

環境対応の船型開発を 支えるハードとソフト

Hardware and Software for Eco-friendly Hull Design

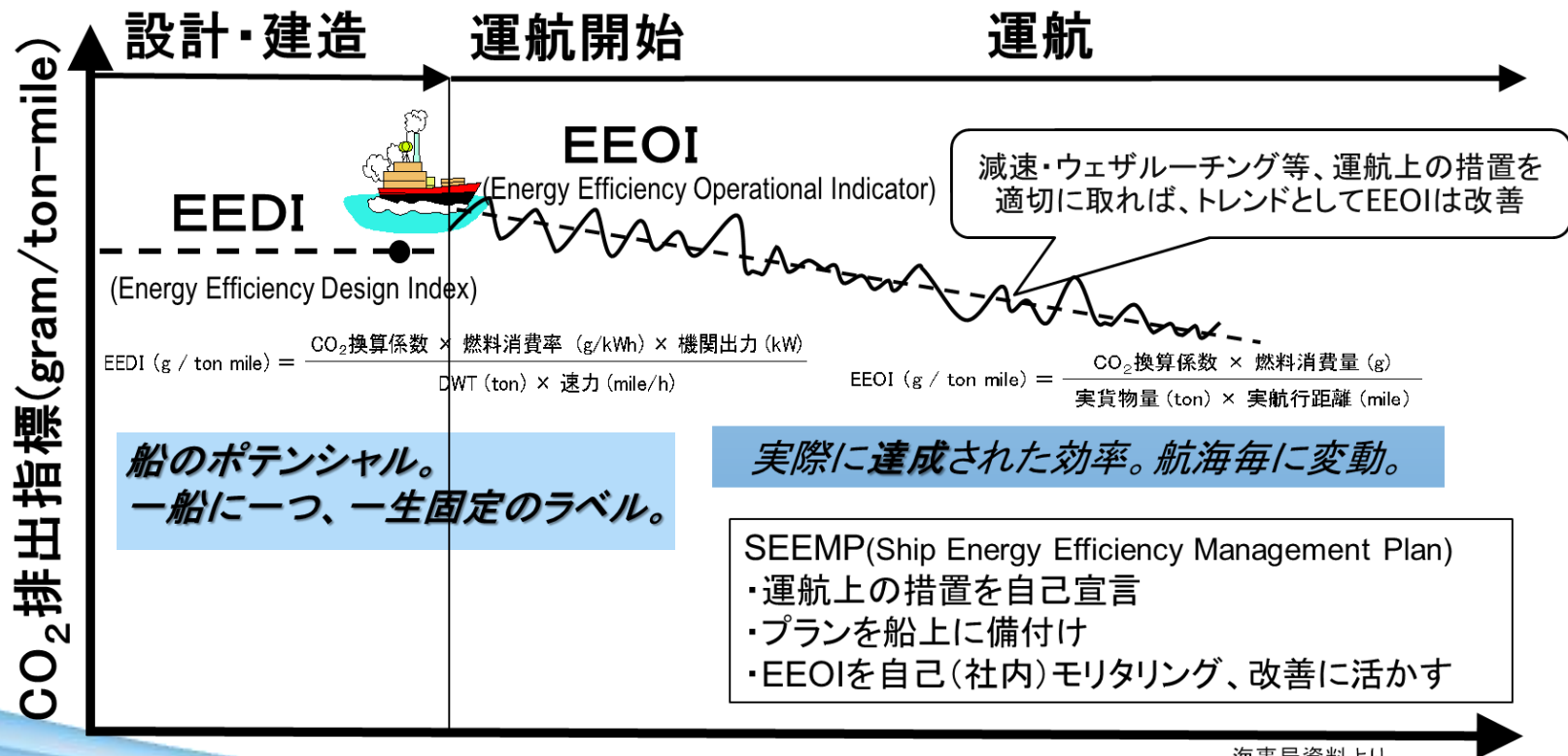
流体設計系長
上入佐 光

はじめに

MARPOL Annex VI の改正 2013/1/1発効

設計・建造時：船舶の効率ポテンシャルをEEDIにより客観的に評価

運航時：SEEMPに基づいて、船舶の効率を最大限発揮できるような効率的な運航



海事局資料より

EEDIとEEOI

・EEDIは新造時の船舶のスペックに基づき、「その船舶が発揮できる効率のポテンシャル」を示す。実貨物量の代わりにDWT、実航行距離の代わりに速力、実際の燃料消費量の代わりに「スペック上のSFC × 出力」使用。

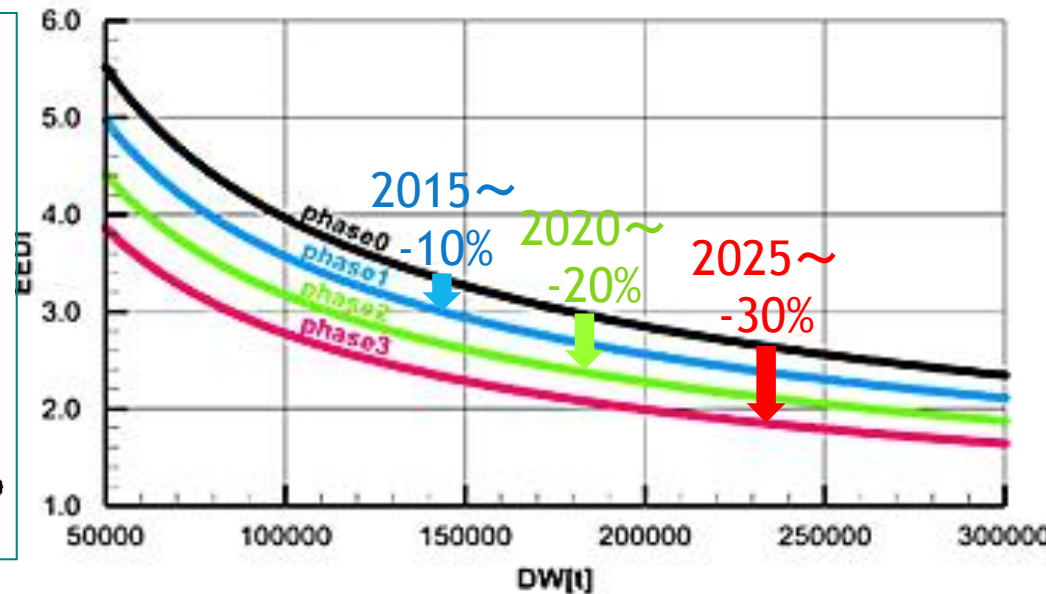
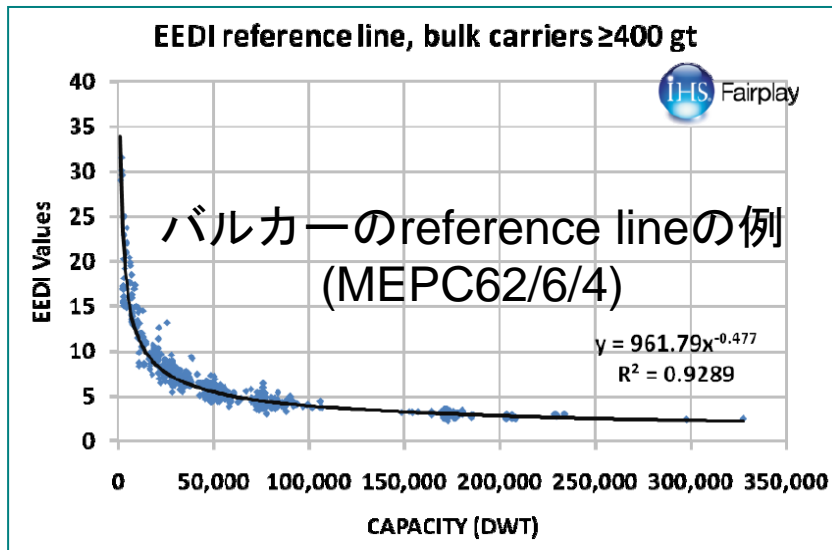
$$EEDI \text{ (g / ton mile)} = \frac{\text{CO}_2 \text{換算係数} \times \text{燃料消費率 (g/kWh)} \times \text{機関出力 (kW)}}{\text{DWT (ton)} \times \text{速力 (mile/h)}}$$

