

安全航行に向けた衝突リスク判断方式の研究開発と検証

桑原 悟*, 西村 遥*, 中川 和也**, 芳永 真**, 井関 修一***,
吉田 亮***, 箱山 忠重****, 沓名 弘二*****, 中村 純*****

1. はじめに

近年、ICT技術の革新が急速に進み、自動車産業をはじめとした様々な業界でビッグデータを活用した新たな技術研究開発が積極的に進められている。海運産業においても、欧州をはじめ、国際的に産官学によるビッグデータを活用した新たな技術研究開発が進められており、その変革の影響が海運ビジネスへも波及している。

我が国においても、この国際的な流れに沿って、新たな海運ビジネスを視野に置き、我が国の海運産業の国際競争力強化につなげるべく、今後の発展に重要となる船舶ビッグデータを活用した分野の技術研究開発に産学官が総力を挙げて取り組んでいる。

その取り組みの一環として、国土交通省では、2016年（平成28年）を「生産性革命元年」と位置づけ、海事局においては「海事生産性革命（i-Shipping）」を推進している。i-Shippingの運航分野では、船舶・船用機器のインターネット化（IoT）、ビッグデータ解析などを活用した先進的な機器やシステムの研究開発を支援し、船舶運航の安全性や効率性の向上を図る目的で、2017年度までに船体構造のモニタリング技術の開発など、計8件の技術開発事業に対して補助が実施された。

ここでは、その採択事業（先進安全船舶技術研究開発補助事業）の一つである「船舶の衝突リスク判断と自律操船に関する研究（分野：動揺・操船シミュレータによる運航支援）」に参画する、日本郵船株式会社・株式会社MTI・株式会社日本海洋科学・古野電気株式会社・日本無線株式会社・東京計器株式会社の取り組みについて紹介する。

本研究に取り組む意義は、近年の船舶の大型化・高速化、船舶交通の輻輳化や乗組員の少人数化に伴う航行における安全の確保と航海士の作業負担の軽減にある。これらの目的を達成するため、本事業では「Ⅰ. 衝突リスク判断方式の研究開発」、「Ⅱ. 自律操船に関する研究開発」、「Ⅲ. コンピュータビジ

ョンを利用した航海支援ツール」の3項目の研究を行った。本稿では「Ⅰ. 衝突リスク判断方式の研究開発」に関して紹介する。

2. 衝突リスク判断方式の研究開発経緯

船舶事故の原因の約半数が航海士の見張り不十分によるものであることが事故後の調査で判明しており、避航において衝突危険船を的確に把握することは最も重要な課題であるといえる。

自他船間の衝突危険度指標として、船舶用レーダーに搭載されている自動衝突予防援助装置では最接近点（CPA）を計算した上で、最接近距離（DCPA）と最接近時間（TCPA）を用いた危険度指標を操船者に提示する形が一般的である。（図1）

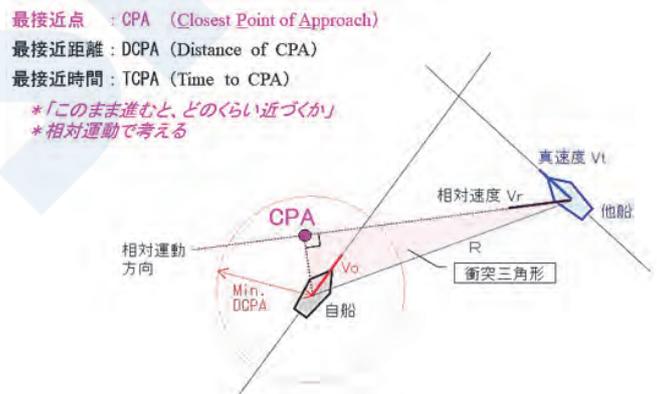


図1 接近点ベースの情報

しかし、DCPA/TCPAを用いた危険度指標では自船と他船の見合い関係などが考慮されておらず、東京湾やシンガポール海峡などの輻輳海域においてはDCPA/TCPAの設定値のみで危険と判断される船舶が多くアラートが頻発するため、以下の問題が発生する。

- ・ 衝突リスクに応じた船舶の監視が困難
- ・ 目視情報とDCPA/CPA情報の照合が困難
- ・ 操船者のアラートに対する注意力低下

* 株式会社日本海洋科学
 ** 古野電気株式会社
 *** 日本無線株式会社
 **** 東京計器株式会社
 ***** 株式会社MTI

一方、過去の研究の中には自船と他船が衝突する可能性がある領域（衝突危険領域）を図2のように表示する方法として、PAD（Predicted Area of Danger）やDAC（Dangerous Area of Collision）または相手船による妨害ゾーンを示すOZT（Obstacle zone by target）などが存在する。

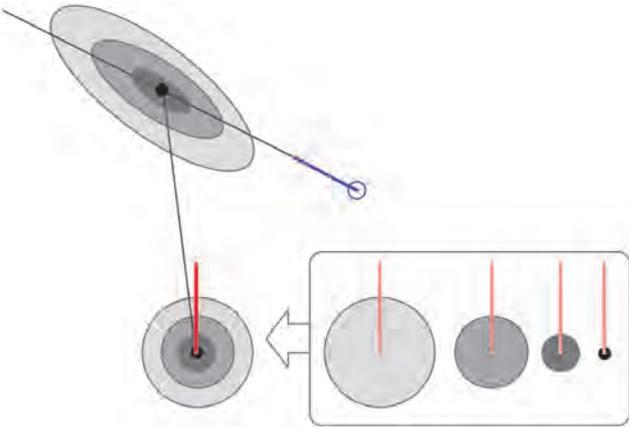


図2 衝突危険領域のイメージ図

衝突危険領域表示は操船者に対して衝突する可能性がある領域を表示することで、操船者が衝突の危険性を点ではなく面として判断することが可能であり、避航計画の作成において大きな助けとなる。一方、東京湾口やシンガポール海峡のような輻輳海域では、自船の針路上に衝突危険領域で埋め尽くされるため、避航計画作成の参考として利用することが難しいという課題があった。

前記の課題を抱える中で衝突事故を削減していくためには、人間の衝突危険認識に対する特徴を把握し、その特徴を適切に機械の機能に反映させ、人間が適切に使用することが重要になる。衝突危険認識に関して機械と人間の特徴、対比を以下の図にまとめる。

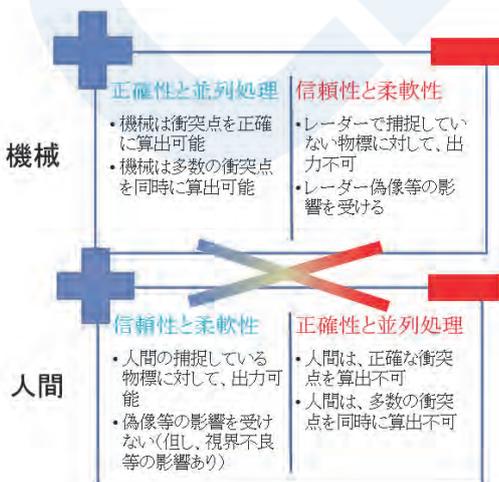


図3 衝突危険認識に関して機械と人間の対比表

本研究では、前記課題の解決を目的として、自船—他船間の衝突危険リスクを操船者の感覚に合った形で指標化するとともに、この指標に基づいた衝突有無や避航方針を直感的に判断可能な形で知らせる手段を確立する。また自船と他船が衝突する可能性がある領域の表示方法に関して、より操船者が持つ衝突危険領域に近づけるとともに、前記課題である輻輳海域における衝突危険領域が埋め尽くされる点に関して本研究で改善を進めた。

本研究においては、5年間で50名を超える日本郵船の現役船長・航海士及び20名を超える東京海洋大学・神戸大学の学生に被験者になっていただき、衝突危険度指標開発のためのデータ取り、開発機器の有効性確認を進めてきた。以下の項では衝突危険度指標・機器開発を担当した古野電気・日本無線・東京計器の具体的研究・開発内容を述べるとともに、開発機器の効果検証実験を主導した日本海洋科学による分析を記載する。

3. 各航海機器メーカーの技術開発

3.1 古野電気株式会社による技術開発

船舶の安全運航においては、自船周囲に存在する衝突リスクを見落とすことなく適切なタイミングで操船者が気づき操船判断を行うことが重要である。しかしながら、実際の輻輳海域の航行では操船者が処理・判断すべき船舶数が多く見落としや気づき遅れが発生してしまう恐れがある。また、多数の船舶が関係する見合い関係の状況においては、衝突リスクに対する気づきだけでなく、迅速な状況把握ができなくては適切な回避行動を取ることが難しい。これらの課題を解決するために構築した衝突危険指標及び衝突危険表示について紹介する。

3.1.1 衝突危険指標の構築

操船者の衝突リスク感覚に基づいた衝突危険指標の構築は、以下の3段階のアプローチで実施した。第一に「熟練操船者のリスク感覚データ化」、第二に「リスク感覚データの分析」、第三に「衝突危険警報アルゴリズム化」であり、以下に述べる。

3.1.1.1 熟練操船者のリスク感覚データ化

熟練操船者は輻輳海域においても適切に状況把握を行い、安全に船舶を航行することができる。一方で、人間の短期記憶可能な情報は多くとも4・5個程度りと言われている。この限られた能力の中で安全航行を実現する海技スキルの主要素には、適切な衝突リスク感覚に基づく優先度付けがあると考えられる。見張り支援を目的とする衝突危険警報においても、輻輳海域で適切な優先度付けをすることなく

操船者に提示すると、情報過多により操船者を混乱させてしまうことになる。そこで、本研究では熟練操船者の衝突リスク感覚をデータ化し分析することにより、適切な優先度を示す衝突危険警報アルゴリズムの構築を目指して開発を行った。

まず、輻輳海域において熟練操船者が「どのタイミングで」、「どの船舶に注目し」、「どの程度のリスクとして認識しているのか」をデータ化した。データ化では、タブレット型のリスク感覚データ取得装置（図4）を新規開発した。

