

製品開発を支える技術の紹介

株式会社名村造船所

既設省エネ装置と船尾ダクトとの 流体力学的干渉影響に関する研究

山中 象太*

Shota Yamanaka



久米 健一**

Kenichi Kume



第 62 回海洋環境保護委員会 (MEPC62) において、船舶による温室効果ガスの排出削減に向けて CO₂ の排出量削減を義務付ける MARPOL 条約附属書 VI の改正案が採択され、2013 年 1 月 1 日に発効した。新造船に関して同附属書では「エネルギー効率設計指標 (EEDI)」の算出を義務付けるとともに、段階的に強化される EEDI 規制値を満足することを義務付けている。現在バルクキャリアやタンカーは 1999～2008 年の就航船の EEDI 平均線 (リファレンスライン) に対し 10% の削減率を義務付けられている Phase 1 期間に入っており、2020 年には 20% 削減が義務付けられる Phase 2 期間への移行が予定されている。EEDI は燃費性能が良いほど減少するため、近年求められる燃費性能は非常に高くなってきている。そのため、弊社開発の複合型省エネ付加物「NCF (Namura flow Control Fin) & Rudder-Fin」¹⁾に加え、さらなる省エネ効果が必要となってきた。ただ、新たな省エネ装置を追設する場合、既存の省エネ装置との流体力学的な干渉により想定した効果が発揮できないケースが報告されており、干渉を事前に把握するための性能推定技術の向上が望まれている。

今回、追設する省エネ付加物として海上技術安全研究所が特許を取得している船尾ダクト型省エネ装置「WAD (Weather Adapted Duct)」²⁾を選択するとともに、CFD および曳航水槽試験を利用して「NCF & Rudder-Fin」との干渉影響を明らかにした。これにより、WAD をベースとする NCF および Rudder-Fin との干渉の少ないダクト形状の考案に至り、更なる省エネ効果を得ることができた。

1. 緒言

複数の付加物は互いに流体力学的に干渉するため、その省エネ率は個々の付加物の省エネ率の線形和にはならないことが知られている。例えば、装置 A と装置 B を装備した場合、省エネ率の足し算にならないだけでなく、船型毎に干渉影響による効果の目減り分が異なることもある。また、それぞれ性能が最良である省エネ付加物同士を同時に装備しても必ずしも全体の性能が最良となるわけではないことが分かっており、複数の付加物の省エネ効果を最適化するにはやはり同時に装備した状態で性能推定を行わなければならない。

特に NCF の後流側は複雑な流れになっており、互いの干

渉の具合も大きいと予測され、それを想定して設計することは容易ではない。そのため、今回は日本海事協会と海上技術安全研究所と弊社の共同研究として、既に NCF & Rudder-Fin が最適な位置に装備されている状態から CFD と曳航水槽を用いて WAD の形状及び配置の最適化を目指し、以下 2 点を目標とし研究開発を行うこととした。また、NCF & Rudder-Fin を写真 1 に示す。

船尾ダクト型省エネ装置の追加による目標効果

- | | |
|---------------------------|------------------|
| (1) 省エネルギー効果 | (2. 0% 以上) |
| (2) CO ₂ 排出削減量 | (5. 0ton/day 以上) |

原稿受理日：July 21, 2017

*株式会社名村造船所 船舶海洋事業部 設計本部 基本設計部 企画開発課

**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

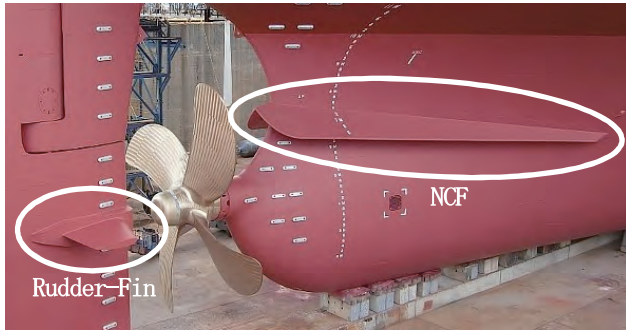


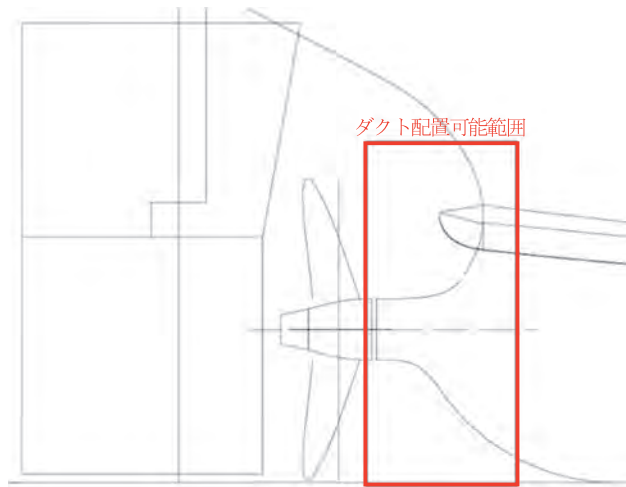
写真1 NCF & Rudder-Fin

2. WAD の設計

2. 1 実用的な船尾配置の検討

既設のNCF およびプロペラとのクリアランス、船体への固定方法を考慮した結果、ダクト配置可能範囲はプロペラより前方でNCF 後部付近までの第1図の範囲となった。

この範囲に設置できるWAD を17パターン用意し、CFDにて比較検討を行う。尚、ここでは検討した全てのダクトを便宜的にWADと呼んでいるが、流体力学的な干渉を評価するために様々な形状、配置のダクトを生成したためWADの定義から外れるものも含まれている。



