

小型スターリングエンジンの機械損失低減技術

Mechanical Loss Reduction of a Small Stirling Engine

○ 正 平田 宏一（海技研）

Koichi HIRATA, National Maritime Research Institute, Shinkawa 6-38-1, Mitaka, Tokyo

Key words: Stirling Engine, External Combustion Engine, Solid Lubricant and Mechanical Loss

1. まえがき

昨今、活発に研究・開発が行われている家庭用コジェネレーションに用いるスターリングエンジンは、エンジンの出力を利用して発電機を駆動するため、発電機をクランクケースに内蔵したハーメティック形式とすることが極めて有効である。そのような観点から、前報⁽¹⁾では、ハーメティック形式に改造した 100 W 級スターリングエンジン "Ecoboy-SCM81" を運転し、その有用性について確認した。本報では、さらなる機械損失の低減を目指して、摺動部に二硫化モリブデンショット処理（以下、MoS₂ ショット処理と称す）を施し、簡易的な性能試験より、その有用性について調べた。

2. 実験用エンジン並びに二硫化モリブデンショット

2.1 実験用エンジンの構造 図 1 に実験用エンジンの構造、表 1 に主なエンジン仕様並びに目標性能を示す。図 1 に示すように、本エンジンは、ディスプレイサとパワーピストンを直線上に配置した特殊な γ 形であり、ピストン駆動機構には、スコッチ・ヨーク機構が採用されている。

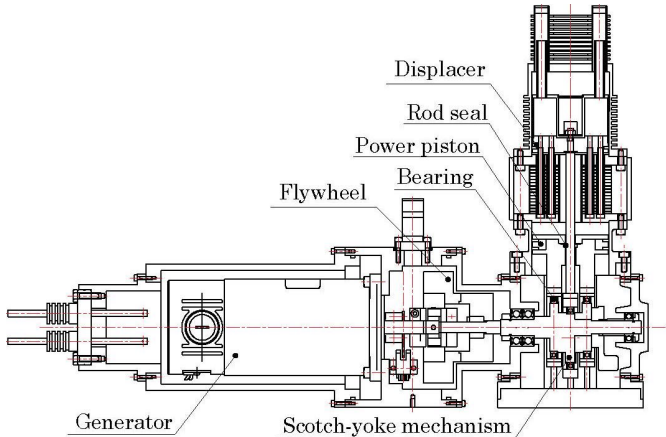


Fig. 1, 100 W class Stirling Engine, Ecoboy-SCM81

Table 1, Engine specifications and target performance

Engine type	Improved Gamma-type
Working gas	Helium
Maximum pressure	1.1 MPa
Heater wall temperature	750 deg C
Compression space gas temperature	40 deg C (Water cooling) 70 deg C (Air cooling)
Rated engine speed	1000 rpm
Bore x Stroke	72 mm x 20 mm
Output power	100 W
Net thermal efficiency	20 %

また、開発当初の実験用エンジンには、出力軸を大気中へ取り出す箇所の外部シールとして、小型のメカニカルシールが使われていたが、前報⁽¹⁾で述べた通り、本エンジンはハーメティック形式に改造されている。

2.2 二硫化モリブデンショット処理 MoS₂ ショット処理は、二硫化モリブデンの微粒子を圧縮空気とともに高速で対象物表面に投射し、対象物の表面を瞬間的に溶融・再結晶化させる表面改質熱処理技術であり、内燃機関のピストンスカート部に処理を施すことによって、機械損失を低減した実績がある⁽²⁾。MoS₂ ショット処理の効果を調べるため、図 1 に示した実験用エンジンの摺動部（各ピストンのシリンダ、ディスプレイサロッド、ヨーク軸受の表面並びにヨーク接触面）に処理を施し、エンジンの出力性能を調べる。なお、ピストンリング並びにロッドシールには、前報と同様、PTFE 製のシールを使用している。

