

セラミックス製熱交換器を用いたスターリングエンジンの開発

Development of High Efficient Stirling Engine with Ceramics Heat Exchanger

正 平田 宏一（海技研） 正 今井 康之 正 川田 正國
赤澤 輝行（e スター） 村尾 景司

Koichi HIRATA, Yasuyuki Imai and Masakuni KAWADA, National Maritime Research Institute, Tokyo
Teruyuki AKAZAWA and Keiji MURAO, e Stir Co., Ltd., Osaka

In order to prevent global warming and keep energy conservation, we need a compact and high efficient power source. A Stirling engine, which has excellent characteristics such as high ideal efficiency and low pollution, is one of the suitable power sources for a comfortable life in the future. In this study, we aim to develop a high efficient Stirling engine. And a ceramics heat exchanger is developed. It has high heatproof performance and high heat conduction, then the Stirling engine can have higher operating temperature. We discuss about performance of the ceramics heat exchanger based on the test results of a prototype Stirling engine.

Key words: Stirling Engine, Ceramics, Silicon Carbide and Heat Exchanger

1. まえがき

昨今の地球温暖化防止や省エネルギー化の観点から小型で高効率な動力源が必要とされている。高熱効率性、熱源の多様性、低公害性といった優れた特徴を持つスターリングエンジンは、将来のエネルギー事情に適合しうる動力源の一つである。そのような観点から、著者らは次世代家庭用コジェネレーションの動力源に用いるための高効率スターリングエンジンの開発を進めている。

19世紀初頭に発明されたスターリングエンジンは、現在までに多くの研究者・技術者によって実用化が試みられてきた。しかし、製作コストが高いことやエンジン寸法・重量が大きいこと等の問題により民生レベルでの普及に至っていない。特に、高効率なスターリングエンジンを実現するためには、高温条件下での材料強度の制限から、ヒータ材料としてインコネル等の特殊なニッケル合金を用いる必要があり、製作コストを高める要因となっている。本研究では、スターリングエンジンの高効率化並びに普及を目指して、セラミックス製ヒータの開発を進めている。そして、試作したセラミックス製ヒータを評価用スターリングエンジンに搭載し、その基本性能を調べ、耐熱性・耐圧性を含めた実機への適用可能性を検討している。

2. セラミックス製ヒータ評価用スターリングエンジンの構造

2.1 セラミックス製ヒータ スターリングサイクルの理論熱効率はカルノーサイクルの熱効率に等しく、低温空間温度と高温空間温度との比によって表される。一般にスターリングエンジンの低温空間温度は常温付近で運転されるので、スターリングエンジンの高効率化を図るためには高温空間温度を高めることが有効である。セラミックス製ヒータは、高温条件下での使用が可能のため、作動温度の高温化が可能である。

高性能ヒータの材料は、高い熱伝導率を有することが要求される。また、スターリングエンジンの作動空間は数

MPa まで加圧されるため、高温条件下での強度特性が重要である。そのような観点から、様々なセラミックス材料を検討した結果、ヒータ材料に炭化珪素（SiC）を用いることとした。炭化珪素は、ステンレス鋼の5倍程度の熱伝導

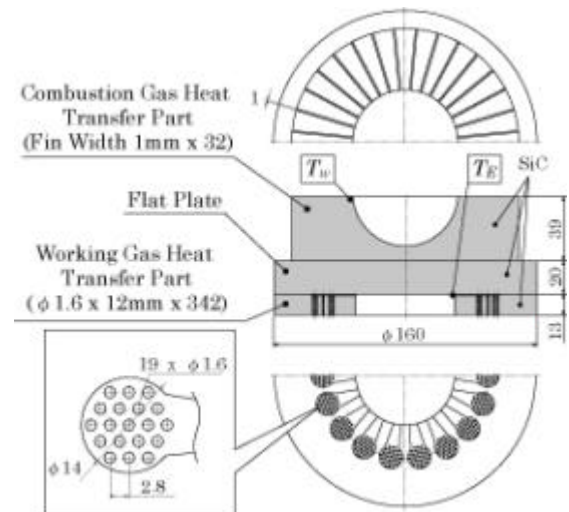


Figure 1, Ceramics Heat Exchanger

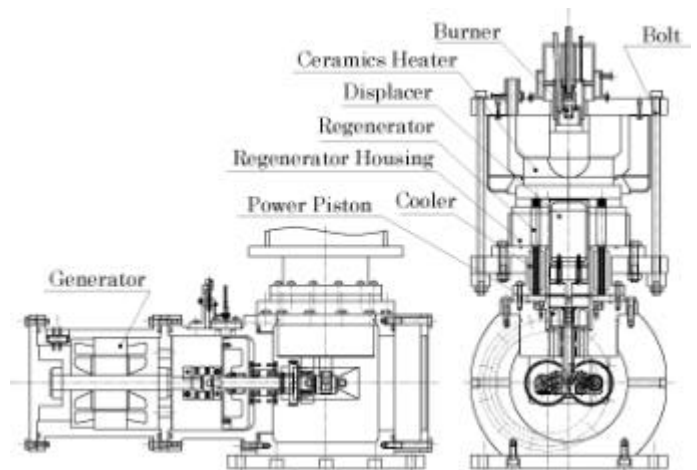


Figure 2, Prototype Stirling Engine with Ceramics Heat Exchanger

率があり、高温条件下での強度が高い材料である。

図 1 に開発したセラミックス製ヒータの構造を示す。従来のスターリングエンジンに用いられてきた金属製ヒータの多くは、数十本の伝熱管で構成される多管式熱交換器である⁽¹⁾。一方、本セラミックス製ヒータは、燃焼ガスからの熱を受け取るフィンを設けた燃焼ガス伝熱部、耐圧強度を受け持つ平板並びに作動ガスに熱を与えるための多数の小孔を設けた作動ガス伝熱部から構成されている。