・EEOIは運航時における「実際のCO₂排出量(燃料消費量から換算したもの)」と「実際に運んだ貨物量」「実際に走った距離」から「実際に達成された効率」を示す。

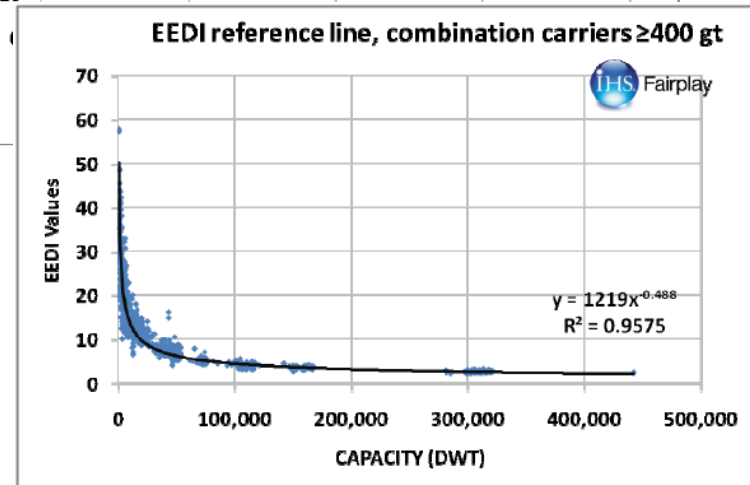
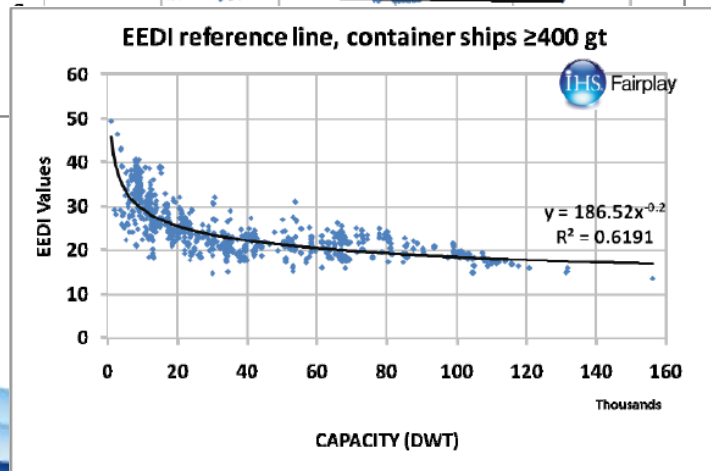
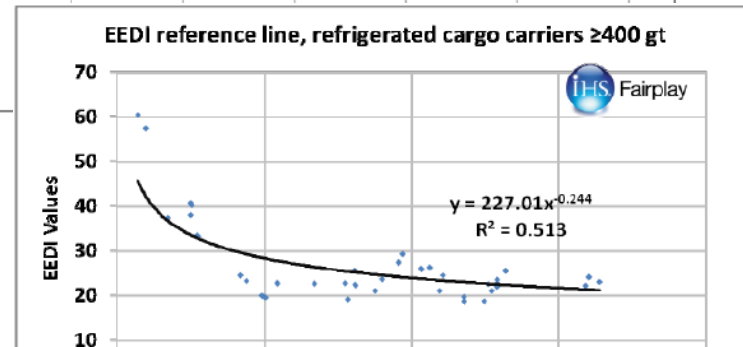
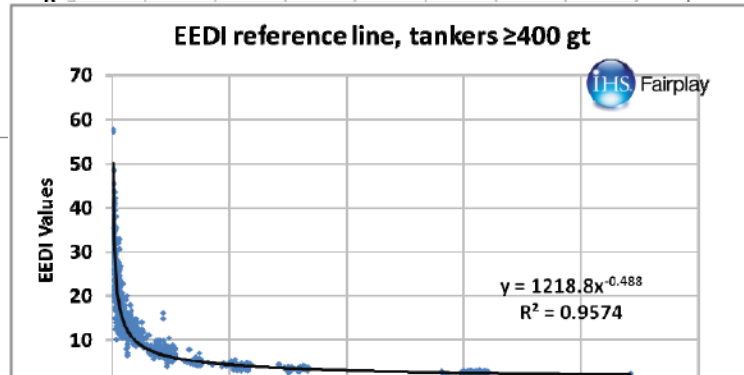
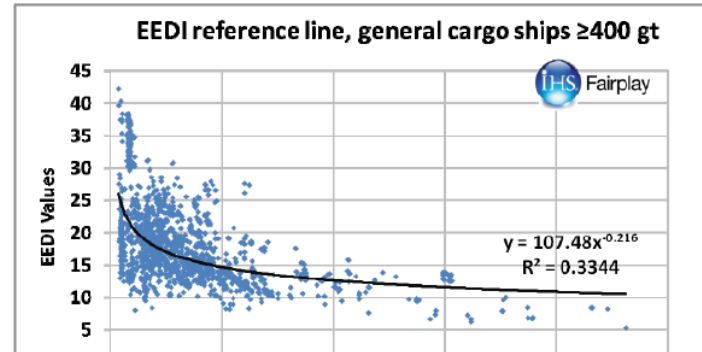
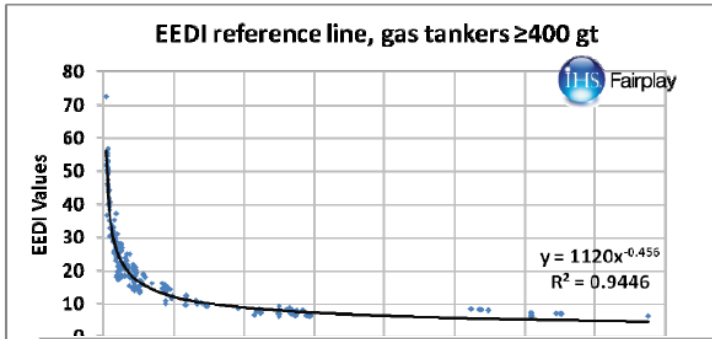
$$EEOI \text{ (g / ton mile)} = \frac{\text{CO}_2 \text{換算係数} \times \text{燃料消費量 (g)}}{\text{実貨物量 (ton)} \times \text{実航行距離 (mile)}}$$

GHG排出削減に関する国際規制

- 船種別に作成したEEDIのreference lineに対し、削減率(X%)を設定。
- 削減率を守れない船は就航できない。
- バルカー、ガス船、タンカー、コンテナ船、一般貨物船、冷凍貨物船、兼用船（客船、RoRo船などへの適用については今後検討）。
- **規制は段階的に強化される！**



EEDI レファランス ライン



ハードとソフト

海上技術安全研究所流体部門では、ハードウェア、ソフトウェアの両面から技術開発に取り組んできました。

●ハードウェア：各種省エネデバイスの開発

- I. 空気潤滑法の実用化 *ALS*
- II. 波浪中抵抗低減デバイス *STEP*
- III. 省エネダクト *WAD*

●ソフトウェア：基盤ツールの開発

- IV. *CFD*ソフトウェア *NEPTUNE*
- V. 実運航性能シミュレータ *VESTA*
- VI. 要目最適化プログラム *HOPELight*

