離着岸操船におけるタグボート運用要素の評価

石倉 歩¹・坂下 純一²・林 祐司³・村井 康二³

Evaluation on Elements of Tug Boat Handling during Ships' Berthing and Unberthing

Ayumi ISHIKURA, Junichi SAKASHITA, Yuji HAYASHI and Koji MURAI

Abstract

The most important task of harbor tug boats are to support berthing / unberthing of vessels, because marine pilots use those tug boats for safe and efficient ship operation when assisting vessels' berthing or unberthing.

In Japan, the new pilotage law has been active since 2007 and included the third grade pilots which newly established. Unfortunately, they do not have enough experience of tug boat management. They are trying to study about tug boats handling in the harbor for large vessels using ship handling by navigation simulation systems. The senior pilots teach them how to use the tug boats in the ship handling simulator, too. However, the senior pilots have only the experience but do not have standard of the evaluation for management of tug boats handling.

In this paper, the authors propose how to evaluate the tug boat handling for ship berthing using the new standard, which is named "Evaluation on elements for tug boat handling." It is extracted from natural images of ship berthing at actual port named Yokohama. The new standards are consisted of three elements which are propelling power of tug boats, its direction and duration of power. We tried to compare the values of the three elements between actual ship handlings and ship handlings by the simulation, then confirmed their effects.

キーワード: 曳船操船、着岸操船、曳船操船評価

1. はじめに

2007年に水先法が改正され、2009年から三級水先人の養成教育が開始された。これにより、従来の水先人養成制度は一新され、新設された当該制度の三級水先人は、商船での乗船を経ることなく水先修業生となる者が多い。そのためにタグボートを運用した実経験がなく、知識、見聞ともに乏しく、その経験不足を操船シミュレータによる操船訓練のみで、補うことが現在のところ一般的方法であり、その技術を習得するためには海技者としての経験を持つ一級水先人修業生と比較して多くの時間を要するという三級水先人養成上の問題が顕在化している。

日本を含む世界の主要港湾では、港内において離着岸を行う船舶（以下、本船という。）、特に大型船の多くは、タグボートの支援を受ける。その際、本船の操船者は、離着岸作業時にタグボートに対して基本的に押し・曳き・停止の動作を指示する。具体的にはタグボート曳航力の方向（船首方向を0時、船尾方向を6時とする時計回りの座標。）と、機関出力及び押し・曳き・停止の動作を号令（以下、タグ号令という。）する。また、その他の特殊なタグ号令により、より細やかなタグボートの動きを指示して、本船の挙動を制御する⁽¹⁾。タグボート運用時にタグボートの押し・曳き体勢の変更を伴う場合には、タ

¹ 正会員 海技大学校（〒659-0026 兵庫県芦屋市西藏町 12-24）ishikura@mail.mtc.ac.jp

² 学生会員 神戸大学大学院（〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1）

³ 正会員 神戸大学大学院（〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1）

グ号令から実際のタグボートの動作まで、数秒から数十秒の時間のずれが発生することから、操船者はその時間のずれを勘案した号令を適切な時機に発令する必要⁽²⁾があるが、風潮流等の外乱要素が加わってくるとタグボート運用上の困難度は一層増すと考えられる。即ち、操船者は本船の挙動を制御する際に、本船の現在の動きのみならず直後の予想される動きとタグボートの体勢変更に伴う時間のずれを勘案した上で次のタグ号令を発令する必要がある。このタグ号令の発令時機やタグボートの機関出力およびその継続時間の決定は、高度な知識と経験が必要で、安全で効率的な操船を実現するために、これらの決定は重要な要素となる。本研究ではタグボート曳航力の方向、タグボートの機関出力及びそれらの継続時間の3要素をタグボート運用要素と定義する。

本研究は、5年以上の離着岸操船の経験を有する一級水先人が実海域で行うタグボートの運用を対象に、タグボート運用要素を抽出することに加え、タグボートの体勢変更回数等を調査し、タグボート運用の詳細を分析し、その傾向を調査することを目的とする。また、タグボート運用経験が充分とは考えられない三級水先修業生の操船シミュレータ訓練時のタグボートの運用記録から、タグボート運用要素を抽出し、前述の一級水先人のタグボート運用要素と比較検討する。

これにより、一級水先人のタグボート運用要素の分析結果を評価基準とし、三級水先人修業生の操船シミュレータを使用した離着岸操船シミュレーション時のタグボートの運用を評価できる可能性があるかについて考察する。即ち、当該評価基準は、経験の少ない操船者の操船技能の向上に資する可能性があることについて考える。

