

MEGURI2040 に係る安全性評価

2021 年度成果報告書 概要版



2022 年 8 月

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

目 次

1.	研究概要	1
1.1	背景と目的	1
1.2	本事業の達成目標と期待される効果	2
1.2.1	本事業の達成目標	2
1.2.2	期待される効果	2
1.3	事業内容	3
1.3.1	スケジュール	3
1.3.2	実施計画	4
1.4	今年度事業の主要な成果	5
1.4.1	無人運航船プロジェクトに係る安全評価	5
1.4.2	総合シミュレーションシステムの開発	12
1.4.3	総合調整、ガイドライン策定等	36
2.	活動状況報告	59
2.1	無人運航船安全性評価ステアリング委員会	59
2.2	安全ガイドライン等策定委員会	61
2.3	安全評価等実施委員会	63
3.	まとめ及び今後の計画	66
添付資料		
資料 1	無人運航船安全性評価ステアリング委員会 委員等名簿	69
資料 2	安全ガイドライン等策定委員会 委員等名簿	71
資料 3	安全評価等実施委員会 委員等名簿	73
資料 4	自動運航船のリスク解析手順書	75
資料 5	ガイドライン骨子案・IMO 提案 (MSC 105/7/2)	100

1 研究概要

1.1 背景と目的

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 MEGURI2040 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 本事業の達成目標と期待される効果

1.2.1 本事業の達成目標

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 期待される効果

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。

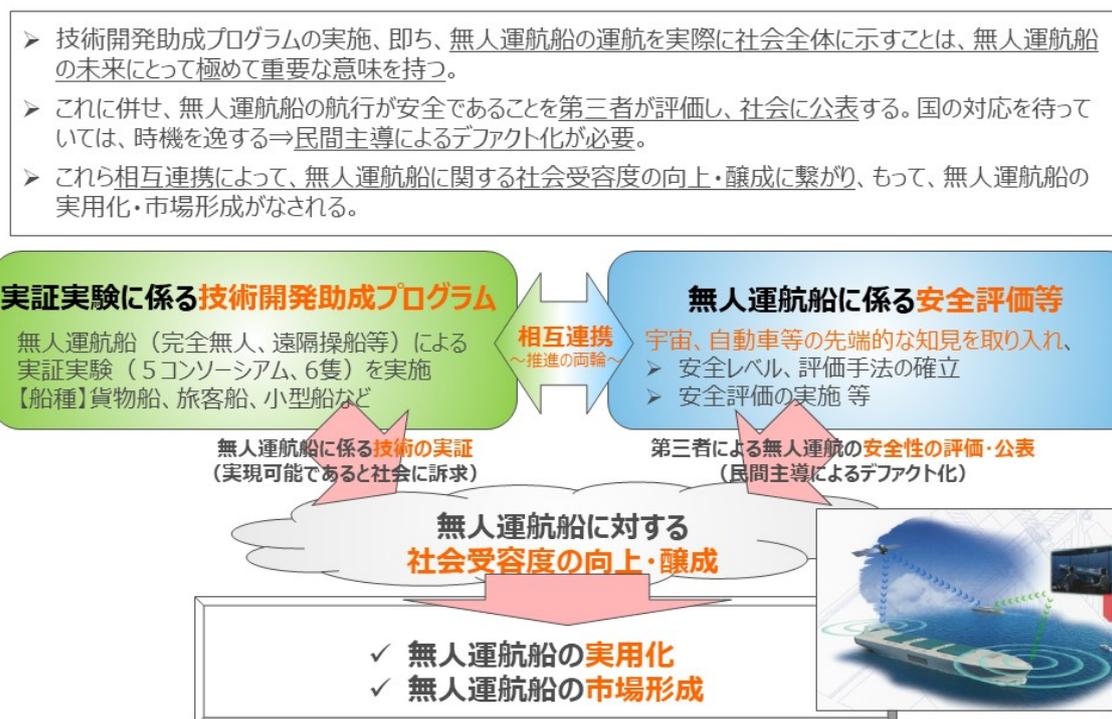


図 1.2.1 無人運航船の実証実験に係る全体枠組み

1.3 事業内容

1.3.1 スケジュール

本事業は2020年度から開始し、2023年度までの4年計画で実施される。実施スケジュールおよび実施項目を図1.3.1に示す。



図 1.3.1 実施スケジュールおよび実施項目

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。

図 1.3.1 の上段の船員スキルの定量化事業は、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実施しており、2022年度までの3年計画である。当該事業は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を目指しており、成果は安全性評価事業に導入される。

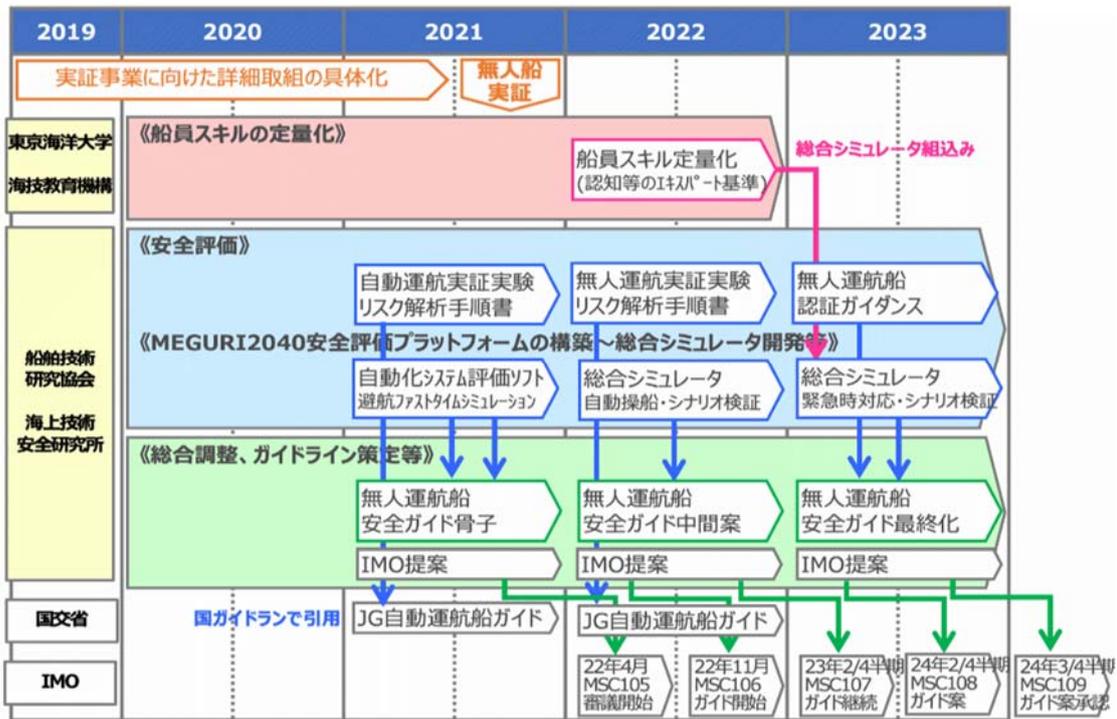


図 1.3.2 事業成果等の出力のスケジュール（2021 年度作成）

また、2021 年度の事業実施中に国際海事機関（IMO）の自動運航船の規則策定に関する作業ロードマップが策定された。これに合わせて、図 1.3.2 に示すように、ガイドラインを中心とした成果の出力を前倒しとなるようスケジュールの修正を行った。

1.3.2 実施計画

図 1.3.1 に示した各項目の実施計画を以下に示す。

1.3.2.1 無人運航船安全性評価（安全性評価事業）

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。

1.3.2.2 総合シミュレーションシステムの開発等（安全性評価事業）

安全性評価においてシミュレーション及び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。また、避航、着岸および遠隔操船を対象とした、安全性の評価法について検討を進め、試案の作成を行う。

1.3.2.3 総合調整、ガイドライン策定等（安全性評価事業）

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で、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。

1.3.2.4 船員スキルの定量化事業

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。なお本事業の詳細は担当機関が別途作成する事業報告書を参照のこと。

1.4 今年度事業の主要な成果

1.4.1 無人運航船プロジェクトに係る安全評価

1.4.1.1 事業計画

無人運航船プロジェクトに係る安全評価事業の全体計画を踏まえた今年度の年度計画を表 1.4.1 に示す。

表 1.4.1 無人運航船プロジェクトに係る安全評価事業の年度計画

項目	①無人運航船プロジェクトに係る安全評価
全体計画	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 ■ 「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。
年度計画	<ul style="list-style-type: none"> ■ 各事業者のリスク解析の解析支援&レビューを実施 ■ 自動運航船のリスク解析手順書の作成 ■ 無人運航船へのリスク解析適用の課題整理

1.4.1.2 事業成果

今年度の実施事項（事業成果）を表 1.4.2 に示す。

また、この成果の概要を以下に示す。

本事業で得られた実証試験・自動運航船のリスク解析手順書を資料 4 に示す。

表 1.4.2 無人運航船プロジェクトに係る安全評価の今年度の実施事項（事業成果）

項目	①無人運航船プロジェクトに係る安全評価
今年度の実施事項（事業成果）	<ul style="list-style-type: none"> ■ 各事業者のリスク解析の解析支援&レビューを実施 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 実証事業者が実施するリスク解析の解析支援とレビューを実施 ➢ 実装実験が安全に実施できることを確認 ■ 実証試験リスク解析手順書の作成 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 実証試験及び自動運航船のリスク解析手順書の作成 ➢ 本手順書は国土交通省の自動運航船ガイドラインに引用された ■ 無人運航船へのリスク解析適用の課題整理 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 無人運航船関連の調査（自動化レベル、船舶の自動化設備の要件等）

(1) 成果の概要

国際海事機関（International Maritime Organization, IMO）において、自動運航船の実証実験のための暫定ガイドライン（IMO MASS 暫定ガイド¹⁾）が策定されている。IMO MASS 暫定ガイドでは、リスク解析の実施を求めており、MEGURI2040 プロジェクトにおける実証実験の安全な実施のためにもリスク解析を実施する必要がある。本調査研究は、リスク解析の専門家である海上技術安全研究所（以下、海技研）が、**MEGURI2040 に参画する実証事業者（以下、事業者）が実施するリスク解析の解析支援とレビューを実施**し、必要な助言をすることで、MEGURI2040 プロジェクトにおける実証実験の安全な実施に貢献することを主な目的に 2020 年度から実施している。2021 年度は、2020 年度に引き続き、各事業者の進捗に応じて、解析支援とレビューを実施し、**全ての事業者において、実証実験の安全な実施が期待できることを確認した**。事業者毎の実証船舶の概要とリスク解析の解析支援とレビューの概要を表 1.4.3 に、同定されたハザードの原因及び対策の例を表 1.4.4 に示す。

表 1.4.3 事業者毎の実証船舶の概要とリスク解析の解析支援とレビューの概要

	丸紅	ITbook	DFFAS	三菱	MOL
	旅客船	水陸両用船	コンテナ船	カーフェリー	カーフェリー コンテナ船
実証船舶 ²⁾					
自動化システム	避航操船 自動離着棧	避航操船 自動離着棧 遠隔操船・監視	避航操船 自動離着棧 遠隔操船・監視	避航操船 自動離着棧 遠隔監視	避航操船 自動離着棧
解析主体	丸紅&海技研	ITbook&海技研	DFFAS	三菱	MOL
海技研の役割	解析支援	解析支援	レビュー	レビュー	レビュー

表 1.4.4 リスク解析の解析支援とレビューで同定されたハザードの原因及び対策の例

原因	対策
避航操船アルゴリズムの違い	シミュレーションによる事前検証
自動化システムの故障にシステム自身が気づかない	故障検知システム
システムの許容範囲を超えた気海象	許容範囲内外の判定システム
システムの不具合による自動運航の継続不可	システムの予備の搭載
船陸間通信の信頼性低下	異なる通信方式による二重化

