

交通運輸技術開発推進制度  
令和6年度業務実績説明書

次世代内航のための  
遠隔監視・遠隔操船システムの研究開発

令和7年3月

ジャパン・ハムワージ株式会社

公立大学法人大阪 大阪公立大学

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所

## I. 研究開発成果の要約

作成年月	令和7年3月
研究課題名	次世代内航のための遠隔監視・遠隔操船システムの研究開発 (23837548)
研究代表者名	富田 和志
研究期間	令和5年11月30日～令和7年3月31日
研究の目的	内航海運では船員不足の顕在化とそれに伴う安全航行への影響が懸念されている。本研究は、SBIR フェーズ1の成果にもとづき、船舶に備わる各種センサ出力を陸上に自動送信し、陸上で他船との衝突リスクを可視化する遠隔監視システムを構築する。あわせて、プロペラを正転させたままで減速・停船が可能なベクトリン舵によるブレーキ機能を緊急時の衝突回避手段として実装する。セメント運搬船を用いた実海域での実証試験および遠隔操船システムの検証試験を行うことで、次世代内航の新技术として早期の社会実装を図る。
研究成果の要旨	<p>1) 遠隔監視と自動ブレーキの開発 (船上システム) 各種センサ情報を用いて衝突リスクマップをリアルタイムに描画し、非常時に手でブレーキが発令できるシステムを開発した。</p> <p>2) 遠隔監視と自動ブレーキの開発 (遠隔システム) Starlink を用いて各種センサ出力を自動送信し、遠隔地にて衝突リスクマップを算出することで、衝突リスクが著しく高まった際に本船に対してアラートやブレーキを発令するシステムを開発した。セメント運搬船と傭船を用いた実証試験を実施し、見合い関係に応じて適切なタイミングで遠隔ブレーキが発令され、衝突を未然に回避できることを確認した。</p> <p>3) ジョイスティックによる遠隔操船システムの開発 直観的操作が可能なジョイスティックによる遠隔操船システムを開発し、陸上から安全確保のための遠隔操船が可能であることを確認した。</p> <p>4) ビジネス活動、製品化設計 航行安全支援システムの開発ロードマップを作成し、潜在的ニーズや製品化への要望に関するヒアリングを行った。</p>
知的財産権 取得状況	<p>特許出願 (優先権主張出願) 0件</p> <p>特許出願 (予定) 0件</p> <p>著作権登録 0件</p>
研究成果発表実績	<p>論文発表 : 国内 0件、海外 0件</p> <p>口頭発表 : 国内 2件、海外 0件</p> <p>その他 : 国内記事 2件</p>

