220GT 型練習船の大型船操縦特性への擬似化－ I ．

岩崎 寛希*・井上 欣三**

Research on Pseudo-Operation of Larger Vessels by Using a 220GT Training Ship－ I ．

Hiroki IWASAKI and Kinzo INOUE

Abstract

It has increasingly become apparent that the safe and efficient educational training by using a ship simulator should be of great importance.

The speed of ship are slower, as you see, compared with those of airplanes, automobiles, and so forth. It is essential to provide a highly equipped-apparatus of a large scale to project the whole surrounding scenery, in order to do the efficient ship simulating. At present, these simulators are not fully equipped even with larger vessels in Japan. Even if we established and operated those simulators, it seems difficult to thoroughly express the real situations to the full with a real ship.

Our college has a training ship. It is possible to choose two ship operation modes in our training ship; one is a control mode by manual, and the other is by computer. However, unlike what we expected, responses of the movement through two modes differs too much from those of larger vessels which we are to experiment with.

We aim that these two present situations are in harmony with each other. We try to create a control mode to make the operation characteristics of the training ship merged with that of a larger vessel. By doing so, we may be able to obtain experience as if we were navigating a larger ship in a real sea.

We would like to do research to create such a new control mode. If this mode is used, we might be able to experience the characteristics of ships of all sizes in a real sea with only one training ship.

1. はじめに

初心者の大型船操縦訓練において、ビジュアル型操船シミュレータの必要性が高まっている。がしかし、飛行機、車と違い、実速力がゆっくりとした船舶操縦シミュレータでは、周囲の風景を洩らさず映し出す大がかりな設備が必要となり、本邦でもその設置数は限られている。また、当該シミュレータを設置、運用したとしても、大型船の操船において、シミュレータ訓練時での距離感、操縦特性、視界環境、緊張感（岩崎ら⁽¹⁾は、指尖脈波を用いた緊張度が、シミュレータ訓練より実船訓練の方が、約20%高いと報告した。）等が、実船操船時とは一致すると

いうものではない。

一方、本校は220GT型練習船を有しており、この練習船は操縦訓練における人間が操縦するモードと、コンピュータによる操船制御モード⁽²⁾（以下、大島丸データ処理システムと記す。）選択が可能である。

これら2つの現状を結びつけ、現練習船の操縦特性を、大型船並みに人工的に劣化させ、あたかも大型船を操縦しているような体験を実海域で会得できるような、新たな大型船の操縦性擬似化システムを作成した。しかし、練習船に比べ大型である擬似化対象船は、軒並みサービススピードは速い。船速の遅い船に、速い船のスピードの追従を要求するのは無

* 正会員 大島商船高等専門学校（〒742-2193 山口県大島郡大島町小松1091-1）

** 正会員 神戸商船大学（〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1）

理である。したがって、練習船並みに速度を落とした大型船を擬似化の対象とした。そうすることで、船舶操縦シミュレータで訓練した大型船の操縦を、この大型船に操縦特性を擬似化した練習船を用いて、実海域で試することができるようになる。この擬似化という考え方は、鳥野ら⁽³⁾が練習船の操縦特性を、大型船並みに人工的に劣化させ、あたかも大型船の運転体験を実海域で得られる操縦変換装置を提案している。しかし、23年前の当時、船舶運動モデルの推定精度の有効範囲が限定され、その推定された運動を具現化する制御コンピュータの性能にも不足があった。そのため、操舵に対する減速が無視できる、初動の範囲でしか擬似化を達成できなかった。

本報告では、これらを改善し、実海域での大型船に擬似化した練習船を用いた操縦訓練が可能なシステム（以下、操縦性擬似化システムと記す。）を作成したので報告する。

2. 擬似化の方法

2.1 操縦性擬似化システムの構成

図1 システム構成図

本システムの機器構成を、図1に示す。構成は、特設舵輪、擬似化対象船モデル、擬似化制御モデル、大島丸データ処理システムから成っている。特設舵輪以外は、大島丸データ処理システムが入っているワークステーションに納めた。なお、特設舵輪とはLAN通信を用いて、他のモジュール間はプロセス間通信を用いて情報交換させた。

