

状況に対処することであった。これは人間の長所を駆使した微妙で複雑な状況認識及び運転判断を期待するものである。しかし、これに伴い思い込み等によるヒューマンエラーを引き起こす機会を残す事となった。このため評価においては、人間の長所を生かし、欠点を補う支援方法について十分考慮する必要がある。

さらに人間をシステムの構成要素として考える場合、その機能を維持させる事が重要である。従来、航海機器を設計する際は、人間は十分に訓練されており、常に設計時の思想通りに動くものと仮定していた。しかし、実際には色々な要素が影響を与えていることから、人間の機能維持についても十分考慮がなされなければならない。例えば、作業中に感じる疲労や作業負担及び作業時の心理的状況は、人間の機能維持に大いに影響を与える。特に、運転支援システムと人間の組み合わせである機能を担保している場合、運転支援システムの機能が十分であると共に、それが十分人間に受け入れられ、実際に使われることを確認しなければならない。

このため、システムの評価においては現実に実施される主要な作業を時間軸に沿って解析し、疲労や負担、使い勝手がその作業を継続的に行うにあたって許容できるものかどうかについて検討することが必要である。また、運転支援システムの一つの機能として、支援機能を十分活用できると共に、使用時の負担を許容される程度小さいものにできるヒューマン・マシン・インタフェースの開発が必要である。

3.2 評価の手順

システムを評価する際は、まずシステムの目的を明確にし、その目的に合致しているかを判断する。判断の結果、合致していない場合は、その問題点を洗い出し、問題を解決する対策案を検討し、現行のシステムと対策案を含む新しいシステムを比較評価し、最適な策を選ぶ事となる。この際の評価のポイントとしては、

- (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) 人間も含めて必要な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

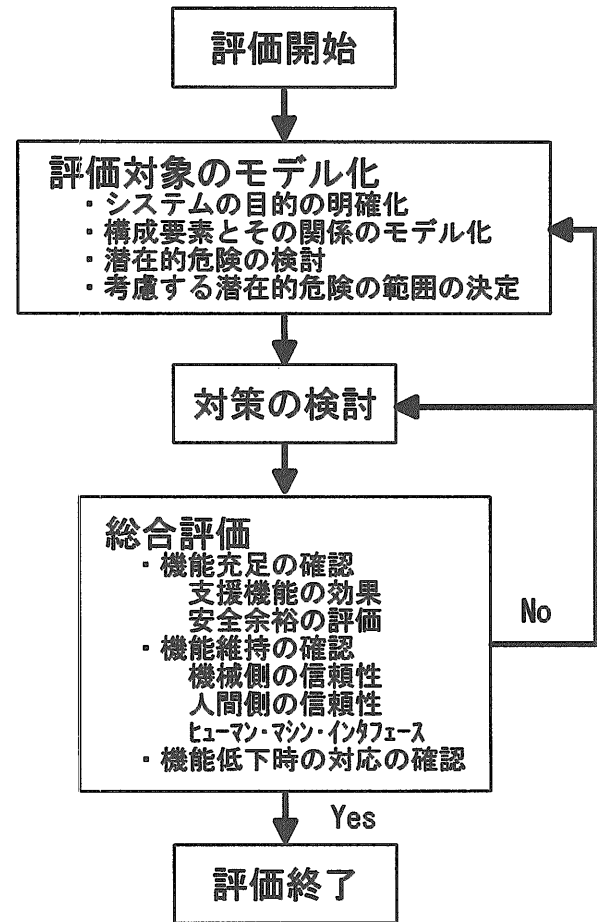


図 3: システム評価の手順

か?(機能低下時の対応)

が挙げられ、対策を施したシステムでの作業全体や非常時の対処を運転員が許容できる負担で実施できる事の確認が重要である。

以下に、この考えに基づいたシステムの評価の手順を操船支援システムを例として示す。図 3 に、評価の流れを示す [15]。

3.2.1 評価対象のモデル化

システムの目的の明確化 評価においては、まず評価対象となるシステムの目的を明らかにする必要がある。本論で扱う操船支援システムの目的は、操船に必要な情報及び操船制御機能を適切に提供し、操船者と協調して安全で合理的な航行を実現する事にある。

(1) **構成要素と要素間の関係のモデル化** 操船支援システムの評価は従来の操船作業との相対評価となるため、まず現状の操船作業及び評価対象となる操船支援システムを用いた作業の分析が必要で、機器及び人員の構成や環境条件等運転に影響する要因を洗い出し、システムの全体像をモデルとして作成する。システム構成及び機能については、船自体の特性や従来からの航海情報機器の他、操船系機器、操船者や当直体制等の人的要素を洗い出し、それぞれの機能と役割を明らかにする。この際、人間を含むシステムであることを考慮して、操船者が実際に行っている各種作業についても解析を行い、作業上の問題点や改良のポイントを洗い出し、次の対策案の策定につなげる。

潜在的危険の検討 環境条件はシステムが動作する環境というのみならず、システムの動作を阻害する要因である潜在的危険として検討されなければならない。総合評価の際には、この潜在的危険に対応したシステムの機能の充足度が評価のポイントとなる。

