

内航海運のための省エネルギー船型群 の開発

海技研 流体設計系

久米 健一*、一ノ瀬康雄、
田原 裕介、川北 千春、
金子 杏実

海技研 研究統括監 谷澤 克治
横浜国立大学 日野 孝則

省エネ船型群開発の背景

■ パリ協定の採択を受けた内航海運からのCO₂削減目標

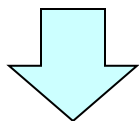
□ 2030年度にCO₂ **157万トン削減** (2013年度比)

■ 船型の**省エネ化**と**普及**促進

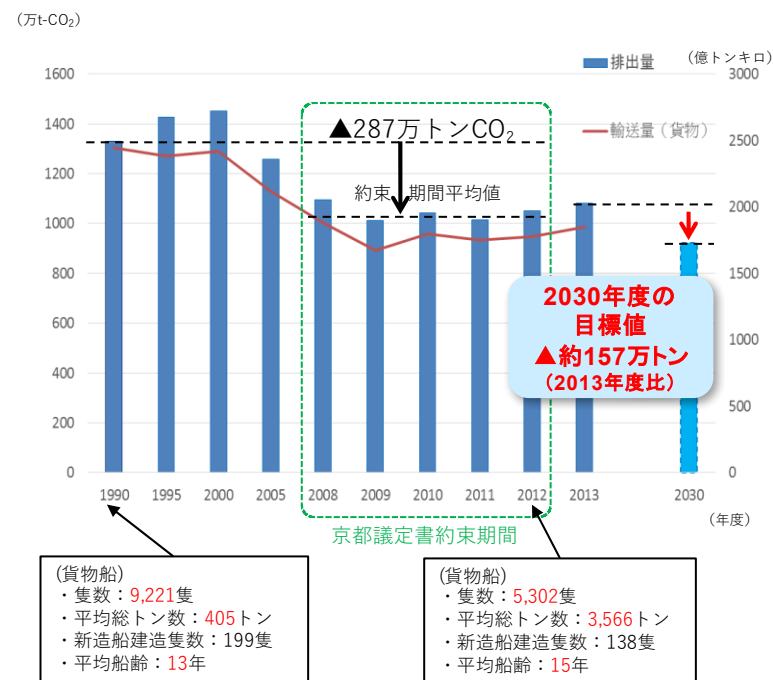
■ 省エネ標準船型の開発、普及のために日本船舶海洋工学会、内航船建造造船所3社が共同研究体を形成

□ 経済産業省の補助事業に応募

- 749GT一般貨物船
- 499GTケミカルタンカー



□ 海技研が省エネ船型群開発を請け負う



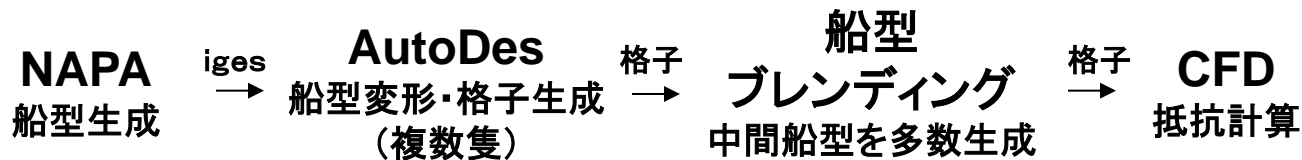
開発目標

■ 一定の省エネ性能を有する内航船型を開発する

- 1990年代の類似船型の平均燃費に対し16%以上の省エネ性能を有する船型（海技研）
- 船主、オペレータ等の要求を踏まえた現実的な仕様を有する船型（学会）
- 制約条件の評価及び基本設計を行い、内航船として成立すること、実船建造が可能であることを確認（造船所）
- 幅広い船主要求に応えるため、同等の省エネ率を維持しつつ主要目の異なる船型群（バリエーション船型）を生成（海技研）

実施内容

- CAD、船型ブレンディング手法およびCFDを援用し抵抗・推進性能を考慮した船型最適化を実施

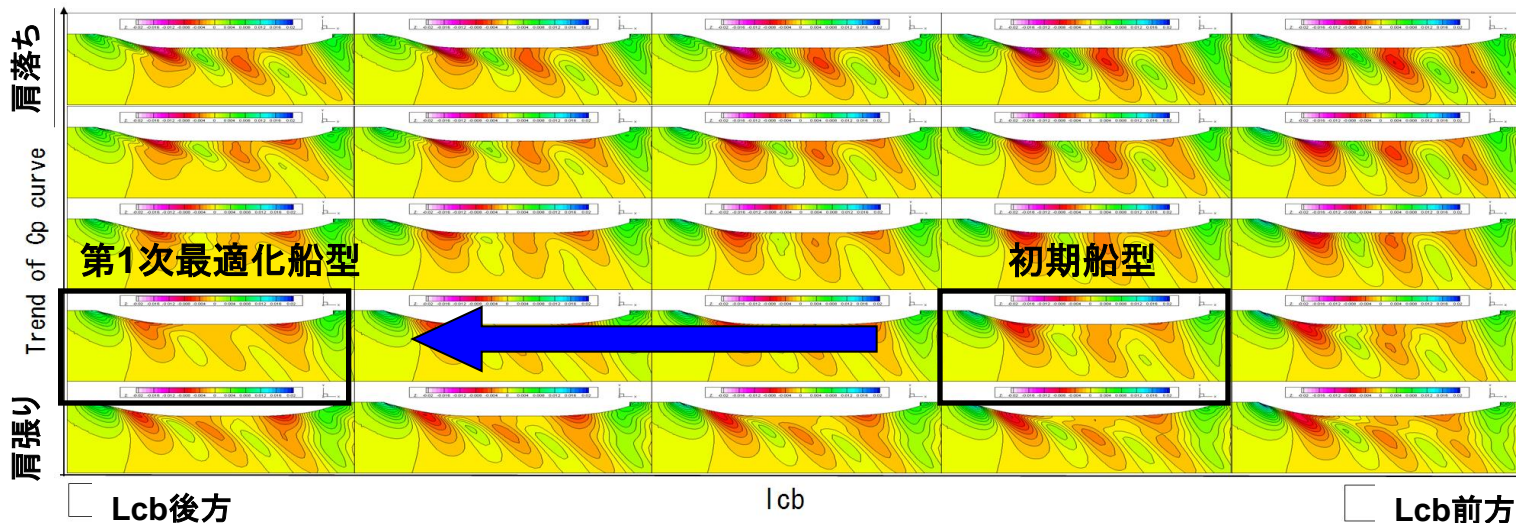
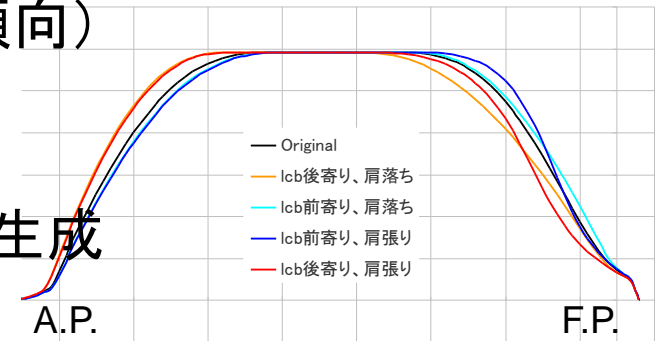