概要

- 事業内容に既にリスク解析の計画が含まれている事業者の存在したため、各事業者が実施するリスク解析計画・進捗に柔軟に対応し、実施の過程を確認し、必要な助言を実施

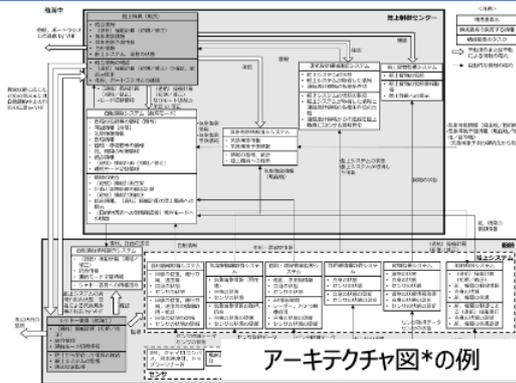
	体制	解析支援&レビューの概要
丸紅	自社解析&海技研解析支援・レビュー	解析対象、フェーズ、リスク指標についての助言、解析対象のモデル化、HAZID WS下書き作成、HAZID会議の司会及び事務局、HAZID WS完成版作成、リスク解析結果レビュー
ITbook	自社解析&海技研解析支援・レビュー	
DFFAS	自社解析&海技研レビュー	リスク解析 (STPA,FMEA,BowTie) 結果のレビュー
三菱	自社解析&海技研レビュー	
MOL	自社解析&海技研レビュー	HAZID会議参加、WS&報告書レビュー

1

図 1.4.1 - 01)リスク解析の解析支援&レビューの概要説明

海技研の実施事項 (概要)

- ① システム全体のアーキテクチャ図の作成
 - 実験対象の無人運航船について、理解を深めるために、海技研考案手法*により作成 (丸紅&ITbook : 解析支援のために利用、DFFAS&三菱&MOL : レビューのために利用)
- ② 解析支援&レビューの実施
 - 丸紅&ITbook : HAZID WSの下書き、HAZID会議の実施 (司会進行等)、HAZID報告書の作成等を実施
 - DFFAS&三菱&MOL : HAZID会議への参加、HAZID結果 (WSや報告書) 等のレビューを実施



*塩刈他,システムモデリングによるリスク解析手法の自動運航船の概念設計への適用,船舶海洋工学会春季講演会論文集(2021)

図 1.4.1 - 02)リスク解析の解析支援&レビューの概要説明

リスク解析の解析支援&レビューの取り組みにより得た知見は、「自動運航船のリスク解析手順書」及び「実証実験のリスク解析手順書」として、取り纏めた。本手順書には、各船級ガイドライン³⁾⁻⁵⁾や欧州研究プロジェクトの報告書⁶⁾⁻⁹⁾に記載されているハザードやリスク解析の解析支援とレビューで得られたハザードに関して、項目ごとに整理し、「考慮すべきハザードの例」を本手順書の付録として付けている。本手順書の付録に反映されたリスク解析の解析支援とレビューで得られたハザード例を表 1.4.5 に示す。なお、本手順書は、国交省「自動運航船に関する安全ガイドライン」(令和4年2月公開)において引用された。本手順書により無人運航船の安全性向上と開発者の負担軽減に貢献することが期待される。

さらに、前倒しで実施されることとなったIMOの安全ガイドラインの作成の基礎情報の収集を目的として、自動化レベルの定義に関する調査、SOLAS条約、自動運航船に関する船級ガイドライン、IGCコードにおける冗長性要件等に関する調査及びConOpsに関する調査を実施した。

表 1.4.5 自動運航船のリスク解析手順書に反映された実証実験のリスク解析で得られたハザード例

分類	対策
船上乗組員 (フォールバック)	不適切な避航航路を黙認
	運航モードの切替(例: 港外航行モード⇔港内航行モード)の未実施を把握できない
	運航設計領域外になりフォールバックが必要となるが、船上乗組員が対応できない

リスク解析手順書
概要



- 国際海事機関 (International Maritime Organization、IMO) において、自動運航船の実証実験のための暫定ガイドライン (IMO MASS暫定ガイド) が策定されており、リスク解析が求められている。
- 複数の船級協会や旗国から自動運航船のガイドラインが公開されており、それらにおいてもリスク解析が求められている。更には、本事業において作成中の安全ガイドラインにおいて、無人運航船のリスク解析の実施を明記する予定。
- しかしながら、具体的なリスク解析の方法等については示されていない。
- このため、実証実験の実施や自動運航船や無人運航船の開発において、開発者等の負担が大きくなっている恐れがある。
- 自動運航船や無人運航船の安全性向上&開発者の負担軽減&開発促進に貢献するために、下記を実施：
 - ① 「実証実験のリスク解析手順書」の作成
 - ② 「自動運航船のリスク解析手順書」の作成
 - ③ 無人運航船にリスク解析を適用する場合の課題の整理 (次年度以降に作成する「無人運航船のリスク解析手順書」作成に資するため)

3

図 1.4.2 - 01) リスク解析手順書の概要説明

リスク解析手順書
各手順書の整理



- 各手順書の対象船舶や着眼点等について整理を実施
- リスク解析の「手順」としては同じため、将来的には統合予定

	実証実験リスク解析手順書	自動運航リスク解析手順書	無人運航リスク解析手順書
基ガイド	IMO：MASS暫定ガイド	国交省：自動運航船に関する安全ガイドライン	IMO：MASS安全ガイド（今後、提案・審議予定）
対象船舶	国交省フェーズI, II, III自動運航船	国交省フェーズII自動運航船	国交省フェーズIII自動運航船
着眼点	・シャドー要員へ安全に権限が移行される必要がある	①運航設計領域内では、システムとして安全を確保（対策として冗長化等を第一に検討。それが難しい場合は運航設計領域の縮小） ②システムから船員への権限移行の際に、適切に船員へ権限移行される必要がある ③MRC/MRMは手動操船	①と②は自動運航リスク解析手順書と同じ ③MRC/MRMがどのようなものであるかを考え、適切にMRC/MRMに移行される

（参考：国交省フェーズ）

フェーズI：IoT技術活用船舶

フェーズII：陸上からの操船やAI等による行動提案で、最終意思決定者である船員をサポートする船舶

フェーズIII：自律性が高く、最終意思決定者が船員ではない領域が存在する船舶

4

図 1.4.2 - 02) リスク解析手順書の概要説明

リスク解析手順書
「自動運航船のリスク解析手順書」

- 初期設計時及び詳細設計時に実施するリスク解析に関して、準備すべき資料やリスク解析の手順等について説明
- 各船級ガイドや欧州PJ報告書等に記載のハザードや実証実験のリスク解析レビューで得られたハザードを項目ごとに「考慮すべきハザードの例」として整理
- 国交省「自動運航船に関する安全ガイドライン」（令和4年2月公開）において引用（手順書は船技協HPで先行公開）
- HAZID WS例を次年度追加予定



図1 自動運航船のリスク解析の手順

表1 実証実験のリスク解析で得られたハザード（船級ガイド等には記載無）

分類	ハザード
船上乘組員（フォールバック）	不適切な避航航路を黙認 運航モードの切替（例：港外航行モード⇔港内航行モード）の未実施を把握できない 運航設計領域外になりフォールバックが必要となるが、船上乘組員が対応できない

2.1.10 リスク評価の実施

自動化システムのシステム供給者、システム統合者及びシステム所有者は、リスク評価を協力して実施することにより、設定された運航設計領域における安全性を事前に確認することが重要である。

リスク評価の実施⁸にあたっては、対象となる船舶のハード面やオペレーション等のソフト面を考慮する必要がある。

⁸ 具体的な実施方法についての参考文献例：日本財団助成事業・MEGURI2040に係る安全性評価「自動運航船のリスク解析手順書」（日本船舶技術研究協会・海上技術安全研究所）、URL：https://www.jstra.jp/a4b02/a4b2c01/post_216.html

図2 国交省ガイドにおけるリスク評価の実施要求とリスク解析手順書の引用

5

図 1.4.2 - 03) リスク解析手順書の概要説明

「実証実験のリスク解析手順書」

- 実証実験前に実施するリスク解析に関して、準備すべき資料やリスク解析の手順等について説明（「自動運航船のリスク解析手順書」を実証実験用に修正）
- 実証実験に関するHAZID WSサンプル（一部）の付録付き

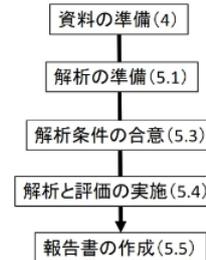


図1 実証実験のリスク解析の手順

ID	ハザード	原因	結果	既存対策	対策前			追加対策	対策後			コメント
					SI	FI	RI		SI	FI	RI	
フェーズ：港外航海												
システム：自動船舶制御装置												
1	行動計画を策定できない	・自動船舶制御装置の故障 ・ソフトウェアの不具合 ・航海計画や自船・他船・環境情報等が入力されない	・避航操船が適切に実行されない ・他船／漂流物等への接近 ・衝突	・船上乗組員（シャドー要員）が危険と判断した場合にフォールバック実施	1	5	6	・予行実験によるバグの除去 ・ソフトウェア開発者が同乗し、ソフトウェア修正を実施 ・予備機の準備	1	4	5	
システム：シャドー要員												
7	フォールバック操作の必要時にフォールバックを実施しない又は遅れる	・フォールバックの必要性を判断できない（HMI） ・システムへの過信 ・過負荷（通常の船員業務に加えてフォールバック要員としての業務がある） ・フォールバック訓練が不十分	・異常が発生したまま自動操船継続 ・他船／漂流物等への接近 ・衝突	・システムに関する講習実施 ・フォールバック対応に関するマニュアル作成、講習及びシミュレーションの実施	2	2	4	・適切なHMI設計 ・人員の追加（船員又はメーカー技師等）	2	1	3	

図2 HAZID WSサンプルの例 6

図 1.4.2 - 04) リスク解析手順書の概要説明

無人運航船にリスク解析を適用する場合の課題の整理

- 無人運航船のリスク解析に特有と思われる課題
 - ✓ 自動運航船の場合は、MRC/MRM=手動操船と考えられるが、無人運航船の場合のMRC/MRMは？（様々なMRC/MRMが考えられる？）
 - 無人運航船のリスク解析では、様々なMRC/MRMを想定し、それに関連するハザード同定をする必要があると考えられる。どのようにして想定するか？どの程度想定すれば良いか？等に関して課題があると思われる。
 - ※1: Minimum Risk Condition (MRC)：事故リスクが十分低い状況での停止状態（自動車の場合）
 - ※2: Minimum Risk Maneuver (MRM)：MRCに至るまでの車両運転制御（自動車の場合）
 - ✓ Acceptance criteriaをどうするか（既存船舶との比較？）
 - リスク比較のために定量化/半定量化が必要であるが、データが少なく定量化が難しい→ベイズ推定が有効?(UL4600*等でも言及有り)
 - ※UL4600：レベル4自律走行車の安全規格
- 無人運航船に関わらず自動運航船/無人運航船のリスク解析の今後の課題
 - ✓ 本事業で検討中のIMO MASS安全ガイドは「船」が対象。各船級ガイドの対象は自動化システム&船
 - 対象（船or自動化システム）や設計段階（初期設計or詳細設計等）等に応じたリスク解析手法の整理・深掘が必要

図 1.4.2 - 05) リスク解析手順書の概要説明

➤ リスク解析の解析支援&レビューで得た知見を活かして、リスク解析の手順や注意事項等を纏めた手順書を作成。また、無人運航船にリスク解析を適用する際の課題整理を実施。

- 実証実験のリスク解析手順書 (作成済み)
- 自動運航船のリスク解析手順書 (作成済み)
- 無人運航船のリスク解析手順書 (今後、作成予定)



