令和５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５年５月１９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技術開発 13
参考添付 1：評価資料（抜粋） 16

「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「終了評価」
(1) 海上輸送の安全の確保 34
(2) 海洋環境の保全 37
(3) 海洋の開発 40
(4) 海上輸送を支える基盤的技術開発 42
参考添付 2：評価資料（抜粋） 45

参考
令和 4 年度業務実績報告書
終了評価（中長期期間の実績）【補足資料】

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。

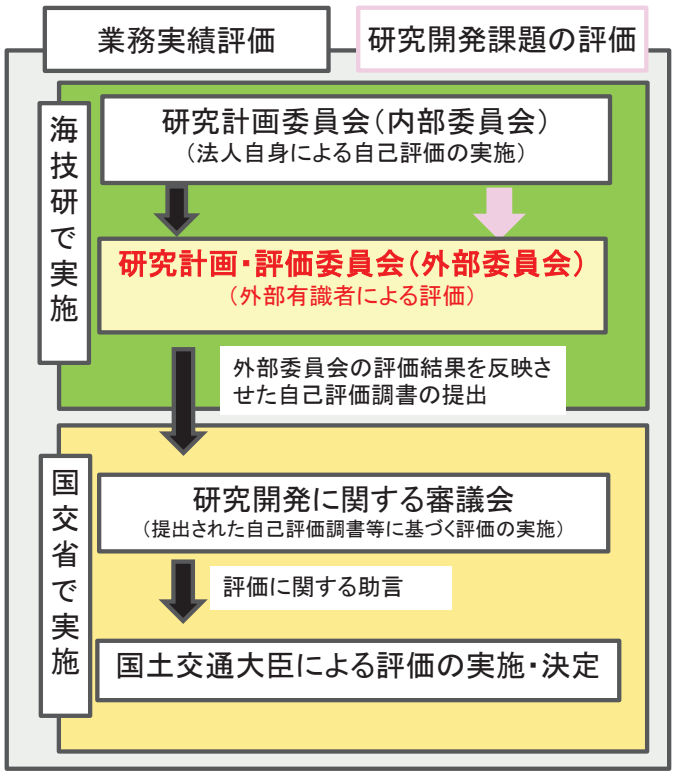
(2) 評価の種類

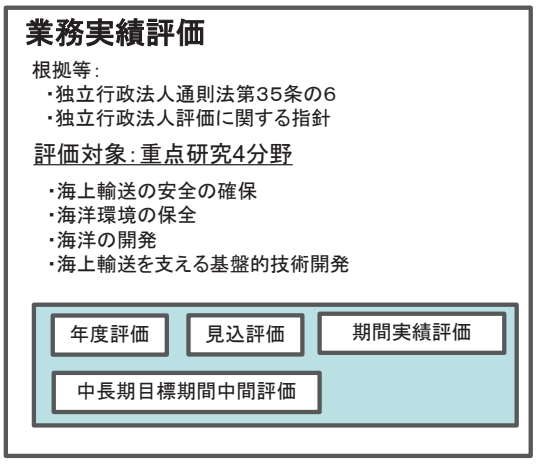
国立研究開発法人制度では、国の評価委員会（研究開発に関する審議会）が毎年、国立研究開発法人の業務実績を評価することになっています。評価の種類としては、各事業年度の終了後に実施する「年度評価」、中長期目標期間の最後の事業年度の直前の事業年度の終了後に実施される「見込み評価」、中長期目標期間の最後の事業年度の終了後に実施される「期間実績評価」（以下、「終了評価」という。）及び中長期目標期間の途中において通則法第 21 条の 2 第 1 項ただし書で定める当該法人の長の任期が終了後に実施される「中長期目標期間中間評価」があります。

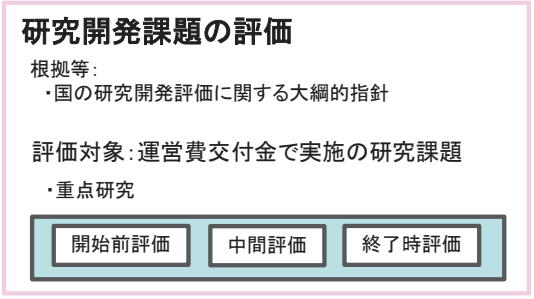
「研究開発課題の評価」は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」に準じ、研究所が実施する重点研究の内容を評価するものであり、研究の開始前、計画変更時及び終了時にそれぞれ実施します。

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５年５月１９日（金）

(2) 評価の実施者

海上技術安全研究所研究計画・評価委員会 委員名簿

会務	氏　　名	所属・役職名
会長	岡田　哲男	国立大学法人　横浜国立大学大学院　工学研究院 システムの創生部門　教授
		以下 50 音順
委員	後藤　浩二	国立大学法人　九州大学大学院工学研究院　海洋システム工学部門 船舶海洋構造工学講座（生産システム工学研究室）教授
委員	高橋　桂子	早稲田大学 総合研究機構 グローバル科学知融合研究所 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　執行役員　兼　成長事業推進事業部長）
委員	塚本　達郎	国立大学法人　東京海洋大学 海洋工学部　教授
委員	橋本　博公	公立大学法人大阪 大阪公立大学 大学院工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 教授
委員	濱田　邦裕	国立大学法人　広島大学大学院 先進理工系科学研究科　教授
委員	稗方　和夫	国立大学法人　東京大学大学院 新領域創成科学研究科　教授
委員	船津　勇	一般社団法人　日本造船工業会　技術委員会　委員長 （三井 E&S 造船株式会社　取締役執行役員）
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　理工学部　機械・材料・海洋系 海洋空間のシステムデザイン EP　教授
委員	山口　誠	一般社団法人　日本船主協会　環境委員会　副委員長 （株式会社商船三井　執行役員　技術革新本部長）

(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 4 年度に実施した重点研究

■「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「終了評価」

対象：中長期目標期間終了時における重点研究の業務の実績等

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 4 年度】

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

「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「終了評価」

【中長期目標期間終了時における重点研究の業務の実績等】

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

「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

(1)海上輸送の安全の確保

令和４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	・全船直接荷重構造解析強度評価(DLSA)システムは，海技研の総合力を活かして構造流体連成から非線形影響を含む強度評価まで網羅し，直接計算手法として世界でも類を見ない一貫システムを作り上げている。その結果として表彰や造船所での使用実績拡大につながっている。社会ニーズ，科学的意義，国際水準，タイミングいずれをとっても高度な水準にあると言える。 ・近年の社会的要請である環境対応・脱炭素のための新燃料・新形式船などについても時宜を得た開発が行われている。 ・デジタルツイン統合システム(i-SAS)の開発においては，国内大学等のシーズを統合し，数値シミュレーションを活用したデータ同化技術のプラットフォームとしてまとめ上げており，将来への発展性を有する。 ---------- ・DLSA のアップデートを達成できており，複数の造船所で新船開発に使用されたことは，海事産業の競争力強化に資する成果であったと評価します. ・i-SAS の開発は DLSA の利用拡大に直結することから，相乗効果の高い成果が得られたと評価します. ・水素燃料電池船の導入を後押しする成果ならびに準ふくそう海域の安全性対策向上に資する成果が得られて，国交省施策に対する貢献が大きいと判断します. ・船舶運動性能評価における新しい手法を確立したことは，安全性評価手法の改善に加え当該分野における学術的な意義も大きいと思います. ---------- ・①３つの重点研究の成果は、ニーズに適合し、社会的価値の創出に対する貢献が大変大きいと評価します。 ・②精力的な研究開発が実施されるとともに、実船への適応が可能な段階まで研究開発が推進され、実績を挙げられたことを高く評価します。 ---------- ・内航船の課題は船員不足・高齢化であり、安全性低下が危惧される 本取り組みは、以上の課題を克服する社会的価値の創出に貢献するものと判断する。 ---------- ・全船直接荷重構造解析強度評価（DLSA）システムおよび船体構造モニタリングシステムの開発をさらに進め、機能拡張・精度検証を行って精度を向上させ、さらに利便性・実用性を向上していること、将来の水素利用へ向けて、液化水素運搬船のリスク解析の実施など国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。特に荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発・拡張については、センサで計測した情報と DLSA 等の数値シミュレーションによるデータ同化技術を組み込んだ統合型デジタルツインシステムの構築は、水槽試験および実船試験での検証まで行われており海事産業の競争力強化、国際競争力強化につながるものである。 ・また、成果は国際学会でも評価されており、科学的意義、国際的な水準に照らして意義が十分にあると考えられる。DLSA システムの開発については、社会実装も含めて着実に成果を上げていることも評価できる。以上より顕著な成果の創出等が認められると考える。 ---------- ・①DLSA の高機能化、i-SAS の実船による検証は安全・安心の確保および海事産業の				

	競争力強化に繋がるものである。水素燃料電池船の安全ガイドラインへの解析手法の提供、無人運航船のリスク解析は、国や社会ニーズに応えるものと評価できる。 ・②無人運航船のリスク解析は、新規性や発展性の点で評価できる。 ・③適切な時期であると考えられる。 ・④MASS コードの策定への貢献や荒天中の操船運動の評価法の開発は、国際ルールの改正を主導するものであり、国際競争力の向上につながるものである。 ---------- ・全船直接荷重構造解析強度評価（DLSA）システムは海技研の強みの一つである．継続的な拡張を行うとともに実用性を向上し造船所による採用実績も増加していることは高く評価できる．またデジタルツイン統合システムは国際的に見ても最先端の研究であり，実船における検証も順調に進んでいる． ・内航海運向けの水素燃料電池船の安全性評価手法の構築，実船の停止性能の評価手法の構築，荒天下における操船運動評価手法の拡張など，社会の要請に合致した適切な研究成果が期待された時期に創出されている． ・国際的にも学術的価値が高い研究・開発成果が得られており，産業においても有効に活用されていることから A 評価とする． ---------- ・研究成果が新船の開発やガイドライン策定など社会的価値に結びついている点、カーボンニュートラルへの要請に応えるための柔軟な研究計画の変更は高く評価できる。 ・質の高い数多くの研究成果を創出できていることが、十分な数の論文発表と受賞から裏付けられている。また、国際貢献も積極的に進めているほか、研究成果の IMO ガイドライン化なども想定した研究を進めていることも評価できる。 ・着実に創出された研究成果が外部から高く評価されていることから、質の高い研究成果を適切なチャネルから社会に発信しながら優れた研究活動を実施してきたと判断した。 ---------- ・重点研究☆1 「全船直接荷重構造解析強度評価（DLSA）システム」は、Basic/Pro/AT それぞれ機能拡張と精度検証を行い、利便性と実用性が向上されている。今年度は、Basic では新たな造船所に対して、2 社利用開始され、累計で 6 社に納入し、各社の設計能力の向上に貢献している。 ・重点研究☆2 「準ふくそう海域の安全対策、海上交通管制の一元化への対応」は、今後実用化が進められる自動運航船が、公海にて他船との衝突を回避する航路を選択するためには、推奨される航路が設定されているとリスクを最小限にすることが出来る。今回、潮岬沖で運用が開始される推薦航路を、運航する側がどれだけ守り、結果を残せるかが、今後の水平展開の加速化に影響されるものと思われる。 ・成果の公表に記載されているように、昨年度と比較して、特許申請（+2）国際貢献（+3）受賞（+3）の実績を積み上げるたことが、A 評価にふさわしいと思えます。 ---------- ・①研究として遂行された内容については、自動運転や無人運転、あるいは各種の自動化・無人化につながる技術に関するもので、社会的なニーズおよびそれを取り入れることによる潜在的なリスクについて、広範に研究をされていると感じます。海上輸送の安全の確保という研究分野の名称に対して、重点 2・3 は一般的に想像されやすい研究項目と感じるが、重点 1 は船体の構造応答の範疇になることから、専門家でない方から見ると、なぜこの分野に分類されるのかな？と感じるかもしれません。 ・②取り組んでいる内容については、そもそもテーマとして社会のアップデートに直結する項目であり、新規性・発展性について十分と感じます。 ・③客観的に見て、進捗は非常に加速しているように感じられ、時期としては社会に対してやや先行できている印象を持ちます。自動・無人運航船などを想定した具体的な研究活動は、研究所としてのハード・ソフトのアドバンテージを活かして、かなり先駆け的に進んでいると思います。 ・④IMO などへの知見の反映は、国際的な水準を維持している証左と思われます。 ---------- ・研究内容は実用的かつ実証データの信頼性も高いので基盤技術として有効と感じた。 ・一方、新たな実証データを自動的に追加し続けより精度の高い研究とする事は考えなかったのか疑問。 ・方法を確立させる研究の場合、その方法を実証して以降は、手間をかけずとも自動的にデータを追加していけば、より広域かつ重層なデータを利用し、結果の補足に繋げていく事ができると考える。

	・デジタルツイン技術の基盤技術は、ビッグデータを意識し特異点をデータで自己補正するシステムであると理解しており、定性的な結論ありきではなく、データを利用して成長し続ける新たな技術なのだと思う。 ・ビッグデータを使ったソフトは世界中で生まれると思うが、ユーザーに渡る時にはとても簡単で扱い易く、納得感のあるデータ利用結果が得られる等の価値をもって、社会的なシステム信頼性が構築されていくものと考えている。そうした「使い方」がニーズであり案社会実装のポイントである。国内海運業界にはそうした IT 企業が必ずしも多くはないので、新たな試みを目指す企業と協業し、海技研が自ら開発に参画する事で社会実装に繋がる可能性をイメージした。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：11 B： C： D：

(2)海洋環境の保全

令和４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	・海上輸送における GHG や大気汚染物質の排出量削減が叫ばれる中、新燃料の評価手法, 排ガスの処理技術, 風力推進やウェザールーティングを考慮した実海域性能評価, 推進性能評価のための CFD 技術を始め, 非常に幅広く意欲的に研究開発に取り組んでいるのは、時宜を得、かつ社会ニーズに合致している。 ・CFD による総合性能評価においても, 実船スケール CFD をさらに高度化したこと, 付加物を含む計算手法を発展させたこと等, 科学的な成果を出している。 ---------- ・次世代燃料に関する基礎知見は海技研のような公的な機関が研究し, 成果を民間に展開することが肝要ですが, このような案件に的確に取り組んで有用な成果を得たことは, 海技研に対する社会的要請に適切に対処したものであると高く評価できます. ・その他の研究も, 国交省施策や社会的要請に対する理論面からのサポート, 社会実装に向けたシーズ創出に貢献した適切な成果であると高く評価できます. ---------- ・①５つの重点研究の成果はいずれも、社会的ニーズに適合し、社会的価値の創出に対する貢献が大変大きいと評価します。 ・②各重点課題の各種新手法の開発によける成果は、科学的な意義が大きいと評価します。 ・④得られた成果には国際的な活用も期待されるものも含まれるので、今後、国際的なインパクトとしての実績を挙げることをさらに期待します。 ---------- ・水素、アンモニア燃料の研究は科学的意義が大きく、また、GI 基金に関連しており、国際競争力向上に大いに寄与するものである。これを含め、海運における GHG 削減といった社会ニーズに適した取り組みである。 ---------- ・国土交通省が提案した省エネ機器の組み合わせや船主との連携による GHG 削減を目指す“連携型省エネ船”について、詳細なコンセプトを検討・立案に参画したこと、アンモニア混焼エンジンの技術開発を行ったこと、船舶性能評価のための CFD プログラムの高機能化を行ったことなど、日本が「2050 年までに GHG 排出を全体としてゼロ」を新たな目標として掲げることを提案している中で、多方面から GHG 削減に関する研究が行われており、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。 ・またこれら成果は期待された時期に創出されている。成果は、科学的意義、国際的な水準に照らして意義が十分にあると考えられる。また舶用燃料の着火性を予測するため、着火性指標 CCAI を実燃料に即したものに改良したことも評価できる。 ---------- ・①次世代燃料や GHG 排出削減への対応、付加物込みの CFD、内航船の省エネ化への貢献などは、環境負荷の低減に繋がる研究であり、国や社会ニーズに応えるものといえる。 ・②気候変動による運航への影響、アンモニア燃料の燃焼プロセスの解明などは新規性や発展性の点で意義が大きいといえる。 ・③風力補助推進船や次世代燃料などに関して、適切な時期に成果が創出されているといえる。 ・④IMO/MEPC、ITTC、ISO での議論に資する成果が得られており、国際競争力の向上につながるものと評価できる。				

	---------- ・実海域性能の向上は日本の海事産業の重要な課題であり，風力推進とウェザールーティングの統合，低速幅広肥大船の開発，伴流設計システムなど，実海域性能の向上に貢献する社会的価値の高い成果が期待された時期に得られている． ・海技研の CFD 技術は海技研の強みの一つであり，付加物や荒天時を考慮した国際的に見ても発展性の高い成果が得られている． ・船舶燃料の着火性評価技術，アンモニア燃料の排ガス計測・削減技術，バイオ燃料実証実験や連携型省エネ船は GHG 削減に向けた非常に重要な技術開発と評価できる． ・いずれの成果も，学術的に高い水準の成果が適切な時期に得られており，社会的に価値がある実践的な研究と萌芽的研究の双方が適切に実施されている．国際貢献数や受賞数も高く評価でき，A 評価と判断する． ---------- ・①および③について、次世代燃料の技術的な特性を明らかにする研究は、環境負荷低減に資するだけでなく、今後の技術投資の動向にも影響を与えるインパクトの大きい研究テーマと考える。 ・実海域性能推定法に関して、国際的に高い水準の研究活動を行っているだけではなく、IMO/MEPC、ITTC、ISO 等においてリーダーシップを発揮するなど顕著に優れた活動を進めていると考える。 ・論文発表および受賞数から質および量の両面から十分な研究成果が創出されたと考える。 ・今後について、世界トップレベルの研究活動を行っているということを示す上では、優れた研究成果を創出したトピックについて、他の分野のトップジャーナルにも投稿していただきたい。 ---------- ・重点研究☆5 「GHG 排出削減規制への対応」は、現在各方面で研究・実証試験が進められているローターセールとウェザールーティングを組み合わせることで、燃料消費量が大幅に削減できるとの評価を打ち出した。また、気候変動により 22 世紀には、波高が現在より 0.9m も高くなり、太平洋横断航路は南に下がった方が良いとの予想でした。 ・重点研究☆7 「舶用大型エンジンのアンモニア層状噴射燃焼技術」は、NH3 が着火するまでの 1 層目の補助燃料と 3 層目の補助燃料が燃える状態を、写真を使って誰でも判るように観察窓を設置したところが良いのではないかと思いました。今後、この燃焼プロセスの解明が進み、CFD での再現や次への step に強力な data を取得できたのではないと思います。 ・成果の公表に記載されているように、昨年度と比較して、国際貢献（+11）受賞（+4）の実績を積み上げるたことが、A 評価にふさわしいと思えます。 ---------- ・①研究として遂行された内容については、GHG 削減や実海域での実燃費性能、船舶運航における代替燃料使用の可能性への対応、海難事故時でのリスク評価に関る研究を実施しており、社会的なニーズおよびそれを取り入れることによる潜在的なリスクについて、広範に研究をされていると感じます。一方で、海洋環境の保全という研究分野の名称に対して、重点 8 は一般的に想像されやすい研究項目と感じるが、重点 4~7 は船舶の推進性能の範疇であることから、専門家でない方から見ると、“海洋環境”という言葉に対して間接的と感じるかもしれません。また、軽石モデルシミュレーションへの対応は、社会の興味に対して非常に迅速にされていたと感じています。 ・②取り組んでいる内容については、そもそもテーマとして社会のアップデートに直結する項目であり、新規性・発展性について十分と感じます。 ・③客観的に見て、研究所のアドバンテージを活かし、研究成果として国内外をリードしていると感じます。GHG 削減と実海域実船性能評価方法の開発などは、企業としては対応しにくい課題で、法整備（あるいは国際標準化）などを見据えながら具体的に取り組まれていると思います。研究活動は、研究所としてのハード・ソフトのアドバンテージを活かして、かなり先駆け的に進んでいると思います。 ・④開発されている CFD コードなどは国際的にも利用者が増えていると感じており、十分に国際競争力や国際貢献がされていると感じます。 ---------- ・ローターセールに代表される風力による性能評価手法は非常に興味深く、また最適航路選択により大きな成果を得られる結果が検証されている事はとても面白い。 ・現在、様々なウインドアシスト技術が生れ燃費削減技術として注目されている。こうした技術は荷役に邪魔であったり、生産技術整わなかったりと発展が妨げられる課題

	が多くあるが､使っていなかった自然エネルギーを回収し推進効率を高められる時点で､いずれの技術も素晴らしく､業界全体の地位向上が必要と考える。それには正しい評価と､それに基づく規則における扱いが重要。海技研としては､そうした規則におけるウインドアシスト技術評価が､「その他の燃費削減技術」というざっくりした評価で纏められないように､しっかりと研究頂きたいし､そこが社会実装につながるポイントであると感じた。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S：1 A：10 B： C： D：

(3)海洋の開発

令和４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	・海洋再生可能エネルギーの活用促進が叫ばれ、洋上風力発電が注目を集める中、浮体式風力発電施設の建造・運用コスト低減技術に取り組んでいるのは、時宜を得、かつ社会ニーズに合致している。 ・CTV からの乗員移動の安全を目的とした波浪中動揺評価なども，浮体式風力発電施設関連で必要となる技術開発の一つとして時宜を得ており評価できる。労働安全のための基準やガイドラインにつながっていくことを期待する。 ・損傷時復原性に関する具体的な計算方法を示し，リスク評価を行うことによって区画を削減できることを示し，さらにそれを IEC 規定に織込めたことは，具体的な社会的価値を創出した国際貢献として評価できる。 ---------- ・国内海域に浮体式洋上風力発電を本格導入するには様々な検討が必要であり，本重点研究により有用な成果を提示できたことは，今後の普及に貢献する成果であると評価できます． ・熱水鉱床開発に関しては，まだ個別の企業が取り組むには厳しい状況であるため，海技研が種々の基礎知見を積み上げていることは非常に有意義であると評価できます． ---------- ・①２つの重点研究の成果はいずれも、社会的ニーズに適合し、主として国家プロジェクトへの貢献など社会的価値の創出に対する貢献が大変大きいと評価します。 ・③国家プロジェクトに併行して進められたことにより、期待された時期に成果が創出されていることを評価します。 ・（追記：）本研究分野の成果のご発表では、国家プロジェクトで得られた成果と海技研（独自）の計画において得られた成果との棲み分けがよくわかりませんでした。国家プロジェクトで得られた成果は、別途国家プロジェクトとして評価されるべき内容ですので、今後は、当該会議では、海技研独自の計画において得られた成果を明示していただくことが、評価のための発表内容としては適切であると思料します。 ---------- ・洋上風力関連自体の開発は科学的な意義は大きい。一方、国産部品の価格競争力が弱いことをどう克服するか、は大きな鍵である。 ・海洋資源開発生産システム開発は国際競争力向上に繋がるものと期待している。 ---------- ・海底熱水鉱床開発に関して、海底での採鉱から陸上での荷役までの鉱物量を評価可能なプログラムおよび海底鉱物資源開発の経済性を評価する計画支援プログラムを開発し、両者を統合したこと、AUV 隊列制御アルゴリズムの統括制御プログラムを開発したこと、AUV－AUV 通信・測位システムを開発して実海域で実証していること、AUV-ASV の連結システムの運用実証を実施していることなど、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。自然エネルギーによる発電および海洋資源開発は、日本は遅れており世界に追いついていかなければならない分野であり、これに取り組むことにより、国際競争力の強化につながる。 ・洋上風力、波力など海洋再生可能エネルギー発電施設の研究は、国の施策や社会ニーズに適合するものであり、成果が活用されることにより社会的価値の創出に繋がる。浮体式風力発電施設の損傷時復原性規定が IEC の規定内に取り込まれたことも評価できる。 ---------- ・①係留安全性や作業船オペレーションの評価技術は国や社会ニーズに応えるものと				

	いえる。海底熱水鉱床開発の計画支援や JOGMEC の調査航海への AUV の協力などは国家プロジェクトへの貢献が認められる。 ・②AUV の位置誤差検出・補正の高精度化やガスリフトの評価用に固気液三相流の摩擦損失推定手法を開発したことは、新規性や発展性の点で意義が大きいといえる。 ・③適切な時期に成果が創出されているものと思われる。 ・④浮体式風力発電施設の損傷時復原性規定が IEC の規定内に取り込まれたこと、AUV/ROV を用いた画像による検査、防食に関する検査のガイドラインを作成したことは大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものと評価できる。 ---------- ・浮体式洋上風力発電施設の建造・運用コスト低減のために，浮体寸法と建造コストの推定技術，動揺評価技術，損傷時の損傷時の復原性確保の判定手順，海底熱水鉱床開発を対象とした稼働性評価・計画支援技術など，海洋資源開発に関わる基盤技術および支援技術に関する意義のある成果をあげている. ・また，AUV の隊列制御システムは国際的にみても最先端の技術であり，実証試験において AUV と ASV の同時運用を成功させている点も高く評価できる. ・国家プロジェクトと連携して着実に成果をあげており，国際的にみても高く評価でき，査読論文による成果の公表や受賞数という観点でも高く評価できるためＡ評価とする. ---------- ・知的財産保護に関する制約が多い国のプロジェクトを推進しながらも、数多くの論文を発表して学術分野でのプレゼンスを示している点は高く評価できる。また、研究成果の質の高さが SIP 継続につながっていると考えている。 ・また、論文を IEC の規定に採用されたことなど、研究成果が優れていることだけでなく、研究成果の創出効率の高い研究活動が実施できていると考える。国のプロジェクト、論文発表、研究成果の民間での活用を同時に達成するような運用を継続していただきたい。 ---------- ・重点研究☆9 「浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減、プロジェクト認証支援技術」は、CTV を開発している造船所にとっては、今回開発していただいた風車タワーへ接舷する際の波浪中動揺評価の計算プログラムは、非常に有効な tool となります。また、IEC へ提案承認された損傷時復原性規定は、浮体構造をより適切な区画割が出来るので、重量低減に大変役立つものと思います。 ・重点研究☆10 「AUV-ASV 連結システム」は、昨年、銚子沖洋上風力発電設備で実証試験を実施し、成功を収めていました。リアルタイムでしかも自律的に AUV が海中の状況を、PC に表示することが出来るのは、以前と比較して大きな進歩と言えます。 ・成果の公表に記載されているように、昨年度と比較して、査読論文（+2）プログラム登録（+1）受賞（+4）の実績を積み上げるたことが、A 評価にふさわしいと思えます。 ---------- ・①研究として遂行された内容については、海洋再生可能エネルギーの活用に資する研究や深海を想定した海洋開発をベースに AUV についても実践的に研究を進めるなど、社会ニーズをリードしている。この分野については、社会的なニーズは年々高まっているものの、国内市場において民間企業が商業ベースで参入していくにはまだハードルが高い。その中で、国の研究機関として国際的なレベルでの研究を実践していることは、非常に評価できます。 ・②特に近年、日本のＥＥＺの利活用に対しての国内理解は進んできていると同時に、その社会実装のシナリオは、ようやく地に足がついてきている。その具体化しつつある社会課題に対して迅速に対応していると感じます。新規性・発展性について十分と感じます。 ・③客観的に見て、国の研究所のアドバンテージを活かし、研究成果として国内外をリードしていると感じます。海洋再生可能エネルギーの活用や海洋開発については、国際的には民間企業による商業ベースの形態であっても、実質的には各国の国策として実施していることが多い。日本国内ではまだ、国が主導的とは言えない中で、民間企業との各種の連携研究など縁の下として、産業を支えていると理解している。また社会的なニーズの高まりは、海洋開発に旧来型の海洋産業クラスターとは異なる企業や産業分野からの参入が期待されており、研究所としての公平性や客観性のアドバンテージを活かして、海洋開発研究のハブとしての役割を果たしていると思います。 ・④国内産業の育成に向けての、必要な技術開発や、日本周辺海域での海域利用におけ

	る技術課題の抽出や解決に資する研究を実施されています。今後の日本のＥＥＺなどでは、台風・水深・海水温など開発の実態として先行している欧州などとは異なる自然環境である。その既存とは異なる海洋環境をベースとした研究成果が各種の国際基準への反映されていくことで、本質的な安全性の向上として国際貢献がされていると感じます。 ---------- ・国内海洋開発にとって今一番重要な事は洋上浮体風力発電の低コスト開発技術である。 ・安全性、寿命評価などから最適設計を求める前提として、調達材料、係留技術、製造設置技術、保守技術など、メーカー任せで国内のユニークな技術的進歩は感じられない。 ・またその結果として国内メーカーの育成にもつながらない。国内技術による差別化は革新であり、そうしたインフラ技術開発に国の予算が割かれるのが良いが、社会実装につながる技術開発という点では海技研にその任を託したいと感じる。 ・本研究自体の評価ではないが、次回のテーマ選択において参考頂きたい。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：10 B：1 C： D：

(4)海上輸送を支える基盤的技術開発

令和４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	---------- ・造船作業工程のデジタル化は、造船業の競争力向上につながる重要なテーマであり、従来から多くの試みがある中で、本研究は比較的難しい大組立工程のシミュレーションに取り組み，作業工程の完全なモデル作成とその活用を目指しており、野心的な取り組みと言える。 ・船舶の自動運航が近年注目を集めており，これの実用化に向けて，小型実験船による自動運航システム実施試験課題や避航操船アルゴリズムの検討などを行っているのは，時宜を得、かつ社会ニーズに合致したものと言える。 ---------- ・デジタルシップヤードに関する研究では，これまでの建造現場で経験と勘に基づき実施されてきた数々の点について，いわゆるデジタル化を達成したと評価できる．特に大組工程のデジタル化について，この工程の現状を考慮すると簡単なモデル化が難しい「人員の挙動」も含めたシステムを構築したことを評価したい． ・自動運航に関する実証実験を成功させたことは，社会実装が目前であることを感じさせるものであり，高く評価したい． ---------- ・①３つの重点研究の成果は、ニーズに適合し、社会的価値の創出に対する貢献が大変大きいと評価します。 ・②実証を含む実社会における展開を研究開発と合わせて推進し、実績を挙げられたことを高く評価します。 ・③将来を見据えた基盤技術にふさわしい研究開発が進められ、適切な時期に成果が挙げられていることを高く評価します。 ---------- ・建造シミュレータは造船所での適用が始まっており、社会的価値の創出に貢献するものである。 ・自動運航システムの開発は、科学的意義の大きさに加え、国際競争力の向上に寄与すると思慮。 ・別の項目でも記載したが、技術開発でリードしても、中国に対し、法整備の遅れで実装、実証、実用化が遅れることは避けなければならないと考えます。 ・決して稚拙な開発スピードのアップは許されず、着実な安全性評価が求められますが、中国に勝つ、という意識を前面に押し出して、実装、実証を含めた開発を加速していただければありがたい。 ---------- ・造船用高精度建造シミュレーション手法を構築して大組立工程に適用できるよう拡張し、造船所において検証を行っていること、ゼロエミッション化への貢献を目指して、代替燃料導入シミュレータを開発したこと、自律航行船に関して、自動避航操船と自動着桟を連続して行う自動運航システムを開発し、小型船を使って実証試験を行ったこと、緊急支援物資輸送システムを開発したことなど、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。これら成果は科学的意義も大きく、AI の活用がなされており、期待された時期に創出されていると考えられる。成果は、科学的意義、国際的な水準に照らして意義が十分にあると考えられる。以上から顕著な成果の創出が認められると判断した。 ----------				

