

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21656226

研究課題名（和文） 閉ループ同定アプローチによる船舶操縦性能推定に関する研究

研究課題名（英文） On estimating a ship maneuverability based on closed-loop identification approach

## 研究代表者

梶原 宏之 (KAJIWARA HIROYUKI)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：30114862

研究成果の概要（和文）： 船舶の野本モデルの推定は通常 Z 試験により行われるが、これは開ループ同定であり、潮流などの外乱に無防備である。本研究では、外乱下でも適用できる閉ループ同定による野本モデルの推定手法の開発を試みた。種々のシミュレーションに基づいて、Z 試験から得た野本モデルは Z 試験自体の再現をうまく行えるが、制御系設計用の公称モデルとしては、閉ループ同定に基づく野本モデルの方が優れていることを確認した。

研究成果の概要（英文）： The conventional method to estimate NOMOTO models for ships based on Zig-Zag maneuvers doesn't work very well under disturbances of current. In the research, we have tried to develop a new method based on closed loop identification which is applicable under disturbances. Using computer simulations, we have shown that NOMOTO models via the proposed method is superior as nominal models in control systems design to those via Zig-Zag maneuvers, although the latter can represent Zig-Zag maneuvers very well.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	500,000円	0円	500,000円
2010年度	2,300,000円	0円	2,300,000円
2011年度	500,000円	150,000円	650,000円
2012年度			
2013年度			
総計	3,300,000円	150,000円	3,450,000円

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 総合工学・船舶海洋工学

キーワード： (1) 操縦性能 (2) Z 試験 (3) 潮流 (4) 閉ループ同定 (5) DPS (6) PID 制御 (7) 推力配分 (8) 画像センサ

## 1. 研究開始当初の背景

「操縦性能暫定基準」の対象となるのは風や波などの外乱のない平水中の操縦性能である。一方、大型船舶の海上試運転は、風、波、潮流の影響下で実施することが避けられない。したがって、船舶の実海域操縦性能試験データが与えられるとき、相当する平水中の操縦性能を推定する必要がある。システム制御工学の観点に立つと、上記の問題は、閉

ループ同定という範疇で捉えられるが、現状では開ループ同定の問題としてのみ検討されていると言える。たとえば実海域において Z 試験という開ループ同定試験を行うこと一つを取っても、なぜ閉ループ同定試験を行わないのかと思われる。その原因は、一つには閉ループ応答から開ループ応答を求める議論が十分なされていないことによると考えられる。

## 2. 研究の目的

船舶の針路保持制御のために、針路安定性を評価する野本モデル (T, K モデル)

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\frac{1}{T}\varphi + \frac{K}{T}\delta$$

が使われる。針路保持のための制御系設計を適切に行うためには、野本モデルの T, K を正確に求めることが必要である。

一般に、線形システムの応答特性を知るためには、インパルス応答、ステップ応答、周波数応答の3つのうち、いずれかの応答を得ることが求められる。この中で、インパルス応答は構造物などの場合はインパルスハンマーを用いてその応答を得ることができるが、船舶の場合は、舵にインパルスを入力することが現実的に不可能なため、インパルス応答を得ることができない。周波数応答は簡便ではあるが、低周波領域の同定を行う際に時間がかかるという問題がある。そのため、船舶の応答特性を知るためには、ステップ応答を得ることが最良である。

しかし、船舶は一種の不安定系である無定位系であるために、ステップ応答は発散してしまう。そこで、一般には、船舶の針路安定性を評価する野本モデルは、Z 試験の結果から推定される。この Z 試験は、ステップ状の信号 (舵角) を入力し、目標値に達したら逆符号のステップ状の信号 (舵角) を入力しなおすという操作を繰り返す試験である。しかし、この Z 試験の応答は真のステップ応答ではないので、線形システムとしての野本モデルの同定には適していない。

一方で、船舶に単位フィードバック制御をかけることにより、その閉ループシステム全体のステップ応答から野本モデルを得ることができる。これは、閉ループ同定を行っていることになる。この場合、閉ループシステムから開ループシステムの応答を求めなければならない。