2. 研究方法

2.1 定義

タグボートが行う押し・曳きの方向と停止の動作と機関出力及び継続時間をタグボートの運用要素と定義したが、以下の用語について同様に定義する。

(1) タグ号令押し曳き回数

操船者が、タグ号令（この場合、「押せ」と「曳け」のみ）を発令した回数

(2) アイドリング時間

曳船索（以下、タグラインという。）を本船に固縛した状態で、本船に対し、押し又は曳きの動作を行わず、待機中の時間

(3) 体勢変更回数

押しから曳き又は曳きから押しへのタグボートの態勢の変更回数。また、途中にアイドリング時間が入った場合でも体勢変更とする。

(4) 1分間当たりのタグボートの曳航力

1分間当たりのタグボートの曳航力を本船の載貨重量トン数1,000トン当たりのタグボートの1分間に動作(押し・曳き)した力と定義し、以下の(1)式により求める。

$$Tug's\ power = \frac{(f_1 \times n_1 + f_2 \times n_2 + \dots + f_i \times n_i) \times 1,000}{(n_1 + n_2 + \dots + n_i) \times D} \dots\dots (1)式$$

但し、f：曳航力(ton)、n：時間(min)、D：載貨重量トン数(DWT)

2.2 実操船データの収集

水先人が実海域で実際に操船する（以下、実操船という。）離着岸操船時のタグボート運用要素は、京浜港横浜区におけるタグボートに搭載されたビデオカメラの画像を分析することで抽出する。当該ビデオカメラはタグボート船橋操舵スタンド前面上部に取り付けられており、タグボートの前方と本船舶体の一部を撮影するもので、同時に本船操船者のタグボート号令及びタグボート操船者の号令復唱等の音声録音されており、画像上部に時刻が表示されている。

2.3 操船シミュレータ操船データ

操船シミュレータ訓練データは、三級水先修業生が行った操船訓練データより実操船データと類似した操船シミュレータシナリオを選択する。選択時には、本船の船種、排水トン数、離着岸方法（着岸舷、回頭操船）、使用するタグボート数を考慮する。

2.4 操船段階の分割

着岸操船時の操船段階（以下、Phaseという。）を以下のように分割し、それぞれの段階でのタグボートの運用要素を抽出する。

(1) Phase 1：

岸壁前面付近に向かうアプローチ操船（タグライン固縛から本船船速 3.0kts までの操船局面）

(2) Phase 2：

岸壁前面付近での本船の停止および回頭（本船船速 3.0kts～0.0kt）

(3) Phase 3 :

岸壁前面から岸壁までのタグボートを利用した横移動と着岸

(4) Phase 4 :

着岸岸壁での本船位置の保持（着岸～船首及び船尾の最小限の係留索の岸壁固縛まで）

離岸時についても同様に操船段階を分割してタグボート運用要素の抽出を行う。

2.5 比較対象とするデータの選択

取得した実操船の画像は、離着岸操船時の 21 隻分のビデオ画像と音声であり、そのすべてからタグボート運用要素を抽出した。本研究では、抽出したタグボート運用要素のうち、以下に示す条件により解析・評価対象の実操船タグボート運用要素データを選択した。また、操船シミュレータ訓練時のタグボート運用要素の抽出は、実操船タグボート運用要素を求めた類似のシミュレーションシナリオ、即ち同じ船種、ほぼ同じ要目上の載貨重量トン数 (DWT) 及び離着岸方法の操船シミュレーション時のタグボート運用データを用いた。ただしコンテナ船の載貨状態はデータ毎に異なるため、風圧による影響も異なる。

(1) 離着岸操船

操船の中で最もタグボートを運用する離着岸操船とする。

(2) 船種

本船は、9,000 (DWT) ～22,000 (DWT) の自動車専用運搬船 (PCC) 及び約 47,000 (DWT) のコンテナ船とする。ただし比較を行う際には、実操船及び操船シミュレータ訓練ともに同じ船種および同じ着岸方法で行う。

