



# MEGURI2040 に係る安全性評価

## 2023 年度 成果報告書 概要版



2024 年 8 月

一般財団法人 日本船舶技術研究協会



## 目次

MEGURI2040に係る安全性評価 2023年度成果報告書 概要版 .....	1
1. 事業の概要 .....	1
1.1 事業の目的 .....	1
1.2 事業の達成目標と効果 .....	2
1.3 事業計画（実施内容・スケジュール・成果） .....	3
1.4 委員会構成 .....	9
2. 本年度の事業成果 .....	10
2.1 無人運航船プロジェクトに係る安全評価 .....	10
2.2 遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 1 .....	30
2.3 遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 2 .....	40
2.4 無人運航船の社会受容性向上 新技術導入制度及び関連データ活用 .....	45
2.5 無人運航船の社会受容性向上 社会インフラ整備 .....	65
2.6 総合調整、ガイドライン策定等 .....	75
3. まとめ及び今後の計画 .....	84
3.1 無人運航船プロジェクトに係る安全評価 .....	84
3.2 遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 1 .....	85
3.3 遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 2 .....	85
3.4 無人運航船の社会受容性向上 新技術導入制度及び関連データ活用 .....	86
3.5 無人運航船の社会受容性向上 社会インフラ整備 .....	87
3.6 総合調整、ガイドライン策定等 .....	88
3.7 今後の計画 .....	88
添付資料 1 安全性評価事業関係の委員等名簿 .....	89
添付資料 2. 事業成果物 .....	93
①自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書（英語版抜粋） .....	93
②-1 MSC 108-4（IMO 提案） .....	117
②-2 MSC-ISWG-MASS 2-3-7（日本提案） .....	135
③認証ガイダンス案 自動離着棧アルゴリズムの評価手順書 .....	137



1. 事業の概要

1.1 事業の目的

我が国を取り巻く少子高齢化や働き方改革への対策は極めて重要であるが、海事産業でも同対策が急がれるところ、最近の自動運航技術の進展に伴い、無人運航船への期待が高まっている。日本財団は2020年6月に「無人運航船の実証実験にかかる技術開発助成プログラム（MEGURI 2040）」の実施を公表し、その早期実現が加速された。当該実験を円滑かつ速やかに進め、無人運航船の社会実装を確実にするためには、無人運航船の第三者による安全評価をはじめとする社会基盤整備が不可欠である。

このため、一般財団法人日本船舶技術研究協会を社会基盤整備の作業プラットフォームとして、個々の実証船舶の安全性評価を実施するとともに、社会実装する上での各種課題の解決を図ることとする。本事業により、無人運航船の実用化を支え、その社会における受容性を高め、もって我が国の海事産業の変革と発展の一助とすることを目的とする。



図 1.1.1 日本財団による MEGURI 2040 事業の概要  
 実証実験及び安全性評価プロジェクトの位置づけ

## 1.2 事業の達成目標と効果

### 1.2.1 達成目標

無人運航船の実現とは、人間による運航等の各種機能を AI などの無人運航システムに置き換えることである。このため、無人運航船を実用化するためには、当該船舶に搭載される無人運航システムに関して、将来、無人運航船が遭遇するであろう様々な環境条件下においても、人間と同等以上の安全性能を当該無人運航システムが有していることを確認する必要がある。これを踏まえ、無人運航システムの安全評価等を実施し得る環境を整備する必要がある。更には、安全が担保された無人運航船を社会実装する際に避けて通れない事故時の責任分担関係や損害保険の付保などの社会課題についても解決策を提示し、無人運航船導入のための安全ガイドラインを整備する。

### 1.2.2 効果

世界初となる無人運航船の安全評価を、民間主導により第三者的立場で実施することで、安全基準や安全評価技術のポテンシャルが格段に高まり、我が国政府にそれらを提示するだけでなく、世界的なデファクトスタンダード策定の主導権を執れることとなる。結果として、我が国が無人運航船分野において世界をリードし、我が国海事産業の変革と発展を促すこととなる。

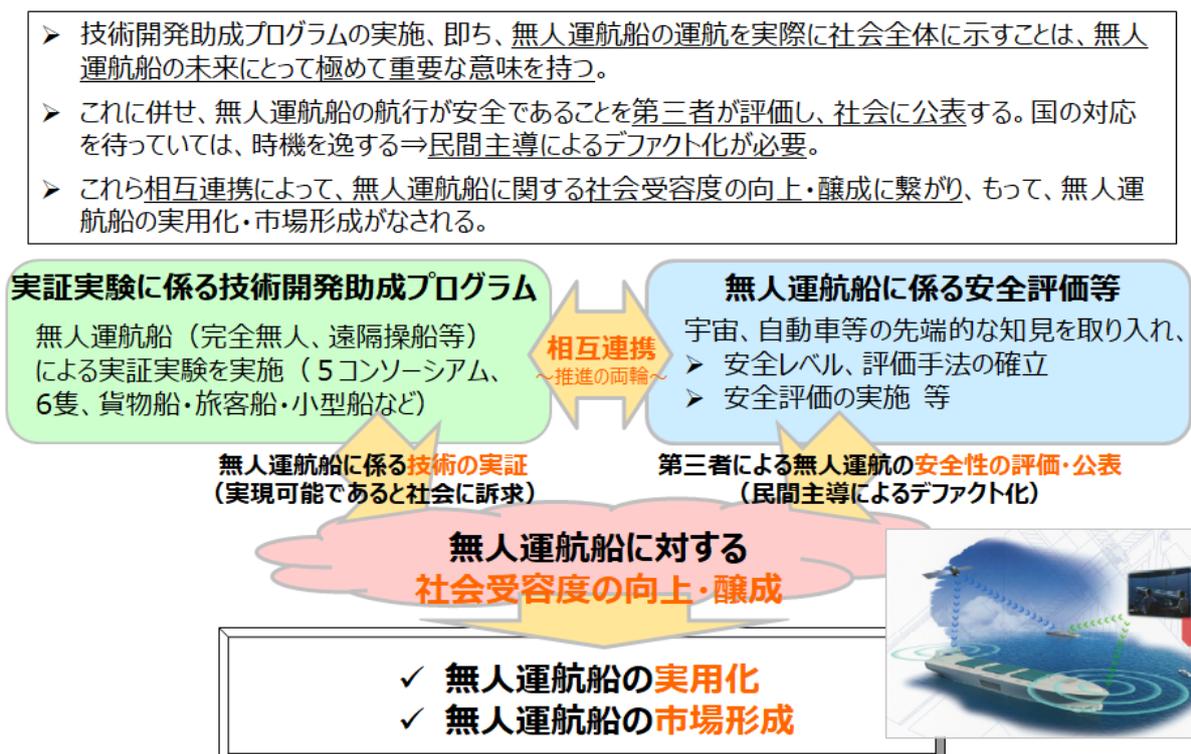


図 1.2.1 無人運航船の実証実験に係る全体枠組み

### 1.3 事業計画（実施内容・スケジュール・成果）

本事業は、当初2020年度から開始し、2023年度までの4年計画で実施される予定であった。図 1.3.1 に本事業の当初実施内容、図 1.3.2 に本事業の当初実施スケジュール、図 1.3.3 に本事業の当初の成果イメージを示す。

安全評価、総合シミュレータ開発等、総合調整・ガイドライン策定等からなる安全性評価事業については、一般財団法人日本船舶技術研究協会及び国立研究開発法人海上・港湾・航空研究所海上技術安全研究所が担当し、一般財団法人日本海事協会の協力を得て実施する。また、無人運航船の実証実験の事業者（代表：株式会社日本海洋科学）として無人運航船の安全ガイドラインの策定に参画する。

船員スキルの定量化事業については、国立大学法人東京海洋大学及び独立行政法人海技教育機構が担当し、当該事業の成果は安全性評価事業で活用される。

#### □ 事業実施内容

**安全性評価事業** ※船舶技術研究協会及び海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所が実施

##### ① 安全性評価

- 日本財団無人運航船プロジェクト「MEGURI2040」に参画する実証実験事業者が実施するリスク解析のモニタリングとレビュー等、支援を行う。
- 自動・遠隔及び自動化レベルを統一して取り扱うリスク解析手法をとりまとめるとともに、「自動運航システム」と「人による遠隔操船システム」で必要となる機能要件を抽出する。

##### ② 総合シミュレーションシステムの開発等

- 安全性評価において操船シミュレータをツールとして活用するために必要な機能を検討し、総合シミュレーションシステムを整備する。

##### ③ 総合調整、ガイドライン策定等

- 学識経験者及び外部有識者等で構成される委員会を組織し、総合調整を行う。
- 技術的な検討および事業者による試験の結果を踏まえ、無人運航船の実施に必要と考えられる安全上の要件をとりまとめて、自動・遠隔及び自動化レベルを統一して取り扱うガイドライン案を作成する。

**安全評価の基盤となる船員スキルの定量化事業** ※東京海洋大学及び（独）海技教育機構が実施

##### ④ 船員スキル定量化

- 操船、見張り等に係る船員スキルの定量化・基準化のための解析手法を構築し、実航海等を通して、無人運航システムの安全評価の基盤となる定量化・基準化を行う。
- 総合シミュレーションシステムを用いた安全性評価法として、船員スキルを基準にしたエキスパートベースの指標を導入する。

図 1.3.1 本事業の実施内容

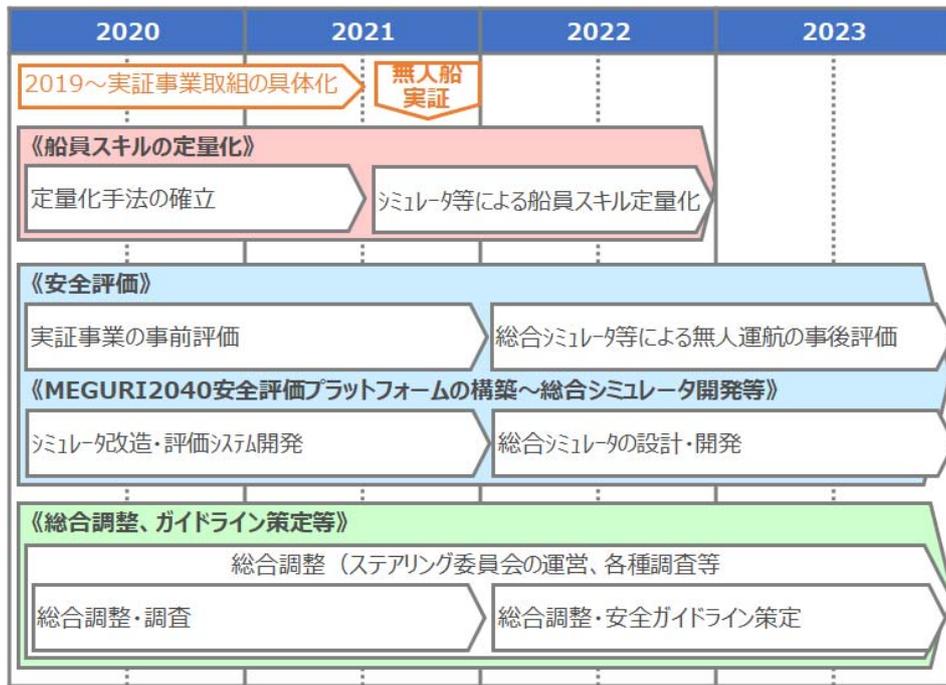


図 1.3.2 本事業の実施スケジュール

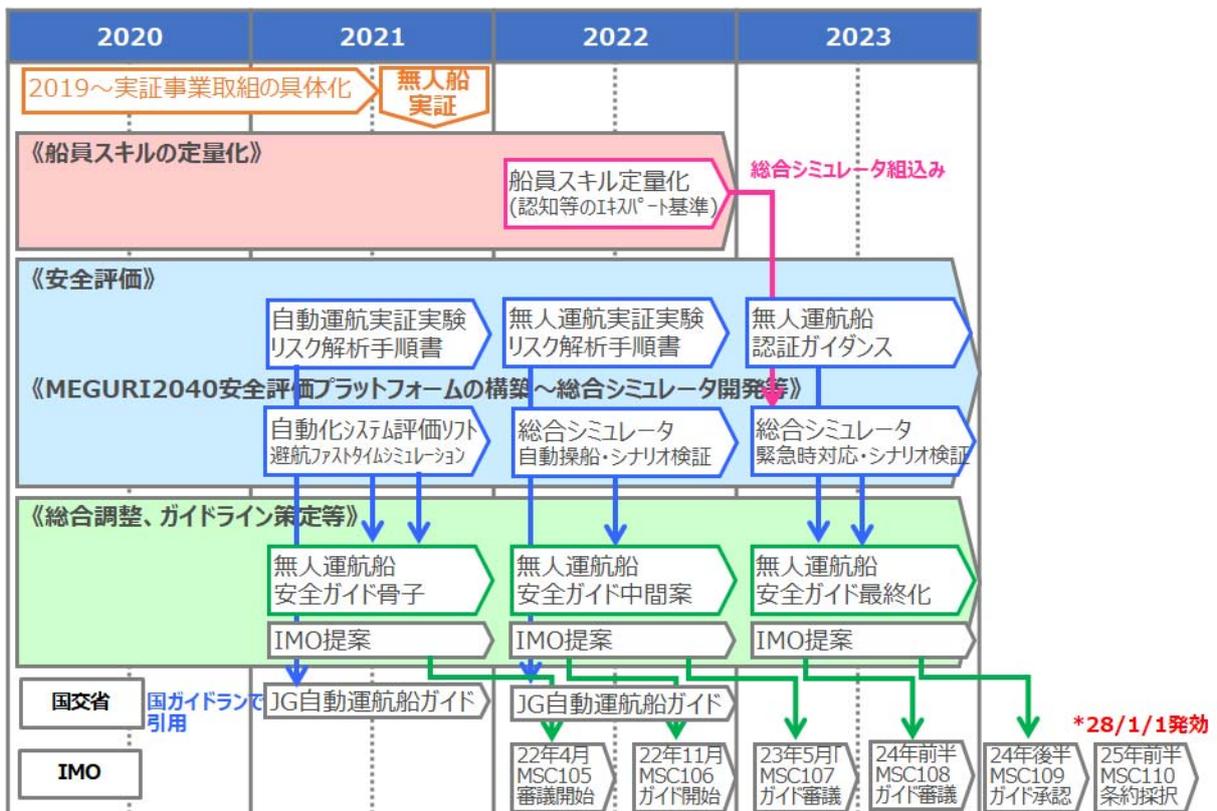


図 1.3.3 本事業の成果イメージ

一方、最近の自動運航に係る技術の進展に伴い、無人運航船への期待の高まりから、国際海事機関（IMO）は、関連条約改正(MASS CODE)の 2025 年採択・2028 年 1 月発効を目標に国際基準の策定に着手し、国際的にも期待が高まっている。さらに、日本財団は、同財団が実施する「無人運航船の実証実験に係る技術開発助成プログラム」（MEGURI 2040 ステージ1）が、2022 年 1 月から 3 月に実施した無人運航船の実証実験の成果を踏まえ、「無人運航船の社会実装に向けた技術開発助成プログラム」（MEGURI 2040 ステージ2）と称し、2025 年の本格的な無人運航船技術の実用化を目指して 4 つの目標（実証実験、開発した技術の規格化、開発プロセス基盤の強化、社会実装）に取り組む実証プログラムを 2022 年 10 月から開始し、2025 年の無人運航船の実用化の早期実現が加速されることとなった。MEGURI 2040 ステージ2 では、将来の内航業界を想定した異なる 4 隻の船舶（①無人運航機能を全て備えた Full Package の新造コンテナ船、②無人運航機能の一部を備えた既存コンテナ船、③既存 RORO 貨物船並びに既存の離島航路船）及び 2 つの陸上支援センターによる船陸オペレーションの実証を実施する。

