

航行支援機器によるリスク低減の研究動向

福戸 淳司

Trend of the Research on the Reduction of Navigational Risks by Applying Navigation Support Systems

by

Junji FUKUTO

1. まえがき

日本における輸送量の半分を占める海上輸送の安全性を確保することは、重要である。特に、近年の船舶の大型化に伴い、1度の事故の影響は大きく、今まで以上に航行の安全確保が求められている。

一方、航海の安全確保に尽力してこられた熟練船員の減少が深刻化している現状では、今後の安全な海上輸送の確保に重大な影響を及ぼしつつあり、良質な船員確保と適切な支援による航行安全性確保のための施策が求められている。

こうした状況の中、海上技術安全研究所では、過去の実例の解析や船舶自動識別装置（AIS）を中心とする新しい航海支援システムの応用研究を通して、現実的な海難事故防止策の検討を行ってきた。

本報告では、海難の現状と問題点について、その解析結果を紹介すると共に、各問題点に対応した対応策の検討状況について報告する。

2. 海難事故の現状

海上保安庁の海上保安統計年報における要救助海難は、衝突、乗揚げ、機関故障、火災等11の項目に分けられるが、航海支援システムに関わる海難は、衝突・乗揚げである。図1は、要救助海難統計での各項目の10年間のトレンドと、内航船舶隻数の推移を示す。

衝突及び乗揚げについては、多少のこぼれはあるものの衝突については、ほぼ年間400件、乗揚げについては、ほぼ年間350件の発生となっており、ほぼ横ばいといえる。一方、船舶数は10年前に比べて減っているといわれている。図1に示したのは、内航船舶の船舶数の推移で海域にある全ての船舶については、この結果を見ても、約8000隻から約6000隻に25%減少している。

これは、船舶数が減っているにもかかわらず海難数が減っておらず、船舶あたりの海難事故遭遇確率は上がっていると考えられ、事故にあわないための総合的な安全対策の構築が求められる。

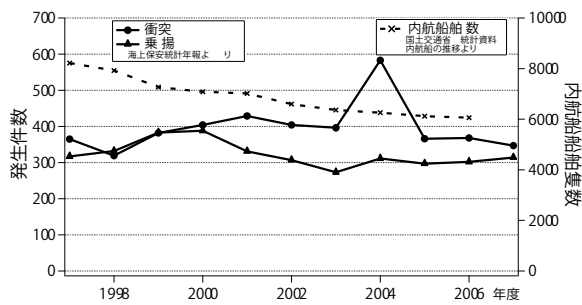


図1 海難事故と内航船隻数の推移

3. 具体的な安全対策の検討¹⁾

図2に、当直作業の流れと事故に至る経緯についてのフローチャートを示す。

船橋当直時、操船者は「見張り」作業によって、(1)自船周囲の他船と障害物を発見し、(2)発見した他船の動静を把握することで衝突のおそれの有無を判断し、(3)衝突のおそれがあると判断した場合には衝突回避のための操船方法を決定し、(4)決定した回避操船を実行することで、衝突を回避する。そして、このそれぞれの段階で失敗すると事故への経路をたどることとなるが、通常はたとえ誤った経路を取ったとしても途中で気づき、リカバリーして事故は防げる。しかし、誤りが連続したり、最後までリカバリーできなかった場合、誤りの連鎖の結果として事故が起こる。このため、海難事故の防止対策としては、この各段階で、誤りを起こし難くする事と誤りを検出してリカバリーを促す事が必要である。

そこで、実際の海難事故の要因となる過誤がどの段階で発生し、何が問題であったかを検討するため、海上技術安全研究所が所有する海難審判庁 海難審判採決録データベースから、2001年の1年間に起きた衝突324件、乗揚げ136件を抽出して要因解析を行った。この要因解析では、当直作業の過程を想定して、衝突及び乗揚げについて以下に示す4つの海難パターンを設定し、操船の熟練者が、事故内容の記述から当該海難の当該船舶の状況が各海難パターンにあたるかどうかを判断しこれを加算する形で集計を行った。

衝突海難：

- ①見張り作業が実施されなかった海難パターン
- ②他船の発見がなされなかった海難パターン
- ③他船の継続監視が実施されなかった海難パターン
- ④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン

乗揚げ海難：

- ①見張り作業が実施されなかった海難パターン

②船位の把握ができていなかった海難パターン (船位不確認)

