

実海域実船性能評価技術の開発

黒田麻利子*, 粉原 直人*, 櫻田 顕子*, 横田 早織*, 辻本 勝*

Development of Evaluation Method for Ship Performance in Actual Seas

by

KURODA Mariko, SOGIHARA Naoto, SAKURADA Akiko, YOKOTA Saori, TSUJIMOTO Masaru

Abstract

To accurately evaluate the fuel consumption of a ship operating in actual seas, a method of evaluating ship performance in actual seas has been developed. The objectives of the research are to enhance the function of the ship performance simulator VESTA, improve the accuracy of tank tests in waves, and evaluate onboard monitoring data. The results are summarized as below.

- To respond to industry needs, VESTA has been enhanced through the improvement of the estimation method for the added resistance in waves by taking into account the roll motion effect. Functions have also been added to VESTA to evaluate wind-assisted ships, seakeeping performance, and the effects of winds and waves in speed trials.
- To improve tank test accuracy, an automated sequential measurement system which includes analysis has been developed, and an uncertainty analysis for tests in regular waves with different wave lengths has been conducted.
- A model for evaluating ship performance by analyzing onboard monitoring data in consideration with the displacement effect has been developed. The results demonstrated that the model can evaluate fuel consumption within a 3% error for a $\pm 20\%$ different displacement range.

* 流体設計系

原稿受付 令和5年7月29日

審査日 令和5年9月7日

目 次

1. まえがき	2
2. 実燃費評価技術の開発	2
2.1 VESTA の機能強化	2
2.2 波浪中水槽試験の高度化	10
2.3 実運航モニタリングデータの評価	10
3. まとめ	12
謝辞	12
References	12

1. まえがき

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、2023 年には IMO GHG 初期削減戦略及び 2023 戦略^{3),4)}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⁵⁾（EEXI: Energy Efficiency Existing Ships Index）規制や燃費実績⁶⁾（CII: Carbon Intensity Indicator）格付けが開始され、国際海事業界の環境規制は、設計段階だけではなく運航段階も対象となっており、実運航状態の正確な評価が必要となっている。

この国際動向に合わせ、当所では重点研究にて、実燃費評価のため実海域実船性能評価技術の開発に取り組んだ。研究内容について、以下に報告する。

2. 実燃費評価技術の開発

2.1 VESTA の機能強化

実運航性能シミュレータ VESTA は、新造船、既存船に対し、本船の遭遇する気象海象条件を考慮し、流体力学性能と機関特性を組み合わせ、高精度に燃料消費量、船速低下量を推定するものである。流体力学性能としては、これまで拡張してきた波浪中抵抗増加の高精度推定手法、波浪中自航要素評価法を用いて、遭遇海象中の評価を行う。機関特性としては、主機特性の他、主機ガバナーによる主機回転数一定制御、主機出力一定制御の他、フューエルインデックス制御、船速一定制御の主機作動条件を与えることができる。これらの機能をパッケージ化し、燃料消費量、船速などの性能を算定できるプログラムを、実運航性能シミュレータ VESTA として一般向けに提供している。既存機能についての詳細な内容は、別途解説⁷⁾しているため、ここでは追加機能について示す。

(1) 波浪中抵抗増加の横揺影響成分

VESTA の波浪中抵抗増加計算を改良し、横揺影響成分を考慮する。横揺影響成分の計算には、OCTARVIA プロジェクト⁸⁾で開発され、公開されている手法を取り入れる。

従来の波浪中抵抗増加の計算法では、船体運動については、上下揺、縦揺を考慮して計算を行っているため、横揺の影響は考慮されていない。しかしながら、横波中抵抗増加の水槽試験結果などから影響が示されている⁹⁾。Gerritsuma 法による減衰力と相対速度で波浪中抵抗増加のラディエーション成分を計算する考えを流用し、横揺影響成分 $R_{AW\ Roll}$ を (2.1)式により簡易的に表現する。ここで、 k は入射波の波数、 ω_e は入射波の出会い角周波数、 B_{44} は横揺減衰力係数、 k_{xx} は横慣動半径、 ϕ_a は横揺振幅、 d は喫水、 L_{pp} は垂線間長である。

$$R_{AWRoll} = \frac{k\omega_e B_{44} k_{xx}^2 \phi_a^2}{4 d/L_{pp}} \tag{2.1}$$

波浪中抵抗増加の計算は、従来計算法より算出されていた値に横揺影響成分を加えることにより行う。ここで、 R_{AWM} は主に船体運動による丸尾の理論により計算される波浪中抵抗増加、 R_{AWR} は反射波成分抵抗増加である。

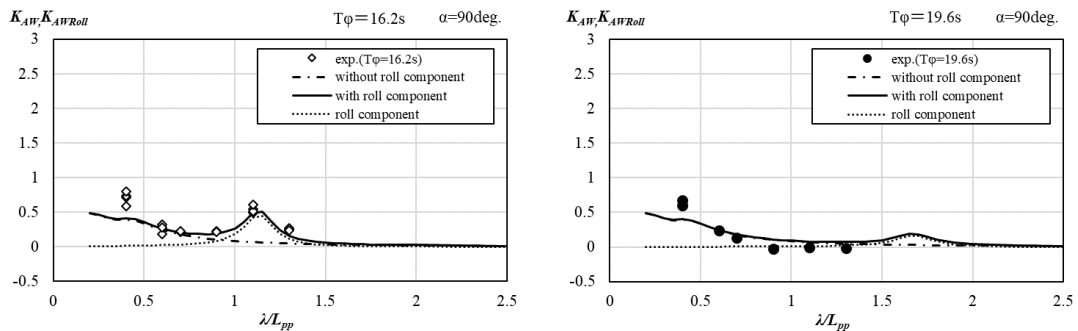
$$R_{AW} = R_{AWM} + R_{AWR} + R_{AWRoll} \tag{2.2}$$

