

## 実運航性能シミュレータ VESTA

辻本 勝\*, 粉原 直人\*, 黒田麻利子\*, 櫻田 顕子\*

### Ship Performance Simulator in Actual Seas -VESTA-

by

Masaru TSUJIMOTO, Naoto SOGIHARA, Mariko KURODA and Akiko SAKURADA

#### Abstract

In order to reduce GHG emission from ships, Vessel Performance Simulator in Actual Seas, VESTA, has been developed. It simulates ship speed and fuel consumption by using weather data and designated engine revolution. Physical models for hull, propeller, rudder and engine are used in the simulator. Especially added resistance in waves, wind forces, drift forces, steering forces and engine/governor model, which are important factors for the estimation are implemented. VESTA is also implemented with energy efficiency design index considering weather effect and energy efficiency operational indicator at design stage, judgement of minimum propulsion power requirement and evaluation of external forces due to winds and waves in speed/power trials.

To support inputs for VESTA data, United Tool for Assessment of a Ship, UNITAS, has been developed simultaneously. These programs have been validated through model tests and onboard monitoring data.

Here, functions of VESTA/UNITAS and use of Graphical User Interface is explained.

---

\* 流体設計系

原稿受付 平成28年1月25日

審査日 平成28年2月24日

## 目 次

1. まえがき	56
2. VESTA の開発	56
2.1 開発経緯	56
2.2 VESTA 計算機能	57
2.3 UNITAS 計算機能	61
2.4 VESTA/UNITAS の GU	63
3. まとめ	64
謝辞	64
参考文献	65

## 1. まえがき

船舶は波や風のある海上を航行しているが、これまで船舶性能の推定で波や風の影響を水槽試験等で考慮することは希であり、通常は波や風のない平水中状態で行い、設計で波と風の影響を余裕（マージン）として考慮するという方法で行われてきた。一方、運航者側からは要目が同一で平水中性能は同じでも実海域で差が生じているとの報告があり、生涯燃費に大きく関係するため実海域性能をターゲットに設計をするべきであること、そのためには実海域性能を評価、確認（保証）する標準手法の構築が必要であることが指摘されていた<sup>1)</sup>。

また、国際海事機関（IMO）でも海運分野からの CO<sub>2</sub> 排出量を低減するため、エネルギー効率を向上させるため設計指標（EEDI）での削減率達成、運航での管理計画（SEEMP）の作成所持が義務化された。

このような状況の中、船舶の実運航性能を精度高く推定することを目的に、物理モデルをベースとした実運航性能シミュレータ VESTA（Vessel Performance Evaluation Tool in Actual Seas）の開発を行った。

VESTA は、実海域で船舶に作用する外力を精度よく推定し、主機作動制限及び主機調速機（ガバナー）制御を考慮して船速低下や燃料消費量を算定することが可能である。また、遭遇海象下での実運航性能シミュレーションや、ルール対応機能として、エネルギー効率指標（EEDI）及び実海域中のエネルギー効率設計指標（EEDIweather）の算定、EEDI の最低出力要件の適合性の判定、海上試運転で行われる速力試験での EEDI 認証のための波風修正量の算定を行うことも可能である。

このような計算を行うため、VESTA では造船所保有の船体情報の入力が必要となるが、運航者が自ら計算評価するニーズもあることから、VESTA 入力データ作成を支援するため、船体形状・船体性能推定プログラム UNITAS（United Tool for Assessment of a Ship）をあわせて開発した。

以下に VESTA/UNITAS の開発経緯、計算機能、検証例について紹介する。

## 2. VESTA の開発

## 2.1 開発経緯

実運航性能シミュレータの開発に当たっては、本船を特定の航路に就航させた際の性能（速力・燃料消費等）を十分な精度で評価することを目的に開発を行った。このために必要となる技術開発項目について、船社、造船所等にヒアリングを行い、ユーザーニーズの反映を行うこととした。

ヒアリングの結果、実運航状態を忠実にモデル化すること、そのためには船型等詳細な入力データが必要であるが、造船所以外には利用できないこと、波浪について計器計測値を利用したいとの意見であった。

開発事項はヒアリング結果を踏まえ、実運航状態を忠実に再現するため重要となる、波、風の外力の高精度推定、特に追波中抵抗増加の評価を可能なようにすること、主機作動特性及び主機调速機(ガバナー)制御をモデル化し、実海域中の速力低下、燃料消費量の推定に反映することとした。また、船型等詳細な入力データについては、船社等が利用できるような、要目データからの簡易推定や実船データからの逆算推定する入力支援プログラムを別途作成することとした。波浪計測については、波浪レーダー、ブイ計測等により方向スペクトラムが取得できるため、これを入力し評価できることとした。

これらの技術により、船体・プロペラ、機関、運航の分析、評価・改善、提案、実施(PDCAサイクル)が可能となる。

## 2.2 VESTA 計算機能

実運航性能シミュレータ VESTA で計算できる項目は大別して以下の5項目である。計算内容は実運航シミュレーションに加え、ルール対応計算機能を有している。これらについて以下に示す。

### (1)外力計算

VESTA では波浪中抵抗増加、風圧力、斜航流体力・当舵力を計算することが可能である。以下、これらの計算法の概略と、模型試験との比較による検証を示す。

#### (A)波浪中抵抗増加

波浪中抵抗増加は、これまで短波長域の推定精度が劣ることが知られていたが、当所にて開発した実用修正法(NMRI法)に従い、短波長修正を行い、波浪中抵抗増加を計算する方法を VESTA に実装している。また、当所の実海域再現水槽で追波中を含めた模型試験を実施し、計算法を追波中抵抗増加に拡張している<sup>2)</sup>。なお、波浪中水槽試験結果の入力も可能となっている。規則波中抵抗増加の計算例を図1に示す。

