

のインタフェースの考え方が一名当直に十分適用できる事を示している。

表 8 は安全性に影響を与える可能性のある音声入出力の問題点についてその対処策を示している。同表に示す通り、誤認識及び入力中断の防止、認識された指令及び実行結果の報告、指令の取り消しについて十分な対策が取られており、「有効である。」との評価を得た。

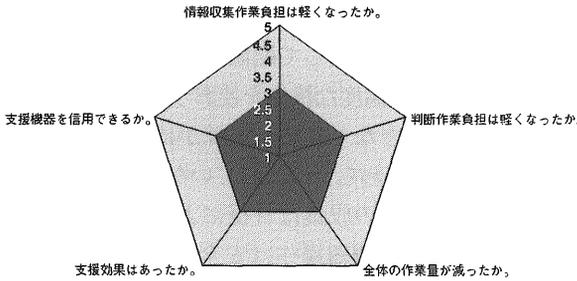


図 20: インタフェース全般についての主観的評価

また本システムでは当直作業に必要な限られた指令を決められた語順で指令した時のみ指令として認識する設計となっている。音声入力において自然言語を受け付けると様々な口調の指令が可能となるが、指令が曖昧となるため安全性を損ねる可能性が大きい。このため自然言語の採用には指令の曖昧さの問題を解決する手段が不可欠である。このことに関して乗組員は「今回採用した指令としての語彙数は、通常の当直作業に対して十分である。」と評価していた。

音声入出力を導入するもう一つの利点として、システムとのパートナーシップが生まれる事が挙げられる。音声によるインタラクションを用いる事により、一名当直時の寂しさや孤独感、疎外感の軽減の一助になる他、定時報告等の音声による報告が夜間の居眠り防止に有効に役立っていた。

4.5.4 当直時の精神的負担等の評価

(1) 概要 本システムを用いた一名当直時の精神的負担と音声入出力によるインタフェースの有効性に関する評価の時間的推移を調査するため、当直終了直後毎にアンケートを実施した。

評価は本システムで実際に当直作業を行った 6 名によって行われた。この内、A, B, E, F 氏が航海士、C, D 氏が機関員(但し、航海士の免許も持つ)

であり、F 氏は 11 月 25 日に C 氏の交代要員として乗船した。

精神的負担の計測には NASA-TLX 法の簡便法 [28][29] を用いた。NASA-TLX では、精神的負担を、

- (1) 知的活動の度合いである精神的要求
- (2) 肉体的活動の度合いである身体的要求
- (3) 作業に要求される速さに関わる時間的圧迫感
- (4) 行った作業の達成度
- (5) 作業を行うために必要な努力の程度
- (6) 作業中に感じる不安やストレスといった不満の度合い

の 6 つの指標で表わす。精神的負担はこの 6 つの指標に対する主観的評価を 0 から 100 の間で数量化し、これらの評価値の加重平均値として求めた。各評価値に対する重みは評価者毎に精神的負担に対する寄与の強さを考慮して事前に求める必要がある。しかし作業毎にこの重みを求めるのは労力及び時間的に現実的ではない。そこで、この重み付け係数を 6 つの評価値の大小関係から求めたのが NASA-TLX 法の簡便法である。今回は 6 つの評価値を小さいほうから順位付けし、その順位を重み付け係数として加重平均値を求め精神的負担の評価値とした。

