

CFD 解析を用いた小型高速滑走艇における 船外機の燃費と動力性能予測の研究

Fuel Consumption and Performance Prediction in Outboard Motors
for High-speed Planing Boats using CFD Simulation

栗岡 俊介*
Shunsuke KURIOKA

要 旨

本研究は小型高速滑走艇における船外機の航行時燃費と動力性能を誤差 $\pm 5\%$ 以内で数値的に予測可能なシミュレータの構築を目的とする。これまでの船外機開発の経験からプロペラの推進性能が航行時燃費と動力性能に大きく影響することに着目し、Computational Fluid Dynamics (CFD) 解析により予測されたプロペラ性能を実験的に取得したエンジン性能および燃料消費率マップと組み合わせデータベース化をおこなった。本研究で構築したシミュレータを用いて、船外機の動力性能を予測し実船の航行試験結果と比較した結果、最高船速の予測精度は $\pm 2.79\%$ (± 1.7 km/h) であり試験結果と良い一致を示した。また巡航速度による航行時燃費は試験結果に対し $\pm 4.55\%$ で予測できることを確認し、本研究の目標である予測誤差 $\pm 5\%$ を達成した。これらのことから本研究で構築したシミュレータは、これまで開発初期段階で実験的、経験的に選定してきたプロペラ選択および駆動減速比の設計において航行時燃費・動力性能に優れた仕様を、航行試験をおこなうことなく予測できることを示した。またそれと同時に航行時燃費・動力性能を両立し環境性能により優れた船外機の開発に有効活用できる可能性があることを示した。

ABSTRACT

The research discussed in this paper set out to develop a simulator able to quantitatively predict the cruising fuel consumption and cruising performance of an outboard motor used for a small, high-speed planing boat; the target accuracy for prediction was within a range of $\pm 5\%$. The research focused on the fact that the thrust performance of a propeller has a significant impact on cruising fuel consumption and cruising performance. In order to evaluate the accuracy of the fuel consumption and performance simulator, simulation results were compared with the results of a full-scale cruising test. This comparison suggested that the simulator was able to satisfactorily predict the cruising fuel consumption and cruising performance of outboard motors. In particular, prediction results agreed with full-scale measurement results to within a range of $\pm 2.79\%$ (± 1.7 km/h) for maximum speeds and $\pm 4.55\%$ for cruising fuel consumption. These results indicate that the simulator is able to quantitatively predict the cruising fuel consumption and the cruising performance of an outboard motor. More importantly, the results demonstrate that the simulator can be used to identify optimal propeller specifications and gear reduction ratios, which have traditionally been based on experience. It was therefore concluded that the simulator possesses considerable potential as an effective tool able to be used in the development of environmentally friendlier outboard motors with outstanding cruising fuel economy and cruising performance.

1. まえがき

世界で初めて開発された実用的な船外機は 1900 年代にアメリカで誕生した。以来 100 年余、船外機エンジンは小型船の小型・軽量・高出力な動力として世界中のボートユーザに喜びと役立ちを提供している。船外機は歴史的にみて

* 汎用 R&D センター

大多数のエンジンが軽量でシンプルな構造の 2 ストロークエンジンを採用してきた。しかしながら、内燃機関全般において地球的規模で環境性能の向上が要求されており、これは船外機エンジンも例外ではない。厳しい排出ガス規制と環境基準を満たすため近年 4 ストロークエンジンを採用する船外機が増えてきており、船外機エンジン製造者は環

境性能と動力性能の両立に対する技術的チャレンジを継続してきた⁽¹⁾⁻⁽³⁾。近年の船外機の大排気量化、大馬力化による開発規模の拡大に対し、船外機の開発コスト低減・開発効率の向上は船外機エンジン製造者にとって最も重要な課題のうちの一つである。その開発コストの低減、開発効率の向上のための答えの一つがシミュレーションを用いた各種性能予測である⁽⁴⁾⁻⁽¹⁰⁾。

これまでの船外機開発の経験により同じ船外機エンジンであってもプロペラ仕様や駆動減速比の違いが動力性能だけでなく航行時燃費にも大きく影響することがわかってきた。我々は、このプロペラの推進性能が航行時燃費に大きく影響することに着目し、駆動減速比を含めたプロペラ推進性能を CFD 解析によって精度良く求め、実験的に取得したエンジン性能および燃料消費率マップと組み合わせデータベース化すれば、これまで実験的、経験的に取得してきた航行時燃費を開発初期段階で数値的に予測できるのではないかと考えた。