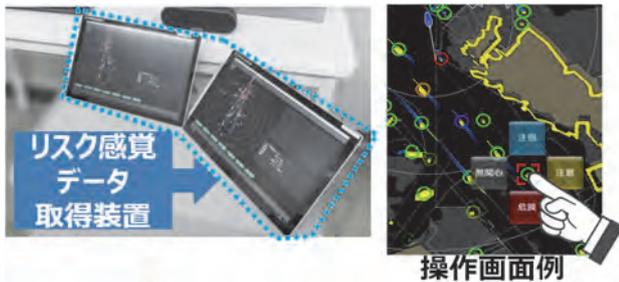


図4 開発したリスク感覚データ取得装置

リスク感覚データ取得装置では、自船周囲の船舶に対して操船者が感じる衝突リスクを4段階のレベルで、リスクレベルが変化したタイミングで入力できる。リスクレベルの定義を以下に示す。

- ・ 安全（無関心）：対象船舶にリスクを感じない
- ・ 注視：対象船舶の動静をたまに監視しておく
- ・ 注意：対象船舶の動静を常時監視しておく
- ・ 危険：対象船舶を回避する行動を取る

リスクレベルは、初期状態の船舶では「安全」に設定しており、常に前記4段階のうちのどれかのリスクレベルが対象船舶に設定される。

開発したリスク感覚データ取得装置を用いて、操船シミュレータ環境（日本海洋科学：船橋からの目視映像、及び航海機器類に再現）において様々な輻輳海域航行シナリオでの熟練操船者のリスク感覚データ取得実験を実施した（図5）。



操船シミュレータ(株)日本海洋科学

図5 熟練操船者のリスク感覚取得実験

実験に協力いただいた操船者について表1に示す。各年度とも関門海峡・紀伊水道・大島沖といった輻輳海域シナリオを複数用い、合計20名分（船長：16名、一航士：3名、二航士：1名）のリスク感覚データを取得した。

表1 リスク感覚取得実験協力海技者

	2016年度	2017年度	2018年度	合計
船長	6 [人]	6 [人]	4 [人]	16 [人]
一航士	1 [人]	—	2 [人]	3 [人]
二航士	1 [人]	—	—	1 [人]

3.1.1.2 リスク感覚データの分析

熟練操船者の衝突リスク感覚をアルゴリズム化するために実施したリスク感覚データ分析について述べる。分析には、船舶周囲の船首尾方向と左右舷方向の航過距離と最接近時間（TCPA）で定義される衝突危険度の算定モデル²⁾（バンパーモデル）を用い、図6のように船首尾方向・左右舷方向の距離（a, b, c）及びTCPAに対する余裕時間（重み） W_{tcpa} を可変パラメータとし、個々の操船者の衝突リスク感覚を最も良く表すモデル形状を比較した。

ここで、熟練海技者のリスク感覚が注意以上のとき、バンパーモデルによる判断結果も注意以上のときをTP（True-Positive）、リスク感覚が注視以下のとき、バンパーモデルによる判断結果も注視以下のときをTN（True-Negative）、リスク感覚が注意以上のとき、バンパーモデルによる判断結果が注視以下のときをFN（False-Negative）、リスク感覚が注視以下のとき、バンパーモデルによる判断結果が注意以上のときをFP（False-Positive）とし、警報要求充足率及び非警報要求充足率を式(1)、(2)のように定義する。

$$\text{警報要求充足率} = \frac{TP}{(TP+FN)}, \quad (1)$$

$$\text{非警報要求充足率} = \frac{TN}{(TN+FP)}. \quad (2)$$

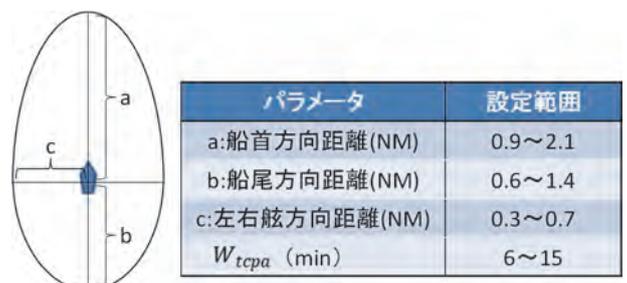


図6 バンパーモデルと調整パラメータ

図6に示すバンパーモデルの調整パラメータを変化させながら式(1), (2)で求められる警報要求充足率・非警報要求充足率をプロットすることでROC解析 (Receiver Operating Characteristic analysis) を行った。今回は可変パラメータが2つ以上あるため、図7のように警報要求充足率/非警報要求充足率の2次元平面上にプロットされる点のうち、原点から最も外側の点群 (最外点) を抽出し、ROC曲線とした。ROC曲線は、バンパーモデルが熟練操船者の衝突リスク感覚を最も良く表現するように調整したパラメータ群による結果を抽出したものである。

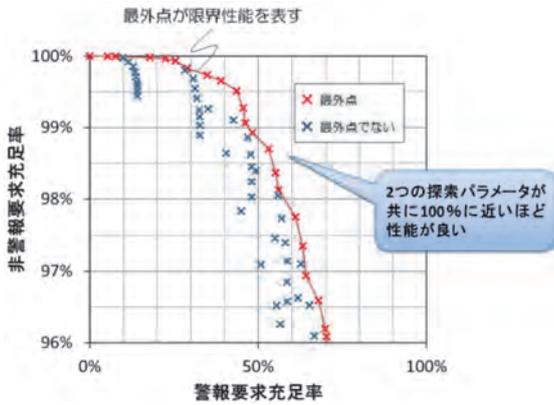


図7 ROC曲線

ここで、非警報要求充足率が98%以上の範囲において、警報要求充足率が最も高い時の操船者ごとのバンパー形状を図8に示す。図8には、主に操船する船種の異なる4名の船長のバンパー形状を例示している。この結果から、操船者の衝突リスク感覚には個々、もしくは船種による違いが多く含まれていることがわかる。特に、自船後方に対するリスクにおいてばらつきが大きいことがわかる。また、バンパー領域全体の大きさに関しても、D船長のように全体として小さく、 W_{tcpa} も短い操船者もいるといった結果が得られた。

この結果から、個々の感覚や船種などによる多様な操船者の衝突リスク感覚を反映したアルゴリズム及び操船者の衝突リスク感覚のばらつきを考慮し、ユーザー調整可能なアルゴリズムとして衝突危険指標を構築する必要があることがわかった。

3.1.1.3 衝突危険警報アルゴリズム

前節で述べたリスク感覚データの分析だけでなく、多角的な分析結果から新たな衝突危険指標を策定し、他船に対する衝突リスクに応じて警報発報するアルゴリズムを構築した。また、構築したアルゴリズムでは調整パラメータの高度化により、前節で述べたような操船者のリスク感覚のばらつきにも対応できる警報アルゴリズムとした。図9に、構築したアルゴリズムを用いた警報システムの表示画面例を示す。システムでは、OZT表示と色・音によるリスクレベルの提示によって警報機能を実現した。以下では、構築したアルゴリズムを用いたシミュレータ評価結果について紹介する。

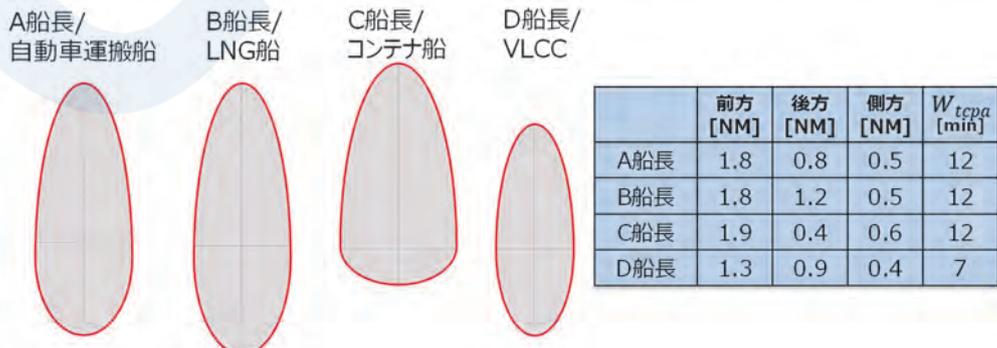


図8 操船者のリスク感覚 (バンパーモデルによる可視化)

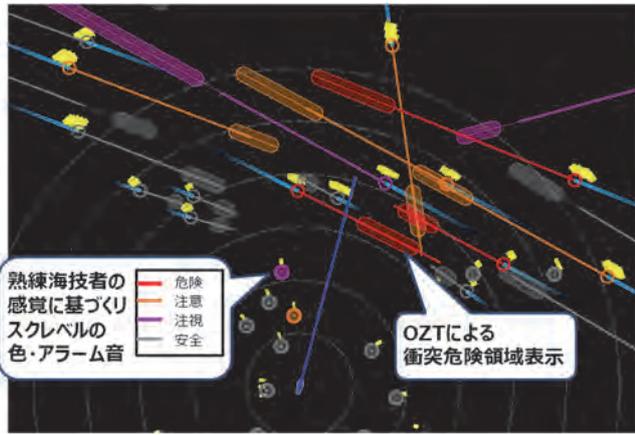


図9 リスクレベルとOZT表示による警報システム

表2に、輻輳海域航行シナリオを用いたシミュレータ試験において構築した警報システムを試用した被験者から聞き取り調査したコメントを示す。コメントは、警報機能に対するポジティブ／ネガティブで分類している。コメントのポジティブ意見から、構築した警報システムによって見逃し防止や他船挙動変化への気付きが得られる効果が確認できる。また、発報のタイミングについても良い評価が得られた。一方、ネガティブ意見では、輻輳海域での使用においては注意すべき船舶が多くリスクレベルによる注意船舶の優先度の提示だけでは操船者が混乱する状況を完全に防ぐことはできていないことがわかった。