- プロペラ形状最適化
- 海技研の400m試験水槽における抵抗・自航試験によって性能確認を実施
 - 満載状態
 - 初期トリムの影響
 - 省エネ付加物の効果
 - トライアル状態

船型最適化

(749GT一般貨物船型)

- 初期船型の生成(NAPA)
- 船体前半部Cp曲線の最適化
 - 2変数（浮心位置と肩張り・肩落ちの傾向）
 - ブレンディングに必要な4船型の生成 (AutoDes)
 - ブレンディングにより25 (5×5) 船型を生成
 - CFD計算による波紋図評価



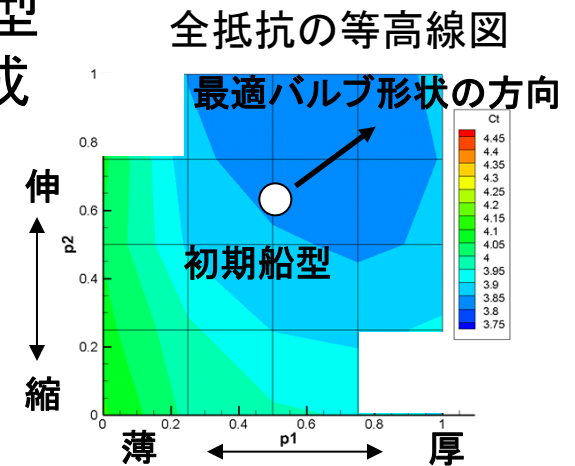
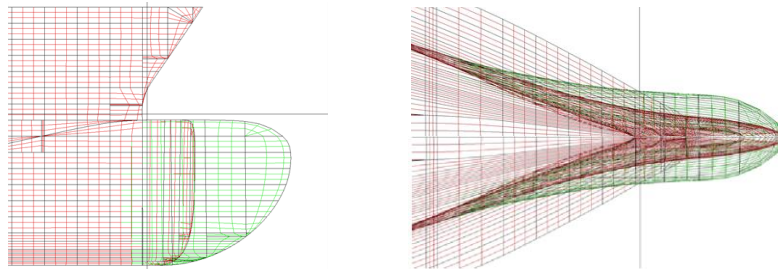
波高分布が最も優れた船型を第1次最適化船型として採用

船型最適化

(749GT一般貨物船型)

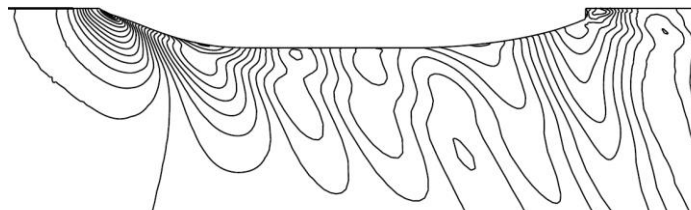
■ 船首バルブの最適化

- 2変数(バルブ長さ&幅)
- ブレンディングに必要な船型の生成 4船型
- ブレンディングにより25(5×5)船型を生成
- CFD計算による全抵抗評価

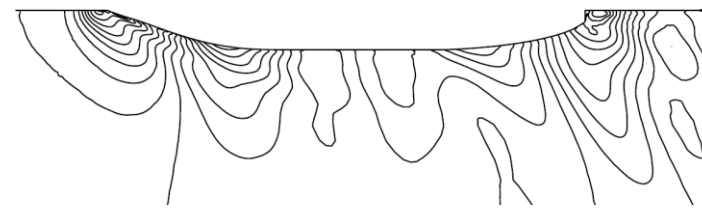


まず初期船型を用いて、**全抵抗が最小**となるバルブの長さ&幅の「**変形方向**」を探索。

次に、第1次最適化船型のバルブ形状を「**変形方向**」に変形し、全抵抗が最小となる最適形状を決定し、これを**第2次最適化船型**として採用した



初期船型
Ctm=3.91e-3



第2次最適化船型
Ctm=3.75e-3

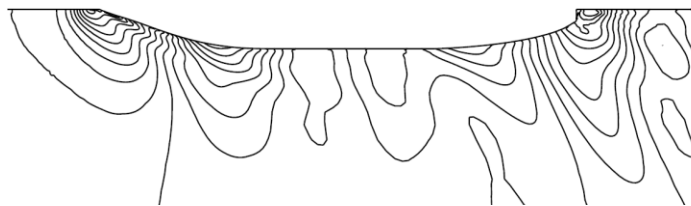
船型最適化

(749GT一般貨物船型)

