令和７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７年５月２０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６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。

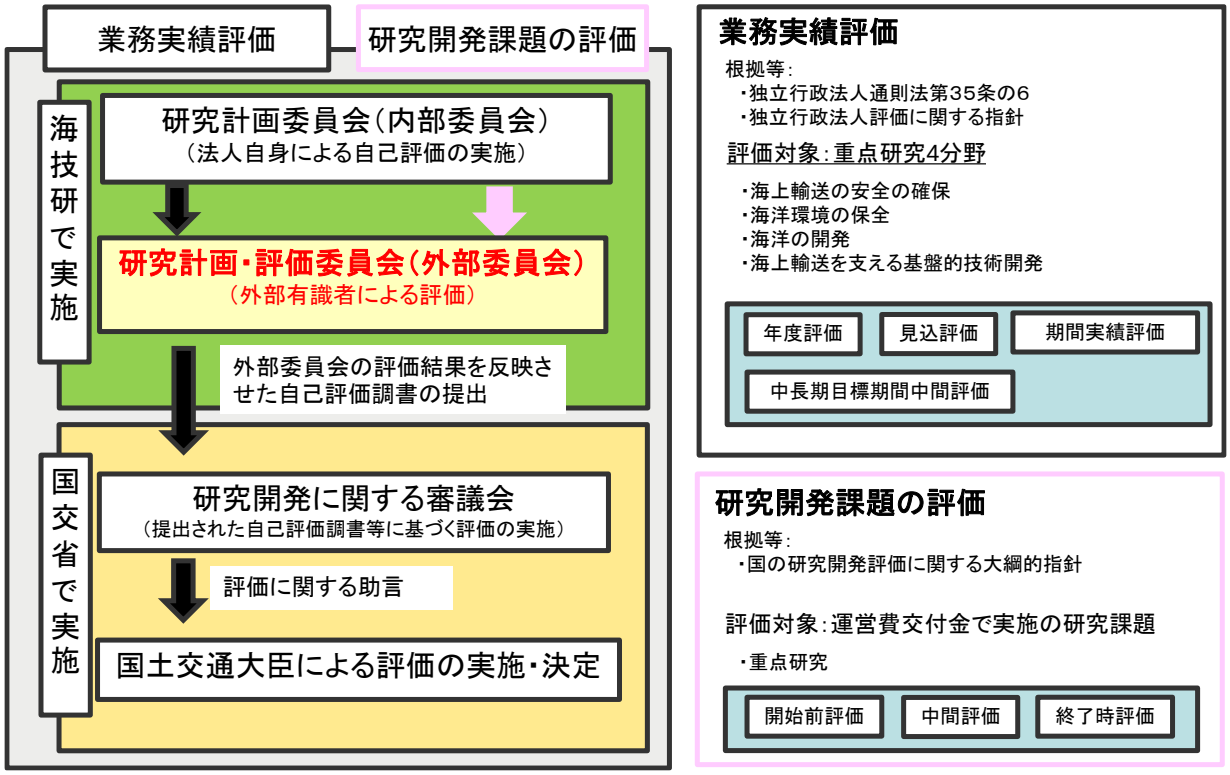
（2）評価の種類

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 7 年 5 月 20 日(火)

(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	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
		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　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　日本舶用工業会　大形機関部会長 (株式会社三井E＆S　取締役)
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	波津久 達也	国立大学法人　東京海洋大学 学術研究院 海洋電子機械工学部門　教授
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 6 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 6 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

(1)海上輸送の安全の確保

令和６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。 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	・ 実海域における遭遇波浪の推定手法は次世代の船舶強度設計に必要不可欠な技術であり、船舶の合理的な設計への活用が期待できる。また、IMO の SGIS の５つの危険モードに対応した脆弱性評価システムは、社会の要請と合致し、国際的に見ても意義のある研究成果である。また、自動運航船の ConOps などは重要ではあるものの、論文公表などには結び付きにくい研究である。このような研究にもしっかり取り組まれていることは高く評価したい。 --- ・ 各要素についてはご検討されていると評価する一方で、これらで構成される全体像が少し見えにくいと思えます。 ・ 社会実装とは何を意図しているものなのか、それは全体像としてどういう事をイメージしているのか、それによる構成要素がどう関係しているのか等を整理頂けると各取り組みの位置付けがより明確になり、その成果が解りやすくなるものと考えます。 --- ・ 重点研究１について、システムを構成する要素技術を着実に開発できていることから、最終年度に実施されるシステム統合により、造船業の競争力強化に大いに貢献してくれると期待している。 ・ 高いレベルの学術雑誌への掲載や、各種受賞の実績から、国際的にもハイレベルな研究成果を継続的に出していることは高く評価できる。 --- ・ 評価のポイント①について、操船自動化、操船支援に関する研究は社会的に求められているものであり、その完成に向けて自動避航アルゴリズムの高度化等を実施し、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の安全性評価手法を確立したことなどは、有意義なものである。 ・ 評価のポイント②について、船の実海域における出会い波浪と非計測の船体応答の時刻歴を即時推定する手法は今まで困難とされてきたものであり科学的意義は大きいと思われる。 ・ 評価のポイント③について、操船自動化・操船支援に関する技術は、現在システム開発中であり、国際規則も審議されている状況であり、タイムリーな成果が得られたと思われる。 ・ 評価のポイント④について、自動運航船に関するリスク解析関連の研究は商品の開発や主管庁/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。 --- ・ ４つの重点研究計画は、評価ポイントのそれぞれにおいて、着実な成果が挙がっている。評価のポイント⑤については、萌芽的研究の指針（方向性）が明示されることが望ましい。 ・ 各重点研究の本年度成果が、重点研究分野「（１）海上輸送の安全の確保」の「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」と「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」にどのように関連するのか、とりまとめの工夫が必要である。 ・ 各重点研究の達成すべき目標をより明示していただきたい。最終目標が社会実装か否かについての考え方がより明らかになり、成果の意義がより明確になる。その際には、各年度の成果の達成度も示していただければ、さらに成果の意義が理解しやすい。				

	・ 上記の点については、他の研究分野においても検討いただきたい。 --- ・ 構造評価技術と次世代船舶等の安全性評価、リスク解析は成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献するものと理解している。 ・ 一方、次世代船舶では、従来船（例えば CO2 運搬船では、タンクが重い）とは異なる配置設計が求められるため、十分な縦強度の確保に検討が必要とも聞いています。 ・ そこで、次世代船舶等の安全性評価、リスク解析の際に、さらに踏み込み、構造評価技術も組み合わせ実施すれば、より成果の科学的意義が大きくなるのでは、と考えます。 --- ・ 評価のポイント①について、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。デジタルツインの要素技術の開発、非線形船体応答の予測、自動運航船の ConOps の記述方法、自動避航アルゴリズムの評価手法の構築は社会的価値の創出に貢献する研究であると評価できます。今後、海技研として種々の技術やシステム開発の成果をどのように海事産業の競争力強化に繋げていくのか、その方針とともに評価方法をお示しいただければと思います。 ・ 評価のポイント②について、発展性や一般性について評価できます。新規性の点ではやや見劣りしますが、国研としては仕方がないように思います。 ・ 評価のポイント③について、適切な時期に創出されていると思います。 ・ 評価のポイント④について、IMO の審議への貢献や自律運航船のルール策定に関する研究成果は、国際競争力向上に貢献するものと考えます。 ・ 評価のポイント⑤について、機動性が認められます。 --- ・ 評価のポイント①について、海難事故の削減や再発防止、次世代船舶の安全性評価に関連した研究開発に取り組んでいる。これらは海事産業関連分野における安全・安心の確保に資するものであり、社会的要請に対応した重要な取り組みである。 ・ 評価のポイント②について、各重点課題によって得られた成果は何れも新規性が認められ、船体構造評価手法や船舶の安全性・リスク評価手法、自動操船・操船支援技術の高度化に資するものであり、今後の発展性が期待できる。また、国内外の学協会から論文賞等を多数受賞しており、社会的インパクトの高い研究成果を創出していると言える。 ・ 評価のポイント③について、関連分野の動向に鑑みた研究目標が適切に設定されている。また、当該年度に掲げた目標と研究項目に従って着々と成果が得られていると判断される。 ・ 評価のポイント④について、国際会議において論文賞を受賞するなど国際的に見て高い水準の研究課題に取り組んでいると認められる。一方、研究課題数、研究担当者数に対する論文の公表数が少ないと思われる。国際的な認知度、競争力を向上させるためには国際科学雑誌への投稿が有効である。今後、国際科学雑誌への原著論文の投稿数が増えることを期待する。 ・ 評価のポイント⑤について、関連分野の現状と将来像から挑戦的な研究目標が適切に設定されおり、その達成に向けて各課題に機動性をもって取り組んでいると判断する。 --- ・ 総合して、十分な研究成果が創出されていると考える。成果の学術界に向けたプロモーション、産業界でのさらなる活用推進には力を入れて取り組んでいただきたい。 ・ 評価のポイント①について、波高非線形な応答に対応した長期予測手法に関する研究について、どのように実務で使われるかを具体化し、社会的価値の創出のイメージを明確にしていただきたい。 ・ 評価のポイント②について、対外発表件数および受賞件数から適切な成果が得られていると考える。国際会議の論文数に対して雑誌掲載論文が少ないので、研究成果をジャーナルとして公開することにより積極的に取り組んでいただきたい。 ・ ソースコードやソフトウェア等の公開については、国内造船業での活用も進んでおり産業界へは十分貢献していると考える。今後、学術分野に向けたプロモーションも行い、国際的なリーダーシップを取っていただきたい。 ・ 評価のポイント③について、国際的な審議が進む自動運航船に関する取り組みは時宜を得た研究である。 ・ 評価のポイント④について、対外発表件数および受賞件数から適切な成果が得られていると考える。

	・ 評価のポイント⑤について、特に自動運航の技術動向に関して状況に応じた対応を行っている。 ---------- ・ 評価のポイント①について、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。特にソフトウェアの開発については、アップデートも含めて、非常に精力的だと感じた。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、自動運航船などに関する研究についても、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、社会ニーズに応える進展になっている。 ・ 評価のポイント②について、評価のポイント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。 ・ 評価のポイント③について、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ことを意識して開発しており、社会実装を意識の高さがうかがえる。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。 ・ 評価のポイント④について、GHG 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。 ・ 評価のポイント⑤について、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。セミナー、利用者のための普及のための活動もあり、継続して欲しい。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：9 B：1 C： D：

(2)海洋環境の保全

令和６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。 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	・ 我が国の海事産業にとって，実海域性能の向上は最重要課題の一つである．内航・外航の実船データと各種プログラムの連携を強化し，実船性能の向上に寄与していることは高く評価できる．また，高度空気循環システムの実船適用が行われたことは社会的にインパクトがあり，成果の社会実装という観点で高く評価できる．次世代燃料利用技術や環境負荷低減技術など，これからの海事産業にとって必要不可欠な技術も研究も着実に行われている．さらに，２件の日本船舶海洋工学会賞（論文賞）を受賞していることは特筆すべき成果であり，国際連携活動も積極的に行われている． --- ・ 本件も一部全体像が見えにくい項目もありますが、周期吹き出し法での実装や水素・アンモニア専焼への取り組みなど見えやすい取り組みもあり評価しております。 --- ・ 重点研究５では，実際の船舶への研究成果実装により，机上の議論だけでなく成果の有用性を定量的に証明できており，社会的価値が高い成果であることを「見える形」で示していただいたことを高く評価したい． ・ 重点研究 6 については，（海事業界以外の）一般社会に対する海技研の貢献をアピールしやすい内容であり，今後も継続して力を入れて欲しいと期待する． --- ・ 評価のポイント①について、実海域での省エネ効果を向上させる高度空気潤滑システム AdAM を実船適用し、環境負荷低減を可能としたことは社会が求めている環境負荷低減に対し貢献した。 ・ 評価のポイント②について、大型舶用２ストロークエンジンを模擬した次世代燃料（水素・アンモニア等）燃焼　評価設備及び計測技術を構築し、エンジンの開発に必要不可欠な次世代燃料の燃焼に関する詳細なデータを取得できるようにしたことは科学的意義が大きいと思われる。 ・ 評価のポイント③について、アンモニアや水素などの次世代燃料の利用に関する技術開発は、現在世界中で進められている商品開発とつながっており、将来を見据えた研究開発である。 --- ・ 「（２）海洋環境の保全」の２つの重点研究計画「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」において、それぞれ着実な成果が挙がっている。 ・ 評価のポイント②、④に対しては、成果には科学的意義の大きさが大きいものとそれほどでもない成果が混在して示されている印象がある。現状での成果が小さくても、例えば「評価ポイント①に対して大きな意義があるから大いに推進し、現時点では＊＊を達成しており、達成度は☆%である。」などの補足説明があった方が、成果の意義がさらに明確となるのではないか。取りまとめの工夫が必要である。 --- ・ GHG 削減に留まらず、船体塗料も含めた環境負荷低減にも取り組んでおり、社会ニーズに適合している。塗料関連連では、ISO での規格化という明確な目標設定もあり、社会的価値の創出に貢献している。 ・ 「ちゅらさん」での高度空気循環システムの社会実装は期待された時期に実施して				

	おり、今後、燃料転換などの技術の適用が困難な他の小型内航船への展開を期待する。 ・ 水素、アンモニアなどの次世代燃料は、安全上、ハンドリングが重要であり、万が一漏洩すると厄介である。萌芽的研究としては、この漏洩検知・回避に、大気拡散シミュレーション手法が応用できれば面白いと感じる。 --- ・ 評価のポイント①について、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。高度空気潤滑システム AdAM の社会実装や代替燃料利用技術の開発は社会的価値の創出に貢献する研究であると評価できます。 ・ 評価のポイント②について、発展性や一般性について評価できます。新規性の点ではやや見劣りしますが、国研としては仕方がないように思います。 ・ 評価のポイント③について、適切な時期に創出されていると思います。 ・ 評価のポイント④について、多様な次世代燃料の燃焼特性を評価可能とする設備と計測技術を構築したことは、国際競争力向上に貢献するものと考えます。 ・ 評価のポイント⑤について、機動性が認められます。 --- ・ 評価のポイント①について、海運におけるカーボンニュートラルの実現に向けたゼロエミッション燃料船や船舶運航性能の向上による GHG 削減技術、船舶由来排出物の環境影響評価技術に関連した研究開発に取り組んでいる。これらは海事産業分野における環境負荷の低減や安全・安心の確保に資するものであり、社会的要請に対応した重要な取り組みである。 ・ 評価のポイント②について、各重点課題によって得られた成果は何れも新規性が認められ、ゼロエミッション燃料利用技術や実海域実船性能評価技術、環境影響評価技術等の高度化に資するものである。また、本研究課題で構築された次世代燃料燃焼評価設備・計測技術、実海域データとプログラムの連携や計測・シミュレーションデータの同化による各種推定技術は、船舶の運航性能の向上や環境負荷低減に関連した開発研究における基盤技術となり、今後の発展性が期待できる。関連の成果に対して国内の船舶海洋関連の学協会から論文賞等が多数授与されており、社会的インパクトの高い研究成果を創出していると言える。 ・ 評価のポイント③について、関連分野の動向に鑑みた研究目標が適切に設定されている。また、当該年度に掲げた目標と研究項目に従って着々と成果が得られていると判断される。 ・ 評価のポイント④について、ISO 規格関連など多くの国際連携活動に参画しており、これらは国際社会における日本の地位向上に貢献していると言える。一方、研究担当者数に対する論文の公表数が少ないと思われる。国際的な認知度、競争力を向上させるためには国際科学雑誌への投稿が有効である。今後、国際科学雑誌への原著論文の投稿数が増えることを期待する。 ・ 評価のポイント⑤について、関連分野の現状と将来像から挑戦的な研究目標が適切に設定されおり、その達成に向けて各課題に機動性をもって取り組んでいると判断する。 --- ・ 評価のポイント①について、次世代燃料評価設備など、世界最大級の実験設備は国際的にも注目されると考える。カーボンニュートラル実現に向けた研究の中核組織として国際的なプレゼンスを確立していただきたい。 ・ 評価のポイント②について、対外発表件数および受賞件数から適切な成果が得られていると考える。国内会議での発表件数に対して雑誌掲載論文が少ないので、研究成果をジャーナルとして公開することにより積極的に取り組んでいただきたい。 ・ 評価のポイント③について、カーボンニュートラル・二酸化炭素排出量の削減に向けた取り組みに力を入れており、これらは社会からの要請に応えるものである。 ・ 評価のポイント④について、国際貢献の件数および受賞等から適切な成果が得られていると考える。また、ISO への規格提案の準備も進めており、評価できる。 ・ 評価のポイント⑤について、代替燃料の着火性については、国内企業からの注目に応じて体制での研究実施を行っているなど、運営上の工夫がなされている。 --- ・ 評価のポイント①について、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。例えば、高度空気潤滑システム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。 ・ 評価のポイント②について、評価のポイント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。 ・ 評価のポイント③について、データの取得にあたって、他分野や外部との連携しながら、情報を効率的に活用するだけでなく、活用されやすい環境づくりの意図を強く感じる。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。 ・ 評価のポイント④について、評価のポイント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、国際機関や研究委員会への委員の派遣を通して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だけでなく、研究者が直に国際感覚を身に着けながら研究成果と世界とのつながりを実感することは、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。 ・ 評価のポイント⑤について、GHG 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、萌芽的な段階から一気に次の段階に進めている印象を持つ。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：10 B： C： D：

(3)海洋の開発

令和６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	・ ＬＮＧバンカリングの運用限界条件を決定し、国のバンカリングガイドラインに貢献するなど、着実な成果をあげている。またＡＵＶ制御技術は国際的に見ても高度な技術であり国プロにも貢献している。大規模ＦＯＷＴの実現に向けた検査の合理化や、デジタルツイン技術の開発など、社会の要請と合致した成果が気合された時期に創出されていることは高く評価できる。 ・ 一方で、学術雑誌掲載論文や査読付き国際会議論文の掲載数がゼロであり、成果の公表の観点では課題があり、改善が必要である。 --- ・ 社会実装という面においては、足元の我が国 EEZ における開発状況からするとまだまだではないかと思えますが、いざとなれば必要な要素もあろうと期待しての評価です。 ・ ただ状況に応じた研究テーマの柔軟性も持っておくべきではないかと思います。 --- ・ 重点研究 7 の成果として国の LNG バンカリングに関するガイドラインが改定されているが、このような成果輩出はまさに国研が社会から求められる最重要な役割であり、海技研の存在意義を明確にする優れた活動であったと評価する。 ・ 重点研究 8 については、海技研単独で取り組める内容は着実に進めていると判断できるので、今後は国や産業界との連携を強化し、社会実装の成果に向けて邁進していただきたい。 --- ・ 評価のポイント①について、バンカリング船による新燃料のバンカリングオペレーションは、運用限界など不明確なところがある中で、ガイドライン作成に貢献したことは社会的意義が大きい。 ・ 評価のポイント②について、今後多数建造設置されると期待される浮体式洋上風力発電において、それに適用されると思われる合成繊維索係留の初期仕様算出プログラムを拡張し、広範な領域に適用可能にする等の成果を上げたこと、また、今後の実証研究における実機係留設計へも活用が見込まれることより意義が大きいものと思われる。 ・ 評価のポイント③について、浮体式洋上風力発電は、現在研究開発中であり、それに用いられる合成繊維係留や、浮体のデジタルツイン技術に関する研究成果はタイムリーな成果である。 ・ 評価のポイント④について、浮体式洋上風力発電に関する研究は、今後の大規模ウィンドファームの実現を想定した研究であり、世界の情勢に対し先進的である。 --- ・ 評価のポイント①～④において、着実な成果が挙がっている。 ・ 交付金を基盤とした成果と SIP 等外部資金を基盤とした成果は、海技研と SIP の目指すところが類似しているというのではなおさらのこと、予算執行と成果監理の点から、切り分けた整理をして発表された方がよいと考えます。今後の諸評価において、あらぬ誤解を受けることが無いようにするためです。ご参考まで。 --- ・ 洋上風力発電や鉱物資源開発は国家プロジェクトであり、社会的価値の創出に貢献している。 ・ また、マリンオペレーション（人員輸送、バンカリング、洋上 CO2 圧入）最適化検討に関し、液化 CO2 輸送船の設計を実施するなど、より社会実装を意識した研究開発となっており、成果の科学的意義は大きいと理解する。 ・ 個人的には、日本としては、中国リスクを回避し、国際競争力の向上につながるも				

	のとして鉱物資源開発を急ぐべきと考えている。研究のスピードアップを期待する。 --- ・ 評価のポイント①について、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。マリンオペレーションに関するシミュレーション技術、AUV の隊列航行制御、FOWT の安全性等評価手法の構築は社会的価値の創出に貢献する研究であると評価できます。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。 ・ 評価のポイント②について、成果の科学的意義については、科学雑誌掲載論文がないこともあり評価が難しいところです。 ・ 評価のポイント③について、国のニーズに応じて成果が創出されていますが、先行する欧米や中国に対する相対的な評価もあわせて必要だと思います。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。 ・ 評価のポイント④について、海洋開発分野において、国際競争力を向上させていただくための道筋がやや不明瞭に感じます。 --- ・ 評価のポイント①について、海洋資源開発や海洋再生可能エネルギー開発に関わる先端的な機器・技術の研究開に取り組んでいる。これらは海洋開発の促進、海洋開発産業の振興に資するものであり、社会的要請に対応した重要な取り組みである。 ・ 評価のポイント②について、各重点課題によって得られた成果は何れも新規性が認められる。特に複数 AUV 協調群制御技術や AUV 海中ドッキング制御技術は何れも挑戦的かつ革新的であり、今後の発展性が期待できる。関連する成果に対して国土交通大臣表彰が授与されており、社会的インパクトの高い研究成果を創出していると言える。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に関わる各研究開発は、大規模 FOWT の導入促進に寄与するものであり、早期の技術確立を期待したい。 ・ 評価のポイント③について、海洋開発に関わる国の基本計画に基づいて研究目標が適切に設定されている。当該年度に掲げた目標と研究項目に従って着々と成果を得ていると判断されるが、成果の公表数が少ない。 ・ 評価のポイント④について、国際科学雑誌および国際会議論文への投稿がないのは改善すべき課題である。国際的な認知度、競争力を向上させるためには国際科学雑誌への投稿が有効である。今後、国際科学雑誌への原著論文の投稿数が増えることを期待する。 --- ・ 評価のポイント①について、マリンオペレーション、海洋資源開発、無人機活用という国が力を入れているテーマについて、研究成果およびガイドライン等の産業向けの貢献の両方を実現しており、社会的価値が創出されている。 ・ 評価のポイント②について、造船海事以外の研究分野と比べて雑誌掲載論文が少ないので、研究成果をジャーナルとして公開することにより積極的に取り組んでいただきたい。国のプロジェクトの実施する中で、研究から得られた有益な知見を学術的成果としても形にする必要があると考える。 ・ 評価のポイント③について、前研究分野と同様に、カーボンニュートラル・二酸化炭素排出量の削減に向けた取り組みに力を入れており、これらは社会からの要請に応えるものである。 ・ 評価のポイント④について、AUV に関して世界初の取り組みについて十分な成果を上げており、国際競争力の向上につながると考える。また、国際標準化活動への積極的な参加についても評価した。 --- ・ 評価のポイント①について、海洋開発は、海に囲まれている日本の地理的・地政学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。ただし、日本では海洋開発産業がポテンシャルに比して貧弱であることから、新たな海事産業の創出をしながら、社会的な価値を純増させ低中ければならない分野である。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んで社会を引っ張っていく概念の下で実施されており、高く評価できる。 ・ 評価のポイント②について、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オペレーションから作業工程の効率化の精査など、新規産業を後押しできるようなメッセージ性のある実践的な検討を進めていることが高く評価できる。 ・ 評価のポイント③について、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。 ・ 評価のポイント④について、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：7 B：3 C： D：

(4)海上輸送を支える基盤的な技術開発

令和６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。 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造船所の実現に向け、生成ＡＩを利用したＢＯＭデータの生成の自動化など、社会の要請と合致した着実な成果が達成されている。また国内造船所への試活用も始まっており、成果の社会実装という観点でも高く評価できる。また、燃料ＧＨＧ強度規制の検討が可能なシミュレーションシステムを開発し、ＩＭＯの提案文書の作成に貢献していることは、成果の創出時期が適切であり、国際的にも意義があるものと評価できる。 ・ なお、昨年度からの繰り返しの指摘となるが、今後の海事産業の競争力強化を考える上でデータ戦略は必須の課題であり、データそのものが競争力の源泉となる時代である。特に我が国のみで収集できるデータとして、熟練技術者データなどがある。データの標準化や共通化を検討するのであれば、是非、データを獲得・管理し、日本として有効活用する仕組みも同時に検討されることを強く期待する。 --- ・ DX 造船所という言葉が独り歩きして、あたかも万病の治療薬かの如くに取り扱われる事は日本造船業の根本的課題から目をそらす事にもなりかねず、非常に懸念しております。 ・ 時代は省力化・効率化を求められるだけに、この種のテーマはスポットが当たりますが、研究の意図を正確に捉えておかないと、言葉からの期待感でミスリードする可能性もありますので、それは「意図せず純粋な研究」という事だけで説明付かない事になり得ますので、責任を持って整理すべきと考えます。 --- ・ 重点研究 9 について、DX 造船所に必要となる個別要素技術を着実に開発されていると評価します。今後も、各種建造規模の造船所の実情を詳細にヒアリングしつつ、日本の造船業の役に立つ研究開発を進めていただきたい。 ・ この分野については、知財登録と（国内造船所における）実装が進んだあとに対外発表（論文投稿）を行うべきであるので、研究実施期間中の対外発表が少なくてもマイナス要素として評価するべきではない。 ・ 重点研究 10 は、造船工業会や船級協会との連携を、一層強化しつつ進めることが有用であると思われます。 --- ・ 評価のポイント①について、これからの船舶建造に関する DX 技術は、競争力強化の観点より海事産業に不可欠なものであり、データ連携やシミュレーション技術の開発はその中核をなす研究である。 ・ 評価のポイント②について、E-BOM から M-BOM への変換プロセスは、技術的に新規性が存在するものであり BOM の標準データモデルは造船所において広く参照可能であり、汎用性高く、技術的に意義がある。有用性が高い。 ・ 評価のポイント③について、上記の研究開発はまさに現状造船業界に求められているものである。より一層の高度化を期待しています。 ・ 評価のポイント④について、これらの研究は日本の造船業の国際競争力の向上に直接的につながるものである。さらなる高度化・汎用化を期待しています。 --- ・ 「（４）海上輸送を支える基盤的な技術開発」の２つの重点研究計画「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」において、それぞれ着実な成果が挙がっている。 ・ 発表資料中で使われている「＊＊に貢献した、貢献している」という表現は抽象的				

	である。何が達成されたのか、それがどのような意義を持つのかを明示したほうがよい。加えて、資料中に記載されている「開発した」あるいは「実施した」結果として何が達成され、その意義は何かなどがわかりやすくなるように、とりまとめのさらなる工夫をお願いしたい。 --- ・ 造船作業工程のデジタル化に関し、一部をすでに造船所で試用開始し、効果（２０%）を確認するなど、社会ニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献、かつ、成果が期待された時期に創出されており、大きに期待した開発である。 ・ しかしながら、我が国造船業の国際競争力回復には、この DX 造船所は必須（必要条件）であるが、十分条件ではないのも確かであろう。 ・ 従って、十分条件となるべく、引き続き、先見性と機動力をもって取り組んでいただくことを期待する。 --- ・ 評価のポイント①について、DX 造船所や海運市況の予測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。同時にデジタル人材の教育・育成の取り組みも必要と思います。 ・ 評価のポイント②について、発展性や一般性の観点で科学的意義が認められます。 ・ 評価のポイント③について、適切な時期に創出されていると思います。 ・ 評価のポイント④について、短期的な効率化だけでなく、真の DX に向けてトランスフォーメーション後のあるべき造船所の姿を見据えた研究開発を進めていただくことに期待します。 ・ 評価のポイント⑤について、先見性と機動性が認められます。 --- ・ 評価のポイント①について、DX による造船作業の効率化に関わる技術やビッグデータの活用による物資輸送の効率化・最適化に関わる技術の研究開発に取り組んでいる。これらはデジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進とそれによる国際競争力強化に資するものであり、社会的要請に対応した重要な取り組みである。 ・ 評価のポイント②について、各重点課題によって得られた成果は何れも新規性が認められ、海事産業の生産性向上や品質管理の高度化、物資輸送の効率化・最適化に資するものと判断する。開発される造船用 PLM システムが造船各社で活用できるよう、データモデルのカスタマイズやユーザーインターフェース設定の自由度も含めてより汎用性の高いシステムを構築していただきたい。 ・ 評価のポイント③について、国の基本計画に基づいて研究目標が適切に設定されており、当該年度に掲げた目標と研究項目に従って着々と成果が得られていると判断される。 ・ 評価のポイント④について、研究担当者数に対する論文の公表数が少ないと思われる。国際的な認知度、競争力を向上させるためには国際科学雑誌への投稿が有効である。今後、国際科学雑誌への原著論文の投稿数が増えることを期待する。 ・ 評価のポイント⑤について、関連分野の現状と将来像から挑戦的な研究目標が適切に設定されおり、その達成に向けて各課題に機動性をもって取り組んでいると判断する。 --- ・ 評価のポイント①について、政策課題に直接的に貢献する造船業支援のテーマに取り組んでおり、国内造船所における成果の活用も進んでいる。造船所の DX は、政策的な要請だけでなく、民間からのニーズも大きく、このテーマの研究成果の社会的価値は大きいと考える。 ・ 評価のポイント②について、DX や造船所支援は研究としては、汎用かつインパクトの大きい成果が得られていると考えている。一方で、研究成果の造船所での活用についてはまだ課題があると考えられ、成果をスムーズに造船所に導入するための取り組み、成果を効果的に活用するための造船所のオペレーションについても検討していただきたい。 ・ 評価のポイント③について、造船業の国際競争力向上が必要とされているタイミングでの成果創出であり、社会からの要請に応えるものである。 ・ 評価のポイント④について、海技研の研究成果を踏まえた IMO への知見の提供を行うなど、国際標準化活動に活発に参加、貢献しており、国際的にも高い水準で活動していると判断した。 ・ 評価のポイント⑤について、萌芽的な新しいテーマへの調査を機動的に行っている。 ---

	・ 評価のポイント①について、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デジタル化など精緻で実用的な形で貢献している。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。また、造船市況の予測モデルについてはかなりチャレンジングであるが、非常に良い精度でのモデルが構築されつつあることがうかがえる。市場の適切な投資の為の判断材料になることを期待する。 ・ 評価のポイント②について、造船市況に関してのビックデータの活用などは、科学的な発展を踏まえた応用事例で、社会的な評価は必ずしも容易ではないが、社会実装としてはダイレクトな貢献と勝負であると感じる。災害時の輸送システムなどは、それが必要な時にそれが初回でも即戦力として活用されなければならない。こうした非日常的な事象に対応できるような挑戦は、研究の社会実装の本質である。 ・ 評価のポイント③について、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マティックな導入計画が重要である。研究の進め方としては、現場の状況をよく把握し、現実的な推進に貢献していると感じる。 ・ 評価のポイント④について、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。是非、訓練ではなく、実際の自然災害へのリアルタイムで対応事例を増やしていって欲しい。経験を積みながらアップデートされていくことで、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。 ・ 評価のポイント⑤について、ビックデータ、AI による予測モデルなど、近年の最新技術を組み合わせて実装を意識したモデル開発を進めており、その進度から先見性と機動性を持って取り組んでいることがうかがえる。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：8 B：2 C： D：

年度計画と重点研究計画の関係

●R6年度計画（4つの重点研究分野）	■重点研究計画 （10件の重点研究課題）
（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	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
（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	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
（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	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
（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	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

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

（1）海上輸送の安全の確保

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

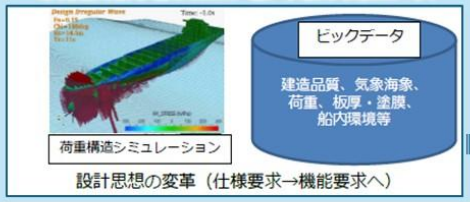
（1）海上輸送の安全の確保
－①次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発
－②海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等

船体構造評価技術に関する研究(重点研究1) 7ヵ年計画の概要

★：2024年度に実施した内容
赤字：次頁で詳細に説明

背 景

環境適合船などの新コンセプト船の社会ニーズ



開発目標と効果

設計・建造・保守支援システム
次世代構造設計手法

次世代船舶の設計・建造
機能要求に基づいた構造設計
長期耐用化・合理的メンテナンス

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029

1.全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システム開発
2.非線形構造応答推定・強度評価
3.腐食進行モニタリングによる管理・修繕支援技術
4.船体外板in-situモニタリング
→ 統合
5.安全性評価並びに海難事故解析のための評価ツール開発

実施事項

★デスクトップ版搭載シミュレータの開発
★アプリケーションの開発
1：建造・保守支援ｼｽﾃﾑ（設計・建造・保守支援ｼｽﾃﾑの開発）
船体デジタルツイン －全船構造ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ －設計・建造・保守支援ｼｽﾃﾑ
3：腐食モニタリング（塗装・腐食の予測・計測・評価システムの開発）
★超音波計測による塗膜表面形状評価の検討
2：応答推定・強度評価（次世代構造設計基準）
4：外板モニタリング（船体外板モニタリングシステムの開発）
5：事故解析（海難事故解析・評価ツール）
★出会い波浪の時刻歴推定手法の開発
★非線形応答の長期予測手法の開発（波高反復法）
★事故再現シミュレーションツールの高度化

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

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

船体構造評価技術に関する研究(重点研究1)

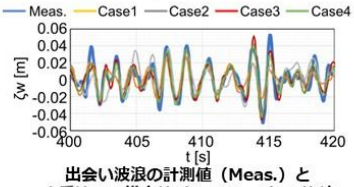
2024年度予算：19,328 千円
研究担当者：19 名

年度実績 船体応答データを用いた出会い波浪及び非計測船体応答の時刻歴推定手法や非線形船体応答の長期予測手法など、船体構造の設計及び運航やメンテナンスに資する手法を開発し、成果を公表した。

○出会い波浪の時刻歴推定手法の開発

✓ 短波頂不規則波中で計測された船体応答データからカルマンフィルタ手法を用いて、今まで困難であった船の実海域における出会い波浪と非計測の船体応答の時刻歴をリアルタイムで推定する手法を開発し、弾性模型を用いた水槽試験で検証した。

アクリル製弾性模型の外観とセンサ配置



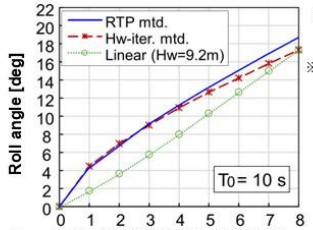
出会い波浪の計測値（Meas.）と本手法での推定値（Case1～4）の比較

Case	使用した計測項目
1	heave, pitch, sway
2	stress 3~6
3	heave, pitch, sway, stress 3
4	heave, pitch, sway, stress 3~6

○非線形応答の長期予測手法の開発（波高反復法）

✓ 非線形横揺れ運動に対して適用できるよう拡張した。更に、拡張RTP法※1の精度を維持しつつ短時間で計算可能な「波高反復法」を開発した。

✓ この手法により横揺れ運動等の非線形性を直接考慮した強度評価が可能になる。本手法はDLSA-Basic※2システムに導入済み。



横揺れ運動の長期分布の比較

※1 RAO-based Translation Process（波浪応答ベース変換手段）

※2 Direct Load and Structure Analysis and Evaluation System（全船荷重構造一貫解析システム）

青：拡張RTP法（参照値）
赤：波高反復法
緑：線形法（最大波高のRAOを使用）

◎遭遇波浪の時刻歴データを利用することで、安全な運航、合理的設計の実現に結びつく。
◎非線形応答の長期予測手法により、横揺れ運動等の非線形性を直接考慮した強度評価が可能になる。

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ヵ年計画の概要

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						

★：2024年度に実施した内容
赤字：次頁で詳細に説明

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

★**制限水域の操縦運動モデル**
・離着桟操船模擬実験
・狭水路運航時流体力のCFD計算
↓
港内操船モデル検証試験法
狭水路内での操縦運動モデル

操船シミュレータへの
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

設計ツール化
MBSE※1対応
CFD統合システム

★**風力影響下での操船シミュレーションを可能にする**
CFD手法の開発

※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
★**第二世代非損傷時復原性基準危険**
5モード脆弱性評価システムの構築

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

★**船体に働く外力**
風圧力
波漂流力
操縦流体力
錨泊中船体運動

操縦流体力・風圧力：推定法の改良
波漂流力：データベースの構築

★**船上の航海計器・機器との連携、陸上支援システムとの連携**

（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

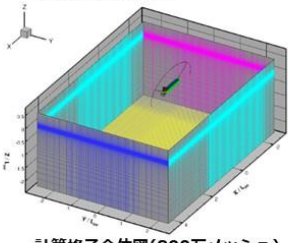
船舶の安全運航のための性能評価に関する研究(重点研究2)

2024年度予算：19,484 千円
研究担当者：15 名

年度実績　実海域（外乱下、港湾内、狭水路等）における操縦性・耐航性等の流体性能推定手法の高度化と、研究成果の社会実装のためのシステム化を進めた。

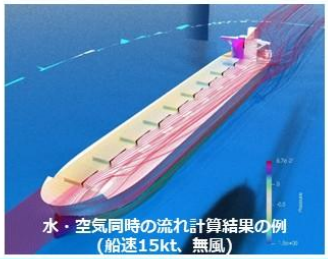
○風力影響下での操船シミュレーションを可能にするCFD手法の開発

✓ 水面下の船体だけでなく上部構造物も含む計算格子を使用し、海技研開発のCFD計算ソフト(NAGISA※1)を拡張することで、水面下の水と水面上の空気それぞれの流場を、自由表面を境界面として同時に計算する流場計算手法を構築した。これにより計算時間を約半分に短縮。



計算格子全体図(800万メッシュ)

※1　構造格子・重合格子対応流場解析ソフト



水・空気同時の流れ計算結果の例
(船速15kt、無風)

○国際海事機関(IMO)で策定された第二世代非損傷時復原性基準(SGIS)の5つの危険モードの脆弱性評価システム構築

✓ 国際海事機関(IMO)で策定された第二世代非損傷時復原性基準(SGIS)の5つの危険モードすべての脆弱性評価計算コードを統合したシステムを製作した。同システムは海技研ホームページで近日中に公開予定。

<5つの危険モード>
①デッドシップ状態
②過大加速度
③復原力喪失
④パラメトリック横揺れ
⑤波乗り／ブローチング

第二世代非損傷時復原性基準危険５モード脆弱性評価
(MSC. 1/Circ. 1627準拠)　システムの画面

◎総合的な操縦性能及び復原性能を考慮した合理的な設計が可能になるとともに、結果を運航指標として利用することで航行の安全性向上に結びつく。

（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

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ヵ年計画の概要

★：2024年度に実施した内容
赤字：次頁で詳細に説明

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1.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						
2.新規燃料船に係る影響解析手法の開発						
3.放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究						
4.安全安心な海上交通環境の実現に関する研究						

新コンセプト船の導入
- ●新規燃料船（水素・アンモニア）
- ●放射性物質輸送船（燃料デブリなど）
- ●AIを搭載した自動運航船

海上交通環境の変化
- ●新交通ルールの運用
- ●再エネ海域利用法による海洋構造物の設置

新規ハザードの発生
- ●新規燃料による火災・爆発
- ●振動等による容器破損および放射性物質の漏洩
- ●AIによる自動運航船航行中の事故
- ●船舶集中による衝突リスクの発生

海上輸送に関するリスクモデルの開発

事故シナリオ

前提条件・進展（物性の考慮）

発生頻度

拡散範囲

被害の大きさ

事故発生後の現象

リスクベース安全性評価手法の開発
★自動運航船のConOps※の指針案の開発
※ Concept of Operations

新規燃料船・放射性物質輸送の安全性評価手法の開発
★アンモニア・放射性物質の影響評価手法の構築

新コンセプト船導入に対応した安全対策

運航支援技術の開発
★海技研クラウド上に船舶版ダイナミックマップを構築

海上交通環境変化に対応した安全対策

10

（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

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)

2024年度予算：20,460 千円
研究担当者：15 名

年度実績 新コンセプト船（自動運航船・新規燃料船・放射性物質輸送）の安全性向上を図るため、自動運航船等のリスク解析手法の開発等を実施。また、海上交通安全の向上のため、デジタル基盤による航行支援の要素技術を構築した。

○自動運航船のConOps※1の指針案の開発
- ✓ システム工学では、一般的にConOpsにより対象物と運用の概念を明確化する必要があるが、自動運航船におけるConOpsの記述方法は未確立であった。
- ✓ 自動運航船のConOpsの記載方法の指針案を提案し、IMO MASSコードの審議に貢献した。

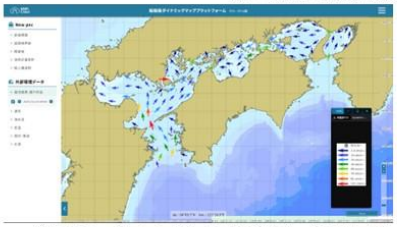
※1 Concept of Operations

Cover Page
Table of Contents
1. Introduction
2. Documents
3. Envisioned System
 - Objectives and Roles of the System
 - Constraints in Achieving Objectives
 - Overview of System and Related Entities
 - Key Elements/Functions and Modes of the System
4. Use Cases
 - Overall Operation Phases
 - Use Cases Corresponding to Each Phase
Appendix A: Acronyms
Appendix B: Glossary of Terms

自動運航船のConOpsの目次案

○海技研クラウドに船舶版ダイナミックマップを構築
- ✓ デジタル基盤の活用による、自動運航船に不可欠なデジタル情報※2の提供支援として海技研クラウドにダイナミックマッププラットフォームを構築した。
- ✓ 船舶版ダイナミックマップは、自動運航・船内自動化の普及促進に向けたデジタル情報を地図へ付加し、内航船の安全運航、船員の負荷軽減にも結びつく。

※2 気海象・港湾施設の3D情報等を想定



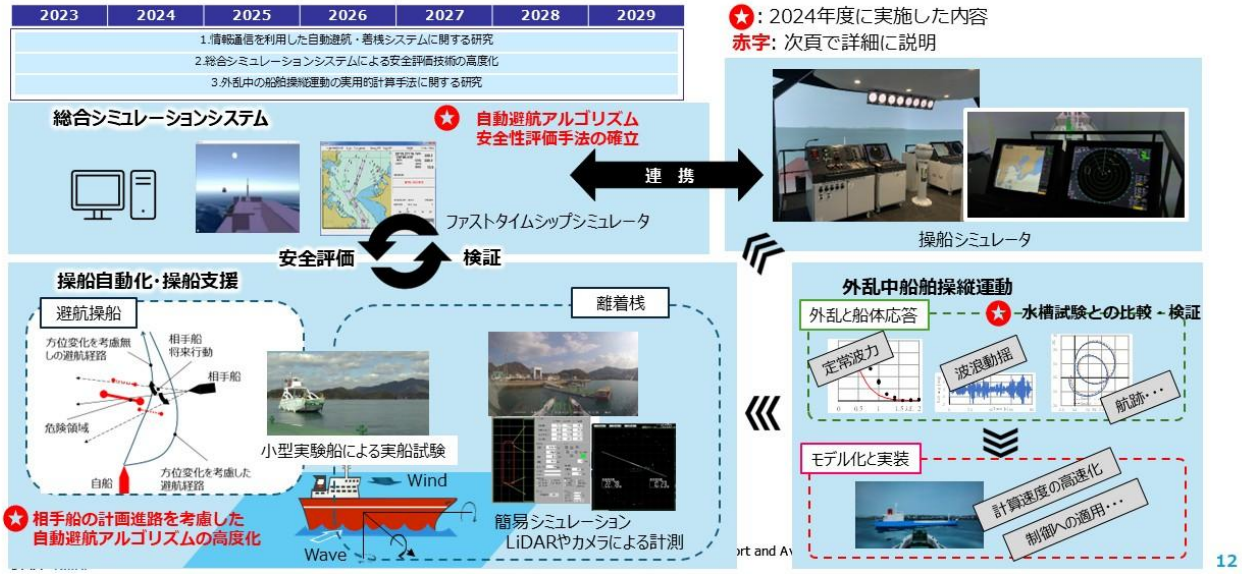
ダイナミックマップを用いた潮流データの表示例

◎定性的・定量的評価の両面から自動運航船のリスク解析技術を構築するための研究を進めている。
◎内航船の安全運航、船員の負荷軽減にも結びつく成果を創出している。

11

（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ヵ年計画の概要



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

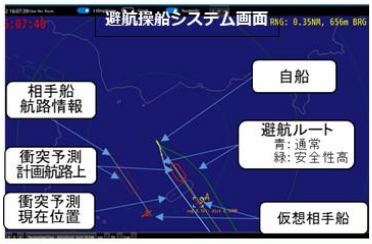
操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究(重点研究4)

2024年度予算：20,847 千円
研究担当者：14 名

年度実績　自動避航アルゴリズムの高度化等を実施し、模型船、小型実験船及び実船での検証により有効性の確認や実船適用に向けた課題抽出を行った。また、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の安全性評価手法を確立し、その有効性を確認した。

○相手船の計画進路を考慮した自動避航アルゴリズムの高度化

- ✓ 相手船から入手した計画航路情報に基づいて動向を予測することで、より船員の経験に基づく判断に近い避航操船を可能とした。
- ✓ 避航アルゴリズムで避航経路を確保できない場合に、手動操船への切り替えを促す機能を開発した。
- ✓ 小型実験船を用いて実用的な運用環境で実験を実施し、衝突回避機能及び手動操船への切り替え機能の有効性を確認した。

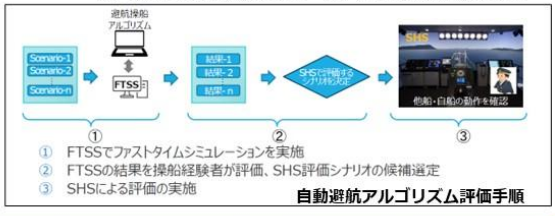


小型実験船「神峰」
(総トン数：17トン
全長：14.9m)

○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安全性評価手法の構築

- ✓ 自動運航船の実運航に必要な安全評価手法を確立するため、FTSS※1 とSHS※2 を連携させ、自動避航アルゴリズムの安全性を評価する手法を構築した。
- ✓ 操船経験者によるFTSSの結果評価とSHS再現対象シナリオの抽出、SHSでの主観評価を実施し、本手法の有効性を確認した。

※1 Fast-Time Ship Simulator　※2 Ship Handling Simulator



◎自動避航アルゴリズムの高度化及び評価手法の構築により操船自動化及び操船支援の高度化に貢献した。

13

成果の公表
＜海上輸送の安全の確保＞

※括弧内の数値は昨年度の実績値

項目	件数	
掲載済 査読論文	18 編 (15 編)	・科学雑誌掲載論文: 3 (7) 編 (Journal of Marine Science and Technology、Applied Ocean Research　等) ・査読付き国際会議論文: 13 (5) 編 ・その他の全文査読付き論文: 2 (3) 編
特許申請	1 件 (2 件)	・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
プログラム登録	4 件 (8 件)	・波浪逆推定プログラム ・LSPPを用いた数値解析結果のシミュレーション動画の自動連続作成プログラム ・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 R7 ・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.4.02）
国際連携活動	7 件 (10 件)	・ISSC/ I.2 Loads committee委員 (Web会議、Proceedings の作成等) ・ISSC/ V.1 Accidental Limit State 委員 (Web会議、Proceedings の作成等) ・ITTC Maneuvering Committee 委員（Kick-offウェブ会議、第1回対面会合） ・IAEA 放射性物質安全輸送規則SSR-6(Rev.1)改訂への貢献 ・IAEA 第48回, 49回輸送安全基準委員会（TRANSSC48, 49）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 ・IMO MSC 110/5（自動運航船に係る国際規則案の策定に関する日本提案文書）作成への貢献 ・IMO CCC10に日本代表団として参画するとともに、CCC 10/4/4（新燃料船に係る国際規則の改正に関する日本提案文書）作成への貢献

Copyright ©　国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

成果の公表
＜海上輸送の安全の確保＞

※括弧内の数値は昨年度の実績値

項目	件数	
受賞	5 件 (4 件)	・Hiromi Kubo, Tetsuo Okada, Xi Chen, Yasumi Kawamura, Taiga Mitsuyuki and Ginga Hayakawa: OMAE 2023 CONFERENCE BEST PAPER AWARD, Structures, Safety and Reliability Symposium, Bayesian Updating of Estimated Parameters Representing Multi-Modal Directional Wave Spectrum Using Measured Ship Hull Stresses. ・Sonoko Kawashima, Hiroko Itoh, Yasumi Kawamura and Hiroki Otsuka: 日本航海学会論文賞, Analysis of the Situation Awareness of Remote Ship Operators in an Emergency: A Simulation-based Study for Small Ships. ・塩苅恵, 他: 理事長表彰（個人表彰、最優秀論文賞）, Structure model-based hazard identification method for autonomous ships, Reliability Engineering and System Safety. ・三宅里奈, 工藤潤一, 伊藤博子: 日本水路協会　水路技術奨励賞, 和歌山県潮岬沖における推薦航路の設定に向けた海上交通流の評価技術の開発. ・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.
公開実験	5 件 (2 件)	・実海域再現水槽, 斜航状態の船に働く定常波力計測試験（7/26開催） ・総合シミュレーションシステム（SHS）, 自動避航操船システム（7/26開催） ・浮体式風車の不規則波中の水槽試験（9/14開催） ・総合シミュレーションシステム（SHS）, トリプル連結バージ遠隔操船再現実験（12/6開催） ・第19回船舶用CFDセミナー（1/31開催）

Copyright ©　国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

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＞

※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

◎**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。**
- 波高非線形な応答に対応した長期予測手法は次世代船舶の強度設計に必要であり、国外機関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）
- 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。（重点2）
- 自動運航船に不可欠なデジタル情報の提供支援として、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。（重点3）
- 日本海事協会が2025年1月に発行した「自動運航、自律運航に関するガイドライン（Ver.2.0）」において、衝突・座礁回避機能の要件の作成に貢献した。また、IMOで2026年の最終化に向け検討が進む自動運航船に関する非強制コードの策定作業に貢献している。（重点4）
- 日本水路協会から水路技術奨励賞を受賞した。（重点3）

◎**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。**
- 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。（重点1）
- 上部構造物も一体となった格子に基づき自由表面を境界面とする、水・空気両方の流場を同時に計算する手法を開発したことの科学的意義（新規性）は大きい。（重点2）
- 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。（重点3）
- 国内外の学会等から4件の論文賞等を受賞した。（重点1・3・4）

◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
- 進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）
- 第5次交通ビジョン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。（重点3）
- 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、離着桟アルゴリズム、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。（重点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。**
- 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。（重点1）
- 復原性に起因する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るもので、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る。（重点2）
- 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。（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。**
- 設計・建造・運航・メンテナンスのライフサイクルを通じて利用可能なデジタル技術基盤を構築して社会実装するため、船体構造を切り口として、センシング技術やシミュレーション技術、及びこれらを用いたデータ同化・推論手法、システム化に関する研究開発に取り組み、成果を創出している。（重点1）
- 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、フルマルチグリッド手法の有効性を新たに示すなど先見性をもった研究を実施している。（重点2）
- 新コンセプト船に係るリスクベース評価手法の開発は、自動運航船のリスク解析に関する国際的動向を的確に捉え、定性的・定量的に客観性を高める手法を提案している。ガイドラインやMASS Code策定の流れに先行し、未整備な評価手順の明確化を図るなど、先見性と機動性をもって対応している。（重点3）
- 自動運航技術を操船支援システムとしてまず実現するため、人とシステムの関係を検証する必要があり、総合シミュレーションシステム（SHS）において、遠隔着桟操船システム等、対象システムを再現し操作性等を評価する環境を構築したするなど機動性をもって対応している。（重点4）

16

研究計画委員会による評価
＜海上輸送の安全の確保＞

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

※括弧内の数値は評価者数

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	**2.7** 最高: 3.0 最低: 2.0 (12人)	A
2	船舶の安全運航のための性能評価に関する研究	**2.6** 最高: 3.2 最低: 2.0 (12人)	A
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	**2.8** 最高: 3.4 最低: 2.2 (12人)	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** 最高: 3.0 最低: 2.0 (12人)	A

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

17

（２）海洋環境の保全

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

（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ヵ年計画の概要

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				

★：2024年度に実施した内容
赤字：次頁で詳細に説明

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・燃費評価技術を開発

GHG削減のために実施されている低速船などの省エネ船の性能評価技術の開発

★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

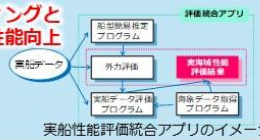
2. 計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発

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）

★ウエザールーティングと連携した実運航性能向上技術の開発



実船性能評価統合アプリのイメージ

船舶性能統合データベースのイメージ

インテグレーションによる運航・設計の診断・改善提案システム

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

（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

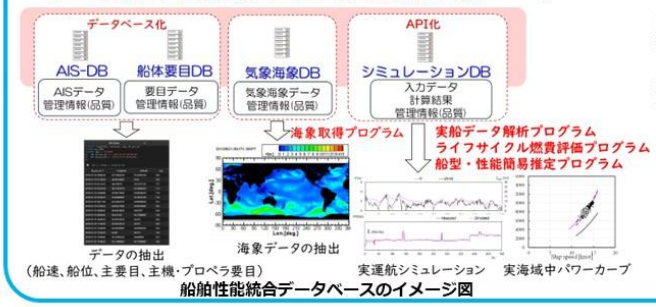
実海域実船性能向上に関する研究(重点研究5)

2024年度予算：20,419 千円
研究担当者：26 名

年度実績 開発目標である船舶性能統合データベースにおける、実船データ、海象データ及び解析・シミュレーションプログラム間の連携を強化するための環境整備を行った。また、実海域実船性能向上のために開発を行っている成果の社会実装を促進、効果の実検証を行った。

○実海域データ・プログラム間の連携強化

- ✓ 実船データ(5000GT以上の船舶の6年分の全球AISデータ)と要目データをデータベース化した。更に、評価プログラムをAPI化した。
- ✓ 当データベースを用いた分析及び、外部データベースやプログラムなどと連携し、実船性能向上による社会貢献を可能とした。

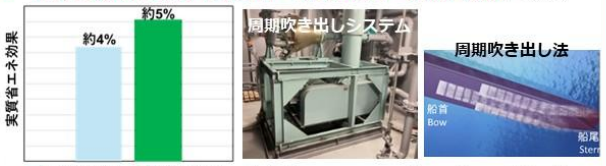


船舶性能統合データベースのイメージ図

○社会実装と効果の実検証

※1 Advanced Air Lubrication Method

- ✓ 従来の連続吹き出し法を発展させて、周期吹き出し法や吹き出し制御等により実海域の省エネ効果を約５%(速報値)に向上させた。
- ✓ 高度空気潤滑システムAdAM※1の実船適用一番船を就航させた。



高度空気潤滑システムを初搭載した内航貨物船のモニタリングデータによる省エネ効果の評価

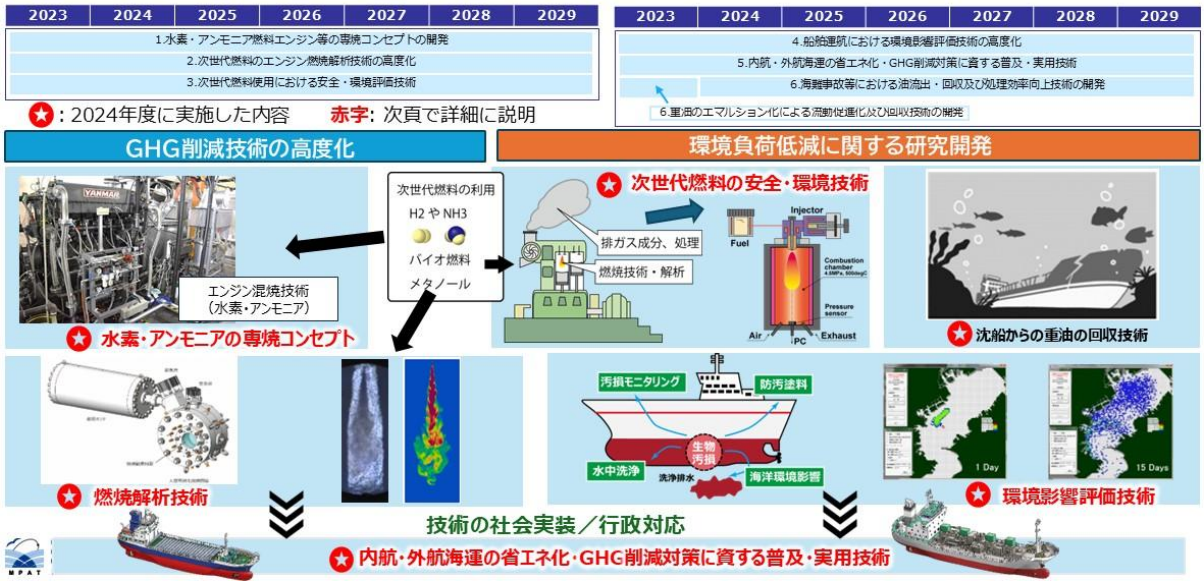
内航貨物船「ちゅらさん」
(全長76m、総トン数499トン)

◎所内外の実海域データ及びプログラム間の連携を強化し、実船性能向上による社会貢献を可能とした。
◎内航船へのGHG排出削減の対応策として研究成果で貢献した。

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ヵ年計画の概要



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

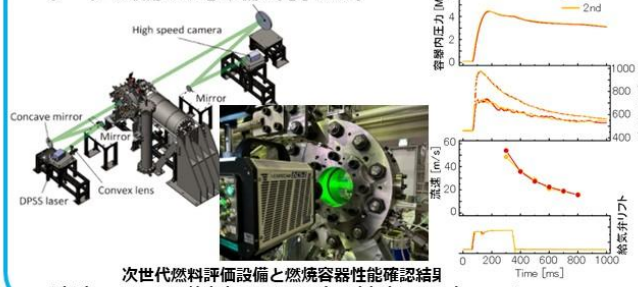
GHG削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究(重点研究6)

2024年度予算：21,635 千円
研究担当者：25 名

年度実績 我が国の海事産業の競争力強化にしするため次世代燃料（水素・アンモニア等）の詳細な燃焼試験ができる設備を構築した。環境影響評価技術の高度化として、船舶由来の排出物質に対して大気質シミュレーションを行った。

○代替燃料利用技術に関する研究

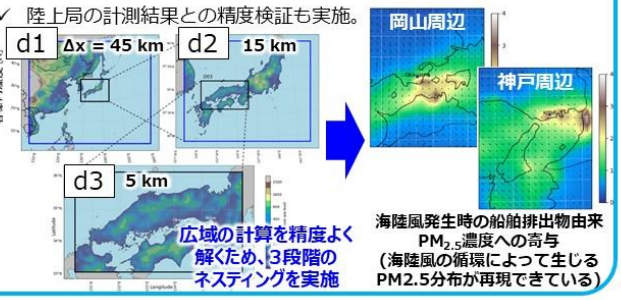
- ✓ 大型舶用２ストロークエンジンを模擬した次世代燃料（水素・アンモニア等）燃焼評価設備及び計測技術を構築した。
- ✓ エンジンの開発に必要不可欠な次世代燃料の燃焼に関する詳細なデータを取得できる準備が完了した。



次世代燃料評価設備と燃焼容器性能確認結果
（大型エンジンの燃焼室内の圧力・温度・流れを再現できている）

○環境負荷低減に関する研究

- ✓ 船舶由来排出物の拡散においては、越境汚染、気象現象、大気拡散、化学反応等をより詳細に表現できる計算モデルが必要。
- ✓ 気象と大気質の相互作用を考慮した大気質シミュレーションを導入・整備し、より精度が高い大気拡散シミュレーション手法を構築。
- ✓ 陸上局の計測結果との精度検証も実施。



海陸風発生時の船舶排出物由来 $PM_{2.5}$濃度への寄与
（海陸風の循環によって生じるPM2.5分布が再現できている）

◎多様な次世代燃料の燃焼特性を評価可能とする設備及び計測技術を構築した。
◎多種多様な物質の大気拡散を気象と大気質の相互作用を考慮できるより高度なシミュレーションを実施可能とした。

22

成果の公表
＜海洋環境の保全＞

※括弧内の数値は昨年度の実績値

項目	件数	
掲載済 査読論文	4 編 (6 編)	・科学雑誌掲載論文: 1編 (Journal of Marine Science and Technology) ・査読付き国際会議論文: 2編 ・その他の全文査読付き論文: 1 編
特許申請	1 件 (2 件)	・抵抗低減船首形状及び船舶
プログラム登録	0 件 (5 件)	
受賞	4 件 (8 件)	・白石 耕一郎, 澤田 祐希, 新川 大治朗: 日本船舶海洋工学会賞（論文賞）, Deformed shape estimation for flexible composite marine propellers by image registration. ・新川 大治朗, 川島 英幹, 濱田 達也, 拾井 隆道, 川北 千春: 日本船舶海洋工学会賞（論文賞）, Numerical Study on the Influence of Air Bubbles around the Ship Hull on the Propulsive Efficiency. ・白石 耕一郎, 澤田 祐希, 新川 大治朗: 日本海事協会賞, Deformed shape estimation for flexible composite marine propellers by image registration. ・新川 大治朗, 川島 英幹, 濱田 達也, 拾井 隆道, 川北 千春: 日本造船工業会賞, Numerical Study on the Influence of Air Bubbles around the Ship Hull on the Propulsive Efficiency.

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

23

成果の公表
＜海洋環境の保全＞

※括弧内の数値は昨年度の実績値

項目	件数	
国際連携活動	25 件 (31 件)	・ISO/TC 8/SC 6/WG 17にて、海上公試規格に関する審議に参加 ・ISO/TC 8/SC 2総会での講演 ・ISO/TC 8/SC 2/WG 5　プロジェクトリーダー（Draft作成及び審議対応等） ・ISO/TC 8/SC 2/WG 13委員（Web会議、規格案審議対応） ・ITTC Full Scale Ship Performance Committeeに参加: 2回 ・ITTC Specialist Committee on Iceに参加 ・ITTC 総会への参加: 2回 ・ITTC 30th conferenceでの講演: 14回 ・IMO/PPR/12日本代表団（水中洗浄ガイダンス作業部会対応） ・NMRI Online Workshop on Overview of Standards Development for Marine Pollution Prevention (ISO/TC 8/SC 2 and TC 8/WG 13 Topics).
公開実験	0 件 (2 件)	

Copyright ©　国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

主な評価軸に基づく分析（自己評価）
＜海洋環境の保全＞

※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

◎**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。**
- 実海域での省エネ効果を向上させる高度空気潤滑システムAdAMを実船適用することにより、環境負荷低減に貢献した。（重点5）
- 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よ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。（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、今回それを事前データベース不要な逐次型に発展したことは、計算効率の向上及び一般化につながるものでその意義は大きい。（重点5）
- 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、省エネ技術を搭載した内航貨物船の建造と効果検証を支援、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など、次世代燃料と環境対策に関する広範な研究開発に取り組んでいる。特に、大型２ストロークエンジンの空気流動を模擬した試験技術の確立といった、要素技術の確立を目指す先進的な研究を推進している。（重点6）
- 国内学会等から4件の論文賞等を受賞した。（重点5）

◎**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、さらなる性能評価及び検証につなげた。（重点5）
- 計画された目標に沿って着実に創出されており、次世代燃料の利用や環境負荷低減に向けた技術開発が、社会的な要請に応える適切な時期に進展していることを示している。さらに、中長期的な視点では、アンモニア燃焼支援によるGHG削減やアンモニア専焼コンセプトの提案など、段階的な技術発展を見据えた研究目標を設定しており、将来を見据えた研究開発を推進している。（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。**
- 当所で開発したプログラムのAPI化は、外部プログラムとの連携を見越して実施しているもので、国内のプログラムやデータベースの連携を深めることで、我が国の海事産業の国際競争力向上に貢献できるものである。（重点5）
- 排ガス，浄化装置（EGCS: Exhaust Gas Cleaning Systems）からの排水の濁度の標準化を目的とした調査研究にて実施しているISO規格提案のための準備や、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成果を用いたISO規格発行に向けた対応は、国際社会における日本の地位と信頼を高めることに繋がるものである。（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。**
- 水素、アンモニア等の次世代代替燃料の実用化を見越し、燃費性能評価ツールの開発を行っている。また、実船モニタリングの普及拡大、データベース・プログラム間の連携の円滑化・活発化を見越した環境整備、及び環境を活かした目標を掲げて、実船性能診断技術開発を行っている。（重点5）
- 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、水素専焼運転における異常燃焼の発生条件特定や対策技術の評価試験、大型２ストローク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といった、要素技術の確立を目指す先進的な研究を推進している。（重点6）

研究計画委員会による評価
＜海洋環境の保全＞

※括弧内の数値は評価者数

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**	**2.9** 最高: 3.4 最低: 2.2 (12人)	**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** 最高: 3.2 最低: 2.0 (12人)	**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

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

（3）海洋の開発

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

（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

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ヵ年計画の概要

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海洋無人機に関する研究開発						

★：2024年度に実施した内容　　**赤字**：次頁で詳細に説明

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）
- ★乗り移り安全性・稼働性評価技術
  - 着床式風車、浮体式風車
  - 各種船型（カタマラン、SWATH、モノハル）

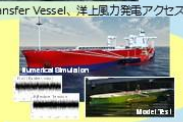
⇒ CTV最適配船計画支援技術

出所：Ship&Offshore HP

出所：Wind Journal HP

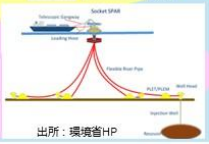
※1 Crew Transfer Vessel、洋上風力発電アクセス船

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CO_2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



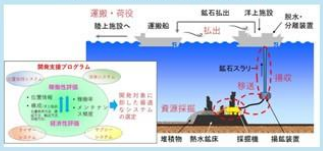
出所：環境省HP

2.海洋資源開発 ⇒ 本邦企業への技術支援
- ★掘鉱技術
- ★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

日本EEZ内の海洋鉱物資源を対象



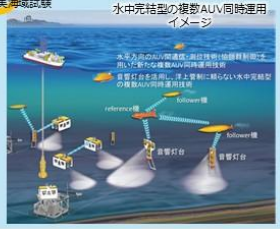
3.海洋無人機 ⇒ 本邦企業への技術移転、海底調査事業等への技術支援
- ★水中完結型の複数AUV同時運用技術
- ★AUV海中ドッキング技術
- ★海空無人機システムに適用可能なAUV技術

水槽試験
実海域試験

海空無人機システムによるAUV回収イメージ

AUV海中ドッキングイメージ

水中完結型の複数AUV同時運用イメージ



28

（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

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)

2024年度予算：20,939 千円
研究担当者：28 名

年度実績　洋上風力発電施設の設置・維持管理、LNGバンカリング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。

○マリンオペレーション技術の最適化

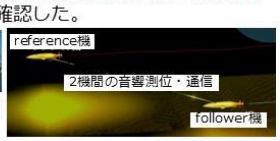
✓ LNG燃料船模型とバンカー船模型を用いた2船体拘束曳航試験により、浅水影響と2船間の相互干渉影響を考慮した流れ荷重データを取得して、単船に作用する荷重との違いを評価した。

✓ バンカリング事業者と密に連携して、事業形態に則した係船要件（係船索径、索配置等）を設定し、振れ回り運動を伴う錨泊中LNGバンカリングの時間領域計算を実施して、LNG燃料移送が可能となる運用限界条件を決定し、国の「LNGバンカリングガイドライン」の改訂（R7年3月）に貢献した。

LNGバンカリング安全性評価に資する2船体拘束曳航試験

○複数AUV協調群制御

✓ 前年度開発したreference-follower群制御技術を海技研航行型AUVに実装した。実海域潜航試験により、洋上からの管制に頼らない革新的なAUV同時運用手法を実現し、有効性を確認した。



複数AUV協調群制御 実海域試験

○AUVドッキング制御

✓ ホバリング型AUVの海中ドッキングに向け、前年度開発した画像情報のフィードバックによる機体誘導技術を改良するとともに、実時間ウェイポイント生成及び追従によるドッキング制御手法を開発し、実機実装した。水槽試験を実施して、多数回※の自律ドッキングに成功した。

※ 14回の試験中13回成功
（失敗した1回は、充電装置を誤設置したことによるもので実質は全て成功）

ホバリング型AUV自律ドッキング水槽試験

◎バンカリング運用限界条件が、国のLNGバンカリングガイドラインに反映された。
◎AUVの広域、長期運用のための基本技術を開発・実証し、国プロ、業界へ技術的に貢献している。

29

（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ヵ年計画の概要

★：2024年度に実施した内容
赤字：次頁で詳細に説明

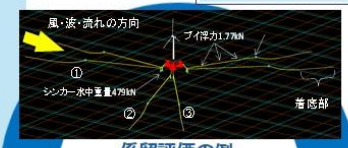
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1．大規模FOWTの安全性等評価手法の構築						
2．合成繊維素を用いた係留システムの安全性評価手法の構築						
3．デジタルツイン技術の構築						
4．波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上研究						

要素研究

【浮体式洋上風力発電施設】
- 大規模FOWT※1支援技術の開発
  - ★ **係留系健全性評価手法の構築**
  - ✓ 浮体最適化
  - ★ **作業時間推計手法の構築**（洋上施工・維持管理・撤去）
- ★ 係留設計プログラムの開発
- ★ **デジタルツイン技術の構築**
- ★ 水槽試験による検証
- ★ 実海域での観測（生物付着）
- ● モニタリング技術の高度化

【波力・潮流・その他発電施設】
- ★ 発電制御技術の開発
- ● 複数基運用のための安全性・稼働性評価技術

※1 Floating Offshore Wind Turbine



係留評価の例

単機システムの研究から ウィンドファームの研究へ

実証事業
- ★ 実証事業等による実現化の推進
- ● 実海域試験における要素研究成果の検証
- ● 実海域データを用いた最適化の研究

発法人海上・港

社会実装
- ● 技術基準・安全ガイドライン改訂
- ● IEC、ISOへの展開
- ● O&M※2コスト等の低減の実現
- ● 各種解析ツールの活用
- ● デジタルツイン技術の実装

※2 Operation and Maintenance

（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

2024年度予算：21,183 千円
研究担当者：23 名

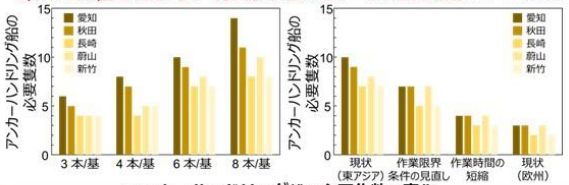
海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの安全性評価・最適化に関する研究(重点研究8)

年度実績 大規模FOWT※1の検査合理化のための研究、ウィンドファーム施工に必要な作業船の需要推計モデルの構築を実施した。デジタルツイン技術の構築に向け、FOWTの応答から遭遇海象を推定する手法を開発した。

※1 Floating Offshore Wind Turbine ※2 Operation and Maintenance

○大規模FOWTの安全性等評価手法の構築

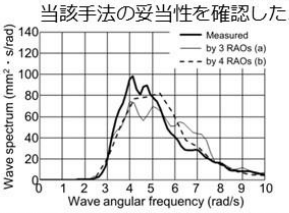
- ✓ リスクの定量化を企図して、検査の技術基準・安全ガイドラインの係留システムにおける想定事故とその要因を分析し、要因整理表として取りまとめた。
- ✓ 浮体式洋上風力発電の海上施工に必要となる作業船の隻数を推計するモデルを構築し、海象条件や係留本数、ケーブルレイアウトの違いの影響を定量的に評価した。東アジアにおいて1GWのウィンドファームの海上施工に必要となる作業船の隻数は、作業時間の短縮と作業限界条件の見直しにより、現状必要数の20～30%になることを示した。



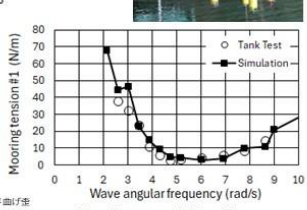
アンカーハンドリング船の必要隻数の変化

○デジタルツイン技術の構築

- ✓ 重点研究1で開発した船体応答から遭遇波を推定する手法をFOWT（係留、風の影響あり）に拡張して、長波頂不規則波のスペクトルを推定可能とした。
- ✓ 拡張した手法を用いて推定した遭遇海象を入力とした順解析を行い、水槽試験で計測した浮体内の応力・係留索張力と比較して、当該手法の妥当性を確認した。



3 RAOs：上下揺＋縦揺＋前後揺、4 RAOs：3 RAOs＋ロワーハル水平曲げ歪
遭遇波浪の推定結果



係留索張力の応答関数の例

◎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※2コスト等の低減に資する成果を創出し、安全ガイドラインの改訂、業界へ技術的に貢献している。

成果の公表
＜海洋の開発＞

※括弧内の数値は昨年度の実績値

項目	件数	
掲載済 査読論文	4 編 (8 編)	・科学雑誌掲載論文: 0 (1) 編 ・査読付き国際会議論文: 0 (4) 編 ・その他の全文査読付き論文: 4 (3) 編
特許申請	2 件 (5 件)	・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 ・反射型波力発電装置
プログラム登録	4 件 (3 件)	・AUV制御用共通プログラムVer3 ・複数機AUV管理・隊列制御プログラムVer3 ・複数機AUV潜航情報表示プログラムVer2 ・汎用疲労解析ソフトウェア（FATRUN/SPECTRUN Ver. 2）
国際連携活動	6 件 (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: 2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: 4回
受賞	2 件 (1 件)	・金岡秀， 藤原敏文， 篠野雅彦， 岡本章裕， 稲葉祥梧， 佐藤匠， 瀧本忠教， 今里元信：令和６年「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰, 複数AUV隊列制御技術の開発及び実装に貢献した功績. ・梅田隼: 日本船舶海洋工学会奨励賞（乾賞）, ガウス過程回帰を用いた波力発電装置の運動モデルの構築.
公開実験	2 件 (1 件)	・浮体式洋上風力発電設計・製作セミナー（8/7～9） ・浮体式風車の不規則波中の水槽試験を公開（9/14, 構造・産業システム系及び洋上風力発電プロジェクトチーム）

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

主な評価軸に基づく分析（自己評価）
＜海洋の開発＞

※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

◎**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。**
- 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。（重点7）
- 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。（重点8）
- 令和６年「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰を受賞した。（重点7）

◎**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。**
- 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1件の特許を出願と3件のプログラム登録を行っており、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SIP3の研究成果を基にするもので、発展性の要件を満たしている。（重点7）
- 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拡張し、より広範な領域に適用可能にする等、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。（重点8）
- 日本船舶海洋工学会奨励賞（乾賞）を受賞した。（重点8）

◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
- 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。（重点7）
- 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、今後の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ことを見据えたものであり、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。（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）
- 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。（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。**
（評価外であるが特出しすると下記）
- 資源開発の最適なシステム選定に係る研究では、検討を必要とするシステム構成に対し個別に検討するのではなく、AI技術を用い最適解を短時間で導き出す研究を行っている。この研究により、資源開発の初期検討において、短時間で目的に即したシステムが選定できるため、検討条件の変化に対しても検討時間、資金を大幅に削減できる。資源開発のシステム検討の分野において、本手法を検討している事例はなく、新たな試みとして先見性を有している。（重点7）

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

研究計画委員会による評価 ＜海洋の開発＞

※括弧内の数値は評価者数

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** 最高: 3.3 最低: 2.0 (12人)	**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**	**2.5** 最高: 3.0 最低: 1.6 (13人)	**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

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

34

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発

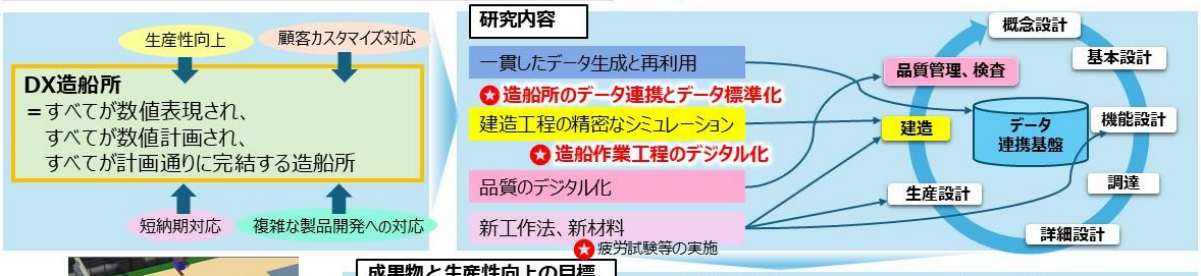
Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

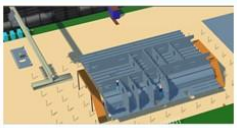
35

（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ヵ年計画の概要

★：2024年度に実施した内容
赤字：次頁で詳細に説明





成果物と生産性向上の目標

データ連携基盤の開発
- 造船PLMシステム
- データ標準化／設計ガイドライン
- 設計支援各種アプリケーション

品質デジタル化
- 溶接品質評価手法
- ブロック形状計測要領
- 品質データPLM管理
- 検査の省人化

新工作法・新材料
- 溶接、溶着ガイドライン
- 新工法、新材料ガイドライン
- 新しい船舶アーキテクチャ
- 将来の設計・建造方法

建造シミュレーション
- 船殻向け　●艤装向け　●工場全体　●各種MES

生産性向上の目標
- 製造現場：工数40%減、リードタイム30%減、スペース30%減

（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)

2024年度予算：20,233 千円
研究担当者：12 名

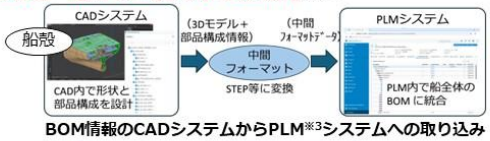
年度実績

造船データの効率的な連携を目的として、BOMベースの製品開発に関する研究を実施した。
また、建造工程を仮想空間上で再現するための造船作業工程のデジタル化を実施した。

※1　BOM: Bill Of Material，BOP: Bill Of Process
※2　人間の知識をグラフ構造でデータ化したもの
※3　PLM: Product Lifecycle Management

○BOM※1 ベースの製品開発手法の開発

- ✓ 従前実施されていなかったCADシステムと連携したBOM のデータ生成プロセスを構築した。
- ✓ 設計効率を格段に向上させるために、生成AIを用いて仕様書等の数百枚程度の図面情報からナレッジグラフ※2 を構築し、BOMデータを推論・生成できるシステムを開発した。

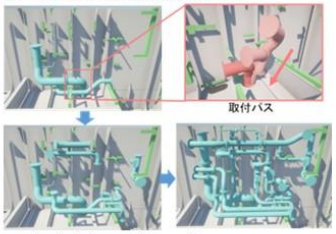


BOM情報のCADシステムからPLM※3システムへの取り込み

造船ナレッジグラフと生成AI活用による設計情報生成支援の概念図

○造船作業工程のデジタル化

- ✓ 造船用の製造BOMとBOP※1 を編集できるエディタを開発した。例えば、3次元モデルを入力すると、その組立ツリーに対応するM-BOMの自動生成を実施した。国内造船所(3社)にて試活用が始まっている。
- ✓ 経路計画アルゴリズムを応用し、艤装工程の最適化が可能な配管の取付シミュレーション技術を開発した。



取り付けパスを考慮に入れた配管の取付シミュレーション

◎データ連携や製造シミュレーション技術の開発は国の方針に適合し、政策等への実現に貢献している。
◎シミュレーション技術を造船所の既存システムに連携し、工程計画や管理に貢献している。

（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

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) 7ヵ年計画の概要

★：2024年度に実施した内容
赤字：次頁で詳細に説明

1.ビッグデータと海運・造船に係る評価手法
⇒ 国・本邦企業等への技術支援、IMO対応

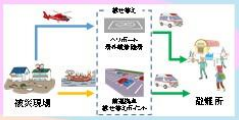
★データ融合とAI等評価手法

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**
- **ディープラーニングによる海運市況予測**

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
被災想定のシナリオ分析、防災計画



緊急支援物資輸送システム

★システム高度化 ⇔ ★実効性を高めるため実動演習を定期的に実施

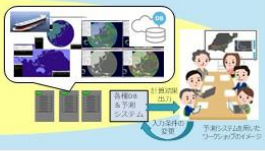
- データベース化
- 計算の高速化
- ニーズを踏まえた輸送（プル型支援）への対応
- ユーザインターフェース開発

⇩
支援物資輸送計画

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1.ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発						
2.災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発						
3.デジタルツイン統合システムの研究開発						

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



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
①安全運航支援システム
②設計建造システム
★リアルタイムシミュレーション手法
★③デジタルツイン統合システム

（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

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)

2024年度予算：21,566 千円
研究担当者：15 名

年度実績

海運・造船関連のシミュレーションやAI実装に向けた技術開発により、海事産業の競争力強化に貢献した。また、電子航法研究所と連携し、緊急支援物資輸送システムを用いた自治体等関係機関を含めた物資輸送訓練を通じて、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。

○ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

- ✓ 従来のディープラーニングと同程度の精度で説明可能なAIによって海運市況を予測可能とした。
- ✓ 燃料GHG強度規制（GFS※1）の検討が可能なシミュレーションを開発し、その結果を活用してIMO提案文書の作成に貢献した。

海運市況予測手法の改良

※1 GFS: GHG Fuel Standard

○緊急支援物資輸送システムの開発

- ✓ 車両、船、港、ドローンの情報を扱う緊急支援物資輸送システムに航空機を追加し、システム上での情報共有を可能とした。
- ✓ 支援物資の配布時の平等性、通行止め情報込の輸送経路・最適順序を計算（ダイクストラ法、2-opt法使用）、表示するシステムを構築した。うみそら研連携研究課題として、本システムを活用した支援物資輸送の実地訓練を実施した。

緊急支援物資輸送システムへの航空機（うみそら研電子研所有）の取り込み状況と輸送経路表示状況

◎国際海運の需給変動の社会ニーズの適合に加え、GFS規制に関するIMO提案文書の作成に貢献した。
◎自治体の災害時の物資輸送計画の策定に貢献している。

成果の公表
＜海上輸送を支える基盤的な技術開発＞

※括弧内の数値は昨年度の実績値

項目	件数	
掲載済 査読論文	6 編 (6 編)	・科学雑誌掲載論文: 1 (1) 編（Marine Structures） ・査読付き国際会議論文: 5 (3) 編 ・その他の全文査読付き論文: 0 (2) 編
プログラム登録	2 件 (4 件)	・需要予測プログラム(バルクキャリア) ・就航データとデジタルツインに基づくエンジン部品の劣化傾向監視プログラム
国際連携活動	15 件 (15 件)	・Observation and WD revise for NP 527-6, ISO/TC61/SC13/WG2, 2024 ・IMOの審議対応（ISWG- GHG 17, MEPC 82, ISWG- GHG 18, ISWG-GHG 19）：4回 ・IMO温室効果ガス削減対策の包括的影響評価運営委員会等への参加とその対応: 7回 ・IMO報告書の査読（MEPC 82/7/4 Add.1, MEPC 82/7/4 Add.2）：2回 ・IMO提案文書（ISWG-GHG 18/2/1）にデータ分析結果を提供
受賞	1 件 (3 件)	・Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Shinnosuke Wanaka, Kunihiro Hamada: SLSTL※1 Special Award for TLOG※2, Model Development for Evaluating the Impact of Greenhouse Gas Reduction Measures in International Shipping. ※1: The Sri Lanka Society for Transport & Logistics ※2: Transport & Logistics

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

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。**
- 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及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貢献するものである。（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、日本国内の民間企業に対して技術協力を実施しており、日本の海事産業の競争力強化に資する取り組みである。（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。**
- 造船特有の製造プロセスとして、ブロック分割や管割りなど製造上の都合により製品を分割する必要があるため、BOMデータの生成や管理手法、特にE-BOMからM-BOMへの変換プロセスにおいては、技術的な特徴や新規性が存在する。本研究で策定したBOMの標準データモデルは国内の造船所において広く参照可能であり、汎用性が高い。（重点9）
- 緊急支援物資輸送システムでは、海上輸送、陸上トラック輸送などの複数の輸送モードを考慮した輸送計画を検討できるシステムであり、これは従来検討されていない視点である。また、避難所へのミルクランによる輸送経路も出力できる点は新規性があると考える。（重点10）
- SLSTL Special Award for TLOGを受賞した。（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）
- 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。（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。**
- 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。（重点9）
- 開発している緊急物資輸送システムは他国の地理条件や災害の種類にも適用可能な柔軟性を持ち、国際的な防災ツールとして活用できる。（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。**
- 船舶のモデルベース設計に関する研究開発では、これまで応用例がほとんどない造船の設計・生産計画支援分野で、生成AIの適用可能性を検討した点において萌芽的である。図面やモデルなど構造化されていない情報をLLMで統合・接続し、自然言語による情報流通の効率化やマルチモーダル活用への展開可能性に着目し、必然性が高まりつつあるLLMの造船応用研究に着手した点に意義がある。（重点9）
- 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。また、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。さらに、配送経路の最適化における計算速度の向上を目的に、疑似量子コンピュータを用いた試行プログラムについて基礎的な調査を実施している。（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

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

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＞

※括弧内の数値は評価者数

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	**2.8** 最高: 3.5 最低: 2.0 (12人)	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** 最高: 3.2 最低: 2.0 (12人)	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

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所／National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

令和6年度　重点研究一覧

重点4分野	重点番号	テーマ名	所属	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	構造・産業システム系	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	流体性能評価系	大森拓也	R5 -R11	p.16
(1)海上輸送の安全の確保	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	海洋リスク評価系	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	知識・データシステム系	南真紀子	R5 -R11	p.42
(2)海洋環境の保全	5	実海域実船性能向上に関する研究	流体設計系	黒田麻利子	R5 -R11	p.56
(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	環境・動力系	仁木洋一	R5 -R11	p.67
(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	海洋開発系	山本譲司	R5 -R11	p.88
(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	海洋先端技術系	中條俊樹	R5 -R11	p.108
(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	構造・産業システム系	松尾宏平	R5 -R11	p.119
(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	知識・データシステム系	荒谷太郎	R5 -R11	p.128

重　点　分　野	(1)海上輸送の安全の確保

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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、事故原因を究明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発防止策策定に寄与することが、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、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。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等

		－事故再現シミュレーションツールの高度化、事故簡易推定手法の検討及び開発、事故時航跡表示システムの効率化・迅速化を行う。等

○船体構造評価技術に関する研究 ［R6 年度予算： 19,328 千円、研究担当者： 19 名］

研　究　の　背　景

IMO における目標指向型構造基準 GBS の発効(2016.7)、及び国際船級協会連合 IACS におけるバラ積貨物船及び油タンカーの共通構造規則 CSR BC&OT が施行(2015.7.1 以降の建造契約船に適用)され、我が国では日本海事協会 NK において、全船種を適用対象とした構造規則 C 編の全面見直しが行われ公表(2022.7)された。これら構造設計規則に関する国内外の動向は、規則の形態を従来の仕様要求型から解析的手法及び実データ分析に基づく機能要求型へと設計思想を変えるものであり、規則の透明性を高めることによって設計の自由度の向上を図るとともに新技術の導入を可能にする狙いがある。また近年、船体の安全性を確保するための手段として、ハルモニタリングの利用が拡大しており、データ活用によってメンテナンスの負担軽減や設計改善が期待されている。

一方、省エネ化や省資源化の社会ニーズに応じるため、安全性を保持しつつ余剰な強度を排除した船舶の設計・建造が求められており、これを実現することが我が国の海事産業の競争力確保につながる。古くから構造設計規則には、規則に適合しない船への同等効力を認める要件が設けられているが、同等効力すなわち安全性を定量的に示す手段がなかったため、船体構造の代替設計の実現は図られなかった。しかし、前述の基準動向を背景とした数値シミュレーション技術の向上、建造や運航にかかるビッグデータの構築によって、代替設計を実現できる可能性が高まり、安全性を定量評価するための技術開発に取り組むべき時期にさしかかっている。安全性を保持するには、建造時の品質や就航後の状態量のモニタリングデータを活用して、ライフサイクルで安全性を保持する手段を視野に入れて検討することが重要である。

研　究　目　標

本研究では、前期重点研究で開発した荷重構造一貫解析システム（NMRI-DLSA）及びハルモニタリングに基づく船体構造デジタルツインシステムを利用して、次世代の船体構造設計に必要な基盤技術の構築を目指す。本中期計画の期間では、安全性を確保しながら環境に適合した合理的な船舶の設計建造の実現に向け、設計・建造・運航に渡りデータを蓄積するためのセンシング技術、データ同化型の解析予測技術、データ活用技術の高度化及びこれら技術開発に必要なデータプラットフォームの構築にかかる研究を行う。具体的には、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研究開発、実データ及び数値シミュレーションに基づく荷重・構造応答推定及び強度評価に関する研究、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の評価ツール開発に取り組む。

令 和 6 年 度 の 研 究 目 標

（1）建造・運航モニタリングデータによる全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発
・建造精度自動取得システムの開発、及びデスクトップ版搭載シミュレータの開発
（2）船体応答計測に基づく非線形構造応答及び強度の推定技術
・非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の開発、及び水槽試験による検証
（3）船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングよる管理・修繕支援技術
・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
（4）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
・実船用の超音波膜厚計の仕様の決定、及びスペクトルカメラ等による付着初期の藻類の検出方案作成
（5）事故時の安全性評価並びに海難事故解析のための評価ツール開発に関する研究
・事故再現シミュレーションツールの精度検証

令 和 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）建造・運航モニタリングデータによる全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発
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
建造精度自動取得システムの開発では、建造精度取得システムを作成した。実船スケールを対象に写真撮影を行い、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。
②リスクベースメンテナンス手法及び合理的な船体品質評価技術の確立【研究期間外】
③建造時や点検・修繕時にお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
デスクトップ版搭載シミュレータの開発対応では、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、デスクトップ版搭載シミュレータを作成した。
④統合システムの開発【研究期間外】
（2）船体応答計測に基づく非線形構造応答及び強度の推定技術
①粒子法を用いた非線形船体応答の解析
粒子法を用いて数値水槽を作成し、模型試験データを基に粒子法の計算精度を検証した。
②流体構造連成解析による波浪中船体損傷挙動の検証
ボックスガーダー型船体構造 FE モデル及び流体構造連成解析のための CFD のモデルを作成した。
③波浪中応答の非線形極値予測法の開発とその実装
2023 年度に開発した RTP 法（RAO-based Translation Process）を、非線形減衰力を考慮した roll 運動に対応できるように拡張した。
④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の検証
応答関数の不確定性を表現するための確率変数を 2 つに拡張した不確定性解析を行った。
⑤水槽試験結果を用いた波浪逆推定手法の検証と高度化
GFRP 弾性模型船を用いて波浪逆推定手法を検証するためのデータ取得を実海域水槽で実施した。
（3）船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングよる管理・修繕支援技術
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
腐食進行モデルにより推定腐食衰耗量を算出するプログラムの開発を行った。
②塗装劣化・腐食進行推定結果を全船構造解析へ反映するアプリケーション開発
全船構造解析（有限要素）モデルに対し、指定した区画（要素セット）に対し腐食量推定結果を反映するアプリケーション（中間プログラム）の開発を行った。
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
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、温度変化のある実船環境を想定した応答性の評価を行った。
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
バラストタンク内環境を模擬した条件の複合サイクル試験により塗膜欠陥部からの腐食進行及び実船から採取した局部腐食を有する構造材の孔食寸法の分布を評価した。
（4）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
①塗膜条件の差異等が塗膜計測に及ぼす影響の調査
膜厚計測アルゴリズムの改良、及び 2 つの超音波プローブを用いて塗膜表面粗度を計測するための基礎検討を実施した。また、実船用の超音波膜厚計の仕様を決定した。
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
多数の波長帯にわたる反射光の画像が撮影できるスペクトルカメラを用いて付着初期の藻類の検出方法を検討した。実海域で採取した海水を用いた浸漬試験を行い、樹脂板上に生じた生物由来の付着物の検出方法を検討した。
③実船の外板塗装表面状態等の調査
新造船を対象に実船の船体外板塗装の状態を実測した。電磁膜厚計による膜厚計測、形状転写材を用いた塗膜表面形状計測、及び色度計を用いた塗膜色の計測を実施した。
（5）事故時の安全性評価並びに海難事故解析のための評価ツール開発に関する研究
①塗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
波浪中動揺再現シミュレーションツールの開発を行った。
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 年度まで本課題で実施。2024 年度以降は、「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」のサブテーマ（4）「安全安心な海上交通環境の実現に関する研究」で実施】
③海難事故 DB システム構築・拡充及びその類型化
海難事故 DB を整理して事故原因の分類を行った。

令和6年度の研究成果

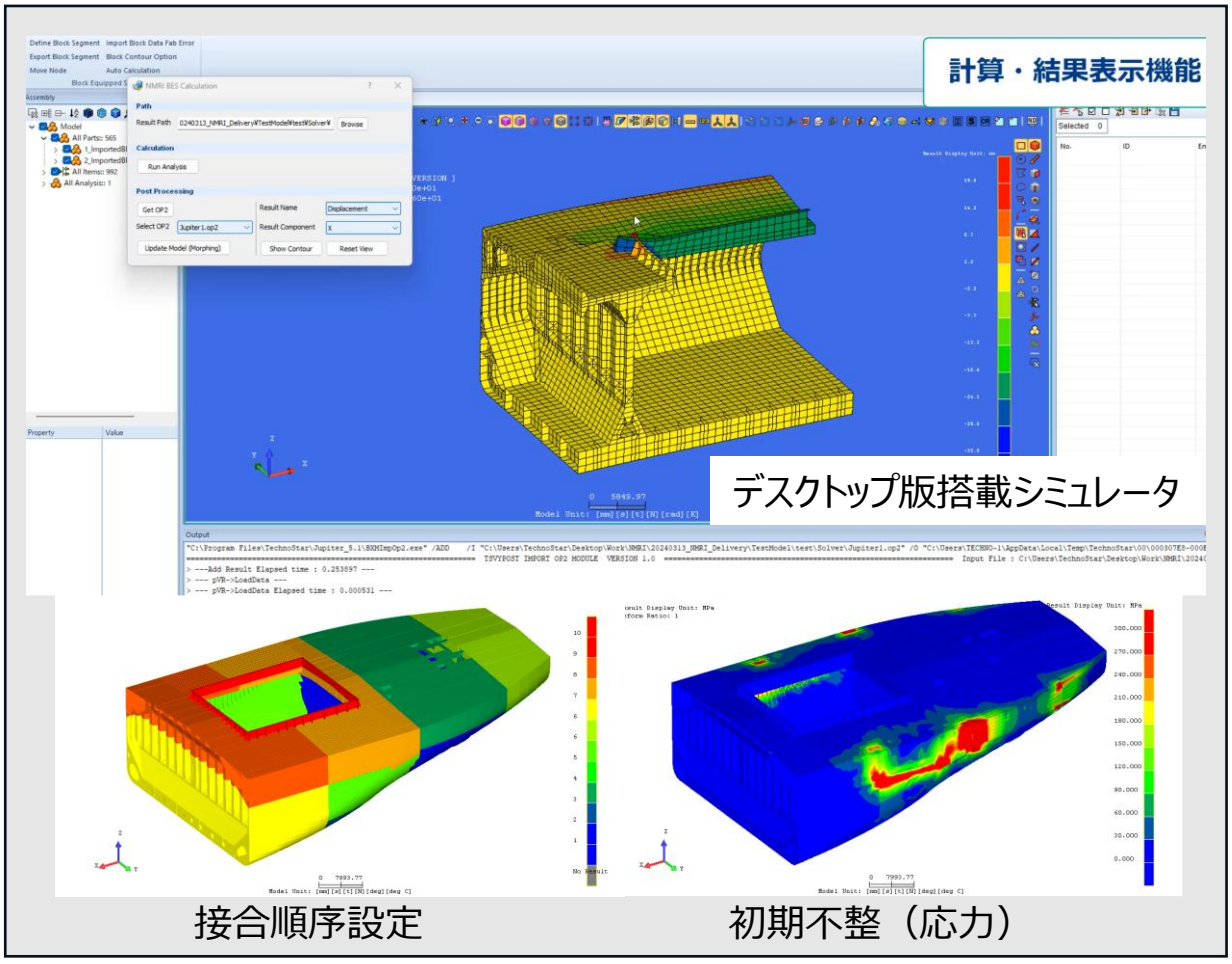
（1）建造・運航モニタリングデータによる全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発
①建造時の精度・誤差、経年劣化を考慮した降伏・座屈・疲労・最終強度評価可能な安全設計システムの開発

建造精度自動取得システムの開発に関して、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（5m 程度のブロックに対して、誤差の目標は 5 ㎜以内のところ現状は十数㎜程度まで達成）。2023 年度の残課題である鏡面（外板塗装済）領域について形状生成が可能となった。

②リスクベースメンテナンス手法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

デスクトップ版搭載シミュレータの開発に関して、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）、接合順序により発生する応力許容判定、事前対応の方策を簡易な操作で提示可能となった（図Ⅰ．2．（1）．①．1）。



図Ⅰ．2．（1）．①．1　デスクトップ版搭載シミュレータの表示例

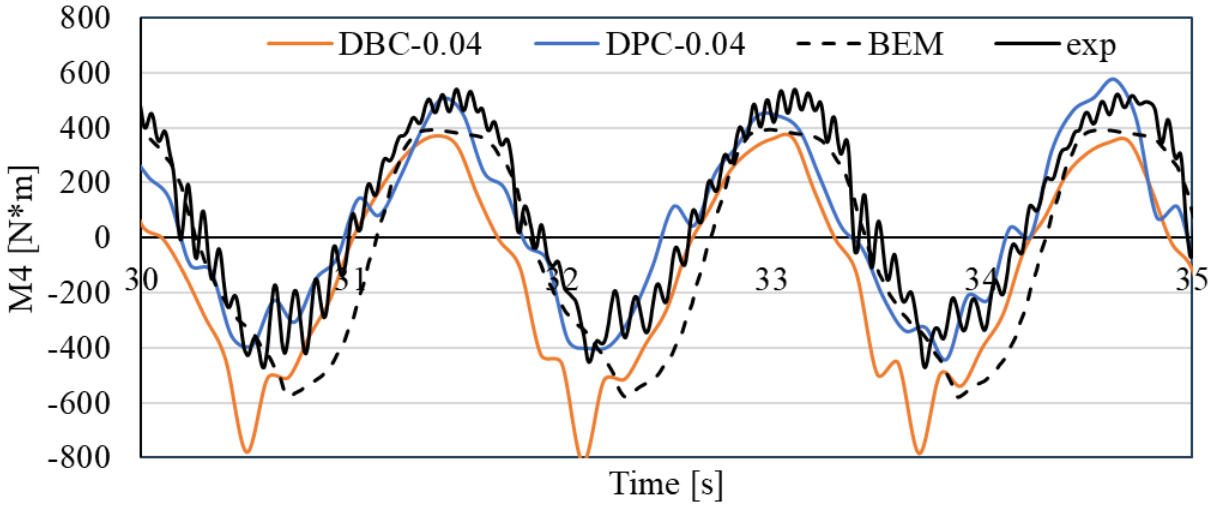
④統合システムの開発【研究計画期間外】

（2）船体応答計測に基づく非線形構造応答及び強度の推定技術

①粒子法を用いた非線形船体応答の解析

粒子法を用いて、船体の縦曲げモーメント等の断面力の計算が可能な数値造波水槽を作成した。粒子法で得られる局部水圧を積分して断面力を計算するための船体分割法を検討し、波浪中での非線形荷重を考慮した船体断面力の時刻歴を得ることに成功した。これまでに提案した本研究で改良したダミー粒子条件を使用して縦曲げモーメントを計算し、実験値との比較により良好な精度を得ることを確認した。

図Ⅰ．2．（1）．①．2 に、全長 286.6 m のバルクキャリアを対象とした大波浪中（波高 30 m、波周期 12.8 s）における非線形船体縦曲げモーメントの時系列データの比較結果を示す。ダミー粒子条件（DPC）の計算結果を、模型実験、及び改良前の動的境界条件(DBC)と比較して検証する。参考として、非線形パネル法（BEM）の結果も示している。図Ⅰ．2．（1）．①．2 より、DBC 及び非線形パネル法は実験値と大きな差があるが、DPC は実験値と良く一致しており、波浪中非線形を含む縦曲げモーメントの解析に対する DPC 法の有効性を確認した。

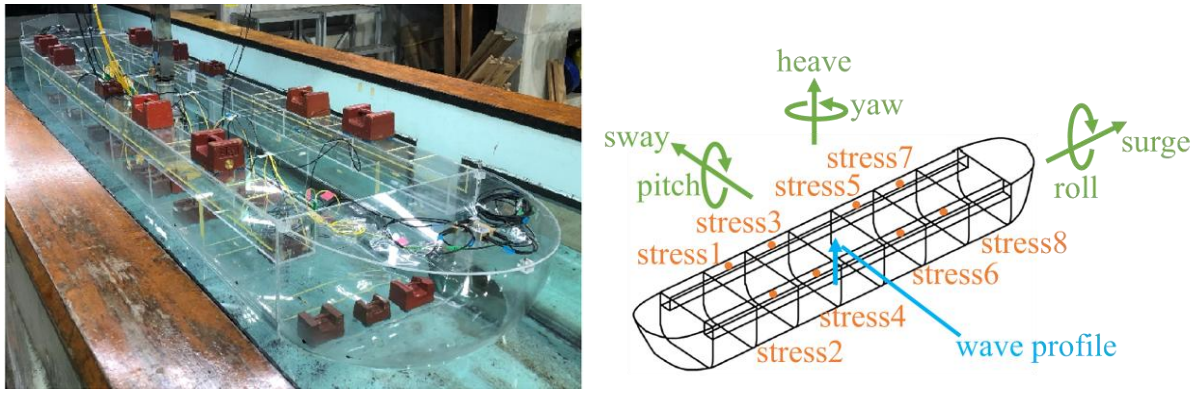


図Ⅰ．2．(1)．①．2　全長 286.6 m のバルクキャリアを対象とした大波浪中（波高 30m）
非線形船体縦曲げモーメントの比較結果
（exp：実験値、BEM：非線形パネル法（参考）、DBC：改良前の粒子法、DPC：改良後の粒子法）
（DPC により、実験値に近い高精度な解析結果を得ることができる）

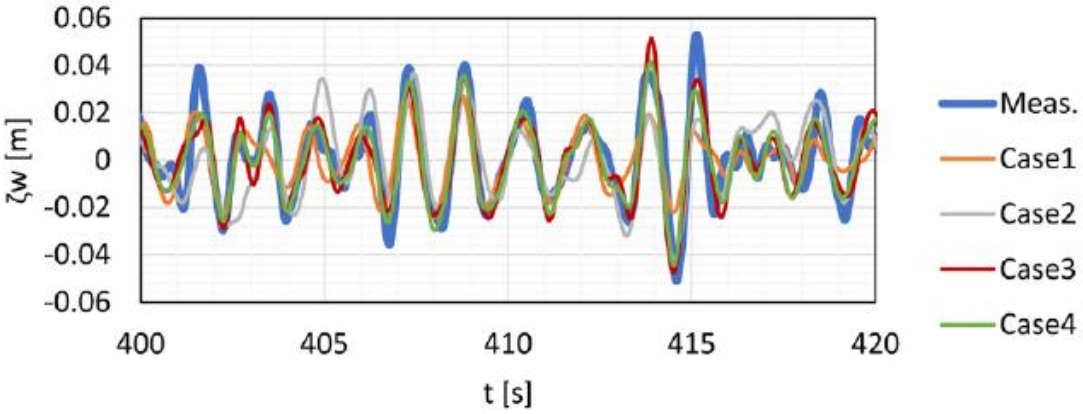
②波浪中船体損傷挙動の解明及び損傷度の簡易モデル構築

ボックスガーダー型船体構造 FE モデルを作成した。また、構造 FE モデルを用いた流体構造連成解析のための CFD のモデルを作成した。

短波頂の不規則波で測定された船体応答の信号から船舶が遭遇する波のプロファイルと測定されていない船舶の応答の時刻歴を推定するためのカルマンフィルタ手法を開発して実海域再現水槽の弾性模型実験（図Ⅰ．2．(1)．①．3）で検証した。波のプロファイルが、成分波の線形重ね合わせで表されると仮定し、波の振幅を状態変数としてモデル化することにより、波浪及び応答の時刻歴をリアルタイムで推定可能にした（図Ⅰ．2．(1)．①．4）。検証の結果、運動と歪の計測値を複合して利用することにより、良好な精度で波プロファイルを推定ができることが分かった。また、短波頂不規則波を Double Summation 法を使用してモデル化することにより、同じ周波数でありながら波の出会い角が異なる波間の干渉を考慮して方向波スペクトルを短時間で計算する方法を提案した。



(a) アクリル製弾性模型　　(b) 座標系とセンサ配置
図Ⅰ．2．(1)．①．3 アクリル製弾性模型の外観及び座標系とセンサ配置

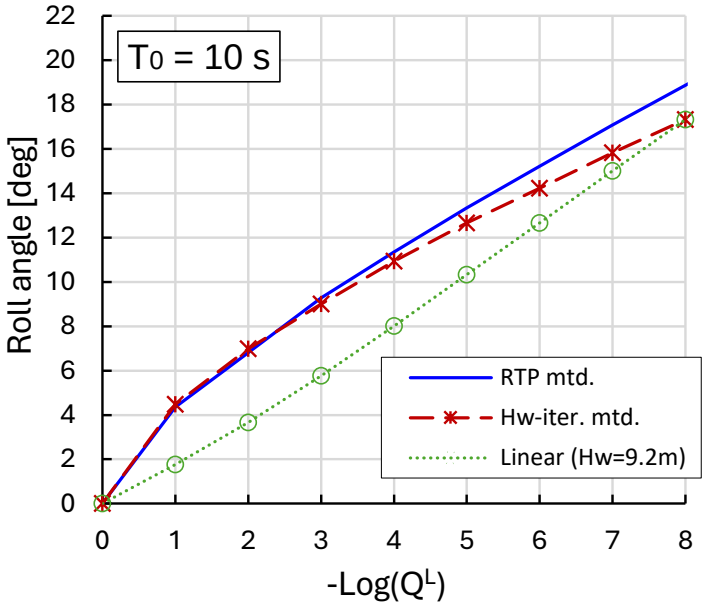


Case	Measurements
1	heave, pitch, sway
2	stress 3, 4, 5, 6
3	heave, pitch, sway, stress 3
4	heave, pitch, sway, stress 3, 4, 5, 6

図Ⅰ．2．(1)．①．4 波プロファイルの推定結果（上）と推定使用した計測項目（下）
（運動と歪の計測値を複合して利用して推定精度向上させた例）
（χ=240 度；斜向波）

③波浪中応答の非線形極値予測法の開発とその実装

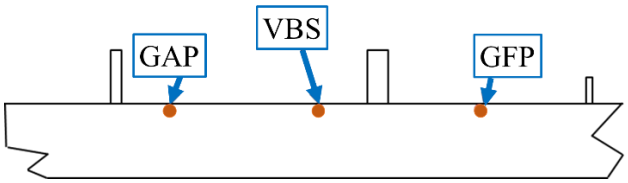
2023 年度に開発した船体非線形応答の統計予測法である「RTP 法（RAO-based Translation Process）」を、非線形減衰力を考慮した roll 運動に対応できるように拡張した。ただし同手法は、減衰力の等価線形化において収束計算を必要とするやや手間のかかる手法であったため、精度を落とさずに収束計算が不要となるように手順を改良し、長期分布に対して適用した。加えて、専用のプログラムを必要としない実用性の高い「波高反復法」を開発した。この手法は非線形性を考慮した応答関数のみを用いて長期予測を行う手法で、長期最大期待値を生じさせる規則波高を求まることから設計規則波の設定にも利用できる（図Ⅰ．2．(1)．①．5 の”Linear”）。波高反復法により従来法よりも短時間で、かつ、同レベルの精度で非線形長期予測が行えることを確認した（図Ⅰ．2．(1)．①．5）。提案手法は国際学会 OMAE で発表済み、かつ国際ジャーナル Applied Ocean Research に投稿中である。さらに、提案した非線形統計手法を DLSA-Basic システムに導入した。



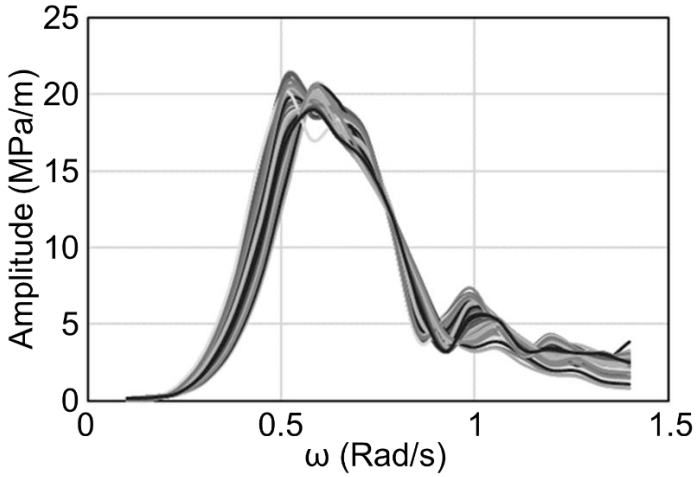
図Ⅰ．2．(1)．①．5 roll 運動の長期分布の比較
（青：RTP 法（従来法），赤：波高反復法（提案法），緑：線形（従来法（最大波高の RAO を使用）））
（波高反復法により従来法よりも短時間で、かつ、同レベルの精度で非線形長期予測が行えることを確認）

④船体応答に基づく波浪情報推定における不確定性（不確かさ）解析手法の検証

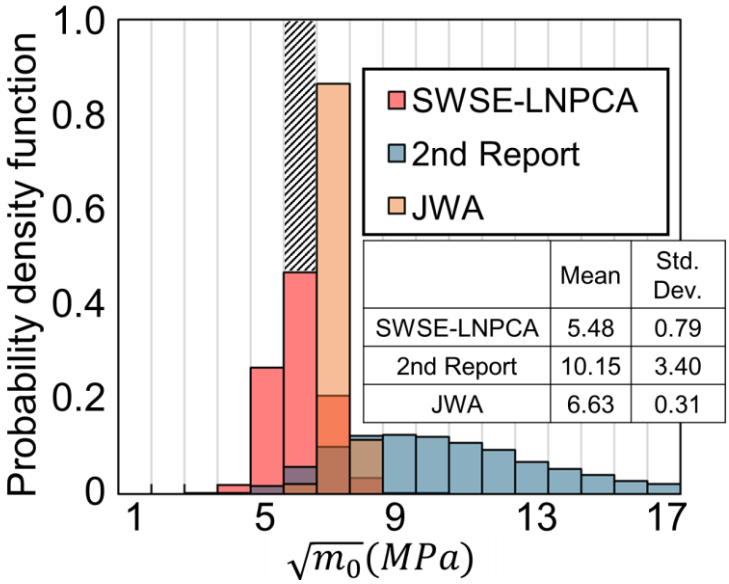
主成分分析に基づいて 2 つの確率変数を用いて応答関数の不確定性(従来の正規分布と積付のバラツキを想定した対数正規分布)を表現して不確定性解析を行い、応答関数の不確かさのモデル化が波浪情報推定の解析結果に与える影響を評価した。実際に即した波浪場での評価を行うため、方向分布関数を用いて短波頂不規則波への拡張を行い、大型コンテナ船のモニタリングデータを用いて検証した。また、任意箇所の応力の不確定性の評価手法も提案して精度を検証した。その結果、応答関数の不確定性を仮定した上で不確定性海象推定を実施して得た、提案手法による波浪情報を利用した推定値の方が、波浪追算値及び従来法を利用するよりも実測値（図中の黒斜線ハッチング部）に近く、精度良く推定できることを示した（図Ⅰ．2．(1)．①．6）。



(a) 検証に利用した船体の歪の計測位置



(b) 積み付けによる応答関数の不確定性モデルの例 （VBS、斜め向波）



(c) モニタリングによる検証結果

（船体中央縦曲げ応力 VBS を使用して船首 1/4L の縦曲げ応力 GFP を推定した結果）

図Ⅰ．2．(1)．①．6　積付による応答関数の不確定性モデル及びモニタリングによる検証結果

（SWSE-LNPCA：提案手法, 2ndReport：従来法, JWA：波浪追算を用いた推定結果）

（提案手法による波浪情報を利用した推定値の方が波浪追算値及び従来法を利用するよりも実測値（図中の黒斜線ハッチング部）に近い推定が可能）

⑤水槽試験による波浪逆推定手法の検証と高度化

波浪逆推定プログラムをベースとした確率波浪情報推定法（SWSE 法、Stochastic wave spectra estimation）の改良を行うことを目的として、以下の試験等を実施した。GFRP 弾性模型船の縦曲げ剛性の検定のための試験を実施し、歪計測が可能なレベルの剛性であることを確認した。波浪中の水槽試験計画を作成して、実海域水槽において同模型船を使用した波浪中応答試験を行い、波浪逆推定手法を検証するための運動・ひずみデータを取得した。

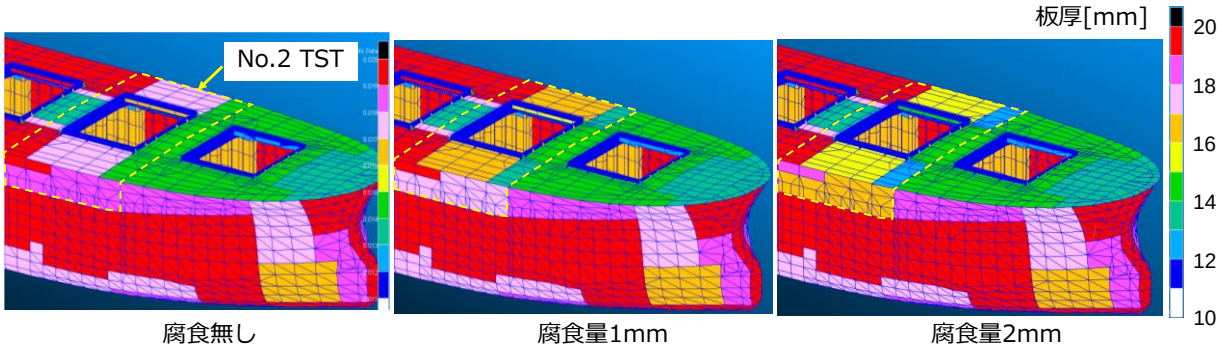
（3）船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングよる管理・修繕支援技術

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

腐食進行モデルにより推定腐食衰耗量を算出するプログラムの開発を行った。

②塗装劣化・腐食進行推定結果を全船構造解析へ反映するアプリケーション開発

全船 FE モデルを構成する要素の内、シェル要素に対し、区画と腐食量を指定して腐食（板厚減少）量を反映する中間プログラムを開発し（図Ⅰ．2．（1）．①．7）、任意の時点の腐食量推定値に対する構造強度評価を可能とした。モデルを構成する他の要素（梁要素、棒要素）への反映機能について引き続き開発を継続する。

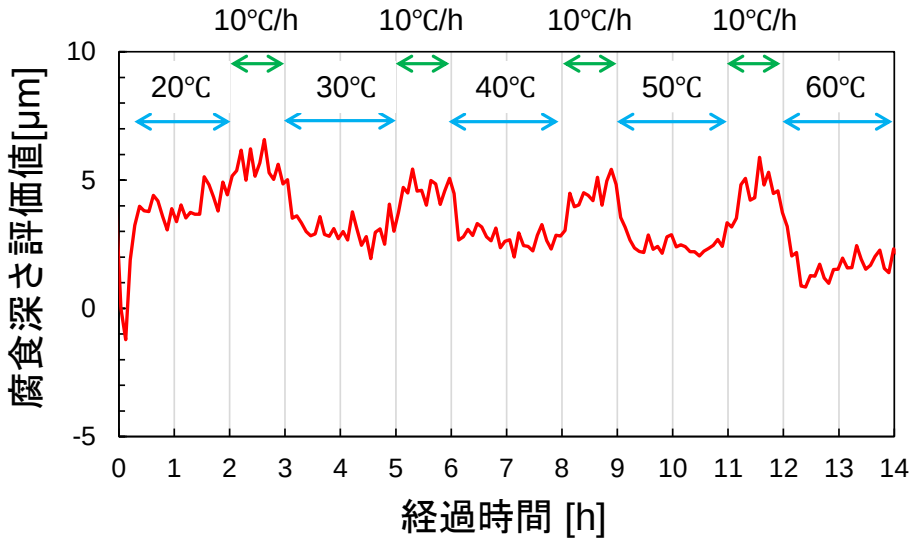


図Ⅰ．2．（1）．①．7 プログラムによる全船 FE モデル（No.2 トップサイドタンク）への腐食量反映の例

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

腐食進行検知センサ（図Ⅰ．2．（1）．①．8）の電気抵抗法による計測部分について、船舶の生涯腐食量（約 4mm）に対して「検出分解能（計測結果の安定性）＜ 5μm」が確保されていることを確認し、船の検査間隔 2.5 年よりも短い期間の腐食進行を評価可能であることを確認した。一方で、温度変化が早い環境では温度補償（図Ⅰ．2．（1）．①．9 参照）電極との温度応答速度の違いにより計測の正確性が低下しており、次年度更に応答性を向上させる改良を実施する。

図Ⅰ．2．（1）．①．8 試作腐食進行検知センサ

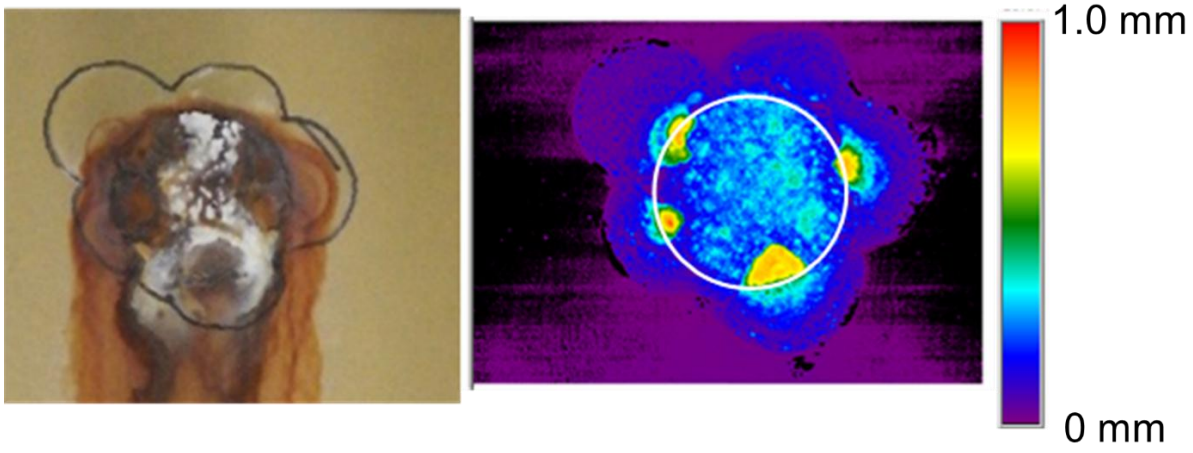


図Ⅰ．2.（1）．①．9 センサによる腐食量検出分解能及び温度補償部応答性の評価
（実腐食量 0 μm に対する計測値は温度の影響を受けて最大 7 μm 程度シフトしたが、
生涯腐食量 4 mm と比較して十分小さく、定温保持した際のドリフト量は極めて小さい
（5μm 以下）ことから、 十分な計測精度があることを確認した）

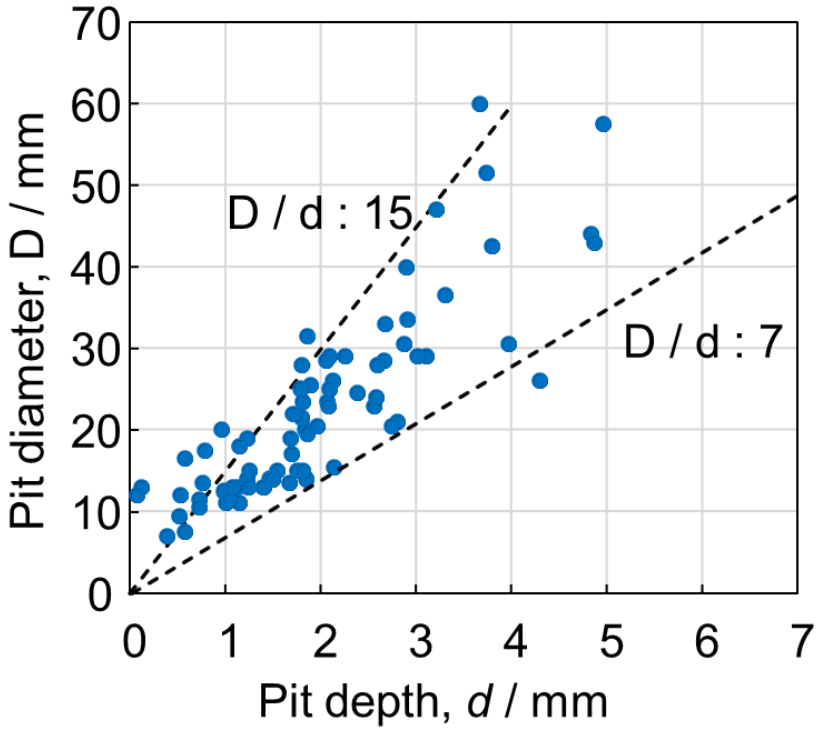
④実船試験を含むモニタリング・推定システムの検証【研究期間外】

⑤局部的衰耗の進行評価法の開発

塗装欠陥部からの腐食進行は、欠陥中央部よりも外縁で腐食速度がより大きい（図Ⅰ．2.（1）．①．10）ことから、初期欠陥寸法が局部腐食状態に影響することを確認し、塗装品質・欠陥寸法を制御した試験片により系統的な試験を実施中である。また、実船バラストタンクに生じた孔食寸法は、過去に貨物倉で確認された孔食よりも扁平な傾向にあることを確認した（図Ⅰ．2.（1）．①．11）。これらにより、局部腐食の進行に伴う構造強度の低下を評価するための基礎的知見を得ることが出来た。



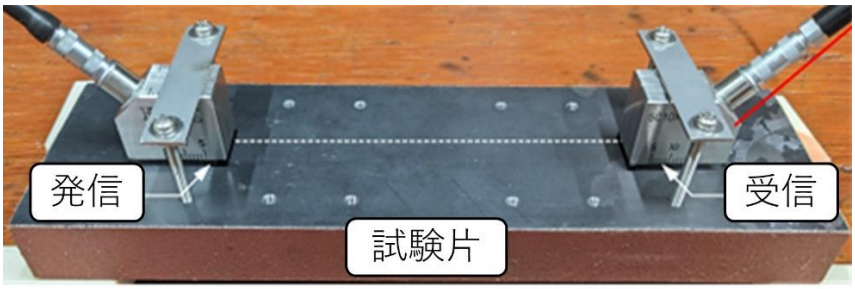
図Ⅰ．2.（1）．①．10 複合サイクル試験後の塗装欠陥部周囲の腐食深さ分布



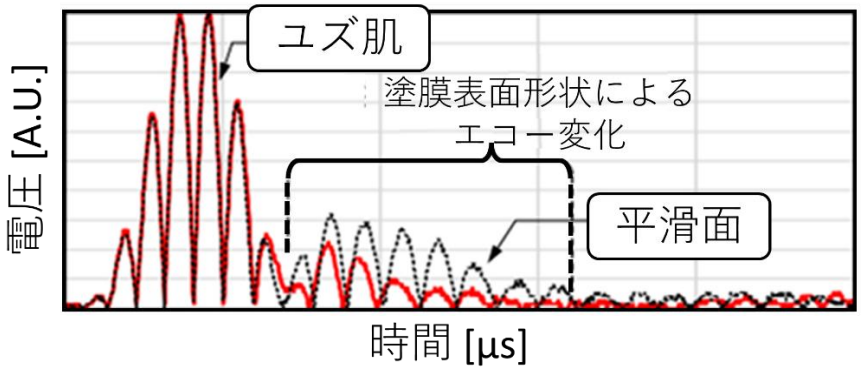
図Ⅰ．2．(1)．①．11　実船タンク構造材に生じた孔食形状分布
（プロットより、実船バラストタンクの孔食の直径/深さの比（D/d）が 7～15 程度となった。
オイルタンクでは、D/d の値は 4～10 程度といわれており、バラストタンクのほうが
扁平な傾向にあることを確認した。）

（4）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
①塗膜条件の差異等が塗膜計測に及ぼす影響の調査

2 つの超音波プローブ（発信、受信）を用いて塗膜表面形状を評価する方法の基礎的検討を実施した。発信プローブから発射された超音波のうち、プローブ接触面の対面（裏面）を伝播する成分に着目し、塗膜表面形状によるエコー変化を調べた。平滑な塗膜、凸凹がある塗膜（ユズ肌）のそれぞれの試験片を実測し、超音波エコーに明確な差が生じることを確認した（図Ⅰ．2．(1)．①．12）。



(a) 超音波計測による塗膜表面形状評価装置の外観

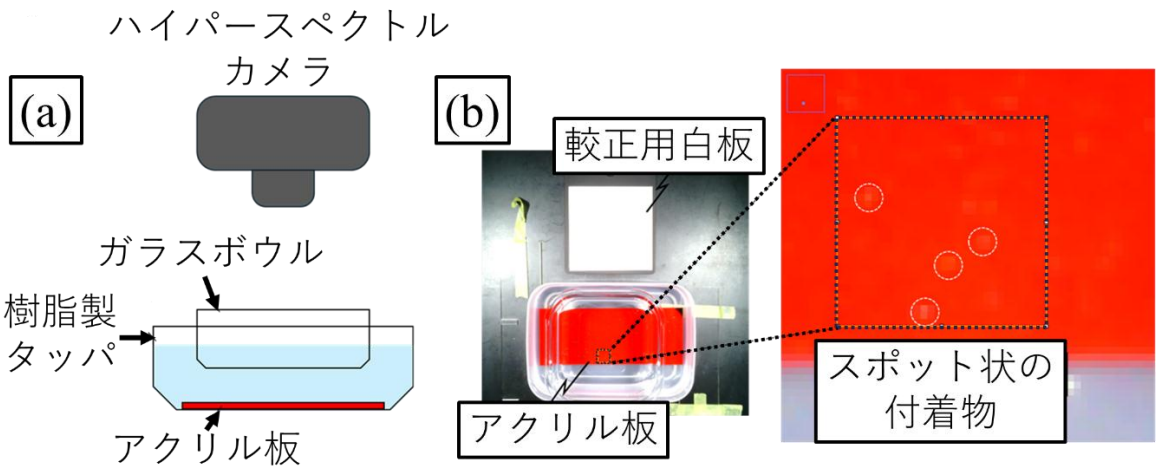


(b) 計測されたエコー変化例

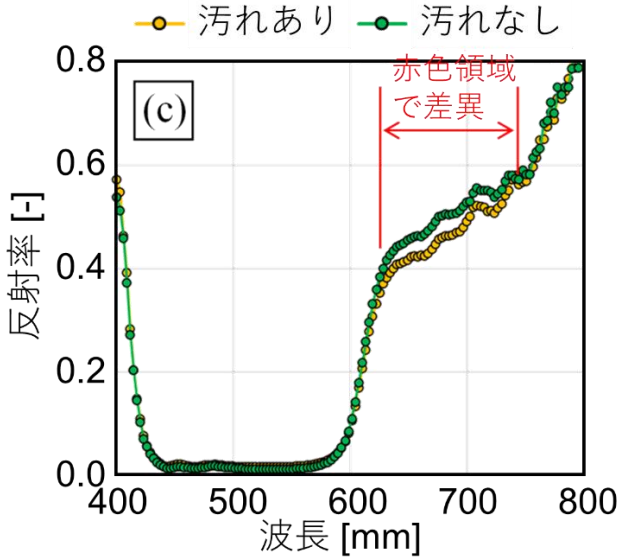
図Ⅰ．2．(1)．①．12　超音波計測による塗膜表面形状評価の基礎検討

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

実海水中に赤色のアクリル板を 1 日程度浸漬した上、ハイパースペクトルカメラで表面を撮影した。アクリル板を水中に置いた状態でガラスボウルを箱眼鏡の様に用いて撮影を行った。撮影により得られたスペクトル画像を解析し、赤色の波長の領域（620-740nm）で付着物の有無による明確な差が確認できた（図Ⅰ. 2. (1). ①. 13 (c)）。



(a) ハイパースペクトル撮影の概要　　(b) 実海水浸漬による付着物



(c) 付着物（汚れ）の有無によるスペクトルの差 （横軸：波長、縦軸：反射率）

図Ⅰ. 2. (1). ①. 13 スペクトル画像解析による生物付着検出

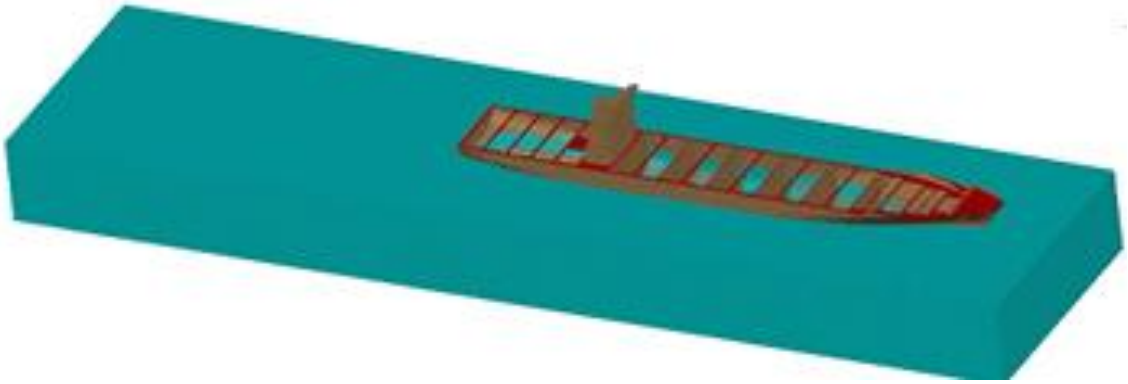
③実船の外板塗装表面状態等の調査

進水直前の新造船を対象に外板塗装表面状態の定量的データを取得した。船底の 18 カ所について、電磁膜厚計による塗装膜厚の計測、形状転写材を用いた塗膜表面形状計測、及び色度計を用いた塗膜色の計測を行った。超音波計測等の実船適用に向けて有用な外板塗装表面状態に関する基礎的なデータを得た。

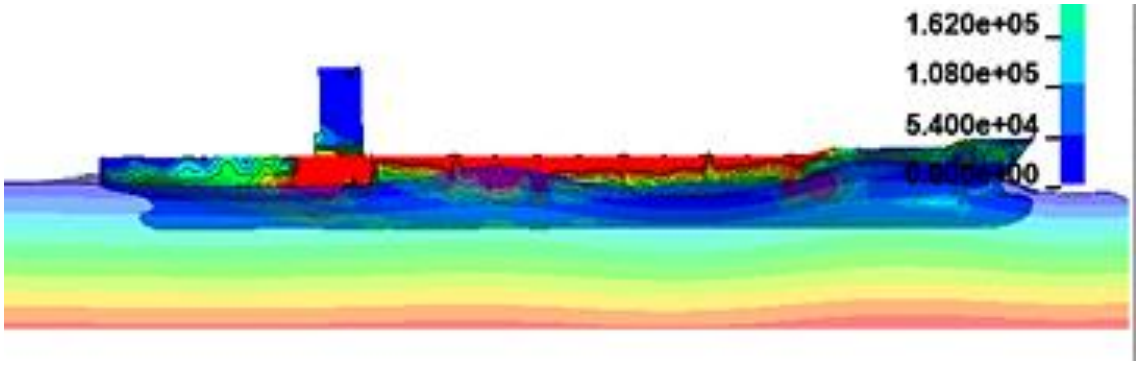
(5)事故時の安全性評価並びに海難事故解析のための評価ツール開発に関する研究

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

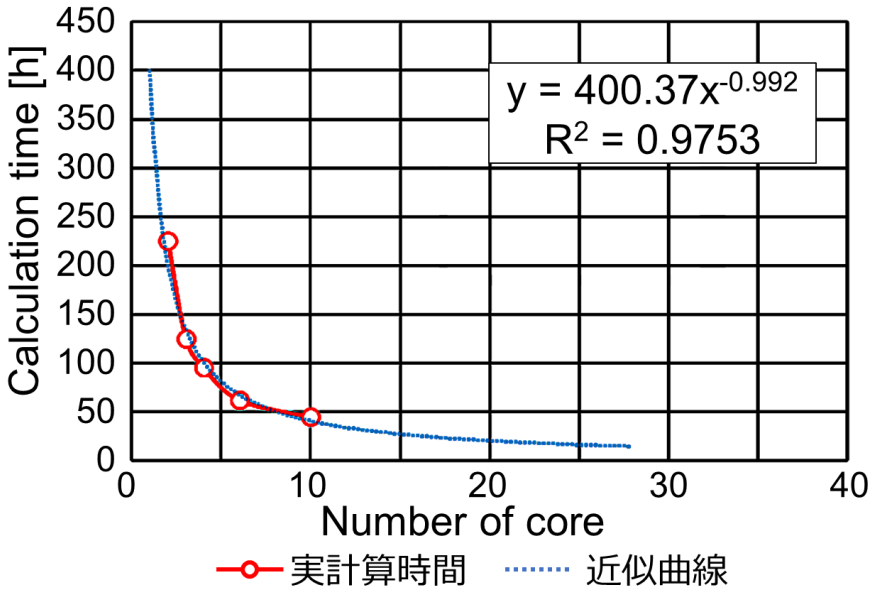
これまでに構築した衝突・座礁・折損等事故再現用モデルを基に、大型船の波浪中動揺再現モデルの作成及び試解析を実施した。船体モデル（①簡易モデル（弾性）、②詳細モデル（弾塑性））及び検証用の数値水槽を新規作成し、効率化・高速化を行った。また、波高・波長を変化させた規則波中のシリーズ解析を実施し、ロバストに比較的良好な結果が得られることを確認した。コア数と計算時間の関係は、一例であるが、図Ⅰ. 2. (1). ②. 1 の通り、従来 60 秒間の計算に対して 10 日程度要していたところ、2 日程度で計算できることを確認した。なお、本課題において作成した動画連続作成マクロプログラムをプログラム登録すると共に、解析例の動画を海難事故解析センターの HP において公開した。



図Ⅰ．2．(1)．②．1　大型船の波浪中動揺再現例



図Ⅰ．2．(1)．②．2　大型船の波浪中動揺再現例　（流体構造強連成解析）
流体コンター（圧力）、船体コンター（縦曲げ応力）



図Ⅰ．2．(1)．②．3　コア数と計算時間の関係
（大型船の 60 秒間の計算に要した時間（実値及び近似曲線））
（計算時間はコア数に応じて短縮される）

②海難事故 DB システム構築・拡充及びその類型化

座礁事故の解析においては、対象を 15 GT 以上に範囲を広げて実施した。座礁事故の類型化（居眠り（229 件から 777 件へ増加）、悪天候(77 件から 134 件へ増加）を実施した。解析例として、座礁事故における原因（大分類）「悪天候」及び「居眠り」の更なる原因（小分類）のランキング（条件付き確率別）を図Ⅰ．2．(1)．②．4 及び図Ⅰ．2．(1)．②．5 に示す。

⑤濃霧	22.4%
③潮流	16.4%
②強風（台風でない）	16.4%
①強風による走錨	15.7%
④台風	10.4%
⑥うねり	5.2%
⑦台風による走錨	5.2%
⑧悪天候によるレーダー映像の乱れ	3.0%
⑩雨	2.2%
⑨錨泊中の強風による触れ回り	1.5%
⑪雪	0.7%
⑬高波	0.7%

図Ⅰ．2．(1)．②．4　座礁事故の原因「悪天候（大分類）」の原因（小分類）ランキング（条件付き確率）

①単なる居眠り	80.4%
⑥当直交代時の連携ミス	7.9%
②（主に）飲酒に起因する居眠り	4.5%
③その他（薬服用、病気、体調不良）	4.2%
④居眠り防止装置があるのにoffにしていた	1.9%
⑧居眠り防止装置が居眠りを感知（検出）しなかった	0.4%
⑤飲酒＋「居眠り防止装置」の電源をoffにしていた	0.4%
⑩その他（居眠り）	0.1%
⑨薬服用+飲酒	0.1%

図Ⅰ．2．(1)．②．5　座礁事故の原因「居眠り（大分類）」の原因（小分類）ランキング（条件付き確率）

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Yusuke Komoriyama, Kazuhiro Iijima, Hidetaka Houtani, Tatsumi Akira, Masahiko Fujikubo: Kalman filter technique for estimating encountered wave profiles and unmeasured ship responses using measurement data in short-crested irregular waves, Applied Ocean Research, Volume 155, 104453, (2025).

□各種表彰の受賞：1 件

・Hiromi Kubo, Tetsuo Okada, Xi Chen, Yasumi Kawamura, Taiga Mitsuyuki, Ginga Hayakawa: OMAE 2023 CONFERENCE BEST PAPER AWARD, Structures, Safety and Reliability Symposium, Bayesian Updating of Estimated Parameters Representing Multi-Modal Directional Wave Spectrum Using Measured Ship Hull Stresses, 2024 年 6 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件

・波浪逆推定プログラム
・LSPP を用いた数値解析結果のシミュレーション動画の自動連続作成プログラム

□その他

◆国際活動：2 件

・岡正義: ISSC/ I.2 Loads committee 委員（Web 会議、Proceedings の作成等）
・山田安平: ISSC/ V.1 Accidental Limit State 委員（Web 会議、Proceedings の作成等）

◆その他の全文査読付き論文等：1 編

・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 -第三報-短波頂不規則波への適用及び応力応答の不確定性評価，日本船舶海洋工学会論文集，第 40 巻，pp. 145-156，(2024)．

◆その他発表論文：6 編

・Yusuke Komoriyama, Kazuhiro Iijima, Akira Tatsumi: Wave time history estimation by Kalman filter technique using ship response data with forward speed, Proceedings of the 37th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2024), (2024).
・松井貞興: 船体非線形 roll 運動の短/長期予測に対する RTP 法の実用化，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 817-824, (2024).
・松井貞興，岡正義: RAO に基づく非線形 roll 運動の長期分布の簡易計算法，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 809-815, (2024).

・小森山祐輔，松井貞興，岡正義，田中義照，杉本圭: 捩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－コンテナ船モデルを用いた検討－，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 737-744, (2024).
・今井輝，岡田哲男，陳曦、川村恭己，早川銀河，満行泰河: 主成分分析による次元削減を用いた実船計測応力に基づく遭遇方向波スペクトルの推定，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 1051-1058, (2024).
・藤本修平: ハイパースペクトルカメラによる海水浸漬試験片の汚損モニタリング，2025 年度日本付着生物学会総会・研究集会研究発表要旨集，(2025).

◆公開実験：1 件
・浮体式風車の不規則波中の水槽試験（9/14，洋上風力発電 PT との共同開催）

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造船所の生産性に直結する。本研究によって開発する、建造精度自動取得システム及び建造支援システムを用いることによって、事前に 3 次元での検討が可能になり、手戻り・待ちを減らすことができる。
・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を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、十分に大きいか

・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。
・波浪逆推定プログラムをベースとした確率波浪情報推定法（SWSE 法）は、船体全域の応力推定を目的とした船体構造デジタルツインの主要機能であり、本重点研究で開発の見通しをつけたことの科学的意義は大きい。SWSE 法は、重点研究 10（小項目 3「デジタルツイン統合システムの開発」）で開発を目指す船舶用の統合デジタルツインの構成要素として利用される。
・本研究の成果は、国際学会において論文賞を受賞しており、科学的意義が十分にあると認められる。

□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。
・全体として、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

・設計・建造・運航・メンテナンスのライフサイクルを通じて利用可能なデジタル技術基盤を構築して社会実装するため、船体構造を切り口として、センシング技術やシミュレーション技術、及びこれらを用いたデータ同化・推論手法、システム化に関する研究開発に取り組み、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（R6年度）	A

【コメント】
・第5期国土交通省技術基本計画にある、「船舶のライフサイクル全体での価値を高めるビジネスモデルへの転換を図るべく、自動運航船、ゼロエミッション船等の次世代船舶の技術研究開発支援等を進める」という方針を具現化するため、数値シミュレーション、データ同化、統計解析・推論等の技術を活用して設計及び運航に資する手法を開発し、国際ジャーナル等を通じて確実に成果を発信するとともに、海運、造船、船級協会等との共同研究を通じて社会実装に繋がる成果を創出した。これらの成果を評価し、「A」と判定した。

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、その成果については外部からの表彰を受賞しており、「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（R6年度）	A

【コメント】
・船舶が遭遇する波のプロファイルと測定されていない船舶の応答の時刻歴を推定可能にするカルマンフィルタ（KF）手法を開発したことで、安全かつ合理的な運航・設計に貢献できることは、社会的価値及び科学的意義の面で顕著な成果であるといえる。
・船体構造強度の直接評価方法を改善して DLSA-Basic に反映させたことは、デジタルツインの実現に向けた新たな技術に関する成果であるとともに、我が国造船・海運業界及び船級協会にとって意義が大きい。

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、「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。

重　点　分　野	(1)海上輸送の安全の確保

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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 －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、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。等

○船舶の安全運航のための性能評価に関する研究 ［R6 年度予算： 19,484 千円、研究担当者： 15 名］

研　究　の　背　景

国土交通省第 5 期技術基本計画において、自動運航船等の実用化や基準策定、新技術の社会実装による新価値創造につながる技術研究開発、国際基準・標準策定への参画、気象災害に対するリスク低減等の課題が掲げられている。これらの課題に対応するため、操船リスクシミュレータを用いた自動運航船の認証に必要な操縦運動計算モデルの高精度化とモデルを簡易に構築する手法の開発、実船の総合性能評価のための実船、水槽、CFD の 3 者を統合したシミュレーション技術の開発、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の 4 つの研究課題に取り組む。

研　究　目　標

自動運航船等の実用化に向けた研究開発として、低速時の離着桟操船を再現できる操縦運動数学モデルについて、制限水域影響も含め船体に作用する流体力モデルの定式化を完了する。及び、モデル係数の簡易構築手法を考案し提案する。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を調査し、レビュー論文を作成する。自由航走データからのモデル同定手法を開発し論文化する。実践の総合性能評価のためのシミュレーション技術の開発においては、Model Based System Engineering（MBSE）に対応する Function Mockup Unit（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をコード実装し、提供する。港湾内での実船操縦運動シミュレーション手法を構築し、計算を実施する。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では、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を開発する。成果を反映し、危険を回避する操船支援システムを提供する。小型船舶の安全性に関する規則策定に係る技術支援を行い、知見を規則に反映する。港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発においては、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を構築する。

令 和 6 年 度 の 研 究 目 標

（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
①低速時操縦運動を推定するための数学モデルの自由航走試験結果からの検証
②進化計算手法（焼きなまし法）による、模型船自由航走データからの巡航速力時操縦運動モデル同定の総括と低速時運動モデルのための基礎検討
③側壁影響を検証するための実験装置設計、及び狭水路運航中の流体力特性推定法の開発
（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
②港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発
（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
①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
②国際基準計算ツールの整備・統合及び船舶設計要素の検証
③小型船の復原性試験法の提案
（4）港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発
①錨泊中の船体に働く外力の推定手法の研究
②錨泊時の喫水状態を考慮した波漂流力のデータベースの構築
③航海計器・航海機器などと本システムを連携させる手法の確立

令 和 6 年 度 の 研 究 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
①低速時操縦運動を推定するための数学モデルの自由航走試験結果からの検証
離着桟操船時に行われるプロペラ遊転中の舵力特性を検証するための模型試験を行い、遊転時想定の数学モデルを提案し、モデル内係数を解析することで、遊転中の舵の流体力特性を明らかにした。また、低速時操縦運動モデルを検証するための自由航走試験について、外部機関との共同研究体制を敷きつつ実施内容を拡張し、当初予定より 1 隻増やして 2 隻分の検証用データを取得した。当初予定より水槽試験回数を増やし、2 度目が年度末時期となったこともあり、シミュレーション結果と自由航走試験結果の比較については持ち越しとなった。
制限水域中の操縦流体力推定ツールの調査研究について、調査を完了させ調査結果を論文に纏めた。
②進化計算手法（焼きなまし法）による、模型船自由航走データからの巡航速力時操縦運動モデル同定の総括と低速時運動モデルのための基礎検討
低速用モデルへの適用に先駆けた検討という位置づけで、巡航速力時モデルの係数同定のための焼きなまし法の設定や操縦性指標の利用等の方法論を整理し、モデル同定のための総括を完了した。

成果は国際会議IWSH2025で公表するために取り纏めた。また、低速時モデル同定への道筋として、前述の低速自由航走試験の実施により、利用する操縦性指標に関する基礎検討を行った。

③側壁影響を検証するための実験装置設計、及び狭水路運航中の流体力特性推定法の開発

水槽模型試験で側壁影響を検証するための垂直壁（模擬岸壁装置）を実海域再現水槽に設置することを想定し、実験装置としての仕様を検討・試設計した。実製作及び水槽試験は 2025 年度に行う予定である。

狭水路については、科研費分担者（九大）によって実験と CFD を比較検証しながら計算ツールと操縦運動モデルの開発を進めている。本年度は非定常の PMM 試験の流体力を CFD で再現可能なことを確認し、検証結果を 2025 年度開催の国際会議 MASHCON に投稿した。また、次年度向けの水路模型を科研費にて製作した。

（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

実船性能の高精度推定に向け、粗度モデル及び塗料モデルの文献調査及びモデル開発、データ同化手法の開発を継続して行った。重合情報生成に必要な計算コストを削減する事でより大規模な計算を可能にする、並列処理に適した重合情報生成アルゴリズムを開発した。格子ボルツマン手法とのハイブリッド手法について、フルマルチグリッド手法及び埋め込み境界法の導入に着手した。

②港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発

港湾内操船を主とした操縦性能推定に向けて、研究内容(1)と連携し、水・空気両方の流場を計算する事で外乱影響を考慮した港湾操船状態のシミュレーション手法の開発を行った。

（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

①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

水槽試験でより精度の高い波浪場再現のために提案する造波法を検証するために実海域再現水槽で造波試験を実施した。また、波浪中の復原力変動を考慮した横揺れ 1 自由度のパラメトリック横揺れ計算を実施し、模型実験結果と比較して精度と改良点を検証した。

②国際基準計算ツールの整備・統合及び船舶設計要素の検証

第二世代非損傷時復原性基準で扱う 5 つの危険モードすべての脆弱性評価計算コードを統合したソフトを開発した。また、不適合が多いと指摘されている過大加速度モードについて、設計段階で検討できるパラメータの感度解析を行い、効果を数値化して示した。

③小型船の復原性試験法の提案

（国研）水産研究・教育機構水産技術研究所の調査船「たか丸」で復原性試験及び旋回試験と傾斜試験を実施し、旋回時に船体に働く力の釣り合いによる内方・外方傾斜角と GM の関係を計測して推定法を検討した。

（4）港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

①錨泊中の船体に働く外力の推定手法の研究

痩せ型船型の振れ回り運動を想定した操縦流体力の計測を行った。また、昨年度計測をした肥大船の操縦流体力の計測結果を用いて解析手法の検討を行った。風外力については、錨泊頻度が高く、既存の風圧力推定モデルの対象外になる内航タンカー船型の風洞試験を行い、推定モデル改良のためのデータを取得した。

②錨泊時の喫水状態を考慮した波漂流力のデータベースの構築

前進速度のない状態での波漂流力のデータベースを構築するため、3 次元パネル法のプログラムを用いて波漂流力の計算を実施した。

③航海計器と航海機器などと連携させる手法の確立

航海計器や航海機器から船内 LAN を介してデータを取得するプログラムの拡張を行った。また船上での活用以外の社会実装として、陸上支援システムでの活用もできるようにプログラムを改良した。

令和６年度の研究成果

（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

①低速時操縦運動を推定するための数学モデルの自由航走試験結果からの検証

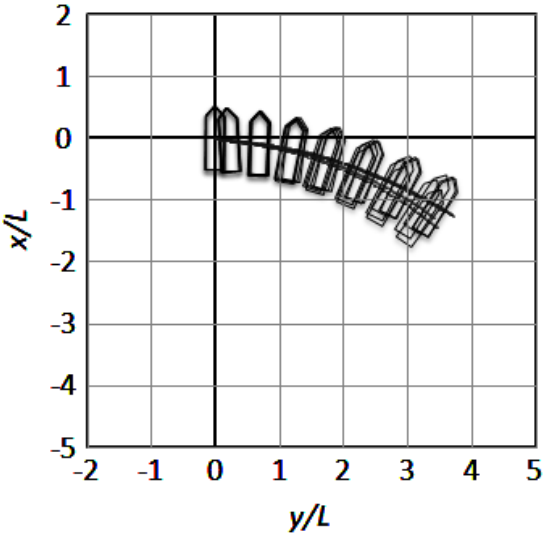
プロペラ遊転想定時の舵力モデルにおける流体力特性に関する貴重な解析結果を得て、その結果を日本船舶海洋工学会令和 6 年秋季講演会で公表した。具体的には、当該状況下における舵の有効伴流特性・船体と舵の干渉特性・操縦運動中の舵への左右方向の流入流速特性（整流係数）を初めて明らかにした。

数学モデル検証用の自由航走試験の実施について、低速時操縦運動モデルの検証について共通目的を有する外部機関と共同研究体制を敷いて、新しい試みとして、海技研で開発していた自由航走模型試験用ダクトファンシステムをサイドスラスタの代替とした離着桟操船模擬実験を行った。対象船は当初予定より 1 隻増やして 2 隻とし（170m 級ケミカルタンカーと 350m 級コンテナ船）、このための試験方案の整備や模型船セッティングの方針検討をした上で、真横移動やその場旋回など、離着桟操船を想定した自由航走データを取得した（図Ⅰ. 2. (1). ①. 14）。これら結果及び試験法は今後、公表予定である。

本研究で得た知見は、日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着桟時操縦運動を予測す

るための数学モデルに関する研究委員会(P-69)」において、当該モデルに関する研究方法の決定等といった委員会活動に貢献した。また、(一財)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」では、本研究で得た知見により、同会が発行する自動操船システム認証のためのガイドライン策定に貢献した。

また、本テーマの担当者は、国際水槽試験会議(ITTC)の操縦性委員会(Maneuvering Committee)に第 31 期委員として参加し、当該委員会のタスクのうち本研究と関連性のあるタスクの担当者として本研究で得た知見を委員会報告書に反映するための活動を行った。



図Ⅰ. 2. (1). ①. 14　170m 級ケミカルタンカーを対象とする
ダクトファンシステムを用いた真横移動模擬試験の航跡
(真横移動時の結果、試験精度確認のため 5 回計測し船体プロットは 20 秒ごとに 5 回計測分を重ねて表示)

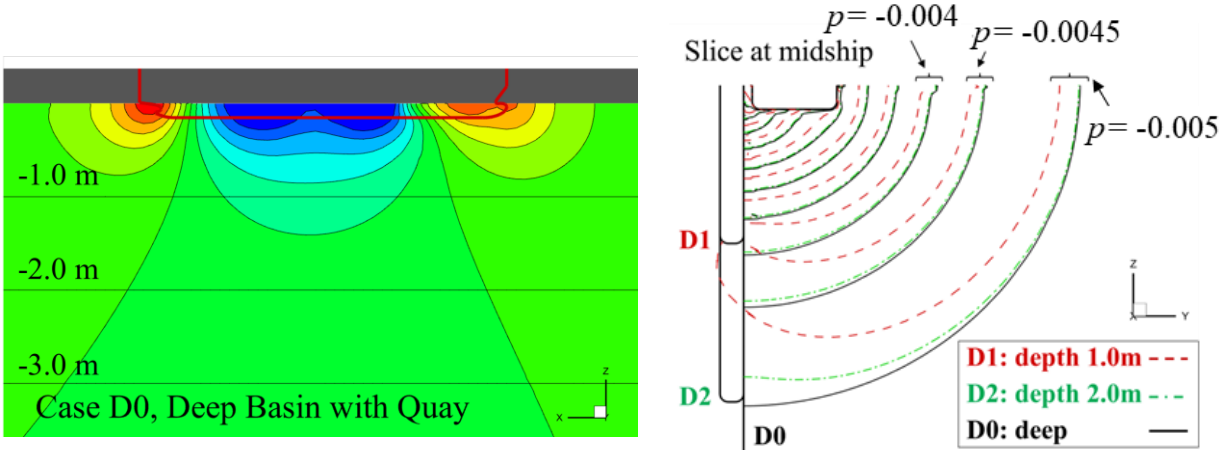
②進化計算手法(焼きなまし法)による、模型船自由航走データからの巡航速力時操縦運動モデル同定の総括と低速時運動モデルのための基礎検討

巡航速力時のモデルとして MMG 標準型モデルを前提とし、進化計算手法の一つである焼きなまし法を適用して操縦性指標(旋回試験時の Advance や Tactical Diameter、Zigzag 試験のオーバーシュート角、等)のみからモデル係数を同定するための設定(温度パラメータの更新)や方法論(同定対象とすべきモデル係数の選定)の総括を行い、同法の適用によって自由航走データから同定されたモデルによって操縦運動が精度良く推定できることを確認した。研究成果は国際会議 IWSH 2025 で公表予定である。

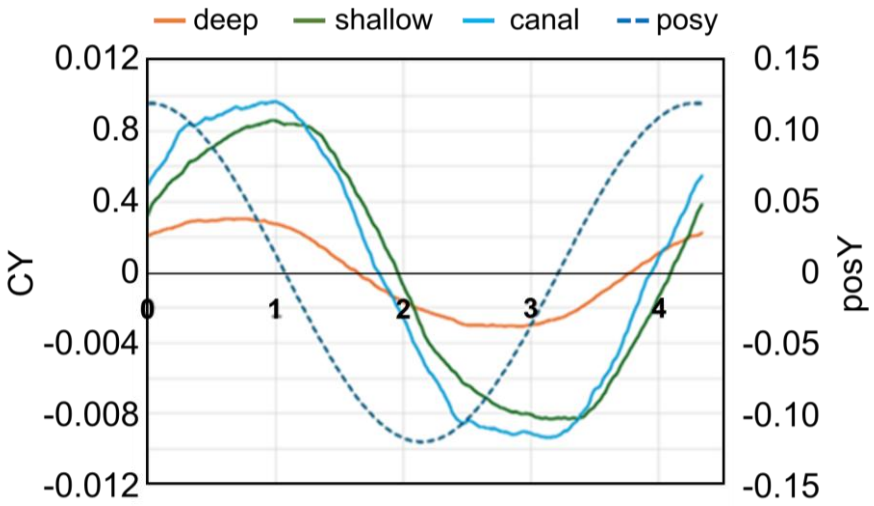
③側壁影響を検証するための実験装置設計、及び狭水路運航中の流体力特性推定法の開発

水槽模型試験で側壁影響を検証するための垂直壁(模擬岸壁装置)の仕様を決定した。具体的には、実海域再現水槽の水槽内に設置する前提で、流体力学的に無限水深及び十分長と見なせる垂直壁の寸法の検討、垂直壁の設置強度を検討するための作用流体力の推定、当該水槽に設置するための構造体や設置手順の検討を行い、実験装置としての設計を完了した。これら検討には海技研 CFD ソルバーNAGISA を活用し、側壁に平行に進行する船体まわり圧力場の計算結果から側壁深さは 2m で十分と判断した(図Ⅰ. 2. (1). ①. 15)。一部成果は日本船舶海洋工学会令和 6 年秋季講演会で公表し、2025 年度も日本船舶海洋工学会令和 7 年春季講演会や国際会議(PRADS2025 を予定)で公表予定である。

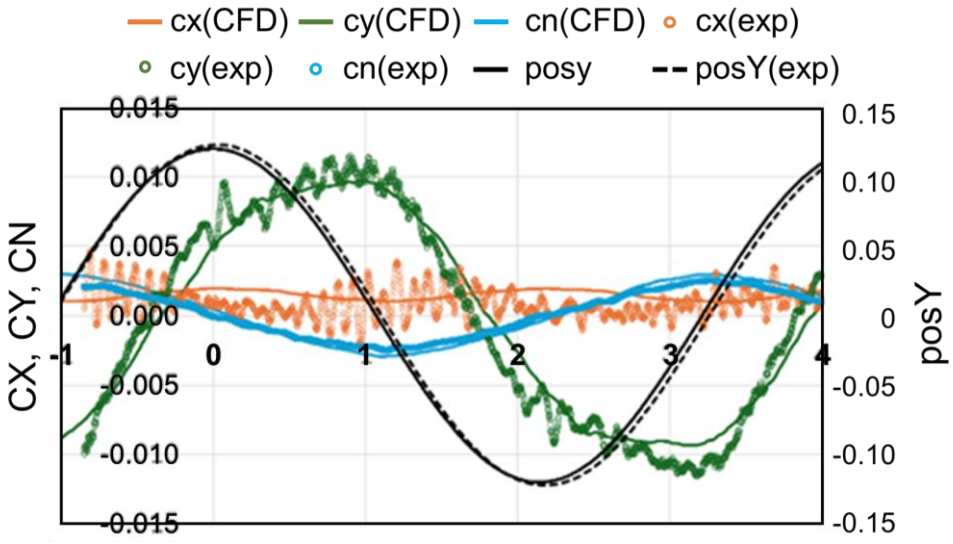
狭水路については、水路内の操縦運動モデル構築とともにその検証のための水路内自由航走を実現する必要がある。CFD による自由航走直接シミュレーションの前段階として、非定常拘束試験である PMM 試験の CFD 計算を水路内で実施し(図Ⅰ. 2. (1). ①. 16)、九大水槽での実験結果と比較検証した。図Ⅰ. 2. (1). ①. 16 の(a)では横力の時間変化を約 1 周期分示しているが、浅水(canal)や狭水路(shallow)では深水(deep)に較べて流体力が増加する様子を捉えた。また図Ⅰ. 2. (1). ①. 16 の(b)では実験値(マーク)と計算値(線)が横力(cy)と回頭モーメント(cn)については良好に一致した。前後力(cx)は位相に乖離があるが振幅は推定できることがわかった。以上より水路内の pure sway 運動については高い精度で CFD シミュレーションできることを示し、水路内の非定常運動を CFD で直接シミュレーションできる可能性を示した。この結果は国際会議に投稿し、発表予定である。



図Ⅰ．2．(1)．①．15　CFD を用いた模擬岸壁装置の仕様検討結果
（左：十分深い側壁の壁面圧力分布、右：側壁深さ変更時の船体中央の横断面圧力分布の変化）



(a) CFD による深水・浅水・水路内の横力（CY）比較
（縦軸右側 posY は横方向変位を船長で割って無次元化したもの。横軸は無次元化時間(時間×船側/船長)である。浅水（canal）や狭水路（shallow）では深水（deep）に較べて流体力が増加）

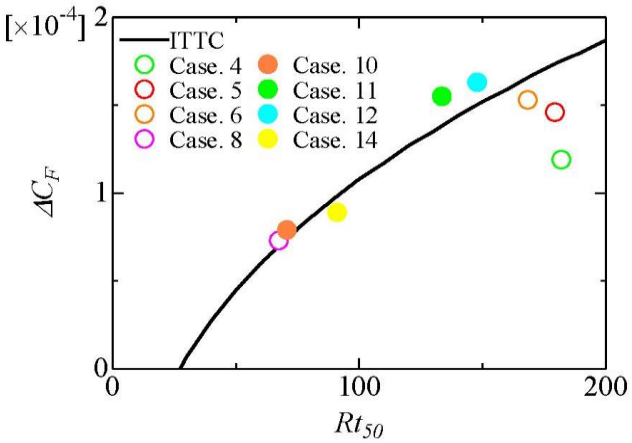


(b) 水路内の実験値と計算値の比較
（縦軸右側 posY は横方向変位を船長で割って無次元化したもの。横軸は無次元化時間(時間×船側/船長)である。横力（cy）と回頭モーメント（cn）について実験値（マーク）と計算値（線）が良好に一致）
図Ⅰ．2．(1)．①．16　PMM pure sway motion 時の力の時系列

