

5 海技研が提供する 船舶の実海域性能に対するソリューション

粉原 直人*, 黒田麻利子*, 櫻田 顕子*, 横田 早織*,
辻本 勝**

Solutions for Evaluating Ship Performance in Actual Seas

by

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

Abstract

The National Maritime Research Institute has been researching ways to reduce greenhouse gas emissions from international shipping with a focus on development a method to accurately evaluate ship performance in actual seas. The institute has produced software such as the vessel performance simulator VESTA and its supporting tool UNITAS. The software was used to study fuel saving techniques, and its application includes trim optimization in operation. In addition to VESTA and UNITAS, the database of global weather GLOBUS was developed to assess the statistical characteristics of global winds and waves. Furthermore, a hull form for improving ship performance in waves was developed as well. This paper briefly outlines the aforementioned research developments.

* 流体設計系実海域性能研究グループ, ** 流体設計系

原稿受付 令和2年4月30日

審査日 令和2年6月8日

1. はじめに

国際海事機関（IMO）においては、2013 年にエネルギー効率設計指標（EEDI）が強制化され、さらに運航中の省エネルギーのための管理計画（SEEMP）を作成、船上に保持することが義務化されるとともに、運航中の燃費効率を示す指標であるエネルギー効率運航指標（EEOI）が提案された。2019 年には燃費報告制度（DCS）が開始され、燃料消費量等の運航データの収集、報告が義務化された。

造船所においては燃費性能の優れた船舶の設計、建造が今まで以上に要求され、船会社においては省エネ運航のための努力が急務となっている。このような要求に対応するためには、設計段階、運航計画検討段階で実運航性能を精度よく評価するための技術開発が必要不可欠である。また、設計面では波浪中性能を向上させるための船型開発も重要な技術課題となっている。

海上技術安全研究所（以下海技研）では、実運航性能の評価技術の開発に取り組んでおり、開発した評価技術をソフトウェアの形に取りまとめ、一般に提供している。本稿では、海技研が開発したソフトウェアについて、内容及び適用例を概説する。また、海技研で開発中の波浪中性能を改善させるための船型開発について紹介する。

2. ソフトウェア開発

2.1 実運航性能シミュレータ VESTA

実運航性能シミュレータ VESTA（Vessel Performance Evaluation Tool in Actual Seas）¹⁾²⁾は、任意の波、風の条件の下で、入力された運航条件における船舶の実運航性能（船速、主機馬力、燃料消費量）を精度よく推定するソフトウェアである。Microsoft 社の Excel をプラットフォームとしており、データの入出力は Excel 上で実行される。VESTA のトップ画面を図-1 に示す。

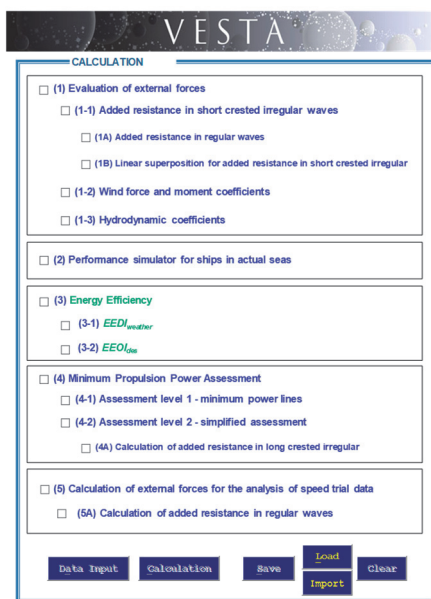


図-1 VESTA

VESTA が有する計算機能のうち、主なものを以下に示す。この他、海上試運転での外力推定機能も有している（詳細は 2.2 節に記載）。計算機能の詳細に関しては文献 1) を参照されたい。

(1) 外力推定

実運航性能シミュレーションのためには外乱による抵抗増加を精度よく推定することが必要である。波浪中抵抗増加の推定には、理論計算に水槽試験のデータを組み込むことにより全波向において精度を向上させた手法²⁾を、風圧力の推定には多数の船型で行われた風洞試験のデータに基づく回帰式³⁾を実装している。

船長 355m のコンテナ船、及び船長 280m のバルクキャリアでの規則波中抵抗増加（向波）の推定結果を図-2、図-3 にそれぞれ示す。水槽試験結果と十分に整合していることが確認できる。

