

セミフリーピストン形スターリングエンジンを用いた魚ロボットの開発

Development of a Fish Robot with a Semi Free Piston Type Stirling Engine

○ 正 平田 宏一（船舶技研） 小宮 一郎（東京電機大）
杉浦 忠（東京電機大） 正 山下 巖（東京電機大）

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

Ichiro KOMIYA, Tadashi SUGIURA and Iwao YAMASHITA, Tokyo Denki University, Tokyo

Key words: Stirling Engine, Fish Robot, Underwater Vehicle, Thermal Actuator

1. まえがき

著者らは、魚の泳法を模擬した海中ロボット（魚ロボット）の動力源として、セミフリーピストン形スターリングエンジンの採用を提案している。これまでに、魚ロボットへの適用性について検討し⁽¹⁾、実験用エンジンの実験結果とシミュレーションとの比較を行った⁽²⁾。本報では、新たに大気圧空気で作動するセミフリーピストン形スターリングエンジンを試作し、これを魚の推進方法を利用した模型ボートに搭載し、運転試験を行った結果について報告する。

2. 魚ロボット用エンジンの開発

魚の推進方法は様々であるが、本研究ではマグロやニジマスのように尾部を左右に振動させる方法を対象としている。著者らは、数種の実験用魚ロボットを設計・試作し、基本性能を測定してきた^{(3),(4)}。これらの実験用魚ロボット

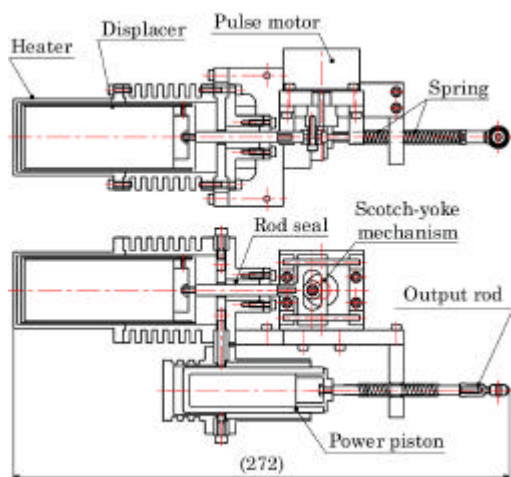
の動力源には、ラジコン模型用のサーボモータを用いており、最高 3 Hz 程度の周波数で尾部を振動させている。それらの実験により、魚ロボットの遊泳速度は尾部の周波数、振幅及び尾ひれの形状に大きく影響を受けることが確認できたが、尾部の駆動力を測定するには至っていない。

本来ならば、推進効率や駆動力等の特性を十分に把握した後、新たな動力源について検討し、設計を進めることが望ましい。しかし、セミフリーピストン形エンジンの出力特性や魚ロボット尾部の流体力に起因する尾部の駆動力は極めて複雑な現象であり、現状のシミュレーション計算で詳細に検討することは難しい。そこで、実験的にエンジンの特性や問題点を明らかとするため、模型レベルのエンジンを試作し、それを魚の推進方法を利用した模型ボートに搭載することとした。

3. エンジン並びに模型ボートの試作

セミフリーピストン形エンジンのパワーピストンは、往復部質量 m 、ばね定数 k 、減衰力（尾部の駆動力）及び作動ガスの圧力変化を考慮した振動系を構成するものと見なされる。セミフリーピストン形エンジンは共振状態で運転させることで、適切な作動空間を構成する。共振周波数は、往復部質量 m 、ばね定数 k 並びに減衰力に大きく影響を受けるため、エンジン設計において、それらを適切に設定することが重要である。しかし、現状のシミュレーションの計算精度は極めて低く、設計計算には適していない。そのため、試作時には概ねの仕様を設定し、試作後の運転実験によって、ばね定数 k や尾部の寸法を調整することとした。

図 1 に試作したエンジンの構造と外観、表 1 に主な仕様を示す。ヒータ並びにディスプレーサは従来の模型エンジンに用いられている簡易的な構造とし、再生器は取り付け



(a) Schematic view



(b) Photograph

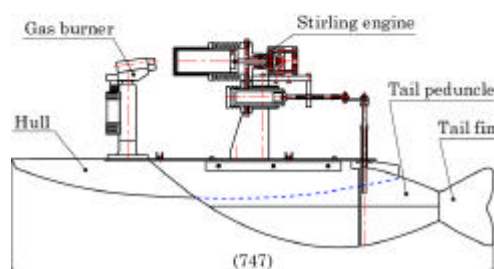
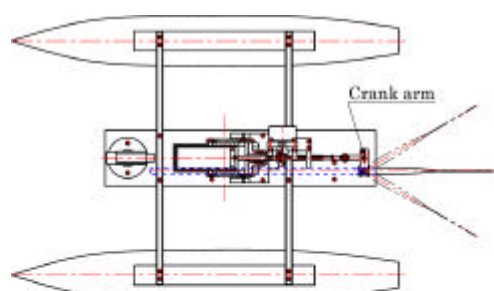
Fig. 1 Prototype engine

