

報告書 3321027

Report No. 21430

下ノ江造船株式会社 御中

表 題 :

H503N 7500m³ LPG Carrier の
CFD を用いた省エネステータ開発

承認	査閲	作成
		Y. Hisamura

令和3年12月28日

流体テクノ(株)

〒857-0053 長崎県佐世保市常盤町1-7 6階

TEL : 0956-42-1685, FAX : 0956-42-1690



H503N 7500m³ LPG Carrier の CFD を用いた省エネステータ開発

H503N について、CFD (Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学) を用いて省エネステータ (以下、ES と記す。) の開発を行った。伴流分布および自航要素を評価し、ES 有の推進性能および省エネ効果の予測を行った。CFD 計算にはエムエスシーソフトウェア株式会社の SCRYU / Tetra ver. 13 を用いた。

1. 船体主要目等

船体主要目、装着される主機関および推進器は次のとおりである。

船体

垂線間長さ	113.000m
船幅	19.000m
型深さ	8.950m
計画喫水 (mld.)	6.750m

主機関

主機関 : 1 基
最大出力 : 2640 kW (MCR) × 178rpm
常用出力 : 2376 kW (90%MCR) × 172rpm

推進器

プロペラ : 1 軸
直 径 : 3.900m
翼 数 : 4 翼

MAU プロペラを装着した実船の速力を推定した結果は以下の通りである。

	BHP		DESIGN FULL ES 無 (8912.6t)	DESIGN FULL ES 有 (8912.6t)
	MCR	2640 kW	3589 ps	14.86 kts
NOR	2376 kW	3230 ps	14.47 kts	14.61 kts
SM (15)	2066 kW	2809 ps	13.92 kts	14.07 kts

船体およびプロペラが清浄されていること。

省エネ効果の予測は以下の通りである。

Vs(knots)	省エネ率(%)
12.5	3.8
13.0	3.8
13.5	3.8
14.0	3.7
14.5	3.6
15.0	3.6

2. CFD 計算

2-1. CFD 計算

エムエスシーソフトウェア株式会社の SCRYU/Tetra ver. 13 を用いて、本船の抵抗計算および自航計算を行った。この計算は RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) に基づいている。船体周りの流体を粘性流体として取り扱い細かい格子に分割する。したがって分割格子数が結果に影響を与える。また流場の一部の表現として渦モデルが用いられる。計算モデルは船体、ES、舵、ビルジキールを用いた。計算領域は喫水面以下の領域のみを計算対象としたダブルモデルを採用した。格子数は抵抗計算および自航計算で約 1500 万格子とした。また、自航計算で用いたプロペラは体積力モデルとし、MAU プロペラ特性を用いた。計算対象船の諸元を表 1、計算条件を表 2、計算に用いた格子を図 3 から図 6 に示す。

表 2 CFD 計算条件

計算コード	SCRYU/Tetra Ver.13
解析モデル	定常解析
乱流モデル	RANS
渦粘性モデル	SST k- ω
混相モデル	単相
運動モデル	なし
計算領域	抵抗・自航 フルモデル(両舷)
	ダブルモデル
格子	非構造格子・節点中心
格子要素数	抵抗 約1500万格子
	自航 約1500万格子
レイノルズ数	9.2×10^6
フルード数	0.220
プロペラモデル	プロペラ体積力モデル (簡易プロペラモデル)
プロペラ直径	実船 3.900m
	CFDモデル 0.2071m

CFD計算領域(抵抗・自航)	
X	-3.0Lpp ~ 2.0Lpp
Y	-(1.5Lpp+B/2) ~ (1.5Lpp+B/2)
Z	-1.0Lpp ~ 1.0 dm
基点 : (X,Y,Z) = (AP,0,0), Y : 左舷が ^o 正	