③環境の把握ができていなかった海難パターン

④他船の影響による海難パターン

なお、図2では4つの作業過程が1つのフローとして示されているが、実際の当直では各作業過程が繰り返し行われる。このため、今回の分析において各作業過程は独立して発生するものとし、解析時にも1隻の船舶に対して複数の海難パターンが割り当てられる事として解析を行った。

3.1 衝突海難防止に有効な支援

図3に衝突海難における海難パターンの適合件数とプレジャーボート、漁船、商船及びその総計との関係を示す。この結果から、「見張り作業が行われていなかった。」あるいは、「他船が発見できなかった。」という要因が、それぞれ45%、24%という大きな割合を占めていることがわかる。特に、漁船が見張りをしていなかった場合が、28%を占めており、これらの船に見張りの励行を促す支援をすると共に、他船の発見を促す見張り支援が、

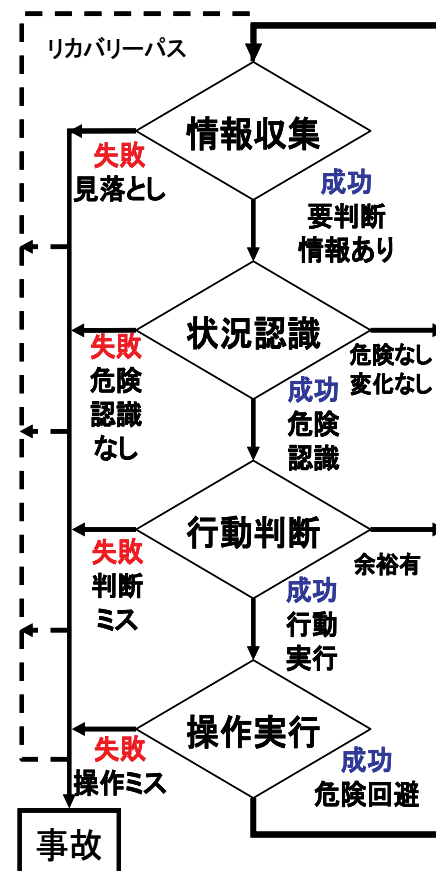


図2 当直作業の流れと事故に至る経緯

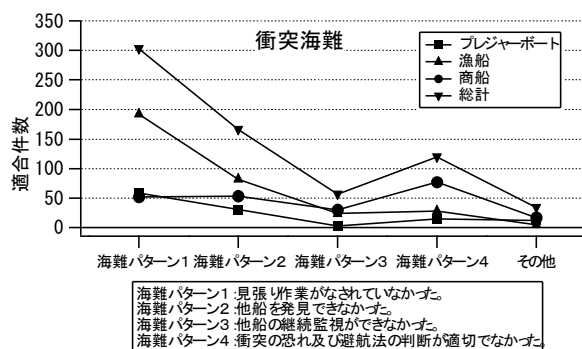


図3 衝突における海難パターン

衝突海難低減に有効であることがわかる。また、商船においては、衝突の恐れ及び避航法の判断の誤りが、他に比べて突出していた。

見張りをしていなかった理由としては、「他の作業をしていた。」及び「漫然と見張りをしていた。」という理由が多かった。他船を発見できなかった理由としては、「死角に入ったあるいは相手船の灯火が見え難かった」等の物理的な問題と、「第3船に注意が行った」等の注意の配分の問題に分かれた。継続監視ができなかった理由としては、「漫然とした見張り」と「第三船に注意が行った。」が挙げられた。最後の衝突の恐れ及び避航法の判断の誤りの理由としては、「操船者の技量不足」と「相手船の行動の憶断」が挙げられた。

現在まで、操船の自動化の研究等で避航操船支援についてはある程度研究が進められ成果も上げているが、これを操船者が利用できるところまではいたっていないのが現状である。このため、今後の支援の検討方向としては、上述した理由を考慮して、(1)衝突の危険のある船舶の存在に対する気付きを与えるための他船情報の自動取得およびこれに基づいた警報機能、(2)他船の動向を確実に認識するための航海情報の統合表示機能、(3)他船の動向を確認するための船舶間の通信機能及び(4)陸上からの支援情報の提供それぞれの充実が必要と考える。