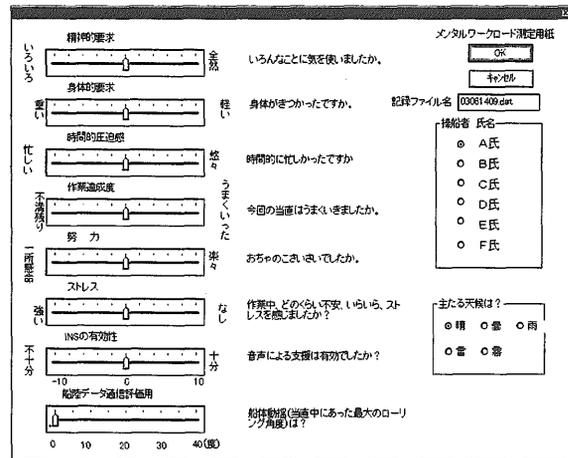


図 21: 精神的疲労調査画面

また音声による支援の有効性についても、同様に 0 から 100 の間での主観的評価の値を得た。

アンケートに際しては調査が当直直後である事を考慮し、できるだけ入力の手間を省くため、図 21 のような画面を持つプログラムを作成して、この画面

表 8: 音声入出力に関するシステム安全性の評価項目への対処

評価項目	対処
音声による指令は早口でも間違いなく受け付けられるか。	個人データを登録する事により、多少早口であっても、普通に発音すれば、正しく認識される。(誤認率は、8%程度で、調査後の乗組員のコツの取得により更に低下。)
システムが発声中に音声指令を発しても受け付けられるか。	システムからの報告途中であっても、音声指令により、システムからの発声を中断して、指令を受け付ける。
受け付けた指令の結果を航海当直者は予測できるか。予測支援を受けられるか。	システムが受けた指令はシステムによって復唱される他、その指令によって起こる変針等の状態変化も併せて報告されるため、主要な状態変化は予測可能となっている。
音声による指令は語順を変えても間違いなく受け付けられるか。	音声認識精度の向上と手順の確立による誤指令の防止と言う安全への配慮から、この機能は採用しなかった。
受け付けた指令を確認できるか。受け付けた指令の動作完了後、報告をするか。	指令を認識した時の復唱、実行時の実行報告となる状態変化の報告および指令完了後の完了報告を行う。
音声指令を取り消せるか。	“やめ”または“ステディー(そのまま保持)”を指令する事により可能。
語彙にない指令を受けたとき、否定しないで受け付ける方向で努力するか。	勝手な動作を防止するため、この機能は採用しなかった。
論理的に矛盾した指令を受けても、矛盾点とその解決の方向を示唆するか。	大角度変針や急激な減速指令に対しては、別途音声メッセージを出力する。
論理的には合っているが意図と違う誤指令を防ぐ事ができるか。	指令の復唱及び状態変化の報告により対応。

上のスライダーバー及びボタンの操作のみで調査・記録できるようにした。

計測は就航直後の1997年9月から開始し、システムの使用法の習熟とシステムの改善が終了し評価が安定した1998年2月まで行った。

(2) 精神的負担及び音声支援の有用性の評価 図22に精神的負担の評価値を示す。この図には、評価者である6名の当直者の結果を重ねて示している。

図中X軸上の△印は大きなシステムの改修があった日時を示しており、△印下の番号はシステム改修の履歴である表9左欄の番号に対応する。システムの改修としては、パラメータの設定ミス等による動作不良機器の調整、音声入力認識率の向上のための機能追加及び音声入出力方法の変更等が行われた。

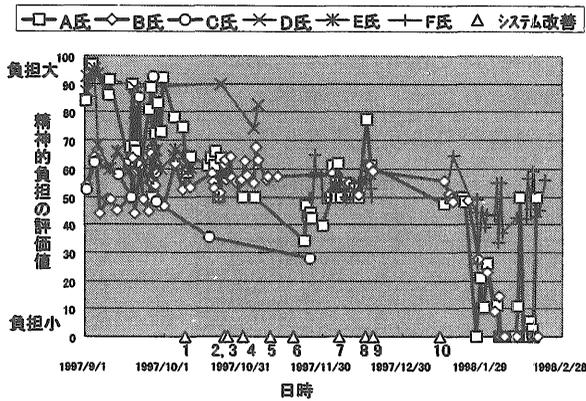


図 22: 当直時の精神的疲労の推移

導入当初はシステムに対する信頼が得られてなかったり、初めての使用と言う事もあり、精神的負担がかなり大きかったが、一ヶ月を過ぎた10月辺りから変動はあるものの普通の状態である50付近に収束している。そして、すべての改修作業が終わった1年半ば以降はさらに精神的負担は低減された。

途中から乗船されたF氏には当直に最低限必要な使用法を習得し負担なく使用できる様になるまでの期間を質問した。その結果、F氏は「従来の当直作業の知識があれば、他の船員がシステムを使用して当直をしている所を見て習う事により、最低限必要な使用法の習得には2日程度、在来船での当直と同等の精神的負担で使用できるようになるまで1週間程度である。」と評価している。実際、F氏には他の人に見られた使用開始当初の大きな精神的負担

が見られなかった。これはF氏にシステムの基本的な使用方法がうまく受け継がれた事及び同乗していた船員がすでにシステム全体を信頼できるものとして認識しており、その事がF氏にうまく受け継がれたためと思われる。今後、F氏のプロセスを踏襲する事により、システムの使用法の習得がスムーズにできると考えられる。

図23は音声支援に対する有効性の主観的評価の推移を示している。この場合も導入当初には良い評価は得られなかった。特に、導入当初は特定の言葉が認識され難かったり、システムからの音声出力の途中での入力が難しかったりしたため、不満があったものと思われる。しかし、11月の音声認識機能への学習機能の導入とマイク感度の再チューニングにより認識率が上がり、有効性の評価が満足できるレベルに上がった。

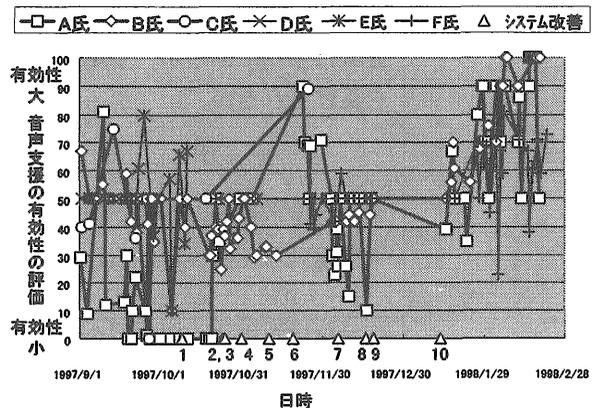


図 23: 音声支援に対する評価の推移

精神的負担と音声支援の有効性の評価において、作業中に起きた出来事やシステム改修の結果が評価全体に与える影響を考慮に入れなければならないが、大略以下の事が結論として得られた。