大型コンテナ船 (DTC 船型¹⁰⁾ : 垂線間長 355m, 幅 51m, 喫水 14.5m) に対する VESTA の計算結果を水槽試験結果とあわせて、横揺固有周期 T_ϕ ごとに図 2-1, 図 2-2¹¹⁾に示す。波浪中抵抗増加の無次元係数 K_{AW} は(2.3)式で表す。ここで、 ρ は流体密度、 g は重力加速度、 ζ_a は入射波の波振幅、 λ は波長である。

$$K_{AW} = \frac{R_{AW}}{4\rho g \zeta_a^2 B^2 / L_{pp}} \tag{2.3}$$

図 2-1, 図 2-2 より、横揺影響成分の追加により、波浪中抵抗増加の推定精度が向上し、横揺固有周期による違いを表現できていることがわかる。

表 2-1 に示す海象下で、実運航性能シミュレーションを行い、横揺成分の燃料消費量への影響を評価した結果を図 2-3 に示す。ここで、 FPD は、一日当たりの燃料消費量である。横揺影響成分を加えない場合との差は、BF6 (平均風速 12.6m/s, 有義波高 3m, 平均波周期 6.7s) の斜追波斜追風中 (135deg.) において約 2%となり、横揺影響成分の有効性が確認できる。



(a) 横揺固有周期 : 16.2 秒 (b) 横揺固有周期 : 19.6 秒

図 2-1 DTC の波浪中抵抗増加 (横波中)

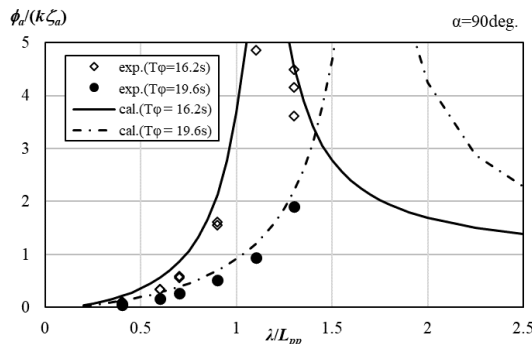
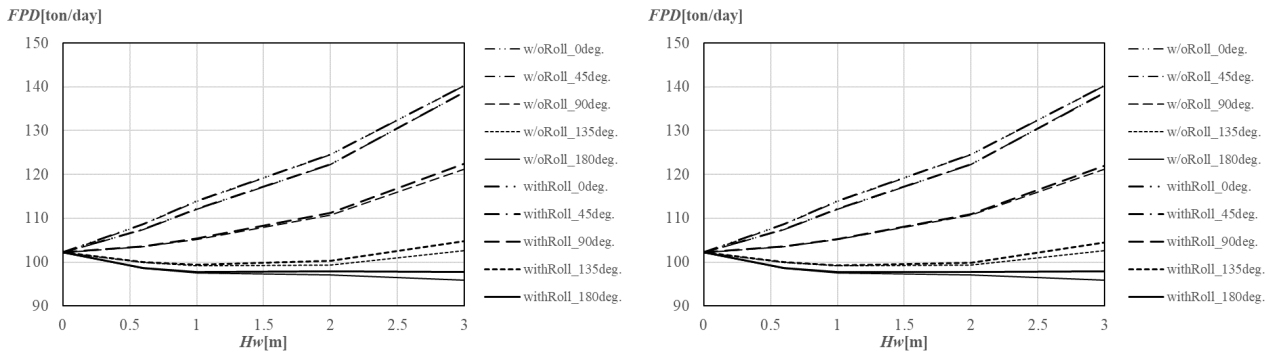


図 2-2 DTC の横揺振幅 (横波中)

表2-1 海象条件

BF	Mean wind speed U_{wind} [m/s]	Significant wave height H_w [m]	Mean wave period T [s]
3	4.4	0.6	3.0
4	6.9	1.0	3.9
5	9.8	2.0	5.5
6	12.6	3.0	6.7



(a) 横揺固有周期 : 16.2 秒

(b) 横揺固有周期 : 19.6 秒

図 2-3 横揺影響成分の実海域性能評価への影響 (燃料消費量の比較)

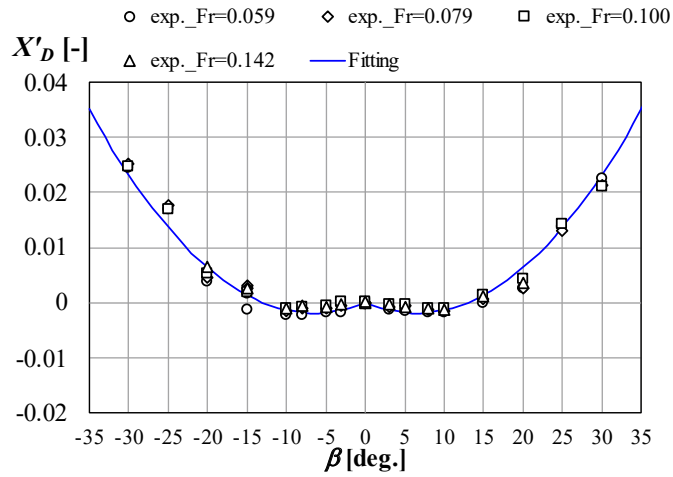
(2) 斜航流体力モデルの改良

VESTA では、斜航流体力の計算に必要なパラメータについては、MMG モデルに従い、水槽試験もしくは貴島らによる船型要目を用いて回帰式により推定する方法^{12), 13)}で計算する。推定パラメータを用いる場合、斜航抵抗は貴島らの表現に小アスペクト比の誘導抵抗を付加した方法¹⁴⁾で計算する。水槽試験結果からパラメータを導く場合は、これまで斜航角の 2 次の項のみで表現していたが、1 次の項を加えた(2.4)式の表現に改良した。ここで、 X_D' は斜航前後力係数、 β は斜航角、 $C_{x\beta\beta}$ 、 $C_{x\beta}$ は水槽試験から求める定数、 X_D は斜航前後力、 d_m は中央喫水、 V は船速である。

