

**令和6年度 第1回 海上技術安全研究所
研究計画・評価委員会報告書**

令和6年5月17日

**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**

目 次

1. はじめに	1
2. 評価の概要	2
3. 評価の結果	3
「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」	
(1) 海上輸送の安全の確保	4
(2) 海洋環境の保全	7
(3) 海洋の開発	10
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発.....	13
参考添付 1：評価資料（抜粋）	16

参考

令和5年度業務実績報告書

1. はじめに

海上技術安全研究所は、実施する研究課題について、以下のように研究評価体制等を整備し評価を実施しています。

(1) 評価の体制

海上技術安全研究所で実施する研究は、研究の種類などに応じ、「内部評価」と「外部評価」に諮られます。

「内部評価」は、所長を座長とし、所内職員で構成される研究計画委員会が実施します。

また、「外部評価」は、所長が選任する外部有識者で構成される海上技術安全研究所研究計画・評価委員会が実施します。

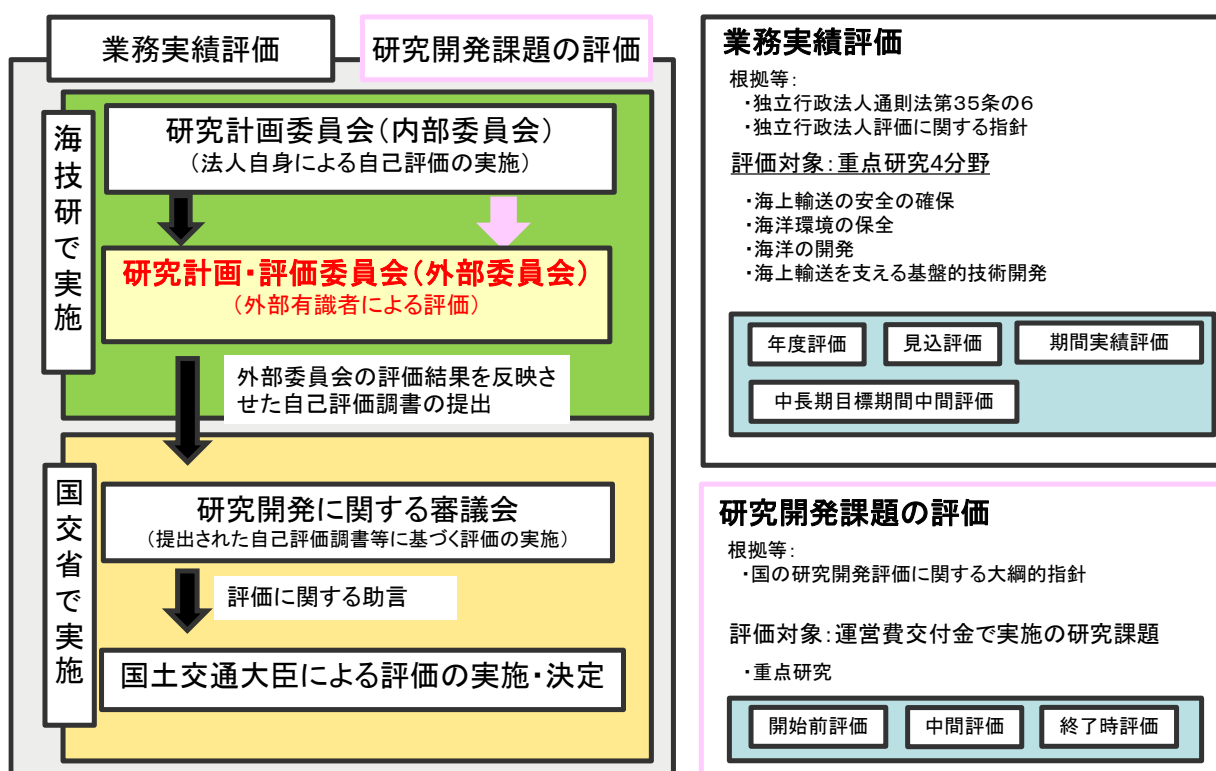
(2) 評価の種類

国立研究開発法人制度では、国の評価委員会（研究開発に関する審議会）が毎年、国立研究開発法人の業務実績を評価することになっています。評価の種類としては、各事業年度の終了後に実施する「年度評価」、中長期目標期間の最後の事業年度の直前の事業年度の終了後に実施される「見込み評価」、中長期目標期間の最後の事業年度の終了後に実施される「期間実績評価」及び中長期目標期間の途中において通則法第21条の2第1項ただし書で定める当該法人の長の任期が終了後に実施される「中長期目標期間中間評価」があります。

「研究開発課題の評価」は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」に準じ、研究所が実施する重点研究の内容を評価するものであり、研究の開始前、計画変更時及び終了時にそれぞれ実施します。

海上技術安全研究所では、透明かつ厳正な「外部評価」を実施するため、評価要領を「海上技術安全研究所研究計画・評価委員会実施要領」として策定し、これに従って評価を実施していただいております。

本報告書は海上技術安全研究所研究計画・評価委員会の評価結果をとりまとめたものであり、評価結果及び指摘事項は、今後の研究活動に反映していきます。



2. 評価の概要

(1) 評価の実施日

令和6年5月17日（金）

(2) 評価の実施者

海上技術安全研究所研究計画・評価委員会 委員名簿

会務	氏 名	所属・役職名
会長	岡田 哲男	国立大学法人 横浜国立大学大学院 工学研究院 システムの創生部門 教授
以下 50 音順		
委員	池田 真吾	一般社団法人 日本船主協会 環境委員会 副委員長 (川崎汽船株式会社 執行役員)
委員	後藤 浩二	国立大学法人 九州大学大学院 工学研究院 海洋システム工学部門 船舶海洋構造工学 教授
委員	杉岡 寛	一般社団法人 日本造船工業会 技術委員会委員長 (ジャパン マリンユナイテッド株式会社 常務執行役員)
委員	高橋 桂子	早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究機構 規範科学総合研究所 上級研究員・研究院教授
委員	田中 一郎	一般社団法人 日本船用工業会 大形機関部会長 (株式会社三井E&S 取締役)
委員	塚本 達郎	国立大学法人 東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 教授
委員	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 教授
委員	濱田 邦裕	国立大学法人 広島大学大学院 先進理工系科学研究科 教授
委員	稗方 和夫	国立大学法人 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
委員	村井 基彦	国立大学法人 横浜国立大学大学院 環境情報研究院 人工環境と情報部門 教授

(3) 評価の種類及び対象

今回の海上技術安全研究所研究計画・評価委員会の評価の種類及び対象は、以下のとおりです。

■「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

対象：令和5年度に実施した重点研究

ここで、重点研究は中長期計画に記載の重点的に取り組む研究開発課題です。

また、各重点研究は、「海上輸送の安全の確保」、「海洋環境の保全」、「海洋の開発」及び「海上輸送を支える基盤的な技術開発」の重点4分野にグループ化され、分野毎に評価が実施されます。

3. 評価の結果

評価の結果として評点は次のとおりになりました。また、各評価の分野ごとの評価結果の詳細は、各章に掲載しています。

評点は、「独立行政法人の評価に関する指針」（令和４年３月２日改定、総務大臣決定）に準じ、S、A、B、C、Dの５段階の評語を付すことにより行います。なお、「B」を標準（所期の目標を達成していると認められる状態）とします。

■「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

【令和５年度】

海上輸送の安全の確保	: A
海洋環境の保全	: A
海洋の開発	: A
海上輸送を支える基盤的な技術開発	: A

「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

(1)海上輸送の安全の確保

令和5年度業務実績評価シート【年度評価】

【評点】	☐ S	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいのか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。				
コメント	・SPREME や RTP 法など、理論的に整合性のある最新の手法を実用的レベルにまで結び付けている点は、新形式の船体構造の設計に必要な技術であり、社会のニーズに合致し、社会的価値が大きい。 ・構造設計や船型設計の高度化に伴って必要となる様々な数値解析ソフトウェアを整備し提供していることは、設計の高度化・合理化、国際競争力の向上につながるものである。 ・自動運航船に関しては IMO でも現在進行形で議論が進んでおり、時宜を得た研究であると言える。 ----- ・船体構造評価技術に関する研究(重点研究 1)については、具体的受益者(もしくは利用者)のメリットがどの程度なのかが解っていないが、デジタルツインを構成する要素技術としては期待出来る(つまり裏での計算で活用)と評価する。 ・船舶の安全運航のための性能評価に関する研究(重点研究 2)については、大型船と浅喫水域での運動性能において実際には安全性担保という面においてシミュレーションのみではないものの、こういった研究結果で安全性向上や規制緩和につながっていく事を期待したい。 ・次世代船舶技術の社会実装に不可欠なリスク解析技術の構築(重点研究 3)についても上記と同様でこういった研究が社会実装につながっていく事を期待する。 ・操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究(重点研究 4)は実際に成果が出てきているものと理解するが、さらなる深度化を期待したい。 ----- ・短期・長期予測手法の改善は学術的意義も大きいですが、社会実装の観点から計算時間の大幅な短縮を達成したことを高く評価したい。設計人材が不足している造船專業の中小造船所から見ると、とてもありがたい研究成果になったと思われます。 ・口頭説明は省略されていましたが、「DLISA およびこれに関わる要素技術プログラムの機能強化」も着実に進められていることを高く評価します。付随する要素技術研究を今後も着実に進めたいと考えています。 ----- ①自動避航／着舷は、自律運航の重要な部位であり、これらに船員への負担の軽減、省力化につながる技術である。これらに対する高度な技術が開発されることは、大いに期待される。 ②波浪中船体応答解析用アプリケーションを開発し、プログラムを提供したことの意義は大きいと思われる。 ③自律化船の開発は現在実施されている開発案件であり、それに関する研究開発はタイムリーなものである。 ④低速時、浅水域、波浪中などの操縦性能運動モデルは高度であり国際的にも意義があると思われる。 ⑤自律運航船の安全性評価は今後実装に必要となる技術である。 ----- ・順調に成果が挙げられていると承知しました。社会的価値の創出に貢献すると推定されるが、貢献の内容を今後さらに明示的に示されることを期待します。 -----				

	・我が国において、海上輸送は生命線であり、「海上輸送の安全の確保」に関する社会的価値は非常に大きい。その一方、地球温暖化対策、人口縮小社会の課題解決も求められている。 ・その意味で、将来のゼロエミ船、自動運航船普及に向け、特に、自動避航操船システムの開発の一環で、「相手船の将来行動を考慮するため、相手船の変針の影響を加えた避航アルゴリズムを開発した」科学的意義は十分に大きいと判断する。 ----- ・ここでの研究は船舶の安全性向上に大きく貢献するものであり、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものと考えられる。特に海難事故防止、海難事故解析については、海上技術安全研究所として積極的に取り組むべき課題であり、社会に還元できる成果が出ていることは評価できる。自律航行船の技術開発は、船舶に関して最も注目される課題であり、国の方針や社会ニーズに適合したものである。自動運航船の要件について、成果が IMO MASS コードの審議に活用され、相手船の将来行動を考慮した避航アルゴリズムを開発するなど、着実に成果が出ており、期待された時期に創出されていると考える。自律航行船に必要とされる技術は、多岐に渡るため関連する他の重点研究とも連携を図り、また他機関との共同研究、情報交換を活用して、成果が創出されて実装につながることに期待する。 ----- ①社会ニーズに適合した研究開発が行われていると考えます。船体応答解析アプリケーションや CFD 統合システムについては、現在の利用数だけでなく増加率も示していただければ、産業界からの評価や期待が分かりやすいと思います。 ②新規性の点ではやや劣りますが、発展性や一般性について評価できます。今後、海技研として種々のシステム開発にどこまで注力するのか、システム開発の科学的意義をどのように示していくのか、について基本的な方針をお示しいただくのがよいと思います。 ③適切な時期に創出されていると思います。 ④IMO 審議への参加や CFD 統合システムの開発は国際競争力向上に貢献しているものと考えます。 ⑤機動性が認められます。 ----- ・船体応答解析アプリケーション「SPREME」や非線形応答の予測手法である RTP 法など、次世代船舶の設計に有用な手法が求められる時期に開発されており、これらは海事産業の競争力強化に大きく貢献することが期待できる。 ・自動運航船の要件に関する成果の IMO MASS コード審議への活用や、CFD 統合システムが 23 社で実用されているなど、社会的価値の創出という観点でも高く評価できる。 ・国際的にも学術的価値が高い研究・開発成果が得られており、産業界においても有効に活用されていることから A 評価とする。 ----- ・社会や産業界からの要請に対して、情報システム等の実用にも使える形で提供しており、社会的価値は十分に高いと考える。 ・研究の質の高さについては、SPREME における計算速度の高速化など非常に優れた成果があり、また、多数の発表論文数によっても裏付けられている。 ・重点 2 の CFD に関する研究成果は多くの企業で利用されており、産業界が必要としている時期に適切に成果を創出している。 ・着実に創出された研究成果が、産業界および学術界の両方から高く評価されており、優れた研究活動を実施してきたと判断した。 ----- ①昨年度までの準備状況をうまく取り込みながら、実践的に進展させており、非常に良く進んでいると感じる。特に SPREME の開発は、かなり早く形にしていることが非常に高く評価できる。様々な現場で多くの人に使われていくことで、人材のリソースをこの部分に割かなくてもよいことは、結果として社会的な価値の創出に人材を送り込むことができ、高く評価できる。また、海難事故についても、昨今ニュースとして社会に取り上げられることが増えていると感じており、タイムリーという表現は適切ではないかもしれないが、社会ニーズに応える進展になっている。 ②上記①の成果のなかでアプリケーションになるものを積極的に公開していることと、その公開されているものが国際的にみて十分に先端的事であることを高く評価する。また、海上交通についても、新しい技法を取り込みながら、合理的な交通ルールの構築を見据えており、新規性についても評価できる。
--	--

	③様々なコードを公開あるいは海技研以外の組織で使える形にしており、社会実装を意識されていることを感じる。研究項目のいずれもが、現状において先端的でありつつ実践的である。 ④GHG 対策は、直接的で効果的な国際貢献であり、国際的競争力や付加価値を得るため必須の技術である。特に沿岸部での運航である低速時問題を検討していることは先進的であるといえる。これらの研究活動を ISSC のメンバーを派遣することを通して国際的な標準化に貢献していることでも、国際的な先端性は認められる。 ⑤自動操縦などの次世代のモビリティの社会実装に向けた基礎的な研究も着実に進められていると評価できる。
--	---

事務局とりまとめ欄

総合評価	S :
A	A : 11
	B :
	C :
	D :

(2)海洋環境の保全

令和5年度業務実績評価シート【年度評価】

【評点】	☐ S	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいのか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。				
コメント	- 海上輸送における GHG や大気汚染物質の排出量削減が叫ばれる中、代替燃料利用技術や環境負荷低減に関する研究で成果を出していることは、時宜を得ていると同時に社会的価値の創出につながっている。学術的に重要な成果も出している。 - 関連する国際的な規則や規制も検討が積み重ねられ徐々に明確化あるいは変化しているが、変化を早期に察知して研究開発内容にフィードバックすることや、逆に研究成果を規則・規制にフィードバックしていくことが今後重要と思われる。 - 国際的な規制においてもトータルライフサイクルでの評価が重視される方向になっており、その観点での研究評価も重要である。 ----- - 実海域実船性能向上に関する研究(重点研究 5)の特に OCTARVIA は業界での利活用も広がっているものと理解しており、さらなる機能拡大は期待したい。 - GHG 削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究(重点研究 6)は、実装への基本研究であり、これらを上手く活用させ、民間の活動活性化への一助となる様がんばって欲しい。 ----- - 新燃料（アンモニア、水素）の船用エンジンでの使用に資する基礎研究は、研究環境や所有設備を考慮すれば海技研が主導するにふさわしい案件（特に萌芽的という観点から）であり、実施内容、成果発信も適切かつタイムリーなものであると思います。 - 口頭説明では省略されていましたが、防汚塗料性能評価に関する研究も地味であるが、国内海事産業の国際競争力強化の観点から重要な成果であったと思います。 ----- ①実海域での性能評価の重要性は増してきており、適正かつ明確な評価を行えることは、海事産業の競争力強化に貢献するものと思われる。 ②アンモニアや水素専燃技術は、GHG 削減において非常に意義のあるものである。実海域性能の評価を合理的に可能とする技術は、GHG の実排出を削減する必要がある状況において意義のあるものと思われる。 ③実海域性能、新燃料の燃焼技術は、まさに必要とされている状況下での研究内容である。 ④粒子フィルターを用いた乱流モデル(EASM)のデータ同化手法は、世界で初めて船舶分野のシミュレーションに適用したものであり、国際競争力的に意義のあるものである。 ⑤防汚塗料から海洋へ排出される物質の海水中の微粒子等への影響評価はあまり聞いたことなく、先見性があるものと思われる。 ----- - 着実に成果が積み上げられていると承知しました。世界初の取り組み、可能になった、という言葉だけでなく、従来課題に対してどのような解を得たのかについての言及があると国際的な水準における優位性がさらに明快になるので、今後そのような記載を期待します。 ----- - 我が国において、海上輸送は生命線であり、海洋環境の保全への貢献は必須である。新聞記事によると、EV 車は GHG を排出しないが、バッテリー搭載により車体重量が増加し、タイヤの摩耗が激しくなる結果、摩耗で生じる粒子状物質の増加は懸念されている。海洋分野においても GHG 削減のみならず、様々な観点から環境に優しい推進システムなどの検討が欠かせない。				

- ・この意味で、発効準備を進めている ISO 217164 は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法としては世界初の国際規格であり、現在 IMO で審議中の水中洗浄ガイダンスの防汚システムにおいて、適切な管理方法として参照される可能性がある。
- ・この規格により、市場において防汚塗料性能を明確に区別することが可能となり、我が国の塗料メーカーの技術的優位性が高まることが期待される。

- ・ゼロエミッションに向けた燃料油に関する研究は、国の方針や社会のニーズに適合したものである。軽油や A 重油を使用しない水素・アンモニアを専焼とするエンジンの開発は、GHG 排出ゼロに向けた必須の技術であり、成果の学術的意義もあり、また期待された時期に創出されているといえる。水素、アンモニア以外にもアルコールやバイオ燃料についても研究が行われており評価できる。船底防汚塗料の性能評価や油の流出による海洋環境汚染を最小限にする研究も継続して実施されているが、社会にニーズに適合したものであり、大きな意義があると考ええる。

-
- ①社会ニーズに適合した研究開発が行われていると考えます。実海域性能評価と海洋環境の保全という課題の関係性について、明瞭な説明があると社会的価値についての評価を得やすいと思います。
 - ②発展性や一般性について科学的意義が認められます。代替燃料 CO2 削減効果については tank to wake だけでなく well to wake で評価することもご検討ください。次世代燃料の燃焼・解析技術の高度化は科学的意義が大きいと思います。
 - ③適切な時期に創出されていると思います。
 - ④IMO 審議への参加が国際競争力向上に貢献しているものと評価できます。TOP10% 学術誌への投稿が増えることを期待します。
 - ⑤機動性が認められます。

- ・実海域性能の向上は海事産業における最重要課題の一つである。粒子フィルターを用いた乱流モデルは性能評価技術の向上に大きく資するものであり、国際競争力の向上に貢献する。多数の機関が参加した (OCTARVIA) フェーズ 2 による実海域性能評価技術 (ライフサイクル主機燃費評価技術) の向上は産業のニーズとマッチし、海事産業の競争力向上の観点で高く評価できる。また、アンモニアや水素などの次世代燃料の燃焼・生成技術に関して、国際的に価値の高い成果が得られている。また、ISO、IMO、ITTC など国際連携活動を積極的に行っており、我が国の国際競争力強化に大きく貢献していることも高く評価したい。
- ・社会的・科学的に価値がある顕著な成果が上がっており、国際連携も積極的に行っていることから A 評価とする。
- ・今後はデータそのものが競争力の源泉となることが予想されるため、重点 5 において提案されている船舶性能統合データベースにおいて、仕組みやプラットフォームの構築に加え、データそのものの獲得・共有についても検討されることを期待する。

- ・非常に多くの参加機関をリードしている OCTARVIA は社会的価値、産業競争力に大きく貢献するものであると考える。
- ・科学的意義の観点では、アンモニア燃焼や水素専焼技術、アンモニアからの水素生成技術などについて海外学術雑誌に発表していることは、研究内容の質を裏付ける意味でも重要である。また、これらの技術は、カーボンニュートラルに貢献する社会的要請の大きいテーマであり、民間企業との協業しながら進めていることから社会への還元についても期待できる。また、粒子フィルターを用いた乱流モデルのテーマにおいては世界で初めての取り組みも行っており、国際競争力にも貢献していると考ええる。

以上から、優れた研究成果を創出していると判断した。

-
- ①海洋由来の環境負荷低減として、船舶からの排ガス削減に直接的に貢献できる研究、高度なモニタリングとその解析処理法の開発および、これまでの成果を踏まえつつ、実社会に近い目線での研究開発がなされていることが認められる。また、実海域海事クラスター共同研究実海域実船性能評価 (OCTARVIA) を通しての社会実装が進んでいることは、産業界の社会的価値の向上にも貢献している。
 - ②上記①も踏まえつつ、社会実装のための実践的な研究が開始されている。データ同化を積極的に進めるなど、先進性や新規性でのアドバンテージを維持していると感じる。社会還元性の面でも、民間と協力しながら進めており、単に研究成果にとどまらない効果を生んでいると思われる。
 - ③実海域海事クラスター共同研究実海域実船性能評価 (OCTARVIA) プロジェクトフェーズを実施したこと、それに 24 もの機関が参加したことは、企画がタイムリーであ

	ることを示している。また、この分野での国際貢献度も高いことが、活動報告からし っかりと伺える。 ④上記②でも触れたデータ同化などは海技研の特徴や強みを生かした世界的も最先端 の取り組みであると思われる。また、塗料の国際規格への貢献は、産業の強みが国際 的に適切な評価を受けることに大いに貢献することであり、研究所だけではなく産業 界の国際競争力に貢献している。 ⑤GHG 削減には様々なアプローチがあるが、代替燃料利用の視点で、萌芽的ではある が、社会実装に向けた着実な研究成果が創出されていると感じる。
--	---

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S : A : 11 B : C : D :
-----------------------------	---

(3)海洋の開発

令和5年度業務実績評価シート【年度評価】

【評点】	☐ S	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。				
コメント	・CTV から洋上風力発電施設への乗り移り性能評価は、浮体式風力発電施設関連で必要となる技術開発の一つとして時宜を得ており評価できる。労働安全のための基準やガイドラインにつながっていくことを期待する。 ----- ・海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究(重点研究 7)は、その位置付け(時間軸)が非常に難しいものの、いつかは実装につながるという継続性を逃さずに軌道修正しながらも取り組んで頂きたい。 ・海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの安全性評価・最適化に関する研究(重点研究 8)も同様に、テーマの内容としては実装に向けて企業が動かねばならないが、事業採算性も必要となるので、究極の解は持っておいても、それに準ずる実装レベルへの提言等に役に立てれば尚良いかと思う。 ----- ・国研として国の方針に基づき、民間単独では推進が難しい研究テーマを適切に推進できていると判断します。 ・口頭説明は省略されていましたが、成果の科学的意義として挙げられている「海洋鉱物資源開発」「浮体式波力発電」に関する研究は、国として注力すべき重要案件であり、これらについて近い将来の実機展開に資する有用な成果を挙げ続けていることも評価したい。 ・風力発電については着定式の社会実装が進む中、我が国のポテンシャルを考慮すると実用化が必須の浮体式について、設置後の保守管理や経年劣化対策に関しても海技研が主導した研究を期待します。 ----- ①国家プロジェクトへ参画し実施しているものであり社会的価値を創出しているものである。 ②浮体式洋上風力発電に係る作業船オペレーション評価技術は海洋資源開発などにも共通的に必要とされるものと思われる。海洋鉱物資源開発に関する研究は新規性のあるものと思われる。 ③新燃料のバンカリング船に関する研究、CTV に関する研究。浮体式洋上風力発電設備に関する研究成果は、これから実際に必要となるものであり、成果が期待される。 ④浮体式洋上風力発電に関する研究は、近い将来、実現を想定しているものであり、国際的にも意義のあるものであると思われる。 ----- ・順調に成果が挙げられていると承知しました。国プロジェクトにおける成果のみならず、貴所独自の取り組みが国のプロジェクトの中でどのように活かされているのか、また今後どのような指針で臨むのか、についての記載があると、貴所の優位性が（科学的意義、および国際競争力においても）より明確になるものと考えます。 ----- ・日本における再生可能エネルギーの確保は必要だが、ハードルが高いと考えている。深海を有し、頻繁に台風が通過する日本の特殊性を鑑みた場合、洋上風力発電はイニシャルコスト、メンテナンスコストともに高額と思われ、コストを下げるには、大規模化が欠かせない。 ・その観点から、本取り組みは国の方針及び社会のニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献するものである。今後、実用化に伴い、塩害、台風などによる経年劣化との戦いが目に見えており、長期的視点に立ったコスト評価も含めた開発支援を期待する。 -----				

・海洋開発分野は、世界に比べて日本は遅れている分野であり、日本の海洋開発産業振興のために実施すべき課題であり、海上技術安全研究所で実施する意義も大きく、国の方針や社会のニーズに適合している。海洋再生可能エネルギーの利用促進や、海洋資源開発は、国家プロジェクトへ貢献するものである。また社会的価値の創出に貢献し、国際競争力の強化につながる。またカーボンニュートラルの実現に向けて、洋上風力発電は我が国に適した再生可能エネルギーと考えられ、この技術開発は、国の方針や社会ニーズに適合したものであり、社会的価値の創出に貢献するものである。洋上風力発電の大規模施設を対象とした安全性検査手法の研究開発、合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築は、国際的にも意義があるものと考えられる。

- ①社会ニーズに適合した研究開発が行われていると考えます。海技研で行われている AUV に関する様々な技術開発が社会にとってどのような貢献があるのか、広く一般への周知も重要と思います。
- ②成果の科学的意義について一定の評価ができます。洋上 CO2 圧入は重要な技術開発であり今後の成果を期待します。
- ③国のニーズに応じて適切な時期に創出されていると思います。海技研が先導する海洋開発のテーマが分かりにくいので、そのような説明があればよいと思います。
- ④AUV の海中ドッキング自体が世界初の実証実験との印象を与えるので、表現について再考が必要と思います。国際学術誌への投稿が増えることを期待します。

・複数 AUV の協調制御技術やドッキング制御など、国際的にもみても最先端の成果が得られている。また、LNG バンカリングに関する稼働限界条件を提案し、ガイドライン改定に貢献するなど社会的価値の高い成果が得られている。

・海洋再生エネルギーの開発に関しては、大規模ウィンドファームを安全性評価技術の開発や、合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築を行っており、これらは世界の情勢・動向に合致している。

・海洋基本計画やエネルギー基本計画に基づき、国家プロジェクトと連携して着実に成果をあげており、国際的にもみても高く評価できるため A 評価とする。

・洋上でのオペレーションや海洋資源開発、AUV 関連技術など、技術の蓄積を活用することで国のプロジェクトで非常に優れた技術的成果を創出していると考えられる。特に AUV 関連では世界初の取り組みもあり、成果の大きさとともに保有する技術が卓越した水準になることを示している。安全保障の観点から研究成果の外部発表に制約があることが考えられる国家プロジェクトを数多く進める中で十分な数の論文発表を行っており、研究の質の高さが客観的にも裏付けられていると考えられる。

・また、本邦企業への技術移転や技術支援は行っていることは社会的価値の創出に直結し、成果の創出時期が社会の期待に沿うものであることも示している。

・世界の動向を踏まえた大規模ウィンドファーム関連の研究は、国際競争力に寄与するものと考えられる。

以上から、優れた研究成果を創出していると判断した。

- ①海洋開発は、海に囲まれている日本の地理的・地勢的なアドバンテージを活用することである。近年の技術進展から海洋開発による海からの恩恵を引き出すこと可能になりつつあるだけでなく、一般社会からの期待が非常に高まってきている。海洋開発にかかわる多くのことが新たな海事産業の創出につながり、そのまま、社会的な価値を純増させる効果がある分野である。特に社会的な要請が強い海洋再生可能エネルギー、海底資源開発に直結する研究が国家プロジェクトの一環としてだけでなく、新規の民間企業の参入を呼び込めるような社会を引っ張る概念のものとして実施されており、高く評価できる。
- ②日本の排他的経済水域の活用には、深海性や広域性から、これまでにない技術の投入が不可欠である。単に海洋開発の機器だけでなく、社会的なコスト削減の観点から、運用や操業だけでなく設置のしやすさ、に加えて、例えば大規模なウィンドファームの構築を想定した建造計画シミュレーションをできるようにするなど、実践的な検討を進めていることが高く評価できる。
- ③海洋再生可能エネルギーに関する成果は、海洋基本計画やエネルギー基本計画を見通して遂行され、洋上ならではの係留や水中の点検業務などの問題など実用上不可欠な問題を取り扱っており、十分に適切である。また、日本の EEZ の活用については単に他国の技術を転用するではなく、海域の特性を十分に理解し想定した技術と対策が必須である。その点についても、日本の海域で必要な項目を重点的に進めていると感じる。

	④海洋開発でのデジタルツインや、AUV の高度な運用についても国際的にも先端的な AUV の開発運用を実践している。また、洋上風車での安全なマリンオペレーションにする研究も、先進的であることがわかる。IEC など国際基準の改定や策定にも貢献していることから、国際的な水準を持っていることがよくわかる。
--	--

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S : A : 9 B : 2 C : D :
---------------	-------------------------------------

(4)海上輸送を支える基盤的な技術開発

令和5年度業務実績評価シート【年度評価】

【評点】	☐ S	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいのか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。				
コメント	・DXを活用した造船作業工程の革新は造船業の国際競争力向上に貢献し、大きな社会的価値を有する。 ・一方、国内の造船所に実装していく段階を考えたとき、研究機関として汎用的なコアとなる技術を提供するのか、完成形に近いソフトウェアの開発が可能なのか等の立ち位置を明確化して進める必要があると思われる。 ----- ・DX造船所の実現に向けた研究開発(重点研究9)については、会議でも発言したが、データによる方針の主旨を確実にしていけないと、逆を言うと全方位的な指針にしてしまうと解は出てこない、研究機関としてのジレンマはあろうかと推察するが、あくまで一つの研究指針という事での指向性は出していただいたい。 ・ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究(重点研究10)に関して、海運で例にとると、本当に世間一般でいうビッグデータが該当しうものか？業界内でのデータ整理ではないのか？という疑問は常にあり、ビッグデータとは何を指しているのか、そこから何を生み出そうとしているのかももう少し深堀しても良いかと思う。 ・一方で「緊急支援物資輸送システム」についてはビッグデータ活用域と思われ社会貢献度も高いと評価しているので、どんどん実例を広げて行って欲しい。 ----- ・DX造船所の研究開発は非常に重要ですが、「中途半端な」段階で論文発表を進めることは国際競争の観点からは好ましくないため、この重点研究については論文発表を焦らないことが大切であると思います。（重点研究実施期間中の評価に際して論文数は気にする必要が無い。） ・災害時輸送システムに関する研究については、近年災害が多い中、非常に有用な研究であると思うが、特に地方自治体に対する周知・情報提供が弱いのではないかと感じています。実際の利用例を海技研Webサイト・SNSで積極的に発信し、海技研が広く社会貢献していることをアピールしていただければと思います。 ・スライド36ページで少し触れていた「新工作法、新材料」についても地道に研究を進めていただきたい。今の「流行り」からは少し外れているが、船舶の品質を根本的に支え、競合国との差別化を図りやすい分野であると思います。 ----- ①建造シミュレーションなど造船所が進めているDX戦略とリンクしている研究開発であり社会的価値の大きいものと思われる。 ②造船においてBOMベースの開発・建造は発展途上であり、これらの研究は意義のあるものであり、汎用的に利用できるものと思われる。 ③造船業界においてDX化が進められようとしている状況下であり、適切な時期に実施されているものと思われる。 ④造船の設計／建造の流れは他の産業と異なる部分多く、造船分野に特化したDX推進は国際競争力的にも意義があるものと思われる。 ⑤ビッグデータとAIを用いた市況予測を機動性をもって行っていると思われる。 ----- ・着実に成果が積み上げられていると承知しました。貴所と所外の機関による協働の課題解決への取り組みは重要であると考えます。今後のさらなる進展を期待します。 -----				

- ・もはや、人口縮小社会の加速、及び、働き方改革もあり、製造業の中でも、造船・船用工業は特に、技能系従業員の確保が困難になってきている。一方、2030 年以後、ゼロエミッション船の増加が期待されており、生産性のアップによる製造能力増加は必須である。
- ・この観点から、デジタルツイン（製造現場のシミュレーションによる生産性向上およびエンジンを含めた船体運転挙動のシミュレーションによる試運転期間の短縮など）は社会ニーズに適合しており、特に、造船業、船用工業が集積する西日本地域への貢献が大きいと考える。
- ・特に、ライセンスエンジンのシェアが高い日本のエンジン業界において、シミュレーション技術の高度化は、中韓のエンジンライセンスとの差別化に繋がるものであり、ひいては日本の造船業の国際競争力の回復に繋がるものと期待している。

- ・造船所の DX 化を目指した研究は、国の海事産業の国際競争力強化、海事産業の DX 推進に合致するものであり、国の方針や社会のニーズと適合している。造船業における技術の伝承の問題や少子高齢化による人材不足の問題にも対応するものであり、海事産業の競争力向上につながるものである。デジタル化やビッグデータの活用は、国の方針や社会のニーズに合致しており、社会的価値の創出に貢献するものである。災害時の複数輸送モードを考慮した輸送シミュレータ開発は、国家プロジェクトへの貢献、成果の科学的意義が大きいと考える。ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発、デジタルツイン統合システムの研究開発については、先見性と機動性をもって対応している。計画に対してこれを上回る成果を上げていると考えられる。

-
- ①DX 造船所などは社会ニーズに適合した研究開発であり、海事産業の競争力強化に直接的に貢献するものと期待できます。重点研究 10 のビッグデータと海運・造船に係る評価手法は重点研究 5 との連携を模索されてはと思います。
 - ②発展性や一般性の観点で大きな科学的意義が認められます。真の DX に向けてデジタル化だけでなくトランスフォーメーションを見据えた研究開発を進めていただくことを期待します。
 - ③適切な時期に創出されていると思います。
 - ④IMO 審議への参加が国際競争力向上に貢献しているものと評価できます。国際学術誌への投稿が増えることを期待します。
 - ⑤先見性と機動性が認められます。

-
- ・DX 造船所やビッグデータの活用による輸送システムの高度化は日本の海事産業の継続的発展のための最重要課題の一つであり、社会のニーズに合致し国際競争力の向上のために重要な研究である。BOM の有効活用や離散事象シミュレータは将来の造船業にとって重要な課題であり、海技研が主導してその標準化を行うことは社会的にも大きな意義がある。
 - ・また、ビッグデータ活用という観点で、IMO の GHG 削減政策に関する提案文書に貢献するなど、成果が期待された時期に得られていると評価できる。緊急支援物資輸送システムに関する実働演習は多くのメディアに取り上げられるなど、社会的なインパクトも大きなものであった。
 - ・何れのテーマも社会的価値のあるテーマであり、論文公表が難しい分野であるにも関わらず、17 件の査読論文が公表されていることも高く評価でき、顕著な成果と評価する。
 - ・なお、造船所のデータ標準化において現状の PLM に記載されているデータに加え、将来的に極めて重要なデータとなるであろう、工場モニタリングデータの管理・活用も視野にいたより広範囲での標準化を将来的に期待したい。

-
- ・造船所におけるデータ連携は今後の国際競争力を高める重要な技術テーマと考える。また、BOM によるデータモデルなど、この中核的技術に関する成果は科学的意義も大きい。着実に成果を上げているが、引き続き積極的に取り組み、研究成果を上げることで社会的価値を創出していただきたい。
 - ・ビッグデータや DX といったキーワードの昨今注目を集めているテーマについて先見性・機動性をもって取り組んでいる。研究所全体で重要な基盤技術でもあり、組織横断で技術・知識を蓄積して社会に発信していただきたい。
 - ・メディアに取り上げられる取り組みは社会的な要請の裏付けであり、今後も積極的に取り組んでいただきたい。
- 以上から、優れた研究成果を創出していると判断した。
-

	①働き方改革、ヒューマンエラーの低減、無人化、遠隔化は、現代一体となって社会的に推進すべき問題である。本研究分野が扱っている研究テーマの背景や課題設定は、それらの社会要請に対して合致し、貢献が認められる。造船に関する工程管理の面では、従来的人数に比して少ない人数で実現することに大いに貢献しているが、新規の海洋開発に関する工程管理にも是非連携し、新規の産業を人材を効率的に使って構築することに、貢献されることを期待する。 ②作業工程の数値化やオブジェクト化は、作業支援システムの開発や船舶運航の無人化に向け必須であり、研究の波及効果は、①でもふれたが、海洋開発など現状で産業化されていないが、大規模な工程管理が必要な他分野にも広がることが期待される。 ③デジタル化やDXの実装は、言うは易しだが、実装するには相当な準備とシステムティックな導入計画が重要である。本研究課題では、現場の状況をよく把握し、現実的なDX化の推進に貢献していると感じる。 ④災害輸送システムについては、昨今（特にこの15年で）、どこで何が起きても不思議はないということが、社会的にも共通認識されてきている。能登の地震などは沿岸域で発生しており、実践しながらアップデートしていく場に事欠かなくなっている。自然災害への対応に関する研究は、長期的な視点からは大いに国際貢献につながらざるを得ない研究を実施している。 ⑤ビックデータと通信の面で、AIとデータフュージョンを組み合わせた手法に取り組むなどを取り入れ、先見性と機動性を持って取り組んでいる。
--	--

事務局とりまとめ欄

総合評価	S :
A	A : 10
	B : 1
	C :
	D :

◆年度計画と重点研究計画の関係

● R5年度計画

(1) 海上輸送の安全の確保

- ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発
- ②海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等

(2) 海洋環境の保全

- ①ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発
- ②実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発

(3) 海洋の開発

- ①海洋再生可能エネルギー開発に係る関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発
- ②海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発
- ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

- ①デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発
- ②ビッグデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発

■ 重点研究計画

1. 船体構造評価技術に関する研究
2. 船舶の安全運航のための性能評価に関する研究
3. 次世代船舶技術の社会実装に不可欠なリスク解析技術の構築
4. 操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究
5. 実海域実船性能向上に関する研究
6. GHG削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究
7. 海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究
8. 海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの安全性評価・最適化に関する研究
9. DX造船所の実現に向けた研究開発
10. ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究

4

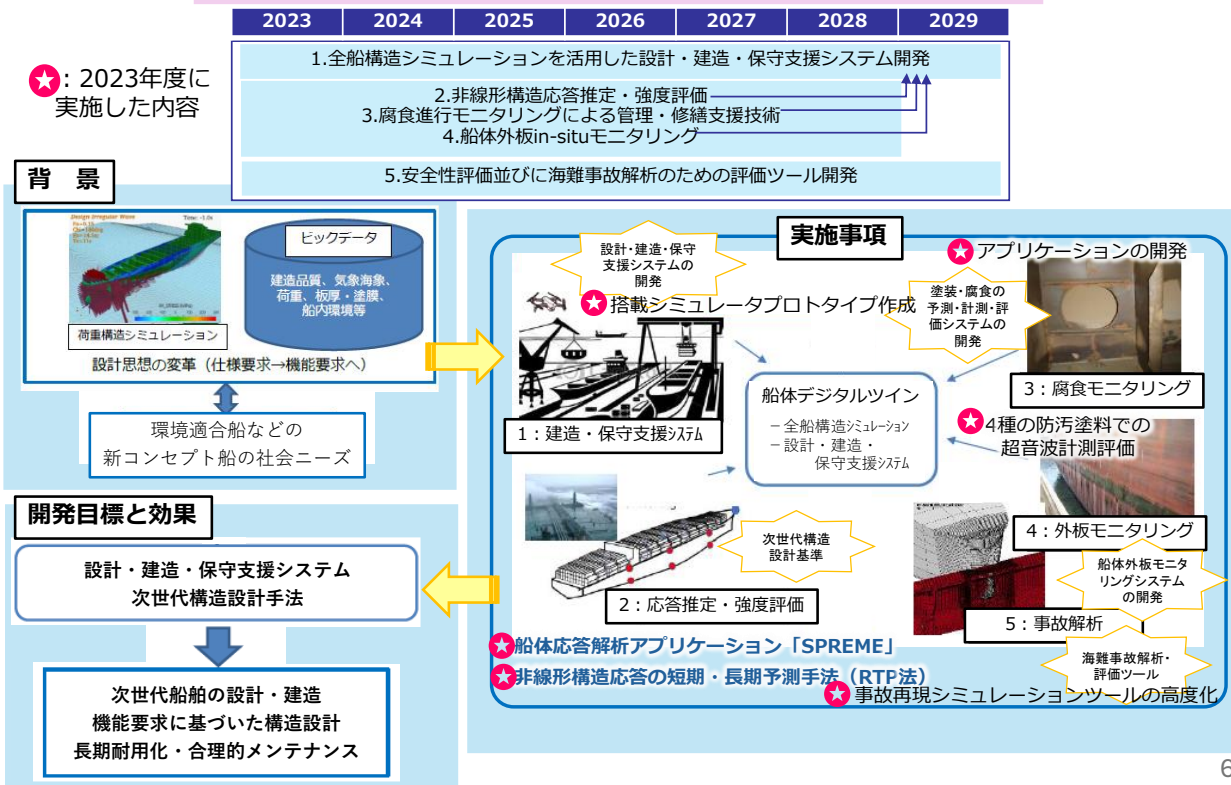
(1) 海上輸送の安全の確保

5

(1) 海上輸送の安全の確保

- ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発
- ②海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等

船体構造評価技術に関する研究(重点研究1) 7カ年計画の概要



6

(1) 海上輸送の安全の確保

- ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発
- ②海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等

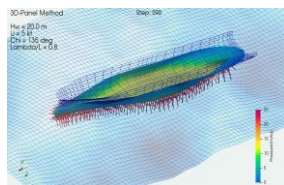
年度実績

設計・建造・保守の支援を行うためのトータルシステムの開発を目指して、前期重点研究で開発したDLSA(Direct Load and Structural Analysis)をベースに、荷重・応答解析及び耐力評価手法の汎用・簡易化および高度化、建造品質の定量評価手法、保守支援に資する腐食劣化評価手法、モニタリング手法等、要素技術の開発を実施した。

船体構造評価技術に関する研究(重点研究1)

○船体応答解析アプリケーション「SPREME^{*1}」

- ✓ 設計者が容易に荷重・応答計算を行えるアプリであり、波浪中水槽試験により計算精度を検証した。
- ✓ 周波数領域で応答関数を解析する。さらに応答関数を用いて、短期・長期予測及び不規則波中応答時系列の算出が可能である。
- ✓ ストリップ法とパネル法を同一のインターフェイスで選択することが可能であり、船型の違いなど目的に応じた使い分けができる。
- ✓ 数学船型の生成も可能であり、船型が定まっていない初期段階で数学船型を用いた初期検討ができる。

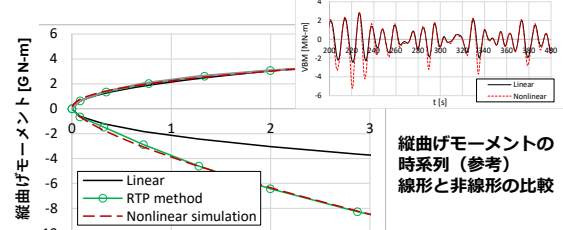


SPREMEによる不規則波中応答解析・数学船型

※1 Strip/Panel-based Response Estimation Method
所外納入実績: SPREMEのみ2社、DLSA(含むSPREME)7社

○非線形構造応答の短期・長期予測手法「RTP法^{*2}」

- ✓ 不規則波中の短期・長期予測において、波高に対する構造応答の非線形影響を考慮する、RTP法を提案した。
- ✓ 規則波中の応答関数を複数の波高に対して求めておき、その波高に対する非線形性を、線形理論で求めた短期・長期予測に反映する。
- ✓ 非線形の時刻歴シミュレーションを行う場合に比べて、計算時間は短期予測で1/10、長期予測で1/数千のオーダーとなった。



縦曲げモーメントの極値分布、線形と非線形の比較

※2 RAO-based Translation Process

◎波浪荷重・応答の解析・評価を精度よく、簡易・短時間実施できる手法を開発・提案した。

7

(1) 海上輸送の安全の確保

①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発

船舶の安全運航のための性能評価に関する研究(重点研究2) 7カ年計画の概要

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1. 港内操縦運動再現のための操縦運動数学モデルに関する研究						
2. 総合性能評価のためのCFDによるシミュレーション技術開発						
3. 復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究						
4. 港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発						

★: 2023年度に実施した内容

1. 港内操縦運動再現のための操縦運動数学モデルに関する研究

- ★ 低速時の操縦運動モデル
 - 側壁影響のモデル
 - 風圧力の簡易推定手法拡張

実用的なモデル
簡易推定手法の開発

操船リスク
シミュレータへの
成果実装
+
国内自動運航船
開発者への貢献

2. 総合性能評価のためのCFDによるシミュレーション技術開発



※1 Model Based System Engineering

3. 復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究

- 危険事象再現の
計算コードの開発
および
- ★ 水槽試験技術の確立



- 危険事象の減少に貢献
 - 安全運航
 - 船舶設計
 - 基準策定



4. 港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

推定法の改良

- ★ 船体に働く外力
 - 風圧力
 - 波漂流力
 - 操縦流体力

錨泊中の船体運動から船体に働く外力を同定する手法の確立

★ 振り回り運動の数値シミュレーション結果をECDIS※2上に表示

※2 Electronic Chart Display and Information System

(1) 海上輸送の安全の確保

①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発

年度実績

海難事故を削減し事故時の影響を最小化するなど、海上輸送における安心・安全を適切に確保することを目的とし、港湾内操船用低速操縦運動モデルのための流体力把握やCFDシミュレーション、波浪中復原性に起因する危険事象推定や実験の手法開発、錨泊船舶の安全性評価と航海機器活用、等に関して成果を得た。

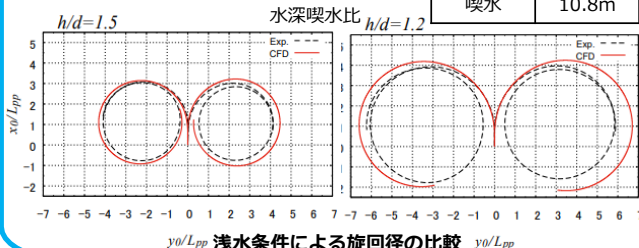
船舶の安全運航のための性能評価に関する研究(重点研究2)

○港湾等の浅水域操縦運動のCFD計算

- ✓ 6自由度船体運動方程式とCFDによる流体力計算を連成させ (Free-Run CFDと呼称)、浅水域での旋回試験をシミュレートし水槽試験結果と比較した。
- ✓ 実験等で導かれた操縦運動モデルを使わずに水深変化時の旋回航跡変化を精度よく推定することが可能となった。

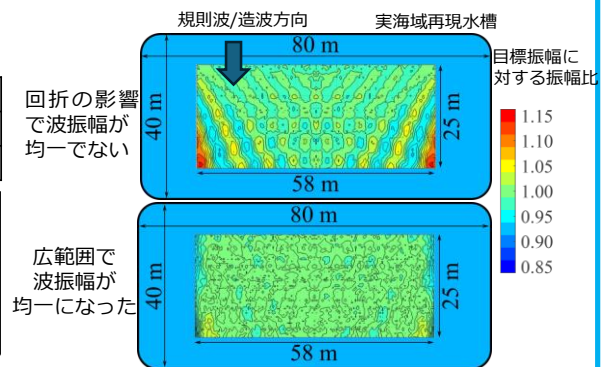


水槽試験で使用した縮尺模型船(1/66)



○水槽試験における新しい造波法の開発

- ✓ 水槽内の波高の空間分布が均一となり試験精度が向上する新しい造波法として、造波板動揺振幅の最適解を焼きなまし法を用いて探索する手法を考案した。
- ✓ 数値シミュレーションで発生波高分布を一般的な造波法と比較し、波浪場品質向上効果を示した。



一般的造波法(上)と新手法(下)の水槽内波高分布比較

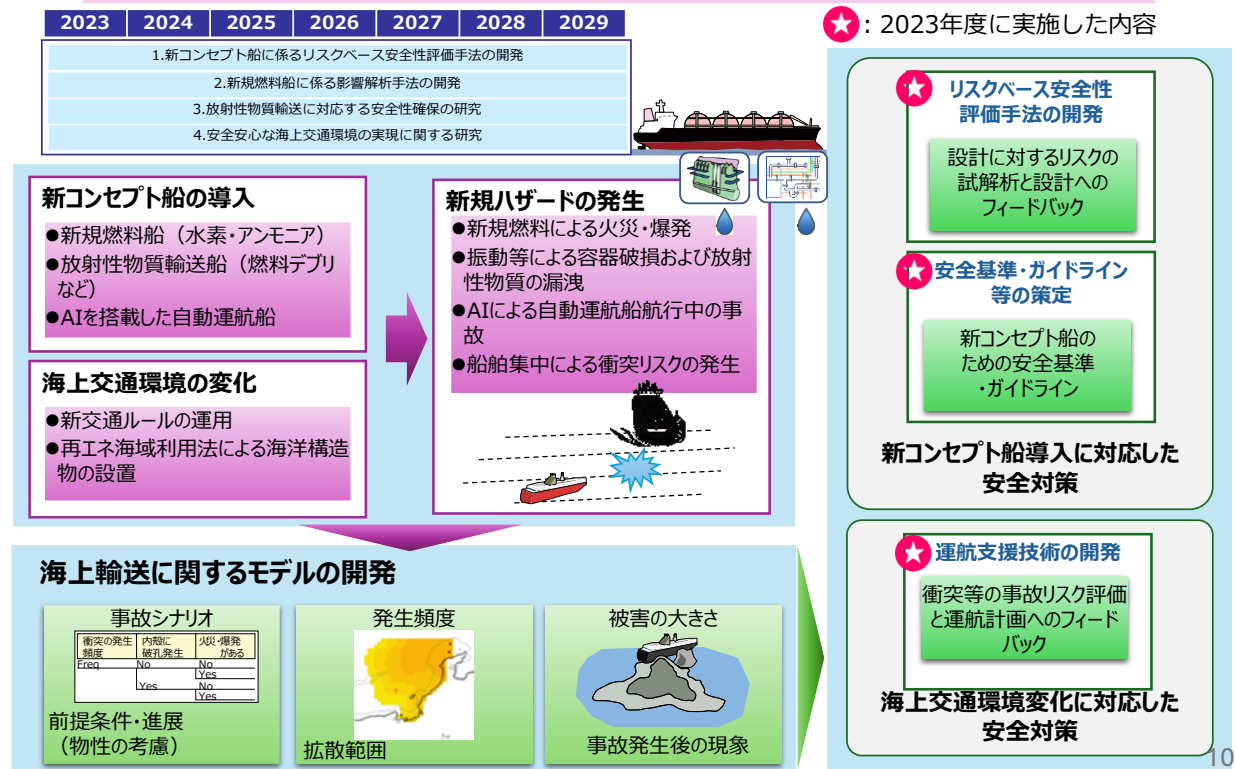
◎ Free-Run CFDにより、港湾域での操船性能評価が容易となった。

◎ 試験水槽の中央部以外での波浪場品質改善により、試験効率及び精度が向上された。

(1) 海上輸送の安全の確保 / (2) 海洋環境の保全

- ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発
- ④ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究

次世代船舶技術の社会実装に不可欠なリスク解析技術の構築(重点研究3) 7カ年計画の概要



(1) 海上輸送の安全の確保 / (2) 海洋環境の保全

- ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発
- ④ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究

年度実績

- ・新コンセプト船の安全性向上を図るため、リスク解析・影響評価手法の構築を実施した。
- ・海上交通安全の向上のため、衝突危険性の評価手法の高度化・デジタル基盤による支援の要素技術を開発した。

次世代船舶技術の社会実装に不可欠なリスク解析技術の構築(重点研究3)

○自動運航船の機能要件抽出手法

- ✓ IMOのゴールベース型規則※1への対応として、自動運航の継続可否を判断するなどの機能要件案を設定するリスク解析手法を策定した。
- ✓ 本手法は、個船毎のリスク解析結果から機能要件(対策)を導出する新しい手法であり、より網羅的・汎用的に機能要件を抽出できる。

自動操船機能に対する機能要件案

観点	機能要件 (一部)
主機能	自律操船の継続可否をデータに基づき判断する。
主機能の動作確認機能	自律操船の継続可否判断機能が正常に作動しているか等を確認する。
不具合発生時の機能	上記の機能が正常に実行できないと判断された場合、対応船員に通知する。
船員への提示機能	自律操船の継続可否判断の根拠となるデータ及び判断結果を提示する。
事前に必要な検証	自律操船の継続可否判断機能が正確かつ適時に作動するか事前検証を行う。

○来島海峡航路西側海域の安全対策構築

- ✓ 来島海峡航路西側海域における安全対策※2の影響を評価するため、交通流シミュレーションによる衝突危険性の变化を予測した(下図)。
- ・見合い別の衝突危険性の低減を確認
- ・進路交差点と変針点の分離による効果を確認



安全対策案実装前後のOZT分布図(横切り関係)

- ※1 船舶が達成すべき目標を定め、その目標を満たすための機能要件を設定し、それを達成するための具体的な規則を規定するような基準体系
- ※2 経路指定による経路別進路の交差点と変針点の分離及び整流化と灯浮標撤去などの安全対策委員会における対策

- ◎自動運航船の要件について、成果の一部がIMO MASSコード審議に活用された。
- ◎来島海峡航路西側海域の安全対策は、2024年7月1日に運用が開始される。

(1) 海上輸送の安全の確保

①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発

操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究(重点研究4) 7カ年計画の概要

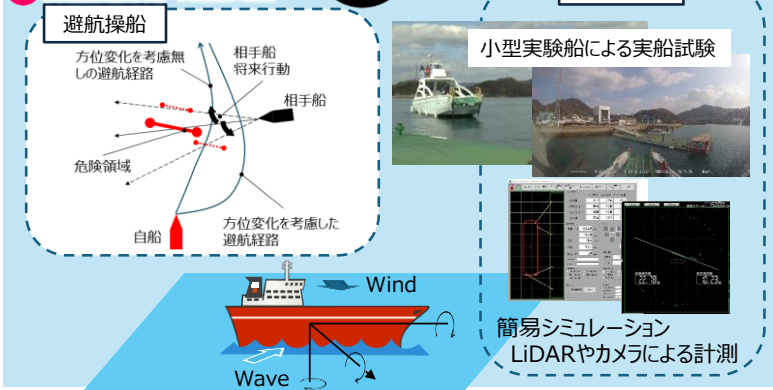
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1.情報通信を利用した自動避航・着岸システムに関する研究						
2.総合シミュレーションシステムによる安全評価技術の高度化						
3.外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法に関する研究						

★ : 2023年度に実施した内容

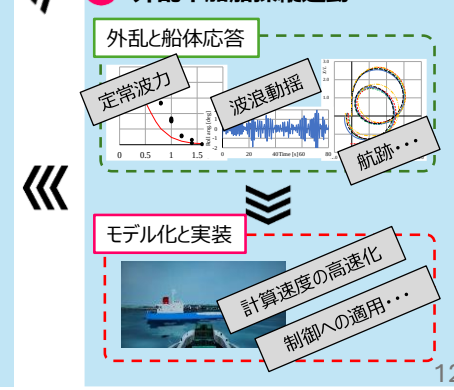
★ 総合シミュレーションプラットフォーム



★ 操船自動化・操船支援



★ 外乱中船舶操縦運動



12

(1) 海上輸送の安全の確保

①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発

年度実績

- ・自動避航アルゴリズムの高度化や遠隔操船システム等の開発を実施し、実船実験等により課題を抽出した。
- ・シミュレータを用いた避航操船及び離着岸操船のアルゴリズムに対する安全評価手法を整理した。
- ・シミュレータの再現性を向上させるため、斜航等をする船に働く波長影響を考慮した計算手法を提案した。

操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究(重点研究4)

○自動避航操船システムの開発

- ✓ 相手船の将来行動を考慮するため、相手船の変針の影響を加えた避航アルゴリズムを開発した。
- ✓ シミュレーション及び小型実験船の避航操船システムに上記アルゴリズムを組み込み、妥当な航路が提案されることを確認した(下図)。



避航操船システム(シミュレーション画面)

○短距離遠隔操船システムの開発

- ✓ 見通し範囲内の遠隔操船を想定して、小型実験船による実船試験を実施した。
- ✓ 船と陸とをWi-Fiで接続し、タブレットを用いた操船試験時の距離に対する電波強度等の基本性能を計測した。さらに、通信不良・遅延時の安全対策プログラムの機能等を確認した。



タブレットによる操作及びWi-Fi機器、試験装置の構成

- ◎ 相手船の将来行動を考慮した避航アルゴリズムを開発し、機能を確認した。
- ◎ 遠隔操船において、通信不良時の安全対策プログラムの機能等を確認した。

13

成果の公表(海上輸送の安全の確保)

項目	件数	
査読論文	35編	・科学雑誌掲載論文20編(うち投稿中:11件、採択済:2件、掲載済:7件) 投稿先の例: Journal of Marine Science and Technology、Journal of Robotics and Mechatronics 等 ・査読付き国際会議論文11編(うち投稿中:1件、採択済:5件、掲載済:5件) ・その他の全文査読付き論文4編(うち投稿中:1件、採択済:0件、掲載済:3件)
特許申請	2件	・船舶の操縦運動モデルの係数同定プログラム、操縦運動モデルの同定した係数の利用方法、及び操縦運動モデルの係数同定システム ・OZTIによる海域衝突リスク評価プログラム及びOZTIによる海域衝突リスク評価システム
プログラム登録	8件	・SPREME ・重合格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(NAGISA Ver.4.01) ・CFDポスト解析システム Ver.3.0 ・複雑形状物体まわり流場計算のための重合格子処理プログラム(UP_GRID) Ver.2.1 R6 ・自動運航船のリスク解析支援プログラム ・障害物が気流場に及ぼす影響を考慮した緊急時風況予測プログラム ・船舶版ダイナミックマップ基盤プログラム ・ファストタイムシブシミュレーター V2.0
国際連携活動	10件	・ISSC/ I.2 Loads committee委員(Web会議、Proceedings の作成等) ・ISSC/ II.2 Dynamic Response committee委員(Web会議、Proceedings の作成等) ・ISSC/ VI.1 ISSC-ITTC Cooperation 委員(中韓会議出席等) ・第46回輸送安全基準委員会(TRANSSC46)におけるIAEA 輸送規則の技術的基礎文書に関する専門家会合に関する議長報告 ・第46回輸送安全基準委員会(TRANSSC46)におけるE&T35の質問状に対する回答の作成 ・IMO CCC 9/7 Draft revised interim recommendations for carriage of liquefied hydrogen in bulk (2023) (focal pointを務めた非公式IMO CGLレポート) ・IMO MSC 107/5 Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Report of the Correspondence Group (2023) ・ISO/TC 8/WG 10出席 ・自動運航船に係る国際規則案の策定への貢献 ・Simplified operational guidance and safety device for the excessive acceleration failure mode, SDC10/ INF.10, IMO, 2024

14

成果の公表(海上輸送の安全の確保)

項目	件数	
受賞	4件	・小森山祐輔:日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞) ・河島園子:うみそら研理事長表彰(個人表彰、最優秀論文賞) ・A. Tanno, Y. Oka, H. Oka, K. Matsuyama :Best Poster Award of 14th International Symposium on Fire Safety Science ・澤田涼平:日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞)
公開実験	2件	・海技研DLSAセミナー2024(3/27実施) ・短距離遠隔操船システムに係る実船実験(3/25実施)

15

主な評価軸に基づく分析(自己評価)

＜海上輸送の安全の確保＞

◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値※1の創出に貢献するものであるか。

- ・波高非線形に対応した短期及び長期予測は、次世代船舶の強度設計に必要な手法であり、他機関(特に外国船級協会)に先駆けてこれを開発したことは、海事産業の競争力強化につながる。(重点1)
- ・本研究で開発中のシステムは港内での錨泊中の安全性を向上及び走錨事故の削減を目的としており、走錨事故の削減を図ることで安全・安心の確保に貢献する。あわせて、座礁による油流出等の環境負荷の低減にも貢献するものである。CFD統合システムが23社で実用されている。(重点2)
- ・自動着舷及び係船は、特に多くの船員を必要とする作業であり、また小型船舶の場合は風や潮流の影響を受けやすいため船員にかかる負担が大きい。そのため、着舷・係船作業の支援システムは作業の省力化につながる技術として期待される。(重点4)

◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい。

- ・ストリップ法及びパネル法を同一のインターフェイスで選択可能な波浪中船体応答解析用アプリケーション「SPREME」は、科学的手法に基づくソフトウェアである。これをクラウドで公開したことで、設計者が容易に荷重・応答計算を行えるようになった。これを設計の標準手法とすることによって、解析的手法に基づく自由度の高い荷重設定／構造強度設計を実現できる。浮体の運動解析のベースとなるプログラムを提供したこと科学的意義(発展性)は大きいと言える。(重点1)
- ・航海機器メーカーと共同研究をしており、錨泊中の安全性に関する情報を船内LANを介して航海機器に表示する手法を検討した。(重点2)
- ・海上交通に関する研究では、海域の衝突危険性の評価手法の高度化及び安全運航を支援する技術に関する研究を行っている。従前より新交通ルールの構築に向けた安全性評価が実施されてきたが、本研究では見合い関係別や速力差を考慮する等、従前よりも詳細に衝突危険性を評価する技術に関する研究を進めており科学的意義は大きい。(重点3)

◎成果が期待された時期に創出されているか。

- ・造船所及び船級協会のニーズに対応して、設計支援ツールDLSA及びこれに関わる要素技術プログラム(荷重推定、腐食衰耗推定等)の機能を強化した。(重点1)
- ・自動運航船舶の開発及びMASS Codeの策定作業は現在進行中であり、適切な時期に研究が進められている。(重点3)

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。

- ・低速時操縦運動モデルの研究は日本が進んでおり、その中でも本重点課題の取り組みは高度と言え、国際的にも意義があると言える。開発しているCFD統合システムは外部機関においても実設計に活用され、国際競争力の向上に貢献している。(重点2)
- ・物理化学現象を考慮した影響解析モデルに関する研究は、既存の影響解析モデルでは十分に考慮されてこなかった現象に焦点を絞って研究を行うものであり、特にアンモニアのような化学変化の考慮が被害影響に大きく影響を及ぼす場合においては極めて重要な要素である。GHG排出削減のためのアンモニア燃料利用を安全性の観点から支援するための技術であり、国際競争力の向上につながるものである。(重点3)

◎萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。(重点1及び重点3は該当しない)

- ・格子ボルツマン法に基づくハイブリッド計算手法開発(サブテーマ2)を継続し、高レイノルズ数流れへの適用性を示した。(重点2)
- ・自動運航船舶の安全性評価は社会実装に必要な技術であり、自動化の各機能の開発時の知見を活かし、認証ガイドライン案の作成等を行った。(重点4)

※1:安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等

16

研究計画委員会による評価

(海上輸送の安全の確保)

重点番号	課題名	平均	評価
1	船体構造評価技術に関する研究	2.6	A
2	船舶の安全運航のための性能評価に関する研究	2.4	B
3	次世代船舶技術の社会実装に不可欠なリスク解析技術の構築	2.9	A
4	操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究	2.6	A

S・・・3.5以上

A・・・2.5以上3.5未満

B・・・1.5以上2.5未満

C・・・0.5以上1.5未満

D・・・0.5未満

17

(2) 海洋環境の保全

18

(2) 海洋環境の保全

②実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発

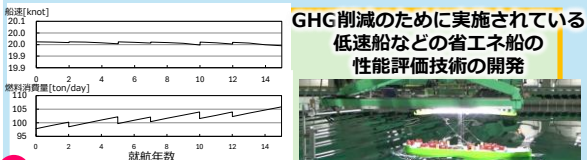
実海域実船性能向上に関する研究(重点研究5) 7カ年計画の概要

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1.実海域性能推定による省エネ船 ライフサイクル燃費評価技術の開発						
2.計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発						
3.実船データによる性能分析結果を用いた診断技術の開発						

★ : 2023年度に
実施した内容

1.実海域性能推定による省エネ船ライフサイクル 燃費評価技術の開発

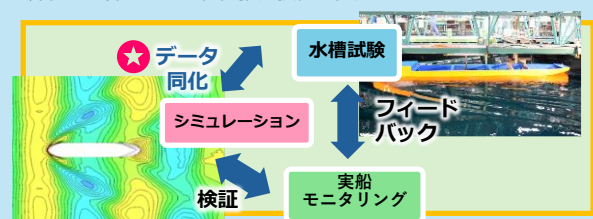
目標：ゼロエミッションにむけた実運航時の
GHG排出量・燃費評価技術の開発



★ 代替燃料プラントを含めた
ライフサイクル燃費評価法の開発

2.計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発

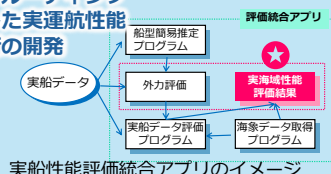
目標：水槽・シミュレーション・実船データ連携による
世界初・世界一となる性能推定技術の開発



3.内航・外航の実船データによる 性能分析結果を用いた診断技術の開発

目標：実海域実船性能の診断技術の開発
(診断→改善を可能とする新技術)

★ ウェザーレーティング
と連携した実運航性能
向上技術の開発



実船データによる
性能の分析的評
価技術の開発

実験・シミュ
レーション・実
船データのデー
タベース連携
→診断結果の検
証技術の開発

19

(2) 海洋環境の保全

②実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発

年度実績

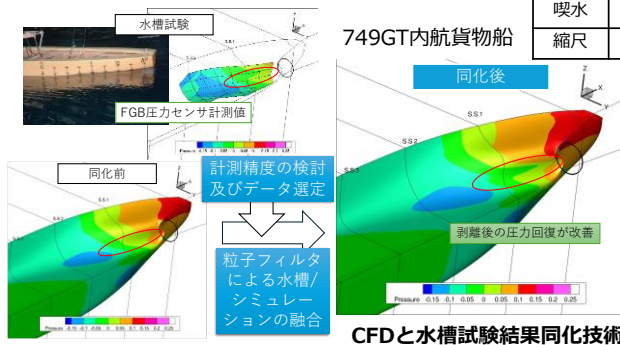
開発目標である船舶性能統合データベースの根幹となる、代替燃料によるGHG削減効果の定量的評価法、計測とシミュレーションを同化させた推定技術を開発し、その有効性を示した。