潜在的危険は何かの事象により顕在化する可能性を持っており、その顕在化によりシステムの価値に影響を及ぼす可能性のある事象で、いろいろなレベルのものがある。例えば、隕石に当たるといったほとんど有りそうもないものから、漁船の思わぬ方向への突然の変針等日常的に起こりうる事象まで全て潜在的危険である。潜在的危険には外的要因及び内的要因がある。操船支援システムの場合、外的要因としては、衝突危険船の接近、浅瀬への接近、風や潮流等外乱による操船への影響等が、内的要因としては、居眠り等による当直員の意識の低下、当直員への作業の過度の集中、機器の故障等が挙げられる。

こうした潜在的危険の検討は机上での思考実験や熟練者に対するインタビュー及び実際のシステム運転状況の観察によってその大部分を抽出できる。しかし、ヒューマン・マシン・インタフェースについては現実に即した作業を体験することが必要不可欠で、その不具合による潜在的危険を見つけ出す事もシステム評価において重要な要素である。特に新しい機能を搭載したシステムの評価をする場合、その機能を実際に使用した運転作業を経験する事は、新しい機能の使用法を提供するヒューマン・マシン・インタフェースを評価する際に非常に重要である。操船シミュレータはこうした新しいシステムの運転の体験を可能とし、インタフェースや作業内容を把

握するための有用なツールである。

評価時に考慮する潜在的危険の範囲の決定 最後に評価時に考慮する潜在的危険の範囲を固める。本来全ての潜在的危険について検討する必要があるが、全ての危険を網羅する事は時間的にもコスト的にもその実現は難しい。実際、原子力プラントの安全性評価では、航空機等の衝突や地震も潜在的危険として想定しその評価が行われているが、船舶についてそのような状況を考えるのはナンセンスである。このため、システムを開発・評価する際には潜在的危険の発生頻度とその危険による影響を考慮して、評価の際に考慮する潜在的危険を選定する。また、それ以外の潜在的危険については適宜当直者が対応することが期待されているので、評価時には考慮されない潜在的危険を考慮した余裕の評価を行うこととなる。これにより評価者及び当直者は航海支援システムがどの程度の潜在的危険まで考慮されているかを明確にでき、それ以外の危険に対処するために必要な余裕の感覚と操船時の心づもりができる。

3.2.2 対策の検討

先に選定した考慮する潜在的危険や作業上の問題点の影響を十分に抑制、除去するための種々の対策が検討され、新しいシステムに取り入れられることにより、より良いシステムとなることが、システム評価の大きな狙いである。

対策案の策定にあたっては、潜在的危険の性質や影響を調査し、具体的な機能にブレイクダウンして対策案を策定する。このブレイクダウンの際には、危険や不利益に対して、(1) 危険や不利益が発生する誘因を除去する、(2) 顕在化した危険から事故等深刻な事態に至るパスを切断する、(3) 事故の影響を抑制するといった観点から対策案の検討を行う。特にヒューマン・マシン・インタフェースの検討では、各作業局面で作業上必要となる情報の収集、状況を認識するための情報処理、認識された情報に基づく行動判断及び具体的な操作指令や実操作での機能や利便性について、実務者による要求仕様の抽出を行い対策案として具体化させる事が継続的に支援システムの使用してもらう上で重要である。

次にその対策案に利用できる既存の技術を調査し、その技術の組み合わせで実現可能かどうかを検討する。この際既存の技術が利用できない場合、その機

能は開発要素となる。

3.2.3 総合評価

総合評価は、現状を含む複数のシステムに対する相対評価となる。評価の項目としては、3.1節で述べた(a)機能の充足、(b)機能の維持、(c)機能低下時の対応が挙げられる。

機能充足の確認 機能の充足については、操船支援システムが潜在的危険が顕在化した場合に当直者と協調して、安全かつ余裕を持って対応できたかどうかで評価を行う。この際、各危険についての対策案による危険回避の確認とその時に必要な余裕が確保されているかの確認がなされる。その方法としては、机上での検討の他、評価者が実際に対策案を施した運転を体験して評価することが望ましく、実システムまたはシミュレータで模擬運転を行う事となる。特に危険な状況における安全対策の動作確認のために実機を用いる事は安全上困難である他コスト面でも無理があるため、シミュレータが用いられることが多い。

一方、考慮されなかった潜在的危険や作業上の問題点については、操船時に適宜当直者が対応する事となる。このため、これらの考慮されていない潜在的危険が操船作業時に顕在化する可能性を考慮して、操船作業においてある程度の余裕を確保する必要がある。この余裕の評価は操船経験や安全感覚によるところが大きいため熟練者の主観による評価が不可欠である。以上述べた通り、機能充足の評価は考慮された潜在的危険が顕在化した時の危険回避の確認と、その他の潜在的危険の可能性を考慮した余裕の評価によってなされる。

機能維持の確認 機能維持については、機械側の信頼性と人間側の問題に分かれる。機械側の信頼性については、一般の工業製品の考え方と同様の評価となる。人間については、操船支援システムが当直者に受け入れられるかどうかと、操船作業時の疲労や作業負担が適切であったかが評価のポイントとなる。