本研究では、外乱影響を与えることのできる船舶の非線形シミュレータを用いて、Z 試験と単位フィードバック下でのステップ応答試験からそれぞれ野本モデルを導出し、どちらが制御系設計において妥当なモデルとなるかを検討することを目的とした。

## 3. 研究の方法

次の手順で行った。

ステップ 1 : 適当な船舶の非線形シミュレータを導入する。

ステップ 2 : Z 試験と単位フィードバック下でのステップ応答試験からそれぞれ野本モデルを導出する 2 つの同定の手法を確立する。

ステップ 3 : 非線形シミュレータを用いて先に述べた同定を行い、両手法についてその同定結果を比較する。

ステップ 4 : 求めた同定結果を用いて簡単な制御系を設計し、そのコントローラを非線形シミュレータで動作させることにより、どちらの同定手法が制御系設計において優れているかを比較する。

ステップ 1 では、Fossen らが開発した Marine System Simulator (MSS) の中から多目的艦を同定および制御対象として選んだ。

ステップ 2 では、Z 試験からそれぞれ野本モデルを得る方法は、造船協会試験水槽委員会の手法を用いた。一方、単位フィードバック下でのステップ応答試験からそれぞれ野本モデルを得る方法は、その第 1 番目のオーバーシュートの行き過ぎ量と、その時刻

$$p_0 = \exp\left(-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right), \quad T_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

から計算するもので、極めてシンプルであるが、ほとんど知られていない方法である。

## 4. 研究成果

### 4.1 ステップ 2 に関して

まず、2 つの同定手法における、船体の速度変動を調べた。

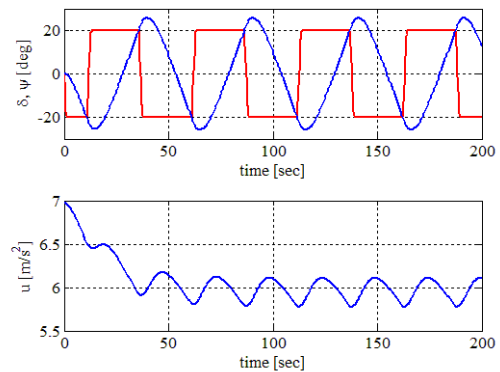


図 1 Z 試験時の速度変動

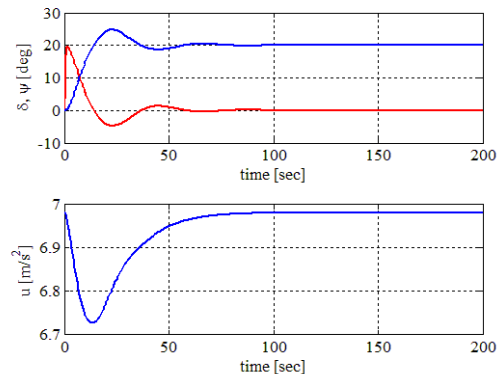


図 2 ステップ応答試験時の速度変動

図 1 から Z 試験中の速度は常に変動しており、ある程度時間が過ぎると落ち着くが、その平均値は試験開始時の速度よりも小さな

値となる。図2からステップ応答試験中は、方位角が一定値に落ち着くまで速度の低下があるが、一定値になると試験開始時の速度に戻る事がわかる。以下では無次元化を行った  $T, K$  を  $T', K'$  と表記するが、Z 試験の場合は試験中の前進速度の平均値を用いる。

次に2つの同定手法の有効性を調べるために、種々の舵角に対して、非線形シミュレータの応答と同定した野本モデルの応答を比較した。図4と図5は、舵角  $20^\circ$  に対するものであるが、単位フィードバックのもとでのステップ応答に基づく閉ループ同定の方の優位性が認められる。

