

実船モニタリングによる実船性能評価法の構築

粉原 直人*, 佐藤 秀彦**

Establishment of Ship Performance Monitoring Method in Actual Seas

by

SOGIHARA Naoto and SATO Hidehiko

Abstract

There has been an increasing need for a method of accurately evaluating ship performance in actual seas. Innovations in communication technology enabled ship performance monitoring by collecting data such as ship speed and engine power and incorporating the sea state either measured onboard or provided by a weather consultant. Although the ship performance monitoring is effective for evaluating the ship performance, it requires appropriate methods for measurement, analysis, and assessment. In this viewpoint, there is no international standard for ship performance evaluation based on the monitoring. The OCTARVIA project, in which 25 companies of Japanese maritime cluster collaborate, organized a working group dedicated to establishing a standard method of ship performance monitoring in actual seas. The standard method was developed using the monitoring data of 11 ships, and the group also created a software that utilizes the algorithm of the developed standard method. This paper briefly describes the activities and outcomes of the working group.

* 流体設計系実海域性能研究グループ, ** 株式会社 MTI

原稿受付 令和 3年 7月 21日

審査日 令和 3年 7月 28日

目 次

1. はじめに	12
2. 研究体制	13
3. 実船モニタリング標準手法	13
3.1 計測法	13
3.1.1 計測項目と計測機器	13
3.1.2 データの安定性, 定常性	14
3.2 解析法	15
3.2.1 排水量補正, 外乱補正	15
3.2.2 見掛けスリップ比によるデータ抽出	15
3.3 評価法	16
4. プログラム概要	18
4.1 船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE-OCT	18
4.2 実船モニタリングデータ解析プログラム SALVIA-OCT	20
5. まとめ	24
参考文献	25

1. はじめに

地球温暖化や原油価格の高騰により、海運分野においても省エネルギーの必要性が喚起されるようになり久しい。国際海事機関では運航中の船舶から排出される温室効果ガスの削減に向けた検討が行われ、2013年に始まったエネルギー効率設計指標の強制化等、海洋環境保護のための規制が段階的に始まっている。このような状況において、造船会社は運航中の燃料消費を抑えるために実海域性能の優れた船型や省エネ付加物の開発に尽力している。また船会社は燃料消費の少ない運航方法を導入しており、ウェザールーティングや低速運航はその代表例と言える。これらの造船所や船会社の取り組みの有効性を検証する手段の一つとして、実船モニタリングがある。

実船モニタリングは、船舶の性能に係る諸項目（船速、主機回転数、主機出力等）及び実海域で遭遇する気象を自動で連続かつ高解像度で計測し、収集したデータを適切な手順で解析、評価する一連の手続きを指す。従来は船員の手作業により記録されるアログデータが船舶性能の評価に供されていたが、計測周期が1日1回と粗いことがネックとなっていた。近年は計測技術、通信技術の発展により、船上で自動計測したデータを陸上に転送し、陸上においてデータの解析、評価を行う体制が整っている。一方、データの計測、解析、評価の具体的な手順に関しては、実船モニタリングの実施者の経験、判断に基づいて行われることが多く、このことが実船モニタリングにおける統一的な性能評価の妨げとなっている。

実船モニタリングに係る国際規格として、速力試験の実施法及び解析法を規定した ISO 15016:2015¹⁾と、船体及びプロペラ性能の経年変化の計測法を規定した ISO 19030²⁾がある。ISO 15016:2015 は船舶の引き渡し前に行われる海上試運転において実施される速力試験に関する規格であるが、本規格において直接評価されるのは速力試験実施時の喫水状態における性能であり運航中の性能評価に適用することは適切でない。ISO 19030 は就航後の汚損、経年変化を評価するための規格であり、新造時の性能評価法として実船モニタリングによるアプローチを示している。しかしながら、波浪の影響を扱わないこと、個船評価を目的としているため他船との比較が出来ないことなど、課題も残されている。

実海域実船性能評価プロジェクト（OCTARVIA プロジェクト）の作業部会 S1-WG では、客観性、透明性を確保した実船モニタリング標準手法の開発に取り組んだ。就航中の船舶 11 隻のデータを利用して計測、解析、評価の各段階において標準手法の検討を行った。また、解析法、評価法については普及促進の観点からプログラム化を行った。本報告では、S1-WG において実施した研究内容について概説するとともに、開発した実船モニタリングデータ解析プログラムについて紹介する。

2. 研究体制

S1-WG では実船モニタリングデータを用いて各種検討を実施することから、船会社と調整し本研究での対象船の選定を行った。対象船の選定にあたっては、幅広い船種、サイズにおいて利用可能な手法を構築することを考慮した。また、実船モニタリングデータを含む各種データの秘匿性に鑑み、対象船毎に研究チームを設置した。検討対象船及び研究チーム種別を表1に示す。

研究チーム種別には逆算解析チームと詳細解析チームの2種類がある。チーム種別を分けている理由は、船型データ、性能データへのアクセスが対象船により異なるためである。逆算解析チームでは、船型データ、性能データへのアクセスが困難な場合に、これらを簡易的に推定する。S1-WG では、船型データ、性能データの簡易推定に当所が開発したUNITAS³⁾を使用した。表1に示す通り、中型コンテナ船、中型油槽船を対象に逆算解析チームを組織した。中型コンテナ船チームには14社、中型油槽船チームには13社、いずれも複数の造船所、船用メーカーが参加した。船型データ、性能データ等の各種データの利用にあたっては、データを管理する当所と参加者との間で秘密保持に関する覚書を締結するとともに、データを提供する船会社と海技研の間で秘密保持契約を結んだ。

詳細解析チームは造船所を中心とした解析チームであり、対象船の詳細な造船設計データや水槽試験結果を利用した解析を行う。詳細解析チームには船社、造船所のほか、チームでの検討内容に応じて船用メーカーや研究機関も参加した。造船所が保有する秘匿性の高い詳細データを活用するため、チーム参加者間で秘密保持契約を締結した。

表1 検討対象船

船種	研究チーム種別
中型コンテナ船	逆算解析チーム
大型コンテナ船①	詳細解析チーム
大型コンテナ船②	詳細解析チーム
自動車運搬船①	詳細解析チーム
自動車運搬船②	詳細解析チーム
撒積貨物船①	詳細解析チーム
撒積貨物船②	詳細解析チーム
撒積貨物船③	詳細解析チーム
中型油槽船	逆算解析チーム
大型油槽船	詳細解析チーム
練習船	詳細解析チーム

3. 実船モニタリング標準手法

3.1 計測法

3.1.1 計測項目と計測機器

実船モニタリング標準手法の構築に当たり、S1-WG に参加の各社に実船モニタリングの実施に関するアンケートを行い、各社での実船モニタリングの実施状況を調査した。アンケートの結果とISO19030に規定される計測項目を参考に、実船モニタリングにより平水中性能を評価するために必要な計測項目とその計測方法について表2の通り定めた。

