

# 60 操縦性能統合評価システムについて

海上安全研究領域 操縦制御研究グループ \*藤原敏文、上野道雄、二村 正、野中晃二、原口富博

## 1. はじめに

昨年度までに実施した特定研究「操縦性能評価技術に関する研究」においては、船体に作用する操縦流体力微係数の推定精度の向上、風、波と言った外乱力の推定精度の向上、実船の操縦性試験データベースを使った操縦性能推定手法の検討を行ってきた。最終年度では、それらの成果を統合し、容易に船の操縦性能が評価できるシステムの構築を行った。本システムにより設計段階において想定船舶の操縦性能を把握することができるとともに、実船試験等における外乱の影響を評価することができる。

本報告では、この操縦性能統合評価システムの紹介を行う。

## 2. システムの概要

操縦運動の基本計算は、MMG グループによって提案された操縦運動モデル<sup>1)</sup>を用い、操縦流体力微係数及び外乱の推定計算については、従来から提案されている方法<sup>2)3)</sup>に加え、より推定精度が向上した当所における研究成果を利用することが可能である。具体的には、船体に作用する操縦流体力の推定は、細長体理論に基づく野中<sup>4)</sup>によって提案された方法<sup>4)</sup>及びCFD計算<sup>5)</sup>により求められた結果、外乱力の推定は、藤原らによって提案された風圧力推定法<sup>6)</sup>、上野らの波漂流力推定法<sup>7)</sup>を用いることが可能である。最終的な結果は、画面上に航跡及びグラフで表示されるが、立体的に船体運動を描画し、視覚的に把握できる表示機能も備えている。

さらに、時間シミュレーションにより操縦運動を計算する方法とは異なり、実船の操縦性試験データベースを基に船体主要目から簡易に操縦性能を推定する方法<sup>8)</sup>を利用することもできる。

## 3. システムの構成

操縦性能統合評価システムは、以下に示す6つのパートから構成され、それぞれ独立して機能する。

### 1) 入力データ作成

操縦運動を計算するためのデータ（船体主要目及び船型データ等）を入力及び修正

### 2) 操縦流体力推定

細長体理論に基づく野中の方法により船体に働く流体力の計算

### 3) 操縦運動計算

入力データを使って操縦運動の計算及び計算結果

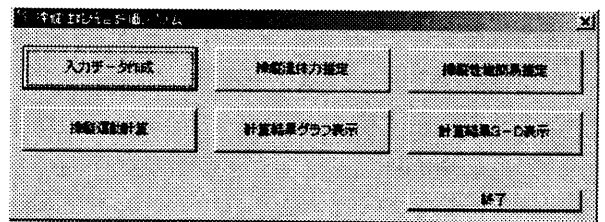


図-1 評価システム初期画面

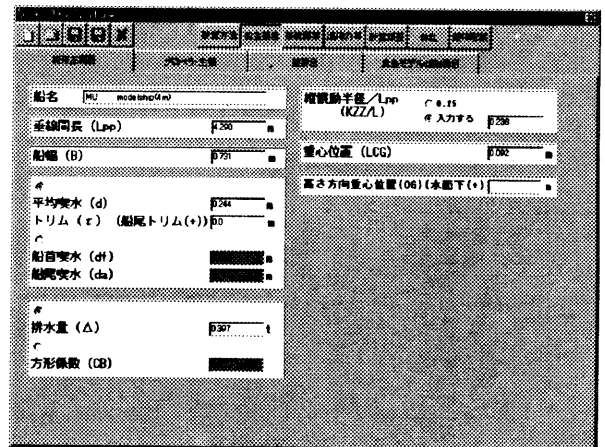


図-2 船体主要目の入力画面

の表示

#### 4) 計算結果グラフ表示

計算結果を再確認するために出力時系列データを表示

#### 5) 計算結果 3-D 表示

計算結果の 3 次元動画表示。描画する船舶の作画及び修正もこのパートで行う。

#### 6) 操縦性能簡易推定

実船試験データの回帰推定式により船体主要目のみから操縦運動を推定

使用環境は、パーソナルコンピュータ (DOS/V 互換機) を想定し、OS はマイクロソフト社の Windows とする。画面上で開かれたパネルにパラメータの入力及び選択を行うことで実行できる。入力画面例として、初期画面及び船体主要目の入力画面を図-1、図-2 に示す。