まず、特設舵輪であるが、練習船の操縦権をコンピュータ制御に切り替えた場合、同船の操舵輪がオフラインとなる。したがって、ゲーム用のハンドルタイプのジョイスティックとセンシングパソコンを組み合わせ、特設舵輪を作り上げた。その特設舵輪から発せられる命令舵角は、LAN通信によって、以下に述べる擬似化対象船運動モデルへ伝達される。

2.2 擬似化対象船とその操縦運動モデルのチューニング

船の操縦訓練を受けようとする初心者にとって、大型船の操縦は、命令舵に対する旋回応答が遅く、ゆっくりし過ぎているため難しい。つまり、操舵に対する旋回運動のテンポをつかみ、本意としない運動を、発達する前の段階で押さえ込むという、旋回運動の長い先の予測制御を、訓練で修得しなければならないと考える。一般に、この操舵に対する旋回運動のテンポの遅さは、 L/V に関連する⁽⁴⁾と言われる。このことから、擬似化対象船としては、図2に示すように、 L/V に関連付け、旋回運動のテンポの早い順に6隻（6船種）選んだ。その主要目を表1に示す。

図2 擬似化対象船と L/V

表1 擬似化船の主要目

船種番号	船種	長さ(m)	幅(m)	総トン数	スピード kt
1	練習船	38	7.6	220	12.5
2	小型カーフェリー	55	12.5	700	14.4
3	小型タンカー	97.6	15.2	3100	14
4	自動車専用船	166	29.2	36700	18.9
5	コンテナ船	184.5	27.6	17000	19.1
6	LNG船	269	44.5	61000	20.5
7	マシソンター	305	55	136000	15

擬似化対象船の操縦運動は、MMGモデル⁽⁵⁾で推定した。MMGモデルでの船体に働く流体力、流体モーメントの推定については、流力微係数を同定する必要がある。船体重心に原点をおき、船の長さ方向、幅方向、鉛直方向に座標軸を設け、運動方程式をたてる。船の長さ方向については、縮率影響を考慮したうえで3次元外挿法⁽⁶⁾によって、プロペラの推力に釣り合う形で微係数を同定した。また、幅方向及び鉛直方向の旋回運動に関しては、船体主要目を用いての推定法⁽⁷⁾で算出した。しかし、そうして

推定したシミュレーションモデルでも、流力微係数を推定するデータベースに用いた船型からはずれているのか、公試運転結果とはなかなか合致しない。そこで、微係数や各干渉係数等のチューニング⁽⁸⁾を行った。例えば図3にコンテナ船のチューニング前と後のシミュレーションと公試運転結果との比較を示す。

a) チューニング前

b) チューニング後

図3 擬似化対象船モデルの同定 (コンテナ船)

今回は、練習船の船速に、擬似化対象船の船速を落とした状態を擬似化させる。といっても、ほぼ前進方向に航走する状態での操縦訓練が目的である。

低速で縦横無尽に船を動かし回す状態の運動推定は不要である。したがって、微係数のチューニングの可否を判定するのに、次の2つのチェックを行った。1つめは、舵に対する定常運動でのチェックとして、旋回運動の航跡を調べることにした。2つめは、過渡応答的な運動でのチェックとしてのジグザグテストの運動諸元の時系列を調べることにした。そうして、これら2つがいずれもほぼ合致したということで、擬似化対象船に似かよった動きをするモデルとして、訓練に用いることにした。これら微係数を同定したものを、擬似化対象船モデルと呼ぶことにする。なお、同手法を用いて、現練習船の運動モデルもチューニングし、次に述べる擬似化制御モデルの構築に用いた。

2.3 擬似化制御モデル

図4に擬似化制御モデルへの入出力関係のブロック図を示す。擬似化対象船モデルから、操舵に伴う

図4 擬似化制御モデル

実時間での同対象船の針路、船速が算出され、それぞれが擬似化制御の目標値となる。又、大島丸データ処理システムから現練習船の針路、角速度、船速が計測される。これらを単純なPDコントローラで処理し、制御舵角 δ_e^* 、制御プロペラ翼角 δ_{pp}^* を決定する。