表2 計測項目と計測方法

計測項目	計測機器, データ入手方法	要求精度
対地船速	GPS	0.1%
対水船速	ドップラーログ	1%
軸馬力	軸馬力計	0.5%
主機回転数	回転計	1%
船首方位	ジャイロコンパス	
針路	GPS	
気象	風向風速計	相対風速: 5% 相対風向: 5度
海象	波浪データ (追算値もしくは0時間先予測情報) 船上観測 (レーダー, 目視等)	波高: 0.1m 波向: 5度
舵角	舵角指示器	
喫水	出港時の目視観測値	
縦慣動半径	実測値または簡易推定値	

海象情報については、波浪レーダー等の計測機器がない場合には、十分な精度を有することが確認された波浪追算値を用いることも出来る。表2に示す要求精度とは、実船モニタリングにより平水中性能を評価する際の精度確保のために要求される精度を示しており、上述のアンケートの結果及びモンテカルロシミュレーションに基づく不確かさ評価⁴⁾に基づいて設定した。

喫水に関しては、航走中の高精度計測が困難であることから、運航実績に基づいて出港時の目視観測値を使用することとした。後述の解析法において使用する縦慣動半径に関しては、実測値の利用のほか、文献に記載の値、造船所が保有する重量分布データによる計算値に基づく(3.1)式⁵⁾を利用してもよい。(3-1)式中、 K_{yy} は有次元縦慣動半径、 L_{PP} は垂線間長、 Δ_{OP} は運航中排水量、 Δ_{DF} は計画満載での排水量である。係数 a 、 C_1 、 C_2 は船種に応じて定まる係数であり、表3のとおりである。

$$K_{yy} = a \cdot L_{PP} + C_1 \cdot \frac{\Delta_{OP}}{\Delta_{DF}} + C_2 \quad (3.1)$$

表3 縦慣動半径推定式における各係数

Ship type	a	C_1	C_2
Container ship	0.240	-4.3	6.6
Pure car carrier	0.240	-17.5	20.0
Bulker	0.250	-9.2	9.2
Tanker	0.235	-11.2	13.1

表2において喫水、縦慣動半径を除いた項目については船上において自動計測システムにより連続的に計測を行う。自動計測システムにより少なくとも15秒に1回の計測を行い、項目ごとに時系列データを生成する。時系列データを一定期間のデータブロックに分割し、データブロックにおける統計量(平均値、標準偏差、最小値、最大値)を計算する。データブロック長さについては海象の安定性、上述のアンケートの結果を踏まえ、10分~30分を推奨値とした。後述の解析においては、データブロックにおける平均値を用いる。なお、以降では注釈のない限り平均値、標準偏差とはデータブロックにおける値を意味する。

3.1.2 データの安定性、定常性

データブロックの平均値を使用する場合、データブロックにおける時系列の変動が小さく定常性を有している必要がある。これを確認するには標準偏差を用いることが望ましいが、上述のアンケートにより自動計測システ

ムにおいて標準偏差を出力することが少なく、参加各社のほとんどが解析、評価においては平均値を使用していることが分かった。このため定常性の有無を平均値に基づいて判断する方法を検討した。

データブロックにおける時系列の変動が大きく、定常性が損なわれる状況として、出入港時の加減速時や変針のために操船している状態、海流や潮流を受けている状態が考えられる。このような状況で計測されたデータについては後述の解析では使用しないため、表4に示す抽出条件に従い定常性を有するデータの抽出を行う。

表4 定常性を有するデータの抽出条件

目的	項目	閾値
加減速影響の除去	主機回転数	MCRにおける回転数の40%以上
操舵影響の除去	舵角	5度以下（絶対値）
	斜航角	3度以下（絶対値）
海流、潮流の影響を除去	対地船速と対水船速の差	0.5knot 以下（絶対値）

3.2 解析法

3.2.1 排水量補正, 外乱補正

平水中性能の評価を行う喫水条件を定め、その喫水での排水量を計算する。これを基準排水量とし、基準排水量 Δ_0 に対し $\pm 5\%$ 以内の排水量で運航しているときのデータを抽出する。基準排水量を Δ_{SC} 、運航中排水量及び計測対水船速をそれぞれ Δ_{OP} 、 V_{OP} として、アドミラルティ係数に基づいて(3.2)式により対水船速を基準排水量相当での対水船速 V_{SC} に補正する。

$$V_{SC} = \left(\frac{\Delta_{OP}}{\Delta_{SC}} \right)^{\frac{2}{9}} V_{OP} \quad (3.2)$$

なお、上記排水量修正に関しては水槽試験又は数値計算（CFD）の結果がある場合には、(3.2)式を利用しなくともよい。

次に、波、風の影響を除去する。ISO 15016:2015 及び ITTC の推奨法⁶⁾に従い、主機回転数、主機出力を補正し平水中での値へ補正する。補正の過程において、以降の手順において必要となる実海域での平水中からの抵抗増加率 δR を(3.3)式、(3.4)式により算出する。

$$\delta R = \frac{\Delta R}{R_{id}} \quad (3.3)$$

$$R_{id} = R_{ms} - \Delta R \quad (3.4)$$

ここで、 R_{id} は平水中抵抗、 R_{ms} は外乱中抵抗、 ΔR は外乱による抵抗増加量である。

3.2.2 見掛けスリップ比によるデータ抽出

実船モニタリングにおける課題の一つに、対水船速の高精度計測が困難であることが挙げられる。対水船速の計測誤差は実船モニタリングデータの解析において不確かさの要因となり得る。このため、対水船速の計測精度を確保する目的で、見掛けスリップ比によるフィルタリングを行う。見掛けスリップ比は、プロペラピッチ P_p 、補正後対水船速 V_{SC} 、補正後主機回転数 n_{id} を用いて(3.5)式により計算できる。

$$S_A = 1 - \frac{V_{SC}}{P_p n_{id}} \quad (3.5)$$

各データに対し見掛けスリップ比を計算し、全データの見掛けスリップ比の平均値 $\overline{S_A}$ により正規化を行う。正規化された見掛けスリップ比の標準偏差 σ_s を用いて、(3.6)式を満足するデータを抽出する。

$$|\hat{S}_{Ai}| \leq C \cdot \sigma_s \quad (3.6)$$

$$\hat{S}_{Ai} = \frac{S_{Ai} - \overline{S_A}}{\overline{S_A}} \quad (3.7)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{S}_{Ai}^2} \quad (3.8)$$

S_{Ai} は i 番目のデータの見掛けスリップ比であり、 N はデータ数である。 C は見掛けスリップ比によるフィルタリングにおける閾値を示す定数であり、1.0 とする。

船長 270m のコンテナ船の実船モニタリングデータを対象に、3.1.2 節のデータ抽出を行い、排水量、外乱補正されたデータに対して見掛けスリップ比によるフィルタリングを実施した例を図-1 に示す。 V_S は対水船速、 N_E は主機回転数、 P は主機出力である。 図中 'preprocessed' は見掛けスリップ比によるフィルタリング前のデータ、 'filtered by apparent slip ratio' は見掛けスリップ比によるフィルタリング後のデータを表している。 図 1 より、見掛けスリップ比によるフィルタリングを行うことにより、データのばらつきが抑制されていることが分かる。

