

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

2.4.1 調査研究の目的

社会受容性向上事業の目的は、①実証成功、②社会実装、③普及、の3段階である。そこで、各目的の達成条件としてサクセスクライテリア（M：ミニマム、F：フル、E：エクストラ）を設定し、サクセスクライテリア毎に、達成の対象となるステークホルダー及び「社会受容性向上」事業として実施すべき活動の対応付けを行った。その上で、本年度（1年目）に実施すべき活動を定義し、日本財団及び日本船舶技術研究協会と合意した。なお、MEGURI 全体（開発助成事業にて DFFAS+コンソーシアムにて開発を進めている旗船中心、表 2.4.1）と離島航路（表 2.4.2）は分けて設計を行った。

表 2.4.1 各目的の達成条件（DFFAS+旗船中心とした MEGURI 全体）

DFFAS+旗船中心としたMEGURI全体			※黄色ハッチ=MRI1年目の主な実施事項
目的	達成条件 (サクセスクライテリア)	対象ステークホルダ (誰の受容性が)	「社会受容性向上」事業 にて実施すべき活動
① 25年旗船等実証の成功 (利便性・安全性の理解による価値の受容) ※技術面はDFFAS+で対応	【M】実証航路ステークホルダの反発なく実施 【F】SHに好意を持っていただき実施 【E】業界全体への興味拡大	【M】海保、漁協等 【F】同上 【E】海事業界全体	【M】無人運航船の安全性の説明 【F】無人運航船のメリットの説明 【E】キャンペーン・PR活動
② 26年以降のシームレスな社会実装実現 (船主・運航者等による実利用の受容)	【M】旗船による自動運航機能の継続利用 【F】その他内航海運事業者による自動運航機能の導入 【E】(陸側との連携での自動化) (導入支援等財政措置検討)	【M】イコース、鈴与海運、荷主等 【F】他の船主、運航者、荷主等 【E】(港湾関係者、物流事業者) (JRTT等)	【M】【F】【E】実証結果に基づく具体運用像提示、旗船等のB/Cのレファレンスモデル作成(投資判断用)、保険商品設計、規制緩和 【E】(陸側自動化接続検討) (導入支援策の検討)
③ 幅広いユースケースの普及実現(40年時点)	【M】内航船の半数が無人運航船に移行(40年時点) 【F】新たなユースケースの実現(40年時点) 【E】海外展開(40年時点)	【M】既存事業者 +次世代(子供) 【F】新規プレイヤー・異業種 【E】海外事業者	【M】理解普及促進、導入支援財務施策検討 【F】ユースケース開拓 【E】海外向けキャンペーン

表 2.4.2 各目的の達成条件（離島航路限定）

離島航路限定			※黄色ハッチ=MRI1年目の主な実施事項
目的	達成条件 (サクセスクライテリア)	対象SH (誰の受容性が)	「社会受容性向上」事業 にて実施すべき活動
① 25年離島航路実証の成功 (利便性・安全性の理解による価値の受容) ※技術面はDFFAS+で対応	【M】地元ステークホルダの反発なく実施 【F】地元SHに好意を持っていただき実施 【E】地元外にも興味拡大(関係人口を増やす)	【M】【F】自治体、住民、子供、荷主、漁協等 【E】瀬戸内海全体、観光客等	【M】無人運航船の安全性の説明 【F】無人運航船のメリットの説明 【E】地元外へのキャンペーン・PR活動
② 26年以降のシームレスな社会実装実現 (船主・運航者等による実利用の受容)	【M】国際両備フェリーによる継続利用 【F】その他周辺航路事業者による自動運航機能の導入 【E】瀬戸内海の他の事業者による自動運航機能導入	【M】国際両備フェリー、利用者・地元SH 【F】四国フェリー、四国汽船、利用者・地元SH 【E】他離島航路運航事業者(旅客船協会)	【M】【F】【E】実証結果に基づく具体運用像提示、離島航路のB/Cのレファレンスモデル作成(投資判断用)、保険商品設計、規制緩和 【E】小豆島以外の事業者の自動運航船ユースケース検討
③ 定期航路以外での無人運航船ユースケースの普及実現(40年時点)	【M】内航船(離島航路)の半数が無人運航船に移行(40年時点) 【F】新たなユースケースの実現(40年時点) 【E】海外展開(40年時点)	【M】既存事業者 +次世代(子供) 【F】新規プレイヤー・異業種 【E】海外事業者	【M】理解普及促進、導入支援財務施策検討 【F】ユースケース開拓 【E】海外向けキャンペーン

2.4.2 調査研究の概要

無人運航船が実証・実験だけでなく社会実装されるには、無人運航船の安全性及び経済性を高めるとともに、業界及び社会全体に対し周知し理解を深める社会受容性の向上が不可欠である。また、無人運航船に係る新技術導入制度、導入期を支えるための支援制度、普及期を支えるための関連データの活用、関連する社会インフラ等の整備も必要である。

本業務では、社会受容性向上の一環として、無人運航に係る新技術の環境（データ活用基盤を含む）を整備するために、以下を実施した。

(1) 新技術

- a. 無人運航船の需要に関する資料の作成
- b. 無人運航船のユースケースを具体化した資料の作成
- c. 無人運航船に関する新技術導入制度に関する資料の作成

(2) データ活用

- a. データ活用に資する無人運航船の実証実験データを整理した資料の作成
- b. 無人運航船の関連データ活用に関するニーズを整理した資料の作成
- c. 無人運航船の関連データの活用方法に関する資料の作成

2.4.3 新技術

a) 無人運航船の需要に関する資料の作成

「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」後の社会実装の基礎となる実需把握のため、内航船業界や実装地域（離島航路を含む）の網羅的な実態調査、予測、潜在的なアイデアやニーズの発掘を行い、これをとりまとめた資料を作成した。

資料の作成にあたっては、統計データ等の公開情報を用いた文献調査、実装のエンドユーザとなる船主や船員、運航事業者などのステークホルダーへのアンケートやヒアリングを実施した。また、調査では、事業レベルでの実態把握に加え、船員の働き方・労務環境に関する課題とニーズも抽出した。

本年度の具体的な事業成果としては、文献調査及び船員数試算を通じた内航海運業界への期待と業界課題の整理、関連事業者へのヒアリング及び文献調査を通じ無人運航船導入への期待を明らかにし、事業性・経済性・働き方に関する評価方法の案の検討を実施したことが挙げられる。

課題及び今後の計画としては、①無人運航船の価値を実証的に評価するため、DFAS+実証運航のデータ取得方法・評価方法を具体化すること、②無人運航船のコスト分析を行うため、代表的な船種についてコスト分析モデルを作成することが挙げられる。

a-1) 内航海運が果たす役割と抱える課題

内航海運が担う役割を定量的に把握するため貨物輸送量に関する統計の調査を行った。内航貨物の輸送量・輸送活動量は平成2年度のピーク時よりも減少しているものの、平成22年度から令和元年度頃まで大きな増減が無く、安定して輸送需要があると言える。令和2年度にはコロナの影響により一時的に輸送量が落ち込んだが、翌令和3年度には回復傾向が見られ、需要の安定性が確認できる。

内航海運の輸送活動量は、令和3年度には国内全体の輸送活動量全体の40%を占めており、特に長距離・大量輸送の側面で日本の物流業界を支えていることが確認できる。最近では物流の2024年問題へ

の対応のひとつとして、陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトが期待されている。

内航海運は船員不足を課題として抱えている。総務省「第 118 回人口・社会統計部会」－参考 1 国土交通省海事局船員政策課「船員の現状等」によれば、内航船員数は平成 22 年に 28,168 人であった。その後、平成 25 年に 26,869 人まで減少したものの、回復傾向にあり令和元年には 28,441 人となった。その間、若手船員数の割合は平成 22 年の 12.6%から令和元年には 19.2%を占めるまで増加している。このように、内航船員数は若手船員の微増により回復傾向であるが、懸念すべきトレンドとして「若手の離職」・「経験層の離職」が見られる。令和 3 年度に独立行政法人海技教育機構が実施した「海技教育機構の卒業生に対する卒業後の動向に関するアンケート調査」によれば、海上技術学校及び海上技術短期大学の卒業後の船員の転職率は卒業後 2 年で 15.5%、4 年で 33.0%、6 年で 46.5%である。

つづいて将来の船員数を定量的に推定した。具体的には旅客船を含めた内航船員数を対象に、2014 年－2019 年間の 5 年間増減率を基に 2020 年以降の船員数予測を行った。予測の前提として 24 歳以下の船員数と 25 歳から 59 歳の船員数増減率を仮定した。シナリオ設定を表 2.4.3 に、推定結果を表 2.4.4 に示す。2040 年時点（2019 年比）で、楽観 31.6%増－悲観 47.8%減（最小 14,848 人）とシナリオ次第で増減する結果となった。

上述のアンケート調査では、船員の若手・経験層の主な離職原因のひとつとして、「業務内容の過酷さ、労働時間の長さ」が挙げられている。人材を業界に引き留めるためには労務環境改善が必要であり、無人船導入により環境改善・陸上勤務職の選択肢を提示できるようになることが期待される。

表 2.4.3 船員数予測の前提シナリオ

項目	シナリオ
24 歳以下の船員数	① 2019 年から一定
	② 将来推計人口と比例して逓減
25 歳から 59 歳の船員数増減率	① 2019 年から一定
	② 退職者増に伴い逓減（×0.02/年）

表 2.4.4 船員数予測結果

		25 歳から 59 歳の船員数増減率	
		① 一定	② 逓減
24 歳以下の船員数	① 一定	2040 年船員数： 37,432 人 (2019 年比 31.6%増)	2040 年船員数： 16,460 人 (2019 年比 42.1%減)
	② 逓減	2040 年船員数： 34,852 人 (2019 年比 22.5%増)	2040 年船員数： 14,848 人 (2019 年比 47.8%減)

a-2) 経済性・事業性・働き方の評価

内航海運は他のモビリティと比較した環境負荷の低さから、物流網を支えることに大きな期待が寄せられている一方で、人手不足・労働環境等の課題を抱えている。そこで、内航海運業界の抱える課題に対する、無人運航船の貢献可能性・道筋について明らかにした。

具体的には、無人運航船への期待と懸念について、船主、運航会社、荷主等の関係者にヒアリングを実施した。ヒアリング結果概要を表 2.4.5 に示す。各主体は、無人運航船の導入による安全性・コスト・輸送サービスの質等への影響について期待と懸念を感じている。価値と懸念点について、適切に評価を実施するとともに、簡易に無人運航船の価値・効果を評価可能な参照モデル（リファレンスモデル）を作成することで無人運航船の社会実装が進むことが期待される。

表 2.4.5 無人運航船に期待する価値と懸念

主体	期待する価値	懸念点
船主	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒューマンエラーの減少による安全性向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無人船普及後に、船員経験が無い人員が適切に陸上業務を遂行できるかが疑問
海運会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人手不足や高齢化に伴う船員の質低下の中で、無人船によって安全性を担保することができる点が良い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 他の輸送手段との価格競争が求められている状況のため、コスト増が懸念 ・ 船種によっては安全管理の要求ハードルが高く導入が難しい可能性
荷主	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定時性や輸送品質が保たれることを前提とし、輸送コストが減少するかが関心事項 ・ 輸送のリードタイムが早くなる等の効果があるとさらに良い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事故発生時に荷主の名前が報道されることもあり、安全性には関心がある

無人運航船の実装に向けては、関係者の期待・懸念が寄せられる事柄を実証・実装の過程で、実証的に評価することが望ましい。無人船導入時のコスト・事業収支については Kuchle et al. (2022)のような、無人船導入や実利用時の事業性・経済性を簡易に評価することが可能なコスト分析モデル（リファレンスモデル）を作成し、可視化を容易にすることで、船会社の意思決定を支援することが可能と考えられる。ただし事業者は自社のフリート全体で運航の最適化を実施しており、船単体での評価によって無人船導入の評価が過少・過大とならないように留意が必要である。

サービス提供に要するコストだけでなく、輸送サービス価値、船員・陸上員の働き方等、無人運航船の価値を多面的に評価することも重要である。そこで DFFAS+の実証試験において評価する項目・方法の素案を作成した。DFFAS+実証船のコンセプトを踏まえると、特に「港・輻輳海域・その他海域における安全性」・「船内・陸上業務の労働時間」・「船員・陸上員への要求スキル」・「船内・陸上業務に対する満足度」等の項目の評価が重要と考えられる。

b) 無人運航船のユースケースを具体化した資料の作成

a) の結果を考慮し、また、MEGURI2040に係る安全性評価事業で実施されるアイデアソンやワークショップ等のイベントの結果を反映させ、無人運航船の有望なユースケースや新たな船員像を具体化した資料を作成した。

本年度の具体的な事業成果としては、無人運航船の実装先として有望な3つの船種についてユースケースの具体化と、今後の社会実装に向けて取り組む必要のある課題を特定したことである。

課題及び今後の計画としては、①WS等の関係者との対話機会を通じたユースケースのブラッシュアップを行うこと、DFFAS+実証成果を踏まえて実装への道筋・条件を具体化することが挙げられる。

b-1) 有望なユースケースの特定

海上輸送に関わる船主・運航者・荷主へのヒアリングやワークショップ（WS）を通じ、無人運航船を用いるユースケースのうち、特に実装優先度が高いものを抽出し、無人運航船の使われ方、実現に向けた課題を検討した。無人運航船の有望なユースケース概要を表2.4.6に示す。

表 2.4.6 無人運航船の有望なユースケース概要

カテゴリ	ユースケース (船種・船型)	取り巻く課題		ユースケース実現により解決される課題		
		海運の課題	社会の課題	2026年頃	2040年頃	
				海運の課題	海運の課題	社会の課題
貨物輸送	カーフェリー/RORO船	<ul style="list-style-type: none"> 船員不足 重い船員負荷（見張り、操船、機関監視、係船、メンテナンス、荷役、長期間の海上生活） 	<ul style="list-style-type: none"> 物流システム（特に陸上輸送）の供給限界 物流過程での環境負荷低減の要請 	<ul style="list-style-type: none"> 船員負荷の一部低減（見張り、操船） 	<ul style="list-style-type: none"> 船員負荷の低減（見張り、操船、機関監視、係船、メンテナンス、荷役） 	<ul style="list-style-type: none"> 物流システム供給の維持/増加 （海上輸送分担増加による）環境負荷低減
	コンテナ船	同上+ <ul style="list-style-type: none"> 最適配船 	同上+ <ul style="list-style-type: none"> 特に、海上輸送システムの供給限界 	<ul style="list-style-type: none"> 船員負荷の一部低減（見張り、操船、機関監視、係船） 	同上	同上+ <ul style="list-style-type: none"> 海上輸送システムの維持・強化
旅客輸送	離島航路フェリー	同上+ <ul style="list-style-type: none"> 低収益性 	<ul style="list-style-type: none"> 離島地域の衰退 	<ul style="list-style-type: none"> 船員負荷の一部低減（見張り、操船） 	同上+ <ul style="list-style-type: none"> 収益性向上 離島航路維持 	<ul style="list-style-type: none"> 離島地域の維持・発展

b-2) 今後の検討方針

ユースケースの詳細化／拡張を行うとともに、DFFAS+の取組外で具体的に今後なすべきことを洗い出しロードマップの作成に活用する。

ユースケース検討に関しては、関係者との議論、ワークショップを通じて、海運業を取り巻く様々なステークホルダーの意見を聴き取ることで、有望な無人運航船の利用方策を具体的に検討する。また本年度検討したカーフェリー/RORO 船、コンテナ船、離島航路フェリーを対象として検討を進め、議論経過によって有望なユースケースを追加検討する。

並行して DFFAS+における技術開発で解決されない課題を特定するとともに、その課題を解決するための方策を検討し、今後無人運航船の社会実装のために必要なアクションを整理してロードマップ作成に活用する。

c) 無人運航船に関する新技術導入制度に関する資料の作成

a) 及び b) の結果を踏まえ、ユースケースや船員像に応じて、導入が想定される無人運航船に対応した新技術導入制度をとりまとめた資料を作成した。具体的には、無人運航船の実装に対して行うべき制度緩和・改革の方針や、特区化に必要な要件（地方創生戦略を含む）の検討を、国及び自治体の関係者との協議を含め実施し、今後の取組課題・計画等として整理した。

本年度の具体的な事業成果としては、無人運航船実用において必要な規制緩和内容を DFFAS+実証船ベースに整理し、25年の社会実装に向けたロードマップとして取り纏めを行った。また、保険商品の設計のため、無人運航船特有のリスクやRA情報の整理を行った。

課題及び今後の計画としては、①実証船をベースとした事故シナリオを設計し、法的責任をケーススタディ的に検討すること、②具体的な保険商品の検討を保険会社と共に行うことが挙げられる。

c-1) 規制緩和・特区

無人運航船は現行規定の想定していない運航形態であるところ、まずは2025年の実証実験を確実にを行い、その後の社会実装フェーズに速やかに移行するためには規制面での基盤構築が必要となる。実証実験が長期間、営業運航で行うことから単発の航行許可では都度の対応やその後の社会実装への移行が困難であると考え、規制緩和による対応を検討した。無人運航船の運航に向けて必要な規制緩和・改革の方針を定めるにあたり、実証船形態が未確定であったため、旗船、離島航路船を対象とし

て規制緩和の方策を検討した。旗船の特徴は遠隔の港を行き来すること、実証実験の機能を全て搭載することである。したがって、特定の地域に閉じた特区での対応が難しく、また事業性が認められるため規制のサンドボックス制度での対応が考えられる。一方で、離島航路船は同地域内の港を運航すること、フェリーであり離島航路の住民の交通手段であることが特徴であり、地域性が比較的高いと考えられる。したがって、地域創生の文脈も含めた特区の取得が規制緩和の手段として考えられる。

他方、規制のサンドボックス制度は内閣府・内閣官房を窓口として、関連しうる複数省庁を巻き込み適用検討を行う特徴があり、意思決定に時間と手間を要する恐れがある。また、特区制度は、地方創生を趣旨として、規制緩和を適用する自治体から内閣府・内閣官房に申請を行う必要があり、申請主体である自治体及び他省庁との調整を要する。いずれの制度も概ね申請から規制緩和措置適用まで平均して約1年のリードタイムが必要となるため、調整に要する時間等を考慮すると、2025年の無人運航船社会実装に向けた適用を目指すにあたっては必ずしも適当ではない。そこで、後述する通り、規制官庁である国土交通省（単独）による特例措置の適用を第一の選択肢として検討することとした。具体の対象規制や進め方についての検討結果は以降で示す。

実証船のうち、旗船は航海当直、機関当直をそれぞれ2名から1名に減員して航行することがスコープに含まれている。旗船は749GT以上、沿海を航行するが、この形態は現行法上各2名の配乗が義務付けられており、航行にあたって当直1名での対応は現行法に抵触する。一方、離島航路の実証船はフェリーであり、配乗の変更は行わないため実証期間中は現行法に抵触する点はないが、社会実装段階では機関部の減員や航海当直要員の負荷軽減等の運航事業者のニーズに対応するため、配乗に関する規定が緩和されることが望ましい。

以上より、本実証では、最終的に①749GT以上、沿海の船舶で現行規定上の「2名×3直=6名体制」を「1名×3直=3名体制」で運航できるよう航海当直要員を削減すること、②749GT以上、沿海の船舶で現行規定上の「機関長+機関士体制」から、「機関長はFOC、船上は機関士のみ」で運航できるよう、機関職員を削減することの2点の規制緩和を求める内容とした。

なお、現行規定との関係では、それぞれ、①航海当直要員の削減は安全最小定員を定める船員法第69条、70条に基づく「船員法の定員規制について（平成4年12月25日海基第252号）」における定員規定が、②機関職員の削減は船舶職員法第18条に基づく配乗表に定められた定員数が抵触すると考えられる。

また、規制緩和については以下の3ステップにより、段階的な措置をとることとした。ただし、実証期間内に規制緩和を実施することよりも段階的な検討を優先するため、実証期間が延長する可能性もある。

- ①長期実証が始まる段階では現行規制に抵触しない形態（シャドー要員を配置）で一定期間航行し、データを収集
- ②シャドープレイで得られたデータ、規制官庁の評価をもとに実際に人員を減らして航行（特例措置の実施）
- ③特例措置の評価を行い、以降の規制緩和措置の方針を決定

実証実験はデータ収集期間と位置付けられるため、規制官庁に対して適宜規制緩和に必要な情報のインプットを行う。また、規制官庁も実証実験に対する評価等を行い、両者が相互的に情報共有、評価を実施する体制を構築することが望ましい。

c-2) 法的責任

無人運航船の航行にあたって、既存船では生じていなかった無人運航船特有のリスクが新たに生じることが想定される。社会実装の基盤構築には、それらのリスクをカバーする保険商品が必要となる。既存船と比較して無人運航船に対して発生すると思われるリスクについて DFFAS+コンソーシアムに参加している保険会社と一緒に検討を行った。リスクは以下の3つに分類される。

- ① 財物リスク
- ② 費用・利益リスク
- ③ 賠償リスク

財物リスクとは従来の船舶保険が適用されるような、船舶そのもの等の有体物の破損等のリスクである。費用・利益リスクは逸失利益や修繕費など、事故等が起こった際に発生する経済損失全般を対象としたリスクである。賠償リスクは各主体に対して事故等に伴い損害賠償請求がなされるリスクである。賠償リスクは契約等であらかじめ一定程度制限することは可能だが不確定要素も多く、無人運航船の保険等を検討する上で肝要な点となる。

これらのリスクが、無人運航船の航行に関係する船主、船舶管理業者、海運会社(オペレータ)、造船会社・船舶機器メーカー、自律運航/陸上システム開発会社の5主体についてどのような原因から生じるかの整理を行った。また、保険商品はリスクに対して付保される場所、既存の保険商品でリスク自体はカバーしており、総量だけが変動するため算定額の変更で対応できるものを既存リスク、新たな原因から発生するため既存の保険商品では観念しておらず対応できないものを新リスクと分類する。