一般に操船支援システムの導入は人員の削減等のコスト削減案と合わせて実施されるため、適切な支援がなければ1人当りの作業量は増えることになる。操船支援システムを導入するポイントとしては、操船支援システムが有効に使用され、その働きにより

1人当りの作業量が許容範囲内にまで減ることが求められる。さもなければ、支援システムは使われず当直者の負担が今より増す事になる。運転支援システムを受け入れてもらうためには、利便性の向上と信頼性を確保し、それを操船者に理解してもらわなければならない。

利便性には2つの意味があり、1つは省力化機能の採用による作業自体の負担の軽減、もう1つは良好なヒューマン・マシン・インタフェースの採用による支援システムとのインタラクションの負担軽減である。省力化機能の採用による負担については、支援機器との役割分担の考えに基づいた適切な分担がなされているかどうかで評価される。支援システムとのインタラクション時の負担の軽減、つまりシステムの使い易さの評価については、使い方の覚え易さ、利用時の使い方の思い出し易さ、効率の良さ、従来作業との親和性、疲労低減の項目が挙げられ、好ましさと併せて実務者による主観的な評価が必要となる[16]。

また、2章でも述べた通り信頼感にも、2つの意味があり、1つは機器自体が持つ信頼性で、もう1つはその機器が不具合になった時に、当直者が自分でその機能を代行できるという自信である。Moray等[17]も、自動化機能を持つ支援システムを使い始めるための条件として、飛躍的な信頼の獲得(Leap of Faith)を挙げており、信頼感を得るためのファクタとして、試行錯誤の経験及びシステムに関する理解の向上を挙げている。また、支援機能の動きが理解でき、いつでもその機能を代行が可能であるという操船者の自信も機器使用を促す意味で重要である。

機能低下時の対応の確認 システム機能低下時の対応については、操船支援システムと人間との間で異常を相互に検出し、対策を講じる手段を持つ事及びそのシステム異常対策機能が当直者の負担にならないように構築できる事が必要である。このため、評価においては、各機器及び当直者の異常状態を洗い出し、それぞれの状態における対処方法を示すこととなる。

最終評価 最後に、上述の潜在的危険に対する機能の確認、操船時の余裕、支援システムの利便性・信頼感及び機能低下時の対応状況、さらには、トータルコスト等を考慮に入れて、評価者間での合意が形成される。

3.3 運転作業時の余裕の評価

総合評価においては評価者間での合意を得る努力が払われるが、立場の違いによりそれぞれの評価者は利害関係が異なる。即ち、船舶の運航を例にとると、操船者には常に安全性と合理性を求められ、能力の範囲内で最も安全かつ合理的な操船を行っている。船の利用者は高度な安全性と適切な運賃を求め、運航会社は十分な安全性を考慮しつつ、運航の経済性をも考慮した運営を行っている。

このように立場の違う者が航行の安全性のような主観的価値観の評価を行う場合、その合意を得るには共通の基準を設定し、それを基にお互い合意できるかどうかを互いの立場を理解し評価を行う必要がある。

著者等は、安全性を評価する基準としてシステムの有効範囲にあたる「考慮すべき潜在的危険」とその他の潜在的危険を考慮した「安全余裕」を提案している [5]。つまり、評価者はシステムの設計・開発時にどの程度の潜在的危険まで考慮し、その危険に対してどのような対策が立てられ、どの程度の余裕を見込んでいるかを評価者間で互いに認識した上で、安全についての合意を行う事となる。

潜在的危険は安全運航に悪影響を及ぼす可能性のある事象で、それが顕在化した場合、その危険を検出し、適切な回避動作を行う必要がある。こうした危険回避機能の確認にシミュレータ実験が用いられる事がある。しかし評価の際実施されるシミュレータ実験や訓練で結果としてその危険を回避できたとしても、これで安全であったと評価することはできない。つまり潜在的危険が顕在化した時にその危険を回避できる機能を持つ他、その危険の検知から危険回避行動を終了するまでの一連の動作の中で、他の不具合事象によって生じる事態、即ち”危険回避時の潜在的危険の顕在化”にも適切に対応できる余裕があって、はじめて安全であると評価できる。例えば、避航操船中にさらなる衝突危険船との遭遇に対応するためには、新たな危険船との遭遇を見越した余裕を常に確保した操船を心掛ける必要がある。この時の余裕を「安全余裕」と定義し、その安全余裕の大きさにより安全を評価する事ができる。

安全余裕は、潜在的危険の種類に応じて、衝突までの時間や変針による避航操船のためのルーム、多重系で構成されるシステムにおける代替手段への切り替え等様々な形態で表現されるため、直接安全余

裕を単一の指標で数量化することは難しい。また安全余裕を評価する際、考慮されない潜在的危険の影響については、熟練者の経験を基に安全感覚としての彼らの主観を入れざるを得ない。

著者等はこの運転員の主観値である安全余裕を測る方法として、「安全のレベル」を提案している [15][18]。運転員は確保する安全の内容に応じた安全のレベルを階層的に持っており、運転時の余裕に応じてその安全レベルを変えて作業を行っていると考えられる。つまり、非常に緊迫して余裕が無い時はとりあえず最低限の安全を確保する作業に集中し、余裕を創出しようとする。一方余裕のある場合は大局的な判断によるより安全な判断が行われ、複数の状況やそれらに対応した対策を想定した操船判断が行われると考えられる。例えば、輻輳海域を航行する高速船の操船時の余裕評価の際に用いた安全のレベルを以下に示す。また、図4に安全のレベルと作業時の余裕の関係を示す。