そこで、本事業は従来計画されていた 2023 年度までの内容を実施すると共に、MEGURI 2040 ステージ2 への対応を行うため、事業実施期間を 2 年延長し、遠隔オペレーションの技能と訓練の要件化と社会受容性醸成加えて、2023 年度以降の事業計画を変更した。

図 1.3.4 に変更後の事業計画を、図 1.3.5 に変更後の 2023 年からの実施スケジュールを、図 1.3.6 に安全評価フェーズ2 の実施内容を、図 1.3.7 に船員スキル定量化およびシミュレータ開発フェーズ2 の実施内容を、図 1.3.8 に、社会受容性醸成の実施内容を、図 1.3.9 に出力のイメージを示す。

本事業は、引き続き、日本船舶技術研究協会が日本財団からの助成事業として実施する。この内、①安全評価および④ガイドラインの策定は、日本船舶技術研究協会と海上技術安全研究所が実施する。②船員スキル定量化フェーズ2 は、東京海洋大および海技教育機構が実施し、シミュレータ開発（遠隔オペレーションシミュレータ）は、海技教育機構が実施する。また、⑤社会受容性醸成は、三菱総合研究所と丸紅が実施する。

### MEGURI2040に係る安全性評価 事業計画



<b>□ 背景・目的</b>	
➤	我が国を取り巻く少子高齢化への対策や働き方改革への対応は極めて重要であるが、海事分野でも対応が急がれるところ、最近の自動運航に係る技術の進展に伴い、無人運航船への期待が高まっている。国際海事機関（IMO）が、関連条約改正の2025年採択・2028年1月発効を目的に国際基準の策定に着手し、国際的にも期待が高まっている。
➤	日本財団は、同財団が実施する「無人運航船の実証実験に係る技術開発助成プログラム」（MEGURI2040：ステージ1）が、2022年1月から3月に実施された実証実験の成果を踏まえ、次のプログラム（ステージ2）が2022年度から開始され、2025年の無人運航船の実用化の早期実現が加速されることとなった。
➤	ステージ2の実証を円滑かつ速やかに進めるためには、実証船舶やシステムの第三者による安全評価はもとより、ステージ2の目的である2025年の社会実装に向けた、緊急時対応などの安全評価の高度化、遠隔オペレータなどの新たな船員スキルの技能・訓練の要件化と施設整備、新技術導入の制度整備などの無人運航船の社会受容性の醸成が、必要である。
➤	このため、当会をプラットフォームとして、2025年の実用化に向けた各種課題の解決と国際基準化・国内制度化の検討を行うことにより、無人運航船の実用化を支え、もって我が国の海事産業の変革と発展の一助となることを目的とする。
<b>□ 事業概要</b>	
➤	実施期間：2020年度～2025年度（6年間）
➤	実施内容 ※①③④は24年度から実施（23年度までは安全性評価・フェーズ1事業の一部が継続）
①	安全評価：ステージ2想定船のシミュレータ等を用いた安全評価・緊急時対応などの実船検証
②	船員スキル定量化：新たな技能となる遠隔オペレータのシミュレータ・実船実験による技能・訓練の要件化
③	シミュレータ開発：新たな技能となる遠隔オペレータの訓練施設の整備（②連動・成果フィードバック）
④	ガイドライン策定：①②③を踏まえた機器要件、評価手法等の安全ガイドラインの改正 ※IMO提案予定
⑤	社会受容性醸成：新技術導入の制度調査、データ活用、地域/学生アイデアソン、社会インフラ検討等の環境整備
➤	予算：15.5億円（100%・80%助成）
	20年度 2.5億・21年度 3.3億・22年度 3.3億
	23年度 2.5億・24年度 2.6億円・25年度 1.3億円



図 1.3.4 変更後の事業計画

MEGURI2040に係る安全性評価  
事業計画 (23-25年度)

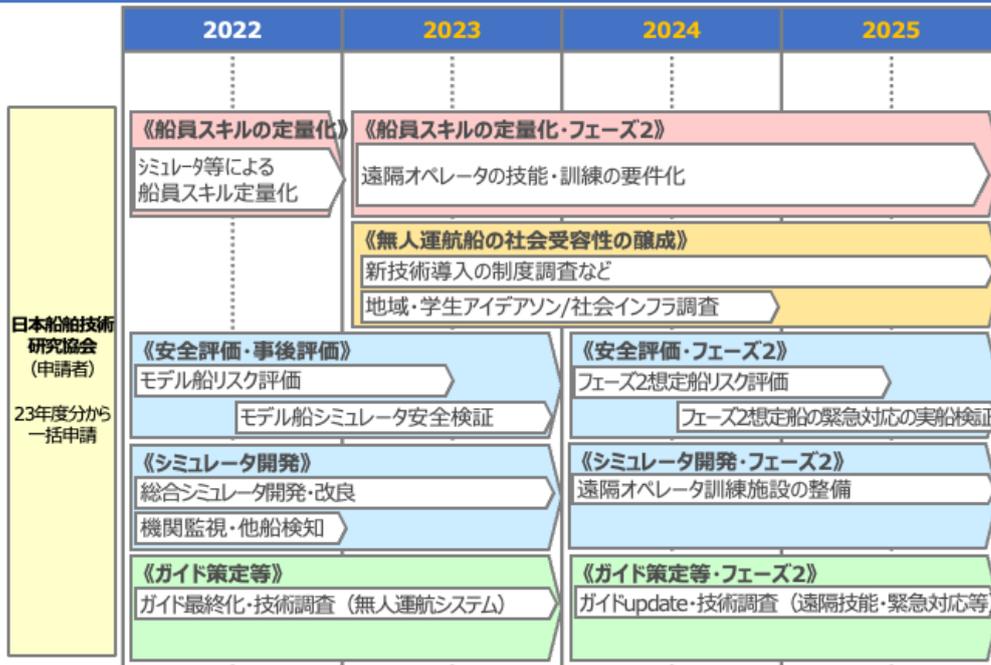


図 1.3.5 変更後の実施スケジュール

MEGURI2040に係る安全性評価  
安全評価 フェーズ2



**□ 背景・目的**

- 我が国を取り巻く少子高齢化への対策や働き方改革への対応は極めて重要であるが、海事分野でも同対応が急がれるところ、最近の自動運航に係る技術の進展に伴い、無人運航船への期待が高まっている。
- 先般、日本財団が公表した「無人運航船の実証実験に係る技術開発助成プログラム」(MEGURI2040)により、その早期実現が加速されることとなった。当該実験を円滑かつ速やかに進めるためには、実証される船舶やシステムの第三者による安全評価が必要である。
- このため、当会を安全評価のプラットフォームとして、個々の実証船舶に係る安全評価を行い、その際、安全レベルやその評価手法の開発を含む各種課題の解決も図ることとする。本事業により、無人運航船の実用化を支え、その社会への受容性を高め、もって我が国の海事産業の変革と発展の一助となることを目的とする。

**□ 事業概要**

- 実施期間：2020年度～2025年度 (6年間)
- 実施内容
- ① 各々の実証実験事業に係る安全評価
  - ・ 船舶、港湾設備、遠隔操船施設、海域等について、シミュレータ等を用い、事前に安全評価を行うとともに、実験実施後、実データに基づき安全評価・分析を行う。
  - ・ **安全評価として継続して実施 対象をステージ2 実証船とする。**
- ② 安全レベル、評価手法の検討、確立等
  - ・ 無人運航船のコンセプトに対し要求すべき安全レベル (非常時対応等を含む)、これらに係る評価手法の検討・確立
  - ・ **ガイドラインの策定として継続して実施。**

FUTURE 2040  
日本の未来

MEGURI 2040

図 1.3.6 変更後の安全評価フェーズ2の実施内容

MEGURI2040に係る安全性評価  
船員スキル定量化フェーズ2・シミュレータ開発フェーズ2（遠隔オペレーター）



- 背景・目的
- 自動運航船の実現に向けて国際的にも議論が活発化するとともに、技術開発が進展しているが、自動運航船のうち遠隔操縦船の実現には、陸上の遠隔制御施設（ROC）で操縦を行うオペレータが安全に本船を運航できる能力を有することが必要。
  - 遠隔オペレータは、視野が制限され、取得できる情報も少なく、情報の遅延も発生する可能性あるROC内で操縦を行うこれまでにない新たな職種のため、必要な技能が明らかになっていない状況。
  - このため、技術開発動向を踏まえた上で、実船・シミュレータ実験等により、遠隔オペレータに必要な技能・訓練の要件を構築。あわせて、要件に対応した遠隔オペレータの教育訓練施設を整備。

- 事業概要
- 実施期間：2023年度～2025年度（3年間）
- 遠隔オペレータに必要な能力要件の構築
- 実施内容：
    - ・ 練習船、シミュレータ等での実験により、本船から取得しROCに表示する安全運航に必要な航海情報等を整理し、遠隔オペレータに必要な能力要件（技能・訓練）の検討を実施
- 遠隔オペレータの教育訓練施設の整備
- 実施内容
    - ・ 技能・訓練の要件の検討結果を踏まえ、遠隔オペレータの教育訓練施設の整備を実施（船員養成施設等の改修）



図 1.3.7 船員スキル定量化およびシミュレータ開発フェーズ2の実施内容

MEGURI2040に係る安全性評価  
社会受容性醸成



MEGURI安全性評価事業フェーズ2

MRI

「無人運航船社会実装に向けた制度設計及び必要インフラ等の検討」  
ご提案メモ(MRI&丸紅)

事業目的

- ・ 無人運航船の社会実装に向けて必要な制度・規制の整備(緩和)、社会受容性向上、周辺インフラ整備(保険含む)の他、無人運航船を活用したイノベーションや地方創生を促す仕組みを構築する
- ・ 開発助成事業の無人運航船実証と連携し、事業終了後(2026年以降)の実利用に必要なインフラを整える

実施事項案

- |   |  |
|---|--|
| <p>1 規制緩和・制度改革検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開発助成事業の実証船リスク結果に基づき、長期実証のための規制緩和(「規制のサンドボックス」想定)及びその成果に基づく制度改革方針を検討。</li> <li>・ 安全要件を満たす制度基準について規格WGと連携。</li> </ul> | <p>2 社会受容性向上・ユースケース検討(地域での社会実装・特区化)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 市民の社会受容性向上(含広報)、ユースケース開拓を行い、地域での社会実装(まずは特区化)を目指す。</li> <li>・ 離島等地域課題解決のための無人船活用について、アイデアソン・ワークショップ等の手法を用い検討。</li> </ul> |
| <p>3 ソフトインフラ(公的支援、保険等)検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 税制、保険等の検討(DFAS+でのリスク評価、実証成果を踏まえ検討)</li> </ul>   | <p>4 ハードインフラ(船舶以外)検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 周辺インフラ(港湾側設備、決済等のMaaSシステム、他産業との連携も見据えたサービス設計)の検討</li> </ul>  |

※無人運航船システム社会実装に向けて、規制緩和・特区化(地方創生)とセットで検討する必要あり

図 1.3.8 社会受容性の醸成

MEGURI2040に係る安全性評価  
成果のイメージ

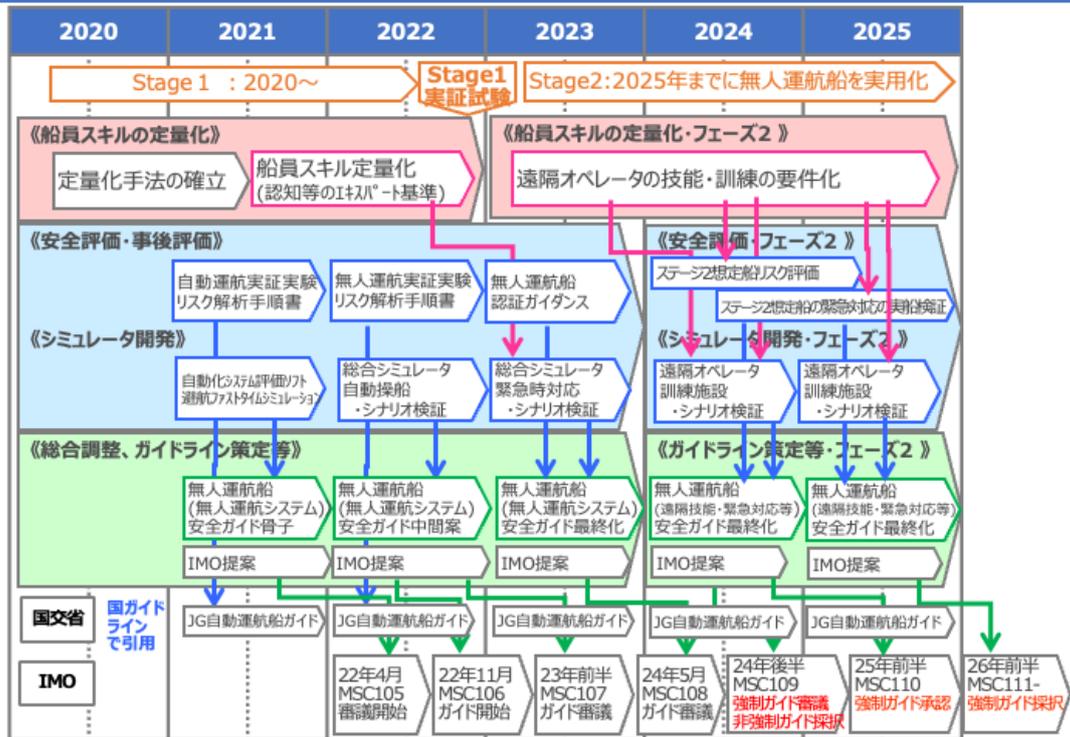


図 1.3.9 出力のイメージ

## 1.4 委員会構成

本事業を円滑に遂行するため、外部有識者等からなる無人運航船安全性評価ステアリング委員会を設置するとともに、詳細検討のため、安全性評価事業については、安全ガイドライン等策定委員会及び安全評価等実施委員会を、船員スキルの定量化事業フェーズ2については、船員スキル定量化検討委員会フェーズ2を設置した。表 1.4.1 に本事業に関連して開催した各委員会とその TOR (Terms of reference : 付託事項) を示す。

