

本調査研究は、日本財団の補助金を
受けて実施したものです。

研究資料No.416号

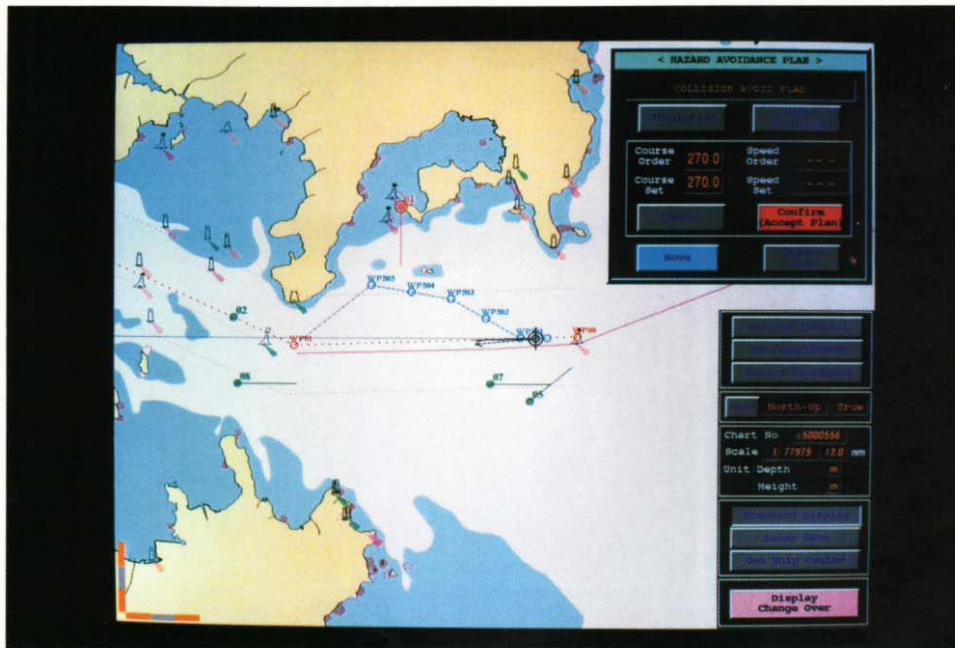
SR 227

SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

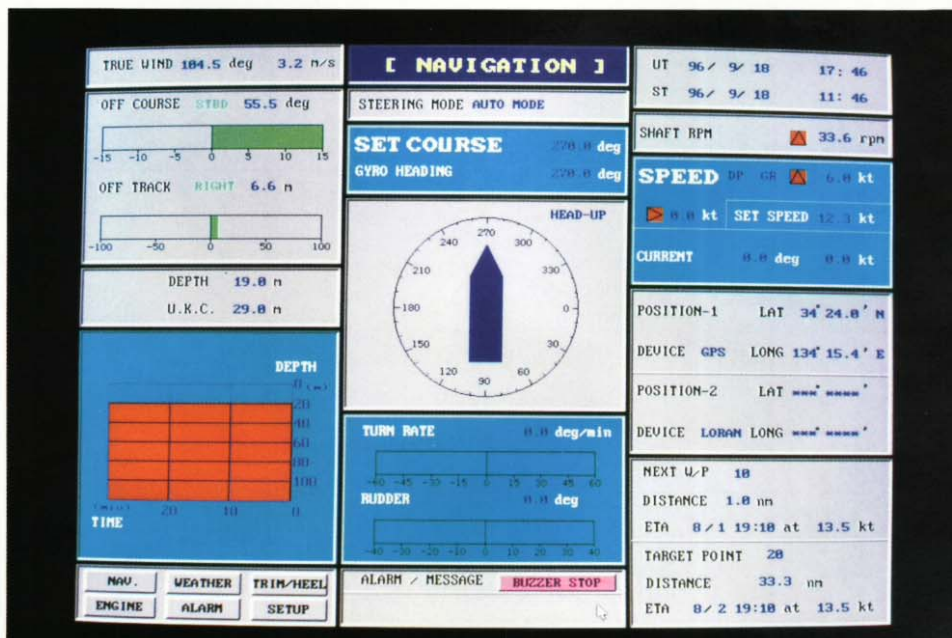
自動運航システムの評価 成果報告書

平成9年3月

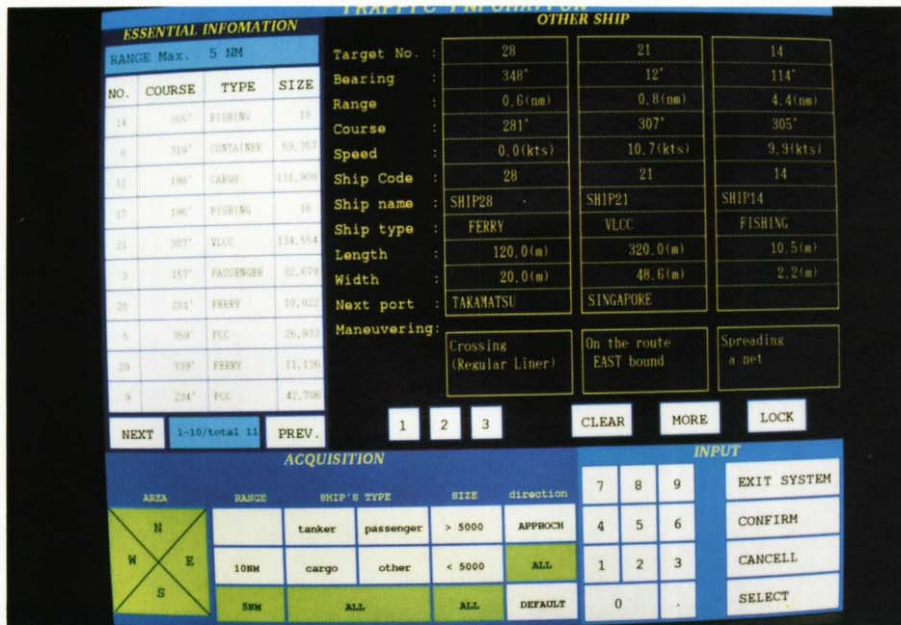
社団法人 **日本造船研究協会**



電子海図表示装置



航海情報表示装置



トランスポンダシステム (操作・表示画面)



ブリッジ内部

S R 227 「自動運航システムの評価」

要 約

平成6年度の研究の概要

1) 海難事故防止対策に関する現状調査

- a) 海難事故発生状況及び原因の調査――日本の年間の全海難の数は多少漸減しているとはいふものの、毎年約10,000件で、その中で衝突、乗り揚げが約50%に及んでいる。
- b) 各船舶会社の航海事故防止対策の現状調査――レーダ、ARPA等は性能的に満足していない。従って見張り視認などで衝突防止を行っているが、航海士の教育についてはOJTで行っているところが多い。
- c) ユーザ側から見た航海事故防止システムのあり方――
 - ・機器は多機能を望まず、簡素化し、操作が簡単であり、マン・マシン対話形式のようなヒューマンフレンドリーなものを望む。
 - ・メンテナンスフリーのような信頼性に富むものが必要。
 - ・レーダによる他船識別、相互通信システムのような相手船の将来動向を知ることのできる装置が必須。
 - ・音声による操船助言装置の開発。
 - ・衛星による航行管制システム、通行路の標準化。

自動化機器に航海を任せられるかどうかの質問には、

- ・大洋航海中の船位確認、保針、見張り
- ・沿岸航海中の船位確認、保針
- ・狭水道での船位確認

には過半数が自動化が可能と答えたが、

- ・沿岸航海中の避航
- ・狭水道での保針、避航
- ・港内航行中での船位確認、保針、避航

では自動化は無理で操船者の判断が必要であると答えている。

2) 統合航海情報システムの概念設計と開発要素の抽出

- a) 文献、ユーザ等の使用実績等を対象とした現状調査――レーダ/ARPA、電子海図、トランスポンダ、測位システム等の航路監視システム、VHF無線電話、インマルサット等の通信システムを調査し、これらの機器の使用状況、問題点を調べ、開発要素の抽出を行った。
- b) システムの概念設計――自動運航システムの設計に一番重要な事項は、使用者にとって使いやすく、有効かつ確実に運航業務を支援できる機能を有するシステムであり、そのあり方、概念の基礎を次のように定めた。
 - ・各種航海情報の集中化、一元化
 - ・衝突予防対策、避航操船の明確化
 - ・確実な座礁予防対策
 - ・シンプルかつ確実なヒューマンインターフェイス
 - ・信頼性あるシステムの構築

3) 自動運航システムを使用しての自動運航シミュレーション

- a) 自動運航システム及び操船シミュレーションに関する技術調査――自動運航システムとしていわゆる「知能化船」の研究があり、またIBS (Integrated Bridge System) やINS (Integrated Navigation System) の性能

基準の検討が国際的になされているので、これらを参考としてシステムを構成することとした。また、操船シミュレータの現状と利用状況について国内の機関にアンケート調査を行った。

- b) 概念設計――以上の結果に基づき実験シミュレータの構成や実験可能なシナリオ、評価の基礎的検討を行った結果、次の要素の組み合わせで、航路形状や航行船の動静を把握する情報収集、衝突の危険の察知及びその表示、システムの監視機能を評価することとなった。
- ・航行海域：沿岸及び狭水道
 - ・供試船：V L C C
 - ・航行船の輻輳度：3種類
 - ・その他：気象、海象の状況変化を行う

平成7年度の研究の概要

1) 統合航海情報システムの概念設計

- a) 文献、ユーザの使用実績を対象とした現状調査と問題点、開発要素の抽出――現在使用されている航海情報機器及び新規導入可能な航海情報センサ等の調査を行い、船橋情報の分析と表示形態の検討を行った。
- b) 概念設計――方位、位置、速力、水深等の船橋情報について、各センサ各要素機器をリストアップし、自動運航システムに必要な要件を検討した。特に出力形態については表示アイテム・形態についての要求仕様を作成した。また本システムの中核としてECDISの装備を考慮したので、従来の海図による航海と比べると、飛躍的に自動運航が行い易くなるとともに、座礁・衝突予防に大きな効果があると考えられる。

2) 自動航法システムのシミュレーション計画及び評価の策定

- a) 自動運行システム――自動運行システムはレーダ、ジャイロ、GPS、主機、オートパイロットなどの航海情報や、制御指令などをデータ処理し、タッチパネル形式にて統合航海表示装置を構成し、一方、電子海図用表示装置を別のCRTに表示させるとともに音声出力によって「衝突危険船あり」とか「変針点に到着」などの6項目の音声出力メッセージを知らせる装置を付け加えた。また、特に衝突防止に有効なトランスポンダに関しては多くの資料を検討し表示機能とその情報を決定した。
- b) 操船シミュレータの技術調査――操船シミュレータは基本的には東京商船大学のものを使用するが本委員会で決めたソフトウェアを用いることとした。そして実験に用いるシナリオの基本事項も決定された。
- c) 実験結果の評価方の検討――実験後のこのシステムをヒューマンエラー防止機能の有効性、安全性、経済性等を定量的に評価することに決定した。

平成8年度の研究の概要

平成8年度の研究はシミュレーション実験を行ってその結果を評価することである。そのために次のような手順で研究が実施された。

1) 自動運航システムの概念設計と開発要素の抽出

本研究で検討された自動運航システムと実験に用いられる東京商船大学の操船シミュレータとの取り合いを検討し、その要求仕様および詳細設計をまとめた。

2) 自動運航システムのシミュレーション実験

a. 実験シナリオの詳細設計

シミュレーション実験の海域は次の3海域を選定した。沿岸域として東京湾入り口付近、狭水域として瀬戸内海備讃瀬戸東航路付近、沿岸域から狭水道への移行海域として同じく備讃瀬戸東航路入り口付近。また自然環境として昼間と夜間、晴れと霧、潮流の有無を設定した。

自船はVLCCであり、VLCCの在来船と本研究の自動運航システムを使用した実験での結果を比較評価を行った。操船者はVLCCに経験ある船長、航海士、操舵手の3名から成る5グループで、上記条件の組み合わせの航海、計40回を実施した。

b. 評価

シミュレーション実験の結果は、他船の再接近距離と避航開始距離よりみた安全性、平均横偏位距離と平均船速でみた効率性、変針回数および主機操作回数でみた操船負担、操船者にアンケートした結果より得た主観的評価で本自動運航システムの評価が行なわれた。

この結果、安全性と効率性に関してはIBS船はベテラン船長が操船する在来船とほぼ同様な評価を得た。また操船負担に対してはIBS船は在来船より良いという結果となった。主観的評価では自動運航システムの評価の支援は有効であり操船負担を軽減すると評価が高かった。

今回のシミュレーションでは、今国際的にも注目されているトランスポンダの有効性も実験されたが、操船データとして顕著な優劣は現れなかったものの、操船者からは評価が高かった。

は し が き

本報告書は、日本財団補助事業として、平成6年度から3ヵ年計画で実施した日本造船研究協会第227研究部会「自動運航システムの評価」の研究成果をとりまとめたものである。