1. 導入当初の精神的負担は、概ね1ヶ月程度で通常の状態となった。
2. 当直に必要な最低限のシステムの使用法の習得には2日程度、普通の精神的負担で使用できるようになるまでには1週間程度必要であった。
3. システム改修後の状況での音声による支援は大変有効であった。

表 9: 新ぶろばん丸・操船支援システム 改修履歴

番号	対処・確認日	項目	内容
1	1997年10月9日	計装関係	ドップラーログの船速値が正常に表示されなかったため、古野電気が対処した。
2	10月24日	避航操船 音声入出力 計装関係	座礁予防機能が正常に動作していることを確認した。 音声消去タイマーを設定できるようにソフトを改修した。 自船回頭時に ARPA の捕捉機能が正常に働かなかったため、古野電気が対処した。
3	10月25日	避航操船	ARPA で捕捉する度に音声による危険船警報を発していたので、ソフトを改修した。
4	10月31日	航路保持	トラッキング開始時または実行中、向かうべき目標変針点を画面上で任意に選択できるようにソフトを改修した。
5	11月10日	航海監視 音声入出力 音声入出力 音声入出力	夜間モードの表示色の調整を行った。(特にウィンドウ背景と他船マークの色を調整した。) 音声入力の学習機能を導入した。(個人用の音声パターンファイルを作成し、音声で個人のファイルを指定できるようにした。) 音声指令の復唱を行うようにソフトを改修した。 音声確認の「了解」、「OK」を同等に受け付けるようにした。
6	11月19日	航海監視	プライベートチャートを ENC 上に重畳表示するようにソフトを改修した。
7	12月6日	計装関係	DGPS が受信されにくかったので、アカサカテックが対処した。
8	12月16日	航路保持 音声入出力	ドリフト補正に関するソフトを見直し、ドリフト補正が正常に機能することを確認した。 音声入力のマイク感度等の調整を行った。
9	12月19日	音声入出力 音声入出力	音声出力を女性音声に入れ換えた。 船速ボイスコントロールで、9.4kt 以下が指令できなかつたため、赤阪鐵工(明陽電機)が対処した。
10	1998年1月13日	船速制御 音声入出力 音声入出力	計画船速を維持できるように船速フィードバック制御を導入した。(ソフトの一部不具合があり、改修した。) 音声による危険船報告は一回でよい(同じ危険船に対して何回も言うことあり。)との指摘あり、ソフトを改修した。 音声指令時、数値待ちタイムアウトで「数値をもう一度」と出力するようにソフトを改修した。

4.5.5 作業分析によるシステムの有効性の確認

(1) 概要 本システムを装備した近代化船における当直作業の状況と在来船での作業内容との比較によりその有効性を確認するため、在来船及び近代化船への乗船調査を行い、当直時の作業内容及び支援機能の使用状況を調査した。

近代化船の乗船調査時には当直員が行った指令、操作、システムへの入出力をイベントとして時刻と共に記録し、後日作業分析を行った。

また在来船については当直作業の状況を調べるため上述のイベントの他、航海士及び操舵手の作業場所も記録した。

記録に際しては、ビデオ撮影の他、後日行う分析作業も考慮してイベント収録プログラムを作成し、画面上のボタンをクリックする事によりイベントと時刻がファイルに記録されるようにした。

以下、在来船の乗船調査、近代化船の乗船調査、操船支援システムの有効性の確認の順に述べる。

(2) 在来船の乗船調査 在来船の乗船調査は、1997年2月に、999GTのLPG船(第8ぶろばん丸)を対象に実施した。データの収集は、水島から明石海峡を通過して堺港までと、堺港から名古屋港までのルートで行った。この船の運航体制は、航海士及び操舵手の2名であった。

図24に計測したイベントの時系列を示す。横軸が計測した時刻を、縦軸が計測されたイベントを示す。計測イベントは、図にあるように、操船指示、問い合わせ、操船の実行、報告等20項目について収集した。

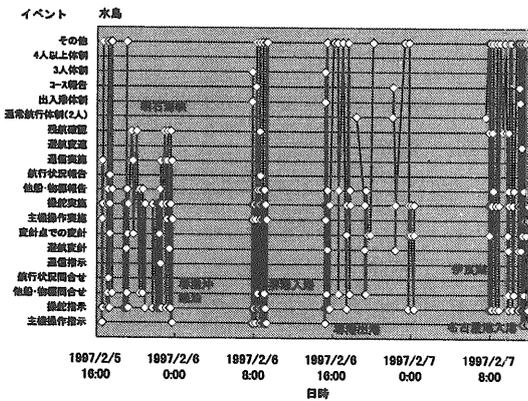


図 24: 従来船のイベント発生時系列

次に航海士及び操舵手の作業位置の計測結果を示す。図25及び図26にそれぞれ一般海域及び輻輳海

域における航海士及び操舵手の作業場所の時系列を示している。計測した作業場所は縦軸横に示した20個所である。一般海域は備讃瀬戸東航路出口付近から明石海峡の手前まで、輻輳海域としては明石海峡手前から堺港沖付近までの航行の内の2時間ずつを選んで表示している。

