

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01223

研究課題名(和文) 船舶操縦者の行動特性に基づく着離棧操船支援システムの開発

研究課題名(英文) A study of berthing maneuver using tugboats based on the mariner's characteristics

研究代表者

石橋 篤 (Atsushi, Ishibashi)

東京海洋大学・学術研究院・講師

研究者番号：00242321

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年、船舶運航における安全性の確保と効率化のために、操船支援システムの開発が進められている。支援システムとは完全自動化の装置とは異なり、オペレータとシステムが一体となって船舶の安全運航を達成するものである。私たちは曳船を使用した着棧操船を対象とした支援システムの開発を行っています。

本研究において著者らは操船シミュレータを用いて着棧操船を行う人間の特性を明らかにすると共に支援システムの必要機能とシステムの構成を決定し、サポートシステムの開発を行った。

研究成果の概要(英文)：We introduce an example of adapting the characteristic analysis of mariner on the development of the support system for berthing maneuver using tugboats.

In this study, we analyzed the characteristic of mariner who berthing maneuver using ship maneuvering simulator. As the result, we can get some important characteristics of mariner for sharing the necessary function of mariner and support system. And we decided the necessary function and configuration of support system based on mariner's characteristic on berthing maneuver using tug boats.

研究分野：人間機械系解析

キーワード：サポートシステム 着棧操船 ヒューマンファクタ

1. 研究開始当初の背景

一般に大型商船が岸壁、棧橋に着棧する際は経験豊富な水先案内人(パイロット)又は船長により操船が行われる。大型商船が着離棧操船を行う時、複数の曳船(タグボート)が操船支援のために配備される。パイロットは操船の支援を行う曳船を巧みに操作することによって本船の位置制御、船体姿勢の制御、着棧速度の制御を行っている。この時、曳船操作を誤り、さらに操作の過ちに気づかないまま着棧操船が進行するならば、操船者の予期せぬ運動が生ずる。予期せぬ操縦運動の発生時期やその度合いによっては着棧岸壁・棧橋への衝突という最悪の事態にならないとも限らない。

着棧時パイロットに要求される運動達成の精度は極めて高い精度が要求される。要求精度を満足するために、複数の制御手段(支援曳船の数、主機、舵)を同時に操作する必要がある。このためパイロットは、操作ミスに補う時間を確保することを目的に、非常に低速の状態での運動の制御を行うこととなる。低速となることによって着棧に多くの時間を要する。また、一般に人間には同時に制御することが可能な制御目的と制御手段には限界があるといわれている。

本背景により水先人等が行う着離棧操船を支援することを目的に幾つかの支援システムが開発導入されている。しかし、それらの支援システムと呼ばれる製品は位置センサー(GPS)から得られる情報やその情報を一部加工した運動状態に関する情報をモニタ上に集約して表示するものである。操船者が行う最も知的な業務(制御力の算出、複数のタグへの制御力分配)に関する支援は一切行われていないのが現状である。

船舶操縦を安全に行うために種々の支援システムが導入されているが、そのほとんどは一般工業分野で開発されたセンサーや技術を単に統合したものに過ぎない。言い換えれば、操縦者が行っている操縦行動の分析に基づきシステムの設計が行われていない。

2. 研究の目的

本研究においては複数の曳船(タグボート)を使用して着棧操船を行う操船者の行動特性(メカニズム)を明らかにすることを目的とする。

本研究では曳船操縦時の水先案内人を多入力・多出力系システムを制御するオペレータとして捉えることとする。多入力・多出力システムを着離棧操船の場面に適応し、制御過程および制御結果を解析する事によって操船者の操船行動特性を明らかにする。

そして、実務者(水先人・船長)の最も負担となっている業務(知的負担)を明らかにすると共にその知的負担を軽減するための支援システムの開発を行う。さらに支援システムの効果を具体的に示し、支援システムの有効性についてヒューマンファクタの観点

