

# 模型スターリングエンジンボートの製作とその教材化

## A Model Stirling Engine Boat for Teaching Material

正 平田 宏一（海技研）

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

Key words: Stirling Engine, Model Boat, Education

### 1. まえがき

工学分野における「もの作り教育」では、加工技術ばかりでなく、総合的な創造力を習得する必要がある。そのような観点から、模型スターリングエンジンやそれを載せた模型自動車<sup>(1)</sup>が、多くの工業高校や大学において教材として使われている。一方、著者らは、今までにいくつかの模型エンジンやそれを載せた模型ボートを製作してきた<sup>(2)</sup>。本報では、模型スターリングエンジンボートを製作するための要点と製作例について概説する。さらに、もの作り教育における教材としての適用性について検討する。

### 2. 模型ボート製作の要点

模型ボートは、エンジン、船体及び推進装置から構成されている。以下、主として模型ボートの高速化に着目し、各構成要素における製作の要点をまとめる。

2-1 エンジン 模型ボートに用いるスターリングエンジンは、模型自動車と同様、高出力であるばかりでなく、軽量でなければならない。高出力化の方法としては、機構部における機械損失の低減及びパワーピストンからのガス漏れの低減、膨張空間と圧縮空間との温度差の増大などがあげられる<sup>(3)</sup>。また、後述する船体の安定性を考えると、重心位置が低いほど扱いやすい。さらに、使用する熱源の選定も重要である。

2-2 船体 船体を設計・製作する際の要点は次の3つである。

(1) 浮力と重力のバランス：船体の浮力が模型ボート全体の重量を上回っていなければ、模型ボートは浮かばない。アルキメデスの定理によると、浮力の大きさは、船体が押し出した水の容積分の重さに等しくなる。

(2) 安定した船型：水に浮いている板材は、風や波を受けて、常に揺れている。図1(a), (b)に示すように、水に浮いている板材がわずかに傾いた場合、板材は元に戻ろうとする力（復原力）を受ける。すなわち、船体を安定して水に浮かべるためには、重心位置と船体形状とのマッチングが重要である。

(3) 水の抵抗が小さい船型：水の抵抗を小さくするためには、船体と水とが接する面積（浸水面積）を小さくする必要がある。同じ重量の船を浮かべる場合、図1(a), (b)のような四角い船型とするよりも、図1(c)のような丸い船型の方が水と接する面積を小さくできる。しかし、スターリン

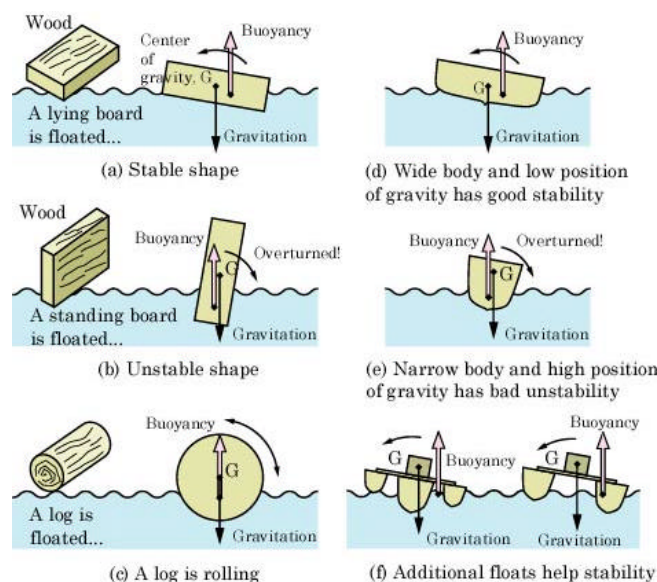


Fig. 1. Stability of a Boat

グエンジンの重量や形状を考えると、丸い形状で船体の安定性を保つのはかなり難しい。また、船が進むときに発生する水上の波を少なくすることでも、水の抵抗を小さくできる。すなわち、先端が尖った細長い船型にするとよい。

2-3 推進装置 実際の船舶で用いられている水中プロペラは、水を後方に押し出すのにとっても能率がよく、模型ボートの推進装置としても適している。水中プロペラの他にも、空中プロペラや外輪（水車）を用いることもできる。空中プロペラは、スターリングエンジンで動かすのが簡単であるが、水中プロペラと比べて推進力が小さくなる。

2-4 各構成要素のマッチング 模型ボートを高速化するためには、各構成要素単体の高性能化ばかりでなく、各要素のマッチングが重要である。エンジンの重量や形状が船体に適していること、エンジン出力と推進装置の寸法や仕様が適していること、船体と推進装置とのバランスがとれていることなどが重要である。

