

# 内航船舶に用いる排熱利用スターリングエンジンの開発

Development of Heat Recovery System with Stirling Engine Generator for Ship

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）      坂口 諭

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

When a freight ship is in a harbor, a Diesel engine generator is operated to supply electric energy in the ship. Exhaust gas from the Diesel engine causes air pollution in the harbor area. We have tried to develop a heat recovery system with a Stirling engine generator. When the ship is at sea, the Stirling engine generator operates with the exhaust heat of the Diesel engine, and charges batteries in the ship. When the ship is at anchor in the harbor, the charged batteries supply the electric energy into the ship without the operation of the Diesel engine generator. This system is expected that the harbor area is kept clean, because the exhaust gas of the Diesel engine decreases in the area. In this paper, we report structure and performance of an experimental Stirling engine for the system. The engine has target power of 500 W, and it can operate using heat source of 400 deg C.

Key words: Stirling Engine, Waste Heat Recovery System, Ship and Marine Diesel Engine

## 1. まえがき

港湾に停泊している船舶のディーゼルエンジンから放出される排ガスは、港湾地域の空気環境汚染の原因となっている。その解決方法の一つとして、航行中のディーゼルエンジンから放出される排熱を電気エネルギーとして蓄え、停泊中に蓄電された電気エネルギーを利用するシステムの開発が考えられる。このような排熱回収システムを開発することによって、停泊中にディーゼルエンジンの運転が不要となり、港湾地域の環境保全を実現できる。

本研究では、400 程度の低温排熱から有効な電力を取り出すための排熱利用スターリングエンジンを開発し、内航船舶に用いる排熱回収システムの開発を目指している。以下、本排熱回収システムの概略並びに現在開発を進めている実験用スターリングエンジンの構造並びに性能特性について報告する。

## 2. 内航船舶用排熱回収システム

港湾に停泊している船舶のディーゼルエンジンから放出される排ガスは、港湾地域の空気環境汚染の原因となっている。本研究で開発する排熱回収システムは、航行中の推進に使うディーゼルエンジンの排熱エネルギーを回収し、電気として蓄える。そして、港湾内では蓄電された電気エネルギーを利用することで、発電用ディーゼルエンジンの運転を不要とし、港湾地域の環境保全の実現を目指したシステムである（図 1）。船舶主機関であるディーゼルエンジンにおいては、燃料が持つエネルギーの約 30 % が排ガスに放出されている。本研究では、その排熱の一部を利用してスターリングエンジン発電機を運転し、船内に搭載された二次電池に充電する排熱回収システムを提案している。

停泊時に必要となる電気エネルギーは船舶の大きさや種類によって異なる。本研究では、500 トン程度の比較的小さい貨物船を想定し、停泊時に必要な船内電力量を 100

kWh (10 kW × 10 時間程度) に設定した。

## 3. 実験用スターリングエンジンの構造並びに性能特性

図 2 および図 3 に本研究で開発した実験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。本実験用エンジンは、同一シリンダにディスプレイサとパワーピストンを配置した 形と呼ばれる形式である。シリンダの上端には銅パイプを用いたヒータが設置され、その周囲に高温熱源をヒータに導くためのステンレス鋼製ダクトが取り付けられる。シリンダ周囲には円環形状の再生器及び多管式クーラが設置されている。

