

離着棧操船支援システムの開発と評価

正員 小林 弘 明

A Study of Supporting System for Berthing Maneuver

by Hiroaki Kobayashi, *Member*

Summary

Reliability of total ship handling system including human must be improved as by compensating the part where human make mistakes. Although compensation for hardware such as double hull can be effective for accidents, more reasonable and effective compensational way is to develop ship handling system that prevents accident. In other word, it would be reasonable to develop software concerning handling. In this paper, the support system is developed for berthing maneuver which is one of the most difficult maneuver. The present berthing support system can only display the items of current condition and forecast to the very limited extent of future. A rule based support in the information processing has not been realized, let alone a knowledge based support. The proposed berthing support system has realized leading support function and evaluation function in order to satisfy knowledge based support. The effectiveness of the proposed support system was confirmed through the experimental berthing maneuver utilizing ship handling simulator.

結 論

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。支援システム導入の目的は操船者とシステムが効果的な機能分化を行い、操船システムの信頼性を高めることにある。支援システムの開発が進む現状において、システム開発の基本的コンセプトを明確にする必要がある。本論では操船支援システム設計の基本コンセプトを先ず議論する。これを通して支援システムの適用のポイントが人間の負担の大きな場面に対して意義があること指摘する。本研究では、この点を反映して、離着棧操船支援システムを開発し、その有効性を評価している。

開発した離着棧操船支援システムは設計のコンセプトに従い、操船者の行っていた高度な情報処理、意思決定を支援することに重点を置いている。離着棧操船の対象範囲を

港入り口から岸壁直前までのアプローチ区間と岸壁直前から着岸までの区間のパーシング区間に二分割している。そして各操船区間において先導支援と診断支援を実現している。先導支援は操船計画段階で安全性と効率性の観点からシステムが操船計画を提案するものであり、操船者はこれを資料として独自の計画を立てることになる。操船者の立案した計画はシステムにより診断され許容範囲であるか否かが診断され、提示される。続いて、操船の実行中はシステムは常に状況を監視するとともに、操船者の操作を診断し適切な操船へ導く提言を行うこととなる。

以上の議論により設計されたシステムが操船者と一体となってどれほど有効に機能し、操船システム全体の機能向上に寄与しているかを検証するために、操船シミュレータを用いた検証実験を行った。操船状況の解析と操船者の意見から本システムの有効性が確認された。

1. 操船支援システムの必要要件

海難事故の原因調査によると80%以上はヒューマン・エラーであると報告されている¹⁾。システムの運用に当たって最終的な意思決定は人間に委ねられていることが多いので、事故の直接原因として意思決定した人間の誤りがある

東京商船大学

原稿受理 平成9年7月10日

秋季講演会において講演 平成9年11月14, 15日

と判断されることになる。通常の状態では正常な機能を発揮する人間が誤りを犯し、これが災害に結びつくこととなる。人間が誤りを犯す原因としては処理機能が低下している場合と通常の処理機能を上回る処理を強いられた場合がある。現在開発されている多くの操船支援システムの目標は後者の場合に対する操船者の支援である。本節では支援システムの開発目的を達成するために必要な要件について論じることとする。

1.1 システム機能の明確化

支援システムの目的は完全自動化の操船装置と異なり、常に操船者と一体となって人間を含むトータルの操船システムの機能向上を目的としている。すなわち、人間に課せられる仕事(タスク)を許容レベル内にとどめるために、タスクの一部を代行することとなる。このために従来人間の行っていた機能をシステムへ移行し、人間とシステムとで機能の分担をすることになる。この時システムへ移行された機能を明確にする必要がある。なぜなら、システムの処理結果を判断する人間にとってシステムに依存できる範囲を明確にする必要があり、また、明確にすることによって、人間の行うべき機能も明確化されるからである。北欧では支援システムの導入を条件として省人化が認められてきている。省人化のためには、従来人間の行ってきたどのタスクがシステムで代行できているかを明確にし、代行している機能が省人化に対応していることが必要である。機能の明確化のためには操船に関わるタスクを明確化する必要がある。そして、全てのタスクを処理する機能をシステムが実現できた時、操縦の完全自動化が可能となると考えられる。

1.2 人と機械の正確な情報伝達の実現

支援システムであるから操縦は人間とシステムの協調の下で実行されることになる。両者の機能は一体となって一つの目的を達成することになるので、相互の意志の正確な伝達が必要となる。このためにはシステムの処理内容が正確に操船者に理解できるとともに、操船者の意志が容易かつ正確にシステムへ伝達できる必要がある。すなわち、両者の間には良好なインターフェイスを確保する必要がある。システムから人間への情報伝達にはCRTが使用されることが多いが、表示内容与方法について十分な検討が必要であろう。人間からシステムへの情報伝達はキー・ボードやマウスが使われることが多いが船上での操作性や操作の煩雑さを考える時、タッチ・スクリーンや目的によって専用の入力装置を使うことが望ましいことがある。

1.3 人間の機能に適合した支援システムの実現

支援システムが有効に機能するためには支援の必要性が高く、かつ移行すべき機能の内容が明確になっているタスクを対象にする必要がある。避航支援システムの開発が進められているが操船の現場からは機能の不十分さを指摘されることが多いのが現状である。この原因はシステムで処

理している内容が十分に理解されていないことと、システムの機能が、操船者が行ってきた情報処理や意思決定の過程を十分に反映していないことに原因があると思われる。より有効な避航支援システムを実現するためには人間の情報処理過程の把握と意思決定においてなされる不確定性への判断基準を取り入れる必要があろう。

一方、操船困難度が高く、船舶運航の効率を大きく支配する操船局面として、離着岸操船が挙げられる。避航操船と比較して離着岸操船の困難度を高めている理由は明らかである。すなわち、避航操船の困難度が他船行動の不確定性にあるのに対し、離着岸操船の困難度は複数のアクチュエータを操作し、複数の運動状態を制御することにある。相互干渉の大きいアクチュエータを操作し、精度の高い運動状態を実現するためには船体の操縦特性を十分に理解していると同時に正確な運動推定が必要である。以上の機能は人間の基本的特性として限界があるのに対して、計算機の優れた特性が対応できる範疇である²⁾。したがって、支援システムを導入することによって従来人間が操作する上では困難な仕事がシステムの支援で改善できる典型的なタスクと考えられる。