国際試験水槽会議(ITTC)にて波浪中抵抗増加計算法の比較、検証が行われた。図2は、長波頂不規則波中で水槽試験結果と各種推定法の推定結果を比較したものである。その結果、NMRI法が現状で最も精度が高い推定法であることが示された<sup>3)</sup>。

波浪中抵抗増加計算のベースとなる船体運動計算は、ストリップ法により計算を行う。6自由度の船体運動計算が可能であり、横揺減衰力係数については水槽試験から取得する減減曲線の係数(a, b係数)の入力もしくは池田らの方法による簡易推定<sup>4)</sup>が選択できる。

また、不規則波中抵抗増加の計算では、風波とうねりの波浪場や2方向波浪場に対応し、2種類の標準スペクトラムを利用可能とした。また、波浪レーダー、ブイ計測等により方向スペクトラムを取得した場合は、方向スペクトラムを直接入力可能とした。なお、方向スペクトラムの表記は、波数スペクトラム、周波数スペクトラムの2種類があるが、セクターにより選択可能となっている。計測した方向スペクトラムと標準スペクトラムとで波浪中抵抗増加を計算し影響評価を行った結果、マルチピークスペクトラムで標準スペクトラムを利用することによるエラーが大きいことを示した<sup>5)</sup>。

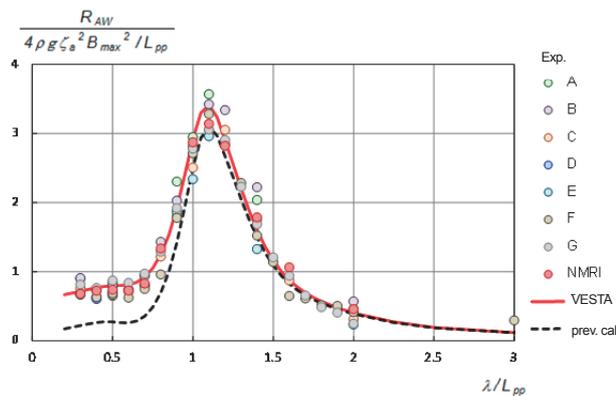


図1 規則波中抵抗増加の水槽試験と計算の比較

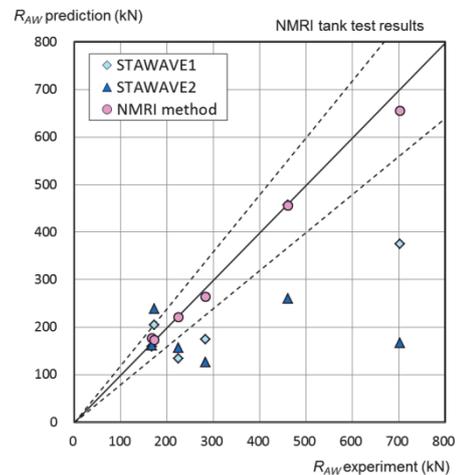


図2 ITTCによる斜波中抵抗増加の検証<sup>3)</sup>

(B) 風圧力

VESTA では風圧力は、風洞試験もしくは当所にて開発した船型要目を用いて回帰式により推定する<sup>6)</sup>。風圧力係数の計算例を図3に示す。

風圧抵抗についても、ITTCにて風圧抵抗推定法の比較、検証が行われた。図4は、57隻のデータについて、風圧抵抗の風洞試験結果と各種推定法の推定結果を平均標準誤差 ( $\overline{SE}_{EST}$ ) を用いて比較したものである。その結果、当所の方法が現状で最も精度が高い推定法であることが示された<sup>3)</sup>。

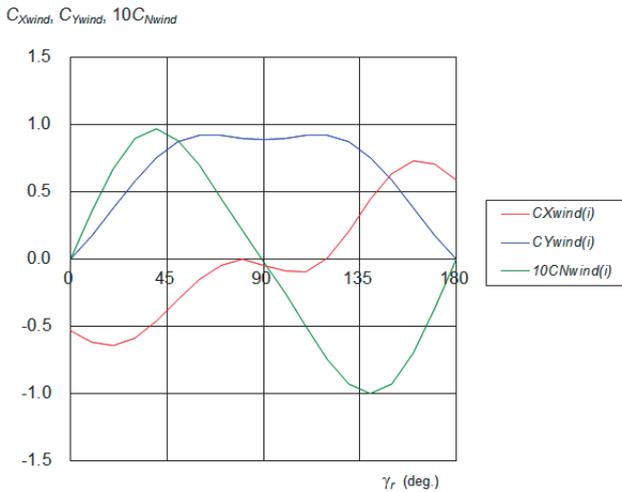


図3 風圧力係数の計算例

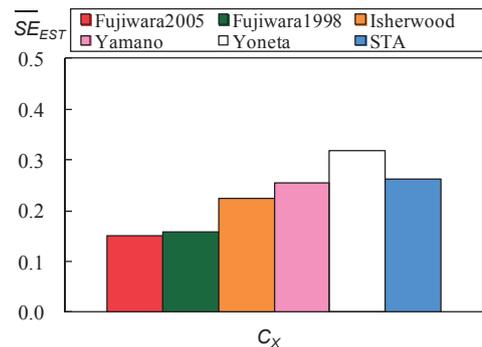


図4 ITTCによる風圧抵抗係数 ( $C_x$ ) の検証<sup>3)</sup>

(C) 斜航流体力・当舵力

VESTA では斜航流体力・当舵力及び必要な係数は、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<sup>7),8)</sup>で計算する。なお、斜航抵抗は、貴島らの表現 ( $X_{0U}$ ) に小アスペクト比の誘導抵抗を付加した方法<sup>9)</sup>で計算する。斜航抵抗、当舵抵抗の計算例を水槽試験結果と比較してそれぞれ図5,6に示す。