実海域実船性能向上に関する研究(重点研究5)

○ 粒子フィルターを用いた乱流モデル (EASM) のデータ同化手法

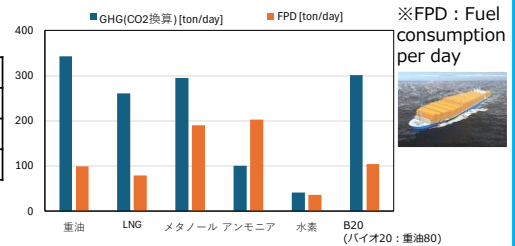
- ✓ 世界で初めて船舶分野に適用した。
- ✓ 粒子フィルターにより水槽試験結果 (FBG圧力センサで船尾付近で40点計測) とCFDシミュレーションを融合した。
- ✓ 船尾圧力場の評価精度改善を達成した。

※EASM: Explicit algebraic stress model (陽的代数応力モデル)
FBG: Fiber Bragg Gratings (光ファイバ内回折格子)



○ 代替燃料によるGHG排出削減効果の定量的評価法

- ✓ 24機関参加の実海域実船性能評価プロジェクトPhase2 (OCTARVIA2) と連携して、代替燃料の燃料消費推定結果を提示した。



6500TEUコンテナ船 (20knot) の15年間評価例

- ✓ OCTARVIA関連成果プログラムの外部利用促進を行った。(Webアプリ開発等)



◎ 実海域性能評価、診断・改善技術に貢献する成果を創出した。

20

(2) 海洋環境の保全

①ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発

GHG削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究(重点研究6) 7カ年計画の概要

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1.水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発						
2.次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化						
3.次世代燃料使用における安全・環境評価技術						

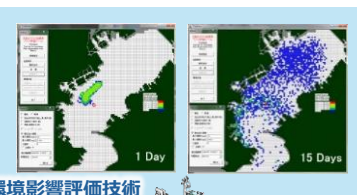
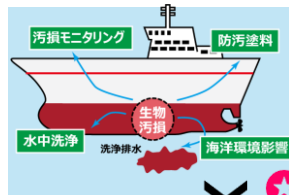
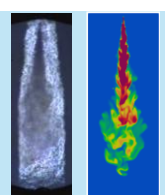
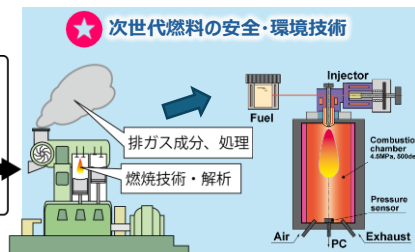
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
4.船舶運航における環境影響評価技術の高度化						
5.内航・外航海運の省エネ化・GHG削減対策に資する普及・実用技術						
6.海難事故等における油流出・回収及び処理効率向上技術の開発						
6.重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発						

★: 2023年度に実施した内容

GHG削減技術の高度化



次世代燃料の利用
H₂ や NH₃
バイオ燃料
メタノール



21

(2) 海洋環境の保全

①ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発

年度実績

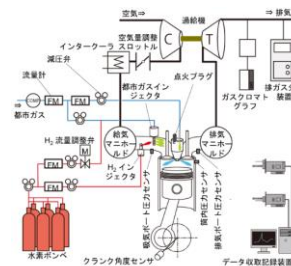
- ・船舶由来の環境負荷の低減のため、代替燃料利用に関する研究や省エネ船の評価を実施した。
- ・環境影響評価技術として、防汚塗料の性能評価並びに海洋拡散プログラムの高度化を行った。

GHG削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究(重点研究6)

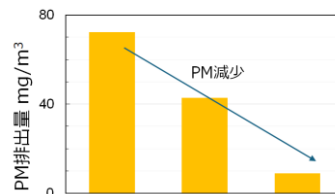
○代替燃料利用技術に関する研究

- ✓ 水素専焼エンジンに関連して、高い負荷率まで異常燃焼を起こさない適切な調整方法を確認した。
- ✓ アンモニア専焼エンジンについて、水素を利用した燃焼支援方法やマイクロ波プラズマによるガス改質の試験を行い、基礎データを取得した。
- ✓ バイオ燃料の保管温度に対する劣化を調べる試験などを実施し、国交省「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン」の改定に貢献した。

※ 代替燃料を利用するエンジンの研究の一部は、エンジンメーカーらと共同で実施した。



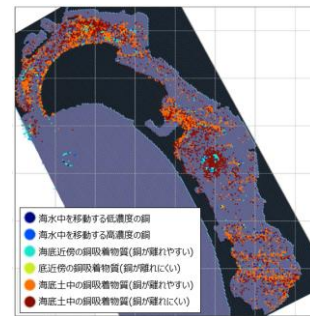
水素専焼実験システム図



アンモニア混焼時のPM排出特性

○環境負荷低減に関する研究

- ✓ アンモニア混焼エンジンの排ガス中に含まれるPM（粒子状物質）等の測定を行い、排出メカニズム解明のベースデータを取得した。
- ✓ 防汚塗料などの船舶から定常的に海洋へ排出される物質を対象としたシミュレーションモデルを発展させて、海水中の微粒子に吸着した化学物質の分布と形態を予測できるようになった。



米国サンディエゴ湾における銅分布のモデルシミュレーション例

- ◎ 水素専焼エンジンにおいて、水素の安定燃焼技術の構築を推進した。
- ◎ アンモニア混焼時のPM測定など、環境技術に関する研究を推進した。

22

成果の公表(海洋環境の保全)

項目	件数	
査読論文	14編	・ 科学雑誌掲載論文8編(うち投稿中:4件、採択済:1件、掲載済:3件) - 投稿先の例: International Journal of Hydrogen Energy, International Journal of Greenhouse Gas 等 ・ 査読付き国際会議論文4編(うち投稿中:1件、採択済:2件、掲載済:1件) ・ その他の全文査読付き論文2編(うち投稿中:0件、採択済:0件、掲載済:2件)
特許申請	2件	・ 摩擦抵抗低減装置、及び、摩擦抵抗低減装置を備えた船舶 ・ 摩擦抵抗低減装置を制御するプログラム
プログラム登録	5件	・ 相対運動計算プログラムV2版 ・ ライフサイクル主燃費指標計算プログラムクラウド版OCTARVIA-app V2版 ・ 船体形状・船体性能推定プログラムクラウド版EAGLE-OCT-app V2版 ・ 実運航シミュレータクラウド版 VESTA-web V1版 ・ 実船モニタリングデータ解析プログラムAPI版SALVIA-OCT-API V1版
受賞	8件	・ 一ノ瀬康雄ほか: 令和5年度日本船舶海洋工学会賞(論文賞)、日本海事協会賞 (A curved surface representation method for convolutional neural network of wake field prediction) ・ 白石耕一郎ほか: 令和5年度ターボ機械協会賞(論文賞) ・ 白石耕一郎: ターボ機械協会創立50周年記念事業(チャレンジ大賞) ・ 今井康雄 ほか: 日本マリンエンジニアリング学会論文賞 ・ 福田哲吾ほか: 日本マリンエンジニアリング学会技術賞 ・ 環境・動力系: 日本マリンエンジニアリング学会マリンエンジニアリング・オブ・ザ・イヤー (長年にわたるマリンエンジニアリングに関する優れた研究成果及び独創的技術の実用化のための開発試験) ・ 所内研究員が共著者として受賞: Best Paper Award, First evaluation of an ammonia reforming system in NH3-diesel dual fuel small engine, Proceedings of 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023). ・ 高橋千織: うみそら研理事表彰(個人表彰)

23

成果の公表(海洋環境の保全)

項目	件数	
国際連携活動	31件	・IMO 第10回船舶設計・建造小委員会(SDC10)への文書提出(2本) ➢ Comments on document SDC10/5 about judging necessary sea areas for introducing policy for URN reduction based on the assessment (SDC10/5/3) ➢ Comments on document SDC10/5 about the establishment of methods to measure and estimate URN (SDC10/5/4) ・IMO第10回・第11回汚染防止・対応小委員会(PPR10/PPR11)におけるブラックカーボン規制、船体付着生物管理ガイドラインの検討、船体水中洗浄に関するガイダンスに関する審議に参加 ・第80回海洋環境保護委員会(MEPC 80)における大気汚染防止及び船舶のエネルギー効率に関する審議に参加 ・第81回海洋環境保護委員会(MEPC 81)における大気汚染防止及び船舶のエネルギー効率に関する審議に参加:3人 ・ブラックカーボン技術作業部会(IMO)に関連、船舶からのBC排出量計測手法等に関する審議に参加:2回 ・R&D of OCTARVIA Project (ITTC/SKC communication meeting) ・Progress for ToR 3E) Roughness usage in performance prediction and cross effects with correlation(ITTC FSSPC) ・Progress for ToR 5C) Investigate the influence of drift, rudder action, short wave and wave height on wave-added resistance (ITTC FSSPC):2回 ・Literature Survey Report for Underwater Radiated Noise in Ice Condition (ITTC SC-Ice) ・Comparison of the added resistance in waves by SNNM-SNUs and tank test results(ITTC FSSPC) ・ITTC Full Scale Ship Performance Committeeに参加:5回 ・ITTC Specialist Committee on Iceに参加:4回 ・ITTC Specialist Committee on Performance of Wind Powered and Wind Assisted Shipsに参加:1回 ・ISO/TC 8/SC 6/WG 17(海上公試規格に関する審議)に参加:2回 ・ISO/TC8/SC2/WG13(船体汚損の水中洗浄システム、船底防汚システムに関する審議)に参加:3回 ・ISO/TC8 Chairman's Strategic Advisory Group Meeting (TC 8議長とその傘下のSC議長等によるTC 8の課題等の意見交換)に参加
公開実験	2件	・「気泡の力で船の抵抗を減らす!! 長尺平板模型船を用いた空気潤滑実験」(6/22実施) ・環境・動力系のラボツアー(12/5実施)

24

主な評価軸に基づく分析(自己評価) ＜海洋環境の保全＞

◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値※1の創出に貢献するものであるか。

- ・24機関が参加した海事クラスター共同研究実海域実船性能評価プロジェクト(OCTARVIA)フェーズ2を通じ、実海域性能評価技術(ライフサイクル主燃費評価技術)の向上を行い、海事産業の競争力強化に貢献した。(重点5)
- ・代替燃料(水素・アンモニア・バイオ)の利用に関する研究や省エネ船の建造支援、省エネ効果の解析は、GHGの削減に資する研究開発である。IMOによるGHG削減戦略や我が国の地球温暖化対策計画、第5期国土交通省技術基本計画、2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略に貢献するものである。(重点6)

◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい。

- ・低速域にも適用できる評価技術の開発や代替燃料についての評価、波浪中の前後流体力の変動振幅は、実海域性能診断技術につながる発展性のある技術であり、成果の意義は十分に大きい。(重点5)
- ・アンモニア燃焼や水素専焼技術、アンモニアからの水素生成技術など海外学術雑誌において研究成果の発表をしている。アンモニアや水素は、船舶からのGHG削減を達成するための脱炭素燃料として期待されている代替燃料であり、それらを安全に使用するための技術開発に貢献する成果が創出されており、科学的意義は大きい。特に、水素専焼技術では、既存のガス専焼機関を用いて水素専焼を達成するなど新規性も高く、研究成果を基に、民間企業と共に技術開発を進めている点など実用化にも貢献している。(重点6)

◎成果が期待された時期に創出されているか。

- ・風力アシスト船についての評価ニーズが高まっているタイミングで、ウェザールーティングを用いた評価法の全体設計を行った。(重点5)
- ・新たな油回収システムとしての試験評価装置を構築し、試験評価手法を確立した。さらに、当該試験装置で新たに直面した研究課題解決に取り組んでおり、前倒しに研究を進めている。(重点6)

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。

- ・粒子フィルターを用いた乱流モデル(EASM)のデータ同化手法は、世界で初めて船舶分野のシミュレーションに適用したものである。本手法による性能評価技術の向上は、国際競争力の向上に貢献するものである。(重点5)
- ・発効準備を進めているISO 21716-4は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法としては世界初の国際規格であり、現在IMOで審議中の水中洗浄ガイダンスの防汚システムにおいて、適切な管理方法として参照される可能性がある。この規格により、市場において防汚塗料性能を明確に区別することが可能となり、我が国の塗料メーカーの技術的優位性が高まるものと考えられる。(重点6)

◎萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。(重点5は該当しない)

- ・NH3専焼コンセプトの提案、アルコール系燃料の着火性評価や次世代燃料利用評価のためのPM計測手法の高度化並びに緑藻に対する船底防汚塗料の性能評価が萌芽的研究に該当する。それぞれ、先見性が高く、国内外で例を見ない研究成果を創出している。(重点6)

※1:安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等

25

研究計画委員会による評価 (海洋環境の保全)

重点 番号	課題名	平均	評価
5	実海域実船性能向上に関する研究	2.8	A
6	GHG削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究	2.7	A

S・・・3.5以上
 A・・・2.5以上3.5未満
 B・・・1.5以上2.5未満
 C・・・0.5以上1.5未満
 D・・・0.5未満

26

(3) 海洋の開発

27

(3) 海洋の開発

- ②海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発
- ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

★: 2023年度に実施した内容

海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究(重点研究7) 7カ年計画の概要

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1. マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究						
2. 海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究						
3. 高度な海洋調査に向けた先進的の海洋無人機に関する研究開発						

1. マリンオペレーション ⇒ 本邦企業への技術支援、ガイドライン

人員輸送船 (CTV※1)

- ★ 乗移り安全性・稼働性評価技術
- CTV最適配船計画支援技術
- 着床式風車、浮体式風車
- 各種船型 (カタマラン、SWATH、モノハル)

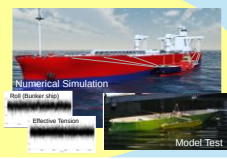


※1 Crew Transfer Vessel、洋上風力発電アクセス船



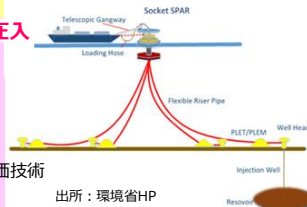
バンカリング

- ★ 振れ回り影響評価技術
- 安全性・稼働性評価技術
- 運用限界条件評価技術
- LNG、アンモニア、水素燃料



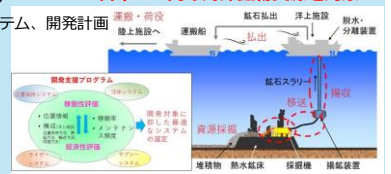
洋上CO₂圧入

- ★ プラットフォーム挙動評価技術
- ★ 内部流評価技術
- 全体システムの安全性・稼働性評価技術



2. 海洋資源開発 ⇒ 本邦企業への技術支援

- ★ 揚鉱技術
- 開発システムの稼働限界条件評価技術
- ★ 対象海域の拡充
- 開発支援ツール
- 最適な開発システム、開発計画
- 稼働性評価
- 経済性評価



3. 海洋無人機 ⇒ 本邦企業への技術移転、海底調査事業等への技術支援

- ★ 水中完結型の複数AUV同時運用技術
- ★ AUV海中ドッキング技術
- ★ 海中完結型の複数AUV同時運用イメージ
- ★ 航空無人機システムに適用可能なAUV技術
- ★ 航空無人機システムによるAUV回収イメージ



(3) 海洋の開発

- ②海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発
- ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

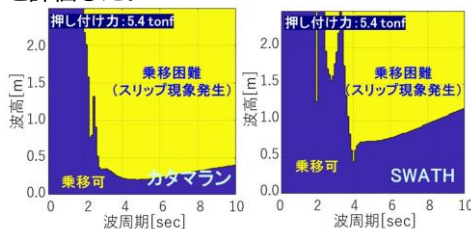
年度実績

洋上風力発電施設の設置及び維持管理に関連するマリンオペレーションの評価法を構築するための研究、海底資源開発、AUVの広域・長期運用に係る国プロ、業界への技術支援に資する開発を実施した。

海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究(重点研究7)

○マリンオペレーション技術の最適化

- ✓ 洋上風力発電施設に船首接舷した状態での乗移り性能評価試験等を実施し、乗移り評価法を構築して、異なる船型(カタマラン※1、SWATH※2)のCTV※3に対する乗移り性能の違いを評価した。



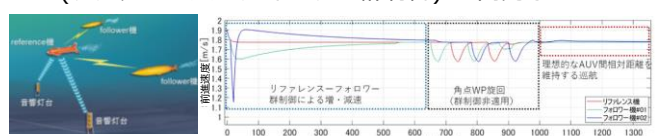
乗移り性能計算結果 (左: カタマラン、右: SWATH)

- ✓ 錨泊中に大きな振れ回り運動を伴う状態でのLNGバンカリングに関する水槽試験及び数値計算を通じて稼働限界条件を提案し、その条件を反映することで、国の夜間・錨泊中のLNGバンカリングに係るガイドライン改定に貢献した。

- ※1 双胴船、甲板上で結合された二つの船体を胴体とする船
- ※2 Small Waterplane-Area Twin Hull、小水線面積双胴船
- ※3 Crew Transfer Vessel、洋上風力発電アクセス船

○複数AUV協調群制御

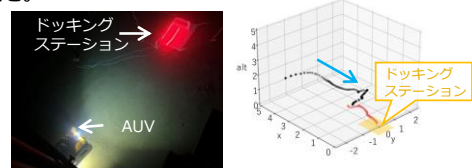
- ✓ 洋上管制に頼らない水中完結型複数AUV同時運用手法(リファレンス・フォロワー群制御)を開発した。



リファレンス・フォロワー群制御時のAUV前進速度

○AUVドッキング制御

- ✓ AUVドッキング光誘導技術及び画像情報により高精度自機位置推定技術を開発し、AUVドッキング時の自律接近航走に十分な精度(誤差0.1-0.2m程度)を持つことを確認した。



AUVドッキング水槽試験と画像処理による自機位置推定結果

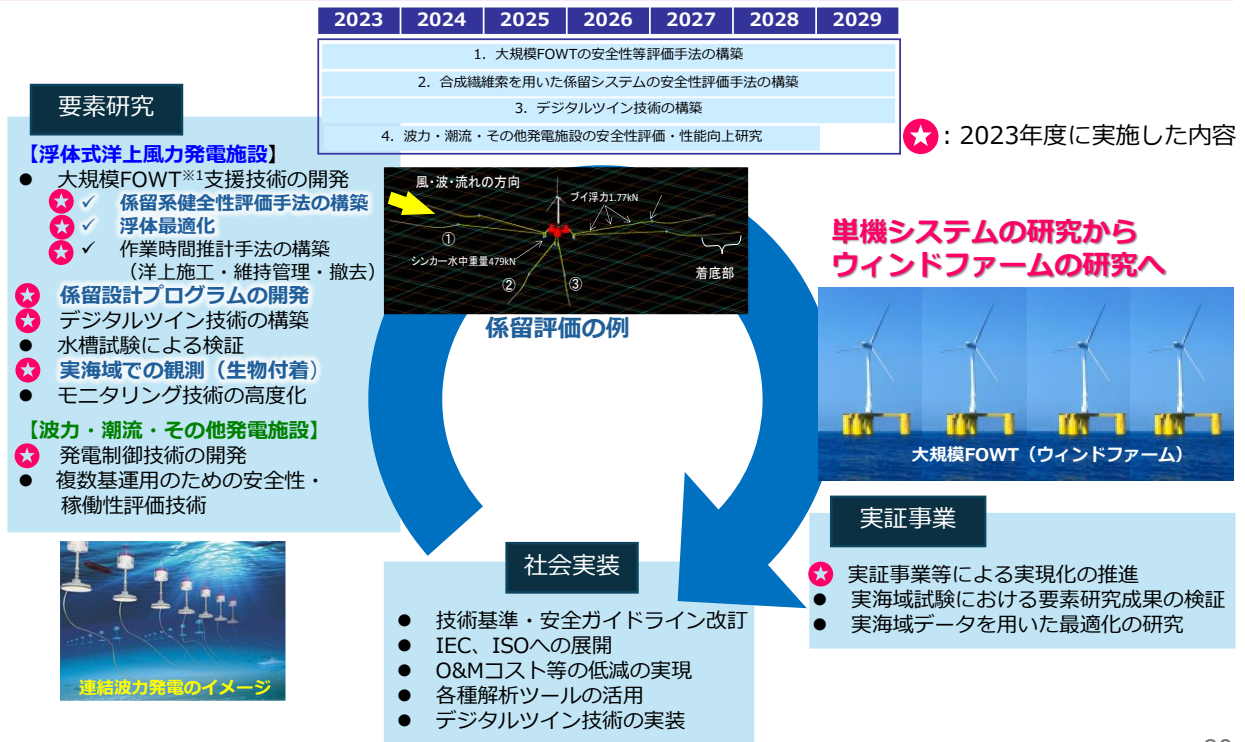
◎本評価法を活用すればCTV基本計画等に応用可能である。

◎AUVの広域、長期運用のための基本技術を開発し、国プロ、業界へ技術的に貢献している。

(3) 海洋の開発

① 海洋再生可能エネルギー開発に係る関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発

海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの安全性評価・最適化に関する研究(重点研究8) 7カ年計画の概要



※1 Floating Offshore Wind Turbine

30

(3) 海洋の開発

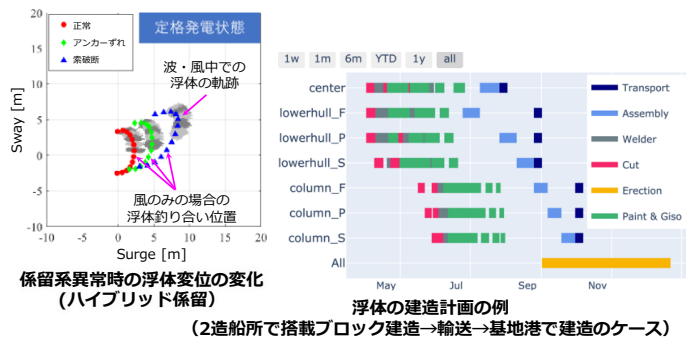
① 海洋再生可能エネルギー開発に係る関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発

年度実績 大規模FOWTの安全性・コスト等を評価するための係留系異常判定手法、浮体建造計画手法等を構築した。合成繊維索係留に関する安全ガイドラインの見直し案を提案するとともに、初期検討用の係留系仕様の算出とコスト算出を可能とした。

海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの安全性評価・最適化に関する研究(重点研究8)

○大規模FOWT※1の安全性等評価手法の構築

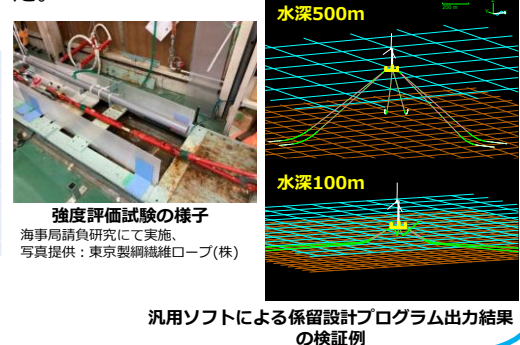
- ✓ 係留系健全性評価手法の構築に向け、浮体変位の変化に基づく係留系異常の判定手法を開発した。
- ✓ 必要十分な基数の浮体を建造するための最適な浮体の設計、設備の組合せを検討するため、浮体の設計や製造設備情報を入力し、複数の建造計画(1ヶ所または複数の造船所によるブロック建造等)を出力し、様々な建造工程を定量的に比較する手法を開発した。



※1 Floating Offshore Wind Turbine

○合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築

- ✓ 前年度から継続実施している実海域浸漬試験結果等に基づき生物付着影響を評価し、浮体式洋上風力発電施設技術基準及び安全ガイドラインの現行規定の見直し案を国に提案した。
- ✓ 合成繊維索係留の初期設計に有用な、簡便に係留仕様を算出可能な設計プログラムを開発した。



◎ 将来のウィンドファーム化を見据えた検査の合理化、O&Mコスト等の低減に資する成果を創出し、安全ガイドライン、業界へ技術的に貢献している。

31

成果の公表(海洋の開発)

項目	件数	
査読論文	20編	・科学雑誌掲載論文4編(うち投稿中:2件、採択済:1件、掲載済:1件) 投稿先の例:International Journal of Offshore and Polar Engineering、等 ・査読付き国際会議論文12編(うち投稿中:0件、採択済:8件、掲載済:4件) ・その他の全文査読付き論文4編(うち投稿中:0件、採択済:1件、掲載済:3件)
特許申請	5件	・水面上漂流物の遮蔽及び回収方法、並びにそれに用いる遮蔽及び回収装置(国内優先権主張出願) ・複数ライザー管の渦励振低減システム ・動的・静的水中音響灯台による複数水中航走体の位置補正システム ・情報共有機能付き水底情報収集システム、及び情報共有を伴う水底情報収集方法 ・水中航走体捕獲装置、及び水中航走体捕獲システム
プログラム登録	3件	・AUV制御用共通プログラムVer2 ・複数機AUV管理・隊列制御プログラムVer2 ・浮体式洋上風力発電施設の係留設計プログラム
国際連携活動	9件	・IEC 61400-3-2 (Wind energy generation systems) TC 88/MT 3-2の専門家会合に参加、IEC 61400-3-2の改訂に関する審議:3回 ・ISSC Committee V.4 (Renewable Energy) の専門家会合に参加、年度報告書の作成に関する審議:6回
受賞	1件	・深海技術研究グループ:うみそら研理事長表彰(グループ表彰) 「海底資源開発に関する国家プロジェクト支援に貢献した功績」
公開実験	1件	・浮体式洋上風力発電設計・製作セミナー(8/9実施)

32

主な評価軸に基づく分析(自己評価) ＜海洋の開発＞

◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値※1の創出に貢献するものであるか。

- ・国が定めた方針(海洋基本計画やエネルギー基本計画等)に基づいて実施しているものであり、国家プロジェクトへの参画等を通じて、当研究は十分な成果を挙げており、社会的価値を創出している。
- ・係留設計プログラムの開発や本邦企業の海洋デジタルツイン実現に向けた取り組みに当研究所が開発したAUV-ASV連結システムが活用される等、海洋開発分野への進出に意欲を見せる本邦企業のニーズに基づいた成果を挙げており、社会的価値を創出している。

◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい。

- ・海洋鉱物資源開発に係る研究では、これまで検討してきた海底熱水鉱床から発展させ本邦EEZ内の全ての資源開発を対象としており、対象鉱物、対象海域に即した情報提供を目指している。さらに、研究成果の一部は特許出願を行っており、新規性を含む研究を行っている。(重点7)
- ・浮体式波力発電に関する研究では、従来手法より効率的な制御手法の開発を実施し、その成果は今後の実証試験への活用、実機への展開も期待されるため、科学的意義(発展性及び一般性)が大きい。(重点8)

◎成果が期待された時期に創出されているか。

- ・LNGバンカリングのガイドライン改定に成果が活用されている。(重点7)
- ・着底式洋上風力発電は2030年に本格的に商業化される見込みであるため、CTVIに関する研究は時宜にあったタイミングで研究成果が創出されている。(重点7)
- ・本研究の多くは、海洋基本計画やエネルギー基本計画に基づいて研究を進めており、タイムリーに成果を創出している。
- また、浮体最適化技術、合成繊維索係留、デジタルツイン技術の研究成果は、グリーンイノベーション基金事業等と連動しており、将来浮体式洋上風力発電が本格的に商業化された段階で重視される技術になると考えられるが、当該研究はそれに先んじて研究をスタートし、その技術確立を目指している。さらに本邦企業と共同で実施したプロジェクトを通じて、当該企業の技術ニーズを把握し、必要に応じて研究計画に組み込む等、臨機応変に対応している。(重点8)

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。

- ・世界初の取り組みである水中完結型の複数AUV協調群制御技術や、音響情報と画像情報を組み合わせたハイブリッド方式の誘導によるAUVの海中ドッキング技術について、国家プロジェクトにおいて実証試験を実施する予定であり、当該分野における国際競争力の著しい向上が期待される。(重点7)
- ・浮体式洋上風力発電に関する研究では、今後の大規模ウィンドファームの実現を想定した研究を実施しており、世界の情勢に対し先進的であると言える。(重点8)

◎萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。

- ・該当しない

※1:安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事業業の競争力強化等

33

研究計画委員会による評価 (海洋の開発)

重点 番号	課題名	平均	評価
7	海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究	2.8	A
8	海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの 安全性評価・最適化に関する研究	2.6	A

S・・・3.5以上
 A・・・2.5以上3.5未満
 B・・・1.5以上2.5未満
 C・・・0.5以上1.5未満
 D・・・0.5未満

34

(4) 海上輸送を支える 基盤的な技術開発

35

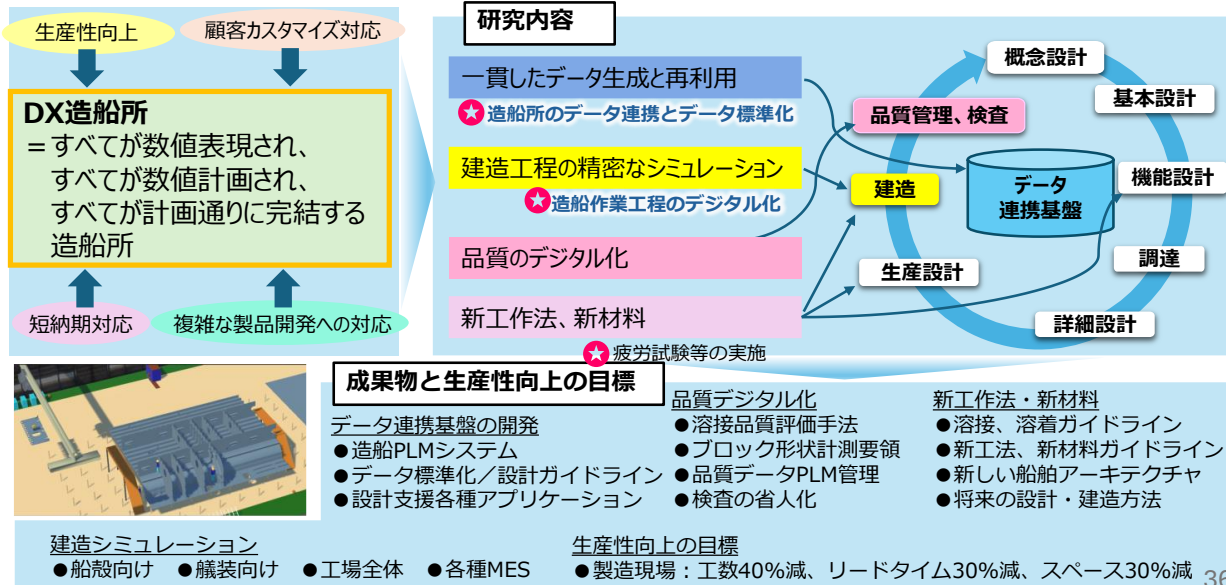
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

① デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発

DX造船所の実現に向けた研究開発(重点研究9) 7カ年計画の概要

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1. 船舶のモデルベース設計に関する研究開発 (データ連携, E-BOM, M-BOM, BOP)						
2. 造船製造現場のDXに関する研究 (建造シミュレーション等)						
3. 品質管理のデジタル化に関する研究						
4. 予防保全高度化のための接合の新工法・評価技術に関する研究						

★: 2023年度に実施した内容



(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

① デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発

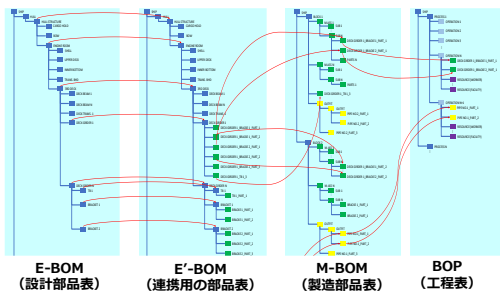
年度実績

海事産業の競争力強化を図るため、デジタルシップヤード構想を実現する一環として、造船所間の統合・協業を推進するためのデータ標準化と造船用統合データプラットフォーム(造船用PLMシステム)の開発、及び建造工程の仮想空間上の再現のための造船作業工程のデジタル化を実施した。

DX造船所の実現に向けた研究開発(重点研究9)

○造船所のデータ連携とデータ標準化

- ✓ 造船用のBOM ※1 の標準データモデルを策定し、実船に適用して、実船のBOM を作成した。
- ✓ E-BOM (設計部品表) とM-BOM (製造部品表) を連携するための部品表E'-BOMを提案し、スムーズな連携ができた。
- ✓ BOMデータ生成手法に関して、PLMシステム※2内の過去番船等のBOM データから同型船のBOMデータを生成した。
- ✓ BOM作成の範囲と事例を増やした。

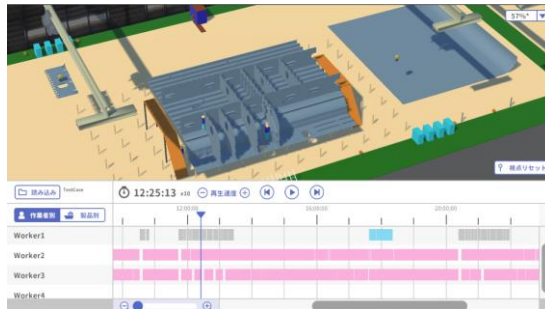


※1 BOM: Bill Of Material, BOP: Bill Of Process

※2 PLM: Product Lifecycle Management

○造船作業工程のデジタル化 (建造シミュレーション)

- ✓ 大組立工程、大組立ライン工程、型鋼NC工程に対して、建造シミュレーションが可能であることを確認した。(造船4社のシミュレーションモデルを作成)
- ✓ ユーザーインターフェース機能を開発するとともに、造船所をテスターとした試適用を実施し、有用との評価を得た。
- ✓ M-BOMからBOP を簡易的に自動生成する技術を開発・テストした。



シミュレーションのユーザーインターフェース機能

◎ 組立工程に加え、加工工程のシミュレーションを構築した。また、設計作業効率化を実証した。37

(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

②ビックデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発

★：2023年度に実施した内容

ビックデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究(重点研究10) 7カ年計画の概要

1.ビックデータと海運・造船に係る評価手法

⇒ 国・本邦企業等への技術支援、IMO対応

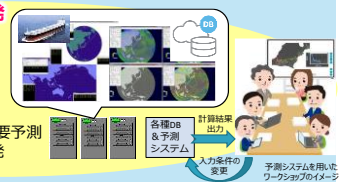
データ融合とAI等評価手法

- ★ AISデータを基礎にした
 - ①海運・造船データとのデータ融合手法
 - ②AI等による各種指標の予測・評価手法
- 統計的手法を発展させたデータ融合手法
- 国際海運のGHG削減政策等の評価
- ディーラーニングによる海運市況予測

海運・造船市場のシステム/データベース開発

海運・造船市場の

- ★ ①モデル化とシミュレーション手法の開発
- ★ ②意思決定支援システムの開発
- ★ ③データベースの開発
- システムダイナミクス (SD) に基づく造船需要予測
- ワークショップに基づく意思決定システム開発
- クラウドを考慮したデータベース開発



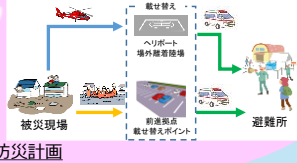
2.災害時輸送システム ⇒ 国・自治体等への技術支援

水害救助シミュレータ

★ 実態調査

シミュレータ開発
↓
検証、分析

被災想定シナリオ分析、防災計画



緊急支援物資輸送システム

★ システム高度化

- データベース化
- 計算の高速化
- ニーズを踏まえた輸送（フル型支援）への対応
- ユーザーインターフェース開発

支援物資輸送計画

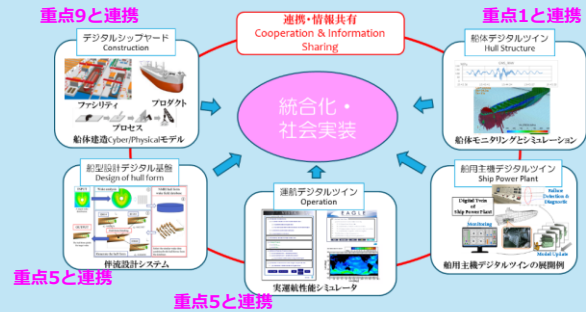
実効性を高めるため
実動演習を定期的に実施



3.デジタルツイン統合システム ⇒ 本邦企業への技術支援

- ★ データ活用型設計・建造、運航・保守管理手法
- リアルタイムシミュレーション手法

- ★ ①安全運航支援システム
- ★ ②設計建造システム
- ★ ③デジタルツイン統合システム



38

(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

②ビックデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発

年度実績

IMO等のGHG削減に関する情報収集、海運・造船関連のAI技術やシミュレーション技術等の開発により、国・企業等の政策立案や経営判断に貢献した。また、緊急支援物資輸送システムを用いた国・自治体等関係機関を含めた実動演習を通じて、防災計画上の課題点等を明確化し、国土強靱化対策に貢献した。

ビックデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究(重点研究10)

○ビックデータと海運・造船に係る評価手法

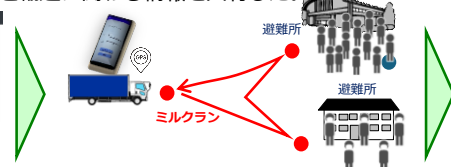
- ✓ AI等を活用した市況予測技術を開発した。
(大学、船社、国内外政府組織と連携、AIS等のビックデータの活用)
- ✓ IMOのGHG削減政策における技術的手法と経済的手法の評価を実施した。
(燃料油規制、課金・還付制度のシミュレーションの実施)

※1 Well-to-Wake: 燃料ライフサイクル全体

○緊急支援物資輸送システム

プッシュ型（8品目、供給拠点限定等）⇒ プル型（1,000品目以上、供給拠点増等）

- ✓ 配布時の平等性、通行止め情報を考慮した輸送経路の算出ロジックを開発し、緊急支援物資輸送システムに組み込んだ。
- ✓ 車両、船、港、ドローン、物資など輸送に関わる情報を共有した。

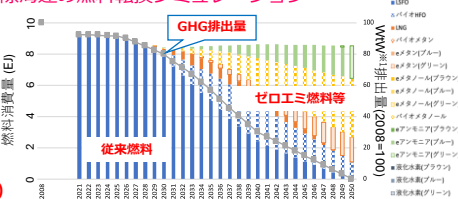


- ・国土交通省、岡山県、広島県、大崎上島町、鴻池運輸(株)、広島県トラック協会、NPO 法人コメリ災害対策センター、他が参加する実動演習を実施。
- ・複数の参加組織による意見交換や実際に支援物資を輸送することで見えた課題点を把握。

実動演習によるアンケート結果より

- ⇒ 荷物の配送状況をリアルタイムに把握できる点は大変有用である
- ⇒ 中国地方管内の地方公共団体の支援物資物流訓練に参加したことがあるが、輸送ルートの共有を図る訓練はこれまでなかった

国際海運の燃料転換シミュレーション



◎ 民間企業等へのAI技術提供に加え、GHG削減政策の評価ではIMO提案文書等に貢献した。

◎ 実動演習は、テレビ局や業界及び一般紙を中心に40社以上のメディアに報道され注目を浴びた。39

成果の公表 (海上輸送を支える基盤的な技術開発)

項目	件数	
査読論文	17編	- 科学雑誌掲載論文4編(うち投稿中:2件、採択済:1件、掲載済:1件) 投稿先の例: Journal of the Transportation Research Board 等 - 査読付き国際会議論文10編(うち投稿中:5件、採択済:2件、掲載済:3件) - その他の全文査読付き論文3編(うち投稿中:1件、採択済:0件、掲載済:2件)
特許申請	2件	- 船舶の波浪応答推定方法、波浪応答推定プログラム、波浪応答推定システム、及び船舶(国内優先権主張出願) - 船舶の主機制御パラメータの自動調整方法、自動調整プログラム、自動調整システム
プログラム登録	4件	- quality-ai - NNDMMH - GFS規制を考慮した国際海運の脱炭素化シナリオシミュレータ - コンテナ船需要予測プログラム
国際連携活動	15件	- IMOの審議対応:5件(GHG-EW 3, ISWG-GHG 15, MEPC 80, ISWG-GHG 16, MEPC 81) - IMO温室効果ガス削減対策の包括的影響評価運営委員会への参加とその対応:5件 - IMO提案文書(ISWG-GHG 16/2/12, MEPC 81/INF.26)にデータ分析結果を提供:2件 - 国際機関の要請に対応し、AI技術等を利用した海運市場の分析・予測に関する基礎研修を海外機関向けに実施:3件(JICA、東京大学からの依頼によるスエズ運河庁(SCA)に対する研修を3回実施)
受賞	3件	- 和田祐次郎:日本船舶海洋工学会論文賞 - 和田祐次郎:日本造船工業会賞 - 荒谷太郎、間島隆博:うみそら研理事長表彰(研究チーム表彰)
公開実験	1件	デジタルシップヤードに関する公開実験(3/7実施)

40

主な評価軸に基づく分析(自己評価) ＜海上輸送を支える基盤的な技術開発＞

◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値^{※1}の創出に貢献するものであるか。

- 国が開催している「船舶産業の変革実現のための検討会」において、今後の効率的な船舶開発のため、造船所におけるデータ連携や製造のシミュレーション技術の必要性が謳われている。本研究はその内容に合致するものであり、国の方針に適合するとともに、本研究の成果を国や社会(国内造船所等)に発信しており、政策等への実現に貢献している。(重点9)
- AI技術等を利用した海運市場に係る分析・予測に関する研究では、海外機関向けにマーケティング能力強化に対する技術協力を実施している。日本が主体となって海外機関への技術協力を行うことは、社会的価値の創出に貢献していると考えられる。(重点10)

◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。

- 造船向けのBOM ベースの製品開発は現時点で実用化されておらず発展性及び将来性がある。
また、本研究で策定したBOMの標準のデータモデルは国内造船所で汎用的に参照できるもので一般性がある。(重点9)
- 貿易統計データの解析は、最新の学術論文を参考にして詳細データの検討を実施しており、成果の科学的意義は大きい。(重点10)

◎成果が期待された時期に創出されているか。

- デジタル化・DXの推進が進む昨今の状況や、我が国造船業の国際競争力の回復が望まれている現状において、適切な時期に成果を創出しているといえる。(重点9)
- 国際海運においてGHG排出ゼロを目指すなか、GHG削減政策における技術的手法と経済的手法の評価および国際海運の燃料転換シミュレーションを実施しており、適切な時期に研究が進められている。(重点10)

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。

- 自動車産業や建築分野でのDXの取り組みが進んでいる中、造船分野においても本研究によるDXを推進する取り組みは十分に意義がある。国内造船所の生産性向上や安定的な生産に資する技術開発であり、国際競争力の向上に直結する。(重点9)
- 船体デジタルツイン及び主機デジタルツインを開発して論文等で公表したことは、今後の標準化を図る上で大きな意義があり、国際競争力の向上に繋がるものである。(重点10)

◎萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。(重点9は該当しない)

- ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発では、AIとデータフュージョンを組み合わせた手法を取り入れ、先見性と機動性を持って対応している。(重点10)

※1:安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等

41

研究計画委員会による評価 (海上輸送を支える基盤的な技術開発)

重点 番号	課題名	平均	評価
9	DX 造船所の実現に向けた研究開発	2.9	A
10	ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究	2.7	A

S・・・3.5以上
 A・・・2.5以上3.5未満
 B・・・1.5以上2.5未満
 C・・・0.5以上1.5未満
 D・・・0.5未満

令和5年度 重点研究一覧

重点4分野	重点研究 番号	テーマ名	研究主任者	研究期間	ページ 番号
(1)海上輸送の安全の確保	1	船体構造評価技術に関する研究	岡正義	R5 -R11	p.1
(1)海上輸送の安全の確保	2	船舶の安全運航のための性能評価に関する研究	大森拓也	R5 -R11	p.18
(1)海上輸送の安全の確保 (2)海洋環境の保全	3	次世代船舶技術の社会実装に不可欠なリスク解析技術の構築	三宅里奈	R5 -R11	p.28
(1)海上輸送の安全の確保	4	操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究	南真紀子	R5 -R11	p.41
(2)海洋環境の保全	5	実海域実船性能向上に関する研究	黒田麻利子	R5 -R11	p.50
(2)海洋環境の保全	6	GHG削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究	仁木洋一	R5 -R11	p.59
(3)海洋の開発	7	海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究	山本譲司	R5 -R11	p.75
(3)海洋の開発	8	海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの安全性評価・最適化に関する研究	中條俊樹	R5 -R11	p.88
(4)海上輸送を支える 基盤的な技術開発	9	DX 造船所の実現に向けた研究開発	松尾宏平	R5 -R11	p.97
(4)海上輸送を支える 基盤的な技術開発	10	ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究	荒谷太郎	R5 -R11	p.104

研究開発課題	(1)① 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 (1)② 海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等	
研究テーマ	重点1 船体構造評価技術に関する研究	
中長期目標	中長期計画	R5年度計画
海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 ②海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 ー海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着岸操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。等 ②海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発 ー事故再現シミュレーションツールの高度化、AIS解析ツールの迅

		速化・可視化改修整備を行う。等
--	--	-----------------

研究の背景

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る。

具体的には、以下があげられる。

- ・ライフサイクル安全性確保及び生産・作業支援のため、建造・運航モニタリングデータを活用した設計・建造・保守支援システムの開発
- ・波浪中運航支援及び合理的な構造設計の実現のため、実データ及び数値シミュレーションに基づく非線形荷重・構造応答推定及び強度評価に関する研究
- ・健全性診断のため、船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングによる管理・修繕支援技術の研究
- ・船体の合理的メンテナンスに資するため、船体外板の in-situ モニタリングによるメンテナンスの高度化に向けた研究
- ・事故時の安全性評価並びに海難事故解析のため、評価ツール開発に関する研究

期間全体の研究目標

- ・設計・建造・保守支援システム
- ・非線形船体応答シミュレーションプログラム
- ・塗装・腐食の予測・計測・評価システム
- ・船体外板モニタリングシステム
- ・海難事故解析のための評価ツール
- ・データ活用による安全監視・支援システム

上記成果は、以下があげられる。

- ・設計・建造・保守支援システムによるライフサイクルでの船体安全性の確保
- ・非線形船体応答シミュレーションプログラムの安全運航利用及び安全率の適正化等の設計利用
- ・塗装・腐食の予測・計測・評価システムによる安全確保及び長期耐用化
- ・船体外板モニタリングシステムによるメンテナンス工数の削減
- ・海難事故解析・評価ツールによる迅速な海難事故対応環境の構築
- ・安全監視・支援システムに基づく船体構造の安全性の確保及び次世代船舶の構造設計手法の確立

R5年度研究目標

□サブテーマ1

- ・建造精度自動取得システムプロトタイプ作成。搭載シミュレータプロトタイプ作成

□サブテーマ2

- ・非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築、波浪情報推定における不確定性解析手法の開発

□サブテーマ3

- ・腐食進行モデルに基づく板厚衰耗を算出するアプリケーション及びその全船モデルへの反映アプリケーションの開発

□サブテーマ4

- ・塗料のちがい等による超音波塗膜厚計測への影響の定量的な評価、実船の外板表面状態データの取得

□サブテーマ5

- ・事故再現シミュレーションツールの高度化、AIS 解析ツールの迅速化・可視化改修整備

R5年度研究内容

□サブテーマ1

- 1) 建造時の精度・誤差、経年劣化を考慮した降伏・座屈・疲労・最終強度評価可能な安全設計システムの開発
- 2) リスクベースメンテナンス手法の及び合理的な船体品質評価技術の確立【研究計画期間外】
- 3) 建造時や点検・修繕時にける作業効率及び安全性向上に資する MR(Mixed Reality: 複合現実)等を活用した支援システムの開発
- 4) 統合システムの開発【研究計画期間外】

□サブテーマ2

- 1) 粒子法等による非線形船体応答推定手法の研究・開発
- 2) オンボードにおける非線形応答及び強度の推定に向けた高速化手法の開発
- 3) 極値応答予測への非線形統計予測法の適用
- 4) 波浪情報の不確定性解析手法の開発【研究期間外】
- 5) 構造模型による水槽試験及び実船データを用いた検証【研究期間外】

□サブテーマ3

- 1) 腐食環境予測及びモニタリングを組み合わせた船体構造の塗装劣化・腐食進行推定プログラムの開発
- 2) 塗装劣化・腐食進行推定結果の全船構造解析への反映アプリケーション開発
- 3) 船舶における腐食環境で長期耐久可能な塗装劣化・腐食進行検知センサの開発
- 4) 実船試験を含むモニタリング・推定システムの検証【研究期間外】
- 5) 局部衰耗の進行評価法の開発【研究期間外】

□サブテーマ4

- 1) 塗膜条件の差異等が塗膜計測に及ぼす影響の調査
- 2) 多波長計測等による外板表面への生物付着検出技術の検討
- 3) 実船の外板塗装表面状態等の調査

□サブテーマ5

- 1) 数値水槽を用いた流体構造連成及び構造破壊を考慮した事故再現シミュレーションツールの高度化、簡易推定手法の検討・開発
- 2) 事故時の AIS 活用技術の高度化・迅速化(衝突危険度評価技術の半自動化等)【2023 年度まで。2024 年度以降は重点3で実施】
- 3) リバースエンジニアリングを用いた事故船体及び損傷部位のデジタイジング・システムの開発【研究計画期間外】
- 4) 海難事故 DB システム構築・拡充及びその類型化

R5年度研究成果**□サブテーマ1**

- 1) 建造精度自動取得システムのプロトタイプを作成した。試験体サイズ及び実船スケールを対象にマニュアルで写真撮影を行い、必要な3D 形状生成精度を確保できる位置、写角、枚数等を調査し、撮影要領を作成した。骨部材などの特徴のある領域については精度よく3D 形状生成が可能となった。写角の不足する箇所や鏡面(外板塗装済)領域については形状生成に課題が残った。



全体 右端部の拡大
図 1-1 試験体サイズ(2m程度)での3D 形状生成結果



図 1-2 実船総組ブロック(写真)



図 1-3 実船スケールの3D 形状生成結果

- 2) 研究計画期間外。

- 3) 位置決め及び連結を再現できる要素及び解析手法を開発し、搭載シミュレーターのプロトタイプを作成した。これにより、吊り状態、建造誤差と位置決め（ピース・ジャッキ等による強制的な補強材・パネルの位置合わせ）により発生する応力許容判定、事前対応の方策を設計現場で活用可能な短時間で提示可能となった。

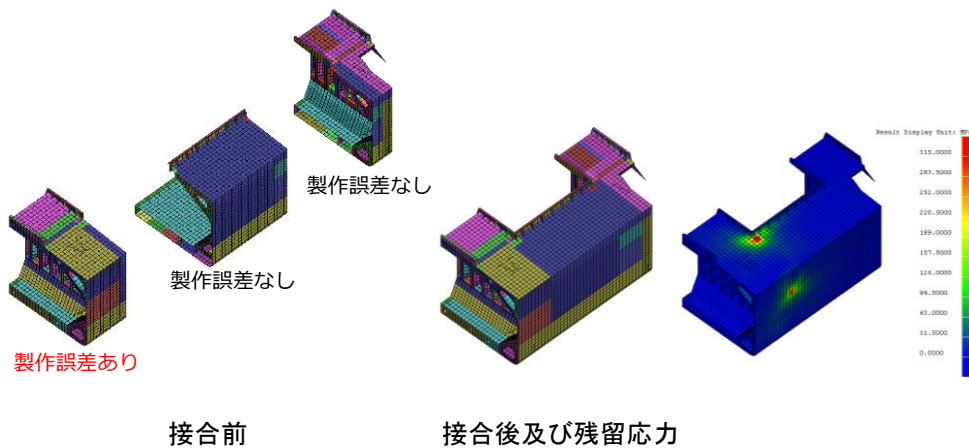


図 1-4 製作誤差を有するブロック搭載時の接合による残留不整(応力、撓み)を数値計算による再現

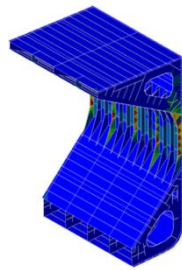


図 1-5 吊り状態での応力解析

- 4) 研究計画期間外。ただし、社会実装に関連する事項として、1 社が DLSA-Basic(1 ライセンス)の活用を開始し、合計 10 社(DLSA-Basic: 7, NMRIW-II: 5, NMRIW-Lite(SPREME): 2)が利用し(内、2 社共同研究)、他に 1 大学が個別の研究に活用している(共同研究)。また、船級規則・ガイドライン策定に資するデータ蓄積に活用された(共同研究)。

□サブテーマ2

- 1) 粒子法を用いて大波高規則波中の非線形船体運動を解析し、過去の実験データとの比較により、数値計算の有効性を検証した。計算精度を向上するため、浮体粒子と流体粒子間の相互作用運動方程式を改良し、新たな境界条件(DPC, Dummy Particle Condition)を既存の粒子法モデルに適用した。DPC の導入により、浮体粒子と流体粒子間の隙間問題(図 2-1)を解決した。改良前のモデル(DBC, Dynamic Boundary Condition)の計算結果と比べて、DPC を用いて大波高船体運動の計算精度を向上させることが確認できた(図 2-2)。

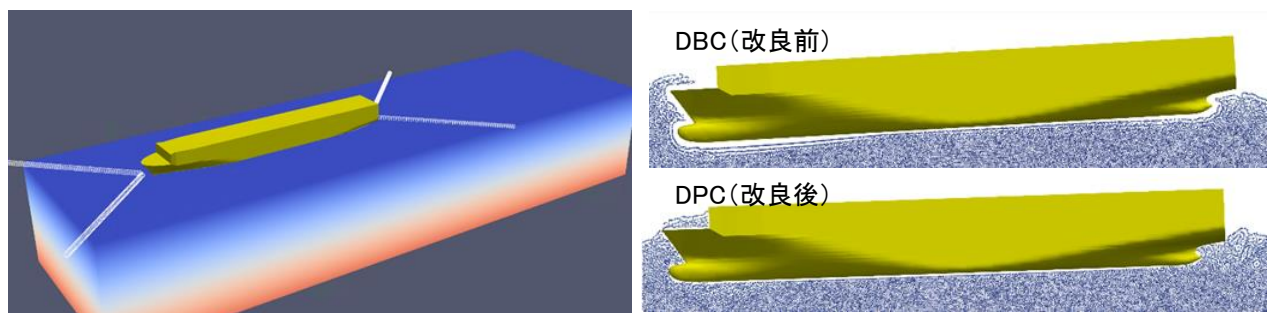


図 2-1 粒子法を用いて作成した 3 次元数値水槽(左)と境界条件改良前後の浮体粒子と流体粒子間の隙間(右)

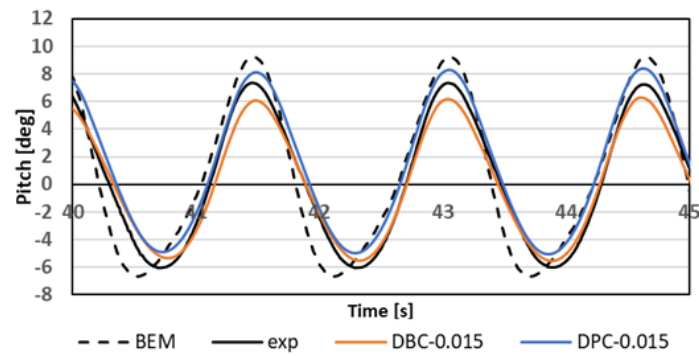


図 2-2 粒子法を用いた大波高船体運動(Pitch)の計算結果

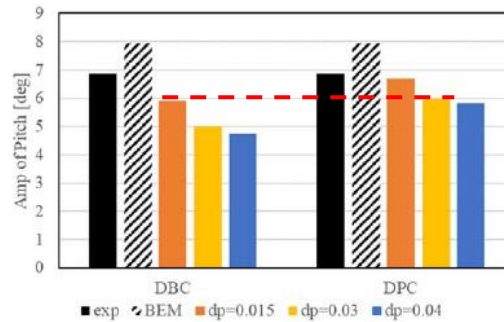


図 2-3 従来法(DBC)とダミー粒子法(DPC)の計算精度

(図中の赤破線のとおり、約 2 倍の粒子径サイズで同精度が得られる。→約 8 倍の高速化)

2)-1 MPWE※(Most Probable Wave Episode)を、HOSM+FORM 法から求める手法を開発して、水槽実験で検証した。仮想船型の弾性模型船の縦曲げモーメントを計測し、実海域再現水槽で MPWE を造波して検証した。模型船のホギングモーメントは波高が高くなると荷重が相対的に低下する形状非線形性を有するため、ターゲットの応答値(例えば設計荷重)を発生させるためには MPWE に対して非線形修正、すなわち線形計算で求めた MPWE よりも波振幅を増やす修正をする必要がある。実験検証では、HOSM+FORM 法で求めた MPWE に対して非線形修正をすることでターゲットの VBM 極値に近づくことを確認し、水槽試験での造波とこれに続く船体応答の再現を可能にしたことにより、設計不規則波を求める手法として HOSM+FORM 法が有効であることを示した。

※MPWE: 設計不規則波の一つであり、ここでは波及び船体形状の非線形を含む縦曲げモーメントの不規則波中最大期待値を発生させる波プロファイルを意味する。

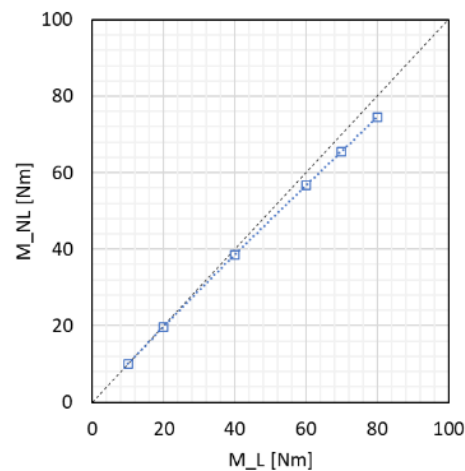
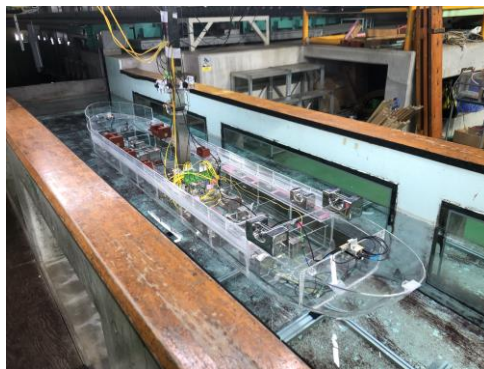


図 2-4 アクリル製弾性模型船(左)、及び線形計算と非線形計算のホギングモーメントの比(右)

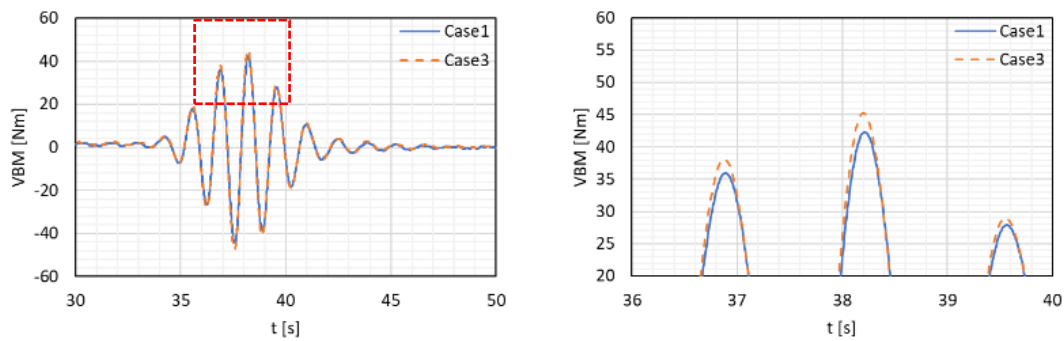


図 2-5 水槽実験で発生させた MPWE 中の縦曲げモーメント

Case1:線形計算用 MPWE を使用、Case3: 非線形計算用 MPWE を使用

(非線形修正した MPWE を用いることでターゲット (60Nm) に近い極値が得られる。ターゲット値との差は高波高下での応答関数の精度の起因)

2)-2 線形・非線形横揺れ減衰及び横揺れ固有周期をオンボードで同定する手法として、計測された船体応答を活用した波プロファイル推定法及び Nelder-Mead 法に基づく手法を構築して、水槽試験で検証した。短い計算時間で精度よくパラメータを同定することが確認された。検証した手法は他の応答にも利用可能である。また、多方向不規則波中における有効性も確認されたことから実船での利用が期待される。

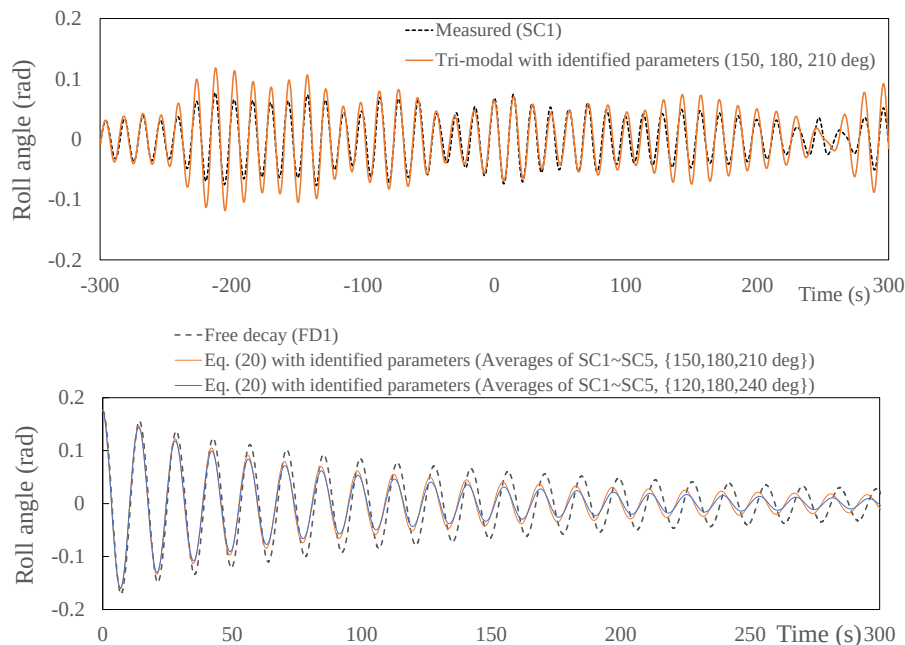


図 2-6 同定された減衰及び固有周期を用いた多方向不規則波中の横揺れの再現結果(上)

及び自由横揺れの再現結果(下)

(同定されたパラメータにより実計測を良く再現していることが分かる)

3)-1 波高の非線形影響を考慮可能な統計予測法として、RTP(RAO-based translation process)法を新たに提案した。同手法は規則波中の非線形性を考慮した応答関数をベースに任意の短期海象下の短期分布を簡易に計算可能な手法であるため、非線形性を考慮した長期予測計算に適しており、今後の構造設計への活用が期待される。同手法を用いて、形状非線形影響を考慮した波浪断面力(図 2-7)、および非線形減衰力を考慮した roll 運動の短期超過確率分布を合理的に予測できることが確かめられた。本機能を DLSEA-Basic に実装した。

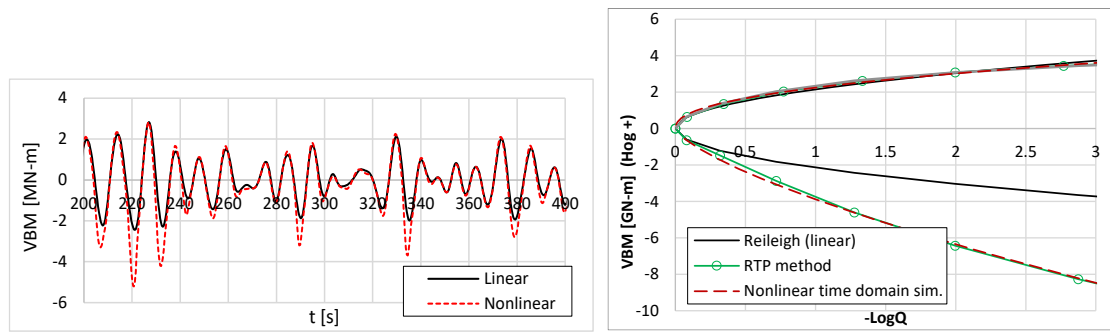


図 2-7 線形および非線形(形状非線形を考慮)の縦曲げモーメントの時系列(左)と、その短期分布(右)
RTP 法によって非線形の Time series の結果と良く一致する分布が得られている

3)-2 数学船型の生成及び不規則波中応答解析に対応した船体応答アプリケーション「SPREME」を開発し、波浪中水槽試験により精度を検証した。SPREME は、ストリップ法とパネル法を同一インターフェイスで選択可能であり、目的に応じた使い分けができるとともに、両手法の結果の比較によって信頼性を得ることができる。また、オフセット不要で主要目のみからの荷重解析が可能になり、さらに、設計初期段階での運動&荷重の評価及び感度解析も可能にした。

