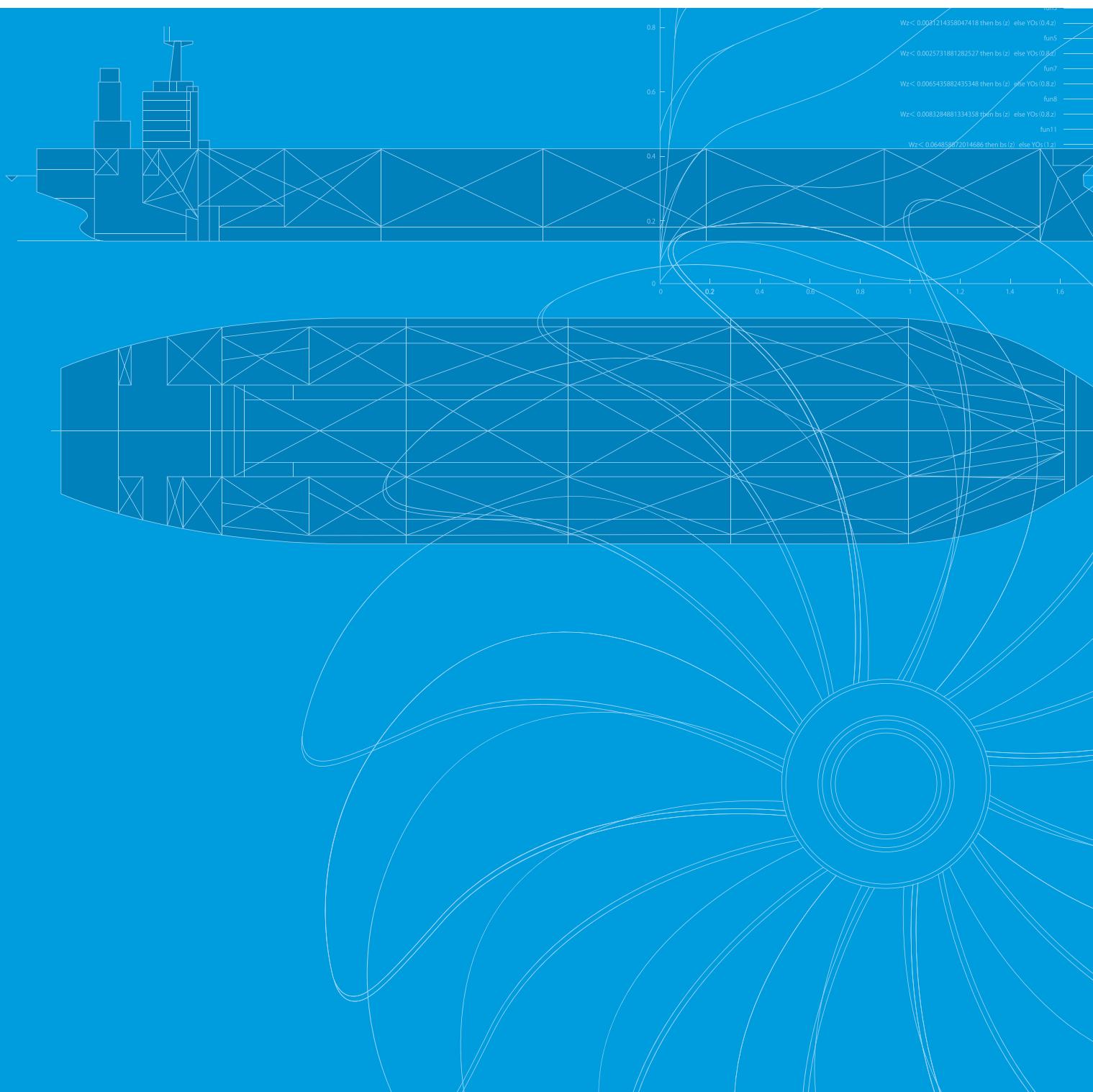


造船の最先端を見つめる技術情報誌

# SRC NEWS

Shipbuilding Research Centre of Japan

No.117  
DEC. 2025



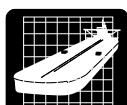
造船の最先端を見つめる技術情報誌

# SRC NEWS

Shipbuilding Research Centre of Japan

No.117  
DEC. 2025

## CONTENTS



- 実海域実船性能評価サービスの紹介（その1）  
実海域実船性能の考え方とライフサイクル主機燃費指標

3



- CFD社会実装共同研究

5



- スーパーコンピュータ「富岳」を用いた数値曳航水槽の実現  
(その2)

9



- 巡視船艇海外展開プロジェクトへの貢献

11



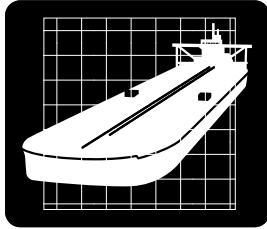
- シリーズ 船型設計ノート（その2）  
バルレバスバウについて

12



- 肥大船型の船首の流場と抵抗性能

14



# 実海域実船性能評価サービスの紹介（その1）

## 実海域実船性能の考え方と ライフサイクル主機燃費指標

### 1. はじめに

国際海運における地球温暖化ガス排出抑制は、2008年のIMO海洋環境保護委員会（MEPC）における温室効果ガス排出削減の枠組み採択以降、段階的に制度化が進められてきました。2011年には、新造船の設計段階における燃費性能を規定するEEDI（Energy Efficiency Design Index）、運航段階での効率改善を促すSEEMP（Ship Energy Efficiency Management Plan）が導入されました。2023年からは既存船を対象とするCII（Carbon Intensity Indicator）が導入され、さらに、2030年を目指して燃料のライフサイクル全体での温室効果ガス排出を管理するGFI（GHG Fuel Intensity）規制が導入される予定であり、代替燃料の使用を含む包括的な温室効果ガス削減が求められるようになります。

このように温室効果ガス排出規制は、設計段階の理論性能評価から、運航段階における実効性能評価、さらに燃料選択を含めたライフサイクル視点の評価へと拡大しつつあります。特にGFI規制により、高価な代替燃料の使用や化石燃料の継続利用にともなう課金が強制化されるため、2030年以降、燃料コストは確実に増加する見とおしです。

したがって、従来の平水中推進性能に基づく設計評価に加え、風・波・流れといった外的要因の影響を受ける実海域における実船性能を精度良く評価し、実海域実船性能を改善することが強く望まれています。

### 2. 実海域実船性能の考え方

実海域実船性能は、(1) 平水中推進性能、(2) 波と風の影響、潮流の影響、(3) 汚損経年影響、(4) 運航条件に分けて考えることができます。

#### (1) 平水中推進性能

平水中における船速と馬力の関係、いわゆるパワーカーブで表される性能です。

#### (2) 波と風の影響、潮流の影響

実際の海域では、水面上の船体には波と風による力が、水面下の船体には潮流の力が作用します。加えて、船をまっすぐ走

らせるために舵をとり、斜航する際に性能変化が生じます。

#### (3) 汚損経年影響

船舶は長い期間使用されるため、船体表面、プロペラ表面に生物等による汚損と塗装の劣化が、主機関にも経年劣化が生じます。

#### (4) 運航条件

船舶が実際にどのように運航されるかという条件で、航路・運航パターン（積載状態、船速）とクリーニングのための入渠間隔、期間を考慮します。

上記の要素をすべて考慮することで、実海域実船性能を評価できます。当センターでは、日本の海事クラスター共同研究「実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクト」<sup>[1]</sup>において開発された、実海域実船性能評価のためのアプリケーション群である、ライフサイクル主機燃費計算プログラム「OCTARVIA-web」、実船モニタリングデータ解析プログラム「SALVIA-OCT.-web」、船体形状・船体性能推定プログラム「EAGLE-OCT.-web」を使用して実海域実船性能を評価します。

### 3. ライフサイクル主機燃費

前述したとおり、実海域実船性能を評価するにあたっては、様々な要素を考慮する必要があります。各要素の詳細については、次号以降で説明することとして、本稿では実海域実船性能を評価する際に基本となる指標であり、最終的な結果として得られるライフサイクル主機燃費について説明します。