本研究では、小型高速滑走艇に搭載した船外機の航行時燃費・動力性能を誤差±5%以内で数値的に予測可能なシミュレータの構築を目的とする。

2. 燃費・動力性能予測シミュレータの概要

2.1. シミュレータのデータベース構成

本研究で提案する小型高速滑走艇に搭載した船外機の燃費・動力性能予測シミュレータは、エンジン出力・燃料消費マップ・船体抵抗・プロペラ性能の四つのデータベースから構成される (Fig. 1)。エンジン出力データベースには実験的に収集したエンジンのパワーカーブが保存される。燃料消費マップは同じく実験的に収集される。船体抵抗は実験的に収集されたデータから経験的に構築した一次元シミュレータにより数種類の船体がデータベース化され保存される。プロペラ性能は CFD 解析により予測・データベース化される。

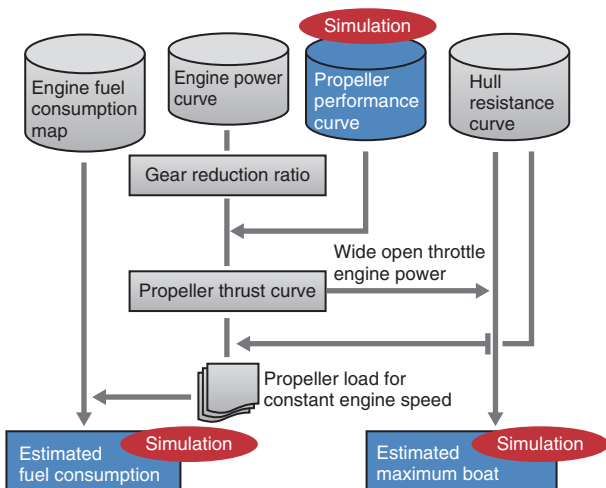


Fig. 1 Database components of simulator

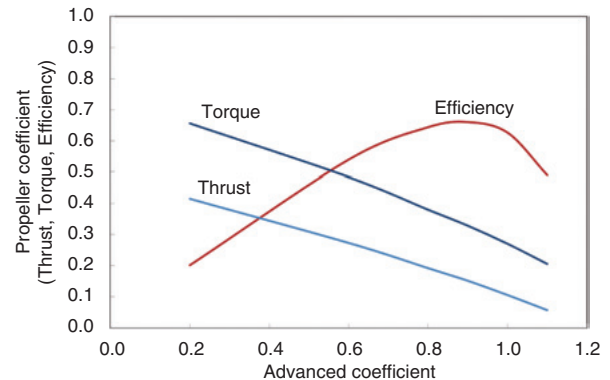
プロペラ性能の CFD 解析結果は曳航水槽による模型試験結果と比較し精度保証をおこなった。詳細は後に議論する。

2.2. 航行時燃費・動力性能予測手法

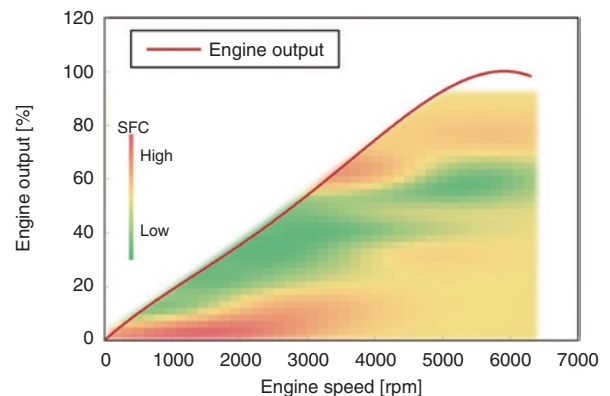
本研究で提案する小型高速滑走艇に搭載した船外機の燃費・動力性能シミュレータの予測手法を論じる。本手法は次の三つのステップで構成される。

2.2.1. プロペラ性能の予測

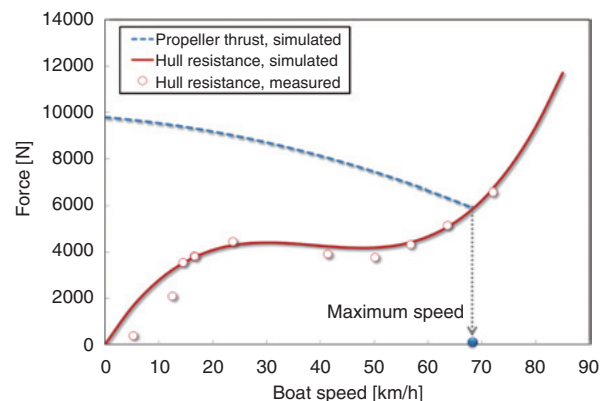
プロペラ性能線図 [Fig. 2 (a)] とエンジンからプロペラ



(a) Propeller performance curves (Nondimensionalized)



