

1名当直を目指した操船支援システムとその評価

福戸 淳司* , 沼野 正義*, 宮崎 恵子*, 田中 邦彦*
伊藤 泰義†, 村山 雄二郎†, 下野 雅生‡, 松田 和生§

Development a navigation support system aiming at One Person Bridge Operation and its evaluation

by

JUNJI FUKUTO, MASAYOSHI NUMANO, KEIKO MIYAZAKI,
KUNHIKO TANAKA, YASUYOSHI ITOH, YUJIRO MURAYAMA,
NORIO SHIMONO AND KAZUO MATSUDA

Abstract

The number of active sailors is reducing constantly because of aging of active sailors and the lack of appeal for young people. Additionally, optimization of logistic and recession of heavy industries make work conditions of sailor worse. Therefore, we cannot stop the reduction of active sailors and the shortage of active sailors will become a serious problem to keep safe marine transportation.

As a solution, a navigation support system (NSS) with advanced automated function is introduced. However, as sailors should act main role of safety navigation, the NSS should be accepted. To get acceptance from them, the support system should reduce task load, establish acceptable human machine interface and. etc.

In this paper, first, we discussed the support ways for ship navigation based on human factors. Secondly, we proposed the method to evaluate operational safety of human machine systems with "Level of Safety". Finally, a navigation support system aiming at one person bridge operation(OPBO) is introduced. To develop the NSS, a series of simulator experiments were held in an open sea and in a narrow channel. From the results of the experiments and interviews to active sailors, sailor's demands to the NSS for OPBO were obtained. There are two major demands to the NSS. One is reliable automated function. The other is an effective man-machine interface for the NSS not to disturb watch for other ships.

The NSS was designed based on these demands. It adopted many automated functions such as an Electronic Chart Display and Information System (ECDIS), a TRACK PILOT, etc. The NSS also adopted a unique man-machine interface, "Speech Communication".

The NSS is well accepted by active sailors and 3 systems were delivered now.

*システム技術部

原稿受付 平成12年5月30日

審査済 平成12年9月13日

†元システム技術部

‡(株)共和産業海運

§三菱重工業(株)

目次

1	序論	2
1.1	内航海運の現状	2
1.2	研究の概要	3
2	操船支援のあり方について	3
2.1	操船支援の必要性	3
2.2	操船支援システムの要件	4
2.3	航海における作業の流れと支援の内容	8
3	人間を含むシステムの評価法	10
3.1	ヒューマン・マシン・システムの評価 の考え方	10
3.2	評価の手順	11
3.3	運転作業時の余裕の評価	14
3.4	操船シミュレータの役割	15
4	一名当直用操船支援システムの開発と その評価	16
4.1	内航近代化船開発の概要	16
4.2	一名当直に対応した操船支援システ ムの要求仕様の検討	18
4.3	操船支援システムの機能設計	23
4.4	操船支援システムの機能と構成	28
4.5	操船支援システムの評価	33
5	まとめ	46

1 序論

1.1 内航海運の現状

内航船員数は急速に減少すると共にその高齢化が進んでいる。現在、船員という職業は、いわゆる3Kの職場で若年労働者から敬遠されているため、人手不足と高齢化が進み、常に慢性的な労働者不足の状態にある。この結果、人手不足のみならず安全運航の前提となる技術の伝承の面でも問題となりつつある。

また、内航海運業界は、荷主等の他業種を含めた規制緩和の結果、鋼材や石油といった従来のメーカー物流といわれていた業界も競争が激しくなり、荷主同士の製品の相互供給による合理化と相俟って、サービスの向上、とりわけ用船料の引き下げの要求が強

まっている。さらに、今後、海上輸送へのモーダルシフトを進めるためには、用船料の引き下げの他、他の輸送機関との接続を考慮した定時性の確保や荒天による欠損率の低下等輸送品質の向上が望まれている。

この要求に沿って、用船料を引き下げるには、船の維持管理コストを見直す必要があるが、この中で船員費の割合の顕著な増加が着目され、昨今では50%を越えたとされている。現在、船員の時間当たりの経費は既に陸上と較べて10%位は低いとされており、さらに週40時間労働の実施が予定されていることから、事態は悪化の一途にある。このため、人件費の高い日本の状況を考慮して、情報管理や運営の合理化を主体とした一層の経営努力と共に、安全性を確保しつつ省力化された操船をいかに実現するかが重要である。

しかし、省力化の実態はすでに進行しており、事実上の一名当直が、何のサポートもないまま進んでいる状況にある。これは、船員へ過剰な作業負担を強いることとなり、結果として事故の増加を招く事になりかねない。

一方、海上輸送は、日本の経済成長に必要不可欠な物流を支えるために大きな役割を果たしてきた。特に、海上輸送は、比較的まとまった荷物を長距離運ぶ事を得意としており、鋼材や石油等工業原材料等の素材産業貨物のほとんどを分担してきた。また、今後も海上輸送は、大量輸送時の経済的利点や環境への影響の少なさから、物流の柱としての役割を期待されている。

