

2 小型実験船「神峰」による自動離着岸及び遠隔操船の実用技術

平田 宏一*, 澤田 涼平**, 小林 充**, 佐藤 圭二**

Evaluation of Automatic Berthing Control and Remote Control System with Small Experimental Ship “Shinpo”

by

HIRATA Koichi, SAWADA Ryohei, KOBAYASHI Mitsuru and SATO Keji

Abstract

The National Maritime Research Institute is conducting research and development on support and automation technology using a small experimental ship called “Shinpo” to reduce the workload of seafarers. We began preparing control equipment for the automation in 2019 and are proceeding with testing an automatic berthing control and a remote control system on actual ships. The ship’s automation system uses a programmable logic controller (PLC) to control onboard equipment such as the engine, clutch, and steering device. The control systems consist of the automatic berthing, waypoint navigation, remote control, ship detection, and automatic avoidance systems. We are proceeding with the overall system development while verifying the functions of individual control systems. The ship handling simulator is used when developing the control systems and their programs. For example, the simulator is used when developing algorithms for the automatic berthing system and when simulating failure tests of the engine parts. In this report, we also present the test results of the actual ships, which indicated that the functions of the automatic berthing system, the other ship detection system, and the automatic avoidance system performed as intended. However, there were technical issues in the remote control system, such as communication delays between land and ship, operation methods of the remote ship control panel, and methods of displaying various data, which will need to be addressed in future work.

* 自動運航船プロジェクトチーム, ** 知識・データシステム系（自動運航船プロジェクトチーム）

原稿受付 令和 4年 4月 28日

審査日 令和 4年 5月 27日

1. はじめに

海上技術安全研究所では、小型実験船「神峰」を活用して、船員負荷低減のための運航支援技術及び自動化技術に関する研究・開発を進めている。2014年に建造された「神峰」は、離島航路のシームレス船システムの社会実験、リチウムイオン電池・水素燃料電池の安全性確認試験、船員負荷低減のための運航支援システムの研究に用いてきた小型実験船である。そして、2019年からは、自動化のための制御機器を整備し、自動着岸や遠隔操船などの自動運航システムの実船試験を進めている^{2),3),4)}。

本報では、本船に構築している自動化システムの概略、各種自動化システムを開発する際に用いたシミュレータの活用例、自動化システムの安全性や機能を確認するために実施した実船試験の結果について概説する。

2. 小型実験船「神峰」及び自動化システムの概要

図-1及び図-2に示す小型実験船「神峰」は、全長16.5m、船幅4.6m、総トン数約17GTの試験艇である。

図-3に本船のシステム構成を示す。本船は、PLC (Programmable Logic Controller) を介してエンジン・クラッチ及び操舵装置などの船内機器を制御することを基本としている^{2),3)}。なお、PLCによる操船と通常の手動操船とは、操船コンソール上の手動スイッチによって、いつでも切り替えることができる。

表-1に、本船の制御システムを機能毎にまとめる。操船基本システム、自動着岸システム、ウェイポイント運航システム、遠隔操船システム、他船検知システム、自動避航システムなどから構成されており、個々の制御システムの機能を



