

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04579

研究課題名(和文) 船舶推進システムの燃料消費シミュレーションの開発、オープンソース化および実証評価

研究課題名(英文) Developing of simulation for analyzing fuel consumption on the propulsion system for vessels, making source codes open, and evaluating with real ship data

研究代表者

木船 弘康 (Kifune, Hiroyasu)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：90323849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：船舶動力システムの燃料消費特性を推定するための簡易型シミュレーションを開発した。基本設計の前段階において動力プラントの特性を大まかに把握することを目的としている。動力プラントを構成する各機器の効率は定格出力や定格回転数など一部の特徴量を与えるだけで推定する仕組みとした。この推定方法には研究代表者らが収集した機器の効率データにより構成されるデータベースに基づいている。実際の船舶でシミュレーションの妥当性評価を実施予定であったが、当該船舶に搭載されている計測器の問題から本研究期間内に評価を終えることが出来なかった。計測器が修繕された後に、改めて妥当性評価を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、動力プラントのシミュレーションが海外メーカー主導で準備が進められており、一部では精緻な計算が可能となっている。一方、当然ながら他社製品に対しては排他的である。また機器定格が大型のモノに偏っているため、内航海運に適した計算が困難である。本開発プログラムはユーザーである船主が姉妹船等のデータも活用できるよう、工夫されており、シミュレーションの実施までのステップ数も多くない。このため、基本設計を造船所に依頼する前段階の作業として、電気推進やハイブリッドなど、従前とは異なる動力システムのイメージを試行する際に有効と考えられる。

研究成果の概要(英文)：A simple simulation was developed for analyzing fuel consumption characteristics on the propulsion power system for vessels. It is supposed to be used as a quick checker for preparation before conducting a basic design regardless of manufacture's data sheets. Efficiency of each device which consist of the propulsion system is estimated by giving some feature amounts like the rated power and speed. This method is based on an efficiency data base which our research group have collected. The developed simulation would be evaluated by implementing experiments with real vessel. However, all validations were not carried out because the measuring equipments have serious error on the observed data. The equipments will be fixed and tuned within this year due to a guarantee dock. Therefore, the evaluation will be conducted after the dock.

研究分野：船舶工学、パワーエレクトロニクス

キーワード：船舶動力システム

1. 研究開始当初の背景

これまで船舶設計の主流は船体の流体力学的改善に主眼が置かれており、模型を用いた水槽実験による評価手法が古くから確立している。そして近年では流体力学的特性の事前把握もコンピュータシミュレーションにより可能となっている。一方、船舶の推進システム(動力源となるエンジンあるいは発電機からプロペラに至るまでの各種機器で構成されたシステム)を事前検討するためのツールは船用機器メーカー主導のものが海外でいくつか見られる。これらの中には高度な制御設計ツールまで含まれている場合もあり、今後も進化・改善していくと考えられる。こうしたツールは無料である一方、基本的に商業ベースであるため、取り込まれている機器のデータが特定の海外メーカーに偏っている。このため、日本の船主が既に保有する自社データを反映したり、シミュレーション向けに準備されている機器以外のモデルを導入して計算を実施することが出来ない。メーカーや型番を特定せずに広く事前検討したい条件では、そうしたツールは利用しにくかった。

2. 研究の目的

本研究では、そうした事前検討に使用することを前提とした船舶動力システムの燃料消費シミュレーションの開発を目指した。シミュレーションに付属する機器データはすべて国産機器メーカーのデータから抽出し、一般的に船主あるいは船舶運航に係る技術者であれば保有していると考えられるデータを活用・反映できるような拡張性も与えることとした。基本的にオープンソース化することを前提とし、そのソースコードの記載方法も単純化することで、誰もが短時間でシミュレーションの実行に移行できることを意図した。ただし、単純にプログラムソースコードをオープンにするのではなく、簡単な GUI と操作性を与えることも考慮した。また、シミュレーションの妥当性と適用可能範囲を確認するため、計算結果と実測結果の比較検討を行うことまでを実施目標とした。