しかし、日本海でおきたナホトカ号の事故や東京湾で起きたダイヤモンドグレース号の事故で、油による海洋汚染を直接経験した事により、航行の安全と環境汚染防止への関心が大きく高まった。

ここで、内航船の安全運航について考えると、現在までは熟練した船員の努力により安全性が確保されてきた。しかし、先に示したとおり省人化が進み、何のサポートもないまま多くの船で一名当直が行われているのが実態である。さらに、内航船における労働は連続して苛酷なもので、例えばある船では航海士3人が単独で4時間ずつ1日2直のワッチを交代で行う。特に、船長は、輻輳海域、港内等は、必ず船橋に詰めている必要がある。また、荷役は全員作業で、当直直前・直後の者にも荷役作業が求められる。さらに、バースの効率的使用が求められているため、荷役後は、すぐに出港しなければならない。

こうした全く余力のない少人数で連続して運航されることから疲労が蓄積し、ひいては事故を誘発しかねない状況にある。

こうした状態を無くするためには、人員の増加が望ましいが、昨今の経営状態からは、さらなる乗組員の人数削減が望まれている状態で、安全確保の観点からも、乗組員の過重な労働を軽減する支援の確立が早急に必要である。

1.2 研究の概要

従来、操船は、主として操船判断を行う船長、操舵を行う操舵手及び見張り員の役割を複数の当直員で分担して行われてきた。これらの役割の内、操舵については、オートパイロットが保針操船の支援に広く使われてきた。

こうした中、1980年代になると、海上物流の増加に伴う海上交通の輻輳化や船員の質の低下等が問題となり、航行の安全性確保を目的とした操船の自動化についての検討が、「高信頼度知能化船」のプロジェクト [1][2] として、1983年から88年まで実施された。このとき、著者等の研究グループは、多目的な船舶航行シミュレーションシステムを用いた自動航行システムの安全性評価手法の確立を担当した [3][4]。このプロジェクトでは、大洋航行から狭水域航行、離着岸操船、錨泊にいたる全ての操船作業に対する自動化の可能性が検討された。

ここで検討された安全性の評価法は、人間を含む操船システムを評価の対象として検討が重ねられ、著者等は、操船時の余裕を指標値とした安全性の評価手法を提案した [5]。この後、この評価法を基に、1990年代に出現した40ktを超えるスピードで走る超高速船の輻輳海域や同じく超高速船の夜間での操船法及びその支援法についての検討 [6][7][8][9] や狭水道における航行安全対策の策定法の検討 [10] が行われた。狭水道における航行安全対策の策定法の検討において、著者らは狭水道航行時の各局面を網羅した作業分析を操船シミュレータ実験を通じて実施し、通航の安全に必要な情報を整理して安全対策を策定し、操船時の余裕を指標値としてその安全性を評価する手法を提案した。

一方、「高信頼度知能化船」のプロジェクトでは、完全な無人化はできなかったが、多くの高度な自動化技術が開発された。しかし、現実には日本での自動操船技術の実務への適用は遅々として進まなかつ

たといえる。その理由としては、経済的・制度的理由の他、信頼でき必要な精度のあるセンサーと実作業に即したヒューマン・マシン・インタフェースの不備があったと考えられる。

1990年台半ばから、GPSと呼ばれる測位技術、計画航路に沿った船位誘導技術、海図情報のデジタル化等色々な要素技術が発展し、操船の自動化を可能にする条件が整ってきた。

こうした状況の中、船員の不足及び高齢化による質の低下への対応並びにコストダウンの要望に応えるため、航行の安全性を確保した上での一名当直を可能にする操船支援システムの開発が各方面で検討され、1990年代後半には、一名当直による運航を目的とした2隻の近代化船が建造されるまでに至った [11][12]。著者等は、この内航近代化船の開発・評価に携わり、一名当直での問題点と安全な航行に必要な要件の抽出、操船支援システムの基本設計及び乗船調査を通じた有効性・安全性の評価を行った。

また、海外においても、操船の安全性の向上を目的として、先進的な制御機能と有用なヒューマン・マシン・インタフェースを統合した運転支援システムが構築されるに至り、著者等は、運転支援システムの要件についての情報交換をすると共に、その開発手法を共同で検討すべくスウェーデンのSSPAと「先進的運転支援装置のヒューマンファクターに関する研究」と題して共同研究を行った。

本報告では、著者等が実施した一名当直を目指した操船支援システムの開発評価を行う上で検討された、操船支援法、人間を含むシステムの安全性評価法及び操船支援システムの開発及びその評価について述べる。

2 操船支援のあり方について

2.1 操船支援の必要性

船舶を操船する状況をモデル化する時、その主要要素としては、運航者、船舶及び各種航行環境要素が挙げられる。このうち、運航者と船舶は、それぞれ対となる関係として「船舶運航システム」と定義する。一方、航行環境要素は、自然・地理的環境、各種陸上支援施設及び複数の船舶運航システムから構成される交通環境から成り、これらの要素を含むシステム全体を「船舶航行システム」と定義する。また、船舶運航システム以外の全ての要素を、「航