添付資料 1 に安全性評価事業を検討する無人運航船安全性評価ステアリング委員会、安全ガイドライン等策定委員会、安全評価等実施委員会及び船員スキル定量化検討委員会フェーズ2の委員等名簿を示す。

表 1.4.1 本事業に関連して開催した各委員会とその TOR

- ・ステアリング委員会
  - ①事業計画の承認(全体及び各年度)
  - ②各委員会の活動報告及び各事業の進捗状況確認
  - ③年度毎及び最終報告書のとりまとめ
- ・安全ガイドライン等策定委員会
  - ①安全ガイドライン検討
  - ②委託事業進捗確認
  - ③ステアリング委員会への報告
- ・安全評価等実施委員会
  - ①各コンソーシアムの実証事業の安全性評価(事前評価)
  - ②安全性評価手法の検討(事後評価)
  - ③委託事業進捗確認
  - ④ステアリング委員会への報告
- ・船員スキル定量化検討委員会フェーズ2
  - ①遠隔オペレータに必要な能力（技能・訓練）要件の構築
  - ②遠隔オペレータの訓練施設の整備
  - ③ステアリング委員会への報告

2. 本年度の事業成果

2.1 無人運航船プロジェクトに係る安全評価

関係委員会に報告した年度計画を含む本年度の事業成果を以下に示す。



## 今年度の事業成果

### 無人運航船プロジェクトに係る 安全性評価

#### 無人運航船の安全性評価 総合シミュレーションシステム開発等 認証ガイダンスの策定

一般財団法人 日本船舶技術研究協会  
JAPAN SHIP TECHNOLOGY RESEARCH ASSOCIATION国立研究開発法人 海上・港湾・施設技術研究所  
海上技術安全研究所  
National Maritime Research Institute (NMRI)



---

### 無人運航船の安全性評価 事業概要

- 無人運航モデル船の安全性評価（事後評価）**
  - 無人運航モデル船のリスク解析の修正
  - リスク解析手順書の作成
- 無人運航実証船の安全性評価**
  - 無人運航実証船のリスク解析
- 安全ガイドライン等の策定**

2

□ 作業計画

- 2022年度に実施したIMOで現在検討中の MASSコード案の対象となる無人運航船に係るモデル化及びモデル船のリスク解析（HAZID）について、必要な修正を行う
- 2022年度に実施したリスク解析（HAZID）で得られたハザードと防御措置等を考慮し、モデル船の自動運航システムの機能要件（通常オペレーション及び緊急オペレーション時）について、必要な修正を行う。

無人運航モデル船、6種

旅客船（海域限定）	貨物船
自律操船	自律操船
遠隔操船1	遠隔操船1
遠隔操船2	遠隔操船2

- 自律操船  
遠隔コントロールセンター（RCC）なしに船舶側の自律性能による操船
- 遠隔操船1  
RCCにおいて操船
- 遠隔操船2  
RCCにおいて航路指示し、当該航路指示に従い船舶側の自律性能により操船

□ 作業結果

- 無人運航船のConOpsの内容構成（案）及び記載例を作成した。
  - ・ 理由：無人運航船のConOpsの記載方法が確立されておらず、無人運航実証船のリスク解析に際し、実証船のConOpsの理解が困難であったため

セクション	内容
1. 序論	
1.1 プロジェクトの説明	プロジェクト（MEGURIやDFFAS+）の概要、個船の現行航路の概要。基本的な制約条件（技術的に未完成な要素、法的な障壁、プロジェクトの期限）など。
1.2 想定するシステムの概要	ANSのシステムと使い方（自動化レベル）に関する概要。プロジェクト内で扱う範囲。
2. 文書	
2.1 適用可能な文書	プロジェクトが依存するNK規則、ガイドなど。
2.2 参考文書	ANNEXに付けるような、本プロジェクトの補足情報。
3. 想定するシステムの説明	
3.1 想定するシステムのニーズ、ゴール、目的	システム（ANS）の能力、ふるまい、運用の必要性、到達点、目的を説明する。プロジェクト（DFFAS+）は何の目的で何を実現するつもりか、そのためにやるべきことは何か。
3.2 システムの概観と主要な要素	機能レベルで見て、システムは、どのような要素で構成されるか。（図などでも良い）
3.3 インターフェース	プロジェクト外となるシステムとの接続を説明する。機械的、電氣的、人的動作、流体や電磁波、データ、その他のタイプの入出力について述べる。
3.4 運用のモード	ライフサイクルにおいて対応すべきモードや設定について述べる。通常使用の他、開発、テスト、訓練、廃棄などのフェーズを考慮する。
3.5 提案される能力	想定するシステムによって提案される能力について説明する。ライフサイクル全体を考慮する。

黄色ハイライト：対象物の概念共有化のために特に重要と思われる情報。



セクション	内容
4. 物理的な環境	システムが使用される環境をライフサイクルに渡り説明する。想定使用範囲の内外にはどのような環境があるかを、気温、気圧、放射線、風、水など様々な観点から述べる。また、その場合でも動作しなければならないか、劣化モードになるのか、耐えるだけかについて記載する。
5. 支援環境	想定システムが実配備後にどのようにサポートされるかを説明する。保守、修理、交換、アップグレードの方法や、設計チームからの継続的支援の想定を含む。
6. 運用シナリオ、ユースケース、および/または設計参照ミッド	主なシナリオやユースケースを取り上げて、想定システムがその設定で何を提供するか、もしくはどう機能するかを時間経過に沿って説明する。公称（想定使用範囲）の中と外において、考えている全機能の挙動を説明できるだけのシナリオ数を用意する。
6.1 公称条件	公称条件では、問題が起きていない想定内のシナリオを説明する。
6.2 公称外条件	公称外では、機器故障、パフォーマンス低下、人が操作を誤った場合を含め説明する。
7. 影響の考察	
7.1 環境影響	ライフサイクルにおいて考えられる環境への影響があれば説明する。
7.2 組織影響	運用、組織的観点で影響があれば説明する。
7.3 科学技術影響	科学技術的要請に応えるかを説明する。
8. リスクと潜在的な問題	リスクや潜在的な問題点について説明する。

ABSが指定する項目のうち、重要と思われるもの

- iii) 運航環境とシナリオ
  - a) 運航を行おうとしている海域と制限などの詳細
  - b) 航海計画や運航フェーズとそのフェーズにおける支援方法の説明
  - c) 運航環境の特徴
  - d) 運航モード

**黄色ハイライト**：対象物の概念共有化のために特に重要と思われる情報。



<p><b>□ 作業計画</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ MASSコード案で求められるリスク評価に関する解析手順書の中間案の最終化(リスク評価に関する解析シート標準含む)</li> </ul> <p><b>□ 作業結果</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 日本語版及び英語版の最終化を実施             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日本語版に付属書「無人運航船のリスク解析の実施例」を追加</li> <li>・ 付属書の英文化を実施</li> </ul> </li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u>「リスク解析手順書」目次</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1章 概要</li> <li>2章 主要原則</li> <li>3章 リスク解析の実施手順の概要</li> <li>4章 用意すべき資料</li> <li>5章 リスク解析の各段階で行う作業</li> <li>付録1 考慮すべきハザードの例</li> <li>付録2 代表的なリスク解析手法の概要</li> <li>付属書1 自動運航船のリスク解析の実施例</li> <li>付属書2 無人運航船の実証実験のリスク解析の実施例</li> <li>付属書3 無人運航船のリスク解析の実施例</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>(日本語版)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1章～付属書2：昨年度までに作成</li> <li>・ 付属書3：今年度作成</li> </ul> <p>(英語版)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1章～付録2：昨年度作成</li> <li>・ 付属書1～付属書3：今年度作成</li> </ul> </div>
---	--

□ 作業計画

- 2022年度に作成した「リスク解析手順書」に従い、実証事業者が実施するリスク解析の技術レビューを行う。
- 技術レビューの実施に際しては、2022年12月に国土交通省・知床遊覧船事故対策検討委員会が公表した「旅客船の総合的な安全・安心対策」を考慮する

実証実験実施時期	船舶種別・船名	無人運航船技術搭載予定船	主な開発主体
2025年7月開始 9か月間	離島航路船 おりんぴあどりーむせと (全長65m)		日本海洋科学 (リーダー) 両備アエリー、三井E&S造船、三貴造船、古野電気
2025年7月開始 3か月間	コンテナ船 みかげ (全長95m)		商船三井 (リーダー) 井本商運、古野電気、三井E&S造船
2025年9月開始 数航海予定	RO-RO船 第2ほくれん丸 (全長173.8m)		川崎汽船 (リーダー) 川崎近海、日本無線、YDK
2025年11月開始 5か月間	コンテナ船 (全長126.8m)	新造コンテナ船 (2025年8月就航予定)	MTI (リーダー) イコーズ、日本海洋科学、JMU、古野電気、BEMAC、東京計器、ナブテスコ、サンフレム、三井E&S造船、Space Compass、JRCs、寺崎電気、内航ミライ研究会、WNI、EIZO

(出典) 日本財団HP\*

□ 作業結果

- DFFAS+ 殿及びNK殿との打合せ参加及びリスク解析の技術レビューを実施

\*<https://www.nippon-foundation.or.jp/who/news/information/2023/20230720-92554.html>

□ 作業計画

- 無人運航船の機能要件および自動化システムの機能要件を含む無人運航船の安全ガイドライン案の策定を実施。
- なお、IMOのMASSコード案のIMO審議状況に即した内容とする。

□ 作業結果

- 事業者、NK、船技協、海技研で協力して目標と機能要件 (MASSコード案) の策定作業等を実施。海技研は特に下記に貢献。
  - MASSコードのNavigation部分に関連して、"justification" というGBS (Goal-Based Standard) 的思考ができてきているかを示すための資料作成
  - 中国主導で起草作業中のPART 2- 7 ConnectivityとPart 3 Charter 3 - Communications へのコメント
- 策定したMASSコード案は、MSC 108で審議される予定

想定スケジュール

2023年	
6/19 連	CG コーディネーターから連絡 (予定)
8/20 22	Autonomous ship expo @Amsterdam
6/21	作業方針打ち合わせ
7月?	バーチャルミーティング、CG Round 1
7月中旬	Navigation: 4th Draft - 船明書制作
8/9	JSTRA 第2回ISG会議 ※延期の可能性あり
8月下旬?	CG Round 2
9/29	ISWG MASS 2 提案文書
10/3 8?	JSTRA 第3回ISG会議
10月?	CG Round 3
10/20	ISWG MASS 2 コピート文書
10/30-11/3	ISWG-MASS 2
11/9-9	ICMASS2023 @Rotterdam
11月?	CG Round 4
2024年	
1月?	CG Round 5
2/6-9	HTW 10
2/13	MSC 108 提案文書 (パルキール) へ、CG 終了
3/18-22	LEG 111
4/8-12	FAL 48
4/??	MASS-JWG 3
5/16-24	MSC 108
12/2-8	MSC 109 (非強制コード義務化)

Hazard	Description	Rationale (Reason of inclusion)	Expected performance
	Derived 1 <sup>st</sup> Tier Functional Requirement	Hazard/Risk being addressed	Possible 2 <sup>nd</sup> Tier Functional Requirement/Tier 4 Solution
Inability to navigate appropriately in response to changing circumstances	Appropriate control and actuation by ANS based on situational awareness and decision should be ensured.	Failure to recognize the changed situation may lead to hazardous situations with nearby vessels or objects.	In order to avoid collisions and grounding, MASS is required to ensure to be able to manoeuvre appropriately in response to changing conditions, based on up-to-date situational awareness and decision. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hardware interface for autonomous control should be appropriately [compatible and] connected.</li> <li>- should track with a certain accuracy</li> <li>- Safe operating limits of ship propulsion, steering and power systems controlled by ANS should not be exceeded in normal operations.</li> <li>- The ANS should be capable of making adjustments made to the ship's course and speed to maintain safety of navigation</li> </ul>

※2024/1/30 14:36時点版であることに留意

9

□ **総合シミュレーションシステム開発等**

- ファストタイムシップシミュレータ (FTSS:Fast Time Ship Simulator) の改良
- 操船シミュレータ (SHS:Ship Handling Simulator) の改良
- 操縦運動モデル

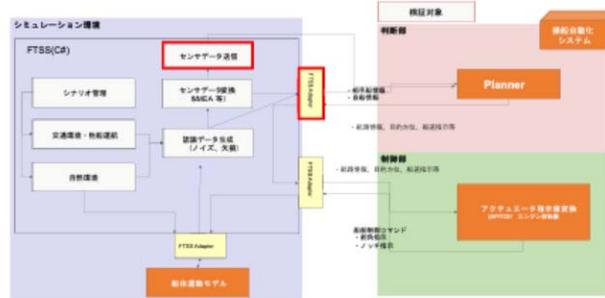
□ **総合シミュレーションシステムによる無人運航モデル船の安全検証**

- 緊急オペレーションにおけるオーバーライドに関するシミュレータによる検証
- 無人運航実証船の緊急対応の実船検証用シナリオの検討

10

**□ ファストタイムシップシミュレータ (FTSS:Fast Time Ship Simulator) および操船シミュレータ (SHS:Ship Handling Simulator) の改良**

- 接続の利便性向上
  - 船舶運航に必要なメッセージの生成と、送信機能の作成
    - IEC61162-450への対応
    - IEC61174 Route Exchange(RTZ)への対応
- FTSS、SHS双方に対応



**□ 操縦運動モデル**

- リスク解析で用いた無人運航モデル船(自律操船/内航貨物船)の操縦運動モデル FMUを作成した。

**□ ファストタイムシップシミュレータ (FTSS:Fast Time Ship Simulator) および操船シミュレータ (SHS:Ship Handling Simulator) の改良**

- IEC61162-450への対応
  - センテンスにタグブロックの追加
    - NMEAセンテンスに送信元装置ID等の情報を付加
    - 任意の装置IDを付加して送信が可能

```

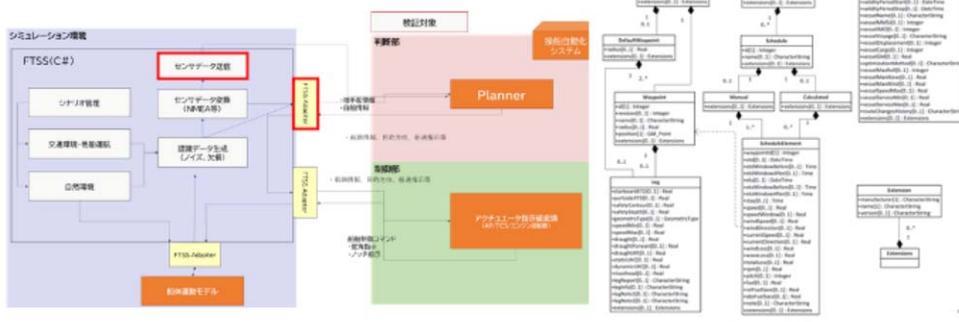
\9:r:1-2-
05,s:shAIS02+72\m:248,s:AT0002+05\
00000000000168HQ,0*7B
IAIVDM,2,1,9,A,54a5zh02-UWR?I=08004pEA8D00
    
```