- レベル1 衝突は起こらなかったが、相手船に脅威を与えるような操船法を用いざるを得ない状況
- レベル2 衝突も起こらず、相手船にも脅威を与えない状況
(相手船への配慮ができる余裕がある。)
- レベル3 事前の大局的な判断により、衝突になる見合い関係を回避できる状況
(大局的な判断ができる余裕がある。)

図の縦軸は評価対象作業を、横軸は作業量を示し、一点鎖線は人間に可能な単位時間あたりの作業量を示す。この図では安全を3つのレベルで表現しており、1番上のバーグラフは各レベルの凡例で、横縞のハッチ部分がレベル1の安全を確保するために必要な作業量、斜め十字のハッチ部分がレベル2の安全に対応した作業量、十字のハッチ部分がレベル3の安全に対応した作業量を示す。ここで、安全のレベルを高速船の例で説明する。作業aを非常に輻輳している海域を支援情報無しで操船する作業、作業bを通常海域を支援情報無しで操船する作業、作業cは通常海域を支援情報を用いて操船する作業とする。

輻輳海域を支援情報無しで操船している作業aでは、レベル1の安全である自船の危険回避はできているが、相手船に脅威を与えるような避航操船をし

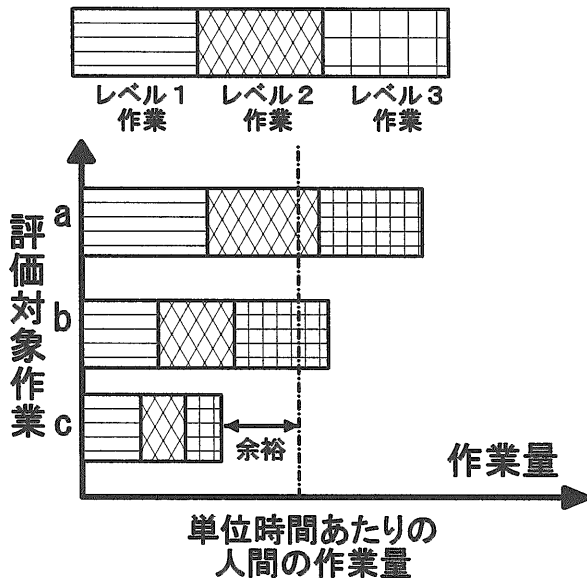


図 4: 安全のレベルと余裕

ている。作業 b はレベル 2 の安全である周囲の船に対する配慮はできているが、支援情報に基づいて前もって衝突の危険を回避するといった大局的な判断はできていない状況である。また、作業 c は大局的な判断ができ、なおかつ作業量の余裕をもっている状態である。従って、求められる安全性がレベル 3 の作業ができることであれば、作業 c の状況になることが求められる。また、全体の作業量は航行環境が困難な場合には増え、支援内容が充実すれば減ることとなるので、この余裕の評価法で航行環境の困難さや支援の効果を加味した余裕の評価ができる。

従って、熟練者が運転経験から取得する安全のレベルを定義し、主要作業がどのレベルで行われているかを示すことにより、実現できた安全レベルを尺度として余裕を評価できる。表 1 に、操船における安全レベルの概念を示す。

表 1: 安全レベル

レベル 1	作業に集中することによりその作業が実行可能。
レベル 2	不測の事態を考慮に入れた操船が可能。
レベル 3	危険を前広に予見でき、大局的な判断に基づいて回避可能。

実際の評価においては、ここで提案した安全のレベルの考え方を基に、運転のエキスパートと評価者が運転時の知識や経験及びシミュレータ実験等での運転体験を基に安全のレベルの定義を行い、評価対象の運転作業がどのレベルで行えたかを主観的に評価することによって運転時の余裕を評価する。この際、各安全レベルを担保するために必要な注意点等から物理量として指標値を求めることができる場合、その指標値は、評価対象作業がどのレベルにいるかを評価する上での有効な判断材料となる。

3.4 操船シミュレータの役割

従来操船支援システムの開発・評価はシステムの開発者主導で行われてきた。まず開発者は熟練船員からニーズを聞き、そのニーズを解釈し、自身の持っている技術と照らし合わせて新しい機能を仕様として固めて製品化してきた。しかし、開発者自身が操船に関する知識や経験を持っている場合は少なく、熟練者の言葉では表してはもらえない常識を含めたニーズを十分理解できないまま支援システムの開発が進められ、操船者に十分に受け入れられないケースが多々あった。特に新しい機能を用いて行われる主要な操船作業(以下、要素操船作業と呼ぶ)については操船の状況を開発者自身で観察・体験し、言外の常識も含めたニーズを自分で理解して取り込む事が重要である。実際、現実に開発者が操船状況の観察や体験をする機会は少なく、調査する機会があったとしても必要な全ての状況を短時間になおかつ主体的に観察・体験する事は難しい。操船シミュレータはこうしたシステム開発者と熟練船員とのコミュニケーションツールとして非常に有効で、必要な要素操船作業をシナリオとして取り込み、短時間かつ効果的にシステム開発者と熟練船員による現状の問題点及び開発する新機能に関する共通の理解が得られる。さらに、開発者と熟練者がシステムの可能性を違った立場から体験を基にプレーストリーミングする事によりさらなる新システムが創出される事が期待できる。