### 4. 操縦運動推定方法の概要

#### 4. 1 操縦運動時間シミュレーション

##### 4. 1. 1 概要

基本的な計算ルーチンは、MMG モデルによる操縦運動計算による。船体に作用する流体力の表現方法は平野モデル<sup>1)</sup>及び貴島モデル<sup>9)</sup>のいずれかの方法を選択する。

一般的に操縦運動を推定する場合には、前後方向、横方向、船首回頭方向の 3 自由度で計算されることが多いが、本システムでは横傾斜を含めた 4 自由度の操縦運動についても計算することがで

きる。

計算項目は、以下のとおりである。

- ・ 定常旋回 (設定舵角に対する旋回中の船速、偏角、角速度を求める。)
- ・ 旋回 (設定舵角での航跡を求め、船の旋回性能や外乱による影響を推定する。)
- ・ 逆スパイラル (設定旋回角速度に対する平均舵角を求める。)
- ・ 新針路 (転舵方位角に対する原針路からの針路変更角及び新針路距離を推定する。)
- ・ Z 操舵 (Z 操縦を行った時のオーバーシュート角を求める。)
- ・ 強風下保針 (風圧下での船の直進限界の風速を求め、操縦可能限界を推定する。)
- ・ 任意操舵 (主機出力及び舵角を任意に入力し、その際の船の航跡等を求める。)
- ・ スラスタ作動時の任意操舵 (任意運動中にスラスタ作動時の船の航跡等を求める。)
- ・ プロペラ逆転による停止制動 (プロペラ逆転時の操縦運動を推定する。)

外乱については、風、波、潮流の影響を考慮することが可能である。

##### 4. 1. 2 基本方程式

座標系は図-3 に示す様に水平面内に空間固定座標  $O-x_0y_0$  をとる。また、船の重心  $G$  に原点を置き、船首方向に  $x$  軸、水平面内の船幅方向に  $y$  軸を、鉛直下方に  $z$  軸をとった船体固定座標  $G-xyz$  を考えると船の運動方程式は次の様に表される。

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= X \\ m(\dot{v} + ur) &= Y \\ I_{zz}\dot{r} &= N \\ I_{xx}\ddot{\phi} &= K \\ 2\pi d_E \dot{n} &= Q \end{aligned} \quad (1)$$

ここで  $m$  ; 船体質量、 $I_{zz}$ 、 $I_{xx}$  ; 回転慣性モーメント、 $I_E$  ; 主機及びプロペラ軸系の回転慣性モーメントである。(1)式における右辺の力及びモーメ

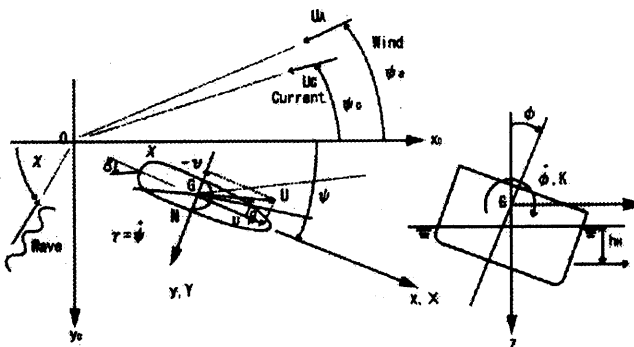


図-3 座標系

ントは、次式の様に表される。

$$\begin{aligned}
 X &= X_H + X_P + X_R + X_A + X_W + X_T \\
 Y &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_A + Y_W + Y_T \\
 N &= N_H + N_P + N_R + N_A + N_W + N_T \quad (2) \\
 K &= K_H + K_P + K_R + K_A + K_W + K_T \\
 Q &= Q_P + Q_E
 \end{aligned}$$

ここで、添え字 H、P、R、A、W、T を付した項は、それぞれ主船体(裸殻)に働く流体力、プロペラによる力、舵により主船体に誘起される流体力、風による風圧力、波による強制力(フルードクリロフ力及び波漂流力)、スラスターにより生じる力及びモーメントを表す。なお、 $Y_P$ 、 $N_P$ 、 $K_P$  はプロペラ逆転による不平衡力を表わす。また、 $Q_P$ 、 $Q_E$  は、プロペラ及び主機トルクである。