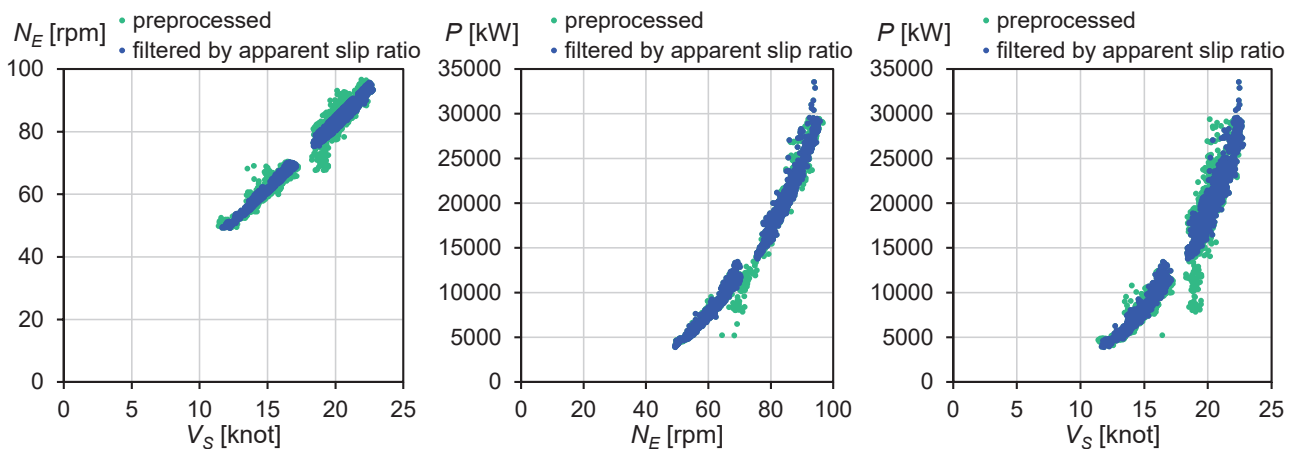


図1 見掛けスリップ比によるフィルタリング

(左：対水船速－主機回転数，中央：主機回転数－主機出力，右：対水船速－主機出力)

3.3 評価法

3.2.2 節で示した見掛けスリップ比によるフィルタリングにより抽出されたデータを用いて平水中性能評価を行う。平水中性能の評価を行う場合、慣例的に風速や波高に対し閾値を設け、その閾値を下回るデータを抽出するという操作が行われてきた。この操作は簡便である一方で、船のサイズに応じて適切な閾値を設定する必要があるため、言い換えれば船のサイズに依存し標準手法の要件として適切でない。この点に対応するため、外乱の船体への影響度を(3.3)式で定義される抵抗増加率 δR として取り扱い、 δR によりデータ抽出を行う「抵抗閾値法 (Resistance Criteria Method, RCM)」を開発した。その他、水槽試験等により事前に推定された性能曲線を援用した評価法についても検討したが、ここでは抵抗閾値法を主として説明する。

抵抗閾値法は以下の4つのプロセスから構成される。図2に抵抗閾値法の概略を示す。

(1) 評価データの抽出

平水中と見なせるデータを抽出するため、 δR が小さいデータを抽出する。ここで抽出されたデータを「評価データ (Evaluation data)」と呼ぶ。

(2) フィッティングデータの抽出

広範囲の船速、回転数範囲における性能曲線を導出するために、 δR に一定の閾値を設けデータを抽出する。ここで抽出されたデータを「フィッティングデータ (Fitting data)」と呼ぶ。

(3) フィッティングカーブの作成

フィッティングデータに対し、次式を適用し近似曲線（「フィッティングカーブ (Fitting curve)」と呼ぶ）を求める。 a_n, b_n, c_n, d_{mv} は係数である。

$$N_E = d_{mv} \cdot V_S \tag{3.9}$$

$$P = a_n \cdot N_E^{b_n} + c_n \tag{3.10}$$

(4) 評価指標による検証

(3)で求めたフィッティングカーブは評価結果である平水中性能の候補と見なすことができるが、その妥当性検証を(1)で得た評価データを用いて行う。評価指標 D_{PC} をフィッティングカーブ周りの評価データのばらつきとして(3.11)式の通り定義する。(3.11)式中の d_{norm} はフィッティングカーブと評価データ間の法線方向距離であり、図3の通り定義される。 N はデータ数であり、 c_n は0としている。 P_{mcr} はMCRでの出力、 V_{dfc} は計画船速である。

$$D_{PC} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{d_{norm}(i)\}^2}{N}} \tag{3.11}$$

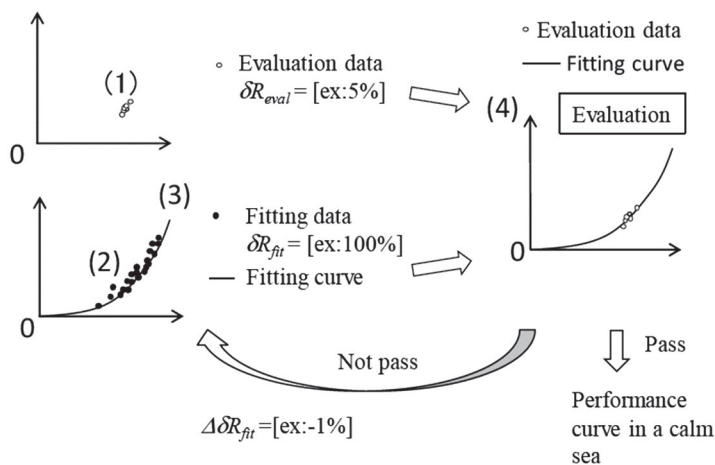


図2 抵抗閾値法の概略⁷⁾

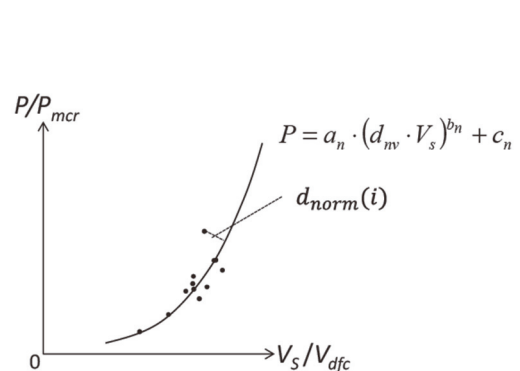


図3 評価指標の定義⁷⁾

評価指標が閾値以下であれば、フィッティングカーブが最終的な平水中性能の評価結果となる。閾値を超える場合には、(2)で δR を小さくして評価指標が閾値を下回るまで(2)から(4)までの操作を繰り返す。場合によっては(2)で δR を小さくしても評価指標が下回らない場合もあり得るため、そのような場合にも評価結果を出力させるようにした。このように、複数の評価完了パターンが考えられるため、完了パターンに応じて評価結果である平

水中性能の品質情報を提供することとした。(2)~(4)の繰り返しを行い評価指標が閾値を下回れば、その時の評価結果は最も品質がよいと判断される。完了パターンと品質情報の関係の詳細については文献⁸⁾を参照されたい。

図4に抵抗閾値法により平水中性能を評価した例を示す。対象船は図1で使用した船長270mのコンテナ船である。図中の'performance curve'が評価結果である平水中性能を示しており、この評価においては1回目の(2)~(4)のループで評価が完了した。

評価結果については、抵抗閾値法により得られる平水中性能を用いて実運航性能シミュレーションを実施し、実船モニタリングデータとの比較により十分な精度を有することを確認している⁹⁾。

4. プログラム概要

4.1 船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE-OCT.

