

4 船舶性能統合データベースによる 実海域実船性能向上の構想

黒田 麻利子*, 粉原 直人*, 一ノ瀬 康雄**, 辻本 勝***

Concept of Integrated Database for Improving Ship Performance in Actual Seas

by

KURODA Mariko, SOGIHARA Naoto, ICHINOSE Yasuo and TSUJIMOTO Masaru

Abstract

In the international maritime industry, CO₂ emissions during operation has begun to be evaluated, and improving ship performance and fuel efficiency in actual seas has become a crucial goal for the reduction of the greenhouse gas emissions.

NMRI has developed simulation tools and experimental procedures for evaluating ship performance in actual seas as well as methods for analyzing the data of ships in service.

In this paper, the concept of an integrated database of ship performance and the research activities being conducted towards improving ship performance in actual seas are presented.

* 流体設計系 実海域性能研究グループ, ** 流体設計系 流体制御研究グループ, *** 流体設計系
原稿受付 令和 5年 4月 27日
審査日 令和 5年 5月 19日

1. はじめに

国際海運からの温室効果ガス（GHG: Greenhouse Gas）の排出削減のために、国際海事機関（IMO: International Maritime Organization）により、2013年から新造船に対するエネルギー効率設計指標¹⁾（EEDI: Energy Efficiency Design Index）規制、船舶エネルギー効率管理計画書²⁾（SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan）の保持義務が開始された。EEDI規制については、開始後、2015年、2020年、2025年と規制が強化されている。また、2018年にはIMO GHG削減戦略³⁾が策定され、国際海運からのCO2排出やGHG排出に関する目標が提示された。2023年からは就航船のエネルギー効率指標⁴⁾（EEXI: Energy Efficiency Existing Ships Index）規制や燃費実績⁵⁾（CII: Carbon Intensity Indicator）格付けが開始され、国際海運業界の環境規制は、設計段階だけではなく運航段階も対象となっている。そのため、実海域における実船燃費性能の正確な分析・評価に基づく性能向上が求められている。

また、水中騒音についての規制もIMOで検討されており、2014年に船舶の水中放射騒音の低減に関する非強制のガイドライン⁶⁾が承認された。2021年からガイドラインの改正案や今後の作業計画についての検討が行われており、対応が求められている。将来的な動向を考慮し、船舶について、キャビテーションによる水中騒音についての評価技術、及び、水中騒音低減技術が必要とされている。

海上技術安全研究所（当所）では、これまでの実海域実船性能評価に関する取り組みに基づき、実海域実船性能向上のための船舶性能統合データベースの開発を進めている。船舶性能統合データベースの構想、及び、データベースに基づく取り組み内容について紹介する。

2. 船舶性能統合データベースの構想

船舶性能統合データベースは、従来実施してきた、実船計測データとウェザールーティングによる運航最適化、水槽試験データ、実船計測データ解析結果、シミュレーション結果に基づく設計最適化のインテグレーションシステムのメインコアとして構築を目指すものである。データベース内に含まれる水槽試験結果データ群と実船計測データ群との連携により高精度なシミュレーションを実現し、また、実船計測データの分析的評価により、対象船の運航・設計の診断を行い、運航改善による燃費性能の改善や、要素分析結果に基づく設計改善ポイントの提言を行う。

船舶性能統合データベースのコンセプト図を図-1に示す。船舶性能統合データベースの実現により、高精度なシミュレーションや改善提案ができるだけでなく、デジタル基盤技術の整備につながり、外部のアプリケーションやデータベースとの接続が容易となり、直接的なデータなどのやり取りを最小限にした迅速な評価結果や改善提案の提供や検証が可能となる。

3. 実海域実船性能向上のための取り組み

船舶性能統合データベースに基づく取り組みとして実施する、1) ウェザールーティングと連携した省エネ船ライフサイクル燃費評価技術の開発、2) 水槽試験・実船データ・シミュレーションの連携による実海域性能推定技術の高精度化、3) 実船データの分析的評価による性能診断技術の開発について、以下に示す。