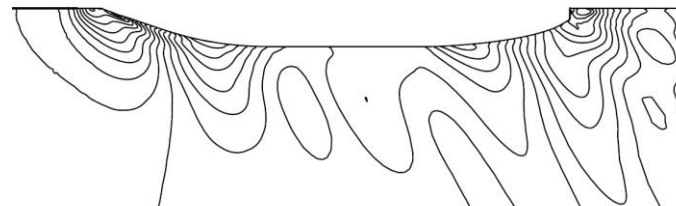
■ 船体前半部Cp曲線の最適化

- 船側波形が小さくなるように、Cp曲線の傾き(Cp')分布を見ながら局所的に修正。
- Cp曲線変更とCFD計算(抵抗計算)の繰り返しによる船型最適化(手動)
 - ブレンディング手法も利用

全抵抗が最小となる船型を第3次最適化船型として採用



第2次最適化船型
 $C_{tm}=3.75e-3$



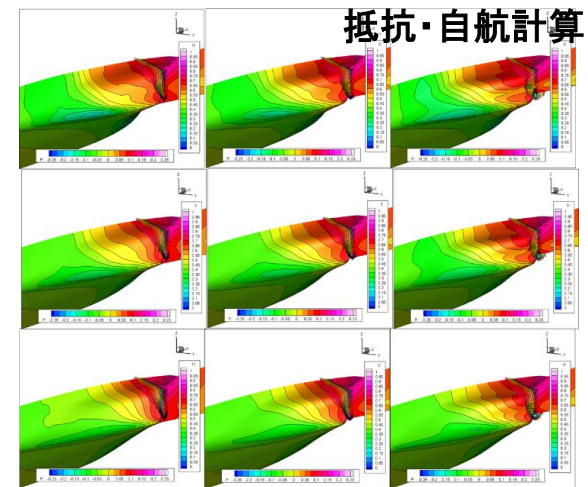
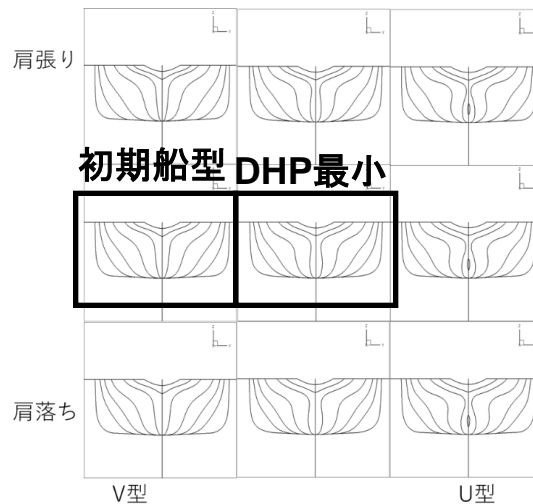
第3次最適化船型
 $C_{tm}=3.69e-3$
初期船型に対し5.6%全抵抗低減

船型最適化

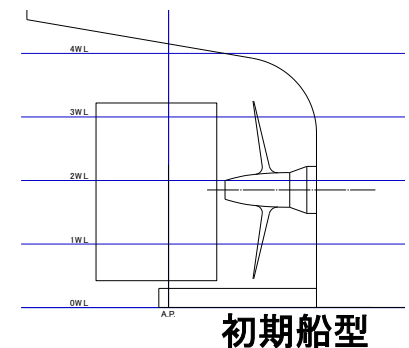
(749GT一般貨物船型)

■ 船尾形状の最適化

- 2変数(船尾Cp曲線の肩の傾向とフレームラインのUV度)最適化



- 船尾Cp曲線の手動変更とCFD計算の繰り返し
 - Cp'分布の利用とブレンディング手法も併用
 - Lppを1.0m延長(オーバーハング部を短縮し、平行部を挿入。78m→79m)

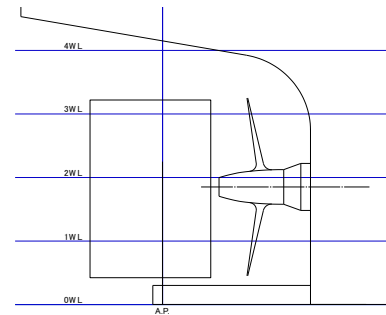


伝達馬力が最小となる船型を **最適船型** として採用

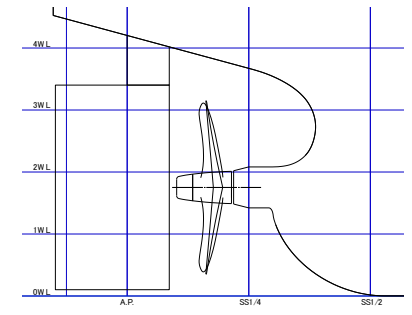
その他船型変更項目

- マリナー型舵の採用
- シューピースの廃止
- プロペラ大直径化
 - 2.6m→2.8m
 - チップクリアランスは同等を維持
- スターンバルブ形状の採用

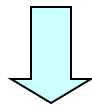
(749GT一般貨物船型)