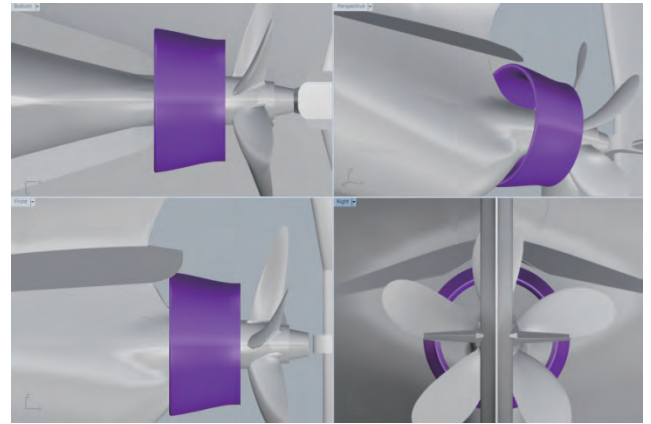
第1図 ダクト設置可能範囲

2. 2 既設省エネ装置を有する船体に適したWAD 設計

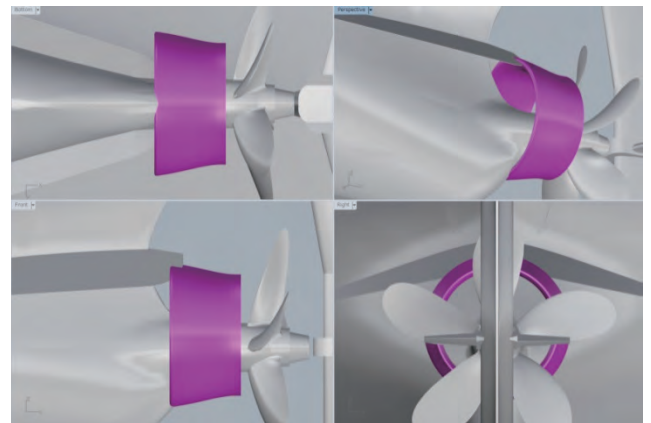
ダクトの省エネ効果は主に2つあり、1つが断面形状を翼型にすることで揚力を発生させ、その前進方向成分が推力となる。もう1つが、プロペラに流入する流れを整流することによる推進効率の向上である。これらの効果が最大になる様にダクト配置可能範囲内で設計した17種のWADの中で、曳航水槽試験を実施した7種のWADの形状を第2図から第8図までに示す。

尚、ストラット等の補強や支持部材は各々のダクト形状で最適な配置が異なり性能への影響も不透明なため、一律性能への影響はないと仮定して省略した。

(1) 全周同一形状のダクト(WAD01, WAD02)

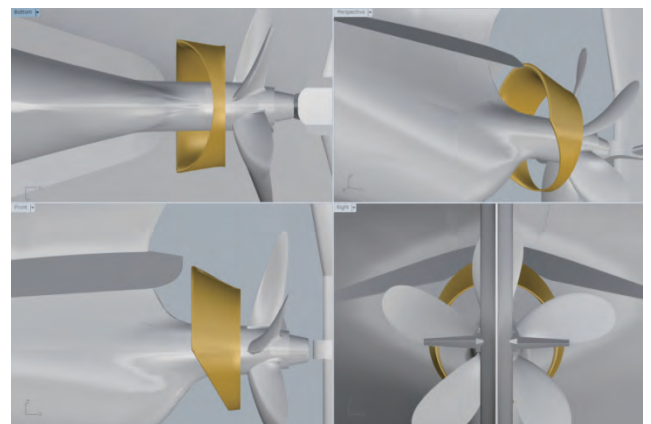


第2図 WAD01 形状



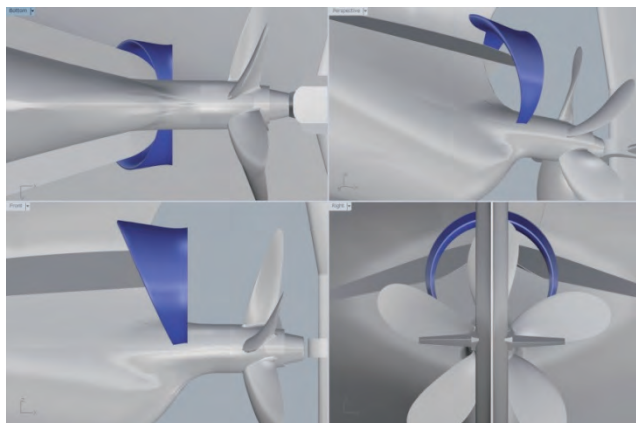
第3図 WAD02 形状

(2) 変則型のダクト(WAD05)

