

港湾内操船事故ゼロを目指す「安全離着岸支援システム」の開発

Development of Advanced Safety Berthing/Unberthing Assistance System Aimed at Achieving Zero Vessel Accidents in Ports



杉本 健① Takeshi Sugimoto
 檜野 武憲② Takenori Hino
 大江 啓司③ Hiroshi Ooe
 風間 英輝④ Eiki Kazama
 坂本 守行⑤ Moriyuki Sakamoto

多数の船が輻輳し、また高度な操船が要求される港湾内での事故は人的な要因で生じることが多く、さらなる安全性の向上が求められている。当社は船用推進機システムと船用装置全般にわたる製品群技術のバックグラウンドを生かして、港内操船・離着岸操船・係船作業・係船管理の4つの対応を一気通貫で支援する世界初の「安全離着岸支援システム」開発に川崎汽船(株)並びに川崎近海汽船(株)と共に取り組んでいる。川崎近海汽船が運航する内航船を使用して、実用環境下での研究・開発を進めており、2025年の社会実装を目指す。

In ports, which are congested with ships and require sensitive vessel maneuvering, many accidents are caused by human factors and a higher level of safety is required. Taking advantage of our product technologies for marine propulsion systems and general marine machinery, we are working with Kawasaki Kisen Kaisha, Ltd. and Kawasaki Kinkai Kisen Kaisha, Ltd. to develop the world's first advanced Safety Berthing/Unberthing Assistance System that supports maneuvering in port, berthing/unberthing, mooring operations, and mooring management in an integrated way. We are conducting research and development by using Kawasaki Kinkai Kisen coastal vessels in actual service conditions, aiming for social implementation by 2025.

まえがき

近年、海上安全の一層の向上、船上の労働環境改善、産業競争力の向上・生産性の向上などの観点から、船舶の自動運航技術の実用化への期待が高まっており、わが国でも2018年に国土交通省が「自動運行船の実用化に向けたロードマップ」を策定し、2020年に一般財団法人日本海事協会が「自動運航、自律運航に関するガイドライン ～自動化システム/遠隔制御システムの設計開発、船舶搭載並びに運用について～」を発行するなど、各方面で社会実装へ向けての取組みが行われている。

また国際海事機関IMO (International Maritime Organization) において、MASS (Maritime Autonomous Surface Ships) すなわち自動運行船に関する国際的なルール MASS Codeの2028年発効に向けた検討が続けられている¹⁾。

1 背景

航海計器の進歩やIoT技術の発展はあるものの海難事故

の発生件数は減少しておらず、特に内航船では港湾設備など沿岸域での事故件数が半数以上を占め、船舶の入出港時の安全性向上が求められている。

そこで、港湾内操船事故ゼロを目指して川崎汽船株式会社並びに川崎近海汽船株式会社と当社が共同で「安全離着岸支援システム」の技術研究開発に取り組んでいる。これは港内操船・離着岸操船・係船作業・係船管理の4つの対応を一気通貫で支援する世界初のシステムである。最大の特長として、推進機と係船機の連携制御により入港から係船作業そして停泊中の係船管理までの支援を実現する。

2 「安全離着岸支援システム」三社共同開発のねらい

現在、港湾内での離着岸作業は、操船技術に精通して船固有の操縦性能と係船設備の特性を熟知した乗組員によって行われているが、船舶の大型化による操船の高度化や社会課題となっている船員人材不足から、船舶操船・係船におけるさらなる安全管理の向上が求められている。本システムにより操船者の安全離着岸操船をAIなど最新技術でアシストして省スキル化することによって、離着岸作業の

課題解決に繋がることを期待される。実用化に向けた研究・開発に当たっては、共同開発パートナー 2 社が持つ豊富な操船ノウハウと当社がこれまでの船用機械事業で培ってきた推進機システムインテグレーション技術および係船支援技術を融合して、離着岸操船および係船作業におけるさまざまな課題解決とさらなる安全性の確立を目指す。

3 安全離着岸支援を実現するための開発技術

(1) 港内操船

港湾内での操船は低船速で、図 1 に示すように風や潮流といった気象海象などの外乱による影響を受けやすい難しさがあり、操船者には安全操船の判断を適切に行いたいニーズがある。