	・①大組立工程までを含めた造船作業工程のデジタル化および代替燃料導入シミュレータの開発は、国や社会ニーズに応えるものといえる。 ・②構造接着単独接合の研究成果やコンテナ船需要予測モデルの構築などは、新規性や発展性の点で学術的な価値が高いと評価できる。 ・③自動運航システムの研究成果など、適切な時期に成果が創出されていると判断できる。 ・④国内海事産業の競争力強化に向けて、意義のある研究成果が得られていると考えられる。 ---------- ・造船データの標準化や建造シミュレータの実現は造船業にとっての最重要課題の一つであり，今後，日本の造船業が生き残るために必須の技術である．建造シミュレータについては難易度の高い大組工程に適用できるようになったことは大きな成果である． ・自動運航システムや遠隔操船技術については実船による実証運航に成功した点は重要な成果である． ・国際海運のゼロエミッション化に向けた代替燃料導入シミュレータは今後の海事産業の方向性を具体的に検討する上で，極めて重要な技術と評価する． ・何れの研究テーマも海事産業の将来に向けて重要な課題が選択されている．また，本分野では論文としての公表が難しいテーマが選択されているが 17 件の論文が公表されており高く評価できるためＡ評価とする． ---------- ・工場のシミュレーションやデータのプラットフォームは、日本の造船所の競争力を継続して維持するために必要な技術である一方で、個々の造船所で取り組む体制を確保することは難しい。産業界のニーズを踏まえた重要なテーマであり、工場での実用化に向けたビジネスモデルの構築も含めて取り組んでいただきたい。 ・災害対応についてのプロジェクトを自治体との連携しながら進めていることは、社会からの要請の高い組織・領域横断型の活動であり高く評価できる。 ---------- ・重点研究☆11 「造船作業工程のデジタル化」は、今年度【大組工程】までシミュレーション範囲を拡大することが出来た。このことから、全体工程を変えること（短縮したり遅延したり）で、搭載までの stock の状況が掴めるようになると、現場を工程管理する側にとっては、非常に有効な tool になると思われます。 ・重点研究☆12 「自動運航システムの研究」は、当社でも研究開発を進めていますが、「神峰」での実証試験が円滑に実施され自動避航と着桟が無事に行われたとの報告が有りました。今後は、対象となる船のサイズを中型船にするとか、海域を広げるなど、より実船適用を進めて欲しいと思います。 ・成果の公表に記載されているように、昨年度と比較して、査読論文（+7）プログラム登録（+1）国際貢献（+6）の実績を積み上げるたことが、A 評価にふさわしいと思えます。 ---------- ・①研究として遂行された内容については、非常に広範で且つ社会的なニーズを踏まえて、現場をベースにかなり具体的な取り組みをしていると感じます。特に各種の作業の自動化や複合的な事象の社会実装をするための AI の活用などは非常に高く評価できます。 ・②AI などを活用できる情報インフラの整備が急速に進んでいく中で、その情報インフラのポテンシャルを少しずつ先取りして、相対的な新規性・発展性を維持しながらデータベースの構築と活用を進めていると感じます。 ・③国の研究所としての公平性や透明性および公共性のアドバンテージを活かし、企業間の横串を通すような汎用性の高い実践的な研究をされている。あらゆることが人手と時間を掛けずに、合理的な解決方法に向けて動ける状況を作ることが社会的に急務となっている。現場でのかゆい部分に手を届かせながら、研究を進めており、論文の件数や受賞数といった評価は必ずしもなじまない研究分野であると思われる。 ・④国内産業のアップデートは、単に技術の維持だけでは成り立たない。産業の国際競争力の維持だけでなく、国内で醸成されてきた世界トップクラスの技術継承を国際的な汎用性を踏まえたプラットフォームの構築を進めていると感じている。研究分野としては自動運航船などでの標準化はかなり国際的な貢献が高い。また研究成果を踏まえた企業が国際競争力や国際貢献度を向上させる形で、評価される分野と思われる。 ----------

	・自律運航技術が最も求められるのは、存続ニーズはむしろ拡大しているのに、支える人材の不足により課題山積みの内航輸送であると考える。航海術として熟知した航路、陸上支援のしやすさ、保険適用のハードルが可視化しやすい、等から環境的にもチャレンジしやすい分野。そこで最適な自律運航技術開発を目指す事が重要。この技術開発は結果的に世界各地の内航輸送技術への貢献にも繋がり、安全自律運航基準の規則やデファクト造りに貢献する事ができる。問題はスピード感。要素技術が分散し勝手な産業界であるが、インフラ技術と考えれば技術開発が分散する意味ない。これを統一的に進めようとしているのが、日本財団であり、海技研でもその一翼として開発を進められているが、産業界とは異なる立場で、技術のインフラ整備という視点で貢献頂ければ、より短時間に深い技術開発が可能ではないかと考える。スピード感をもってできる事も、ニーズの一つであり、これに国が支援をする事は世界的に見ても常識の範囲。お金ではなく技術的支援をもってこれを進められると面白くなると思います。

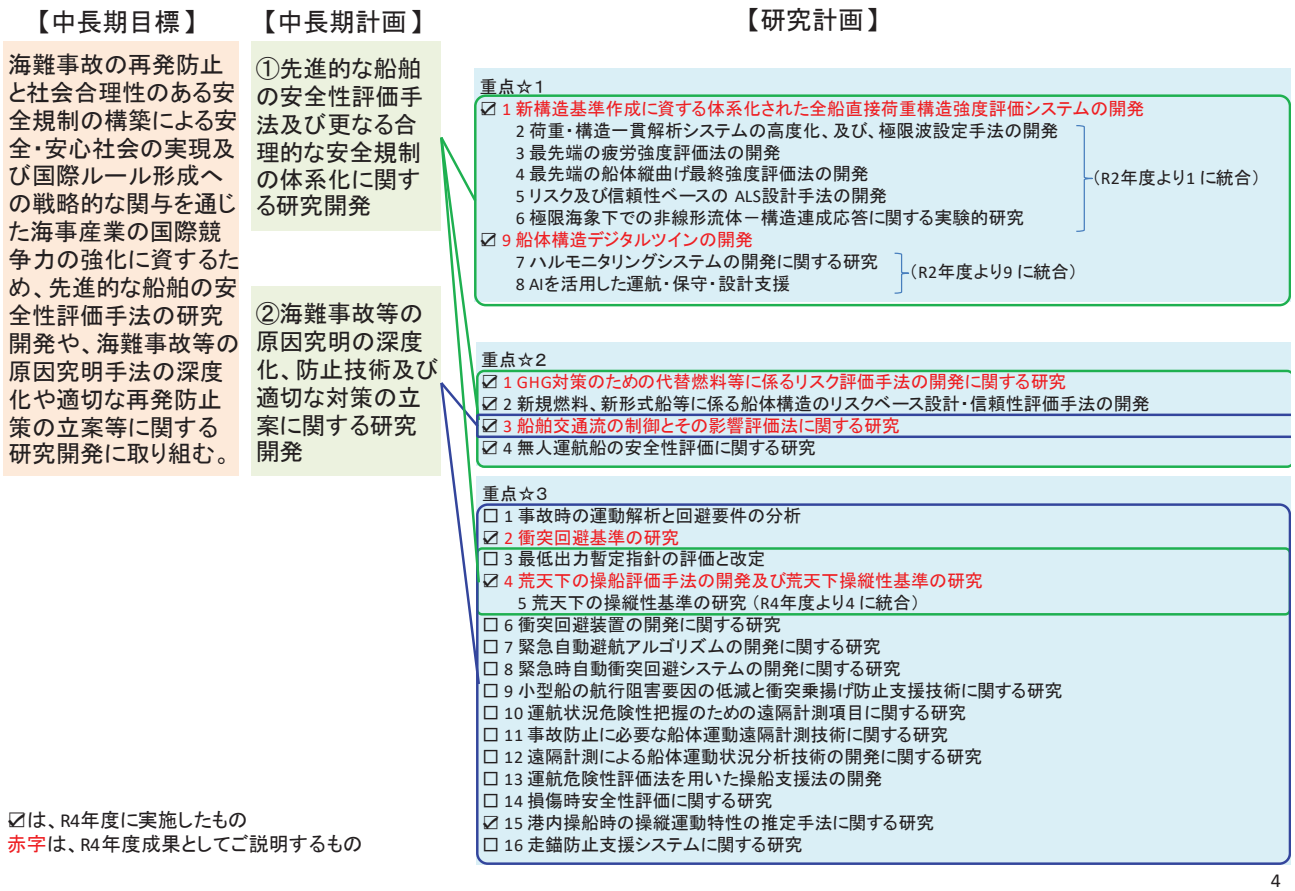
事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：11 B： C： D：

参考添付１：評価資料（抜粋）

1. 海上輸送の安全の確保

3



4

（1）海上輸送の安全の確保 －①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

年度実績

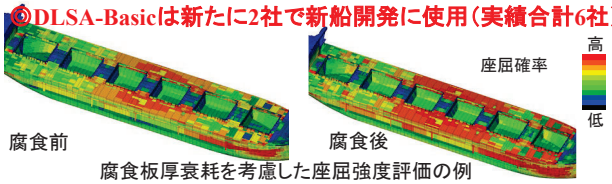
- 全船直接荷重構造強度評価の精度向上のために、腐食板厚衰耗を考慮した座屈強度評価、不規則波中計算等の機能をDLSAに追加する等、利便性・実用性を向上。2機関の新船開発に貢献
- 船舶の安全運航や合理的メンテナンス等の支援を可能するために、データ同化手法を搭載可能な実船用のデジタルツイン統合システム（i-SAS）を開発し、実船での機能検証を実施

船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1）

○全船直接荷重構造解析強度評価（DLSA）システム

- ✓ 全船直接荷重構造強度評価の精度向上のために、機能拡張・精度検証を行い、利便性・実用性を向上。
  - ➢ DLSA-Basic：腐食板厚衰耗を考慮した座屈強度評価、疲労強度に影響を及ぼす指標の全船マッピング、不規則波中計算の機能を追加。
  - ➢ DLSA-Professional：解析条件の設定自動化による計算安定性機能及び非線形モデル自動作成機能の向上。実船の全船FEモデルにより検証。
  - ➢ DLSA-AT（Advanced Technology）：外部荷重のパネル法とタンク内のCFD（スロッシング）を連成したハイブリッド解析で計算。ICFDを適用した波浪中流体ー構造連成解析のロバストな計算を可能に。

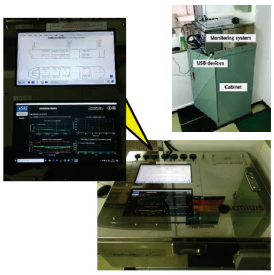
◎「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰を受賞
◎DLSA-Basicは新たに2社で新船開発に使用（実績合計6社）

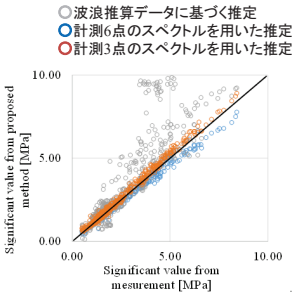


腐食板厚衰耗を考慮した座屈強度評価の例

○デジタルツイン統合システム（i-SAS）

- ✓ 様々なデータ同化手法を搭載可能なi-SASを開発し、就航中の船舶に設置して、同システムの機能検証を実施。
- ✓ i-SASに搭載するデータ同化手法のひとつとして、船体全域の応力推定を目的とするDLSAとハルモニタリングを統合したデータ同化手法を開発。実船データを用い推定精度が良好であることを確認。


就航中の鉱石運搬船に設置したデジタルツイン統合システム(i-SAS)



ケープサイズバルクキャリアによるデータ同化手法（波浪逆推定）の検証

DLSA: Direct Load and Structure Analysis and Evaluation System, i-SAS: Integrated Structural Analysis System, ICFD: Incompressible Computational Fluid Dynamics

5

（1）海上輸送の安全の確保 －①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

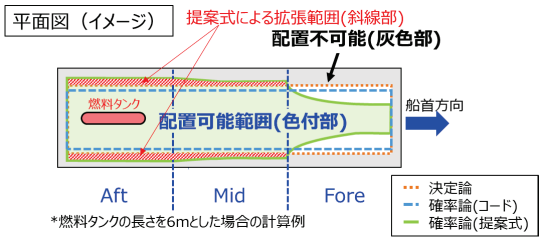
年度実績

- 水素燃料電池船の安全ガイドラインへの解析手法の提供を実施
- 海上保安庁第4交通ビジョンの成果創出として、準ふくそう海域の安全対策、海上交通管制の一元化に貢献

船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究（重点研究☆2）

○内航海運のカーボンニュートラル実現に向けた代替設計承認のための安全性評価手法の構築

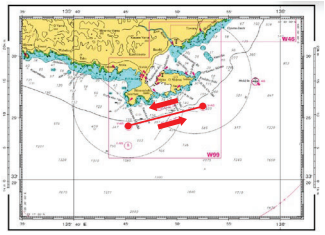
- ✓ 国交省「水素燃料電池船の安全ガイドライン」見直しを実施（現行のガイドラインは圧縮ガス・小型船への適用が困難な安全要件が含まれる）。
- ✓ 代替設計承認のための安全評価手法の構築を目的に、燃料タンク代替設計に係るリスク評価手法を新規に開発、リスク評価手順書を作成。またこの手順書に基づく計算プログラムを開発。



同等安全性証明のための燃料タンクの配置の代替設計に係る評価例
（赤色斜線部で(中央部～後部で)タンク配置の設計自由度が高くなった）

○準ふくそう海域の安全対策、海上交通管制の一元化への対応

- ✓ 潮岬沖の推薦航路が2023年6月1日より運用開始。導入にあたり、2022年11月に開催されたIMO MSC106への提案を技術的に支援。
- ✓ 衝突リスクの評価技術の高度化を行い、候補海域における推薦航路の要否を事前検討できるよう効果推定技術を確立。
- ✓ 海上交通センターでの管制業務支援のため、航路逸脱などの異常行動が起こり得る船舶をオートエンコーダ（自己符号化器）を用いて検知する手法を開発。


潮岬沖の推薦航路
（出典：IMO NCSR 9/3/2 を加工）

◎国の水素燃料電池船安全ガイドラインの改定に貢献
◎日本沿岸推薦航路設定に技術的支援

6

（1）海上輸送の安全の確保 －①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

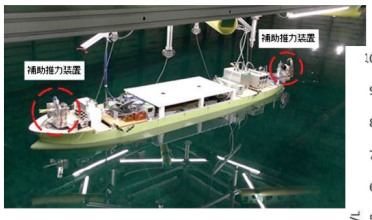
年度実績

- 実船の停止性能を、自由航走模型実験から評価する方法（JSC）の確立
- 荒天下航行安全性評価手法（最低機関出力ガイドライン他の検討に活用可能）の確立

安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究☆3）

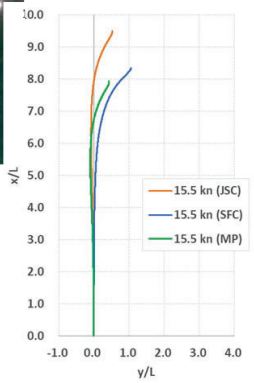
○実船の停止性能の自由航走模型実験での評価方法（JSC）

- ✓ 実船を模擬して船体の摩擦修正のみを行った手法（SFC）と比べても停止距離が1船長程度長くなっており、従前の手法（SFC, MP）よりも安全側に評価出来ていることを明らかに。



実船を模擬した停止実験の様子

JSC (J and Speed Correction):今次提案（逆転時を含むプロペラ推力を実船相当に修正）
SFC (Skin Friction Correction):実船相当プロペラ回転・簡易摩擦修正
MP (Model Point):従来方法（モデルポイントプロペラ回転 ）

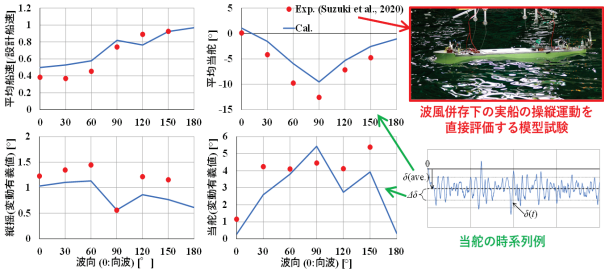


航海速力からの停止実験
（大型タンカー（全長320m））

○荒天下操船運動評価プログラム

- ✓ 昨年度開発した不規則波中操縦運動時の6自由度船体運動計算法を推進・操縦性能に関する尺度影響を考慮する等により実船尺度の計算へ拡張した。
- ✓ 波風併存下の実船の操縦運動を直接評価する模型試験法（RSC）による計測結果との比較から本計算法の妥当性を証明。

RSC (Rudder Effectiveness and Speed Correction): 舵効き(舵直圧力)を実船相当に修正、主機のトルクリミットによるプロペラ回転の変化も考慮可能。



不規則波・風（ビューフォート風力階級9）中の保針航行状態における大型タンカー（全長320m）の6自由度船体運動推定結果の検証

7

成果の公表（海上輸送の安全の確保）

件数のカッコ内の数字は、R3年度の実績

項目	件数	本分野に従事する人数：25名
査読論文	29編 (33)	・ジャーナル15編（うち6編投稿中、2編採択済、7編掲載済） 投稿先の例：Ocean Engineering、Marine Structures、Reliability Engineering & System Safety、 Journal of Marine Science and Technology 等 ・プロシーディングス11編（うち5編投稿中、2編採択済、4編掲載済） ・海技研報告（研究報告）3編（うち0編編投稿中、0編採択済、3編掲載済）
特許申請	3件 (1)	・船舶の波浪応答推定方法、波浪応答推定プログラム、波浪応答推定システム、及び船舶（出願日2022/11/29） ・波浪画像認識利用方法、波浪画像認識利用プログラム、波浪画像認識利用システム、及び波浪画像認識操船シミュレータ（出願日2023/2/28） ・OZTによる海域衝突リスク評価方法、海域衝突リスク評価プログラム、及び海域衝突リスク評価システム（出願日2022/9/6）
プログラム登録	5件 (8)	・船上モニタリング用マルチユーザ・フレキシブル・遠隔監視システム（NMRI-iSAS） ・燃料タンク配置に係る代替設計支援プログラム ・EFCalculation ・AISAnalyzer1.0 ・実海域中を通常・低速航行する船の6自由度船体運動推定プログラム
国際貢献	5件 (2)	・ISSC/ I.2 Loads committee委員 ・ISSC/ II.2 Dynamic Response committee委員 ・ISSC/ VI.1 ISSC-ITTC Cooperation 委員 ・Shiokari, M.: Japanese MASS R&D Projects and Approaches for Ensuring Safety, IMO Seminar on Development of a Regulatory Framework for MASS. (2022) (掲載済) ・・McHardy, C., Shiokari, M., et al.: Development of a Goal-based Instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) - Report of the Correspondence Group, IMO MSC 107/5. (2023) (掲載済)
受賞	4件 (1)	・「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰：村上睦尚,松井貞興,林原仁志,笛木隆太郎 ・日本航海学会奨励賞：河島園子（衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定） ・令和4年度理事長表彰（研究チーム表彰）：高見朋希,馬沖,小森山祐輔,陳曦,岡正義（船舶DXを指向した船体構造デジタルツインの開発に貢献した功績） ・令和4年度理事長表彰（論文個人表彰）：鈴木良介（Numerical simulation of 6-degrees-of-freedom motions for a manoeuvring ship in regular waves, Applied Ocean Research） （中長期目標期間中、日本航海学会賞は2件受賞）

8

主な評価軸に基づく分析（海上輸送の安全確保）
自己評価：A

コメントの色分け
赤：☆1　青：☆2　緑：☆3

◎**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。**
- NMRI-DLSAの社会実装により、社会ニーズに応じた新船の開発を促進するとともに日本の造船所の設計力の強化に貢献。
- 海運セクターにおけるGHG問題対応のための代替燃料の導入や水素社会の実現は、国際的な対応が求められている喫緊の課題であり、社会のニーズに合致。
- 荒天下操船運動評価法は、低速運航船で問題となる荒天下の操縦性能を合理的に評価可能としており、社会のニーズに合致。

◎**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。**
- 世界初の試みとして、GFRPサンドイッチパネル製の弾性模型船を設計・開発、グローバルとローカルのひずみ応答の比を実船相当で設計を行ったことは、新規性が大きい。
- 無人運航船の定量的リスクの推定を行うための手法を構築し、実際に推定を行ったことは、新規性が十分に大きい。
- 自由航走模型試験による低速時の実船の舵効き及び船速の再現手法は、海技研の独自技術であり、新規性が大きい。

◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
- 環境基準に対応した新形式船の開発のニーズに応じて、造船所及び船級協会と連携しDLSAの機能を強化し対応。
- 自動運航船や無人運航船は近年開発が急速に進められており、期待された時期に複数の成果を創出。

◎**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。**
- 波浪中のローカル応答の現象解明、数値シミュレーションの精度検証に必要なデータを取得し、国際競争力の向上に貢献。
- 国際的な取り決めとしてのMASSコードの策定作業に関与することで、国内業界の国際競争力の向上に貢献。
- 最低機関出力の最終ガイドラインに取って代わる評価手法は未だに他国から提案・確立されておらず、荒天下操船運動評価法を基として我が国が国際ルールの改定を主導する機会と成り得るため、国際競争力の向上につながる。

※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

9

研究テーマごとの自己評価（海上輸送の安全の確保）

重点番号	課題名	平均＊	評価＊
☆1	船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究	**3.0**	**A**
☆2	船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究	**2.9**	**A**
☆3	安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究	**2.8**	**A**

＊平均：研究計画委員（所長、研究統括監、特別研究主幹、系長）が評価軸に基づき、4、3、2、1、0（特に顕著な成果は4、顕著な成果は3、標準は2）の5段階で評価した点数の平均
評価：平均が3.5以上：S
平均が2.5以上3.5未満：A
平均が1.5以上2.5未満：B
平均が0.5以上1.5未満：C
平均が0.5未満：D

10

2. 海洋環境の保全

11

【中長期目標】

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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。

【中長期計画】

①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究開発

②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

【研究計画】

重点☆4

- ☐ 3 船舶から排出されるPM等の環境影響評価技術の高度化
- ☑ 4 次世代燃料の燃焼性評価手法の確立
- ☑ 5 GHG・環境影響物質削減のための計測・分析技術の確立
  - 1 排ガス規制対応のための計測・分析技術の高度化
  - 2 排ガス処理技術の高度化に関する研究
  - （R2年度より5 に統合）
  - 6 GHG・環境影響物質削減のための排ガス処理技術に関する研究（R4年度より5 に統合）

重点☆5

- ☐ 1 最適運航システムと実燃費評価技術の開発
- ☐ 2 実船データ解析法
- ☐ 3 新試運転実施・解析法
- ☐ 4 高実海域性能船舶の評価技術の高度化
- ☑ 5 実海域実船性能評価技術の開発
- ☐ 6 最適運航システムの開発
- ☐ 7 実機に忠実な推進プラントの数学モデルの研究開発
- ☐ 8 船舶推進プラントの波浪中応答計算法とシステム設計技術の開発
- ☐ 9 推進プラントの数学モデルを用いたスマート制御技術の開発
- ☐ 10 伴流設計技術
- ☐ 11 旋回流とプロペラとの干渉制御技術
- ☐ 12 空気潤滑の効率向上技術
- ☐ 13 表面創製による摩擦抵抗低減技術
- ☐ 14 伴流設計技術とプロペラの干渉制御技術に関する研究
- ☐ 15 EEDI Phase3対応のための革新的省エネ技術開発
- ☐ 16 水槽試験技術と船舶推進プラント数学モデルを活用した主機スマート制御システムの開発
- ☑ 17 主機デジタルツイン技術を用いた船舶主機状態監視システムの開発
- ☑ 18 伴流設計技術及び流場計測技術の高度化に関する研究
- ☑ 19 GHG削減のための革新的省エネ技術開発

☑は、R4年度に実施したもの
赤字は、R4年度成果としてご説明するもの

12

【中長期目標】

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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。

【中長期計画】

①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究開発

②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

【研究計画】

重点☆6
- ☐ 1 平水中での性能計算手法の高機能化・高速化
- ☑ 2 実プロペラモデルを用いたハイブリッド型省エネデバイスの性能計算手法の開発および二相流への拡張
- ☐ 3 実船馬力推定における風圧抵抗評価手法の確立およびガイドライン策定
- ☑ 4 付加物を含む波浪中での計算手法の確立
- ☑ 5 荒天下における大振幅動揺計算手法の開発
- ☐ 6 船体や省エネ付加物等の形状最適化システムの構築
- ☑ 7 ハイブリッドRANS/LES/LBM計算手法の新規開発

重点☆7
- ☐ 1 水素エンジン開発のための要素技術
- ☑ 3 水素エンジン等の安全性評価及び燃焼技術に関する研究
- ☑ 4 アンモニア燃料利用における未燃アンモニアと亜酸化窒素の排出低減方法の開発
- ☑ 5 多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価
- 2 船用燃料電池システムの開発（H31年度より5へ統合）

重点☆8
- ☐ 1 海難事故時における油回収・処理効率向上技術の開発
- ☐ 2 海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発
- ☑ 4 船舶に起因する大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術の高度化
- ☑ 5 防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発
- 3 船体付着生物の問題に関する研究（R3年度より5へ統合）
- ☑ 6 重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発【分野横断的研究課題】

☑は、R4年度に実施したもの
赤字は、R4年度成果としてご説明するもの

（2）海洋環境の保全

－①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究
－③船舶の更なるグリーン化等を実現するための、PM等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法の開発に関する研究

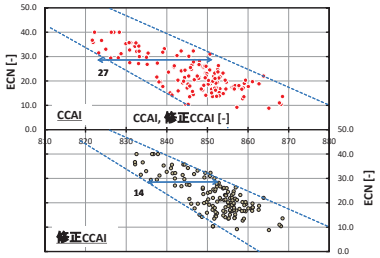
年度実績

- 次世代燃料の着火性評価手法の確立
- 次世代燃料燃焼時に問題となる排出物について、計測・分析技術を確立。触媒を用いたメタンスリップやN_2O削減のため、触媒反応に干渉する成分の同定や温度の影響を調査、削減率向上の条件を特定

船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

○液体燃料・ガス燃料の着火性評価手法

- ✓ 舶用燃料の着火性（着火性指標CN）を予測するため、規格着火性指標CCAIを実燃料に即したものに改良。
  具体的には、容易に入手可能な燃料油物性である密度・動粘度から改良CCAI値を求めることが可能な関係式を構築。
- ✓ ガス燃料の耐ノック性指標と着火遅れの相関を向上するような補正係数をガス燃料の成分ごとに算出することに成功。

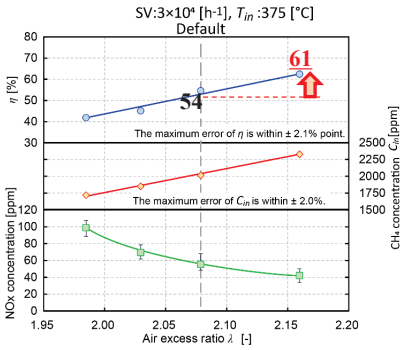


舶用燃料の着火性指標（CCAI）の修正値と実測された着火性（ECN）の関係

ECN: Estimated Cetane Number
CCAI : Calculated Carbon Aromaticity Index

○アンモニア混焼時の排ガス計測およびメタン酸化触媒を用いた排ガス後処理技術

- ✓ 発熱量換算で70%のアンモニア混焼時、PMの排出量は未混焼時より減少。PM成分分析により、その主要因は、混焼による元素状炭素排出量の減少であることを解明。
- ✓ ガスエンジンの空気過剰率調整により、メタン削減率改善（下図η増加）を確認。エンジン運転条件の調整による、触媒のメタン低減性能の改善を実証。



空気過剰率を変化させた場合の実ガスエンジン排気中のメタンスリップ低減性能

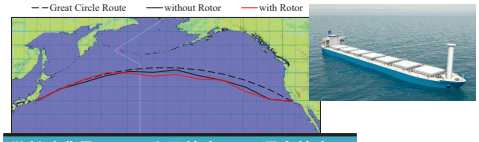
（2）海洋環境の保全　-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

年度実績
- 実海域実船性能評価技術及びGHG削減のための革新的省エネ技術を開発
- 伴流設計技術及び流場計測技術の高度化

実海域実船性能評価に関する研究（重点研究☆5）

○GHG排出削減規制への対応

✓ 実海域性能推定技術をウェザールーティングに適用することで、風力推進の効果、気候変動による影響等、実海域性能を考慮した実運航性能の事前評価を可能とした。



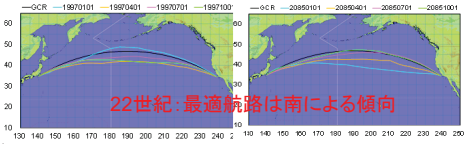
バルクキャリア
全長217m
ロータ高さ24m
直径4m

燃料消費量	大圏航路	選定航路	
ローター無し	319.2ton	295.9ton	省エネ効果 約20%
ローター船	299.4ton	251.9ton	
省エネ効果	6.2%	14.9%	

風力推進（ローター船）による運航効率評価

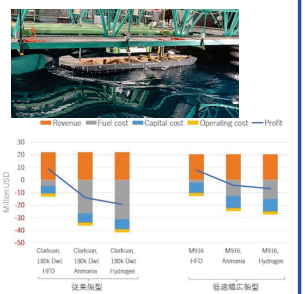
ウェザールーティングと組合せることで省エネ効果が向上（ロータ稼働電力含）

気候変動による運航の影響評価



（GCR:大圏航路）　現在気候　将来気候（波高約0.9m増加）

✓ ゼロエミッションコンセプト船（低速幅広肥大船）を開発。基本性能（平水中馬力・実海域性能、操縦性能、キャビテーション性能）を明らかにするとともに長期の経済性を評価。高価な代替燃料使用時に従来船型に対する優位性が高まることを示した。



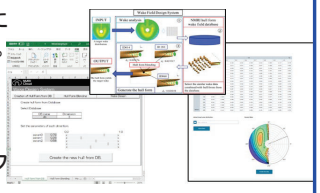
経済性評価結果
（2030年時点の利益と費用構成）

○伴流設計システム

✓ 船型・流場データベースを内航タンカー、外航コンテナ、PCC等を含む多様性のある1万船型程度のデータベースにCNN法を使ってアップデート。

CNN: Convolutional Neural Network

✓ 伴流設計システム（社内データ用：Excel版）を造船所が導入、今後設計で利用。Webアプリ版を開発し、海技研クラウド上で利用可能に。



伴流設計システム
（Excel版・Web版）

◎海事クラスター共同研究実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクトでは24社とフェーズ2事業を展開

（2）海洋環境の保全　-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

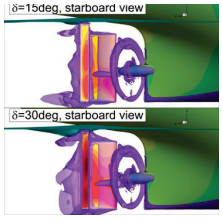
年度実績
- 実船スケールでの波浪中自由航走計算手法の開発及び重合格子手法の改良
- 海難事故事例に基づく複数区画浸水状態での波浪中運動と船体構造強度のシミュレーション

