

自動運航技術の開発

— MEGURI2040 無人運航実証実験プロジェクト —

井上 総一郎*, 森 英男*

1. はじめに

船舶の運航に関しても、運航支援や自動化に対する技術開発ならびにIMOでの法整備が進められている。また我が国の内航海運においては、船員の高齢化、将来の船員確保の問題は喫緊の課題であり安全性向上とそれにつながる乗務員負荷低減ならびにコスト競争力強化には継続的に取り組む必要がある。そのため、国土交通省等においても運航支援・自動運航に関する各種事業がなされており、当社においてはこの度日本財団との技術開発共同プログラム事業にて無人運航の実証実験を実施する事となった。

当社では1980年代より、SUPER ASOS (Advanced Ship Operation Support System) や Super Bridge-Xといった運航者のための支援システムを製品化してきた経験があり、今般の実証実験では(一財)日本海事協会(NK)の「自動運航、自律運航の概念設計に関するガイドライン(暫定版)」の分類IIレベルをめざし、AIや画像処理、クラウド利用等の最新の各種技術を大型フェリーに搭載し、無人運航を目指した自動運航技術の開発と検証を行う。

開発内容は、

- 1) 入出港・離着岸および航行の自動化
- 2) 就航中機関室監視および運航情報の陸上監視である。

2. 実証実験の範囲

本実証実験プロジェクトは2020年2月から2022年3月までの約2年間で、乗員配置の上で自動運航による操船実験を実施するもので、基本的には乗員によるフォールバックを前提としており、おおよそNKガイドラインのレベル2相当をターゲットとして開発を行っている。システム設計の段階においてNK殿によりリスクアナリシスを実施し安全な実証実験のための各種条件、事前準備及びODDの明確化を行っている。今般の実証実験では、実験用に開発された各機能についてその有効性、性能限界さらに今後の改良についての課題抽出を行う。

実験は、出入港、輻輳海域航行、外洋航行において各周辺状況下での試験を実施し、機能、精度、各装置のシステム連携、船体運動制御、海象・気象影響、通信、機関室監視、陸上監視の有効性の検証を実施する。

3. 装備

3.1 本船概要

本船は国内航路の大型長距離フェリーで、推進装置に、2軸CPP、2舵及び船首・船尾にサイドスラスタを備えている。主要目と主要推進装備を表1に示す。

表1 本船概要

船舶所有者	新日本海フェリー株式会社
船舶運航者	東京九州フェリー株式会社
造船所	三菱造船株式会社
起工 就航	2020年8月 2021年6月末
総トン数(トン)	約15,400
載貨重量(トン)	約5,440
満載排水量(トン)	約18,000
搭載車両数	12メートルトラック154台 乗用車30台
旅客定員数	268人
船の寸法	L(長さ)= 約 222.5 (m) B(幅) = 約 25 (m) D(深さ)= 約 20.4 (m)
計画速力(ノット)	28.3



3.2 自動運航装備

今般の実証実験プロジェクトにあたっては、自動運航用に開発された装備を、本船が備えている装備に追設する事で実施する物であって、自動運航にあ

* 三菱造船株式会社

以下に各技術の特徴を記す。

5.1 物標画像解析システム

赤外線カメラにより前方を撮影，得られた画像をリアルタイムで自動分類する。港湾や海峡通行船を撮影し約10000点の学習データでAI機械学習を行い基本システムを構築した。分類は，船舶，ブイ，漁業器具，その他と仕分けしている。これらの学習データは実証実験中も逐次取得追加する事も可能である。

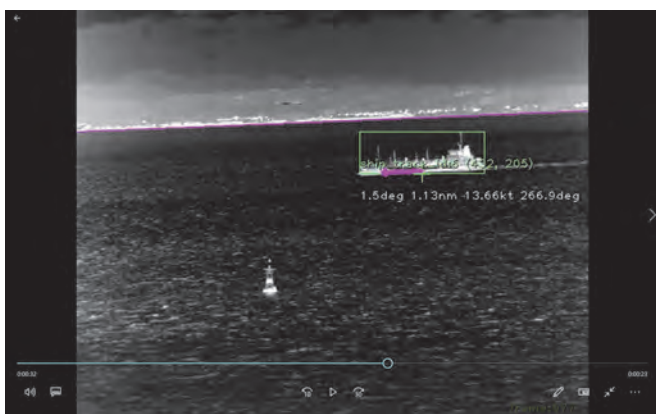


図2 物標画像解析システム

さらに，これらをレーダーとAIS情報に加え避航操船情報に用いるため，対象物との距離，方位，移動速度，移動方位を画像より計算する特徴を備えている。さらに船舶動揺・姿勢変化に対応する補正機能も備え，画像による諸数値演算の精度向上を図っている。各データは，自動操船システムにおいて適切なデータ融合と分離を行い避航対象物の設定に用いる。

また，解析結果を表示するグラフィカルなGUIも備えている。

5.2 自動操船システム

操船者への情報支援である当社の航海支援システムを大幅に機能改良し，無人航行可能な設定航路の自動トラッキングと到達目標時刻設定による船速制御，自動避航航路作成と避航操船を行えるシステムとした。



