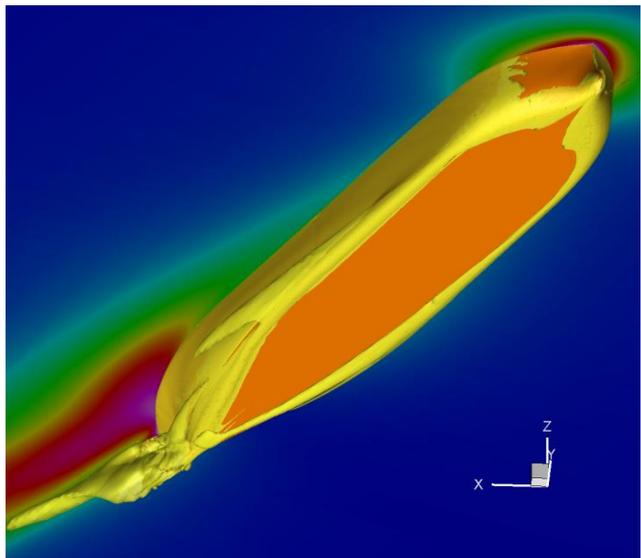




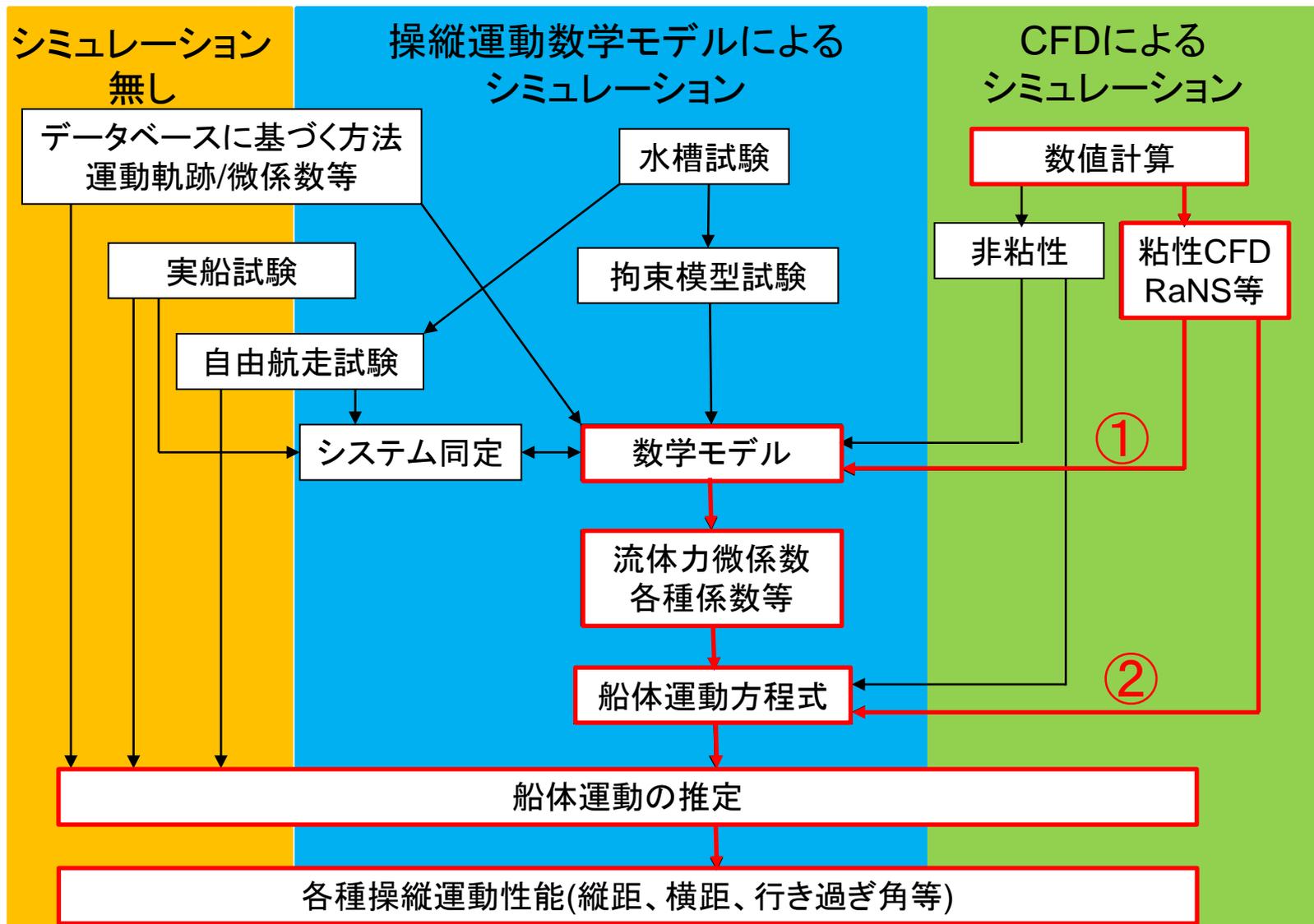
粘性CFDを用いた船舶操縦性能推定法の開発および高度化



流体設計系 坂本信晶
流体性能評価系 大橋訓英



1. 研究背景





1. 研究目的

➤CFDによる船舶操縦性能推定法の開発及び高度化

① CFD-Systems based法(CFD+操縦運動数学モデル)

→操縦運動数学モデルへの入力パラメーターを、**全てCFDで求めた上**で操縦運動を推定する方法の開発

② 直接計算法(CFDのみ)

→自由航走試験を、**直接CFDで再現する**方法の開発

上記方法のメリットは...

- ・工数**削減**, **模型船が無い**時でも対応可能
- ・設計パラメーター変化(船尾形状・舵形状等)に**柔軟に対応**
- ・詳細な**流場情報**→設計に反映



2. シミュレーション手法: CFDソルバー

➤ SURF ver.7.3 (Hino 1997 etc.)

→ 乱流モデル: **k- ω SST**

→ 計算格子: 単一格子・**重合格子**(UPGRID)

→ 空間離散化: **2次**精度

→ 時間離散化: 1次精度(**定常**計算)/2次精度(**非定常**計算)

→ プロペラ: 無限翼数理論に基づく体積力モデル

→ 自由表面: **二重模型**流れ

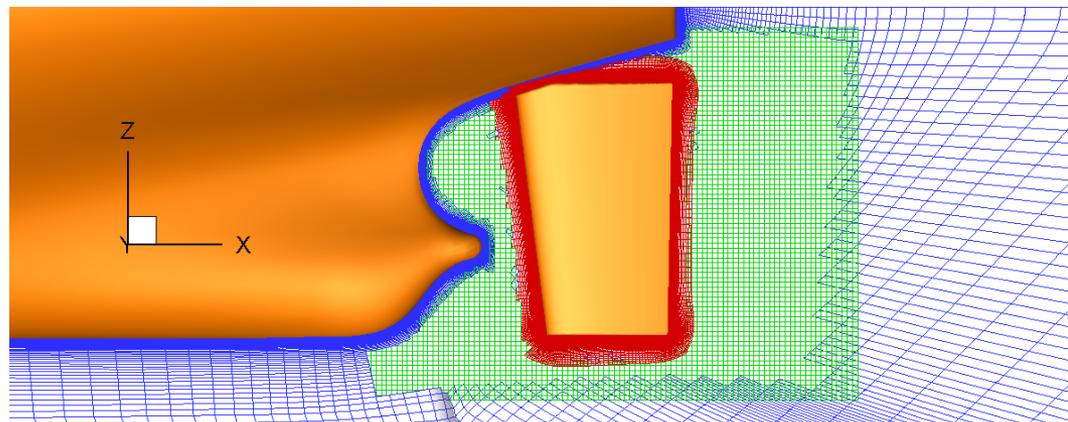


2. シミュレーション手法: 計算格子

① CFD-Systems based法(重合格子で舵を再現)