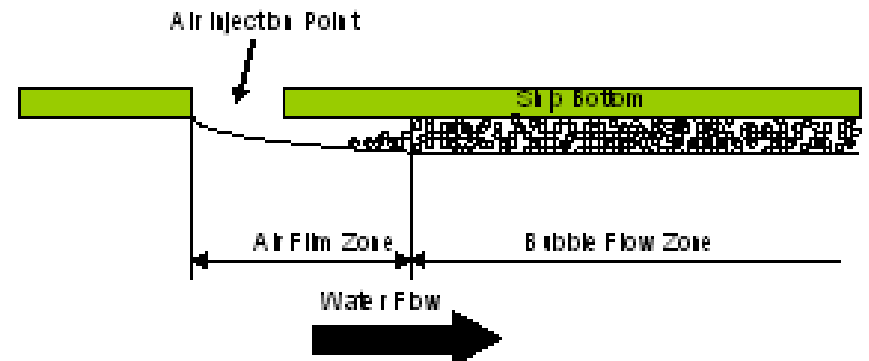
I. 空気潤滑法の実用化

- 空気潤滑法：船底を均一な気泡で覆い摩擦抵抗を低減。
- 水槽試験で摩擦抵抗を大幅に低減することを確認。
- 実船へ搭載して、約6%の正味省エネ率を達成。

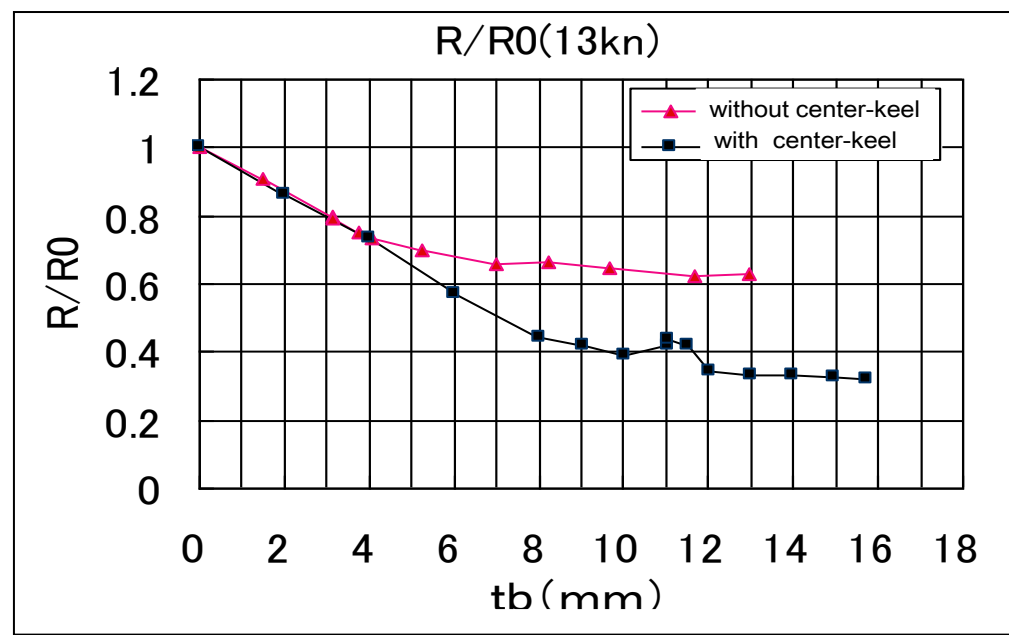
(2010年6月、国交省、日本財団、NK、SRC殿支援のもとに搭載、海上試運転実施)



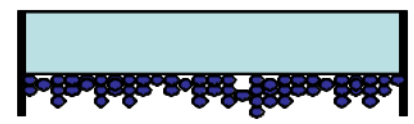
50m長尺模型試験(動画)



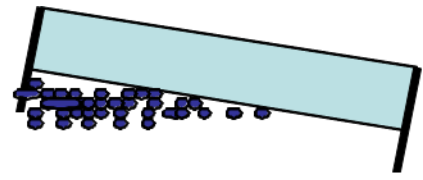
センターキール有無の比較



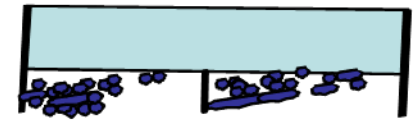
空気潤滑時の抵抗/空気潤滑無し時の全抵抗比



section of ship



without center-keel

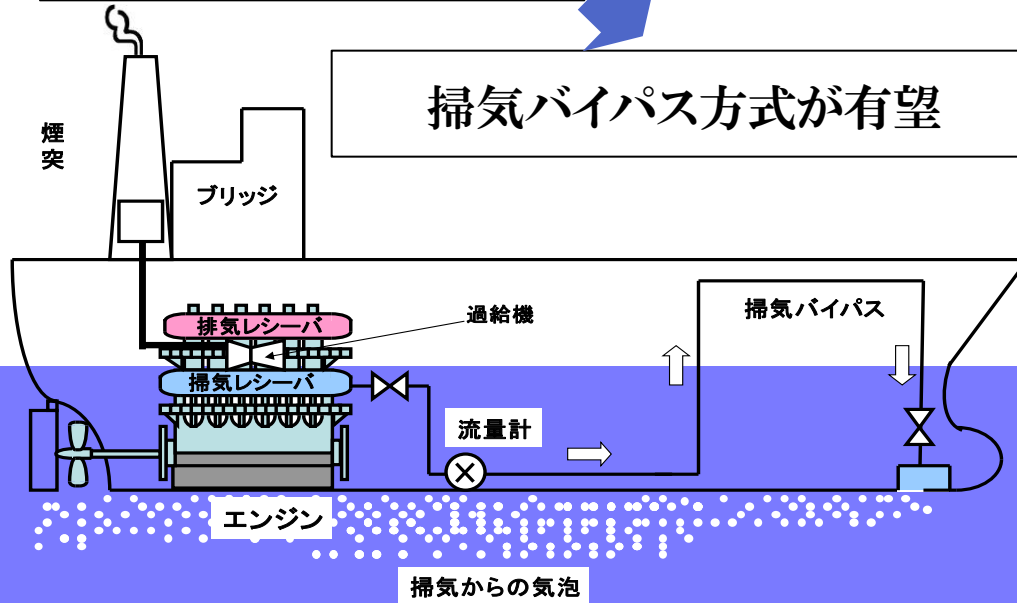


with center-keel

空気潤滑法の実用化

空気吹き出しパワーを
如何に減らすか？

掃気バイパス方式が有望



大型石炭運搬船「双洋」に、世界で
初めて装備、実船試験で省エネ効
果を検証

(H21-25 国交省、日本財団、NK、SRCプ
ロジェクト、大島造船所、MTI、海技研で
研究開発)



シップオブザイヤー2012受賞

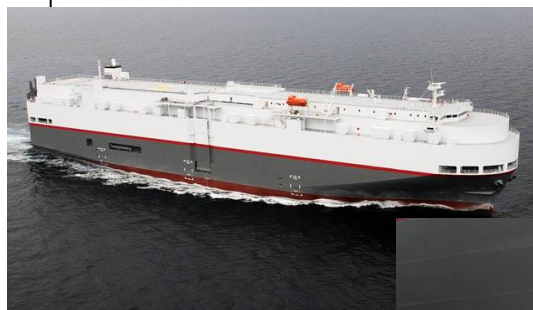
低負荷運航に対する
掃気バイパス方式の改良

II. 波浪中抵抗増加低減デバイスSTEP

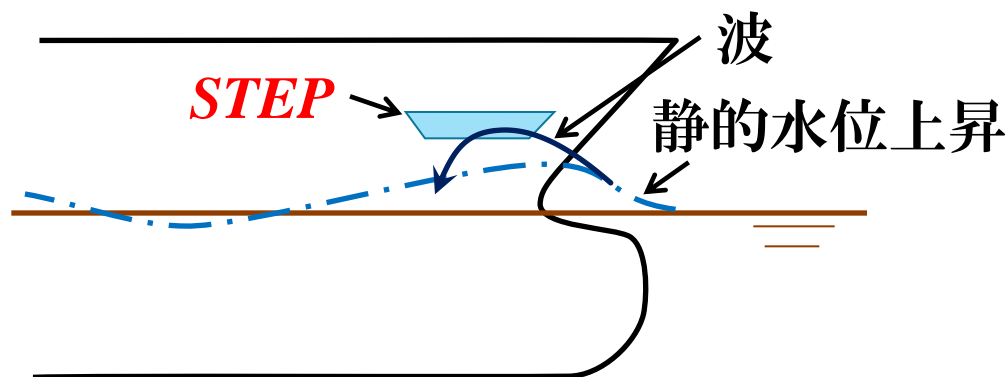
STEP (Spray TEaring Plate)とは？

- 水面上形状を小規模な付加物により効果的に改良。
- 船首部水面上船体に沿って進行する波の運動量を船幅方向に変化させることにより、波浪中抵抗増加を低減。
- Static swell-upの上方に設置することにより、平水中の性能に影響を及ぼさない。