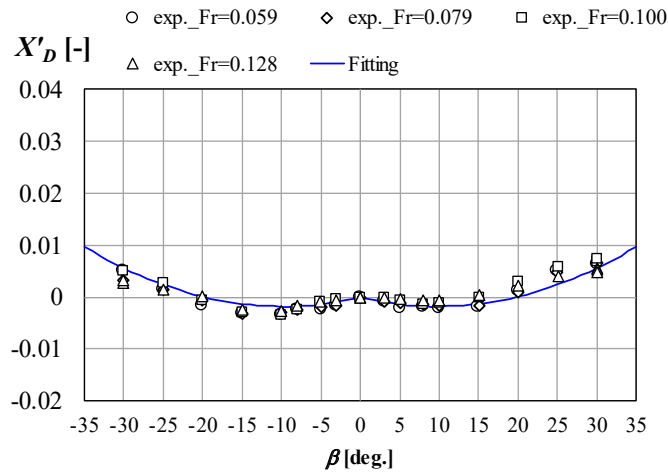
省エネのための低速運航化により、波浪中での斜航角の増加に対応するため、ケーブサイズバルカー (JBC 船型¹⁵⁾、垂線間長 280m、幅 45m、計画満載状態：喫水 16.5m、バラスト喫水状態：中央喫水 8.6m、船尾トリム 2.8m) 及び DTC 船型を対象により幅広い斜航角範囲で斜航流体力を調査した結果を図 2-4 に示す¹⁶⁾。ここで、プロットした点は実験値を表し、 F_r はフルード数である。また、Fitting は実験結果を(2.4)式で表した結果である。図 2-4 から、(2.4)式による表現で水槽試験結果をよく表していることがわかる。

$$X_D' = C_{x\beta\beta} \beta^2 + C_{x\beta} |\beta| \quad (2.4)$$

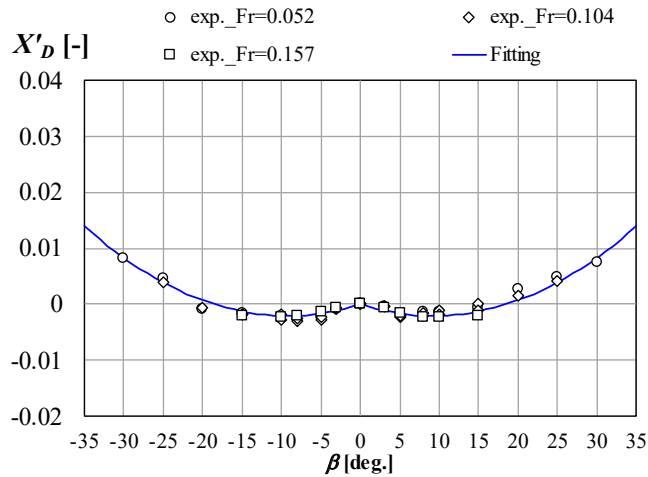
$$X_D' = \frac{X_D}{0.5\rho L_{pp} d_m V^2} \quad (2.5)$$



(a) JBC(計画満載喫水状態)



(b) JBC(バラスト喫水状態)



(c) DTC

図 2-4 斜航流体力の表現

(3) 風力アシスト船評価機能の追加

VESTA では、風圧力係数を風洞試験もしくは当所にて開発した船型要目を用いた回帰式により推定する¹⁷⁾。風力アシスト船の普及に対応し、帆船、ローター船についての評価を行うための機能を搭載した。風力アシスト船

の評価を行う場合、図 2-6 に示す風圧力特性を別途準備する必要がある。また、帆船の場合は縮帆する相対風速（上限及び下限）、相対風向（上限及び下限）を考慮する。ローター船の場合は、ローターのコントロールモード（ VR 一定、ローター回転数一定）、ローターの主要目（直径、定格回転数、定格回転数での電力、下限回転数）を考慮し、機能を停止する相対風速の上下限値は、相対風向ごとに設定する。 VR は(2.6)式で定義される。ここで、 ω はローター回転角速度、 D_{rot} はローターの直径、 U_r は相対風速である。

$$VR = \frac{\omega 0.5 D_{rot}}{U_r} \quad (2.6)$$

ローターを搭載したバルクキャリア（船長 217m、幅 32.26m、喫水 14.0m：図 2-5 参照）を対象に、実海域中のパワーカーブを評価した。計算に使用した風圧力特性を図 2-6 に示す。ここで Hull はローターのない場合の風圧力特性であり、ローターを搭載した場合の風圧力特性については、 VR ごとに示している。図 2-6 より、 VR 、相対風向により風圧力特性が異なるため、ローターによる効果もこれらの影響を受けることがわかる。平均風速 15.7m/s、有義波高 5.5m、平均波周期 9.1s の横波横風中、斜追波斜追風中で、VESTA により実海域中のパワーカーブを算定した例を図 2-7 に示す¹⁸⁾。同一船速で比較すると、ローター船の場合出力が 10%～30%低減する効果が見られている。このように、任意の波風条件の設定下で、風力アシスト船の性能評価を行うことが可能である。