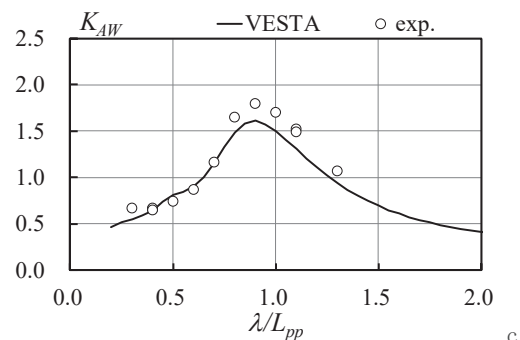


図-2 規則波中抵抗増加（コンテナ船）

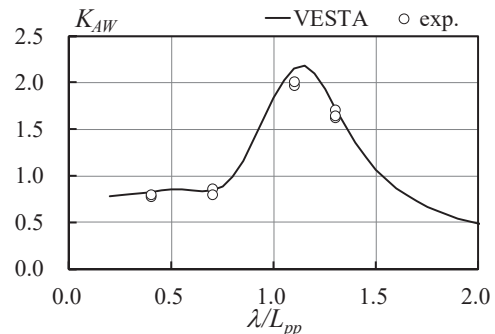


図-3 規則波中抵抗増加（バルクキャリア）

波浪定常横力、定常回頭モーメントに関しては、3 次元パネル法による速度ゼロでの波漂流力の計算結果を主要目でデータベース化したもの⁴⁾を利用している。斜航抵抗、当舵抵抗については貴島らの回帰式⁵⁾⁶⁾を用い、斜航抵抗に関しては誘導抵抗による修正項を含んだ式⁷⁾を実装している。

(2) 実運航性能シミュレーション

(1) で求めた外力データと入力した平水中性能に基づき、海象ごとに船体に作用する力の釣合方程式を解き、馬力曲線を作成する。馬力曲線と主機特性に基づき、トルクリミットを考慮した主機作動点を求める。また、省燃費の観点から普及しつつある電子制御エンジンを想定し、燃料投入量（Fuel Index）のリミットによる制御もモデリング、実装している。

この他、主機出力一定、船速一定での性能評価も可能である。

シミュレーション結果の妥当性検証のため、実船モニタリングデータとの比較も実施している。図-4は船長190mの自動車運搬船での検証例⁸⁾であり、船速、主機出力、燃料消費量のシミュレーション結果が実船モニタリングデータと良好な一致を示していることが分かる。