図3 自動操船システム

当システムは電子海図情報を内蔵し，通常航海中は設定航路に対し自船と設定航路の偏差を少なくするように航行するトラッキング機能を備え，また電子海図の安全等水深線を設定する事により自動で浅海域を回避する航路を構築し，本船のオートパイロットやCPP遠隔操従装置を適切に制御し操船を行う。

自動運航技術にとっての重要な課題である衝突回避に関しては，レーダー，AIS，画像解析による認知対象物に対し全てを演算し回避航路を策定するもので，その範囲や避航の設定にあたっては，航行モードすなわち定常航海，内海，狭水道，港内モードにより避航範囲と減速を含む操船パターンを変更している。

避航航路の設定機能は，全対象の最接近時間・距離演算や海上衝突予防法を基本としているが，特に今般は，内航大型フェリーの特性を踏まえるため，開発段階において多くの行き会い想定パターンをシミュレーションしながら，運航者・船長のご意見を伺い避航のアルゴリズムに，前方後方両舷行き会い距離，幅員海域での避航パターンの優先順位重みづけ等の要素を織り込んでおり，より実的な避航航路が作成可能となっている。

5.3 離着岸操船システム

大型フェリーにとっての入出港は，限定された港湾内の範囲で，安全且つ精度の高い操船が求められる。本プロジェクトでは，それらを成立させるために，以下のような構成を用いることとした。

- 1) 準天頂衛星システムと高精度測位補正(MADCOCA)による，高精度な船位の把握
- 2) 実港湾を対象とした，船長による，船位・方位・船速等操船情報を，設定入出港航路データとして使用
- 3) 上記船長航路をトラッキングする，AIによる操船システムがアクチュエーターを操作

1)及び2)により，安全且つ高精度が確保され，トラッキング機能に関して3)AIを用いたアクチュエーター制御を使用する事で，外乱などに対するロバストな制御が可能となっている。

このAIシステムは，航路からの逸脱量を最小化するためのアクチュエーター制御を行う様深層強化学習手法により開発されたものであり，このような離着岸手法はこれまで国内外で報告例は無い新たな機構である。

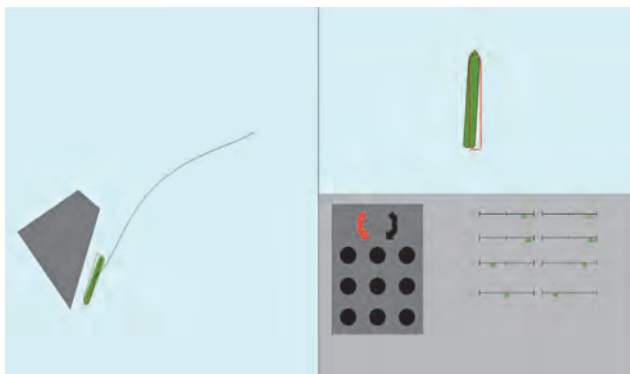


図4 離着岸操船システム シミュレーション

また大型船においては、操縦に対する応答把握、すなわち船体運動モデルが重要であり、そのため、当該船模型を使用した水槽試験による運動パラメータの取得を行ったうえでシミュレーション用の運動モデルの構築を行い、離着岸操船システムの開発を実施、さらに開発されたシステムを用い模型実験で実際の入出港操船を行う事で精度の検証を行った。さらにシミュレーションや模型実験において、風、波に対する制御のロバスト性も検証を実施した。



図5 離着岸操船システム 模型実験

5.4 岸壁測距システム

小型Lidar装置を船側の前部後部に設置し、岸壁に向かって照射する事により、中～近距離での船体と岸壁との相対距離、相対速度（船体の岸壁への近接速度）と相対姿勢を計測と演算にて求めるものであり、主として近接時のアラームとしての使用を想定した。今回は、任意の港湾での使用が可能となるように船体側に取り付け、且つ波浪ダメージを避けるため、海面からの高さを確保できる主甲板高さに取り付け、中距離から1mまでの近距離に適用可能な照射角度と演算手法の開発を実施した。

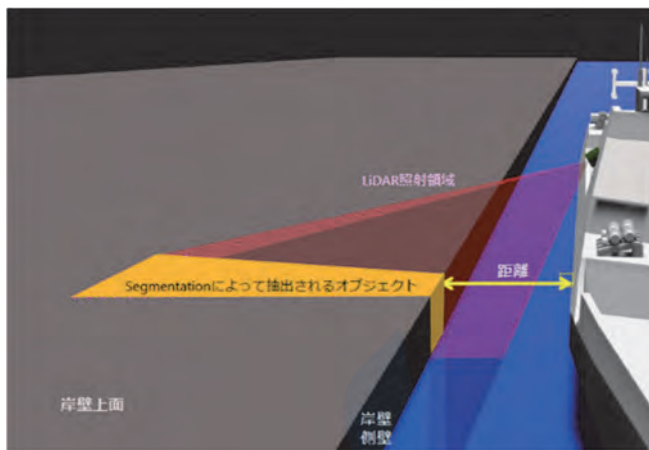


図6 岸壁測距システム概要

5.5 FO漏れ検知システム、電動機監視システム

将来の自動運航・無人運航を考えた場合、航海操船の自動化と並び船舶の各機器の故障に対する対応が必須である。機器の自動修復は物理的に不可能であり、またすべての機器の二重化も経済的にもスペース的にも現実的ではない。このことから、予防保全を行えるような仕組みが必要であり、そのための状態監視のシステムと陸上での監視がカギとなる。