3.2 乗揚げ海難防止に有効な支援

図4に乗揚げ海難における海難パターンの適合件数と各船種の関係を示す。

海難パターンとしては、「見張りをしていなかった。」が48%と最も多く、続いて「船位把握ができなかった。」が26%、及び、「環境把握ができなかった。」が23%と、ほぼ同数であった。船種別に見ると漁船において、他の作業に従事していたことにより見張りをしていなかった割合が多く、見張りを促すと共に、乗揚げの危険性に対する気付きを与える支援が必要であることがわかる。また、プレジャーボートは、船位の確認不足や環境の把握不足が相対

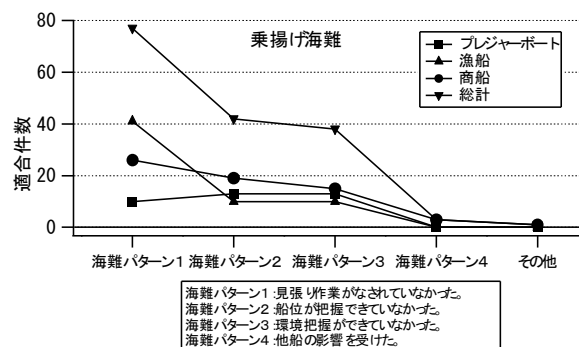


図4 乗揚げにおける海難パターン

的に高く、航海技術に関する教育の促進と座礁の危険を気付かせる警報機能が有効であるとわかる。

現在、GPSの普及と電子海図データのエリア拡大により、乗揚げに関する警報の提供は、電子海図情報表示装置(ECDIS)等では可能となっている他、比較的安価なノートPCとGPSの組み合わせでこのECDISと同じ情報を提供できる市販ソフトも存在する。さらに、潮汐の影響を加味した乗揚げ警報の発報も可能となっている。また、位置センサーであるGPSについても、GALILEO、GLONAS等他の測位衛星やe-Loranの併用による、健全性のチェック機能の確保等の検討がなされている。このため、こうした機能の低価格化や普及促進の検討は必要ではあるが、衝突防止に比べ研究要素は低いものと思われる。

4. 衝突海難の防止に関わる支援について

3章で述べたとおり、乗揚げ防止については、実用的なシステムの構築はできているので、現在は、衝突海難の防止を中心にその防止策の検討が進められている。

衝突海難の防止策としては、衝突の危険に対する警報機能、操船者に避航操船に関する環境情報を判り易く提供する統合情報表示機能、及び、遭遇船舶同士あるいは陸上施設からの通信による情報支援機能が挙げられる。以下、それぞれについての動向を、海上技術安全研究所の取り組みも含めて、報告する。

4.1 衝突危険警報

衝突の危険に応じた警報を発報するためには、自船及び遭遇船の動きを高精度で推定すると共に、衝突の危険の評価を行う必要がある。さらに、少人数での操船に対する支援時には、操船者への負担を軽減しなければならないという観点から、情報の取得は、自動化されることが望ましい。

従来、自船の行動については、各種測位装置を用いて数値的に得ることができたが、遭遇船舶については、レーダエコーの動きを基にして計算された ARPA 情報のみが情報源であった。さらに、この ARPA 情報を得るためには、操船者はデータが欲しい船舶のレーダエコーを手動で捕捉しなければならない。また、ARPA 機能付レーダは、大型で高価であったため、大型船でしか使用できなかった。

しかし、近年の情報通信技術の発展により、ARPA 機能付レーダの小型軽量化及び価格の低下が進み小型船でも利用し易くなった他、船舶自動識別装置 (AIS) の利用や、ビデオから取得できる景観画像の画像処理による他船情報の検出の可能性が出てきた。但し、この 3 つのセンサーはそれぞれ、ARPA は、捕捉及び解除の自動化ができていない。AIS は、AIS を持たない船舶の情報は得られない。ビデオ画像は、日照条件や背景の影響を受け易い等の問題を抱えており、自動化を進めるには、各々の性能向上を図る他、この 3 つの情報から精度の高い情報を求める技術の検討が求められている。また、小型船に対しては、他船のセンサーとして、比較的安価な Class B AIS や、AIS 受信機を用いたシステムの構築も考えられる。

