

操船シミュレータに導入された自動避航操船機能の輻輳海域への適用*

三宅 里奈^{*1}, 福戸 淳司^{*2}, 長谷川 和彦^{*3}

Application of an Automatic Collision Avoidance Function on a Ship Handling Simulator to the Congested Sea Areas

Rina MIYAKE ^{*1}, Junji FUKUTO and Kazuhiko HASEGAWA^{*1}National Maritime Research Institute
6-38-1 Shinkawa, Mitaka, Tokyo, 181-0004 Japan

In near future, it is expected that many advanced support functions such as an automatic collision avoidance function will be installed to ships for upgrading navigation safety and efficiency. For the sake of evaluating the effect of these functions, experiences of the use of the functions are essential. Expert judgment based on the experience of the use of such newly developed functions is one of the best tool for evaluating their safety and efficiency. To reproduce the environment for making it possible to experience such system in a ship-handling simulator, we made a framework for introducing the advanced functions to all ships in the simulator. Then we introduced an automatic collision avoidance function to all ships to control them enabling proper manoeuvre in congested sea area including collision avoidance. To show the effectiveness of the function, we conducted a series of simulation runs using the function in congested sea areas. In this paper, after brief introduction of the automatic collision avoidance function, the results of simulation runs in congested sea areas and the effectiveness of the function are discussed.

Key Words : Ship Handling Simulator, Collision Avoidance, Congested Sea Areas

1. はじめに

今後、船舶の航行安全を目的として、自動避航操船機能等先進支援機能が多くの船舶に搭載されることが予想される。これらの機能が航行船舶に及ぼす影響を評価するためには、それらの使用経験に基づいた評価が必要になる。これには操船シミュレータが有用である。このため、操船シミュレータの交通流を構成する船舶(以降、他船と呼ぶ。)の動きを操船シミュレータ外から制御するフレームワークを作成し、先進機能の例として自動避航操船機能を操船シミュレータに実装した⁽¹⁾。

さらに、本研究では、輻輳海域での自動避航操船機能を評価するため、連続した避航操船を必要とする輻輳状態の交通流に自動避航操船機能を適用し、有効性の検討を行った。

2. 自動避航アルゴリズム

避航操船アルゴリズムはこれまでに様々なものが開発されているが⁽²⁾、本研究では、大阪大学と共同開発した Fuzzy 推論による自動避航システム⁽³⁾を海上技術安全研究所の操船シミュレータに組み込み、操船シミュレータ上に避航操船を考慮した交通流を実現した。

各船の避航操船判断は、基本的には、各船が持っているレーダー等の他船情報に基づいて、①遭遇船との衝突の危険の評価、②避航の要否の判断、③避航手段の決定(避航が必要な場合)、④決定された避航手段に基づいた

* 原稿受付 2012年2月14日

^{*1} 正員, 海上技術安全研究所 運航・物流系 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1)^{*2} 海上技術安全研究所 運航・物流系 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1)^{*3} 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻船舶海洋工学部門
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: r_miyake@nmri.go.jp

指令針路および指令船速の出力、の順に実行される。

2・1 衝突危険度の評価と避航の可否の評価基準

遭遇船舶との衝突の危険の評価および避航要否の判断は、衝突危険度 CR (Collision Risk)により判断される。 CR は、自船と遭遇他船との相対的な位置および速度から求まる最接近時間 $TCPA$ (Time of Closest Point of Approach, [s])および最接近距離 $DCPA$ (Distance of Closest Point of Approach, [m])を基に、Fuzzy 推論により求める。

また避航操船は、海上衝突予防法に基づき行われる。海上衝突予防法では、衝突に至る見合い関係が発生した時、避航しなければならない船(避航船:Give way)と針路を保たなければならない船(保持船:Stand on)が定義され、避航操船はそれぞれの船舶の危険度の評価結果に基づき行われる。