これに対して、自船操船および周辺状況を正確に認識するセンシング技術と船体運動モデルによる船体状態予測技術である「操船支援情報技術」を開発することにより、港湾内での他船や岸壁との相対関係の正確な情報や気象海象外乱の影響を考慮した将来の針路・速力や停船位置などの高精度な船体動作予測とそれに基づいた将来危険予知情報をHMI (Human-Machine-Interface) 装置へ適確に表示し、熟練操船者でなくとも安全操船判断を適切に行えるような操船支援を実現する。

複数のセンサの信号を組合せること（センサ・フュージョン）と膨大なセンサ信号を高速で処理することで周囲状況を認識する環境認識センサ技術を活用して、自船や他船並びに浮標など障害物の位置・姿勢・移動速度および自船と着岸岸壁との相対関係などの正確な情報を船上で取得して、操船者を支援することができる。レーザー距離測定と画像情報から岸壁部を認識しているセンサ・フュージョンの例を図 2 に示す。また、船の運動モデルを活用して、センサで得られない気象海象外乱の影響力推定や将来動作予測を演算（図 3）することで、着岸時の船体と岸壁との平行度や角速度変化・岸壁への接近速度・船体の将来位置予測などを操船者に提供することが可能となる。

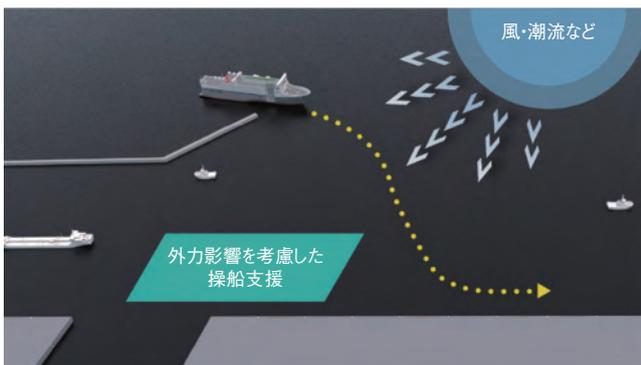


図 1 港内操船～離着岸操船
Fig. 1 Maneuvering in port and berthing/unberthing

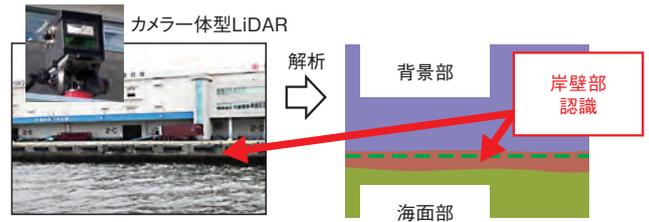


図 2 LiDARとカメラFusionによる岸壁検出
Fig. 2 Berth detection by LiDAR/camera fusion

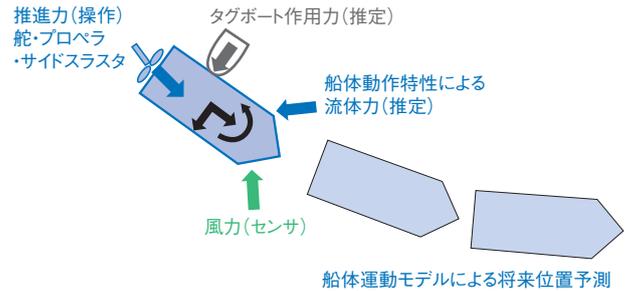


図 3 外力影響を考慮した将来状態予測
Fig. 3 Ship movement prediction that takes disturbance into consideration

(2) 離着岸操船

岸壁に接近した離着岸操船では、気象海象などの外乱による影響を考慮しながら、停船目標位置へ向けた適切な速力減速操船と岸壁との距離や平行度維持操船を同時に行う必要があり操船者に極めて高負担な作業となっており、操船者の作業負荷軽減へのニーズがある。

これに対して、船体運動モデルを活用したモデル予測制御を採用することにより、将来の船速や船体姿勢を予測して安全操船に最適な推力指令を演算して、刻々と変化する気象・海象などのさまざまな外力に影響される船体運動に対して船速や船体姿勢を最適に自動制御することが可能である。外乱力を補償した船速と船体姿勢の自動保持機能により操船作業の負荷を軽減し、操船者が停船目標位置へ向けた適切な減速指令判断と逐次の操船安全性判断に注力できるような操船支援を実現する。