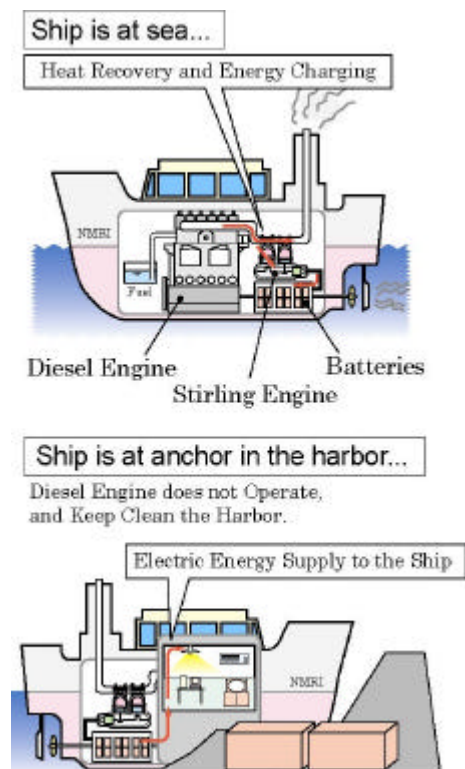


Figure 1, Concept of Waste Heat Recovery System for Ship

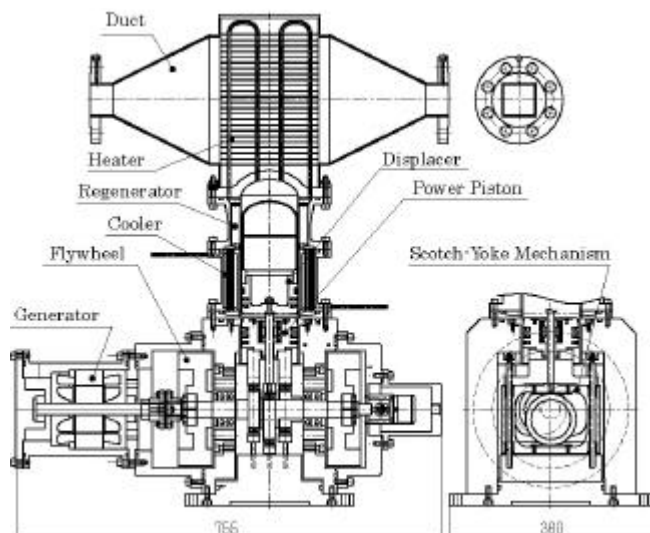


Figure 2, Structure of Prototype Stirling Engine



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)	283 cm <sup>3</sup> ( 100 x 36 mm)
Swept Volume of Power Piston (Piston Dia. x Stroke)	220 cm <sup>3</sup> ( 100 x 28 mm)
Heater (OD x ID x Length x No.)	Shell and Tube Type ( 6 x 4 x 630 mm x 64)
Regenerator (OD x ID x Length)	Stainless Mesh ( 135 x 104 x 69 mm)
Cooler (OD x ID x Length x No.)	Shell and Tube Type ( 3 x 2.2 x 108 mm x 420)
Piston Drive Mechanism	Scotch-Yoke Mechanism
Generator	Induction Motor (Hermetic Type)
Target Power @ Engine Speed	500 W@1000 rpm
Working Gas Mean Pressure	2~4 MPa
Expansion Space Gas Temp.	~280 deg C
Working Gas	Helium

発電機は、出力 750 W の三相交流誘導モータを流用しており、クランクケースに取り付けられる。これは、発電機を耐圧容器に内蔵したハーメティック形式と呼ばれる形式であり、高圧の作動ガスを密封するための動的シールを必要としないため、機械損失の低減を図ることができる。

実験用エンジンの初期性能を調べるため、ディーゼルエンジンの排ガスを模擬した高温空気をを用いた性能評価実験を行った。図 4 は、実験結果の一例であり、高温空気の温

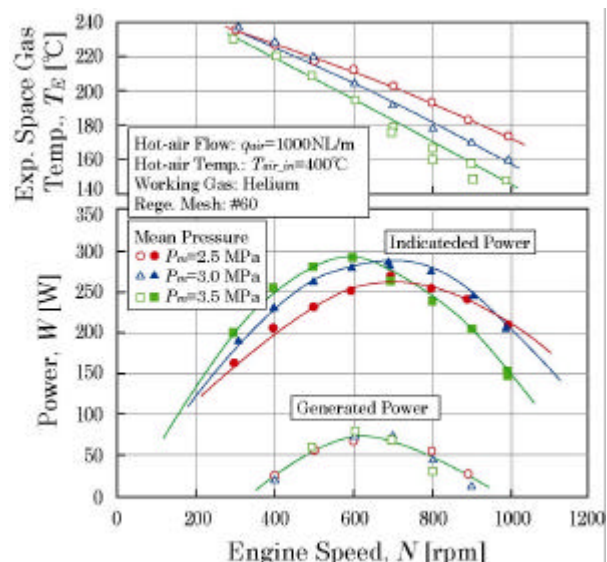


Figure 4, Effect of Working Gas Pressure

度を 400 °C、流量を 1000 NL/min、作動ガスの平均圧力  $P_m$  を 2.5 ~ 3.5 MPa とした場合のエンジン回転数に対する出力並びに膨張空間ガス温度を示している。これより、図示出力および発電出力の最大値は、平均圧力  $P_m$  を高めるに従って、上昇していることがわかる。また、同図における最大図示出力は、 $P_m=3.5$  MPa、エンジン回転数 600 rpm において 300 W 程度、そのときの発電出力は 80 W 程度であり、目標性能には全く至っていない。目標性能を達成するためには、熱交換器における圧力損失や駆動部での機械損失を低減させて、より高回転域で出力を取り出す必要がある。また、膨張空間ガス温度が設計値よりも 100 °C 程度も低い。性能向上のためには、各種熱損失を低減させて作動温度を高めることが必要不可欠である。実際のディーゼルエンジンの排ガス量は、本実験条件よりも桁違いに大きく、本エンジンの大幅な性能向上が期待できる。

## 5. あとがき

本報では、港湾地域の環境保全を目指した排熱回収システムに用いるための排熱利用スターリングエンジンの開発状況について述べた。現在、目標出力 500 W の実験用スターリングエンジンを設計・試作し、排ガスを模擬した高温空気にによってその性能測定を進めている。今後、実際のディーゼルエンジンの排ガスを利用した性能評価実験並びに排熱回収システムの実海域での実証試験を行い、システムの実用化へと発展させていきたいと考えている。

本研究は、(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 基礎的研究推進制度「港湾内の環境保全を目指した内航船舶用排熱回収システムの開発」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) 平田宏一、川田正國、実験用多段式スターリングエンジンの基本性能、日本機械学会第 9 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集、p.15-18 (2005)。