图3 计算格子（鸟瞰图、右舷）

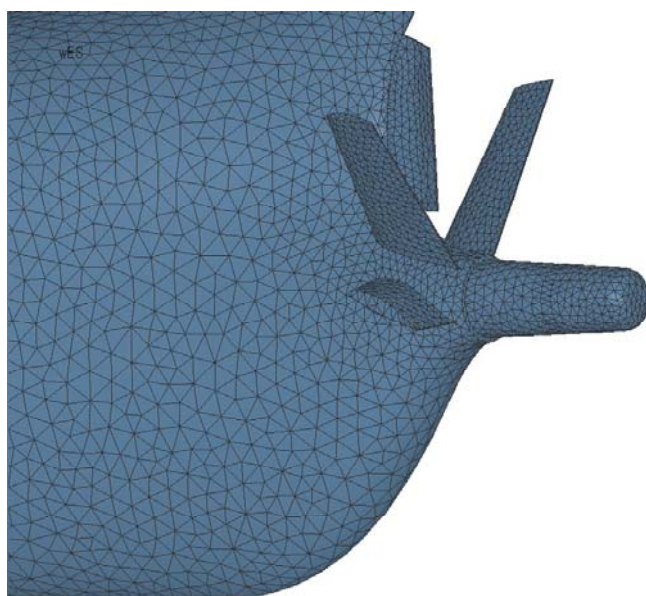


图4 计算格子（鸟瞰图、左舷）

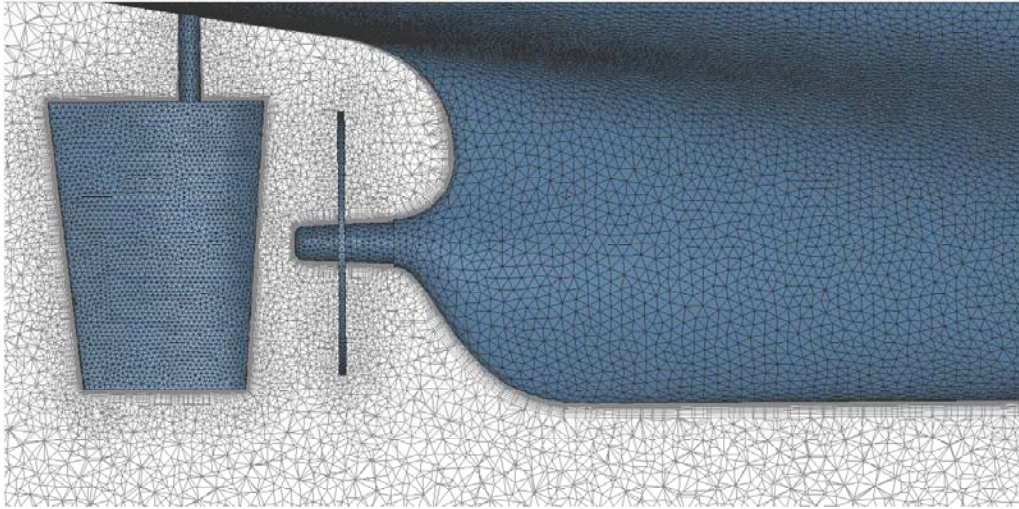


図5 計算格子（側面図、右舷）

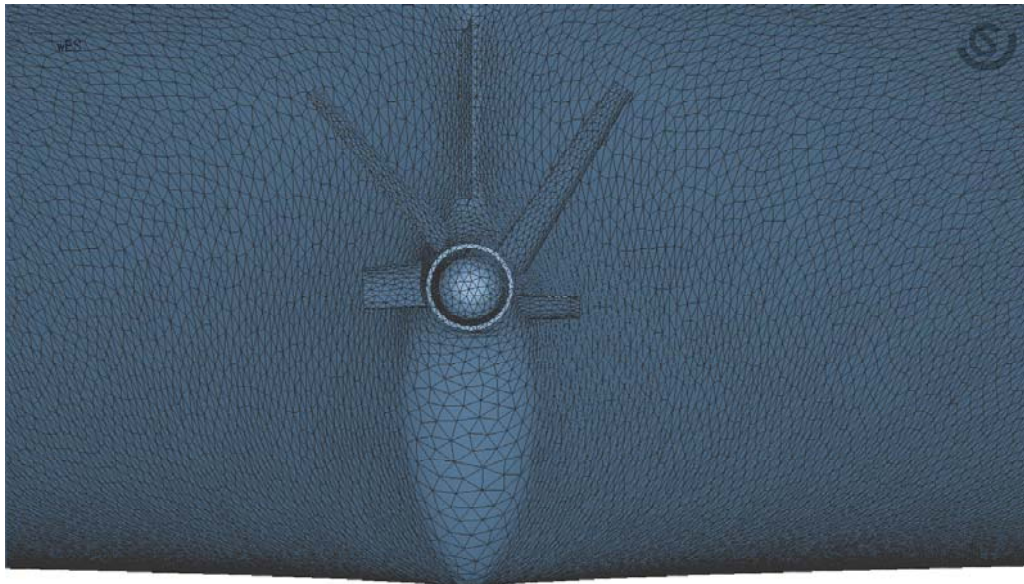


図6 計算格子（船尾より）

2-2. CFD 計算結果の評価方法

(1) 圧力分布

船体および付加物表面上の動圧を速度の 2 乗で無次元化したものを $C_p = (p - p_0) / (0.5 \rho V^2)$ と定義し、本報告書では単純に圧力と呼ぶ。ただし、 p_0 は無限前方の圧力である。船体表面上の圧力分布の青い部分は負圧であり、船体から流体へ向かう方向の力になる。従って船体前半部では推力になるが、船体後半部では抵抗になる。一方、赤い部分は正圧であり、流体から船体および付加物に向かう方向の力になる。従って船体前半部では抵抗になるが、船体後半部では推力になる。また、急な圧力上昇では速度の減速が大きくなり、流れが剥離しやすくなる。逆に、圧力上昇が緩やかであると、速度変化は緩やかになりスムーズな流れになる。

(2) 伴流分布

プロペラ軸に平行な流速成分を船速で無次元化したものを伴流率 $1-w$ と定義する。すなわち、 $1-w = V_a/V$: V_a : プロペラ軸方向流速 (m/s)、 V : 船速 (m/s) である。 $1-w$ は場所により異なる。伴流分布の赤い部分は $1-w$ が大きく、プロペラ軸方向の流れが速い。一方、伴流分布の青い部分は遅い流れを示す。ベクトルはプロペラ面内の流れの回転成分を表す。