から検証を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

水先案内人及び船長の操船行動特性の調査は操船シミュレータを用いた実務者による着棧操船実験を行い、操船結果及び操作内容の分析を行った。

次に実務者の特性分析結果に基づき、支援システムの具備すべき機能を決定し、システムの構築を行うと共にシステムの有効性について検証を行った。

操船シミュレータを用いた着棧操船実験は東京海洋大学海洋工学部シミュレータセンターにて実施した。

着棧操船実験時の本船及びその他の環境条件設定は着棧能力指標(T.M: Tugboat force Margin)に基づき設定を行った。

4. 研究成果

(1) 操船者特性及び情報処理特性

本研究で行った着棧操船実験の結果と解析結果から下記に示す操船者特性及び情報処理能力の限界を明らかにすることが出来た。

- 1) 複数の運動を同時制御することが不得意である。
 - 2) 目標の速度を維持するための適切な制御量の決定及び各曳船への適切な推力分配ができていない。
 - 3) 目標運動を実現するための適切な操作量及び操作タイミング、操作方向の決定ができない。
 - 4) 複数の曳船の個別操作ができない。
- これらの操船者特性は操船者の情報処理能力の限界によるものだと考えられる。

(2) 支援システム設計と構築

前述の操船者特性に基づき下記に示す支援システムの必要機能を抽出しシステムを構築した。システム構成図及び意思決定を支援するための情報表示画面をそれぞれ Fig. 1 及び Fig. 2 に示す。

コントローラ(Controller)

入力装置(Input device)

- ・目標船首方位
 - ・曳船推力(合力)作用方向
 - ・曳船推力(合力)の大きさ
 - ・制動力
- 制御力算部(Calculating unit of controlling force)
- ・船首方位維持機能