**無人運航船の安全性向上と
開発者の負担軽減に貢献！**

自動運航船のリスク解析手順書 (表紙・目次)
※国交省「自動運航船に関する安全ガイドライン」
(令和4年2月公開) において引用

MEGURI 2040 に関する安全評価 成果報告書 別紙
自動運航船のリスク解析手順書

日本船舶技術研究会
海上技術安全研究所

目次

1. 概要	2
2. 主要原則	2
2.1 本手順書の対象とする船舶	2
2.2 本手順書の対象とするリスク解析	2
2.3 用語の定義	2
3. リスク解析の実施手順の概要	3
4. 用意すべき資料	4
4.1 初期設計に対する解析で必要となる資料	4
4.2 詳細設計に対する解析で必要となる資料	5
5. リスク解析の各段階で行う作業	5
5.1 解析の準備	5
5.2 検討領域	6
5.3 解析条件の合意	6
5.4 解析と評価の実施	9
5.4.1 ハザード同定	9
5.4.2 リスクの指標化	10
5.4.3 初期設計に対するリスク解析及び評価	11
5.4.4 詳細設計に対するリスク解析及び評価	11
5.5 報告書	11
付録1 解析対象範囲の確定作業の例	13
付録2 考慮すべきハザードの例	17
付録3 代表的なリスク解析手法の概要	20
参考文献	23

図 1.4.2 - 06) リスク解析手順書の概要説明

参考文献

- 1) IMO: Interim guidelines for MASS trials, MSC.1/Circ.1604, 2019.
- 2) 無人運航船プロジェクト「MEGURI2040」 <https://www.nippon-foundation.or.jp/what/projects/meguri2040>、2022年2月1日参照
- 3) Class NK：自動運航、自律運航に関するガイドライン (Ver.1.0)～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～2020
- 4) Bureau Veritas, Guidelines for Autonomous Shipping, 2019.
- 5) DNV-GL, Autonomous and remotely operated ships, 2018.
- 6) MUNIN, D9.2, Qualitative assessment, FP7 GA-No 314286, 2015.
- 7) EMSA: Study of the risks and regulatory issues of specific cases of MASS – Part 1, Report No. 2019-1296, Rev.0, 2020.
- 8) EMSA, Study of the risks and regulatory issues of specific cases of MASS – Part 2, Report No. 2019-0805, Rev.0, 2020.
- 9) USTRAT, AUTOSHIP D2.4a – Risk assessments, fail-safe procedures and acceptance criteria The Inland Waterway vessel analysis, 2020.

1.4.2 総合シミュレーションシステムの開発

1.4.2.1 事業計画

無人運航船の安全性評価等事業の全体計画を踏まえた今年度の年度計画を表 1.4.6 に示す。

表 1.4.6 総合シミュレーションシステムの開発の年度計画

項目	②総合シミュレーションシステムの開発
全体計画	<ul style="list-style-type: none"> ■ 安全性評価に使用される操船シミュレータ等ツールに必要な機能を検討し、総合シミュレーションシステムとして整備 ■ 避航、着棧および遠隔操船を対象とした安全性の評価法の検討と、試案の作成。
年度計画	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動化システムの評価 ■ ファストタイムシップシミュレータ (FTSS: Fast Time Ship Simulator) の構築 ■ 操船シミュレータの開発 ■ その他システム等の検討

1.4.2.2 事業成果

今年度の実施事項（事業成果）を表 1.4.7 に示す。

また、この成果の概要を以下に示す。

なお、事業実施中に、FTSS の名称を、「ファストタイムシップシミュレータ:Fast Time Ship Simulator」に変更したので、以降 FTSS の名称は、「ファストタイムシップシミュレータ」とする。

表 1.4.7 総合シミュレーションシステムの開発の今年度の実施事項（事業成果）

項目	②総合シミュレーションシステムの開発
今年度の実施事項（事業成果）	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動化システムの評価 <ul style="list-style-type: none"> ➢ テストデータベースの構築とテストシナリオ作成手法の確立 ➢ 評価法について、事業者との意見交換等を実施し確立 等 ■ ファストタイムシップシミュレータ (FTSS: Fast Time Ship Simulator) の構築 <ul style="list-style-type: none"> ➢ FTSS で自動離着棧アルゴリズムの実行と評価の実施 ➢ 複数の自動航行アルゴリズムを用いて FTSS を試行し課題を抽出 ➢ 事業者等にプロタイプを提供したうえでヒアリングを実施し機能の追加や要望を整理 ➢ 上記に基づいたシステムの改良を実施 ■ 操船シミュレータの開発 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 新操船シミュレータの構築及びセンサ検証システム等各種シミュレータの仕様作成 ➢ 既存のシミュレータを用いてオーバーライド等の基礎実験の実施し、シミュレーター評価に必要な課題を整理 等 ■ その他システム等の検討 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 安全性評価に必要な機能の抽出とその機能の実装を検討し、基本となるハードウェアを整備 等

(1) 成果の概要

本調査研究では、①自動化システムの評価、②評価時に用いるテストプラットフォームとしてのファストタイムシミュレータ（FTSS）及び操船シミュレータ（SHS：Ship Handling Simulator）を中心とする総合シミュレーションシステムの構築を進めた。

1) 自動化システムの評価

自動化システムの評価では、自動車のシナリオベースアプローチに倣い船用の自動化システムの安全性評価手法の検討した。図 1.4.3 - 01) から - 08) に安全性評価の手順を示す。