図 2-5 評価対象のローター船のイメージ

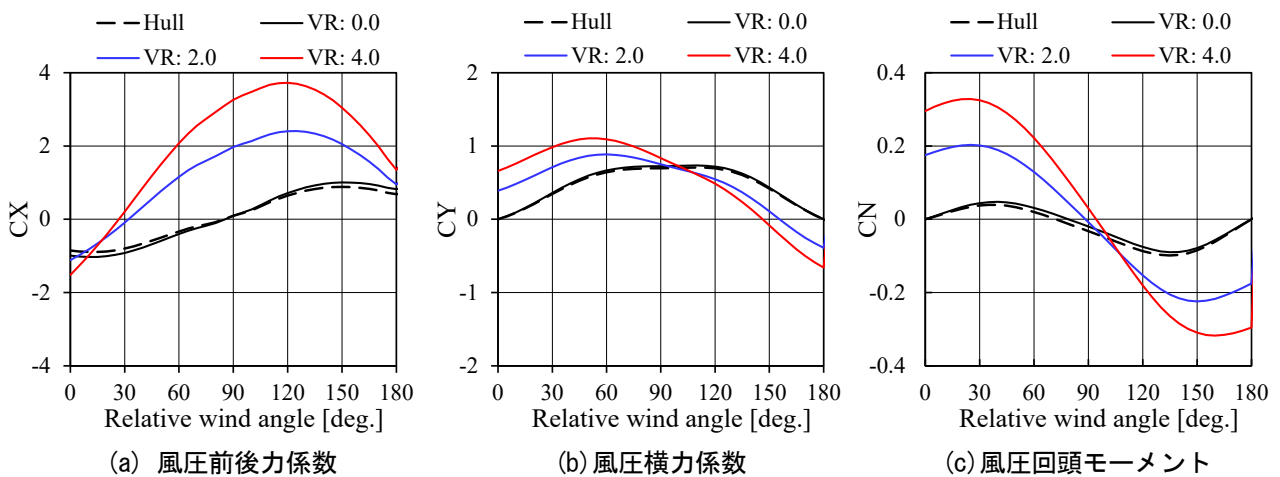
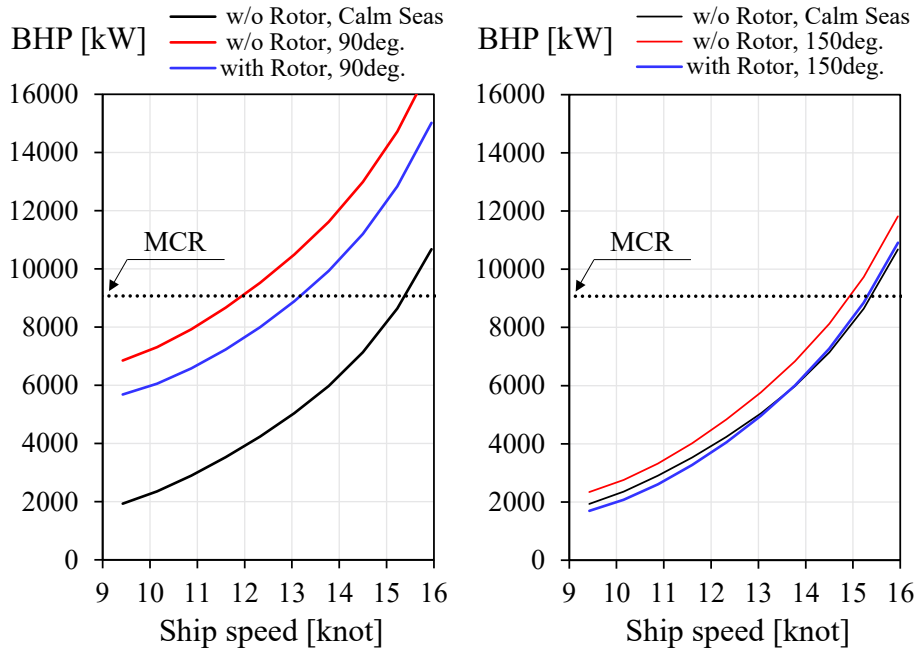


図 2-6 ローター船の風圧力特性

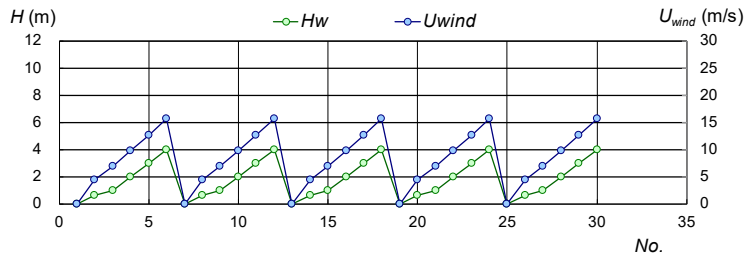


(a) 横波横風中 (b) 斜追波斜追風中
 図 2-7 ローター船のパワーカーブ (平均風速 15.7m/s, 有義波高 5.5m, 平均波周期 9.1s)

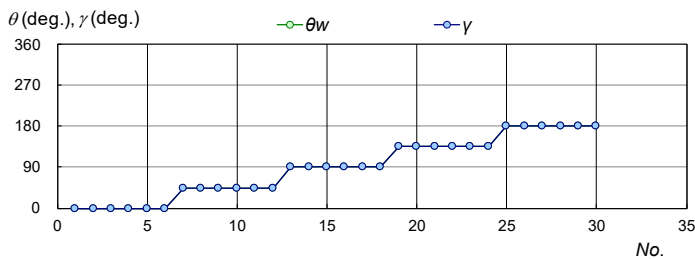
(4) 耐航性評価機能の追加

VESTA では、ストリップ法で計算した船体運動を用いて波浪中抵抗増加の計算を行う。船体運動の結果を用いて実施する耐航性能評価機能¹⁹⁾を追加した。上下加速度の二乗平均平方根、船底スラミング、1/3 プロペラ露出、海水打ち込み、船酔い率 (MSI)、嘔吐率に関する評価結果が出力される。また、ISO 2631/3(1985)による乗り心地評価結果も出力される。計算のために必要な追加入力項目は、各評価項目を計算する場所の設定、評価閾値の設定である。その他については、従来の入力項目を用いて計算を行う。

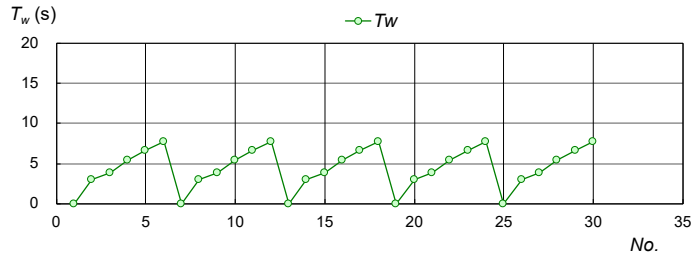
評価例を図 2-8 に示す。ここで、横軸の No.は(a), (b), (c)で決まる海象条件番号を示す。



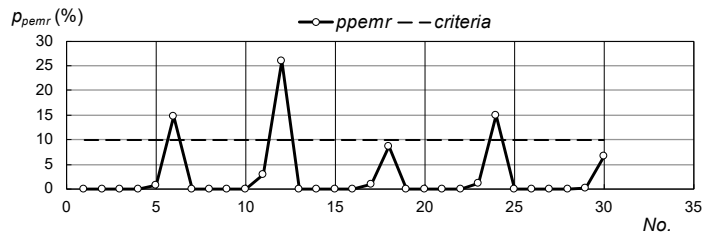
(a) 有義波高 (H_w) と平均風速 (U_{wind})