(b) Engine power curve and fuel consumption map



(c) Hull resistance and propeller thrust curves

Fig. 2 Sample diagrams of database used in simulator

軸への損失馬力およびプロペラ軸の駆動減速比を考慮したエンジン出力線図 [Fig. 2(b)] を組み合わせる。滑走艇用プロペラは一般的に 60-80% のレンジのプロペラ効率で入力トルクを推進力に変換する。このことから入力したエンジン出力に対応したプロペラ推力線図が推定できる。

2.2.2. 最高航行船速の予測

推定したプロペラ推力線図と船体抵抗線図を組み合わせる。エンジン出力線図と組み合わせられたプロペラ推力線図はエンジン回転数に対する推力線図である。この線図を船体抵抗線図と組み合わせるため、航行速度に対する推力線図に変換する。船体抵抗力とプロペラ推力が釣り合う速度が最終的な滑走艇の最高速度となる [Fig. 2(c)]。

2.2.3. 航行時燃費の予測

2.2.1. 項で算出したプロペラ推力線図はエンジン全開時の出力を使用している。航行時燃費は一定のエンジン回転、いわゆるパーシャルスロットル状態での評価をおこなうため、各エンジン回転におけるプロペラ推力線図を作成する。このプロペラ推力はプロペラ性能線図に示される効率を用いることでプロペラが吸収するエンジン馬力に変換される。各エンジン回転数のときの吸収馬力を燃料消費マップ [Fig. 2(b)] から読み取ることによって航行時の燃費が推定される。

本シミュレータの構成上、予測精度は CFD によるプロペラ性能の予測精度を超えることは困難であると推察される。これまで開発初期段階で用いてきたプロペラの CFD 予測精度が $\pm 5\%$ 程度である事実をもとに、本シミュレータの目標予測精度を $\pm 5\%$ と決定した。

3. プロペラ性能の数値計算手法

3.1. CFD ソルバ

本研究では商用 CFD 解析ソフトウェアを使用してプロペラ性能を予測した。解析ソルバは非構造格子を取り扱う有限体積法ベースの CFD ソルバであり、プロペラ性能予測の CFD 解析実績が多く報告されている⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾。

流体方程式は一般的な非圧縮性の Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) 方程式である。本研究では Multi Rotating Frame (MRF) 法により座標系を回転させ定常解析をおこなう手法を採用した⁽¹¹⁾。離散化手法は、圧力方程式の解法に Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation (SIMPLE) 法を、運動量に関しては精度の高い Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics (QUICK) スキームを、その他の空間離散化精度は 2 次中心差分スキームを採用した。

3.2. 乱流モデル

CFD 解析に用いた乱流モデルについて論じる。本研究で使用した商用 CFD 解析ソフトウェアは数種類の乱

流モデルを有している。乱流モデルは解析対象の流れ場によって慎重に選定されなければならない。本研究ではプロペラ性能のデータベース化のために、数百ケースの CFD 解析をおこなうことを想定し、ロバストな性能を有する $k-\omega$ SST モデルを採用した。この乱流モデルはプロペラ性能予測の CFD 解析研究において、すでに多くの研究者によりその優位性が報告されている⁽⁶⁾。

3.3. 計算領域

CFD 解析に設定した解析領域について論じる。本研究では計算領域および計算メッシュの大きさはプロペラ直径 D により無次元化した⁽⁶⁾。これは直径の異なるプロペラ性能の予測結果に関しても精度保証が容易となり、また過去の研究結果との比較ができるという利点がある。解析領域は Fig. 3 に示す円筒領域である。プロペラを起点に上流側に $1.5D$ 、下流側に $3D$ 、半径方向に $2D$ の距離を確保した。プロペラ前後のシャフト形状は曳航水槽による模型試験と同じものを採用している。模型試験に関する詳細は後に説明する。

3.4. 計算メッシュ

CFD 解析の計算メッシュについて論じる。計算メッシュ生成は商用格子生成ソフトウェアを使用した。メッシュタイプは一般部にテトラ要素、壁面近傍の境界層にプリズム要素と呼ばれる三角柱要素を採用し壁面近傍の解析精度を向上させた。プロペラ性能はプロペラ翼表面の圧力を積分した力から算出される推力・トルクにより算出される。したがってプロペラ翼表面の計算解像度が最も重要である。プロペラ翼表面のメッシュは $D/200$ 、境界層第 1 層目を $D/1000$ 、境界層の層数は 15 層とし、境界層のメッシュ成長率を 1.05 とした。計算領域の一般部の計算メッシュはプロペラ翼表面から 1.2 の成長率により徐々に大きくなり、計算領域の一番外側のメッシュは最大 $D/4$ になるように制限した。計算メッシュの一例を Fig. 4 に示す。これらのメッシュ設定パラメータをまとめたものを Table 1 に示す。