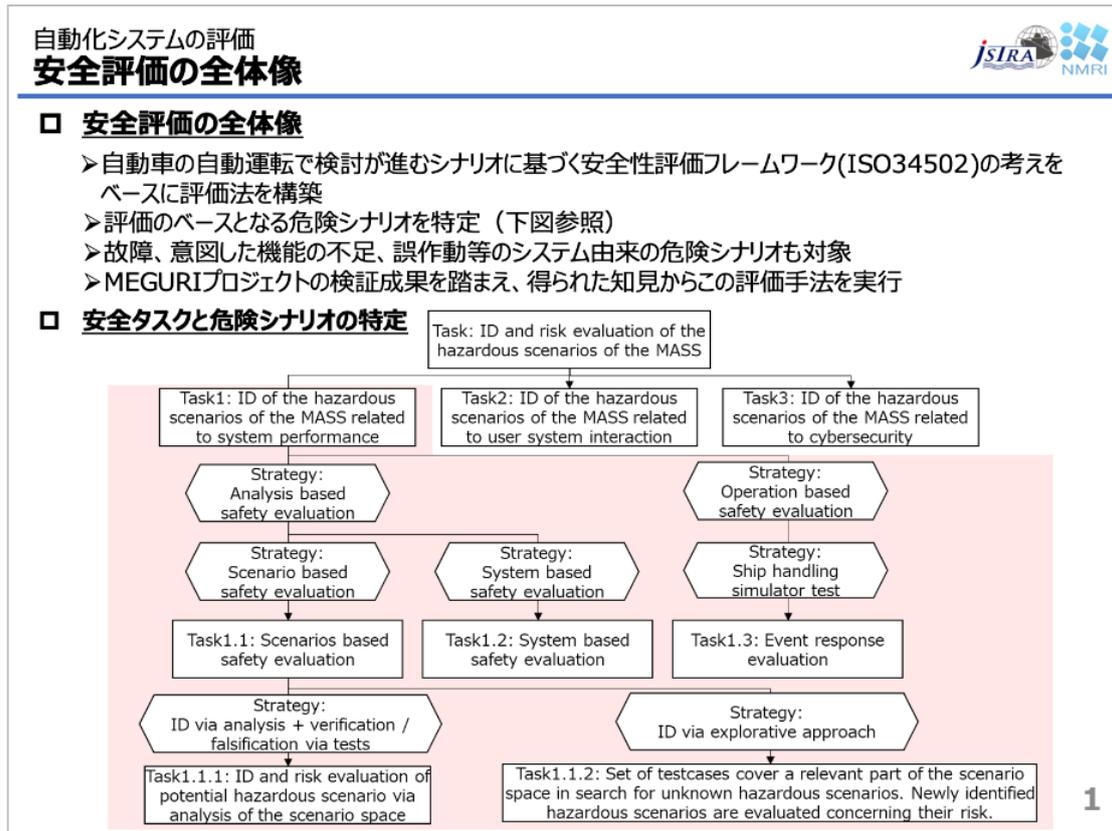


図 1.4.3 - 01) 自動化システムの評価の概要説明

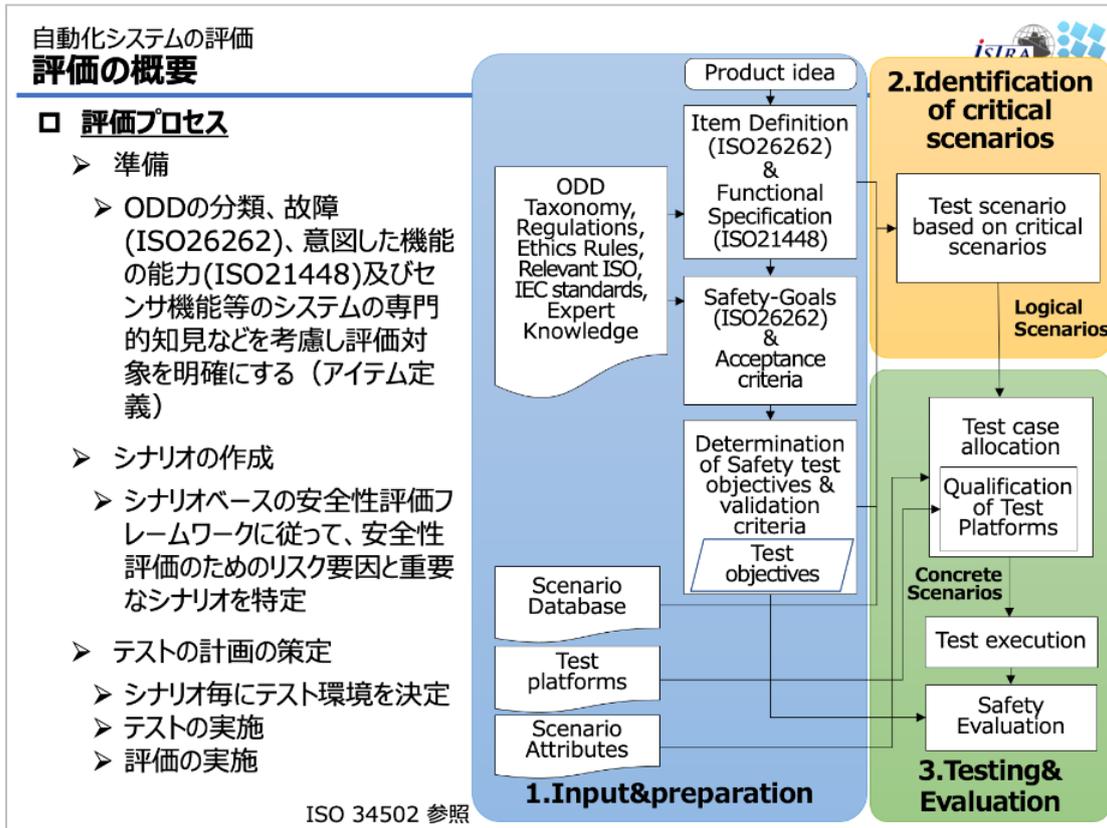


図 1.4.3 - 02) 自動化システムの評価の概要説明

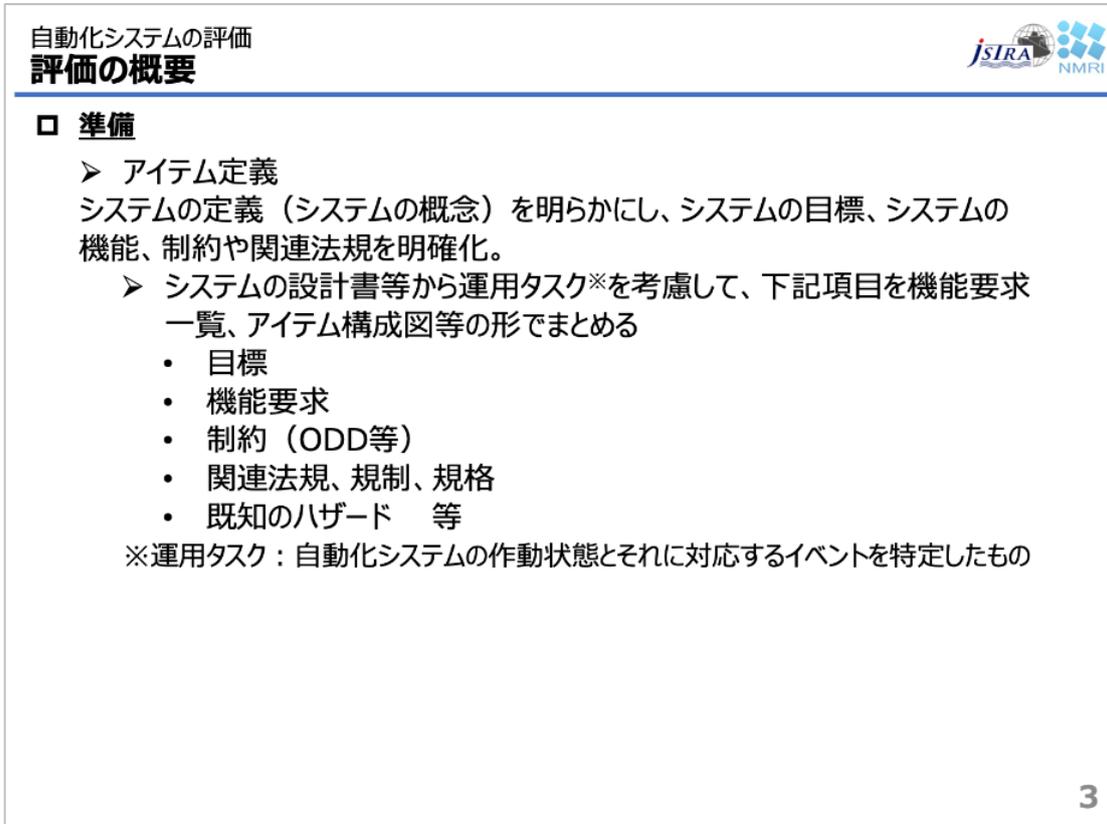


図 1.4.3 - 03) 自動化システムの評価の概要説明

□ シナリオの作成

▶ 通常シナリオによるリスク要因の特定

- アイテム定義に従い、対象とするシナリオ範囲を設定
- シナリオ範囲をカバーするシナリオを通常シナリオとする
- シミュレーション等の手法を活用し、シナリオ範囲を網羅的に検証
- 体系的に特定するためには構造的なアプローチを用いる必要がある
⇒物理原則に基づくシナリオベースアプローチ

▶ 重要シナリオの導出

- 通常シナリオのうち、避航操船や離着岸操船の困難度が大きいなど操船由来の重要ハザードが存在する危険シナリオ (Task1.1)
- 故障、誤作動等のシステム由来の重要ハザードをもつ危険シナリオ (Task1.2)
- 必要に応じて上記危険シナリオ以外のフォールバックを含めた緊急時の対策を表現する危険シナリオ (Task1.3)

図 1.4.3 - 04)自動化システムの評価の概要説明

□ シナリオの作成

物理原則に基づくシナリオベースアプローチ

- ▶ シナリオベースでシステムの安全性を検証
- ▶ 運転を実行するために必要なプロセスを物理原則の異なる3要素「認知：認識外乱、判断：交通外乱、操作：船体運動外乱」に分解し、プロセス毎に処理結果に影響を及ぼす要因をシナリオ体系として構造化
⇒検証範囲の十分性の確保

自動車（自動運転の安全性評価フレームワークより）		船舶への応用	
プロセス	外乱	物理原則	
認知	認識外乱	センサメカニズムに応じた原理的な外乱(例)カメラ：可視光、ミリ波：電波、LiDAR:赤外線	他船の検出や認識誤差、自船の位置・速度等を把握するセンサに応じた原理的な外乱
判断	交通外乱	道路構造＋交通参加者との位置関係といった幾何学的観点と交通参加者の動作	地理的条件及び交通流による遭遇状況の再現と他船の行動
操作	車両運動外乱※	路面、外界からタイヤ及びボディに作用する力学的な外乱	気象・海象、載荷状態等により船体に作用する力学的な外乱

※船舶では船体運動外乱 5

図 1.4.3 - 05)自動化システムの評価の概要説明

□ テスト計画の策定

評価は、FTSS（ファストタイムシミュレータ）やSHS（操船シミュレータ）のような仮想環境、実機により実施。各テスト環境は精度、再現性に関するそれぞれの要件を満たす必要がある

- シナリオに適したテスト環境の選択
 - ✓ FTSS（ファストタイムシミュレータ）及びSHS（フルミッション型操船シミュレータ）は、実船で実行するには危険なシナリオ及び複雑なシナリオの実行が可能である。
 - ✓ FTSSは多数のシナリオの実行が可能である。
 - ✓ SHSは操船者の経験に基づいた判断が可能である。
 - ✓ 実機でのテストは、実システムの性能との関連性を考慮した評価が可能である。ただし、周辺条件等の入力、多少ランダムに変化する。

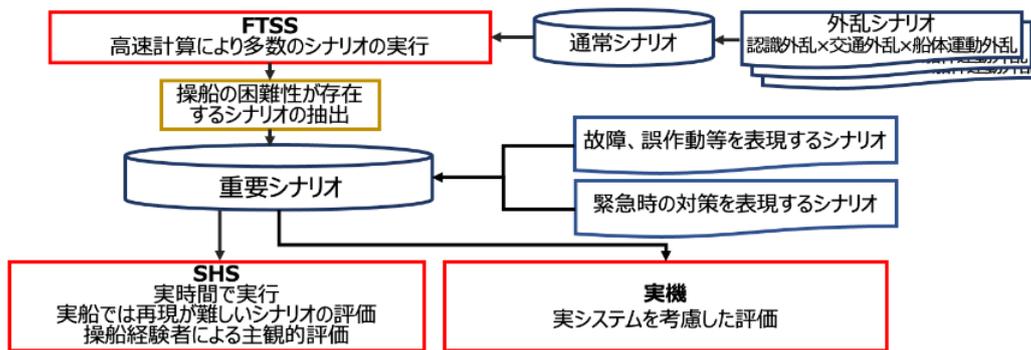


図 1.4.3 - 06) 自動化システムの評価の概要説明

□ テスト計画の策定

- テスト環境の機能要件
 - FTSS/SHS 共通
 - 合理的な許容範囲内で、同一の反復可能かつ再現可能な結果を提供すること。
 - 必要な機能を十分な精度で提供すること。
 - 対象となる自動化システムの接続。
 - 対象に合わせたセンサ、アクチュエータ、操縦運動モデルの接続もしくは選択。
 - FTSSとSHSで連携した評価が実施可能（同一シナリオ、モデルの使用等）。
 - FTSS
 - 実時間より十分に短い時間でシミュレーションを実施可能であること。
 - 一定の条件下で網羅的な検証が可能となる。
 - SHS
 - 船舶の操船環境を十分な精度で再現すること。
 - 人を考慮した評価を実施。例えば、専門家（有海技資格者等）によるエキスパート判断による検証が可能となる。
 - 緊急時のフォールバック、既存船舶と併存する海域での操船行動評価が可能となる。
 - 操縦運動モデル
 - 合理的な許容範囲内で、同一の反復可能かつ再現可能な結果を提供すること。
 - 必要な機能を十分な精度で提供すること。

図 1.4.3 07) 自動化システムの評価の概要説明

□ システムの評価

- 通常シナリオについては、法規の遵守など限定された項目を対象にした安全性の評価と操船困難度の判定を実施。
- 重要シナリオについては、安全性評価を実施。
- 評価項目及び合否基準は、アイテム定義等に基づきテストシナリオの策定時に決定される。

8

図 1.4.3 08) 自動化システムの評価の概要説明

上述の評価の手順に従って、自動避航操船、自動着棧及び遠隔監視・操船システムの評価法について、検討を行った。

以下、自動避航操船、自動着棧及び遠隔監視・操船システムの順に検討結果を示す。

2) 自動避航システムの評価

図 1.4.4 - 01) から - 08) に、自動避航システムの評価手順を示す。

□ アイテム定義

- (GOAL) システムの目標
円滑で安全な避航操船の実現：他船と安全な離隔距離を確保し、自船の操船が他船に不安を与えないものであること。
- 機能要件の設定
 - MASSガイドラインの一般機能要件
 - 自動避航操船の実現に必要な機能要件
 - 船上センサシステムにより自船と周囲の障害物等航行環境情報の収集できること。
 - 自動避航操船システムは、センサ情報に基づき障害物等を回避する航行ができること。
 - 船舶制御装置は、自動避航操船システムからの操船指令に基づき、アクチュエータに指示を与え、当該船を自動避航操船システムからの操船指令に沿った船の誘導ができること。
- 運用上の各種条件
 - ODD
 - 関係法規
- 運用タスク
 - 船上センサシステムは、自船の各種状態量と、周囲の障害物等に関する情報、自然環境情報を収集。
 - 障害物等との衝突の危険を評価し、避航操船の要否を判断。
 - 避航操船が必要との判断の場合、避航計画航路を設定し障害物等を回避。
 - 回避完了を判断し、計画航路への復帰する操船の実施。
 - 計画航路への復帰を判断し、通常航行へ移行。

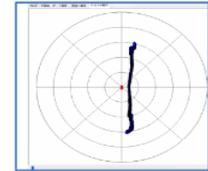
9

図 1.4.4 - 01) 自動避航システムの評価の概要説明

□ 交通外乱

航路、可航幅等の地理的条件、他船の配置・行動の体系的な分析により生成される。

- 避航操船の基本機能確認用シナリオ
 - 1対1のテストシナリオ
- AISデータのパターン分析に基づいたシナリオ
 - 海技研が所有するAISデータによる見合い関係DBの構築
 - ✓ 頻繁に発生する遭遇シナリオ ✓ 操船が困難な遭遇シナリオ
- AIS非搭載船を含め対象海域の交通流を再現したシナリオ
 - 499GT以下の貨物船
 - ⇒東京湾等の陸上の既存もしくは新規設置によるレーダ局からのデータ取得、海域を航行する船舶のレーダ情報の取得（航行船舶に同乗しての調査と調査船等を航路上に設置しての定点観測）。
 - ⇒東京湾口等での通航船舶の目視・レーダ観測により取得したAIS搭載船とAIS非搭載船の航行船舶の割合を利用。
 - 漁船・プレジャーボート
 - ⇒漁協やマリーナへのヒアリングにより、船種、隻数、航行パターンを定める
 - ⇒499GT以下の貨物船と同様にレーダによりデータを取得。
- その他
 - 海難事故解析に基づいたシナリオ群の作成。
 - 避航操船関連の論文等に基づいたシナリオ群の作成。



