

## 小型実験船の自動化システム

平田 宏一\*, 澤田 涼平\*\*, 小林 充\*\*, 佐藤 圭二\*\*

### Automatic Navigation System of Small Experimental Ship

by

HIRATA Koichi\*, SAWADA Ryohei \*\*, KOBAYASHI Mitsuru \*\* and SATO Keiji \*\*

#### Abstract

The National Maritime Research Institute has been 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 have proceeded with testing an automatic berthing control and a remote control system on actual ships. We use a programmable logic controller (PLC) for the ship’s automation system to control onboard equipment such as the engine, clutch, and steering device. All automated applications such as the automatic berthing system and automatic ship collision avoidance system are executed via the PLC. The program in the PLC, called the basic maneuvering system, has functions to safely switch between PLC operation and manual operation, issue an alarm or emergency stop, prevent damage to important equipment in the ship, as well as an interlock function to prevent errors. In this report, we verified that each function of the basic ship maneuvering system functions properly on the actual ship. Then we identified remaining technical issues to improve safety for practical use. Our next steps are to diagnose failures in onboard equipment or control systems and add functions to prevent accidental sudden turns, a proper setting for interlock functions, and sensor health diagnosis.

---

\* 自動運航船プロジェクトチーム, \*\*知識・データシステム系

原稿受付 令和4年7月25日

審査日 令和4年8月15日

## 目 次

1. まえがき	2
2. 小型実験船「神峰」及び自動化システムの概要	2
3. 操船基本システムの機能確認試験及び課題	3
3.1 基本動作機能	3
3.2 安全対策機能	4
3.3 試験結果の概要	5
3.4 操船基本システムの課題	5
4. まとめ	6
References	6

## 1. まえがき

海上技術安全研究所は 2020 年に自動運航船プロジェクトチームを設置し、自動運航船の安全対策技術や要素技術に関する研究を進めてきた。その活動の一つとして、著者らは、当所が管理する小型実験船「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。本報では、本船に構築している自動化システムの概略について延べ、本船の自動化システムのベースとなる操船基本システムの基本動作や安全対策について紹介する。

## 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 に示す実験船「神峰」は総トン数約 17GT の小型船舶である。表 1 に本船の主要目を示す。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<sup>1)</sup>や水素燃料電池の安全性確認試験<sup>2)</sup>に活用されてきた。その後、運航支援・自動化のための計測・制御機器を整備し、船員負荷低減のための運航支援システムの研究、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きた<sup>3),4),5)</sup>。

図 3 に本船の自動化に関連するシステム構成の概略、表 2 に機能毎の主な制御システムを示す。本船の自動化は、図 3 に示すメイン 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。さらに、自動化システムの機能・用途に応じて制御用パーソナルコンピュータや機能毎の PLC をイーサネット通信、またはシリアル通信で接続して、表 1 に示した自動着岸システムや自動避航システムなどの自動化システムはすべてメイン PLC を介して実行される。なお、PLC による操船と通常の手動操船とは、図 4 に示す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。



図 1 小型実験船「神峰」の外観

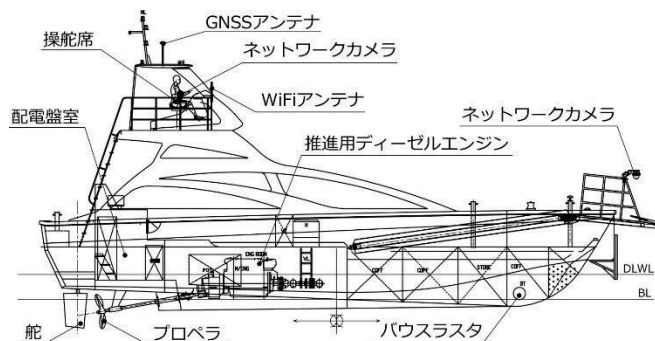


図 2 小型実験船「神峰」の基本構造

表1 小型実験船「神峰」の主要目

全長	約 16.50 m
垂線間長	14.90 m
最大幅	4.60 m
登録幅	4.38 m
型深さ	1.50 m
計画喫水	0.70 m
総トン数	約 17 トン
主機出力	定格出力 450 kW@2132 min <sup>-1</sup>
航海速度	約 11.50 kt
燃料油タンク	約 2.00 m <sup>3</sup>