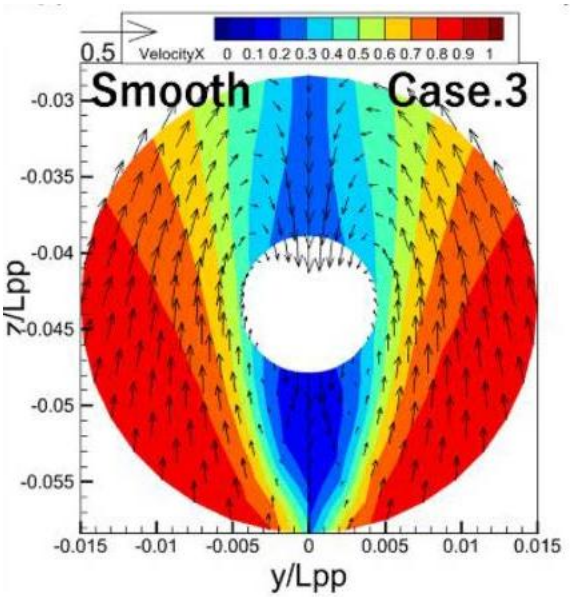
（2）総合性能評価のための CFD によるシミュレーション技術開発

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

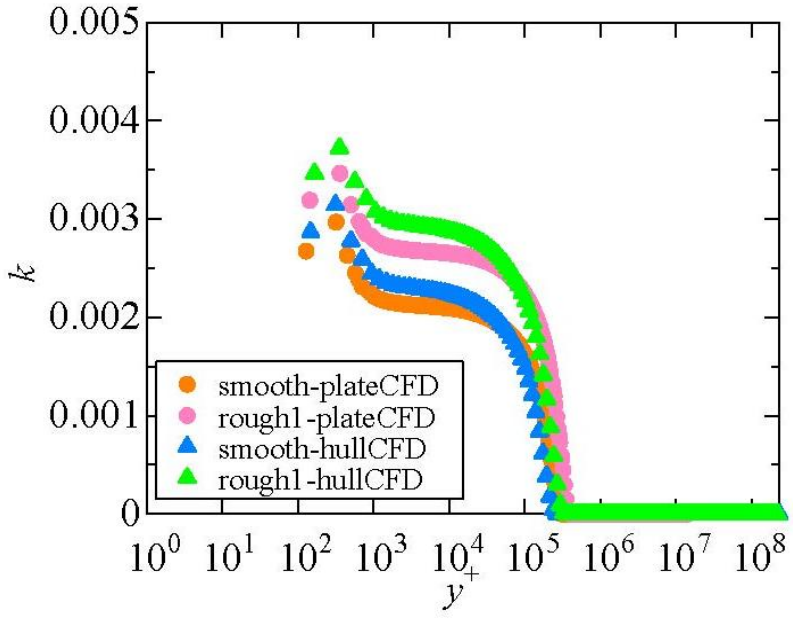
実船性能推定のための数理モデル及び新規手法として粗度塗料モデルを開発した(神戸大学との共同研究)。実際の塗料を使った計測データに基づき、シミュレーションの粗度モデルに使用する等価砂粗度を導出する方法を開発した。各種粗度と国際試験水槽会議(ITTC)の推奨プロシージャにある粗度修正係数推定式との関係を示し、塗料のパラメータの影響を明らかにした(図Ⅰ．2．(1)．①．17(a))。さらに、滑面と塗料粗面に基づく船尾伴流の違い(図Ⅰ．2．(1)．①．17(b))、物体表面近傍での乱流エネルギー分布の違い(図Ⅰ．2．(1)．①．17(c))等を示した。データ同化手法の開発を継続し、並列処理等を新たに加え、ジャーナル論文等での成果発表を行った。重合情報生成において格子間の干渉非干渉処理、物体運動等により格子が動く際の格子間の関係が変わらない場合の例外処理、重合関係が完全に成立しない場合には近傍計算セル群から補間することで回避するアルゴリズムを開発することで大規模計算においても計算コストを削減した。格子ボルツマン手法と有限体積法による新たなハイブリッド手法においてフルマルチグリッド手法を導入し、計算時間を約 1/3 にできることを示した。



(a) 等価砂粗度モデルに基づく各種粗度による粗度修正係数(図中マーク)と ITTC 推定式との比較
(縦軸：粗度修正係数、横軸：平均粗度高さ、黒線：ITTC 推定式、マーク：各種塗料パラメータによる推定値)



(b) 滑面(図中左側)と粗面(図中右側)での船尾の伴流分布の違い

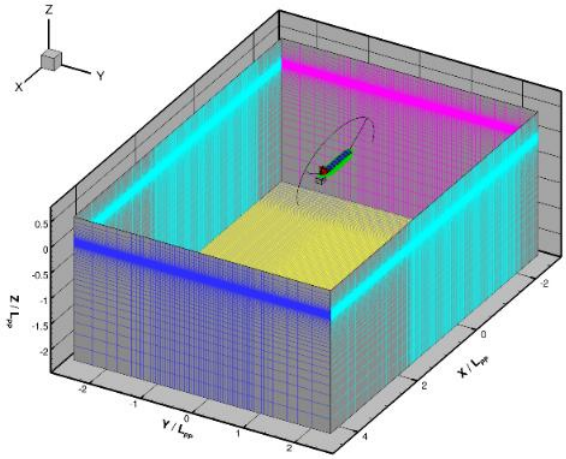


(c) 滑面(図中 smooth 表記)と粗面(図中 rough 表記)での物体表面近傍での乱流エネルギーの違い
(縦軸:乱流エネルギー、横軸:物体からの無次元距離)

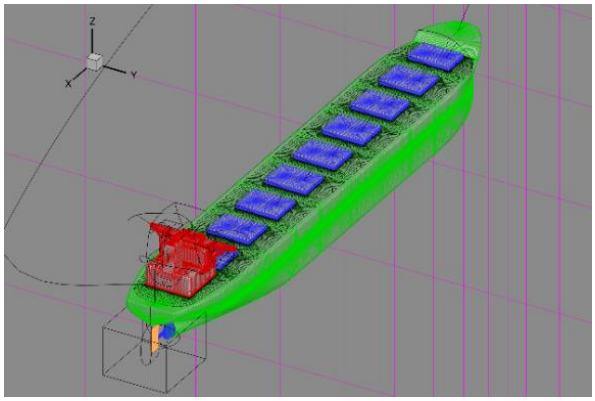
図Ⅰ．2．(1)．①．17 等価砂粗度モデルによる試験結果と計算結果

②港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発

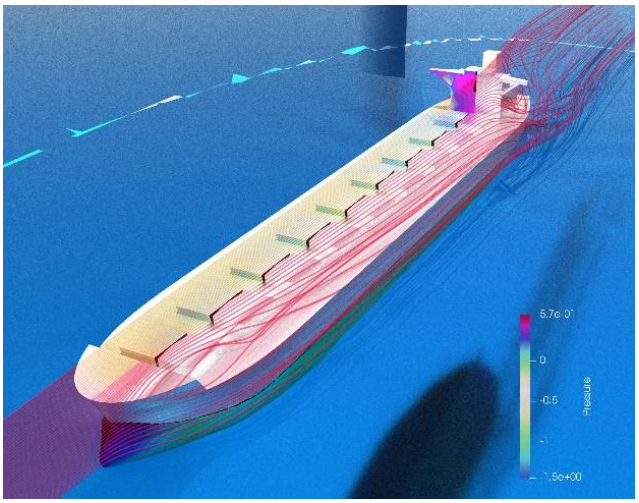
港湾内操船を主とした操縦性能の推定に向けて水・空気両方の流場を計算する手法等の開発を行った。上部構造物も一体となった格子(図Ⅰ. 2. (1). ①. 18(a)(b))を使用し、水面下と水面上それぞれの流場を、自由表面を境界面として同時に行う流場計算手法を構築した(図Ⅰ. 2. (1). ①. 18(c))。水面上下を並列に計算することで計算時間を約半分にすることも可能になった。



(a) 計算格子全体図



(b) 船体付近格子



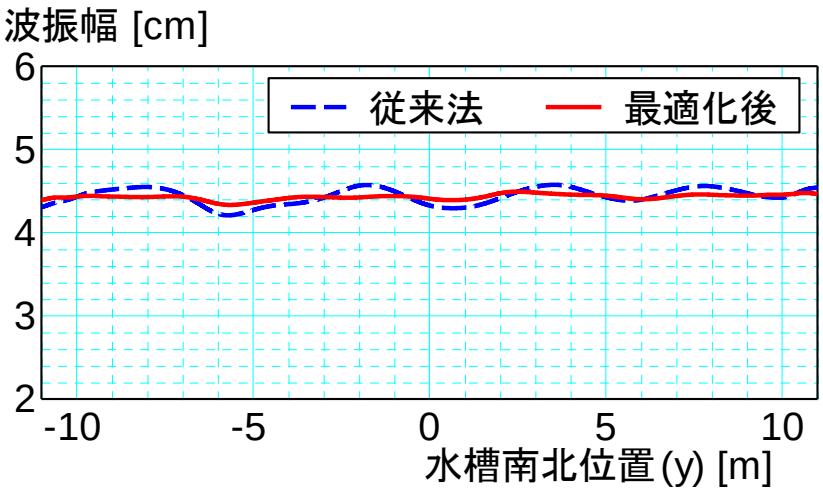
(c) 計算結果の可視化図
(物体表面圧力分布と空気側の流線)

図Ⅰ. 2. (1). ①. 18 水・空気両方の格子生成と計算結果の可視化

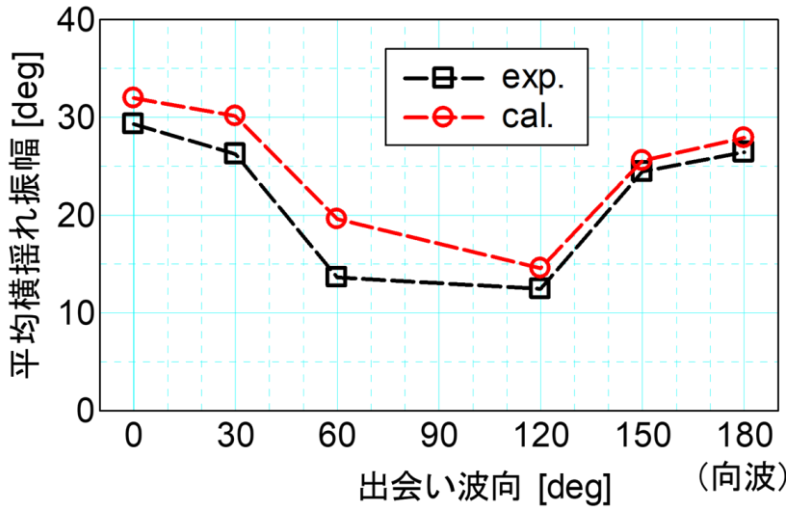
(3)復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究

①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

精度の高い波浪場再現技術として提案する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の精度を明らかにするために、水槽試験を実施した(図Ⅰ. 2. (1). ①. 19)。その結果、最適化後の振幅幅は従来法と比べてばらつきが低減し、本手法が有効であることを示した。また、C11 級 post-Panamax コンテナ船(全長 262 m)を対象として、波浪中復原力変動を考慮したパラメトリック横揺れの時間領域計算を実施し、模型実験と比較した(図Ⅰ. 2. (1). ①. 20)。その結果、向・斜向波は良い一致を示したが、すべての波向きに対して精度を上げるには、左右揺れ、船首揺れを追加した 3 自由度に拡張する等改良の余地があることを確認した。



図Ⅰ．2．(1)．①．19　波浪場精度向上のための造波法の検証−波振幅の空間分布解析−
（振幅のばらつきが低減）



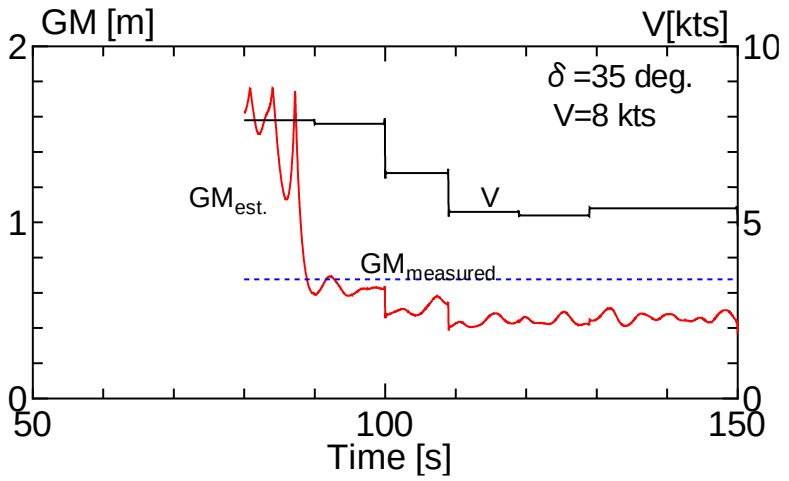
図Ⅰ．2．(1)．①．20　C11 級 post−Panamax コンテナ船(全長 262 m) の
パラメトリック横揺れ振幅計算と実験の比較
（30～60 度での一致度低下）

②国際基準計算ツールの整備・統合及び船舶設計要素の検証

第二世代非損傷時復原性基準の 5 つの危険モードすべての脆弱性評価計算コードを統合し（(一財)日本船舶技術研究協会と連携）、共通の計算条件設定や計算結果表示機能を付与したソフトを作成した。5 つの危険モードの脆弱性評価計算コードの入力を統合することで、1 隻の船に対して 5 つのモードすべての評価を容易に行うことが可能になった。また、過大加速度モードの脆弱性基準評価に影響する設計パラメータとなる GM 値、ビルジキールサイズ、ブリッジ配置等の感度解析を行い、効果を数値化して示した。タンクアレンジメントによる GM 変更やビルジキール拡張では効果に限界があるため、基準に適合するブリッジの限界高さを求め、限界高さ以上には手摺や安全帯等、乗員を守る安全装置（解説文書では Safety device）を施すのが現実的であることを示した。

③小型船の復原性試験法の提案

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所の調査船「たか丸」(船長 29.5 m) を用いて旋回試験と傾斜試験を実施し、旋回時に船体に働く力の釣り合いによる内方・外方傾斜角と GM の関係式を検討した。値が小さく再現性が低い内方傾斜と舵直圧力から GM を推定することは難しいが、外方傾斜と遠心力、横滑りの揚力から推定しても、推定値（赤）と計測値（青）の推定差が大きく、精度に課題が残ることが分かった（図Ⅰ．2．(1)．①．21）。



図Ⅰ．2．(1)．①．21　国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所の調査船「たか丸」(船長 29.5 m)の外方傾斜時に働く遠心力と揚力から推定した GM（推定値（赤）と計測値（青）の線の乖離が推定誤差）

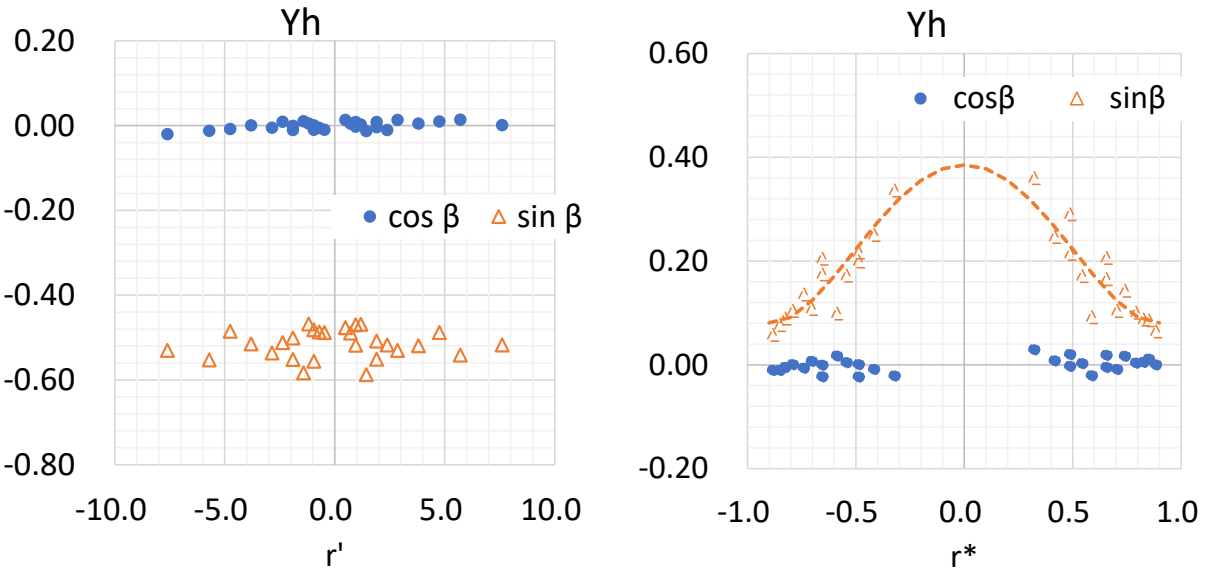
(4)港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

①錨泊中の船体に働く外力の推定手法の研究

昨年度導入した水槽試験法により、外航コンテナ船型と内航フェリー船型模型の振れ回り運動を想定した操縦流体力のデータを取得した。

また、昨年度計測をした肥大船の操縦流体力の計測結果を用いて解析手法の検討を行い、従前より提案されている Yaw Rotating Test の解析手法よりも計測結果との相関が強いことを確認した（図Ⅰ．2．(1)．①．22）。従前法は水槽試験で計測した操縦流体力を斜航角（β）で調和解析を行い、フーリエ級数で表現している。図Ⅰ．2．(1)．①．22 の(b)は、横力の $\cos\beta$ と $\sin\beta$ のフーリエ係数を示している。$\sin\beta$ の係数は斜航試験の計測結果を用いるとしており、解析の際にその成分を差し引いている。本来であれば $\sin\beta$ の係数は切片がゼロの r'（無次元回頭速度）の関数となるはずであるが、切片がゼロとはなっていない。これらの問題点を考慮した新たな解析手法を提案した。

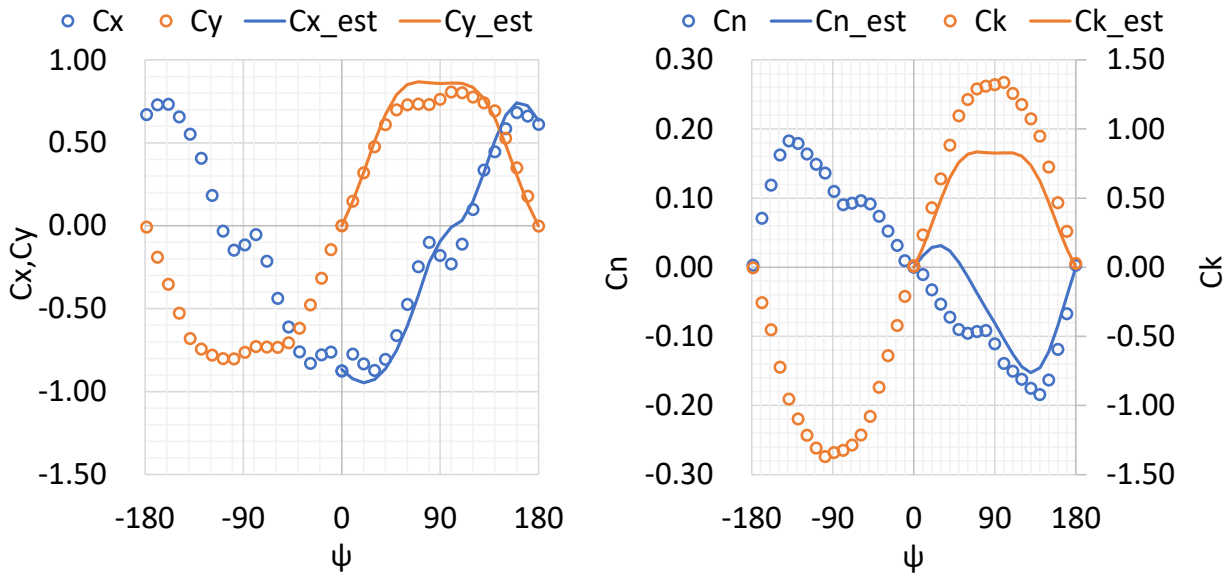
風外力については、錨泊頻度が高く、既存の風圧力推定モデルの対象外になる内航タンカー船型の風洞試験（喫水 3 種類、上部構造物 3 種類、船首フレア 3 種類の組み合わせを変更）を行い、推定モデル改良のためのデータを取得した。風圧力(Cx・Cy)とモーメント(Cn)の計測値（点）と既存推定式（線）との乖離状況を明らかにした（図Ⅰ．2．(1)．①．23）。



(a) 既存の解析手法　　(b) 新たな解析手法

図Ⅰ．2．(1)．①．22　操縦流体力の解析手法

((a)の既存解析手法より(b)の新規提案手法の方が物理的合理性が増し、関数表現の相関も高い)



図Ⅰ．2．(1)．①．23　喫水・上部構造物に働く風圧力(Cx・Cy)・モーメント(Cn)の比較
（点：計測値、線：推定式）
（計測値（点）と既存推定式（線）に一部乖離が見られる）

②錨泊時の喫水状態を考慮した波漂流力のデータベースの構築
　データベースを構築するにあたり、水槽実験結果のある船型を用いてプログラムの検証を行った。

③航海計器と航海機器などとの連携させる手法の確立
　航海計器や航海機器から船内 LAN を介してデータを取得するプログラムの動作設定や取得データの時系列グラフを表示する機能を追加した。
　また、共同研究相手先の陸上支援システムとの連携に必要なシミュレーションプログラムを改良した。シミュレーションプログラムとの入出力部については共同研究相手先が作成した（接続試験は来年度行う予定）。

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編
・Nobuaki Sakamoto, Takanori Hino, Hiroshi Kobayashi, Kunihide Ohashi: Parameter adaptation of k−ω SST turbulence model for improving resolution of moderately separated flows around 2D wing and 3D ship hulls via EnKF data assimilation, Journal of Marine Science and Technology, Volume 29, pp. 885–909, (2024).

□査読付き国際会議論文：3 編
・Hiroshi Kobayashi, Kunihide Ohashi: DUAL SINGLE PHASE APPROACH FOR COMPUTING BOTH WATER AND AIR FLOW AROUND A HULL, Proceedings of the 15th International Conference on Hydrodynamics (ICHD 2024), (2024).
・Takako Kuroda: Study of Parameters for Excessive Acceleration Failure Mode in Design Stage, Proceedings of the 2nd International Conference on the Stability and Safety of Ships and Ocean Vehicles (STAB&S 2024), (2024).
・Harukuni Taguchi, Hideki Miyazaki: Risk Assessment Application for Dragging Anchor "Ikari-ing" and Its Use for Accident Analysis, Proceedings of Global Conference on Naval Architecture and Ocean Engineering 2024 (G-NAOE 2024), (2024).

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件
・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
・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.4.02）

□その他

◆国際活動：1 件

・北川泰士: ITTC Manoeuvring Committee 委員（Kick-off ウェブ会議、第 1 回対面会合）

◆その他発表論文：7 編

・大森拓也, 大橋訓英: 狭水路を斜航する船体流体力への roll 運動影響について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 38 号, pp. 395-398, (2024).

・北川泰士, 塚田吉昭, 中西徹, 澤田涼平: 離着桟操船時の実船尺度操縦運動評価のための自由航走模型試験法, 海上技術安全研究所報告, 第 24 巻, 第 2 号, 総合報告, pp. 77-89, (2024).

・北川泰士, 塚田吉昭, 澤田涼平, 平田宏一: プロペラ遊転時の舵力モデルに関する実験的検証, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 269-275, (2024).

・廣田匡俊, 北川泰士, 小林寛: 水槽試験における離着岸試験用模擬岸壁の仕様検討を目的とした CFD 解析による側壁影響の検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 291-297, (2024).

・Kunihide Ohashi: OVERSET-GRIDS METHOD FOR FLOW COMPUTATION ON COMPLEX GEOMETRY AND ITS PERFORMANCE IMPROVEMENT WITH HYBRID PARALLELIZATION USING SHARED MEMORY AND DISTRIBUTED MEMORY TECHNIQUES, Proceedings of the 9th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2024), (2024).

・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法へのフルマルチグリッド手法の適用について, 日本流体力学会年会 2024 講演論文集, (2024).

・大橋訓英, 小林寛: 船舶の総合性能評価のための次世代 CFD 技術の高度化に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 24 巻, 第 4 号, 総合報告, pp. 45-67, (2025).

◆公開実験：1 件

・海上技術安全研究所 第 19 回船舶用 CFD セミナー（1/31 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

・船舶の離着桟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研究に取り組むことで、将来的に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貢献できる。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を通じて、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。また、造船所も参加した学会研究委員会で低速操縦運動モデルについて知見を共有し、自動運航船開発への貢献を図っている。さらに、狭水路対応については、運河における海難事故防止の観点から、造船所が建造船についての運航限界や操船ガイドを検討するための技術提供が期待される。

・開発している CFD 統合システムを活用した請負研究（重合格子手法による操縦運動シミュレーションのワークフロー構築等)を実施するとともに、代表者・分担について新たに科研費を獲得することができた。なお、提供している CFD 統合システムの実利用は 22 社となっている。

・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。動的復原性に起因する危険事象評価を設計にフィードバックして我が国造船業の国際競争力強化につながると期待される。また、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。小型船舶の安全運航要件策定への貢献が期待できる。

・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、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。舶用機器産業の付加価値強化にもつながるものである。

□成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか

・プロペラ遊転時の舵力モデル（干渉影響等）についての調査・公表事例は初めてである。また、水路内の操縦運動シミュレーションについては十分に検証された完成形はなく、本研究の成果から一般化できれば有意義である。また CFD による直接運動シミュレーションも新しい試みである。

・実際の塗料に基づく等価砂粗度モデルを新たに開発し、実船性能における各種粗度パラメータの影響や乱流エネルギーの違い等を明らかにした。また、上部構造物も一体となった格子に基づき自由表面を境界面とする、水・空気両方の流場を同時に計算する手法を開発した。

・本研究において開発中の均一造波法は、すべての水槽試験に共通するものであり一般性がある。

・振れ回り運動を想定した操縦流体力の計測では計測データの新たな解析手法を提案し、既存の解析手法よりも計測データとの相関が高いことを確認した。本解析手法を用いて低速時の操縦流体力の推定モデルを構築することが可能で、これまで推定モデルよりも推定精度の向上が期待される。

□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
・低速時操縦運動モデルの研究は日本が進んでおり、ITTC MC でも存在感を示せている。本重点課題の取り組みは ITTC を通じて発信される可能性もあり国際的にも意義があると言える。
・領域分割による分散メモリ型と共有メモリ型のハイブリッド並列計算手法を重合格子法に適用し、有効性を示した。また、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。
・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る。
・航海機器関連研究は国内の機器メーカーとの共同研究として取り組んでいる。本研究で想定しているシステムは船上での活用だけではなく、陸上支援システムでの活用の可能性を確認した。船上での活用では航海計器や航海機器から出力されているNMEAの規格に準拠したものを活用しており、共同研究相手先だけではなく他の国内の航海機器メーカーが活用することで国際競争力の向上につながると考える。

□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
・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は水槽試験データのない船への自動操船導入など将来考えられる状況を想定している。
・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、フルマルチグリッド手法の有効性を新たに示した。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R6年度）	A

【コメント】
・概ね全体計画通りに進んでいる。社会実装についても CFD ソフトウェアの定期リリースを実施しており、また復原性基準や錨泊等のソフトウェア提供への準備も進んでいる。
・科研費 2 件・費用充当型共同研究 1 件の獲得や ITTC へのプレゼンス等、所外からも意義を認められてきている。

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、「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（R6年度）	A

【コメント】
・日本が主導して策定した IMO の第二世代非損傷時復原性暫定基準に関する評価ソフトウェアを利用可能としたことは、我が国造船・海運業界に対する貢献が大きい。
・各種粗度と国際試験水槽会議(ITTC)の推奨プロシージャにある粗度修正係数推定式との関係を示し、実際の塗料に基づく等価砂粗度モデルを新たに開発したことは、科学的意義及び国際的競争力の向上の面で顕著な成果だと考える。
・海上輸送の安全の確保に貢献する多くの成果が得られ、科学雑誌掲載論文、査読付き国際会議論文、コアプログラム登録、公開実験で公表されていることが評価できる。

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、「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。

重　点　分　野	(1)海上輸送の安全の確保

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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 －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、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。等

○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

［R6 年度予算： 20,460 千円、研究担当者： 15 名］

研　究　の　背　景

従来、船舶の安全基準は主として運用の経験に基づいて策定されてきた。しかし、近年、国際海事機関（IMO）においては、長年の実績を待たずに、技術的検討に基づいて安全基準を策定する事例が増えている。さらに、具体的な安全対策を規定する記述的要件に代えて、安全目標と機能要件による規定方法が採用される傾向や、設計段階におけるリスク解析の要求など、新しい開発物を想定したより早い段階からのリスク対応を求めるようになっている。

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、また、従来とは異なる貨物の安全輸送を図るため、海上輸送を行う主体の事業者、基準策定や船の承認に係る主管庁および船級機関、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いる。このように海域を通航する船舶や貨物が多様化する中、成長戦略実行計画（2021年 6 月 18 日閣議決定）における洋上風力の導入目標達成に向けて海域利用の促進が予想されるため、海上交通の安全確保が必要となっている。

本研究課題では、これまでに実績が無い技術を導入した船舶、既存のガイドや規則の適用が難しい船舶を新コンセプト船とし、現在社会実装化に向けて開発されている自動運航船、新規燃料船、新規貨物船を対象に、これら海上輸送を取り巻く様々な技術の安全上の懸念を解決するため、安全性評価のためのリスク解析技術の開発と関連規則の策定に関する研究を実施する。

研　究　目　標

IMO や船級等の規則/ガイドライン等において、設計時にリスク評価を要求する例が増加しており、新コンセプト船の実現のためには、それらの船舶に適したリスク評価手法が必要である。また、新コンセプト船を代替設計の同等安全性評価により主管庁承認するためのリスク評価手法も必要である。

自動運航船の安全性評価においては、従来のハードウェア中心のシステムでは無く、ハードウェア・ソフトウェア・人間が相互に作用することを考慮した、大規模・複雑システムとしての自動運航船に適した定性的な評価手法、及び事例の存在しない自動運航船のリスクを定量的に推定する定量的評価手法を開発する。

現行規則にない新燃料（水素・アンモニア）使用に際して、リスクベースによる代替設計の同等安全性評価が重要となる。その評価に必要となる、燃料漏洩に伴う拡散・火災・爆発・急性毒性による影響度解析の実用的手法の開発を行う。

新規制対応に伴う廃炉等の結果、従来の核燃料や廃棄物のみならず、これまでに輸送実績が少ない解体廃棄物や溶融燃料が将来的に船舶輸送される可能性があり、放射性物質輸送の安全を確保するための安全評価手法を開発する。

海上保安庁の第 5 次交通ビジョンに掲げられる再エネ海域利用法施行を背景とした施設設置海域の海上交通の安全対策の策定、衝突リスク評価手法及び安全運航の監視評価手法に関する研究を実施する。また、運航・着離桟・荷役等の自動化には地形・気海象・港湾施設等のデジタル情報が必要であり、これらを地図の付加情報とする船舶版ダイナミックマッププラットフォーム（DMPF）の整備構築に関する技術的検討を実施する。

令和６年度の研究目標

（1）新コンセプト船に係るリスクベース評価手法の開発

①新コンセプト船のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発

・自動運航船の ConOps（Concept of Operations） の記載方法の指針案の開発

・リスク解析の入力となる資料を半自動的に作成する機能のリスク解析支援ツールへの実装

②新コンセプトに由来する不確実性を考慮したリスク定量化手法の研究

・自動運航船の衝突回避失敗確率の定量的な推定モデルの構築

・既存船の衝突発生に関するリスク影響因子（RIF）同定手法の構築

（2）新規燃料船に係る影響解析手法の開発

①物理化学現象を考慮した大気拡散解析に関する研究

・水への溶解を考慮したアンモニア蒸発プールモデルの改良

・ラグランジュ型のパフモデルに基づく大気拡散解析コードのプロトタイプ開発

（3）放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究

①放射性物質輸送に対する安全評価手法の開発

・大型解体廃棄物の内部表面汚染密度に関するデータ（放射性核種、汚染形状、位置と測定器への応答）のデータベース化

・放射線量（2023 年度に簡易計算法を構築し、海技研で開発した簡易遮蔽計算コードからの逆推定による内部表面汚染密度からの寄与）の簡易推定法の構築と妥当性検証

②放射性物質輸送における事故時影響評価手法の研究

・大気拡散解析に必須の乱流粘性係数の簡易推定のための代数的乱流モデルを予測子、乱流粘性係

数輸送モデルを修正子とする新規モデルの提案
・平板上の矩形物体周りの流れ場を対象とした数値実験、及び様々な乱流モデルに基づく CFD 解析結果並びに既報の風洞実験結果との比較による、経験式モデルに代わる流れ場の情報に基づく新規モデルの開発

（4）安全安心な海上交通環境の実現に関する研究
①交通ルール導入による影響評価及び衝突リスク評価手法の高度化に関する研究
・潮岬沖推薦航路の効果の検証と設計時の予測変化モデルとの差異の抽出
・新たな航路による船舶交通予測モデル化手法のアルゴリズム化と設計評価支援ツールの製作
・海難発生直後の航行状況解析ニーズに対応するための AIS 動画再生ツール（AISViewer）の拡張
②デジタル基盤を活用した安全運航の監視評価手法に関する研究
・DMPF のデジタル基盤活用に関する技術開発
・クラウド上へのテスト開発版 DMPF の構築

令和６年度の研究内容

（1）新コンセプト船に係るリスクベース評価手法の開発
①新コンセプト船のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発
自動運航船のリスク解析では、対象となる自動運航船の形態や使用方法等をまず理解する必要がある。そのような対象物と運用の概念は ConOps と呼ばれる文書として纏められることがシステム工学では一般的であり、それらの ISO 等の国際標準も存在するが、自動運航船に関しては確立されていない。自動運航船の ConOps の確立等に資する目的で、航空機等の他分野での記述を参考に自動運航船の ConOps の記載方法の指針案を開発した。
また、自動運航船のリスク解析では、ConOps を含む多くの資料の作成・解析が求められるが、それらは一般に人手で実施されるため作業負担等が大きい等の課題がある。そこで本研究ではリスク解析の負担軽減等に資する目的で、自動運航船のリスク解析支援ツールの開発を実施しているが、今年度は「自動化システムと人間の役割分担の概要」と「自動化システムの内部動作の概要」に関する資料を半自動的に作成する機能を実装した。
②新コンセプト船に由来する不確実性を考慮したリスク定量化手法の研究
自動運航船は ODD（Operational Design Domain）と呼ばれる自動運航システムが適切に機能する運用の範囲の内にある場合に、自動運航を実施する。そのため、自動運航船のリスクを適切に推定するためには ODD を考慮する必要があるが、そのような既往研究は存在しなかった。そこで、本研究では ODD を考慮した衝突回避失敗確率推定モデルを構築し、自動運航船の衝突回避失敗確率を定量的に推定した。また、既存船、自動運航船問わず、リスクモデルでは RIF を適切に考慮する必要があるが、これまでのリスク評価では専門家判断が多用されており客観性に課題があった。そこで本研究では客観的な RIF 同定に資するために、データ駆動型アプローチにより既存船の衝突事故発生の RIF を同定した。

（2）新規燃料船に係る影響解析手法の開発
①物理化学現象を考慮した大気拡散解析に関する研究
アンモニアの海水への溶解モデルについて、米国において過去に実施された液化アンモニアの水上漏洩実験の結果を再現するよう物質移動係数の修正を行った。
蒸発後のアンモニアが大気拡散する現象について、これまでに開発している質量保存流速場モデルによって推定された気流場に基づいて化学物質の拡散現象を解くためのラグランジュ型パフモデルのプロトタイプの開発を行った。

（3）放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究
①放射性物質輸送に対する安全評価手法の開発
大型解体廃棄物の内部表面汚染密度を簡易的に推定するため、放射性核種、汚染の形状及び位置、それに対する測定器の応答を試験的にデータベース化した。それを用いて測定値から汚染密度分布を推定する手法の妥当性を検証する作業を行った。また、事業者等による迅速な汚染密度評価を支援するため、海技研が提案する内部表面汚染密度の簡易推定法を計算コードに実装する作業を開始した。
②放射性物質輸送における事故時影響評価手法の研究
解体廃棄物や燃料デブリといった新たな輸送物に対する事故時の影響評価に対応するため、漏洩源に関するデータベースを構築した。これにより、放射性物質の拡散計算においては、屋外体系に適用可能な代数的乱流モデルに代わり、レイノルズ応力の輸送方程式を基に発展させた乱流粘性係数輸送モデルを選定した。乱流粘性係数の計算値は、実験結果の傾向を再現できた。

（4）安全安心な海上交通環境の実現に関する研究
①交通ルール導入による影響評価及び衝突リスク評価手法の高度化に関する研究
2023 年 6 月 1 日午前 9 時より開始されている潮岬沖推薦航路の効果検証のためのフォローアップ調査を行い、衝突危険性軽減効果を確認するとともに課題及び効果向上のための要点を示した。事故解析への適用を目的とし、船舶間の物理的危険性との比較により事故前の操船者の衝突危険認知状況の適正さを評価するため、定量化 OZT（Obstacle Zone by Target）を用いた衝突危険認知評価手法の適

用性検証と課題を抽出した。業務プロセスの最適化を目的とした各種ツールの整備・改良を行った。

②デジタル基盤を活用した安全運航の監視評価手法に関する研究

海技研クラウド上にDMPFを構築するための要素技術として、外部機関システムからのデータ取得方法、システムアーキテクチャ等を検討し、プロトタイプを構築した。

令和6年度の研究成果

（1）新コンセプト船に係るリスクベース評価手法の開発

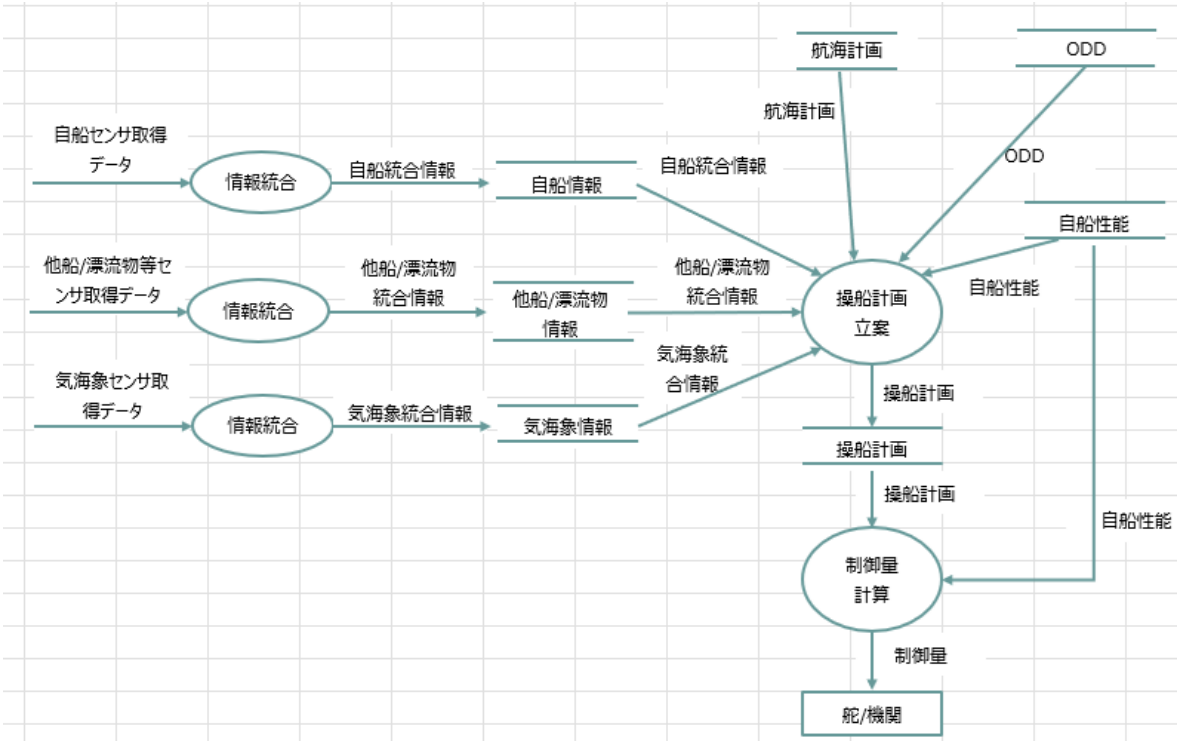
①新コンセプト船のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発

航空、鉄道、船舶の各分野の ConOps に関する文献を調査し、それぞれの対象及び主な記載事項(core elements)を整理し、その整理結果から自動運航船に類似したシステムの ConOps に記載すべき重要な要素を同定した。更に、自動運航船の初期設計段階のリスク評価に主に焦点を当てて、自動運航船の ConOps のフレームワークを作成した（図Ⅰ. 2. (1). ①. 24）。これらの研究で得た知見を活かし、IMO における MASS コード策定審議における ConOps フレームワーク構築に関する議論に貢献するとともに、国内関係者の理解向上へ寄与している。また、自動運航船のリスク解析支援ツールに関しては、ExcelVBA により開発しており、これまでにシステムアーキテクチャ図作成支援機能、HAZID（Hazard Identification）のワークシートの作成支援機能を実装済みであったが、今年度は「自動化システムと人間の役割分担の概要」を示すテーブル作成支援機能、「自動化システムの内部動作の概要」を示すデータフローダイアグラム（DFD）作成支援機能を実装した（図Ⅰ. 2. (1). ①. 25）。

Cover Page Table of Contents 1. Introduction 2. Documents	3. Envisioned System – Objectives and Roles of the System – Constraints in Achieving Objectives – Overview of System and Related Entities – Key Elements/Functions and Modes of the System	4. Use Cases – Overall Operation Phases – Use Cases Corresponding to Each Phase Appendix A: Acronyms Appendix B: Glossary of Terms

図Ⅰ. 2. (1). ①. 24 自動運航船の ConOps の目次案

（a）入力画面



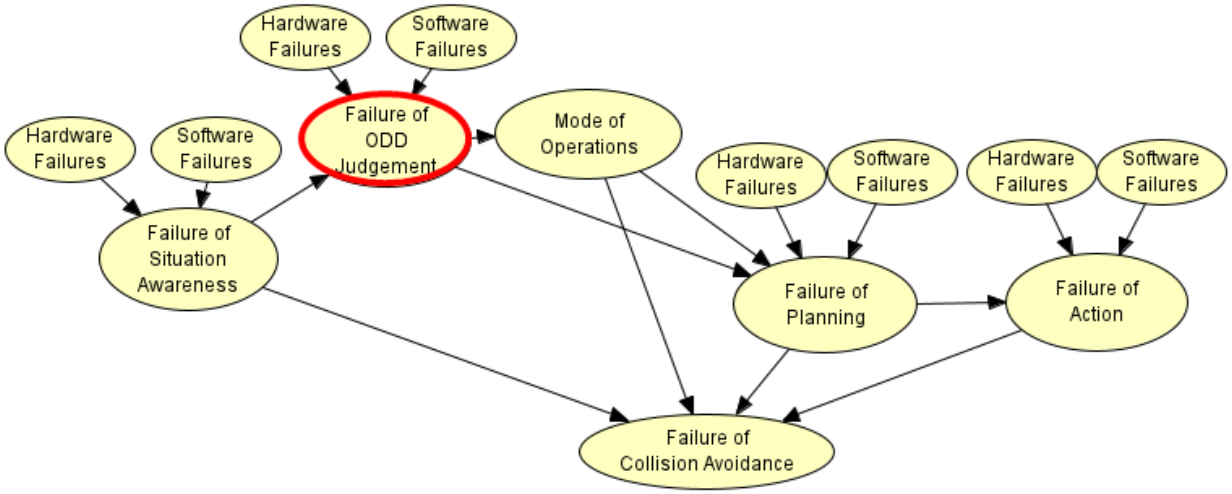
（b）出力結果の例

図Ⅰ．2．(1)．①．25　自動運航船のリスク解析支援ツールにおけるDFD作成支援機能

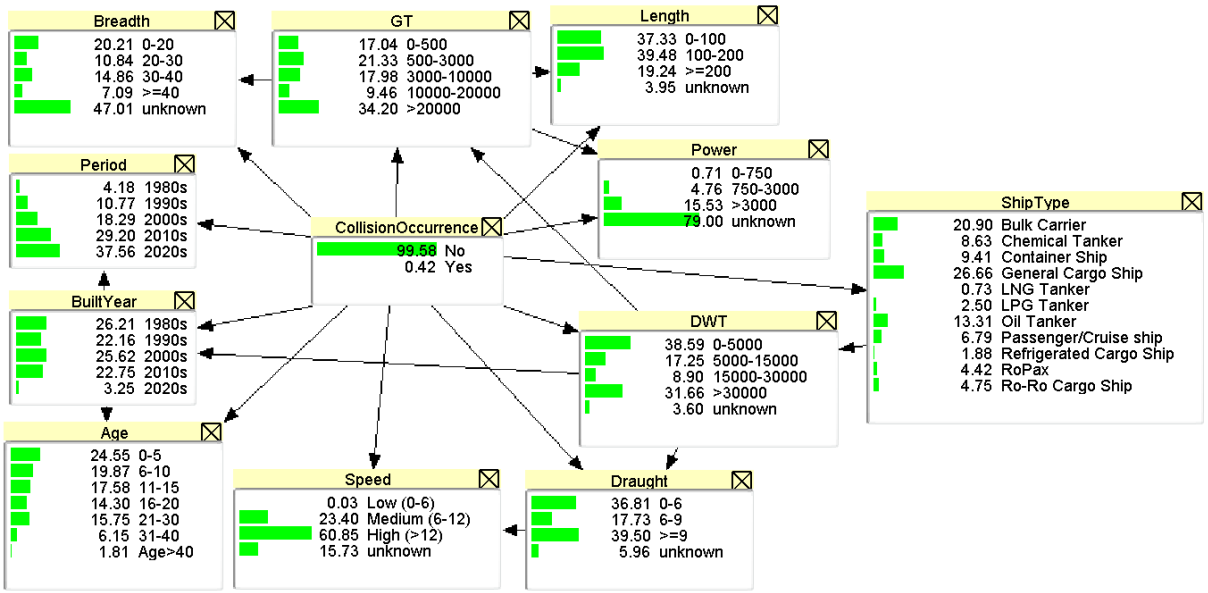
②新コンセプト船に由来する不確実性を考慮したリスク定量化手法の研究

ODD を考慮した自動運航船の衝突回避失敗確率推定モデルをベイジアンネットワーク(BN)により構築し、衝突回避失敗確率の推定、不確実さ解析、認知システムを二重化した場合の効果（衝突回避失敗確率の低減量）を推定した（図Ⅰ．2．(1)．①．26）。また、データ駆動型アプローチによる衝突事故発生の RIF 同定モデルを BN により構築し、S&P Global 社（旧 IHS Markit 社）の船舶要目データベースと海難データベースを使用し、既存船の RIF を同定した（図Ⅰ．2．(1)．①．27）。なお、RIF は、船舶要因、

環境要因、人的要因の 3 つに大別されるが、本研究では RIF として主に船舶要因のみに着目して分析を実施した。その結果、事故発生年代、総トン数、喫水、船幅が重要な RIF として同定された。



図Ⅰ．2．(1)．①．26　ODD を考慮した自動運航船の衝突回避失敗確率推定モデル



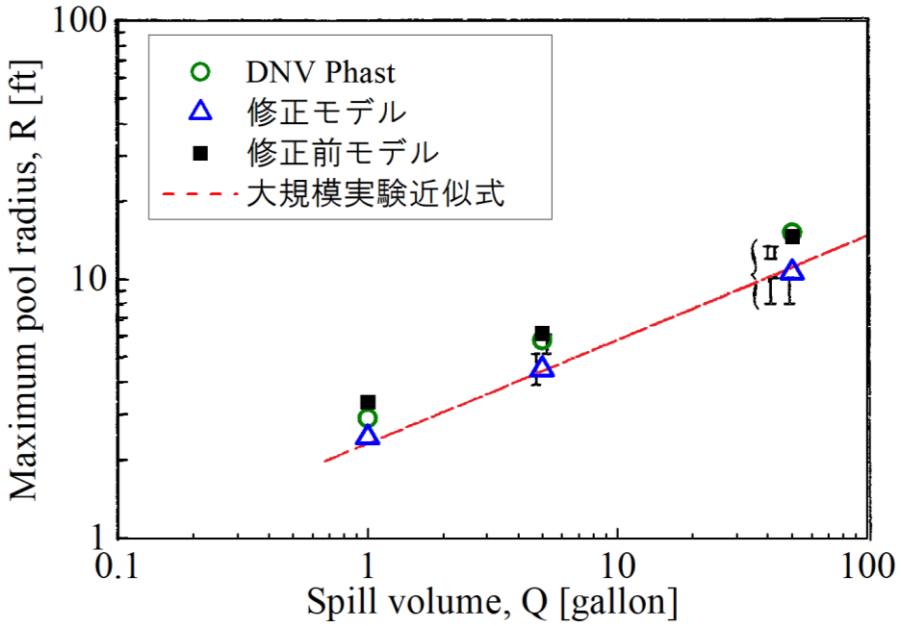
図Ⅰ．2．(1)．①．27　データ駆動型ベイジアンネットワークによる既存船の衝突発生に関する BN モデル

(2)新規燃料船に係る影響解析手法の開発

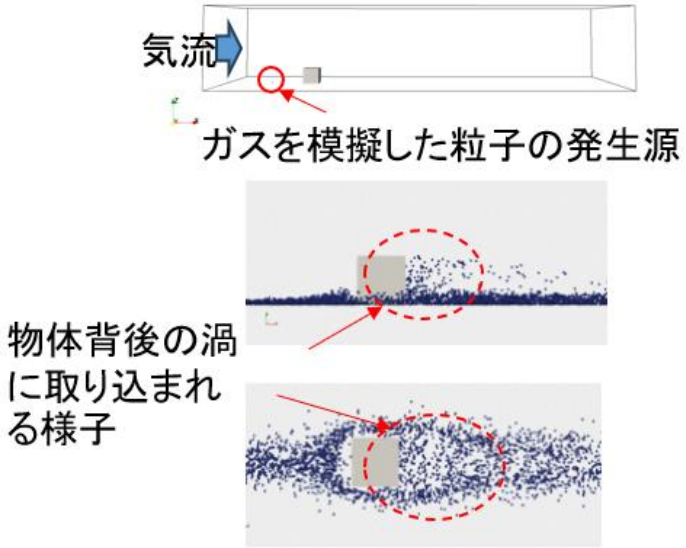
①物理化学現象を考慮した大気拡散解析に関する研究

船から海上へ漏洩した液化アンモニアによる被害影響度予測においては、気化して大気拡散に移行するアンモニアのソースタームの予測、及び気化した後のガス拡散性状の予測が極めて重要となる。昨年度より、海上漏えいした液化アンモニアの水への混合・溶解・蒸発現象を考慮するプールモデルに関する研究を行っているが、今年度はプールモデルに組み込まれている Dodge et al. (1983) が提案したアンモニアから水へ溶解する際の物質移動モデルの係数を修正した。その結果、修正モデル(△)は赤破線で示した Raj ら(1974)の水上への液化アンモニア漏洩実験結果から得られた近似予測式を良好に再現できた(図Ⅰ．2．(1)．①．28)。

蒸発後のアンモニアガスの大気拡散モデル(パフモデル)構築のため、船体構造等による局所的な気流性状を考慮したラグランジュ型のパフモデルのプロトタイプを作成した。大気流場中の物体まわりの流れを質量保存流速場モデルによって求め、ラグランジュ型のパフモデルに組み込んだ結果、既存の簡易評価モデルでは再現することが不可能な物体背後の渦に巻き込まれながら拡散する様子が再現できた(図Ⅰ．2．(1)．①．29)。



図Ⅰ．2．(1)．①．28　アンモニア蒸発プールの最大半径と漏洩量の関係
（Raj et al.(1974)の実験結果に基づく近似式（赤線）に対して、修正モデル（△）はアンモニアの漏洩量に対する最大蒸発プール半径を良好に予測している）



図Ⅰ．2．(1)．①．29 ラグランジュ型パフモデルの試計算結果

（3）放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究

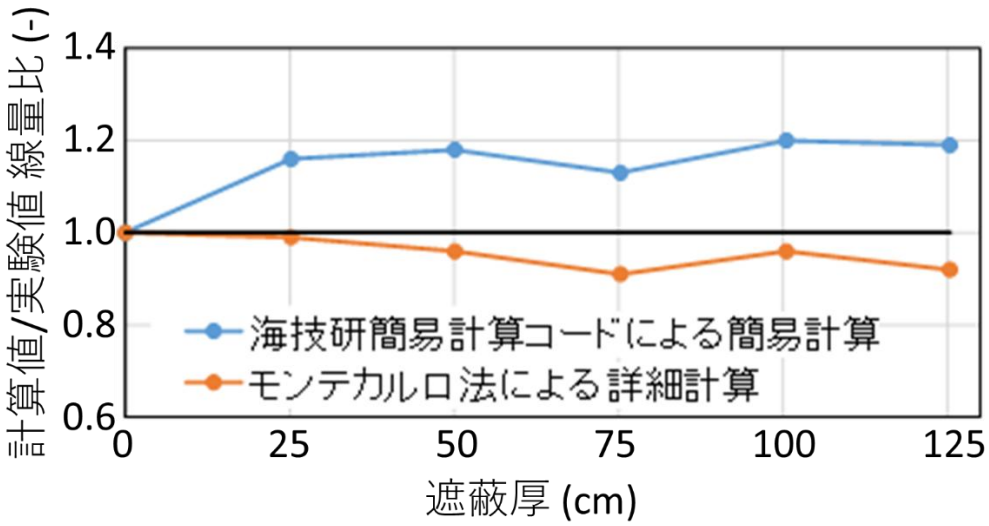
①放射性物質輸送に対する安全評価手法の開発

大型解体廃棄物の放射性物質による内部表面汚染密度（以下、内部表面汚染密度）の推定手法構築を目的として、入力となる放射線量を計算するための簡易計算コード（2023 年度に改良）の適用性を検証した。従来のモンテカルロ計算コードと比較して、計算時間を 1/100 以下に大幅に短縮しつつ、安全側（約 20%高め）で実験値を再現する結果を得た（図Ⅰ．2．(1)．①．30）。さらに蒸気発生器の輸送を計画している電力事業者と規制当局との会合において、内部表面汚染密度推定手法を検討し、海技研が提案する「感度（計算値）と測定値の連立方程式を用いる手法」（図Ⅰ．2．(1)．①．31）を安全評価に用いることの妥当性を確認した。

②放射性物質輸送における事故時影響評価手法の研究

簡易な質量保存流速場モデルから得られる気流情報を用いて放射性物質の大気拡散計算を実施するにあたり、屋外体系に適用可能な代数的乱流モデルから乱流粘性係数を一次推定値として算出し、レイノルズ応力の輸送方程式を発展させた乱流粘性係数輸送モデルにより修正する方法を考案した。矩形物体周りの流れ場に適用したところ、乱流粘性係数の分布は、実用的に最も広く利用されている乱流モデル（k-ε モデル）を使用した数値流体解析結果に対し、簡易計算法（計算時間は約 1/100 に短

縮）ではあるものの比較的再現性の高い結果が得られた（図Ⅰ．2.（1）.①. 32）。

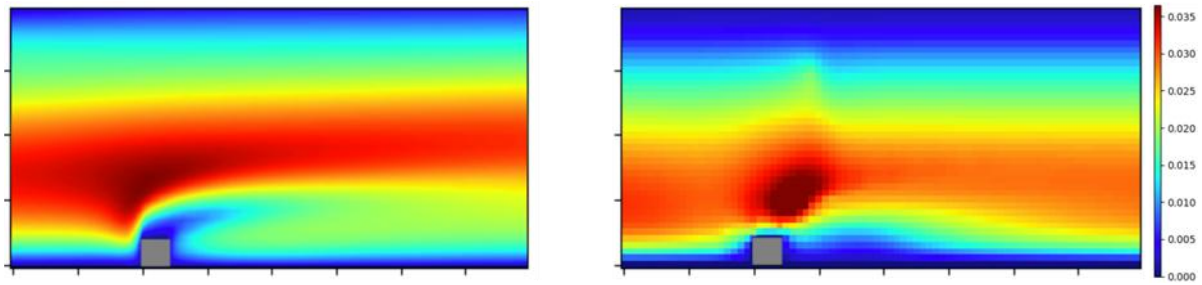


図Ⅰ．2.（1）.①. 30　海技研簡易計算コードと詳細計算の比較
（簡易計算では詳細計算値を安全側に 20%以内で再現させることができた）

$$A_i = \frac{D_k - \Sigma_{j \neq i} A_j F_{jk}}{F_{ik}}$$

A_i：部位iにおける汚染密度（未知）、D_k：評価点kにおける線量等量率
F_{ik}：部位iにおける単位汚染密度当たりの評価点kにおける線量等量率

図Ⅰ．2.（1）.①. 31　海技研が確立した内部表面汚染密度推定手法の式
（この計算式を実装した簡易計算と詳細計算との比較は図Ⅰ.2.(1).①.30 に示す通りである）



（a）数値流体解析結果　　（b）本提案手法による結果

図Ⅰ．2.（1）.①. 32　矩形物体周りの流れ場の乱流粘性係数の分布.（気流場の基礎方程式を解くことなく、本提案の簡便なモデルの組み合わせでも全体的な分布傾向が再現されている.）

（4）安全安心な海上交通環境の実現に関する研究

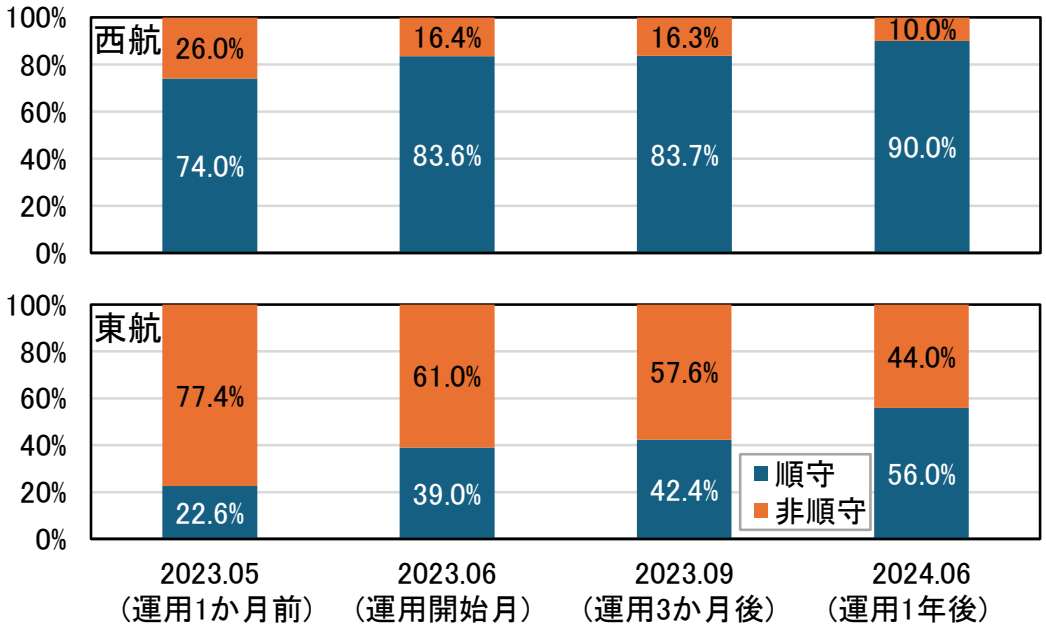
①交通ルール導入による影響評価及び衝突リスク評価手法の高度化に関する研究

潮岬沖推薦航路の運用開始前後の船舶交通状況として、AIS（Automatic Identification System、船舶自動識別装置）データにより通航位置分布と航路順守率の変化を確認した。その結果、航路適用船のうち、西航船の順守率は運用開始前後共に高い一方で、東航船は上昇傾向にはあるが運用 1 年後でも 56.0%と低い順守率に留まっていた（図Ⅰ．2.（1）.①. 33）。また、東西ともに非順守船のうち約 70%が、航路の入口から出口まで逆向きに航行している船舶であった（図Ⅰ．2.（1）.①. 34）。全体的な順守率の向上は、この逆向きに航行する船舶数を減少させることが重要であることを示した。また、海上保安庁による制度周知活動（2023 年 12 月、2024 年 6 月実施）後の順守率が上昇していることから、周知徹底を図ることが基本的な安全対策として有効であることが確認できた。

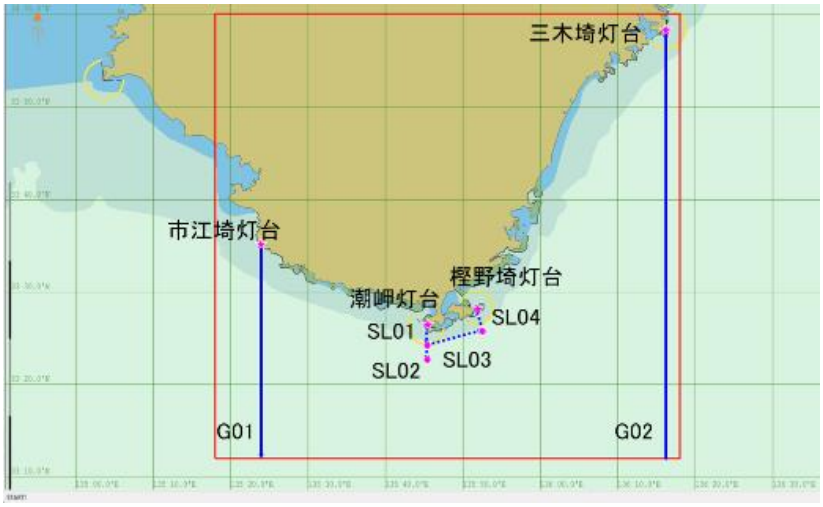
定量化 OZT を用いた衝突危険認知評価手法は、前中長期計画にて構築した手法であるが、その検証方法は運輸安全委員会が公表している事故調査報告書から選定した一つの衝突事例だけであっ

た。そこで他の衝突事故に適用可能かの検証を行い、その手法の適用性検証と課題を抽出した。その結果、課題の一つとして、定量化の対象範囲設定の不適合により、特に回頭中の船舶において、進行方向に OZT が分布しているにもかかわらず当該 OZT が定量化の対象外となるという問題が挙げられた。引き続きこの解決方法の検討と検証を進めている。

新たな航路による船舶交通の予測モデル化手法を組み込んだ設計評価支援ツールの整備を行った。その結果、AIS データで観測された通航位置分布を近似化した推定モデルに基づき、可航域等の制限を考慮した航路導入後の予測モデルを立て、結果を可視化する一連の流れを大幅に短縮（約 1/5）することが可能となった。また、事故初動解析に使用する AISViewer（AIS 動画再生ツール）においてビッグデータの半自動入力機能の追加改修を行い、解析時間が 1/3 程度に短縮できた。



図Ⅰ．2.（1）．①．33　潮岬沖推薦航路適用船舶に対する順守非順守船舶の割合
（西航船の順守率は運用開始前後共に高い一方で、東航船は上昇傾向にはあるが運用 1 年後でも低い。また、海上保安庁による制度周知活動（2023 年 12 月、2024 年 6 月実施）後に順守率が上昇した。）



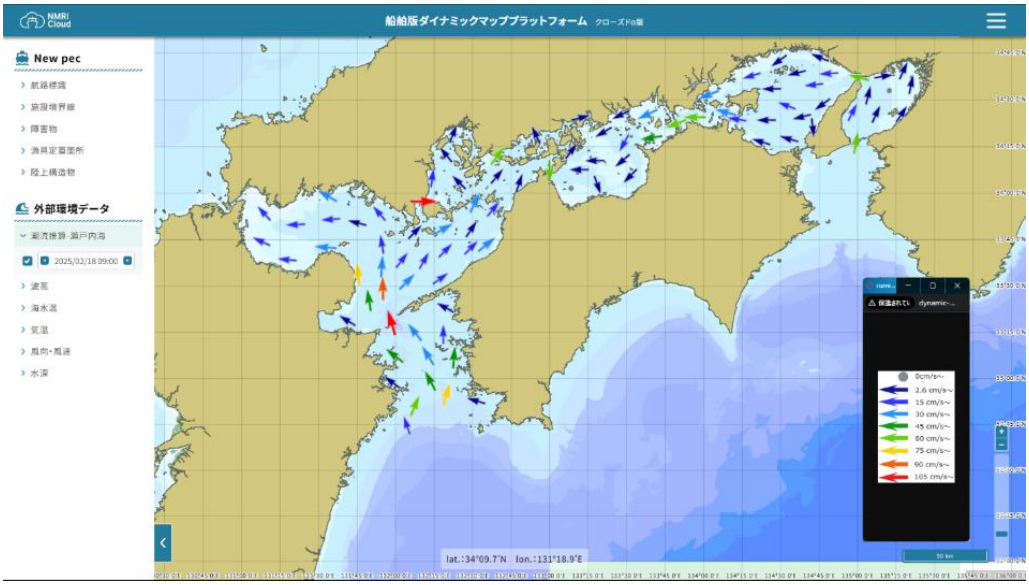
(a) 解析対象海域（赤枠）と仮想線（青線）の設定位置
（仮想線のうち、海域への出入り計測判定は青実線（G1 および G2）、推薦航路の通航判定は青点線（SL01 から SL04、なお SL3 は推薦航路）を使用）

航行方向	入口	推薦航路1	推薦航路2	推薦航路3	出口	各経路の割合（東西別）
西航	G02	SL02			G01	69.2%
	(240)	(166)			(166)	
		SL03	SL01		G01	11.7%
		(28)	(28)		(28)	
		SL04	SL03	SL02	G01	19.2%
		(46)	(46)	(46)	(46)	
東航	G01	SL01	SL03		G02	13.2%
	(1034)	(850)	(136)		(136)	
			SL04		G02	69.1%
			(714)		(714)	
		SL02	SL03	SL04	G02	17.8%
		(184)	(184)	(184)	(184)	

(a) 図に示す仮想線識別文字
（通航隻数）

(b) 2024 年 6 月における非順守船舶の通航経路の樹形図
（例えば、西航の G02-SL02-G01 は海域への入口となる仮想線 G02 を通航後、SL02 のみを通航し、仮想線 G01 から海域を出る場合の経路を示している。）
図Ⅰ. 2. (1). ①. 34　非順守船舶の通航状況の分析結果
（東航船は仮想線 G01 を通航後、SL02 を通過し、G02 から海域を出る経路が順守航路であるため、西航の G02-SL02-G01 は東航船の航路を完全に逆向していることを意味する。同様に、東航船の G01-SL01-SL04-G02 は西航船の順守経路（G02-SL04-SL01-G01）を完全に逆向する経路である。
すなわち、東西ともに非順守船舶の約 7 割（西航の G02-SL02-G01（69.2%）、および東航の G01-SL01-SL04-G02（69.1%））は対航する船舶の順守航路を入口から出口まで逆向きに航行している船舶である。））

②デジタル基盤を活用した安全運航の監視評価手法に関する研究
ユースケースとして想定した航海日誌作成支援に必要な情報として、潮流情報、風向風速情報、有義波高情報、水深情報をモデルデータとして、それぞれの情報の発信状況に適した取得および地図への表示方法、クラウドを使用したシステムアーキテクチャを検討し、海技研クラウド（テスト版環境）にテスト開発版 DMPF を構築した。引き続きユースケースにおける DMPF の有効性確認のため、必要な機能の実装方法等を検討し、実装予定である。



図Ⅰ．2．(1)．①．35　ダイナミックマップを用いた潮流データの表示例

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Yusuke Matsuya, Yuji Yoshii, Tamon Kusumoto, Tatsuhiko Ogawa, Seiki Ohnishi, Yuho Hirata, Tatsuhiko Sato, Takeshi Kai: Development of a chemical code applicable to ions based on the PHITS code for efficient and visual radiolysis simulations, Physical Chemistry Chemical Physics, Volume 27, pp. 6887–6898, (2025).

□査読付き国際会議論文：5 編

・Tomohiro Yuzui, Hiroko Itoh: Quantitative Risk Analysis of Collision of Maritime Autonomous Surface Ships, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management of Nuclear Facilities (PSAM17 &ASRAM2024), (2024).

・Hiroko Itoh, Takeshi Matsuoka: Exploring ConOps Prototypes for Initial Risk Assessment of Autonomous Ship Operations, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management of Nuclear Facilities (PSAM17 &ASRAM2024), (2024).

・Junichi Kudo, Arata Kimura, Hiroko Itoh, Hideyuki Oka: Probabilistic Approach to Risk Assessment for Alternative Design of Hydrogen Fuel Tank Arrangements on Small Ships, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management of Nuclear Facilities (PSAM17 &ASRAM2024), (2024).

・Rikako Asaumi, Rina Miyake, Hiroko Itoh: Application of Quantitative Obstacle Zone by Target (OZT) Method to Situation Awareness Assessment for Ship Collision Accidents, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management of Nuclear Facilities (PSAM17 &ASRAM2024), (2024).

・Y. Oka, A. Tanno, H. Oka, C. Iwamoto, Y. Sakurai: Semi-empirical model of velocity attenuation of smoke layer in tranquil flow region in arched ceiling tunnel, Proceedings of 13th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology (AOSFST 2024), (2024).

□各種表彰の受賞：3 件

・Sonoko Kawashima, Hiroko Itoh, Yasumi Kawamura and Hiroki Otsuka: 日本航海学会論文賞, Analysis of the Situation Awareness of Remote Ship Operators in an Emergency: A Simulation-based Study for Small Ships, 日本航海学会, 2024 年 5 月.

・塩苅恵，他: 理事長表彰（個人表彰、最優秀論文賞），Structure model-based hazard identification method for autonomous ships, Reliability Engineering and System Safety, 海上技術安全研究所, 2024 年 12 月.

・三宅里奈，工藤潤一，伊藤博子: 日本水路協会水路技術奨励賞，和歌山県潮岬沖における推薦航路の設定に向けた海上交通流の評価技術の開発，日本水路協会, 2025 年 3 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：1 件

・特許出願: 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

□その他

◆国際活動：4 件

・塩苅恵: IMO MSC 110/5 Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Report of the Correspondence Group（2025）
・工藤潤一: IMO CCC 10/4/4 Comments on document CCC 10/4 regarding the requirements for filling limit (2024)
・近内亜紀子: IAEA 放射性物質安全輸送規則 SSR-6(Rev.1)改訂への貢献
・近内亜紀子: IAEA 輸送安全基準委員会（TRANSSC）実務課題技術専門家グループ議長として付託事項について第 48 回および第 49 回輸送安全基準委員会（TRANSSC48 及び 49）に報告書提出

◆その他の全文査読付き論文等：1 編
・河島園子: 複雑な海上交通流に対する船舶同士の衝突発生の定量評価手法の開発とそれに基づく安全運航技術の確立, 横浜国立大学学位論文（博士（工学））, (2024).

◆その他発表論文：17 編
・石村惠以子, 沼野正義, 疋田賢次郎: 自動運航船の推進機能の維持の検討, 第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 215-216, (2024).
・柚井智洋, 伊藤博子, 石村惠以子: 自動運航船のリスク解析・評価 海上技術安全研究所における研究の紹介, 日本船舶海洋工学会誌 KANRIN（咸臨）, 第 118 号, pp. 23-28, (2025).
・石村惠以子, 高野慧、笛木隆太郎、塩苅恵、伊藤博子、柚井智洋、三宅里奈、工藤潤一: 自動運航船のリスク解析 ―タスクベースのハザード同定手法―, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-18, (2024).
・木村新太, 岡秀行, 岡泰資: 障害物の影響を考慮した浅層モデルに関する検討, 第 57 回安全工学研究発表会講演予稿集, (2024).
・奥野功一, 前中敏伸, 大石晃嗣, 吉田昌弘, 中田幹裕, 平尾好弘, 天野俊雄: 遮蔽材料標準の策定について (27)標準で規定する組成及び、その補正方法と適用, 日本原子力学会 2025 年春の年会予稿集, (2025).
・中田幹裕, 坂本幸夫, 石川智之, 奥野功一, 平尾好弘, 天野俊雄, 中島宏: 遮蔽材料標準の策定について (26)遮蔽材料組成標準の概要, 日本原子力学会 2025 年春の年会予稿集, (2025).
・奥野功一, 前中敏伸, 大石晃嗣, 吉田昌弘, 中田幹裕, 天野俊雄, 平尾好弘: 遮蔽材料標準の策定について(25) -規定組成に対する組成補正法-", 日本原子力学会 2024 年秋の大会予稿集, (2024).
・箱崎健一: 湿式の使用済燃料用輸送容器の遅延衝撃評価, 日本原子力学会 2024 年秋の大会予稿集, (2024).
・伊藤博子, 木村新太, 山田安平, 三宅里奈, 柚井智洋, 工藤潤一, 河島園子: 船舶のリスク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 24 巻, 第 4 号, 総合報告, pp. 1-43, (2025).
・Hiroko Itoh: Towards Safer Seas: Recent Advances in Maritime Traffic Research and Safety Measures, Proceedings of the World NAOE Forum 2024, (2024).
・三宅里奈: 船舶の安全航行のために ー新航路の構築ー, 日本船舶海洋工学会造船設計・生産技術研究会第 140 回造船設計部会, (2024).
・三宅里奈, 伊藤博子: 潮岬沖推薦航路の導入に伴う船舶交通の変化と 衝突危険性への影響（第一報）, 日本航海学会第 151 回講演会予稿集, pp. 17-20, (2024).
・三宅里奈, 工藤潤一, 伊藤博子: 和歌山県潮岬沖における推薦航路の設定に向けた海上交通流の評価技術の開発, 日本水路協会, 令和 6 年度水路技術奨励賞 表彰式及び祝賀懇談会 受賞者ポスター発表, (2025).
・瓶子桜太, 岡秀行: ゼロ方程式乱流モデルにおける速度壁面境界条件の検討, 安全工学シンポジウム 2024 講演予稿集, (2024).
・岡泰資, 岡秀行: アーチ型天井トンネル内を伝播する煙層の速度減衰予測モデルの提案, 熱工学コンファレンス 2024 予稿集, (2024).
・岡泰資, 櫻井幹記, 岡秀行, 丹野碧: 自然換気下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の速度減衰について, 第 57 回安全工学研究発表会講演予稿集, (2024).
・桑原識裕, 櫻井幹記, 岡秀行, 岡泰資: 平行平板間流れにおける障害物周りの循環流を再現する簡易代数モデルの提案, 第 38 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, (2024).