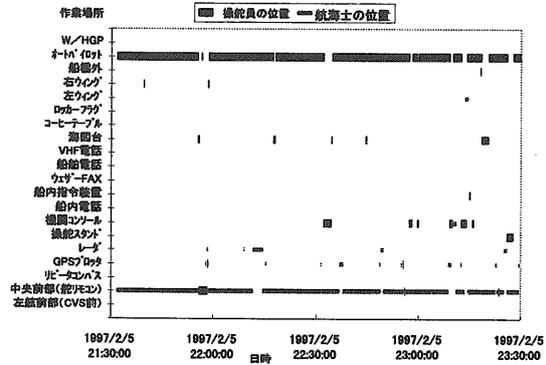


図 25: 従来船の輻輳海域における作業場所の時系列

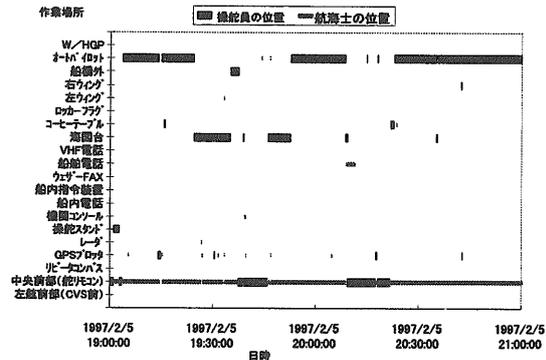


図 26: 従来船の一般海域における作業場所の時系列

図からわかる通り一般海域においては操舵手は海図台での作業や航海士の所での見張り等、操舵以外の作業を行う余裕があるが、輻輳海域においてはほとんどオートパイロットまたは機関コンソールの前において、操船作業に専念している事が伺える。

(3) 近代化船の乗船調査 近代化船の乗船調査は1998年12月に本システムを搭載した「新ぶろばん丸」を対象に実施した。乗船調査は水島から明石海峡を通過して川崎港沖までのルートで行った。評価時の運航体制は航海士1名であった。



図 27: 近代化船の乗船調査時の航跡

図 27 は乗船調査時の高松から川崎沖までの航跡図である。この航跡は本システムで収集した航跡データで、このデータから当直時における本システムの稼動状況がわかる。航跡が描かれている部分が操船支援システムが稼動している部分で、一部システムの調整のために意識的に停止させた所を除くと、明石海峡や浦賀・中ノ瀬航路の通航を含めて 100% の利用率であった。

次にイベント計測結果を図 28 に示す。計測したイベントは図中縦軸横の 33 項目で、音声によるシステムへの命令、問い合わせ、システムからの各種報告が含まれている。イベントの収集については伊豆沖から川崎沖に停泊するまで行った。図 29 は図 28 の計測結果の 20 時付近を拡大した図で、伊豆沖における避航操船の様子を表わしている。この図からわかる通り、衝突危険船に遭遇した際、危険の報告を受け、この場合はタッチパネル操作で確認し、コース指示を行って避航操船をしており、システムが有効に機能している事が確認できた。

また乗船調査の際、音声認識の誤認率も計測した。計測期間中の音声によるシステムへの入力回数は 181 回で、誤認した回数は 14 回であったので、本システムの音声認識誤認率は、7.7% であった。この後、乗組員は音声入力の手順を習得し、2 月の乗船調査では計測はしていないが、ほとんど誤認識のない状況になっていた。

(4) 操船支援システムの有効性の確認 当直作業の内容を比較するため、近代化船及び在来船それぞれの乗船調査から得られたイベントを、命令、報告、確認、問い合わせ、手動作業、タッチパネル操作の