図-1 小型実験船「神峰」の外観

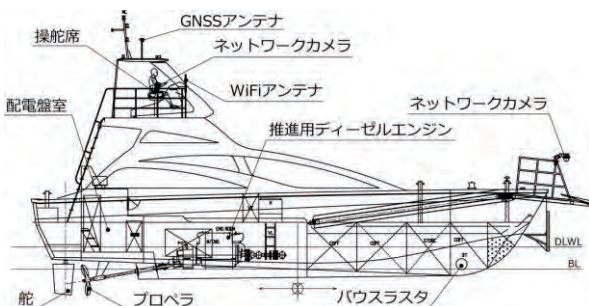


図-2 小型実験船「神峰」の基本構造

確認しながら、全体のシステム開発を進めている。

3. シミュレータによるシステム開発

各種制御システムのソフトウェア開発においては、実船による試験と同時に、シミュレータを使用している(図-4)。以下、シミュレータの概要並びに主な活用例を紹介する。

3.1 シミュレータの基本構成

図-5にソフトウェア開発に用いているシミュレータの基本構成を示す。複数のパーソナルコンピュータとディスプレイ及び手動操船コンソールで構成される操船シミュレータ

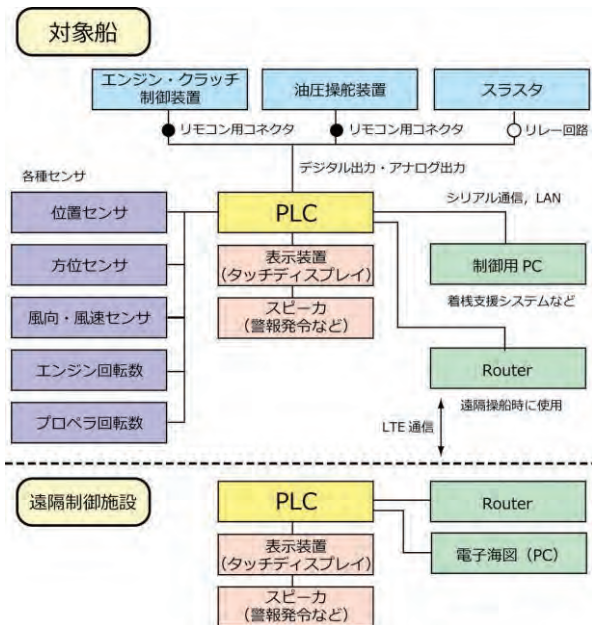


図-3 小型実験船「神峰」のシステム構成

表-1 本船に設置した制御システムの構成

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	自動着岸システム	着岸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 (WP) を目標経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、経路を追従するように自動制御するシステム

は小型実験船「神峰」に相当し、通常の手動操船を行うための既存設備である。操船シミュレータには、本船のために準備した運動モデルではなく、一般的な小型船舶の運動モデルが組み込まれている。そのため、特に低速時の操舵特性や風の影響などが本船の運動特性とは異なっている。なお、以下に述べるようなソフトウェア開発を目的とした場合、支障なく活用できる範囲であると考えている。

実験船用メイン PLC は、実船のアクチュエータ制御を除き、小型実験船「神峰」に搭載しているメイン PLC とほぼ同等の機能を持たせている。遠隔操船用 PLC 及び遠隔操船操作盤は、実船による遠隔操船試験で使用している機器である。シミュレータを使用する際、遠隔操船用 PLC は、遠隔操船操作盤の各スイッチ類の状態を読み取る機能を持たせている。

3. 2 シミュレータによる自動離着棧システムの開発

図-5 に示す自動着棧システムには、実船とほぼ同じ制御プログラムが組み込まれている。図-6 は自動着棧時の本船の状態を表示・確認するための画面である。自動着棧システムの開発においては、自動着棧アルゴリズムの開発の他、自動着棧システムを構成する PLC とメイン PLC との通信状態の確認、通信遮断時の警報発令などの機能を検証するために、シミュレータを活用している。

