

CAD/CFD による電気推進内航船の船型設計

CFD 研究開発センター * 竹子春弥、前田治伸、日野孝則、小林 寛
輸送高度化研究領域 右近良孝、長谷川 純、深澤良平

1. はじめに

近年、海上技術安全研究所には船型の性能評価を行うのみでなく、自ら船型開発能力も具備し業界に貢献することが求められつつある。

船型開発については、従来共同研究等を通して、水槽試験を中心に貢献して来たが、水槽データベース構築の困難さ、経験・技術ノウハウの継承問題、IT 技術の発達等をふまえ、CAD/CFD および基本計画ツールを活用した船型設計技術の確立に取り組んでいる。

このため、具体的な船型開発を試みることとし、対象船種としては、内航船種で代替期に入っており、船内の電気需要の多いケミカルタンカーを選び、最近開発技術が発展しつつある電気推進船として船型開発を試みることにした。オペレータへのヒアリングなどを参考にして建造仕様を定め、電気推進システムの機器配置やタンク配置などを考慮して一般配置図を作成し、トリム計算や復原性計算などによって基本計画を行った¹⁾。

この基本計画に沿って、CAD/CFD の援用により、アジマスプロペラ推進型 499GT ケミカルタンカーの船型開発を推進性能の観点から試みているのでその経過を報告する。

2. 在来船型と推進性能

基本計画に合った対象船舶から、資料が入手可能で船齢が 10 年程度の船を在来船型として選んだ。その主要目を表-1 に示す。

この船型の推進性能を確認するために、縮尺 $\alpha=1/8.5$ の模型船を製作し、400m 曳航水槽にて抵抗・自航試験及び伴流計測を行った。ただし、バラスト状態としては 50%燃料消費状態を想定した。計画速力 V_s は、満載状態で 11.5kn であり、バラスト状態では 12kn を想定した。

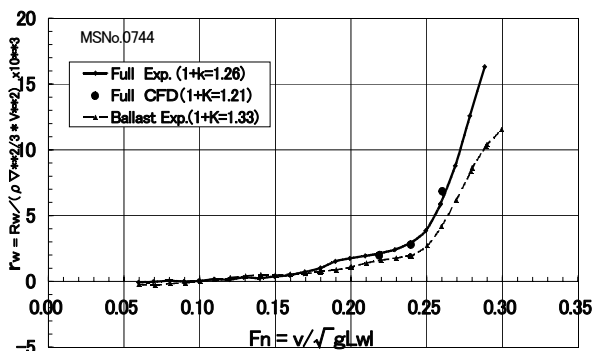
表-1 主要寸法及び実験状態等

	在 来 船 型			POD 船 型		
	実 船	模型船MSNo.0744		想定実船	模型船MSNo.0745	
総トン数 (GT)	499			499		
Loa (m)	65.508			65.500		
L _{DWL} (m)	62.125	7.3088		61.860	7.2776	
L _{pp} (m)	60.300	7.0941		60.000	7.0588	
B (m)	10.000	1.1765		10.000	1.1765	
D (m)	4.500	0.5294		4.500	0.5294	
d (m)	4.200	0.4941		4.000	0.4706	
H _{sc} (m)	1.650	0.1941		1.575	0.1853	
試験状態	試運転	満載	バラスト	計画満載	満載	バラスト
喫水 dm (m)	3.929	0.4729	0.2682	4.000	0.4706	0.2659
トリム	0.502	0.0000	0.2259	0.000	0.0000	0.2588
付加物		舵、キール			スケグ、POD、キール	
プロペラ	実 機	模型P2040R		試験計CRP	模型P2256R	
Dp m	2.050	0.2400		前2.510 /後2.403	0.2545	
P	0.600	0.638		1.123/1.231	0.750	
aE	0.550	0.550		0.313/0.344	0.500	
xB	0.210	0.180		0.271/0.283	0.180	
Z	4	4		4 / 5	4	
Skew (deg.)	25	0			0	
Section		MAU		NACA	MAU	
自航要素	1-t	0.821	0.802	0.900	0.854	0.841
	1-wt	0.588	0.556	0.904	0.829	0.813
	η_R	0.990	0.982	1.018	1.023	1.024