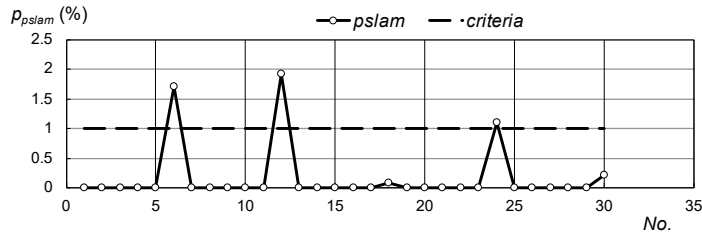
(b) 主波向 (θ) と平均風向 (γ)



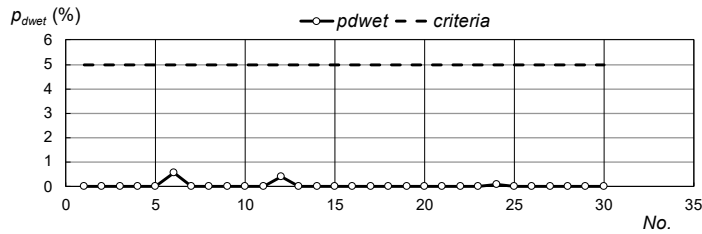
(c) 平均波周期



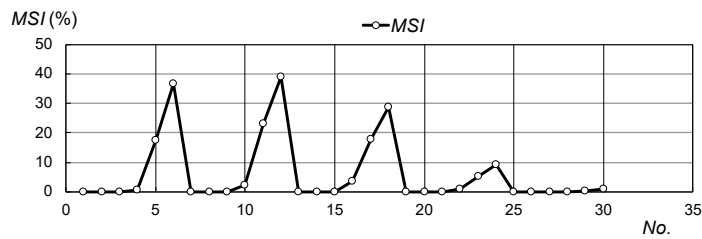
(d) 1/3 プロペラ露出発生率



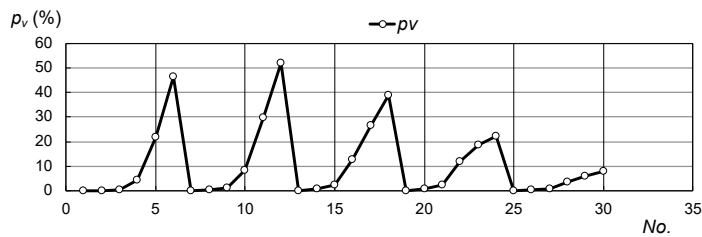
(e) 船底スラミング発生率



(f) 海水打ち込み発生率



(g) 船酔い率



(h) 嘔吐率

図 2-8 耐航性能評価の例 (33,000DWT ケミカルタンカー)

(5) 海上試運転時波風影響評価機能の追加

海上試運転（速力試験）においては、平水中速力を正確に評価するため、試運転時の海象に応じて波風に関する影響の修正がなされる。その手法については、国際標準 (ISO) 15016:2015²⁰⁾や、国際試験水槽会議 (ITTC) の推奨法 (ITTC/RP.7.5-04-01-01.1)²¹⁾に示されており、修正には、実験値あるいは、計算による推定値が使用される。波浪影響評価法として含まれている NMRI 法²²⁾、風影響評価法として含まれている藤原の式¹⁷⁾については、VESTA で使用している手法と同じであり、2014年、2017年の ITTC-PSS の報告書^{23), 24)}にて最も精度が高いことが確認されている。そこで、本手法について Microsoft EXCEL をプラットフォームに別途プログラム化し、VESTA-ST として国内外に公開した²⁵⁾。VESTA-ST と同じ機能は、VESTA においても新たな計算項目として追加されており使用することができる。VESTA-ST による波風影響算定例を図 2-9 に示す。ここで、有義波高、平均風速については、ITTC/RP.7.5-04-01-01.1 に従い、速力試験条件を満足しているかの判定結果も提示している。

試運転解析手順を示す ISO15016:2015, ITTC 推奨法では、波浪修正法の 1 つとして船体運動がほぼない状態で使用することを想定した簡易手法が存在する。この手法は、入力項目を最低限とするため適用条件を課した限定的な手法であるが、速力試験に適用するにも関わらず船速影響が考慮されていないことや、理論的背景が示されていないことなどの問題がある。そこで、NMRI 法による波浪中抵抗増加算定法をベースに、船体運動がほぼない状態で使用するための簡易波浪中抵抗増加計算法 Simple-NMRI を提案しており、従来の船速影響を考慮しない簡易手法に比べ、NMRI 法の理論をベースに合理的で精度のよい評価が可能であることを確認している²⁶⁾。

weather condition

Item	Value	Unit	Remarks
H_w	1.00	m	significant wave height of wind waves; H_w
T_w	7.5	s	mean wave period of wind waves; T_w
θ_w	0	deg.	primary wave direction of wind waves (0 deg. means head waves.); θ_w
H_s	0.40	m	significant wave height of swells; H_s
T_s	10.0	s	mean wave period of swells; T_s
θ_s	20	deg.	primary wave direction of swells (0 deg. means head waves.); θ_s
H	1.08	m	total significant wave height; H
U_{wind}	8	m/s	mean wind speed; U_{wind}
γ	25	deg.	mean wind direction (0 deg. means head winds.); γ

external forces for the analysis of sea trial data

Item	Unit	Value					Remarks
V_s	knot	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	ship speed
R_{AWCw}	kN	23.02	23.52	23.99	24.49	24.90	added resistance in short crested irregular waves due to wind waves; R_{AWCw}
R_{AWCs}	kN	4.30	4.46	4.62	4.77	4.91	added resistance in short crested irregular waves due to swells; R_{AWCs}
R_{AWC}	kN	27.32	27.98	28.61	29.26	29.80	added resistance in short crested irregular waves; R_{AWC}
R_{wind}	kN	36.96	39.02	41.06	43.08	45.08	resistance due to winds; R_{wind}

Trial boundary condition

	waves	winds
A	B	
satisfied	satisfied	satisfied

Condition for the calculation of added resistance due to waves

A	calculation with measured wave spectrum
B	calculation with the wave height from visual observations