(3) タグライン係止位置

船首、船尾および付近（右舷側又は左舷側）とする。ただし比較を行う際には、実操船及び操船シミュレータ訓練ともに同じタグポジションで行う。

(4) 風速

外力の影響が少ない条件で比較するため、最大風速 5m/sec 以下の実操船とする。

(5) 潮流

川の流れや強い潮流の影響を直接受けない水域の実操船とする。

3. 解析結果及び考察

3.1 操船データの選択結果

実操船での操船の回数と操船シミュレータを使用して行った操船訓練数を Table. 1 に示す。

選択した実操船及び操船シミュレータの全てのデータ毎に以下に示す時系列のグラフを作成した。

実操船のタグボート運用要素を時系列に表したグラフの例を Fig. 1 に、同じく操船シミュレータ訓練時のタグボート運用要素を Fig. 2 示す。

比較する例のデータは、以下に示すように類似したデータである。

(1) 操船状況

着岸操船で、実操船及びシミュレータ操船ともに回頭操船後出船右舷着岸

(2) 本船の船種

本船の船種は、実操船及びシミュレータ操船ともに PCC

(3) 本船の載貨重量トン数

実操船は 17,382 DWT、シミュレータ操船は 22,000 DWT

(4) 風向・風速

実操船時は風向 East、風速 3m/s、シミュレータ操船時は Calm

(5) タグボート使用隻数

実操船及びシミュレータ操船ともに 2 隻

Fig. 2 の縦軸はタグボートの機関出力、押し・曳きの動作及びその方向を表し、「Direction」はタグボート曳航力の方向（例えば右向き矢印の場合、本船の船首 0 時方向に対して 3 時方向、下向き矢印の場合 6 時方向となる。）を示す。また横軸は時間を表し、各度数の横幅は、ある一定の機関出力の継続時間を表す。

Table.1 Selected data of Real and simulator berthing and unberthing

	Tug Positioning	Berthing			Unberthing	Total
		Starboard side Head in	Port side Head in	Starboard side Head out	Starboard side Head in	
Real (Times)	Fore	4	0	3	2	9
	Aft.	4	3	3	2	12
Simulator (Times)	Fore	6	0	6	3	15
	Aft.	12	8	8	6	34

両者を比較すると、実操船タグボート運用要素では、Phase が進行するに従い、機関出力及び継続時間の要素において、高い頻度で機関出力の変更を行っている。また同じ機関出力の継続時間も長い。

この例を含めシミュレータ操船時には、着岸寸前で操船シミュレータ訓練を終了するため、タグボート運用要素の Phase 4 が存在しない場合がある。

3.2 タグ号令押し曳き回数・態勢変更回数

実操船とシミュレータ操船の回頭出船右舷着岸における Phase 毎のタグ号令押し曳き回数の平均を Fig. 3 に示し、体勢変更回数を Fig. 4 に示す。

実操船時のタグボート運用データとシミュレータ操船時のタグボート運用データを比較すると、実操船データのタグ号令押し曳き回数が多く短時間で繰り返し指示を行っている傾向がみられる。これは、Fig. 1 及び Fig. 2 で示した実操船タグボート運用要素とシミュレータ操船時のタグボート運用要素の差異と同様である。一方で、体勢の変更回数については、両者の差異が見られなかった。

3.3 アイドリング時間

回頭出船右舷着岸における船尾にタグ配置を配置して行った 3 例の実操船のアイドリング時間を示すグラフを Fig.5 に、また同じく回頭出船右舷着岸における船尾にタグ配置を配置して行ったシミュレータ操船 8 例の訓練時のアイドリング時間を示すグラフを Fig.6 に示す。Fig.中の縦軸は、各 Phase における、アイドリング時間の割合を示す。

実操船では、Fig. 5 に示すとおり case a 及び case c が Phase 1 から Phase 4 と岸壁に近づくにつれ、アイドリング時間が減少している。またもう一例の case b は、Phase 1 から Phase 2 になったとき長くなる傾向を示すが、その傾向は小さい。航行する本船の挙動を制御する際、タグボートの押し曳き能力を効果的に発揮させるためには、本船速力を 3 kts 以下、さらに可能な限り本船速力をもたない状況で運用する⁽³⁾という観点から、有効に運用されているといえる。

Fig. 1 Tug's power and Direction (Real tug boat handling)

Fig. 2 Tug's power and Direction (Simulation tug boat handling)

一方、シミュレータ操船時のアイドリング時間は、Phase 1 から Phase 2 となったときアイドリング時間は、減少するが、case 2 を除き、実操船の場合と大きく異なり、Phase 3 で長くなる傾向がみられる。

Phase 4 のデータは、case 1 及び case 2 を除き、Phase 3 で訓練を終了したためデータがない。

3.4 1 分間当たりのタグボート曳航力

回頭出船右舷着岸における船尾にタグボートを配置して行った 3 例の実操船の 1 分間当たりのタグボート曳航力を示すグラフを Fig. 7 に、また同じく回頭出船右舷着岸における船尾にタグボートを配置して行ったシミュレータ操船 8 例の訓練時の 1 分間当たりのタグボート曳航力を示すグラフを Fig. 8 に示す。