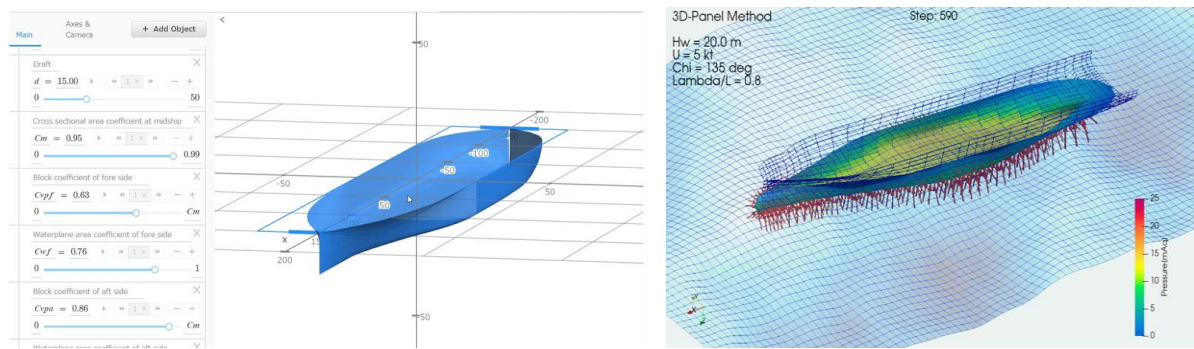


図 2-8 数学船型生成機能及び不規則波中応答解析の例

- 4) 研究計画期間外
- 5) 研究計画期間外

□サブテーマ3

1) 船体構造材に対する既知の腐食進行モデルを調査し、バラストタンク環境について、経過時間及び環境・オペレーション条件を入力とする腐食衰耗量の推定プログラムを開発した。本プログラムを用いて、実船バラストタンクのモニタリングデータから衰耗量の推定を行い、環境変化を考慮可能なモデルでは、温度の高い環境で腐食衰耗量がより大きくなる結果であり、環境の違いを腐食量の違いに反映でき、平均値として評価するよりも実際の現象に近い推定が可能となった。一つのモデルで全船的な腐食衰耗量を推定できず組み合わせが必要であることと、腐食発生に先立つ塗装劣化期間の推定に課題が見いだされた。

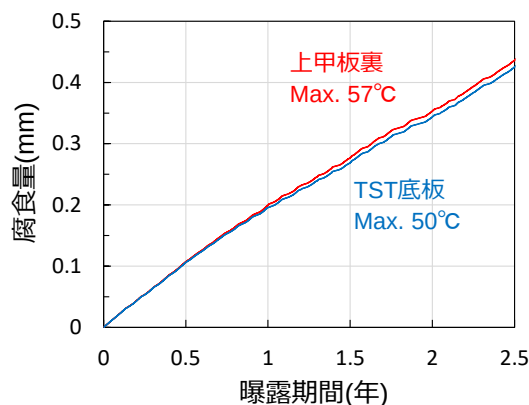


図 3-1 バラストタンク内腐食衰耗量の推定結果

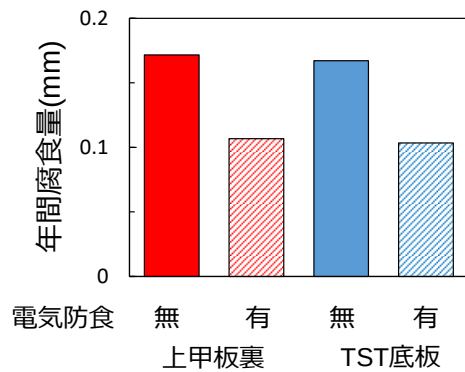


図 3-2 電気防食を考慮した腐食衰耗推定結果

- 2) 全船構造解析への反映アプリケーションの開発について、過去に製作済の有限要素モデルファイル読込・座標変換プログラムから読込機能部分を参照・変換中であり、令和6年度に開発を継続する。
- 3) 初期の腐食進行に対し分解能の高い電気化学インピーダンス法と、分解能は低いが長期間腐食をモニタリング可能な電気抵抗法を併用するセンサを設計・試作し、感度評価及び耐久性の検証が可能な計測システムを構築した。

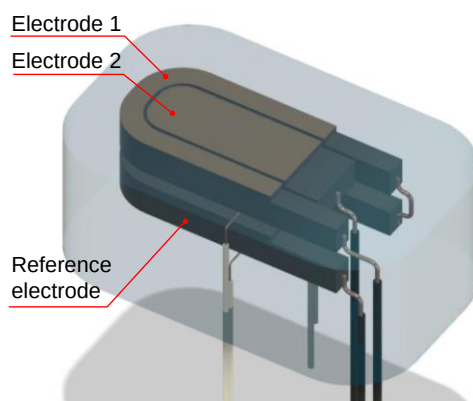


図 3-3 試作センサ構造

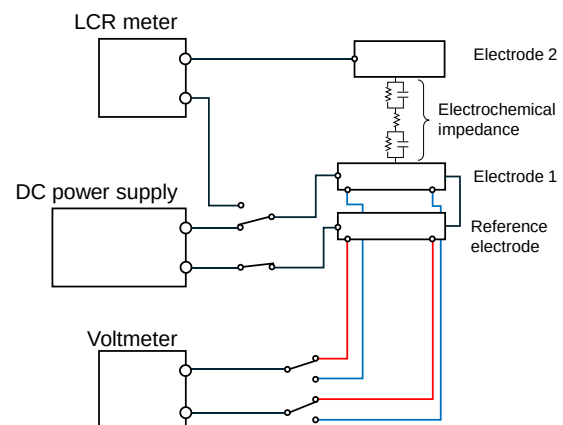


図 3-4 計測システム構成

- 4) 研究期間外
- 5) 研究期間外

□サブテーマ4

- 1) 種類の異なる4種の防汚塗料(塗料A、B、C、D。いずれも市販品)を塗装した試験片を対象に超音波計測を実施した。塗料Aは防汚剤として亜酸化銅を含む加水分解型の防汚塗料である。塗料B、Cも加水分解型の塗料であるが塗料組成が異なる。塗料Bは亜酸化銅の含有量が塗料Aとは異なる。また、塗料Cは亜酸化銅等の防汚剤を含まない防汚剤フリーのシリコン塗料である。

図4-1に超音波計測の結果を示す。本研究の超音波計測の対象を図4-1左に示す。鋼板(船体外板を想定)表面の防食(AC)塗装と防汚(AF)塗装の塗膜内を超音波が往復することによる超音波の到達時間の遅れ(位相遅れ)を検出し、膜厚値を推定する。図4-1に超音波計測結果から算出された各試験片の位相遅れと、電磁膜厚計で計測した各試験片の膜厚値との関係を示す。位相遅れ、膜厚値ともに複数箇所を計測した値の平均値を示している。塗料Aについては4種類の異なるAF膜厚の試験片を計測した(赤色の○)。膜厚の異なる塗料Aの4点から最小二乗法により近似直線(黒色の破線)を算出した。塗料Aについては、超音波計測から位相遅れを求めてこの近似直線から膜厚値が推定できる。塗料B(青色の★)、C(緑色の★)、D(茶色の★)の結果も図中に示した。塗料B、C、Dは1種類の膜厚値のみを計測した。塗料BとCは、およそ塗料Aで算出した近似直線上に沿っている。このことから防汚剤の組成等が多少異なってもおおむね同様の膜厚推定直線が適用できる可能性が示された。一方で、塗料Dについては膜厚推定直線から大きく離れる結果になっている。この様に塗料

の構成が大きく異なる場合には、別の塗料に対して取得した膜厚推定直線を用いることができないことが明らかになった(塗料 D には別途推定直線を算出する必要がある)。

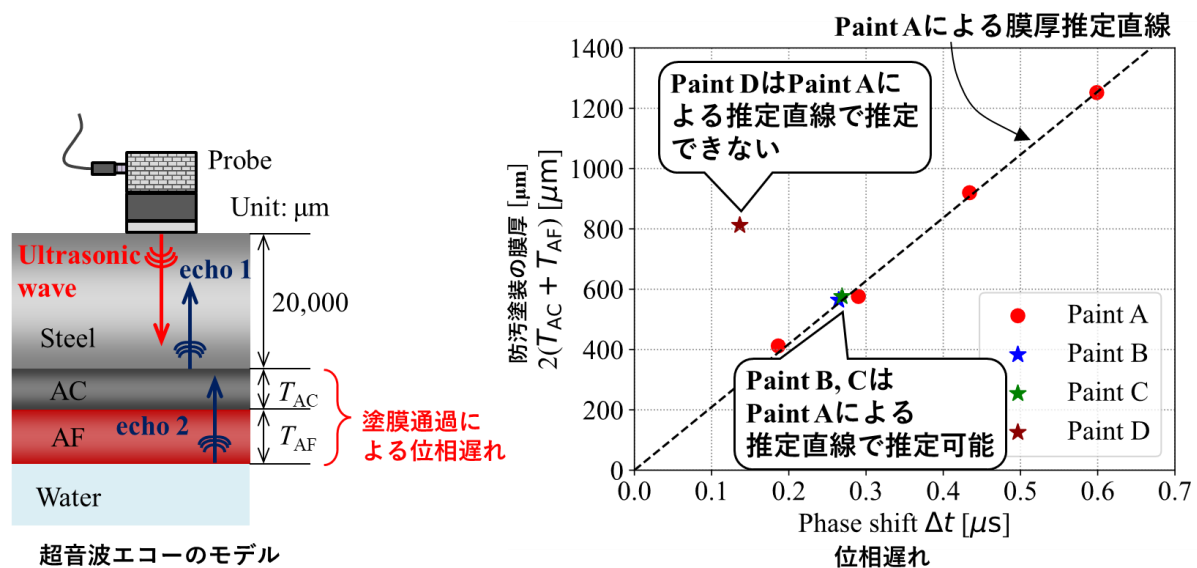


図 4-1 4 種類の異なる防汚塗料での超音波計測結果

上記の他、塗膜表面にある程度(実船相当)の凹凸を有する試験片や膜厚を細かく変化させた試験片などを作成するための試験片素材(ブラスト処理した鋼材)を設計・製作した。塗膜表面の凹凸の程度や細かく変化させる膜厚の範囲などは後述の実船調査から得る予定だったが、今年度は調整がつかず実船調査が行えなかったため次年度に実施する実船調査の結果から決定する。

実船の塗膜に近い状況のデータとして 30 ヶ月間実海域に浸漬した防汚塗装試験片を計測した。図 4-2 に計測の結果を示す。30 ヶ月の浸漬により、膜厚が 20%程度減少し、表面粗度(Rz)が 29%程度増加した。これらのデータも参考にし、次年度に試験片を作成して計測を続行する。経年劣化した試験片について超音波計測の妥当性を検証する。

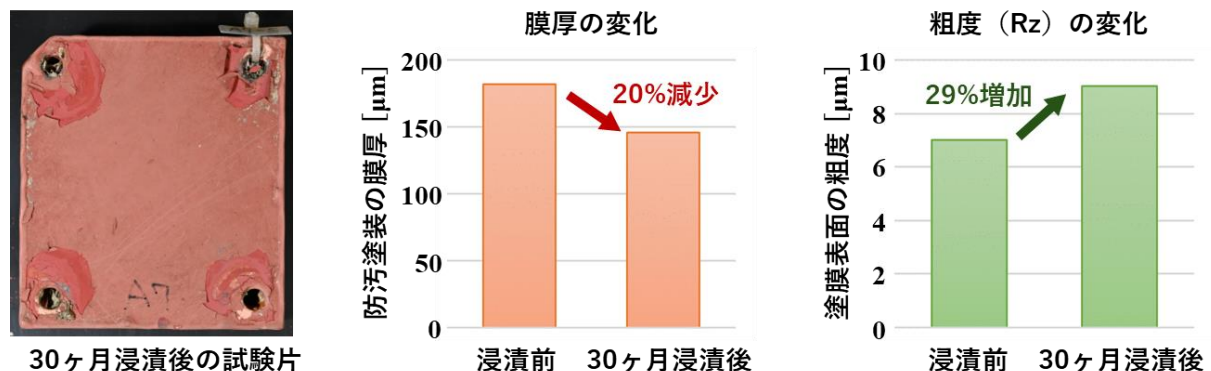


図 4-2 30 ヶ月間浸漬した防汚塗装試験片の変化

- 2) ハイパースペクトルカメラを用いて透明状態の(付着初期)の藻類を検出する手法の基礎検討として、海水を用いた試験片への藻類(バイオフィルム)の付着実験、およびハイパースペクトルカメラによる試験片の撮影試行を行った。
- 3) 実船の塗膜状態を調査するための実船調査は、今年度内での調整がつかず実施できなかった。現在も調査先との調整を続けており次年度の早い段階で調査を実施する予定である。

□サブテーマ5

- 1) 数値水槽を用いた流体構造連成解析手法(ICFD(Incompressible Computer Fluid Dynamics)手法)を用いて、規則波／不規則波中の小型船(図 5-2)の 3 次元動揺シミュレーションを再現するためのモデル(図 5-1、図 5-3、図

5-4)を作成し、試解析に成功した。規則波／不規則波、向波／斜波での解析を試行し、船体運動→浸水→沈没シミュレーションが1ケース最短約4時間(24coreの場合、図5-10参照)で解析可能であることを確認した。特に、甲板開口部からの船内への海水浸水、船内滞留水の動揺まで再現(図5-6～図5-9)できることが確認できたのは大きい。また、本手法は、流体構造連成解析が可能であり、浸水による船舶ガラスの破壊や、船体折損等の構造破壊も技術的に解析可能である。

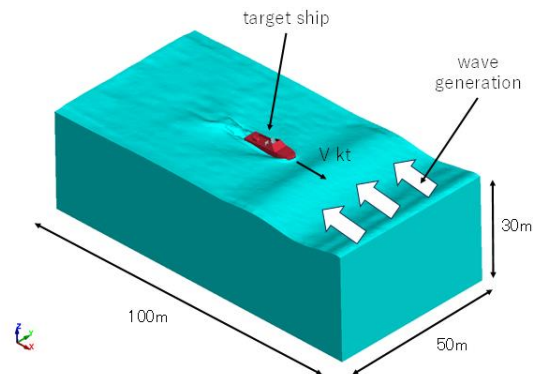


図 5-1 解析条件

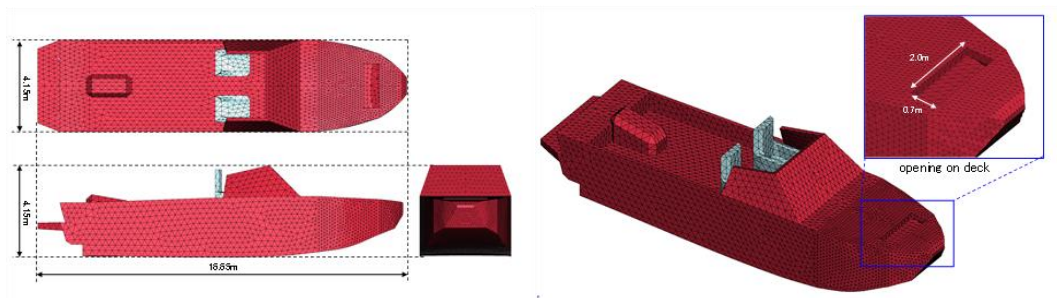


図 5-2 小型船モデル(2人乗りボート、甲板開口部モデル化)

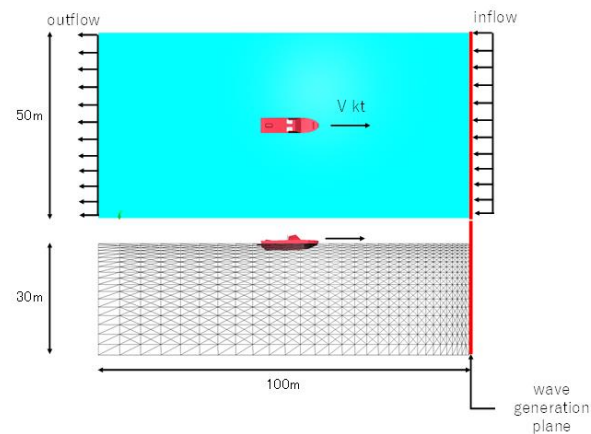


図 5-3 解析条件及び流体メッシュ(Lagrange メッシュ)

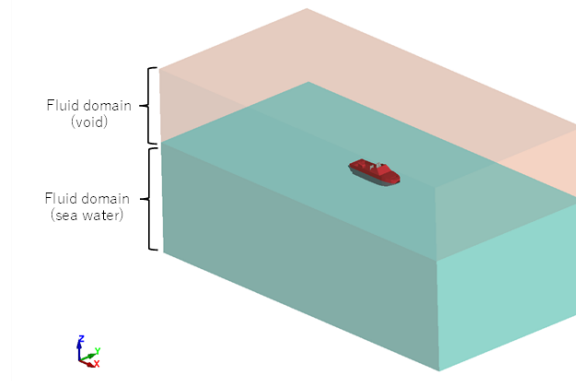


図 5-4 流体領域、空気領域、船舶モデル

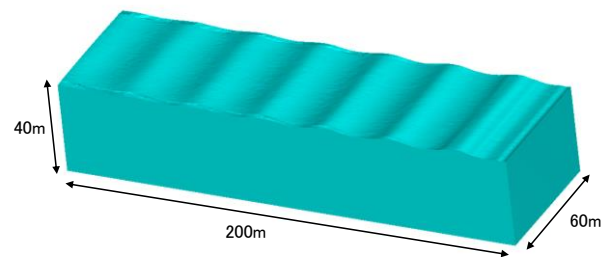


図 5-5 数値水槽 No.3 と、規則波生成試解析例(波高 3m、波長 30m)

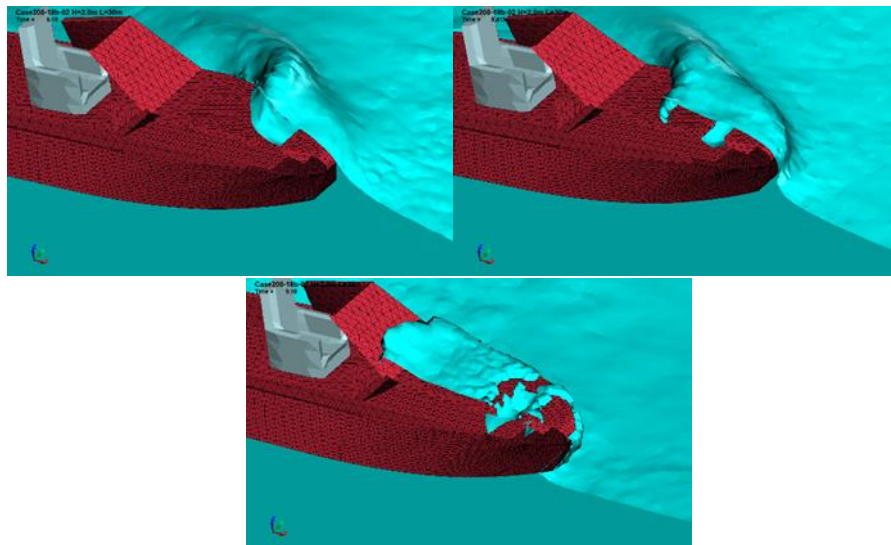


図 5-6 上甲板への海水打ち込みと、開口部からの船内区画浸水再現例

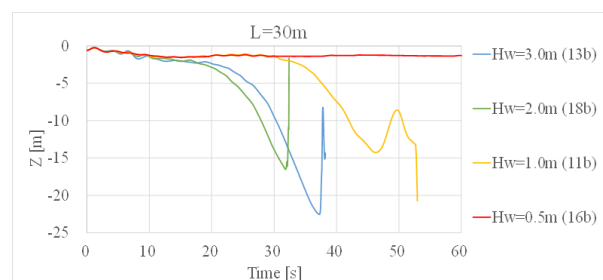


図 5-7 小型船 Z 座標の時刻歴(L=30m; 船体動揺・浸水・沈没シミュレーション)

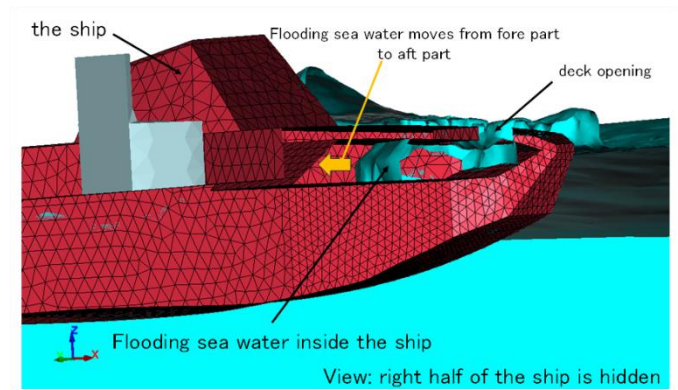


図 5-8 開口部からの浸水及び区画内に浸水した滞留水の移動解析例

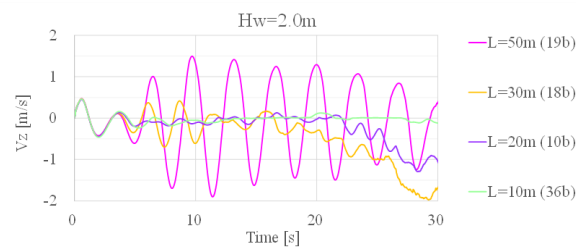


図 5-9 波長別 Z 方向速度の比較解析例

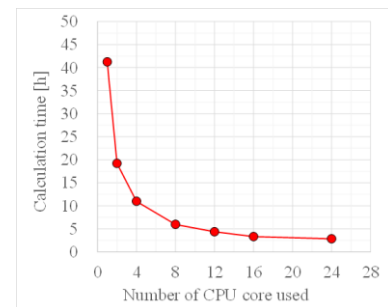


図 5-10 使用コア数と解析時間の関係

<AIS> (2024 年度より重点 3 で実施)

2) 衝突事故直後の航跡表示や状態量(速力・船首方位・針路)表示のニーズに対応するため、AIS 解析ツール(AISViewer、海技研開発ソフト)を使用して事故後の初動解析を実施している。当該システムは開発から 10 年以上経過しており、開発環境のサポートが既に終了したことにより、ツールの機能更新・メンテナンスができないだけでなく、OS の更新に伴い継続的な使用ができなくなる懸念があった。今後も事故時の初動解析のニーズに迅速に対応するため、当該システムの開発環境・言語を変更するとともに、オブジェクト指向による仕様の再見直しを行い、拡張性と維持管理性が向上した。データ解析の効率化・高速化を図るため、次年度に AIS データの事故時データ抽出とデコード処理の自動化機能等の導入を予定している。



図 5-11 AISViewer による衝突事故時の船型表示例(来島海峡航路西側海域で 2021/5/27 23:53 頃発生)

3) 研究計画期間外

4) 海難事故 DB の座礁事故データについて、対象範囲を拡大し、より小型の船舶に対する解析・事故原因の類型化(図 5-14、図 5-15)を行った。座礁速度について、大型船では、10～11kt を最頻値として概ね正規分布であるが、小型船になると 10kt 未満の頻度も高く、必ずしも正規分布とはいえない統計分布形状になっていることが分かった(図 5-12、図 5-13)。より普遍的な結果を得るためには型船について 50ton 程度まで解析を継続する必要があると考える。また、座礁事故原因の類型化について、航路誤認、居眠り、水深誤認が事故原因として多いが、複合要因ケースの扱い、分類・類型化について今後検討していく必要がある。さらに、船種、サイズ等が事故原因に与える影響等について考察していく予定である。

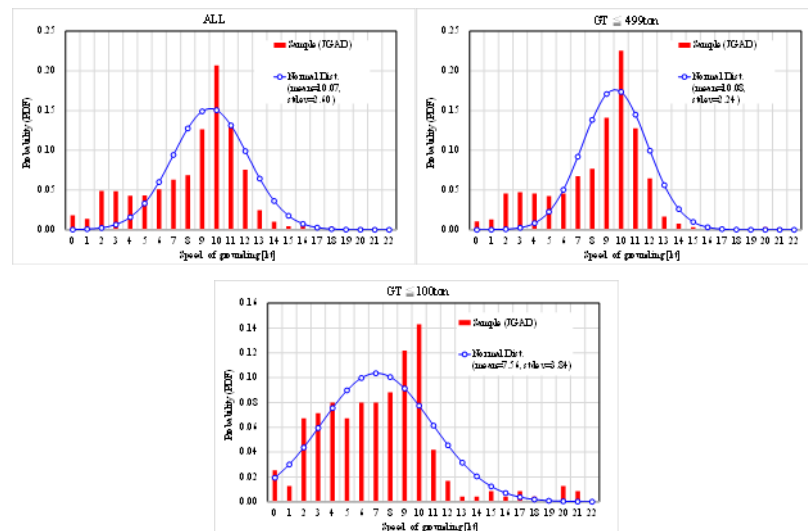


図 5-12 対象船舶の総トン数別 座礁速度の統計データ例

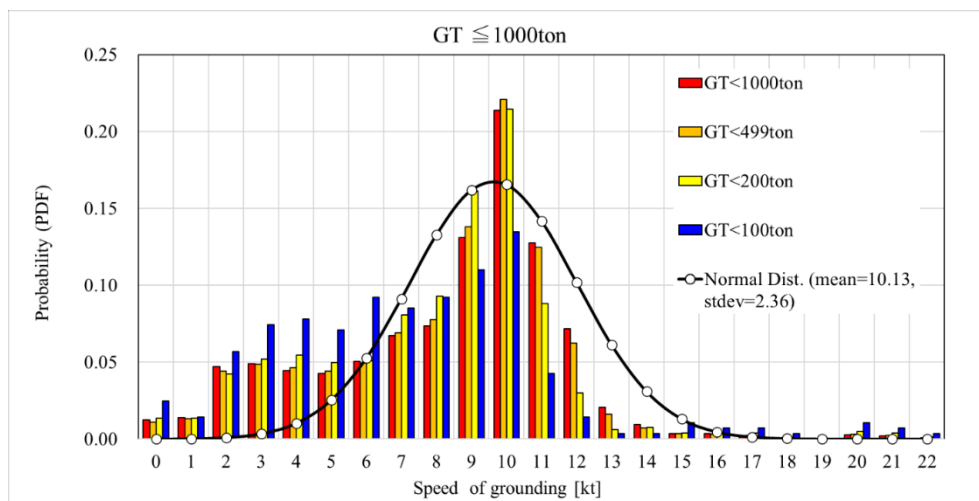


図 5-13 対象船舶の総トン数別 座礁速度の統計分布(例)

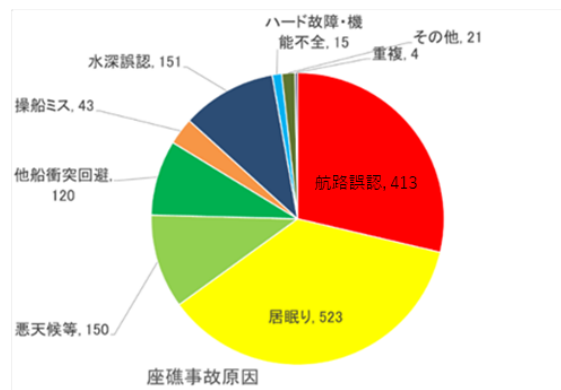


図 5-14 座礁事故原因(大分類)

大分類	中分類	小分類
居眠り	該当なし(居眠り)	①単なる居眠り ②飲酒のみに起因する居眠り ③その他(風邪等、無呼吸症候群) ④居眠り防止装置があるのにoffにしていた ⑤飲酒+居眠り防止装置の電源をoffにしていた ⑥当直交代時の連環ミスによる居眠り
ハード故障・機能不全	電源喪失(操舵・機関不能) 航海機器故障 機関(エンジン)故障 操舵故障	①電源喪失(操舵・機関不能) ②航海機器故障 ③機関(エンジン)故障 ④操舵故障
航路誤認	船位確認不足	①レーダーによる位置確認を怠った。 ②地図による位置確認を怠った。 ③その他(悪天候、悪視、後方視認性、見逃し、誤認等)による位置確認を怠った。 ④レーダー等の計器使用を怠り ⑤船っていただけ(誤認)ととらえたりした。 ⑥レーダーのレンジが不明なまま ⑦コンパスによる位置確認を怠った。 ⑧その他(航路誤認) ⑨GPSによる位置確認を怠った。 ⑩レーダーを一瞥しただけ ⑪(新)慣れからの確認を怠り漫然と運転した。 ⑫(複合要因)やむをえない場合 ⑬避險線を用いた航法をしていなかった
	針路不適切	原因A: 適宜による確認不足 原因B: そもそも問題に気付いていなかった ①危険海域(浅瀬)の方向に針路をとってしまった ②(新)風・潮の影響を考慮しなかった。 ③この海域の航行経験が無く、適切な針路をとれなかった。 ④針路変更せず、危険海域(浅瀬)の方向に航行してしまった。 ⑤指示不適切 ⑥指示義務違反 ⑦船位を海図に記載して確認しなかった ⑧いつもと違って、危険海域(浅瀬)の方向に針路をとってしまった ⑨船員同士の意思疎通・伝達ミス ⑩急いでいたため近道のために浅瀬域を航行する針路をとった。 ⑪追い越しによる針路不適切 ⑫水路が工事によって変更されていることを知らなかった。
水深誤認	未確認 確認不足 調査不足	①浅瀬があることを知らなかった ②浅瀬があることを知っていたが確認しなかった ③水深の確認せず、思ったより浅かった。 ④浅瀬があることを知っていたが確認不足 ⑤岩等が没水しているのを知らなかった。 ⑥海図が古かった ⑦水中に人工物が構築されていることを知らなかった
操船ミス	速度超過 操舵ミス	①操舵ミス(技術・運動神経) ②操舵ミス(知能・判断) ③速度超過
他船衝突回避	他船衝突回避	①他船に気を取られた。 ②他船衝突回避により針路変更せざるを得なかった ③他船に気を取られて前方不注意 ④その他(他船衝突回避) ⑤他船衝突回避により針路変更できなかった
悪天候等	台風 強風(台風でない) 走錨 視界不良 その他(悪天候)	①強風による走錨 ②強風(台風でない) ③潮流 ④台風 ⑤濃霧 ⑥うねり ⑦台風による走錨 ⑧悪天候によるレーダー映像の乱れ ⑨錨泊中の強風による錨れ回り ⑩豪雨
その他	その他 錨泊中の強風による錨れ回り 操船の判断ミス	①体調不良 ②無資格者に操船させていた ③操舵者が持ち場を離れていた(目にゴミが入った)(くつを履き替える)(他の作業をしていた)等 ④電話等しながら操船していた ⑤視力低減(眼鏡等紛失) ⑥その他(その他) ⑦船長が乗船していなかった。

図 5-15 座礁事故原因(大分類、中分類、小分類)の類型化(例、解析途中)

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ))： 15 件(投稿中： 5 件、採択済： 3 件、掲載済： 7 件)

科学雑誌掲載論文

- ・Sadaoki Matsui, Masayoshi Oka: RAO-based Translation Process for Estimating Extreme Value Distribution of Nonlinear Ship Response in Irregular Waves, Journal of Marine Science and Technology (2023). (掲載済)
- ・Sadaoki Matsui: Enhanced RTP Method for Nonlinear Statistical Prediction of Ship Structural Response, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- ・Sadaoki Matsui, Kei Sugimoto, Katsutoshi Takeda: Difference in Ship Response in Waves Between Strip and 3D Methods Based on Integrated Formulation, Ocean Engineering (投稿中)
- ・Sadaoki Matsui: Statistical Prediction for Nonlinear Failure Function of Linear loads – Application to Plate Buckling in Ship Structure, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- ・Tomoki Takami, Ulrik Dam Nielsen, Jørgen Juncher Jensen, Atsuo Maki, Sadaoki Matsui, Yusuke Komoriyama: Onboard Identification of Stability Parameters Including Nonlinear Roll Damping via Phase-resolved Wave Estimation Using Measured Ship Responses, Mechanical Systems and Signal Processing 210. (掲載済)
- ・Ulrik Dam Nielsen, Tomoki Takami, Harry B. Bingham, Astrid H. Brodt or, Toshio Iseki, Jørgen J. Jensen, Malte Mittendorf, Raphaël E.G. Mounet, Yanlin Shao, Gaute Storhaug, Asgeir J. Sørensen.: Estimating Waves Via Measured Ship Responses, Scientific Reports 13. (掲載済)
- ・Chong Ma, Masayoshi Oka : Investigation of the influence of different boundary conditions in SPH on ship dynamics, Ocean Engineering. (投稿中)

査読付き国際会議論文

- ・Sadaoki Matsui: SIMPLE ESTIMATION FOR EXTREME VALUE DISTRIBUTION OF NONLINEAR ROLL MOTION OF SHIP BY RTP METHOD, OMAE2024 (採択済)
- ・Yusuke Komoriyama, Hidetaka Houtani, Tomoki Takami, Sadaoki Matsui, Wataru Fujimoto: TANK TEST OF FLEXIBLE ACRYLIC SHIP MODEL IN WAVES FOR EXTREME RESPONSE PREDICTION, OMAE2024 (採択済)
- ・Chong Ma, Masayoshi Oka: NONLINEAR NUMERICAL SIMULATION ON SHIP STRUCTURAL RESPONSE BASED ON SPH METHOD, ISOPE2024 (採択済)
- ・Tomoki Takami, Ulrik Dam Nielsen, Jørgen Juncher Jensen, Sadaoki Matsui : Nonlinear Roll Damping Identification Based on Onboard Ship Response Measurements, PAAMES and AMEC2023. (掲載済)
- ・Shuhei Fujimoto, Michihiro Kameyama, Tomoyuki Taniguchi: Ultrasonic measurement of the thickness of antifouling paints on the back side of a thick steel plate, PAAMES and AMEC2023. (掲載済)

その他の全文査読付き論文等

- ・松井貞興, 鬼塚博之, 日本貴秀一: 試験型を用いた全船直接荷重構造解析ならびに船級規則による船体構造強度評価の比較検討, 海技研報告 23-3 (2023). (掲載済)
- ・小森山祐輔, 飯島一博, 辰巳晃, 藤久保昌彦: リアルタイム応答計測による波浪中船体構造の安全性モニタリング, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・宝谷英貴, 三上航平, 小森山祐輔, 岡正義, 村山英晶: 一体型弾性模型船のための曲げ試験・振り試験法 – GFRP サンドイッチパネル製弾性模型船による検証一, 日本船舶海洋工学会論文集第 38 号 (掲載済)

□その他発表論文： 7 件(投稿中： 0 件、採択済： 4 件、掲載済： 3 件)

- ・松井貞興, 岡正義: RTP 法: 狭帯域非線形過程の極値分布の実用推定法, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.37 (2023). (掲載済)
- ・松井貞興, 杉本圭: DLISAにおける部分積載状態のバラスト水圧の計算法に関する検討, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.37 (2023). (掲載済)
- ・松井貞興: 船体構造応答の非線形統計予測のための RTP 法の改良, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.38 (2024) (採択済)
- ・小森山祐輔, 松井貞興, 岡正義, 田中義照: 振りによる反りを考慮した船体ホールドモデルの境界条件 – U 字型の一樣断面梁モデルを用いた基礎的検討一, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.38 (2024) (採択済)
- ・宝谷英貴, 高見朋希, 藤本航, 小森山祐輔, 松井貞興: 水槽への設計不規則波再現における波の非線形発達の影響 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.38 (2024) (採択済)
- ・高見朋希, 柳本史教, 武田勝利, 石橋公也, 大田大地: FORM によるパラメトリック横揺れの極値予測に関する実験的研究, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.38 (2024) (採択済)
- ・松井貞興: DLISA-Basic 非線形統計予測機能 及び クラウドアプリ“SPREME-web” 紹介 (掲載済)

□特許申請： 0 件

.

□コアプログラム登録：1件

- ・松井貞興: SPREME

□国際連携活動：3件

- ・ISSC/ I.2 Loads committee 委員 (Web 会議、Proceedings の作成等)(岡)
- ・ISSC/ II.2 Dynamic Response committee 委員 (Web 会議、Proceedings の作成等)(山田)
- ・ISSC/ VI.1 ISSC-ITTC Cooperation 委員 (中韓会議出席等)(高見)

□受賞：1件

- ・小森山祐輔: 日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞)、水圧計測による波浪中船体構造応答の推定手法—第1報 縦曲げモーメントの推定—日本船舶工学系論文集第35巻

□公開実験：1件

- ・海技研 DLSA セミナー2024(3/27 開催)

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか

- ・ブロック精度によっては、現場合わせによる切代切断、補強材外しなどの不確定要因による手戻り・待ちが発生する。ブロック搭載・位置決めをいかに効率的に行うことが出来るかがヤードの生産性に直結するため、事前に3次元で検討が可能になる。
- ・波高非線形に対応した短期及び長期予測は、次世代船舶の強度設計に必要な手法であり、他機関(特に外国船級協会)に先駆けてこれを開発したことは、海事産業の競争力強化につながる。
- ・環境影響を考慮した腐食推定に向けた取組によって実際に反映した腐食劣化状態を把握することができ、より合理的に安全を確保することが可能となる。
- ・海難事故解析の評価ツールの整備により、原因究明の迅速化が図られ、再発防止に寄与することで安全・安心の確保の社会的価値の創出に貢献する。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい

- ・ブロック製作誤差があるものを接合し、発生する応力を推定することが可能となった。
- ・波浪中非線形を含む複雑な応答の長期的な予測及び評価を設計者が行えるよう理論展開を行ない、手法を整備したことの科学的意義(一般性)は大きい。
- ・ストリップ法及びパネル法を同一のインターフェイスで選択可能な波浪中船体応答解析用アプリケーション「SPREME」は、科学的手法に基づくソフトウェアである。これをクラウドで公開したことで、設計者が容易に荷重・応答計算を行えるようになった。これを設計の標準手法とすることによって、解析的手法に基づく自由度の高い荷重設定／構造強度設計を実現できる。浮体の運動解析のベースとなるプログラムを提供したことの科学的意義(発展性)は大きいと言える。

□成果が期待された時期に創出されているか

- ・造船所及び船級協会のニーズに対応して、設計支援ツール DLSA 及びこれに関わる要素技術プログラム(荷重推定、腐食衰耗推定等)の機能を強化した。
- ・年度計画に従って研究を遂行し、年度目標を達成している。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか

- ・設計支援ツール DLSA の機能向上に加え、建造時の精度や残留応力、運航後の腐食劣化やメンテナンス等と融合して安全性評価を行なえるトータルシステムを開発している。ライフサイクルに渡る評価・支援を一元的に行えるトータルシステムは世界に例がなく、DLSA の普及の強みを活かして開発に着手したことは国際的な水準に照らして大きな意義がある。この成果は船体デジタルツインのグレードアップに直結し国際競争力の向上につながる。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

- ・該当しない

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

研究開発成果の最大化に向けて、RTP 法による非線形長期予測手法、横揺れパラメータ同定のためのデータ同化手法など、科学雑誌掲載論文 7 件を含む 15 本の査読論文を公表し、また、波浪中船体応答解析用アプリケーション「SPREME」を開発するなど、目標を超える成果を創出した。本船舶の新構造基準作成に資する最終目標に掲げるトータルシステムの実現に向け、設計・建造・保守支援にかかる要素技術の開発やプログラム構築などを着実に実施して、成果を創出した。

以上から、顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められることから、「A」評価とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A

研究開発課題	(1)① 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発	
研究テーマ	重点2 船舶の安全運航のための性能評価に関する研究	
中長期目標	中長期計画	R5年度計画
海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 ー海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着岸操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。等

研究の背景

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る。

具体的には、以下があげられる。

- ・ 港内操縦運動再現のための操縦運動数学モデルに関する研究
- ・ 総合性能評価のための CFD によるシミュレーション技術開発
- ・ 復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究
- ・ 港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

期間全体の研究目標

- ・ これまでの研究では確立されていない離着岸操船を再現できる操縦運動数学モデルについて、側壁影響も含め船体に作用する流体力モデルの定式化の完了。及び、操舵応答モデルも含めたモデル係数簡易構築手法の提示。粘性 CFD ソルバーやそれ以外の制限水域影響評価手法ツールの検証。
- ・ Model Based System Engineering (MBSE)に対応する FMU を含む CFD 統合システム、実船性能推定の高精度化のための実船-CFD デジタルツインモデル、水槽-CFD デジタルツインモデルを組み合わせたデジタルトリプレットモデルのプロトタイプ、港湾内での実船操縦運動シミュレーション手法。
- ・ 波浪中船舶の危険事象を再現する計算コードと水槽試験での再現技術
- ・ 危険を回避する操船支援システム
- ・ 小型船舶の安全性に関する規則策定に係る技術支援
- ・ 航海計器や航海機器を連携して錨泊時の安全性を評価するシステムの構築

上記成果は、以下があげられる。

- ・ 自動運航アルゴリズムの検証及び認証には操縦運動シミュレーションの利用が有力視されており、今後制定される国際的な安全性認証スキームにおいて、研究成果が反映されることを目指す。また、国内の造船所及び船社の自動操船アルゴリズム開発環境において、定式化した外力モデルやモデル係数簡易設定手法が実装されることを目指す。
- ・ MBSE 対応の FMU、CFD 統合システム及びデジタルツイン・デジタルトリプレットモデル等の開発・普及とともに、Functional Mock-Up Interface を介した現代のモデルベース設計システムとの連携も可能になることで、新船型・付加物等の開発サイクルを短縮でき、かつ船会社等における運航管理の高精度化やデジタルトランスフォーメーション化により安全性を高めることにも貢献し、我が国海洋産業の国際競争力強化につなげる。
- ・ 第二世代非損傷時復原性基準で扱う動的復原性に起因する危険事象を詳細に評価し、その結果を設計にフィードバックすることで、船舶の安全性を高め、我が国の造船業の国際競争力が強化される。また、小型船舶の復原性その他の基準の見直しや検査法を検討することで、小型船舶の安全性を高め、基準策定に貢献する。
- ・ 錨泊時の安全性の評価するためには航海計器や航海機器との連携が必須で国内の航海機器メーカーと共同で取り組む予定であり、社会実装を視野に入れて取り組むことを考えている。
- ・ 産業面からは、操縦運動モデルや CFD ツール・走錨判定ツールを提供し自動運航船開発や GHG 排出削減・走錨事故防止に資する。また規制基準の面からは、自動運航アルゴリズム認証や復原性基準等へ成果を反映して社会実装を実現する。

R5年度研究目標**□サブテーマ1**

- ・ 離着岸再現のため数学モデルの高度化及び流体力特性のデータ収集のため、複数船を対象に低速時・後進時を対象に含めた拘束模型試験を実施し、主にプロペラや舵等のアクチュエータによる外力モデルの特性に関する実験的検証を行い、アクチュエータモデルの確立を図る。
- ・ 2022 年度に実施した遺伝的アルゴリズムベースの自由航走データからの操舵応答モデル同定の先行的検討について、模型船の自由航走データを用いた操舵応答モデル同定の実証を行い、後年に予定する実運航データを用いた操舵応答モデル同定のための道筋を整備する。
- ・ 船舶に作用する流体力評価ツールについて、粘性 CFD ソルバー以外のツール利用の可能性や有望性を調査及び検証する。

□サブテーマ2

- ・ 実船性能の高精度推定に向けた数理モデル・新規計算手法の開発
- ・ 港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発

□サブテーマ3

- ・水槽試験で裏付けされた危険事象を評価する計算コードの開発
- ・運航支援ツール、国際基準評価ツールの開発及び船舶設計要素の検証
- ・小型船舶の復原性を含む基準の見直し、検査法の提案

□サブテーマ4

- ・錨泊中の船体に働く外力の推定手法の研究
- ・航海計器や航海機器と連携させる手法の確立

R5年度研究内容

□サブテーマ1

- ・複数船を対象とした水槽模型試験によって、低速条件を含んだ幅広い運動状況においてデータ取得を行い、その結果に基づいて低速時のプロペラ及び舵の数学モデルの確立
- ・遺伝的アルゴリズム等の進化的計算手法を活用し、操縦性試験で得られる操縦性指標を学習の入力とした、操縦運動数学モデルの同定手法を開発する。R5年度は発展的な取り組みとして巡航速力ベースのMMG型数学モデルの同定のための取り組みを実施
- ・制限水域における離着岸操船時の操縦流体力評価を目的として、粘性CFDソルバーの代替となり得る数値計算ツールの可能性及び有望性の評価のための調査研究を行う。そして、有望と見なせる手法について、側壁近傍での横移動を想定した試算を実施
- ・日本船舶海洋工学会の研究委員会等、操縦運動数学モデルに関する外部委員会活動に貢献

□サブテーマ2

- ・粗度モデル及び塗料モデルの文献調査・モデル開発着手及びデータ同化手法導入と適用性等に関する基礎的検討
- ・重合格子手法における高速化及びIGESデータに基づく投影手法の導入
- ・格子ボルツマン手法とのハイブリッド手法における乱流モデルの導入
- ・浅水状態での自由航走計算手法の検証

□サブテーマ3

- ・不規則波中でのパラメトリック横揺れの再現模型実験の実施
- ・第二世代非損傷時復原性基準脆弱性評価計算コードの整備と運航支援システムの評価
- ・小型船の傾斜試験法の検討と救命浮器と船体の波浪中運動計算の実施

□サブテーマ4

- ・船舶が振れ回り運動する際のダンピング項として働く、操縦流体力の計測
- ・錨泊中の船舶の振れ回り運動数値シミュレーションプログラムの出力データを航海機器(ECDIS)に表示する手法の検討

R5年度研究成果

□サブテーマ1

- ・ケミカルタンカー及びコンテナベンチマーク船型(通称 DTC)を対象船として操縦性拘束模型試験を実施し、後進時や大斜航時などの離着岸操船を想定した試験条件で操縦流体力特性のデータ取得を実施した。そして取得データや第1期中長期までの蓄積データに基づいて、主にプロペラモデル・舵力モデルを対象に低速時モデル及び

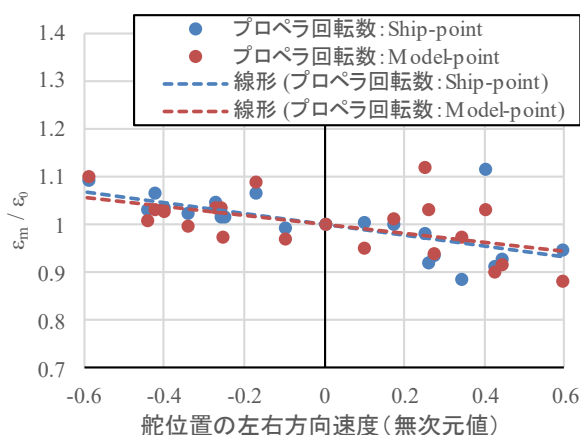


図 1-1 舵有効流入速度モデル内有効伴流比パラメータ ε の斜流影響(対象船:ケミカルタンカー)

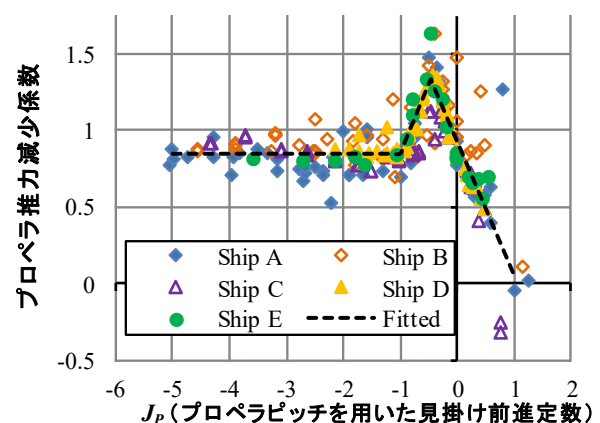


図 1-2 プロペラ逆転時の推力減少係数の5隻分計測値(Ship A-E)と提案した回帰モデル(Fitted)

モデル内係数の分析を行い、低速時操縦運動の特徴を考慮した適切なモデル係数解析法を提案した。そして、舵力モデル内の有効流入速度モデル係数については新しい係数解析法を開発し、その解析法に基づいてモデル係数に及ぼす斜航・旋回運動中の斜流影響(図 1-1)を初めて明らかにした。これらは R6 年度に実施予定の模型試験結果も踏まえて、査読論文として投稿することを計画している。加えて、プロペラ逆転時操縦流体力データベースの拡張を行い、後進時の抵抗特性や逆転時プロペラ有効推力モデル(図 1-2)など、一部の外力モデルについて水槽試験や CFD 利用を必要としないモデル簡易構築法を提案した。この成果の一部は日本船舶海洋工学会令和 6 年度春季講演会で公表予定である。また、前年度までに開発していた“実船の低速時舵効きを再現する自由航走模型試験法”について、国際会議 PAAMES/AMEC2023 で論文発表及び講演を行った。

- ・モデル同定手法の研究について、まず前年度までに実施した操舵応答モデル(KT モデル)の係数同定の検討に基づき、基礎アイデアを整理して 1 件のプログラム特許申請を行った。その後、対象船を前述のケミカルタンカーとして、同定対象モデルをより発展的な巡航速力ベースの MMG 型外力モデルとし、進化的計算手法として計算効率を考慮して焼きなまし法(SA 法)を選定し、操縦性指標を用いた解(操縦流体力微係数)の探索手順含め、モデル同定のためのフロー設計(図 1-3)を行った。R5 年度は本手法の実証に至らなかったが、R6 年度にはこのモデル同定フローの総括を行って結果を論文等で公表する計画である。
- ・制限水域における操縦流体力推定のための数値計算ツールの調査研究について、最初に離着岸時の一般的な操船計画を含めて離着岸時に起こり得る船体運動状況の整理を行った。次に、ポテンシャル理論ベースの数値計算手法や海技研以外の粘性 CFD ソルバーによる制限水域の操縦流体力特性の評価例を調査した。R6 年度にはこの調査研究結果をレビュー論文として投稿する計画である。そして、数値計算ツールの有望性評価の一環として、粒子法を用いた制限水域における真横移動時の流体力推定の試計算(図 1-4)を実施し、既存研究例との比較を行いつつ計算設定のブラッシュアップを行った。

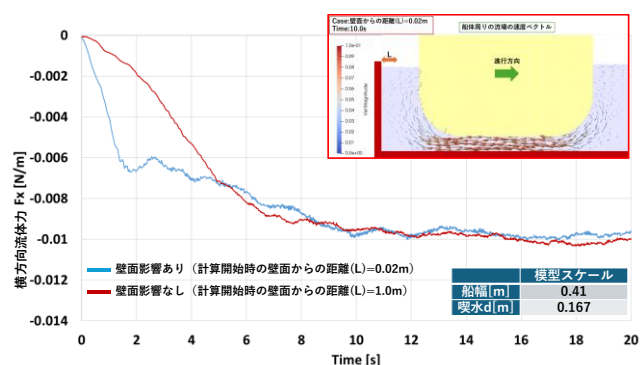
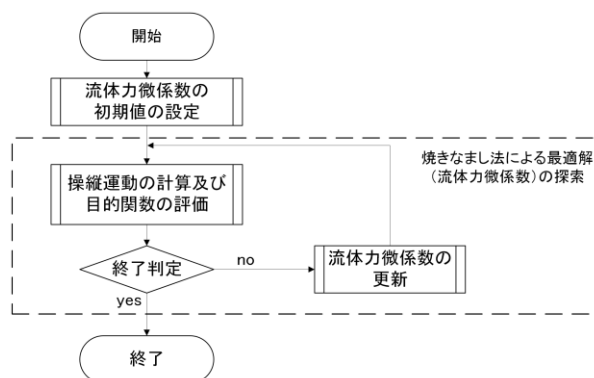


図 1-3 焼きなまし法を用いたモデル同定フロー概要 図 1-4 粒子法による浅水時(水深/喫水=1.2)の離岸運動時流体力推定結果

- ・操縦運動モデルに関する外部委員会活動として、北川と澤田は日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着岸操船時の操縦流体力特性の簡易推定手法に関する調査研究委員会(委員長:北川)」に継続して参加し、研究成果の取り纏め・日本船舶海洋工学会講演会の国際セッションにて委員会の活動紹介・低速時操縦運動モデルに関する新しい研究委員会の企画を行った。加えて 2023 年 11 月より、日本海事協会技術研究所が主催する「自動運航船の操船制御システム評価用操縦運動モデルに関する研究会」に北川と澤田が委員として参加し、操船制御システムの安全性評価のための数学モデルに関する議論に貢献した。

□サブテーマ2

- ・第4期国土交通技術基本計画で開発した実海域性能の評価を可能にする CFD 統合システムをもとに、実船性能推定のための数値モデル及び新規手法の調査・開発に着手した。アンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化手法の導入と基礎的検討により、流場の改善性を示す(図 2-1)とともに、並列処理アルゴリズムを開発(図 2-2)した。

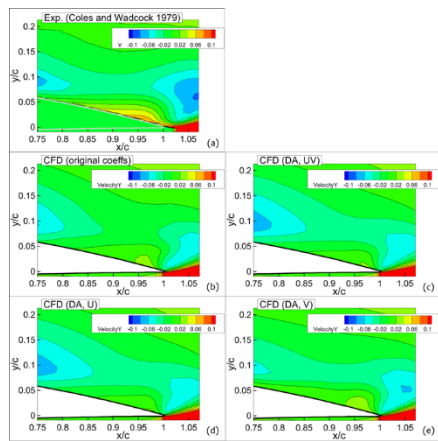


図 2-1 アンサンブルカルマンフィルタによる翼型周り流れの主流と垂直方向成分のデータ同化結果(1 段目が実験結果、2 段目左側が同化前、3 段目左側が同化による改善結果)

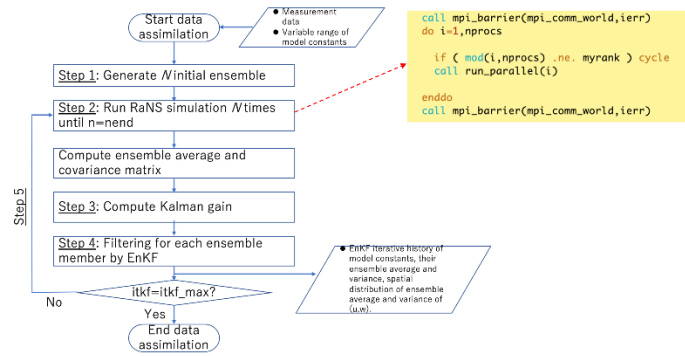


図 2-2 データ同化の並列処理アルゴリズムの開発

- 動的重合格子手法を分散メモリ型の並列計算に対応させ、高速化を図った。格子生成において CAD データの IGES 形式への格子点の投影方法を導入し、形状再現度を向上させた。重合格子生成時に同一面で異なる境界条件を扱えるように拡張し、コンテナ積付け状態にあわせた格子点数約 1200 万点から約 3600 万点の計算格子を使用し、上部構造物の風圧抵抗計算結果を風洞試験結果(長さ約 1.3m 模型)で検証。風圧力を精度良く推定できることを確認した(図 2-3、2-4)。

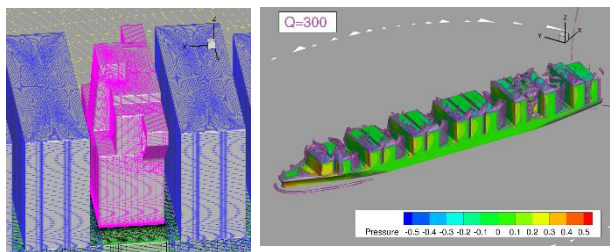


図 2-3 同一面で異なる境界条件への拡張(左図)及びコンテナ積付け状態での圧力分布と渦等値面(右図)

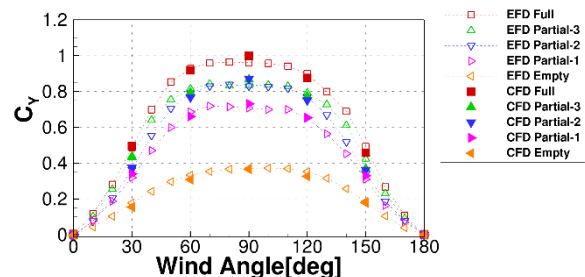


図 2-4 コンテナ積付け状態での風圧横力係数の推定精度の検証

- 格子ボルツマン手法(LBM)と有限体積法(FVM)の重合格子によるハイブリッド手法において乱流モデルを導入することにより高レイノルズ数へ適用させた。迎角 10 度を有する楕円体周り流れ(レイノルズ数 4.2×10^6)においてハイブリッド計算で有限体積法の場合と同様の結果が得られることを確認した(図 2-5、2-6)。

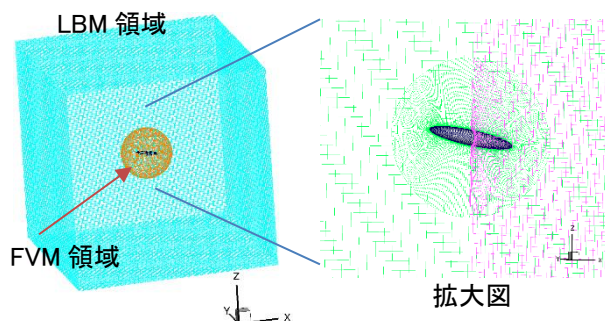


図 2-5 ハイブリッド計算用格子

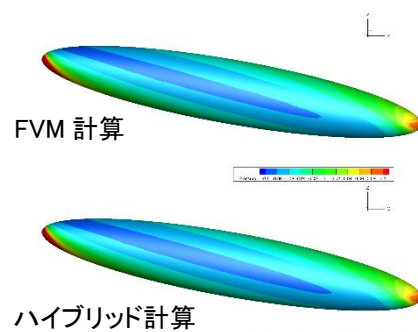


図 2-6 楕円体表面の圧力分布の比較

- 港湾内操船を主とした操縦性能の推定に向け、約 500 万点の計算格子を使用して、深水域及び浅水条件(水深喫水比 $h/d=1.2, 1.3, 1.5$)を変更したコンテナ船型の模型試験(長さ約 3.5m) 結果と同状態の自由航走計算結果を比較し、水深変更に伴う旋回径等の違いを精度良く推定できることを確認した(図 2-7)。船長 325m のタンカー

船型の Z 操舵時の実船試験状態(レイノルズ数約 1.5×10^9)を約 300 万点の計算格子を用いて再現し、深水域及び水深喫水比 $h/d=1.2$ と 1.5 における第 1 行き過ぎ角の傾向等を捉えることを確認したとともに、Z 操舵中の船体表面圧力分布(図 2-8)や流場の変化を示した。

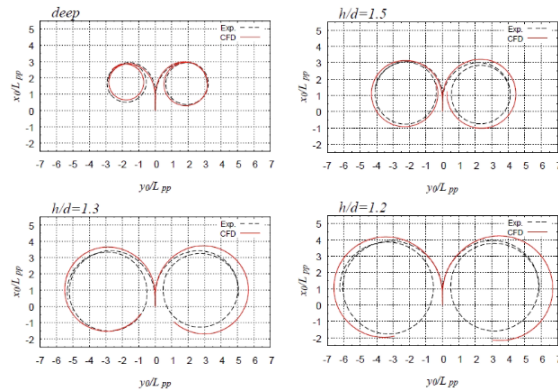


図 2-7 浅水条件による旋回径の比較

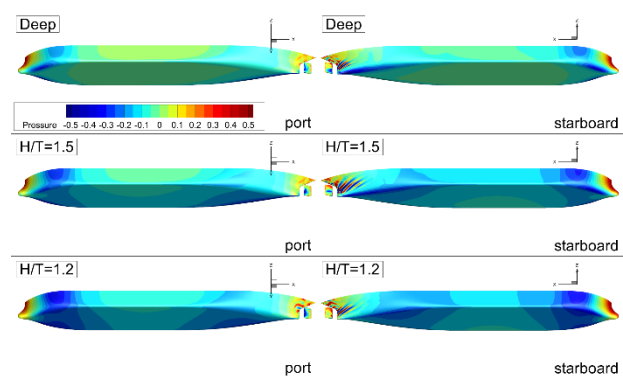


図 2-8 Z 操舵時の浅水条件による船体表面圧力分布の比較

□サブテーマ 3

- ・コンテナ船を用いた不規則波中のパラメトリック横揺れの模型実験を実施し、2022 年に更新された IACS No.34 Rev.2 の波スペクトルと方向分布の短波頂不規則波中のパラメトリック横揺れを計測した(図 3-1)。また、水槽実験技術向上として、水槽内の波高の空間分布が均一となる規則波を造波するための造波板の動揺振幅の最適解を焼きなまし法を用いて探索する手法を考案し、通常の造波法に比べて均一になることを数値造波シミュレーションで確認した(図 3-2)。
- ・第二世代非損傷時復原性基準の運航ガイダンスに基づく運航支援システムの有用性を検証するために造船所と運航会社の協力を得て検証した。その結果、危険とされる載荷状態は稀で影響は限定的ではあるが、その載荷状態での運航時にはこれまでの運用に影響が生じる、安全側評価であることを確認した。
- ・漁業調査船「たか丸」を用いて通常の岸壁で行う傾斜・動揺試験を実施し、研修資料の素材を記録した。また、外乱下沖で同様の試験を行い、試験結果への影響と試験環境の限界を調査した。さらに、船の旋回時の内方傾斜を用いた GM 推定(図 3-3)や、パンパン操船による横揺れ固有周期の計測等を試した。また、25 人乗り救命浮器(3 m×4 m)を船長 12 m の小型船の舷側及び船尾に展開した場合の両者の相対運動をそれぞれ単体について STF 法により求めた複素応答振幅の差分の絶対値を取ることによって計算し、有義波高 1.5 m、有義波周期 6.4 s、ISSC 型スペクトルの不規則波中における各応答の短期予測を行った。



図 3-1 コンテナ船不規則中パラメトリック横揺れ試験

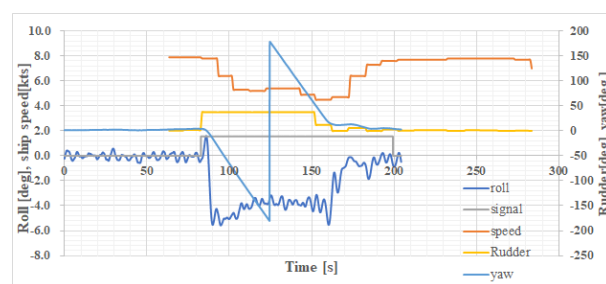


図 3-3 実船による旋回時内方傾斜の計測

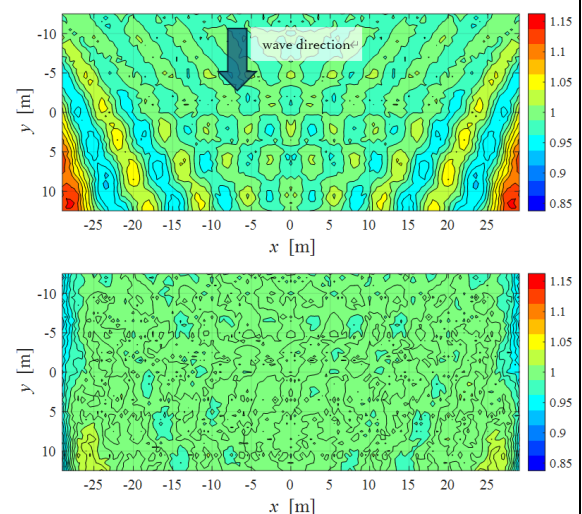


図 3-2 波振幅の空間分布(上:通常、下:最適化)

□サブテーマ4

・前年度は船舶が振れ回り運動する際のダンピング項として働く、操縦流体力の計測を行った。本流体力の計測では、高品により提案された Yaw Rotating Test を採用した。Yaw Rotating Test は非定常運動の計測のために計測精度を確保することは難しいが、計測点数を抑えることが出来る。前年度は外航・内航タンカー船型について計測を行った。2 船は主要目に違いはあれども、一般的には肥大船型という分類に該当する。計測したデータを解析すると 2 船で操縦流体力の前後力と横力で考慮すべき項が異なることが確認された。また、並進運動と旋回運動との相対関係で考慮すべき項は異なることが確認された。さらに、外航タンカーについては航海速度で行われた CMT の結果があり、一般的に操縦流体力として考慮されている項とは異なることが確認された。これらを基に振れ回り運動時の操縦流体力の推定式が改善され、走錨リスク(船体に働く外力と最大係駐力の比)の推定精度が従来よりも向上することが期待される。

引き続き、船型の異なる模型での水槽実験を行うことを考えている。



図 4-1 内航タンカー模型
の操縦流体力の計

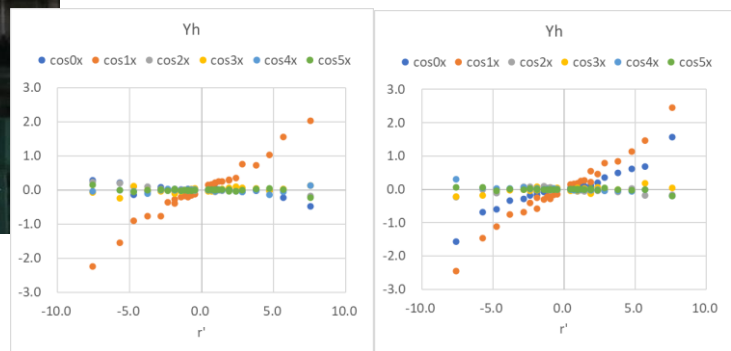


図 4-2 2 船の横力に関する解析結果
(左：外航タンカー、右：内航タンカー)

・本研究で開発中のシステムは、錨泊中の船体がおかれた状況を反映するために航海計器で計測されたデータを安全性評価に活用することを想定している。また、評価結果は、船橋に設置されている ECDIS などを確認出来ることを想定している。これらの航海計器や航海機器との連携を進めていくため、国内の航海機器メーカーと共同研究を締結した。今年度は評価結果を ECDIS の画面上に表示するためのセンテンスを検討し、評価結果を受信して表示するプロトタイプを作成した。今回の検討結果を踏まえて、実船にて航海計器や航海機器との連携が有効に機能するかの動作確認を行うことを予定している。



図 4-3 振れ回り運動の数値シミュレーション
結果を ECDIS 上に表示する画面

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ))：2 件(投稿中：1 件、採択済：1 件、掲載済：0 件)

科学雑誌掲載論文

・

査読付き国際会議論文

- ・Ohashi, K., et al.: A Simplified Hybrid Method on Estimation for Dilution Rate from Scrubber Outlet at Full-Scale Conditions using RaNS Simulation, ISOPE2024, (2024). (投稿中)
- ・Ota D., Houtani H.: Optimization of segmented wave maker control to generate spatially uniform regular waves in a wave basin by parallel simulation algorithm, Proceedings of the ASME 2024 43rd International conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE 2024, (2024). (採択済)

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文：20 件(投稿中：1 件、採択済：1 件、掲載済：18 件)

- ・大田大地 ほか：操縦性指標を適応度の評価に用いた遺伝的アルゴリズムに基づく操縦運動モデルの係数同定手法に関する基礎的検討，海上技術安全研究所 第23回研究発表会講演集(ポスターセッションにて発表)，pp.95-96, (2023).
- ・Kitagawa, Y., *et al.*: Development of a low speed free-running model test method considering scale effect in maneuvering and its demonstration on automated berthing, Proc. 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023).
- ・Kitagawa, Y., *et al.*: Introduction of the Research Committee for Reviews on the Simple Prediction Method of Hydrodynamic Characteristics in Harbor Maneuvering, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第37号, pp.13-16, (2023).
- ・北川泰士 ほか：プロペラ逆転時操縦流体力特性の簡易推定のための実験的研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第38号, (2024). (採択済)
- ・Sakamoto, N., *et al.*: False bottom effect for captive dynamic PMM tests in shallow water, US-Japan Joint Workshop on Ship Hydrodynamics in Hiroshima U., (2023).
- ・Sakamoto, N., *et al.*: 6DOF OVERSET URANS SIMULATIONS OF KCS UNDER ZIG-ZAG AND TURNING TESTS IN DEEP WATER, SIMMAN2020, (2023).
- ・Sakamoto, N., *et al.*: OVERSET RANS STUDY OF THE EFFECT OF TANK BOTTOM CONDITION FOR KCS UNDER STATIC DRIFTRUDDER CONFIGURATIONS IN SHALLOW WATER, SIMMAN2020, (2023).
- ・大橋訓英：重合格子による有限体積法と格子ボルツマン法のハイブリッド手法の高レイノルズ数流れへの適用性の基礎検討，流体力学学会年会 2023, (2023).
- ・Kobayashi, H., *et al.*: Numerical estimation for wind forces of a container ship with various loading patterns of containers, PAAMES/AMEC2023, (2023).
- ・Sakamoto, N., *et al.*: Computational Investigation of Shallow Water Effect in Esso Osaka under Zig-Zag Maneuvers in Full Scale, PAAMES/AMEC2023, (2023).
- ・鏡園将成 ほか：Free-Run CFDによる浅水域における船の旋回運動シミュレーション，日本船舶海洋工学会秋季講演会, (2023).
- ・小林寛：船舶 CFD を新しいフェーズへ，テクノスター社 造船ユーザーカンファレンス, (2023).
- ・大橋訓英：非圧縮性流体での擬似圧縮性解法における計算不安定の解消方法について，第37回数値流体力学シンポジウム, (2023).
- ・坂本信晶 ほか：船舶 CFD におけるデータ同化の必要性和そのプロトタイプ開発，設計と運用に活かすデータ同化研究会, (2024)
- ・Sakamoto, N., *et al.*: Revisiting DA for Parameters of $k-\omega$ SST Model with 2D NACA4412 and their Application to 3D Hull Forms, 日本船舶海洋工学会春季講演会, (2024). (投稿中)
- ・Kuroda, T. and Ota D., Validation of operational guidance for excessive acceleration using container ship actual operational data, Proceedings of 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023)
- ・黒田貴子，大田大地：船舶復原性研修による安全性向上への取り組み，海上技術安全研究所研究発表会, (2023).
- ・黒田貴子，大田大地：復原性試験実習，復原性基礎研修, (2023).
- ・黒田貴子：第二世代非損傷時復原性基準の概要，復原性基礎研修, (2023).
- ・大田大地：漁船の転覆事故の検証，復原性基礎研修, (2023).