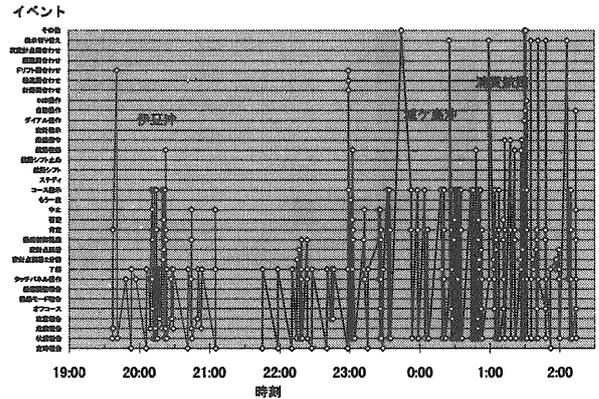


図 28: 近代化船のイベント発生時系列

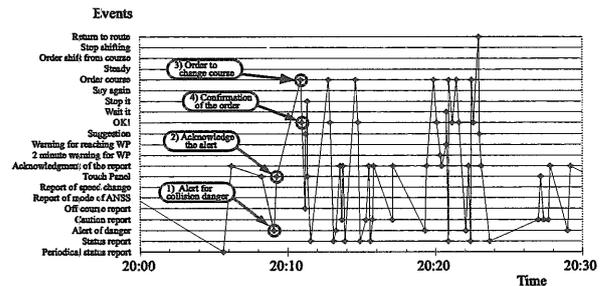


図 29: イベント発生時系列詳細

6 項目に分類し、単位時間あたりのイベント頻度としてまとめた。

指令と確認の項目には操舵手またはシステムに対する操船指示と指令内容の確認が含まれる。報告には操舵手またはシステムから当直員への報告が含まれる。受信確認とタッチパネル操作は近代化船特有のもので、受信確認はシステムが報告した事に対する当直者の確認であり、タッチパネル操作は主画面上での操作で表示のレンジ変更等画面操作の他、ポップアップボタンによる確認が含まれる。質問は操舵手またはシステムに質問する行為である。最後の手動作業は、在来船の場合は変針や速度調整、残航確認等の作業にあたり、近代化船の場合は操船モードの切り替えやオートパイロット、ダイヤルによる直接操舵及び通信作業が含まれる。

図 30 と図 31 に、それぞれ近代化船及び在来船の集計結果を示す。まだらのバーが全計測期間、白いバーが通常海域、黒いバーが輻輳海域の結果である。

在来船と比べて、近代化船は指令と確認及び報告の回数が多く、手動作業が少なかった。指令と確認

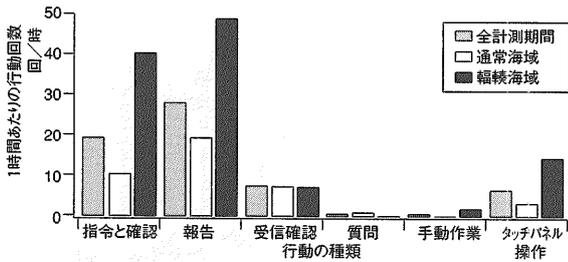


図 30: イベント頻度分布 近代船

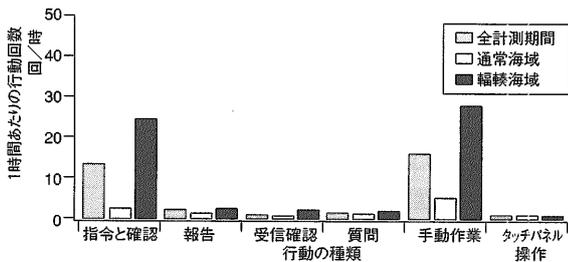


図 31: イベント頻度分布 在来船

にはコース等の指令と復唱された指令に対する肯定及び否定のための確認が含まれており、実質半分の数であるため命令回数は在来船とほぼ等しいと思われる。また報告には在来船と同じ質問に対する報告の他、定時報告、注意報告が含まれており、システムが当直者に対して従来よりも高頻度で情報支援している事が分かった。タッチパネル操作は多いように思われるが、そのほとんどが音声による受信確認の代わりにポップアップボタンを押したもので、作業負担の増加はほとんど無かった。

図から判るように、近代化船では手動による作業はほとんどなく、従来この作業を行っていた操舵手の作業はほとんどシステムに吸収されたと言って良く、実際調査時に観察した様子からも、操舵関係の作業はシステムに任せて見張りに専念でき、十分余裕を持って他の作業に対処できている事がわかった。

4.5.6 操船時の余裕の評価

ここで、本システムを用いた操船作業における余裕の尺度である「安全のレベル」について考察する。本システムの目的はこのシステムと協調して一名で

安全で効率的な操船を実現する事である。この目的と操船シミュレータ実験や乗船調査時のインタビューから得られた安全に関する意見を基に、安全のレベルを以下のように定義した。

レベル 1 一名で主要な操船作業が可能

レベル 2 現在の二名当直での操船作業と同等以上の余裕で操船作業が可能

レベル 3 危険が予見できる情報を基に大局的な判断による操船が可能

レベル 1 は主要操船作業に対して考慮された潜在的危険への対処も含めて作業に必要な機能が当直者と操船支援システムに備わっており、その作業が一名で実行可能な状況である。

レベル 2 は現在まで 2～3 名で行われてきた操船作業と同程度以上の余裕が一名当直による作業においても確保されているレベル。レベル 3 は衝突や座礁等の危険に関するチェックや予見のための情報支援が行われ、その情報を用いた操船判断が可能なレベルである。

今回実施した評価では主要作業が一名で実施可能である事が確認でき、全ての作業において現状の作業負担に比べて軽減され、作業量自体も少なくなったと評価された。このため、本システムを用いた一名当直の安全レベルはレベル 2 にあると評価できる。但し、他船動向把握作業においては他船捕捉作業の自動化がなされておらず、最も必要とされる輻輳海域や狭水道でデータの不備から十分な避航操船支援が受けられない状態であった。しかし実際の操船においては代替機能であるレーダの残像表示を用いて安全航行を確保している状況であった。今後この点の改善が必要である。

また情報通信技術の発達により気象・海象情報が海上からでも利用可能になった他、電子海図等のデータベースの充実、センサの高精度化により、航行上の危険のチェックや予見が可能になりつつあり、さらなる海上での情報通信技術の利用及び陸上からの支援情報の提供により、レベル 3 の安全まで確保できる支援の可能性が示された。