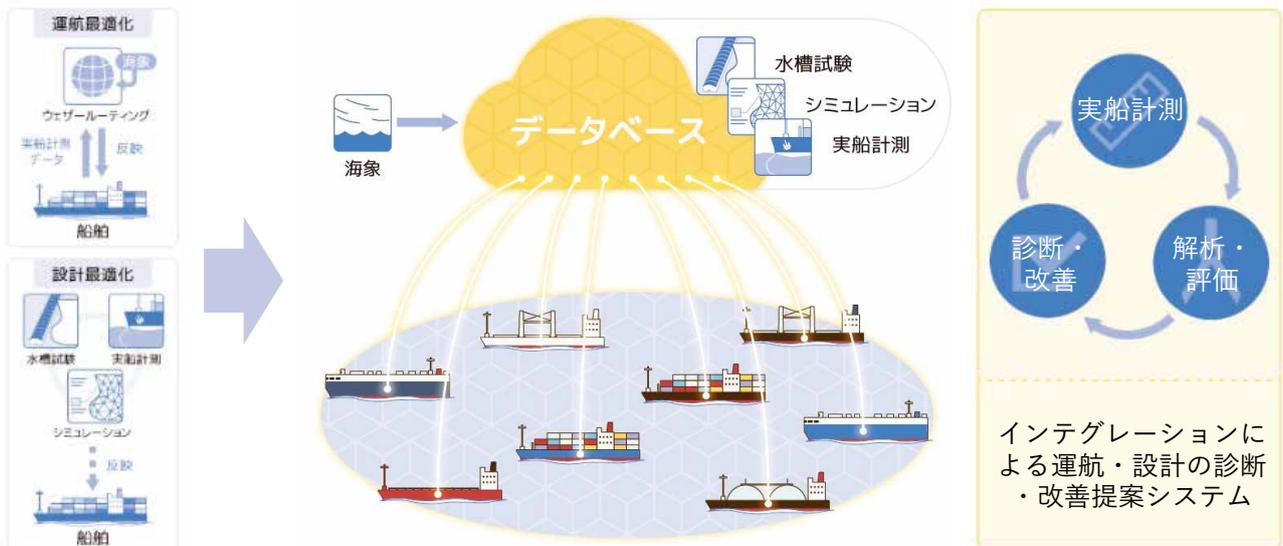


図-1 船舶性能統合データベースのコンセプト図

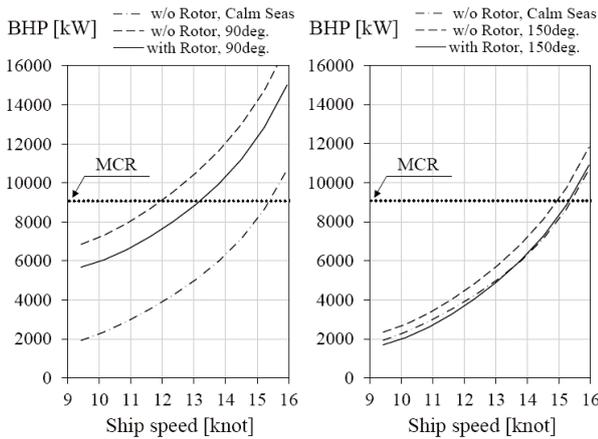
3.1 ウェザールーティングと連携した省エネ船ライフサイクル燃費評価技術の開発

実海域における実船燃費性能向上のために、風力などの自然エネルギーの利用や代替燃料への転換が進められている。

現在の風力利用技術搭載船（風力アシスト船）としては、大きく分けて、帆装船（硬翼，軟翼），ローター船，カイトに大別される。いずれも，風況や船速により効果が異なるため，運航航路や遭遇海象の影響を大きく受ける。図-2にローター船の燃費削減効果の推定例を示す。ここから，燃費削減