OCTARVIAプロジェクトで規定されたライフサイクル主機燃費指標（Index of the ship performance in actual seas）<sup>[2]</sup>は、運航を想定する航路における評価期間（標準は15年）を通じての1日あたりの平均燃料消費量（ton/day）、評価期間全体での燃料消費量の総量（ton）、運搬した貨物の総量（ton）、総航海距離（mile）を算出します。

ここで、OCTARVIA-webによるライフサイクル主機燃費を評価したときの出力例を同アプリのパンフレットから一部抜粋して紹介します。

図1は想定した航路(北太平洋)と航路毎に用意された長期統計データに基づく遭遇海象の頻度分布と平均風向です。なお、世界中の代表的な航路から他に5種類選べます。図2は遭遇海象ごとに推定されたパワーカーブです。OCTARVIAではECという海象階級が使用されており、EC0が平水中、EC1～5にかけて風浪が強くなり、所要馬力が増加します。図3はライフサイクル主機燃費指標のOCTARVIA-webのアプリ上での表示です。

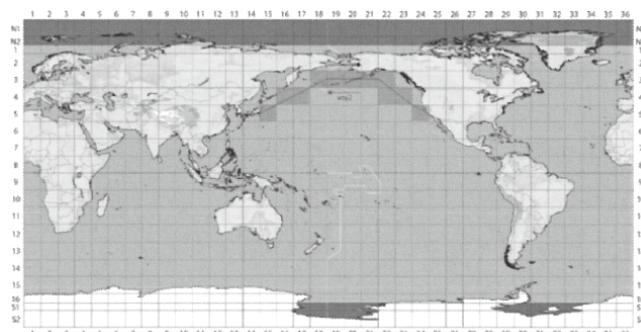


図1 想定航路と遭遇海象、平均風向(北太平洋)

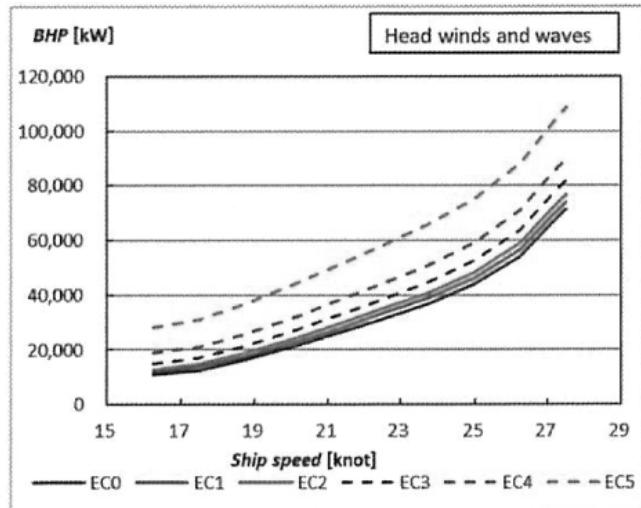


図2 遭遇海象ごとのパワーカーブ

#### INDEX of the ship performance in actual seas

##### INDEX

Item	Value	Unit	Remarks
Lifecycle Fuel Consumption	101.68	ton/day	Fuel consumption per day averaged throughout life
Elements			
Item	Value	Unit	Remarks
Total fuel consumption	5.570E+05	ton	Total fuel consumption throughout life
Total amount of cargo	4.284E+07	ton	Total amount of cargo delivered throughout life
Total distance for transport work	2.624E+06	mile	Total distance for transport work throughout life

図3 ライフサイクル主機燃費指標の出力

## 4.まとめ

当センターでは、船主、オペレータ、造船所、メーカー一般に對して、実海域実船性能評価を行うサービスを開始しました。今回は紙面の都合で触れませんでしたが、実運航モニタリングデータの解析も行います。次号以降、より掘り下げた説明を行います。

(試験センター技術部 新郷 将司)

#### 〈参考文献〉

- [1] 辻本勝、松本光一郎：実海域実船性能評価プロジェクトフェーズ2の取り組み、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第39号、pp.605-609、2024.
- [2] 杉本義彦、黒田麻利子：実海域実船性能評価法の開発－ライフサイクル主機燃費指標－、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第30号、pp.137－140、2020.



# CFD社会実装共同研究

## 1. はじめに

船舶海洋分野の設計開発プロセスでCFD (Computational Fluid Dynamics) が活用され始めてから、既に30年近くが経とうとしています。この間、コンピュータの性能は、10年で千倍、20年で百万倍という驚異的速度で向上してきました。今後も設計DX (Digital Transformation) と相性の良いCFDの活用範囲がますます広がってると考えられています。そのような中、「基準認証」の世界でもCFDの活用が始まっています。本稿では一般財団法人 日本海事協会 (ClassNK) と一般財団法人 日本造船技術センター (SRC) で実施している3つの共同研究について紹介します。

1つ目はESD (Energy Saving Device) に関するものです。船主が初期段階でESD搭載の効果を見る化して、投資判断をスムースに行えるようにするためにCFDを用いた評価スキームの開発を行います。これは造船所等の設計段階における評価スキームではないことを付記します。具体的には代表船型と代表ESDを選定し、3～4種類の代表的なCFDコードを用いて計算コードの影響、格子解像度の影響、乱流モデルの影響、プロペラモデルの影響などを調査し、これらをデータベース化します。

2つ目はSRCで2011年から東京大学と共同開発してきたスパコンを使った超高精度CFD技術、LES (Large Eddy Simulation) に関するものです。EEDI規制で要求される水槽試験の代替としてLESを用いることができるよう環境整備を行います。EEDI認証上RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 法の限定活用は認められていますが、水槽試験の代替には至っていないという意味で画期的な研究開発となります。2030年までに関連ガイドラインを整備し、LESを活用した世界初のEEDI認証取得を目指します。

3つ目は水素、アンモニア等のCFDガス拡散シミュレーションに関するものです。船級がCFDを活用した設計や、リスク評価（拡散範囲）等による代替設計の審査の際にCFD解析や解析条件設定の妥当性を確認するための基準の整備を行います。ABS (American Bureau of Shipping) 等、既にガイダンスを策定している船級もあります。具体的な研究としてはこれらを参考にするものの、既往実験等との比較によるガス拡散CFDの技術的な精度検証を行い、代表船でのCFDガス拡散シミュレー

ションの計算によって、シミュレーションが必要なケースと必要でないケースを分類（シナリオ条件の選定）します。

## 2. 燃費性能改善サービスの環境整備（ESD）

近年、ESDは各造船会社等で開発されており、ほとんどの新造船に搭載されています。一方で、既存船にレトロフィットで搭載したいというニーズも増えています。このような場合、船社、あるいは船主はまずは、どのESDをつければどのような効果があるかの概略を知りたいと思います。この時に使えるツールとしては水槽試験よりも手軽に使えるCFDがあります。

しかしながら、CFDにもいろいろなレベルがあります。経験の少ないCFD利用者が精度の低いCFDツールを使った場合、最悪のケースでは全く逆の結果が得られる可能性があります。つまり、CFDでは、このESDをつければ性能がこの程度上がるという結果が出たけれど、実際につけたら逆に性能が悪化したということが十分にあり得ます。ここで対象としているCFDはRANS法をベースとしたものを対象としています。後述するLESよりも精度は低いが計算負荷が低く、簡易的に使えるからです。ただし、使い方によっては、このRANSはESDを配置する船尾の複雑な流れを正確に表現できないことがあります。

計算格子の配置、乱流モデル、計算スキームを適切に設定していない場合に、よくよく見ると理論に矛盾した結果が得られることがあります。矛盾した結果なのにそれに気づかないまま、計算結果を信じると非常に悲惨な結末を迎えることが容易に想像できます。そして、実際には船舶流体力学の専門家でもその間違った結果に気づかないことがあります。それは別に驚くことではなく、それだけ船尾流場の解析は難しいことを意味しています。ITTC RPではその都度、計算格子の検討や実験等との比較による精度評価を行うことを推奨しています。これはRANSにとって非常に重要なことです。図1に海上技術安全研究所コードで計算したプロペラ断面の伴流分布の比較を示します。様々な計算格子、乱流モデルで試しましたが、どれもぴったりと実験結果に合致する結果は得られませんでした。しかしながら、実験結果から求められる馬力などの比較からESDの効果を定量的に評価するのであれば図1に示す計算で十分評価に