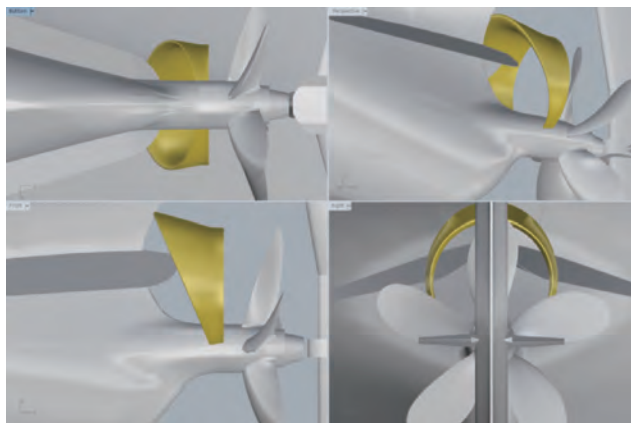


第4図 WAD05 形状

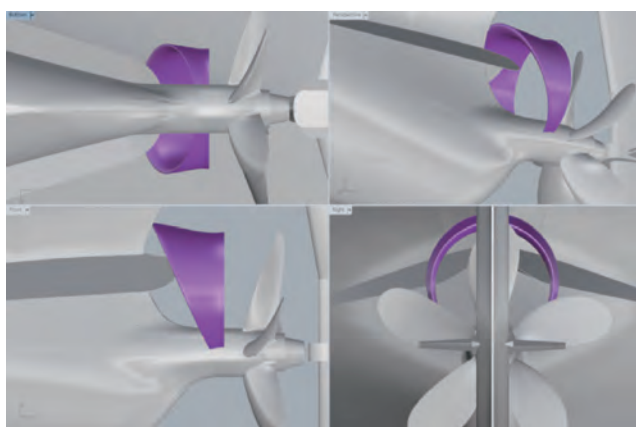
(3) 上下テーパ型ダクト (WAD10, WAD12, WAD13, WAD17)



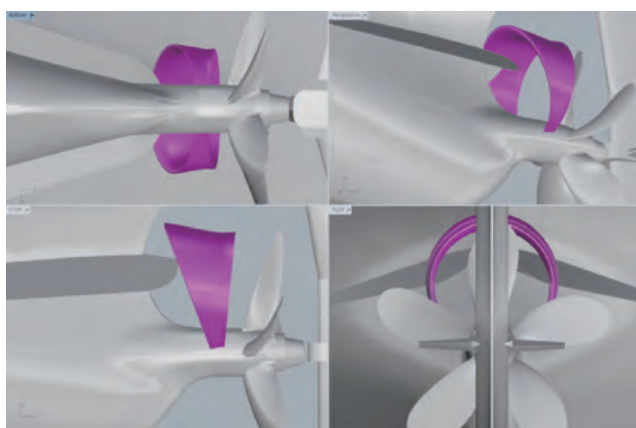
第5図 WAD10 形状



第8図 WAD17 形状



第6図 WAD12 形状



第7図 WAD13 形状

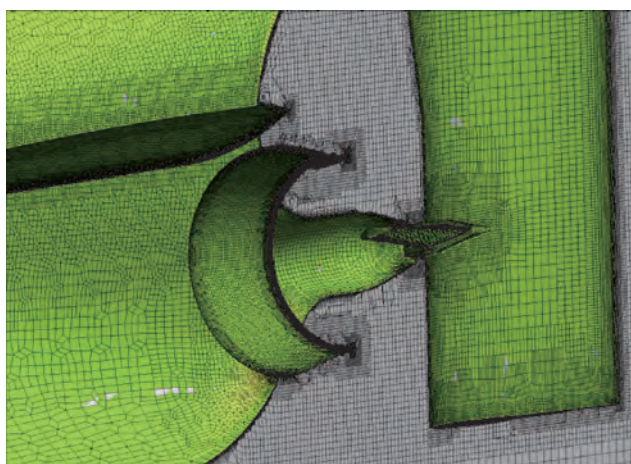
2. 3 船体周りのCFD 計算条件

CFD 計算は第1表の条件にて実施した。

第1表 CFD 計算条件

ソルバー	海上技術安全研究所 SURF ver. 6.44
格子生成ソフト	HEXPRESS™ ver. 2.12
計算領域	$-1 < x/Lpp < 3, -2 < y/Lpp < 2, -2 < z/Lpp < 0$ (FP: $x=0$, AP: $x=1$)
自由表面	なし(二重模型流れ)
姿勢	固定 (trim=0)
乱流モデル	MSA (cvor=20)
プロペラ	無限翼数理論に基づく体積力モデル
モデルの省略	ビルジキール, ダクト補強/支持材