追いつき船の相対航跡図



解析海域と1船に注目した遭遇船の抽出結果

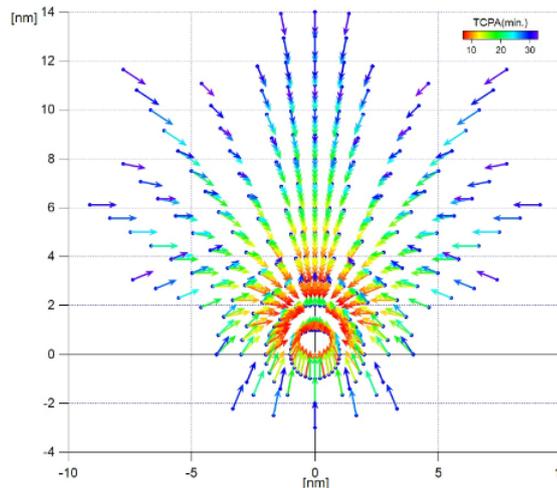
10

図 1.4.4 - 02)自動避航システムの評価の概要説明

□ 交通外乱

避航操船の基本機能確認用シナリオ

- 1対1のシナリオ作成
 - センサの検知範囲、見合い関係の成立等の条件を考慮して相手船の相対位置、針路を網羅的に設定
- ◆ 自船（原点に配置）
 - 船速12kt、進路0.0deg
 - ◆ 他船
 - 船速：6kt,9kt,12kt,15kt,18kt
 - 配置する範囲：1nm毎に14nmまで
 - 自船との相対方位:11.25deg毎に360deg
 - 他船の進路：11.25deg毎に360deg
 - TCPA：10min.-30min.
 - DCPA：500m以内



11

図 1.4.4 - 03)自動避航システムの評価の概要説明

□ 交通外乱

AIS非搭載船を含め対象海域の交通流を再現したシナリオ

- ① AIS情報からAIS搭載船同士の見合い関係の抽出
- ② AIS情報から対象海域の交通流シミュレーション実施のためのデータの収集
 - ・ 全航跡データから船種船型毎の主要航路ODデータ作成
- ③ AIS情報のみの交通流シミュレーションの実施
 - ・ シミュレーション結果データによる見合い関係の内容とAIS情報から得たデータの比較、AIS情報に基づくシミュレーション結果の見合い関係の抽出と検証
- ④ AIS非搭載船を考慮した交通流シミュレーションの実施
 - ・ AIS情報から得られたODデータにAIS搭載船とAIS非搭載船の航行船舶の割合に基づき、AIS非搭載船分の船舶数を増やし交通流シミュレーションの実施
- ⑤ ④の結果からのシナリオの抽出
 - ・ 交通流シミュレーション結果から想定される見合い関係を抽出、パターン化し、①と比較して結果の検証
- ⑥ 漁船およびプレジャーボートのシナリオへの組み込み
 - ・ ヒアリング結果により、対象海域への影響、時刻を考慮して条件に対応した一般船のシナリオを抽出し、これに漁船、プレジャーボートの航跡を加える形でシナリオを構成
- ⑦ レーダから取得したデータで内容の検証を実施
 - ・ レーダから得られたデータによるシナリオデータの検証

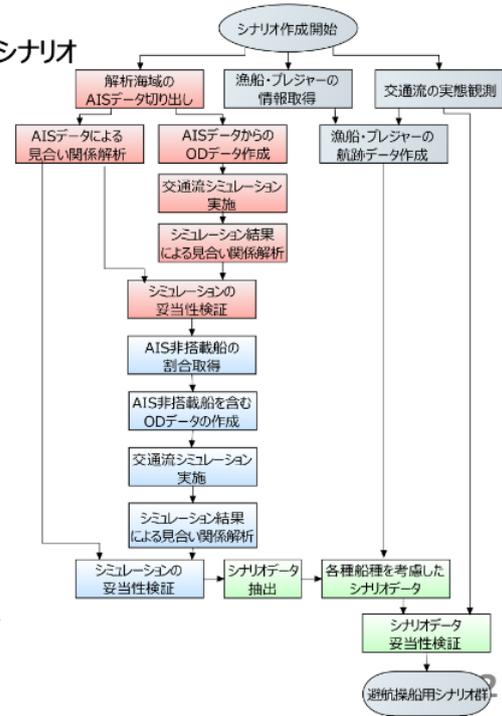


図 1.4.4 - 04)自動避航システムの評価の概要説明

□ 認識外乱

自動航行システムが対象物を認識する状況において認識性能に悪影響を与えるものをいう。認識外乱シナリオは、外乱を引き起こす要因と、外乱を生じるセンサの原理に基づいて生成される。

- 対象となる船舶のセンサ
 - ・ 自船 : GPS、風向・風速計、傾斜計、ジャイロコンパス 等
 - ・ 周辺状況把握 : レーダ、AIS、カメラ、ライダ、ミリ波レーダ 等
- 認識外乱要因の分類
 - ・ 発生場所を考慮し次の4つに分類
 - ・ 分類例 (カメラ)
 - ⇒自船 : 動揺による姿勢変化、視野内の自船構造物 等
 - ⇒センサ : センサ設置位置、レンズのゆがみ、防水窓の雨滴や汚れ 等
 - ⇒環境 : 海面の反射、天候 (降雨、霧、降雪等)、逆光、照度 等
 - ⇒対象物 : サイズ、距離、相対位置、背景の影響 等
- 外乱を生じるセンサの原理
 - ・ 信号の強弱、ノイズ、コントラストの低下、反射、屈折、減衰、ブレ 等
 - ・ ARPAデータのロストや乗り移りによる検出されなからばならないデータの欠落等

図 1.4.4 - 05)自動避航システムの評価の概要説明

□ 船体運動外乱

船体に力学的な影響を与えるものをいう。シナリオは、船舶の操縦性能、停止性能を考慮し、被制御船の応答を模擬して作成する。

- 船体運動外乱要因の分類
 - 発生場所を考慮し次の2つに分類
 - ⇒自船：船種、船長、載荷状態等
 - ⇒環境：海象（波高、波向、潮流）、気象（風速、風向）、水深等
- 環境条件の設定
 - 風速、波高、流速は、開発者が定めるODDに基づく最大値以下
 - 風速、波高、流速の最大値もしくは最大値付近の値とし、対象海域の顕著な風向、波向、流向の角度の範囲内を約22.5度刻みで設定し組み合わせにより設定
 - 波長は、波長船長比で1.0を中心に波高も考慮して設定

14

図 1.4.4 - 06)自動避航システムの評価の概要説明

- 通常シナリオのうち、操船の困難度が大きいなど操船由来の重要ハザードが存在する危険シナリオ
 - ハザード：複数の障害物等の接近により、衝突に危険がある。
 - リスク要因：複数の障害物等との衝突の恐れ（交通外乱）←通常シナリオより抽出
 - 安全目標：全ての障害物等との衝突回避条件をクリアした、安全な衝突回避。
 - 安全対策：障害物等の検出、状況認識、回避操船が可能な自動化システムの導入。
 - テスト条件：対象海域の交通流の観測を行い、想定される外乱の条件を設定。
 - 試験目的：離隔距離や衝突に危険度指標から設定された障害等との衝突が回避されたことを確認。
- 故障、誤作動等のシステム由来の重要ハザードをもつ危険シナリオ
 - ハザード：船上で画像処理による障害物の情報が収集できない。
 - リスク要因：センサの故障
 - 安全目標：状況認識と操船判断に必要な情報を確保する。
 - 安全対策：有人の場合：人によるフォールバック、無人の場合：センサの冗長化。
 - テスト条件：センサ情報の遮断
 - 試験目的：無人の場合：状況認識と操船判断に必要な情報が得られることを確認。
- 必要に応じて、上記危険シナリオ以外のフォールバックを含めた緊急時の対策を表現する危険シナリオ

15

図 1.4.4 - 07)自動避航システムの評価の概要説明

□ テスト環境を決定・テストの実施・評価

【机上審査】

- 避航操船に係る設計の妥当性の評価（機能要求仕様等）

【FTSSで実施】

対象：通常シナリオ

- 衝突（ニアミス）の有無の確認
 - ・ 自船にバンパーモデルあるいは見合い関係毎の最小離隔距離を設け、この領域内に船舶が入っていないことを確認。
 - ・ バンパーモデル、最小離隔距離は、自動避航システムの設定値や交通流分析、論文等を参考に設定
- 避航方法
 - ・ COLREGを考慮した避航方法の遵守程度
 - ・ 1対1の場合は、完全遵守
 - ・ 複数遭遇の場合は、見合い関係を考慮して、遵守状況を評価
 - ・ 避航操船時の余裕を評価するOZTの基づく評価あるいは離隔距離とベアリング変化による評価領域図を用いた評価等を検討

⇒ 重要シナリオ（操船由来の重要ハザードが存在する危険シナリオ）の抽出

【SHSで実施】

対象：重要シナリオ

- エキスパートによる避航方法の評価
- システムの範囲外となる場合や緊急時のシナリオは、フォールバック等の対応を評価
⇒ 評価を支援するため操船者の状況判断に必要な時間等のHumanModelを検討

16

図 1.4.4 - 08)自動避航システムの評価の概要説明

3) 自動着棧操船システムの評価

図 1.4.5 - 01) から - 05)に、自動着離棧システムの評価手順を示す。

□ アイテム定義

- (GOAL) システムの目標
円滑で安全な離着棧操船の実現：安全な離着棧計画の作成と、開始地点から終了地点まで自船を安全に誘導すること。
- 機能要件の設定
 - ・ MASSガイドラインの一般機能要件
 - ・ 自動離着棧操船の実現に必要な機能要件
 - ・ 船上センサシステムによる自船と周囲の障害物等および自然環境情報の収集できること。
 - ・ 自動離着棧システムは、地形や自然環境条件を元に、船体の姿勢を含めた離着棧計画航路を作成し、それに基づき離着棧操船の終了条件の状態に船舶を誘導できること。
 - ・ 船舶制御装置は、自動離着棧システムからの操船指令に基づき、アクチュエータに指示を与え、当該船を自動離着棧システムからの操船指令に沿った船の誘導ができること。
- 運用上の各種条件
 - ・ ODD
- 運用タスク
 - ・ 船上センサシステムは、自船の各種状態量と周囲の障害物等に関する情報、自然環境情報を収集。
 - ・ 自動離着棧システムは、当該棧橋の地理的条件や外乱条件から、離着棧計画航路を策定。
 - ・ 自動離着棧システムは、離着棧計画航路に基づいて当該船舶を誘導し、終了条件により自動離着棧操船を終了。

17

図 1.4.5 - 01)自動着離棧システムの評価の概要説明

□ 船体運動外乱

船体に力学的な影響を与えるものをいう。シナリオは、船舶の操縦性能、停止性能を考慮し、被制御船の応答を模擬して作成する。

- 船体運動外乱要因の分類
 - 発生場所を考慮し次の2つに分類
 - ⇒自船：船種、船長、載荷状態 等
 - ⇒環境：海象（波高、波向、潮流）、気象（風速、風向）、水深 等
- 環境条件の設定
 - 風速、波高、流速は、開発者が定めるODDに基づく最大値以下
 - 風速、波高、流速の最大値もしくは最大値付近の値とし、対象海域の顕著な風向、波向、流向の角度の範囲内を約22.5度刻みで設定し組み合わせにより設定
 - 波長は、波長船長比で1.0を中心に波高も考慮して設定

18

図 1.4.5 - 02)自動着離棧システムの評価の概要説明

□ 認識外乱（自動避航システムの評価と同様に設定）

自動航行システムが対象物を認識する状況において認識性能に悪影響を与えるものをいう。認識外乱シナリオは、外乱を引き起こす要因と、外乱を生じるセンサの原理に基づいて生成される。