当社は、可変ピッチプロペラ・旋回式スラスター・サイドスラスター・舵など、複数の操船要素を総括して操縦することができる総括操縦装置「KICS」(Kawasaki Integrated Control System) を製造・販売しており、フェリー・サブライボート・ケーブル敷設船・漁船など各種船舶の操船に豊富な実績がある^{2,3,4)}。システム構築例を図 4 に示す。ジャイロコンパス・測位システム・風向風速計・対水船速計などの航法センサと船体の動作特性を表す船体運動モデルを内蔵した制御装置を組合せ構成することで、船体運動の予測が可能となり、風や波などの外乱に対し、複数の推



図4 KICS-5000システム構築例
Fig. 4 Example of system construction of KICS-5000

進機の翼角・回転数・舵の舵角を瞬時に計算して最適な制御を自動で行うことができる。

(3) 係船作業

係船作業は、図5に示すブリッジでの推進機操作と甲板部での係船機操作を連携させる必要があり、船体操船の安全性を向上するニーズがある。

これに対して、「操船と係船の統合連携技術」を開発することにより、遠隔のブリッジから推進機と係船機を連携動作させることが可能になる。このとき、係船機制御装置は、張力を自動制御することにより推進機とバランスが取れた最適な索張力を発生させる。また、遠隔操作される係船機および係船索周辺に不要な作業員がいないか等をカメラセンサ技術により監視する機能も提供する。これらによ

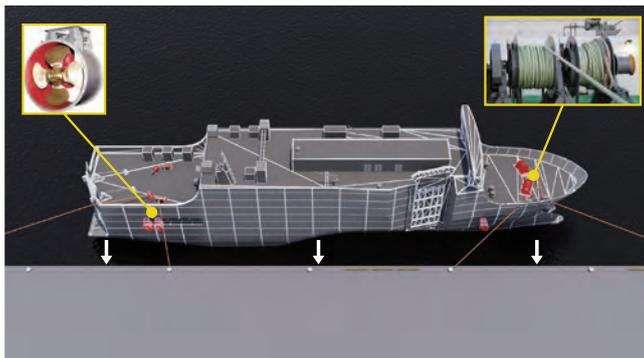


図5 係船作業
Fig. 5 Mooring operations & management

って、係船時の人身事故の危険を大幅に減らす係船作業支援を実現する。

プロペラ・サイドスラスト・舵取機などを制御して船位・船首方位を自動制御する「KICS」が有するDPS (Dynamic Positioning System) 技術を応用して、複数の推進機の推力指令と複数の係船機の係船索張力指令を最適に配分し、船全体としてバランスが取れた所望の合力を発生させる⁵⁾。制御ブロック図を図6に示す。これにより着岸係船を行う船体の位置や姿勢を容易にコントロールすることが可能となり、岸壁の所定の位置への安全な着岸係船を実現できる。

(4) 係船管理

停泊中の船舶の船首から船尾にわたり張られる係船索の管理に関しては、潮汐や本船喫水変化などに応じた索張力状態管理作業の作業負荷軽減と作業安全性向上のニーズがある。

これに対して、停泊中の係船索に加わる張力を船上にて検出し、リアルタイムで船内任意の場所から索張力を監視できるシステムを新たに構築する。係船索は複数の船上金物を介して岸壁側の係船柱に固定されるため、一般的に係船機側と係船柱側の索張力には差異が生じるが、当社独自の索張力推定モデルを用いることにより高精度な索張力の検出を実現した。この技術は、特に潮汐差の大きい港や本船の喫水変化が早い場合に、高頻度を実施されている状態確認や張力調整操作などの作業の負荷軽減や、係船時の安全性向上に寄与する。

当社は、舵取機や甲板機械（揚錨機や係船機など）の船用油圧装置を、1916年の舵取機用油圧ポンプ製作から始まり、油圧機器や油圧システムを発展させながら様々な船型や船種に応じた製品を製造・販売している。甲板機械においては高度な油圧制御技術によって荷役・係船作業の省力化にも貢献し、現在まで7,000隻以上の船舶に納入され、国内外の造船・海運業各方面から高い評価を得ている。図7に当社製甲板機械の例を示す。