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（重点研究☆6）

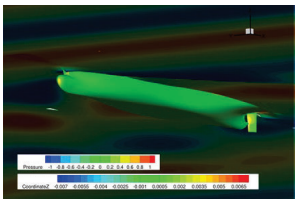
○付加物を含む波浪中での計算手法

✓ 実船スケール（KVLCC船，船長320m）における波浪中での航走計算手法を開発。

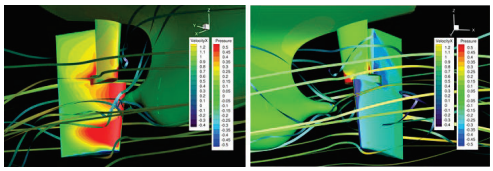
✓ ラダーホーンを有する舵について重合格子を生成する手法を開発するとともに、フラップ舵の舵角付き操縦運動シミュレーション手法を模型試験結果と比較することで検証を実施。



フラップ舵付きでの操縦運動シミュレーション



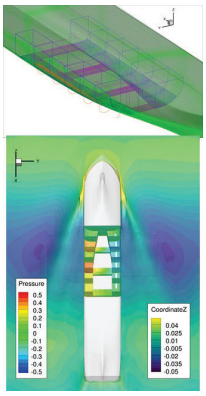
波浪中の自由航走旋回シミュレーション（波高5m，波長/船長比1.0）



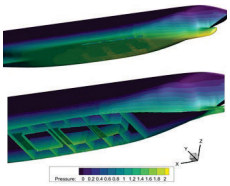
ラダーホーン付き舵回り計算（自航）例

○荒天下における大振幅動揺計算手法

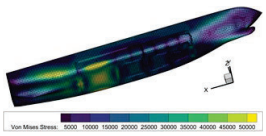
✓ 海難事故事例から状態を設定し、海難事故の解析にも資する計算手法として、荒天時（波高3m，波周期10s）における区画損傷時船舶（内航フェリー，船長170m）の船体運動及び船体構造強度のシミュレーション（流体構造連成）が可能な計算手法を確立。



複数区画浸水状態の重合格子・区画内圧力分布



波浪荷重



von Mises応力分布

複数区画浸水状態の波浪荷重・von Mises応力分布

◎CFD関連ソフトは26社に販売・利用実績有り（R4年度は4社増）

（2）海洋環境の保全　-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

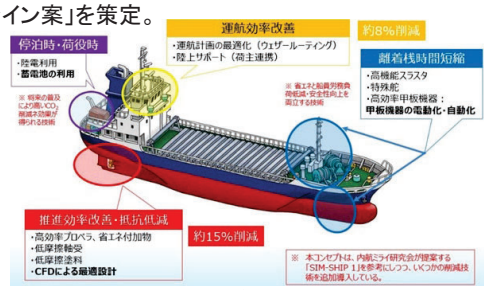
年度実績

- 内航船・外航船におけるGHG削減対策への貢献による国・業界との連携及び「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン案」を策定
- アンモニア燃料利用における未燃アンモニアと亜酸化窒素の排出低減方法の開発

多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究（重点研究☆7）

○内航船舶の省エネ化、GHG削減対策実現のための実用技術適用の支援

- ✓ 2021年度に国土交通省が提案した、省エネ機器の組み合わせや船主との連携によるGHG削減を目指す“連携型省エネ船”について、国土交通省や内航海運関係者らと共同で、詳細なコンセプトを検討・立案。
- ✓ （一社）内航ミライ研究会らによる、運航・荷役・離着桟・停泊時の省エネ化を目指した499GT内航貨物船の建造支援（特に着桟システム開発に従事）。
- ✓ 国土交通省のバイオ燃料実証試験を補助するとともに、その成果を基に「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン案」を策定。

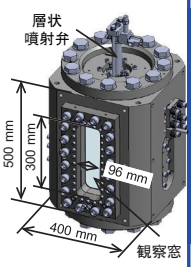


連携型省エネ船のコンセプト例（2022年度国交省事業）

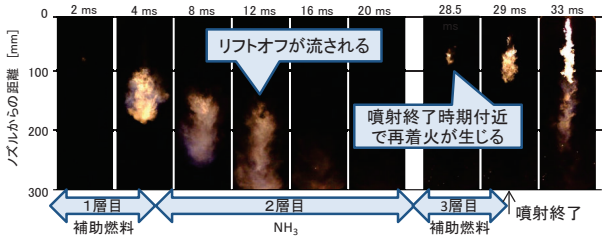
◎検討結果を踏まえた船舶の建造完了

○舶用大型エンジンのアンモニア層状噴射燃焼技術開発（グリーンイノベーション基金、民間共同研究関連）

- ✓ 大型燃焼試験装置を用いて、NH_3層状噴霧燃焼の可視化実験を実施。
- ✓ 高速度撮影から、火炎のリフトオフが流される現象や噴射終了時期付近での再着火などの、従来燃料では確認されない特徴的な燃焼プロセスを初めて解明。
- ✓ 噴霧発達過程の把握から噴射弁の設計・配置検討に今後貢献可能。また、CFDに活用可能なデータを取得。



大型燃焼試験装置



NH_3層状噴射燃焼の可視化画像

（2）海洋環境の保全　-③船舶の更なるグリーン化等を実現するための、PM等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法の開発に関する研究

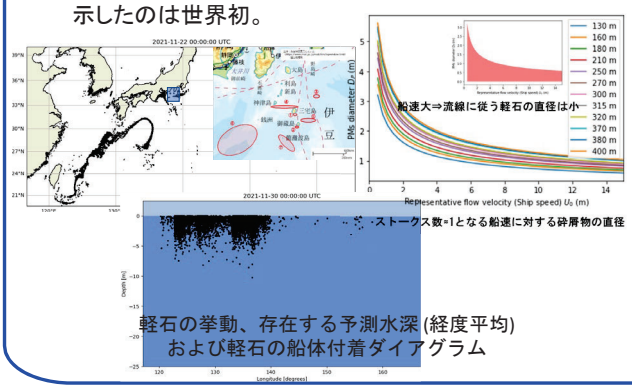
年度実績

- 船舶に起因する大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術の高度化
- 防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発

船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究（重点研究☆8）

○海底火山噴火により放出された軽石の海洋環境における分布予測および航行中船舶周辺における挙動評価

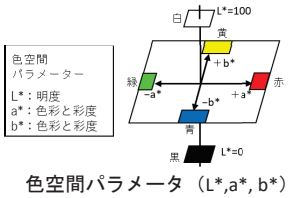
- ✓ 簡易モデルを用いた海底火山噴火により放出された軽石の海洋環境における分布予測および航行中船舶周辺における挙動評価手法を提案。海洋における軽石の挙動、特に船舶海水取込口閉塞防止の観点から、今後類似の事象が発生した際の対応策検討に資することが可能。
- ✓ 終端速度に着目した軽石のモデル、および軽石の船体周りでの挙動に関して端的なダイアグラムとして提示したのは世界初。



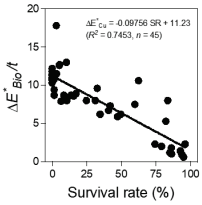
軽石の挙動、存在する予測水深（経度平均）および軽石の船体付着ダイアグラム

○汚損生物（藻類）を対象とした分光技術の構築

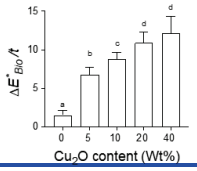
- ✓ 船底防汚塗料（亜酸化銅含有）と褐藻細胞生存率の関係について調査。簡易評価指標として色空間パラメータを適用するための基礎実験を実施。
- ✓ 藻類の供試条件について、付着基盤の藻類の固定期間と色空間パラメータの色差（ΔE*）を調べ、閾値を決定。
- ✓ 生物試験の結果から、亜酸化銅配合量と色空間各パラメータおよびΔE*値について顕著な有意差を示し、試験の再現性および妥当性を確認。



色空間パラメータ　(L*,a*, b*)



褐藻細胞生存率と色空間パラメータΔE*値の関係



亜酸化銅配合量と色空間パラメータの色差ΔE*値の関係

成果の公表（海洋環境の保全）

件数のカッコ内の数字は、R3年度の実績

項目	件数	本分野に従事する人数：31名
査読論文	34編 (34)	・ ジャーナル23編（うち13編投稿中、3編採択済、7編掲載済） 投稿先の例：Progress in Energy and Combustion Science、 Applied Ocean Research、 Marine Pollution Bulletin Journal of Marine Science and Technology 等 ・ プロシーディング10編（うち2編投稿中、6編採択済、2編掲載済） ・ 海技研報告（研究報告）1編（うち0編投稿中、0編採択済、1編掲載済）
特許申請	4件 (6)	・ 船舶推進システムの性能劣化モニタリング方法、性能劣化モニタリングプログラム、及び性能劣化モニタリングシステム（出願日2022/10/28） ・ 多視点型ラインセンシング法による3次元計測装置（出願日2022/7/6） ・ 画像処理を用いたキャビテーション発生の定量的評価装置（出願日2023/3/29） ・ エンジンにおけるアンモニア混焼方法、アンモニア混焼エンジン、及びアンモニア混焼エンジンを搭載した船舶（出願日2022/9/28）
プログラム登録	6件 (10)	・ 実船性能高速シミュレーションライブラリモジュール V2版 ・ SALVIA-OCT-app V2版 ・ HOPE Light V6 ・ 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） Ver4.0 ・ 複雑形状物体まわり流場計算のための重合格子処理プログラム（UP_GRID）Ver2.1R5 ・ CFDポスト解析システム Ver.2.0
受賞	4件 (0)	・ 日本船舶海洋工学会奨励賞（乾賞）：拾井隆道（ダブル光ファイバープローブを用いた気泡による乱流摩擦抵抗変化に関する研究） ・ フレッシュマン講演奨励賞：金子杏実（平水区域の波と風の統計的性質－日本海・三陸海岸－） ・ 日本船舶海洋工学会シップ・オブ・ザ・イヤー2021部門賞、水素混焼エンジン船「ハイドロびんご（Hydro BINGO）」 ・ 日本マリンエンジニアリング学会学術講演会優秀講演賞：馬驍（小型舶用ジェット式スクラバの噴霧液滴可視化計測と解析モデル） （中長期目標期間中、日本船舶海洋工学会賞は8件受賞、日本マリンエンジニアリング学会賞は4件受賞）

19

成果の公表（海洋環境の保全）

件数のカッコ内の数字は、R3年度の実績

項目	件数	
国際貢献	21件 (10)	・ ISO 23668:2022 Ships and marine technology —Marine environment protection —Continuous on-board pH monitoring method、2022年11月8日発行 ・ PPR 10/INF.22 (2022) Update on the international Technical Working Group on the Development of a Standardized Sampling, Conditioning and Measurement Protocol for Black Carbon Emissions from Marine Engines ・ TOR8 - Derive a modified procedure for full scale trial of wind propulsion ships -(ITTC/wind), 2022 ・ Suggested Decision-making process（ISO WG17） ・ Validation of NMRI method for Wave Correction（ITTC FSSPC） ・ Progress of ToR 3E（ITTC FSSP） ・ Progress of ToR 5C（ITTC FSSPC） ・ Some conclusions required to be reconsidered in the current comment list（ISO WG17 N123） ・ Validation for NMRI method（ITTC FSSPC） ・ Current Status Report for TOR8（30th ITTC Specialist Committee on Ice 4th Meeting） ・ Comments on the concept to manage the underwater radiated noise level of each ship proposed by the Correspondence Group on review of the Guidelines for the Reduction of Underwater Noise (MEPC.1/Circ.833) (SDC 9/5/4) ・ Comments on the next steps proposed by the Correspondence Group on review of the Guidelines for the Reduction of Underwater Noise（MEPC.1/Circ.833）（SDC 9/5/5） ・ Report on underwater sound measurements in Japan and discussion on estimating source levels of underwater radiated noise from a ship（SDC 9/INF.10） ・ Study on comparison of operational and design approaches based on the relationship between Underwater Radiated Noise (URN) reduction measures and GHG emission（SDC 9/INF.11） ・ アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの策定 ・ MSC104（2022年10月）における提案文書案の作成（MSC104/15/10、MSC104/15/30 2件） ・ CGコーディネータとしてCGレポートをとりまとめ、提案文書作成。CCC8（2022年9月）にて審議（CCC 8/13,、CCC 8/INF.10 2件） ・ 国際連携センターにおいて、上記内容を取りまとめ、海事局との共催で「アンモニア燃料船の国際WS」を開催、2022年10月 ・ 水素燃料船の国際安全ガイドラインの策定 ・ CGの国内意見をとりまとめ、CCC8における審議に貢献 ・ R. Kojima: Ships and marine technology — Bioassay methods for screening anti-fouling paints —Part 4: Algae ISO（as NWIP of ISO 21716）.

20

主な評価軸に基づく分析（海洋環境の保全）
自己評価：A

コメントの色分け
赤：☆4　青：☆5　緑：☆6
黒：☆7　オレンジ：☆8

◎**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。**
- GHG削減のための次世代燃料に対応した排出物の計測・分析方法及び削減技術の構築は、環境負荷低減に貢献。
- 主機デジタルツイン技術や主機劣化予測技術は、国際的にも有意な技術であり、我が国の海事産業の競争力強化に貢献。
- 国交省の内航カーボンニュートラル推進方針の策定等、社会的価値の創出に貢献。

◎**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。**
- 舶用液体燃料の炭化水素推定モデルの構築は、多種多様な炭化水素の混合物である舶用燃料をモデル化し、燃料ごとの着火性の推定ができる点で発展性が大きい。
- 動的重合格子手法による波浪中での実船の自由航走状態及び35度旋回を実現する計算手法の開発は、発展性が大きい。
- 水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの研究は、燃焼メカニズムの解明、環境負荷物質の低減技術、安全確保のための技術開発の面で、新規性及び発展性が大きい。
- 流出油漂流予測システムは、油分布予測シミュレーションを実施し漂着位置等の変化を評価した点において、新規性が大きい。

◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
- ウェザールーティングサービスにつながる成果の展開に取り組み、期待された時期に成果を創出。
- 関連するプログラムの登録及びオンラインセミナーによる手法の普及を図ることで、適切な時期に成果を創出。
- 軽石モデルシミュレーションは、比較的早い段階でモデル構築及び計算に取り組み、適切な時期に成果を創出。

◎**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。**
- 燃料組成と排出物（BC等）の相関データ、GHG削減技術の科学的データは、IMOなど国際的な場の議論に活用され意義がある。
- 実海域性能推定法に関しては、IMO/MEPC、ITTC、ISO等の議論をリードすることで、国際競争力の向上に貢献。

◎**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。**
- AI機関長システムは自律運航船の普及時期と合わせた成果創出を進めることで、先見性と機動性を持った対応。
- 格子ボルツマン法に基づくハイブリッド計算手法開発の継続及び高レイノルズ数に対応するための基礎検証は、次期中期を視野に入れた先見性を持った対応。
- 水素やアンモニア利用技術の本格的な実用化は2020年代後半以降になると考えられるものの、萌芽的技術として、先見性と機動性を持って対応。

※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

21

研究テーマごとの自己評価（海洋環境の保全）

重点番号	課題名	平均	評価
☆4	船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究	**2.6**	**A**
☆5	実海域実船性能評価に関する研究	**3.3**	**A**
☆6	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	**2.5**	**A**
☆7	多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究	**3.0**	**A**
☆8	船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究	**2.7**	**A**

22

3. 海洋の開発

23

【中長期目標】

海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。

【中長期計画】

①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発

②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

【研究計画】

重点☆9

☑ 1 海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究
3 海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究（一部、R2年度より1へ統合）
☑ 2 海洋エネルギー・鉱物資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究
3 海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究（一部、R2年度より1へ統合）
☑ 4 浮体式洋上風力発電のデジタルツイン技術の構築および保守点検技術の高度化【分野横断的研究課題】

重点☆10

☐ 1 小型AUVの高度運用システム研究開発
☐ 2 AUV要素技術の研究開発及び支援
☐ 3 複数AUVの同時運用システムの研究開発
☐ 4 AUV研究開発成果の社会実装・民間活用・規格化
☑ 5 大深度での複数AUV隊列制御技術の研究開発
☑ 6 航行型AUV最適誘導制御法および高度推定フィルターの研究開発
☑ 7 複数AUVの活用方策に関する研究開発

☑は、R4年度に実施したもの
赤字は、R4年度成果としてご説明するもの

24

（3）海洋の開発

－①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
－②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

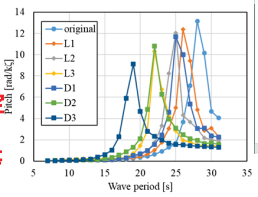
年度実績

- 浮体式洋上風力発電への対応 として、浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減、プロジェクト認証支援で、ナショナルプロジェクト、業界への技術的貢献
- 海底熱水鉱床開発への対応 として、採鉱・揚鉱時における採鉱母船等の安全性・稼働性評価、全体システムの稼働性評価・計画支援でナショナルプロジェクト、業界への技術的貢献

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減、プロジェクト認証支援技術

- ✓ ブレードピッチ制御と浮体応答、浮体寸法との関係を数値計算により定量的に評価。建造コストについても浮体寸法との関係を明らかにした。
- ✓ カタマラン船型のCTVを対象に、風車タワーに接舷した状態での波浪中動揺評価を可能とする数値計算プログラムを開発。 CTV: Crew Transfer Vessel
- ✓ デジタルツイン技術の構築に向け、浮体挙動から遭遇海象を推定する手法を構築。
- ✓ セミサブ型浮体とセミトート係留（鉛直方向の把駐力無しで索の伸縮を利用）を対象として、合成繊維索係留の仕様算出プログラムを完成。
- ✓ 浮体式風力発電施設の損傷時復原性規定をIECに提案し承認され、規定内に取り込まれる（IEC61400-3-2 Annex S）。



セミサブ型浮体のパラメータを変更した際の縦揺れ波浪中応答特性（L：ロワーハル長さの変更、D: コラム直径の変更）

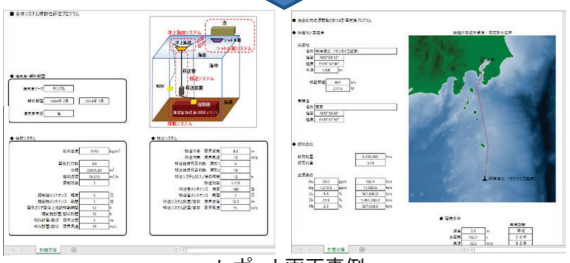
◎論文化もされた損傷時復原性確保の判定手順がIEC規定に
◎外部で熱水鉱床稼働性評価プログラム等利用の実績

○全体システムの稼働性評価・計画支援技術

- ✓ 海底熱水鉱床開発を対象とした経済性を評価可能な計画支援プログラムと海底での採鉱から陸上での荷役までの鉱物量をシームレスに評価できる稼働性評価プログラムを統合し、両プログラムの相互互換を可能とした。
- ✓ 各プログラムを用いた計算結果は、海底資源開発の国家プロジェクトや初期検討を行っている外部機関で活用。



開発支援プログラム トップメニュー



レポート画面事例
（左：稼働性評価プログラム、右：計画支援プログラム）

（3）海洋の開発 －③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

年度実績

- AUV技術の社会実装（貢献）のために、ナショナルプロジェクト（内閣府SIP第2期）に参画し基本隊列制御システムの完成と深海域での実証に成功及びAUV-ASV連結システムの外部企業と連携で運用実証を実施

AUV: Autonomous Underwater Vehicle, ASV: Autonomous Surface Vehicle

海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究（重点研究☆10）

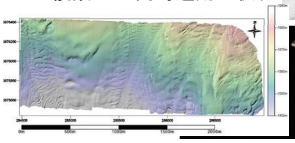
○基本隊列制御システム

- ✓ 1機ASVが10機AUVを統括し制御可能なシステムを構築。
- ✓ 実海域実証試験を6月、9月に実施。9月の実証試験においては、深度1,300mの深海域でのASVと複数AUV（4機）同時運用を成功させた。
- ✓ 本実証試験により、単体での海底探査と比較し、4倍以上の効率化を確認。

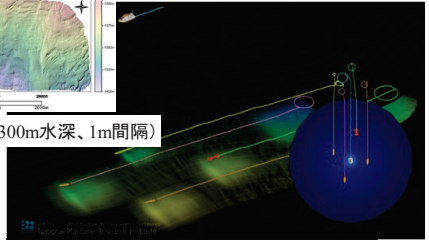




複数AUV同時運用の状況



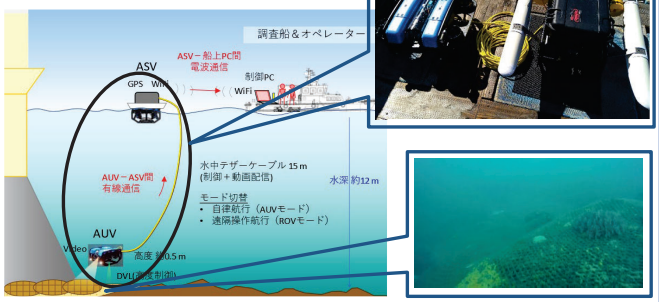
取得海底地形図（1300m水深、1m間隔）



基本隊列制御システムによる航跡

○AUV-ASV連結システム

- ✓ AUV収録データを即時把握できる自律システムをR3年度に開発。ベンチャー企業H社での受注生産体制を整備。システムのソフト・ハードを改良。
- ✓ R4年度、国交省公募「海の次世代モビリティ実証事業」に応募し、採択される。11月に銚子沖洋上風力発電設備で実証試験を実施・成功。



AUV-ASV連結システム

◎AUV複数機同時運用システムの民間活用実施
◎AUV-ASV連結システムの販売促進開始

成果の公表（海洋の開発）

件数のカッコ内の数字は、R3年度の実績

項目	件数	本分野に従事する人数：14名
査読論文	30編 (28)	・ ジャーナル17編（うち11編投稿中、3編採択済、3編掲載済） 投稿先の例：Ocean Engineering、 Journal of Fluids and Structures 等 ・ プロシーディング13編（うち0編投稿中、12編採択済、1編掲載済）
特許申請	4件 (5)	・ 鉱石移送方法（出願日2022/10/6） ・ 水面上漂流物の遮蔽及び回収方法、並びにそれに用いる遮蔽及び回収装置（出願日2022/10/4） ・ 拡張AUV-ASV連結システム（出願日2023/2/21） ・ ハフ変換を用いたAUVの位置誤差検出システム、プログラム、及び方法（出願日2023/3/10）
プログラム登録	4件 (3)	・ LSTMを用いた係留ライン張力推定プログラム ・ AUVプログラム用Pythonパッケージ ・ 隊列制御プログラム ・ 複数機AUV潜航情報表示プログラム
国際貢献	1件 (7)	・ “Wind energy generation systems – Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines, Annex: Application of Damage Stability Criteria”IEC61400-3-2
受賞	7件 (3)	・ 日本船舶海洋工学会賞（論文賞，副賞日本造船工業会賞）：大坪和久，長谷川賢太（クレーン作業中の吊荷と多目的作業船の波浪中連成運動評価，同 第2報 吊荷が着水した直後での波浪中連成運動解析） ・ 日本船舶海洋工学会賞（論文賞，副賞日本海事協会賞）：谷口友基，藤原敏文，梅田隼，他（並進動揺型波力発電装置を対象とした実時間最適制御法の水槽模型試験による検証） ・ ORAL PRESENTATION AWARD, Grand Renewable Energy 2022 International Conference：谷口友基 ・ 理事長表彰（グループ表彰）：海洋システム研究グループ（海洋構造物試験水槽の維持管理および機能向上に貢献した功績） ・ 日本マリンエンジニアリング学会（ロイドレジスター電気電子工学賞） ・ 理事長表彰（研究チーム表彰）：複数AUV隊列制御実証チーム（複数AUVの隊列制御システムの構築とその有効性を実海域で実証した功績） ・ 日本航海学会賞（英文論文誌の論文賞） （中長期目標期間中、日本船舶海洋工学会賞は5件受賞、日本マリンエンジニアリング学会賞は3件受賞（R3-4年度：2年連続））

27

主な評価軸に基づく分析（海洋の開発）
自己評価：A

コメントの色分け
赤：☆9 青：☆10

◎**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。**
- 海中構造物の保守点検に関するAUVの活用を先進的に進める等、開発技術の社会貢献。
- 航行型AUV3号機、4号機が独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の調査航海で利用され、広範囲な海底地形観測を実施。

◎**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。**
- 係留安全性や作業船オペレーションの評価技術に係る研究は、従来の石油・天然ガス開発分野や、海洋鉱物資源開発、再生可能エネルギー開発等に共通するものであり、発展性及び一般性は十分に大きい。
- 海底熱水鉱床開発は、他の海洋鉱物資源開発にも転用可能な技術を扱っており、発展性及び一般性は十分に大きい。
- 新形式慣性航法装置補正法の提案として、画像処理の図形検出アルゴリズムとして知られるハフ変換により円軌道を描くAUVの位置誤差検出・補正を高精度化する手法を開発したことの発展性は十分に大きい。

◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
- コバルトリッチクラスト開発は、海洋基本計画に基づいて規定されている開発計画を踏まえ前倒しに研究を進めている。
- 社会的価値創出に向けて、SIP第2期事業の複数機AUVの高度運用技術開発、AUV-AUV通信・測位制御システムの創出、風力発電施設の基部点検作業を可能とする新規AUVを試行、検討を実施。

◎**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。**
- IECやISO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可能となる成果を創出。
- 揚鉱管・移送管内スラリー評価技術は我が国がリードしており、高い国際競争力を有する。ノルウェーやブラジルの研究者との交流を進めている。
- SIP第2期事業では、開発した隊列制御システムが、今後、広範な海底鉱物資源等探査を行う場合に非常に有用な技術であることを実海域試験を通じて示した。

◎**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。**
- 地形照合自機位置推定TERCOMの手法改善、AUV-ASV連結システムの改良といった先見的・発展的内容に関して成果を着実に創出。

※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

28

研究テーマごとの自己評価（海洋の開発）

重点番号	課題名	平均	評価
☆9	海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究	**3.1**	**A**
☆10	海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究	**3.1**	**A**

29

4. 海上輸送を支える基盤的な技術開発

30

【中長期目標】

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、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、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。

【中長期計画】

①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発

②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

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

【研究計画】

重点☆11
- ☐ 1 建造モニタリングシステムとモニタリング情報の高度解析技術の開発
- ☐ 2 造船用ロボットの開発
- ☐ 3 未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発
- ☑ 4 防振部材への火気を伴わない接合方法の利用に関する研究
- ☐ 5 騒音予測プログラムの改良
- ☐ 6 騒音・振動及び生産設計にかかわる知的設計システムの構築
- ☑ 8 造船の協業体制に向けた研究
  7 インテリジェントCADシステムに関する研究（R2年度より8へ統合）
- ☑ 9 生産計画におけるモデルベース開発に向けた研究

重点☆12
- ☑ 1 自動運航システムの研究
- ☐ 2 立体視による他船検出システムの研究
- ☐ 3 自動運航船の安全基準の研究
- ☐ 4 陸上からの自動運航船のバックアップの研究
- ☐ 5 自動離着桟操船システムの研究
- ☑ 6 総合シミュレーションシステムの開発と検証技術の研究
- ☐ 7 自動離着桟及び遠隔操船の実用技術の研究

重点☆13
- ☐ 1 複合一貫輸送効率評価システムと評価指標の開発
- ☐ 2 AIS情報等による海上貨物流動の把握と造船需要予測に関する研究
- ☐ 3 船隊運航管理システムの高度化
- ☑ 4 AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
- ☑ 5 AI等を用いた国際海運・造船予測の研究

☑は、R4年度に実施したもの
赤字は、R4年度成果としてご説明するもの

31

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 -①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術開発に関する研究

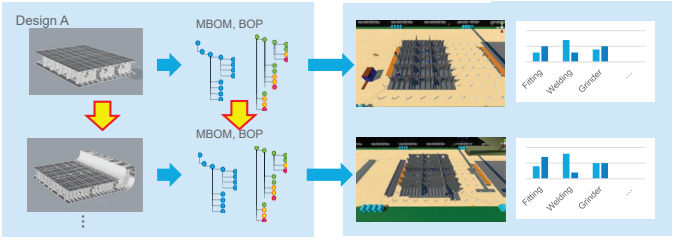
年度実績

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

造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究（重点研究☆11）

○データ標準化及び造船用統合データプラットフォーム

- ✓ 既存CADシステムのパラメトリック設計機能及びルールベース設計機能を活用することで、新船のモデルを高速かつ低工数で設計できることを確認するとともに、それら機能の活用を想定した設計プロセスを整理。
- ✓ BOM/BOP データ生成について、類似部品のBOM/BOP データを自動生成する機能を開発。
- ✓ 代替燃料対応による機関室内燃料タンク拡張の設計変更（流用設計）を想定し、設計プロセスの一連のデモを作成。

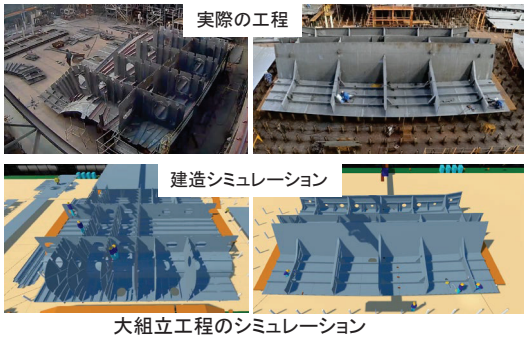


流用設計による高速設計、データ生成のイメージ

PLM: Product Lifecycle Management, BOM: Bill Of Material, BOP: Bill Of Process

○造船作業工程のデジタル化

- ✓ 建造工程の仮想空間上での詳細な再現を可能とする建造シミュレーション技術を、大組立工程に適用できるように拡張（人員の挙動も再現）。
- ✓ 造船所2社において、実際のデータに基づいてシミュレーションを実行し、データフローを検証。
- ✓ 仮想ブロックを対象に、設計段階における製造工数評価の評価に関する概念検証を実施。



大組立工程のシミュレーション

◎実造船所の大組立工程までのシミュレーション構築、設計作業効率化の実証

32

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 -②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

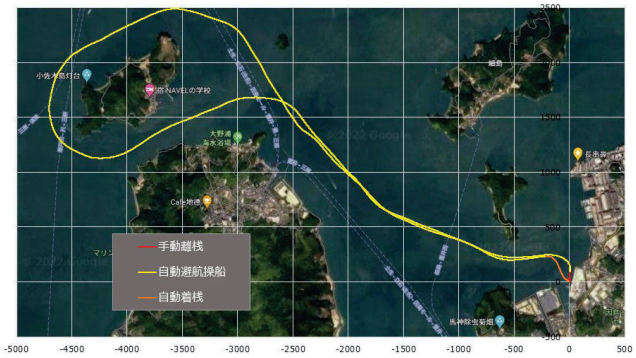
年度実績

- 離桟から着桟まで一連で動作する自動運航システムや遠隔操船技術の開発
- 自動避航システムの安全評価に必要となる交通流シナリオ（避航シナリオ）の開発

ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究（重点☆12）

○自動運航システムの研究

- ✓ 小型実験船「神峰」（総トン数17ton,全長15m）による検証試験を通じて、自動避航操船と自動着桟を連続して行う自動運航システムの開発を実施。
- ✓ 本自動運航システムを用いた遠隔操船の検証試験（三鷹ー因島）を実施し、容易な操作で遠隔操船が可能なことを確認。