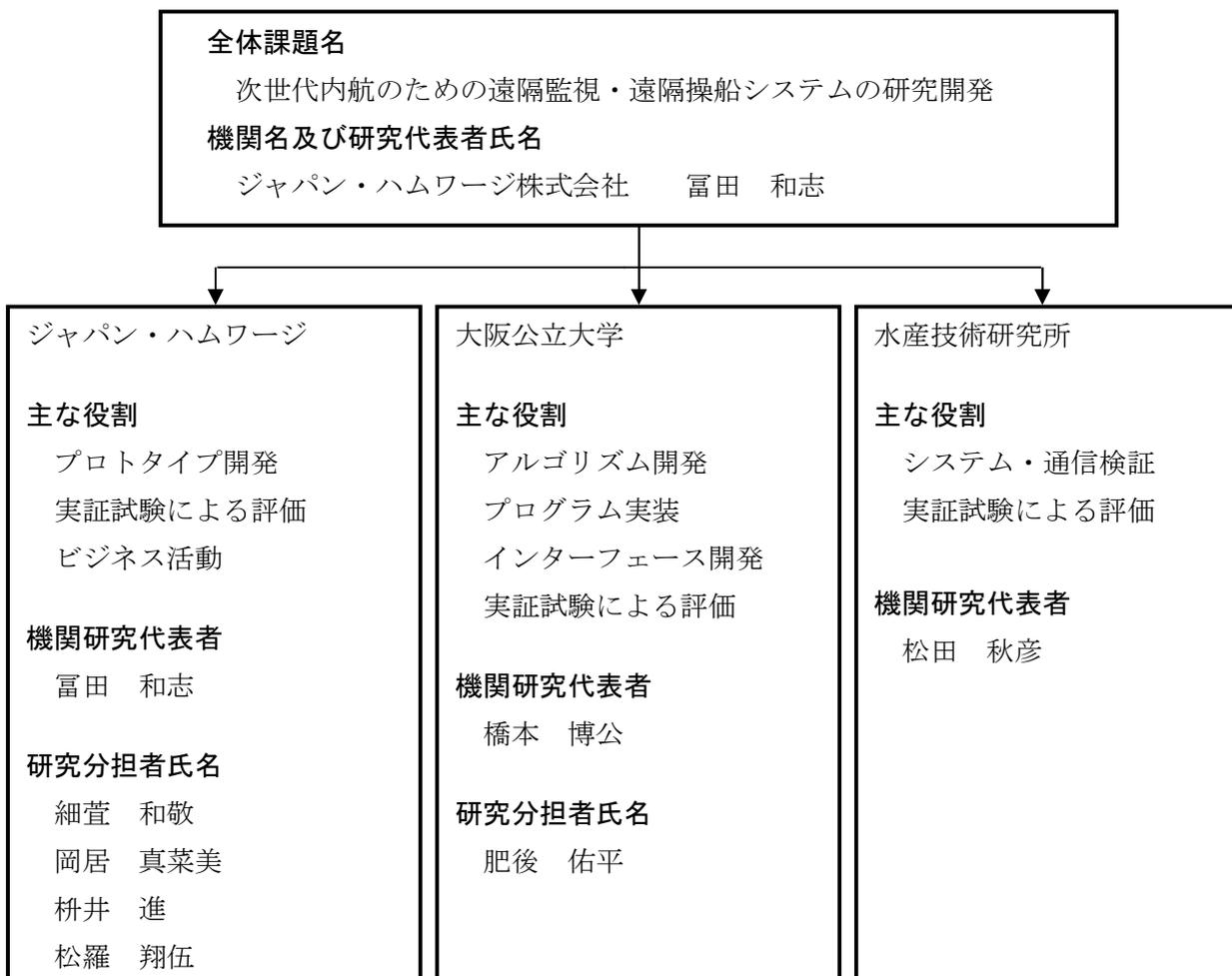
## II. 研究開発の目的と実施体制

### (1) 研究開発の目的

陸上に比べて通信環境が劣る海上においても、航行海域に潜む衝突危険を正確かつリアルタイムに把握し、衝突危険度が許容限界を超えた際に陸上から自動ブレーキを指示する遠隔監視システムのプロトタイプを開発する。また、衝突危険度マップとジョイスティック操作を組み合わせた遠隔操船システムの開発もあわせて行う。システムの動作や性能について、模型船や調査船を用いた試験環境で検証したうえで、バクツイン舵を備えたセメント運搬船に開発したシステムを導入する。さらに、実際の航行環境において遠隔監視システムと自動ブレーキの実証試験および遠隔操船システムの検証試験を行うことで、本システムの有効性と安全性向上の効果を明らかにする。

### (2) 研究実施体制

本研究は、ジャパン・ハムワージ株式会社を代表研究機関とし、公立大学法人大阪 大阪公立大学、水産研究・教育機構 水産技術研究所と共同して実施する。担当機関の研究実施の流れを示すチャートは以下の通りである。



### III. 研究開発の成果

#### 1. 序論

##### 1. 1 研究の背景と目的

内航海運では船員の高齢化が進み、船員不足が顕在化しており、近い将来に国内の物流が停滞する可能性が否定できない。この問題の解決策のひとつとして期待されているのが自動運航船である。自動運航船は、海上輸送の安全性や効率性の向上に加えて、船員の労働環境改善や海事産業の競争力向上に繋がるものと考えられる。国土交通省は、海事産業の生産性革命を推進しており、自動運航船を主要な施策として位置付けている。2018年には自動運航船の実用化に向けてロードマップが策定され、2025年までの自動運航船の実用化を目指した開発実証、基準整備が進んでいる。

自動運転技術や法令準備が進む自動車分野では、自動ブレーキの普及が牽引役となって自動運転に関する社会の理解と関心が高まり、今では自動クルージングなどの機能が相当程度ユーザに普及したといえる。他方、多種多様な船舶が混在する海上交通において、自動車のように自動運航技術の普及が進むかは不透明である。遠隔オペレーションセンターからの遠隔操船に関する試験も報告されているが、映像による視覚的認知を前提としたシステムであり、あらゆる方向からの衝突危険を考えねばならない船舶において、陸上よりも通信インフラが劣る海上で映像を頼りに遠隔操船を行うシステムは安全性に懸念がある。さらに、遠隔オペレータ側にも相当程度の技量や経験が必要となり、船員不足の抜本的な解決とはならない。自動化技術を真に必要な中小内航にまで広く普及させるためには、通信量を抑えつつ、航行海域に潜む衝突危険を遠隔地で明瞭に可視化し、緊急時の回避手段までを備えた航行支援システムの構築が求められる。

以上のような背景のもと、科学技術振興機構（JST）の2022年度SBIRフェーズ1採択課題「次世代内航のための遠隔監視・遠隔操船システムの開発」（研究代表者：大阪公立大学 橋本博公）では、航行船舶の衝突危険度分布のマッピング技術（衝突リスクマップ）、ベクツイン舵を用いた船舶の自動ブレーキ、これらを組み合わせた遠隔監視および緊急ブレーキシステムについて、模型船を用いたコンセプト検証を行った。大阪公立大学（大阪府堺市）から水産技術研究所（茨城県神栖市）の試験水槽を航行する模型船の衝突危険度を監視し、衝突危険度が許容限度を超えた場合に自動ブレーキが発令されて衝突を回避できることを示した。さらには、衝突リスクマップとジョイスティック操作を組み合わせた遠隔操船により、遠隔地でも安全かつ緻密な危険回避操船が可能であることを確認した。遠隔監視のコア技術である衝突リスクマップにもとづく危険評価は公立大学法人大阪が特許出願済みであり、プロペラ回転数を変更することなく船舶にブレーキ機能を持たせるベクツイン舵はジャパン・ハムワージ株式会社が複数の特許を有することから、独自の技術として製品開発を行うことができる。

SBIRフェーズ2に相当する本研究課題は、フェーズ1でコンセプト検証がなされた遠隔監視・遠

隔操船システムの早期社会実装を目指し、製品化を見据えた実船用システムのプロトタイプを開発する。そのうえで、ベクツイン舵が装備されたセメント運搬船に搭載し、本船上で取得される自他船に関するセンサ出力を低軌道衛星通信で大阪公立大学内の遠隔フリートオペレーション室に送信し、当該船の常時遠隔監視が可能であること、緊急時に本船に対してアラートないしブレーキが発令されることを確認する。さらに、ブレーキの代替手段としてジョイスティック操作による遠隔操船の機能も実装する。これらにより、航行時の安全性の向上や船員の負荷低減を実現する安全航行支援システムの基盤技術を確立し、持続可能な内航の実現に貢献することを目的とする（図 1-1）。