既存リスクは、従来の事故発生原因であるヒューマンエラーの逡減に伴い事故の発生頻度が減少すると考えられる。一方で、自動運航システムやFOCなど新たな財物が生じることから、リスク総量は上昇する可能性がある。新リスクは主にサイバー攻撃、無人運航システムのシステムエラーにより生じ、船舶機器メーカーやシステムインテグレータがシステム故障の対応費用など新たな費用・利益リスクが生じる可能性がある。また、システム不具合から生じた事故の法的責任がどの主体に帰属するかが主な論点となる。具体的には、現在船主が一義的に負っている責任が製造物責任などを通じてメーカーやシステムインテグレータに及ぶ可能性があるかの見極めが今後のリスク評価に関わることとなる。

無人運航船の実証実験、その後の社会実装段階においては、先述の通り既存船と比較して無人運航船特有のリスクが発生すると考えられる。実証実験が長期(半年程度)・営業運航ベースであることから、新たに発生しうるリスクにおいて無人運航船に対応した保険商品が必要となる。一方で、長期間の事故データ等の統計分析の結果からリスク量や保険料の算定を行う通常の保険商品の設計手法が、本実証では用いることができないため、保険商品の在り方や設計手法から構築する必要がある。

本年度は、RA要素を用いた保険商品の設計について検討を行った。具体的には以下の3要素を用いて、無人運航船の保険検討に必要な情報の整理や検討を行った。

- ① 無人運航船特有のリスク：保険会社を中心に整理
- ② 無人運航船における法的責任の所在：法律事務所
- ③ DFFAS+におけるRA結果：DFFAS+PMO

今後は、保険会社を中心に整理したリスクの考え方や確認すべき法的論点を基に、PMOを中心に事故シナリオを設定し、法律事務所と共に法的責任所在の検討を行う。それらの結果を用いて、保険会社が保険商品の形態や、算定額等の設計を行う。MRIは主に情報の相互共有や各種情報の翻訳作業、

開発状況のインプット等を実施する。また、FOC やサイバー攻撃等、現在の土壌ができていない論点は情報がそろい次第、適宜事故シナリオ検討等を行う。想定スケジュール案は図 2.4.1 の通り。

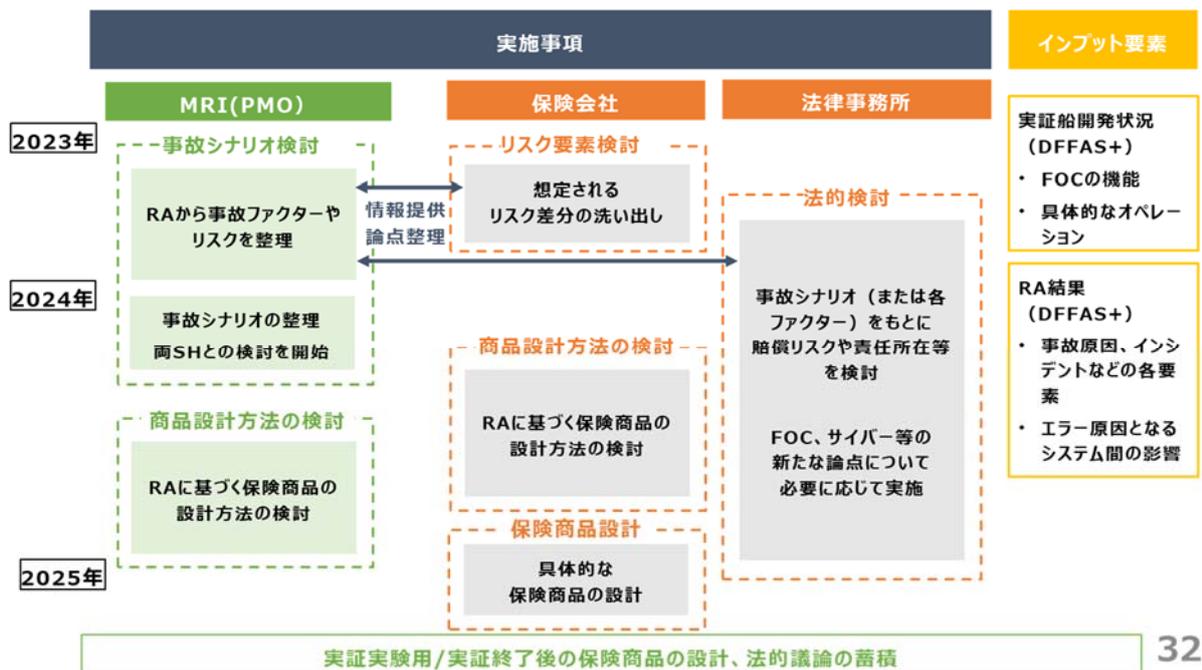


図 2.4.1 保険・法的責任検討スケジュール案

無人運航船におけるリスク、保険の論点には事故原因にシステム不具合が加わることで、それにより責任主体が人ではなくシステムとなり製造物責任が発生する可能性があることである。また、保険商品の検討には、賠償責任や製造物責任が誰に対し発生する可能性があるかを把握する必要がある。そのためには、無人運航船における適切な事故シナリオを設定し、その場合における法的責任の所在の検討が必要となる。

次に法的責任所在の検討の材料となる事故シナリオの設計方針について示す。責任所在は個別事案の状況に応じて判断されるため、ある程度詳細な状況の設定が必要となる。一方で、詳細な状況（海域、天候、配乗など）をゼロベースで構築することは困難であるため、事故一連の流れを要素別に分解し、それぞれに情報パターンを組み込むことで事故を設計する。事故の分解要素は図 2.4.2 の通り。

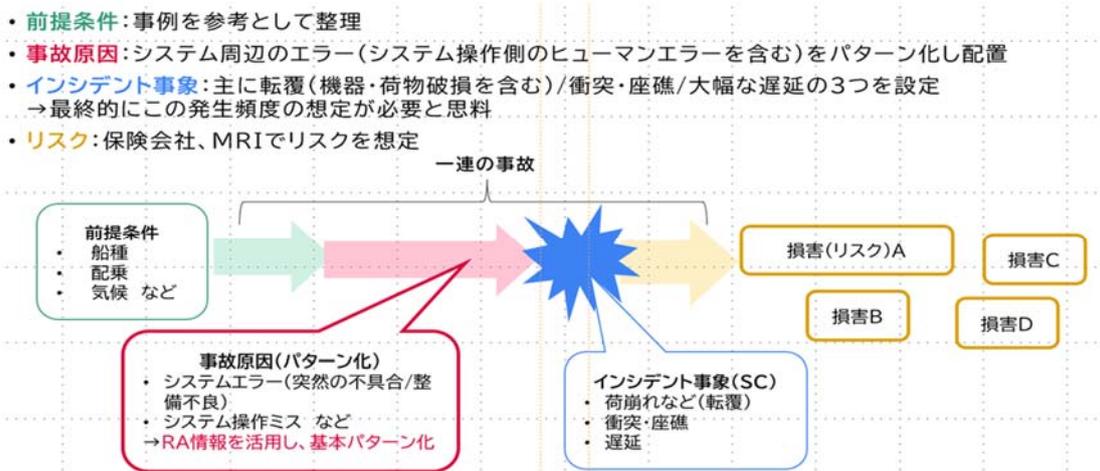


図 2.4.2 事故の分解要素

事故における無人運航船特有の要素は、事故原因にシステム要因が含まれることであり、責任判断の要点となる。したがって事故原因の設定を詳細に行うことが必要となるが、この点に DFFAS+内で行っている RA 情報を活用する。具体的には STPA と呼ばれる、機器のふるまいに関する上位の RA で整理されたインシデント事象を引き起こす要因、インシデント事象に至るまでの状況、システムによる状況認識、などの各種情報（図 2.4.4 参照）を、判断したい法的論点に応じて組み合わせて事故シナリオの材料とする。判断すべき法的論点には人の介入の有無やシステムエラーの種別などがある。この点については、無人運航船における事故は基本的に航行に関する情報のやり取りにエラーが生じた結果として判断ミス、操作ミス等が生じて事故が発生すると考え、その情報の流れを整理し、ある事故の責任所在の判断要素に応じて選択する。無人運航船の事故における情報の流れの基本的な考え方は図 2.4.3 の通り。

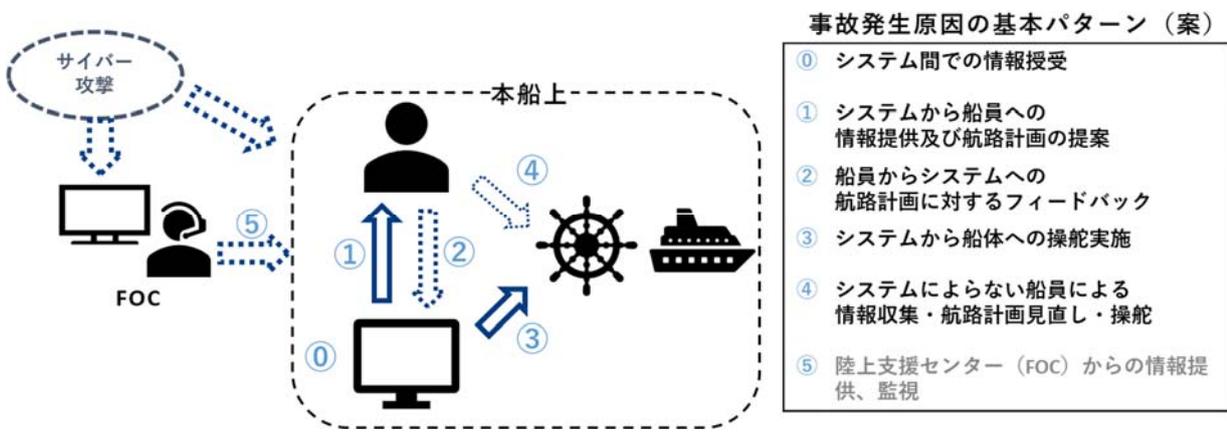


図 2.4.3 無人運航船における情報の伝達ルート

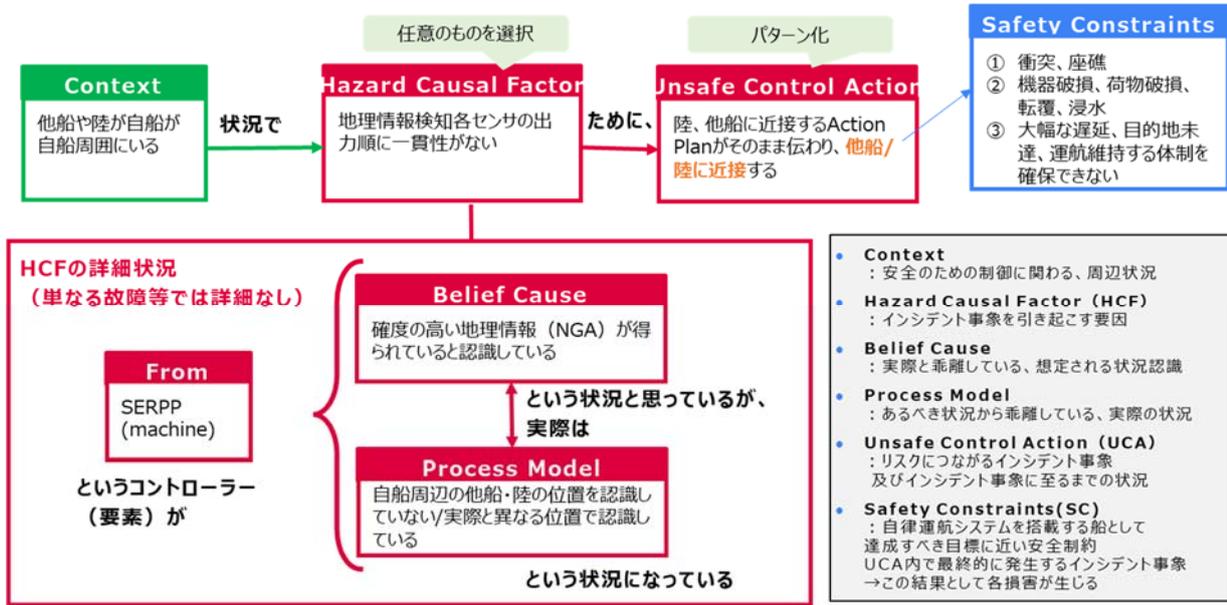


図 2.4.4 STPA で扱う事故シナリオの要素 (RA 情報)

無人運航船の法的責任の検討を行うことで、保険商品の設計への反映（主に賠償責任の発生リスク）や、メーカー・システムインテグレータなどの開発側の責任の明確化（主に製造物責任）を図る。また、法的責任の検討の議論を積み重ねることで無人運航船の社会実装に必要な情報が蓄積され、よりスムーズな実装が期待される。

具体的な事故シナリオ検討を来年度以降行うにあたり、法律事務所に対して現在の開発状況や実証船のコンセプト等の状況共有を行った。それを基に整理された法的論点は以下の2点である。

- ① 船舶所有者の不法行為責任が認められるか
- ② 製造物責任が発生するか

それぞれ、①は過失が認められるか、②は欠陥が認められるかが具体的な判断要素となる。上記の論点について実証船における自動化レベルごとの概観を表2.4.7に示す（具体的な責任の有無は個々の事案に照らして個別具体的に判断されるため、あくまで傾向を示すにとどまる）。

表 2.4.7 無人運航船の自動化レベルごとの法的論点概観

自動化レベル	船舶所有者の不法行為責任	製造物責任
Fully Autonomous 人が監視、操船を行わない	<ul style="list-style-type: none"> 操船自体においては人の監視や介入が想定されず、過失が観念できない場合が多くなる 船舶所有者が無人運航船のメンテナンスを怠ったことで事故が発生した場合や、自動運航システムに不具合があることについて過失が認められる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> 自船/他船の状況把握、避航動作を行うAIの欠陥の有無の判断は極めて難しい システムが有すべき安全性について拘束力のあるルール・ガイドラインがある場合は考慮要素となる
Monitoring With Mind On 人が介入できるよう待機している移行状態	<ul style="list-style-type: none"> システムから介入要求が船員に行われたが船員が気付かず、結果として事故が発生した場合に過失が認められる システムから介入要求が無く、システムの操船エラーから事故が発生した場合が問題となる 介入要求以前は人が操船・監視も行わないという前提の下では過失が認められないのが原則だが、介入要求を認知できる程度の注意を払えば要求の有無にかかわらず異常を認識しえた場合は過失が認められる可能性がある システムからの介入要求の設計や船員の待機オペレーションなど具体的な状況により、結果は変わりうる 	<ul style="list-style-type: none"> システムによる介入要求が想定されるため、介入要求自体に問題がある（介入要求が船員に分かりづらい方法でなされ、船員が気付かないなど）場合は製造物責任が問題となる可能性がある
Monitoring With Approval 主に避航を想定し全ての航海計画や動作が船員の承認のもと行われる	<ul style="list-style-type: none"> 船員が周囲の監視を怠ったうえで承認し、そのとおりにシステムが実行した場合、船員に過失が認められる 船員はシステムからの提示を承認するために自ら周囲監視を行うことが求められ、承認した通りの内容に実行されておらず不適切な操船が生じた場合はそれを是正することが求められる 	<ul style="list-style-type: none"> 船員の承認をもとに操船されるため、事故があったとしても船員の過失を問題とできる可能性が高く、Fully AutonomousやMonitoring With Mind Onに比べてシステムの欠陥は問題となりづらい
Track Control 状況分析および意思決定は人、実行はシステムが行う	<ul style="list-style-type: none"> 同上 システムからいったん提示を受ける場合と最初から船員自ら案が得る場合で過失の有無、程度に差が生じる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> 同上
Manual 完全手動操船	<ul style="list-style-type: none"> 既存船（有人船）と同様 急なステータス遷移の場合に問題となりうる 	<ul style="list-style-type: none"> 既存船（有人船）と同様

今後の実施事項は主に事故シナリオに基づくケーススタディ、保険会社へのインプットの2点である。事故シナリオ検討について、上記で示した方針を基に、法律事務所と共に複数の事故シナリオを設定し、責任所在の検討を行う。事故シナリオは、実証船ベースとして人に帰責できないと考えられるケース、製造物責任が生じると考えられるケースなど、特定の責任の発生を念頭に置いたものを設計する。また、保険会社が具体的なケース等に関心がある場合は対応した事故シナリオを設計したり、必要に応じて法律事務所と同時に議論できる場を設けたりする。その他、サイバー攻撃やFOC等の未確定項目については助成事業内でオペレーションや定義等の検討が進み次第、適宜同様の検討を行うこととする。

2.4.4 データ活用

a) データ活用に資する無人運航船の実証実験データを整理した資料の作成

「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」内で発生する各種データ等について、無人運航船の普及のためのデータ活用に資するものについて、その種類・内容等を整理した資料を作成した。

本年度の具体的な事業成果としては、DFFAS+情報記録管理 WG において整理中の船-陸間、陸-陸間で連携する情報に基づく、オープンデータプラットフォームを活用したデータ利用可能性に資する情報整理と、無人運航船で発生する各種データの利用ニーズ及びユースケース仮説の特定を実施した。

課題及び今後の計画としては、①DFFAS+実証の進捗に応じ、発生するデータリストを更新すること、②DFFAS+実証期間中（陸上試験を含む）に発生する実際のデータに基づき、改めてニーズの特定及びユースケース仮説の検証を行うことが挙げられる。

a-1) オープンデータプラットフォームを活用した無人運航船特有の a-ユースケース仮説の検討

DFFAS+規格 WG（情報記録管理 WG では、「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」内で発生する各種データについて、船上情報記録システムから陸上情報記録システムとの連携、陸上情報記録システム間および船上装置間の連携を対象として、自律船の安全かつ効率的な運用、管理を行うのに必要な情報、情報を共有する範囲、提供する機能とその要件を規定するための検討を進めている。

ここでは、船陸間、陸陸間で連携するデータのうち、特に無人運航船特有のデータに着目し、オープンデータプラットフォームを活用したユースケース仮説の検討を行い、ユースケースを以下に示す①～③に分類するとともに、開発・試験フェーズと運航フェーズに分けて整理した。

- ① 無人運航船の開発・普及促進のためのデータ共有：安全確保の開発・試験のために既存データを活用
- ② 新たなデータ提供事業：開発支援、保険、VTS（リアルタイム共有）等
- ③ ノウハウ等の共有：リスクアセス手法（STAMP/STPA）、セフティレポート等

(1) 開発・試験フェーズ

開発・試験フェーズでは、船級協会が無人運航船システムの認証（TQ 認証）に陸上試験のデータ等を活用するケース、船用メーカーが無人運航船開発促進のため、リスクアセスメント結果を共有するケース、造船所や船用メーカー等が無人運航船開発・試験のため、アラートデータや運航ステータス等のログデータやセンサデータ等を共有するケースを想定した。

(2) 運航フェーズ

運航フェーズでは、保険会社が無人運航船向け保険商品開発、支払時の評価のためアラートデータや運航ステータス等のログデータやセンサデータ等を活用するケース、ポータルラジオが ETA（Estimated Time of Arrival）を確認するために長期航海計画を活用するケース、マーチスが海上管制に必要な情報を入手するために活用するケース、各 FOC が監視している船舶動静・公開計画等データ統合による海洋状況把握を目的に、長期・短期航海計画を活用するケースを想定した。

表 2.4.8 無人運航船特有のデータ利用仮説

フェーズ	既存有人船のデータ 利用ユースケース	無人運航船特有のデータ利用 仮説	対象データ	分類	利用者
開発・試験	認証	無人運航船システムの認証 (TQ認証)	陸上試験のデータ	①	船級協会
	リスクアセスメント	無人運航船開発ノウハウの共有	リスクアセスメント結果	③	船用メーカー
	開発・試験	無人運航船開発・試験のための データ共有(例:避航アルゴリズム の高度化)	ログ(アラート、運航ス テータス)、センサデー タ、航海データ	②	造船所、船用 メーカー、ソフト ウェアハウス
運航	保険	無人運航船向け保険商品開発、 支払時の評価データ利用	ログ(アラート、運航ス テータス)、センサデー タ、航海データ	②	保険会社
	入出港管理	長期航海計画からETA (Estimated Time of Arrival)の確認	長期航海計画	②	ポータルラジオ
	海上交通管制	長期航海計画、航海データ等、 海上管制に必要な情報を入手	長期航海計画、航海 データ	②	マーチス
	運航管理	各FOCが監視している船舶動 静・航海計画等データ統合によ る海洋状況把握	長期・短期航海計画	②	FOC

b) 無人運航船の関連データ活用に関するニーズを整理した資料の作成

a) の結果を活用し、無人運航船の関連データ活用について（例：実験・開発データとしての活用）、関係者及び潜在利用者にヒアリング・アンケートを実施し、これを取りまとめた資料を作成した。

本年度の事業成果としては、無人運航船の関係者（想定ユーザ）にヒアリングを実施し、データ活用に係るニーズ・ユースケースの検証を行った。また、確認したニーズ・ユースケースに基づき、その活用・データ流通を支えるデータプラットフォームの在り方を整理した。

課題及び今後の計画としては、①ユースケース毎のデータ仕様の具体化、ビジネスモデルの整理を行うこと、②①に基づき、データプラットフォームの在り方の具体化を進めること、が挙げられる。

b-1) 無人運航船の関連データ活用のためのオープンデータプラットフォームの概念整理

無人運航船の関連データ活用のためのオープンデータプラットフォームの役割として、「共通インフラ」と「データ共有」の2つの観点から、その目的、要件等の概念を整理した。

