

6 OCTARVIA プロジェクトによる実海域実船性能評価と 性能向上への寄与

黒田麻利子*, 杉本 義彦**, 粉原 直人*, 佐藤 秀彦***, 久米 健一*,
折原 秀夫****, 辻本 勝*

OCTARVIA Project: Evaluation and Improvement of Ship Performance in Actual Seas

by

KURODA Mariko, SUGIMOTO Yoshihiko, SOGIHARA Naoto, SATO Hidehiko, KUME Kenichi,
ORIHARA Hideo and TSUJIMOTO Masaru

Abstract

The OCTARVIA Project is a three-year project that was launched in October 2017 as a collaborative research effort between twenty-five companies in the Japanese maritime industry. The aim of the project was to develop a method for accurately evaluating ship performance in actual seas. An evaluation method for ship performance was developed as the index value for all ships. Working groups in the OCTARVIA project contributed to establishing a method for estimating ship performance in actual seas and the evaluation method using onboard measured data. This paper describes the technical achievements of the project thus far and the contribution of the developed index towards the improvement of ship performance.

* 流体設計系, ** 株式会社商船三井, *** 株式会社 MTI,

**** ジャパン マリンユナイテッド株式会社

原稿受付 令和2年4月30日

審査日 令和2年6月9日

1. はじめに

2017年10月に発足したOCTARVIAプロジェクトは、日本国内の海事業界25機関が実施する実海域実船性能評価をテーマとするプロジェクトである¹⁾。プロジェクトの目標は、世界中の船舶を同じ精度で客観的に評価・比較できる「ものさし」を開発することであり、そのための技術的取り組みとして、運航段階の実船性能を実船計測データにより正確に評価する手法の開発、設計段階の実海域性能を高精度に推定する手法の開発、開発した手法により実海域性能を評価する方法「ものさし」の開発を行っている。

プロジェクトの発足からこれまでの技術的取り組みにより得られた結果を報告する。またプロジェクトが開発目標としている「ものさし」による実海域性能評価について述べる。

いる「ものさし」の開発につながる。

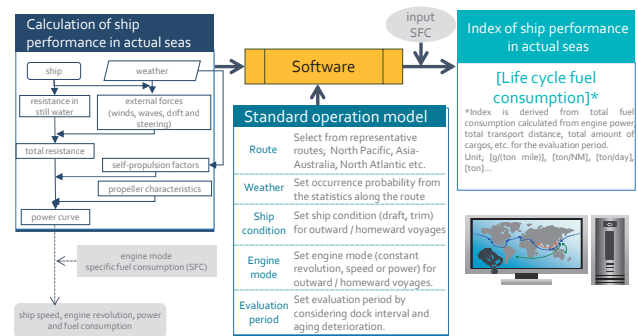


図-2 ライフサイクル主機燃費の概要



図-1 OCTARVIA 参加企業の構成

2. 実海域性能を測る「ものさし」の開発

本プロジェクトが開発目標としている「ものさし」を、ライフサイクル主機燃費と定め、主機燃費推定精度2%を開発目標として技術的取り組みを行っている。ライフサイクル主機燃費指標の概要²⁾は図-2に示す通りであり、設計段階での評価手法である実海域実船性能推定手法をベースに計算される。指標は、表-1に示す枠組みで設定する標準運航モデルの下で計算される。

評価指標「ものさし」は、推定法をベースに算出されるため、推定法を構成する要素評価法も重要となる。要素ごとの評価方法を確立するために、各種数値計算法を模型試験結果と比較し信頼性を高めることを考え、模型試験解析・評価法についても検討を行っている。最終的に、推定法の精度については、実船計測データと照らし合わせて検証される。

実船計測データによる推定法の検証のためには、計測方法や精度を確認した上で、データの抽出・解析を行い、実船性能を評価する方法を構築する必要がある。ここで、航海ごとまたは時々刻々と異なる排水量・主機回転数・実運航時に遭遇する外乱を処理する方法、経年劣化や生物汚損などの長期的に変化する影響の取り扱いなど、海上試運転での性能確認手法には考慮されない課題が関係する。