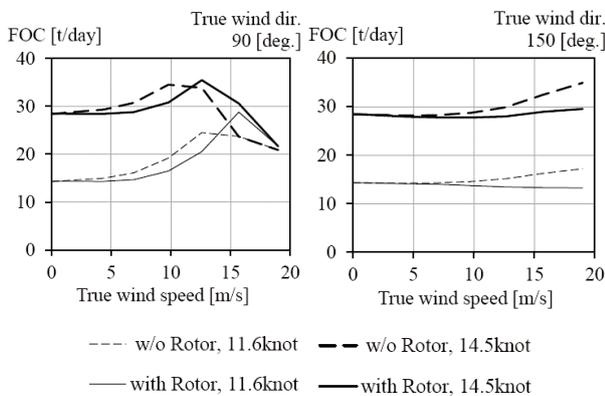


(a) ローター船イメージ図



(b) ローターによる馬力削減効果（左：横風、右：斜追風）

（真風速：15.7m/s, 有義波高：5.5m）



(c) ローターによる燃費削減効果（左：横風、右：斜追風）

図-2 自然エネルギーを利用した省エネ船評価の例⁷⁾

効果は，風況，船速により異なることがわかる。風力アシスト船の最適航路は通常船舶の最適航路と異なるため，ウェザールーティングと組み合わせ，燃費削減効果の最大化及び正確な省エネ船評価のための技術開発を行う。

さらに，省エネ技術の導入や代替燃料への転換を考慮し，船舶の実運航時の性能をライフサイクルで評価する技術開発を行う。そのため，船体表面やプロペラ粗度の変化に起因する抵抗増加や推進効率の悪化による経年劣化の評価モデルについて，実船データに基づく分析を行い（図-3），シミュレーション可能な評価モデルの構築を行う。

また，既存船の省エネ対策として実施されている低速化に対応するため，低速時の波浪中抵抗増加の推定や，低速時に寄与が大きくなる斜航流体力の評価について調査し（図-4），評価モデルの検討を行う。

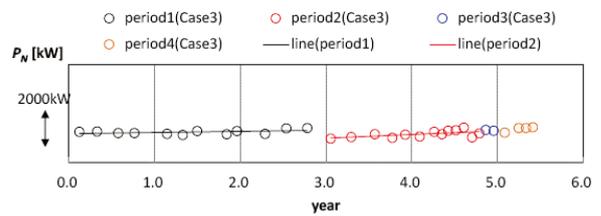


図-3 実船データの分析による経年劣化（出力増加）の評価例（大型鉱石船，満載状態，回転数一定）⁸⁾

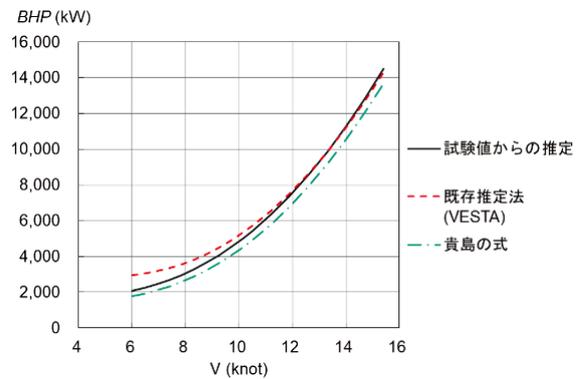


図-4 斜航抵抗の主機出力に対する影響調査例

（ケーブサイズバルカー，パラスト状態，斜追波追風，真風速：12.6m/s, 有義波高：3.0m）⁹⁾

3.2 水槽試験・実船データ・シミュレーションの連携による実海域性能推定技術の高精度化

船舶性能統合データベースにより，低速状態を含めたロバスト性の高い評価技術の開発を行う。低速状態の試験では，船体周りの流場が不安定になりやすいため，従来の力の計測だけではなく流場の計測を行い（図-5），これらとCFDなどの数値計算結果を同化させた水槽試験技術・評価技術の開発を行う。さらに，実船データによる検証結果を評価技術にフィードバックし，実船の推進性能・燃費性能を高精度で推定することを目標とした技術開発を行う。第一段階として水槽

