

BARI-SHIP 2021

海上技術安全研究所セミナー

実海域性能保証に向けた海技研の取り組み ー実海域性能評価プログラムの開発ー

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 流体設計系
粉原 直人



発表内容

*はじめに

*プログラム紹介

- 実運航性能シミュレータVESTA
- 船体形状・船体性能推定ツールUNITAS/EAGLE
- 全球の波と風の統計データベース GLOBUS

*プログラム適用例

- 設計段階での利用
- 運航段階での利用

*おわりに



はじめに

- *地球温暖化防止の観点から、海運分野からの温室効果ガス（GHG）の排出量削減が急務
- *国際海運におけるGHG削減に関する議論が、国際海事機関（IMO）で行われている。

はじめに

EEDI : Energy Efficiency Design Index
SEEMP : Ship Energy Efficiency Management Plan
DCS : Data Collection System
EEXI : Energy Efficiency Existing Ship Index
CII : Carbon Intensity Indicator

*GHG削減に係るIMOの動向

2013年：エネルギー効率設計指標（EEDI）の義務化

船舶エネルギー効率管理計画（SEEMP）の船上保持義務化

2018年：GHG削減戦略採択

2019年：燃費報告制度（DCS）の開始

2023年：エネルギー効率既存船指標（EEXI）、燃費実績格付制度（CII）発効予定

- ・ EEDI規制以降、環境規制が増加しつつある
- ・ GHG削減戦略における高い目標設定

運航中の船舶の燃費削減が重要



はじめに

*運航中の船舶の燃費削減

設計段階、運航段階での努力が必要

船舶流体力学の分野では

設計段階での取り組み

- ✓ 船型改良
 - ✓ 省エネデバイス
 - ✓ 風力推進 etc.
- 実海域性能を
考慮した設計

運航段階での取り組み

- ✓ 減速運航
- ✓ ウェザールーティング
- ✓ 最適トリム etc.

実運航での燃費性能（**実海域性能**）を予測し、改善に繋げる技術が必要

はじめに

*実海域性能保証

日本郵船、ジャパンマリンユナイテッドが新造船の建造契約において実海域性能保証に係る条項を導入ことに合意したと発表

これまで造船契約においては、波風のない平穏な海象下における船速と馬力の関係から保証速力を定義し、建造中に行われる海上公試運転にて相互確認を行うというのが一般的でした。一方、就航後の営業航海においては、波風のない平穏な航海は稀で荒天海象に遭遇することも度々あり、実際の気象海象下における推進性能の良い船を見極めて調達することは海運会社にとって重要な課題でした。

昨今、海上における衛星通信の改善、IoT技術の進展に伴い、様々な運航データを効率良く収集することが可能となっており、国際海運における厳しい競争の中、一層の差別化を実海域性能に求める当社と、それを差別化の源泉としたいJMUの意向が一致し、造船契約における実海域性能保証条項の導入に至りました。

日本郵船 プレスリリースより抜粋

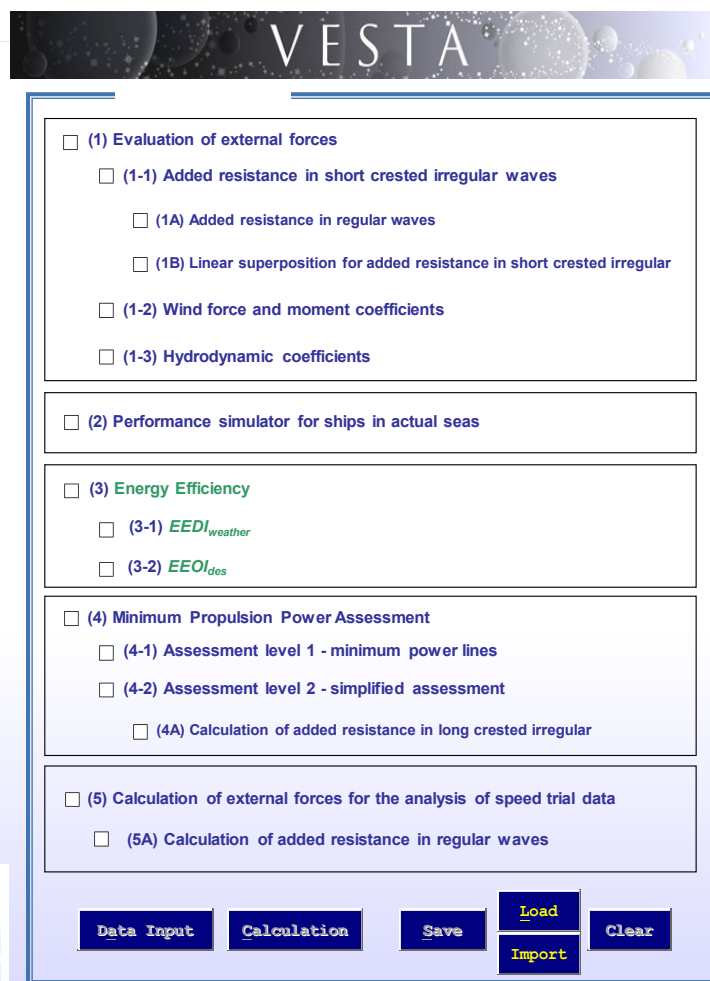


- ・ 平水中性能から実海域性能に重点を置く設計へ
- ・ 規制対応の観点から、加速する可能性がある



はじめに

*海技研の取り組み：実海域性能の高精度な評価技術の開発



VESTA

☐ (1) Evaluation of external forces

- ☐ (1-1) Added resistance in short crested irregular waves
 - ☐ (1A) Added resistance in regular waves
 - ☐ (1B) Linear superposition for added resistance in short crested irregular
- ☐ (1-2) Wind force and moment coefficients
- ☐ (1-3) Hydrodynamic coefficients

☐ (2) Performance simulator for ships in actual seas

☐ (3) Energy Efficiency

- ☐ (3-1) $EEDI_{weather}$
- ☐ (3-2) $EEOI_{des}$

☐ (4) Minimum Propulsion Power Assessment

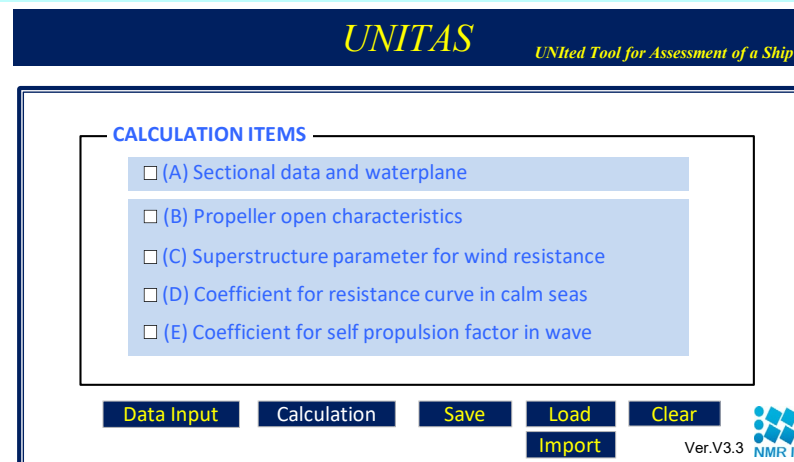
- ☐ (4-1) Assessment level 1 - minimum power lines
- ☐ (4-2) Assessment level 2 - simplified assessment
 - ☐ (4A) Calculation of added resistance in long crested irregular

☐ (5) Calculation of external forces for the analysis of speed trial data

- ☐ (5A) Calculation of added resistance in regular waves

Data Input Calculation Save Load Clear
Import

実運航性能シミュレータVESTA



UNITAS
UNITed Tool for Assessment of a Ship

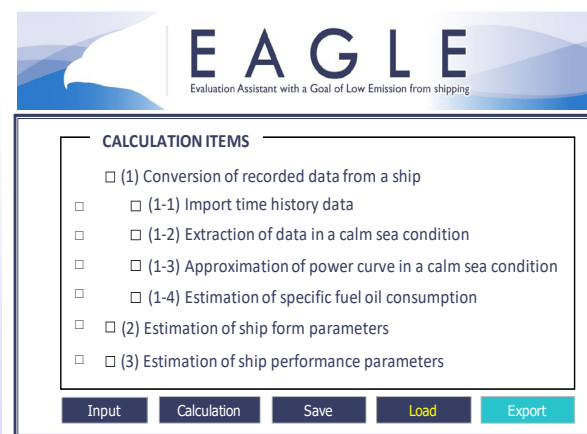
CALCULATION ITEMS

- ☐ (A) Sectional data and waterplane
- ☐ (B) Propeller open characteristics
- ☐ (C) Superstructure parameter for wind resistance
- ☐ (D) Coefficient for resistance curve in calm seas
- ☐ (E) Coefficient for self propulsion factor in wave

Data Input Calculation Save Load Clear
Import

Ver.V3.3 NMR I

船体形状・船体性能推定ツールUNITAS



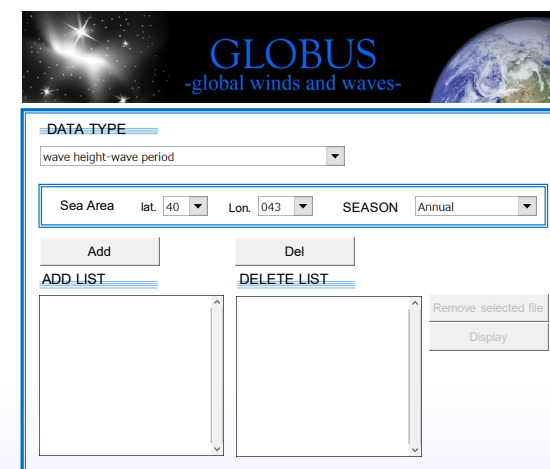
EAGLE
Evaluation Assistant with a Goal of Low Emission from shipping

CALCULATION ITEMS

- ☐ (1) Conversion of recorded data from a ship
 - ☐ (1-1) Import time history data
 - ☐ (1-2) Extraction of data in a calm sea condition
 - ☐ (1-3) Approximation of power curve in a calm sea condition
 - ☐ (1-4) Estimation of specific fuel oil consumption
- ☐ (2) Estimation of ship form parameters
- ☐ (3) Estimation of ship performance parameters

