

フェールセーフとしての衝突座礁回避システムの研究

システム技術部 * 福戸 淳司、桐谷 伸夫、
有村 信夫、沼野 正義

1. はじめに

今日に至るまで、継続した予防策が講じられているにも関わらず海難事故件数は思うように減少していない。図1は、海上保安庁が関与した要救助海難件数の平成4年度から平成11年度までの推移である。海難件数は毎年ほぼ一定の値で推移しており、特に高い発生頻度を占める乗り揚げ、衝突事故への予防対策が求められる。こうした海難発生時には1名当直の割合が多く、少人数運航に対する適切な操船支援対策が必要である。

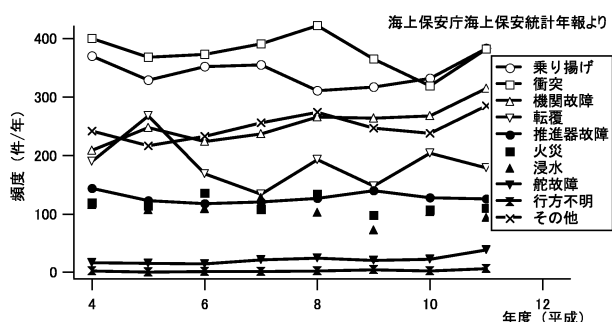


図1: 海難の発生件数

一方、急速に進歩した情報通信 (IT) 技術及び地図情報を代表とするデータベースを利用した、交通体系の改革が陸上交通を中心に急速に進められており、カーナビゲーションシステムの普及、道路を中心とした情報インフラの整備、先進安全自動車の開発が進められている。今後、海上交通・物流においても、IT 技術を応用した安全性と輸送効率の向上は不可欠であり、IT 技術を利用した安全性の向上に関する研究は運輸技術審議会からの答申第 26 号「21 世紀初頭の交通技術開発の基本的方向について -[IT 革命時代の交通技術開発]-」¹⁾で、その必要性が強調されている。

海上技術安全研究所では、IT 技術を利用して、同答申で述べられている「海の ITS (海上交通のインテリジェント化)」における船載型支援システムの部分にあたる、少人数での操船に対応した衝突・座礁回避システムの開発を行う。

2. 海上で利用できる情報の現状と将来

本研究を進めるにあたり、まず操船作業と支援情報の関係を概説し、今後海上において操船に利用可能な情報の調査を行い、システムの開発指針とした。

2.1 航海における作業の流れと支援の内容

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、

- (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

の各作業の階層的なループとして表現できる。

航海当直作業では、変化するまわりの状況に対して行動判断結果や操船指令内容の妥当性を確認するべく状況認識が継続して行われ、認識結果に変化が生じた場合行動判断を行い、さらに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、行動判断、及び操作指令といった作業が渾然一体となっていて行われている。しかし、少数の当直者で多くの遭遇船に対処するためには、これらの作業の一部を機械に分担させる必要がある。特に、従来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及び高齢化により、熟練船員の確保が望めなくなりつつある。

状況認識作業は、情報収集とそれに基づく状況の認知に分けられる。

操船に関わる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も目視が最重要視されており、多くの労力が費やされている。今後有効な支援システムが実現した場合にも、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であろう。

一方、近年航海計器の性能は向上しており、DGPSと電子海図による船位決定等は機械が分担できるまでになっている。少人数での運航を仮定するとこうした情報を支援システムで利用するためには、情報の電子化と自動取り込みが必要不可欠である。

行動判断は、認識された状況と当直者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、現状の操船が安全上問題無いと判断された場合その操船が継続されるが、危険があると判断された場合その危険を回避する行動が採られる。この判断に際しては、他船の状況や航行環境及び計画航路からのずれ等自船の状態を基に総合的に判断される。

こうした情報は、当直者が目視と航海計器から断片的に読み取り、統合して用いられる。従来この作業は当直者間で分担して行われてきたが、今後は計算機をベースとした支援システムでの情報支援が望まれる。

操船指令は、行動判断結果に沿って自船を誘導する作業である。船舶の誘導は、その運動の時定数の大きさや潮流等外乱影響への対応等熟練を要すると共に継続的に注意を払う必要がある。近年、位置・方位センサや制御技術の向上の結果、誘導の自動化は実用化の段階²⁾に入った。この利用により、当直者は誘導作業のための資源を他の作業に振り分ける事が可能となる。