さらに危険度の評価は、船の大きさとその操縦性能が影響すると考えられるので、操縦性能を表す時定数 T [s]と船長 L [m]を用いて $TCPA$ および $DCPA$ を修正している。具体的には、式(1)および式(2)に示すように操縦性能が悪いほど衝突危険度が高くなるよう $TCPA$ を修正し、 $DCPA$ については、式(3)に示すように、自船と他船の大きい方の船長 L [m]で無次元化した $DCPA'$ を用いている⁽¹⁾。

For assessing collision risk :

$$TCPA_c = TCPA - C_c T \quad (1)$$

For assessing return path :

$$TCPA_v = TCPA_c - C_v / T \quad (2)$$

C_c and C_v are constant. ($C_c=2$ and $C_v=1000$).

They are determined based on some simulation results.

$$DCPA' = DCPA / L \quad (3)$$

2・2 避航操船判断

避航操船要否の判断や避航方法は衝突危険度と共に見合い関係に依存する。本アルゴリズムの見合い関係と避航方法および避航開始を決める閾値を図1に示す。

航行船舶にアルゴリズムを適用する場合、通常 1 対多の遭遇を考慮する必要がある。このため避航判断船(Decision Ship)は、周囲の全船舶に対して CR を計算し、最大の CR となる避航対象船(Target Ship)について避航操船の要否を判断し、避航が必要な場合にはその避航対象船を避航する。避航操船の要否の判断は、両船の見合い関係とその見合い関係に対応した閾値で決める。両船の見合い関係は位置関係から図1の見合い関係の1つに分類され、避航判断船が避航船の場合は閾値 CR_b で、保持船の場合は閾値 CR_o で避航を開始する。なお、避航船と保持船の関係は、海上衝突予防法に基づく両船の相対位置によってのみ決定し、操縦性能・船長の大小・特定航法は考慮しない。また、保持船は、衝突が避けられない場合の協力動作として高い閾値で避航を開始する。

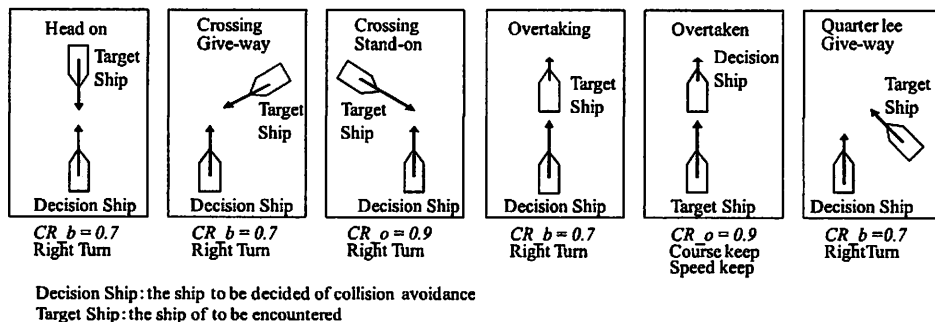


Fig. 1 Encounter patterns and their characteristics

2・3 輻輳海域での避航操船の手順

本アルゴリズムでは航行状態を4つのモード、①航路航行モード(Way Point mode)、②避航モード(Avoiding mode)、③平行操船モード(Parallel manoeuvring mode)、④復帰モード(Returning mode)で表現する。

図2に横切り状態を例に避航操船の手順を示す。

避航の必要が無い場合、船舶は計画航路に沿って、航路航行モードで航行する。航路航行モードでは、遭遇する全船舶のCRを計算し、CRが航路航行モードの閾値 C_{CR} を超えた場合に避航モードに移行する。避航初期変針角(ψ_A [deg])は、相手船の船尾に向けるため、相手船との相対角(ψ_T [deg])を超える角度、かつ、避航後の針路の衝突危険度ACRが避航操船の閾値 C_{ACR} より小さくなる角度とした。なお、変針角は上述の条件が満たされるまで5度刻みに増加させ、最大30度とし、条件が満たされない場合はさらに減速する。一方、避航判断船が保持船の場合は、避航船の船首が避航操船を意図して避航判断船の船尾に向いていれば、現状を保持する。