ブロック	セル数
船体	約2.22M
舵	約0.65M
局所細分化	約0.65M
合計(両舷)	約3.52M

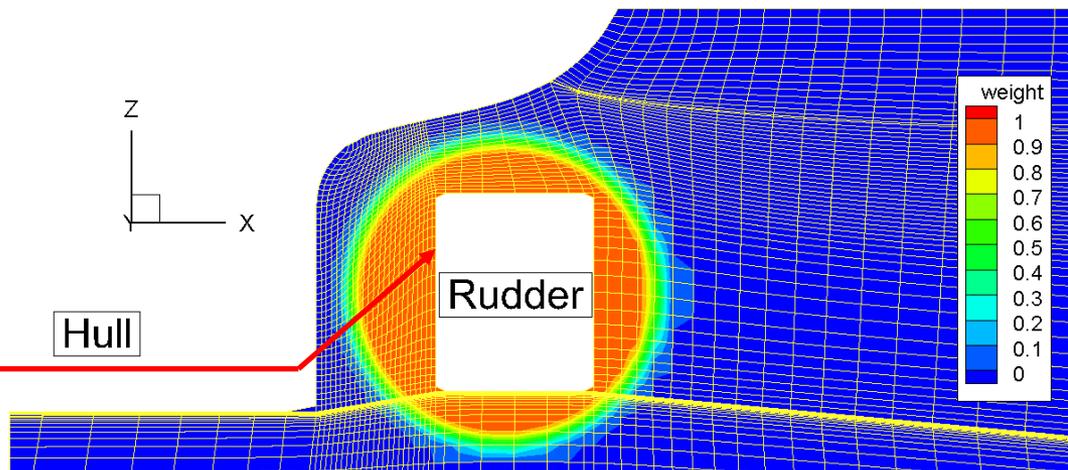
Example of hull-rudder overset grid arrangement (KVLCC2)



② 直接計算法(単一格子で舵を再現)

ブロック	セル数
船体	約0.88M

[移動格子法](#)で操舵を再現
(click to animate)





3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

➤ MMGモデル(JASNAOE標準 2012)

$$\begin{aligned}
 X_H^*(v'_m, r') &= X'_0 + X'_{vv} v_m'^2 + (X'_{vr} + m' + m'_y) v'_m r' + (X'_{rr} + x'_G m') r'^2 + X'_{vvvv} v_m'^4 \\
 Y_H^*(v'_m, r') &= \cancel{Y'_0} + Y'_v v'_m + (Y'_r - m' - m'_x) r' + Y'_v v_m'^3 + Y'_{vvr} v_m'^2 r' + Y'_{vrr} v'_m r'^2 + Y'_{rrr} r'^3 \\
 N_H^*(v'_m, r') &= \cancel{N'_0} + N'_v v'_m + (N'_r - x'_G m') r' + N'_{vvv} v_m'^3 + N'_{vvr} v_m'^2 r' + N'_{vrr} v'_m r'^2 + N'_{rrr} r'^3
 \end{aligned}$$

$X_P = (1 - t) T$ $T = \rho n_P^2 D_P^4 K_T (J_P)$ $K_T (J_P) = k_2 J_P^2 + k_1 J_P + k_0$ $J_P = \frac{u(1 - w_P)}{n_P D_P}$ $w_P = w_{P0} \exp(C_0 \beta_P^2)$	$X_R = -(1 - t_R) F_N \sin \delta$ $Y_R = -(1 + a_H) F_N \cos \delta$ $N_R = -(x_R + a_H x_H) F_N \cos \delta$ $F_N = (1/2) \rho A_R U_R^2 f_\alpha \sin \alpha_R$ $U_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2}$ $\beta_R = \beta - l_R r'$
--	--

赤囲み:

MMGモデル実行に必要なパラメータで、CFDにより推定した値

$$\alpha_R = \delta - \tan^{-1} \left(\frac{v_R}{u_R} \right)$$

$$v_R = U \gamma_R \beta_R$$

$$u_R = \varepsilon u(1 - w_P) \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J_P^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1 - \eta)}$$



3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

➤ 対象船型: KVLCC2



Hull		Rudder		Propeller	
L_{pp} [m]	2.9091	H_R [m]	0.1436	D_p [m]	0.0896
B [m]	0.5273	B_R [m]	0.0786	H/D_p	0.7212
d [m]	0.1891	Λ	1.827	aE	0.431
C_B	0.8098	A_R [m ²]	0.0093	Z	4

➤ 推定する操縦運動: 10/10, 20/20 Zig-Zag運動



3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

➤ 必要なCFD計算

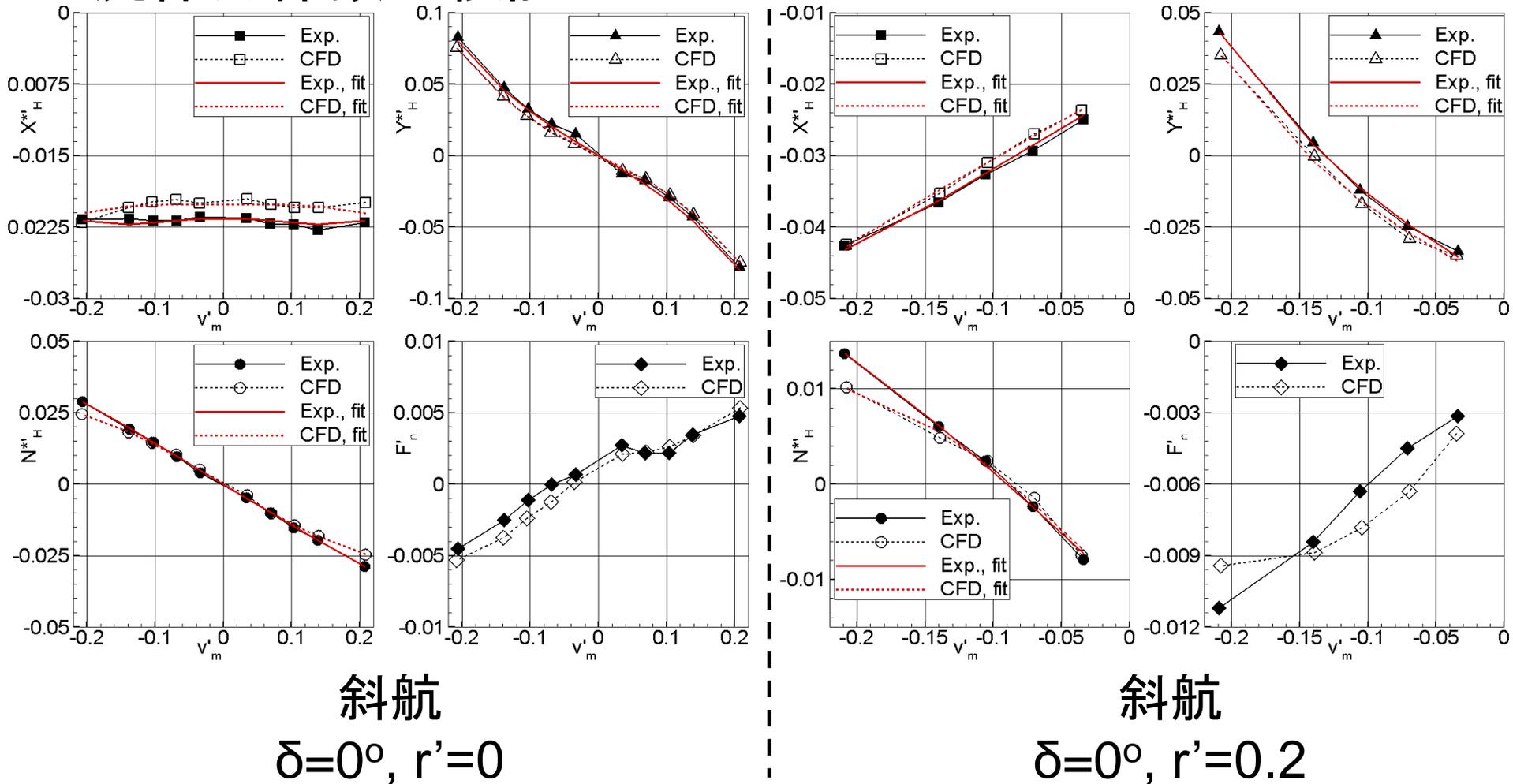
シミュレーション	求められるパラメター
直進抵抗・自航	$X_0', 1-t, w_{p0}, k_0, k_1, k_2$
斜航, $\delta=0^\circ, r'=0$	$X_{vv}', Y_v', Y_{vvv}', N_v', N_{vvv}', w_{p0}$
斜航, $\delta=0^\circ, r' \neq 0$	$X_{vr}', Y_{vrr}', Y_{vvr}', N_{vrr}', N_{vvr}'$
定常旋回, $\delta=0^\circ, \beta=0^\circ$	$X_{rr}', Y_r', Y_{rrr}', N_r', N_{rrr}', w_{p0}$
定常旋回, $\delta \neq 0^\circ, \beta=0^\circ$	$u_R', v_R', \gamma_R, l_R'$
斜航, $\delta \neq 0^\circ, r'=0$	
直進定舵角, $\delta \neq 0^\circ$	$1-t_R, 1+a_H, x_R+a_H x_H$
舵単独, $\delta \neq 0^\circ$	ϵ, K