試験データベースの構築を進めており、今後、シミュレーションツールや実船データベースとの接続を行っていく。そのため、各種ツールのwebアプリ化、海技研クラウド¹⁰⁾上での公開を行っている(図-6)。

また、水中騒音規制に関する国際動向に対応するため、プロペラキャビテーションに起因する水中騒音の評価技術の開発を行っている(図-7)。水中騒音の簡易的な推定法の開発、及び、キャビテーション水槽での計測結果から実船相当環境での水中騒音レベルの評価を行う手法の開発を行っている。これらの評価技術を用い、実船でのキャビテーションによる水中騒音低減技術の開発につなげる。

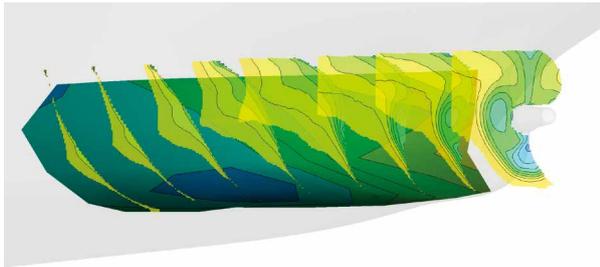


図-5 PIVとFBGセンサによる模型船まわりの流場及び船体圧力分布計測結果例(749GT内航一般貨物船)¹¹⁾



(a) web伴流設計システム操作画面¹²⁾



(b) 全球の波と風データベース GLOBUS cloud版操作画面¹³⁾

図-6 海技研クラウド上で公開しているプログラムの例

Underwater Radiated Noise (URN) Estimation by Brown's Formula

File Name: 0

Brown's formula

$$SL = 10 \log \left(\frac{n^3 D^4 Z}{f^2} \right) + 10 \log \left(\frac{A_c}{A_b} \right) + K$$

Item	Symbol	Value	Unit	Remarks
Number of blades	Z	4	[-]	
Rate of propeller rotation	n	3.58	[rpm]	
Propeller diameter	Dp	4.24	[m]	
Cavity area ratio	Ac/Ad	0.08	[%]	
Cavity area	Ac	1.03	[m ²]	
Propeller area	Ad	14.12	[m ²]	
Constant of Brown's formula	K	163	[-]	Propeller: K-163, Thruster: K-170

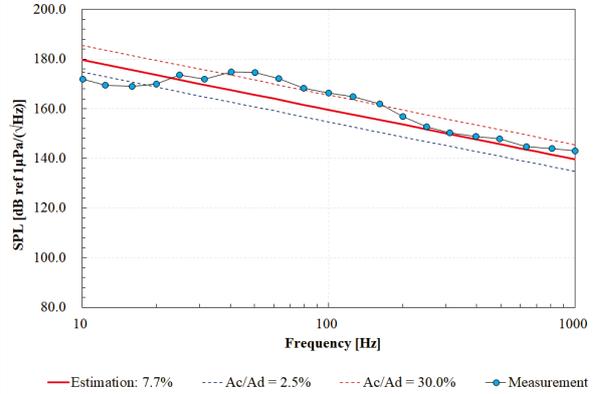
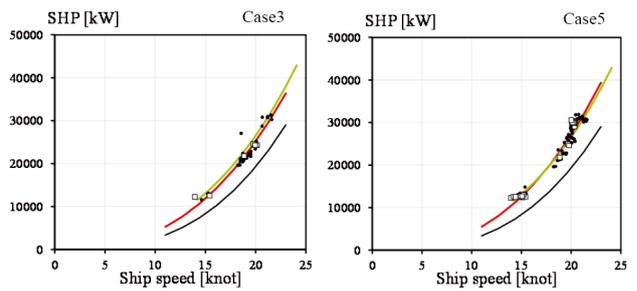