行環境」と定義する。

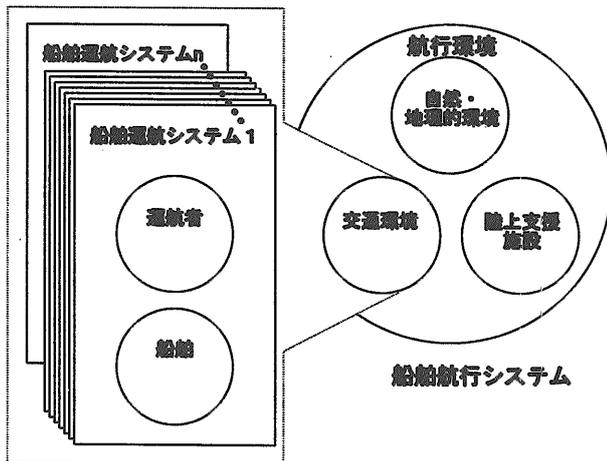


図 1: 船舶航行システム

従来、船舶航行の安全性は、この船舶航行システムの各要素が、適正に機能することにより、確保されてきた。

航行安全の責任に関しては、運航者に負うところが大きいのが現状である。船舶は一度港を離れると独立した船長の意志で動くものと考えられてきたことから、航行の安全に対する責任は全て運航管理の中核である船長に負わされてきた。特に荒天遭遇や機関故障等何が起こるか分からない状況下で、船橋内の限られた情報により運航判断を行わなければならないため、運航者には細心の注意と経験に基づいた的確な判断及び献身的な努力が求められてきた。こうした努力は、長い乗船経験から得られる船舶の運航管理のノウハウ、相互に意志疎通を図り必要な場合には補完し合うという船員間のチームワーク及び航行の安全を保つという強い信念に立脚したシーマンシップというベースがあっただけで成し得たことである。

しかし、近年の海運界を取り巻く状況は大きく変化しており、従来の船舶航行システムに大きな影響を及ぼしてきた。現在、外航船舶は東南アジア諸国の外国人船員を多数採用した混乗船が一般化している。また、内航船においても慢性的な船員不足及び高齢化が急速に進んでいる。このため、船舶の運航、維持、管理といったノウハウの伝承及び船員の育成や船員同士のコミュニケーションに深刻な問題が発生しており、現状のままでは船舶の安全運航のベ-

スとなるシーマンシップの維持・形成が困難になりつつある。また、物流量の増大に伴い、港湾や狭水道における船舶の輻輳の度合いは増しており、現在のような情報の少ない状態での運航は、輸送効率を低下させるのみならず、衝突や座礁の危険までも増大させており、運航者を取り巻く状況は、悪化する一方である。

こうした中で物流の担い手としての船舶への要求と航海の安全性のさらなる向上を両立させるためには、現在の船舶航行システムの機能及びその構成要素である運航者、船舶及び航行環境の役割の見直しが必要である。今後熟練者の確保が難しくその負担が大きくなると予想される船員については、技量の低下及び就業者の減少が避けられないものと仮定し、小人数かつ熟練を要しない人員での安全運航を可能にするため、現在熟練操船者が行っている作業の一部を船舶の機能及び陸上で明確に分担し、安全な運航を可能にするシステムの構築を進める必要がある。このためには、船舶が持つ操船支援機能については、ハードウェアのみならずソフトウェアも含めた対策が必要で、一名当直による操船を前提として、操船作業を単に支援するのではなく、利用できる情報処理及び自動化技術を駆使して作業の一部を完全に分担するという考えの基に、操船支援システムの構築を行う必要がある。

2.2 操船支援システムの要件

近年の科学技術の進歩は目覚しく、航海機器の分野に関しても多くの自動化された機能が開発・提案されてきた。これらの機能は各時代の最新機器の目玉として次々追加されてきた。

一方、使用する船員の方はこれら機器の使い方を習熟する時間は少なく、使えるようになったとしても、その機能を使うための負担の多さから負担の軽減感が少なく、結果として使われない高価な機器が船橋に鎮座している状況が多々見受けられた。つまり、負担軽減に繋がる便利な機能を持ちかつ操作が容易であるか、規則等によって必要に迫られない限り、最新機器でさえ使ってもらえない。

このため、実際に使われる有効な操船支援システムの要件について、今までの操船シミュレータ実験及びインタビューで得られた熟練船員の意見を基に考察する。

2.2.1 操船支援システムと当直者の役割分担とその明確化

著者等が高速船の安全航行や内航船の近代化の研究のために実施してきたシミュレータ実験の被験者の意見として、特定の作業を信頼して完全に任せられる事が支援システムの機能を使うための条件として挙げられた。つまり、操船支援システムを使用する上で、不十分な機能であったり、効率が悪く使用方法が難解であったりした場合、これらの機能を使用するために人員を貼り付けなくてはならず、作業負担の軽減には繋がらないので結局その機能は使用されない。従って、支援システムには簡単で単純な機能でも良いから、その機能で人間が行っている作業を完全に分担し、実際に当直員の負担軽減に繋がる支援機能を持つ事が求められる。このため、操船支援システムと人間の適切な役割の分担の考え方が重要となる。