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及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、十分に大きいか
・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。
・開発する物質移動モデルや大気拡散モデルは、アンモニアのみならずメタノール等の水溶性を有する新規燃料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について懸念する海上防災機関の要望に応えるものである。
・大型解体廃棄物の内部表面汚染密度を推定するため、2023 年度に改良した海技研遮蔽計算コードの検証を行った。その結果、従来のモンテカルロ法と比べて計算時間を 1/100 以下に短縮しつつ、安全側（約 20%高め）で実験値を再現できることを確認した。これにより、従来法と比較して高い計算効率と十分な精度を両立させた新たな遮蔽計算手法を確立し、実務への応用可能性を示した。
・海難の最も多く占める衝突を予防するためには、その原因や状況を把握することが重要であり、それを支援するための船舶交通ルールの効果検証方法や事故解析のための衝突危険認知評価手法等の客観的な評価方法の開発に取り組む本研究の科学的意義は大きい。
・なお、本研究の成果によって 3 件の表彰を受けており、科学的意義が十分にあると認められる。

□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。安全確保を支援する実用的なシステムの完成に向けて必要な推定法の構築及び検証を進めており、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
・新コンセプト船に係るリスクベース評価手法の開発は、自動運航船のリスク解析に関する国際的動向を的確に捉え、定性的・定量的に客観性を高める手法を提案している。ガイドラインや MASS Code 策定の流れに先行し、未整備な評価手順の明確化を図るなど、先見性と機動性をもって対応している。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R6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プールモデルの高精度化、及び蒸発後のアンモニアガスの拡散現象に関して局所的な気流性状を考慮した大気拡散モデル（パフモデル）のプロトタイプを作成した。本研究は、社会ニーズが高いアンモニア漏洩のリスク解析に必要な技術であり、高い社会ニーズに対応するための成果を創出している。
・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開発し、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レイノルズ応力の輸送方程式を発展させた乱流粘性係数輸送モデルを導入することにより、計算結果が実験値との良好な結果を得た。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。
・安全安心な海上交通環境の実現に向けて、船舶交通ルールのフォローアップ調査、事故解析手法の高精度化、デジタル基盤を活用した運航支援技術の開発等を進めており、船舶交通の安全確保及び自動運航の普及促進に貢献する成果を創出している。

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、その成果については外部からの表彰を受賞しており、「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（R6年度）	A

【コメント】
・自動運航船のリスク評価について、IMO における MASS コード策定審議に貢献しており、成果が期待された時期に創出されていることは評価できる。
・現在我が国が直面する、大型放射性解体廃棄物の海上輸送における安全確保に関する課題に対して、大型解体廃棄物の内部表面汚染密度の簡易推定法を開発し、従来のモンテカルロ法と比べて計算時間を 1/100 以下に短縮しつつ、かつ安全側での評価を可能としたことは、社会的価値及び科学的意義の面で顕著な成果であるといえる。
・潮岬沖における推薦航路の設定で外部表彰を受けた点について、高く評価される。
・自動運航・代替燃料など社会的意義の高いテーマです。社会実装をイメージした成果があがっていると考えられ、IMO や国内の基準・規制への貢献を期待できる。
・潮流、風向データ等が一度に見られるのは非常によく、かつそれが即時的にダイナミックマップとして見ることができることは、さまざまな面において有意義であるといえる。

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、「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。

重　点　分　野	(1)海上輸送の安全の確保

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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 －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、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。等

○操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究 ［R6 年度予算： 20,847 千円、研究担当者： 14 名］

研　究　の　背　景

海上輸送の分野において船員の不足や高齢化が深刻な問題となっており、船員に受け入れられる省人化、無人化及び負荷軽減が求められている。欧州においては、船舶の安全性向上、運航コストの削減等を目的として、自動運航に関する研究・開発が始まっており、国際競争にさらされている我が国の海運・造船といった海事産業も、この動きに対応していく必要がある。また、自動運航船の課題の 1 つに安全性の確保が挙げられ、従来の安全性を担保する必要がある。

また、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。その後、フェーズ 3 として、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の開発を進めていく計画とされている。そのため、そのコア技術となる他船や航路といった様々な条件下で自船がどのような操船を行うべきか決定するための「自動操船アルコリズム」の更なる開発は今後も必要と予測される。

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」と網羅的な検証を高速で実施する「ファストタイムシミュレータ」を併用することが有用であり、海上技術安全研究所では、自動運航船の技術開発及び安全評価技術の開発に対応するため、これまでの操船リスクシミュレータに代わりフルミッション型の操船シミュレータである SHS（Ship Handling Simulator）と高速シミュレーションが可能な FTSS（Fast Time Ship Simulator）で構成された総合シミュレーションシステムを整備した。また、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、SHS 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並びに波浪動揺の影響までもリアルに反映されることが求められる。

研　究　目　標

自動運航船の実現に向けた取り組みとして、自動避航及び係船を含む自動着桟を統合したシステムを開発する。また、操船自動化・操船支援システムの安全評価技術を確立する。

自動運航技術の開発及び安全評価に必要な総合シミュレーションシステムに関して、再現精度向上のため外洋外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法を開発する。

令和６年度の研究目標

（1）情報通信を利用した自動避航・着桟システムに関する研究
- ・避航操船・離着桟システムの改善と計測技術高度化の検討_体裁修正
- ・実船予備試験と課題抽出

（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
- ・避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の確立
- ・人の関与を考慮した緊急時対応の機能要件の抽出

（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
- ・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確立
- ・波浪中操縦運動計算プログラムの作成

令和６年度の研究内容

（1）情報通信を利用した自動避航・着桟システムに関する研究

①自動避航システムに関する研究

相手船の情報が必要な混雑域や閉塞域に適用できる様に、これまで開発してきた自動避航アルゴリズムに他船の操船計画を考慮する機能等を追加し、小型実験船「神峰」及びシミュレータによる検証試験を実施した。

②自動着桟のための計測技術に関する研究

着桟時の LiDAR(Light Detection And Ranging)などのセンサ計測の高精度化、情報表示システムの構築等を実施し、実船（内航船）や小型実験船「神峰」及びシミュレータにより検証した。

③係船支援システムに関する研究

前年度より開発を進めている模型船に、係船ロープの長さ推定や船首・船尾スラスタとの協調制御などの機能を付加し、システム検証のための模型試験を実施した。また、支援システムの運用性等を確認するため実船搭載を想定した係船状態モニタリング装置を試作した。

（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

①避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の確立

自動航行アルゴリズムの安全評価用シナリオ作成のため AIS データの解析、衝突の調査報告書等の分析を実施した。また、安全評価の実施に向け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の評価を試行した。

②人の関与を考慮した緊急時対応の機能要件の抽出

時間的切迫を伴う実験シナリオを作成し、SHS を用いて実験を行った。

（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

①操縦運動（前進と斜航・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確立

2023 年度（令和 5 年度）に試作した操縦運動する船に働く規則波中定常波力計算法※について、船体動揺にも簡易的に斜航による変化の影響を考慮する（斜航分だけ船体横断面の水平方向移動による位相の変化を考慮して 2 次元流体力を船長方向に沿って積分する）ことで、高精度化を行った。また、公表されている既存の実験データに加えて、VLCC 模型を用いて新たに中～長波長域（波長船長比≥1.0 程度）で実施した水槽試験結果を用いて、上記計算法の推定精度を定量的に調査した。

（※ストリップ法に基づいた既存の定常波力計算法（Salvesen N.,1974）を斜航状態に拡張し、前期重点研究で開発した船体の反射波に起因する短波長域の定常波力計算法（Suzuki et al., 2023）と、波浪中抵抗増加評価の ITTC 推奨法の一つである SNNM 法に倣い統合する方法）

②波浪中操縦運動計算プログラムの作成

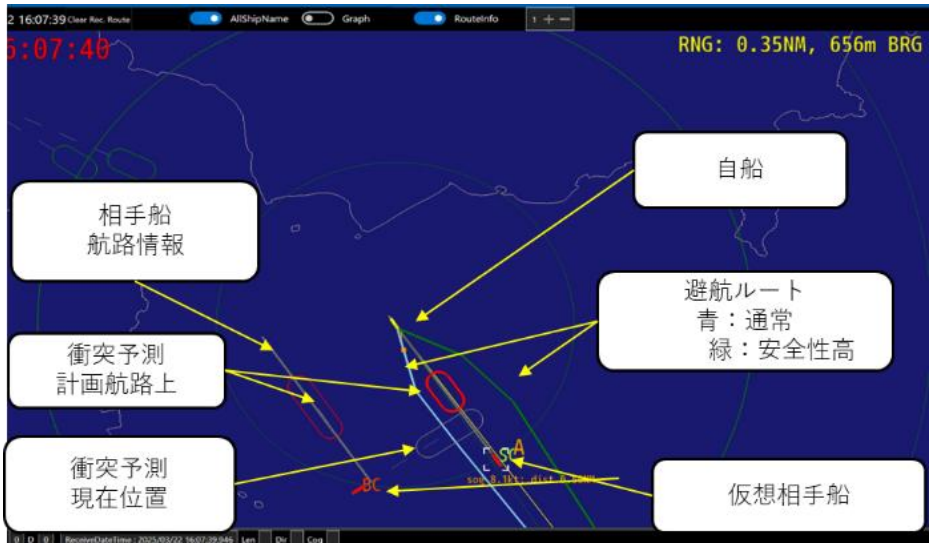
2 タイムスケール法（安川, 2006）に倣い、既存の平水中の操縦運動計算モデルに、波の影響として上記の定常波力計算法のみを考慮することで、3 自由度（前後・左右・回頭方向）の規則波中操縦運動推定プログラムを作成した。

令和６年度の研究成果

（1）情報通信を利用した自動避航・着桟システムに関する研究

①自動避航システムに関する研究

相手船との航路情報交換に基づいて衝突リスクを評価し、避航経路を生成する自動避航アルゴリズムの開発を行った。従来の AIS 情報に基づく衝突予測では、相手船が現在の船速及び針路を維持して直進することを前提に将来位置を推定していたが、本研究では、航路情報の交換によって取得した相手船の計画進路に基づき将来位置を予測することで、より現実的で柔軟な衝突回避が可能となるアルゴリズムを構築した。このアルゴリズムを基に避航操船システムを開発し、小型実験船「神峰」を用いて、仮想空間上に生成した相手船に加えて、実船を含む複合的な運用環境において実験を行った（図Ⅰ. 2. (1). ①. 36）。加えて、避航アルゴリズムにより避航経路が確保できない状況においては、自動操船から手動操船への切り替えを促す機能を設け、この機能について同実験船を用いた検証を行い、操船者への情報提示と操作介入の仕組みの有効性を確認した。



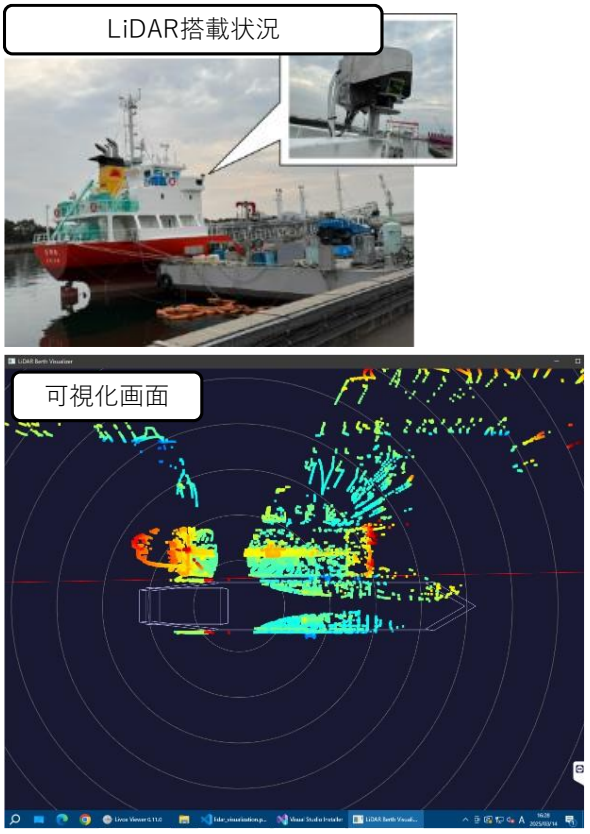
図Ⅰ. 2. (1). ①. 36　実船試験時の避航操船システム画面と海図表示
（仮想相手船の航路情報を受信し、衝突予測位置を相手船の航路情報に基づいて算出し、避航ルートを生成している）

②自動着桟のための計測技術に関する研究

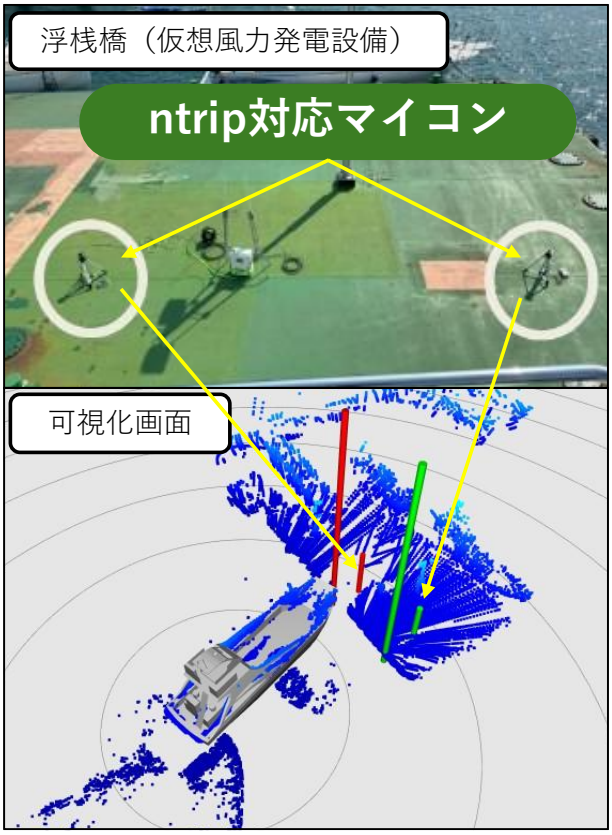
自動着桟における高精度な周辺環境把握を目的として、内航船への LiDAR センサの搭載を行い、実海域における岸壁検知に関する技術検証を実施した。LiDAR を用いた実測データをもとに、岸壁位置を検出可能なシステムを試作し、さらに検知結果をリアルタイムに可視化する情報表示システムを構築した（図Ⅰ. 2. (1). ①. 37(a)）。併せて、洋上風力発電設備等における CTV（(Crew Transfer Vessel、作業船）の接岸支援を想定し、RTK-GNSS 及び ntrip (The Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)通信を用いた高精度測位システムと LiDAR による可視化プログラムを統合した試作システムの構築を行った。実験船を用いて、GNSS アンテナ及び ntrip 対応マイコンを浮桟橋に風力発電設備と見立てて設置し、LiDAR と組み合わせて接岸対象構造物の三次元情報と CTV の相対位置をリアルタイムに可視化した（図Ⅰ. 2. (1). ①. 37(b)）。

着桟操船支援の一つとして、近距離通信を用いた遠隔着桟操船システムの研究開発を実施し、新コ

ンセプト船の一つであるトリプル連結バージを対象に、操船シミュレーションシステム（SHS）及び模型船実験によりその操船性を確認するとともに、切り離されたバージの遠隔操縦システムの基本性能等を評価した。



(a) LiDAR 岸壁検知システム
（内航船に搭載した LiDAR によって取得したデータをもとに、下の可視化画面では岸壁を検知している様子を示す）



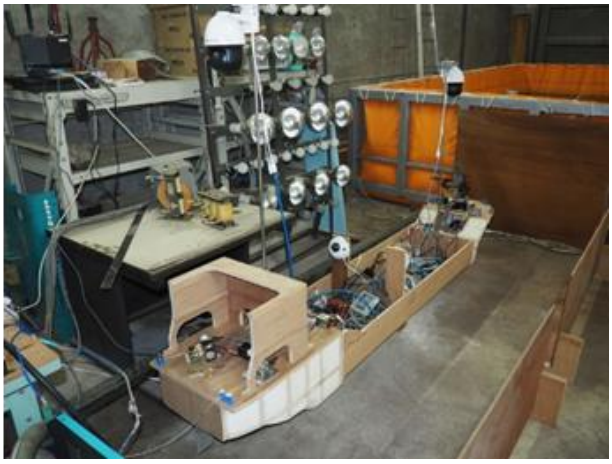
(b)　CTV 接岸支援システム
（浮桟橋及び実験船に搭載した ntrip 対応マイコンの座標を基に、桟橋との距離をセンチメートルオーダーで計測している。赤の短い棒は船から見て左側、緑の短い棒は右側の NTRIP マイコン位置を示し、長い棒は桟橋端の推定位置を表している。）

図Ⅰ．2.（1）．①．37　完璧検知システムと接岸支援システム

③係船支援システムに関する研究

係船ロープの長さ推定機能、及び船首・船尾スラスタとの協調制御を想定した基本機能の構築を進め、模型試験によって基本動作の検証を行った。さらに、実船搭載を想定した模型船(図Ⅰ．2.（1）．①．38.(b))と、係船状態モニタリング装置の試作を行い(図Ⅰ．2.（1）．①．38.(a))、係船関連機器の健全性監視、異常検知時のアラーム発令、及び情報の視覚化機能を備えた表示機能を含むシステム構成を実現した。これにより、係船中の機器状態を統合的に把握可能とする支援システムの運用性と拡張性を確認した。

(a) 係船支援システム



(b)　ウインチ制御模型船

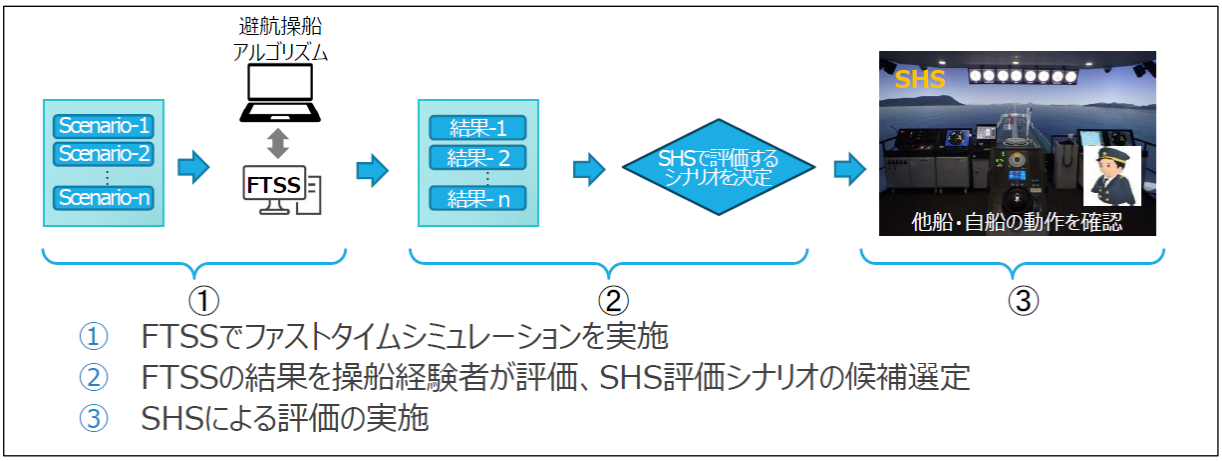
図Ⅰ．2.(1).①. 38　係船支援システムと試験模型船

(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

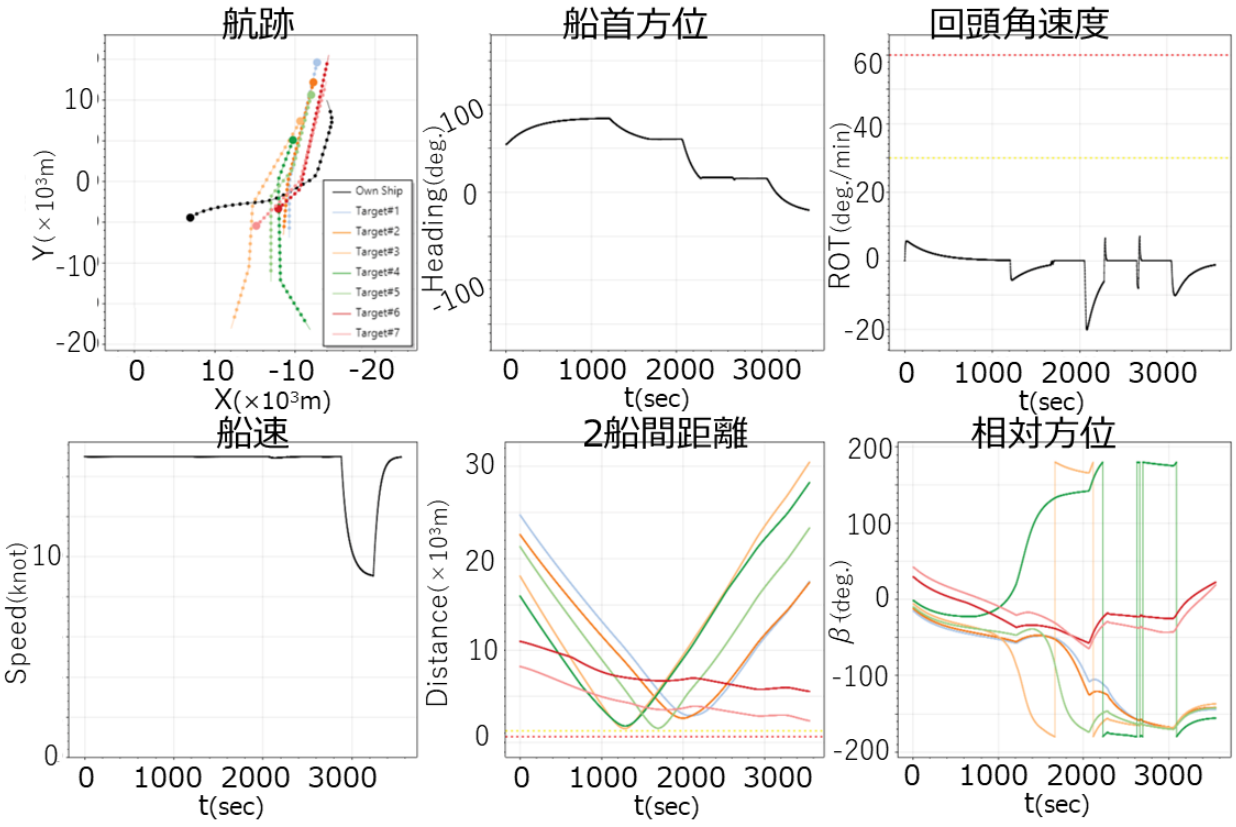
①避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の確立

自動運航船の実運航に必要な安全評価手法の確立のため、FTSS と SHS を連携させた自動避航アルゴリズム評価の試行を実施した。評価手順を図Ⅰ．2.(1).①. 39 に示す。総合シミュレーションシステムに外部で開発された自動避航システムを接続し、FTSS による評価シナリオの実行(図Ⅰ．2.(1).①. 40 に実行結果の一例を示す)と SHS での再現対象シナリオの抽出、SHS での操船経験者による評価を実施し、自動避航システムの評価システムの有効性を確認した。

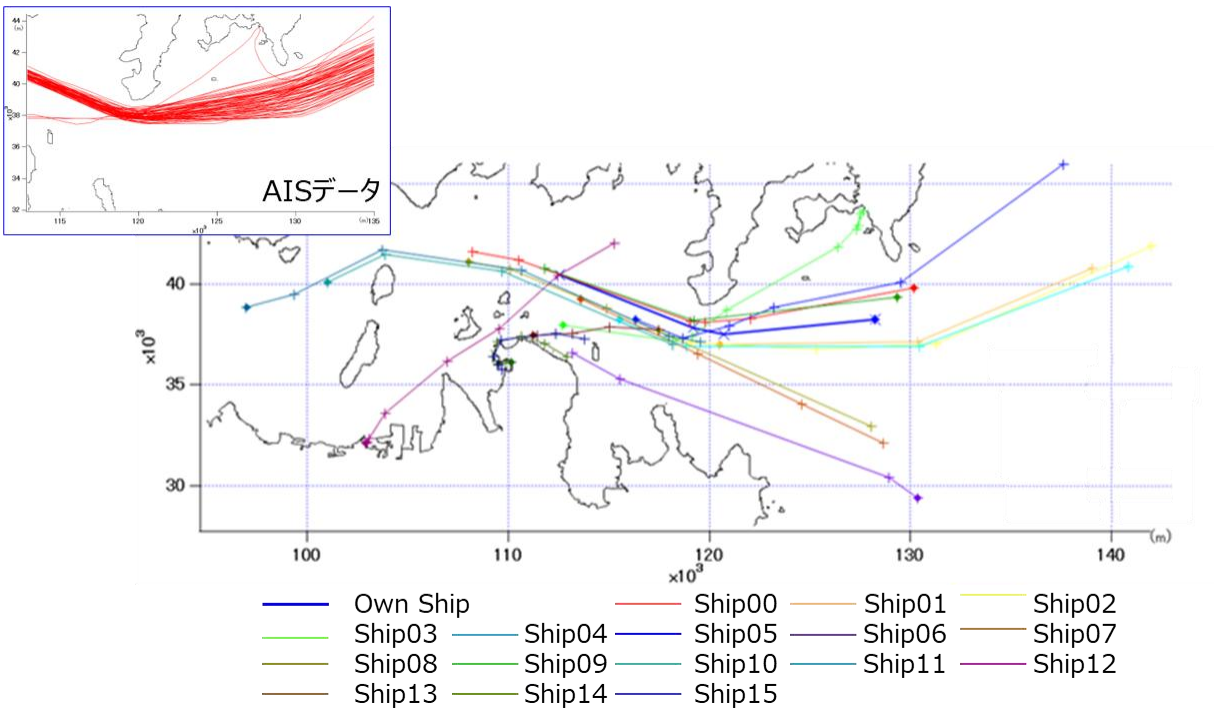
また、評価に使用するシナリオは、基本シナリオ、中間シナリオ、実海域シナリオで構成されることが国土交通省海事局、(一財)日本海事協会及び開発者等を交えた協議により決定されている。基本シナリオについては、これまでに評価シナリオセットの構築を進めてきており、その成果が 2025 年 1 月に発行された日本海事協会の「自動運航、自律運航に関するガイドライン Ver.2.0」に自動避航アルゴリズムの評価シナリオとして組み込まれた。一方、中間シナリオと実海域シナリオについては、関係者との協議が継続中であるが、本年度は AIS データから避航の難易度を考慮した実海域シナリオ(図Ⅰ．2.(1).①. 41)を作成する手順を示した。また、衝突海難に基づいた実海域シナリオ作成のため海難審判録及び事故調査報告書から商船が関係する事故を対象に事故要因の抽出と整理を実施した。



図Ⅰ．2.（1）．①．39　FTSS-SHS を連携させた自動避航アルゴリズム評価手順



図Ⅰ．2.（1）．①．40　FTSS 実行結果例(基本評価指標)



図Ⅰ．2.（1）．①．41　AIS データから作成した実海域シナリオ例

②人の関与を考慮した緊急時対応の機能要件の抽出

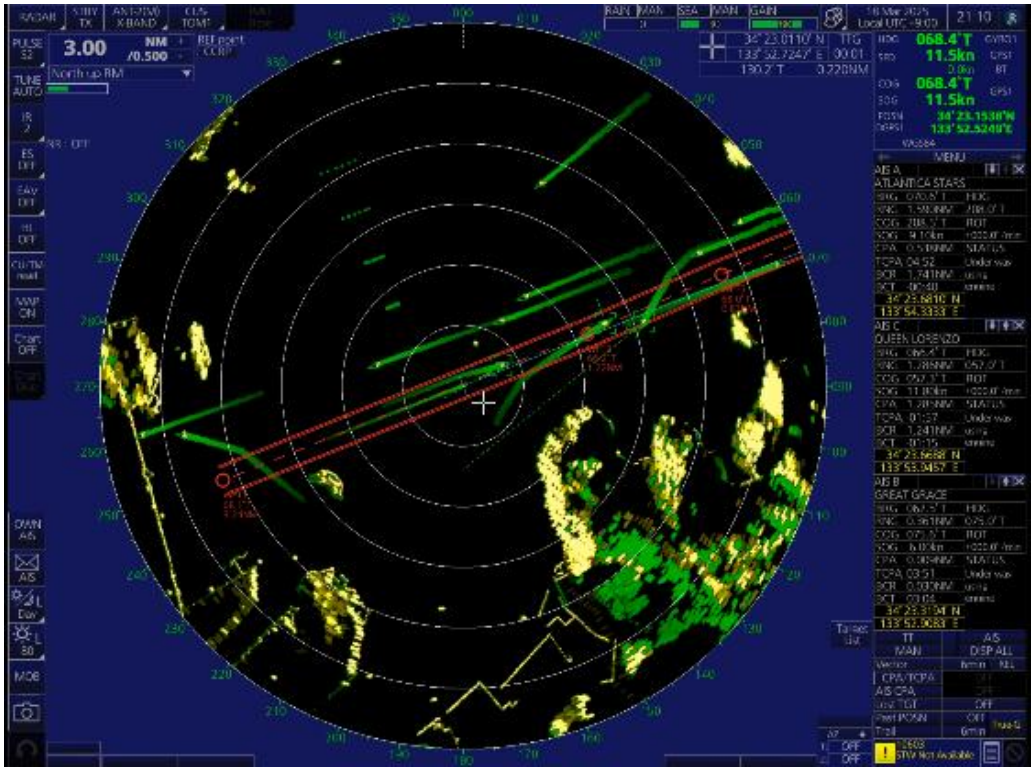
時間的切迫は、組織や環境、タスク、個人、心理的・社会的といったさまざまな要因によって引き起こされる。人間－機械系において、機械系は時間的切迫によって低下する人の信頼性を補うことが期待される。そこで 2024 年度（令和 6 年度）は、衝突海難を対象とし、環境要因（航行環境・交通流）による時間的切迫に焦点を当て、操船実務経験者を実験参加者とする SHS 実験を行い、時間的切迫を伴う環境要因が、人のパフォーマンスや生理指標に及ぼす影響の定量評価を試みた。なお、実験シナリオの作成にあたっては、こうした環境要因を引き起こす原因を、航海士のエラーの各フェーズ（認知・判断・操作）及びルール違反に分類した上で構築した。

作成した実験シナリオでは、本船は備讃瀬戸東航路内を航行するよう自動で運航されているが、同航船のうち一隻が航路内で減速したり、反航船のうち一隻が航路を逸脱したりして、本船と衝突が避けられないコースを航行するようにした。減速や航路逸脱などのイベント発生から衝突までの時間は 10 分以内とした。図Ⅰ．2.（1）．①．42 に SHS での再現例を示す。また、同じ航路内を安全に航行できる実験シナリオを作成して比較対象とした。

本実験では生理指標として、心電図のほか心拍数、呼吸数、深部体温、表面体温等を計測した。また、行動データとして、RADAR 操作、ECDIS 操作、船橋内での映像のほか、加速度 XYZ 軸、ジャイロ XYZ 軸、歩数等も計測した。

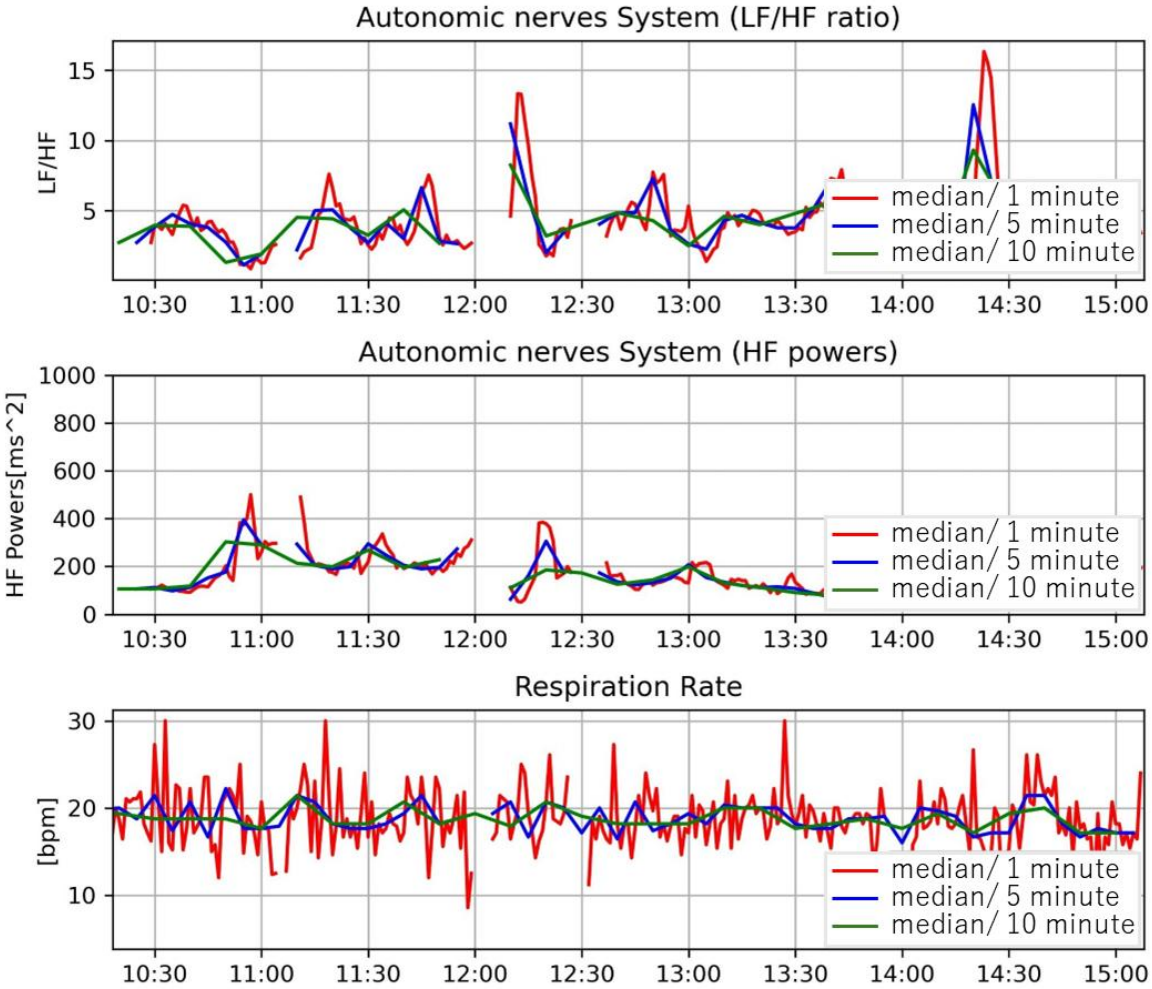
心電図は、LF 成分（低周波成分：0.04～0.15Hz）と HF 成分（高周波成分：0.15～0.40Hz）に分類できる。LF/HF から、高い値は交感神経優位（ストレス・緊張・覚醒状態）、低い値は副交感神経優位（リラックス・回復状態）と推定することができる。本実験で計測した心電図を基に実験中の LF/HF を算出したところ、時間的切迫を伴う実験シナリオにおいては、時間的切迫を伴わない実験シナリオと比較して LF/HF の平均値が高い傾向にあることが確認できた（図Ⅰ．2.（1）．①．43 参照）。前述したとおり心拍変動には様々な要因が影響を与えるため、その他の計測項目の影響など引き続き詳細な解析が必要だが、本実験の結果により、時間的切迫による航海士のストレスや緊張状態を生理指標から推定できることが示唆された。

(a) 景観画像



(b)Radar 画面

図Ⅰ. 2. (1). ①. 42 (a)SHS 実験時の景観画像とそのときの(b)Radar 画面
（本船が備讃瀬戸東航路を西航しており、対象の同航船の最接近距離が 0nm になるようシナリオを作成した）



図Ⅰ．2.（1）．①．43　取得した生理指標データ例
（上：心電図の LF 成分と HF 成分から算出される LF/HF 値、中：HF 成分のパワー値、下：呼吸数）
（LF/HF 値から時間的切迫を伴う実験シナリオは、時間的切迫を伴わない実験シナリオと比較して LF/HF の平均値が高い傾向にあることが確認できた。自律神経系の活動状態の要因は複雑であり、呼吸状態、姿勢変化による反射なども考慮した解析が必要なため呼吸数等も同時に計測した）

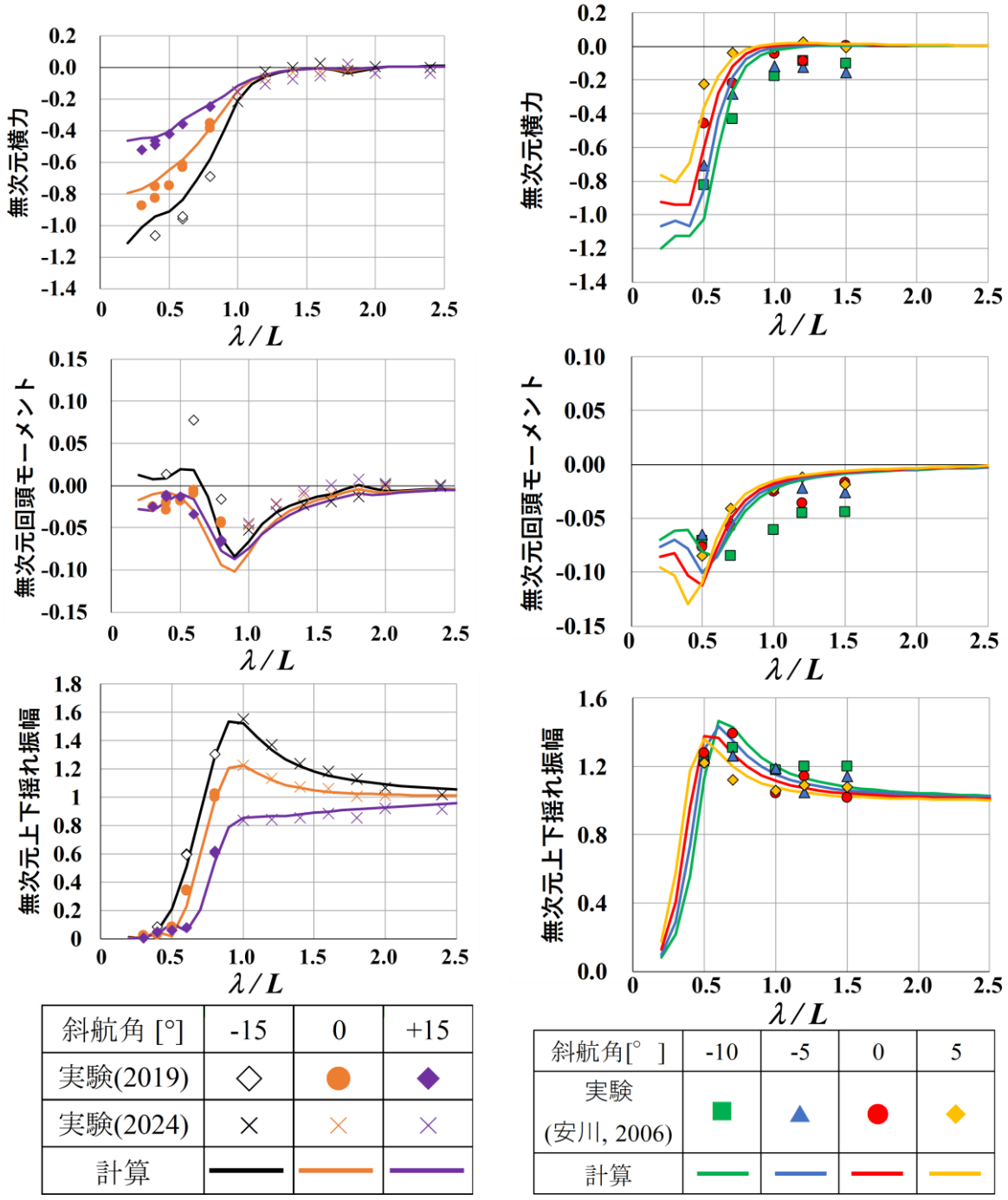
（3）外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法に関する研究

①操縦運動（前進と斜航・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確立

本研究において開発した計算法によって、複数の外航船型（タンカー，コンテナ船）に対して、幅広い波長と波向きにおける船体の斜航影響等を考慮した規則波中定常波力を妥当に推定できることを明らかにした（図Ⅰ．2.（1）．①．44）。また、本計算法を最終版として計算プログラムの確立をした。更に、確立した計算法の論理的妥当性及び実用性を示すために、検証の一部に関して学術雑誌論文としてとりまとめた。

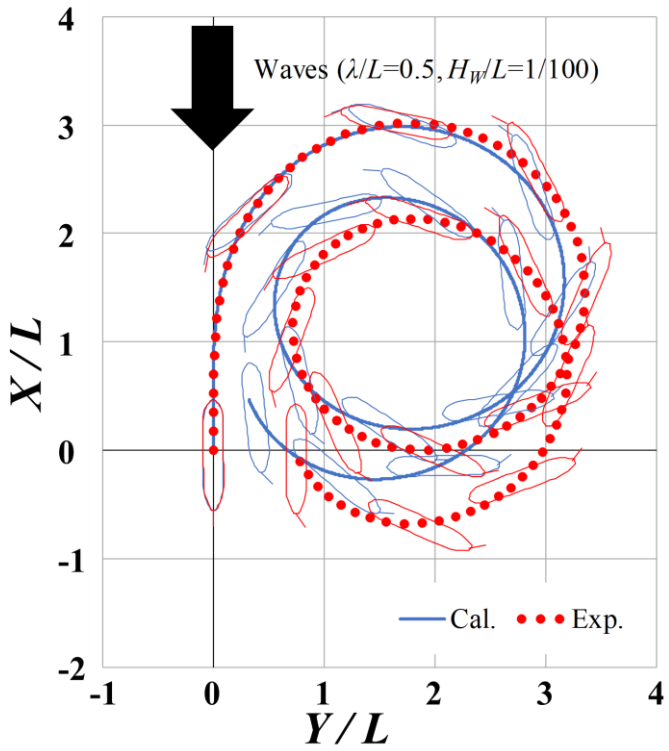
②波浪中操縦運動計算プログラムの作成

作成した 3 自由度（前後・左右・回頭方向）の規則波中操縦運動推定プログラムについて、既存の水槽試験と比較することで、旋回操舵時の航跡の漂流をおおよそ表現できることを確認した（図Ⅰ．2.（1）．①．45）。また、精度向上のために必要な波浪中操縦運動モデルの要素について、調査・検討資料としてとりまとめた。



(a) VLCC，斜め向かい波　　(b)　コンテナ船，横波

図Ⅰ．2.（1）．①．44　開発した規則波中の定常波力及び船体動揺計算法の検証
（開発した計算法（線）が、模型試験（点）で確認された定常波力ならびに船体動揺振幅の船体斜航による変化の影響を複数の船型に対して幅広い波長において妥当に捉えている）



図Ⅰ．2.（1）．①．45　規則波中操縦運動計算の例（VLCC，向波，波高船長比 0.01，波長船長比 0.5）
（開発した定常波力計算法を外力に考慮した 3 自由度操縦運動推定プログラム（線）で、水槽試験（点）で得られた規則波中を旋回する船の航跡をおおよそ表現できている）

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文：5 編

- Yasuyuki NIWA: Target Ship Association Acquired by RADAR TT Information and AIS Information, Proceedings of the IAIN World Congress 2024, B1-3, pp. 207-214, (2024).
- Keiji Sato, Hitoi Tamaru: Development of a Ship Avoidance Algorithm Based on Obstacle Zone by Target, Proceedings of the IAIN World Congress 2024, A4-3, pp. 151-160, (2024).
- Mitsuru Kobayashi, Keiji Sato: Ship Detection and Positioning System by Stereovision, Proceedings of the IAIN World Congress 2024, B2-4, pp. 248-259, (2024).
- Makiko MINAMI, Keiji SATO, Ryohei SAWADA： Scenarios of Multiple Vessels Encounter for Safety Evaluation for Automatic Collision Avoidance Algorithm using AIS Data, The joint conference for the International Maritime and Port Technology and Development Conference (MTEC) and the 6th International Conference on Maritime Autonomous Surface Ship (ICMASS) 2024, Journal of Physics, Conference Series, Volume 2867, 012040, (2024)
- Kenji YOSHIMURA: Research on Taking Over a Navigational Watch on Maritime Autonomous Surface Ships, Proceedings of World Automation Congress 2024, (2024).

□各種表彰の受賞：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, 日本船舶海洋工学会, 2024 年 5 月.

□その他

◆その他発表論文：4 編

- 南真紀子，疋田賢次郎，澤田涼平，丹羽康之，佐藤圭二，國分健太郎: 海上技術安全研究所報告第 24 巻，第 4 号，総合報告, pp. 69-90, (2025).
- 澤田涼平: LiDAR 点群を用いた実岸壁の形状認識手法の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 23-27, (2024).
- 沼野正義，疋田賢次郎，石村恵以子，東福 守，荒川修一，杉本文太，マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -第 9 報 静的・動的情報の統合-，第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 217-218, (2024).

・石村惠以子，沼野正義，疋田賢次郎，東福 守，荒川修一，杉本文太，自動運航船の機関室等に対する状況認識支援の研究 −第 1 報 状況認識支援システムの概要−，第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp. 219−220，(2024).

◆その他学会発表、講演等：5 編
・小林充，佐藤圭二，戸板佳祐: 船上カメラによる浮遊障害物検出の研究開発，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会 PS−15，(2024).
・佐藤圭二: 変動 OZT を元にした避航アルゴリズムの研究開発，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会 PS−16，(2024).
・小林充: 自動運航船の他船検出技術の現状と将来像，令和 6 年うみそら研第 3 回ミニ勉強会
・小林充: 自動運航船の他船検出技術の現状と将来像，光産業技術振興協会 ロードマップ策定専門委員会
・南真紀子，疋田賢次郎，佐藤圭二: 総合シミュレーションシステムについて，日本船舶海洋工学会誌 KANRIN（咸臨），第 117 号，pp. 26−30，(2024).

◆公開実験：3 件
・海技研 実海域再現水槽，斜航状態の船の働く定常波力計測試験（7/26）
・海技研 総合シミュレーションシステム（SHS），自動避航操船システム（7/26）
・海技研 総合シミュレーションシステム（SHS），トリプル連結バージ遠隔操船再現実験（12/6）

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

・自動着桟及び係船は、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、着桟・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、日本海事協会が 2025 年 1 月に発行した「自動運航、自律運航に関するガイドライン（Ver.2.0）」において、衝突・座礁回避機能の要件の作成に貢献した。また、IMO で 2026 年の最終化に向け検討が進む自動運航船に関する非強制コードの策定作業に貢献している。
・自動運航システムの実用化にあたり、システム及びアルゴリズムの検証には、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。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も反映されることが求められる。その中で、これまで検討を進めてき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、十分に大きいか

・小型実験船による研究を進めてきた自動着桟システムや LiDAR による計測システムを多種多様な船舶への適用範囲を拡大するため、499GT 貨物船、199GT 貨物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。
・総合シミュレーションシステム（SHS）で時間的切迫を伴った実験シナリオを作成し生理指標等を計測することにより航海士のストレスや緊張状態を推定できることが示唆された。また、AIS データを用いた自動避航アルゴリズムの評価用シナリオ作成手法の構築等、自動運航システム等の開発においてシステムと人の相互作用は必要な要素であり、総合シミュレーションシステム（SHS）での検証も考慮されるべきであり、目的に合わせたシナリオを作成する技術の蓄積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、これまでにも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一部に限られる。また、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。昨年度までに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った。本年度は複数の船型及び幅広い波長と波向きでの模型実験を実施し提案した計算法の妥当性を確認し、最終版として計算プログラムの確立をしたもので、操船シミュレータへの応用も含め今後の発展が見込まれる。
・提案した計算法は上記のとおり複数の船型で妥当性が確認されたように、計算仮定等に船型による制限は設けていないため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。
・本研究の成果は、日本船舶海洋工学会の奨励賞受賞に至っており、科学的意義が十分にあると認められる。

□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、離着桟アルゴリズム、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及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
・「情報通信を利用した自動避航・着桟システムに関する研究」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。
・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た検証を実施した。
・自動運航技術を操船支援システムとしてまず実現するため、人とシステムの関係を検証する必要があり、総合シミュレーションシステム（SHS）において、遠隔着桟操船システム等、対象システムを再現し操作性等を評価する環境を構築した。
・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、自動運航船のガイドライン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（R6年度）	A

【コメント】
・自動運航船に関する研究として、前中長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、自動避航アルゴリズムの安全評価等の研究が日本海事協会のガイドラインに反映された。また、総合シミュレーションシステムの FTSS 及び SHS を連携させた評価を試行す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、複数の船型で幅広い波長域での精度検証を実施した。これは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。

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、その成果については外部からの表彰を受賞しており、「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（R6年度）	A

【コメント】
・自動運航船の自動避航アルゴリズムの安全評価を実施できるようにするために、高速シミュレーションが可能な FTSS（Fast Time Ship Simulator）と操船環境を模擬した SHS(Ship Handling Simulator：操船シミュレータ)を

連携した評価手法を構築したことは、社会的価値及び科学的意義の面で顕著な成果であると評価できる。
・自動避航、自動離着桟・係船等の自動化システムを実船舶へ適用するために、実験船だけでなく実運航船に搭載し機能の有効性を確認したことは、科学的意義として顕著な成果であるといえる。
・海上輸送の安全の確保に貢献する多くの成果が得られ、査読付き国際会議論文、公開実験で公表され、受賞実績も十分にあるといえる。
・船舶運航の省力化に不可欠な自動避航・自動着桟に係る研究開発が着実に成果を上げ、我が国海事産業に貢献している。

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、「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。

重　点　分　野	(2)海洋環境の保全

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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 －代替燃料や補機を考慮したライフサイクル燃費評価法の構築、水槽試験と CFD の同化による多様な船型・状態でのシミュレーション技術の開発、実海域実船性能評価統合アプリケーションの開発を行う。等

○実海域実船性能向上に関する研究 ［R6 年度予算: 20,419 千円、研究担当者: 26 名］

研　究　の　背　景

国際海運分野における GHG 削減目標の達成に向けて、実運航における燃費実績の格付け制度（CII : Carbon Intensity Indicator）による評価が開始され、実海域での実船性能の向上が求められている。そのためには、船舶の低速化肥大化や自然エネルギーの利用に関する技術開発が求められている。低速化に伴い主機なども小型化するため、実運航に耐えうる船を実現するためには実海域中の推進性能や耐航性能を正しく評価する技術が必要となっている。また、燃料費の増加によって省エネによる効果も大きな影響があることから、実海域中の燃費性能改善を診断する技術の開発も必要となる。さらに、水中騒音規制への対策としてキャビテーションによる水中騒音の低減技術、評価技術、シミュレーション技術の連携や、水槽試験技術が必要となる。

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の一環として、ゼロエミッションに向けた実運航時の 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を開発する。

計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発の一環として、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を開発する。

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の一環として、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を開発する。

運航中の既存船の実海域性能向上のため、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ることによる、実海域実船性能の診断技術を開発する。

これらの研究開発を通じて、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することにより、我が国の国際的プレゼンス向上に資する。

経済的観点からは、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。

国際的観点からは、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。また、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。さらに、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。

令和６年度の研究目標

（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
- ・低速船の性能推定モデルを構築する。
- ・代替燃料を用いた性能評価法をライフサイクル燃費評価へ組み込む。
- ・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の評価を行う。

（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
- ・波浪中時系列評価法を水槽試験により検証する。
- ・400m 水槽または中水槽で FBG センサによる船尾圧力分布及び伴流計測を実施し、同化法を検証する。
- ・大型キャビテーション水槽においてキャビテーション試験を実施し、水中騒音低減デバイスによる水中騒音低減効果を確認する。

（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
- ・実船データの分析技術を開発する。
- ・実船 DB を作成し評価アプリとの連接に繋げる。
- ・ウェザールーティングと連携した実海域性能向上について、シミュレーションによる評価を行う。

令和６年度の研究内容

（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

①内航・外航海運の低・脱炭素化省エネ船評価技術の開発

針路不安定となりやすい低速幅広船の操縦性能改善方法を検討するため、シミュレーション精度の向上のための検討を、水槽試験結果を用いて行った。

低速船の推進性能推定精度の向上モデル検証のための水槽試験を実施した。

温室効果ガス排出量削減のために採用が見込まれる代替燃料を搭載した評価について、環境性能だけではなく経済性能を評価可能とするため、代替燃料を採用した船の輸送効率への影響について検討した。

②自然エネルギー等を使用した推進性能評価（風力利用、省エネ装置）

ウェザールーティングとの組み合わせによって効果が最大化する風などの自然エネルギーを利用する省エネデバイス搭載船（帆船・ローター船）について、遭遇海象のばらつきを考慮した効果の一般化のための検討を行った。

高度空気潤滑システムを実船適用し、実運航データによる効果検証を行った。

（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

①実海域での時系列シミュレーションのための技術開発（中水槽・実海域再現水槽等連携）

実海域を航行している船舶に働く抵抗の変動を考慮し、主機応答への影響を評価することで、適切な主機作動条件の管理による燃費性能改善につなげるため、時系列シミュレーションモデル検証のための水槽試験を実施した。

②船体周りの流場計測と CFD の同化に基づく、低速状態を含めた多様な船型・状態でも確実なシミュレーション技術の開発

水槽試験、シミュレーション、実船データを連携した多様な船型、状態での性能推定技術を開発するため、統計的なデータ同化手法と機械学習を基にしたデータ強化手法を組み合わせたデータ強化型シミュレーション手法の開発を行う一環として、船体周り流場及び船体表面圧力計測のための水槽試験を実施し、開発中の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発展させた。

③水中騒音の改善技術の開発

水中騒音推定ツールの適用船種を増やすため、伴流とプロペラのデータベースを拡充した。

水中騒音改善技術の検証のため、キャビテーション水槽で試験を行った。

（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

①実船データによる性能の分析的評価技術の開発

実海域燃費性能評価シミュレーションツールと実船モニタリングデータ解析ツールを用いて、実船の運航性能を診断するため、燃費性能を分析するための要素影響定量化手法を開発した。

北極海の航行を念頭に極海を航行する船舶に乗船し、特有の航路選択方法や参考にする気象及び衛星情報等について、操船担当者やアイスパイロットから情報収集した。また、海氷数値モデルデータセットを用い、氷中可航性指標の長期検証を行った。

②診断結果の検証技術の開発

診断結果の検証のための船舶統合データベースにて、当所で開発している実海域性能シミュレーションを外部プログラムや AI との連携が可能となるように、API（Application Programming Interface）化を行った。また、実船データのデータベース化を行った。

③ウェザールーティングと連携した実船性能向上技術の開発

ウェザールーティングシステムに当所で開発した実海域燃費性能評価モジュールを組み込み、サービスが行われている。海象に応じた航路選択で、燃費性能と共に重要となる、耐航性能評価機能についても、ウェザールーティングシステムに組み込み、検証を行った。

令和６年度の研究成果

（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

①内航・外航海運の低・脱炭素化省エネ船評価技術の開発

低速船の操縦性能推定精度について、DWT25 万トンのバルカーを対象に針路安定性の推定に用いる水槽試験パラメータの解析法を改良し、シミュレーション精度を第一行き過ぎ角(deg)で従来の手法より誤差 46%から誤差 15%に向上させた。旋回性能推定法について、従来考慮していなかった船速影響を組み込み、推定精度を旋回半径で誤差 34%から誤差 3%に向上させた。本手法を、国際海事機関（IMO）の操縦性基準を満足することが難しい低速幅広船に適用することで、操縦性能・旋回性能の改善を図ることが可能となることを示した（図Ⅰ．2.（2）.②. 1、図Ⅰ．2.（2）.②. 2）。

タンカー船型模型を対象に波浪中抵抗増加試験、荷重度変更試験などの実海域推進性能を評価するための試験を行い、低速船評価モデル検証のための、水槽試験データを得た（図Ⅰ．2.（2）.②. 3）。

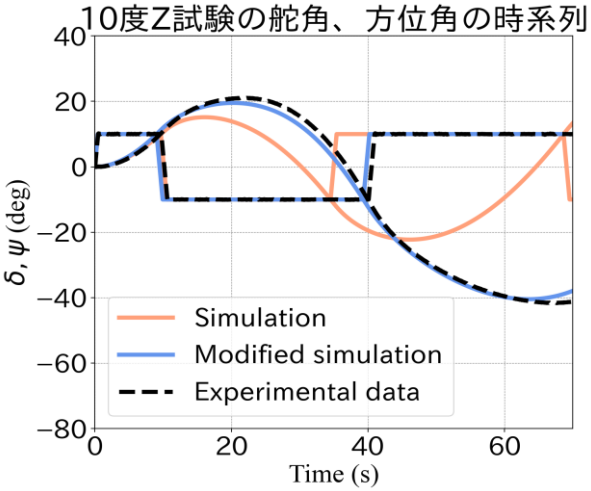
代替燃料を用いた船について、輸送効率への影響を評価する手法を開発するため、代替燃料の場合のタンク容量・DWT の簡易推定方法を開発した（図Ⅰ．2.（2）.②. 4）。

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 を通じて研究開発を行った実海域実船性能法を国際標準にするため、ISO/TC8/SC2 総会に参加し、手法の紹介を行った。

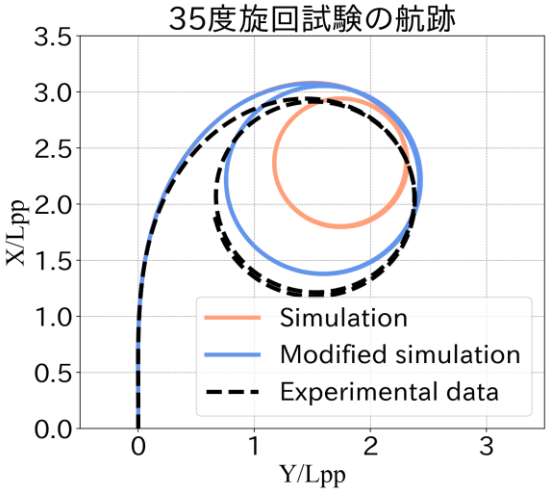
②自然エネルギー等を使用した推進性能評価（風力利用、省エネ装置）

海象に応じた航路選択との組み合わせにより効果が最大化される省エネデバイスである風力アシスト機能を搭載した船舶（帆船・ローター船）について、これまでの出航日時を指定した絶対的評価ではとらえきれない遭遇海象によるばらつきを考慮して効果を評価する方策を策定した。

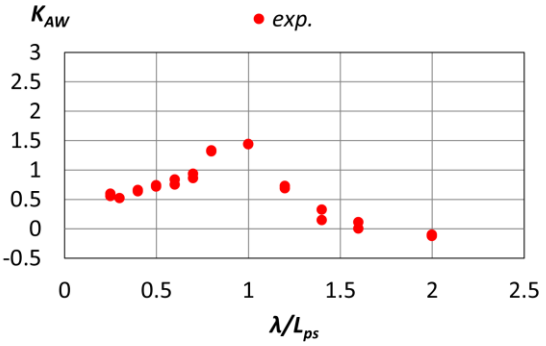
周期吹き出し法や吹き出し制御で実海域での省エネ効果を向上させた高度空気潤滑システム AdAM を初めて搭載した内航貨物船が就航した。モニタリングシステムにより、実運航時データを取得し、従来型の連続吹き出しよりも周期吹き出しにすることにより省エネ効果が増大することを確認した（図Ⅰ．2.（2）.②. 5）。



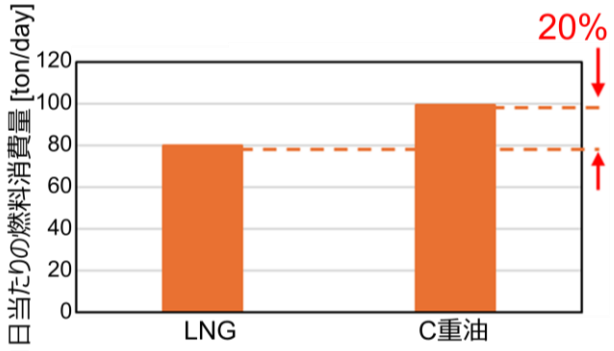
図Ⅰ．2.（2）.②. 1　DWT25 万トンのバルカーの 10 度 Z 試験シミュレーション（水槽試験パラメータ解析方法の改良によるシミュレーション精度向上を確認した）

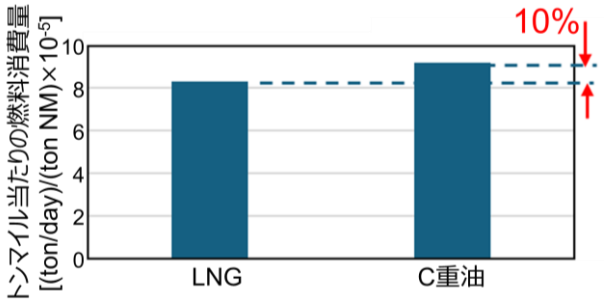


図Ⅰ．2.（2）.②. 2　DWT25 万トンのバルカーの 35 度旋回試験シミュレーション（従来考慮していなかった船速影響を組み込むことによるシミュレーション精度向上を確認した）

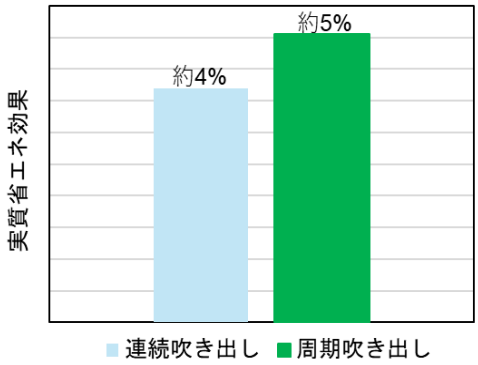


図Ⅰ．2.（2）．②．3　タンカー船型の波浪中抵抗増加試験（上：試験の様子、下：波浪中抵抗増加の結果（向波））（低速船評価モデル検証データを蓄積した）





図Ⅰ．2.（2）．②．4　C 重油と LNG のトンマイル当たりのライフサイクル燃料消費量
（6500TEU コンテナ船、15 年間、北太平洋航路）



図Ⅰ．2.（2）．②．5　高度空気潤滑システムを初搭載した内航貨物船のモニタリングデータによる省エネ効果の評価（左：周期吹き出しシステム、右：実運航データによる周期吹き出しと連続吹き出しの省エネ効果の比較）

（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

①実海域での時系列シミュレーションのための技術開発（中水槽・実海域再現水槽等連携）

波浪中の船に働く抵抗の変動を考慮し、主機応答への影響を評価することで、より高精度な実海域性能評価を行うことを目的として、時系列シミュレーション技術を開発するため規則波中の波浪中抵抗の時系列推定法の検証データを当所の実海域再現水槽で取得した。

②船体周りの流場計測と CFD の同化に基づく、低速状態を含めた多様な船型・状態でも確実なシミュレーション技術の開発

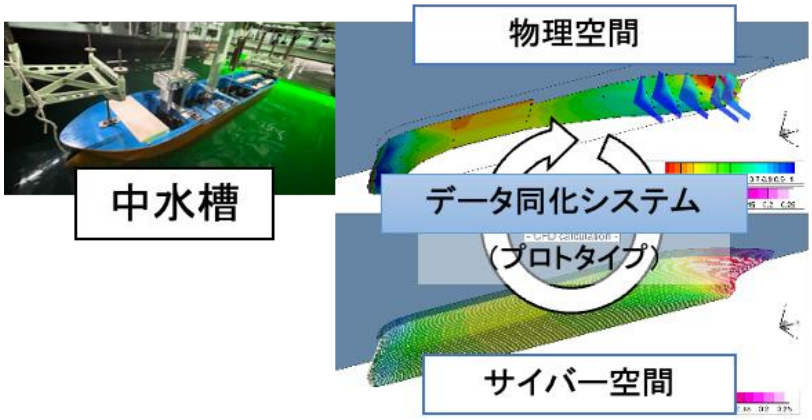
水槽試験により、模型船船尾流場を PIV により計測し、また、FBG 圧力センサにより船体表面圧力分布のデータを取得した。これらの試験結果を連携し、粒子フィルターを用いた乱流モデル（EASM）のデータ同化手法を、事前データベース不要な逐次型に発展させたプロトタイプを開発した（図Ⅰ．2.（2）．②．6）。なお、逐次型の場合、各ステップでの推定結果に基づく効率的なパラメータ推定により、計算コスト削減につながることが期待され、プロトタイプによる試計算では約 25%の CFD 計算コストの削減となった。

③水中騒音の改善技術の開発

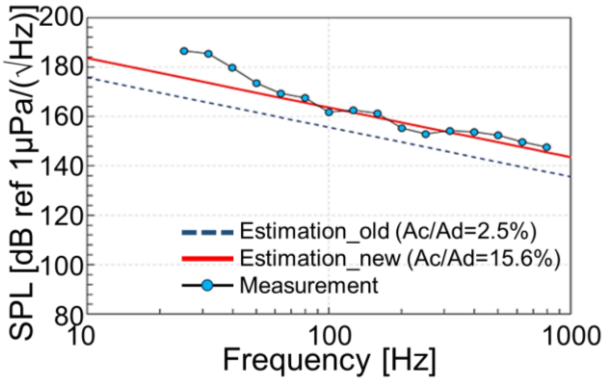
船種と主要目を入力情報とする水中騒音簡易推定ツールを改良し、キャビテーション推定チャートの

伴流とプロペラのデータベースを拡充することで、4 船種（コンテナ船、バルカー、タンカー、自動車運搬船）の特徴を考慮した推定が可能となった。これに必要となる様々なプロペラ展開面積比、ピッチ比、伴流分布の組み合わせでプロペラの形状や伴流分布を考慮してキャビテーション発生面積を推定可能なチャートを新規開発した。4 船種 20 隻の実船計測結果との比較・検証により、全船において、予測ツールは±5dB 以内の精度を有しており、実用上十分な精度があることを確認し、また改良ツールにより推定精度が RMSE（二乗平均平方根誤差）の平均値で 7.6dB から 4.5dB へと 3.1dB 改善することを示した（図Ⅰ．2.（2）．②．7 及び図Ⅰ．2.（2）．②．8）。

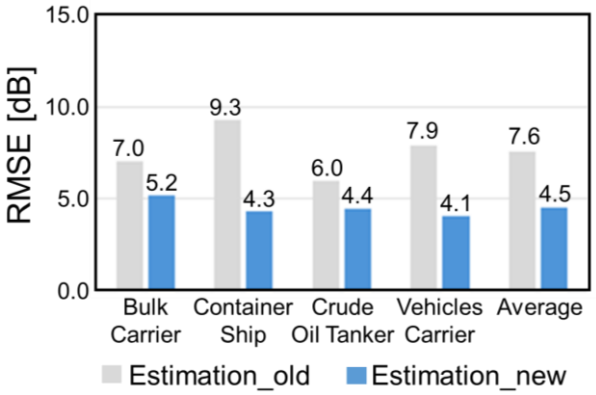
船底からの空気吹き出しによる水中騒音改善技術検証のため、キャビテーション水槽で試験を行い、空気量と吹出位置が水中騒音及び変動圧力に与える影響を調査した。その結果、最大 16dB の水中騒音低減効果が得られることを確認した（図Ⅰ．2.（2）．②．9）。



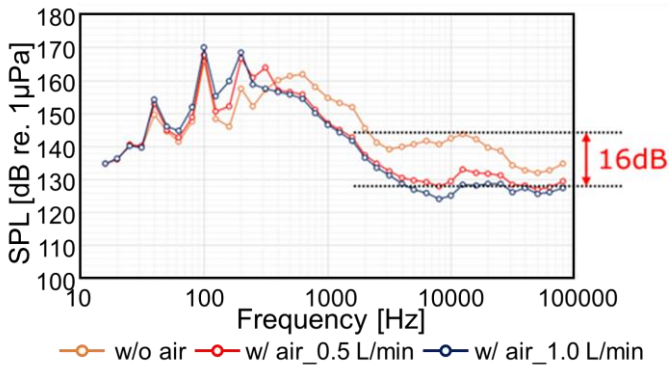
図Ⅰ．2.（2）．②．6 水槽試験による流場・圧力計測と CFD 乱流モデルのデータ同化システム(プロトタイプ)

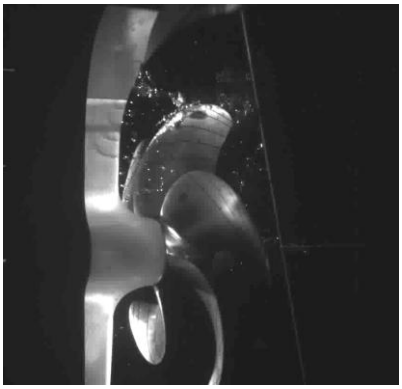


図Ⅰ．2.（2）．②．7 改良した水中騒音簡易推定ツールによる評価精度の改善例
（Lpp302m のコンテナ船）



図Ⅰ．2.（2）．②．8 改良した水中騒音簡易推定ツールの船種別精度評価





図Ⅰ．2.（2）．②．9 空気吹出による水中騒音低減効果の検証試験結果（左）と実験状況（右）

（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

①実船データによる性能の分析的評価技術の開発

実船モニタリングデータによる評価結果とシミュレーション技術を連携し、実船データから設計要素や

航路や遭遇海象等の運航要素による性能低下について診断する技術（改善できる提案手法）を分析的に評価する技術を開発するため、個船ごとの実船モニタリングデータを用いた燃費性能に関する要素影響定量化手法の開発を行った（図Ⅰ．2.（2）.②.10）。

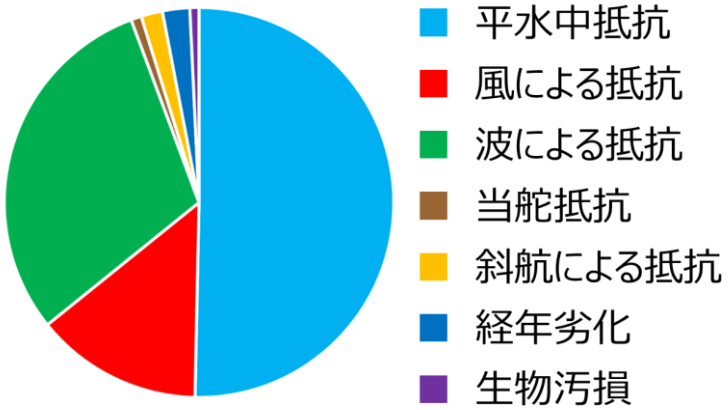
国際海事機関（IMO）の提案する極海可航性指標 POLARIS に海氷数値モデル neXtSIM の客観解析データを組み合わせ、北極海における可航性（安全に航行できる性能）評価を複数データ条件で実施し、海氷情報に関する可航性判別クライテリアの分析を行った。その結果、PC4 クラス（厚い一年氷内で通年航行が可能な耐氷能力を有する船舶）では二年氷が北極海全体の可航性に大きな影響を及ぼすことがわかった（図Ⅰ．2.（2）.②.11）。

②診断結果の検証技術の開発

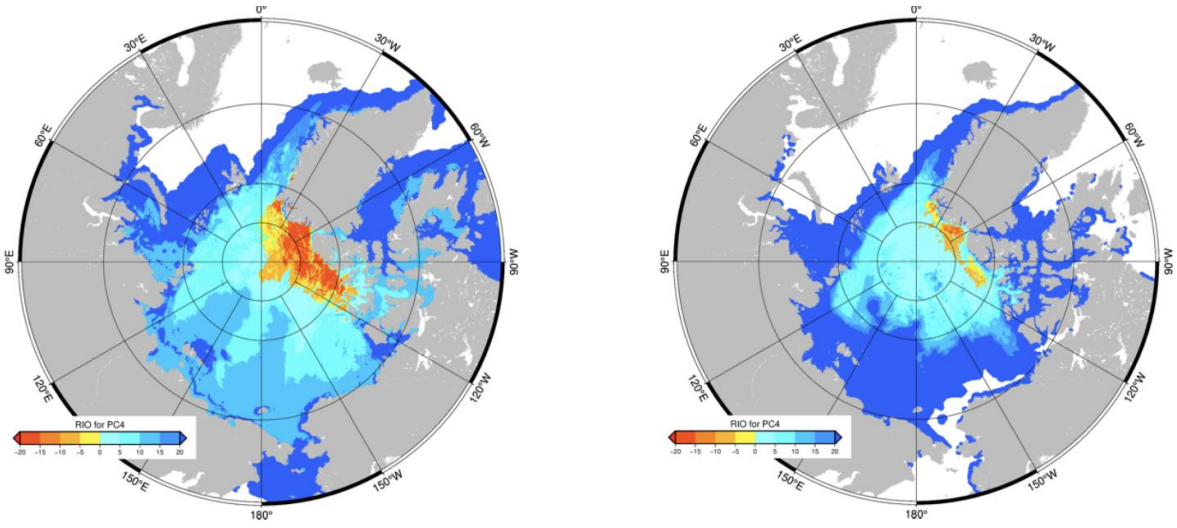
実船航行データ（5,000GT 以上の船舶の全球 AIS データ）をデータベース化した。また、本データベースを用いて実海域燃費性能シミュレーションを行い、体系的な実船データ解析・統計解析を可能とするため、当所で開発している実船データ分析ツール、実海域性能シミュレーションツール、海象データ取得ツールを API 化した（図Ⅰ．2.（2）.②.12）。

③ウェザールーティングと連携した実船性能向上技術の開発

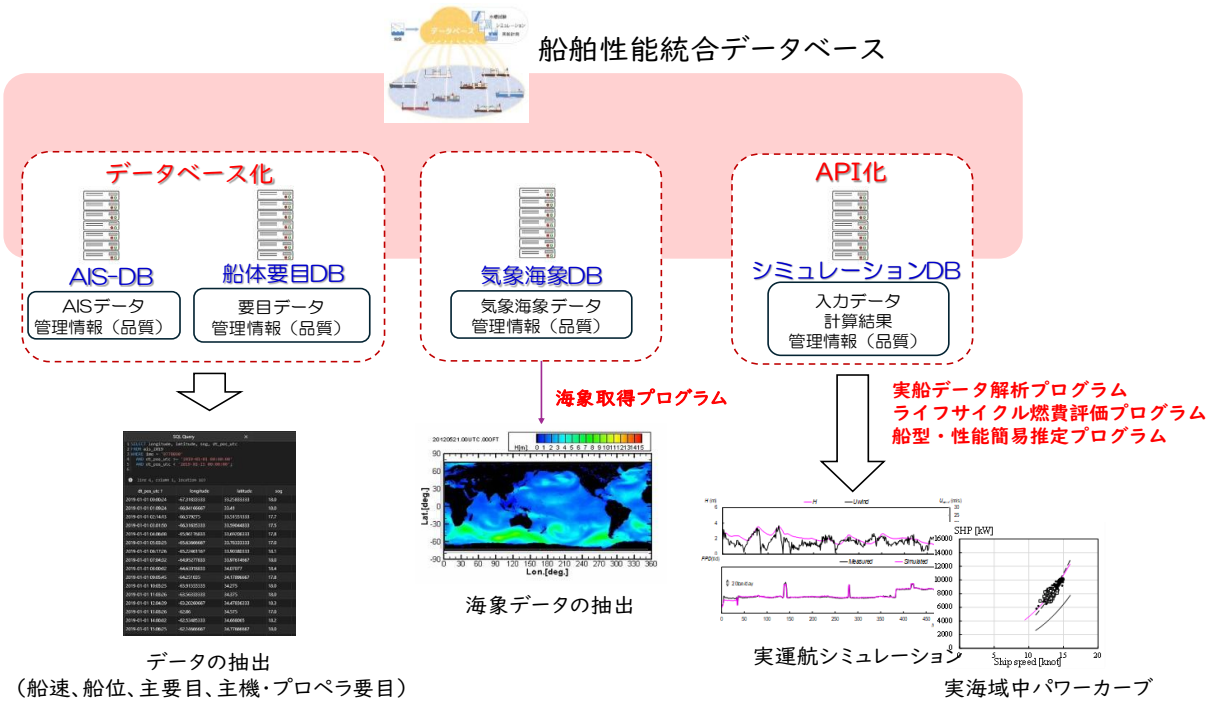
ウェザールーティングと連携した評価により、運航も考慮した実海域性能向上技術を開発するため、組み込み済みの燃費性能評価機能に加え、耐航性能評価機能をウェザールーティングシステムに組み込み、実船データによる精度検証及び実用性検証を行った。



図Ⅰ．2.（2）.②.10　要素影響定量化結果の例（6500TEU コンテナ船、斜向波斜向風中、1 年間評価）



図Ⅰ．2.（2）.②.11　北極海における PC4 クラス船舶の可航性評価例
（左：2023 年 5 月，右：2023 年 10 月；暖色は航行困難、寒色は航行可能を示す）



図Ⅰ. 2. (2). ②. 12 実船データベースを用いた統合シミュレーション

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Daijiro Arakawa, Yuki Sawada, Koichiro Shiraishi, Takashi Kanemaru, Jun Ando: Flow field measurements around a marine propeller tip and vortex identification procedures, Journal of Marine Science and Technology, Volume 29, pp. 471-489, (2024).

□査読付き国際会議論文：1 編

・Sofia Werner, Anders Alterskjær, David Trodden, Rogier Eggers, Yeongyu Kim, Yuling Gao, Xinshu Zhang, Kenichi Kume: Advancing the Wind Propulsion industry: ITTC Guidelines and Recommendations, Proceedings of Wind Propulsion 2024, (2024).

□各種表彰の受賞：4 件

・白石耕一郎，澤田祐希，新川大治朗：日本船舶海洋工学会賞（論文賞），Deformed shape estimation for flexible composite marine propellers by image registration，日本船舶海洋工学会，2024 年 5 月.

・新川大治朗，川島英幹，濱田達也，拾井隆道，川北千春：日本船舶海洋工学会賞（論文賞），Numerical Study on the Influence of Air Bubbles around the Ship Hull on the Propulsive Efficiency，日本船舶海洋工学会，2024 年 5 月.

・白石耕一郎，澤田祐希，新川大治朗：日本海事協会賞，Deformed shape estimation for flexible composite marine propellers by image registration，日本海事協会，2024 年 5 月.

・新川大治朗，川島英幹，濱田達也，拾井隆道，川北千春：日本造船工業会賞，Numerical Study on the Influence of Air Bubbles around the Ship Hull on the Propulsive Efficiency，日本造船工業会，2024 年 5 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：1 件

・特許出願：抵抗低減船首形状及び船舶.

□その他

◆国際活動：21 件

・黒田麻利子：ISO/TC 8/SC 6/WG 17 にて海上公試規格に関する審議に参加，1 回.

・黒田麻利子：International Towing Tank Conference (ITTC), Full Scale Ship Performance Committee (FSSPC) に参加，2 回.

・松沢孝俊：ITTC Specialist Committee on Ice に参加，1 回.

・久米健一，黒田麻利子：ITTC 総会への参加，2 回.

・Mariko Kuroda, Yoshihiko Sugimoto, Presentation on "Ship's Fuel Consumption in Actual Seas", ISO TC8/SC2 総会，(2024).

・Sofia Werner, Kenichi Kume, Anders Alterskjr, Rogier Eggers, Yeongyu Kim, Yuling Gao, David Trodden, Xinshu Zhang: Proceedings of the 30th International Towing Tank Conference (ITTC2024), Report of the Wind Powered and Wind Assisted Ships Committee, (2024).
・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: Proceedings of the 30th International Towing Tank Conference (ITTC2024), Report of the Specialist Committee on Ice, (2024).
・Hideo Orihara, Sebastian Bielicki, Se-Myun Oh, Gongzhen Xin, Gijs Struijk, Giuliano Vernengo, Mariko Kuroda, Stephen Minnich, Peiyuan Feng, Min Woo Kim: Proceedings of the 30th International Towing Tank Conference (ITTC2024), Report of the Full Scale Ship Performance Committee, (2024).
・Sofia Werner, Kenichi Kume, David Trodden, Anders Alterskjr, Rogier Eggers, Yeongyu Kim, Yuling Gao, Xinshu Zhang: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-03-01.9, ITTC – Recommended Procedures and Guidelines: Predicting the Power Saving of Wind Powered Ships, (2024).
・Sofia Werner, Kenichi Kume, David Trodden, Anders Alterskjr, Rogier Eggers, Yeongyu Kim, Yuling Gao, Xinshu Zhang: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines ,7.5-04-01-02, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Sea trials for assessing the power saving from wind assisted propulsion, (2024).
・Hideo Orihara, Sebastian Bielicki, Se-Myun Oh, Gongzhen Xin, Gijs Struijk, Giuliano Vernengo, Mariko Kuroda, Stephen Minnich, Peiyuan Feng, Min Woo Kim: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-04-01-01.1, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials, (2024).
・Hideo Orihara, Sebastian Bielicki, Se-Myun Oh, Gongzhen Xin, Gijs Struijk, Giuliano Vernengo, Mariko Kuroda, Stephen Minnich, Peiyuan Feng, Min Woo Kim: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-03-02-05, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Guideline on the CFD-based Determination of Wind Resistance Coefficients, (2024).
・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-01, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: General Guidance and Introduction to Ice Model Testing, (2024).
・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-02.1, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Resistance Tests in Ice, (2024).
・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-02.3, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Manoeuvring Tests in Ice, (2024).
・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-03, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Guidelines for Modelling of Complex Ice Environments, (2024).
・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-02, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Test Methods for Model Ice Properties, (2024).
・Mariko Kuroda: Proposal for an update of the calculation method for the added resistance in waves, International Towing Tank Conference, Full-Scale Ship Performance Committee （ITTC FSSPC）, (2025).
・Mariko Kuroda: Introduction of the evaluation method for ship performance in actual seas using onboard monitoring data, International Towing Tank Conference, Full-Scale Ship Performance Committee （ITTC FSSPC）, (2025).

◆その他発表論文：33 件
・辻本勝: OCTARVIA プロジェクトの成果, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, (2024).
・白石耕一郎, 久米健一, 新川大治朗, 川並康剛: プロペラキャビテーションノイズの簡易推定ツール, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-3, (2024).
・一ノ瀬康雄, 花木孝明, 濱田達也, 大橋訓英: データ強化型 CFD による推進性能向上-FBG 圧力センサによる乱流モデルのチューニング-, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-2, (2024).
・新川大治朗, 川島英幹, 濱田達也, 拾井隆道, 川北千春: Numerical Study on the Influence of Air Bubbles around the Ship Hull on the Propulsive Efficiency, 日本船舶海洋工学会令和 6 年度春季講演会 論文賞受賞記念講演, (2024).

・白石耕一郎, 澤田祐希, 新川大治朗: Deformed shape estimation for flexible composite marine propellers by image registration, 日本船舶海洋工学会令和 6 年度春季講演会 論文賞受賞記念講演, (2024).
・新川大治朗, 川島英幹, 白石耕一郎, 枌原直人: 空気潤滑システムの吹出パターンが推進性能に与える影響－4,990DWT タンカーにおける数値シミュレーション－, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 38 号, pp. 771-775, (2024).
・辻本勝: OCTARVIA2 の総括, 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 成果報告会, (2024).
・杉本義彦, 黒田麻利子: OCTARVIA 会議の活動, 実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクトフェーズ 2 成果報告会, (2024).
・新川大治朗, 川島英幹, 濱田達也, 白石耕一郎: Numerical study on the mechanism of bubble-propeller interaction in air-lubrication ship, 20th International Workshop on Trends in Numerical and Physical Modelling for Industrial Multiphase Flows (Multiphase 2024), (2024).
・辻本勝, 松本光一郎: 実海域実船性能評価プロジェクトフェーズ 2 の取り組み, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 605-610, (2024).
・黒田麻利子, 杉本義彦: 実海域実船性能評価に関する国際標準化, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 667-672, (2024).
・松沢孝俊, 赤根英介: 北極海において「みらい II」が持つ可能性, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 139-144, (2024).
・安斎圭祐, 山内豊, 水野滋也, 松沢孝俊: タクタイルセンサを用いた平坦氷中における船体表面上圧力分布の解析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 159-164, (2024).
・櫻田顕子, 黒田麻利子, 枌原直人, 辻本勝: 低速時の波浪中抵抗増加と大斜航時の前後力の推定精度向上, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 619-626, (2024).
・横田早織, 枌原直人, 秋林秀聡, 島田一孝: 代替燃料利用による GHG 削減効果の評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 649-654, (2024).
・久米健一: 風力アシスト船に関する ITTC の取り組み －海上試験法ガイドライン－, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 491-494, (2024).
・川島英幹, 濱田達也, 若生大輔, 新川大治朗, 藤井啓太: 船底の表面粗度が空気潤滑の抵抗低減効果に与える影響について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 547-552, (2024).
・白石耕一郎, 久米健一, 新川大治朗, 川並康剛: プロペラキャビテーションノイズの簡易推定法の改善, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 597-604, (2024).
・立川拓也, 蓮池伸宏, 白石耕一郎, 安東潤: 伴流分布が水中放射雑音に与える影響に関する調査, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 589-596, (2024).
・一ノ瀬康雄: 大規模言語モデルの船舶設計利用に向けた設計システムのアーキテクチャに関する一考察, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 941-946, (2024).
・新川大治朗, 川島英幹, 白石耕一郎: 内航船における空気潤滑システムの横傾斜および斜航時の数値計算, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 559-566, (2024).
・新川大治朗, 川島英幹, 濱田達也, 若生大輔: 摩擦抵抗低減への挑戦 －空気潤滑法の開発－, ナカシマデザインコミッティ 2024, (2024).
・新川大治朗, 金丸崇, 澤田祐希, 白石耕一郎, 安東潤: プロペラ翼端渦の PIV 計測と理論計算法によるモデル化, 日本船舶海洋工学会第 28 回推進・運動性能研究会, (2024).
・新川大治朗: 泡の力で船を省エネ化- 抵抗低減技術の開発と最前線-, 海と産業革新コンベンション, (2024).
・辻本勝: OCTARVIA プロジェクト（フェーズ 1・フェーズ 2）の成果, 第 87 回実海域推進性能研究会, (2024).
・松沢孝俊: 環境にやさしい北極海の利用と基盤となる氷海変動の実態把握と予測: 氷海変動の実態把握, 第 1 回北極域研究船「みらい II」シンポジウム, (2024).
・櫻田顕子: RCM による実海域実船性能の検証法の開発, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会.
・横田早織, 枌原直人, 秋林秀聡, 島田一孝: 代替燃料を使用した場合の GHG 排出量推定手法, 第 87 回実海域推進性能研究会, (2024).
・久米健一: SC on Performance of Wind Powered and Wind Assisted Ships 活動状況報告, 日本船舶海洋工学会第 28 回推進・運動性能研究会, (2024).
・白石耕一郎: プロペラキャビテーションノイズの簡易推定法の高度化, ターボ機械協会第 24 回プロペラ分科会, (2024).
・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, 第 53 巻第 1 号, pp. 11-18, (2025).
・白石耕一郎: 海洋環境保全に向けた船舶水中騒音予測ツールの開発と活用, Class NK R&D Forum 2025, (2025).
・白石耕一郎, 澤田祐希, 新川大治朗: 透明模型翼型を用いたキャビテーション気泡の可視化方法の検討, 日本船舶海洋工学会第 30 回推進・運動性能研究会, (2025).