一方、従来の操船支援システムはあくまで操船の支援という立場で開発されており、支援システムを用いた作業に対する責任は使用者である操船者に任されていたため、機器自体の信頼性については検討されてきたものの、その支援システムを用いた作業についての安全性の評価がなされることは少なかつ

た。しかし、今後操船支援システムによる作業分担を進めていく場合、操船システムを用いた作業の安全性確保とその評価が重要となる。

安全性の評価においては、3.2項で述べた通り、各要素操船において、操船に必要な機能が揃っていること及び人間を含むシステムの機能維持及び機能低下時の対応が確認できることが必要な他、不測の事態への対応のための安全余裕の評価が必要になる。この安全余裕の評価は、熟練者の経験と支援システムを用いた操船作業の体験を比較し、その熟練者の安全感覚に基づいた主観的評価に頼るしかない。このため、安全性の評価においては、各要素操船について必要な機能の動作確認と余裕の評価を操船シミュレータまたは実船実験による作業体験から求める必要がある。

最終的な安全性評価は、プロトタイプとして実物ができたものを実船試験する必要があるが、仕様の段階での安全性評価では、操船シミュレータの利用が効率的と考えられる。しかし、操船シミュレータによる実験も、実船試験に比べて時間的拘束力もなく、多くの場合費用も少ないが、実験は実時間で行われるため、実験件数には限りがある。このため、問題点の抽出や対策案としての新機能の提案は、できるだけ机上での思考実験や人間の簡易モデルによるシミュレーションを用いて検討を事前に行い、実験に際しては、要素作業の問題点に対する各支援機能の寄与を確認することと、新たな代替案によるシステムのブラッシュアップをシミュレータ実験で検証できる実験計画を立てる必要がある。

4 一名当直用操船支援システムの開発とその評価

4.1 内航近代化船開発の概要

500総トンクラスの貨物船の一般的な乗組員数は、5-6人である。6名乗船の場合を例にとると、その構成は船長を含む航海士が3人、機関担当が2人(機関長、機関士)、司厨長1人である。航海当直は、航海士の3人が交代で1人で当直を行う。(例:4時間ずつ2直/1日)また、荷役は全員作業で、当直直後の者も含めて総出の作業である。このように全く余力のない少人数で運航が続くため、疲労が蓄積される事により、潜在的な事故発生確率は高くなると考えられる。特に、内航船の場合、寄港間隔が短く、離着岸・荷役作業が頻繁にあるため、疲労を残した

まま夜間当直をする場合もある。

また、海難事故の発生原因はその約8割がヒューマンエラーであると言われている。海難のヒューマンエラーとしては、見張り不十分、船位不確認、操船不適切、気象海象不注意、居眠り運航、機関取り扱い不良、積載不良、火気可燃物取り扱い不良等挙げられ、純粋な機器故障や不可抗力等を大きく上回る。

これらの遠因としては、1つは、長時間の一名当直の影響による注意力の低下や居眠りが挙げられる。表2は、当直人数と海難事故の発生割合を示している。一名当直で操船されている船舶の割合も関係するので一概にはいえないが、一名当直時に海難事故の3/4が起きており、一名当直時の当直者のヒューマンエラーや注意力の低下及び居眠りを起こさせないための支援及び、当直者のエラーを検知し、そのエラーに対して的確に対策を講じる事ができる支援システムが望まれる。

表2: 当直人数に対する海難事故の割合 [19]

当直人数	海難事故の割合
一名	74%
二名	17%
三名	7%

こうした状態に対処するためには、乗組員の増員が望ましいが、昨今の経営状態からは、さらなる乗組員の削減が迫られている状態で、現状維持がぎりぎりである。このため、航海関係に関しては、操船支援システムを用いた乗組員の作業負担の軽減が有力な解の1つと考えられる。

船舶技術研究所と全国内航タンカー海運組合は、慢性的な船員不足の状況での運航の安全性確保に対応するため、内航タンカーを対象とした近代化船の開発に関する共同研究を1993年から実施した。この研究は、少人数でも安全に運航でき、なおかつ若年労働者にとって魅力ある職場とするために行われた研究で、航海関係の他、機関関係、荷役関係、居住区の近代化について検討された。

本操船支援システムの開発とその評価もこの研究の一環として、当直業務を一名で十分に余裕を持ち、操作も容易にでき、当直者の作業軽減が図れる操船支援システムの開発[20]を目的として実施された。特に、開発・評価に際しては、積み荷の危険性を考慮して、社会からはより一層の安全性の向上が求め

られる事を認識し、安全性の確保を最優先の課題として、設計段階から乗船調査による実機の運用結果に基づく評価等も含めて検討を行った。

この操船支援システムの初号機は、広島県大崎上島の佐々木造船所で建造された共和産業海運(株)所有の「新ぶろばん丸」に実船搭載され、1997年の9月1日に竣工した。また、本操船支援システムを搭載した船は、現在まで3隻就航している。