避航モードに移行した後は、その針路を保持した場合のCRと平行操船モードに移行した場合の衝突危険度VCRを計算し、新たな避航操船の必要性和、平行操船モードへの移行の可能性が判断される。平行操船モードと復帰モードも同様に、モードを継続した場合の危険性と次のモードへの移行を考慮してモードの移行を判断する。

最後、復帰モードの状態では計画航路からの距離が設定範囲内になった場合、航路航行モードに復帰する。

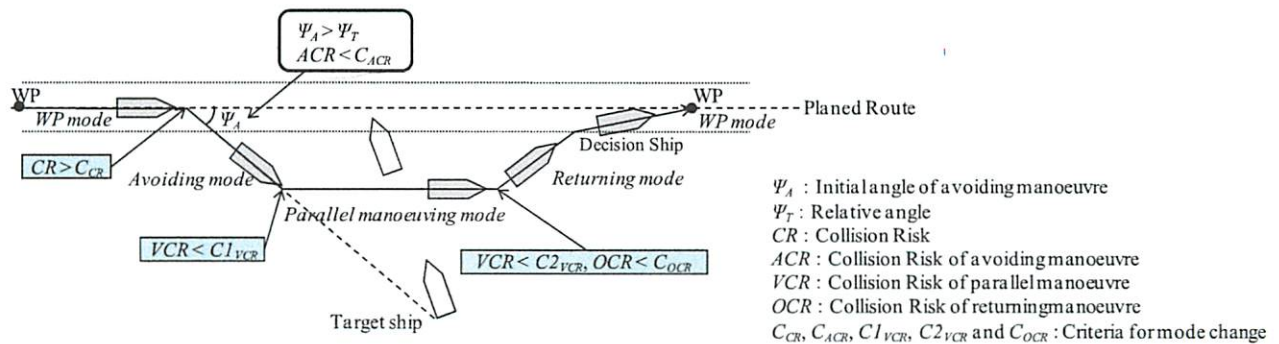


Fig. 2 Procedures of collision avoidance manoeuvring

3. 輻輳海域での避航操船機能の確認

3.1 シナリオ

輻輳海域での避航操船機能の有効性を確認するため、複雑な交通流を示す浦賀水道航路南口海域の交通流の観測結果と、これを基にシミュレーションした結果を比較して検証を行った。

交通流は、船舶自動識別装置 AIS(Automatic Identification System)で観測された2010年11月11日(木)15:10-15:50のデータをもとに作成した。AISで観測された航行船舶の有効隻数は22隻で、評価者が操船する自船は、観測結果の内、北航し浦賀水道航路に入る船長160mの貨物船とした。また、交通流を構成する船舶は、①浦賀水道航路を出て南航する船舶群、②北航し浦賀水道航路に入る船舶群、③航路からの流れを横切り東西方向に航行する船舶群、に分類され、さまざまな見合い関係が発生している。

今回の目的は、避航操船機能の基本機能の確認であるため、自船の操船は操船未経験者である著者が行った。ただし、操船方法については、観測結果を参考に、周囲の航行船舶を避航せず真直ぐ浦賀水道航路に入る操船を行った。

3.2 避航操船機能の確認

AISでの観測結果を図3に、AISデータに基づく計画航路によるシミュレーション結果の航跡を図4に示す。これを比較すると、図4の丸印付近の南北に航行する交通流と交差して東西方向に航行する船との横切りが生じた部分以外は、観測結果に概ね近い航跡となっている。このことから、避航の要否の判断を行った結果、不必要な避航操船は行われず、また避航する必要があると判断し避航操船を行った場合でも、操船者の判断に近い自然な避航操船を行ったといえる。

