

15 操船シミュレータによる自動航行プラットフォームの構築

知識・データシステム系 * 丹羽 康之

1. はじめに

自動運航船（自律船）の実現に向け、国内外において各種プロジェクトが行われている¹⁾。自動運航船の実現には、様々な機能の技術開発が必要であり、また、技術開発以外にも、現行法と条約への対応や受容性の確保等社会が自動運航船を受け入れるための準備も必要である。

自動運航船が導入される際の安全を確保し、受容性を醸成するためには、安全評価が重要である。海技研においては、情報通信技術（ICT）を利用した運航支援技術の開発の一環として自動運航船に関する各種要素機能の研究開発を実施するとともに、安全評価に関する調査・研究も実施している。本講演では、安全評価の実施に向けた取り組み方法の考えについて述べるとともに、評価用ツールとして開発している操船シミュレータを利用した自動航行プラットフォームについて紹介する。なお、本講演では、自動運航船は無人ではなく、船上に船員が居ることを想定している。

2. 評価の実施に向けた検討

2.1 安全評価について

自動運航船に必要な機能を実装するには、実際に自動運航船に組み込んでも問題がないかの安全評価を行い、認証する必要がある。ここでは、安全評価、認証の方法の概要を述べる。認証を行うにあたっては、以下の段階がある。

- ・設計審査
- ・シミュレーションによる評価
- ・操船シミュレータによる評価
- ・試験船を用いた実海域運航による評価

設計審査では、申請者が仕様で設定した機能と仕様範囲に基づき、所定の機能が発揮できるかについて書類ベースで確認、評価を行う。また、申請者が実施したリスクアセスメントやシミュレーションテスト等での検証がある場合は、それらの結果を分析し、テストの網羅性、テスト結果の妥当性を評価する。

次のシミュレーションによる評価では、上述の申請者によるシミュレーションテスト結果の妥当性評価に加えて、認証者側によるシミュレーションテストも必要となる。この際、使用環境条件等から、ハザードを特定し、典型的な外乱の検討を含め、その条件下で、適切なシナリオを設定する必要がある。避航操船機能の評価の場合では、避航操船アルゴリズムをシミュレーションツールに組み込み、複数の環境条件（例えば、見合い関係）によりシミュレーションを行い、避航ができたかの機能の確認を行う。またこの結果を利用して、特に避航が困難と考えられる見合い関係について、次の操船シミュレータによる評価シナリオに用いることも考え

られる。なお、評価シナリオの検討については、次節で述べる。

操船シミュレータによる評価は、システムが実在しない新規開発の場合、そのシステムが有用であるか等の評価では、エキスパート判断が必要になる。また、人間の関与も含めたシステムの安全性の確認（例えば、避航操船時の離隔距離、避航開始時期や自動避航機能からの人間への引き継ぎ）には、そのシステムの知識、経験に基づいた評価及び人間工学あるいは認知工学に基づいたシステム引き継ぎ時の評価が必要となる。このため、操船シミュレータに、当該機能を組み込み各種シナリオで当該機能の体験評価ができるようにする。さらに、操船シミュレータでは、実海域での試験では危険で体験できないあるいは稀な状況で体験機会が少ない状況も評価が可能である。なお、こうした評価を行う操船シミュレータは、評価に必要な環境情報を的確に被験者に提供できなければならない。このため、いわゆるフルミッションシミュレータの利用が有効である。

最終段階として、認証前に試験的に当該機能を実船搭載し、実海域での評価を行う。これにより現実の環境条件でのシステム動作データが取得できる他、システム使用時の主観的評価も得られる。

2.2 操船シミュレータにおける評価シナリオについて

現在、操船シミュレータによる避航操船機能の評価に用いるシナリオについて検討を進めている。自動避航操船機能等、運用経験のない新しいシステムについては、基本的には総当たりの見合い関係のシナリオによるテストとなるが、組み合わせは無限となってしまう。このため、まず単純な一対一の見合い関係のシナリオに対し、ファストタイムシミュレーションを行い、避航が困難と考えられる見合い関係を抽出する。