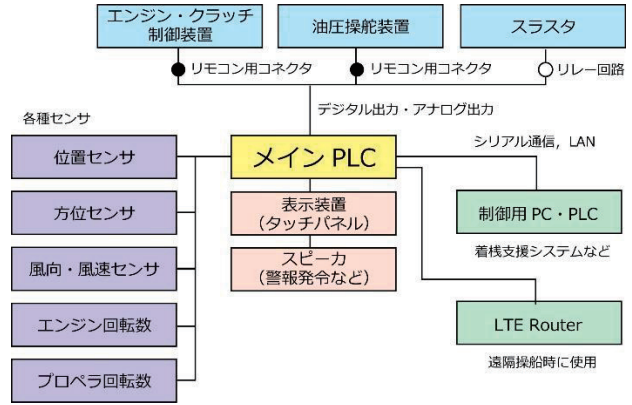


図3 小型実験船「神峰」のシステム構成

表2 小型実験船「神峰」の主な制御システム

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トの動作を 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	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
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

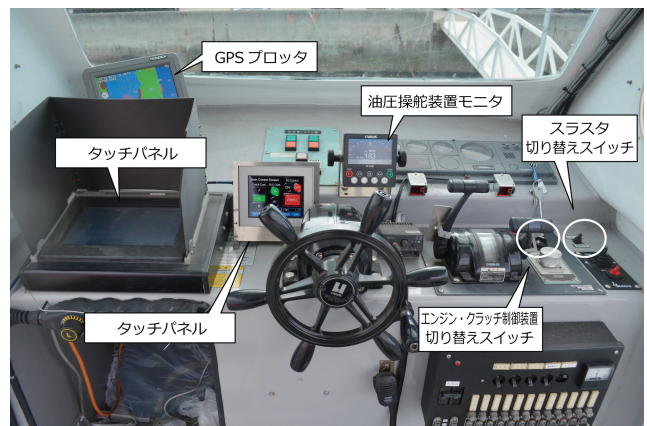


図4 小型実験船「神峰」の操縦席

### 3. 操船基本システムの機能確認試験及び課題

上述のとおり、本船の自動化システムはメイン PLC を介して実行される。操船基本システムは、メイン PLC によって計測データを収集・処理するとともに、本船のエンジン・クラッチ制御機器、油圧操舵機およびスラストを制御するためのコンピュータシステムであり、PLC による操船と手動操船とを安全に切り替えるための機能、不具合発生時に警報または非常停止を発令する機能、本船の運航に関わる重要機器の損傷を防止する機能、誤操作に対するインタロック機能などを装備している。

#### 3.1 基本動作機能

操船基本システムは、以下に示す基本動作機能を有している。表3に基本動作機能の概要とシステム開発時に実施した試験内容をまとめている。

##### (1) PLC 操船と手動操船の切り替え

自動化システムに不具合が生じた場合など、迅速かつ正確に、操船基本システムによる制御（PLC 操船）から手動操船に切り替える必要がある。自動化システムの制御機器の機能が喪失した場合であっても切り替えられるように、切り替えスイッチは、自動化システムの回路とは切り離して構成されている。

##### (2) 制御指令の制限

操船基本システムに接続する他の制御機器からいかなる指令があった場合でも、操船基本システムは本船に設置されている船内機器を保護するため適切な指令値を出力する。また、操船基本システムに接続する制御機器が

ら、継続的な指令が得られない場合でも、操船基本システムは船内機器に対して、リスクを高める指令値を出力しない。

### (3) 指令値に対する制御結果の把握

船内機器を制御するための指令値（設定値）に対して、制御結果を把握するための表示機能を有している。

表3 操船基本システムの基本動作機能と試験内容

No.	機能	本船における対応	試験内容
(1)	PLC 操船と手動操船の切り替え	操船コンソールの3つのスイッチを切り替える。	a) PLC 操船中、決められた操作によって手動操船へ切り替わることを確認する。 b) PLC 操船中、制御機能を喪失させた状態で手動操船へ切り替わることを確認する。
(2)	制御指令の制限	メイン PLC 内のプログラムによって、船体機器への指令出力の上限と下限を設定している。	a) 設定値を変更して、上限と下限の機能が適切であることを確認する。 b) 外部 PC を接続し、模擬的な異常信号を入力して動作を確認する。
(3)	指令値に対する制御結果の把握	舵角指令に対して舵角の計測値、エンジン回転数の指令に対してエンジン回転数の計測値、クラッチ操作の指令に対してプロペラ回転数の計測値を表示する。	それぞれの動作に対して、ディスプレイの表示を確認する。

## 3.2 安全対策機能

上記の基本動作機能のほか、操船基本システムでは以下の安全対策機能を講じている。表4に安全対策機能の概要とシステム開発時に実施した試験内容をまとめている。

### (1) 急発進防止機能

手動操船と PLC 操船を切り替える場合、不意の急発進を防止する機能を設けている。具体的には、手動操船から PLC 操船に切り替える際、PLC プログラムによってエンジン回転数をアイドル回転数にするとともに、クラッチを強制的にニュートラルとする制御をしている。