表 2.4.9 オープンデータプラットフォームの概念整理

	共有インフラとしてのODP	データ共有のためのODP
目的	無人運航船の運航において不可欠となるデータの記録、保存、収集、配付等のために利用される情報関連システムを、業界内で共同利用できるインフラを提供する。	無人運航船の開発、普及、安全な運航等に資するデータを有効活用することを目的として、業界内で共有するためのしくみを提供すること。
要件	情報インフラとしての基本機能の提供 <ul style="list-style-type: none"> データベース機能(データの記録、保管等) ネットワーク機能(通信機能、API連携機能等) セキュリティ機能 (UI機能、分析機能等の付加サービス) 	(右記の情報インフラとしての基本機能の提供に加えて) <ul style="list-style-type: none"> 共有データの収集、配付、利用等に係る規約
留意点	主に中小事業者を想定したリーズナブルな仕様及び価格設定	業界内のコンセンサス形成 <ul style="list-style-type: none"> データ共有の対象範囲とその必要性 データ共有のためのODPの利用ルール
利用例(仮説)	<ul style="list-style-type: none"> 「自動運航船の安全設計ガイドライン」(国土交通省)の定める「記録装置の搭載」への対応。 自動運航船の認証に係る試験データの提出。 	<ul style="list-style-type: none"> 「自動運航船の安全設計ガイドライン」(国土交通省)の定める「リスク評価の実施」のための分析用データとしての活用。 自動運航用ダイナミックマップ作成のためのリアルタイムデータの収集。

b-2) DFFAS+メンバーへのヒアリング結果に基づくオープンデータプラットフォームのニーズ

b-1)で整理したオープンデータプラットフォームの概念に基づき、その利活用ニーズについて、船用機器メーカー、造船業、海運業、サービスプロバイダの計 6 社にインタビュー調査を実施した。インタビュー調査結果の概要は以下のとおりである。

表 2.4.10 オープンデータプラットフォームのニーズに関する調査結果の概要

	共有インフラとしてのODP	データ共有のためのODP
利活用ニーズの有無	<ul style="list-style-type: none"> 認証機関とのデータ共有ではODP(ShipDC)の利用実績が既にある。 中小事業者はデータ管理の仕組みを有していないが、船用機器データの取得・管理のニーズはあることから、利用ニーズはあると思われる。 大手事業者は自社サーバを運用済のためODPの利用ニーズはない。ただし、1船舶上の複数メーカーのデータを一元管理するニーズはある。 右記の業界内の共有データは共有インフラ上で扱うことが合理的。 	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発データは競争領域であり共有化は困難。 運航管理、安全評価に関わるデータは共有可能な可能性あり。
共有対象、要件等	<p>【共同プラットフォームに求める要件】</p> <ul style="list-style-type: none"> データフォーマットの標準化 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 連携用データフォーマットの標準化、国際規格への準拠。 データの一元化 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1つの船舶の全てのデータ、内航船と外航船の全てのデータ、など、包括的にデータの格納先が一元化されること。 アプリケーションの提供 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 中小事業者向けには、アプリケーションを介したデータ授受が必要。 	<p>【対象データの例】</p> <ul style="list-style-type: none"> ダイナミック海図データ 港湾周辺の海底地質データ、パースの喫水やトン数制限、橋梁下通行可能時間等のデータ 海域毎の通信状態データ <p>【データの作成・提供における留意点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ダイナミック海図データ作成のためのセンサーデータは解析処理が必要。 データフォーマット変換が必要。 目的に応じたデータ粒度の定義が必要。

b-3) オープンデータプラットフォームの利用イメージの整理

b-2)で把握したオープンデータプラットフォームのニーズに基づき、オープンデータプラットフォームの利用イメージとして、①自社で利用、②取引先と共有、③業界内で共有、の 3 つのパターンを想定した (図 2.4.5 参照)。

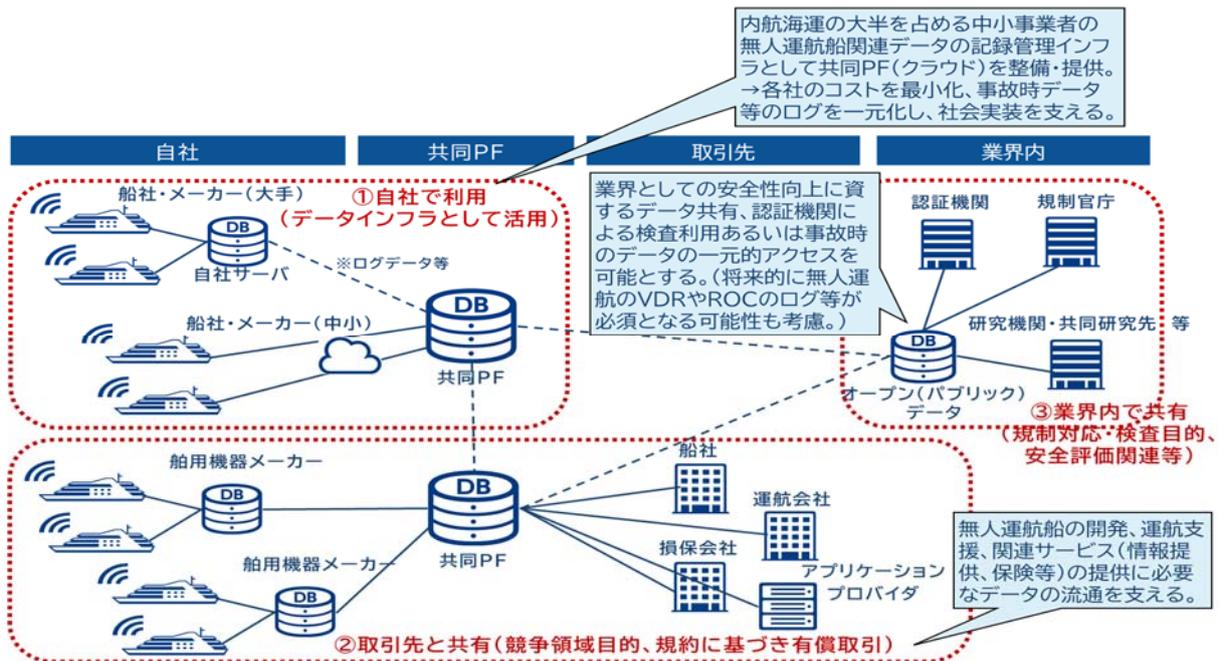


図 2.4.5 オープンデータプラットフォームの利用イメージ

また、優先度の高いユースケースとして、①認証（図 2.4.6）、②リスクアセスメント（図 2.4.7）、③運航管理（図 2.4.8）、④規制対応（図 2.4.9）を選定し、その概要を整理した。

利用目的	無人運航船システムの認証(TQ認証)、国土交通省による船用品検査
利用者	認証機関(船級協会)、規制官庁
対象データ	陸上試験のデータ
利用メリット	認証機関、規制官庁: 認証時に確認が必要なデータを効率的に取得できる。 船社、造船・船用機器メーカー: 提出先が一元化される。
課題等	提出データ形式の標準化等。

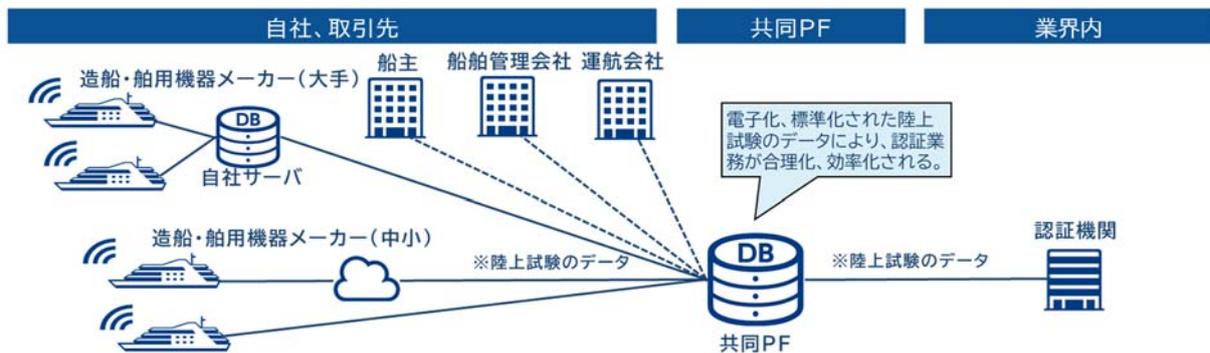


図 2.4.6 優先度の高いユースケース（①認証）

利用目的	無人運航船システムの認証(TQ認証)、国土交通省による船用品検査
利用者	認証機関(船級協会)、規制官庁、船社、造船・船用機器メーカー等
対象データ	リスクアセスメント結果データ(事故やニアミス等の発生時の原因と改善への示唆等)
利用メリット	船社、造船・船用機器メーカー: 事故やニアミス等の発生時のログデータを分析し、発生原因の究明と改善につなげることで、より高い安全性の確保に資する。 認証機関、規制官庁: 事故やニアミス等の発生時のログデータを分析し、認証基準の見直し等に反映する。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> データを共有することへの業界内での合意。 提出データ項目のリスト化、データ形式の標準化等。

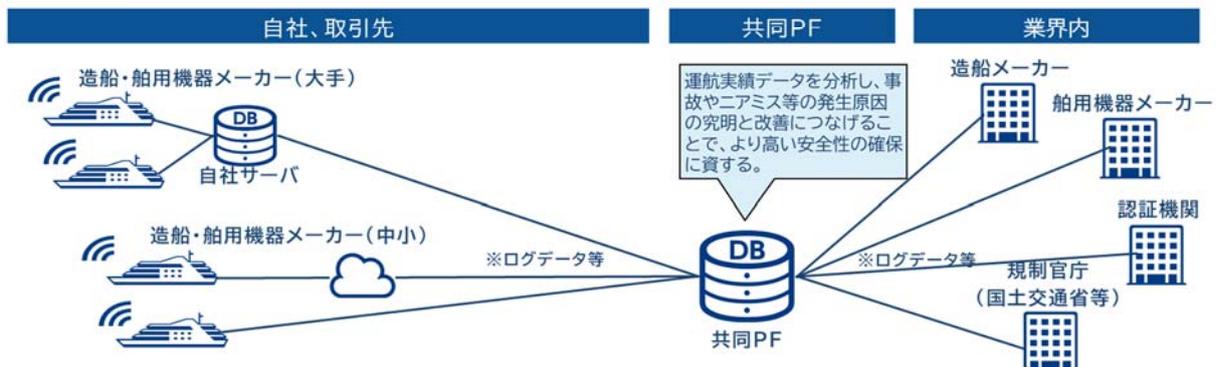


図 2.4.7 優先度の高いユースケース（②リスクアセスメント）

利用目的	各FOCが監視している船舶動静・航海計画等データ統合による海洋状況把握
利用者	FOC
対象データ	センサーデータ、海図データ、航路データ
利用メリット	FOC:ダイナミックマップの精度向上による自動運航の安全性や経済性等の向上
課題等	<ul style="list-style-type: none"> データを共有することへの業界内での合意。 提出データ項目のリスト化、データ形式の標準化等。

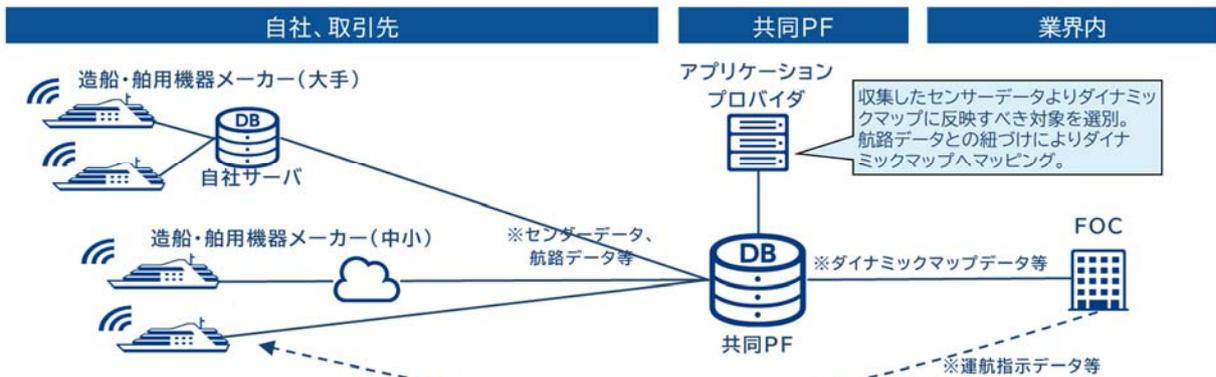
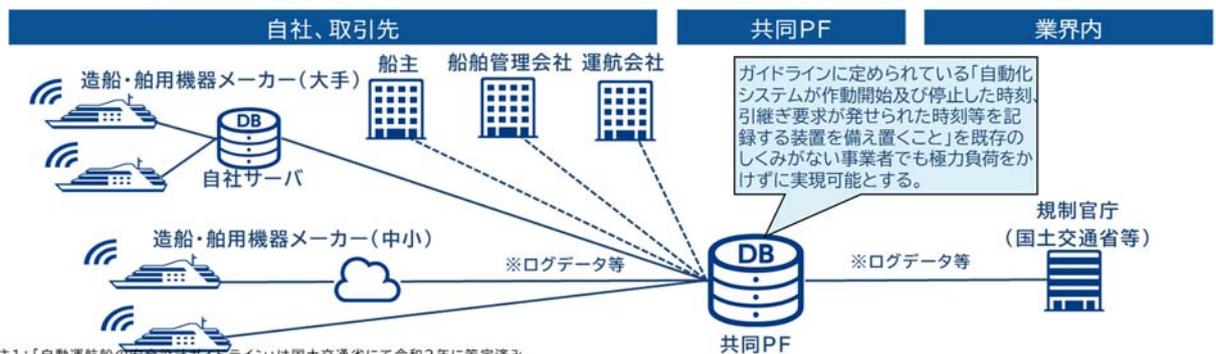


図 2.4.8 優先度の高いユースケース (③運航管理)

利用目的	国土交通省では、自動運航船の安全な設計、製造、運航を実施するための環境整備として、①設計、②搭載、及び③運航に係るガイドラインを策定する計画(注1)。当該ガイドラインが定めるログデータ等の保管や提出に対応するため、共同PFを活用する。
利用者	規制官庁(国土交通省等)、船社、船用機器メーカー等が想定される。
対象データ	自動化システムが作動開始及び停止した時刻、引継ぎ要求が発せられた時刻等のログデータ。
利用メリット	<p>船用機器メーカー:データの提出先が一元化され、提出作業が省力化される。</p> <p>船社等(船主、船舶管理会社、運航会社):機器メーカー毎にデータを集める必要がなくなり、データ収集作業が省力化される。</p> <p>規制官庁:データの照会先が一元化され、ログデータの確認や集計、分析等を効率的に行える。</p>
課題等	提出データ項目のリスト化、データ形式の標準化等。



注1:「自動運航船の安全設計ガイドライン」は国土交通省にて令和2年に策定済み。

図 2.4.9 優先度の高いユースケース (④規制対応)

c) 無人運航船の関連データの活用方法に関する資料の作成

a) 及び b) の結果を踏まえ、無人運航船の関連データの活用を進めるために必要となるデータの権利関係 (提供者、利用者等)、データポリシー (管理、公開等)、活用システム (提供・活用システム構成、管理主体等) 等の課題整理を行い、これを取りまとめた資料を作成した。

本年度の具体的な事業成果としては、データ活用のための環境整備については、既存の ShipDC の

枠組みを活用することが、データ一元化、事業化、普及等の観点から望ましいことを関係者の議論を通じて特定した。また、データの権利関係（提供者、利用者等）、データポリシー（管理、公開等）、活用システムについても ShipDC で定義済みであり、これに従うことが適当と確認した。

課題及び今後の計画としては、①データの権利関係（提供者、利用者等）、データポリシー（管理、公開等）については、ShipDCでは主に外航船の運航データを対象としていることから、無人運航船で想定されるユースケースに合わせた見直し要否を検討すること、②特に無人運航船の想定ユーザーである中小の内航事業者を想定した仕組み作りが必要なこと、が挙げられる。

c-1) データ活用のための環境整備、システム構成、役割分担等の検討

無人運航船関連データを活用する仕組みとして、業界内の共通データプラットフォームを整備することが有用と考えられる。共通データプラットフォームに求められる主な要件として以下が挙げられる。

＜共通データプラットフォームに求められる要件＞

- データガバナンスの確保（データ提供者の権利、データ活用の公平性等の確保）
- データの活用利便性の確保（データの標準化、クレンジング、匿名化等の加工等）
- インフラとしてのプラットフォームサービスの提供（セキュリティ、継続性、コスト適正性等の担保）

データプラットフォームの整備にあたり、デジタル庁が提唱するアーキテクチャ観点での役割を以下の通り整理した。なお、国では、今後のデータ利活用の拡大に備え、業界横断でのデータ利活用を円滑に進めるため、産学官でアーキテクチャを設計の上、当該アーキテクチャに基づき、産学官で役割分担して「つながる」基盤を整備することを提唱している。

表 2.4.11 アーキテクチャ観点での役割整理（仮説）

	(対象の例示)	役割の概要(※1)	ShipDC	IoS-OP コンソー シアム	DFFAS +	国/業界	プロバイ ダ	ユーザ
第7層:新たな価値の創出	—	(新たなビジネスモデルの検討、推進)		○	○			
第6層:業務改革、BPR/組織	—	(法制度改革を含む業務改革の検討、推進)		○	○	○		
第5層:ルール	データ標準、データ品質	データ標準や品質などのデータ連携に必要なルールの整備、トラスト基盤等のルール整備		○	◎			
第4層:利活用環境	データ取引市場、情報銀行等	連携データを多様な主体が使いこなすための利活用環境の整備	◎					
第3層:連携基盤	連携ツール(API等)、データモデル	データ連携用のAPIやカタログなどのデータ連携ツールの整備	○		◎		○	○
第2層:データ	ベースレジストリ等	社会活動の基礎となるデータの整備(海図データ等)				◎		
第1層:インフラ	通信、データセンター、計算インフラ等	通信・サーバの低遅延性、安定性、堅牢性、耐久性、同時接続性、セキュリティ性の確保			○ (通信の規格※2)		◎	

出所)※1:デジタル庁、「包括的データ戦略」、2021年6月、p.11に()書き箇所を追記。

※2:サイバーセキュリティ関連の要件整理を含む。

＜参考＞左列の7階層は、デジタル庁が提唱するアーキテクチャを引用。今後のデータ利活用の拡大に備え、業界横断でのデータ利活用を円滑に進めるため、国では、産学官でアーキテクチャを設計の上、当該アーキテクチャに基づき、産学官で役割分担して「つながる」基盤を整備することが提唱されている。

- 一例として優先的に取り組む分野として、以下等が挙げられており、将来的には船舶業界との関与も想定される。
- 3次元空間情報基盤…自律移動モビリティの運航基盤として、3次元空間情報基盤(空間ID)の整備を実現
 - 企業間取引のワンストップ化…企業間取引・決済におけるデータ連携基盤となる標準等の整備を実現

また、データプラットフォームのサービス構成要素として、データ提供者となるデータプロバイダ、データを収集・蓄積・配信するデータプラットフォーム、データを活用するためのアプリケーションの提供や分析・加工サービスを提供するソリューションプロバイダ、データのエンドユーザとなるソ

リユーシヨンプラットフォームの4つのアクターが想定される。それぞれのアクター間でデータの授受が行われる際に課金するモデルにより、多様なユースケースへの適用が行い易くなると考えられる。

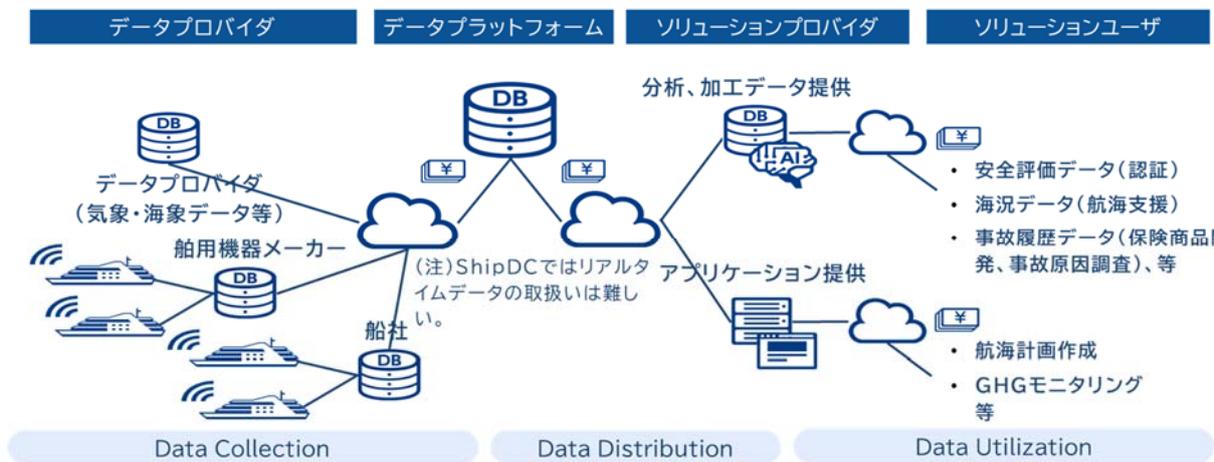


図 2.4.10 データプラットフォームのサービス構成イメージ

海事業界における国内の共通データプラットフォームサービスとしては、ShipDCが既存かつ唯一であり、国内の主要な組織の多く（船社、造船所、船用機器メーカー、造船設計、船級、オペレータ、ICT、商社、保険会社等の民間企業及び研究機関等より 72（2024年1月4日時点）の組織）が参加していることから、これをベースとすることが現実的と考えられる。

