

海のモビリティを支える避航操船支援システム

Collision Avoidance Support System for Maritime Mobility

戸 枝 賢 吾
Kengo Toeda

秋 池 孝 則
Takanori Akiike

石 井 幹 久
Mikihisa Ishii

薩 摩 林 純
Jun Satsumabayashi

要 旨

避航操船支援システムは、船舶同士の衝突を回避することで船舶の安全な航海を支え、従来の避航操船の複雑さに起因する操船者の負担を軽減することを目的とする。安全な避航を行うためには、避航ルート生成技術の開発が不可欠である。当社は、他船との衝突判断の計算に東京海洋大学 今津隼馬名誉教授の考案による航行妨害ゾーン (Obstacle Zone by Target: OZT) を採用した避航ルート生成アルゴリズムによる避航操船支援システムの開発に取り組んでいる。当社が開発する避航ルート生成アルゴリズムは、OZTの回避を基本として、海上衝突予防法の遵守、他船との衝突リスクが高まる前の段階における先行避航、他船から確実に認識できる避航を実現する。本システムの実現により、海難事故抑制、海洋汚染防止、燃費効率の向上、船員不足の解消を目指す。

Abstract

The collision avoidance support system aims to support the safe navigation of ships by avoiding collisions between ships and to lighten the burden on the ship operator due to the complexity of conventional collision avoidance maneuvers. For safe collision avoidance, it is essential to develop generation technology of collision avoidance routes. We are working on the development of an collision avoidance support system based on our original algorithm for generating collision avoidance routes, which employs Obstacle Zone by Target (OZT) devised by Professor Emeritus Hayama Imazu of the Tokyo University of Marine Science and Technology to calculate collisions with other ships. The algorithm will enable us to avoid OZT, comply with the Act on Preventing Collisions at Sea, avoid collisions with other vessels earlier before the risk of collision increases, and ensure that other vessels are aware of our avoidance actions. By realizing this system, we aim to reduce marine accidents, prevent marine pollution, improve fuel efficiency, and solve the shortage of seafarers.

1. まえがき

海運業界においては、船舶運航の安全性向上、操船者の負担軽減、将来的な船員不足への対応が大きな社会的課題となっている。特に船舶の衝突事故は、人命の損失に加え、深刻な海洋環境の汚染、サプライチェーンの混乱にもつながる。これらの課題を解決するため、全世界で自動運航船の開発が急がれており、当社も自動運航船の実現に向け様々な取り組みを進めている。

自動運航船の開発には、運航データの集約、見張りの自動化、衝突回避、船陸間通信、自動離着岸などの様々な技術が必要となる。当社では、船用レーダ、ECDIS、AISなどの様々な航海機器の製品開発を手掛けてきた。本稿では、これら既存の航海機器と新たな技術を連携させた「避航操船支援システム」の開発と前述の技術のコアとなる衝突回避技術について述べる。

2. 当社の避航操船支援システムの概要

本システムの機能ブロックを図1に示す。

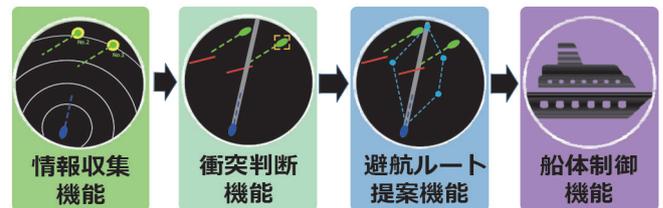


図1 避航操船支援システムの機能ブロック

Fig.1 Functional block of the collision avoidance support system

「情報収集機能」は、自船の周囲に存在する他船の動静を確実に取得する。この機能は、船用レーダのTarget Trackingデータ、AISデータ、光学カメラの画像解析結果による他船の方位、距離データを収集し統合する。