現在、操船支援システムには自動船位誘導機能(トラックコントロール機能)等多くの、そしていろいろなレベルの自動化機能を付加することが可能になってきた。自動船位誘導機能は本来操舵員が行っていた操船作業を完全に分担するまでに至っており、当直者の負担軽減、ヒューマンエラーの排除、操船精度の向上等多くの利点をもたらし、一名での操船を可能にする大きな原動力になっている。

しかし、ただ闇雲に可能となった機能を人間に押しつけての自動化では、本当の意味の安全性の確保は困難である。例えば、当直者にとって負担の少ない状態で、自動化機能が正常に機能してもあまり負担の軽減効果は感じられず、輻輳海域での避航操船等状況が複雑で操船の作業負担が大きい場合にこそ機能を発揮して、作業負担がピークに達するところでの負担軽減が望まれる。特に少人数での運転の場合、作業集中時の作業負担を適正にする事は、運転の安全性を確保する上でも重要である。しかし、往々にしてこのような場合、自動化機能が機能しなかったり、再設定のために複雑で多くの操作が要求され、更なる負担を負わせる事となり、結局その機能を使用されなくなるケースが多く、支援機能が使用される全ての状況を考慮した自動化機能の設計が重要である。このため、人間が操船の中心的役割を果たすのだという考えに基づき、人間の特性を考慮して、人間と支援システムの役割分担を明確にし、それに基づいた設計及び評価が行われる事が今後操船支援

システムに求められる。

自動化機器との役割分担の考え方 役割分担は課せられるタスクの量にも関係があるため、主要な作業の分析を行い、ワークロードが大きい時には負担を軽減して妥当な作業量にするための支援をすることが必要である。一方、負担が少なく当直者への刺激が少ない場合は、航行の安全に支障のない程度の作業を当直者に与えて覚醒度のある程度以上に上げてやると共に、作業経験を積む事も重要で、当直者の選択によりある範囲で作業を分担できる事も重要である。

Price[13]は、人間と自動化機器の役割分担の決定手順として、以下の4つの手順を提案している。

Step1:Mandatory allocation

システム要件、環境条件、安全要件等から、人間にしかできない機能は人間に、自動化機器にしかできない機能は自動化機器に振り分ける。

Step2:Balance of value

明確に分担が決められなかった機能については、人間と機械の有効性を比較して、有効な方を選択する。

Step3:Utilitarian and cost-based allocation

効率及び費用の面から、前ステップまでの分担を見直す。

Step4:Affective and cognitive support allocation

Affective support 及び Cognitive support の両面から、分担を見直す。

Affective support は人間の感情面の要求事項で、やっている仕事に価値があり、挑戦しているんだという自己の存在感をアピールする目的で、意識的に一部の意味ある作業を人間に分担させるものである。また、Cognitive support は人間の制御対象に対する認識の形成に関するもので、作業のメンタルモデル及び状況判断の為の知識形成に必要な作業を人間に分担させるものである。

この人間と機械の役割についての判断は、その時の技術レベルや雇い入れることのできる運転員のレベルにより変わるものであり、運転支援システムの導入時期の状況に合わせて十分吟味が必要である。

ここで例として、人間と操船支援システムの役割分担をその特徴を考慮して考察する。

一般に、人間は、パターン認識、情報の統合と演繹、学習、適応という能力に長けており、状況認識、行動判断、大局的な操作指示を受け持つことを期待されている。

また、機械は、疲れない、飽きない、エラーが少ない、記憶容量が大きい、情報処理能力が高い等の長所を持っており、単調で定型的な作業や高速演算処理に向いている。

このことから、自動化機器と人間の役割分担は、

人間側：

状況認識、行動判断、操作指示

操船支援システム側：

情報収集、大量情報の加工、

操作指示の実行

と考えられ、当直者は状況認識や行動判断といった判断作業が中心となり、情報収集や操舵操作等直接的な作業を操船支援システムで受け持つことが望ましく、この環境を実現することを目的とした技術開発が進められるべきである。また操船支援システムは当直者の状況認識や行動判断のための情報を負担無く的確に伝達できることが求められる。

システムの透明性 運転員が自動化機能を使用して運転作業の一部を任せる条件の1つにシステムへの信頼感がある。この信頼感には2つの意味がある。1つは作業を任された運転支援システムが常に間違いなくその作業を実行できる事である。もう1つは、運転支援システムに任せられた作業が、支援システムによって正しく行われている事が容易に理解でき、なおかつ、正しく実施されていない場合は、容易に介入したり従来の方法に戻す事ができる安心感である事が熟練操船者へのインタビューから判った。このことから、操船支援システムを構築する際には、各機能に対する信頼性向上はもちろんの事、システムの構築をできるだけ単純な機能の組み合わせとして構築し、各機能の動きが理解でき、さらに異常を検知した場合には容易に介入できる機能が必要である。