図-7 は、実船における手動操船による離棧時の航跡を示している。周囲状況、特に前方の岸壁に制限があるため、船

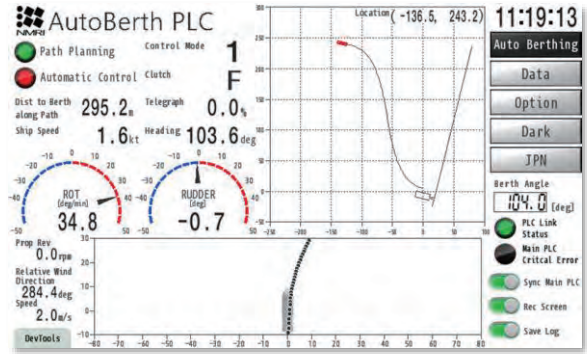


図-6 自動着棧時の表示画面例

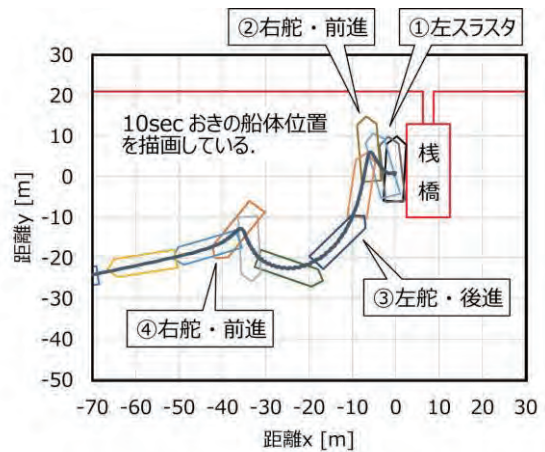


図-7 神峰による手動離棧時の航跡例



図-4 シミュレータの外観

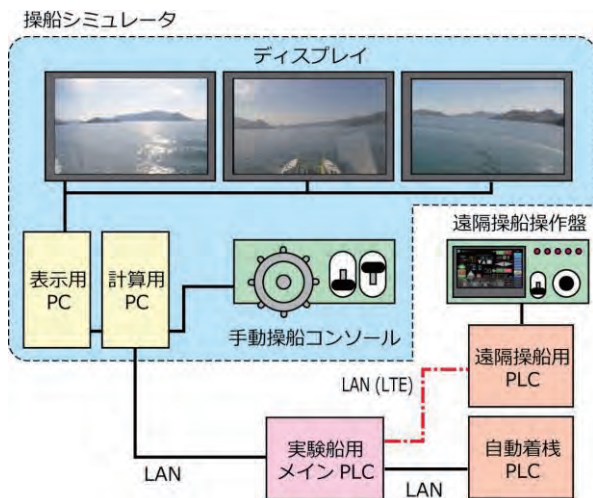
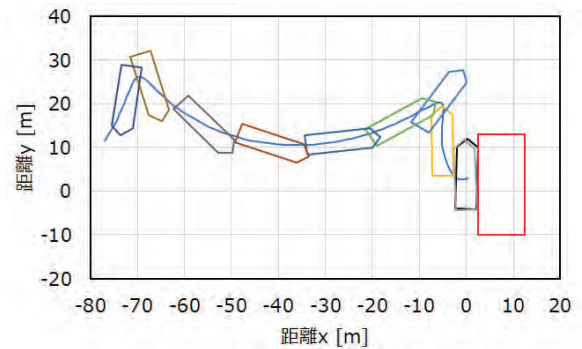
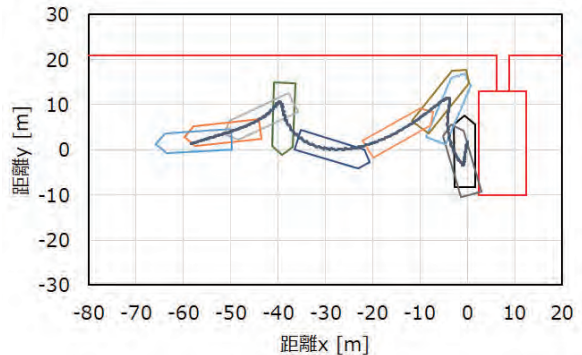


図-5 シミュレータの基本構成



(a) シミュレータ



(b) 実船

図-8 自動離棧システムの検証試験

首方位を変えた後、後進しながら変針している。本船の離棧操船は、不安定な後進時の変針、風の影響、周囲状況の変化などの複数の要因に対応する必要があり、棧橋との接触のリスクを伴うため自動化が難しい。シミュレータはこのような状況におけるソフトウェア開発に有効である。

図-8は、簡易的なシーケンス制御を準備し、同様の操作をシミュレータ及び実船で実施した際の計測結果である。なお、実船においては、実際の棧橋ではなく、仮想の棧橋において動作確認試験を行っている。

3.3 シミュレータによる自動運航

シミュレータにおいて、①ウェイポイント運航（往路）、②自動着棧（短時間の待機）、③自動離棧、④ウェイポイント運航（復路）の一連の動作をシームレスに繰り返す自動運航プログラムを作成し、その動作を確認した。図-9はその試験結果の一例であり、意図した通りに一連の自動運航を繰り返すことを確認した。一方、本プログラムの課題としては、実船では必須である操船者による判断・確認の機能を装備していないこと、他船検知機能及び自動避航操船機能が導入されていないこと、着棧から離棧までの間の係船状態を模擬で