格子生成ソフトを用いて非構造六面体格子にて生成した計算格子について、例として WAD01 周りの計算格子を第9図に示す。

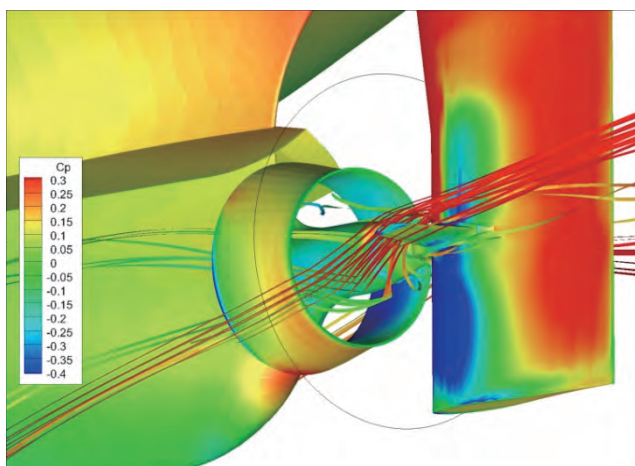


第9図 計算格子例

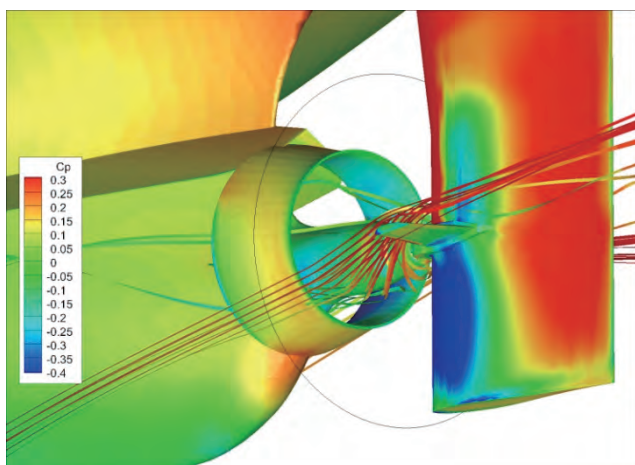
2. 4 船体周りのCFD 計算結果

各ダクトの計算結果である船体表面圧力分布と流線を第10図から第16図に示す。船体表面圧力分布について、赤は正圧を表し、青は負圧を表す。ダクトの内側前方が青ければ発生させている推力が強いことを示し、ダクト内側前方が赤ければそのダクト抵抗が高いことを示す。

(1) 全周同一形状のダクト(WAD01, WAD02)

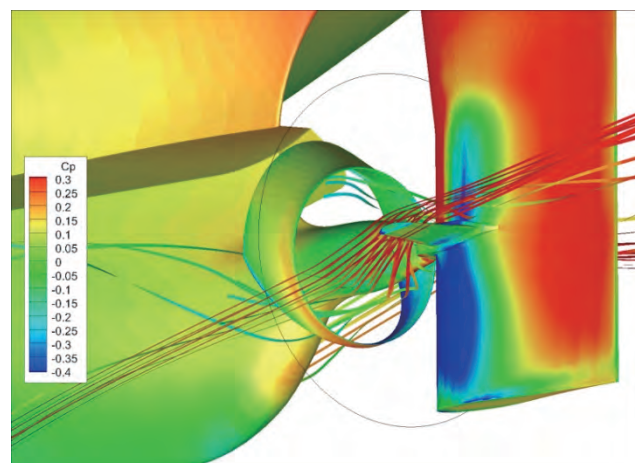


第10図 WAD01 の圧力分布と流線



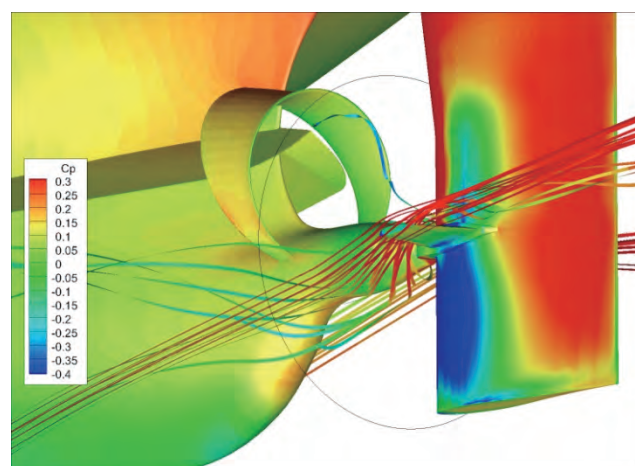
第11図 WAD02 の圧力分布と流線

(2) 変則型のダクト(WAD05)