このように、本プロジェクトにかかわる課題は多岐に亘るものであり、技術課題に一つずつ取り組むことが目標として

表-1 標準運航モデル

Item	Input options
Route	North Pacific, West Pacific, Asia-Europe via Suez, Asia-Europe via Cape, North Atlantic, World-wide, other
Season	Annual, Spring, Summer, Autumn, Winter
Direction of sailing	homeward/outward
Loading condition	Input for homeward/outward
Engine Revolution	Input for homeward/outward
Rate of aging deterioration	Input
Rate of biological fouling	Input
Timing of cleaning	Input for hull/propeller
Evaluation period	Input

3. 技術的課題への取り組み

プロジェクトでは、技術課題に取り組むため、3つのサブテーマを設定し、それぞれのテーマを担当するワーキンググループを設置している。

- S1: 実海域における実船性能モニタリング手法の構築
- S2: 実海域性能推定手法の構築
- S3: 実海域性能評価手法の確立

3. 1 実海域における実船性能モニタリング手法の構築

S1-WGでは、すでに計測装置を搭載している11隻を対象に、実船計測データを用いて評価法の検討を行っている。

実船計測データから性能を評価する手法として、見かけスリップ比と抵抗増加率を基準としてフィルタリングを行い、フィッティングの品質管理情報を導入することにより精度を定量的に把握することができる手法RCM(Resistance Criteria Method)が提案された^{3), 4) 5)}。本手法の採用により、外乱影響に関する精度の良いフィルタリングを行い、ばらつきの小さいデータを抽出して実船性能の評価を行うことが可能となる。コンテナ船を対象として、実船計測データから対水船速と主機出力の関係をフィッティングした例¹⁾を図-3に示す。左は波や風の外乱修正を行ったデータ(dist. corr.)

からフィッティングを行ったものと平水中に近い条件のデータで波や風の外乱修正を行ったデータ (calm sea) からフィッティングを行ったものを比較した結果であり、2つのカーブが異なり適切なカーブの判断が難しいことがわかる。右はRCMを用いた結果である。RCMでは外乱修正したデータを用いてフィルタリング、フィッティングを行い、データとカーブの法線方向のばらつきを指標に抵抗増加率の抽出範囲を調整する。そのため、信頼性の高いデータが、単純に平水中に近いデータを抽出するより広い速度範囲で抽出され、低速域までフィッティングができていたことがわかる。本手法を用いて得られた平水中性能をベースに実運航シミュレーション⁶⁾を行い、1航海で対水船速積算して得られる航海距離(L_w)と燃料消費量(FOC)について、実船計測データと比較した結果を表-2に示す。

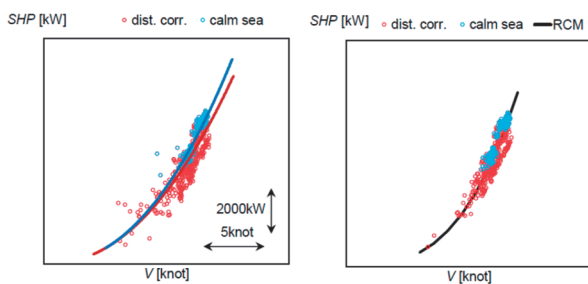
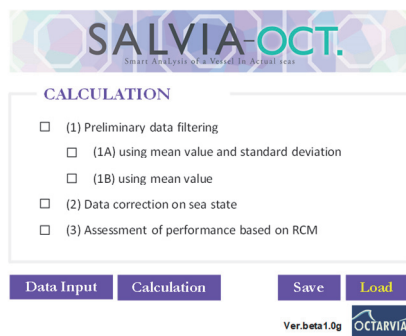