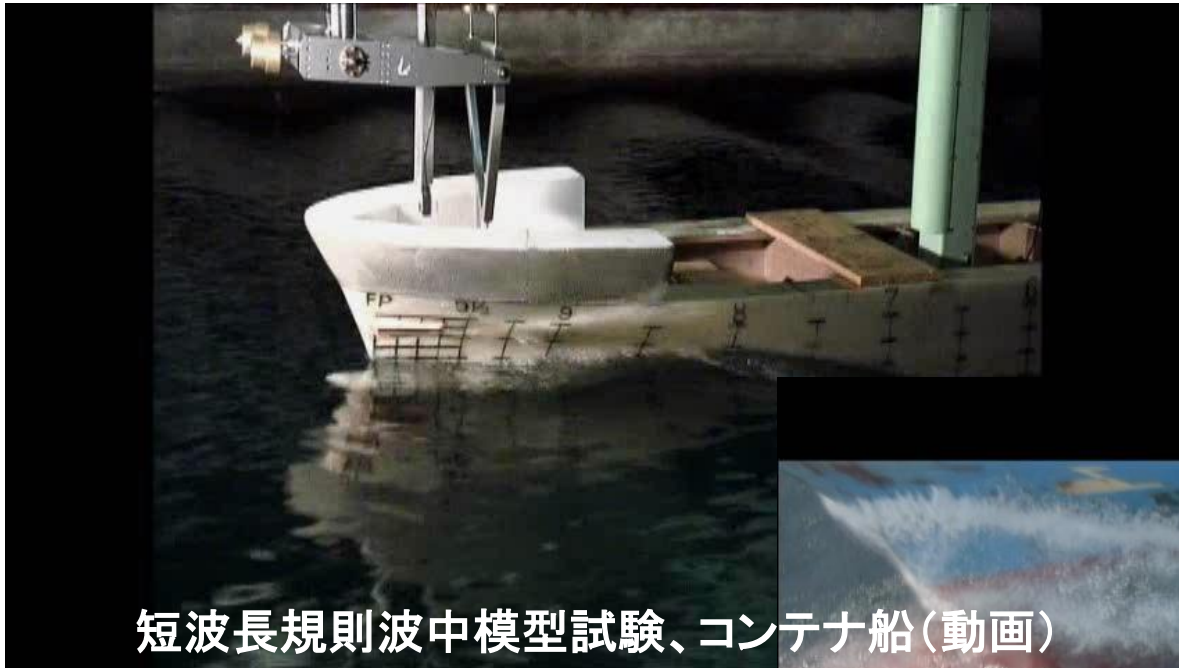
内海造船株式会社殿と共同開発



STEP付き自動車運搬船



STEP 模型試験と実船

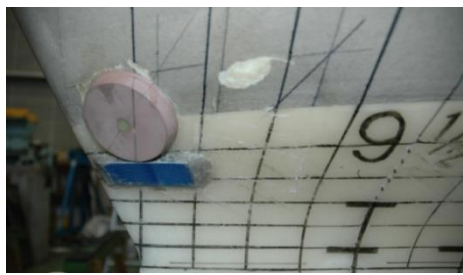


短波長規則波中模型試験、コンテナ船(動画)

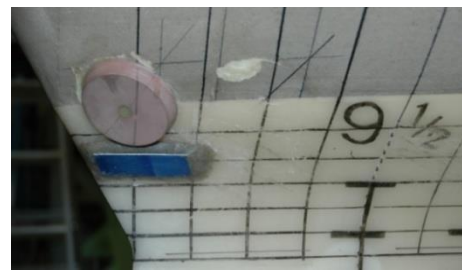


船首部航走波の撮影(平穏海象中動画)

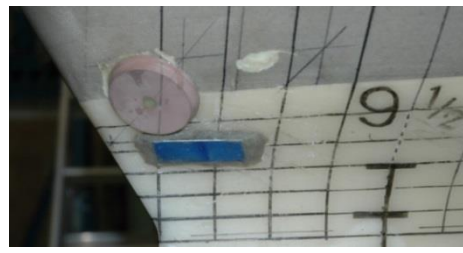
STEPの規則波中抵抗低減効果 (コンテナ船)



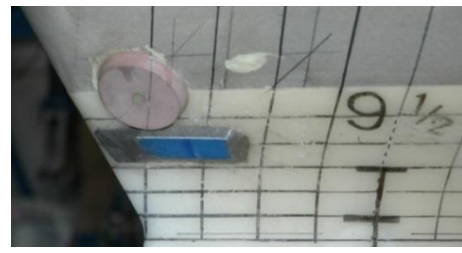
STEP A



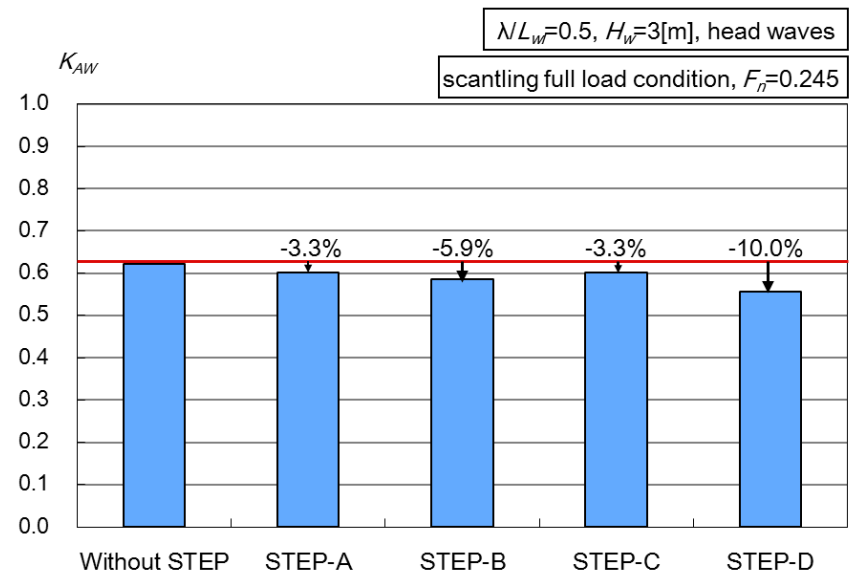
STEP B



STEP C



STEP D



抵抗増加係数の比較

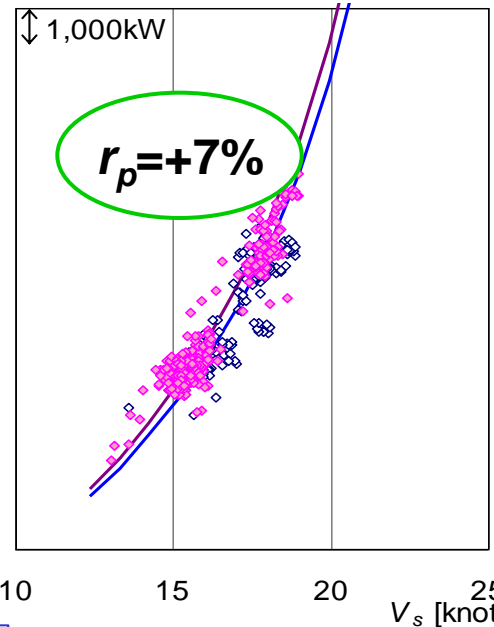
実船データ解析によるSTEP効果の検証



STEPなし:同型の自動車運搬船

夏期満載状態、向波±90°

Power [kW]

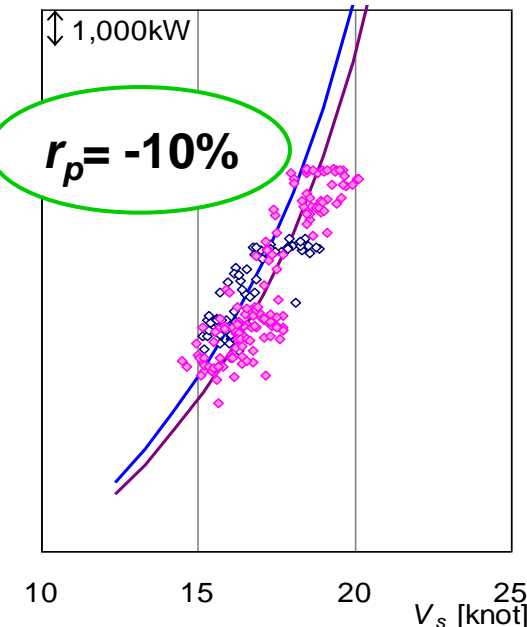


◇ w/o STEP
— w/o STEP

◇ with STEP
— with STEP

波高1m以下(平水中)

Power [kW]



◇ w/o STEP
— w/o STEP

◇ with STEP
— with STEP

波高2m以上(波浪中)

平水中での差(7%)を計測誤差と考えると

3%の馬力削減効果

$$r_p = \frac{Power_{withSTEP} - Power_{w/oSTEP}}{Power_{w/oSTEP}} \times 100$$

STEPレトロフィット工事の様子

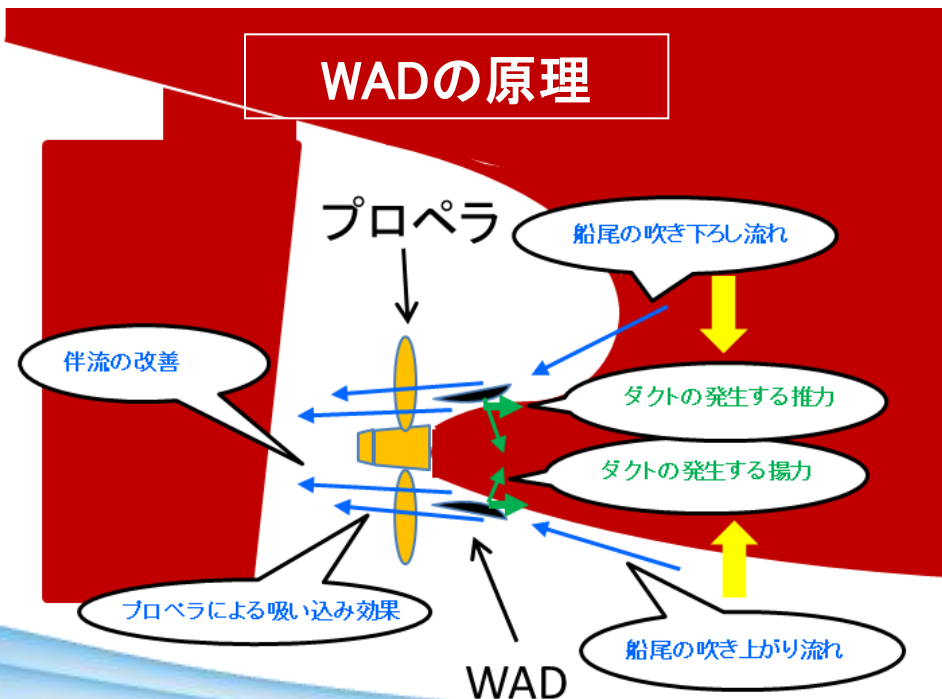


内航RoRo船(船長約140m)