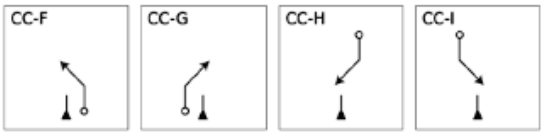


自動運航システムの試験結果

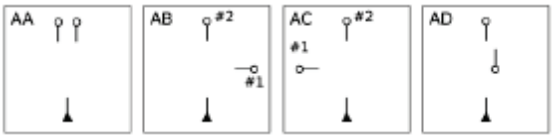
◎実船による自動運航システム実証試験が成功

○総合シミュレーションシステムの開発と検証

- ✓ （公財）日本財団助成事業「MEGURI2040に係る安全性評価事業」の一環として、避航操船アルゴリズム評価手法を検討し、COLREGsのRule13-17を網羅する1対1及び、1対2の基本テストシナリオ群の設計方針を提示（1対1シナリオ：17個、1対2シナリオ：67個）



1対1船（変針あり）避航シナリオの例



1対2船避航シナリオの例

（▲：自船（自動運航）、〇：相手船、｜：進路）

COLREGs: Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 -③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

年度実績

- 南海トラフ地震での被災を想定した国、県、市、事業者連携で物資輸送の実動演習を実施。継続的な訓練・演習の重要性を関係者で理解
- 海運ゼロエミッション化に貢献するために、国際海運ゼロエミッション化に向けた代替燃料導入シミュレータを開発

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（重点研究☆13）

○緊急支援物資輸送システムの開発

- ✓ 南海トラフ地震により、高知県が被災したという想定のもと、岡山県から高知県へ向け支援物資を輸送。システムにより、関係者間の情報共有、車両、船の動態管理を実施。疑似量子コンピュータも利用しながらアルゴリズムを開発。
- ✓ 開発したシステムは、国交省、岡山県、高知県、宿毛市、物流事業者等が合同で参加したオンラインワークショップ、実動演習において活用。
- ✓ 国土強靱化対策として、継続的な訓練・演習の重要性を確認。

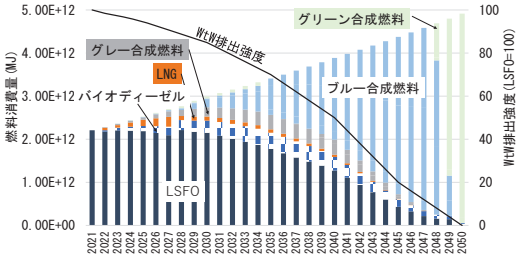


高知県宿毛市における システムを活用した実動演習の様子

◎被災想定自治体の活用に目処

○国際海運ゼロエミッション化に向けた代替燃料導入シミュレータの開発

- ✓ 将来の代替燃料及び代替燃料船の需要、規制の影響・効果等を定量的に議論するツールの開発。
- ✓ 建造需要と代替燃料選択に関する意思決定モデルによって、規制や燃料コストなどのシナリオに対応する将来見通しを定量化。適切な規制案の作成や規制に対する対応を支援。
- ✓ シミュレーション結果は、IMOにおける燃料規制案（GHG Fuel Standard(GFS)）の議論等への対応に活用。



代替燃料船導入シミュレーション（出力イメージ）
（GFS規制案から想定される将来の利用燃料構成）

成果の公表（海上輸送を支える基盤的な技術開発）

件数のカッコ内の数字は、R3年度の実績

項目	件数	本分野に従事する人数：17名
査読論文	17編 (10)	・ ジャーナル10編（うち5編投稿中、2編採択済、3編掲載済） 投稿先の例：Journal of Marine Science and Technology　等 ・ プロシーディングス7編（うち2編投稿中、0編採択済、5編掲載済）
特許申請	2件 (4)	・ 自動係船方法、及び自動係船システム（出願日2023/3/31） ・ コンテナ船の需要予測方法，需要予測プログラム，及び需要予測システム（出願日2023/3/29）
プログラム登録	3件 (2)	・ ミッションファンクション制御則を用いた船舶の着桟制御 ・ 自動着桟制御プログラム ・ 災害時の配送計画立案支援プログラム
国際貢献	6件 (0)	・IMOの審議対応（ISWG-GHG12, ISWG-GHG13, MEPC79, ISWG-GHG14）：4件 ・IMO提案文書（ISWG-GHG 13/4/6）にデータ分析結果提供 ・国際機関の要請に対応し，AI技術等を利用した海運市場の分析・予測に関する基礎研修を海外機関向けに実施
受賞	1件 (1)	・ MTEC/ICMASS2022　Best Paper Award（Maritime Safety）：Minami,M.（Development of the Comprehensive Simulation System for AutonomousShips）

35

主な評価軸に基づく分析（海上輸送を支える基盤的な技術開発）自己評価：A

コメントの色分け
赤：☆11　青：☆12　緑：☆13

◎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。
- 建造シミュレータ開発は、国が定めた方針や国内造船所のニーズに基づいて実施し、特に国際競争力強化においては、コスト・品質等の改善や、新燃料対応船や自律運航船等の新設計船に対する建造面での正確な評価に関し貢献。
- 日本財団のMEGURI2040プロジェクトに参画し、第三者機関として安全性評価を担当し貢献。
- AI技術等を利用した海運市場の分析・予測に関する研究では、その基礎技術に関する研修を海外機関向けに実施し、国や社会のニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献。

◎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。
- 構造接着単独接合の実用化は非常に限られているため、当該分野の他の既存研究に対して新規性が大きい。
- 高速シミュレーションが可能なFTSSと操船シミュレータを組み合わせることで網羅性を持ちつつ安全評価の効率化を図る手法は新規性が大きい。
- コンテナ船需要予測モデルは、海上荷動き量・造船の特性等を考慮した詳細なモデルであり、世界的に見ても前例がないことから新規性が大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。
- 国を挙げた自動運航船の開発の取組は、船陸間の通信システム、自動着桟・係船システム、機関監視システム並びに自動化システムの安全性評価や認証等に係る成果を期待された時期に創出。
- 造船用PLMシステム及びデータの標準化は、国内造船所で導入実績がない一方で国内の関心が高く、国内の研究開発をリードする形で期待されている時期に成果を創出。

◎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。
- 近年研究が進められている自動運航船の開発に必要な技術開発を行い、我が国海運の国際競争力の向上に貢献。

◎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。
- AIを用いた国際海運・造船予測の研究はデータの加工技術を使用し、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。

※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

36

研究テーマごとの自己評価
（海上輸送を支える基盤的な技術開発）

重点番号	課題名	平均	評価
☆11	造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究	2.5	A
☆12	船舶のICT（情報通信技術）を利用した大陸間自律運航、モニタリングシステム等の支援技術に関する研究	2.9	A
☆13	AI等による輸送の効率化・最適化・予測等に関する研究	2.8	A

（参考）

海技研DLSAシステム

項 目	想定海象			計算条件			運動・荷重解析				構造解析			強度評価						作業時間
条件/計算法/評価法	通常	最悪	極限	規則	長波頂不規則	短波頂不規則	線形ストリップ	線形パネル	非線形ストリップ	CFD/粒子法	梁要素	線形	動的陽解法	疲労	亀裂進展	降伏	座屈	最終強度	残存強度	
DLSA-Basic ・周波数領域計算 ・疲労/降伏/座屈 ・船級承認、Notation取得	●	●		●	●	●	●	●	●			●		●	●	●	●			1週間以内
DLSA-Professional ・時間領域計算 ・最終強度 ・設計（事故調査）		●	●	●	●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●		2週間～
DLSA-AT (Advanced Technology) ・時間領域計算 ・最終/残存強度 ・事故調査、研究 ・流体構造連成			●	●	●					●			●					●	●	1か月～

「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「終了評価」

(1)海上輸送の安全の確保

令和４年度業務実績評価シート【終了評価】

【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	・全船直接荷重構造解析強度評価(DLSA)システムは，海技研の総合力を活かし，7 年間にわたってステップバイステップで積み上げた成果とも言え，高度な内容の社会実装により産業界に貢献していると言える。 ・安全性評価手法，安全規則の体系化に関する研究開発においても，近年の社会的要請である環境対応・脱炭素や自動運航等に関連した新たな分野で時宜を得た開発が行われている。 ・国や船級協会のガイドラインに織り込まれる成果を出すことで社会的価値の創出にも貢献している。 ---------- ・「新構造基準作成に資する体系化された全船直接荷重構造強度評価システムの開発」は海技研の知見をシステムに落とし込み，日本の造船業界が効率的な構造設計を実現可能とするツール開発を達成した研究であることから，社会ニーズへの適合性及び社会的価値が極めて高い内容であると評価できます．一方，更なる精度や評価内容拡張，ユーザインターフェース改善も期待されることから，次期も本件に関連する研究を継続，拡張していただきたい． ・その他の重点研究も政府施策や社会的要求の高い研究であったことに加え，学術面，技術面で期待される成果を生んでおり，海技研の高い研究能力を対外的に示すことができたと評価します． ・研究成果の社会実装に向けたシーズを適切に提供できたと判断できます． ---------- ・③各年度の目標設定が年度ごとの見直しを基盤にして適切な時期に、適切に設定され、さらに各年度にける業績を着実に積み上げられたことを高く評価します。 ---------- ・様々な評価システムの確立、新燃料対応では指針の提示、など社会的価値の創出および国際競争力の向上に繋がるものと判断する。 ・今後は、産み出したシステムなどの実メーカーでの適用実績例をより具体的にご紹介いただければありがたい。(利用状況など) ---------- ・全船直接荷重構造解析強度評価（DLSA）システムの開発、船体構造デジタルツインの開発、GHG 削減対策としての水素利用に向けた安全対策構築の研究、海難事故防止に向けた運航危険性評価法や走錨リスク判定システムの開発など計画されていた課題について十分な成果を上げており、評価できる。AI の活用は、時期を得ており、今後も船上モニタリングによって得られる膨大かつますます大きくなっていくデータを上手に分析、解析、活用されるよう期待する。水素運搬船に関しても IMO の基準作成につながっていくなどの成果に期待する。いずれの課題も海難事故防止の観点から重要な取り組みである。海難事故防止、海難事故解析については、海上技術安全研究所として取り組むべき課題であると考えられ、今後の成果にも期待する。 ---------- ・①DLSA の社会実装、ハルモニタリングシステムの開発、代替燃料や自動運航船のリスク評価ガイドラインへの貢献、荒天下での危険な横揺れや操縦運動の評価方法の開発などは、安全・安心の確保および海事産業の競争力強化に繋がるものと評価できる。 ・②無人運航船のリスク解析手法の構築は学術的にも重要であり、今後の研究の更なる発展に期待したい。				

	・③時代のニーズに応じて適切な時期に成果を創出したものと考えられる。 ・④MASS コードの策定への貢献や IMO の第二世代非損傷時復原性基準の暫定ガイドラインの策定への貢献などは、国際ルールの改正を主導するものであり、今後も国際競争力の向上に向けて尽力いただきたい。 ---------- ・重点研究 1 として実施された，DLSA の開発，船体構造モニタリングおよび船体構造デジタルツインシステムの開発は，船体構造の安全性と合理性を両立するための重要な技術であり，新規性・発展性に富み，今後の海事産業の競争力強化に必要不可欠な技術として高く評価する. ・また代替燃料のリスク評価，船舶交通流の制御，無人運航船の安全性評価，走錨リスクや荒天下や低速時の運動評価など，社会のニーズに合致する研究成果が適切な時期に得られている. ・社会的．科学的に価値がある顕著な成果が上がっており，国際的水準から見ても優れた成果と評価できることから A 評価とする. ---------- ・DLSA やデジタルツインに関する一連の研究では、造船所での利用やガイドラインの作成など、研究成果の社会実装まで行っていることを評価した。 ・また、中長期計画の期間の中で、個々の研究プロジェクトを有機的に関連付けながら数多くの査読論文を発表し、国際貢献や受賞も数多く確認できた。特に平成 28 年度時点では現在ほど注目されていなかった GHG 対策についても代替燃料に関するテーマを適切に設定して研究を進めるなど、社会的価値に重きを置いた研究活動を適切に実施してきていることも評価できる。 ・重点研究について、期間を通じて長期に渡り継続したテーマと社会情勢に応じて取り組んだ新しいテーマをバランスよく実施し、またテーマ間の位置づけから効果的な研究成果を創出してきたと考える。 ---------- ・終了評価シートに記載されている＜最終成果＞は、平成 28 年度に目標を掲げた重点研究毎に成果が達成できていることを示している。また、研究計画委員による自己評価も平均が 2.5 を上回っていることから「評点 A」が妥当である ---------- ・①まず、研究分野としてカバーしている範囲が非常に広範である。また、この 7 年間での取り組んでこられた研究テーマの推移をみる中で、重点 1 では船体荷重・構造応答会期背システムとして DLSA コードの拡充とその実相を非常に速いペースで実践されてきていることがわかります。重点 2・3 では海上交通全体を見通した中で、各論や局所の最適化に陥らないように、且つ、社会実装を意識されて進めていることがわかります。 ・②研究期間全体を通して、かなり精力的にテーマの主題をシフトさせながら、科学的意義の新規性を維持されていると感じます。 ・③研究期間開始当初では、概念としてあまり定まっていなかった無人運航や代替燃料の問題など、非常に的確に対応されていると思います。 ・④海上交通などは、一般航路上よりも離着桟時の方が課題も多く、結果、（各国で）国内法に基づいた対応が必要な事項が多いと思われます。その視点でも、国内での検討や実績をベースに IMO など国際基準に提案・採用されている事柄が多いことは大いに評価できると思います。 ---------- ・研究内容は実用的かつ実証データの信頼性も高いので基盤技術として有効と感じた。 ・一方、新たな実証データを自動的に追加し続けより精度の高い研究とする事は考えなかったのか疑問。 ・方法を確立させる研究の場合、その方法を実証して以降は、手間をかけずとも自動的にデータを追加していけば、より広域かつ重層なデータを利用し、結果の補足に繋げていく事ができると考える。 ・デジタルツイン技術の基盤技術は、ビッグデータを意識し特異点をデータで自己補正するシステムであると理解しており、定性的な結論ありきではなく、データを利用して成長し続ける新たな技術なのだと思う。 ・ビッグデータを使ったソフトは世界中で生まれると思うが、ユーザーに渡る時にはとても簡単で扱い易く、納得感のあるデータ利用結果が得られる等の価値をもって、社会的なシステム信頼性が構築されていくものと考えている。そうした「使い方」がニーズであり案社会実装のポイントである。国内海運業界にはそうした IT 企業が必ずしも多くはないので、新たな試みを目指す企業と協業し、海技研が自ら開発に参画する事で社会実装に繋がる可能性をイメージした。

事務局とりまとめ欄

総合評価	S：1 A：10 B： C： D：
A	

(2)海洋環境の保全

令和４年度業務実績評価シート【終了評価】

【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	・CFD による総合性能評価について，実海域性能関連の研究とも連携して海技研の総合力を発揮し，実船スケール CFD のガイドラインの構築や ITTC での様々なガイドラインの策定に深く関与・寄与している。GHG 排出量削減が叫ばれる中，時宜を得た研究開発であり，社会的価値も高い。 ---------- ・いずれの研究も，国交省施策に対する理論武装に貢献していることに加え，海事環境における安全性や環境保全に対する貢献が高い成果を挙げたことから，社会的な貢献度が高いと判断できます. ・研究成果の社会実装に向けたシーズを適切に提供できたと判断できます. ・新燃料に関しては国際的な競争も激化すると予想されるので，これらに関する研究に今後も注力していただきたい. ---------- ・③目標設定の組み換えを含めた目標の見直しを基盤に、適切な時期に適切な設定がされ、各年度にける業績が着実に積み上げられたことを高く評価します。 ---------- ・内航船の課題の一つはゼロエミッション化だが、建造造船所の設計技術力低下が懸念されている。次世代燃料燃焼技術開発にととまらず、水素燃料電池船などのガイドライン確立への貢献に繋がる取り組みである。今後、建造所が実装できるレベルまでのアシストを期待します。 ・また、先日、中国は空中ドローン開発加速の記事を見たが、安全を一歩ずつ確認して進める日本方式が中国の開発スピードに負けないよう、海運において海技研に大きく期待します。 ---------- ・実船モニタリングデータを活用した実海域での実船性能の分析方法、実海域性能の推定方法、実海域性能評価方法の開発、船舶性能評価のための CFD プログラムの高機能化、また GHG 排出ゼロに向けた水素やアンモニア燃料の研究開発は、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。今後は、GHG 削減に対応する船舶動力システムについては、自律航行船への対応も考慮して、信頼性、メンテナンス性などの観点からの検討も行ってもらいたい。 ---------- ・①SOx 規制や GHG 削減に向けた対応策の検討、OCTARVIA プロジェクトによる国際競争力の強化、CFD 技術の高度化、新燃料の燃焼技術の研究などは、国や社会ニーズに応えるものと評価できる。 ・②GLOBUS 開発や Simple-NMIR 法の提案などは学術的な価値を有するものと評価できる。これらの研究成果を活かして更なる研究成果が得られることに期待したい。 ・③気候変動問題は喫緊の課題であり、その対策について適切な時期に成果が創出されているといえる。 ・④グリーン・スマートシッピングに関して、IMO/MEPC、ITTC、ISO での議論を科学的にサポートする成果が得られており、今後も国際競争力の向上に向けて尽力いただきたい。 ---------- ・年度評価にも述べたが実海域性能の向上は日本の海事産業が国際競争力を確保する上で，最重要課題の一つである．これに対する海技研の成果として，重点研究 5 では全球版波と風データベース，実船モニタリングデータ解析法，実海域性能推定法，ラ				

	イフサイクル燃費評価法，ウェザールーティングシステム，伴流設計システムなど，学術的・社会的に意義のある顕著な成果を得ている．さらに従来から定評のある CFD 技術を発展させるとともに，様々成果を統合した CFD システムを社会実装し，多くの企業において利用されていることも高く評価できる． ・また，船舶による環境負荷の低減に向けて，排ガス処理・計測・分析技術の高度化，次世代燃料の性能評価技術，新燃料を用いた舶用エンジンに関する研究，内航船向けスクラバーの開発，船体付着生物に関する研究，海洋環境影響評価技術の開発など，社会ニーズに合致した早期の社会実装が求められる研究と将来に向けた萌芽的な研究が適切に組み合わされて実施され，着実に成果をあげている． ・極めて顕著な研究成果が得られており，将来的に特別な成果の創出も期待できることから S 評価とする．なお今後の発展として，海洋環境の保全で研究開発しているウェザールーティングや主機デジタルツインを基盤とし，重点 1 の船体構造デジタルツインや基盤技術開発で研究開発中の建造モニタリングなど，海技研で研究・開発している船舶の設計・建造・運用に関わるデジタル技術を統合し，海事産業のデジタル化を海技研が主導し，海事産業の競争力強化に大きく貢献することを期待する． ---------- ・多くの研究成果が、評価法や情報システムとして社会で利用できる形でまとめられている点が評価できる。また、今後発展すると考えられるシミュレーションモデルを用いたデザインやオペレーション上の意思決定の技術について、主機のデジタルツインに取り組むという先駆的なテーマを取り上げていることは、国際的にも新しい取り組みであると考える。 ---------- ・終了評価シートに記載されている＜最終成果＞は、平成 28 年度に目標を掲げた重点研究毎に成果が達成できていることを示している。また、研究計画委員による自己評価も平均が 2.5 を上回っていることから「評点 A」が妥当である。 ---------- ・①まず、研究分野としてカバーしている範囲が非常に広範である。また、この 7 年間での取り組んでこられた研究テーマの変遷からも、各重点分野で、変容していく社会ニーズに適合している様子がうかがえる。特に重点 5・6 については、海技研がこれまでも開発してきた解析コードの汎用性を高めながらアップデートしつつ且つ、民間企業などへの有償契約まで進めていることは、社会ニーズとして十分な成果ととらえられる。また、重点 7 で扱っている、アンモニアなどを想定したエンジンの話題は、この 1～2 年ほどメディアで取り上げられる頻度も多くなっていると感じており、その概念の普及や社会的なニーズのキャッチアップに大きく貢献されていると思います。 ・②研究期間全体を通して、かなり精力的にテーマの主題をシフトさせながら、科学的意義の新規性を維持されていると感じます。 ・③研究期間開始当初で、特に国内でのＧＨＧの削減や抑制に対する認識は大いに進んでおり、この研究課題での取り組みは、社会をリードする形で非常に的確に対応されていると思います。 ・④船舶の実海域性能や本質的なＧＨＧ排出抑制などは、社会実装が進んできて初めてその真価が伝わっていくものと思われます。特にＧＨＧ排出抑制問題については国内事情としては国際的にはやや後ろ向きな状況と理解しており、国内的な評価よりも国際的に研究意義の評価や理解が高いと思います。そのあたりは、国際貢献の項目数に現れているかと感じます。 ---------- ・ローターセールに代表される風力による性能評価手法は非常に興味深く、また最適航路選択により大きな成果を得られる結果が検証されている事はとても面白い。 ・現在、様々なウインドアシスト技術が生れ燃費削減技術として注目されている。こうした技術は荷役に邪魔であったり、生産技術整わなかったりと発展が妨げられる課題が多くあるが、使っていなかった自然エネルギーを回収し推進効率を高められる時点で、いずれの技術も素晴らしく、業界全体の地位向上が必要と考える。それには正しい評価と、それに基づく規則における扱いが重要。海技研としては、そうした規則におけるウインドアシスト技術評価が、「その他の燃費削減技術」というざっくりした評価で纏められないように、しっかりと研究頂きたいし、そこが社会実装につながるポイントであると感じた。

事務局とりまとめ欄

総合評価	S：1 A：10 B： C： D：
A	

(3)海洋の開発

令和４年度業務実績評価シート【終了評価】

【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	・洋上風力発電に関する様々な研究成果は国のガイドラインにも反映されており，社会的価値を有するとともに産業界に貢献している。さらに ISO/IEC 規定への反映等を通じて国際的な貢献も認められる。 ---------- ・資源小国である我が国の将来を案ずると広範な領海が有する資源ポテンシャルを有効活用することは必要不可欠です．本研究分野での重点研究はこの問題に対する極めて有意義な取り組みである一方，民間が個別に取り組むことにはリスクが多いものであるため，海技研が積極的取り組む意義は極めて大きいと考えます．従って，今後も本分野の研究には積極的に取り組んでいただきたい． ---------- ・風力発電自体、日本は進めねばゼロエミ社会が描けない。 ・一方、商業面では、技術開発するも、国産コスト競争力が弱い事、また、船体より上の機器の仕様が変われば、浮体設備の仕様変更への影響が大きい事から、製造者にとって、ハイリスクローリターンのビジネスと思われる。 ・個人的には、この課題解決が、先決であり、さもなくば、結局は海外製採用となりかねないことを危惧する。 ・海洋資源獲得のための技術開発は積極的に進めるべきで、より一層の加速に期待する。 ・個々の技術開発というよりは、JAMSTEC との一体感を打ち出し、海洋資源獲得に向けた、網羅的な開発を進める体制構築の検討に期待します。 ---------- ・海底熱水鉱床に関して、海底鉱物資源開発の経済性を評価する計画支援プログラムが開発されており、さらに稼働性・経済性評価のための熱水鉱床開発支援プログラムの作成が計画されていること、AUV 隊列制御アルゴリズムの統括制御プログラムを開発したこと、AUV－AUV 通信・測位システムを開発して実海域で実証し、今後は AUV を使った洋上風力発電設備などの海洋構造物点検作業への展開・実証が予定されていること、浮体式洋上風力発電を始めとする海洋再生可能エネルギー生産システムの研究が大きく進展していることなど評価できる。顕著な成果の創出等が認められると判断した。 ---------- ・①浮体式洋上風力発電施設の損傷時復原性規定の提案やクレーン作業船の評価は国や社会ニーズに応えるものといえる。海洋資源開発に関しても、様々な点からの国家プロジェクトへの貢献が認められる。 ・②海底資源開発に関して、学術的にも価値のある成果が得られつつあるが、商業化への道筋を示すためにも更なる研究開発に期待したい。 ・③適切な時期に成果が創出されているものと思われる。 ・④海洋再生可能エネルギーおよび海洋資源開発に関して、これまでの研究開発で国際競争力の向上に貢献していただいているが、海外技術との差別化のためにも更なる成果に期待したい。 ---------- ・浮体式洋上風力発電の損傷時の復原性評価技術や係留の評価技術，安全や施工のガイドライン，発電量向上のための制御技術など，その実現に向けて国際的にも高く評価できる成果が期待された時期に得られている． ・海底熱水鉱床や海底鉱物資源の開発についても，その安全性・稼働性評価技術に関する成果が得られており，世界初となる実海域での連続揚鉱試験の成功に大きく貢献し				

	ている. ・またＡＵＶの制御技術やＡＵＶ－ＡＳＶ連結システムなどは国際的に見ても最先端の技術であり，今後の実用化も強く期待される. ・これらの成果は各種の国家プロジェクトに大きく貢献しており，国際的な水準から見ても高く評価できる．また，少ない従事人数にも関わらず，数多くの論文を公表し，各種の表彰を受けていることも称賛に値する． 以上より顕著な成果が得られていると評価する. ---------- ・海洋資源開発と AUV の運用や制御の技術に関する技術の蓄積が進んでおり、論文発表や受賞が着実に増えていると考える。コア技術の卓越性と社会実装の両面から社会に成果の還元を進めている点を踏まえて評価を行った。 ---------- ・終了評価シートに記載されている＜最終成果＞は、平成 28 年度に目標を掲げた重点研究毎に成果が達成できていることを示している。また、研究計画委員による自己評価も平均が 2.5 を上回っていることから「評点 A」が妥当である ---------- ・①まず、研究分野としてカバーしている範囲が非常に広範で且つかなり具体的であり、研究期間を通して研究プロジェクトとしての一貫性を感じます。この期間内で社会的なニーズは確実に高まっているだけでなく、特に洋上風力発電については、当初の予定を超えて国内市場が動き出しつつある。海技研における研究テーマへの取り組みでは、それらの国内動向に遅れることなく、課題の抽出と解決を進めていると感じます。 ・②研究期間全体を通して、かなり精力的にテーマの主題をより具体的に変化させながら、科学的意義の新規性を維持されていると感じます。ＡＵＶの開発についてもかなり科学的に合理的な検証と拡張を確実に勧めていると感じます。 ・③研究期間開始当初で、特に国内での日本のＥＥＺの利活用に関する社会的な理解と機運は大いに進んできている。海技研のこれまでの研究課題での取り組みも、そうした社会における理解の醸成に大きな貢献をしていると思います。 ・④本研究での取り組みは、社会実装が進んでいく中での先見性や確実性が確認されていく中で真価が伝わっていくものと思われます。日本の海洋空間利用はエネルギー自給率の向上を含むエネルギー安全保障などを背景に、日本における海洋産業という実際には新しい産業クラスターの構築と育成が急務です。直接的というよりは、この方面での国内で産業力の充実が、あらゆる国内産業の国際競争力の底上げにつながっていくはずです。こうした間接的だが確実な国際性への貢献についても評価できると思います。 ---------- ・国内海洋開発にとって今一番重要な事は洋上浮体風力発電の低コスト開発技術である。 ・安全性、寿命評価などから最適設計を求める前提として、調達材料、係留技術、製造設置技術、保守技術など、メーカー任せで国内のユニークな技術的進歩は感じられない。 ・またその結果として国内メーカーの育成にもつながらない。国内技術による差別化は革新であり、そうしたインフラ技術開発に国の予算が割かれるのが良いが、社会実装につながる技術開発という点では海技研にその任を託したいと感じる。 ・本研究自体の評価ではないが、次回のテーマ選択において参考頂きたい。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：10 B：1 C： D：

(4)海上輸送を支える基盤的技術開発

令和４年度業務実績評価シート【終了評価】

【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	・生産管理システムの開発，曲げ加工支援 AR システム開発から，発展的に造船工程すべてをデジタル化して建造シミュレーションによる生産活動の高度化を図っていく意欲的な道筋を描き，実践している。最新技術を取り入れて更なる高度化を図っていくと同時に，実際の造船の現場で活用されてくことを期待している。 ---------- ・デジタルシップヤードについて，かなり複雑な動きが入る大組までを達成したことで，これ以降の総組や渠中工程を含む造船所の生産工程全体のデジタル化も見えたと思います．次期も研究開発を継続していただきたい． 一方，国内造船業の国際競争力向上の観点に立つと，本成果を国内造船所が十分使いこなされる段階までは，学術雑誌や国際学会での発表は慎重を期すべきであると考えます．したがって，本研究に対する評価指標として対外発表数は必ずしも重要視しなくてよいと考えます． ・DX 化には現状作業のデジタル化だけでは不十分であるので，X の方に資する新材料や溶接などの工作法についても新工作法の導入を支援するための基礎研究を進めていただきたい． ・災害時の支援に資するシステム開発は国の機関として対処が不可欠な内容ですので，これについても，今期までに得た成果をさらに発展させるよう研究を進めてください． ・自動運行関係については，YouTube などでも積極的に実証試験の情報を発信してはどうかと思います．（すでに実施済みかもしれませんが．） ---------- ・①、②および③　将来を見据えた先駆的かつ基盤的な研究計画が設定されており、実社会への適用を強く意識した成果を着実に積み上げたことを高く評価します。 ---------- ・日本自体が人口縮小社会に向かっており、海運に限った話ではありませんが、喫緊の課題として、内航船の船員、建造所の技術者不足への解決が求められていると考えています。海技研の取り組みは上記解決に寄与するものです。 ・今後は、内航船の課題解決として、より一層明確に打ち出すことを期待します。 ・また、造船所の生産性向上に資する取り組みは、実際造船所への導入が始まっており、その具体方な成果について報告いただければありがたい。 ・当然、私企業の成果につき、成果報告の内容、方法、などは十分気をつける必要はありますが。 ・この項目への記載が適切か否かは分かりませんが、内航船運航者および建造所に的を絞った開発、設計受託、などの支援が必要と思慮します。 ---------- ・これまでに「フィードバック式の曲げ加工支援システム」および「曲げ加工支援 AR システム」が造船所に導入され、社会実装が進んでいる。また建造工程の仮想空間での詳細な再現が可能となる造船用高精度建造シミュレーション手法を構築し、造船所に採用されており、これは造船業の競争力強化に繋がるものであり、社会的価値の創出に十分に貢献するものである。また少子高齢化や人材不足への対応、造船工程の合理化、生産性の向上という社会のニーズへの対応しており、国の方針や社会のニーズに適合している。自律航行船の実現に向けた自動着桟アルゴリズムや着桟操船支援システムの開発、国の方針や社会のニーズに適合するものであり、成果の科学的意義も				