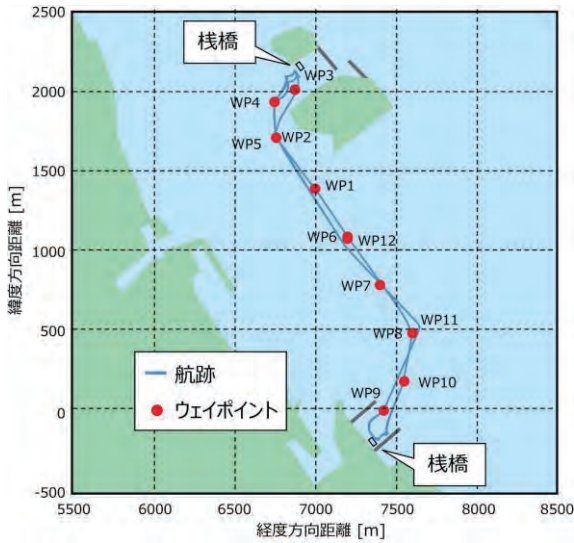


図-9 シミュレータによる自動運航試験

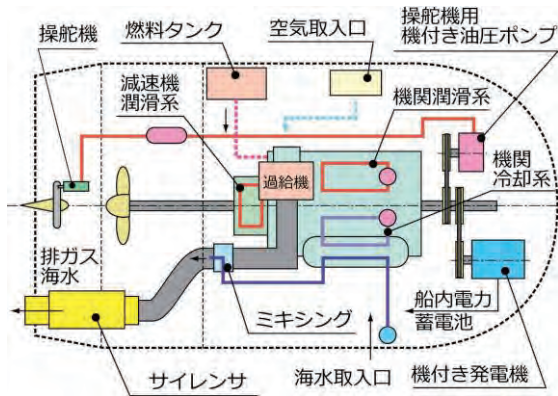


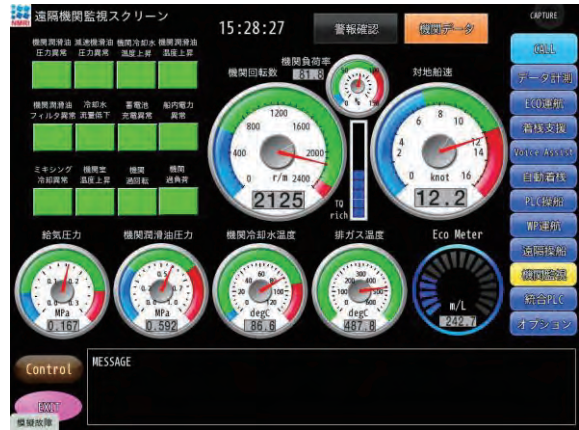
図-10 小型実験船の機関部の基本構成

きないこと、定時入出港のための船速制御機能を導入していないことなどがある。

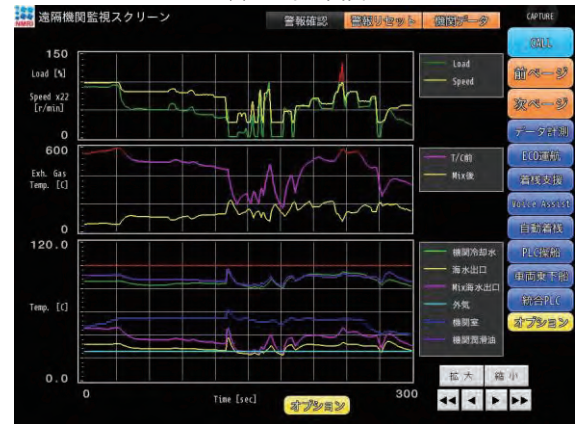
3.4 シミュレータによる機関部の模擬故障試験

小型実験船「神峰」の機関部構成を想定した機関遠隔監視システムを構築し、シミュレータによる模擬故障試験などを実施している。図-10に小型実験船「神峰」の機関部構成、図-11に機関遠隔監視システムの画面例を示す。