ShipDCでは、図 2.4.10 に示したデータプラットフォームのサービス構成イメージに沿ったサービス提供を行っており、経済産業省の「データの利用権限に関する契約ガイドライン ver.1.0」をベースに、様々なユースケースへの対応を想定した IoS-OP 利用規約を作成している。当該利用規約では、データフローに基づき、ステークホルダーの役割を整理・定義した上で、ShipDC が取り扱うデータは民法上の所有権や著作権の対象となりにくいことから、利用規約によりデータの権利（データオーナーシップ）を明文化し、契約によりデータの利用権限や利用条件を定めている。また、国際標準規格（ISO19847）への準拠の推奨等にも取り組んでいる。

c-2) データ活用のための環境整備に係る ShipDC との協議結果、活用方向性

無人運航船に係るデータ活用のための環境として、ShipDC のデータプラットフォームを活用していく方針については、ShipDC の同意を得られる見込みである。しかし、ユーザーやデータの対象範囲等を含めユースケースが現行の ShipDC と無人運航船では異なることから、今後に詳細な協議が必要になると考えられる。

まず、無人運航船関連データの利活用に向けた取組については、DFFAS+ の活動をベースとしつつ、ShipDC や IoS-OP コンソーシアム等の枠組みを活用していくことが適当と考えられる。具体的には、データの収集・提供に係る機能提供は ShipDC（IoS-OP）が、データの収集・提供に係る規格化や要件定義は IoS-OP コンソーシアム及び DFFAS+ が協力して行うことが考えられる。これに関して、ShipDC 側の回答は、IoS-OP コンソーシアムの対象は主に外航船のため、当該 WG 活動内で無人運航船の検討を行うことは難しく、規格化案や要件定義案に対して意見を収集する等の協力は可能とのことであった。

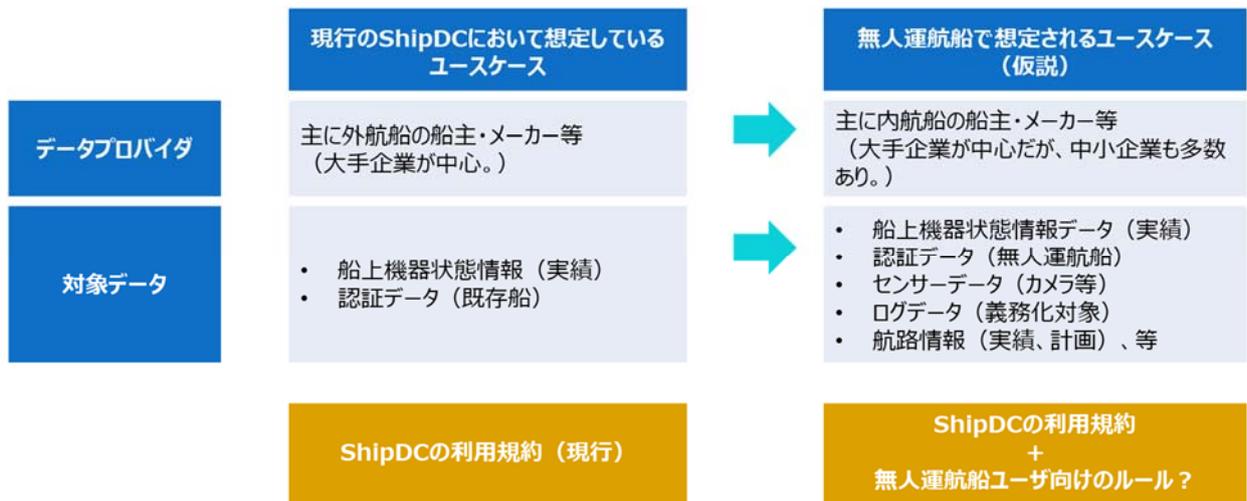


図 2.4.13 ShipDC の想定ユースケースと無人運航船の想定ユースケースの違い

今後の進め方については、2024 年度にユースケースの具体化を進め、ShipDC の利用規約や料金体系等との整合性や事業性の確認を行うとともに、2025 年度には先行ユースケースを選定し、試験利用等により ShipDC の活用可能性を確認することが考えられる。

2.4.5 事業成果まとめ (1 年目)

1 年目の成果は以下の通りである (達成条件毎の成果状況について、図 2.4.14 参照)。

- 新技術：無人運航船の社会実装ユースケースの具体化、レファレンスモデルと実証時評価案作成、必要な規制緩和事項の特定とロードマップ策定、法的責任の論点整理 (DFAS+実証船ベース)
- データ活用：ニーズ・ユースケース具体化とデータ共有基盤の方向性作成、ShipDC との連携協議

2 年目は、DFAS+実証側の進捗に応じた検討の具体化を進めるとともに、コンソ外への展開も図る計画である。

DFAS+旗船中心としたMEGURI全体の社会受容性向上事業の達成状況 (1年目)			
目的	達成条件 (サクセスクライテリア)	1年目の成果	2年目の計画
① 25年旗船等実証の成功 (利便性・安全性の理解による価値の受容) ※技術面はDFAS+で対応	【M】実証航路ステークホルダの反発なく実施 【F】SHに好意を持っていただき実施 【E】業界全体への興味拡大	【M】無人運航船の安全性説明：MEGURI/DFAS+コンセプト説明理解 (離島、旗船関係者) 【F】無人運航船のメリット説明：同上 (離島はWSで議論) 【E】 (未実施)	【M】引き続き実証に向けステークホルダとコミュニケーション継続 【F】同上 【E】キャンペーン・PR活動 (今後調整)
② 26年以降のシームレスな社会実装実現 (船主・運航者等による実利用の受容)	【M】旗船による自動運航機能の継続利用 【F】その他内航海運事業者による自動運航機能の導入 【E】 (陸側との連携での自動化) (導入支援等財政措置検討)	【M】【F】ユースケース具体化、レファレンスモデル・実証時の評価案作成、保険商品設計、規制緩和の方向性整理 【E】 (陸側自動化接続、財政措置等の支援策は未実施)	【M】DFAS+開発に応じ具体化 【F】コンソ外への展開 【E】コンソ外への展開 (陸側、官、金融機関等)
③ 幅広いユースケースの普及実現 (40年時点)	【M】内航船の半数が無人運航船に移行 (40年時点) 【F】新たなユースケースの実現 (40年時点) 【E】海外展開 (40年時点)	【M】理解普及促進 (導入支援検討は未実施) 【F】ユースケース開拓 【E】 (海外向けキャンペーンは未実施)	【M】コンソ外・実証地域外への横展開検討 【F】同上 【E】海外向けキャンペーン・PR活動 (今後検討)

※黄色ハッチ=MRI主担当 (2年目は想定)

図 2.4.14 DFAS+旗船中心とした MEGURI 全体の社会受容性向上事業の達成状況 (1 年目)

【参考文献】

総務省「第118回人口・社会統計部会」－参考1 国土交通省海事局船員政策課「船員の現状等」

独立行政法人海技教育機構「海技教育機構の卒業生に対する卒業後の動向に関するアンケート調査」

(令和3年度)

Kuchle et al. Study on Cost and Quality-of-Service Implications of MASS, 2022.

2.5 無人運航船の社会受容性向上 社会インフラ整備

2.5.1 本事業の目的

無人運航船を実証実験の段階から社会へと展開するためには、安全性と経済性の向上、業界及び社会全体への知識普及と理解促進、社会受容性の拡大が求められる。無人運航船が新たな海事技術として社会に受け入れられるための基盤を構築することは不可欠であり、無人運航船を広く認知させる活動が必要と考えている。本事業では無人運航船の社会への導入過程で重要となる社会受容性の向上を目的としており、無人運航船の導入が期待される離島等の地域関係者・住民等のステークホルダー向けのイベントを通じて、無人運航船の業界に関して社会全体の認識を広め、理解を深めると共に、無人運航船の社会導入に伴う課題の特定や解決策の検討を行うものとする。

2.5.2 本事業に期待される効果

無人運航船の導入が期待される地域を中心とした舟運事業者（物流業者）、自治体、観光業者、地域住民等のステークホルダー向けのイベントを実施することで、無人運航船に関する知識普及及び理解促進が期待される。また、ステークホルダーからの意見をくみ取ることに加え、無人運航船の活用アイデアやニーズを発掘し、無人運航船の実用化への向けた検討を行う。

2.5.3 無人運航船のユースケース発掘のためのイベントに関する資料作成

2.5.3.1 概要

「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」に係る業界関係者、無人運航船の導入が期待される離島等の地域の関係者・住民等からユースケースシナリオ等の無人運航船の出口設計に繋がるようアイデアやニーズを発掘するため、小豆島エリアの旅客航路事業者、物流・交通事業者、製造業事業者、観光業事業者、地方公共団体等へのヒアリングを実施し、「無人運航船プロジェクト MEGURI2040 小豆島エリアにおけるワークショップ」を2回開催した。その概要、開催方法、内容、実施時期等を次項以降に示す。

2.5.4 第1回ワークショップの概要

日時：2023年11月

場所：小豆島

名称：「無人運航船プロジェクト MEGURI2040 小豆島エリアにおけるワークショップ」

対象：岡山県・香川県を中心とした舟運に関係するステークホルダー

内容：ステークホルダーに対して MEGURI2040 における無人運航船技術開発に関する取組みの説明、及び無人運航船技術が地域にもたらす影響についての理解を深め、実施に向けた課題の洗い出し。

2.5.4.1 実施内容

(1) ワークショップ前半パート

MEGURI2040 のこれまでの活動報告の共有、新岡山港 – 土庄港間の無人運航実証事業の活動状況の共有を実施。図 2.5.1 に、ワークショップの内容をまとめたグラフィックレコーディングの内容を示す。

(2) ワークショップ後半パート

① 無人運航船技術への期待

- ・無人運航船技術を活用する事で、どのような事ができそうか。
- ・自社及び地域にどのような利点があるか。
- ・20年～30年スパンで自社や地域にどのような好影響がありうるか。

② 無人運航船技術への懸念

- ・無人運航船技術を導入するにあたり、クリアしなければならない課題は何か。
- ・無人運航船技術がマイナスの影響を与えそうな事は何か。

図 2.5.2 および図 2.5.3 に、メリットと課題をまとめたグラフィックレコーディングの内容を示す。

<議論された内容：期待>

- ・無人運航船技術の活用には、規制面の整備も必要になる。無人運航船のような先進的な取り組みにより、備讃瀬戸海域への注目が高まる事で、同地域への来訪者増加がありえるのではないか？
- ・瀬戸内海の離島等では、現状の航路維持が困難になる可能性が指摘されており、無人運航船技術が解決策の一つとして期待される。コロナの影響で輸送人員が減少したことに加え、人手不足・船員不足が深刻化している中、無人運航船による新たな展望が開けるかもしれない。
- ・ヒューマンエラーの減少や安定的な航路提供は住民にとってもメリットが大きいとされ、船員の労働環境改善も期待されている。将来的に必要な人員を減らすこと、自動離着岸の実現によるヒューマンエラーの減少、特に小型旅客船に携わる船員の休憩取得の容易化等が期待される。これらの取り組みにより、舟運業界全体の持続可能な発展を目指してはどうか。

<議論された内容：懸念・課題>

- ・無人運航船の実用化に関して、コスト面での懸念が挙げられた。具体的には、設備投資費用や固定費の増加、陸上側の業務における職員の負担増加の可能性、入港時の複雑な条件への対応、係船作業の追加対応の有無等。
- ・定時運航の確保、安全に対する信頼感の構築、費用対効果や投資回収計画の精査、航路中の無人化の範囲、自動運航に伴う船員のノウハウの維持、業界全体のデジタル化の推進等、様々な課題についての議論が行われた。
- ・これらの課題は、無人運航船の導入と運用において重要な検討点となる。特に、離島航路を運営する一部の企業は、これまでアナログで運営されてきた業界の慣習上、デジタル化へは適切なプロセスを踏む必要があるとの意見も出ていた。

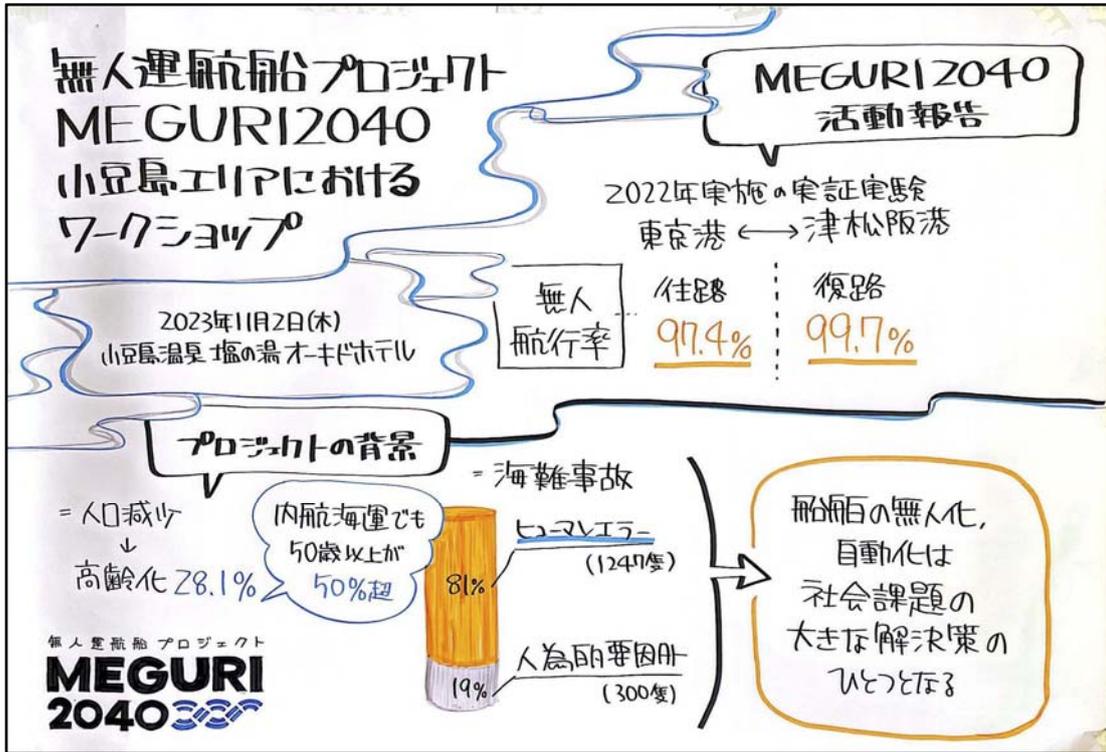


図 2.5.1 MEGURI2040 の活動をまとめたグラフィックレコーディング

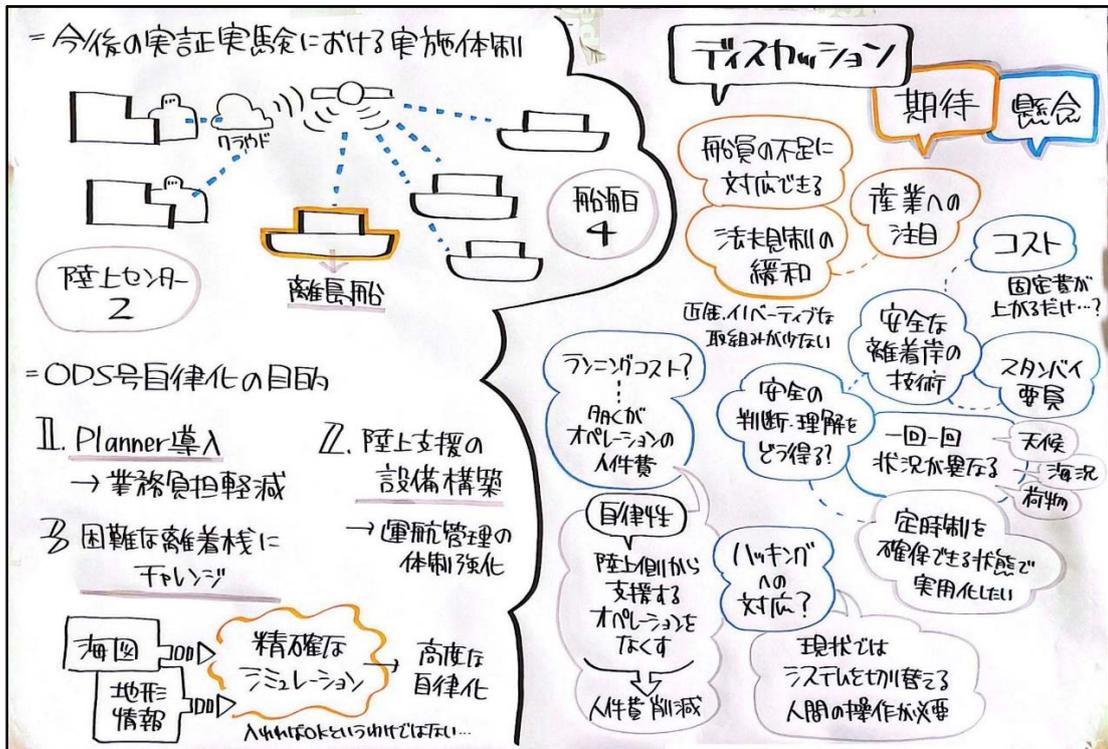


図 2.5.2 メリットと課題をまとめたグラフィックレコーディング①



図 2.5.3 メリットと課題をまとめたグラフィックレコーディング②

2.5.5 第2回目ワークショップの概要

日時：2024年2月

場所：小豆島

名称：「無人運航船プロジェクト MEGURI2040 小豆島エリアにおけるワークショップ」

実施形態：グループディスカッション形式

対象：岡山県・香川県を中心とした内航船に関係するステークホルダー

内容：MEGURI2040 における無人運航船技術開発に関する活動内容共有及び、新岡山港-土庄港間の航路を結ぶ「おりんぴあどりーむせと」号の無人運航船プロジェクトを紹介。また、グループディスカッション形式で各者が感じる無人運航船の課題、地元地域に及ぼす影響・効果を共有し、無人運航船に対する理解促進及び無人運航船技術が地域や舟運に関連する業界にもたらす影響・実用化に向けての課題の洗い出し。

2.5.5.1 実施内容

(1) ワークショップ前半パート

MEGURI2040 のこれまでの活動内容共有、新岡山港-土庄港の無人運航実証事業の活動状況の共有。

(2) ワークショップ後半パート

複数のグループに分け、3つのテーマについてグループディスカッションを実施。

<ディスカッションテーマ1>

将来的な舟運の理想像、あると便利なサービス、現状の課題。

- ・ 運航時間と航路に関する意見では、深夜や早朝の運航の要望が多く、24時間運航や通勤、通学、観光目的での増便があれば便利との意見が出ていた。
- ・ 運賃については、高運賃がリピート利用のネックになっている可能性があるとの指摘。閑散期の割引やダイナミックプライシング等の提案もあった。ユーザー目線だけで言えば、運賃の値引き、特に車両運賃の負担低減が望まれるが、この点は運航者目線でもしっかりと議論する必要

がある。

- ・ハードウェア面では、ネット環境やコンセントの充実、プライバシーを確保できる座席やワークスペースの設置、電子決済の導入、バリアフリー設計への配慮が挙げられた。
- ・船内での時間の有効活用に関しては、マッサージや散髪、お土産の充実、レンタカーとの提携（船内からの予約）、船上イベントの開催等、様々なユニークなアイデアが出た。
- ・アクセス・陸上交通との連携では、岡山港のアクセス強化や船とバスの連動性へのニーズの高さが挙げられた。
- ・運航状況に関する意見としては、荒天時の運航希望やタイムリーな運航状況の入手、欠航予測サービス等があれば便利との意見が出た。
- ・海上タクシーについては、その利便性にもかかわらず認知度が低い可能性があるとの指摘もあった。
- ・その他の意見としては、書類のデジタル化、設備投資に対するリターン確保の重要性、医療船の導入可能性に関する意見等が出た。

<ディスカッションテーマ2>

定期航路の輸送量が減少した場合の影響。

航路の運航便数減少に関する様々な議論が交わされ、これらは観光業、地域経済、物流・サービス等、多方面に影響を及ぼすことが懸念されるとの意見が挙げられた。

- ・観光業においては、運航便数の減少はツアー内容の柔軟性に影響を与え、観光客の減少に繋がる可能性があるとの指摘。離島内の平均宿泊日数が増える可能性があるが、一方で全体の訪問者数が減少し、結果として観光地としての魅力が低下するリスクがあるとの意見も出た。
- ・経済的影響としては、便数の減少が利用者のさらなる減少を招き、航路の廃止へと繋がる悪循環に陥る恐れがあるとの意見が述べられた。島外へのアクセスが困難になり、島に住む人々の生活が不便になることで、さらに人口減少を加速させる懸念も挙げられた。
- ・物流とサービスへの影響では、積み残しや日常生活に必要な物資の供給不足、通販業者や工場の島外移転の懸念が示された。これらは、地域経済や産業全体に対して負の影響を及ぼし、最終的には地域や島の文化・魅力の低下に繋がる可能性が心配される。
- ・航路の維持に関する影響としては、運航便数の減少により、運航業者の保有船舶の活用問題や雇用維持の課題が出てくる可能性がある。
- ・行政の支援と政策に関しては、これまで以上に補助金制度等の議論の重要性が高まっていく可能性があるとの意見が出ていた。

これらの意見は、航路維持の問題が単に交通手段の問題ではなく、地域の生活、経済、文化に深く関わる重要な課題であることを示しており、持続可能な社会の実現という大きなテーマとも繋がると考えられる。

<ディスカッションテーマ3>

これまでのディスカッションを踏まえた意見及び無人運航船の活用・ポテンシャルについて。

- ・日本における一部の離島は人口が減少傾向にあり、この状態が続いた場合島内生活の維持が困難になる等の問題が浮上するリスクがある。この課題に対処するため、地域経済の確保と人口維持の観点から考える必要があるのではないか？