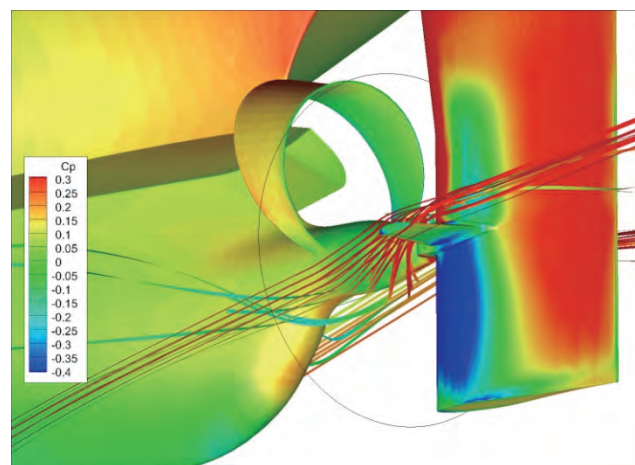


第12図 WAD05 の圧力分布と流線

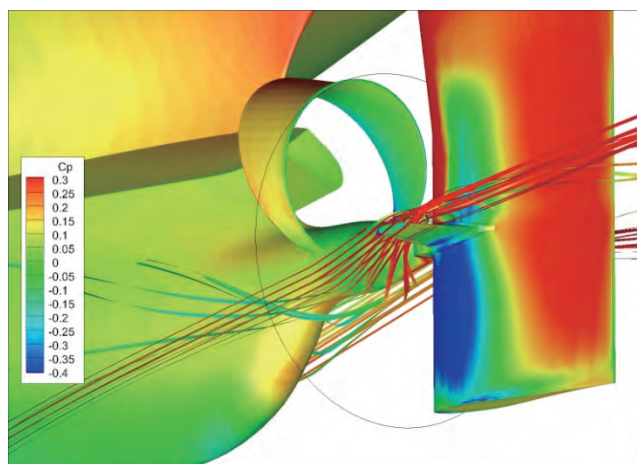
(3) 上下テーパ型のダクト(WAD10, WAD12, WAD13, WAD17)



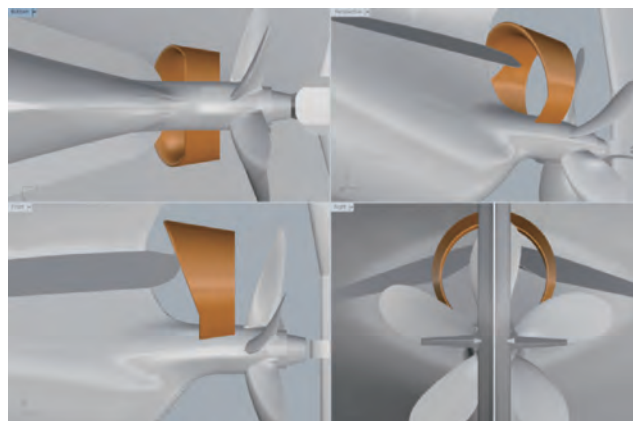
第13図 WAD10 の圧力分布と流線



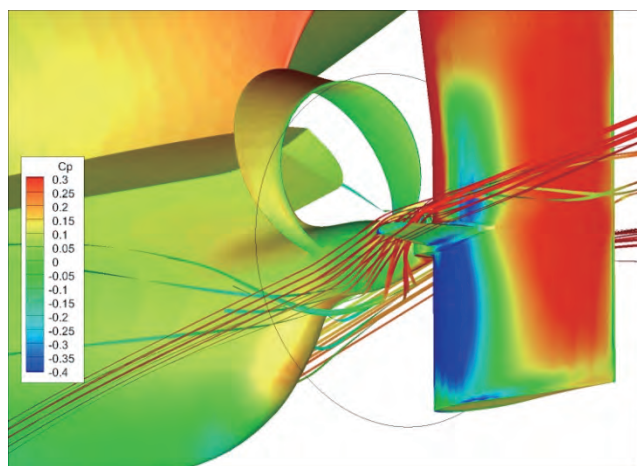
第14図 WAD12 の圧力分布と流線



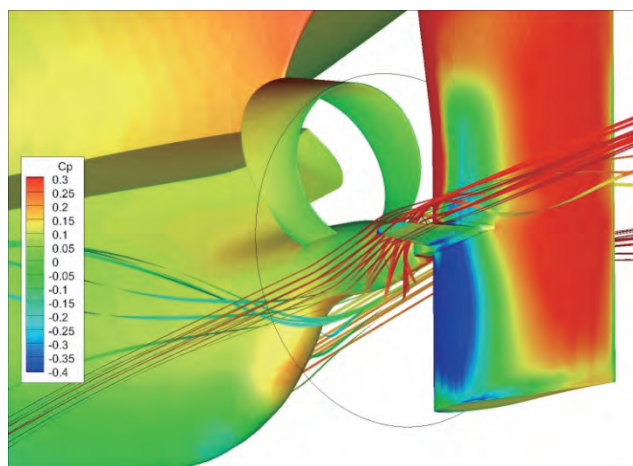
第15図 WAD13の圧力分布と流線



第17図 HITAD02形状



第16図 WAD17の圧力分布と流線



第18図 HITAD02の圧力分布と流線

2. 5 HITAD

CFDの結果から最も性能が良かったのは上下テーパ型
のダクト(WAD10, WAD12, WAD13, WAD17)であった。本形状
がNCFの後流であっても、互いの干渉を最小限に抑え省エ
ネ効果が出せるダクトということとなった。

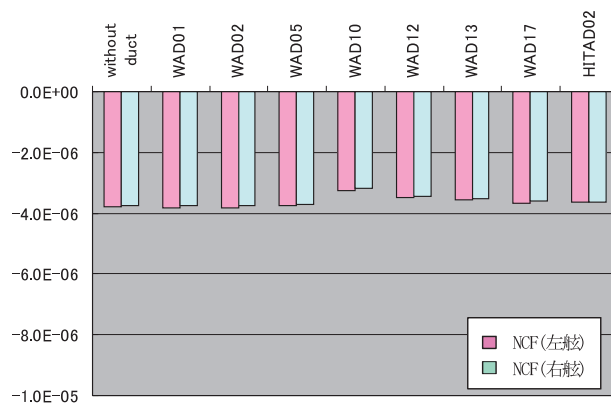
今回新たに開発した船尾フィンの後流でも干渉の少ない
新型のダクトは、その形状にちなみHITAD(HIgh positioned
TApered Duct behind fin)と呼称することとした。尚、開
発に当たっては船体との接合部の強度不足が予測されるこ
とと、ダクト断面形状が複雑であったため、簡素化を行い
実船への搭載も考慮した形状とした。

上下テーパ型 of the ducts among them was particularly excellent. WAD13 was used as a base to design a straightened version, HITAD02. The shape of HITAD02 is shown in Figure 17, and the pressure distribution and streamlines are shown in Figure 18.