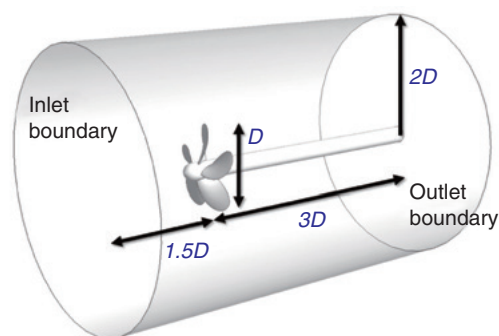


Fig. 3 Computational domain for propeller simulation

Table 1 Principal particulars of computational mesh for propeller simulations

Propeller diameter	D
Outside boundary surfaces	$D/4$
Propeller surfaces	$D/200$
1 st height of boundary layer	$D/1000$
Number of boundary layers	15
Growth rate of boundary layers	1.05
Growth rate of volume cells	1.20



Fig. 4 Propeller CAD model (left) and computational mesh (right)

3.5. 境界条件

CFD 解析に設定した境界条件について論じる。計算は定常解析でおこなわれ、座標系に一定の角速度を与える。プロペラ前方に速度の流入境界を与え、後方には圧力固定の流出境界を与える。計算領域の円筒側面にはフリースリップの壁面境界を与え、プロペラ翼面にはノンスリップの壁面境界を与える。プロペラ性能はプロペラに流入する水流の速度を変化させることで推力係数・トルク係数を算出し導出する。

4. 結果と考察

4.1. プロペラ単独性能

本研究で提案するシミュレータにおいて、プロペラ性能は船外機の航行時燃費や推進性能、駆動減速比の仕様選定を左右する重要な要素の一つである。このことから、プロペラ性能を CFD 解析により高精度に予測することはシミュレータの予測結果を高精度にすることにつながる。この項ではプロペラ性能予測における CFD 解析精度について議論する。

4.1.1. ベンチマーク計算 (排水量型船舶用プロペラ)

滑走艇用プロペラの性能予測をする前に、一般に公表されている排水量型船舶用 5 翼プロペラの実験結果を用いて本研究で使用する CFD ソルバのベンチマーク計算をおこなった。ベンチマーク計算に使用するプロペラは Seiumaru-I と呼ばれる排水量型船舶用 5 翼プロペラで、一般にコンベンショナル型プロペラと呼ばれている。過去に多くの研究者によりこのプロペラに対する模型実験、数

値実験のベンチマーク計算がおこなわれてきた⁽⁶⁾。このプロペラの CAD モデルと計算メッシュを Fig. 4 に示す。

本研究におけるプロペラ性能は船舶工学で一般に用いられる性能線図により評価する。性能線図は前進係数 J 、スラスト係数 K_T 、トルク係数 K_Q 、プロペラ効率 η により無次元化され、以下の式で表される。

$$J = \frac{V_A}{nD}$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^5}$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^4}$$

$$\eta = \frac{J \cdot K_T}{2\pi \cdot K_Q}$$

ここで、 n はプロペラ回転数、 D はプロペラ直径、 V_A はプロペラ流入速度、 ρ は流体密度を表す。Fig. 5 に公知文献⁽¹²⁾による模型試験結果と CFD 解析結果の比較を示す。

プロペラのスラスト係数およびトルク係数の CFD 解析結果を模型試験結果と比較した結果、設計点 (最高効率点の約 80%) から最高効率点の間における予測精度はスラスト係数が $\pm 2.8\%$ 、トルク係数が $\pm 2.0\%$ を達成することを確認した。

4.1.2. ベンチマーク計算 (滑走艇用プロペラ)

滑走艇用 3 翼プロペラの性能予測を CFD 解析によりおこなった。CFD 解析結果の予測精度を確認するため、その解析結果を曳航水槽による模型試験を用いた実験結果と比