図-3 パワーカーブのフィッティングの例
(左：RCMの利用無し、右：RCMの利用あり)

表-2 1航海における航海距離と燃料消費量の評価例

Ship	Item	Percentage of difference
Container ship (250m)	L_w	-0.3%
	FOC	1.1%
Tanker (175m)	L_w	-1.7%
	FOC	2.0%

本手法を組み込んだプログラム SALVIA-OCT. および EAGLE-OCT. を開発中であり、S1-WG で検討対象としている各船で手法の検証を行っている。



(a) 実船データ解析プログラム



(b) 簡易推定プログラム

図-4 プログラムトップ画面

さらに、S1-WG では、計測方法や計測精度についての調査検討⁷⁾、現行の計測システムより正確な計測を可能とする新たなモニタリングについてのフィージビリティ調査や、対象船データを用いた船型情報や水槽試験結果などの設計時に関するデータレベルによる実海域性能評価への影響調査⁸⁾、経年劣化・生物汚損に関する調査についても実施中である。

実船性能モニタリング手法により、実船データを用いて、任意の海象状態、載荷状態や船速での性能を評価することが可能となる。

3. 2 実海域性能推定手法の構築

S2-WG では、設計段階で使用できる実海域性能推定手法について、当所が開発したソフトウェアである実運航性能シミュレータ VESTA で用いられている手法⁶⁾をベースに、手法の信頼性向上・高精度化に関する取り組みを行っている。実運航性能シミュレータは、実海域で船舶に作用する外力を物理モデルにより推定し、主機作動制限および主機調速機（ガバナ）制御を考慮して船速低下や燃料消費量増加量を算定するプログラムである。

実海域性能において重要な要素である波浪中抵抗増加や自航要素、風圧力推定法の確立のため、海外を含めた複数施設で同じ形状の模型を使用した持ち回り試験を実施し^{9), 10)}、試験結果の信頼性を確認し、推定法への反映を行っている。そこで、推定法の開発とともに模型試験の実施・解析の標準手法についても検討を行っている。

風洞試験法について、地面板上で発達する境界層厚さと風速分布の解析結果への影響を調査し、風速の2乗の積分から算出する高さ方向平均風速を用いることにより、風速分布の影響の少ない風圧力係数が得られることが分かった。ケーブサイズのバルカーを対象として、図-5に示す同一模型を用いて実施した風洞持ち回り試験結果を図-6に示す。ここで横軸 ϕ は相対風向である。図-6の結果は、表-3に示す各風洞で風速分布を計測して算出した平均風速により無次元化した結果であり、異なる境界層厚さの風速分布であっても、風圧抵抗係数 C_R 、風圧横力係数 C_T 、風圧回頭モーメント C_M は、それぞれ平均値に対して $\pm 6\%$ 、 $\pm 3\%$ 、 $\pm 3\%$ のばらつきの範囲内に収まることが確認された。

波浪中抵抗増加、自航要素についても、同一模型を用いた持ち回り試験を実施しており、実施手順を踏まえた標準試験法の作成及び試験結果を反映した推定法の高精度化に取り組んでいる。

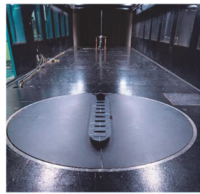
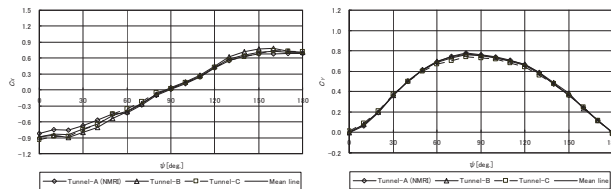


図-5 風洞模型

表-3 風洞概要

Tunnel	Test section	Max. wind velocity	Thickness of boundary layer
A (NMRI)	15 × 3 × 2 m	30 m/s	abt. 130 mm
B or C (The other tunnels)	24 × 6 × 3 m	15 m/s	abt. 30 mm
	30 × 6 × 5 m	20 m/s	abt. 50 mm