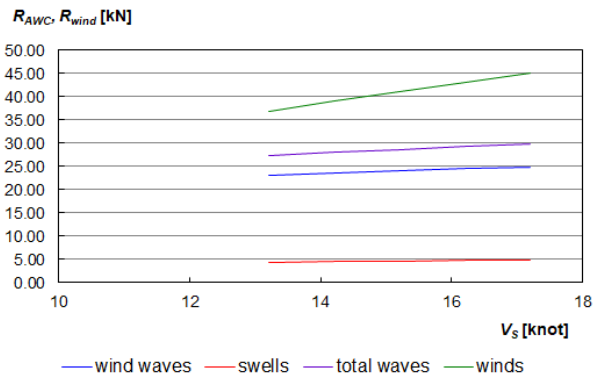


図 2-9 VESTA-ST による波風影響算定結果 (33,000DWT ケミカルタンカー)

2.2 波浪中水槽試験の高度化

実海域性能評価の検証は、水槽試験にて実施されることが多いため、水槽試験の向上は実海域性能の評価精度を向上する上で重要である。水槽試験精度の向上のため、実海域再現水槽の波浪中試験システムに計測・解析自動化システムの搭載、波浪中試験についての不確かさ解析による分析を行った。計測・解析自動化システムについては、海技研報告にて別途報告²⁷⁾しているため、ここでは、不確かさ解析の結果について報告する。

当所の三鷹第2船舶試験水槽（400m 水槽）にて、33,000DWT ケミカルタンカー（垂線間長 170.5m, 幅 27.7m, 喫水 10.0m）の大型模型船（船長 6.2m）を用いて ITTC 推奨法²⁸⁾に従い、異なる波長の波浪中で繰り返し試験を行い、不確かさの解析を行った²⁹⁾。評価は(2.3)式に示した波浪中抵抗増加の無次元化係数 K_{AW} にて実施した。ここで、波浪中抵抗増加 R_{AW} は(2.7)式により水槽試験での計測値から求めた。ここで、 R は波浪中抵抗計測値、 R_0 は平水中抵抗計測値である。

$$R_{AW} = R - R_0 \quad (2.7)$$

不確かさ解析を行い、要素分析した結果を図 2-10 に示す。ここで、縦軸は ITTC 推奨法²⁸⁾に従い定義されるパラメータごとの標準偏差から計算される不確かさを示す無次元値である。ここから、短波長においては入射波の波高が主な要素であり、その他の波長では、波浪中抵抗の影響が大きく、平水中抵抗の寄与は比較的小さいことがわかる。このように不確かさの要因分析を行うことにより、波浪中試験の改良や検証精度の向上につながり、最終的に正確な実船実海域性能評価へ貢献することができる。

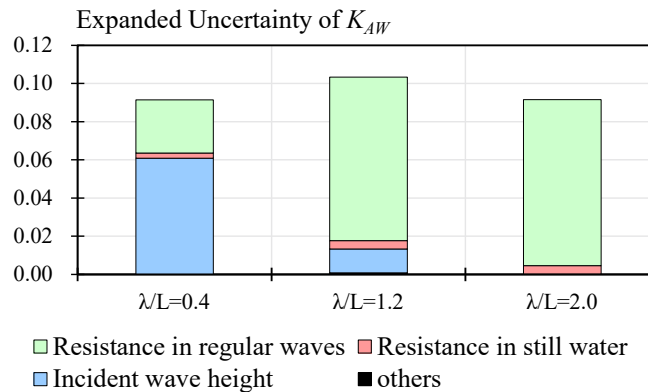


図 2-10 不確かさの要素 (33,000DWT ケミカルタンカー)

2.3 実運航モニタリングデータの評価

VESTA による実運航性能シミュレーションでは、平水中パワーカーブをベースラインとして入力する。平水中パワーカーブについて、実船モニタリングデータから平水中に相当する対水船速、主機回転数と主機出力を抽出し、それらのデータをカーブフィッティングして求め、主機回転数と主機出力の関係、船速と主機出力の関係を表現する手法を開発した³⁰⁾。さらに、対水船速における計測誤差から船速と主機出力の関係については適切なフィッティングが行えない場合があること、適切なフィッティングとなる場合は船速と主機回転数が直線に近い関係にあることを考慮し、(2.8)式、(2.9)式に示す表現を提案した³¹⁾。ここで、 BHP は主機出力、 N_E は主機回転数、 V_S は対水船速、 a_n, b_n, c_n, d_{nv} はそれぞれ定数である。

$$BHP = a_n N_E^b + c_n \quad (2.8)$$

$$N_E = d_{nv} V_S \quad (2.9)$$

(2.8)式, (2.9)式の表現を用い, 航海ごとにフィッティングを行うと, 航海毎の定数 $a_n(v)$, $b_n(v)$, $c_n(v)$, $d_{nv}(v)$ が求められる. その結果から, パラメータ b_n, c_n について, 長期平均値 (排水量に依らない一定値) \bar{b}_n, \bar{c}_n を求める. \bar{b}_n, \bar{c}_n を用いて再度フィッティングを行うことにより, $a_n(v), d_{nv}(v)$ をもとめ, 排水量の1次式で表現する. 以上の表現を(2.10)式~(2.13)式, 図2-11に示す. ここで, Δ は排水量, $\delta Disp$ は航海ごとの排水量を平均排水量に対する変化量で表したパラメータである.