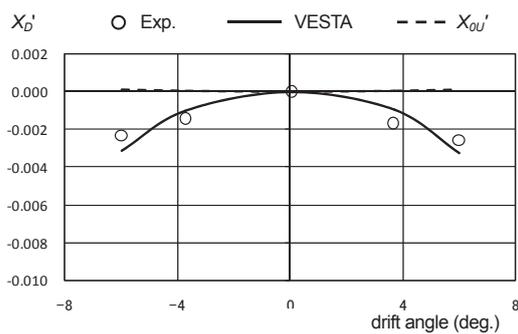


図5 斜航抵抗の計算例 (バルクキャリア)

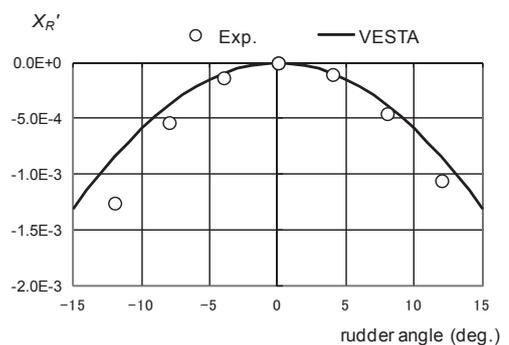


図6 当舵抵抗の計算例 (バルクキャリア)

(2) 実運航シミュレーション

実運航での速力低下、燃料消費量を精度良くシミュレーションするためには抵抗推進性能、波や風による外力を精度良く推定するだけでなく、主機作動特性及び主機調速機(ガバナー)制御を考慮する必要がある。すなわち、実海域では波、風による外力の増加のため、本船の特性カーブが負荷増加側にシフトする。このとき主機作動点は平均有効圧力一定ラインと過負荷防止ラインで規定されるトルクリミットを超えることはなく、これにガバナーによる回転数制御が加わり、主機回転数 ( $N_E$ )、船速 ( $V$ )、出力 ( $P$ ) が釣合うところで作動点が定まる。ま

た、ガバナー制御はこれまでは回転数一定制御が中心であったが、主機出力一定制御、フューエルインデックス(燃料投入量)リミット制御も行われる。これらの関係を図7,8に模式的に示す。また、ガバナー制御により主機作動点が異なるため、図9に示す通り、実海域で本船が発揮する性能が異なる。省エネ運航のため取り入れられているフューエルインデックスリミット制御では、荒天中で速度が大きく低下するものの燃料消費量が悪化しないことが分かる。

VESTA ではこれらのモデルが実装されており、計算が可能である<sup>10),2)</sup>。

実運航シミュレーションについては、乗船計測による検証<sup>11)</sup>、実船モニタリングデータによる検証<sup>12),13),14)</sup>を行い、シミュレーション結果と良く一致し、1航海の燃料消費量で1%程度の精度で推定できる。