一方、衝突の危険の評価には、従来、最接近距離 (CPA) 及び最接近時間 (TCPA) を基にしたアルゴリズムが使用されてきた。しかし、このアルゴリズムは、元来、大洋航行時を想定して考えられたもので、輻輳海域においては、例えば警報設定を調整したとしても、操船者の感覚に合わない警報が多発し、使用されないといったケースも出てきている。さらに、今後 AIS の普及に伴い、さらに多くの望まれない警報の発報が予想される。これに対応して、海上技術研究所では、東京海洋大学 今津教授と共同して、目標による妨害ゾーン (OZT) アルゴリズム²⁾の検討を行っている。図 5 に、OZT の概念図を示す。これは、図中左下が自船で自船右から横切り他船と遭遇した状況である。OZT アルゴリズムでは、まず、他船の推測航路上に、安全航過距離を半径とするリスク評価円を等間隔で設置する。次に、各評価円に向けて自船が変針して進行した場合に、評価円内に同時に両船が存在する確率を双方の運動から計算する。この確率が設定した存在確率の閾値を超えた評価円が、衝突の可能性が高い行動であることを意味する。存在確率が高い評価円を図のように灰色で表示すると、円群としてゾーンが設定できる。このゾーンを OZT と呼び、OZT のある方向に変針しなければ、衝突しない。また、この OZT までの距離が余裕 (衝突までの距離あるいはこれを船速で割った時間) を示しているので、自船が現在の行動を続けた時、船首方向の許容距離以内に存在確率の高い評価円が有った時

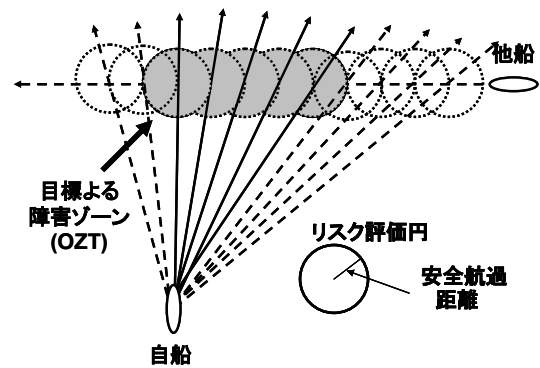


図 5 OZT の概念図

警報することにより、適切な警報が得られる。

また、このリスク評価円は、従来の CPA に比べ十分小さい値を設定することができ、船尾を通過する船や明らかに離れていっている船に対する不要な警報の発生を抑制できる。

さらに、実用性の高い警報装置の開発のためには、発報件数と衝突の危険度を考慮した適切な閾値設定や騒音環境でも判り易い警報表示の検討も必要である。これらについては、今後、プロトタイプによるシミュレータ実験や実海域実験を通じて検討をしていく予定である。

4.2 統合情報表示

従来から、避航操船判断は目視を中心に行われてきたが、先に示したとおり他船情報の高度化が進み、レーダあるいは電子海図といったディスプレイ上に、大量で多様な情報の表示が可能となった。しかし、多くの情報の中から注視している船舶に対応した情報を探し出し、これを基に周囲の交通環境を認識するのは熟練を要し、情報量が大きい場合は、認識過誤を引き起こす可能性が高くなる。また、こうした他船情報は、変針等行動変化への対応が遅く、近接時には目視による継続的な見張りが必要不可欠である。このため、特に比較的練度の低い船員の支援として、目視による見張りに対応した情報提供が考えられる。

また、衝突危険の有無や避航操船計画等の判断時にも、直接安全な操船法をイメージできる形で情報提供は少なく、熟練したスキルが必要であった。

こうした要求から、海上技術安全研究所では、目視による見張りを中心とした統合情報表示機能の開発を進めてきた。

1 つは、目視している景観画像に、水平面上を回転する半透過ディスプレイを利用して、他船を重ね表示する目視認識支援装置³⁾である。このシステムでは、重畳画面上に目視認識支援装置が向いている方向、他船のレーダエコー、ARPA シン