FO漏れ検知システムは、機関室の火災防止において最重要課題である燃料漏れを、画像解析により検知するシステムである。システムは、カメラと画像解析演算部からなるシステムで、狭隘部にも容易にレトロフィット可能なものとした。画像解析部は、正常状態の学習により、異常状態としての燃料漏れを検知するもので、実環境の照度に合わせ、感度や検知閾値を設定した。



図7 FO漏れ検知システム

電動機監視システムは、陸上発電プラントでの技術を応用し、電動機からの電流を計測する事により異常予知を行うシステムで、継続的なデータ観測によりより精度の高い予知が行えるシステムとなっている。



図8 電動機監視システム センサー部

また、本船の推進プラントのデータをM0チェックリストに倣いデータ化する事によって、本船プラント特性から予防保全につなげるデータ蓄積も実施する。

5.6 陸上監視システム

自動運航・無人運航には、陸上からの監視と支援が必須となる。本船上で取得された航海関係各センサー類のデータと機関部警報およびデータログは全てクラウドサーバーへデータとして送信され、ウェブページにて閲覧可能とした。これにより専用端末の有無に拠らず、運航側のどの陸上事務所にも監視が可能となる。

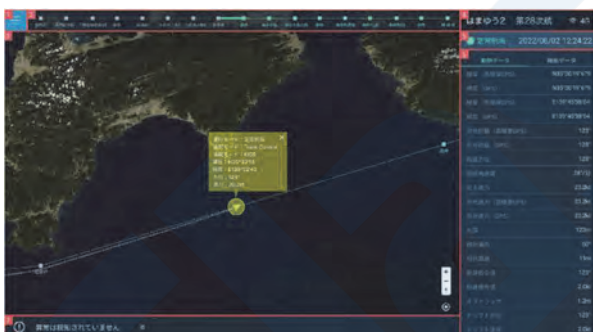


図9 陸上監視システム

さらに、特定端末では、機関室の3D設計データを用い、アラーム発生個所の3Dビジュアル化も可能とした。

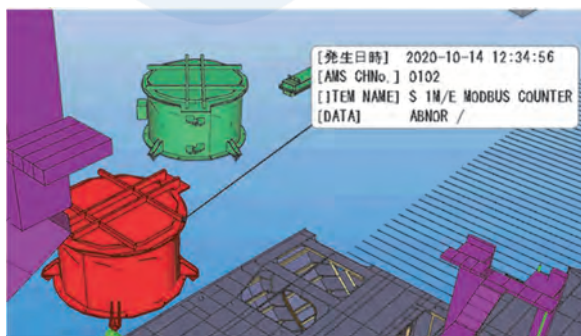


図10 アラーム発生箇所の3D表示

自動運航においての重要な課題としてサイバーセキュリティ問題がある。今回の場合、陸上からの遠隔操船は意図しておらず、本船からはクラウドサーバーへの送信のみとなるものの、各所にサイバーセキュリティ対策を施し、外部専門社によるペネトレーションテストも実施し安全対策の堅牢性を検証している。

6. 実証実験の目的と今後の課題

実証実験においては、種々計測と本船運航者による観察と評価を行い、今後の開発に寄与する。

評価項目としては、①船員操船との比較 ②実船での作動の精度 ③周辺監視装置との合理的連携 ④陸上監視としての有効性 ⑤実海象・気象下でのセンサー類の有効精度と操船精度のロバスト性、となる。

さらに、上記による性能向上とは別に、実用化に向けての今後の課題としては、条件の異なる様々な港湾への対応、船員操船へ近づける制御、装置のコスト低減、カメラの光学的限界とコスト問題、接岸に対する岸壁側との制御連携、船体運動モデルの低コスト且つ迅速な構築手法などの課題を解決してゆく必要がある。

この内、様々な港湾への入出港航路の自動構築手法については、進化計算法CMA-ESを用いたシミュレーション手法のプロトタイプを開発し、今後実用化に向けての検証を進めて行く。

7. MEGURI2040プロジェクト

本プロジェクトは、日本財団の“MEGURI2040”プロジェクトの一環として同財団との無人運航船の実証実験にかかる技術開発共同プログラムとして実施中であり、本船の船舶所有者である新日本海フェリー株式会社様のご協力と、各装置・システム開発においては、大阪府立大学、大阪大学、株式会社ブレインズ、アイディア株式会社、パイオニアスマートセンシングイノベーションズ株式会社、MHIマリンエンジニアリング株式会社、川崎重工業株式会社らの各大学様・各社様のご協力にて推進している。

2020年から2021年6月にかけて各システムを構築、本船搭載とコミッションングとテストを実施し、本船就航後実証実験を進めて行く予定である。