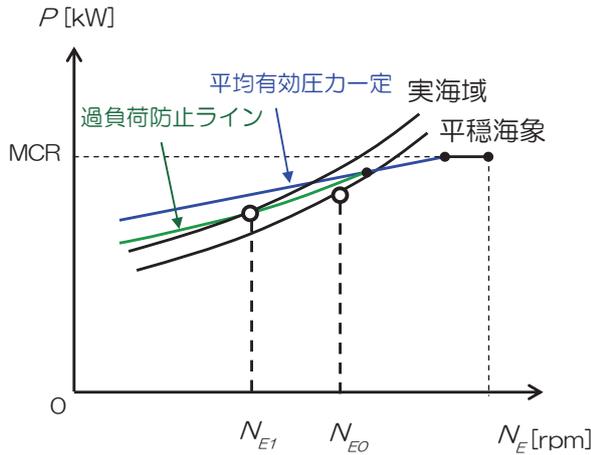


図7 主機作動特性

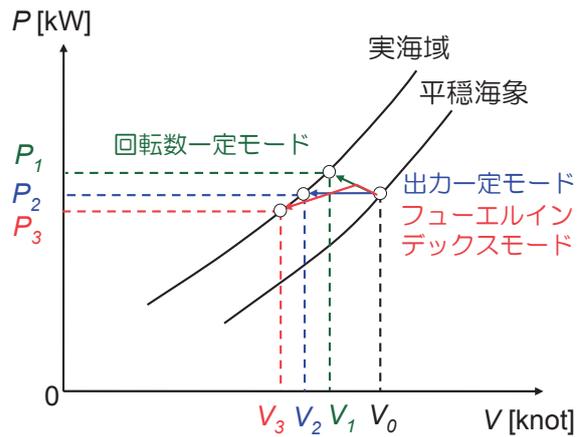


図8 ガバナー制御方式と主機作動点の関係

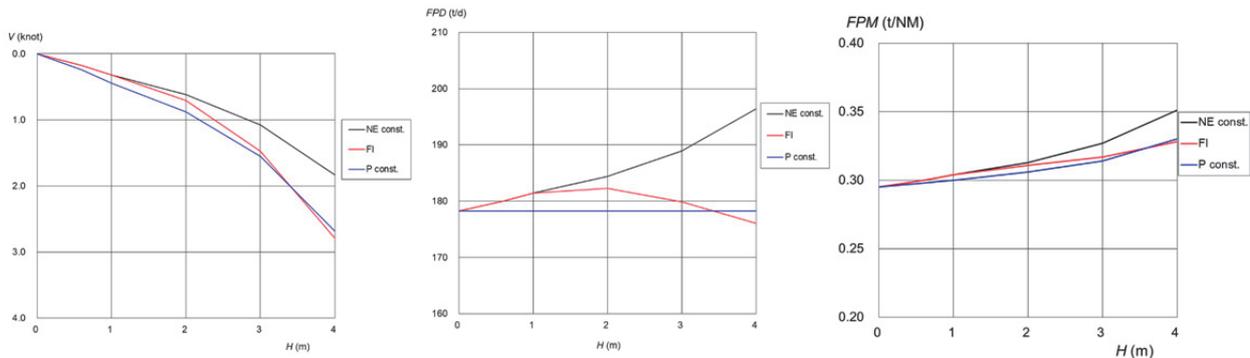


図9 ガバナー制御方式と性能変化

(左：速力低下，中央：1日当たり燃料消費量，右：1海里当たり燃料消費量)

### (3)エネルギー効率評価

国際海事機関(IMO)海洋環境保護委員会(MEPC)にてエネルギー効率指標のEEDI及びEEOIが策定された。EEDIは設計時のトンマイル当たりの船舶のCO<sub>2</sub>排出量を表し、あわせて導入されたEEDI<sub>weather</sub>はEEDIに代表海象での速力低下係数( $f_w$ )を考慮したものである。また、EEOIは実運航時のCO<sub>2</sub>排出量を表し、EEDIと同じ単位で表される。

VESTAではEEDI及びEEDI<sub>weather</sub>はIMOで策定されたガイドライン(RESOLUTION MEPC.203(62), RESOLUTION MEPC.251(66), RESOLUTION MEPC.245(66), RESOLUTION MEPC.263(68), MEPC.1/Circ.796)に従い計算する。EEOI<sub>des</sub>は設計段階でのEEOI値で、船速及び燃料消費量の長期予測を行い、EEDIと同じ方法で計算するが、実用性のため輸送時間を考慮したものとしている。

EEDI, EEDI<sub>weather</sub>, EEOI<sub>des</sub>の出力例を図10に示す。EEDI<sub>weather</sub>を利用することにより、実海域性能を把握し、改善することが可能であり、(一財)日本海事協会にて実際の予備認証、最終認証が開始された<sup>15),16)</sup>。

$EEOI_{des}$  を使用すれば本船を特定の航路に投入した場合の生涯燃費の評価, 気象海象影響を把握することが可能である. 例えば, ある自動車運搬船を北太平洋航路に投入した場合の気象海象影響評価が可能であり, その例を図 11 に示す<sup>17)</sup>. 本船の場合,  $EEOI_{des}$  で見た気象海象影響が 14%であることが分かる.

EEDI			
Item	Value	Unit	Remarks
$EEDI$	13.87	g/(tonNM)	Attained Energy Efficiency Design Index
$EEDI_{ref}$	18.01	g/(tonNM)	Reference value of Energy Efficiency Design Index
$R_{EEDI}$	23.0	%	Reduction rate of EEDI
$f_w$	0.917	-	non-dimensional coefficient indicating the decrease of speed in representative sea conditions
$EEDI_{weather}$	15.12	g/(tonNM)	Energy Efficiency Design Index considering weather

EEOI			
Item	Value	Unit	Remarks
$EEOI_{des}$	2.74	kgh/(tonNM)	Energy Efficiency Operational Indicator at design

図 10  $EEDI$ ,  $EEDI_{weather}$ ,  $EEOI_{des}$  の出力例

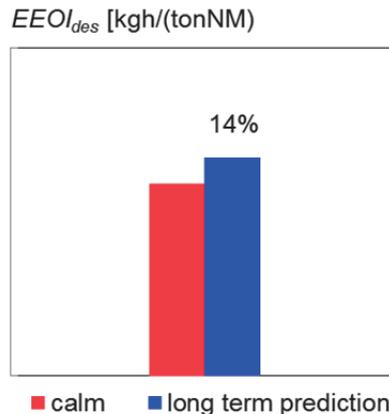


図 11 気象海象影響 (北太平洋航路, 自動車運搬船の例)

(4)最低推進出力判定

EEDI 規制に伴い低出力化を進めた場合, 荒天時に操船性能を確保できず座礁等の海難事故を防ぐため, 最低限必要となる主機出力を有する必要がある. このため, IMO で暫定ガイドライン (RESOLUTION MEPC.232(65), RESOLUTION MEPC.255(67), RESOLUTION MEPC.262(68)) が策定された.

VESTA では最低推進出力暫定ガイドラインに適合するかを判定することが可能であり, (一財) 日本海事協会から本機能についてプログラム認証を取得している<sup>18), 19)</sup>.

図 12 に最低推進出力暫定ガイドラインのレベル 1 判定図, 図 13 にレベル 2 判定図, 図 14 にレベル 2 判定出力を示す.

