

## 8 自動運航船技術の実装と評価に向けて

南 真紀子\*, 佐藤 圭二\*, 澤田 涼平\*, 平田 宏一\*\*

### **Implementation and Safety Evaluation of Autonomous Navigation Technologies**

by

MINAMI Makiko, SATO Keiji, SAWADA Ryohei  
and HIRATA Koichi

#### Abstract

As interest in autonomous and unmanned vessels has been growing, efforts are underway in Japan to develop autonomous and unmanned vessels. The automation and unmanned operation of ships is expected to improve safety by reducing accidents caused by human error with the assistance of automated systems. In addition, automation technology is also expected to reduce the workload in order to cope with the aging and decreasing number of seafarers. The National Maritime Research Institute (NMRI) has been developing elemental technologies required for autonomous vessel navigation, such as automatic berthing and automatic ship avoidance. In addition, a system to ensure safety is necessary for practical use; thus, we have also been developing a comprehensive simulation system consisting of a full-mission type ship handling simulator and FTSS, which performs high-speed simulation as a safety evaluation platform. The safety evaluation with this simulation system is also under study. This paper introduces the research and development that has been conducted to date and future prospects.

---

\* 知識・データシステム系, \*\* 環境・動力系

原稿受付 令和 5年 4月 27日

審査日 令和 5年 5月 26日

1. はじめに

近年、自動運航船に対する関心が高まり、日本でも自動運航船の実現に向けた取り組みが進められている。その背景には、IoT やセンシング等の自動運航を支える技術の発展がある。また、近年課題となっている船員の減少や高齢化への対策として、また安全性の向上に有効であると期待されていることがある。

国土交通省が 2018 年に公表した自動運航船の実用化に関するロードマップは、3 段階で実用化に向けた取り組みを示しており、陸上からの操船や AI 等による行動提案や情報提示により船員をサポートする船舶である「フェーズⅡ自動運航船」は 2025 年の実用化を目標としている。また、「フェーズⅢ自動運航船」は、自律性が高く、最終判断がシステムに委ねられる領域が存在する船舶であり、その実現に向けた研究開発が進められている。一方、日本財団の無人運航船プロジェクト MEGURI2040 では、実証実験の実施等により 2025 年の無人運航船の実用化を目指している。

海上技術安全研究所においても、自動着棧、自動避航等の自動運航船に必要な要素技術の開発を進めてきた。また、実用化には安全を担保する仕組みも必要であり、安全評価プラットフォームとして SHS (Ship handling Simulator: フルミッション型操船シミュレータ) 及び高速シミュレーションを実行する FTSS (Fast Time Ship Simulator) からなる総合シミュレーションシステムを整備及び安全評価手法の検討を進めている。本報では、これまでに実施してきた自動運航船に関する研究・開発と今後の展望について概要を紹介する。

2. 自動化システムの開発

2.1 小型実験船「神峰」の自動化システムの概要

当所では、図-1 に示す小型実験船「神峰」(総トン数約 17GT) を用いた運航支援・自動化技術の研究・開発を進めている<sup>1)</sup>。図-2 にシステム構成を示す。実験船は PLC (Programmable Logic Controller) を介してエンジン・クラッチ等の船内機器を制御することを基本としている。また、表-1 は本船で開発を進めている制御機能と対応するシステムを示しており、個々の制御システムの機能を確認しながら、全体のシステム開発を進めている。以下に、自動着棧システム及び自動避航システムの概要を示す。

2.2 自動着棧システム<sup>2)</sup>

本システムは、センサから位置情報、方位角、プロペラ回転数、エンジン回転数、主機負荷の推定値、風向・風速等の各種データを受け取り、主機、油圧操舵装置、スラスタの制御を行う。図-3 に制御および監視のための GUI を示す。状況把握を容易にするため、取得データ及び制御計算の結果をメータ表示や過去の時系列と合わせて表示するものとした。

アルゴリズムは、経路計画と経路追従制御で構成されており、自船の初期位置と船首方位、目標の着棧位置と最終船首方位角の条件を満たす着棧経路を設定し、この経路を追従する制御を行うものである。追従制御は、Pure Pursuit 法をベー