注)全てのシミュレーション(直進抵抗・自航および舵単独以外)において、プロペラ回転数はmodel pointでの自航点の値に**固定**



3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

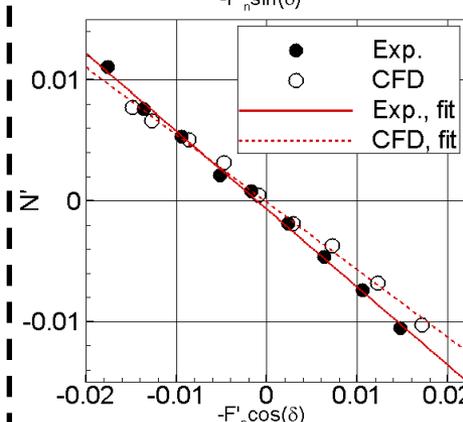
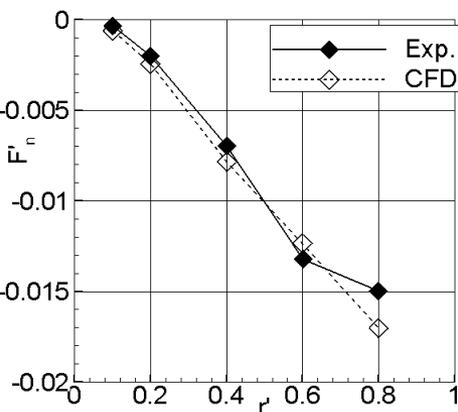
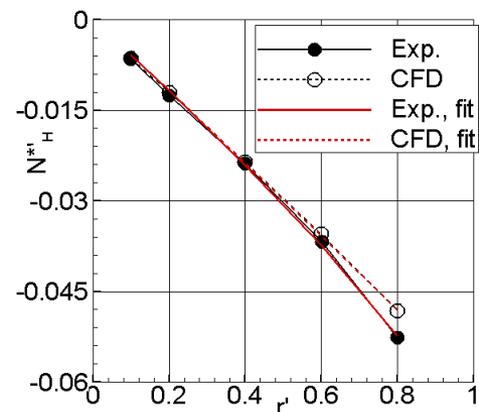
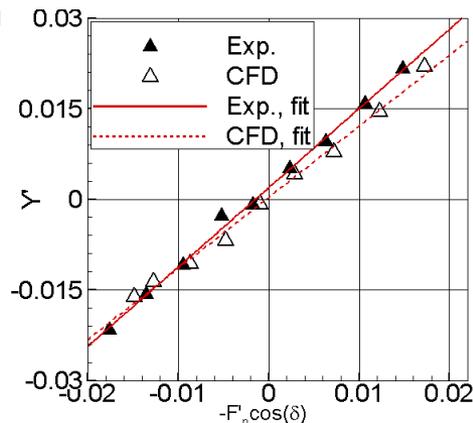
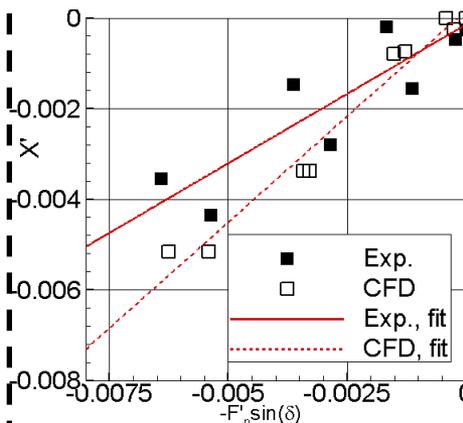
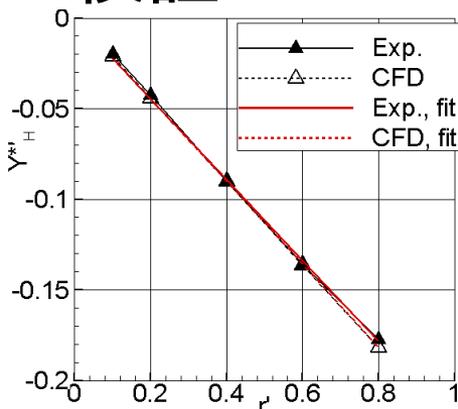
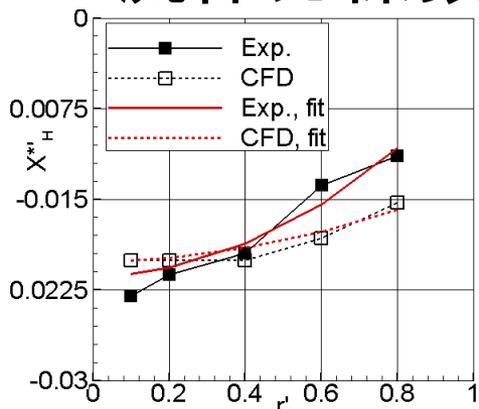
➤ 流体力係数の検証