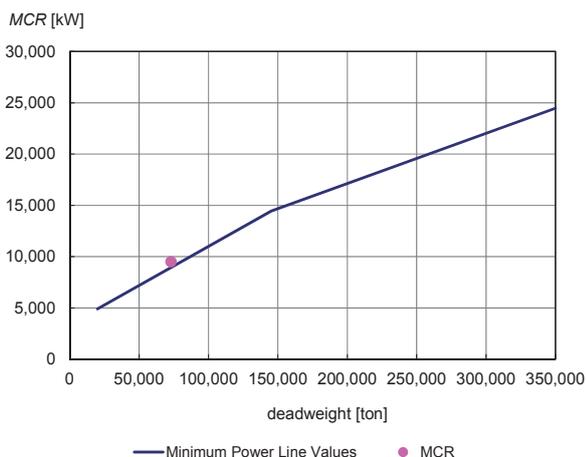


図 12 最低推進出力暫定ガイドラインのレベル 1 判定

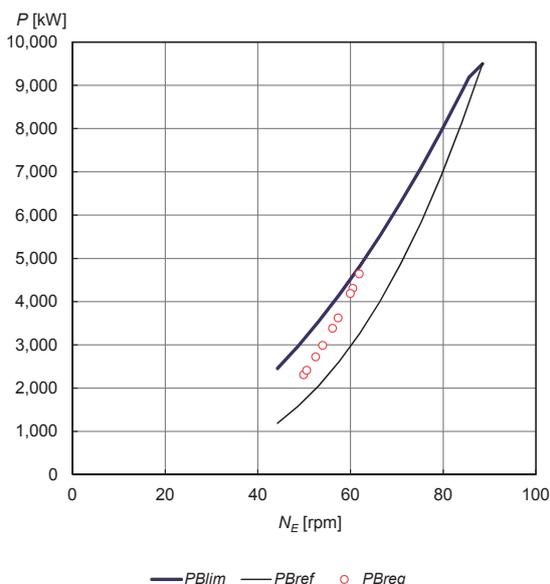


図 13 最低推進出力暫定ガイドラインのレベル 2 評価での回転数-主機出力表示

Item	Unit	Value	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
$T_P$	s		7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
$R_{AWL}$	kN	228	241	280	358	459	494	447	385	312	
$T_{req}$	kN	475	490	536	627	746	787	731	659	573	
$K_T/J^2$	-	2.526	2.610	2.851	3.336	3.970	4.186	3.890	3.506	3.049	
$J$	-	0.323	0.319	0.307	0.287	0.266	0.260	0.269	0.281	0.298	
$N_E$	rpm	49.9	50.6	52.5	56.1	60.5	61.9	60.0	57.3	54.0	
Required power											
$Q_{req}$	kN-m	441.4	455.3	495.3	575.3	679.9	715.4	666.7	603.4	528.1	
$P_{Req}$	kW	2,305.9	2,411.0	2,722.6	3,381.2	4,308.5	4,639.4	4,187.4	3,623.1	2,986.7	
Limit on the operating envelope of engine											
$P_{lim}$	kW	3,126.9	3,214.2	3,459.3	3,955.9	4,598.1	4,810.0	4,517.8	4,124.4	3,663.1	
$Q_{max}$	kN-m	598.5	606.9	629.3	673.1	725.6	741.7	719.3	686.9	647.6	
Judgement											
$R_{MP2}$	%	35.6	33.3	27.1	17.0	6.7	3.7	7.9	13.8	22.6	
Judge <sub>2</sub>	-	OK									

図14 最低推進出力暫定ガイドラインのレベル2判定

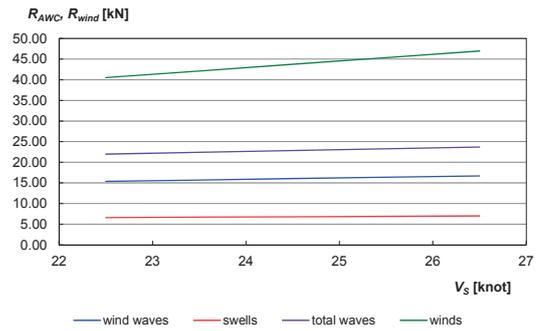


図15 海上試運転での波, 風の外力算定

(5)海上試運転での波, 風修正のための外力推定

EEDI 最終認証では, 海上試運転結果から波, 風等の影響を取り除き速力を算定することが可能である。

VESTA では, 波, 風による抵抗増加を ISO15016:2015, ITTC RP 7.5-04-01-01.1, 7.5-04-01-01.2 に記載の方法で算出することが可能であり, 波浪中抵抗増加の計算出力は (一財) 日本海事協会 で配布している速力試運転解析ソフト PrimeShip-GREEN/ProSTA のファイル入力に対応している。

図15 に海上試運転での波, 風の外力算定量を示す。

2.3 UNITAS 計算機能

船体形状・船体性能推定プログラム UNITAS で計算できる項目は大別して以下の4項目である。計算内容について順に以下に示す。

(1)横断面情報, 水線面形状の推定

VESTA では船体横断面形状を使用するストリップ法に基づき船体運動を計算し, 波浪中抵抗増加の計算に, 水線面形状が必要となる。このため, UNITAS では横断面情報, 水線面形状を 1)要目ベースもしくは 2)オフセットデータから推定する機能を実装している。

1)要目ベースの推定では, 船種, 船長, 船幅, 喫水, 方形係数, 柱形係数, 浮心位置から, Ferguson/Coons 曲線を用い, 入力項目とバランスがとれるよう幾何学的に曲線表現を行い横断面形状, 水線面形状を推定する。喫水はタイプシップのデータに基づき推定する。

2)オフセットデータがある場合は, 喫水, トリム情報から横断面形状, 水線面形状を幾何学的に出力する。

図16, 17 にコンテナ船の横断面積, 水線面形状を推定した例を示す。要目ベースで計算した場合も十分な推定になっていることが分かる。なお, 柱形係数, 浮心位置が不明な場合でもその値を UNITAS で簡易推定することが可能である。