2.2.2 支援機能の統合と集中配置による作業負担の低減

現在、自動化機能を含む多くの操船支援機器が開発されているが、従来それらの機器は単独で機能す

るように作られており、その使用方法も統一されていなかった。しかし、近年これらの情報を有機的に組み合わせることにより、より新しく高度な機能を提供できるようになってきた。例えば位置のセンサーである DGPS と操船系の自動化機器であるオートパイロット及び電子海図表示装置 (ECDIS) を組み合わせることにより、計画航路に沿って船を自動的に航行させる自動船位誘導機能 (トラックコントロール機能) が開発された。このように、機器単独ではなく、機器の有機的な結合により新しい機能を実現し、機械側の役割を広げるための支援機能の統合が今後進められる。

一方、省人化が進み一名での操船が求められた場合、従来通り機器が分散配置されている各機器の操作が不可能になるばかりでなく、情報を得るために大きな負担が強いられる。また、操船結果の最終チェックは今後とも目視によって成されると考えられるので、目視による監視をできるだけ妨げないよう、全ての情報と必要な操作端末を1ヵ所に統合して、分かり易い表示と容易な操作の実現が必要になる。さらにこれらの機器を使う上でその使用方法の統一・標準化を進めて、メーカーや機種毎の使用法の違いを是正する事が、作業負担の軽減及びヒューマンエラーの防止に有効である。

2.2.3 人に優しいヒューマン・マシン・インタフェース

具体的な操船支援システムの設計する際、当直者の作業分析、特に人間の作業である状況認識、行動判断、操作行動の過程を分析・評価し、その過程で出てきた問題点や人間の特性を考慮に入れて、必要なヒューマン・マシン・インタフェースの機能を洗い直し、円滑な作業が実行できる事を確認する必要がある。特に、この際、必要な機能を列記するだけでなく、実際にその作業を人間が行う事ができるかどうかという観点から行動の時間軸での分析を行い、少ない負担で運転作業ができていることを確認する必要がある。

これにより、操船支援システムを使う際の当直者の負担を評価する事ができ、作業集中時の作業負担が許容値まで低減されているかの確認が可能となる。こうしたヒューマン・マシン・インタフェースの不備や使い難さは、操船支援システムが普及しなかった大きな理由として挙げられる。

例えば、一名当直時の避航操船を従来の操船支援システムを用いて行う状況を考えてみる。避航の対象となる他船の情報は、目視による見張りと同様のレーダまたは ARPA(自動衝突予防装置)機能の付いたレーダから得られる。ARPA 付きのレーダではさらに対象船のデータは数値化されて操船支援システムに送られて処理され、危険判定や避航方法の提示等の避航操船判断のための支援情報として用いられる。この ARPA 機能が他船の数値情報を計算する際には、レーダ画像の中から対象船を示す光点(エコー)を特定し、そのエコーを捕捉するよう指示して初めてデータが得られる。このエコーの捕捉には、ガードリングによる自動方式と手動方式がある。手動方式は人間がレーダ画面を見ながら、トラックボール等のポインティングデバイスを操作して、対象船にカーソルを当ててクリックしなければならず、目視による見張りと同様に並行して行うのは現実的ではない。一方、自動方式は捕捉自体は自動的にある程度できるが、捕捉の解除は人間に任されている他、陸岸付近や輻輳海域では補足の誤りが多い。さらに一度捕捉した船も光点を見失うロスト現象等が発生し、他船の捕捉作業を任せることはできず、動向の知りたい船の再捕捉や不要になった船の捕捉解除等、レーダ画面上での追加作業が発生するため、特にこの機能が必要な沿岸域で使用されない状況である。さらに、操船支援システムから情報を得る際も画面を操作し情報を得る事になり、目視による見張りのための時間はどんどん短くなる。

こうした状況に対処するためには、人間の行う作業を考慮して人間の特性と作業内容にあったヒューマン・マシン・インタフェースを工夫して、操船支援システムを利用する際の負担を軽減する必要がある。

認知機能の重複回避 認知機能の重複回避は、機械とのインタラクションにおいて使用する人間の感覚器及び認知機能の重複を避けるよう設計する事である。

例えば自動車を運転しながら電話をかける場合を考えると、自動車を運転しながらプッシュボタンを押すのは容易ではなく危険でさえある。これは両方とも目という感覚器を使用し、さらに自動車の運転と電話番号どおりプッシュボタンを探して押すという空間的認知機能を同時に要求されているからである。この空間的認知機能とは物と物との相対位置やそれぞれの動きを認識する能力で、避航操船の