- マルチキャストでのデータ送信
  - NMEAセンテンスを対応するカテゴリーのアドレスに送信

Transmission group	Category	Multicast address	Destination port
MISC	SF not explicitly listed below	239.192.0.1	60001
TGTD	Target data (AIS), tracked target messages (Radar)	239.192.0.2	60002
SATD	High update rate, for example ship heading, attitude data.	239.192.0.3	60003
NAVD	Navigational output other than that of TGTD and SATD groups	239.192.0.4	60004
VDRD	Data required for the VDR according to IEC 61996	239.192.0.5	60005
RCOM	Radio communication equipment	239.192.0.6	60006
TIME	Time transmitting equipment	239.192.0.7	60007
PROP	Proprietary and user specified SFs	239.192.0.8	60008

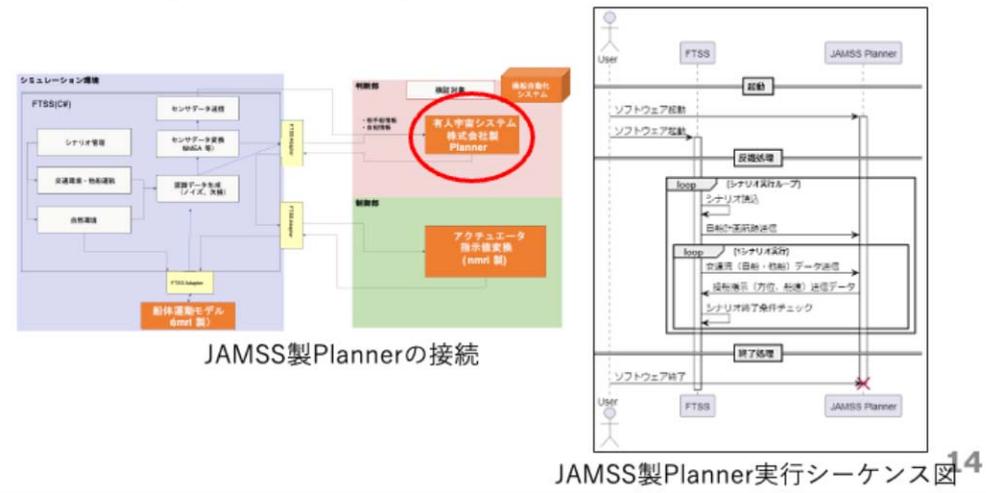
□ **ファストタイムシップシミュレータ (FTSS:Fast Time Ship Simulator) および操船シミュレータ (SHS:Ship Handling Simulator) の改良**

- IEC61174 Route Exchange(RTZ)への対応
  - ECDISのルート交換フォーマット
    - WP、旋回半径、計画速度などがxml形式で記載
  - IEC61162-450 規格でバイナリ形式でUDP送信されたRTZファイルを受信
  - ファイルからでも読み込み可能



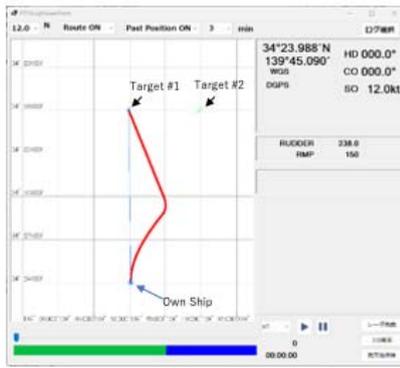
□ **ファストタイムシップシミュレータ (FTSS:Fast Time Ship Simulator) および操船シミュレータ (SHS:Ship Handling Simulator) の改良**

- 外部プログラムとの接続
  - 有人宇宙システム株式会社 (JAMSS) が作成した自動運航プログラム (JAMSS製Planner)を接続し、シミュレーションを実行

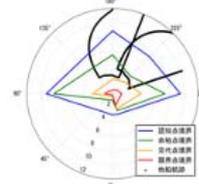


**ロ ファストタイムシップシミュレータ (FTSS:Fast Time Ship Simulator) および操船シミュレータ (SHS:Ship Handling Simulator) の改良**

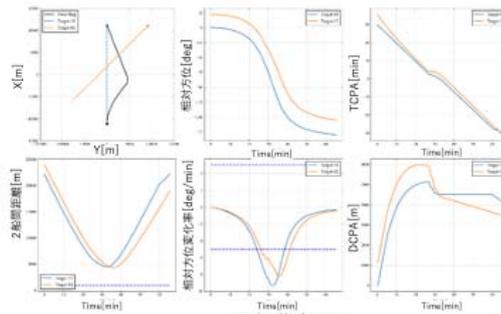
- 外部プログラムによるシミュレーション結果
  - 船員スキル定量化事業で得られた避航操船領域図へのプロットを含む複数の評価指標で実行結果を表示



航跡図 — 計画航路 — 自船航跡



船員スキル定量化避航操船領域図



評価指標図

**総合シミュレーションシステムによる無人運航モデル船の安全検証**

**ロ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証**

- 目的
 

操船シミュレータにおいて昇橋後の航海当直引継ぎが必要な事象を再現し、船員による操船のオーバーライドが適切に行われるための警報発報のタイミングや船員への通知内容等に関する機能要件を求める。
- 実施内容
  - 輻輳度と自然環境条件に関わるODDeを設定し、その逸脱を再現する試験シナリオを作成した。
  - 試験シナリオに基づく実験法案を策定し、内航船員を被験者とした引継ぎが必要なオペレーションの再現実験を実施。
  - 次の条件について、航海当直引継ぎに要する時間の計測と、回答用紙(スライド22に例示)により状況認識の内容を計測し評価した。
    - ODDe(輻輳度)逸脱時に既存の航海機器を使用した場合の航海当直引継
    - ODDe(輻輳度)逸脱時にOZT情報を提供した場合の航海当直引継
    - 逸脱したODDe(気象海象)情報を提供した場合としない場合の航海当直引継

□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

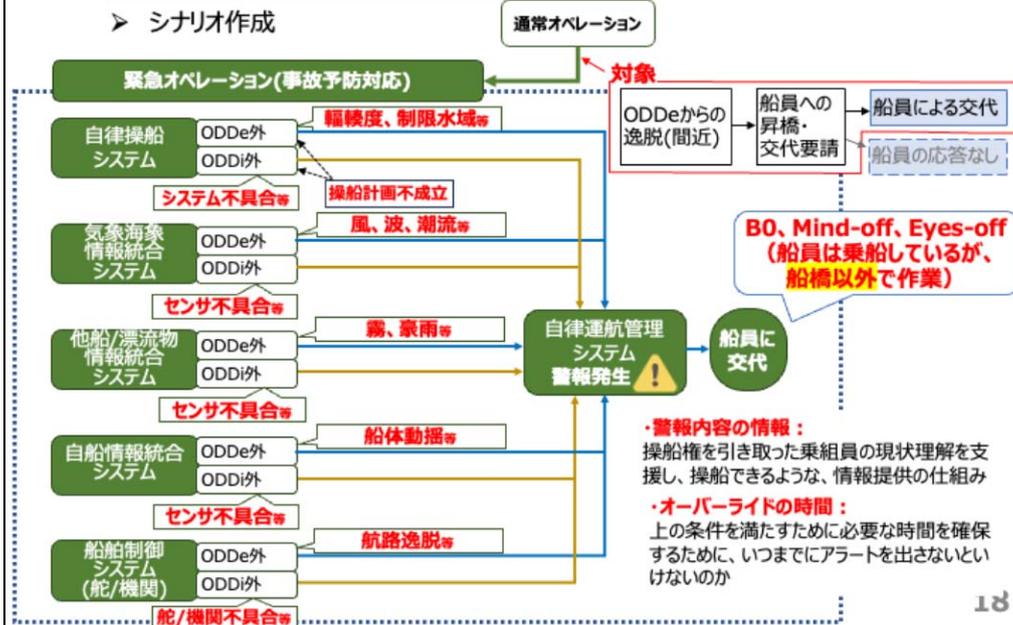
➢ シナリオ作成

2022年度に実施したモデル船を対象としたリスク解析に基づきシナリオを検討  
モデル船(内航貨物船)のODD (Operational Design Domain : 運航設計領域) をもとに  
対象とするODDを選定

海域条件	
航行区域	指定された航路
離着岸する港内水域	港内での方向転換に必要な占用水域があること:: 3Lの占用水域
離着岸する棧橋水域	離着岸に必要な占用水域があること:: 0.5Lの占用水域
幅狭度	低い幅狭状態:: 3nmレンジ内に5隻まで
AIS非搭載船及び障害物	システムが感知できないAIS非搭載船や障害物等が無いこと:: 700m以内に大きさ1m以下の危険な障害物が無い
環境条件	
気象海象	平穏な状態:: 風速7m/s以下, 波高1.5m以下, 視程500m以上
時刻	終日
内部状態(ODDi: 内的事象 (システム故障等) に関するODD)	
システム状態	正常に稼働していること:: エラーの表示無し
運航に必要な機器	正常に稼働していること:: エラーの表示無し
船体動揺	船体の設計上の制約の範囲内:: 異常値の表示無し
その他	緊急事態に相当する事象が発生していない:: 船内火災, 船外火災, 落水, 緊急信号傍受等が生じていない

□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

➢ シナリオ作成



□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

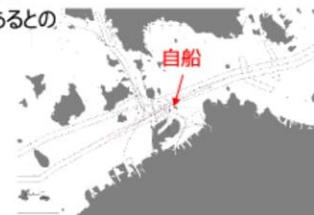
➤ 実験方法概要

シナリオと実験条件

- 実験対象船：95.2m(Loa) のコンテナ船
- 実験 1：輻輳度のODD条件超過時の航海当直引継ぎを再現
  - ✓ 警報発報：3 nmレンジに 5 隻以内とする輻輳度の ODD設定を超過
  - ✓ 提示情報：通常の航海計器と、OZT表示 ※警報発報の要因は提示
- 実験 2：波高、風速のODD条件超過時の航海当直引継ぎを再現
  - ✓ 警報発報：波高もしくは風速がODD設定の超過
  - ✓ 提示情報：波高もしくは風速が警報の要因であるとの情報の有無
- 海域：東京湾と備讃瀬戸



シナリオ例  
(東京湾口を浦賀水道に向け航行)



シナリオ例(備讃瀬戸南航路を東航) 19

提示情報について：  
既存の航海機器による情報提供のみの場合に加え、警報の要因および乗船判断を支援する 2 つの情報の提供を実験条件の例として設定した。

□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

➤ 実験方法概要

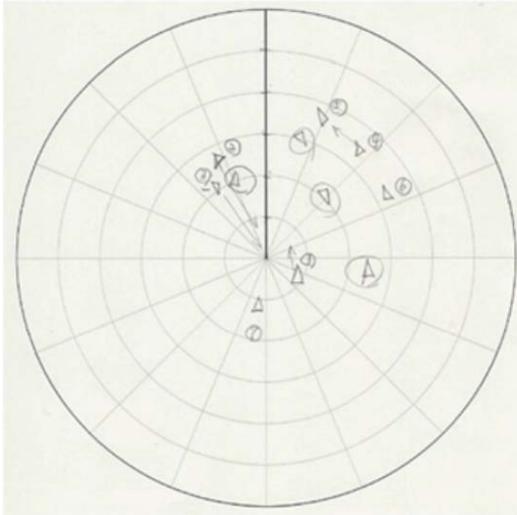
測定評価項目

- 航海当直引継ぎに要する時間  
昇橋後、実験参加者が航海当直の引き継ぎが終わった（自分で責任持って航海当直が可能な状態になった）と判断し、船内PAで「引き継ぎ、終わりました」と報告するまでの時間を計測し、航海当直引継ぎに要する時間として評価した。
- 状況認識  
航海当直引継ぎの終了後、控室に移動させ、回答用紙に被験者が認識した船舶の船位と進路を記入させ、評価を行った。  
具体的には、事前に基準値として設定した以下のカテゴリーに分類し、それぞれ集計して状況認識の定量的な評価とした。
  - ・認識できた他船の数
    - ・注意を要する他船の数
    - ・安全が確認できた他船の数
    - ・ベクトルが分からない他船の数

○基準値：船長経験者2名による試行において、警報発報後4分経過時にシミュレータを一時停止して、注意を要する他船と安全な他船を決定して評価の基準とした。

□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

➢ 回答用紙に基づく状況認識の評価



被験者は、船橋で航海当直引継をおこなったのち控室に移動し、回答用紙に記入した。左図を例とした場合、以下の通り集計して状況認識の定量的な評価とした。

- 認識できた他船: 11  
(左図中の△)
- 注意を要する他船: 7  
(左図中の番号が付記されている△)
- 安全が確認できた他船: 4  
(左図中の○がつけられている△)
- ベクトルが分からない他船: 0  
(×つけられた△)

□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

➢ 実験

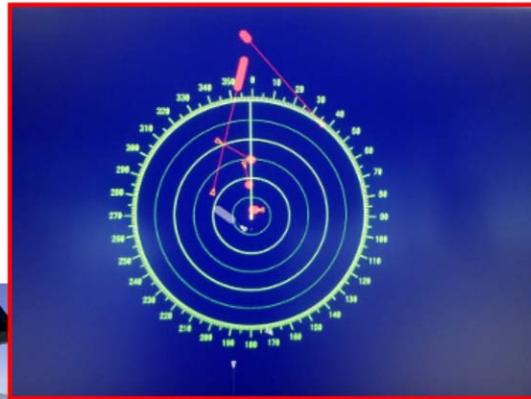
- 既存の航海機器 ECDIS、レーダ、警報情報表示器



□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

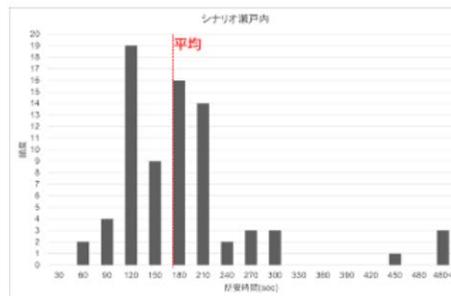
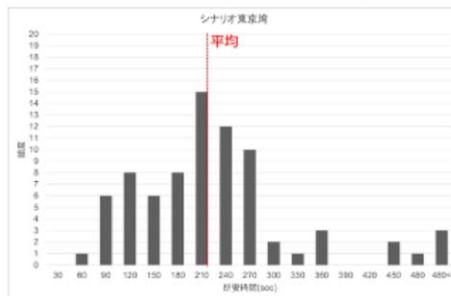
➤ OZT表示例