本手法により, VESTA で実運航性能シミュレーションを行った結果を図2-12中に示す. ここで, δFPD はシミュレーションによる1航海当たりの積算燃料消費量について, モニタリングデータとの差として百分率で表したパラメータである. 図2-12から, $\pm 20\%$ 程度の幅広い排水量域で, $\pm 3\%$ の精度で燃料消費量を推定可能なことがわかる. 従来用いられているアドミラルティ係数による修正で, 燃料消費量を $\pm 3\%$ の精度で推定可能な範囲は $\pm 5\%$ 程度の排水量差に相当³⁰⁾することから, (2.10)式~(2.13)式に示した排水量モデルの導入により精度向上を実現できていることがわかる.

$$a_n(\Delta)' = \alpha_1 \Delta + \alpha_0 \tag{2.10}$$

$$b_n = \bar{b}_n \tag{2.11}$$

$$c_n = \bar{c}_n \tag{2.12}$$

$$d_{nv}(\Delta)' = \delta_1 \Delta + \delta_0 \tag{2.13}$$

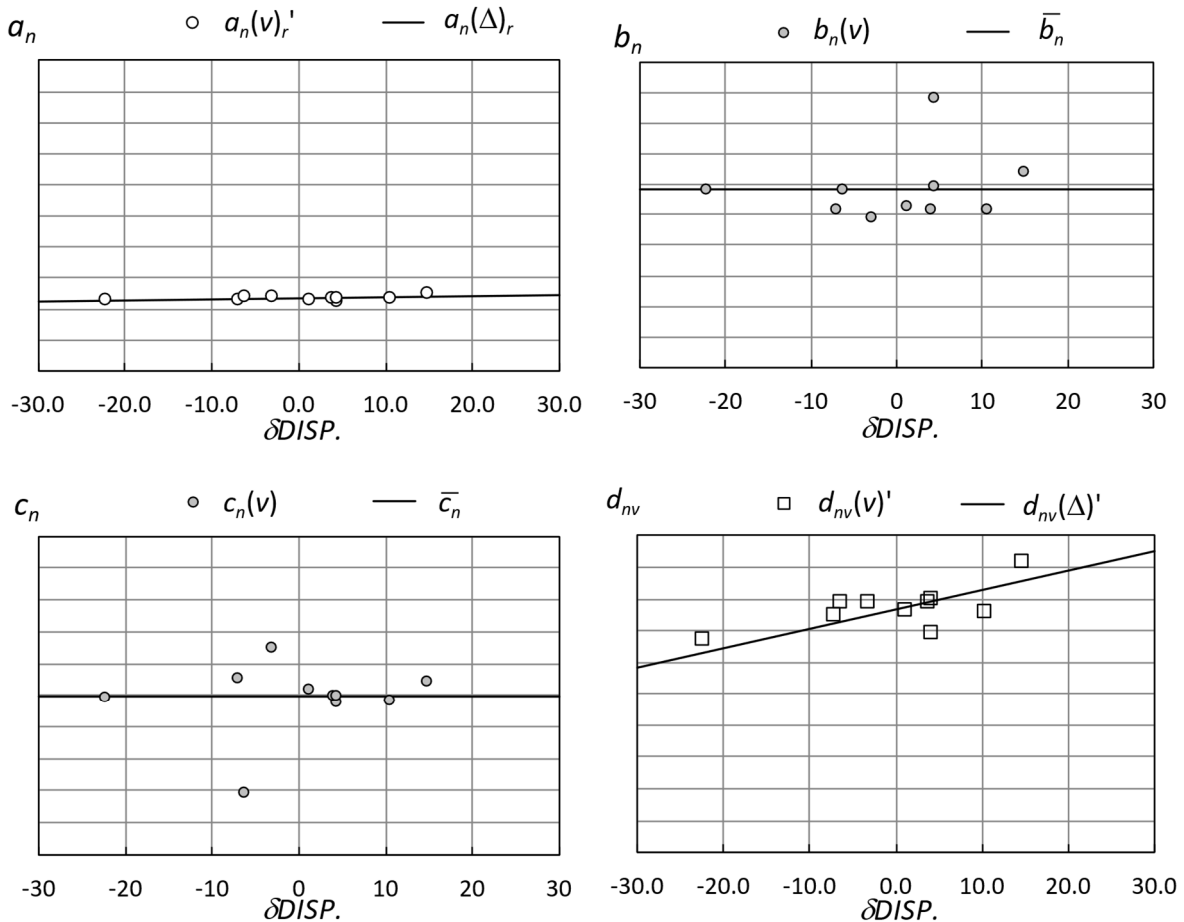


図2-11 パラメータの排水量モデル

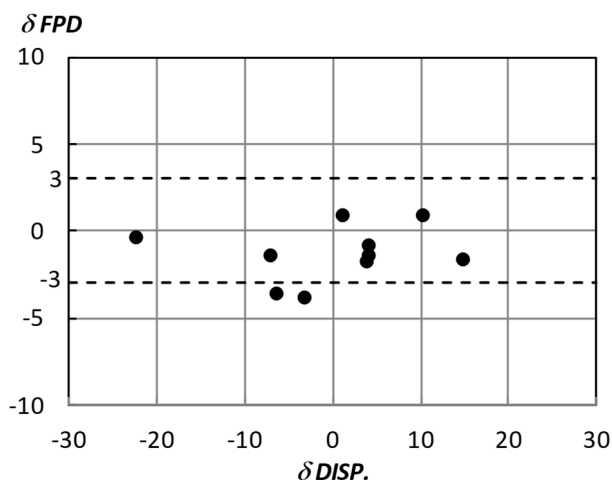


図 2-12 排水量と燃料消費量の関係

本手法をベースに、OCTARVIA プロジェクトでは、抵抗増加量、見かけスリップ比によるフィルタリングを組み合わせた実船モニタリングデータ解析手法 RCM (Resistance Criteria Method) という手法³²⁾が開発された。本手法は、データフィルタリングに見かけスリップ比を用いることにより精度の良いデータを抽出し、また、抵抗増加率に応じて海象に関するデータ抽出を行い、船種やサイズに依らず適切な基準を設けるものである。実船モニタリングデータを用いた検証により、その有効性が確認されている³³⁾。

3. まとめ

実運航時の実燃費を正しく評価するため、重点研究にて実海域実船性能評価技術の開発を行った。その成果を以下にまとめる。

- (1) 実運航性能シミュレータ VESTA の機能強化を行い、波浪中抵抗増加の横揺影響成分の考慮による推定精度の向上、風力アシスト船評価機能・耐航性能評価機能の追加、試運転時波風影響評価機能の追加により、業界ニーズに対応した。
- (2) 波浪中試験システムの計測・解析自動化を実装するとともに、波浪中繰り返し試験により波長ごとの不確かさ解析、要素分析を行い、試験精度向上に貢献した。
- (3) 実運航時の燃費評価精度を向上するため、実船モニタリングデータから性能評価を行うためのモデル、及び、排水量影響についての評価モデルを構築した。本モデルを用いた VESTA を用いたシミュレーションにより、 $\pm 20\%$ 程度の幅広い排水量域で、 $\pm 3\%$ の精度で燃料消費量を推定可能なことを示した。