初期船型

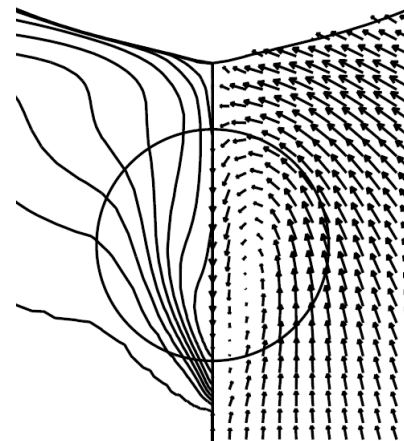


最適船型

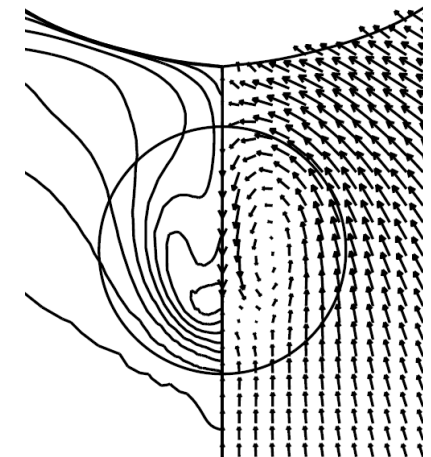


これらの変更により
推進効率向上を実現

公称伴流分布



初期船型
(V型フレームライン)
 $C_{tm}=3.60e-3$

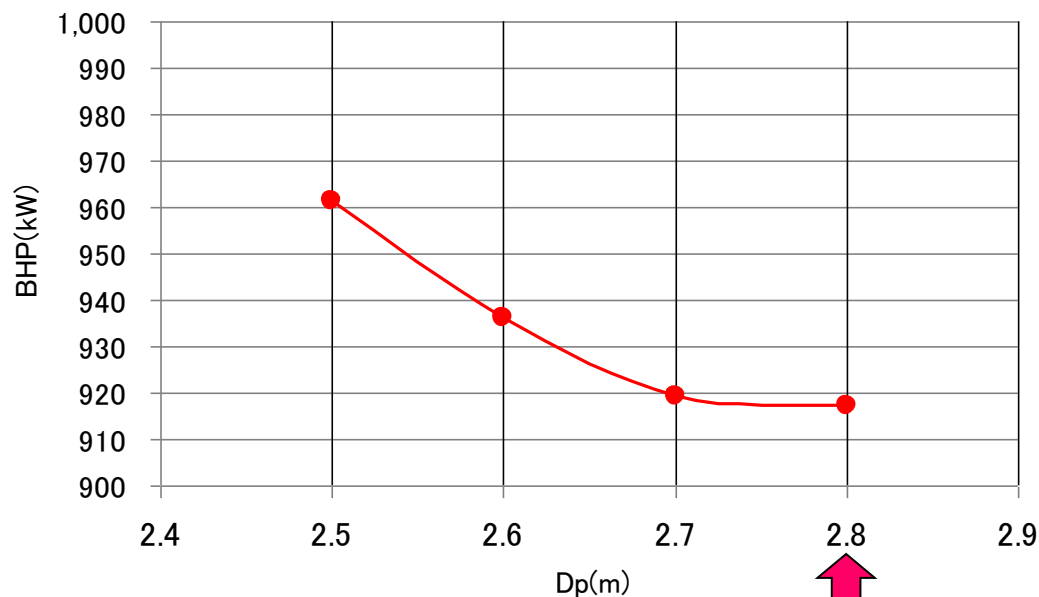


最適船型
(U型フレームライン)
 $C_{tm}=3.48e-3$

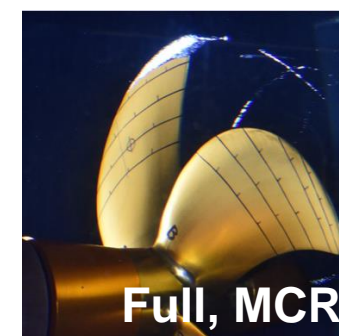
プロペラ形状最適化

(749GT一般貨物船型)

- 最適プロペラ直径の探索
 - 設計チャートを用いて最適直径を探索
- CFD計算結果を設計条件として用い、ピッチ分布とキャンバ一分布を理論設計(揚力線及び揚力面修正計算)



馬力最小となる $D_p=2.8\text{m}$ を採用

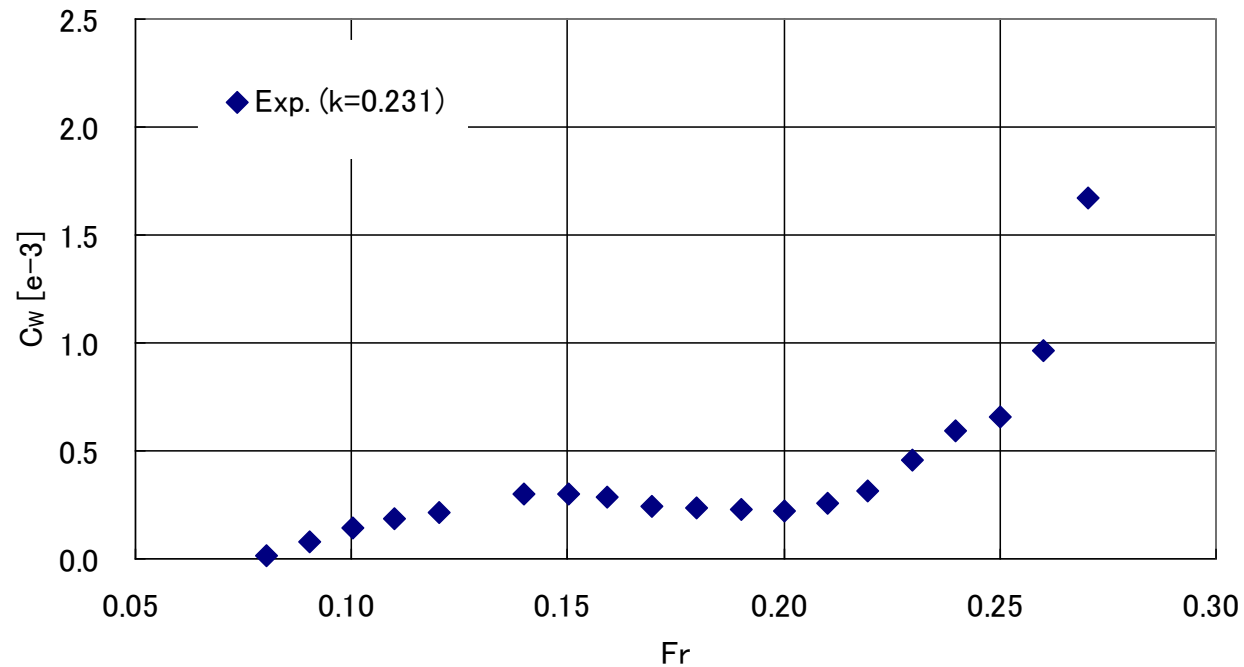


水槽試験結果

■ 抵抗試験

□ 造波抵抗曲線

■ 満載状態(トリムゼロ)