図-7 HOPE Light¹⁴⁾による水中騒音の推定例(バルカー¹⁵⁾)

3. 3 実船データの分析的評価による性能診断技術の開発

実船データから、設計要素や航路、遭遇海象等の運航要素による性能の要素分析を行い、燃費性能の改善を提案する診断技術の開発を行う。当所では、実船データ(回転数、出力、船速など)から、実海域中の燃費性能を評価する技術の開発を行っている(図-8, 9)。また、実海域中の燃費性能に関係する、船型、上部構造物、機関・推進器などの設計要素や、航路、機関作動条件、燃料、メンテナンス計画などの運航要素を評価軸とし、外力や推進効率、海象の確率分布などの組み合わせによる実海域中の燃費性能評価を実施している(図-10)。各要素に起因する影響の評価精度を高めることにより、実船データによる分析評価精度を向上し、正確な燃費性能改善提案につなげていく。



(a) 風速によるフィルタリング (b) 抵抗閾値法によるフィルタリング

— in calm seas — in designated weather condition
● fitting data □ evaluation data — predicted

図-8 ビューフォート風力階級6相当の海象における実船モニタリングデータ解析の例(270mコンテナ船)¹⁶⁾

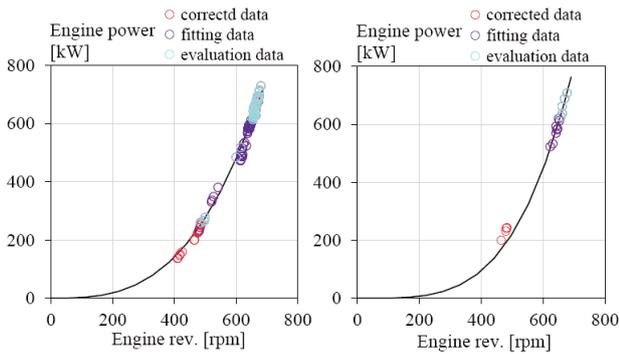


図-9 実船データの統計解析周期の平水中性能への影響調査例
(練習船, 計画満載状態)¹⁷⁾

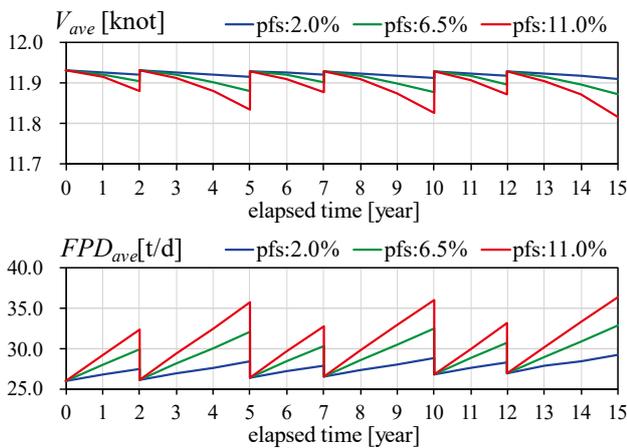


図-10 船速 V_{ave} , 燃料消費量 FPD_{ave} の経時変化への
船体抵抗増加率 pfs の影響評価例 (ケーブサイズバルカー)¹⁸⁾

以上に紹介した実船データによる性能診断技術と、ウェアラブルセンシングと連携したライフサイクルでの実運航時の燃費評価技術、水槽試験・実船データ・シミュレーションとの連携した実海域性能推定技術をまとめ、実海域中の実船燃費性能を向上のための船舶性能統合データベースの構築を目指す。

4. まとめ

当所で実施していく実海域中の実船燃費性能向上への取り組みについて示し、船舶性能統合データベースによる、実海域実船性能向上の構想について述べた。これらの取り組みにより、国際海運分野で望まれている GHG 削減などの環境規制対応に寄与し、所内外の連携により、環境性能に優れた船舶の実現、運航改善による GHG 排出規制対策の的確な実施に繋がっていきたい。

References

1) International Maritime Organization, 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships, RESOLUTION MEPC.364(79) (2022).