場合、相手船との相対位置と相対速度から衝突の可能性を認識する能力などがこれに含まれる。

一方、自動車を運転しながら電話で話をする事は比較的容易にできる。人間は空間的認知機能と言語的認知機能を持っているとされており、これらの認知機能は並行して機能するからである。言語的認知能力は記号や言葉の意味及びそれを用いた論理を理解する能力である。つまり、電話で話をする場合、目を使わず、主に言語的認知能力を使っており、運転操作における空間的認知能力と併用でき、人間のリソースをうまく使っている例である。

このように、認知機能の重複を音声などを利用して回避できれば、ヒューマン・マシン・インタフェースの使用上の作業負担は低減できる。このため、少なくとも通常行われる作業について、支援機器の使用を前提にした作業分析を行い、認知機能を有効に活用した機器設計が必要である。

機器操作の標準化 支援機器使用上の作業負担を減らし、ヒューマン・エラーを低減させるもう1つのポイントとして、標準化された操作法を採用することが挙げられる。これは使用方法の誤りや遅れによるヒューマンエラーの低減に繋がる他、操作の習熟も容易となる。操船支援システムの習熟作業の低減は、支援システム導入における大きな要望事項の1つであった。現在同じ船社の船間であってもメーカーや型式の違いによる使用法の違いがある他、比較的短い周期での船の乗り換えが日常化しており、乗組員はその度使用法の再修得が必要となるため、結局その機能は使われなくなる場合がある。

このため、修得が容易で思い出し易い操作法を設計し、その標準化を進めることが重要である。

2.2.4 操船支援システムによる運航を支える支援体制

当直体制 操船支援システムの利用を推進する上で、装備の近代化と船員制度との関連を明確にする事は重要である。どのような操船システムを搭載したとしても、同じ資格の船員が同じ数だけ配乗される必要があるのであれば、装備に要する経費分だけコスト負担が大きくなり採算に合わない。船と人間とで安全に操船するために必要な機能を備えるという立場から考えると、一名当直用の新しい操船支援システムを搭載した際それに応じて船員数や重複する

機能を持つ他の機器の削減が可能となれば、トータルな運航採算という立場から近代化装備の採用が促進される。この目的のためには船橋内の仕事はあらゆる操船環境下において一名で可能という条件を満たすためのシステム設計を行い、検証する事が必要になる。

また、現在ある航海部員と機関部員の作業の平均化も必要な改革の1つといえる。機関部門はMO化が進み、昼間に行われるMOチェックを昼間の定時に行えば、大きな故障が起きない限り負担は少ないと言って良い。さらに多くの機関モニター機器は船橋にも配置されている。一方、航海部員は連続した航海当直と事務処理を任されており、作業のアンバランスは明らかである。こうした航海部員と機関部員の役割分担の改善や部員の統合を実現するためには、機関部の信頼性向上の他、陸上からの技術的支援方法を確立し、機関に対して経験が少ない航海部員でも対応できるような体制を作る必要がある。

航行環境の整備 交通の要衝である狭水道や航路交差部においては、潮流等の自然環境や地理的環境条件の影響により、操船者にとって困難な状況になりがちである。さらに海上輸送量の増大や輸送の効率化を目的とした船舶の大型化が進むに従って、これらの海域を安全で効率的に運用するための支援が必要になってくる。特に日本では航路と漁場が渾然一体となって存在し、漁労作業が必要以上に優遇されているため、海上交通の障害にさえなっている。このため少なくとも今後の海域の安全で効率的な利用を進めるためには、漁場と航路の分離のための法的整備を進める必要がある。

また、安全航行に必要な情報の提供は操船支援システムの利用推進のみならず、従来の船舶にとっても重要な支援となる。特に操船支援システムを実用化する際、自動化機能に入力される情報提供は必要不可欠であり、電子化された海域情報提供のためのインフラ整備は航行の安全性向上及び船舶の大型化等による輸送効率の向上のためには重要である。

2.3 航海における作業の流れと支援の内容

航海における作業は、航海計画の策定とそれに基づく当直作業の2つに大別できる。

航海計画は、目的港や荷役時間、自然環境情報及び過去の経験から、利用する航路や主要な地点での

大まかな通過時刻を計画するもので、様々な情報を基に計画される。

一方、航海当直作業は当直者が与えられた航海計画と遭遇する環境に合わせて自船の行動を判断し制御するものである。

その過程は、図??に示す通り、

- (1) 自船及び航行環境の状況認識、
 - (2) 認識された状況に基づく行動判断、及び
 - (3) 行動を実現するための操作指令及び機器操作
- の各作業の階層的なループとして表現できる。状況認識は判断結果や操作結果の確認として常に行われ、認識結果に変化があった場合、行動判断を行い、必要に応じて操作指令を行う。このように当直時には、状況認識作業、行動判断作業、及び操作指令といった作業が渾然一体となって行われてきた。しかし交通流の増加による遭遇船舶の増加に少人数の当直者で対処するためにはこれらの作業を分離し、その一部を情報処理能力の高い機械に分担させる必要がある。特に従来は当直者の長年の経験や操船感覚に基づく勘によって安全運航が保たれてきたが、船員の陸上勤務の増加や船員数の低下による熟練者の不足を考えると、熟練を要さない普通の人々が安全に運航できる操船システムの枠組みの構築が急がれる。以下に、各作業の現状と求められる支援内容を概説する。