表2 衝突危険警報アルゴリズム評価コメント

Positive/Negative	コメント内容
ポジティブ	<ul style="list-style-type: none"> 今回のシナリオでは選択の余地がないほど可航域が制限されていた。警報があったとしても状況が変わるわけではないが、心の準備ができるので警報は必要。(A船長) 急減速により危険となったターゲットへの気づきを得られた。(B船長) CPA警報であればずっと警報が鳴り続けているシナリオだと思うが、新警報は適切な発報であった。(D一等航海士, F三等航海士) 目視では見逃していた反航船の気づきになった。(G次三航士, H次三航士) 他船変針の気づきになった。(I船長, J船長)

ネガティブ	<ul style="list-style-type: none"> 危険／注意のターゲットが多すぎて認識能力を超える場面があった。(E一等航海士) 注視以上のターゲットの数が増えると分かりにくい。注視のリスクレベルはなくてもよいかもしれない。(D一等航海士)
-------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.1.2 衝突危険表示の構築

前節で示した衝突危険警報アルゴリズムの評価結果から、1隻ごとのリスクレベルの提示だけでは、輻輳海域における周囲状況把握の支援機能として弱点があることが示された。そこで、この弱点を補うための表示機能を構築した。

図9に示したシチュエーションにおいては、注意すべき船舶数が多く操船者の混乱に繋がった。図9のように、OZT表示色と対象船舶のリスクレベルを示す色を同一色で表示しているが、このような輻輳海域においては安全以外の船舶が同時に多数表示されてしまうため、どのようにこれらの複数船舶を避航するかを検討するには不向きな表示となっていた。

そこで、衝突危険表示を以下の改良を行った。

- OZT表示の幅（他船針路から垂直方向）について、相手船が自船船首方向の任意距離をかわす時の自船位置及び相手船が自船船尾方向の任意距離をかわす時の自船位置を頂点として、表示エリアを拡張する（図10）。

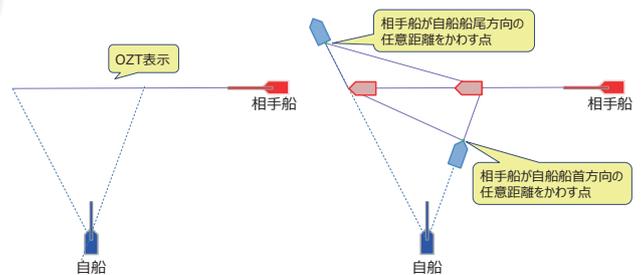


図10 表示エリアの拡張

- ①のエリア計算を、自船との接近を警戒する距離と自他船の船体長サイズの2つの距離設定で実行し、得られる2つのエリアをそれぞれ接近エリア・衝突エリア（図11）として表示する。

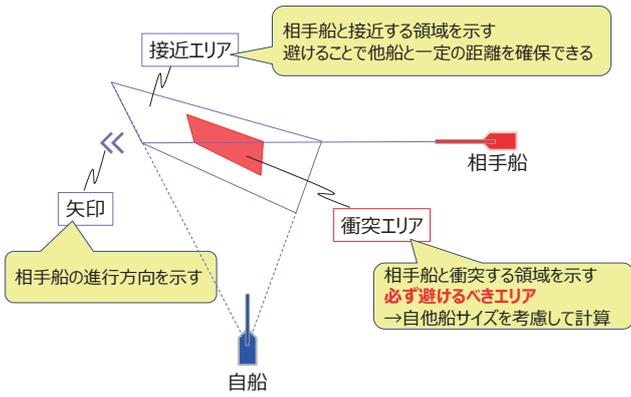


図11 接近エリア・衝突エリア表示

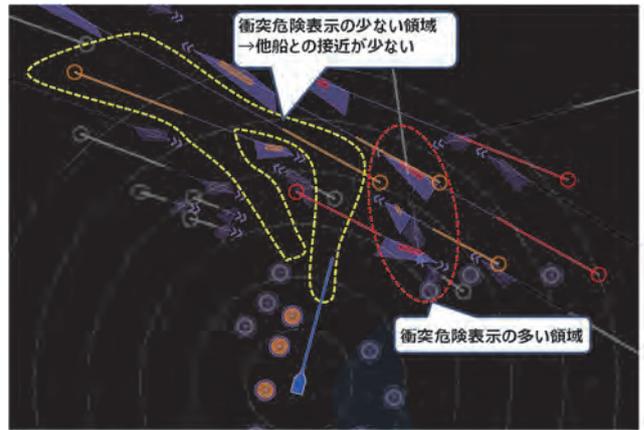


図12 構築した衝突危険表示

③ リスクレベルは、他船アイコン及び衝突エリアの色で表示する。

これらの改良では、相手船との衝突が発生するエリア（衝突エリア）と衝突はしないものの相手船と接近してしまうエリア（接近エリア）を別々に表示し、衝突リスクレベルを衝突エリア表示色で示すようにすることで、複数の船舶から発生する接近エリアを俯瞰的に考慮して航路選択することができるようにしている。また、個々の船舶の衝突リスクレベルは、比較的小さなエリアで表示される衝突エリアの表示色で示すことにより、衝突危険警報の個船に対する見逃し防止と避航判断を支援するようにしている。

構築した衝突危険表示の表示例を図12に示す。図9に示したOZT表示色で衝突リスクレベルを表現したものと比較して、表示エリアによって「航行不可に見える」領域が減少している。衝突リスクレベルの表示についても、個船に対する衝突リスクを十分に提示できている。また、図中に赤破線で示すように、複数の船舶によって発生した衝突危険表示を俯瞰するように見ることによって船舶の密集する領域を把握し易い表示となっていると考える。反対に、図中に黄破線で示すように、衝突危険表示が少ない領域についても把握し易くなっていると考えられる。これにより、個船に対する避航だけでなく、その先の将来遭遇するリスクに対しても航路選択に必要な情報を早期に提示することが可能となった。

3.1.3 古野電気株式会社による取り組みまとめ

本節では、古野電気が構築した衝突危険指標・衝突危険表示について概要を紹介した。本技術は、現在数多くのシミュレータ試験によって高い操船判断支援効果が確認されており、船舶衝突事故の減少及び見張り業務の負荷軽減が期待される。今後、実船において操船者に評価していただく実証実験や、自動運航船安全設計ガイドラインなどへの適合を実施し、機能の有効性、実用性を向上させたいと、**“衝突警報機能及び避航支援表示機能”**として実用化を目指す。

3.2 日本無線株式会社による技術開発

3.2.1 衝突危険指標

日本無線は「長澤の衝突危険度」²⁾をベースとしてDCPA/TCPAに代わる航海士のリスク感覚に合った衝突危険指標の検討を行った。長澤の衝突危険度は、操船者が安全と判断する他船との航過距離を図13に示す楕円形状の領域によって定義する。この楕円の大きさ（短径a、長径b）と船首／船尾方向及び右舷／左舷方向の距離は、自船と他船の全長、速力及び針路をパラメータとして使った関数として示される。この航過距離を確保できない場合は、操船者に心理的な負担が生じると考えられ、侵害度の大きさから危険度を求める。

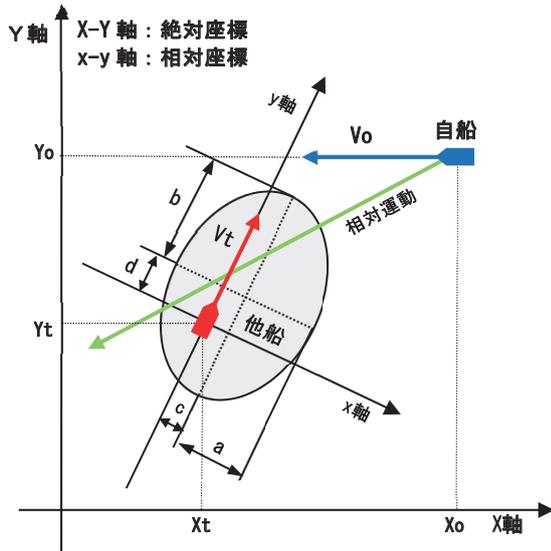


図13 安全航過距離の概念

a, b, c, d : 航過距離パラメータ
 Vo : 自船速力 (m/sec)
 Vt : 他船速力 (m/sec)

衝突危険指標Rは、図14に示すように他船を中心とするxy座標軸と相対運動ベクトルの交点から右舷/左舷方向及び船首/船尾方向の危険度Rx, Ryをそれぞれ求め、大きい値の方を危険度として採用する。また、時間的な余裕を評価するため、ある一定の余裕時間 (Wtcpa) に対する最接近時間 (Tcpa) までの比率を用いて重み付けを行う。

$$R = \text{Max}(R_x, R_y) \times \left(1 - \frac{T_{cpa}}{W_{tcpa}}\right) \geq 0$$

Tcpa : 最接近時間
 Wtcpa : 余裕時間 (重み付け係数)

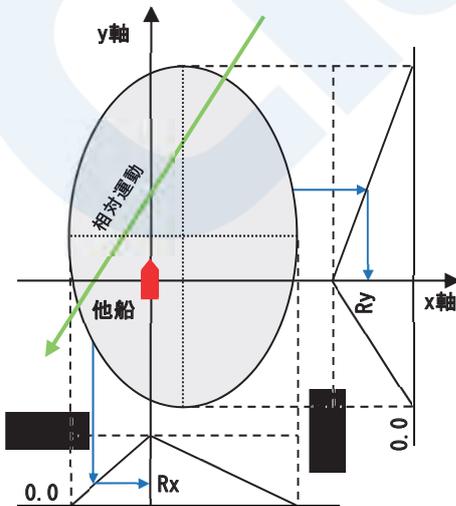


図14 衝突危険指標算定モデル

本指標をもとに操船シミュレータ試験で操船者から収集した衝突リスク判断のデータ及び試験後に実施した聞き取り調査の結果を用いて衝突危険指標を算出するパラメータの調整を行った。