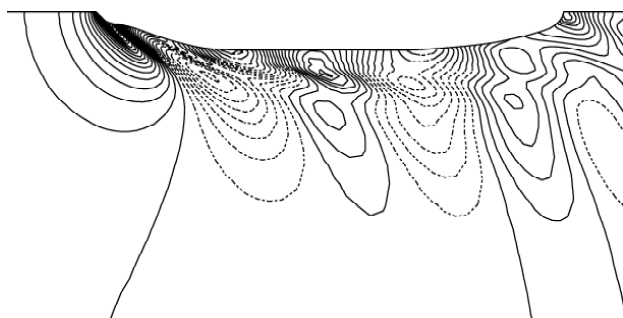
CAD/CFD によって設計する新船型と比較するために、NEPTUNE コード²⁾により抵抗性能を推定した。ただし、船尾トランサム形状はクルーザ形状で近似して計算した。

付加物（舵、キール）付での抵抗試験による形状影響係数 $1+K$ （Schoenherr ベース）と造波抵抗係数 r_w の結果を図-1 に示す。 $Fn=0.18$ 及び計画速力に対応する $Fn=0.24$ 付近で急激に r_w が増加している。船側波形の観察でも大きな横波を発生していた。付加物なしでの CFD 計算（Baldwin-Lomax 乱流モデル）による 10.5,11.5,12.5kn 相当の $Fn \sim 0.22, 0.24, 0.26$ の抵抗推定結果を●印で図-1 に示す。 $1+K$ も含めて抵抗値は CFD でほぼ推定出来ていると言える。また、計算波紋図（図-2）から船首肩波が大きなことが分かる。

4 脚 5 孔ピトー管によるプロペラ面位置 $x/L_{pp}=0.981$ での $Fn=0.24$ に対する伴流計測結果及び CFD 計算（修正 Spalart-Allmaras : MSA）結果



図－1 在来船型の造波抵抗係数



図－2 在来船型の計算波紋図 ($Fn \sim 0.24$)

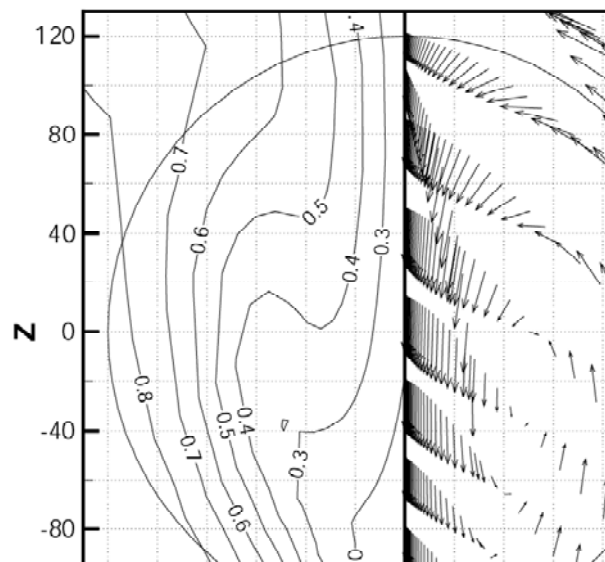
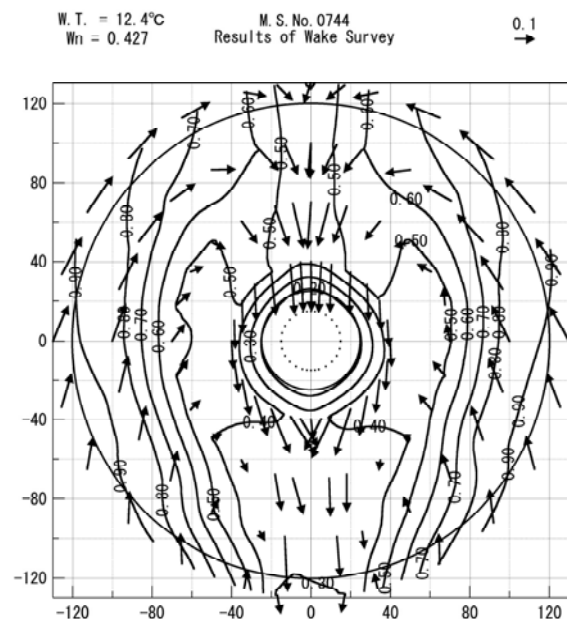
を図－3に示す。CFDは伴流分布の傾向をほぼ捉えている。