以上の点を考慮し、本論では離着岸操船支援システムの開発を行いシステムの有効性を検証するものである。

2. 離着岸操船支援システムの開発

船舶が入港し岸橋に着岸する過程において、操船の困難度が高い場面は岸橋前面から岸橋に接して停止させる操船のみでなく、港内に進入し輻輳する船舶流の存在する狭い可航域の中で計画航路を保持しながら所定の減速操船をする操船もまた困難度の高い操船である。したがって、開発するシステムの支援対象範囲を港の入り口から、着岸予定地点までの操船とする。

2.1 基本設計

2.1.1 操船者のタスク分析

支援システムの開発に当たって、はじめにシステムの有すべき機能を明確にするために、従来操船者によって行われている操船に関わるタスク内容を次に示す。

1. 航行計画の立案

航行経路計画、針路計画、制御計画

2. 速度計画の立案

減速計画、制御計画

3. 計画の実現

船位計測、船位誘導、減速操船、避航操船

このタスクを達成するためには次の各項を考慮する必要がある。

1. 港湾形状
2. 港則法
3. 海上交通流
4. 気象・海象

5. 着棧位置, 着棧地点

2.1.2 区間分割

着棧支援システムの支援対象範囲は港口から着棧地点の区間であるが, 操船の基準や制御内容が二つに大別できることから, 支援対象区間を次の通り二区間に分割する。

① アプローチ区間

港口から着棧予定地点の前面にいたるまでの区間とする。終端の条件としては着棧地点前面において棧橋と並行の船首方位で停船することを基準とする。この区間の操船目標は計画経路の保持と減速操船である。船体運動は通常の前進運動における保針変針と減速操船が主体となる。したがって船体運動の制御手段は主機操作と舵操作が該当する。

② パーシング区間

区間の開始点はアプローチ区間の終端である着棧点前面での停止状態であり, 終端は着棧地点で着棧予定の船首方位で停止状態になることである。この区間の操船目標はその場回頭と船体横移動が中心となる。したがって船体運動の制御手段は主機操作, 舵操作とバウスラスト操作を取り上げることとする。

2.2 システム機能

2.2.1 支援システムの基本概念

情報処理のレベルは, その処理内容に対応して (Fig. 1) で示されている。保針操舵や単純な変針操舵などはスキル・ベースの処理過程に該当すると考えられる。これに対して, 計算機の発達によりルール・ベースの処理過程に対する支援も, 近年, 多く実現するに至っている。既に開発されている操船支援システムもこの範疇に属していると考えられる。すなわち, 情報を統合化して表示するとともに, 従来, 操船者が行ってきた作業である船位計測や計画と実現値の差を補正する作業などである。

一方, 支援システムの導入においてわれわれの期待するところは人間の負担を減少するとともに人間の能力を超えた処理が実現できるところにある。支援システムであるので最終の意思決定は人間が行う前提でシステム開発は進められている。この時意思決定のために多くの時間や労力が必要とするのではシステム導入の有効性は不十分といわざ

るをえない。また, 人間の行う最終決定の妥当性を安全性と効率性の観点から評価することは意思決定者にとって有益であるばかりでなく, 事故防止に対して大変重要である。したがって, 意思決定を容易にするために必要な情報や解析結果を提供する機能, そして意思決定内容が妥当な内容であるか否かを評価をする機能が要望されるところである。これらの機能の実現によって, 人間を含むトータルのシステムが一層, 合理的に機能すると考えられる。現在開発されている操船支援システムが実現している範疇はルール・ベースの処理過程に対する支援であり, この部分が不十分であると思われる。今後はこの部分のタスク, すなわち, ナレッジ・ベースの情報処理過程に対する支援を実現することにより, 支援システムの有用性が著しく高まるものと考えられる。

今回開発対象とした離着棧支援システムではこの点を重視し, 人間の判断を一定の基準から妥当な方向へ導く機能を実現することとした。本論ではこれを先導支援機能と呼ぶこととする。さらに, 操船者が行う意思決定が一定の判断基準から評価して妥当な内容であるか否かを判断する機能の実現を行っている。この機能を診断支援機能と呼ぶこととする。

また, 本システムの開発にあたっては離着棧操船タスクの内容に対応して, 操船計画立案時を対象とする支援と操船実行時を対象とする支援の二段階を考えることとした。前者を計画時支援, 後者を実行時支援と呼ぶこととする。

2.2.2 機能の具体化

本項ではアプローチ区間とパーシング区間に対して, 各区間における先導支援と診断支援の各支援機能について, 操船計画時と操船実行時に分けて記述する。

(1) アプローチ区間

① 計画時先導支援

操船計画立案時における支援は入港以前に行われる計画立案時に実行される。この時システムで考慮する内容は以下の項目である。

1. 港湾形状
2. 港則法
3. 目標物標
4. 制御特性

操船実行時における船位の計測はGPS信号によることが前提となるが, 時々刻々の船位の確認をする操船者には目視物標が必要となるので, 主要目視物標を考慮した計画立案が妥当と考えられる。また, 制御性能としては船体の操縦特性と制御機器である舵, 主機そしてバウスラストなどの各アクチュエータの特性の反映が必要である。

次に支援項目とその内容についてのべる。

1) 航行経路と針路の推薦

港口における船位を初期値とし, 着棧予定地点前面を最終点とし, 初期位置における指定船速と最終点における船

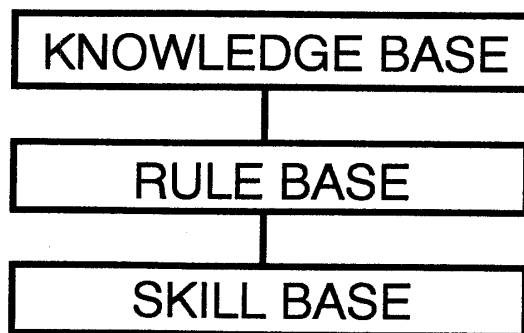


Fig. 1 The hierarchy model of human behavior

速がゼロとなる条件の下に、航行経路、針路を推薦する。

経路の決定にはダイクストラ法を適用した。ダイクストラ法は進路障害物を回避して最短の経路を選択することが可能である。港湾形状、港則法に基づく推薦経路、本船の大きさや操縦性能に基づく避険線などを進路障害物として設定することにより、操船者が計画する計画経路と同等の経路設定がなされることが確認された。システムの作成した航行計画図は次節 (Fig. 6) に示される。