- ・無人運航船技術を活用した航路の維持に加え、便数を増やすことで、観光客の増加、それに伴う産業の発展等、結果的に人口増加に繋がるとの意見が出た。また、便数が増える事で、島外に出た若者が帰省しやすくなることや、新たに移住を考える人々にとっても心理的な安心感が生まれる可能性が考えられる。
- ・観光産業の発展については、オンデマンド輸送や無人運航船を活用した新しい観光形態の導入が提案された。これにより、観光客の増加が見込まれ、島の経済を支える一助となると考えられている。
- ・産業の維持に関連しては、便数の増加により島外からの労働者が増える期待がある。また、工場の誘致等を見据えた運賃設計を検討してはどうかとの意見も出た。島内の産業が盛り上がる事は、新たな労働力の確保と移住者の増加といった直接的な効果が期待される。
- ・無人運航船技術による航路維持と安定運航のコスト低減も重要な議題である。無人運航船による船員の労働環境の改善に期待したいとの意見も出ていた。無人運航技術を活用することで、更なる安全航行が実現できれば、船を住民の足として活用する事への心理的ハードルが低減され、島外での用事を済ませた人々が安心して島に戻ってこられる等、島の生活の質の向上への期待感も出た。



テーマ 1

テーマ 2

テーマ 3

図 2.5.4 ディスカッションテーマの内容をまとめたグラフィックレコーディング

2.5.5.2 総括

本ワークショップでは、離島航路の維持の重要性を再認識するとともに、無人運航船技術の活用について活発な意見交換がなされた。第 1 回目ワークショップにて無人運航船に関する知識の普及及び理解促進がなされ、第 2 回ワークショップでは、無人運航船のポテンシャルについての議論等がなされた。2025 年度から実施する新岡山港と土庄港の間の実証運航についても、ワークショップ参加者を中心に島内での前向きな会話が広がっていくことが期待される。

2024 年度以降は、2025 年度の実証運航に向けて、小豆島周辺のみならず、近隣海域の地元ステークホルダーの理解醸成を行うとともに、2026 年度以降のシームレスな社会実装実現（船主・運航者等による実利用の受容）を見据えて、離島航路を多く抱える瀬戸内全域におけるステークホルダーの理解獲得、ユースケース・サービスモデルも含めた具体的な運用像の提示や、投資判断のためのモデル

ケース作成、導入支援財務施策の検討等が必要になると考えられる。

2.5.6 無人運航船の将来人材の育成に向けたイベント開催

2.5.6.1 概要

「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」に係る小豆島近郊地域について、無人運航船の将来人材の育成のため、小学生以上を対象とした無人運航船の体験型イベント及び広報周知活動を企画（開催方法、内容、実施時期等）するため、小学生以上を対象とした無人運航船の体験型イベント「乗っちゃおう！おりんぴあどりーむせと みらいのフネ！ワクワク乗船体験ワンデイイベント」を実施した。実施概要について次項以降に示す。

2.5.6.2 乗っちゃおう！おりんぴあどりーむせと みらいのフネ！ワクワク乗船体験 ワンデイイベントの概要

日時：2024年3月3日（日）

場所：新岡山港/おりんぴあどりーむせと号/小豆島オリーブ公園

対象：岡山県在住 主に10歳以下（小学4年生以下）のお子様とご家族

目的：MEGURI2040の活動内容及び無人運航船について参加者に認知してもらい、無人運航船の社会受容性を高める事を目的とした取組み。将来の無人運航船ユーザーとなるお子様やご家族に参加頂き、船を身近な存在に感じてもらい、無人運航船に対して興味を呼び起こすもの。

(1) 概要

「乗っちゃおう！おりんぴあどりーむせと みらいのフネ！ワクワク乗船体験」は新岡山港から「おりんぴあどりーむせと」号に乗船し、小豆島土庄港へ向けて出航。土庄港到着後はバスに乗り「小豆島オリーブ公園」へ移動。様々なイベントを通じて、船・無人運航船について身近に感じてもらいながら学ぶ体験型のワンデイイベント。また、メディアを通じてMEGURI2040及び無人運航船の認知度向上に繋がる事が期待される。

(2) 実施内容

【開催名称】

乗っちゃおう！おりんぴあどりーむせと みらいのフネ！ワクワク乗船体験

【主催】

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

【イベント協力】

公益財団法人 日本財団 / DFFAS+

【開催日時】

2024年3月3日（日） 9:00～終了：16:00頃（新岡山港 解散）

【参加人数】

106名

【実施イベント】

船内イベント、オリーブ公園でのスタンプラリー、メディア説明会

図 2.5.5 に、「おりんぴあどりーむせと」号と、船内イベント（クイズ大会）の様子を示す。



図 2.5.5 「おりんぴあどりーむせと」号と、船内イベント（クイズ大会）

【船上イベント】

体感型による学びの機会を提供。実際に船に乗船し、船上にて海運業界や無人運航船について楽しく学んでもらうイベント。船や海運に興味を持ってもらう事を目標とした。MEGURI2040 プロジェクト関係者より船に関するクイズや無人運航船に関するレクチャーを実施。

船橋の見学：船長よりシステムについてのレクチャーを実施。船と無人運航船について学びの場を提供。お子様のみならず、保護者様も興味深く聞いている姿が印象的であった。

【オーリーブ公園でのイベント】

目的：船・無人運航船について学んでもらうためにイベントを実施。

内容：スタンプラリーを実施。オーリーブ公園内に4か所のチェックポイントを設置。スタンプを押し、MEGURI2040の活動内容をまとめた文章を完成させる事で景品を提供する。スタンプラリーを完成させると以下の文章が出来上がる仕組みとなっており、スタンプラリーを通じて、お子様に MEGURI2040 に関するキーワードを覚えてもらう事が狙い。

「MEGURI2040 は、日本財団が進めている、日本の将来の生活を支える無人運航船の実用化を目指すプロジェクトです。「おりんぴあどりーむせと」号も、2025年に無人運航船として生まれ変わる予定です」。



図 2.5.6 各チェックポイントに配置されたボード



図 2.5.7 船内配布資料 スタンプラリーチラシ

(3) アンケートの実施とその結果概要

参加者（保護者様とお子様の夫々）を対象にアンケートを実施。

- ・アンケート結果によると、イベント全体を通じて楽しんだとの回答が全員から寄せられた。
- ・イベント参加前の船への関心度は約 6 割であったが、イベントに参加したことで、船がより好きになった。船への興味を持つきっかけになった。との回答が 9 割近く寄せられ、船への関心度を大きく高める結果となった。
- ・無人運航船についての説明を初めて聞いたという回答がほとんどであったが、船内イベント（無人運航船の学び）は約 8 割が内容を理解したと回答。船上で行った無人運航船のレクチャーや船橋（ブリッジ）見学を通じて無人運航船がどういったものであるかを理解できた。現在動いている船と未来の船の違いが理解できた。という結果も出ており、お子様に無人運航船を知ってもらえるイベントとなった。
- ・保護者様用アンケートでも同様に、全員が本イベントを楽しんだと回答。保護者様目線では、7 割以上の方からお子様が無人運航船について興味を持ち、船に対する興味や理解が深まったと認識していた。保護者様としても無人運航船に関する理解が深まったと回答した比率が高く、無人運航船の必要性に共感する声が目立つ結果となった。また、船を活用したイベントへのリピート意欲が高く、イベントの満足度は非常に高かったと考えられる。
- ・保護者様からは、お子様が楽しみながら学べる環境が提供されたこと、スタッフの親切な対応、船の上での説明が理解しやすかったこと等、イベントに対してポジティブなフィードバックが寄せられた。また、8 割以上の参加者がもう一度小豆島にきたいと回答しており、小豆島のアピールに繋がったと考えられる。

以上の通り、参加者からは総じて無人運航船について前向きな意見を頂いており、本イベントを通じて MEGURI2040・無人運航船を認知してもらおう事で、無人運航船の社会受容性を高める機会となった。

2.5.6.3 総括

アンケートでは、お子様と保護者様双方がイベントを楽しんだこと、船に対する興味や理解が深まった結果が出ている。特に、無人運航船に関する情報はほとんどの参加者にとって新しく、その必要性に関する理解が深まったとの声が多く聞かれたことは収穫である。また、イベントへのリピート意欲が高く、満足度も高いイベントであったと考えている。本イベントは、MEGURI2040の活動内容及び無人運航船について参加者に認知してもらうこと、そして、船を身近な存在であることを感じてもらい、無人運航船に対して興味を呼び起こすことを目的としており、その目的に沿った内容と結果を得られたと考えている。

保護者様からは、お子様が学びながら楽しめる環境が提供されたこと、スタッフの対応の良さ、内容の理解しやすさ等のフィードバックがあり、イベント運営に関しては一定の評価を頂くことができた。

本イベントは、地域住民の無人運航船への興味を刺激し理解を深める機会であり、社会受容性向上への効果が出たと評価する。このため、2024年度以降に、無人運航船の将来人材の育成に向けたイベントを実施する際には、本イベントを踏まえた上での開催方法、内容、実施時期等を検討の上、実施することが適当といえる。

2.6 総合調整、ガイドライン策定等

関係委員会に報告した年度計画含む本年度の事業成果を以下に示す。



今年度の事業成果

⑥総合調整、ガイドライン策定等



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・航空技術研究所
海上技術安全研究所
NATIONAL MARITIME RESEARCH INSTITUTE NMRRI



⑥総合調整、ガイドライン策定等
年度計画 ～ 今年度の実施事項

□ 安全ガイドラインの策定

- 安全ガイドラインの策定
- 検討課題の整理
- リスク解析手順書
- 認証ガイダンス案の策定

□ 関連調査

- 遠隔オペレーションの実施に関する法的整理および船舶の自動運航における民事法上の責任所在に関する調査
- 海外の自動運航船に関する調査

ロ 安全ガイドライン案の策定 (IMOのMASSコード案)

- MEGURI実証事業者・日本海事協会とともに、IMOのコレスポネンスグループに参画し、自動運航船の安全要件等を定めるMASSコードのドラフト作業を実施。
- MEGURIの実証・安全性評価での知見を活用し、日本担当のNavigationセクションを引き続き主導。遠隔操船等他セクションに対してもコメントを提出し、MASSコード策定を支援。
- 作成したMASSコードの修正案は、MASS CG を通じてMSC108に提出予定。 参考G-23-9-1

	MSC105 22年4月	MSC106 22年11月	MSC107 23年2/4半期 5/31-6/9	ISWG -2 23年 Oct. 10/30-11/3	MSC108 24年2/4半期 5/15-24	MSC109 24年3/4半期	MSC110 25年2/4半期
ロードマップ	➢ 合意	➢ 随時 update	➢ 同左		➢ 同左	➢ 同左	
MASS Code (非強制)	➢ アプローチの検討	➢ 検討開始 CGにより、起草開始	➢ Update	➢ Update	➢ Update	➢ 最終化	
MASSコード (強制)	➢ MASSコードの強制/非強制での開始判断				➢ スコープとフレームワークの検討	➢ 作成開始	➢ 最終化 ➢ MSC 111での採択へ
その他			➢ 既存規則類の改正箇所の検討		➢ 既存規則類への影響と変更点	➢ 既存規則類のレビュー	

IMO作業ロードマップ (案)

ロ 安全ガイドライン案の構成と概要

(IMOのMASSコード案 2024年1/29 時点の最新案)

・MASSコードの構造

・PREAMBLE 前文

・PART 1 序文 INTRODUCTION

このコードの適用において考慮すべき包括的な事項を扱う序文

・PART 2 MASS及びMASS機能[、遠隔オペレーション]の必須原則

MAIN PRINCIPLES FOR MASS AND MASS FUNCTIONS
[AND REMOTE OPERATIONS]

このコードを適用する全てのMASS又は自動機能に適用される必須の原則および要件。これらの原則及び要件は、承認及び認証プロセスの一環として満たされなければならない。

・PART 3 目標、機能要件、規定

GOALS, FUNCTIONAL REQUIREMENTS AND
PROVISIONS

MASS又はこのコードを適用する自動機能に適用すべき要件。認証される運航形態及び機能によっては、第3部の全ての章を満たす必要がない場合もある。

□ 安全ガイドライン案の構成と概要

(IMOのMASSコード案 2024年1/29 時点の最終案)

Preamble

Part 1

1. 目的 Purpose
2. 原則 Principles
3. 目標 [Goals] [Objectives]
- ~~4. Verification and validation
(GBS Tier III)~~
5. 適用 Application
6. コードの構造と他の規則との関係
Code Structure and relationship
to other IMO Instruments
7. 用語と定義
Terminology and Definitions
- 7.bis 認証プロセス Approval Process
8. 証書と検査 Certificate and Survey

Part 2

1. 運用コンテキスト
Operational context
- ~~2. Safe states for the ship~~
- ~~3. Functions Required for MASS~~
4. リスク評価
5. システム設計原則
System design principles
6. ソフトウェア原則 Software Principles
7. 接続性 Connectivity
- 7bis 警報管理 Alert management
8. 人的要素 Human element

□ 安全ガイドライン案の構成と概要

(IMOのMASSコード案 2024年1/29 時点の最新案)

Part 3

- Ch 1 Navigation
- Ch 2 Remote Operation
- Ch 3 Communications
- Ch 4 Subdivision, Stability, and
Watertight Integrity
- Ch 5 Fire Protection / Safety
- Ch 6 Life Saving Appliances and
Equipment
- Ch 7 Management of Safe
Operation
- ~~Ch 8 Controlling the Operation of
a Ship~~
- Ch 9 Security

Part 3

- Ch 10 Search and Rescue
- Ch 11 Cargo Handling
- [Ch 12 Personal Safety and
Comfort]
- Ch 13 Towing and Mooring
- Ch 14 Machinery Engineering /
Machinery Installations
- Ch 15 Electrical and Electronic
Engineering
- Ch 16 Maintenance and Repair
- Ch 17 Emergency Response

□ 安全ガイドライン案の構成と概要

(IMOのMASSコード案 2024年1/29 時点の最新案)

Part3

Chapter 1 Navigation

- 1.1 Goal
- 1.2 Functional Requirements (FRs)
- 1.3 General
- 1.4 Sub-functions for MASS navigation
 - [Situational awareness]
 - [Route planning and determination for collision and grounding risk avoidance]
 - [Heading, speed and track control]
- 1.5 Override and fallback response

Part3

Chapter 2 Remote Operation

- 2.1 Goal
- 2.2 Functional Requirements (FRs)
 - ・Secure location
 - ・Control Station

□ MASS関連用語

- ・MASS関連用語は、MASS Code Part1 7 Terminology and Definition 章に記述されており、現在、用語の数は、66。 さらに調整中。
- ・これらの用語については、SOLAS等のIMOの条約の条項の他、EMSA から公開されている“Testing of RBAT(Risk-Based Assessment Tool) on Specific Cases of MASS Concepts, Report 4”等を、素にドラフトされた。
- ・OE、ODD、Fall Back等の概念の議論において、日本からMASS ISWG 2 に提出された、MSC-ISWG-MASS 2-3-7 (参考G-23-9-2) が貢献。



Figure 1: illustration OE – ODD – ARCIdegraded state – fallback-

出典：MASS コード現時点最新版 参考G-23-9-1

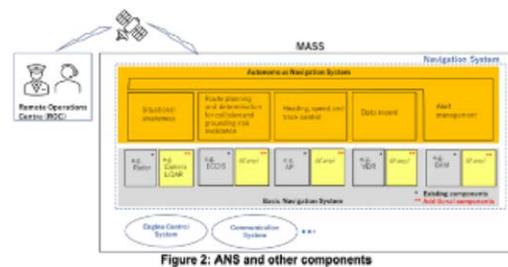


Figure 2: ANS and other components

出典：MSC-ISWG-MASS 2-3-7 参考G-23-9-2

□ 運航設計領域 (ODD)

- 外乱 + α (運航時間・海域等)、どこまで考慮するか?
- 自動車は、地理 (道路区間・環境)・環境 (気象・交通)・走行 (速度等) が基本

□ 権限移譲 (Override)・縮退操船 (Fall back)

- IBS・INSで概念は導入済み、IBS・INSより強化?自動運航船 <and/or= 無人運航船の関係?
- 対応失敗の可能性 (+ α の余裕?)
- MRMリスク最小化制御・MRC最小リスク条件 (INSにない概念、自動車分野並み?)

→**MASS CODEのPart2 "1 Operational context"**で、Operational context、Concept of Operation、Operational Envelope、[Operational Design Domain]、Fallback state、Mode(s) of Operationの用語を用いて、整理中。日本は、ISWGの提案文書(参考G-23-9-2:MSC-ISWG-MASS 2-3-7)で、この議論に貢献。外乱等の詳細については、Tier4のレベルとなり、ConOps等で定義される航行環境等を考慮して検討される。

無人・自動運航船固有の機能要件

□ NavigationセクションでのLook outの扱い (認知)

- 日本は「航海機器」を・フィンランドは「カメラ」をそれぞれ基本にシステムをイメージ (対立)
- 操船者は何を見て・どこから認知しているのか整理 (船の大きさ・船種、周囲音等)

→**Lookoutは、MASS CODEのPart3, Chapter1 NavigationセクションのSubfunction "Situational awareness"**において、機能要件「外部環境の適切かつ正確な分析が出来ること」とされる。

□ その他

- HMI:ヒューマンマシンインターフェース
→当初、Navigation セクションで記述されていたが、他の自動化機器にも関わるので、Navigationより上位の項目へ移動を提案。
- 外部に依存する自動化機能の不確実性対応 (GNSSのシステムダウン等)
→MASSコードへの詳細な規定なし。システムに要求されるリスク評価 (Risk Assessment) での対応が考えられる。

□ リスク解析手順書の作成

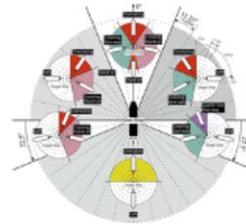
- 無人運航・自動運航に関する次のリスク解析手順書を作成
 - (a) IMO検討中のMASS安全ガイドラインで求められるリスク評価に関する解析手順書案
 - (b) 国土交通省の自動運航船安全ガイドラインで求められるリスク評価に関する解析シート標準
 - (c) IMOの自動運航船トライアル暫定ガイドランで求められるリスク評価に関する解析シート標準

□ 認証ガイドランス案の作成

- 無人運航・自動運航に関する次の認証ガイドランス案を作成
 - (a) 自動避航システム（Planner）の安全評価の手順書
 - (b) 自動着離棧システムの安全評価の手順書
- 日本海事協会等と協力して、Planner及び自動着離棧システムの認証ガイドランス案を作成中。

リスク解析手順書目次	
1章	概要
2章	主要原則
3章	リスク解析の実施手順の概要
4章	用意すべき資料
5章	リスク解析の各段階で行う作業
付録1	解析対象範囲の確定作業の例
付録2	代表的なリスク解析手法の概要
付属書1	自動運航船のリスク解析の実施例
付属書2	無人運航船の実証実験のリスク解析の実施例
付属書3	無人運航船のリスク解析の実施例

リスク解析手順書（再掲）



認証ガイドランス：見合い関係のカテゴリズ(再掲)

関連調査

遠隔オペレーションの実施に関する法的整理および
船舶の自動運航における民事法上の責任所在に関する調査

海外の自動運航船に関する調査

航海関連情報の利用状況のアンケート調査

遠隔オペレーションの実施に関する法的整理

□ 遠隔オペレーターの資格

- STCW条約に追加または別条約において遠隔オペレーターの資格制度の創設が必要
- 現在のSTCW条約で定められている教育訓練をベースに、遠隔オペレーターにとって必要な教育訓練内容の検討

□ 遠隔オペレーションセンターの設備要件

- マネジメントレベル・オペレーションレベル・サポートレベル等、各レベルに応じた設備要件や組織体制の構築

□ 遠隔オペレーションセンターに対する検査

- 船舶とは異なり陸上施設への領域国以外による検査が問題
- 解決策として、「船舶の一部」と考えた船舶検査の延長と捉え、船級協会によるISMコード方式による検査とする考え方と、民間事業者である船級協会による検査という建付けという考え方が考えられる

船舶の自動運航における民事法上の責任所在

□ 責任の所在

- 自動運航船の運航において船舶所有者が雇入れた乗組員または運航責任者の過失によって衝突事故が発生すれば、船舶所有者がその責任を負うことになる。
- 船舶所有者が遠隔オペレーションセンター運営事業者に対して船舶の運航を請負契約という形態等で委託し、当該運営事業者が雇入れた乗組員または運航責任者の過失によって衝突事故が発生すれば、当該運営事業者が責任を負う
- 乗組員と運航責任者が別々の事業者には雇い入れられている場合には、最終責任者である運航責任者の過失か、共同不法行為となる。

□ 過失の態様

- もし、自動運航システムに依存することが許容されるのであれば、当該システムに欠陥等がない限り、船舶所有者も、遠隔オペレーションセンター運営事業者も過失がないと判断される可能性が示唆される。
- 当該システムに欠陥等がある場合には、当該欠陥に対して適切な検査等を行っていたのかといった別の態様の過失が考慮対象となる。
- 通信機能の不具合についても同様の扱いとなる。

□ 船主責任制限法・条約の適用の可否

- 船舶所有者ではなく、遠隔オペレーションセンター運営事業者が衝突責任を負うとされる場合であっても、当該事業者もまた責任制限を享受し得る可能性がある。

□ (1) Autonomous Ship Expo 2023

日時：2023年6月20日～22日 Electric and Hybrid Marineが、並行して開催

場所：RAI Amsterdam オランダ

会議の概要：次世代の海上輸送車両を構築するこの先駆的な海洋エンジニア コミュニティと意見を交換する国際会議。

主な内容

- 1) MASSの開発状況
- 2) プロジェクト紹介
- 3) 法的・責任・規制
- 4) データ接続、サイバーセキュリティ
- 5) 試験・認証
- 6) 状況認識 (センサー・SA)



1,500トン積載のX-Barge



12名乗船の遠隔操船船



パリ2024オリンピックでデモ予定

□ (2) ICMASS 2023

日時：2023年11月8日～9日 Euro Port 2023が、並行して開催

場所：アホイ・ロッテルダム 屋内競技場 オランダ

会議の概要：学術研究者と産業界の両方に自律船に関する最先端の研究を紹介する国際会議。

主な内容

- ・ TCSの情報の送受信による航行意志交換：図 1
- ・ 遠隔監視者の異変の見落としに関する実験
- ・ 拡張現実感を用いた遠隔パイロット技術
- ・ 協調した船隊制御システム
- ・ 包括的な自動避航システムの評価シナリオ：図 2



図 1：TCSのデータ交換の様子 MARIN

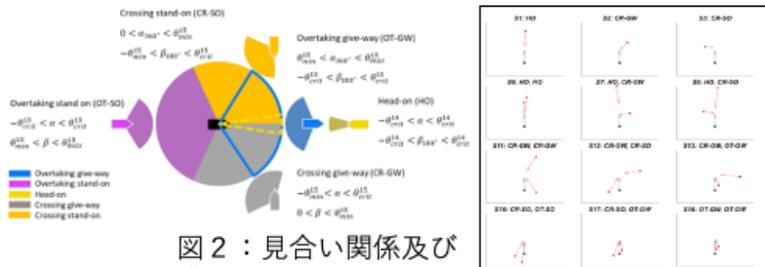


図 2：見合い関係及び遭遇パターンの図
DNV-GL

□ (3) Maritime Autonomous Systems Regulatory Conference 2024

日時：2024年1月16日～17日

場所：Web

会議の概要：Maritime UK のThe UK Maritime Autonomous Systems Regulatory WGが主催するWeb会議。英国政府とMCAの取り組みと

主な内容 Workboat Code 3の他、MASS Peopleの活動等の報告があった。

- ・MCAの活動 **WB Code 3**：表 1
- ・MASS Peopleの活動：表 2
- ・自律・遠隔運河通航：図 1

Operational Level Competencies

- Equipment Operator: Operate vessel functions; understand automation levels.
- MASS Manoeuvring: Plan/execute navigation; respond to emergencies.
- Maintenance & Repair: Manage software; operate hybrid propulsion.
- Communication Maintenance: Operate mission communication systems.
- Safety & Security: Operate cyber-protection; respond to piracy.
- Emergency Response: Manage abnormal/emergency scenarios; vessel recovery.
- Vessel & ROC Operators: Conduct MASS operations; understand ROC structure.
- Use of AI & Technologies: Utilise AI; understand AI models and ROC integration.