本機能を使用することによって操船者は制御すべき3つの運動(船首方位、船体前後、船体左右)を、船体前後及び左右方向の2つの運動にすることが可能となる。

- ・推力分配機能
- 本機能を使用することによって操船者は本船の制御のために配置された複数の曳船の選択、操作量の決定に関する情報処理業務

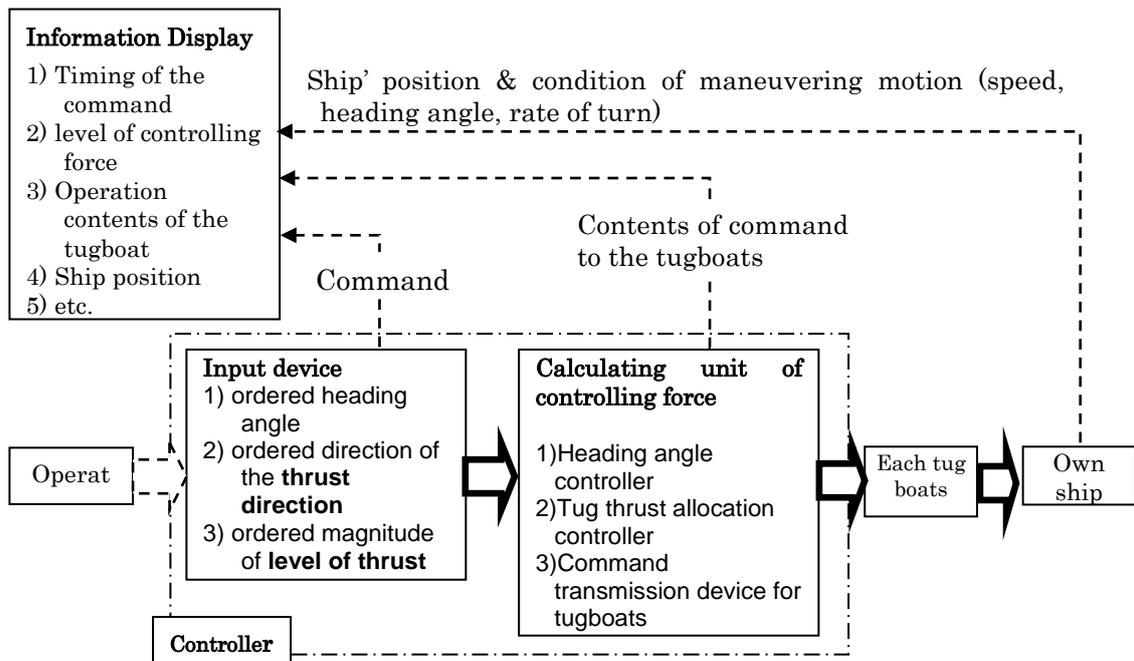


Fig. 1 Configuration of support system for berthing maneuver

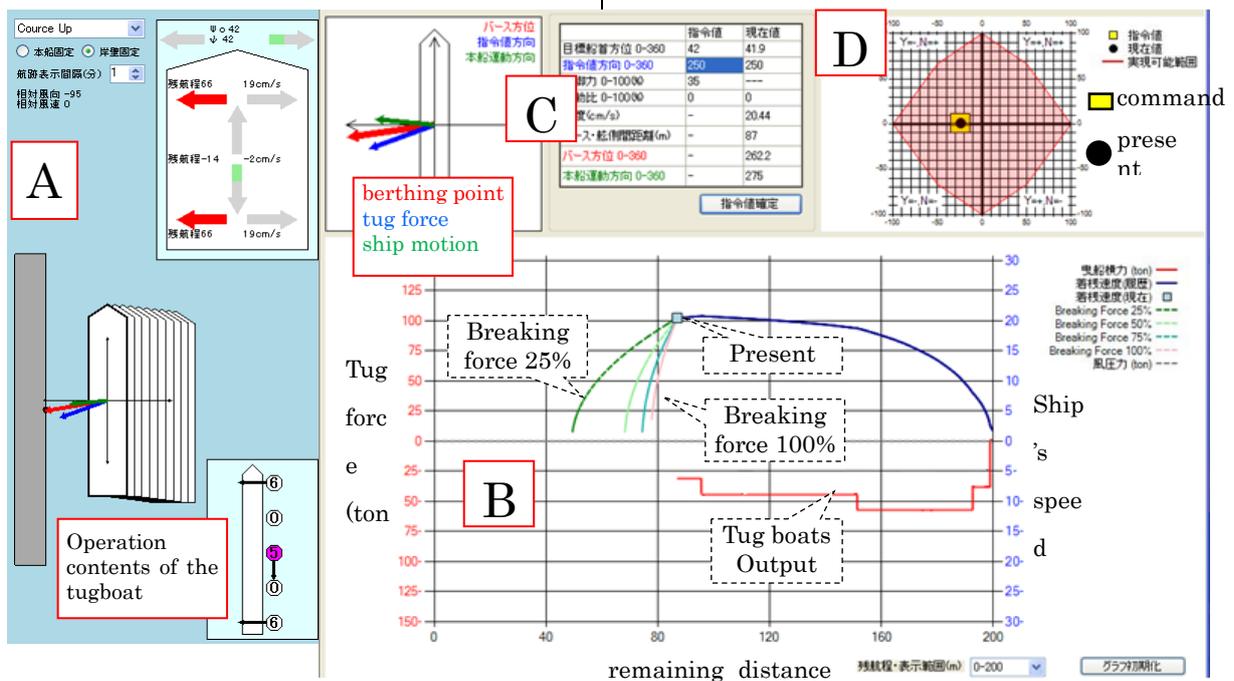


Fig.2 Information display for berthing maneuver using tugboat

から開放されることとなる。

操船者の業務は支援システムが決定した曳船の操作量を監視する業務に変化することとなる。

・曳船への指令

本機能によってこれまで、操船者が各曳船に対し行っていた指令業務から開放されることとなる。

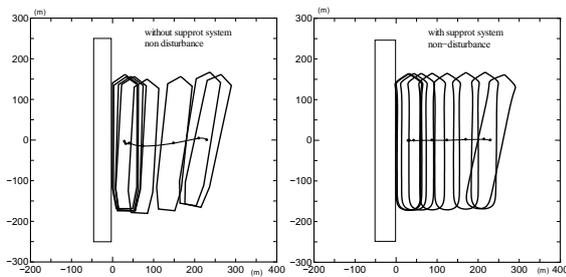
情報表示部 (Information Display)