衝突危険指標は0.0~1.0の数値で表現されるため(1.0が最も危険)、図15のように閾値を設け、以下の3段階のレベルで操船者に通知する。

- ・危険：すぐに避航が必要な船舶
- ・注意：直近の避航は必要ないが将来の避航対象として注意が必要な船舶
- ・安全：上記以外の船舶

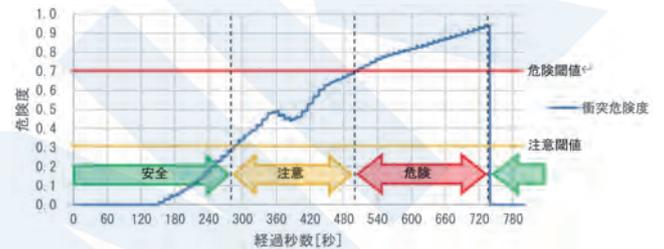


図15 閾値の概念

このように、他船に対して衝突危険指標で判定した結果を用い、危険または注意目標の警報を発報する。判定の結果は表3のように、AISターゲットのシンボル色で表現される。

表3 危険度判定の表示方法

危険度	識別番号	シンボル色	効果	表示例
危険	D+ 目標番号	赤色	点滅	
注意	W+ 目標番号	橙色	点滅	
安全	S+ 目標番号	緑色	なし	

衝突危険指標の効果を確認するため、試作機を開発した。指標を搭載する装置は、現行の航海機器において、衝突予防を支援する代表的な機器であるレーダーとした。操船シミュレータ試験では様々な見合い関係で接近する他船に対し、衝突危険指標で示される注意/危険の警報がDCPA/TCPAに比べて航海士が感じるリスク感覚に近い結果となっていることが確認できた。

今後、本衝突危険指標の実用化の検討が必要であ

るが、試作機に採用したレーダーではIMOのルールによりDCPA/TCPAのアラームが義務となっており、現状では衝突危険指標を搭載することは難しいと考えられる。そのため、当面の実用化にあたっては、ルールに縛られない装置に搭載することを検討する必要がある。今後、自動運航に向けてレーダーやAISに加えて、カメラなどのデータも統合した避航支援装置が考えられるため、そのような目標統合表示装置における実用化を検討していきたい。

3.2.2 衝突危険領域

衝突危険領域表示として、まずは東京海洋大学今津隼馬名誉教授考案のOZT (Obstacle Zone by Target) ³⁾を利用することを考えた。OZTは、他船により自船の航行が妨害される可能性のある針路を示すものであり、ここでは他船との距離が最小安全航過距離 r 以内になる領域のことを意味する。即ち他船の最接近距離 DCPAが次の条件を満たす時である。

$$DCPA \leq r$$

また、自船と他船との間で $DCPA = r$ となる自船針路を衝突針路 Co と定義し、衝突針路を求めるための方法を図16に示す。

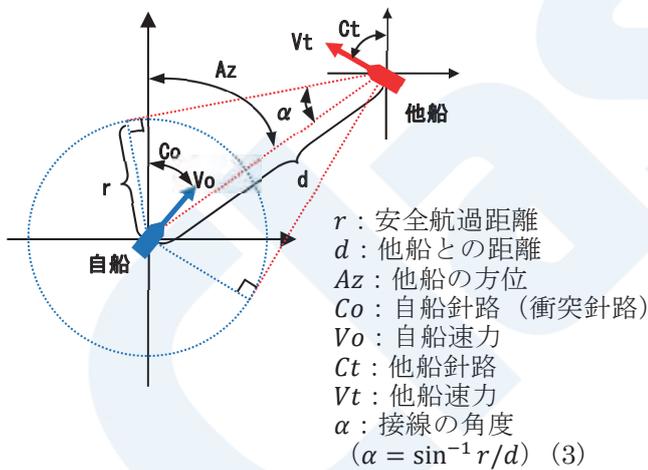


図16 衝突針路算出図

この時、前記変数において次の関係式が成立する。

$$\frac{\sin(Az \pm \alpha - Co)}{Vt} = \frac{\sin(Az \pm \alpha - Ct)}{Vo}$$

これより

$$Co = Az \pm \alpha - \sin^{-1} \left\{ \frac{Vt}{Vo} \sin(Az \pm \alpha - Ct) \right\} \quad (4)$$

として、 $DCPA = r$ となる衝突針路 Co を求める事ができ、図17に示すように $DCPA \leq r$ となる危険針路(OZT)は、(4)式で $+\alpha$, $-\alpha$ とした時に得られた衝突針路 $Co_{+\alpha}$ と $Co_{-\alpha}$ に挟まれた範囲となる。

また、最も危険な針路が分かるように衝突点を求める。衝突点の針路は安全航過距離 $r = 0$ であることから、(3)式より $\alpha = 0$ となり、(4)式に代入する事により $Co_{\alpha=0}$ が得られる。 $(Co_{\alpha=0}$ は $Co_{+\alpha}$ と $Co_{-\alpha}$ に挟まれた値となる)

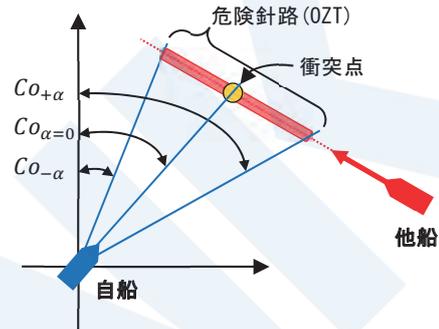


図17 危険針路 (OZT) と衝突点

操船者は、自船針路が危険針路 (OZT) に交わらないように操船する事により、他船と安全航過距離 r を確保して航行できる。

次に危険針路 (OZT) が自船の針路方向の指標であるのに対して、衝突危険領域を針路、距離方向の2次的に表示することを考えた。図18に示すような自船の前後方向と左右方向に頂点がある菱形の領域を安全航過領域とし、この領域に船舶が侵入する領域を計算したものである。各頂点までの距離 (a, b, c, d) は、航行する領域に合わせて変更可能としている。

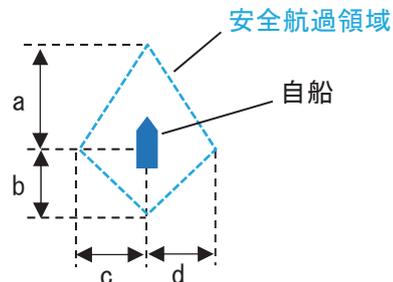


図18 安全航過領域

危険領域の計算は図19に示す通り、まず(4)式を用いて安全航過領域上の点と他船が衝突する点を求める。次に、この衝突点を安全航過領域分シフトして自船位置に変換する。この計算を安全航過領域上

の点すべてに対して実施する。これを自船の針路を変えて繰り返し実施し、自船の針路方向の点のみを抽出することで危険領域が作成できる。

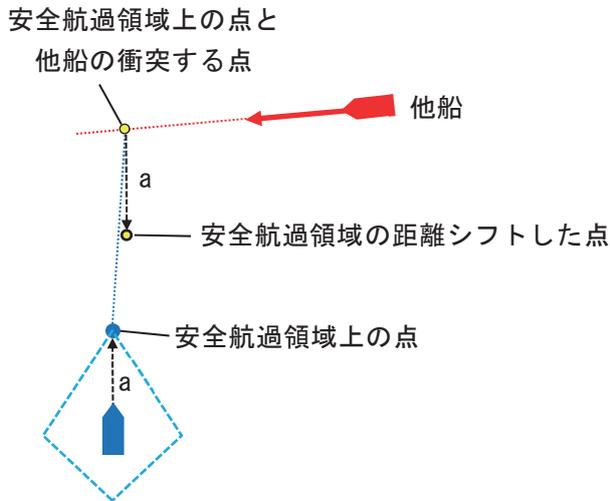


図19 危険領域の計算方法

危険領域の計算例を図20に示す。この例は、自船と他船の速度が同じで、対象船の針路が225°の時の危険領域である。操船者は、自船針路が危険領域に侵入しないように操船する事により、他船との間に図18に示した安全航過領域を確保して航行できる。

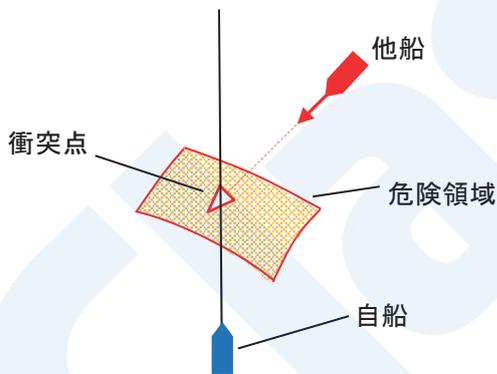


図20 危険領域計算例

図21は、自船が危険領域の頂点に接した時の他船と自船の位置関係を示している。危険針路では危険針路に向かって進んだ場合、どの針路をとると他船が安全航過距離内に入るかを示しているだけだったが、危険領域では針路だけでなくどこまで進むと安全航過領域内に侵入してしまうかが明確に分かる。これにより、操船者は安全に航行できる領域をより明確に認識できると考えられる。また、危険領域表示では避けるべき領域を面として表示しているため、危険針路と比較して航行できる経路が明確に見えるのも利点となると考えられる。

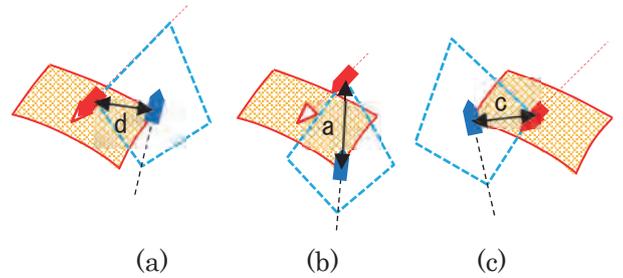


図21 危険領域の頂点での他船との距離

以上の内容から、危険針路（OZT）、危険領域及び衝突点が意味するところは以下になる。

【危険針路】

表示されている方位に進むと、他船と安全航過距離以内に近づく

【危険領域】

表示されている領域に侵入すると、他船が安全航過領域内に入る

【衝突点】

表示されている方位に進むと他船と衝突する

危険針路（OZT）、危険領域の表示方法を表4に示す。色は衝突危険指標による危険度判定の結果に応じて変えている。

表4 危険針路／領域の表示方法

危険度	色	危険針路	危険領域
危険	赤		
注意	橙		
安全	灰		

危険針路の表示では形状を矢印とすることで、他船の進行方向を示している。一方、危険領域の表示では領域の形状自体で方向を示すことが難しいため、衝突点の形状を三角形とし、この三角形の向きで船舶の進行方向を示すこととした。