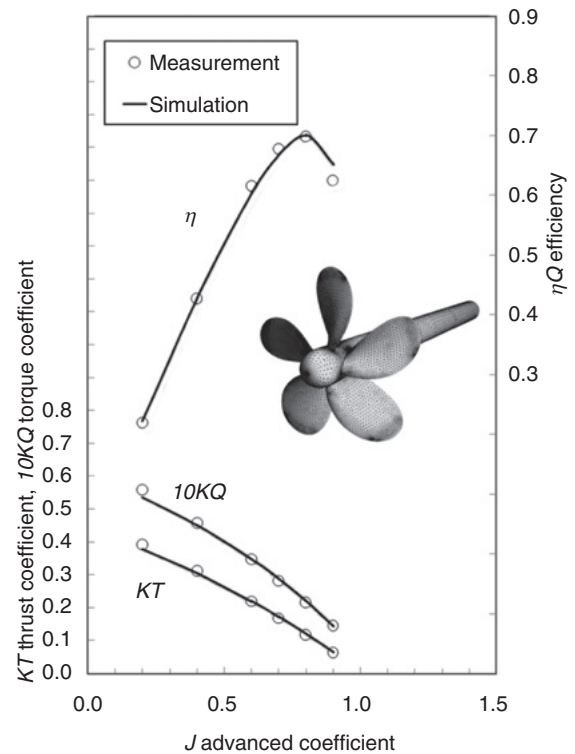


Fig. 5 Propeller performance curves compared with model test results

較した。本研究では曳航水槽による模型試験を東京都三鷹市にある財団法人日本造船技術センターにおいて実施した。試験に用いた模型プロペラおよび計算メッシュを Fig. 6 に示す。プロペラは 60% 縮尺のアルミ削り出し加工により製作された。滑走艇用 3 翼プロペラの性能も前項と同様の性能線図により評価する。Fig. 7 に曳航水槽による模型試験結果と CFD 解析結果の比較を示す。プロペラのスラスト係数およびトルク係数の CFD 解析結果を模型試験結果と比較した結果、設計点 (最高効率点の約 80%) から最高効率点の間における予測精度はスラスト係数が $\pm 4.55\%$ 、トルク係数が $\pm 4.58\%$ を達成することを確認した。本来、滑走艇用プロペラでは効率に数 % 影響すると予測されるキャビテーションの影響を考慮すべきであるが、キャビテーションを考慮した CFD 解析には安定性の課題がある。本研究では数百ケースの CFD 解析を実行するにあたり計算安定性を重視した結果、キャビテーションの影響は無視することとした。

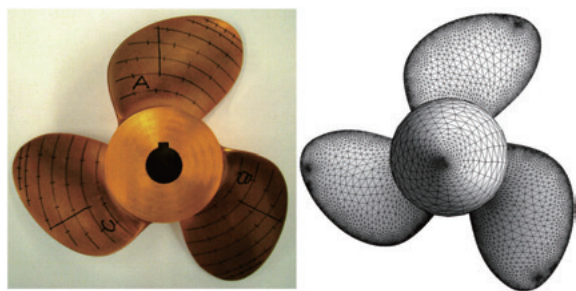


Fig. 6 Model propeller (left) and computational mesh (right)

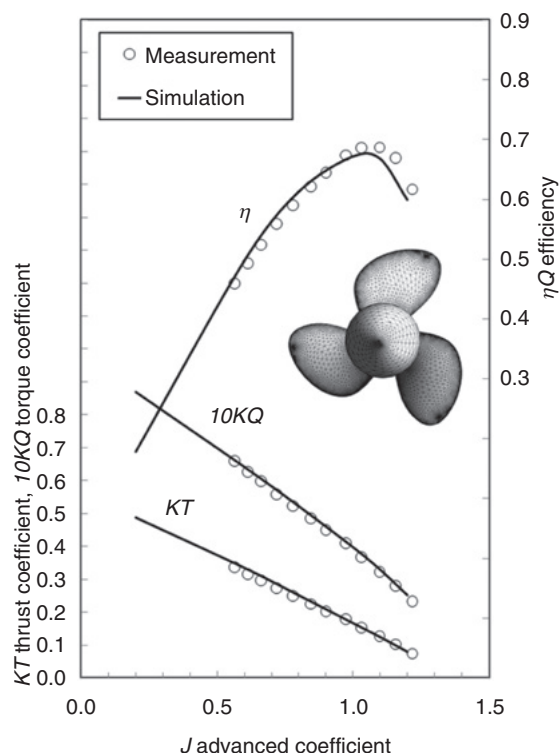


Fig. 7 Propeller performance curves compared with model test results

Table 2 Principal particulars of propellers used in evaluation of simulator

Propeller name	Photo	Diameter [inch]	Pitch [inch]	Gear reduction ratio
A-1		14.7	15.0	2.00
A-2			17.0	
A-3			19.0	
B		16.0	18.5	2.15
				2.33
				2.53
C		14.3	15.0	1.85
				2.15
				2.33