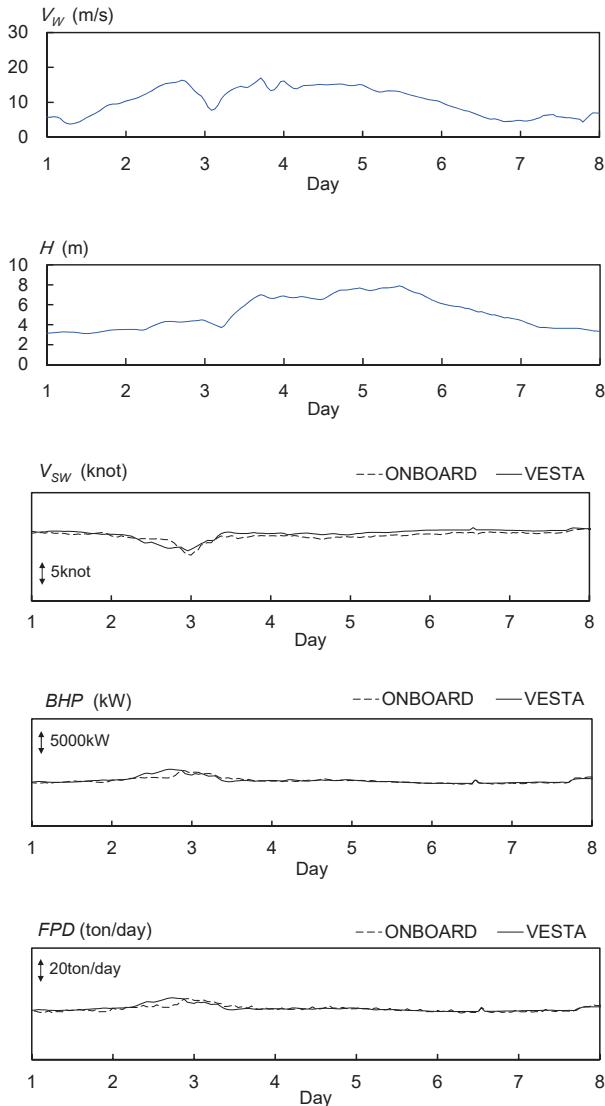


図-4 シミュレーション結果の検証

（上段より 絶対風速、有義波高、船速、主機出力、燃料消費量）

(3) 最低推進出力判定

EEDI 規制に対応するため搭載主機の低出力化を進めると、荒天海象での操船性を維持できなくなり、座礁などの海難事故を引き起こす危険がある。IMO では、その危険性を回避すべく搭載主機の出力下限について議論が行われ、その結果、最低推進出力暫定ガイドラインが作成された。

VESTA では、上記ガイドラインへの適合性を判定する機能を有しており、本機能に関して日本海事協会よりプログラム認証を取得している⁹⁾¹⁰⁾。

2. 2 海上試運転での波浪修正プログラム VESTA-ST

VESTA に実装されている波浪中抵抗増加の推定法は ITTC 推奨手法として認められている¹¹⁾。このため、海上試運転で実施される速力試験の波浪修正に利用できるよう、本推定法をプログラム化（VESTA-ST）し、VESTA 同様 Excel 上で動作する形式で国内外に提供を開始¹²⁾した。これにより、従来に比べ公正かつ高精度な波浪修正が実施できるようになった。

2. 3 船体形状・船体性能推定ツール UNITAS, EAGLE

VESTA を用いて実海域性能評価を実施するためには、詳細な船型データ及び性能データが必要となる。これらのデータのプロパティは造船所にあるのが通常であり、言い換えれば船会社など、造船所以外の立場においては別途準備する必要がある。海技研では、VESTA の入力データ作成を支援するツールとして UNITAS (United Tool for Assessment of a Ship)¹³⁾を開発した。

UNITAS は、ストリップ法による船体運動の計算に必要な船体形状データ（船長方向の喫水、半幅、横断面積の分布）や、風圧力の推定に必要な上部構造物パラメータのほか、プロペラ単独特性や平水中抵抗、自航要素を、船体主要目に基づいて推定する機能を有している。

船体形状データ及び上部構造物パラメータの一つである正面投影面積について、UNITAS による推定値と造船設計データとの比較を実施した結果を図-5、図-6 にそれぞれに示す。図-5 で、実線が UNITAS による推定、点線が造船設計データを示している。UNITAS の推定は造船設計データによる推定と整合していることが分かる。

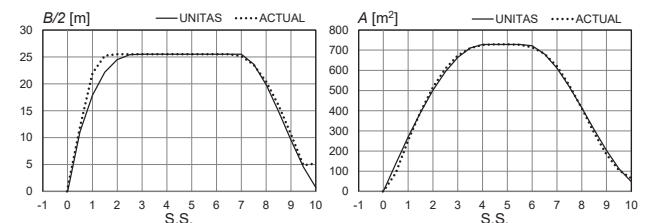


図-5 UNITAS による船体形状推定例（コンテナ船）

（実船：UNITAS 推定値、点線：造船設計データ）

（左：半幅、右：横断面積）

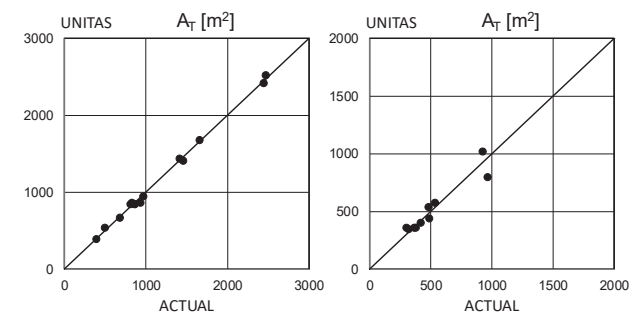


図-6 UNITAS による正面投影面積推定例

（左：コンテナ船、右：バルクキャリア）

UNITAS では、平水中性能を推定する際には船速－主機回転数－主機出力のデータを表形式で入力する必要があるが、ここで実船モニタリングデータを利用する機能を備えたものが EAGLE (Evaluation Assistant with a Goal of Low Emission from shipping)¹⁴⁾である。EAGLE のトップ画面を図-7 に示す。