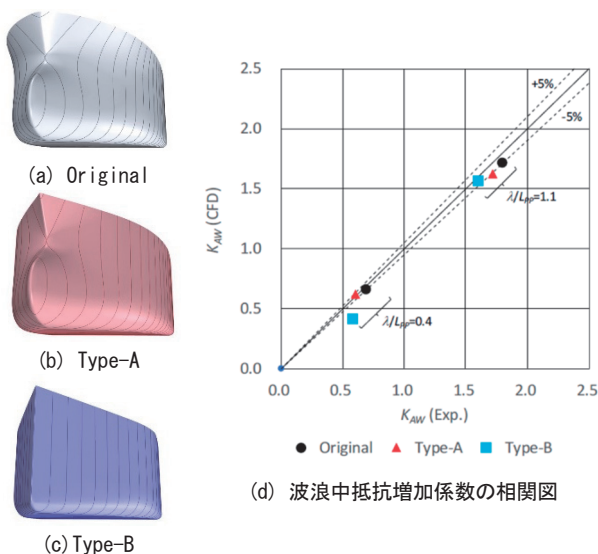
(a) 風圧抵抗係数

(b) 風圧横力係数

(c) 風圧回頭モーメント係数

図-6 風洞持ち回り試験結果

また、波浪中抵抗増加、風圧抵抗について、詳細な船型データを用いるCFDとの連携を考え、計算ガイドラインの開発を行っている^{11), 12)}。波浪中抵抗増加について、ガイドラインに則ったCFD計算により、船首部形状についての感度調査を、水槽試験との比較により実施している¹³⁾。ケープサイズバルカーを対象に実施した感度調査結果の概要を図-7に示す。ここで、波浪中抵抗増加係数 K_{AW} は $(4\rho g \zeta_a^2 B^2/L)$ による無次元値であり、 ρ は流体密度、 g は重力加速度、 ζ_a は波振幅、 B は船幅、 L は船長である。ここから、開発中のガイドラインにより、船首形状による波浪中抵抗増加の大小関係が水槽試験と同じ傾向で得られることを確認した。



(d) 波浪中抵抗増加係数の相関図

図-7 船首部感度調査結果

S2-WG で開発中の実海域性能推定手法は、S1-WG で開発される実船モニタリング手法により解析される実船データとの比較により、推定精度の確認が行われて検証され、指標を計算する評価法へ導入される。

3. 3 実海域性能評価手法の確立

S3-WG では、海運会社等が使用する実海域性能評価法の開発に取り組んでおり、評価プログラムの開発を行っている。

評価プログラムは、S2-WG で開発されている実海域性能推定手法をベースとしており、前述の表-1 に示した標準運航モデルにおける評価を行う。ここで選択される Route, Season により、海象確率分布が設定されることから、長期統計モデル¹⁴⁾を用いた基準海象条件についての検討を行っている。また、経年劣化・生物汚損に関しては、S1-WG での調査結果を取り入れたモデルにより評価される。