3. 実験方法並びに実験条件

MoS₂ ショット処理を施した後、軽負荷並びに中負荷の運転条件で約 80 時間の慣らし運転をした後、以下の実験を行った。実験方法は前報⁽¹⁾に準じており、各空間の圧力波形から図示出力等を求めているが、クランク角度に対する圧力波形の測定精度が低いため、本報においては発電機出力に着目して性能評価を行う。

表 2 に実験条件を示す。表 2(a)は、加熱開始から自立運転を開始するまでの非定常運転時の測定である。表 2(b)は、MoS₂ ショット処理の効果を調べるための実験であり、作動ガスには平均ガス圧力 $P_m=0.4, 0.6$ 及び 0.8 MPa のヘリウムを用い、膨張空間ガス温度 T_E が 490 になるように、電気ヒータへの入力 Q_{in} を調節した。

4. 実験用スターリングエンジンの性能特性

4.1 始動特性 図 2 は、表 2(a)の実験条件により得られた加熱開始からの時間 t に対するエンジン回転数 N 、発電機出力 L_g 並びに温度 T の測定結果を示している。同図に

Table 2, Experimental conditions

(a) Starting characteristics

Total heat input, Q_{in}	0.9 kW (100 V x 9 A)
Working gas	Helium
Mean pressure, P_m	0.3 MPa

(b) Comparison between hermetic and previous type

Expansion space gas temp, T_E	490 deg C
Working gas	Helium
Mean pressure, P_m	0.4, 0.6, 0.8 MPa

において、加熱開始から約 12 分までの間は 300 ~ 400 rpm の回転数でモータリング運転を行っている。その後、膨脹空間ガス温度が約 160 のとき、自立運転を開始している。そして、約 17 分後からは発電負荷を与えた状態で運転している。正確な比較のための実験は行われていないが、始動開始時の膨脹空間ガス温度は、MoS₂ ショット処理を施す以前と比べてやや下回っており、低負荷運転時の安定性がわずかに向上しているように感じられた。

4.2 出力特性 図 3 は、表 2(b)の実験条件により得られたエンジン回転数 N に対する発電機出力 L_g の実験結果を示している。同図には、MoS₂ ショット処理を施す以前の実験結果並びにハーメティック化する前の実験結果⁽³⁾を併記している。これより、平均ガス圧力 $P_m=0.4$ MPa において、MoS₂ ショット処理を施した実験用エンジンの発電機出力 L_g は、以前の結果より、高回転域でやや上昇しているのがわかる。しかし、平均ガス圧力が高まるに従って、その相違は少なくなっている。これは、軸出力に対する機械損失の割合が大きい条件、すなわち機械効率が低い条件において、MoS₂ ショット処理の効果が現れているものと考えられる。高圧条件の高回転数域においても機械損失を低減できれば、MoS₂ ショット処理によって、スターリングエンジンの高速化・小型化を実現する可能性がある。

5. あとがき

本報では、100 W 級実験用スターリングエンジンの機械損失の低減を目指して、摺動部に MoS₂ ショット処理を施し、その基本性能を測定した。その結果、運転開始時や低圧運転時等、機械損失の影響が大きい運転条件において、その効果がわずかに現れた。