航海計画策定 航海計画は出発港から目的港までに遭遇する航行環境を考慮し、大まかな行動計画を立てるものである。この作業で必要となる情報は、目的港の情報、荷役関係の情報、航行が予想される海域の海図及び水路情報、気象・海象に関する情報及び過去の航行経験が挙げられる。航海計画はこれらの情報を基に主要通過点のリストとその点の通過予定時間の形で表現される。この計画策定は船長が行い、他の船員への細かい操船指示はそのリストや口頭での指示で伝えられているため、船長の負担は非常に大きい。この負担を軽減するためには、航海計画を効率的に策定し他の船員に効果的に伝える支援が必要である。

こうした支援のベースはコンピュータを使用したシステムに移行する流れにあるため、電子化された情報の作成は必要不可欠となる。航海計画策定は当直作業と異なり時間的制約は少ないのですが危険な状況に陥る事はないが、計画航路を作る際の情報支援と間違いない入力のための支援及び座礁等の危

険のチェック機能が必要である。さらに一名当直時や熟練度の低い船員による当直の場合は、適切なアドバイスや航行上の注意事項を与える事も安全性確保には効果的で、著者等により計画航路にこうした情報を取り込む試みもなされた [14]。

状況認識 状況認識作業は、情報収集とその情報に基づく状況の認知に分けられる。

情報収集は直面する環境条件を正確に把握するため、最新情報を収集することが不可欠である。その情報ソースとしては目視による見張りや航海計器からの情報が挙げられるが、その信頼性と即時性の良さから現状では目視が重要視されており多くの労力が目視による監視作業に費やされている。今後高度な自動化機器を採用した操船システムが実現した場合にも、操船状況の直接的な最終チェックとしての目視による見張りの重要性は変わらないと思われる。

航海計器は近年その性能は向上しており、情報収集作業の内 DGPS による船位決定作業等は操船支援システムが役割を分担できるまでになっている。一方他船情報については、レーダ/ARPA によりある程度電子データとして収集は可能であるが、特に ARPA については手動による捕捉及びその解除作業が必要な他、ロストや乗り移りによるデータの信頼性の低さから、輻輳海域等最もその支援が必要なところで十分に機能していない。また、狭水道等ではレーダ波が届かない島影等の船は検出できず、操船判断を難しくする大きな要因になっている。今後操船支援システムで他船情報を扱うためには情報の電子化と情報収集の自動化が必要不可欠であり、他船情報や狭水道航行時の自然環境情報等の収集については、陸上施設を含めた情報支援や現在設置義務化が進んでいる船舶自動識別装置 (AIS) の積極的利用が望まれる。

状況認識は当直者が目視によって得られた状況のイメージに収集された情報を組み込むことによって、近い将来の状況を予想するベースを作るものである。これにより衝突や座礁の危険を推測し、行動変更の必要性を認知する。特に状況認識においては空間的な認知能力が重要であり、この意味で目視情報が現在まで主に使用されてきた。状況認識の際に使用される情報としては、目視情報の他、自船位等の自船航行状態、他船動向、潮流等の自然環境情報、地理的環境情報等が挙げられ、当直者の支援においてはこれらの情報を過不足なく適当なタイミングでしか

も容易に理解できる形で提供する事が求められる。

行動判断 行動判断は、認識された状況と自己の判断基準に基づいて航海計画を変更する形で行われる。状況認識において、航海計画通りの操船が安全上問題無いと判断された場合その計画に沿った操船が選択されるが、他船との衝突等の危険があると判断された場合は、その危険を回避する行動が選択される。回避行動の判断に際しては、自船回りの地理的環境、潮流等の自然環境、他船の状況、衝突の危険のある相手船との離隔距離、計画航路からのずれ、航行規則等の知識を基に総合的に判断される。

危険回避の判断時に当直者が注目する計画航路内での横方向の位置や相手船との相対関係といった情報は、目視とレーダ等から得られる限られた情報を当直者が処理して得ているのが現状である。こうした情報処理は計算機をベースとした支援システムで実施した方が精度が高く効率的であるため、当直者が望む形で処理結果を表示して当直者の理解を促すと共に、回避法の提案も含めた情報支援が有効である。

さらに認知の際に得られた情報が必ずしも十分で無い場合過去の経験や知識から安全側の判断が行われるが、この際経験等に基づくアドバイスが重要な支援項目となる。

また、行動判断結果として得られた操船操作による状態の予測も行動判断上有効である。操船操作による状態の予測は、従来、操船者の経験から導き出されていたが、特に複雑な推進器を持つ船の操船や経験の少ない船員にとって、その予測は困難であると共にその精度にバラツキがある。スウェーデンの SSPA では、こうした状況に対応して、操縦運動モデルに基づいて操船操作結果を予測し、操船者に効果的に伝える機能として "Predictor" と呼ばれる機能を開発しており、実船に搭載され航海の安全性向上に大きく寄与しているとの評価を得ている。