経路の決定において、設定される経路は変針点を連結する折れ線で表現される。各変針点を way-point と呼ぶこととする。way-point が接近する場合、変針行動が実現できない可能性が生じる。way-point の決定に当たって本船の操縦性能を次の方法で反映した。操作の安全性の観点から、連続する2つの変針操作が複合しないことを条件とし、その判定には変針角と変針動作に要する進出距離の関係を用いている。変針に使用する舵角は通常の使用舵角対応とし、回頭用に15度、当て舵用に7.5度とした。 $\#n$ の way-point の変針角を ψ_n としたとき、変針に要する進出距離を way-point の前部と後部で、それぞれ $l_{n,1}$ と $l_{n,2}$ に分解する。(Fig. 2) では $l_{n,1}$ を正に、 $l_{n,2}$ を負の値で示している。いま、 $\#n$ と $\#n+1$ の way-point 間の距離が L_n で与えられるとき、 $L_n > l_{n,1} - l_{n,2}$ となることが前述の変針点間の条件を満たすことに該当し、連続する2つの変針操作はそれぞれ独立に実行できることとなる。条件が満たせないときは変針点間距離を離す操作を行い条件の充足を図る。この操作を繰り返すことにより解を見出すこととなる。この操作によっても条件を満たすことができない場合は、対象とする港は本船の操縦性能から見て、入港操船が大変難しいことを示すとともに、舵角の制限を緩和して実行の可能性を探索する。この操作により解が見出された場合は使用舵角が基準を上回っていることを警告する。さらにこれによっても条件が満たされないときは通常の航行は操縦性能から不可能であることになるので、後述する極低速の操縦モードに移行して可能性を探索することも有り得るが本論では議論の

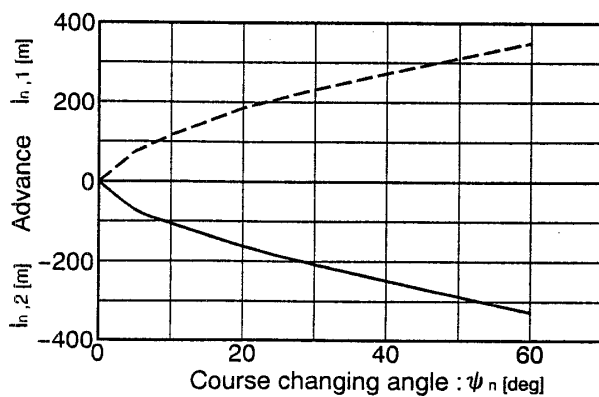


Fig. 2 The relation between course changing angle and advance

対象から外すこととする。

なお、本項で示す、支援のための基本データ (Fig. 2) (Fig. 3) (Fig. 4) は、後述するシュミレータ検証実験の供試船を対象としている。また各特性値の算出には、参考文献3の操縦運動の数学モデルを用いている。

2) 速力変化計画の推薦

着桟を控えた入港操船は経路の追従も重要であるが、速力の変化の計画が極めて重要である。速力変化の計画にあたっては、針路制御能力を確保するために主機の操作は順転範囲内とすることを条件としている。但し、アプローチ区間最終点では船速をゼロにするために、最終区間のみ逆転の使用がある。

前述の経路計画で決定した最終 way-point を $\#N$ とすると、最終区間で船速をゼロにするために $\#N-1$ の way-point において船速3ノットになることを条件とした。停

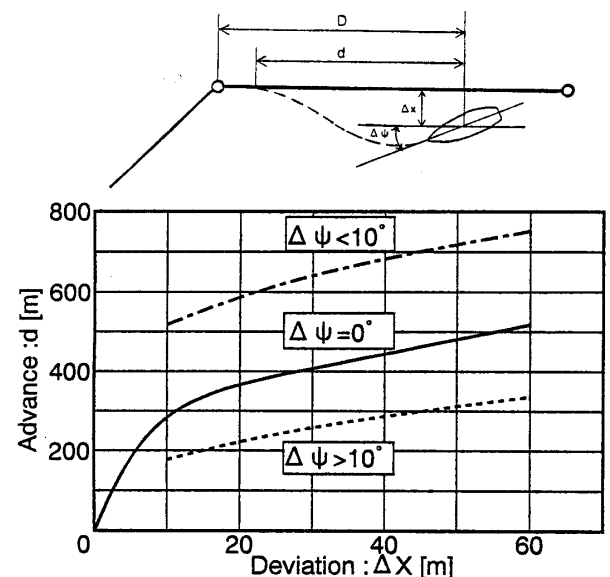


Fig. 3 The relation among the advance, position deviation and heading error

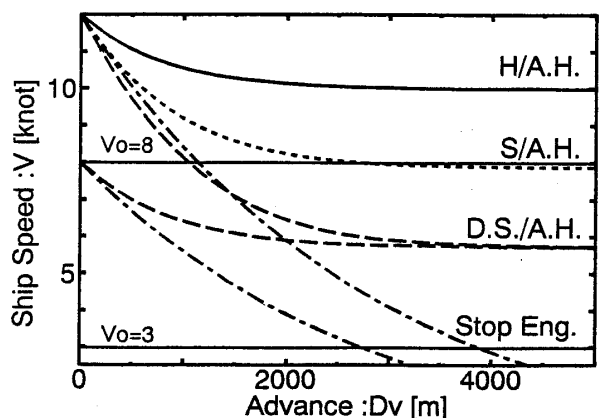


Fig. 4 The relation among the advance, current speed and object speed

止制動のための逆転回転数は逆転半速を使用する仮定を置いている。最終区間の距離がこの操作による停止距離より短い場合は $\#N-1$ の way-point の移動を対象とした way-point の再探索を実施する。尚、このほかにも舵効きの確保のためのブースティング等を勘案し、最終区間長は停止最小距離の2倍を確保している。

始点から $\#N-1$ の way-point 間の減速計画は航行時間の短縮と急激な減速操作を避けることを目標とした。この考えの基本は減速のために使用できる航程を最大限に利用するところにある。さらに主機操作の煩雑さを避けるために主機操作は2回にする前提を置いている。2段階減速の1段目の目標船速は初速と最終船速の3ノットの間値とし、この船速に達した時点で3ノットを目標船速とする。

② 計画時診断支援

操船者は前述の先導支援の情報提示を参考として独自の操船計画を立案することになる。この時操船者の指定項目が多くなることの煩雑さを避けることと、操船上重要となる事項を実現する目的から、指定事項は次の二項目とした。

1) way-point 位置

2) way-point における船速

以上の指定項目に対する診断支援は次の3項目が実行される。

1) 計画経路が安全な領域内にあり、港則法と主要目標物を考慮されているかを診断する。満たされていない場合は way-point の移動点を推薦する。

2) way-point から決定される変針角に基づき所要舵角を算出し、舵の操作スケジュールを表示するとともに、変針用の舵角が15度を超える場合や、二区間の変針が独立にならない場合は注意を喚起するとともに way-point の移動点を推薦する。