Ⅲ. 省エネダクト WADの開発

WADとは? Weather Adapted Duct

- 小型・強干渉型ダクトとプロペラの一体最適設計。
- 波や風のある実海域での高い省エネ効果。
- 小型化により有害なキャビテーションや振動、騒音を防止。



WADの設計コンセプト

プロペラとダクトの距離を縮めて
($10\%D_p$ 以下)干渉効果を高める

キャビテーション問題が発生しにくい
 $0.5R$ 以下の小直径ダクト

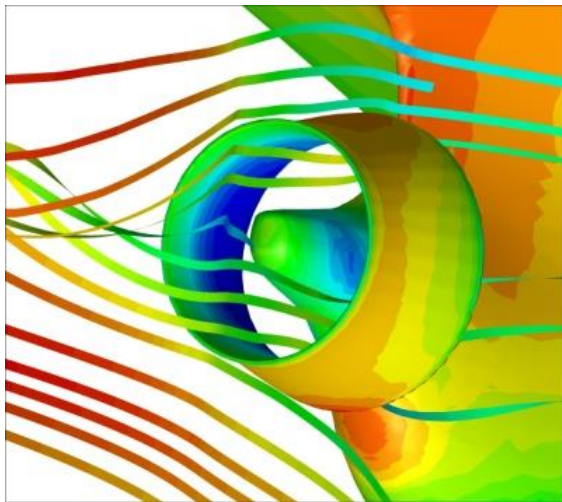
小直径高干渉ダクトに適合したピッチ分布を持つプロペラの設計

実海域における波浪中の高荷重条件において効果を発揮

省エネダクト WADの開発

水槽試験によるWADの効果の確認

- 平水中での抵抗自航試験の結果、推進効率の向上により約5%の馬力低減が得られることを確認。
- 荒天時の高負荷状態を想定した水槽試験（平水状態で実施）において、約7%の馬力低減が得られることを確認。



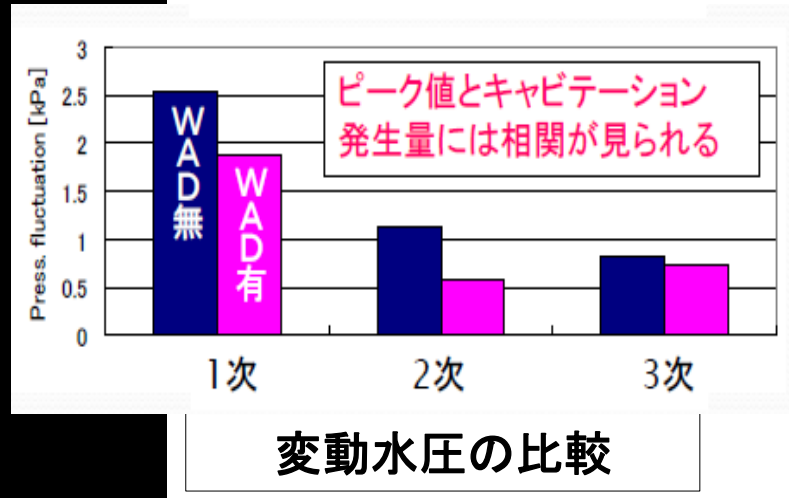
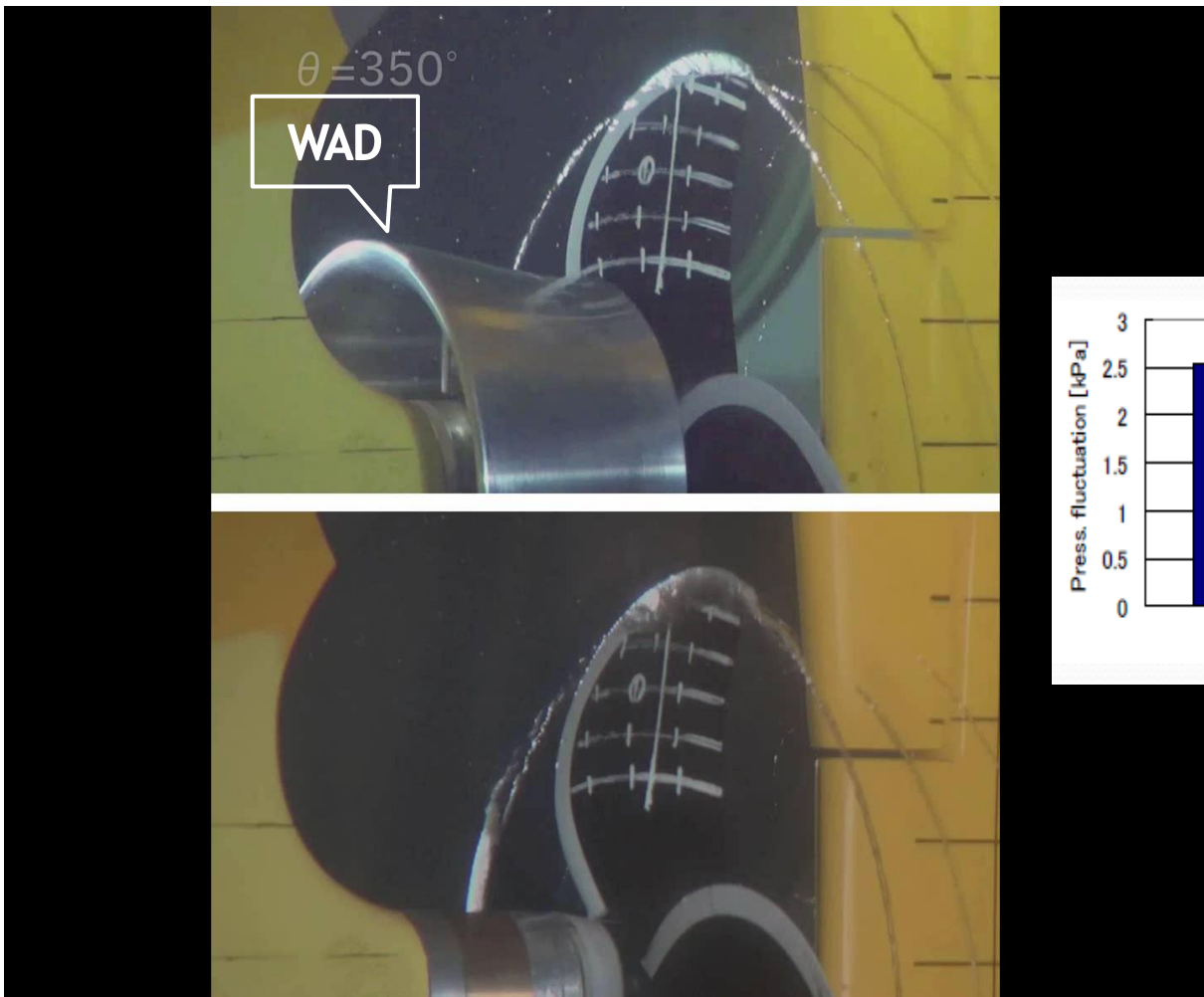
CFD解析結果



WAD模型

現在、実船搭載
に向けて準備中

WADのプロペラキャビテーション試験



プロペラキャビテーションの比較(動画)
高荷重状態(通常の1.5倍)

IV. CFDソフトウェアの開発

CFD解析の手順

船型設計

CAD



3次元データ (IGES)、オフセット

格子生成

HullDES (構造格子)
AutoDES (HullDES
+船型変形, 最適化)