実船モニタリング標準手法の実施に当たり、船型データや性能データの入手が困難な場合に対応するため、主要目によりこれらのデータを作成するプログラムとして、船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE-OCT.を開発した。EAGLE-OCT.はMS-EXCELをプラットフォームとして構築されている。EAGLE-OCT.のトップ画面を図5に、入出力データを表5にそれぞれ示す。EAGLE が採用している計算アルゴリズムはUNITASと同様であり、十分な精度を有することが検証されている。

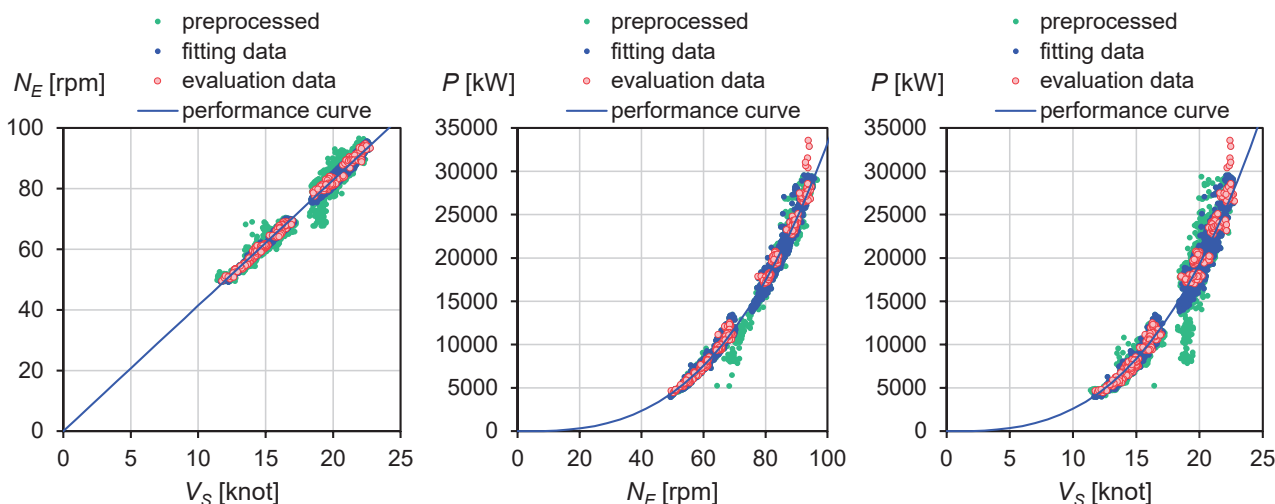


図4 抵抗閾値法による平水中性能の評価

(左：対水船速－主機回転数，中央：主機回転数－主機出力，右：対水船速－主機出力)

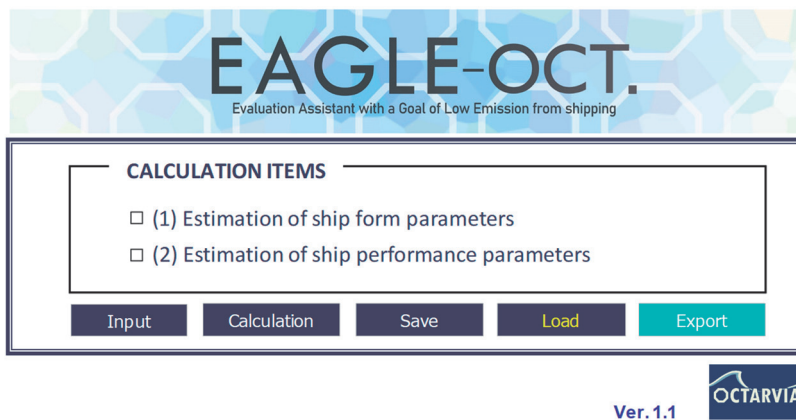


図5 船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE-OCT. (トップ画面)

表5 EAGLE-OCT. データ入出力

入力データ	出力データ
<ul style="list-style-type: none"> 船種 (コンテナ船, 自動車運搬船, 撒積船, 油槽船より選択) 全長, 垂線間長, 最大幅 計画喫水 (中央, 船尾, 船首), 計画時排水量 運航喫水 (中央, 船尾, 船首), 運航時排水量 計画船速 プロペラ直径 主機伝達効率, 減速比 主機連続最大出力及び回転数 	<ul style="list-style-type: none"> 喫水, 半幅, 横断面積の船長方向分布 水線面形状 縦慣動半径, 横慣動半径, 船首揺慣動半径 重心位置, 柱形係数等の船体形状パラメータ 上部構造物パラメータ プロペラ単独性能 平水中自航要素 荷重度変更法パラメータ 燃料消費率

入力データのうち, 計画喫水, 計画時排水量, プロペラ直径が不明な場合には, 別途簡易推定式¹⁰⁾により求めてもよい。主機伝達効率, 減速比については外航船のデフォルト値としてそれぞれ0.98, 1.00を利用可能である。

EAGLE-OCT.は, 実船モニタリングデータ解析プログラム SALVIA-OCT.やプロジェクトの他の作業部会 S2-WG, S3-WG での検討のもと作成されたプログラム OCTARVIA-prediction の入力データの作成支援プログラムとして位置づけられている。このため, 計算結果を SALVIA-OCT.や OCTARVIA-prediction で読み込み可能なファイル形式で出力する機能を有している。入力データの主機連続最大出力及び回転数は, OCTARVIA-prediction で使用するもので, EAGLE-OCT.では計算に使用しない。