実際のレーダー画面上に危険針路を表示した例を図22に、危険領域を表示した例を図23に示す。2つの図は同じ状況であり、図22で示されている危険針路は、図23では2次元の領域に拡張されている。これにより、危険領域では針路だけではなく、どこまで進行すると安全航過領域内に入るかを操船者が認識することができる。

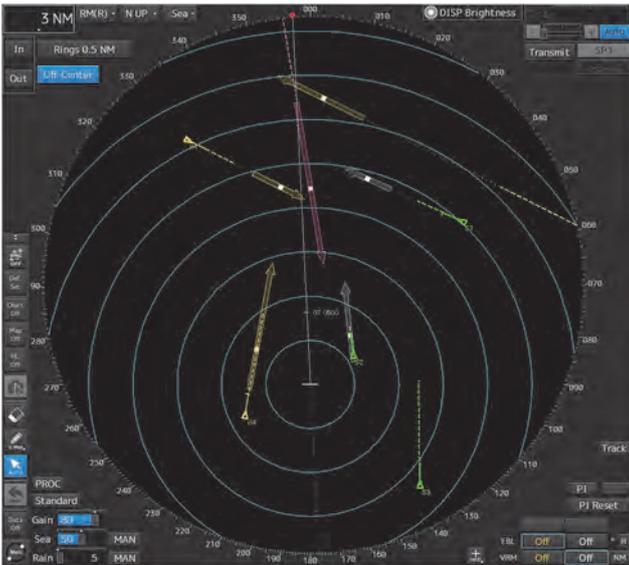


図22 危険針路表示例

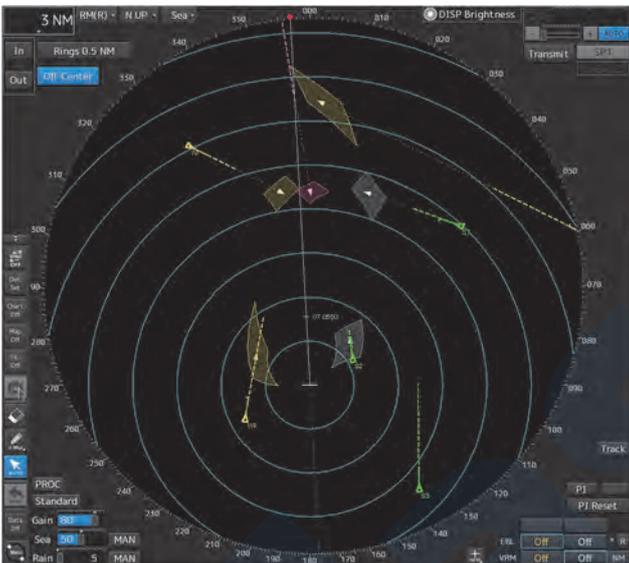


図23 危険領域表示例

衝突危険指標と同様に、衝突危険領域の表示も試作としてレーダーに実装し、操船シミュレータ試験により効果を確認した。同じシナリオで危険針路と危険領域表示それぞれで試験を行ったが、表示を行わなかった場合と比べ、他船との衝突の回数は大幅に減少し効果が高いことが確認できた。危険針路と危険領域の比較においては大きな差はみられなかったが、操船者の意見として危険領域表示の方が避航経路を見つけやすいとの意見が多かった。一方、船舶数が多くなると危険領域は重なってしまい煩雑で見づらくなるという意見もあった。

今後、衝突危険領域表示についても実用化を検討していくが、衝突危険指標と同じく衝突予防の機能であることからレーダーへの搭載が最も適切であると考えられる。衝突危険指標とは異なり、衝突危険

領域の表示に関しては、ルールで義務付けられている機能ではないため、付加機能としてレーダーへ搭載し実用化することも可能であると考えられる。また、ルートを決定するにあたって重要な役割を果たすECDISにおいても本機能は有効であり、搭載を検討する必要があると言える。その他に、自動航行に向けた避航支援装置では、避航ルートを提示する際には本機能は必須の技術と考えられる。

3.3 東京計器株式会社による技術開発

3.3.1 衝突危険指標

東京計器は、従来指標を参考に、DCPA/TCPAベースの衝突危険指標である「正規化CPAリスク」を開発した。DCPA/TCPAをそれぞれ重み係数Wによって正規化（注：Wで割り算し、値の範囲を0～1に変換）して1から引き算し、それらを掛け合わせて0～1の範囲で危険度を求める（図24参照）。なお、元の値がWより大きい時の正規化値は1と見なす。

操船者になじみ深いCPA情報に基づくシンプルな構成としつつ、見合い関係に応じて重み係数を変化させ、操船者の感覚に近づけることを目指している。

$$\text{正規化CPAリスク} = \left(1 - \frac{\text{DCPA}}{W_{\text{dcpa}}}\right) * \left(1 - \frac{\text{TCPA}}{W_{\text{tcpa}}}\right)$$

正規化DCPA
正規化TCPA

DCPA : 最接近距離, W_{dcpa} : 重み係数(>0)
 TCPA : 最接近時間, W_{tcpa} : 重み係数(>0)

図24 正規化CPAリスクの計算式

DCPA/TCPAの重み係数について説明する。DCPAの重み係数 W_{dcpa} は、現状、自船周囲に想定した円形の安全航過領域を基準に設定している。一方、TCPAの重み係数 W_{tcpa} は、他船との出会い角に応じて変化させており、これが本指標の特徴と言える。具体的には他船と衝突関係にある場合、「見合い関係によらず一定距離を確保して他船を安全に避けるための変針角が同じ（即ち、危険な方位範囲が同じ）」になるタイミングにおけるTCPAを見合い関係毎に算出し、それらを結んだグラフを基準に W_{tcpa} を設定した（図25参照）。

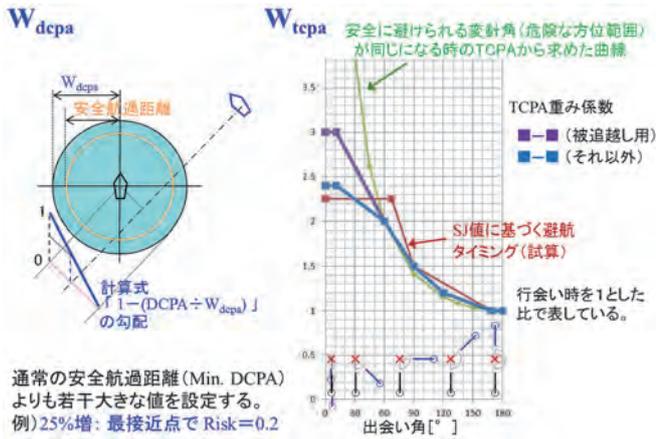


図25 正規化CPAリスクの重み係数

こうして重み係数を設定した正規化CPAリスクが、DCPAが等しくTCPAが異なる見合い関係でほぼ同じ値をとる時に危険な方位範囲（従ってとるべき避航変針角）がどうなるか確かめてみると、思惑通り、見合い関係によらずほぼ同じになる（図26参照）。

下図の右側は、後述するDACを使って危険方位範囲を表現している。また、左下のグラフは、正規化DCPAと正規化TCPAをそれぞれ横軸と縦軸にとった「正規化CPA座標系」、座標系の中の複数の曲線は正規化CPAリスクの式を変形して求めた「危険度曲線」である。この座標系は右上が安全、左下が危険な状況を表しており、他船毎の正規化値をプロットすれば、他船対応の優先順位付けへの適用が期待できる。

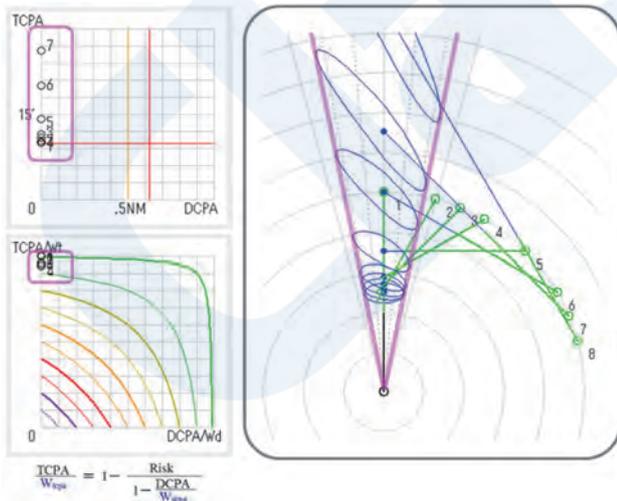


図26 正規化CPAリスクと危険方位範囲がほぼ一致する事例

なお、設定した W_{tepa} のグラフと、出合い角に応じたSJ値（Subjective Judgement：主観的衝突危険度）の避航タイミングにおけるTCPAとを比較すると、非常に似た傾向を示す（図25右側のグラフ参照）。従って、上述した W_{tepa} の設定方式は、「操船者の感覚に近づける」と言う本指標作成の目的に適うと考えている。

正規化CPAリスクは現在、妥当性の検証及び更なる改良に向けた検討を進めている。今後は、レーダーやECDIS/ECSなどに搭載し、

- ・ 危険度の表示（数値，時系列グラフ）
- ・ 危険レベルに応じた他船表示属性の色分け
- ・ 危険レベルに応じた警報の発出
- ・ 正規化CPA座標系による他船状況の把握
- ・ 避航アルゴリズムにおける危険度への適用

といった活用を目指す。なお、正規化CPAリスクは特許出願済みである。

3.3.2 衝突危険領域

東京計器は1970年代以降、PAD（Predicted Area of Danger）やDAC（Dangerous Area of Collision）といった「衝突領域」の表示機能を、図27に示す船用レーダーで提供してきた。