3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

➤ 流体力係数の検証



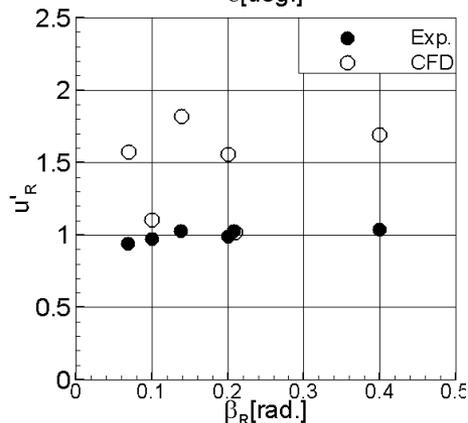
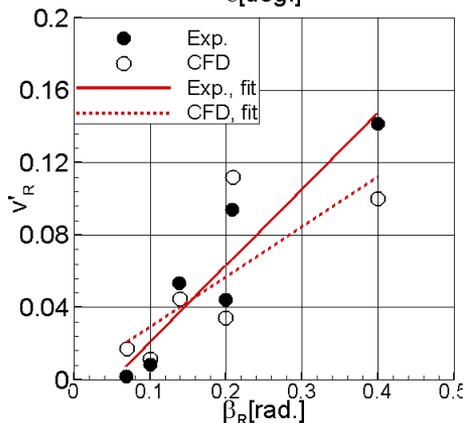
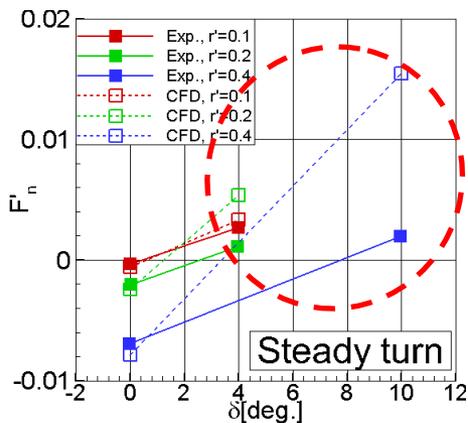
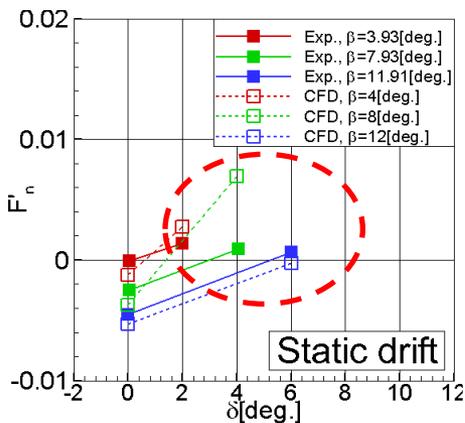
定常旋回
 $\delta=0^\circ, \beta=0^\circ$

直進定舵角
 $\delta \neq 0^\circ, r'=0, \beta=0^\circ$



3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

➤ 舵直圧力係数・有効舵流入速度の検証



斜航・旋回

$\delta \neq 0^\circ$

$$v'_R = u'_R \delta_{FN0}$$

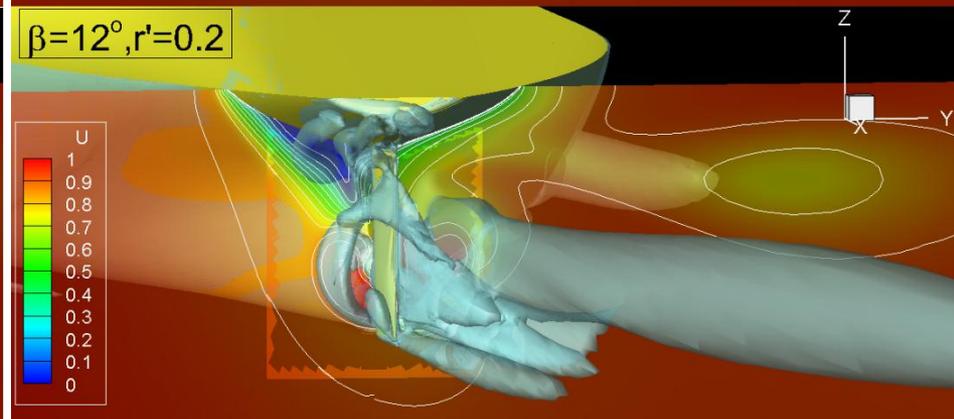
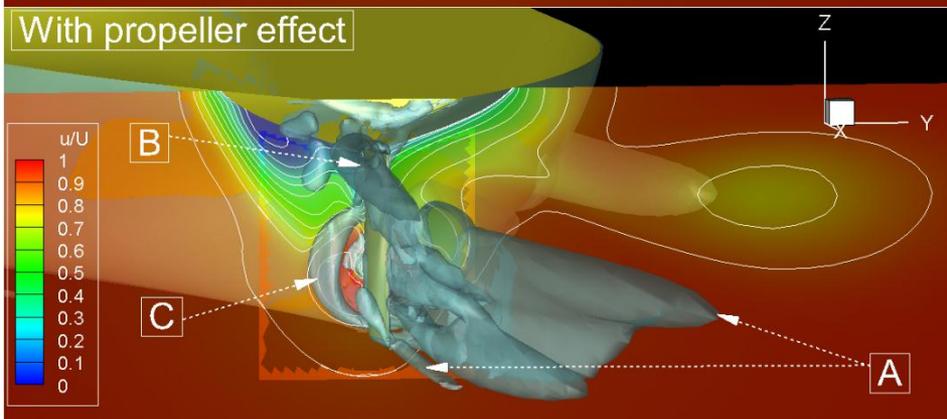
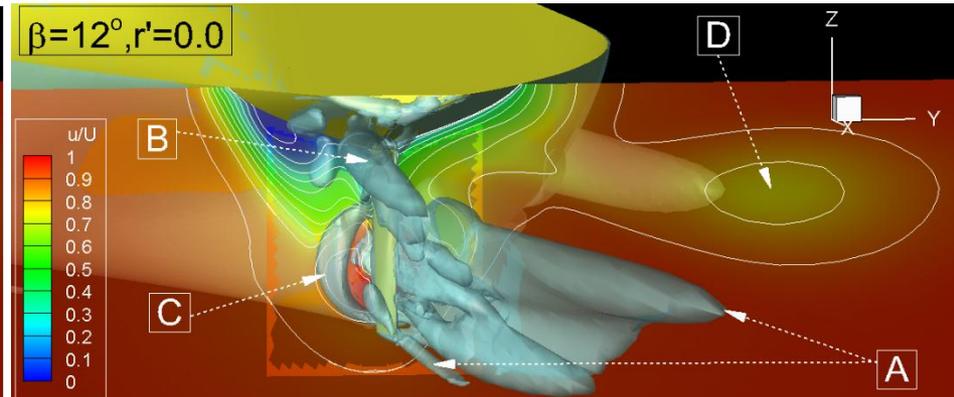
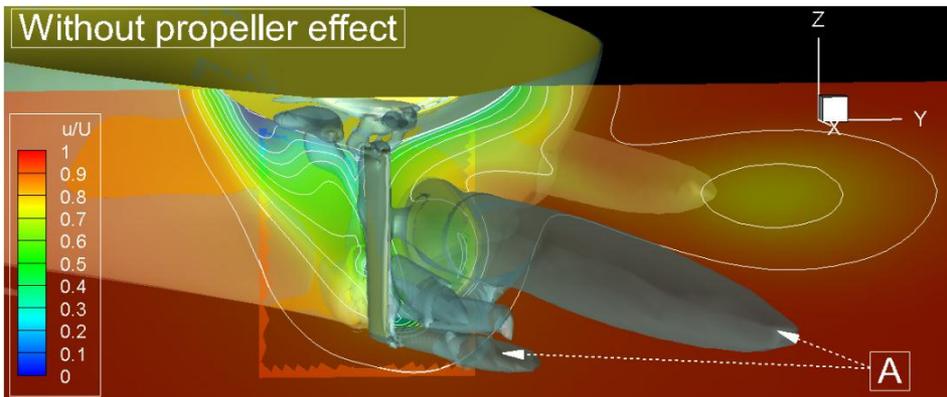
$$v'_R = \gamma_R (\beta - \ell'_R r')$$