計画速力 ($Fr=0.22$) 付近で C_w 曲線が hollow 傾向になっており、造波抵抗を最小化する最適化が適切に行われたことを示している。

要素ごとの性能改善量

(749GT一般貨物船型)

- 最適船型の水槽試験結果を初期船型の数値に置き換えた場合のDHP変化を改善率とした

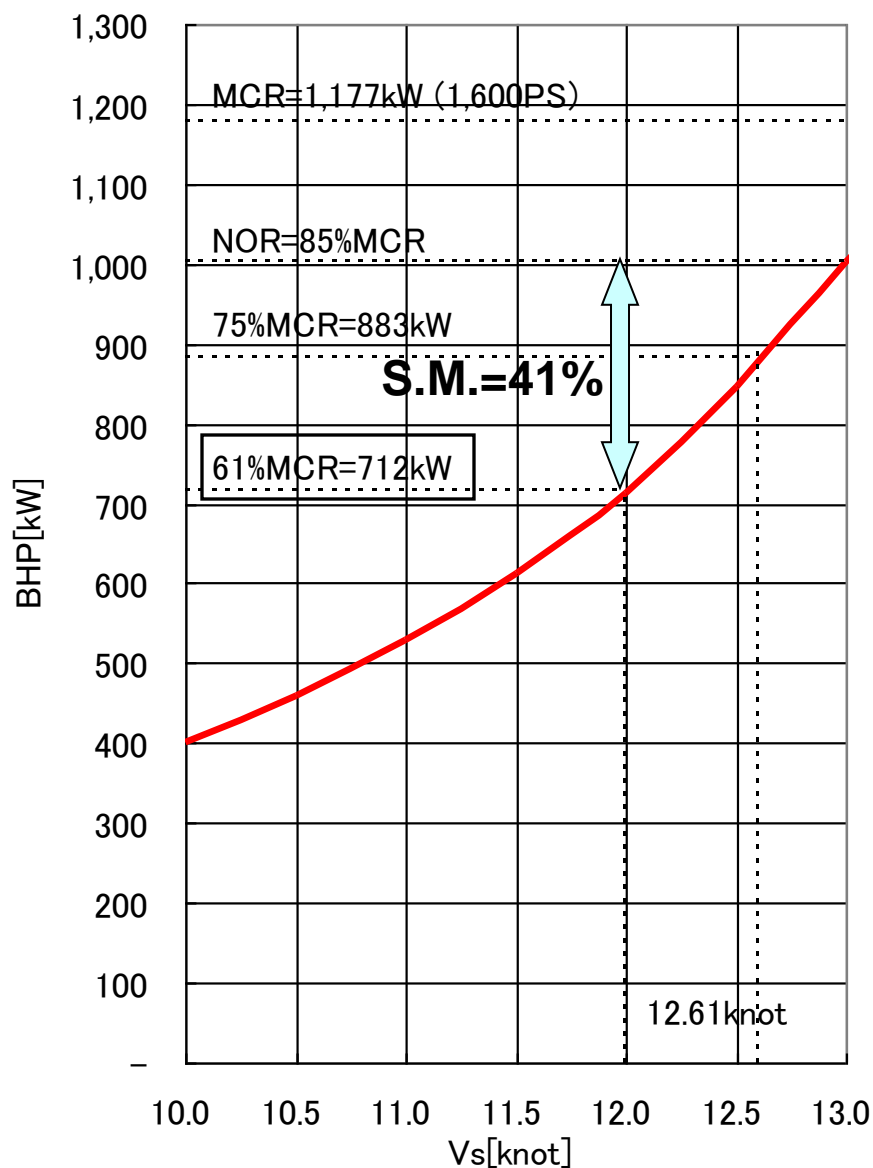
	初期船型	最適船型	改善率 [%]
k	0.260	0.231	2.1
C_W	0.368	0.325	1.8
1-t	0.775	0.825	7.7
1-WS	0.611	0.637	-2.5
η_H	1.268	1.295	2.1
η_R	1.010	1.007	-0.3
η_O	0.533	0.551	3.3

馬力計算結果

(749GT一般貨物船型)

■ 船速-馬力曲線

- MCRは類似船で一般的な2,000PSに対し、本船は1,600PS
- S.M.=41%
- 12.0ktには61%MCRで到達
- 省エネ率計算に用いる75%MCRでの船速は12.61knot



省エネ率の評価

(749GT一般貨物船型)

$$Emission_{CO_2}[gCO_2/(t \cdot mile)] = \frac{3.1144 \cdot FOC_{ME} + 3.2060 \cdot FOC_{AE}}{V_s[knot] \cdot DWT[t]}$$

MCR	kW(PS)	1,177 (1,600)
FOCR _{ME}	g/kWh	202.9
FOC _{ME}	g/h	178,960
FOC _{AE}	g/h	19,089
Vs(75%MCR)	knot	12.61
DWT	t	2,420
Emission _{CO2}	gCO ₂ /(t*mile)	20.27
省エネ率	%	38.1