表 2：MASSオペレータに要求する能力

Current Developments

Continue to review current legislation	Working with training providers on voluntary recognition process
Advising carriage of radio and communication equipment for wider areas	National Correspondence Group working to establish a common UK framework for remote operators
Considering solutions for carriage and use of electronic charting and logbooks	Focus on ensuring the UK position is included in the IMO MASS Code.
Policy on the actions to undertake during a total loss of visual lookout systems	Ensuring we have powers to be able to bring the IMO MASS Code into force
MOUs on MASS with other countries	Ensuring regulations and working practices for autonomy take the health and wellbeing of seafarers into account

Autonomy / Remote Controlled is happening



表 1：MASSに関するMCAの活動

図 1：自律・遠隔運河通航例

3. まとめ及び今後の計画

2023年度の主要な成果と2023年度の計画を示す。添付資料2に本年度の事業成果物を示す。

本事業では、「無人運航船プロジェクトに係る安全評価」、「遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築1」、「遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築2」、「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」、「無人運航船の社会受容性向上」及び「総合調整、ガイドライン策定等」を6本の柱として実施している。

3.1 無人運航船プロジェクトに係る安全評価

無人運航船の安全性評価のうち、リスク解析では、昨年度（2022年度）の調査において、無人運航モデル船のリスク解析（HAZID）を実施するとともに、モデル船の自動運航システムの機能要件を検討した。今年度は、この結果について修正が必要な箇所を検討した。精査した結果、修正の必要が無いものと判断したが、無人運航実証船のリスク解析に際して、実証事業者が想定する無人運航実証船の形態と使用方法に関する概念、すなわち **Concept of Operation (ConOps)** について、理解することが困難であった。そのため、自動運航船に合わせた **ConOps** の内容構成と一部の記載方法について検討し、文献調査の結果、自動運航船に合わせた内容構成（案）、**ConOps** の一部の記載方法等の詳細についてまとめた。リスク解析手順書については、付属書として「無人運航船のリスク解析の実施例」を作成するとともに、その付属書を含む既存の他の付属書も含めて英訳を実施し、英語版として整備した。この抜粋を添付資料2の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）に示す。また、自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書の日本語版および英語版の全文は、日本船舶技術研究協会のホームページに掲載する。

日本語版の URL https://www.jstra.jp/a4b02/a4b2c01/post_216.html

英語版の URL <https://www.jstra.jp/en/R&D/>

無人運航実証船の緊急対応の検証用シナリオの検討では、無人運航モデル船のリスク解析に基づいたシナリオ案の作成を試みた。まず緊急対応の対象を明確にするため、ODDからの逸脱及び不具合等により自動運航船の自動化レベルが遷移する状況から緊迫の程度を評価した。そして、リスク解析の **HAZID WS** 等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し、緊迫の程度に応じたクラス分けを実施した。これらにより対象に応じた緊急対応のシナリオの作成可能であると考える。

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では、船員が操船をオーバーライドする際のアラート機能の機能要件の一つとして、船員が白紙の状態から当直を引き継ぐまでの時間を、操船シミュレータを用いて求めた。具体的には、昇橋後の航海当直引継ぎが必要な事象を再現し、現役船員を実験参加者とし操船のオーバーライドを適切に行うため、当直の引き継ぎにかかる時間や実験参加者への通知内容を変えた操船シミュレータ実験を行った。その結果、危険に切迫していない場合、80%以上の実験参加者が安全に航海当直を引き継ぐ時間は、およそ5分であることがわかった。また、今回のシナリオでは **OZT** による避航操船支援情報および **ODDe** 情報については当直引き継ぎ時間には、有意な差はなかったが、**OZT** 情報についてはアンケートで分かりやすいとの評価もあり、情報の提供方法や船員の習熟により、より良い効果が見込まれる。

総合シミュレーションシステムの開発では、**FTSS** 及び **SHS** の外部プログラムの接続の利便性向上のため、**IEC61162-450** に準じたセンテンスの作成機能の追加、センサデータ送信モジュールの改良及

び IEC61174 に準じたルート交換用フォーマットの読み込みモジュールの開発を実施した。そして、これらの接続機能の検証のため、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を FTSS に接続し動作確認を行った。なお、SHS については、他社製 ECDIS の接続と情報表示を確認した。また、CyberSea について、各種モデル、ハードウェアとの接続機能および避航操船シナリオの他船を表現する機能を追加した。シミュレーションで用いる操縦運動モデルの拡充を図るため、2022 年度の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)について、操縦運動シミュレーションツールを用いて操縦運動モデル FMU を作成した。

安全ガイドライン等の策定に関しては、IMO における自動運航船（MASS）に関する審議において、MASS コードの Navigation 部分に関し、国内事業者、日本海事協会、日本船舶技術研究協会、海上技術安全研究所で協力して起草作業を実施するとともに、Navigation に関して、"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が求められ、海上技術安全研究所は特にこれの作成に協力した。上記作業で作成した IMO への提案文書 2 件を添付資料 2 の②-1 MSC 108-4（IMO 提案）、及び、②-2 MSC-ISWG-MASS 2-3-7（日本提案）に示す。また、離着岸操船と避航操船を自動化するシステムを対象に、機能や性能のシミュレーション検証の手順を認証ガイダンスとしてまとめた。認証ガイダンスの内容の一部の着離岸操船分を添付資料 2 の③認証ガイダンス案 自動離着岸アルゴリズムの評価手順書として掲載する。本内容は、IMO GBS (Goal Based Standard) の Tier 4 相当の内容を想定したものである。

3.2 遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 1

遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 1 では、遠隔オペレータに必要な知識・技能、特に資格要件を明らかにするための、避航操船を対象とした操船シミュレータによる基礎実験、遠隔オペレータの教育訓練施設として構築する遠隔オペレーション施設（ROC）シミュレータの仕様策定、および基礎実験結果の検証のために行う実船実験のための海技丸への模擬遠隔監視装置の整備を行った。

シミュレータによる基礎実験では、避航操船における避航プランの思考時間（以下、思考時間）、航跡等を多様な被験者を対象に計測した。この結果、思考時間は 10 秒から 247 秒（00：10～04：07）に分布し、避航時の最接近距離の解析結果から、航海系の資格を有する者は他の被験者と比べ船間距離を保った操船をしていることがわかった。また、実験後アンケートを行い、避航プランを考える上で重要な情報が何かを明らかにした。2023 年度の実験では通常操船時の状況での思考時間の計測を行なった。この値は、2024 年度以降、情報欠損等が起こると見られる遠隔操船のシミュレーション結果と比較するための指標として用いる。

ROC シミュレータの仕様策定においては、遠隔オペレータのタスクの抽出、ROC に必要な機能、遠隔オペレーションの実施状況の調査を行い、2024 年度より構築を開始する ROC シミュレータの仕様を策定した。

最後に、2023 年度に操船シミュレータを用いて取得した思考時間の妥当性を検証するための実船実験を実施するため、海技大学校練習船海技丸に、遠隔操船環境再現のための機器の整備を行なった。なお、当初予定していた機器に、輸出入規制対象の機器があり、納入が遅れたため、契約の期間延長を行った。

3.3 遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 2

遠隔オペレータに必要な能力要件等の構築 2 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。

操船者と遠隔オペレータの行動比較では、遠隔オペレータに必要な能力要件を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。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の把握を進めた。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、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。

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

本事業では、無人運航に係る新技術の環境の整備を目的に新技術導入とデータ活用に関する調査を行なった。

新技術導入については、まず、内航海運業界への期待と業界課題の整理、関連事業者へのヒアリング及び文献調査を通じ無人運航船導入への期待を明らかにし、事業性・経済性・働き方に関する評価方法の案の検討を実施した。次に、無人運航船の実装先として有望な 3 つの船種についてユースケースの具体化と、今後の社会実装に向けて取り組む必要のある課題の特定を実施した。これらを踏まえて、無人運航船実用において必要な規制緩和内容を DFFAS+実証船をベースに整理し、2025 年の社会実装に向けたロードマップとして取り纏めた。また、保険商品の設計のため、無人運航船特有のリスク及びリスクアセスメント情報の整理を行った。

また、データ活用については、DFFAS+情報記録管理 WG において整理中の船-陸間、陸-陸間で連携する情報に基づく、オープンデータプラットフォームを活用したデータ利用可能性に資する情報整理

と、無人運航船で発生する各種データの利用ニーズ及びユースケース仮説の特定を実施した。さらに、無人運航船の関係者（想定ユーザ）にヒアリングを実施し、データ活用に係るニーズ・ユースケースの検証を行った。また、確認したニーズ・ユースケースに基づき、その活用・データ流通を支えるデータプラットフォームの在り方を整理した。これらを踏まえて、データ活用のための環境整備については、既存の ShipDC の枠組みを活用することが、データ一元化、事業化、普及等の観点から望ましいことを関係者の議論を通じて特定した。また、データの権利関係（提供者、利用者等）、データポリシー（管理、公開等）、活用システムについても ShipDC で定義済みであり、これに従うことが適当と確認した。

3.5 無人運航船の社会受容性向上 社会インフラ整備

無人運航船の社会受容性向上 社会インフラ整備では、2 回のワークショップ及びお子様向けイベントを通じて、無人運航船の社会受容性の向上、そしてステークホルダーの理解を高めることが出来た。無人運航船の技術革新は、地域社会における持続可能な舟運の未来を切り拓くものであり、その社会実装に向けた取り組みは、小豆島をはじめとした離島地域の生活基盤や経済活動の維持に欠かせないピースとなるだろう。

本事業のワークショップにおいては、様々なステークホルダーが一堂に会し、無人運航船技術の潜在的なメリットや導入に際しての課題を共有する場となった。これにより多様なステークホルダー間で離島航路の継続と無人運航船の利点についての理解を深めることができた。

お子様向けワンデイイベントにおいては、地域住民、特に将来を担うお子様を巻き込んだ活動を実施。無人運航船に対する理解と受容の基盤を築く上で大きな一歩となった。これらのイベントを通じて、MEGURI2040 の認知度向上、無人運航船の知識取得、そして、船への関心を高めることに繋がった。尚、本イベントはメディアにより記事化された。

無人運航船技術の発展は、地域社会の結束を強化し、離島地域の持続可能な未来に貢献する可能性を秘めている。特に、船員不足や高齢化、船員の労働環境の改善やヒューマンエラーの減少、休憩時間の確保など、船員の働きやすさにも期待が寄せられている。一方で、無人運航船技術に対する課題や懸念への対応も必要になる。コスト面や費用対効果を気にするステークホルダーも多く、設備投資や固定費の増加が懸念として挙げられた。また、運用面では、安全性の確保に加え、無人運航船導入に伴う離着陸や積み下ろしプロセスの見直しの必要性などの指摘もあり、これらに伴い現場での作業負担が一時的に増加する事が想定される。無人運航化による運航ノウハウの喪失、デジタルとヒューマン作業の融合の必要性など、導入に向けて検討すべき課題の洗い出しが行われた。今後はこれら課題の解決策の検討を行うと共に、ユースケース・サービスモデルも含めた具体的な運用像の提示や、投資判断のためのレファレンスモデル作成、導入支援財務施策の検討などについても必要になると考えられる。

今後、無人運航船の社会実装に向けた取り組みは、技術的な進歩とともに、社会的な受容を広げるための努力を続ける必要がある。本事業で得られた知見と経験は、その道筋を照らす貴重な資源になると考えている。地域社会のニーズに応え、安全かつ効率的な無人運航船の実現に向けて、引き続き全ての関係者が一丸となって取り組むことが期待される。

本事業は、無人運航船技術の社会受容性向上に向けてのステップであり、今後も、このような取り組みを通じて、無人運航船技術が地域社会に広く受け入れられ、海上輸送の新たな時代を切り拓くことを期待する。

3.6 総合調整、ガイドライン策定等

総合調整では、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組織するとともに、その傘下に無人運航船安全性評価等実施委員会及び無人運航船安全ガイドライン策定等委員会、船員スキル定量化検討委員会フェーズ2を設置し、本事業の進捗及び成果等の審議を行った。

ガイドライン策定では、MEGURI 実証事業者、日本海事協会、海上技術安全研究所とともに、IMO のコレスポネンスグループに参画し、自動運航船の安全要件等を定めるための草案作成作業を実施した。日本は、MEGURI の実証・安全性評価での知見を活用し、Navigation セクションの担当となり、日本主導で Navigation における言葉と概念の定義を IMO に提案する文書 MSC-ISWG-MASS 2-3-7 を作成するとともに、ドラフトの作成に貢献し、これらがコレスポネンスグループに提出された。コレスポネンスグループでまとめられた MASS コードのドラフト MSC 108-4 は、MSC108 で審議予定。

MSC 108-4 を添付資料 2 の②-1 に、MSC-ISWG-MASS 2-3-7 を添付資料 2 の②-2 に掲載する。

また、ガイドライン策定時に重要となる自動化システム及び遠隔操船システムを使用した船舶の運用の責任の所在等について検討するため、遠隔オペレーションの実施に関する法的整理および船舶の自動運航における民事法上の責任所在に関する調査を行った。

IMO では、2023 年度末の MASS 運用の安全ガイドラインの最終化に向けて作業が進んでおり、本事業においても IMO の審議動向を確認しつつ、引き続きガイドライン策定に必要な調査等とガイドラインの充実に向けたガイドライン案の提案を行う。

3.7 今後の計画

2025 年の無人運航船の実用化に向けて、2024 年度は、「実証船によるリスク評価」（図 1.3.5 に於いては「フェーズ 2 想定船リスク評価）」、「緊急時対応等の実船検証の手法の検討」（図 1.3.5 に於いては「フェーズ 2 想定船の緊急対応の実船検証）」、「実船実験等を通じた遠隔オペレータに必要な能力要件の検討」（図 1.3.5 に於いては「遠隔オペレータの技能・訓練の要件化）」及び「遠隔オペレータの教育訓練シミュレータの開発」（図 1.3.5 に於いては「遠隔オペレータ訓練施設の整備）」を柱とする、「自動運航船の安全評価等」を実施する。また、「自動運航船安全ガイドライン（案）の策定等」（図 1.3.5 に於いては「ガイド update・技術調査（遠隔技能・緊急対応等）」）として、「無人運航を想定した自動運航船の実証実験結果を踏まえた安全ガイドライン（案）の修正」を実施する。加えて、「新技術導入のための制度改革」、「実証実験のデータの活用方法」、「無人運航船の具体的な用途の検討及び周知方法」、「地域連携」及び「社会インフラ等（事故時の責任分担や損害保険の付保等）」（図 1.3.5 に於いては「新技術導入の制度調査など」）及び「地域・学生アイデアソン／社会インフラ調査」を柱とする「国内地域限定の無人運航船実用化に向けた各種検討の最終化」を実施する。

添付資料 1 安全性評価事業関係の委員等名簿

2023年度 無人運航船安全性評価ステアリング委員会 委員名簿

2024/3月現在

	氏名	勤務先
委員 長	1 今津 隼馬	国立大学法人東京海洋大学 名誉教授
	2 梅田 直哉	国立大学法人大阪大学 名誉教授
	3 清水 悦郎	国立大学法人東京海洋大学 学術研究院 海洋電子機械工学部門 教授
	4 伊藤 誠	国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授
	5 南 健悟	学校法人日本大学 法学部法律学科 教授
	6 古荘 雅生	独立行政法人国立高等専門学校機構 大島商船高等専門学校 校長
	7 河合 英直	独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所 自動車安全研究部長
	8 藤浪 幸仁	一般財団法人日本海事協会 技術研究所 所長
	9 大森 彰	一般社団法人日本船主協会 常務理事 海務部長
	10 西村 浩一	株式会社東洋信号通信社 顧問 CTO
	11 野本 秀樹	有人宇宙システム株式会社 IV&V研究センター センター長
	12 田澤 孝之	有識者
委員	13 森 啓子	公益財団法人日本財団 海洋事業部 海洋船舶チーム チームリーダー
	14 村井 康二	国立大学法人東京海洋大学 学術研究院 海事システム工学部門 教授
	15 田丸 人慧	国立大学法人東京海洋大学 大学院 海洋科学技術研究科 海事システム工学部門 教授
	16 間島 隆博	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 知識・データシステム系長 自動運航PT長
	17 伊藤 博子	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 副系長
	18 南 真紀子	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 知識・データシステム系 シミュレータ研究グループ 自動運航船プロジェクトチーム グループ長
	19 佐藤 圭二	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 自動運航船プロジェクトチーム 主任研究員
	20 澤田 涼平	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 自動運航船プロジェクトチーム 研究員知識
	21 前田 潔	独立行政法人海技教育機構 審議役
	22 万谷 小百合	独立行政法人海技教育機構 企画調整部 研究国際課 課長
	23 市川 義文	独立行政法人海技教育機構 学校教育部次長
	24 佐々木 利章	独立行政法人海技教育機構 海技大学校 航海科 講師
	25 山田 智章	一般財団法人日本海事協会 技術研究所 主管
	26 桑原 悟	株式会社 日本海洋科学 運航技術グループ グループ長
	27 中村 純	株式会社MTI 船舶物流技術グループ 自律船チーム 上席研究員
	28 武藤 正紀	株式会社三菱総合研究所 フロンティア・テクノロジー本部 フロンティア戦略グループ 特命リーダー 主任研究員
関係 官庁	29 松尾 真治	国土交通省 海事局 安全政策課長
	30 今井 新	国土交通省 海事局 海洋・環境政策課長
	31 佐藤 克文	国土交通省 海事局 船員政策課長
	32 鈴木 長之	国土交通省 海事局 検査測度課長
	33 中井 智洋	国土交通省 海事局 海技課長
	34 林 健太郎	国土交通省 港湾局 計画課 企画室長
	35 池 町 円	国土交通省 港湾局 産業港湾課 国際企画室長
	36 麓 裕樹	海上保安庁 交通部 航行安全課長
事務局	37 加藤 光一	一般財団法人日本船舶技術研究協会 専務理事
	38 前田 崇徳	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ長
	39 田村 兼吉	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 特別研究員
	40 福戸 淳司	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発プロジェクトリーダー
	41 山崎 貴浩	一般財団法人日本船舶技術研究協会 基準規格グループ 基準ユニット 主任研究員
	42 井下 聡	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発ユニット長
	43 長崎 智幸	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発ユニット