- $\delta \neq 0$ のケースで、舵直圧力の推定精度向上が必要
- ラダーホーンの取扱いで、改善する可能性あり。
- ホーン部分は、舵直圧力および船尾圧力分布に大きく影響 (JASNAOE 2012)
- 結果として、整流係数 γ_R および舵干渉影響係数 (特に a_H) 推定精度に影響



3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

➤ 船尾流場の渦構造



斜航角12° : プロペラの影響

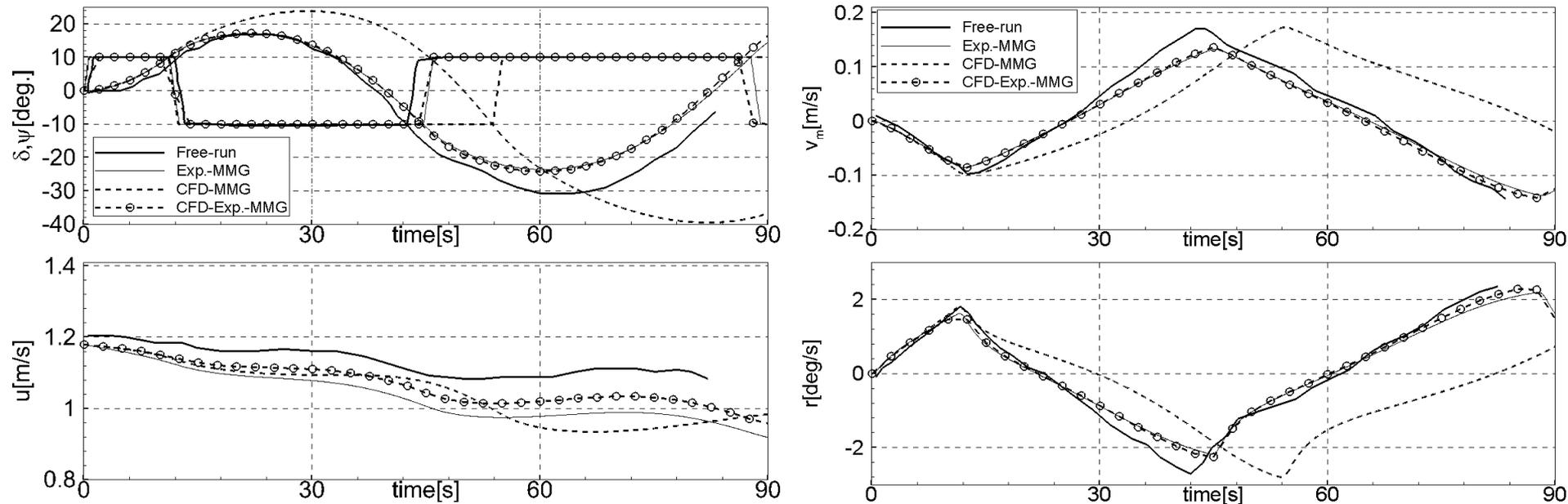
斜航角12° 旋回角速度の影響

- A: 舵右舷側からの剥離渦
- B: 舵上端からの剥離渦
- C: プロペラが造る渦
- D: 船首からの剥離渦



3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

➤ 10/10 Zig-Zag操縦運動推定結果

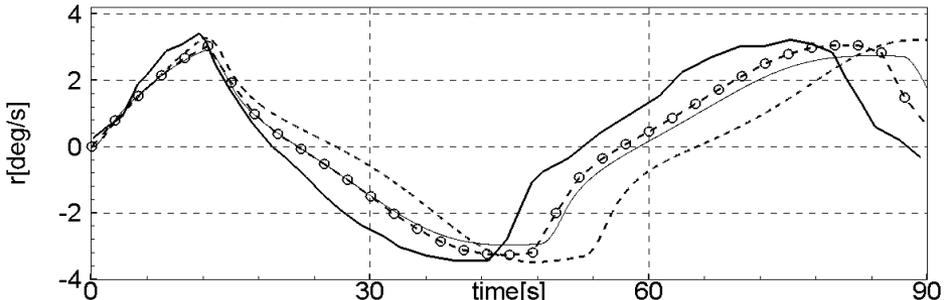
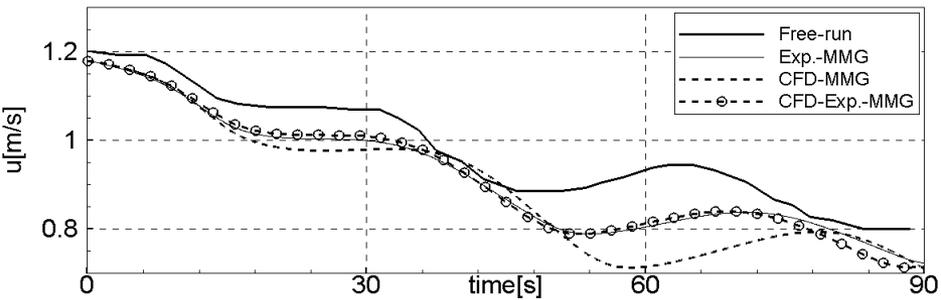
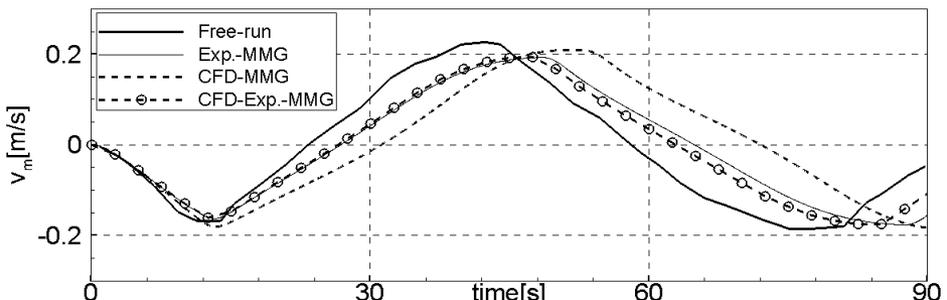
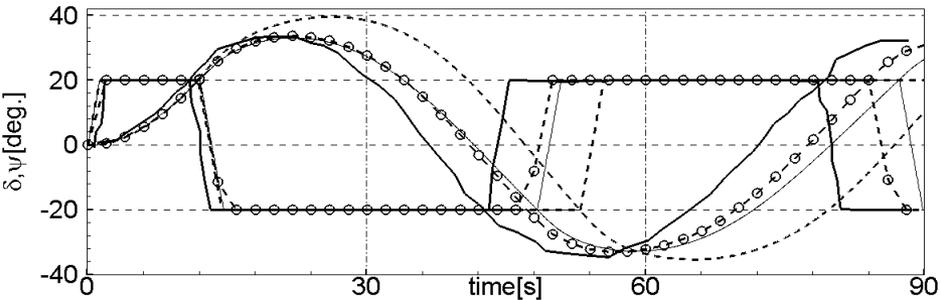


- Free-run → 自由航走模型試験結果
- Exp.-MMG → 全ての入力パラメーターを拘束模型試験で推定
- CFD-MMG → 全ての入力パラメーターをCFDで推定
- CFD-Exp.-MMG → Y_V', γ_R, a_H のみを実験値に置き換え