「衝突判断機能」は、「情報収集機能」が得た他船の動静情報に基づき、衝突の可能性をOZTにより判断する。

「避航ルート提案機能」は、「衝突判断機能」において他船との衝突危険ありと判断された場合に、適切な避航ルートを生成し、操船者に提案する。

「船体制御機能」は、提案した避航ルートが操船者により承認された場合、避航ルート追従機能により船体制御を行う。

本稿では、各機能ブロックに実装される技術のうち、3章

で新たな衝突判断手法, 4章で避航ルート生成技術, 5章で船体の制御技術についてそれぞれ述べる。

3. 新たな衝突判断手法

3.1 従来の衝突判断手法

従来, 船用レーダにより検知した他船との衝突の可能性を判断する際に用いられている手法として, 自船に対する他船の相対的な動きに基づき, 他船と自船の最接近点(CPA)を求める方法が用いられてきた。CPAの計算イメージを図2に示す。自船からCPAまでの距離を示すDCPAと, 他船がCPAに到達するまでの時間を示すTCPAを求めることで, 衝突危険の有無を判断する。図2の相対運動ベクトルは, 自船に対する他船の相対運動の向きと速さを示す。また図2のCPAは, 自船を基準位置として他船が最接近する相対位置を示している。

ここで, 自船の安全な避航ルートを判断するためには, 自船位置の変化に応じてDCPA/TCPAを都度求める必要がある。また衝突の可能性のある他船が複数存在する場合は操船に複雑な判断を要し, 操船者の負担となっている。

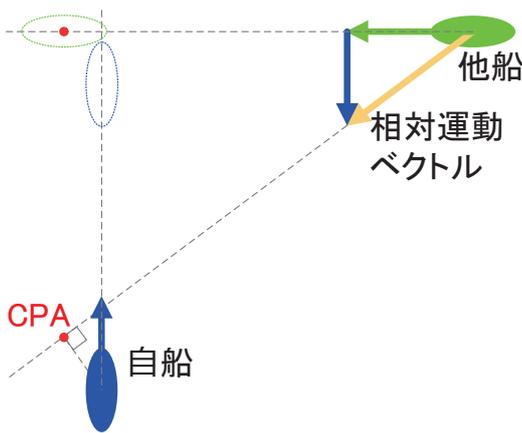


図2 CPAの計算イメージ

Fig.2 Calculation image of the CPA

3.2 本システムの衝突判断手法

本システムでは, 従来の衝突判断手法における課題を解決するため, OZTを活用した新たな衝突判断手法を採用する。OZTは, 他船と衝突することが推定される絶対位置を示しており, 自船の針路がOZTに向いているか否かで衝突の危険性を判断できる。操船者はOZTを認識することにより, 他船との衝突を回避する操船判断が可能となる。図3は, 自船(青色の楕円)に対して他船(黄緑色の楕円)が右舷側より接近している例である。青色と黄緑色の矢印の向きは各船舶の針路を, 矢印の長さは各船舶の速度を示す。赤色の線分がOZTである。自船の針路がOZTに向いていることから, 自船がこのまま進めば他船と衝突する危険性が予測される。薄水色の点線は本システムにより生成された避航ルートの一例であり, このルートに従ってOZTを避けるように操船することで衝突を回避できる。

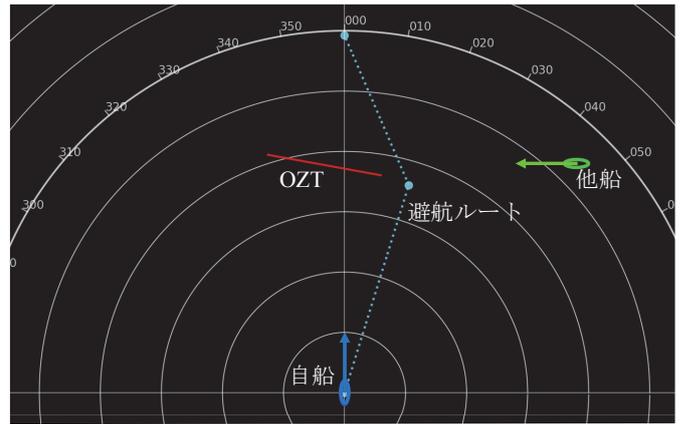


図3 OZTおよび避航ルートのレーダ画面表示例
(一隻の他船が自船の針路を横切る場合)