## 1. 2 研究項目と目標

### 研究項目 1) 遠隔監視と自動ブレーキの開発（船上システム）

遠隔監視と自動ブレーキに関する船上システムのプロトタイプを開発し、ベクツイン舵を装備したセメント運搬船に導入したうえで、船上での衝突危険監視および自動ブレーキの実証試験を行う。

### 研究項目 2) 遠隔監視と自動ブレーキの開発（遠隔システム）

遠隔監視と自動ブレーキに関する遠隔システムのプロトタイプを開発し、大阪公立大学に導入したうえで、遠隔での衝突危険監視および遠隔ブレーキの実証試験を行う。

### 研究項目 3) ジョイスティックによる遠隔操船システムの開発

遠隔操船システムのプロトタイプを開発し、セメント運搬船に導入したうえで、安全確保のためのジョイスティック操作による遠隔操船の検証を行う。

### 研究項目 4) ビジネス活動、製品化設計

研究開発項目の 1～3 に関して、実証試験の結果をもとに、安全航行支援システムとして販売するための製品化設計を行う。また、市場調査や製品販売後のアフターサービスを検討する。



図 1-1 研究概要

## 2. 安全航行支援システムの概要

### 2. 1 遠隔監視・操船システム

大阪公立大学が開発し、特許出願中の技術「衝突危険度の評価方法（衝突リスクマップ）」[1]は、自船周りのバンパー領域の設定の自由度や海上衝突予防法の考慮の点で既存手法よりも優れており、輻輳海域でも単一のヒートマップとして衝突リスクを可視化できる。また、ジャパン・ハムワージのロングセラーであるベクツイン舵は、プロペラを逆回転することなく後方に推力を発生させることが可能であり、他船との衝突リスクが著しく高まった際に迅速にブレーキを発動することができる。ベクツイン舵による自動ブレーキは、クラッシュアスターンによる緊急停船とは違い、減速中にも舵が効き保針できることが強みである。本研究開発では、大阪公立大学とジャパン・ハムワージの両シーズを組み合わせることで、以下の2つの機能から構成される次世代内航のための安全航行支援システムのプロトタイプを開発し、実船を用いた実証試験を行うことで、早期の製品化を目指す。

#### 1) 遠隔監視と自動ブレーキ

船上で取得される自他船に関するセンサ情報を遠隔地に自動送信。遠隔地で衝突リスクマップを描画し、衝突リスクが許容限界を超えた時点で本船にアラート信号またはブレーキ信号を自動送信する遠隔監視システム。

#### 2) ジョイスティックによる遠隔操船

ブレーキの発動が不適当な見合い状況や非常時の安全確保を目的とする、直感的操作が可能なジョイスティック操船と衝突リスクマップを組み合わせた遠隔操船システム。

### 2. 2 ベクツイン舵

ベクツイン舵は、図 2-1 のように一個の固定ピッチプロペラの後ろに左右対称に配置した一対のシリング舵を、様々な舵角の組み合わせに取ることによって、プロペラは前進回転一定のまま、前後進や左右旋回のもとより後進しながらの操船も可能である。プロペラが前進回転のままで、船を所定の位置に保持できるホバリング機能を有し、前後進をともしない船の姿勢制御も可能である。プロペラ前進回転一定のまま、船速を自由に加減することができ、低速時や停止中でも舵効きが良く、前進から後進にいたる全領域にわたって自在に船を操縦できることが特徴である。

ベクツイン舵の優れた操船性はジョイスティックの操作によって発揮される。船尾のベクツイン舵により、全方位への推力が発生できるため、バウスラストとの組み合わせ操作で平行移動・斜め移動・その場旋回を行うことができ、操船に対する自由度が飛躍的に向上する。ジョイスティックには、通常航海中の安全性をより一層高めることを考慮し、緊急停止スイッチが設けられている。このスイッチを押すだけで、従来船の約半分の距離で停止することができる。

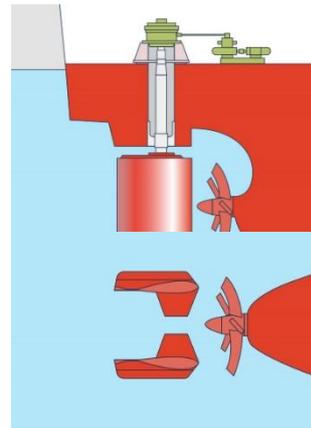
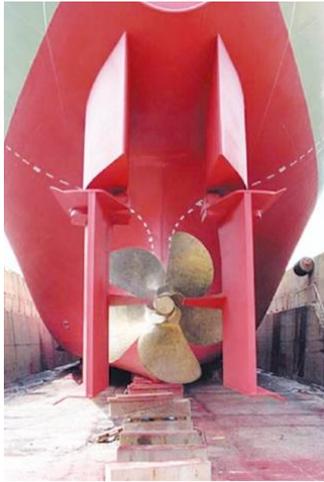


図 2-1 ベクツイン舵と模式図

### 2. 3 自動ブレーキのアルゴリズム

ベクツイン舵を利用した自動ブレーキ発令に関する衝突回避のアルゴリズムは、大阪公立大学とジャパン・ハムワージの共同研究により開発された。最も重要となる自動ブレーキの発令タイミングについては、自船前方の緊急停止距離内に他船との衝突危険領域（本研究では衝突リスクマップに相当）が侵入したことをトリガーとする[2]。これにより、他船との衝突をベクツイン舵によるブレーキによって自動的に回避することができる。