本表示部において操船者の知的負担を軽減し、かつ、確実な着棧を実現するために最

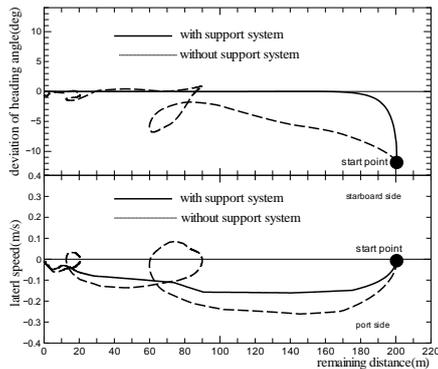
も有効な情報は図中 (B) の制動操作量に対する本船の減速特性の推定結果の表示である。本表示情報を用いることによって操船者は目的地で停止するための操作が適切な時期に適切な制動量を指令することが可能となる。

下記に情報表示画面の代表的な表示項目を示す。

- ・簡易電子海図 (図中 : A)
- ・船首方位、横速度の表示 (図中 : B)
- ・操作量、操作タイミングの表示 (図中 : B)

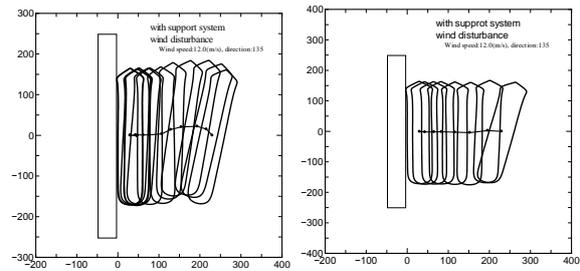


(A) The ship's trajectory in berthing maneuver concerning support and current condition

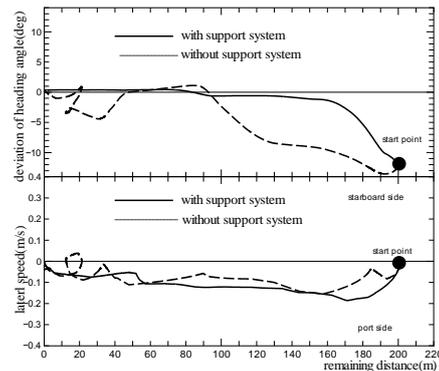


(B) Relation among change of remaining distance and lateral speed and deviation of heading angle

Fig. 3-1 Berthing maneuver in on-disturbance



(A) The ship's trajectory in berthing maneuver concerning support and current condition



(B) Relation among change of remaining distance and lateral speed and deviation of heading angle

Fig. 3-2 Berthing maneuver in wind disturbance
wind speed: 12.0m/s wind direction: 135°

Fig. 3 Result of the berthing maneuver

(3) 支援システムの有効性検証結果

支援システムの検証結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3-1 は無外乱下で行った操船結果を示し、Fig. 3-2 は風圧外乱下で行った操船結果を示している。図中 (A) は船体及び船体重心位置の航跡を示している。船体航跡は5分間隔で表示している。図中 (B) は目標地点までの距離と船首方位及び船体横移動速度の関係を表している。横軸は目標地点までの距離、縦軸は船首方位及び船体横移動速度である。図 (B) に示した実線は支援システムを用いた結果を表し、破線は支援システムを用いない、通常の操船環境下で行った結果を示している。

初めに Fig. 3-1 (A)、Fig. 3-2 (A) に示した船体航跡について比較を行う。両図からもわかるように、支援システムを用いた船体航跡は前後方向の移動量も支援システムを用いない場合に比べ大幅に小さい。また、船体姿勢も着棧予定棧橋とほぼ平行に維持し、横移動操船が行われていることがわかる。これは、船首方位維持機能が有効に機能していることを示す結果であると共に、本機能の効果によって操船者は船体前後、左右方向の運動制御に集中することができるためである。

Fig. 3-2 は風圧外乱下で行った操船結果である。この時の着棧能力指標 (T.M: Tugboat force Margin) は約 2.0 である。本状態は通

常の能力を有する操船者が安全に着棧操船を達成できる限界の状態である。操船支援システムを用いた操船結果は Fig. 3-1 (A) に示した無外乱下の操船結果と同様の船体位置制御が行われていることがわかる。