### (2) 船内機器の保護

自動化システムの誤操作または誤動作によって、対象船の運航に関わる重要機器の損傷を防止する機能を設ける。重要機器の損傷を引き起こす原因としては、エンジン回転数が高い状態におけるクラッチの切り替えがある。さらに、クラッチや油圧操舵装置に使用している電磁弁やリレーについては、制御信号の周期的な変動等による過度な応答機器のハンチングを防止する必要がある。

表4 操船基本システムの安全対策と試験内容

No.	機能	本船における対応	試験内容
(1)	急発進防止機能	a) PLC 操船に切り替える際、強制的にニュートラルとする制御がかかる。	PLC 操船のクラッチを入れた状態にして、手動操船から PLC 操船に切り替えたときの動作を確認する。
		b) 既設のエンジン・クラッチ制御機器の仕様により、手動クラッチがニュートラルのときにだけ、手動操船に切り替えることができる。	手動クラッチを入れた状態にして、PLC 操船から手動操船に切り替わらないことを確認する。
(2)	船内機器の保護	エンジン回転数が高いときに（700 min <sup>-1</sup> 以上）クラッチの切り替えができないインタロック機能を有している。	左記の機能を確認する。
		PLC プログラムによって、エンジン回転数の変化速度を設定している。	外部に接続した PC の模擬信号によって過度な応答をしないことを確認する。
(3)	非常停止機能	非常停止スイッチによって、船舶を停止する機能を有している。（1 knot 以下の船速まで減速させる。）	PLC 操船による運航中、非常停止機能を作動させて、動作を確認する。

(3) 非常停止機能

自動化システムによる航行中、任意のタイミングで本船を最短距離で停止させる機能を持たせている。この非常停止機能は、タッチディスプレイの非常停止スイッチのほか、自動着岸システムが起動しているときの通信異常、遠隔操船時の通信異常の際にも自動で発令させることができる。

3.3 試験結果の概要

操船基本システムの機能確認試験は、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た。以下、試験結果の一部を紹介する。

(1) エンジン回転数指令値の変動試験

図5は船内機器の保護に関連する試験結果の一例であり、エンジン回転数(ガバナ制御)の指令値を故意に変動させた場合のエンジン回転数の計測結果を示している。メインPLCにエンジン回転数の増速・減速の応答を緩やかにする保護プログラムを組み込むことによって、指令値に過度な変動があった場合でも関連機器を保護している。

(2) 非常停止機能の試験

本船の非常停止機能は、前進航行時の船速に応じて、後進運転(アスターン)を行い、設定した時間の後進運転の継続、または1knot以下の船速まで後進運転による減速をさせる。図6は船速約8knotで航行している状態で非常停止機能を作動させたときの試験結果の一例である。これより、非常停止機能は適切に機能し、非常停止発令から約12sec後、後進運転によって船速が約2knot程度まで低下していることがわかる。

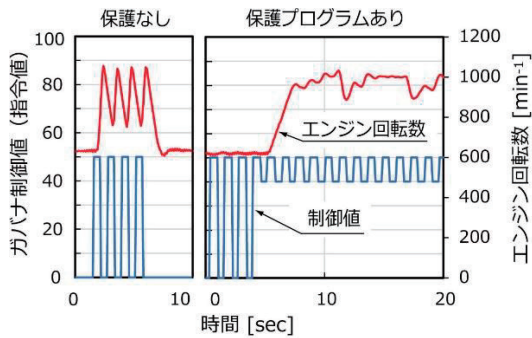


図5 エンジン回転数指令値の変動試験

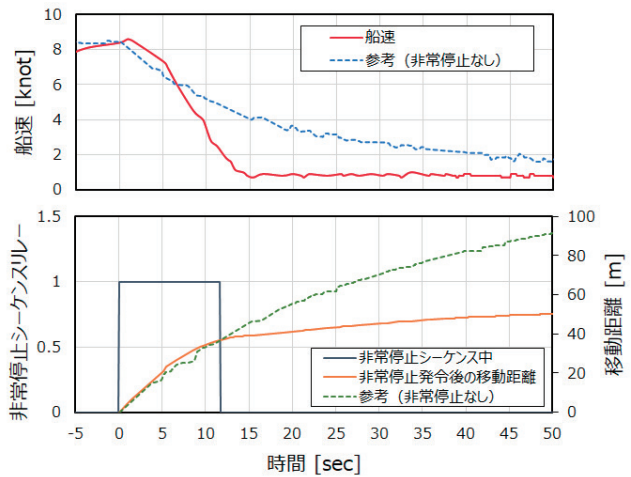


図6 非常停止機能の試験結果

3.4 操船基本システムの課題

以上に記した操船基本システムの機能確認試験においては、開発者自らが本船に特化した機能を設定し、それぞれの機能が意図したとおりに動作することを確認するとともに、安全性向上や実用化に向けた様々な技術課題を抽出した。以下、操船基本システムの課題をまとめる。