実船プロペラ要目及び今回用いた模型船代用プロペラ要目と自航試験による計画速度付近の自航要素の値を表－1に示す。実船のプロペラ計算書の値に比べ約20%良い船体効率が模型船では得られた。

このため水槽試験結果のデータをもとにプロペラを設計し馬力推定を行うと、計画速度11.5knに対して有効馬力 $EHP=351kW$ 、 $DHP=528kW$ ($\Delta Cf=6.0 \times 10^{-4}$ 、伴流比 $e_t=1.088$)、 $BHP=550kW$ ($\eta_t=0.96$)となり、公試資料より10%程度低い結果が得られている。

3. 新船型と推進性能

新船型は最新技術を取り入れ推進効率のより良い船型を目指すべく、二重反転(CRP)アジマスプロペラ電気推進器によるバトックフロー船型(以下POD船型と略す)を想定した。線図設計に対しては、基本計画による主要目(表－1)に合うようにデータベースを利用することが多いが、新型船型では資料が少なく活用出来ない。そ



図－3 在来船型のプロペラ面での伴流分布
(上：実験と下：CFD)

のため船体形状の特徴線の制御による船型生成法等により効率的に設計するための研究も進めているが³⁾、今回は「次世代内航船の研究開発」⁴⁾のPOD船型データを参考に、CADソフトRobert McNeel&Associates社のRhino等を利用して模型船用線図案を作成した。CFD計算によりEHPを在来船型と比較して、11.5knで約15%良くなることを確認した。この案をもとに一般配置、復原性等を再検討した結果、機関室配置等のために浮心位置lcbを後方に2.5%程度ずらす必要が出てき

た。このため、NURBS 曲面の制御点を移動することにより l_{cb} を後方に移動した線図を作成した。CFD 計算により抵抗推定値があまり変化しないことを確認後 (l_{cb} 移動前と比較して 12.5kn で約 3%増加)、水槽試験による確認に移った。模型船の主要目を表-1 に、横断面積 C_p / 水線面 C_w 曲線を図-4 に示す。実験状態としては、満載計画速力 12.5kn、バラスト状態を在来船型と同じ排水量で $V_s=13kn$ 相当に設定した。

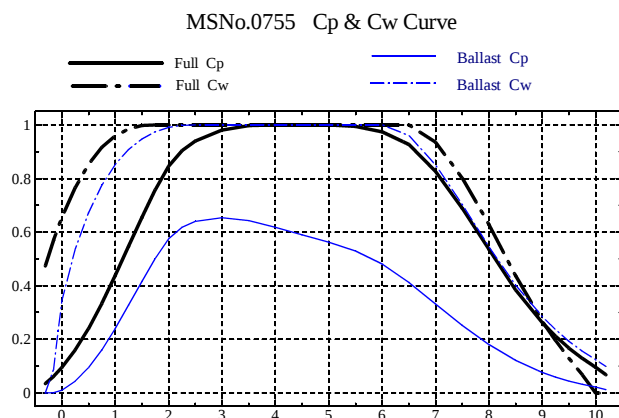


図-4 POD 船型の横断面積／水線面曲線

付加物 (スケグ、キール、POD) 付状態での抵抗試験による $1+K$ と r_w の結果を図-5 に示す。 $Fn=0.19$ 及び $Fn = 0.25$ 付近で急激に r_w が増加している。付加物なしの裸こく状態での CFD 計算による 10.5, 11.5, 12.5kn 相当における推定結果を合わせて図-5 に示す。在来船型と同様に $1+K$ も含めて抵抗値は CFD でほぼ推定出来ていることが分かる。実験時の観察や計算波紋図 (図-6) から高速になるに従って船尾肩波が予想以上に大きくなることが分かった。また、今回のバラスト状態の性能はあまり良くないのでトリム状態も含めて検討し直す必要がある。