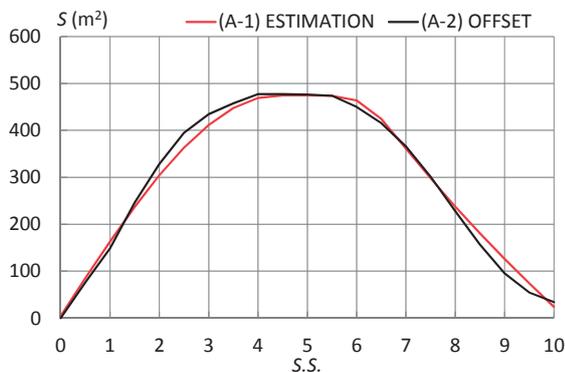


図16 横断面積の推定

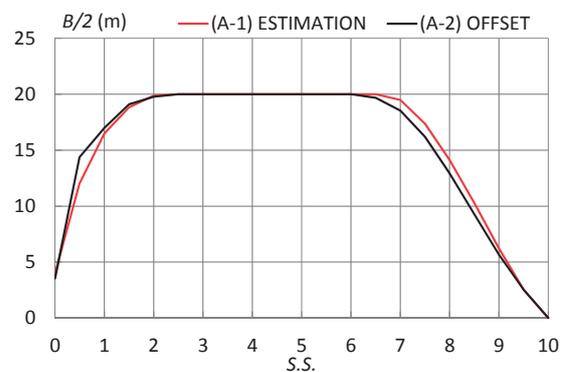


図17 水線面形状の推定

## (2) プロペラ単独特性の推定

VESTAの実運航シミュレーションでは、本船のプロペラ単独特性を入力が必要である。このため、UNITASでは1)MAUチャートを実用修正した推定、2)揚力面理論をベースとしたQCM (Quasi-Continuous vortex lattice Method) ベースの推定、3)要目からプロペラ設計を行い推定する機能を実装している。1), 2)の推定ではプロペラ翼数、プロペラピッチ比、プロペラ展開面積比の情報が必要である。3)の推定は、船体要目から推定を行う。このため、プロペラピッチ比、プロペラ展開面積比の情報が入手できない場合でも推定可能である。

実機のデータをこの3つの方法で推定した結果と比較したものを図18に示す。いずれの方法も実用的な推定となっている。

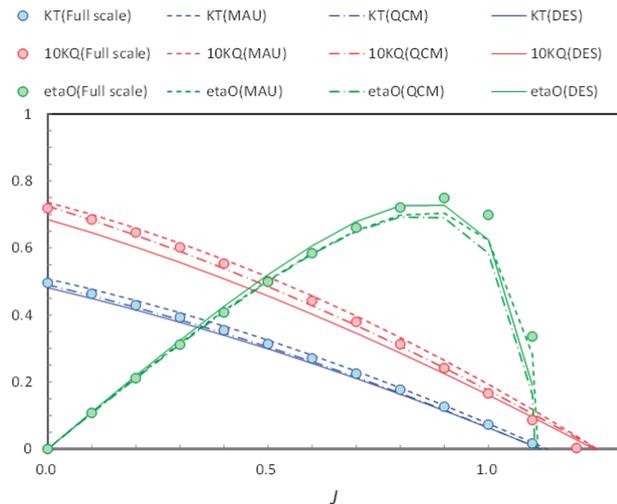


図18 プロペラ単独特性の推定

## (3) 上部構造物パラメータの推定

VESTAの風圧力計算では、水面上形状の船型要目が必要となる。このため、UNITASでは入力に必要となる投影面積等の船型要目を回帰式により簡易推定<sup>20)</sup>する機能を実装している。

実船の値と簡易推定結果を正面投影面積について比較したものを図19に示す。また、風圧抵抗係数を評価したものを図20に示す。これらから、回帰式を作成したデータベース内のデータ、船長400m近い超大型船などデータベース外のデータのいずれも十分推定できていることが分かる。

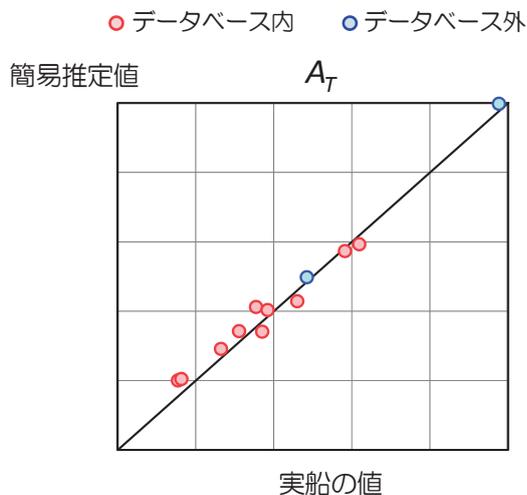


図19 正面投影面積 ( $A_T$ ) の推定

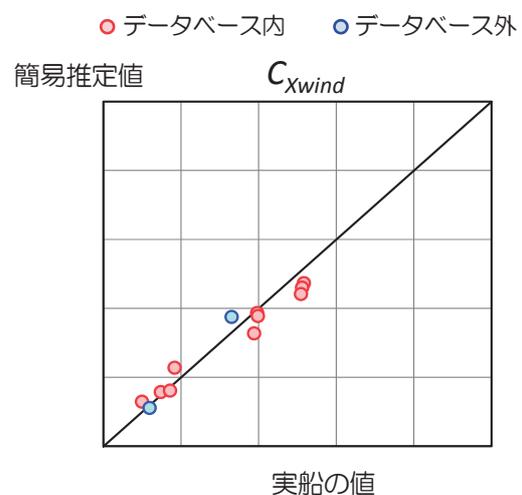


図20 風圧抵抗係数 ( $C_{xwind}$ ) の評価 (向風)