耐えうると判断しています。

本研究ではその都度、計算格子の配置、乱流モデル、計算スキーム等の検討をやり直すのではなく、ある程度、このような船型でこのようなESDならば、このような計算格子、乱流モデル、計算スキームを使えばよいという指標を作ることを目的としています。具体的にはデファクトスタンダードとなりつつある商用CFDコード2つと海上技術安全研究所で開発されたCFDコードを使って、代表的な3船型、代表的なESD3種類(ESDなしも含めて)の9ケースについて、それぞれ、計算格子の検討、乱流モデルの検討を行います。CFDコードによっては計算が発散しにくくするために大きな数値粘性を入れることもありますが、各コードは詳細な計算スキームの工夫を公表していないこともありますので、複数の計算コードで計算スキームの確認を行います。

結果として、このレベルの計算であれば、実用に耐えうる性能評価が行えるという指標が得られます。これと同時にCFD計算をしなくてもある程度はどのくらいの性能改善ができるかもわかるようなデータベースが得られます。データベースといっても9ケースですのでカタログといつても良いのかもしれません。ESD関連のコンサル等のサービス提供を行う際には、まずこのカタログでレトロフィットする価値があるかどうかを検討します。新規搭載する価値があると判断された場合には本研究で得られた指標に基づきCFDによる評価やESDの最適化を行います。この時に指標があることで、試行錯誤や検証作業が入らないため、非常に効率の良いサービスが提供できます。先にも述べた通り、RANSでは、ここが重要であり、最も時間もかかる部分なので、これを省略できる意義は大きいと思われます。

### 3. CFD技術活用の環境整備(EEDI)

SRCでは2011年から当時、東京大学生産技術研究所にいらっしゃった加藤千幸教授(現日本大学研究特命教授)との共同研究を通じてスペコンを使った超高精度LES技術の開発を行ってきました。RANSは乱流を時間平均された平均流場と変動成分に分け、前者だけを解いて、後者の影響は経験定数の入ったモデルで予測する手法ですが、ここで用いているLESは乱流の準直接計算と呼ばれている、モデルに頼らない手法です。そのため、水槽試験に匹敵する精度が保証されますが、RANSに比べると膨大な計算量が必要になります。図2に計算機の進展と船舶LES計算ができる時期の予想を示します。2013年にスーパーコンピュータ「京」を使って320億格子の計算を行い、6m模型を使った曳航水槽試験と同等な精度で計算できることを確認しました。2032年には曳航水槽試験より安価なコストで実施できるようになると期待しています。最近、計算機の進展に限界が見え始めているとは言われていますが、2020年に富岳を使って行った研究で、スーパーコンピュータ「京」を使って1状態2日かかっていた計算が「富岳」では1時間弱で計算できるようになりました[2]。また、2030年稼働開始を予定している富岳NEXTもスペックが具体化ってきており、富岳NEXTの時代には模型スケールのLESが、手頃な価格でできるようになることは、ほぼ確実となっていました。

EEDI規則はITTCのRecommended Procedures and Guidelinesを参照しています。このガイドラインを作成している研究者たちが一堂に集う、CFDワークショップ(5年に一回)が本年11月にワーゲニングングで開催されました。LESをEEDI認証に使うにあたって、LESが水槽試験と同等な信頼性と精度を有

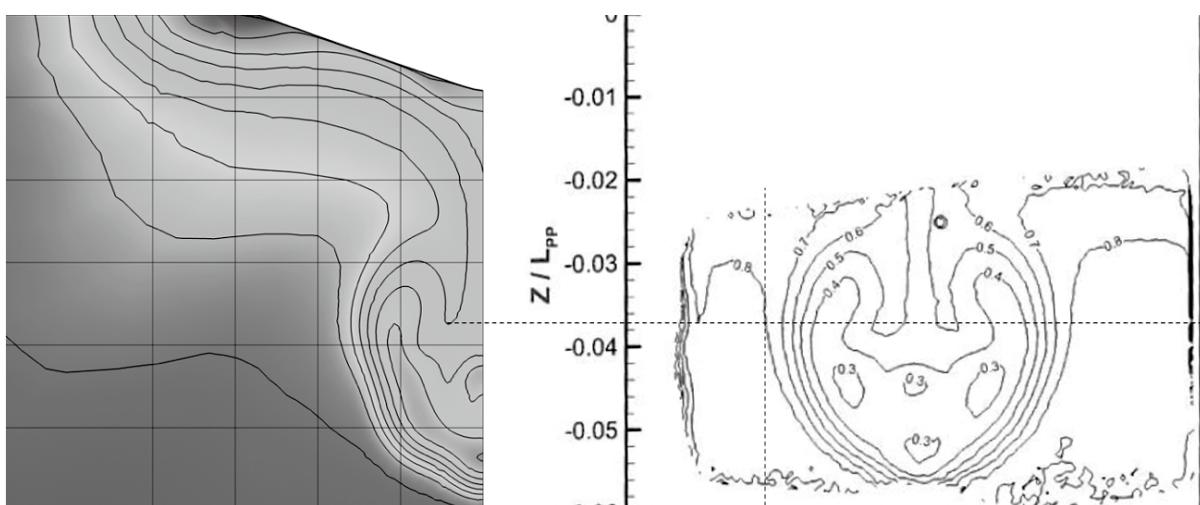


図1 SURFによる伴流分布(左:CFD、右:実験[1])

することについて認知を深める目的で参加しました。船舶CFD界の重鎮である米国アイオワ大学のFrederick Stern先生やフランス国立科学研究中心(CNRS)／ナント大学のMichel Visonneau先生やITTC等で発言力のあるオランダ海事研究所(MARIN)のSerge Toxopeus等や他の多数の研究者と議論を深めることができ、我々の計算結果は抵抗などの積分値を求めるには十分な精度があることが共有できました。当初の目的は達成しましたが、乱流の統計量に関して、もう少し長時間の計算をした後に非常に高精度、高信頼性のあるデータが得られるはずとの認識も共有しました。今後、本ワークショップの内容は1、2年かけて一冊の本にまとめる予定となっています。今後、我々は継続計算結果を提出し、各研究機関でコードを開発する上で参考になる、最も信頼できる参照データ、すなわちデファクトスタンダードとしての地位を確立していきたいと思います。

ところで、図2に示す2029年の実船スケールのLES計算は、上述した計算機の進展の減速により、2037年に遅れるか、それ以降になる可能性が出てきました。富岳NEXTのスペックでは模型レベルの計算はより高速に、より安価になりますが、より大規模な並列計算、いわゆるWeak Scaleに関しては伸び悩むことが確実だと思われるからです。現在、我々は東京大学生産技術研究所の長谷川洋介教授とともにAIを使って計算コス

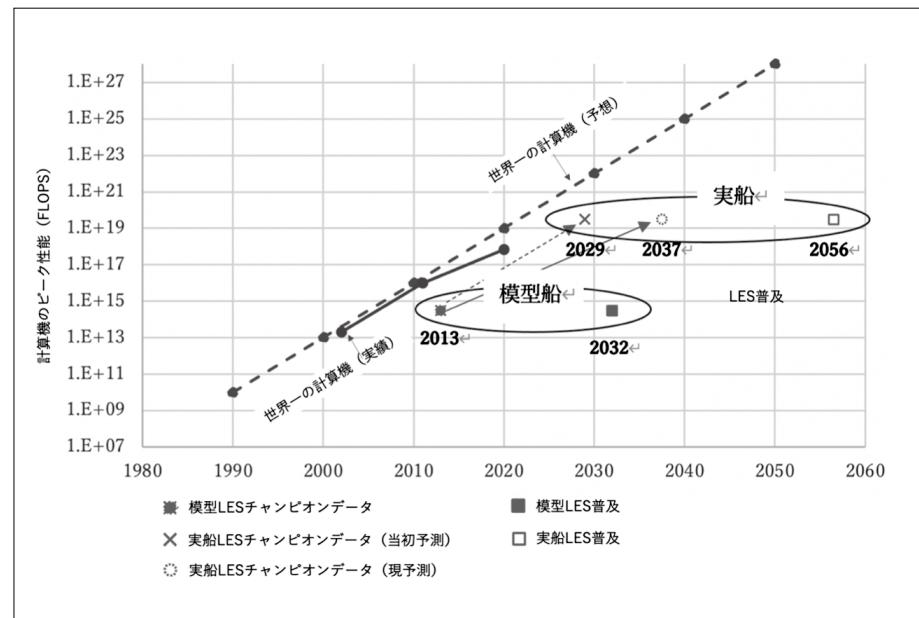


図2 計算機の進展と船舶LES計算ができる時期

トを劇的に下げるための研究を行っています。これが成功すれば計算機の進展が伸び悩んでも実船スケールのLES計算ができるようになるかもしれません。この詳細については次号以降のSRC Newsでもご紹介していきます。