(1) 不具合判断と警報発令

操船基本システムは、非常停止機能が作動した際、自動化システムの制御を解除し、タッチディスプレイとそれに接続したスピーカによって可視可聴警報を発令する。しかし、本船では、船内機器または各システムの不具合判断、操船基本システムの機能喪失判断の機能は設けられていない。実用的な自動化システムにおいては、船内機器または制御システムに不具合が生じた場合にも警報を発令させる必要がある。

(2) 急旋回防止機能

上述のとおり、本船には不意の急発進を防止する機能を設けている。同様に、航行時の急旋回を防止する機能も重要である。手動操船からPLC操船に切り替える際、実舵角に合わせる制御などを検討したものの、切り替え時の状況を判断することが難しいため、実装はしていない。

### (3) インタロック機能の適切な設定

本船では、船内機器を保護するため、いくつかのインタロック機能を設けている。一方、過度なインタロック機能は意図した操作・制御を妨げることがあり、安全性を損なう可能性があるためシステム開発時には注意が必要である。例えば、クラッチの頻繁な脱着やエンジン回転数が高い状態におけるクラッチの切り替えは関連機器を破損させる可能性が高いものの、クラッチの脱着の感度を鈍らせる制御は安全性を損なう可能性があるため注意が必要である。

### (4) センサの健全性

図3に示したように、本船のメインPLCには様々なセンサが接続されている。これらのセンサは、自動化システムの用途によって求められる機能が異なるため、上記の操船基本システムの機能確認試験には含めず、それぞれの自動化システムの試験において様々な検討を行った。自動化システムの実用化にあたっては、センサの健全性を監視することが必要不可欠であり、その機能の実装については今後の検討課題である。

## 4. 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と本船の自動化システムのベースとなる操船基本システムの基本動作や安全対策について紹介した。さらに、操船基本システムの機能確認試験を行い、各機能が概ね適切に機能することを確認するとともに、安全性向上や実用化に向けた様々な技術課題を抽出した。また、本報で述べた操船基本システムの機能確認試験の他にも、自動着岸システムや自動避航システム、遠隔操船システムなどの試験を行い、多くの知見が得られている<sup>6)~9)</sup>。これらの蓄積された知見を基に、今後も運航支援・自動化システムの研究開発を進めていく予定である。

## References

- 1) Hirata K. et al.: Development of the Small Size Seamless Ship Transportation System for Sea Routes at Remote Islands, Paper of National Maritime Research Institute (NMRI), Vol.16, No.4, p.339-357 (2017), (In Japanese).
- 2) Hirata K.: Research on Marine Power Systems for Low-carbon Fuels, Paper of National Maritime Research Institute (NMRI), Vol.19 extra issue, p.3-7 (2019), (In Japanese).
- 3) Sawada R. et al: Support System for Berthing Operation and Automatic Berthing Control, Paper of National Maritime Research Institute (NMRI), Vol.20 extra issue, p.85-90 (2020), (In Japanese).
- 4) Hirata K. et al.: Functional Verification Tests for Automated System of Small Experimental Ship "Shinpo", Proc. the 91st Conf. on the Japan Institute of Marine Engineering (JIME), p. 165-166 (2021), (In Japanese).
- 5) Hirata K. et al.: Evaluation of Automatic Berthing Control and Remote Control System with Small Experimental Ship "Shinpo", Paper of National Maritime Research Institute (NMRI), Vol.22 extra issue, p.77-82 (2022), (In Japanese).
- 6) Sawada R. et al: Automatic Berthing System of Small Experimental Ship, Paper of National Maritime Research Institute (NMRI), Vol.22, No.2 (2022), (In Japanese).
- 7) Kobayashi M. et al: Perimeter Surveillance Camera System for Remote Ship-handling of Small Experimental Ship, Paper of National Maritime Research Institute (NMRI), Vol.22, No.2 (2022), (In Japanese).
- 8) Sato K. et al: Automatic Ship Collision Avoidance System for Small Ship, Paper of National Maritime Research Institute (NMRI), Vol.22, No.2 (2022), (In Japanese).
- 9) Miyake R. et al: Risk Analysis for Remote Operation of Small Experimental Ship, Paper of National Maritime Research Institute (NMRI), Vol.22, No.2 (2022), (In Japanese).