図6 目視認識装置の表示例

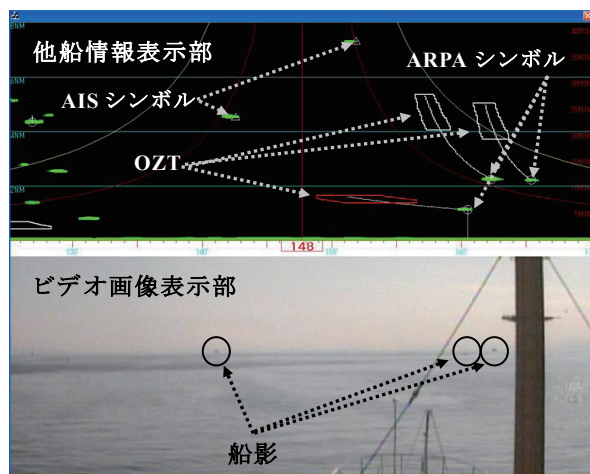


図7 INT-NAV の表示例

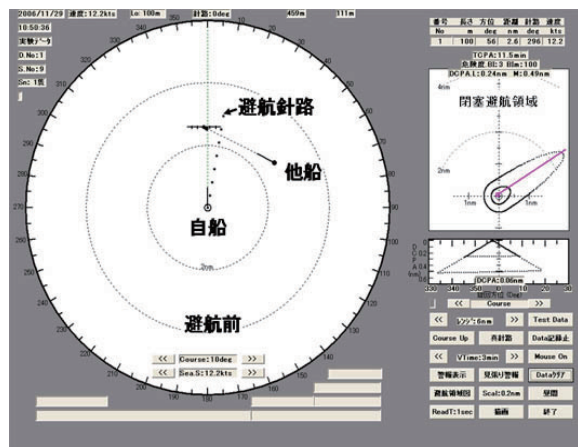


図8 衝突回避幅表示方式 ARPA の表示例

ボル、AIS シンボル及び CPA 等の文字情報を表示できる他、ARPA 捕捉等レーダ操作もできる機能を備えている。図6にその表示例を示す。これは、当所操船リスクシミュレータに設置して目視認識支援装置を動かしている様子で、正面左の LNG 船と衝突の危険があり、当該船舶の下に緑のレーダエコーと赤い ARPA シンボルがあり、船舶の上に ARPA 文字情報を表示している。これにより、相手船の動きを継続的に見張りながら、他船情報を対象船に対応付けて得ることができる。

もう1つには、景観画像をビデオで撮影し、これに対応した他船情報をビデオ画像の上に表示する INT-NAV(Integrated Navigational Information System on Seascape Image)⁴⁾が、挙げられる。図7に INT-NAV の表示例を示す。画面下部がビデオ画像となり、目視画像と同様の画像が表示される。画面上部は他船情報表示部となっており、縦軸が自船からの距離、横軸が自船針路を中心とした針路となる座標上に、レーダエコー、ARPA シンボル、AIS シンボル、ARPA 情報及び AIS 情報に基づき将来の運動を表す予定航路及び衝突の危険領域を示す OZT を表示したものである。この画像では、ビデオ画像の船影の直上にその船影の船に対応した情報が表示されるようになっており、見えている船舶の AIS あるいは ARPA 情報が得られているか？、その船が今後どのように動くか？、衝突の危険があるか？、衝突の危険がある場合は、どの位の余裕があるか？、さらに、危険を回避するためにはどの位変針すれば良いか？（OZT で表示されている赤いゾーンを避けるコースに変針すれば、衝突を回避できる）が、画面から読み取ることができる。さらに、AIS あるいは ARPA 情報が得られていない場合は、この画面上から ARPA 捕捉ができる他、他船情報がある場合は、シンボルをクリックすることにより、他船情報をポップアップウィンドウに表示することができる。これにより、遭遇他船の情報収集の負担低減、避航操船判断支援が実現できた。

さらに、避航操船判断支援としては、図8に示す衝突回避幅表示⁵⁾の検討も行われてきた。衝突回避幅表示では、自船及び他船の情報を基に最接近点と、画面右の傾いた楕円状の形状で表示されている閉塞避航領域を基にして、この領域内に入ることを回避するために必要な離隔距離を求め、この最接近点と離隔距離を回避幅としてレーダ画面上に表示するもので、OZT 同様この回避幅を避けるように変針することにより、衝突を回避することができる。