□特許申請：1 件

- ・大田大地 ほか：船舶の操縦運動モデルの係数同定プログラム、操縦運動モデルの同定した係数の利用方法、及び操縦運動モデルの係数同定システム(特願 2023-115815)

□コアプログラム登録：3 件

- ・重合格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(NAGISA Ver.4.01)
- ・CFD ポスト解析システム Ver.3.0
- ・複雑形状物体まわり流場計算のための重合格子処理プログラム(UP_GRID) Ver.2.1 R6

□国際連携活動：1 件

- ・Simplified operational guidance and safety device for the excessive acceleration failure mode, SDC10/ INF.10, IMO, 2024

□受賞：0 件

- ・

□公開実験：0 件

- ・

主な評価軸に基づく自己分析**□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか**

- ・(サブテーマ 1)本研究は船舶の離着岸を想定した低速時操縦運動を予測するための数学モデルに関するものであり、2023 年度に得られた成果は基礎検討段階の成果が多いが、一部成果は自動運航船の自動制御アルゴリズムの安全性評価等にも貢献できる
- ・(サブテーマ 1)船級協会が主催する自動運航船の安全性評価のための操縦運動数学モデルに関する研究会に参加し、自動運航船の認証ガイドライン策定への貢献も図っている
- ・(サブテーマ 1)造船所も参加した学会研究委員会で知見を共有することで、自動運航船開発への貢献を図っている
- ・(サブテーマ 2)港湾内操船に向けた浅水域の自由航走状態を CFD シミュレーションにより再現し、十分な推定精度を有することを確認した。
- ・(サブテーマ 2)開発している CFD 統合システムを活用したコンサルティング(多胴船の性能評価、重合格子による付加物付き計算のワークフロー等)を実施した。
- ・(サブテーマ 2)CFD 統合システムの実利用 23 社。
- ・(サブテーマ 3)復原性に起因する波浪中の危険事象の評価は基準判定のみならず運航指標としての利用が期待されており、研究成果は造船・海運業に貢献するものである。小型船の復原性試験法や救命浮器に関する研究は、昨今の小型旅客船海難事故に対応したものであり、安心・安全の確保に貢献するものである。
- ・(サブテーマ 4)本研究で開発中のシステムは港内での錨泊中の安全性を向上及び走錨事故の削減を目的としており、走錨事故の削減を図ることで安全・安心の確保に貢献する。あわせて、座礁による油流出等の環境負荷の低減にも貢献するものである。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい

- ・(サブテーマ 1)舵への有効流入速度における流力特性について、操縦運動による斜流影響を初めて示したこと、及び、プロペラ逆転時の一部の操縦流体力特性は船型を限定せずに特定可能であること、これらを示したことは船舶操縦性における研究上、有意義である
- ・(サブテーマ 2)アンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化手法を導入し、その有効性を確認した。
- ・(サブテーマ 2)各種積み付け状態での風圧力を CFD シミュレーションにより精度良く推定できることを示した。
- ・(サブテーマ 3)水槽模型試験で検証した不規則波中の危険事象の計算法に関する研究は、造波能力の長けた水槽施設を使った研究であり、他に例の少ないものである。また均一造波法はすべての水槽試験に共通するものであり一般性がある。
- ・(サブテーマ 4)本研究は国内の航海機器メーカーとの共同研究として取り組んでおり、今年度は錨泊中の安全性に関する情報を船内 LAN を介して航海機器に表示する手法の検討を行った。本情報の通信には航海機器や航海計器の通信で使用されている NMEA の規格に準拠したセンテンスを使用している。そのため、本センテンスを公開することで他の航海機器メーカーの航海機器などと連携が可能であり、一般性は確保されていると考える。

□成果が期待された時期に創出されているか

- ・概ね研究計画通りに成果が創出(論文発表、ソフト登録・リリースとセミナー開催)されている。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか

- ・(サブテーマ 1)低速時操縦運動モデルの研究は日本が進んでおり、その中でも本重点課題の取り組みは高度と言え、国際的にも意義があると言える
- ・(サブテーマ 2)国際的にも独自の重合格子手法により風圧力の推定や浅水条件変更を含む自由航走状態を再現できることを示した。
- ・(サブテーマ 2)開発している CFD 統合システムについては外部機関においても実設計に活用され、国際競争力の向上に貢献している。
- ・(サブテーマ 3)波浪中の危険事象を再現する計算コードや模型実験に関する研究は、試行期間に入っている第二世代非損傷時復原性基準の対策や問題点の検討や、近年報告されているコンテナ流出事故の解明に対応すべく、得られる成果は国際的に見ても十分大きな意義があると考ええる。
- ・(サブテーマ 4)本研究は港内での錨泊中の船体に働く外力の推定法及び錨泊中の船体運動から船体に働く外力の同定を対象としている。近年は自動運航船などの研究が行われているが、本研究はそれらよりも低速な船体運動を対象としたもので国際的な水準に達していると考ええる。
また、本研究は国内の航海機器メーカーとの共同研究として取り組んでおり、本研究の成果は航海機器メーカーの製品の一部として社会実装されることを目指している。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

- ・(サブテーマ 1)低速時操縦運動モデル係数の簡易推定法に関する研究や操縦性指標(自由航走データ)を用いたモデル同定に関する研究など、操縦運動モデルの簡易構築のための研究は将来の自動運航船の安全性評価におけるモデル利用に貢献する者であり、先見性を持って対応できている
- ・(サブテーマ 2)格子ボルツマン法に基づくハイブリッド計算手法開発を継続し、高レイノルズ数流れへの適用性を

示した。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

- ・自動操船や錨泊安全などのタイムリーな社会的ニーズや、基準対応、数値シミュレーションによる設計への産業ニーズなどに対応する技術開発を意識して進行できている。初年度であり基礎的な検討が多かったが、論文 19 件のアウトプットを出している。
- ・特に CFD シミュレーションによる実船スケール性能推定技術や自由航走する船の操縦運動推定技術は技術レベルが高く、また造船・海運からのニーズも高いものである。港湾を想定した浅水域での操縦運動を良好にシミュレートできたことは共研先からも高く評価された。
- ・また、錨泊安全性評価計算を航海機器と連携させる研究は、当所のプログラムを内航海運に広く使ってもらい呼び水になり得るものであり、実機で連携の目途が立ったことは有望な成果である。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	B

研究開発課題	(1)① 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 (2)① ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発	
研究テーマ	重点3 次世代船舶技術の社会実装に不可欠なリスク解析技術の構築	
中長期目標	中長期計画	R5年度計画
海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。 船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、水素・アンモニア等のゼロエミッション燃料の燃焼解析技術を始めとする温室効果ガス削減技術の高度化及び実海域における実船性能向上に関する研究開発、並びに船舶の運航時における環境負荷低減に資する基盤的技術及び環境影響評価手法等に関する研究開発に取り組む。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。加えて、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 ー海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。等 国際海運における 2050 年カーボ

	①ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発	ンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発 ー船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、水素専焼の運転条件の検討・燃焼モデルの作成、エンジンの空気流動を模擬した試験技術の確立、船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化を行う。等
--	---	--

研究の背景

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る。

国際海運における2050年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。

具体的には、以下があげられる。

- ・新コンセプト船に係るリスクベース安全性評価手法の開発
- ・新規燃料船に係る影響解析手法の開発
- ・放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究
- ・安全安心な海上交通環境の実現に関する研究

期間全体の研究目標

- 新コンセプト船に係るリスクベース安全性評価手法の開発
 - ・IMOや船級等の規則/ガイドライン等で要求される定性的リスク評価手法の標準化及びガイドライン開発
 - ・同等安全性評価のための定量的リスク評価手法の確立及びガイドライン開発
 - ・自動運航技術等に関連するIMOでの審議への意見反映
- 新規燃料船に係る影響解析手法の開発
 - ・物理化学現象を考慮した大気拡散解析コード

- ・燃料火災・爆発に伴う影響度詳細解析コード
- 放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究
 - ・原子力規制庁および海事局と連携し、IAEA および IMO 等国際機関における原子力関連規則の審議に日本の意見が反映されるよう助言レポートを作成する
 - ・国内では海事局と連携し、解体廃棄物輸送等の安全審査及びガイドラインの原案を作成する
 - ・日本原子力学会においては、簡易計算コードの V&V を行い学会標準化する
 - ・海事局検査測度所有の事故時影響評価プログラムを新たな輸送物へ対応できるように拡張する
- 安全安心な海上交通環境の実現に関する研究
 - ・推薦航路の効果検証結果および交通ルール設計評価手法へのフィードバック
 - ・船舶航行経路上の衝突リスク評価手法の確立
 - ・航行条件下における衝突の蓋然性予測手法の確立
- 全体
 - ・新コンセプト船の導入への安全対策(リスクベース安全性評価手法の開発、安全基準・ガイドライン等の策定)
 - ・海上交通環境への安全対策(運航支援監視技術の開発)

上記成果は、以下があげられる。

- ・リスク評価手法の標準化及びガイドライン開発により、新コンセプト船の安全性向上やリスク評価実施者の負担軽減に寄与し、安全安心な社会を実現する。
- ・新規燃料船のリスク評価における影響解析の標準ツールとして開発したコードを普及させ、リスク評価実施者の負担軽減に貢献する。
- ・新たな輸送物の安全評価手法の妥当性を評価する。これをガイドライン化、学会標準化する事で、事業者と規制当局がともに受け入れられるような客観的な基準が確立され、円滑な安全審査及び高い安全性が実現される。また V&V された遮蔽コードと、ガイドラインの組み合わせにより、信頼性の高い遮蔽解析が低コストで実施可能となり、事業者の放射性物質輸送申請書類作成期間の短縮化も期待される。
- ・準ふくそう海域での安全対策の効果検証結果をフィードバックすることにより、海難事故を減少させ、安全安心な社会を実現する。
- ・海事局・海上保安庁・日本海事協会・関連学会等との連携により、成果である手法および安全基準・ガイドライン等を普及促進させ新コンセプト船の安全性向上やリスク解析の負担軽減が可能となり、海上輸送の安全確保および海洋環境の保全に貢献する。

R5年度研究目標

□サブテーマ1

- ・自動/無人運航船の HAZID 結果を考慮した機能要件案の導出
- ・自動/無人運航船の HAZID における Risk Index (RI) 計算方法の開発
- ・自動/無人運航船の衝突事故シナリオのモデル化

□サブテーマ2

- ・液化アンモニアの海上漏えいに伴う蒸発プールモデルの開発

□サブテーマ3

- ・新規に実施される大型解体廃棄物輸送の安全解析
- ・簡易遮蔽計算コードの適用範囲拡大
- ・放射性物質輸送事故影響評価システムの高度化

□サブテーマ4

- ・新交通ルール運用に伴う船舶交通流の変化モデルの構築
- ・船舶航行経路上の衝突リスク評価手法の構築
- ・デジタル基盤上で地図情報として提供するツールの試作

R5年度研究内容

□サブテーマ1

- ・自動/無人運航船の HAZID 手法の高度化に関する研究
- ・自動/無人運航船の定量的リスク解析手法の高度化に関する研究

□サブテーマ2

- ・既存の蒸発プールモデルへのアンモニア溶解モデルの組込みおよび検証

□サブテーマ3

- ・国交省の輸送物調査班会合および顧問会へ参加によるニーズの把握と課題への対応
- ・簡易遮蔽計算コードのビルドアップ係数のコード間検証と光核反応の影響を実証
- ・大気拡散モデルの改良としての乱流粘性係数モデルの比較

□サブテーマ4

- ・伊豆大島推薦航路および東京湾口部の経路指定の交通ルールの効果検証
- ・航行経路上に存在する潜在的な衝突発生数の推定手法の構築
- ・船舶版ダイナミックマップの試作

R5年度研究成果

□サブテーマ1

- ・自動運航船に関して実施した HAZID によって抽出した情報を用いて自動運航の実施に必要な動作を主機能として 10 種類の機能を設定した。また機能の動作確認や、故障や不具合が発生した場合等、主機能が動作するために必要な 5 つの観点を設定し、それらの観点から自動運航船の主機能に対する機能要件案を設定する手法を開発した(表 1-1)。現在、IMO において自動/無人運航船に関する規則(MASS コード)の議論が進行中であるが、本研究で得た成果も活用して、国土交通省等の国内関係者と協力し、IMO における MASS コードの審議にも貢献した。

表 1-1 開発した機能要件設定手法による自律(自動)操船の中止に関する機能要件一例(案)

主機能	・自律操船の継続可否を、関係するデータ(自己診断結果、自船の状態、気海象、他船や航行環境等)に基づき判断する ・ODD 外と評価されるなど、上記の継続可否判断の結果、継続不可と判断された場合、自律操船を中止する旨を対応船員に通知し、船員の指示に従い手動操船への切替を行う
主機能の動作を確認する機能	・自律操船継続可否判断機能が正常に作動しているか、その結果に誤りがないか確認する ・自律操船継続不可と判断された場合に対応船員に通知する機能が、正常に作動しているか確認する
不具合発生時の機能(警報等)	・上記 2 項目の機能のいずれかが正常に実行できないと判断された場合、対応船員に通知する ・対応船員から応答がない場合、不具合に対応するフォールバック用システムを実行する
船員への提示機能(状態確認)	・自律操船継続可否判断の根拠となるデータの提示(正常項目、異常項目の両方)と判断結果の提示 ・(該当の場合)フォールバック用システムの実行状況
事前に必要な検証	・自律操船継続可否判断機能が正確かつ適時に作動するかどうか、事前に検証を行う ・自律操船継続可否判断機能を実行できない旨の通知がされた場合の、船員の対応をマニュアルに記載して整備する ・マニュアルの確定後、船員による対応の訓練を実施し、訓練が十分に行われたことを確認する ・フォールバック用システムの実行訓練 ・各種検証及び訓練等実施後、船員の操船権回収訓練

- ・通常、HAZID では Frequency Index(FI)と Severity Index(SI)の和である Risk Index (RI)がハザード毎に設定される。これらは専門家によるブレインストーミングで設定されることが多いが、本研究では自動/無人運航船の HAZID における RI 計算方法を、ハザード毎に関係するパラメータを陽に考慮し設定する手法を提案した。例えば衝突事故に関するハザードの場合、衝突になるような危険な遭遇の発生回数や、ハザードの発生回数、それを回避するような安全対策の効果等をパラメータとして設定し、FI を計算し、乗船者数及び事故時の死亡率をパラメータとして SI を計算する(図 1-1)。

$$S_{ji} = N_{PoB} P_{fj}$$

S_{ji} : 航行フェーズ*j*におけるハザード*i*のシナリオにおける死者数

N_{PoB} : 乗船者数

p_{fj} : 航行フェーズ*j*における事故時の死亡率(乗船者数に対する死亡者の割合)

- 749GT程度のコテナ船を想定: $N_{PoB}=7(\text{人/隻})$
- 航行フェーズ*j*は港外航行とする
- IHSデータを用いて、1980年から2019年に発生したコテナ船の衝突事故で、事故発生場所がOpen Seaである事故から死亡率の平均値を算出($p_{fj}=8.05 \times 10^{-4}$)

$$S_{ji} = 5.64 \times 10^{-3}$$

$$SI=1$$

1) IMO: Revised guidelines FOR formal safety assessment (FSA) FOR use in the IMO rule-making process. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2, 2018.

表 SIの定義例¹⁾

SI	定義	死者数
1	単一の負傷者	0.01
2	複数の負傷者	0.1
3	単一の死者	1
4	複数の死者	10

図 1-1 開発した RI 設定法のうち SI 設定に関する例

- ・自動/無人運航船の衝突事故を対象とした事故シナリオ案を Bayesian Network(BN)で構築した(図 1-2)。また、その BN の各ノードの確率をベイズ推定ためのデータ整備を実施した。BN モデルの改良及びデータ整備を引き続き実施していく。

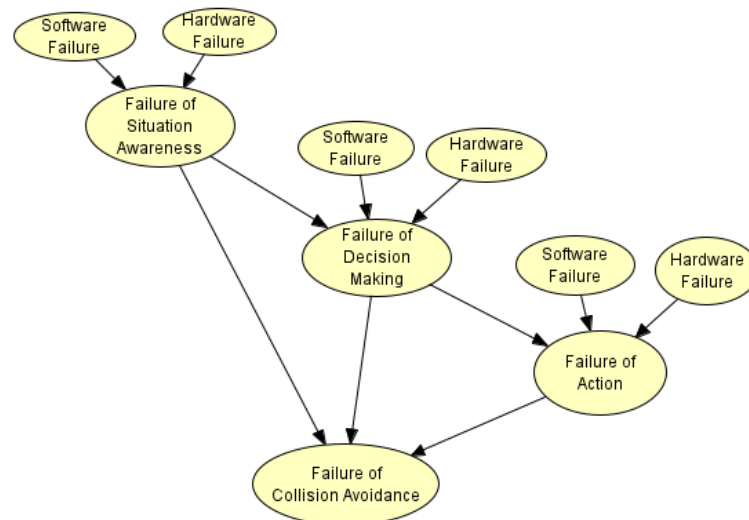


図 1-2 BN による衝突事故シナリオ

□サブテーマ2

- 海上漏えいしたアンモニアから大気拡散に移行するアンモニア量を推定するために評価に不可欠なアンモニアの溶解蒸発モデルの開発を行った。前年までに開発している、LNG 漏洩被害影響度解析プログラム(P 第 11188 号-1)をベースとして、蒸発プールモデルに対してアンモニア/水系の化学平衡計算モデルおよび物質移動によるアンモニア溶解モデルの組み込みを行い、P.K. Raj et al.(1974)の大規模漏洩実験を対象に当該分野で先行する DNV Phast(DNV が開発した有害化学物質の漏えい、大気拡散、火災爆発影響解析コード)および開発モデルによる予測との比較を行った。

その結果、本検討モデルは最大プール半径の予測式における漏洩量のべき指数が大規模実験の結果と良好に一致 (0.375) していることから、図 2-1 のとおり開発モデルは漏洩量に対する最大プール半径の傾向を良好に再現することが分かった。

現在、建造が予定されている 87,000 m³ クラスのアンモニア運搬船において大規模漏洩事象が発生することを想定した場合、漏洩量のべき指数より Phast による最大プール半径の予測は過大に見積もる可能性がある。

今後、より良好な再現が得られるよう、物質移動モデルについてさらなる検討を引き続き行っていく。また、本検討モデルは、海上防災上重要な貨物であるメタノールやアクリル酸等の他の水溶性危険物にも原理的に適用可能なモデルであるため、引き続きモデルの拡張を行っていく。

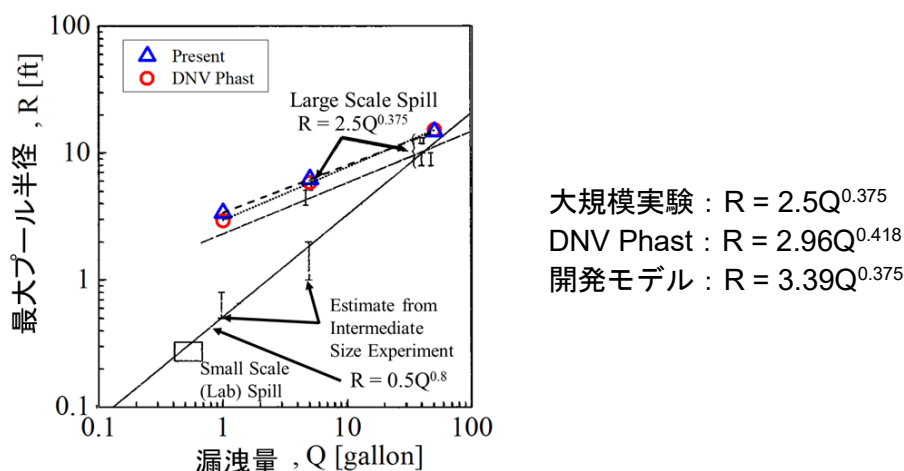


図 2-1 水上漏洩したアンモニアの漏洩量と蒸発プール最大半径の比較

□サブテーマ3

- 国交省の輸送物調査班会合等では大型解体廃棄物の輸送に際しては放射性物質の表面汚染密度が直接計測できないため、その評価方法が課題であることが明らかになった。内部汚染推定では汚染パターンと外部測定との比較が主な方法となるため、膨大な汚染分布パターンの計算が必要になる。そこで汚染分布—外部線量データベースを作成するために、海技研で開発された簡易遮蔽計算コード POKER で使用するビルドアップファクター

(線量を計算するための散乱線/透過線の線量比)の整備を行った。得られたビルドアップファクターは光核反応を考慮し、また 80mfp までをサポートしているためより厚い遮蔽体にまで適用可能であり、また光核反応を考慮したため従来のデータでは数桁以上の過少評価となっていた点が解消された(図 3-1)。

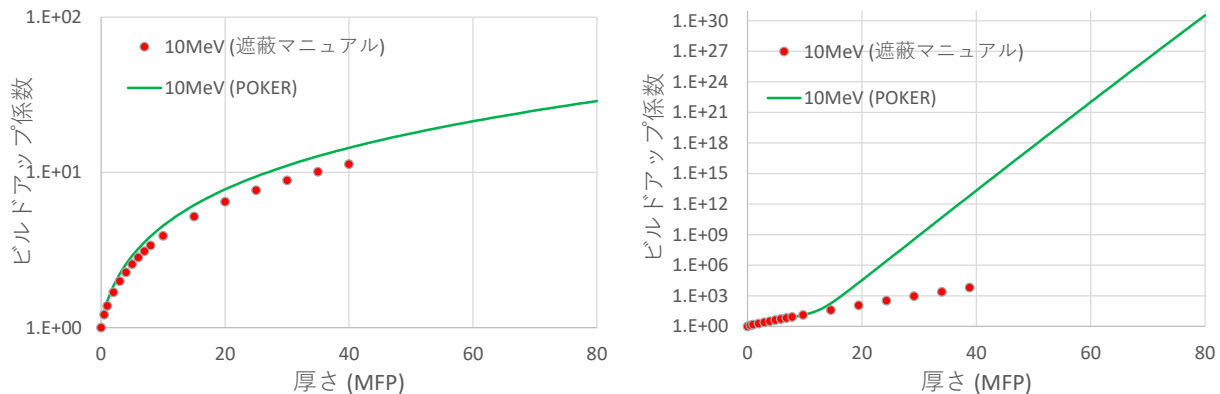


図 3-1 ビルドアップ係数 (左:水に対する 10MeV 光子、右:鉄に対する 10MeV 光子)。比較対象は過去の文献(財団法人原子力安全技術センター 放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル)による。

さらにモンテカルロ遮蔽計算(MC 計算)との相互比較等のために海技研で開発した MC 計算可視化ソフト Gxsview に POKER 入力の読み込み機能の追加を進めた。また過去に原子力研究所 JRR4 で行われた実験(日本原子力船開発事業団著 原子力第 1 船遮蔽効果確認実験報告書第 5 篇その他遮蔽実験)を用いて POKER コードのベンチマークを行い、モンテカルロ詳細計算コードが実験値を下回る危険側評価をし得るのに対し、POKER コードが一定の裕度で安全側の評価を示すことを確認した(図 3-2)。これらの結果は日本原子力学会簡易遮蔽コードワーキンググループおよび原子力学会春の大会 V&V 企画セッションで報告・討論され専門家の知見としての合意を得た。

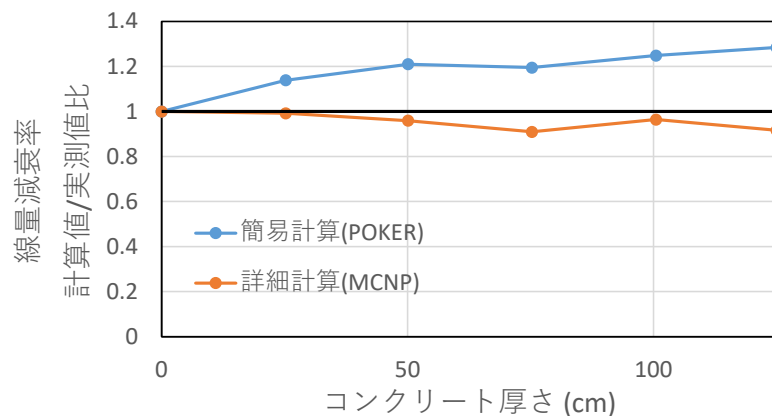


図 3-2 JRR4 遮蔽実験の再計算による詳細計算(MCNP)と簡易計算(POKER)の比較

・有害物質の大気拡散解析に必須となる風況予測モデルの開発を行った。基盤となるモデルは、緊急時対応に適した質量保存流速場モデル(MASCON)である。MASCON は流れの剥離を伴わない比較的なだらかな地形上の風況予測が対象であり、複雑地形や施設が障害物として気流場に及ぼす影響を考慮する場合、その予測精度は著しく低下する。この課題を解決するために、急峻な地形変化や施設等が気流場に及ぼす影響を代数式の組み合わせで表現するモデルを提案し、これを一次推定モデルとして質量保存流速場モデルに組み込み、流れの剥離を伴う風況予測を可能にした(図 3-3)。計算条件の設定が簡単であり、計算時間の短縮が見込め、緊急時の風況解析として満足できる予測精度を有する。

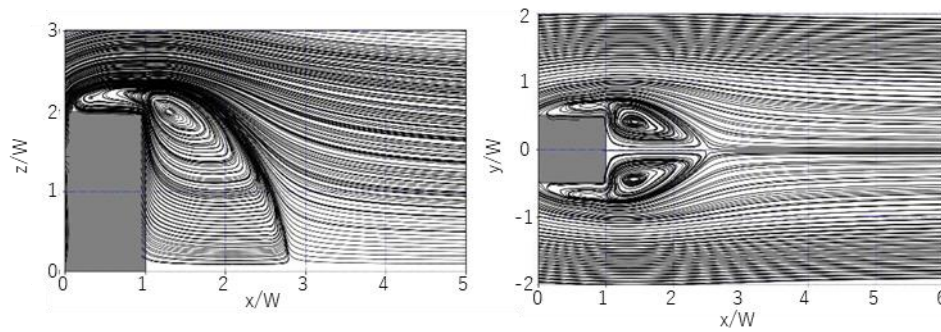


図 3-3 MASCON による矩形状障害物周辺の気流場予測結果(左:鉛直断面、右:水平断面)。物体上面・背面、および側面の渦のコアおよび付着点位置を再現

□サブテーマ4

・新ルール構築における船舶交通の安全性評価において、確率論的な観点から遭遇頻度を、決定論的な観点から OZT を、安全性評価のための指標として設定し、この 2 つの指標により海域の潜在的な衝突危険性を評価する手法が適用されているが、これらの指標による結果と実際の衝突発生状況の関係性は明らかにされていない。そこで遭遇頻度および OZT が海域の衝突危険評価に有用であることを検証するため、これらと衝突およびニアコリジョンの位置関係や発生状況に関する相関を分析した。その結果、遭遇頻度および OZT は、衝突およびニアコリジョンと強い相関があることを示した。これにより、海域の衝突危険評価において、実績データが少ない衝突事故やニアコリジョンではなく、航跡データから推測できる衝突危険性として、遭遇頻度および OZT が有用であることが示された(図 4-1)。

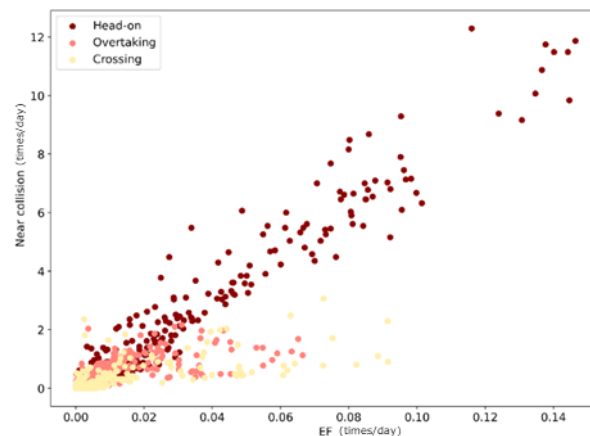


図 4-1 海域格子内の遭遇頻度とニアコリジョン数の散布図

- ・遭遇頻度および OZT を用いて、推薦航路と経路指定が新交通ルールとして実装された伊豆大島西岸沖と東京湾口部の近接海域における船舶交通の変化と潜在的衝突危険性を定量的に評価した。その結果、東京湾口部の導入により、すでに運用済みの推薦航路の遵守率が上昇したことに加え、個々のルール設置海域だけでなくその中間の海域での衝突危険性が減少していることを確認した。個々の交通ルール実装後の効果を検証した研究は複数見られる(第 1 期中長期計画中に実施済み)が、2 つの交通ルールの相互影響に関連するものはほとんど見られずこれを明らかにした。これにより近接する海域で新たな交通ルールが導入される場合は、個々のルールによる効果の他、複数のルールの相互作用を考慮することが必要であることが示された(図 4-2)。
- ・OZT による海域の衝突危険性評価手法を高度化するため、OZT を見合い関係別に識別し、単位時間当たりの潜在的な衝突発生率を意味する OZT 占有率を考案した(図 4-3 (a)(b))。
- ・上述の成果を適用し、来島海峡航路西側海域の安全対策(経路指定による整流化と灯浮標撤去)における影響評価を実施した。その結果、見合い関係別で衝突危険性が全体的に低くなる(海域全体で横切りは約 0.8 倍に改善)とともに、その発生場所が分離でき、安全性向上が期待できる。さらに来島西側海域を航行する経路別の船舶の進路交差と変針点が分離されることにより、操船意図が明確化されることが期待できる。また、経路指定の西側及び、撤去予定の灯浮標周辺海域で新たな船舶交通の集中が予測された。別途開催された有識者委員会により当該安全対策の策定及び運用上の安全対策(マーチスの情報提供海域の拡大等)に本研究成果が活用された。当該安全対策は 2024 年 7 月 1 日に運用が開始される予定である(民間請負を受託)。

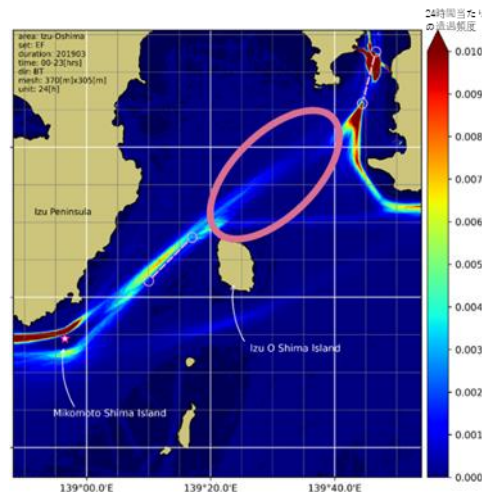
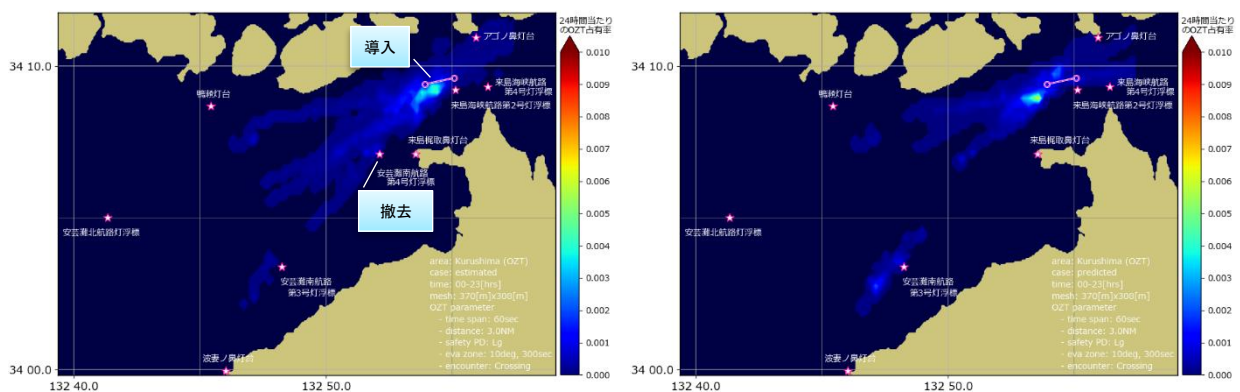


図 4-2 伊豆大島西岸沖～東京湾口部における反航船の遭遇頻度分布図(AIS データ:2019.3)



(a) 現状:安全対策導入前

(b) 将来予測:安全対策導入後

図 4-3 来島海峡航路西側海域における安全対策案の OZT 分布図(横切り関係)

・これまでに開発してきた遭遇頻度推定手法では、船群間の進路が完全に一致する場合には、速度差があったとしても衝突危険性が算出されなかった。そのため、同一進路に属する船舶が多い狭水道の評価には適さなかった。船舶交通の安全性評価手法の高度化として、狭水道における船舶の衝突に至る見合い発生状況进行分析するため、船群を進路と速度で定義して計算するよう推定手法を拡張した。関門海峡の交通流を解析したところ、図 4-4 において、従来手法と比較して、新手法では船群間の遭遇が多く検出されている箇所が赤くなっており、行会いと追いつきの関係で 1.4 倍、横切りの関係で 1.1 倍多く遭遇の発生が検出された。

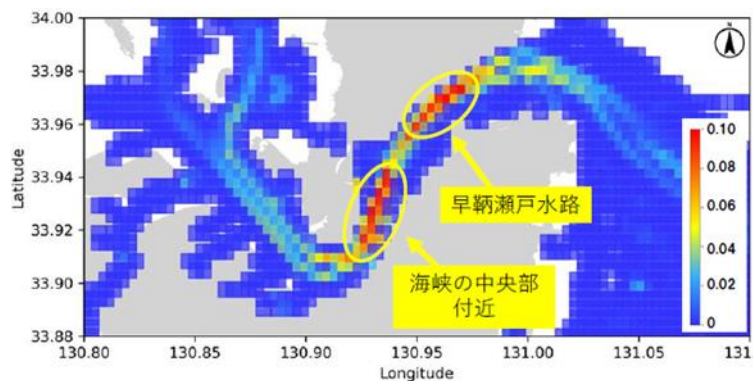
図 35 追越し関係における E_n の差[times/day]

図 4-4 関門海峡における従来手法と新手法の遭遇頻度分布差

・船舶の AIS 情報は目的地を含むが、個別の分岐等における行き先や詳細な操船意図は明示されない。これを解決することを目的として、AIS 航跡データから目的地を推定するため、隠れマルコフモデルを用いた機械学習を用いて交通流分岐点での行動選択を予測する手法を開発した(図 4-5)。



図 4-5 跡データによる目的地を推定手法のための教師航跡の例

・遭遇頻度を用いて、船舶間の出会角等の具体的な交通流の特徴量を考慮した任意の二つの船舶群間に存在する航行経路上の潜在的な衝突発生数の推定方法を開発した。さらに船舶版ダイナミックマップに寄与するため、当該手法を船舶版ダイナミックマップ試作版デスクトップアプリに実装するとともに、航路計画立案のユースケースを想定し、計画航路の設定機能および見合い関係及び時間別経路上の遭遇頻度算出機能の仕様を検討し実装した(図 4-6)。これにより現在は経済性に焦点を置いた航路計画で運航しているが、安全性にも考慮した計画立案が期待できる。また、当試作版は、オープンデータプラットフォームでの基盤プログラムとして活用予定である。ここで船舶版ダイナミックマップは、航路や水深等の 2D 静的情報の他、港湾施設等の 3D 静的情報や、自動運航船の自動運転や内航船の安全運航に有用な潮流や船舶動静データ等の動的データを一元的に重畳する地図を言う。

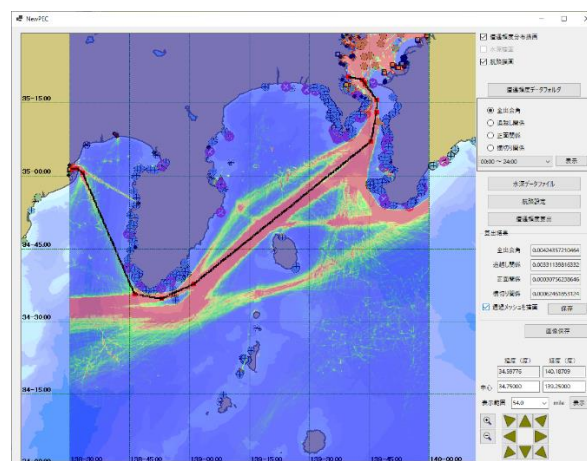


図 4-6 計画航路と遭遇頻度分布を航海用電子参考図に重畳した船舶版ダイナミックマップ試作版の表示例

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ))：10 件(投稿中：5 件、採択済：0 件、掲載済：5 件)

科学雑誌掲載論文

- ・T. Yuzui & K. Kaneko: Toward a hybrid approach for the risk analysis of maritime autonomous surface ships: A systematic review, Journal of Marine Science and Technology (JMST). (投稿中)
- ・鎌田創 ほか: Integration of multiple sensors incorporated into ROV for remote measurement in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.36 No.1 pp.71-78 (2024)(掲載済)
- ・Sonoko KAWASHIMA, Hiroko ITOH, Yasumi KAWAMURA and Hiroki OTSUKA: Analysis of the Situation Awareness of Remote Ship Operators: A Simulation-based Study. Transactions of Navigation, Volume 8 Issue 2, pp. 45-55, 2023. (掲載済)
- ・Y. SUYAMA et al.: Analysis of ship collisions around Hayatomo-Seto Waterway in the Kanmon Passage, Transactions of Navigation. (投稿中)
- ・H. OKA: Theoretical Analysis on a Fire-Induced Ceiling Jet in a Corridor under Natural Ventilation Condition Journal of Fire Sciences. (投稿中)
- ・Y. OKA et al.: Simple prediction model for temperature attenuation of fire-induced smoke layer in consideration

- of the starting position of the tranquil flow region in rectangular cross-sectional tunnel in natural ventilation, Tunnelling and Underground Space Technology. (投稿中)
- ・A. Tanno et al.: Smoke layer flow property induced by a weak fire plume in arched tunnels under natural ventilation, Tunnelling and Underground Space Technology. (投稿中)

査読付き国際会議論文

- ・R. Miyake & H. Itoh: Research on Change of Traffic Safety Accompanying the Successive Implementation of New Traffic Rules, Proc. of Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS) (2023) (掲載済)
- ・H. Itoh et al.: Relationship between estimated ship collision frequency and observed near misses in real traffic environment, Proc. of Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS) (2023) (掲載済)
- ・S. Kawashima et al.: Safe navigation routing using mesh-based encounter frequency, Proc. of Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS) (2023) (掲載済)

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文：24件(投稿中：0件、採択済：0件、掲載済：24件)

- ・T. Yuzui et al.: Development of Risk Analysis Procedure for Autonomous Ships, Proceedings of AMEC 2023 (2023)
- ・柚井智洋: 自動運航船のリスク解析のための Risk Index 計算法の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第37号 (2023)
- ・柚井智洋: 国際規則の観点からの船舶の安全確保の取り組み, 第14回横幹連合コンファレンス論文集 (2023)
- ・柚井智洋: システムモデリングを利用したハザード分析手法の紹介, 第5回 AI/IoT システム安全性シンポジウム (2023)
- ・石村恵子 ほか: 仮想の自動運航船の緊急オペレーション時における機能要件の検討, 第93回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集 (2023)
- ・三宅里奈 ほか: 新コンセプト船を支えるリスク解析技術に関する研究, 第23回研究発表会講演集 (2023)
- ・木村新太: アンモニア燃料の漏えい事象を対象としたガス拡散解析, 第23回研究発表会講演集 (2023)
- ・木村新太 ほか: 自然換気下における傾斜した細長い空間内を伝搬する火災熱流動現象の数値シミュレーション, 安全工学シンポジウム 2023 講演予稿集 (2023)
- ・木村新太: 海上技術安全研究所, セイフティエンジニアリング, 第47巻(3) 200号 (2023)
- ・木村新太 ほか: 液化アンモニアの水への溶解・気液平衡を考慮した蒸発モデルの検討, 第56回安全工学研究発表会講演予稿集 (2023)
- ・工藤潤一: 燃料タンク配置に係る代替設計支援ツールの開発, 第23回研究発表会講演集 (2023)
- ・工藤潤一: 水素燃料電池船の安全評価手法の開発, JSTRA 研究開発成果報告セミナー -内航船の課題解決に向けて- (2023)
- ・平尾好弘 ほか: VIBRATION ANALYSIS OF SPENT FUEL CASK TIED DOWN IN THE HOLD BASED ON MEASUREMENT OBTAINED DURING SEA TRANSPORTATION IN JAPAN, Proceedings of the 20th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (2023)
- ・近内亜紀子 ほか: Proposal on Improvement of the Review and Revision Processes of the IAEA Transport Regulations from Japan, Proceedings of the 20th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (2023)
- ・近内亜紀子 ほか: REVIEW OF THE A1 AND A2 VALUES, Proceedings of the 20th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (2023)
- ・大西世紀: 遮蔽計算のための基盤的可視化ソフトウェア Gxsview の新機能(3) 日本原子力学会 2023 年秋の大会予稿集 (2023)
- ・平尾好弘: 遮蔽解析の V&V ガイドライン策定に向けて(3) 規制の関心を踏まえたコード開発・認可観点での V&V, 日本原子力学会 2024 年春の大会予稿集 (2024)
- ・Yusuke SUYAMA, Sonoko KAWASHIMA, Hiroko ITOH and Yasumi Kawamura. Cause analysis of ship-ship collisions around Hayatomo-seto Waterway in the Kanmon Passage, Asia Navigation Conference 2023, Online.
- ・三宅里奈: 船舶版ダイナミックマップの試作版とガイドラインの作成, JSTRA 研究開発成果報告セミナー -内航船の課題解決に向けて- (2023)
- ・伊藤博子: 総合安全評価 (FSA) 手法を用いた小型旅客船の浸水安全対策の評価, 航海学会 海上交通工学研究会 (2024.3)
- ・H. Itoh: Assessing Risks and Fostering a Safety Culture for Next-Generation Fuels, Container Shipping Summit 2024 (2024.3)
- ・石川真菜美 ほか: 浅層モデルに基づく高密度ガス大気拡散予測モデルの改良とその評価, 第56回安全工学研究発表会 講演予稿集 (2023)
- ・後藤耀太 ほか: 自然換気時の矩形断面トンネル火災時に伝播する煙層性状への 火源位置と縦断勾配の影響, 第56回安全工学研究発表会 講演予稿集 (2023)

- ・岡泰資 ほか：自然換気型のアーチ形断面トンネル長手方向に沿って伝播する煙層性状に関する実験的検討，第56回安全工学研究発表会 講演予稿集（2023）

□特許申請：1件

- ・三宅里奈：OZTによる海域衝突リスク評価プログラム及びOZTによる海域衝突リスク評価システム（特願 2024-040082）

□コアプログラム登録：3件

- ・柚井智洋：自動運航船のリスク解析支援プログラム
- ・浅見光史：障害物が気流場に及ぼす影響を考慮した緊急時風況予測プログラム
- ・三宅里奈、河島園子、伊藤博子：船舶版ダイナミックマップ基盤プログラム

□国際連携活動：6件

- ・近内亜紀子：第46回輸送安全基準委員会（TRANSSC46）におけるIAEA 輸送規則の技術的基礎文書に関する専門家会合に関する議長報告
- ・近内亜紀子：第46回輸送安全基準委員会（TRANSSC46）におけるE&T35の質問状に対する回答の作成
- ・工藤潤一：IMO CCC 9/7 Draft revised interim recommendations for carriage of liquefied hydrogen in bulk（2023）（focal pointを務めた非公式IMO CGレポート）
- ・塩莉恵：IMO MSC 107/5 Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Report of the Correspondence Group（2023）
- ・塩莉恵：ISO/TC 8/WG 10 出席
- ・伊藤博子：自動運航船に係る国際規則案の策定への貢献

□受賞：2件

- ・河島園子：海上・港湾・航空技術研究所理事長表彰（個人表彰、最優秀論文賞）、Calculation of the number of ship collision candidates using mesh-based estimation method for ship traffic data, Journal of Marine Science and Technology, Volume27, Issue4, pp.1233-1251, 2022
- ・A. Tanno, Y. Oka, H. Oka, K. Matsuyama: Best Poster Award of 14th International Symposium on Fire Safety Science, A simple model to predict the temperature attenuation of smoke layer propagating along the arched tunnel axis under natural ventilation

□公開実験：0件

・

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか

- ・我が国及び世界中で自動運航船の開発が進められており、主管庁や船級のガイドラインではリスク解析の実施が求められている。また、IMOにおいて自動運航船の国際規則であるMASS Codeに関する審議が進行中である。安全な自動運航船の開発/認証やMASS Code策定のためのリスク解析技術の整備が求められており、社会ニーズに適合するものである。
- ・国土交通省が策定した国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップに基づき水素やアンモニアの新燃料の安全利用を図るため、事故時の緊急対応にあたる海上防災当局等が定量的にリスクを見極めるためのリスク解析技術の整備が必要となっており、これに対応するものである。
- ・大型解体廃棄物の輸送時の内部汚染推定については現在確立された手法がないため、事業者・規制当局で勉強会を開く等して現状の共有を行っている段階であり、この問題の解決への寄与は非常に社会的ニーズの高いものである。
- ・海上交通の安全確保においては、第5次交通ビジョンにおける再エネ海域利用法を背景とした施設設置海域の海上交通の安全対策の実施および準ふくそう海域に導入された安全対策のレビューが計画されている。また自動運航の普及促進においては、船外のデジタル環境の整備に向けた船舶版ダイナミックマップの構築の取り組みが進められている中、本研究は社会のニーズに合致している。

□成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きい

- ・利用可能なデータの不足等の理由から船舶のリスク解析は従来専門家判断が多用され客観性が低いと考えられる。自動運航船では更にデータは不足し、かつ専門家の知見も不足している。このような状況の自動運航船のリスク解析を定性的にも定量的にも客観性を向上させるための研究であり、科学的意義は十分に大きい。
- ・開発する水溶解モデルは、アンモニアのみならずメタノール、アクリル酸等の水溶性を有する化学物質にも原理的に適用可能であり、この成果はこれらの危険物の輸送中の海上漏えいに伴う影響を懸念する海上防災機関の要望に応えるものである。
- ・簡易遮蔽解析コードで用いるビルドアップ係数の概念は古くから存在するものであるが、今年度計算した結果は

従来からの適用範囲を大きく拡張しておりまた値自体も大幅に更新されており、今後の用途は非常に広いと考えられる。

- ・海上交通に関する研究では、海域の衝突危険性の評価手法の高度化及び安全運航を支援する技術に関する研究を行っている。従前より新交通ルールの構築に向けた安全性評価が実施されてきたが、本研究では見合い関係別や速力差を考慮する等、従前よりも詳細に衝突危険性を評価する技術に関する研究を進めており科学的意義は大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか

- ・自動運航船の開発及び MASS Code の策定作業は現在進行中であり、適切な時期に研究が進められている。
- ・現在、GHG 排出削減のためのアンモニアの燃料利用技術の開発が盛んに進められており、その安全利用において事故時の被害影響を定量的に把握するための漏洩・大気拡散解析技術は必要不可欠であり、適切な時期に研究に取り組んでいるといえる。
- ・大型解体放射性物質廃棄物の輸送は今現在問題となっているものである。当年度に完全に実用的なシステムを完成できていないが、その取り掛かりとして適切な時期に研究を開始できていると言える。
- ・第5次交通ビジョンの施策が2023年4月より開始されており、その施策の中の船舶交通安全に関する諸対策の成果創出のための要素技術に関する研究を適切な時機に進めている。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか

- ・主管庁や船級の自動運航船に関するガイドラインではリスク解析の実施を求めており、また現在策定中の IMO MASS Code でもリスク解析の実施が求められているが、その詳細は規定されていない。リスク解析の手順書の策定等を実施した本研究は、そのような状況における自動運航船の開発や主管庁/船級による認証を支援するものであり、自動運航船に関する我が国の国際競争力向上に繋がるものである。
- ・物理化学現象を考慮した影響解析モデルに関する研究は、既存の影響解析モデルでは十分に考慮されてこなかった現象に焦点を絞って研究を行うものであり、特にアンモニアのような化学変化の考慮が被害影響に大きく影響を及ぼす場合においては極めて重要な要素である。GHG 排出削減のためのアンモニア燃料利用を安全性の観点から支援するための技術であり、国際競争力の向上につながるものである。
- ・簡易遮蔽コードについては近年海外での更新はなく、光核反応の寄与のような新しい知見を取り入れていないため、当コードは最先端の研究開発を行っていると言える。大型解体放射性廃棄物の輸送は今後原子力発電の継続には不可欠なものであり、その円滑な実施への寄与は我が国の国際競争力の向上への寄与に等しい。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

- ・該当しない

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

- ・自動運航船のリスク解析は船級のガイドライン等で実施が求められているがその詳細は規定されていない状況下、本研究は定性的評価手法および定量的評価手法の両面からリスク解析技術を構築するための研究を進めている。さらに本研究で得た成果の一部が現在策定中の IMO MASS Code の審議に活用されたことは特筆すべき成果である。
- ・アンモニアの海上漏えい及び大気拡散に関する研究は、海事分野におけるアンモニア利用技術の社会実装のための安全確保の観点から重要な意義があり、これに向けて既存の評価モデルの高度化を図るべく研究を行っている。本年度は本研究計画の基幹部分としてアンモニアの溶解蒸発モデルを開発した。本研究成果は、アンモニアの水への溶解モデルの改良を行う。また、今後蒸発したアンモニアの大気拡散モデルの開発を行う予定である。
- ・放射性物質輸送に関する研究では、大型解体廃棄物の内部表面汚染密度の簡易推定法を改良し計算の高速化を図った。また放射性物質輸送事故評価システムの高度化のため、地形変化を考慮できる風況解析モデルを導入した。大型解体廃棄物の輸送は今現在問題となっているものであり、これに対応する成果を創出している。
- ・船舶交通の安全確保及び自動運航の普及促進において、安全性評価手法の高度化、航海支援技術の開発、船舶交通ルールを導入後の効果検証等の研究を進めている。また、来島海峡航路西側海域にて連続して死亡衝突事故が発生したことを受け、有識者委員会が設置され、当該海域の安全対策（経路指定と灯浮標撤去）が年度内に検討されることとなった（運用開始は 2024 年 7 月 1 日を予定）。本研究での成果の一部を適用して実施された安全対策案の影響評価は、その効果および課題を明らかにし、運用上の対策立案の基礎資料として重要な役割を果たした点において顕著な成果であると言える。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A

研究開発課題	(1)① 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発	
研究テーマ	重点 4 操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究	
中長期目標	中長期計画	R5年度計画
海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 ー海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着岸操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。等

研究の背景

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る。

具体的には、以下があげられる。

- ・ 情報通信を利用した自動避航・着岸システムに関する研究
- ・ 安全評価技術の高度化のための総合シミュレーションシステムの構築
- ・ 外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法に関する研究

期間全体の研究目標

- ・ 自動避航、自動着岸(係船までを含む)を統合した自動運航システムの構築
- ・ 操船自動化・操船支援システムの安全評価手法の確立、評価用テストプラットフォームの基準策定
- ・ 外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法に関する研究：海難事故再現技術や自動運航船の安全性評価のための基盤の確立

上記成果は、以下があげられる。

- ・ 開発した自動運航・運航支援システムを用いた実証実験を通して、船員負荷軽減に貢献することで、船員の負担軽減、海事産業の競争力強化が図られる。
- ・ 既存船舶と共存する環境下においても実運航を可能とする安全評価の策定により、操船自動化・操船支援システムの開発及び実用化の促進が期待される。また、評価用テストプラットフォームの基準を明確にすることは安全評価の妥当性を示し、安全性の確保につながるものとなる。
- ・ 自動運航機能を備えた船舶の外洋中安全性評価及び海難事故の再現技術と解析技術の向上に貢献する。また、外乱下での避航操船アルゴリズムの早期検証に関与・貢献することで、我が国の自動操運航船実用化に関する国際競争力が強化される。
- ・ 操船自動化・操船支援システムの普及により、船員不足への対応、ヒューマンエラーによる海難事故の削減に寄与できる。また、先進的な技術開発を行うことで、我が国海事産業の国際競争力の強化が図られる。

R5年度研究目標**□サブテーマ1**

- ・ 避航操船・離着岸システムの改善と計測技術高度化検討、課題抽出

□サブテーマ2

- ・ 避航操船及び離着岸操船を対象とした安全評価技術の高度化、緊急時対応の機能要件の抽出

□サブテーマ3

- ・ 操縦運動(前進+斜航・旋回)する船に働く波長影響を考慮した規則波中定常波力計算法のテストアルゴリズム

R5年度研究内容**□サブテーマ1**

- ・ VHF 等の通信により航過方法を合意し避航を行う必要がある海域においても自動避航を可能とするアルゴリズムの開発を目標に相手船の将来行動を考慮した避航アルゴリズムを構築する。今年度は相手船の変針を考慮した避航アルゴリズムを構築する。シミュレータまたは小型実験船で実験を通して実船適用へ向けた課題を抽出する。
- ・ 係船までを含めた模型船試験を行うとともに、計測技術の高度化のために、カメラまたは LiDAR を使用した計測技術の検討を小型実験船を用いて行い、実船適用へ向けた課題を抽出する。

□サブテーマ2

- ・ 総合シミュレーションシステムを用いた自動避航アルゴリズム及び自動離着岸アルゴリズムの評価手法を検討する。
- ・ 自動航行システムから操船者への引継ぎが必要な状況を操船シミュレータで再現し、警報内容及び警報発令のタイミングを中心に緊急時オペレーションの機能要件を検討する。

□サブテーマ3

- ・ 細長体を前提として主に船体動揺による成分に着目した既存の直進時の定常波力計算法について、そのプログラムコードを作成するとともに、斜航・旋回状態に実用的に拡張する手法の検討を行う。
- ・ 前中期計画期間までに開発した短波長域の計算法と上記の計算法をブレンディングすることで、幅広い波長域で適用可能な操縦運動(前進+斜航・旋回)する船に働く規則波中定常波力計算法のテストアルゴリズムを提案する。また、テストアルゴリズムに基いたプログラムコードを作成し、既存の模型試験結果と比較することでその推定精

度の検証を行う。

R5年度研究成果

□サブテーマ1

- ・相手船の将来行動を考慮するために、相手船による妨害領域(Obstacle Zone by Target: OZT)に、相手船の変針を加えた変動OZTを提案し、変動OZTを考慮した避航アルゴリズムを開発し、避航操船システムへの組み込みを行った(図 1-1、図 1-2)。避航操船システムを実海域での運航データを元にしたシミュレーションに通して効果を検証し、1 件の学会発表を行った。
- ・小型実験船を用いて、みちびきを含む複数の GPS システムの中で一つが故障した場合に他の GPS に自動で切り替えるフォールバックシステムを検証した。
- ・係船を含む離着棧システムのため、模型船試験及び小型実験船による LiDAR を用いた計測技術の検証を実施し、LiDAR の計測可能範囲など、実用化に向けた課題を抽出した(図 1-3)。
- ・港内の荷役場所近くでプッシャー船から切り離されたバージを遠隔操船で着棧させる短距離遠隔操船実験を小型実験船で実施し、Wi-Fi 通信によるタブレットを用いた操船システムの適用可能範囲、安全対策プログラムの機能などを確認した(図 1-4)。

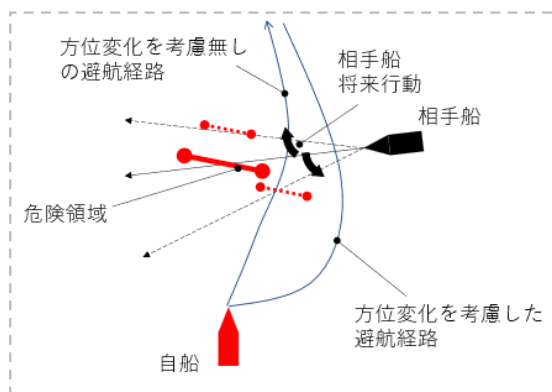


図 1-1 変動OZT

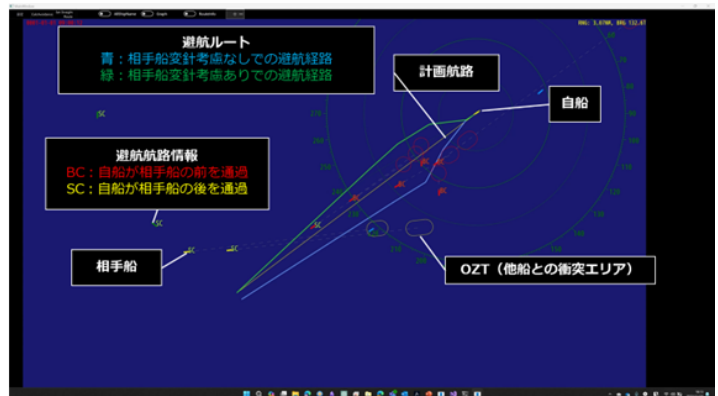


図 1-2 避航操船システム

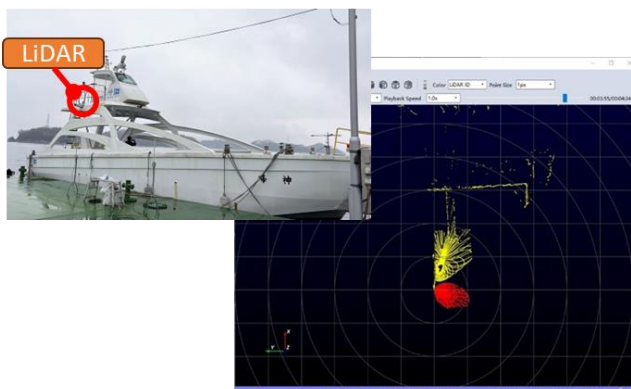


図 1-3 LiDAR 計測



図 1-4 タブレット操船システム

□サブテーマ2

- ・日本海事協会と連携し無人運航船の操船自動化システムに関する IMO GBS (Goal Based Standard) の Tier 4 相当の内容を想定した認証ガイダンス案(図 2-1)を策定した。認証ガイダンスは、自動運航船の安全性の認証において、シミュレーションを用いた評価が必要な項目に対し認証する際の手順を定めるものであり、避航操船タスクと離着棧操船タスクの自動化機能を対象としている。
- ・総合シミュレーションシステムと外部システムの接続の利便性を図るため、IEC61162-450 に準拠したメッセージを生成するモジュール及び IEC61174 で定められている、ルート交換用フォーマットの読み込みモジュールを開発した。
- ・操船シミュレータにおいて昇橋後の航海当直引継ぎが必要な事象を再現し、船員による操船のオーバーライドが適切に行われるための警報発報のタイミングや船員への通知内容等に関する機能要件を求めるため、現役の航海士を被験者として実験を実施した。実験は、自船から 3nm レンジ内に 5 隻以内とする ODD の輻輳度の超過時(図 2-2)及び波高・風速に関する ODDe 条件超過時の引継ぎについて、支援機器及び情報提供の有無を変化させた場合の所要時間及び状況認識結果を計測した(図 2-3)。ODD(輻輳度)逸脱時の既存の航海機器のみによ

る航海当直引継では、90%程度の実験参加者が5分以内に航海当直の引き継ぎを終えることを確認した。あわせて、支援機器を用いた航海当直引継及び逸脱した ODDe 情報の有無による航海当直引継の違いについても検証し、支援機器等による所要時間及び状況認識結果変化があまりないことを確認した。なお、今年度の実験では、実験の設定やユーザインタフェースの関係で、支援機器の有用性は示されなかったが情報自体は有効との主観的評価を得ており、支援情報の有効的な提供については今後の課題である。

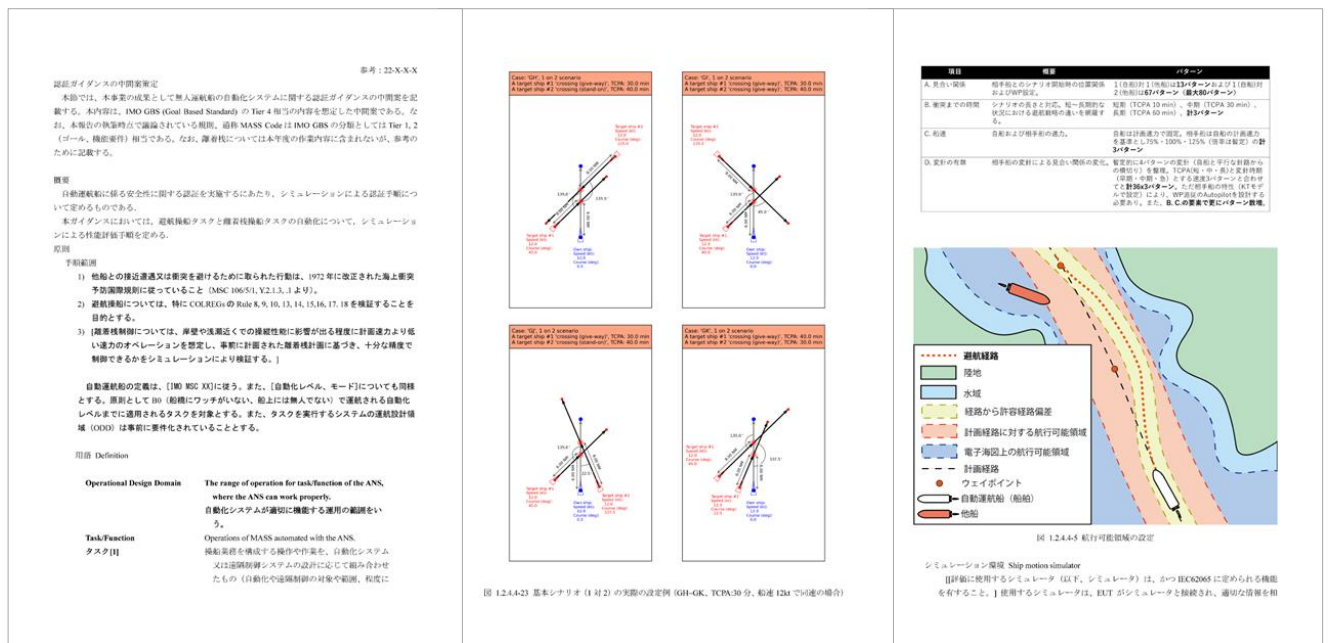


図 2-1 認証ガイダンス案(抜粋)