5 孔ピトー管による想定プロペラ面位置 $x/L_{pp}=1.016$ での $Fn=0.26$ における伴流計測結果及び CFD 計算 (MSA) 結果を図-7 に示す。CFD による伴流域が実験より広い。スケグ及びトランスラム船尾形状を正確にモデル化していないためや乱流モデルのためと考えている。

今回の自航試験では本来 2 重反転ポッド動力計で試験を行うべきであったが、簡易的に表-1 に

示す代用プロペラ 1 個を用いてプッシャー型とし、プロペラベースによる解析法で行った。自航試験結果を図-8 に示す。POD フェアリング形状等の影響のためかバトック船型としては $1-t$ 、 $1-w$ とともに少し小さい値となった。

試験結果をもとに、 $\Delta C_f=6.0 \times 10^{-4}$ 、伴流比 $e_t=1.023$ 、ギア、モータ、変換、変圧、発電機の損失を考え総伝達効率を 0.765 と仮定して、CRP を試設計して馬力推定 (満載状態) を行うと図-9 の様になる。在来船型に比べ EHP で 11%程度、DHP で 21%程度、BHP では 0.6%低減した。今後 C_p カーブや水線面形状、 l_{cb} を改善するとともに、船型変更 (デザインサイクル作業) の効率化を進める予定である。

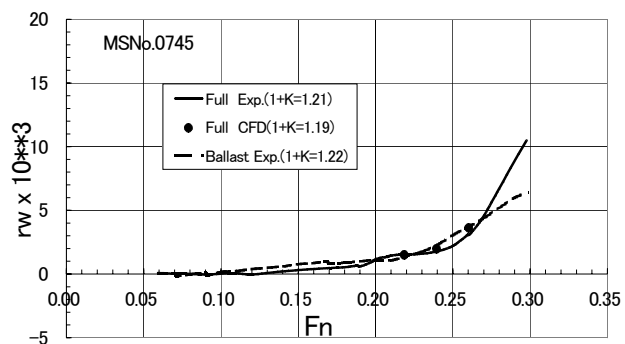
4. まとめ

配置や復原性などの基本計画要素を考慮した CAD/CFD による船型設計の対象として、二重反転アジマス推進器による電気推進型内航ケミカルタンカーの基本計画をもとに線図設計を行った。CAD と CFD のリンクを念頭に線図作成を行い、効率的な船型開発システムの第 1 段階を構築し、抵抗性能を中心に水槽試験により確認した。自航要素を含めた馬力性能で従来船より高速な 12.5kn での電気推進船の可能性を示した。

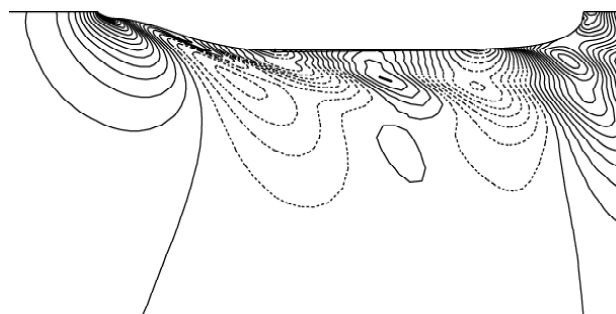
今後、CFD による自航性能の推定、船型生成法とのリンクも考えながら浮心位置や船尾形状を改善するとともに、設計システムの処理速度の向上、構成要素の拡大と実績の積み重ねを続ける計画である。