	大きく、成果が期待された時期に創出されていると考えられる。 ---------- ・①造船作業工程のデジタル化は国内造船所の競争力確保のために欠かせず、国や社会ニーズに応えるものといえる。また、自律運航に係る支援技術の開発も今後の海事業界に貢献するところが大きい。 ・②造船所の DX や自律運航船の研究開発は学術的にも価値が認められる。今後も継続的な研究成果に期待したい。 ・③国内の若年労働者が減少していく中で、適切な時期に成果が創出されていると判断できる。 ・④コンテナ船需要予測モデルなど、AI 技術を用いた新たな研究も進んでおり、国内海事産業の競争力強化に向けて、有意義な研究成果が得られていると評価できる。 ---------- ・本分野の研究テーマは近年急速に重要度が増加した分野である．この時代の変化に対応して人員を増加し，研究体制を強化したことを先ずは評価したい．海技研の成果の公表数はこの中長期期間において大きく向上しているが，この分野の向上率はその中でも上位に位置し，組織改革や意識改革の成果が表れている． ・研究内容としても，データの標準化，建造シミュレータ，自動運航，需要予測など，極めて重要な課題が選択されており，着実な成果が得られている．3 研連携で実施された傷病者輸送シミュレータやその発展としての緊急物資支援システムについても顕著な成果と評価できる． ・なお，海事産業に限らず今後の産業の競争力強化を考え上で，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．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・管理する仕組みも同時に検討されることを強く期待する． ---------- ・造船業の競争力強化のためのデジタル技術の造船所への導入を積極的に行っており、複数の導入実績がある。社会のニーズを踏まえた研究成果が創出されたと評価した。 ・また、国際貢献が増えていること、中長期の研究計画の中でシミュレーション技術を社会的要請の高いカーボンニュートラルに向けた取り組みに機動的に活用していることなど、研究成果を効率的に創出するための運用ができていると考えた。 ---------- ・終了評価シートに記載されている＜最終成果＞は、平成 28 年度に目標を掲げた重点研究毎に成果が達成できていることを示している。また、研究計画委員による自己評価も平均が 2.5 を上回っていることから「評点 A」が妥当である。 ---------- ・①研究分野としてカバーしている範囲は、生産システムの自動化やデータ化を起点として、平時や災害時の輸送網、自動航行へと情報インフラを駆使した研究を進めている。情報化社会の中で、物事をデータ化するという最初の一歩が非常に重要である。本研究での取り組みは、単に世の中にある情報を使っているのではなく、データベースの構築にあたり、状況をデータ化することに対して大きな貢献をしている。これらは、産業の国際競争力や先端化の基盤となる非常に重要でニーズの高い研究を進めてきていることがうかがえる。 ・②研究期間全体を通して、対象を具体的に且つ細部を詰める形で変化させることで、真に実用的なものにアップデートされている。総論ではなく、しっかりと各論を詰めた研究の遂行は、高く評価されるべきである。 ・③研究期間開始当初に比べて、少子化などの認識は急激に高まっており、労働人口の減少などはようやく我がこととしての認識が進んできた感がある。その中で、こうした問題の解決に必要な、情報インフラへのアップデートの基盤となることに、取り組んでおり、社会的なニーズをしっかりと踏まえて実践的に進められていると思われる。 ・④本研究での取り組みは、社会実装が進んでいく中での先見性や確実性が確認されていく中でじわじわと真価が伝わっていくものと思われます。自動化や無人化についてはこれまでも日本は社会的な受容性が肝要であるとされ、時代時代で国際的に先行させてきている。その意味では研究成果を実装できる程度までのち密に詰めて進めており、総論ではなく各論として国際的な需要を先取りしている研究分野である。 ---------- ・自律運航技術が最も求められるのは、存続ニーズはむしろ拡大しているのに、支える人材の不足により課題山積みの内航輸送であると考える。航海術として熟知した航路、陸上支援のしやすさ、保険適用のハードルが可視化しやすい、等から環境的にもチャレンジしやすい分野。そこで最適な自律運航技術開発を目指す事が重要。この技

	術開発は結果的に世界各地の内航輸送技術への貢献にも繋がり、安全自律運航基準の規則やデファクト造りに貢献する事ができる。問題はスピード感。要素技術が分散し勝手な産業界であるが、インフラ技術と考えれば技術開発が分散する意味ない。これを統一的に進めようとしているのが、日本財団であり、海技研でもその一翼として開発を進められているが、産業界とは異なる立場で、技術のインフラ整備という視点で貢献頂ければ、より短時間に深い技術開発が可能ではないかと考える。スピード感をもってできる事も、ニーズの一つであり、これに国が支援をする事は世界的に見ても常識の範囲。お金ではなく技術的支援をもってこれを進められると面白くなると思います。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：11 B： C： D：

終了評価（中長期期間の実績）

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度（中間評価）	令和3年度	令和4年度（終了評価）	最終成果	今後の発展
（1）海上輸送の安全の確保	（1）海上輸送の安全の確保 海難事故の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、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や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。	①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	船舶の先進的な荷重・構造強度評価手法に必要な評価システムの開発及び新構造基準案の作成に関する研究 先進的な荷重・構造強度評価手法と連携する船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究		船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（**重点研究☆1**）				**＜最終成果＞** ■荷重構造一貫解析システム（DLSA）の社会実装により、社会ニーズに応じた新船の開発を促進するとともに日本の造船所の設計力の強化に貢献した。	重点☆1 ・DLSAの機能・精度向上及びDLSAにデータ同化技術を加えたライフサイクル安全監視・支援システムの研究・開発を行い、次世代の船舶及び海洋構造物の安全・安定稼働を図るとともに、システムによって得られる設計・建造・運航・保守に渡るビッグデータを活用した次世代設計手法の確立を目指す。 ・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ことを思想とした新しい概念の設計手法の開発に資する研究を行ない、安全性を保持しつつ余剰な強度を排除した船舶の設計・建造を実現することにより、我が国の海事産業の競争力確保に貢献する。
			船体荷重・構造応答一貫解析強度評価システム（DLSA）の開発								
			●DLSA-Basic(荷重・構造応答一貫解析強度評価システム)を開発 ⇒解析に要する時工数が約1/15程度になり、設計効率が大幅に向上 ■造船所5社で利用 H28年度 P.1	●極限海象に対応したシステム（DLSA-Professional）の開発に向けてCFDとFEMを組み合わせた連成解析手法を構築 ⇒船体構造設計の効率化・精緻化に寄与 ■DLSAを設計適用した新船がシップ・オブ・ザ・イヤー受賞 H29年度 P.1	●DLSA-Professional 開発に向けて疲労被害度等の全船構造要素マッピングソフトを開発 ⇒網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立 ⇒世界で例を見ないシステム ■造船所3社で利用開始 ■市村産業賞貢献賞 H30年度 P.1	●リアルタイム強度評価システムを開発 ●DLSA-Professional を開発 ⇒構造の動的な応答、崩壊解析が可能 ■造船所1社で新規利用開始 ■ものづくり日本大賞 ■米国機械学会優秀論文賞 R1年度 P.1	●荒天時の安全操船支援等に資するオンボード船体運動予測手法を開発 ⇒定常状態の実験データおよび非定常な実船データにより手法の精度を検証 R2年度 P.1	●DLSA-BasicのWebアプリを開発 ⇒クラウドでの利用を可能 ●DLSA-BasicのPOST機能に非線形統計予測機能、マッピング機能を追加 ⇒危険部位可視化を可能 ●船体局部構造応答を再現可能な弾性模型を開発 ⇒船体デジタルツイン用のデータ同化プログラムを水槽模型で検証可能にした R3年度 P.1	●DLSA-ATプロトタイプを開発（流体解析ソフトとの融合） →数値シミュレーションの精度を向上 ●DLSAの機能強化 →GUI（グラフィカルユーザインターフェース）の開発 →腐食板厚衰耗を考慮した座屈強度評価機能、二軸応力の振幅・位相差のマッピング機能、不規則波中計算機能等を実装 →利便性・実用性を向上 ●直接荷重解析のガイドライン策定に貢献 →DLSAをコアとした信頼性設計法の実現へ ■「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰 ■造船所1社で新規利用開始 R4年度 P.5		
							成果を船体構造DTに活用				
				船体構造モニタリングシステムの開発			船体構造デジタルツインの開発			**＜最終成果＞** ■ハルモニタリングシステム及びデータ同化プログラムを統合した船体構造デジタルツインi-SASを開発し、水槽試験及び実船搭載して検証した。 ■データドリブンな荷重・強度評価手法を策定し、構造設計基準の策定に貢献した。	
				●世界初のシリーズコンテナ船の船体構造モニタリング解析を実施 ⇒得られたデータで運航と疲労寿命の関係性を明確化 ●解析プログラムの開発 ⇒就航船の最大荷重の推定が可能になり、設計時と荷重と比較ができ、安全余裕度の推定が可能 H29年度 P.1	●船体構造モニタリングガイドライン（草案）を作成 ⇒得られたデータをもとに、疲労寿命などに及ぼすホイッピング影響を解明 ■日本船舶海洋工学会賞 （論文賞） H30年度 P.2	●DLSA・ハルモニタリング・AISを集約して「船体構造デジタルツイン」の研究開発を開始 ■日本船舶海洋工学会賞（論文賞） R1年度 P.2	●船体構造デジタルツインシステムのコア要素となるハルモニタリングシステムを開発 ⇒シリーズ建造船10隻による5年分のモニタリングデータを利用して有効性を検証 ⇒非計測船の応力推定及び疲労寿命評価が可能 ⇒ハルモニタリングガイドライン案の作成に貢献 R2年度 P.1	●ハルモニタリングとデータ同化手法を統合した船体構造デジタルツインシステムを開発し、水槽試験及び実船で検証 ⇒実船体全域の応力応答をリアルタイムで取得可能 ⇒波浪逆推定により実海域の波浪スペクトル・波浪荷重を取得可能 ⇒クラウド化により複数ユーザの遠隔操作・支援を可能にした R3年度 P.1	●デジタルツイン統合システム(i-SAS)を開発 →実船で機能検証 ●DLSAを中心にハルモニタリングシステムを統合して、船体全域の応力推定のためのデータ同化手法を開発 →波浪逆推定による実船応力の推定精度を検証 ●データ同化プログラムの機能強化 →船体応答の確率的評価を可能に ●ハルモニタリングデータに関する標準ID（計測項目や構造部位のNaming Rule)のガイドラインを作成 R4年度 P.5		

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度（中間評価）	令和3年度	令和4年度（終了評価）	最終成果	今後の発展
（1）海上輸送の安全の確保	(1)海上輸送の安全の確保 海難事故の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、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や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。	①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	液化水素運搬船及び低引火点燃料船等の設計のためのリスク評価手法の開発に関する研究 海上交通流シミュレーションの高度化及び安全対策の検討とその影響評価法に関する研究 ●液化水素漏えいによる構造破壊について専門家意見集約 ⇒ベイジアンネットワークを用いた液化水素運搬船の構造破壊のリスクモデルを開発	●液化水素運搬船プロトタイプのHAZOP分析 ⇒燃料移送プロセス等のハザードとその対策のシナリオを特定	●被害度影響評価用の液化水素運搬船の実船モデルを構築 ■日本航海学会航海功績賞 H30年度 P.3	船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究（重点研究☆2） 液化水素運搬船、低引火点燃料船のリスクモデル・漏えいガスの数値シミュレーション手法の開発 ●液化水素運搬船漏洩リスク解析のためのリスクモデルを構築 ⇒世界初の液化水素運搬船の建造に貢献 R1年度 P.3 整流化航路の設計のための交通流予測技術・海域リスク評価技術の開発 ●推薦航路を導入した船舶の行動を解析 ⇒多くの船舶が期待通りに推薦航路を遵守 ■海の日・海上保安庁長官表彰	GHG対策のための代替燃料等に係るリスク評価手法の開発 ●液化水素漏洩が定量的にリスク解析を行える手法を開発 R2年度 P..2 船舶交通流の制御とその影響評価法の開発 ●潮岬沖の推薦航路の追加解析等を実施 ⇒IMO NCSR9への提案文書の作成支援 R2年度 P..2	●低引火点燃料の使用に伴う主要なリスク解析手法の開発 ⇒船内の複雑な構造を考慮した換気効率の空間分布に適用可能性を確認 R3年度 P.2 無人運航船の安全性評価 ●自動運航船のリスク解析手法を開発 ⇒自動運航船のリスク解析手順書として公開 R3年度 P.2	●SVE指標を用いた複雑な船内構造を考慮した機関室の換気効率評価手法への適用性を確認した。 ⇒代替燃料の使用に伴う火災・爆発リスク推定 ●燃料電池船の水素ガスベント放出の簡易大気拡散解析手法を構築 ⇒代替設計向け拡散解析手法として適用された R4年度 P.6 ●潮岬沖の推薦航路がIMO MSC106にて合意 ⇒2023.6.1より運用が開始 R4年度 P.6	**＜最終成果＞** ■日本海事協会が発行する代替燃料船リスク評価ガイドライン、国土交通省の自動車運搬船の火災安全に関する通達、日本船舶技術研究協会が発行する燃料電池船の代替設計に関するリスク評価法として導入された。 ■IMOにおける液化水素運搬船の暫定要件見直しに反映された。 ■伊豆大島西岸沖推薦航路の運用が開始（2018年1月）され、期待通りの衝突予防効果が確認された。 ■潮岬沖推薦航路を立案し、IMOでの審議の結果、2023年6月より運用開始が決定。 ■自動運航船、無人運航船の運航形態やシステム構成の定義・表現方法、並びにこれらを用いたリスク解析手法の構築により、国際規則策定のための議論を促進した。国際規則策定のための議論は今後も継続されるため、将来的な成果の創出も期待できる。	重点☆2 ・海域リスク評価技術（第1期での成果）とデジタル基盤技術との併用により、安全安心な海上交通環境の実現に向けた船舶交通の安全運航監視技術に発展予定。
		②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安全運航に必要な操船性評価手法の開発及び基準化に関する研究 海難事故防止に資する事故解析及び予防技術の開発に関する研究 最低出力暫定指針の改訂 ●理論的かつ学術的検討の踏まえた最低出力暫定指針文書をIMO（国際海事機関）に提出 ⇒合理的かつ実効可能な指針案の策定に貢献 H28年度 P.2 主機設計手法の開発 ●波浪中での負荷変動に対する主機応答特性を考慮できる水槽模型試験法を開発 ⇒荒天下運航中などの主機安全稼働に貢献 ■日本船舶海洋工学会奨励賞（乾賞） H28年度 P.3	操縦性能を推定模型実験法の開発 ●実海域環境下での操縦性能を推定する模型実験法を開発 ⇒船舶の実海域環境下での操縦性が向上 H29年度 P.2 船舶の新たな制動手法の開発 ●舷側に抵抗体を設置するなど船舶の新たな制動手法を開発 ⇒一般的なプロペラ逆転による停止試験と比較して停止距離が短縮されることが確認され、今後の衝突事故減少へ期待 H29年度 P.2	安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究☆3） 運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発 ●不規則波中直立時の時間領域計算法を用いた直接評価法の実施 ⇒第2世代非損傷時復原性基準の最終化審議に貢献 荒天下の操船評価手法の開発 ●荒天下操縦運動評価テストプログラムの問題点の抽出と対策の立案 ⇒非線形の船体動揺の概略の評価を可能としつつ、規則波中旋回操縦運動時の航跡も概ね推定可能 H30年度 P.4	●不規則波中傾斜時の時間領域計算法の構築 ⇒第2世代非損傷時復原性基準を考慮した過大加速度の危険度評価手法を用いた操船支援法を提案し，暫定ガイドライン策定に貢献 R1年度 P.4	海難事故防止に必要な技術開発／走錨リスク判定システムの開発 ●過大加速度モードの運航ガイダンスに活用できる操船支援用危険度評価システムを開発 R2年度 P.3 ●国土強靭化年次計画2020に明示された走錨事故の防止対策のために、走錨リスク判定システムの開発 ⇒HPやクラウドによって関係者に無償提供の準備を実施 R2年度 P.3	●走錨危険度軽減のためにプロペラを作動させた場合のリスク判定を行う機能を追加したPC版及びWebアプリ版の走錨リスク判定システムを開発，一般に無償提供 ⇒船員が自船の走錨リスクを把握し，適切な走錨委事故防止策の検討・判断を行えるよう支援するシステムを提供することで，今後の走錨事故削減に貢献することが期待される R3年度 P.3	●荒天下操船運動評価プログラムを開発 ⇒合理的な最低機関出力と操船安全性に関する基準案の検討が可能 R4年度 P.7 ●低速時の実船の舵効き及び船速を再現する自由航走模型試験を開発し，更に風外乱に対応できる試験環境を整備 ⇒自由航走模型試験法ベースで実船尺度相当の状況で自動着桟アルゴリズムの検証が可能 R4年度 P.7	**＜最終成果＞** ■波浪中での負荷変動に対する主機応答特性を考慮できる模型試験法の開発 ■実海域環境下での操縦性能を推定する模型実験法の開発 ■舷側に抵抗体を設置するなど船舶の新たな制動手法の開発 ■過大加速度モードの運航ガイダンスに活用できる操船支援用危険度評価システムの開発 ■PC版及びWebアプリ版の走錨リスク判定システムの開発 ■荒天下操船運動評価プログラムの開発 ■低速時の実船の舵効き及び船速を再現する自由航走模型試験の開発及び風外乱に対応できる試験環境の整備	重点☆3 ・荒天下操船運動評価プログラムに関しては、次期重点研究4において、外洋外乱下での自動運航船の安全性評価を可能とする船舶操縦運動推定法として発展させる。
	成果の公表		◆査読論文 6編 ◆特許申請 0件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 2件 ◆受賞 0件	◆査読論文 15編 ◆特許申請 0件 ◆プログラム登録 6件 ◆国際貢献 6件 ◆受賞 1件	◆査読論文 22編 ◆特許申請 1件 ◆プログラム登録 4件 ◆国際貢献 5件 ◆受賞 3件	◆査読論文 28編 ◆特許申請 1件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 1件 ◆受賞 5件	◆査読論文 19編 ◆特許申請 0件 ◆プログラム登録 4件 ◆国際貢献 2件 ◆受賞 2件	◆査読論文 33編 ◆特許申請 1件 ◆プログラム登録 8件 ◆国際貢献 2件 ◆受賞 1件	◆査読論文 29編 ◆特許申請 3件 ◆プログラム登録 5件 ◆国際貢献 5件 ◆受賞 4件		
	自己評点	A	【平均 3.1「A」】船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1） 【平均 2.9「A」】船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究（重点研究☆2） 【平均 2.8「A」】安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究☆3）								

中間評価　　終了評価

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	最終成果
（２）海洋環境の保全	（2）海洋環境の保全 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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究開発	船舶に起因する大気等規制の概念設計と規制手法の開発に関する研究 NOx、SOx低減技術の高度化に関する研究 PM、BC計測・除去技術の開発に関する研究 多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究		船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（**重点研究☆4**）／多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究（**重点研究☆7**）					**＜最終成果＞重点☆4** ■舶用燃料の着火・燃焼の実験的評価手法・技術の構築 ■舶用燃料の着火性に関係する燃料中炭化水素成分構成比の推定手法を構築，並びに着火性指標の改善 ■低硫黄燃料、次世代燃料の燃焼時に発生する燃焼生成物の計測・分析手法を確立し、燃料の組成との相関を解明 ■排ガス後処理技術の高度化。次世代燃料使用時のメタンスリップ、N2O削減手法として触媒反応条件と削減率の相関を解明
							次世代燃料の燃焼性評価等の確立			
							☆4 ●燃焼波形、火炎の画像、燃焼時の映像解析から、適合油などの残渣燃料油にも対応可能な燃焼性を評価する手法を構築。 ⇒次世代燃料の燃焼性評価に向けて貢献	☆4 ●舶用燃料の着火性指標の改善のため、指標改良の基となる舶用燃料の炭化水素推定手法を構築 ⇒低硫黄燃料の着火性を正確に予測することに貢献 ●GHG削減のための後処理技術の評価 ⇒CO2分離膜により50%程度のCO2を削減でき、回収も容易であることを確認。 ⇒メタン酸化触媒によるメタンスリップ削減を促進する条件を解明	☆4 ●液体燃料・ガス燃料の着火性評価手法の確立 ⇒舶用燃料の着火性（着火性指標CN）を予測するため、規格着火性指標CCAIを実燃料に即したものに改良した。 ●GHG削減のための触媒を用いた排ガス後処理技術の研究 ⇒エンジン運転条件を変え排ガス組成を制御することで、メタン削減率を向上できることを実証	
			SOx等排ガス処理技術、計測及び分析技術の高度化							
				●船舶ディーゼル機関から排出されるPM等の計測組成を分析 ⇒将来的なBC、PM等排出規制検討の前提となる排出量の把握に寄与 ■日本マリンエンジニアリング学会論文賞	☆4 ●低硫黄燃料の燃焼試験を実施し、品質等を確認 ⇒国交省「2020年SOx規制適合舶用燃料油使用手引書」 ⇒内航海運業界の懸念の緩和・払拭に貢献	☆4 ●規制導入前に低硫黄燃料の燃焼試験・実船試験を実施（12隻）し、品質等を確認 ⇒低硫黄燃料の基本的知見を業界と共有、 ⇒国交省「2020年SOx規制適合舶用燃料油使用手引書（第2版）」				
				H29年度 P.3	H30年度 P.5	R1年度 P.5	R2年度 P.4	R3年度 P.4	R4年度 P.14	
							GHG削減評価技術・設計技術の構築			
							☆7 ●未燃アンモニアと亜酸化窒素の排出低減するための、アンモニアの燃焼制御技術の開発、触媒による後処理技術の舶用適応性評価	☆7 ●水素混焼ガスエンジンでの実験において、燃焼抑制技術の開発 ⇒50%負荷率、水素熱量混焼率96%で安定した燃焼を達成。 ⇒GHG排出率削減率96%実証 ⇒NOx低減技術確立	☆7 ●水素混焼ガスエンジンにおける燃焼制御技術の開発 ⇒幅広い負荷率（25～93%）で水素熱量混焼率90%以上の安定燃焼を確立。 ⇒エミッション低減及び高効率化技術の確立。 ●水素混焼エンジンの安全対策確立。課題の明確化。 ●アンモニア高混焼率におけるエミッション特性、課題。 ⇒アンモニア・水素混焼試験の実施。 ●アンモニア混焼舶用2stエンジン開発のための燃焼可視化試験の実施。 ⇒燃焼解析技術の確立。 ⇒アンモニア燃焼プロセスの解明	**＜最終成果＞重点☆7** ■水素混焼ガスエンジンにおける燃焼制御技術の確立（幅広い負荷率と混焼率での安定燃焼、エミッション低減及び高効率化）。 ■水素混焼エンジンの安全対策技術の確立（クランクケース内の水素濃度制御システム） ■アンモニア混焼ディーゼル機関からの未燃NH3及びN2O排出量低減手法の確立 ■アンモニア混焼舶用2stエンジン開発のための大型定容燃焼試験装置の設計・製作、及び燃焼解析技術の確立。 ■内航CNへの貢献（国対応）：水素燃料電池船ガイドライン策定、水素エンジンを搭載する小型船の安全性評価等の実施、連携型省エネ内航船のコンセプト船の詳細立案と実船建造の支援 、船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン策定などへの協力。 ■国際海運におけるゼロエミッションへの貢献：国交省「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」GHG削減シナリオの策定。アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの策定（CGコーディネータ、提案文書案の作成など）。水素燃料船の国際安全ガイドラインの策定の審議に参加など。
							R2年度 P.7	R3年度 P.7	R4年度 P.17	
			アンモニア／水素等多様なエネルギーを用いた新たな舶用エンジンの開発等							
			●アンモニアの舶用ディーゼルエンジンにおける直接燃焼システムの開発 ⇒戦略的イノベーション想像プログラム（SIP）の研究課題に採用（H29より開始）	●水素燃料電池船ガイドライン案の作成 ⇒国交省において「水素燃料電船ガイドライン」を発行 ⇒水素燃料電池船の実現に向けて貢献	☆7 ●水素燃料電池船に用いる電気推進システムの冗長性を確保する制御手法を構築。 ⇒水素燃料電池船の実現に向けて貢献	☆7 ●GHG削減シナリオを策定 ⇒国交省「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」	☆7 ●水素混焼エンジンとCO2回収システムを組み合わせたハイブリットシステムを開発発 ⇒ゼロエミッションに向けて貢献	☆7 ●カーボンフリー船導入に向けた技術課題、船舶への適用性や将来性について整理 ⇒“連携型省エネ船”の検討など、国交省の内航カーボンニュートラル推進方針の策定に貢献 ⇒2050年ネットゼロに向けた国際海運GHG削減ロードマップの改定に貢献	☆7 ●連携型省エネ内航船のコンセプト船の詳細立案と実船建造の支援 ●船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドラインの策定 ⇒内航CNへの貢献 ●アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの策定 ⇒国際海運のゼロエミッションに向けて貢献	
			H28年度 P.4	H29年度 P.3	H30年度 P.6	R1年度 P.9	R2年度 P.7	R3年度 P.7	R4年度 P.17	

今後の発展

重点☆4
・燃料評価の実験および推定手法は，GHG削減のために使用想定されるドロップイン燃料の評価にも適用が可能であり，次期重点研究等で使用。
・次世代燃料を使用した際の排ガス計測手法は次期重点研究でもさらに高度化し、IMOでの規制策定等の際の技術データとして寄与。
・温暖化ガスの後処理技術として触媒反応研究に取り組んできた。反応効率を上げるための排ガス条件の推定が可能になったことから、次期重点研究では、アンモニア・水素等の次世代燃料の実機試験と併せ、さらに触媒反応制御に取り組む。

重点☆7
・水素・アンモニア専焼を目指したエンジン制御技術、GHGやNOx等も含めたエミッションの低減技術の開発に取り組む。
・更なる燃焼解析技術・シミュレーション技術の高度化を実現し、エンジン開発等の次世代燃料利用の社会実装に資するデータの提供を行う。
・引き続き、内航・外航船舶のカーボンニュートラル実現に向けて、実装技術の高度化、更なる省エネ化、次世代燃料の安全利用技術の確立を目指し、外部機関と連携して研究開発を実施する。

中間評価　　終了評価

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	最終成果
（２）海洋環境の保全	（2）海洋環境の保全 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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	次世代EEDI,EEOIの開発及び実海域運航性能向上技術に関する研究 水槽試験を活用した舶用推進プラントの実海域自動適応制御技術開発に関する研究 船体表面流の制御による船舶の省エネルギー技術開発に関する研究		実海域実船性能に関する研究（**重点研究☆5**）					**＜最終成果＞** ■全球版波と風データベース ■実船モニタリングデータ解析法 ■実海域（燃費）性能推定法 ■ライフサイクル燃費評価法 ■実海域性能を考慮したウェザールーティングシステム ■伴流設計システム ■新コンセプト船評価法 ■水中騒音簡易推定法
			実海域の実船性能評価法の開発							
			●世界一の精度を有する全球版気象海象データベースを構築 ⇒船舶設計時に実海域運航性能（燃費）の評価が可能	●実船モニタリングデータから実船性能を評価推定する手法を開発 ⇒排水量の補正について実海域中燃費の推定精度を確保し、燃費性能の良い船舶の設計等に活用	●波浪中抵抗増加算出プログラムを公開 ⇒実海域（燃費）性能評価のための客観的なものさしとして貢献 ⇒国内外から8社がプログラムを使用	●GLOBUS詳細版を完成 ●GLOBUSを利用した海象影響評価を実施。 ⇒ライフサイクルの実海域実船性能の評価に活用	●EU-MRVデータとAISデータ等を連携した船舶の燃料消費量の分析と船舶排出ガス規制への活用方法の開発 ⇒新たな環境問題対策へのアプローチに向けて貢献 ⇒AIS等のデータを用いた解析で行政要望に対応	●海事クラスター共同研究 実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクトフェーズ2を開始 ⇒既存船への適用拡大となるGHG削減規制に対応する技術開発の実施に貢献	●実海域性能推定技術をウェザールーティングに組み込み ⇒実海域性能を考慮した実運航性能の事前評価が可能 ●ゼロエミッションコンセプト船（低速幅広肥大船）の開発を行い、基本性能（平水中馬力・実海域性能、操縦性能、キャビテーション性能）を明らかにするとともに長期の経済性を評価。 ⇒代替燃料使用等、従来船型に対するコンセプト船の評価が可能。	
				■日本船舶海洋工学会賞（論文賞）	■日本オープンイノベーション大賞優良事例（内閣府） ■日本船舶海洋工学会賞 （論文賞）	■GLOBUSの外部提供開始（4社に販売） ■日本船舶海洋工学会英文論文集優秀論文賞 ■日本船舶海洋工学会賞 （論文賞）		●カーボンフリー船導入に向けた技術課題、船舶への適用性や将来性について整理 ⇒“連携型省エネ船”の検討など，国交省の内航カーボンニュートラル推進方針の策定に貢献 ⇒2050年ネットゼロに向けた国際海運GHG削減ロードマップの改定に貢献	■日本船舶海洋工学会奨励賞（乾賞） ■日本航海学会フレッシュマン講演奨励賞	
			H28年度 P.6		H30年度 P.7	R1年度 P.6	R2年度 P.5	R3年度 P.5	R4年度 P.15	
			省エネ船型の開発			主機制御／主機監視システムの開発（運航面）				**＜最終成果＞** ■波浪中主機負荷変動による燃費評価法 ■主機経年劣化予測法 ■主機デジタルツインシステム
			●大幅な省エネ率（約20～40%）を達成する船型群（約60種類）を開発 ⇒内航海運のCO2削減に貢献、船主のニーズに対応			●船体＋プロペラ＋主機特性連成計算プログラムを開発 ⇒波浪中の主機への負荷状態の把握が可能	●波浪中主機負荷変動と燃料消費性能悪化の関係性を評価可能な「船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラム」を開発 ⇒外部企業との共同研究等で活用中（社会実装に貢献）	●主機デジタルツイン技術と信頼性理論を組み合わせた主機の経年劣化の予測アルゴリズムを開発 ⇒主機状態監視を可能	●エンジンのシステムで汎用的な数学モデルとデータ同化手法を統合した主機デジタルツインシステムを開発し、就航データで検証 ⇒実船主機の状態監視をリアルタイムで可能 ⇒主機デジタルツイン技術と信頼性理論を組み合わせた経年劣化監視が可能 ⇒主機デジタルツイン技術と異常診断アルゴリズムを組み合わせた異常検知監視が可能 ⇒主機デジタルツイン技術と強化学習アルゴリズムを組み合わせた主機制御パラメータ自動調整が可能	
			H28年度 P.5			R1年度 P.7	R2年度 P.5	R3年度 P.5	R4年度 P.15	
						●主機の異常状態を検知するシミュレーションプログラムを開発 ⇒主機デジタルツイン技術を用いた新事業へ移管				
						R1年度 P.7				