#### 4. 1. 3 外力の計算方法

(2)式右辺外力項については、平野モデル及び貴島モデルの2種類の表示方法から選択する。

船体に作用する流体力  $Y_H$ 、 $N_H$  については、細長体理論に基づく方法<sup>4)</sup>により求めることができる。その他、代表的な船体に働く流体力の推定手法として、井上の方法<sup>2)</sup>と貴島の方法<sup>3)</sup>により各項の値を求めることが可能である。また、CFD や実験により得られた値を入力することも可能である。

風圧力項  $X_A$ 、 $Y_A$ 、 $N_A$ 、 $K_A$  については、多種多様な近年建造された船舶の風洞実験結果を使った回帰分析により求められた推定式<sup>6)</sup>により値を得ることができる。参考までに、風外乱のパラメータの入力画面を図-4に示す。

$X_W$ 、 $Y_W$ 、 $N_W$  の定常波漂流力成分は、操縦運動中の船体周りの流れにおいて生じる短波長波の屈折を考慮した方法<sup>7)</sup>により推定できる。

潮流については、座標変換によりその影響を修正するため(2)式中には現れないが、相対風向・風速を計算する際にその影響が考慮される。

他の項については、文献(1)で述べられている方法に従った。

一例として、図-5及び図-6に平野モデルで

計算した旋回運動の結果を示す。

#### 4. 2 操縦性能簡易推定

操縦性能簡易推定法は、実船の操縦性試験データの回帰推定式により、流体力の計算等を行うことなく船体主要目のみから平水中の操縦運動を推定する。推定項目は、IMO 操縦性暫定基準(A751(18))<sup>10)</sup>で規定されている以下の項目である。

- ・旋回縦距 (Advance)
- ・旋回径 (Tactical Diameter)
- ・初期旋回性能 (Initial Turning Ability)
- ・10度 Z 操縦試験のファーストオーバーシュート角及びセカンドオーバーシュート角
- ・20° Z 操縦試験のファーストオーバーシュート角

簡易推定の入力画面及び計算結果を図-7に示す。

#### 5. おわりに

平成9年より取り組んできた特定研究「操縦性能評価技術に関する研究」で得られた成果を操縦性能統合評価システムとしてとりまとめた。このシステムは、現状における操縦運動推定に関する最新の成果を含めた形で構成されており、設計段階での操縦性暫定基準値への適合等操縦性能に関する検討を行うことができる。

今後、本システムの検証を重ね、より実用的なシステムとなるよう改良を続けていく必要がある。本システムが、外乱下の船舶の操縦運動を推定する上で広く利用されれば幸いである。

The screenshot shows a software interface for inputting wind disturbance parameters. It includes the following sections:

- 風の状態 (Wind Conditions):** Fields for wind speed (VA) in m/s, wind direction (ψA) in deg, and wind direction (ψA) in deg.
- 水線上船体形状 (Hull and Superstructure Shape):** Fields for total length (LOA) in m, front view area (AT) in m<sup>2</sup>, and side view area (AL) in m<sup>2</sup>.
- 風圧算定の計算方法 (Wind Pressure Calculation Method):** Radio buttons for 'Iskrenand's method' (Iskrenandの方法) and 'Input' (入力).
- Iskrenand's method (Iskrenandの方法):** A sub-section with radio buttons for 'Reference method' (参照の方法) and 'File-based input' (ファイルの読み込み).
- Input fields for Iskrenand's method:**
  - Upper hull side view area (AOD) in m<sup>2</sup> (船体部を除いた側面積)
  - Distance from hull center to superstructure center (C) in m (船首方向(+))
  - Distance from hull center to main superstructure (ASS) center (CSR) in m (船首方向(+))
  - Height from water surface to superstructure (HER) in m
  - Height from water surface to superstructure center (HC) in m