さらに、衝突や乗り揚げ事故のほとんどは、初認の遅れや動向判断誤り等ヒューマンエラーに起因するものが多い。航行安全の確保のためには、当直者に求められる状況認識と行動判断のための支援の他、当直者が誤った行動をとった場合においても必要な安全を確保する手段の検討が重要になる。

2.2 海上において操船に利用可能な情報の調査

船舶が安全かつ効率的に運航するためには、関係する情報を的確に収集し、分かり易い形に加工して操船者に適時に提供されなければならない。操船作業で当直者が取り扱う情報は、船速等の自船情報、相對運動の状況を表す他船情報、陸上支援施設からくる海域情報及び自然環境情報が挙げられる。

ここでは、各情報について、情報の収集表示に

用いられる航海機器及び電子化されたデータの支援システムへの自動入力可否について、現状と今後の動向を概説する。

自船情報

表1に自船状態量毎の代表的な航行支援機器と情報の自動収集可否を示す。表から分かる通り、全ての状態量はその初期設定さえしておけば、電子化された情報として支援システムに自動的に出力可能である。

状態量	航海機器	自動収集
船位	衛星又は電波航法装置	○
針路	コンパス	○
移動方向	衛星又は電波航法装置	○
速力	船速計	○
	衛星又は電波航法装置	○
旋回速度	コンパス	○
舵角	舵角表示器	○
推進関係	プロペラ回転数	○
	ピッチ角表示器	○

表 1: 自船の航行状態に関する情報

他船情報

他船情報は、衝突の危険船検出と避航操船における判断材料となる。表2は各他船状態量に対応する航海機器と支援システムへの自動出力可否を示している。レーダ/ARPAでの電子情報の自動出力は、可能ではあるが問題点が多い。

従来他船情報は、レーダから得ていた。但し、こうした情報は電子化されておらず、支援システムに用いるにはレーダの付加機能であるARPA機能（衝突予防援助装置）による電子化が必要であった。しかし、ARPA機能からの情報は、得られた値の時間遅れが大きい他、ターゲット船の捕捉・解除等手動操作が必要になるため、その利用が期待される輻輳海域において活用されなかった。

しかし、電子化された他船情報は支援システムには必要不可欠であり、自動的に高精度の情報として支援システムに入力できることが望まれる。こうした意味では、2002年7月から運用が開始される船舶自動識別装置（AIS）は、他船情報を自動的にリアルタイムでより正確な値として供給で

状 態 量	航海機器	自動収集
船 位	RADAR/ARPA	
	船舶自動識別装置 (AIS)	○*
針 路	船舶自動識別装置 (AIS)	○*
移動方向	RADAR/ARPA	
	船舶自動識別装置 (AIS)	○*
速 力	RADAR/ARPA	
	船舶自動識別装置 (AIS)	○*
旋回速度	RADAR/ARPA	
	船舶自動識別装置 (AIS)	○*

○：電子情報として得られるが、手動操作が必要
 ○*：今後つかえるようになる技術

表 2: 他船の航行状態に関する情報

き、操船支援システムへの入力情報として有望である。

その他の情報

現在、海域情報は、無線等を通じて海上交通センターやGMDSSから得られる。これらの情報処理は当直者が担当しているが、情報の電子化と情報処理の自動化による当直者の負担軽減が望まれており、そうした努力が進められている。

自然環境情報についても、従来のラジオ放送による天気図の作成作業は徐々になくなり、船舶電話等を用いて、気象予報サービス会社から高精度な予報情報をFAXや電子化されたデータで直接得られるようになった。

海図情報は海上保安庁により整備され、紙海図として広く利用されてきたが、最近では海図情報の電子化が進み、電子海図として整備されており、測位センサを基に船位決定とその情報をグラフィカルに表示する電子海図表示システム（ECDIS）が普及しつつある。

また、情報機器の接続についてはRS-422等シリアル回線による1対1での接続が主流であるが、今後は船内LAN等の利用により情報の統合を考慮に入れた形態の普及が進むと思われる。