75%MCR
主機MCRの8%

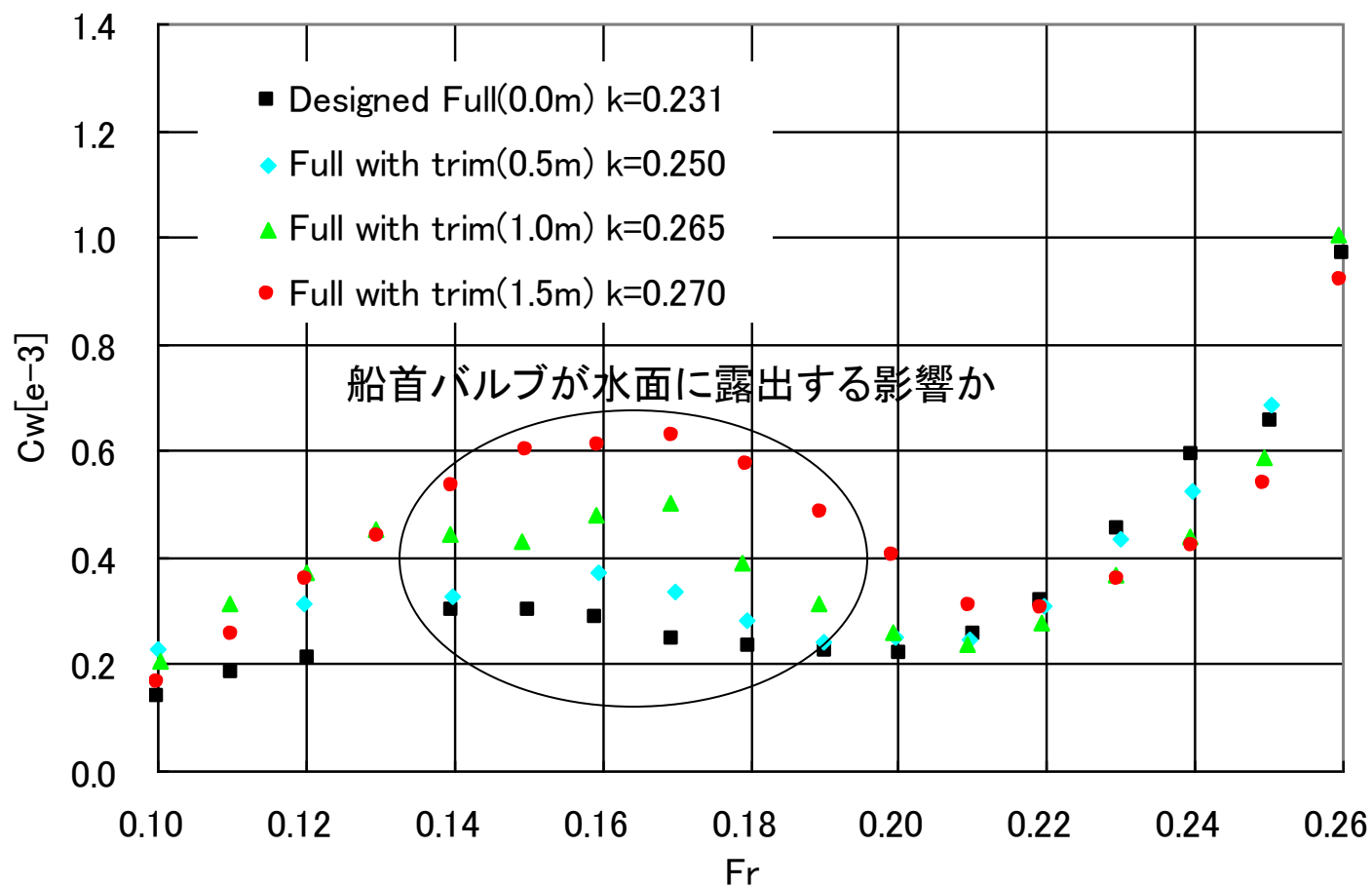
1990年代平均
32.73

1990年代の類似船型の平均値に対し38.1%の省エネを達成

初期トリムの影響

(749GT一般貨物船型)

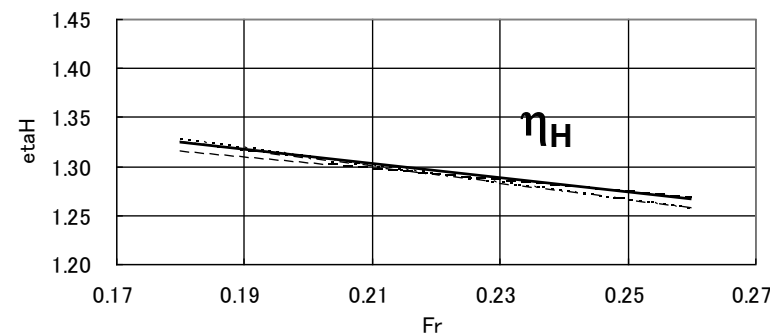
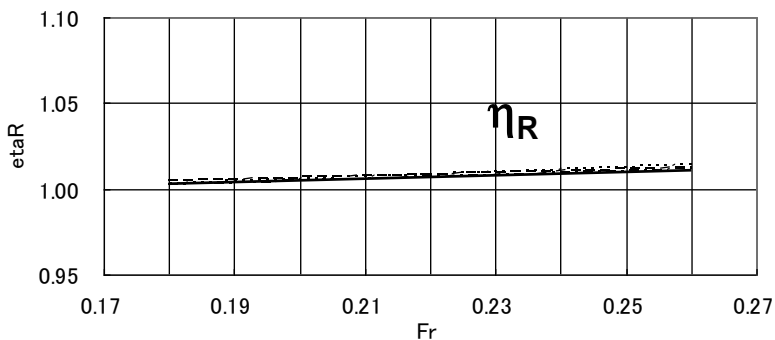
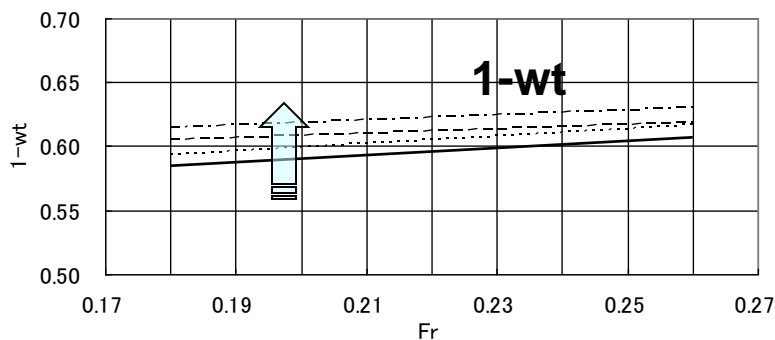
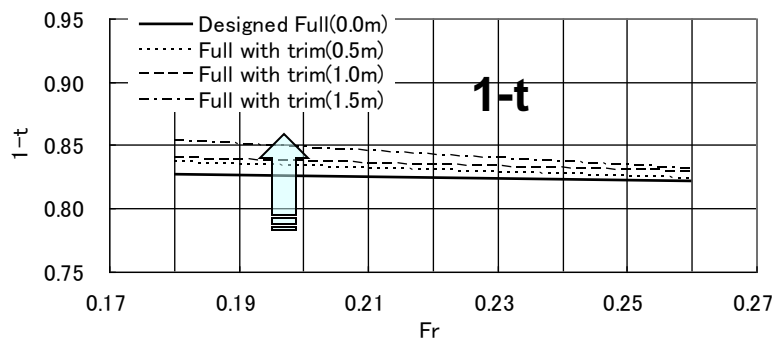
■ 造波抵抗係数