4.1.1 開発・評価の概要

操船支援システムの開発評価は、図5に示す手順で行った。

開発にあたっては、まず最初に、内航船の航行における問題点の抽出とその問題を解決するために必要な対策案の検討を同時に行うため、輻輳した狭水道の航行及び沿岸海域における長時間の一名当直の状況を船舶技術研究所のシミュレータ [21] で再現し、それぞれの状況で、操船支援システムが当直者に提供すべき情報、支援機能及び要望事項をまとめた。

問題点の抽出については、事前に調査した問題点となりそうな事象をシナリオの中に取り込み、操船シミュレータ実験を通じてその影響と対策を検討すると共に、考慮されなかった操作上の問題点の洗い出しを行った。

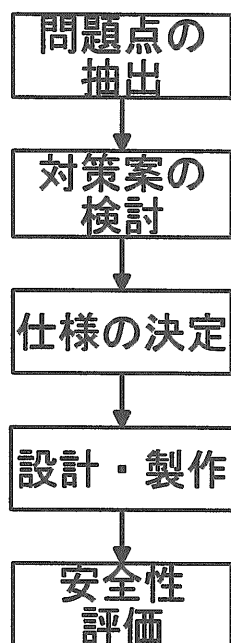


図 5: システムの開発手順

これら支援機能と要望事項に基づく仕様の検討にあたっては、必要と思われる支援機能を組み込んだ支援システムのプロトタイプを用いた一名当直の操船シミュレータ実験や現役船員のインタビューを行い、作業の流れとその際に必要な情報及び提供方法等作業分析を行い、要素機能としてのみではなく統合されたシステム機能として検討した。さらに仕様の検討に際しては、現在の技術レベルを被験者が認識した上で、役割分担を決定する事が重要であるので、作業をイメージして支援機能の仕様が十分であるかを、プロトタイプを使った操船作業を体験する事により確認した。

こうして得られた結果を基に、操船支援システムに関する要求仕様を作成した。

次に、この要求仕様に基づいて、操船支援システムの設計製作を行った。一名当直操船を前提としたシステムの設計及び製作において、当直者を含めた操船システムの安全性は重要である。特に一名当直の場合、当直者側に冗長性を持たせる事ができないので、操船支援システムと当直者が協調して、衝突の危険等の外乱及びヒューマンエラーを含むシステムエラーに対処する必要がある。また、運航の安全は社会的に許容される必要があるため、操船支援システムを設計する段階から安全目標を具体的に定め、これに従った評価を総合的に実施しながら開発を進めていく事とした。本システムの開発にあたっては、確保すべき安全の定義として、3.1項で示した以下の3件が守られる事とした [22]。

必要な機能の充足 一名での運航の安全を担保する機能が、当直体制と操船支援機器で構成されるシステムで備わっている。

システムの機能維持 一名で当直する間、システムの機能が、人間を含めて維持される。

機能低下時の対応 当直中に、人間を含むシステムの機能低下があった場合、それを検出でき、機能回復や代替手段等の方策が講じられる。

このため、まず具体的な設計に先立って、要求仕様に基づいた支援機能と定義した安全性を確保するための機能を組み込んだシステムの概念設計を行い、この後その概念設計に基づいて詳細設計及び製作を行った。

実際の機器開発は、この概念設計を基に航海機器メーカーを対象として行った設計コンペティションに

勝ち抜いた三菱重工業（株）が行った。

最後に実際に搭載された操船支援システムについて、乗船調査を実施し、その有効性と本システムを用いて実施された一名当直作業の安全性の評価を行った。

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

4.2.1 操船シミュレータによる検討

一名当直時の問題点を明らかにすると共に、その対策案である一名当直用操船支援システムの要求仕様を明らかにするために、一名当直作業を対象とした操船シミュレータ実験を実施した。操船シミュレータ実験は、3章で述べた安全に対する考え方を考慮して以下の順に行われた。

手順 1. 危険事象とその誘因及びその危険事象への対策としての操船支援機能を、熟練船員への事前調査やシミュレータによる体験を基に洗い出し、シナリオを作成する。

手順 2. 作成されたシナリオに基づいた操船シミュレータ実験を実施する。

手順 3. 操船シミュレータ実験とその後の被験者へのインタビューを通じて支援機能の効果を評価する。

手順 4. 当直者及び支援機器におき得る障害とその対策及び更に考慮すべき危険やその誘因を洗い出す。

手順 5. 1 から 4 までの手順を可能な限り繰り返し仕様を固める。

航海に係る危険事象としては、衝突と座礁が挙げられた。「海難審判の現況」[23]によると、衝突及び座礁事故の原因の8割が、見張り不十分であった。さらに、山崎氏による衝突事件の海難審判録の調査[24]では、見張り不十分となった理由として、当直中の雑作業 38.2%、居眠りを含む気の緩み 16.7%、他の船等に気を取られた 19.5%、死角で見えない 10.6% が挙げられていた。これらの調査結果と操船熟練者である被験者への事前のインタビューにより、事故の誘因として、居眠り、当直中の雑作業、見落とし、誤判断、機器故障の5点を選定した。これらの事故誘因への対策として、就労監視システム、