3. 研究の概要

本研究は、海上において利用可能な情報の調査結果及び内航タンカーの航海支援システムの開発
 2) 時の経験を踏まえて、

(1) 他船情報の自動収集機能、

(2) 危険判断及び避航操船の支援機能、

(3) 人間の操作が間に合わない場合の自動危険回避機能（フェールセーフ機能）、

の3要素機能で構成される衝突座礁回避システムを開発する。本システムの、概念図を図2に示す。

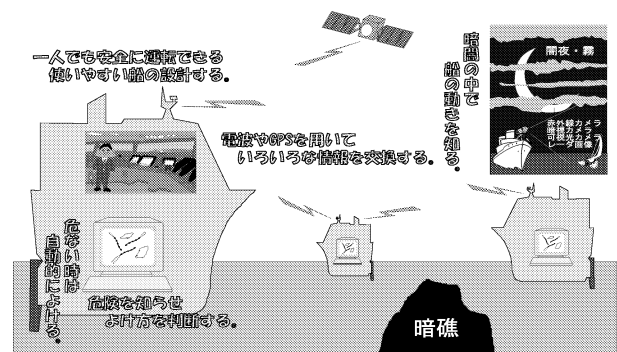


図 2: 海の ITS のイメージ図

他船情報の自動収集機能は、従来自動的には得られなかった他船情報を AIS 及び複数センサの画像処理により検出・追跡するシステムとして構築を行う。これにより、夜間や霧等の状況においてもある程度対応できる他船情報の自動収集が可能となり、衝突・座礁回避システムの目となる。

危険判断及び避航操船の支援では、AIS や画像処理から得られた他船情報と船位等自船情報さらには電子海図情報を組み合わせて、衝突・座礁の危険を評価し、当直者の操船判断および操船指令を支援する。また、AIS の船舶間通信機能を利用して、避航操船時の操船に関する意志疎通を実現し、複数船の協調による衝突回避支援を実現する手法の開発を行う。これにより、危険回避のための操船の安全性向上が期待できる。

自動危険回避機能では、当直者である人間が判断を誤ったり、行動が遅れたりした場合でも、自船の操縦性能や他船の状況を考慮して、必要最小限の回避行動を自動的に行い、ヒューマンエラーによる事故の防止を図る機能の開発を行う。

最後に、本研究で開発した衝突・座礁回避システムの有効性を実船実験により評価検証する。

現在、5 年計画の 2 年目にあたり、前述の海上で利用可能な操船に関わる情報の調査及び他船情報の自動収集システムの構築を行ったので、以下その進捗状況を報告する。

4. 他船情報の自動収集システムの構築

他船情報の自動収集システムは、従来の ARPA 情報に AIS を利用したシステムと複数センサの画像処理によるシステムを組み合わせる構成とする。

AIS については、他船との情報の授受に関する基本的な機能は確立しているが、まだその運用法や操船者とのインターフェースについては固まっていない。このため、まず AIS の基本機能の把握と AIS 情報の表示機能のプロトタイプを作成を行った。また、これらのシステムの有効性及び操作性を評価するテストベッドとして、当所操船シミュレータに接続するための通信プログラム等の整備を行った。

AIS は規則上総トン数 500t 以上の船にしか義務付けられないため、それ以下の船に関する情報は AIS から得られない。そこで、赤外線等複数のセンサの画像及びレーダ画像を連続処理して他船を検出する技術の検討を行い、およそ 1 マイル以内の近距離の小型船の情報を自動収集するシステムの構築を行う。

4.1 AIS を利用した他船情報の自動収集システムの構築

AIS の基本機能を把握するため、各種文献からその性能や通信プロトコル等の調査を行った。当初の予定では、AIS の実海域実験も予定されていたが、諸事情により現在まで延期されているが、平成 13 年度中には実施する予定である。

また、この調査結果を用いて、システムの開発ベースとなる操船シミュレータと支援システム及び実証試験の対象船である東京商船大学汐路丸との LAN を用いた通信システムの構築も開始し、現在までに、操船シミュレータにおいて海域を航行中の船舶の AIS の信号を発生し、LAN 上に接続されたシステムに配信する機能を実現した。

一方、AIS 情報の表示については、他船情報の各種表示法の有効性を評価するため、電子海図上への表示と 3 次元景観画像表示の 2 種類の表示プログラムを作成した。

他船情報表示の評価用プログラム 支援システム上での AIS を含む他船情報の表示法を検討するため、表示シンボル（形、色、大きさ）及び文字情報の表示をカスタマイズして他船情報を表示する

プログラムの作成を行った。図 3 にその表示例を示す。これにより、交通環境下での他船情報の有効な表示法の検討を行い、従来からある ARPA や AIS 等各種情報ソースからの他船情報表示法の評価を行う。