謝 辞

研究、水槽試験の実施でご協力いただいた関係者に感謝いたします。

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, 2023 IMO strategy on reduction of GHG Emissions from ships, Resolution MEPC.XXX(80) (2023).
 - 5) International Maritime Organization, 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy existing ship index (EEXI), RESOLUTION MEPC.350(78) (2022).
 - 6) International Maritime Organization, 2022 Guidelines on operational carbon intensity indicators and the calculation methods (CII guidelines, G1), RESOLUTION MEPC.352(78) (2022).
 - 7) 辻本勝, 粉原直人, 黒田麻利子, 櫻田顕子: 実運航性能シミュレータ VESTA, 海上技術安全研究所報告, 第15巻, 第4号, 特集号, pp.55-65, 2016.
 - 8) 海上技術安全研究所: 特集号「実海域実船性能評価プロジェクト (OCTARVIA プロジェクト) の活動紹介」, 海上技術安全研究所報告, 第21巻, 第2号, 2021.
 - 9) YOSHIDA, Hisafumi, ORIHARA, Hideo, TAKAGISHI, Kenji: Experimental Study on Added Resistance of Very Large Blunt Ship Running in Beam Seas (in Japanese), J. of JASNAOE, Vol. 29(2013), pp. 51-56.
 - 10) YOKOTA, Saori, TSUJIMOTO, Masaru, SAKURADA, Akiko, KURODA, Mariko: A Practical Correction Method for Added Resistance in Oblique Waves Considering the Influence of Roll Motion, J. of JASNAOE, Vol. 34(2021), pp. 1-9.
 - 11) MOCTAR, Ould el, SHIGUNOV, Vladimir and ZORN, Tobias, Duisburg Test Case: Post-Panamax Container Ship for Benchmarking, Ship Technology Research, Vol. 59-3, pp. 50-64 (2012).
 - 12) 貴島勝郎, 名切恭昭: 船舶操縦性能推定の実用的計算法に関する研究, 西部造船会々報, 第105号 (2002), pp.21-31.
 - 13) 貴島勝郎, 名切恭昭: 船尾形状を考慮した操縦流体力の近似的表現, 西部造船会々報, 第98号 (1999), pp.67-77.
 - 14) 粉原直人, 辻本勝, 一ノ瀬康雄, 南佳成, 佐々木紀幸, 高木健: 斜波中における肥大船の性能推定について, 日本船舶海洋工学会論文集, 第12号 (2010), pp.9-15.
 - 15) <https://t2015.nmri.go.jp/jbc.html>.
 - 16) 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.
 - 17) FUJIWARA, Toshifumi, UENO Michio, IKEDA, Yoshiho: A New Estimation Method of Wind Forces and Moments acting on Ships on the basis of Physical Component Models, Journal of JASNAOE, Vol.2 (2005), pp.243-255.
 - 18) 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.
 - 19) TSUJIMOTO Masaru, HINNENTHAL, Jörn: Optimum Navigation for Minimizing Ship Fuel Consumption - Investigation of Route, Speed and Seakeeping Performance-, Proc. of Osaka Colloquium 2008, pp. 43-50, 2008.
 - 20) ISO15016, Ship and marine technology - Guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis speed trial data (2015).
 - 21) ITTC/RP.7.5-04-01-01.1, Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials, ITTC recommended procedures, pp 1-77 (2022).
 - 22) TSUJIMOTO, Masaru, KURODA, Mariko and SOGIHARA, Naoto: Development of a calculation method for fuel consumption of ships in actual seas with performance evaluation, Proceedings of OMAE2013, OMAE2013-11297 (2013).
 - 23) Specialist Committee on Performance of Ships in Service: Final Report and Recommendations to the 27th ITTC, Proceedings of 27th ITTC, 2014.
 - 24) Specialist Committee on Performance of Ships in Service: Final Report and Recommendations to the 28th ITTC, Proceedings of 28th ITTC, 2017.
 - 25) https://www.nmri.go.jp/study/research_organization/fluid/vesta/st-appli.html

- 26) KURODA, Mariko, TSUJIMOTO, Masaru: The Wave Correction Method for Speed Trial Analysis: Simple-NMRI method, Report of NMRI, Vol. 20-1(2020), pp. 63-75.
- 27) KURODA, Mariko, TSUJIMOTO, Masaru, OHBA, Hiroki, HOSHINO, Kunihiro: “Automated Measurement System for Actual Sea Model Basin”, Report of NMRI, Vol. 23-1(2023), pp. 73-87.
- 28) International Towing Tank Conference (2014), Recommended Procedures and Example for Uncertainty analysis for Resistance Tests in Towing Tank, 7.5-02-02-02.1.
- 29) SOGIHARA, Naoto, HAMADA, Tatsuya, WAKO Daisuke: Enhancing Measurements of Added Resistance in Regular Waves Based on Uncertainty Analysis, Proc. of INT-NAM2023.
- 30) 櫻田顕子, 粉原直人, 黒田麻利子, 辻本 勝, 杉本義彦, 長谷川健: 実運航シミュレーションによる実船データ解析-排水量修正と波風修正の適用-, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 25 号 (2017) , pp.33-38.
- 31) 櫻田顕子, 黒田麻利子, 辻本 勝, 杉本義彦, 長谷川健: 実運航性能評価における船速-回転数-主機出力関係のモデル化, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 25 号 (2017) , pp.39-46.
- 32) SAKURADA, Akiko, SOGIHARA, Naoto, TSUJIMOTO, Masaru: Development of a Filtering Method for Evaluation of Performance in a Calm Sea Based on Onboard Monitoring Data, J. of JASNAOE, Vol. 31(2020), pp. 29-37.
- 33) SOGIHARA, Naoto, SAKURADA, Akiko, TSUJIMOTO, Masaru: Validation of Filtering Method for Evaluating Ship Performance in a Calm Sea Using Onboard Monitoring Data, J. of JASNAOE, Vol. 33(2021), pp. 25-33.