第227研究部会委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	飯島幸人(鳥羽商船高等専門学校(H8.4~), 東京商船大学(H6.4~H7.3))
代表幹事	大竹輝幸(大阪商船三井船舶)(H8.7~)
	大内一之(大阪商船三井船舶)(H6.6~H8.6)
	山名俊茂(大阪商船三井船舶)(H6.4~H6.6)
委員	大内一之(大阪商船三井船舶)(H6.4~H6.6)
	小林弘明(東京商船大学)
	沼野正義(船舶技術研究所)(H8.4~)
	村山雄二郎(船舶技術研究所)(H6.4~H8.3)
	福戸淳司(船舶技術研究所)
	森田幹(大阪商船三井船舶)(H8.9~)
	脇修一(大阪商船三井船舶)(H7.7~H8.8)
	福島正男(大阪商船三井船舶)(H6.4~H7.6)
	松尾廣昭(日本郵船)
	堤則夫(川崎汽船)
	阿部博映(昭和海運)(H7.4~)
	石井実(昭和海運)(H7.2~H7.3)
	岩田正彦(昭和海運)(H6.4~H7.1)
	横田哲也(東京タンカー)
	森田進(川崎重工業)(H7.4~)
	今村博(川崎重工業)(H6.4~H7.3)
	佐藤孝雄(三井造船)
	石原知明(三井造船昭島研究所)(H7.4~)
	横山直彦(三菱重工業)(H8.4~)
	桑原克郎(三菱重工業)(H6.4~H8.3)
	森田博行(石川島播磨重工業)
	山本正明(日立造船)
	近藤信竹(古野電気)(H7.4~)
	笹倉豊喜(古野電気)(H6.4~H7.3)
	片山瑞穂(トキメック)
	鶴田良平(日本無線)
	寺川佳孝(日本鋼管)(H7.7~)
	中馬繁(日本鋼管)(H6.4~H7.6)
	加藤雅徳(大阪商船三井船舶)(H8.9~)

村田雅文(大阪商船三井船舶)(H6.8~H8.8)
 恩田裕治(日本郵船)(H8.7~)
 猪野木哲二(日本郵船)(H6.8~H7.3, H8.4~H8.7)
 赤松健康(日本郵船)(H7.4~H8.3)
 金子知巳(川崎汽船)(H8.7~)
 中原賢(川崎汽船)(H7.8~H8.7)
 清水道也(川崎汽船)(H6.8~H7.8)

第227研究部会幹事会名簿

(敬称略, 順不同)

部会長	飯島幸人(鳥羽商船高等専門学校(H8.4~), 東京商船大学(H6.4~H7.3))
主査	大竹輝幸(大阪商船三井船舶)(H8.7~)
	大内一之(大阪商船三井船舶)(H6.6~H8.6)
	山名俊茂(大阪商船三井船舶)(H6.4~H6.6)
委員	大内一之(大阪商船三井船舶)(H6.4~H6.6)
	小林弘明(東京商船大学)
	森田幹(大阪商船三井船舶)(H8.9~)
	脇修一(大阪商船三井船舶)(H7.7~H8.8)
	福島正男(大阪商船三井船舶)(H6.4~H7.6)
	松尾廣昭(日本郵船)
	森田進(川崎重工業)(H7.4~)
	今村博(川崎重工業)(H6.4~H7.3)
	佐藤孝雄(三井造船)
	横山直彦(三菱重工業)(H8.4~)
	桑原克郎(三菱重工業)(H6.4~H8.3)
	近藤信竹(古野電気)(H7.4~)
	笹倉豊喜(古野電気)(H6.4~H7.3)
	加藤雅徳(大阪商船三井船舶)(H8.9~)
	村田雅文(大阪商船三井船舶)(H6.8~H8.8)
	恩田裕治(日本郵船)(H8.7~)
	猪野木哲二(日本郵船)(H6.8~H7.3, H8.4~H8.7)
	赤松健康(日本郵船)(H7.4~H8.3)
	金子知巳(川崎汽船)(H8.7~)
	中原賢(川崎汽船)(H7.8~H8.7)
	清水道也(川崎汽船)(H6.8~H7.8)

討議参加者

井 隼 哲 郎	(古 野 電 気)
盛 田 隆	(石川島播磨重工業)
服 部 博	(東 京 タ ン カ ー)
奥 村 拓 也	(川 崎 汽 船)
那 口 行 輝	(石川島播磨重工業)
松 田 和 生	(三 菱 重 工 業)
国 定 茂	(古 野 電 気)
阪 口 康 弘	(東 京 商 船 大 学)
濱 田 俊 秀	(東 京 商 船 大 学)

シミュレーション実験参加者

橋 本 毅	(大 阪 商 船 三 井 船 舶)
玉 井 勝 也	(大 阪 商 船 三 井 船 舶)
石 橋 武	(日 本 郵 船)
恩 田 裕 治	(日 本 郵 船)
佐々木 重 幸	(川 崎 汽 船)
松 本 光 秋	(川 崎 汽 船)
村 瀬 浩	(昭 和 海 運)
藤 村 郁 二	(昭 和 海 運)
松 永 優	(東 京 タ ン カ ー)
上 野 金 次	(東 京 タ ン カ ー)

目 次

1. ま え が き	1
2. 研 究 の 目 的	3
3. 研 究 の 目 標	3
4. 研 究 の 内 容	4
5. 得られた成果	6
5.1 海難事故の現状と自動運航システム	6
5.2 航海情報機器の現状と自動運航システム	7
5.3 自動運航システムの構築	8
5.4 トランスポンダシステムの構築	13
5.5 操船シュミレータの構築	14
5.6 総合シミュレーション	18
5.7 自動運航システムの評価研究の成果	24
6. 成 果 の 活 用	27
7. あ と が き	29

自動運航システムの評価

1. ま え が き

近年、GPS、電子海図などの電子技術が発達し、航海に画期的な進歩をもたらした。しかし、このような進歩にもかかわらず、統計によれば日本における年間の海難の数は依然として毎年約10,000件弱程度の平行線を維持し続け、画期的な新技術がこと海難に関しては良き成果を挙げていないように思われる。海難の中では、衝突、乗り揚げなど、いわゆる交通事故的の海難の占める割合が極めて高く、全海難の過半数にも達している。このような交通事故的の海難は自動車の交通事故と同様に、その殆どがヒューマンエラーによるものであると言われている。

このように、いかに技術が発達し、高度の装置が装備されても、それを取り扱う人間の過失、取り扱い不適切など、いわゆるヒューマンエラーを減少させなければ事故は減らず、一旦タンカーなどの大事故が発生すれば、社会的に大きな損害を与えるばかりでなく、掛け替えのない我々の地球を汚染し、環境を破壊する事にもなりかねない。ヒューマンファクターの研究は地味なものではあるが、ハイテク自動化時代の現在に至って再認識しなければならない極めて重要な意味を持つようになってきた。

このような観点から、本委員会ではヒューマンエラーを減少させるような、ヒューマンフレンドリーな運航システムの構築を目指して研究を行ってきた。本研究は3年度に亘り行われ、図1に研究の概要を示すように、先ず海難発生状況や原因調査など基本的な事項から始め、最終的にはヒューマンエラーを減少させることができるような運航システムを想定したIBSをシミュレーターに接続し、これによって現役の船長、航海士などによるシミュレーション航海を実施した。そしてこの航海の総合評価からこのシステムの評価を行い、上記目的を達成することとした。

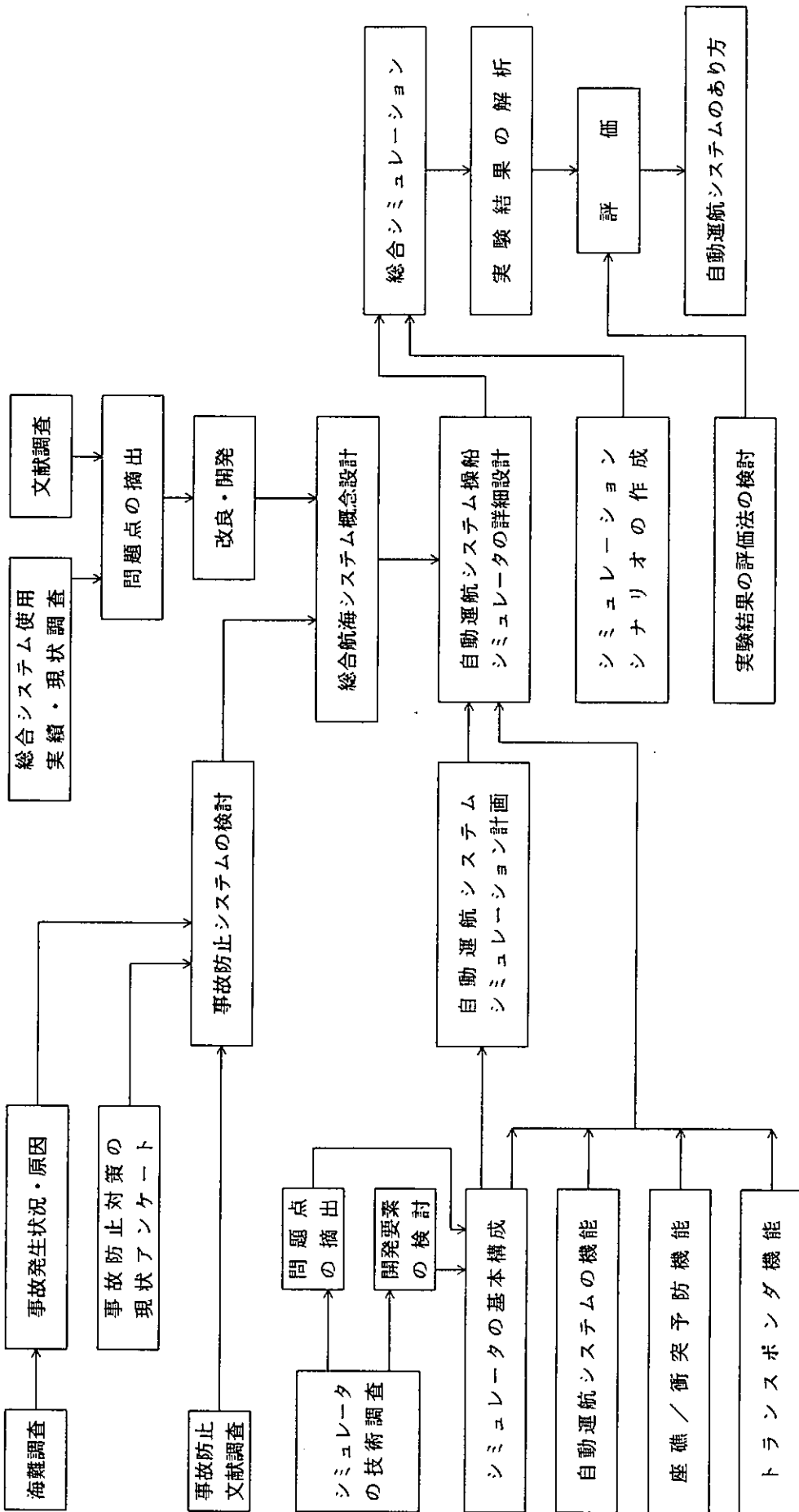


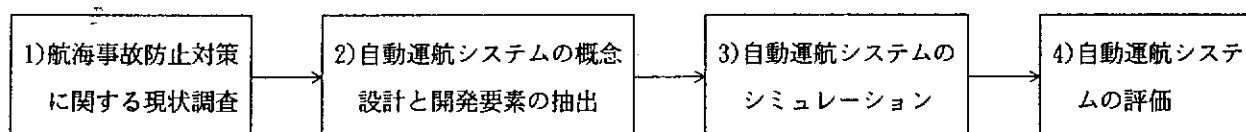
図1 研究の概要

2. 研究の目的

海難統計によると、日本における年間の海難数はここ数年間の推移として、わずかずつではあるが減少傾向が続いているものの、依然として毎年約10,000件もの海難が発生している。そのなかで、重大事故の過半数が衝突・座礁等の航海事故であり、その原因の大部分がヒューマンエラーによるものと分析されている。いかに技術が発達し、船体構造部が強化され、また各機器等が進歩しても、それを取り扱う人間の過失すなわちヒューマンエラーを減少させなければ根本的な解決方法にはならず、船からの流出油が及ぼす海洋環境の汚染やそれによって社会へ与える影響もなくならないと考えられる。現状では操船者への適切な情報提示と避航に対する航海補助手段が確立されておらず、かかるシステムの開発と実用化のための評価が緊急に要望されている。

そこで、近年技術開発が著しい航海情報機器すなわちGPS、電子海図、トランスポンダ等個々の情報・技術を統合処理の上使用し、自動避航を行う事により、衝突・座礁等の航海事故防止システムを構築し、ヒューマンエラーによる事故頻度を減少させる研究を行い、船舶の安全航行及び海洋環境の保全に寄与することを目的とする。

3. 研究の目標



研究目標として4つのテーマを設定し、以上のようなフローで研究を進めていくこととした。本研究の評価対象として、現在の海難事故の最大要因と考えられているヒューマンエラーを最も少なくするような自動運航システムの必要機能要件を取り纏めた。具体的には、航海計画、操船、監視など航海者の航海業務を全範囲に亘って支援することにより、衝突・座礁防止を重点に置いた船舶の安全航行と多忙な航海者の負担軽減を目的としたシステムである。