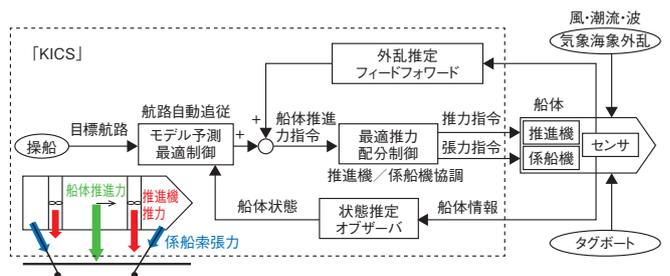


図6 KICS制御ブロック図（操船／係船の統合連携）
Fig. 6 Control block diagram of 「KICS」
(integrated linkage of propulsion and mooring systems)



図7 甲板機械
Fig.7 Deck machinery

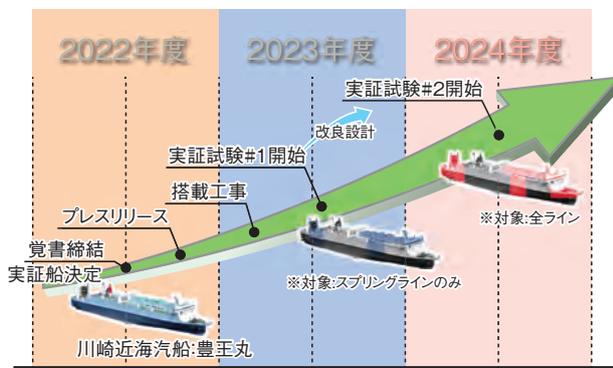


図8 実証試験スケジュール
Fig.8 Schedule of verification trial

4 技術実証試験

差別化のための要素技術の知財化を進めながら、社会実装へ向けて、安全離着岸支援システムとしての実証装置を開発している。実証試験スケジュールを図8に示す。

安全離着岸支援システムは、共同開発パートナーが保有する内航RORO船「豊王丸」を対象に、実証装置搭載工事を完了して、船体の運動モデルなど各種実船のデータを収集しつつ制御調整を実施中で、2023年10月から実証試験を開始する予定である。

あとがき

当社は、推進機・DPS・係船機を製造し、船の推進から係船まで一括でエンジニアリングできる国内唯一のメーカ

である。DPSである「KICS」は、主推進機や舵、サイドスラストなどを統括制御する性能を持つほか、設定航路上を自動的に航行するルートトラッキング機能を有しており、これまでに国内外で豊富な自動操船技術の実績を積んできている。この「KICS」で練磨した制御技術をベースとして、操船と係船の統合連係を実用化すべく、今後さらにDPS技術と先進ICTを駆使して研究開発を進める。これらに共同開発パートナーである川崎汽船(株)並びに川崎近海汽船(株)が長年培ってこられた安全運航のノウハウを高い次元で融合させることで、港内操船、離着岸操船から係船作業および係船管理まで一貫した安全性の向上ならびに将来の自動運航船など、さらなる安全安心な海のモビリティの実現を志向してゆく所存である。

参考文献

- 1) 清水：“自動運行船の実用化に向けた最新動向と課題”，ClassNK技報，No.3 2021年（I），pp.1-8（2021）
- 2) 河野，浜松，斎藤，池田：“自動操船システム（DPS）の開発”，川崎重工技報，No.147，pp.30-33（2001）
- 3) 河野，浜松，小野寺，斎藤：“自動操船システムなどのオンライン最適制御技術”，川崎重工技報，No.159，pp.36-37（2005）
- 4) 岡田，浜松，下山，斎藤：“トロール漁業の効率化を支援－自動曳網システム「KICS-5000STN」－”，川崎重工技報，No.167，pp.42-45（2008）
- 5) 原田，絹川：“川崎 DPS（KICS）による定点保持制御－最適制御技術による性能向上”，日本マリンエンジニアリング学会誌，第55巻 第1号，pp.52-56（2020）



杉本 健



檜野 武憲



大江 啓司



風間 英輝



坂本 守行