2-3. ES の評価

DESIGN FULL 状態の 14.4knots 相当 ($F_n=0.220$) における省エネステータの表面圧力分布を図 7 から図 10 に、伴流分布を図 11 に示す。それぞれ左図は ES 無、右図は ES 有を示す。ES は長翼 2 枚、短翼 2 枚、センタープレート 1 枚の計 5 枚が船尾ボスに放射状に取り付けられている。船尾の流れを整流し、できるだけ少ない主機出力でプロペラがより大きな推力を出し易くする装置である。そのため、ES の有無により同じ船速で少ない馬力、燃費での航行が可能となる。

図 7 から図 10 の ES の表面圧力に注目すると、ステータのフェイス面（正圧力面）とバック面（負圧力面）に圧力差が生じており、揚力を発生させていることがわかる。つまり、左舷側のステータでは上面がバック面であり、下面がフェイス面である。また右舷側のステータでは上面がフェイス面であり、下面がバック面である。この揚力の中の前進方向が推力となる。図 11 の伴流分布をみると、10 時の位置に取り付けられた左舷側の長翼に Tip 付近の流れが ES 無はプロペラ回転方向の流れが強いのにに対し、ES を装着すると逆方向の流れが発生している。短翼はスタンチューブ周りの流れに合わせているため、ステータの抵抗を低減させているにも関わらず、プロペラ回転方向の流れを逆方向へ変えている。ES の効果が現れていると推察される。