自船及び他船の位置、針路、船速等から算出されるOZTを表示。実験では既存の機器で状況を確認した後、OZT表示を確認する手順とした。



□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

- ODDe(輻輳度)の逸脱時に既存の航海機器のみを使用した航海当直引継
- ・航海当直引継に要する時間

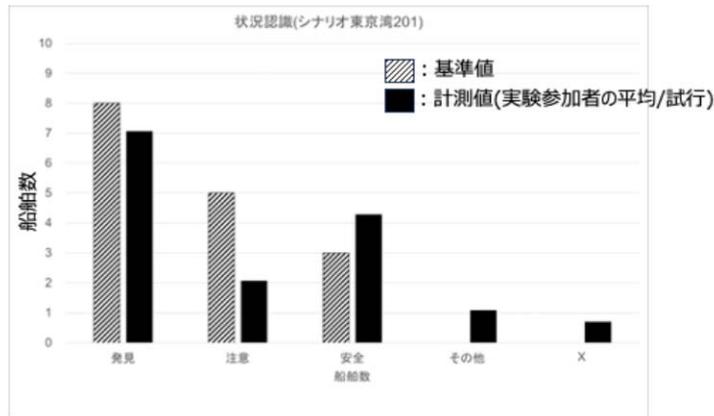


シナリオ東京湾 (4パターン)  
平均215秒  
300秒以下88%

シナリオ瀬戸内海 (4パターン)  
平均175秒  
300秒以下95%

□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

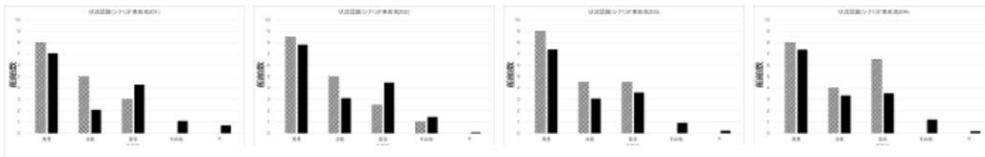
- ODDe(輻輳度) の逸脱時に既存の航海機器のみを使用した航海当直引継
  - ・ 状況認識



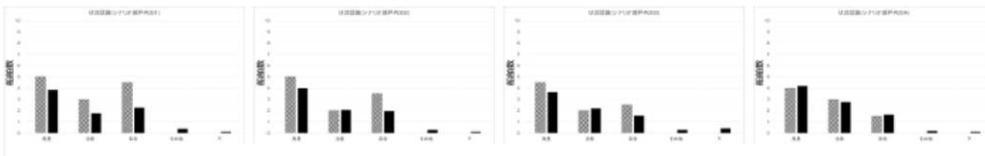
□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

- ODDe(輻輳度) の逸脱時に既存の航海機器のみを使用した航海当直引継
  - ・ 状況認識

東京湾口



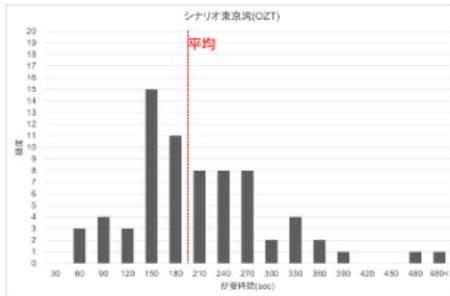
備讃瀬戸南航路



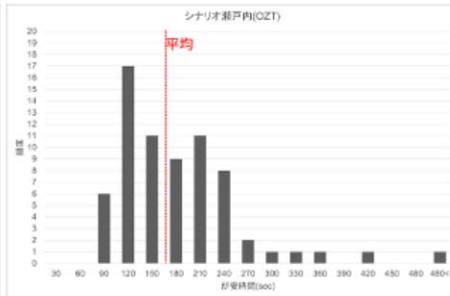
- ◆ 基準値と計測値を比較したところ、シナリオ東京湾とシナリオ瀬戸内海でそれぞれ、実験参加者が発見している他船の数は90%、90%、注意を要する他船の数は60%、90%であった。また、安全が確認できた他船の数は100%、70%であった。

□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

- ODDe(輻輳度) の逸脱時にOZT情報を提供した航海当直引継
  - ・ 航海当直引継に要する時間



シナリオ東京湾 (4パターン)  
平均195秒  
300秒以下87%



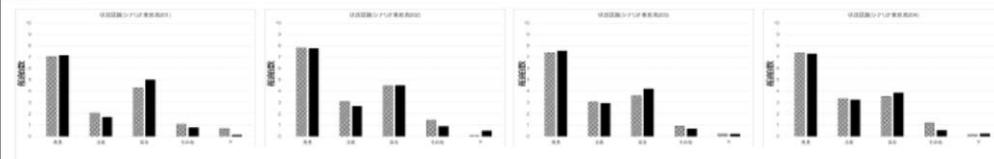
シナリオ瀬戸内海 (4パターン)  
平均168秒  
300秒以下94%

□ 操船シミュレータによるオーバーライドに関する検証

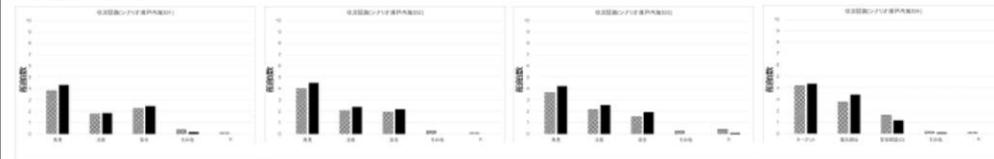
- ODDe(輻輳度) の逸脱時にOZT情報を提供した航海当直引継
  - ・ 状況認識

▨ : OZT情報がない場合(実験参加者の平均/試行)  
■ : OZT情報を提供した場合(実験参加者の平均/試行)

東京湾口



備讃瀬戸南航路

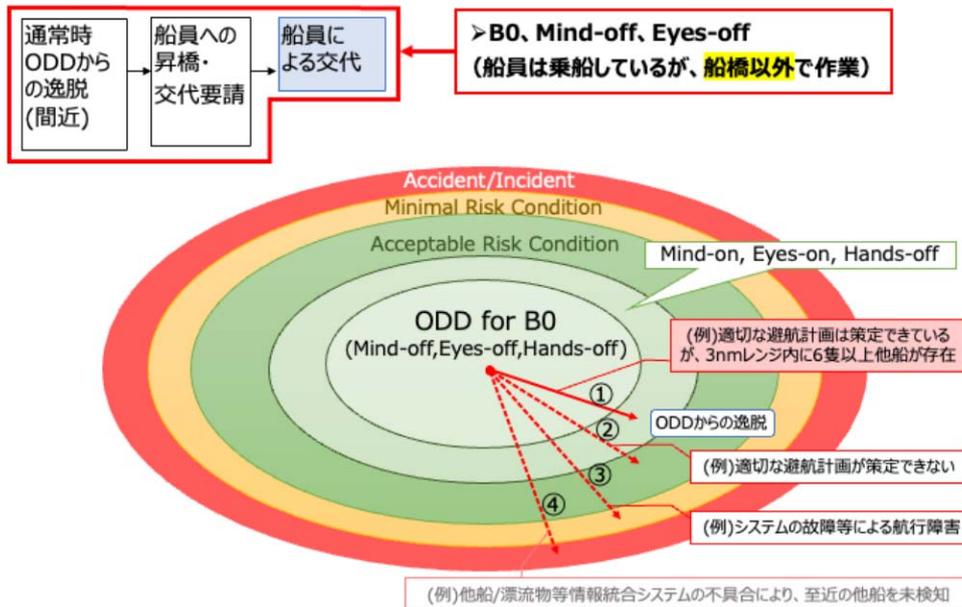


- ◆ 支援機器があった場合、支援機器がない場合と比較するとシナリオ東京湾とシナリオ瀬戸内海でそれぞれ、実験参加者が発見している他船の数は100%、110%、注意を要する他船の数は90%、120%であった。

□ 結論

- 既存の航海機器による当直引継ぎ
  - 既存の航海機器のみによる航海当直引継ぎ（輻輳度）では、東京湾のシナリオでは87%以上、瀬戸内海のシナリオでは95%の実験参加者が5分以内に航海当直の引き継ぎを終えた。
  - 認識できた船舶数は、船長経験者により事前に取得した基準値と比較すると、今回の実験参加者では少なかった。
- 避航操船支援情報であるOZT情報の提供
  - OZT情報を加えて航海当直引継ぎをした場合、東京湾のシナリオでは87%以上、瀬戸内海のシナリオでは94%の実験参加者が5分以内に航海当直の引き継ぎを終えた。
  - OZT情報の有無による状況認識はほぼ同等であったが、実験後のヒアリングでは、OZT表示は分かりやすいとの評価であった。差が認められなかったのは、既存の機器により必要な情報を取得できていたことが考えられる。
- ODDe情報の提供
  - 航海当直引継ぎにかかる時間は、ODDe情報を提供しない場合の航海当直引継ぎに係る時間と有意差は認められなかった。
  - ODDe情報がない場合でも80%は、ODDe情報を推定できていた。

□ 無人運航実証船の緊急対応の実船検証用シナリオの検討



口無人運航実証船の緊急対応の実船検証用シナリオの検討

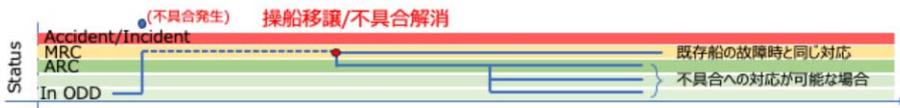
① 適切な避航計画は策定できているが、ODDの設定（3nmレンジ内に5隻まで）を超えて他船が存在



② 適切な避航計画は策定できない



③ システムの故障等による航行障害

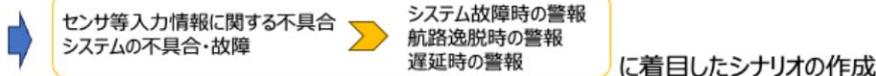


口無人運航実証船の緊急対応の実船検証用シナリオの検討

➢ モデル船のHAZID WSの原因及び安全対策から事象発生時に船員の対応が必要とされる項目を抽出

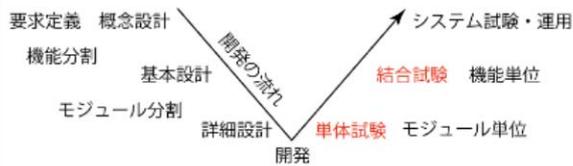
(例) モデル船（内航貨物船：自律操船）

ID	Hazard	Causes	Safeguards	シナリオの種類
自律操船システム				
1	操船計画の立案の誤り	C1.1 入力情報(自船情報、他船/漂流物情報、気象海象情報等)の未取得や誤り C1.4 自律操船システムの不具合・故障	・各システム故障時の警報 ・自船や他船/漂流物の位置飛び時の警報	③、② ②
2	操船計画の立案の未実施	C2.1 入力情報(自船情報、他船/漂流物情報、気象海象情報等)の未取得 C2.3 自律操船システムの不具合・故障	・各システム故障時の警報 ・一定時間超過時の警告発出	③、② ②
3	操船計画の立案の実施が遅すぎる/早すぎる	C3.1 入力情報(自船情報、他船/漂流物情報、気象海象情報等)の未取得や誤ったタイミングによる取得 C3.3 自律操船システムの不具合・故障	・各システム故障時の警報 ・一定時間超過時の警告発出	③、② ②
4	運航フェーズ切替（通常航行→着岸操船）の誤り	C4.2 入力情報(自船位置情報)の誤り C4.3 自律操船システムの不具合・故障	・各システム故障時の警報 ・自船の位置飛び時の警報 ・航路逸脱時の警報	③、② ② ②
5	運航フェーズ切替の未実施	C5.2 入力情報(自船位置情報)の入力誤りや未入力 C5.3 自律操船システムの不具合・故障	・各システム故障時の警報 ・自船の位置飛び時の警報 ・航路逸脱時の警報 ・運航フェーズ切替位置からの一定距離超過時の警告発出	③、② ② ② ②
6	運航フェーズ切替の実施が遅すぎる/早すぎる	C6.1 入力情報(自船位置情報)の取得タイミングの誤り C6.3 自律操船システムの不具合・故障	・システム故障時の警報 ・航路逸脱時の警報 ・運航フェーズ切替位置からの一定距離超過時の警告発出	③、② ② ②

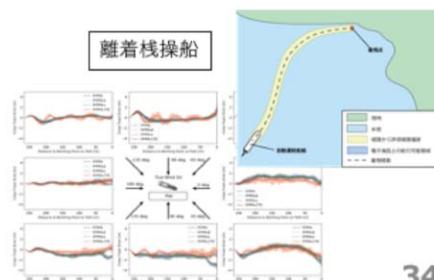
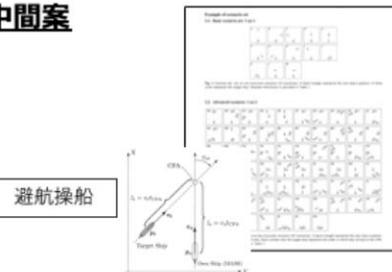


- 自動離着棧アルゴリズムの安全評価の手順の策定
- 自動避航アルゴリズムの安全評価の手順の中間案(2022年度作成)の最終化

- 自動離着棧アルゴリズムの安全評価の手順の策定
- 自動避航アルゴリズムの安全評価の手順の中間案(2022年度作成)の最終化



- MASS code (Tier 1,2 相当) 機能要件>リスク解析
- 産業規格 (Tier 4 相当) 性能要件>SIM 試験 (アルゴ検証)



認証ガイドスの策定  
自動離着棧アルゴリズムの安全評価の手順の策定

- IEC62065 (Track Control System) のシミュレーション試験部分を参照しながら、自動離着棧アルゴリズムの評価手順を作成中。
- 制御問題として、風等の外乱下での経路計画 + アプローチ操船および停船時の状態までを検査する方向で整理。(下左右図)



図1 自動着離棧経路

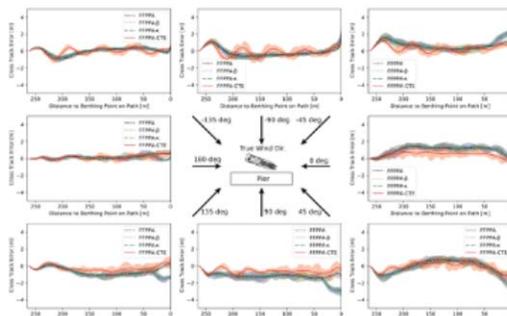


図2 8方向の外乱下のシミュレーション結果 35

認証ガイドスの策定  
自動離着棧アルゴリズムの安全評価の手順の策定

- 自動着棧制御については、終端条件を設定する。
- 自動離棧制御については、同様の終端条件 (ただし、条件の緩和もあり)