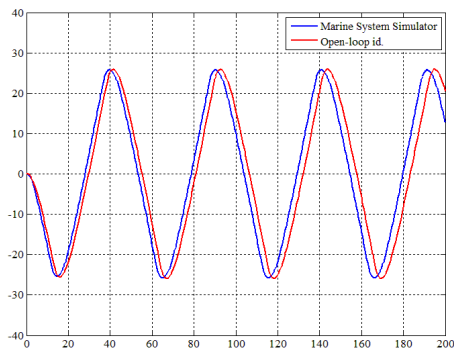


図4 舵角  $20^\circ$  のときのZ試験

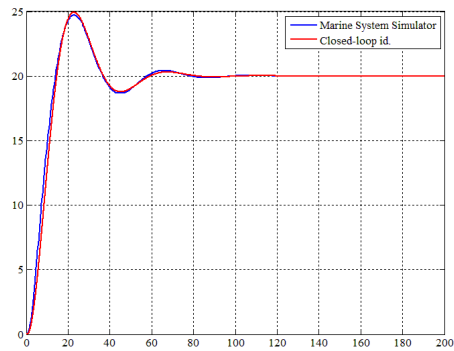


図5 舵角  $20^\circ$  のときのステップ応答試験

#### 4.2 ステップ3に関して

##### (1) 潮流がない場合

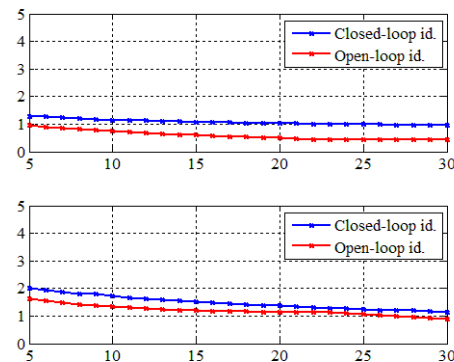


図6 潮流がない場合の同定結果  $T', K'$

図6から、Z 試験に基づく開ループ同定は単位フィードバックのもとでのステップ応答に基づく閉ループ同定よりも  $T', K'$  を小さく、すなわち運動の追従性を大きく、旋回力を小さく見積もる傾向があるといえる。

##### (2) 潮流の流入角による影響

潮流の様々な流入速さに対して、流入角を変えながら、 $T', K'$  の変化を調べた (図7)。

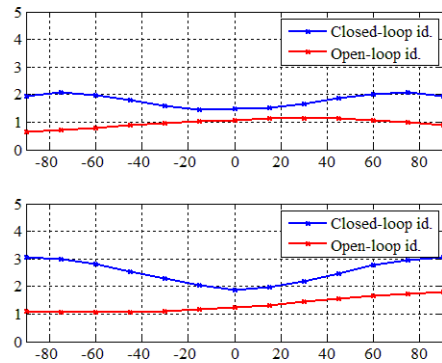


図7 流入速さ  $1.4\text{m/s}$ 、舵角  $10^\circ$  のときの同定結果  $T', K'$  (横軸は流入角)

##### (3) 潮流の速さによる影響

潮流の様々な流入角に対して、流入速さを変えながら、 $T', K'$  の変化を調べた。

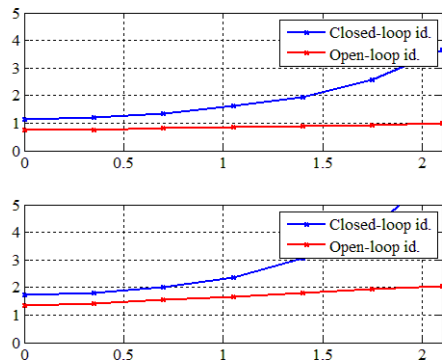


図8 流入角  $90^\circ$ 、舵角  $10^\circ$  のときの同定結果  $T', K'$  (横軸は流入速さ)

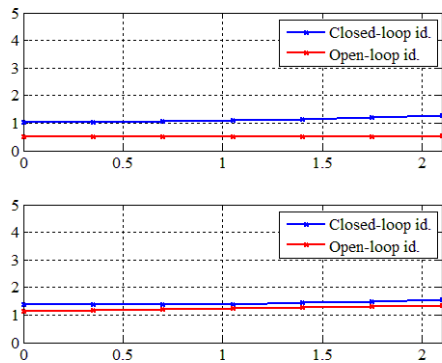


図9 流入角  $90^\circ$ 、舵角  $20^\circ$  のときの同定結果  $T', K'$  (横軸は流入速さ)

真横から潮流を受けるとき、舵角が $10^\circ$  のときは非常に強い影響を受けていたが(図8)、舵角が $20^\circ$  以上になるとあまり影響を受けない(図9)ことが確認できる。