まず海難事故がどのような原因で発生し、ヒューマン・ファクターとどのように関わっていたかを解明するために、海難審判の資料により海難事故発生状況と合わせて調査をし、また船舶会社及び学校に対しアンケート調査を依頼し、衝突・座礁等の航海事故防止対策がどのように講じられているかも調査した。それらを踏まえ統合的な自動運航システムの概念設計を目指し、航海情報機器の現状に見られるような単に計器相互の信号のやりとりだけでなく、情報提供の一元化、情報の精度向上、トランスポンダによる情報の交換、シンプルなヒューマン・インターフェイスを確立させる。

この自動運航システムが、人間の機能を大部分代行することでヒューマンエラーを捕い、常に最適な運航システムを形成するというこの研究の目的を達成しているか、或いは不十分な点はどこにあるのかを評価する必要がある。そのためには、様々な状況が発生する現実の操船環境の中でシステムの評価を行う事が望ましいが、安全性や効率性を考えると困難な点が多い。したがって本研究会においては、現実の状況を忠実に模擬再現する大型操船シミュレータを用いて、システムの評価を行うこととした。

4. 研究の内容

研究目標を遂行するため、以下のようなテーマを設定しこれらを相互に関連させながら研究を進めた。

4.1 海難事故の現状と自動運航システム

- (1) 海難事故発生状況及び原因の調査
海難審判の資料より過去の航海事故の実例とその発生原因を調査する。
- (2) 各船舶会社の航海事故防止対策の現状調査
各船舶会社や学校がいかなる航海事故防止対策を講じているか調査する。
- (3) ユーザー側から見た自動運航システムのあり方
ユーザー側から見た望ましい自動運航システムのあり方について調査、検討する。

4.2 航海情報機器の現状と自動運航システム

- (1) 文献、ユーザーの使用実績等を対象とした現状調査
現在使用されている航海情報機器、自動運航システム及び新規導入可能な航海情報センサー等の調査を行う。
- (2) 問題点の抽出、改良及び開発要素の抽出
上記問題点を洗い出し、改良することでより高信頼度の航海システムが得られ、各要素について開発要素を抽出する。
- (3) 概念設計
交通輻輳海域であっても衝突や座礁事故を予防するために、「余裕を持った的確な情報提供」ができるような自動運航システムの概念設計を行う。

4.3 自動運航システムの構築

自動運航システムを構築するにあたって、人間の機能を大部分代行でき且つ座礁や衝突事故予防に重点を置くことを前提条件とする。先ずシミュレーション評価の対象となる自動運航システムの設計方針を掲げ、それに従って各構成部分と機能について検討し、まとめる。

4.4 トランスポンダシステムの構築

- (1) 意志伝達手段としてのトランスポンダの利用については、情報伝達媒体の法的規制、技術的課題がある。ここでは、過去の研究成果とトランスポンダの実用化の国際的な動向に関して調査を行う。
- (2) トランスポンダの基本設計
トランスポンダを設計するにあたり、基本仕様、構成システム、そこで交換する情報の内容と操作方法の詳細等を検討する。

注) トランスポンダとは、一般的に質問機 (Interrogator)・応答機 (Transponder) のことで、パルス信号を受信した際これに特殊符号 (船舶識別情報、操船の意志等を信号化したもの) を付けて再送信することができ、船舶間のコミュニケーション手段として利用する。

4.5 操船シミュレータの構築

- (1) 操船シミュレータの基本設計
自動運航システム及びトランスポンダの評価に使用する操船シミュレータの概要と基本仕様、機能について問題

点等をまとめる。

(2) 操船シミュレータ改造の要点

上記問題点，改良点を抽出する。シミュレーションのための環境設定を示す。

4.6 総合シミュレーション

統合航海情報システムを使用しての自動運航システム及び操船シミュレータを用いて模擬操船を実施し，自動運航システムの各機能が海難事故防止にいかにも有効か評価する。

(1) シミュレーション実験シナリオの詳細設計

シミュレーション実験のためのシナリオ詳細を作成するにあたって，航行支援能力，航行時間帯，航行海域の余裕度，遭遇船舶数，視程状況等をパラメータとした。また作成したシナリオの妥当性やブリッジ機器配置状況，D GPSとGPSの違い，霧中航行時の視程等の実験条件を検証するため予備実験を行い，最終的なシナリオを確定した。

(2) シミュレータを用いた航海実験

被験者を5つのグループに分け，各グループごとに異なる評価目標を設定した。上記にて作成したシナリオに基づき，それぞれの評価目標に応じたシミュレーション実験を実施し，自船と他船のデータ，操船者の行動記録，自動運航システム操作記録から実験結果を解析する。

4.7 自動運航システムの評価研究の成果

4.6総合シミュレーションで得られた実験データから自動運航システムを評価する。評価方法として次のように大別した。

○ 操船結果から見た自動運航システム評価：

安全性，効率性，操船負担の面から，策定した評価基準に従って，実験データを解析し自動運航システムの有効性について評価を行い，同時にオペレータの立場からの評価としてアンケート調査による主観的評価も行った。

○ 操船者の操作・行動から見た評価解析：

操船者が自動運航システムを使用することによって情報収集作業や操船作業の負担が如何に軽減されたかについて操船者の操作記録，行動記録から解析し，航行支援装置としての有効性を評価した。

5. 得られた成果

5.1 海難事故の現状と自動運航システム

5.1.1 海難事故調査

海難審判庁発行の「海難審判の現況」による、海難事故発生状況の内訳を見ると衝突、座礁（乗揚げ）による事故が大きな割合を占めており、大型船ほどその傾向が強くなっている。世界的にも有名な大型タンカーの事故例を見ても、座礁事故は天候・海象等の環境条件とハードウェアトラブル、ヒューマンエラーとが重畳した場合に多く起こり、また、衝突事故はいずれも海上交通の輻輳する場所で起こっており、2隻の相対的位置状況、操縦性能を互いが正しく把握し、避航動作の意図を確実に伝え、正確な協力動作をとることが不可欠である。これらの状況を背景に「衝突・座礁防止対策の現状」について主として外航船社に対しアンケート調査を行った。

5.1.2 アンケート結果と分析

(1) 衝突・座礁予防について

衝突予防の面から見た現状の RADAR/ARPAの機能に80%以上が満足していない。その理由としては、「ARPA計算機能(CPU)の性能が悪い」「RADAR信号の質が悪い」「操作パネルが複雑で使いにくい」などが挙げられている。それらを補う手段として、「見張りの強化」「VHF等の通信手段による相手船との動静確認」などを行っている。

また、RADAR/ARPAの他に衝突予防に効果的と思われる装置として「船名、船種、総トン数などの固定情報や、船速や進路変更などの行動変化情報を何らかの手段で相互に送受できる装置」とか「種々の航海データを操船者が容易に判断しやすいように加工した表示装置」などを挙げている。

座礁予防装置としては現時点では明確に有効な装置はないもののGPSなどの測位装置により海図上における本船の正確な位置を即座に把握できるチャートプロットや電子海図を間接的座礁予防装置の支援ハードとして採用している例がタンカーなど特に深喫水船に多く見られる。

(2) 乗組員の教育について

上記のハード面のみでなく、装置を操作し安全運航をキープするために必要な教育・訓練いわゆるソフト面の支援も衝突・座礁予防の大きな鍵になっている。機器操作に対する熟練度、避航操作に対する判断力などもこれらの事故を未然に防ぐ大きな要素をもっており、多くの船社で特に乗船前の教育を行っている。

(3) ユーザー側から見た自動運航システムについて

ユーザー側（操船者）が考える今後の自動運航システムに対する許容範囲（大洋・沿岸・狭水道・港内の各航海モードと自動化機能との関わりにおいて、どの範囲まで、どこまでシステムにまかせられるのか）についての意見として大洋航海中の広い海域においては、測位装置の位置精度が高いこと、RADARの高性能化を条件に、船位・保針・見張りまでの自動化は可能になると考えるが、沿岸航海中・狭水道・港内などの船舶輻輳海域では、他船の予期せぬ行動や機器の信頼性などを考えると、見張り・避航を含めた100%信頼できる自動運航システムが開発されるとは考え難く、人間の判断を介在させる必要があり、自動運航システムはあくまでも操船者に対する援助装置として位置づけている。

5.1.3 まとめ

現場の運航に直接携わっている多数のユーザーの意見としては、事故防止対策として現状装備されている機器の性能レベルの満足度は低く、当直者の技量に頼る部分が多いこともわかった。ユーザーが今必要としているのは、RADAR/ARPAの基本的性能の向上や、海図上における自船の位置の把握、相手船の固定情報や動きに関する情報であって、すべて機械に頼る自動運航システムを望んでいるわけではないということである。

自動運航システムは、あくまでも船長・航海士に対するより安全な運航を支援するシステムであり、自船の周囲

の状況（視界，海象，船舶の輻輳状態等）による総合的判断のより身近なツールとして，より深く習熟しておく必要があり，それが安全運航をキープすることにもつながることになる。

5.2 航海情報機器の現状と自動運航システム

船内で得られる情報を統合し，これを操船者に有効に提供するために自動運航システムの構築を計った。

具体的には，現状の航海情報機器の問題点を分析し，船内外の情報を分析整理し，最適な情報の提供要領を決定した。この結果，船内の情報を対象とする場合は，技術的にはかなりの要求に対応し実現することが可能となっている。

一方，平成7年度に行った現場の操船者を対象としたアンケート調査においては，次のようなユーザの意見が印象的である。

- ア．むやみに多機能化にはしることで操作の繁雑さを招くことを危惧する。
- イ．マンマシンの連携が悪いと人による確認がおろそかになったり操船の邪魔になる。
- ウ．GPSの測位精度の評価は高いが，ARPAの性能に対する信頼感は低い。

多機能化による操作の繁雑さは，家電製品が具体的な例として上げられていたが，航海計器のなかでもGPSのように広い分野を対象として基本モジュールを開発する製品の場合には，色々な機能を可能な限り一体化することで合理化を図ろうとする。従ってこの場合は，単体として利用する場合には，非常に多くの機能が組み込まれているので，かなり繁雑な操作を理解する必要が出てくる場合がある。

しかし，この研究で行ったように，単体としてではなく，自動運航システムのなかでそこから必要な情報のみを取り出し，処理し，提供することで，このような問題を吸収することができる。

マンマシンの良好な連携に関するユーザの意見としては，必要な情報をもっと絞りこんだり，優先度や割込み処理を工夫したり，提供手段をもっと工夫する余地があろう，などの声があろうかと思うが，これらは操船のノウハウとメーカーの技術を突き合わせ，積み上げていくことで，より良いものになっていくと考えられる。

アンケートで示されたARPA性能に対する信頼性の問題については，大きな課題であろうと判断するので，統合情報表示システムの今後の可能性の一つとしてここで検討を加えておく。

当研究では特に触れなかったが，この情報は，船外からの情報として位置付けて，船内情報とは異なるものとして考察すべきであろうと思う。

ARPAはレーダの物標情報を処理することで，他船の位置や動向，自船との相対関係などの情報を提供するものである。

従って，陸や豪雨などの電波伝搬上の障害の影響を受けたり，レーダ自体の誤差に併せて物標を量子化する段階での誤差，相対関係を演算する場合の方位や船速センサーの誤差が加わる。

さらに動向情報は，過去の複数の位置をプロットし，演算する方法をとっているため，その即時性には問題があるとされている。

また，物標の識別はARPAの情報から得ることはできない。

ARPAの持つ課題に対するアプローチとしては，レーダや方位，船速の精度を上げていく方向と，ARPAの持つ誤差や不確実性を別の手段で補完する方向の2つがあると考えられる。

ここでは，後者の補完の可能性について検討する。

補完方法の一つとして，船相互間の情報交換手段として，この研究で行ったトランスポンダを用いて通信手段によ

り相手船の位置、針路、速度、経由地点、船種、積荷などの情報を取得して、ARPA情報の補完とすることが可能である。

この場合、狭水道などの沿岸域では、DGPSの環境が比較的経済的な方法で実現可能であり、そのようなインフラの整備が進められている。

この場合の相手船の位置精度は数メートル程度が確保されるので、ARPAの物標位置の補完と識別の取得に加えて、変針予定場所などの相手の意思も得ることができる。

具体的な実現方法としては、自動運航システムの表示画面上の物標を電子カーソルで選択し、電文種別を選択し、送信起動ボタンを押すことで相手側のシステムから情報を読みだし、自動運航システムのリストに内容を表示するとともに、識別マークを物標脇に付加するような方法が技術的には可能となっている。

また、電文種別を電話チャンネルでの応答を求める内容のものを選択すれば、担手船は電話で応答し、呼び掛けてくるようにさせることもできる。

別の補完方法としては、VTS (Vessel Traffic Service) のサービス海域内において、基地局の通信管制により、1分間に2,000隻程度の船が自船情報をVHFで伝送することで、これをVTC (Vessel Traffic Center) において管理し、安全航行の支援を実現する方法である。

このためには効率の良い通信方法が必要であるが、各船が持つGPS受信機から得られる 10^{-7} という高精度の時計(UTCに対する絶対精度)を用いて、各船の通信スケジュールを時系列的に管理することで実現が可能である。