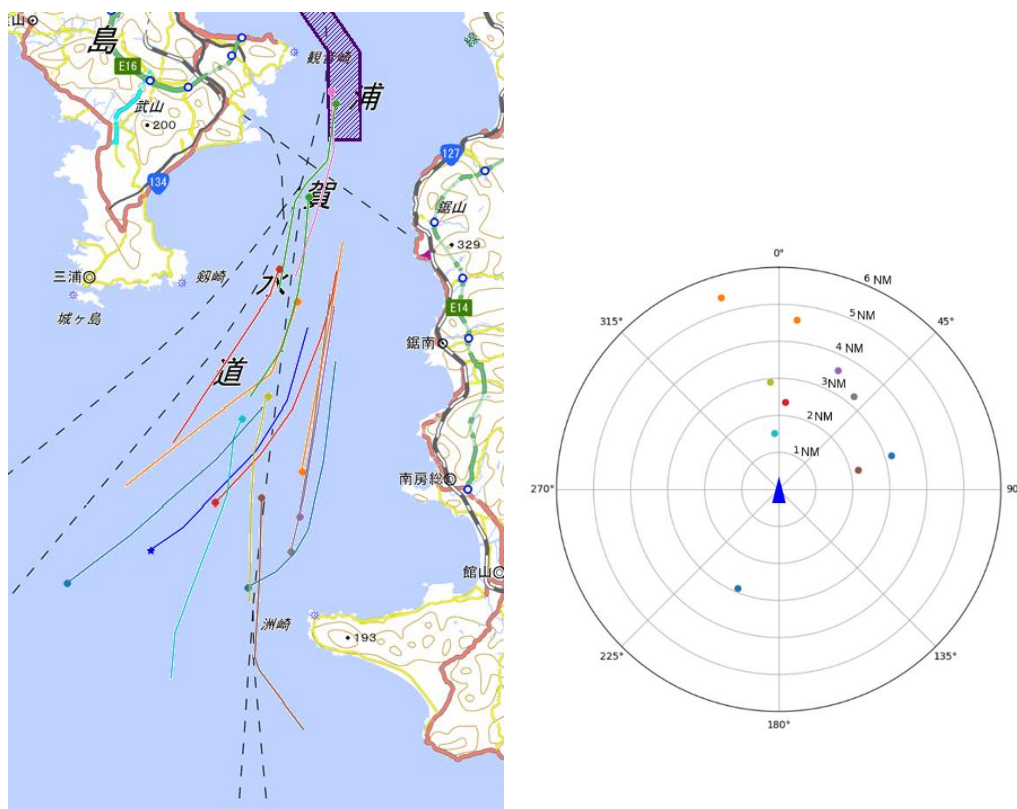


図 2-2 東京湾実験シナリオ例

左：計画航路(自船：青)、右：ODD(輻輳度)逸脱の警報発報時の他船位置(自船原点、船首方位 0°)

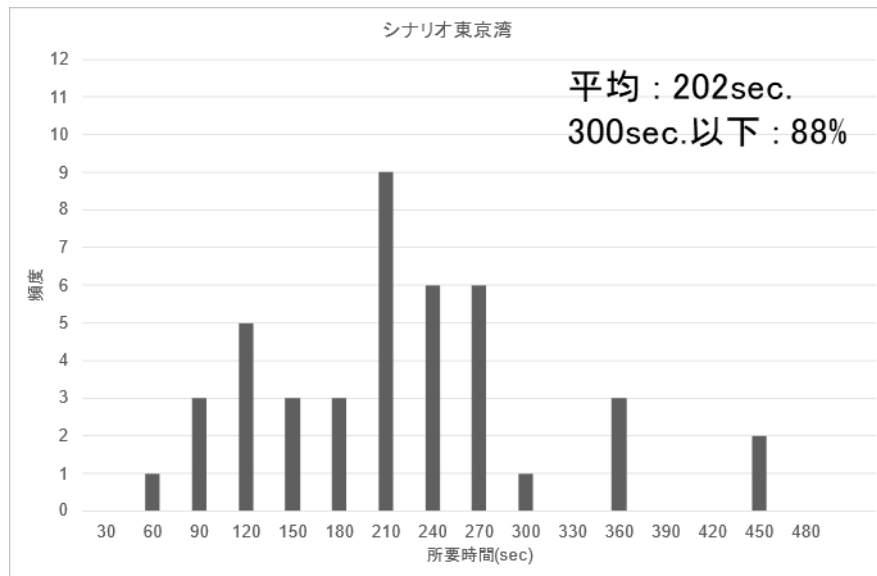


図 2-3 航海当直引継に要する時間(東京湾シナリオ)

□サブテーマ3

- ・細長体を前提として主に船体動揺による成分に着目した既存の直進時の定常波力計算法(Salvesen, 1974)について、梅尾ら(2022)の考え方に倣って、斜航状態に実用的に拡張する手法を提案し、既存の模型試験結果との比較からその妥当性を検証した(図 3-1 破線参照)。その結果、船体動揺による成分が支配的な中波長域(波長船長比 >0.7 程度)以上において、提案した手法で定常波力の斜航角による影響を概ね妥当に捉えることができることを明らかにした。一方で、細長体等の仮定により、短波長域においては、既存の直進状態を含めて前後力と横力の絶対値を過小評価することを示した。
- ・前中期計画期間までに開発した短波長域の計算法と上記の計算法を、ITTCにおける波浪中抵抗増加(定常波力前後成分)評価の推奨法の1つであるSNNM法(Wang et al., 2021)に倣って統合することで、幅広い波長域で適用可能な操縦運動(前進+斜航・旋回)する船に働く規則波中定常波力計算法を提案した。また、既存の模型試験結果と比較することでその有用性を明らかにした(図 3-1 実線参照)。
- ・上記統合法の基となる前中期計画期間までに開発した短波長域の計算法について、科学雑誌掲載論文 2 件にまとめ、1 件は掲載済み、もう 1 件は採択済みとなった。

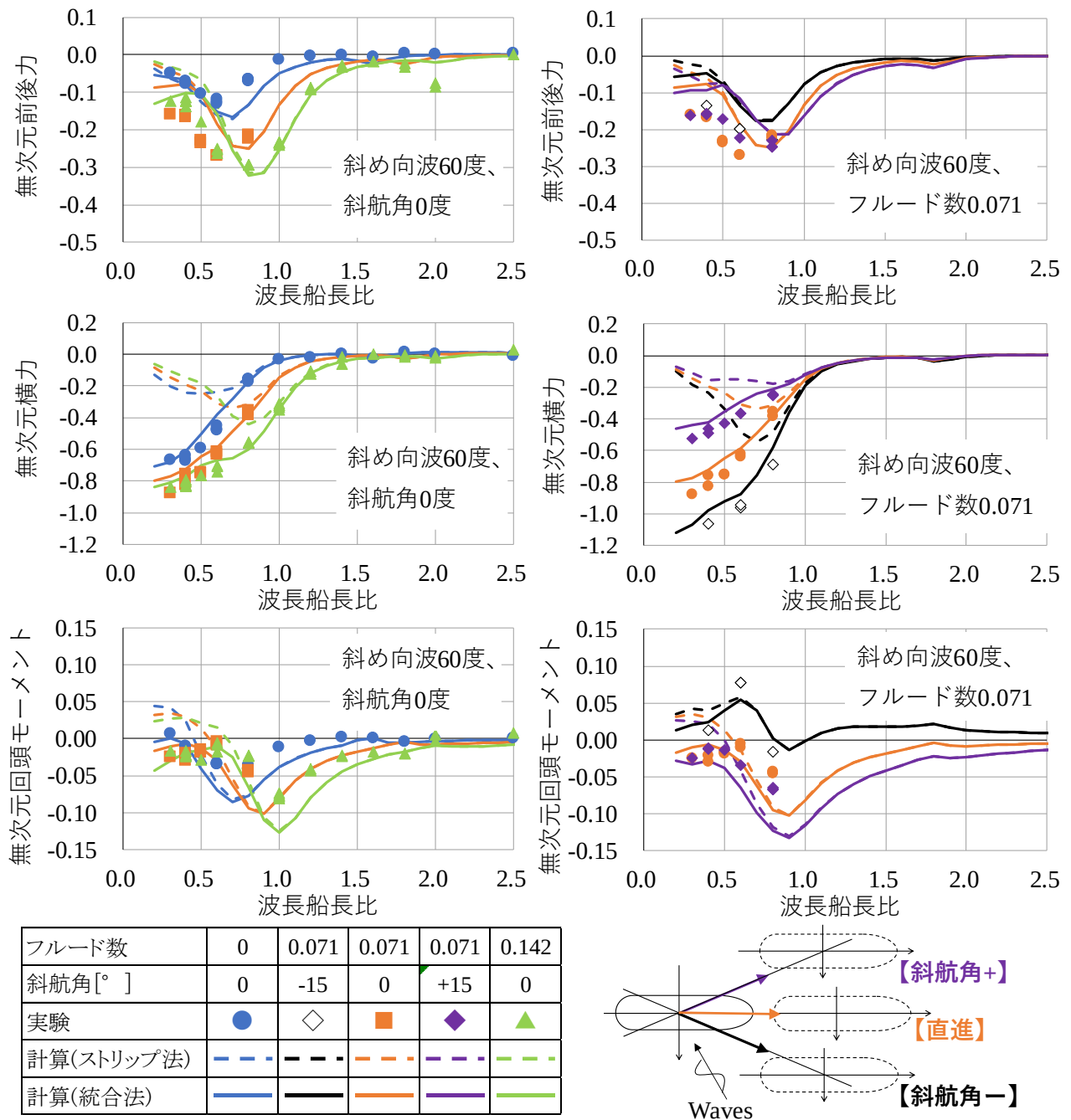


図 3-1 提案した手法による操縦運動(前進+斜航・旋回)する船に働く規則波中定常波力の推定結果および検証の例(VLCC, 斜め向波)(左図:前進速度影響、右図:斜航影響)

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ)): 8 件(投稿中: 2 件、採択済: 3 件、掲載済: 3 件)

科学雑誌掲載論文

- ・Suzuki, R., et al.: Estimation of Steady Wave Forces and Moment Acting on an Obliquely Moving Ship in Short Waves, and its Application in a Manoeuvring Simulation, Applied Mathematical Modelling, Vol. 125, part A, pp.261–292 (2023). (掲載済)
- ・Suzuki, R., et al.: A Prediction Method for Steady Wave Forces and Moment Acting on Ship Manoeuvring in Short Waves, International Journal of Offshore and Polar Engineering (IJOPE). (採択済)
- ・小林充他: 不特定浮遊障害物のカメラ画像検出プログラムの開発, 日本航海学会論文集, 第 149 巻, pp.48–55 (掲載済)
- ・Sawada, R., Sato, K., Minami M.: Framework of Safety Evaluation and Scenarios for Automatic Collision Avoidance Algorithm, Ocean Engineering, (2024) (採択済)

- ・Sawada, R. et al.: Perspective on the Marine Simulator for Autonomous Vessel Development, Journal of Marine Science and Technology. (投稿中)
- ・Wada, S., Sawada R., Maki, A.: Structure Design of a Development and Evaluation Platform for Autonomous Ships, Journal of Marine Science and Technology. (投稿中)

査読付き国際会議論文

- ・Suzuki, R.: A Practical Method of Predicting the Wave-induced Steady Forces and Yaw Moment Acting on a Ship Advancing in Oblique Waves, Proceedings of the 34th International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE2024). (採択済)

その他の全文査読付き論文等

- ・澤田涼平: 自動着機の制御とセンシング技術に関する研究, 大阪大学学術情報庫 OUKA(学位論文)(2024)(掲載済)

□その他発表論文: 10 件(投稿中: 2 件、採択済: 0 件、掲載済: 8 件)

- ・佐藤圭二 ほか: 将来の OZT を考慮した避航アルゴリズム, 日本船舶海洋工学会 令和5年秋季講演会.(掲載済)
- ・澤田涼平 ほか: LiDAR を用いた着機操船のための船上岸壁検知, 日本船舶海洋工学会 令和5年秋季講演会.(掲載済)
- ・Sawada, R.: Research on Automatic Berthing Control, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers Autumn Conference 2023.(掲載済)
- ・小林充 ほか: 不特定浮遊障害物のカメラ画像検出プログラムの開発, 日本航海学会講演予稿集, 第11巻, 第1号.(掲載済)
- ・南真紀子: AIS 情報を用いた自動避航操船評価用シミュレーション シナリオ生成に関する一考察, 日本機械学会第32回交通・物流部門大会講演論文集(掲載済)
- ・南真紀子 ほか: 自動運航船技術の実装と評価に向けて, 海上技術安全研究所報告, 第23巻別冊(掲載済)
- ・沼野正義 ほか: マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -VII 動的情報の管理支援-, 日本マリンエンジニアリング学会, 第93回マリンエンジニアリング学術講演会論文集.(掲載済)
- ・石村恵子 ほか: マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -VIII 船用機関の操作支援-, 日本マリンエンジニアリング学会, 第93回マリンエンジニアリング学術講演会論文集.(掲載済)
- ・牧敦生 ほか: 船舶操縦制御アルゴリズム評価に適用可能な風と波の不規則時系列の簡便な計算アルゴリズム, 日本船舶海洋工学会 令和6年春季講演会. (投稿中)
- ・澤田涼平: 避航操船の諸指標値に対する主観評価の解析法に関する考察, 日本船舶海洋工学会 令和6年春季講演会.(投稿中)

□特許申請: 0 件

・

□コアプログラム登録: 1 件

- ・ファストタイムシップシミュレーター V2.0

□国際連携活動: 0 件

・

□受賞: 1 件

- ・澤田涼平: 日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞)、「Automatic berthing control under wind disturbances and its implementation in an embedded system 他1件」

□公開実験: 1 件

- ・短距離遠隔操船システムに係る実船実験(3/25 実施)

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか

- ・自動着機及び係船は、特に多くの船員を必要とする作業であり、また小型船舶の場合は風や潮流の影響を受けやすいため船員にかかる負担が大きい。そのため、着機・係船作業の支援システムは作業の省力化につながる技術として期待される。
- ・日本財団の MEGURI2040 プロジェクトに参画し、安全性評価を担当し認証ガイダンス案の策定等に貢献した。また、IMO で検討が進む MASS ガイド(非強制 MASS コード案)において、日本が担当する Navigation 部分の作成に貢献した。

- ・国土交通省海事局が公表している「自動運航船の実用化に向けたロードマップ」によると、自動運航船の実用化目標は2025年に定められている。自動操船アルゴリズムを早期検証するには、限りなく実際の船橋に近い操船環境を再現する「操船シミュレータ」が有用である。上記ロードマップにも示されている通り自動運航船の基準や制度は外航船にも拡大していく方針であるため、操船シミュレータには、操舵等による船体応答に加えて、波による操縦運動の変化までもリアルに反映されることが求められる。その中で、今年度提案した定常波力計算法は、船舶の波浪中の操縦運動をより妥当に評価し得るものであるため、本成果は社会のニーズに適合しており、海上における「安全・安心の確保」に貢献している。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい

- ・小型実験船による研究を進めてきた自動着岸・係船システム及び非常停止機能の多種多様な船舶への適用範囲を拡大するため、199GT 内航船及び小型作業船による実船試験を実施しており、今後の発展が見込める。
- ・操船シミュレータによるシステムから操船者への引継は自動航行船特有の問題でこれまで検証されていないものである。システムと人の相互作用は重要な要素であり今回取得したデータは今後の発展の基盤となり得る。
- ・船舶の波浪中操縦性能を評価するための定常波力推定法に関する研究はこれまでに数多く実施されてきているが、その殆どは船体が直進している状態を前提としており、船体の横流れ(斜航)による変化の影響を考慮可能なものは極一部に限られる。更にその一部研究においても、波長域が限定されている、正確な推定値を得るための計算スキームが非常に複雑である、模型実験による検証が十分になされていない等の問題点がある。他方、本年度提案した定常波力計算法は、比較的簡便な理論を基に船体の横流れや旋回による変化の影響を考慮可能としたものであり、且つ幅広い波長域において妥当性も検証済みであるため、新規性がある。
- ・今年度提案した操縦運動(前進・斜航・旋回)する船に働く規則波中定常波力計算法は、例示した斜め向波に限らず正面向波から追波までの幅広い波向きにおいて妥当性は検証済みである。また、検証した対象船は現在のところ VLCC の1隻のみであるが、提案した計算法の仮定等に船型による制限は設けていないため、本計算法は様々な船に対して適用可能である。よって、本成果の一般性は十分大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか

- ・現在、国を挙げて自動運航船の研究開発を進めている段階であり、離着岸アルゴリズム、避航操船アルゴリズムの認証ガイダンス作成や自動化システムの各要素の開発、実船搭載の検討等計画どおり期待された時期に成果が出ている。
- ・国内外において自動運航船の安全性評価手法について検討され始めているが、それらは波のない平水中を前提としたものである。一方で、自律性が高く最終意思決定者が船員以外となる領域が存在する自動運航船およびその安全性評価手法の開発を進めていくためには、波浪等の外乱の影響を無視することは出来ないため、その議論は将来的に外乱中にまで拡大されていくと予測される。本研究成果はその方向性に真っ先に応えるものであるため、期待された時期に成果が創出されていると言える。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか

- ・サブテーマ1で対象としているのは、近年研究が進められている自動運航船の開発に必要な要素技術であり、我が国海運の国際競争力の強化に資する。
- ・現在、国内外で発表されている自動着岸システムはスラストやポッド推進等の高度な操縦機構を備えた一部の専用船に適用できるものである。一方で本研究のシステムは一軸一舵の船であれば広く適用できる。
- ・自動運航船の安全評価は各国が検討を進めているところであり、日本としての方針を明示し、IMO等のガイドラインに反映させていくことは国際競争力の向上につながる。
- ・波浪等の外乱の影響を考慮した自動運航船の安全性評価手法は、未だ他国から提案されていないため、本研究成果を基として我が国がこの点に関する国際ルールの策定を主導する機会と成り得る。これにより、必ずしも技術的合理性のない基準・ガイドラインの導入による社会的コストの増加を防ぎながら、船舶の安全性向上と我が国海事産業の社会的負担のバランスを確保する合理的な安全性評価体系の構築ができ、国際競争力の向上につながる。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

- ・自動化システムの多種多様な船舶への適用拡大や社会実装を念頭に実運航船へ搭載し、遠隔監視機能や緊急停止機能等の機能確認を行った。
- ・自動運航船の安全性評価は社会実装に必要な技術であり、自動化の各機能の開発時の知見を活かし、認証ガイダンス案の作成等を行った。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

自動運航船に関する研究として、前中期計画から引き続き開発を進めている自動避航、自動離着桟・係船等の自動化システムの研究では、所内複数の系や外部機関・企業と連携した体制で実施し、実験船だけでなく実運航船に搭載し機能を確認するなど顕著な成果が出ている。

自動化システムの安全性評価では、船技協と連携し IMO に提案した日本案の作成に貢献し、また離着桟操船及び避航操船の各アルゴリズムの評価について、日本海事協会と連携し認証ガイダンス案を作成した。そして、安全性評価用プラットフォームとしてこれまで開発してきた FTSS 及び SHS では、外部システムの接続を IEC 規格に対応させるなど安全性評価実施に向けた検討が行われている。

操船シミュレータに組み込める程度の計算時間を考慮した幅広い波長域で適用可能な操縦運動する船に働く規則波中定常波力計算法を提案し、実験結果等との比較による評価を実施した。中～長波長域のさらなる精度検証が必要であるが、操船シミュレータの再現の精度向上に資するものである。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A

研究開発課題 (2)② 実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発

研究テーマ 重点5 実海域実船性能向上に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、水素・アンモニア等のゼロエミッション燃料の燃焼解析技術を始めとする温室効果ガス削減技術の高度化及び実海域における実船性能向上に関する研究開発、並びに船舶の運航時における環境負荷低減に資する基盤的技術及び環境影響評価手法等に関する研究開発に取り組む。	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。加えて、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発 一 代替燃料を用いた実海域性能評価法の開発、水槽試験とCFDの同化手法についての検討、船舶性能統合データベースの全体設計を行う。等

研究の背景

国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。

具体的には、以下があげられる。

- ・実海域性能推定による省エネ船ライフサイクル燃費評価技術の開発
- ・計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発
- ・内航・外航の実船データによる性能分析結果を用いた診断技術の開発

期間全体の研究目標

- ・実海域性能推定による省エネ船ライフサイクル燃費評価技術の開発：ゼロエミッションにむけた実運航時の GHG 排出量・燃料消費量を設計要素・運航モデルに基づくシミュレーションにより評価する技術の開発
- ・計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発：設計要素についての評価のための水槽・シミュレーション・実船データ連携による世界初・世界一となる性能推定技術、キャビテーション水槽・シミュレーションによる水中騒音の事前推定技術及び騒音低減技術の開発
- ・内航・外航の実船データによる性能分析結果を用いた診断技術の開発：運航中の既存船の実海域性能向上のための水槽・シミュレーション・実船データを統合したデータベースによる実海域性能改善提案技術の開発
- ・運航中の既存船の実海域性能向上のための、代替燃料プラントを含めライフサイクル燃費を評価できる技術、実験とシミュレーションを同化させた推定技術を組み合わせ、実海域実船性能の診断技術の開発

上記成果は、以下があげられる。

- ・ライフサイクル燃費評価をベースとした GHG 削減技術の実現（船社、造船所、船用メーカー）
- ・環境規制に適合した船舶の建造・普及（造船所、船用メーカー）
- ・実運航の改善による GHG 削減（船社）

【社会的観点】

水槽・シミュレーション・実船データを連携した船舶性能統合データベースによる実海域実船性能の向上により、船舶からの GHG 削減が実現し、海洋環境が保護される。また、ライフサイクル評価技術の国際標準化により、船の生涯における GHG 削減が図られる。

水中騒音評価技術の開発により、適切な騒音低減対策が実施され、海洋環境が保護される。

海事クラスター共同研究での人材育成を通じ我が国海事産業（クラスター）競争力強化に資する。

ITTC や国際シンポジウムで成果を展開し、我が国の国際的プレゼンス向上に資する。

【経済的観点】

国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。

GHG 削減技術の正確な評価により、造船業の国際競争力が強化される。

ウェザールーティングと連携した実海域性能向上技術の開発により、我が国海運のコスト低減が達成される。

【国際的観点】

船舶性能統合データベースに基づく船舶の省エネ化、運航改善により、国際海運の排出する温室効果ガスが削減され、地球環境が保全される。

環境性能に優れた船の実現、運航技量改善方法の採用等により、GHG 排出規制の的確な実施が図られ、IMO 等の期待に応えられる。

北極海航路の性能推定技術により、ポーラーコード等の技術的要請に応えられる。

R5年度研究目標

□サブテーマ1

- ・水槽試験により低速船・肥大船の性能評価を行う。
- ・代替燃料を用いた実海域性能評価法を開発する。
- ・ウェザールーティングと連携した自然エネルギー等を利用する省エネ技術評価法を構築する。

□サブテーマ2

- ・波浪中抵抗増加の時系列評価法を構築する。
- ・水槽試験と CFD 同化について手法を検討する。
- ・水槽試験とシミュレーションによる水中騒音推定における課題の抽出と対応方針の策定を行う。

□サブテーマ3

- ・実海域実船性能評価統合アプリを作成する。
- ・船舶性能統合データベースの全体設計を行う。
- ・ウェザールーティングと連携した実海域性能向上方針を策定する。

R5年度研究内容

□サブテーマ1

- ・低速での水槽試験における課題の解決法について検討を行い、水槽試験による低速性能評価を実施する。
- ・代替燃料搭載船の実海域性能評価法を開発する。
- ・風力アシスト船について、ウェザールーティングと連携した省エネ性能評価法を検討する。

□サブテーマ2

- ・波浪中抵抗増加の変動振幅周波数応答について水槽試験を実施し、精度を検証する。
- ・水槽試験と CFD 同化手法の要件定義を行い、同化手法の選定とコード開発、試計算を行う。
- ・水槽試験とシミュレーションによる水中騒音推定における課題の抽出と対応方針の策定を行う。

□サブテーマ3

- ・実海域性能推定プログラムをベースに機能拡張を行い、実海域実船性能評価統合アプリを作成する。
- ・船舶性能統合データベースを構築するため、その全体設計を行い、評価アプリと水槽試験データベースを接続する。
- ・省エネ技術の海象影響及び、最適航路探索のための評価指標となるパラメータの検討を行う。

R5年度研究成果

□サブテーマ1

- ・低速船の推進性能について、Japan Bulk Carrier(JBC)をベースに船幅を広げた船型(SWBC)において船尾スタッドの有無による流場の安定化に関する調査のため流場計測を実施したその結果、スタッドの有無による有意な差は現れないことが分かった(図 1-1)。そこで方針を変更しプロペラ作動による流場の安定化を狙い、SWBC での予備試験の位置づけとして JBC を対象に船速を変更した荷重量変更試験を実施し、8knot 以上の船速で自航要素を精度よく計測できることを確認した(図 1-2)。
- ・JBC を対象に船速を変更した荷重量変更試験を実施し、8knot 以上の船速で自航要素を精度よく計測できることを確認した(図 1-2)。

- ・ 操縦性能については、SWBC 船型を用いて自由航走試験を実施し、IMO 操縦性基準を満足するかを検証した(図 1-3、図 1-4)。検証の結果、SWBC はほとんどの項目でIMO 基準を満足していることが分かった。基準を満足していない第一行き過ぎ角(10 度 Z 試験)に関しては、船型改良及び操縦性能シミュレーションを通して操縦性改善のための検討を行う方針とした。
- ・ 耐航性能に関しては、SWBC 船型を用いて規則波中での抵抗増加計測試験を行い、既存推定モデルとの比較を行い、波浪中抵抗増加の低速モデルの改良を行うとともに、他船での試験データに基づき推定モデルの精度向上を確認した(図 1-5)。
- ・ 代替燃料船の性能評価を行うため、代替燃料利用時の燃料消費率の簡易推定式を作成した(図 1-6)。また、Sea-web データに基づく補機情報の推定式を作成した。代替燃料使用時の排出率を入力する設定値に基づき考慮し、ライフサイクルにおける代替燃料利用による GHG 排出量削減効果の評価を行い、効果が定量的に評価できることを示した。(図 1-7)。
- ・ 風力アシスト船でのウェザールーティングによる省エネ効果評価のため、手法の全体設計(図 1-8)とウェザールーティングに必要な船舶性能の海象に対する応答データベース(図 1-9)を構築した。
- ・ 海事クラスター共同研究 実海域実船性能評価(OCTARVIA)プロジェクト フェーズ 2(24 機関参加)と連携し、フェーズ 1 での成果(実海域実船性能評価法)の検証および手法の高度化、国際標準化活動を実施した。

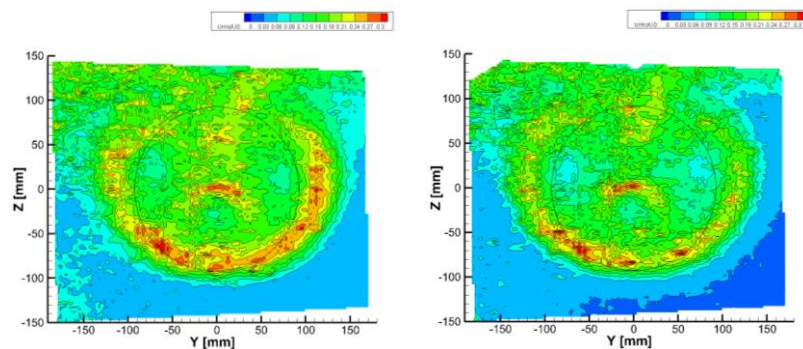


図 1-1 SWBC 船型のプロペラ面の主流方向流速の標準偏差(左:スタッド無し、右:スタッド有り)(7.2knot)

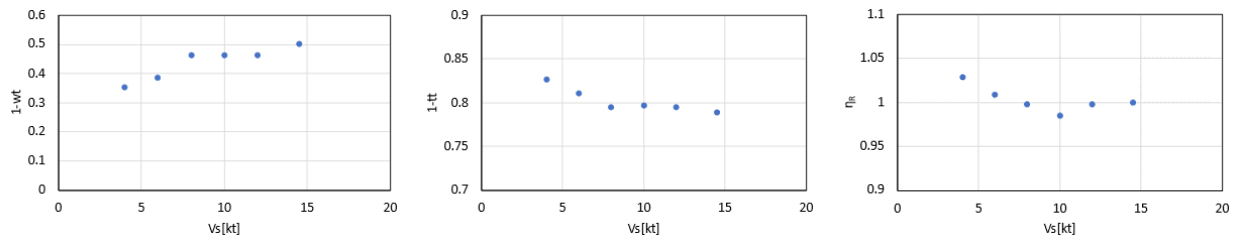


図 1-2 JBC の自航要素(左から、有効伴流係数、推力減少係数、プロペラ効率比)

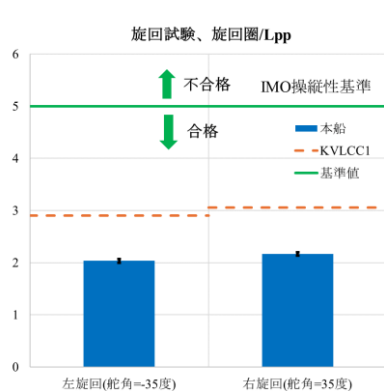


図 1-3 旋回試験結果(SWBC 船型)

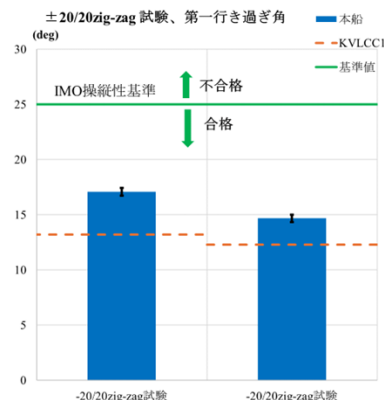


図 1-4 zig-zag 試験結果(SWBC 船型)

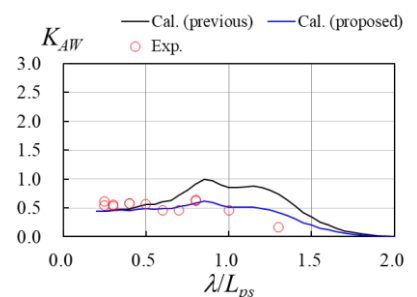


図 1-5 KVLCC2 船型の規則波中抵抗増加計測試験結果(向波、4knot)

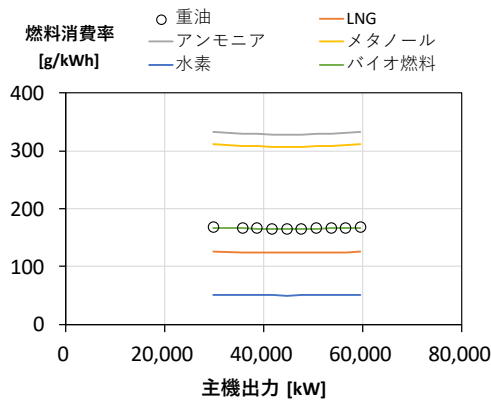


図 1-6 代替燃料の燃料消費率

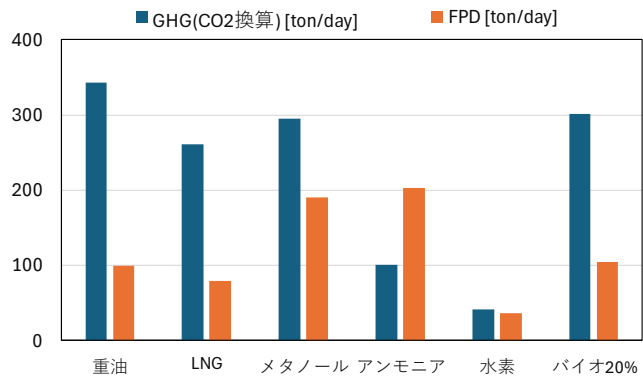


図 1-7 1 日当たりの燃料消費量及び GHG 排出量

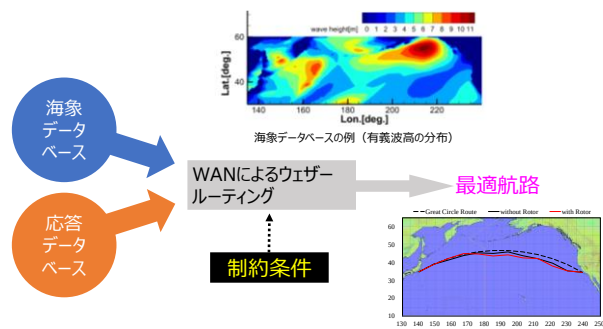


図 1-8 ウェザールーティングの全体設計

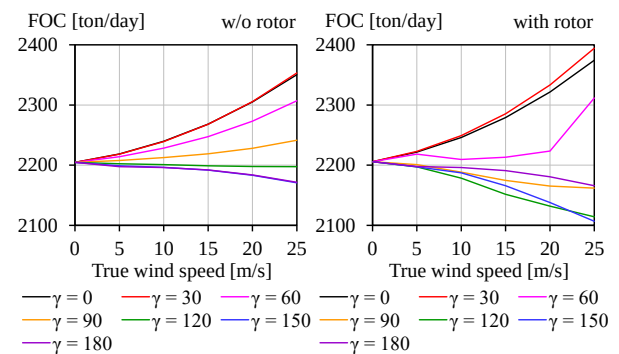


図 1-9 応答(燃料消費量)データベースの例(左:ローター無し、右:ローター有り)

□サブテーマ2

- 波浪中の船体にかかる前後力について、規則波中の変動振幅を推定し、水槽試験結果と比較し、一致を確認した。(図 2-1)
- データ同化によるシミュレーションによる推定精度の向上について、船舶分野だけではなく、気象・航空分野のデータ同化の研究動向とともに、近年発展する機械学習手法の物理シミュレーションへの応用手法である Physics-informed ニューラルネットワーク等についても文献調査を行い、船舶推進性能分野に適した手法として、データ強化型シミュレーションベース設計法を考案し、国内学会に提案した。
- 粒子フィルターを用いた乱流モデル(EASM)のデータ同化手法を、世界で初めて船舶分野のシミュレーションに適用し、この手法についてソフトウェアアーキテクチャの設計/詳細設計/コーディングを実施した。その上で、749GT 内航貨物船の過去のデータを使用した試算を行い、その有用性を確認した。(図 2-2)
- 水中騒音規制に関する国際動向に対応するため、プロペラキャビテーションノイズの簡易推定法の高精度化を実施した。キャビテーション推定チャート作成プログラムを開発し、本プログラムを HOPE Light と連携させた。これによって、キャビテーション推定チャートを用いて水中騒音レベルを推定することが可能となり、推定精度が向上することを確認した。(図 2-3)
- 実船計測対象船の模型船を用いたキャビテーション試験を実施し、キャビテーションパターン、変動圧力、そして水中騒音に関するデータを取得し、それらのデータが実船の傾向と一致することを確認した。(図 2-4)

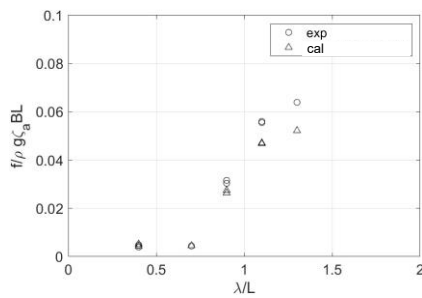


図 2-1 波浪中変動振幅の計算例 (PCC)

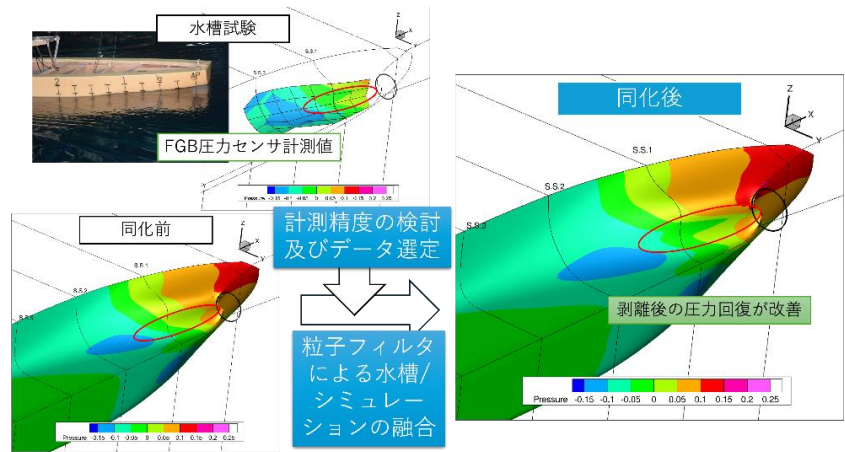


図 2-2 粒子フィルターを用いた乱流モデル(EASM)のデータ同化手法の例

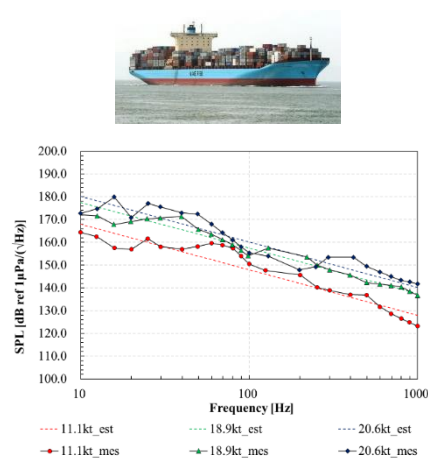
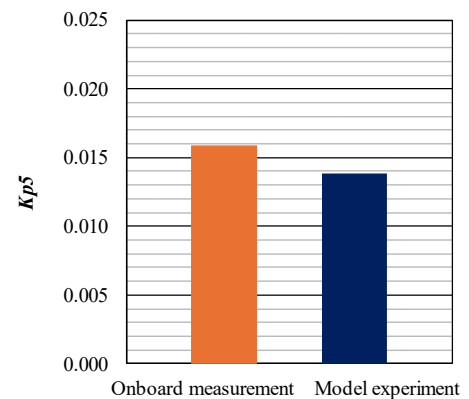
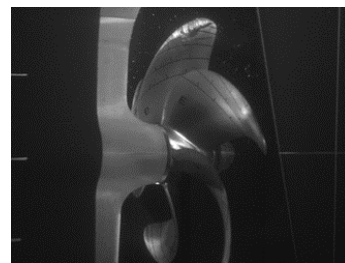


図 2-3 コンテナ船を対象とした簡易推定法と実船計測結果の比較

図 2-4 初代青雲丸のキャビテーション試験結果
(左:キャビテーション観察結果、右:変動圧力計測結果(実船計測結果との比較))

□サブテーマ3

- ・ 実海域性能評価統合アプリについて、全体設計を行った。また、実運航性能シミュレータと気海象データ補間取得プログラムを連携させた。実運航性能シミュレータのクラウド版 VESTA-web の開発を行った。(図 3-1)
- ・ 海上試運転時の波浪修正法として ITTC に提案した簡易推定法 Simple-NMRI 法について、ITTC で検証活動を行った。
- ・ AIS データ・要目データを用いた実海域性能評価を実施した。(図 3-2)
- ・ ウェザールーティングサービス会社と連携し、当所で開発した実海域性能モデルを組み込んだウェザールーティングサービスが開始された。ウェザールーティングサービス会社のニーズを受け、加速度評価モジュールを作成し(図 3-3)、ウェザールーティングサービスへの組み込みにつなげた。

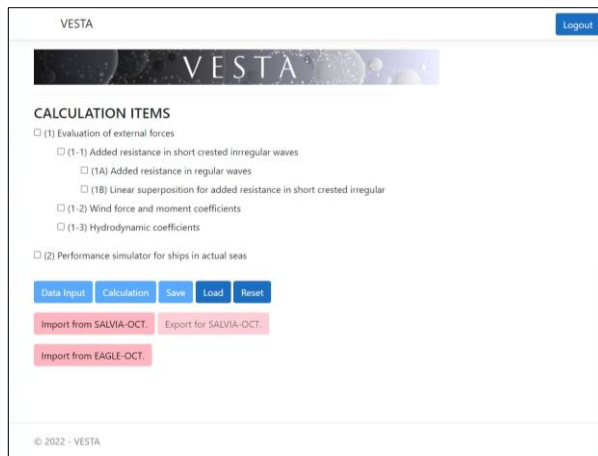


図 3-1 VESTA-web の TOP 画面

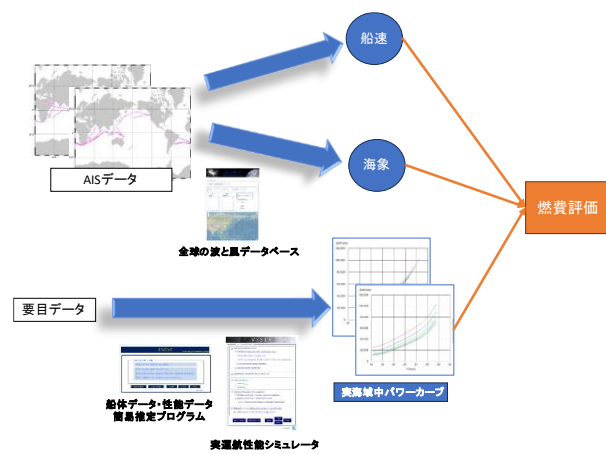


図 3-2 AIS データ・要目データを用いた
実海域燃費性能評価

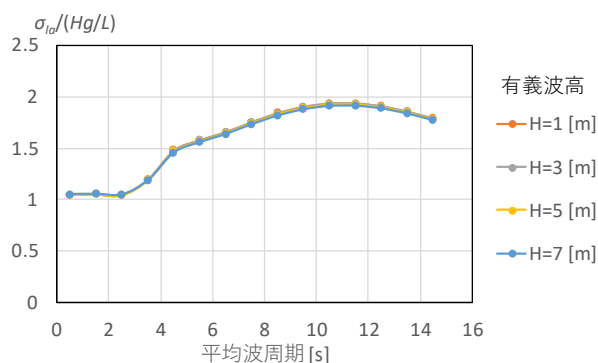


図 3-3 短波頂不規則波中横加速度標準偏差評価
(コンテナ船、横波)

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ))： 9 件(投稿中： 5 件、採択済： 2 件、掲載済： 2 件)

科学雑誌掲載論文

- Takaaki Hanaki, Yasuo Ichinose, Tatsuya Hamada, Kunihide Ohashi: Parameter tuning of the explicit algebraic stress model using a particle filter based on a computational fluid dynamics database and observed pressure distributions, Computers and Fluids. (投稿中)
- Akiko Sakurada et al: Analysis of Fouling and Aging Effect by Monitoring Data –Application of RCM–, JMST (投稿中)
- Takaaki Hanaki, Naoto Sogihara, Masaru Tsujimoto: Reproducibility evaluation of detailed directional spectrum based on mean spreading angle for ship performance estimation in actual seas, Journal of Marine Science and Technology. (投稿中)
- Akiko Sakurada, Mariko Kuroda, Masaru Tsujimoto: A Prediction Method of the Longitudinal Hydrodynamic Force in Large Oblique Motion of a Ship, Ocean Engineering. (投稿中)

査読付き国際会議論文

- N. Sogihara et al: A STUDY ON ROUTE AND FUEL OIL CONSUMPTION OF SHIPS CONSIDERING CHANGE OF WEATHER DERIVED FROM CLIMATE CHANGE (OMAE2024) (採択済)
- Y. Ichinose, T. Taniguchi: Enhancing Hull Form Design for Robust Efficiency: A Data-Enhanced Simulation-Based Design Approach, (IMDC2024) (採択済)
- H. Gasper, Y. Ichinose, K. Nishimoto: Seeing a Sea of Ships – Exploring the Ship Design Space in the Digital Domain, (IMDC2024) (投稿中)

その他の全文査読付き論文等

- Mariko Kuroda, Masaru Tsujimoto: A Wave Correction Method for Speed Trial Analysis: Simple-NMRI method, 海技研報告, 2023. (掲載済)

- ・Masaru Tsujimoto et al: Research and Development of OCTARVIA Project –Evaluation of Ship Performance in Actual Seas–, 海技研報告, 2024 (掲載済)

□その他発表論文：23 件(投稿中：0 件、採択済：0 件、掲載済：23 件)

- ・一ノ瀬康雄: “Data-Enriched Simulation-Based Design 手法の提案 –よりロバストで効率的な船型設計を目指して–”, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 2023/11/26(掲載済)
- ・一ノ瀬康雄: “データ強化型シミュレーションベースの設計手法: 効率的な船型設計へのアプローチ”, 第 26 回推進・運動性能研究会, 2023/11/6(掲載済)
- ・Koichiro Shiraishi, Daijiro Arakawa, Kenichi Kume, Hikaru Kamiirisa, Verification of simplified underwater radiated noise estimation tool using Brown’s formula, Proceedings of Internoise2023, i-ince, 2023/8/23. (掲載済)
- ・白石耕一郎: プロペラキャビテーションの可視化技術, ターボ機械協会創立 50 周年記念ワークショップ – 国内若手研究者によるキャビテーション研究の最前線に関する講演会にて基調講演, 2023/9/20. (掲載済)
- ・白石耕一郎: Brown の式を用いたプロペラキャビテーションノイズの簡易推定ツール, 第 201 回船用プロペラ研究会, 2023. (掲載済)
- ・黒田麻利子 ほか: 船舶性能統合データベースによる実海域実船性能向上の構想, 海上技術安全研究所研究発表会, 2023. (掲載済)
- ・黒田麻利子 ほか: 実海域実船性能評価技術の開発, 海技研報告, 2023. (掲載済)
- ・黒田麻利子: 海上試運転実施・解析法の ITTC/ISO 動向, 実海域推進性能研究会, 2024. (掲載済)
- ・松沢孝俊 ほか: 最適運航システムの開発, 海技研報告, 2023. (掲載済)
- ・早稲田卓爾 ほか: 北極航路支援のための知的観測網構築, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2023(掲載済)
- ・Takatoshi, Matsuzawa: Arctic Research Vessel as a Monitoring Tool for Engineering, International Workshop on Arctic Ocean Observation, 2023. (掲載済)
- ・松沢孝俊: 北極域研究船における航行支援について, ArCS II 北極海氷情報室 2023 年度フォーラム, 2023. (掲載済)
- ・松沢孝俊: 氷海航行支援システムの開発(ArCS II 北極航路課題・JCAR 氷工学 WG 第 2 回合同発表会), 2023. (掲載済)
- ・松沢孝俊: 北極域研究船「みらい II」における航行支援と工学的データの取得, 令和 5 年度第 2 回海洋技術フォーラムシンポジウム, 2024. (掲載済)
- ・粉原直人: 実船モニタリングデータを用いた性能評価を目的とした統計解析周期に関する検討, 第 85 回実海域推進性能研究会, 2023. (掲載済)
- ・粉原直人: 風力推進船のウェザールーティング, 第 86 回実海域推進性能研究会, 2024. (掲載済)
- ・Akiko Sakurada et al: Evaluation of Drift Force in Large Angles for PCC and Coastal Cargo Ship, Proc. of 10th PAAMES, 2023. (掲載済)
- ・横田早織 ほか: 荷重量変更法における自航要素推定精度向上の検討, 第 85 回実海域推進性能研究会, 2023. (掲載済)
- ・金子杏実 ほか: 全球の波と風のデータベース「GLOBUS cloud」の開発と船, 海技研発表会, 2023. (掲載済)
- ・久米健一: 風力アシスト船の試運転に関する ITTC-RP の骨子, 第 86 回実海域推進性能研究会, 2024. (掲載済)
- ・白石耕一郎 ほか: 伴流設計技術及び流場計測技術の高度化に関する研究, 海技研報告, 2023. (掲載済)
- ・新川大治朗: 差分進化法を用いたプロペラ最適化 低速幅広肥大船への適用, 第 26 回 推進・運動性能研究会, 2023. (掲載済)
- ・松沢孝俊: 2024 年のウトロ海水観測の速報, 北極域研究船プロジェクトブログ. (掲載済)

□特許申請：2 件

- ・摩擦抵抗低減装置、及び、摩擦抵抗低減装置を備えた船舶
- ・摩擦抵抗低減装置を制御するプログラム

□コアプログラム登録：5 件

- ・相対運動計算プログラム V2 版
- ・ライフサイクル主機燃費指標計算プログラムクラウド版 OCTARVIA-app V2 版
- ・船体形状・船体性能推定プログラムクラウド版 EAGLE-OCT-app V2 版
- ・実運航シミュレータクラウド版 VESTA-web V1 版
- ・実船モニタリングデータ解析プログラム API 版 SALVIA-OCT-API V1 版

□国際連携活動：22 件

- ・Comments on document SDC10/5 about judging necessary sea areas for introducing policy for URN reduction based on the assessment, IMO SDC10/5/3
- ・Comments on document SDC 10/5 about the establishment of methods to measure and estimate URN, IMO SDC10/5/4
- ・R&D of OCTARVIA Project (ITTC/SKC communication meeting)
- ・Progress for ToR 3E) Roughness usage in performance prediction and cross effects with correlation (ITTC FSSPC)

- ・Progress for ToR 5C) Investigate the influence of drift, rudder action, short wave and wave height on wave-added resistance (ITTC FSSPC)
- ・Literature Survey Report for Underwater Radiated Noise in Ice Condition (ITTC SC-Ice)
- ・Comparison of the added resistance in waves by SNNM-SNUs and tank test results (ITTC FSSPC)
- ・Progress for ToR 5C (ITTC FSSPC)
- ・第80回海洋環境保護委員会 (MEPC 80) にて船舶のエネルギー効率に関する審議に参加
- ・第81回海洋環境保護委員会 (MEPC 81) にて船舶のエネルギー効率に関する審議に参加
- ・ISO/TC 8/SC 6/WG 17 にて、海上公試規格に関する審議に参加、2回
- ・ITTC Full Scale Ship Performance Committee に参加、5回
- ・ITTC Specialist Committee on Ice に参加、4回
- ・ITTC Specialist Committee on Performance of Wind Powered and Wind Assisted Ships に参加、1回

□受賞：3件

- ・一ノ瀬康雄 ほか：令和5年度日本船舶海洋工学会賞（論文賞）、日本海事協会賞、A curved surface representation method for convolutional neural network of wake field prediction
- ・白石耕一郎 ほか：令和5年度ターボ機械協会賞（論文賞）、差分進化法を用いた船用プロペラ翼形状の多目的最適化
- ・白石耕一郎：ターボ機械協会創立50周年記念事業「チャレンジ大賞」

□公開実験：1件

- ・「気泡の力で船の抵抗を減らす！！長尺平板模型船を用いた空気潤滑実験」, 400m 水槽 (6/22 開催)

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか

- ・24機関が参加した海事クラスター共同研究実海域実船性能評価プロジェクト (OCTARVIA) フェーズ2を通じ、実海域性能評価技術（ライフサイクル主機燃費評価技術）の向上を行い、海事産業の競争力強化に貢献した。
- ・省エネの取り組みとして実施されている船舶の低速化に対して、低速船の性能評価精度の向上に取り組み、低速船の耐航性能・操縦性能の改善につなげ、安全の確保と環境負荷の低減に貢献した。
- ・ライフサイクルにおける代替燃料の効果を、定量的に評価する技術の開発、および、普及が進んでいる風力アシスト船について、ウェザールーティングと組み合わせた最大効果の評価を行うための全体設計を行うことにより、環境負荷の低減に貢献した。
- ・IMOでの検討、国際ルールに対応するため、実船水中騒音を簡易的に高精度に評価する手法を開発し、業界ニーズに応えた。
- ・計測とシミュレーションを連携した推定手法の開発、および、AISデータ、要目データを用いたシミュレーションの実施により、船舶性能統合データベースに基づく実海域性能診断技術の開発につなげ、実海域実船性能の向上に貢献した。

□成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きい

- ・低速域にも適用できる評価技術の開発や代替燃料についての評価、波浪中の前後流体力の変動振幅は、実海域性能診断技術につながる発展性のある技術であり、成果の意義は十分に大きい。
- ・粒子フィルターを用いた乱流モデル (EASM) のデータ同化手法は、世界で初めて船舶分野のシミュレーションに適用したものであり、本重点研究の目標である水槽試験・シミュレーション・実船データを連携した評価による実海域中の推進性能・燃費性能推定技術の高精度化につながるもので、その意義は大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか

- ・期待されたタイミングで成果を打ち出したことによって、ウェザールーティングサービスへの適用、実行につなげた。また、顧客ニーズに従い機能追加を行い、さらなる性能評価および検証につなげた。
- ・風力アシスト船についての評価ニーズが高まっているタイミングで、ウェザールーティングを用いた評価法の全体設計を行った。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか

- ・実海域性能推定法に関して、IMO/MEPC、ITTC、ISO等の議論をリードでき、我が国海事産業の競争力強化に繋がるものである。
- ・粒子フィルターを用いた乱流モデル (EASM) のデータ同化手法は、世界で初めて船舶分野のシミュレーションに適用したものである。本手法による性能評価技術の向上は、国際競争力の向上に貢献するものである。
- ・船舶からの水中騒音の低減は国際的に求められており不可避であるが、その推定法を開発したことは国際的に意義が大きいとともに、低減対策のために過重な負担を強いられないための事前評価として我が国海事産業の発展に寄与する。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

・該当しない

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	S

【コメント】

・国際海運からの GHG 排出削減に対し、データ同化を用いたシミュレーション技術の開発をはじめ、低速船評価モデルの精度向上、代替燃料船のライフサイクルにおける定量評価法の開発、実船水中騒音の簡易推定法の開発、AIS データ・要目データを用いた実海域性能評価技術の開発などの要素技術開発を行い、プログラム開発などを通し、実海域実船性能診断技術の開発に着実につなげる成果を創出した。開発した技術は、ウェザールーティングサービスへの組み込みにより、社会実装につなげた。また、海事クラスター共同研究により、実海域実船性能を総合的に評価する「ものさし」の開発・普及を行い、さらに IMO、ITTC、ISO 等の議論に積極的に関与することで、我が国海事産業の競争力強化に大きく貢献できている。最後に、粒子フィルターを用いた乱流モデル(EASM)のデータ同化手法は、本研究の最終的な目標である実船・水槽・シミュレーションを連携させた推定法の構築に貢献するものであり、その有効性を確認したことは将来性の点で意義が大きい。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A

研究開発課題	(2)① ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発	
研究テーマ	重点 6 GHG 削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究	
中長期目標	中長期計画	R5年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、水素・アンモニア等のゼロエミッション燃料の燃焼解析技術を始めとする温室効果ガス削減技術の高度化及び実海域における実船性能向上に関する研究開発、並びに船舶の運航時における環境負荷低減に資する基盤的技術及び環境影響評価手法等に関する研究開発に取り組む。	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。加えて、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減 に関する研究開発 一船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、水素専焼の運転条件の検討・燃焼モデルの作成、エンジンの空気流動を模擬した試験技術の確立、船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化を行う。等

研究の背景

国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。

具体的には、以下があげられる。

- ・水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発
- ・次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化
- ・次世代燃料使用における安全・環境評価技術の確立
- ・船舶運航における環境影響評価技術の高度化
- ・内航・外航海運の省エネ化・GHG 削減対策に資する普及・実用技術の確立
- ・重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発(港湾空港技術研究所との連携研究)

期間全体の研究目標

具体的には、以下があげられる。

- 水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発
 - ・既設ディーゼル機関のアップデート(2025 年度)
 - ・DF から専焼を目指す上での課題抽出(2026 年度)
 - ・NH₃ 専焼コンセプトの提案(2029 年度)
- 次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化
 - ・各種新燃料の噴霧・燃焼特性解析のための実験技術の確立と実験装置群の開発(2024 年度)
 - ・各種新燃料の CFD 検証データ、燃焼データベース用システムの構築と公開(2028 年度)
- 次世代燃料使用における安全・環境評価技術
 - ・規格に沿った CN 燃料の混合率、着火性指標(CCAI)と着火性との関係の公知化、各種次世代燃料の安全利用のためのガイドライン提案、排ガス処理性能予測手法の提案(2026 年度)
- 船舶運航における環境影響評価技術の高度化
 - ・モニタリング手法の標準化、船舶由来物質の環境影響予測、船体の防汚評価手法の構築
- 内航・外航海運の省エネ化・GHG 削減対策に資する普及・実用技術
 - ・内航船・外航船における GHG 削減目標に貢献する各種対策技術の社会実装
- 重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発
 - ・エマルション化技術を利用した油回収システムの構築(2023 年度)
- 全体
 - ・GHG 削減技術の高度化、次世代燃料に対応した安全・環境対策の影響評価技術の確立

上記成果は、以下があげられる。

- ・将来必要となる技術開発を民間企業に先駆けて実施し、基礎技術の共有を通して、国内産業の競争力強化に貢献する。
- ・船用に特化した系統的な次世代燃料燃焼のための CFD 検証データを提供することで、CFD による新規開発を容易にし、国内産業の競争力強化に貢献する。
- ・成果のデータベース化による情報提供、メーカとの共同研究による成果の展開、行政からの要請対応をとおり、次世代燃料の安全利用に貢献する。

R5年度研究目標**□サブテーマ1**

- ・既設実験用エンジンのガス噴射の電子制御化
- ・水素専焼の運転条件の検討・燃焼モデルの作成
- ・NH₃/空気比率が未燃 NH₃ や N₂O の生成に与える影響の把握
- ・プラズマや熱分解による NH₃ 燃料の着火・燃焼の支援効果の把握、NH₃ 改質触媒の製作

□サブテーマ2

- ・エンジンの空気流動を模擬した試験技術の確立
- ・水素・アンモニアの燃料噴射系の構築

□サブテーマ3

- ・アルコール系燃料の着火性評価
- ・次世代燃料利用評価のための PM 計測手法の高度化、排出率データの収集、バイオ燃料評価法の検討
- ・実排気におけるメタン触媒の反応モデルを構築、及びメタン発熱及び NO_x 吸着の減少による触媒性能の改善効果の明確化、アンモニア酸化発熱反応が触媒性能に与える影響の調査

□サブテーマ4

- ・排ガス洗浄装置(EGCS)用濁度センサーの標準化に向けた調査研究
- ・船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化
- ・初期生物汚損の客観的な評価方法構築に関する調査

□サブテーマ5

- ・GHG 削減、カーボンニュートラルに貢献する各種技術について、船舶搭載性や実用性の調査並びに将来の GHG 削減目標達成のための知見の取りまとめ

□サブテーマ6

- ・実用化を意識した油回収試験装置を製作し、それによる油回収能力の検証

R5年度研究内容**□サブテーマ1**

- ・既設機関の1気筒デュアルフューエル化
 - ①既設 257kW エンジンに設置してあるメタン用のガス噴射弁を電子制御化する改造を実施し、ガス噴射時期の制御による、NO_xと未燃メタンの低減効果を確認する。
 - ②船用電子制御燃料噴射弁について入手方法や制御手法の調査を実施する。
- ・水素専焼対応技術
 - ①水素専焼条件において、高効率かつ安定した運転を実現するために、燃焼抑制技術としての超希薄化、排気再循環、水噴射の全てを組み合わせ時の条件を検討する。
 - ②ガスエンジンシミュレータを開発し、水素混焼時の制御の検討を行う。
- ・アンモニア燃焼支援による GHG 排出量の削減
 - ①NH₃/空気予混合気の空気量の調整する装置を作製し、アンモニア(NH₃)と空気の比率を変更した試験を行い、NH₃と空気の比率が排ガス成分に及ぼす影響を調査する。
 - ②前年度から引き続き国内エンジンメーカーとの共同研究として、水素を利用した NH₃ 燃焼支援方法による未燃 NH₃、N₂O の低減方法を開発する。
- ・アンモニア専焼方法開発
 - ①プラズマや熱分解を利用して NH₃ 燃料単体で燃焼するための方法を、要素試験装置、高温高压燃焼容器を用いて開発する。
 - ②前年度に基盤研で作製した要素試験装置を用いて大気圧下で NH₃ガスをプラズマや熱分解を利用して、一部を水素に改質する試験を実施する。

□サブテーマ2

- ・2 ストロークエンジンの空気流動(スワール)を再現する試験設備を整備する。
- ・水素・アンモニアに対応した燃料噴射系を構築する。

□サブテーマ3

- ・ドロップイン燃料の着火性評価に関する研究
- ・排出物の定性・定量評価に関する研究
- ・排ガス処理方法の確立に関する研究
- ・代替燃料船の安全規則に関する研究

□サブテーマ4

- ・EGCS 用濁度センサーに関する調査研究
 - ①EGCS 排水用濁度計の標準化に必要な項目に関する調査検討
 - ②EGCS 排水用濁度計の構造要件、較正方法に対する規格化の適用範囲把握
 - ③濁度計の計測方式や構造要件で制約されない試験法の構築、濁度の標準化
- ・船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化
 - ①船舶から放出される化学物質の運命予測モデルの構築
 - ②海中浮遊溶存相、海底近傍懸濁相、堆積相からなる三相間再分配モデルの構築
 - ③高度化したプログラムを実際の船舶排出物質に適用し、実現現象の再現性を評価
- ・船体付着生物管理に必要な防汚システムの評価手法の構築
 - ①褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験法の構築
 - ②試験法草案の作成および ISO への提案
 - ③緑藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験の予備検討
 - ④船体付着生物管理に必要な防汚システムの管理・最適化に関する研究

□サブテーマ5

- ・GHG 排出削減を目指した内航貨物船の建造支援
- ・各種バイオ燃料の酸化劣化に関する試験と取り扱いに関する知見の取りまとめ

□サブテーマ6

- ・油回収前の重質油粘性低下技術開発
- ・油回収管内の流動制御技術の開発
- ・油回収後の油水分離技術開発

R5年度研究成果**□サブテーマ1**

- ・既設機関の1気筒デュアルフューエル化

科研費の研究の一環としてメタンガスを 257kW 中速ディーゼル機関(図 1-1)の 1 気筒に導入し、ガス噴射のタイミングをエンジンの動作に合わせて制御するための制御機器を制作した(図 1-2)。本制御の導入により、未燃のメタンが燃焼室から流出すること(バルブオーバーラップ時の吹き抜け)を抑制する効果が得られた(これまではオーバーラップにより約 15%のガス燃料が吹き抜けていたが、本制御の導入により、約 3%のガス燃料の吹き抜けに抑制できた)。本技術を基にメタン利用による CO₂、未燃メタン(GHG)の削減技術の開発を推進する。



図 1-1 257kW 中速ディーゼル機関

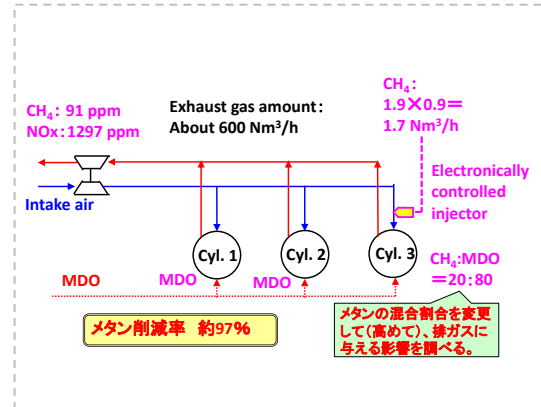


図 1-2 1 気筒デュアルフューエル(メタン・A 重油) 化の模式図

・水素専焼対応技術

水素専焼運転のために実験システムを改造した。この結果、当所で初めて水素専焼運転に成功した。実験では、適切な運転調整により最大負荷率 75%まで異常燃焼を起こさずに運転できることを確認した。エンジン性能評価の結果から、水素専焼運転であっても都市ガス運転時と同等の燃焼安定性、燃焼期間を実現でき、低 NO_x かつ高熱効率で運転が可能であることが明らかになった。一方で、負荷率 75%以上で発生する異常燃焼が課題になることが判明した。本研究成果の一部は、査読付き論文誌に掲載された¹⁾。本研究成果を基に、水素の安定燃焼技術の構築を推進し民間企業のエンジン開発に貢献する。

- 1) Ichikawa, Y.: Retrofit concept for 100% hydrogen operation on natural gas lean-burn engine with spark ignition and prechamber system: engine performance under hydrogen-mixing and load limits, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.60, No.22, 2024.