- 対象となる船舶のセンサ
 - 自船：GPS、風向・風速計、傾斜計、ジャイロコンパス 等
 - 周辺状況把握：レーダ、AIS、カメラ、ライダ、ミリ波レーダ 等
- 認識外乱要因の分類
 - 発生場所を考慮し次の4つに分類
 - 分類例（カメラ）
 - ⇒自船：動揺による姿勢変化、視野内の自船構造物 等
 - ⇒センサ：センサ設置位置、レンズのゆがみ、防水窓の雨滴や汚れ 等
 - ⇒環境：海面の反射、天候（降雨、霧、降雪等）、逆光、照度 等
 - ⇒対象物：サイズ、距離、相対位置、背景の影響 等
- 外乱を生じるセンサの原理
 - 信号の強弱、ノイズ、コントラストの低下、反射、屈折、減衰、ブレ 等
 - ARPAデータのロストや乗り移りによる検出されなからばならないデータの欠落等

□ 交通外乱

航路、可航幅等の地理的条件、他船の配置・行動の体系的な分析により生成される。

- 棧橋、岸壁、アプローチ海域等の幾何学的形状
- 他船は1船程度配置し、避航を含めた離着棧操船の実施、中断等の対応を確認 19

図 1.4.5 - 03)自動着離棧システムの評価の概要説明

- 通常シナリオのうち、離着棧操船の困難度が大きいなど操船由来の重要ハザードが存在する危険シナリオ
 - ハザード： 棧橋との衝突。
 - ・ リスク要因： 風や潮流により、棧橋に打ち寄せられる（船体運動外乱）
 - ・ 安全目標： 安全な対象船の着棧位置への誘導。
 - ・ 安全対策： ODDの自然環境条件内で、船舶の誘導、位置及び姿勢を保持できる船舶制御装置の導入。
制御できないと判断した場合に、安全に開水面に、誘導する機能
 - ・ テスト条件： ODDで設定された外乱条件と、当該海域で想定される想定外乱条件を設定。
 - ・ 試験目的： ODD内の外乱下での試験を行い、着棧できることを確認する。
- 故障、誤作動等のシステム由来の重要ハザードをもつ危険シナリオ
 - ハザード： 船上で位置情報が取得できない。
 - ・ リスク要因： GPSの信号喪失（故障、性能限界、誤使用）
 - ・ 安全目標： 安全な対象船の着棧位置への誘導。
 - ・ 安全対策： センサの冗長化。
 - ・ テスト条件： 着棧操船システムへの入力の内、GPS信号を遮断し試験を実施。
 - ・ 試験目的： GPS信号が喪失した場合でも、安全に対象船の自動着棧操船位置へ誘導できることを確認。
- 必要に応じて、上記危険シナリオ以外のフォールバックを含めた緊急時の対策を表現する危険シナリオ

20

図 1.4.5 - 04)自動着離棧システムの評価の概要説明

ロ テスト環境を決定・テストの実施・評価

【机上審査】

- 離着棧操船に係る設計の妥当性の評価（機能要求仕様等）
 - ・ 離着棧操船計画作成：与えられた外乱等の条件に基づき作成された離着棧操船計画の妥当性を評価。

【FTSSで実施】

対象：通常シナリオ

- 航行モードの変更（通常(港内)⇒着棧、離棧⇒通常(港内))
 - ・ 航行モードの切り替え時の条件との適合、条件から外れる場合の対応の確認
- 航路追従、終了条件判断、障害物（他船等）の対応
 - ・ 離着棧操船計画からのずれ、離着棧操船中止判断条件、位相面（横軸が停止位置までの距離、縦軸が移動速度）軌跡を用いた操船余裕、停止位置での自動離着棧終了条件の達成度で評価

⇒ 重要シナリオ（操船由来の重要ハザードが存在する危険シナリオ）の抽出

【SHSで実施】

対象：重要シナリオ

- システムの範囲外となる場合や緊急時のシナリオは、フォールバック等の対応を評価

操縦運動モデルについて：離着棧操船では、多くの要素の影響を複合的に受けるため複雑な応答となる。そのため、シナリオで表現する外乱の項目（風の影響、浅水影響等）と操縦運動モデルの対応を理解した上でシミュレーションを実施する必要がある。

21

図 1.4.5 - 05)自動着離棧システムの評価の概要説明

4) 遠隔監視・操船システムの評価

図 1.4.6 - 01) から - 07) に、遠隔監視・操船システムの評価手順を示す。

遠隔監視・操船システムの評価
安全性評価の準備

□ アイテム定義

- (GOAL) システムの目標
円滑で安全な遠隔監視・操船の実現：遅滞のない送受信が実施され、遠隔地の監視者・操作者に必要な情報の提供と、必要に応じた適切な操船が行われること。
- システムの設定
 - 遠隔監視・操船システムのシステム構成は、大別すると船上センサシステム、**船陸間通信装置、遠隔監視装置(情報表示)、遠隔操船装置**、船上の船舶制御装置となる。
 - 意思決定（認知、判断、操船）を人が実施する場合、構成するシステムに対する評価を中心に検討。
 - 意思決定を自動化システムが実施する場合、自動避航システムの評価及び自動離着岸システムの評価に構成するシステムに対する評価（遠隔監視・操船特有の要素）を組み合わせた評価を検討。
 - 操船制御方式は2種類あり、舵角、エンジン回転数等を指示する直接制御方式と計画航路を指定（Way Pointの指示）する間接制御方式となる。

22

図 1.4.6 - 01) 遠隔監視・操船システムの評価の概要説明

遠隔監視・操船システムの評価
安全性評価の準備

□ アイテム定義

- 機能要件の設定
 - MASSガイドラインの一般機能要件
 - 遠隔監視・操船の実現に必要な機能要件
 - 船上センサシステムによる制御対象船と周囲の障害物および自然環境情報の収集できること。
 - 遠隔操船に必要な情報および操船指令を十分な品質で、遅滞や欠報無く送受信できること。
 - 遠隔監視装置で、状況認識と操船判断に必要な情報を的確に表示できること。
 - 遠隔操船装置で、操船指令を遠隔操船者の負担や誤りなく入力できること。
 - 船上で受信した操船指令に基づきアクチュエータ等への指令値を適切に遅滞なく設定できること。
 - 制御対象船の船舶制御装置の故障等が発生した場合、操船権等の切り替えが遠隔地および船上から実施できること。
 - 航海系以外にも遠隔操船を実施する上で一般機能要件も含めて必要な機能要件はあるが、別途検討を行う。

23

図 1.4.6 - 02) 遠隔監視・操船システムの評価の概要説明

□ アイテム定義

- 運用上の各種条件
 - ODD
- 運用タスク
 - 船上センサシステムは、自船の各種状態量と、周囲の障害物に関する情報、自然環境情報および景観画像を収集する。
 - 船陸間通信装置は、船上と遠隔制御施設にあり、この間の情報の授受を担当する。
 - 遠隔監視装置は、遠隔操船者への情報を提供及び提供する情報をもとに判断支援情報を作成する。
 - 遠隔操船装置により遠隔操船者の操船指令の入力を受け付ける。
 - 緊急時等に船上の運航システムと遠隔操船者間の船舶の制御権の委譲が行われる。
 - 船上の船舶制御装置は、遠隔操船者からの操船指令に基づき、舵等のアクチュエータに指令値を送り、遠隔操船者の意図に基づく操船を実現する。
 - (遠隔監視では、上述の操船系の機能の他、火災、浸水等操船以外のタスクの対応、サイバーセキュリティへの対応、貨物に関わる監視、エンジンを含む推進システムの監視等が行われており、これらの運用タスクの検討も必要である。)

図 1.4.6 - 03) 遠隔監視・操船システムの評価の概要説明

シナリオの作成：通常シナリオによるリスク要因の特定

- 対象システムのアイテム定義から、想定されるハザードの特定を行い、リスクが許容範囲内になる対策を含めた解析を行い、危険事象として洗い出し、リスク要因を特定する。
- 構成するシステムに対する評価（遠隔監視・操船特有の要素）

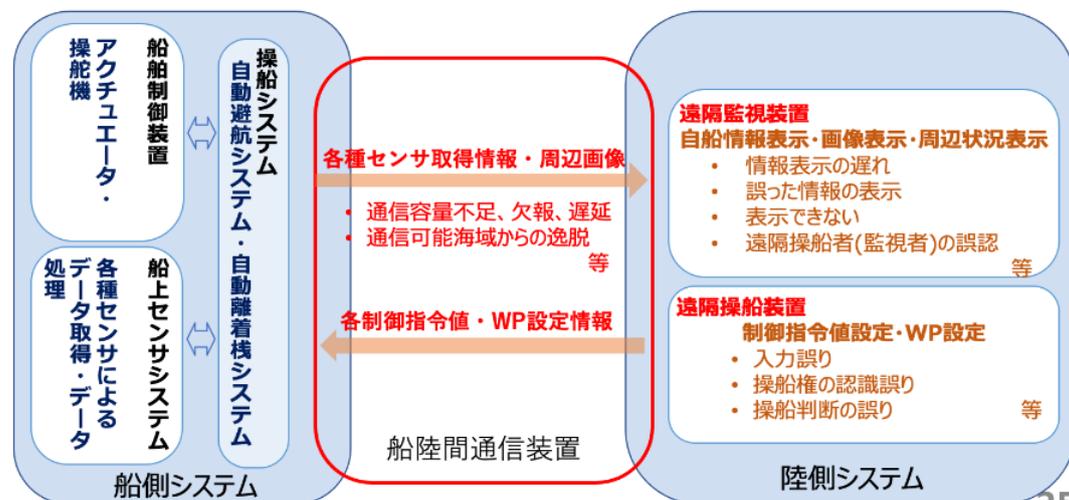


図 1.4.6 - 04) 遠隔監視・操船システムの評価の概要説明

- 通常シナリオで抽出したリスク要因を対象に、安全対策を評価するシナリオ (重要シナリオ)を作成。
 - リスク要因：通信容量不足、欠報、遅延
 - ・安全目標：必要な情報量を伝送する容量確保。
 - ・安全対策：高品質な通信媒体を利用。情報量の圧縮等による伝送方法の工夫。
 - ・テスト条件：指定された通信システムでの送受信。
 - ・試験目的：当該環境で必要な情報を得られることを確認。
 - リスク要因：遠隔操船者(監視者)の誤認。
 - ・安全目標：遠隔操船者による状況認識に必要な情報の確保
 - ・安全対策：HMIの改良、データ処理によるわかりやすい指標に変更。
 - ・テスト条件：評価対象の遠隔監視・操船装置を設定し、これに情報を表示して試験を実施。
 - ・試験目的：提示された情報で操船に必要な状況認識が可能かを確認する。
 - リスク要因：遠隔操船者入力ミス
 - ・安全目標：適切な操船指令の入力の確保
 - ・安全対策：HMIの改良、入力範囲の制限等フルブーフなシステムを採用等
 - ・テスト条件：評価対象の遠隔監視・操船装置を設定し、これに情報を表示して試験を実施
 - ・試験目的：提示された情報と入力デバイスで適切な指令が可能かを確認する。

26

図 1.4.6 - 05) 遠隔監視・操船システムの評価の概要説明

□ テスト環境を決定・テストの実施・評価

- 船側システム（避航操船、離着岸操船、各種センサ）は、各システムの評価を使用。
- 安全対策の妥当性を、机上審査、FTSS/SHS、実機で評価。通信機能が評価対象に含まれる場合、FTSSはテスト環境に適さない。

【机上審査】

- 機能要求仕様等で評価可能な項目については、提出された論拠を示す資料により評価。

【SHSで実施】

対象：重要シナリオ

- 緊急時のシナリオは、機能要件をテストする機能確認シナリオをベースとし、このシナリオに、リスク要因を起こすイベントを入れておき、このイベントに対処し、安全な状況（MRC）を確保できるかを判断基準とする。
- システムの範囲外となる場合や緊急時のシナリオは、フォールバック等の対応を評価
(新)操船シミュレータでは評価対象の遠隔監視・操船機器(実機)を接続し航行環境を航行環境を再現した評価が可能。