3. 具体的な検討: CFD-Systems based法

➤ 20/20 Zig-Zag操縦運動推定結果



	10/10 Zig-Zag		20/20 Zig-Zag
	1 st OSA[deg.]	2 nd OSA[deg.]	1 st OSA[deg.]
Free-run	6.8	20.7	13.4
Exp.-MMG	7.1	13.6	13.0
CFD-MMG	13.9	29.5	19.5
CFD-Exp.-MMG	7.3	14.2	13.6

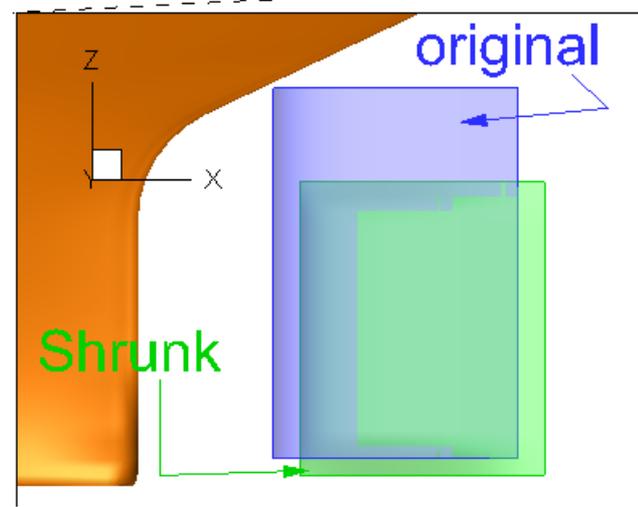


3. 具体的な検討: 直接計算法

➤ 対象船型: ESSO OSAKA



Hull:
 $L_{pp} \times B \times d = 325.0\text{m} \times 53.0\text{m} \times 21.79\text{m}$
 $C_B^{pp} = 0.831$
Propeller:
 $D = 9.1\text{m}$
 $P/D = 0.715$ (Skejic and Faltinsen 2008)
 $Z = 4^p$ (Simonsen and Stern 2005)
Boss ratio = 0.2 (Simonsen and Stern 2005)



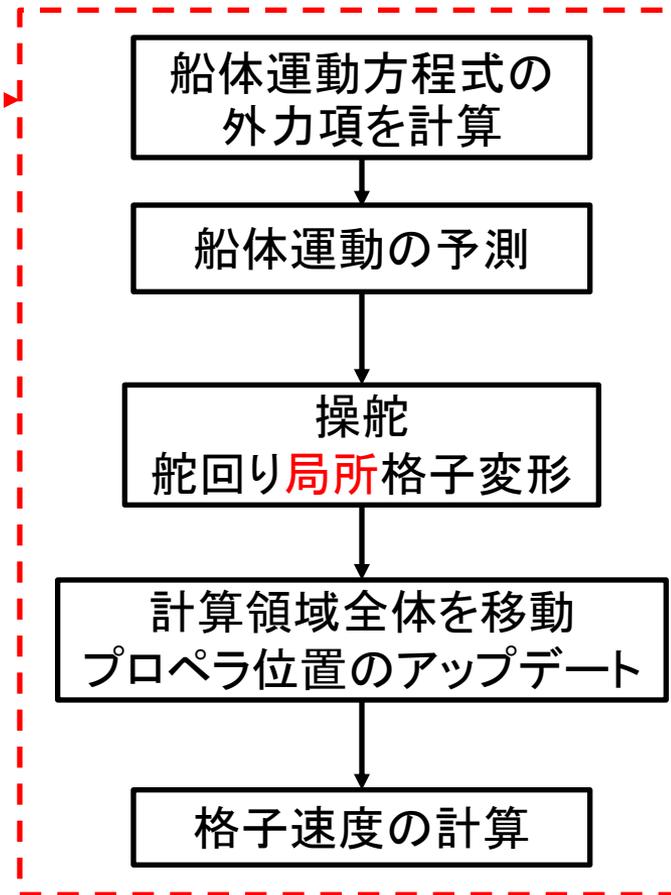
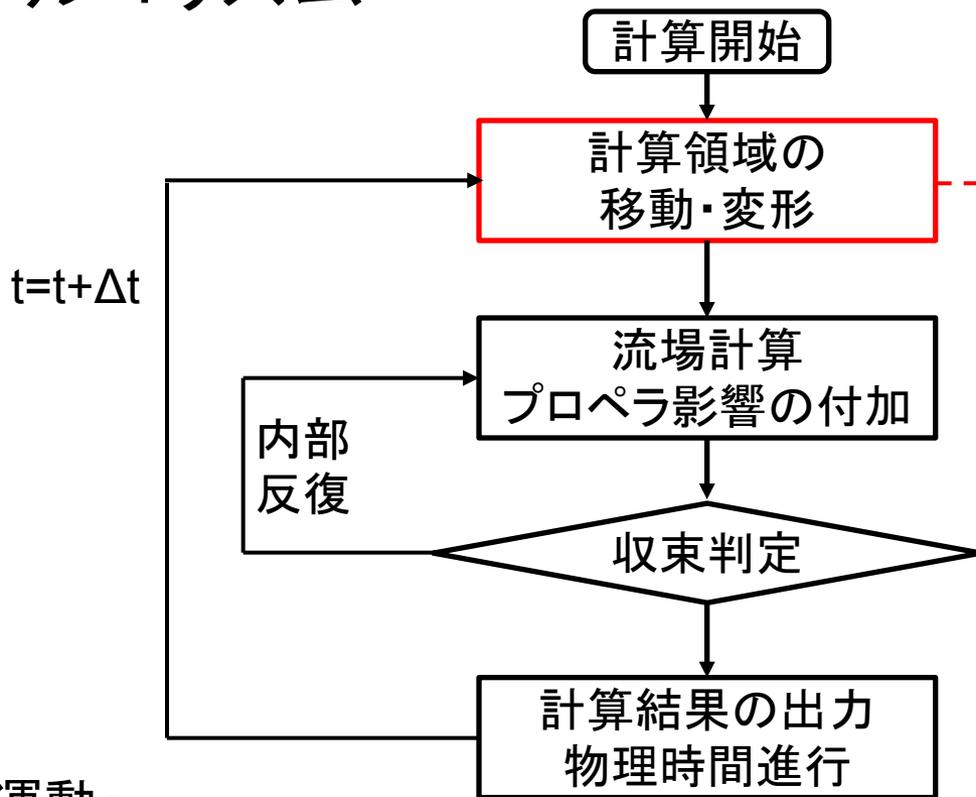
➤ “Shrunk” → 舵面積約19%減, $+0.3\%L_{pp}$ in X, $-0.2\%L_{pp}$ in Z