Fig.3 Example of the radar screen display of OZT and collision avoidance route
(When another ship crosses the course of own ship)

この機能が特に有効となるのは, 自船の周囲に複数の他船が存在する海域において避航操船が必要となる場合である。このような状況のOZTおよび避航ルートの例を図4に示す。各々の船舶の航行速度が異なるため, 従来, 安全な針路を瞬時に判断することが難しかったが, 本機能により避航ルートを簡単に生成することができる。薄水色の点線は本システムにより生成された避航ルートの一例である。

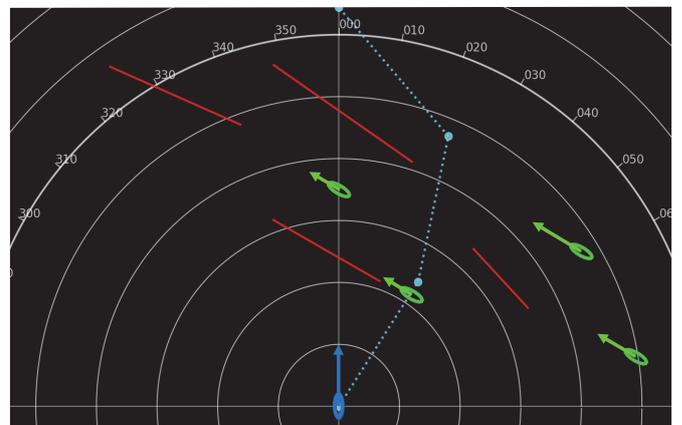


図4 OZTおよび避航ルートのレーダ画面表示例
(自船の周囲に複数の船舶が存在する場合)

Fig.4 Example of the radar screen display of OZT and collision avoidance route
(When there are multiple ships around own ship)

本システムでは, OZTの算出要件である航過距離の設定が可能である。航過距離とは, 自船と他船が最接近する際に許容できる距離を指す。本システムにおいては, 他船の船首側と船尾側, 右舷側と左舷側で異なる航過距離を設定することが可能である。他船に不安を与えないため, 一般的に, 他船の船首側を航過する場合は, 船尾側を航過する場合よりも航過距離を大きく取るが, このような設定も可能である。

4. 避航ルート生成技術

4.1 避航ルート生成の概要

本システムにおける避航ルート生成はOZTを避けることを基本とするが、このほかにも以下に示す特長を有する。

- 1) 他船を避航する際、「海上衝突予防法の航法規定の遵守」「先行避航」「他船に不安を与えない避航」の考慮
- 2) 浅瀬への乗揚げ、航路標識との衝突、設定されたNo Go Area（侵入が禁止されている海域）への侵入の防止
- 3) 速力変更よりも変針を優先した避航ルートの生成および提案
- 4) 複数の避航ルートの提案（最大4ルート）

本システムが生成した避航ルートの表示例を図5に示す。



図5 生成した避航ルートのECDIS画面表示例

Fig.5 Example of ECDIS screen display of generated collision avoidance route

4.2 他船を避航する際に考慮すべき事項

3章で述べた通り、OZTの認識に基づく避航ルート生成は衝突回避に有効であるが、他船を避航する際は、OZTの認識と併せて以下の点についても考慮する必要がある。

- 1) 海上衝突予防法が定める航法規定の遵守
衝突のリスクが高まっている場合の避航は、海上衝突予防法の航法規定に従う
- 2) 先行避航
時間的な余裕を十分に確保したうえで避航する
- 3) 他船に不安を与えない避航
他船から自船の行動が確実に認識できるように避航する
以上の各事項について、以下に詳細を述べる。

4.2.1 海上衝突予防法が定める航法規定の遵守

海上衝突予防法は、海上における船舶の衝突を予防し、海上交通の安全を図ることを目的として、船舶が遵守すべき航法などを定める法規である。本システムは、海上衝突予防法が定める航法規定を満たす避航ルートを生成する。