(4)平水中抵抗・自航要素の推定

VESTAの実運航シミュレーションでは、本船のベースとなる性能として、平水中抵抗、平水中自航要素の入力が必要となる。このため、UNITASでは、1)実船データから逆算し平水中性能を推定、2)船型要目に基づき平水中性能を推定する機能を実装している。

1)では平穏海象時の主機出力、回転数、船速を抽出し、推力減少係数、プロペラ効率比を船型要目から簡易推定し、プロペラ単独特性、自走による風圧抵抗等を考慮し、平水中抵抗、平水中自航要素を逆算により推定する。

2)では船型要目から平水中抵抗、平水中自航要素を推定することができ、実船データがない場合に利用できる。

図21は実船データから平穏海象時の主機出力、回転数、船速の関係を入力したものであり、回転数-速度の関係が直線性を確認し、ユーザーが入力データチェックを行うことができる。図22は1),2)を使い平水中主機出力を推定した結果を示す。1)の逆算する場合は実船データに良く一致していることが分かる。2)の船型要目からの推定の場合はこの例のように広い速度域で十分な精度で推定できていない場合もあり、注意して使用する必要がある。

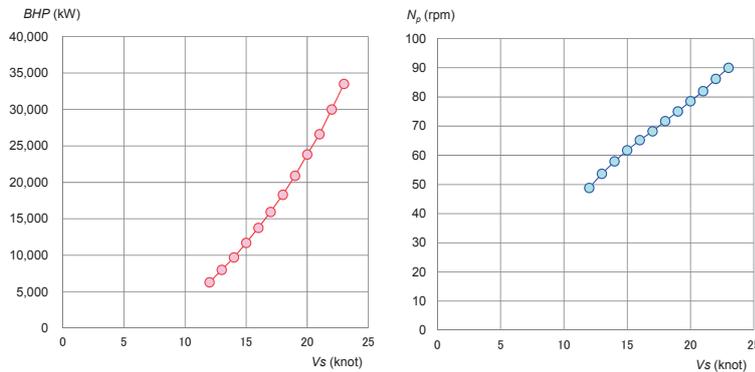


図21 平穏海象時の主機出力、回転数、船速(実船データ)

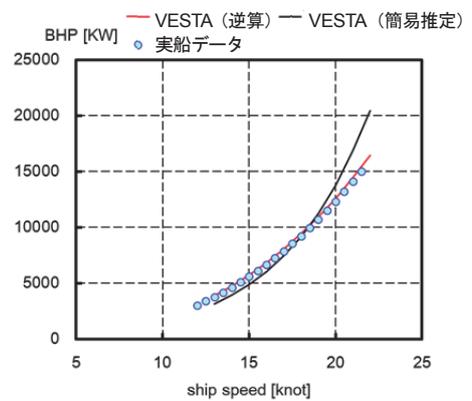


図22 主機出力-船速関係の評価

2.4 VESTA/UNITASのGUI

VESTA及びUNITASを一般に利用いただくためGUI機能を付与したパッケージプログラムを作成した。

VESTA及びUNITASは、Microsoft社のExcelにて動作し、Excel基本機能により容易に表計算、作図が行えるようになっている。

動作に必要な環境を表1に示し、プログラムのトップ画面を図23,24に示す。

表1 VESTA/UNITASの動作に必要な環境

項目	必要な環境
本体	USBソケットを装備したパーソナルコンピュータ
OS	Microsoft Windows Vista/7/8/8.1/10 (32ビット/64ビット版)
ソフトウェア	Microsoft EXCEL 2007/2010/2013/2016
ハードディスク	VESTA : 30MB以上の空き容量が必要 UNITAS : 14MB以上の空き容量が必要