評価法による指標の計算フロー、プロトタイプ版プログラム(実海域性能推定プログラムと一体型)²⁾を図-8, 9に示す。

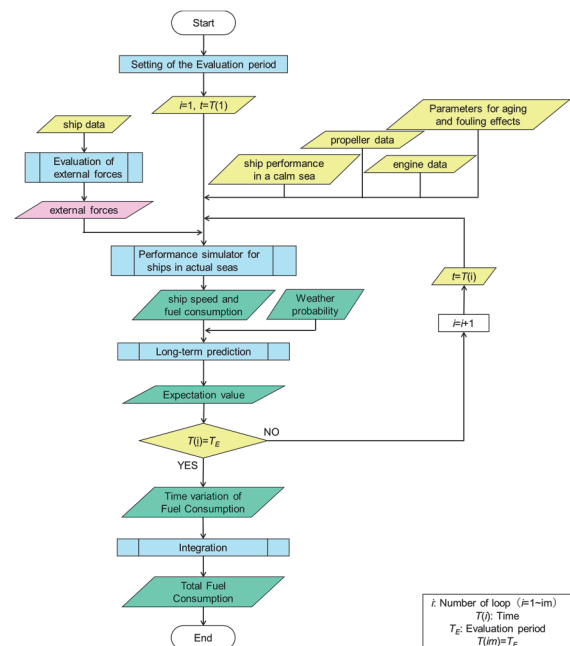


図-8 実海域性能評価手法の計算フロー

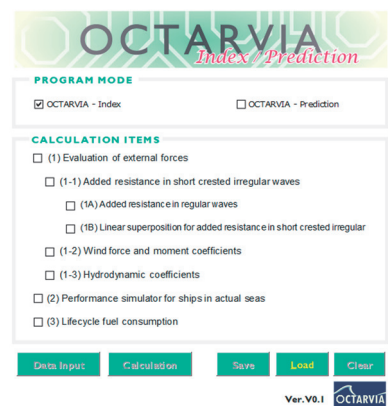


図-9 指標計算プログラム(プロトタイプ) トップ画面

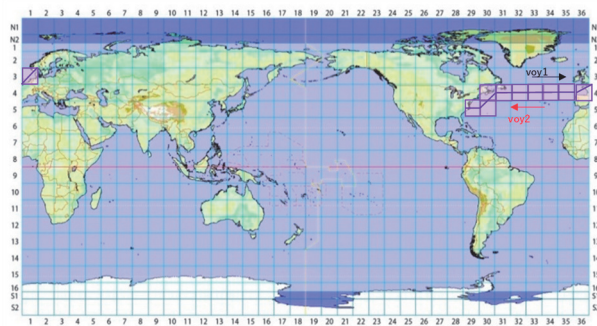
4. 実海域性能評価手法による性能向上への寄与

ライフサイクル主機燃費は、実船の実海域性能を測る「ものさし」であり、これを利用することにより、個船の性能向上が期待される。

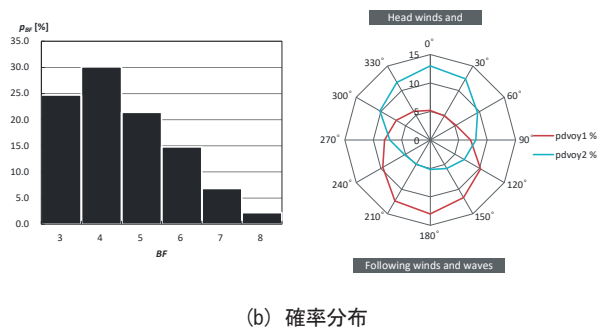
評価プログラムでは、航路、季節を選択するとそれに対応した波と風の発現確率が設定され、往路・復路それぞれにおける载荷状態、主機回転数を設定し、さらにプロペラクリーニングやハルクリーニングのためのインターバルを設定し、ライフサイクル主機燃費の算定を行う。計算過程では、設定評価期間における平均船速の変化や燃料消費量の悪化についても評価される。

例として、6500TEUのコンテナ船（計画満載状態）を対象に、北大西洋航路を運航航路に設定し、指令主機回転数一定の条件で、評価を行った。この場合の海象の確率分布を図-10に示す。ここで、 p_{BF} はビューフォートスケールベースの確率分布、 $p_{dvoy1,2}$ は風向・主波向についての確率分布であり、0 deg.は向波向風を表し、往路・復路について設定される。経年劣化・生物汚損については、船体抵抗の変化（経年劣化 ΔR 、経年劣化と生物汚損の合計 ΔR ）、生物汚損によるプロペラ単独効率の変化 $\Delta \eta$ 、経年劣化による燃料消費率の変化 ΔSFC それぞれについて、時間に対して線形のモデルを仮定し、図-11に示す変化率を設定した。