以上紹介した各支援機能の船舶への搭載により、他船情報の認識・理解が促進されると共に、避航

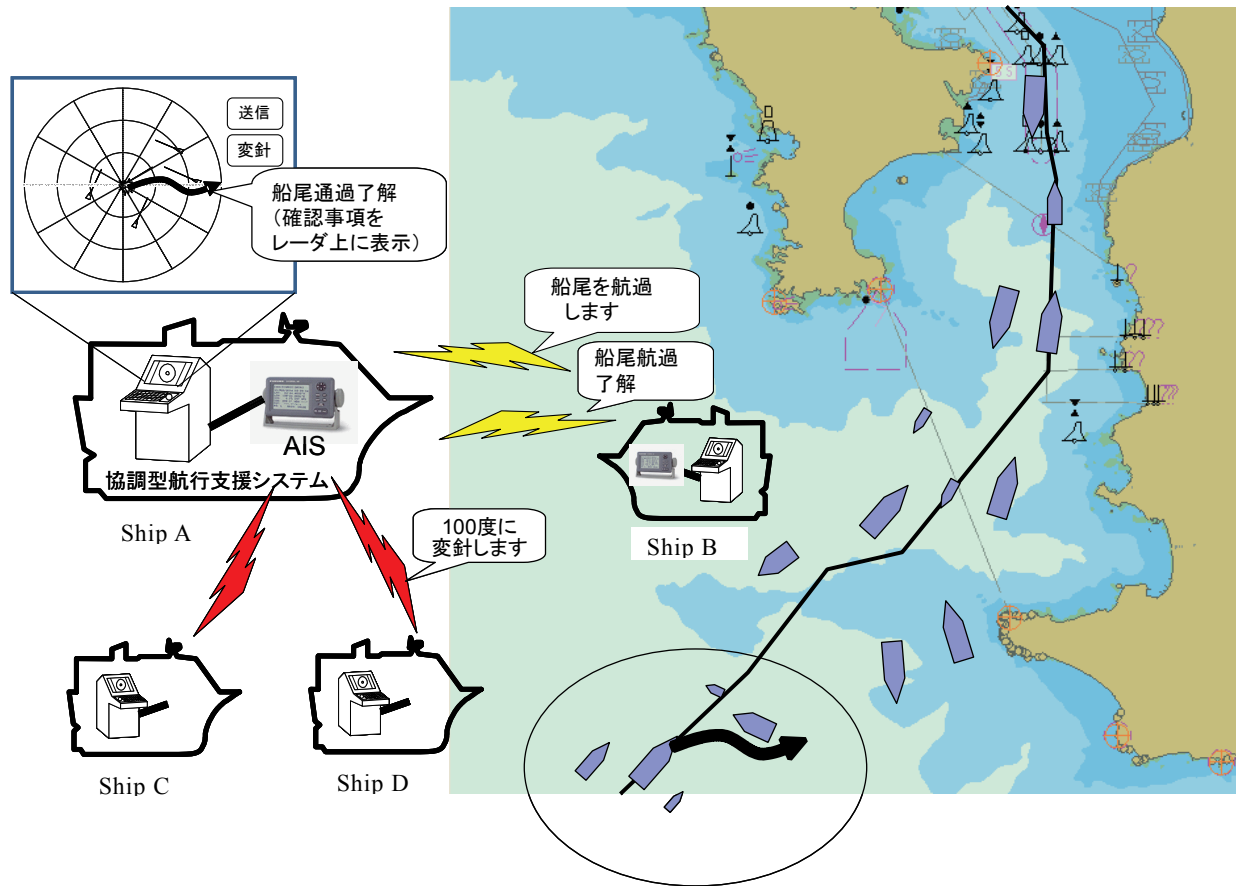


図9 協調型航行支援システム概念図

操船判断が短時間に的確にできるようになり、これにより衝突の発生を低減できる事が期待できる。

4.3 通信による情報支援機能

従来、海難事故防止を目的とした通信による支援は VHF 無線による音声通信に限られていた。しかし、近年の情報通信技術の発展により、船舶自動識別装置(AIS)等の新たな航海機器の普及が進み、従来の目視のみによる操船判断より正確でタイムリーな情報の取得が可能となってきた。しかし、操船判断の大部分は、AIS 等自船の持つセンサーの情報および目視による観測に基づく相手船の動きの予測に基づいている。このため、この予測に誤りがあると、操船結果に大きな影響を与える。

一方、自船のセンサーだけで得られる情報は限られており、自船周りの船舶間の情報交換および陸上施設から情報支援により高付加価値の情報を得ることができるようになってきた。

海上技術安全研究所では、AIS のバイナリーメッセージを用いた船舶間の通信機能を利用して、船舶間の航行意思疎通を支援する協調型航行支援システムの開発⁶⁾を行っている。図9に、その概念図を示す。協調型航海支援システムは、その通信機能を担