5 まとめ

本研究では安全航海のための操船支援方策の策定及びその安全性評価法について、安全性の向上と操

船者に受け入れられるユーザビリティを両立する事に重点をおき、設計及び安全性の評価法について考えを示めた。さらにこの考えに基づいた一名当直用操船支援システムの提案を行いその安全性の評価を行った。

操船支援のあり方について

本論ではまず日本海運の状況や社会の要望等研究の背景と操船支援に関する研究の流れを示した後、著者等が実施した操船シミュレータ実験や熟練船員へのインタビュー結果を基に、操船支援システムが持つべき要件を以下の様にまとめた。

1. 操船支援システムと人間との役割分担とその明確化
 - 1.1 特定の作業を信頼して任せられる
 - a. システムの動き及びその健全性がわかる
透明性
 - b. ワンタッチで従来の方式に切替可能
2. 機能の統合と集中配置
 - 2.1 情報・操作の統合による作業負担の低減
3. 人に優しいヒューマン・マシン・インタフェース
 - 3.1 無理なく快適な作業の実現
 - 3.2 主要機器の使用法の標準化
4. 人間間の情報の共有
5. 操船支援システムに対する支援体制

さらにこの考えに基づき現在の航海当直作業について概説した後、各作業における支援内容と今後の課題について述べた。

人間を含むシステムの評価法

次にシステムの安全性評価法について考察すると共に、人間と運転支援システムで構成されるヒューマン・マシン・システムの安全性の評価法を提案した。

システムの評価においては、まずシステムの目的を明らかにし、その目的を達成させる機能を持ち、その機能を維持できる事を確認する。またシステムの安全性を考慮すると、システムを構成する要素が機能低下した時にも安全性を確保できることが重要である。このためシステムの評価には以下の条件を満足する必要がある。

- (1) 目的達成のための機能が備わっているか?(機能の充足)
- (2) 人間も含めて一定期間その機能を維持できるか?(機能の維持)

- (3) 人間を含めた構成要素に不具合があった場合、許容できるレベルの安全を保つことができるか?(機能低下時の対応)

特に人間を含むヒューマン・マシン・システムの場合、運転支援システムが人間に受け入れられる事が必要不可欠であり、人間が無理なく快適に機能を果たさせるための支援、人間の機能維持のための方策及び人間の機能低下時の対応の確立が必要である。このためには2章で示した条件を考慮した支援を確立すると共に、実際に行われる作業を時間軸の沿って分析し、その作業が継続的に行える事を評価する必要がある。

一方運転支援システムを評価する場合、システムの安全性は最重要ファクタの1つである。この安全性の評価では、利害の異なる複数の評価者が互いの状況を考慮しつつ、複数の提案の中から合意を得る必要がある。こうした主観的な評価において合意を得るためには共通に理解できる指標が必要になる。

著者等は「潜在的危険」と「安全余裕」による安全性評価の考え方を示し、安全余裕を測る指標として「安全のレベル」を示した。

安全性を評価する際、まず考慮すべき潜在的危険を洗い出す。この潜在的危険は安全性を評価する際の危険の範囲を示しており、安全性について議論するベースとなる。

安全余裕は潜在的危険が顕在化した場合その危険回避作業時に運転員が持つ余裕であり、かつ、考慮していなかった危険への対処のための余裕である。この安全余裕は主観的なものであり、危険の種類によってさまざまな形態によって表される。一方、運転員は取り得る余裕の大きさに応じて、作業のレベルを変えて運転していると考えられる。

そこで著者等は運転の熟練者と評価者によりシステムの運転状況から運転員が取り得る安全レベルを定義し、評価対象の作業がどのレベルで行われているかを示す事により、システムの安全性を評価する手法を提案した。

一名当直用操船支援システムの開発とその評価

一名当直用操船支援システムの開発に際しては、まず2章で述べた支援の考え方の基づいて一名当直を実現するために必要な操船支援システムの仕様を求めるため、操船シミュレータを用いて居眠りや集中力の低下が心配される長時間の一名当直航行実験及び頻繁な操船判断が求められる輻輳した狭水道に

おける航行実験を行った。

次に実験から求められた要望を基に、当直時の作業量の適正化を考慮した操船支援システムとの役割分担、操船支援システムへの要望を実現するためのヒューマン・マシン・インタフェース及び安全対策を検討して、操船支援システムの設計・開発を行った。本システムではトラックコントロール機能等の自動化機能の採用と共に、アイフリー操作を実現するために、各種警報及び情報提供、情報要求及び操船指令を含むシステム操作を支援システムとの音声会話及びワンタッチ操作でできるように、音声入出力装置とタッチパネルモニタで構成されるインタフェースを採用した。こうして設計・製作された本操船支援システムは、1997年9月に「新ぶるばん丸」(749GT LPG 船)に搭載されて、現在まで安全な運航を継続している。

操船支援システムの評価は、まず航海当直で行われる主要な作業を要素作業に分け、各要素作業について支援内容の確認と作業量や支援効果についての主観的評価を行った。この結果他船動向把握作業での他船情報収集機能を除いて、各支援機能の使用が乗船調査により確認できた他、当直者の主観的評価においても良好な評価結果を得た。