通信の遅延や欠損を再現するプログラムにより、海技研所内でLAN接続されたシミュレータ間で無線通信の疑似的な再現が可能。通信障害が関係する評価基準の検討等が実施可能。

27

図 1.4.6 - 06) 遠隔監視・操船システムの評価の概要説明

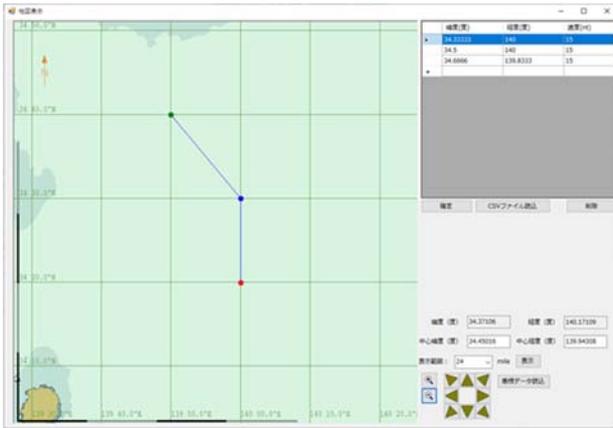
➤ 通常シナリオで抽出したリスク要因を対象に、安全対策を評価するシナリオ (重要シナリオ)を作成。

- リスク要因： 通信容量不足、欠報、遅延
 - ・ 安全目標： 必要な情報量を伝送する容量確保。
 - ・ 安全対策： 高品質な通信媒体を利用。情報量の圧縮等による伝送方法の工夫。
 - ・ テスト条件： 指定された通信システムでの送受信。
 - ・ 試験目的： 当該環境で必要な情報を得られることを確認。
⇒通信環境の問題なので、「実機」で、実システムを対象に試験を行う。通信環境を再現できれば海上でなくても良い。
- リスク要因： 遠隔操船者(監視者)の誤認。
 - ・ 安全目標： 遠隔操船者による状況認識に必要な情報の確保
 - ・ 安全対策： HMIの改良、データ処理によるわかりやすい指標に変更。
 - ・ テスト条件： 評価対象の遠隔監視・操船装置を設定し、これに情報を表示して試験を実施。
 - ・ 試験目的： 提示された情報で操船に必要な状況認識が可能かを確認する。
⇒評価対象が、遠隔監視・操船装置であり、遠隔操船者が評価者となる。また、多様な情報取得を検討するため、遠隔監視・操船装置とつないだ「SHS」を割り当てる。
- リスク要因： 遠隔操船者入力ミス
 - ・ 安全目標： 適切な操船指令の入力の確保
 - ・ 安全対策： HMIの改良、入力範囲の制限等フルプルーフなシステムを採用等
 - ・ テスト条件： 評価対象の遠隔監視・操船装置を設定し、これに情報を表示して試験を実施
 - ・ 試験目的： 提示された情報と入力デバイスで適切な指令が可能かを確認する。
⇒評価対象が、遠隔監視・操船装置であり、遠隔操船者の実操作が必要なため、遠隔監視・操船装置とつないだ「SHS」を割り当てる。

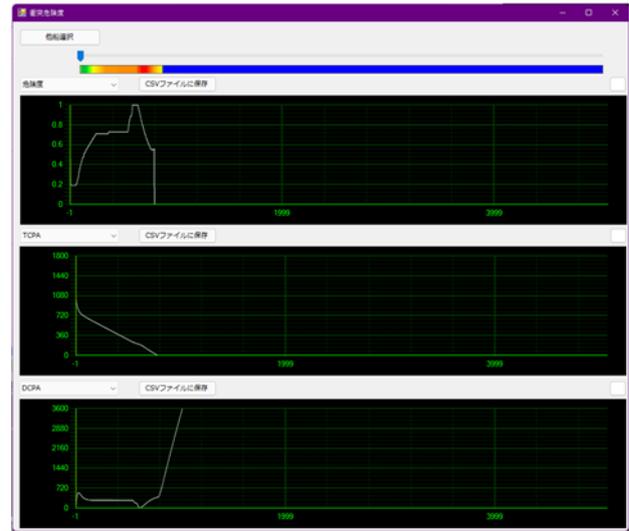
図 1.4.6 - 07) 遠隔監視・操船システムの評価の概要説明

5) FTSS の開発

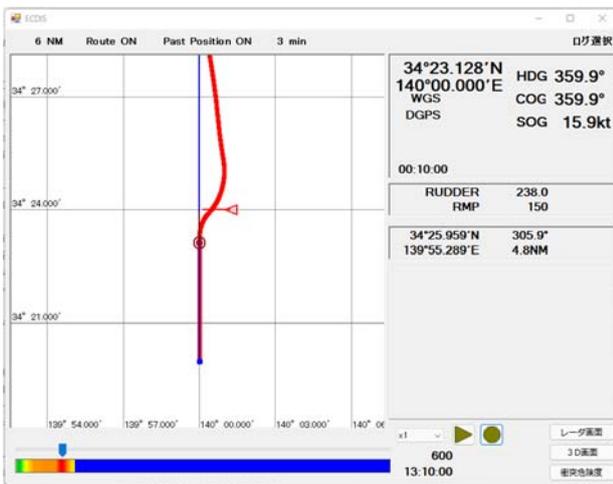
FTSS については、2020 年度作成した FTSS のプロトタイプをもとに改良と機能追加を加え、配布版として構築をした。なお、事業実施中に、FTSS の名称は、FTSS(ファストタイムシップシミュレータ:Fast Time Ship Simulator)に変更したので、以降 FTSS の名称は、「ファストタイムシップシミュレータ」とする。この **FTSS は、MEGURI2040 に参加したコンソーシアムのメンバーを含む複数の事業者へ配布し、その接続性と有効性について意見収集を行った。**FTSS の各種機能を図 1.4.7 に示す。さらに、FTSS との接続性を高めるためにアダプタの仕様を公開し、利用者が柔軟に自動化システムのソフトウェアを書き換え、または作成することができるようにした。さらに、**利用者からユーザインタフェースの改善についての要望**があったので、2022 年度以降に対応する予定である。また、**FTSS による自動避航操船および自動着棧操船のシミュレーション**をいくつか実施し、自動避航及び自動着棧の評価法の検討を進めた。



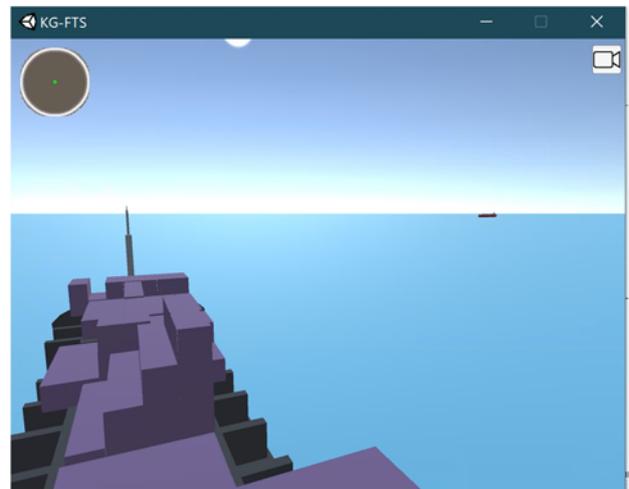
01). シナリオ編集プログラム



02)指標値時系列表示プログラム



03). シミュレーション結果再生プログラム



04)簡易景観画像表示プログラム

図 1.4.7 FTSS の機能を実現するプログラム群の表示例

□ FTSSの概要

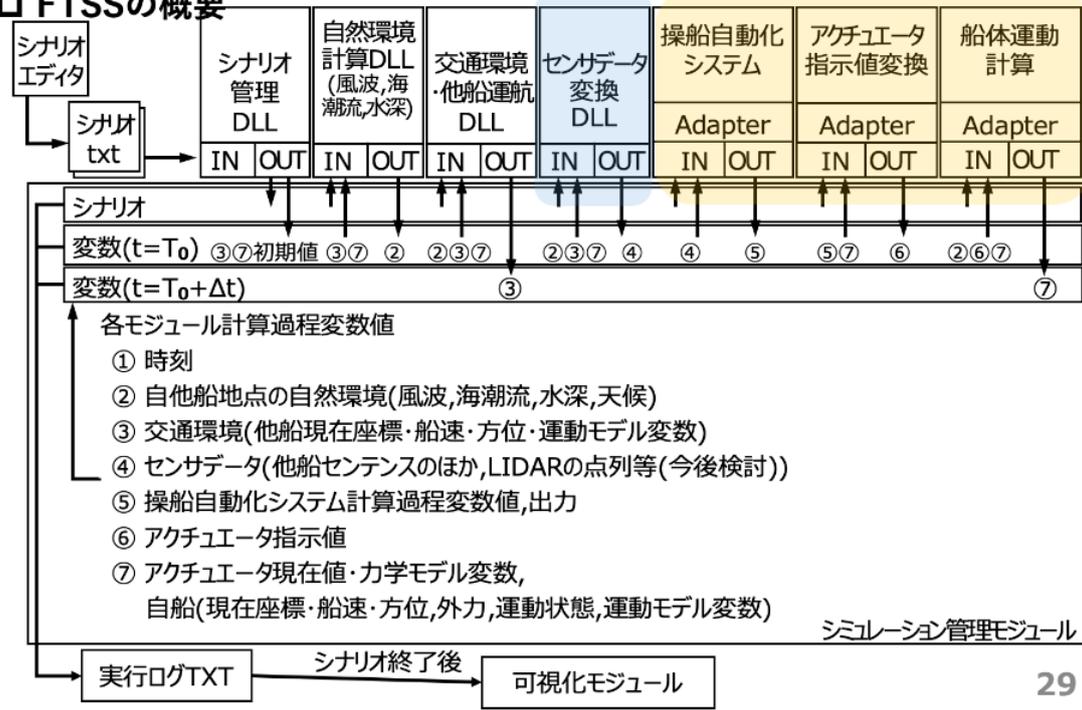


図 1.4.8 FTSS のシステム構造

□ FTSSプロトタイプの改良

- FTSSプロトタイプの提供と意見収集
 - FTSSのプロトタイプをC#で動作するように開発し、追加費用無しに実行可能
 - 以前のバージョンはMatlabを使用するもので、ライセンス料が必要であった
 - PyFMIを使用し、python上でFMUを実行できる開発環境を用意
 - プロトタイプを事業者に配布し、意見収集を行った。

配布日程・配布先

配布日	事業者
2021年11月1日(月)	古野電気
2021年11月1日(月)	ITbook
2021年11月9日(火)	三菱造船
2021年11月10日(水)	DFFAS
2021年11月12日(金)	三井E&S造船
2022年1月11日(火)	商船三井
2022年1月13日(木)	日本無線

- FTSS外部接続機能の構築
 - ファストタイムシップシミュレータの接続について、任意に接続部分を修正できるようにAdapterの仕様を公開し、拡張可能にした。
 - Adapterは単なるI/Fではなく、データ変換の責任を持つ
 - 仕様に基づき、各事業者はAdapterをオリジナルセンテンスに合うように作成

図 1.4.9 FTSS の改良

6) SHS の開発

SHS について 2021 年度は、操船シミュレータの基本ハードウェアの整備を実施するため、**2020 年度の操船シミュレータに関する技術動向調査及び事業者が求める機能等についてのヒアリングを行い、この内容を加味して仕様の作成を行った。**次に、この仕様と導入計画に基づき 2021 年度に導入するハードウェアの整備を行った。図 1.4.10 に SHS のハードウェア構成を、図 1.4.11 に第 1 船橋の俯瞰図を、図 1.4.12 に船橋の整備状況を示す。なお、半導体不足等の影響を受け調達に時間がかかったため、2022 年 7 月末まで契約を延長して対応した。