#### 4. CFD技術活用の環境整備 (ガス拡散シミュレーション)

近年、新規開発が始まっている代替燃料船において、水素、アンモニア等が漏れた場合に安全を担保できるかという問題があります。特に、水素燃料船など、条約に規定する強制コードの制定が追い付かず、技術基準が整定されていないものもあり、国や船級協会によるガイドライン等に基づき、個別に危険性評

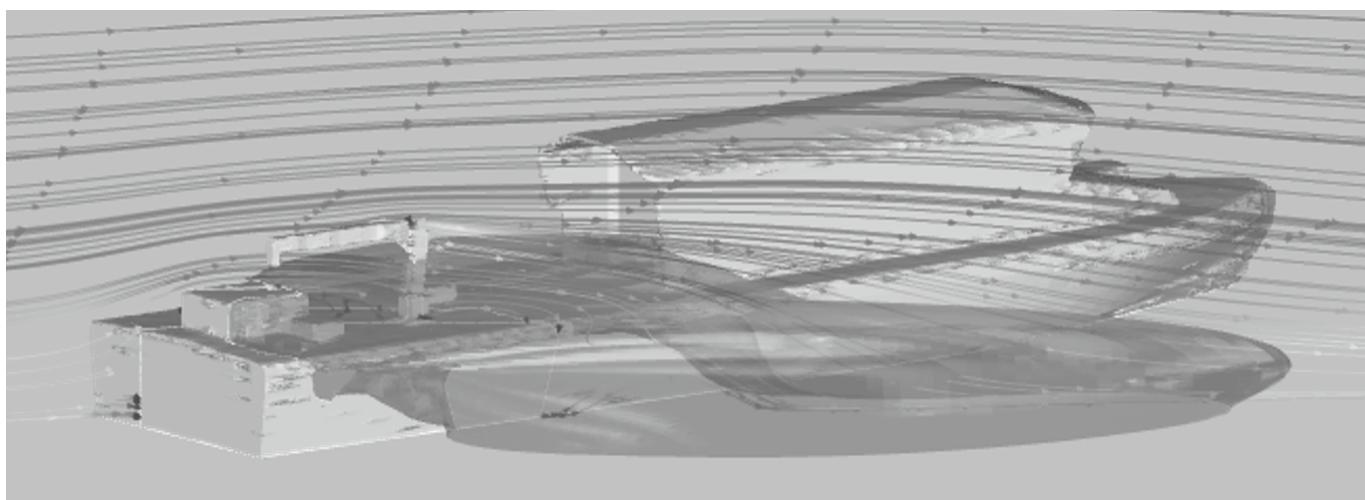


図3 水素拡散シミュレーションの例

価（リスクアセスメント）を実施し、個々の事案が検討されています。積分モデルなどの簡易的な推定を使うとこのくらいの流出量であれば、流出地点から何メートルの範囲は危険区域になるなど判別することができます。つまり、その範囲外なら安全であるという設計判断ができます。ただし、この方法では危険区域が大きくなりすぎて設計自由度が極端に減るという問題点があります。それを図3に示すようにCFDで直接対象船を計算し、その設計は安全であることが証明できれば設計自由度は増えます。風向きや流出部の近傍の船体形状によって、対象船に対する本当の危険区域がわかります。それは、簡易的な手法よりも危険区域が減ることを期待していますが、逆に状況によっては増えることもあります。つまり、簡易推定では、より安全な設計ができるが、設計自由度が低いと考えられていますが、実はCFDでの直接推定では簡易推定よりも安全側に設計ができる、さらに設計自由度が高いというメリットがあります。ただし、CFD計算は具体的な船型を扱うため、漏洩量や風向きなどの組み合わせが膨大になります。明らかに安全な風向ではCFD計算をする必要はありません。一般的には風速が小さく、大気安定度が高く、危険区域に向かう風向きが最悪のシナリオとなります。本研究開発ではどのようなCFD計算ケースを選んで、どのような手順を踏めば合理的に全ての危険性を排除することができるかを調査します。その上で、船級認証での活用を図ることができるCFDガス拡散シミュレーションの要件化を検討します。この研究に使うCFD計算は上述の二つのCFD計算と比べて、最も計算格子数の少ない計算で行うことができますが、圧縮性の気体を扱うといった違いがあります。実験等との比較によるガス拡散CFDの技術的な精度検証を行い、代表船でのCFDガス拡散シミュレーションの計算によって、シミュレーションが必要なケースと必要でないケースを分類します。

## 5.まとめ

本稿ではCFDの社会実装、DX設計等を含む将来の船舶海洋分野での活用可能性の中の一つのテーマとして、「基準認証」でのCFD活用についてClassNKと共同研究についてご紹介しました。具体的には「RANSによるESD計算」、「LESによるEEDI認証」、「水素ガス拡散解析」に関するものです。文部科学省「富岳」成果創出加速プログラムの「AIの活用によるHPCの産業応用の飛躍的な拡大と次世代計算基盤の構築」に取り組んでいることにも触れました。本研究は日本海事協会 技術研究所の三宅氏、木戸浦氏をはじめとする多くの関係者で取り組んでいます。また、本研究を遂行するにあたり日本大学の加藤研究特命教授、東京大学の長谷川教授に貴重な助言をいただきました。今後も

これまで蓄積した技術を用いて船舶海洋分野でのCFDの社会実装へ貢献していきたいと考えています。

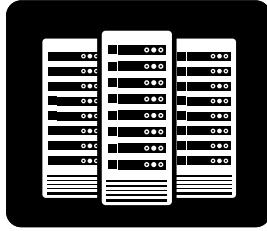
## 6. 謝辞

本稿「3. CFD技術活用の環境整備（EEDI）」で述べた研究開発は、HPCIシステム利用研究課題（課題番号:hp160032.190032等）を通じて、スーパーコンピュータ「京」の計算資源の提供を受け、実施しました。

（技術開発部 西川 達雄）

### 〈参考文献〉

- [1] Hino, T., Stern, F., Larsson, L., Visnneau, Hirata, N., M., Kim, J., Numerical Ship Hydrodynamics -An Assessment of the Tokyo 2015 Workshop-, 2021.
- [2] Kato, C., Yamade, Y., Nagano, K., Kumahata, K., Minami, K., Nishikawa, T., Toward Realization of Numerical Towing-Tank Tests by Wall-Resolved Large Eddy Simulation based on 32 Billion Grid Finite-Element Computation, SC20: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, 2020.
- [3] 西川達雄、京コンピュータを使った船舶推進性能推定について（その2）CFDワークショップ、SRC News No.100 2017.