このPDコントローラの制御係数の同定法について図5を用いて説明する。針路差に対する制御定数 k_p は、現練習船の操舵手らに聞き取り調査をして、その調査結果が反映するように、 k_p は1.5に固定した。さらに、目標と現在の針路差が大きい場合、適当な舵角をとり続け、目標針路近くになって、 k_p を効かせるような操舵手らのコツも取り入れた。(具体的には、 ± 15 度の舵角リミットを設けた。)一方、角速度に対する当て舵の係数 k_d は、実海域で可能性のある目標と現針路との針路差の最大値を22度と仮定する。この22度の針路差を詰める際、オーバーシュートを含めて、図5のハッチング部の面積の合計が最小となるような k_d をファーストシミュレーションでもって探索した。また、こうして決めた k_d も、操舵による船速が低下し、その決定の条件が変わってしまうことを考慮して、最善な k_d は船速の関数とな

図5 PD制御定数

図6 PD制御定数の船速に伴う同定

る(図6参照)ように、同定した。これらをもって、制御舵角 δ_t^* は次式で算出されることになる。

$$\delta_t^* = (p_m - p_o) \cdot k_p + r \cdot k_d$$

$$k_d = 0.0634 \cdot u^2 - 0.715 \cdot u - 4.678$$

ただし、 k_p 、 k_d ：PD制御常数

u ：船速 [kt]

p_m ：目標針路

p_o ：練習船の現針路

r ：練習船の現旋回角速度 [deg/sec]

3. 擬似化の実証

擬似化システムを練習船に積み込み、同システムの実証テストを行った。実証テストでは、特性舵輪からの舵角に対する大型船の動きを、実海域で練習

船に追従させる。当然であるが、同テストには擬似化対象船に必要な海域の広さが要求される。テストの内容は、比較的運動のテンポが速く追従要求を満足できるかという点で、操船訓練者の技量に関係しないという点で、舵角はジグザグテストとしては大きい $\pm 25^\circ$ 試験を、擬似化対象船6のコンテナ船として練習船に追従させてみた。図7にその時の航跡、運動諸元の時系列を示す。いずれも、破線が訓

b) 各運動諸元の時系列

図7 +25°ジグザグ擬似化操船(コンテナ船)

練者の操舵に対する擬似化対象船モデルの動きを示し、実線がそれに追従させた練習船の動きを示して

a) 航跡

b) 各運動諸元の時系列

図8 +45°平行移動擬似化操船(小型タンカー)

いる。航跡は、針路及び対水速力の値を用いて描かせている。航跡の完全な合致は見られない。しかし、時系列の針路や船速の追従は、同対象船の傾向を捉えている。追従のための舵角の決定要素ともなる旋回角速度 r は、かなりの計測誤差を含んでいることがわかる。4.にも問題点として記述するが、大島丸データ処理システム中に本システムを同居させたことで、同ワークステーションの処理能力のいっばいまでを酷使うこととなった。従って、計測された旋回角速度へは、限られたサンプル値の移動平均を

用いた、ごく簡単なフィルターしかかけていない。そのことが影響してか、擬似化のための舵角には小刻みなぶれが見受けられる。

また、擬似化対象船の中において、練習船の大きさに近い小型タンカーの実証ケースを図8に示す。このケースでは、45°平行移動操船(まず、現針路0度として、45度右方に変針した後、現針路0度に戻す操船)を実施してみた。実際の海上でよく用いる操船を擬似化することで、操舵に対する舵の効き具合が、見た目にも当のタンカーを擬似化しているかどうか、確認するために行った。各運動諸元の時系列で、コンテナ船のケースと同様に、旋回角速度の測定誤差に伴う操舵角のぶれが見られる。また、船速の低下傾向は捉えているが、追従精度が後半悪化している。目標船速に対して、プロペラ翼角を小さくすることで追従させるが、翼角のオーダーに対する実翼角の制御は、練習船CPP油圧装置に委ねられる。本システムからの翼角のオーダーには、実翼角となるまでの時間遅れ、及びその実翼角に相当する船速に落ち着くまでの時間遅れは考慮されていない。そのことが船速の追従精度を悪化させている理由であるのか、今後の検討事項である。ともあれ、この場合も対象船の中においては、旋回運動のテンポの速い船ではあったが、その操縦性の特徴はおおむね擬似化できていると考えてよい。