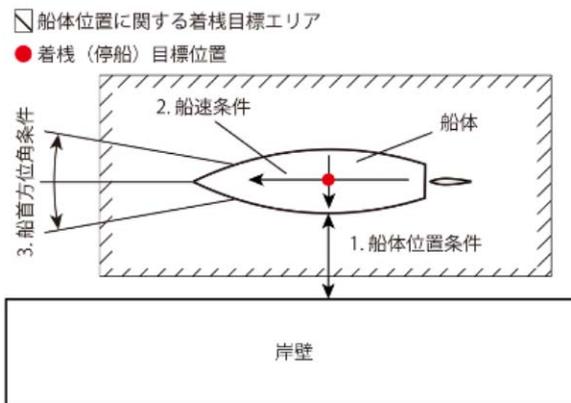


図3 終端条件の例



- 認証ガイドスの最終化として、検証対象、評価用シナリオと評価、シミュレーション環境をIEC 62065等の既存航海機器のTier 4相当規格を参考に作成。
- 成果の一部はNK殿が発行予定の認証ガイドスへの取り込みも調整中。

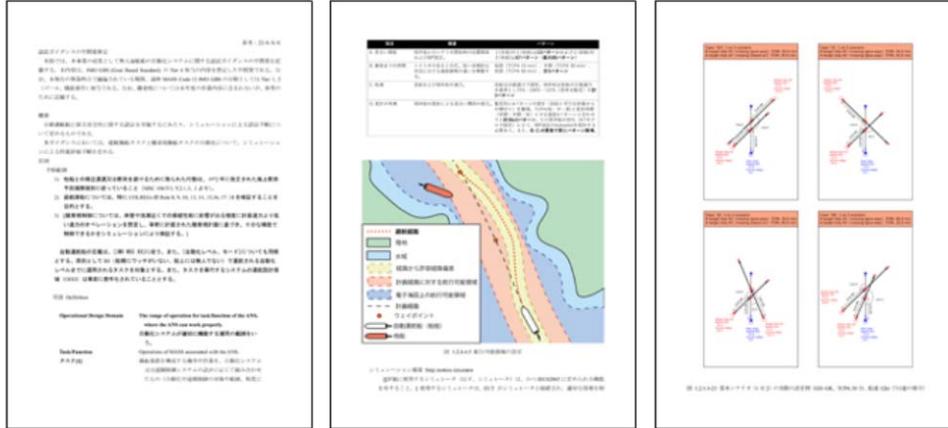
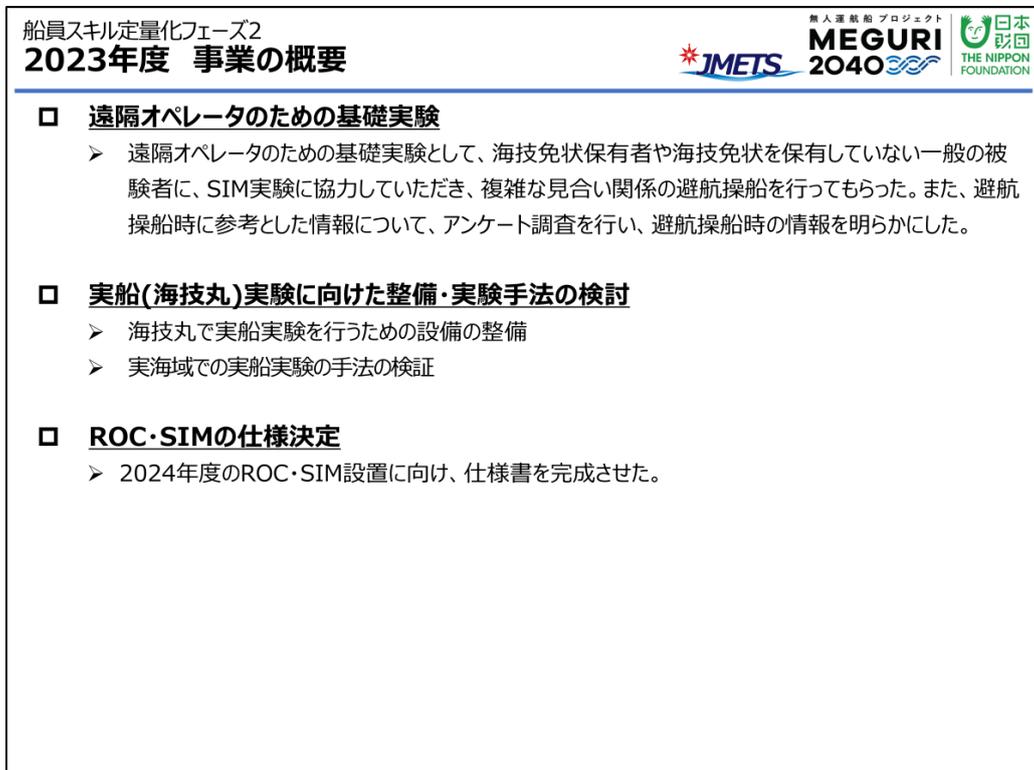
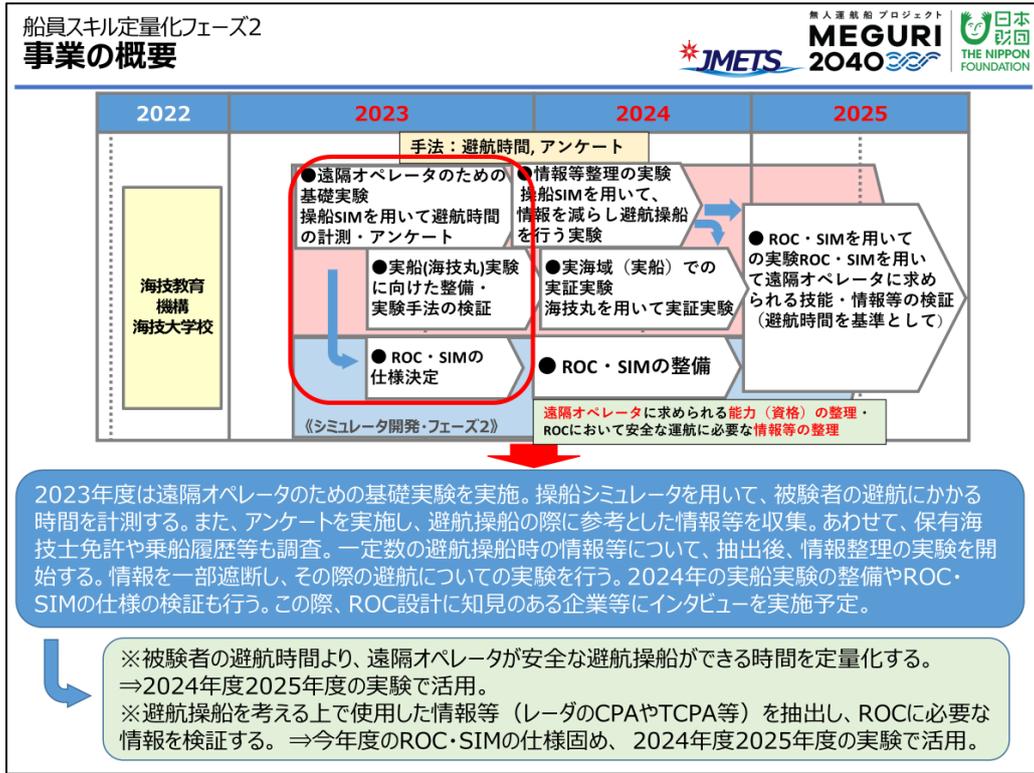


図 1 0 認証ガイドス案 (抜粋)

## 2.2 遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 1

関係委員会に報告した年度計画を含む本年度の事業成果を以下に示す。



## □ 遠隔オペレータのための基礎実験の目的

### ➤ 遠隔オペレータに求められる能力（資格）について

遠隔オペレータの操船には、実船でも操船している航海系の資格が漠然と必要と考えられるが、今回の基礎実験においては、航海系以外の者にも被験者になってもらい、航海系の資格の必要性について検証を行った。

### ➤ 避航操船時に参考とする情報について

2023度のSIM実験では、遠隔オペレータが避航操船時に参考とする船橋内にある航海計器や視覚情報について、実験後にアンケート調査を行った。この結果より、避航操船時の必要な情報を明らかにし、2024年度以降の実験の基礎情報とする。

## □ 遠隔オペレータのための基礎実験の目的

### ➤ 避航プランの思考時間

避航操船時、一般的に広い海域であれば、8L（前方6.4L、後方1.6L、側方1.6L、L:船長）が自船の周りに他船を入れたくない安全領域（井上欣三著『操船の理論と実際（増補版）』成山堂書店2021年171頁）であるといわれているが、避航開始のタイミングは、操船者によって、変化するものでもある。この距離の指標を時間に置き換える試みが2023年度の実験である。

他船を安全に避航する時間は、①避航プランの思考時間、②操舵・変針にかかる時間（船舶の操縦性能により変化）、③他船との安全な航過距離の時間により構成されると考え、実験により避航プランの思考時間を計測する。

避航時間 = 避航プランの思考時間 + 操舵・変針にかかる時間 + 安全な航過距離の時間

2023年度の実験はあくまで、SIMでの実験であるため、暫定値とし、2024年度の実船実験の結果も踏まえ、一般化した値とする。

□ 遠隔オペレータのための基礎実験

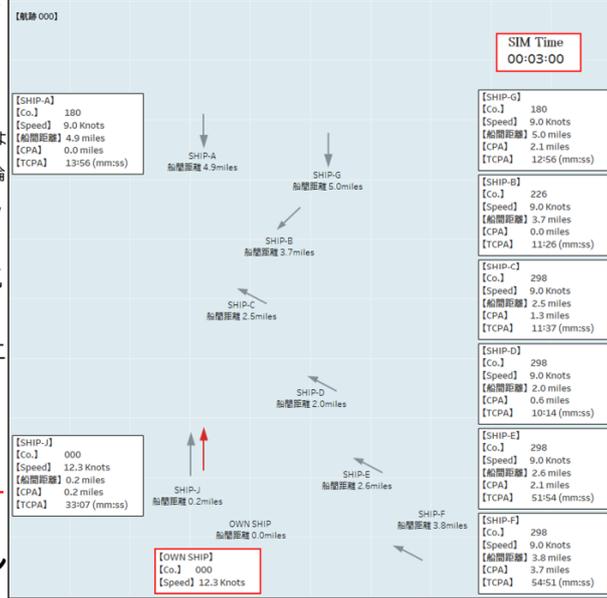
➢ SIMのシナリオ

本実験では、多数隻が関係する状況での避航操船の判断を目的として、**複雑な状況のシナリオ**（加藤由季ら『目視と計器による情報が避航判断に及ぼす影響について』日本航海学会論文集,136巻,2017年,50-56頁）を用いて作成した。（右図参照）

被験者には、より切迫した状況で避航操船を行ってもらうために、避航操船が必要な状況で船橋に入り、アラーム停止とともに、実験開始とした。

実験開始時の同航船以外の船舶で、一番近いものは、船間距離2マイルのSHIP-Dである。また、SHIP-AとSHIP-Bについては、CPAは0.0マイルである。

➢ SIMの実験船（2,100TEUのコンテナ船）



□ 遠隔オペレータのための基礎実験

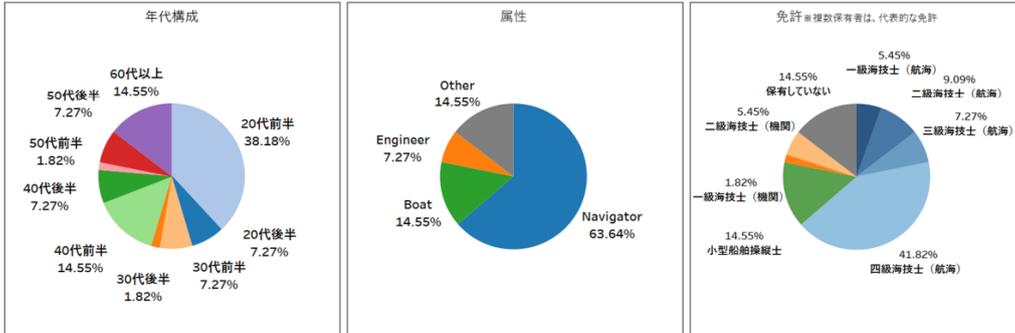
➢ 実験のタイムスケジュール

時系列	内容	説明
実験前	・事前アンケート ・実験同意書	実験趣旨、同意書、事前An
実験前	SIMへの慣熟手続の慣熟 ・SIM慣熟訓練 スラローム SIM操船権移譲の慣熟 ・SIM慣熟訓練 船列横断	操船権移譲手続きの説明
本実験	船橋外待機場所	前提条件の説明
00:00~	被験者：船橋外待機場所 ・本実験スタート	時間記録
00:03~	被験者：船橋内へ 被験者：アラート内容の確認（アラート）	時間記録
	・避航プラン思考後 被験者：操船権移譲スイッチ（汽笛）	時間記録
	・避航開始 被験者：避航操船 TCPAの当日記録は不要	時間記録
	・避航終了：計画コースに向けたら終わり 被験者：操船権移譲スイッチ（汽笛） 実験終了	時間記録
実験後	・事後アンケート	事後An

□ 遠隔オペレータのための基礎実験

➤ 被験者情報 総計55名

被験者は、総計55名実施した。航海系の海技士免許保有者から、機関系、小型船舶操縦免許のみの者、その他、海技士免許等を保有していない者等、多様な被験者で実験を実施できた。

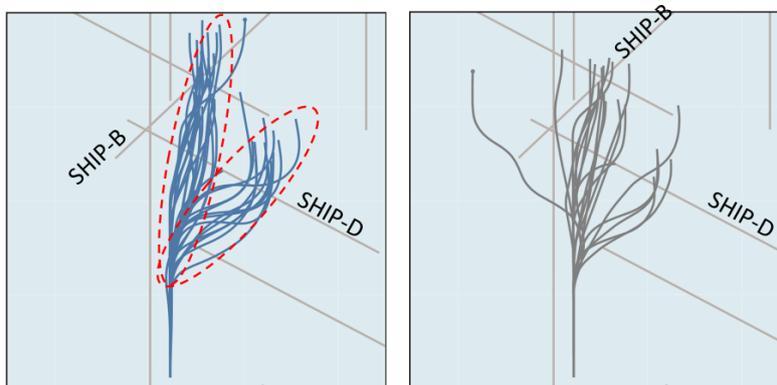


□ 遠隔オペレータのための基礎実験

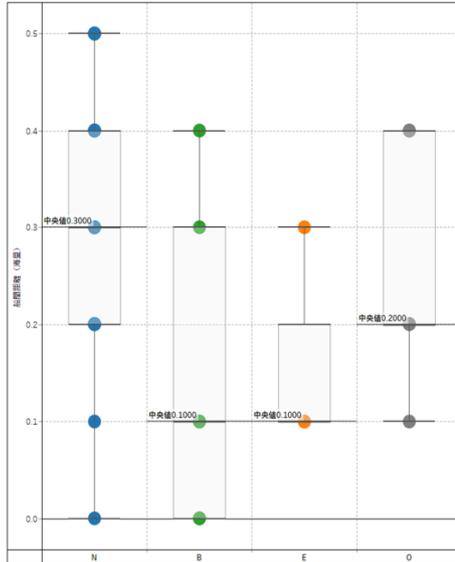
➤ 実験結果 (航跡)

