

## 燃料消費量のシミュレーション結果と実測結果の比較検討

◎浅田悠右(東京海洋大学) 西尾尚晃(東京海洋大学) 木船弘康(東京海洋大学)

### 1. はじめに

本研究の対象であるタグボートは大型船の出入港補助を主な作業としているため、船体に対して高出力の主機を搭載している。図 1 に主機負荷率の実測データを示す。主機出力 20%以下の低負荷運転の時間が多くを占めていることが分かる。一般的な内燃機関では低負荷運転時の熱効率が低いため、推進システムの効率も低くなる。この低負荷運転時の推進システムの効率を改善するために大容量電池を用いたハイブリッド方式のタグボートの開発が進められている<sup>(1)</sup>。しかし、大容量電池を利用するため建造費が高価になる傾向がある。そこで筆者らは、大容量電池を用いないハイブリッド方式のシステムを提案し、その有効性について検討を重ねてきた<sup>(2)</sup>。一般に船舶向け燃料消費シミュレーションは目的地までの航海で消費する燃料を推定することを目的として船体抵抗や変化する環境要因に対する運動特性を求めてリアルタイムに燃料消費を予測し、航路選定のための基礎データを提供する<sup>(3)</sup>。一方、本研究では推進システムそのものの評価・最適化に利用することを目的としている。そして、ハイブリッドと従来型の推進システムをさまざまな条件で比較できるような燃料消費シミュレーションを構築してきた。

本論文では、そのシミュレーションの評価をするために実測データと比較検証を行った。検証にあたり、実際のタグボートで機関関連データ(主機負荷率、主機回転数、プロペラ回転数、過給機回転数、燃料流量、船速)を実測した。次に、実測対象と同じ規模・機能を持つ推進システムを燃料消費モデルとして PC 内に構築した。その上で実測された負荷条件を燃料消費モデルに与えて燃料消費量の推定を行った。この推定値と実測値を得たので比較した結果を報告する。

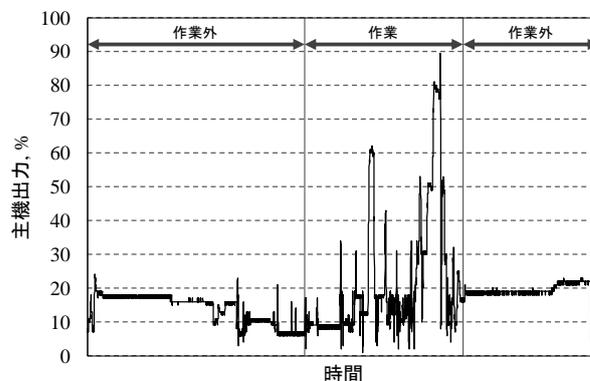


図 1 タグボートにおける主機出力の実測データ

### 2. 燃料消費シミュレーション

本シミュレーション内に構築する燃料消費モデルは、推進システムを構成する各機器の効率推定要素により構成されている。各要素には定格の異なる現存する機器の実データが複数登録されており、定格値を条件として与えると、その条件での効率プロフィールを合成・推定する。この効率プロフィールは機器の負荷率や回転数等の条件を入力すると、機器の効率値を出力する。燃料消費モデル内の機器の効率推定に用いる実データについては、主機であればタグボートを含む複数の船舶の完成図書を引用している。また、発電機であれば定速エンジンとオルタネータに分けて別々に推定・合算している。今回の比較検討では用いていないが、電動機や電力変換機を用いる場合は要求電力や回転数の情報から内部の電流、電圧の状態を推定し、変換効率値を出力する仕組みとしている。上記のような燃料消費モデルに入力する運航データは数ヶ月に渡り、実際のタグボートで機材を設置し実測を行った。また、燃料油性状表も加味している。

### 3. 燃料消費量の推定結果と運転状態の分類

本論文では、図 1 の一部のデータに対してシミュレーションを実施し、単位時間ごとの燃料消費量を推定した。シミュレーションを実施した時間帯の燃

料消費量の実測値とシミュレーションにより得た推定値を図2に示す。また、主機出力及び主機回転数(図3)の両方が同時に一定時間安定している運転状態を定常状態とし、この条件を満たさない運転状態を過渡状態とした時、図2のように運転状態を分けることができる。