参考文献

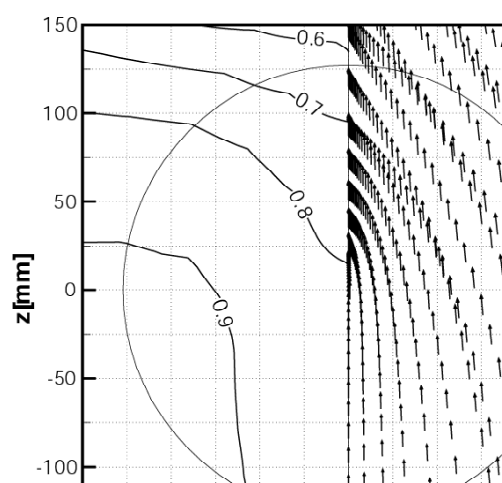
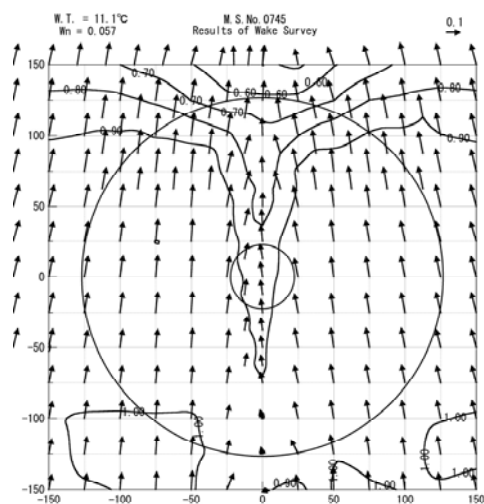
- 1) 前田治伸、日野孝則、竹子春弥、小林寛 ; 「電気推進内航船の基本計画」、第 5 回海上技術安全研究所発表会講演集 (2005.6)
- 2) Hirata, N., Hino, T. : "An Efficient Algorithm for Simulating Free-Surface Turbulent Flows around an Advancing Ship", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.185, pp.1-8, (1999)
- 3) 川島英幹、日野孝則 : 「特徴曲線の制御による船型生成法 (第一報)」、日本造船学会講演会論文集、(2004.5)
- 4) 海上技術安全研究所 : 「次世代内航船の研究開発」平成 13 年成果報告書、海技研、(2002.3)



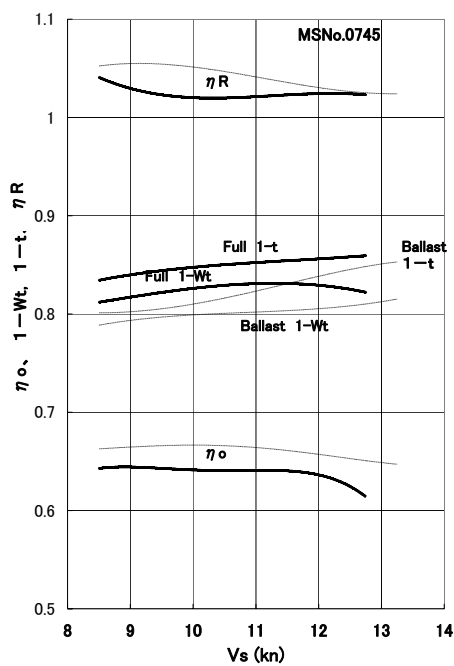
図－5 POD 船型の造波抵抗係数



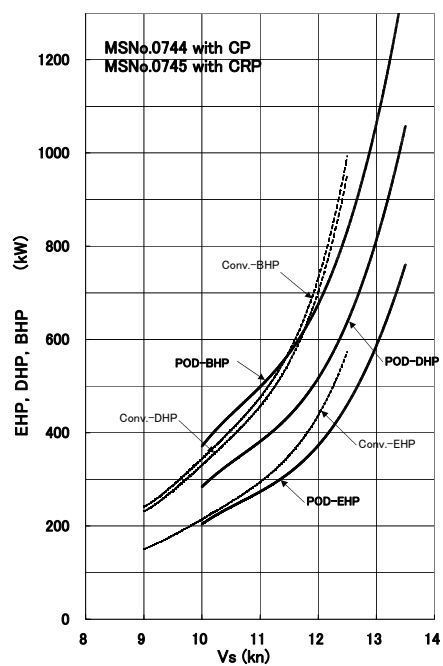
図－6 POD 船型の計算波紋図 (Fn~0.26)



図－7 POD 船型のプロペラ面での伴流分布 (左：実験、右：裸こく CFD)



図－8 POD 船型の自航要素
(太実線：Full、細線：Ballast)



図－9 馬力曲線
(実線：POD 船型、破線：在来船型)