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）の国際標準にするための活動を行い、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燃料消費量だけではなく輸送効率でも評価する技術の開発、及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効果をばらつきを考慮して統計的に評価することにより、一般化する手法を構築することで環境負荷の低減に貢献した。
・実海域での省エネ効果を向上させる高度空気潤滑システム AdAM を実船適用することにより、環境負荷低減に貢献した。
・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、及び、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、十分に大きいか

・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、波浪中抵抗の時系列評価は、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。
・風力アシスト船等の海象の影響を受ける省エネシステムの効果は、船速航路の最適化により効果が最大化されるため、日時による影響で、統計的評価を行い効果を一般化する意義は大きい。
・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、今回それを事前データベース不要な逐次型に発展したことは、計算効率の向上及び一般化につながるものでその意義は大きい。
・本研究の成果により、4 件の学会賞等を受賞しており、科学的意義が十分にあるものと認められる。

□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、さらなる性能評価及び検証につなげた。
・外部データベースや外部プログラムとの連携が見込まれる時期に、実船データベースの作成やプログラムの API 化を行い、外部との連携が可能となるように環境を整えた。

□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。
・当所で開発したプログラムの API 化は、外部プログラムとの連携を見越して実施しているもので、国内のプログラムやデータベースの連携を深めることで、我が国の海事産業の国際競争力向上に貢献できるものである。

□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

・水素、アンモニア等の次世代代替燃料の実用化を見越し、燃費性能評価ツールの開発を行っている。
・実船モニタリングの普及拡大、データベース・プログラム間の連携の円滑化・活発化を見越した環境整備、及び環境を活かした目標を掲げて、実船性能診断技術開発を行っている。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R6年度）	A

【コメント】
・国際海運分野における環境規制に対し、データ同化を用いたシミュレーション技術の発展をはじめ、低速船評価モデルの精度向上、代替燃料船の輸送効率を考慮した省エネ効果評価法の開発、実船モニタリングデータ・AIS データ・要目データを用いた実海域性能改善技術の開発などの要素技術開発を行い、プログラム開発やシステムパッケージ化などを通し、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、高度空気潤滑システム等の省エネシステムの実船適用や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開発を行った実海域実船性能評価法の国際標準化に取り組むことにより、我が国海事産業の競争力強化に大きく貢献した。

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、その成果については社会実装にも結びついていることから、「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（R6年度）	A

【コメント】
・内航船への GHG 排出削減の対応策の１つになり得る周期吹き出し法で省エネ効果向上させる高度空気潤滑システム AdAM を実船の内航貨物船に適用し、約 5%の実質省エネ効果を実現できたことは、社会的価値及び適切な時期に創出した点で顕著な成果であるといえる。
・水中騒音推定ツールのデータベースを拡充し、船種の影響を考慮でき、±5dB 以内の精度での予測ツールを開発したことは、今後の水中騒音の国際的議論に先駆けて実施していると判断される。
・実船・海象データと解析プログラム間の連携強化など、海洋環境の保全に貢献する非常に多くの成果が得られ、科学雑誌掲載論文、査読付き国際会議論文、特許申請、IMO/MEPC、ITTC、ISO 等多くの国際連携活動で公表され、複数の受賞実績もあり十分な成果があると評価できる。

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、「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。

重　点　分　野	(2)海洋環境の保全

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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 －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、水素専焼時の異常燃焼を抑制する技術の開発、ゼロエミッション燃料の排出ガス特性の評価及び後処理装置の検討、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

〇GHG 削減技術の高度化及び安全・環境対策に関する研究

［R6 年度予算： 21,635 千円、研究担当者： 25 名］

研　究　の　背　景

持続可能で暮らしやすい社会の実現のために、船舶から排出される環境負荷物質を削減し、海洋環境を保護する必要がある。船舶から排出される環境負荷物質としては、航行する船舶の動力システムから排出される排ガスだけでなく、船体に塗布された防汚塗料由来の化学物質の拡散や沈船からの重油の流出による海洋環境汚染などがある。これら環境負荷物質の削減は強く求められている。

船舶からの GHG 排出については、国際海事機関(IMO)は、2030 年、2040 年それぞれに 2008 年比 20～30%削減、70～80%削減の目安、2050 年頃には GHG 排出ネットゼロの目標を定め、内航海運においては、2021 年に閣議決定された地球温暖化対策計画によって、2030 年度に 181 万トンの CO_2 削減（2013 年度比約 17%削減）の目標が決められた。また、2050 年には我が国のカーボンニュートラルに向けて船舶分野も協力していくことが求められている。GHG 削減のために、水素・アンモニア・メタノール・バイオ燃料等の代替燃料やバッテリー推進システムの利用による GHG の排出削減が政策に取り入れられている（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など）。

研　　究　　目　　標

本研究では、代替燃料やバッテリーを利用した船について、その開発に係わる技術力の獲得並びに技術開発・実証や関連する安全基準の策定に資するための研究開発を実施する。水素やアンモニアをエンジンにおいて安全に燃焼させるための要素技術や排ガス中の環境負荷物質の処理技術の開発を国内メーカーと協力して行う。さらに、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。そこで、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関連し、船外へ放出される物質の環境中濃度などの評価技術、モニタリング技術及び合理的後処理技術の高度化を行い、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。具体的な研究項目と目標は下記である。

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の一環として、デュアルフューエル※から専焼を目指す上での課題を抽出し（2026 年度）、アンモニア専焼コンセプトを提案する（2029 年度）（※デュアルフューエル：ガス燃料を少量の液体燃料（軽油や重油）で着火・燃焼させる方式）。

次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化を目指し、各種新燃料の噴霧・燃焼特性解析のための実験技術を確立し、実験装置群の開発を行う（2024 年度）。さらに、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を構築・公開する（2028 年度）。

次世代燃料使用における安全・環境評価技術として、規格に沿った CN（Carbon Neutral）燃料の混合率、着火性指標（CCAI）と着火性との関係を公知化する。また、各種次世代燃料の安全利用のためのガイドラインの提案、排ガス処理性能予測手法の提案を行う（2026 年度）。

船舶運航における環境影響評価技術の高度化の一環として、モニタリング手法を標準化し、船舶由来物質の環境影響を予測する。また、船体の防汚評価手法を構築する。

内航・外航海運の省エネ化・GHG 削減対策に資する普及・実用技術として、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を社会実装する。

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の一環として、エマルション化技術を利用した油回収システムを構築する（2023 年度）。

令 和 6 年 度 の 研 究 目 標

（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

- 257kW 中速ディーゼル機関において、供給するガス噴射弁を制御することで、排ガス中のメタン、窒素酸化物（NOx）を低減する（目標：メタン 80%、NOx60%削減）。
- 400kW 高速ガスエンジン機関において、水素専焼時の異常燃焼の発生条件の明確化や EGR（Exhaust Gas Recirculation, 排気再循環）による異常燃焼抑制技術の抑制効果を確認し、参画する国内エンジンメーカーの水素専焼エンジン開発プロジェクトに貢献する。
- 国内エンジンメーカー、機械メーカーと共同し、実エンジン試験を実施し、NH_3 と軽油を混焼させた実エンジン排ガスを用いて、排ガス浄化試験を実施する。また、NH_3 がヘプタンの着火に及ぼす影響を調査する実験装置を製作する。
- NH_3 分解による H_2 生成のためにテスラコイルを用いた高周波プラズマ生成装置の開発を行い、NH_3 分解率 40%以上を目指す。また、副室燃料にアンモニア分解ガスを用いた副室火花点火式アンモニア予混合燃焼システムの開発に向けて基礎燃焼特性を評価する実験装置を構築する。

（2）次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化

- 大型エンジンを対象として次世代燃料の燃焼状態が評価できる設備の構築と、CFD 解析のための検証用データを取得するための計測技術を確立する。

（3）次世代燃料使用における安全・環境評価技術

- 前年度に引き続き、アルコール系燃料（メタノール、エタノール）と既存燃料の混合時の着火性評価を行い、混合比と着火特性の関係を明確にする。また、着火性の低いメタノール、エタノールの着火性向上方法を模索する。
- 様々な次世代燃料等を用いた混焼実験を行い、PM 排出特性を比較することにより、次世代燃料使用時の PM 排出メカニズムを解明する。
- 燃焼中に生成される化学種のうち、すすの生成に寄与する C2 ラジカルと、燃焼による窒素酸化物の大半を占める NO の各時空間分布を計測し、各カーボンニュートラル燃料の排出ガス特性の評価を行う。
- アンモニア除害材の船舶への適用を検討するため、アンモニア燃料船における除害シナリオを検討し、アンモニア除害材を用いる際の性能評価方法の開発を行う。
- NEDO MS プロジェクト（NEDO「ムーンショット型研究開発事業／地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現／産業活動由来の希薄な窒素化合物の循環技術創出　－プラネタリーバウンダリー問題の解決に向けて」）にて研究開発されている NTA 触媒(NOx を吸着し、アンモニアに変換して資源として回収する触媒)に対して、舶用エンジン排気後処理への適用を想定した性能評価を行い、その課題抽出を行う。
- メタン発熱及び NOx 吸着の減少による触媒の性能改善効果について検討するために、排気における触媒性能評価モデルを構築し、前年度の実験結果の検証を行う。
- IMO における、アンモニア燃料船及び水素燃料船の国際安全ガイドラインを策定する CG

（Correspondence Group）の対応、IMO 提案文書の原案を作成し、CCC10（Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers, 10th session）におけるアンモニア燃料船及び水素燃料船の国際安全ガイドラインの最終化の審議に貢献する。

（4）船舶運航における環境影響評価技術の高度化

・EGCS（Exhaust Gas Cleaning Systems, 排気浄化装置）からの排水モニタリング用濁度センサーの性能評価のための ISO 規格を提案する。

・船舶由来の環境影響物質の環境中濃度の予測可能範囲を、海域に加えて大気質に拡張する。今年度はメソスケール(2～2,000 km)に限定した調査研究を実施する。

・藻類(褐藻)を用いた船底防汚塗料性能評価試験法の国際規格化、及び藻類を緑藻へ拡張した当該試験法の妥当性・有効性を確認する。船体水中洗浄が船底防汚塗料及び環境に及ぼす影響評価の具現化について継続調査を行う。

（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

・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を踏まえた GHG 削減目標達成のための技術を構築する。

（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

・油回収評価試験装置の改修、並びに当該試験装置を用いた基礎実験を実施する。回収油はエマルション状態となっており、特に粘性が高い W/O 型（Water in Oil 型）のエマルションについて、粘性低下、相転移、解乳化など、流体特性について詳細に計測を実施し、知見を蓄積する。

令和６年度の研究内容

（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

①既設機関の 1 気筒デュアルフューエル化に関連した研究

1 気筒デュアルフューエル化を目指した電子制御装置を製作し、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た。任意のクランク角度にて、任意の噴射量を噴射可能にしたが、ガス燃料の割合が低い（ガス燃料と液体燃料の割合はエネルギー割合で 20:80）ため、今年度はガス燃料の割合を高めるように改造し、実験を行った。ガス燃料の噴射割合を変更して、ガス燃料の吹き抜け割合や、排ガスに与える影響を調査した。

②水素専焼対応技術に関連した研究

舶用水素専焼エンジンの課題である異常燃焼への対応技術を開発することを目的として、民間企業と共同（日本財団助成事業）で異常燃焼発生条件の特定及び異常燃焼対策技術である排気再循環（EGR）技術の装置開発と評価試験を実施した。

③アンモニア燃焼支援による GHG 排出量の削減

所内の NH_3 と軽油を混焼できる小型単気筒ディーゼル試験機を利用して、実排ガスを用いて排ガス後処理装置の試験を実施し、共同研究先が設計試作した排ガス後処理装置により、排ガス浄化性能を確認した。また、海技研独自の研究として、NH_3 雰囲気中の軽油の自着火過程を調べるために、小型の着火試験装置を設計し製作した。

④アンモニア専焼方法開発

副室式 NH_3 ガス専焼機関の開発に向けて、副室内で NH_3 を改質して H_2 を生成する半導体型テスラコイルを用いた高周波プラズマ生成装置を開発した。プラズマ生成周波数は、産業科学医療用バンド（ISM: Industrial Scientific and Medical Band ）の 13.56MHz 帯を使用することとし、副室に取り付けるプラズマ放電用電極として、市販スパークプラグを改良した。開発した高周波プラズマ生成装置が、13.56MHz のプラズマを改良スパークプラグ先端において生成できることを確認した。

アンモニア分解ガスを副室燃料に使用した副室火花点火式アンモニア予混合燃焼システムの研究について、当所が所有する可視化定容燃焼容器に副室燃焼システムを追加する装置の設計・部品製作を完了した。

（2）次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化

①大型エンジン用の次世代燃料評価設備の構築と、計測技術の確立

大型エンジンを対象として次世代燃料の燃焼状態が評価できる設備の構築と、CFD 解析のための検証用データを取得するための計測技術の確立のために下記を実施した。

・水素噴流可視化のための光学的可視化手法の構築

・燃料噴射率計の試作・評価

・容器内速度場の計測手法

（3）次世代燃料使用における安全・環境評価技術

①ドロップイン燃料の着火性評価

アルコール系燃料（メタノール、エタノール）と既存燃料の混合時の着火性評価を行い、混合比と着火特性の関係を明確にした。また、着火性の低いメタノール、エタノールの着火性向上方法を模索した。

②PM 排出特性の評価

次世代燃料の例として、水素とアンモニアを取り上げ、単気筒小型 4 ストロークディーゼル機関を用いて、水素混焼時（吸気に水素を供給）とアンモニア混焼時（吸気にアンモニアを供給）に排出される PM 計測を行い、両者の比較を行った。

③光学計測による燃焼中の NO、すす生成の評価

噴霧燃焼画像から、すすの生成と酸化、あるいはすすと窒素酸化物の生成といった 2 つの情報を得られる 2 分岐光学系を組み込んだ高速度ビデオカメラを用いて、含酸素燃料との混合燃料の燃焼中に生成されるすす及び窒素酸化物の時空間分布の同時計測を試みた。この計測方法の検証として、すすの生成に対する燃料の感度評価と、一酸化窒素の時空間分布の撮影を実施した。

④アンモニア除害材の性能評価（NEDO エネ環先導プログラムにて実施）

アンモニア燃料船においてアンモニアのパージが必要となるシナリオを検討し、アンモニアの気相及び水中から除害する除害・回収・再利用システムの要求性能を推定した。

システム実用化検討のため、入手したアンモニア吸着材粉末を用いて、シート状成形品の検討を行った。成形条件がアンモニア吸脱着性能に与える影響を調査するため、破過試験、TPD(昇温脱離)を用いて調査した。

水中からのアンモニア除害を想定し、水中のアンモニア濃度をモニタリングするため、複数のアンモニア計測装置を用いて比較検討し、評価試験法の検討を行った。

⑤舶用 NTA 触媒システムの性能評価

NTA 触媒(NOx−アンモニア変換)を用いて、舶用ディーゼルエンジン及びガスエンジンの実排気中における性能評価を行った。

⑥メタン酸化触媒の性能評価

排ガスでのメタン酸化触媒性能評価モデルを構築し、メタン酸化時の触媒内部の温度分布の実験結果を用いて検証を行った。

⑦代替燃料船の安全規則

IMO における水素、アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの検討に関する CG に適切に対応するため、国内業界意見案のとりまとめ、対策資料案の作成及び提案文書案の作成を行った。

（4）船舶運航における環境影響評価技術の高度化

①EGCS からの排水の濁度の標準化を目的とした調査研究

計測法による計測値への影響把握に関して、黒色標準粒子と白色標準粒子を混合した実験を追試し、計測法による計測値への影響を確認する。また、ISO 規格の素案作成に関して、ISO 提案のための標準サンプルの仕様を決定し、ISO 規格の素案を作成した。

②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

船舶由来の環境影響物質の環境中濃度の予測可能範囲として、海域に加えて大気質に拡張した。今年度はメソスケール(2～2,000 km)に限定した下記の調査研究を実施した。

・発生源の把握

排出インベントリの調査：大気汚染の解明においては、人為起源の大気汚染物質の排出量の把握が重要である。大気汚染物質の排出量に関しては、排出量データベースとして複数提供されているところ、積み上げ方法や思想が異なるため、推計手法を調査した。調査対象は、EDGER(Emission Database for Global Atmospheric Research)、HTAP(The Task Force Hemispheric Transport of Air Pollution)、REAS(Regional Emission inventory in ASia)とした。

・気象モデル及び化学輸送モデルの調査

化学輸送モデルの移流、拡散、及び沈着過程においては、三次元での時間・空間変化からなる気象要素を正確に把握が必要である。そこで、化学輸送モデルに必要な、微粒子や水滴の挙動のような微物理過程を含む気象モデルを調査した。調査対象は、気象過程と化学過程の相関、例えば降水除去プロセス、物質と大気放射のフィードバックを連成できるオンライン解析手法である。

・船舶航行排出物が大気質に与える影響評価（予備解析）

調査により選定された化学輸送モデルに排出インベントリを与え、船舶由来の寄与をメソスケールにて評価した。

③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

本研究項目に関して、下記の 2 つの項目を実施した。

・藻類（褐藻）を用いた船底防汚塗料性能評価試験法の開発

提案した試験法について、ISO（国際標準化機構）/TC 8（船舶及び海洋技術専門委員会）/SC 2（海洋環境保護分科会）/WG 5（船底防汚システム）における審議に継続対応した。また、供試生物を異なる藻類（緑藻）へと拡張し、当該試験法の再現性及び評価法の有効性について検討した。

・船体水中洗浄が船底防汚塗料及び環境に及ぼす影響評価の具現化

実船を用いた水中洗浄試験及び調査を実施した。当該調査研究は、日本船舶技術研究協会からの請負研究と併せて実施した。水中洗浄試験計画を作成し、実証試験により水質及び生物分析結果を取り纏めた。

（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

①GHG 排出削減を目指した内航貨物船の建造支援

外部機関と連携して、GHG 排出削減を目指した新たな省エネ技術を搭載した内航貨物船の建造と効果検証を支援した。2025 年 1 月に就航した 499GT 内航貨物船「ちゅらさん」では、高度空気潤滑システムやコンテナ型バッテリーシステム、船内監視・陸上サポートシステムといった新技術を導入しており、それらの効果検証を進めてきた。

②次世代燃料の利用技術

国内外において、水素やアンモニアなどのカーボンフリー燃料を用いるための様々な研究開発プロジェクトが進められている。本研究においては、前年度に引き続き、外部機関と協力して実船搭載の課題を整理するとともに、様々な調査を進めた。

また、前年度より実施してきたバイオ燃料について、複数の種類のサンプル油を用いて、酸化劣化計測などの各種試験を実施し、実船においてバイオ燃料を安全に使用するための知見を得た。

（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

①回収油分離に関する研究

重油エマルション化混合液の油水分離に関して、微細気泡が威力を発揮することが示されている。そこで、流体力学に基づき簡便に微細気泡を生成可能なデバイスであり、多方面で利活用されているベンチュリ管を用いて、重油エマルション化混合液に微細気泡を積極的に接触させることが可能な試験計測装置を製作し、回収油を対象とした油水分離効果を計測した。具体的には、ベンチュリ管通過後の回収油に対して水分率を計測し、回収油や空気流量との相関を取得することを目的に検討を行った。

②回収油の流動性に関する研究

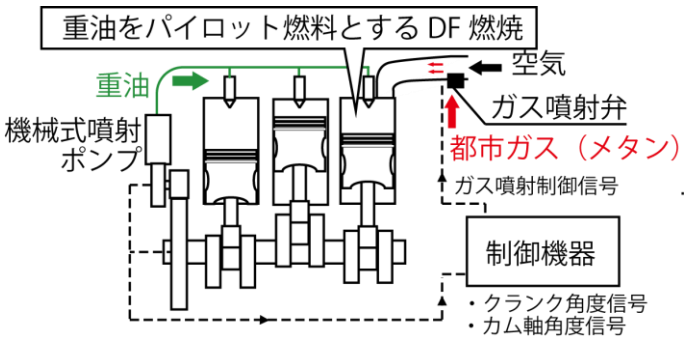
重油エマルション化に関して、エジェクターによる重油回収移送試験を実施し、試験結果を基に実用化に向けた重油回収システムの開発に取り組んだ。今年度はエジェクター近傍の流場を改善するために新たに予備噴射装置を設けた。また、「重油＋海水＋界面活性剤」の 3 成分による重油エマルション化について基本的な試験を実施し、界面活性剤の成分の違い（イオン性など）によって反応が異なることから、回収重油の環境状況に応じた使い分けなどについて検討した。

令和６年度の研究成果

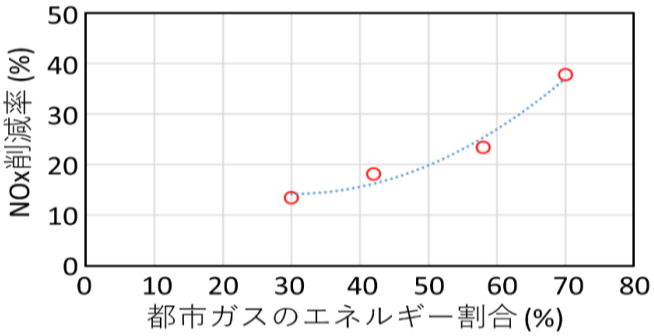
（1）水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発

①既設機関の 1 気筒デュアルフューエル化に関連した研究

図Ⅰ．2．(2)．⑥．1 に 1 気筒デュアルフューエル化の概要図を示す。既設ディーゼルエンジンの 1 気筒を対象に、エンジンに供給する空気に、都市ガス（主成分：メタン）を供給し、重油をパイロット燃料として、ガス燃料を着火燃焼するデュアルフューエル（DF）燃焼を実施し、未燃メタンや NOx の低減方法を研究開発している。メタンガスの噴射量やタイミングを任意に変更するために制御機器を改良・製作した。この制御機器を用いてメタンガスの噴射時期をクランク角度 0 度～90 度の間で変更し、メタンガスのエネルギー割合を 70%まで変更して実験を行った。本実験において、導入されたメタンは約 93%燃焼し、窒素酸化物（NOx）はガスをエンジンに導入する前（従来の重油のみの運転）の状態に比べて約 40%削減した(図Ⅰ．2．(2)．⑥．2)。



図Ⅰ．2．(2)．①．1　1 気筒デュアルフューエル（DF）化したエンジン概要



図Ⅰ．2．(2)．①．2　都市ガスのエネルギー割合に対する NOx 削減率
（都市ガス（メタンガス）の混合と共に NOx が削減されている）

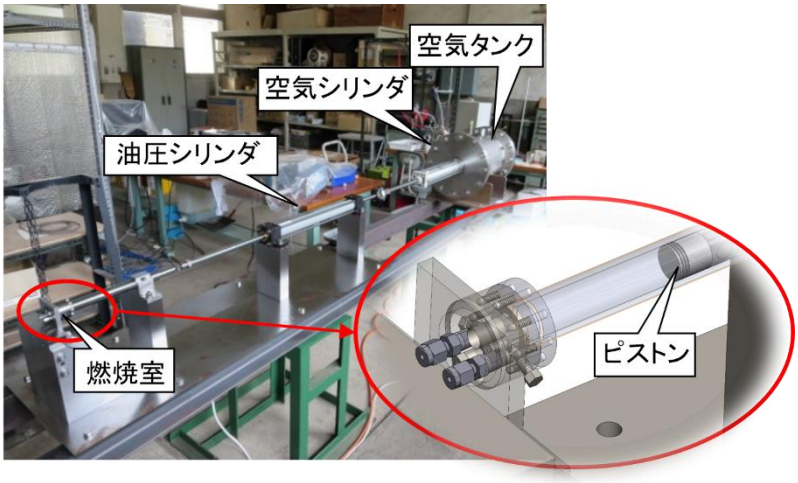
②水素専焼対応技術に関連した研究

水素専焼運転における異常燃焼の発生条件特定や対策技術（EGR 技術）評価試験を実施した。この結果、点火時期などをパラメータとした広範囲条件における異常燃焼発生条件の評価を完了した。さらに EGR 技術について装置を製作し、エンジン試験から異常燃焼におよぼす影響を評価し、課題を整理した。

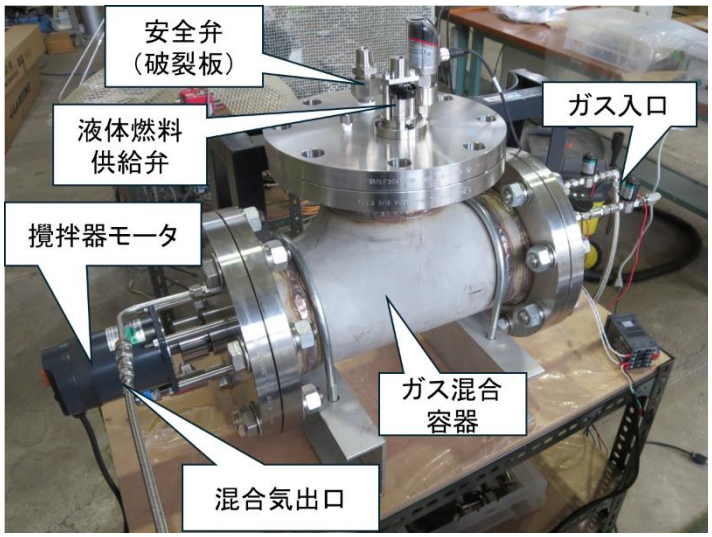
③アンモニア燃焼支援による GHG 排出量の削減

アンモニア(NH_3)と軽油を混焼できる小型単気筒ディーゼル機関（8kW）を利用して、実排ガスを用いて排ガス後処理装置の試験を実施した。共同研究先が設計試作した排ガス後処理装置により、NH_3 と軽油混焼時の NOx、未燃 NH_3、亜酸化窒素（N_2O）を 10ppm 未満に浄化できることを確認した。本成果は、舶用機器やエンジンメーカ、研究者らが参加する国際学会(CIMAC Congress 2025)の発表論文として投稿し、R7 年 5 月に発表予定である。

アンモニア雰囲気中の軽油の自着火過程を調べるために、小型の着火試験装置を設計・製作し、実験装置の基本動作を確認した（図Ⅰ．2.（2）．①．3）。



（a） 圧縮着火するための燃焼室部分と駆動機構



（b） ガス混合のための容器

図Ⅰ．2.（2）．①．3 燃焼現象の解明のための実験装置

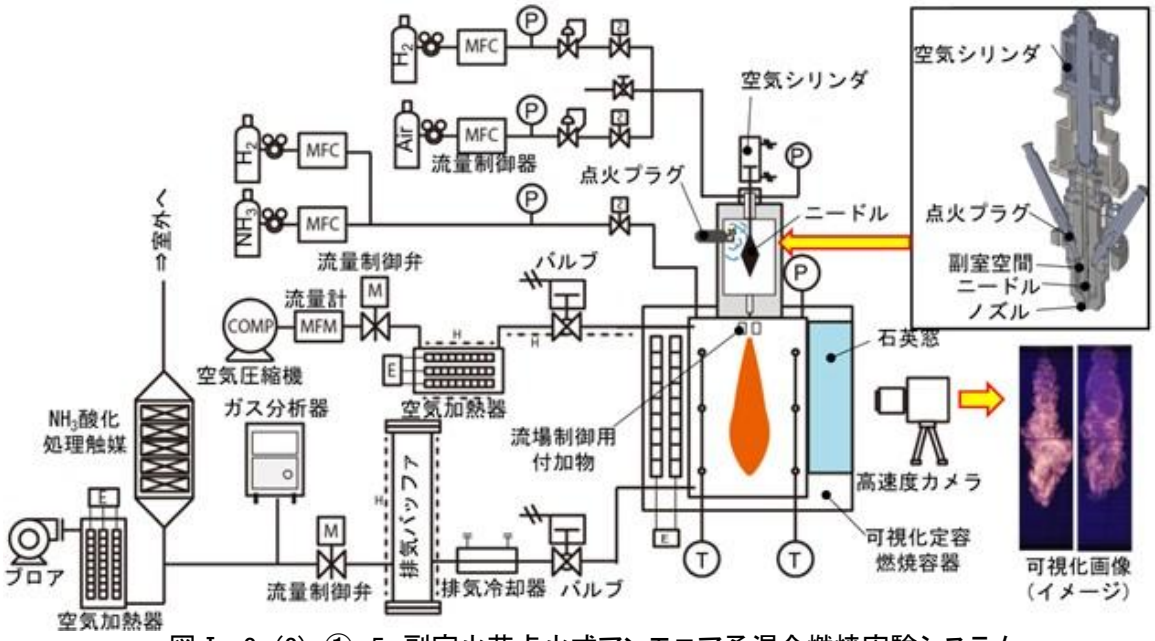
④アンモニア専焼コンセプトの提案

副室式 NH_3 ガス専焼機関の開発に向けて、副室内で NH_3 を改質して H_2 を生成する半導体型テスラコイルを用いた高周波プラズマ生成装置の開発を行った。プラズマ生成周波数は、プラズマ生成回路内の各素子のバランス調整を行い、産業科学医療用（ISM: Industrial Scientific and Medical Band ）バンドの 13.56MHz 帯とした。また、副室に取り付けるプラズマ放電用電極として、市販スパークプラグの改良を行った。開発した高周波プラズマ生成装置は、改良スパークプラグ先端から 13.56MHz のプラズマ（空気）を生成可能であることを確認した（図Ⅰ．2.（2）．①．4）。

アンモニア分解ガスを副室燃料に使用した副室火花点火式アンモニア予混合燃焼システムの研究に

ついて、当所が所有する可視化定容燃焼容器に副室燃焼システムを追加する装置の設計・製作を行った。（図Ⅰ．2.（2）．①．5）

図Ⅰ．2.（2）．①．4　改良スパークプラグを用いた 13.56MHz の高周波プラズマ



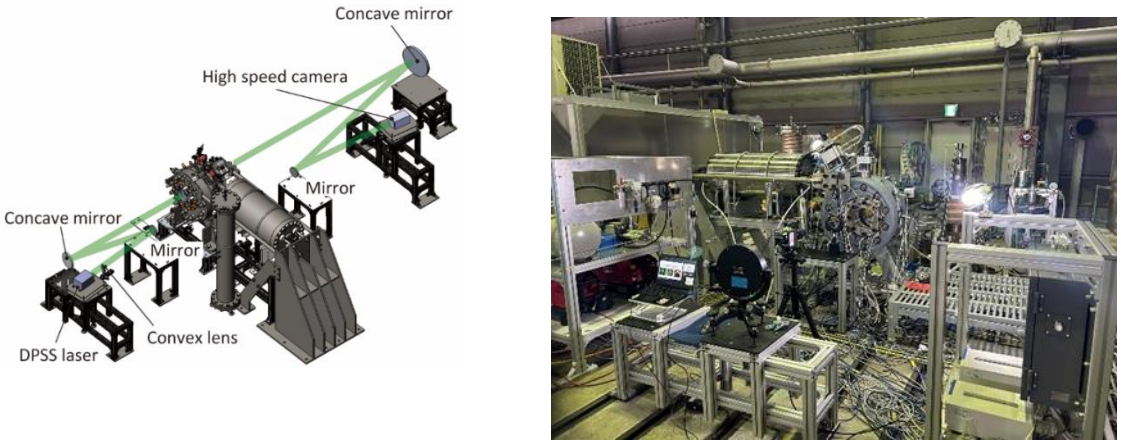
図Ⅰ．2.（2）．①．5　副室火花点火式アンモニア予混合燃焼実験システム

（2）次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化

①大型エンジン用の次世代燃料評価設備の構築と計測技術の確立

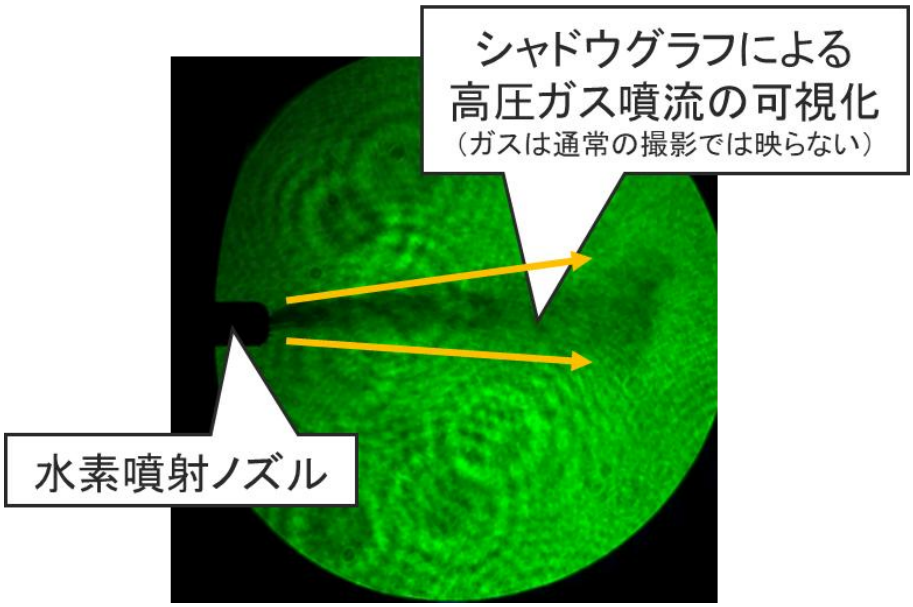
水素噴流可視化のための光学的可視化手法の構築に関して、水素噴流やアンモニア噴霧の可視化データを取得するため、当所で開発大型可視化燃焼容器に対し、平行光学系を基盤とした往復型シャドウグラフ装置を設計・設置した。本装置の光学系構成及び撮影されたシャドウグラフ画像を、図Ⅰ．2.（2）．①．6 及び図Ⅰ．2.（2）．①．7 に示す。当該シャドウグラフ画像より、水素ノズルから噴出した噴流が、周囲気体との密度差によって影画像として可視化された様子が確認できる。

本年度は、本光学系の設計・構築と基礎的な実験検証を実施し、噴流の可視化が可能であることを確認した。今後は、本装置を燃焼場へ適用することで、実機条件下における水素燃焼の可視化を実施する。



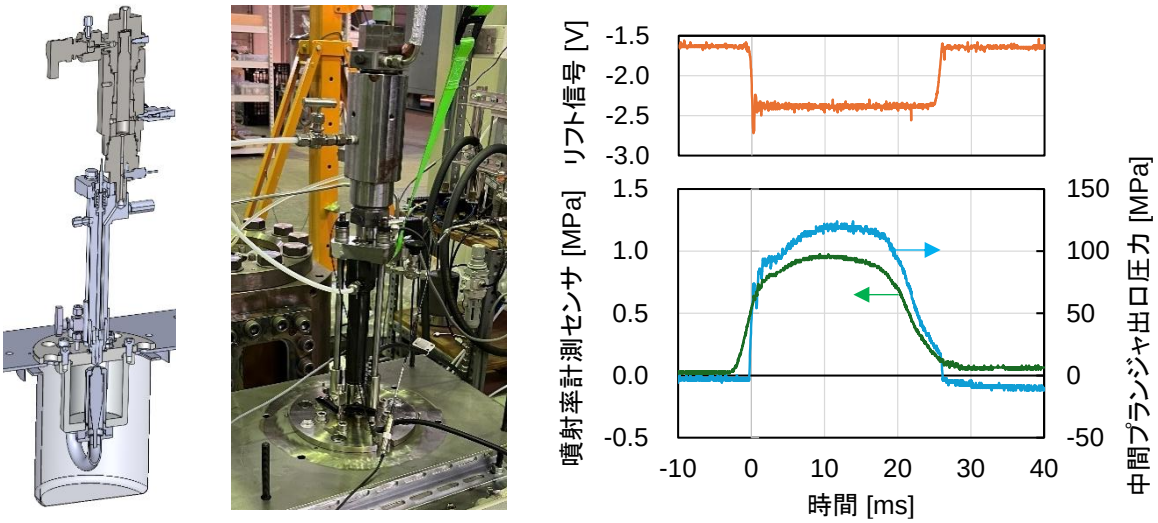
（a）配置図概要　　（b）外観写真

図Ⅰ．2.（2）．①．6　大型燃焼試験装置に適用したシャドウグラフ光学系



図Ⅰ．2.（2）．①．7　シャドウグラフ法で撮影された高圧噴流の可視化結果例
（通常の撮影では観測が困難な高圧水素ガス噴流を可視化することができた）

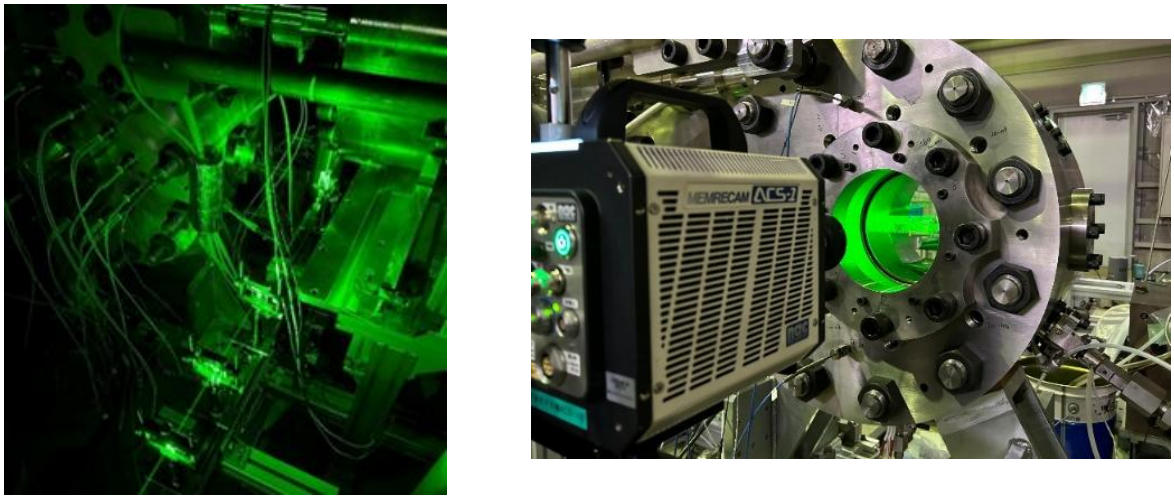
燃料噴射率計の試作・評価に関して、燃料噴射率計測に関する文献調査を実施した。燃料噴射率は、CFD 解析における初期条件として重要な物理量であり、高精度な評価が求められる。本研究では、燃料噴射率計の計測原理としてノズルから噴射される燃料噴流の運動量によって生じる反力を圧力センサーで測定することで、質量流量（噴射率）を高い分解能で算出することが可能なモメンタム法を採用した。図Ⅰ．2.（2）．①．8 に、構築した評価装置及び計測結果の一例を示す。



(a) 断面図と外観　　(b) 計測結果例

図Ⅰ. 2. (2). ①. 8 製作した燃料噴射率系と計測結果の一例

容器内速度場の計測手法の構築に関して、旋回流※の2次元データを取得するため、計測手法としてPIV(Particle Image Velocimetry, 粒子画像流速測定法)を採用し、本装置に適用した。PIVのレーザーシート系の構成を図Ⅰ. 2. (2). ①. 9に示す。焦点距離の異なる3種類のシリンドリカルレンズを用いて、DPSS(Diode Pumped Solid State, LD励起固体)レーザーから出力されるビーム光をシート光に変換した。高速度カメラにより取得された連続画像データを解析し、時間分解された2次元速度場を算出した。(※エンジンの燃焼室内の流れは、スワールと呼ばれる旋回流場となる。この雰囲気を模擬し、燃焼に与える影響を評価するために、旋回流の定量化・制御が必要。)

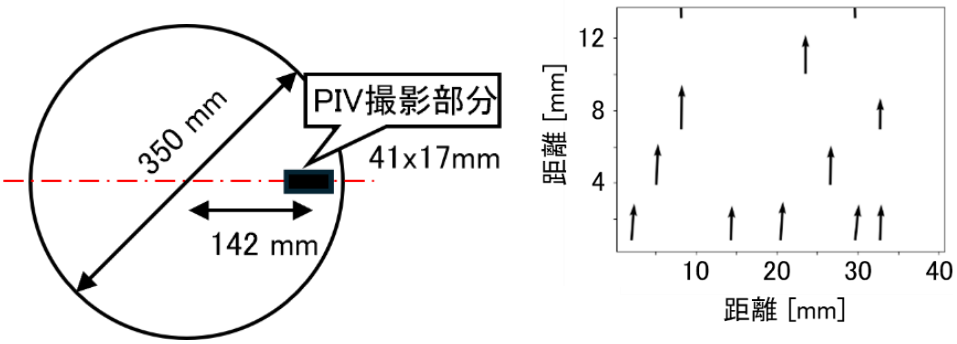


(a) 容器内へのレーザー光(緑色)の照射部分　　(b) 高速度カメラによる容器観察窓からの撮影

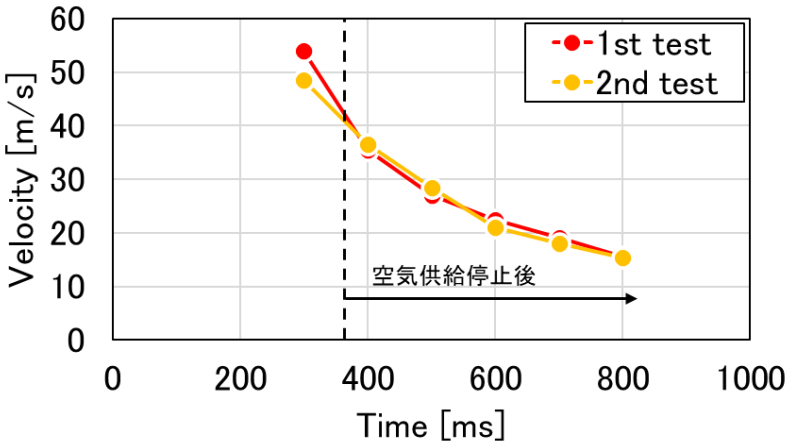
図Ⅰ. 2. (2). ①. 9 大型燃焼試験装置に適用したPIV光学系

図Ⅰ. 2. (2). ⑥. 10にPIV解析結果の一例(図(a)及び(b))と容器内の圧力・温度の時間変化(図(c))を示す。タンクからの空気供給中は容器内の流速が大きくなり、徐々に容器内の圧力が上昇して所定の圧力に達した後、タンクから空気の供給を停止させると容器内の流速・温度・圧力は時間とともに減衰する傾向が確認された。本研究の結果から、タンクから空気供給した直後は流速が大きいため、実エンジン内を模擬するためには実機と同等の旋回流場になるまで空気充填後に一定の待機時間を設ける必要があることが明らかとなった。また、旋回流が弱い場合、待機時間後であっても、容器内の圧力と温度が低下するものの、容器内の実エンジンの燃焼室の温度・圧力を十分に維持できる能力を確認した(同図(c))。旋回流速度が早い場合については、燃焼室の温度・圧力を維持できる待機時間の間に、流速を減衰させるための改良(供給する空気の流れ方向の調整など)が必要であることが分かった。

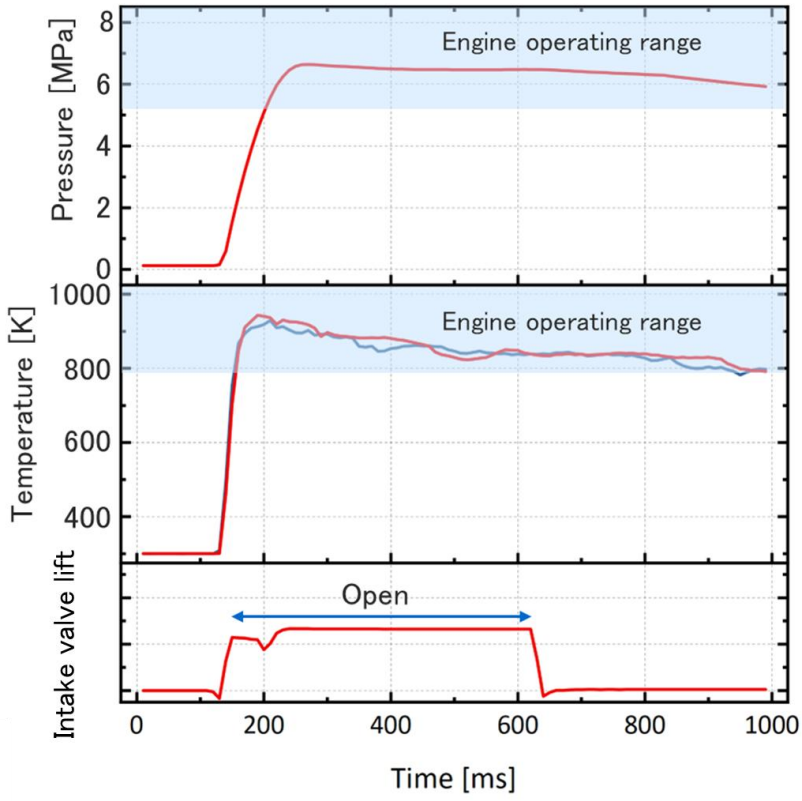
研究初年度及び当該年度の進捗により、次世代船舶用代替燃料の燃焼状態を評価可能な設備の構築を完了した。本研究で整備した基盤を活用し、次年度より燃焼データベース構築に向けたデータ取得を開始する予定である。



(a) 容器観察窓中の PIV 撮影部分と撮影部分の PIV 例



(b) PIV による流速の定量例
(PIV によって容器内に発生させた旋回流速度を測定した。
旋回流速度の減衰には、空気供給停止後の待機時間が必要であることがわかった。)

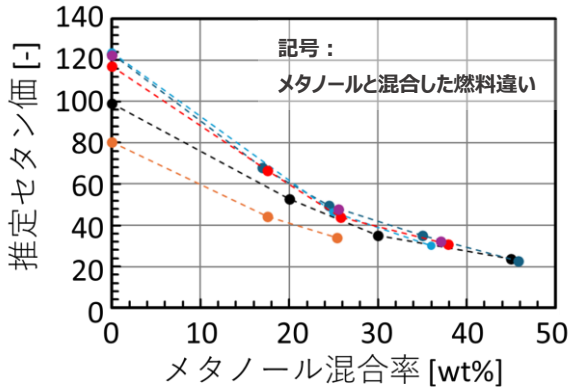


(c) 容器内の圧力・温度の測定結果例
(旋回流が弱い場合、待機時間後においても温度・圧力を実エンジンの条件を維持できる)
図Ⅰ. 2. (2). ⑥. 10 PIV 法によって計測された燃焼室内速度場の計測結果例

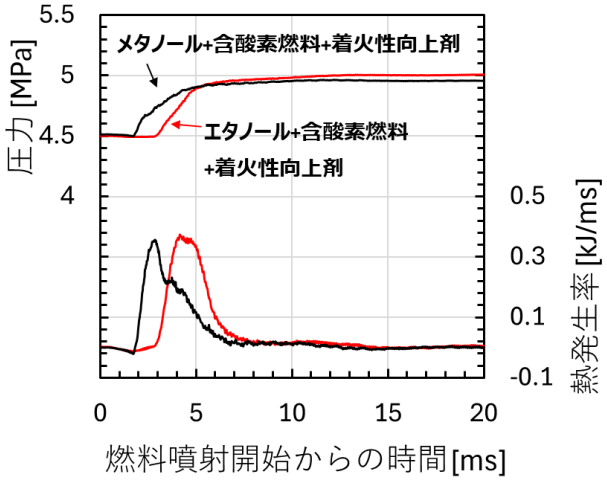
（3）次世代燃料使用における安全・環境評価技術

①ドロップイン燃料の着火性評価

石油会社との協同で、アルコール系燃料（メタノール、エタノール）と既存燃料の混合時の着火性評価を行い、A 重油相当の着火性を維持するためには、4～5 割程度の混合が限界であることが分かった。更に着火性を向上させるためには、含酸素燃料及び着火性向上剤を添加することで、アルコール系燃料を 6 割まで混合できることが分かった（図Ⅰ．2.（2）．①．11）。



（a）メタノールと様々な混合燃料の着火性評価



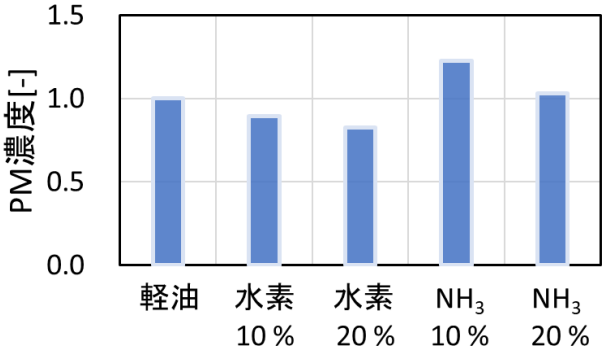
（b）メタノール、エタノール 6 割混合時の圧力、熱発生率

図Ⅰ．2.（2）．①．11 アルコール系燃料の着火と燃焼

（（a）メタノールと混合する燃料によって、メタノールの混合率に対する着火性評価指標であるセタン価は異なる。また、メタノールを 40～50%混合すると、A 重油相当の着火性になる。（b）混合率の増加のために燃料選定、着火性向上剤を使用して、60%まで混合して安定した着火・燃焼が得られた）

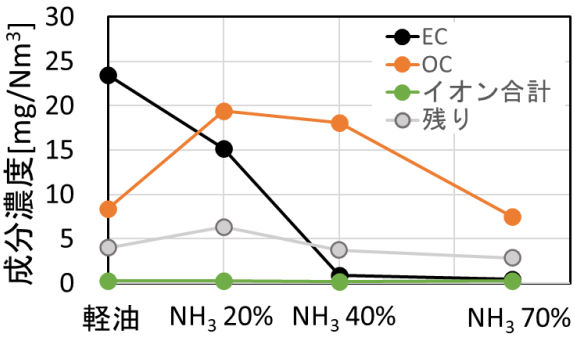
②PM 排出特性の評価

水素混焼時とアンモニア混焼時の PM 排出特性の比較のため、両者の PM 計測を実施した結果を図Ⅰ．2.（2）．①．12 に示す。水素混焼では水素の供給量を上げると、PM 濃度が減少した一方、アンモニア混焼では、発熱量でアンモニアを 10%供給した場合（NH_3 10%）や NH_3 20%において、軽油より PM 濃度が増える現象が確認された。また、アンモニア混焼時の PM の組成を分析した結果を図Ⅰ．2.（2）．①．13 に示す。アンモニア混焼では、元素状炭素（EC）は減少する一方、有機炭素（OC）は NH_3 20%において大きく増えること、OC が PM の主要成分となることが分かった。したがって、PM の排出特性の解明には、OC に関する分析が必要であることが分かった（図Ⅰ．2.（2）．①．13）。



図Ⅰ．2.（2）．①．12 水素混焼時とアンモニア混焼時の PM 排出比較例

（水素、アンモニア混焼割合によって PM 排出傾向は異なり、水素増では純減、アンモニア増では増加後に減少に転ずる）



図Ⅰ．2.（2）．①．13 アンモニア混焼時の PM 成分分析例

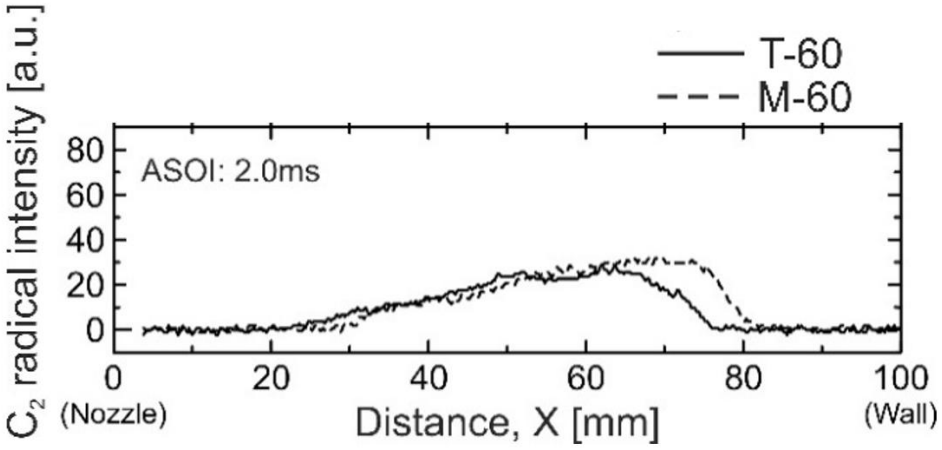
（左図のアンモニア混焼割合の増加によって PM 排出が増加後に減少する原因として、有機炭素 OC の増加が挙げられる）

③光学計測による燃焼中の NO、すす生成の評価

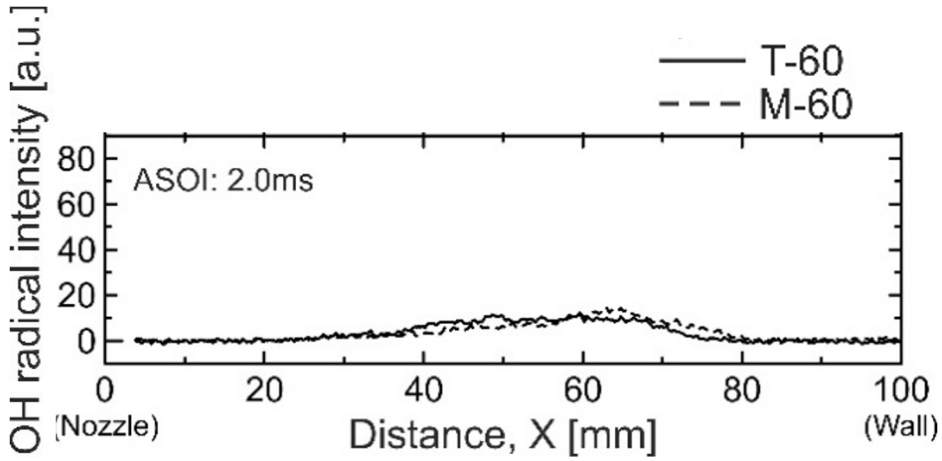
図Ⅰ．2.（2）．①．14 に、噴霧燃焼画像の燃料噴射軸（X 軸）上における C2 及び OH ラジカルの自発光強度分布を示す。C2、OH ラジカルはそれぞれすすの生成、酸化を表す。試験燃料は、ヘキサデカンに単環のトルエンと二環の 1-メチルナフタレンをそれぞれ 60vol.%混合した 2 つの燃料（T-60、 M-60）

を用いた。ヘキサデカン-メチルナフタレン混合燃料 M-60 のほうが C2 ラジカルの自発光強度は高く、OH ラジカルはほぼ変化がなかった。これより、画像解析からメチルナフタレンのすす排出量が多くなることが推定できた。

窒素酸化物の生成について、NO の時空間分布計測を試みたが、検討した光学系では NO の自発光強度が想定よりも弱く、計測に至らなかった。今後の対応として、高感度の高速度ビデオカメラを用いた撮影を実施する。



(a) C2 ラジカル

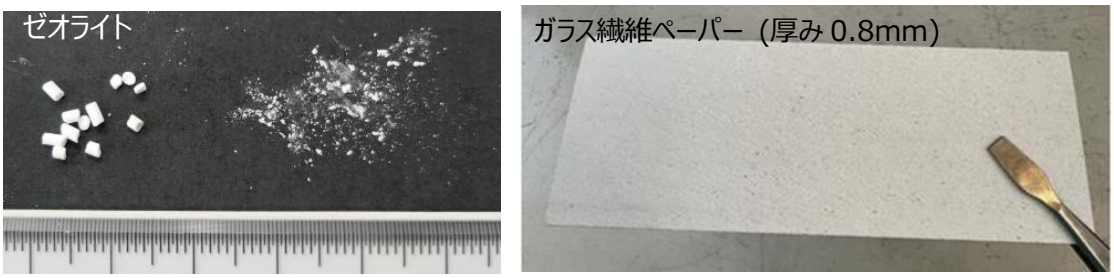


(b) OH ラジカル

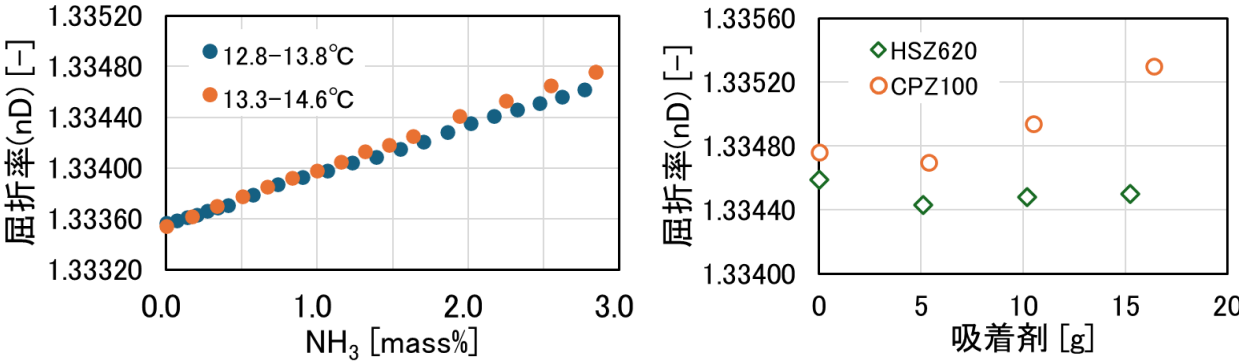
図Ⅰ. 2. (2). ①. 14　噴射軸上における C2 及び OH ラジカルの自発光強度分布
（ヘキサデカンにトルエン（T-60）、1-メチルナフタレン（M-60）を 60vol.%混合したテスト燃料では、60～80mm の位置で M-60 の C2 ラジカルが高く、OH ラジカルはほぼ変化がないことより、画像解析から燃料によるすす排出特性の違いが評価できる）

④アンモニア除害剤の性能評価

アンモニア燃料船を対象に、1 航海あたりの燃料配管等からパージされるアンモニア総量を計算し、アンモニアの気相除害、水中除害のそれぞれのシナリオについて、除害装置の要求性能を推定した。また、吸着材粉末等のアンモニア吸脱着特性を評価するため、触媒分析装置（BELCATII）を導入し、定量評価を行った（図Ⅰ. 2. (2). ①. 15）。また、ハニカム状に成形する時の成形条件を検討するため、成形時の焼成温度がアンモニア吸脱着性能に与える影響を調査した。この結果、焼成温度が上がるほどアンモニア吸脱着性能が低下することが確認された。また、水中からのアンモニア除害を想定し、水中アンモニアの吸着性能を評価するための試験方案を検討した。アンモニア濃度を連続的にモニタリングするため、モニタリング指標として pH、密度、屈折率、電気伝導度、アンモニアイオン濃度等と、任意のアンモニア水濃度との関係を調査した結果、純粋なアンモニア水では各手法ともアンモニア濃度と相関のある結果が得られたものの、粉末の吸着材をアンモニア水中に混合させると、例えば粉末自体が懸濁を引き起こすことで屈折率が適切な結果が得られなくなることが確認され、吸着材を混合させた後のモニタリング手法に改善が必要であることがわかった（図Ⅰ. 2. (2). ①. 16）。



図Ⅰ．2.（2）．①．15　除害材として評価した吸着材サンプルとシート化の例



（a）アンモニア水の場合　　（b）吸着剤を水溶液に混合した場合

図Ⅰ．2.（2）．①．16　水溶液中のアンモニア濃度と屈折率の関係
（水中アンモニア濃度モニタリングに利用可能な計測値として屈折率が利用できる可能性を見出したが、水中に粉末吸着材が含まれると含有量によって計測結果が一定にならない）

⑤舶用 NTA 触媒システムの性能評価

ガスエンジン及びディーゼルエンジンの実排気を NTA 触媒に通じた性能試験を実施し、NEDO MS プロジェクトに貢献した。

⑥メタン酸化触媒の性能評価

排ガスでのメタン酸化触媒性能評価モデルを構築し、メタン酸化時の触媒内部の温度分布の実験結果を用いて検証を試みたものの、モデルの改良が必要であることがわかった。

⑦代替燃料船の安全規則

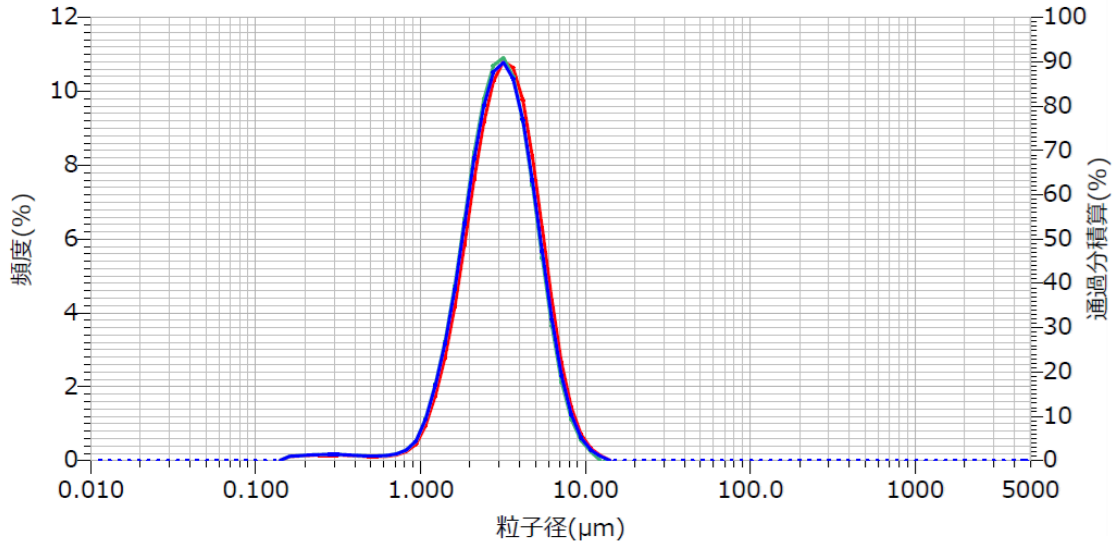
水素、アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの検討に関して、設置された通信部会（CG：Correspondence Group）の対応、国内業界意見案のとりまとめ、対策資料案の作成及び提案文書案の作成を行い、IMO 第 10 回貨物運送小委員会（CCC10）における審議及びアンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの最終化に貢献した。

（4）船舶運航における環境影響評価技術の高度化

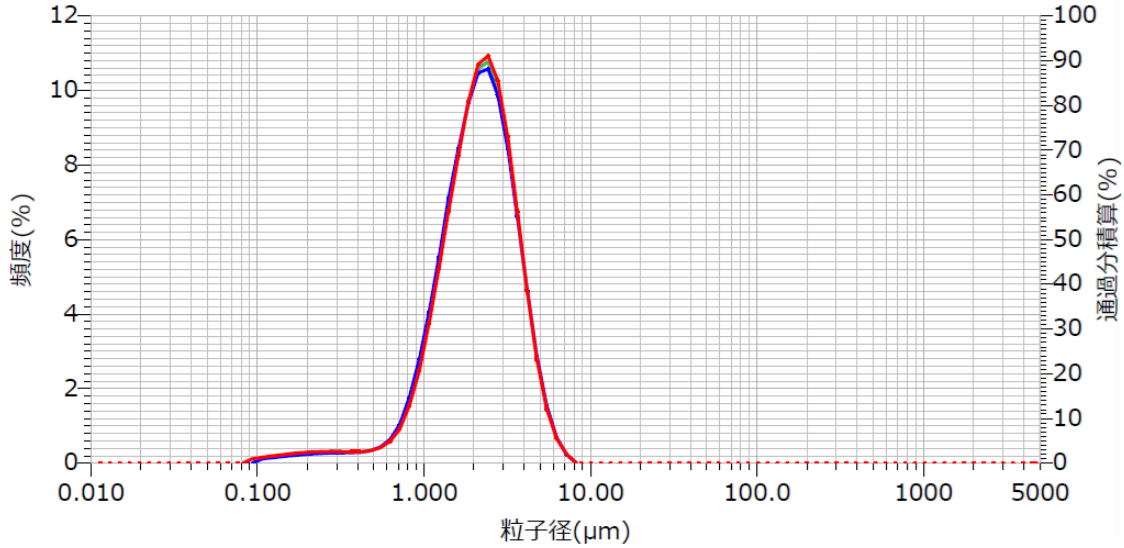
①EGCS からの排水の濁度の標準化を目的とした調査研究

計測器メーカーと昨年度までの結果の再考察を行い、計測手法が計測値に及ぼす影響について第 94 回日本マリンエンジニアリング学会学術講演会にて学会発表を行った。実船サンプルに含まれる浮遊物質の粒子色が EGCS の方式（オープンループとクローズドループ）により異なり、粒子条件により計測法（透過光法・散乱光法・レシオ法）の応答性が異なることが明らかになった。また粒径への依存性も異なった。これらの結果を元に、黒色ポリスチレン標準粒子を用いて、既存のホルマジン濁度標準に相当する標準液を作成し、追試実験を行った（図Ⅰ．2.（2）．①．17）。

ISO 規格の素案作成に関して、上述の結果を元に ISO 規格の基本コンセプトを、製品としての濁度計の計測限界を示すための標準液を提案することに決定し、ISO 規格提案のための素案を作成した。



(a) ホルマジン濁度標準の粒径分布計測結果
（メジアン径：3.1 μ m、平均径 3.4 μ m）

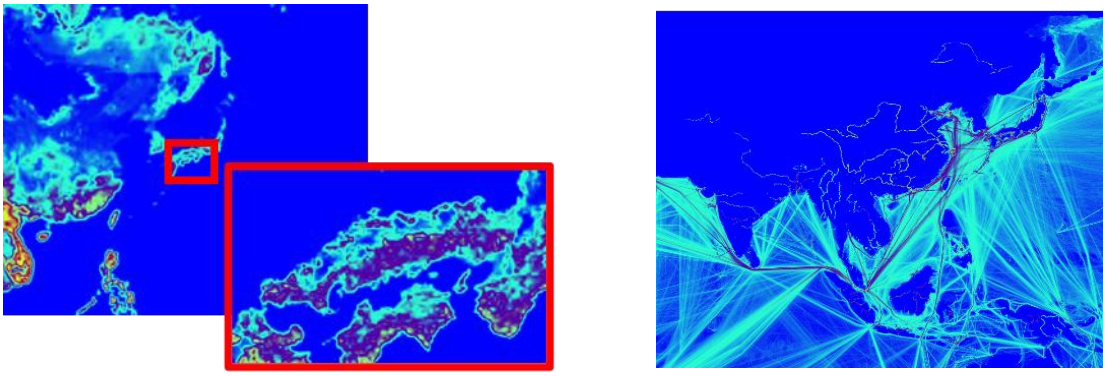


(b) 黒色ポリスチレン粒子の試作標準粒径分布
（メジアン径 2.5 μ m、平均径 2.3 μ m）

図Ⅰ．2.(2).①. 17　現在使われている濁度標準物質の粒径分布計測結果と試作した黒色ポリスチレン粒子による標準液の粒径分布の比較
（従来の濁度標準物質と同等の粒径を含有する試作標準液を作成した）

②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

船舶より排出される種々の大気汚染物質の発生源の把握に関して、当初予定していた人為起源のみならず、植物・バイオマス燃焼・火山及びダスト起源を調査した。さらに、排出量データアーカイブを精査し、各排出量が重畳しないように排出量データを整備した(図Ⅰ．2.(2).①. 18)。

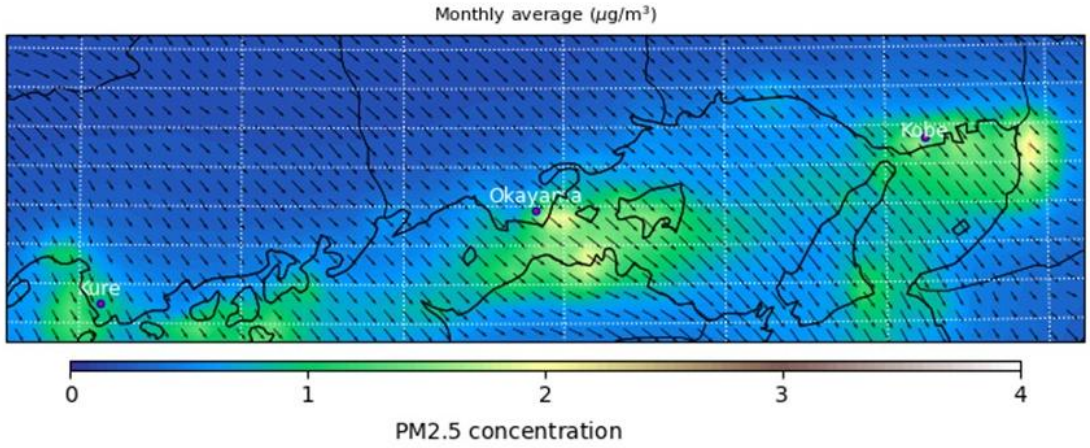


(a) MEGAN モデルによる植物光合成排出に係る葉面積指数(LAI)分布（再予測）　(b) 人為起源放出源のうち、船舶起源 PM2.5 排出分布(MIX2.1 公開データ; 推計)

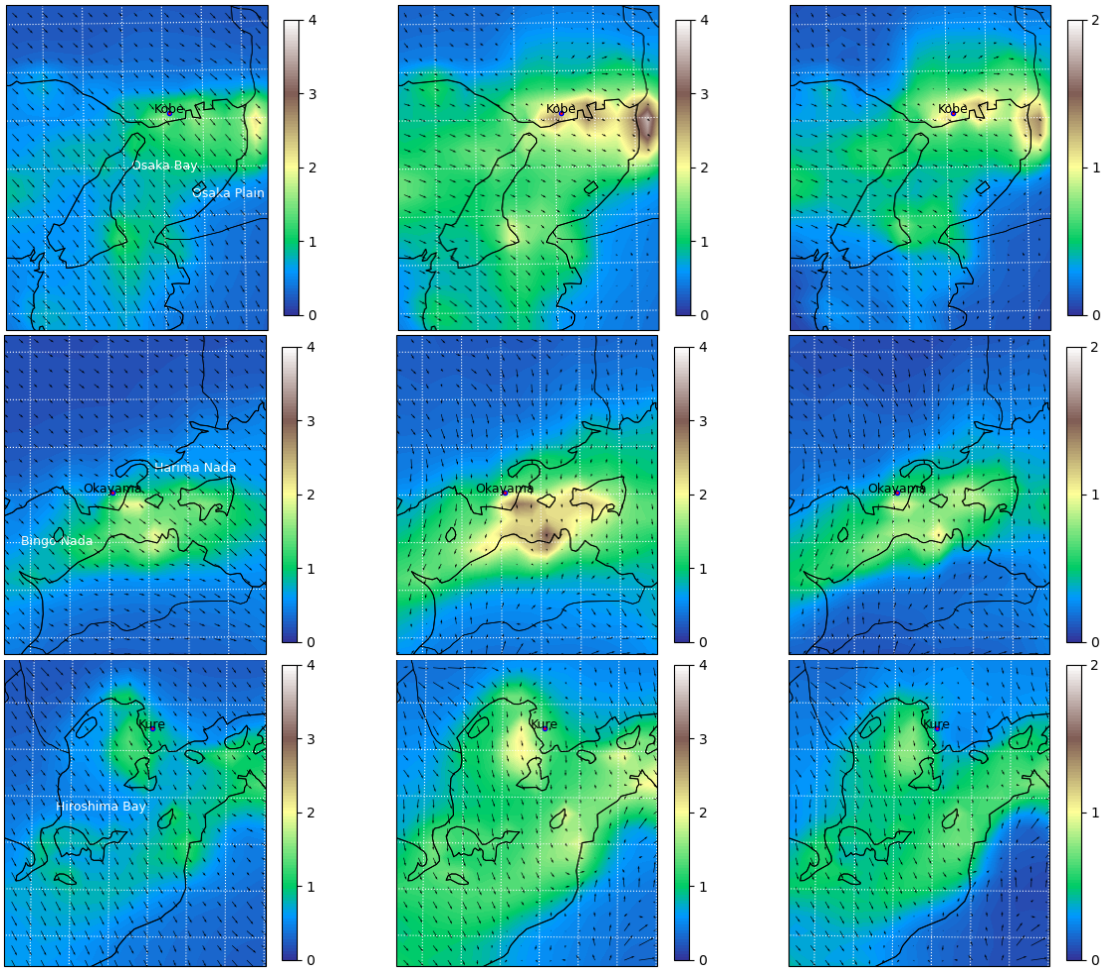
図Ⅰ. 2. (2). ①. 18　植物光合成排出に係る葉面積指数分布及び船舶起源 PM2.5 排出分布（2017/1/31 の例）

気象モデル及び化学輸送モデルの調査に関して、シミュレーション機能拡張のため、物質と気象場の相互作用が考慮できる、最新の知見が反映された on-line モデルを導入・整備した。また、大気質シミュレーションを行うための適用モデルを選定した。

船舶の航行中に排出される排出物が大気質に与える影響評価に関して、前述の発生源情報、気象モデル、及び化学輸送モデルの調査を行った。その結果に基づき、適切な化学輸送モデルを選定するとともに、排出インベントリを入力として、メソスケールにおける PM2.5 濃度に対する船舶由来の寄与を評価した。解析対象領域として、瀬戸内海沿岸部を選定した(図Ⅰ. 2. (2). ①. 19)。PM2.5 濃度に対する船舶寄与を推計し、その際、船舶寄与を拡大させる海陸風の影響も評価した。海域から陸域方向の海陸風に対して、陸域における船舶寄与が増大することを確認するとともに、海陸風の循環により PM2.5 分布にアノマリを生じることを再予測した(図Ⅰ. 2. (2). ①. 20)。この結果が陸上局における計測結果と評価目標水準の範囲で実現象を再現していることを確認した。



図Ⅰ. 2. (2). ①. 19　2017 年 1 月の大気中の PM2.5 濃度に対する船舶排出量の月平均寄与（矢印は月平均の風向風速）

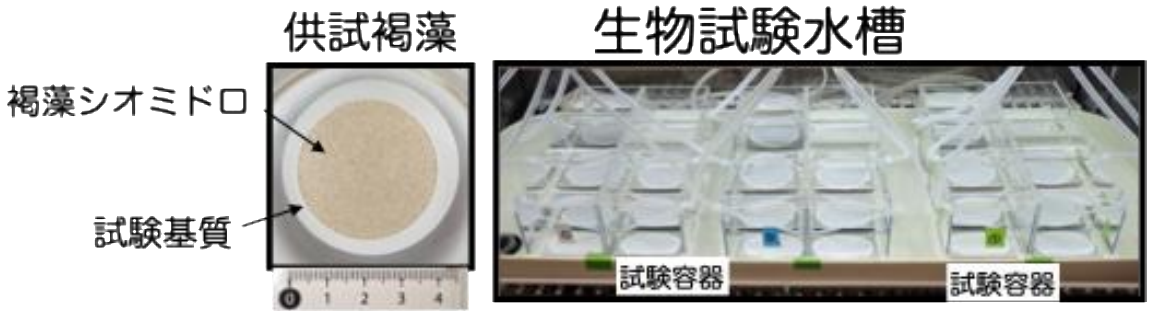


図Ⅰ．2.（2）．①．20　評価海域における船舶排出物の大気中 PM2.5 濃度への寄与の詳細（μg/m^3）
（左列は月平均、中央列は海陸風のある期間のみ抽出した時間平均、右列は海陸風のある期間の時間平均から月平均を引いた差。上段は神戸周辺、中段は岡山、下段は呉周辺を示す。各図の矢印はその期間の時間平均風向・風速を示す）

③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

ISO/TC 8/SC 2/WG 5 において、藻類（褐藻）を用いた船底防汚塗料性能評価試験法を提案し、我が国主導で審議した。今後は、ISO 21716 シリーズの第 4 部として、2025 年度以内の国際規格発行に向けた調整を完了しつつある（図Ⅰ．2.（2）．①．21）。

船体水中洗浄が船底防汚塗料及び環境に及ぼす影響評価の具現化に関して、日本船舶技術研究協会からの請負研究と併せて調査研究を実施し、必要なデータの蓄積及び整理、並びに成果を取り纏めて報告書を作成した（図Ⅰ．2.（2）．①．22）。IMO への提案文書作成の検討等、船体付着生物管理への継続対応のための準備を行った。



図Ⅰ．2.（2）．①．21　ISO 21716-4 の生物試験概要
（左：褐藻を固定した基盤、右：試験水槽内の様子）

(a) 水中洗浄前(付着藻類汚損が見られる)

(b) 水中洗浄後(塗膜面及びフジツボ跡)

図Ⅰ. 2. (2). ①. 22 船体水中洗浄時の外板の様子

(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

①GHG 排出削減を目指した内航貨物船の建造支援

外部機関と連携して、GHG 排出削減を目指した新たな省エネ技術を搭載した内航貨物船の建造と効果検証を支援した。2025 年 1 月に就航した 499GT 内航貨物船「ちゅらさん」では、高度空気潤滑システムやコンテナ型バッテリーシステムといった新技術を導入している。本研究の成果を活用した船内監視・陸上サポートシステム(図Ⅰ. 2. (2). ①. 23)は、それらの新技術の動作状況を監視するとともに、効果検証に活用した。なお、2025 年 3 月現在、実運航時のデータ取得を継続しており、1 年程度の実運航を続けた後、省エネ効果等を評価することとなる。

②次世代燃料の利用技術

国内外において、カーボンフリー燃料等を用いるための様々な研究開発プロジェクトが進められている。本研究においては、水素燃料電池船の設計支援に関連する調査(日本船舶技術研究協会からの請負研究に関連)やバッテリー利用技術に関連する調査(鉄道・運輸機構からの請負研究に関連)などを実施し、実船搭載の課題を整理した。また、バイオ燃料については、複数の種類のサンプル油を用いて、酸化劣化計測などの各種試験を実施し、実船においてバイオ燃料を安全に使用するための知見を得た。

(a) 船内監視モニタ

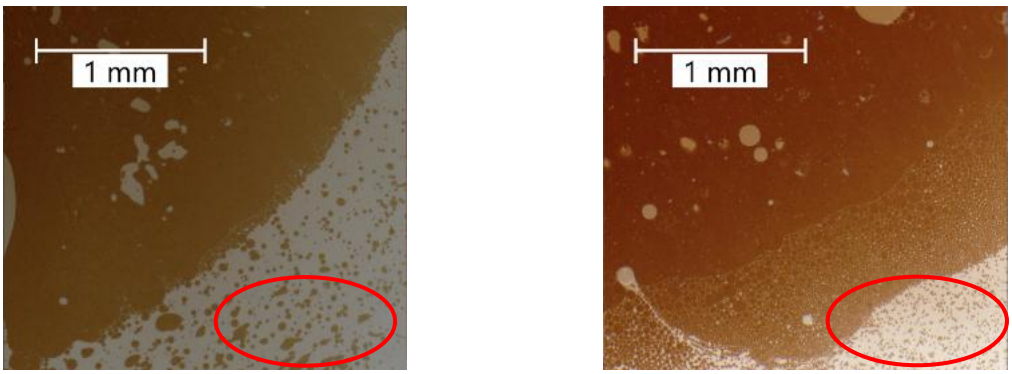
(b) 監視画面の一例

図Ⅰ. 2. (2). ①. 23 499GT 内航貨物船「ちゅらさん」に搭載した船内監視・陸上サポートシステム

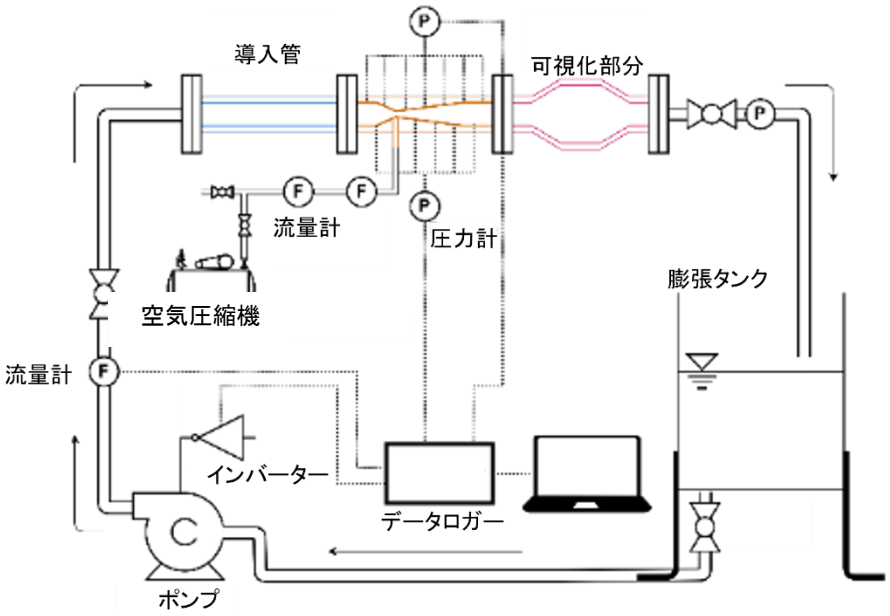
(6)海難事故等における油流出・回収及び処理効率向上技術の開発(港空研と連携)

①回収油分離に関する研究

エマルションに微細気泡を積極的に接触させることが可能な試験計測系を用いて、回収油を対象とした油水分離効果を計測した。ベンチュリ管による回収油滴の微細化挙動の確認を行った(図Ⅰ. 1. (2). ①. 1 (a)、(b))。また、昨年度の油回収試験結果を踏まえて、一連の実験(油の流動化・回収・分離)を実施しするための試験装置を構築した(図Ⅰ. 1. (2). ①. 1 (c))。



(a) ベンチュリ管通過前　　(b) ベンチュリ管通過後
（ベンチュリ管通過前と比べ、油滴が微細化されている（赤丸部））



(c) 油分離試験装置概要図
図Ⅰ．1.(2).①．1　ベンチュリ管式微細気泡生成を用いた高効率油水分離試験

②回収油の流動性に関する研究

エジェクターによる重油回収装置を改良し、実用化に向けた重油回収システムの開発を行った。高粘度油（粘度：～30,000cst）に対し、水と界面活性剤の混合液を高圧水噴射した場合の流動状態について、可視化が可能な簡易な試験装置（図Ⅰ．1.(2).①．2 (a)）にて試験を実施し、その効果を明らかにした。また、エジェクタポンプを用いた重油回収試験装置（図Ⅰ．1.(2).①．2 (b)）を構築し、重油回収移送試験を実施した結果から、重油回収エジェクタ近傍の流動状態を改善するために新に予備噴射装置を設けた。さらに、「重油＋海水＋界面活性剤」の 3 成分による重油エマルション化について検証し、界面活性剤の成分の違いによって流動性並びに油水分離等にその効果が左右されることを確認した。

(a)　高圧噴射拡散状態可視化試験例　　(b) 重油回収装置改良
図Ⅰ．1.(2).①．2　回収油の流動性に関する研究試験例と改良した装置

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文：1 編

・Ryuji Kojima, Satuito Glenn, Nobuyoshi Namba: A bioassay for evaluating the efficacy of antifouling paints on algae using their CIELAB color coordinates with a flow-through system, Proceedings of 21st International Symposium on Toxicity Assessment (ISTA21), (2024).