Input Calculation Save Load Export

船体形状・船体性能推定ツールEAGLE（実船データの取扱いが可能）



GLOBUS
-global winds and waves-

DATA TYPE
wave height-wave period

Sea Area lat. 40 Lon. 043 SEASON Annual

Add Del

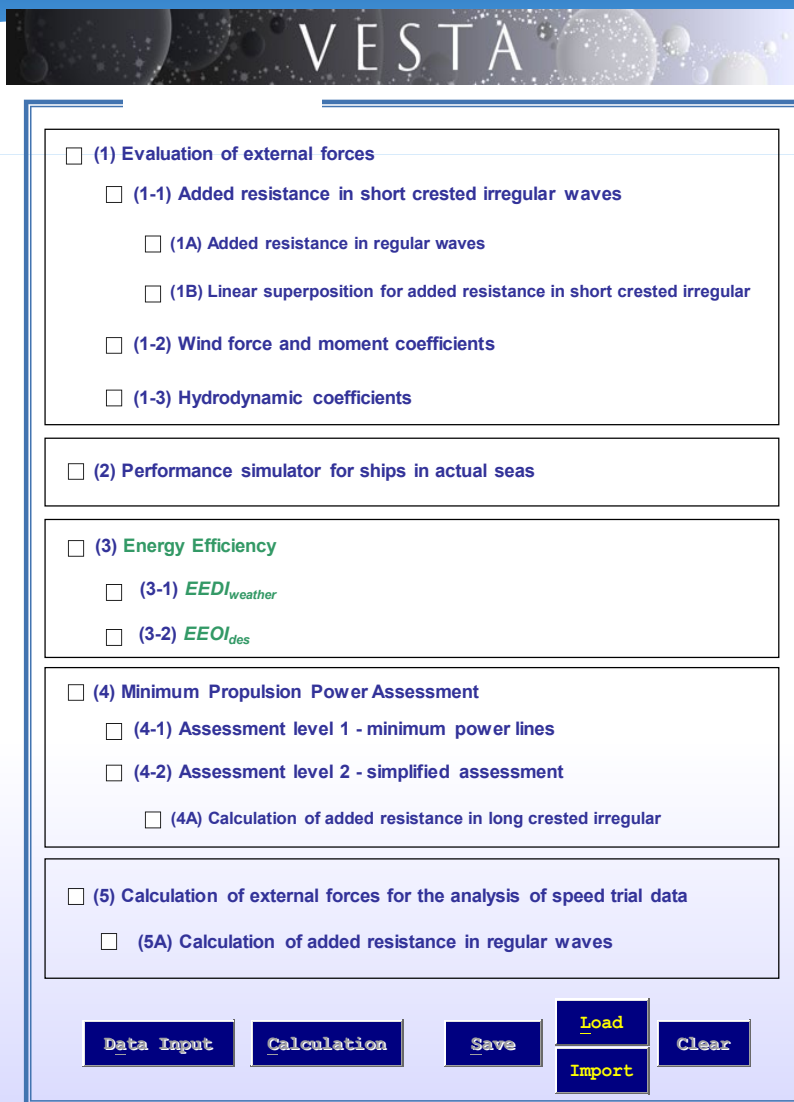
ADD LIST DELETE LIST

Remove selected file
Display

全球の波と風の統計データベース
GLOBUS

実運航性能シミュレータ VESTA

本日のご説明



The screenshot shows the VESTA software interface with a list of simulation options. The options are organized into five main categories, each with a checkbox and a sub-list of specific simulation types. The categories are: (1) Evaluation of external forces, (2) Performance simulator for ships in actual seas, (3) Energy Efficiency, (4) Minimum Propulsion Power Assessment, and (5) Calculation of external forces for the analysis of speed trial data. At the bottom of the interface, there are buttons for Data Input, Calculation, Save, Load, Import, and Clear.

- ☐ (1) Evaluation of external forces
 - ☐ (1-1) Added resistance in short crested irregular waves
 - ☐ (1A) Added resistance in regular waves
 - ☐ (1B) Linear superposition for added resistance in short crested irregular
 - ☐ (1-2) Wind force and moment coefficients
 - ☐ (1-3) Hydrodynamic coefficients
- ☐ (2) Performance simulator for ships in actual seas
- ☐ (3) Energy Efficiency
 - ☐ (3-1) $EEDI_{weather}$
 - ☐ (3-2) $EEOI_{des}$
- ☐ (4) Minimum Propulsion Power Assessment
 - ☐ (4-1) Assessment level 1 - minimum power lines
 - ☐ (4-2) Assessment level 2 - simplified assessment
 - ☐ (4A) Calculation of added resistance in long crested irregular
- ☐ (5) Calculation of external forces for the analysis of speed trial data
 - ☐ (5A) Calculation of added resistance in regular waves

Buttons: Data Input, Calculation, Save, Load, Import, Clear

EXCEL上で動作します。

(1)外力評価

波浪中抵抗増加

波浪定常横力・回頭モーメント、船体運動

風圧抵抗

斜航・当舵抵抗

(2)実海域性能評価

主機・ガバナー特性を考慮した速力低下、燃料消費量

(3)エネルギー効率評価

f_w , $EEDI_{weather}$, $EEOI_{des}$

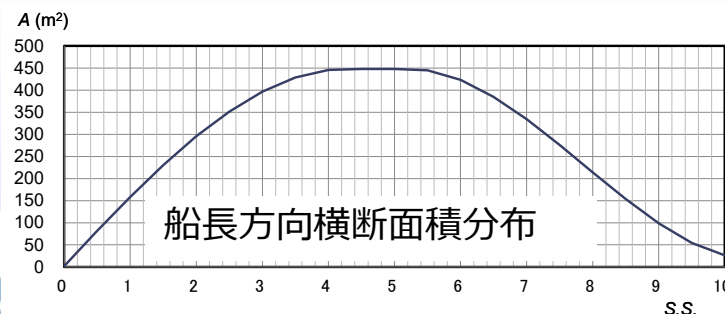
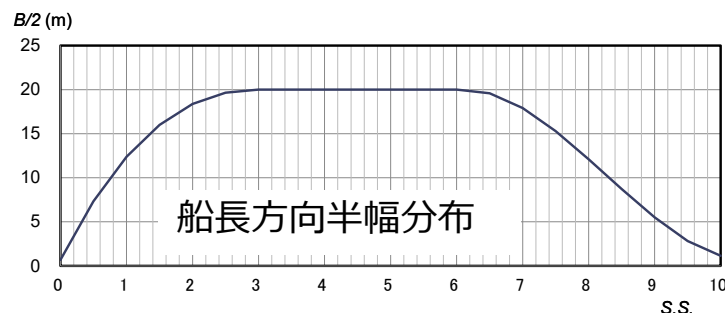
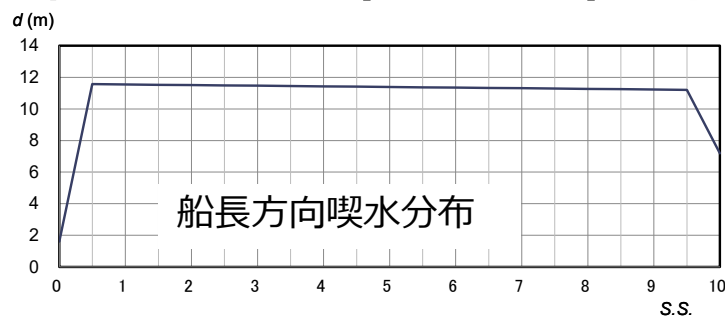
(4)最低推進出力の合否判定

レベル1、レベル2判定

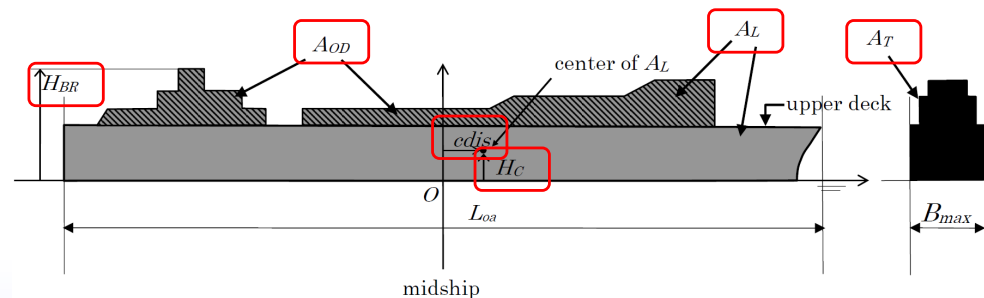
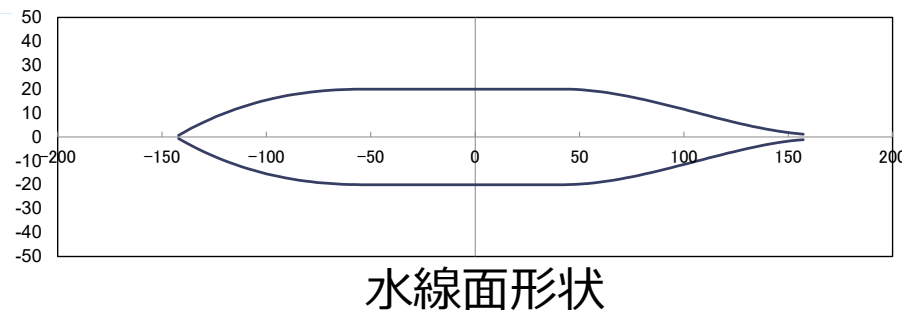
(5)海上試運転での波浪・風荷重推定