今後の発展
重点☆5 ・高度な分析技術をベースにした実海域実船性能の診断技術の確立 ・実運航からのGHG削減の促進 ・AI機関長システムの開発

中間評価　　終了評価

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	最終成果	今後の発展
（2）海洋環境の保全	2）海洋環境の保全 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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	**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（重点研究☆6）** CFD計算手法の高度化 ●水中騒音の計測システム・騒音推定方法を構築 ⇒我が国のキャビテーション水槽試験技術のISO規格化を実現 ●日本近海の潮汐影響及び海洋拡散解析機能を追加した評価プログラムを作成 H28年度 P.7	●世界初の省エネ付加物に対応した次世代CFDソフトを開発し、計算のためのガイドラインを作成 ⇒船体の操縦・波浪中運動計算により、燃費性能の良い船舶の設計建造を促進 ■日本船舶海洋工学会賞（開発） ■13社が利用 H29年度 P.4	●実船スケール計算法の確立 ⇒実船スケールにおける計算法を確立し、実船計測データと検証 ■17社が利用	●実船スケール計算ガイドライン ⇒実船スケールにおけるCFD計算ガイドラインを構築 ●複雑な上部構造物形状における計算手法を開発 ⇒ITTCでの標準計算ガイドライン案の構築に貢献 ■18社が利用 R1年度 P.8	●計算ガイドラインを適用した実船スケール自由航走計算を実施 ⇒実船のプロペラ回転数を精度よく直接推定が可能 ●主船体の損傷状態を取り扱えるような損傷時船舶の運動シミュレーションの開発 ■22社が利用 R2年度 P.6	●二次元翼周りのキャビテーション計算の精度検証及び流入境界条件による船尾流れ再現法の開発 ●動的重合格子手法による波浪中航走状態の計算手法開発 ⇒波浪中操縦性能の推定が可能 ■23社が利用 R3年度 P.6	●プロペラキャビテーション計算手法の構築・検証 ●波浪中自由航走状態の計算手法確立 ●区画損傷状態における波浪中及び船体構造応答計算手法の開発 ⇒損傷状態を含む流体構造連成計算が可能 ■26社が利用 R4年度 P.16	**＜最終成果＞** ■実船性能のCFDによる高精度推定に向けて、国際的にも例のない付加物付き実船流場等との比較検証から、実船スケール計算ガイドラインを構築。 ■ITTC特設委員会にて新たに制定されたCFDによる形状影響係数計算について、計算ガイドラインの成立過程に深く関与。 ■ITTC特設委員会の風圧抵抗計算ガイドラインの構築に貢献し、成立過程に深く関与。(実海域実船性能評価プロジェクトと連携)。 ■波浪中の標準計算法の構築(実海域実船性能評価プロジェクトと連携)及び動的重合格子手法による波浪中での自由航走状態の計算を実現。 ■国際的にも例をみない、事故事例に基づく多数の区画の損傷状態・双方向を含む流体構造連成手法を構築。 ■成果を統合したCFDシステムとして提供し、最終年度では26社と有償契約(実用化・社会実装)。	重点☆6 ・今期で開発した実海域性能の評価を可能にするCFDシステムをもとに、実船性能推定のための各種数理モデルや新規手法、港湾内操船を主とした操縦性能の推定手法及び仮想現実手法に基づく新たな設計手法を開発し、Model Based System Engineeringに対応する統合システムとしてデジタルツイン化を含めて関連業界に提供するとともに普及につなげる。
			船舶に起因する生態系影響の評価技術の構築に関する研究 船舶からの油及び有害物質の流出等の対策に関する研究 海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発		●曳航式放射線検出器を用いて福島沖の放射性物質モニタリングを実施 ⇒海底堆積物中の137Csの濃度が減少傾向にあることを確認	●海底堆積物中の放射性物質 の濃度分布の分析 ⇒国の放射線モニタリング計画への提言をまとめ ●放射性物質流出海洋拡散シミュレーションを油流出事故直後の海洋拡散評価ができるようにシステムを改良 R1年度 P.10	**船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究（重点研究☆8）** 海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化 ●大気汚染物質排出量推計手法を応用して、EGCSスクラバ排水による長期水質環境影響評価を実施 ⇒国によるEGCS環境影響評価ガイドライン案の策定に貢献 R2年度 P.8	●油漂流予測シミュレーションシステムの油運命モデルと計算手法を更新し、それらの効果を実現象2例に基づき検証 ⇒実現象の再現・予測性能が向上したことを確認 R3年度 P.8	●海洋環境へ流出した燃料油の含有する硫黄分により、流出油の拡散範囲がどの程度変化するのかを評価。 ●海底火山噴の砕屑物の海洋での挙動、任意海域への到達時刻、軽石の存在する水深の簡易予測モデルを開発、 ⇒船舶の安全航行の観点から、船体の流線に追従して軽石が移動するか否か評価する方法を、船体周りでの挙動に関して端的なダイアグラムから評価可能に R4年度 P.18	**＜最終成果＞** ■東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により海洋放出された放射性核種の、海洋環境における中長期的な濃度分布の変化について、数値モデルシミュレーションによる予測、および曳航式放射線検出器を用いた実海域における海底堆積物中の放射性物質濃度計測によるモニタリングの両面から評価。 ・海水中における放射性核種が短期間で希釈する一方、堆積物に吸着したものは長期に残存することを早期に予測。その後の堆積物あるいは水産物のモニタリングの方針に貢献。 ・従来の定点採取調査では、情報が断片的であったところ、連続面的な分布を確保でき、放射性核種の動態に関する詳細な経時変化が得られ、シミュレーション結果を加えて国の放射性核種モニタリング計画に具体的に提言。 ■大気汚染物質の推計排出量を転用してEGCS排水による長期水質環境影響評価を実施、国によるEGCSガイドライン案策定に具体的なサポートデータを提供することで貢献。 ■終端速度に着目した軽石のモデル、および軽石の船体周りでの挙動に関して端的なダイアグラムとして提示でき、学術および安全政策の両面で貢献。 ■藻類に係る防汚塗料性能評価試験法の構築から始まり、その有効性の実証、実環境に適合させるための簡易評価試験法の開発とその実証を行い、その有効性を示してきた。国の方針や社会ニーズに適合しており、海事産業の競争力強化創出に貢献するものである。のみならず、成果の科学的意義は大きい。 ・回収前後におけるエマルション化ならびに油水分離挙動について可視化計測を実施し、今後油回収システムとして構築するための課題を抽出した。	重点☆8 海運におけるGHG削減の目標達成のために求められるゼロエミッション燃料の安全・環境対策策定、船舶運航時における環境負荷低減技術の開発においては、これらに対応する環境影響評価技術の高度化を推進する必要がある。燃料の燃焼、船体の汚損防止対策、あるいは事故時損傷等に係り船外へ放出される物質の、環境中濃度評価技術、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資する。
			船体付着生物の問題に関する研究 ●藻類を用いた防汚塗料性能評価試験法の素案作成	●藻類を用いた防汚塗料性能評価試験法の構築 ●ISO 21716 Part-1～3（一般要件、フジツボ、ムラサキイガイ）が発効 R1年度 P.10	●シオミドロを用いた市販塗料の性能評価を実施し、藻類を対象とする評価法の有効性を検証 ⇒ISOに提案準備を完了 ■日本マリンエンジニアリング学会 （功労賞） R2年度 P.8	●色空間パラメータを利用した藻類汚損の簡易評価試験方法を開発し、その有効性を検証 ⇒ISOへの提案準備を完了 R3年度 P.8	●草案ISO-21716第4は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法として世界初の国際規格であり、IMOで審議中の船体付着生物管理ガイドラインにおける防汚システムで適切な管理方法として参照される可能性が高い。上市されている船底防汚塗料から、防汚性能の明確な区別、適切な製品選択ができるようになるため、我が国の塗料メーカーの技術的優位性が高まる。 R4年度 P.18		
成果の公表			◆査読論文 4編 ◆特許申請 6件 ◆プログラム登録 10件 ◆国際貢献 6件 ◆受賞 2件	◆査読論文 26編 ◆特許申請 5件 ◆プログラム登録 9件 ◆国際貢献 1件 ◆受賞 2件	◆査読論文 16編 ◆特許申請 5件 ◆プログラム登録 5件 ◆国際貢献 5件 ◆受賞 2件	◆査読論文 37編 ◆特許申請 7件 ◆プログラム登録 5件 ◆国際貢献 4件 ◆受賞 3件	◆査読論文 32編 ◆特許申請 6件 ◆プログラム登録 6件 ◆国際貢献 5件 ◆受賞 5件	◆査読論文 34編 ◆特許申請 6件 ◆プログラム登録 10件 ◆国際貢献 10件 ◆受賞 0件	◆査読論文 34編 ◆特許申請 4件 ◆プログラム登録 6件 ◆国際貢献 21件 ◆受賞 4件		
自己評点	A	【平均 2.8「A」】船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4） 【平均 3.4「A」】実海域実船性能に関する研究（重点研究☆5） 【平均 2.6「A」】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（重点研究☆6） 【平均 2.9「A」】多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究（重点研究☆7） 【平均 2.6「A」】船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究（重点研究☆8）								

参考添付2：評価資料（抜粋）

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度（中間評価）	令和3年度	令和4年度（終了評価）	最終成果	今後の発展
（３）海洋の開発	（3）海洋の開発 海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発	海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の開発並びに開発の加速に係る技術の開発に関する研究 海洋再生可能エネルギー生産システムの研究開発 ●波力発電装置に関する波力高性能デバイスの開発を行い最適制御のロジックを開発 ⇒（海・潮流、温度差）安全ガイドライン策定、国内導入	●並進動揺型波力発電装置の不規則波中での制御手法を確立 ⇒理論的波エネルギー吸収限界の約9割を確保でき、岩手県釜石湾実証フィールドで活用 H29年度 P.5	海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9） 浮体式洋上風力発電に関する開発 ●浮体式風力発電に関する新たなIEC規格に対する損傷時復原性の適用条件を明確化 ⇒浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドラインを改正（3月） H30年度 P.8 ●並進動揺型の波力発電装置のモデル予測制御アルゴリズムを開発 H30年度 P.8	●浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドラインの更なる改正のための取り組みとして、合成繊維索を用いた係留系の安全性評価手法の開発 R1年度 P.11	●浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術の構築 ●クレーン作業中の吊荷が着水した直後における作業船との波浪中連成運動解析プログラムを開発 ⇒作業船の固有周期や稼働性に与える影響を評価に資献 ●合成繊維索を使用した係留系において、風車・浮体・係留の一体解析による係留安全性評価 ⇒浮体式洋上風力発電に関する安全評価ガイドライン案の作成に貢献 ●コンクリート製浮体の構造の安全性や耐海水性に係る設計・施工上の留意点を明確化 ⇒コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン案の作成に貢献 R2年度 P.9	●浮体式風力発電施設構造強度評価技術の構築 ●2浮体を使ったクレーン作業時の波浪中連成運動解析プログラムを開発 ●風車タワーに接舷したCrew Transfer Vesselの波浪中運動評価プログラムを開発 ●合成繊維索の生物付着影響評価のための実海域試験 ⇒浮体式洋上風力発電に関する安全評価ガイドライン案の作成に貢献 ●浮体式風力発電に関する新たなIEC規格に対する損傷時復原性の適用条件を明確化（H30年度） ⇒浮体式風力発電施設の損傷時復原性規定をIECへ提案 R3年度 P.9	●ブレードピッチ制御の適用影響評価法を開発 ●セミサブ型浮体とセミトート係留を対象として、合成繊維索係留の仕様算出プログラムを開発 ●デジタルツイン技術の構築に向け、浮体挙動から遭遇海象を推定する手法を構築 ●船首接舷したCrew Transfer Vesselの波浪中連成運動評価プログラムを開発 ⇒規則波中での風車タワーへの人員乗り移り評価が可能 ●波力発電浮体の制御システムを開発 ⇒従来システムに対する発電性能の優位性を確認 ■浮体式風力発電施設の損傷時復原性規定がIECで承認 ■日本船舶海洋工学会賞（論文賞）2件 R4年度 P.25	＜最終成果＞ ■IEC61400-3-2の浮体式洋上風力発電施設の損傷時復原性規定について当研究所発出のAnnexが導入 ■浮体式洋上風力発電施設安全ガイドライン案の作成 ■コンクリート製浮体の浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン案の作成 ■浮体式洋上風力発電施設係留安全性評価法の確立 ■ クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動解析プログラムの開発 ■ 2浮体を使ったクレーン作業中の波浪中連成運動解析プログラムの開発 ■ 風車タワーに接舷したCrew Transfer Vessel の波浪中連成運動評価プログラムの開発 ■浮体式波力発電施設の発電量向上のための制御技術の開発	重点☆9 ・浮体式洋上風力発電施設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について、大規模な実用化を目指し、単独のシステムを対象とした研究から、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する。 ・様々な高速船の船型に対応させるために次期重点においてもCTV研究を継続する。 ・洋上風力発電施設の設置等の作業船オペレーションにも対応するため、次期重点においても作業船研究を継続する。
（３）海洋の開発	（3）海洋の開発 海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発	海洋資源・エネルギー開発統合システム等の総合安全性評価技術の開発に関する研究 海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究 海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9） ＜再掲＞ 海底熱水鉱床に関する研究開発 ●採鉱・揚鉱パイロット事業に参加し、稼働性・安全性評価を実施 ⇒H29実施の実海域試験の計画策定に貢献 ●氷況観測技術を開発 ⇒氷海域における資源開発の実用直前段階と高く評価 ■北方圏国際シンポジウム青田昌秋賞（工学部門：若手優秀講演） H28年度 P.8	●採鉱・揚鉱パイロット試験中、これまでの成果を機器設計・製作オペレーション検討に活用 ●揚鉱母船の稼働性、揚鉱管挙動等の評価手を構築 ⇒世界初となる水深1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献 H29年度 P.6	●スラリー流を考慮した移送管の挙動解析プログラムを開発 ⇒磁性ビーズを付着した保護層を設けることにより、移送管の耐摩耗性を向上 H30年度 P.9	計画支援プログラムの開発 ●海底鉱物資源開発における計画支援プログラムの開発 ⇒海底熱水鉱床の今後の商業生産化の促進に貢献 ■エンジニアリング奨励特別賞 ■日本船舶海洋工学会賞（論文賞） R1年度 P.12	●採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船を一体とした挙動解析プログラムの開発にあたり「摩擦抵抗及び管内圧力変化を考慮したプログラム」を開発 ●新たな鉱物資源としてコバルトリッチクラストを追加した計画支援プログラムの機能拡張のためのデータベースの構築 ■ASME OMAE 2019 Best Paper of Ocean Engineering Symposium R2年度 P.10	●海底での採鉱から陸上での荷役までの鉱物量をシームレスに評価可能なプログラムを開発 ●コバルトリッチクラストを含む海底鉱物資源開発の経済性指標を試算する計画支援プログラムを開発 ⇒海底鉱物資源の今後の商業生産化の促進に貢献 R3年度 P.10	開発支援プログラムの開発 ●傾斜管内を脈動する固液二相流の圧力損失推定手法を開発 ●資源開発事業における稼働性及び経済性検討が可能な開発支援プログラムを開発 ⇒海底鉱物資源開発の事業計画検討に貢献 R4年度 P.25	＜最終成果＞ ■海底熱水鉱床開発システムに関する安全性及び稼働性評価技術の開発 ■産業化に向けた海底鉱物資源開発の事業検討に資する開発支援プログラムの開発 ⇒国が実施する採鉱・揚鉱パイロット試験事業に参画して稼働性・安全性評価を実施して、世界初となる実海域での連続揚鉱試験の成功に貢献 ⇒国が実施する総合的な検証・評価への活用や海底資源開発企業などによる活用 ■クローラを有する移動体移動体に作用する荷重データの取得とその推定式の構築 ⇒他機関で構築中の大型シミュレータへ実装 ■ スラリー流を考慮した移送管の挙動解析プログラムの開発 ■ 管内二相流解析プログラムの開発	重点☆9 ・管内混相流評価技術について、固液二相流だけでなく固気液三相流も対象とし、揚鉱システムの設計、運用に適用可能な管内混相流評価技術として発展させる。 ・開発した開発支援プログラムのもとに、評価対象を大水深に賦存する海底資源（マンガン団塊等）に拡張し、最適なシステム選定を可能とするプログラムを構築する。 ・SURF研究で開発した数値計算プログラム及び試験技術等は、次期重点で実施するCCS研究の中で発展させる。

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度（中間評価）	令和3年度	令和4年度（終了評価）	最終成果
（3）海洋の開発	（3）海洋の開発 海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発	海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究		海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究（**重点研究☆10**）					**＜最終成果＞** ■内閣府SIP第2期プロジェクトに参画し、計画を上回る成果を得る。SIP第3期でのさらなる貢献を期待される成果を達成 ■AUV群制御技術の基盤システムやAUVの自己位置補正など高度なAUV制御法を各種提案 ■AUV−ASV連結システムといったAUVの新たな活用方法の提案と実証に成功
					AUV運用技術に関する研究開発					
					AUV 複数機同時運用技術の開発					
					AUV 隊列制御技術の開発					
			●洋上中継器を開発し3機のAUVと同時運用 ⇒世界ではじめて成功し、海底熱水鉱床の更なる効率的な広域探査に貢献	●AUV3機、ホバリング型AUV及び洋上中継器の同時運用に成功（沖縄海域） ●航行型AUV4号機を開発 ⇒小型化、低コスト化を実現 ●水産資源調査に活用 ⇒民間への技術移転の推進	●5機の同時運用技術を完成し、実証（伊豆諸島） ●3・4号機は世界最高レベルの運動性能を実証。 ●マニュアル作成など民間へオペレーションを技術移転 ⇒海洋開発産業の発展への寄与 ●洋上風力発電施設の点検作業施行試験の実施 ⇒国内再生エネルギー普及への貢献 ■シップオブザイヤー2018「海洋構造物・機器部門賞」受賞	●AUV隊列制御アルゴリズムを開発し、1000m水深海域で有効性を確認 ●AUV充電ドッキング技術を開発 ⇒海洋開発産業の発展への寄与 ⇒広範なAUV活用に寄与	●2機の航行型AUVを1ASVが統括、運用するシステム（基本隊列制御システム）を開発 ⇒実海域（駿河湾）でその有効性を検証 ●AUV-AUV測位・通信システムを開発 ■IEEE OES Underwater Technology21,最優秀賞 ■水路技術奨励賞 ■ロボット大賞審査員特別賞	●AUV隊列制御アルゴリズムの統括制御システムを改善開発・AUV搭載 ●AUV-AUV通信・測位システムを開発・実海域での実証 ●AUV航行制御法の高度化 ●AUV-ASV連結システム開発 ⇒AUV運用方法改善に寄与 ⇒洋上風力発電施設点検等、管理業務へのAUV展開 ■マリンエンジニアリング学会賞(技術賞)	●AUV隊列制御システムを1300m海域で運用し、海底地形図取得に成功 ●隊列制御システムの高度化（慣性航法装置の新形式補正法開発）実施 ●AUV航行制御法の高度化を達成 ●AUV-ASV連結システムの実証試験に成功 ■マリンエンジニアリング学会ロイドレジスター電気電子工学賞受賞	
			H28年度 P.9	H29年度 P.5	H30年度 P.10	R1年度 P.12	R2年度 P.11	R3年度 P.11	R4年度 P.25	
	成果の公表		◆査読論文 0編 ◆特許申請 8件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 0件 ◆受賞 1件	◆査読論文 10編 ◆特許申請 4件 ◆プログラム登録 1件 ◆国際貢献 0件 ◆受賞 0件	◆査読論文 8編 ◆特許申請 4件 ◆プログラム登録 4件 ◆国際貢献 0件 ◆受賞 1件	◆査読論文 41編 ◆特許申請 2件 ◆プログラム登録 7件 ◆国際貢献 1件 ◆受賞 4件	◆査読論文 25編 ◆特許申請 3件 ◆プログラム登録 4件 ◆国際貢献 2件 ◆受賞 7件	◆査読論文 28編 ◆特許申請 5件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 7件 ◆受賞 3件	◆査読論文 30編 ◆特許申請 4件 ◆プログラム登録 4件 ◆国際貢献 1件 ◆受賞 7件	
	自己評点	A	【平均 3.2「A」】海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9） 【平均 3.1「A」】海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究（重点研究☆10）							
（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発	（4）海上輸送を支える基盤的技術開発 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に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、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。	①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発	造船業の競争力強化や少子高齢化等に対応するための新しい生産システムの構築に関する研究		造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究（**重点研究☆11**）					**＜最終成果＞** ■生産管理システムの開発：中小造船所向けに生産管理システムを開発し、工数削減効果5～10%の効果を確認するとともに中小造船所7社に導入した。 ■曲げ加工支援ARシステムの開発：フィードバック型現場曲げ加工支援システム及び曲げ加工支援ARシステムを開発し、造船所1社に導入した。 ■次世代造船設計システムの構築：造船用PLMシステムのプロトタイプシステムを開発するとともに、BOM/BOP のデータ構造を策定した。流用設計等の設計プロセスのデモを作成した。 ■次世代造船設計システムの構築：小組工程及び大組工程の建造シミュレータを開発した。造船所2社に導入予定となった。
			船内騒音対策等の新たなニーズに対応した新材料利用技術に関する研究				次世代造船設計システムの構築			
			生産管理システムの開発							
			●生産管理システムのプロトタイプ開発	●生産管理システムを中小造船所用に開発・導入 ⇒5%以上の技能職工数削減・余力創出効果を確認 ■中小造船所2社に導入	●生産管理システムを実証実験を通じ、改良 ⇒5～10%の工数削減効果を確認 ■中小造船所7社に適用		●造船工程をモデル化し，そのデータ構造（情報の内容，形式，関係性等）を定義して造船作業工程のデジタル化を提案 ●造船所間の統合・協業を推進するため、データの標準化及び造船用統合データプラットフォームを開発	●BOM(部品表), BOP(工程表) の概念に基づく、精緻な生産計画及び生産管理のためのデータ構造を策定 ●仮想的な建造シミュレーション技術（小組立工程）を開発 ⇒実際の小組立工程とシミュレーション結果を比較し，結果の妥当性を確認．造船所2社が導入予定 ●造船PLMシステムと建造シミュレータの一連のデモの作成	●流用設計を想定した設計プロセスの整理、BOM/BOPデータの自動生成機能の開発 ⇒高速設計が可能。 ●建造シミュレーションの基本エンジンの整備と造船所への実展開の検証 ⇒大組工程の建造シミュレーションが可能。 ●次世代造船設計システムの実用化開発の製造の技術要件、ソリューション、ロードマップを作成。	
			H29年度 P.7		H30年度 P.11		R2年度 P.12	R3年度 P.12	R4年度 P.32	
			曲げ加工支援ARシステムの開発							
			●曲げ加工支援システムのプロトタイプを開発 ⇒曲げ過ぎや曲げ不足を修正するプレス線の表示が可能となり、造船所において有効性を確認	●曲げ加工支援ARシステムを造船現場で実証実験を実施 ⇒造船現場でも明瞭にARを表示し、曲げ加工を効率的に実施することを検証	●フィードバック型現場曲げ加工支援システムを開発 ⇒造船所1社が導入 ●曲げ加工支援ARシステムを改良開発 ⇒造船所1社が導入					
			H29年度 P.7	H30年度 P.11	R1年度 P.29					

今後の発展

重点☆10
・内閣府SIP第3期への参画が内定し、複数AUV協調制御による高効率・高精度海底下地盤調査技術の研究開発を実施予定
・高度な制御技術を更に発展させ、海中充電による長時間無浮上ミッション遂行を可能とするAUV−海中ステーションドッキング技術を研究開発予定(SIP第3期)
・培った要素技術をもとに海洋研究開発機構(JAMSTEC)と共にJST「経済安全保障重要技術育成プログラム（Kプロ）」に応募中
・Kプロでは無人航空機による着水・揚収に対応するAUVの開発を担当し、高機動性深深度AUVの設計を行う予定

重点☆11
●小項目4：接着部の破壊靭性やき裂進展特性の定量評価により、接着部の品質保障の高度化を図る。構造接着の実機への適用拡大を支援するため、標準化・ガイドラインへの波及に取り組む。
●小項目8：造船用PLMシステムを国内造船所に実展開する。船舶開発におけるモデルベース設計の研究開発を進める。
●小項目9：対象工程を拡張していき建造すべてを再現できるように研究を進める。建造シミュレーションを活用した設計、生産計画、製造現場の生産管理体制を整備することで、本技術の社会実装を進める。

中間評価　　終了評価

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	最終成果
（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発	（4）海上輸送を支える基盤的技術開発 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に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、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。	②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発	ICTを利用した大陸間自律運航、メンテナンスフリー等に係るモニタリングシステム等の支援技術に関する研究		ICTを利用した大陸間自動運航に係る支援技術に関する研究（**重点研究☆12**）					**＜最終成果＞** ■自動避航アルゴリズム、自動着桟システムの開発 ■他船検知システムの開発と自動避航アルトリズムと連携した自動避航システムの開発 ■小型実験船「神峰」での自動化システム及び遠隔監視・操船システムの構築 ■FTST及び操船シミュレータからなる総合シミュレーションシステムの完成 ■総合シミュレーションシステムによる自動避航アルゴリズム評価方案の作成 ■IMOの自動運航船ガイドライン（MASSガイドン）に関する日本提案の作成支援
			自動運航システムの概念の構築							
			●AI技術を活用した画像処理によるAIS非搭載船検出システムを開発 ⇒自律船の想定したシステム開発に移行	●自律機能組み込み型操船シミュレータのフレームワークを構築 ⇒操船シミュレータ上で自動運航を体験できる環境を構築 ●自動避航操船機能モジュールを構築 ●自動運航船の運航に必要な規則を整理し、IMOへ提出 ⇒自動運航船の実現に向けて貢献	●航行妨害ゾーン（OZT）を応用したルールベースの自動避航アルゴリズムを開発 ●実際のAISデータを用いたシミュレーション環境で検証を実施 ⇒操船シミュレータへの自動避航システム組み込み完了	●自動運航船の実用化に向けた課題を解決するためにPure pursuitとAutopilotによる自動着桟アルゴリズムを開発 ●音声ガイダンスによる着桟操船支援システムを開発 ⇒小型実験船による実証試験を実施、操船者の精神的作業負担の軽減が可能	●妨害ゾーン（Obstacle Zone by Target：OZT）を用いたルールベースのアルゴリズムを用いた避航操船支援システムを開発 ⇒東京海洋大学の汐路丸により実船で検証 ●自動着桟システムを更新 ⇒ 8～10m/s程度の強風時においても安定した自動着桟が可能	●ファストタイムシップシミュレータ（FTSS）の構築 ⇒仮想環境下で高速シミュレーションによる安全性評価が可能 ●自動化システムや遠隔監視システムについての安全要件を整理し、機能確認試験を実施。 ⇒通信遅れの把握や通信遅れが生じたときの対応、さらに各種センサの健全性の確認方法等が重要であることを確認	●前年度までに抽出された自動化システムの課題対策 ⇒離桟から着桟までの一連の作業を自動化システムで連続した実行が可能となり、遠隔操船についても容易な操作で遠隔操船が可能となった。 ●操船シミュレータの完成 ⇒自動運航船の安全評価基盤が整備された。	
			H28年度 P.10	H29年度 P.8	H30年度 P.12	R1年度 P.30	R2年度 P.13	R3年度 P.13	R4年度 P.33	
		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	海陸複合一貫輸送を考慮した海上物流の効率化・最適化とその評価等に関する研究		AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（**重点研究☆13**）					**＜最終成果＞** ■傷病者輸送シミュレータを開発 ■緊急支援物資輸送システムの開発 ■船隊運航管理システムの高度化 ■外航海運における燃料転換シミュレータの開発 ■造船需要予測モデルの開発 ■GHG削減対策の影響評価シミュレータの開発 ■AI・ビッグデータによる海運市況予測・分析モデル
			海上貨物・造船需要等の評価及び予測手法の構築							
			●AISデータから船舶動静データへと変換するプログラムの開発	●衛星AISデータと各種統計データを基に自動的に海運市況予測可能なプログラムを開発	●海上運賃予測モデルの構築 ⇒輸出入貨物を主な対象にAIを用いた輸送モデルの航路評価が可能	●INFINITモデルを用いた輸送シミュレーションを試作	●造船市場モデルと運航モデルを統合したGHG 排出量評価シミュレータを開発 ⇒4.4 Marginal abatement cost curves, Fourth IMO GHG Study July 2020, MEPC 75-7-15で国際貢献	●コンテナ船の船腹量と建造量の需要予測を実施 ⇒日本造船工業会の需給小委員会での活用と国際需要予測専門家会議で国際貢献 ●国際海運の燃料需給シナリオのデータ加工を実施 ⇒日本海事センターの環境問題委員会で活用	●コンテナ船の需要予測モデルを開発 ⇒将来のコンテナ船の需要を予測可能 ●国際海運の燃料需給シナリオのデータ加工と燃料油課金制度の分析を実施 ⇒IMO提案文書（ISWG-GHG 13/4/6）で活用 ●AI技術等を用いた海運市況分析技術に関する研修 ⇒海外機関向けに研修を実施して国際貢献	
					H30年度 P.14			R3年度 P.14	R4年度 P.34	
			平時及び災害時における複合一貫輸送評価手法の構築							
			●全体システムの設計・開発、トラックドライバーの労働時間等評価機構を実装 ⇒トラックドライバーの労働時間考慮した海上輸送量を算定	●モーダルシフトの可能性評価のためにDeepLearning を応用した流動経路推定モデルを開発 ⇒ベース貨物・有望貨物・見込み貨物が探索可能	●Deep learning技術による貨物輸送評価手法を開発 ⇒正解経路を95%の正解率 ●地震発生後の輸送計画作成から評価までの輸送シミュレータを開発 ⇒被災港も用いた海上輸送を併用することで遅延を効果的に緩和できる可能性を示した	●3研（海技研、港空研、電子研）連携による災害時の傷病者輸送に対するマルチエージェントモデルを用いたシミュレータの開発ためのフレームワークを構築	●3研（海技研、港空研、電子研）連携による大規模災害時の陸上・海上・航空輸送に関わる救援活動において発生するボトルネックを事前に発見するシミュレータを開発 ⇒交通運輸技術開発推進制度の外部有識者による年度評価で、委員より「緻密なシステムで大変重要な技術を開発されている」との評価	●傷病者輸送シミュレータをクラウド上に実装 ⇒交通運輸技術開発推進制度の外部有識者による年度評価で、委員より「非常に意義の大きい成果が得られている」との評価 ●緊急支援物資輸送システムを開発 ⇒国・自治体・指定公共機関参加のオンライン机上演習および現場実証において活用	●緊急支援物資輸送システムの改修 ⇒国・自治体・物流事業者のオンラインワークショップおよび実動演習において活用	
			H30年度 P.13,14			R1年度 P.31	R2年度 P.14	R3年度 P.14	R4年度 P.34	
成果の公表			◆査読論文 0編 ◆特許申請 1件 ◆プログラム登録 4件 ◆国際貢献 0件 ◆受賞 1件	◆査読論文 5編 ◆特許申請 3件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 0件 ◆受賞 0件	◆査読論文 6編 ◆特許申請 0件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 0件 ◆受賞 0件	◆査読論文 7編 ◆特許申請 6件 ◆プログラム登録 0件 ◆国際貢献 0件 ◆受賞 0件	◆査読論文 12編 ◆特許申請 8件 ◆プログラム登録 1件 ◆国際貢献 1件 ◆受賞 0件	◆査読論文 10編 ◆特許申請 4件 ◆プログラム登録 2件 ◆国際貢献 0件 ◆受賞 1件	◆査読論文 17編 ◆特許申請 2件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 6件 ◆受賞 1件		
自己評点	A		【平均 2.5「A」】造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究（重点研究☆11） 【平均 2.8「A」】ICTを利用した大陸間自動運航に係る支援技術に関する研究（重点研究☆12） 【平均 2.9「A」】AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（重点研究☆13）							

今後の発展

重点☆12
自動化システム及び遠隔監視・操船システムは、多種多様な船舶への適用範囲の拡大を図る。共同研究等ではニーズを精査し必要とされる機能から実装を進めていくことを考えている。
今期は自船で取得されるデータのみを入力とする自動化システムを構築したが、船船間および船陸間の通信により取得されるデータも活用したシステムを構築を検討する。
完成した総合シミュレーションシステムを用いて自動運航船の安全評価技術の高度化を図る。