オートパイロット、電子海図、座礁及び衝突危険警報、ARPA(自動衝突予防装置)、自動ログ記録システム等が考えられ、これらの機能を可能な限り模擬した操船支援システムのプロトタイプを用いた操船シミュレータ実験を実施した。

具体的には、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。

4.2.2 長時間航行の操船シミュレータ実験

長時間航行の安全性を操船シミュレータを用いて検討し、長時間航行における当直体制、備えるべき支援機器の機能等、長時間航行の安全を担保するための方策について考察した [25]。

(1) 実験の概要 長時間の一名当直航行実験は、3,000 トンの内航タンカーを対象とし、長時間の一名当直に必要な支援機能や妥当な当直体制を検討するため、比較的出会う船や変針等操作の少ない状況で3時間の一名当直を行う形で実施した。

長時間航行の安全性評価は、3.3 項の考え方に基づき以下の条件を満足させるための条件について、検討を行った。

(1) 必要な機能の充足

(2) システムの機能維持

(3) 機能低下時の対応

(1) の操船システムの具備すべき機能については、航行の安全を阻害する外乱の検知 (遭遇する船や航路逸脱等の検知)、外乱の影響を避けるための判断 (避航判断等)、外乱の影響を避ける操作 (避航操作等) が、当直の間に適切な余裕を持って達成できる事で確認した。

(2) の機能維持については、機能維持に必要な支援機能を被験者の知見から抽出するため、居眠り等で問題となる刺激の少ない状況での長時間の一名当直作業を再現し、その条件を求めた。

(3) の機能低下時の対応については、実験の終了後インタビューを通じて (1) の機能をバックアップするための支援内容を抽出してまとめた。

シナリオ設定 長時間航行の操船シミュレータ実験を行うため、20km × 50km(約 11 マイル × 約 27

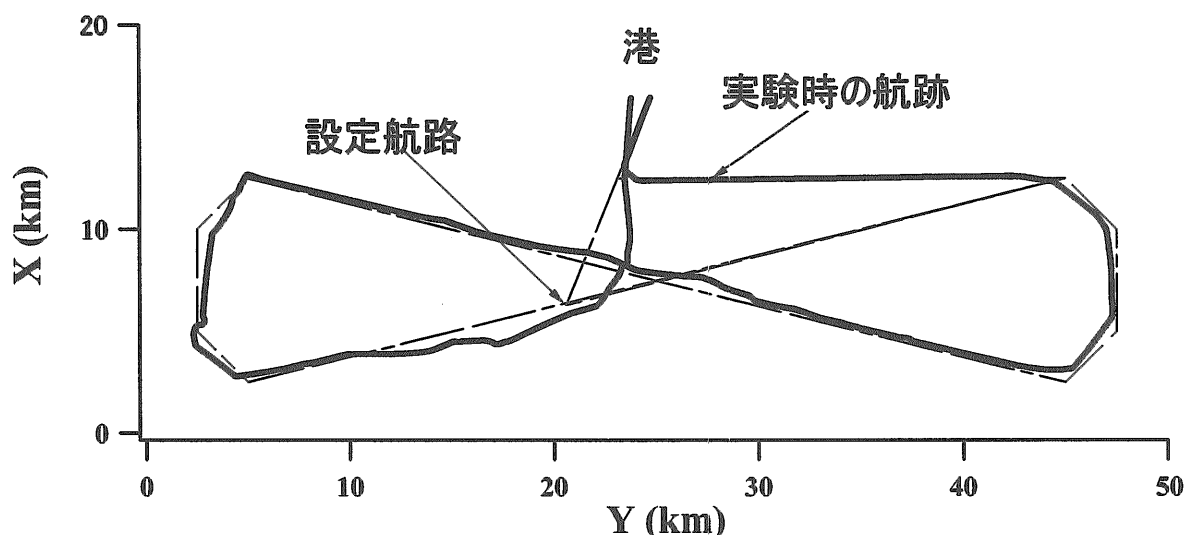


図 6: 長時間航行実験の航路設定と実験時の航跡

マイル)の海域に8の字航路を設定して実験を行った。図6に実験海域と設定された航路を示す。

実験時の支援機能としては、簡易電子海図機能、ARPA機能及び就労監視機能を模擬したものを使用し、操船モードとして、手動操船、オートパイロット及びトラックコントロールの3モードを用意し、当直者が適宜選択して用いる事とした。

また、航行の安全を阻害する外乱として、実験実施者が別室から任意に発生・操船できる貨物船を発生させて任意の見合い関係を作り、必要に応じて避航せざるを得ない状況を作った。この実験で得られた航跡を図6中の太線に示す。

実験の手順 長時間航行の操船シミュレータ実験は、次の手順で行った。

1日目に慣熟運転を行った後、2日目は昼間、3日目は夜間の状況での実験を行った。

当直は1人で3時間とし、前半の被験者は出港から次の当直引継までを、後半の被験者は当直引継から入港までを行った。

各被験者には、実験終了直後に疲労度のアンケート調査と、操船内容及び欲しい支援内容等についてのインタビューを実施した。

被験者は2人で、内航タンカーの経験が豊富な船長であった。

(2) 長時間航行の安全評価と支援策について 安全性確保のための3つの条件に対して、実験から得

られた当直体制及び支援機器についての検討結果について述べる。

(a) 航行の安全を担保する機能が当直体制と操船支援システムに備わっているか?