この通信体系のもとでは、情報の放送という手段で他船の情報を全部取得することもできるので、VTCで管理される対象海域全体の船舶情報と同じものを各船が持つことも可能となり、VTSに依存しないで、各船が自立的に海域の船舶情報を利用しながら航行することもできるようになる。

この研究における他船からの情報取得については、トランスポンダでシミュレータの他船データベースをそのまま表示したに留めたため、トランスポンダの持つ可能性が特に目立ったものにはなっていたとはいえなかったと判断する。

しかし、現在世界的な規模で整備が進められているGMDSS体系への移行により、船舶の無線通信手段が自動化されるので、この中で規定されるVHFトランスポンダにより船外からの情報の自動取得が容易となり、これを自動運航システムに供給することで、より精密で、かつ、多様な情報が提供できるようになる。

これにより船外からの情報も含めた、より高度な自動運航システムが実現でき、より確実な避航操船が可能となるような展開が期待できる。

5.3 自動運航システムの構築

自動運航システムは、操船、見張り等の操船者が船橋において行う航海業務を支援し、船舶の安全運航、多忙な操船者の負担軽減、ヒューマンエラー排除を図る目的で構築されている。特に本研究において構築された自動運航システムは、船舶海難事故の原因の大半を占めるヒューマンエラーの低減を狙い、座礁・衝突予防に重点を置いて、操船者への的確な情報提供と効果的な避航操船支援を実行できるように設計されている。

自動運航システムの設計方針は、次の通りである。

- ・船内の航海計器・機器、監視装置、センサ類、操船装置等を接続し、航海・操船情報を統合・一元化する。

これにより、操船者は1ヶ所で効率的かつ効果的に操船判断に必要な情報の取得が可能となり、操船者の船橋内での動線の短縮や作業余裕の確保を図る。

- ・収集した情報を単に表示・提供するばかりではなく、自動運航システムにおいて加工・処理を施して操船者の高度な判断・意志決定をサポートできる形式・内容にして提供する。

特に本研究における自動運航システムでは、従来のARPA機能より進んだ支援を行う機能として、ARPAターゲットや電子海図データを基に、航行状況に即した座礁・衝突危険情報の提供や避航操船支援を行う機能を準備し、操船者のヒューマンエラー低減を図る。

- ・事前に設定された航路（ルート）に沿って自船を操船制御（トラッキング制御）する。潮流等の外乱に対するドリフト補正により、高精度のルートトラッキングを可能とし、操船者は変針ワンタッチ確認のみで、自船を（半）自動操船することができるように考慮する。

- ・自動運航システムの中心となる表示装置においてウィンドウ表示やアナログ表示を採用し、操船者がシステムの表示画面から情報を誤りなく迅速に読み取れるように配慮する。また、音声警報・音声情報のアナウンス機能を導入し、操船者が目視による見張りや他の業務を遂行しながら必要な情報や重要な警報をタイムリーに取得できるようにする。

自動運航システムの操作については、操作頻度の高い電子海図表示装置にタッチパネルを採用して、操作性の向上を図る。加えてトラックボールを併用し、操作用途・目的に応じて操船者が使い分けできるようにする。また、操船者が必要なオペレーションを容易に実行できるようにシステムの操作体系をシンプルに設計する。

自動運航システムの構成図を図5.3.1に示す。

自動運航システムは、操舵室操船場所に装備される操船指令ステーションより構成され、次の機器が組み込まれる。

- ① 電子海図表示装置（21” タッチパネル付きカラーグラフィックディスプレイ）
電子海図表示、主要な航海情報の表示、操船制御確認、座礁／衝突予防避航操船支援、必要データの設定・入力、処理結果の表示等に使用する。
- ② データ処理装置－1（ワークステーションクラス、①と接続される。）
電子海図表示、操船制御、座礁／衝突予防避航操船等の処理に使用する。
- ③ 航海情報表示装置（21”トラックボール付きカラーグラフィックディスプレイ）
航海情報の監視に使用する。
- ④ データ処理装置－2（パソコンクラス、③と接続される。）
各種航海計器・機器からのデータ収集や航海情報表示の処理に使用する。
- ⑤ 音声出力装置
音声による警報、情報出力に使用する。

自動運航システムの主な機能は、次の通りである。

- ① 航海計画機能
電子海図上で変針点を設定・入力することにより航路の作成、修正が可能である。作成された航路は、航路保持の対象航路として設定される。
- ② 航路保持機能（ルートトラッキング機能）
システムは、設定航路を保持するための設定針路を逐次計算する。計算された設定針路は、操船者に画面や音声により提示され、操船者のワンタッチ確認操作を経てオートパイロットに送信され、操舵制御が行われる。

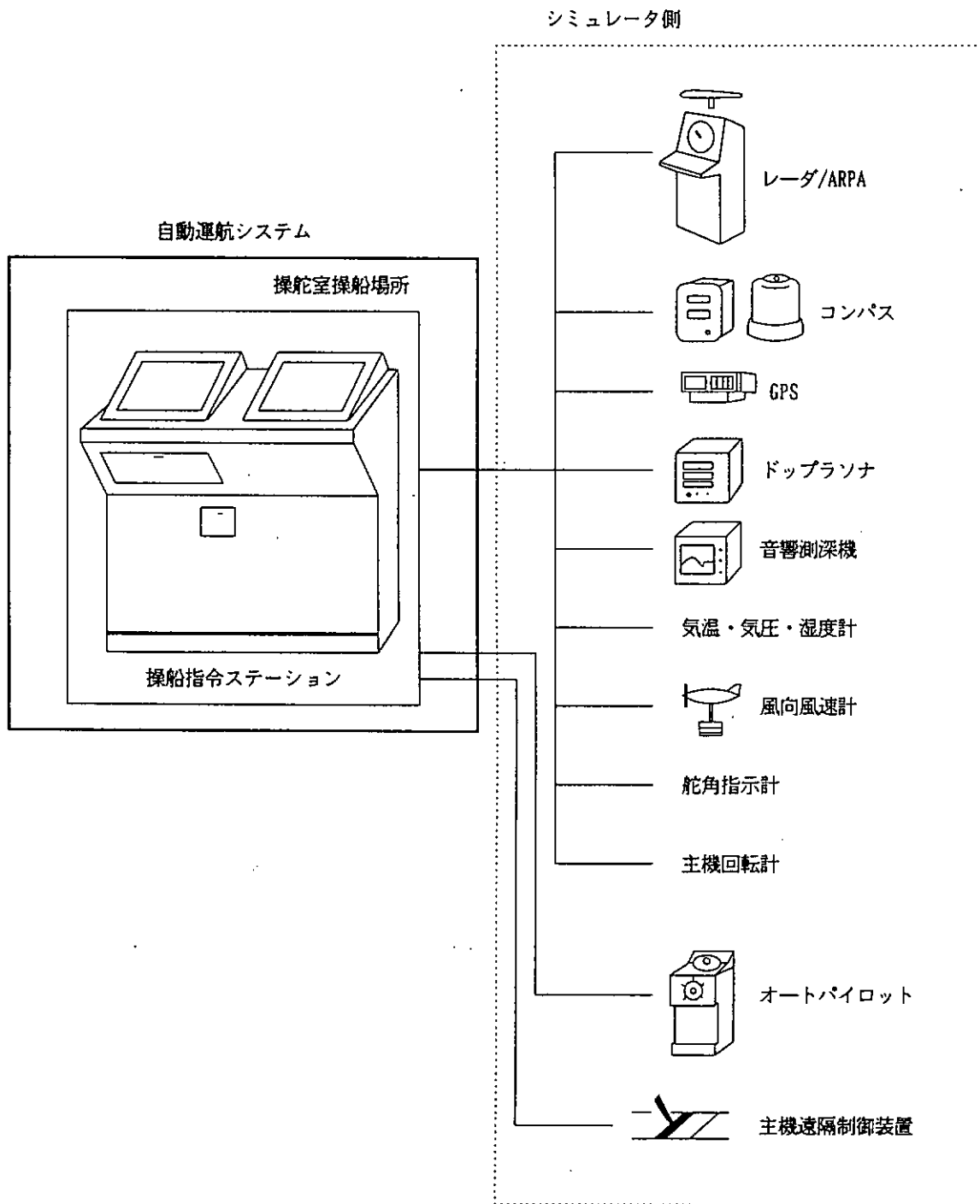


図5.3.1 自動運航システム構成図

③ 座礁／衝突予防避航操船機能

電子海図上の自船の安全水深線や航行禁止区域等の境界線データ，ARPAレーダからの他船ターゲットデータを基に，座礁／衝突危険判定を行い，座礁／衝突危険時には音声で警報を出力するとともに，更に危険レベルが上がった場合には避航計画を提供する。システムは，避航計画として，変針優先で避航航路を提案するが，変針で避航できない場合には，変速計画を提示する。

操船者による避航計画の確認操作を経た後，避航計画に従って自動で自船を航行させることができる。

④ 航海状況集中監視機能

電子海図表示装置において，次の情報表示や操作が可能である。

<表示>

- ・航海用電子海図（ENC：IHO S-57 DX-90準拠）
- ・自船運航データ（自船マーク／ベクトル，船首方位，針路，船位，船速など）
- ・機関データ（主機回転数，主軸回転数など）
- ・環境データ（風向／風速，水深など）
- ・航路データ（保持航路，計画航路，航路幅，変針点データなど）
- ・ARPAターゲット（他船マーク／ベクトル，DCPA，TCPAなど）

<操作>

- ・電子海図表示拡大・縮小／スクロール／オフセンタ／自船センタ表示
- ・方位環／平行カーソル／同心円表示・消去
- ・EBL／VRM／カーソル
- ・ノースアップ／コースアップ表示，真運動／相対運動表示
- ・自船／他船ベクトル設定
- ・電子海図表示色変更（昼間／薄暮／夜間）

航海情報表示装置において，次の情報表示が可能である。

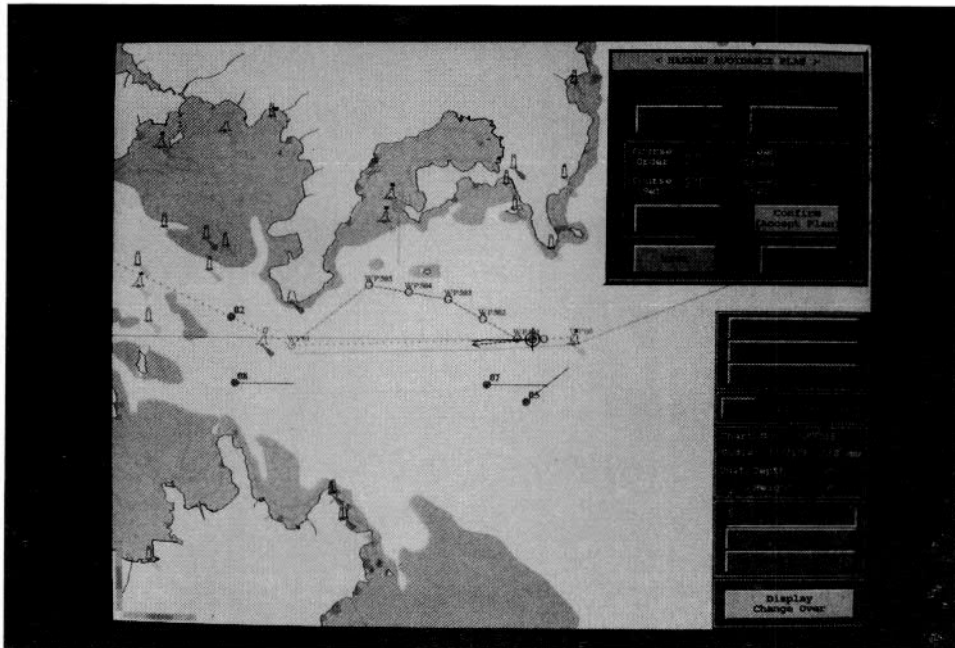
- ・自船運航データ（自船船位，船首方位，針路，船速など）
- ・機関データ（主機回転数，主機馬力，燃料消費量など）
- ・環境データ（風向／風速，水深，大気温度，海水温度，大気圧など）
- ・航路保持データ（操舵モード，オフコース／オフトラック，次変針点データなど）
- ・船体状況データ（トリム／ヒール，喫水など）
- ・警報データ（内容，レベル，発生日時など）