# スーパーコンピュータ「富岳」を用いた数値曳航水槽の実現(その2)

## 1. はじめに

当センターでは、スーパーコンピュータ「富岳」を活用した数値曳航水槽の実現に向けて研究開発を進めており、本技報ではその取り組みを連載形式で紹介しています。前報(No.115)では、水槽試験の完全再現を取り上げ、乱流境界層やプロペラの回転、自由表面など、時間・空間スケールが大きく異なる現象を同時に解く難しさについて述べました。

本年度(その2)では、船舶設計において満載状態と並んで重要なバラスト状態を対象とした計算事例を紹介します。バラスト状態は、喫水や姿勢が満載時と大きく異なるため流体力学的特性も変化します。本研究では、複数の船型を対象として「富岳」を用いた大規模計算を行い、水槽試験結果との比較を通じて数値曳航水槽の適用性を検証しました。

## 2. 計算モデル

計算対象は肥大船4隻と瘦せ型船1隻の計5隻です。格子は全て6面体のマルチブロック構造格子で、まず粗いベースメッシュで十分に流れ場を発達させ、その後要素を分割するリファイン機能により乱流境界層を解像した計算を実施しました。最終的な格子規模は最大で約50億要素に達し、「富岳」の大規模並列計算により実現しました。

表1 計算モデル

船型	要素数		
	ベースメッシュ	1回リファイン	2回リファイン
船型A(肥大船)	約0.78億	約6.3億	約50億
船型B(肥大船)	約0.69億	約5.6億	約45億
船型C(瘦せ型船)	約0.77億	約6.2億	約50億
船型D(肥大船)	約0.74億	約5.9億	約47億
船型E(肥大船)	約0.84億	約6.8億	約54億

## 3. 「富岳」を用いたシミュレーション結果

シミュレーションには東京大学生産技術研究所 革新的シミュレーション研究センター加藤千幸教授(当時・現日本大学理工学部)にて開発されたFrontFlow/blue(FFB)を用いました。FFBは非定常流を高精度に予測可能な乱流解析手法であるLarge Eddy Simulation(LES)に基づく流体ソルバーです。

抵抗値の水槽試験結果との比較を図1から5に示します。肥大船では、バラスト状態でも水槽試験との良好な一致が得られました。一方で、船型やレイノルズ数によっては船首船底に層流域が一時的に残存し、抵抗値を過小評価するケースも観察されました(図5)。図6にこの船型の船首船底の表面渦度分布を示します。縞状に見える箇所は乱流遷移しており、それ以外が層流領域を示しています。この層流領域の大きさは一定ではなく

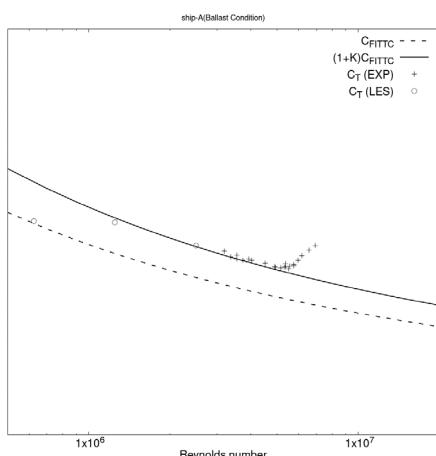


図1 船型A(肥大船)の抵抗係数

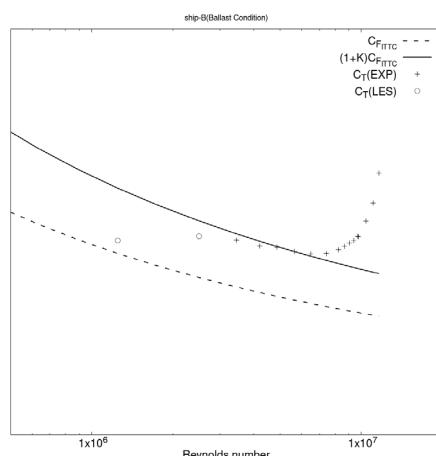


図2 船型B(肥大船)の抵抗係数

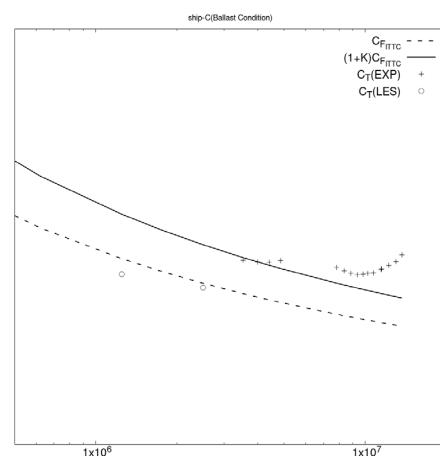


図3 船型C(瘦せ型船)の抵抗係数

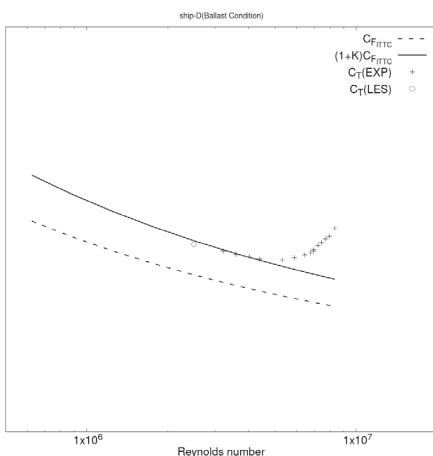


図4 船型D（肥大船）の抵抗係数

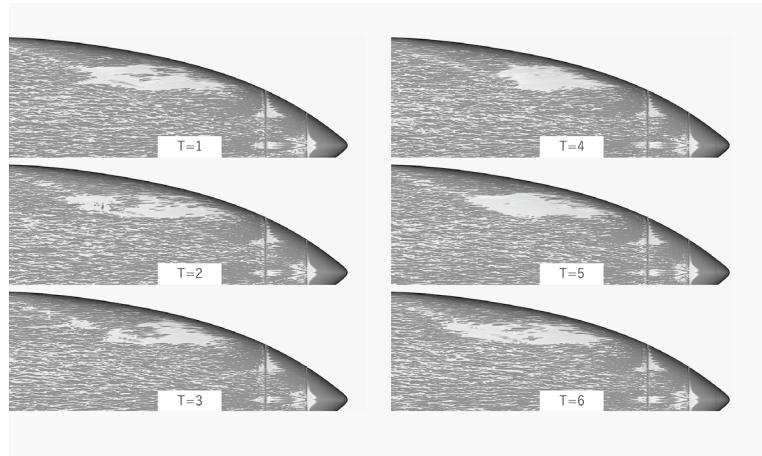


図6 船型E（肥大船）の船底の表面渦度分布の時間変動

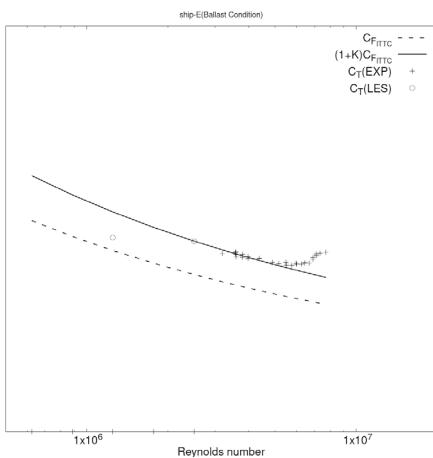


図5 船型E（肥大船）の抵抗係数

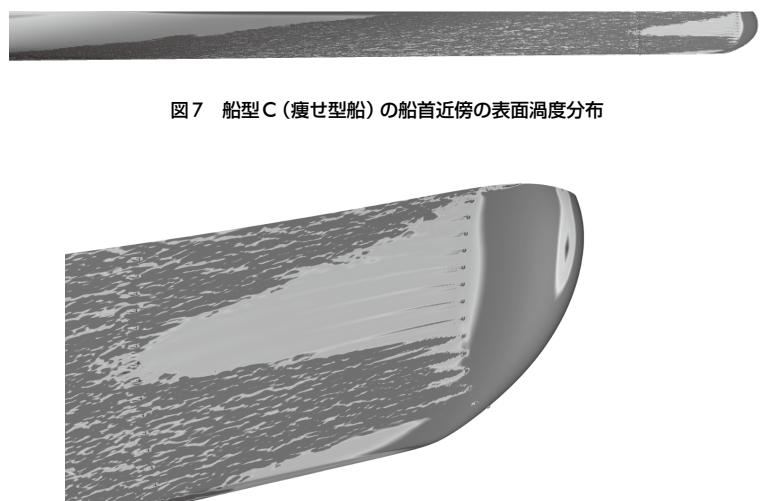


図7 船型C（痩せ型船）の船首近傍の表面渦度分布

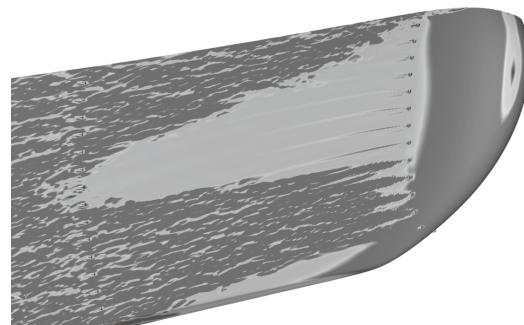


図8 乱流促進デバイス

く時間的に変動しており、乱流が発生しては再層流化する様子が見られました。痩せ型船では、船首からの遷移が十分に進まず、船体側面に層流域が残り、抵抗値を過小評価しました(図7)。本解析では水槽試験と同様に船首に乱流促進デバイス(突起物)を模擬していますが(図8)、その効果が不十分であることが原因と考えられ、設置条件の最適化が今後の課題となります。