3) 船速変化の計画に対しては、これを実行するための主機操作スケジュールを表示するとともに、主機逆転の必要がある計画の場合には該当区間を指定して警告を発するとともに、way-point における目標船速の変更を推薦する。

以上の手順により計画が完成した後は、港内における操船の実行段階に入り次の支援機能が引き継ぐこととなる。

③ 実行時先導支援

実行時における先導支援は実現値と計画状態との差を修正するための操作量を提示する。この時実現値の計測は船位はGPS、針路はジャイロ・コンパス、船速はGPSと船内搭載の速力センサーの双方を使用することとする。

1) 経路実現に関する先導支援

風や潮流等の影響により船位や針路が計画した状態から偏移した時、偏移修正のための操作量を提示する機能がある。偏移の修正を短時間内に行うと急激な船体運動を必要とすることとなる。これをさけるために、修正完了地点をその時点で目標としている次の way-point ($\#n$) とすると、

短期的な修正行動に陥ることのない行動計画を立てることができる。但し、 $\#n$ の way-point が接近している場合には修正が不可能な時があるのでこの場合には $\#n+1$ の way-point を目標点として誤差の修正を計画する。(Fig. 3)は誤差修正における基本データの例である。計画航路から ΔX 横方向に偏移し、針路が計画針路から $\Delta\psi$ ずれている時の誤差修正の行動計画を示している。 $\#n$ の way-point までの距離 D が、修正のために必要な前進距離 d より小さな場合には目標点を $\#n+1$ におくこととなる。 ΔX , $\Delta\psi$ と必要前進距離の関係の一例を (Fig. 3) に示す。

2) 計画速力変化の実現に関する先導支援

現在の速力と次の way-point での目標速力との差を検出し、目標を達成するための機関操作量を提示する。この時の基本データの一例が (Fig. 4) であり、現在速力 V 、目標速力 V_0 、減速に必要な前進距離 D_v の関係を示している。次の way-point までの距離がこの値より小さい時は注意を喚起するとともに、次の次の way-point における目標船速に対して機関操作の計画を提示する。(Fig. 4)に示すとおり機関操作は前進回転数の範囲で議論されている。ただし、 $\#N-1$ の way-point 迄に許される調整距離に対して必要前進距離が過大の場合には最小の逆転回転数による減速操船が提案されることとなる。

④ 実行時診断支援

実行時の診断機能は次の点に関して行われる。

1. 操舵の方向と大きさを実行時先導支援で推薦する値と比較し妥当性を評価する。そして、目標達成を困難にする操作である時には警報を発する。

2. 機関操作の状況を先導支援で推薦する値と比較し妥当性を評価する。目標達成を困難にする操作である時には警報を発する。特に、主機逆転に伴う舵効きの喪失や最終 way-point において船体停止が困難になるような操作には重点を置いた警告を提示している。

(2) パーシング区間

パーシング区間の初期状態は着棧予定地点の前面において船体停止の状態である。パーシング区間において要求される運動は主としてその場回頭運動と横移動である。曳船などによる支援を考えないとした場合、これらの運動を誘起できる本船側のアクチュエータは主機、舵そしてバウスタスタが一般的である。操縦は微少な船体運動を把握し、各アクチュエータの効果、相互作用等を勘案する必要があるために極めて困難な操船となる。現場では、この困難を克服し目的を達成するために弱い運動範囲内で操船を行っている。すなわち、弱い運動範囲内にとどめておくことにより、操作のタイミングのずれにより発生する予期せぬ運動を最小限にとどめられるとともに、各アクチュエータの操作を調整する時間的余裕を確保することができる。しかし、この事は必然的にパーシング操船に長時間を要することとなり、運用上の大きな問題点として、永く問題視され

ているところである。

期待する運動を実現するためのアクチュエータ操作の複雑さを解消するために、近年ではジョイスティックによる操船装置が開発されている。ジョイスティックに移動方向と速度を指令することにより各アクチュエータの出力配分が自動的に行われるので操船者の負担は大幅に軽減される結果が得られている³⁾。そこで、本システム開発の前提としてジョイスティック操船装置の使用を考えるものとし、ジョイスティック操船装置の機能をシステム内に搭載するものとした。

本論では現在一般的に使用されているジョイスティック操船システムが搭載されていることを前提として支援システムの設計を行った。なお、このジョイスティックの並進運動特性を (Fig. 5) に示す³⁾。実線は船体の縦方向と横方向速度成分の合成で並進運動が可能な運動方向と速度を示している。

① 計画時先導支援

操船計画の基本は第一段階で着桟予定の船首方位を実現し、次に桟橋と並行状態を保持しつつ横移動を行い最終目標点で停止することとした。船首方位の変化は必要な回頭角をその場回頭運動により実現することとし、横移動には正横横移動を含む斜め方向横移動を行うこととした。この時、通常のジョイスティックシステムの横移動特性は (Fig. 5) に示されるように、斜め後方への横移動は不可能であることを考慮する必要がある。特に風潮流のために船首方向の運動が誘起されやすい時は前進成分を考慮した初期位置

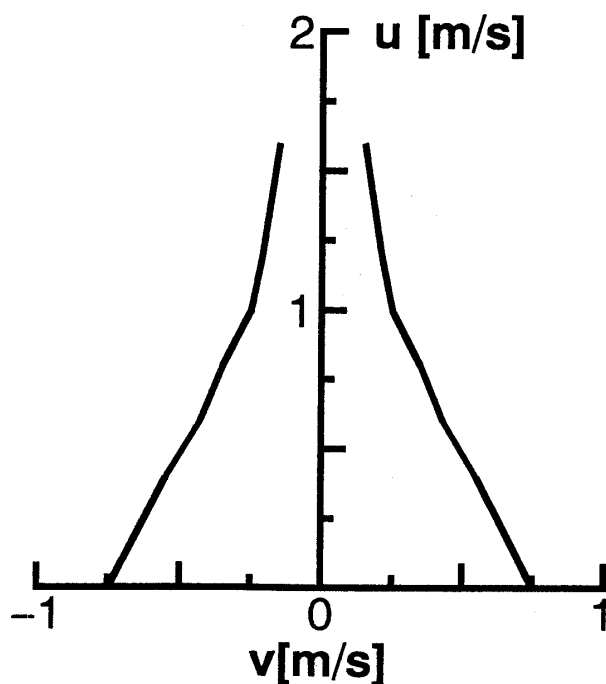


Fig. 5 The characteristics of parallel shift maneuver by joy-stick controller

の設定が必要となる。本計画段階の先導支援は以上のジョイスティック操船システムの特性を考慮して、その場回頭操船、横移動操船の制御計画と運動の計画を提示する。制御目標は最短時間制御を用いている。