一対一の基本的な見合い関係の例を示す。図-1は、他船との遭遇状況として、同心円状に他船を10°ずつ配置をずらした17通りの見合い関係の設定例である。この時のファストタイムシミュレーションによる自船の避航航跡の結果を図-2に示す。なお、自船と他船の船速は等速とし、他船は変針を行わない設定とした。他船の初期配置が0°～160°までの場合は、自船は右転して、他船を避航している。一方、他船の初期位置が170°の場合は、自船は衝突点（図-2の原点）まで5km付近から左転し、他船を前方に航過させた後に、右転し元の北航の航路に戻っている。この結果、相手船の初期位置が図-1の170°の見合い関係が、避航について困難度が高いと考えられる。更に網羅的な他船の配置によるシミュレーションを行い、異常接近した場合や衝突に至ったシナ

リオを中心に抽出したものが評価シナリオのベースとなる。

なお、複数の遭遇船舶への対応においては組み合わせの問題で全ての状況の評価することはできない。そのため、操船シミュレータによる評価シナリオについては、ランダムな遭遇条件の設定、過去の評価²⁾において他のシステムが対応できなかったシナリオ、熟練操船者の経験に基づく見合い関係に基づいたシナリオ、実際に衝突事故がおきた状況等も参考にできると考えている。

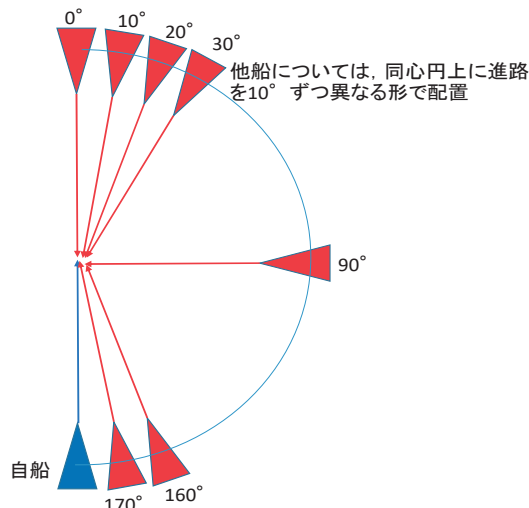


図-1 一対一の見合い関係の例

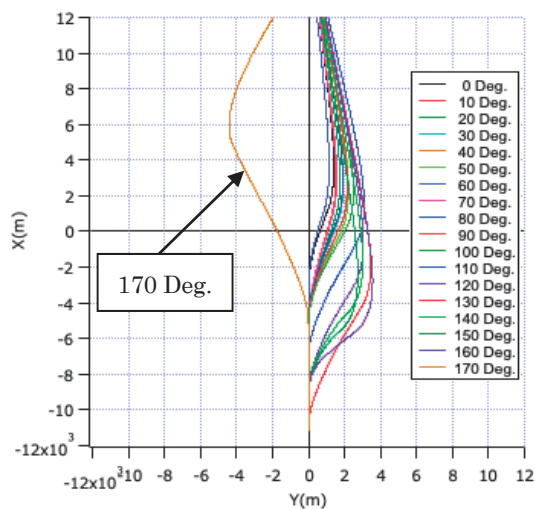


図-2 自船の避航航跡

3. 自動航行プラットフォーム

海技研では、自動運航船の自動航行機能の開発及び評価に注力している。特にこれまでに開発した避航アルゴリズム³⁾の知見の蓄積を活用する形で、避航操船機能を含めた自動航行プラットフォームを海技研の操船シミュレータの機能として構築している。

自動航行機能として、航路保持・トラックコントロール機能と自動避航操船機能の組み込みを行った。また、遠隔モニタリングと陸上からの操船機能として、遠隔操船機能の組み

込みも行っている。これらの機能を合わせたものが、自動航行プラットフォームである。図-3に、自動航行プラットフォームの構成を示し、以下、各機能について説明する。なお、将来的には、荒天下操船支援機能等の他の機能の組み込みについても検討を行う予定である。

3. 1 航路保持・トラックコントロール機能

航路保持・トラックコントロール機能は、事前に設定した計画航路を保持し航行する機能であり、設定した変針点に向かって航行し、変針点に近づいたら自動的に次の変針点に向けて針路を変える。また、計画航路で設定していた航路幅を逸脱した場合は、これを補正し、計画航路の航路幅の範囲内に戻す機能である。この機能は、既に Track control systems と呼ばれる IEC 規格⁴⁾が策定されており、ECDIS (Electric Chart Display and Information System)、GPS (Global Positioning System) 受信機、操舵装置、エンジン出力制御装置を組み合わせることにより、実現可能となっている。上述の機能は図-3に示す船上システムのコンピュータに組み込まれている。