う AIS とユーザインタフェースを提供するレーダから構成されており、機能を実現するためのソフトウェアは、レーダのアドインソフトとして開発している。

プロトタイプとして開発した協調型航行支援システムには、(1) 遭遇した船舶間で相手船を指定して避航方法（例えば、左舷対左舷通過）に関する意思疎通を行う機能、(2) 避航操船等のために意図的な変針を行う際に自船周りの船舶にその変針を周知する機能、(3) 相手船を特定して VHF 無線による音声通信の希望があることを知らせる機能があり、これらの機能はレーダ画面上の表示及び操作でそのやり取りが可能となっている。具体的には、図中の Ship A は、Ship B に対して、船尾通過を提案して、Ship B から了解を得ている。これにより、Ship A と Ship B の間で、避航方法の確認が行われ、相手船の動きに関する不確かさがなくなる。また、Ship A は、確認された避航方法に基づき 100 度方向に変針するが、この際変針することを Ship B の他、Ship C 及び Ship D にも通知することにより、Ship B は避航操船が履行されていることが確認でき、Ship C 及び Ship D については、Ship A がどのような変針を始めるのが判

る。こうした情報は、レーダ画面上のシンボルとして表現される。

これにより、操船者の使用言語に関係なく確実に、避航操船法に関する意思疎通が行われるようになり、確実な相手船の動きの把握に基づく操船判断が可能となる。

5. まとめ

従来、航行の安全は、熟練した操船者による努力により確保されてきたが、船舶の大型化・高速化、航行海域の輻輳化、省人化に伴い、現在のままでは航行の安全を確保することが難しくなっている。これに対し、船員増加に向けた取り組みをする一方で、限られた条件の中で航行の安全を確保するための操船者への支援を考える必要がある。

一方、近年、GPSやAISに代表される新しい航海支援装置の導入が進められてきた。しかし、これらの利用は十分ではなく、こうした機器から得られる情報と、陸上からの支援情報を有機的に組み合わせる新しい支援を実現させるため、IMOを中心にe-Navigation戦略の構築とその導入が進められている。

本報告では、海上技術安全研究所が、e-Navigation戦略の構築を積極的に進めている他、海難分析の基づいた支援機能の検討、情報の統合表示、衝突警報の検討及び新しい概念である航行意思疎通の支援機能の開発を行ってきた事を紹介した。

海上技術安全研究所では、今後も、少人数でも安全に航海ができるよう、最新の航海機器の動向を加味しつつ、e-Navigationの考えに基づいた航海支援のあり方について検討を進めると共に、衝突・乗り揚げ事故低減のための具体的なシステムの開発を行っていく予定である。

謝辞

海難防止に有効な支援および小型船用見張り支援装置の検討は、2006年度から2008年度にかけて(財)日本船舶技術研究協会「航海支援に係る基準に関する調査研究(航海支援プロジェクト)」(日本財団助

成事業)において実施しました。

INT-NAVの評価は、2005年度から2006年度にかけて、国土交通省 海事局 からの請負研究「先進安全航行支援システム(INT-NAV)の調査研究」において実施しました。

目視認識支援装置の開発は、2007年度から2009年度にかけて実施中の、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構からの受託研究「目視によるレーダーターゲット捕捉・認識支援機器の開発」において実施しました。

参考文献

- 1) 2006年度「航海支援に係る基準に関する調査研究(航海支援プロジェクト)」報告書、(財)日本船舶技術研究協会、(2006)
- 2) 今津隼馬、福戸淳司、沼野正義：「相手船による妨害ゾーンとその表示について」、日本航海学会論文集、第107号(2002)、pp.191-197
- 3) 疋田賢次郎、三友信夫、福戸淳司、吉村健志：「目視によるレーダーターゲット捕捉・認識支援機器の開発」、日本航海学会論文集、第120号(2009 予定)
- 4) 福戸淳司、今津隼馬、持田高德、福井寛明：「統合情報表示装置の実海域評価」、日本航海学会論文集、第118号(2008)、pp.73-82
- 5) 福戸淳司、有村信夫、沼野正義、丹羽康之、岡崎忠胤、劉崙：「衝突予防援助装置の機能向上と支援効果の評価に関する研究」、海技研報告第8-3号(2008 予定)
- 6) 南真紀子・福戸淳司・丹羽康之：「AISを用いた協調型航行支援システムの検討」、日本航海学会論文集、第119号(2009 予定)