② 計画時診断支援

操船者はシステムの提示するパーシング計画を参照するとともに、システムが計画時反映できない項目、例えば、交通状況や他の停泊船の状況などを考慮して、独自の計画を立案することとなる。操船者の指定事項は way-point と way-point における船首方位である。これに対しシステムはその場回頭の可能性を余裕水面との関係から評価するとともに、横移動操船に関しては特に斜め後方への横移動発生の可能性について評価し、計画実現のための操作量を推定し提示することとなる。後方横移動の発生や余裕水面に関して問題がある時は警告を提示することになる。

③ 実行時操船支援

実行時における先導支援と診断支援はアプローチ区間の支援と同様に、刻々の船位情報、運動情報を提示するとともに、計画との誤差を修正するための操作を推薦する。また、操船者の操作が計画達成のために妥当であるか否かを、推薦する操作量を基準として評価し提示する。

3. システムの有効性検証のための実証実験

開発したシステムに対し、操船支援システムとしての有効性を検証するために、操船シミュレータを用いた検証実験を行った。検証の目標はシステムを用いることによる航行の安全性の変化、航行の効率性の変化、操船者が受ける操船負担度の変化を見ることにある。航行の安全性に関する評価項目としては計画経路、針路、速力の達成度を対象とした。効率性は所用時間を対象とした。操船負担度の評価項目は操作回数を対象とした。

3.1 実験概要

供試船は我が国で現在多く見られる 100 m の内航船とし、一軸固定ピッチ・プロペラ、通常舵とバウスラスタを装備しているとした。初速 8 ノットで横浜港入り口に到着し、本牧ふ頭に着桟するケースを対象とした。操船者は現役の航海士二名が担当し、各自が同じ内容について操船を行った。操船内容は支援システムのある場合と支援システムを利用しない場合の二状態を比較のために行っている。さらに、船体運動に影響を与える外乱がある場合についても支援システムの効果があるかを検証するために、潮流外乱のある場合を対象とした実験を行った。潮流外乱の大きさはアプローチ区間において 30 度方向から 1 ノット、パーシング区間で 30 度方向から 0.5 ノットの潮流がある条件をつけた。なお、今回開発したシステムでは、制御量の推定段階において外乱の影響を加味しないシステムとなっている。

3.2 実験結果

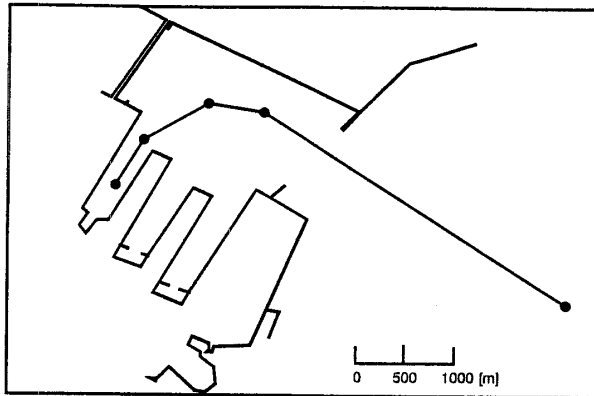
3.2.1 計画支援機能

計画時の先導支援と診断支援の一例を (Fig. 6) に示す。本例はアプローチ操船計画時の計画立案の過程を示している。はじめにシステムによる先導支援機能に基づき計画案 (6 a-1), (6 b-1) が提示される。次に操船者の計画案として way-point と速力が (6 a-2) のように入力されるとこれに対する制御スケジュールが (6 b-2) の破線のように提示される。この例では #3 の way-point における計画速力

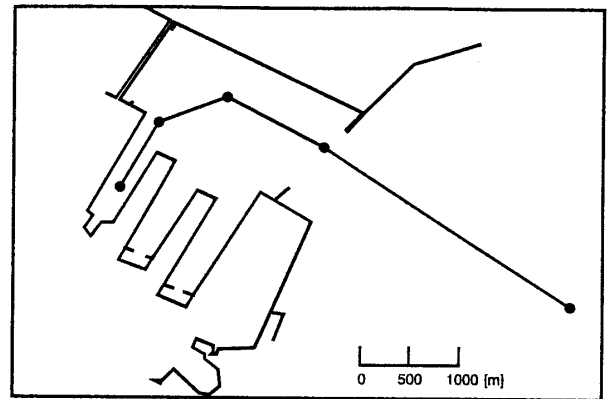
が過小であるために逆転を必要となることが診断され、これに対し修正案が (6 b-2) の実線のように決定された例である。

3.2.2 実行段階におけるシステムの有効性検証実験結果

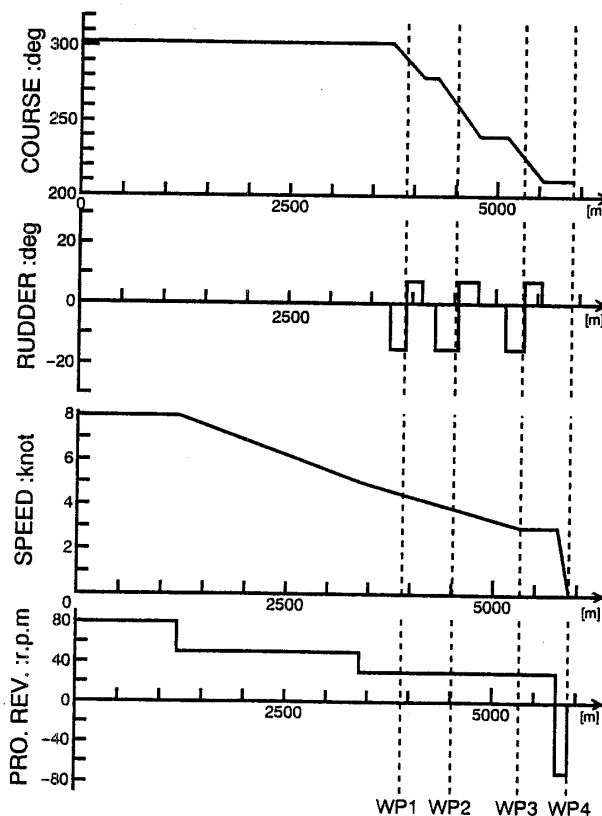
実行段階における支援は診断と制御の推薦としての先導支援が連続的に実施されることとなる。ここではこれらの支援の効果を例示する。(Fig. 7), (Fig. 8) は周囲の地形を



