

スターリングエンジンの船舶分野への適用可能性

海上技術安全研究所 平田宏一，川田正國

1. まえがき

交通機関の動力源としては，小型乗用車では小型・軽量なガソリンエンジン，航空機では大推力が得られるジェットエンジン，そして船舶の主機関としては高効率なディーゼルエンジンが主流となっている。また，最近では環境保全並びにエネルギーの有効利用の観点から，燃料電池などの新しい動力源や電気推進船や電気自動車等の電気エネルギーを利用した動力システムの研究開発が活発に行われている。本報で述べるスターリングエンジンは，ディーゼルエンジンよりも古くに発明され，発展と低迷を繰り返しながら開発が進められてきた外燃機関である。以下，低公害性・燃料の多様性など，環境調和性に優れた特徴を持つスターリングエンジンの船舶分野への適用可能性について考察する。

2. スターリングエンジンの特徴と現状

外燃機関であるスターリングエンジンは燃料の爆発を利用しないため，静粛な運転が可能である。また，化石燃料に限らず，あらゆる熱源を利用できる。さらに，冷却行程において再生器に蓄えた熱エネルギーを加熱行程で再利用することにより熱効率を高められるという優れた特徴がある。しかし，実際のスターリングエンジンでは，不完全な再生熱交換による熱損失や熱交換器での圧力損失，エンジンからの放熱や熱伝導による損失などが生じるため，大型船用ディーゼルエンジンに匹敵するような高い熱効率を実現するのは難しいのが実情である。

また，実用的な出力を得るためには，作動ガスに分子量が小さいヘリウムや水素を使用し，作動空間を数 MPa に加圧した状態で運転する。そのため，圧力容器構造やシール構造が，実用化に対する技術課題となる。特に，高温・高圧の条件下で高い強度を必要とするヒータは，高価な特殊合金が使われることがあり，生産コストの面でも問題となっている。

一方，最近の陸上用スターリングエンジンの状況としては，都市ガスや石油燃料を利用したコージェネレーションシステム，工場排熱やごみ焼却炉等の熱を利用した排熱利用スターリングエンジン，生ごみ・糞尿による発酵メタンや木質チップを利用したバイオマス利用スターリングエンジンが注目を浴びている。

3. 船舶分野における適用可能性

上述の通り，優れた特徴を有するスターリングエンジンであるが，船舶分野での応用については，活発な研究開発はなされていない。一部の軍事用潜水船の動力源としてスターリングエンジンが実用化されているが，一般の貨物船や旅客船等で使われた事例は皆無である。以下，船舶分野におけるスターリングエンジンの適用可能性について検討する。

3.1 大型船舶の主機関としての利用 ディーゼルエンジンの代替動力源として，大型船舶の主機関への適用を検討する。全長 300 m 程度の貨物船の主機関は 20,000 kW 程度の出力を必要とする。図 1 は，経験則やシミュレーション計算を利用して概念設計を行った大型船舶用スターリングエンジンである¹⁾。同出力レベルのディーゼルエンジンと比べて，高さ寸法は概ね同じであるが，クランク軸方向の長さが約 2 倍の寸法となっている。スターリングエンジンが大型化する要因としては，高压容器として構成されるシリンダ及び熱交換器に高い強度を必要とすることがあげられる。このような大出力のスターリングエンジンを小型化するためには，圧力損失及び機械損失の低減による高回転数化が有効であり，耐圧容器構造を含めたエンジン形式の最適化が重要であると考えられる。

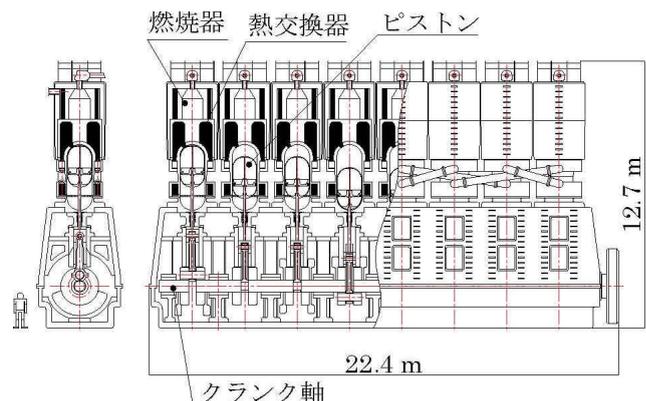


図 1 20,000 kW 級スターリングエンジンの概念図¹⁾

3.2 小型船舶の動力源としての利用 スターリングエンジンは，圧力容器構造と熱交換器の耐圧強度の兼ね合いから，比較的小さい出力が適していると言われている。図 2 は 200 kW 級スターリングエンジン発電機を搭載した観光用水陸両用船の概念図である。燃料には天然ガスを使用し，電気モータで推