出力データの例を図6から図8に示す。

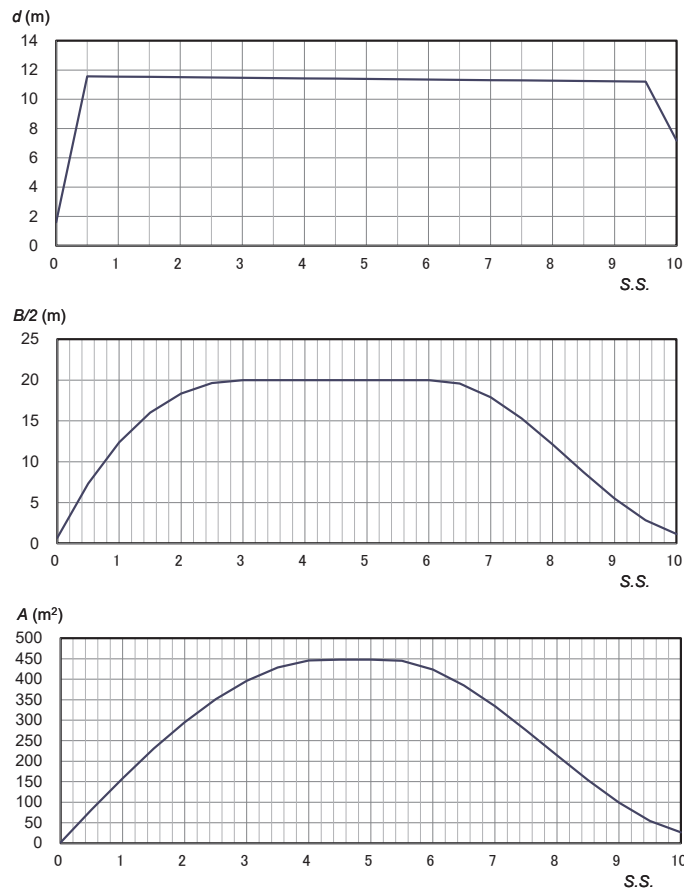


図6 喫水(d), 半幅($B/2$), 横断面積(A)の船長方向分布

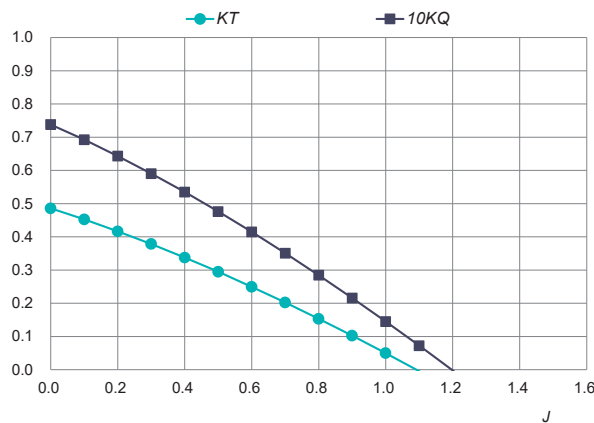


図7 プロペラ単独性能
(スラスト係数 (K_T), トルク係数 (K_Q), プロペラ前進定数 (J))

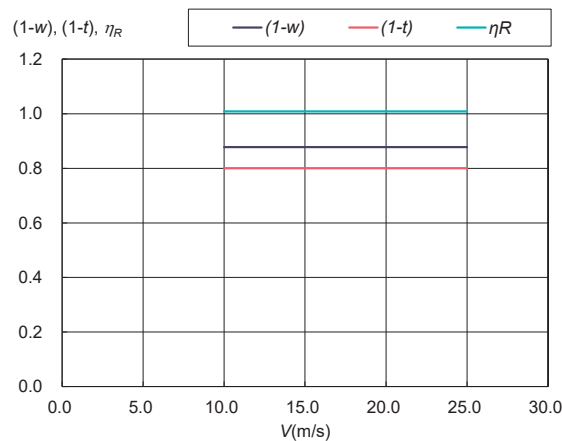


図8 平水中自航要素
(有効伴流係数 ($1-w$), 推力減少係数 ($1-t$), プロペラ効率比 (η_R), 船速 (V))

4.2 実船モニタリングデータ解析プログラム SALVIA-OCT.

実船モニタリング標準手法の解析, 評価の手続きを容易に実行できるよう, 実船モニタリングデータ解析プログラム SALVIA-OCT.を作成した. EAGLE-OCT.と同様に MS-Excel をプラットフォームとしており, EAGLE-OCT.の計算結果を読み込む機能を備えている. SALVIA-OCT.のトップ画面を図9に, 計算内容を表6にそれぞれ示す.

CALCULATION ITEMS の(1)~(3)は実船モニタリング標準手法の解析, 評価の部分にあたり, 標準手法を行う場合には(1)~(3)を一括して実施することが望ましい. 実船モニタリングデータに関しては, 3.1.2節で示したデータブロックにおける平均値の利用を想定しているが, 標準偏差を同時に入力することも出来る. SALVIA-OCT.における実船モニタリングデータの入力画面を図10に示す. 図10の記号の内容は表7に示す通りである. 黄色セルが入力項目であり, 各項目の'min'及び'max'は(1)でのデータ抽出に使用する閾値である. 桃色セルは自動計算され, 紫色セルは'set true wind'ボタンの実行により自動転記されるため入力は不要である. 入力データは時系列としてグラフ化され, ユーザーが入力データを確認できるようになっている.

図10においては船速, 主機回転数等の運航性能のほか, 波, 風など遭遇海象の情報を入力する. 入力する風情報に関しては絶対風速が望ましいが, 相対風速から絶対風速に変換する機能を有しており相対風速を入力してもよい. また, 船首方位を用いて地球基準から船首基準に波向を変換するに波向を変換する機能を備えている.

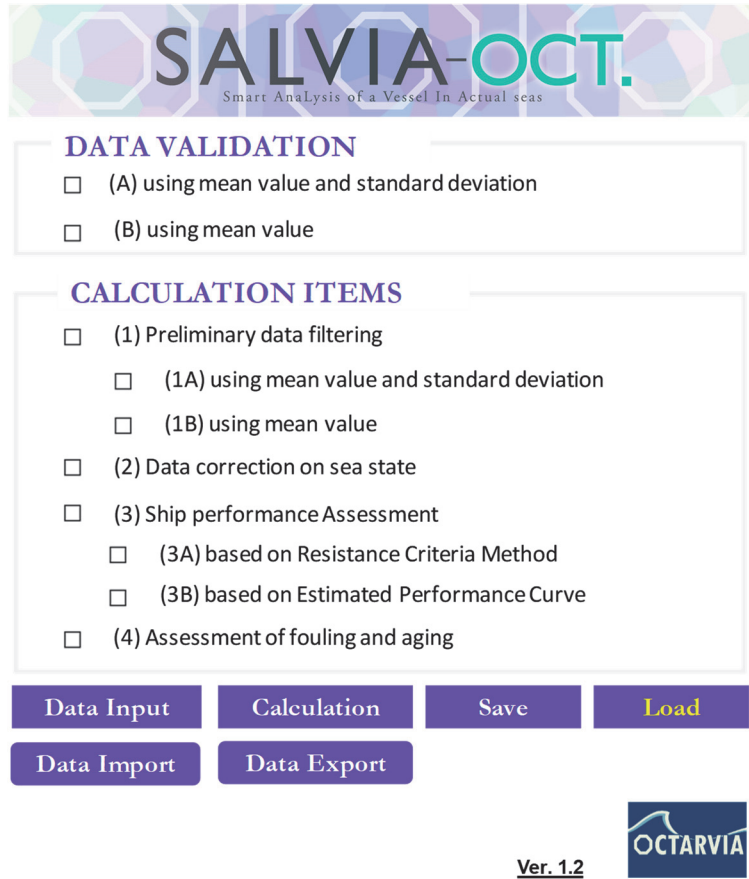


図 9 実船モニタリングデータ解析プログラム SALVIA-OCT. (トップ画面)