4.2. 動力性能予測

本研究で提案するシミュレータを用いて、高速滑走艇に搭載した大馬力クラスの船外機の動力性能をフルスケールサイズの航行試験結果と比較しシミュレータの予測精度を確認した。本シミュレータの動力性能の予測精度の確認に使用した滑走艇はオフショア艇と呼ばれる 3, 4 人乗りの一般的なプレジャーボートである (Fig. 8)。一般に滑走艇用プロペラは同じプロペラであっても数種類のプロペラピッチが設定されており、ユーザが最高船速重視や加速性能重視といった動力性能の特性を選択できるように販売されている。通常、船外機製造者または船外機販売店が推奨プロペラの記載されたプロペラマッチングチャートなどを利用してユーザにプロペラを提案するが、ユーザが使用する滑走艇によってプロペラ選択が異なることがある。このことから、本研究ではプロペラピッチが異なる滑走艇用プロペラおよび二つの異なる船体において動力性能の予測をおこない、予測精度を確認した。加えて、船外機駆動系の骨格である駆動減速比による動力性能への影響を確認するため、同一プロペラでの駆動減速比が異なる場合の予測も同時におこなった。Table 2 に使用した滑走艇用プロペラの仕様を示す。Fig. 8(a) の船体にはプロペラ A-1, A-2, A-3 を、Fig. 8(b) の船体にはプロペラ B, C を搭載した。

本研究で提案するシミュレータによる動力性能予測の結果、最高船速の予測精度が $\pm 2.79\%$ (± 1.7 km/h) であることを確認した。Fig. 9 に最高船速の予測結果と実船の試験結果の比較を示す。この結果は本シミュレータが船体やプロペラピッチの違いだけでなく、駆動系の骨格である駆動減速比の違いによる動力性能の予測も可能であることを示している。本シミュレータによる計算は、表計算ソフトウェアのスクリプトにより自動計算され、一つのプロペラ



(a) Boat A

(b) Boat B

Fig. 8 Small planing boats used in the simulator

仕様につき数秒でおこなわれる。また、本シミュレータは各種データを表計算ソフトウェアまたはテキストデータにより管理することが可能であり、データハンドリングが容易であるという利点を持つ。このことから、船外機開発の設計段階においても十分運用可能な機動性を有していることが確認された。

4.3. 航行時燃費予測

本研究で構築したシミュレータを用いて高速滑走艇に搭載した大馬力クラスの船外機の航行時燃費をフルスケールサイズの航行試験結果と比較し予測精度を確認した。本シミュレータの航行時燃費の予測精度の確認に使用した船体および船外機は前項と同様である。ただし、航行時燃費測定の実験条件と同一条件にするため、一定エンジン回転数による航行時の燃費を各回転数について評価した。前項と同様に、プロペラピッチが異なる滑走艇用プロペラおよび二つの船体の航行時燃費の予測をおこない、予測精度の確認をおこなった。加えて、船外機駆動系の骨格である駆動減速比による航行時燃費への影響を確認するため、同一プロペラで駆動減速比が異なる場合の予測も同時におこなった。使用した滑走艇用プロペラの仕様は Table 2 に示したものと同一である。

本シミュレータによる航行時燃費の予測結果は、実験結果と良好一致を示した。特に、滑走状態である 40 km/h 以上の航行時燃費を航行試験結果と比較した結果、予測精度は平均して $\pm 4.55\%$ であり、本研究の目標予測精度の $\pm 5\%$ を達成することを確認した。これは 4.1.2. 項のプロペラ性能のベンチマーク計算精度と同等である。Fig. 10 にプロペラ A の航行時燃費予測結果を実船試験結果と比較したグラフを示す。これはプロペラピッチの違いにより燃費の差異が生じるケースであるが、プロペラ A-3 の A-1 に対する燃費優位性を再現できている。Fig. 11, Fig. 12 にプロペラ B, C の航行時燃費予測結果を実船試験結果と比較した