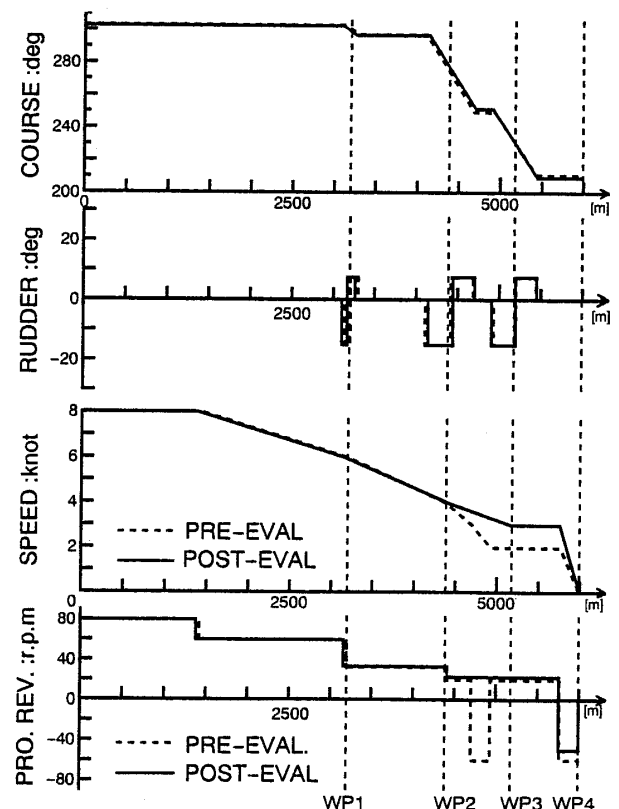
(6 a-1) The route recommended by leading support



(6 a-2) The route revised by evaluation support



(6 b-1) The operation and motion recommended by leading support



(6 b-2) The operation and motion corrected by evaluation support

Fig. 6 The plan recommended by leading support and evaluation support functions

省略し計画経路と航跡を示している。(Fig. 7) は外乱のない時の船体航跡を示し、上図が支援のない場合、下図が支援のある場合である。僅かではあるが支援による効果が見られる。(Fig. 8) は潮流外乱下における同様な比較図であるが航跡に関しては効果は顕著ではない。システムの支援に外乱の効果を評価していないための結果であるが、支援を受ける場合は船位確認と誤差修正の支援が有効であるので比較的良好の結果を示している。

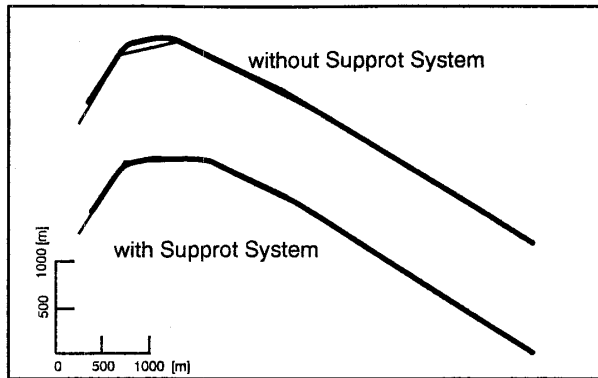


Fig. 7 The ship trajectory in no current disturbance

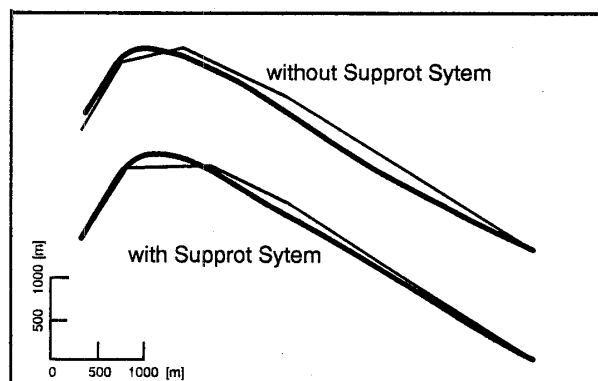


Fig. 8 The ship trajectory under current disturbance

次にアプローチ区間における計画速力の達成状況の時系列の一例を (Fig. 9) に示す。図中白丸印は各 way-point における目標船速である。支援のない場合は目標船速の達成度が劣るとともに、頻繁にプロペラの逆転を使用している。これに対し、システムの支援のある操船では、目標船速の達成度が高く、かつ逆転操作は最終区間に限定し支援の効果が顕著に見られる。

以上は代表的実験結果の一例であるが二名の操船者が行ったすべての操船結果について総合的な傾向を (Fig. 10) から (Fig. 12) に示す。(Fig. 10) は計画航路からの航跡の横偏移量を図示している。先に示した航跡比較では外乱下のシステムの効果は顕著でなかったが、平均横偏移としては支援の効果が明確に表れている。一方、外乱のない場合は支援の有無に関わらず横偏移が少ないため、平均横偏移量の値としては小さな差として現れている。(Fig. 11) は各 way-point における計画船速の達成度を計画船速に対する誤差率として示している。外乱の有無に関わらず、支援の効果が顕著に現れている。特に外乱影響を推定していないシステムであるにもかかわらず、外乱下の支援効果が顕著に現れている。支援システムは操船の困難度が大きい時に大きな効果を示すことを考えると、このことはシステムの有効性が確認できた結果と考えられる。(Fig. 12) は港口から桟橋前面までを対象とするアプローチ区間の航行に要した航行時間を示している。1分から3分の時間短縮が見られる。特に外乱のあるケースで差が現れるのは外乱による蛇行に起因する航路延長が短縮されて結果である。

3.2.3 パーシング操船における支援機能の検証

パーシング操船におけるシステムの支援機能も計画作成段階と操船実行段階の双方にある。操船の目的は桟橋前面における停止状態から着桟停止状態までである。検証実験の供試船と操船者等はアプローチ操船実験の内容と同一である。但し、岸壁法線方向を30度とする桟橋を対象としている。桟橋と本船の関係は (Fig. 13) に示されているが、前述のように潮流方向は30度であるので初期位置におい