図-4 風外乱の入力画面

参考文献

- 1) 平野雅祥ら：造船設計への操縦運動モデルの応用Ⅱ－実船の操縦性能推定－、日本造船学会、1981、pp.101-136
- 2) 井上正祐 他：等吃水船体の操縦微係数について、西部造船会々報第 57 号、1979、及び、操縦時船体に働く横力・モーメントの非線型項について、西部造船会々報第 58 号、1979
- 3) 貴島勝郎、名切恭昭：船尾形状を考慮した操縦流体力の近似的表現、西部造船会々報第 98 号、1999
- 4) 野中晃二、原口富博、二村正、上野道雄、藤原敏文、牧野雅彦、見玉良明、吉野良枝：操縦運動時の船体周りの流場に関する研究、船舶技術研究所報告第 34 巻第 5 号、1997、pp.207-232
- 5) 宮崎英樹、野中晃二、日野孝則、平田信行、二村正、上野道雄：CFD による操縦流体力の推定について、日本造船学会論文集第 187 号、2000、pp.121-130
- 6) 藤原敏文、二村正、上野道雄：船体に働く風圧力の推定、日本造船学会論文集第 183 号、1998、pp.77-90
- 7) 上野道雄、二村正、宮崎英樹、野中晃二：短波長中を操縦運動する船に働く定常波力について、日本造船学会論文集第 188 号、2000、pp.163-172
- 8) 原口富博：第 3 章操縦性能データベースと実船の操縦性能簡易推定法、試験水槽委員会シンポジウム操縦性および復原性基準に関する研究の動向、日本造船学会、2000
- 9) K.KIJIMA et al：On the manoeuvring performance of a ship with the parameter of loading condition, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.168, 1990
- 10) IMO Resolution A.751(18), 'Interim Standards for Ship Manoeuvrability', Nov. 1993

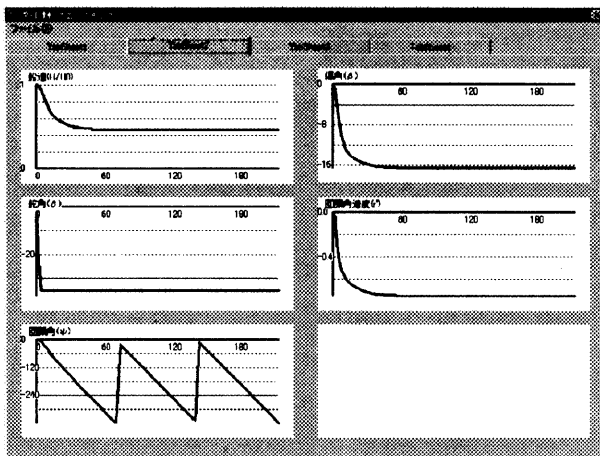


図-5 操縦運動の計算結果 (時系列データ)

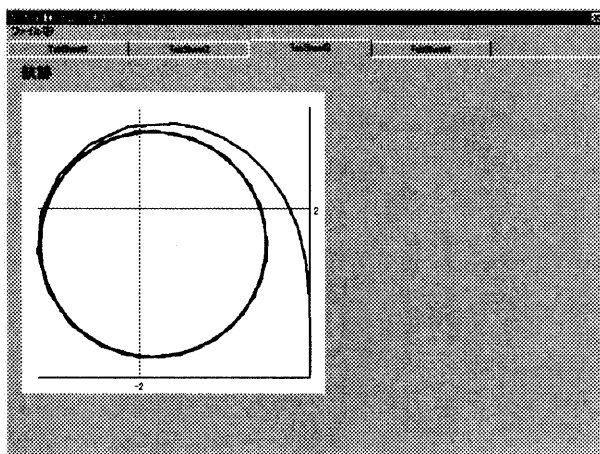


図-6 操縦運動の計算結果 (運動の航跡)

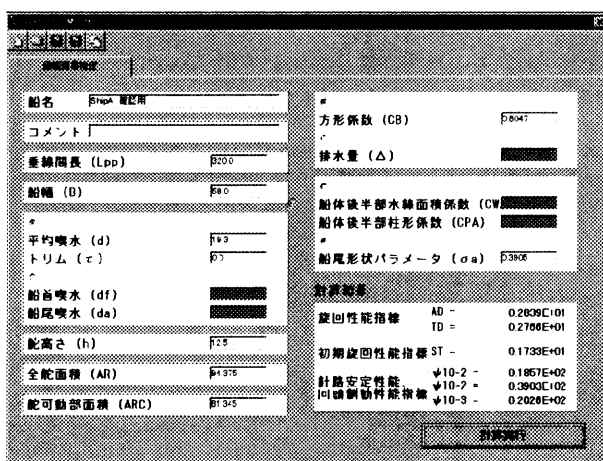


図-7 操縦性能簡易推定法の入力画面及び計算結果