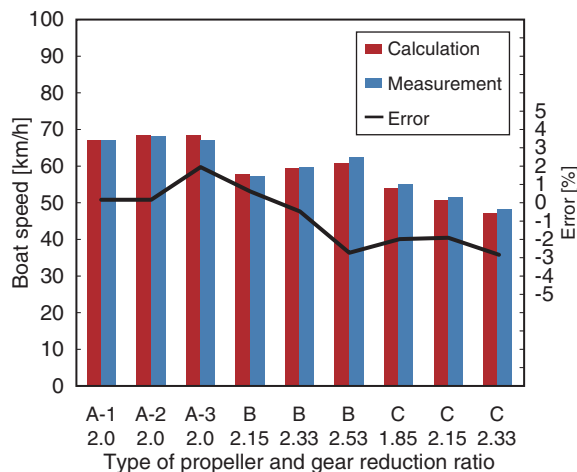


Fig. 9 Predicted maximum boat speeds and full-scale test results

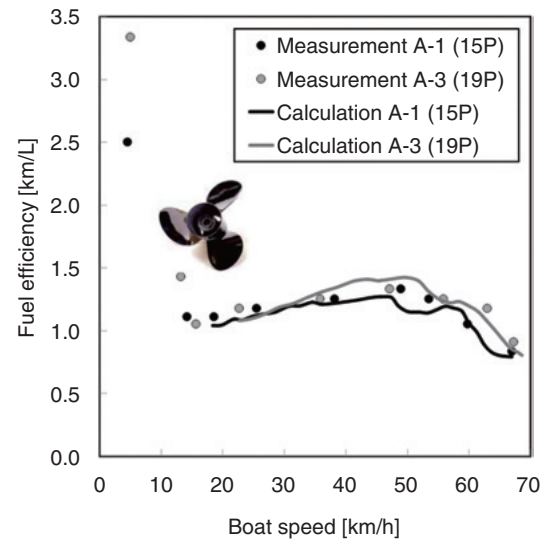


Fig. 10 Fuel consumption simulation compared with full-scale measurement results

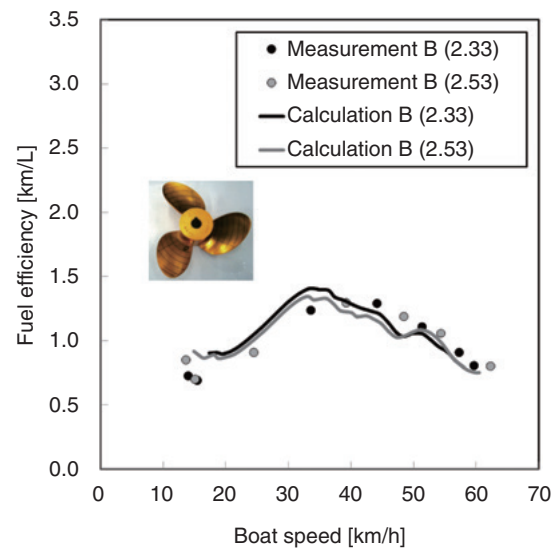


Fig. 11 Fuel consumption simulation compared with full-scale measurement results

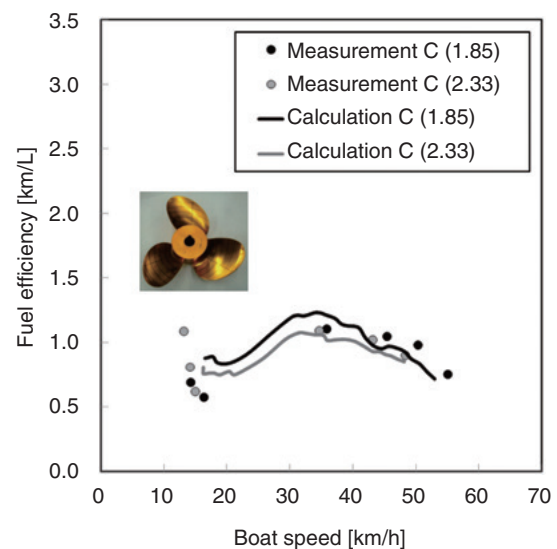


Fig. 12 Fuel consumption simulation compared with full-scale measurement results

グラフを示す。これは同一プロペラピッチで駆動減速比の違いにより燃費の差異が生じるケースであるが、それぞれの駆動減速比における燃費優位性を再現できている。

これらの結果は、プロペラ仕様の違いだけでなく、駆動系の骨格である駆動減速比の違いによる航行時燃費の予測も航行試験をおこなうことなくある一定範囲の精度で数値的に予測できることを示している。さらに、4.1.2.項で示したキャビテーションの影響を考慮せずに実用上十分な精度である $\pm 5\%$ (目標予測精度)を達成できたことは、船外機の開発初期段階、すなわち骨格設計段階において航行時燃費・動力性能を両立する環境性能に優れた船外機の開発に有効活用できる可能性があることを示している。また、本シミュレータを活用することで、船外機ユーザに対して最高船速や加速性能といった動力性能が優れたプロペラだけでなく、航行時の燃費性能が優れたプロペラを提案できることが期待できる。