2) International Maritime Organization, 2012 Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP), Resolution MEPC.213(63) (2012).

3) International Maritime Organization, Initial IMO strategy on reduction of GHG Emissions from ships, Resolution MEPC.304(72) (2018).

4) International Maritime Organization, 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy existing ship index (EEXI), RESOLUTION MEPC.350(78) (2022).

5) International Maritime Organization, 2022 Guidelines on operational carbon intensity indicators and the calculation methods (CII guidelines, G1), RESOLUTION MEPC.352(78) (2022).

6) International Maritime Organization, Guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life, MEPC.1/Circ.833 (2014).

7) 粉原直人, 久米健一: 実海域におけるローター船の省エネ効果の評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 第35号, (2022), pp. 29-41.

8) 櫻田顕子, 粉原直人, 辻本勝: 実船モニタリングデータによる経年劣化・生物汚損の評価法の検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第31号, (2020), pp. 401-408.

9) KURODA Mariko, YOKOTA Saori, TSUJIMOTO Masaru, FUKASAWA Ryohei, Effect of Hydrodynamic Forces due to drift motion on ship performance in actual seas at low speed, Conference Proceedings, 15th International Symposium on Practical Design and other floating Structures, (2022), pp. 257-266.

10) 一ノ瀬康雄, 和中真之介, 河村昂軌: Web アプリケーション連携による海事産業の競争力強化-海技研クラウドの開発-, 海上技術安全研究所報告, 第22巻別冊, (2022), pp.69-73.

11) 濱田達也, 一ノ瀬康雄, 新川大治朗, 藤沢純一: FBG 圧力センサとピトー管を用いた圧力・流場計測によるダクト型省エネ付加物の喫水影響に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第29号, (2019), pp.187-192.

12) ICHINOSE Yasuo, TAHARA Yusuke: A wake field design system utilizing a database analysis to enhance the performance of energy saving devices and propeller, Journal of Marine Science and Technology, 24,(2019), pp.1119-1133.

13) TSUJIMOTO Masaru, MATSUZAWA Takatoshi, KUME Kenichi: Statistical Characteristics of Global Winds and Waves, Proceedings of the Twenty-eighth International Ocean and Polar Engineering Conference, (2018), pp. 379-386.

14) 一ノ瀬康雄, 久米健一: 船型要目最適化プログラム HOPE Light, 海上技術安全研究所報告, 第15巻第4号, (2020), pp.13-25.

15) AUDOLY Christian, ROUSSET Céline, LEISSINGC Thomas: AQUO Project - Modelling of ships as noise source for use in

- an underwater noise footprint assessment tool, Proceedings of INTERNOISE 2014 - 43rd International Congress on Noise Control Engineering: Improving the World Through Noise Control, (2014).
- 16) SOGIHARA Naoto: Evaluation of Ship Performance in Actual Seas Using Onboard Monitoring Data -Application of Resistance Criteria Method to Designated Weather Condition, Conference proceeding, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 32, (2021), pp. 125-126.
- 17) 粉原直人, 白石耕一郎: 実船モニタリングにおける統計解析周期に関する検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第35号, (2022), pp. 477-450.
- 18) SOGIHARA Naoto, KURODA Mariko, TSUJIMOTO Masaru: Lifecycle Assessment of Fuel Oil Consumption of a Ship in Service, Conference Proceedings, HullPIC2022, (2022), pp. 36-49.