操船実行 操船指令及び操船操作は、計画航路または危険の回避行動判断結果に沿って自船を誘導する作業である。船舶を誘導する際の問題点としては自重の大きさに比べてアクチュエータの能力が低いことから来る運動の時定数の大きさが挙げられる。このため、屈曲した航路に沿った操船や避航操船においては、操作に対する運動の遅れを補うため適切なタイミングで操舵を開始する必要がある。この操舵時

期の決定は、特に変針角度が大きく変針頻度の多い狭水道域では非常に重要で、熟練者の経験と勘に頼ってきたのが現状であり、有効な支援が望まれる。

こうした操船作業の自動化は、船位情報や自船の運動モデルの高精度化及び制御技術の向上の結果、自動船位誘導技術として実用化の段階にあり、当直者の負担軽減と操船精度の高度化を目的として積極的に取り入れるべきである。また操船支援システムへの指令については、咄嗟の状況変化に対応した直接的な操船指令から危険回避判断結果に基づく前広な設定航路の変更までを考慮して、指令し易く信頼性の高い指令方法を確立する必要がある。

3 人間を含むシステムの評価法

3.1 ヒューマン・マシン・システムの評価の考え方

システムにはその使用者のニーズに基づいた目標がありその目標に沿って絶えず変化する。図2にシステムのライフサイクルの概略図を示す。広辞苑によると、システムとは「複数の要素が有機的に関係し合い、全体としてまとまった機能を発揮している要素の集合体、組織、系統」と定義されている。つまりシステムの開発は複数の要素を組み合わせることで使用者のニーズに合った機能を実現する過程である。この際、目的を達成できる複数の案が提案され、その中から最適なものまたはできるだけ多くの関係者に受け入れられるものが選ばれシステムとして構築される。

こうして開発されたシステムは運用に移り、使用者はシステムによってもたらされる高度な機能を享受して、そのニーズを満たすことができる。しかし、エネルギー事情等の社会環境の変化や技術革新によりシステムに求められるニーズは変化し、新しいニーズが生まれ、それに基づいたシステムの再構築が行われる。

このシステムのライフサイクルにおいて、システムの評価はそれぞれの段階で実施される。例えば、システム開発においては、システム案の比較評価や製品の機能テスト、運用時には使用者のニーズの充足度評価、さらにニーズの変化に対応したシステムの改修・再構築の必要性の判断がそれにあたる。このため、システムの評価法を確立することは、システムの有効性を維持する上で重要である。

また、システムに対する命題は与えられた達成す

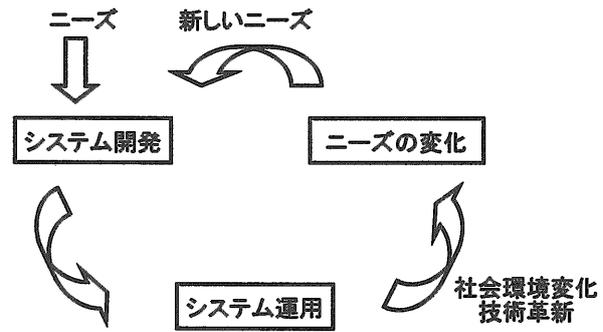


図2: システムのライフサイクル

べき目標となる状態にシステムを保つことである。このため、システムはその目的を達成するために必要な機能を持ちその機能を必要な期間維持出来なければならない。

一方、操船支援システムに代表される運転支援システムの運転対象は、船舶の操船を含めて巨大で複雑であると共に、一度事故を起こすとその影響は非常に大きく、システムを評価する上でその安全性の確保は大きな評価項目となる。このためシステムの構成要素に不具合があった場合、それを検出し、機能回復や代替手段等の対策がそれぞれ準備されており、その対策が余裕を持って実行できることが必要となる。

システムを評価する場合、目的を達成するための機能を生み出すシステムの構成要素の特性を把握することは重要である。構成要素が機械系や電子制御系の機器の場合、過去のデータの蓄積や機器の仕様から、その性能や信頼性は比較的明確に把握することができる。しかし、構成要素が人間となるとその扱いは難しくなる。

人間と機械の関係は職人と工具の関係に始まり、動力を伴う機械が出現し、一部作業の自動化により人間と機械が仕事を分け合う分業が進んだ。さらにこうした機械の能力は向上すると共に、機能統合が進み大規模化・複雑化し、人間の介入を極力減らすことを目的に完全自動化をも視野に入れた検討がなされた。しかし、完全自動化は現在の技術をもってしても実現にはまだ隔たりが大きいと、人間と自然な協調を実現できる運転システム設計が求められた。

大規模で複雑な運転システムの中に人間を入れる目的は、コスト的に自動化は見合わない、現在の技術では自動化が難しい、あるいは必要な情報が不足したり、不確かな情報での判断が求められる複雑な