#### 4.3 ステップ4に関して

2つの同定手法で得た野本モデルが制御系設計用の公称モデルとして、どちらが優れているか、次の手順により比較を行った。

1) Z試験, ステップ応答試験を非線形モデルに対して行い, それぞれの野本モデルの同定を行う。

2) 1)で得られた2つの野本モデルを用いて適当な制御用のPDコントローラを作成する。さらにそのコントローラで, 野本モデルに対して制御を行い, その応答を記録する。

3) 2)で作成した2つのコントローラを用いて非線形モデルに対して制御を行い, その応答と2)で記録した応答とを比較する。

2)で記録している応答は制御系設計の段階で目的とする応答であるので, この応答と2)で作成したコントローラを非線形モデルに適用したときの応答が近ければ, 制御目的をより適切に達成できているといえる。

図10~図13の結果より, 閉ループ同定による野本モデルに基づく制御系設計の優位性が示された。

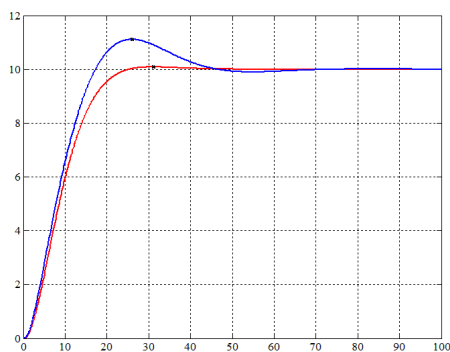


図10 舵角 $10^\circ$  の場合のZ試験結果に基づくPD制御系の比較

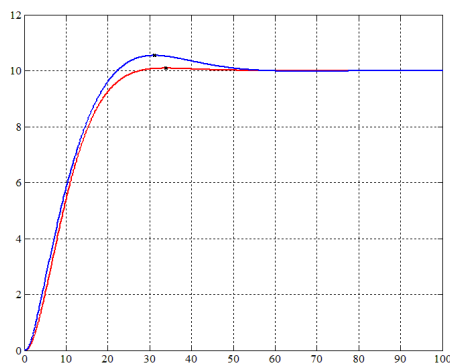


図11 舵角 $10^\circ$  の場合の閉ループ同定結果に基づくPD制御系の比較

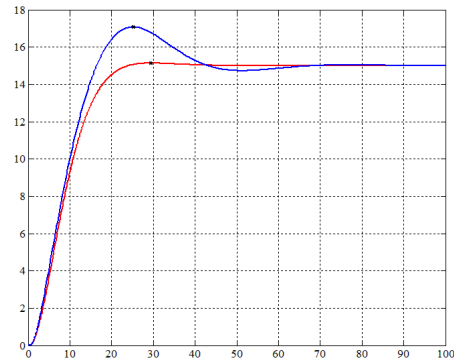


図12 舵角 $15^\circ$  の場合のZ試験結果に基づくPD制御系の比較

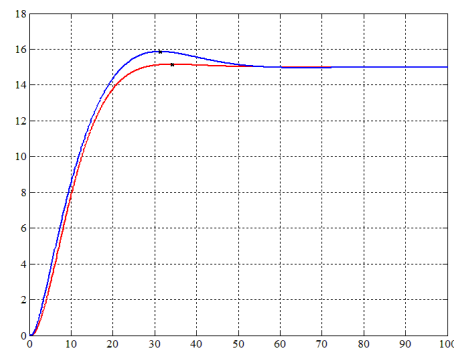


図13 舵角 $15^\circ$  の場合の閉ループ同定結果に基づくPD制御系の比較

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

1) 濱田啓太、梶原宏之:閉ループ同定に基づく船舶の針路保持制御に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, Vol. 11, pp. 411-414, 2010年11月

〔その他〕(計1件)

2) 濱田啓太:船舶動特性の閉ループ同定に関する研究, 九州大学修士論文, 2011年3月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕(計0件)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶原宏之 (Hiroyuki KAJIWARA)

九州大学大学院・工学研究院・教授

研究者番号: 30114862

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携協力者

濱田啓太 (Keita HAMADA)

九州大学大学院・工学府修士課程