⑤ 音声出力機能

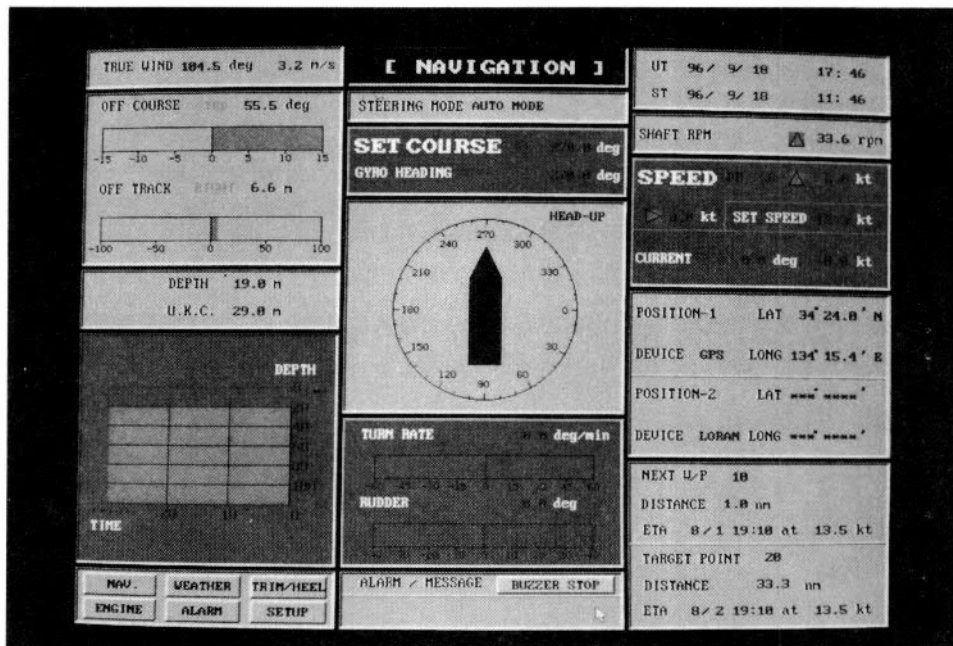
自動運航システムにより，次の情報提供や警報出力が可能である。

- ・衝突危険警報
- ・座礁危険警報
- ・変針点到達
- ・航路離脱
- ・航路復帰
- ・変針点通過

図5.3.2に自動運航システムの電子海図表示装置及び航海情報表示装置の画面例を示す。



電子海図表示装置



航海情報表示装置

図5.3.2 自動運航システム画面例

5.4 トランスポンダシステムの構築

平成6年度のアンケート調査の結果、操船者の多くが船舶間における意志伝達手段を欲していることが明らかになった。そこで、本研究において船舶間通信手段として航海支援装置の将来像を想定しトランスポンダを採用することによって、自動運航システムによる操船の対象群と位置付けることにした。

現実的なシステム構築のため、第7基準研究部会「国際規則と船舶設計等との関連に関する調査研究」成果、IMO航行安全小委員会の審議、ITU (International Telecommunication Union) の勧告を調査し、その内容に沿ったシステムを構築した。

一般に、トランスポンダは「Interrogater (質問機) / Transponder (応答機)」として扱われているが、供試システムでは自船の情報を一定の間隔で自動的に送信するブロードキャスト・タイプを想定し、実験開始前に設定したシナリオを他船情報としてファイル化し、これを表示するシステムとした。また、その操作は自動運航システムと同じタッチパネルを採用し、操作性を統一している。

供試システムの画面を図5.4.1に示す。供試システムで表示するのは以下の情報である。

(a) 選択した船舶を確認するための情報

① Target No., ② Bearing, ③ Range, ④ Course, ⑤ Speed

(b) 対象船舶の固定情報

⑥ Ship code, ⑦ Ship name, ⑧ Ship type, ⑨ Length, ⑩ Width

(c) 操船意志を表わす情報

⑪ Next port, ⑫ 操船意志 (航路内航行, 航路への合流・横切など)

アンケート調査の結果、今回の操船意志レベルでは操船者は満足しておらず、出航地、寄港地、目的地、変針点、現時点からの行動変化の意志表示を求めていることが明らかになった。

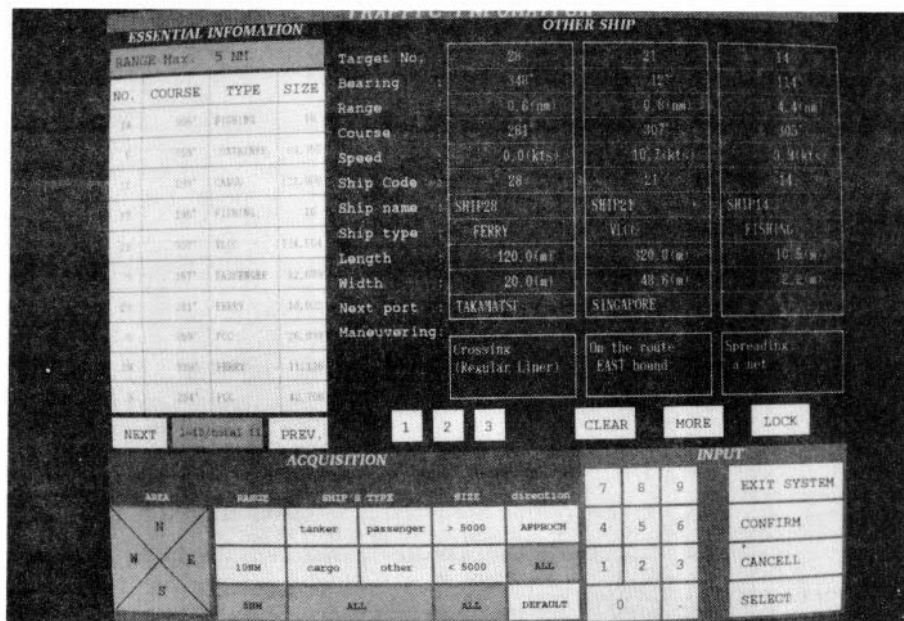


図5.4.1 トランスポンダシステム (操作・表示画面)

5.5 操船シミュレータの構築

5.5.1 シミュレータの基本構成

自動運航システム及びトランスポンダの評価を行うに当たっては、実船と同等の操船環境を提供することができる操船シミュレータを設計、構築する必要がある。

実験に使用するシミュレータ全体の基本的な構成を図5.5.1.1に示す。

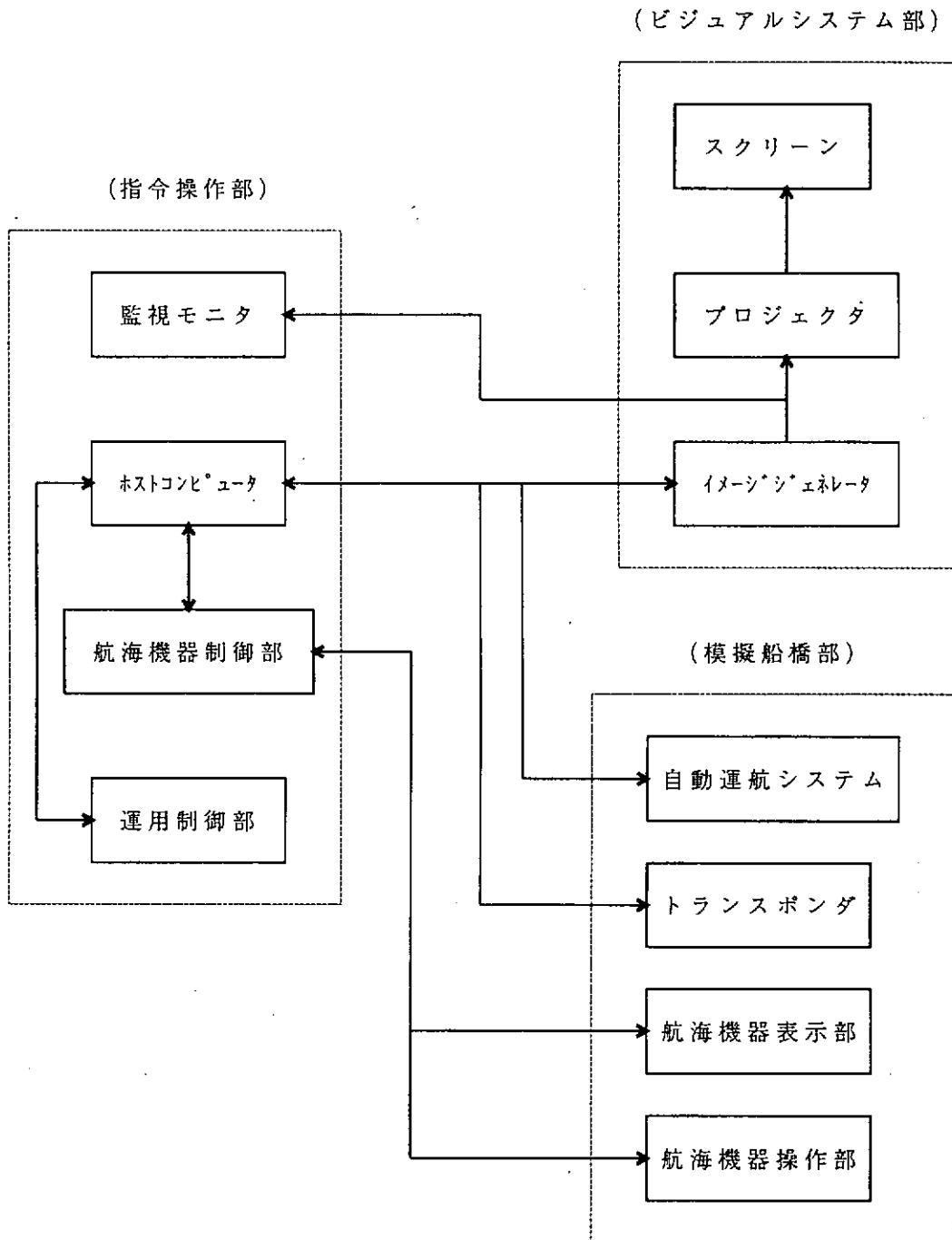


図5.5.1.1 シミュレータ全体構成

操船シミュレータは、以下に述べる模擬船橋部、ビジュアル・システム部、指令操作部から構成される。

① 模擬船橋部

模擬船橋の規模は、横幅7.0 m、奥行き3.5 m、天井高さ2.5 mで、シミュレータ室の床から2.0 mの高さの高床式となっている。内部には一般外航商船が通常装備する航海機器類が設置されている。装備する航海機器としては、操舵スタンド、コントロールコンソール、レーダ、航海情報指示器（舵角、船速、回頭角速度、主機回転計、風向計、風速計等）がある。その他としてレピータコンパス、無線通信機器、チャートテーブルがある。

② ビジュアル・システム部

ビジュアル・システム部は、視界画像を生成するビジュアル・イメージ・ジェネレータ、プロジェクタ及びスクリーンによって構成される。前方視野は5 chの画像であり、後方視野は2 chの画像である。高性能なイメージジェネレータによって生成された画像を高輝度プロジェクタによって鮮明に投影する。スクリーンは半径7 mの円筒形で225度の視界映像の投影が可能である。

③ 指令操作部

シミュレータを統括管理及び制御する部分である。シミュレーション条件の設定、実行を行うホストコンピュータ、監視モニタ、他船制御パネル、タグ制御パネル、航海機器インターフェース等により構成される。また、実験結果の記録及びその結果を解析・評価するための機能を有している。

自動運航システムの評価に当たっては、操船シミュレータの船橋内に各機器を図5.5.1.2の様に搭載して実験を実施した。

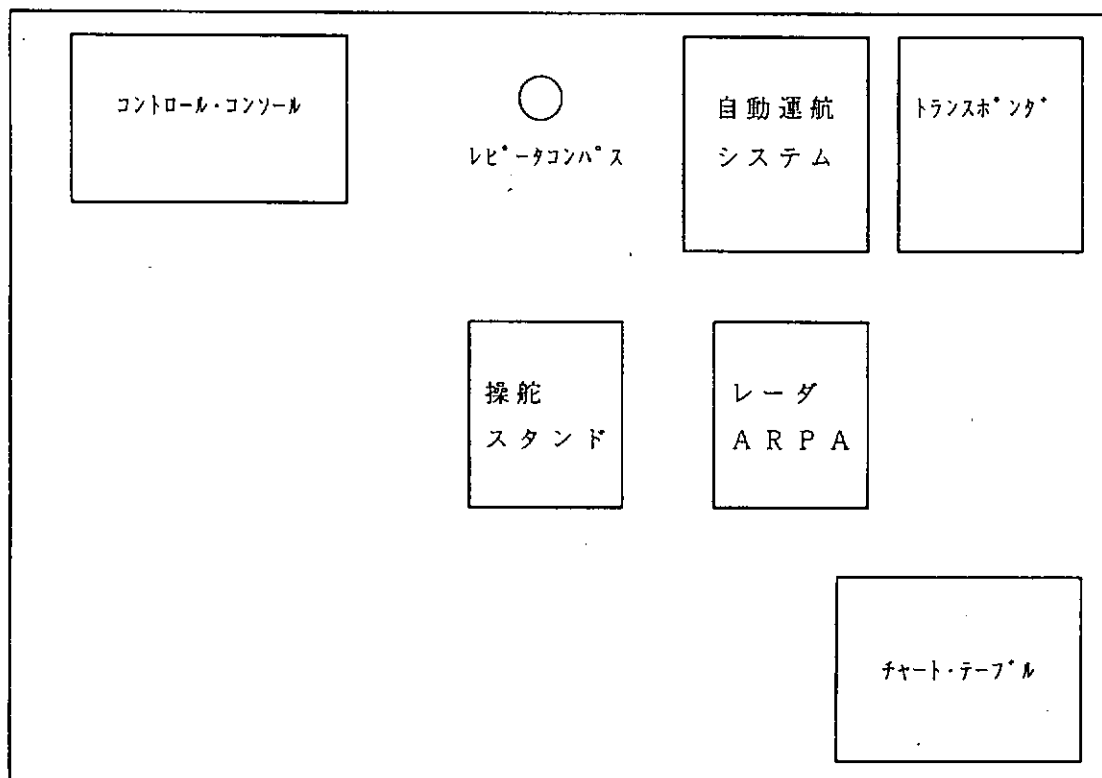


図5.5.1.2 自動運航システム搭載時のブリッジレイアウト

5.5.2 操船シミュレータの機能と特徴

操船シミュレータは実船と同等の操船環境を再現することが必要であり、また、評価目的を達成するためのシナリオを容易に設定することができる。

以下に操船シミュレータを機能により分類し、それぞれの役割及び特徴について説明する。

(1) シミュレータ制御部

シミュレータ全体を統括管理及び制御する部分であり、以下の機能を有する。

- ① シミュレーションの起動、中断、終了
- ② システム時間の制御、経過時間のカウント
- ③ 航行シナリオの条件設定と表示
- ④ 制御情報・表示情報制御部を経由して入力される船体運動制御量を船体運動計算部へ情報転送
- ⑤ 自船の運動と航行船の運動を視界映像発生部へ情報転送
- ⑥ 自船の運動、制御状態を航海計器や操船機器へ表示
- ⑦ 各サブシステム間の情報転送の管理、サブシステムの動作管理を行う