MoS₂ ショット処理は、機械損失低減による出力向上ば

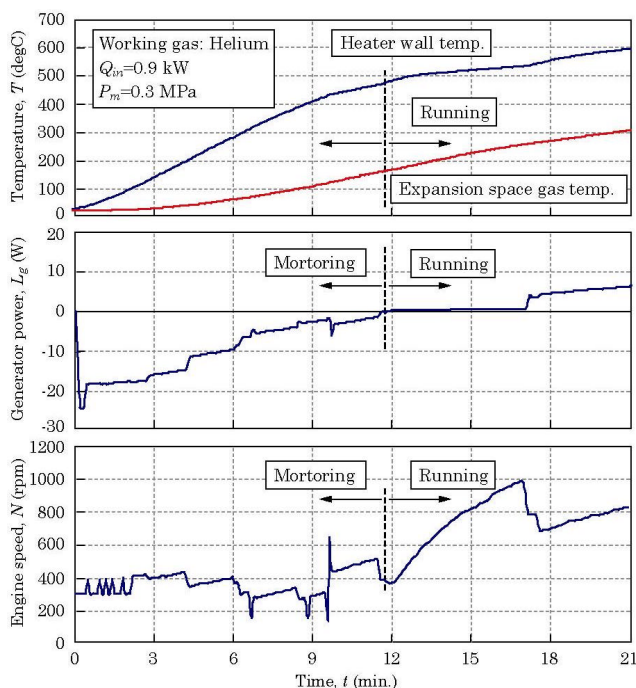
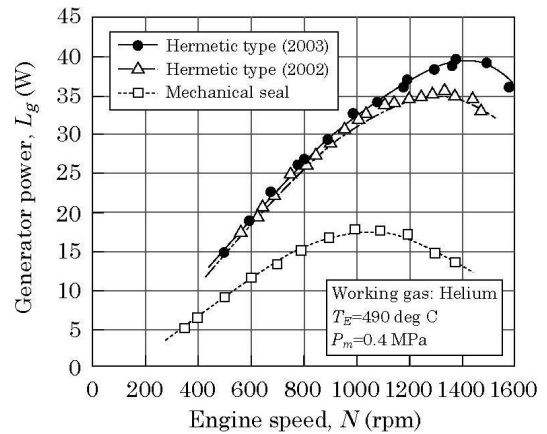
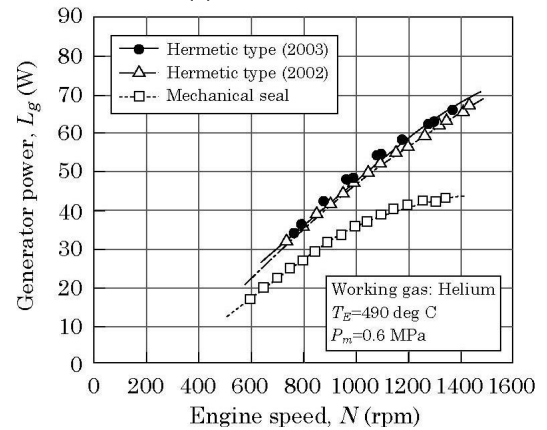


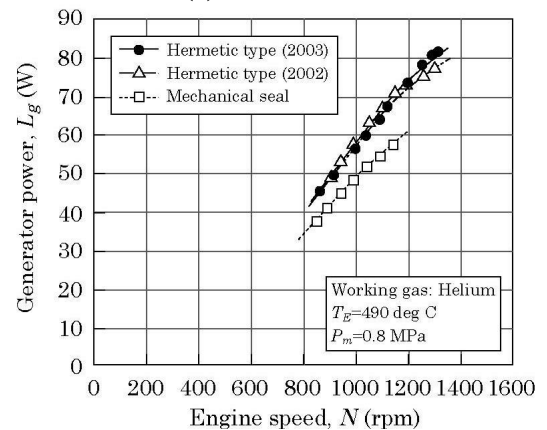
Fig. 2, Starting characteristics



(a) $P_m=0.4$ MPa



(b) $P_m=0.6$ MPa



(c) $P_m=0.8$ MPa

Fig. 3, Generator power as a function of engine speed

かりでなく、シール装置や摺動部の寿命特性の面で有効であると考えられる。この詳細な特性を評価するためには、摺動部単体での要素試験や寿命特性を調べるための長時間運転等が必要不可欠である。

文 献

- (1) 平田宏一，ハーメティック形スターリングエンジンの性能特性，日本機械学会第 6 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集，(2002)，p. 39-42 .
- (2) 荻原秀実，内燃機関用ピストンスカート部への固体潤滑剤付与技術とその効果，Honda R&D Technical Review，Vol.14，No.1(2002)，p.85-92 .
- (3) 平田ほか 3 名，小型発電機用スターリングエンジンの開発に関する基礎研究（第 1 報 エンジンの設計・試作並びに性能特性），日本機械学会論，B，第 64 巻，621 号(1998)，1600-1607 .