EAGLE では、実船モニタリングデータを取扱い、静穏海象下のデータの抽出機能や燃費率曲線の導出を行うほか、前述の船速－主機回転数－主機出力のデータを出力する。船体形状、上部構造物パラメータに関しては UNITAS と同様、プロペラ単独性能、自航要素の推定に関しては UNITAS の一部の機能を利用できる。このほか、EAGLE の独自機能として計算結果を VESTA で読込可能な形式で出力する機能を有している。これにより、VESTA とのデータ連携が円滑に行われ、実船モニタリングデータ解析による実運航性能評価が促進される。

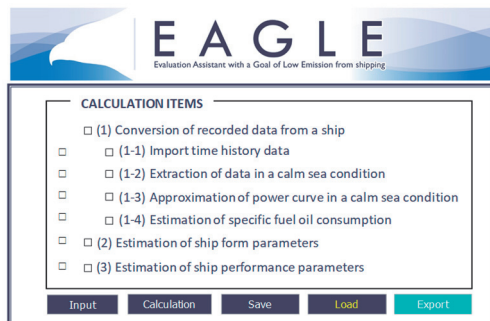


図-7 EAGLE

EAGLE を使い、船長 300m の外航コンテナ船の実船モニタリングデータから平水中性能を評価した例を示す。実船モニタリングデータとして、対水船速 (V_S)、主機回転数 (N_E)、主機出力 (BHP)、絶対風速 (U_{wind})、有義波高 (H) の時系列を図-8 に示す。横軸は出港後の経過時間であり、図中の■は絶対風速 7.9m/s 以下、有義波高 1.5m 以下で抽出されたデータである。抽出データから求められる平水中抵抗曲線、自航要素を図-9 左図、右図にそれぞれ示す。ここで、 R は自走風圧抵抗を除いた平水中抵抗、 ρ は流体密度である。

図-9 が実船モニタリングデータから抽出された平水中性能であり、VESTA に入力することにより実船モニタリングデータを反映した実運航性能シミュレーションが可能となる。

2. 4 全球の波と風の統計データベース GLOBUS

気象、海象に関する統計情報は船舶だけでなく海洋構造物の安全性評価にも寄与するため利便性が極めて高い。海技研では、過去 10 年にわたり蓄積してきた気象、海象データを基に、全球の長期統計データベース GLOBUS を開発し、過去に公開されたデータベースと同等の統計的性質を有していることを確認した¹⁵⁾。海技研 HP で公開¹⁶⁾しており、一部の機能を利用することが可能である。

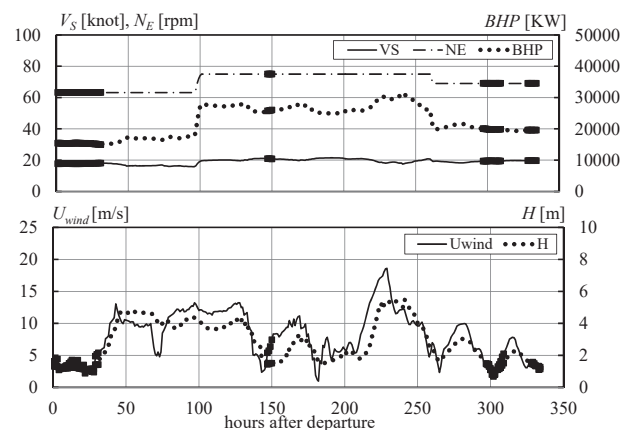


図-8 実船モニタリングデータ

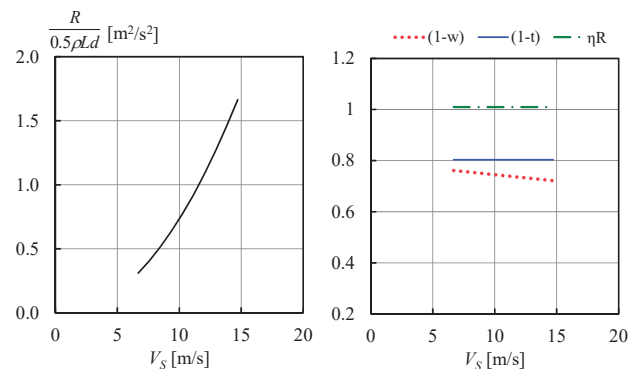


図-9 平水中抵抗曲線 (左) と自航要素 (右)