また本システムの大きな特徴である音声入出力とタッチパネルスクリーンにより構成されるヒューマン・マシン・インタフェース及び一名当直に対応した安全対策についても、十分実用に足るとの評価を得た。

音声入出力機能は当直者の見張り作業を妨げない容易でシンプルなアイフリー操作を実現した。この音声入出力機能とタッチパネルによるワンタッチ操作機能の組み合わせは、乗組員の信頼を得ることができ、現実の使用が十分可能であるとの評価を得た。この事は乗船調査時の使用率が100%であり、実際に手動操作がほとんど無くなった事からも確認できた。

安全対策についても、支援システムの不具合の検出及び対策の実行、当直者の不具合の検出及び対策の実行が的確に実施できる事が確認された他、特に本研究で提案した音声による就労監視システムは当直者に不当な負担をかけることなく当直者の健全性を確認でき、乗組員に受け入れられ継続して使用されていた。

さらに操船支援システムの有効性を確認するため、

在来船と本操船支援システムを搭載した近代化船の当直作業の乗船調査を行い、当直時の精神的負担及び当直作業の分析を行った。これにより、近代化船では手作業はほとんどなくなり、従来操舵手及びレーダ監視員が行ってきた作業のほとんどが操船支援システムに吸収されており、操船関係の作業はほとんど支援システムの誘導機能に任せられ、当直者は見張りに専念でき、十分余裕を持って当直できている事がわかった。

不測の事態を考慮した操船時の余裕の評価について、「安全レベル」を用いて評価を行った。操船作業時における安全のレベルは、操船シミュレータ実験から、システム開発、実際の運航まで評価に加わっていただいた熟練船員の方々と著者等評価者により、以下のように定義した。

レベル1 一名で主要な操船作業が可能

レベル2 現在の二名当直での操船作業と同等以上の余裕で操船作業が可能

レベル3 危険が予見できる情報を基に大局的な判断による操船が可能

今回の評価では主要作業が過度の負担無く一名でできることが確認でき、さらに通常の2~3名での当直作業に比べて負担が軽減できて、作業自体も少なくなったと評価されている事から、レベル2の安全レベルは確保できていると評価した。また気象海象及び潮流のデータや避航支援機能についてはその有効性が確認されており、レベル3の安全レベルまで確保できる可能性は示されたが、一部作業においては許容できる作業負担内での支援が実現できなかった部分もあり、今後のさらなる検討が必要である。

最後に、船長の操船支援システムに対するコメントを示す。

「当初はINS(操船支援システム)に対する信頼性、操作性等に若干の不安もあったものの、システムの手直しと併せて音声での対話を重ねていく内にINSとも連帯感ができた上、各機能の操作にも慣れ、現状においては通常の沿岸、狭水道、港内航行とも航海士も含めてこの操船支援システムを全面的に活用し、一名での当直業務を問題なく遂行している。」

この様に、本システムは実務者からの信頼を得て実務に使用されている事が確認できた他、音声入出力を使用することにより操船支援システムを擬人化

でき、パートナーシップが生まれ、一名当直時の寂しさや機械に使われると言う疎外感を低減できた。この事から有効なヒューマン・マシン・インタフェースが構築できたと評価できる。

最後に、システム開発に当たってご協力いただいた共和産業海運(株)三輪会長、谷本船長と新ぶろばん丸のクルーのみなさま、三菱重工の”Super Bridge X”の開発チームのみなさまには厚く御礼申し上げると共に、本システムを用いて「新ぶろばん丸」が今後も安全航行出来ることをお祈りいたします。