シミュレーション結果が観測結果と異なった部分の避航方法について検証する。より詳しい航跡を見るため、図4の一部を抜粋し拡大したものを図5と図6に示す。図中の点線は計画航路、実線はシミュレーション結果の航跡、さらに船型は1分毎のシミュレーション結果を表示している。

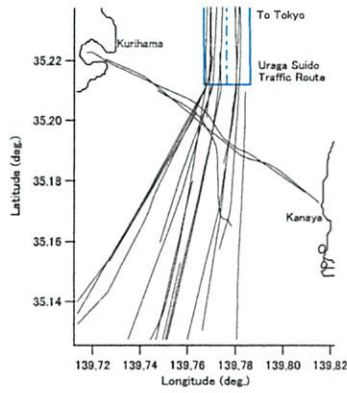


Fig. 3 Observed trajectory

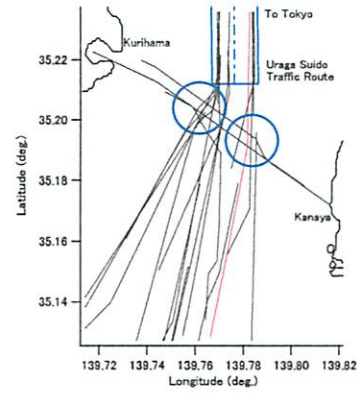


Fig. 4 Simulation result

図 5 は計画航路があらかじめ設定された他船同士の見合いが生じた状況での航跡であり、各船舶の諸元を表 1 に、避航変針角・速度・衝突の危険度の時系列を図 7 に示す。また、図 6 は避航を行わない自船と見合いが生じた状況での航跡であり、各船舶の諸元を表 2 に、諸状態の時系列を図 8 に示す。なお、図 6 はシミュレーション開始から 900 秒後からの航跡を表示している。

Table 1 Ship characteristic data (Target ship only)

	Type	Gross Tonnage	Length
Ship A	Cargo	26040 ton	188.0 m
Ship B	Tanker	499 ton	63.0 m
Ship C	Tanker	699 ton	65.0 m
Ship D	tug	166 ton	35.0 m

Table 2 Ship characteristic data (Included own ship)

	Type	Gross Tonnage	Length
Own Ship	Cargo	11790 ton	161.0 m
Ship E	Ferry	3351 ton	79.0 m
Ship F	Ferry	3580 ton	77.0 m
Ship G	Tanker	1312 ton	75.0 m
Ship H	Tanker	160279 ton	340.0 m

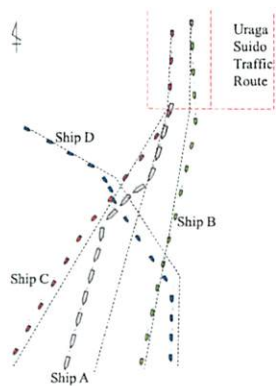


Fig. 5 Observed trajectory (Target ship only)

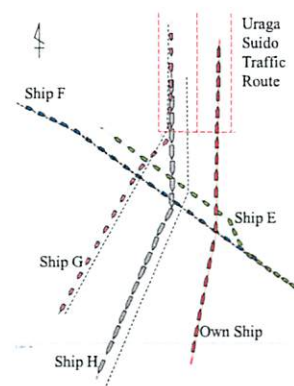


Fig. 6 Simulation result (Included own ship)

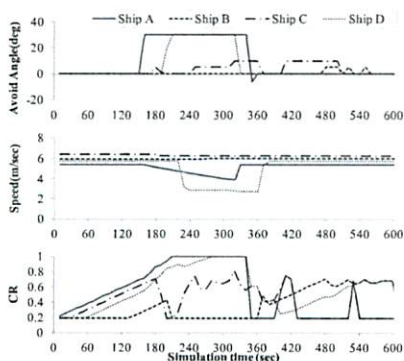


Fig. 7 Result of simulation (Target ship only)