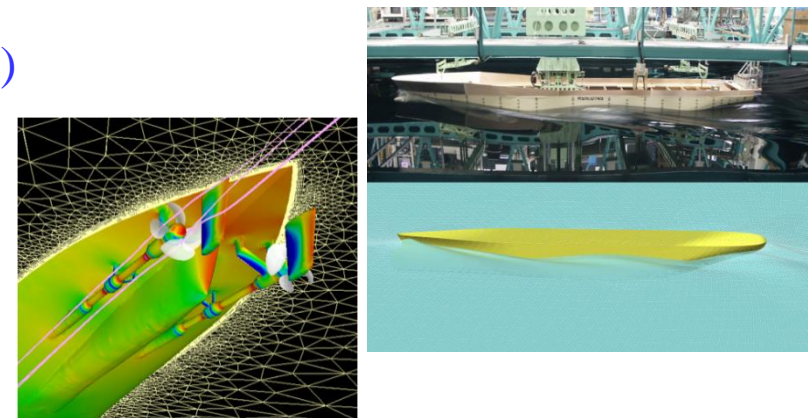
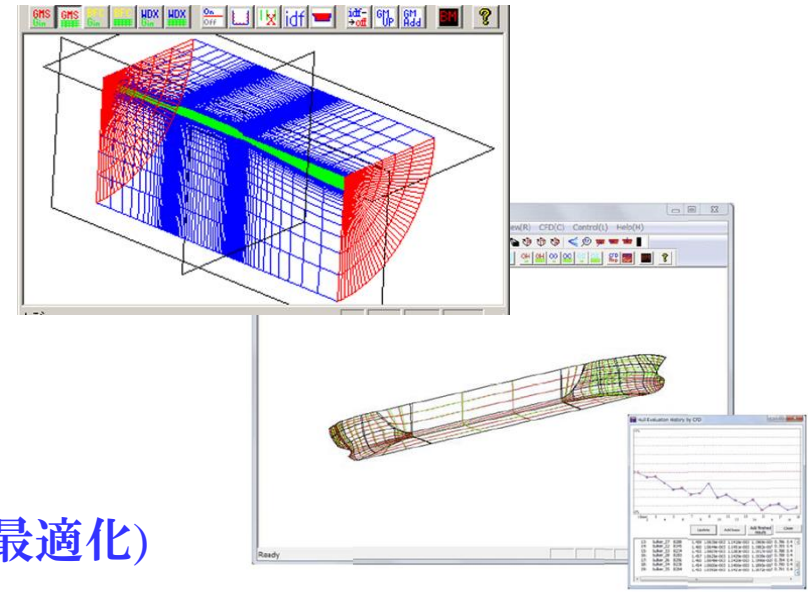
CFD計算

NEPTUNE (構造格子)
SURF (非構造格子)



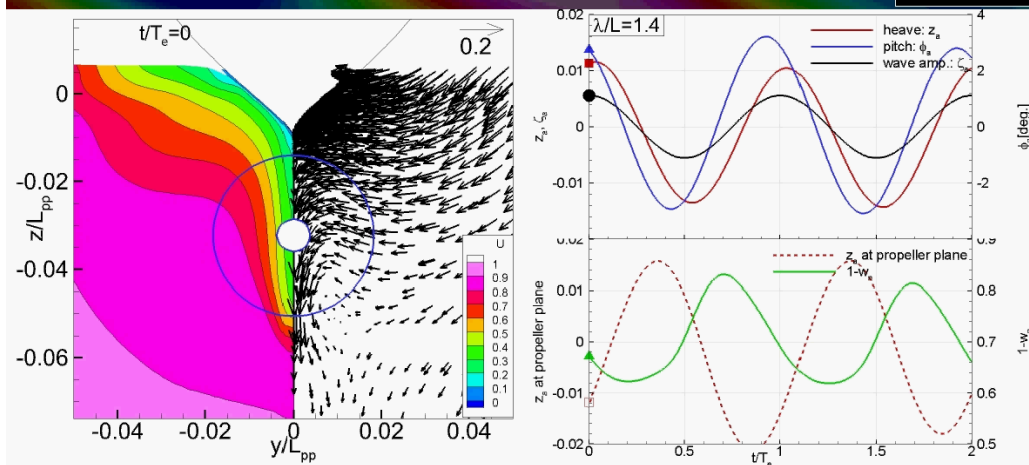
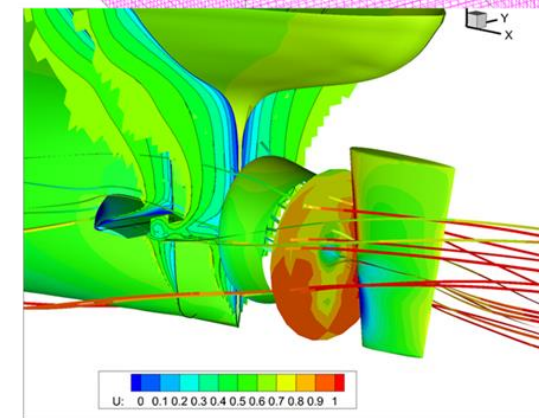
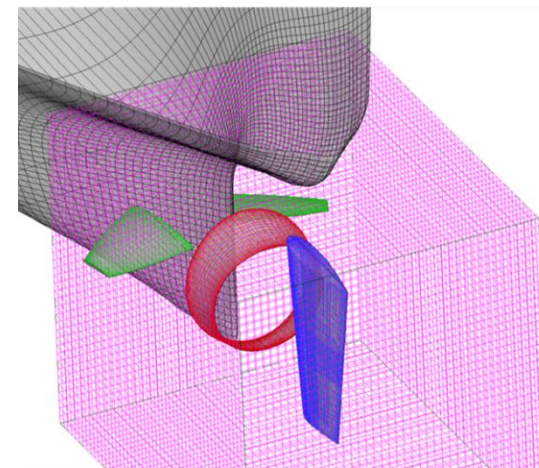
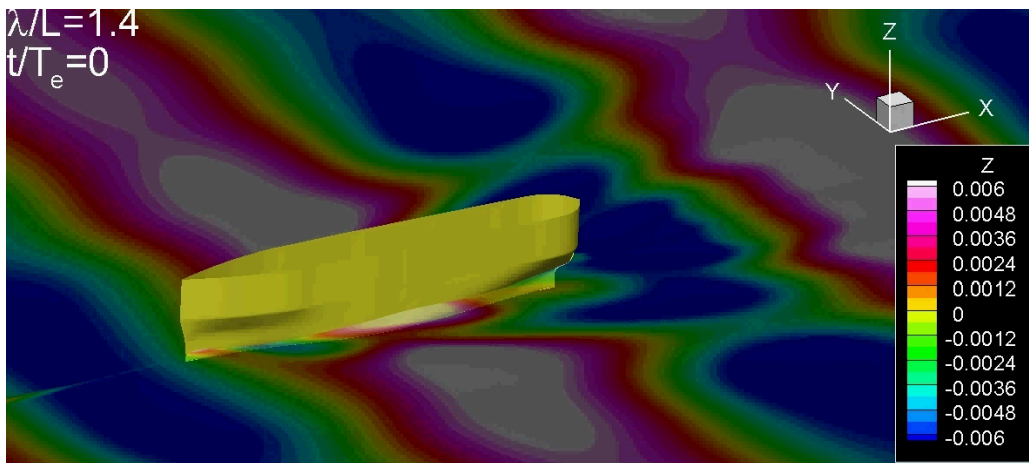
ポスト処理