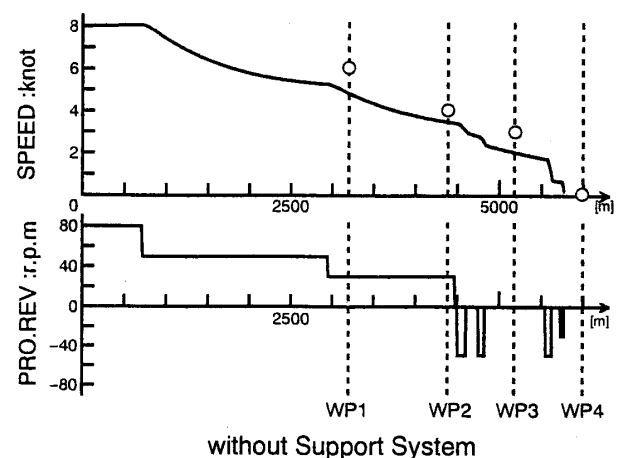
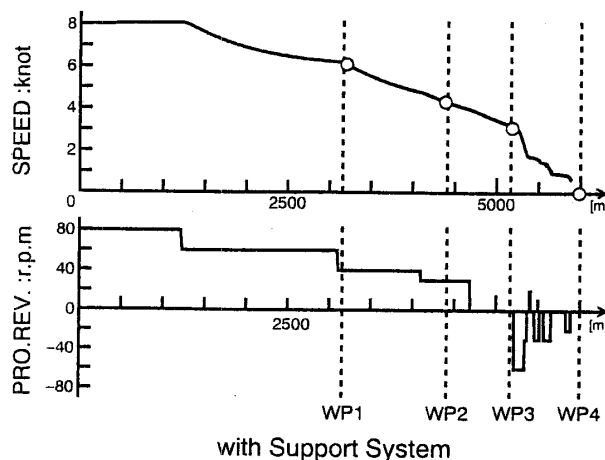


Fig. 9 The history of ship speed and engine operation

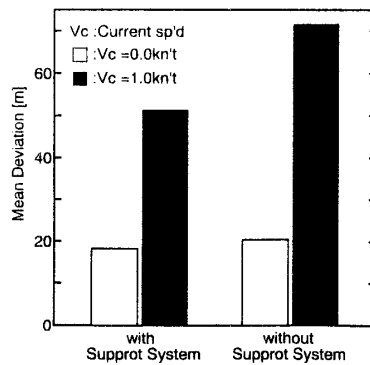


Fig. 10 The relation among mean deviation of ship's position, support and current condition

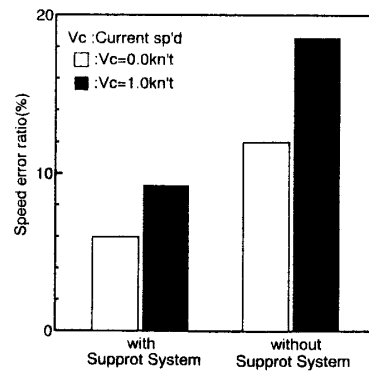


Fig. 11 The relation among mean speed error, support and current condition

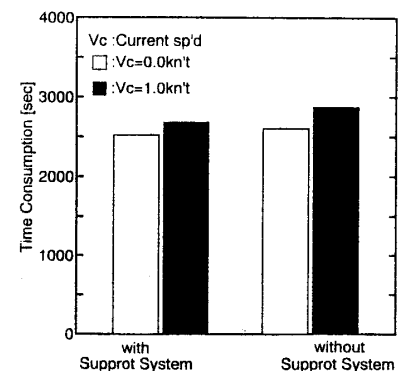


Fig. 12 The relation among mean time consumption, support and current condition

て順流状態である。支援システム搭載船はジョイスティックによる操船を行い、支援システムの無い場合では在来船に対応して舵、主機、バウスラスタを個別に操作するとした。

システムが提示した操船計画と制御スケジュールにもとずき、操船者が指定する操船計画が立てられた。さらにこの計画に対しシステムが診断し、新たな提案を行う手順を実行した。操船者が指定する重点の一つに初期位置があり、この点が考慮された診断修正後のシステム提案がすべての実験において、合理的な計画として採用された。

次に着岸操船の結果を (Fig. 13) に示す。支援システムを利用した場合と在来船対応の設備の船舶について、潮流外乱の無い場合と 0.5 ノット潮流がある場合について操船

実験を行った。支援システムの有無については、ジョイスティック装置の有無の影響が全てにわたって顕著に現れている。在来船では目的の運動を実現するアクチュエータの力量配分を見出すことができずに試行錯誤的に操縦がなされている。このために速度変化が大きくかつ無駄な運動が多いために長時間の操船を必要としている。また制御の回数も頻繁となることが確認された。一方、支援システムの有する診断支援と先導支援による効果は刻々の制御目標の取り方に反映されている。支援システムのある場合は船位の情報が常に得られることから、目標位置において達成すべき運動が示されることとなり、適切な制御が行われている。又、先導支援を受けることにより制動に要する距離を正確に把握できることとなる。これが速力制御に反映し、比較的大きな速度を発生することが可能となり、操船所要時間の短縮に寄与することとなる。又、運動可能範囲には制約があるが、その制約を受けない範囲で目的の運動が達成されているのは、可能運動範囲内に状態を保持する目的で診断ならびに先導支援が行われている結果である。支援システムの有効性は文献 3 において行われた。ジョイスティック操縦装置の有無が操船法ならびに操船結果へ与える影響を調査した結果と比較することにより定性的傾向として得られたものである。

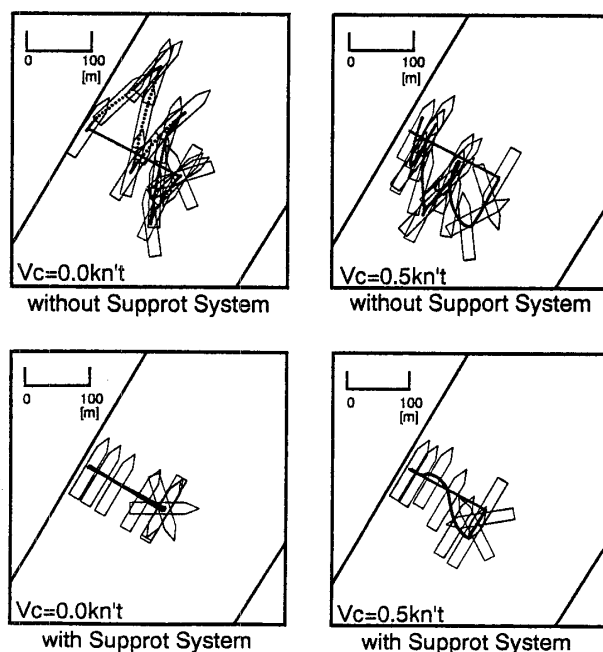


Fig. 13 The ship's trajectory in the berthing maneuver concerning support and current condition