次に航海系の被験者（青色：35名）とそれ以外の被験者（灰色：20名）の航跡を比較する。航海系の被験者はSHIP-Dの船首を航過しSHIP-Bを避航する方法とSHIP-Dの船尾を避航する方法の2つであった。一方、それ以外の被験者は、様々な避航を行っていることがわかる。

他船から避航船（自船）の避航動作が容易に判断できる状況は、航海系の被験者の航跡（青色）であり、遠隔オペレータであってもこの「他船に不安を与えない操船」が必要である。



□ 遠隔オペレータのための基礎実験  
➤ 実験結果（航過距離）



この箱ひげ線図は、SHIP-Dの船首航過距離、及び他船との最接近距離を船間距離（縦軸）として表している。SHIP-Dの後方を避航した被験者は、その後他船との危険な見合い関係は発生しないため、除外している。

箱ひげ線図は左から航海系免許保有者（青）、小型船舶操縦士免許保有者（緑）、機関系免許保有者（オレンジ）、免許なし（灰色）を表す。

航海系免許保有者の中央値は、0.3海里、その他の被験者は、0.1海里または0.2海里であった。

□ 遠隔オペレータのための基礎実験  
➤ 実験結果（航過距離）



この図は、避航時の航跡図を表す。左上から航海系免許保有者（青）、小型船舶操縦士免許保有者（緑）、機関系免許保有者（オレンジ）、免許なし（灰色）を表す。

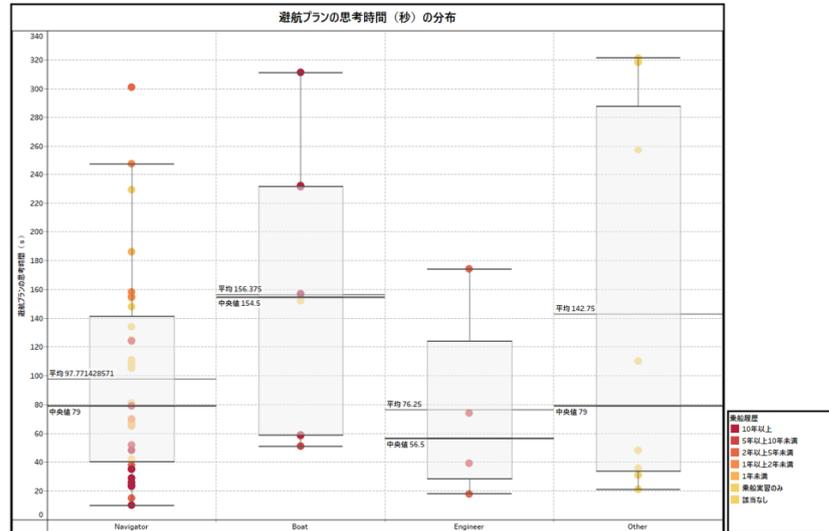
避航操船時、他船に不安を与えない操船が重要である。航跡と他船との船間距離より、他船に不安を与えた操船（船間距離0.1海里以下）を行ったのは、航海系免許保有者は、35名中2名、機関系免許保有者が、4名中2名、小型船舶操縦士免許保有者が8名中4名、その他が8名中1名であった。

航海系免許保有者が、その他の被験者より、船間距離を保った操船を行っている。

□ 遠隔オペレータのための基礎実験

➢ 実験結果（避航プランの思考時間）

避航プランの思考時間については、各免許保有者により、中央値が一定とはならなかったが、航跡の検証結果より、航海系被験者の避航プランの思考時間を採用した。

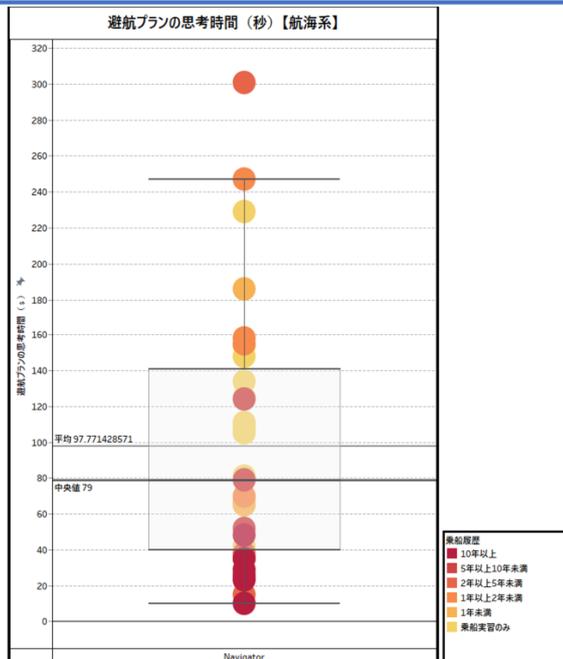


□ 遠隔オペレータのための基礎実験

➢ 実験結果(避航プランの思考時間)

航海系被験者（35名）の避航プランの思考時間については、当初収束すると考えていたが、10秒～247秒と幅を持っている。しかしながら、中央値付近に思考時間が集中していることから、本実験での「避航プランの思考時間」は、中央値である「79秒」を採用し、また、今後検証しやすくするため、5秒単位とし、「80秒」が妥当と考える。今年度の実験はSIMのみであるため、暫定値として、次年度海技丸を用いて、検証する。

右表の丸は、乗船履歴が長いほど色が濃くしているが、経験豊富な被験者ほど、思考時間が短い傾向も読み取れる。



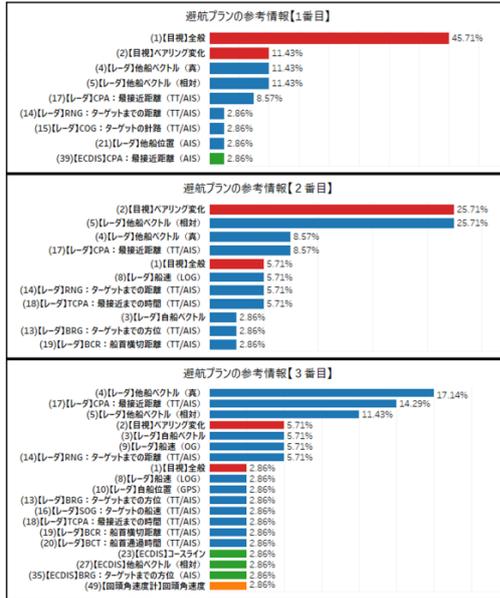
□ 遠隔オペレータのための基礎実験

➤ 避航プランを考えるうえで参考とする情報について

(アンケート結果)

1 番目の情報としては、目視情報が全体の半分以上であり、レーダ情報も40%程度であったが、レーダは様々な情報が統合している関係上、使用者により、欲しい情報が変わってくることも分かった。

3 番目以降は、目視とレーダに加えて、ECDIS 情報も多くなってきた。



□ 実船(海技丸)実験に向けた整備・実験手法の検討

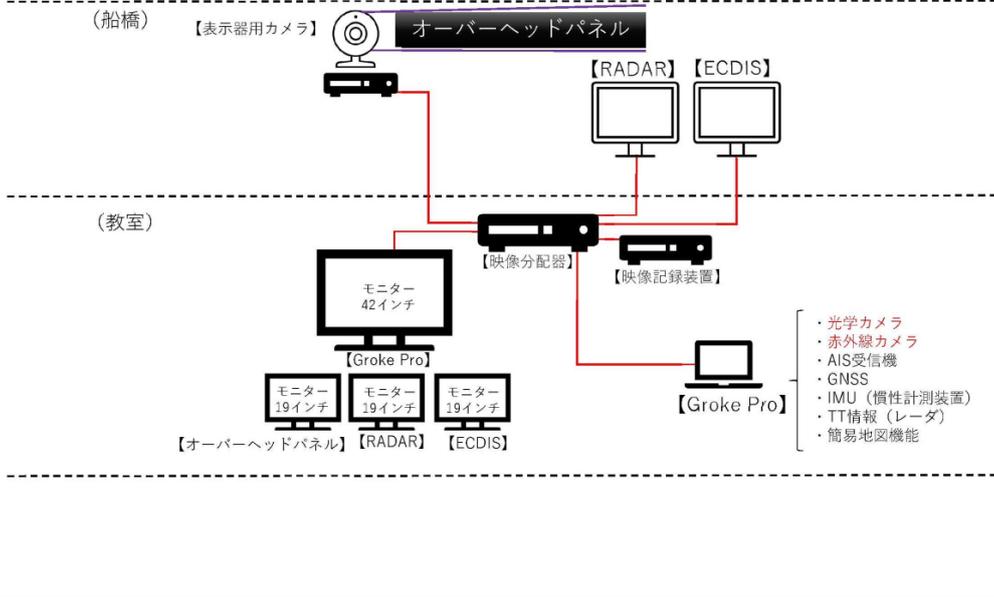
➤ 海技丸で実船実験を行うための設備の整備

2023年度、SIM実験により求めた「避航プランの思考時間」を実海域で実証するために、海技丸の教室に船橋の航海情報を確認することができる施設を整備。ROCのリモートモニタリングルームに近い、構成となっている。

➤ 実海域での実船実験の概要

- ① 海技丸船内の教室に設置する模擬遠隔監視室を使用し、実海域の実船で避航操船時の避航プランの思考時間を計測する。
- ② 被験者は教室に配置し、実験開始前には、航海情報は与えない。
- ③ 実験スタート後、海技丸教室にて、操船シミュレーション実験同様にカメラ・レーダ・ECDIS等の情報を与え、避航プランを思考してもらい、考えがまとまればスタッフに知らせて、その時間を計測する。
- ④ 被験者は、船橋に登橋せず、海技丸教室内で、実験を終了。
- ⑤ ②にもどり、また状況を変え、繰り返し実験を実施する。

【海技丸実験装置】



(教室右舷側)

【Groke Pro】



(4画面同時録画可能)

【Groke Pro】 【オーバーヘッドパネル】



【RADAR】

【ECDIS】

□ 連動モード

➢ 1隻の自動運航船を想定した制御対象船を遠隔監視・操船するという一連の流れを実現する。

制御される船(操船ブリッジステーション)

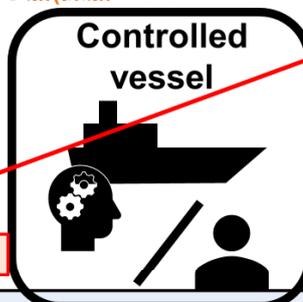
TCSが必要

HCSが必要

AMSが必要

遅延機能

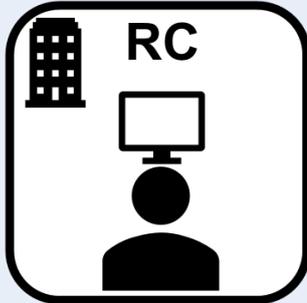
遠隔操船システム



操船可能な制御対象船

遠隔監視システム

遠隔操船(RC ブリッジステーション)



遠隔監視(RM ステーション)

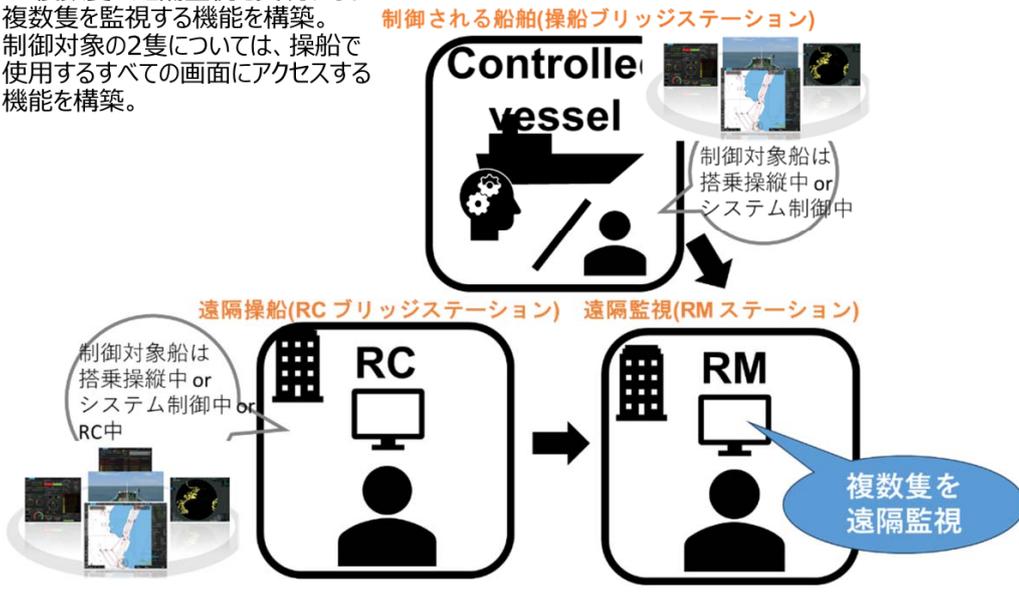


複数隻の遠隔監視が検討されている

ROC

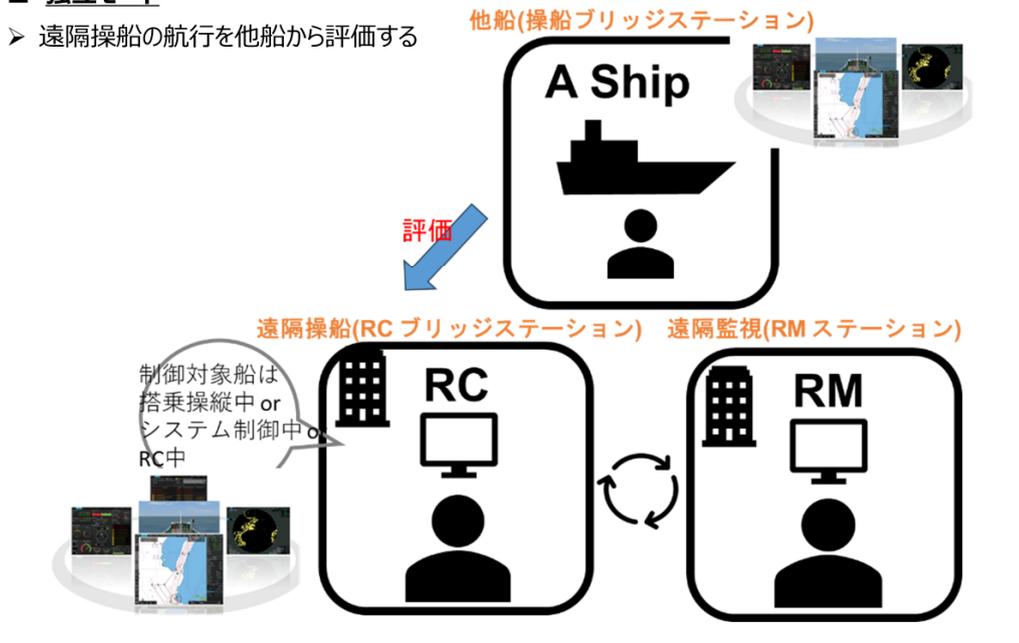
□ 遠隔監視モード

➢ 複数隻の遠隔監視を実現する。  
複数隻を監視する機能を構築。  
制御対象の2隻については、操船で  
使用するすべての画面にアクセスする  
機能を構築。