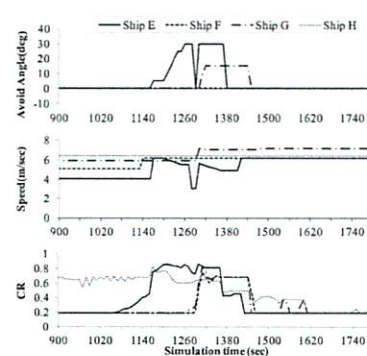


Fig. 8 Result of simulation (Included own ship)

図5において、AとDが計画航路から大きく逸脱した。Dとの見合い関係で避航船となるAが右変針で避航し、それに続けてDもAを対象として右に変針したことが図7から確認できる。このとき、AとDはそれぞれを避航対象船としてCRを計算していたが、船長の大きいAのCRがDよりも高く評価されており、船長や操縦性能がCRに反映されている。一方、観測結果ではAとDの見合いが発生した時に、避航船であるAが避航操船を行わず、保持船であるDがAの後方を通航する避航動作をとった。これは、航路における大型船を優先する航法を定めた海上交通安全法に従ったものである。また、Cはシミュレーション開始後240秒の時点で、Dを追い越すために変針し、開始から410秒後にAを追い越しの対象として連続した避航操船を行っている。Cの10度未満の変針で衝突の危険を回避した結果から、避航対象船の相対角を超え衝突危険度が変針後の方が低くなる変針角を決定する条件が上手く機能したことが確認できた。このことから、このような輻輳状態では、他の交通流への影響を小さくするため、安全に避航することが可能な最小の変針角での避航が適していると考えられる。

図6では、EとHが計画航路から大きく逸脱した。Hは、シミュレーション開始後100秒の時点で、航路を北航している船舶と見合いが発生し、それを避けるため変針し平行操船に移行したため、計画航路と平行に南航した。一方Eは、避航船である自船(Own ship)が避航動作をとらず航行したため、衝突を避けるべく大きく右に変針したが、CRが依然として高いためさらに減速したことが図8から確認できる。これは避航船が見落としなどにより避航操船の不履行があった場合においても、一般常識に則り、右に変針し衝突を回避できたことを示す。なお観測結果におけるHの避航操船は、左転し自船の後方を通過しており、交通流全体から状況を把握して戦略的な避航操船が行われているものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、避航操船を含む先進機能が多くの船舶に搭載された際に、その機能が航行船舶に及ぼす影響を体験に基づいて評価するため、操船シミュレータに全他船を制御する枠組みを導入し、これに自動避航操船機能を組み込み、輻輳状態における自動避航操船機能の動作確認を行った。

シミュレーションの結果、複数の船舶に対して避航が必要な状況下でも、海上衝突予防法に基づく基本的な避航ルールに基づいた避航操船が実現できた。ただし、観測された操船状況から、①航路航行船を優先する、②戦略的に有利になるよう見合い関係が発生する前に複雑な見合い関係の成立を避ける行動をするなど、海域に特化したルールに則った操船や交通流全体をみた戦略的な操船を行っている状況を観測できた。

今後は戦略的な避航判断や航路における航法にも対応できる避航操船機能を追加する予定である。

謝 辞

本研究は、大阪大学との「インテリジェントシミュレータ等の構築に関する共同研究」の一環として実施した。また、本研究の一部は日本学術振興会科学研究費基盤研究(B)(No. 22360375 代表者：福戸淳司)の支援を受けて実施した。

参 考 文 献

- (1) 福戸淳司, 長谷川和彦, 酒井史彦, “操船シミュレータへの自動避航操船機能の導入”, 日本航海学会論文集, No.125 (2011), pp. 63-71.
- (2) Thomas Statheros, Gareth Howells and Klaus McDonald-Maier, “Autonomous Ship Collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques”, *The journal of Navigation*, Vol.61, No.1 (Jan. 2008), pp.129-142.
- (3) 長谷川和彦, 上月明彦, “Fuzzy 制御による自動避航システムに関する研究”, 関西造船協会会誌, No.205 (1987), pp.1-10.