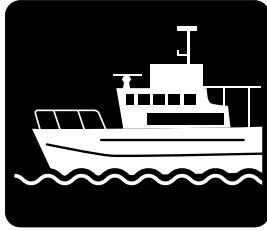
## 5. 謝辞

本研究は令和4年度「富岳」産業利用課題(課題番号:hp220071)を通じて、理化学研究所が提供するスーパーコンピュータ「富岳」の計算資源の提供を受け実施しました。

(技術開発部 美濃部 貴幸)

## 4. おわりに

前報に引き続き2021年に運用が開始されたスーパーコンピュータ「富岳」を用いて曳航水槽試験を完全に再現するための取り組みについてご紹介しました。当センターでは本稿で紹介した事例の他にも「富岳」を用いて様々なシミュレーションを実施しています。次回はバラスト状態の自航計算に関する事例を紹介したいと思います。



# 巡視船艇 海外展開プロジェクトへの貢献

## 1. 巡視船艇海外展開プロジェクト

SRCでは、一般社団法人日本中小型造船工業会(CAJS)が中心となり日本財團の基金助成を受けて進めている「海外輸出用船舶(巡視船艇)の設計支援基金事業」に参画し、実績ある日本の巡視船艇の建造経験を活かした新設計巡視船艇の海外展開プロジェクトに取り組んでいます。

これまでわが国は、インド太平洋地域における海上保安能力を強化するため、政府開発援助(ODA)による巡視船艇の供与などに取り組んできましたが、被援助国の要望を踏まえたきめ細かい調整と入念な準備による満足度の高い船舶が供与できる一方、建造着手から実際のデリバリーまでに時間を要しておりました。

そこで、本プロジェクトでは提案型(オファー型)ODAの実現を目指し、あらかじめ途上国のニーズを調査し、これまで海上保安庁に巡視船艇を納入した実績のある複数の造船所の協力体制を構築、途上国に必要とされる性能を有した標準モデルの5船型を開発し、オーダーがあればすぐに建造に取り掛かれる準備を整えておくことにより供与期間の短縮を図り、ひいては供与案件の拡大を目指すこととしました。

SRCは本プロジェクトにおいてCAJSの委託を受け、技術コンサルタントとして設計支援と海外展開のプロモーションを担っています。

この提案型ODAを実現するため、これまで培った経験を基に新たに全長44mから20mまでの5船型6タイプの標準船型を設計するほか、アッセンブリーによる部品のモジュール化や被供与国のリクエストに応じて海上保安活動に必要とされる各種装備をオプションとしてあらかじめ準備するなど、供与期間の短縮に加え船価の低減を目指して新たな船舶建造スキームの構築にチャレンジしています。

## 2. 性能試験の実施

新たに設計された全ての船型について数値計算力学(CFD)を使い性能推定を行った結果、設計どおりの性能を発揮できることを確認しました。

更に、44m型と35m型の船型については正確な縮尺比率による模型を作成し、水槽試験の実施によりCFD解析の正当性を証明しました。

連日の猛暑が続く7月14日、CAJS



主催により水槽試験見学会が実施され、SRCが行う曳航試験をプロジェクト関係者に公開しました。

見学会には本プロジェクトを主導する巡視船艇海外展開検討会座長の横浜国立大学名誉教授である日野孝則先生をはじめ、外務省、国交省、海上保安庁等の政府機関、独立行政法人国際協力機構(JICA)など行政機関・関係団体の皆様、またアドバイザーとして検討会に参加される企業やCAJS会員店社の皆様など、実に50名以上の関係者が参加されました。

SRCは日頃より国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所の海上技術安全研究所が所有する、我が国最大級の400m水槽を使用して、推進性能試験や操縦性能試験などを行っています。

見学会ではまずSRC上園会長からプロジェクトの進捗状況を説明し、新たに設計された5船型の巡視船艇を3DによるCGでご覧いただきました。その後、400m水槽に移動し、模型を曳く「曳引車」に乗車し、6m/秒(約28ノット相当)で航走する模型と共に水槽を疾走する体験をしていただきました。

エアコン設備の無い水槽施設は湿度も高く、空調は大型扇風機とスポットクーラーのみという環境の中で、ライフジャケットやヘルメットなど安全装備の着用を求めて実施した見学会は、熱中症が心配されましたが、幸い参加者の皆様の熱意と集中力が暑さに勝ったのか、具合の悪くなる方もないまま曳航試験の見学を無事終了することができました。

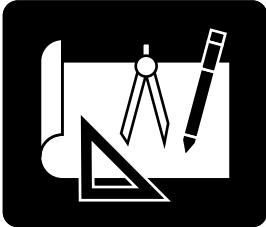


## 3. おわりに

SRCは我が国の海事クラスターを担う方々が集う巡視船艇海外展開検討会の一員として、このプロジェクトを通じ、ODAという国家の施策に関わり、造船業界の発展に貢献できることを大変嬉しく思っています。

今回、水槽試験見学会に多大なご協力を頂いた海上技術安全研究所の皆様、プロジェクトの取材にお越しいただいたプレスの皆様、また猛暑の中、見学会にお出でいただいた皆様にこの場をお借りして厚く御礼を申し上げますとともに、今後のプロジェクトの成功に向け、引き続きご協力のほどお願い申し上げます。

(海外協力部 石川 浩行)



## シリーズ 船型設計ノート(その2) バルバスバウについて

### 1. はじめに

船型設計に関して感じていることをご紹介しています。前回は船尾端(AE～AP)長さについて書きましたが、今回はバルバスバウについてです。

バルバスバウといっても、肥大船と瘦せ型船では物理的な意味も異なりますので、分けてお話しします。

### 2. 肥大船のバルバスバウ

船型可分原理では、形状影響係数Kは船尾形状に依存し船首形状の影響はないと仮定していますが、船型の肥大度Cbが増加すると、船首側の船型も形状影響係数Kの増加の原因になります。

図1は船首船底の表面流線(限界流線)ですが、黒く濁っている領域は船首部の肥大に伴い、船底への流れが剥離していることを示しています。

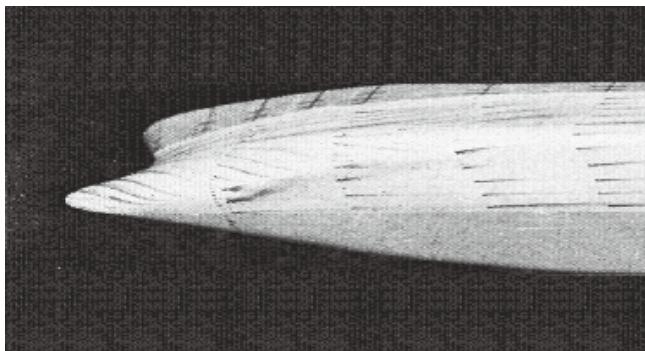


図1 模型船船首船底部の流れ<sup>2)</sup>

#### 2.1 肥大船バルバスバウの効果

##### 1) 船首船底剥離の防止

バルバスバウの形状を工夫することにより、図1のような船首船底への流れ込みをスムーズにして、形状影響係数Kの増加を抑えることができます。

##### 2) 噫水線付近の水線WLの入射角の減少効果

バルバスバウが排水量を受け持つことで計画喫水付近を痩せさせれば、満載時の造波抵抗減少が期待できます。

##### 3) バラスト状態の水線長さLWLの延長効果

水線長さLWLは計画喫水において定義されますが、バラスト状態の実際の水線長さはバルブが突出している分だけ長くなります。これにより実質的なフルード数Fnが小さくなり、バラスト状態の造波抵抗が減少します。

### 2.2 バラスト状態の性能の重要性

契約船速やEEDIなどは、満載喫水における性能だけを対象にしていますが、大型のバルカーやタンカーは満載航海とバラスト航海が半々であることが多いので、CO<sub>2</sub>排出の面から見れば満載とバラストの性能は同程度に重要です。