(2) 船体運動計算部

10Hzの更新速度で運動計算を行い、舵角や主機回転数等の入力に対する船速や回頭角速度等を出力する。

操縦運動の計算には次の各内容が反映されている。

- ① 自船の操縦性能（各種の船種、船型、運動状態（通常船速による航行状態、低速時の航行状態、大きな横流れ運動を行う離着岸操船））
- ② 浅水影響
- ③ 風圧影響
- ④ 波浪影響（船首揺れ、波漂流力）
- ⑤ 曳船支援

(3) 船体運動制御部

模擬船橋に設置している舵、主機、サイド・スラスタの各装置が該当し、これらを操作することにより自船運動を制御することができる。

(4) 船体情報表示部

自船の船速、舵角あるいは主機回転数等の自船情報を操船者に提供する部分で、模擬船橋内に設置している次の機器が該当する。

- ① オーバー・ヘッド・ディスプレイ（舵角、主機回転数、船速、風向、風速）
- ② コントロール・コンソール（主機回転数、舵角）
- ③ 操舵スタンド（針路、回頭角速度）
- ④ レーダ／ARPA

(5) 制御情報・表示情報制御部

シミュレータ制御部と船体運動制御部及び船体情報表示部間のインターフェースとして次の信号変換を行う部分である。

(6) 視界映像発生部

操船者への視界情報を提供するために、画像を生成、投影する部分である。3次元画像を作成するイメージ・ジェネレータは1280×1024ピクセルの高解像な画像を生成し、30Hzの更新速度を維持することが可能である。半径7mの円筒スクリーン上に前方視野として水平視野角度225度、垂直視野角度35度の視界を再現する。また、後方視野として左右舷後方に各水平視野角度16度の画像を提供する。船尾方向まで及ぶ広範囲な視野を確保する

ことによって、航行に必要なかつ十分な視界情報を提供することが可能となる。

(7) 交通環境制御部

他船航行の設定及び実行時の制御を行う部分である。256以上の他船のシナリオを設定することが可能であり、同時に30隻の他船船速、他船針路の任意な時点での変更ができる。この機能により現実と同等の交通環境を再現するとともに実験目的に対応する交通環境を実現することが可能となる。

(8) 曳船制御部

船橋からの指示により曳船を任意の位置及び状態に設定する部分である。曳船は最大12隻まで設定可能であり、船橋からのトランシーバによる指示によって、曳船推力の大きさ及び方向を任意に設定することができる。

(9) 音響発生部

船橋における環境音である主機関音、風きり音、自船及び他船の音響信号等を生成する。

(10) データ記録・解析部

評価に必要な自船及び他船の運動状態等のデータを計算機によって記録及び解析・評価を行う部分である。時々刻々の自船データ及び他船データを計算機の記憶装置へセーブする。

5.5.3 操船シミュレータ改造の要点

自動運航システムの評価を行うためには、次に示す操船環境の再現が必要である。

- ① 開発された自動運航システムが操船システムの一部として編入され、操船者と一体となった操船環境の再現
- ② 現実の港湾等の自然環境、海上交通環境の再現
- ③ 実船相当の視界情報の再現
- ④ 実船相当の操船環境（航海計器、運動制御装置）の再現
- ⑤ 正確な船体運動の再現

以上の点を踏まえて実験の目的に適した仕様及び機能とするために行ったシステムの改造について説明する。

(1) 各サブシステム間のネットワーク構築

自船の船体運動に関する情報や他船の行動に関する情報を操船シミュレータから自動運航システムとトランスポンダへ送信する必要がある。また、自動運航システムから操船シミュレータへ自船の制御量を送信する必要がある。そのために、各システムの計算機をLANにより接続し、通信ソフトウェアを作成することにより、実験時のデータ送受信を可能とした。

(2) 画像データベース作成

実験対象海域の視界情報として航行環境を提供するために、以下の画像データベースを作成した。なお、画像データベースは昼間用と夜間用の2種類を作成した。

模擬海域の画像データベースは電子チャートに対応した位置精度の高いデータである。自船画像及び他船画像はテクスチャを使用することにより臨場感の高い画像となっている。また、夜間の灯台やブイの灯質は現実と同等に再現されている。

- ① 模擬海域……………東京湾入口付近及び瀬戸内海備讃瀬戸周辺海域の地形及び航行援助施設である灯台、ブイ等
- ② 自船画像……………対象船であるVLCCの船首画像及び船尾画像
- ③ 他船画像……………客船、自動車専用船、コンテナ船、漁船等の種々な船型の航行船

(3) レーダシステムの改良

模擬海域の地形及び他船をレーダ画像上に表示するために、地形及び他船データを作成した。

(4) 高精度な運動モデルの導入

自船の操縦運動は実験結果に直接的に影響を及ぼすために、実船と同等の操縦運動を再現する必要がある。そ

ここで、実験結果の信頼性を高めるために、操縦運動を精度良く表現する数学モデルを船体運動計算部に取り入れた。

(5) 航路、自然、交通条件の設定

① 航路条件としては、航行海域の余裕度に差を設けるため沿岸域と狭水域を設定した。ここでは地形的制約等によりその進路から離れることが著しく困難である海域を狭水域とし、比較的容易な海域を沿岸域とする。以下の3海域を設定した。

- a) 沿岸域……………東京湾入口付近
- b) 狭水域……………瀬戸内海 備讃瀬戸東航路付近
- c) 沿岸域→狭水域……備讃瀬戸東航路東側入口付近

② 自然環境条件としては、明るさ、視程、潮流外乱に差を設けるため、以下のとおり設定した。

- a) 明るさ……………昼間と夜間
- b) 視程……………晴と霧
- c) 潮流外乱……………潮流有と無

③ 交通条件としては、遭遇船舶数に差を設けるため高密度と低密度を設定した。輻輳する船舶は航行船のみならず、漁船などの航行を制限する船舶も含まれる。避航対象船の発生隻数は以下のとおりである。

- a) 低密度海域……………1隻
- b) 高密度海域……………2隻

5.6 総合シミュレーション

5.6.1 自動運航システムと評価項目

一般に、人間の意志決定と行動に至るプロセスは以下のとおりであると言われている。

- ① 情報の収集
- ② 情報の解析
- ③ 行動の決定
- ④ 行動の実現

このプロセスのうち、特に人間の「行動の決定」のメカニズムが解明されていないため、システムにおけるオペレーションの自動化が難しい。このため、多くのシステムでは最終判断の過程を人間に任せているのが現状である。

従って、そこにヒューマンエラーが発生する余地があると言われているが、いわゆるヒューマンエラーは通常の状態では起こり得ず、複数の異常事態によってオペレータが防御的な立場に追い込まれた結果であるとする説や、人格に関連しているとする説などがある。一方、近年開発されるシステムは人間の肉体的・生理的負担の低減から、知的負担の低減を目的としたものに変化しつつある。巨大なマン・マシンシステムでは、自動化によって新たなエラーが生じることが問題視されており、ヒューマンインターフェイスの重要性が指摘されている。

今日の船舶は大きなマン・マシンシステムとなっており、この中で自動運航システムには、無人化よりも人間が能力を有効に発揮できる環境を作る、いわゆる航海支援装置としての機能が求められている。

本研究では航海支援装置の観点から、その評価項目を以下のとおり定めた。

- ① 有効性：操船者の負担、安全性・効率性
- ② 機能：異なる環境下における性能・機能
- ③ 操作性：情報取得の容易さ、操作の確実性、バックアップ機能

5.6.2 評価指標の設定

人間が介在するシステムの評価には、主観的評価、客観的評価、及び生理的評価が用いられる。

主観的評価は、アンケート等の方法で入手した被験者の意見に基づいて評価する方法である。評価項目を直接問うことができる反面、評価の公平と普遍性の維持に問題がある。

これに対して客観的評価は、被験者の行動、操作及びその結果など、物理的な量を解析・評価する方法で、被験者の主観などが入りにくい。

また、生理的評価は、人間の生理的機能の変化を評価量とする方法で、心理的・肉体的負担に対しては有効な評価量であるが、信頼度を確保するためには十分な注意が必要である。

本研究では、自動運航システムによる安全性、効率性、及び、操船負担を、操船者を含むシステムとして評価するため、主観的評価量と客観的評価量を総合して判断する必要があった。このため、以下のように評価項目と評価指標を定めた。

① 安全性

避航操船における航行の安全性を評価する指標としては、見合い関係にある他船との距離及び時間に注目した評価量を用いることが多い。一般的には、DCPA (Distance to Closest Point Approach) やTCPA (Time to Closest Point of Approach) が用いられる。今回の実験では最接近距離 (DCPA)、避航開始距離を用いることとした。

② 効率性

船舶航行における効率性を評価する場合、時間的効率の指標として平均船速と所要時間、経済的効率の指標として平均横偏位距離を用いることができる。今回の実験では、航路設定の影響を受けない平均船速と平均横偏位距離を評価指標とした。

③ 操船負担

計画航路を維持するための変針、避航における変針、及び主機操作による加減速を操船者の作業負担と考え、変針回数及び主機操作回数を評価指標として操船負担を評価した。

④ 主観的評価

自動運航システムの支援の有効性をオペレータの立場で評価するためアンケート調査を行った。アンケートは、各実験終了ごとに他船動静把握、船位取得、避航操船及び変針操船の4項目を尋ねるものと、全ての実験が終了した後、自動運航システムのマンマシンインターフェイス、機能、航海情報の表示、トランスポンダ、シミュレーション実験全般に関して尋ねるものの2種類を実施した。

5.6.3 シナリオ作成と条件設定

実験シナリオの作成に際しては、評価の対象である自動運航システムの開発の目的、評価項目、実験の規模、ハードウェア構成上の制約などを考慮して定める必要がある。

今回の実験では、支援レベル、航行時間帯、航行海域、輻輳度、船舶構成、気象・海象、当直体制などをパラメータとしてシナリオを作成した。これらパラメータはすべてが独立したものではなく、従属的なパラメータも含まれる。また、自船はVLC C一船種とし、操縦性能の違いは評価対象外とした。

- ① 支援レベル：在来船にはARPA/RADAR、GPSを支援装置として装備、これに自動運航システム (ECDISを含む) を搭載したものをIBS船、さらに、トランスポンダを搭載したものを対照船とする3つの段階を設定した。また、コンパス、オーバーヘッドパネル、チャートなどは標準装備としている。
- ② 航行時間帯：昼間と夜間の2つの時間帯を設定した。
- ③ 航行海域：基本的には、狭水域・沿岸域の2つを設定した。
- ④ 輻輳度：実験前半は輻輳度が低い状況とし、後半に高い輻輳度へ変化するように設定した。
- ⑤ 船舶構成：貨物船、PCC、コンテナ船、客船、フェリー、タンカー、練習船、漁船等

- ⑥ 気象：晴れと霧の2つの状態を設定した（風については無風状態とした）。
- ⑦ 海流：有（1ノット）、無の2状態を設定した。
- ⑧ 当直体制：船長、航海士（委員の所属する会社より、経験豊かな実務経験者を派遣）、操舵手、補助者（支援装置、視程により装置開発会社、大学関係者を充当）とした。

実際のシナリオでは、実験の前半に1隻、後半に2隻の避航対象船（反航船、横切船、追越し船、停泊船）を設定するとともに、船種、諸元、船速などを適宜組み合わせ、リアリティを高めるとともに、異なったシチュエーションを与え、所要の実験条件が満たされるよう配慮した。

最終的なシナリオを確定するため、本実験に先立ちテスト用シナリオを用いた予備実験を行い、評価対象、シナリオ等の再確認と妥当性の検証、アンケート内容の適否、実験条件の設定を行った。その結果、以下の結論を得た。