図27 東京計器の「衝突領域」搭載製品

PADは図28に示す通り、確保したい安全航過距離以内に他船が近づく危険な方位範囲を他船真針路上に設け、他船針路と直交する奥行きは安全航過距離とする楕円または六角形で表している。

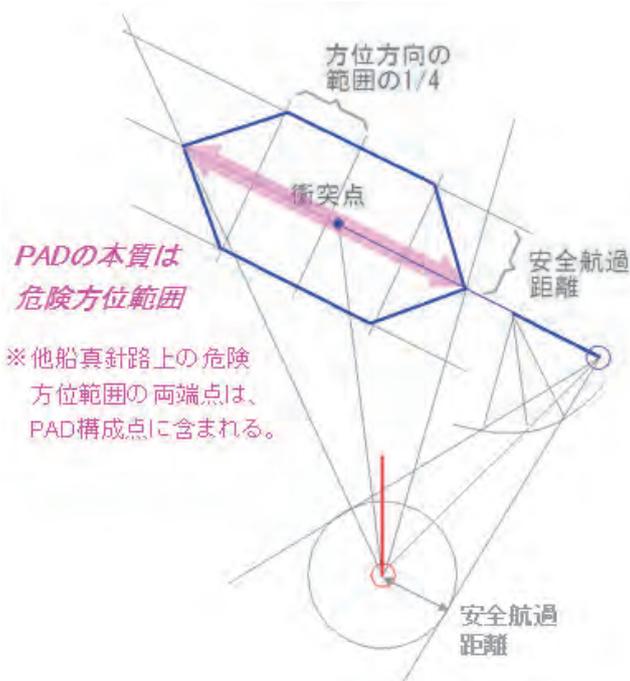


図28 PAD原理図（六角形の場合）

一方、DACは図29に示す通り、安全航過距離を半径とする円を多角形で近似した「安全航過領域」の各頂点（図中の①～⑧）と他船との衝突点を算出し、各頂点が衝突した時の自船位置（図中の①'～⑧'）を構成点とすることで、安全航過距離以内に他船が近づく危険な領域を正確に表している。

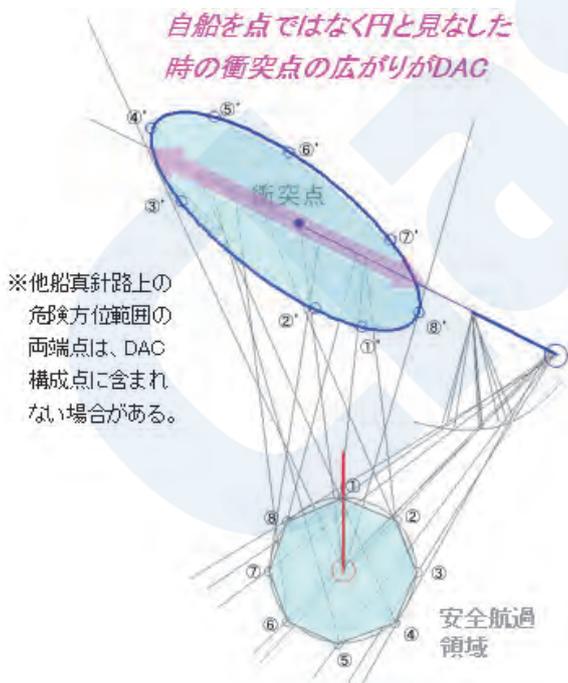


図29 DAC原理図（八角形の場合）

従来の接近点ベースの情報から、安全航過距離を確保できる避航変針角を正確に求める事は単純な見合い関係においても容易ではない。例えば、図30

(左)の場合、右方向に避ければ横切り船の船尾側を航過できそうなことは分かるものの、何度の変針角をとれば所定の航過距離を確保できるか、すぐには分からない。一方、DACのような「衝突領域」は、危険な方位範囲を正確に表す事ができるため、図30(右)のように必要な変針量を画面上で把握できる。⁴⁾

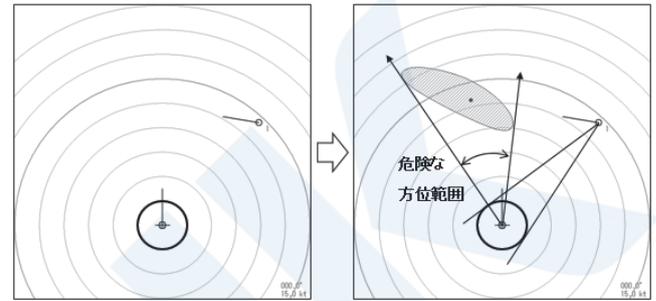


図30 DAC表示による危険な方位範囲の把握

さらに、DACはPADと同様に危険な方位範囲を確認できるだけでなく、奥行き方向（他船の真運動の向きと垂直な方向）も正確に表す事ができるため、安全航過領域の内側に他船が侵入した場合であってもDACは表示を継続でき

- ① あとどのくらいで侵入するか
- ② どのくらいの間、侵入しているか
- ③ いつ、安全航過領域から出るか

を見積もることができる。図31の①～③はその範囲を、①'～③'は相対運動線における①～③に応じた範囲を、それぞれ表している。

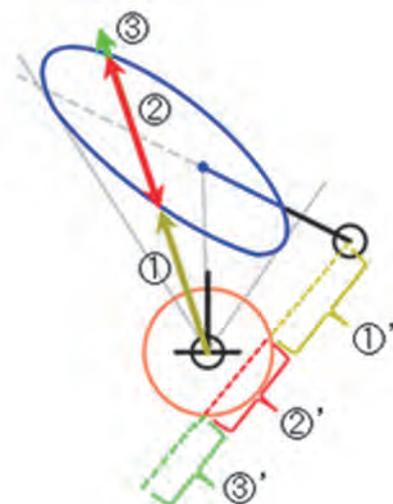


図31 DACの奥行情報

従来のDACは、安全航過領域を本船の周囲に真円の形状で設定した(図32(a))。海上交通工学の知見によれば、こうした航過領域は進行方向を広く横

方向を狭くとした楕円形状が実態に即しているが、従来DACで本船周囲に楕円領域を設定すると本船の向きによって危険な方位範囲が変わってしまい「試行操船を行わなくても安全／危険な針路がひと目で分かる」というDACの特徴が崩れるため、実現しなかった（図32(b)）。

そこで、他船の周囲に安全航過領域を設定する新方式を考案した。形状が真円の場合、表示されるDACの形・大きさ・位置は、本船の周囲に領域を設定した場合と変わらない（図32(c)）。さらに形状を楕円にした場合、前記の問題（本船の向きによって危険な方位範囲が変わる）は発生しない（図32(d)）。また、領域の中心を船の位置からズラして設定すること（オフセット）も可能になった。本新方式のDACは日本特許を取得済みであり、外国特許についても出願中である。

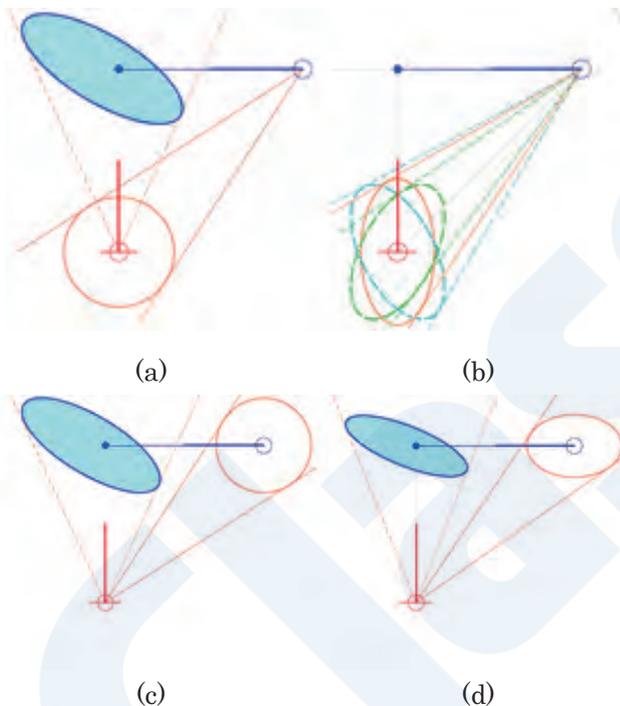


図32 DACにおける安全航過領域の置き方の変更

図27に示した既存製品では描画処理能力の限界によりPADやDACは線描画であったが、近年のPCでは描画能力が著しく向上し「衝突領域」の表示もよりグラフィカルにできるようになった。DACの線描画と面描画の比較を図33、図34に示す。このようにDACの視認性を向上すべく表示方式を開発中であり、将来的にはレーダーやECDISなどに実装する予定である。

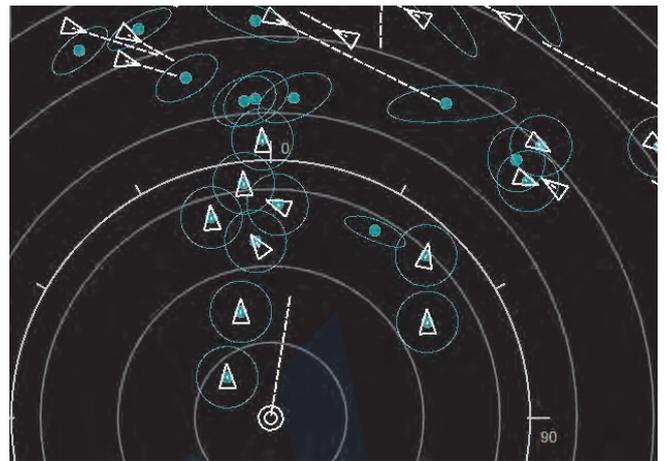


図33 DAC表示例（線描画）

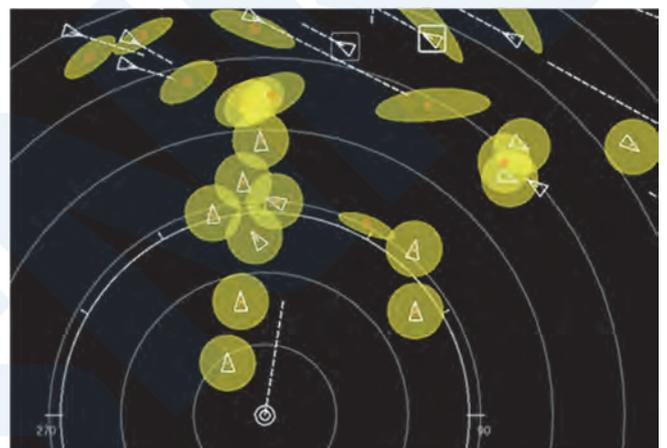


図34 DAC表示例（透過塗潰し）

また、最近インターネット経由でスマートフォンやタブレット端末のようなモバイルデバイスでも航行支援情報を入手できるようになった。アイディア株式会社が運営する「Aisea」(<https://aisea.net/>)もその一例である。東京計器はアイディア株式会社と提携し、法人向け「Aisea PRO」へのDAC表示機能の搭載を目指して両社で開発を進め、同機能を含む更新版が2020年8月にリリースされた。「Aisea PRO」画面上のDAC表示例を図35に示す。