➤ 推定する操縦運動: 10/10, 20/20 Zig-Zag運動



3. 具体的な検討: 直接計算法

➤ アルゴリズム



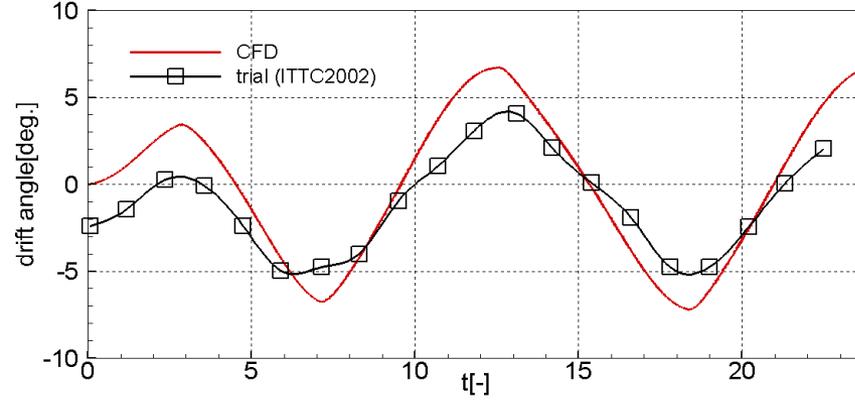
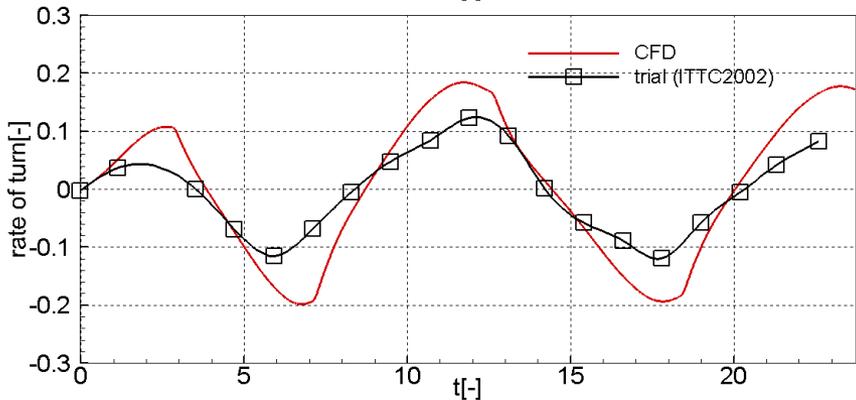
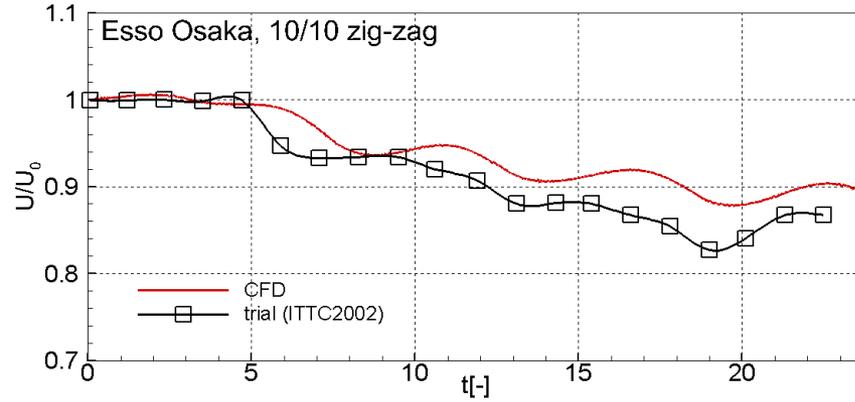
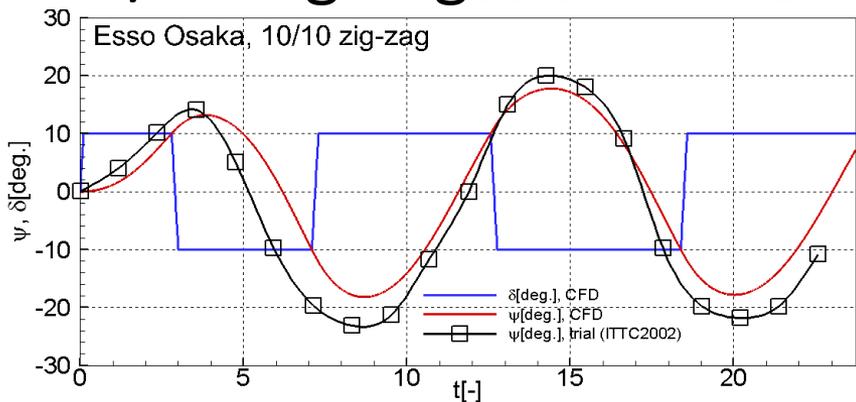
船体運動:

- **3自由度** (前後, 横, 回頭)
- 速度は1次精度
- 変位は3次精度



3. 具体的な検討: 直接計算法

➤ 10/10 Zig-Zag操縦運動推定結果

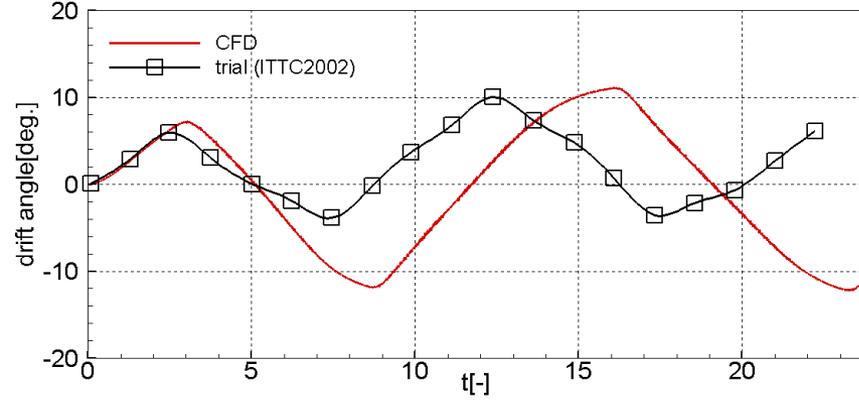
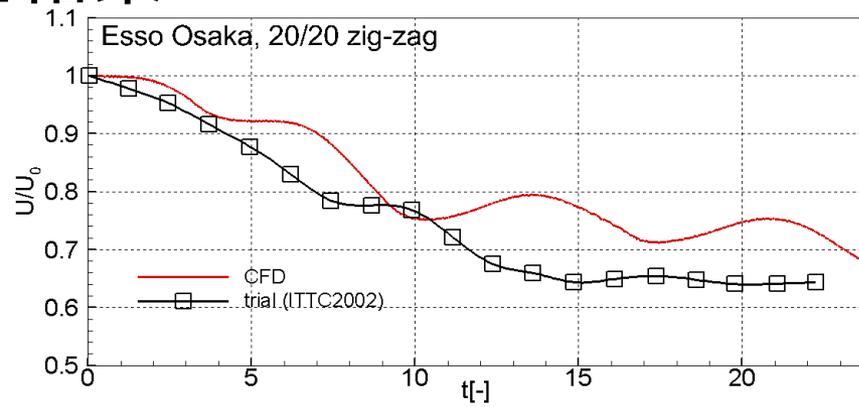
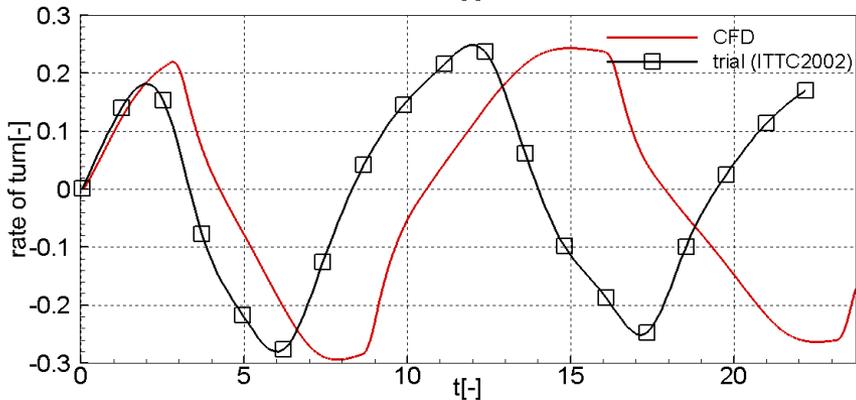
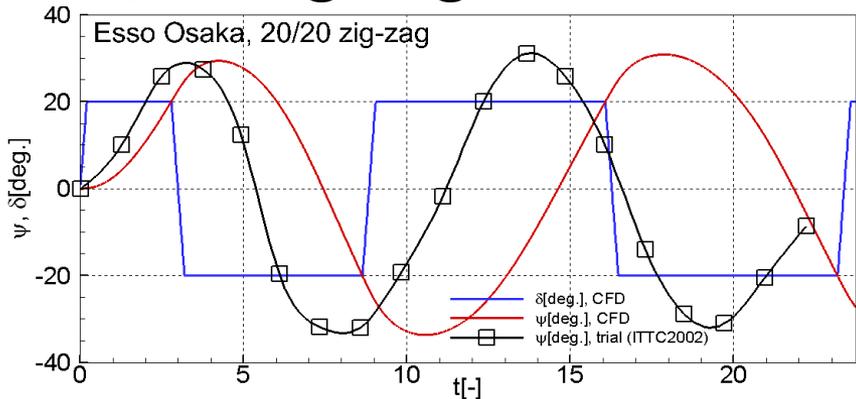