海上衝突予防法では、自船および他船の船首方向や相互

の位置関係（見合い関係）によって適用される航法規定が異なり、避航時の針路も規定される。本システムにおいては、航法規定を遵守した避航ルートを生成するため、他船との見合い関係を判断するアルゴリズムを開発し、判断結果に応じた避航ルートを生成する。

4.2.2 先行避航

海上衝突予防法が定める航法規定は、操船者による柔軟な判断を前提としており、状況ごとの具体的な操船方法は定められていないため、海上衝突予防法の航法規定を適用した避航ルートが必ずしも安全性確保の観点において最良であるとは限らない。

本システムでは、この点も考慮し、航法規定が適用される危険な状況となる前に「先行避航」の考えに基づいた避航ルートを常に生成して表示する。（具体的には、衝突までの時間が15～30分程度の段階で避航ルートを生成する。）

4.2.3 他船に不安を与えない避航

避航の際は、自船の行動を他船へ容易に認識させ、他船へ不安を与えないことが重要である。

このため、他船との距離や見合い関係、船首または船尾のいずれを航過するかを判断、他船の相対方位変化率や自船との速度差(避航能力の差異)、「付け回し」という操船方法を踏まえた最適な避航ルートを生成するアルゴリズムを開発した。

自船の速度が他船より速い場合は、自船は小さな変針角度で衝突を回避できるが、他船は大きな変針角度の操船を要する。このように、自船と他船の速度に差がある場合は、両者の避航能力が異なり、双方が互いの挙動に応じた避航ルートを判断する必要がある。このため、避航する他船の針路を想定したOZTを生成し、その領域を回避することにより他船へ不安を与えない避航操船を可能とする。

また、自船の航路を横切る船舶に対し不安を与えない「付け回し」という操船方法を避航ルート生成に反映する。付け回しルートの例を図6に示す。図中のインデックス (T0, T1, T2) は時間の経過を表す。各々の時間における他船の方位に自船の針路が向くルートとなる。付け回しルート上を航行することにより、自船の針路を横切る船舶に対し自船の避航意思を明確に示し、操船者の不安を軽減する。

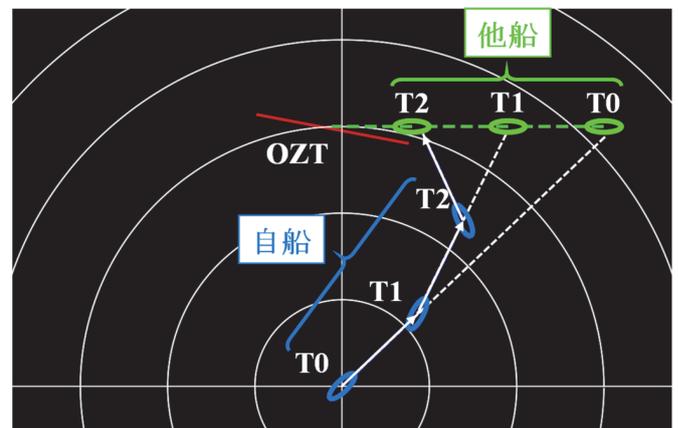


図6 付け回しルートの例

Fig.6 Example of a route to track the target ship

5. 船体の制御技術

本システムは避航ルートを生成するだけでなく、TCSを応用した避航ルート追従機能により避航ルート決定後の船体制御を自動で行う。避航ルート追従機能の構成と処理内容、追従機能を組み込んだ自動避航の制御プロセス、安全に自動避航できない場合の手動操舵への切り替えについて以下に述べる。