2.2 評価用スターリングエンジン 図 2 および図 3 に熱交換器評価用スターリングエンジンの構造と外観、表 1 に主なエンジン仕様を示す。本エンジンは、ディスプレイサとパワーピストンを 1 つのシリンダ内に配置した 形と呼ばれる形式である。

セラミックス製ヒータおよび再生器ハウジングは、燃焼器上部の板材とクーラ部のフランジとの間でボルトにより締め付ける構造としている。また、高温部の静止面シールにはカーボンシートを使用している。これらの構造により、数 MPa のガス圧力を適切にシールできる構成としている。なお、ヒータとクーラを連結する再生器ハウジングには、熱伝導率が極めて低い石英ガラスを使用している。

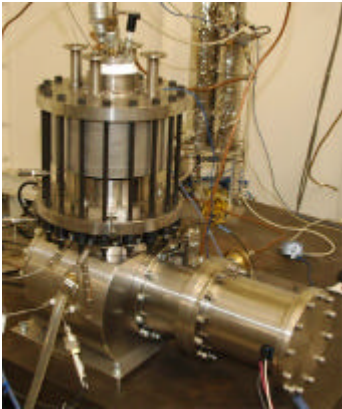


Figure 3, Photograph of Prototype Stirling Engine

Table 1, Specifications of Prototype Engine

Engine Type	Beta configuration
Swept Volume of Displacer (Piston Dia. x Stroke)	51 cm ³ (60 x 18 mm)
Swept Volume of Power Piston (Piston Dia. x Stroke)	51 cm ³ (60 x 18 mm)
Piston Drive Mechanism	Rhombic Mechanism
Target Engine Speed	2100 rpm (35 Hz)
Working Gas Mean Pressure	2.5~3.0 MPa
Heater Wall Temperature	800~900 deg C (max.)
Heat Source	Methane Gas / LNG
Working Gas	Helium

3.評価用スターリングエンジンの性能特性

以上の評価用エンジンを用いて、セラミックス製ヒータの性能評価試験を実施した。図 4 は性能測定結果の一例であり、平均ガス圧力 P_m を 2.5 MPa、全入熱量 Q_{total} を 3 ~ 5 kW とした運転条件におけるエンジン回転数に対する図示出力 W_i およびヒータ壁温 T_w を示している(図 1 参照)。本セラミックス製ヒータの最高壁温 T_w は 830 に達しており、そのときの膨脹空間ガス温度 T_E の測定値は 700 であった。これは一般のステンレス鋼製ヒータでは、高圧下での運転が極めて難しい温度領域であり、セラミックス製ヒータの有効性が確認された。一方、全入熱量に対する図示出力(図示熱効率)は最高でも 6 %程度であり、従来のスターリングエンジンに比べてかなり低い。熱効率を向上させるためには、熱交換器周囲の断熱構造を強化するとともに、排熱回収による空気予熱が必要不可欠である。

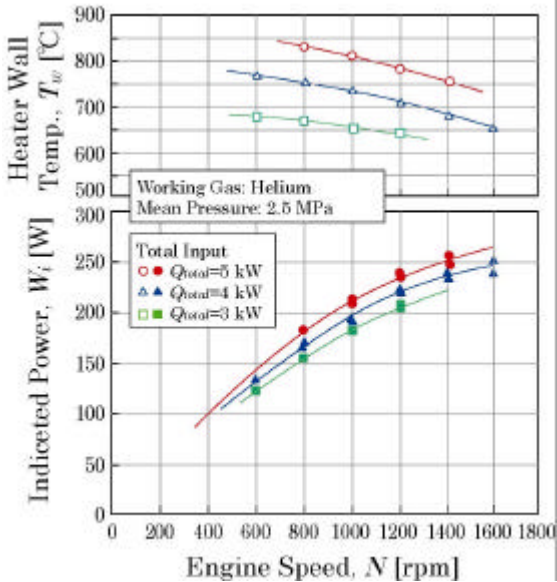


Figure 4, Experimental Results of Indicated Power and Heater Wall Temperature

4.あとがき

本報では、スターリングエンジンの高効率化を目指して開発を進めているセラミックス製ヒータ並びに評価用スターリングエンジンについて述べた。そして、評価用エンジンによる性能評価試験から、試作したセラミックス製ヒータが高温・高圧条件下で概ね適切に機能することを確認した。今後、熱交換器や燃焼器に関連する各種熱損失の低減を図り、熱効率の向上を図る予定である。

本報で紹介したセラミックス製ヒータ並びに評価用スターリングエンジンは、NEDO 委託研究「セラミックス製熱交換器と新形式リニア発電機を用いた次世代エンジンの開発」により実施されているものであり、関係各位並びに共同研究メンバーに対し、深い感謝の意を表したい。

文 献

(1) 山下他, スターリングエンジンの理論と設計, 山海堂, 1986.