{L_i + Q_{reject}} \quad (4)$$

図 3 より発電機効率及び内部変換効率は再生器に積層金網及びスプリングメッシュを用いた場合でもほとんど差が見られないが、機械効率はスプリングメッシュの方が高く、図示効率は積層金網の方が高いことがわかる。これは前述した再生器の伝熱特性及び機械損失に関係する特性をよく表してい

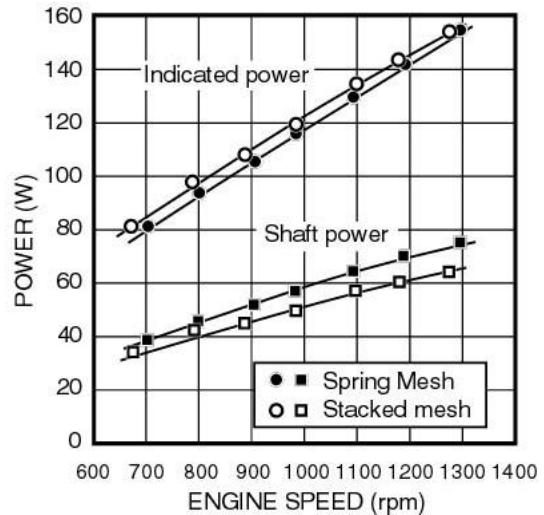


Fig. 2 Power as a function of engine speed

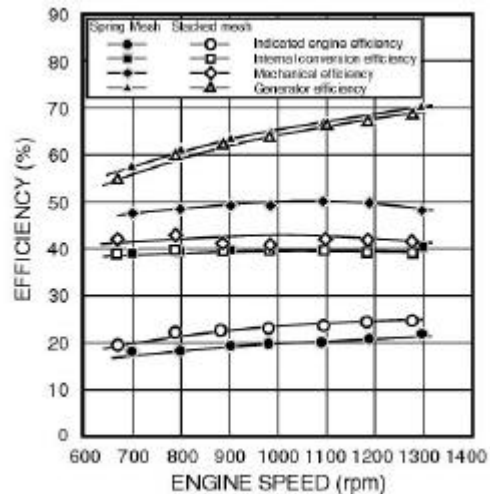


Fig. 3 Efficiency as a function of engine speed

る。

5. あとがき

以上より、独創的な特徴を持つスターリングエンジンの試作研究を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 日本機械学会 RC110 研究分科会で構築された設計手法に基づき設計を行い、概ね目標性能（軸出力 74W、図示効率 20%）を得た。
- (2) 実用性に優れていると考えられるスプリングメッシュの性能を確認した。

参考文献

- (1) Kagawa, N., et al., Design of Applicative 100 W Stirling Engine, Proceedings, 30th IECEC, p.341, 1995
- (2) Kagawa, N., et al., Design of A 100 W Stirling Engine, Proceedings, 7th ICSC, Tokyo, JSME, p.211, 1995
- (3) 日本機械学会, RC110 研究成果報告書, 1994
- (4) 日本機械学会, RC127 研究成果報告書, 1996