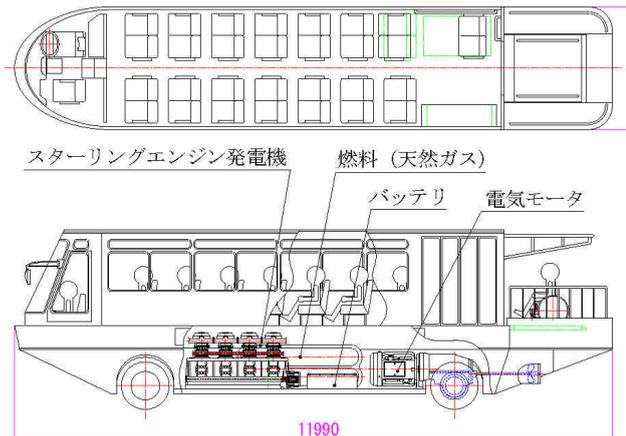


図2 観光用水陸両用船の概念図

進するハイブリッド式である。高効率発電機を内蔵したスターリングエンジンを想定し、エンジンの小型化を試みることによって、水陸両用船の寸法に概ね適合した構成となっている。観光用水陸両用船のように、静粛性や環境調和性を要求される用途であれば、スターリングエンジンの利用価値はかなり高いものと考えられる。しかし、実用化のためには、製作コストの低減や安全性・信頼性の確保など、解決すべき課題がある。

3.3 主機関の排熱利用 大型船用ディーゼルエンジンは、燃料が持つ熱エネルギーの約30%が排気ガスの熱として放出される。図3は、20,000 kWのディーゼルエンジンを想定したエネルギーバランスの計算結果を表している。20,000 kWのディーゼルエンジンから排出される、熱量12,000 kW、温度400の排気ガスから、2,500 kWをスターリングエンジンに取り込み、出力700 kWが得られている。これは補機1台分の動力を補うことができる出力である。燃焼ガス等の高温熱源を用いたスターリングエンジンで熱効率5%を達成することは難しいことではない。しかし、排気ガスの温度が400程度であることを考えると、エンジンの大型化は避けられず、実用スターリングエンジンの開発は難しい。そのため、排熱を利用する場合、小型・小出力スターリングエンジンの利用形態を検討する必要があると考えられる。

図4は、著者らが開発を進めている排熱利用を想定した実験用スターリングエンジンである²⁾。このエンジンは、ピストンストロークが異なるエンジンを多段に構成することで、各段のエンジンへの入熱量を調節し、排熱のエネルギーを最大限に利用することを目指している。大気圧で動作する小出力エンジンであるが、性能試験により多段構成の優位性が確認されつつある。このような特殊なエンジン形式

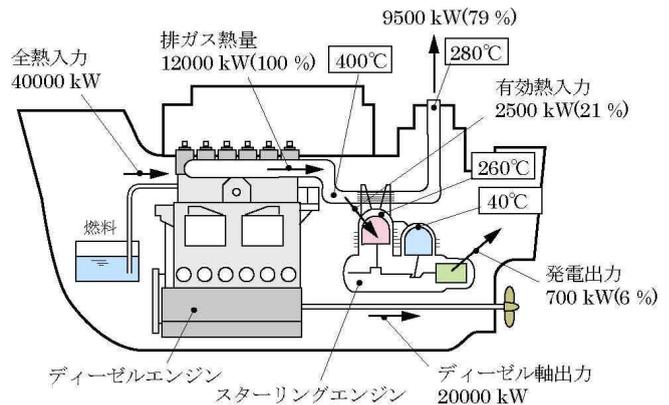


図3 排熱利用システムのエネルギーバランス

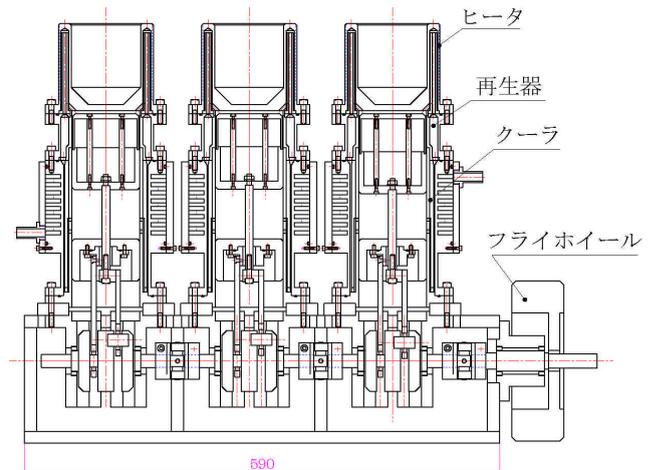


図4 排熱利用多段式スターリングエンジンの構造

が排熱利用に活用できることを期待している。

4. あとがき

本報では、スターリングエンジンの特徴について概説し、本エンジンの船用分野への適用可能性について検討した。圧力容器構造となるスターリングエンジンは大型化が困難であり、大型船舶の主機関への適用可能性はかなり低いと考えられる。一方、現在の船用大型ディーゼルエンジンの熱効率はかなり高く、これ以上の熱効率向上は極めて難しい。そのため、ディーゼルエンジンの排熱を利用したエネルギーの有効活用は、これからの技術開発によって実用化が期待される適用分野の一つであると考えられる。また、環境調和性が必要とされる小型船舶への適用は、実用までにはいくつかの技術的なハードルを乗り越えなければならないが、極めて興味深い適用分野である。

参考文献

- 1) 平田, 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) 21-22.
- 2) 高田ほか3名, 日本機械学会第8回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, (2004) 9-12.