「Aisea PRO」は、他船との衝突危険がある領域を、危険度の高い順に赤・黄・青で色分けして表示する。これにより、操船者の負担軽減や、避航操船の意思決定支援の実現を目指している。



図35 「Aisea PRO」のDAC表示例

さらに、東京計器は「Aisea PRO」の販売に関する取引仲介契約とサービス業務委託契約をアイディア株式会社と締結し、2021年1月より取り扱いを開始した。「Aisea PRO」の普及を進めることにより、更なる安全な航海の実現と運行管理の効率化に貢献できるよう取り組んでいく。

4. 衝突危険指標及び衝突危険領域効果検証

本研究にて収集した熟練操船者のリスク感覚データをもとに指標化された、古野電気・日本無線・東京計器の衝突危険指標（色や音による警報）と、危険指標の根拠を可視化した衝突危険領域表示の有効性を客観的かつ定量的に評価するため、シミュレータを活用した操船実験を実施した。ここでは、操船実験の概要と操船結果を航跡図及び操船評価プログラムにより定量的に評価を行った結果について詳述する。

4.1 シミュレータを活用した実験

4.1.1 実験概要

輻輳海域を想定したシナリオにおいて、被験者に目視とレーダーから収集した情報をもとに通常の操船を行った場合（支援なし）と同シナリオにおいて衝突危険指標・領域を表示した操船支援装置を活用して操船した場合（支援あり）の両者について比較検証を実施した。比較検証手法には、航跡図の比較に加えて、日本海洋科学が有する操船評価プログラムを利用した。

当該実験は、2019年から2020年の期間において、各社作成の操船支援装置を用い、外航船舶の操船経験を十分に有する船長から若手航海士、士官候補生（海事教育機関に所属する学生）まで、幅広い経験層による被験者によって実施しているが、ここでは評価手法が確立された2020年の士官候補生による

実験の結果を紹介する。なお、代表的な実験の結果として、古野電気作成の操船支援装置を使った事例を挙げる。

4.1.2 実験シナリオ

実験評価には、大型コンテナ船（表5）においてシンガポール輻輳海域を想定し横切り船の状況を見ながら航路帯に進入するシナリオを採用した。以下に、自船の概要とシナリオ図（図36内、赤で示した航跡が理想とされる自船の航跡）を示す。

表5 実験に使用した自船の概要

実験に使用した自船の概要	
船種	コンテナ船 (9100TEU)
船型 (L/B/d)	349.8m/45.6m/14.5m
設定速力	12kt (S/B Full)

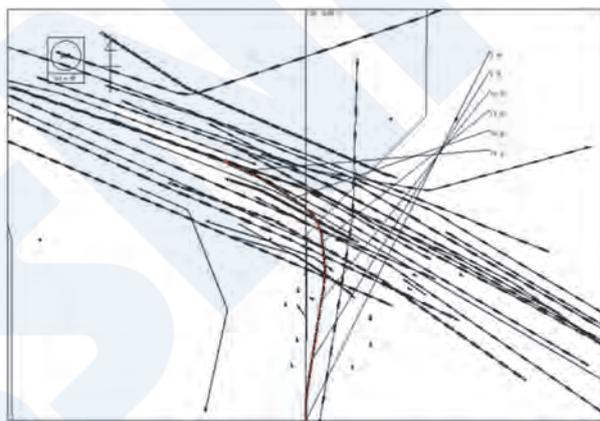


図36 実験に使用したシナリオの概要

本実験の前提条件として、自船の速力変更に伴う見合い関係の変化が比較検証に影響を与えないよう本船の速力（機関出力）は一定の状態で舵のみを使用して避航操船を行う設定とした。

4.1.3 評価手法

衝突危険指標・領域表示の有効性を客観的かつ定量的に評価するための手法として、航跡図及び操船評価プログラムを用いた。

航跡図による評価では、グリッドを設定したシート上に複数の操船者の航跡を重畳させ、航跡のばらつきを分析することにより比較検証を実施した。今回採用したグリッドの大きさは500m四方であり、これは、操船者が輻輳海域において確保すべき他船との航過距離が概ね2.5~3ケーブル（約500m）であるという操船者へのヒアリング結果に基づいている。

操船評価プログラムによる評価では、日本海洋科学が保有する「Auto Grading System」（以下、AGS）を採用した。AGSは、日本海洋科学製操船

シミュレータ付属ソフトウェアで、他船との見合い関係、ブイや岩などの海上の障害物、進入禁止区域 (No Go Area) など、各評価項目において操船結果を定量的に評価して点数で表現することを可能とするものである。

AGSによる操船結果の基本的な評価式は、各評価項目の危険領域侵入時間を、操船時間で除することにより、無次元化した負の点数により結果を算出する。

$$Score = -\frac{x*t_{Dangerous}+y*t_{Caution}}{t_{end}} * \quad (5)$$

ここで、

Score: Evaluation score

t_{Dangerous}: Period/time that existed in Dangerous area (second)

t_{Caution}: Period/time that existed in Caution area (second)

x: Variable for Dangerous area for weigh

y: Variable for Caution area for weigh

t_{End}: Period/time of ship maneuvering (second) とする。

また、操船事故という結果とそれに至る過程におけるNGAへの侵入などの安全制約に対する違反の程度を階層化し、各評価項目への重みづけを実施した。



図37 安全制約の違反の程度

ここで、AGSは操船事故に至る操船行動を評価するものであるため、図37の最上位にあたる「Consequence」、すなわち操船事故については、事象の検知と表示は行うがその評価は行わない。従って、評価対象となる項目は「Approaching to Safety Constrain」及び「Process to Approaching Safety Constrain」のレイヤーとなる。前記に従い、評価項目を仕分けすると表6となる。Safety Constrain以下の2つのレイヤーの重みづけ係数 (Wf, Weight

factor) は、上位を2、下位を1とする。

表6 AGSの評価項目と重みづけ係数 (Wf.)

Id	Layer	Items	Wf.
1	Consequence	衝突	n/a
2		乗揚	n/a
3	Approaching to Safety	他船関係 (距離と方位変化率)	2
4	Constrain (To Object)	他船関係 (漁船など)	2
5		ブイ航過距離	2
6		任意点航過距離	2
7		着棧時速力逡減	2
8	Approaching to Safety Constrain (To Area)	NGA進入	2
9		指定航路外航行	2
10	Process to Approaching Safety Constrain	ROT制限	1
11		航路内速力制限	1
12	Other (Economy)	経済運航指標	n/a

なお、当該評価プログラムには他船関係の評価において「危険領域図」による評価方式⁹⁾が内包されている。この方式は、他船航過時の相対距離及び方位変化率を指標とし、一秒毎の非常に細かなメッシュで他船航過による安全性の評価が可能であり、長年の研究を背景に妥当性が確立されている。

4.2 実験結果

4.2.1 航跡図による評価・分析

15名の被験者による操船結果を図38に航跡図で示す。左の航跡図が通常の操船を行った結果 (支援なし)、同シナリオについて操船支援装置を利用し操船した結果 (支援あり) である。青色の航跡が「衝突の発生なく航行した航跡」、赤色の航跡が「衝突が発生した航跡」または「航路に対して逆走した航跡」である。

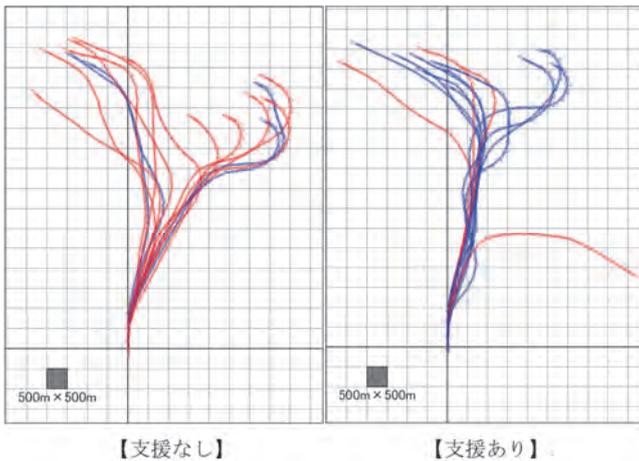


図38 操船結果の航跡図

本検証において、「支援なし」の場合には15回の試験中に衝突が11回発生したが、「支援あり」の場合には、衝突回数が4回の発生頻度まで低下した。これは、これらの支援表示を与えることにより、衝突リスクが高い他船に適切なタイミングで気が付くとともに、衝突リスクの高い海域が視覚的に認識可能となったことにより回避行動を見出しやすくなったことが要因であると考えられる。すなわち、個人の状況認識能力や経験の差の補完がなされた結果が、航跡の収斂という形で表されていると分析される。

なお、2019年度に実施したライセンス所持者（プロの船長・航海士）を被験者とした同様のシナリオにおける実験では、「支援あり」では「支援なし」と比較して航跡が収斂し、かつ衝突回数を0～1回の発生頻度まで抑える結果が得られている。