実運航性能シミュレータ VESTA

(1) 外力評価（入力（形状データ））



船体形状



上部構造物パラメータ

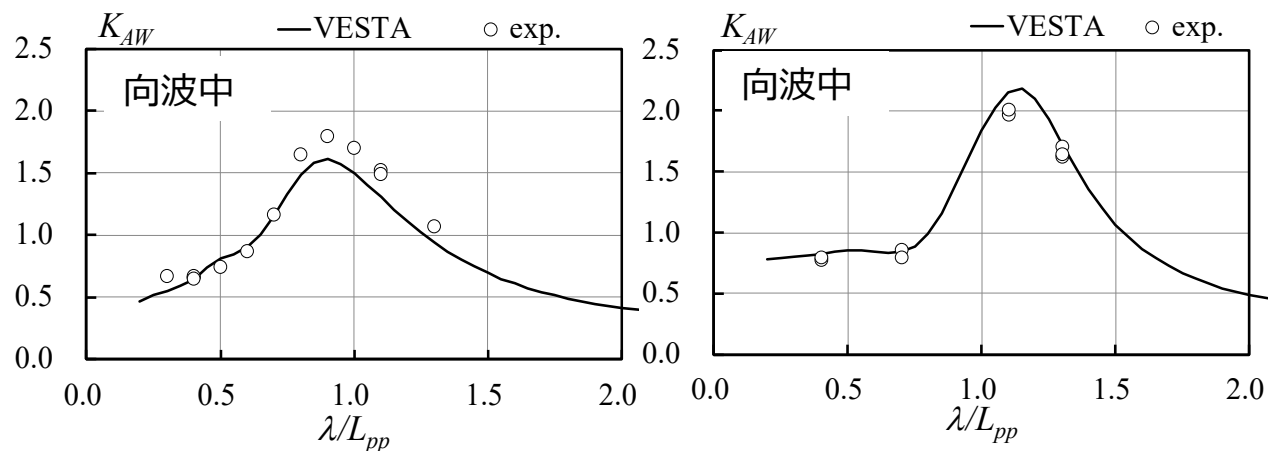
この他、
・慣動半径
・肥瘦係数 etc.
が必要

詳細な図面情報がない場合、[UNITAS/EAGLE](#)により
これらのデータを準備可能

実運航性能シミュレータ VESTA

(1) 外力評価（出力データ）

波浪中抵抗増加（規則波中）

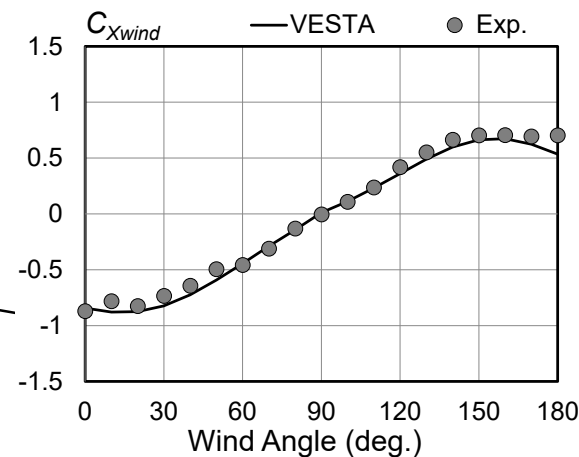


コンテナ船（船長355m）

散積船（船長280m）

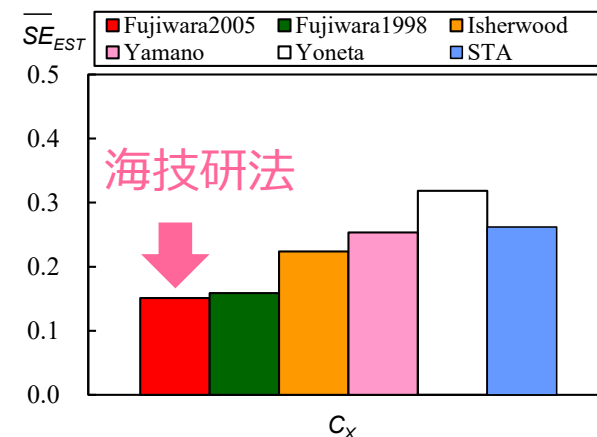
短波長域でも精度よく推定※

風圧抵抗



散積船（船長280m）

風洞試験結果を要目で整理した回帰式により
精度よく推定※

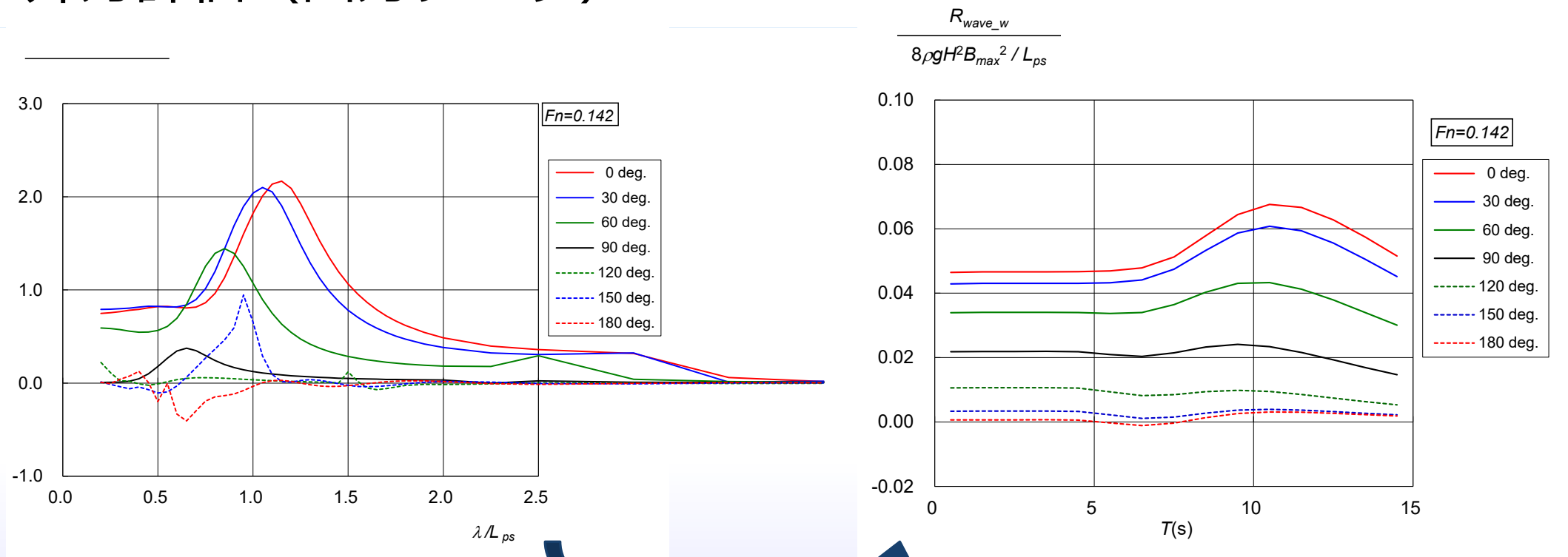


他手法との比較
(風洞試験との標準誤差)