□その他

◆国際活動：4 件

・小島隆志: Introduction to ISO 21716, Parts 1 to 4 (bioassay methods for screening anti-fouling paints), Online Workshop on Overview of Standards Development for Marine Pollution Prevention (ISO/TC 8/SC 2 and TC 8/WG 13 Topics), NMRI, (2024).
・小島隆志: IMO/PPR/12 日本代表団 （水中洗浄ガイダンス作業部会対応）.
・小島隆志: ISO/TC 8/SC 2/WG 5 プロジェクトリーダー （Draft 作成及び審議対応等）.
・小島隆志: ISO/TC 8/SC 2/WG 13 委員 （Web 会議、規格案審議対応）.

◆その他の全文査読付き論文等：1 編

・升井峻, 小島隆志: 船体生物付着及び水中洗浄に関する国際基準動向, マリンエンジニアリング学会誌, 第 59 巻, 第 4 号, pp. 478-482, （2024）.

◆その他発表論文：13 編

・西尾澄人, 仁木洋一, 市川泰久: EGR によるメタンスリップ低減に関する研究（高負荷運転時）, 第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 269-270, (2024).
・大橋厚人, 中村真由子, 仁木洋一: 吸気へのアンモニア混合がディーゼル機関の PM 排出に与える影響, 第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 175-176, (2024).
・仁木洋一, 岸武行, 平田宏一, 柳本史教, 十倉拓也: アンモニア混焼ディーゼル機関によるバイオ燃料の利用 －バイオ燃料の種類が排気成分に及ぼす影響－, 第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.177-178, (2024).
・高橋千織, 益田晶子, 川口佳彦, 原田隆裕, 東亮一: スクラバ排水の濁度モニタリングに及ぼす浮遊物質特性の影響－実排水サンプルの分析, 第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 193-194, （2024）.
・張野宏也, 小島隆志, 隠塚俊満（監修）, 恒星社厚生閣（監修）: e-水産学シリーズ 7 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 （ISBN978-4-7699-1709-0）, （2024）.
・高橋千織, 久米健一, 川北千春, 拾井隆道, 新川大治郎, 仁木洋一, 新田好古, 小坂浩之, 安達雅樹, 和中真之介, 和田裕次郎: ゼロエミッション実現に向けたコンセプト船の検討 -低速幅広肥大船の開発と経済評価-, 海上技術安全研究所報告, 第 24 巻, 第 1 号, 総合報告, pp. 1-27, （2024）.
・Koji Takasaki, Satoshi Kawauchi, Yoichi Niki, Yasuhisa Ichikawa, Chiharu Kawakita, Akihiro Miyanagi, and Koji Edo: Progress and prospect of combustion technologies developed in Japan for zero-carbon fuels, The 8th Rostock Large Engine Symposium 2024, （2024）.
・高木正英: 代替液体燃料研究と AICE 共同研究（CFD ソフト開発）のご紹介, うみそら研勉強会・交通安全環境研究所所内セミナー, （2024）.
・仁木洋一: 所内重点研究における代替燃料研究のご紹介, うみそら研勉強会・交通安全環境研究所所内セミナー, （2024）.
・仁木洋一, 関口秀紀, 市川泰久: アンモニア混焼・専焼に関する研究の進捗状況, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-12, （2024）.
・浅見光史: 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, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-13, （2024）.
・高木正英: セタン価標準燃料の着火性評価に関する研究, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-14, （2024）.
・仁木洋一: 船舶分野における代替燃料利用技術, 第 24 回海上技術安全研究所講演会, （2024）.

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

・本報告書に記載した研究（1）から（6）のうち、（1）、（2）、（3）及び（5）において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。(4)の研究では、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より船外へ放出される物質の環境中濃度などの評価技術、モニタリング技術及び合理的後処理技術の高度化を行い、国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に貢献している。
・(6)の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、国内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、十分に大きいか

・新規性の観点からは、以下の点が挙げられる。
　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、省エネ技術を搭載した内航貨物船の建造と効果検証を支援、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など、次世代燃料と環境対策に関する広範な研究開発に取り組んでいる。具体的には、水素専焼運転における異常燃焼の発生条件特定や対策技術（EGR 技術）評価試験、大型 2 ストローク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といった、要素技術の確立を目指す先進的な研究を推進している。さらに、ドロップイン燃料の着火性評価や排出物評価に関する研究、EGCS 用濁度センサーの標準化に向けた調査研究、船体付着生物管理に関する新たな評価手法の構築など、独自の発想に基づく新規性の高い研究を実施している。
・発展性の観点からは、以下の点が挙げられる。
　本研究テーマは、既存技術の改良に留まらず、ゼロエミッション燃料船の実用化やそれに対応した安全基準の策定といった、将来の海事産業の根幹を担う革新的な技術の開発を目指している。特に、外部機関と連携して、GHG 排出削減を目指した新たな省エネ技術を搭載した内航貨物船の建造と効果検証を支援では、高度空気潤滑システムやコンテナ型バッテリーシステムといった新技術を導入した内航貨物船「ちゅらさん」が就航しており、研究成果が実社会で効果を発揮することが期待される。
・一般性の観点からは、以下の点が挙げられる。
　環境負荷低減に係わる研究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、環境問題の解決に貢献するとともに、我が国海事産業の国際競争力強化にも繋がるものである。特に、代替燃料船の安全規則策定への貢献は、産業全体の競争力向上に貢献し、GHG 排出削減技術の実用化や環境規制への対応を支援しており、持続可能な海運の実現に貢献している。

□成果が期待された時期に創出されているか

・本報告書に記載の成果は、計画された目標に沿って着実に創出されており、次世代燃料の利用や環境負荷低減に向けた技術開発が、社会的な要請に応える適切な時期に進展していることを示している。さらに、中長期的な視点では、アンモニア燃焼支援による GHG 削減やアンモニア専焼コンセプトの提案など、段階的な技術発展を見据えた研究目標を設定しており、将来を見据えた研究開発を推進している。

□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

・本研究テーマは、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などの国際及び国内の脱炭素化の流れを捉え、技術開発と国際的なルール形成への積極的な関与を通じて、我が国海事産業の国際競争力を大きく向上させる研究を実施している。本報告書に記載の成果は、地球環境問題の解決に貢献するものである。特に、EGCS からの排水の濁度の標準化を目的とした調査研究にて実施している ISO 規格提案のための準備や、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成果を用いた ISO 規格発行に向けた対応は、国際社会における日本の地位と信頼を高めること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

・本研究テーマでは、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という喫緊の課題に対応するため、常に最新の技術動向や社会情勢の変化を注視し、将来を見据えた研究開発を推進している。本研究のうち、次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化に関する研究において、大型の燃焼試験装置およびこれを用いた計測技術を構築し、水素噴流やアンモニア噴霧の特性や燃焼の解析を試みている。大型舶用エンジンを模擬できる燃焼容器は世界有数であり、その雰囲気（圧力・温度・流れ場）での水素やアンモニアの噴霧・燃焼解析は前例がなく、萌芽的研究に該当するといえる。
・他の試験研究においては、具体的な萌芽的研究の事例が直接記述されているわけではないが、環境負荷の低減に資する技術開発を継続的に実施することで、新たな課題や可能性に迅速に対応する体制を維持している。さらに、多様な次世代燃料への取り組み、国際ルール策定の主導、実用化に向けた研究を実施し、計画的な研究開発を基盤としながら、新たな視点や発想を取り入れることで、先見性と機動性を持って研究開発に対応している。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R6年度）	A

【コメント】
・各サブテーマにおいて計画された目標に沿って着実に創出されている。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、水素専焼運転における異常燃焼の発生条件特定や対策技術の評価試験、大型2ストローク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といった、要素技術の確立を目指す先進的な研究を推進している。EGCS 用濁度センサーの標準化に向けた調査研究、船体付着生物管理に関する新たな評価手法の構築など、独自の発想に基づく新規性の高い研究を実施している。

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として「A」とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R6年度）	A

【コメント】
・GHG 対策技術は喫緊の課題であり、社会ニーズと適合している。外部組織との協業、連携を通じて基礎的なデータや知見の蓄積が進展している点が評価できる。
・水素燃料やアルコール系燃料などの次世代燃料の燃焼特性（着火性など）を大型舶用2ストロークエンジンを模擬した試験装置で評価できるようにしたことは、社会的価値及び科学的意義の面で顕著な成果であるといえる。
・多種多様な物質の大気拡散を気象と大気質の相互作用を考慮し、高精度にシミュレーション出来るようになったことは、今後新たに問題視される船舶由来化学物質の放出による大気拡散解析などに機動的に対応可能であることが十分に評価できる。

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、「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。

重　点　分　野	(3)海洋の開発

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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 －CTV の風車タワーへの乗り移り性能評価プログラムの開発、海洋CCSに係る管内流動の評価を行う。等 ③海洋の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アルゴリズムの開発及び実機実装、画像ベース AUV ドッキング手法の開発、海空無人機システム AUV の基本設計を行う。等

○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

［R6 年度予算： 20,939 千円、研究担当者： 28 名］

研　究　の　背　景

平成 30 年 5 月に閣議決定された第 3 期海洋基本計画では、その主要施策の一つに「海洋の産業利用の促進」が挙げられている。当該施策において、メタンハイドレートや海底熱水鉱床などの海洋資源は、将来の商業化への移行が可能となるよう、産業化のための技術開発を着実に進めていくことが規定されている。現在、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラストに続き、大水深に賦存するマンガン団塊やレアアース泥についても開発技術の検討が進められている。国内の稀少鉱物資源確保やエネルギーの安定供給を目指す上でも海洋資源開発技術に係る研究が必要不可欠となっている。

鉱物資源は、産業活動及び国民生活の基礎を支える必要不可欠な素材で、近年台頭している資源ナショナリズムの中、陸上資源の乏しい日本にとって、海底資源の開発は国の成長戦略はもちろん、経済安全保障の観点からも重要な課題となっている。AUV（Autonomous Underwater Vehicle, 自律型無人潜水機）は、人間の接近が極めて制限的な深海底に対しても、至近距離まで接近し、海底資源の調査に不可欠な高品位・高精度の情報が収集できる。こうした背景から、AUV をはじめとする海洋無人機は、次世代の海洋資源開発にて海洋調査の主役になりつつあり、より高度な海洋調査の実現に向け、先進的な海洋無人機の研究開発が強く求められている。

また、海洋空間の利活用においては各種作業船による建設や O&M、水素やアンモニア等の洋上生産・荷役やバンカリング、洋上での CCS（Carbon dioxide Capture and Storage, CO_2 回収・貯留）のための洋上 CO_2 圧入等では、非常に高度なマリンオペレーションが要求されており、その運用手法や安全性・稼働性評価手法に関する技術開発が求められている。

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では、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。また、海洋 CCS については CCS 技術を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。さらに、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舶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では、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。また、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。さらに、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では、試作機及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。また、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。さらに、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。加えて、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。

これらの研究開発を通じて、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ことを目指す。

令 和 6 年 度 の 研 究 目 標

（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
- ・カタマラン型高速船の風車タワーへの乗り移り性能評価プログラムの開発及び SEP 船の運動性能評価モデルの構築
- ・振動管内の液体 CO_2 流動解析モデルの開発、CCS 洋上プラットフォームの全体挙動評価モデル（β 版）の構築
- ・LNG バンカリングに関する安全性評価モデルの開発、オペレーション限界条件等の評価

（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
- ・海底鉱物資源の揚収に係る超音波を用いた管内混相流の計測技術の構築
- ・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手法の検討

（3）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
- ・複数 AUV 協調群制御アルゴリズムを航行型 AUV の制御系に実装
- ・ホバリング型 AUV のドッキング技術を実証
- ・海空無人機システム試作機 AUV の基本・詳細設計及び深深度 AUV(6000m 級)の基本設計

令 和 6 年 度 の 研 究 内 容

（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

①カタマラン型高速船の風車タワーへの乗り移り性能評価プログラムの開発及び SEP 船 *1 の運動性能評価モデルの構築 （*1 SEP 船: Self-Elevating Platform, 自己昇降式作業船）

SEP 船の脚部に作用する波浪及び潮流荷重データを模型試験により取得し、それを基に脚部に作用する荷重を考慮した運動性能評価モデルを作成した。モノハル型 CTV *2 の乗り移り時の波浪中運動評価する試験を実施すると共に数値計算による比較評価を実施した。CFD ソルバーNAGISA を用いてカタマラン型高速船の強制横揺れシミュレーションを実施し、船体運動を推定する上で重要な横揺れ減衰力を推定し、カタマランとそのデミハル単独時の流体力等を比較した。また、デミハル間の干渉流体力を計算するプログラムを開発し、干渉流体力の変化を調査した。（*2 CTV: Crew Transfer Vessel, 洋上風力発電アクセス船）

②振動管内の液体 CO_2 流動解析モデルの開発、CCS 洋上プラットフォームの全体挙動評価モデル（β 版）の構築

海洋 CCS に係る浮体式圧入プラットフォームに係船された液体 CO_2 輸送船を対象とする振れ回り運動や移送ホースの挙動評価のための時間領域計算モデルを作成した。液体 CO_2 の蒸発挙動及び液体 CO_2 から固体 CO_2（ドライアイス）生成挙動の可視化を行い、その結果を基に、周期振動を加味した相変化を伴う配管内 CO_2 移送挙動の混相流モデルの作成を行った。移送ホース等の潮流中 VIV（Vortex

Induced Vibration, 渦励起振動）挙動計測試験を実施し、VIV 評価モデル構築に資するデータを取得した。

海洋 CCS システムのコンセプト調査を行い、数値計算や水槽試験に利用するため、参考文献に基づき液体 CO_2 輸送船の設計を実施し、波浪中動揺計算に要する流体力データ等を取得した。

③LNG バンカリングに関する安全性評価モデルの開発、オペレーション限界条件等の評価

昨年度に構築した錨泊中 LNG バンカリングの時間領域計算モデルに対し、実事業の海域やオペレーションを参考にして、海気象条件や天然ガス燃料船とバンカー船間の係船索径、本数、配索方法を見直した。また、水深や曳航角度をパラメータとした 2 船体拘束曳航試験を行い、取得した流れ荷重データを計算モデルに組み込んだ。精緻化したモデルを用いた風と波の条件下での計算により、2 船の相対動揺や係船索張力、防舷材反力、錨鎖張力や把駐力の最大値を求め、閾値との比較から錨泊中 LNG バンカリングの運用可否を判断した。

（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

①海底鉱物資源の揚収に係る超音波を用いた管内混相流の計測技術の構築

海底熱水鉱床を対象とした模擬鉱石を用い、超音波及び高速度カメラによる管内部流の固液各相の流速データの取得を行い、高速度カメラとの比較により精度検証を行った。

管内混相流の流速計測試験には、内径 26mm の配管、アルミナボール（密度：3690kg/m^3、直径 4mm）を用いた。

②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

本邦 EEZ 内の環境条件（水深、海象）に即した揚鉱システム（管厚、浮力体の有無及び配置）の選定を目的としたアルゴリズムの開発を行った。

併せて、開発したアルゴリズムを使用して試計算を行った。試計算では、全ての管が X65 グレード（降伏限界：448MPa）と仮定し、台風などの極限環境条件で使用することを想定し、von Mises 応力の目標値は降伏限界の 1/3（148MPa）と設定した。また、管厚は、API 規格で定義された 7 種類の管厚に基づいて最適化の検討を行った。

③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手法の検討

最適化アルゴリズムの一つであるニューラルネットワークを用いて、既存の開発支援プログラムへ適用し、熱水鉱床事業の公開情報を使用し最適化手法の有用性の検証を行った。

（3）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

①複数 AUV 協調群制御アルゴリズムを航行型 AUV の制御系に実装

前年度に開発した reference – follower 群制御技術を海技研の航行型 AUV2 機に実機実装した。当該 AUV を用いた実海域潜航試験を実施し、開発・実装した群制御技術が洋上からの管制を必要とせず、複数機間の相対位置を最良に管理する革新的な複数 AUV の同時運用技術であることを実証した。

②ホバリング型 AUV のドッキング技術を実証

HSV(色相、彩度、明度)空間を用いた色検出手法を導入し、画像認識フィルタリング技術を開発した。当該技術に基づいた AUV 海中ドッキングの実現に向け、画像情報のフィードバックによる機体制御のアルゴリズムを開発し、海技研のホバリング型 AUV への実機実装を行った。

③海空無人機システム試作機 AUV の基本・詳細設計及び深深度 AUV(6000m 級)の基本設計

CFD 解析を通じて海空無人機に資する試作機 AUV の動流体力を求め、ダイナミックモデルの構築を行った。また、最大深度 6000m の深深度 AUV に対し、基本設計を実施した。

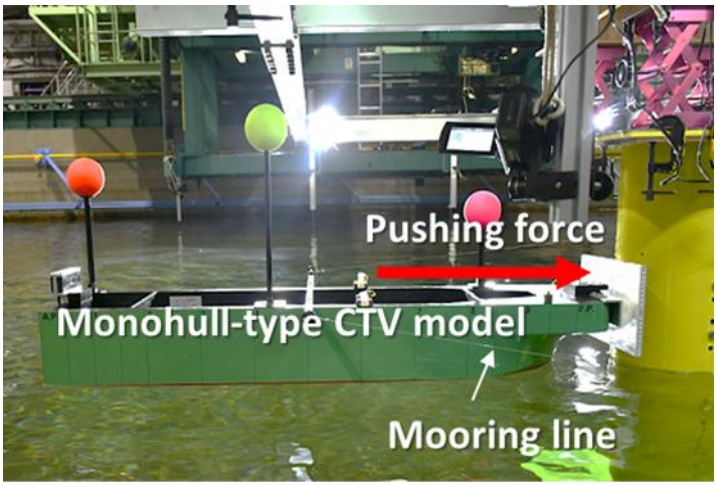
令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

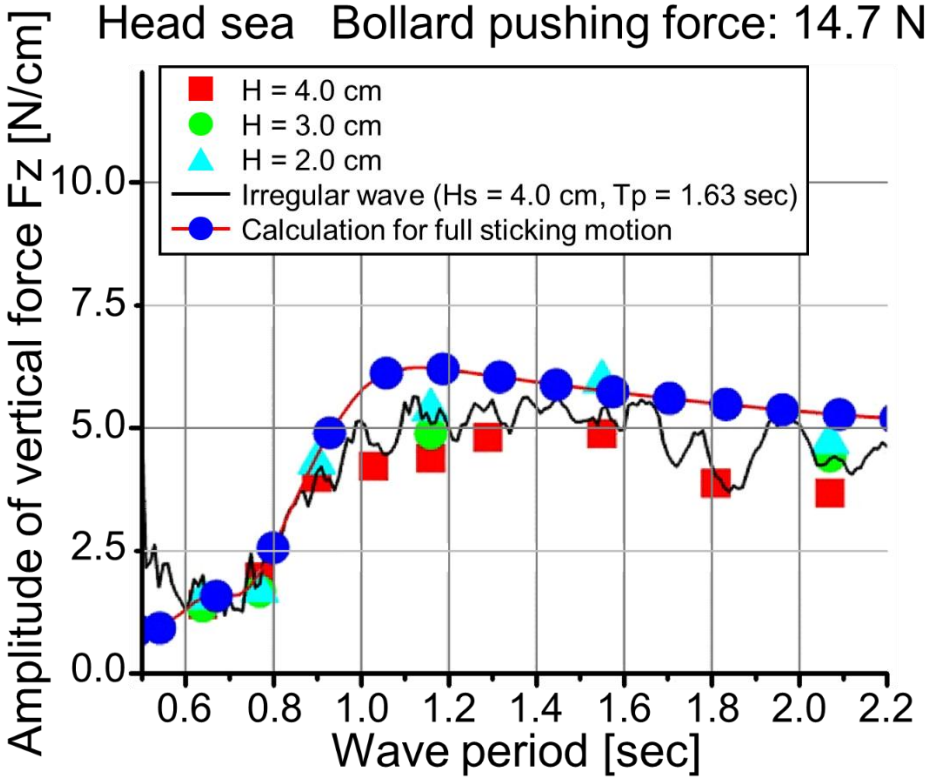
（1）マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究

①カタマラン型高速船の風車タワーへの乗り移り性能評価プログラムの開発及び SEP 船の運動性能評価モデルの構築

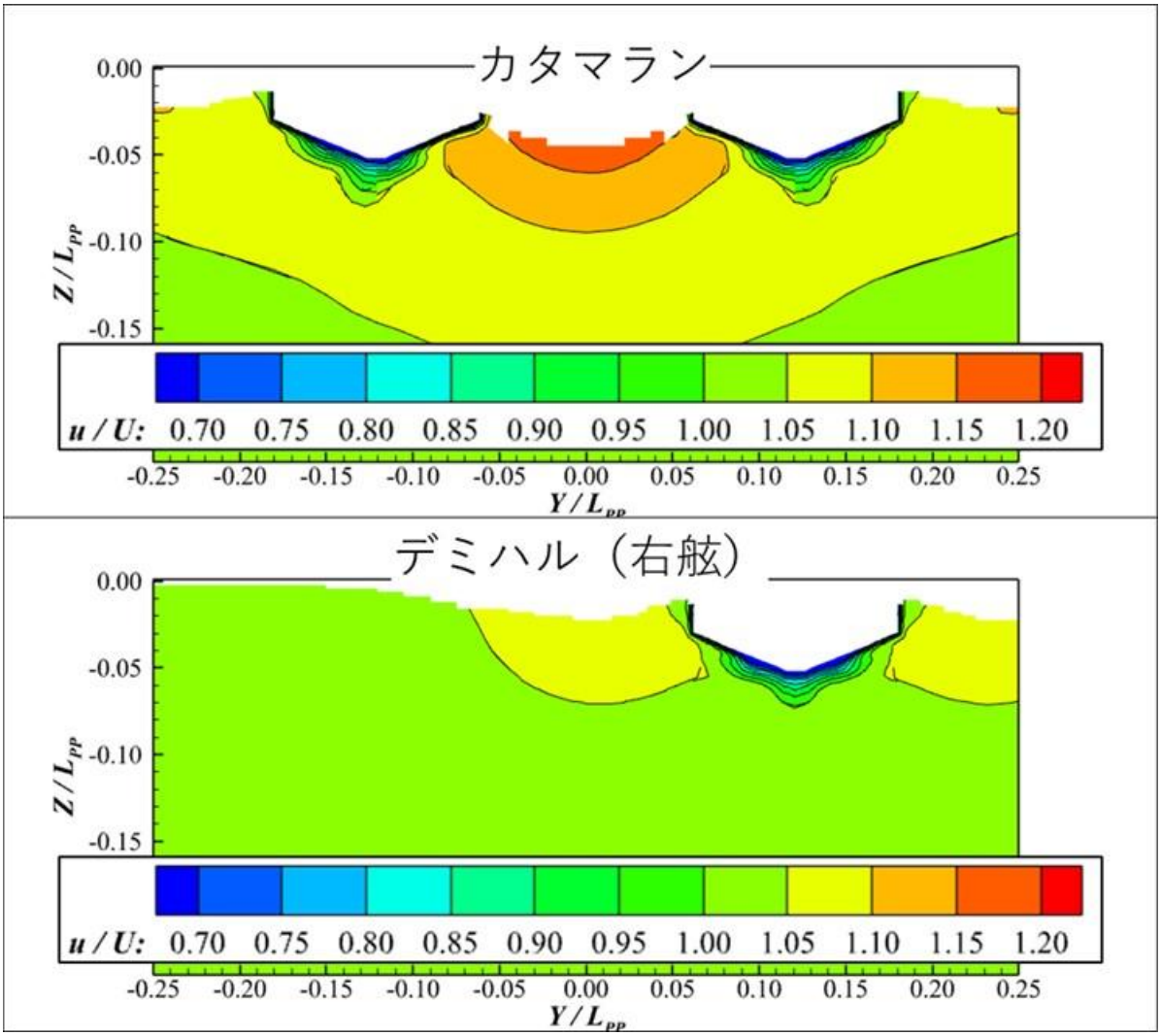
SEP 船の脚部に作用する波浪及び潮流荷重データを模型試験により取得し、それを基に運動性能評価のための計算モデルを構築した。

モノハル型 CTV の乗り移り時の波浪中運動評価に関する数値計算法を提案し、水槽試験結果との比較評価を通じて計算手法の妥当性を確認した（図Ⅰ. 2. (3). ②. 1)。カタマラン型高速船の強制横揺れシミュレーションを通じて、カタマランの場合はデミハル間の流れが縮流効果によって加速され、減衰力に寄与すると思われる揚力成分が 1.2～1.3 倍程度増大することを明らかにした(図Ⅰ. 2. (3). ②. 2)。また、デミハル間の干渉流体力がデミハル間距離によって変化することを数値計算によって明らかにした(図Ⅰ. 2. (3). ②. 3)。

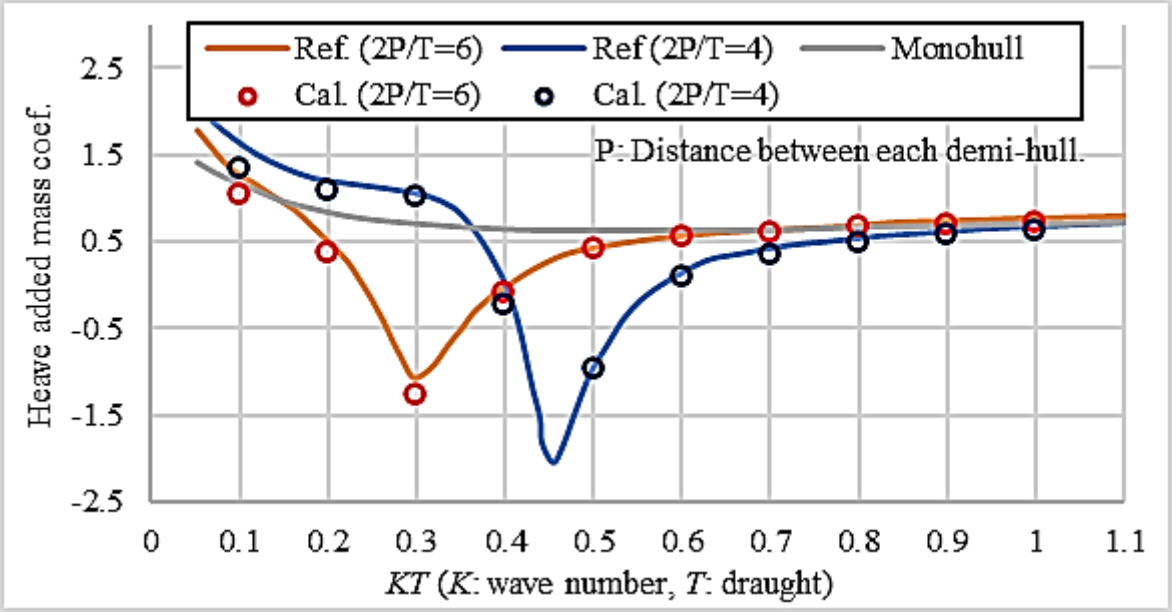




図Ⅰ．2.(3).②.1 モノハル型 CTV の乗り移り時を想定した波浪中運動試験（上図）と
船首部に作用する上下力の数値計算結果との比較（下図）
（数値計算が水槽試験結果を概ね再現していることを確認した）



図Ⅰ．2.（3）．②．2　カタマラン（上図）とデミハル単独（下図）における船体周りの流速分布の違い
（カタマランの場合はデミハル間の流れが縮流効果によって加速されて減衰力に寄与することが確認された）

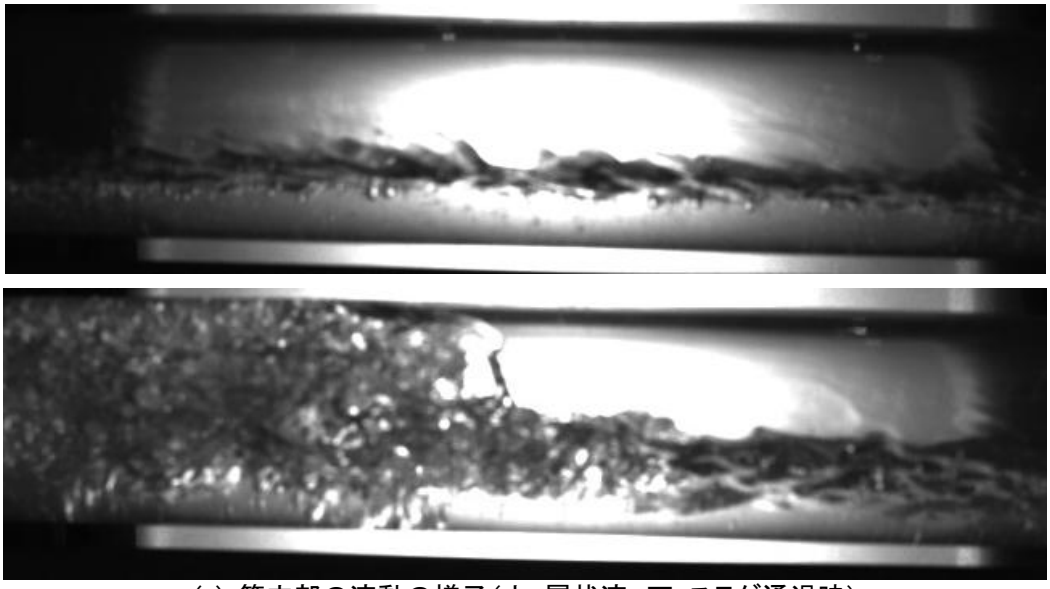


図Ⅰ．2.（3）．②．3　デミハル間の干渉流体力を考慮したカタマランの上下揺れ付加質量係数
（2P：デミハル間距離、T：喫水）
（デミハル間の干渉流体力がデミハル間距離によって変化することが確認された）

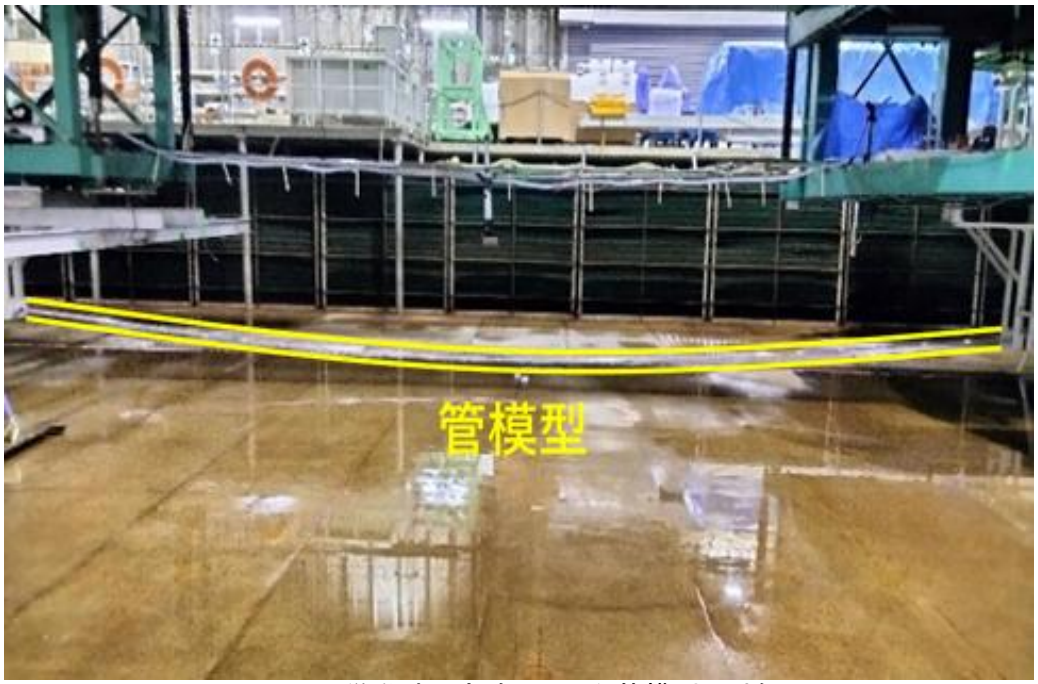
②振動管内の液体 CO_2 流動解析モデルの開発、CCS 洋上プラットフォームの全体挙動評価モデル（β 版）の構築

海洋 CCS に係る浮体式圧入プラットフォームに係船された液体 CO_2 輸送船を対象とする振れ回り運動や移送ホースの挙動評価のための時間領域計算モデルを構築した。

液体 CO_2 の蒸発挙動及び液体 CO_2 から固体 CO_2（ドライアイス）生成挙動の可視化計測を通じ、周期振動を加味した相変化を伴う配管内 CO_2 移送挙動の混相流モデル（ドリフトフラックスモデル）を構築した。気液二相流が潮流中の VIV 挙動に与える影響を計測する水槽試験を通じて、管内部に流れる気液二相流によって振動周波数のピークが 5%程度低下するなど、通常の VIV 特性とは異なることを明らかにした（図Ⅰ．2.（3）．②．4 及び図Ⅰ．2.（3）．②．5）。

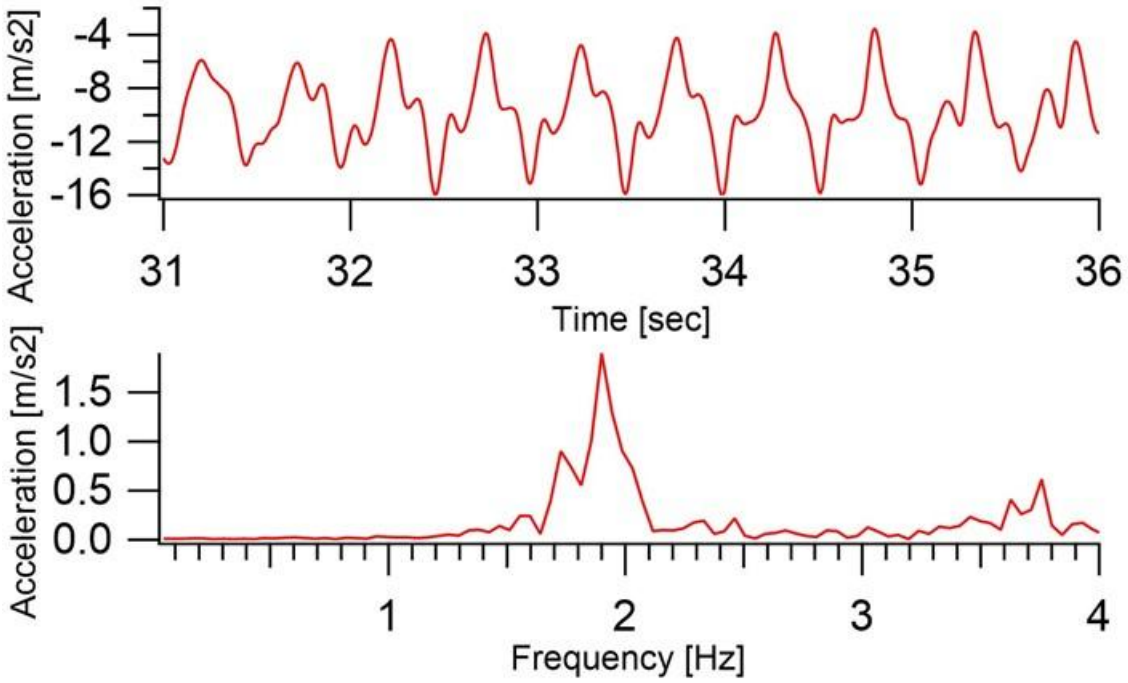


（a）管内部の流動の様子（上：層状流、下：スラグ通過時）

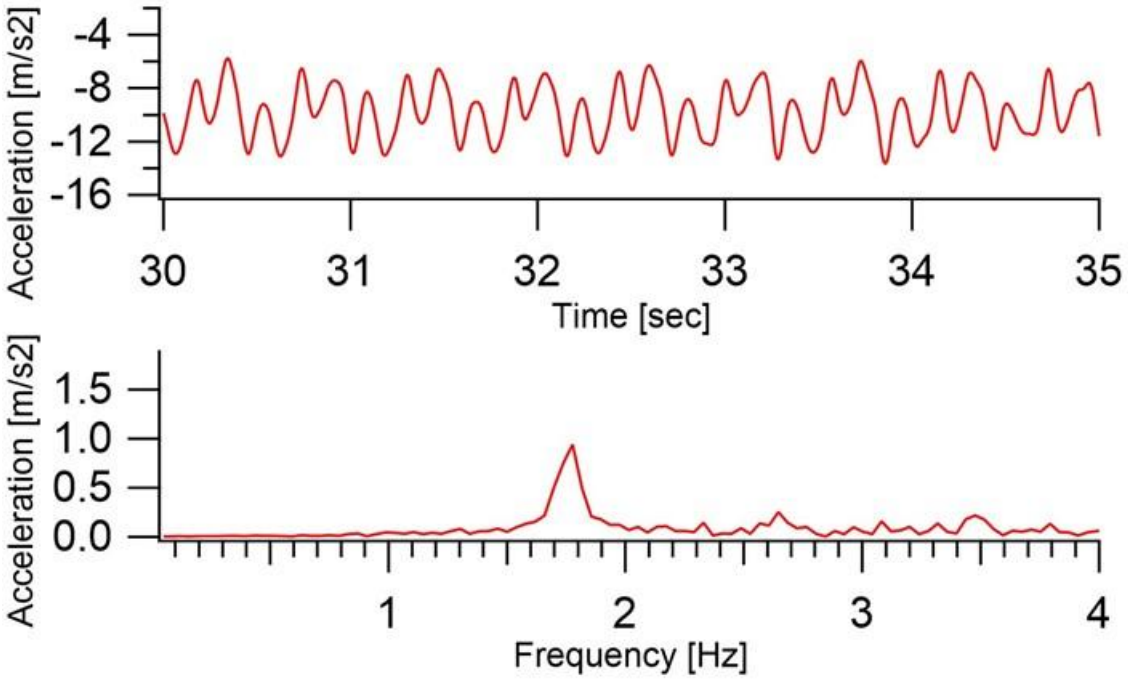


（b）VIV 挙動計測実験に用いた管模型の外観

図Ⅰ．2.（3）．②．4　管内部の流動と VIV 挙動計測実験の様子



(a) 水単相流



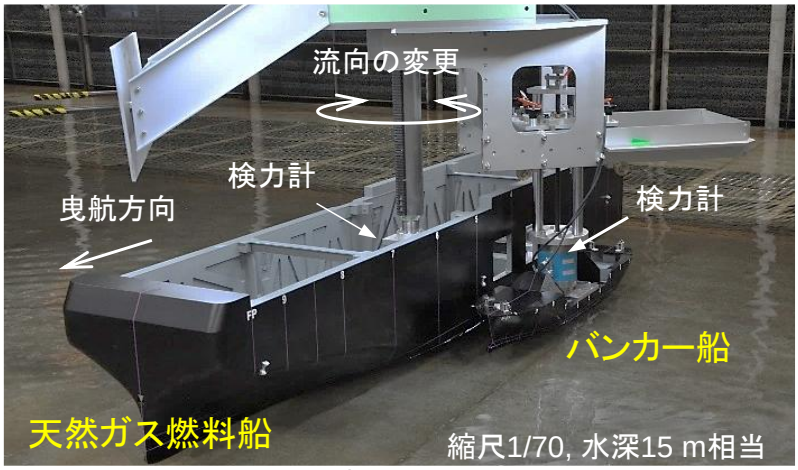
(b) 気液二相流

図Ⅰ．2.(3). ②. 5 内部流による管挙動の変化
（加速度の時間変化及び振動周波数との関係。管内部に流れる気液二相流によって通常の VIV 特性とは異なることが確認された。）

③LNG バンカリングに関する安全性評価モデルの開発、オペレーション限界条件等の評価

天然ガス燃料船とバンカー船模型を用いた 2 船体拘束曳航試験により、浅水影響と 2 船間の相互干渉影響を考慮した流れ荷重データを取得した（図Ⅰ．2.(3). ②. 6）。

風と波の条件下で振れ回り運動を伴う錨泊中 LNG バンカリングの時間領域計算の結果から、LNG 燃料移送が可能となる運用限界条件（2 船間の係船索径、本数に対する風速と波高の上限値）を決定した。また、その条件を国の事業による LNG バンカリングガイドラインの改訂（令和 7 年 3 月発行）に反映した。



(a)　2船体拘束曳航試験の様子

錨泊船へのLNG移送限界条件：以下に示す①②のいずれかを満足するものとする； ①風速 5m/sec 以下、波高 1.0m 以下※2 ②2 船間係留中の相対動揺量※3が許容範囲内※4であること ※2□索径 48mm 未満かつ索 8 本以上の場合は波高 0.5m 以下 ※3□マニホールド付近における 2 船間の Surge 方向と Sway 方向の最大移動量 ※4□使用するフレキシブルホースの仕様より、事業者が LNG バンカー船と LNG 燃料船の種類・大きさごとに十分に安全な許容値を設定する。Surge 方向：±1.0m 以下、Sway 方向：＋0.75m を目安とすることもできる[8]。

(b)　錨泊中 LNG バンカリングの運用限界条件（ガイドラインからの抜粋）

図Ⅰ．2．(3)．②．6　錨泊中 LNG バンカリングに対する運用限界条件の検討

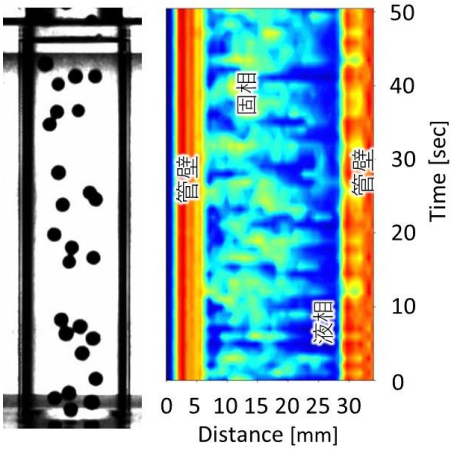
(2)海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究

①海底鉱物資源の揚収に係る超音波を用いた管内混相流の計測技術の構築

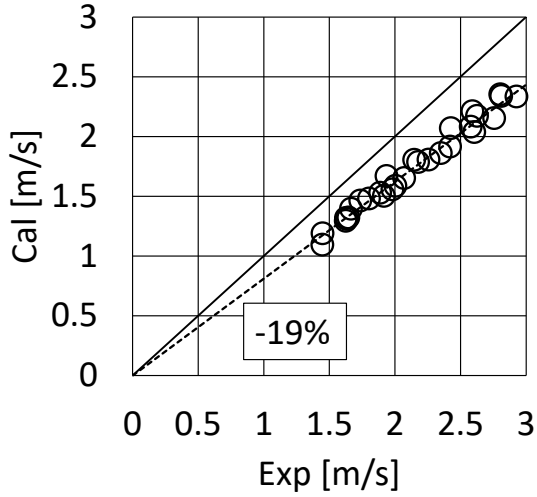
管内混相流の流速計測試験（図Ⅰ．2．(3)．②．7 及び図Ⅰ．2．(3)．②．8）にて得られた高速度カメラの画像から固相粒子群の流速を算定し、従来の推定モデル（固相流速が液相流速と粒子群の浮遊速度の差で与えられるとするモデル）より推定した固相流速の結果と高速度カメラで撮影した画像から算定した値の比較を図Ⅰ．2．(3)．②．9 に示す。本結果より、従来のモデルでは、固相流速を 19%程度過小に評価していることが明らかとなった。

従来の推定モデルを用いた圧力損失の推定結果と、高速度カメラを用いて求めた固相流速より得られる圧力損失を比較すると、推定モデルから得られた圧力損失が 10%程度過大になる傾向を示した（図Ⅰ．2．(3)．②．10）。これまでの研究では、圧力損失は推定モデルにより算定しており、その値が実験で直接計測された値より 10%程度過大な傾向を示していたことから、本実験により固相流速を正確に把握することで圧力損失の推定精度が向上することが明らかとなった。

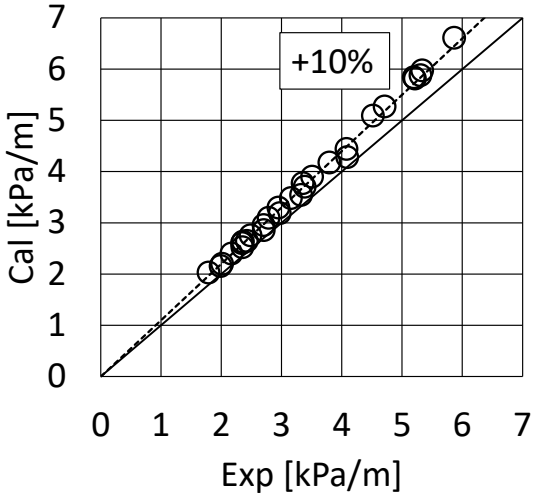
図Ⅰ．2．(3)．②．7　試験装置外観



図Ⅰ．2．(3)．②．8　高速度カメラ及び超音波計測結果例



図Ⅰ．2.(3).②. 9 固相流速の比較結果
（従来の推定モデルを用いて得られた固相流速（Cal）は、高速度カメラの画像から算定した固相流速（Exp）より 19%過小であることが明かとなった）

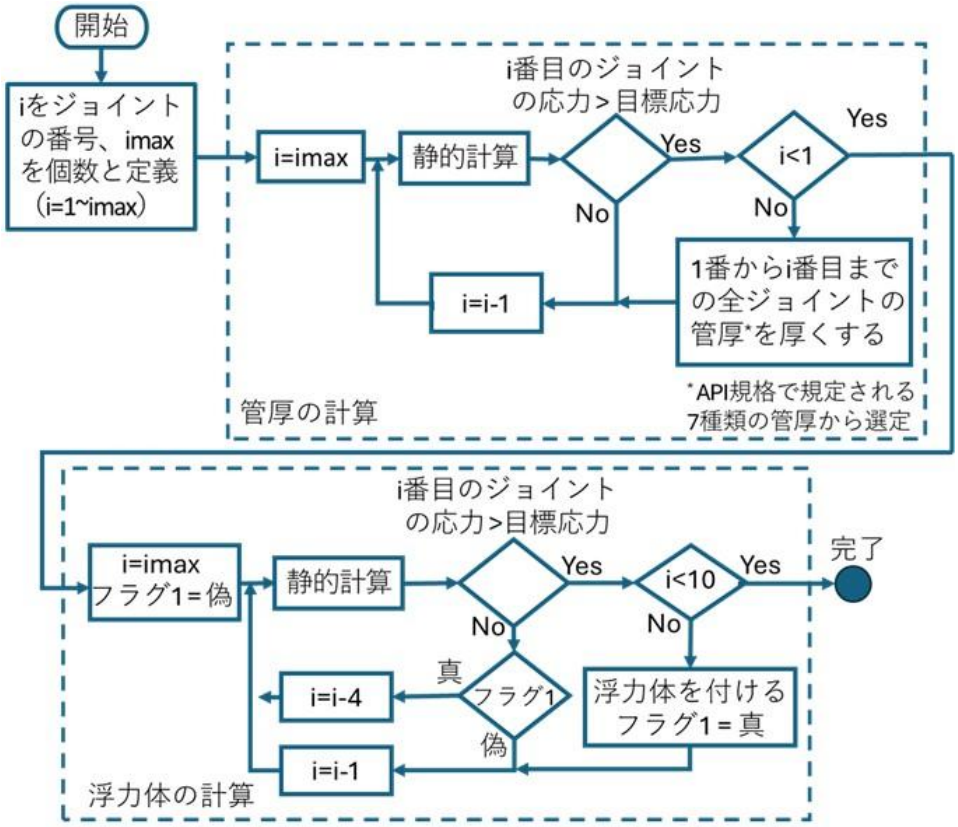


図Ⅰ．2.(3).②. 10 圧力損失の比較結果
（従来モデルが推定した圧力損失（Cal）と高速度カメラを用いて求めた固相流速より得られる圧力損失（Exp）を比較すると、従来モデルから得られた圧力損失が 10%程度過大となる傾向が示唆された）

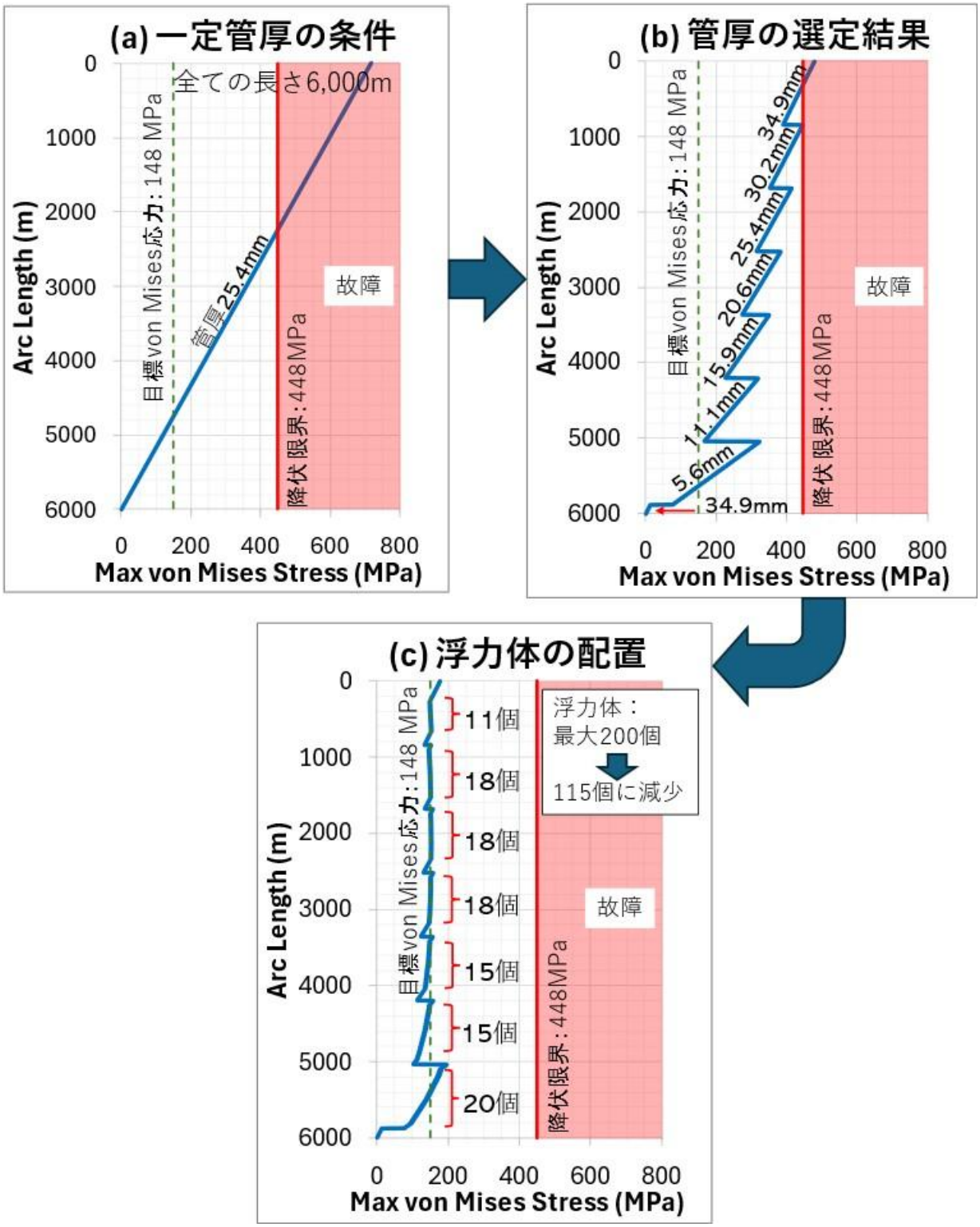
②本邦 EEZ 内の海底資源を対象とした開発支援プログラムの拡充

海底資源開発で使用可能な最適な揚鉱システムを選定するため、von Mises 応力を目標値とした管厚や浮力体の有無及び配置を最適化するアルゴリズムを開発した。開発したアルゴリズムを図Ⅰ．2.(3).②. 11 に示す。

開発したアルゴリズムを用い、水深 6,000mの揚鉱管を対象とした解析を行った。解析結果を図Ⅰ．2.(3).②. 12 に示す。解析結果より、強度上使用可能な管厚の配置と最小限の浮力体数と配置が算定され、浮力体数は全管に使用した場合より、4 割程度削減できる結果となった。



図Ⅰ．2.(3).②. 11 von Mises 応力を目標値とした管厚、浮力体の最適化アルゴリズムのフローチャート

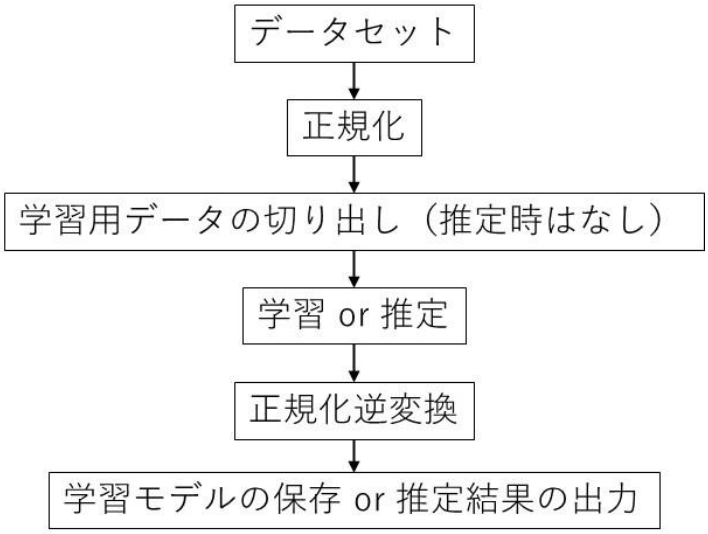


図Ⅰ．2．(3)．②．12　6,000m の揚鉱管における最適化解析結果
((a)管厚 25.4mm で一定条件による解析では、故障の可能性が示唆された。(b) von Mises 応力の目標値をもとに管厚を調整した解析では、上端部で故障の可能性が示唆された。(c) von Mises 応力の目標値をもとに浮力体の数と配置を調整した解析により、故障の可能性がなく浮力体の数を軽減できる結果を得た)

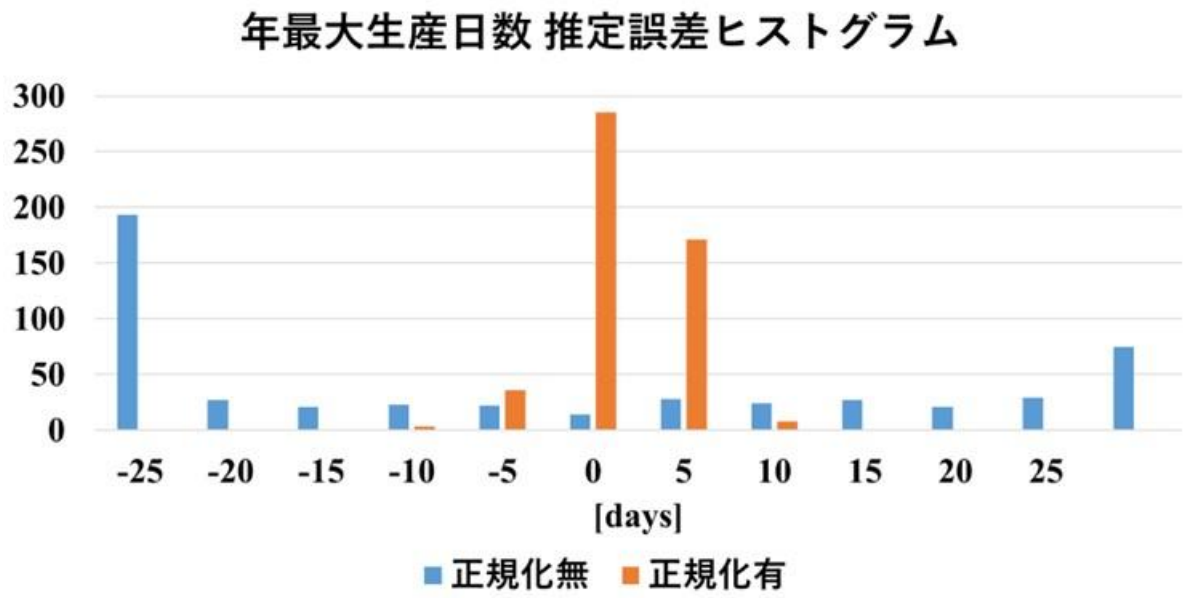
③資源開発における最適なシステムの自動選定に係る技術手法の検討

資源開発の最適なシステムを選定する手法として、最適化アルゴリズムの一つであるニューラルネットワーク（Chainer 7.8.1）を用い、既存の開発支援プログラムへ適用し、本手法有用性の検討を行った。具体的な手順を図Ⅰ．2．(3)．②．13 に示す。学習データは正規化し、単位系による推定精度への影響を排除した。これにより推定結果の精度を向上させるとともに、ばらつきを抑えることができた（図Ⅰ．2．(3)．②．14）。推定精度の検証ではテストデータを用いてパラメータ毎に決定係数を求め、平均化した。

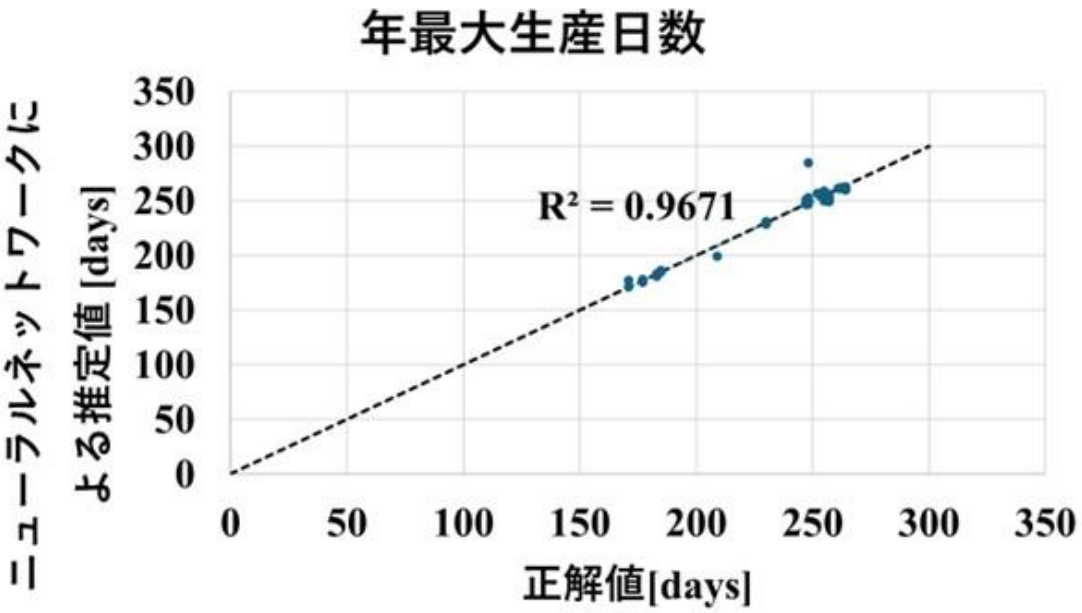
その結果は 0.93 となり、高精度な推定モデルが構築できた（図Ⅰ．2.（3）.②.15）。
　併せて、海底熱水鉱床開発をモデルケースとして最適化手法の有用性について検証を行った結果、従来の計画より貯鉱量、日生産量、シャトル船隻数が増加し、CAPEX が約 17%増加したものの操業期間が 11 年短縮し、収支を 630 MM$の赤字から 906 MM$の黒字へ改善可能なシステム構成候補を自動で選定できることを確認した（図Ⅰ．2.（3）.②.16）。



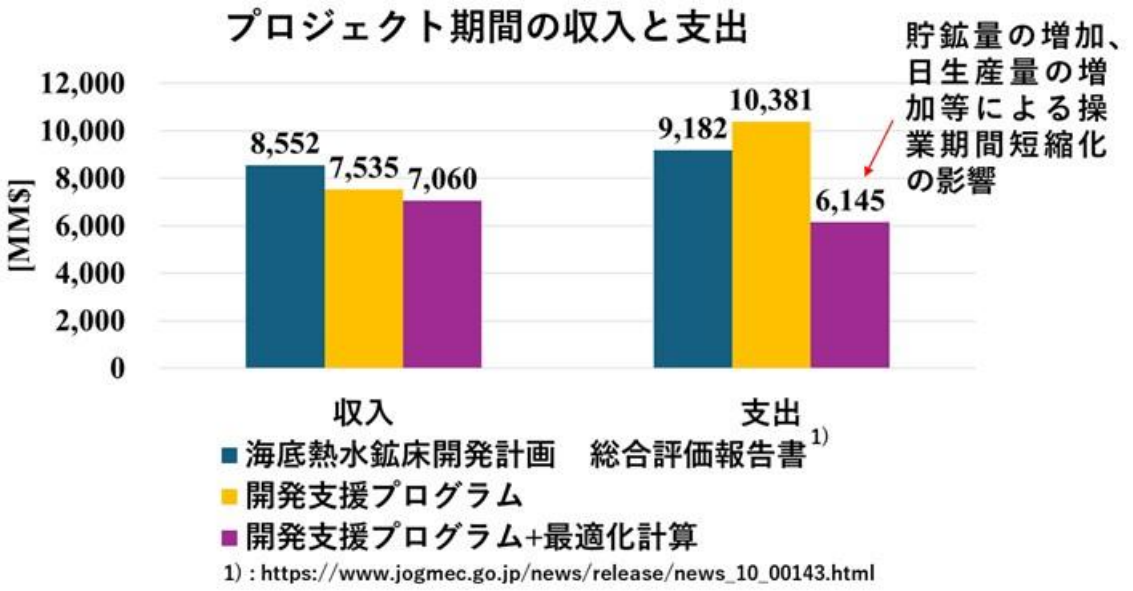
図Ⅰ．2.（3）.②.13　ニューラルネットワーク構築手順



図Ⅰ．2.（3）.②.14　正規化有無による推定誤差の違い
（学習データに正規化を施すことにより年最大生産日数の推定結果の精度を向上させるとともに、ばらつきを抑えることが確認できた）



図Ⅰ. 2. (3). ②. 15　推定精度の検証結果例
（年最大生産日数についてテストデータを用いて推定値と正解値を比較し、良好な推定精度を確認した）



図Ⅰ. 2. (3). ②. 16　海底熱水鉱床開発への適用結果
（海底熱水鉱床開発計画をモデルケースとして、最適化計算を実施することで収支を改善可能なシステム構成候補を自動で選定できることを確認した）

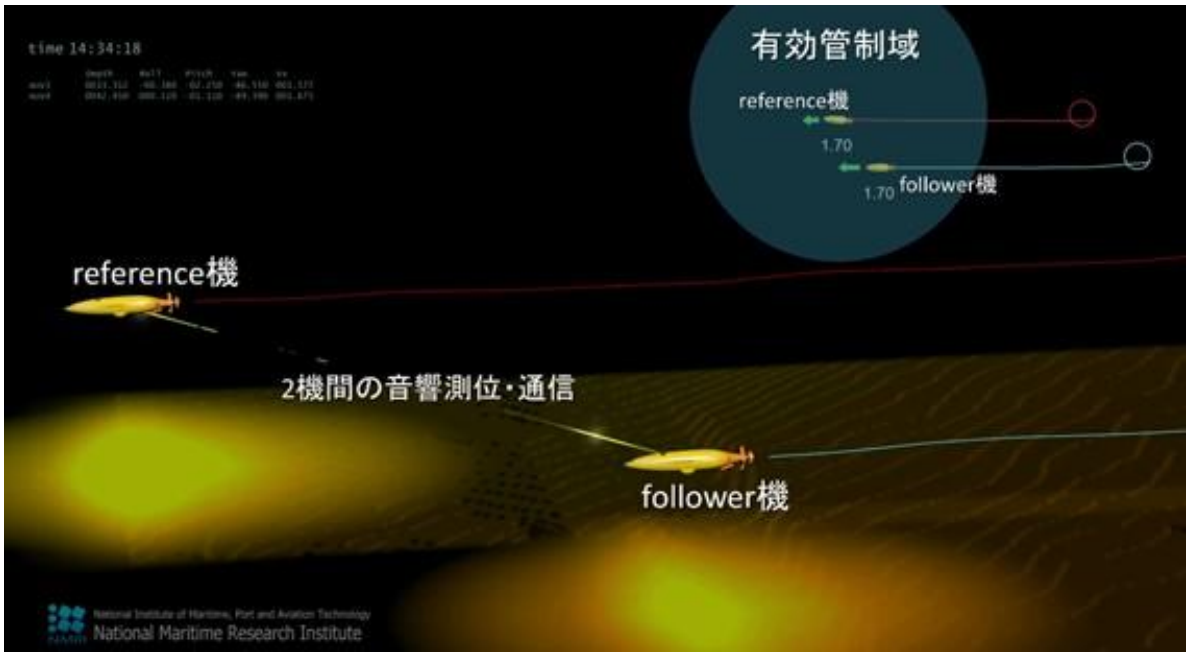
（3）高度な海洋調査に向けた先進的海洋無人機に関する研究開発

①複数 AUV 協調群制御アルゴリズムを航行型 AUV の制御系に実装

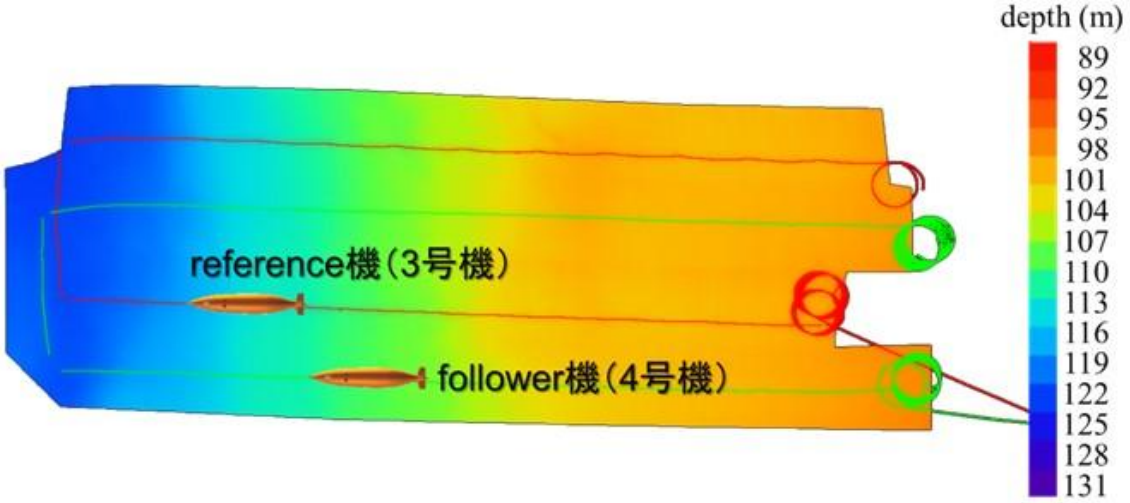
R5 年度に開発した reference – follower 群制御技術を海技研の NMRI 航行型 AUV3・4 号機に実装し、駿河湾で実海域潜航試験を行った。本試験では、follower 機が reference 機に対して定期的に音響測位を実施し、両機間の音響測位・通信が常に安定するように、自動で自機速度を調整する制御を行った。試験の結果、2 機間の相対位置が常に安定し、音響測位・通信が有効に機能する範囲（有効管制域）内に維持されることを確認した（図Ⅰ. 2. (3). ②. 17）。これにより、開発した手法が信頼性と安全性を確保しながら、洋上からの管制に頼らない革新的な複数 AUV の同時運用を実現できることを実証した。

開発・実装した複数 AUV 協調制御技術は、複数機間の相対位置を直接制御することで、音響干渉や測位の欠測を防ぎ、高品質・高精度の海底音響観測にも大いに役立つ。実際に、本試験では欠測域のない高精度（解像度 1m）の海底地形を、AUV2 機の同時運用によって高効率で達成することができた

（図Ⅰ．2.（3）．②．18）。



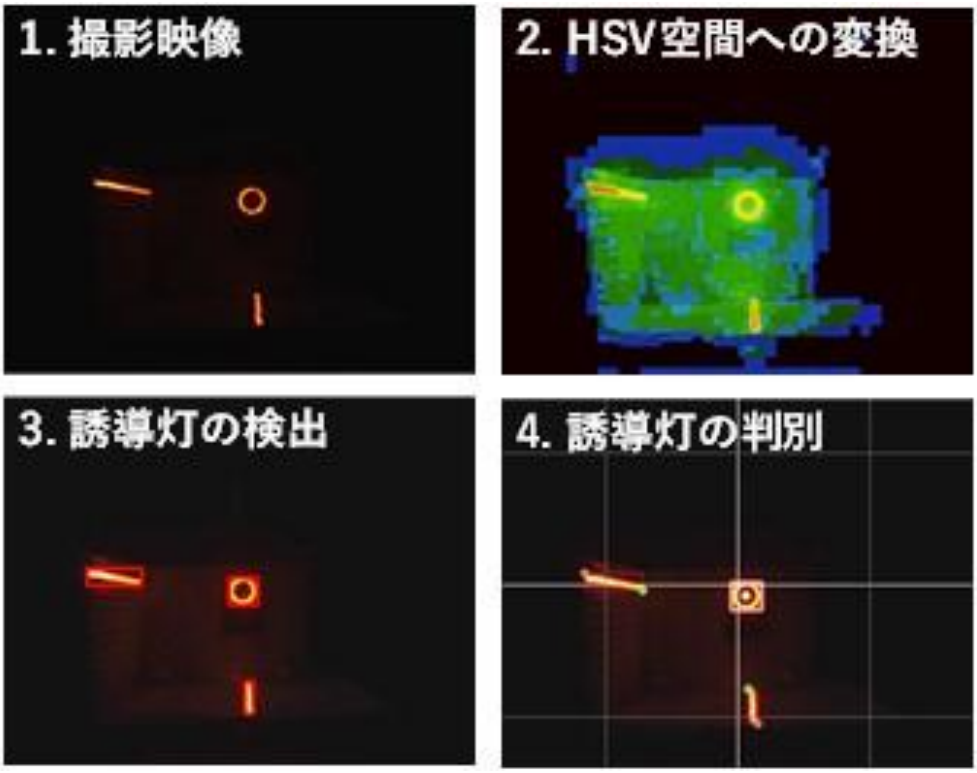
図Ⅰ．2.（3）．②．17　アニメーションで再現したAUV2機協調群制御駿河湾潜航試験
（両機間の音響測位・通信が常に安定するように、follower機はreference機に対して定期的に音響測位を行い、自動で自機速度を調整。その結果、2機間の相対位置が常に安定し、音響測位・通信が有効に機能する範囲（有効管制域）内に維持されることを確認した）



図Ⅰ．2.（3）．②．18　AUV2機協調群制御駿河湾潜航試験から得られた高品質・高精度の海底地形図
（AUV2機の協調群制御により、高品質・高精度の海底地形情報を高効率で取得した）

②ホバリング型AUVのドッキング技術を実証

画像処理に基づいたAUV誘導に欠かせないターゲット検出アルゴリズムを開発・実装した。本アルゴリズムでは、AUVの前方カメラが撮影した映像をリアルタイムでHSV（色相・彩度・明度）空間に変換し、ドッキング台上に設置された3つの誘導灯を検出・判別する（図Ⅰ．2.（3）．②．19）。検出された誘導灯の情報から、AUVはドッキング台上の着座点に対する自機の相対位置を求め、ドッキングに向け姿勢や高度を最適に整えることができる。

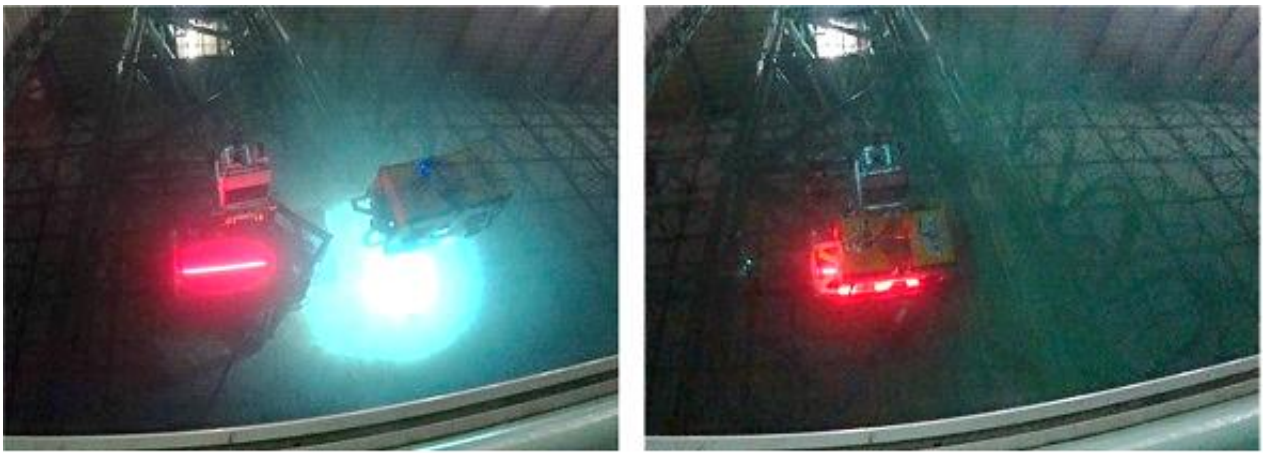


図Ⅰ. 2. (3). ②. 19　HSV 変換に基づいたターゲット検出アルゴリズムによる誘導灯の検出・判別
（HSV 変換により、ロバストで安定した誘導灯の判別を実現した）

艇体制御による着座点への AUV 誘導には、位置・高度・速度の目標情報を持ち、誘導灯検出開始点から着座点まで、複数が生成される誘導用ウェイポイントを用いた。誘導用ウェイポイントを追従することで、AUV は高度及び速度を徐々に下げながら、安全かつ確実に着座点に到達することができる。（図Ⅰ. 2. (3). ②. 20）。

図Ⅰ. 2. (3). ②. 20　ウェイポイント追従によるホバリング型 AUV のドッキング制御

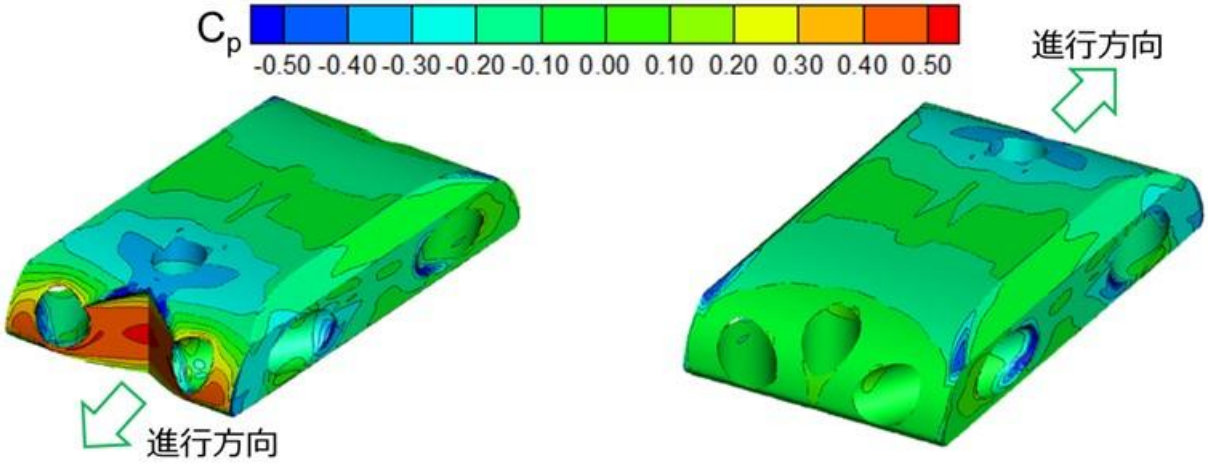
上記のターゲット検出アルゴリズム及びドッキング制御技術を海技研のホバリング型 AUV「ほばりん」に実装し、実海域再現水槽にて自律ドッキング試験を実施した（図Ⅰ. 2. (3). ②. 21）。結果として、「ほばりん」は着座点へのドッキングに複数回成功し、本研究で開発した画像処理及びウェイポイント追従による AUV 誘導技術がホバリング型 AUV のドッキング制御に有効であることを実証した。



図Ⅰ．2.（3）．②．21　AUV 自律ドッキング試験の様子（左：着座点へ接近中 ／ 右：ドッキング完了）

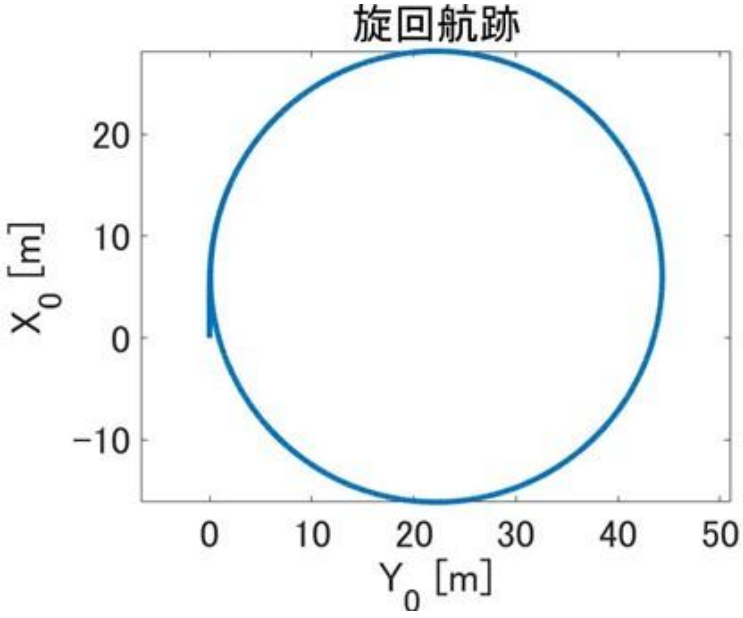
③海空無人機システム試作機 AUV の基本・詳細設計及び深深度 AUV(6000m 級)の基本設計

次世代の自律無人海洋調査システムとして、無人飛行艇による展開・回収に対応できる海空無人機システム試作機 AUV の基本設計を行った。潜航深度、航続時間、搭載機器、電池容量や着水・揚収機構等を考慮して決定した艇体形状に対し、CFD 解析を通じて流体力を求めた（図Ⅰ．2.（3）．②．22）。

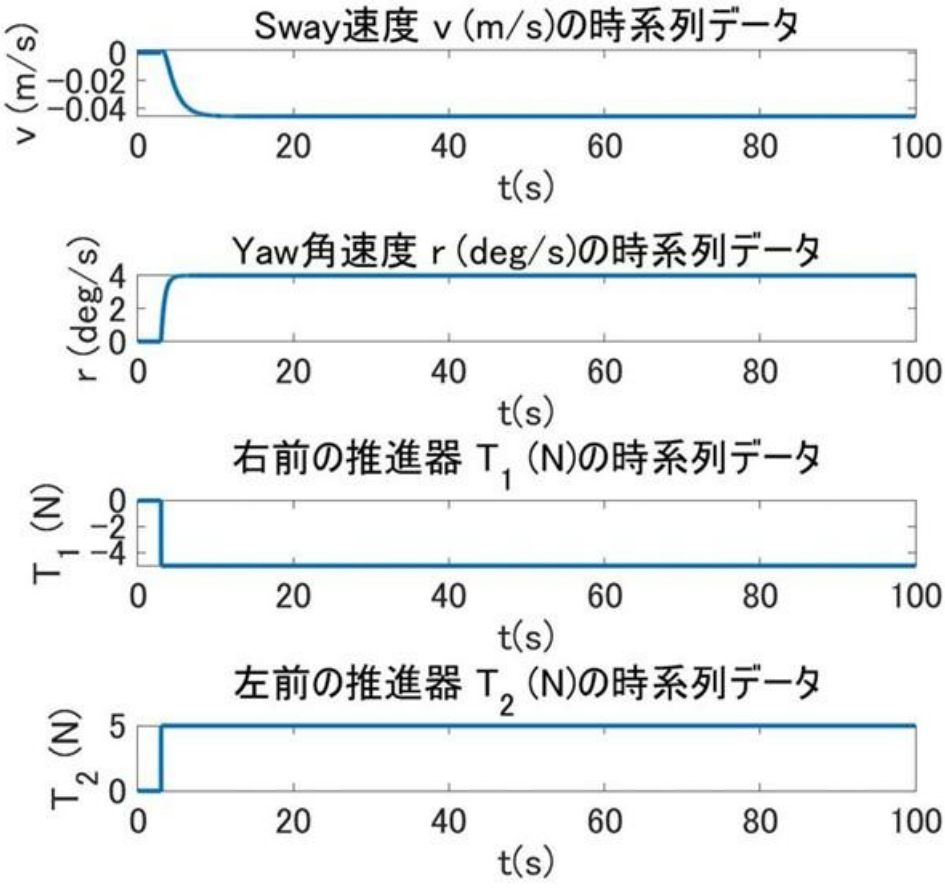


図Ⅰ．2.（3）．②．22　試作機 AUV の CFD 解析結果（左：上面 ／ 右：底面から見た艇体表面の圧力分布）

基本設計の一環として、AUV の挙動を把握するために、航空力学で一般的に用いられる 6 自由度のダイナミックモデルを構築した。このモデルは、主要な連成効果を考慮し、縦方向（surge, heave, pitch）と横方向（sway, roll, yaw）の運動方程式 2 セットで構成される。各係数項に当たる安定微係数は、CFD 解析により求めた流体力を用いて導出した。さらに、アクチュエータ入力を与えて運動方程式を時間領域で解き、試作機 AUV の挙動を確認するシミュレーションを実施した（図Ⅰ．2.（3）．②．23 及び図Ⅰ．2.（3）．②．24）。この結果をもとに、スラスタの選定や制御系の設計を進める等、詳細設計へ展開していく予定である。

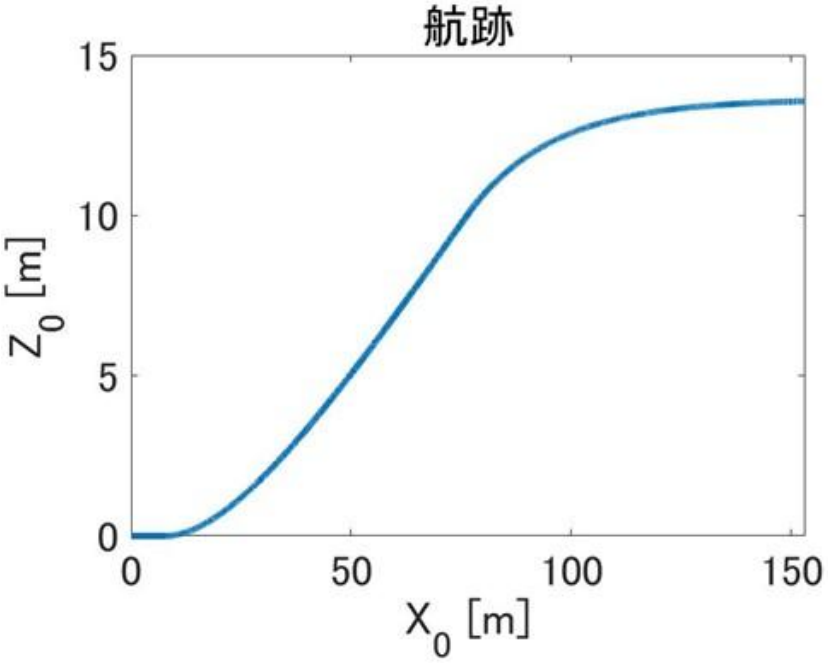


(a) 旋回航跡

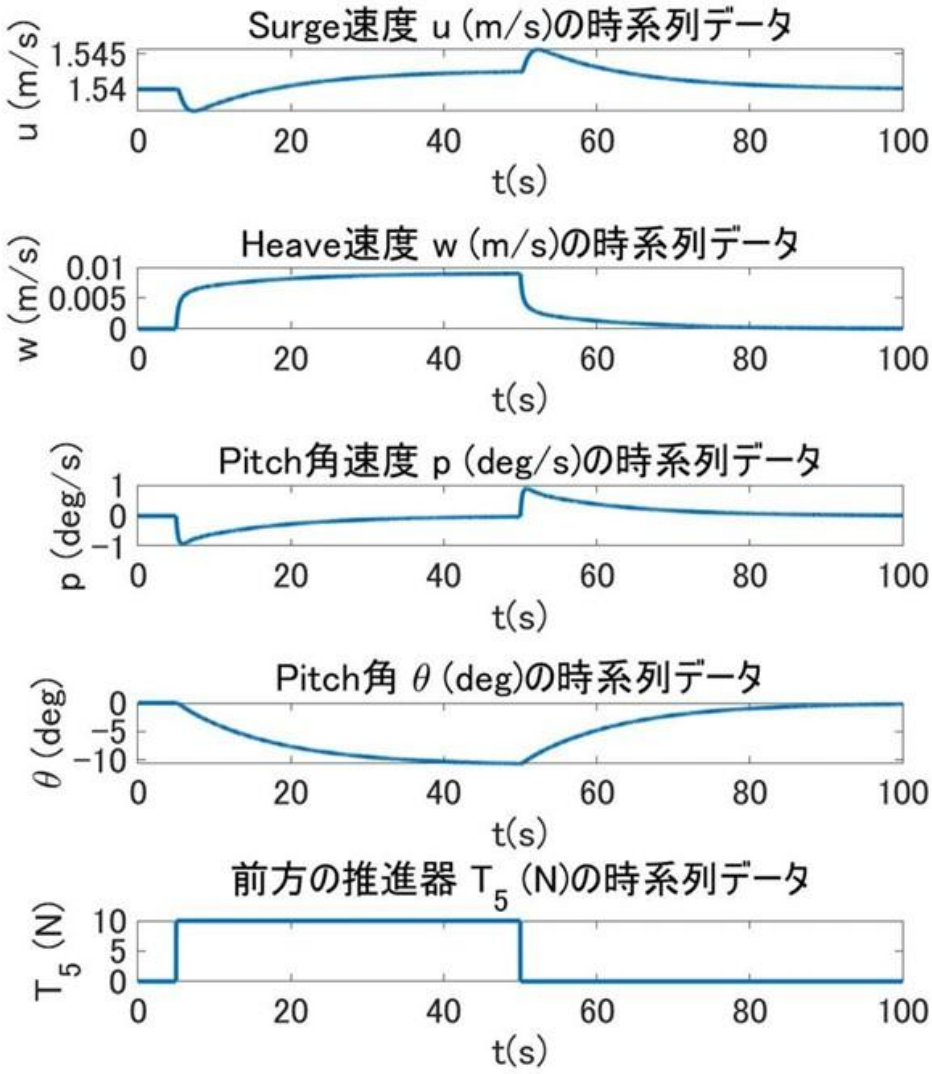


(b) 運動応答

図Ⅰ．2.(3).②. 23 試作機 AUV の旋回航跡及び横方向(sway, roll, yaw)運動応答



(a) 降下航跡



(b) 運動応答

図Ⅰ. 2. (3). ②. 24 試作機 AUV の降下航跡及び縦方向(surge, heave, pitch)運動応答

成　果　の　公　表

□各種表彰の受賞：1 件
・金岡秀，藤原敏文，篠野雅彦，岡本章裕，稲葉祥梧，佐藤匠，瀧本忠教，今里元信: 令和 6 年「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰、複数 AUV 隊列制御技術の開発及び実装に貢献した功績, 2024 年 7 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：6 件
・特許出願: 情報共有機能付き水底情報収集システム
・特許出願: 情報共有を伴う水底情報収集方法
・AUV 制御用共通プログラム Ver3
・複数機 AUV 管理・隊列制御プログラム Ver3
・複数機 AUV 潜航情報表示プログラム Ver2
・汎用疲労解析ソフトウェア（FATRUN/SPECTRUN Ver. 2）

□その他
◆その他の全文査読付き論文等：1 編
・Yasuharu Nakajima, Joji Yamamoto, Satoru Takano, Marcio Yamamoto, Tomo Fujiwara, Masao Ono: Influence of Salinity on Gas Hydrate Formation, Extended Abstracts of The Third Pacific Rim Thermal Engineering Conference PRTEC-24078, (2024).