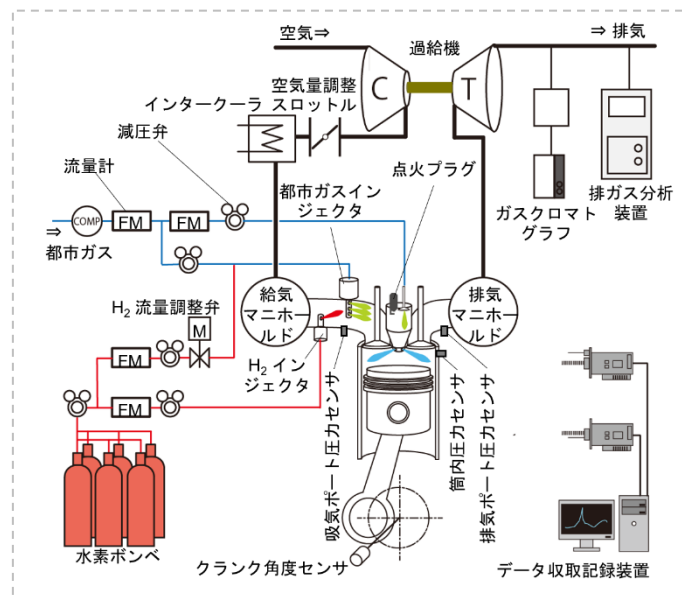


図 1-3 水素専焼実験システム図

・アンモニア燃焼支援による GHG 排出量の削減

軽油パイロット燃料を利用したアンモニア(NH₃)/空気予混合気の燃焼において、NH₃/空気予混合気の空気量を調整し、NH₃と空気の比率を変更した試験を実施した(エンジンが吸入する空気を約 20%減らして、NH₃をより燃焼させやすい状態での試験を行った)。その結果(図 1-4)、未燃 NH₃の低減効果(約 78~54%の削減)が得られた。一方、N₂O はやや増加する傾向が確認された。また、燃焼用の空気を減少させたため CO の増加があった。

前年度から引き続き国内エンジンメーカと機械メーカと共同して、水素を利用した NH₃燃焼支援方法の研究開発を継続し、これまでの成果の発表を行った(10th PAAMES)。技術や取り組みが評価され本論文がベストペーパー

アワードを受賞した(図 1-5)。

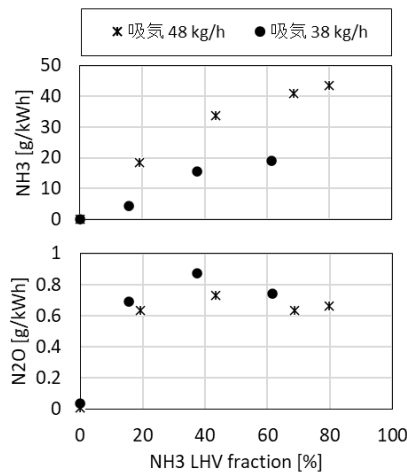


図 1-4 NH₃と空気の比率を変更した試験結果



図 1-5 10th PAAMES での受賞

・アンモニア専焼方法開発

①アンモニア(NH₃)燃料単体で燃焼するための方法として、科研費で開発したマイクロ波プラズマ生成装置を用いた NH₃/空気(Air)予混合ガス燃焼に関する研究を行った。本装置を用いた実験において NH₃/Air 予混合ガスのマイクロ波プラズマアシスト燃焼が可能であることを実証すると共に、当量比 1.0 において、N₂O の生成を 4 ppm と極少量に押さえながら、NH₃ をほぼ燃焼できること確認した(未燃 NH₃ 25 ppm)。本研究成果は、科学雑誌掲載論文誌(International Journal of Hydrogen Energy)に投稿中である。

②NH₃ ガスを水素(H₂)に改質する方法として、科研費で開発したマイクロ波プラズマ生成装置を用いた純 NH₃ 改質 H₂ 生成に関する研究を行った。本装置を用いた実験において 100%NH₃ ガスをプラズマ化可能であることを実証すると共に、NH₃ 流量 0.2L/min、マイクロ波投入電力 112W において、NH₃ 分解率 84%を達成した。本研究成果は、査読付き論文誌に掲載された²⁾(図 1-6 純 NH₃ プラズマ、図 1-7 マイクロ波入力電力と NH₃ 分解率の関係)

2) Sekiguchi, H: Pure ammonia direct decomposition using rod-electrode-type microwave plasma source, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.57, pp.1010-1016 (2024)

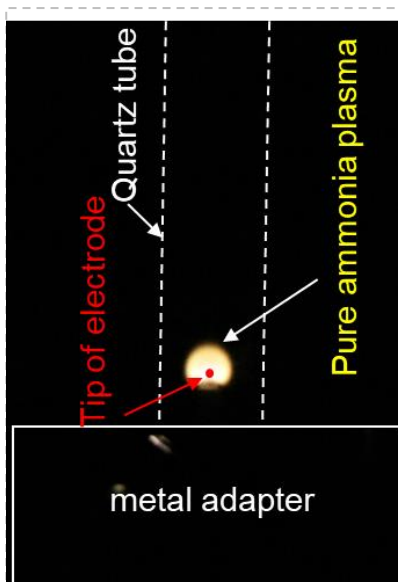


図 1-6 純 NH₃ プラズマ²⁾

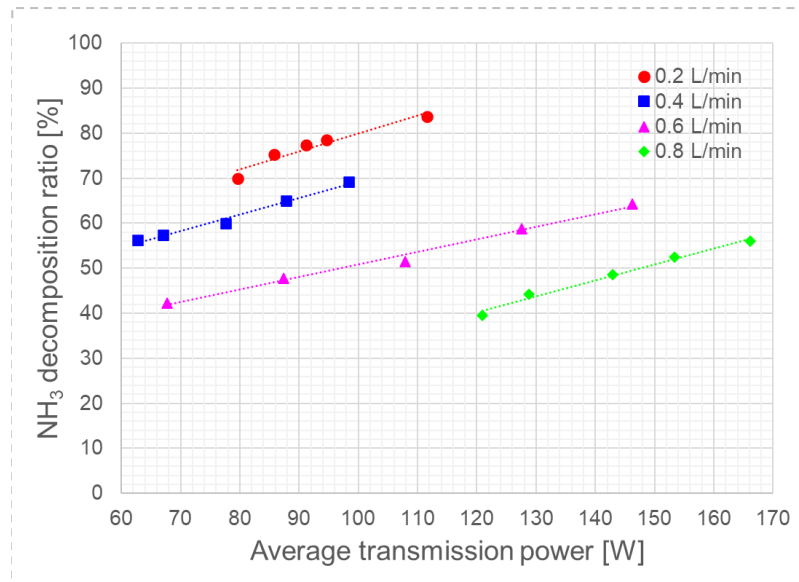


図 1-7 マイクロ波入力電力と NH₃ 分解率の関係²⁾

□サブテーマ2

下記の 3 項目を実施し、水素、アンモニアを対象とする燃焼試験を実施していくための研究基盤を構築した。これらを用いて次年度以降に燃焼試験を実施し、国内外でも事例の少ない水素やアンモニアといった次世代燃料の燃焼データを取得する計画である。

・本試験装置では、圧縮空気を充填した給気タンクから燃焼室内に空気を吹き出し、空気の持つ運動量によって燃焼室内に旋回流を形成することができる。この旋回流中に燃料を噴射することで、旋回流中に噴射された燃料の

燃焼過程が評価できる。事前検討として3次元CFD解析を実施し、装置で設定可能な給気タンクの圧力によって、実機に相当する周方向速度が燃焼室内に形成できることを確認した(図2-1)。本試験装置では、給気タンクから燃焼室内に流入する空気方向によって、燃焼室内の各半径位置における周方向速度分布が決まる。文献調査の結果から、2ストロークエンジンの巡回気流速度を測定した和栗らの結果³⁾にもとづき、燃焼室半径を r としたときに、 $0.5r$ の位置で周方向速度が最大となるように、給気ポートを設計した(図2-2)。

3)和栗ら、直噴式ディーゼル機関の排煙特性に関する実験的研究、日本機械学会論文集B編46巻411号p.2224-2231, 1980.

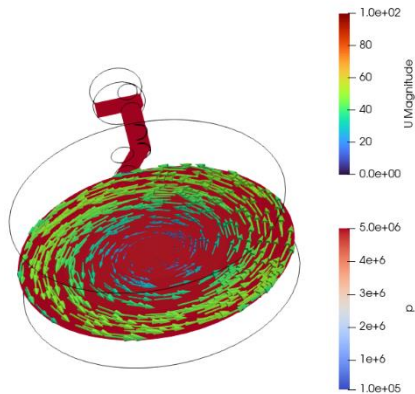


図2-1 CFD解析によるスワールの評価

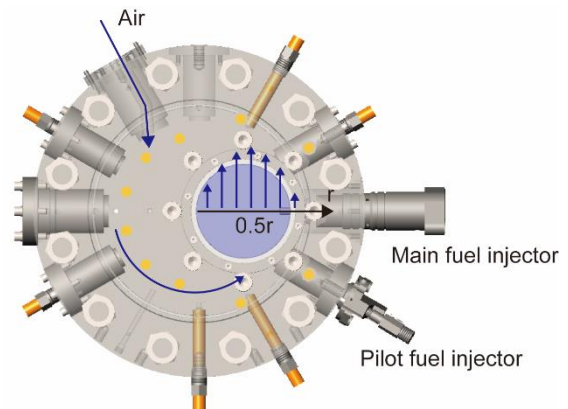


図2-2 給気ポートとスワールの関係

・実機に相当する条件で噴射が可能なアンモニアの単独噴射系について検討した(図2-3)。本噴射系は、当所で構築した重油-アンモニアの層状噴射系を活用したものであり、この方式に中間プランジャを追加することで、アンモニアの単独噴射を実現させるものである。また、当所で使用してきた既存の噴射系に比べて精密な噴射率制御を可能とするため、中間プランジャを駆動する軽油側に高速制御弁を設けた。当該年度では、アンモニアの中間噴射ポンプを設計し、製作を完了した。

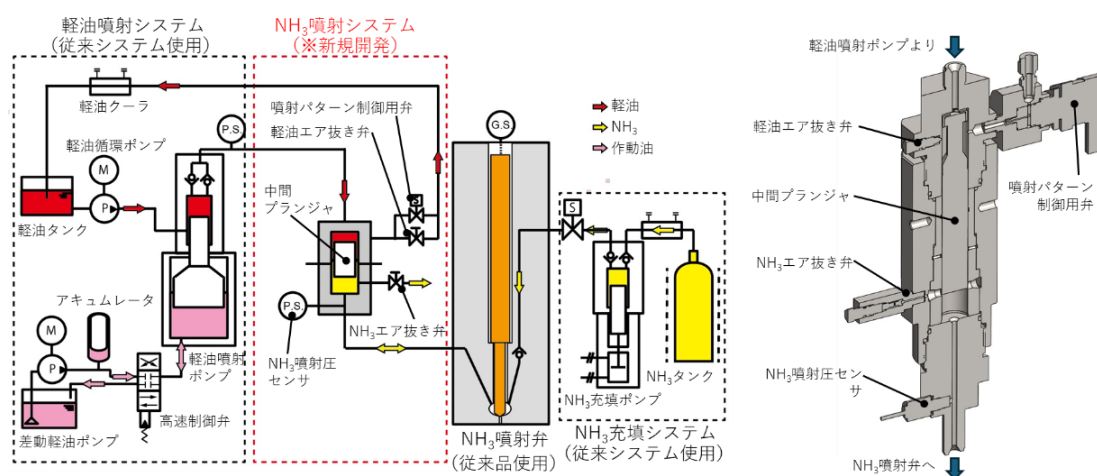


図2-3 アンモニアの単独噴射系と中間プランジャ

・実機に相当する条件で噴射が可能な水素の噴射系について検討した。構築する噴射系は、作動油によって針弁を押し上げ、高圧の水素を噴射する計画としている。本噴射系では、針弁ガイド部に水素の圧力と同じ圧力のシール油を供給し、水素のリークを防止する対策を講じている。2023年度、これらが適切に動作するための作動油、シール油および水素の供給系について設計を完了した。

□サブテーマ3

・ドロップイン燃料としてアルコール燃料を既存燃料に混合して活用することを想定し、石油会社との協同で、メタノール、エタノールと既存燃料を対象にした混合燃料の着火性試験を行った。既存炭化水素燃料としてセタン価標準燃料(ヘキサデカン+ペンタメチルヘプタン、ヘキサデカン+メチルナフタレン)、ヘキサデカンを選定した。その結果、メタノール、エタノールの低着火性側の燃料の影響が大きく、両者の混合比から想定される着火性が得られないことが明らかになった。着火性、燃焼状態は、メタノール、エタノールの違いは大きくなかった。(図3-1)

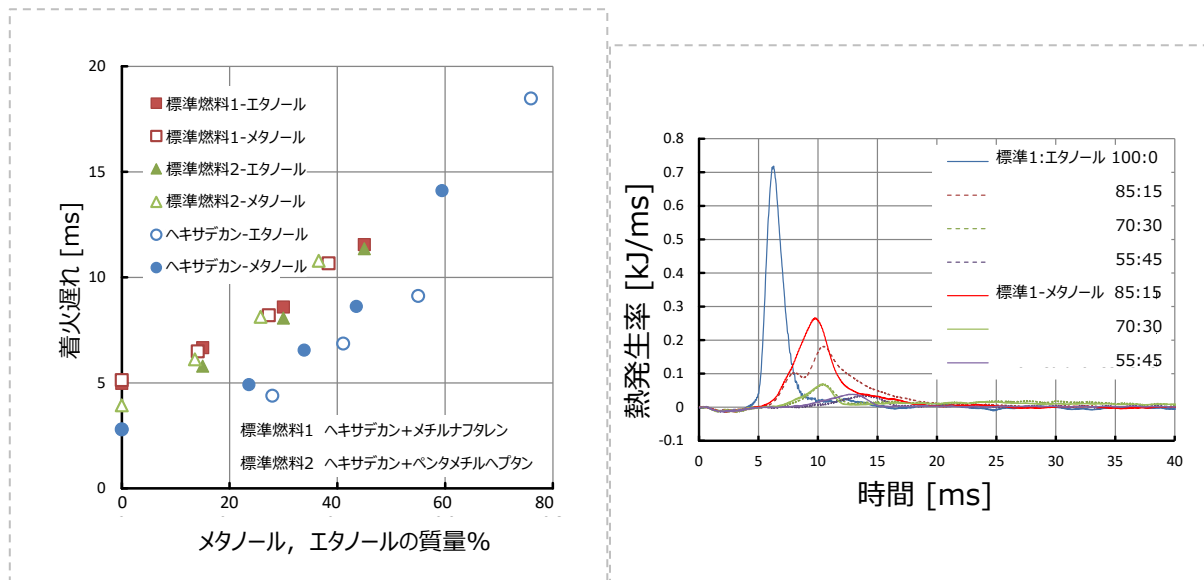


図 3-1 メタノール、エタノール混合量と着火遅れと熱発生率の関係

- 単気筒小型 4 ストローク機関を用いて、 NH_3 混焼時に排出される PM の計測および分析を実施した。安定した PM 計測を行うために、燃料噴射系の改良と PM 採取位置の変更などを実施した結果、安定した PM 計測が可能となり、PM 計測事例を蓄積することができた。アンモニア混焼時の PM 計測では、EC (元素状炭素) と OC (有機炭素) が PM の主要成分で、イオン成分が少ないことがわかった。 NH_3 の混焼率を上げると、PM 総量は減少すると想定されたが、 NH_3 が 20% の時にのみ増加した。PM の内訳は、EC (元素状炭素) が大きく減り、OC (有機炭素) は 20、40% 時に増加することがわかった。(図 3-2)

アンモニアスクラバーの実験装置を構築し、スクラバー及びアンモニア酸化触媒によるアンモニア除害性能を実験的に評価した。その結果、アンモニアスクラバーでは元の濃度の 30% 程度まで削減できたが、最適化によって更なる除去率の向上が想定できる。アンモニア酸化触媒では元の濃度の 0.02% まで削減できた。しかし、同時に副反応として 200ppm 以上の N_2O が生成するため、低減手法が必要であることがわかった。(図 3-3)

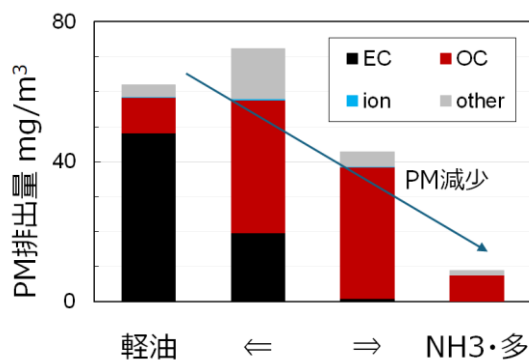


図 3-2 アンモニア混焼時の PM 排出特性

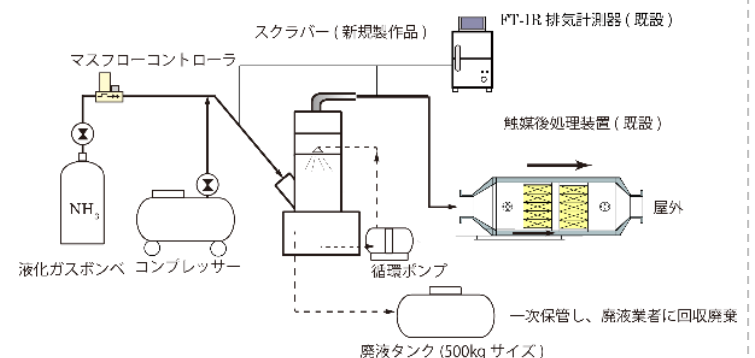


図 3-3 構築したアンモニアスクラバー実験装置

- メタン酸化触媒の実排気における性能評価のため、模擬ガスを用いて比較検討した結果に関して、投稿論文にまとめ採択された。また、実排気における触媒性能評価モデルを構築するための検討を行った。ガスエンジンの空気過剰率 (λ) を変化させ、排気中のメタン及び NO_x 濃度を变化させた実験の結果、メタン酸化性能 (η) を改善する効果があることが確認できた。これは、 λ の増加に伴い、排気中メタン濃度の増加と共に触媒内における発熱に伴う温度上昇が起きたこと、さらに排気中 NO 濃度が低下し、触媒上における NO によるメタン酸化性能の阻害反応が低下したことにより、メタン酸化反応が促進された結果起きたものと予想される。(図 3-4)

- 水素、アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインを策定する通信部会 (CG) の議論に対する国内業界意見案をとりまとめ、第 9 回貨物運送小委員会 (CCC) の対策資料案を作成し、日本の対応方針策定に貢献した。

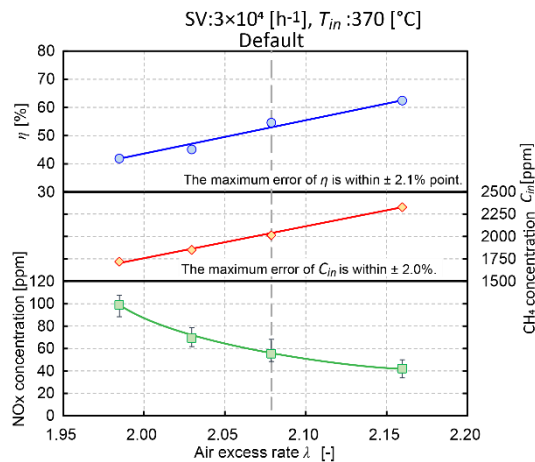


図 3-4 空気過剰率(λ)を変化させた際の触媒性能(η)の改善効果

□サブテーマ4

・EGCS 用濁度センサーに関する調査研究

EGCS からの排水については、IMO で定められたガイドラインにより排水の常時モニタリングが義務づけられ、規制値が設けられている。2022 年度に引き続き、EGCS 排水の濁度計測に影響を与える濁度計構造要件を解明するため、2022 年度に取得したオープンループスクラバ(海水を 1 回のみ使用して船外排水する方式)の実船データを精査するとともに、黒色標準粒子を用いて、各計測法の粒径依存性等を確認した。図 4-1 に結果を示す。オープンスクラバで得られた浮遊物質量と濁度の関係は、2021 年度に検討したクローズドループ(循環水を使用する方式)の洗浄水計測結果とは傾向が異なった。これには、浮遊物質の性状のうち、色および形態が影響していることが考えられた。また、粒子の色あるいは粒径の違いにより各計測法の応答性が異なる一方で、実船サンプルでは光路長の違いによる差はみられなかった。散乱方式では、計測値の直線性は低濁度域で失われるものの、オープンとクローズドの光路長 10mm の結果はほとんど差がなく、計測値の再現性が確認された。

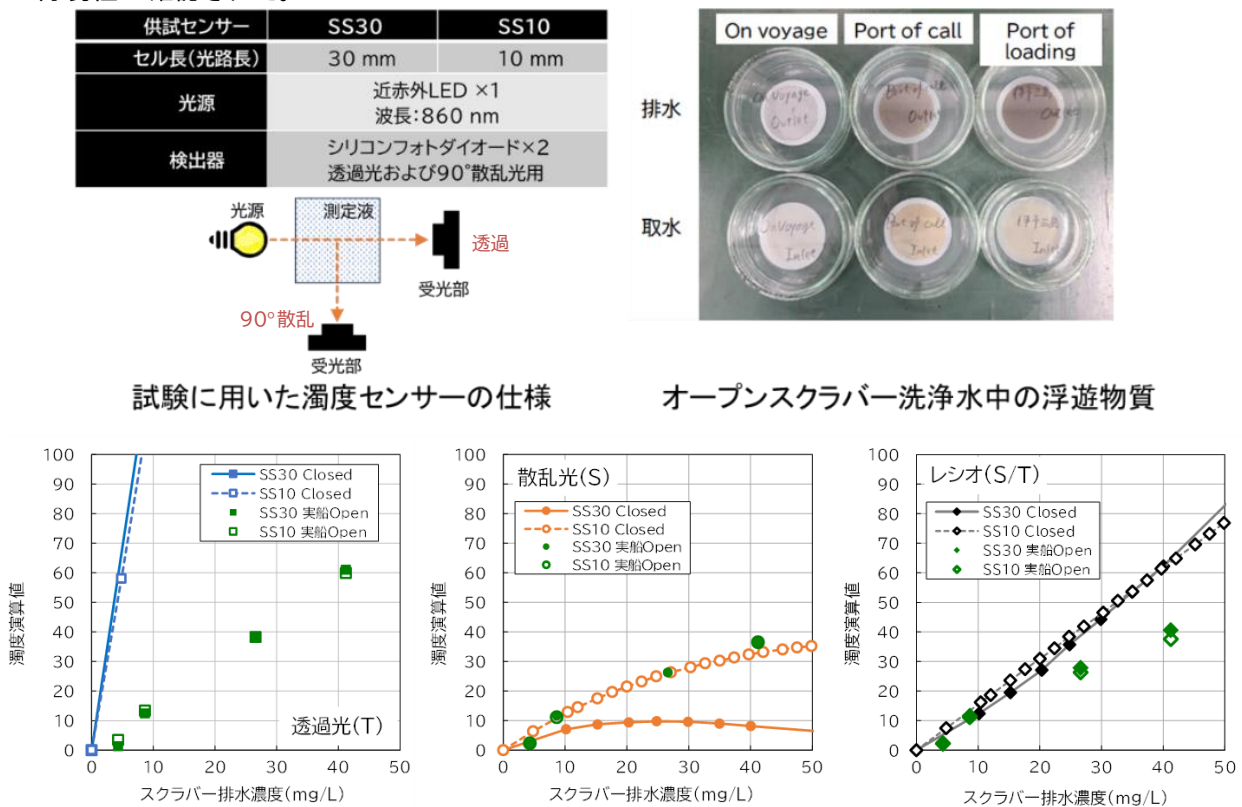


図 4-1 スクラバー排水濃度と濁度の関係

・船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化

海洋環境における物質の移流拡散を評価するために、図4-2に示されるような物質形態の移行が考慮できるモデルを構築した。従来のモデルは、海中浮遊溶存相、海底近傍懸濁相、堆積相の三相構成によるものが大半であったが、本モデルでは、銅のコロイド化と、懸濁物質中や堆積物中における物質拡散が考慮できるところに特徴がある。物質は、環境依存の移行係数で、図示した各コンパートメントに時々刻々再分配される。このモデルに、海流による移流拡散および風による乱流混合を考慮することで、海洋環境に応じた物質の運命を予測できる。

船舶からの定常的に排出される化学物質として、船底防汚塗料由来の銅を、評価対象海域として典型的な閉鎖性内湾である米国サンディエゴ湾を選定して、モデルシミュレーションを行った。当該海域は潮汐により生じる流れが卓越するため、潮汐データ TPX09v5 の15分潮を考慮して、領域海洋モデルを用いて海流を予測した。結果を図4-3に示す。海洋に分布する化学物質の濃度について、時系列を動画で図示するとともに、設定された任意領域における相別濃度変化の時系列を示せるようになった。本研究で構築した化学物質の形態移行モデルを用いることにより、実現象の再現・予測性能を向上させるのみならず、その場計測では分析困難な、海洋中でコロイドを呈する物質の量が予測可能となった。

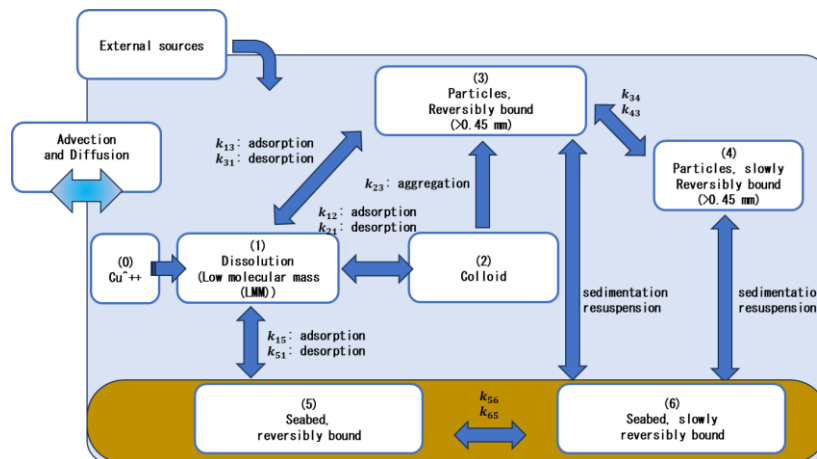


図4-2 海洋環境中における化学物質の形態移行モデル(銅の場合)

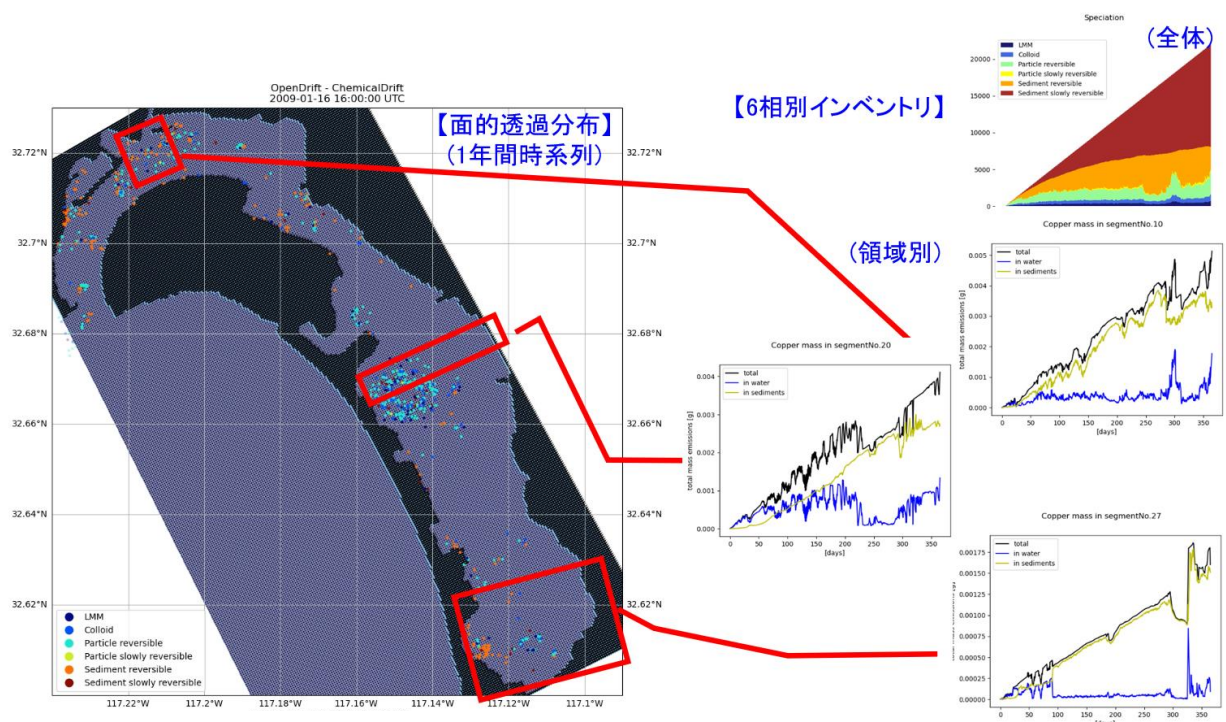


図4-3 構築した物質形態海洋移行モデルを用いた米国サンディエゴ湾における銅分布のモデルシミュレーション例

・船体付着生物管理に必要な防汚システムの評価手法の構築

(1) 褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験法の構築

ISO21716シリーズへの追加提案を目的として、図4-4の装置を用いて、試験片のマスキング処理（塗装）および生物試験装置の最適化を行い、試験結果の再現性および妥当性を確認した。

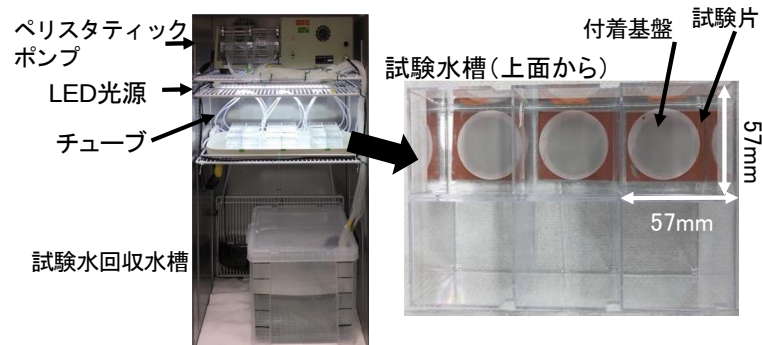


図 4-4 褐藻を用いた船底防汚塗料の防汚性能評価試験に係る試験片、試験装置、試験水槽及び付着基盤

(2) 褐藻を用いた市販塗料の防汚性能評価試験結果

構築した試験法の有効性を確認するため、市販塗料の防汚性能を評価した。市販塗料は2社のものを用い、航行速度に基づき3つの水準(航行速度、A・D:低速、B・E:低-中速、C・F:中-高速)を選択した。試験の結果を図4-5に示す。生物試験法の妥当性については、固定基盤の一様性および藻類活性の閾値を満たされることから確認できた。この生物試験法に基づく試験体を用いて、色空間パラメータを計測した結果、試験に用いた市販塗料が、十分な防汚性能を有していることが確認できた。

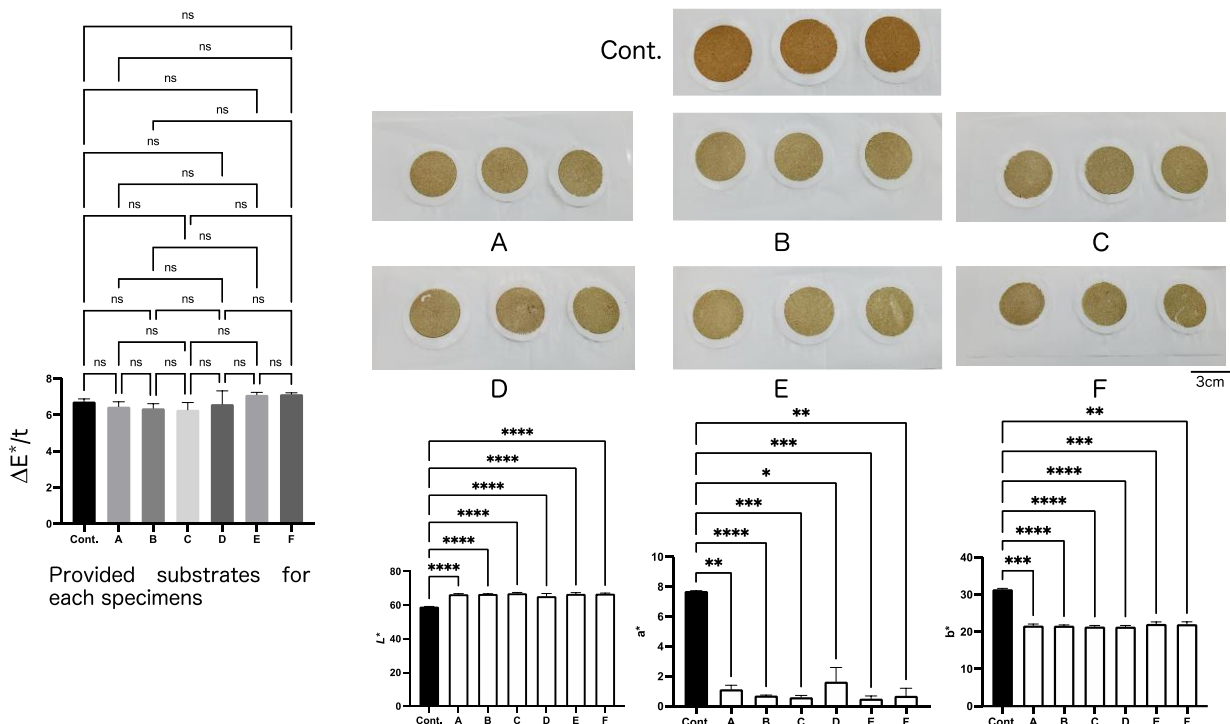


図 4-5 生物活性評価(左)、生物試験後の褐藻状態(右上)。Cont.: 対照区、塗料 A・D: 低速、塗料 B・E: 低速-中速、塗料 C・F: 中速-高速)、市販塗料を用いて生物試験の色空間パラメータ計測結果(右下)。

(3) 試験法草案の作成および ISO への提案

上記(1)(2)の研究成果に基づき、褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価に関する試験法の草案を作成した。当該規格原案を、ISO 21716 シリーズへ追加(第4章:藻類)し審議項目とするため ISO へ提案し、2023 年 10 月に新規作業計画に承認された。ISO 船舶および海洋技術専門委員会(TC 8)海洋環境保護分科委員会(SC 2)船底防汚システム作業部会(WG 5)にて、当該規格原案が審議中である。

(4) 緑藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験結果(予備的検討)

色空間パラメータの有効性を確認するため、供試生物を拡張し、緑藻(KU-1532: *Ulva aragoënsis*、海水・汽水生物短期毒性評価試験に用いられる藻類)を用いた生物試験を行った。褐藻を用いた生物試験で構築した試験条件

(供試生物の活性を含む)を適用し、その妥当性を確認した(図 4-6)。船底防汚塗料の性能評価の予備的検討では、色空間パラメータの色差(対照区-実験区の色差)を用いた。その結果、褐藻に有意であったパラメータ a^* と異なり、緑藻ではパラメータ b^* が有意であることを明らかにした(図 4-7)。

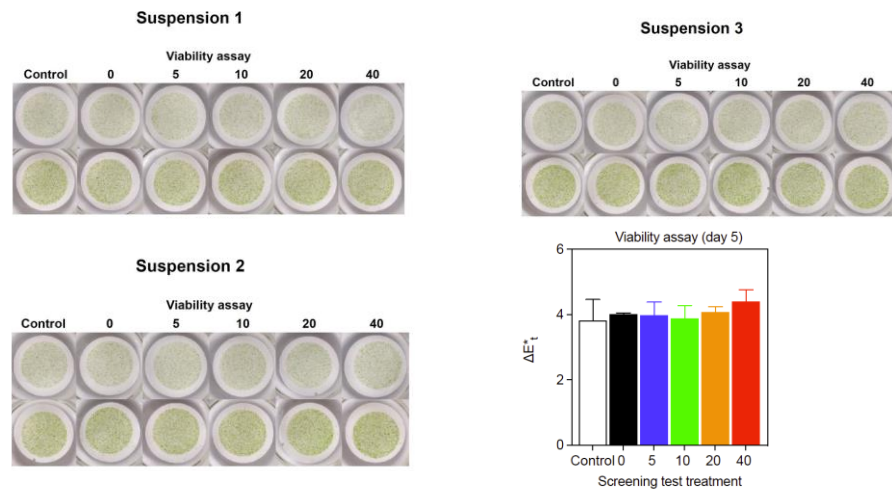


図 4-6 緑藻の固定化の様子および活性評価(固定期間 3-5 日の色差/2 日の値を示す)

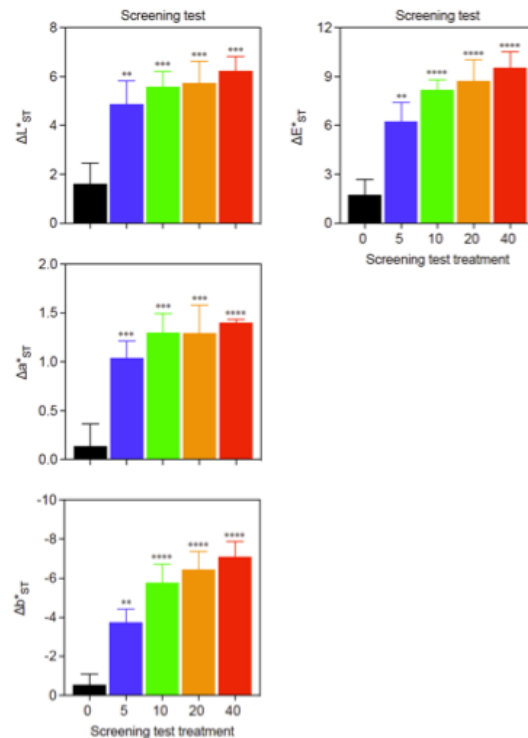


図 4-7 (緑藻を用いた生物試験の色空間パラメータの色差と亜酸化銅配合量との関係)

(5) 船体付着生物管理に必要な防汚システムの管理・最適化に関する研究

IMO での船体付着生物管理ガイドラインの最終化および水中洗浄ガイダンスに関する審議に対応した。水中洗浄実施による影響を評価する実船実験を行う際の課題を抽出した。これを踏まえて、ISO/TC 8/SC 2/WG 13(水中洗浄システム作業部会)での新規計画(プロアクティブな船底洗浄の実施と文書化の方法:ISO 6319(ノルウェー提案)、生物付着試験に関する水中洗浄システム:ISO 20679(米国提案))の 2 審議にも対応した。

□サブテーマ5

(1) GHG 排出削減を目指した内航貨物船の建造支援

外部機関との連携事業によって、連携型省エネ船のコンセプトを踏まえた内航貨物船の建造支援を行った(図 5-

1)。内航貨物船に、運航状態や船内機器の運転状態を監視・データ収集できる陸上サポートシステムを搭載し、運航状態の「見える化」などの機能を確認した。2023年6月就航後の運航データを解析し、当初の目標と同程度の省エネ性能を確認した。



図 5-1 携帯型省エネ船のコンセプトを踏まえた 499GT 内航貨物船「國喜 68」

(2) バイオ燃料の利用技術

国土交通省の事業に協力し、バイオ燃料を船舶で安心して利用するため、各種バイオ燃料の酸化劣化に関する試験などを実施し、バイオ燃料を取り扱う際の様々な知見を得た(図 5-2、図 5-3)。それらを取りまとめて、国土交通省の「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン」の改定に貢献した。



図 5-2 各種バイオ燃料(金属腐食試験)

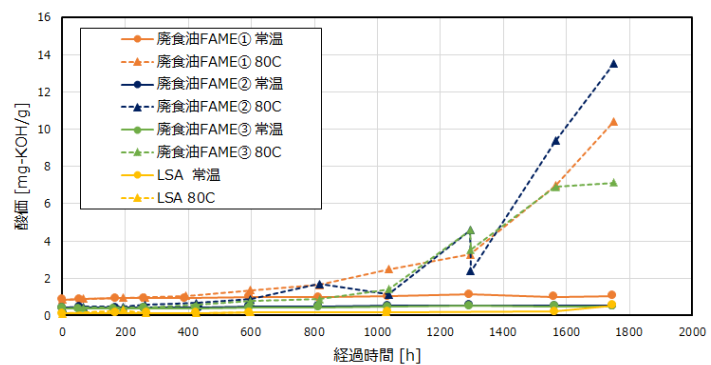


図 5-3 保管温度を変化させた場合の酸価の変化(廃食油 FAME)

□サブテーマ6

・油回収後の油水分離技術として、マイクロスケールの微細気泡を積極的に接触させる縮小拡大管(ベンチュリ管)デバイスを導入した油水分離試験装置を構築、回収油を模擬したエマルジョン(重質油+水+界面活性剤)の油水分離試験を実施した。デバイス作動条件(エマルジョン流量および微細気泡生成のための空気流量)ごとの圧力分布の違いを詳細に計測するとともに、エマルジョン油水分離挙動の時系列変化を定量化した(図 6-1)。その結果、ベンチュリ管作動条件により油水分離時間に差異が生じ、最適な条件が存在することを示唆した。

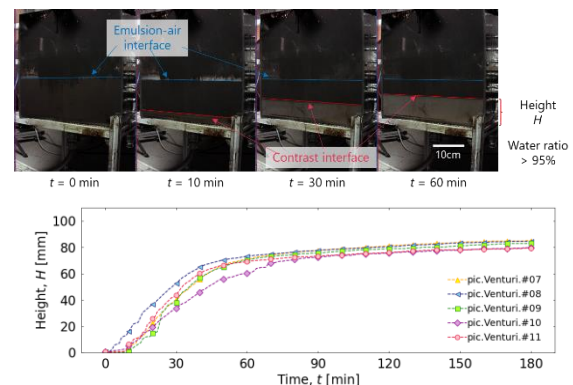
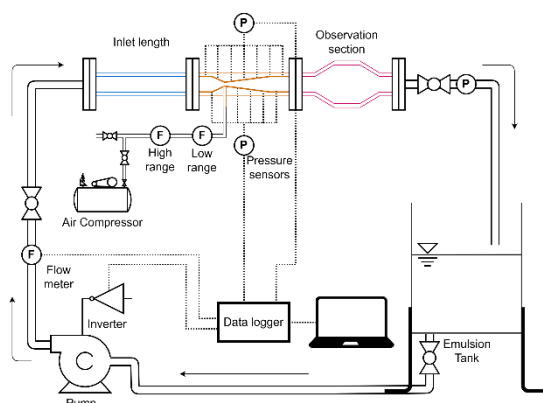


図 6-1 構築した回収油の油水分離試験装置

- ・油回収前の重質油粘性低下技術開発にあたり、高圧水噴射による回収油の流動化促進技術について PIV 計測に係る試験装置構築を行うとともに、流動化後の液体を詳細観測可能な顕微鏡システムを設計した。
- ・油回収管内の流動制御技術の開発にあたり、エジェクタポンプを用いた実用化を意識した回収試験装置を構築、重質油ならびにエマルションを対象に回収試験を実施し、管内圧力損失、回収後油の水分率を取得し、回収後油の分離挙動について定点観測を行った(図 6-2)。



図 6-2 構築した重油回収システム

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ))：5 件(投稿中：0 件、採択済：1 件、掲載済：4 件)

科学雑誌掲載論文

- ・Ichikawa, Y.: Retrofit concept for 100% hydrogen operation on natural gas lean-burn engine with spark ignition and prechamber system: engine performance under hydrogen-mixing and load limits, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.60, No.22, (Available online 26 February) (2024) (掲載済)
- ・Sekiguchi, H: Pure ammonia direct decomposition using rod-electrode-type microwave plasma source, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.57, pp.1010-1016 (2024) (掲載済)
- ・Sekiguchi, H: Experimental Investigations of Plasma-assisted Ammonia Combustion using Rod-Electrode-Type Microwave Plasma Source, International Journal of Hydrogen Energy. (採択済)
- ・Kanao, S., et al.: Optimization method of observation positions in sub-seabed CCS using the adjoint marginal sensitivity method, International Journal of Greenhouse Gas Control, (2023). (掲載済)

査読付き国際会議論文

- ・Niki, Y: Effects of Hydrogen on Combustion in Ammonia-Diesel Dual Fuel Engine and Demonstration of Autothermal Catalyst to reform Ammonia into Hydrogen, Proceedings of the ASME 2023, ICE Forward Conference (ICEF2023), ICEF2023-109103,(2023). (掲載済)

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文：20 件(投稿中：0 件、採択済：0 件、掲載済 20 件)

- ・西尾澄人 ほか: EGR によるメタンスリップ低減に関する研究, 第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会講演会, 講演論文集 (2023).
- ・市川泰久 ほか: 水素専焼ガスエンジンの技術開発, 令和 5 年度(第 23 回)海上技術安全研究所研究発表会 (PS) 論文集
- ・市川泰久 ほか: リーンバーンガスエンジンの水素高混焼率運転における機関性能, 第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会講演会, 講演論文集 (2023).
- ・市川泰久: 水素エンジン等の次世代燃料研究の進捗, 第 23 回海上技術安全研究所講演会 (2023).
- ・市川泰久: 水素やアンモニアを燃料とする未来の船用エンジン, うみコン 2024、3 研シンポジウム (2024).
- ・市川泰久 ほか: 水素混焼ガスエンジンに関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 23 巻, 第 4 号 (2024).
- ・仁木洋一 ほか: アンモニア混焼ディーゼル機関における補助燃料の性状に関する研究 第一報 補助燃料性状がエンジン性能に及ぼす影響, 第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会講演会, 講演論文集 (2023).
- ・仁木洋一: CIMAC 釜山大会報告セッション 5-2 及び 8-2, 日内連技報 No.9、日本内燃機関連合会 (2023).
- ・仁木洋一: 海上技術安全研究所 環境・動力系における GHG 削減に関する研究取り組み, 日内連情報 No.125、日本内燃機関連合会, (2024).

- ・仁木洋一 ほか：GHG 削減に向けた代替燃料燃焼技術に関する研究の展望，海上技術安全研究所報告，第 23 巻，別冊(令和5年度)第23回研究発表会講演集，(2023)。
- ・仁木洋一：アンモニア混焼ディーゼルエンジンに関する研究—アンモニアが燃焼と排ガス成分に及ぼす影響と未燃アンモニアと亜酸化窒素の低減—，海上技術安全研究所報告，第23巻，第4号(2024)。
- ・清水勇毅 ほか：First evaluation of an ammonia reforming system in NH₃-diesel dual fuel small engine, Proceedings of 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023)。
- ・川内智詞，仁木洋一，市川泰久：船用実機スケールの燃焼過程を模擬する大型燃焼試験装置の開発と展望，令和5年度(第23回)海上技術安全研究所研究発表会(PS)
- ・高木正英：液体代替燃料評価に向けた現状と課題，令和5年度(第23回)海上技術安全研究所研究発表会(PS)
- ・小島隆志 ほか：防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発 海上技術安全研究所報告第23巻，第4号(2023)。
- ・小島隆志：船体付着生物に関する環境基準策定状況及び技術動向 2023 年度船舶基準セミナー～IMO における環境関係諸基準の策定状況及び関係者の取組状況(GHG、新燃料、船体付着等) 船舶技術研究協会(2023)。
- ・小島隆志：船底防汚剤の歴史と船底防汚塗料に関連する規制(過去と未来) e-水産学シリーズ「船底や漁網に使用されている防汚剤の変遷と生物影響」日本水産学会(2023)。
- ・小島隆志 ほか：船舶起源の環境問題に対する環境・動力系の国際基準への取組 令和5年度(第23回)海上技術安全研究所発表会講演要旨集(2023)。
- ・Kojima, R. A Laboratory Bioassay for Evaluating the Efficacy of Anti-fouling Paints on Ectocarpus sp. using Its CIELAB Coordinates, World Coating Council's AntiFouling Coatings Committee (WCC-AFCC) (2023)。
- ・小島隆志：環境問題からの船体付着生物管理及び水中洗浄の動向，日本船長協会誌(2023)。

□特許申請：0 件

・

□コアプログラム登録：0 件

・

□国際連携活動：9 件

- ・IMO、汚染防止・対応省委員会(PPR)、Black Carbon 規制、船体付着生物管理 GLs の検討、水中洗浄に関するガイダンスに関する審議、2 回
- ・IMO、海洋環境保護委員会(MEPC)、大気汚染防止及び船舶のエネルギー効率に関する審議
- ・ISO、ISO/TC8/SC2/WG13、船体汚損の水中洗浄システム、海洋環境保護、船底防汚システムに関する審議、3 回
- ・ISO、ISO/TC8 Charman's Strategic Advisory Group Meeting、TC 8 議長とその傘下の SC 議長及び TC 8 議長が指名する関係者による TC 8 の課題等の意見交換
- ・ブラックカーボン技術作業部会(IMOに関連)、船舶からの BC 排出量計測手法等に関する審議、2 回

□受賞：5 件

- ・今井康雄 ほか：日本マリンエンジニアリング学会・論文賞、天然ガスパイロット燃料着火方式における着火・燃焼特性に関する基礎研究—パイロット燃料の噴射パラメータがメタン空気予混合気の着火・燃焼特性へ与える効果—、日本マリンエンジニアリング学会誌，57 巻 6 号 pp.790-797, (2022)
- ・福田哲吾 ほか：日本マリンエンジニアリング学会・技術賞、バイオ燃料の持続可能性基準、LCA 評価法および各種認証についての調査、日本マリンエンジニアリング学会誌，57 巻 6 号 pp.768-777, (2022)
- ・日本マリンエンジニアリング学会マリンエンジニアリング・オブ・ザ・イヤー、(長年にわたるマリンエンジニアリングに関する優れた研究成果及び独創的技術の実用化のための開発試験、環境動力系)
- ・Best Paper Award, First evaluation of an ammonia reforming system in NH₃-diesel dual fuel small engine, Proceedings of 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023)。(所内研究員が共著者として受賞)
- ・高橋千織：海上・港湾・航空技術研究所理事長表彰(個人表彰)、船用燃料油規制に係る対策技術の評価及び国際基準の策定に貢献した功績

□公開実験：1 件

- ・環境・動力系ラボツアー(12/5 開催)

主な評価軸に基づく自己分析**□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか**

- ・サブテーマ1, 2, 3及び5に実施している代替燃料(水素・アンモニア・バイオ)の利用に関する研究や省エネ船の建造支援、省エネ効果の解析は、GHGの削減に資する研究開発である。GHG削減は、IMOによるGHG削減戦略や我が国の地球温暖化対策計画、第5期国土交通省技術基本計画、2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略等でも取り入れられており、それらに貢献するものである。
- ・高度になる環境負荷削減対策の研究開発に合わせて、環境への影響を精度よく評価するための技術も高度化する必要がある。サブテーマ4では、船舶からの環境負荷物質排出量の推定、船体の塗料の性能、あるいは事故時損傷等に係り船外へ放出される物質の環境中濃度などの評価技術、モニタリング技術および合理的後処理技術の高度化を行い、国際競争力強化および我が国経済の持続的な発展に貢献している。
- ・サブテーマ6の重油のエマルジョン化による流動促進化及び回収技術の開発では、近年においても発生する油回収を要する事象に対して迅速に対応しようとしており、本国に留まらず世界的に高い需要に応える課題であり、海洋環境保護に大きく貢献するものである。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい

- ・アンモニア燃焼や水素専焼技術、アンモニアからの水素生成技術など海外学術雑誌において研究成果の発表をしている。アンモニアや水素は、船舶からのGHG削減を達成するための脱炭素燃料として期待されている代替燃料であり、それらを安全に使用するための技術開発に貢献する成果が創出されており、科学的意義は大きい。特に、水素専焼技術では、既存のガス専焼機関を用いて水素専焼を達成するなど新規性も高く、研究成果を基に、民間企業と共に技術開発を進めている点など実用化にも貢献している。
- ・船底防汚塗料の評価では、今年度に新規に取り組んだ、本試験法の供試生物の拡張試験により、本試験法が、従来の褐藻のみならず、緑藻に対しても評価が可能である結果が得られていることから、汎用性の高い、学術的価値の高い研究であるといえる。本研究は、基礎技術(分光計測技術)を新規分野に適用して実用化を目指す応用研究であり、従来方式と比べて現場の人間が簡易に扱うことができる手法という観点からも、科学的意義が大きい。
- ・重油のエマルジョン化による流動促進化及び回収技術の開発で扱っているエマルジョンは非ニュートン流体の中で擬塑性流体に分類されており、複雑な挙動を示すことが知られている。当該流体のレオロジーや生成過程を正確に制御する技術は各国の研究機関で取り組んでいる課題であり、発展性が十分大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか

- ・水素専焼技術では、所内で研究開発を行ってきており、本年度からエンジンメーカーの開発に参画することとなった。開発した技術が、世の中で必要とされている技術である事をしめしている。
- ・藻類を対象としたISO 21716-4については、今年度作成した褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価に関する試験法の草案がISOへ提案され、2023年10月に新規作業計画に承認された。このISO規格は現在IMOで審議中の水中洗浄ガイドラインの審議への余地を検討しており、期待された時期に成果が創出されていると考える。
- ・サブテーマ6では、新たな油回収システムとしての試験評価装置を構築し、試験評価手法を確立した。さらに、当該試験装置で新たに直面した研究課題解決に取り組んでおり、前倒しに研究を進めている。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか

- ・発効準備を進めているISO 21716-4は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法としては世界初の国際規格であり、現在IMOで審議中の水中洗浄ガイドラインの防汚システムにおいて、適切な管理方法として参照される可能性がある。この規格により、市場において防汚塗料性能を明確に区別することが可能となり、我が国の塗料メーカーの技術的優位性が高まるものと考えられる。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

- ・本研究では、サブテーマ1のNH₃専焼コンセプトの提案、サブテーマ3のアルコール系燃料の着火性評価や次世代燃料利用評価のためのPM計測手法の高度化並びにサブテーマ4の緑藻に対する船底防汚塗料の性能評価が該当する。それぞれ、先見性が高く、国内外で例を見ない研究成果を創出している。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

各サブテーマにおいて研究成果が創出され、研究成果の対外的な発表も査読付き論文・査読付き国際学会と合わせて6件であり、国内外に対する成果の発表も行っている。なかでも、水素燃料利用やアルコール系燃料の着火性の研究は、研究成果が国内企業により注目され、国内企業と協力して実施する体制が組まれており、外部資金の獲得にも貢献している。また、ISO/TC8/SC2/WG5(国際標準化機構／船舶及び海洋技術専門委員会／海洋環境保護分科委員会／船底防汚システム作業委員会)における議論動向を踏まえ、本研究担当者がプロジェクトリーダーとして審議に対応し、発行済み ISO-21716-1～3(2020)を補強するための ISO-21716-4(対象:藻類)の発行準備を進めた。その結果、2023 年 10 月に ISO により作業計画に承認され、国際規格発行に向けて審議が行われている。

以上より本研究の自己評価としては、「研究開発成果の最大化に向けて、顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる」(A)とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A

研究開発課題	(3)② 海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発
--------	---

研究テーマ	重点7 海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究
-------	--------------------------------

中長期目標	中長期計画	R5年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の振興並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた安全性評価・最適化、海洋開発のための関連機器、マリンオペレーション技術等に関する研究開発に取り組む。	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の振興並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の振興に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発 －船体タンク内遊動水のモデル化及び遊動水影響を考慮した船体運動プログラムの開発、洋上プラットフォームに関する検討により全体挙動評価において必要となる数値計算モデルの構築を行う。等 ③海洋利用に関連する技術に関する研究開発 －AUV－AUV通信・測位による協調群制御の手法の確立、ASV－AUV連結システムの複数機拡張および運用手法の開発を行う。等

研究の背景

海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の振興並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の振興に向けた国と民間との連携を図る。

具体的には、以下があげられる。

- ・ マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究
- ・ 海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究
- ・ 高度な海洋調査に向けた先進的の海洋無人機に関する研究開発

期間全体の研究目標

- マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究
 - ・ 洋上風力発電アクセス船の最適配船計画プログラム、風車タワーと起重機船の波浪中連成運動評価プログラム、SEP 船の稼働性評価プログラム
 - ・ 輸送中の液体 CO₂ 流動評価プログラム、CCS 全体システム評価プログラム

- ・ バンカリングや CCS 等に対する 2 船体連成運動推定プログラム
- 海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究
 - ・ 海洋資源開発システムの安全性及び稼働性に係る評価技術及び計測技術
 - ・ 対象資源に対する最適なシステム構成の選定に資する使用限界条件データベース
 - ・ 日本の EEZ 内の資源開発を対象とした計画支援ツール
- 高度な海洋調査に向けた先進的海洋無人機に関する研究開発
 - ・ 運用深度 200m の試作機、6000m の実証機
 - ・ AUV-AUV 通信・測位による複数 AUV 隊列群制御手法の実装
 - 【最優先検討事項として当初計画から実施内容を変更】
 - ・ 複数機 AUV 運用に最適化した MCS 調査装置の実装→AUV 水中ドッキング及び充電・データ転送技術
 - ・ ASV-AUV 連結システムによる海中構造物点検手法
- 全体
 - ・ CTV や洋上 CO₂ 圧入、バンカリング等の各種マリンオペレーションに対する安全性・稼働性評価技術およびガイドラインの策定、海洋資源開発のための全体システムの安全性・稼働性評価技術および開発支援プログラムの開発、海空無人機システム AUV、AUV-AUV 通信・測位および水中ドッキングシステムによる広範囲・長時間運用手法、海洋構造物等の保守点検への AUV 活用方策・手法

上記成果は、以下があげられる。

- マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究
 - ・ 洋上風力発電の設置、維持管理技術に関する運用支援プログラムを整備することで、近年、産業界の注目が集まっている洋上風力発電事業への参入を後押しする。
 - ・ 海洋 CCS 技術の評価するためのツールを整備して活用することで、技術的側面から我が国沿岸域での CCS ポテンシャルを調査し、政府及び本邦企業に対して CCS に今後求められる技術等を示す。
 - ・ バンカリングや CCS 等に対する 2 船体連成運動推定プログラムを整備することで、本邦企業への技術支援を行う。また、国が策定する次世代船用燃料船の早期導入とバンカリング等に関するガイドラインの策定へ貢献する。
- 海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究
 - ・ 海洋資源開発における国家プロジェクトへの技術支援や本邦企業の海洋産業への進出を技術的に支援することにより、我が国の海洋産業の育成やエネルギー・鉱物資源の安定供給に貢献することができる。
 - ・ 海洋資源開発で使用可能なシステム構成の選定に資する情報に関して、資源開発を担う機関に提供し、開発計画の検討に活用する。
 - ・ 海洋資源開発における国家プロジェクト、商業化を担う本邦企業にて開発計画の検討に活用する。
- 高度な海洋調査に向けた先進的海洋無人機に関する研究開発
 - ・ 試作機および実証機による実海域試験で海空無人機システム AUV の有効性を実証し、海外進出を含めた市場の開拓を後押しする。
 - ・ 高品位海底調査における有用性を実証し、民間企業への技術移転や指導を行う。
 - ・ 民間企業と連携し、事業ベースの海底資源調査に活用する。
 - ・ ハードウェアシステムと運用技術をもとに、民間企業による委託事業等への参入を促す。
- 全体
 - ・ 評価技術や運用技術、支援ツール等を本邦企業に提供あるいは技術移転することで実プロジェクト等への参入を支援する。

R5年度研究目標

□サブテーマ1

- ・ 洋上風力発電施設の設置及び維持管理技術
- ・ 海洋 CCS 技術
- ・ 次世代船用燃料バンカリング等の安全性・稼働性評価技術

□サブテーマ2

- ・ 海底鉱物資源の揚収に係る管内評価技術
- ・ 本邦 EEZ 内の海底資源を対象とした開発支援プログラムの拡充
- ・ 資源開発における最適なシステムの自動選定に係る技術

□サブテーマ3

- ・ 海空無人機システム AUV の基本設計
- ・ AUV-AUV 通信・測位による協調群制御の手法を確立
- 【最優先検討事項として当初計画から実施内容を変更】

- ・音響地盤探査装置の基本・詳細設計→水中ドッキングに向けた AUV 誘導技術の開発
- ・ASV-AUV 連結システムの複数機拡張および運用手法の開発

R5年度研究内容

□サブテーマ1

- ・洋上風力発電アクセス船(CTV)から洋上風力発電施設への乗り移り性能評価に関する研究
- ・超大型起重機船を使った風車タワーの一体搭載作業に関する研究
- ・液体 CO₂ 輸送中の振動管内における流動状態評価及び管挙動に関する研究
- ・海洋 CCS のための洋上プラットフォームに関する研究
- ・船体タンク内遊動水の影響を考慮した船体運動に関する研究

□サブテーマ2

- ・エアリフト方式について、気相低体積率領域における評価手法の妥当性検討
- ・開発支援プログラムの対象範囲を本邦 EEZ 全域に拡張
- ・海底鉱物資源開発の最適なシステム抽出に係る最適化アルゴリズム選定に関する研究

□サブテーマ3

- ・海空無人機システム AUV の仕様策定および基本設計に関する研究
- ・AUV-AUV 通信・測位による複数 AUV の制御手法に関する研究
- 【最優先検討事項として当初計画から実施内容を変更】
- ・AUV による音響地盤探査に関する研究→ホバリング型 AUV 水中誘導手法に関する研究
- ・ASV-AUV 連結システム複数機同時運用および搭載センサーの拡張に向けたシステム開発に関する研究

R5年度研究成果

□サブテーマ1

- ・洋上風力発電施設に CTV が船首接触した状態での乗り移り評価試験、風洞試験等を実施し、乗り移り性能評価法を構築した。また、カタマラン型 CTV と SWATH 型 CTV の乗り移り性能の違いを明らかにした。(図 1-1)

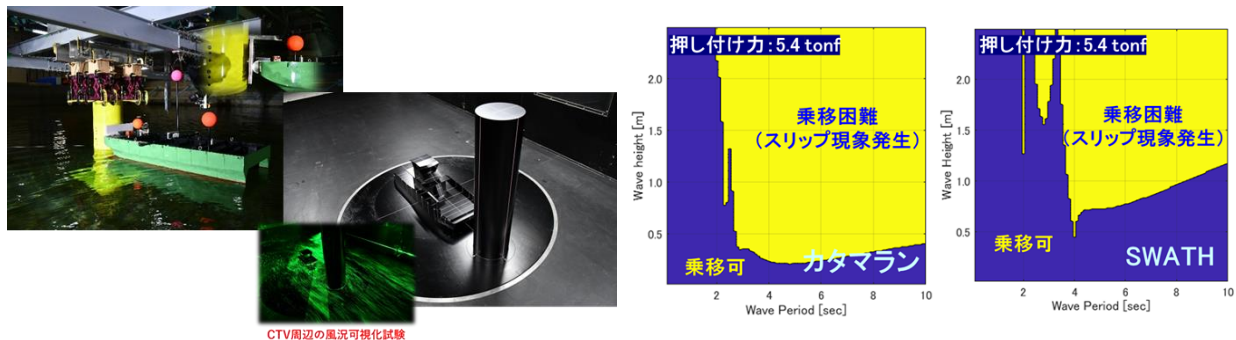


図 1-1 洋上風力発電アクセス船(CTV)の乗り移り性能評価のための各種模型試験と異なる船型 CTV の乗り移り性能の違いに関する評価結果の比較例

- ・ストリップ法(STF 法)による波浪中船体運動計算プログラムによりモノハル型 CTV の耐航性能を評価した。また、当該プログラムをカタマラン船型に適用するための改造法を整理し、検証データ取得を目的に、カタマラン型 CTV の強制横揺れ試験、粘性影響を考慮した CFD 解析を実施した(図 1-2)。

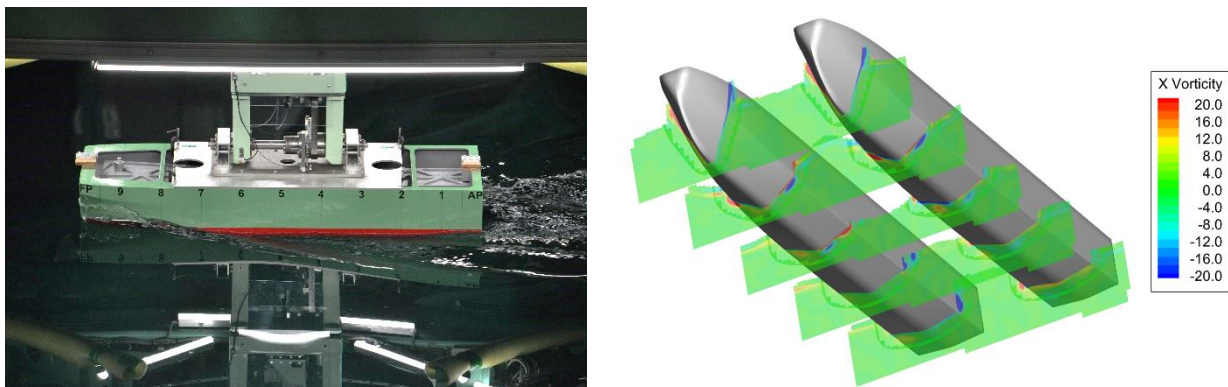


図 1-2 カタマラン型 CTV の強制横揺れ試験と CFD 解析(船長方向渦度分布)

- ・SEP 船本体と脚部に作用する波強制力や潮流力の計測を目的とした水槽試験計画を立案した。また、当該試験で使用する船体模型を製作し、その流体力解析を実施した。
- ・近接したスパー型 CO₂ 圧入プラットフォームと CO₂ 輸送船の相対運動を推定するための計算モデルを構築し、過去に実施した模型試験と比較し妥当性を検証した。また、2 浮体間の流体力学的相互干渉の有無がそれぞれの運動に与える影響を明らかにした。
- ・液体 CO₂ 可視化計測(PIV,LIF)の大規模実験に向けた模擬実験を行ない、高圧流体の可視化計測に係る知見(蛍光染料の溶解特性等)を蓄積した。
- ・液体 CO₂ の管内流動解析のため、相変化を考慮した、Newton-Krylov 法(非線形方程式に対する解法)を用いる定常一成分二相系(CO₂)流れのドリフトフラックスモデル(混合物モデルの一つで、各相の速度差を考慮したモデル)を構築した。
- ・次年度実施予定の内部流影響を考慮した挙動評価プログラムの検証データを取得するための潮流中挙動計測実験に向けて試験計画を立案し、試験装置を設計・製作した。
- ・粒子法に基づき、船体タンク内遊動水の影響を考慮するプログラムの開発を進めた。また、錨泊中に大きな振れ回り運動を伴う状態での LNG バンカリングについて、水槽試験と数値計算により稼働限界条件を明らかにし、過去に策定した岸壁係船時の条件と比較することで、国が進める夜間・錨泊中の LNG バンカリングガイドラインの改定に貢献した。

□サブテーマ2

- ・気相の体積率が低い領域を対象とした固気液三相流移送試験を実施し、これまでに検討してきた内部流評価モデルの適用性を調査した(図 2-1)。これまでに検討してきたドリフトフラックスモデルを用いた場合、気相体積率が低い領域では高い領域に比べて分布定数が小さくなることがわかった。これは管内の流速分布が異なることを表しており、管内混相流の数値計算に用いる構成方程式の精度に影響すると考えられる。気相体積率によらず、固相流速と液相流速に線形の関係があることが明らかとなった(図 2-2)。また、摩擦損失の推定式について当該領域でも適用できることが確認できた。

