

魚ロボットに用いるスターリングエンジンに関する研究

機関動力部 *平田宏一

1. まえがき

従来から開発されている海中ロボットは、一般に蓄電池を用いた電気モータを動力源としている。蓄電池は海中での取り扱いが比較的容易であるが、エネルギー密度が低く長時間の航行が困難であるという問題がある。本報では、尾部を往復運動させて推進する魚ロボットに用いるための特殊なスターリングエンジンを提案し、本エンジンの魚ロボットへの適用性について検討する。

2. 魚ロボット用スターリングエンジン

スターリングエンジンは高効率性、低公害性、燃料の多様性といった優れた特徴を有し、海中動力源としての研究開発が活発に行われてきた¹⁾。それは、高エネルギー密度の熱源を用いることで長時間の航行が可能となること、熱源に燃焼ガスを使用した場合でも、連続的な高圧燃焼が可能のため、海中への排気ガスの放出が比較的容易であること等の利点を有するためである。

スターリングエンジンには、図-1に示すセミフリーピストン形と呼ばれる形式がある。これは、ディスプレイサを電気モータで駆動することで生じる圧力変化によって、パワーピストンが一自由度振動系を構成して往復運動するため、ピストンの往復運動を直接動力として利用できるという特徴がある。圧力変化の周波数が振動系の共振周波数と一致した場合、パワーピストンのストロークが増大するとともに、両ピストンに適切な位相差が生じ、一般のスターリングエンジンと同様の熱

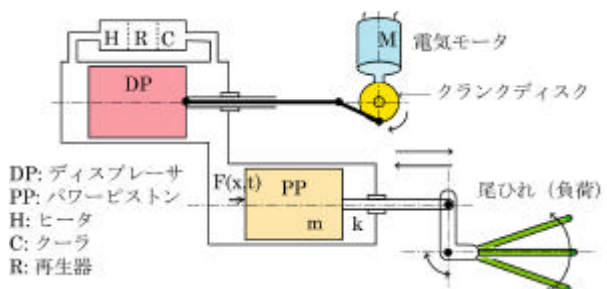


図-1 セミフリーピストン形スターリングエンジンの構造

サイクルを構成する。なお、ディスプレイサの両端の圧力差は小さいため、ディスプレイサを駆動する電気モータの消費エネルギーは極めて小さい。

一般の回転式エンジンはピストンの往復運動をクランク機構により回転運動へ変換している。そのため、魚ロボットに適用する場合、回転運動を再度往復運動へと変換する必要がある。一方、セミフリーピストン形スターリングエンジンは、ピストンの往復運動を直接尾部の往復運動に利用できるため、クランク機構や出力伝達部での機械損失を大幅に低減できる可能性がある。

3. 実験用セミフリーピストン形スターリングエンジン

セミフリーピストン形スターリングエンジンは宇宙用発電システムの動力源として活発な研究開発が行われてきた²⁾。それはピストンの往復運動でリニア発電機を駆動し、電気エネルギーを得るものであり、本報で提案するような往復運動を直接動力として利用するものではない。そこで、直接動力を取り出す場合の基本動作を確認し、魚ロボットへの適用性を検討するため、実験用エンジンの設計・試作を行い、様々な運転パラメータがエンジン特性の及ぼす影響を測定した。

3.1 実験用エンジンの構造

図-2に実験用エンジンの構造を示す。本エンジンは、作動ガスには大気圧空気を使用し、ディスプレイサ及び熱交換器を簡易的な構造としてい

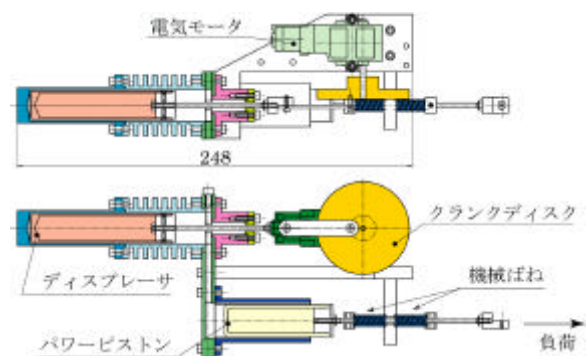


図-2 実験用セミフリーピストン形スターリングエンジン

る。また、作動ガスの漏れ及びピストン・シリンダ間の摩擦を低減させるため、パワーピストンにはガラス製の注射器を流用している。パワーピストンのロッドには2本の機械ばねが取り付けられており、運転時にはパワーピストン端部にリンク機構を介してアルミニウム合金製のフィンを取り付け、それを水中で往復運動させることで負荷を与えた。