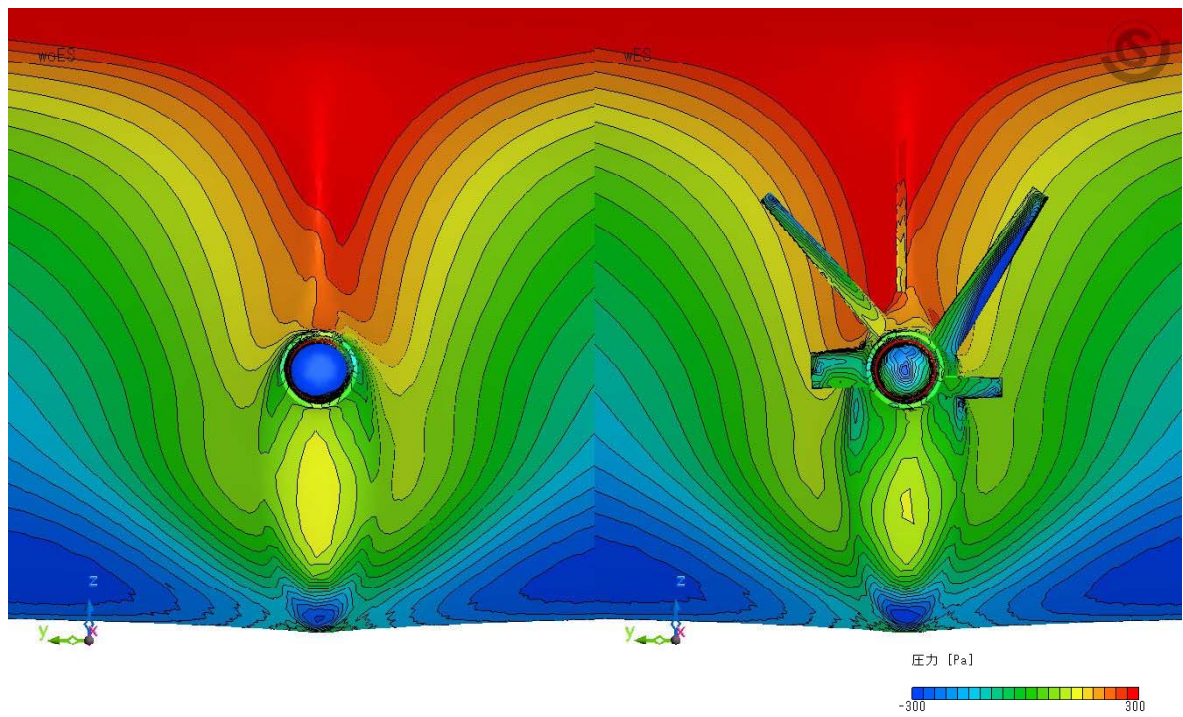


図7 表面圧力（船尾より見る）

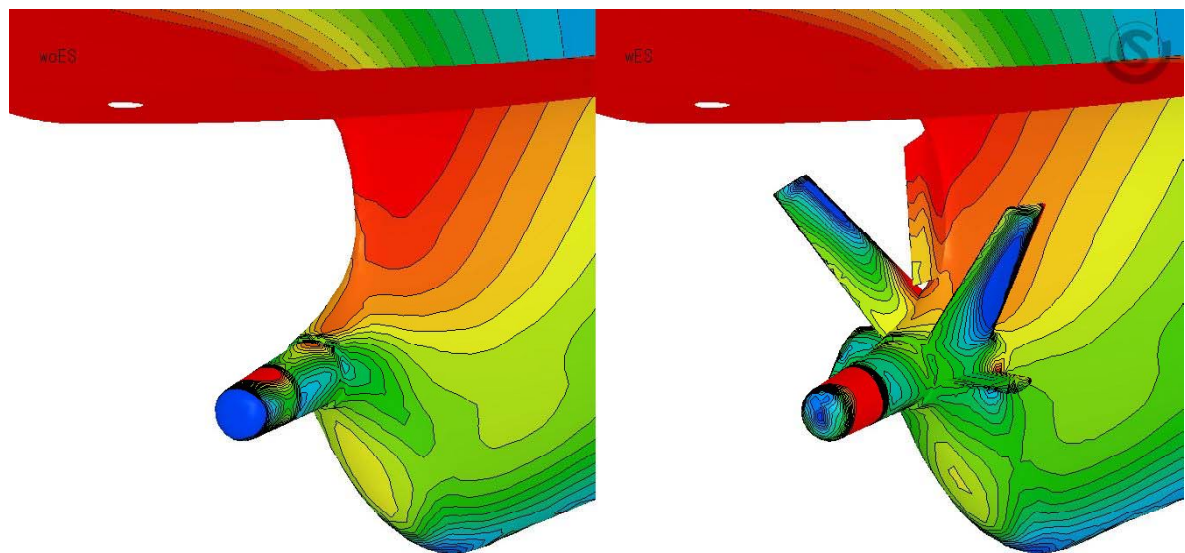


図8 表面圧力（右舷上方より見る）

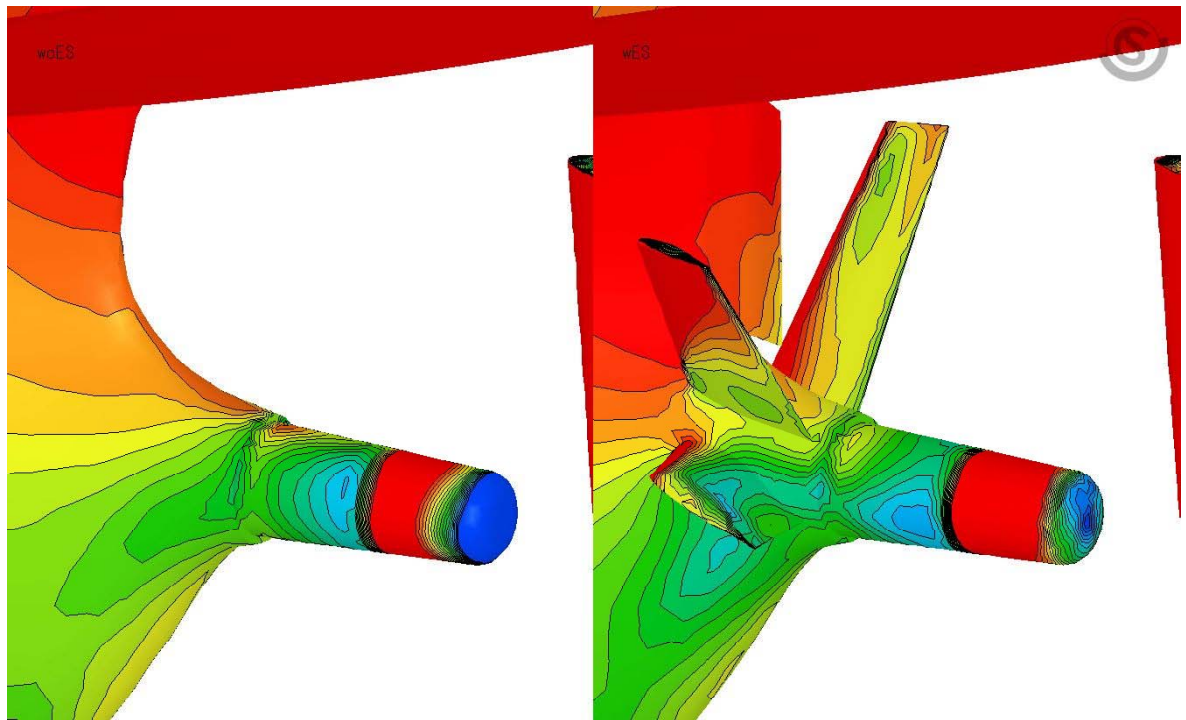


図9 表面圧力（左舷上方より見る）

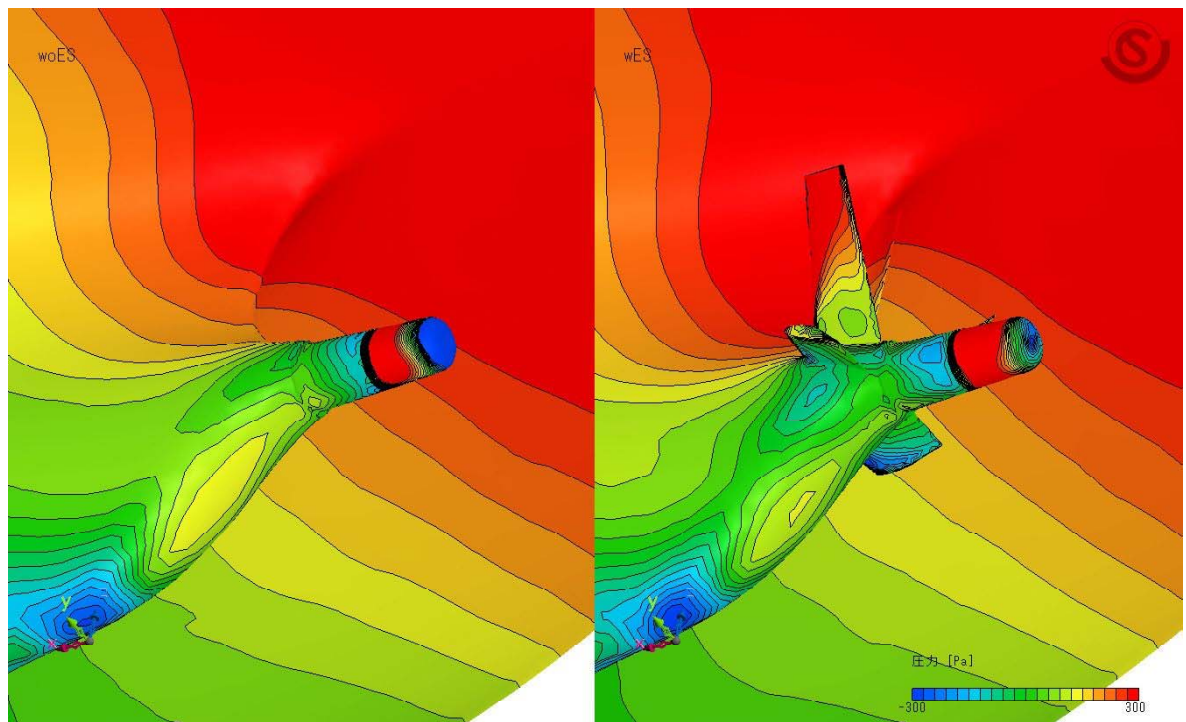


図10 表面圧力（左舷下方より見る）

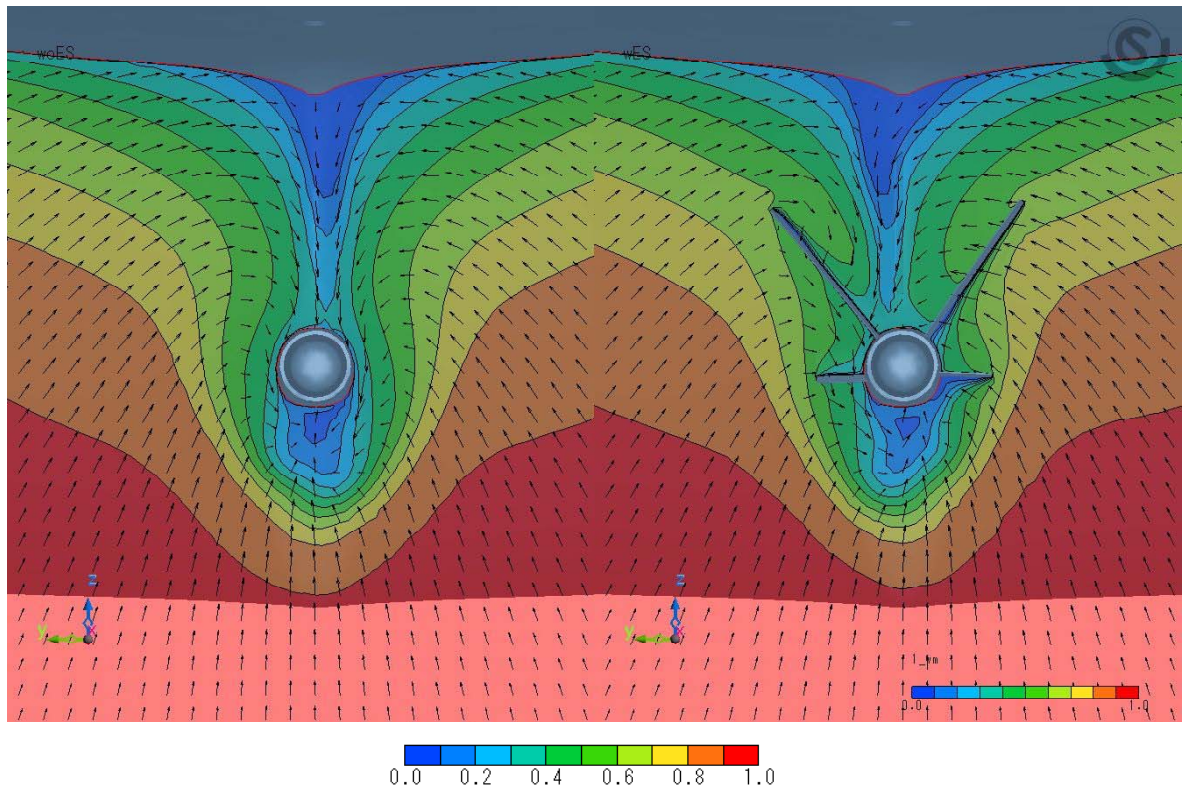


図 11 伴流分布 ($F_n=0.220$ 、 $V_s=14.4$ knots 相当)