### 3. 瘦せ型船のバルバスバウ

#### 3.1 瘦せ型船のバルブの特性

瘦せ型船のバルブの特性は線形造波理論<sup>4)</sup>でかなりの部分を理解できます。

##### 1) バルバスバウによる波消しの原理

良く知られているように、バルバスバウにより造波抵抗が減少するのは、図2が示すように、船体が作る波と逆位相で振幅が同じ波をバルバスバウが作ることにより、両方の波が干渉して消えるというものです。

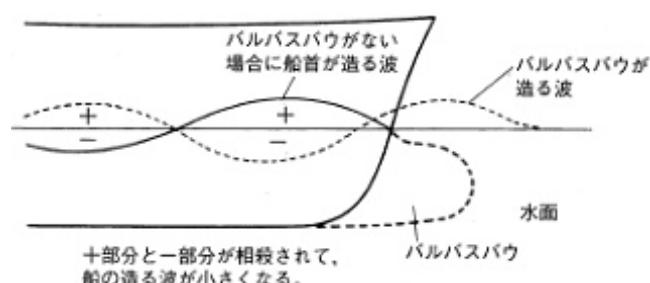


図2 バルバスバウによる波消しの原理<sup>3)</sup>

##### 2) バルバスバウ深さの影響

バルバスバウの造波の強さは、文献<sup>4)</sup>の10式から、バルバスバウの没水深度をfとして、 $\exp(-f)$ に比例することが分かります。すなわち、バルバスバウの造波は水面に近づくと急激に大きくなる一方で、没水深度が増えると次第に小さくなります。

これは、深い喫水時に船体の造波を消すために設計したバルバスバウは、喫水が浅くなると船体の造波以上の波を起こし、抵抗増加になってしまうことを示しています。

### 3) 船速の影響

図3は文献<sup>4)</sup>の図8.7を参考に模式的に描いたものですが、横軸にフルード数(速度)、縦軸に船体とバルバスバウの造波量を示しています。図から分かるように、速度が下がると、船体の造波は漸減しますが、バルバスバウの造波は逆に増加します。

これは、設計船速で最適化したバルバスバウは減速運転時には抵抗増加の原因になることを示しています。

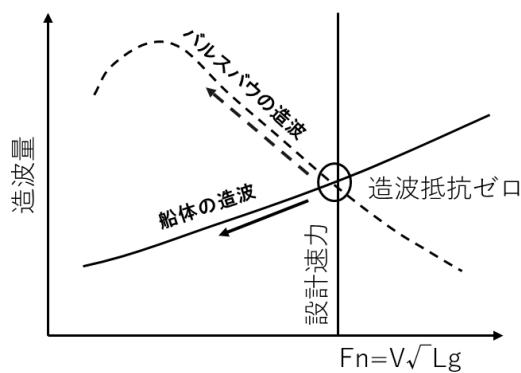


図3 船体およびバルブの造波量と船速の関係<sup>4)</sup>

### 3.2 痩せ型船のバルバスバウ設計の注意点

以上の説明で、数年前に盛んに行われた小型バルバスバウへの換装工事の原因が減速運転であったことを理解して頂けたのではないかと思います。

また、喫水や速力が変わらない定期航路のコンテナ船やフェリーはともかく、クルーズ客船のようにスケジュールに応じて船速を調整する船や、ガス船のように満載とバラスト航海がある船に、大きなバルバスバウを装備することは避けた方が良いことも想像できると思います。

### 3.3 痩せ型船のバルバスバウ及びCpカーブの設計

痩せ型船のバルバスバウおよびCpカーブの設計には文献<sup>5)</sup>が参考になります。

またSRC\_Tips<sup>6)</sup>には、バルバスバウを含むCpカーブ最適化の機能がありますのでご利用ください。

## 4. おわりに

今回はバルバスバウの効果について、肥大船と痩せ型船に分けて説明し、設計の参考になる文献とソフトを紹介しました。運航状態により船速や喫水が変わる船については、計画状態

だけで設計すると、設計条件を外れた(いわゆるoff-design)状態で、思わぬ性能の悪化が発生することも感じて頂けたのではないかと思います。

SRCはこの分野で豊富な経験がありますので、様々なケースでご相談に応じられると思います。総合コンサルティング事業室あるいは試験センターにお問い合わせください。

(技術顧問 岸本 雅裕)

- 1) 谷口中ほか「船型可分原理による肥大船型の新設計法」造船学会講演会S41.11
- 2) 流れの可視化学会「流れの可視化ハンドブック」朝倉書店
- 3) 池田良穂「図解船の科学」ブルーバックス、講談社
- 4) 乾崇夫「波のたたない船」科学 Nov. 1961、岩波書店
- 5) 塙友雄「素成波理論を応用した図式船型設計法(続報)」関西造船協会誌169号 1978
- 6) SRC\_Tipsの参考資料(SRCのHPから入手できます)
  - SRC Tipsの解説: SRC News No.78 ~ 81, Jan. ~ Oct. 2009, No.83, 84 Apr. ~ Jul. 2010
  - SRC Tipsのバージョンアップ: SRC News No.90, Jun. 2012
  - SRC Tipsのデータベース更新: SRC News No.101, Nov. 2017



# 肥大船型の船首の流場と抵抗性能

肥大船の船首周りの流場は複雑です。船首周りの水面現象について解説した過去のSRCニュースでは、図1のようなスケッチによって流場の解説を行っています<sup>1)、2)、3)</sup>。



図1 船首周りの水面現象の比較

肥大船の船首周りの流れを表す図1右端のスケッチでは、船首端からやや離れた位置に船首を囲むように水面の乱れが広がっています。ここには船首飾り渦、船首碎波、FSSW (Free Surface Shock Wave) 等と呼ばれる複雑な流れが存在します。さらに水面下には、自由表面剪断流や12頁でも紹介された船首船底剥離渦等の存在も知られています。これらが複雑に絡み合い、船首形状に起因する抵抗の原因となっています。

ここでは船首船底剥離渦に関わるSRCで行われた研究を紹介したいと思います<sup>4)</sup>。この研究では微細な船首形状の違い(ここでは船首端の曲率半径とそれに続くWLの相違)が抵抗に与える影響を検討しました。対象とした船首端形状を図2に示します。垂直船首を持つ肥大船型の船首端曲率半径Rを7.5mm(C)、15mm(B)、30mm(A)、45mm(D)に変更しています。この船型を用いて様々な計測、理論計算を行い、船首形状と抵抗の関係を検討しました。

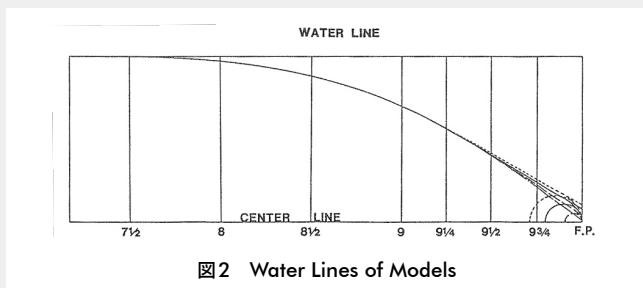


図2 Water Lines of Models

この研究では模型船を船首部と主船体に分割し、船首抵抗と全体抵抗の計測も行っています。船首剩余抵抗係数( $r_{Rf}$ )、全体剩余抵抗係数( $r_{Rl}$ )は、図3に示すとおりB船型( $R=15\text{mm}$ )で最小となります。

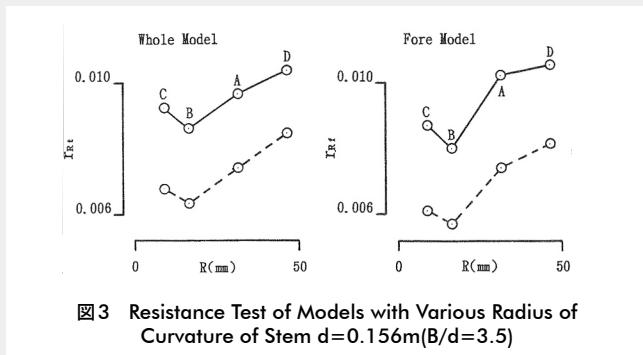


図3 Resistance Test of Models with Various Radius of Curvature of Stem  $d=0.156\text{m}(B/d=3.5)$