4. おわりに

本報告では、初心者の方の操縦訓練ツールの一つとして、現有している練習船の動きを、大型船への擬似化するシステムを試作してみた。動きを擬似化するのであって、大型船の操船環境、特に、その視野や船橋などを模擬体験することは物理的に無理である。又、同対象船のサービススピードでの操縦も、練習船では擬似化できかねる。しかし、大型船の操舵に対する針路の応答やおおよその船速低下の傾向は、実海域で体験が得られるようなシステムが試作できたと考える。

重ねて述べるが、本システムはビジュアル型操船シミュレータでの訓練を否定するものではない。むしろ、ラップトップ型やビジュアル型などの操船シミュレータで、大型船の操縦が上達してきた初心者に対し、同訓練の仕上げに本システムを用いたらよいのではと、考えるものである。

現時点で残された問題点を列挙すると、
①実証テストにおいて、旋回角速度の測定誤差が起因してか、擬似化制御のための舵角にぶれが生じている。このことでぎくしゃくした旋回を余儀なくさ

れている。スムーズな旋回を得るために、旋回角速度に適切なフィルターをかけるか、さらにシステムのブラッシュアップが必要である。

②大型船の運動諸元の時系列の変化具合を擬似化させるのみでなく、航跡も合致させるべきである。そのためには、船速の追従精度を向上させるべきである。現状では、フィードバック制御を用いて、船速のコントロールを行っている。これを場合によっては、操舵に対するかなり先の運動推定を行い、フィードフォワード制御も導入して、船速の制御を実施するべきである。

③実海域においては外乱も無視できない。風潮流などの外乱に対する、擬似化対象船の応答運動にも追従する擬似化を目指すべきである。

最後に今後の目標を記述する。初心者の大型船操縦訓練にはビジュアル型を代表とするシミュレータは欠かせない。さらに、本報告で創作した操縦性擬似化システムを訓練ツールとして加える場合の訓練効果を調査してみたい。

この研究の過程において、北海道大学の鳥野先生、芳村先生にはいろいろ議論に加わっていただいた。さらに、大島丸データ処理システムの運用に関して、本校榎田先生、(株)セナーには様々なアイデアを頂いた。実証実船テストにおいては、二つ返事で協力していただいた山下船長、寺井機関長をはじめとする練習船大島丸のスタッフに重ねて謝すしだいである。なお、本研究は平成12年度科学技術研究助成を受けて成し得たことを付記する。

参 考 文 献

- (1) 岩崎・辻・古藤・富久尾：操船訓練時の操船者緊張レベルの推定，日本航海学会論文集，第97号，pp241～250，平成9年。
- (2) 伊藤・榎田・松井・古藤：船内LANによるデータ処理システム，日本船用機関学会誌，VOL. 30，NO.10，1995。
- (3) 鳥野・松木・奥村・北村：操縦性能変換装置とその性能，関西造船協会誌，170号，1978。
- (4) 小山・小瀬・長谷川：保針操舵における針路不安定の許容限界に関する考察，日本造船学会論文集，第142号，pp.119～126，昭和52年。
- (5) 小川・小山・貴島：MMG報告－I 操縦運動の数学モデルについて，造船学会誌，第575号，1977。
- (6) 造船設計便覧，関西造船協会編，第4版，pp355～369。
- (7) 貴島・名切：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，pp. 67～77，平成11年。
- (8) 芳村・石黒・田中：実船操縦性能の予測，操縦性研究の設計への応用，日本造船学会運動性能研究委員会第12回シンポジウム，1995。

質 疑 応 答

福地 章(海技大学校)：実船実験してみて、新たに起こった問題点はありますか？

岩崎寛希：特にありませんでした。練習船側から、スタンバイフル(9kt)で操舵や変速の操縦権をシステムに与えられることになりました。

福地 章：小型船で実験した場合、大型船としての臨場感に対する違和感はないのでしょうか？

岩崎寛希：大型船の操縦初心者には、ラップトップ型、ビジュアル型と訓練をいたしました。訓練の仕上げとして、本システムを用いて実海域で実証テストに臨みました。訓練を受けた初心者の感想では、「陸上でうまくいった操縦方法で、実船も操縦したが、うまくいった。」でした。姿や視野の高さ、視野の範囲は大型船とはずいぶん異なりますが、操縦法にこだわって臨んだようなので、さほど違和感はなかったものと思われます。