本システムには、冷却水流量や機関室通風量の低下など、実際に起こり得る故障の条件を与えることで、簡易的に各部の温度や圧力を計算する機能を設けている。そして、設定したしきい値を超えると警報が発令される。なお、これらの機



(a) メイン画面



(b) トレンドグラフ画面

図-11 機関遠隔監視システムの画面例

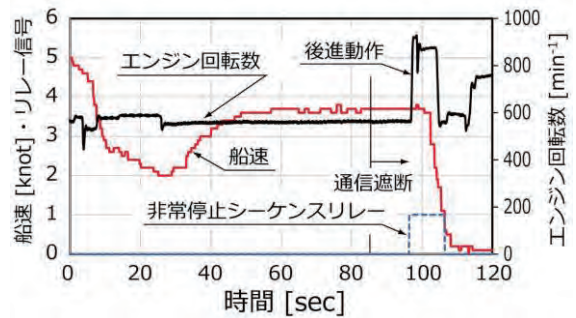


図-12 自動着棧システム運転時の通信遮断試験



図-13 カメラ画像による他船検知の例



図-14 自動避航システムの画面例



図-15 遠隔操船試験の様子

能は、一部の警報発令を除いて、実船には導入していない。将来の自動運航船の安全性確保のためには必要不可欠な機能であり、今後、模擬故障試験の方法や有効性・安全性の検証・評価（不具合の原因究明と対策）について詳細に検討する必要があると考えている。

4. 各種実船試験の概要

小型実験船「神峰」による実船試験は、本船を保管している因島（広島県尾道市）の周辺海域で実施している。以下、代表的な実船試験の結果を紹介する。

4.1 自動着岸システム

本船の自動着岸システムは、開始位置から着岸位置までの計画経路を自動で作成し、経路を追従させる自動制御を行う^{3),4)}。本システムの開発当初は、制御用パーソナルコンピュータ（PC）を用いていたが、動作の信頼性を向上させるため、PLCに換装した。また、PLC同士の通信は、接続状況を把握しやすいといった特徴がある。

図-12は、本システム運転中にメインPLCとの通信を故意に遮断した試験の結果である。通信遮断が検知されると、メインPLCの操船基本システムによる非常停止機能が動作し、後進動作により船舶を停止させている。なお、本試験結果は、開発初期の制御用PCを用いたときの結果である。PLC

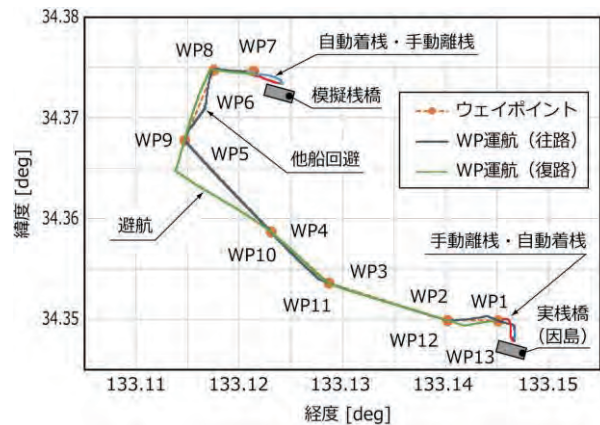


図-16 遠隔操船試験時の航跡

同士の通信とすることで、よりの確に通信状態を把握でき、安全性を高められると考えている。

4.2 他船検知システム・自動避航システム

表-1に示したとおり、本船の他船検知システムは、カメラ画像のデータから他船や障害物を検知するシステムである。AIS及びレーダで検知された他船の情報とあわせ、船内ネットワークを介して、後述する自動避航システムや船内の電子海図に引き渡される。

図-13 はカメラ画像の一例である。カメラ画像のデータは、専用の PC で処理することによって、他船の有無を自動で検知するとともに、他船の方位・進行方向を計算し、船内ネットワークを経由して自動避航システムに送信される。