重点☆13
・造船需要予測モデルは、輸送モデルの連携、傭船料の分析、各種のGHG削減対策の影響評価などにも対応ができるような改良を実施する予定である。
・船舶動静ビッグデータ解析技術については、ビッグデータの高解像度化やAI技術の発展を踏まえ、高度な推計・予測が可能な改良を実施する予定である。
・傷病者輸送シミュレータについては、地震災害のみならず他の災害にも対応できるような改良を今後実施する予定である。
・緊急支援物資輸送システムについては、プッシュ型支援からプル型支援への対応が可能となるような改良を実施していく。

令和4年度　重点研究一覧

重点4分野	重点研究番号	テーマ名	研究主任者	研究期間	ページ番号
海上輸送の安全確保	☆1	船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究	岡正義	H28 -R4	p.1
	☆2	船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究	伊藤博子	H28 -R4	p.15
	☆3	安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究	田口晴邦	H28 -R4	p.28
海洋環境の保全	☆4	船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究	益田晶子	H28 -R4	p.39
	☆5	実海域実船性能評価に関する研究	辻本勝	H28 -R4	p.47
	☆6	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	大橋訓英	H28 -R4	p.61
	☆7	多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究	高橋千織	H28 -R4	p.67
	☆8	船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究	浅見光史	H28 -R4	p.74
海洋の開発	☆9	海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究	正信聡太郎	H28 -R4	p.87
	☆10	海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究	藤原敏文 (代理:金岡秀)	H28 -R4	p.99
海上輸送を支える基盤的技術開発	☆11	造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究	岩田知明	H28 -R4	p.107
	☆12	船舶のICT(情報通信技術)を利用した大陸間自律運航、モニタリングシステム等の支援技術に関する研究	南真紀子	H28 -R4	p.116
	☆13	AI等による輸送の効率化・最適化・予測等に関する研究	荒谷太郎	H28 -R4	p.127

研究開発課題	(1)先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

研究テーマ	重点☆1　船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4年度計画
海難事故の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、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や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。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、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、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故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先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、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、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故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先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、DLSA システムの完成に向けた要素技術成果の統合化及びシステム化を行うために、流体構造強連成システムのプロトタイプを DLSA-AT に取り入れる。さらに、統合デジタルツインシステム（i-SAS）の実用化に向け、運航中の外航船にシステムを搭載して、データ収録機能、応力等の状態量標示機能及びデータ同化手法の精度等のシステム検証を行う。また、急速に需要が高まっている GHG 対応燃料の運搬船、燃料船をリスクベース設計するために必要なリスク評価技術を開発する。 等

研究の背景

安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築をする。

具体的には、以下があげられる。
・全船直接荷重構造強度評価システムの開発
・荷重・構造連成を考慮した数値解析手法の高度化及び極限波設定手法の開発
・最先端の疲労強度評価法の開発
・最先端の船体縦曲げ最終強度評価法の開発
・リスク及び Reliability ベースの ALS（Accidental Limit State）設計手法の開発
・極限海象下での非線形流体－構造連成応答に関する実験的研究
・ハルモニタリングシステムの開発に関する研究
・AI を活用した運航・保守・設計支援
・船体構造デジタルツインの開発
・データ活用型の強度評価手法の開発

期間全体の研究目標

□全船荷重構造一貫解析システム(DLSA)の開発
・.統合プラットフォーム
・CFD や粒子法を含む強非線形荷重評価システム、及び、流体構造連成解析手法、極限波設定手法、操船影響の評価法
・二軸載荷条件下の疲労き裂成長評価技術、及び、き裂成長則の知見を統合した疲労強度評価法
・流体・構造連成を考慮した波浪衝撃荷重推定法及び最終強度・残余強度評価法
・信頼性ベースの強度評価手法
・荒天下での船体耐力評価技術及びこれを検証するための水槽試験計測技術
□船体構造デジタルツインの開発
・ハルモニタリングシステムガイドライン
・AI 等を活用した安全運航・効果的保守・最適設計の支援手法
・船体構造デジタルツインシステム
・データ活用による船体強度評価システム及び設計フィードバック手法

上記成果は、以下があげられる。
・先進的な評価システム等の実用化及び新構造基準により、合理的な船体設計、高度な海難事故解析等が可能となり、船舶の折損事故等が防止される。

R4年度研究目標

□小項目 1

・DLSA の用途・目的による分類を以下の表に示す。Basic 及び Professional は GUI を開発済である。造船所の需要が高いのは設計に直結する Basic である。

表 1　DLSA の分類

	用途・目的	作業時間
DLSA-Basic	・疲労/降伏/座屈 ・**船級承認、notation取得**	1週間以内
DLSA-Professional	・最終強度 ・設計、（事故調査）	2週間~
DLSA-AT	・最終強度/残存強度 ・事故調査、研究	1か月~

構造強度評価システムの開発にかかる本年度の研究目標は以下のとおり。
【DLSA-Basic】
・強度評価機能の高度化、社会実装
【DLSA-Professional】
・崩壊解析精度検証、社会実装
【DLSA-AT】
・極限波浪中における構造応答のばらつきが海象推定に与える影響の解明
・船体運動－タンク内スロッシング荷重－構造応答の連成解析モデルの精度検証
【最先端の要素技術の確立】
・重畳波を含む二軸荷重下の疲労強度評価シミュレーション手法の開発
・損傷・傾斜時の崩壊を再現可能な最終強度簡易推定手法を開発

□小項目 9

船体構造デジタルツインの開発にかかる本年度の研究目標は以下のとおり。

・船体構造デジタルツインの標準化
　ガイドライン化の検討、船上データ標準化
・船体構造デジタルツインシステムの構築
　実船でのシステム検証、システムのブラッシュアップ
・データ活用型の船体強度評価手法の開発
　実データを利用した設計用波浪荷重の設定手法の構築

R4年度研究内容

□小項目 1

【DLSA-Basic】
・全船強度評価による二軸載荷の疲労寿命に及ぼす影響調査
・座屈強度評価機能追加・実装
【DLSA-Professional】
・実船モデルでの解析安定性及び精度検証
・計算安定性の向上及び GUI の改良
【DLSA-AT】
・極限波浪中における構造応答のばらつき(不確実性)が海象推定に与える影響(確率分布)を把握
・模型実験データによる双方向連成解析プログラムの精度検証、波条件によるスロッシング非線形影響把握
【最先端の要素技術の確立】
・疲労亀裂伝播試験により既に蓄積したデータ・知見からシミュレーション手法の開発
・繰り返し実験の実施。傾斜角を変化させたシリーズ計算実施。傾斜角が崩壊挙動に与える影響を解明し、損傷時（傾斜及び開孔を考慮できる)最終強度簡易推定手法を開発

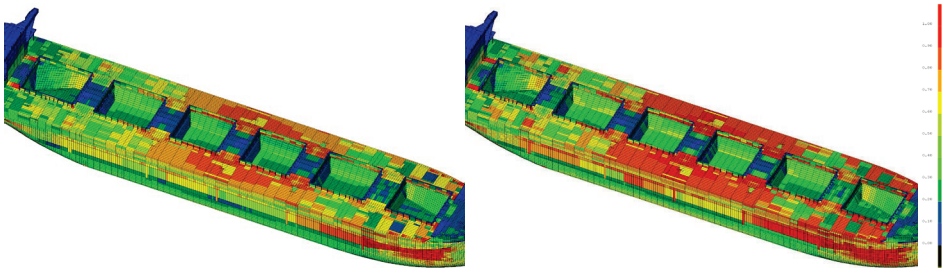
□小項目 9

・船体構造デジタルツインシステムの認証用ガイドライン草案の作成
・船体構造デジタルツインシステムの実用化に向けた実船検証
・波浪データと AIS データを利用した確率論的アプローチによる設計波浪荷重の設定手法の提案

R4年度研究成果

□小項目 1

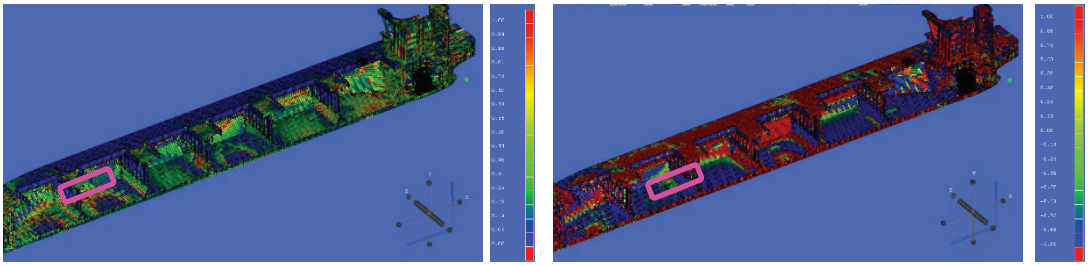
【DLSA-Basic】
・全船有限要素モデルを対象にした腐食板厚衰耗を考慮した座屈強度評価機能を追加し、影響を調査した（図 1-1 参照）（降伏、疲労についても同様に評価可能）。本機能は造船所で使用された。



腐食前(gross 寸法)　　腐食後(net 寸法)

図 1-1　長さ 240m 級のバルクキャリアの座屈評価の例　向波,波高 24m,波長船長比 1.1

・二軸応力条件下においては、主応力方向と直行する応力成分が疲労寿命に影響する場合がある。このとき、各二軸応力の大きさに加え、その位相差が疲労寿命に影響を及ぼす。そこで、二軸指標の全船マッピング結果として、応力振幅比に加え各軸の応力の位相差を表示する機能を実装した。二軸の応力が大きく、かつそれらが逆位相で作用する箇所においてには、疲労強度評価上の注意が必要となる（図 1-2 参照）。



各軸の応力比　　各軸の位相差

図 1-2　長さ 240m 級のバルクキャリア疲労強度への二軸の影響度指標

・線形ストリップ法/3D パネル法プログラム NMRIW-Lite に時間領域の不規則波中計算機能を追加し、かつ縦曲げモーメントがホギングとサギングで非対称になる等の船体形状による非線形性（形状非線形）を考慮したハルガーダ断面力を計算できるように改良した（図 1-3）。
・DLSA-Basic システムに船体 FEM モデルに作用するハルガーダ断面力を自動で計算する機能など，研究や設計における利便性向上につながる各種機能を追加した。
・DLSA-Basic システムのマニュアルを刷新し、使用法のフローチャートや詳細手順を追加することでユーザビリティを向上させた。
・線形ストリップ法/3D パネル法 Web アプリ版 NMRIW-Lite web に関する付属書「ハンズオンで学ぶ 波浪荷重解析」を作成し、造船所 1 社および 1 大学に対し講演を行った。

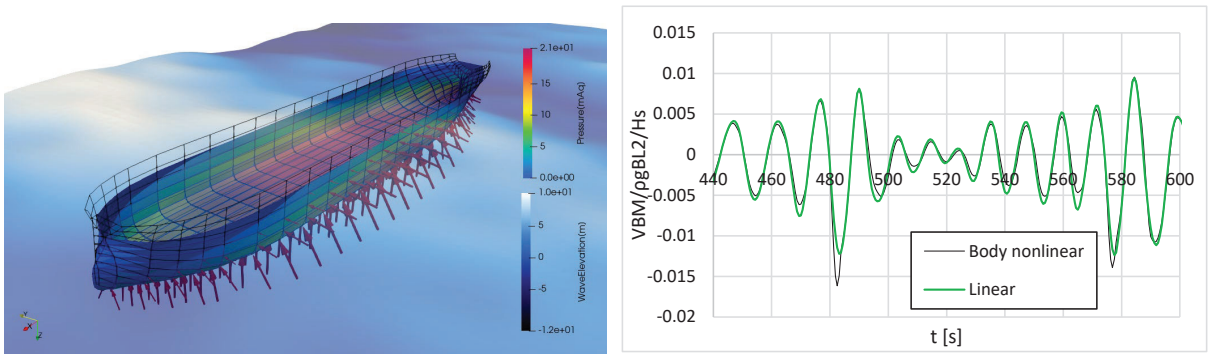


図 1-3　線形 3D パネル法の不規則波中解析(左)、及び形状非線形性を考慮した縦曲げモーメントの時系列(右)

【DLSA-Professional】
・実船モデルを対象に計算安定性を向上させるための計算条件を自動で設定できるようにした。また、線形解析用全船 FE モデルを対象に非線形解析用 FE モデルを自動で作成できるよう機能の向上を図った。合わせて、これらを GUI 上の簡便な操作で実行可能にした（1-4 参照）。

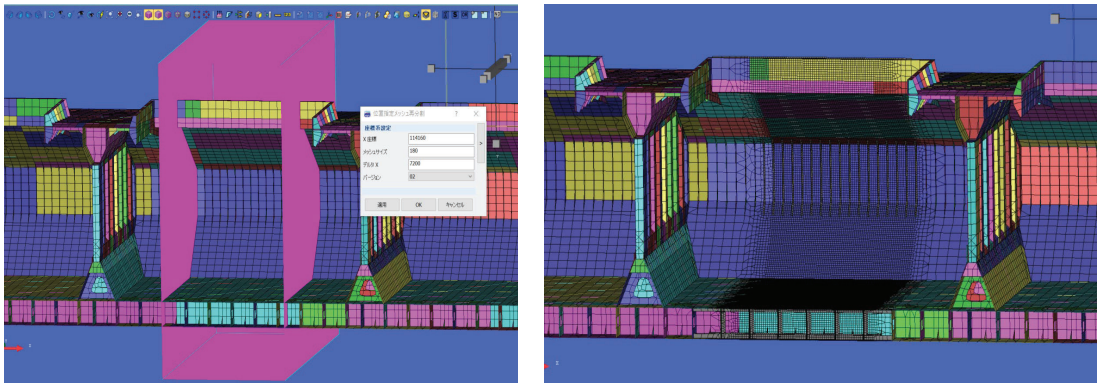


図 1-4　簡便な GUI 操作による非線形解析用 FE モデル作成

【DLSA-AT】
・船体運動や断面力等の船体応答の伝達関数の不確定性を考慮した計測応答からの波浪スペクトルの確率的推定法を構築した（図 1-5）。
・確率的波浪推定法に関連して、船速影響の考慮及び伝達関数の不確定性の一貫したモデル化法を考案した。
・重合格子対応非定常 Reynolds Averaged Navier-Stokes(URANS) ソルバーと Finite Element Analysis(FEA)の双方向連成環境を構築した（図 1-6）。

・非線形粒子法とパネル法（Hybrid 法）連成法と線形パネル法を用いて、LNG 模型船に対する二つ数値モデルを作成した。模型実験データによる二つ計算方法の計算特性と精度を検討した（図 1-7 参照）。

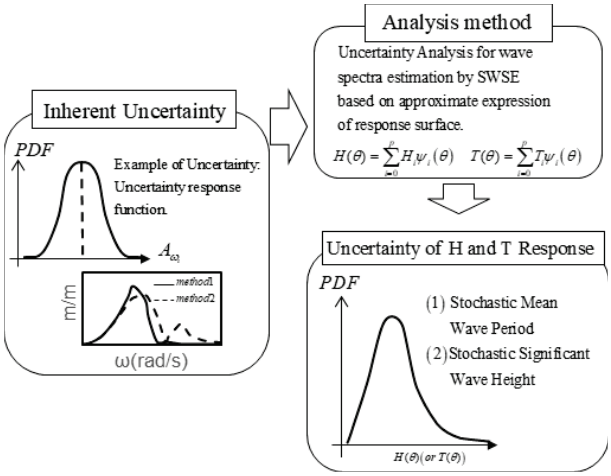


図1-5 確率的波浪推定法

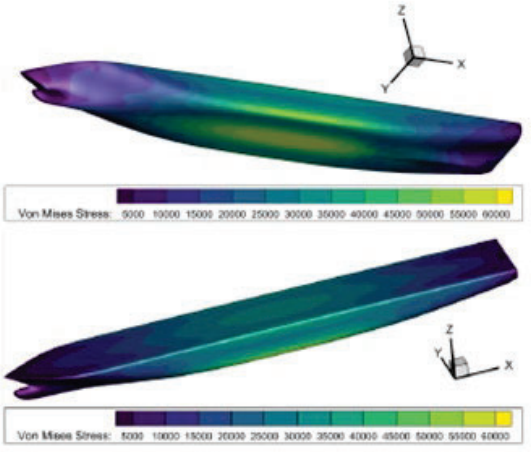
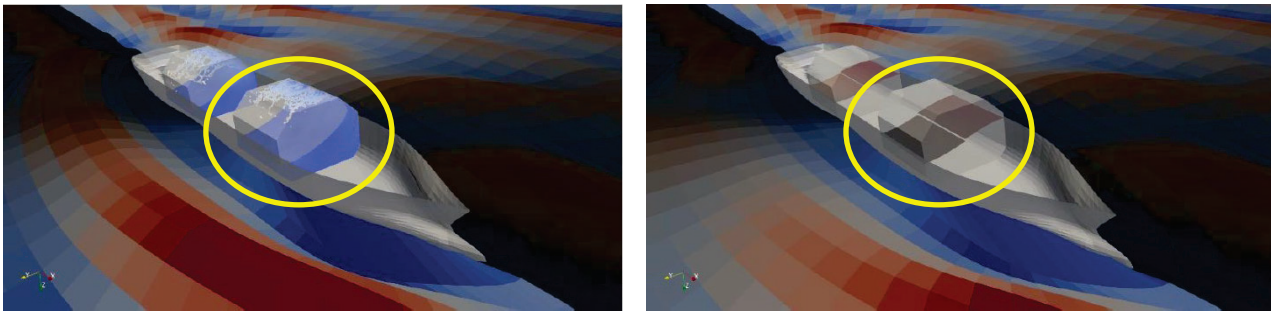


図 1-6 双方向連成による船体表面 Von Mises 応力の評価例



（a）Hybird 法　　（b）線形パネル法

図 1-7 横波中での LNG 船タンク内流体力の数値解析結果の比較

・ICFD(Incompressible Computational Fluid Dynamics)コードを用いて、流体構造連成を考慮した実コンテナ船（8800TEU）の船型及びスケールでのバウフレア・スラミング解析を実施すると共に、粒子法の解析結果と比較検証を実施した（図 1-8、1-9 参照）。鉛直方向変位については、両手法で概ね良好な相関が得られることが分かった（図 1-10 参照）。加速度については、格子サイズや出力間隔等の検討が今後必要であることが分かった。

・スラミング解析の妥当性検証のため、コンテナ船船首の縮尺模型を 3 次元プリンタで製作し、水槽での落下実験を実施した。最先端の Bluetooth5.0 による無線式の加速度計を船体に埋め込み計測すると共に、現象把握のためバウフレアの水面突入状況を高速度カメラで撮影した（図 1-11 参照）。将来的に、実験の解析検証を実施することが課題である。また、3次元プリンタにより複雑形状の模型製作が有効であることが分かった。

・スプラッシュについて、船体周辺のみ格子サイズを若干 Fine にすることにより再現精度の向上が図られることが分かった（ICFD は、通常のオイラー格子と異なり、ラグランジュ格子であるため、局所的 Fine メッシュ化が可能である）。

・流体構造連成を解くための数値シミュレーションコードが整備され、かつ、計算機の性能が向上したことにより、数値水槽を用いた規則波中の実コンテナ船（弾塑性）の流体構造連成解析がロバストに計算できるようになった（図 1-12 参照）。ホイッピング等による船体折損メカニズム解明等のため、より長時間の計算ロバスト性を検証する必要がある、という課題を明確にした。

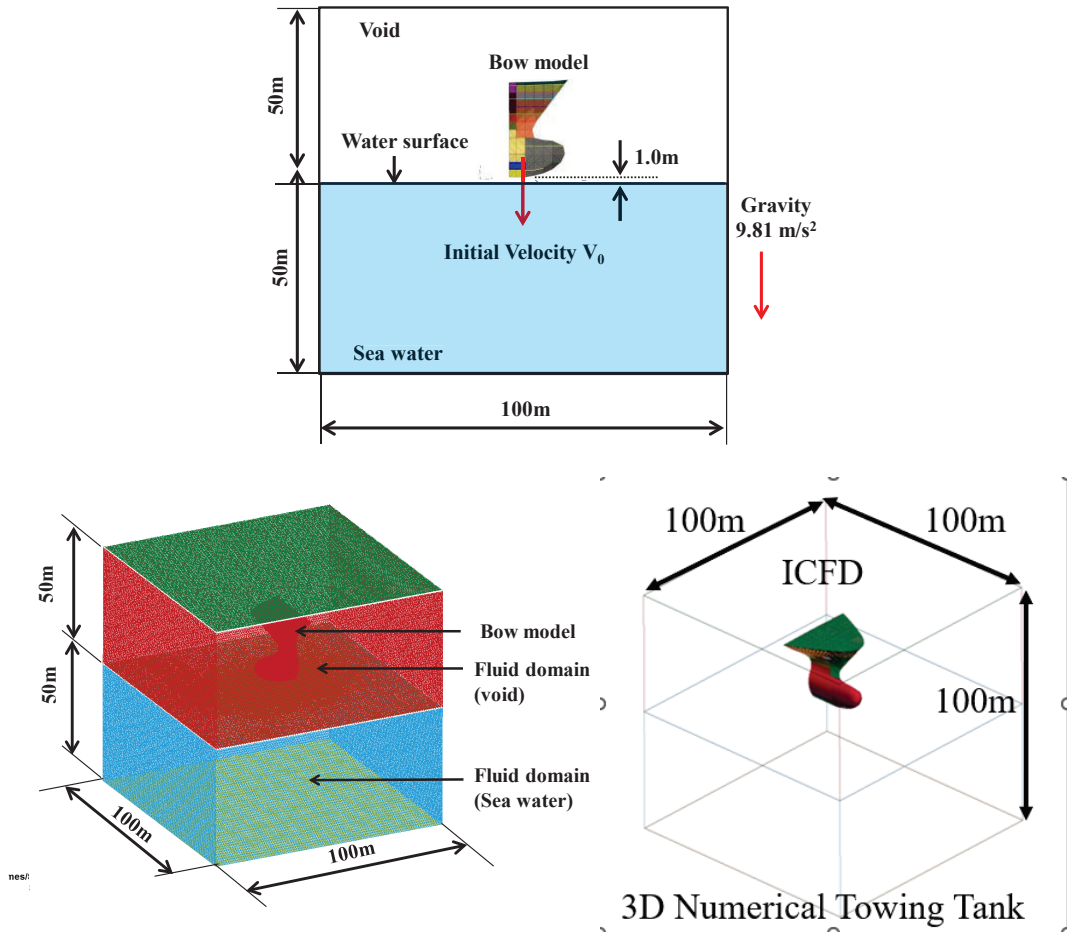


図 1-8　スラミング解析条件とモデル化の例（ICFD 解析の場合）

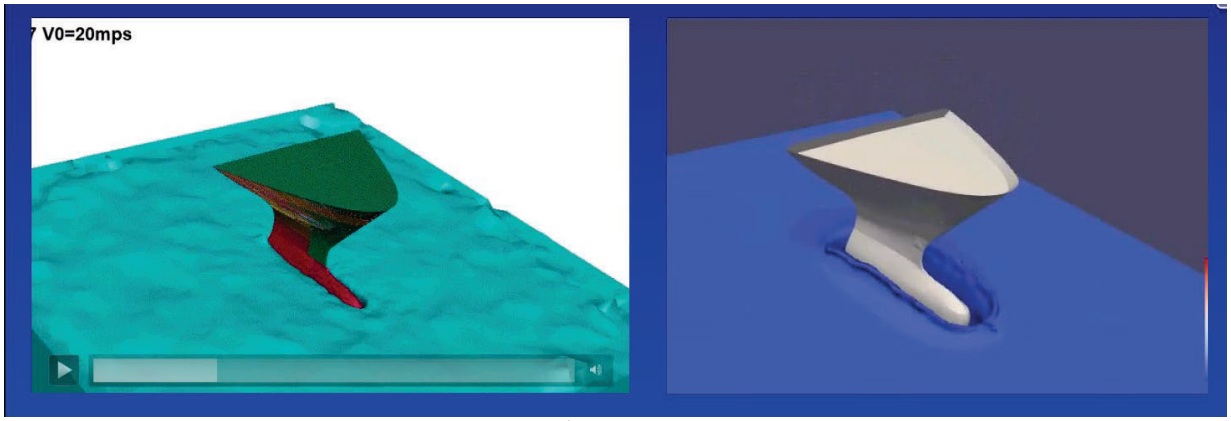


図 1-9　スラミング解析結果例（左：ICFD（流体構造連成）、右：粒子法（剛体））

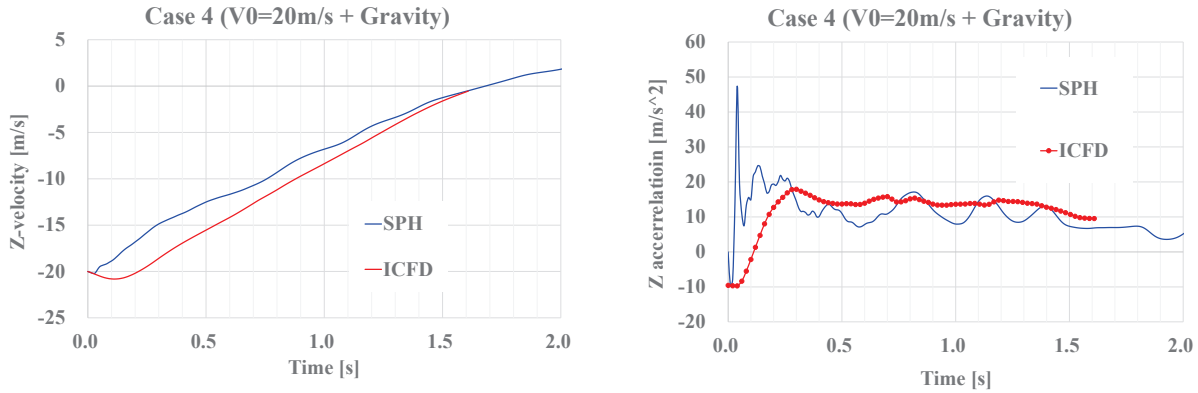


図 1-10　スラミング解析結果例（左：鉛直方向の速度の時刻歴、右：鉛直方向の加速度の時刻歴）

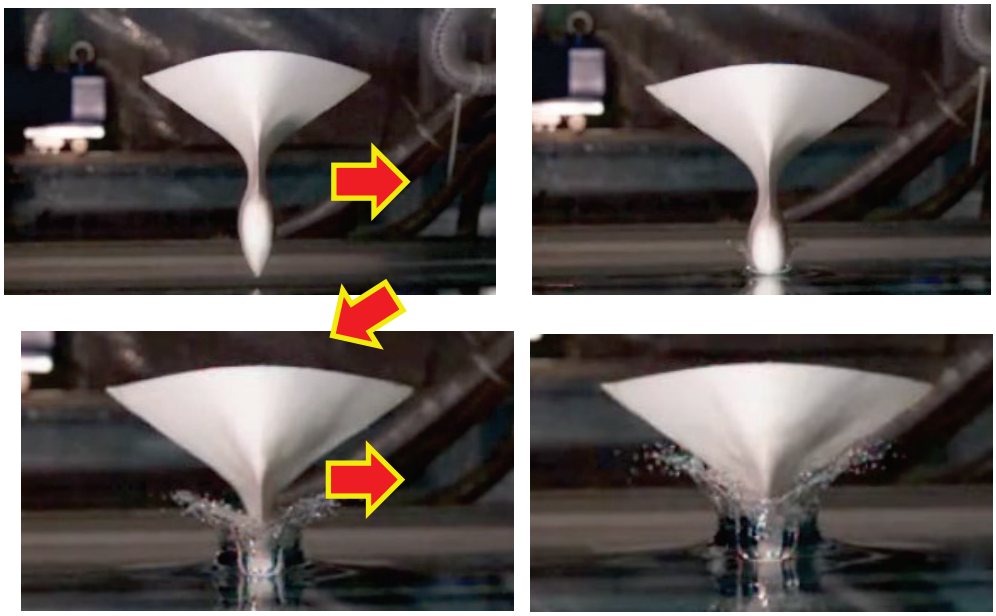


図 1-11　　高速度カメラによるバウフレア模型の水面突入時の状況

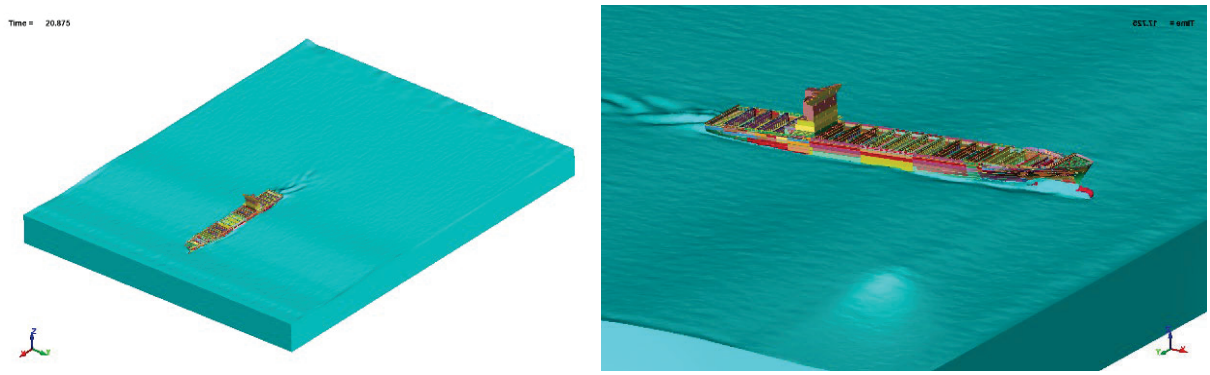


図 1-12　数値水槽を用いた規則波中のコンテナ船（弾塑性）の流体構造連成解析例（実スケール）

【最先端の要素技術の確立】

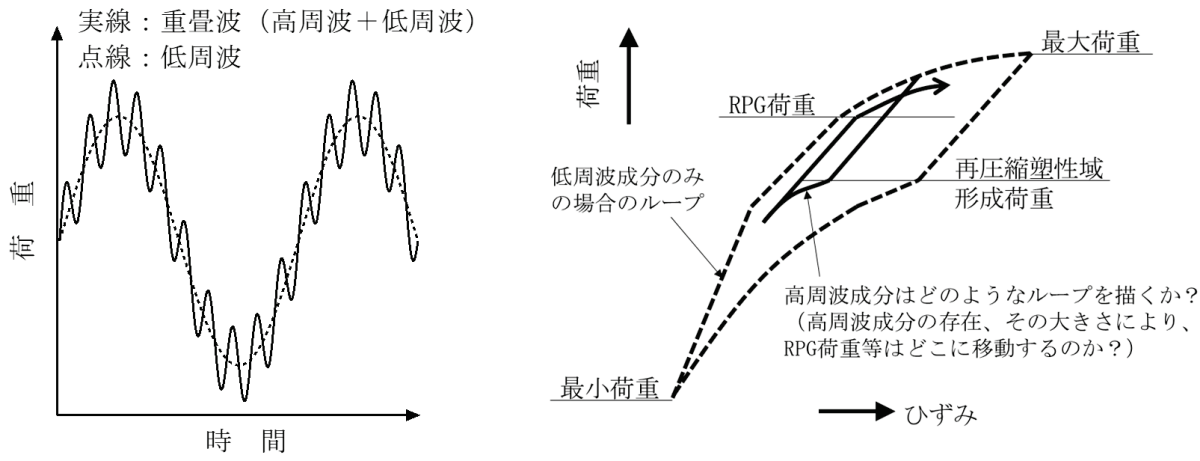
<u>重畳波を含む二軸荷重下の疲労強度評価法の開発</u>

・二軸かつ重畳波条件下での疲労亀裂伝播挙動を推定可能なシミュレーション手法の開発を目的として、過去の試験により得られたデータ・知見を基に、数値解析による検討を実施した。疲労亀裂の進展には、疲労亀裂先端において塑性仕事がなされることが必要である。得られた試験結果によれば、高周波成分が疲労亀裂の成長に影響を与えていることから、高周波成分の繰り返しによって塑性仕事がなされていると推定される。したがって、高周波成分による塑性仕事の発生に関して焦点を当てた検討を行った。