2. 6 CFD 計算結果の流体力成分の分離

各ダクト及びダクトを装備していない状態でのNCFやダ
クトに掛かる船長方向の流体力(抵抗/推力)の比較を行っ
た。流体力は、 $\frac{1}{2}\rho U^2 L_{PP}^2$ で無次元化を行っている。

自航時のNCFに働く船長方向の流体力(船長方向成分)
を第19図に示す。

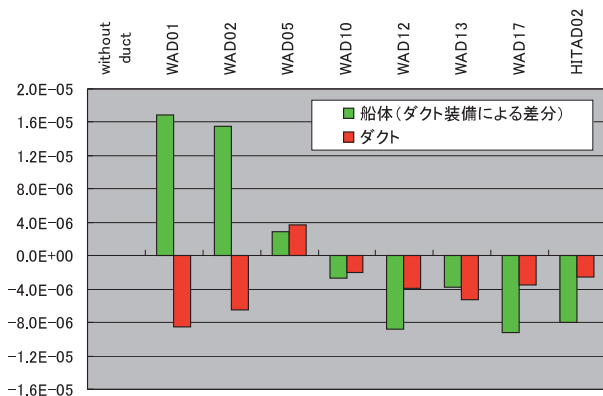


第19図 NCFに働く流体力(船長方向成分)

船尾ダクトより上流側に位置する NCF は値の変化が小さくダクトからの流体力学的な影響を受けないことが分かる。

次に自航時の船体、ダクトに働く流体力(船長方向成分)を第 20 図に示す。尚、船体はダクト無し状態からの差分である。また縦軸の符号は、マイナス側が推力で、プラス側が抵抗となる。

WAD01, WAD02 はダクトの推力が大きいが船体抵抗の増加がそれ以上に大きい。省エネ効果の点では両者が同時に減少する状態が好ましいが、上下テーパ型(WAD10～WAD17, HITAD02)においてその好ましい傾向が見られた。



第 20 図 船体、ダクトに働く流体力 (船長方向成分)

3. 曳航水槽試験

省エネ装置付き CFD 計算の検証及び省エネ効果の確認のために海上技術安全研究所 400m 試験水槽(大水槽)で水槽試験を 2 回実施した。

1 回目は、裸殻の抵抗試験、7 種類のダクトを用いた自航試験、裸殻および 1 種類のダクトを用いた伴流計測試験を実施した。2 回目は、1 回目の水槽試験結果も踏まえ CFD を用いて改良された船尾ダクト 1 種類を用いた抵抗・自航試験、EEDI 予備認証試験を実施した。

3. 1 曳航水槽概要

曳航水槽試験は海上技術安全研究所の大水槽にて実施した。主要な要目は第 2 表のとおり。

第 2 表 海上技術安全研究所の大水槽概要

水槽長さ	400m
水槽幅	18m
水深	8m
曳航台車 最高速度	15m/s

3. 2 試験用模型

試験に用いる模型は、一般財団法人 日本造船技術センターが製作した全長約 6.3m のパラウット船(木とパラフィンの複合材料)である。また、ダクト型省エネ装置については海上技術安全研究所が 3D プリンタにて製作を行った。模型写真を写真 2 に、ダクトの模型写真を写真 3 に示す。尚、補強のためにダクト上部と船体を繋いでいる。