set true wind

min.	0		0		-3		-5		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		64000		
max.	30		30		3		5		200		50000		100		360		10		100		360		10		100		360		65000		
longitude	latitude	V _s	V _w	ψ _W	ξ _W	ξ	δ	N _{ES}	BHP	FOC	U _{wind}	V ₀	U _{wind}	V _{wind}	H _s	T _w	θ _w	θ _{w sea state}	H _s	T _w	θ _w	θ _{w sea state}	H _s	T _w	θ _w	θ _{w sea state}	H _s	T _w	θ _w	θ _{w sea state}	λ
deg.	deg.	knot	knot	deg.	deg.	deg.	deg.	rpm	kw	ton	m/s	deg.	m/s	deg.	m	s	deg.	deg.	m	s	deg.	deg.	m	s	deg.	deg.	ton.				
123.07	29.75	18.99	19.27	110.00	108.70	1.30	0.00	82.20	18,942.6	2.60	5.70	293.03	5.70	293.03	1.60	6.10	348.50	348.50	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
123.23	29.70	19.04	19.39	109.83	108.20	1.63	0.00	82.20	18,720.3	2.60	7.10	300.41	7.10	300.41	1.61	6.10	348.40	348.40	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
123.42	29.70	19.41	19.79	89.95	72.80	17.15	0.00	82.30	18,695.6	2.60	3.41	327.87	3.41	327.87	1.61	6.00	23.20	23.20	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
123.60	29.75	19.76	18.94	72.31	68.20	4.11	0.00	82.00	18,647.9	2.60	6.30	312.00	6.30	312.00	1.62	5.90	27.40	27.40	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
123.78	29.80	19.71	19.47	72.30	79.10	-6.80	0.00	82.40	18,691.4	2.60	9.27	293.69	9.27	293.69	1.64	5.80	16.10	16.10	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
123.97	29.82	19.68	19.73	83.13	84.20	-1.07	0.00	82.10	18,987.7	2.60	7.14	283.86	7.14	283.86	1.65	5.80	10.40	10.40	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
124.17	29.80	20.21	20.16	96.62	89.00	7.62	0.00	82.30	18,794.0	2.60	3.82	254.39	3.82	254.39	1.66	5.70	4.90	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
124.35	29.83	20.64	19.51	79.17	75.70	3.47	0.00	82.00	18,588.1	2.60	6.52	305.77	6.52	305.77	1.65	5.80	18.10	18.10	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
124.55	29.87	20.66	19.36	77.06	76.70	0.36	0.00	81.90	18,715.8	2.60	3.75	292.12	3.75	292.12	1.65	5.90	17.10	17.10	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
124.75	29.92	20.65	19.47	73.96	77.00	-3.04	0.00	82.20	18,857.2	2.60	4.88	325.97	4.88	325.97	1.64	5.90	17.10	17.10	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
124.93	29.93	20.77	19.26	86.38	76.10	10.28	0.00	82.00	18,951.2	2.60	2.66	270.55	2.66	270.55	1.63	6.00	18.20	18.20	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
125.13	29.97	20.72	19.50	77.05	86.30	-9.25	0.00	82.20	18,733.4	2.60	6.67	280.96	6.67	280.96	1.61	5.90	8.30	8.30	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
125.33	29.98	20.52	19.51	86.75	81.90	4.85	0.00	82.10	18,748.6	2.60	6.01	278.02	6.01	278.02	1.59	5.90	13.10	13.10	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
125.52	30.00	19.93	19.25	83.12	82.40	0.72	0.00	82.10	18,504.1	2.60	6.90	260.53	6.90	260.53	1.57	5.80	12.80	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
125.70	30.03	19.56	19.20	79.15	81.70	-2.55	0.00	81.80	18,510.8	2.60	8.29	262.72	8.29	262.72	1.55	5.70	13.70	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
125.88	30.05	19.15	19.15	82.73	80.60	2.13	0.00	82.00	18,636.8	2.60	7.46	256.83	7.46	256.83	1.53	5.60	14.50	14.50	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
126.07	30.07	19.12	19.37	83.11	87.00	-3.89	0.00	81.80	18,638.4	2.60	8.03	257.51	8.03	257.51	1.52	5.90	7.80	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
126.25	30.08	19.43	20.02	86.37	81.20	5.17	0.00	84.70	19,787.2	2.60	7.78	256.14	7.78	256.14	1.51	5.40	12.90	12.90	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
126.45	30.12	19.59	19.95	77.03	80.50	-3.47	0.00	84.80	20,549.6	2.60	8.58	258.19	8.58	258.19	1.50	5.40	12.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
126.63	30.13	19.86	20.18	86.37	79.50	6.87	0.00	84.70	20,508.7	2.60	7.71	258.83	7.71	258.83	1.50	5.40	10.50	10.50	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
126.82	30.17	19.84	20.19	76.36	82.80	-6.44	0.00	85.00	20,185.9	2.60	8.05	248.40	8.05	248.40	1.49	5.40	4.60	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
127.00	30.18	20.01	20.27	86.37	82.20	4.17	0.00	84.80	20,368.5	2.60	7.43	241.91	7.43	241.91	1.50	5.40	2.20	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								
127.20	30.20	19.95	20.37	83.45	93.90	-10.45	0.00	85.00	20,077.5	2.60	6.42	240.36	6.42	240.36	1.50	5.40	347.40	347.40	0.00	0.00	0.00	0.00	64700								

図 10 実船モニタリングデータ入力画面 (コンテナ船)

表 6 SALVIA-OCT. 計算内容

DATA VALIDATION	外乱に対するデータの信頼性を評価	
CALCULATION ITEMS	(1) Preliminary data filtering	定常性を有し, 基準排水量に近いデータの抽出
	(2) Data correction on sea state	主機回転数, 主機出力に対する外乱修正
	(3) Ship performance assessment	抵抗閾値法又は推定性能曲線による性能評価
	(4) Assessment of fouling and aging	汚損, 経年影響の評価

表 7 実船モニタリングデータ記号説明

記号	単位	意味	説明
V_g	knot	対地船速	
V_w	knot	対水船速	
Ψ_N	deg.	針路	
ξ_N	deg.	船首方位	
β	deg.	斜航角	針路と船首方位の差として算出
δ	deg.	舵角	
N_{Ec}	rpm	主機回転数	
BHP	kW	主機出力	
FOC	ton	燃料消費量	
U_{wind0}	m/s	計測風速	絶対, 相対のいずれも可
γ_0	deg.	計測風向	絶対, 相対のいずれも可
U_{wind}	m/s	絶対風速	
$\gamma_{one\ side}$	deg.	絶対風向	向風を0とし, 時計回りに定義
H_w	m	有義波高 (風波)	
T_w	s.	平均波周期 (風波)	
θ_{w0}	deg.	主波向 (風波)	地球基準, 船首基準のいずれも可
$\theta_{w\ one\ side}$	deg.	主波向 (風波)	向波を0とし, 時計回りに定義
H_s	m	有義波高 (うねり)	
T_s	s.	平均波周期 (うねり)	
θ_{s0}	deg.	主波向 (うねり)	地球基準, 船首基準のいずれも可
$\theta_{s\ one\ side}$	deg.	主波向 (うねり)	向波を0とし, 時計回りに定義
Δ	ton	排水量	

外乱修正の結果, 抵抗閾値法による平水中性能の評価結果を図 11, 図 12 にそれぞれ示す. 図 12 において, 'corrected'は外乱修正後のデータ, 'fit'はフィッティングデータ (抵抗増加率 100%以下), 'eval'は評価データ (抵抗増加率 2%以下), 'FIT'が評価結果である. 図 12 より, 膨大なデータから平水中性能が評価されていることが分かる.