2023年度 安全ガイドライン等策定委員会 委員名簿

2024/3月現在

	氏名	勤務先	
主査	1 清水 悦郎	国立大学法人東京海洋大学 学術研究院 海洋電子機械工学部門 教授	
	2 牧 敦生	国立大学法人大阪大学 大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 船舶海洋工学部門 准教授	
委員	3 伊藤 誠	国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授	
	4 逸見 真	国立大学法人東京海洋大学 学術研究院 海事システム工学部門 教授	
	5 南 健悟	学校法人日本大学 法学部法律学科 教授	
	6 河合 英直	独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所 自動車安全研究部長	
	7 田北 順二	一般社団法人全国船舶無線協会 水洋会部会 事務局長	
	8 山田 智章	一般財団法人日本海事協会 技術研究所 主管	
	9 中村 秀之	公益財団法人日本海事センター 企画研究部 上席研究員	
	10 平尾 真二	一般社団法人日本船主協会 海務部 部長	
	関係者	11 森 啓子	日本財団 海洋事業部 海洋船舶チーム チームリーダー
		12 村井 康二	国立大学法人東京海洋大学 学術研究院 教授
13 田丸 人意		国立大学法人 東京海洋大学 大学院 海洋科学技術研究科 海事システム工学部門 教授	
14 間島 隆博		国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 知識・データシステム系長 自動運航PT長	
15 伊藤 博子		国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 副系長	
16 佐藤 圭二		国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 自動運航船プロジェクトチーム 主任研究員	
17 澤田 涼平		国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 自動運航船プロジェクトチーム 研究員知識	
18 前田 潔		独立行政法人海技教育機構 審議役	
19 外谷 進		独立行政法人海技教育機構 企画調整部 部長	
20 万谷 小百合		独立行政法人海技教育機構 企画調整部 研究国際課 課長	
21 伊藤 誠		一般財団法人日本海事協会 技術研究所	
22 桑原 悟		株式会社 日本海洋科学 運航技術グループ グループ長	
23 中村 純		株式会社MTI 船舶物流技術グループ 自律船チーム 上席研究員	
24 武藤 正紀		株式会社三菱総合研究所 フロンティア・テクノロジー本部 フロンティア戦略グループ 特命リーダー 主任研究員	
関係官庁	25 松尾 真治	国土交通省 海事局 安全政策課 課長	
	26 今井 新	国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 課長	
	27 佐藤 克文	国土交通省 海事局 船員政策課長	
	28 鈴木 長之	国土交通省 海事局 検査測度課 課長	
	29 中井 智洋	国土交通省 海事局 海技課長	
	30 林 健太郎	国土交通省 港湾局 計画課 企画室長	
	31 池町 円	国土交通省 港湾局 産業港湾課 国際企画室長	
	32 麓 裕樹	海上保安庁 交通部 航行安全課長	
事務局	33 加藤 光一	一般財団法人日本船舶技術研究協会 専務理事	
	34 前田 崇徳	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ長	
	35 田村 兼吉	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 特別研究員	
	36 福戸 淳司	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発プロジェクトリーダー	
	37 山崎 貴浩	一般財団法人日本船舶技術研究協会 基準規格グループ 基準ユニット 主任研究員	
	38 井下 聡	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発ユニット長	
	39 長崎 智幸	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発ユニット	

2023年度 安全評価等実施委員会 委員名簿

2024/3月現在

	氏名	勤務先
主査	1 今津 隼馬	国立大学法人東京海洋大学 名誉教授
	2 橋本 博公	公立大学法人大阪 大阪公立大学 大学院 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 海洋システム工学分野 教授
委員	3 藤本 昌志	国立大学法人 神戸大学 大学院 海事科学研究科 海事科学部 グローバル輸送科学講座 教授
	4 伊藤 誠	国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授
	5 古荘 雅生	独立行政法人国立高等専門学校機構 大島商船高等専門学校 校長
	6 松本 知哉	一般財団法人日本海事協会 技術本部技術部 主管
	7 野本 秀樹	有人宇宙システム株式会社 IV&V研究センター センター長
	8 森 啓子	公益財団法人日本財団 海洋事業部 海洋船舶チーム チームリーダー
	9 村井 康二	国立大学法人東京海洋大学 学術研究院 海事システム工学部門 教授
関係者	10 田丸 人意	国立大学法人 東京海洋大学 大学院 海洋科学技術研究科 海事システム工学部門 教授
	11 間島 隆博	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 知識・データシステム系長 自動運航PT長
	12 伊藤 博子	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 海洋リスク評価 副系長
	13 南 真紀子	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 知識・データシステム系 シミュレータ研究グループ 自動運航船プロジェクトチーム グループ長
	14 前田 潔	独立行政法人海技教育機構 審議役
	15 外谷 進	独立行政法人海技教育機構 企画調整部 部長
	16 万谷 小百合	独立行政法人海技教育機構 企画調整部 研究国際課 課長
	17 山田 智章	一般財団法人日本海事協会 技術研究所 主管
	18 伊藤 誠	一般財団法人日本海事協会 技術研究所
	19 桑原 悟	株式会社 日本海洋科学 運航技術グループ グループ長
	20 中村 純	株式会社MTI 船舶物流技術グループ 自律船チーム 上席研究員
21 武藤 正紀	株式会社三菱総合研究所 フロンティア・テクノロジー本部 フロンティア戦略グループ 特命リーダー 主任研究員	
関係官庁	22 松尾 真治	国土交通省 海事局 安全政策課 課長
	23 今井 新	国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 課長
	24 佐藤 克文	国土交通省 海事局 海事局 船員政策課長
	25 鈴木 長之	国土交通省 海事局 検査測度課 課長
	26 中井 智洋	国土交通省 海事局 海事局 海技課長
	27 林 健太郎	国土交通省 港湾局 計画課 企画室 室長
	28 池町 円	国土交通省 港湾局 産業港湾課 国際企画室長
	29 麓 裕樹	海上保安庁 交通部 航行安全課 課長
事務局	30 加藤 光一	一般財団法人日本船舶技術研究協会 専務理事
	31 前田 崇徳	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ長
	32 田村 兼吉	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 特別研究員
	33 福戸 淳司	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発プロジェクトリーダー
	34 山崎 貴浩	一般財団法人日本船舶技術研究協会 基準規格グループ 基準ユニット 主任研究員
	35 井下 聡	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発ユニット長
	36 長崎 智幸	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ 研究開発ユニット

2023 年度 船員スキル定量化検討委員会 フェーズ2 委員等名簿

2024 年 3 月現在

	氏 名	勤 務 先
主 査	1 今津 隼馬	国立大学法人東京海洋大学 名誉教授
	2 川崎 潤二	国立研究開発法人水産研究教育機構水産大学校 海洋生産管理学科 教授
委 員	3 木村 友紀	一般社団法人日本船主協会 海事人材部 課長代理
	4 齋藤 直樹	一般財団法人日本海事協会 事業開発本部 海技部 部長
	5 外谷 進	独立行政法人海技教育機構 企画調整部 部長
	6 長田 典子	関西学院大学 工学部 人間システム工学科 教授
	7 本田 直葵	東京湾水先区水先人 一級水先人
	8 野本 秀樹	有人宇宙システム(株) IV&V 研究センター長
	9 西村 浩一	株式会社 東洋信号通信社 顧問
	10 竹本 孝弘	国立大学法人東京海洋大学 教授
	11 櫻井 美奈	株式会社日本海洋科学 運航技術グループ 自動運航船チーム
		株式会社 日本海洋科学 執行役員 運航技術グループ グループ長
関 係 者	12 桑原 悟	株式会社 MTI 船舶物流技術グループ 自律船チーム主任研究員
	13 山林 潤	株式会社 MTI 船舶物流技術グループ 自律船チーム主任研究員
	14 森 啓子	公益財団法人日本財団
	15 加藤 光一	一般財団法人日本船舶技術研究協会
	16 前田 崇徳	一般財団法人日本船舶技術研究協会
	17 田村 兼吉	一般財団法人日本船舶技術研究協会
	18 福戸 淳司	一般財団法人日本船舶技術研究協会
	19 井下 聡	一般財団法人日本船舶技術研究協会
	20 長崎 智幸	一般財団法人日本船舶技術研究協会
	21 中川 直人	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
	22 井上 清登	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
	23 間島 隆博	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
	24 南 真紀子	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
	25 柚井 智洋	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
	関 係 官 庁	26 山田 智章
27 伊藤 誠		一般財団法人日本海事協会
28 道浦 康貴		有人宇宙システム株式会社
29 飯野 翔太		有人宇宙システム株式会社
30 広瀬 貴之		有人宇宙システム株式会社
31 杉田 和巳		独立行政法人海技教育機構 海技大学校
32 大坂 篤志		独立行政法人海技教育機構 海技大学校
33 佐々木 亮		独立行政法人海技教育機構 海技大学校
34 佐々木 利章		独立行政法人海技教育機構 海技大学校
35 加藤 由季		独立行政法人海技教育機構 海技大学校
36 今井 新		国土交通省 海事局安全政策課長
37 田村 顕洋		国土交通省 海洋・環境政策課長
38 佐藤 克文		国土交通省 船員政策課長
39 鈴木 長之		国土交通省 検査測度課長
事 務 局	40 中井 智洋	国土交通省 海技課長
	41 村井 康二	国立大学法人東京海洋大学
	42 田丸 人意	国立大学法人東京海洋大学
	43 榎野 純	国立大学法人東京海洋大学
	44 前田 潔	独立行政法人海技教育機構
	45 市川 義文	独立行政法人海技教育機構
	46 万谷 小百合	独立行政法人海技教育機構
	47 長谷川 雅俊	独立行政法人海技教育機構
	48 山岡 真也	独立行政法人海技教育機構
	49 紀平 任益	独立行政法人海技教育機構

添付資料 2. 事業成果物

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）

※紙面の都合上、Appendix1-3を除いて掲載



Attachment Report of the MEGURI2040 Safety Assessment

Risk analysis procedure for MASS

Japan Ship Technology Research Association
National Maritime Research Institute

Table of Contents

1. Outline	3
2. Key Principles	3
2.1 Target ships of this manual	3
2.2 Target risk analysis of this manual	3
2.3 Definition of terms	3
3. Outline of risk analysis procedure	5
4. Documents to prepare	6
4.1 Documents necessary for an analysis of the initial design	6
4.2 Documents necessary for an analysis of the detailed design	7
5. Tasks performed at each step of a risk analysis	7
5.1 Preparation for an analysis	7
5.2 Working group	8
5.3 Consensus on the analytical conditions	8
5.4 Performing analysis and assessment	11
5.4.1 Identifying hazards	11
5.4.2 Indexing risks	13
5.4.3 Risk analysis and assessment of the initial design	13
5.4.4 Risk analysis and assessment of the detailed design	14
5.5 Report	14
Annex 1. An example of hazards to consider	16
Annex 2. Outline of common risk analysis methods	19
Appendix 1. A practical example of risk analysis on a phase II autonomous ship	22
Appendix 2. A practical example of risk analysis on a demonstration experiment of phase III autonomous ship	131
Appendix 3. A practical example of risk analysis on a phase III autonomous ship	252
References	293

1. Outline

MASS (Maritime Autonomous Surface Ships) have been developed in recent years and guidelines for MASS have been published by multiple classification societies and flag states. International Maritime Organization (IMO) has published interim guidelines for MASS trials to safely conduct the demonstration experiment. These guidelines require the implementation of risk analysis, but specific procedures are not indicated. Thus, in this manual, we present concrete steps of a risk analysis for MASS which carried out at the design and/or MASS trial. It contributes to better safety and promotion of development in regard to MASS.

2. Key Principles

2.1 Target ships of this manual

Though there is no international consensus on the definition of MASS and level of automation, this manual focuses on phase II and phase III autonomous ships of “Roadmap to Realize Autonomous Ships” by Maritime Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (phase II autonomous ships: ships on which sailors, the ultimate decision makers, are supported by the operation from land and/or the proposal by artificial intelligence (AI), phase III autonomous ships: ships with a high degree of autonomy and is designed for situations where the final decision-maker is not a sailor.).

2.2 Target risk analysis of this manual

As MASS, conventionally designed, built, and operated ships are partially redesigned or equipped with an automation system. Because ships that are conventionally designed, built, and operated are sufficiently safe, further risk analysis of the ship itself is unnecessary. Therefore, the risk analysis of the present manual analyzes hazards associated with parts and operations different from conventional ships.

2.3 Definition of terms

Table 2.1 shows the definition of main terms used in this manual.

Table 2.1. Definition of terms.

Terms	Definition
Risk	A measure of the likelihood that an undesirable event will occur together with a measure of the resulting consequence within a specified time, i.e., a combination of the frequency and severity of the consequence. [1]
Hazard	A factor leading to harm to life, health, property or environment. It is also referred to as the hazard factor. [2]

Accident scenario	When a series of stages up to harm is assumed from the initial condition in which the potential for hazard exists, its description is called a scenario. [2]
Risk treatment	Refers to a single or multiple measures taken to reduce risks. Measures include avoidance of hazard, reduction of consequences, and reduction of the likelihood of consequences from hazards.
HAZID	Acronym for HAZard IDentification.
FI	Initialism for frequency index. Frequency is converted to a common logarithm.
SI	Initialism for severity index. Severity is converted to a common logarithm.
RI	Initialism for risk index. Risk is converted to a common logarithm and obtained as a sum of FI and SI.
HAZID workshop	A workshop held to identify hazards. In addition to identifying hazards, FI, SI, and RI are often determined and risk treatments are considered, some of which are merely proposed while others provide estimates of their effects to decision makers for more effective risk treatment.
Task	Combination of operations and work that constitute ship operation according to the automation system design. "Tasks" vary depending on target, coverage area, and level of automation and remote control. [3]
Subtask	Operations and work that constitute a task. [3]
Decision-making subtask	The subtasks related to decision making by humans, such as situation awareness, decision, and action. [3]
Automated condition	A condition where computer systems control the execution of some or all the decision-making subtasks. [4]
Automated operation system (AOS)	A system that automates part or all of decision-making subtasks with a computer system or a combination of computer system and human. [3]
Remote operation system (ROS)	A system in which a part or all the decision-making subtasks can be operated by a remote operator (human) or a combination of an AOS and a remote operator (human).
Assumed conditions of use	Principal particulars of ships equipped with an automation system, a sea route, ship operation phase, and marine weather conditions for which an automation system is used.
Operational design domain (ODD)	Operational domain in which an automation system appropriately functions (ODD). [3] It may be expressed as a part of assumed conditions of use.
Fallback	Countermeasures to minimize risks when the AOS/ROS cannot work properly owing to unpredictable events such as malfunctions of the AOS/ROS and cyber-

	attack. This includes countermeasures when the AOS/ROS has deviated outside the ODD. [4]
--	------------------------------------------------------------------------------------------

3. Outline of risk analysis procedure

Let us explain the risk analysis procedure simply. It follows the flow shown in Figure 3.1. Please refer to the Section in this manual indicated in a bracket for detailed explanation of each item.

Risk analysis is performed for the initial and detailed designs. For a risk analysis of the initial design, documents necessary for confirming the analytical target scope and risk analysis are prepared. These documents are used to determine the analytical target scope and to summarize the information that must be confirmed for the risk analysis. Upon obtaining the consensus of those involved on the analytical conditions, such as risk assessment criteria, the analysis and assessment are performed. Finally, a report that summarizes the above results is prepared.

Next, a risk analysis is performed on the detailed design. For the detailed design that incorporates risk treatments recommended in the risk analysis on the initial design, specific machines and operations that were not yet determined in the initial design are assumed to analyze and assess risks in the same flow as the risk analysis of the initial design. Since the same preparation for the analysis and consensus on analytical conditions as that of the risk analysis on the initial design can be often used, these can be omitted. As the result of the risk assessment, recommended risk treatments are incorporated into the final detailed design, at which the risk analysis that is the target of the present manual is complete.

It is noted that, in the case of risk analysis on a demonstration experiment, depending on the demonstration experiment, the experiment may be conducted after risk analysis for the initial design.

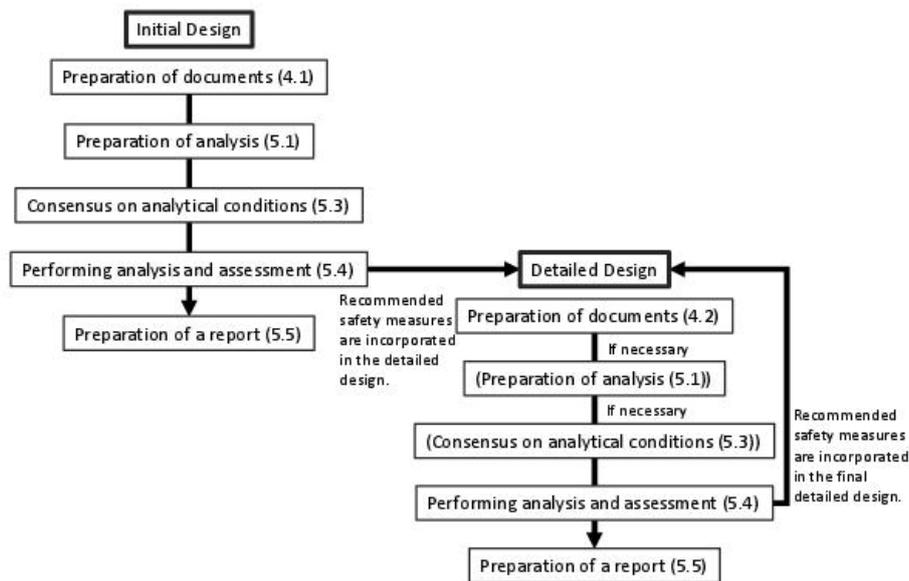


Figure 3.1. Flow chart of procedures used for risk analysis.

4. Documents to prepare

In this Section, we explain documents that are necessary in each step of an analysis.

4.1 Documents necessary for an analysis of the initial design

When analyzing the initial design, the following documents are necessary.

- (1) Functional requirements for the automation system (target tasks and subtasks of the automation).
- (2) System architecture that clarifies the entire image of the automation system (it is desirable to clarify the relation between the automation system and other systems on board the ship, and clarify sensors and nautical equipment as much as possible).
- (3) Outline of the internal operation of the automation system.
- (4) Outline of the division of roles for the automation system and humans (includes execution transfer between the automation system and humans and fallback process).
- (5) ODD of an automation system.

In the case of risk analysis on a demonstration experiment, the following document is required in addition to the above documents.

- (6) Outline of a demonstration experiment (Objective of the experiment, Experimental route, Schedule, Experimental process, etc.)

4.2 Documents necessary for an analysis of the detailed design

Risk analysis of the detailed design requires changes in documents presented in the initial design and also documents for which parts that were unclear in the initial design are clarified.

5. Tasks performed at each step of a risk analysis

In this Section, we explain each task performed at each step of a risk analysis.

5.1 Preparation for an analysis

As the preparation of an analysis, parts of the target ship that are different from the conventional ships must be clarified. Information such as objective, role, composition, and method of new features of the analytical target ship and or new use of existing facilities is summarized. Based on this information, the analytical target is defined and the analytical target scope is confirmed.

First, features and usages of facilities with new features (hereafter referred to as the new facility), which are the analytical target, must be clarified. In addition, as the conditions of autonomous operation of the analytical target ship, the ODD, characteristics of the sea route, ship operation phase, conditions that must be maintained when deviating from the ODD, and response to such situations, must be summarized.

Furthermore, based on this information and specifications of the new facility, the analytical target is modeled. This is useful in defining the analytical target, confirming the analytical target scope, and supporting the analysis. As for modeling, elemental features for each module, such as hardware and software that constitute the new facility, are broken into a level that suits the analysis and then defined. As necessary, interaction (input, output, and so on) of elements is included in the definition. If information must be manually input or corrected, interaction between the feature and humans must be included as well. If the elements of the new system have an interaction with the existing ship facilities, these facilities are added to the model and the interaction between the new facility and the existing facilities are clarified to analyze the effect of the new facility on the existing facilities. Within the model prepared in the above procedure, the scope necessary for the objective of an analysis is defined as the analytical target scope. By using such model, understanding of the analytical target is promoted, supporting the analysis itself. See Appendices 1-3 for examples of modeling.

As for an analysis, if data on the failures or defects in each component included in the analytical target scope are available, such data must be gathered.

In summary, at the preparation stage of an analysis, the following information must be summarized. Example of the information is included in Appendices 1-3.

- Definition of the feature.
- Objective of the feature.

- Extent of automation and the relation between automation and the ship operator (crew on board/remote operator).
- Extent of remote control and the relation between automation and the ship operator (crew on board/remote operator).
- Assumed conditions of use (principal particulars of ships equipped with the new feature, sea route, ship operation phase, and marine weather conditions at which the new feature is used, and so on).
- ODD (external, internal, and communication conditions under which the new feature operates).
- Methods of autonomous navigation.
- Monitoring method of the relevant feature.
- Response procedure when autonomous navigation deviates from the ODD.
- Feature of each element, such as hardware and software, that constitutes the relevant new facility, interaction of elements, and so on (including information on the interaction between each element and humans and between each element and the existing systems).
- Data on failures and defects of each constituent element included in the analytical target scope.

5.2 Working group

Analysis is usually performed at a workshop attended by experts of different fields and attendees selected from experts in different fields. Below is a list of experts as an example:

Owners, ship builders, ship designers, experts with knowledge and experience of safety, design, and operation of the target system. And as necessary, ship inspectors, ship operators, safety engineers, experts of devices and human engineering, navigators, and marine engineers [5][6].

5.3 Consensus on the analytical conditions

Handling of the identified risks must be decided ahead of time. In other words, range at which risk reduction measures must be implemented for hazards with a risk of more than a certain level must be determined and those involved must reach a consensus. In addition, whether post-risk-treatment risks need to be estimated must be decided. To that end, (i) indexing of risks and (ii) setting of the criteria are necessary. Let us discuss these topics below.

(i) Indexing risks

For each accident scenario that starts with a hazard, the frequency of occurrence, the severity of consequences, and their product, i.e., risk, are semi-quantified (indexed). By expressing the frequency and severity of consequences with a logarithmic scale, semi-quantification (indexing) is performed. For determining the severity of consequences, generally, the level of effect on human life, environment, and asset is considered. Whether all of these are the targets or choose one must be determined a head

of time.

With risk denoted by R, occurrence frequency represented by F, and severity of consequences denoted by S, risk is obtained using Equation (1). By converting Equation (1) into a common logarithm, we obtain Equation (2).

$$R = F \cdot S \quad (1)$$

$$\text{Log}(R) = \text{Log}(F) + \text{Log}(S) \quad (2)$$

We refer to risk, frequency, and severity of consequences converted to a common logarithm as risk index (RI), frequency index (FI), and severity index (SI), respectively. Here we present examples of FI, SI, and RI, which is a combination of FI and SI [7]. These are simply examples, and the same values are not required for an analysis. Thus, definition of FI and SI must be determined by those involved. Table 5.4 is called a risk matrix.

Table 5.1. Example of the definition of FI [7].

FI	Frequency	Definition	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1,000 ships	10^{-3}
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime of a world fleet of 5,000 ships	10^{-5}

Table 5.2. Example of the definition of SI [7].

SI	Severity	Effects on human safety	Effects on ship	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

Table 5.3. Example of the definition of SI (environment) [7].