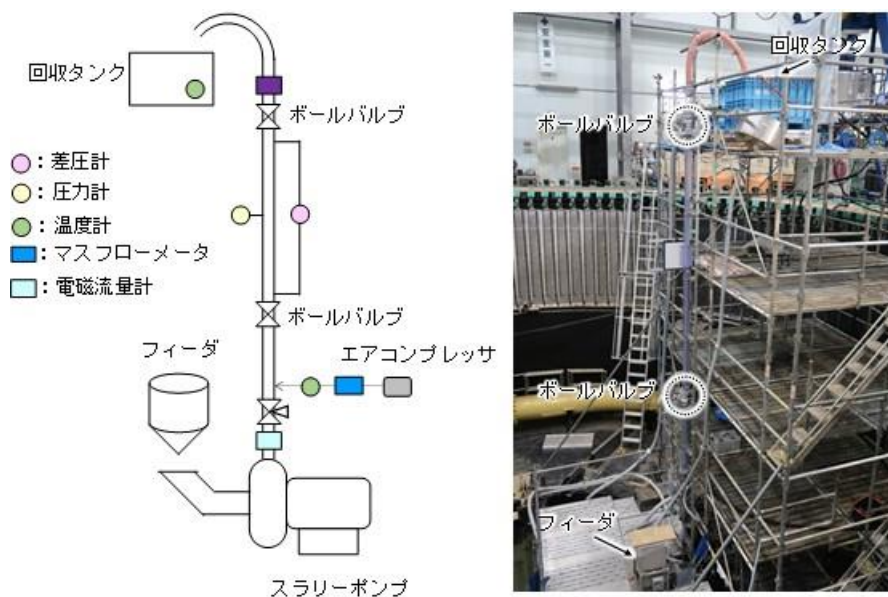


図 2-1 試験装置模式図及び外観写真

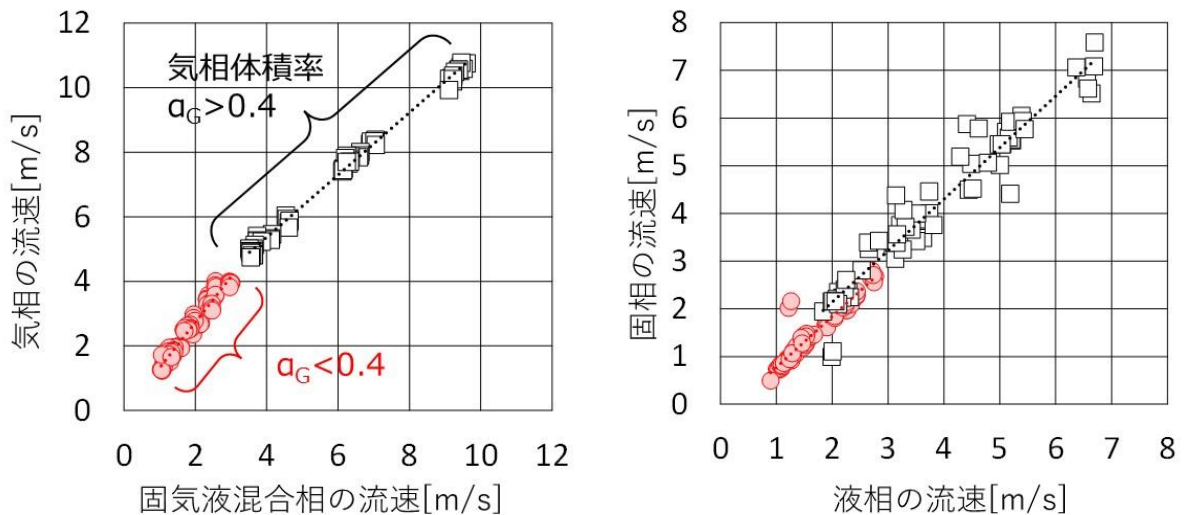


図 2-2 気相体積率の違いにおける各相の流速結果
(左図：混合相流速と気相流速の関係、右図：液相流速と固相流速の関係)

- ・さらに、令和4年度に構築した固液二相流の圧力損失推定モデルについて、複数の模擬鉱石を用いた試験結果との比較を通じて、当該モデルが球形粒子のみでなく非球形粒子にも適用可能であることを確認するとともに、将来の管内流動状況リアルタイムモニタリングの構築に向け、時間領域シミュレーションへのモデルの拡張を行った。
- ・稼働性評価及び経済性評価が可能な開発支援プログラムについて、海底熱水鉱床を対象とした支援プログラムをもとに、本邦 EEZ 内全ての海底鉱物資源に対応するため対象海域を南鳥島海域や日本海海域を含め拡充を行った。併せて、水深が立体的に表現できる陰影段彩図に変更した(図 2-3)。これまで海底熱水鉱床開発で使用可能なシステムを検討してきたが、今後はマンガン団塊等の水深 4,000m 以深の大水深で使用可能システムについて検討を行う。

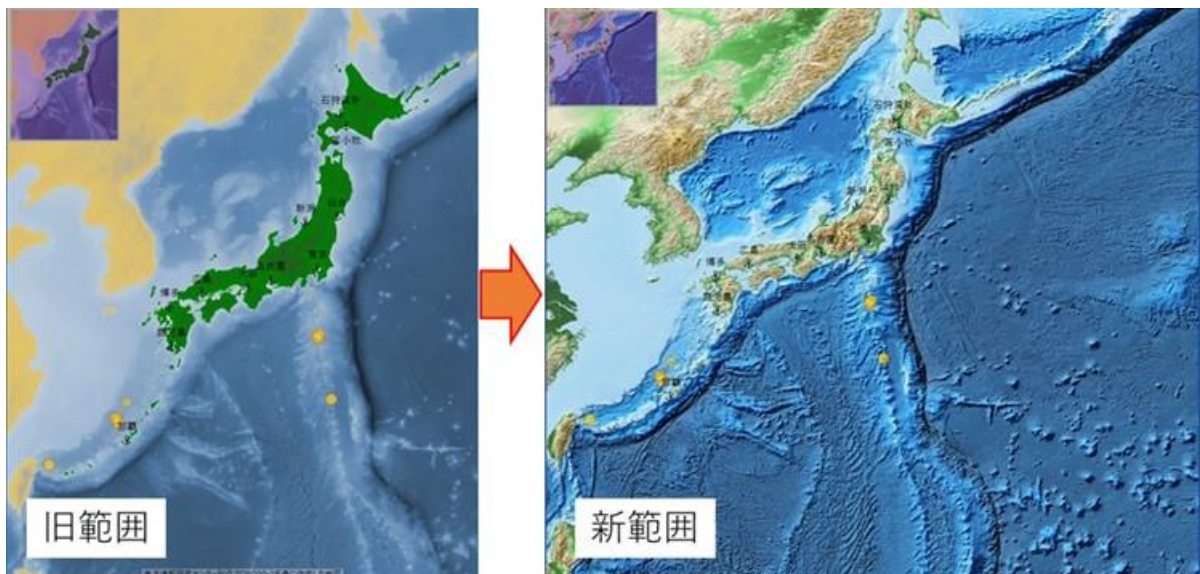


図 2-3 開発支援プログラムの対象範囲拡張

- ・最適なシステム(洋上施設の係留の有無、シャトル船の隻数、揚鉱管の仕様等)の候補を抽出可能とする最適化アルゴリズムについて調査し、離散値を含む入力変数を有するため、AI 技術であるニューラルネットワークを用いた手法を候補として選定した(図 2-4)。同手法を用いれば経済性指標を最大化する最適なシステム構成候補を自動で決定できる可能性がある。今後はニューラルネットワークの構築に必要な学習データを効率的に作成し、保有するプログラムに同アルゴリズムを実装し効果を検証する(図 2-5)。

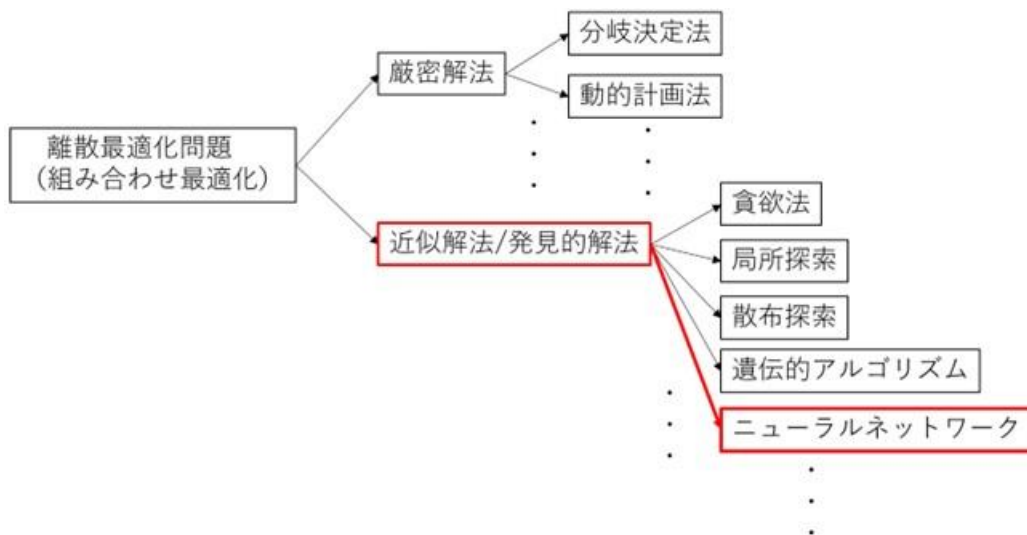


図 2-4 システムの最適化手法に係る検討結果

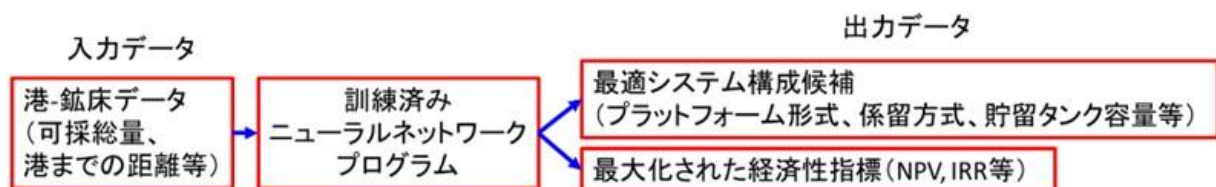


図 2-5 ニューラルネットワークプログラムの開発支援プログラムへの実装イメージ

□サブテーマ3

・飛行艇により輸送され、展開・運用・揚収される海空無人機システム AUV 特有の要求条件を洗い出し、必要仕様を策定した。また、策定された仕様をもとに、自動投入揚収対応 AUV および深度 6,000m 級の深深度 AUV に対し、概念・基本設計を行った。深度 2,000m 級で開発される自動投入揚収対応 AUV に関しては、飛行艇のペイロードに合わせ 800kg の重量目標が定められた。自動揚収に欠かせないドッキングの際に非常に高い精度の位置制御が求められることから、ホバリング機能を有し、5 自由度以上の運動制御が可能であることを機体の目標仕様として策定した。6,000m 級の深深度 AUV に関しては、推定重量が 1,460kg であることから飛行艇への搭載は考慮せず、従来の支援船による運用を基本として開発を進める。但し、飛行艇の大型化に伴う将来の搭載可能性を見据え、機体の形状や基本特性等において自動投入揚収対応 AUV を踏襲することとした(図 3-1)。

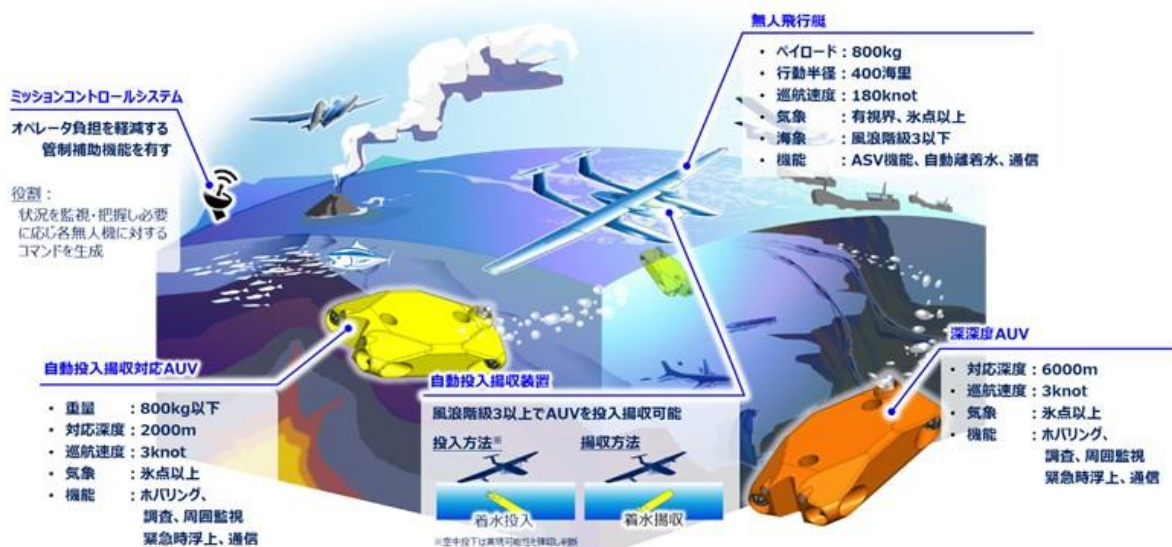


図 3-1 海空無人機システム AUV の概念および基本設計の結果

- ・海底に設置された音響基準局（音響灯台）による絶対位置補正（図 3-2(1)）と、AUV の 1 機を中心とした音響ネットワークによる相対位置調整（図 3-2(2)）の 2 つを組み合わせた、リファレンス - フォロワー群制御と言った複数 AUV 制御手法を提案した（図 3-2）。提案手法では、図 3-3 に示した運用手順の通り、海底付近まで潜航した AUV 群は巡回待機を行いながら水中音響灯台を定期的に測位して絶対位置補正を行う（図 3-3(1)）。次に、絶対位置補正終了後、AUV1 機をリファレンス機、その他をフォロワー機と定義する。フォロワー機は定期的にリファレンス機を測位し、AUV 間の相対位置調整を実施しながら航行する（図 3-3(2)）。



図 3-2 リファレンス - フォロワー群制御の基本概念

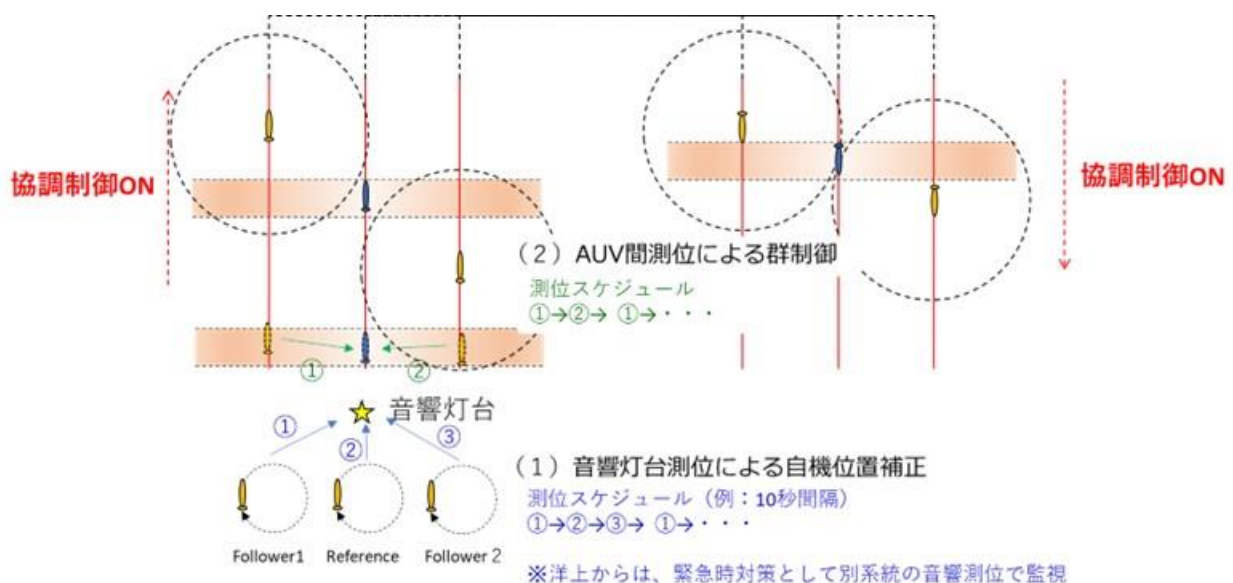


図 3-3 リファレンス - フォロワー群制御の実施手順

- ・上記提案手法の有効性を検証するため、MATLAB/Simulink による複数 AUV シミュレーションモデルを製作し、時間領域でのシミュレーションを実施した。得られたシミュレーションの結果から、本提案手法による絶対位置補正および相対位置調整が、AUV の観測データの安定化（図 3-4）及び航行安定性の向上（図 3-5）に効果があることを確認した。

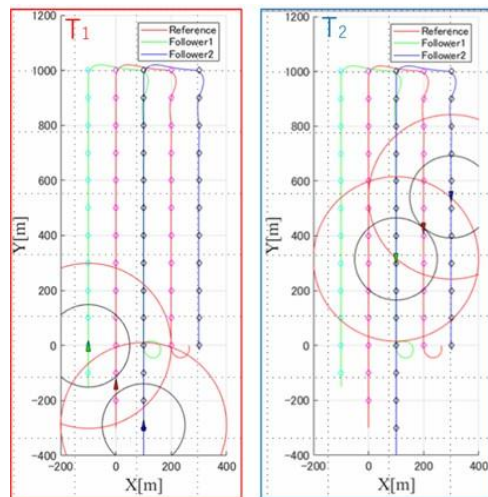


図 3-4 リファレンス - フォロワー群制御シミュレーション結果(AUV3 機)

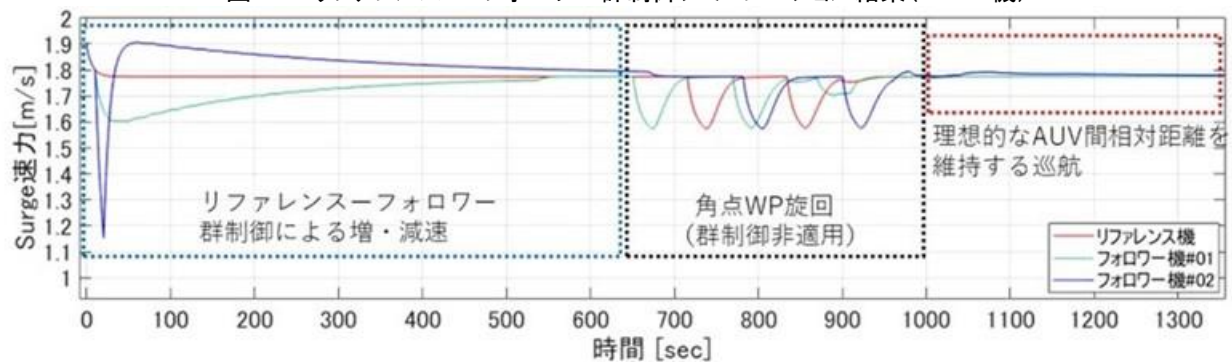


図 3-5 リファレンス - フォロワー群制御時の AUV surge 速度

- ・AUV をより高度に運用するためには、観測の高度化だけでなく、観測データの取得方法や充電方法に関しても高度化させることが求められる。そこで、観測データの洋上転送や水中充電を行う水中基地局(以下、深海ターミナル)を海底に設置し、AUV をドッキングさせることによりこれらの高度化を目指す。AUV は海底に設置された深海ターミナルに着座するため、高度を下げながら着座位置へと接近する。AUV の自機位置・速度測定装置の一種である Doppler Velocity Log(DVL)は、着座の間際には反射音のマルチパス現象により、機体速度および高度の計測が不可能となる。そこで、AUV の自機位置測定にカメラから取得した画像情報を用い、深海ターミナルへの誘導を行う。
- ・画像情報をもとに有効な自機位置測定を行うため、3 つの赤色 LED から構成される誘導灯の最適な配置を提案した(図 3-6)。

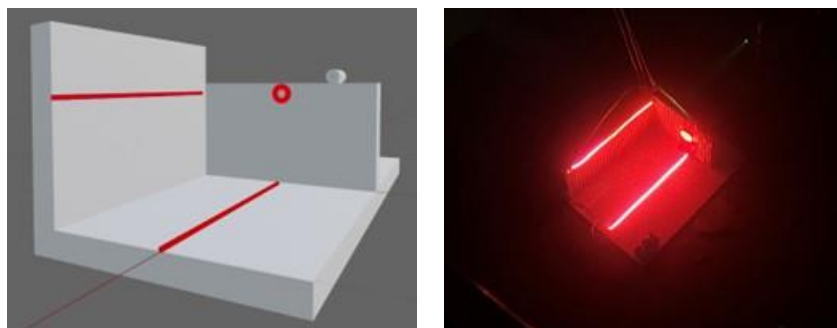


図 3-6 深海ターミナル上 LED 誘導灯の配置図と深海ターミナル模型の水中設置時の外観

- ・LED 誘導灯の画像検出を行う際、カメラとLED誘導灯間の距離に応じて輝度が大きく変化するため、光源のサチレーションによって白く映った場合、色情報の検出が困難となる。また、同色の誘導灯においても、距離に応じた輝度の変化によって色味が異なって見える特性がある(図 3-7)。こうした問題の解決に向け、ラベリングによる色検出システムを新たに開発した。本システムでは、複数のピクセルから構成された対象物を検出し、対象物の持つ色情報の比率を求めることでどの誘導灯であるのかを判断する。また、RGB 画像から色検出を得意とする

HSV(Hue(色相)、Saturation(彩度)、Value(明度))画像に変換することで、色味の変化に強いシステムとした。

- ・水中では予期せぬ漂流物等により光源が遮られ、対象物が2つに分断されて検出される可能性がある。本システムはモルフォロジー演算を用いることで、対象物の再統合を可能とした。

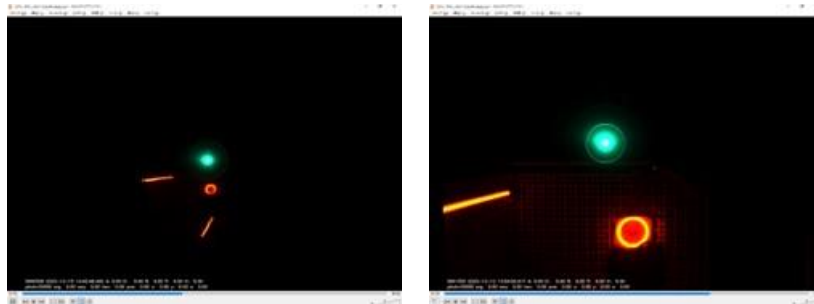


図 3-7 距離に応じた LED 誘導灯の見え方の変化
(左図: 誘導灯までの距離約 5m, 右図: 誘導灯までの距離約 1m)

- ・複数の LED 誘導灯を設置した深海ターミナル模型(以下、モックアップ)を水槽内に設置し、撮影映像から AUV の相対自機位置推定性能の検証を行った。相対自機位置の推定には、検出した誘導灯の特徴点の 3 次元座標を算出することでモックアップ設置位置からの相対的に推定した(図 3-8)。モックアップは図中のオレンジ色の四角内に設置し、AUV は縦距離 5m の地点から潜航を開始した。誘導灯として 2 本のライン状 LED と 1 個の円形 LED を設置している。図中黒のプロットはライン状 LED 検出時、赤のプロットは円形 LED 検出時の自機位置推定結果を示す。自機位置推定精度は誤差 0.1-0.2m 程度とおおむね良好であり、AUV ドッキング時の自律接近航走に十分な精度を持つことを確認した。
- ・ドッキング技術を海技研のホバリング型 AUV(ほばりん)にて検証するため、ほばりんの制御システムを大幅に改造した。大きな変更点としては、ROS(Robot Operating System)で構成されていたソフトウェアを ROS2 へアップデートし、より高度なミッションの組み込みを可能とした。現在段階的に各種機器の動作確認を進めており、動作確認完了次第ドッキング技術検証試験を行う予定である。

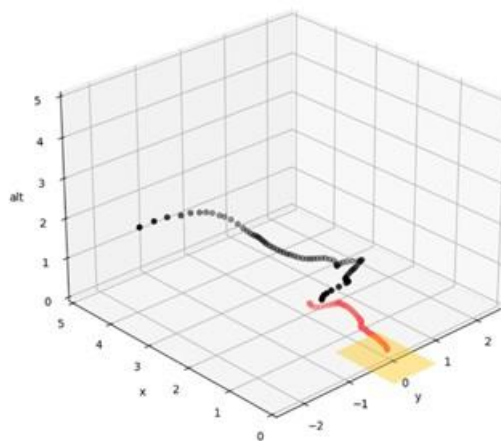


図 3-8 画像処理による自機位置推定結果の 3 次元プロット

- ・「AUV-ASV 連結システム」の複数機同時運用及び搭載センサーの拡張に向けたシステムの開発を行った。連結システムの 2 式目を製作し、2 式を同時運用しても無線通信データ量が過重とならないよう、それぞれ独立した Wi-Fi SSID のネットワーク構成とした(図 3-9 左)。また、ASV に DGPS(相対測位方式)とステレオカメラ、AUV に DVL と水中 LiDAR 装置(レーザー測位装置)を搭載し、遠隔操作時・自律航走時に必要な位置精度の向上を実現した(図 3-9 右)。

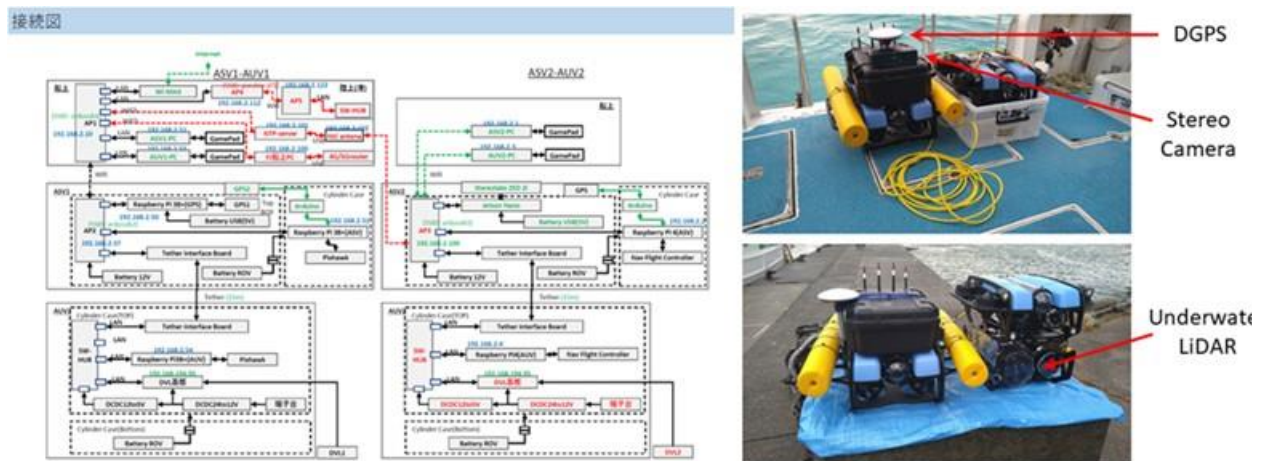


図 3-9 「AUV-ASV 連結システム」2 式の構成と拡張センサー搭載時の写真

- 洋上風力発電設備の海中部点検を目的として、「AUV-ASV 連結システム」を用いた銚子沖の着床式洋上風力発電設備で技術試験を実施した(図 3-10)。令和3年度および令和4年度の試験時と比較して濁度の高い状況での点検技術試験となったが、海中部の底部基礎(水深約12m)の鉄筋や底生生物(イトマキヒトデ)等の映像取得に成功した。また、DGPS 導入により、ASV の海上位置保持精度が向上していることを確認した。



図 3-10 銚子沖洋上風力発電設備の海中部点検技術試験概要図と試験から得られた海底映像

- サンゴ礁海域の海底環境調査を目的として、「AUV-ASV 連結システム」を用いた石垣港の南側海域で技術試験を実施した。亜熱帯に属する石垣島周辺海域では海水の透明度が高く、DGPS 測位を用いた ASV の誘導や ASV による AUV の曳航に加えて、ASV の水中カメラ映像を確認しつつ AUV を遠隔操作する手法が有効であった。調査1日目に水深8mのイシサンゴを観測対象と定め、マーカーや音響トランスポンダ等の海底人工物を設置せずに、調査2日目に再訪調査したところ、午前、午後の2回の調査とも、観測対象のイシサンゴを再確認、再調査することに成功した(図 3-11、12)。

図 3-11 石垣島南海域での観測対象イシサンゴ調査時の ASV 海上位置
(ASV 水中カメラによる AUV 監視時、橙色:1/23、桃色:1/24 午前、黄色:1/24 午後)



船上遠隔操作の様子

ASV（海面）水中映像

AUV（水深8m）水中映像

図 3-12 観測対象であるイシサンゴ調査時の船上、ASV、AUV における映像

- ・本研究の一連の結果により、浅海域における遠隔操作の海底調査技術が確立された。また、海水透明度が調査水深以上の海域であれば、ASV の水中カメラ監視による AUV 誘導とモニタリング技術として重要な海底調査位置への再訪調査が可能であることを実証した。

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ))：11 件(投稿中：1 件、採択済：5 件、掲載済：5 件)

科学雑誌掲載論文

- ・Otsubo, K.: Stick/Slip Phenomenon of a Crew Transfer Vessel Pushing Its Bow Against an Offshore Wind Tower During a Transfer Operation, International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol.33. No.4, pp.409-419, (2023)(掲載済)
- ・Masanobu, S., et al.: Hydraulic Transport of Large Solid Particles in Inclined Pipes under Pulsating Flow Conditions, J. Offshore Mech. Arct. Eng. (投稿中)
- ・Fujiwara, T.: Leader-Follower Formation Control Characteristics with Dynamic Way Point on Cruising AUVs, International Journal of Offshore and Polar Engineering,(2024)(採択済)

査読付き国際会議論文

- ・Otsubo, K., et al.: Comparison of stick/slip Phenomena at transfer points between different hull-type CTVs, Proc. 34th International Ocean and Polar Engineering Conference (2024) (採択済)
- ・Takano, S., et al.: EFFECT OF AXIAL DENSITY DISTRIBUTION IN LIQUID-SOLID FLOW IN PIPES ON THE JUMPER FOR DEEP SEA MINING, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2024) (採択済)
- ・Yamamoto, M., et al.: Optimization for Buoyancy Modules Attachment on Riser System For The Production Of Polymetallic Nodules, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2024) (採択済)
- ・Masanobu, S., et al.: NUMERICAL SIMULATION OF PULSATING SLURRY FLOW IN A JUMPER FOR SUBSEA MINING, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, (2024) (採択済)
- ・Yamamoto, M. et al.: Dynamic Analysis to Identify Mathieu Instability on Hanging Riser for Exploitation of Subsea Minerals, Proceedings of OTC Brasil (2023)(掲載済)
- ・Park et al.: Monitoring of Liquid-solid two-phase pipe flow using ultrasonic pulses, Proceedings of 14th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering (2023)(掲載済)
- ・Murai et al.: Ultrasound pulse measurement of air-lift multiphase pipe flow in an inclined pipe, Proceedings of 14th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering (2023)(掲載済)
- ・Kim, K.: Longitudinal Motion Control of Underactuated Cruising AUVs for Acoustic Bottom Survey, Proc. of the 20th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2023), vol.1, pp.754-762 (2023)(掲載済)

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文：11 件(投稿中：0 件、採択済：0 件、掲載済：11 件)

- ・大坪和久 ほか：洋上風力発電アクセス船の風車タワーへの乗り移り性能評価，海上技術安全研究所研究発表会講演集,pp.161-162 (2023)(掲載済)
- ・大坪和久 ほか：洋上風力発電アクセス船から風車タワーへの乗り移り評価，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 37 号,pp.781-784 (2023)(掲載済)

- ・羽田 絢 ほか：SEP 船の脚部に作用する風荷重の実験的研究，令和5年日本船舶海洋工学会講演会論文集，第37号，pp.775-780 (2023)(掲載済)
- ・高野 慧 ほか：表層型メタンハイドレート開発を対象とした1次元の管内混相流シミュレーション，日本船舶海洋工学会講演会論文集，37号 (2023)(掲載済)
- ・高野 慧 ほか：鉛直な固気液三相流の摩擦損失推定手法，海上技術安全研究所報告，第23号別冊，pp.163-164 (2023)(掲載済)
- ・Yamamoto, M. et al.: Review of Deep Sea Mining R&D Activities in NMRI: 2019-2023, Underwater Minerals Conference (2023)(掲載済)
- ・Yamamoto, M.: Exploitation Systems for Deep Sea Mining, Workshop, E-Merge Project, online (2023)(掲載済)
- ・山本 譲司 ほか：海洋開発のためのマリンオペレーションと資源開発技術に関する研究への取り組み，海上技術安全研究所報告，第23巻別冊(令和5年度)第23回研究発表会 講演集，pp.93-97 (2023)(掲載済)
- ・山本 譲司：海底資源開発に係る海技研の取り組み，海洋資源開発技術プラットフォーム会合，HP 公開 (2023)(掲載済)
- ・金岡 秀 ほか：高度な海洋調査に向けた海上技術安全研究所の海洋無人機システム，日本船舶海洋工学会令和5年秋季講演会論文集 (2023)(掲載済)
- ・篠野 雅彦 ほか：複数ホバリング型 AUV の水中直接通信・測位と協調制御，日本船舶海洋工学会令和5年秋季講演会論文集 (2023)(掲載済)

□特許申請：5 件

- ・高橋 一比古 ほか：水面上漂流物の遮蔽及び回収方法、並びにそれに用いる遮蔽及び回収装置(国内優先権主張出願)(特願 2023-169443)
- ・荒木 元輝 ほか：複数ライザー管の渦励振低減システム(特願 2024-038927)
- ・佐藤 匠 ほか：動的・静的水中音響灯台による複数水中航走体の位置補正システム(特願 2024-049696)
- ・篠野 雅彦 ほか：情報共有機能付き水底情報収集システム、及び情報共有を伴う水底情報収集方法(特願 2024-032777)
- ・金岡 秀 ほか：水中航走体捕獲装置、及び水中航走体捕獲システム(特願 2024-050117)

□コアプログラム登録：2 件

- ・AUV 制御用共通プログラム Ver2 岡本章裕
- ・複数機 AUV 管理・隊列制御プログラム Ver2 岡本章裕

□国際連携活動：0 件

・

□受賞：1 件

- ・深海技術研究グループ：理事長表彰(グループ表彰)、海底資源開発に関する国家プロジェクト支援に貢献した功績)

□公開実験：0 件

・

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか

- ・本研究は、国が定めた方針(海洋基本計画やエネルギー基本計画等)や海洋開発分野への進出に意欲を見せる本邦企業のニーズに基づいて実施しているものであり、国家プロジェクトへの参画等を通じて、当研究の成果を用い社会的価値を創出している。
- ・社会ニーズに基づき進められた国家事業である LNG バンカリングのガイドライン改定において、本研究の成果・取組が反映されている。また、着底式洋上風力発電が本格的に商業化される 2030 年を目標に、昨今の CTV に関する我が国の動きは活発化している。それらの動きに十分合致しており、造船・海運業界から研究への期待が寄せられている。
- ・海洋鉱物資源開発の分野では、海洋基本計画に基づき、マンガン団塊やレアアース泥等大水深での開発技術の検討が進められており、本研究で検討している揚鉱技術や計画支援技術は、海洋鉱物資源開発の商業化を目指す上で必要な検討課題であり、これらの研究成果は、国家プロジェクトへの参画等を通じて貢献できるものと考えている。
- ・AUVに係る研究についても、海洋基本計画に基づいて実施しているものであり、国家プロジェクト(戦略的イノベーション創造プログラム第3期(SIP3)等)への参画等を通じて、十分な成果を挙げており、社会的価値を創出している。参画している国家プロジェクトでは研究成果の事業化による社会実装が大きな課題として掲げられており、海事産業の競争力強化に貢献するものと考えられる。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい

- ・浮体式洋上風力発電分野に係る作業船オペレーション評価技術の研究は、海洋鉱物資源開発、二酸化炭素回収・貯留事業等、海洋開発に係る作業における全てのオペレーションに共通するものであり、一般性は十分に大きい。
- ・海洋鉱物資源開発に係る研究では、これまで検討してきた海底熱水鉱床から発展させ本邦 EEZ 内の全ての資源開発を対象としており、対象鉱物、対象海域に即した情報提供を目指している。さらに、研究成果の一部は特許出願を行っており、新規性を含む研究を行っている。
- ・AUV に係る研究では、複数 AUV 協調群制御、航行型 AUV ドッキングに関して 3 件の特許を出願しており、新規性の要件を十分満たしている。また、複数 AUV 協調群制御、AUV ドッキングの研究は SIP2 の研究成果を基にすものである、発展性の要件を満たしている。

□成果が期待された時期に創出されている

- ・LNG バンカリングのガイドライン改定に成果が活用されている。
- ・着底式洋上風力発電は 2030 年に本格的に商業化される見込みであるため、CTV に関する研究は時宜にあったタイミングで研究成果が創出されている。
- ・鉱物資源開発及び AUV に係る研究の多くは、第 3 期(平成 30 年 5 月閣議決定)、第 4 期海洋基本計画(令和 5 年 4 月閣議決定)に基づいた内容となっており、国家プロジェクトの動向に合致して成果を創出している。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものである

- ・これまで実施してきた海底熱水鉱床開発に係る研究成果では、国家プロジェクトにおいて世界初の実証試験成功に貢献するなど、当該分野において世界に先駆けた技術開発を行っており、本研究対象である大水深の鉱物資源開発技術や商業化に向けた支援技術は国際競争力を有するものである。
- ・世界初の取り組みである水中完結型の複数 AUV 協調群制御技術や、音響情報と画像情報を組み合わせたハイブリッド方式の誘導による AUV の海中ドッキング技術について、国家プロジェクトにおいて実証試験を実施する予定であり、当該分野における国際競争力の著しい向上が期待される。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応している

- ・該当しない。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

- ・産業界から注目されている洋上風力発電、海洋 CCS、バンカリングに係るオペレーションの安全性、稼働性評価技術を対象とした研究を開始した。洋上風力発電事業におけるアクセス船に係る水槽試験、数値解析により、異なる船型における乗り移り性能の違いなど評価技術に資する情報を取得した。評価技術を確立することにより、アクセス船の安全で且つ効率的な運用計画を立案する際に活用できる。また、国が進めている LNG バンカリングに係るガイドラインの改定事業へ貢献を果たした。
- ・国の取組や社会ニーズを踏まえ、鉱物資源開発における揚鉱手法の一つとして検討されているエアリフト方式による管内部流評価に資するデータの取得及び検証、AUV の広範囲、長時間運用に係る手法の検討、開発を行った。本研究成果は、海底鉱物資源開発及び AUV の運用技術に係る国家プロジェクトで活用する計画である。

着実に成果を創出していることに加え、上記の成果を創出しており、「研究成果の最大化」に向けて「顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められるもの」として「A」評価とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A

研究開発課題	(3)① 海洋再生可能エネルギー開発に係る関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発	
研究テーマ	重点 8 海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの安全性評価・最適化に関する研究	
中長期目標	中長期計画	R5年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の振興並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた安全性評価・最適化、海洋開発のための関連機器、マリンオペレーション技術等に関する研究開発に取り組む。	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の振興並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の振興に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海洋再生可能エネルギー開発に係る関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る関連システムの 安全性評価・最適化に関する研究開発 ー海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の振興並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、係留張力モニタリング技術の基盤構築、検査の合理化のための運転保守段階のリスク分析、波力発電制御手法の高度化を行う。等

研究の背景

海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の振興並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の振興に向けた国と民間との連携を図る。

具体的には、以下があげられる。

- ・大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築
- ・合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築
- ・デジタルツイン技術の構築
- ・波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上研究

期間全体の研究目標

- ・浮体変位を用いた係留の健全性評価手法、RBI(Risk Based Inspection)導入のためのリスク評価手法、コスト推計手法の構築
- ・合成繊維索係留の設計プログラム、合成繊維索における生物付着影響の総合的評価手法の構築
- ・浮体変位等を用いた波浪推定手法、浮体強度・係留のデジタルツイン技術の開発

- ・波力発電の高効率制御手法、複合的な海洋再生エネルギー利用技術の開発

□全体

- ・適切な安全性を保ちつつ、大規模 FOWT の商用化に資する設計(サブテーマ1,2)・施工(サブテーマ1)・運転保守段階(サブテーマ1,3)のコスト低減に資する技術、合成繊維索係留に対する実用的な設計・張力モニタリング手法の開発(サブテーマ1,2)、およびデジタルツイン技術の構築(サブテーマ3)、高効率な波力発電システムの開発(サブテーマ4)

上記成果は、以下があげられる。

- ・ O&M コスト低減のための係留張力モニタリング技術を実機に適用する。
- ・ 合成繊維索係留の設計コスト低減のための設計手法を実機における設計へ活用する。
- ・ デジタルツイン技術により O&M 手法を合理化し、実機における O&M コスト低減へつなげる。
- ・ 高効率制御手法により波力発電の実証につなげる。

□全体

- ・ 水槽試験、実機による実海域実証等により検証された研究成果について、国の安全ガイドラインへの反映、さらには国際基準への適用を目指す。開発された技術については商用ウインドファームにおける実用化を目指す。

R5年度研究目標

□サブテーマ1

- ・係留張力のモニタリング技術の開発
- ・リスク評価による合理的な検査手法の開発
- ・浮体最適化技術の開発

□サブテーマ2

- ・簡易的に良好な仕様を出力する設計手法・プログラムの開発
- ・係留索に対する生物付着影響評価結果

□サブテーマ3

- ・浮体遭遇海象推定手法の開発
- ・浮体各所の応力等推定手法の開発

□サブテーマ4

- ・波力発電のより高効率な制御アルゴリズムの開発

R5年度研究内容

□サブテーマ1

- ・検査の合理化のための係留の健全性評価手法の開発
- ・大規模 FOWT への RBI 導入のためのリスク評価手法の開発
- ・浮体最適化支援技術の開発
- ・大規模 FOWT のコスト推計手法の開発

□サブテーマ2

- ・係留仕様を出力する設計手法・プログラムの開発
- ・実海域浸漬試験等による生物付着影響評価

□サブテーマ3

- ・浮体遭遇海象推定に関する研究
- ・浮体各所の応力等推定に関する研究

□サブテーマ4

- ・これまで実施してきた波力発電装置の制御アルゴリズムの整理
- ・波力発電のより高効率な制御アルゴリズムに関する研究

R5年度研究成果

□サブテーマ1 大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築

・検査の合理化のための係留の健全性評価手法の開発

セミサブ型浮体に2つのカテナリー係留(オールチェーン係留とチェーンと合成繊維索のハイブリッド係留)を模擬した水槽試験を実施した。係留の状態異常により浮体位置に変化が生じることを確認した。風と波の荷重が同時に作用した場合浮体位置の平均値は風荷重のみの場合とほぼ一致した。数値解析でも同様の傾向を再現した。

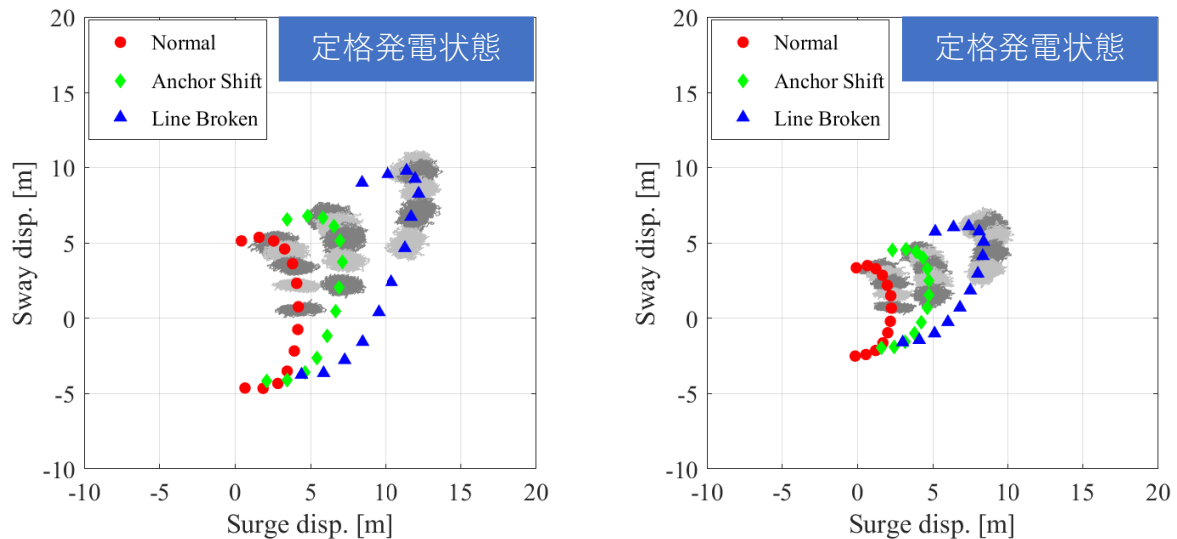


図 1-1 オールチェーン係留(左図)およびハイブリッド係留(右図)の定格発電時における浮体位置の変化

・大規模 FOWT への RBI 導入のためのリスク評価手法の開発

リスク評価とモニタリングを活用した検査の実現可能性を検討するため、モデルwindファームを想定し検査のプライオリティの高い浮体を特定するための因子を抽出した。

・浮体最適化支援技術の開発

風車の影響をより柔軟に評価するため、既存の公開風車から発電容量を変更した模擬評価用の風車を設定し、プロジェクトの実態により即した検討が可能な体制を構築した。浮体の設計と設備情報を入力とし、建造計画・スケジュールを出力する枠組みを構築し、様々な建造フローを定量的に比較できる手法を開発した(図 1-2)。これにより所期の成果が得られた。

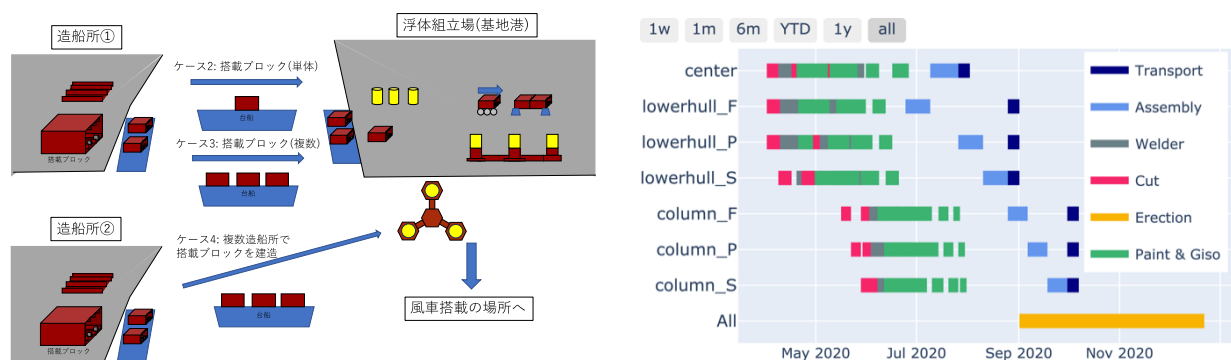


図 1-2 浮体建造フローの比較イメージ(左図)と浮体の建造計画の出力例(右図)

・大規模 FOWT のコスト推計手法の開発

浮体式洋上windファームの洋上施工の総作業時間を主要 7 つの作業時間の合計で定義し、多様な洋上施工を統一した枠組みで評価できるモデルを、荒天待機を含む基準作業時間をベンチマークとして導入して提案した。日欧の先行事業の各洋上作業のベンチマークを推計し、日本の将来目標値を示した。またモデルの妥当性を検証した。また、作業海域の有義波高と風速が洋上施工の作業時間に与える影響を定量的に明らかにするため、各洋上作業の稼働率を追加してモデルを拡張した。これにより、日本近海での洋上施工の総作業時間を統一した方法で定量的に評価できるようになった。

□サブテーマ2 合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築

・係留仕様を出力する設計手法・プログラム(係留簡易設計プログラム)の開発

カテナリー係留において、係留索素材にナイロン、ポリエステル、チェーンを選択可能で、与えられた環境条件に対して必要な安全率を満たしつつ、検討初期段階の動的計算に十分な精度を持つ係留仕様(索の太さ、長さ、本数等)を出力可能なプログラムを開発した。また係留調達コストを試算し、索素材の違いによる差の傾向を明らかにした。係留仕様の出力結果は汎用の動的計算プログラムにより精度を検証した。(図 2-1)

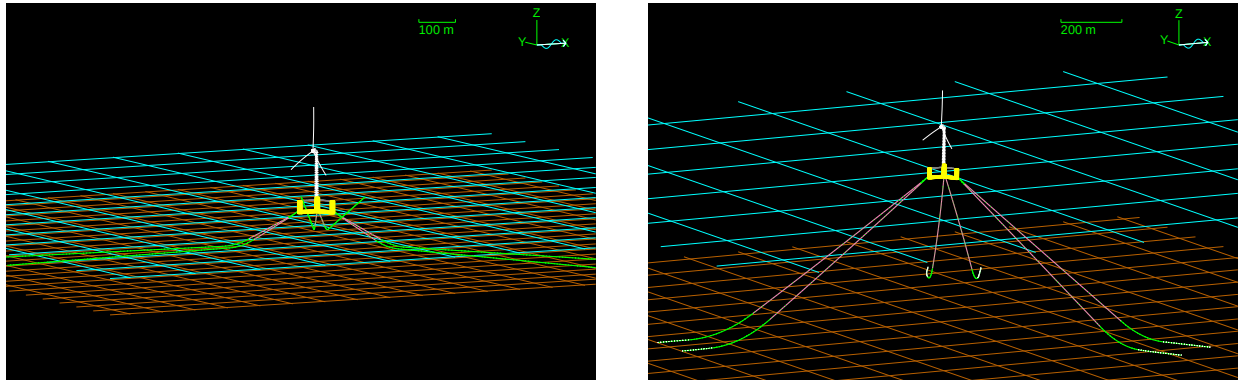


図 2-1 汎用動的計算プログラムによる本プログラム出力結果の検証例(右図:水深 100m、左図:水深 500m)

・実海域浸漬試験等による生物付着影響評価

2022 年度に引き続き実海域浸漬試験を継続実施するとともに、一部の試験体は強度評価を実施した。付着厚さの計測結果と先行研究を踏まえ、国土交通省海事局が発行する技術基準・安全ガイドラインの改訂案を提案した。試験体の強度は浸漬後低下する傾向が得られ、その低下要因を整理した。(図 2-2)

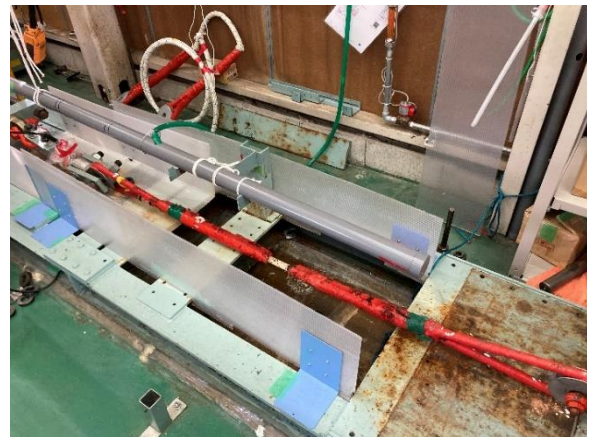
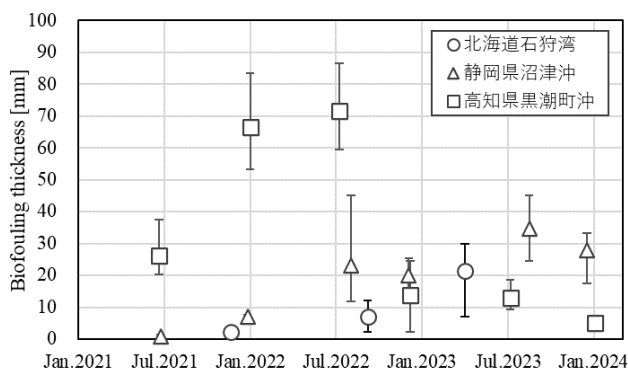


図 2-2 付着厚さの経年変化(左図)および強度評価試験の様子
(右図、海事局請負研究により実施、写真提供:東京製綱繊維ロープ株式会社)

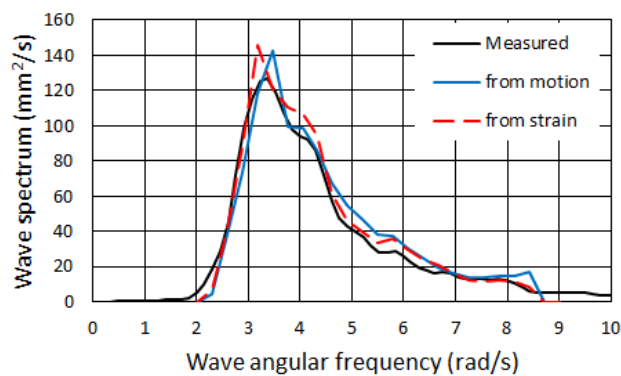
□サブテーマ3 デジタルツイン技術の構築

・浮体遭遇海象推定に関する研究

剛性相似模型を用いた水槽試験(図 3-1)を実施し、水槽試験結果から、浮体変位・構造歪を入力として遭遇波スペクトルを推算する手法を開発した。(図 3-2)



図 3-1 水槽試験の様子



	範囲A	範囲B	範囲C
浮体運動からの推定の誤差	0%	+18%	+32%
浮体歪からの推定の誤差	+7%	+10%	+7%

図 3-2 水槽試験結果の例

(左図：浮体運動と構造歪から推定した波スペクトル、右図：波の角周波数別の推定誤差)

・浮体各所の応力等推定に関する研究

市販プログラムを活用し、連成影響を考慮して浮体構造断面力を算出した。(図 3-3)

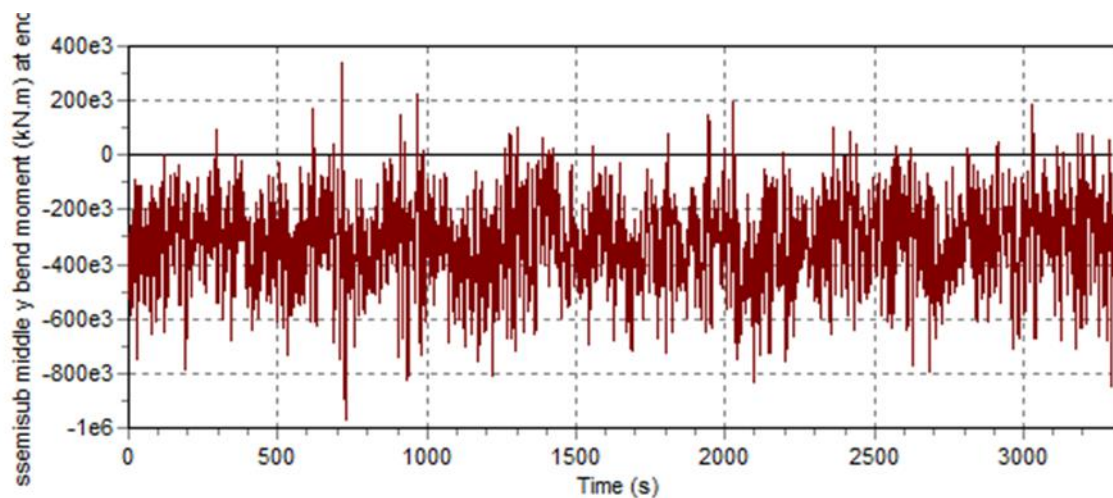


図 3-3 浮体構造断面力の数値シミュレーション例

(中央コラム底部の曲げモーメント、風速 10.6 m/s、波高 13.4 m、波周期 13 s)

□サブテーマ4 波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上研究

・より高効率な制御アルゴリズムに関する研究

波力発電装置の電気出力の最大化を目的に、ガウス過程回帰モデルを用いたデータ駆動型リアクティブ制御法を開発した。その制御法の有効性を、リニア発電機を搭載した波力発電模型を用いた水槽試験で検証した。ガウス過程回帰を用いて、波力発電装置浮体の応答を計測データから学習することで、制御法適用下の浮体の変位と速度を正確に予測することができた(図 4-1)。学習した運動モデルを用いることで、運動モデルの定式化を行わず、従来の制御法である ACL と同程度の発電電力を得ることができた。あわせて、最適化時に制約条件も考慮できることを確認した。(図 4-2)。開発した制御法は運動モデルのモデル化誤差が大きい場合や運動モデルが経時的に変化する場合など、従来の制御法では最適化できない条件では有効である。

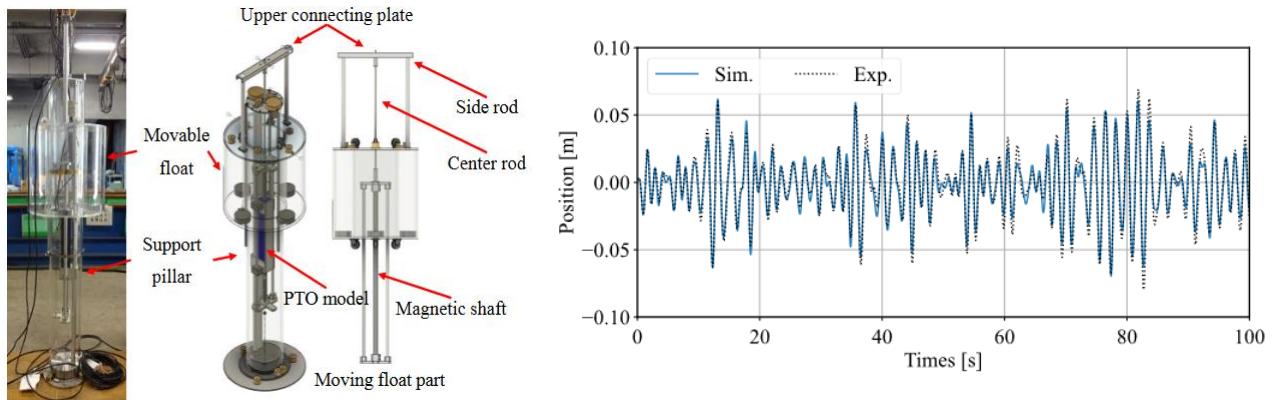


図 4-1 供試模型(左図)および不規則波中応答の例(右図)

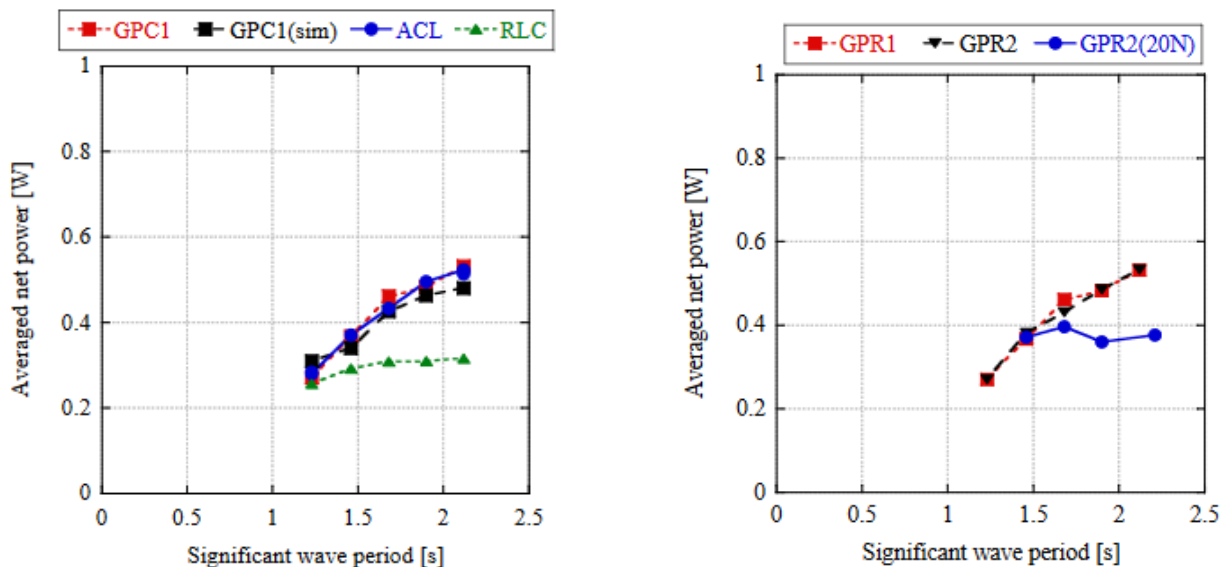


図 4-2 ガウス過程回帰モデル(GPC)と従来制御(ACL、RLC)の発電量の比較(左図)

ガウス過程回帰モデルの学習データによる発電量(GPR1、GPR2 等)の比較(右図)

※ACL: Approximate Complex-Conjugate Control with Considering Copper Loss

銅損を考慮した近似的複素共役制御

※RCL: Resistive Loading Control 抵抗負荷制御

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ))： 9 件(投稿中： 1 件、採択済： 5 件、掲載済： 3 件)

科学雑誌掲載論文

- ・Jun UMEDA, et al.: Experimental Validation of Data-driven Reactive Control Strategy for Wave Energy Converters: A Gaussian Process Regression Approach, Ocean Engineering, Elsevier (投稿中)

査読付き国際会議論文

- ・中條俊樹 ほか: STUDY ON THE SYNTHETIC FIBER ROPE MOORING FOR FLOATING OFFSHORE WIND TURBINES DEPENDING ON THE WATER DEPTH AND MATERIALS OF ROPE, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2024 (採択済)
- ・羽田 絢, 中條俊樹, 小島隆志: FIELD STUDY OF BIOFOULING ON THE SURFACE OF SYNTHETIC FIBER ROPES IN JAPANESE COASTAL WATERS AND ITS INFLUENCE ON THE ENGINEERING CHARACTERISTICS OF HYBRID MOORINGS, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2024 (採択済)
- ・蓮見知弘, 横井威, 羽田 絢 ほか: ANALYSIS OF INSTALLATION TIME FOR FLOATING OFFSHORE WIND FARMS, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2024 (採択済)
- ・中條俊樹 ほか: THE FIELD TEST OF A SHALLOW-WATER MOORING SYSTEM FOR FOWT USING NYLON SYNTHETIC FIBER ROPES, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2024 (採択済)

その他の全文査読付き論文等

- ・藤原敏文, 中條俊樹 ほか: 海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究, 海上技術安全研究所報告第 23 巻第 3 号(掲載済)
- ・梅田 隼 ほか: ガウス過程回帰モデルを用いた波力発電装置の運動モデルの構築, 日本船舶海洋工学会論文集 2023 年 38 巻 p.117-125 (掲載済)
- ・蓮見知弘, 横井威, 羽田 絢 ほか: 浮体式洋上ウインドファームの洋上施工時間推計モデルの研究, 日本船舶海洋工学会論文集 2023 年 38 巻 p.127-139 (掲載済)
- ・蓮見知弘, 横井威, 羽田 絢 ほか: 日本近海の浮体式洋上ウインドファームの洋上施工時間推計モデルの研究, 日本船舶海洋工学会論文集 (採択済)

□その他発表論文： 16 件(投稿中： 2 件、採択済： 0 件、掲載済： 14 件)

- ・和中真之介 ほか: 工程モデリングと離散時間シミュレーションに基づく洋上風車浮体の建造計画検討システムの開発, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 37 号, pp.541-545, 2023.
- ・黒岩隆夫, 花岡諒, 陳曦, 中條俊樹: 浮体式風車の弾性模型試験および応答に基づく波浪推定, 日本船舶海洋工学会講演論文集 (投稿中)
- ・中條俊樹: 海上技術安全研究所における浮体式洋上風力発電の研究開発, SEA JAPAN2024 海上技術安全研究所セミナー講演集
- ・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電に関する海上技術安全研究所の取組, 一般社団法人海洋産業研究・振興協会「浮体式洋上風力発電の実用化に向けて」調査研究委員会講演
- ・中條俊樹: 浮体式風力発電技術最前線, 一般財団法人エンジニアリング協会海洋開発セミナー講演
- ・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の最新事情と研究開発, 九州大学大学院船舶海洋工学専攻特別講義(船舶海洋工学特論第一)
- ・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電についての研究開発, Techno-Ocean2023
- ・中條俊樹: 海技研におけるこれまでの海洋再生エネルギー研究の総括と将来展望, 海上技術安全研究所研究発表会講演論文集
- ・黒岩隆夫: 浮体式洋上風力発電, Offshore Tech Japan(海洋産業技術展)2024
- ・黒岩隆夫: 陸上・洋上風車の消費寿命評価, 第 5 回 FREA 風力 O&M ワークショップ
- ・黒岩隆夫: 風車運用寿命延長技術研究会報告, 第 45 回風力エネルギー利用シンポジウム
- ・蓮見知弘, 國分健太郎, 藤本修平: 次世代浮体式洋上風力発電にかかる国内外の技術開発および認証制度についての動向調査, 2023 年度国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー部成果報告会
- ・蓮見知弘: 浮体式洋上風力発電の係留システムに関する洋上施工時間推計モデルの定式化と解析, 海上技術安全研究所研究発表会
- ・蓮見知弘: 浮体式洋上風力発電設計製作セミナーを終えてのコメント, 日本財団オーシャンイノベーションコンソーシアム浮体式洋上風力発電設備設計・製作セミナーホームページ
- ・平尾春華, 蓮見知弘, 中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の浮体運動を用いた係留索のモニタリングについて, 海上技術安全研究所研究発表会講演集
- ・梅田 隼: 波力発電における制御法の開発, エムアイエス株式会社ホームページ (投稿中)

□特許申請：0件

・

□コアプログラム登録：1件

・浮体式洋上風力発電施設の係留設計プログラム(齊藤昌勝、渡邊充史)

□国際連携活動：9件

・IEC 61400-3-2 TC 88/MT 3-2 の専門家会合に参加、IEC 61400-3-2 の改訂に関する審議、3回、中條俊樹
 ・ISSC Committee V.4 (Renewable Energy) の専門家会合に参加、年度報告書の作成に関する審議、6回、中條俊樹

□受賞：0件

・

□公開実験：1件

・浮体式洋上風力発電設計・製作セミナー(8/9開催)

主な評価軸に基づく自己分析**□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか**

・本研究は、国が定めた方針(海洋基本計画やエネルギー基本計画等)や海洋開発分野への進出に意欲を見せる本邦企業のニーズに基づいて実施しているものであり、国家プロジェクトへの参画等を通じて、当研究所は十分な成果を挙げており、社会的価値を創出している。特に、浮体式洋上風力発電に関する研究成果は国土交通省の技術基準・安全ガイドラインに反映されているなど、その価値が社会的にも認められている。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい

・浮体式洋上風力発電に関する研究では、これまでになかった合成繊維索係留の初期仕様算出プログラムをコアプログラム登録する等、大きな成果を上げている上、今後の実証研究における実機係留設計への活用も期待される。(新規性+発展性)
 ・浮体式波力発電に関する研究では、従来手法より効率的な制御手法の開発を実施し、その成果は今後の実証試験への活用、実機への展開も期待される。(発展性+一般性)