3. 最適トリム運航に関する研究

VESTA の適用例として、運航中の船舶における省燃費対策の 1 つで、積載状態に応じてトリムを調整し推進性能の向上を図る「最適トリム運航」を取り上げる。最適トリム運航は、全抵抗において造波抵抗が有意な割合を占めるコンテナ船や自動車運搬船において効果が期待される。海技研では、自動車運搬船 (船長 190m, 幅 32.2m, 計画喫水 9.0m, 計画速力 20knot) を対象に喫水、トリムを変更し、計 12 種類の喫水状態で平水中抵抗試験、自航試験を行い、平水中での推進性能へのトリム影響¹⁷⁾を調査した。また、一部の喫水状態に対しては波浪中抵抗増加の計測も実施し、波、風のある中でのトリム影響¹⁸⁾についても調査を行った。

図-10 は、中央喫水が 7.6m における、イーブンキールからの馬力増加率を示したものであり、船尾トリムを正としている。図-10 から、低速域で船首トリムとすることで馬力低減効果が得られることが分かる。これは、浅喫水状態で船首バルブを十分な深さに維持できるようになり造波抵抗を低減できるためである。

次に、平水中試験を実施した 12 種類の喫水状態において、図-11 に示す海象下を航行すると仮定して、VESTA を用いて各喫水状態での燃料消費量を計算する。燃料消費量を航続距離及び載貨重量で割ったものを sEEOI と定義する。sEEOI はトンマイルあたりの燃料消費量であり、時間の概念を考慮している点で EEOI より実態に即した燃費指標と言える。

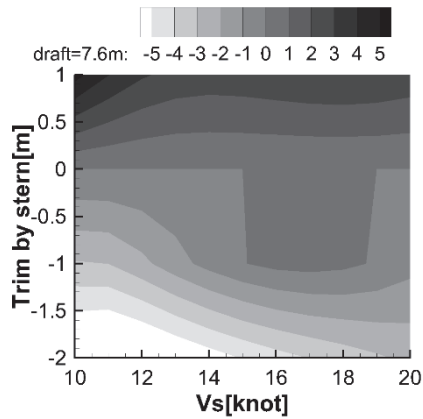


図-10 平水中推進性能へのトリム影響

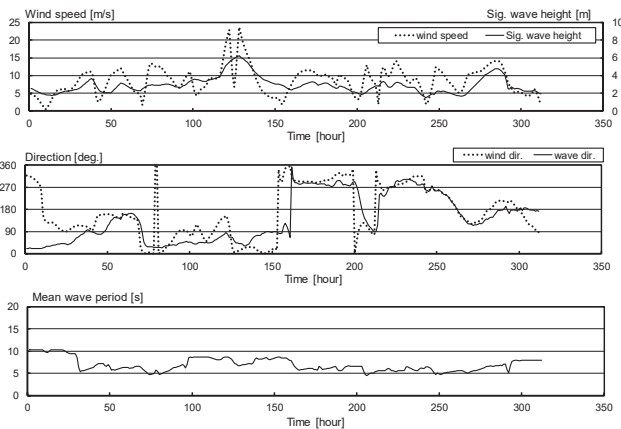


図-11 設定海象条件

(上段より 絶対風速・有義波高、風向・波向、平均波周期)

燃料消費量及び sEEOI へのトリム影響を、イーブンキールからの増加率として求めるとそれぞれ図-12 のとおりである。中央喫水 8.3m において船首トリム 1.0m とすることで燃料消費量、エネルギー効率が最小となることが分かる。本船は喫水 9.0m、イーブンキールにて平水中性能が最適設計されているが、図-12 より燃料消費量、エネルギー効率の観点から実運航性能も最適化されているといえる。

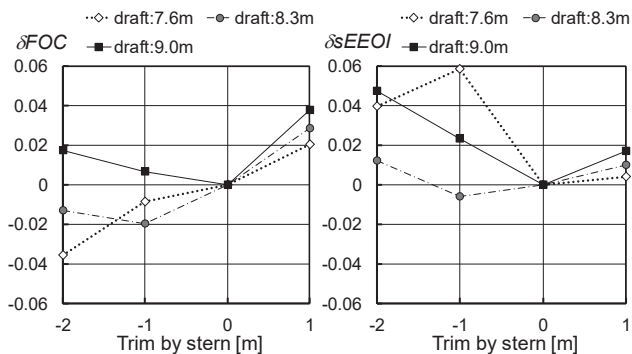


図-12 実運航性能へのトリム影響

(左：燃料消費量，右：エネルギー効率)