写真 2 試験中の模型船

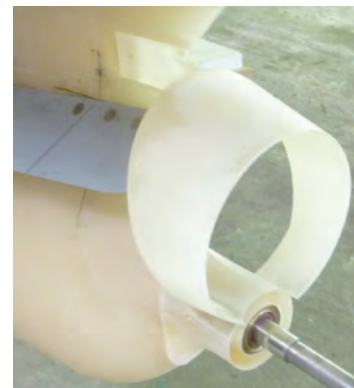


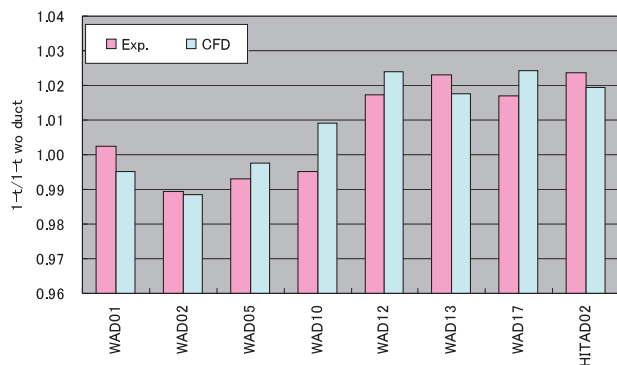
写真 3 ダクト型省エネ装置の模型

3. 3 曳航水槽試験結果と CFD 計算結果の比較

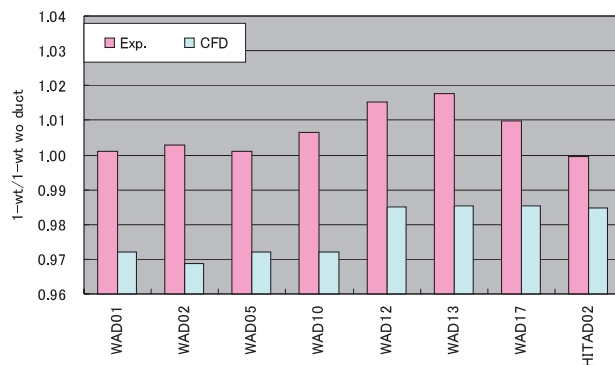
推力減少係数 1-t

曳航水槽試験結果と CFD 計算結果の比較として自航要素の 1 つである推力減少係数 1-t の比較を行った。各ダクトの比較を第 21 図に、曳航水槽試験結果と CFD 計算結果の相関を第 22 図に示す。尚、各々の値はダクトを装備していない状態を 1 としてその比で表している。

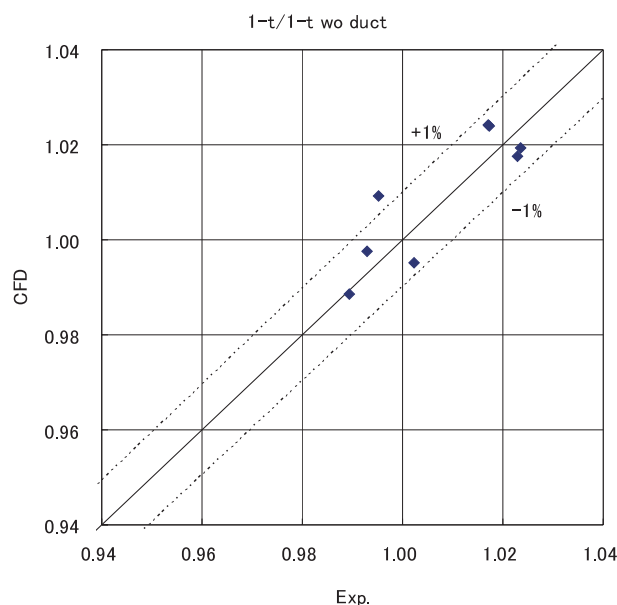
曳航水槽試験結果と CFD 計算結果は±1%以内で実験値を評価できている。テーパ型ダクトにおいて 1-t が向上することが分かった。これは自航時の船体及びダクト抵抗の大小関係と相関が見られるため、省エネ率向上には、一定のダクト推力の確保と、船体表面の船体抵抗減少が効果的と言える。



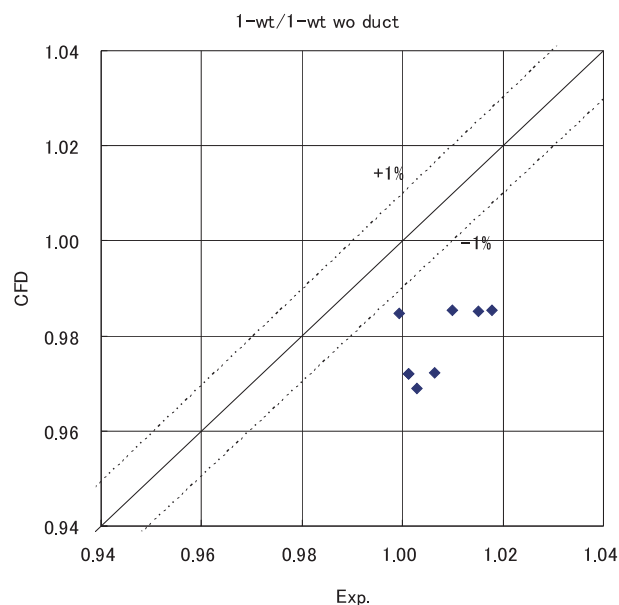
第21図 各ダクトの比較 (推力減少係数 $1-t$)



第23図 各ダクトの比較 (伴流係数 $1-w_t$)



第22図 曳航水槽試験結果とCFD計算結果の相関
(推力減少係数 $1-t$)



第24図 曳航水槽試験結果とCFD計算結果の相関
(伴流係数 $1-w_t$)