□ 独立モード

➢ 遠隔操船の航行を他船から評価する



## 2.3 遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 2

### 2.3.1 研究目標

2020 年度から 2022 年度の 3 年間で実施された「無人運航システムに係る安全評価の基盤となる船員スキル定量化事業」（船員スキル定量化事業フェーズ 1）から得た知見等をもとに、無人運航船の新たなスキルとなる遠隔オペレータに必要な技能・訓練要件（能力要件）を構築するために、以下の研究計画を実施する。

### 2.3.2 研究計画

本研究は、2023 年度から 2025 年度までの 3 年計画で実船実験をベースに常時監視、監視対象船 1 隻を条件として実施する。以下に各年度計画について記す。

#### ●2023 年度

- (1) 実船実験による船上の操船者と遠隔オペレータの行動比較
- (2) 実船実験の実験手法の検討

#### ●2024 年度

- (1) 海技者を対象とした遠隔監視・操船指示実験の行動分析
- (2) 非海技者を対象とした遠隔監視実験の行動分析
- (3) 遠隔オペレータの能力要件に関する中間案の作成

#### ●2025 年度

- (1) 遠隔オペレータに必要な技能・訓練要件（能力要件）の構築

### 2.3.3 実船による実験手法の構築

実船実験船として東京海洋大学練習船「汐路丸」を用いて遠隔オペレータに必要な能力要件を検討するために、“遠隔オペレーション施設（Remote Operation Center: ROC、東京海洋大学の実験室）の構築と汐路丸からの送信データの可視化システムの構築（図 2.3.1、図 2.3.2）”、“汐路丸の各種航海情報を ROC へ送信するための通信手法の構築：Starlink によるデータ通信（図 2.3.3）”、“船上操船（以下、実船 OP）及び遠隔オペレーション（以下、遠隔 OP）の比較実験手法の構築：データクラウド管理によるリプレイ実験の実現”を行い、実船実験の実験手法の構築を行った。

具体的には、ROC では汐路丸から Starlink にて送信する 4 種類の映像データ「風景映像（6 画面）、機関インジケータ表示画面（進路、速力、舵角、風向、風速等の各種航海情報）、ECDIS・Radar・AIS 重畳映像（航海計器情報）、船橋撮影映像（船橋内映像）」と 2 種類の音データ「船橋内音、船外音」をクラウド管理することで、リアルタイム（遅延時間あり）及びリプレイ表示することを可能とし、実船 OP と ROC でのリプレイによる遠隔 OP を想定した比較実験を行うことを可能とした。今後の課題としては、送信する 4 種類の映像データは、それぞれ遅延時間が異なり、遠隔オペレータはその各データの遅延時間を理解してオペレーションを実行することが重要となるため、遠隔オペレータに対して各データの遅延時間をわかりやすくモニタリング画面に表示することが遠隔 OP 実験に必要なものである。



図 2.3.1 遠隔オペレーション施設



図 2.3.2 データの可視化システム

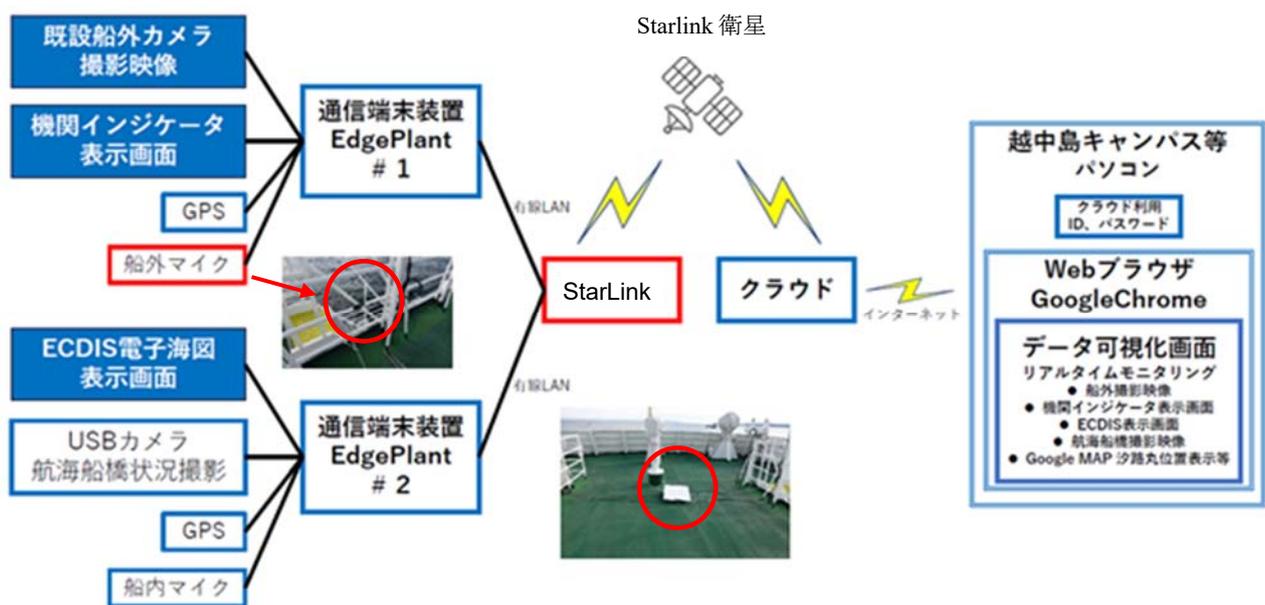


図 2.3.3 遠隔モニタリングシステムと衛星通信 Starlink

### 2.3.4 船上の操船者と遠隔オペレータの行動比較

船上の操船者と遠隔オペレータの見張り、操船に係る認知、判断、行動に関する理解の比較を行うために、汐路丸航海士 2 名と熟練操船者 1 名（JMETS 船長）を被験者とした汐路丸の実船 OP とその実船 OP データを記録したリプレイによる遠隔 OP を想定した両 OP に対する操船実験を比較実験として位置づけ、実船 OP と遠隔 OP の行動比較を視線、緊張及び行動データを記録、解析することで行った。結果として、“風景データ”と“ECDIS・Radar・AIS データ（計器データ）”はともに必要不可欠な遠隔 OP への航海データであり、相互にデータを確認することで安全運航のための航海情報の認知、判断への信頼性を向上させている。さらに、遠隔 OP では、計器データが主、風景データが従であることが目視時間から確認できた。遠隔 OP では実船 OP と比較して、いわばレーダ航法のような、安全運航に対して余裕をもった操船判断を行おうと周辺情報を収集することが緊張の増減から確認できた。今後の課題としては、比較実験の主データとなる汐路丸航海士のデータ蓄積、新たに遠隔監視に対する遠隔 OP 技能を検討するために、海技士資格を有しない遠隔 OP 技能に係る専門的実務者と考えられる操船シミュレータのオペレータ、海岸局（ポトラジオ）通信士などを被験者に選定し、その行動解析を行う必要がある。

### 2.3.5 行動比較からの遠隔オペレータの能力要件等の検討

比較実験から得られた結果から、遠隔オペレータに必要な能力について、本年度は東京海洋大学における三級海技士（航海）の資格を得るための科目内容（講義のみ）を参考に検討した。検討は能力要件として重要項目、基礎項目、本実験からは検討困難、応用項目又は対象外項目としてカテゴリーを考え、実験チームの合議により、4 段階：“遠隔オペレータが特に身に付けるべき内容”、“遠隔オペレータが身に付けるべき基本内容”、“本実験では判断できない”、“遠隔オペレータは特に身に付ける必要がないと考える内容”に区分して検討を行うこととした。今後は免許講習、実習に対しても検討を行うことが必要であり、さらに水先教育の資格要件、DNV が示す遠隔オペレータの能力要件等も合わせて検討する必要がある。また、遠隔オペレータに新たに必要な能力要件を実験から検討するためには、海技士資格を有しないかつ遠隔 OP の技能に係る専門的実務者と考えられる操船シミュレータのオペレータ、海岸局（ポトラジオ）通信士、宇宙管制官などを被験者に選定し、その行動解析を行う必要があると考えられる。

### 2.3.6 リアルタイム遠隔操船実験

本実験は遠隔オペレータの能力要件抽出のため、実船と実験室を通信により結び構築した、遠隔オペレーション施設で実施した被験者実験である。実験室には実船が航海中に取得したデータ（i.e., カメラ映像、ECDIS 情報、機器の状態や速力、風向風速などに関するパラメータ）がリアルタイムに伝送され、それらは被験者の眼前に設置された 3 枚の遠隔ディスプレイに提示される（図 2.3.1）。この環境において被験者は、遠隔操船者になったつもりで同ディスプレイをモニタリングし、避航の判断や指示を行うよう実験者により指示された。しかし本実験では、通信障害によりリアルタイム監視が不可能な状態が大半の時間を占める結果となった。したがって本実験では避航の判断や指示に関するデータを十分に得られなかったため、その詳細なデータ取得並びに分析は、2.3.8 節に示すリプレイ実験で実施することとした。

### 2.3.7 遠隔操船 FRAM モデルの更新

本作業では、遠隔操船タスクの特性を理解するため、既存の「船長・航海士 FRAM モデル」と 2023 年度実施した実船実験等のデータや被験者へのインタビューを基に改良した「自動・遠隔操船システム FRAM モデル」の機能比較を行った。「自動・遠隔操船システム FRAM モデル」単体の分析では、遠隔オペレータが自動システムによる航行やシステム監視をモニタリングし続け、異常が起きた際には手動対応を求められる構造が抽出された。この構造は特に、システム単体で異常に対処できなくなった最終局面で人間に助けを求めるようなものとなっており、遠隔操船システムの一部としての人間の認知・作業負荷の高さおよび責任の重さを示唆するものであった。また「船長・航海士 FRAM モデル」との比較においてもその違いは顕著であった。特に「自動・遠隔操船システム FRAM モデル」では自動システム等を設計する上で一般に言われる「認知・判断・実行」に係る機能の逐次的な構造および実行機能から認知機能などへのフィードバック構造が見られた一方、「船長・航海士 FRAM モデル」では上記の「認知・判断・実行」に係る機能がモデル上に分散しており、これらが互いに補完し合うような構造が存在していた。このような「船長・航海士 FRAM モデル」に見られる分散構造は、認知科学の分野で最も重要な理論の 1 つである Ecological Approach にも整合するところであり、「自動・遠隔操船システム FRAM モデル」ではこのような人間の認知特性が、その逐次的な構造ゆえ制限されている可能性を指摘した。

### 2.3.8 遠隔操船リプレイ実験

本実験は、先のリアルタイム遠隔操船実験にて得られたデータを同じ実験室にて、時間遅れや欠損なく再生し、被験者にはその再生されるデータや映像の監視を指示したものである。その結果、1) 平常時は周辺の視界情報を主とする実船とは主従関係の逆転した ECDIS 主体の監視パターンが、2) 切迫した状況ではカメラ映像を主とする実船に近い監視パターンがそれぞれ確認された。この結果は、実船上で主たる情報であった視覚情報がカメラの性能等により制限され、ECDIS というインタフェースを主たる情報源として監視せざるを得ない状況を示唆するものであった。このような監視パターンは、Ecological Approach に代表される理論で言及されている人間の認知特性を損なう可能性があり、上記リアルタイム遠隔操船実験や FRAM 分析で得られた知見とも整合する点である。

以上より遠隔操船オペレータに要求される能力要件は、たとえ遠隔操船環境下においても実船に近い形態 — すなわちカメラ映像により供される視覚情報を基にした監視パターンを維持できることであり、そのためには、人と技術の両方面からのアプローチが必要になると考えられる。

### 2.3.9 まとめ

本事業では実船での操船から遠隔操船への作業形態の変容に伴い、人間の遠隔操船者へ新たに要求される能力要件の抽出を目的とし、操船者と遠隔オペレータの行動比較、遠隔操船タスクの FRAM 分析および遠隔操船室を模した環境での被験者実験より得られたデータの分析を行った。その結果得られた知見を以下に示す。

- 遠隔オペレータに必要な能力要件を検討、構築するための手法として、実船実験データを用いた操船者と遠隔オペレータの行動比較を行うことを提案し、東京海洋大学練習船「汐路丸」と海洋大 ROC の遠隔モニタリングシステムを構築した。そして、操船者と遠隔オペレータの行動比較を行うための定量的・客観的データとして、視線、緊張、行動データを計測する実験系を構築し、

三級海技士（航海）資格要件の講義内容を対象として、遠隔オペレータが必要とする能力要件に関する検討を進めた。

- 行動比較分析によると、注視時間からは遠隔 OP に関しては、ECDIS・Radar・AIS データを主データとした見張り、操船のための能力要件を検討する必要があると考えられる。緊張からは遠隔 OP は実船 OP と比較して、いわばレーダ航法のような、安全運航に対して余裕をもった操船判断を行おうとする傾向があると考えられる。これは、遠隔 OP の視線データ結果から得られた ECDIS・Radar・AIS データを主データとした見張り、操船のための能力要件を特に検討する必要がある考えを支持するものである。
- FRAM 分析によると、現在想定されている遠隔操船タスクでは、警報が発令されて初めて人間が何をすべきか考えるような機能構造となっている。この機能構造は、一隻のみ監視すればよい状況ならまだしも複数隻を同時に監視する場合となると、オペレータによる緊急対応時間不足のリスクを顕在化させる恐れがあり、その際の対応遅れの影響は計り知れない。緊急時において人間にのみ自発的な変化と対応を求めるシステムはあまりに不合理と言える。また実験データの分析によると、カメラ映像と ECDIS 画面の使用に関する主従関係が、平常時は全ての被験者で実船の場合と逆転していた。一方で差し迫った状況になると、再びカメラ映像を中心とする監視パターンへ切り替わることも、全被験者で同様に確認された。表示される情報の即時性や ECDIS に映らない物標の見落とし、そして人間の認知特性も考慮すると、たとえ遠隔操船タスクであっても実船と同様に、カメラ映像など実際の状況をありのままに示す情報源を使い、我々の五感で感じる実際の環境の中に無数に埋め込まれた認知の手掛かりを能動的に発見・活用できることが遠隔オペレータに求められる能力の 1 つであると考えられる。
- 遠隔オペレータに必要な能力要件の構築について、次年度にさらに検討を進めるために、遠隔モニタリングシステム及び被験者選定等に関する具体的な課題を明らかとした。