なお、中央喫水 7.6m では船首トリムが大きいほど燃料消費量は小さいが、載貨重量も小さくなるため、エネルギー効率の観点で最適トリム位置はイーブンキールとなっている。このように最適トリム位置は海象、喫水状態により異なるため、実運航性能を精度よく推定することが重要となる。

4. 波浪中抵抗増加低減船首形状 COVE

波浪中推進性能を向上させるための取り組みとして、海技研では波浪中抵抗増加低減船首形状 COVE (Concaved Bow Shape in Optimized in Waves) の開発を行っている。COVE の設計コンセプトは平水中性能を変えずに波浪中性能を改善することであり、船型改良は船長方向に変化する静的水位上昇位置より上方で実施する。具体的には、図-13 に示すとおり静的水位上昇位置より上方のフレームラインを内方傾斜させることで、船首での入射波の反射を抑制することにより、波浪中抵抗増加の低減を狙うものである。

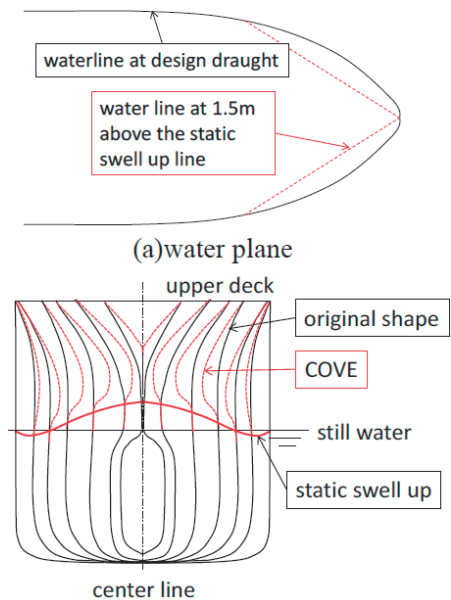
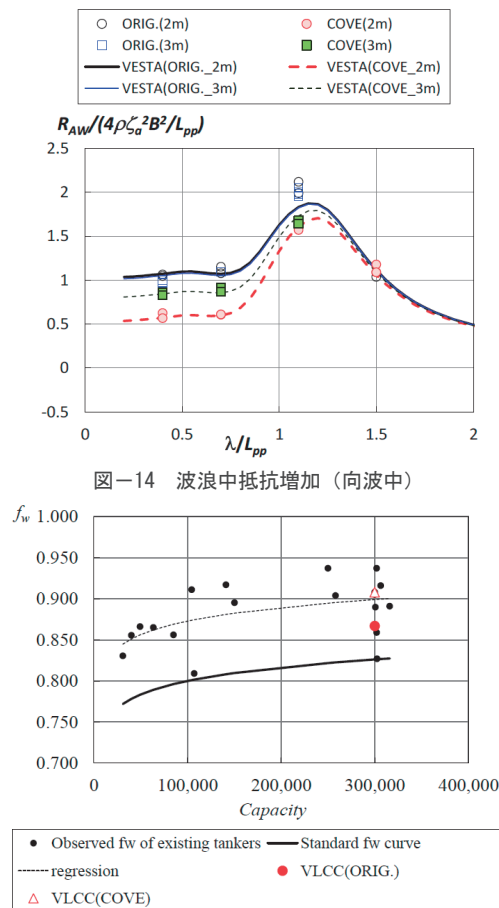


図-13 COVE 形状概念図

VLCC 船型に COVE を適用し、水槽試験を実施してその効果を検証した結果¹⁹⁾を図-14 に示す。原型に比べると COVE 形状は波浪中抵抗増加が小さいことが分かる。またその低減効果は波高が 3m よりも 2m の方が大きく、向波中で最大 40% の低減効果が得られた。斜向波では 30%、横波中では 20% 程度の低減効果があることを確認している。