3. 2 自動避航操船機能

自動避航操船機能は自動運航船の機能として重要視されている機能の一つである。自動運航船で考えられる避航操船作業の流れを示す。

- ・他船の検出：船員による目視、及び、レーダー、AIS (Automatic Identification System) 等により、周囲の他船を検出する。なお将来の自動運航船の機能の一つとして、カメラ画像からの画像処理による検討も海技研では実施している⁵⁾。
- ・他船の動静把握：目視、及び、レーダーによる捕捉情報、AIS 情報により、他船の相対位置、進路、船速等の動静を把握する。
- ・衝突のおそれの有無の判断：把握した他船の動静と自船の動静から、衝突のおそれがあるかを判断する。
- ・避航方法の判断：衝突のおそれがあると判断した場合、自船から避航する必要があるか、どのような避航操船（避航計画航路作成あるいは、避航のための変針や増減速等）を行えばよいか、判断する。
- ・避航操船の実施：前項で判断した避航操船を実行する。

これらの流れに対応した機能を操船シミュレータに組み込むこととする。現時点では、周辺の全ての船舶の検出ができ、それらの動静が把握できるという条件付きで、衝突のおそれの有無の判断から避航操船の実施までの機能確認を行っている。

図-3の船上システムのコンピュータへの避航アルゴリズムの組み込みに関して、このプラットフォームは、開発される避航アルゴリズムのソースプログラムの秘匿性やプログラム言語に依存しないようにすることを考慮して、避航アルゴリズムをダイナミック・リンク・ライブラリ (DLL) の形式とした。ここで、避航アルゴリズム（図-3の自動避航操船