□成果が期待された時期に創出されているか

・本研究の多くは、海洋基本計画やエネルギー基本計画に基づいて研究を進めており、タイムリーに成果を創出している。また、浮体最適化技術、合成繊維索係留、デジタルツイン技術の研究成果は、今後、グリーンイノベーション基金事業等と連動しており、将来浮体式洋上風力発電が本格的に商業化された段階で重視される技術になると考えられるが、当該研究はそれに先んじて研究をスタートし、その技術確立を目指している。
 ・浮体式波力発電に関する研究は、将来想定される実海域実証試験に先んじて研究成果を出している。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか

・浮体式洋上風力発電に関する研究では、今後の大規模ウインドファームの実現を想定した研究を実施しており、世界の情勢に対し先進的であると言える。
 ・IECの策定・改定作業に対して、我が国がリードすることが将来的には可能となる成果が創出されている。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

・該当しない

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

- ・浮体式風力発電については、検査手法の合理化技術、合成繊維索係留の安全性評価技術等の研究開発を実施し、社会の動向を意識しつつ研究成果の最大化を意識した取組を進めている。さらに、国が実施している浮体式風力発電施設技術基準・安全ガイドラインの改定に貢献できる研究成果を創出している。
- ・国の取組や社会ニーズを踏まえ、合成繊維索係留の仕様算出技術の開発やデジタルツイン技術の開発を実施しており、国家プロジェクトで来年度以降活用する計画である。また、大規模 FOWT のコスト推計手法の開発は、社会ニーズの変化を先取りして実施して R6 年度以降の研究につなげるもので高い発展性を有している。
- ・浮体式波力発電についても、実用化に不可欠な効率向上について大きな成果を上げており、来年度以降の実証試験において活用する計画である。

研究計画に従って着実に成果を創出していることに加え、上記の成果を創出しており、「研究成果の最大化」に向けて「顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められるもの」として「A」評価とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A

研究開発課題	(4)① デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発	
研究テーマ	重点9 DX造船所の実現に向けた研究開発	
中長期目標	中長期計画	R5年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、デジタル技術等の活用等による造船所の生産性向上や適切な品質管理を図るための革新的技術、ビッグデータを活用した海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていくことが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発	我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていくことが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発 ー海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、造船PLMシステムの開発、大組立工程に対応した建造シミュレータの開発、工程計画システムのプロトタイプ構築を行う。等

研究の背景

我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく。

具体的には、以下があげられる。

- ・船舶のモデルベース設計に関する研究開発
- ・造船製造現場のDXに関する研究
- ・品質管理のデジタル化に関する研究
- ・予防保全高度化のための接合の新工法・評価技術に関する研究

期間全体の研究目標

- ☐ 船舶のモデルベース設計に関する研究開発
 - ・船舶製品開発のデータ構造(E-BOM, M-BOM, BOP)のガイドライン、データ標準化案
 - ・設計データのデータ生成支援システム
 - ・造船PLMシステム
 - ・船舶のMBSE開発ガイドライン
- ☐ 造船製造現場のDXに関する研究
 - ・造船製造現場の建造シミュレータ
 - ・工程計画・管理システム
- ☐ 品質管理のデジタル化に関する研究
 - ・溶接ビード品質マネジメントシステム
 - ・ブロック寸法品質マネジメントシステム、ガイドライン
 - ・品質データのデータ構造とPLMシステムへの実装
- ☐ 予防保全高度化のための接合の新工法・評価技術に関する研究
 - ・溶接・接着接合(補修も含む)に関する施工技術・評価技術のガイドライン
 - ・新工作法を取り入れた将来の造船工程のイメージ
- ☐ 全体

- ・設計、建造、品質管理を含む船舶のモデルベース開発体制と造船用 PLM システムの開発
- ・新工作方法を取り入れた次世代造船のコンセプトの策定

上記成果は、以下があげられる。

- ・造船所の DX 化により、海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に貢献する。
- ・持続可能なインフラメンテナンスとして、インフラメンテナンスの高度化・効率化に貢献する。
- ・自動運航船や代替燃料船などのゼロエミッション船のような複雑な製品開発について、正しい製品を早く提供することに貢献する。複雑な製品開発体制の整備に貢献することで我が国造船業の国際競争力の強化だけでなく、安全・安心の確保や海洋環境負荷の低減にも貢献する。

R5年度研究目標

□サブテーマ1

- ・BOM/BOP のデータ構造策定
- ・PLM-CAD システムインタフェースの仕様策定

□サブテーマ2

- ・大組立工程に対応した建造シミュレータの開発
- ・艤装工程への建造シミュレータの実用的な展開方法の考案
- ・工程計画システムのプロトタイプ構築

□サブテーマ4

- ・モデル検証用要素試験体の選定・製作および継手形状と荷重変形による接合部負荷モードの把握

R5年度研究内容

□サブテーマ1

- ・造船 PLM システムに関する研究
- ・設計データ生成に関する研究

□サブテーマ2

- ・建造シミュレータの精度と汎用性の向上
- ・大組立工程を対象とした工程計画システムのプロトタイプ構築

□サブテーマ4

- ・接合部の疲労損傷・腐食・破壊挙動の検証
- ・代替施工法・代替材料による作業効率評価

R5年度研究成果

□サブテーマ1

- ・上流設計を含む船舶 BOM/BOP (E-BOM, M-BOM, BOP) の標準データモデルを策定した上で、この標準データモデルに基づき実際の船舶の一部(機関室区画)について実製品の BOM/BOP データを作成した。造船は機能観点の部品と製造観点の部品の概念が異なる(製品アーキテクチャが異なる)。異なる製品アーキテクチャ間で部品間のデータ連携を図るため、通常の E-BOM と M-BOM の間に機能観点の部品ツリーのまま、製造上の部品(製造一品)を部品展開する中間的な BOM(図 1-1 における E'-BOM) を提案した。また、作成した実製品の BOM/BOP データを汎用 PLM システム上に実装し、PLM システムによる造船設計業務プロセスとしてドキュメント管理機能、設計変更管理機能、ワークフロー管理機能、設計承認手続き機能等についてデモを作成した。また、PLM-CAD システムの連携に関して、設計・製造間で共有して持つべきデータ項目を整理した上で、PLM システムで持つデータ、CAD システムで持つデータを取り決め、両者間の運用やシステム接続に関して仕様を策定した。
- ・過去番船の製品モデルの流用設計を想定した設計データ生成手法について、PLM システムの設計変更管理機能(リビジョン機能)を活用した BOM による番船データ管理(複数番船間のデータを BOM でデータ管理する手法)及び同型船の BOM データ生成手法に関して、PLM システム内での BOM のデータ生成方法を定めた。具体的には、過去番船の BOM から派生 BOM を作成(複製)した上で、設計変更しない部品については共通部品として同一の部品データを共有しつつ、設計変更する部品のみを新たにデータ登録する手法や、マスター BOM に予め仕様バリエーションとして複数の部品候補を用意した上で、部品を選択して製品全体を構成する手法について、それぞれの手法における BOM/BOP のデータ生成、管理手法を整理した。これらの手法について、実際の PLM システムで同型船の BOM データ生成のデモを作成し、過去番船等の BOM データから同型船の BOM データが生成できることを確認した。

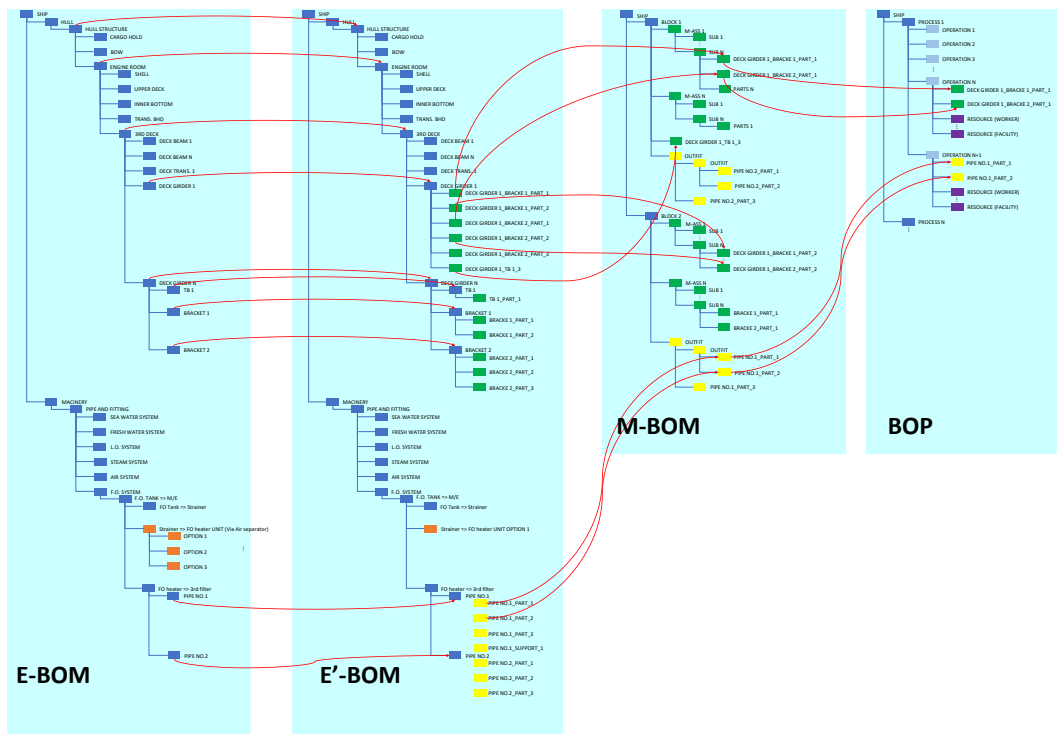


図 1-1 船舶 BOM (E-BOM, M-BOM, BOP) の標準データモデル

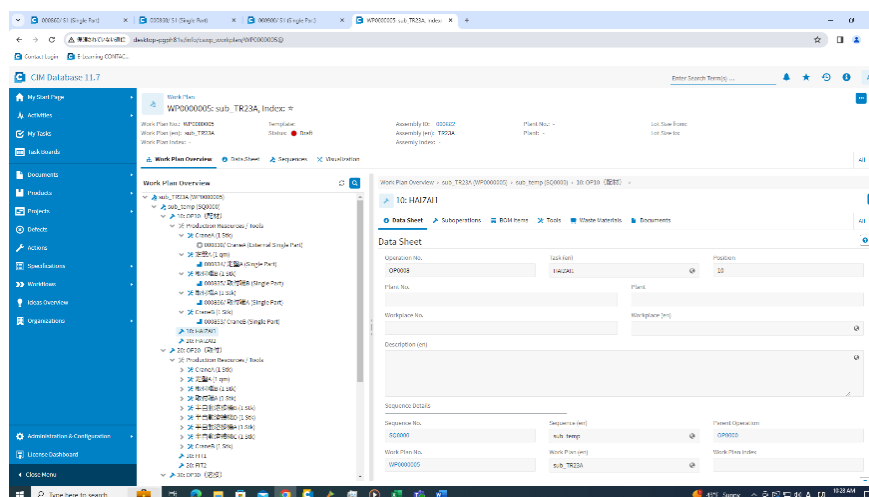


図 1-2 汎用 PLM システムによる造船設計業務プロセスのデモイメージ

※BOM (Bill of Materials)：部品表。製品をそれを構成する部品の階層ツリーで表現する。どのように製品を見るかによって部品の見方が異なり、設計目線で部品を捉えたものが E-BOM (Engineering BOM)、製造目線で部品を捉えたものが M-BOM (Manufacturing BOM)。データ連携において、異なる BOM 上の部品同士の関係性を付けることが重要。

※BOP (Bill of Process)：工程情報。製品の作り方の情報を表現する。

□サブテーマ2

- ・当所で開発している建造シミュレータについて、その適用工程の拡張を実施した。これまでに小組立工程や限定的ではあるが中組立工程に対して適用してきたが、よりニーズが見込める工程に対して適用対象を拡大した。具体的には、大組立工程、大組立ライン工程、型鋼 NC 工程に対して、設備情報 (BOE)、工程情報 (BOP) を協力造船所の工程ごとに整理し、シミュレーションが可能であることを確認した。
- ・今後の社会実装を目指して、造船所にて本シミュレータを利用できるようにシステム開発を実施した。まず、シミュレーションを実行するにあたり、プロダクトの進行状況や場所、ファシリティの種類や数、場所、ワーカーのスキルや人数など条件設定を可能とする設定編集システム (図 2-1) を開発した。これにより容易に条件を設定してシミュレーションを実行することが可能となる。さらに、シミュレーション結果は 3D と時間軸の情報を持つため、ガントチャートと連携して結果を可視化するツール (図 2-2) を開発した。

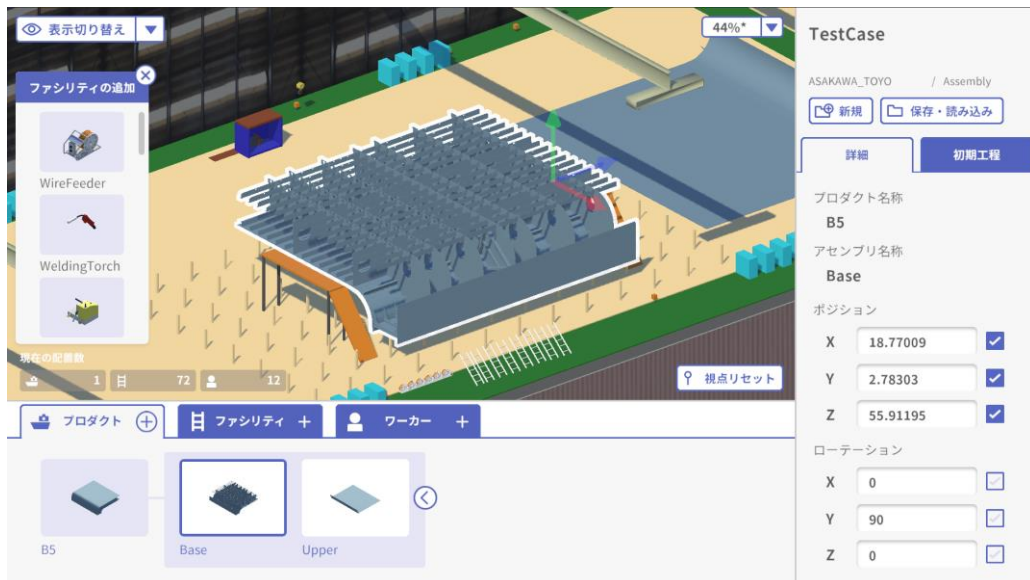


図 2-1 シミュレーション条件の設定編集システム(浅川造船株式会社様 データご提供)

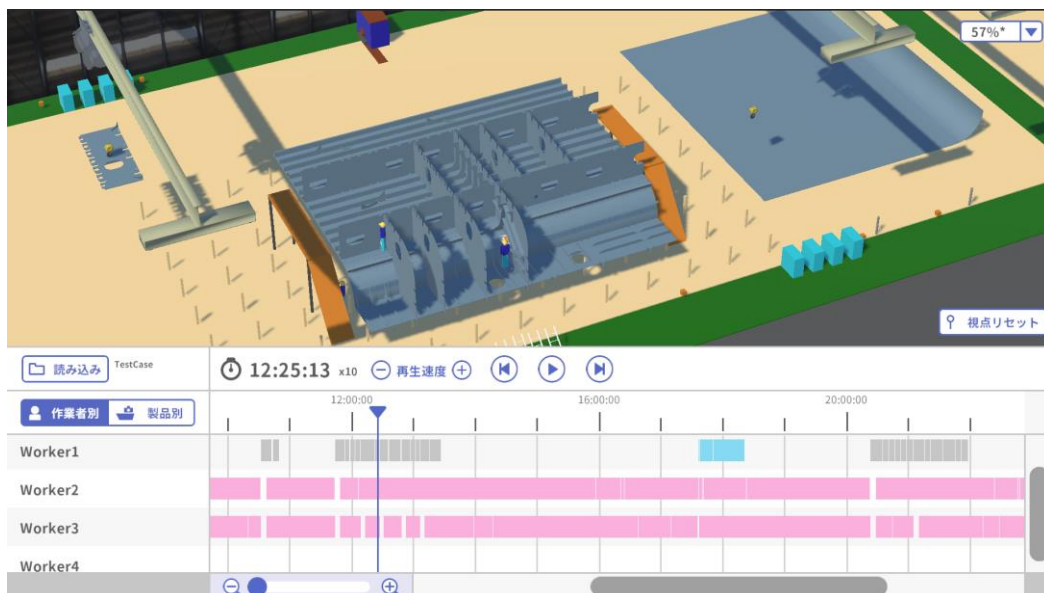


図 2-2 3Dとガントチャートの可視化ツール(浅川造船株式会社様 データご提供)

- ・上記システムとツールを用いて、造船所1社をテスターとした試適用を実施した。その結果、作業にあたっての事前検討において実用的なレベルにあるなど有用との評価があった。また、主にデータ準備やさらなる条件変更の要望などの改善点を整理した。また、作業前の事前検討といった具体的な活用方法の検討を実施した。
- ・データ準備の一部であるBOPの生成については、限定的な工程に限るが、MBOMから簡易的に自動生成する技術を開発・テストを実施した。

□サブテーマ4

- ・エア式の剥離工具を使用し、溶接部を繰り返し打撃することにより、溶接工程で生じるスラグ・スパッタ等の副生成物の除去と溶接継手部の疲労強度改善を同時に達成する新工法の開発を行った。打撃力やPass数、ストライカー先端形状等をパラメータとして、溶接部の疲労強度改善に高い効果が期待できる打撃条件を見出した。
- ・突合せ溶接継手を対象とした疲労試験を実施した。剥離工具での打撃を行った試験体(図4-1)の200万回疲労強度(200万回の繰り返し荷重に対して破断することなく耐える応力振幅の最大値)は溶接まま材に比べて36%改善することが明らかとなり、新工法の有用性を示す結果が得られた(図4-2)。

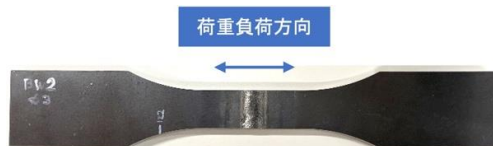


図 4-1 疲労試験用 溶接試験体の外観

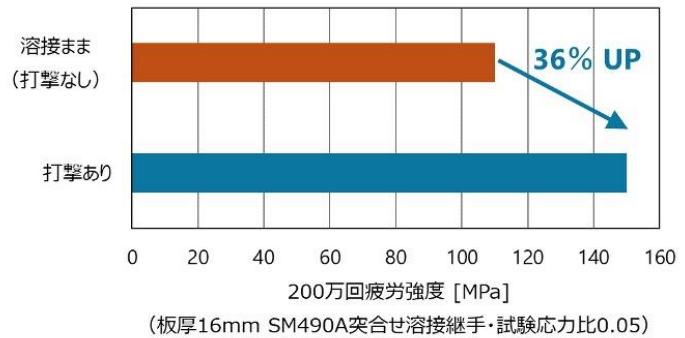


図 4-2 疲労試験結果

- ・繊維強化プラスチック(FRP)で補強された鋼製部材を用いて、海水浸漬試験およびその後の基礎的な力学性能試験を実施した(図 4-3)。これにより、海水浸漬による強度劣化と破損モード変化の関係データを取得した。
- ・モデル検証用要素試験体として T 型接着継手構造を選定し、負荷・変形によって接着部に与えられる負荷モードを定量評価可能な数値シミュレーションモデルを作成した(図 4-4)。このモデルを用いて、接着部に接着剤基礎材料特性を割り当て、接着部に生じる応力分布やひずみ分布を評価した。これにより、T 型継手における損傷発生条件を推定できるようになった。

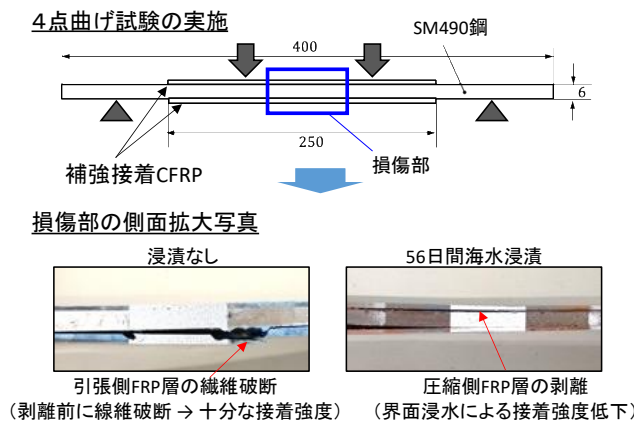


図 4-3 浸漬による CFRP 補強鋼板の曲げ損傷比較

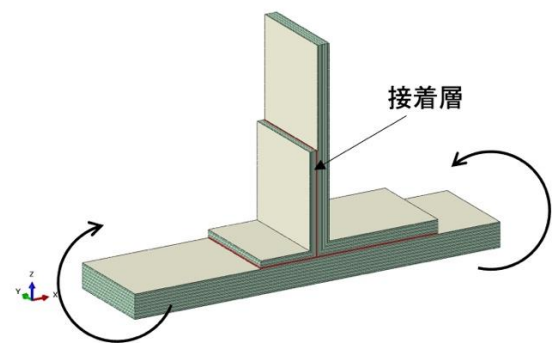


図 4-4 T 型接着構造体モデル

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ))： 2 件(投稿中： 0 件、採択済： 2 件、掲載済： 0 件)

科学雑誌掲載論文

・

査読付き国際会議論文

- ・Matsuo, T., et al : Effect of Seawater Immersion on the Steel Plate Reinforced with Fiber-reinforced Composites, Proc. 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2024). (採択済)
- ・Fueki, R., et al : Effect of Needle Peening on Fatigue Strength of Aluminum Alloy Welded Joint Containing a Surface Defect, Proc. 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2024). (採択済)

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文： 9 件(投稿中： 2 件、採択済： 0 件、掲載済： 7 件)

- ・松尾宏平: DX 造船所の実現に向けた研究開発, 海上技術安全研究所報告, 第 23 巻, 別冊(令和5年度)第 23 回研究発表会講演集, pp.149-154 (2023).
- ・松尾宏平: デジタルシップヤードに向けた海技研の取り組み, 国際海事展「バリシップ 2023」, (2023).
- ・森下瑞生 ほか: 流用設計における M-BOM 生成に関する検討, 日本船舶海洋工学会講演論文集 第 36 号, pp.223-227 (2023)
- ・森下瑞生 ほか: 流用設計における M-BOM 生成に関する検討, 海上技術安全研究所, 第 23 巻, 別冊(令和5

年度)第23回研究発表会講演集, pp.197-198 (2023)

- ・森下瑞生 ほか: BOM による造船の製品バリエーション管理手法の検討, 日本船舶海洋工学会講演論文集 第38号, (2024)
- ・谷口智之: 深さ優先探索に基づく大組ブロックのリソース制約付き二次元定盤配置計画, 海上技術安全研究所, 第23巻, 別冊(令和5年度)第23回研究発表会講演集, pp.195-196 (2023)
- ・安部昭則 ほか: デジタルシップヤードに向けた MODE の取り組み, 海事デジタルエンジニアリング講座 第2回シンポジウム -MODE2023- (2023)
- ・安部昭則 ほか: デジタルシップヤードに向けた MODE の取り組み -高精度生産計画システムの研究開発-, 日本船舶海洋工学会講演論文集 第38号, (2024)
- ・松尾剛 ほか: 鋼板補強用 CFRP の海水浸漬による強度特性への影響, 第15回 日本複合材料会議 講演論文集, 講演番号 2D05 (2024)

□特許申請: 0 件

・

□コアプログラム登録: 0 件

・

□国際連携活動: 0 件

・

□受賞: 0 件

・

□公開実験: 1 件

- ・デジタルシップヤードに関する公開実験(3/7 実施)

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか

- ・第5期国土交通省技術基本計画や第4期海洋基本計画では、国際競争力の強化、DX 造船所の推進が述べられており、本研究は海事産業の競争力強化の観点、および具体的な国内造船所のニーズに基づいて実施しており、政策課題へ直接的に寄与するといえる。
- ・国が開催している「船舶産業の変革実現のための検討会」において、今後の効率的な船舶開発のため、造船所におけるデータ連携や製造のシミュレーション技術の必要性が謳われている。本研究はその内容に合致するものであり、国の方針に適合するとともに、本研究の成果を国や社会(国内造船所等)に発信しており、政策等への実現に貢献している。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいのか

- ・BOM ベースの製品開発について、他産業では一般的に行われており、それ自体の科学的新規性は高くはないが、造船向けの BOM ベースの製品開発は現時点で実用化されておらず発展性及び将来性がある。また、造船向けの BOM 管理については、製造都合のため製品を分割(ブロック分割、管割り等)する等の事情により、BOM データ生成及び管理手法(特に E-BOM から M-BOM への変換等)に技術的特徴、新規性がある。本研究で策定した BOM の標準のデータモデルは国内造船所で汎用的に参照できるもので一般性がある。
- ・大組立工程、大組ライン工程といった難易度の高い工程を空間的制約と付随作業まで緻密に考慮したシミュレーションは先例がない。また、国内造船所4社と共同研究を実施しており、一般性も高いといえる。
- ・接合の新しい施工法は生産性を向上させるものであり、造船への実用性を検討した研究は先例がない。また、認証機関とも連携しており、成果はガイドライン等に反映されて、汎用的に扱われる可能性が高い。

□成果が期待された時期に創出されているか

- ・デジタル化・DX の推進が進む昨今の状況や、我が国造船業の国際競争力の回復が望まれている現状において、適切な時期に成果を創出しているといえる。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか

- ・自動車産業や建築分野でのデジタルトランスフォーメーション(DX)の取り組みが進んでいる中、造船分野においても本研究による DX を推進する取り組みは十分に意義がある。国内造船所の生産性向上や安定的な生産に資する技術開発であり、国際競争力の向上に直結する。
- ・欧州では同様のプロジェクトとして SUES プロジェクト(2023-2026)が行われている。本プロジェクトは主要な研究開発要素として造船用 PLM システムを開発する。国際的にも造船用 PLM システムの開発は競争状態にある中、

当所の造船用 PLM システムの開発は当該分野における我が国の国際競争力の向上に貢献している。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

・本研究については研究成果の社会実装に重点化しており、本件について該当項目はなし。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

- ・造船用 PLM システム及び建造シミュレーションについては、国の「船舶産業の変革実現のための検討会」が整理する今後重点的に進めていくべき技術開発要素の内容と合致するとともに、当該検討会の検討にあたり、国等に本研究の開発状況を提供し、国における検討の補佐を行っている。
- ・建造シミュレーションは国内造船所 4 社との共同研究のもと、各社それぞれのユースケースにおいて開発システムの実証が進んでいる。それぞれの実証において、開発システムの汎用性及び操作性について既に実用段階にあるとの評価を受けるとともに、造船生産計画及び生産管理における当該システムの先進性、将来有望性についても高い評価を受けている。
- ・造船用 PLM システム及び建造シミュレーションについては、現在、国の方で進められている「経済安全保障重要技術育成プログラム」に、造船企業等と共同で参画する方向で調整を進めている。当プログラムにおいて、造船用 PLM システム及び建造シミュレーションは研究開発プログラムの中核的な技術として位置づけられており、本研究で実施している研究内容の重要性及び社会的な貢献度は高いものと評価している。

以上の観点より、研究計画に従って着実に成果を創出していることに加え、上記の成果を創出しており、「研究成果の最大化」に向けて「顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められるもの」として「A」評価とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A

研究開発課題	(4)② ビックデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発	
研究テーマ	重点 10 ビックデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究	
中長期目標	中長期計画	R5年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、デジタル技術等の活用等による造船所の生産性向上や適切な品質管理を図るための革新的技術、ビッグデータを活用した海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていくことが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②ビックデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発	我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていくことが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②ビックデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発 ーデータ融合とAI等評価手法の改善、海運・造船モデルシステムを高度化するための要件定義とデータベースの設計、過去の被災地域を対象とした文献調査、実態調査、実動訓練を行う。等

研究の背景

我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく。

具体的には、以下があげられる。

- ・ ビックデータと海運・造船に係る評価手法の開発
- ・ 災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発
- ・ デジタルツイン統合システムの研究開発

期間全体の研究目標

- ビックデータと海運・造船に係る評価手法の開発
 - ・ 企業のサプライチェーンの管理や経営判断を支援するシステムとして活用
 - ・ 海運・造船分野の予測・評価手法の開発⇒ 企業・国・業界団体等のシナリオ分析や政策立案に活用
 - ・ 海運・造船分野のモデル化・意思決定支援システム・データベース開発⇒ GHG 削減等の利害関係者間の調整、コンサルティングツールとして広く展開
- 災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発
 - ・ 開発システムはクラウドの活用により離れた複数の箇所からアクセス可能にし、わが国の国土強靱化へ貢献
 - ・ 自治体等を対象にした情報共有化を含む訓練に活用
 - ・ 高速計算法による、被災想定シナリオ分析や防災計画立案に活用
- デジタルツイン統合システムの研究開発
 - ・ 船舶の各要素のデジタルツインのデータを連携した統合システムの研究開発、クラウド活用で広く展開

上記成果は、以下があげられる。

- ・ クラウド活用による情報発信
- ・ 企業、業界団体、国等の経営判断や政策立案の支援システムとして活用
- ・ コンサルティングツールとして広く展開
- ・ 自治体等を対象にした情報共有化を含む訓練に活用
- ・ 船舶のデジタルツインシステムによる船舶の安全・安定運用

□ 全体

- ・ビックデータと海運・造船に係る評価手法の開発では、AIの技術も導入して海運・造船関連データを有効に利用し、モデルやシミュレーションによる各種指標の評価、意思決定支援システムやデータベースの開発を行う。この成果は、企業、業界団体、国などが、脱炭素化に向けて合理的な判断を行うことやわが国の国際競争力強化等にも貢献するものである。
- ・災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発では、わが国の災害対応に対し、シミュレータの開発および情報共有、シナリオ分析など、デジタル化の観点から取り組むものである。わが国における防災計画の立案に寄与し、国土強靱化対策に貢献するものである。

R5年度研究目標

□サブテーマ1

- ・AIS等の船舶動静データを基にしたデータ融合と各種評価手法の改善
- ・海運・造船モデルと意思決定支援システムを高度化するための要件定義とデータベースの設計

□サブテーマ2

- ・過去の被災地域を対象とした文献調査、実態調査、実動訓練の実施

□サブテーマ3

- ・プログラムのクラウド化、個別デジタルツインのためのデータ同化に用いる入力データの整理
- ・疲労健全性診断のための指標検討
- ・主機デジタルツインとVESTAの連続検討

R5年度研究内容

□サブテーマ1

- ・海運・造船関連のデータ融合とAI等評価手法の実装
- ・海運・造船関連のモデル化とシステム設計

□サブテーマ2

- ・緊急支援物資輸送システムの開発
- ・水害孤立者の救助シミュレータの開発

□サブテーマ3

- ・波浪環境、船体、主機のデジタルツインのデータを連携した安全運航システムの構築
- ・デジタルツイン統合システムを活用した船舶の安全・安定運用、設計・建造手法の開発

R5年度研究成果

□サブテーマ1

- ・国際機関の要請により、研究成果であるAI技術(neural network、NN)を利用した海運市場に係る分析・予測に関する研修(講義・演習)を海外機関向けに実施した(図1-1)。
- ・船舶動静データに基づくバルクキャリアの積載貨物量推計値と、貿易統計等のデータを統計的な手法などで融合し、これらのデータを将来予測等に使用するためのデータベース設計を行った(図1-2)。
- ・先行研究の成果を基に、ハンディーマックスバルカー市場を対象にした需要予測モデルを再開発し、その妥当性を検証した。開発した需要予測モデルにより外部要因による市場の変動(2050年カーボンニュートラル等)を考慮可能とし、運賃指標も算出可能となった(図1-3)。
- ・国際機関等による国際海運の燃料需要・価格シナリオ等に基づき、IMOにおける日本提案:Feebate制度の炭素課金額の算定を実施(図1-4)。
- ・新しい燃料規制として検討されているGHG Fuel Standard(GFS)の影響を考慮した、将来の船団構成、脱炭素化までの道筋を予測するシミュレータを開発した(図1-5)。輸送需要や燃料供給量などの将来シナリオに応じたシミュレーションを実施し、GFSの影響評価を行った。結果は運輸総合研究所が提出したIMO ISWG-GHG 16におけるインフォメーションペーパーのバックデータとして使用された。
- ・船会社が所有船団の脱炭素化を計画的に進めるための、脱炭素化計画システムの開発を行った(図1-6)。開発システムは、特定の航路を想定して、CIIやGFS、炭素課金といった規制を考慮した運航をシミュレートし、排出量やコストの出力を行う。また、TCO(Total Cost of Ownership)の評価機能を実装し、コスト最小化を目指す船団転換を出力可能とした。開発システムは複数の船社で試用され、その有効性やユーザビリティの検証を行った。

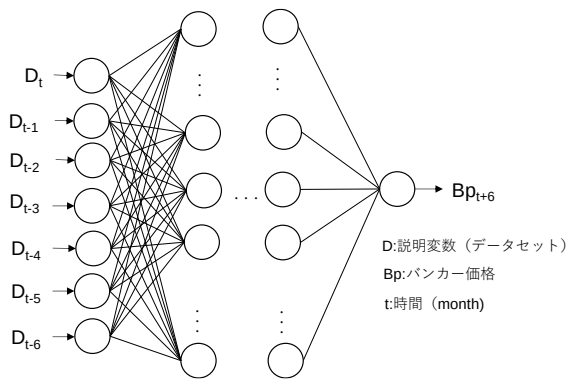


図 1-1 NN によるバンカー価格予測の概要

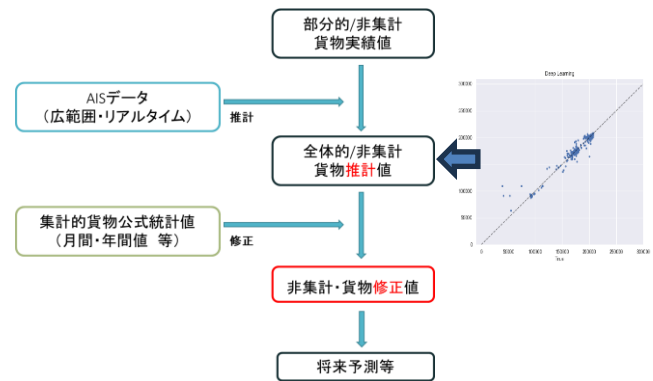


図 1-2 データベースの設計

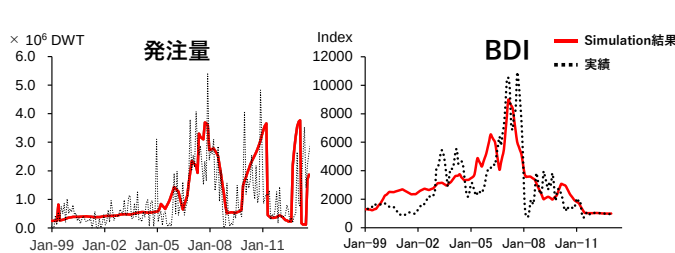


図 1-3 ハンディマックスバルカーの
需要予測結果の概要

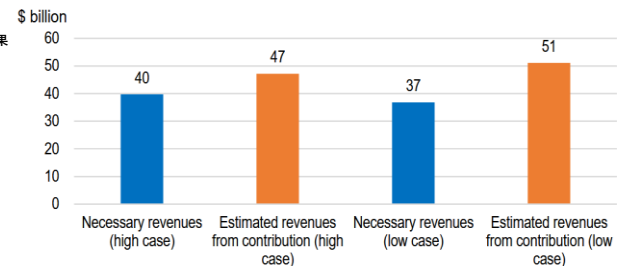


図 1-4 炭素課金額の算定結果

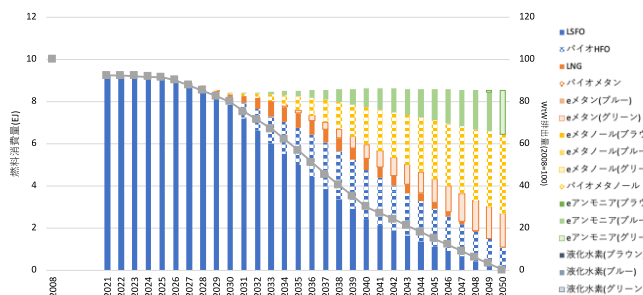


図 1-5 GFS を考慮した燃料転換シミュレーション
(燃料消費量と WtW 排出量の出力例)

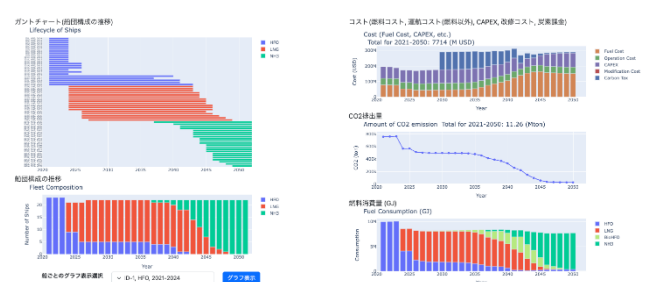


図 1-6 脱炭素化計画システムの
ダッシュボード画面

□サブテーマ2

- ・令和2年7月豪雨以降における水害被害について調査を実施した。その結果、ヘリの活動は主に被害状況調査が中心であったが、一部救助隊の輸送や透析患者の輸送に活用されている事例を確認した。今後は、人命救助等にヘリやボートが多く使われた令和2年7月豪雨及び平成30年7月豪雨を参考にシミュレータ開発を行う。
- ・水害救助に関して、岡山県の協力のもと消防防災ヘリ、水難救助隊へのヒアリング調査を実施(電子航法研究所・港湾空港技術研究所と協力)。伺った内容はシミュレータのパラメータとして活用していく。
- ・シミュレータに関する論文レビューを実施し、救助シミュレーションに関する研究の多くは単一の輸送手段による救助に限定されているが、本研究の特徴としては、複数の輸送手段による救助を同時に評価するところと言える(図2-2)。
- ・緊急支援物資輸送システム(図2-3)は、複数物資の混載に対応できるように一部改良を実施した。
- ・スマートフォンアプリで車両等の動態管理ができるアプリを開発し、緊急支援物資輸送システムへデータが反映できるように改良した。これにより、アプリのインストールのみで、車両等の動態管理が可能となり機器の受渡が不要になる。
- ・スマートフォンによる輸送機材の動態管理を実施(図2-5)し、岡山県主催の物資オペレーション訓練や複数自治体参加の物資輸送訓練(図2-6)で活用された。
- ・能登半島地震においては、土木学会と連携して物流関係の調査を実施。来年度に向けても引き続きフォローする予定である。

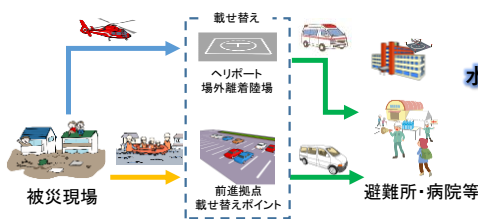


図 2-1 水害救助のフロー

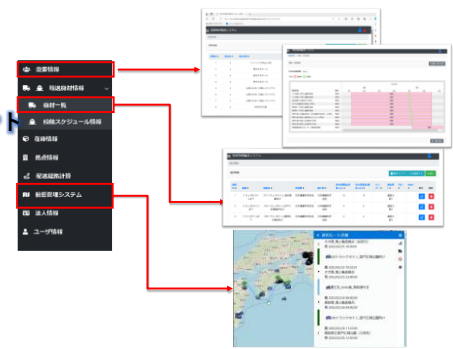
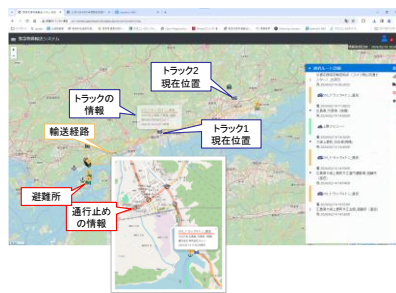
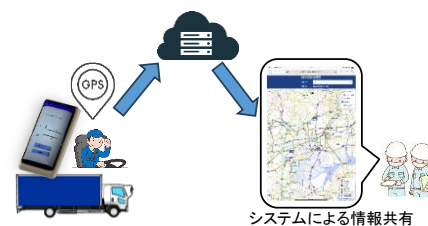
図 2-2 水害救助に関する文献の
リレーションネットワーク図 2-3 緊急支援物資輸送システム
の画面遷移図

図 2-4 実動演習時の情報共有画面

図 2-5 スマートフォンアプリによ
る車両の動態管理図 2-6 実動演習の様子
(物資の積み替え)

□サブテーマ3

- ・開発した統合型のデジタルツインシステム i-SAS(integrated Structural Analysis System)及び i-SAS に組み込んだ船体構造デジタルツインのモジュールについて、水槽及び実海域でのシステム稼働及び計測したデータに基づいて検証を行ない、有効性及び活用方策を主張した(図 3-1)。(成果論文)
- ・海運会社、造船所、大学、船級協会との共同研究を立ち上げ、就航中の鉱石運搬船により i-SAS の検証を行なった。カルマンフィルタ法等のデータ同化手法による船体応力推定が船上においてリアルタイムで実施可能であること、計測した歪から推定した応力データに基づいて疲労健全性評価ができることを実証した(図 3-2)。
- ・実海域ビッグデータの一つである波スペクトルデータを利用して、波スペクトルの形状をモデル化した波浪荷重の推定手法を提案した。これまでの方法では 2 パラメータ(有義波高、平均波周期)の形状固定のスペクトルモデル(P-M モデル)を用いていたところ、実海域のマルチピークスペクトルを含む 2 次元波スペクトルを平均二乗誤差最小の設定で関数モデルに近似することで、複数の山(ピーク)の集中度パラメータを取得した。集中度パラメータを用いることで波浪場の傾向を捉えることができ、正確な荷重の推定が可能になった。北大西洋海域のコンテナ船を例に定量評価を行いスペクトル形状が波浪荷重推定に与える影響度を示した(図 3-3,3-4)。(成果論文)
- ・主成分分析に基づく確率論的波浪スペクトル推定法(SWSE-PCA 法)を提案して、数値シミュレーションや実船計測を利用して、決定論的問題の解を収集するモンテカルロシミュレーション(MCS)に基づく不確定性解析の結果と比較することで本手法が実海域で推定した波浪の確率的評価に対して有効であることを示した(図 3-5)。(成果論文)
- ・開発した主機デジタルツインシステムについて、波浪中主機応答計算シミュレータ(主機、船体、プロペラ)を用いて、強化学習技術を適用した主機制御パラメータ自動調整ができることを示した。さらに、海運会社との共同研究を立ち上げ、実船計測結果を利用して、エンジンの部品の経年劣化の評価アルゴリズムを検証した。(成果論文 AMEC, 特許)
- ・主機デジタルツインと VESTA の連携に対して、エンジン応答性関数を開発し、調和解析理論を用いてトルクリミット機構の非線形モデルを単純な記述関数で近似できることを示した。(成果論文 IMDC)

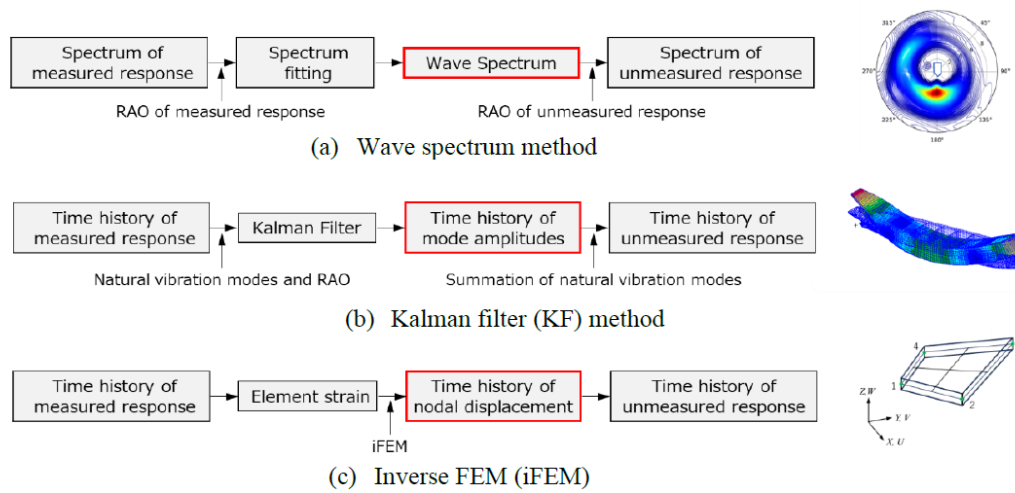


図 3-1 船体構造デジタルツインのコアとなる要素技術

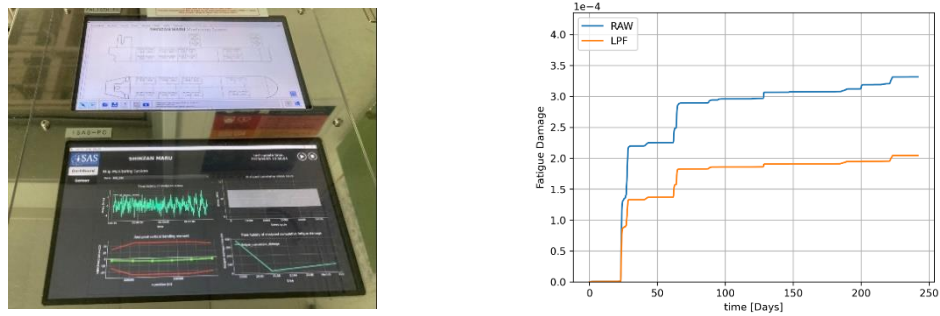


図 3-2 実船搭載したデジタルツインシステム(i-SAS)の画面(左)及び
船体構造デジタルツインによる健全度性評価(疲労被害度の成長曲線)(右)
(RAW(生波形)、LPF(弾性振動除去波形)の解析結果)

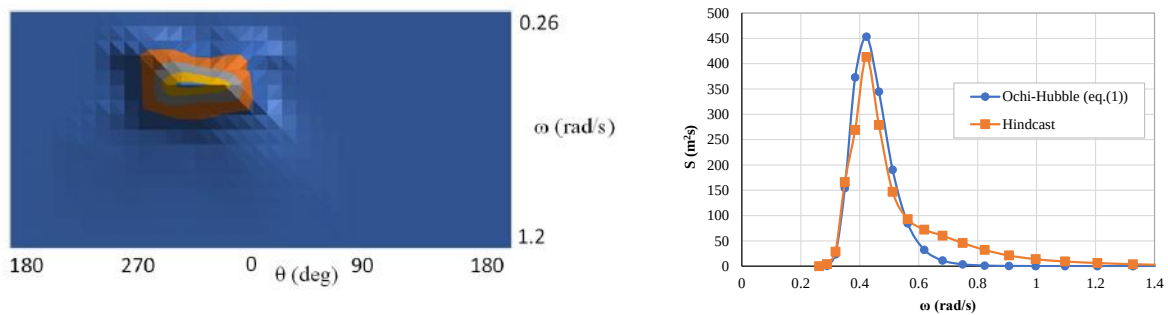


図 3-3 波浪追算による2次元波スペクトル(左)及び4パラメータでモデル化した周波数スペクトル(右)

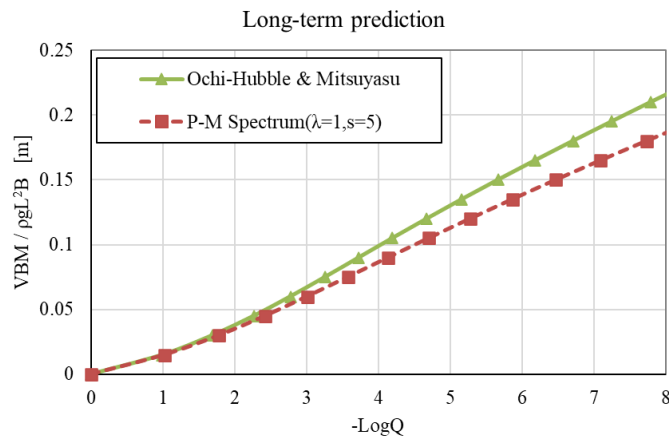
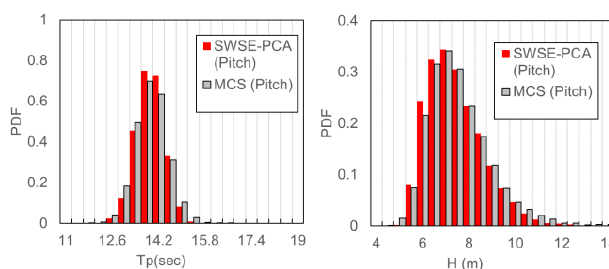
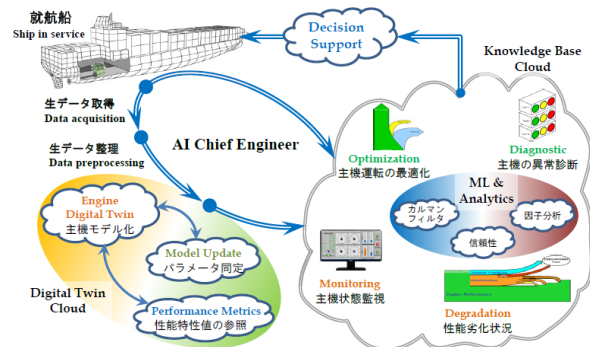


図 3-4 波スペクトルモデルによる長期分布の比較

赤:2パラメータ(有義波高、平均波周期)でモデル化した波スペクトルを使用

緑:4パラメータ(2パラメータ+周波数・波向の形状)でモデル化した波スペクトルを使用

図 3-5 実船データを用いた手法の検証結果
(主成分分析手法 SWSE-PCE とモンテカルロシミュレーション法による確率密度の比較)図 3-6 主機デジタルツインの概念図
(成果論文:海技研報告)

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ)): 15 件(投稿中: 8 件、採択済: 1 件、掲載済: 6 件)

科学雑誌掲載論文

- Yujiro Wada, Takumi Kamata, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, Kunihiro Hamada: Comprehensive Analysis of Vessel Movement Data Reliability, The Journal of Navigation, Cambridge University Press, 2023.8(投稿中)
- Taro ARATANI, Keiko MIYAZAKI, Toru TAKAHASHI, Shinichi INOUE, Yui FUJIMOTO: Actual Conditions and Issues Regarding Barrier-free Access for Tourist Boats, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2023.9. <https://doi.org/10.1177/03611981231193611>(掲載済)

- ・Fujikubo, M., Oka, M., Komoriyama, Y., Ma, C. et al.: A digital twin for ship structures – R&D project in Japan –, Data-Centric Engineering Journal, 2024.(採択済)
- ・Mikami, K., Ma, C., Komoriyama, Y., et al.: Deformation and stress reconstruction of ship structures by inverse Finite Element Method with interpolated single-sided strain, Ocean Engineering(投稿中)

査読付き国際会議論文

- ・Yujiro Wada, Kunihiro Hamada, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi: Maritime Big Data: Shipping and Logistics Analysis using Automatic Identification System Data, CRC Press, 2024.2(投稿中)
- ・Ibadurrahman, Kunihiro Hamada, Yujiro Wada, Yusuke Igarashi, Daisuke Watanabe: Long-term Ship Position Prediction Using Automatic Identification System (AIS) Data and End-to-End Deep Learning, Maritime Big Data: Shipping and Logistics Analysis using Automatic Identification System Data, CRC Press, 2024.2(投稿中)
- ・Takahiro Majima, Taro Aratani: Rescue Transportation Simulator and Analytical Solution in the Event of Disasters, 2023 62nd Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers, SICE 2023, 10.23919/SICE59929.2023.10354126(掲載済)
- ・Taro ARATANI and Takahiro MAJIMA: Estimation of Transportation Capacity after Road Disruptions during Large-scale Disasters using Transport Simulator for Injured People, the XXVII World Road Congress Prague, Czech Republic 2023.9.(掲載済)
- ・Imai, A., Chen, X.: Estimation of directional wave spectra of arbitrary shape based on measured ship stress, TEAM2023.(掲載済)
- ・Bondarenko O., Kitagawa Y. Digital Twin-Enabled Response Function Analysis: A Synthetic Approach to Ship's Propulsion System Assessment. 15th International Marine Design Conference IMDC2024.(投稿中)
- ・Shinnosuke WANAKA, Kazuo HIEKATA, Tomohito TAKEUCHI, Masanobu TANIGUCHI: Simulation Method of Decarbonization of International Shipping for Evaluating the Impact of Possible Regulation Limiting GHG Intensity of Marine Fuels. 15th International Marine Design Conference IMDC2024(投稿中)
- ・Yujiro Wada, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, Kunihiro Hamada: AIS Data and its Characteristics, Maritime Big Data: Shipping and Logistics Analysis using Automatic Identification System Data, CRC Press, 2024.2(投稿中)

その他の全文査読付き論文等

- ・Samer Hassan Okasha, Yujiro Wada, Ryuichi Shibasaki: Forecasting Bunker Price using Deep Learning and Dimensionality Reduction, Proceedings of 2024 Conference of the International Association of Maritime Economists (IAME), June 2024.(投稿中)
- ・岡正義, 馬沖, 陳曦: 波方向スペクトル形状を考慮した縦曲げモーメントの長期最大期待値推定, 日本船舶海洋工学会論文集第38号(掲載済)
- ・陳曦, 高見朋希, 岡正義: 船体応答に基づく波浪情報推定における不確定性解析手法 –第二報–主成分分析による応答関数の不確定性, 日本船舶海洋工学会論文集第38号(掲載済)

□その他発表論文: 14件(投稿中: 2件、採択済: 0件、掲載済: 12件)

- ・和田祐次郎, 伊藤大河, 渡邊大介, 五十嵐祐介, 濱田邦裕: 海上物流ビッグデータを用いたパナマックスバルカー市況の予測に関する研究, 令和5年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集, 2023.5(掲載済)
- ・和田祐次郎 ほか: Shipbuilding capacity optimization using shipbuilding demand forecasting model (論文紹介), 日本船舶海洋工学会誌 KANRIN (咸臨) (109) 2023.7(掲載済)
- ・和田祐次郎, 平野想真, 濱田邦裕: コンテナ船の需要予測のためのSDモデルの開発, 令和5年日本船舶海洋工学会秋季講演会予稿集, 2023.11(掲載済)
- ・荒谷太郎, 松田蒼太, 間島隆博: 離島航路再編時における旅客利便性及び必要船舶数に関する検討, 土木学会第79回年次学術講演会講演概要集, 第VI部門, 2024.9.(投稿中)
- ・Hiroshi Matsukura: Ship Allocation Planning for Transport of Disaster-Related Cargos after the Pull-phase of the Nankai Trough Earthquake—Development of Planning System and Trial Calculation—, 令和6年日本船舶海洋工学会春季講演会予稿集, 2024.5.(投稿中)
- ・Akiko MASAKI, Kaho TAKAHASHI, Taro ARATANI, Takahiro MAJIMA and Kazuo ONO: Examples of application of CMOS annealing, 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Aug.2023.(掲載済)
- ・Kaho TAKAHASHI, Akiko MASAKI, Taro ARATANI, Takahiro MAJIMA and Kazuo ONO: Overview and Application Example of CMOS Annealing, The International Network on Quantum Annealing (INQA) Seminars, July.2023.(掲載済)
- ・荒谷太郎: 緊急支援物資をいかに届けるか ～実動演習から支援物資輸送を考える～、アジア・シームレス物流フォーラム 2023, 2023.5.(掲載済)
- ・松倉洋史: 南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用—日本海側フェリー/RORO 船隊輸送の半割れケースの評価と輸送計画の改良—, 令和5年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集, 2023.5(掲載済)
- ・岡正義: 船体構造のデジタルツイン技術について, 九州大学大学院船舶海洋工学専攻特別講義(掲載済)
- ・馬沖, 小森山祐輔, 岡正義: 粒子法数値解析に基づくHMD型デジタルツインシミュレータの開発, 海上技術安全研究所報告第23巻別冊(掲載済)

- ・ Bondarenko O., Kitagawa Y., Sawada R., Fukuda T. Enhancing Transient Performance of Propulsion Engines in Actual Sea Using Reinforcement Learning-based PID Gains Tuning. In Proc.: 10th PAAMES and AMEC2023(掲載済)
- ・ Bondarenko O., Kitagawa Y., Fukuda T. Development of an Advanced Ship Engine Monitoring System Utilising Engine Digital Twin Technology. 海上技術安全研究所研究報告 23 巻第 2 号,2023.(掲載済)
- ・馬沖: 粒子法 (SPH)を用いた波浪中船体応答の解析(HMD シミュレータへの活用), 日本船舶海洋工学会東部支部構造研究会(掲載済)

□特許申請: 2 件

- ・岡正義, 陳曦: 船舶の波浪応答推定方法、波浪応答推定プログラム、波浪応答推定システム、及び船舶(国内優先権主張出願)(特願 2023-111271)
- ・ボンダレンコ, 北川, 澤田, 福田: 船舶の主機制御パラメータの自動調整方法、自動調整プログラム、自動調整システム(特願 2023-170690)

□コアプログラム登録: 4 件

- ・品質管理 Web AI システム(quality-ai)(馬沖, 小沢匠, 平方勝)
- ・設計作業工数学習・予測アプリ (NNDMH)(馬沖, 平方勝)
- ・GFS 規制を考慮した国際海運の脱炭素化シナリオシミュレータ(和中真之介)
- ・コンテナ船需要予測プログラム(和田祐次郎, 濱田邦裕(広島大学))

□国際連携活動: 15 件

- ・IMO の審議対応: 5 件 (GHG-EW 3, ISWG- GHG 15, MEPC 80, ISWG- GHG 16, MEPC 81)
- ・IMO 温室効果ガス削減対策の包括的影響評価運営委員会への参加とその対応: 5 件
- ・IMO 提案文書 (ISWG-GHG 16/2/12, MEPC 81/INF.26)にデータ分析結果を提供: 2 件
- ・国際機関の要請に対応し、AI 技術等を利用した海運市場の分析・予測に関する基礎研修を海外機関向けに実施: 3 件 (JICA、東京大学からの依頼によるスエズ運河庁 (SCA) に対する研修を 3 回実施)

□受賞: 3 件

- ・和田祐次郎: 日本船舶海洋工学会論文賞 ((公社)日本船舶海洋工学会)
- ・和田祐次郎: 日本造船工業会賞 ((一社)日本造船工業会)
- ・荒谷太郎, 間島隆博: 海上・港湾・航空技術研究所理事長表彰(研究チーム表彰)、研究所連携研究を組織して災害時輸送シミュレータを開発した功績

□公開実験: 0 件

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか

ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

- ・AI 技術等を利用した海運市場に係る分析・予測に関する研究では、海外機関向けにマーケティング能力強化に対する技術協力を実施している。日本が主体となって海外機関への技術協力を行うことは、社会的価値の創出に貢献していると考えられる。
- ・ハンディーマックスバルクキャリア需要予測モデルは、国際海運の需給変動(荷動き量、2050 年カーボンニュートラル等)を考慮できる詳細なモデルであり、社会のニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献している。
- ・Feebate制度による課金額の算定は、IMO の提案文書 (ISWG GHG-16/2/16)の基礎資料として活用されており、国や社会のニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献している。
- ・国際海運を対象にしたゼロエミ燃料を考慮した燃料転換シミュレーションと建造需要予測は、業界団体等の経営判断に用いられており、社会ニーズに適合し、海事産業の競争力強化等に貢献している。

災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発

- ・大規模災害時における輸送については、わが国において自然災害の頻発している中、防災・減災対策が重要な政策課題となっている。
- ・国としても総力戦で防災・減災対策を講じているところであり、自治体においても、県内の複数の組織がそれぞれ防災・減災対策を行っている中、それらを束ねて総合的に評価する視点が重要となっている。緊急支援物資輸送システムについては、「総力戦で挑む防災・減災プロジェクト」にも記載されており重点施策となっている。
- ・自治体の参加する実動演習において、経路および輸送機材の情報共有システムとして活用しており、システムの活用が期待されているところである。
- ・今年度実施した実動演習は、地方放送局 2 社及び地方紙や業界紙を中心に 40 社以上のメディアに取り上げられ、社会的ニーズの高い内容であると考えられる。

デジタルツイン統合システムの研究開発

- ・主機、船体、プロペラからなる総合システムを用いて、強化学習技術を適用した主機制御パラメータ自動調整機能を構築して知財化した。また、品質管理及び設計作業効率化のためのプログラムを作成してプログラム登録した。これらは海事産業の競争力強化に資する成果物であり、社会的価値の創出に貢献する。
- ・開発したデジタルツインシステム及び要素技術は、自動運航船等を含む次世代船舶はもとより、洋上風力発電装置等の海洋構造物にも応用でき、国家プロジェクトへの貢献が期待される。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい

ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

- ・貿易統計データの解析は、最新の学術論文を参考にして詳細データの検討を実施しており、成果の科学的意義は大きい。
- ・ハンディーマックスバルクキャリアの需要予測モデルは、海上荷動き量、造船の特性、2050年カーボンニュートラルを考慮できる詳細なモデルであり、発展性が高いモデルとなっている。
- ・AI技術を用いたバンカー価格の予測モデルは、様々な説明変数を容易に組み込むことができるため、発展性が高いモデルとなっている。また従来モデルよりも高精度であることを確認しており、手法の有用性も確認している。

災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発

- ・災害時の支援物資輸送では、国が担当する広域物資輸送拠点までの一次輸送を主な対象に、陸路輸送が機能不全に陥った際の対策を検討してとしているが、これは従来検討されていない視点である。またシナリオ分析により多様な評価を行う点に新規性がある。
- ・配送計画問題において、計算が大規模になった際に備え、疑似量子コンピュータによる配送アルゴリズム定式化を実施し、小規模な問題における概念実証(PoC)を行っている。
- ・災害時の支援物資輸送では、国が担当する広域物資輸送拠点までの一次輸送を主な対象に、陸路輸送が機能不全に陥った際の対策を検討してとしているが、これは従来検討されていない分野である。またシナリオ分析により多様な評価を行う点に新規性がある。

デジタルツイン統合システムの研究開発

- ・船舶統合デジタルツインのコア技術となる波浪推定手法について、波浪追算データの活用手法や船体応答から波浪を推定するSWSE法の開発・検証を確実に実施して、論文にて公表した。波浪推定やデータ活用手法は次世代の船舶・海洋構造物の設計や運用の高度化に欠かせない基盤技術であり、実海域ビッグデータを有効に利用して先駆的に成果を出したことの科学的意義は大きい。

□成果が期待された時期に創出されている

ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

- ・ハンディーマックスバルクキャリアの需要予測モデルは、最新データを用いてモデルを再構築している。本モデルは、2050年のカーボンニュートラルの影響を考慮可能なモデルとしているため、成果が期待された時期に創出されている。
- ・Feebate制度を前提とした炭素税の算定は、2050年のカーボンニュートラルを想定した検討も行っており、成果が期待された時期に創出されている。
- ・国際海運を対象にしたゼロエミ燃料を考慮した燃料転換シミュレーションと建造需要予測は、2030年以前の早期にゼロエミ燃料船を導入することを想定して検討されており、成果が期待された時期に創出されている。
- ・国際海運においてGHG排出ゼロを目指すなか、GHG削減政策における技術的手法と経済的手法の評価および国際海運の燃料転換シミュレーションを実施しており、適切な時期に研究が進められている。

災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発

- ・わが国において自然災害が頻発しているなか、地震による災害以外にも、台風による水害などの被害が相次いでいる。そのため、国土強靱化のための対策は喫緊の課題となっている。

デジタルツイン統合システムの研究開発

- ・船体構造デジタルツインについて、前年度までの水槽試験でのシステム検証の成果を活かして、実船での検証を成功させた。さらにデジタルツインによるデータ集積を見据えたデータ活用についても提言を行ない、着実に成果を出した。
- ・主機デジタルツインについて、海運会社との共同研究を立ち上げ、エンジン部品の経年劣化の評価アルゴリズムを検証して論文公表した。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものである

ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

- ・ハンディーマックスバルクキャリアの需要予測モデルは、先行研究の成果をベースに2050年のカーボンニュートラルを想定可能なモデルに再構築しており、海事コンサル技術等の国際競争力の向上等につながる。

- ・Feebate 制度を前提とした炭素税の算定は、国際的なゼロエミ燃料船の普及促進における海運造船業の国際競争力を強化に強く関係するため、国際水準に照らした大きな意義があり、国際競争力の向上につながる。

災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発

- ・災害時の対応やそれに関する計画は、災害大国であるわが国がリードしていると言える。
- ・荷主の港湾選択行動をモデル化して港毎の輸出入貨物量を推定することで、港湾改善の効果を定量化できることから、日本の港湾のグローバルな競争力を強化する上で有益であると考え。

デジタルツイン統合システムの研究開発

- ・船舶用デジタルツインのベースとなるデジタルツイン統合システム i-SAS を実船搭載して有効性を実証することに成功し、また船体構造以外の要素を統合した統合システムの概念設計を完了した。船舶用デジタルツインについては、国内外で開発がされているものの個別に検討されている状況にある。船体構造デジタルツイン及び主機デジタルツインを開発して論文等で公表したことは、今後の標準化を図る上で大きな意義があり、国際競争力の向上に繋がるものである。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

- ・AIとデータフュージョンを組み合わせた手法を取り入れ、先見性と機動性を持って対応している。
- ・ハンディーマックスバルクキャリアの需要予測モデルでは、最新のシステムズエンジニアリング技術を利用し、モデルの拡張性、機動性を考慮して開発している。

災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発

- ・計算速度を上げるために疑似量子における PoC を実施している
- ・貨物経路推定手法では最新の AI 技術である Deep Learning 技術を応用している。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R5年度)	A

【コメント】

- ・緊急支援物資輸送システムを活用した複数の自治体や事業者を巻き込んだ形での実動演習は、複数のメディアにも取り上げられている。
- ・国際海運・造船需要予測の研究成果は、国内の外部海事関連機関やIMO提案文書で活用されている。また、海外機関向けの研修の実施により国際貢献や民間機関との研究等により、社会実装に向けた研究・活動を実施している。
- ・以上より、研究計画に従って着実に成果を創出していることに加え、外部からも高い期待をされており、「研究開発成果の最大化」に向けて「顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められるもの」として「A」評価とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R5年度)	A