① 実験シナリオの妥当性の確認

- ・操縦運動：自船の回頭運動、船速応答、操舵特性及び主機応答特性等を確認し、供試船として認められたが、より実船に近づける調整を行うことにした。
- ・実験海域：沿岸域（東京湾入口）、狭水域（備讃瀬戸東航路）の設定は妥当であると評価された。
実験海域と供試船の予定設定航路を図5.6.1に示す。
- ・幅 轉 度：高密度2隻、低密度1隻の避航対象船の発生は妥当であると評価された。

② 機器配置の検討

自動運航システムとトランスポンダを右舷側前方に設置し、その後方にARPA/RADARが配置されていることを検討し、シミュレータという限られた空間内では妥当であると評価された。

③ DGPSとGPSの違い

測位精度の違いが自動運航システムへ及ぼす影響を調査し、自動運航システムを用いた操船には影響しないことを確認し、実験時の船位測位精度をDGPS並みの $2\sigma=20\text{m}$ に設定した。

④ 霧中航行時の視程

視程設定を0.1NMごとに変更しながら他船との遭遇状況を確認し、実験での霧の視程を1.0NMに設定した。

5.6.4 総合シミュレーションの実施

(1) 実施要領

船長、航海士の実務経験者を被験者として、AグループからEグループまでの5つのグループに分け、各グループごとに以下に示す評価目標と設定条件の下でシミュレーション実験を行った。

- ① Aグループ：自動運航システムの航行支援能力を確認する。
航行時間帯：昼/夜、海域：沿岸域、視程：晴天/霧
- ② Bグループ：自動運航システムの航行支援能力を確認する。
航行時間帯：昼/夜、海域：狭水域、視程：晴天/霧
- ③ Cグループ：沿岸域航行時のトランスポンダの支援能力を確認する。
航行時間帯：昼/夜、海域：沿岸域、視程：晴天/霧
- ④ Dグループ：GPSの誤差が与える影響と狭水域におけるトランスポンダの有効性を確認する。
航行時間帯：昼、海域：狭水域、視程：霧
- ⑤ Eグループ：航行密度の高い状況における自動運航システムの有効性を確認する。
航行時間帯：昼/夜、海域：沿岸→狭水域、視程：晴天/霧

実験は、1グループあたり8ケースの実験を2日にわたり実施するプログラムとし、10日間で40ケース行った。初日は本実験の実施前にブリーフィングを行い、アンケート調査の実施要領、操船シミュレータシステム、航

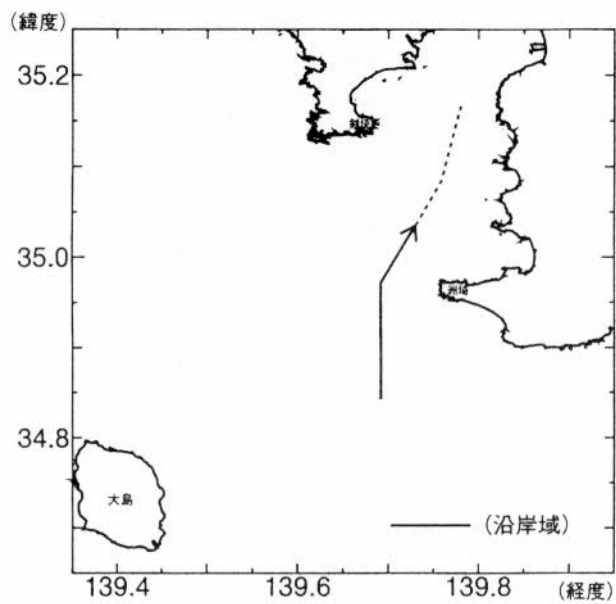
行環境，自動運航システム・トランスポンダの使用などに関する説明を行った後，実験を開始した。また，原則として初日の最終実験後と2日目の最初の1時間は，自動運航システムへの理解と操作方法の習熟を兼ねた練習航海の時間としている。

(2) 記録データの内容

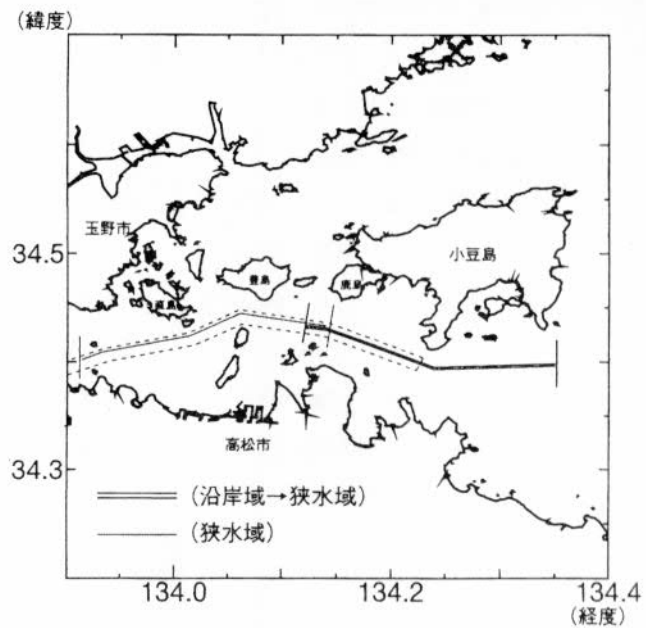
実験データとして，以下のものを記録している。

- ① 自船データ：位置，針路，速力，回頭角速度，操舵角度，主機回転数，テレグラフ操作位置
- ② 他船データ：位置，針路，速力，自船からの方位及び距離，TCPA，DCPA
- ③ 行動記録：操作機器の種別，機器操作回数，操作時間など
- ④ 操作記録：自動運航システムの情報提供・避航操船・操船制御の各機能の利用頻度など

自船データの出力例を図5.6.2に，自動運行システム，トランスポンダシステムを据え付けたブリッジモックアップ内の様子を図5.6.3に示す。



沿岸域 (東京湾入口)

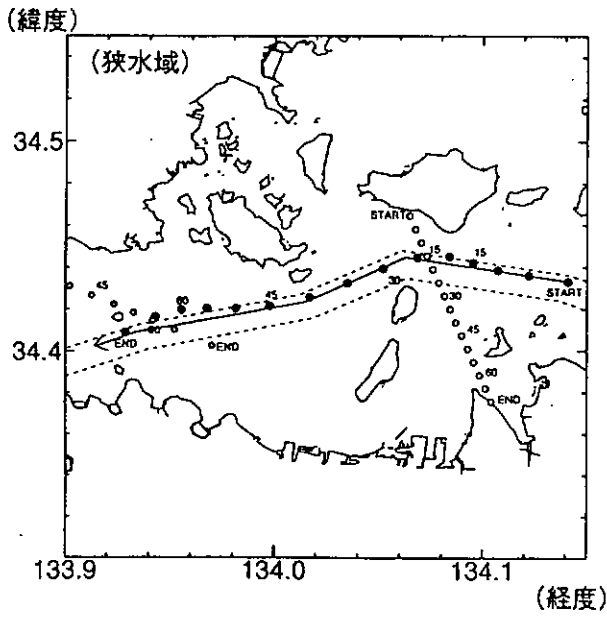


狭水域 (瀬戸内海)

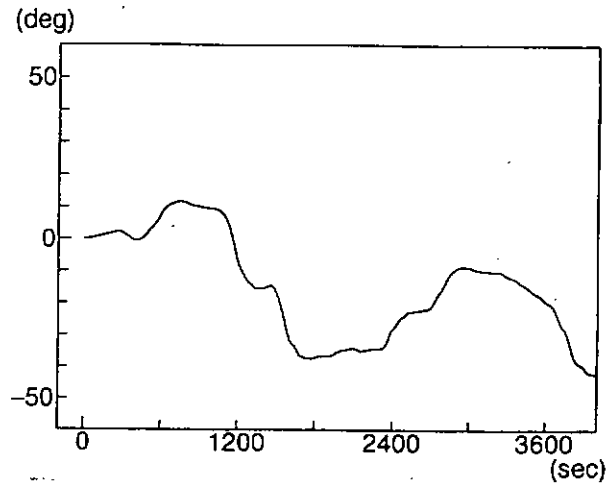
図5.6.1 実験海域



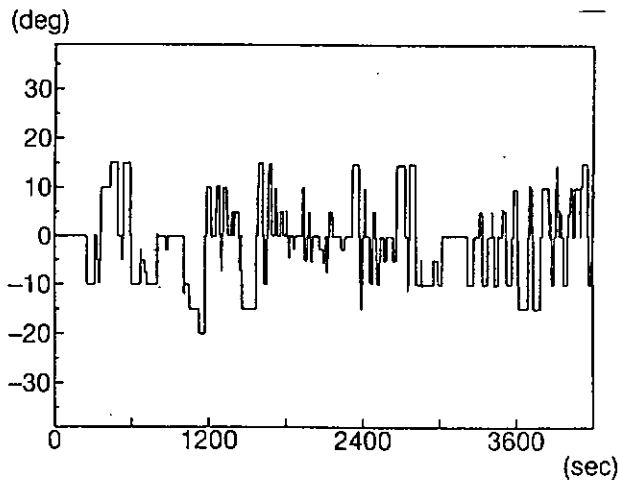
図5.6.3 ブリッジ内部 (右舷前方に配置した供試システム)
左: 自動運航システム (CRT 2台)
右: トランスポンダシステム



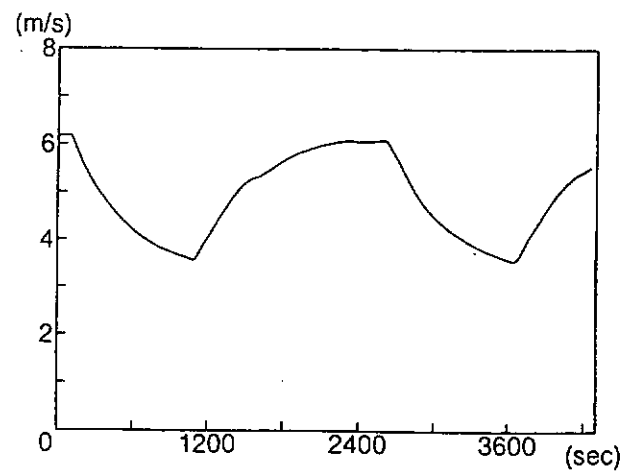
航跡図



船首方位



操舵角



船速

図5.6.2 自船データ (時系列データの出力例)

5.7 自動運航システムの評価研究の成果

5.7.1 操船結果から見た自動運航システムの評価

本項では、操船シミュレータで行われた操船結果から見た自動運航システムの総合的評価を述べることにする。今回の操船実験は種々の航行条件における自動運航システムの評価を行うことを目標としている。以下に総合的な自動運航システムの評価をまとめる。

(1) 自動運航システムの有効性に関する評価

自動運航システムは避航の開始時期、他船との最接近距離などの衝突回避操船における基本的な安全性について、人間が操船する操船状況をほぼ同等に実現できることが確認された。

また、衝突回避のために発生する、迂回による航程の増加や減速による航行時間の延長などの操船の効率面を見た場合、評価対象である自動運航システムの固有の特性として、減速よりも変針避航を優先して選択する特性がある。このために、人間の操縦では減速操船を行うのに対し、システムは変針避航を行い迂回経路が長くなる傾向が認められた。しかし、この現象は狭水域での避航操船などに見られる他はあまり顕著に現れてはいない。

支援システム導入の目的の一つに操縦者の作業負担の減少がある。不適切なシステムの導入は逆に操縦者の負担を増加する可能性もある。そこで、作業負担の変化を針路の変針回数の変化と速力操作の代表量としての主機操作回数の変化の二点から評価した。前述の通り、システムが選択する避航手段の優先度は変針避航が高いため主機操作回数はシステムを用いるときに少なくなる。しかし、変針避航を優先するシステムの支援状態においても、必ずしも変針回数は増加しない結果を得た。これはシステムの推薦する変針や復針の操作が小刻みに行うものでなく、適切な時点に一度期に大きく行う結果として現れたものである。以上の結果から操船負担において、自動運航システムは在来の運航形態に対し、操船者に与える操船負担は減少することが確認された。

船舶運航の中で特に次の四点に関し、自動運航システムの有効性を操縦者に聞き取り調査した。避航対象船を含む自船周辺を航行する他船の動静把握、時々刻々の自船の船位取得、衝突危険船に対する避航操船方法、自船の航行計画並びに避航のための変針操船、以上四点である。これらの各機能は自動運航システムを開発するに当たっての主要な支援目標項目であり、この聞き取り調査は開発目標の達成度を操縦者の観点から評価するものである。調査の結果は各項目においてシステムの有効性は評価されており、特に他船の動静把握と自船船位の推定に関し高い有効性が指摘される結果を得た。

(2) 自動運航システムに関する今後の課題

a) 今回調査対象とした自動運航システムにおいて、変針による避航操船に高い優先度が設定されているが、機関操作による増減速を利用した避航方法が適する操船場面もあることから、変針と増減速を併用した複合的な避航方法の採用も含め検討する必要がある。

b) 自動運航システムの使用に当たっては、沿岸域と狭水域、昼間と夜間、晴と霧、船舶輻輳度の差（高密度と低密度）等による航行環境の変化に対応した適切な設定値及びその調整方法に十分配慮する必要がある。

c) 航行船と停泊船ではその運動の推定の確度に違いがあり、人間による操縦ではこれによりそれぞれに対する避航方法に差が生ずるのが一般的である。自動運航システムにおいてもこの点の考慮が今後必要と思われる。