### 2. 4 遠隔操船システム

自動ブレーキは遠隔監視中の船舶の衝突回避のために効果的であるが、後方に他船との衝突リスクが存在する見合い関係などでは自動ブレーキを発令できない。そのような場面でも衝突を回避し安全を確保するための手段を用意しておく必要がある。輻輳した海域を航行する場合などは遠隔地からの操船は容易ではないが、衝突リスクマップと直感的操作が可能なジョイスティック操船を組み合わせることで遠隔操船の操船難易度を大きく低下させることができる。現行のルール上は当直船員なしでの遠隔操船は認められないため、開発する遠隔操船システムはあくまで操船支援システムという位置づけとする。また、システムの大規模化やサイバーセキュリティ対策などの煩雑さを避けるためにスタンドアロン式とし、低価格でのシステム提供と既存船への導入促進を図る。

### 3. 研究開発成果

#### 3. 1 遠隔監視と自動ブレーキの開発（船上システム）

##### 3. 1. 1 プロトタイプ的设计・開発

遠隔監視と自動ブレーキに関する船上システムのプロトタイプについて、以下のように仕様設計を行った。

- ・ 危険リスクマップの演算と描画のプログラムを組み込んだコンピュータに、本船に設置された ECDIS 装置から出力されるセンサ情報を取り込み、船上に設置されたモニタ上に衝突リスクマップの表示を行う。
- ・ 取り込んだセンサ出力情報を、遠隔地に設置した衝突リスクマップ表示器を備えた遠隔操船システム（ジョイスティック操作スタンド）に送信する。

以上の仕様をもとに、実船搭載用のプロトタイプの開発を行った。続いて、開発した船上システムを、実証試験を行うベクツイン舵が装備されたセメント運搬船（全長：158 m）に導入した。コンソール内部への導入は本船がドック入りの際に実施し、コンピュータ、無停電電源装置、表示モニタの取り付けを行った。図 3-1 に取り付け状況の様子を示す。



図 3-1 船上システムの設置状況

##### 3. 1. 2 プロトタイプの動作検証

ドックから宇部港へ向かう試運転時に、搭載した船上システムの動作検証を行った。その結果、船内で取得された自他船に関するセンサ出力を ECDIS 装置から正常に取り込みができること、取り込んだ情報をもとに衝突危険度の分布を算出し、衝突リスクマップをモニタ上に描画できることを確認した。また、図 3-2 に示すように、相手船が接近していない場合にはステータスが「safe」となり、相手船が接近して自船の排他領域に侵入した場合にはステータスが「danger」に変化することを確認した。このように、ユーザーインターフェースを通じて衝突危険に関するステータスを船上で常時モニタリング可能となった。

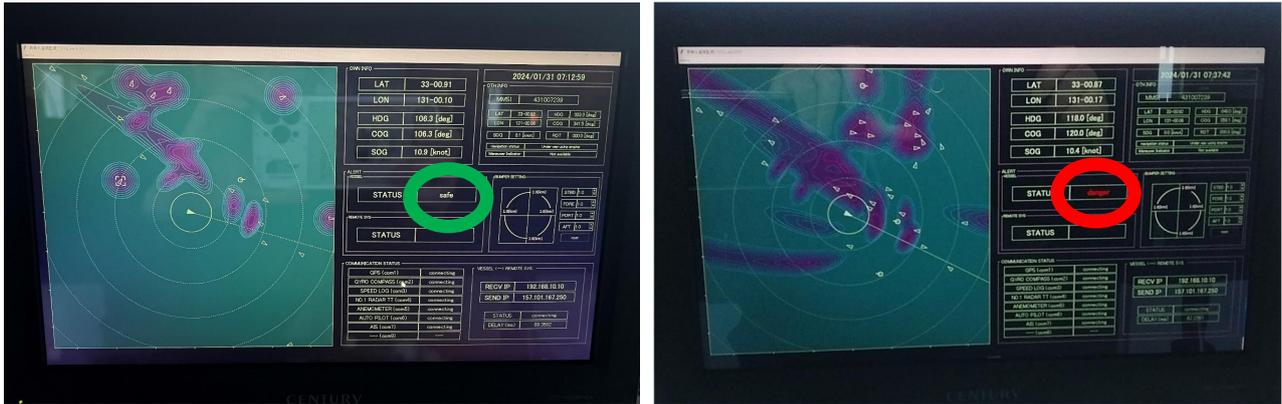


図 3-2 船上システムの動作検証

船上システムと同様の動作検証を陸上システムに対しても実施した。その結果、船内で取得・集約されたセンサ情報を陸上にて正常に受信し、その情報をもとに陸上においても衝突危険度分布を算出して衝突リスクマップをモニタ上に描画できることを確認した。船陸間の通信遅延については後述するが、何らかの原因で船上と陸上で描かれた衝突リスクマップに差が生じていると遠隔監視や自動ブレーキの発令が困難となる。そこで、船上と陸上のそれぞれのインターフェース上において、同一の衝突リスクマップが描画できているかを検証した。船上と陸上で同一時刻でのインターフェースの表示を比べた結果、衝突リスクの分布形状に認識できる違いは見られず、遠隔地においても船上と同等のリアルタイム性を確保できることが分かった。