当直体制についての検討

作業量の検討:

通常海域を航行する際の当直作業は、直接的な操船作業の他に、海図への位置の記入等の間接的な操船作業がある。当直中にはさらに日誌の記帳のように航行と直接関係の無い雑作業がある。一名当直の際には、作業時間の不足や雑作業に気を取られたがために必要な操船作業を怠る事が問題になるので、当直中の雑作業及び間接的操船作業の一部の見直し、軽減、省略、廃止等の検討が必要である。

また、直接的な操船作業において、その占有時間の長さでは見張り作業が大きい、作業の集中度では判断作業が大きく、その両者の支援が長時間の一名当直の成否を左右するものと考えられる。さらに、一名当直の場合、当直者に期待されている見張り及び操船判断と操船操作を並行して行うのは困難であると思われる。

就労監視:

一名当直体制で考慮しなければならない事に当直者の不在や居眠りがある。いずれも就労監視システムの導入等で検出可能であるが、この検出技術の他当直者が機能していない場合に機械側がどのように対処するかをあらかじめ検討し、システムに組み入れるべきである。例えば被験者の一人の提案である

「警報無視の時には、船速を下げてゆく。」などの対処案の安全性を検討し評価する必要がある。

支援機能の検討

自動制御機能：

実験で使用したオートパイロット機能とトラックコントロール機能は十分にコース保持性能を発揮した。他船接近警報やトラックコントロールの変針点接近警報は、操船支援システムに組み込んであり、十分有効である事が確認できた。また現在普及している航海機器に備わっている自動制御系及び警報等のしきい値による判断系の機能も、当直者の航行上の危険を含むイベントの検出作業と操作作業を軽減したとの評価であった。

ヒューマン・マシン・インタフェースの検討

表示・操作系：

計器類の表示はデジタルよりもアナログの方が直感的であり、疲れないと評価された。特に CRT 上のデジタル表示は字が小さい、ちらつく、必要な情報の場所が分かり難い等の理由で歓迎されなかった。また CRT を使用する場合は、画面を一瞥して必要な情報を入手するための画面構成の工夫が必要である。

操作支援はオートパイロットとトラックコントロールで機能的にはほぼ十分と考えるが、トラックコントロールの操作方法はまだ標準的なものがないため、一名当直に適した方式を検討する必要がある。

一方、本実験で使用した支援機器でその機器とのインタラクションで時間的に間に合わない状況はなかった。なお ARPA 等判断支援機器の情報表示更新速度は早すぎない事が重要である。これは CRT 上の表示情報を基に判断作業を行うためには、ある程度の間表示が更新しない事が必要なためである。

必要機能についてのまとめ

通常海域の航行ならば、実験に使用した程度の機能によって、短時間であれば、一名当直体制で航行安全は確保できる事がわかった。さらに、以下の支援をする事により、疲労も少なく、長時間の一名当直が可能である事がわかった。

危険を含むイベントの検出作業の自動化

トラックコントロール機能

避航判断支援機能

当直員不在の対策

(b) 一当直の間に航行の安全を担保する機能が維持されるか？

人間側の機能低下

実験後のインタビューから、両被験者共 3 時間の一名当直中に、情報収集、状況認識、操船判断、操船指令の各能力が鈍くなってきたとは感じていないと申告していた。実験者側からの観察でも、疲労はあるが判断機能は落ちていないと判定できた。これに加えて、急病や居眠りで就労監視機能からの警報に反応しない時の対策が十分に講じてあるならば、長時間の当直による疲労の影響は少ないと考えられる。

機械側の機能低下

機器の故障等による機能低下は、人間に比べて少ないとは言え、完全に防ぐ事は困難である。このため、人間の場合と同様、(c) 項で述べる故障の検出とその対策の確立が重要となる。

人間機械系の機能低下

長時間の航行による意識低下や慣れや思い込みによる過誤(うっかり)、強い刺激による注意の乗っ取り、短絡的行動等のヒューマンエラーは実験においては見られなかったが、これらの誤りの発生は確率的にあると考えねばならない。これらのヒューマンエラーの検出は一般に難しい。この対策は、

- 1) 航海機器の表示、操作方法を誤り難くする。
- 2) 誤りの結果として出てくる現象を検知し、誤りを訂正する。

の二つが主となる。

機能維持についてのまとめ

機械側の機能維持については検討していないが、現状の航海機器が有している信頼性が有るならば、故障時の対策を合理的に立てる事で航行の安全は保てる。人間側の機能維持については、3 時間の一名当直における疲労の影響は従来の 2 名当直時の状況と比較して小さくなく問題ないと考えられるが、さらに支援機器または当直者不具合の時の支援体制を組んでであれば、通常海域の一名当直の機能は十分維持できると評価できた。

(c) 機能低下が検出でき、機能の回復手段を講じる事ができるか？

人間側機能低下時の対応

人間側機能の低下の検出は、次の三つの場合を考えねばならない。