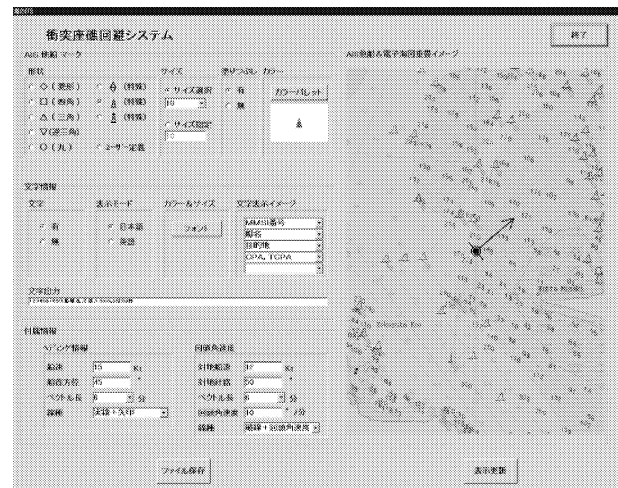


図 3: AIS 情報表示画像

AIS 用景観システムの作成 AIS から得た他船情報を基に、船橋からの簡易 3D 景観表示をパソコン上に表示するプログラムを作成した。図 4 に表示例を示す。これにより、AIS 情報の 3D 景観表示の



図 4: AIS 情報の 3D 表示画像

有効性を評価する。具体的には、AIS から RS422 ポートを通じて出力される AIS 情報を受信し、その情報を基に自船からの景観を表示する。AIS 情報の 3D 景観表示により、AIS を持っている船と

そうでない船の識別や詳細情報の把握が容易に出来ると期待できる。現在本プログラムは、AIS と直接接続することを仮定して通信に RS422 ポートを使用しているが、今後シミュレータ等との接続も考慮して、LAN 入力にも対応できるよう拡張する予定である。

4.2 画像センサによる海上監視システム

船舶搭載用画像センサシステムの基本要件としては、昼夜や気象条件などに影響されことなく他船の検出ができることが求められる。特に、船舶にとって最も監視が困難となる夜間において可視光画像センサは用をなさない。そこで夜間観測に対応するセンサとして、暗視画像センサと赤外線画像センサの使用を検討した。暗視画像センサは、星明かりのような低照度の条件下で使用可能であり、可視光域から近赤外域の感度を持つ。また、この近赤外域の感度を利用し人の目に影響しない赤外線投光器を併用する事により、光の無い環境下での観測も可能となる。一方、赤外線画像センサは対象物の熱放射を捉えるもので、大気透過性に優れていることから、気象条件の影響を受けることが少ない。従って、これらの画像センサを併用すれば、対象物をその形状と熱特性の両面から観測することが可能となる。

暗視画像センサと赤外線画像センサによって観測された海上画像例を図 5 及び図 6 に示す。観測地点は東京湾口走水で、目視での観測は困難だった 17 時半過ぎの画像である。図より明らかなように、暗視画像センサと赤外線画像センサの特性の最も大きな差異は灯火に対する感度にある。暗視画像センサは灯火に対して非常に強い感度を示し、小さな灯火に対しては増感効果により、その存在がより明確になっている。一方、赤外線画像センサでは浦賀航路を南下する船舶の船体高温部を鋭敏に捉えており、真闇の条件での有効性が確認できた。

それぞれの画像中央左付近に捉えた小型のヨットは、目視やレーダによる認識が困難な船と考えられるが、それぞれの画像センサがその特長を生かし、形状や灯火等の対象の特徴を捉えられており、個々の画像センサが持つ機能上の得失を的確に認識して複数の画像センサからなる監視システムを構築し、各センサからの連続画像をリアルタ