### 3. 1. 3 緊急停止・停止・減速試験

バクツイン舵が装備されたセメント運搬船を用いて、ブレーキを発令した際の停止距離に関する計測を実施した。満載状態と軽荷状態について、Full Ahead 状態からの緊急停止（舵角：±105 度）、停止（舵角：±75 度）、減速（舵角：±30 度）を発令した。緊急停止時の航跡および船速・舵角の時系列を図 3-3 に示す。ここで舵角±105 度はクラムシェルと呼ばれる両舵を最大限閉じた状態、舵角±70 度はホバリングと呼ばれ前後推力がほぼゼロの状態、舵角±30 度は後方から見た時の舵面の占有面積が±0 度の場合の 50%にあたる状態であり、この場合は前進方向に推力が生じている。

満載状態での初速 12.3 knot からの緊急停止時の停止距離は 841 m、停止までの時間は 7 分 22 秒、全長で除した無次元停止距離は 5.3 であった。また、軽荷状態での初速 11.2knot 緊急停止時の停止距離は 711m、停止までの時間は 5 分 14 秒、全長で除した無次元停止距離は 4.5 であった。後者の試験は強い追い風であったことを付記しておく。

実船を用いた一連の試験の結果、バクツイン舵を用いることで、満載状態および軽荷状態のいずれにおいても主機回転数の調整を行うことなく、舵角の変更だけで緊急停止、停止、減速が達成できることを確認した。

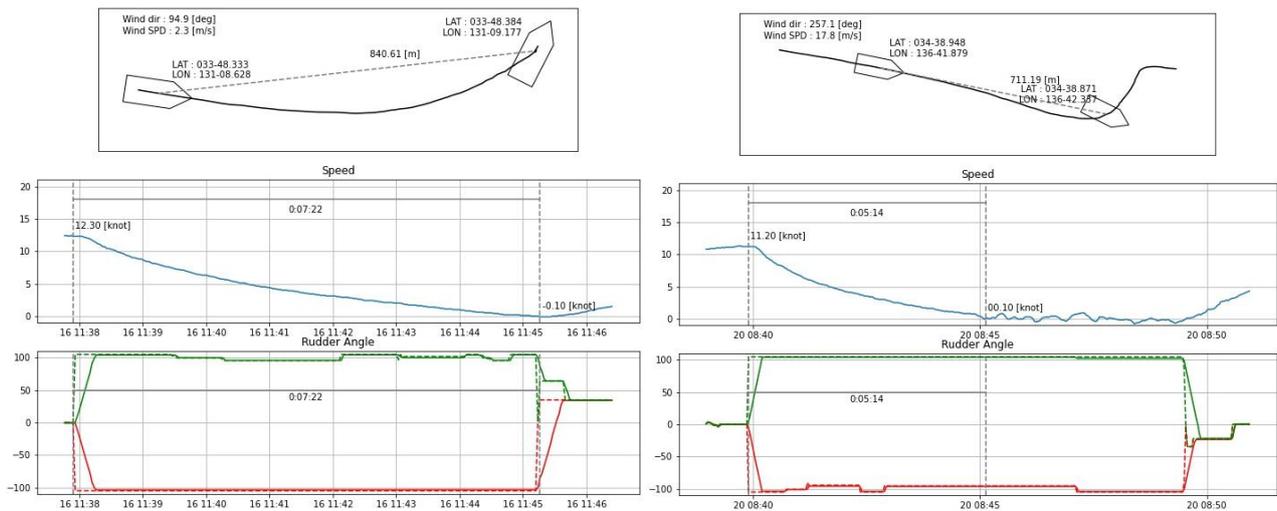


図 3-3 ベクツイン舵による緊急停止時の航跡、船速、舵角  
(左：満載状態、右：軽荷状態)

### 3. 2 遠隔監視と自動ブレーキの開発（遠隔システム）

#### 3. 2. 1 プロトタイプ的设计・開発

遠隔監視と自動ブレーキに関する遠隔システムのプロトタイプについて、以下のように仕様設計を行った。

- ・ 本船に導入した船上システムから送信されてくる情報を受信して、遠隔地で衝突リスクを常時監視する。
- ・ 自船周りの排他領域内部の衝突危険度の積分値が、事前に設定した閾値を超えた場合に衝突危険のフラグを立てる。
- ・ 衝突危険のフラグが立った時点で、本船の船上システムに対して、ベクツイン舵によるブレーキを指示するアラーム発令または直接のブレーキ発令を行う。
- ・ ジョイスティックによる遠隔操船と機能を一体化させるために、一連の装置を操船スタンドに組み込む。

以上の仕様をもとに、遠隔システムのプロトタイプの開発・製作を行った。

開発した遠隔システムのプロトタイプは、大阪公立大学中百舌鳥キャンパスの遠隔フリートコントロール室に設置した。図 3-4 に遠隔フリートコントロール室の様子を示す。コントロール室内部に、遠隔監視用コンピュータが内蔵された遠隔操船スタンドが設置されている。他にも、模型船を対象とした遠隔操船システム、AIS 受信機と表示モニタ、操船シミュレータ用のコンピュータなどが設置されている。