3. 4 曳航水槽試験結果とCFD計算結果の比較 伴流係数 $1-w_t$

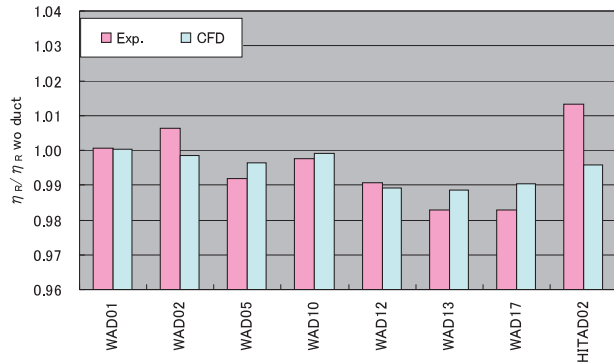
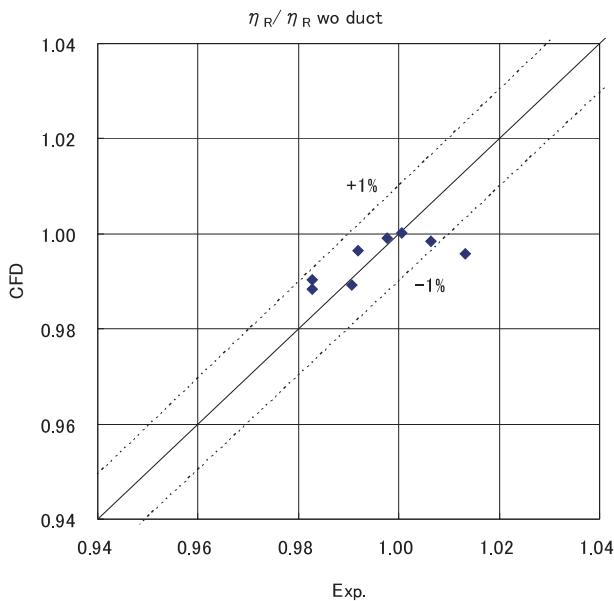
曳航水槽試験結果とCFD計算結果の比較として自航要素の1つである伴流係数 $1-w_t$ の比較を行った。各ダクトの比較を第23図に、曳航水槽試験結果とCFD計算結果の相関を第24図に示す。尚、各々の値はダクトを装備していない状態を1としてその比で表している。CFDでは実験値より低めに出る傾向が見られるものの、概ね実験値の傾向を捉えている。また、ダクトの形状や位置が異なるにも拘わらず $1-w_t$ の変化は少なく、伴流利得には殆ど差が現れなかった。

船尾ダクトをNCF & Rudder-Finとの組み合わせで使用する場合には伴流利得の増加を狙うのではなく、ダクト推力の増加と船体抵抗減少を両立しつつ $1-t$ の改善を追求した方が良いことが分かる。

3. 5 曳航水槽試験結果とCFD計算結果の比較 プロペラ効率比 η_R

曳航水槽結果とCFD計算結果の比較として自航要素の1つであるプロペラ効率比 η_R の比較を行った。各ダクトの比較を第25図に、曳航水槽結果とCFD計算結果の相関を第26図に示す。尚、各々の値はダクトを装備していない状態を1としてその比で表している。

1点だけ外れているものの、CFD計算結果は曳航水槽結果の±1%以内の精度で実験値を評価できている。


 第 25 図 各ダクトの比較 (プロペラ効率比 η_R)

 第 26 図 曳航水槽試験結果と CFD 計算結果の相関 (プロペラ効率比 η_R)

3. 6 結果

今回の研究で、以下の成果を得ることができた。

- 複数の省エネ装置が装備された複雑形状物体における CFD 計算手法を確立することができた。
- 複数の船尾ダクトを設計し、CFD 計算を実施することで複数の省エネ装置間に作用する流体力学的な干渉影響を明らかにすることができた。
- 設計した複数の船尾ダクトそれぞれについて自航試験を実施し、CFD 計算の精度検証を行った結果、確立した CFD 計算手法が船尾ダクトの形状及び配置の検討に有効であることを確認することができた。
- 実船搭載可能な形状・配置を有する船尾ダクト HITAD の追加装備により、省エネ効果と CO_2 排出削減量に関する目標値を達成することができた。

(1) 省エネルギー効果 (目標値 2.0%以上)

2.8%の省エネルギー効果により達成

(2) CO_2 排出削減量 (目標値 5.0ton/day 以上)

5.0ton/day の CO_2 排出削減量により達成

4. 結言

研究を進める中、WAD をベースとしつつ最適なダクト設置位置や製造工程も考慮したダクト形状を追究していった結果、WAD の特許請求項外となる形状において既設省エネ装置との干渉が少なく、さらなる省エネ効果が得られることが確認され、これを新たに HITAD として海上技術安全研究所と共同で特許出願申請を行うことができた。また、HITAD を装備することで、省エネルギー効果 2.8%となり目標以上の結果を得ることができた。CFD においても、省エネ付加物との流体力の比較等新たな知見を得ることができたため、今後の開発作業においても利用する。

今回の研究により HITAD という新たな付加物を開発することができたが、引き続き求められる燃費性能を達成するために、さらなる技術の研鑽に努める。

謝辞

本研究開発は、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、一般財団法人 日本海事協会、株式会社名村造船所との共同研究体制により研究を実施するとともに、日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームにより研究支援を受けて実施しております。関係各位のご協力に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 山元康博, 濱田克明: 複合型省エネ付加物の開発, 名村テクニカルレビューNo. 12, 2009, pp. 42-47
- 2) 川島英幹, 久米健一, 坂本信晶: 実海域において効果的な省エネデバイスの開発に関する研究, 海上技術安全研究所平成 24 年度研究発表会講演集, 2012, pp. 25-32