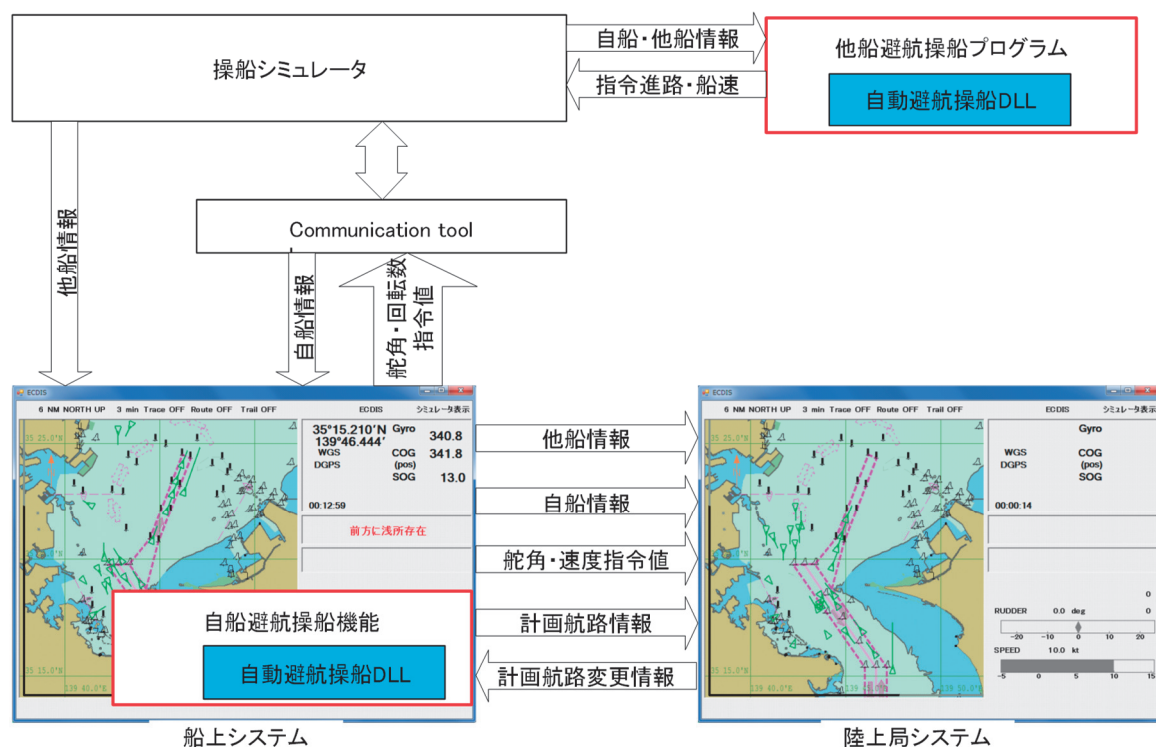


図-3 自動航行プラットフォームの構成

DLL) への入力は、自船の状態量 (位置, 進路, 船速) 及び計画航路の情報と, 周辺の他船の状態量 (位置, 進路, 船速) としている. これらの情報に基づき, 自動避航操船 DLL が, 避航操船方法の計算を行う. 自動避航操船 DLL からの出力は, 避航操船中あるいは復帰中等自船の状態を表す航行モードと避航が必要な場合の指令情報 (指令針路等) に基づく船舶への舵角指令値や船速指令値等となる. 操船シミュレータは, この指令情報を受信して自船を動かす. この際, 図-3 の Communication tool と表記しているプログラムを介して, 操船シミュレータに対応したフォーマットに変換しデータを送るようにしている. これまでに, 自動避航操船 DLL として, 相手船による妨害ゾーン (OZT) に従ったアルゴリズム³⁾と CR と呼ばれる衝突危険度を用いたアルゴリズム⁶⁾の 2 種類の組み込みを行っている. 現在海技研で新たに開発している避航アルゴリズム⁷⁾についても, 今後, この入出力データフォーマットに従った自動避航操船 DLL を作成することにより, 組み込みが可能となる.

以上は、操船シミュレータの自船への避航アルゴリズムの組み込み⁸⁾であるが、他船にも避航アルゴリズムを組み込む必要があると考える。この理由は、操船シミュレータにおいて、自船船橋から自船避航の状況を確認する必要は当然あるが、自船が避航義務のない保持船である場合、相手船として他船の避航を客観的に体験し、自船にとって脅威のない避航であったかということも確認する必要があるためである。

他船の避航機能の組み込みは、自船と同様にすればよいが、海技研の操船シミュレータでは、他船の運動への指令情

報は、進路と船速となっている。そこで、前述の自船の自動避航操船 DLL では、進路と船速の指令値も出力できる入出力データフォーマットとし、自船と他船の自動避航操船 DLL を共通にする形で設計した。これにより、自船用と他船用の自動避航操船 DLL を別々に作成する必要がなく、同じ DLL が利用できる形にすることができた。

3. 3 遠隔操船機能

上述の二つの機能の他に、遠隔操船機能を組み込んでい
る。図-3の陸上局システムが該当する。陸上局システムは、
船上システムを介して、自船情報、他船情報、各種操船指示
値を受信し、陸上で情報をモニタリングする状況を模擬して
いる。また自動運航船が何らかの理由で、機能が働かない場
合、例えば自動避航操船機能が避航アルゴリズムによる避航
ルートや避航方法が導き出せず、また、船上の船員による避
航操作もできない場合、陸上から自動運航船に指示を送る必
要がある。この場合、陸上から計画航路の変更情報を送り、
船上ではその情報に従い計画航路を更新し航行する。なお、
陸上からの遠隔操船について、直接舵角やエンジン出力の指
令値を送ることも考えられるが、現在のところ、計画航路の
変更としている。また、現在の操船シミュレータの環境では、
船上システムと陸上局システムが LAN 接続のため、指令は即
座に送受信されるが、実際の船陸間通信の環境では、通信容
量の制限や時間遅れもあるため、今後このような制約機能を
付加することも検討している。

4. 他船への自動避航操船機能の動作確認

前年は、操船シミュレータの自船に自動避航操船 DLL を組み込んだ動作結果⁸⁾を紹介したので、今回は、他船に自動避航操船 DLL を組み込んだ動作結果について紹介する。

図-4 は、横切りの見合い関係で、自船は北航、他船は西航、両船ともに 19.4km/h (10.5 ノット)、衝突点まで 11.1km (6 海里) としたシナリオである。この見合い関係のシナリオにおいて、自船、他船ともに OZT に基づくアルゴリズムの自動避航操船 DLL を適用して、試行を行った。この見合い関係においては、自船は保持船となるため、避航をせず直進し、他船が避航船となり、右転して衝突を回避することになる。

図-5 に 2 隻の航跡を示す。図-5 では、シナリオを開始してから 5 分毎に船舶の位置をプロットしている。他船はシナリオを開始してから 18 分後 (図-5 における時刻番号 4 と時刻番号 5 との間) に、右への避航を開始した。他船が右転を開始したとき、他船と自船との距離は、約 6.9km (3.7 海里) であった。その後、他船は自船の正横航過したのち、徐々に元の計画航路への復帰に向けて左転を行い、シナリオを開始してから 33 分後、計画航路航行に戻り、予め設定した計画航路の航路幅以内に収まった。