評価計算により、タイムステップごとに各海象における船速低下、燃料消費量が計算される。図-12に、経年劣化・生物汚損の影響がない状態の計算結果例を示す。同様の計算を時刻ごとに実施し、図-13に示す船速低下、燃料消費量の経年変化が得られる。



(a) 設定海域



(b) 確率分布

図-10 北大西洋航路の海象確率分布

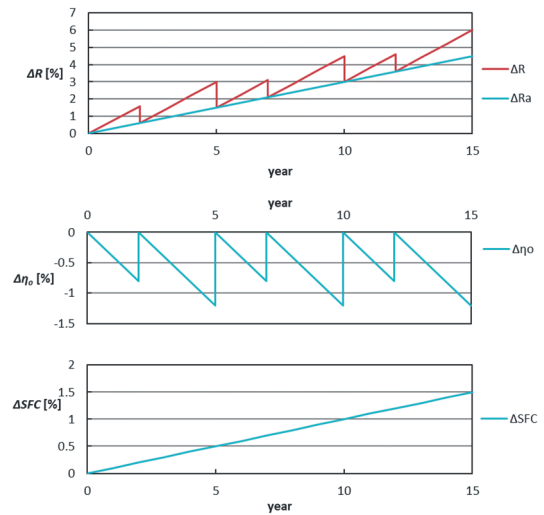
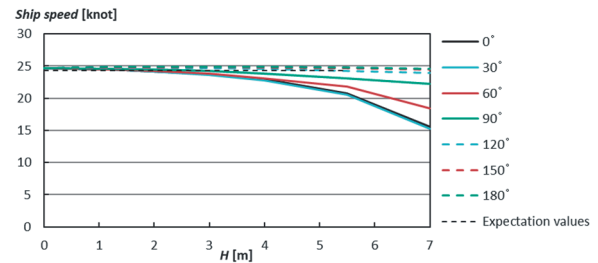
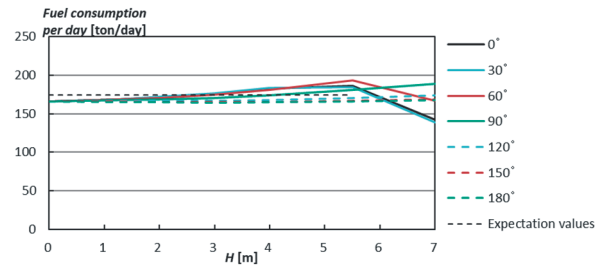


図-11 経年劣化と生物汚損の設定

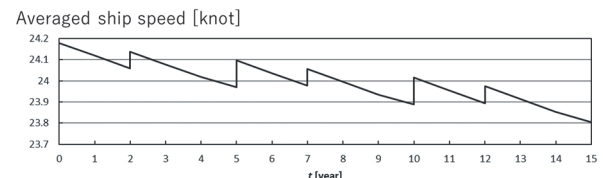


(a) 船速低下

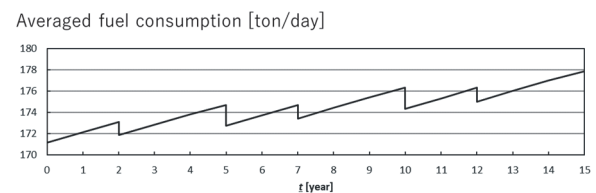


(b) 燃料消費量

図-12 実海域性能計算結果



(a) 船速低下



(b) 燃料消費量

図-13 経年変化

本プロジェクトで検討している実海域性能評価法では、実海域で船舶に作用する外力を物理モデルにより推定するため、実海域影響への船型による差を合理的に評価することができる。また、航路による海象影響や経年劣化・生物汚損による性能変化を考慮することができるため、運航プロファイルによる影響も含めた評価を行うことができる。