図 3-4 遠隔フリートコントロール室と遠隔監視・遠隔操船用のスタンド

### 3. 2. 3 Starlink の導入と通信検証

初めに遠隔監視に必要なとなる船陸間の通信フローの検討を行った。本船からは ECDIS 装置に集約されたセンサ取得情報を陸上システムに 1 秒毎に自動送信し、陸上からは接続状態の確認と自動ブレーキ発令のための信号を送信する。実証試験において船陸間の通信には SpaceX 社の Starlink を使用した。開発した遠隔監視システムは、ISDN などの低速通信でも計算上は 100 隻まで監視可能であるが、24 時間 365 日の遠隔監視を考えると、少額で大容量通信が可能な Starlink の利用が最適となる。試運転時に実測した通信量から推定される 1 ヶ月間の総データ通信量は 20GB 未満であり、Starlink マリタイムにおける最安プランでも余裕をもった運用が可能である。本プランの月額利用料は 37,000 円（免税）であり、24 時間体制の遠隔監視や自動ブレーキ機能の運用が安価で実現可能となる。また、衛星通信の遠隔監視への利用に際しては、通信遅延やデータ欠損を検証しておく必要があるため、船陸間往復の通信時間の実測を 24 時間かけて行った。その結果、往復の通信時間は平均で 93.2 msec、最大で 1438.9 msec であった。これは、1 秒毎の通信に対して十分に許容範囲であり、Starlink の遠隔監視への利用について実用上の問題はないものと結論付けた。

### 3. 3 ジョイスティックによる遠隔操船システムの開発

自動ブレーキの代替手段や緊急時の安全確保に備えて、遠隔地からの操舵を可能とする遠隔操船システムの設計・開発を行った。本システムは、遠隔地において衝突リスクマップを参照しながら、直感的操作が可能なジョイスティックを用いて衝突危険回避のための遠隔操船を行うものである。本システムの設計において、遠隔地でジョイスティックの推奨操作を算出し、その結果を船上システムに送信してモニタ上に表示する仕様を採用するものとした。これにより、通常の航行・操船システムとの統合やサイバーセキュリティの対策を施すことなく、簡便に遠隔操船支援が導入可能となる。当初はこのような仕様を考えていたが、中間評価での委員会コメントを踏まえて、遠隔地でのジョイスティック操作により直接操舵が可能な仕様へと変更した。

以上の設計にもとづき、遠隔用ジョイスティックを備えた操船スタンドの製作を行い、大阪公立大学の遠隔フリートコントロール室に納めた。

### 3. 4 セメント運搬船を用いた実証試験

#### 3. 4. 1 遠隔監視と自動ブレーキ

実証試験に先立ち、ブレーキ発令タイミングの妥当性についてシミュレーションによる検証を行った。タイミングを決定する2要素のうち、停止距離は緊急停止試験により実測された値に20%のマージンを考慮した値とし、衝突リスクマップを算出するための自船周りの排他領域は船首方向6.4L、船尾方向1.6L、右舷方向3.2L、左舷方向1.6L(L:全長)の楕円型とした。シミュレーションの結果、上記のタイミングでブレーキを発令すると、相手船は排他領域の境界付近を航過し、妥当な設定であることを確認した。

セメント運搬船を用いた実証試験は、2024年11月30日に周防灘にて行った。ブレーキ発令前に相手船が避航するとブレーキ効果の検証ができないため、チャーター船(渡船)を手配して試験を実施した。チャーター船は船足が速く、見合い関係を効率的に作り出すことができる。自船であるセメント運搬船は、Harbor Full(8~9knot)で直進航行し、相手船であるチャーター船は、自船と携帯またはトランシーバーで連絡をとりながら、指定の見合い関係(距離、方位、速力)となるように微調整しながら航行する。衝突リスクマップがブレーキ発令の判定領域(緊急停止距離+マージンを半径とした±30度の円弧領域)に侵入した時点で、ブレーキ発令を促すアラームが本船で鳴動する。これに応じて船上で緊急停止ボタンを押下する、または遠隔地の監視システムの緊急停止ボタンを押下することでブレーキが発令される。ブレーキにより衝突を回避し、チャーター船が自船をやり過ぎたら、ブレーキを解除して次の試験に移行するという手順を繰り返した。

遠隔監視および自動ブレーキの試験は、右舷・左舷90度からの横切り、右舷・左舷前方45度からの行会い、右舷・左舷後方45度からの追越しという6ケースで実施した。一例として、左舷後方45度からの追越し船に対する、衝突リスクの監視から、ブレーキ発動、減速して衝突回避へと至るまでの流れを図3-5に示す。本スナップショットは、遠隔監視システムのユーザーインターフェースのスクリーンショットである。実証試験時のセメント運搬船の船橋内・船橋外の様子と遠隔フリートオペレーション室の様子を図3-6および3-7に示す。

一連のスナップショットから、当初は前方遠くにあった衝突危険領域が徐々に近づき、ブレーキ発令の判定領域に侵入した時点で“STATUS”が“safe”から“danger”に切り替わり、遠隔地からブレーキが発動された。その後、減速に応じて衝突危険領域が小さくなり、最終的には消滅している様子が見て取れる。その他の見合い関係のいずれに対しても、開発した遠隔監視・ブレーキシステムによって、遠隔地でもリアルタイムに衝突リスクが可視化できること、適切なタイミングで遠隔