※ITTC専門家委員会で推定計算法の中で最も精度が高いとされた方法で、ITTC、ISOの海上試運転実施・解析法の推奨手法に記載されている。

実運航性能シミュレータ VESTA

(1) 外力評価（出力データ）



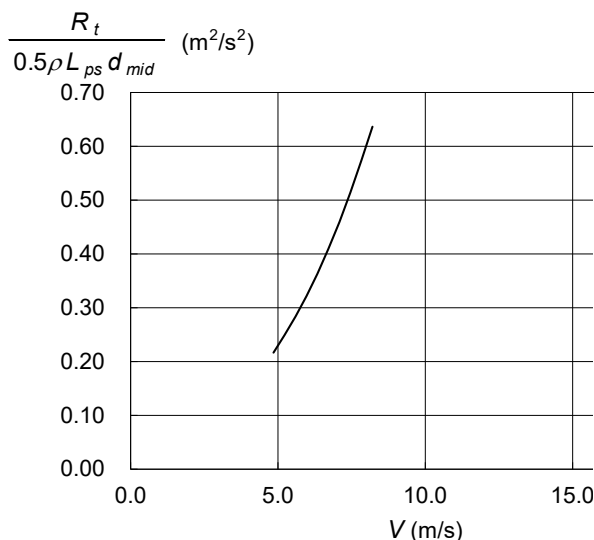
規則波中抵抗増加

短波頂不規則波中抵抗増加

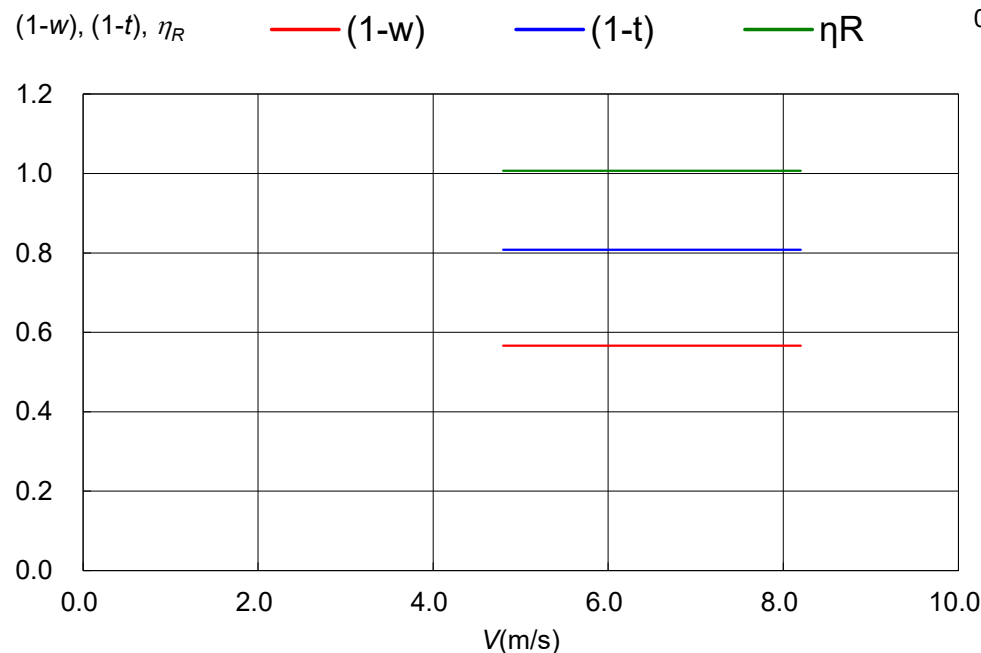
任意の方向スペクトラムを利用可能

実運航性能シミュレータ VESTA

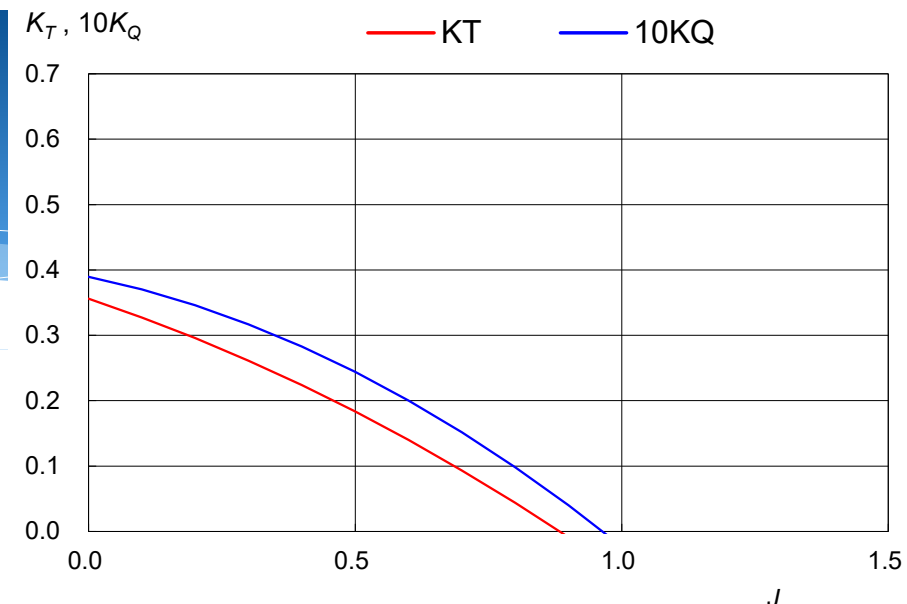
(2) 実海域性能評価（入力（性能データ））



平水中抵抗



平水中自航要素

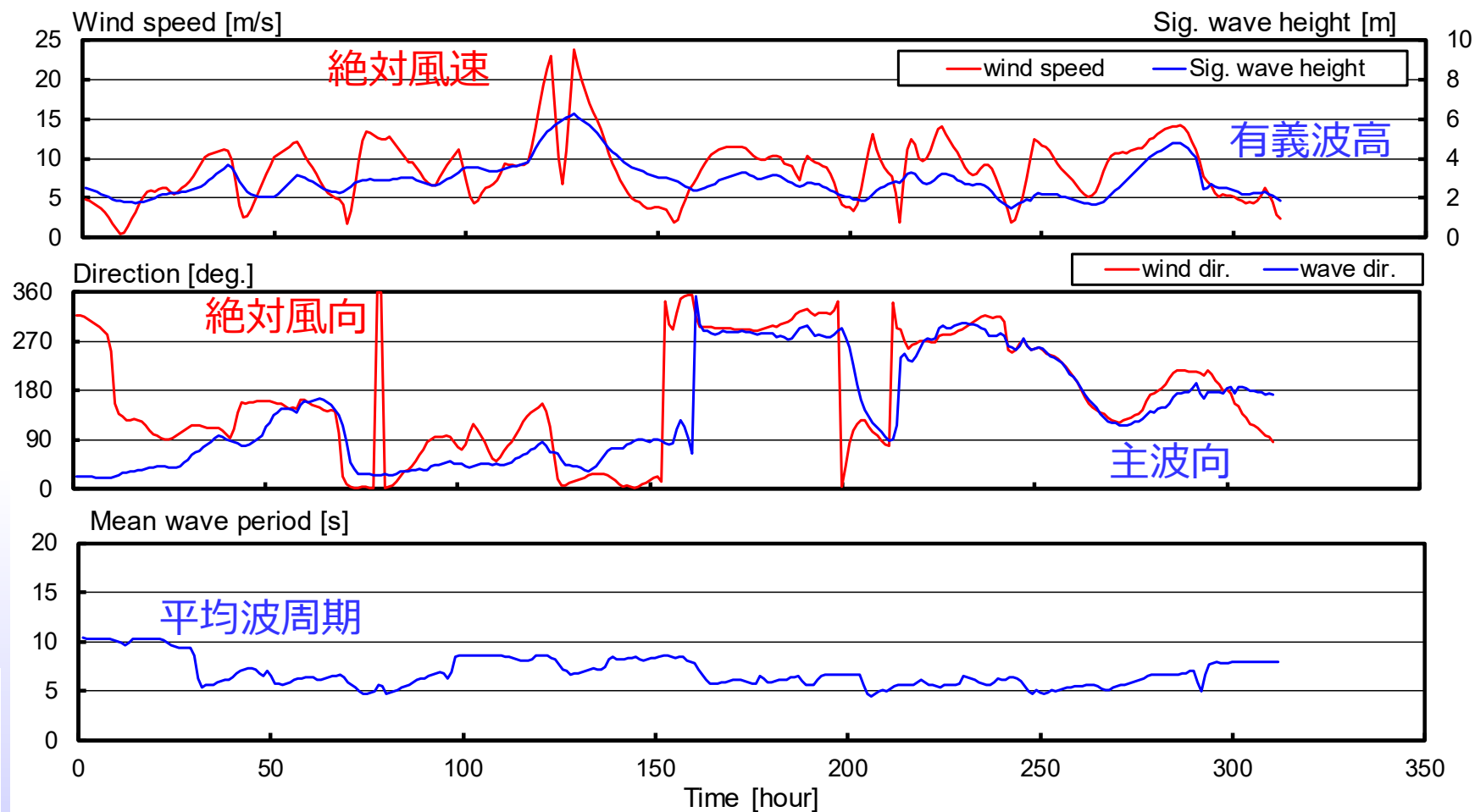


プロペラ単独特性

- ✓ 詳細情報がない場合、UNITAS/EAGLEにより準備可能
- ✓ 外力データ、機関データも必要

実運航性能シミュレータ VESTA

(2) 実海域性能評価（入力（気象海象データ））

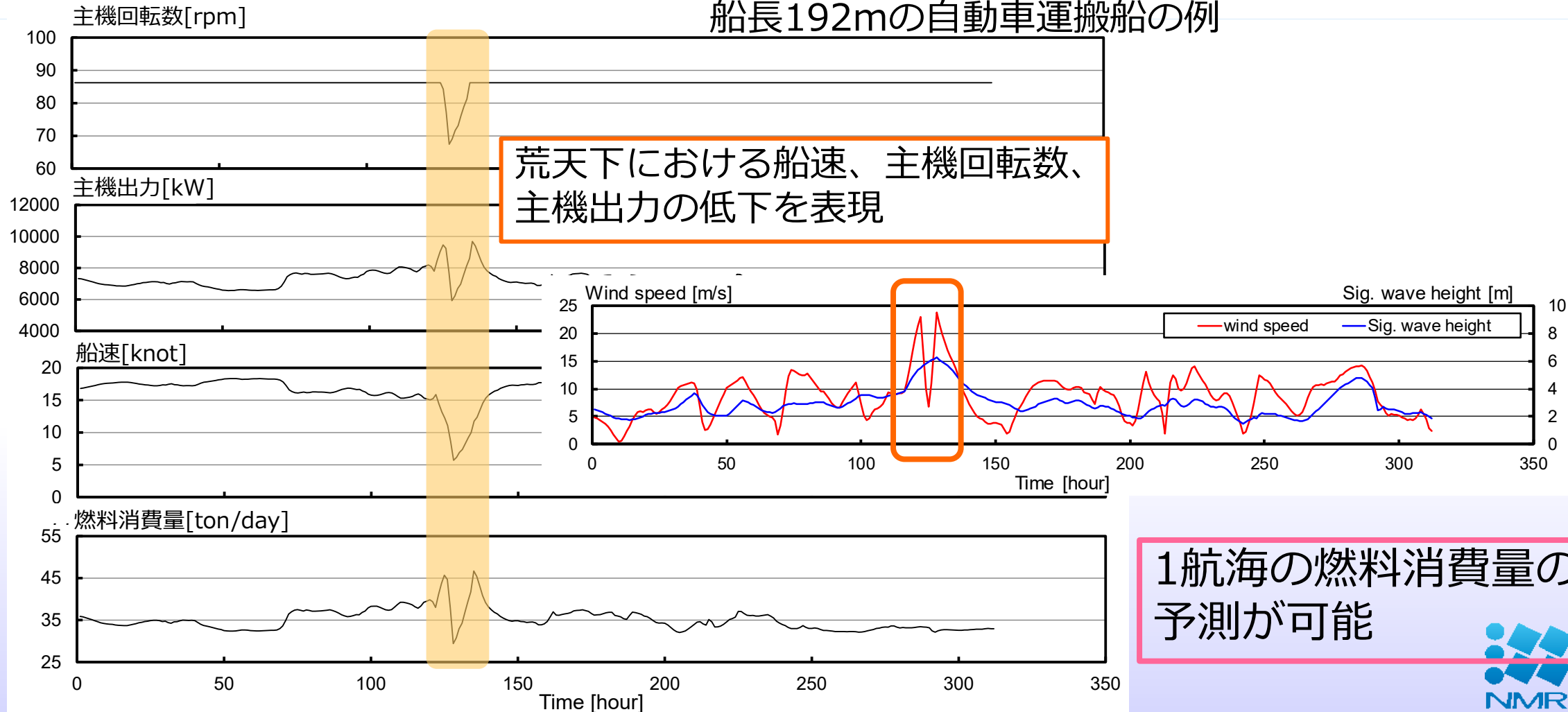


予報データ、
計測データを
利用可能

実運航性能シミュレータ VESTA

(2) 実海域性能評価（出力データ）

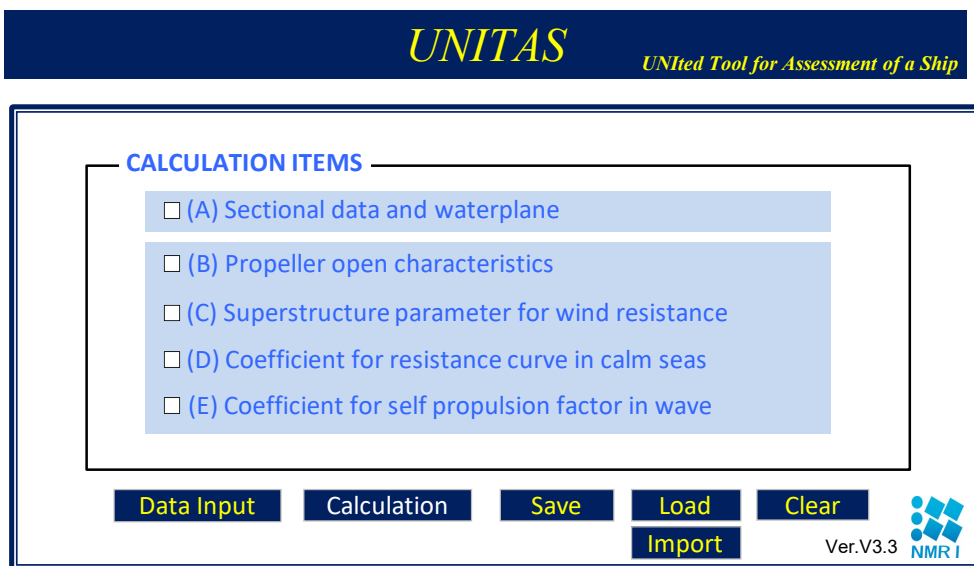
船長192mの自動車運搬船の例



船体形状・船体性能推定ツール UNITAS/EAGLE

UNITAS

船種、主要目の情報から、VESTAでの評価に必要なデータを作成



EXCEL上で動作します。

入力項目：
船種、全長、船幅、垂線間長、
喫水※、計画船速

※運航時、計画満載の両方

(A) 船体形状データ

船体運動、波浪中抵抗増加の評価に必要

(B) プロペラ単独性能

MAU, QCM, 設計ルーチンより選択

(C) 上部構造物パラメータ

風圧力の評価に必要

(D) 平水中抵抗、自航要素

船速－回転数－出力の関係より逆推定

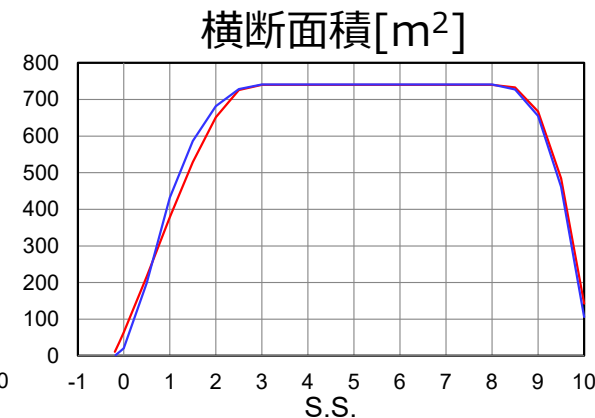
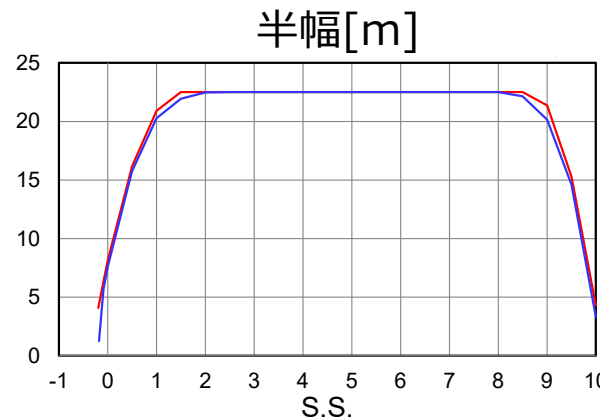
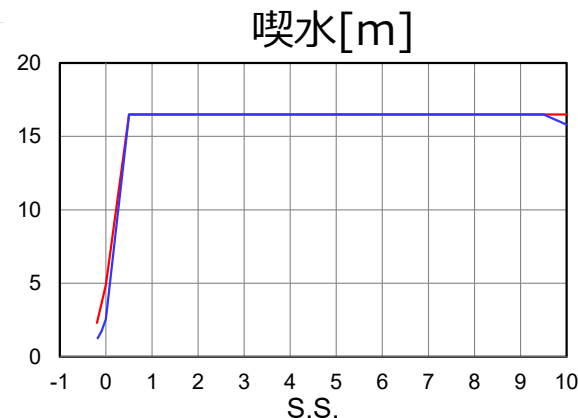
(E) 荷重度変更法パラメータ

荷重度変更法により評価する場合に必要