Table 1 Engine specifications

Engine type	Gamma
Target power	2 W / 5 Hz
Displacer	
Bore	36 mm
Stroke	10 mm
Mechanism	Scotch-yoke
Power piston	
Bore	27.5 mm
Maximum stroke (Design)	(~15 mm)
Mean pressure	0.1 MPa (Air)

られていない。ディスプレイサの駆動には、周波数の設定が容易なパルスモータを使用した。パルスモータはマイクロコンピュータで制御されるが、現状で書き込まれているプログラムは設定できる周波数範囲が狭く、必ずしも十分なものではない。ディスプレイサの駆動機構にはスコッチ・ヨーク機構を採用し、小型化を試みた。ディスプレイサのロッドシールには市販の滑り軸受(ASK 社)を使用した。パワーピストンには 50 ml の注射器を流用し、ロッドの一端には 2 本の機械ばね ($k \sim 360 \text{ N/m}$) を取り付け付けた。

図 2 に試作した模型ボートを示す。模型ボートは、船体の安定性や魚を模擬した推進装置(尾ひれ)の配置を考慮し、双胴船とした。エンジンを模型ボートのほぼ中央に配置し、その前方の小型ガスバーナによって、ヒータを直接加熱する。両船体の中央後部には、魚を模擬した推進装置を取り付けた。推進装置とパワーピストンのロッドとはクランク機構を介して結合され、クランクアーム長さを調整することで尾部の振幅を調整できる。尾柄の材質には硬質な木材を使用し、尾ひれには軟質なポリプロピレン板(厚さ 0.75 mm)を使用した。エンジンを含めた模型ボートの総重量は約 2 kg である。



(a) Schematic view



(b) Photograph

Fig. 2 Model boat with the prototype engine

4. 模型ボートの運転試験

模型ボートを試作した後、長さ 10 m、幅 3 m の水槽で運転試験を行った。実験において、ガスバーナの入熱量を一定とした。模型ボートの速度 V は、約 3 m の助走区間を運転させた後、1 m の距離を進むのに要した時間を測定することにより求めた。

図 3 に周波数 f に対する模型ボートの速度 V の実験結果を示す。これより、測定した周波数範囲において、周波数が速度に与える影響はかなり小さく、概ね $V=0.12 \text{ m/s}$ であることがわかる。また、目測であるが、周波数が高くなるに従って、ストロークが小さくなることが確認された。すなわち、周波数が高くなるに従って尾部の振幅が減少したため、推進力の大幅な増加が得られなかったものと考えられる。往復部質量 m 、ばね定数 k 並びに減衰力が適切に設定されていれば、明確な共振周波数が存在すると考えられる。本実験においては、共振周波数が測定した範囲よりも低いか、あるいは減衰力(尾部の寸法)が相対的に大きく、適切な共振状態が得られていないと考えられ、今後、尾部の寸法・振幅の適切な設定が必要不可欠である。

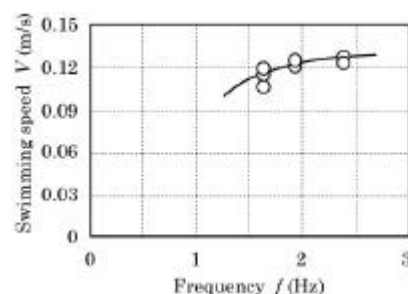


Fig. 3 Experimental result

5. あとがき

本報では、セミフリーピストン形スターリングエンジンを搭載した模型ボートを試作し、運転試験を行った。その結果、本エンジンは魚の推進方法を模擬した推進装置により推進力を発生し、非常に低速ではあるが力強く推進することを確認できた。しかし、エンジンが最適運転状態にあるとは言い難く、今後のさらなる改良・調整が必須である。

また、本エンジンを実用的な魚ロボットに適用するためには、熱源の選定やエンジンの小型化・高出力化など、解決すべき課題は多い。

文 献

- (1) 平田ほか, 魚ロボットに用いるセミフリーピストン形スターリングエンジン, 日本機械学会第 3 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集(1999), p.78-79.
- (2) 平田, 実験用セミフリーピストン形スターリングエンジンの性能特性, 日本船用機関学会第 64 回マリンエンジニアリング講演論文集(2000), p.105-108.
- (3) 平田, 小型魚ロボットの設計・試作, 日本設計工学会平成 11 年度春期研究発表講演会講演論文集, No.99 - 春季(1999), p.29-32.
- (4) 平田, 実験用魚ロボットの推進性能, 日本設計工学会平成 12 年度春期研究発表講演会講演論文集(2000), p.163-166.