CALCULATION ITEMS の(4)は複数年にわたる長期間の実船モニタリングデータを用いて実船性能の経年, 汚損影響を評価する機能である. 大型鉦石船の5年間の実船モニタリングデータを用いて一定船速での馬力増加の経時変化を評価した結果¹⁾を図 13 に示す. P_V は一定船速での平水中馬力を示している. 図 13 において, period1 と period2 の間に1回目の入渠, period2 と period3 の間にプロペラクリーニング, period3 と period4 の間に2回目の入渠がある. 第1回目の入渠において馬力増加が低下し性能が回復していることが確認できる.

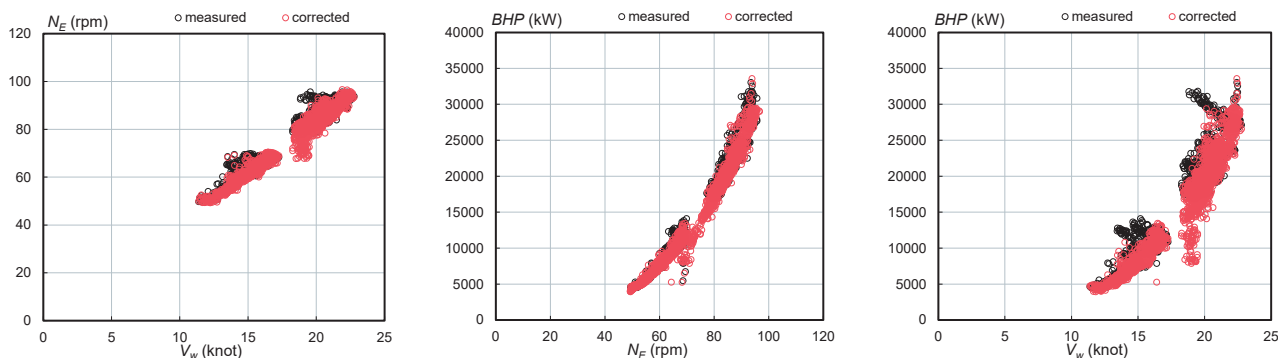


図 11 外乱修正 (コンテナ船)

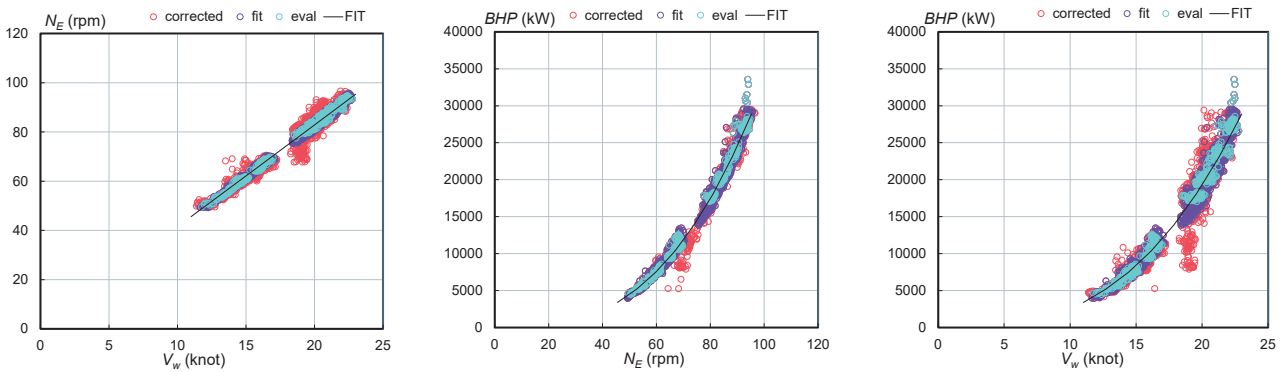


図12 抵抗閾値法に依る平水中性能の評価 (コンテナ船)

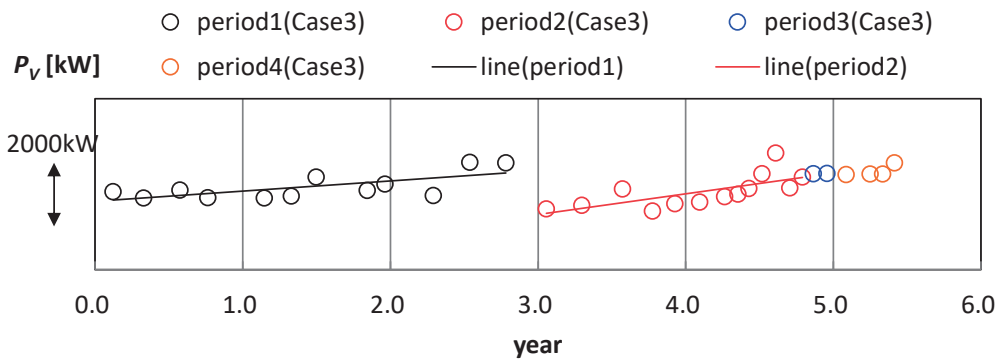


図13 一定船速での馬力増加の経時変化 (大型鉱石船, 満載状態)¹¹⁾

DATA VALIDATION は、実船モニタリングデータ (平均値と標準偏差もしくは平均値で構成されるデータ) の解析結果の品質を外乱条件ごとに評価する機能であり、複数の外乱条件に対し CALCULATION ITEMS の(1)~(3)を一括して実行する。図14はコンテナ船で収集された実船モニタリングデータを対象に、評価データの抽出条件を変数として評価指標 D_{PC} を計算したものである。 D_{PC} はデータ抽出を行わず全てのデータをフィッティングデータとして求められた評価指標である。図14の例ではフィッティングデータを適切に抽出することで評価指標が小さくなること、抽出条件を厳しくすると評価指標が小さくなること分かる。SALVIA-OCT.ではこのような実船モニタリングデータの特性を容易に評価することが可能である。

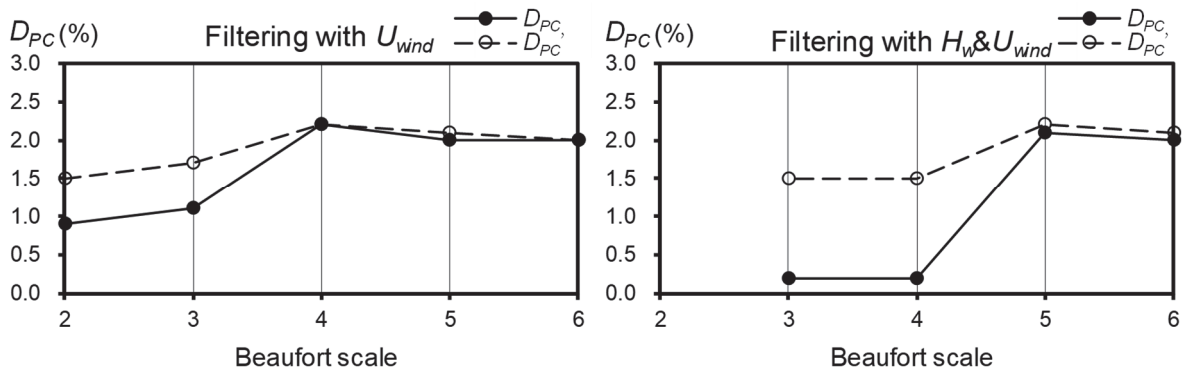


図14 外乱に対する実船モニタリングデータの評価指標値 (コンテナ船)