また、オーバーライド等自動化システムと人間の関わりを計測解析する準備として、**旧シミュレータを用いて、操船実務経験者による自動化機器へのオーバーライドを想定した基礎実験を実施した。**

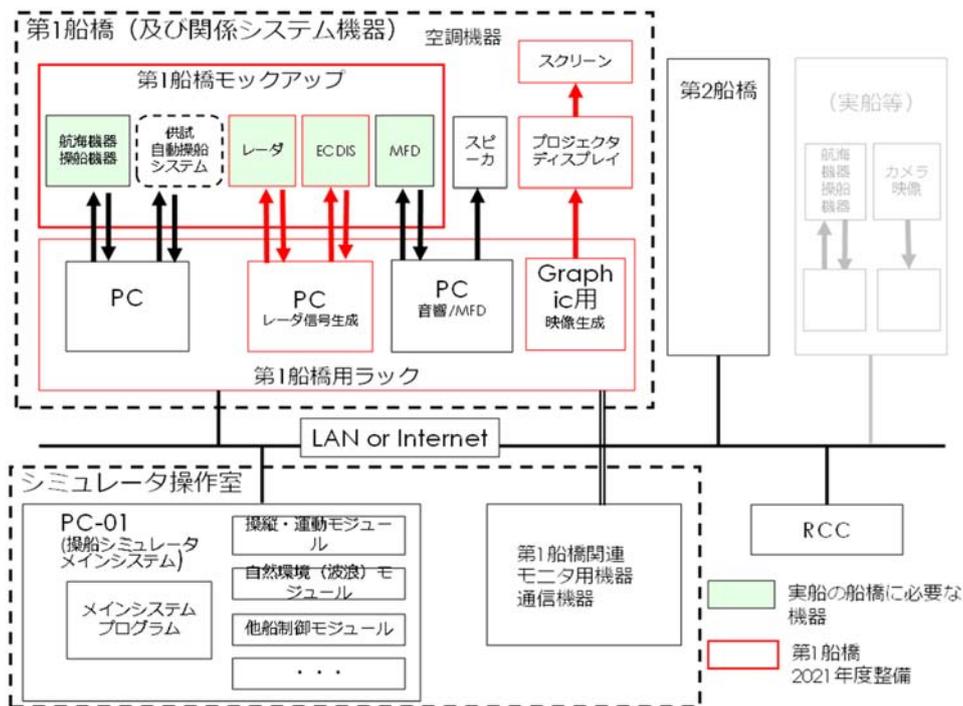


図 1.4.10 SHS 操船シミュレータ ハードウェア システム構成

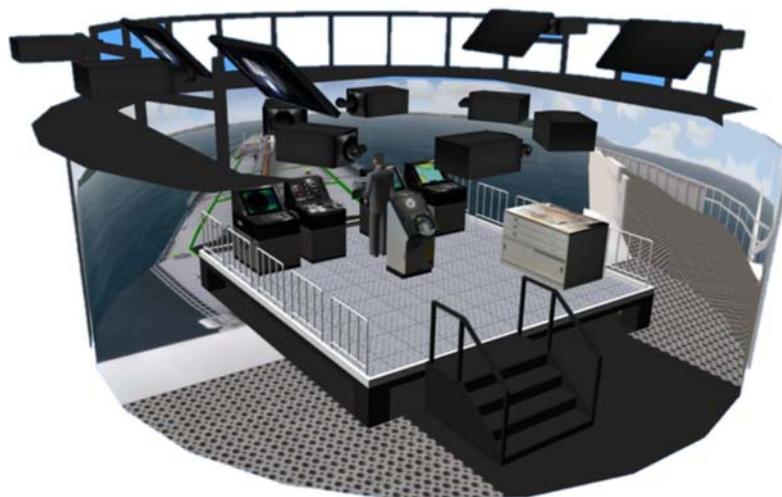


図 1.4.11 SHS 操船シミュレータ 第 1 船橋俯瞰図



図 1.4.12 第1船橋の右後方寄りの景観

操船シミュレータ (SHS) の開発

SHS概要

□ SHSの概要

- 基本機能
 - 360deg円筒スクリーン (半径6.5m)
 - 下方スクリーン
 - 船内・船外音響の再現
 - 船々間通信再現
 - 航海機器 etc
- 自動化システムの評価等に要求される機能
 - 自動操船
 - 任意の自動操船プログラムの接続
 - 評価対象に対応した船体運動モデルの組み込み
 - 遠隔監視及び操船
 - 遠隔通信システム
 - 通信速度,データの欠損等の再現
 - 乗組員への操船の移譲, HMIの評価
 - 情報提供機能の再現
 - 操船切り替え装置及び機能の再現
 - 評価対象に応じた表示デバイスと操作デバイスの再現
 - 航海機器等の自由な配置,外部持ち込み機器との接続
- 本年度は、スクリーン、プロジェクタ、航海機器等ハードウェアを整備。22年度はソフトウェアを中心に整備。FTSSとの連携、評価対象システムの接続等を実現。

31

図 1.4.13 SHS の概要

7) その他システム等の検討

この他、総合シミュレーションシステムの構成要素であるセンサ検証システム、機関遠隔監視システム、避難シミュレータについての仕様の検討と必要と思われるデータの収集を行った。

センサ検証システムについては、有識者と意見交換を行い評価法の検討を行うと共に、2021年度は可視光カメラを対象にし、8Kカメラ、レーダでデータを取得し船影検出器の特性を調査した。

機関遠隔監視システムの安全評価の検討では、無人運航船に用いられる機関遠隔監視システムの評価に必要な要件を検討するため、小型実験船を対象として、実運航時の主機や船内電力等の運転状況を遠隔地で監視するシステムを構築し要件の検討を行った。

無人運航船における乗客避難の安全性の検討では、無人運航船の場合の解析手法の改正必要性について、避難シミュレーションの調査や専門家との意見交換により、退船の判断を行う船長に対し必要な情報が伝達されること、及び「非常の場合における海員の作業」の操練が十分に行われることが満たされた場合、無人運航船に特化した特別な避難要件は不要であることを確認し、現時点では、無人運航船に対応したシミュレーションは必要ないことを確認した。

その他システム等の検討

センサ検証システムの開発



□ 無人運航船における他船検知センサの検証

- ▶ 他船検知センサシステムの開発や普及には性能評価基準の導入が必要
他船探知はレーダーを主にカメラ、ミリ波レーダ等複数のセンサのフュージョンにより実施されると考えられる。フュージョンを含めたシステムとしての評価が重要であるが、船用レーダではIEC62388により検証が実施されているため、今年度は可視光カメラを対象に検出特性の確認を行った。

□ 無人運航における他船検知センサシステムの検証手法に関する検討

- ▶ センサ評価手法に関して、MEGURI事業者や自動車関連の有識者等と個別に協議。
- ▶ センサの検証方法としては、①撮影したデータを検証用画像・データとして使用②センサデータをシミュレーションで作成③検証ガイドラインを作成し実海域で検証、の3案を検討。
 - 自動車領域では②が研究されているが、船舶では①②は個別に設定されたセンサ性能を反映できないこと等により、③がIEC62388として船用レーダでも行われており妥当であるとの意見があった。

⇒今後、③の実海域での検証ガイドライン作成を中心に方法や認証基準などを引き続き検討していく。

32

図 1.4.14 - 01) センサ検証システムの概要

□ 無人運航船における他船検知センサシステムの構成【例】



図 1.4.14 - 02) センサ検証システムの概要

□ 船影検出実験の結果と検出特性

- 実験船でレーダー、8Kカメラ、Lidarデータを取得。海岸で8Kカメラ画像を取得。
- カメラ撮影した画像を船影検出器で船影検出し、航海海技士身体基準相当の視力での目視による検出結果と比較した。小船影は若干カメラの検出結果が良好であったが状況に左右される結果であった。
- カメラ他船検出システムの利用のされ方を含め、運航者や開発者の意見を伺いつつ試験方法や性能基準を検討していく。

↓ は目視で検出したもの ↓ はシステムで検出したもの



図 1.4.14 - 03) センサ検証システムの概要

□ 機関遠隔監視システムの開発

- 機関部の無人化においては、遠隔地における状態監視に始まり、警報発令時の対応を検討することが重要である。
- 海技研が管理する小型実験船「神峰」を対象として、実船および簡易シミュレータに遠隔地で監視するシステムを実装する。
- それらの結果に基づき、無人運航船に用いられる機関遠隔監視システムの評価に必要な要件を検討する。



小型実験船「神峰」

無人運航船のための機関監視システム

	システム	機能・概要
第1段階	遠隔状態監視	<ul style="list-style-type: none"> 従来の船舶において船内で監視している項目を遠隔地で監視する。 機関区域無人化船（安全法M0船）の要件がベースとなり得る。
第2段階	遠隔制御	<ul style="list-style-type: none"> 機器の健全性が保たれている状態に限り、遠隔地から主要機器の操作ができる。
第3段階	不具合時対応	<ul style="list-style-type: none"> 監視している機器が破損する前に警報が発令される。発令時の対応・対策が必要となる。 既存船舶においては、機関士が通常業務として行っている業務である。
第4段階	機器破損・運航不能時対応	<ul style="list-style-type: none"> 重要機器が破損して動作不能となった場合、あるいは運航不能な状態となった場合の対応・対策が必要となる。

図 1.4.15 - 01) 機関遠隔監視システムの検討の概要

- 通常の既存船の場合、不具合発生時の対応は、①警報発令、②原因究明、③対策の検討、④対応の手順（作業）となるのが一般的である。
- 無人運航船の場合、その方法は、船内の船員の有無によって大きく異なる。
- 不具合発生時の手順の明確化および被害を最小にするための対策が必要となる。



警報発令時の表示画面の一例



トレンドグラフの表示

無人運航船のための機関遠隔監視システムに必要な要件（案）

	システム	必要な要件
第1段階	遠隔状態監視	<ul style="list-style-type: none"> 警報発令時、遠隔地において原因究明が可能な情報提示がされる。
第2段階	遠隔制御	<ul style="list-style-type: none"> 関連機器の健全性が保たれていることを確認できる機能を有する。 船内において操作する場合と同等の状態監視・確認をした後、各種機器の操作を行う。その詳細は対象とする機器によって異なる。
第3段階	不具合時対応	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔地に送られてくるデータだけからトラブルの度合いを判断する手順を有している。 不具合発生時の手順を記したマニュアルを作成されている。 機器破損や運航不能等の重大な状態に至らせないための対策が講じられている。
第4段階	機器破損・運航不能時対応	<ul style="list-style-type: none"> 人的・物的被害を最小にするための対策が講じられている。

図 1.4.15 - 02) 機関遠隔監視システムの検討の概要

- 「無人運航船の場合の解析手法の必要性」を検討
 - 避難シミュレーションのために用いられるプログラムの構成、出力、および入力に必要な項目について調査した。
 - 船舶災害時における乗員乗客避難時間推計のためのモデル計算
 - 国際海事機関(IMO)の避難解析指針(IMO/MSC.1533)に基づき、一般的な避難解析プログラムとして必要な機能を確認した。
- 「無人運航船の場合の解析手法の改正必要性」の調査
 - 船員法における緊急事態対応関連の規定について現行法による取扱いを調査し、無人運航船における緊急時対応に必要な条件をまとめた。
 - 従来船と無人運航船とで差異の生じる評価項目を明確化し、両者を同等に取り扱う上で無人運航船に必要とされる事項を、専門家意見を取り入れて抽出した。
 - 次の二点が満たされる場合には、特別な避難解析手法は不要であると考えられる。
 - 退船の判断を行う船長に対し必要な情報が伝達されること
 - 船員法第14条の3の「非常の場合における海員の作業」の操練（例：機関室の構造、各種メータ類の配置の理解など）が十分に行われること

図 1.4.16 避難シミュレータの検討の概要