断面位置 X は AP より約 3.1 m (ES の後端位置)

付 録

- ・用語定義

用語定義

NOMENCLATURE

(1) HULL

Lpp	Length between perpendiculars (m)
Lwl	Length of designed load waterline (m)
B	Breadth moulded (m)
D	Depth moulded (m)
d	Draught moulded (m), suffix a:aft m:midsection f:fore
C_B , C_b	Block coefficient C_B , $C_b = \nabla / (Lpp \cdot B \cdot d)$
C_p	Prismatic coefficient $C_p = C_B / C_M$
C_M , C_m	Midship section coefficient $C_M = A_M / (B \cdot d)$
A_M	Area of midship section
C_W	Waterplane coefficient $C_W = A_W / (Lpp \cdot B)$
A_W	Area of waterplane
Lcb	Longitudinal center of buoyancy from midship in percent of Lpp (for fore from midship(-) and for aft(+))
∇_n	Displacement volume (m^3) naked
∇_a	Displacement volume (m^3) with all appendages
Δ_n	Displacement weight (ton) naked
Δ_a	Displacement weight (ton) with all appendages
S	Wetted surface with all appendages (m^2)
S_0	Naked wetted surface (m^2)
S_r	Rudder wetted surface (m^2)
S_b	Bilge Keel wetted surface (m^2)
I	Immersion of shaft center line at propeller plane (m)
Hs	Shaft center height at propeller plane (m)