	1 st OSA	$T_{1stOS}[-]$	2 nd OSA	$T_{2ndOS}[-]$
Trial	4.21°	3.40	13.34°	8.61
CFD	3.13°	3.94	8.19°	8.67



3. 具体的な検討: 直接計算法

➤ 20/20 Zig-Zag操縦運動推定結果

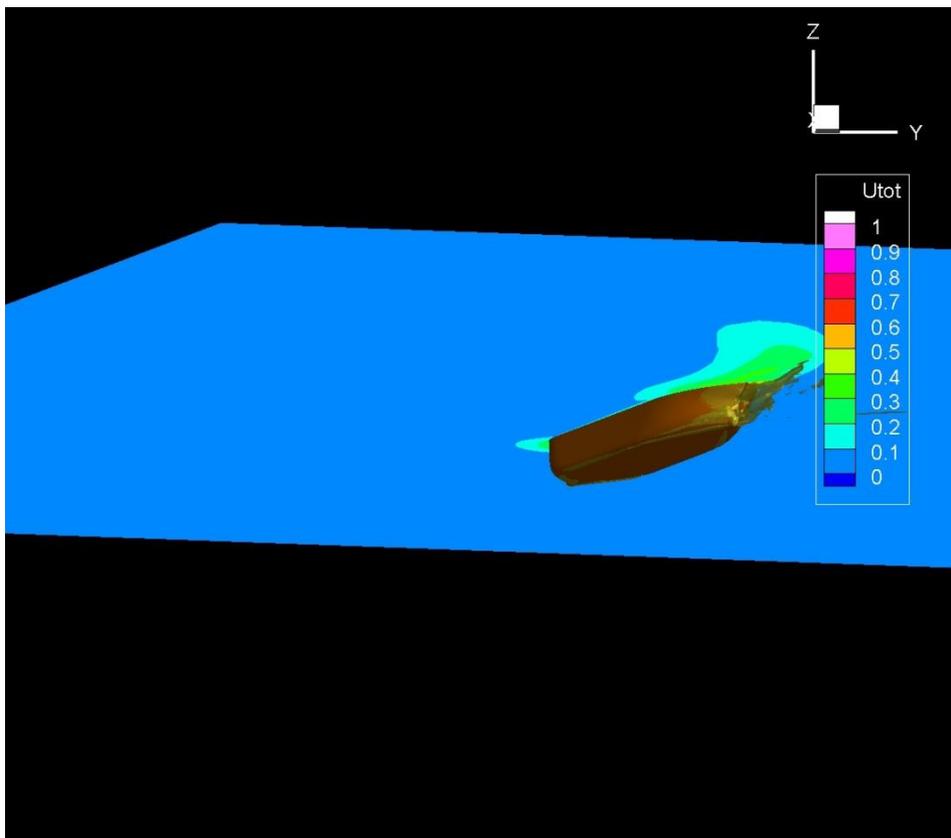


	1 st OSA	T _{1stOS} [-]
Trial	8.93°	3.26
CFD	9.36°	4.29



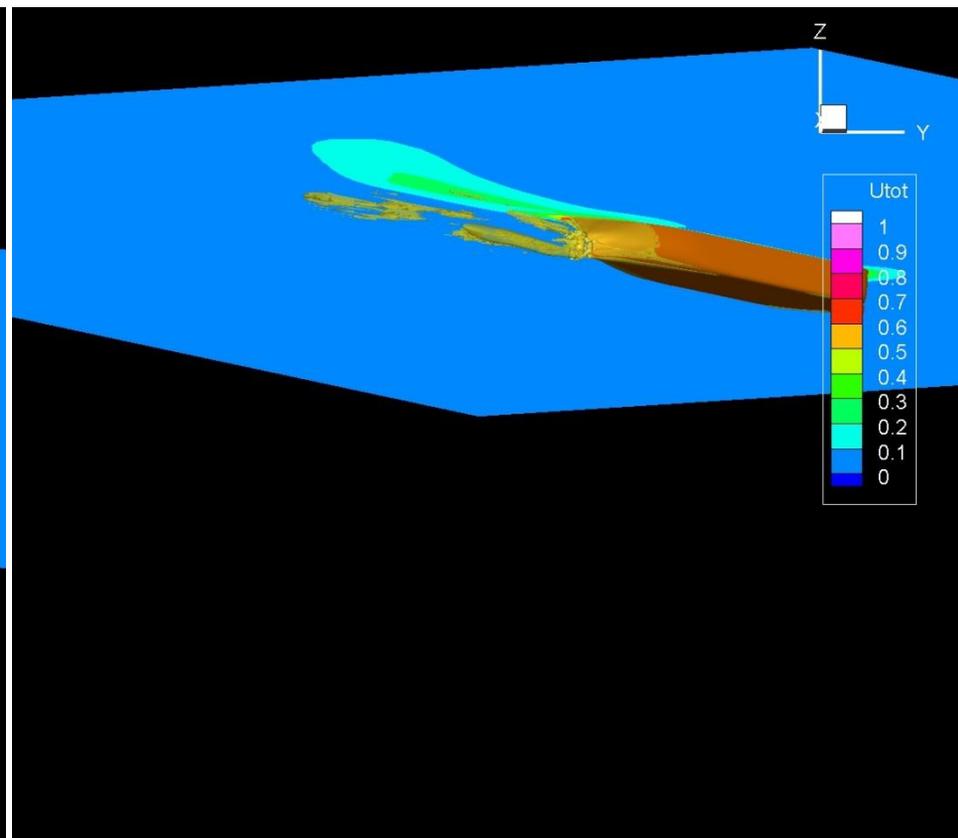
3. 具体的な検討: 直接計算法

➤ 10/10, 20/20 Zig-Zag運動中の船体回り流場



10/10 Zig-Zag運動

Click to animate



20/20 Zig-Zag運動

Click to animate



4. 結言

① CFD-Systems based法

- MMGモデルへの入力パラメーターは、全てCFDシミュレーションにより**推定可能**。
- 船体-舵干渉影響係数(特に a_H)および**整流係数 γ_R** の推定精度の改善が、**本手法のKey**。
 - a_H : 直進舵角計算時の**船体抵抗係数**
 - γ_R : 斜航・旋回かつ $\delta \neq 0^\circ$ の際の、舵直圧力
- **ラダーホーンの再現**により、改善の可能性有り

② 直接計算法

- 簡易的な移動・変形格子法でも、操縦運動の**直接計算が可能**。trajectoryも、実験結果に**定性的に一致**。
- 操舵・ホーン of 取扱い → **NAGISA&動的重合格子**へ