図-1 小型実験船「神峰」

表-1 小型実験船「神峰」の制御システム

No.	制御システム	概要
1	操船基本システム	エンジン・クラッチ、油圧操舵機およびスラスタの動作を PLC により制御する基本システム
2	自動着棧システム	着棧地点までの経路を生成し、停船までの操船を自動制御するシステム
3	ウェイポイント運航システム	オートパイロット機能を利用して、あらかじめ設定したウェイポイントを目標進路として舵角を自動制御するシステム
4	遠隔操船システム	対象船と遠隔制御施設とを LTE 通信によって接続し、遠隔地から対象船を操船するシステム
5	他船検知システム	カメラ画像から他船や障害物を検知するシステム
6	自動避航システム	他船検知の情報に基づき、避航経路を計算し、経路追従するように自動制御するシステム

神峰

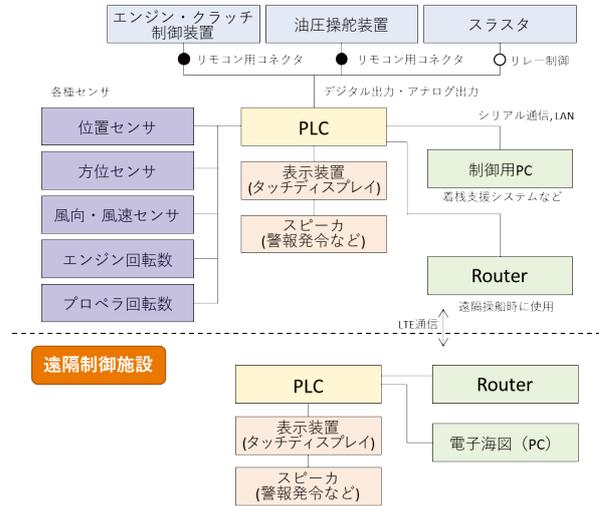


図-2 小型実験船「神峰」のシステム構成

スとし、目標点への船首方位角の制御には PD 制御に基づいたオートパイロットを用いた。また、追従時の風外乱の影響を小さくするため、船体横方向の風圧力と舵の横力をバランスさせるフィードフォワード制御を組み合わせている。

制御アルゴリズムの開発では、まず PC 上で数値モデルを用いたシミュレーションにより想定した機能を満たしてい

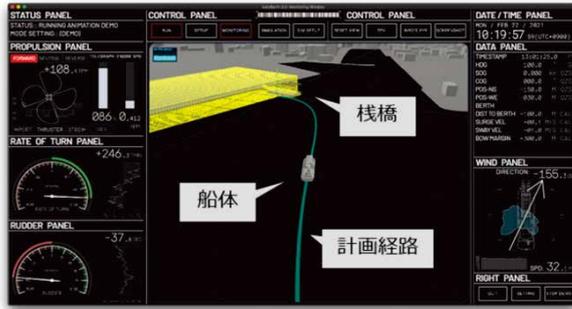


図-3 自動着岸制御と状態監視のための GUI

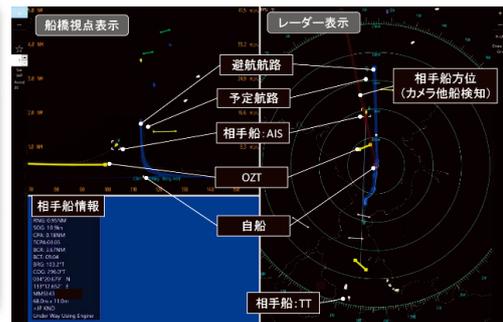


図-5 避航操船システム情報表示画面



図-4 ミニシミュレータの外観



図-6 避航操船実験結果

ることを確認した。そして、着岸システムとしての確認は、「神峰」で実施したほか、当所に整備されたミニシミュレータを用いて実施された。ミニシミュレータは、図-4 に示すとおりディスプレイ及び複数の PC で構成されている。また、「神峰」に搭載している PLC とほぼ同等の機能を持つ PLC が接続され、実船に即した機能の検証を可能とした。なお、ミニシミュレータは開発の効率の向上だけでなく、実船では確認できない衝突等の危険を伴うような状況等も再現することができ、アルゴリズムの開発に有効である。