図-14 は自動避航システムの画面である。本システムは、あらかじめ設定したウェイポイントを追従する制御を行いながら、他船を検知した場合には自動で進路を変更する機能を有している。実船試験によって、本システムは概ね適切に機能することを確認している。一方、本船は周囲に小さい島や岩礁・浅瀬がある狭い海域を運航しており、本船及び他船は航路に制限を受けることが多い。そのため、操船者の判断によって避航ルートを変更することがあった。これらを踏まえて自動避航アルゴリズム、または入力するデータを見直す必要があると考えている。

4. 3 遠隔操船システム

図-15 及び図-16 は、開発初期に実施した遠隔操船試験の様子並びに試験結果の一例である。遠隔地（東京都三鷹市）の操船者は、LTE 通信によって送信された映像などによって周囲の状況を確認しながら操船している。本試験においては、上記の自動避航システムは搭載しておらず、全周囲画像、ズームカメラ画像および他船検知システムの検知結果を参考に、操船者の判断による他船回避を行っている。

本遠隔操船試験においては、リスク解析のためのシステム構成のモデル化、システムと遠隔操船者のタスク分析並びにハザードの抽出などを行い、本遠隔操船の課題を明確にした⁹⁾⁷⁾。船陸間の通信遅れへの対策や周囲状況の把握、遠隔操船操作盤による操作方法、各種データの画面表示などに課題があり、これらの対策については、陸上で模型船による試験設備を構築するなどをして検討を進めている。

5. まとめ

本報では、小型実験船「神峰」に構築している自動化システムの概略、各種自動化システムを開発する際に用いたシミュレータの活用事例、さらに実船試験結果の一部を紹介した。シミュレータについては、自動化システムやプログラムの開発において様々な評価や検証が可能であり、今後も有効に活用していきたいと考えている。また、実船試験においては、各自動化システムの機能や安全性を確認すると同時に、多くの課題を抽出することができた。これらの知見を基に、今後も運航支援・自動化システムの研究開発を進めていきたいと考えている。

References

- 1) 平田宏一, 宮崎恵子, 疋田賢次郎, 荒谷太郎, 松倉洋史, 吉村健志, 西崎ちひろ, 三宅里奈, 田村兼吉, 離島の交通支援のためのシームレス小型船システムの開発, 海上技術安全研究所報告, 第 16 巻, 第 4 号, p. 339-357, 2017.
- 2) 澤田涼平, 平田宏一, 北川泰士, 齊藤詠子, 宮崎恵子,

上野道雄, 福戸淳司, 着棧操船の音声支援と自動着棧制御に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻別冊 (令和 2 年度), 第 20 回研究発表会講演集, p.85-90, 2020.

- 3) R. Sawada, K. Hirata, Y. Kitagawa, E. Saito, M. Ueno, K. Tanizawa, J. Fukuto: Path following algorithm application to automatic berthing control. J Mar Sci Technol, Vol. 26, pp. 541-554, 2021.
- 4) 平田宏一, 澤田涼平, 小林充, 齊藤詠子, 佐藤圭二, 宮崎恵子, 南真紀子, 國分健太郎, 福戸淳司, 小型実験船「神峰」による自動化システムの機能確認試験, 第 91 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集, p. 165-166, 2021.
- 5) 塩莉恵, 伊藤博子, 石村恵以子, 柚井智洋, 三宅里奈, 工藤潤一, 平田宏一, 仁木洋一, 小型実験船「神峰」の遠隔操船システムのモデル化, 第 91 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集, p. 167-168, 2021.
- 6) 三宅里奈, 稲葉祥梧, 塩莉恵, 石村恵以子, 伊藤博子, 柚井智洋, 工藤潤一, 平田宏一, 仁木洋一, 小型実験船「神峰」の遠隔操船実験に基づくタスク分析, 第 91 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集, p. 171-172, 2021.
- 7) 工藤潤一, 柚井智洋, 伊藤博子, 石村恵以子, 三宅里奈, 塩莉恵, 平田宏一, 仁木洋一, 小型実験船「神峰」による遠隔操船実験におけるハザード抽出, 第 91 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集, p. 173-174, 2021.