地からブレーキが発令されること、ブレーキによる減速により見合い関係を崩して衝突が回避できることを実証できた。

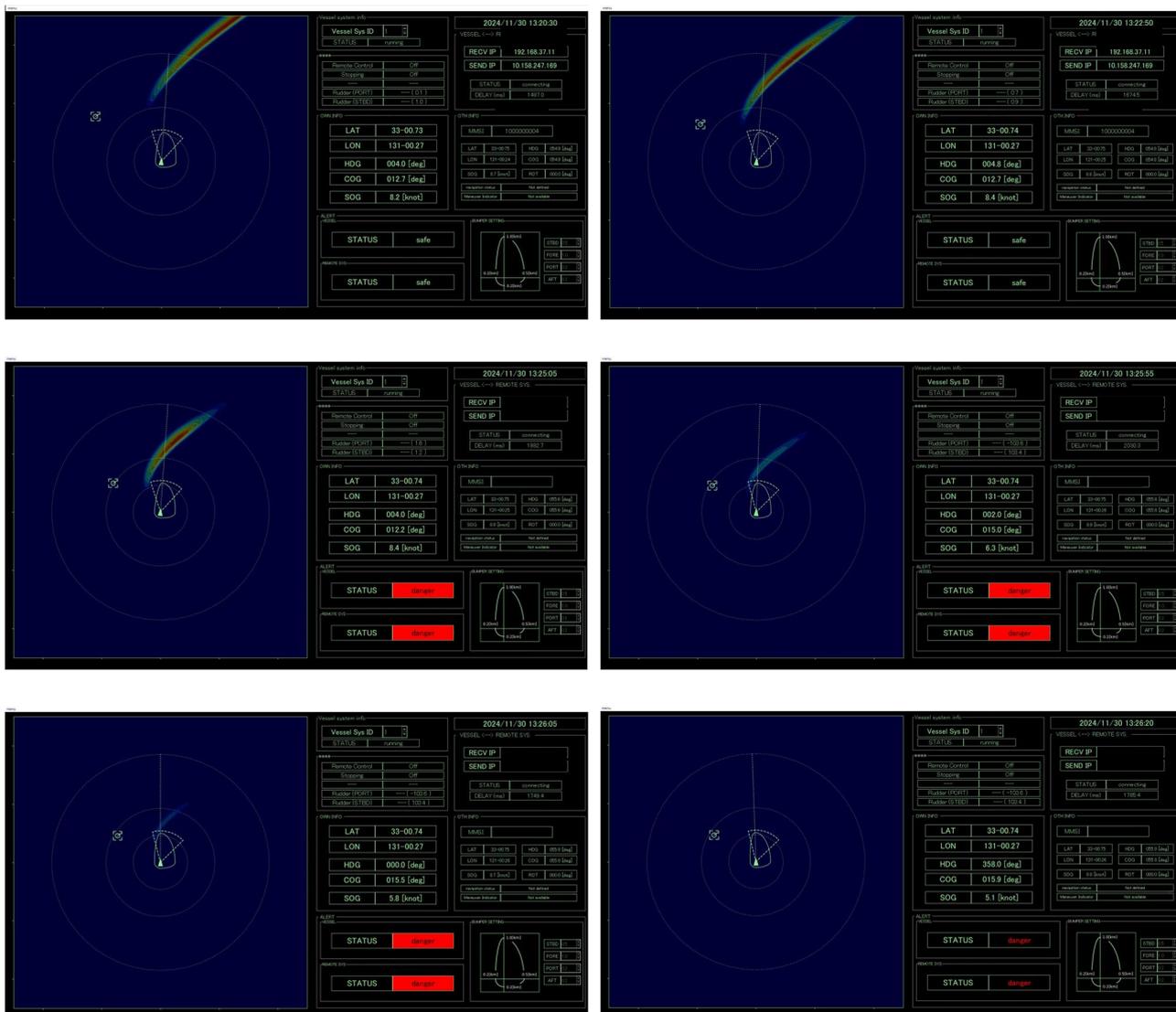


図 3-5 ブレーキ発令による衝突リスクマップの変化



図 3-6 実証試験時のセメント運搬船の船橋内と船橋外の様子



図 3-7 実証試験時の遠隔フリートオペレーション室の様子

### 3. 4. 2 ジョイスティックによる遠隔操船

遠隔監視・自動ブレーキの実証試験と同日に、ジョイスティック操作によるセメント運搬船の遠隔操船を実施した。はじめに、遠隔地でのジョイスティック操作による緊急停止、ホバリングが可能であることを確認し、続いて、前進、後進、旋回、その場回頭など、様々な遠隔操縦が可能であることを確認した。一例として、旋回時の航跡とジョイスティック操作の様子を図 3-8 に示す。ジョイスティックはベクトル舵との相性がよく、遠隔でもホバリングやその場回頭などの高度な操船が実行できるため、緊急時の安全確保に適したシステムであると考えられる。また、遠隔操船時には周辺他船との衝突危険を生じさせないことが重要であるが、衝突リスクマップを確認しながらジョイスティック操作を行うことで安全に操船することができた。

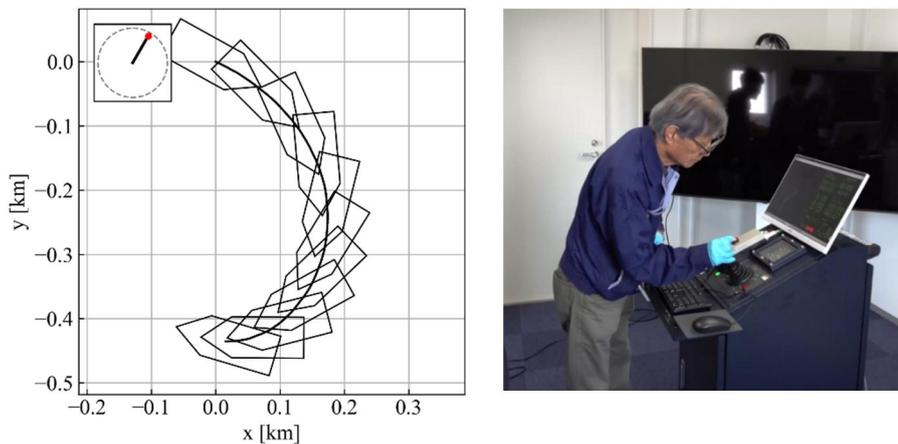


図 3-8 遠隔操船による旋回時の航跡とジョイスティック操作の様子

### 3. 5 ビジネス活動・製品化設計

セメント運搬船のドック明け試運転に複数の技術者が乗船し、遠隔監視と自動ブレーキの船上システムの機能・動作について、船長及び一等航海士から評価と、製品開発への要望や改良等の意見聴取のマーケティング活動を行った。聴取した要望や改良意見のいくつかは即時に対応し、残りは