図4にSt. 7 1/2で計測した流速ベクトルを示します。船底に大きな渦があり、その強さが船首端のRにより相違していることが分かります。同時に実験による可視化結果、この渦は船首端付近で生成されていることが分かりました。試みにこの断面での運動量損失を計算し、 $r_{Rf}$ と比較してみました(図5)。運動量損失と $r_{Rf}$ には強い相関があり、 $r_{Rf}$ 、 $r_{Rl}$ は船首船底剥離渦の強さに依存していることが分かります。

これらの結果より船首端の微細な形状が想像以上に抵抗に影響を与えており、そしてその陰には船首船底剥離渦の存在があることが示されました。

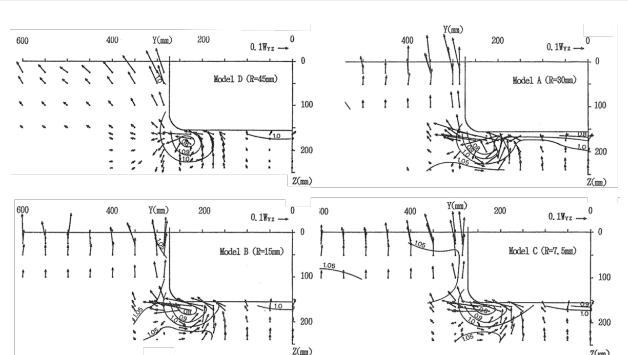


図4 Velocity Vectors( $w_z$ ) and Velocity Contours( $v_x/V_0$ ) around Models, Measured at St. 7 1/2,  $d=0.156\text{m}(B/d=3.5)$ ,  $V_0=1.236\text{m/s}(Fd=1.0)$

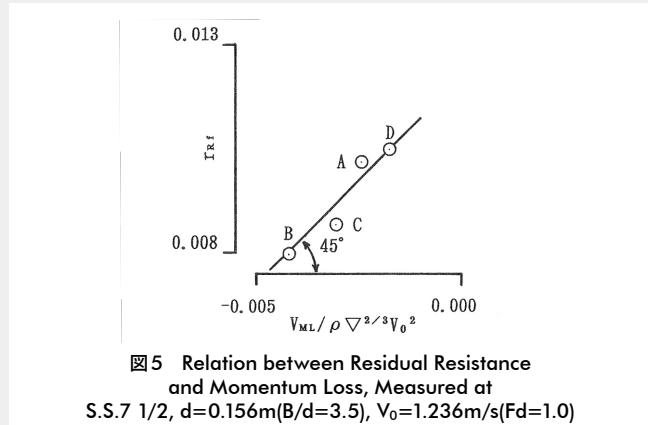


図5 Relation between Residual Resistance and Momentum Loss, Measured at St. 7 1/2,  $d=0.156\text{m}(B/d=3.5)$ ,  $V_0=1.236\text{m/s}(Fd=1.0)$

船首船底剥離渦は12頁にも示されたとおり、船首プロファイル形状にも影響を受けます。また船首の水面付近の現象である船首飾り渦、船首碎波、FSSWなどは船首バルブ高さ、船首喫入射角などに影響を受けることが知られています。このような船首の細部な形状に拘ることにより、さらなる抵抗低減が可能であることは線図を描く際に意識すべきでしょう。

ここで紹介した研究は、中手造船所8社(当時)とSRCで構成された造工中手船型研究会(1980創設、2025年現在造船所7社+SRCにて活動中)の共同研究の成果として公表されたものです。

## 参考文献

- 1) 肥大船船首周りの流れについて、SRC News No.45、46、47、pp.2-3、1999/10
- 2) 肥大船船首周りの流れについて(2)、SRC News No.46、pp.2-3、2000/2
- 3) 肥大船船首周りの流れについて(3)、SRC News No.47、pp.2-3、2000/6
- 4) 金井他：船首形状と抵抗に関する実験的研究、造船学会春季講演会論文集、pp.109-118、平成5年5月

# 令和7年度 SRC 技術セミナーの開催

## ～最近の海事政策の動向、DX・GX の最新動向～

令和7年11月20日(木)、ホテル広島ガーデンパレスにて「令和7年度SRC技術セミナー」を開催いたしました。本セミナーには、全国各地の造船業界、海運業界、舶用機器メーカー、自治体や官公庁などから、約150名の皆様にご参加いただきましたことを、厚く御礼申し上げます。

今回のセミナーでは、外部講師の皆様に以下の内容で講演いただきました。また、当センターからは、SRCにおける最新の船舶技術支援に関する動向について紹介させていただきました。

### 1. 最近の海事政策の動向

～2030年船舶産業の変革実現とその先に向かって～

国土交通省 海事局 船舶産業課長 ..... 吉田 正則

### 2. 電気推進タグボートの開発

～日本海事産業を取り巻く諸課題の解決に向けて～

日本郵船株式会社 技術開発グループ

プロジェクトエンジニアリングチーム ..... 小大塚 直樹

### 3. IHI原動機のカーボンニュートラルに向けた取り組み

～持続可能な未来に向けた技術革新と挑戦～

株式会社IHI原動機 舶用事業部 副事業部長 ..... 元田 徹

### 4. 造船工場のモニタリングは何故必要なのか？

～AI時代における造船工場の革新に向けて～

東京大学大学院工学系研究科

人工物工学研究センター 教授／博士（工学）...青山 和浩

### 5. 設計データを活かす、その先へ

～共有型デジタルツインの社会実装に向けた新たなステージ～

一般財団法人日本海事協会

デジタルトランスフォーメーションセンター 主管 長 俊寿

NAPA Japan株式会社

リードテクニカルコンサルタント ..... 遥山 誠

今回で第11回目を迎えた本セミナーも、昨年度に引き続き、多くの皆様にご参加いただきました。参加者の皆様には、講演を熱心にお聞きいただき、また質疑応答にも積極的にご参加いただきましたこと、誠に感謝申し上げます。セミナーは終始盛況で、無事に終了することができました。

また、セミナー終了後に行われた懇親会にも多くの皆様にご参加いただき、活発な意見交換や新たなネットワークの形成が見られ、大変有意義な時間となりました。ご参加いただいた皆様同士の親睦も深まり、今後の協力体制に向けた良好な関係が築かれたと感じております。

さらに、本セミナーの開催にあたり、多忙な中で講演いただきました講師の皆様、そしてご協力を賜りました中国運輸局の皆様に、心より御礼申し上げます。

(企画室 福島 寛司)

### 編集後記

気づけば、今年も締めくくりの季節となりました。本年はトランプ政権の動向も影響し、海事産業への注目が一段と高まった一年となりました。国内では高市政権の下、日本造船業再生に向けた支援策の議論も本格化し、新たな追い風が吹き始めています。一方、国際海運の脱炭素規制は1年延期されましたが、代替燃料船整備等、脱炭素化の取り組みは着実に進むでしょう。変化の激しい一年となりましたが、海事産業の持続的な発展に向け、当センターとしても引き続き皆様のお力になれるよう尽力して参ります。どうぞ健やかに新年をお迎えください。

試験等の申し込み、問い合わせは下記までご連絡をお願いいたします。

今後も皆様のお役に立てるような最新情報を積極的に発信してまいりますので、SRCのウェブサイトを奮ってご利用いただきますようお願い申し上げます。

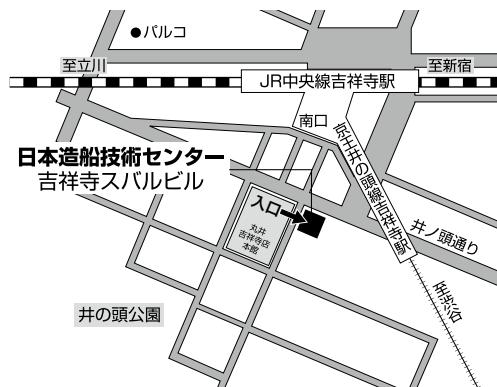


<https://www.srcj.or.jp/>



申し込みの  
受付

〒180-0003 東京都武蔵野市吉祥寺南町1丁目6番1号  
吉祥寺スバルビル3階  
TEL 0422-40-2820 FAX 0422-40-2827





Shipbuilding Research Centre of Japan  
一般財団法人 日本造船技術センター

<https://www.srcj.or.jp/>