ARGO



次世代CFDソフトウェアの開発

- 複雑形状に対応 → **重合格子法**
- 実海域対応 → **波浪中船体運動・操縦性**

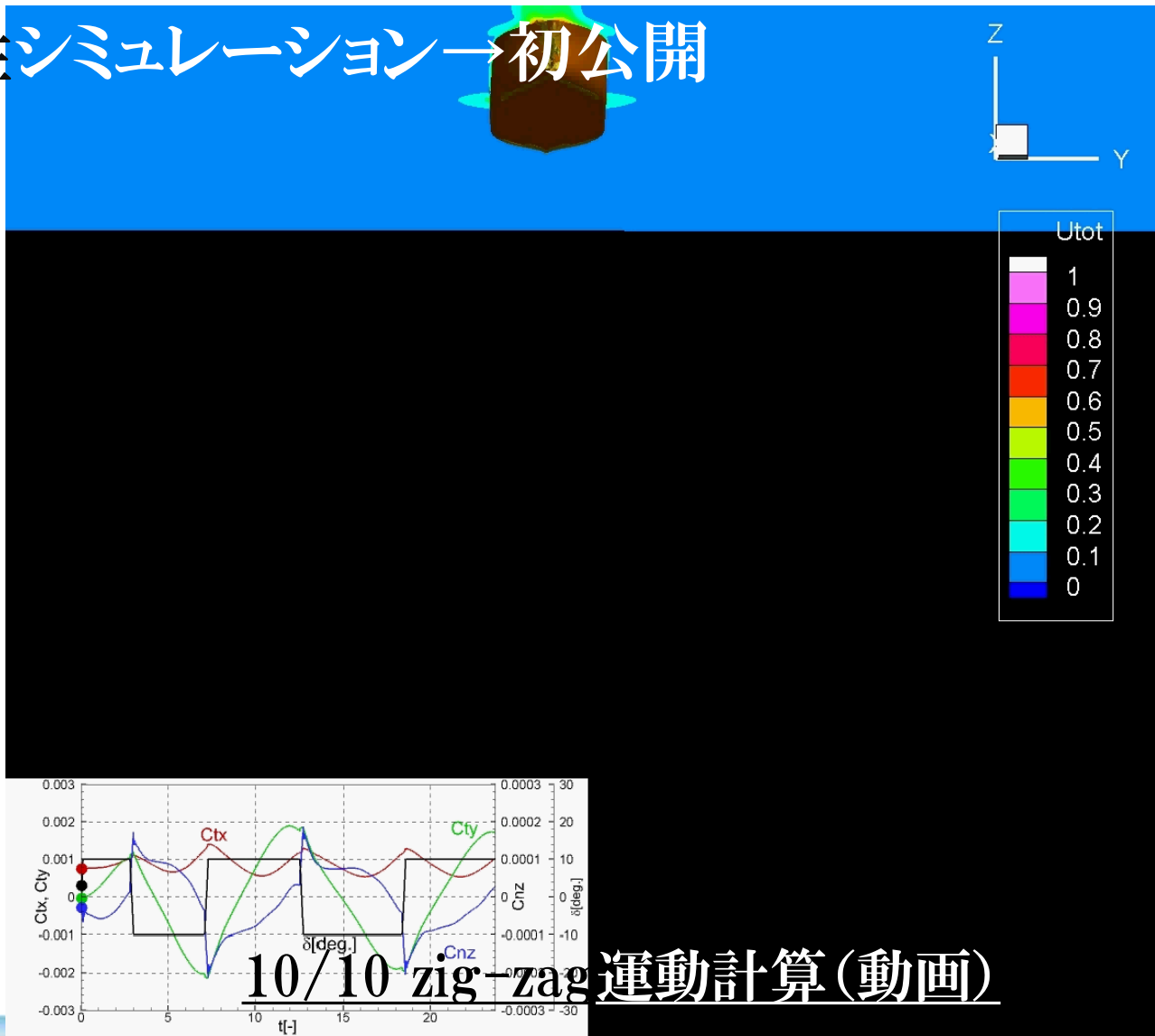


船尾フィン、ダクト、舵がついた
船尾まわりの自航計算

正面向い波中における船体運動計算(動画)

次世代CFDソフトウェアの開発

- 操縦性シミュレーション → 初公開



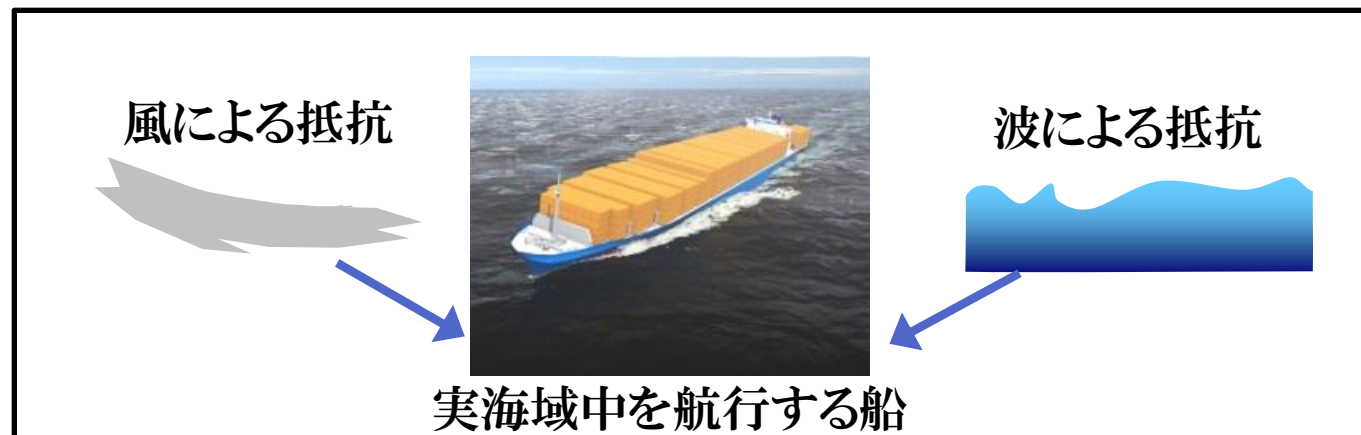
10/10 zig-zag運動計算(動画)

V. 実運航性能シミュレータVESTAの開発

実運航性能シミュレータ (VESsel performance evaluation Tool in Actual seas)

- 船舶を特定の航路に就航させた際の性能(速力・燃料消費等)を評価すると同時に予測。
- 波、風による外力を十分な精度で評価。
- 主機作動特性を考慮した燃費を評価。

船体・プロペラ、機関、運航の改善提案が可能。



↓ ← ガバナーによる主機制御

実運航中の速力・燃料消費量

VESTAの機能

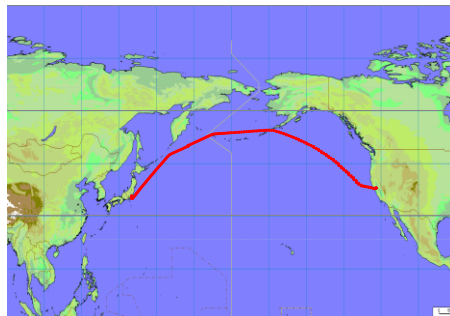
- (1) 波浪中での抵抗増加の算定
 - ・・・水槽試験を組み入れた高精度な計算
(水槽試験データベースを利用し、個船データを用いた計算も可能)
- (2) 風圧力の算定・・・風洞試験データを基にした回帰式
- (3) 燃料消費量の算定
 - ・・・主機作動制限に加え、ガバナー作動モード(回転数一定、フューエルインデックス*)制限、出力一定)を考慮
- (4) 風、風波、うねりを組み合わせた海象を任意に入力計算可能
- (5) EEDI_{weather}、 f_w の算定が可能
- (6) EEDIの最低推進出力適合性の判定が可能

フューエルインデックス・・・主機関への燃料投入量の指標

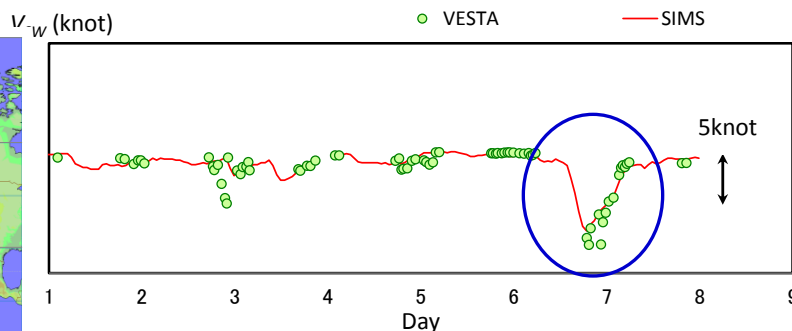
実運航性能シミュレータVESTAの開発

VESTAによる実運航シミュレーションと検証例

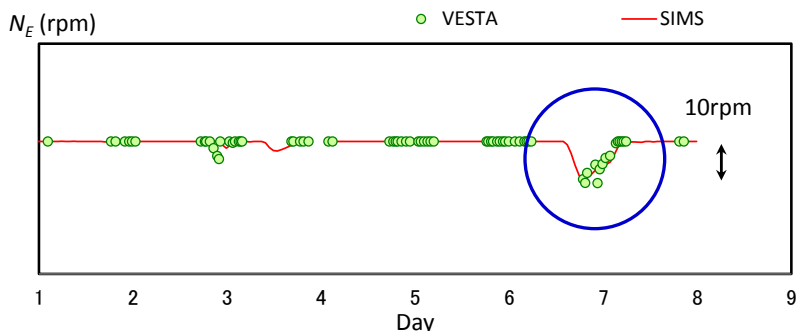
大型コンテナ船



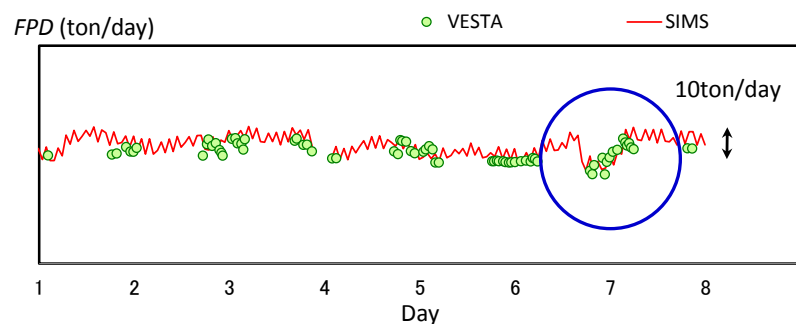
オークランド～東京



対水速力



回転数



1日当たり燃料消費量

日本郵船－MTI－海技研の共同研究により実海域の船舶性能評価技術の高度化を目的に実施。

VI. 要目最適化プログラムHOPE Lightの開発



機能

INPUT		
Ship Name	Sample	
Ship Type	BULK	
Lpp	217.00	[m]
B	32.26	[m]
D	20.00	[m]
d	12.20	[m]
Displacement	71739	[ton]
Service Speed	14.50	[knof]