なお自船は、保持船であるため、シナリオを開始以降、進路と船速を保持して航行を続けた。

基本的な一対一の見合い関係であるが、自動航行機能として、自船・他船ともに避航アルゴリズムを DLL の形で組み込み、動作確認をした。この結果、自船から他船の避航動作を体験できるようになった。これにより、適切なシナリオを設定し、自船あるいは他船の避航動作を操船経験者が体験することにより、自動避航機能の主観的評価を行うことが可能となる。なお、その際、人間とシステムのインタラクション (システムから人間への情報提示や引き継ぎ) が適切であるかについても評価を行う必要がある。

5. まとめ

自動運航船の導入に対応するため、自動運航船に必要な機能の安全評価の方法について検討を行っている。本講演では、自動避航操船機能を対象に、評価用ツールとして海技研の操船シミュレータに自動航行プラットフォームの構築を行い、基本機能の確認を行った。今後は評価シナリオを整備し、操船シミュレータを活用した安全評価を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 丹羽康之：自動運航船への取組み—国内及び海外プロジェクトについて、日本マリンエンジニアリング学会誌、第 54 巻、第 2 号、pp. 206-209、2019。
- 2) Yuanbing Cai, Kazuhiko Hasegawa: Evaluating of Marine Traffic Simulation System through Imazu Problem, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 17 号、pp191-193、2013。
- 3) 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、pp. 191-

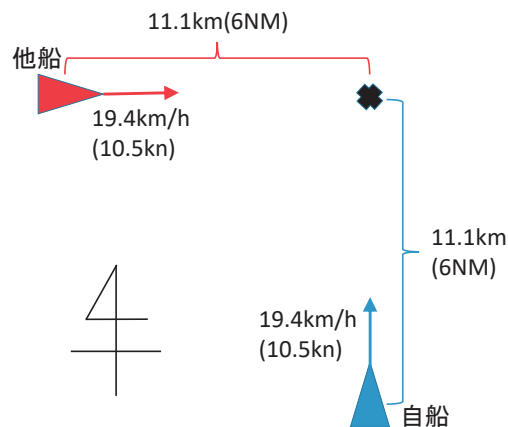


図-4 見合い関係

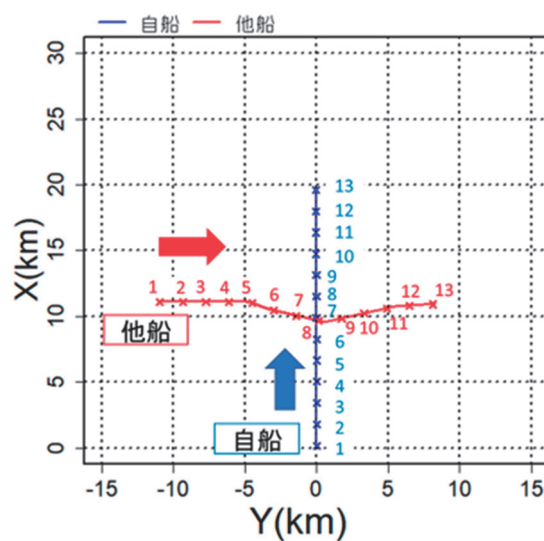


図-5 航跡図

197, 2002.

4) IEC 62065 Ed. 2.0, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Track control systems - Operational and performance requirements, methods of testing and required test results, 2014.

5) 小林充, 丹羽康之, 佐藤圭二, 齊藤詠子：深層学習を用いたカメラ画像からの船舶検出と位置推定に関する研究, 令和元年度 (第 19 回) 海上技術安全研究所研究発表会講演集, PS-18, 2019。

6) 長谷川和彦, 上月明彦：Fuzzy 制御による自動避航アルゴリズムに関する研究, 関西造船協会誌, 第 205 号, pp. 1-10, 1987。

7) 間島隆博, 南真紀子, 澤田涼平, 福戸淳司：自動避航操船の計算アルゴリズムの開発, 令和元年度 (第 19 回) 海上技術安全研究所研究発表会講演集, 講演-14, 2019。

8) 丹羽康之, 小林充, 齊藤詠子, 福戸淳司：自律避航実現のための取り組み, 平成 30 年度 (第 18 回) 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp. 124-133, 2018。