3.2 性能試験

図-2の実験用エンジンを用いて、往復部質量、負荷（フィンの大きさ）及びばね定数等の運転パラメータがエンジン性能に及ぼす影響を測定した。その一例として、図-3にばね定数及びフィンの大きさをパラメータとした場合の周波数に対するパワーピストンのストロークの実験結果を示す。これらの運転試験より、パワーピストンの運動には共振周波数が存在し、それはばね定数や負荷の大きさの影響を大きく受けていること等の基本特性が確認された。

4. 魚ロボットへの適用における問題点

魚ロボットに用いるスターリングエンジンを提案し、実験用エンジンによってその動作確認を行

った。それらの結果に基づき、本エンジンを魚ロボットに適用する際の問題点について検討する。

(1) 一般にエンジンは周波数（回転数）を高めることで高出力を達成している。しかし、ピストンの往復運動を魚ロボットの運動に直接利用する場合、最高周波数は3～10 Hz程度であり、従来のエンジンよりもかなり低くなる。そのため、所定の出力を得るためのエンジン寸法が大型化する可能性がある。エンジンを小型化するためには、作動圧力を高めるとともに高性能な小型熱交換器の開発が必要であると考えられる。

(2) 本エンジンは、振動系の共振を利用するため、出力の周波数依存性が極めて大きい。そのため、運転パラメータを適切に設定するための、高度な制御手法が必要不可欠である。制御技術の開発には図-3に示した運転試験結果及びシミュレーション計算等が貢献すると考えられる。

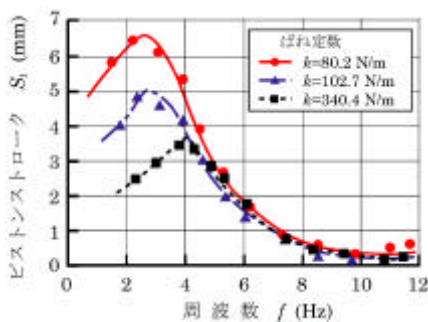
(3) 本エンジンに限らず、海中動力源の一般的な問題として、使用する熱源の選定があげられる。また、燃焼ガスを利用する場合には、その排気ガスの処理技術を確立する必要がある。

5. あとがき

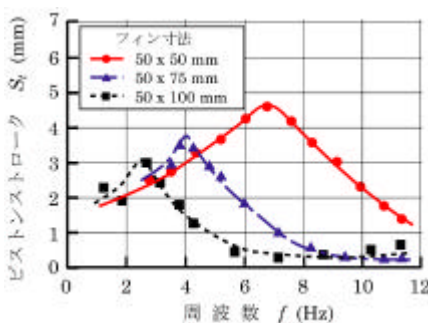
魚を模擬した推進方法は、高い推進効率を達成しうると言われているが、従来の回転式モータあるいはエンジンを利用する場合、回転運動を再度往復運動に変換する必要があるため、そこでの損失を考慮すると推進システムとしての効率が大幅に低下する可能性がある。しかし、本報で提案したように、ピストンの往復運動を直接動力として利用できるエンジンを適用できれば、高性能な推進システムの開発が可能であると考えている。ただし、上述のような多くの問題があり、それらを解決しう新しい技術が必要不可欠である。

参考文献

- (1) Tsukahara, S. et al.: Stirling Power System for Underwater Application, 6th International Stirling Engine Conference, p. 421-426, 1993.
- (2) Hoshino, T. et al.: Performance Evaluations of Space-Based Stirling Engine - NALSEM 500, 8th International Stirling Engine Conference, 1997, 133-138.



(a) ばね定数の影響



(b) フィンの大きさの影響

図-3 運転試験結果