5. まとめ

本研究は小型高速滑走艇における船外機の航行時燃費・動力性能を誤差 $\pm 5\%$ 以内で数値的に予測することを目的とし、予測シミュレータの構築をおこなった。これまでの船外機開発の経験から、プロペラの推進性能が航行時燃費に大きく影響することに着目し、CFD解析により予測したプロペラ性能を実験的に取得したエンジン性能および燃料消費率マップと組み合わせデータベース化をおこなった。

本研究で提案する燃費・動力性能予測シミュレータの予測精度を確認するため、予測結果をフルスケールサイズによる航行試験結果と比較した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 小型高速滑走艇用プロペラのスラスト係数およびトルク係数のCFD解析結果を曳航水槽による模型試験結果と比較した結果、プロペラ性能の予測精度はスラスト係数が $\pm 4.55\%$ 、トルク係数が $\pm 4.58\%$ を達成することを確認した。
- (2) 本研究で構築したシミュレータを用いて小型高速滑走艇に搭載した大馬力クラスの船外機の動力性能を予測し航行試験結果と比較した。その結果、最高船速の予測精度は $\pm 2.79\%$ (± 1.7 km/h)であり航行試験結果と非常に良い一致を示した。
- (3) 本研究で構築したシミュレータを用いて、小型高速滑走艇に搭載した大馬力クラスの船外機の航行時燃費を予測した結果、航行試験結果と良い一致を示した。特に滑走時の航行時燃費を航行試験結果と比較した結果、予測精度は平均で $\pm 4.55\%$ であることを確認した。

以上の結果から本シミュレータの予測精度は本研究の目

標である誤差 $\pm 5\%$ を達成した。このことから本研究で構築したシミュレータは、これまで開発初期段階で実験的、経験的に選定してきたプロペラ選択および駆動減速比の設計において航行時燃費・動力性能に優れた仕様を、航行試験をおこなうことなく予測できることを示すとともに、航行時燃費・動力性能を両立し環境性能に優れた船外機の開発に有効活用できる可能性があることを示した。

参考文献

- (1) Yoshimura, H., Miyauchi, T., Tsubouchi, M.: Reduction of Fuel Consumption for Medium-sized Outboard Motors, SAE paper, 2007-32-0008(2007)
- (2) 米沢道, 松田佳之, 田和寛基, 設楽貞文, 豊後圭一郎, 鈴木幸夫: 高出力, 低燃費船外機 [BF150] の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.1, p.29-38
- (3) Tsunoda, M., Furuya, K.: Development of the application of the automotive engine technology to the V6 four stroke outboard motor, SAE paper, 2002-32-1809(2002)
- (4) <http://hawaii-marine.com/>
- (5) Troesch, A.: Dynamics and Hydrodynamics of High Speed Craft, PASI 2010 in Dynamics and Control of Manned and Unmanned Marine Vehicles, Colombia, June(2010)
- (6) Kawamura, T.: Numerical Simulation of Propulsion and Cavitation Performance of Marine Propellers, International Propulsion Symposium IPS'10, Japan, 4-2, April(2010)
- (7) Hashiguchi, K.: Numerical Simulation of Flow around a Highly Skewed Propeller, 19th CFD Symposium, Japan, C6-1, December(2005)
- (8) Hasuike, N., Yamasaki, S., Ando, J. Okazaki, A.: NUMERICAL STUDY ON CAVITATION EROSION RISK OF MARINE PROPELLERS OPERATING IN WAKE FLOW, International Propulsion Symposium IPS'10, Japan, 4-4, April(2010)
- (9) Hong, F., Zhang, Z., Krasilnikov, V., Tang, D.: CFD Simulation and Hydrodynamic Performance Analysis for Podded Propulsors in Oblique Flow, International Propulsion Symposium IPS'10, Japan, 4-3, April(2010)
- (10) Katayama, T., Kaneko, T., Hori, Y.: Development of Estimation Method of Running Performance for Planing Craft with Outboard Engine, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.5, p.195-203, June(2007)

- (11) ANSYS, Inc. Fluent 6.3 User Guide, Chapter 10:
Modeling Flows with Rotating Reference Frames
- (12) [http://www.nmri.go.jp/fluids/Staff/kudo/database/
SEIUN-pressure/readme.html](http://www.nmri.go.jp/fluids/Staff/kudo/database/SEIUN-pressure/readme.html)

■ 著 者 ■



栗岡 俊介