3. 研究の方法

シミュレーションで燃料消費量を算出するためのアルゴリズムは比較的単純である。例えば、動力システムを構成する機器、動力源 A、動力伝達機器 B、エネルギー変換装置 C、エネルギー伝達装置 D、負荷装置 E を装置する。それぞれの効率を $\eta_A \sim \eta_E$ 、E で消費する出力を P_E 、A で消費する熱量(燃料)を Q_A とすると、次式が得られる。

$$Q_A = P_E / (\eta_A \eta_B \eta_C \eta_D) \quad [\text{kJ/sec}]$$

ここで重要なのが各機器効率 η である。基本的にすべての動力発生機器ならびに動力伝達機器は運転状態(負荷条件)によって効率が変化する。これらの変化プロフィールには機器特有のパターンが存在する。加えて機器の定格出力の大きさによっても特性が異なる。これらの効率を定数として扱うシミュレーションも見られるが、本研究では、設定条件に応じて機器効率を独自に推定する手法を開発し、これを組み込むことで、動力システム全体としての効率ならびに燃料消費量を推定する仕組みを開発した。なお、プロペラと船体のモデル化は本研究の対象外としたため、入熱量(燃料)と軸出力までの関係を計算することを主眼とした。また、加速時や減速時など、システム全体が過渡状態にある条件の計算も本科学研究の対象外としている。

4. 研究成果

1) シミュレーション・プラットフォーム

シミュレーションの GUI 開発は研究要素を持たない。そこで、本研究では試用版が無償ダウンロードできること、新規機能の追加が容易であること、の理由から PSIM をプラットフォームとして利用した。本研究が目指す燃料消費シミュレーションでは、要求されるプロペラ軸動力(出力)を発生するのに必要な燃料消費量(入力)がエネルギー伝達経路やその制御によってどのように変化するかを推算することが目的である。そこで、シミュレーション上では負荷を計算の上流側に置き、動力源を下流側に置くスタイルとした。このため、実際のエネルギー伝達方向(動力源から負荷へ)とは逆転する形でシミュレーション設計をすることとなる。

2) 各動力機器の効率推定

軸出力からディーゼルエンジンまで全て C ブロックで記述し、これらを PSIM 上で接続することで計算させる。各機器の C ブロックでは要求出力に対して効率値を推定し、入力エネルギーを PSIM に返す。なお、機器効率の推定を行うにあたり、研究代表者らは独自に各種動力・電力機器の効率データを収集した。これらの情報に基づきデータベースを作成し、定格出力や定格回転数など、いくつかの機器の代表的な特徴量を与えることで効率プロフィールを算出する仕組みをシミュレーションとは別途構築した。この効率プロフィールのパラメータをシミュレーションに入力することで、負荷率に応じた機器効率が特定される。図 1 は 8 極 250kW の誘導電動機に船用三乗特性の負荷を与えた場合の効率(電力→動力)を推定した結果と、実際の完成図書に記

載のあったデータとを引用し、比較した例である。特徴量として定格出力(250kW)を与えると一定程度の精度で効率を推定することが出来る(水色破線)。さらに、特徴量として8極という情報を与えることで、推定精度は完成図書に示された実データに漸近することが確認できる。効率推定の対象とした機器は、可変速4サイクルディーゼルエンジン、一定速4サイクルディーゼルエンジン、同期発電機、誘導電動機、電力変換器(AC/DC, DC/AC)である。多くの場合、1つ以上の特徴量を与える方が実データに近い効率プロフィールを推定できる。

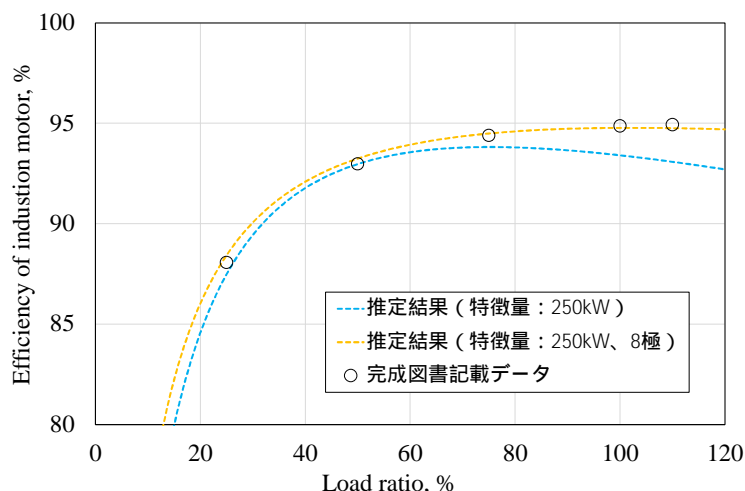


図1 効率推定結果一例(誘導電動機)