船体形状・船体性能推定ツール UNITAS/EAGLE

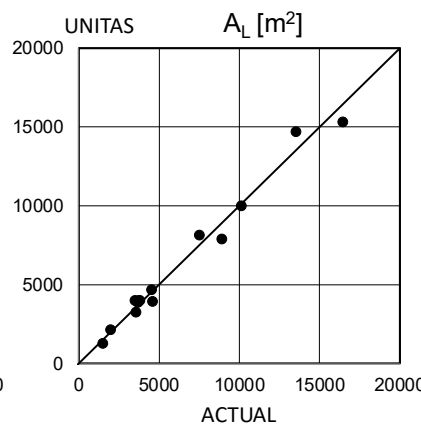
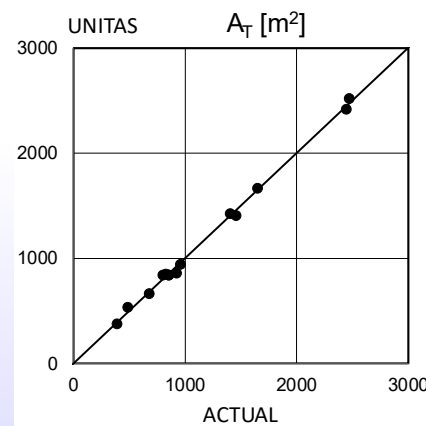
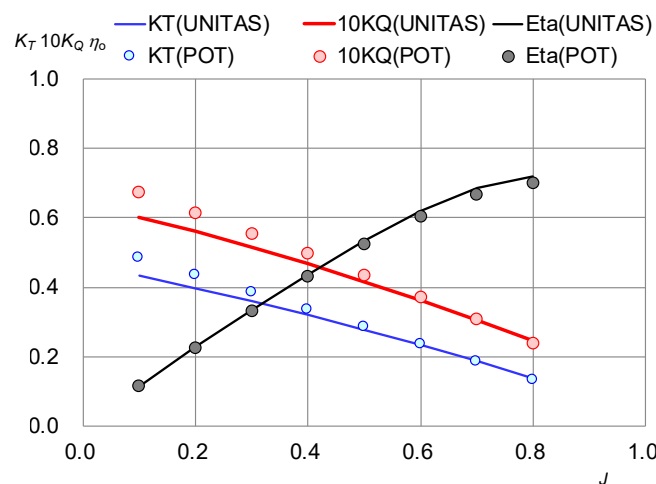
UNITAS

推定精度の検証※



— 推定値
— 実測値

船体形状データ



上部構造物パラメータ

A_T : 水面上正面投影面積
 A_L : 水面上側面投影面積



プロペラ単独特性

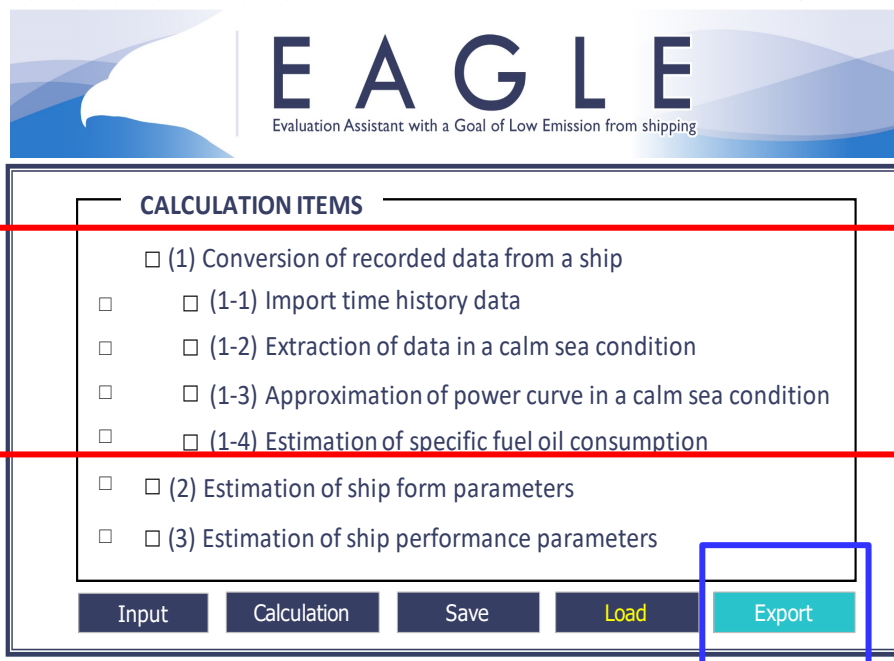
※Sogihara, N., Kuroda, M., Sakurada, A., Yokota, S., and Tsujimoto, M: UNITAS: Tool for supporting evaluation of ship performance in actual seas, Papers of National Maritime Research Institute, Vol. 19, No. 1, pp. 101-122, 2019.



船体形状・船体性能推定ツール UNITAS/EAGLE

EAGLE

船種、主要目の情報から、VESTAでの評価に必要なデータを作成



EXCEL上で動作します。

UNITASの機能強化版

追加機能 1：実船データ解析

- ・平水中データのフィルタリング
- ・船速-回転数-出力の関係を算出
- ・燃費率曲線を算出

追加機能 2：エクスポート機能

- ・計算結果をVESTAでLOAD可能な形式にて出力
- ・VESTAとのデータ連携の円滑化



- (1)実船データ解析
- (2)船体形状パラメータ推定
- (3)平水中抵抗、自航要素, POC推定※

※UNITASに実装の推定手法の一部を利用可能



船体形状・船体性能推定ツール UNITAS/EAGLE

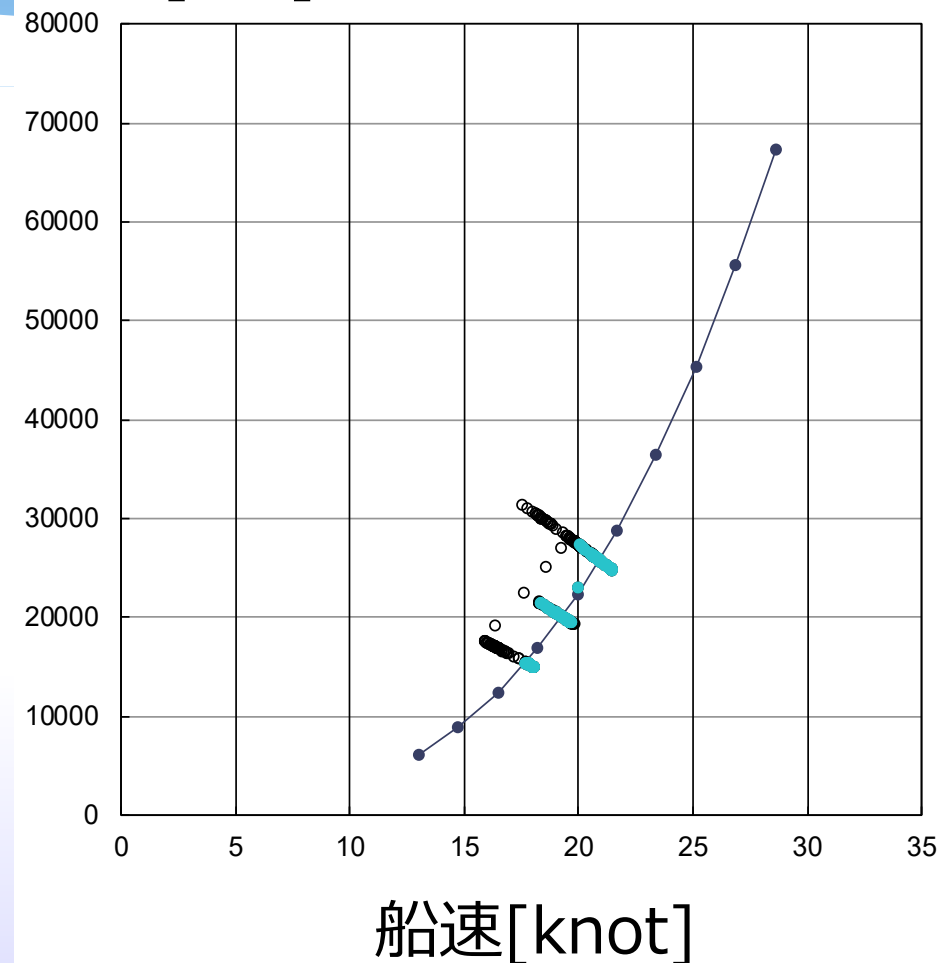
EAGLE

実船データ解析

1. 実船データ読み込み
2. ユーザー指定の条件でデータ抽出（項目：絶対風速、有義波高、平均波周期、舵角、対地船速と対水船速の差）
3. 抽出したデータに数式モデル※を適用し、船速-回転数-出力の関係を導出
4. 出力、燃料消費量のデータから燃費率曲線を導出