◆その他発表論文：10 編
・長谷川賢太，石田圭，大坪和久: 洋上風力発電向け Crew Transfer Vessel の洋上風車タワー接舷時における風荷重特性，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-17, (2024).
・高野慧，山本マルシオ，正信聡太郎: 移送管形状及び運動に密度分布が及ぼす影響に関する研究，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-21, (2024).
・Marcio Yamamoto, Joji Yamamoto, Sotaro Masanobu, Kazuhiro Yukawa: The Axial Resonance on 4,000m-class Riser System For Deep Sea Mining, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 459-466, (2024).
・Marcio Yamamoto, Satoru Takano, Motoki Araki, Tomo Fujiwara, Masao Ono, Shigeo Kanada, Yasuhara Nakajima, Ichihiko Takahashi, Joji Yamamoto, Sotaro Masanobu, Kazuhiro Yukawa: Research Review on the Vertical Transport System in the NMRI, II Workshop e-Merge Project, University of Sao Paulo, (2024).
・Marcio Yamamoto, Joji Yamamoto, Kazuhiro Yukawa, Sotaro Masanobu: Addressing the Resonance of 4,000m-class Hang-Off Riser for Deep Sea Mining, November Conference, Innovation Norway（在ブラジルノルウェー大使館）, (2024).
・Kanako Kobatake, Akihiro Okamoto, Masahiko Sasano, Shogo Inaba, Toshifumi Fujiwara: Docking Control Method Using LEDs Detection by Hovering AUV “Hobalin” for Deep-Sea Research, OCEANS 2024 Halifax, (2024).
・Masahiko Sasano, Akihiro Okamoto, Shogo Inaba, Kanako Kobatake, Kangsoo Kim, Toshifumi Fujiwara: Autonomous Control of Seafloor Data Transfer from Lander Edokko Mark-I to AUV Hobalin, OCEANS 2024 Halifax, (2024).
・小畠かな子，岡本章裕，篠野雅彦，稲葉祥梧，藤原敏文: 光学検出によるホバリング型 AUV の自己誘導手法，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 213-218, (2024).
・Kangsoo Kim, Masahiko Sasano, Akihiro Okamoto, Shogo Inaba, Takumi Sato, Kanako Kobatake, Toshifumi Fujiwara, Sotaro Masanobu, Tadanori Takimoto: Multi-AUV-based Marine Survey for Advanced Underwater Exploration, Proceedings of Underwater Technology 2025, (2025).
・Shogo Inaba, Takumi Sato, Jun Umeda, Kangsoo Kim, Toshifumi Fujiwara: Study on Course Design of Cruising AUV for Docking at Deep-Sea Terminal, Proceedings of Underwater Technology 2025, (2025).

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て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。
・本研究の成果は、海事関係功労者国土交通大臣表彰を受けており社会的価値の創出に貢献していると判断される。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか
・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、研究成果の一部は商品化し、本年度は 2 件の使用契約を締結し、これまでの成果を民間に提供している。
・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 1 件の特許出願と 3 件のプログラム登録を行っており、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 SIP3 の研究成果を基にするもので、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。
・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か
・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か
・資源開発の最適なシステム選定に係る研究では、検討を必要とするシステム構成に対し個別に検討するのではなく、AI 技術を用い最適解を短時間で導き出す研究を行っている。この研究により、資源開発の初期検討において、短時間で目的に即したシステムが選定できるため、検討条件の変化に対しても検討時間、資金を大幅に削減できる。資源開発のシステム検討の分野において、本手法を検討している事例はなく、新たな試みとして先見性を有している。
・AUV 間の相互測位・通信に基づく複数 AUV の協調群制御に係る研究では、洋上からの支援を原則として必要としない「水中完結型」の革新的な運用手法であり、効率的かつ持続的な海洋探査を可能にする。特に秘匿性の面で大きな利点があり、水中で完結することで、AUV の行動は洋上から察知されにくくなる。これは任務の存在自体を隠すステルス性の確保を意味し、防衛・安全保障分野や機密性の高い海洋資源探査において、今後ますます重要となる要素技術であり、先見性を有している。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R6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実施した。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時の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（R6年度）	A

【コメント】
・風と波の条件下で振れ回り運動を伴う錨泊中 LNG バンカリングの運用限界条件（2 船間の係船索径、本数に対する風速と波高の上限値）を決定し、国の LNG バンカリングガイドラインの改訂（令和 7 年 3 月発行）に反映したことは、社会的価値において顕著な成果であると評価できる。
・複数 AUV 協調群制御及び航行型 AUV ドッキングを可能にする技術を開発したことは、科学的意義として顕著な成果だといえる。
・海洋の開発に貢献する多くの成果が得られており、それらは特許やコアプログラムとして公表され、受賞実績もあり、顕著な成果が得られていると評価できる。

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、「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。

重　点　分　野	(3)海洋の開発

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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、係留の健全性評価手法の開発と生物付着影響評価、デジタルツイン技術を用いた浮体応力推定手法の開発を行う。等

○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

［R6 年度予算： 21,183 千円、研究担当者： 23 名］

研　究　の　背　景

エネルギー基本計画（令和 3 年 10 月閣議決定）では、カーボンニュートラル社会の実現に向け、再生可能エネルギーの活用が掲げられている。特に洋上風力発電は、再生可能エネルギー主力電源化の切り札として推進していくことが必要であるとして高い期待が寄せられている。洋上風力産業ビジョン（第1次）（令和 2 年 12 月）において、2030 年（令和 12 年）までに 1,000 万 kW、2040 年（令和 22 年）までに浮体式も含む 3,000～4,500 万 kW の導入目標が掲げられた。遠浅の海域の少ない我が国では、特に浮体式の洋上風力発電の商用化が急務となっている。グリーンイノベーション事業のフェーズ 2（令和 6 年度開始）では、実海域での適用を前提とした設計・施工・運転保守の各段階の低コスト化に資する要素技術開発が求められており、複数の実機による実証試験も開始すると考えられている。そのために、特にウィンドファームを対象に、安全性を確保しつつ発電コスト低減につながる研究開発が求められており、浮体施設や合成繊維索を用いた係留系の安全性評価から運営保守管理（O&M）技術の高度化等、広範囲の分野で研究開発の成果が求められている。また、波力発電等の海洋再生可能エネルギーについては、実用化に向けた実機スケールでの実証実験を目指すための研究開発が必要とされている。

研　　究　　目　　標

本研究は、浮体式洋上風力発電を中心に海洋再生可能エネルギーの普及拡大のための関連システム（浮体、係留、O&M 等）について、これまでで実施してきた単独のシステムを対象とした研究から、大規模な実用化を目指し、多数の浮体で構成されるファームを対象とした研究に移行していく。そのために、以下の研究を実施するものである。

大規模 FOWT（Floating Offshore Wind Turbines）において、適切な安全性を確保しつつ、発電量の最大化とコスト低減を実現するため、合理的な安全性等の評価手法に関する研究を実施する。具体的には、浮体変位データを用いた係留の健全性評価手法の研究開発、大規模 FOWT への RBI（Risk Based Inspection）導入のためのリスク評価手法の開発、コストインパクト要因の特定とライフサイクル経済性評価モデルの構築、ブレードピッチ制御や建造性を考慮した浮体構造の最適化支援技術の開発を実施する。

次に、近い将来に大規模 FOWT における利用が想定されている合成繊維索を用いた係留系について、最適設計手法および合理的な安全性評価手法、簡便な係留仕様算出法を開発する。係留系と他構成要素間の相互影響評価を加えて、安全性評価手法を高度化させる。合わせて、実海域浸漬試験による生物付着量の定量的評価および強度影響評価を実施する。

さらに、浮体式洋上風力発電では、時々刻々の状態量に基づく安全性評価や状況に応じた保守管理計画による合理的な運用・維持を可能とするためのデジタルツイン技術を開発する。ウィンドファームでの運用においては、限られた点数の浮体状態量（変位、歪等）から多様な情報を推算する必要があり、そのための研究開発を実施する。例えば、浮体変位データを用いた遭遇海象の推定手法、変位・海象データとデータ同化技術による浮体の応力・疲労余寿命の推定手法を開発する。これらを応用し、浮体係留索に働く張力や疲労余寿命の推定手法もあわせて開発する。

加えて、波力発電や潮流・海流発電は、風力発電にない利点（波力：波の予測しやすさ、潮流・海流：発電の安定性）を持ち、実用化が期待されている。実海域での高効率化・低コスト化の実証に加え、他業種との連携による事業性向上も重要である。そこで、波力発電については、既存成果を活用し、より高度な発電制御技術を開発する。また、事業性向上のため複数基連結時の安全性評価や、風力発電との設置海域・係留系の共有を視野に、波力、潮流・海流発電の導入を検討・提案する。

令和６年度の研究目標

（1）大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築に関する研究

・検査の合理化のための係留健全性評価に資するモニタリング手法の開発

セミサブ浮体・トート係留における係留の健全性評価手法の提案し水槽試験にて精度を検証する。

・リスク評価に基づいた合理的な検査手法の開発

実海域実証の海域と浮体を想定した浮体・係留におけるリスクの影響因子を特定する。

・コスト等推計手法の開発

国内の実証事業の点検実績を踏まえた維持管理段階における作業時間推計手法を提案する。

（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に関する研究

・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

多様な素材（ポリエステル、ナイロン、HMPE 等）からなる合成繊維索係留系に対し、詳細設計の前段階で簡易的に良好な仕様を出力する設計手法・プログラムの拡張を行うとともに精度検証とコスト評価を実施する。

・係留索に対する生物付着影響評価結果

実海域浸漬試験を引き続き実施するとともに強度評価を行う。

（3）デジタルツイン技術の構築に関する研究

・浮体遭遇海象推定手法の開発

浮体運動やタワー基部の曲げモーメントなどの計測データから、浮体の遭遇した海象を推定する手法や、浮体各所における応力等を推定する手法の開発を行う。これらの検証に供することを目的とし、弾性相似模型を用いた水槽試験を実施する。

・浮体各所の応力等推定手法の開発

水槽試験で取得した浮体構造断面力が、数値シミュレーションで再現できているかを検証する。

（4）波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上に関する研究

・波力発電のより高効率な制御アルゴリズムの開発

運動の非線形が顕著となる波条件下で開発した制御技術の有効性を明らかにする。

令和６年度の研究内容

（1）大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築に関する研究

①係留張力のモニタリング技術の開発

合成繊維索を用いたトート係留システムにて、係留破断時とアンカーのずれ（繊維索の伸び）が発生した場合の浮体の軌跡の変化を数値計算と水槽模型試験で比較し、その精度を検証した。

②リスク評価による合理的な検査手法の開発

当初計画では、実海域実証を想定してリスク評価を行うこととしていたが、実証で設置する基数は 2 基

と少なく、事業者の準備も整っていないことから、計画を変更し、商用ウィンドファームにおけるモニタリングやリスク評価に基づく効率的な検査手法の検討のため必要となるリスクの定量的な評価を行うため、令和 5 年度に作成した検査の技術基準・安全ガイドラインに規定された検査項目毎に、想定される事故とその要因等を整理した。

③コスト等推計手法の開発

洋上風力発電の将来需要に必要となる施工等に必要な作業船の必要隻数を推計するモデルを提案、検証し、高度化した。また、国内点検実績から、検査項目を類型化し、作業時間推計手法の考え方を整理した。

（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に関する研究

①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

昨年度までに作成したプログラムを発展させ、浅海域への適用に適した、中間ブイ・中間シンカーを用いた係留系仕様を最適化可能な簡易設計プログラムを機能追加した。

②係留索に対する生物付着影響評価結果

合成繊維索試験体の実海域浸漬試験は、漁業者の協力のもと引き続き実施し、経過観察と強度評価を行った。

（3）デジタルツイン技術の構築に関する研究

①浮体遭遇海象推定手法の開発

前年度までに実施した弾性相似模型を用いた水槽試験結果を用い、浮体運動・浮体構造断面力・係留張力の規則波に対する応答関数、および長波頂不規則波に対する応答を取得し、それらを用いて波が一方向から入射する場合に対し、浮体が遭遇した海象を推定した。波が多方向から入射する場合を想定して、短波頂不規則波に対する水槽試験を実施した。

②浮体各所の応力等推定手法の開発

水槽試験で取得した浮体構造断面力が、数値シミュレーションで再現できているかを検証した。

（4）波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上に関する研究

①波力発電のより高効率な制御アルゴリズムの開発

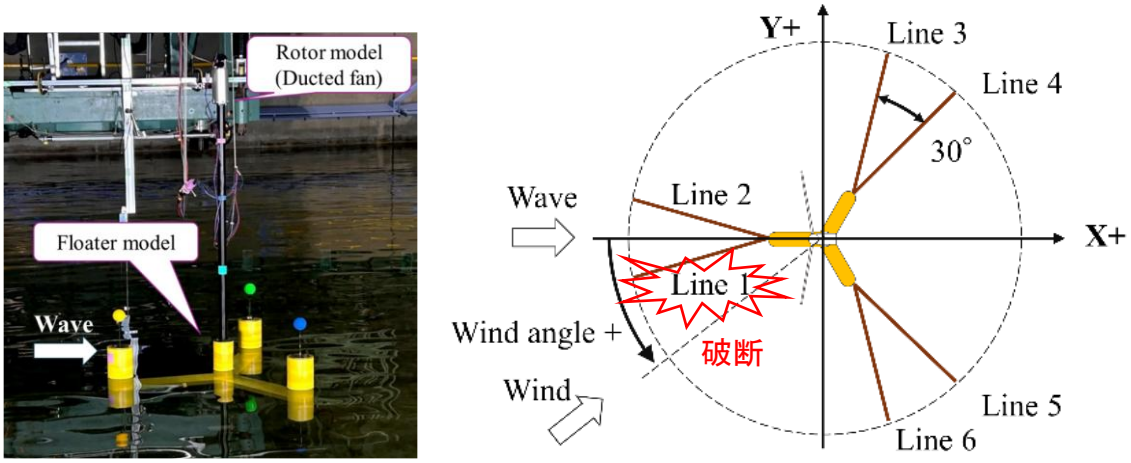
大波高時や大振幅発生時のような非線形が強い条件下における波力発電装置の運動特性を明らかにした。また、発電方式をこれまでに対象としたリニア方式ではなく、ラックアンドピニオン方式にして制御技術の検証を行い、他の発電方式に対応できるかについて検証した。

令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

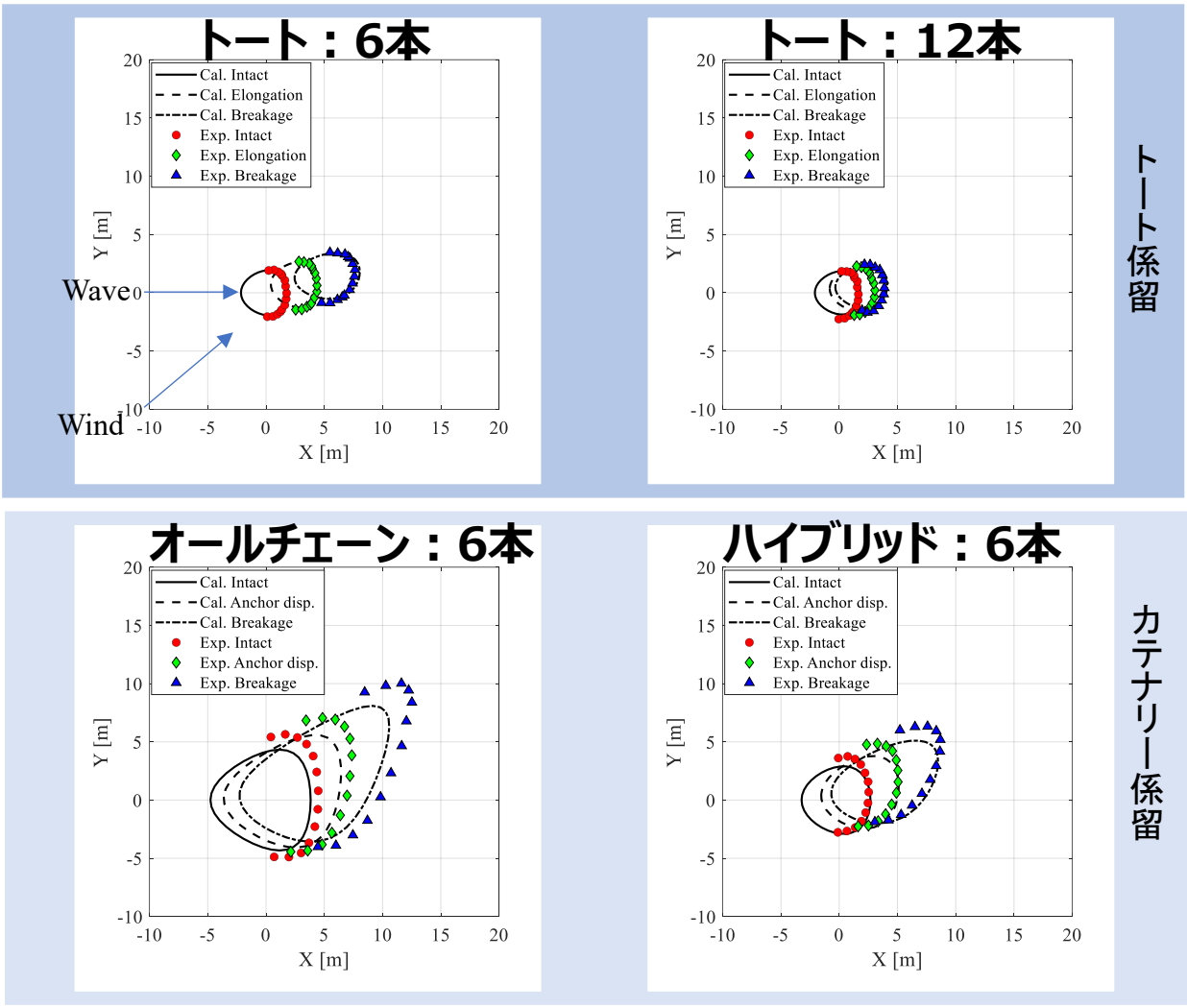
（1）大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築に関する研究

①検査の合理化のための係留健全性評価に資するモニタリング手法の開発（港空研と連携）

合成繊維索を用いたトート係留を対象として、係留索に異常が発生したときの浮体の平面運動のデータ取得を目的とした水槽試験を実施し、ロープ伸びや係留索破断が及ぼす影響を明らかにした。トート係留を対象とした数値解析結果は試験結果に対して80～130%の精度を有しており、今後の詳細検討に使用できることを確認した。また、過年度実施したカテナリー係留の試験結果とも比較し、初期の復原力には違いがあるものの、双方の係留方式において、浮体運動から係留の異常を検知可能であることを確認した（図Ⅰ．1．（3）．①．1 及び図Ⅰ．1．（3）．①．2）。また、トート係留において、係留索数が増加し浮体位置の変化量が小さくなる場合でも、係留系の損傷による浮体位置変化をとらえることが可能であることを示した。



図Ⅰ．1．（3）．①．1　セミサブ浮体・トート係留を対象とした水槽試験の様子（左図）と係留配置（右図）



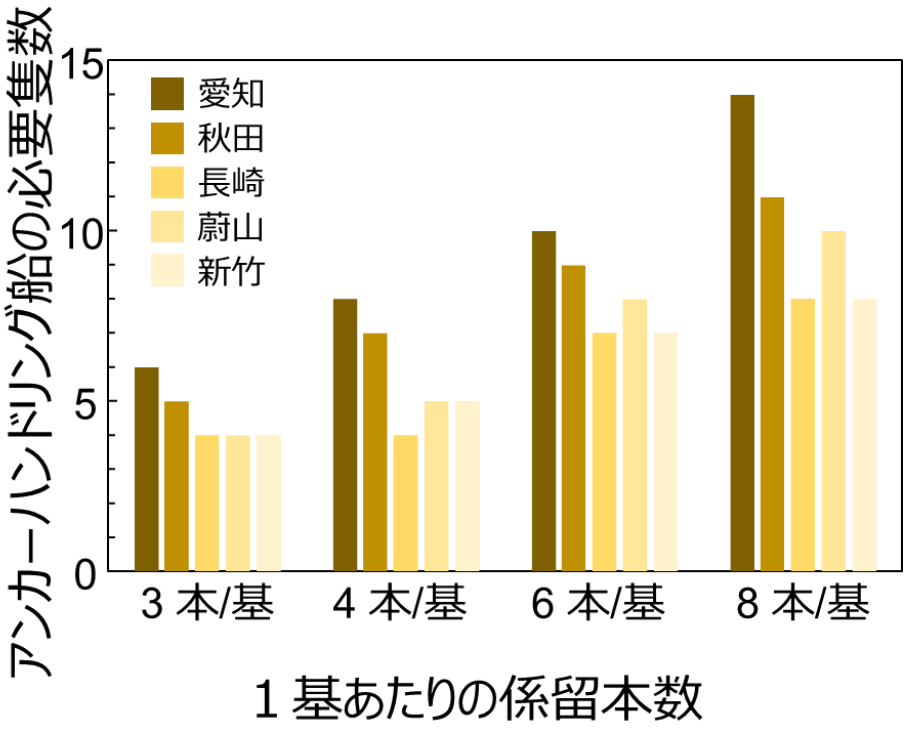
図Ⅰ．1.（3）．①．2　係留本数や係留構成の変化に伴う、係留系損傷時の浮体平面運動の変化
（係留系の損傷により、浮体位置が健全時より遠方に遷移している）
（実機スケール、模型試験は縮尺 1/100 にて実施）

②リスク評価による合理的な検査手法の開発

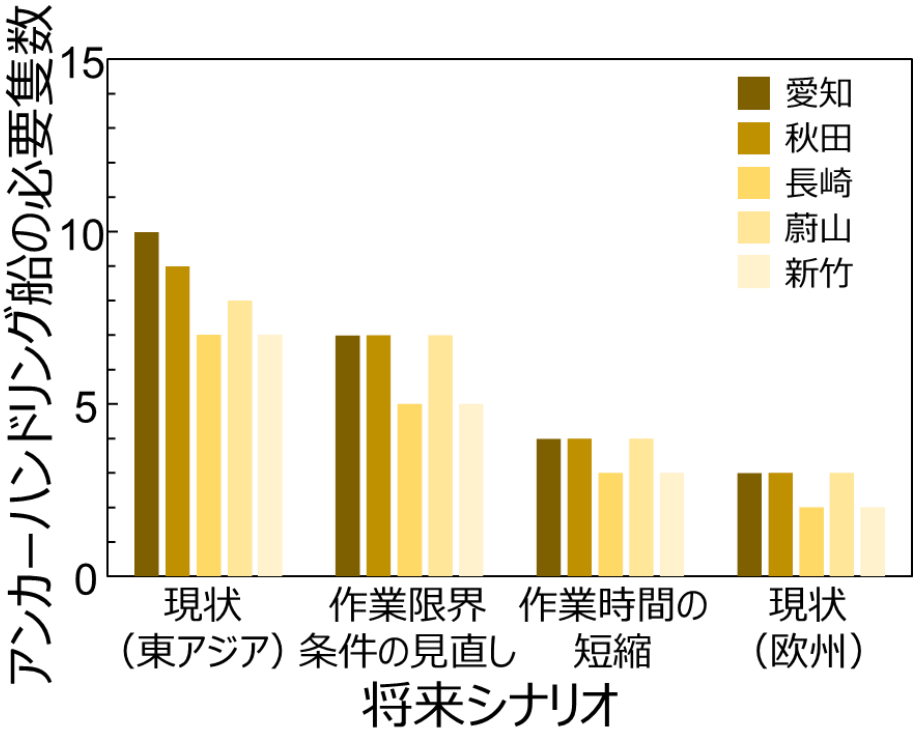
検査の技術基準・安全ガイドラインにおける係留システム（18 項目）及び浮体式基礎（29 項目）の中間検査及び定期検査の要求項目に対し、①防止したい事故、②検査目的、③検査対象、④検査で確認する事項、⑤内的要因、⑥外的要因を特定し、リスクモデルの構築に向けた基盤を整理した。

③コスト等推計手法の開発

洋上風力発電の将来需要に必要となる施工等に必要な作業船の隻数を推計し、令和 6 年 8 月に「浮体式洋上風力発電の海上施工に関する官民フォーラム（第 3 回）」にて発表した。さらに、浮体式洋上風力発電の海上施工に必要となる作業船の隻数を推計するモデルを提案し、海象条件や係留本数、ケーブルのレイアウトの違いの影響を定量的に評価した。東アジアにおいて 1GW のウィンドファームの海上施工に必要となる作業船の隻数は、作業時間の短縮と作業限界条件の見直しにより、現状から 70–80%少なくて済み、現在の欧州水準と同程度となることを示した。このモデルは、将来の浮体式洋上風力発電の世界規模の需要を見据えた作業船の建造計画にも応用できる汎用性の高いものである（図Ⅰ．2.（3）．①．1 及び図Ⅰ．2.（3）．①．2）。



図Ⅰ．2．(3)．①．1　浮体式洋上風力発施設の 1 基あたりの係留本数とアンカーハンドリング船の必要隻数

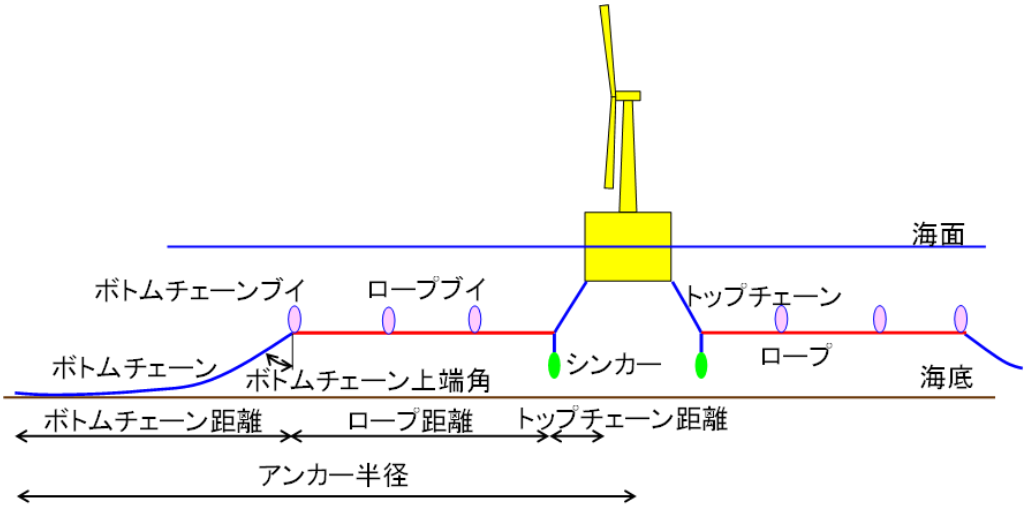


図Ⅰ．2．(3)．①．2　将来シナリオを変えたときのアンカーハンドリング船の必要隻数の変化

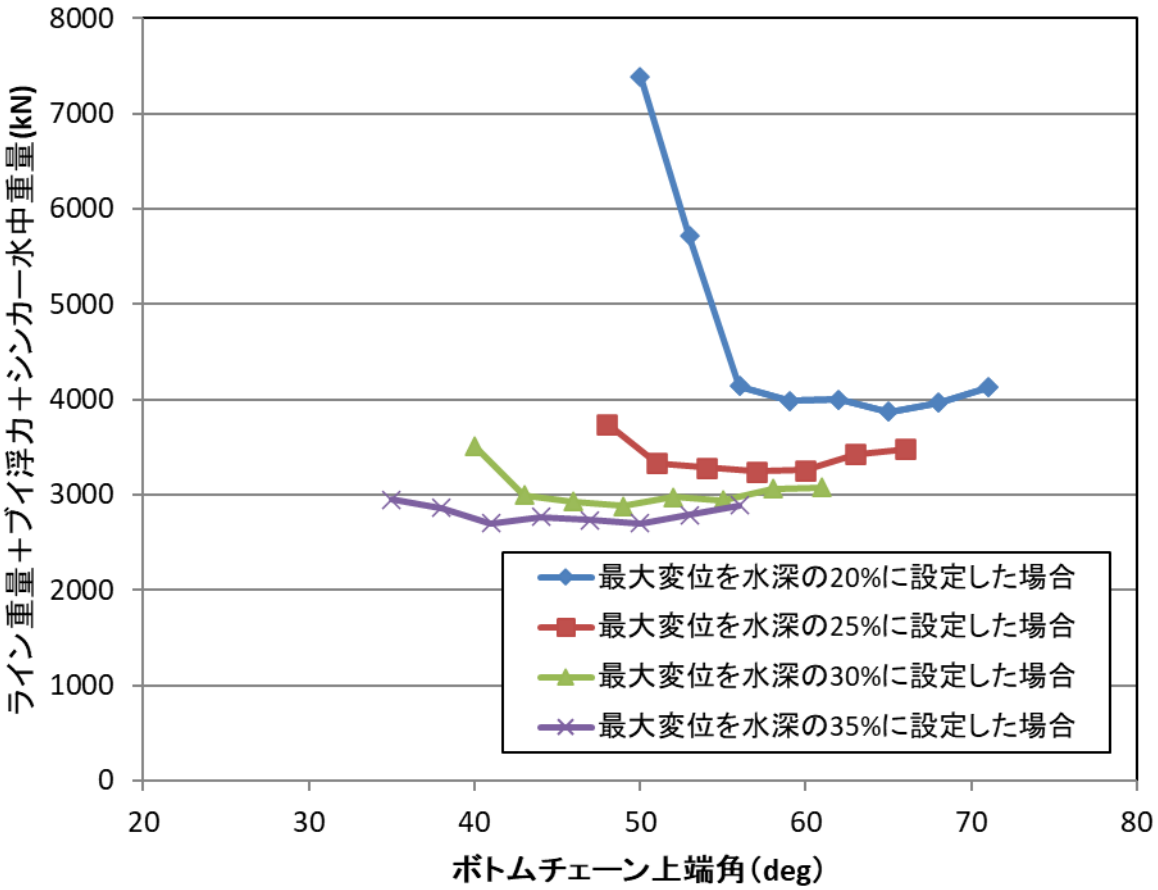
(2)合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築に関する研究

①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

前年度までに開発した係留仕様算出プログラムを対象に、水深の浅い海域において成立する、ブイ・シンカーを用いて合成繊維索を水平に展開する係留系(ブイ・シンカー係留((図Ⅰ．2．(3)．①．3))に対応するため、拡張を実施した。簡易な入力に対し、安全率や浮体の移動量等の制約条件を満たす係留系仕様を算出することが可能となった(図Ⅰ．2．(3)．①．4)。



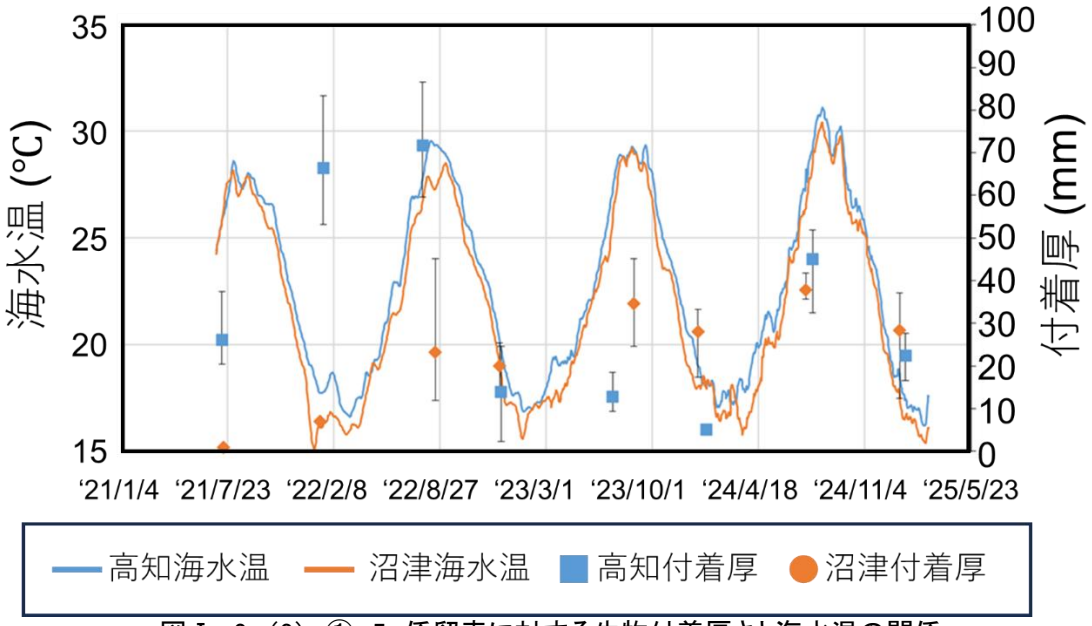
図Ⅰ．2．(3)．①．3　ブイ･シンカー係留のイメージ



図Ⅰ．2．(3)．①．4　係留仕様算出プログラムの出力結果の例
（係留チェーンの浮体との角度を変えた場合の係留索重量）

②係留索に対する生物付着影響評価結果

北海道石狩湾、静岡県沼津沖、高知県黒潮町沖において、2021 年（令和 3 年）3 月より 2025 年（令和 7 年）1 月にかけて実施していた実海域浸漬試験をすべて完了した。付着生物について、付着厚さ、水中重量を経過観測するとともに、設置期間の長い静岡県沼津沖と高知県黒潮町沖の付着厚さ計測結果と海水温との比較を行った。その結果、計測結果から判断する限り、既往報告と同様に夏季にかけて付着量が増加し、冬季にかけて減少すること、また 2 年目以降の夏季の増加量も 1 年目と同程度であること、さらに海水温と一定の相関が見られることが分かった（図Ⅰ．2．(3)．①．5）。

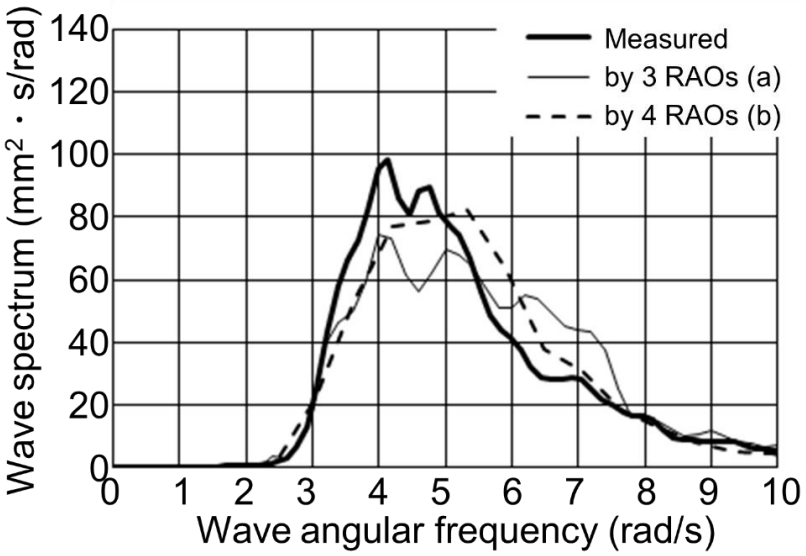


図Ⅰ．2.（3）．①．5 係留索に対する生物付着厚さと海水温の関係

（3）デジタルツイン技術の構築に関する研究

①浮体遭遇海象推定手法の開発

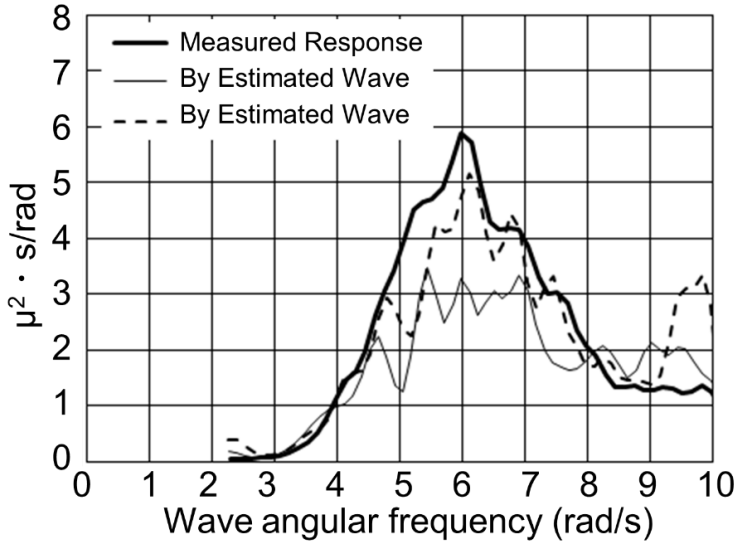
2023 年度（令和 5 年度）に海洋構造物試験水槽において実施した、剛性相似模型を用いた水槽試験結果を用い、浮体の遭遇波浪を推定した。遭遇海象の推定では、浮体の運動（サージ、ヒーブ、ピッチ）の 3 種のデータを入力としたものと、浮体ロワーハル部の歪データを加えた 4 種のデータを用いたものの 2 パターンをそれぞれ実施した。その結果、歪データを入力に加えると推定精度が向上することが分かった。また、遭遇した波スペクトルを比較的高精度で推定することができた（図Ⅰ．2.（3）．①．6）。



図Ⅰ．2.（3）．①．6 波浪推定結果（長波頂不規則波）
（計測した波スペクトルと浮体応答・歪応答を用いた推測結果の比較）

②浮体各所の応力等推定手法の開発

水槽試験で計測した浮体の構造歪と、試験中に計測された波を入力として出力された構造歪、そして推定された遭遇海象を入力とした数値計算から得られた構造歪を比較し、遭遇海象を入力とした場合に定性的に一致することを確認し、本手法の妥当性を確認した（図Ⅰ．2.（3）．①．7）。また、詳細な応力推定のために FE モデルを作成した。

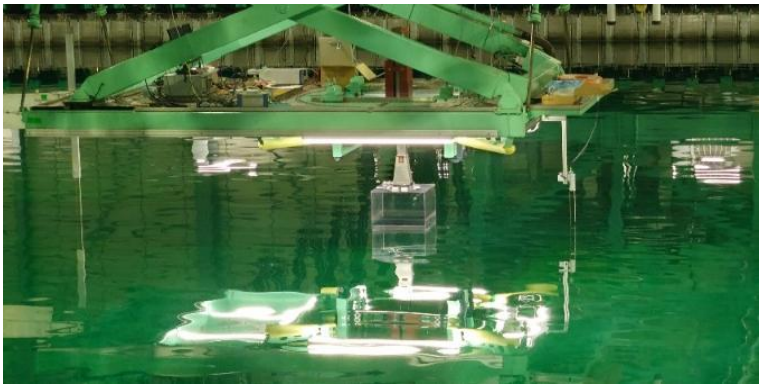


図Ⅰ．2.（3）．①．7　断面力の推定結果の例（ロワーハルの水平曲げ）
（計測結果と推測された波スペクトルを用いた解析結果の比較）

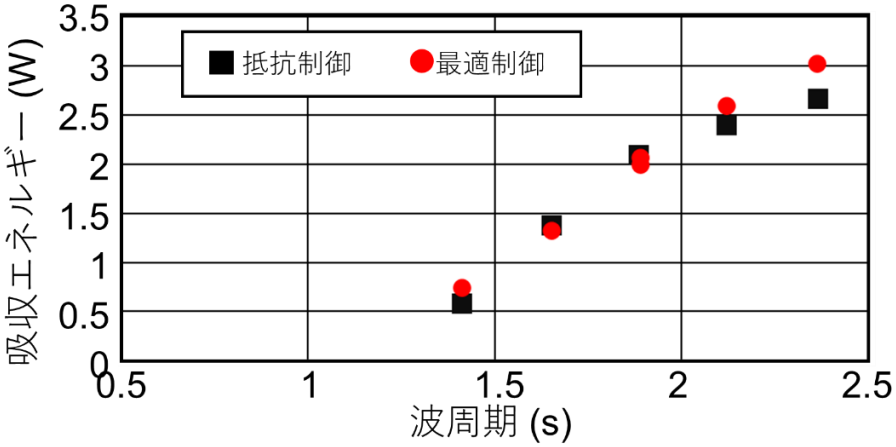
（4）波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上に関する研究

①波力発電のより高効率な制御アルゴリズムの開発

水槽試験を実施し、大波高時や大振幅発生時のような非線形が強い条件下における波力発電装置の運動特性を明らかにするとともに、発電方式をこれまでに対象としたリニア方式ではなく、ラックアンドピニオン方式にして制御技術の検証を行い、他の発電方式に対応できるか検証した。その結果、ラックアンドピニオン方式に対しても制御が有効に機能することを確認した（図Ⅰ．2.（3）．①．8）。



（a）水槽試験の様子

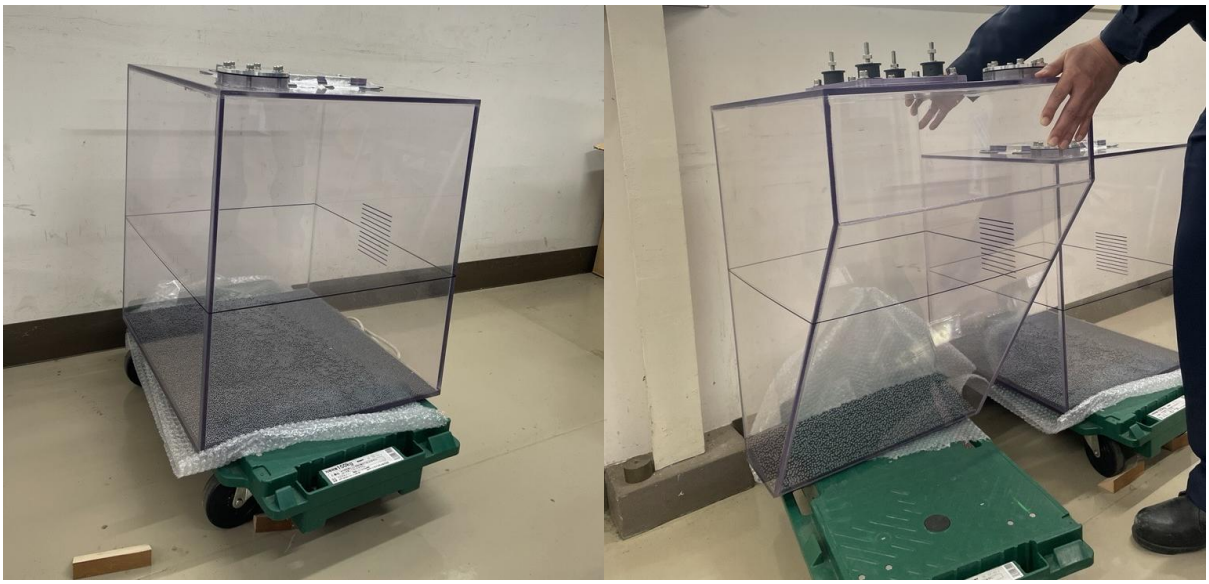


（b）吸収エネルギーの比較

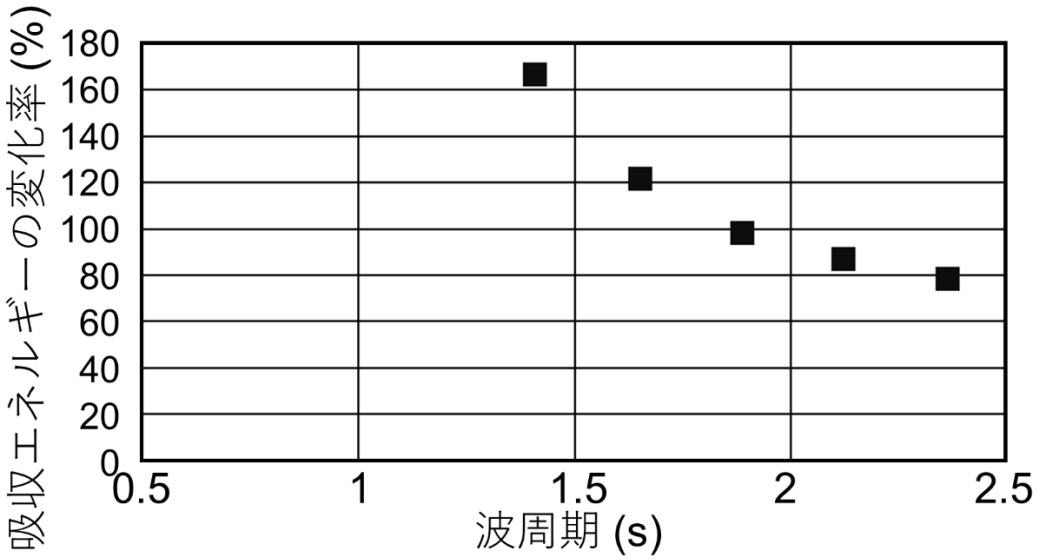
図Ⅰ．2.（3）．①．8　水槽試験の様子及び制御手法の検証（吸収エネルギーの比較）

また、エネルギー吸収効率の改善をするため、波に対して指向性をもつ浮体形状（図Ⅰ．2.（3）．①．

9)を考案し、浮体形状の改良によりエネルギー吸収効率を波周期の短い範囲で最大で 60%向上させることが可能であることを水槽試験で検証した（図Ⅰ. 2. (3). ①. 10）。



図Ⅰ. 2. (3). ①. 9 波に対する指向性を有しない浮体（左図）及び指向性を有する浮体（右図）



図Ⅰ. 2. (3). ①. 10 考案した浮体形状による波エネルギー吸収効率の波周期に対する変化
（100%を基準として、それ以上の場合は向上、それ以下の場合は低下と判断する）

成　果　の　公　表

□各種表彰の受賞：1 件
・梅田隼: 日本船舶海洋工学会奨励賞（乾賞）, ガウス過程回帰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, 2024 年 5 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：1 件
・特許出願: 反射型波力発電装置

□その他
◆国際活動：2 件
・中條俊樹: 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, 2 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, 4 回.

◆その他の全文査読付き論文等：3 編
・羽田絢，中條俊樹，吉本治樹，神澤謙，西村俊祐: 浮体式洋上風力の浮体形状と風車制御設定のパラメトリックスタディ，日本船舶海洋工学会論文集，39 巻，pp. 69–78，(2024).
・黒岩隆夫，永尾徹，平野晴彦，中野拓也，宮本伸樹，菅原伸一郎: 風車タワーの破断・倒壊メカニズムの分析，日本風力エネルギー学会論文集，48 巻，4 号，pp. 87–98，(2024).
・梅田隼: ポイントアブソーバー型波力発電装置のモデルベースおよびデータ駆動型リアクティブ制御に関する研究，大阪公立大学学位論文（博士（工学）），(2024).

◆その他発表論文：15 編
・梅田隼: 波力発電装置の機械・電気システム統合シミュレーションの開発，日本船舶海洋工学会第 29 回推進・運動性能研究会，(2024).
・蓮見知弘: エンジニアリングモデルを用いた浮体式洋上風力発電の海上施工の研究，第 17 回 港湾空港技術講演会 in 関東 2024，(2024).
・蓮見知弘: ぷかぷか風車大作戦 ～浮体式洋上風車イノベーションバトル～ 開催報告，日本風力学会誌，風力エネルギー，第 48 巻，第 3 号，pp. 454–457，(2024).
・平尾春華，羽田絢，蓮見知弘，正信聡太郎: 浮体式洋上風力発電の係留系健全性評価手法の開発 1．水槽試験編，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 1177–1182，(2024).
・羽田絢，平尾春華，蓮見知弘，正信聡太郎: 浮体式洋上風力発電の係留系健全性評価手法の開発 2．数値解析による検討，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 1183–1190，(2024).
・蓮見知弘，横井威，羽田絢，和田佑次郎，正信聡太郎: 浮体式洋上ウィンドファームの洋上施工の稼働率に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 1163–1168，(2024).
・Toshiki Chujo: STUDY ON THE SYNTHETIC FIBER ROPE MOORING FOR FLOATING OFFSHORE WIND TURBINES DEPENDING ON THE WATER DEPTH AND MATERIALS OF ROPE，International seminar on papers presented at OMAE on Floating Offshore Wind，(2024).
・Tomohiro Hasumi: Research on installation time model for floating offshore wind farms，International seminar on papers presented at OMAE on Floating Offshore Wind，(2024).
・梅田隼: 波力発電装置を対象としたデータ駆動型リアクティブ制御の開発，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会，PS–24，(2024).
・羽田絢: 浮体式洋上風力の浮体挙動を利用した係留索健全性評価手法に関する実験的研究，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会，PS–23，(2024).
・中條俊樹: 大規模ウィンドファームの実現に向けた浮体式洋上風力発電の研究開発について，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会，(2024).
・蓮見知弘，黒岩隆夫，松尾剛: 洋上風力関連船舶の需要試算の結果，浮体式洋上風力発電の海上施工等に関する官民フォーラム，(2024).
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の実証段階および商用運用段階における計測について，センサイト Web ジャーナル，(2024).
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電は普及するか？，日本船舶海洋工学会若手の会，(2024).
・黒岩隆夫，小垣哲也: 特集 2 風車の認証及び研究開発用の大型・特殊試験設備，日本風力エネルギー学会誌，風力エネルギー，第 48 巻，第 1 号，pp. 32–33，(2024).

◆公開実験：2 件
・浮体式洋上風力発電設計・製作セミナー（2024.8/7–8/9）
・浮体式風車の不規則波中の水槽試験を公開（2024.9.14，構造・産業システム系及び洋上風力発電プロジェクトチーム）

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、十分に大きいか

・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拡張し、より広範な領域に適用可能にする等、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（新規性及び発展性）。

・浮体式波力発電に関する研究では、従来手法より効率的または広範囲に適用可能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（発展性及び一般性）。
・本研究の成果は、学会賞を受賞しており、科学的意義が十分にあるものといえる。

□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。
・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
・リスク評価による合理的な検査手法の開発は、浮体及び係留システムのリスクと同点検に要する日数を定量的に評価する枠組みを構築することにより、全数・全係留本数の法令検査と同程度の安全性を確保しつつ、同検査方法に代わる検査方法（無作為抽出、状態監視による抽出等）の見直しに提言する点において萌芽的研究と言える。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R6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、対象を拡大し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（R6年度）	A

【コメント】
・大規模 FOWT の実現に向けた合理的な検査手法に関する研究において、顕著な成果を創出していると評価できる。
・海洋の開発に貢献する多くの成果が得られ、査読付き国際会議論文、特許申請、国際連携活動、公開実験等により公表され、受賞実績もあることから、十分な成果が得られていると評価できる。
・エネルギー問題と関連する技術を進展させ、国プロ、業界に対して貢献している点、および、国交省の技術基準・安全ガイドラインに寄与した点が評価できる。

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、「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。

重　点　分　野	(4)海上輸送を支える基盤的な技術開発

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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 －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、実船の BOM/BOP データ作成等による造船所におけるPLMシステムの環境整備、艤装工程に対応した建造シミュレータの開発、要素試験体を用いた溶接及び接着構造の基本性能評価を行う。等

○DX 造船所の実現に向けた研究開発 ［R6 年度予算: 20,233 千円、研究担当者: 12 名］

研　究　の　背　景

第 5 期国土交通省技術基本計画では、造船所の抜本的な生産性向上と、船舶のライフサイクル全体での価値を高めるビジネスモデルへの転換を図るため、設計から竣工、さらには運航・メンテナンスを含めたライフサイクル全体の効率化を実現する「DX 造船所」の構築に取り組むことが示されている。また、同計画では、持続可能なインフラメンテナンスの一環として、インフラの維持管理における高度化・効率化に向けた技術研究開発の必要性についても言及されている。

こうした国土交通省における海事産業のデジタルトランスフォーメーション（DX）推進の方針を踏まえ、本研究では、デジタル技術の活用による造船所の生産性向上に関する研究開発に取り組むこととする。造船所の DX 化は、海事産業における技術革新を促進するとともに、海上輸送の新たなニーズへの的確な対応を可能とし、海事産業の国際競争力の強化及び我が国経済の持続的な発展に資するものである。我が国の造船業は今後、自動運航船や代替燃料船など、いわゆるゼロエミッション船といった複雑な製品開発において、無駄を省きつつ、より迅速かつ正確に製品を提供することが求められる。造船所の DX 化は、こうした複雑な製品開発体制の整備に貢献し、我が国造船業の国際競争力の強化のみならず、安全・安心の確保や海洋環境負荷の低減にも寄与する。

研　究　目　標

本研究における造船所の DX 化では、全てを数値的に計画し、数値的に管理することによって、製品開発における納期/品質/コストを計画通り達成することを目指す。このため、造船所における設計、建造、品質管理、新工作法の観点から以下の研究開発を実施する。

船舶のモデルベース設計に関する研究開発として、船舶製品開発のデータ構造（E-BOM, M-BOM, BOP）のガイドライン、データ標準化案を作成する。また、設計データのデータ生成支援システムの開発、並びに造船 PLM システムの開発を行う。船舶の MBSE 開発ガイドラインを作成する。

造船製造現場の DX に関する研究の一環として、造船製造現場の建造シミュレータの開発、及び工程計画・管理システムの開発を行う。

品質管理のデジタル化に関する研究として、溶接ビード品質マネジメントシステムの開発、ブロック寸法品質マネジメントシステムの開発及びガイドラインの作成を行う。品質データのデータ構造と PLM システムへの実装を行う。

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として、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を作成する。また、新工作法を取り入れた将来の造船工程のイメージを構築する。

全体として、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、及び、新工作法を取り入れた次世代造船のコンセプトの策定を行う。

上記の研究開発を通じて、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。同時に、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。

また、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。

令和６年度の研究目標

（1）船舶のモデルベース設計に関する研究開発
- ・造船 PLM システムの開発
- ・BOM/BOP データ生成機能の開発

（2）造船製造現場の DX に関する研究
- ・建造シミュレータの精度向上と実造船所での実用性検証
- ・建造シミュレータの艤装工程への拡張
- ・作業計画及び日程計画利用を想定したユースケースの考案

（3）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
- ・要素試験体を用いた溶接及び接着構造の基本性能評価

令和６年度の研究内容

（1）船舶のモデルベース設計に関する研究開発

①造船 PLM システムの開発

PLM/BOM ベースの船舶開発のため、設計プロセス及びデータフロー、BOM データモデルのカスタマイズ、既存システムと PLM システムの接続インタフェース等について整理した。

②設計データ生成に関する研究

E-BOM （設計 BOM）上に予め用意された部品群から部品を選択し製品（船舶）全体を構成する設計手法について PLM システム上でのデモを作成した。

造船用製品構成ナレッジグラフとその生成 AI によるデータ生成技術に関する研究に着手した。

（2）造船製造現場の DX に関する研究

①建造シミュレーション技術

作業のモデル化やシミュレーションのパラメータ、エージェントの判断ロジック等を改良し、シミュレーションモデルの精度向上を実施した。

M-BOM （製造 BOM）、BOP データを自動生成するためのアルゴリズム開発を実施した。

配管の経路計画アルゴリズムを応用した組立シミュレーション技術のプロトタイプを開発した。

②工程計画・管理システム

作業計画及び日程計画への建造シミュレータの利活用として、造船所にて運用の試行を実施した。

（3）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

①接合部の疲労損傷・腐食・破壊挙動の検証

多ニードル打撃による溶接部ピーニング施工に関して適切な施工条件を見出した。

接着接合部強度の海水曝露劣化に伴う設計下限値並びに接着面表面加工の効果を明らかにした。

②代替施工法・代替材料による作業効率評価

ピーニング法や接着接合法の具体的な適用部位を提案し、作業工数の低減効果を予測した。

令和６年度の研究成果

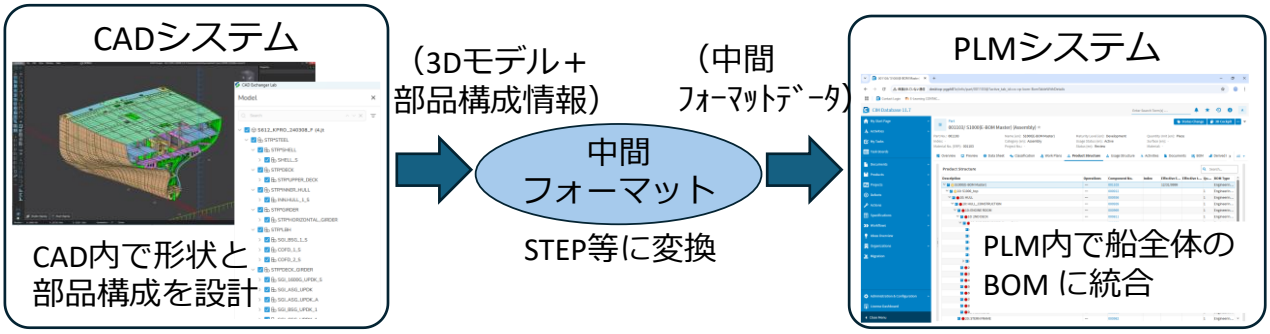
（1）船舶のモデルベース設計に関する研究開発

①造船 PLM システムの開発

昨年度は造船における BOM（Bill of Materials、部品表）のデータ構造について研究を実施したが、それらの BOM 情報を設計プロセスにおいて、どのような順序や方法で生成・統合するかについては未解決の課題として残っていた。今年度は、この課題に対して設計業務における設計情報のデータ生成プロセスとして、前年度に整理した BOM 情報を具体的にどのような順序・方法で生成していくかについて検

討を行った。その結果、まず製品全体を構成する大枠の部品構成(BOM) を PLM(Product Lifecycle Management)システム内に定義した上で、設計の進展に伴って徐々に各部品の情報を確定・詳細化していくプロセスを整理した。

造船では特に船殻部品や配管部品などについては、3 次元形状を CAD で検討・決定してから部品構成が明確になることが多い。これらの部品について、CAD で検討・作成した部品情報及び部品構成を PLM システムの BOM に登録するための手順やデータ受け渡し方法を明確化した。具体的には、造船業界ではレガシーシステムが広く使用されており、それらの情報を PLM システムが直接データを取り込むことが困難なため、CAD 上で生成した情報を一旦汎用フォーマット(STEP 等)に変換し、それを介して PLM システムに取り込む方法を提案した。さらに、実際のモデルを用いて PLM システム上でデモンストレーションを行い、その妥当性を確認した(図Ⅰ. 2. (4). ①. 1 参照)。

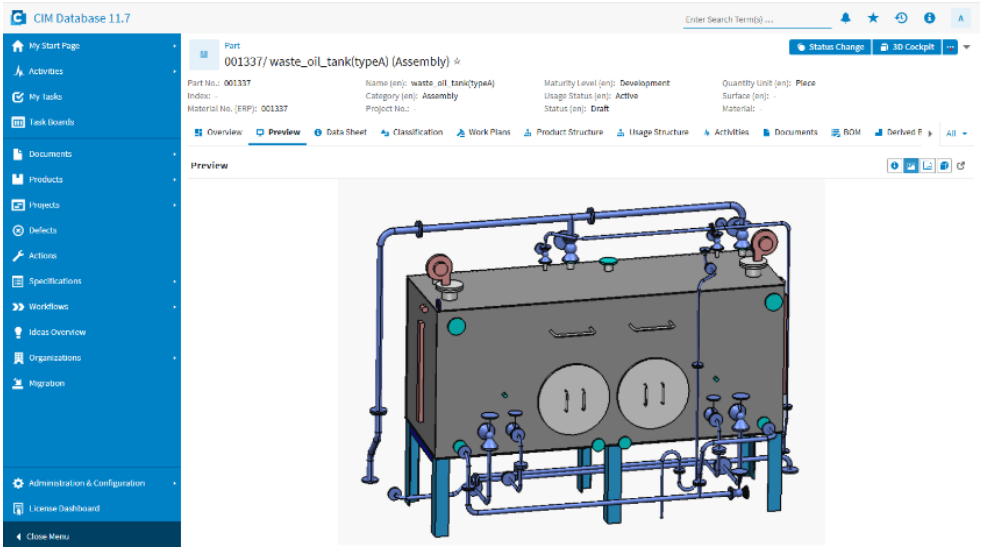


図Ⅰ. 2. (4). ①. 1 BOM 情報の CAD システムから PLM システムへの取込み

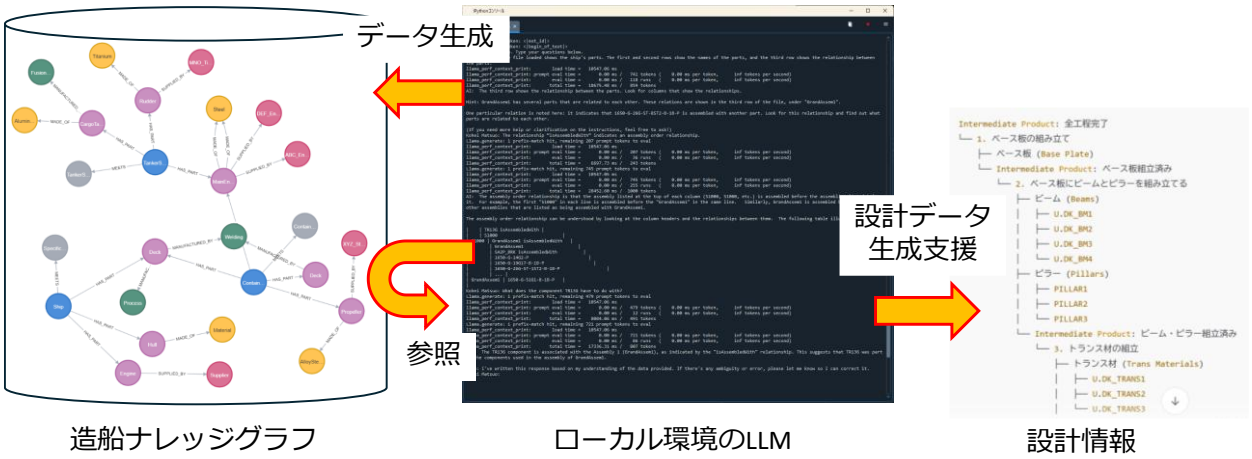
② 設計データ生成に関する研究

設計データ生成に関する研究として、モジュール開発における BOM データの生成手法について検討を行った。具体的には、モジュール部品を含むマスターBOM を用意し、このマスターBOM からモジュール部品(図Ⅰ. 2. (4). ①. 2 参照) を選択することで個船 BOM(トランザクション BOM) を生成する設計手法を提案した。この手法の妥当性を確認するため、PLM システム上に船殻及び艤装品の BOM モデルを作成し、艤装品のモジュール化を実施した。その上で、E-BOM(Engineering BOM、設計 BOM)上でモジュール部品を選択することで、M-BOM(Manufacturing BOM、製造 BOM)データが PLM システム上で自動生成されるか検証を行った。その結果、M-BOM が PLM システム上で自動生成されることを確認した。

また、造船所内の設計情報を効率的に探索・活用するため、ナレッジグラフを用いた造船情報のデータ構造化に関する研究を実施した。始めに、造船分野における製品開発用ナレッジグラフの目的や意義を整理し、その後、ナレッジグラフの具体的なデータ構造について検討を行った。設計したデータ構造のスキーマに基づき、簡易的な造船用ナレッジグラフを試作し、設計及び製造プロセスにおける活用方法を検討した。具体的には、図Ⅰ. 2. (4). ①. 3 に示す通り、ローカル環境で LLM(Large Language Model、大規模言語モデル) を運用できる環境を整備した上で、仕様書等の数百枚程度の図面情報から人が実施するものと同等レベルで生成 AI がナレッジグラフを構築できることを確認するとともに、ナレッジグラフを参照しながら生成 AI が設計データ(BOM データ等)を推論・生成する基本機能を確認した。



図Ⅰ. 2. (4). ①. 2 PLM システム内での部品モジュール管理の様子(例：廃油タンクのモジュール部品)



図Ⅰ．2．(4)．①．3　造船ナレッジグラフと生成 AI 活用による設計情報生成支援の概念図

(2)造船製造現場の DX に関する研究

①建造シミュレーション技術

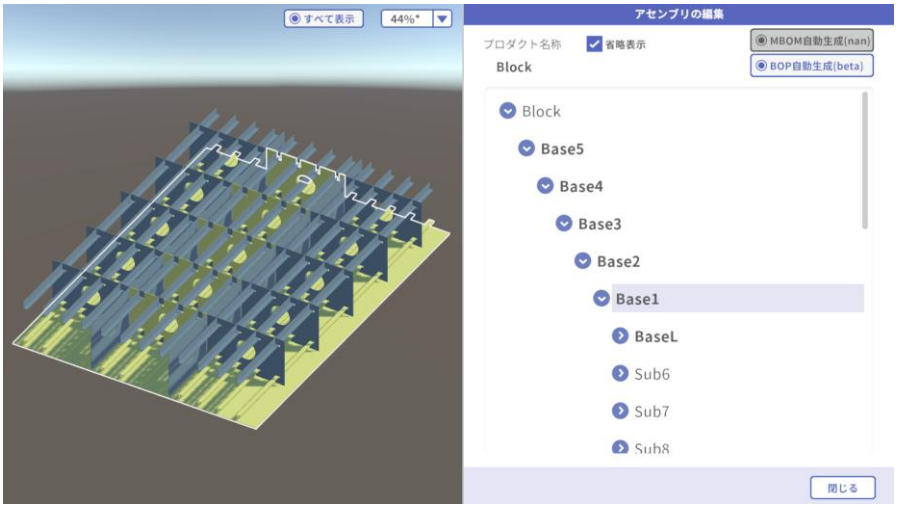
建造シミュレータのモデル精度を向上させるため、作業のモデル化を拡充し、作業者エージェントの判断ルールの改善を行った。具体的には、簡易自動台車を用いる溶接やサブマージ溶接機を用いる溶接などを含む 20 種類以上のタスクを定義し、建造シミュレータと後述するエディタ上で取り扱えるように開発を行った。また、これに伴い、作業はエージェントの判断ルールも追加している。さらに、作業者エージェントの判断ロジックをジオメトリ情報に基づく方法に改善した。具体的には他の作業者との距離などを考慮にいれている。

次に、図Ⅰ．2．(4)．①．4 及び図Ⅰ．2．(4)．①．5 に示すように建造シミュレータを実行するために必要な入力データである M-BOM 及び BOP(Bill of Process、製造工程表)データを編集・作成できるエディタを開発した。シミュレータを実行する上で手間となるのが入力データの準備であり、これらの初期案を生成する目的で M-BOM 及び BOP の情報をグラフ理論に基づく自動生成アルゴリズムを提案した。(成果の一部は国土交通省交通運輸技術開発推進制度でも実施)。

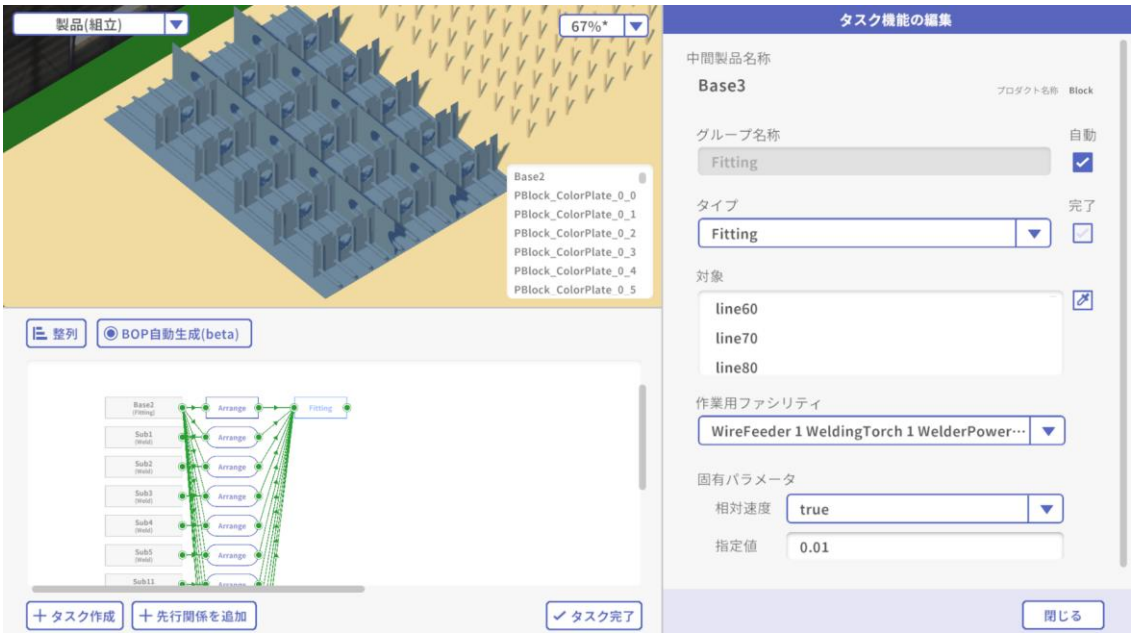
上記に加えて、艤装工程への拡張を目指して、経路計画アルゴリズムを応用した配管艤装品の取付シミュレーションの基礎アルゴリズムを提案した。図Ⅰ．2．(4)．①．6 に示すように配管1品ごとに干渉しない取付のパスを計算し、それに基づき全体の取付手順を自動で計算できる手法を開発した。

②工程計画・管理システム

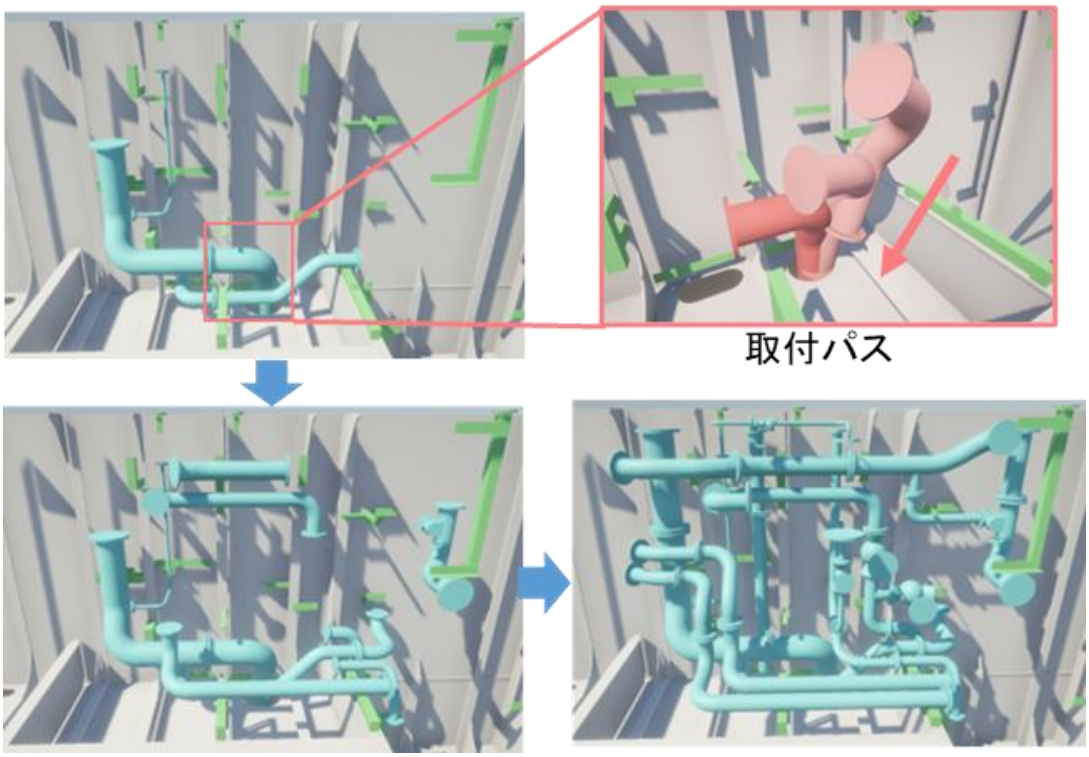
①で構築した建造シミュレータ及び M-BOM・BOP エディタを協力造船所のシステムと連携する試みを実施した。既存 CAD システムからデータを出力し、それを基に本システムが実行可能であることを確認した。また、シミュレータ及びエディタから出力されるデータを用いて、造船所の計画管理システムとの連携の可能性について検討を行った。さらに海技研クラウドからの利用を想定したプロトタイプの動作検証を実施し、クライアント版アプリとして提供可能であることを確認した。このプロトタイプの動作検証は共同研究を実施している国内造船所 4 社のうち、3 社で実施した。



図Ⅰ．2．(4)．①．4　M-BOM の編集及び自動生成機能の実装



図Ⅰ．2．(4)．①．5　BOP の編集及び自動生成機能の実装



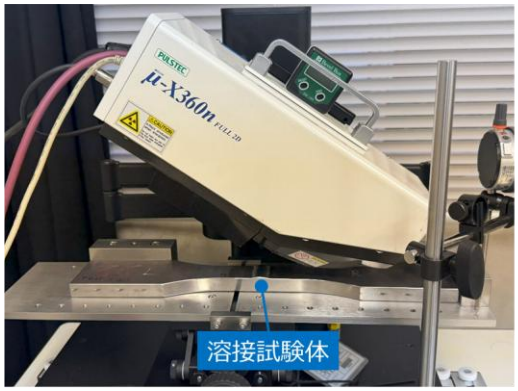
図Ⅰ．2．(4)．①．6　配管の取付シミュレーション（取付パスと取付手順の自動生成）
（他の配管や船殻部品を避けながら取り付けている様子を示している）

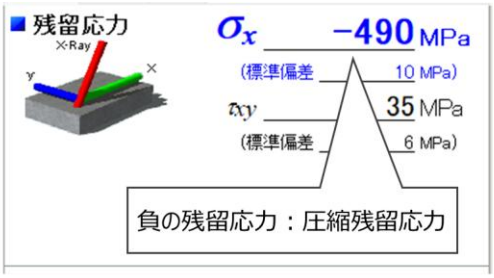
(3)予防保全高度化のための接合の新工法・評価技術に関する研究

①接合部の疲労損傷・腐食・破壊挙動の検証

溶接二次加工法として、多数のニードル打撃による溶接部ピーニング法を新たに提案し、打撃条件をパラメトリックに整理することで適切な施工条件を見出した。具体的には、溶接部の疲労強度向上に寄与する圧縮残留応力や止端部形状を、提案したピーニング法を用いることで適切に制御できることが、条件を様々に変えた実験により明らかになった（図Ⅰ．2．(4)．①．7）。

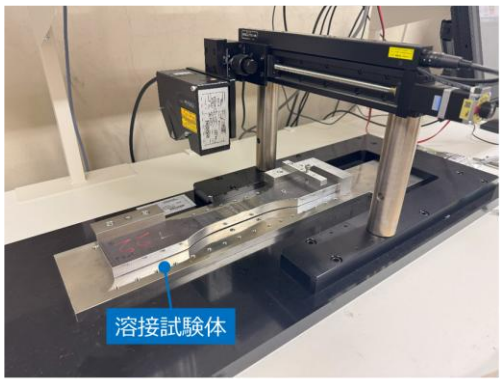
また、溶接の代替施工法として提案する接着接合部の耐環境性能評価のため、接着剤により接合したシングルラップ継ぎ手試験片を製作し、飽和吸水状態を再現した海水曝露実験後のせん断引張強度試験を実施して、曝露しない条件での強度と比較した。海水暴露実験では 60℃人工海水に 6 日間浸しており、これはおおよそ 30℃海水における飽和吸水状態（1 年以上経過）を再現している。実験の結果、接着部せん断強度の吸水劣化度及び接着面の表面加工の影響を明らかにした（図Ⅰ．2．(4)．①．8）。

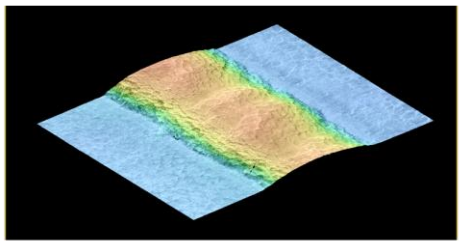




多ニードル打撃後の表面部には疲労強度向上に寄与する圧縮残留応力が高いレベルで付与されていることが判明

残留応力計測（X線応力測定装置による）

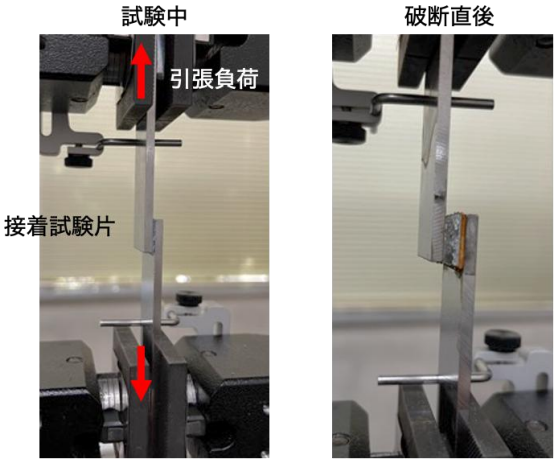


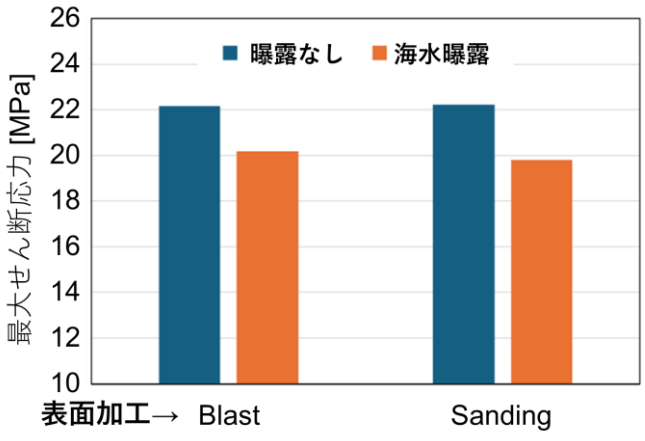


溶接部の3次元形状データを高精度に取得できる装置を構築
→ 今後、測定データを使用した有限要素解析を行い、荷重負荷時の応力を解析

溶接部の3次元形状計測

図Ⅰ．2．(4)．①．7　ニードル打撃による圧縮残留応力および応力集中緩和形状の付与
（残留応力は、ピーニング前は正（引張残留応力）であったが、多ニードル打撃後は負（圧縮残留応力）となることを確認した）





図Ⅰ．2．(4)．①．8　シングルラップ継ぎ手引張試験（左）とせん断強度比較（右）
（表面処理により海水暴露しても10%程度の強度低下に抑制可能）

②代替施工法・代替材料による作業効率評価
接合の新工法（ピーニング法および接着接合）について、適用可能性が高い部位を洗い出し、造船所へのヒアリングを通じて工数削減効果及び必要な適用条件を見出した。

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文：2 編

・Kohei Matsuo, Mizuki Morishita, and Tomoyuki Taniguchi: Research on BOM Data Model for PLM System in Shipbuilding, Proceedings of the International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS 2024), (2024).