3) 動力結合/分配Cブロック

遊星歯車のように複数の動力を合成する、逆に1つの動力を複数に分配する、といったギアが推進動力系統内で使用されることがある。本来こうしたギアは動力分担の割合を制御する機能を持たない。しかし、本シミュレーションはエネルギー変換、伝達経路、それらの制御によって燃料消費への影響を把握するために用いるため、意図的に動力分担をする機能を持たせた方が、実行上都合がよい。そこで、動力合成をするギアには、便宜的に回転動力の分担割合を能動的に設定できるようにした。

4) 交流母線Cブロック

基本的に交流主母線に複数台の発電機群が接続される場合、個々のガバナー調整により、均等に負荷分担する。このため主母線では負荷側から要求される電力の総和を運転台数で除した電力を電源側に要求するだけで良く、本来的に機能はシンプルである。しかし、必ずしも同一定格出力の発電機が並列運転されるわけではないため、個々に要求する電力が異なる場合がある。また、主機廃熱回収システムや太陽光発電装置のような補助電源が接続される可能性や、一時的に電源あるいは負荷として振る舞うことが可能な蓄電池システム等、多様な電源が接続される可能性もある。このため、交流主母線に接続される個々の電源と直接通信し、最適な電力分担を決定する上位コントローラを想定したCブロックを開発した。

5) 開発シミュレーションの検証

本シミュレーションを基本設計前の事前検討に使用するためにあたって、計算結果にどの程度妥当性が得られるかを確認した。計算対象は総トン数775トンの「汐路丸」(令和3年10月竣工)の動力プラントである。その時に実測された電力変換器および推進電動機の効率と推定結果をサンプルとして図2に示す。数%程度の誤差が確認できる。この理由として、本報告書を提出する時点(令和4年6月末)では、「汐路丸」の減速機前後に設置されている軸馬力計の誤差率が非常に大きく、研究用データとして供するには不十分であることが原因と判明した。本プログラムは最終的な軸出力が正確に計測できなければ評価できないことから、令和4年10月に予定されている保証ドックでの修繕および調整を待つこととした。なお、本プログラムはwebでの公表を予定していたが、十分な検証を事前に済ませる必要があるため、本報告書作成時点での公表は控え、公表は令和4年度末頃の公表を目指し、準備する。

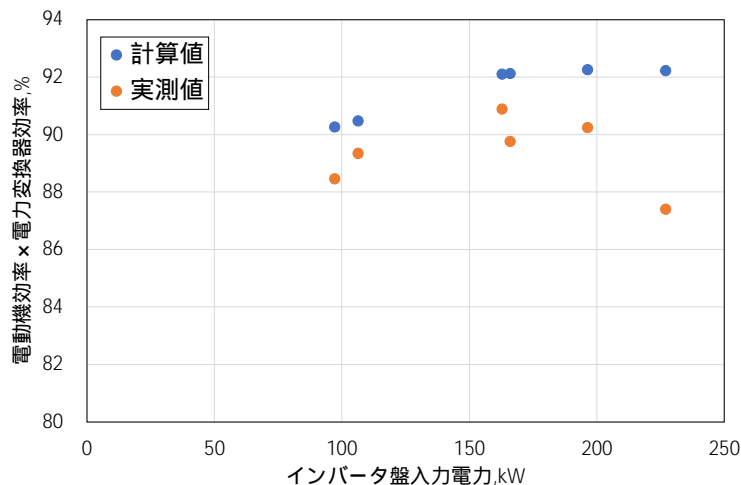


図2 インバータ・モータセットの効率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroyasu Kifune; Mehdi Karbalaye Zadhe; Hidetsugu Sasaki	4. 巻 Volume 8
2. 論文標題 Efficiency Estimation of Synchronous Generators for Marine Applications and Verification With Shop Trial Data and Real Ship Operation Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 195541 - 195550
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2020.3033404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yu Asada, Hiroyasu Kifune
2. 発表標題 Development of Design Support Tool for Ship Propulsion System
3. 学会等名 第88回マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	林 敏史 (Hayashi Toshifumi) (70228584)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	
研究分担者	北野 庸介 (Kitano Yosuke) (70334555)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	
研究分担者	鹿島 英之 (Kashima Hideyuki) (70554939)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	米田 昇平 (Komeda Shohei) (50815678)	東京海洋大学・学術研究院・助教 (12614)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ノルウェー	ノルウェー科学技術大学			