初期トリムの影響

(749GT一般貨物船型)

■ 自航要素

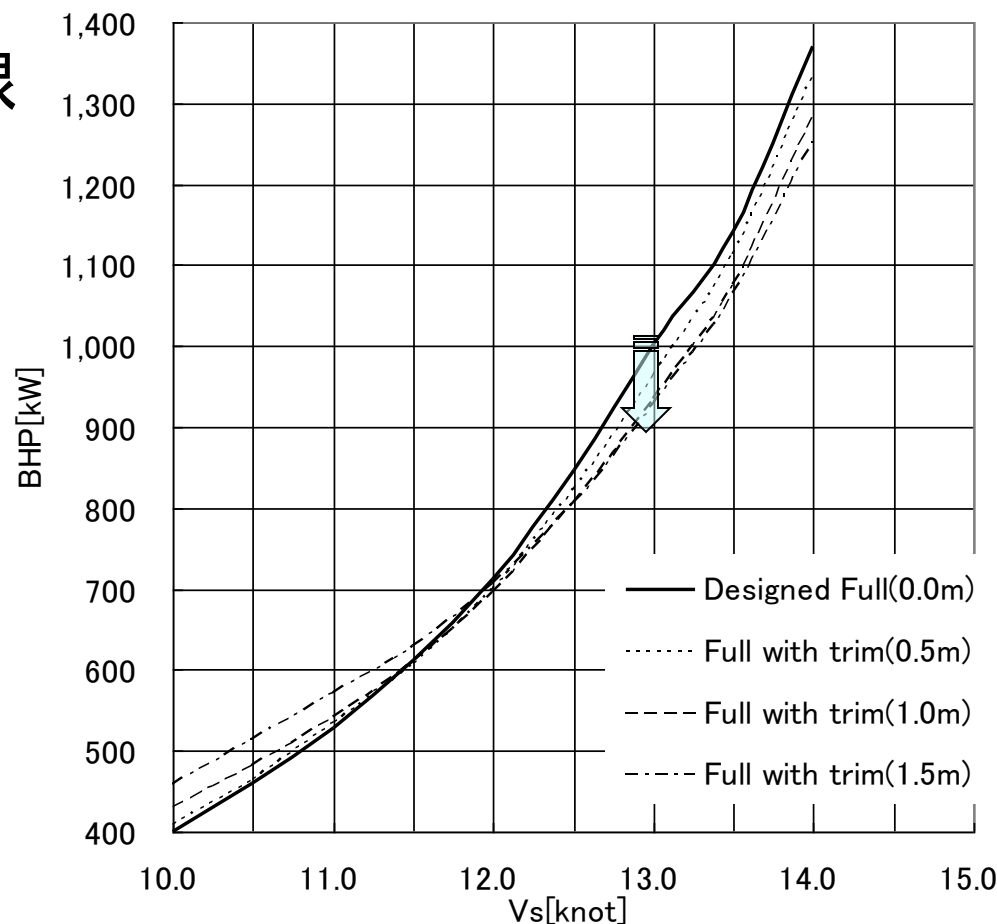


船殻効率では
初期トリムの影響は小さかった

初期トリムの影響

(749GT一般貨物船型)

- 船速-馬力曲線
- 満載状態



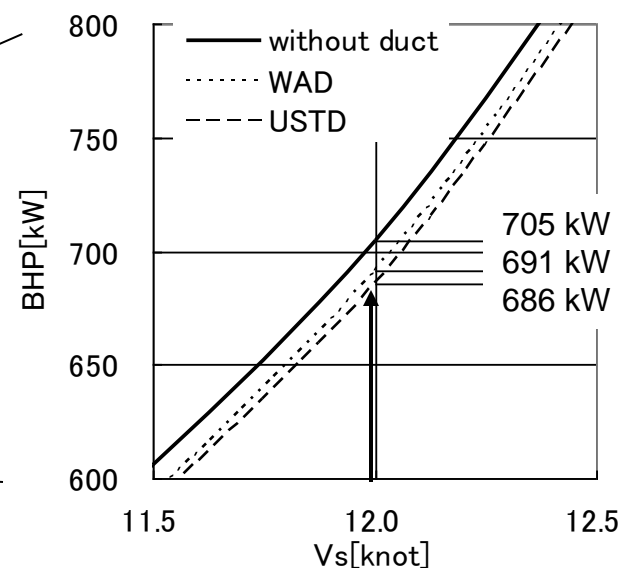
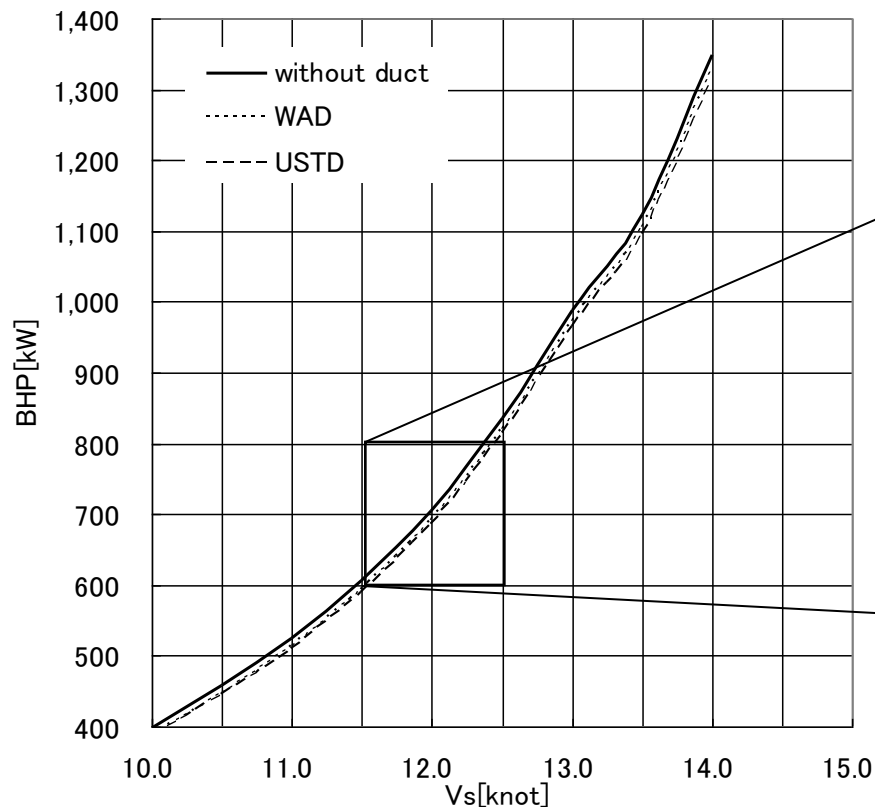
約11.8[knot]を超える領域においては船尾トリムをつけた方がBHPは減少することが確認された。