(2) PROPELLER

D, D_p	Diameter of propeller (m)
R	Radius of propeller ($=D/2$)
A_E , E. A. R	Expanded area ratio

(3) RESISTANCE

V	Speed of ship (m/s)	
V _A	Advanced speed of propeller (m/s)	
V _S	Speed of ship (knot)	
Fn	Froude number	$Fn = V / \sqrt{gLwl}$
Rn	Reynolds number	$Rn = VLwl / \nu$
Rt	Total resistance (kg)	$C_t = Rt / 0.5 \rho V^2 S$
C _t , r _t	Total resistance coeff.	$r_t = Rt / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
R _R	Residual resistance (kg)	$C_R = R_R / 0.5 \rho V^2 S$
C _R , r _R	Residual resistance coeff.	$r_R = R_R / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
R _W	Wave resistance (kg)	$C_W = R_W / 0.5 \rho V^2 S$
C _W , r _W	Wave resistance coeff.	$r_W = R_W / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
R _F	Frictional resistance (kg)	$C_F = R_F / 0.5 \rho V^2 S$
C _F , r _F	Frictional resistance coeff.	$r_F = R_F / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
R _V	Viscous resistance (kg)	$C_V = R_V / 0.5 \rho V^2 S$
C _V , r _V	Viscous resistance coeff.	$r_V = R_V / \rho V^2 \nabla^{2/3}$

Friction Formulae

$$C_f = 0.455 / \left(\log_{10} \frac{VLwl}{\nu} \right)^{2.58} \text{ ---- Prandtl - Schlichting}$$

$$0.242 / \sqrt{C_f} = \log_{10} \left(\frac{VLwl}{\nu} C_f \right) \text{ ---- Schoenherr}$$

$$C_f = 0.075 / \left(\log_{10} \frac{VLwl}{\nu} - 2.0 \right)^2 \text{ ---- ITTC1957}$$

$$C_f = 0.066 / \left(\log_{10} \frac{VLwl}{\nu} - 2.03 \right)^2 \text{ ---- Hughes}$$

K	Form factor	$1+k=C_V/C_F$
---	-------------	---------------

ΔC_F , DCF	Roughness allowance coefficient for Schoenherr's friction line in general
ρ	Density of water (kg. sec ² /m ⁴) ; 104.61 (15°C) for salt, 101.87 for fresh water
ν	Kinematic viscosity ; 1.1883*10 ⁻⁶ (15°C) for salt, 1.1390*10 ⁻⁶ for fresh water
g	Gravity acceleration (m/sec ²)

(4) PROPULSION

n	Rate of revolution per second	
N	Rate of revolution per minutes	
J	Advance coefficient	$J=V_A/(nD)$
T	Propeller thrust (kg)	
Q	Propeller torque (Kgm)	
K_T	Thrust coefficient	$K_T=T/(\rho n^2D^4)$
K_Q	Torque coefficient	$K_Q=Q/(\rho n^2D^5)$
t	Thrust deduction factor	
w_s	Wake fraction of ship	$1-w_s=(1-w_m)*e_i*C_2*C_3$
w_m	Wake fraction of model	
e_i	Correlation due to the difference of Ship and Model ship	
C_2	Correlation due to the difference of propeller diameter	
C_3	Correlation factor to YAZAKI' chart	
η_t	Transmission efficiency	
η_R , ETAR	Relative rotative efficiency	
η_P , ETAP	Propeller efficiency of ship	
η , ETA	Propulsive efficiency	$\eta = \eta_t \eta_R \eta_P (1-t) / (1-w_s)$
EHP	Effective horse power (ps, kw)	
DHP	Delivered horse power (ps, kw)	
BHP	Brake horse power (ps, kw)	$BHP=EHP/\eta$
Cadm	Admiralty constant	$Cadm=(\Delta^{2/3}Vs^3)/BHP$
SG	Specific gravity	γ : 1.00 for fresh water, 1.025 for salt water