5.1 避航ルート追従機能

既設のECDISとAutopilot（自動操舵装置）を本システムに組み合わせることにより避航ルートへ船体を追従させる。ECDISは電子海図上に航海関連情報と計画航路を表示し、船舶の航行状況を監視することで安全航行を支援する装置である。Autopilotは目的の針路で航行するように舵を自動制御する装置である。本機能は承認された避航ルートを操船者が作成した計画航路に反映させ、TCSを応用して計画航路への追従制御を行う。TCSは、風圧や波浪、海流、潮流などの外乱に対処しながら、船舶が計画航路に沿って航行するようAutopilotを用いて舵を自動制御する。変針点においては自動で船首方位を変更する。

5.2 自動避航の制御プロセス

提案された避航ルートを操船者が承認することにより、避航ルート追従機能が船舶に舵角を指示する。自動避航の制御プロセスを図7に示し、各々のプロセスを以下に述べる。

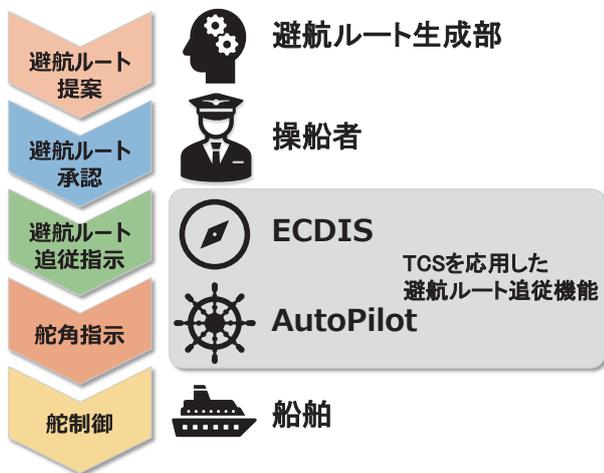


図 7 自動避航の制御プロセス

Fig.7 Control process of automatic collision avoidance

1) 避航ルート提案（避航ルート生成部）

避航操船が必要と判断した場合に避航ルートを生成し、操船者へ提案する。

2) 避航ルート承認（操船者）

提案された避航ルートの安全を確認し、承認する。

3) 避航ルート追従指示（ECDIS）

操船者が承認した避航ルートに船体を追従させるようECDISがAutopilotに指示する。

4) 舵角指示（Autopilot）

指示された避航ルートに従って航行するよう適切な舵角を指示する。

5) 舵制御（船舶）

舵角指示にもとづき舵を制御する。

避航完了後は元の計画航路に従ってTCSにより自動航行する。

5.3 手動操舵への切り替え

以下のいずれかの状況に陥った場合、アラーム吹鳴と共に手動操作へ切り替え、避航ルート追従機能による自動操舵を解除する。

- 1) 大きな外乱が生じTCSの制御限界を超えた場合
- 2) 他船の予期せぬ行動により切迫した衝突の危険性が生じ、TCSによる自動避航に時間的な余裕がないと判断された場合
- 3) 避航操船支援システムに異常が生じ、正常に機能しなくなった場合

6. あとがき

本開発により、避航操船支援システムの基盤技術を確立した。今後は実用化に向け、各機能ブロックの統合を進め、操船シミュレータおよび実船による評価を行い、性能向上を図る。また当社が取り組みを進めている船用レーダなどのセンシング能力の向上、VDESを活用した船舶間通信の高度化、およびこれらの情報を有効活用するアルゴリズムの開発と併せ、海のモビリティを支える自動運航船の早期実現を目指す。

用語一覧

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

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

TCS: Track Control System (航路制御システム)

CPA: Closest Point of Approach (他船と自船の最接近点)

DCPA: Distance of CPA (最接近距離)

TCPA: Time to CPA (最接近時間)

VDES: VHF Data Exchange System (VHFデータ交換システム)

変針点: 船舶が方位を変える位置

計画航路: 電子海図上に変針点を設定し、それらを直線で結んだ航路

海上衝突予防法: 国際海上衝突予防規則 (条約) の規定に準拠して、(1) 船舶の遵守すべき航法、(2) 船舶の表示すべき灯火および形状物、(3) 船舶の行うべき信号に関し必要な事項を定めることにより、海上における船舶の衝突を予防し船舶交通の安全を図ることを目的とした法律