船速-回転数-出力の関係及びプロペラ単独特性から、トルク一致法により実船伴流係数が求まり、平水中抵抗曲線が得られる。

出力[kW]



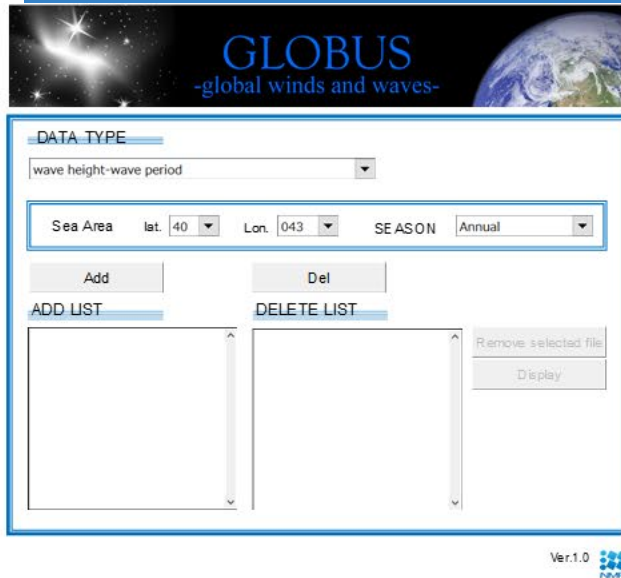
○ Time history ● Extracted data for calm sea condition — Power curve



※櫻田ら：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、pp.39-46、2017

NMRI

全球の波と風の統計データベース GLOBUS



GLOBUS
-global winds and waves-

DATA TYPE
wave height-wave period

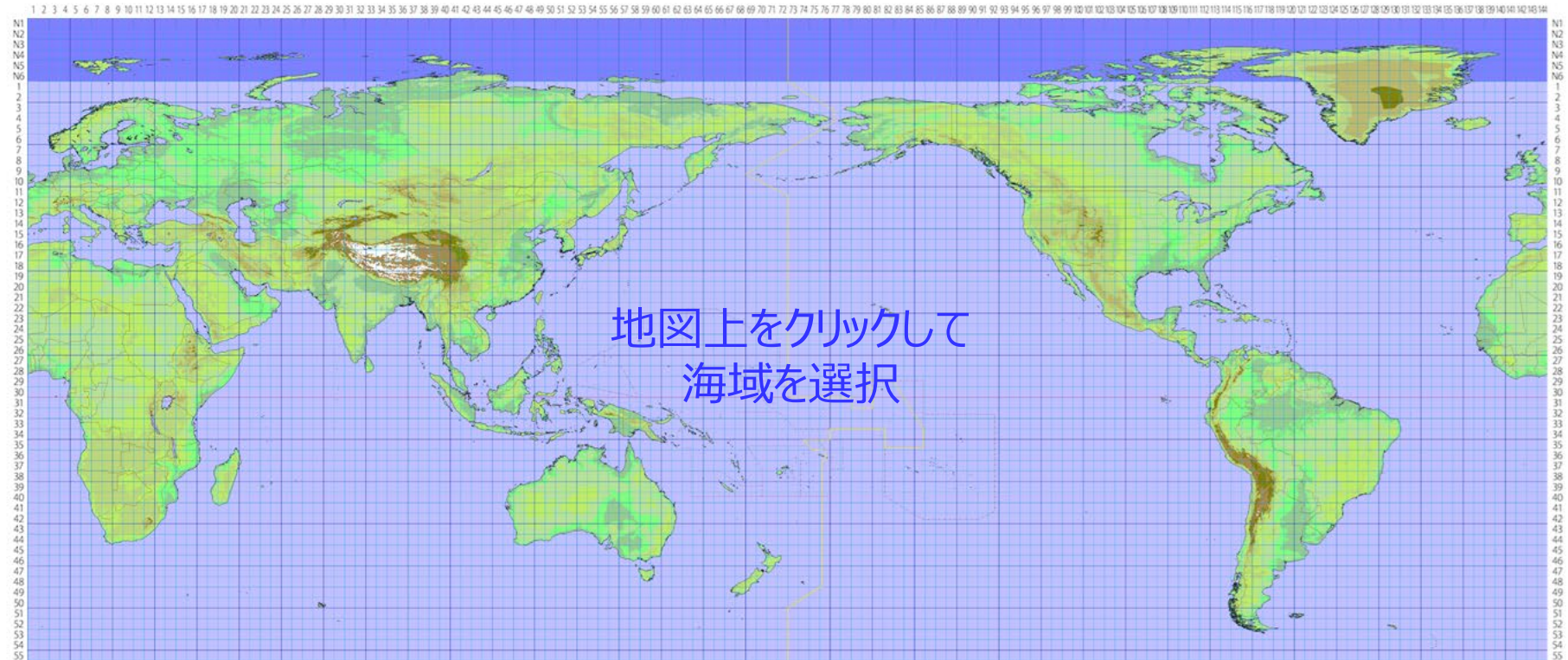
Sea Area lat. 40 Lon. 043 SEASON Annual

Add Del

ADD LIST DELETE LIST

Remove selected file
Display

Ver.1.0



- ✓ 10年間分の波と風の推算結果（緯度経度0.5格子間隔）を統計解析
- ✓ 有義波高、卓越波周期、卓越波向、平均風速、平均風向の5要素による発現頻度表※を表示
- ✓ 通年、各季節、各月に区分可能

全球での3相
関表は世界初

※ 5要素より2要素を選んだ発現頻度表（10種類）及び有義波高-卓越波周期-平均風速、有義波高-卓越波周期-卓越波向の計12種類の発現頻度表

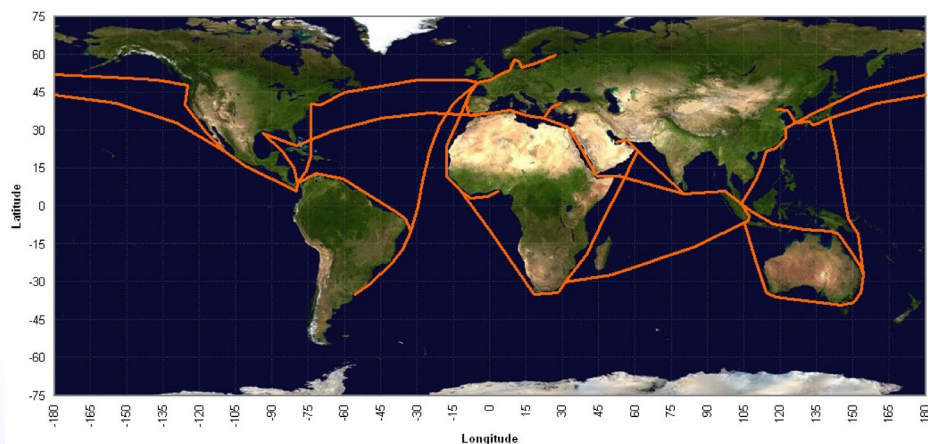


全球の波と風の統計データベース GLOBUS

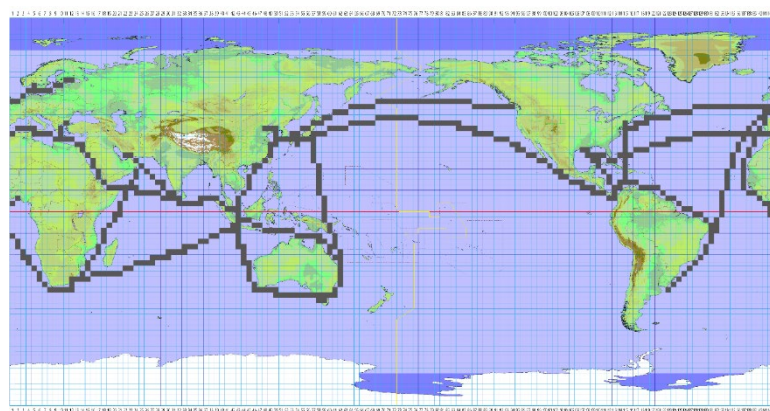
解析例：代表航路での風速発現確率の評価

本発表の一部は、日本財団の助成事業である（一財）日本船舶技術研究協会の「2019年度船舶の省エネ性能向上のための技術基準の検討に関する調査研究（省エネ性能向上技術基準検討プロジェクト）－風力推進システムに関する他国提案の技術的妥当性評価に関する作業－」により実施された。

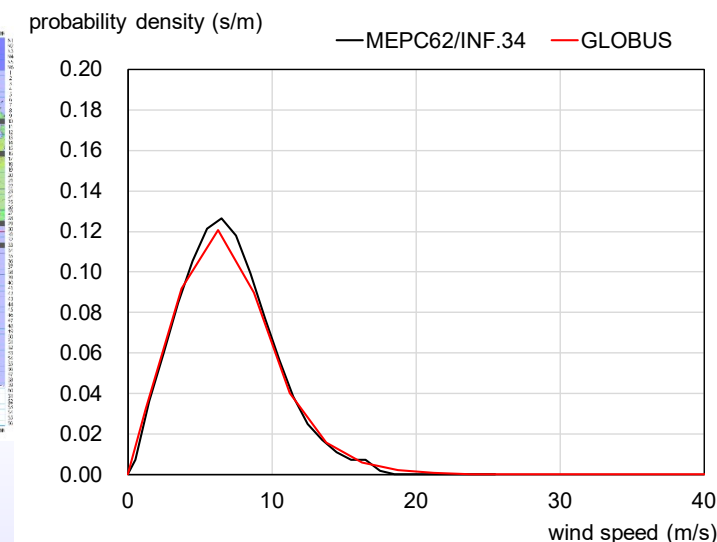
風力推進の効果をEEDIに含める際には、代表航路での風速-風向の同時発現確率に基づき評価を行う。