参考文献

- [1] Hironao Kasai and Eiichi Kobayashi. Maneuvering Simulation Approach to a Ship's Piloting Expert System. *Proceedings of International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability 93*, Vol. 1, , 1993.
- [2] Takeshi Fuwa, Takeo Koyama, Kunihiko Tanaka, and Junji Fukuto. A Knowledge-based System Applied to an Automatic Ship Navigation System. *Proceedings of IFAC Workshop on Expert systems and Signal Processing in Marine Automation, CAMS'89*, pp. 45-57, 1989.
- [3] 不破健. 自動運航システムの安全評価について (その1) 安全性の評価. 日本造船学会論文集, Vol. 166, pp. 453-460, December 1989.
- [4] 不破健. 自動運航システムの安全評価について (その2) シミュレーションシステム. 日本造船学会論文集, Vol. 166, pp. 461-468, December 1989.
- [5] 沼野正義, 奥住恵子, 福戸淳司, 金湖富士夫, 田中邦彦, 桐谷伸夫, 有村信夫, 村山雄二郎, 今津隼馬. 船舶航行における潜在的危険の評価. 日本航海学会論文集, Vol. 85, pp. 25-32, September 1991.
- [6] 金湖富士夫, 村山雄二郎, 伊藤泰義, 田中邦彦, 沼野正義, 有村信夫, 桐谷伸夫, 福戸淳司, 宮崎恵子, 原木信夫, 今津隼馬. 輻輳海域における大型高速船の運航体制評価手法について. 日本造船学会論文集, Vol. 174, pp. 875-886, December 1993.
- [7] 金湖富士夫, 村山雄二郎, 伊藤泰義, 田中邦彦, 沼野正義, 有村信夫, 桐谷伸夫, 福戸淳司, 宮崎恵子, 原木信夫, 今津隼馬. シミュレータ実験による大型高速船の運航体制評価 (その1 昼間の航行). 日本造船学会論文集, Vol. 174, pp. 893-902, December 1993.
- [8] 金湖富士夫, 村山雄二郎, 伊藤泰義, 田中邦彦, 沼野正義, 有村信夫, 桐谷伸夫, 福戸淳司, 宮崎恵子, 原木信夫, 今津隼馬. シミュレータ実験による大型高速船の運航体制評価 (その2 夜間の航行). 日本造船学会論文集, Vol. 175, pp. 87-100, June 1994.
- [9] (社)日本旅客船協会. 超高速旅客船の夜間航行の安全性に関する調査検討報告書, 1991.
- [10] 福戸淳司, 宮崎恵子, 沼野正義, 村山雄二郎. 狭水道における操船時の余裕について. 日本航海学会論文集, Vol. 92, pp. 329-336, March 1995.
- [11] Kuniji Kose, Kouhei Hirono, Kenji Sugano, and Isamu Sato. A New Collision-Avoidance-Supporting-System and Its Application to Coastal-Cargo-Ship "Shouyou". *Proceedings of IFAC Workshop on Control Applications in Marine Systems, CAMS'98*, 1998.
- [12] Junji Fukuto, Masayoshi Numano, Keiko Miyazaki, Yasuyoshi Itoh, Yujiro Murayama, Kazuo Matsuda, and Norio Shimonô. An advanced navigation support system for a coastal tanker aiming at one-man bridge operation. *Proceedings of IFAC Workshop on Control Applications in Marine Systems, CAMS'98*, 1998.
- [13] Sanders M. and McCormick E. *Human Factors in Engineering and Design*. McGraw-Hill, 7 edition, 1993.
- [14] 福戸淳司, 沼野正義, 下野雅生, 松田和生. 音声入出力を用いた一名当直時の人間を含むシステムの異常対策について. 日本航海学会論文集, Vol. 102, , March 2000.

- [15] 福戸淳司, 宮崎恵子, 金湖富士夫, 田中邦彦, 有村信夫, 桐谷伸夫, 原木信夫, 沼野正義, 伊藤泰義. シミュレータによる高速運航の安全性評価について. 船舶技術研究所研究発表会講演集, Vol. 60, pp. 93-96, December 1992.
- [16] Jakob Nielsen. *Usability Engineering*. AP Professional.
- [17] John Lee and Neville Moray. Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, Vol. 35-10, , 1992.
- [18] 宮崎恵子, 沼野正義, 福戸淳司, 金湖富士夫, 桐谷伸夫, 有村信夫, 田中邦彦, 村山雄二郎, 伊藤泰義, 今津隼馬, 甲斐繁利. 海上交通の安全に及ぼす高速船航行の影響の評価—操船者が感じる脅威—. 日本航海学会論文集, Vol. 87, pp. 115-122, September 1992.
- [19] 海難審判庁. 内航タンカーの海難の実態, 1995.
- [20] 全国内航タンカー海運組合、運輸省船舶技術研究所. 内航タンカー近代化船研究発表会講演集, 1996.
- [21] 田中邦彦, 金湖富士夫, 宮崎恵子, 桐谷伸夫. 船舶航行システムの安全性評価用シミュレーター I —リアリティーのある景観情報—. 日本航海学会論文集, Vol. 88, pp. 129-136, March 1993.
- [22] 全国内航タンカー海運組合、運輸省船舶技術研究所. 航海支援システム実証成果発表会講演集, 1998.
- [23] 海難審判庁. 海難審判の現況, 1992.
- [24] 山崎祐介. 見張り不十分に因る船舶間衝突に実態について —海難構造の解析—. 日本航海学会論文集, Vol. 90, , March 1994.
- [25] 伊藤泰義, 田中邦彦, 平尾好弘, 村山雄二郎, 中村保博, 池田重樹. シミュレータを用いた長時間運航の安全性評価について. 日本航海学会論文集, Vol. 93, pp. 251-262, October 1995.
- [26] 沼野正義, 桐谷伸夫, 福戸淳司, 田中邦彦. 狭水道航行における運航支援. 日本航海学会論文集, Vol. 92, pp. 85-90, October 1995.
- [27] Takao Watanabe, Kaichirou Hatasaki, Ken'ichi Iso, and Hiroaki Hattori. Speech recognition (in Japanese). *NEC Gihou (Technical Report)*, Vol. 47-8, , 1994.
- [28] 三宅晋司, 神代雅晴. メンタルワークロードの主観的評価法. 人間工学, Vol. 29, No. 6, 1993.
- [29] 下野雅生, 松田和生, 福戸淳司. 単独当直のための航海支援システムの設計と実証船による機能性評価. 日本造船学会論文集, Vol. 187, , June 2000.