SI	Severity	Definition
1	Category 1	Oil spill size < 1 tonne

2	Category 2	Oil spill size between 1–10 tonnes
3	Category 3	Oil spill size between 10–100 tonnes
4	Category 4	Oil spill size between 100–1,000 tonnes
5	Category 5	Oil spill size between 1,000–10,000 tonnes
6	Category 6	Oil spill size > 10,000 tonnes

Table 5.4. Example of the definition of RI (risk matrix) [7].

FI	Frequency	Severity index (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

(ii) Setting the criteria

Judgment criteria for indexed risks; in other words, criteria are set.

Thus, criteria are set on the risk matrix of (i) first. As shown in Figure 5.1, it is common to use three levels: “risk must be reduced,” “risk reduction must be considered,” and “no risk reduction necessary.” Risk is indexed for each hazard and accident scenario, and by comparing those with the criteria, need for risk treatment is determined.

FI	Frequency	Severity Index (SI)				
		1	2	3	4	
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic	
7	Frequent	8	9	10	11	Risk must be reduced.
6		7	8	9	10	
5	Reasonably probable	6	7	8	9	
4		5	6	7	8	Risk reduction must be considered.
3	Remote	4	5	6	7	
2		3	4	5	6	
1	Extremely remote	2	3	4	5	No risk reduction necessary.

Figure 5.1. Example of judgment criteria.

- Consideration of risk treatment is unnecessary for hazards and accident scenarios under “no risk reduction necessary.”
- Risk treatment is considered for hazards and accident scenarios under “risk reduction must be considered.” Whether such risk treatment will be actually implemented is also examined. Because the introduction of a risk treatment is highly necessary for hazards and accident scenarios with high RI, risk treatments are implemented for hazards and accident scenarios with RI over a certain level. However, the level of RI at which risk treatments are implemented must be decided ahead of time. Even hazards and accident scenarios below this level of RI require at least some risk treatment efforts because they fall under “risk reduction must be considered.”
- Risk treatment is considered to be implemented for hazards and accident scenarios under “risk must be reduced.” Whether risk is indexed after an implementation of a risk treatment must be determined ahead of time. If yes, it is compared with the criteria of the risk matrix once again, and if it falls under “risk must be reduced” or “risk reduction must be considered,” further risk treatments are considered. These steps are repeated until hazard/accident scenario falls under “no risk reduction necessary” or “risk reduction must be considered.”

5.4 Performing analysis and assessment

Analysis is performed via common hazard identification methods (e.g., Structured What IF Technique (SWIFT), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), and HAZard and OPerability study (HAZOP)). It begins with identifying possible hazards for a new feature, followed by estimation of causes of hazards, consequence, severity of the consequence, and hazard frequency. These processes must be performed with experts mentioned in the previous Section. If necessary, risk treatment and so on that are recommended for high-risk hazards are identified. Similarly, if needed, risk following a risk treatment is estimated (it is desirable to also examine if a risk treatment leads to a new hazard and so on). The analysis process is recorded on a worksheet corresponding with the method as part of the report.

5.4.1 Identifying hazards

(i) General matters

Here, let us explain matters that are necessary to implement an analysis regardless of the identification method of hazards.

- Selection of experts
Please refer to Section 5.2.
- Separating the phase
Analysis must be performed for each phase that uses the target automation system. For

example, the following phases must be considered. Since this is simply an example, phases should be set according to the characteristics of the target automation system.

Berthing and unberthing, in-harbor navigation, navigation in congested waters, ocean navigation, emergencies (fire, flooding, and so on).

- Example of hazards that should be considered

Appendix 2 shows examples of hazards that should be considered. Because these are simply examples, hazards should be exhaustively identified beyond this list.

- Type of risk targets that should be considered (human life, environment, and asset)

As discussed in Section 5.3, in terms of the severity of consequence, it must be determined ahead of time which one or several of human life, environment, and property, will be considered as a target in analyzing the severity of consequence.

(ii) Outline of the risk analysis method

The outline of SWIFT, a method often used for risk analysis in the marine field, is presented below. Common methods other than SWIFT are listed in Appendix 3.

- SWIFT

At a workshop of designers, users, and experts of the target system led by a facilitator, questions are repeatedly asked about a situation that deviates from a normal one, “what if,” and hazards are identified through brainstorming.

The analysis is technically easier than the other analysis methods and can be applied during a concept study or concept design stage. At the same time, it has disadvantages that the result depends on the experiences of participants and accident scenario is not explicitly presented as an analysis output.

Standard steps and worksheet of SWIFT are as follows:

Step 1: Define the target system and process.

Step 2: Prepare documents, such as design information and related data, and organize a working group.

Step 3: Hold a HAZID workshop and identify hazards, causes, results, FI, SI, RI, and existing safety measures through brainstorming.

Step 4: Record these discussions on the worksheet.

Worksheet example:

System: LNG carrier

Phase: In-harbor navigation

ID	Hazards	Causes	Consequences	Existing measures	necessary measures	FI	SI	RI	comments
----	---------	--------	--------------	-------------------	--------------------	----	----	----	----------

1	Collision	- Dysfunction / damage to machines - Stormy weather - Operation error	- Dysfunction / damage to structural equipment - Secondary disaster - Injury or death to crew	- Preventive measures (alert system, double hull structure) - Mitigation measures (damage stability, lifesaving and rescue) - Inspection of machines - Education and training of operators	2	4	6	
---	-----------	-----------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---	---	--

Figure 5.2. Example of the SWIFT worksheet.

5.4.2 Indexing risks

Frequency and degree of severity for the identified hazards and accident scenarios are semi-quantified (indexed). Documents that can be referred for this indexing are shown below.

Documents necessary to set the frequency and severity: Data necessary to examine the frequency and seriousness.

- Data on the frequency and severity (level of damage and effect on human life, environment, and asset) of defects, failures, and accidents in each system that occurred in the past or are anticipated. If those are not available, reference the data for a similar system.
- Data on human life (number of death and injured), environment (marine pollution), and/or asset (damage to the ship).

Usable data should be used as much as possible for semi-quantification (indexing). However, in many cases, there is no usable datum. In such a case, semi-quantification (indexing) is performed based on the experience of experts. For example, by comparing the frequency and severity of hazards and/or accident scenarios without data to hazards and accident scenarios that have been semi-quantified (indexed) based on data, semi-quantification (indexing) of hazards and accident scenarios without data becomes possible.

Semi-quantified (indexed) risks are compared to the preset criteria, and a response to the risk is determined based on the predetermined judgment method used for determining risk acceptance, an examination method of risk treatment, and the judgment method for determining risk acceptance after risk treatment, in that if the risk is not acceptable, the risk with treatments is judged.

5.4.3 Risk analysis and assessment of the initial design

In a case of initial risk analysis based on a concept or basic design information, a focus is put on the role of the system and difference from existing ships due to the role in order to conduct a risk analysis and assessment.

Using the document shown in Section 4.1, the analytical target scope is determined with the method shown in Section 5.1 and the information shown in Section 5.1 is summarized. Then, attendees are chosen based on Section 5.2, reach a consensus on items shown in Section 5.3, and perform an analysis and assessment according to Sections 5.4.1 and 5.4.2.

From the following, hazards based on the concept design are considered.

- (1) Risks originating from human-machine interface.
- (2) Defects of sensors and control equipment linked to the automation system.
- (3) Effect of the automation system on other systems on the ship.
- (4) Cyber security.
- (5) Defects during an operation of the automation system (including forgotten updates of related software and verification of the validity of emergency response).

5.4.4 Risk analysis and assessment of the detailed design

At this stage, following is confirmed.

- Recommendations of the initial risk analysis and assessment are definitely reflected in the detailed design.
- Accident scenarios and related features that were not considered in the initial risk analysis.

For the former, if it is found that the recommendations are not reflected, it will be ensured that they will be reflected in the detailed design. For the latter, if there are accident scenario or related feature not considered, analysis is performed in the same manner as in Section 5.4.3, and after updating the analysis, assessment is made.

5.5 Report

Details up to the previous Section must be recorded in a written form. An example of the table of contents for a record is shown below.

1. Risk analysis and assessment of the initial design
 - 1.1 Conceptual explanation of the system and documents necessary to perform a risk analysis on the initial design
 - 1.2 Information necessary to prepare for the analysis
 - 1.3 Working group
 - 1.4 Analytical conditions
 - 1.5 Analysis and assessment results
 - 1.5.1 Risk analysis procedure
 - 1.5.2 Analysis and assessment results (attached worksheet, explanation of the analysis and assessment results)
2. Risk analysis and assessment of the detailed design
 - 2.1 Explanation of the system and documents necessary to perform a risk analysis on the detailed design
 - 2.2 Information necessary to prepare for the analysis

2.3 Working group

2.4 Analytical conditions

2.5 Analysis and assessment results

2.5.1 Risk analysis procedure

2.5.2 Analysis and assessment results (attached worksheet, explanation of the analysis and assessment results)

Annex 1. An example of hazards to consider

Table A1.1 shows examples of hazards to consider by summarizing hazards from each class guide [4], [8], and [9] and existing studies [11]–[14].

Table A1.1. Examples of hazards to consider.

Classification	Hazards
External environment	Bad weather
	Poor visibility
	Congested waters
	Unexpected behavior of other ships
Failure of AOS and related equipment	Loss of signal from information collection devices
	Decrease of reliability or stability of information from information collection devices
	Failure of related equipment in the AOS
	Software bug in the AOS
	Inappropriate tuning of parameters according to ship specifications (e.g., the maneuverability of the ship is not correctly reflected in the AOS)
	Power loss of the AOS or related equipment
	Inappropriate human–machine interface (HMI), e.g., it is difficult to understand the reason for issuing an alarm, or there is insufficient time to execute transfer from the AOS to a human
Improper interface between the AOS and other systems such as differences in situation awareness range, differences in kinetic performance models, mismatched parameters, system failures, and poor communication	
Detection	Failure in detecting small objects (wreckage)
	Failure in detecting collision targets
	Failure in detecting navigational aids
	Failure in detecting ship lights, sounds, or shapes
	Failure in detecting semi-submerged towed or floating devices (e.g., seismic gauges and fishing trawls)
	Failure in detecting discrepancy between charted water depth and sounded water depth
	Failure in detecting discrepancy between weather forecast and actual weather situation

	Failure in detecting degrading performance of a sensor
	Failure in detecting degrading performance of the automation system
	Failure in detecting slamming or high vibration
Navigation	Collision with other ships or offshore infrastructures
	Collision with floating objects
	Collision with marine wildlife
	Collision with onshore infrastructure
	Loss of intact stability owing to unfavorable ship responses
	Loss of intact stability owing to icing
	Unexpected maneuvers and drive off
	Grounding owing to the loss of propulsion
	Grounding owing to the loss of steering control
	Grounding owing to deviation from the planned route
	Grounding owing to error in the planned route
	Fishing equipment/net becomes snagged on the sea route
	Loss of intact stability owing to shift/liquification of cargo
Improper operation	Omission of updating charts, atmospheric information, related software, etc. leading to misinformation
	Incorrect input of setting data and initial input data to the AOS, e.g., navigation plan data and reference values for collision avoidance decisions
	Replacement of related equipment with equipment that is not compatible with the AOS
	Too many alarms. Prioritization of alarms is not possible
Communication	Failure of electronic components in the communication links
	Less than ideal radio coverage for wireless links
	Error in transmission of data (also known as bit faults)
	Failure in data integrity (data transmission errors, etc.)
	Lack of acknowledgment of command(s)
	Wrong configuration of communication functions
	Unexpected reduction of available bandwidth
	Unexpected increase in latency
	Unstable data links over time
	Network storms
	Loss of power
Security	GNSS spoofing, AIS spoofing, etc.

	Jamming of RADAR, etc.
	Unauthorized access/hacking of the AOS and related systems
	The AOS or related systems infected with malware
Onboard crew (fallback)	Onboard crew dozing off
	Lack of proficiency and understanding of the AOS users, e.g., cannot understand the meaning of alarms and unsuitable use environment of the AOS
	Overconfidence of automation system users (onboard crew) in the automation system
	Inadequate human-machine interface
	Inability to understand incorrect input and unentered input of the voyage plan
	Conniving inappropriate sea routes
	Inability to understand unswitched operation modes (e.g., navigation mode for outside of a port navigation mode for inside of a port)
	Outside of the ODD and fallback is necessary, but onboard crew cannot respond
Emergency	Severe hull damage (structural damage, flooding due to failure of watertight equipment, etc.)
	Malfunction of ship equipment (propulsion, steering gear, radar, etc.)
	Fire
	Temporary or permanent power outage due to causes such as blackout
Remote control	Human errors by remote operators (falling asleep, leaving the position too long, incorrect interpretation of data, etc.)
	Ship losing communication with the remote control center
	Communication latency and failures
	Frozen screen, such as that for the remote control system
	Failure of remote operators to recognize the situation due to excessive or insufficient information
	Handover of responsibilities from one operator to another

Annex 2. Outline of common risk analysis methods

Below, we present the outline of risk analysis methods other than SWIFT, which was discussed in the main text and summarize their characteristics. Please refer to the references, e.g., [15]–[20], for more detailed descriptions of each method including SWIFT. Methods other than those presented in this manual can be applied to the risk analysis of an autonomous ship as well.

(1) Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

With a focus on the equipment that constitutes the system, possible modes of failure for the equipment are identified and their effects on the system are analyzed. This method is often used to identify the effect of failures.

It is advantageous in that a systematic and exhaustive analysis is possible. At the same time, its disadvantages include its difficulty in application during the concept design stage and the fact that it is labor and time intensive.

The standard steps and worksheet for FMEA are as follows:

Step 1: Define the target system and process.

Step 2: Prepare documents such as design information and related data and organize a working group.

Step 3: Hold a workshop and perform FMEA analysis. Select the components and perform the following for these components:

- Identifying features.
- Identifying the types of possible defects (failure mode).
- Identifying localized effect caused by the failure mode (local effect) and effect on the overall system (final effect).
- Identifying the measures to protect the system from the failure mode (a means, including alarms and error messages from the automated systems, to detect failures, corrective actions, etc.).

Step 4: Record these discussions on the worksheet.

Example of worksheet:

System:	Main engine system	Subsystem:	Fuel oil pipe system
Navigation mode:	Normal sailing at full speed	Block diagram:	Block diagram of fuel oil pipe system
Date:		Editor:	
Sheet number:		Approval by:	

Number	device name	feature	failure mode	cause of failure	effect of failure		failure detection	measures	severity	notes
					Local	final effect				
1	Main engine 1 (2, 3, 4)	Burn the fuel and convert the energy to mechanical work	Declined output (stopped output)	Damage to the piston of the main engine 1 (2, 3, 4)	Main engine 1 operation discontinued	Outer 2 axes cannot be operated	Unusual sound, vibration, various alarms	Outer 2 axes are stopped and sailing with inner 2 axes	Major impact	

Figure A2.1. Example of FMEA worksheet*.

*NMRI edition of the FMEA worksheet based on the HSC code.

Failure mode refers to the types of potential defects. The 2000 High-speed craft (HSC) Code, an international regulation for high-speed crafts [21], lists the following modes of failure: structural failure (damage), physical restraint or biting, vibration, inability to maintain position, inability to open or close, poor opening or closing, internal and external leakage, being above or below the tolerance level, accidental movements, intermittent movements, unstable movements, erroneous display, limited flow, erroneous movements, inability to stop or start, inability to switch, early movements, delayed movements, erroneous input (increase/decrease), erroneous output (increase/decrease), loss of input or output, short circuit, electric release, electric leakage, and other.

(2) HAZard and OPerability study (HAZOP)

This is a method that is often used to analyze hazards at process plants. It clarifies potential abnormalities in a process system and propagation mechanisms to assess validity of measures. Analysis begins by assuming "a deviation" from the design intent, and both cause and consequence are analyzed. Guide words are used to prepare questions to analyze potential risks of deviating from the design specifications, and causes and consequences are estimated on the basis of the answers to the questions.

While systematic and exhaustive analysis is possible, it is difficult to apply during the concept design stage and is labor and time intensive.

(3) Bow-Tie Diagram

Generally, a diagram in a bow-tie shape is used. The target phenomenon is the knot, while the left shows causes that could lead to the target phenomenon. The right side shows the consequences of the

phenomenon. This method combines the preventive measures of the target phenomenon and the preventive measures of the consequences of such a phenomenon. This method is often used to display an accident scenario in combination with SWIFT.

While this method can explicitly display an accident scenario, it does not support the identification of hazards, causes, or consequences and requires the use of other methods such as SWIFT.

(4) STAMP/STPA (Systems-Theoretic Accident Model and Processes/System-Theoretic Process Analysis)

This method was developed to analyze the safety of large-scale and complex systems that incorporate technologies such as AI/IoT, which focuses on defects in interactions between elements. While conventional methods such as FMEA assume accidents occur due to failure of constituting machines and operational errors, this method is characterized by its assumption that accidents occur due to interactions between elements.

Its advantages include the identification of abnormalities that cannot be discovered by conventional methods, analysis at a lower cost and with less labor than conventional methods [22], and its application to concept study and/or design stages. However, it does not support the detailed analysis of the cause of failure or perform semi-quantitative analysis [23]. As it is a relatively new method, examples of its application are limited when compared to conventional methods.

Table A2.1 shows a summary of the characteristics of the above methods and SWIFT.

Table A2.1. Characteristics of each method.

	SWIFT	FMEA	HAZOP	Bow-Tie	STAMP/STPA
Outline	Questions on a situation that deviates from normal, "what if," are repeatedly asked, and hazards are identified through brainstorming in this method	With a focus on machines that constitute a system, the failure modes possible for these machines are identified and their effects on the system are analyzed	Analysis begins by assuming "a deviation" from the design intent, and both causes and consequences are analyzed	A method of illustrating the process from a cause to the target phenomenon, and from a cause to the consequences, illustrated in a shape of a bow-tie	Developed to analyze the safety of a large-scale complex system that focuses on defects in the interaction between elements
Typical stage of application	Concept study, concept design, detailed design	Detailed design	Detailed design	Concept study, concept design, detailed design	Concept study, concept design, detailed design

Major advantages and disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> • Analysis is relatively easy. • Can be applied to the stage of concept study or design. • Dependent on the experience of workshop participants. • Accident scenario is not explicit 	<ul style="list-style-type: none"> • Systematic and exhaustive analysis is possible. • Difficult to apply during the concept design stage. • Labor and time intensive 	<ul style="list-style-type: none"> • Systematic and exhaustive analysis is possible. • Difficult to apply during the concept design stage. • Labor and time intensive 	<ul style="list-style-type: none"> • Accident scenario is explicit. • Difficult to identify hazards, causes, and consequences using only this method, this requiring other methods such as SWIFT 	<ul style="list-style-type: none"> • Abnormalities that cannot be found using the conventional methods can be identified [22]. • Analysis at a lower cost and with fewer man-hours than the conventional methods [22]. • Can be applied to concept study and/or design stages. • Difficult to conduct a detailed analysis of the cause of failures. • (Semi-) quantitative assessment is difficult [23] • Fewer applications than the conventional method.
------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Appendix 1. A practical example of risk analysis on a phase II autonomous ship

A practical example of risk analysis on a phase II autonomous ship are shown in this Appendix. We assume two phases, that is, normal navigation and berthing/unberthing. It should be noted that risk analysis is desirable considering more phases to increase the comprehensiveness of hazards.

References

- [1] IMO: MSC.1/Circ.1455 Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments (2013)
- [2] ClassNK: Risk Assessment Guidelines (2009)
- [3] MLIT: Safety Guidelines for MASS (provisional translation) (2022) (in Japanese)
- [4] ClassNK: Guidelines for Automated/Autonomous Operation on ships (Ver.1.0) (2020)
- [5] IMO: MSC.1/Circ.1212 Guidelines on alternative design and arrangements for SOLAS chapters II-1 and III (2006)
- [6] IMO: MSC/Circ.1002 Guidelines on alternative design and arrangements for fire safety (2001)
- [7] IMO: MSC-MEPC.2/Circ.12 Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (2013)
- [8] Bureau Veritas: Guidelines for Autonomous Shipping (2019)
- [9] DNV-GL: Autonomous and remotely operated ships (2018)
- [10] M. Shiokari et al.: Application of Risk Analysis Method with System Modeling to Conceptual Design of Autonomous Ships, Proc. Conf. on the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.32, pp.355–366 (2021) (in Japanese)
- [11] MUNIN: D9.2, Qualitative assessment, FP7 GA-No 314286 (2015)
- [12] EMSA: Study of the risks and regulatory issues of specific cases of MASS—Part 1, Report No. 2019-1296, Rev.0 (2020)
- [13] EMSA: Study of the risks and regulatory issues of specific cases of MASS—Part 2, Report No. 2019-0805, Rev.0 (2020)
- [14] USTRAT: AUTOSHIP D2.4a—Risk assessments, fail-safe procedures and acceptance criteria The Inland Waterway vessel analysis (2020)
- [15] ISO/IEC 31010 (Risk management—Risk assessment techniques)
- [16] ISO/IEC 27005 (information technology—Security techniques—Information security risk management)
- [17] IEC 60812:2006 (Analysis technique for system reliability—Procedure for failure mode and effects analysis. (FMEA))
- [18] IEC 61882:2016 (Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide)
- [19] NK: Risk Assessment Guidelines (2nd edition) Annex 1 Guidelines for implementation of FMEA (related to the IGC Code) (provisional translation) (2017)
- [20] N. G. Leveson and J. P. Thomas: STPA HANDBOOK (2018)
- [21] IMO: MSC.97(73) Adoption of the international code of safety for high-speed craft, 2000 (2000 HSC code) (2000)

- [22] IPA/SEC: Survey report on the STAMP method (provisional translation) (2015)
- [23] Y. Fukuzawa: System Safety and Security Analysis by STAMP/STPA, Systems, control and information. Vol.62, No.4, pp.130–133 (2018) (in Japanese)