4.2.2 操船評価プログラムによる評価・分析

操船評価プログラム（AGS）による比較検証結果を表7に示す。比較は、「支援なし」と「支援あり」でそれぞれ実施し表中にカラー矢印で示した。なお、実験結果には衝突が見られるが、前述した通り、AGSでは当該項目による減点は行わず、衝突があった事実を他の項目による評価と合わせて表示するようにしている。このため、衝突があった結果については採点による比較を実施しないこととした。また、反対レーンへの進入（逆走）も何件か発生しているが、これについても、NGAにおいてある程度の減点はなされるものの、今回の実験方法では反対レーンに入ると極端に他船との遭遇が少なくなり他船航過に関する採点に影響を及ぼすため、衝突同様に、逆走があった結果については採点による比較を実施しないこととした。

表7 操船評価プログラムによる操船結果評価

被験者 (士官候補生)	AGSによる評価結果		
	支援なし (レーダのみ)	支援あり (衝突リスク表示)	比較
A	衝突	-109.29	↑
B	衝突	-111.84	↑
C	衝突	衝突	→
D	衝突	-129.83	↑
E	-107.43	-66.43	↑
F	逆走	衝突	→
G	衝突	-63.96	↑
H	-67.07	-84.22	↓
I	衝突	逆走	→
J	-119.10	-61.83	↑
K	衝突	-51.13	↑
L	衝突	-55.30	↑
M	衝突	-113.89	↑
N	衝突	-29.21	↑
O	-146.11	逆走	↓
平均(*)	-109.9	-87.7	↑

<凡例>

- ↑ 支援なしと比較して支援ありでは点数が上がった,または衝突/逆走しなかった
- ↓ 支援なしと比較して支援ありでは点数が下がった,または衝突/逆走した
- 支援なし,支援あり,どちらも衝突/逆走した

*衝突/逆走なく点数計上されている合計点数をその人数で除した数値を平均点として記載した

表7より、15人のうち10人の評価結果において、「支援あり」の方が「支援なし」の場合と比較して概ね「適切な操船がなされた」ことがわかる。衝突が減ったことは前記航跡図から明らかであるが、操船評価プログラムにより算出された平均点も「支援あり」の方が「支援なし」の場合と比較して上昇しており、操船支援装置を活用することにより、一定の操船向上効果が見られた。

4.3 考察

今回の研究によって得られた結果をもとに、衝突危険指標・領域表示の効果ならびに本操船支援装置を活用する上での教育の重要性についてそれぞれまとめた。

4.3.1 衝突危険指標・領域表示の効果

シミュレータによる実験ならびに検証結果から、衝突危険指標に基づく警報の発報が操船者への気づきを早期に促し、かつ、危険と判断される根拠を領域表示として可視化することで、操船者の技量のばらつきを平準化し衝突のリスクを低減・安全性向上に寄与することが証明された。とりわけ、本節で取り上げたシナリオが示すように、横切り関係において非常に高い効果を発揮することが窺える。航路帯を横切する場合など、船速が異なる複数の船が連なって航行している状態を横切るような場合において、操船者はそれぞれの船舶の動きを予測し、未来の船団の姿、つまりは各船舶の将来的な相関関係を予測した上で自船の取るべきルート进行分析・判断しなければならないが、本装置がその作業を容易にしていると見える。これは、支援なしの試験において少な

からず発生していた衝突が、支援ありでは極めてゼロにまで近づいたことで明確に証明されている。

また、人間への負荷が低減されることで、以下の二次的効果が期待される。

- ・ 精神ストレスの軽減による判断ミスの低減
- ・ 思考時間をより長く確保出来ることによる判断ミスの低減
- ・ より冷静に周囲を観測することによる重要な目標逸失の低減
- ・ 夜間や視界不良などの視認が困難な状況下における判断力の向上

今後は、これらの二次的効果にも着目しながら、多様なユーザーや操船環境に合わせて操船支援装置の調整を行いユーザビリティの高いマンマシンインターフェースを構築することで、操船者の安全・安心に寄り添った運用がなされるよう実装に向けた準備を進めていく。

4.3.2 操船支援装置を活用する上での教育

前節で述べた衝突リスク表示の効果が明確である一方、新たな操船支援装置の利用は、使用者の理解度によっては安全性を損なう可能性があることもこれまでの実験において課題として挙げられていた。今回、航海士候補生を対象に教育を実施した結果、得られた着眼点を以下にまとめる。

- ・ 教育により操船支援装置への理解度を深めることで安全性向上に寄与することができる。
- ・ 同一の教育を行っても被験者によってその理解度にはバラつきが生じるため、演習などを通じて具体的に理解が不足していると思われる箇所を洗い出し、個別に教育を追加するなど、個人のレベルに応じた教育と訓練は必須である。
- ・ 操船支援装置を有効に利用するためにはその前提となる操船実務の知識・経験が必要であり、操船者に求められる知識・技能を明確にした上で教育・訓練を含めた運用を検討していくべきである。

以上のことから、経験や能力が多岐に渡る操船者を対象とする場合、操船者への教育は必須の要件であると考え、今後はこれら教育の必要性をより説得力のあるデータをもって証明するとともに、安全に装置を運用するために必要となる教育要件の確立を目指す。

5. まとめ

5.1 本研究成果

今回の研究で開発した衝突危険指標に関して、各社とも現役の外航船船長・航海士に対して実施した試験データを基に衝突危険発報アルゴリズムを構築し、試験機の開発まで実施した。また衝突危険指標に衝突危険領域表示を組み合わせることで、操船者に対し衝突危険指標の発報にて気づきを与え、衝突領域表示により衝突リスクが高い海域を伝えることで、旧来の目視及びレーダーによる操船に比較し、早いタイミングで衝突の危険性がある船に気が付くことができ、また迅速に安全な航路を選定することができるようになった。操船シミュレータを利用した操船実験では操船経験のある操船者のケースでは試験機を利用した場合、使用しなかった際と比較し衝突事故が著しく減少した。また操船経験に乏しい学生が本機器を利用した際も機器を利用するための教育実施後では十分な効果が確認された。

一方、操船者の中には本機器の機能を十分に理解できず、使いこなせないケースも少数ながら発生したので、今後の課題として衝突支援装置を十分に活用するための教育に関して検討をしていく必要がある。

5.2 今後の取り組み

各航海機器メーカーは本研究で開発した機能、機器のプロトタイプが完成した。今後は各社、開発した本機能・機器を製品化すべく、改良・検証を進めて行く。

各メーカーにおいては船級などからの機器承認取得を念頭にいれつつ、実証を重ねて2025年頃の製品化を目指している。一方、海運事業においては、本開発機能・装置を今後の実証を経て、本船へ搭載し、衝突事故の大幅減、事故による環境破壊防止、顧客サービス向上に取り組む。また日本海洋科学においては、今回開発した操船評価指標をブラッシュアップすることで、今後出てくる自律操船システムの評価が実施できるようにするとともに、今後、基準化、標準化が進められていくと想定される自律操船システムの評価方法に関して、日本のみならず海外の関係各所へ提案を進めて行く。

6. 終わりに

本研究における衝突リスク判断方式の開発物は、操船者の技量のばらつきを平準化して衝突のリスクを低減し安全性向上に寄与することが証明されてきた。また最終年度ではライセンスを所持していない

航海士の候補生を被験者として起用し、その結果一定の安全性向上に効果が見られたことから、多様なユーザーへの適応が可能であることが証明された。

今後、本取り組みは研究・開発段階から実装、実用化の段階へ進んでいく。本研究における研究成果は既存船の操船者に対する操船サポートによる安全性向上のみならず、現在開発中である自動運航船において状況判断機能の基礎技術としても利用が可能である。

また本研究開発では航海機器メーカー各社と海運会社が共同で取り組むことにより、メーカーの知見と現場の知見を組み合わせて衝突事故を防止するための現状に即した課題解決にとりくめたこと、協調領域と競争領域を意識しながら同業者と一緒に開発に取り組めたことで、海事産業の活性化の一助となった。

現在本研究メンバーは国土交通省が実施した「操船支援機能と遠隔からの操船などを活用した船舶の実証事業」や日本財団が実施する「無人運航船の実証実験にかかる技術開発共同プログラム」(MEGURI2040)のDFASプロジェクトに参画し、衝突事故の削減を含めた安全航行の実現・船員の労働環境改善を図る取り組みを進めて行く。

参考文献

- 1) Nelson Cowan, "The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity," BEHAVIORAL AND BRAIN SCIENCES (2000) 24, 87-185.
- 2) 長澤 明, 原 潔, 井上 欣三, 小瀬 邦治, "避航操船環境の困難度 - II : シミュレーションによる評価に向けて," 日本航海学会論文集, 第88号
- 3) 今津 隼馬: 衝突針路を使ったOZT算出方法 (ア) 日本航海学会誌 NAVIGATION, 188巻
- 4) 箱山 忠重, 八木 修: 衝突点と衝突領域, 日本航海学会誌 NAVIGATION, Vol.214, pp 25-32 2020.11
- 5) 中村 紳也, 「海上交通に関する安全性評価手法の確率」, 1996

略語

ICT : Information and Communication Technology, 情報通信技術

IoT : Internet of Things, モノのインターネット

CPA : Closest Point of Approach, 最接近点

DCPA : Distance of CPA, 最接近距離

TCPA : Time to CPA, 最接近時間

PAD : Predicted Area of Danger, 予測危険範囲

DAC : Dangerous Area of Collision, 衝突危険範囲

OZT : Obstacle Zone by Target, 航行妨害ゾーン

AIS : Automatic Identification System, 船舶自動識別装置

IMO : International Maritime Organization, 国際海事機関

ECDIS : Electronic Chart Display and Information System, 電子海図情報表示装置

ECS : Electronic Chart System, 電子海図装置

SJ : Subjective Judgement, 主観的衝突危険度

AGS : Auto Grading System, 操船評価プログラム

NGA : No Go Area, 進入禁止区域