### 2.3 自動避航システム<sup>3)</sup>

本システムは、自船位置情報、方位角、AIS (Automatic Identification System: 船舶自動識別装置) で取得した他船情報、レーダーで捕捉した他船情報、および「神峰」に設置された周囲監視カメラシステム<sup>4)</sup>で取得された他船の方位情報を受け取り、舵角指示を出力する。

避航アルゴリズムは、OZT (Obstacle Zone by Target: 相手船による航行妨害ゾーン)<sup>6)</sup>に基づき避航航路を計算する。自船進路が OZT と重ならないように作成することで、他船と衝突しない経路が生成される。経路追従は、Pure Pursuit 法を用いて PID 制御により実行した。

図-5 に情報表示画面の表示例を示す。船橋視点表示は、横軸を他船の相対方位とし、縦軸に自船からの距離を示したものである。また、レーダー表示は、レーダー画面と同様な表示方法で示したものである。情報が必要な船舶については、船舶シンボル、もしくは OZT をクリックすることで選択され相手船情報が表示される仕組みとなっている。

図-6 に「神峰」による避航操船実験結果を示す。青線が予定航路、赤線が避航航路を含む実験結果(航跡)である。図

中、点線で示される部分は、予定航路と航跡に差異が生じている。この海域は釣り船が多数存在しておりこれらを迂回するよう避航したことを示す。なお、システムでは、安全航過距離を 100m と設定しており、実験結果からその距離を確保して航過したことが確認できた。

## 3. シミュレーションを用いた安全評価

### 3.1 安全評価の対象

シミュレーションを用いた安全評価について、2022 年度までに自動避航アルゴリズムを対象として検討した。

操船者の情報処理過程は、①情報源から情報の検出、②検出した情報から衝突の恐れ判断、③必要に応じて避航措置の決定、④対応の 4 つのステップの繰り返し<sup>7)</sup>であるとされており、自動化システムにおいても同様な過程を経ると考えられる<sup>8)</sup>。シミュレーションを用いた評価であることからこれらのステップのうち、②衝突の恐れ判断、及び③避航措置の決定を対象とした。①の検出については、センサのノイズ等が判断に及ぼす影響は考慮するがセンサ自体の評価は含まないものとし、④対応は、MEGURI2040 の実証船の事例等から、自動化システムの判断に対し TCS(Track Control System)等の既存の機器で制御されており、これらは現行の規則でカバーされていることから評価の対象外とした。

### 3.2 自動避航アルゴリズムの安全評価

前節で述べた検討結果を踏まえ、安全評価の対象を整理し、評価項目及びそれらを評価する方法をまとめた。

避航操船において重要な交通法規である COLREGs (Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea: 海上における衝突予防のための国際規則に

関する条約)は Rule8-10 及び Rule13-17 の航法に関する規定を考慮の対象とした。新たに提案した見合い関係のカテゴリと停止船の存在、変針の有無を考慮して Rule13-17 を網羅する 1 対 1 及び、1 対 2 の基本テストシナリオ群の設計方針を示した。Rule 9 の狭い水道等や Rule 10 の分離通航方式については、基本テストシナリオに、No Go Area や分離通航帯の情報を加えることでテストができるが、評価対象船の航行海域に即したものとする必要はある。

#### 4. 今後の展望

##### 4.1 自動運航船の技術開発

自動運航に必要な要素技術毎に研究・開発を進めてきたが、個々の技術を連携し、一航海のすべての過程——避航操船及び係船を含む離着棧操船の各航海モード及び航海モードの切り替え——において船員の介入が必要のないシステムの構築を検討している。2022 年度に、遠隔操船下で航海モードの自動切り替えの予備実験を実施し技術課題を抽出した。今後、課題の抽出とそれに対する対策の実施、効果の検証を繰り返し、自動化システムの高度化を図ることを考えている。一方、労働負荷低減のため、個々の技術を高度支援システムとして活用することも可能であり、内航船のニーズ等を精査し必要とされる機能から実装を進めていくことを考えている。