次に Fig. 3-1 (B)、Fig. 3-2 (B) に示した船首方位及び船体横方向の速度に関する結果を用いて支援システムの有効性を確認する。各図の上段は目標地点までの距離に対する船首方位偏差の関係を示している。支援システムを用いた操船結果は操船開始直後から、滑らかに修正のための操作が行われ、操船初期段階で偏差がゼロとなっていることがわかる。これに対して支援システムを使用しない操船結果は目標地点付近まで偏差修正することが出来ていないことがわかる。

次に各図の下段に示した横移動速度について比較を行う。これまで比較を行った、船体航跡、船首方位偏差と同様に横移動速度についても滑らかに増速し、一定の横移動速度を維持していることを確認することが出来る。さらに目標地点に停止するために減速を行っているが、滑らかに横移動速度を減じ目標地点で停止していることを確認することができる。これに対して支援システムを用いない操船においては横移動速度が円を描いている箇所を確認することができる。これは横移動速度の維持及び減速するための操作

量の決定が不適切なために横移動速度が増減を導くこととなる。

支援システムは移動速度と曳船の使用状況を実時間で表示することによって操船者が設定する目標横移動速度を達成、維持するための操作量決定が確実に実行することが可能な環境を提供しているためである。さらに、制動操船を確実に実現することを目的に制動力と速力減速特性の関係を位相面を用いて操船者に提供を行っている。操船者は本表示画面を用いることによって、これまで、自身の目視によって得られた情報及び操船経験に基づいて行っていた意思決定から対象船の力学的特性に基づいて推定された結果を用いることによって確実な操船を実現することが可能となった。

本研究は操船実務者の特性に基づき、曳船を用いた離着棧操船を行う大型船舶の支援システムの開発を行った。さらに開発を行った支援システムを操船シミュレータを用いてシステムの検証を行った。システムの検証実験より下記に示すことが明らかとなった。

1) 操船者は支援システムを用いることによって、着棧バースが設定している操船基準を満足すると共に安全かつ効率的な操船を実現することが可能となった。

2) 船舶運動制御の精度の向上

支援システムを使用することにより、操船者は、最終着棧条件を高精度で満足することができる。また、操船者は、変動を伴わない横移動速度、旋回角速度の制御を実現することができる。

3) 曳船の選択と曳船の操作内容の決定からの解放

本支援システムを使用している操船者の役割及び業務内容は、入力項目の内容の決と操縦状態の監視である。従来、操船者が行っていた船体運動状態の検出、将来の運動予測、計画した運動を実現するための複数曳船の操作量決定の作業から解放されることとなる。

4) 情報ディスプレイの有効性

本研究で開発を行った情報表示画面は船の位置、操縦運動、旋回角速度などのセンサーを介して収集された情報を統合して表示するものである。さらに操船者の意思決定に必要な情報を直接提供するものである。

5) 風圧外乱下での操船可能範囲の拡大

本研究で開発を行った支援システムを用いることで、従来、着棧操船が許可されていなかった条件下においても、外乱の無い環境下と同様の操船結果を得ることが確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① Atsushi ISHIBASHI, Hiroaki KOBAYASHI,

The Development of Support System on Berthing Maneuver using Tugboats, Asian Conference on Maritime System and Safety Research, 査読有, 2017, pp. 127-134

- ② Atsushi ISHIBASHI, Hiroaki KOBAYASHI, The Development of Support System on Berthing Maneuver using Tugboats -Based on human characteristic and available information -, Asian Conference on Maritime System and Safety Research, 査読有, 2016, pp. 85-97
- ③ Atsushi ISHIBASHI, Hiroaki KOBAYASHI, The Development of The Ship handling Support System Based on Human Characteristic - On Optimal Controller and Display system for Berthing Maneuver using Tug boats -, Proceedings International Conference on Ship Manoeuvrability and Maritime Simulation, 査読有, 2015

[学会発表] (計 3 件)

- ① 17th Asian Conference on Maritime System and Safety Research, 2017 年 8 月、Maritime Institute, Singapore
- ② 16th Asian Conference on Maritime System and Safety Research, 2016 年 8 月、Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea
- ③ International Conference on Marine Simulation and ship maneuverability (MARSIM 2015), Newcastle University, UK, 2015

[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]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石橋 篤 (ISHIBASHI, Atsushi)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・講師
研究者番号：00242321