### 3. 模型スターリングエンジンボートの製作例

以上の検討を踏まえて試作した模型スターリングエンジンボート（図2）を紹介する。旋回性を高めるために、全長を短くし、エンジンの重量や形状を踏まえて、やや高さ方向に長い船型となっている。船体の後方にはラダー（舵）を取り付けている。

図3は、模型ボート用に設計・試作したシリンダ径15

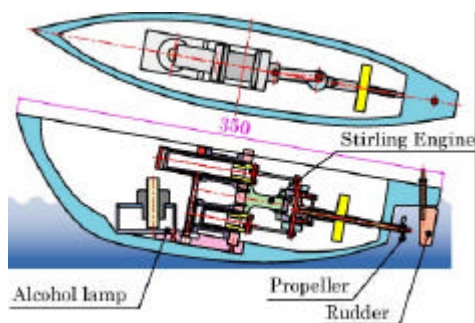


Fig. 2. A Model Stirling Engine Boat

mm, ストローク 6 mm の 形スターリングエンジンである。ピストン・シリンダには 10 ml のガラス製注射器を使用している。重心位置をできるだけ低くするため、エンジンを横置きとしている。そして、水中プロペラを動かすため、クランク軸にかさ歯車を取り付け、回転方向を変えている。熱源には、自作のアルコールランプを使用する。

船体はパルサ材を重ねて製作した。図 4 に製作方法の概略を示す。この製作方法の特徴は、水漏れを止めやすく、比較的簡単に作れることである。

水中プロペラは、厚さ 0.5 mm の鉄板を曲げて製作した。模型ボートが完成した後、水中プロペラのピッチ（ねじれ）を変化させ、模型ボートの速度が高まるように調整する必要がある。完成した模型ボートは、約 0.6 m/s の速度で軽快に走行することができた。

#### 4. 模型スターリングエンジンボートの教材化

もの作り教育は、主として力学を対象とした物理現象を正確に理解し、その現象の利用方法や問題点について、自らで考えることが重要であると考えられる。もの作り教育の教材に望まれる条件を以下にまとめる。

- (1) 学生の興味を惹き、好奇心を掻きたてる。
- (2) 比較的簡単に自作することができ、各自の加工技術に合致している。
- (3) 総合的な「もの」を考えることができ、システム的な設計・製作を体験できる。
- (4) 力学（物理現象）を実感でき、それを理解する手助けとなる。

スターリングエンジンを搭載した模型ボートは、模型自動車よりも機構部分が少なく、簡単に製作できる。一方、模型ボートが進むときの水の抵抗は、自動車が進むときの空気の抵抗よりもかなり大きいので、模型ボートの高速化はそれほど容易ではない。しかし、模型ボートはわずかな改良によって高性能化が可能であり、改良した後、速度を測定すれば、その効果がわかりやすい。また、模型スターリングエンジンボートにおいて、船体の浮力や安定性は、比較的簡単な力学を考えることで、その現象を容易に理解できる。以上より、模型ボートの設計・製作は、エンジン単体あるいは模型自動車と同様、もの作り教育の教材の一つとして利用できると考えられる。

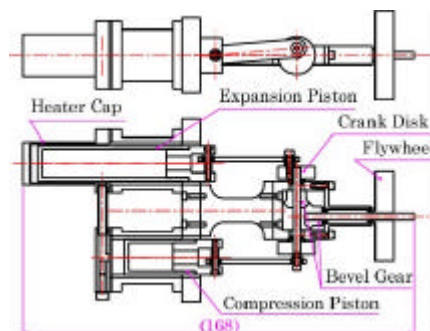


Fig. 3. A Model Stirling Engine



Fig. 4. A Flowchart of a Hull Building

#### 5. あとがき

模型スターリングエンジンは工業高校や大学において、広く普及しつつあり、エンジン単体を作ることの難しさはなくなりつつあるようである。その次の段階では、模型エンジンを「外部に有効な仕事をする熱機械」として利用することは必然的であると考えられる。本報では、その一例として模型ボートへの適用を提案した。

模型エンジンや模型ボートの設計・製作において、詳細な熱力学や流体力学を習得することは、必ずしも必要ではないと考えている。しかし、開発や改良の過程において、工学的な根拠を十分に考えることが重要であるのは言うまでもない。

#### 文 献

- (1) 松尾ほか, 第 3 回スターリングテクノロジー, 第 4 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集(2000), p.87-88.
- (2) 岩本ほか, 模型スターリングエンジン 第 2 版, 山海堂(2000), p.59-63.
- (3) 平田, 教材用エンジンの設計・試作(高温差差形), 日本機械学会エンジンシステム部門 講習会: 模型スターリングエンジンのつくり方と教育への利用(2000), p.21-30.