計画速力12.0[knot]においては0.5~1.5[m]の初期トリムでいずれも初期トリムゼロの状態に対し1~2[%]の馬力低減が認められた。

船尾ダクトの省エネ効果

(749GT一般貨物船型)

■ 船速-馬力曲線



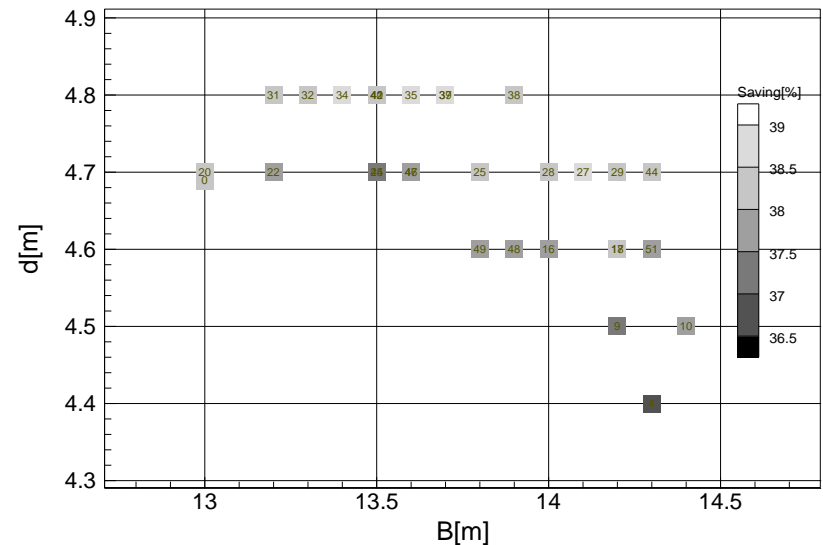
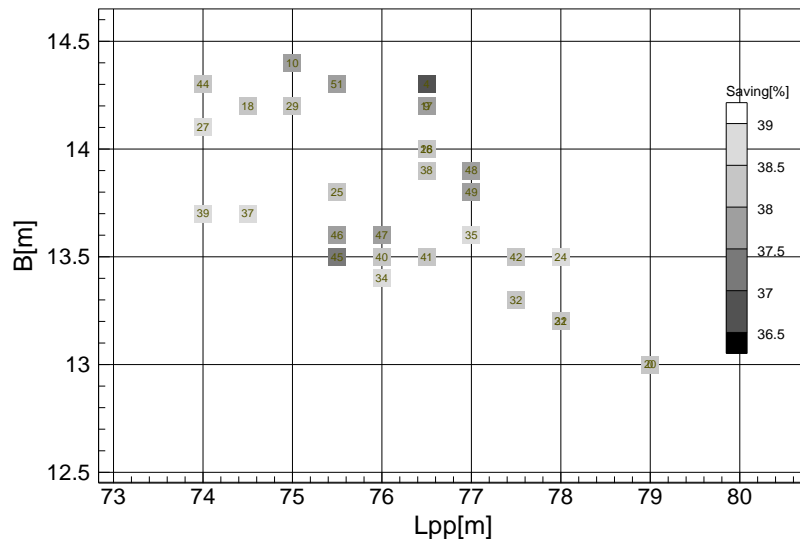
省エネデバイス	w/o duct	WAD	USTD
BHP [kW]	704.5	691.3	685.8
12ktでの省エネ率 [%]		1.9	2.7

船型バリエーション

(749GT一般貨物船型)

- 51船型のバリエーションの中から、載貨重量と総トン数の制約をクリアする**30船型**を抽出
 - いずれも省エネ率は目標値の16%を上回る

主要目と省エネ率の関係



ベースとなる8つの基準船型を用いれば
内挿的ブレンディングにより無数に生成可能

詳細はポスターセッション
「内航海運の省エネルギー船型
バリエーションの開発」
をご覧ください。

まとめ

- CADおよび船型ブレンディング手法、CFDを援用して、抵抗・推進性能を考慮した船型の最適化を実施した
- 省エネ率 38.1% (749GT一般貨物船)
19.4% (499GTケミカルタンカー)を達成
- 船主等の要求を踏まえた仕様を有していることを確認した (学会による市場調査)
- 内航船としての制約条件をクリアしていることを確認した (造船所による検討)
- 普及に向けた努力を継続する予定

本研究は経済産業省の補助事業「平成28年度輸送機器の実使用時燃費改善事業費補助金(海上輸送機器の実使用時燃費改善事業)」を受けて、日本船舶海洋工学会、三浦造船所、興亜産業、本瓦造船が研究コンソーシアムを組んで実施した研究「内航海運のための省エネルギー船型群の研究開発」の一環として実施したものです。

研究の実施にあたり、お世話になりました関係者各位に深く感謝の意を表します。