総合的な操船結果の比較を (Fig. 14) から (Fig. 16) に示す。(Fig. 14) は着岸操船における長年の懸案事項である操船所用時間を比較した図である。支援システムを利用することにより、外乱の有無に関わらず所用時間はほぼ 1/3 程度に減少していることが分かる。すなわち、在来船で約 30 分の時間を必要としていた操船が約 10 分で行えることが明らかとなった。ジョイスティック操縦装置の有無のみによる時間短縮率は、文献 3 によれば、半減以下には短縮されていないことから、今回の大幅の時間短縮は、支援システム全体としての寄与が大きいことが推測される。(Fig. 15) は船体の移動過程において占有した海面面積を

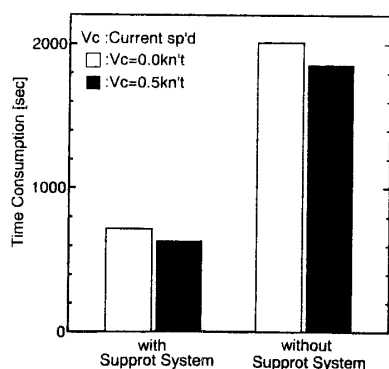


Fig. 14 The relation among mean time consumption, supporting and current condition

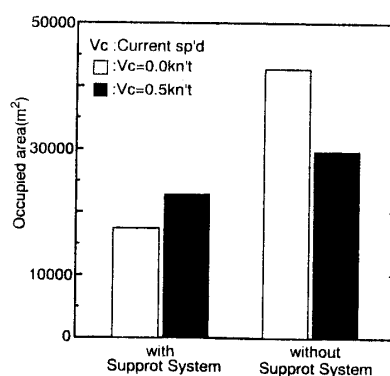


Fig. 15 The relation among mean occupied area, support and current condition

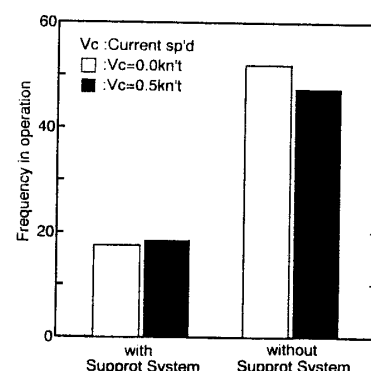


Fig. 16 The relation among mean frequency in operation, support and current condition

船体運動に伴う船体各部に外接する長方形の面積で比較した図である。刻々の船位ならびに運動情報の提示のあるシステム支援がある場合、占有面積は小さくなる。とくに、桟橋近くにおいては安定した横運動になることから、前後に停泊船がある場合にはシステムの安全性への寄与は大きくなると判断できる。

(Fig. 16) は船体制御のために行われた操作の回数を比較したものである。支援システムのある状態ではジョイスティックの操作回数を示し、方向指示、速力指示、船首方位指示の回数を積算した回数である。在来船では舵操作、主機操作、バウスラスト操作の回数を積算した回数である。外乱の有無に関わらず、システムを利用している状況で操船者の操作負担の一つの代表量である操作回数は大幅に減少していることが理解される。ジョイスティック操縦装置の有無のみによる操作回数の減少率は、文献3によれば、外乱のない状態で1/2の結果が得られている。したがって、操作回数の減少には、ジョイスティック操縦装置の有無が支配的な影響を与えていると考えられる。

4. 考 察

本研究では操船困難度が極めて大きい着桟操船に対する操船支援システムを開発した。今回の検証実験を通して以下の点が明らかとなった。

計画段階における先導支援ならびに診断支援は操船者に計画の指針を与える点で有用であるばかりでなく、複雑な運動推定に関わる予測作業を正確に代行することとなり、操船者の計画に問題がある場合にはあらかじめ問題点を認識し、改善することができる。アプローチ操船実行時におけるシステムの有効性は計画の達成状況から判断できる。比較的容易な操船内容に関しては支援システムが無い場合でも計画の達成度が優れているので、システムの支援効果は顕著には現れていない。しかし、制御の困難な船速計画の実現や外乱の影響を受ける状況ではシステムの支援効果

は顕著に現れていることが確認された。システムの開発目標の一つとして、人間では実現できない機能をシステムによって達成することにある。操船者の操船では困難な操船に対して、今回得られた結果は人間を含めたトータルの操縦システムの性能向上を立証したと理解される。

バーシング操船実行時におけるシステムの支援効果についてはジョイスティック操縦装置の効果が顕著に見られる実験結果ではあるが、先導支援と診断支援が有効に機能し、着桟操船の信頼度を向上できることが確認された。ジョイスティック操縦機能を含む操船支援システムを用いることにより、従来から改善が期待されているバーシング操船は安全性、効率性の両面から大幅に向上すると考えられる。

結 論

操船支援システムは操船者と一体となって、トータルの操縦システムの性能向上を図るシステムである必要がある。そのためには、従来操船者が行ってきた機能を分担し、操船者の仕事を処理可能範囲内にとどめるとともに、人間には不可能な仕事を実行し、従来の人間による操船では達成できない機能を実現する必要がある。今回対象とした着桟操船は短時間に多くの情報を収集・解析し、多方面にわたる意思決定を行い複数のアクチュエータを操作する必要のある操船局面である。開発した支援システムは先導支援機能、診断支援機能によって、多くの点で人間の機能を代行している。また人間では実行不可能な高速、高精度の推定と判断を行い、操船システムの機能向上の目的を多くの点で達成することができた。

参 考 文 献

- 1) Paramore, B. and P. King Study of Task Performance Problem in Report of Collision, Rammings and Grounding in Harbors and Entrances, Operation Research, 1979
- 2) H. Kobayashi Technical Development for Safety

- Navigation, MARIENV '95, 1995
- 3) M. Endo and H. Kobayasi Ability of Berthing Assisted by Joystick Controller, Japan Institute of Navigation, No. 89, 90, 1993, 1994
- 4) H. Kobayashi Development of Full Mission Ship Maneuvering Simulator, Techno Marine, The Society of Naval Architects of Japan, No. 812, 1997
-