以上の判定から、自動運航システムの安全性及び効率性に対する効果は在来船とほぼ同等の操船状況を実現でき、在来船と同程度の安全性及び効率性を維持していることを確認することができた。I B S 船の評価が在来船に比較し下回る結果となった評価指標もあるが、前項で示した自動運航システムに不足している機能を付加し適切な調整を行うことにより、在来船と同等あるいは在来船以上の安全性及び効率性を確保できると考えられる。

一方、操船負担については I B S 船は非常に有効であることがわかった。

このように自動運航システムの有効性を安全性、効率性、操船負担の3点から評価した場合、総合的に見れば自動運航システムによる操船の援助を受けることによって在来船と同等の安全性及び効率性を維持しながら、操

船負担の軽減に非常に有効であることがわかった。

更に、操船者のアンケートによる主観的な評価からも自動運航システムが船舶航行支援として非常に有効であることが判った。

(3) 総合評価

操船シミュレータを用いた自動運航システム評価実験について、操船結果から総合評価したものを以下に示す。総合評価の観点から、全体を把握しやすくするために、評価結果は以下の記号により整理している。

表5.7.1に自動運航システムの支援効果について評価項目、評価指標毎にまとめた結果を示す。表5.7.1の各記号の意味は以下のとおりである。

◎：I B S船が在来船より非常に有効である場合を示す。

I B S船の値が在来船の値の2割を超えて各評価項目について優位にある場合

○：I B S船が在来船より有効である場合を示す。

I B S船と在来船との値の差が在来船の値の2割以内で、I B S船の値が在来船より各評価項目について優位にある場合

△：I B S船が在来船と同等である場合を示す。

I B S船と在来船との値の差が在来船の値の2割以内で、I B S船の値が在来船より各評価項目について優位でない場合、あるいはI B S船と在来船との値の差がわずかに在来船の値の2割を超えていて、その理由が明らかでない場合

⊗：I B S船が在来船の値を下回る場合を示す。

I B S船と在来船との値の差が在来船の値の2割を超えて各評価項目についてI B S船の値が優位でなく、その理由が自動運航システムのパラメータを適切な値に調整することや若干のアルゴリズムの変更により改善されると考えられる場合。

以上の判定から、自動運航システムの安全性及び効率性に対する効果は在来船とほぼ同等の操船状況を実現でき、在来船と同程度の安全性及び効率性を維持していることを確認することができた。一方、操船負担についてはI B S船は非常に有効であることがわかった。在来船の操船結果はベテランの船長が操船した結果として得られた内容であり、そこで実現している値は安全面、効率面におけるシステム開発の目標値でもある。従って、開発してシステムを使用することにより、同様な状況が得られたことはシステムの有用性を確認できたことになる。現実の操船において、ヒューマンエラーによる海難事故の原因の多くが過大な操船負担にあることを考慮すると、システムの支援により操船負担が大きく改善していることから一層の安全性が確保されると考えられる。I B S船の評価が在来船に比較し下回る結果となった評価指標もあるが、前項で示した自動運航システムに不足している機能を付加し適切な調整を行うことにより、在来船と同等あるいは在来船以上の安全性及び効率性を確保できると考えられる。

このように自動運航システムの有効性を安全性、効率性、操船負担の3点から評価した場合、総合的に見れば自動運航システムによる操船の援助を受けることによって在来船と同等の安全性及び効率性を維持しながら、操船負担の軽減に非常に有効であることがわかった。

更に、操船者の主観的な評価からも自動運航システムが船舶航行支援として非常に有効であることがわかった。

表5.7.1 IBSの有効性の総合評価

項目 評価指標 試験パラメータ	安全性			効率性			負担度			主観	総合判定
	最近距離	避航開始距離	判定	平均横偏位	平均船速	判定	変針回数	主機操作回数	判定	アンケート結果	
全体	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○
沿岸域	△	⊗	⊗	○	○	○	○	○	○	○	○
狭水域	○	○	○	⊗	○	△	○	○	○	○	○
昼間	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○
夜間	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○
晴	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○
霧	○	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○
高密度	○	-	○	△	○	○	○	○	○	○	○
低密度	⊗	-	⊗	○	○	○	○	○	○	○	○

5.7.2 操作・行動から見た自動運航システムの評価

自動運航システムの有効性の評価を操船者の行動ならびに操作の状況から評価した。

(1) 操船者の行動解析による評価

自動運航システムを使用することにより操船者の各航海機器、計器の使用頻度はかなり減少し、操船に必要な情報の収集で発生する動線や負担が軽減できることが判った。自動運航システムの使用により海図情報の位置づけが低下し、ARPA/RADAR情報への依存度がシステムに移る傾向が明らかになった。狭水域では海図情報の取得が困難である場合が考えられるが、ECDIS情報の提示は常時海図情報を把握するうえで、また、他船情報のECDIS上への重畳はARPA/RADAR情報を複数の当直者が同時に監視することになるので、より安全を高めることに寄与すると考えられる。

また、トランスポンダは自動運航システムと有機的に結合させることにより、効果的な運用が可能となると思われる。

(2) システムの操作内容から見た評価

操船者が自動運航システムを使用するとき、システムの提案内容を操船に反映するか否かによりシステムの有効性が評価できると考えられる。システムが提案する針路並びに避航計画の採用の割合を解析すると、提案の8割弱は採用される結果を得た。このことから、操船者は自動運航システムを大いに参考にし操船に有効に利用していることが判った。

6. 成果の活用

船橋では操船者は目視による情報、機器・計器に表示された情報、書類情報等から必要な情報を抽出、収集して、これらの情報を解析・評価し、行動意志を決定して実行するというサイクルを繰り返している。

操船者が労力をかけて実施している上記業務の一部を自動運航システムが効率的に代行しても、操船者とシステムの対話が円滑を欠けば、操船者の負担は低減せず、逆に精神的ストレスが増大する結果となるから、人間と機械がスムーズかつ的確にコミュニケーションできるいわゆる人に優しいマン・マシンインターフェイスの開発が「見逃し」や「誤認」などのヒューマンエラーを防ぐ決め手となる。今回の実験で得られた注目すべき成果を振り返り、今後の活用の方法を考えてみよう。

1) マン・マシンインターフェイスの要件と機能

マン・マシンインターフェイスの要件として次の機能が要求される。

- a. システムを容易に理解できること
- b. システムから容易かつ円滑に情報が入手できること
- c. 必要な操作が容易かつ円滑にできること

このような要件を持つ機能として、今後の運航システムではマン・マシンインターフェイスとして情報提供機能と操作機能の二つの機能に大別される。

船橋における情報提供機能は電子海図と航海情報が主たるものであって、これらは視覚情報として操船者に提供されるが、一方音声情報も有効であることが今回の実験で立証された。これらの情報をベースとして操船判断が行われ、決定された判断は行動として制御機器に伝達されるが、それが正しく伝えられているかどうかは必ずアンサーバック、フィードバックの手段により操船者の確認を得なければならない。

特に機器の信頼性は操船者にとっては重要な問題であり、例えば電子海図の故障、あるいは電子海図は健全であっても、そこに自船位置を示すGPS信号の喪失等は著しく信頼性を損なうものであるから、これらのシステムには必ず有効なるバックアップシステムを装備する必要がある。

2) 電子海図

これからの航海システムの中で電子海図は中心的位置を占めることになると考えられる。電子海図の性能基準はIMO及びIEC(International Electro-Technical Commission)で検討され、機器そのものの性能基準は既に決定され、国際的に利用されている状況であるが、バックアップシステムと海図のアップデートの問題だけがいまだ合意に至らず取り残されている。

海図というものは、航路計画、航海、座礁予防、自船位置決定、海象の概要取得など様々な機能を持つが、電子海図は紙海図の機能に加えてレーダ/ARPA機能を持つことができるし、またウィンドウにより航海情報表示機能を持たせることも可能であることから、今後の自動運航システムは電子海図中心に発展するだろうと予想される場所である。その点で今回の研究の結果が今後の自動運航システムのあり方に大いに参考となる場所である。

3) トランスポンダ

本研究でもトランスポンダは有効であると好評を得たが、トランスポンダは国際的にも早くから注目されているシステムで多くの研究結果が発表されている。特に最近VTS(Vessel Traffic Service)との関連でその必要性が見直され、ship to shoreのみならずship to shipの通信にも必須のシステムであるとしてIMOで検討中である。そのシステムの一つはレーダで情報を必要とする他船を捕捉するとGMDSSのVHF-DSC(digital Selective Calling)によって必要情報を送り返すものである。もう一つの方式は、GPS時間と連動させて、自船の位置や必要情報をVHFで放送するブロードキャスト方式である。現時点では後者の方が優勢な状況にあると思われるが、何れにしても近い将来どちらかの方式が船舶に搭載されることになる。

4) 自動運航システムの留意点

今後、自動運航システムの普及により、今回実験で得られた成果、即ち、

- ・ 正確で操船に有効な情報
- ・ 高い安全性
- ・ 避航操船・座礁予防の援助
- ・ 精神的ゆとり
- ・ チャートワークなどの時間的ゆとり

などが大きく評価された。一方、本システムに馴れることにより、

- ・ 肉眼による見張り
- ・ 航海の基本的な技術、考え方
- ・ 緊急事態対応能力

などが低下するのではないかと懸念が示されている。したがって、自動運航システムは人間の能力、技術、行動の総てを代行するものではなく、あくまで人間を支援するものであること忘れることなく、新知識とともに基本的事項に重点を置いた教育を施して行かなければならない。

5) Ergonomics

航海システムの統合化にともない、国際的な規則の中に「Ergonomics」という言葉が使われるようになった。即ちシステムの構築に際して「人間工学的配慮をしなければならない」ということが規則の中に入れられるようになってきたのである。そして現在、IMOではIBS(Integrated Bridge System)やINS(Integrated Navigation System)の性能基準が検討されているが、この中にも、ヒューマンファクターが規定の中に取り入れられているし、また、ISO/TC8/SC5/WG1で検討されている「一人での運航のための船橋の要件」では「Ergonomics principleが

操船場所の設計に考慮されなければならない」ことが規定されている。

この度行われた我々の研究はこのように国際的に注目されている自動運航システムのErgonomics principleを世界に先がけて実験し、多くのデータを得るとともに、高い評価を与えられたことは大きな意義があった。このような評価高い成果を今後国際的な場で生かして行ければ幸いである。

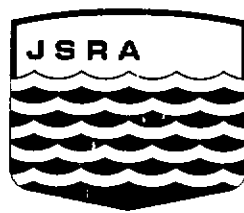
7. あとがき

平成6年度から3年間にわたる「自動運航システムの評価」の研究が終了した。この研究の目的は、高度に発達した航海情報機器や制御システム、いわゆる自動運航システムの現状が人に優しいものであり、それが海難事故の大部分を占めるといわれるヒューマンエラーの減少に役立っているのかどうかを検証し、その結果をさらにヒューマンフレンドリーなシステムへの発展に役立たせ、船舶の安全航行および海洋環境の保全に寄与することにある。

研究の結果は本文で縷々述べたように、今回研究のために構成された自動運航システムは、実験データから、安全性、効率性ともベテラン船長が操船する在来船と同等であるとの評価となった。操船負担に関しては在来船より非常に小さくなっていることがわかり、全体として安全航行に寄与できることが証明された。また実験に携わった操船者からはIBS船は在来船より運航の難易度が良好であることから運航システムの支援は極めて有効であり、操船負担を軽減するとのアンケート結果を得、特に情報収集や解析の支援として非常に有効であると評価された。したがって今後国際的な場を通して、この研究の成果をPRするとともに大いに活用する事を考えて行きたい。

以上のように本研究は船舶の安全と海洋環境の保全のためにという初期の目的をほぼ達成して成功裏に終了したが、時あたかもロシアのタンカー、ナホトカ号の油流失事故が発生し、大量の油が日本海沿岸の広域に漂着して多大の損害を与え、今なお手作業による油除去が続けられている。ナホトカ号の船体折損事故がヒューマンエラーによるものかどうかは今後の事故調査によらなければならないが、気象・海象状況に関連する荒天操船と関係あることは言を待たない。一説によれば28年の船齢という老朽化によるものとも言われるが、このような老朽船を就航させる事自体が船隊管理機構のヒューマンエラーかもしれない。かつて行われた「知能化船の研究」では船体監視システムの研究として荒天航海での安全操船システムを構築したが、このようなシステムを自動運航システムの中に組み込んでおけばこの度のような大事故とはならなかったかもしれない。この事故を他山の石として、今後の自動運航システムに船体監視システムを応用し、さらに機能アップしたいものであるとともに、ポートステートコントロールなどを活用した大所高所からの船体管理システムも考えて行く必要がある。

最後に、本研究のために労を惜しまず献身的な努力をして頂いた委員諸氏に深甚なる謝意を表する次第である。



The Shipbuilding Research Association of Japan