Fig. 3 Number of command

Fig. 4 Number of Transition of tug boat's actions

Fig. 5 The rate of Idling time (Real)

Fig. 6 The rate of Idling time (Simulator)

Fig. 7 Tug Power (Real)

Fig. 8 Tug Power (Simulator)

Fig. 7 に示す case a から case c 及び Fig. 8 に示す case 1 から case 8 は、Fig. 5 及び Fig. 6 の Case と同じ事例である。

Fig. 7 に示すように実操船時の曳航力は、case a 及び case c が Phase 1 から Phase 4 と岸壁に近づくにつれ、ゆるやかに増加している。またもう一例の case b は、Phase 2 から Phase 3 になったとき減少する傾向を示すが、その傾向は小さい。

一方、シミュレータ操船時の曳航力は、Phase 1 から Phase 2 となったとき、急激に増加し、Phase 3 で大きく減少する傾向がみられる。

実操船時の曳航力の最大値が $0.397(10^3 \text{ ton/min})$ に対し、シミュレータ操船時の最大値は、 $2.876(10^3 \text{ ton/min})$ である。操船シミュレータ訓練時の曳航力は、実操船より大きく、Phase 4 における着岸岸壁での本

船位置の保持における曳航力を含めない場合、Phase 2において、最大の1分間当たりの曳航力が使用されている。

Phase 3において着岸予定岸壁に向けて横移動を行う際の、曳航力は、Fig. 1に示すように実操船では弱い曳航力で長時間使用しているのに対し、Fig. 2に示すシミュレータ操船では実操船と比較すると強い曳航力を使用して短時間で当該Phaseを完了している。

4. まとめ

本研究で提案したタグボート運用要素を用いたタグボート運用評価方法は、画像データを基に標準的な環境でのタグボート運用要素を抽出し、数値化することにより、水先人のタグボートの運用方法の評価を行うことを可能とした。また、実操船時のタグボート運用要素とシミュレータ操船時のタグボート運用要素の比較を行い、次の事項が明らかになった。

(1) シミュレータ操船時のタグ号令押し曳き回数

シミュレータ操船時のタグ号令押し曳き回数は、実操船時のそれとは異なり、その回数は少ない。換言すれば、実操船ではタグ号令押し曳き回数は相対的に多く、タグボート機関出力を細かく指示している。

(2) アイドリング時間

実操船において、Phaseの進行とともにアイドリング時間が減少する傾向を示すのに対し、シミュレータ操船の各Phaseにおいて、増加する傾向を示す例が多くみられた。すなわちシミュレータ操船では長時間タグボートを運用していない場合が多いといえる。このことからタグボートを本船操船時の速力低減や回頭速度の制御に有効に使用していない可能性が考えられる。

(3) 1分間当たりのタグボートの曳航力

実操船とシミュレータ操船の1分間当たりのタグボートの曳航力の差が大きいという結果が見いだされた。シミュレータ操船のPhase 2において、1分間当たりの曳航力が他のPhaseと比較して大きく、同様にシミュレータ操船Phase 2の1分間当たりの曳航力は実操船のPhase 2と比較して大きい結果となった。これは実操船においてFig.1の例に示すように、Phase 2、すなわち本船速力が3 kts以下となった後、しばらく時間が経過してからゆるやかにタグボートを運用しているのに対し、シミュレータ操船ではFig.

2に示すようにPhase 2になった直後から大きな曳航力を使用して運用していることが原因として考えられる。

このように実操船のタグボート運用要素を評価基準として、シミュレータ操船時のタグボート運用の評価を行うことが可能になると考える。

今後は、着岸バース毎の経験豊富な水先人の実操船のタグボート運用要素を収集し、それらをまとめて評価基準の信頼性向上を目指したい。

謝辞

本研究のために資料提供にご協力いただきました曳船会社に対して、深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 石倉 歩・杉原 正悟・林 祐司・村井 康二：
曳船作業操船号令の現状について，日本航海学会論文集，No.125，pp.91-97，2011.9.
- (2) 石倉 歩・中谷 仁哉・林 祐司・村井 康二：
本船の離着岸操船支援時における曳船の挙動調査について，日本航海学会論文集，No.128，pp.191-197，2013.3.
- (3) 山縣 俠一：
曳船とその使用法(二訂版)，成山堂書店，pp50-54