これまで開発を進めてきた離着棧システム及び避航操船システムは、船上で取得される情報に基づき動作するものであった。離着棧操船では、陸側で計測された情報の利用、避航操船では、船舶間通信により得られた他船の動向を加味することで、より安全な避航航路の立案が可能になると考えられる。IMO における e-Navigation 構想の進展等も注視しつつ船舶間/船陸間通信の情報も考慮できるアルゴリズムの開発を進めることを考えている。

##### 4.2 安全評価

自動化システムは、システムが正常に作動する前提となる設計上の航行環境に関する条件である ODD(Operational Design Domain: 運航設計領域)が定められており、ODD を満たさなくなった場合の対策の一つにシステムから船員への操船権の移譲がある。安全な引継ぎに必要な要件の検討及び実際にシステムを接続した動作確認等は、人の関与が考慮可能な操船シミュレータにより実施されるものであり、SHS の整備に加え、検証手法の検討も重要な課題の一つである。

避航操船以外の航海モードについても SHS 及び FTSS を用いたシミュレーション技術による検証方法を確認する。操船シミュレータは、リアルタイムでの実行となり実施数が限られる。避航操船アルゴリズムの評価を例にとると、既存船と共存する海域での航行を考慮し、周辺船舶の操船者に違和感を与えない操船であると確認するためには操船シミュレータが必要であるが、実施本数が限られることから高速計算が可能な FTSS と連携することによりその評価を効率的に実施することが可能となる。FTSS による評価法は 2022 年度まで

に検討済みであるため、FTSS の実行結果から SHS 評価対象の抽出、及び操船シミュレータによる評価法を構築し評価法の高度化を図る。実海域において操船自動化・操船支援システムの各種機能を確認するため、必要に応じて小型実験船等を用いた実船による実証試験を行い、その機能を検証する。また、操縦運動モデルの精度等、評価用テストプラットフォームの機能要件及びそれらの評価手法を検討し、評価用テストプラットフォームの基準を明確化することも検討する。

#### 5. まとめ

2018 年から 2022 年の第 1 期中長期計画期間において実施した自動運航の要素技術の研究・開発について概要を述べた。自動化の各システムについて、基本的な機能の整備は終了し、ミニシミュレータ及び小型実験船「神峰」による検証を繰り返し実施して改良を進めており、安全で使いやすいシステムが完成しつつある。また、MEGURI2040 の安全評価事業と連携し、評価用プラットフォームである総合シミュレーションシステムの構築及びシミュレーションを用いた評価についても検討を進めてきた。今後も、国土交通省のロードマップが示す「フェーズ II/III 自動運航船」と MEGURI2040 が目指す無人運航船の実現に向けて、自動化システム及び安全評価技術の研究開発を進めていきたいと考えている。

#### 謝辞

本研究の一部は、公益財団法人日本財団の助成を受けて、一般財団法人日本船舶技術研究協会が行う「MEGURI2040 に係る安全性評価」事業の委託研究として行われております。また、(一財)日本海事協会よりサポートと有益な助言をいただきました。関係各位に深く感謝申し上げます。

#### References

- 1) 平田宏一, 他: 小型実験船の自動化システム, 海上技術安全研究所報告, 第 22 巻第 2 号(2022), pp.205-210
- 2) 澤田涼平, 他: 小型実験船の自動着棧システム, 海上技術安全研究所報告, 第 22 巻第 2 号(2022), pp.211-226
- 3) 佐藤圭二, 他: 小型実験船の自動避航システム, 海上技術安全研究所報告, 第 22 巻第 2 号(2022), pp.237-244
- 4) 小林充, 他: 小型実験船の遠隔操船用周囲監視カメラシステム, 海上技術安全研究所報告, 第 22 巻第 2 号(2022), pp.227-236
- 5) 小林充, 他: 立体視による他船検出・位置推定システムの研究, 日本航海学会講演予稿集, vol.7No.2(2019), pp.142-145
- 6) 今津隼馬: 衝突針路を使った OZT の算出手法, 日本航海学会誌 Navigation, vol.188(2014), pp.78-81
- 7) 竹本孝弘, 他: 衝突海難事故における人的エラーの分類について, 日本航海学会論文集, 第 106 号(2001), pp.39-46
- 8) (一財)日本海事協会: 自動運航, 自律運航に関するガイドライン(Ver.1.0), (2020)