イムで画像処理を施すことが実現されるならば、海上監視のための新たな手段として有用と考えられる。



図 5: 小型ヨットの暗視画像



図 6: 小型ヨットの赤外線画像

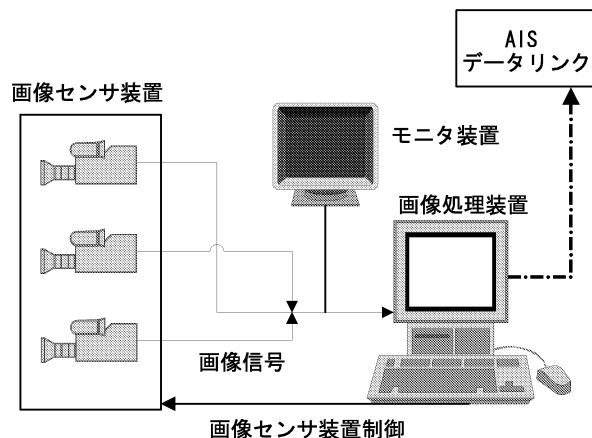


図 7: 画像センサシステムの概念図

上記検討を基に設計された画像センサシステムの概念を図7に示す。採用する画像センサとしては、可視光、暗視及び赤外線ビデオカメラの3機複合が現実的な選択と考えられる。また、船体動揺に対応するためと広範囲に海上を監視するため、外部から制御できる機能を持つ画像センサシステムの姿勢制御装置が必要である。これにより、船体動揺に対する姿勢保持機能のみならず、広範囲な目標物を追跡して注視でき、多くの他船情報の収集が可能となる。

図8には、画像収集システムを示めす。画像センサは暗視ビデオカメラ（上段）と赤外線ビデオカメラ（下段）の縦2段に構成されており、この2つのセンサが外部制御可能な電動雲台装置により保持されている。今後これに可視光を付け加えてケーシングを行うと共に、画像処理・制御用コンピュータを接続して画像処理機能と姿勢制御機能を実現し、得られた他船情報を出力する機能を順次構築する。

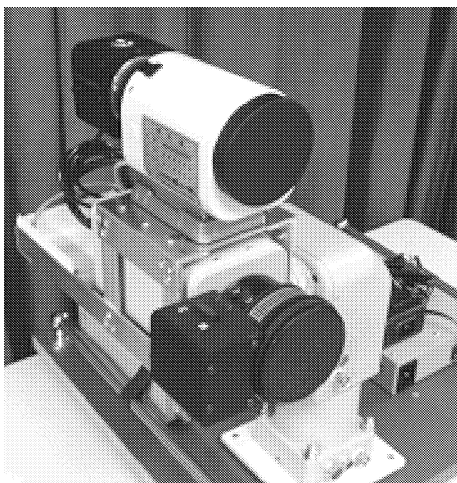


図 8: 画像収集システム

5. まとめ

本研究は、操船に用いられる情報に関する現状と今後の動向調査を行った。その結果、以下のことが分かった。

1) 航海情報は、ほぼ全て電子化が可能であり支援装置の入力情報として利用できる。しかし、データの自動取得については、他船情報の取得に人手が掛かるため、自動収集機能が必要になる。

2) AIS の導入により、搭載が義務付けされる

500t 以上の船については他船情報の自動取り込みが可能となる他、船船間及び船陸間でのデータリンクが確立される。このため、今まで不可能であった1対1の通信が可能となり、安全性向上のための新しい操船法の可能性が確認できた。

3) AIS 等有効な情報発信手段を有しない小型船等への対応が重要であり、こうした船に関する情報を、船上あるいは陸上から収集し、各船の操船支援システムに提供できる機能の構築が重要である。

そこで、他船情報を自動的に収集するシステムの構築するため、AIS 及び複数センサの連続画像処理を併用したシステムを構築することとし、それぞれの要素技術の検討を行った。

AIS を用いたシステムについては、その性能に関する調査を行った他、AIS 情報表示プログラムの試作を行った。また、操船シミュレータとの通信機能の構築を行い、衝突座礁回避システムの開発評価環境の整備を行った。

複数の画像センサによる海上監視システムの検討では、可視光、暗視及び赤外線 of 3 種の画像センサを組み合わせた海上監視システムを構築した。

今後は、研究計画に従い、操船シミュレータ上での AIS 情報利用に関する評価実験を行う。また、平成 13 年度中旬に AIS の実海域実験を実施し、AIS 情報の精度やリアルタイム性といった質及び利用形態の評価を行う。画像処理を利用したシステムについては、本システムで得られた画像情報とレーダ画像情報から他船情報をリアルタイムに抽出するアルゴリズムの検討・作成を行う。また、これと並行して、船体動揺に対応した姿勢制御機能を実現し、海上での環境に対応した海上監視システムの構築を実施する。

参考文献

- 1) 運輸技術審議会. 21 世紀初頭の交通技術開発の基本的方向について -[IT 革命時代の交通技術開発]- (答申第 26 号), 2000.
- 2) 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.