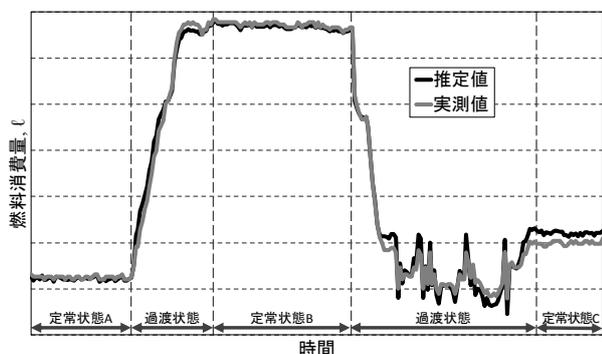


図2 燃料消費量の実測結果と推定結果

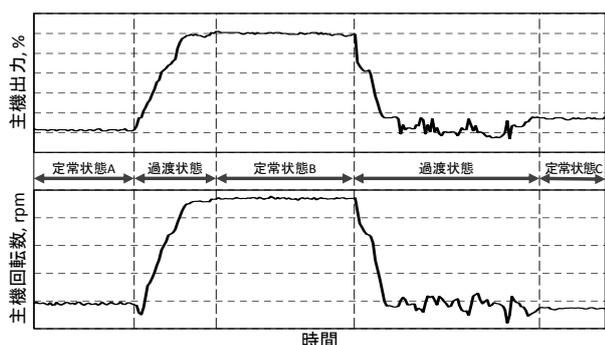


図3 主機負荷率および主機回転数の実測データ

#### 4. 考察

図2中の過渡状態において推定値と実測値の間に多少の開きが見られる。本シミュレーション作成時に引用した複数の完成図書には、推進システムを構成する各機器の運転が安定している定常状態の実測データが記録されている。このため定常状態あるいはそれに近い状態の熱効率はある程度の確度をもって推定できると期待される。その一方で、図2や図3のように過渡状態における主機の熱効率推定には不確かさが残る。この理由から、定常状態の熱効率推定と比較して、過渡状態の熱効率推定は精度が低い。よって、推定値と実測値の間に差が生じたものと考えられる。

図2中の定常状態A及び定常状態Bにおいて、燃

料消費量の推定値と実測値はおおよそ重なっている。それに対して、図2中の定常状態Cは燃料消費量の推定値と実測値の間に開きが見られる。

一般的な主機エンジンにおいて出力が上昇したとき、回転数及びトルクが上昇する。本シミュレーションにおいて、主機関の熱効率はその出力の関数として定義し、推定している。図3から明らかなように、定常状態Cは定常状態Aに比べて、わずかに主機出力が高い。この時、先述した関係に基づく、定常状態Cにおける主機回転数は定常状態Aよりも高い回転数と仮定して熱効率を推定している。しかし、図3において、定常状態Cの主機回転数は定常状態Aの主機回転数とほぼ等しい値を示している。仮定した回転数と実測の回転数との間に差が生じたため、実際の熱効率を推定することができなかったと考えられる。これらの理由から、燃料消費量の推定値と実測値との間に差が生じた。

定常状態Cのような事例に対し、熱効率推定を行うためには、現在の熱効率推定では不十分である可能性が示された。この理由として、主機回転数考慮していないためである。熱効率推定の精度を上げるためには、主機出力に加え、主機回転数を独立したパラメータとして考慮しうる熱効率の推定方法を検討しなければならない。

#### 参考文献

- (1) 白石浩一、南俊一、小倉宏明「環境配慮型曳船(ハイブリッドタグボートシステム)の開発」日本マリンエンジニアリング学会誌、第49巻、第5号、pp. 17-22(2014)
- (2) 西尾尚晃、木船弘康「タグボートにおけるハイブリッド推進システムの燃料節減効果に関する研究」第85回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、pp. 179-182(2015)
- (3) 高橋淑子、庄司り、松浦邦明、加納敏幸「内航船向け最適運航計画支援システムの開発について」日本航海学会論文集、第132巻、pp. 121-127(2015)