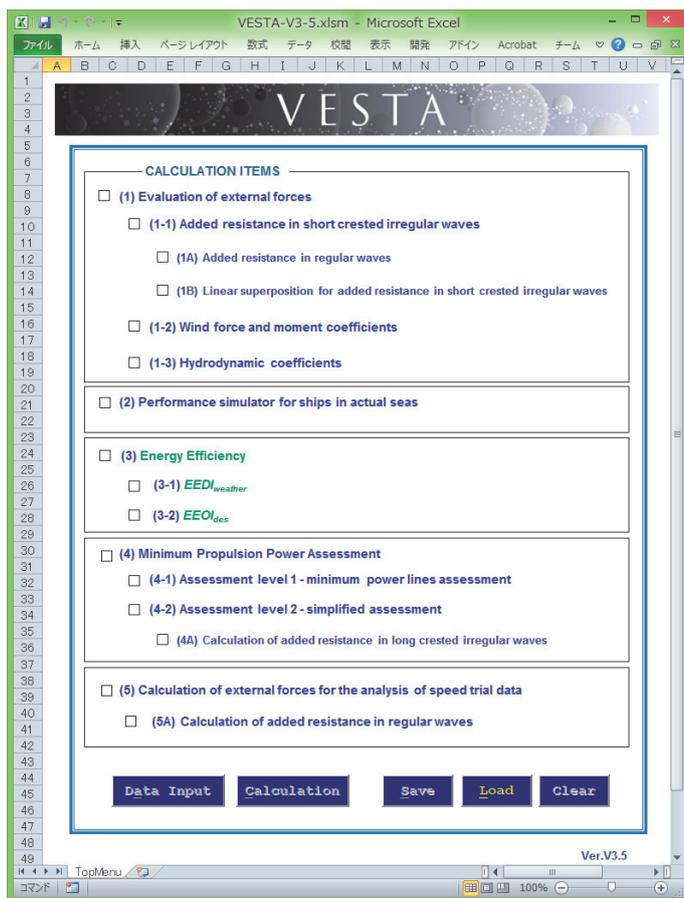


図 23 VESTA トップ画面

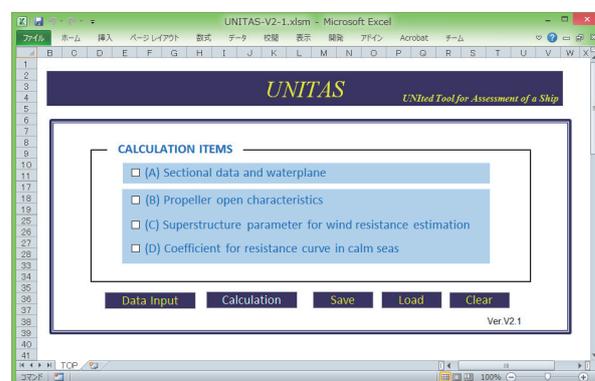


図 24 UNITAS トップ画面

### 3. まとめ

当所のこれまでの実海域性能に関する研究成果を用い、実運航性能シミュレータ VESTA 及び船体形状・船体性能推定プログラム UNITAS を開発し、一般に提供している。

本プログラムは 2013 年 5 月の公開の後、ユーザー意見を聞きながら機能追加を行い、現在、ライセンス許諾数は 12 となっている。また、最低出力判定機能については、(一財) 日本船舶技術研究協会殿のご協力をいただき 49 機関に提供している。

船社からは、これまで高精度の評価が難しかった実運航状態の燃料消費量、船速低下等の推定を可能にした点を評価いただいている。造船所からは、EEDI、最低推進出力判定機能、海上試運転での波、風外力算定など、ルールで必要となった実海域性能評価に対応した点を評価いただいている。

本プログラムを利用することにより、実運航データの詳細な分析から改善に至る評価が可能であり、運航の効率化に貢献したいと考えている。

### 謝 辞

最低推進出力判定機能は(一財) 日本船舶技術研究協会の委託を受けて開発した。関係者にお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 田中 良和：最適速力と実海域での性能差, TECHNO MARINE, 884号 (2005), pp.188-192.
- 2) Tsujimoto, M., Kuroda, M. and Sogihara, N.: Development of a Calculation Method for Fuel Consumption of Ships in Actual Seas with Performance Evaluation, Proc. of 32nd OMAE, OMAE2013-11297 (2013) .
- 3) ITTC: Specialist Committee on Performance of Ships in Service Final Report and Recommendations to the 27th ITTC, Proc. of 27th Conference, Volume II (2014), pp.585-638.
- 4) 池田 良穂, 梅田 直哉, 慎 燦益, 内藤 林：船体運動 耐航性能 初級編, 船舶海洋工学シリーズ⑤, 成山堂書店 (2013), pp.112-116.
- 5) 粉原 直人, 辻本 勝, 安藤 英幸, 角田 領: 短波頂不規則波中抵抗増加の推定における方向スペクトラムの影響評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第20号 (2015), pp.373-376.
- 6) Fujiwara, T., Ueno, M. and Ikeda, Y.: 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 辻本 勝, 粉原 直人: 実海域での燃費評価法, 日本船舶海洋工学会論文集, 第16号 (2012), pp.69-75.
- 11) 粉原 直人, 辻本 勝, 安藤 英幸, 角田 領, 上野 周作: 大型コンテナ船乗船計測による実海域での主機燃費推定について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第14号 (2012), pp.203-206.
- 12) 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.
- 13) 櫻田 顕子, 粉原 直人, 黒田 麻利子, 辻本 勝, 杉本 義彦, 長井 洋, 長谷川 健: 実運航シミュレーションによる気象・海象影響とオペレーション影響の評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第20号 (2015), pp.363-366.
- 14) 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への波風修正の適用と気象・海象影響評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第21号 (2015), pp.537-541.
- 15) 北日本造船, 海上技術安全研究所: EEDIの実海域係数で認証, NK から世界初 ケミカルタンカー竣工, GHG削減に期待 (2014), [http://www.nmri.go.jp/cgi-bin/nmri\\_news/topics.cgi#151](http://www.nmri.go.jp/cgi-bin/nmri_news/topics.cgi#151).
- 16) 北日本造船, 海上技術安全研究所: EEDIの実海域係数の認証取得—実運航を考慮した GHG削減を促進— (2016), [http://www.nmri.go.jp/cgi-bin/nmri\\_news/topics.cgi#269](http://www.nmri.go.jp/cgi-bin/nmri_news/topics.cgi#269).
- 17) Tsujimoto, M., Sogihara, N., Kuroda, M. and Sakurada, A.: Development of a Ship Performance Simulator in Actual Seas, Proc. of OMAE2015, OMAE2015-41708 (2015) .
- 18) 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](http://www.nmri.go.jp/cgi-bin/nmri_news/topics.cgi#126)
- 19) 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](http://www.nmri.go.jp/cgi-bin/nmri_news/topics.cgi#261).
- 20) 北村 文俊, 上野 道雄, 藤原 敏文: 船舶風圧力簡易推定プログラムについて, 海上技術安全研究所報告, 第9巻, 第3号 (2009), pp.61-67.