具体的な仕様を検討したうえで製品化の際に対応することとした。このように、将来のユーザ候補からの意見・要望を踏まえて、開発段階から改良を進めることで早期の商品化を目指すことができる。

#### 4. 結論

本研究開発を通じて得られた結論を以下に示す。

##### 1) 遠隔監視・自動ブレーキの開発（船上システム）

各種センサで取得した自他船の情報を集約して他船との衝突リスクを算出し、その結果を船内のモニタに表示するシステムのプロトタイプを開発、実証試験に用いるセメント運搬船に導入して動作確認を行った。その結果、センサ情報を正常にECDIS装置から取り込みができること、その情報をもとに衝突危険度の平面分布を演算して衝突リスクマップとしてリアルタイムにモニタ上に描画できることを確認した。また、衝突危険度に応じて安全性のステータス表示が正しく変化することを確認した。

続いて、ベクツイン舵を用いた緊急停止試験を実施した。その結果、満載状態および軽荷状態のいずれにおいても、主機回転数を変更することなく、ベクツイン舵をクラムシェル状態（舵角：±105度）に転舵するだけで緊急停止が可能であることを確認した。さらに、ホバリング状態（舵角：±75度）でも停止ができ、2枚の舵間の遮蔽率を調整することで段階的な減速が可能であることをあわせて確認した。

##### 2) 遠隔監視・自動ブレーキの開発（遠隔システム）

船上で集約した自他船のセンサ出力を陸上に自動送信し、海上を航行する船舶を遠隔で監視して、衝突のリスクが著しく高まった際に陸上から本船に対してアラートやブレーキを発令する遠隔システムのプロトタイプを開発した。本システムを大阪公立大学の遠隔フリートコントロール室に設置し、船陸間通信にはStarlinkを利用した。通信状況の確認を行った結果、通信速度、通信容量、通信遅延に問題は見られず、船上と陸上のそれぞれのインターフェース上において、遅延なく同一の衝突リスクマップを算出・描画できることを確認した。また、衝突リスクが許容限界を超えた際に陸上から本船に対してアラートを発令する機能および遠隔でブレーキを発令する機能の実装を行った。

開発した遠隔監視・自動ブレーキシステムの有効性について、セメント運搬船とチャーター船を用いた実証試験を周防灘で実施した。衝突が生じる代表的な見合い関係を作り出して試験を行った結果、遠隔地でもリアルタイムに衝突リスクが可視化できること、いずれの見合い関係においても適切なタイミングで遠隔地からブレーキが発令されること、ブレーキによる減速によって衝突を未然に回避できることを実証した。

##### 3) ジョイスティックによる遠隔操船システムの開発

同航船など後方に衝突危険がある場合や非常時の安全確保に備えて、遠隔地からでも危険回避のための操船を可能とする遠隔操船システムの開発を行い、大阪公立大学の遠隔フリートコントロー

ル室に導入した。セメント運搬船を用いて遠隔操船システムの検証を行い、直観的な操作が可能なジョイスティックと衝突リスクマップを用いることで、映像による視覚的情報がない状態でも高度な操船が行えることを確認した。

#### 4) ビジネス活動、製品化設計

セメント運搬船の船長及び一等航海士から意見聴取を行い、一部の意見や要望に対してはユーザーインターフェースに反映させた。また、製品化に向けてのロードマップを作成した。今後は実証試験結果の詳細な解析や、製品開発に向けて意見・要望の聴取を行い、製品設計と製作に反映させる予定である。

本研究で開発した遠隔監視システム、自動ブレーキシステムは、内航船の安全性を大きく向上させる技術であり、見張り不十分などの人的要因による衝突事故の防止に貢献できる。また、一人ワッチ時の心的負担の軽減など船内労働環境の改善につながるものと期待される。ブレーキの代替手段や非常時の安全確保手段として開発したジョイスティックによる遠隔操船システムについても、自動運航船との親和性が高く、内航の近代化に大きく貢献できる技術であり、早期に製品化、社会実装を進めていく必要がある。

#### 5. 知的財産権取得状況

特許出願（優先権主張出願） 0件

著作権登録 0件

#### 6. 研究成果発表実績

##### 1) 論文発表

国内 0件、海外 0件

##### 2) 口頭発表

国内 2件、海外 0件

##### 3) その他（研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等）

海事プレス 2024年12月26日付

内航新聞 2025年2月17日付

#### 7. 参考文献

[1] H. Yoshioka, H. Hashimoto, H. Makino, Decision-making Algorithm for Ship Collision Avoidance with Collision Risk Map. Ocean Eng., 286, 115705, 2023. 10.1016/j.oceaneng.2023.115705, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.115705

[2] H. Hashimoto, H. Makino, H. Yoshioka, A. Matsuda, Ship-stopping algorithm utilizing VecTwin rudder system for automatic collision prevention, Ocean Eng., 251, 111098, 2022, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.111098