COVE による波浪中抵抗増加低減効果により、実運航性能がどの程度改善されるかを、IMO が定める速力低下計算ガイドラインに従って算定した。その結果を図-15 に示す。ここでの平水中性能は簡易推定したものを使用している。速力低下係数 f_w は原型から改善されるだけでなく、平均線 (regression) を超えるレベルとなっている。COVE 形状の導入は、実運航性能を向上させるための有効な手段であり、GHG 削減に繋がる。



5. おわりに

本稿では、海上技術安全研究所で取り組んでいる研究成果として、構築した技術を集約したソフトウェア及びその適用例、並びに実運航性能向上のための船型改良について紹介した。海事産業における省エネルギーの取り組みは今後も各事業者において継続して必要となる。流体分野では実運航中の船舶の排出ガスを削減することが必要不可欠であるため、当所は今後も引き続き、設計、運航面における技術開発に尽力していく。

参考文献

- 1) 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 (2016), pp. 55-65.
- 2) 辻本他: 実運航性能シミュレータの開発に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 16 巻, 第 3 号 (2017), pp. 17-41.
- 3) 藤原敏文, 上野道雄, 池田良穂: 成分分離型モデルを利用した新しい風圧力推定法, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 2 号 (2005), pp. 243-255.
- 4) M. Ueno, S. Ohmatsu, and S. Chiaki: Estimation Program for Steady Wave Loads on Ships at Zero Forward Speed Using Database, Papers of National Maritime Research Institute, No. 16, Vol. 3 (2017), pp. 43-52.
- 5) 貴島勝郎, 名切恭昭: 船舶操縦性能推定の実用的計算手法に関する研究, 西部造船学会会報, 第 105 号 (2002) pp. 21-31.
- 6) K. Kijima, T. Katsuno, Y. Nakiri and Y. Furukawa: On the manoeuvring performance of a ship with the parameter of loading condition, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 168 (1990), pp. 141-148.
- 7) 粉原直人, 辻本勝, 一ノ瀬康雄, 南佳成, 佐々木紀幸, 高木健: 肥大船の斜波中における挙動推定について, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 12 号 (2010), pp. 9-15.
- 8) 粉原直人, 辻本勝, 安藤英幸, 角田領: 実船計測データによる実海域燃費評価法の検証—瘦型船の載貨状態の評価—, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 18 号 (2014), pp. 429-432.
- 9) 海上技術安全研究所, 日本船舶技術研究協会: 「VESTA V2.1」に EEDI 最低推進出力判定の機能追加 NK が認証, 国内で初めて取得 (2014), http://www.nmri.go.jp/cgi-bin/nmri_news/topics.cgi#126
- 10) 海上技術安全研究所: 最低推進出力ガイドラインの改正に対応した「VESTA V3.3」をリリース (2015), http://www.nmri.go.jp/cgi-bin/nmri_news/topics.cgi#261.
- 11) ITTC Recommended Procedures and Guidelines 7.5-04-01-01.1 (2017)
- 12) https://www.nmri.go.jp/study/research_organization/fluid/vesta/st-appli.html
- 13) N. Sogihara, M. Kuroda, A. Sakurada, S. Yokota, and M. Tsujimoto: UNITAS -Tool for supporting evaluation of ship performance in actual seas-, Papers of National Maritime Research Institute, No. 19, Vol. 1 (2019)
- 14) 粉原直人, 黒田麻利子, 櫻田顕子, 横田早織, 辻本勝: 実船モニタリングデータ解析のための船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE の開発, 海技研研究発表会ポスターセッション (2019)
- 15) M. Tsujimoto, T. Matsuzawa, and K. Kume: Statistical Characteristics of Global Winds and Waves, Proceedings of 28th ISOPE (2018), pp. 379-386.
- 16) https://www.nmri.go.jp/study/Intellectual/globus/namikaze_main.html
- 17) N. Sogihara, M. Tsujimoto, R. Fukasawa, and H. Ohba: Investigation on Trim Optimization to Enhance the Propulsive Performance of Fine Ships, Journal of JASNAOE, No. 27, (2018), pp. 15-22.
- 18) N. Sogihara, M. Tsujimoto, R. Fukasawa, and H. Ohba: Trim Optimization for Ship Performance in Actual Seas, Proceedings of 3rd INT-NAM (2018), pp. 551-564.
- 19) A. Sakurada, M. Tsujimoto, and M. Kuroda: Development of COVE Bow -Energy Saving Bow Shape in Actual Seas, Proceedings of PRADS2016 (2016).