(左: 絶対風速 (U_{wind}) によるフィルタリング, 右: 有義波高 (H_w) と絶対風速によるフィルタリング)

SALVIA-OCT.による平水中性能の評価結果については、OCTARVIA-prediction において読み込み可能な形式で出力する。具体的には、平水中性能をプロペラ単独性能及び推力減少係数 ($1-t$)、プロペラ効率比 (η_R) を用いて平水中抵抗に変換するとともに、その計算過程で得られる実船有効伴流係数 ($1-w_S$) をあわせて出力する。

SALVIA-OCT.は、EAGLE-OCT.及びOCTARVIA-Prediction とのデータの授受がある。これは3つのプログラムの利用の円滑化を狙ったものであり、1つのプログラムの出力を他のプログラムで容易に読み込めるような関係が構築されている。図15にEAGLE-OCT.、SALVIA-OCT.、OCTARVIA-Prediction 間の相互関係を示す。

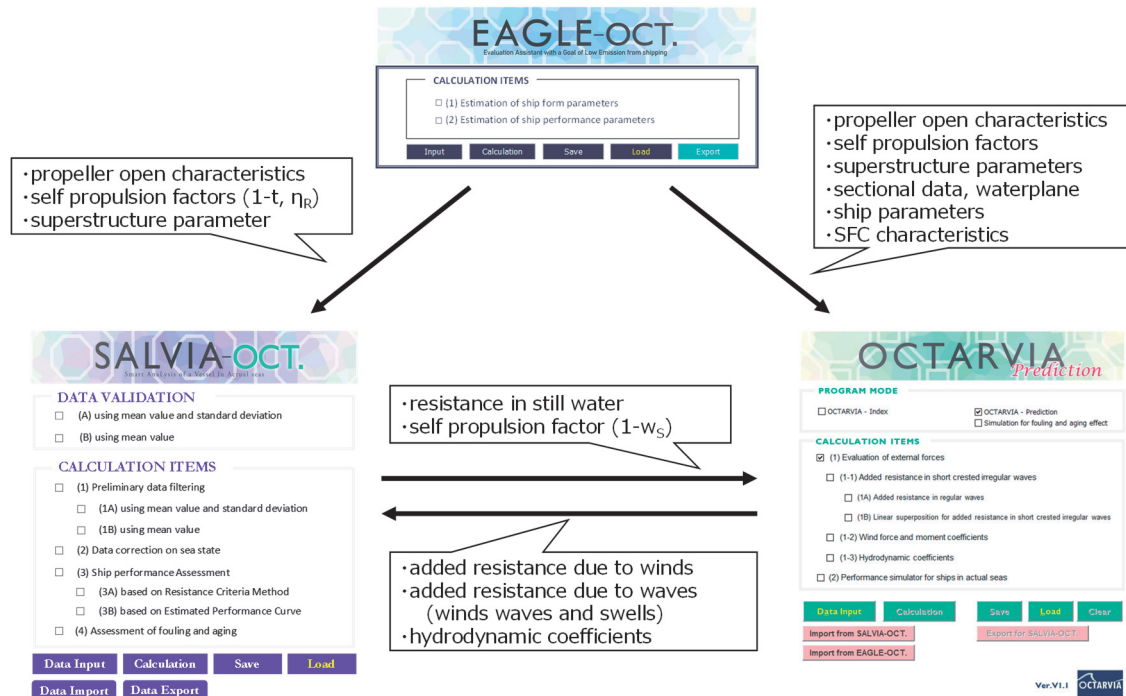


図15 プログラムの相互関係

5. まとめ

実船性能評価の手段として実船モニタリングが普及し、実海域における実船性能や遭遇する気象、海象について膨大なデータを収集することが可能となっている。実船モニタリングにより実船性能を評価することは、膨大なデータの中から「答え=真の性能」を見出すことと換言できる。しかし、適切な手順で計測、解析、評価を行わなければ、誤った答えを導き出す恐れがある。標準化された計測法、解析法、評価法に従うことにより、評価結果に対する客観性、透明性が確保され、その結果信頼できる結果を導き出すことが可能になる。

S1-WG での検討成果が海運分野において幅広く利用され、実海域性能の優れた船舶の建造や省エネルギーな船舶の運航が促進し、海運分野における温室効果ガス削減が実現することを期待して止まない。

謝 辞

本研究は、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) によって実施されました。ワーキンググループ等を通じて議論いただいた皆様、Ocean Network Express Pte. Ltd. (研究当時 (株) MTI) の米澤拳志様に深く感謝致します。

References

- 1) ISO 15016:2015 (2015), Ship and marine technology -Guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis of speed trial data, ISO, London
- 2) ISO 19030 (2016), Ship and marine technology -Measurement of changes in hull and propeller performance, ISO, London
- 3) 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, Vol. 19, No. 1, pp. 101-122, 2019.
- 4) N. Sogihara: Uncertainty Assessment in Ship Performance Evaluation by Monte Carlo Simulation Using Onboard Monitoring Data, Journal of Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 33, pp. 35-46, 2021.
- 5) N. Sogihara, M. Tsujimoto, T. Danno, T. Yanagida, M. Kumazaki, and R. Miyake: Investigation on Draught and Radius of Gyration for Ships in Service, Conference Proceedings of Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 30, pp. 107-110, 2020. (in Japanese)
- 6) ITTC (2017), Preparation, Conduct, and Analysis of Speed/Power Trials (7.5-04-01-01.1), International Towing Tank Conference
- 7) A. Sakurada, N. Sogihara, and M. Tsujimoto: Development of a Filtering Method for Evaluation of Performance in Calm Sea Conditions Based on Onboard Monitoring Data, Journal of Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 31, pp. 29-37, 2020.
- 8) N. Sogihara, A. Sakurada, M. Tsujimoto, and H. Sato: Validation of the Evaluation Method of Ship Performance Using Onboard Monitoring Data -Development of Resistance Criteria Method with Apparent Slip Ratio and Quality Management-, Conference Proceedings of HullPIC'2020, pp. 82-95, 2020.
- 9) N. Sogihara, A. Sakurada, and M. Tsujimoto: Validation of Filtering Method for Evaluating Ship Performance in Calm Sea Using Onboard Monitoring Data, Journal of Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 33, pp. 25-34, 2021.
- 10) M. Tsujimoto, M. Kuroda, N. Sogihara, and A. Sakurada: Development of Empirical Formulae for Estimating Ship Performance, Papers of National Maritime Research Institute, Vol. 18, No. 3, pp. 91-106, 2018.
- 11) A. Sakurada, N. Sogihara, and M. Tsujimoto: Study on Evaluation Method of Fouling and Aging Effect by Onboard Monitoring Data, Conference Proceedings of Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 31, pp. 401-408, 2020. (in Japanese)