Version 4.1.0

Input Check		
Cb	0.820	[-]
L/B	6.73	[-]
B/d	2.64	[-]

Input Detail

Parametric Study		
On / Off	<input type="checkbox"/>	minimum Maximum
Parameter 1	L/B (Unable to select L,B,d as Parameter2 and Dead)	6.00 7.00
Parameter 2	Cb (Fixed Parameter Invalid)	0.75 0.90
Fixed Parameter	Displacement	
Object	BHP	

Calculate !

Reset

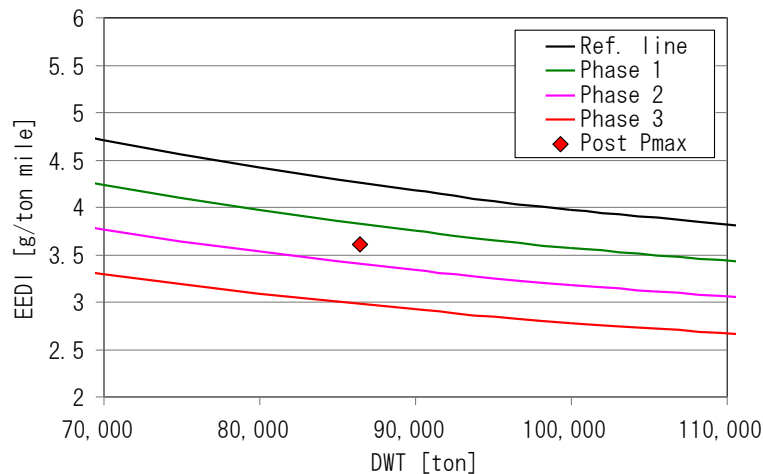
Performance Analysis in calm sea
by using Sea Trial results

On / Off
(Input Design condition data)

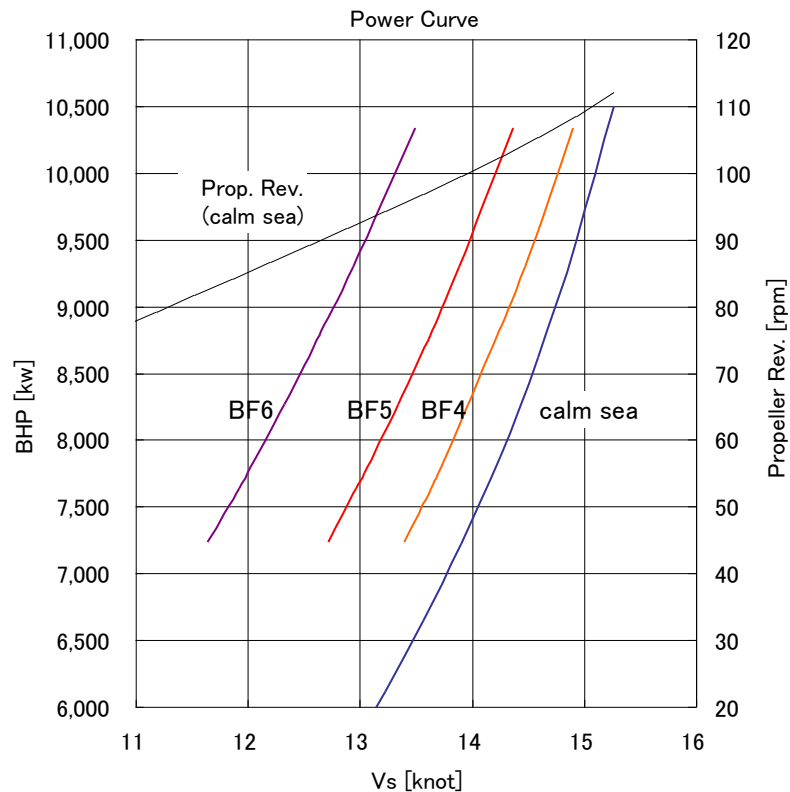
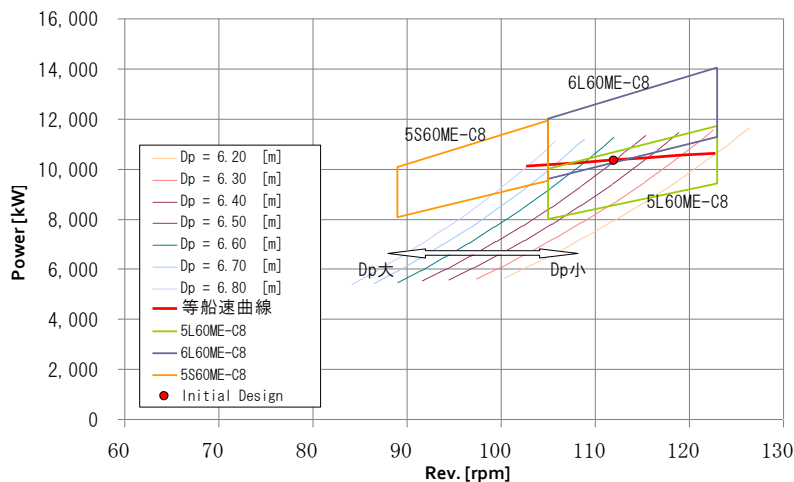
船の主要目から各種性能を推定

- $I+k$, C_w , 自航要素
- プロペラ設計(要目, オフセット), プロペラ特性曲線
- L_{CB} , 浸水面積
- 必要舵面積, 操縦性能
- 最適主機選定, 主機燃費率
- 風圧抵抗, 波浪中抵抗増加量
- 平水中馬力曲線, $EEDI$
- 船速低下量, 馬力増加量, 実海域中馬力曲線

要目最適化プログラムHOPE Lightの開発



ポスト・パナマックス・バルカーの推定EEDI



馬力曲線の推定 (平水中・実海域中)

プロペラ直径変更が選択可能主機に及ぼす影響

まとめ、今後の予定

ハードウェア：各種省エネデバイスの開発

技術開発内容	成果	今後の計画
I. 空気潤滑法の実用化	「双洋」実船試験で省エネ効果を実証	省エネ効果の高効率化
II. 波浪中抵抗低減デバイス STEP	新造4隻、レトロフィット2隻の実績	売込中
III. 省エネダクト WAD	17隻への実装が決定	WAD設計法の確立

ソフトウェア：基盤ツールの開発

IV. CFDソフトウェア	波浪中の船体運動・操縦性がシミュレーション可能に	ブラッシュアップ
V. 実運航性能シミュレータ VESTA	最低推進出力判定機能は約30社で導入	デファクトスタンダードに
VI. 要目最適化プログラム HOPELight	約20社で導入	バージョンアップ

謝 辞

◆波浪中抵抗低減デバイスSTEPの研究開発：

国土交通省からの高効率船舶等技術研究開発費補助金、ポートルース交付金による日本財団の助成金、及び一般財団法人日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームによる研究支援並びに一般財団法人日本造船技術センターの共同研究事業による支援を内海造船株式会社が受け、海上技術安全研究所と共同で実施しました。また、実船計測による検証は、海上技術安全研究所、日産専用船株式会社、内海造船株式会社の共同研究として実施されました。

◆CFDソフトウェア： *HullDES*及び*AutoDES*はACTと共同で開発されました。

◆実運航性能シミュレータ*VESTA*の精度検証：

日本郵船株式会社及び株式会社MTIとの共同研究として行われました。

以上、関係各位に深く感謝致します。

ご清聴ありがとうございました。

NMRIは安全安心な社会の
実現へ貢献いたします。