MEPC 62/INF.34¹⁾が示す船舶が運航する代表航路



GLOBUS上で代表航路をトレース



風速発現頻度



- 1) MEPC 62/INF.34, Reduction of GHG Emission from Ships, Global Wind Specification along the Main Global Shipping Routes to be applied in the EEDI Calculation of Wind Propulsion Systems, Submitted by Germany, International Maritime Organization, 2011.
- 2) 金子杏実、辻本勝：EEDIでの風力推進の利用のための風の発現確率の評価、日本航海学会2020年春季講演予稿集 Vol. 8 No.1、2020年



プログラム適用例

*プログラム関係図

VESTA

- ☐ (1) Evaluation of external forces
 - ☐ (1-1) Added resistance in short crested irregular waves
 - ☐ (1A) Added resistance in regular waves
 - ☐ (1B) Linear superposition for added resistance in short crested irregular
 - ☐ (1-2) Wind force and moment coefficients
 - ☐ (1-3) Hydrodynamic coefficients
- ☐ (2) Performance simulator for ships in actual seas
- ☐ (3) Energy Efficiency
 - ☐ (3-1) $EEDI_{weather}$
 - ☐ (3-2) $EEOI_{des}$
- ☐ (4) Minimum Propulsion Power Assessment
 - ☐ (4-1) Assessment level 1 - minimum power lines
 - ☐ (4-2) Assessment level 2 - simplified assessment
 - ☐ (4A) Calculation of added resistance in long crested irregular
- ☐ (5) Calculation of external forces for the analysis of speed trial data
 - ☐ (5A) Calculation of added resistance in regular waves

Data Input Calculation Save Load Clear
Import

形状データ、性能データ

形状データ、性能データ（実船データ利用）

海象発現頻度

UNITAS
UNITed Tool for Assessment of a Ship

主要目を入力

- ☐ (B) Propeller open characteristics
- ☐ (C) Superstructure parameter for wind resistance
- ☐ (D) Coefficient for resistance curve in calm seas
- ☐ (E) Coefficient for self propulsion factor in wave

Data Input Calculation Save Load Clear
Import

Ver.V3.3 NMRI

EAGLE
Evaluation Assistant with a Goal of Low Emission from shipping

主要目を入力

- ☐ (1-1) Import time history data
- ☐ (1-4) Estimation of specific fuel oil consumption
- ☐ (2) Estimation of ship form parameters
- ☐ (3) Estimation of ship performance parameters

Input Calculation Save Load Export

GLOBUS
-global winds and waves-

DATA TYPE
wave height-wave period

Sea Area lat. 40 Lon. 043 SEASON Annual

Add Del

ADD LIST DELETE LIST

Remove selected file
Display

航路、季節を入力



プログラム適用例

*設計段階での利用

使用ツール：VESTA, GLOBUS (+UNITAS/EAGLE※)

波浪中抵抗増加を改善する船首形状の燃料消費量への影響評価

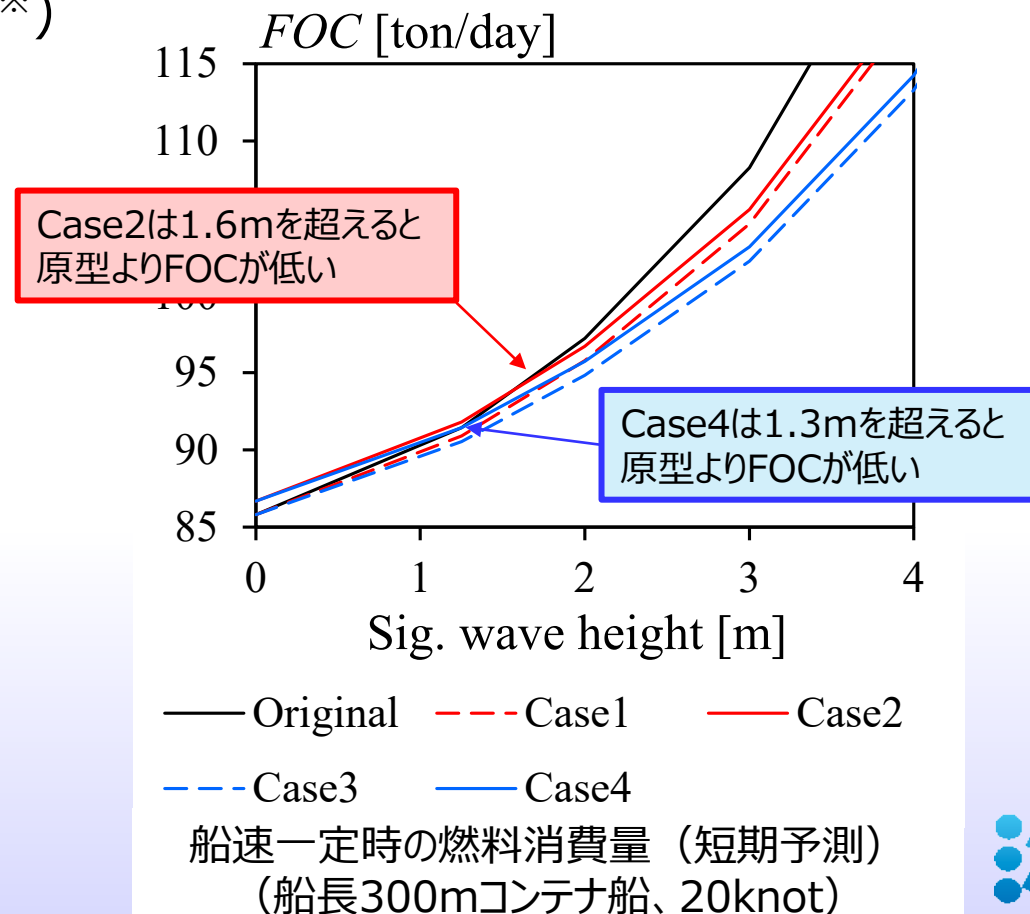
以下の4ケースについて原型と比較する

	波浪中抵抗増加※	平水中抵抗
Case1	30%改善	悪化無し
Case2	30%改善	1%悪化
Case3	50%改善	悪化無し
Case4	50%改善	1%悪化

※短波頂不規則波中抵抗増加

- ✓ Case1、Case3が理想的
- ✓ Case2、Case4は実海域性能の向上のため平水中性能の悪化を許容する場合を想定

※要目のみ分かっている場合



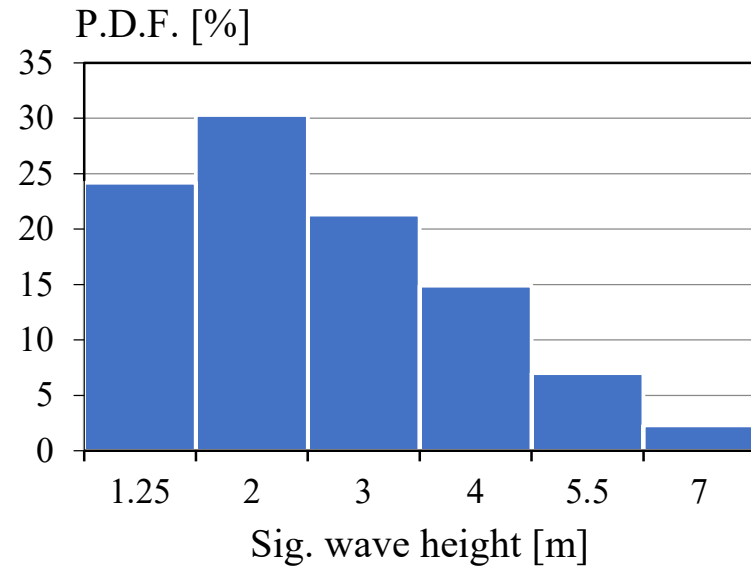
プログラム適用例

	波浪中抵抗増加	平水中抵抗
Case1	30%改善	悪化無し
Case2	30%改善	1%悪化
Case3	50%改善	悪化無し
Case4	50%改善	1%悪化

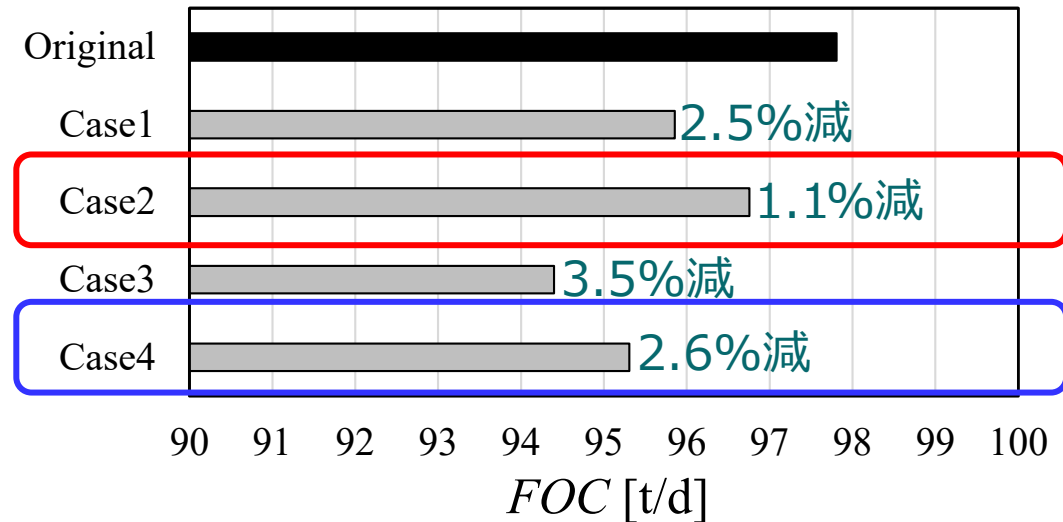
*設計段階での利用

※要目のみ分かっている場合

使用ツール：VESTA, GLOBUS (+UNITAS/EAGLE※)



北太平洋航路での有義波高の発現頻度



長期予測による燃料消費量の評価

実海域性能を考慮した設計が可能に

⇒実海域性能保証の導入への対応に貢献

プログラム適用例

※Sogihara, N., Sakurada, A., Kuroda, M., Tsujimoto, M., Sugimoto Y., and Hasegawa K.: Development of A Numerical Model on Displacement Correction for Ship Performance in Calm Seas Based on Full-Scale Measurement, Proceedings of ISOPE-2019, pp.4719-4724, 2019.