ライフサイクル主機燃費は、実海域性能評価法により算出される主機燃料消費量をベースとした指標である。プロジェクトでは、現在、実海域性能向上のための設計技術や取り組みが反映される適切な指標となっているか、妥当性の確認をするための検証を実施している。

5. まとめ

2017年10月に発足したOCTARVIAプロジェクトにおいて、実海域実船性能評価のための「ものさし」の開発を目標に実施している検討内容について述べた。「ものさし」をライフサイクル主機燃費と定め、実船性能モニタリング手法の開発、設計段階で利用できる実海域性能推定手法の開発、開発した手法により実海域性能を評価する「ものさし」の開発を3つのテーマに掲げ、各テーマにおける技術課題への取り組み内容を紹介した。開発した手法による計算例を示し、「ものさし」による実海域性能向上への期待を示した。

謝辞

本内容は、海事クラスター共同研究実海域実船性能評価プロジェクト（OCTARVIAプロジェクト）により実施したものです。各種検討に取り組んだ担当各位に深く感謝いたします。

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の取り組み, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号(2020).
- 2) 杉本義彦, 黒田麻利子: 実海域実船性能評価手法の開発ーライフサイクル主機燃費指標ー, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号(2020).
- 3) 櫻田 顕子, 粉原 直人, 辻本 勝: 平水中性能評価のための抵抗増加率によるフィルタリング手法の検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第29号(2019), pp. 297-304.
- 4) 櫻田 顕子, 粉原 直人, 辻本 勝, 佐藤 秀彦, 米澤拳志: 実船モニタリング解析におけるデータフィルタリング手法の評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第29号(2019), pp. 305-310.
- 5) 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平水中性能評価のためのフィルタリング手法について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号(2020).
- 6) Tsujimoto, M., Sogihara, N., Kuroda, M. and Sakurada, A.: Development of a ship performance simulator in actual seas, Proc. of the ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic

Engineering(2015), OMAE2015-41708.

- 7) 粉原直人, 辻本勝, 段野貴志, 柳田徹郎, 熊崎幹也, 三宅竜二: 運航中の船舶の喫水状態と慣動半径について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号(2020).
- 8) 粉原直人, 横田早織: 外力の推定精度が実海域性能評価に及ぼす影響について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号(2020).
- 9) 折原秀夫, 久米健一, 石上恭平, 高野浩太郎, 溝上宗二: 船舶の規則波中水槽試験法についてー標準的波浪中抵抗・荷重度変更推奨試験法の構築の取り組みー, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号(2020).
- 10) Kume, K., Ohba, H., Orihara, H. and Mizokami, S.: Wind Velocity Profile and Representative Wind Velocity for Wind Resistance Measurement of Ship Models, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 30(2020), pp. 1-13.
- 11) 小林 寛, 久米 健一, 折原 秀夫, 池渕 卓郎, 青木伊知郎, 吉田 龍, 吉田 尚史, 龍 知宏, 新井 祐司, 片桐 高輔, 池田 征治, 山中 象太, 秋林 秀聡, 溝上 宗二: 向波中の波浪中抵抗増加 CFD 計算における計算条件の設定についてーRANS 計算のパラメトリックスタディー, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第29号(2019), pp. 205-208.
- 12) Kobayashi, H., Kume, K., Shigyo, T. and Hino, T.: Numerical Study for Wind Resistance of a Bulk Carrier, Proceedings of the Conference of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.30(2020).
- 13) 久米健一, 小林寛, 大場弘樹, 横田早織: 船首部形状変更と波浪中抵抗増加の関係についてー水槽試験によるCFD計算の検証ー, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号(2020).
- 14) Tsujimoto, M., Matsuzawa T. and Kume, K.: Statistical Characteristics of Global Winds and Waves, Proc. of the Twenty-eighth International Ocean and Polar Engineering Conference(2018), pp. 379-386.
https://www.nmri.go.jp/study/Intellectual/globus/nami_kaze_main_e.html