・Tomoyuki Taniguchi: Study of Pipe Installation Simulation Based on Path Planning Algorithm, Proceedings of the International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS 2024), (2024).

□その他

◆国際活動：1 件

・松尾剛: Observation and WD revise for NP 527-6, ISO/TC61/SC13/WG2, 2024.

◆その他発表論文：11 編

・松尾宏平，一ノ瀬康雄，谷口智之，森下瑞生，和中真之介: 造船の統一データプラットフォームと インテリジェント CAD に関する研究，海上技術安全研究所報告，第 24 巻，第 3 号，総合報告, pp. 95-104, (2024).

・谷口智之，松尾宏平，森下瑞生: 造船建造工程に対する三次元シミュレーション技術の研究，海上技術安全研究所報告，第 24 巻，第 3 号，総合報告, pp. 105-111, (2024).

・谷口智之: 3D パスプランニングによる組立可能性を考慮した配管部品の組立順序計画，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 38 号, pp. 365-369, (2024).

・松尾宏平: 造船用製品構成ナレッジグラフと生成 AI による構築について，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 947-952, (2024).

・谷口智之: 3D データからの配管部品の組立手順自動生成について，日本船舶海洋工学会西部支部シンポジウム, (2024).

・谷口智之，森下瑞生: 次世代の造船管理：MBOM/BOP の自動生成と建造工程シミュレーション，第 9 回交通運輸技術フォーラム, (2025).

・松尾宏平，谷口智之，森下瑞生: デジタルシップヤードに向けた海技研の取り組み，東大 MODE 生産計画へのシミュレーション技術導入に関するワークショップ, (2024).

・松尾宏平: デジタルシップヤード ～これからの造船作業を考える～，令和 6 年度今治地域造船技術講演会, (2024).

・松尾剛，櫻井昭男，柳本史教，秀熊佑哉，櫻井俊太: CFRP により補強した鋼板の海水環境加速試験法による力学性能評価，第 16 回 日本複合材料会議講演論文集，(2025).

・笛木隆太郎: 溶接部の疲労強度改善に関する研究の取り組み状況のご紹介，溶接施工委員会 WG3 第 3 回, (2025).

・松尾剛: 繊維強化プラスチックを知るための力学と試験法，プラスチック成形加工学会第 35 回年次大会, (2024).

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及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貢献する。

・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、十分に大きいか

・BOM ベースの製品開発は他産業では一般的に行われているため、それ自体の学術的新規性は必ずしも高くない。しかし、造船業においては現時点で BOM ベースの製品開発が十分に実用化されておらず、発展性及び将来性がある分野である。また、造船特有の製造プロセスとして、ブロック分割や管割りなど製造上の都合により製品を分割する必要があるため、BOM データの生成や管理手法、特に E-BOM から M-BOM への変換プロセスにおいては、技術的な特徴や新規性が存在する。本研究で策定した BOM の標準データモデルは国内の造船所において広く参照可能であり、汎用性が高い。

・従来の造船において、図面や帳票などの情報は構造化されておらず、検索性や再利用性に課題があった。ナレッジグラフ等を用いたデータ構造化の研究により、情報の効率的な検索や再利用が可能になる。また、この構造化は生成 AI の活用を促進し、造船設計プロセスの革新につながる。学術的にも新規性が高く、研

究所のテーマとして適している。
・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。
・配管取付シミュレーション技術はこれまで先行研究事例がほとんどなく、新規性が高い。また、配管に限らず艤装品一般や船殻にまで適用可能であり、一般性や発展性の面でも十分といえる。
・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。
・従来の接合及び二次加工法に代わる接着接合法及びピーニング法は、造船所における建造工数を大幅に低減させる手法として造船各所からの要望が高く、施工法のガイドラインを構築する上で重要な強度等基本特性値をデータベース化できている。

□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
・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 年）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
・船舶のモデルベース設計に関する研究開発では、これまで応用例がほとんどない造船の設計・生産計画支援分野で、生成 AI の適用可能性を検討した点において萌芽的である。図面やモデルなど構造化されていない情報を LLM で統合・接続し、自然言語による情報流通の効率化やマルチモーダル活用への展開可能性に着目し、必然性が高まりつつある LLM の造船応用研究に着手した点に意義がある。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R6年度）	A

【コメント】
・建造シミュレーションは国内造船所との共同研究のもと、各社それぞれの生産計画及び生産管理への活用のためシステムの試行段階に入っている。開発システムに対し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、国で進められている「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（R6年度）	A

【コメント】
・船舶のモデルベース設計及び造船製造現場の DX に関する研究開発は、順調に進捗していると評価できる。
・国の技術基本計画に記載されている DX 造船所の推進に対して、本研究での成果は十二分に貢献しており、今後始まる国家プロジェクト等での主要な役割を担うことが期待できる。
・我が国造船業界の生産性の抜本的な改善や国際競争力の強化に資する研究であり、民間企業との協働のも

と適時に成果を創出している。

以上の観点より、「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。

重　点　分　野	(4)海上輸送を支える基盤的な技術開発

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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 －データ融合と AI 等評価手法の実装に向けた設計、災害時輸送シミュレータのアルゴリズムの検討、計算条件、出力結果の共有化のためのデータベース設計・開発、オンラインワークショップ、実動訓練を行う。等 ③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発 －これまでに開発したGHG削減戦略評価プラットフォームについて、国際海運の実態を踏まえたIMO 等における議論などを通じて高度化を行う。等

〇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

［R6 年度予算： 21,566 千円、研究担当者： 15 名］

研　究　の　背　景

我が国における社会情勢は刻々と変化している。人口減少による労働力不足や自然災害の頻発等、限られた条件のもとで最大限資源を活用することが求められている。令和 4 年 6 月に閣議決定された「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」では、AI技術を基にした実践・試行錯誤の蓄積が重要とされ、民間企業による実践を通じては積極的な技術情報の提供が求められている。特に、交通分野におけるデジタル化・データ融合の影響は、新しい交通インフラの創出、既存インフラの運営・改善など、輸送の多くの部分で関わっている。デジタル化の基盤となるデータは、社会・産業に対して欠かせないインフラの一つとなっており、このデータを用いた個々の利用者の多様なニーズに、よりきめ細やかに対応した情報提供サービスの充実を行っていく必要がある。加えて、「第5期国土交通省技術基本計画」では、我が国の変革期である日本における国民の安全・安心で豊かな暮らしを実現するための技術研究開発、技術の効果的な活用が求められており、経済的インセンティブによる国際海運の脱炭素化、国土強靱化の確保（災害対応）、デジタル化の推進等の方針が示されている。

本重点研究では、これら政府等の方針に則し、①ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発、②災害時の輸送に関わる研究開発、③デジタルツイン統合システムの研究開発を実施し、分野横断的なデータの利活用によるイノベーションの創出、技術の効果的な活用等を実現していく。

研　究　目　標

研究の背景に掲げた 3 つの研究課題に対する具体的な研究目標を以下に示す。

ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発では、AIS（Automatic Identification System、船舶自動識

別装置）等のビッグデータを利用することにより、船舶の港間移動等の詳細情報をもとにした各種の海運・造船指標の高度な利用が想定される。そのため、詳細かつ正確な指標を推定・予測するための AI 等評価手法の実装、国際海運 GHG 削減における経済的手法等を評価する高度な海運・造船市場のモデル開発、海事産業の構造変化に関して利害関係者間の合理的な意思決定を支援するシステム設計、これらのデータを統合し、輸送システムの高度化に向けたデータベースの開発を行う。

次に、災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発では、災害時輸送では、複数の輸送機関を効率的に活用していくことが求められている。そのためには関係者が利用しやすいシステムとして輸送機関が機能している必要がある。本研究では、我が国の国土強靱化対策に対応すべく、災害時輸送を支援するための可視化技術や情報共有の高度化及び災害時輸送に関わる評価分析を行う。

さらに、デジタルツイン統合システムの研究開発では、船舶設計や運航へのデジタル化技術導入を促進することにより、GHG 削減や自動化船等の実現に貢献することが社会ニーズとしてある。本研究では、研究開発を行ってきた航路支援や主機、船体、設計・建造等のデジタルツイン技術を連携・統合することにより、船舶用デジタルツインとしてデファクト化を目指す。デジタルツイン統合システムの普及を図ることより、船舶の安全・安定運用を実現するとともに、データ活用による設計・建造の合理化を追求する。関連する重点研究（「船体構造評価に関する研究」、「実海域実船性能向上に関する研究」、「DX 造船所の実現に向けた研究開発」等）と連携して研究を遂行する。

令和６年度の研究目標

（1）ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発
- ・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

（2）災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発（3 研連携）
- ・水害救助シミュレータ
- ・緊急支援物資輸送システムの開発

（3）デジタルツイン統合システムの研究開発
- ・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安全・安定運用、設計・建造手法の開発
- ・実海域運航中の船体運動・構造応答・主機状態のリアルタイムシミュレーション手法の設計

令和６年度の研究内容

（1）ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発
- ①AIS 等の船舶動静データを基にしたデータ融合と AI 等評価手法の実装に向けた設計
- ②海運・造船の GHG 削減策等に関するモデル/システムの試作

（2）災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発
- ①シミュレータのアルゴリズムの検討
- ②計算条件、出力結果の共有化のためのデータベース設計・開発、実動訓練の実施

（3）デジタルツイン統合システムの研究開発
- ①データ連携によるデジタルツインの機能拡張
- ②データ活用手法の構築
- ③応答特性データ及び解析プログラムの共通化
- ④運航中船舶のデジタルツインのためのフルシステムリアルタイムシミュレーションの試計算実施

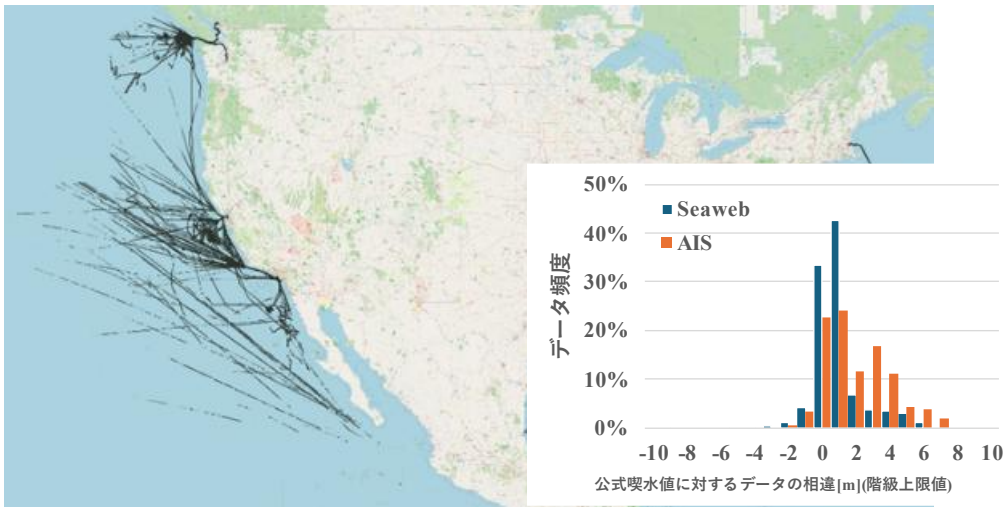
令和６年度の研究成果

（1）ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

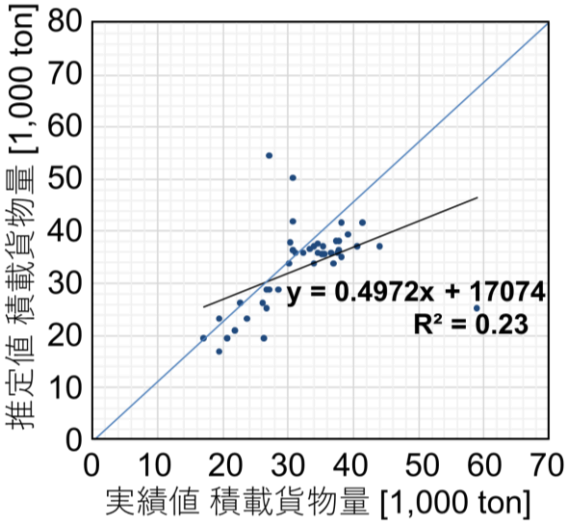
①海運・造船関連のデータ融合と AI 等評価手法の実装

AIS・船舶動静データと貨物流動データを融合し、船舶の積載貨物量を推計する AI 手法を改善し、コンテナ及びバルク貨物における推計精度を向上させることができた（図Ⅰ. 2. (4). ②. 1 (a)(b)(c)）。

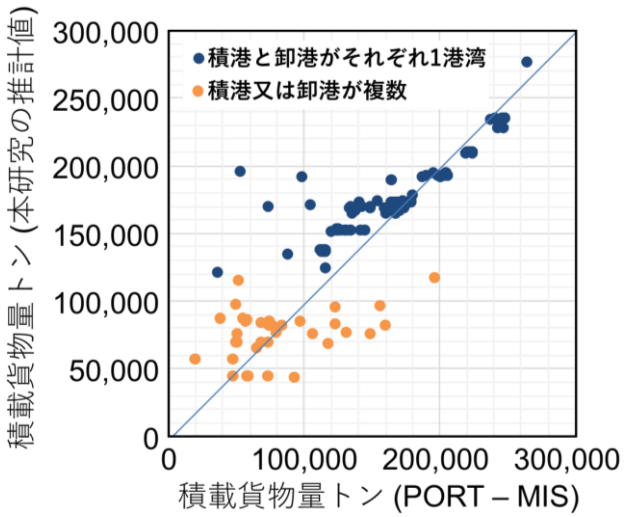
AIS 等から将来の海運市況等を予測するディープラーニング（DL）について、予測精度を保ちつつ予測結果の理由が理解しやすい説明可能な AI 手法（XAI）へと手法を発展させた（図Ⅰ. 2. (4). ②. 2）。



（a）米国コンテナ船を対象にした AIS データを用いた解析例



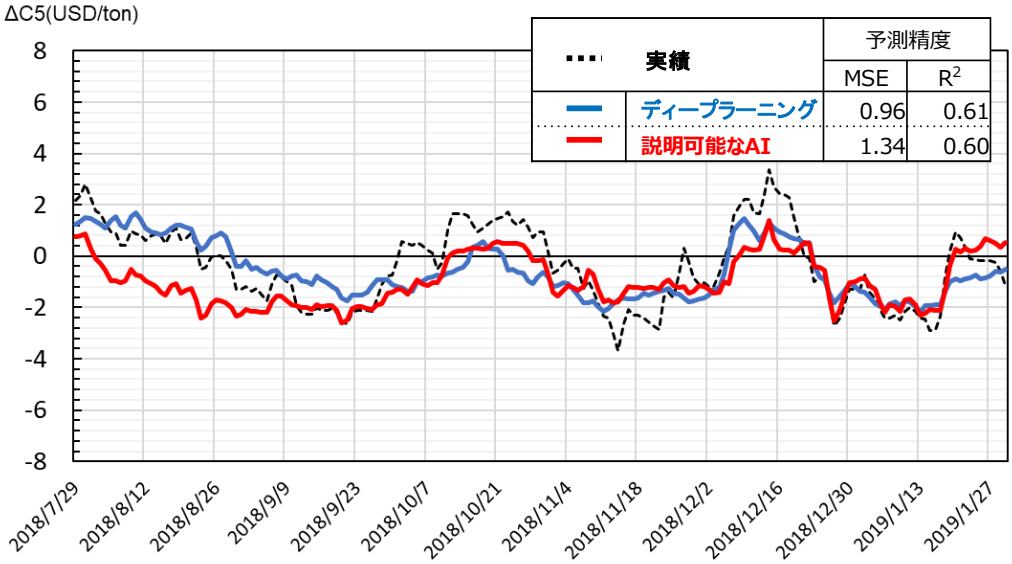
（b）コンテナ貨物の推計精度



（c）バルク貨物の推計精度の検討

図Ⅰ．2.（4）.②．1　船舶の積載貨物量推計

（AIS から得られる船舶の運航時の喫水値に関して、精度が高いと考えられる喫水値を選択し、船舶の積載貨物量推計に用いることで、推計の精度が向上した）

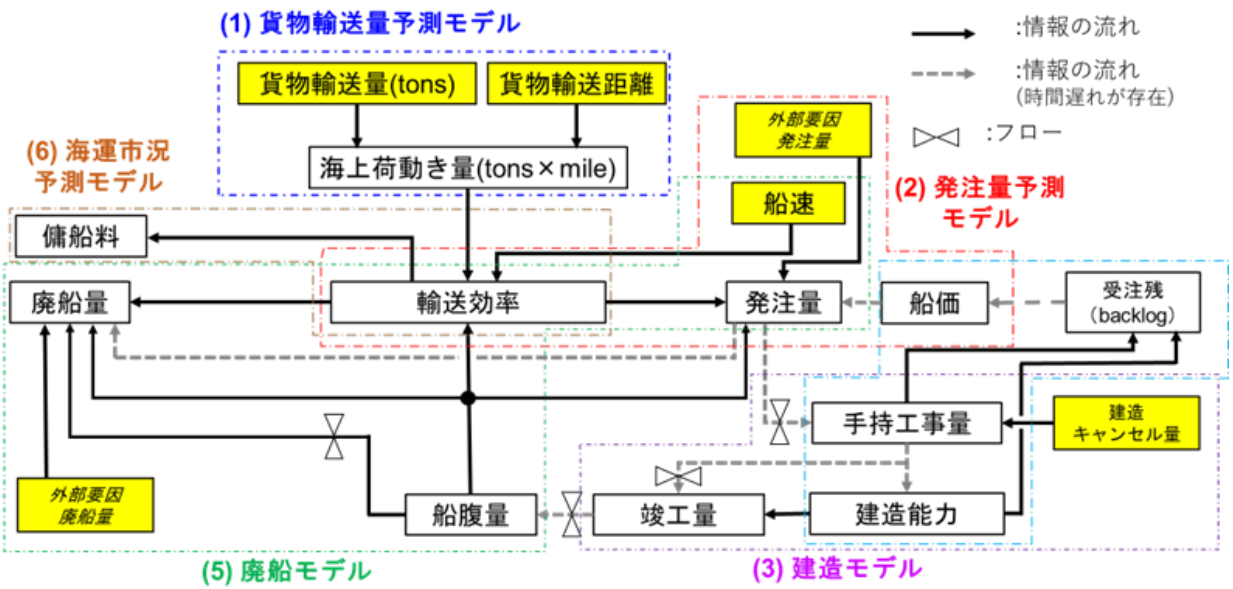


図Ⅰ．2.（4）.②．2　海運市況予測手法の改良

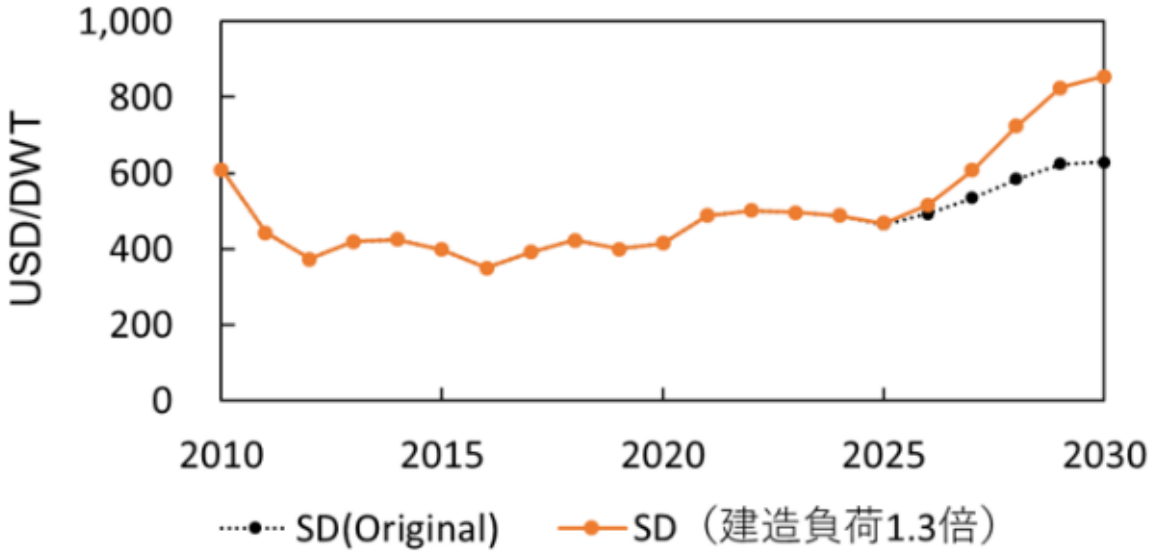
（説明可能な AI による市況予測が従来の DL と同程度の精度でできるようになった）

②海運・造船関連のモデル化とシステム設計

システムダイナミクス(SD)に基づく、バルクキャリアの造船需要シミュレーションモデルにおいて、造船会社の代替燃料船の船価決定モデルを追加し、船価への影響等を検討した（図Ⅰ．2.（4）．②．3）。



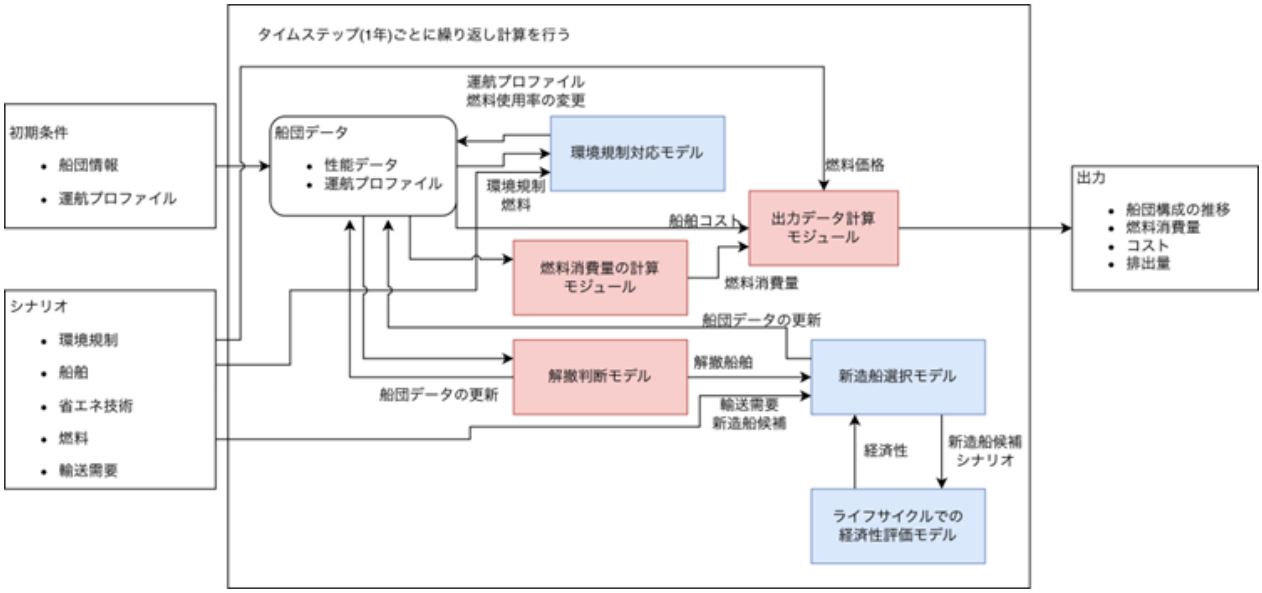
(a) SD に基づく造船需要予測モデル



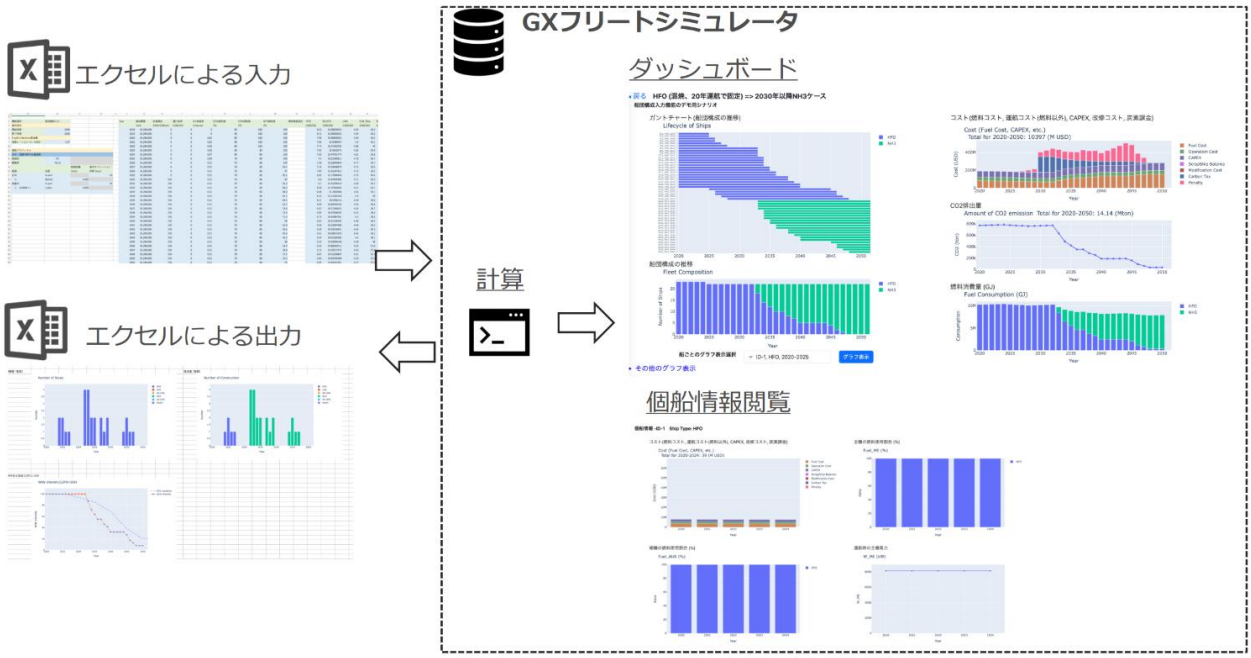
(b) 船価への影響分析例

図Ⅰ．2.（4）．②．3 SD による次世代環境船の導入シミュレーション
（従来の SD モデルにおいて船価の影響を取り入れることで実用性を向上させた）

2050 年ゼロエミッション化に向けた船団の脱炭素化を計画するツール(GX フリートシミュレータ)を開発し、海運会社（内航・外航数社）のトライアルにより、実用化への進展を図った（図Ⅰ．2.（4）．②．4(a)(b)）。



(a) GX フリートシミュレータの計算フロー

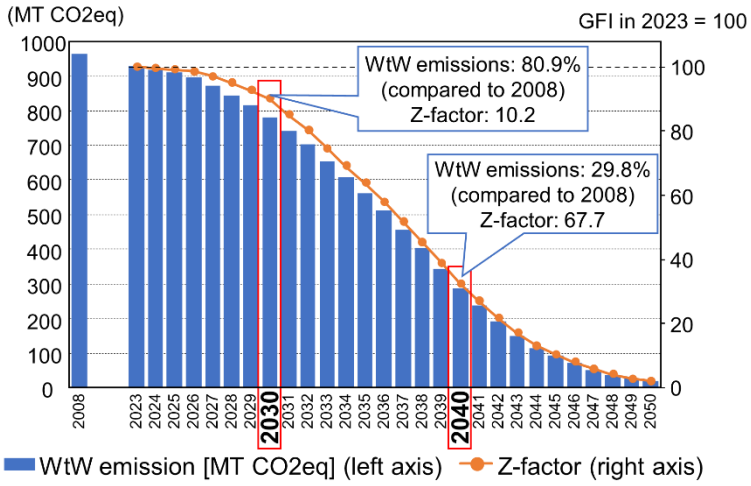


(b) GX フリートシミュレータの出力例

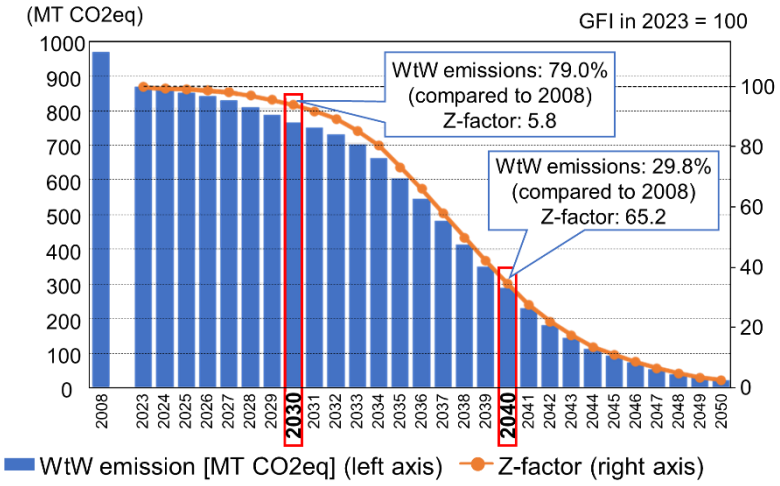
図Ⅰ．2.（4）．②．4　2050 年ゼロエミッション化に向けた船団脱炭素化計画ツールの開発

国際海運の GHG 削減目標、輸送需要、燃料需要、燃料価格等の将来シナリオに基づき、燃料 GHG 強度規制（GFS: GHG Fuel Standard）における GHG 強度規制値（GFI: GHG Fuel Intensity）の検討が可能なシミュレーションを開発し、IMO 文書（ISWG-GHG 18/2/1）の作成に貢献した（図Ⅰ．2.（4）．②．5）。

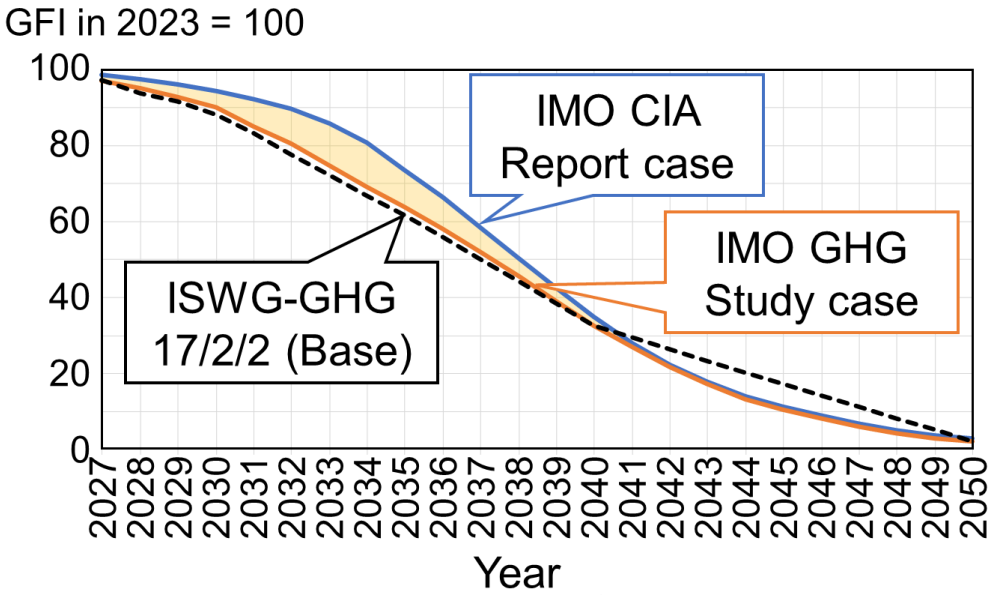
GFS 規制の特に柔軟性措置（船舶間の GHG 排出の融通等）が与える影響を、造船・運航・規制対応をモデル化したシミュレーションによって分析し、柔軟性措置によって燃料や輸送需要といった不確実性の影響を低減しうることを確認した（図Ⅰ．2.（4）．②．6 (a)(b)(c)）。



(a) GFI 値：IMO GHG Study case



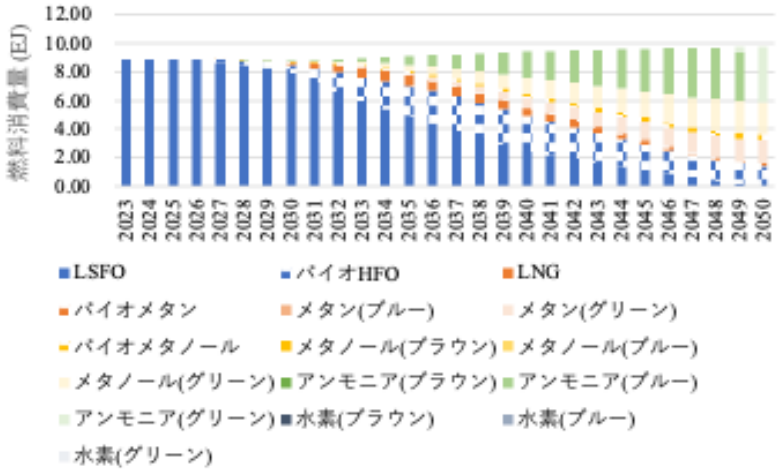
(b) GFI 値：IMO CIA Report case



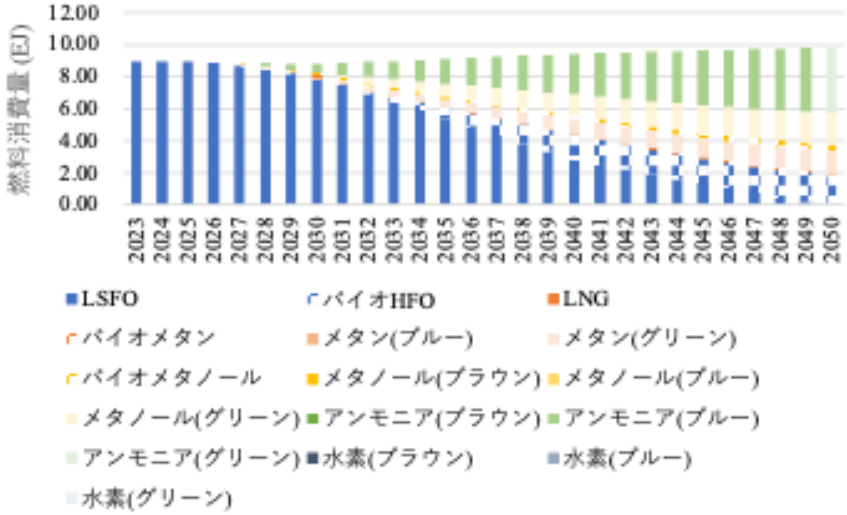
(c) GFI 削減率の計算例

図 Ⅰ. 2. (4). ②. 5　シミュレーションを用いた GFS 規制の GFI 規制値の検討

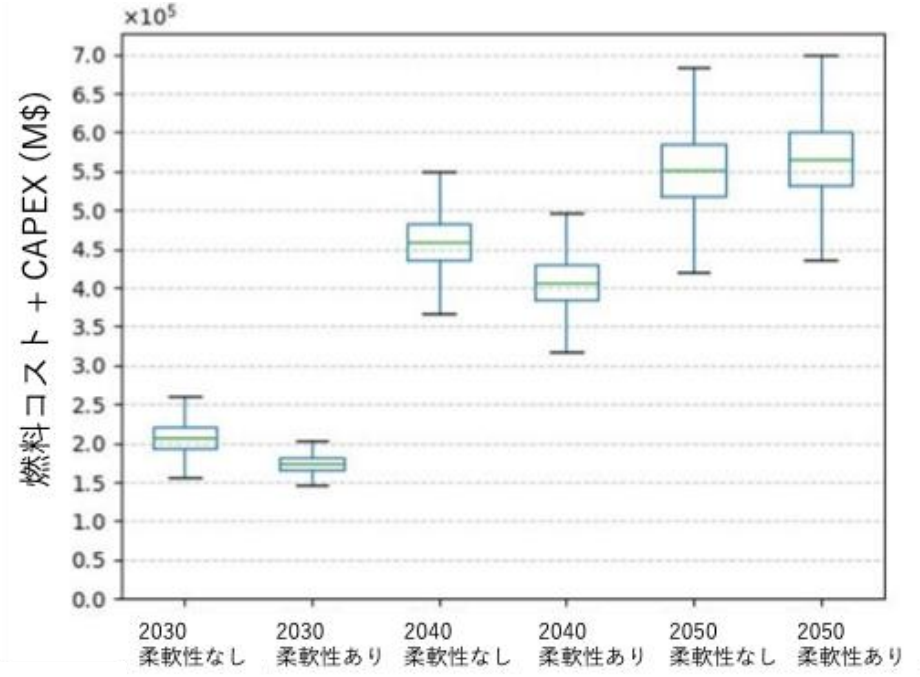
(図(a)、(b)は、IMO の 2023 削減戦略を達成する Z-factor(GFI 削減率)を検討した結果であり、2023 年時点の GFI 値に不確実性があることから、4th GHG Study をベースにした計算と IMO CIA レポートをベースにした 2 ケースを実施している。図(c)は、(a)および(b)の 2 ケースの計算結果に基づき、新たに提案された GFI Trajectory である(IMO ISWG-GHG 18 日本提案)。



(a) 柔軟性措置の導入なし



(b) 柔軟性措置の導入あり



(c) 柔軟性措置有無のコスト評価

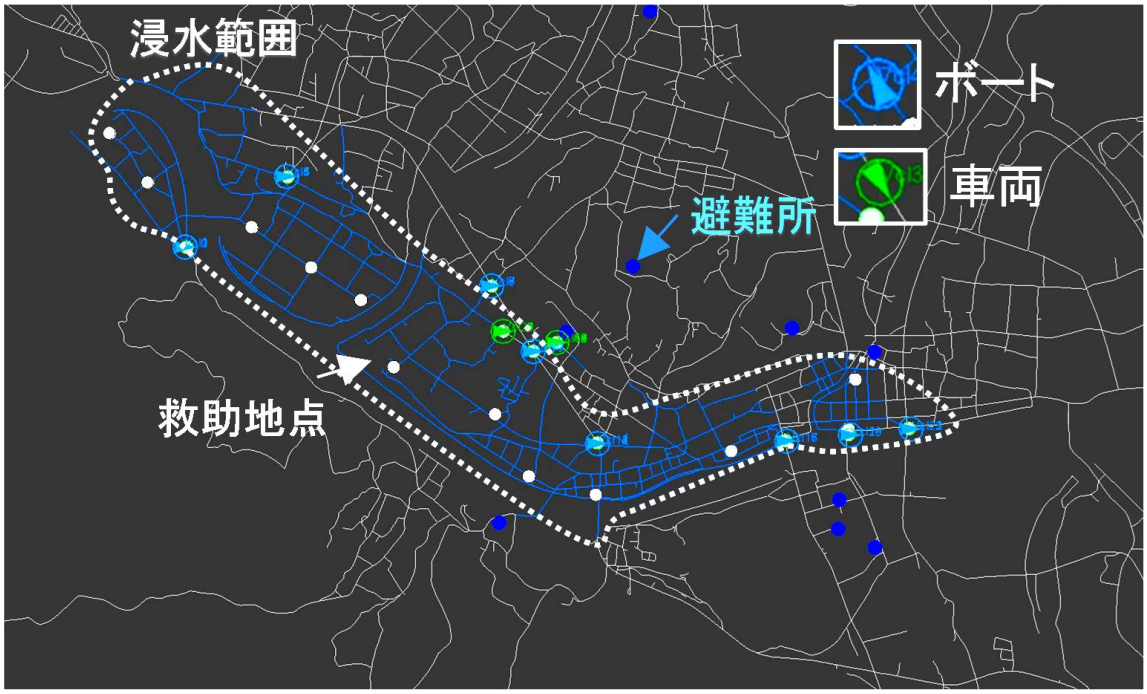
図Ⅰ. 2. (4). ②. 6 シミュレーションを用いた GFS 規制の柔軟性措置の検討
（異なる燃料を使った場合の比較において、柔軟性措置の導入には、特に 2030 年のコストの平均値とシナリオによる分散を低下させる効果があることを確認した）

（2）災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発（3 研連携）

①水害救助シミュレータ

令和 2 年 7 月熊本県人吉市等で発生した豪雨災害に関して、当時の様子および過去の浸水範囲の今後の利用計画等について関係者への聞き取り調査を実施した。その結果、球磨村の浸水範囲については、今後遊水池にする予定で、居住地としての利用は行わず、主要施設については高台への移転を進めているとのことであった。

令和 2 年 7 月豪雨を対象にシミュレータのプロトタイプを作成した。シミュレータは、浸水範囲及びその地域の人数、救助及び避難所地点を入力することで、避難所まで要救助者を輸送するシミュレータとなっている（図Ⅰ. 1. (4). ②. 1）。



図Ⅰ. 1. (4). ②. 1　水害救助シミュレータのプロトタイプ

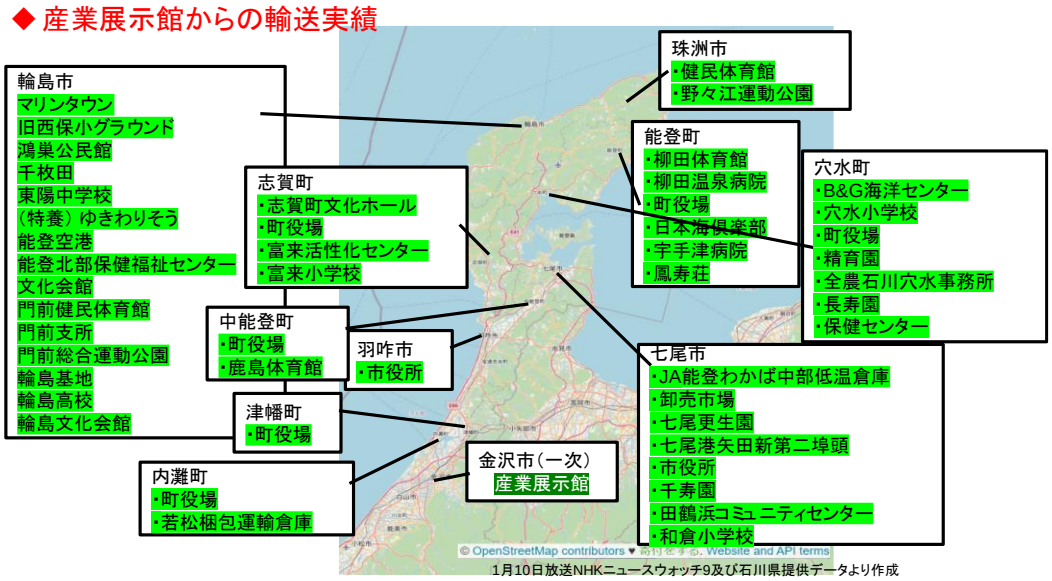
②緊急支援物資輸送システムの開発

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ヒアリング調査を実施した。災害時の物資輸送の実態を把握すると共に、災害時の物資輸送品目等のデータ分析を実施した（図Ⅰ. 1. (4). ②. 2）。

電子航法研究所航空機「よつば」の飛行データを緊急支援物資輸送システムへ取り込み、航空機での支援物資輸送による配送計算を可能にした（図Ⅰ. 1. (4). ②. 3）。

また、同機を活用した支援物資輸送の訓練を岡山県にて 2024 年 11 月 5 日から 6 日に実施した。さらに、愛知県においても 2025 年 2 月 4 日に訓練を実施した（図Ⅰ. 1. (4). ②. 4）。

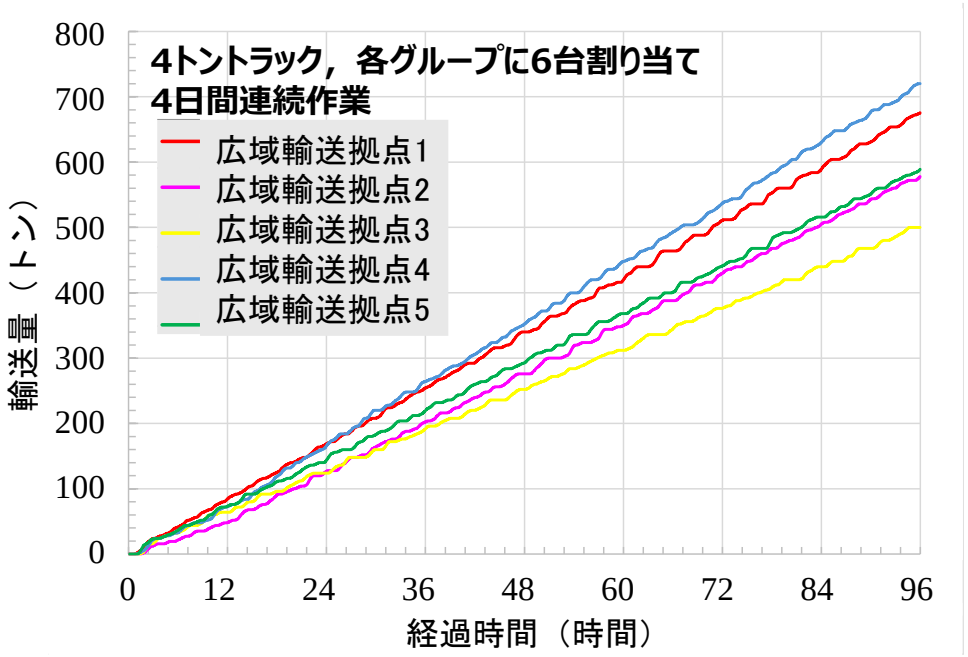
マルチエージェントによる物資輸送シミュレーションを実施し、複数拠点の輸送能力を算出し、自治体に向けて提供した（図Ⅰ. 1. (4). ②. 5）。



図Ⅰ．1．(4)．②．2　能登半島地震での一次拠点からの物資の輸送先

図Ⅰ．1．(4)．②．3　電子研の航空機の運用状況を緊急支援物資輸送システムへの取り込み状態

図Ⅰ．1．(4)．②．4　電子研の航空機から支援物資を降ろす様子

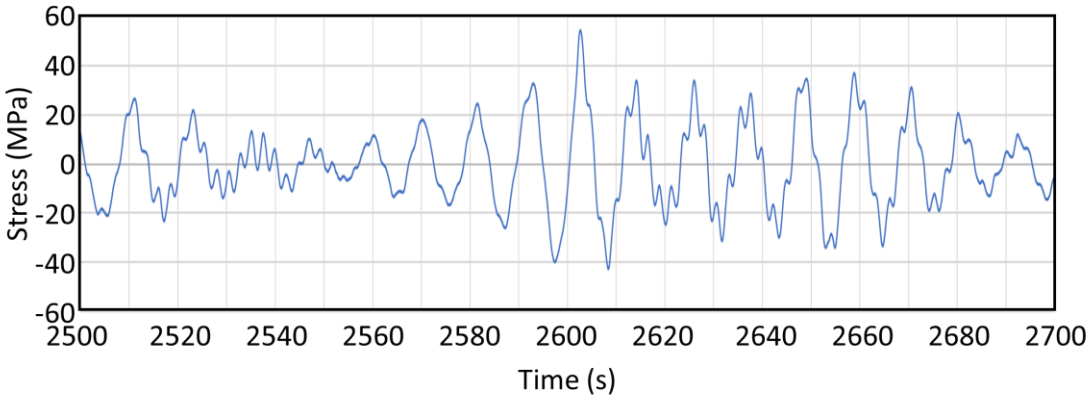


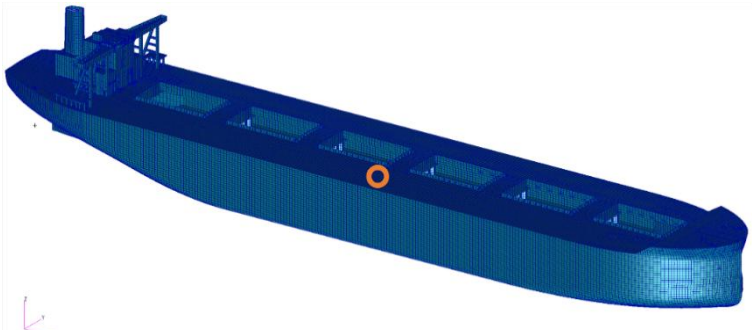
図Ⅰ．1.（4）．②．5　A 県をサンプルにした物資輸送シミュレーション実施時の
各物資拠点における輸送量の時間推移

（3）デジタルツイン統合システムの研究開発

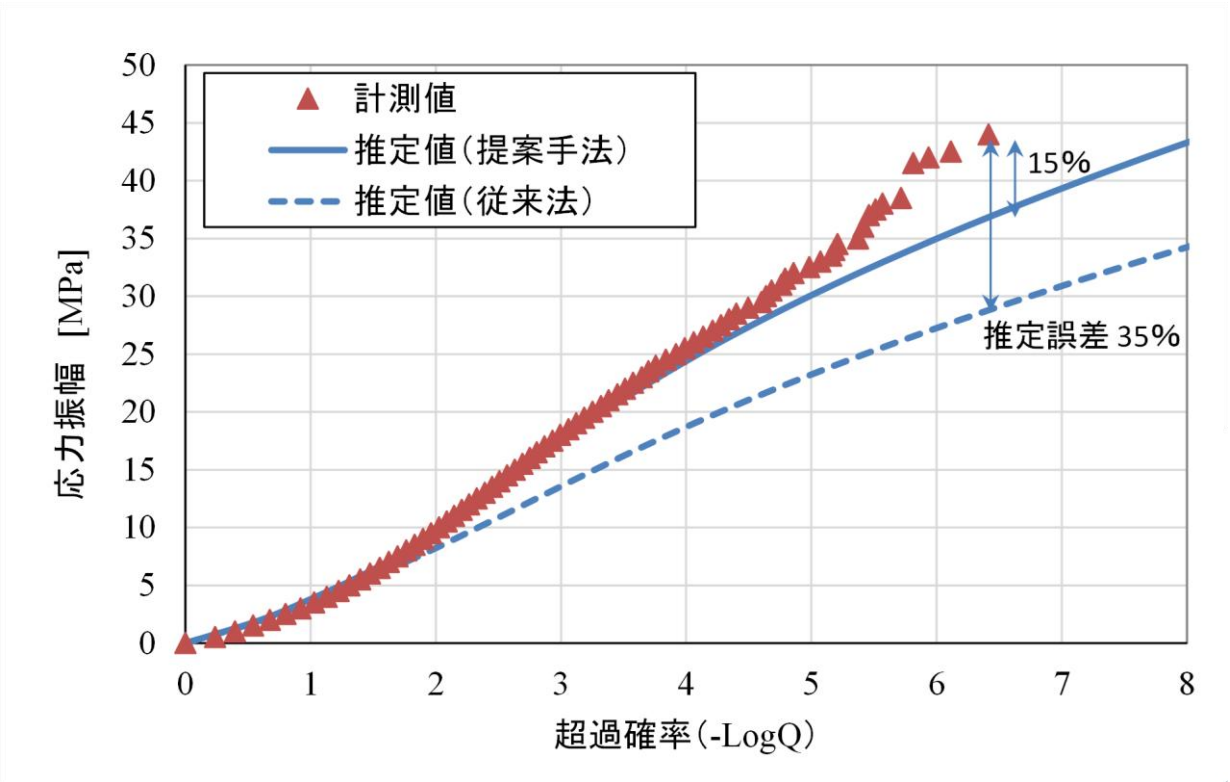
①波浪環境、船体、主機のデジタルツインのデータを連携した安全運航システムの構築

大型鉱石運搬船（長さ約 300m）に搭載した船体構造デジタルツインシステムにより、オンボードで取得した歪のデータ（図Ⅰ．2.（4）．②．7）を用いた数値シミュレーション手法の検証を行った。その結果、超過確率の最大値における対象船の応力振幅の計測値に対して、波スペクトルモデルの精緻化によってシミュレーションによる推定誤差を 35%から 15%に低減させた（図Ⅰ．2.（4）．②．8）。代表波浪値を用いて波スペクトルをモデル化する従来手法では、シングルピークのスペクトルに近似するため、船体応答への影響が大きい低周波うねり成分が考慮されずに実船の応答を正確に再現できなかったことがその要因である（図Ⅰ．2.（4）．②．9）。

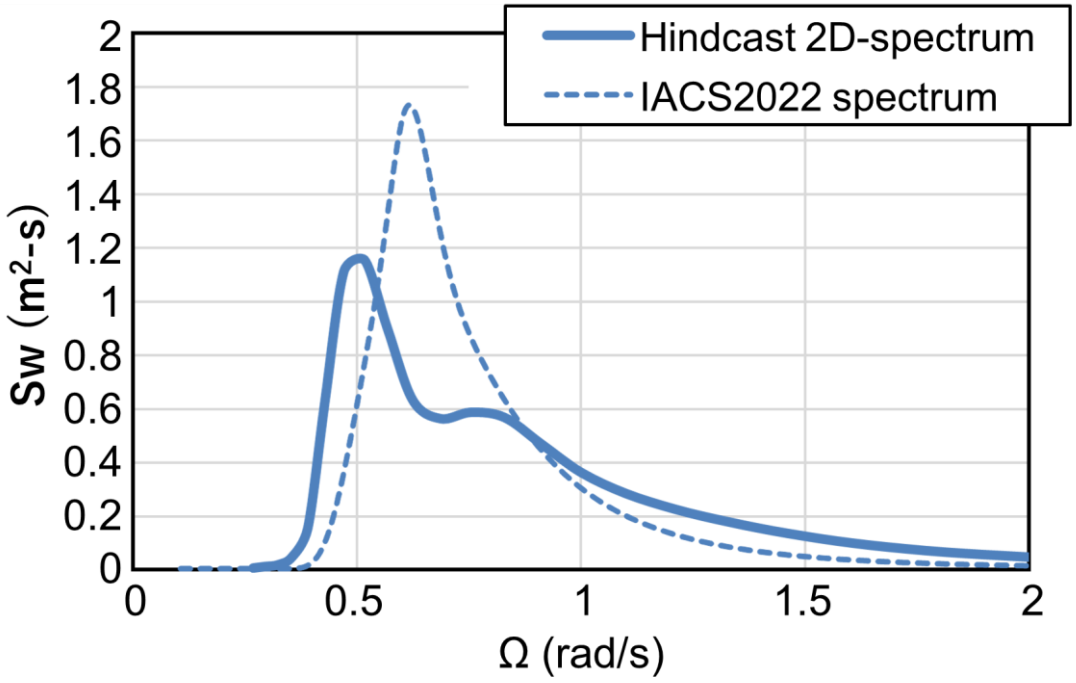




図Ⅰ．2.（4）．②．7　船体構造の歪（応力）計測波形（上図）及び解析予測に使用した FE モデル（下図）
（FE モデル上の○は評価対象部を示す）



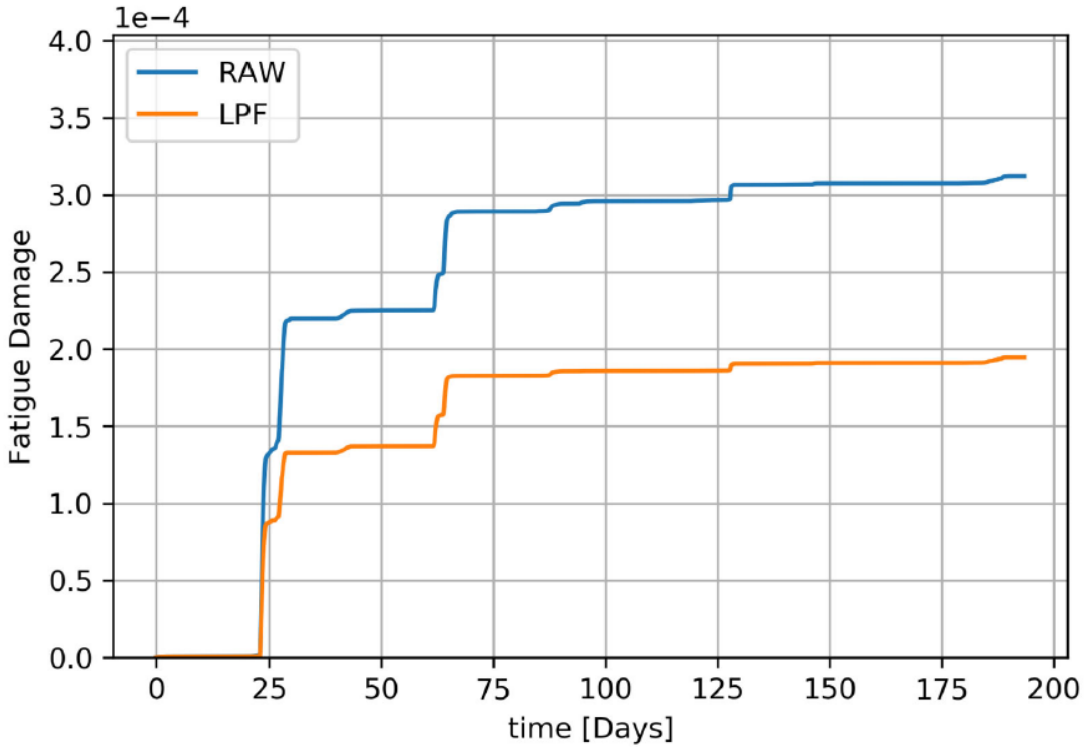
図Ⅰ．2.（4）.②．8　計測値と推定値の船体中央部応力振幅の比較
（実線（提案手法）：波浪追算スペクトルを使用、破線（従来法）：代表波浪値でモデル化した波スペクトルを使用）



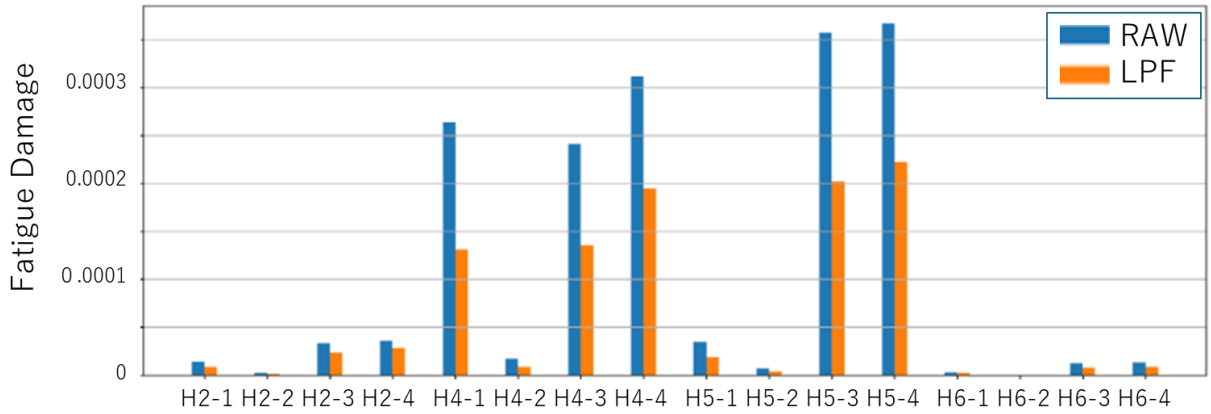
図Ⅰ．2.（4）.②．9　波浪追算(Hindcast)による波スペクトル（実線）と
代表波浪値でモデル化した波スペクトル（破線）
（代表波浪値でのモデル化は予測精度が悪化するため、Hindcast のスペクトルを使った方が良い）

②デジタルツイン統合システムを活用した安全・安定運用、設計・建造手法の開発

オンボードで計測された歪（応力）のデータを解析して、対象船の計測部位での最大応力及び疲労健全性の評価を行った。複数の計測部(16 点)のデータを解析した結果、縦曲げ弾性振動（ホイッピング）により、応力で約 10%、疲労被害度で約 60～100%（ホイッピングなし(LPF)と比べて約 1.6～2.0 倍）増加の影響があると評価した（図Ⅰ．2.（4）.②．10）。



(a) 疲労被害度の成長曲線

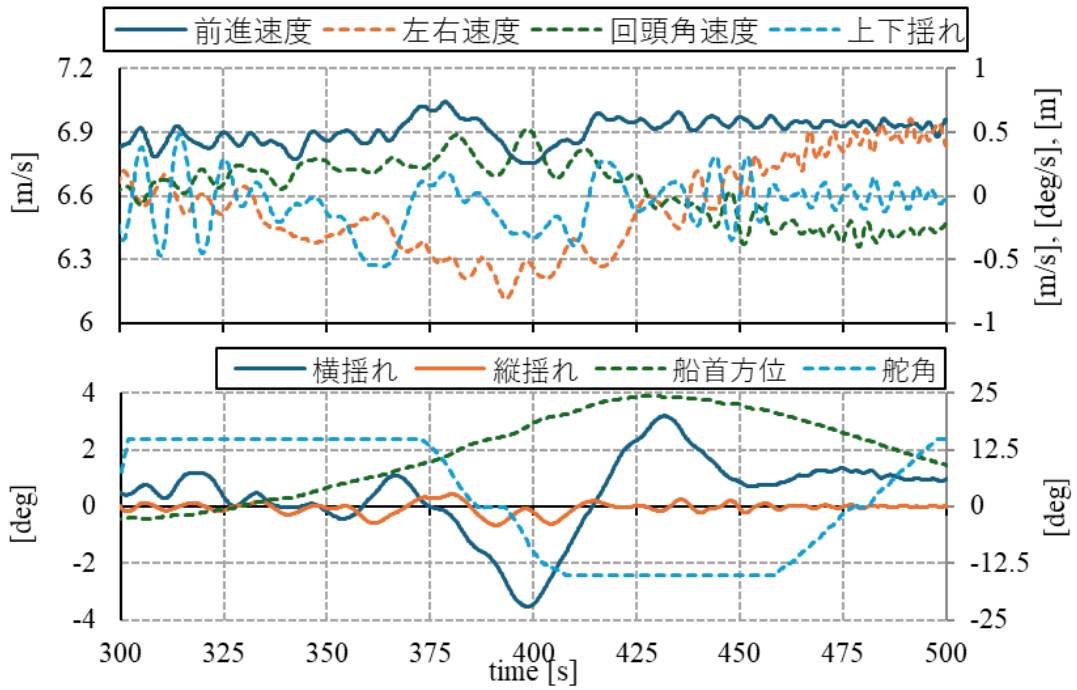


(b) 計測期間(約 6 ヶ月)の累積疲労被害度の計測部による比較

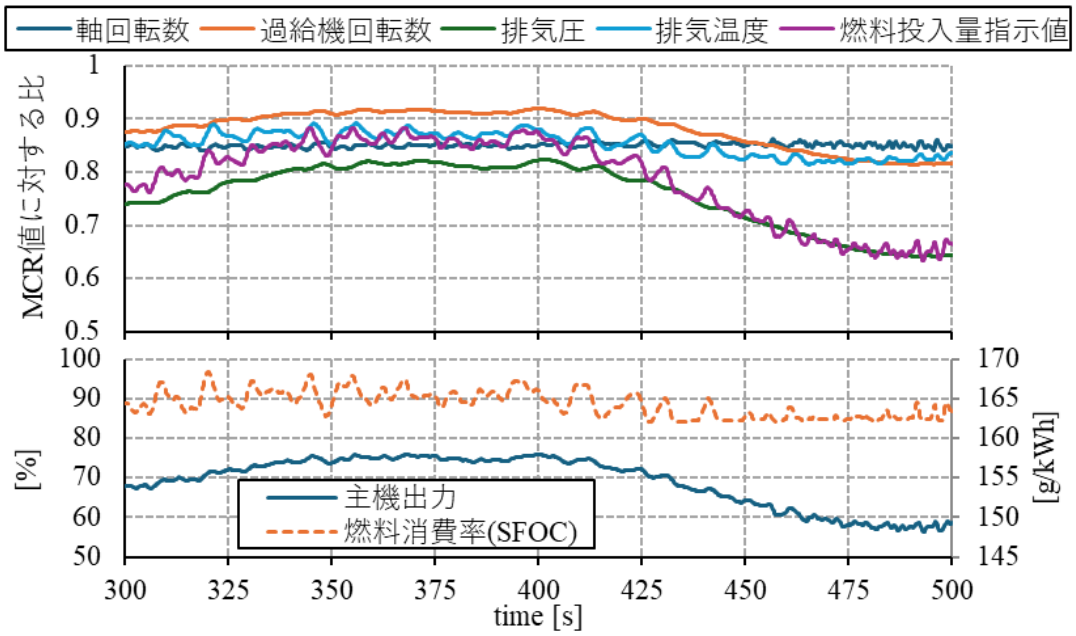
図Ⅰ. 2. (4). ②. 10 実船のデータ解析による疲労被害度の推定結果
(計測値を用いた疲労解析において、ホイッピングを考慮した場合(RAW)、ホイッピングなし(LPF)と比べて約 1.6～2.0 倍に疲労被害度が増加する結果を得た)

③実海域運航中の船体運動・構造応答・主機状態のリアルタイムシミュレーション手法の設計

船体運動・構造応答・主機状態の出会い波浪に対する応答の時系列をリアルタイムで計算するための各種計算モデルの設定や計算環境を構築した。実海象中の運航を想定したシナリオで試計算を実施し、リアルタイム性の満足や妥当な計算結果が得られていることを確認した(図Ⅰ. 2. (4). ②. 11)。



(a) 6 自由度船体運動と舵角

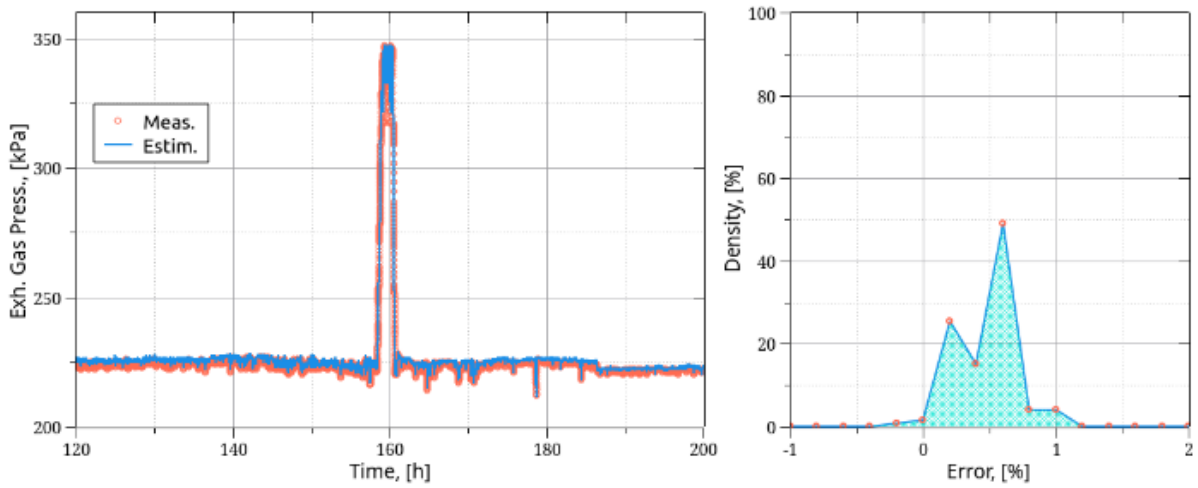


(b)主機状態、主機出力、燃料消費率

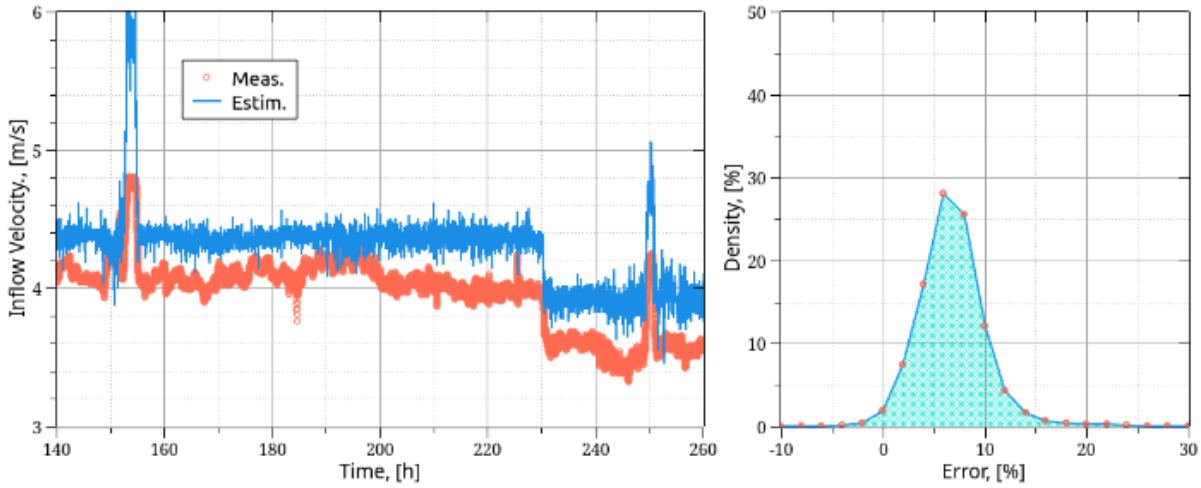
図Ⅰ. 2. (4). ②. 11 構築モデルによる実海象想定風波中の方位変針自動操舵中シミュレーションの船舶状態時系列計算結果(実線は第 1 軸、破線は第 2 軸)

船舶の統合デジタルツインシステムの開発に向けて、推進主機のモデルと応答関数を統合するデータ同化フレームワークを構築し、さらに調和解析理論を用いて、トルクリミット機構の非線形関数を明示的に線形応答関数へ統合した。

海運会社との共同研究を立ち上げ、主機を構築する機械の性能劣化評価プログラムを開発し、就航船データを用いた検証を実施した。また、波浪中の実海域における船舶の統合デジタルツインシステムの実現に向け、動的モデルの必要性を踏まえた基礎検討を実施した。その結果、就航船データを用いた性能評価においては、動的挙動のモデル化が可能であることを確認した(図Ⅰ. 2. (4). ②. 12)。



(a) 排気ガス圧



(b) プロペラへの流入速度

図Ⅰ．2.(4). ②. 12　就航船の測定データと動的モデルによる推定値の比較
（左：短時間の時系列における推定値と測定値の比較　、右：全期の誤差の密度分布　）

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Masayoshi Oka, Yusuke Komoriyama, Chong Ma：Accuracy verification of the 2D spectral AIS method by the hull monitoring data, Marine Structures 99, (2025).

□査読付き国際会議論文：3 編

・Takahiro Majima, Taro Aratani: Rescue Transportation Simulator and Bottleneck Analysis, 2024 63rd Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers, SICE, (2024).
・Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Shinnosuke Wanaka, Kunihiro Hamada: Model Development for Evaluating the Impact of Greenhouse Gas Reduction Measures in International Shipping, Proceedings of 10th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2024), (2024).
・Chihiro Sakoda, Taiga Ito, Yujiro Wada, Naokazu Taniguchi, Kunihiro Hamada: A quantitative analysis of the impact of preprocessing vessel movement data on shipping market forecasting model, Proceedings of Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, (2025).

□各種表彰の受賞：1 件

・Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Shinnosuke Wanaka, Kunihiro Hamada: SLSTL Special Award for TLOG, Model Development for Evaluating the Impact of Greenhouse Gas Reduction Measures in International Shipping, The Sri Lanka Society for Transport & Logistics (SLSTL), 2024 年 8 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件

・需要予測プログラム(バルクキャリア)
・就航データとデジタルツインに基づくエンジン部品の劣化傾向監視プログラム

□その他

◆国際活動：14 件
・和田祐次郎，和中真之介: IMO の審議対応(ISWG- GHG 17)： 1件
・和田祐次郎: IMO の審議対応(MEPC 82, ISWG- GHG 18, ISWG-GHG 19)：3 件
・和田祐次郎: IMO 温室効果ガス削減対策の包括的影響評価運営委員会等への参加とその対応: 7 件
・和田祐次郎: IMO 報告書の査読(MEPC 82/7/4 Add.1, MEPC 82/7/4 Add.2)：2 件
・和中真之介，和田祐次郎，小坂浩之: IMO 提案文書(ISWG-GHG 18/2/1)にデータ分析結果を提供： 1件

◆その他発表論文：7 編
・和田祐次郎:【研究者の論点 日本海運経済学会】コンテナ船の将来需要の分析―SDモデル使い3ケースを比較，日本海事新聞, 2024 年 6 月 6 日付, (2024).
・加藤翔，樋口恵一，荒谷太郎，河瀬理貴，間島隆博，畑山満則，山崎基浩，大窪和明，川本義海: 能登半島地震における支援物資の実態からみる防災計画の評価，土木学会土木計画学研究・講演集，第 70 巻, (2024).
・岡正義: 船舶用デジタルツインの社会実装に向けた研究開発，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, (2024).
・岡正義，馬沖，陳曦，小森山祐輔: 船体構造デジタルツインの開発，海上技術安全研究所報告，第 24 巻，第 3 号，総合報告, pp. 49-73, (2024).
・Bondarenko O., Fukuda T. and Miura S.: Intelligent Monitoring of the Engine Systems: Eliciting Performance Degradation Trends from in-Service Data，第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 285-290, (2024).
・小坂浩之：データ融合による国際バルク貨物流動データの精度改善，第 41 回日本物流学会全国大会研究報告集, (2024).
・小坂浩之：船舶動静データに基づくコンテナ船の積載貨物量の推計，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 429-432, (2024).

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

・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、日本国内の民間企業に対して技術協力を実施しており、日本の海事産業の競争力強化に資する取り組みである。
・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。
・GFS 規制の検討は、IMO の提案文書（ISWG GHG-18/2/1）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。
・大規模災害時における輸送については、我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。
・自治体の参加する物資オペレーション訓練において、経路及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。
・物資輸送のシミュレーション分析では、自治体からの要望によりトラック必要台数や拠点規模等の分析を実施し、自治体の災害時の物資輸送計画に貢献している。
・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、十分に大きいか
・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。
・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 技術を用いた海運市況予測モデルは、最新の説明可能な AI を利用し、様々な説明変数を容易に組み込むことができるため、新規性、発展性、応用性が高いモデルとなっている。
・水害救助シミュレータでは、ボート、車両、ヘリと複数の輸送機材を同時に扱い、載せ替えも考慮する点に新規性がある。
・緊急支援物資輸送システムでは、海上輸送、陸上トラック輸送などの複数の輸送モードを考慮した輸送計画を検討できるシステムであり、これは従来検討されていない視点である。また、避難所へのミルクランによる輸送経路も出力できる点は新規性があると考える。
・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。
・本研究の成果は、国際学会において特別賞を受賞しており、科学的意義が十分にあるといえる。

□成果が期待された時期に創出されているか
・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。
・GFS 規制の検討は、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及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。
・我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。
・自治体からも訓練等の協力が得られており、適切な時期に研究が進められている。
・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か
・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や次世代環境船の導入を考慮した改良を行うことで、海事産業の国際競争力の向上等につながる。
・GFS 規制の検討は、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。
・災害時の対応やそれに関する計画は、災害大国である我が国がリードしていると言える。
・開発しているシミュレータは他国の地理条件や災害の種類にも適用可能な柔軟性を持ち、国際的な防災ツールとして活用できる。
・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
・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。
・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。
・配送経路の最適化における計算速度の向上を目的に、疑似量子コンピュータを用いた試行プログラムについて基礎的な調査を実施している。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R6年度）	A

【コメント】
・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、民間企業や大学と技術協力により、社会実装に向けた研究・活動を実施している。
・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訓練を実施している。
・研究結果を活用した物資輸送シミュレーションを自治体と議論しながら実施し、自治体の国土強靱化対策に貢献している。
・船舶用のデジタルツインの開発及び社会実装に向け、大学・船会社・造船所・船級協会との共同研究を実施して有用性を示すとともに、実船でのシステム検証を行った結果を学術論文として公表している。

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いる。R6 年度は緊急支援物資輸送システムにおいて、新たな自治体でのシステム活用もみられたため、「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（R6年度）	A

【コメント】
・災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発は、十分に社会貢献していると評価できる。
・航空機からの支援物資輸送による配送機能を緊急支援物資輸送システムに組込み、システムを拡張して、岡山県及び愛知県での実際の訓練を実施したことは、国土強靱化という国の重要な方針に貢献したといえ、特に顕著な成果であると評価できる。
・海上輸送を支える基盤的な技術開発に貢献する多くの成果が得られ、科学雑誌掲載論文、査読付き国際会議論文、コアプログラム登録、国際連携活動で公表され、受賞実績もあり優れている。
・我が国海事産業界への裨益のみならず、国際海運に関する合理的な環境規制の策定への貢献も期待できる研究内容である。

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、「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。