*運航段階での利用

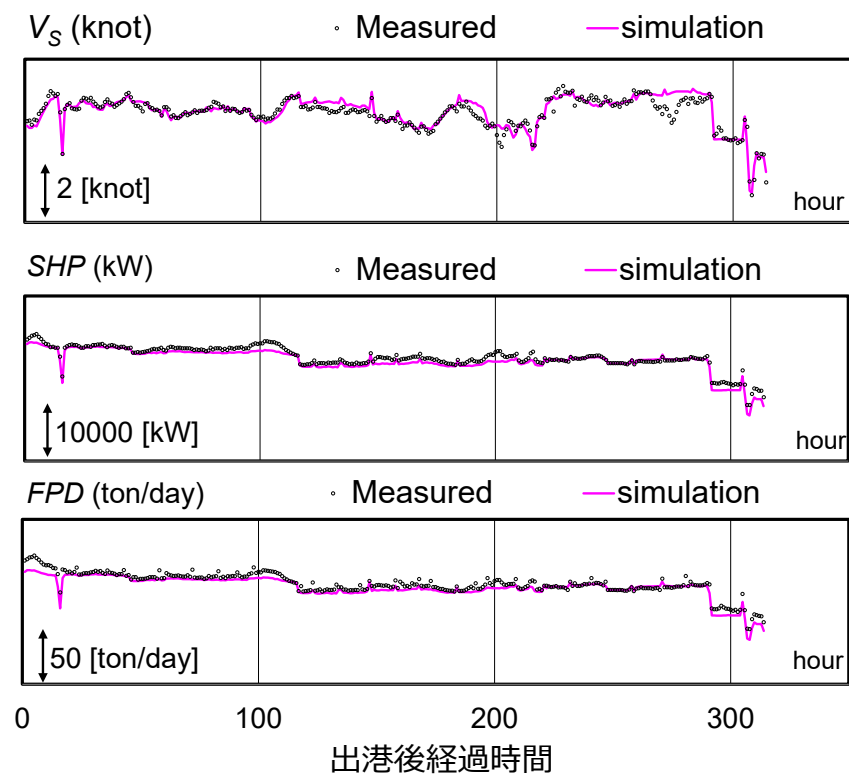
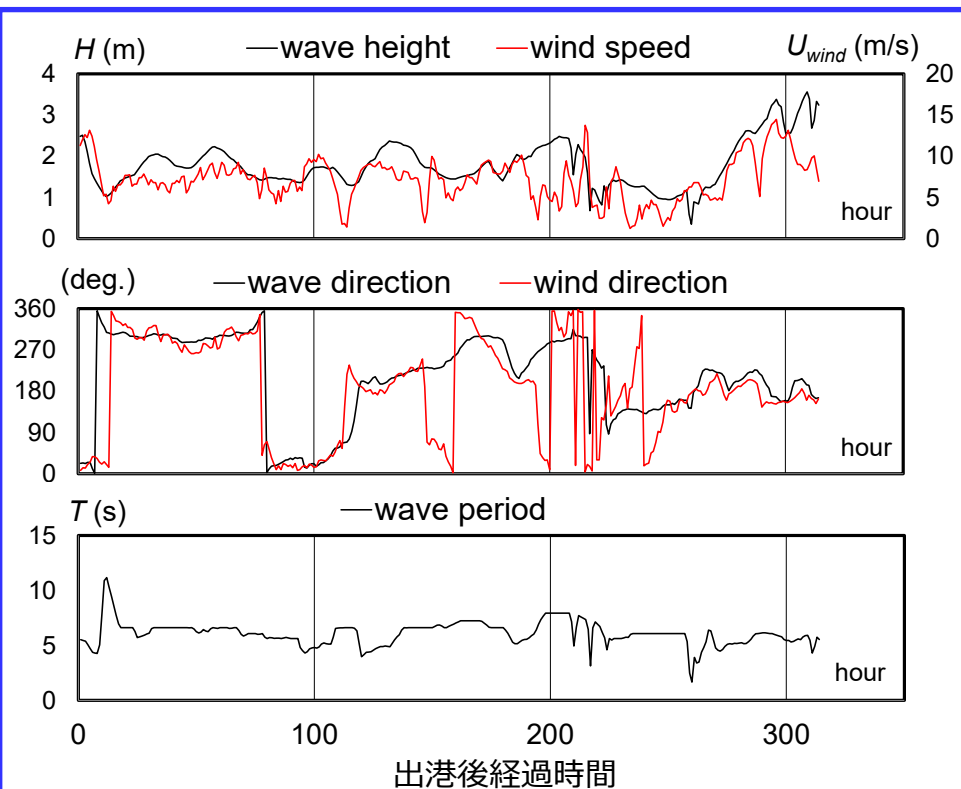
使用ツール：VESTA, UNITAS/EAGLE

航海シミュレーション

コンテナ船（船長300m）の例※

実船データを用い、EAGLEで**性能モデル**を作成
気象海象データと共に、VESTAに入力してシミュレーション

入力：
気象海象
データ



出力：
性能データ
・船速
・主機出力
・燃料消費量



プログラム適用例

*運航段階での利用

使用ツール：VESTA, UNITAS/EAGLE

航海シミュレーション

シミュレーション結果と実船データの良好な一致は、作成した性能モデルの精度が十分であることを意味する。

- ✓ 作成した性能モデルを他の航海に利用可能（航海分析）
- ✓ 気象海象の予報値を用い、想定航路での船速、燃料消費量を予測可能
- ✓ 喫水状態ごとに性能モデルを作成し、データベース化※すると利便性向上

実運航における燃費削減を実現し、燃費実績格付制度（CII）に対応可能



※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、pp39-46、2017.



プログラム適用例

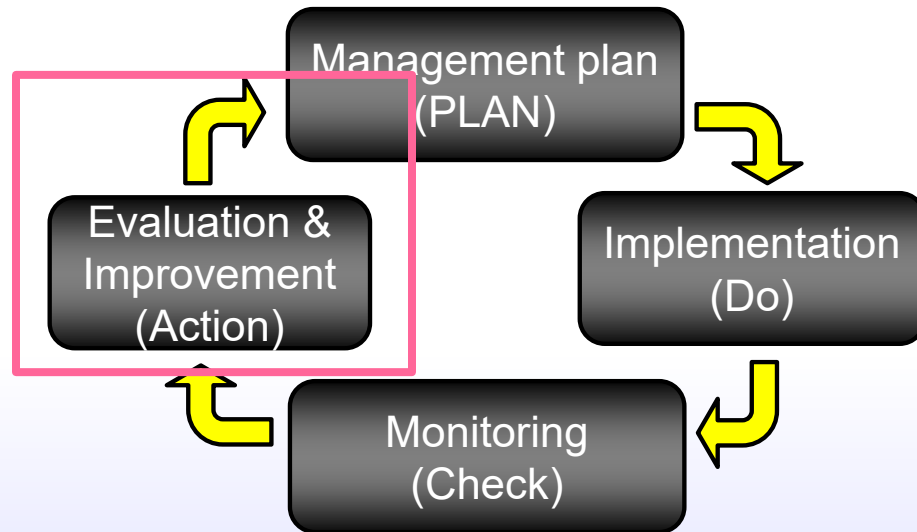
ケープサイズバルカーでの航海分析例※



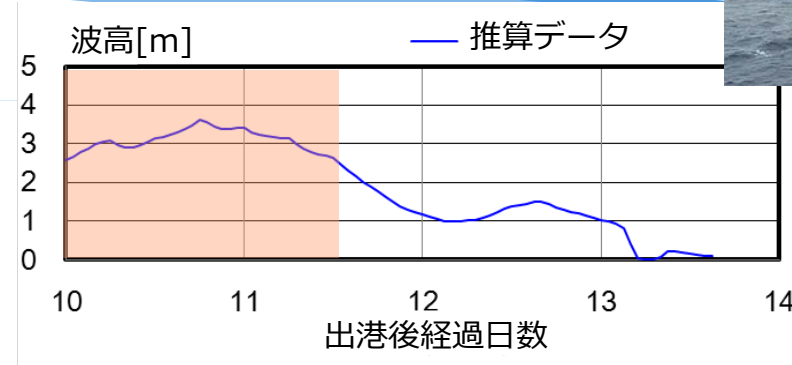
*運航段階での利用

使用ツール：VESTA, UNITAS/EAGLE

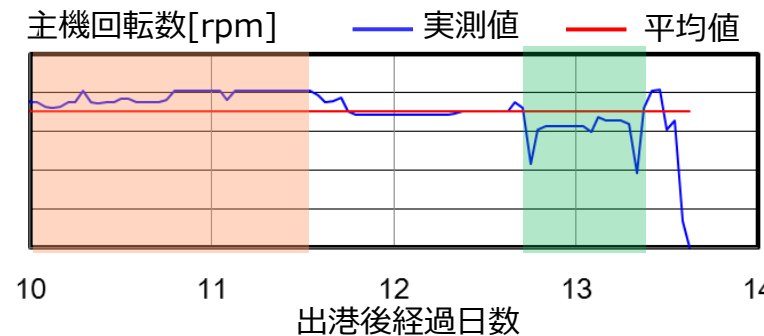
航海分析



運航におけるPDCAサイクル



波高が大きい10-11日目
⇒回転数を高めに設定



13日目より、到着予定時刻にあわせるため、回転数を調整(変動)

気象海象の予報値に基づきシミュレーションを行い、予め最適な主機回転数を設定していた場合

➡ 航海全体での燃料消費量を5%削減

CIIの向上に貢献



※Tsujiimoto, M., Sogihara, N., Kuroda, M., and Sakurada, A.: Development of a ship performance simulator in actual seas, Proceedings of the ASME 2015 34th International Conference in Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2015-41708, 2015.



おわりに

- * 国際海運における環境規制は強化の一途を辿っており、対応するには実海域性能評価のための高度な技術力が必要です。
- * 従来の平水中性能重視の考え方からシフトし、実海域性能に重点を置いた船舶の建造、供給が求められています。
- * 環境規制に対応し、実海域性能の優れた船舶の設計、高効率な船舶の運航に貢献できるよう、引き続き技術開発に尽力致します。