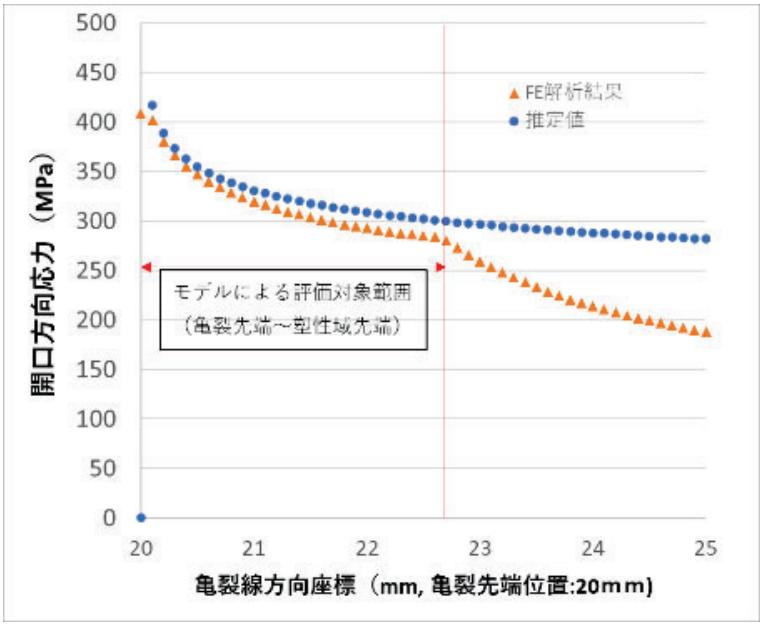
・種々の検討の結果、高周波成分により生じる塑性仕事を考慮する必要があることがわかった。またこのとき、高周波成分という比較的小さな振幅により生じる塑性仕事をシミュレーション上で表現するためには、亀裂開閉口モデルに使用している要素の加工硬化を適切に与える必要がある。これに対し、現在のシミュレーションでは、弾完

全塑性体をベースとして簡易的な考慮のみを行っていることから、要素の加工硬化を詳細に考慮可能なモデルを構築した（図 1-13 参照）。しかしながら、シミュレーションへの実装には至っていない。

・シミュレーションへの実装には、高周波成分により疲労亀裂先端に生じる塑性仕事量と疲労亀裂進展量の関係を明らかにする必要がある。このためには、実験によって当該挙動を直接観察・測定して実現象を把握する必要があるが、現有の試験システムでは実施が困難であったことから、今後の課題として整理した。



(a)重畳応力波形の例　　(b)重畳応力条件下の亀裂先端の塑性挙動イメージ



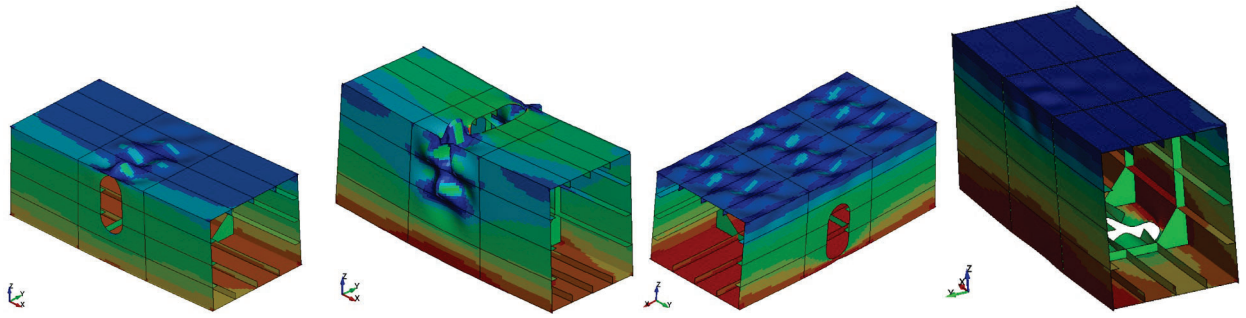
(c) 亀裂先端の応力分布推定結果

図 1-13　重畳応力条件下の加工硬化考慮可能なモデル

損傷時傾斜を考慮した繰返し荷重を受ける船体崩壊挙動の実験的解明

・傾斜角を変化させた損傷ボックスガーダーの崩壊解析を行い、傾斜に対する崩壊挙動と最終強度の変化について明らかにした（図 1-14）。損傷した左右非対称な断面に対応した Smith 法（簡易縦曲げ最終強度推定法）を用いた計算を行い、FEM 解析結果と同程度の精度かつ簡易的に推定を実施できることを確認した。

・引張圧縮荷重試験が可能な治具および小型防撓パネル試験体の設計・製作および実験を実施した（図 1-16(a)）。最終強度後に繰返し荷重を与え、圧縮片振りの場合はほとんど変化が現れなかったが、圧縮引張の荷重の場合（図 1-16(b)）は、繰り返し荷重により徐々に強度が低下していくこと、圧縮から引張へ荷重を載荷する時に剛性が急激に低下すること、等の崩壊挙動が明らかになった。前者は繰返し材料特性による影響、後者は塑性域の拡がりが主に関係している現象であることが明らかになった。



（a）側面・圧縮側　（b）上面・圧縮側　（c）側面・引張側　（d）下面・引張側

図 1-14　最終強度時の X 軸方向応力（変形 10 倍表示、(a)～(d)：開口部の位置）

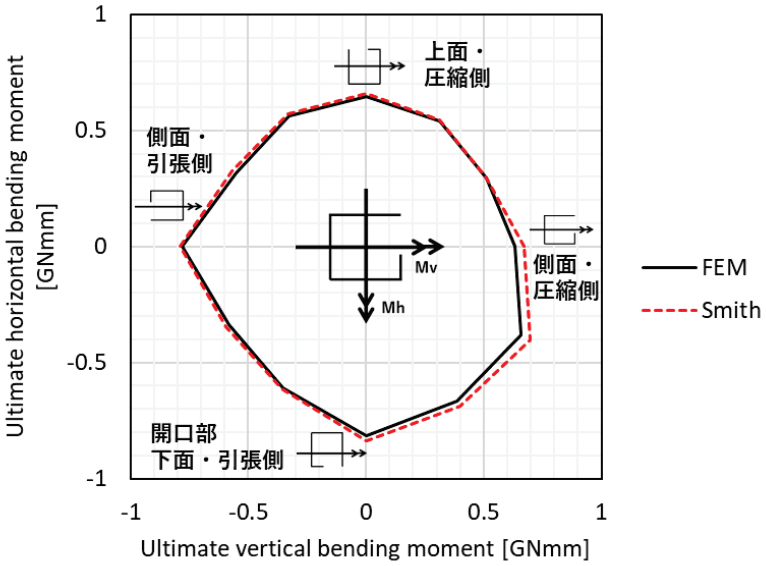
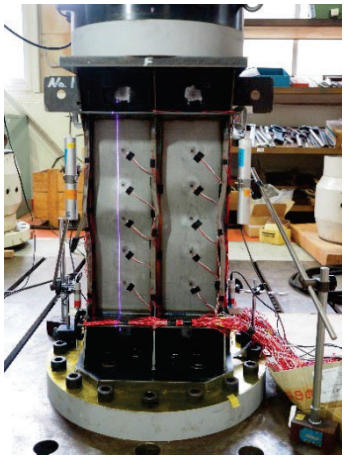
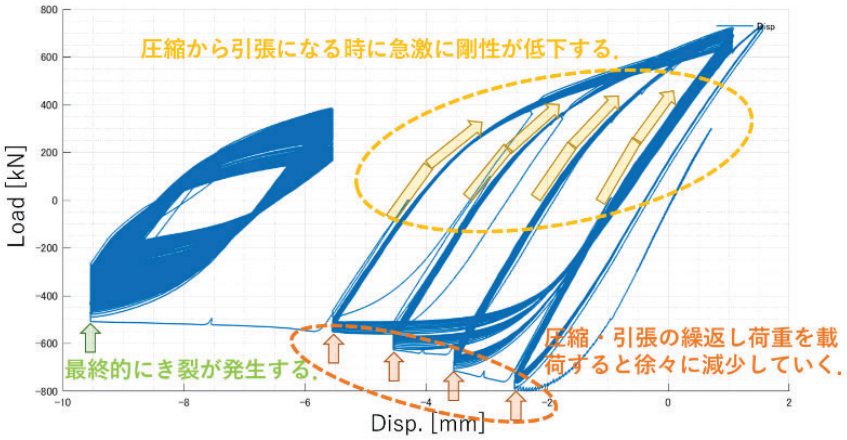


図 1-15　傾斜角を変化させた損傷ボックスガーダーの最終強度曲線



（a）試験体



（b）実験結果（荷重変位曲線）

図 1-16　繰返し圧縮引張荷重を載荷した防撓パネル実験および実験結果

□小項目 9

・ISO19848(Standard data for shipboard machinery and equipment) Annex(Local ID definitions)における、ハルモニタリングデータに関する標準 ID（計測項目や構造部位の Naming Rule)を作成した。船級ガイドライン「NK 船体構造モニタリングガイドライン」において使用されている。

・デジタルツインシステム i-SAS を就航中の鉱石運搬船に実装して、少数の計測データから船体全域の応力を推

定するデータ同化型プログラムを実船で利用でき、i-SAS が安全支援システムとして有効に機能することを検証した（図 9-1）。

・デジタルツインシステムで取得した応力データを用いて波浪逆推定データ同化手法の有効性を検証した。手法の有効性が示されたことにより、必ずしも計測をしていない任意の構造部材の応力スペクトルを取得することを可能にした。ベイズ推定を適用することにより座屈や疲労被害を予測することができ、損傷防止が図られる。（図 9-2）

・日本気象協会が提供する波浪追算による 2 次元波スペクトルを用いて波浪縦曲げモーメントの長期予測を行ない，IACS 推奨の波スペクトルによる予測値と比べて，長期最大期待値で約 6%，疲労被害度で約 20%大となる結果を得た（図 9-3）。2 次元波スペクトルを用いて波浪荷重を推定する手法を特許出願した。

・全球海域の AIS データと波浪推算データを用いて、就航中のコンテナ船、バルクキャリア、オイルタンカー（計 17500 隻）を対象に、遭遇波高に対する操船影響と波浪荷重（縦曲げモーメント）に対する操船影響を調べた。波浪荷重への操船影響は、遭遇波高への操船影響と比べて小さく、構造強度設計において注意する必要があることを示した。

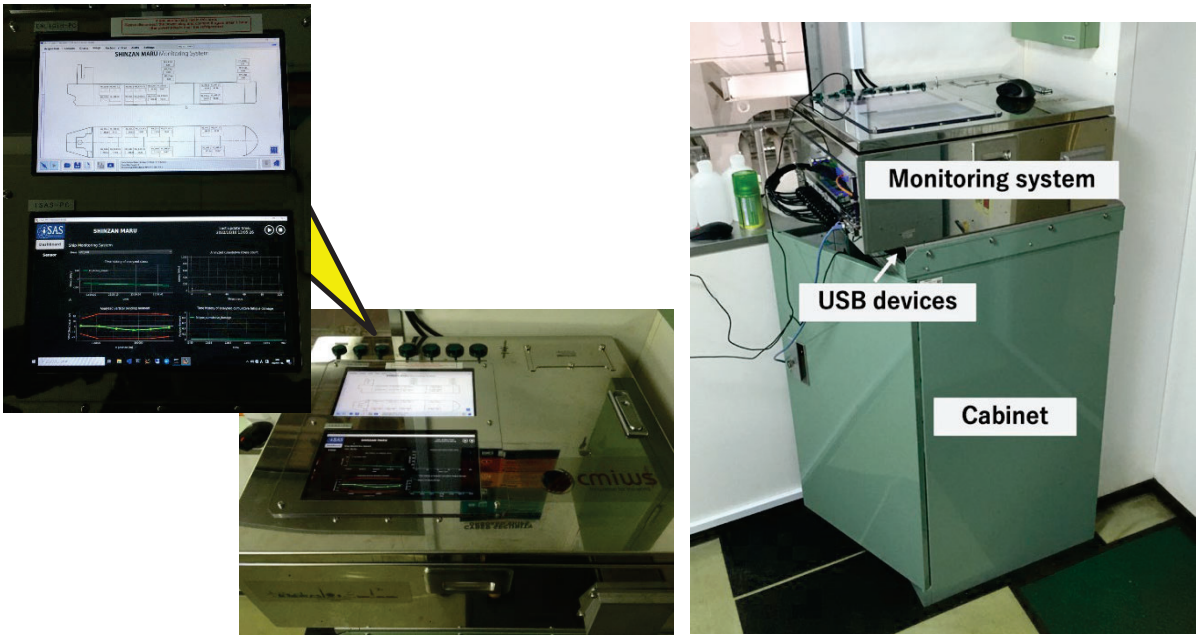


図 9-1 実船に搭載した i-SAS システム及びデータ同化手法の解析結果表示画面の例

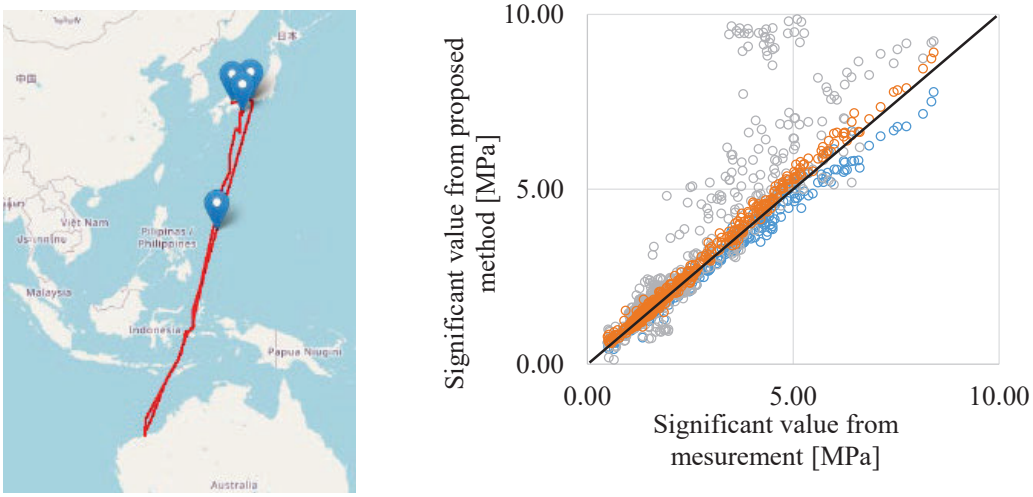


図 9-2 バルクキャリアの航路及び波浪逆推定手法による船体応力の検証結果
（グレー：気象機関の波浪推算データに基づく推定結果、
ブルー：計測 6 点のパワースペクトル及びクロススペクトルを用いた推定結果、
オレンジ：計測 6 点のパワースペクトル及び取捨選択した 3 点のクロススペクトルを用いた推定結果）

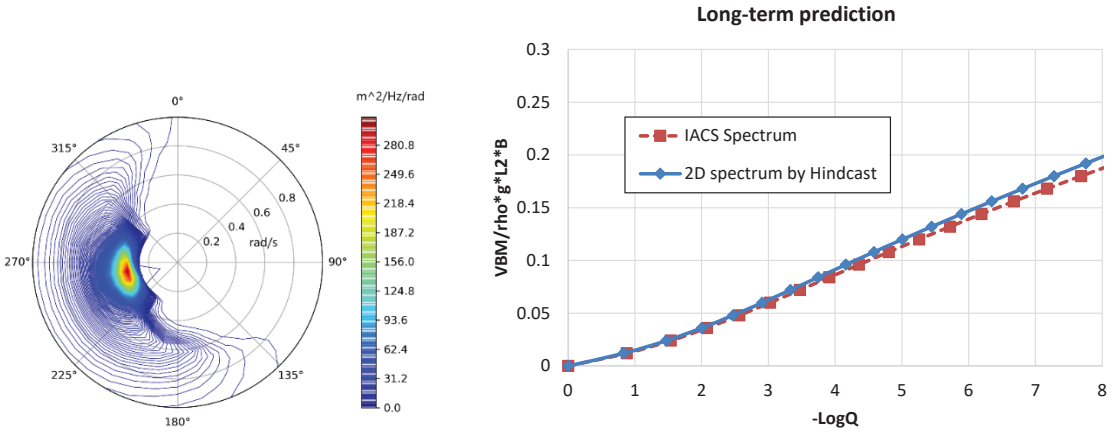


図 9-3　2 次元波スペクトル及びこれを用いてポストパナマックス型コンテナ船の縦曲げモーメントを長期予測した結果

R4年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：16 件（投稿中：6 件、採択済：3 件、掲載済：7 件）

【小項目1】

- Sadaoki Matsui: Practical Estimation Method for Extreme Value Distribution of von Mises Stress in Ship Structure, Journal of Marine Science and Technology (2022). (掲載済)
- Sadaoki Matsui: Practical Method for Statistical Prediction of Nonlinear Failure Function of Linear Load Factors – Application to Buckling Failure Evaluation of Plates in Ship Structures–, Marine Structures (2023). (投稿中)
- Sadaoki Matsui, Kyohei Shinomoto, Kei Sugimoto: Simplified Estimation Formula for Frequency Response Function of Roll Motion of Ship in Waves, Ocean Engineering (2023). (採択済)
- Sadaoki Matsui, Kyohei Shinomoto, Kei Sugimoto: Study on Simplified Estimation Formulae for Long-term Predictions of Ship Response in Waves –Application to Vertical Bending Moment–, Marine Structures (2023). (投稿中)
- Chen, X., Takami, T., Oka, M., et al.: Stochastic Wave Spectra Estimation (SWSE) Based on Response Surface Methodology Considering Uncertainty in Transfer Functions of a ship, Marine Structures. (採択済)
- 陳曦，高見朋希，岡正義，ほか：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，日本船舶海洋工学会論文集(2023).(投稿中)
- Liu, X., Okada, T., Chen, X., et al,: Estimation of Directional Wave Spectra Using a Wave Height Sensor and Stress Sensors on Board a Large Container Ship, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, pp.565-572 (2022). 共著(掲載済)
- Kubo, H., Okada, T., Chen, X., et al,: Bayesian Updating of Estimated Parameters Representing Multi-Modal Directional Wave Spectrum Using Measured Ship Hull Stresses, 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE) (2023). 共著(採択済)
- Sumit Kumar Pal, Tomoki Ono, Tomoki Takami, Akira Tatsumi, Kazuhiro Iijima; Effect of springing and whipping on exceedance probability of vertical bending moment of a ship, Ocean Engineering, 266, 112600.(2022). (掲載済)
- Ma, C., Oka, M., : Numerical Research on the Nonlinear Response of The Ship in Severe Waves Based On SPH, Proceedings of the 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference(ISOPE)(2023). (投稿中)
- Komoriyama, Y. , et al. : Ultimate longitudinal bending strength of damaged box girder in upright and inclined conditions – Model experiment and numerical analysis –(ICCGS)(2023).(投稿中)
- Yamada、Y. and Ma, C., 2022, “APPROACH TO SIMULATE FLUID-STRUCTURE INTERACTION OF A SHIP IN 3-DIMENSIONAL NUMERICAL TOWING TANK”, Proceedings of OMAE-2022-78638(2022 年 6 月に OMAE-2022 で発表＋Proceedings 掲載済). (掲載済)

【小項目9】

- Oka, M., Ma, C. : Long-term prediction for vertical bending moment utilizing the AIS data and global wave data, Journal of Marine Science and Technology (JMST) (2023). (投稿中)
- 岡正義，陳曦，馬沖：波浪追算による 2 次元波スペクトルを利用した波浪荷重推定，日本船舶海洋工学会論文集，第 36 号, pp.125-135 (2022). (掲載済)
- 小森山祐輔ほか、船体構造デジタルツインシステムの開発と水槽試験による検証，海上技術安全研究所報告第 22 巻別冊 pp.63-68 (2022). (掲載済)
- Y., Komoriyama, K., Iijima, A. Tatsumi, M., Fujikubo, Identification of wave profiles encountered by a ship with no

forward speed using Kalman filter technique and validation by tank tests – long-crested irregular wave case –, Ocean Engineering 271 113627-113627(2023).（掲載済）

□その他発表論文：9 件（投稿中：3 件、掲載済：6 件）

【小項目1】

・松井貞興：船体構造のパネル強度評価の統計予測に基づく計算法，日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.35 (2022).（掲載済）

・Shoeba, I., Kawamura, Y., Okada, T., Chen, X., et al,: Development of CNN-Based Sea State Estimation for Tank Test Data Considering the Uncertainty of Measurement Data，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 35 号，pp. 585-592 (2022).（掲載済）

・Liu, X., Okada, T., Chen, X., et al,: Estimation of Directional Wave Spectra Using a Wave Height Sensor and Stress Sensors on Board a Large Container Ship，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 35 号，pp. 565-572 (2022).（掲載済）

・松井貞興：船体に働く非線形波浪荷重の二次応答関数を用いた 統計予測法に関する検討，日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.36 (2023).（投稿中）

・大橋ほか;流体構造連成による波浪中での船体運動と応力解析，第 36 回数値流体力学シンポジウム(2022).（掲載済）

・陳曦，高見朋希，岡正義：主成分分析による応答関数の不確定性を考慮した波浪情報の不確定性解析，日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.36 (2023).（投稿中）

【小項目 9】

・小森山祐輔、飯島一博、辰巳晃、藤久保昌彦、カルマンフィルタ法による船体応答を用いた波プロファイルの同定－長波頂不規則波の場合－，日本船舶海洋工学会講演会論文集 vol.36 (2023).（投稿中）

・岡正義、船体構造のデジタルツイン技術について、今治地域造船技術講演会（2022）.(掲載済)

・日本船舶海洋工学会 JSSC 委員会：第 21 回国際船舶海洋構造会議(ISSC2022)出席報告、日本船舶海洋工学会誌 KANRIN 第 106 号，pp.36-47.（2023).（掲載済）

□特許申請： 2 件

・船舶の波浪応答推定方法、波浪応答推定プログラム、波浪応答推定システム、及び船舶 ： 岡正義、陳曦（特願 2022-190686）

・波浪画像認識利用方法、波浪画像認識利用プログラム、波浪画像認識利用システム、及び波浪画像認識操船シミュレータ ： 岡正義、馬沖、小森山祐輔（特願 2023-029969）

□コアプログラム登録： 1 件

・「船上モニタリング用マルチユーザ・フレキシブル・遠隔監視システム」（NMRI-iSAS）P 第 11237 号-1, R4.6.3：馬沖他

□国際貢献： 3 件

・ISSC/ I.2 Loads committee 委員 （ISSC2022 への出席、Proceedings の作成等）（岡）

・ISSC/ II.2 Dynamic Response committee 委員 （ISSC2022 への出席、Proceedings の作成等）（山田）

・ISSC/ VI.1 ISSC-ITTC Cooperation 委員 （2022 への出席等）（高見）

□受賞： 2 件

・「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰 「船舶の設計効率を大幅に改善させる DLSA-Basic:（全船荷重構造解析並びに強度評価システム）を開発・実用化し、我が国造船業の国際競争力の向上に寄与した功績が高く評価された」（村上睦尚、松井貞興、林原仁志、笛木隆太郎、2022.7.18）

・理事長表彰 「船舶 DX を指向した船体構造デジタルツインの開発に貢献した功績」（高見、馬、陳、小森山、岡）（2022.12）

□公開実験： 0 件

・

主な評価軸に基づく自己分析

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

・全船荷重構造一貫解析システム（NMRI-DLSA）の社会実装により、社会ニーズに応じた新船の開発を促進するとともに日本の造船所の設計力の強化に貢献した。

・船損やコンテナ荷崩れなどの事故時の対応や原因究明・再発防止のため、迅速かつ正確に対応することを可能にするツールを提供した。

・船体構造デジタルツイン統合システム(i-SAS)によって船体全域応力のリアルタイムでの取得を可能にした。安全運航による事故の防止や、合理的メンテナンスによる負担軽減が図られる。また、デジタルツインを活用すること

で、遠隔操船や自動運航の実現に繋がり、海事産業の競争力強化に貢献する。
・2 次元波浪スペクトルのビッグデータを安全設計に利用する手法を整備した。これにより、安全でかつ軽量な経済合理性のある船舶の実現に貢献する。

□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

【DLSA 関連】
・数値シミュレーション上の疲労強度評価において、二軸載荷影響を考慮可能とすべく新たな機能を追加した。今後本機能を活用した疲労強度評価を実施することにより、船体構造の安全性向上、より合理的設計手法の構築に資することが可能となる、十分な発展性を有する成果である。
・LNG 船等のスロッシング荷重の極値解析は従来から実験やモンテカルロ法などの時間のかかる手法で推定されてきたが、より効率的に確率的な評価を行う方法を示した。
・スロッシング荷重の影響を考慮した LNG 船の運動解析は従来から船体運動とスロッシング流体力を別々に求める One-Way 数値解析が主流的であるが、タンク内非線形スロッシング荷重と船体運動の相互作用の考慮により、より高精度数値解析ができるため、今後新型 LNG 船の設計及び現行 LNG 船の安全性評価等に資する。
【実験関連】
・二軸載荷条件下における重畳波影響が、単軸載荷条件下とは異なる影響を示す場合があることを確認した。複雑な荷重に曝される船体構造の疲労強度評価の精度向上の観点から、十分な発展性を有する成果である。
・傾斜した開口有りボックスガーダーの縦曲げ崩壊実験は世界初である。この実験結果を元に、崩壊挙動の解明、数値シミュレーションの精度検証に必要なデータの取得を行うことができた点において科学的意義が十分に大きい。
・GFRP サンドイッチパネル製の弾性模型船を設計・開発したのは世界初の試みであり、また、グローバルとローカルのひずみ応答の比を実船相当に設計したのも世界初である。また、2 方向の短波頂不規則波を造波し、波浪スペクトル推定手法により方向波スペクトルを逆推定したことも世界初である。以上のように、学術的に新規性がある成果を得ることができた。
【デジタルツイン関連】
・センサで計測した情報と DLSA 等の数値シミュレーションによるデータ同化技術を組み込んだ統合型デジタルツインシステムの実船に搭載して機能検証を行なった。iFEM 及びカルマンフィルタ法によるデータ同化手法を用いて船体全域の応力状態をリアルタイムで可視化する機能、及び波浪逆推定手法によって短期の応答スペクトルを把握して安全運航に活かす機能を検証し、一般商船で有効に利用できることを立証した。船体構造デジタルツインを利用することにより、船の状態量に基づいた安全で適切な操船判断の支援、及び、遭遇波浪スペクトルに基づく航路支援や長期のデータ利用による疲労評価を可能にした。
・AIS 及び波浪のビッグデータを解析して、全球海域を対象に、あらゆる就航船の遭遇海象や波浪荷重の分布を取得してデータ分析を行ない、波浪荷重の傾向と船体強度との比較することで、海域・航路や船種・船サイズによる危険度を分類した。ここで得られた情報を利用、若しくは提案した手法を応用することで、船の使用海域や船種・船サイズに応じた合理的な構造基準の開発を実現できる。

□成果が期待された時期に創出されているか

・環境基準に対応した新形式船の開発のニーズに応じて、造船所及び船級協会と連携して DLSA の機能を強化した。
・海事産業のデジタル変革に対応して、計測技術と数値シミュレーション技術を融合したデータ同化技術を利用して、船体構造デジタルツインを世界に先駆け開発するとともに、海上ビッグデータを活用したデータドリブン型の設計手法を考案した。

□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

・波浪中での船体局所応答を含む構造応答の現象解明を解明するため、全船体の変形応答と局所（二重底構造）の変形応答の比を実船相似にした弾性模型船の設計・製作技術を世界に先駆けて創出した。また、船体のひずみデータを利用して、2 方向の短波頂不規則波中の試験および方向波スペクトルの逆推定を実施して精度を実船のデータで検証した。これまで解明されていなかった外洋の波浪特性を明らかにするとともに、安全運航や設計に有効なデータの整備に貢献したことの意義は大きく、国際競争力につながるものである。
・センシング技術の進化に伴いハルモニタリングシステムを搭載する船舶が増えているが、船体歪の計測点数や計測値の信頼性が不足しており、ユーザが満足するほど十分な効果が得られていない。本重点研究を通じて開発した船体構造デジタルツインの機能をハルモニタリングシステムに付与することによって、船体全域の応力状態を得るとともに FEM 解析データと計測データの融合によって信頼性の高い状態量を得ることができる。自動運航船やゼロエミッション船、さらには風力発電等の洋上浮体にはハルモニタリングシステムが標準的に搭載されると予想され、今後の市場拡大に伴い、ハルモニタリングのデータを有効活用して資産の付加価値を高めることを目的としたデジタルツインの開発競争が加速すると考えられる。船体構造デジタルツインを世界に先駆け開発したことは、国際的な優位性を示すことに直結するものであり、その意義は大きいと考えられる。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

・該当しない

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

【年度評価に関するコメント】

流体解析ソフトと連携して双方向連成解析が可能な DLSA-AT のプロトタイプを開発するとともに、社会実装済の DLSA-Basic の機能強化（腐食板厚衰耗を考慮した座屈強度評価機能、二軸応力の振幅・位相差のマッピング機能、不規則波中計算機能等を実装）を行い、利便性・実用性を向上させ、造船所との共同研究を通じてプログラム社会実装（新たに1社へ販売）の成果を得た。また、次世代船舶の設計に必要な、直接荷重解析に基づく設計指針の策定に貢献した。これら成果が高く評価され、「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰を受賞した。

また、統合デジタルツインシステム（i-SAS）を、運航中の外航船に搭載して検証を行い、データ収録機能、応力等の状態量標示機能が有効であること、重点研究で開発した波浪逆推定手法等のデータ同化プログラムが、実船での実用に必要十分な精度を有することを証明した。この功績により理事長表彰を受賞した。

その他、計画した研究目標は全て達成し、研究成果を論文化・知財化した。

以上により、年度目標を達成しかつ目標を上回る成果を出していることから、年度の自己評価を「A」とした。

【終了評価に関するコメント】

荷重構造一貫解析システム（DLSA）の社会実装により、社会ニーズに応じた新船の開発を促進するとともに日本の造船所の設計力の強化に貢献した。造船所6社において設計開発に利用されるなど、目標を上回る成果を出した。また、デジタル化のニーズに対応して、船体構造デジタルツインの開発を世界に先駆けて行い、船舶のデジタルツインの社会実装に必要な技術基盤を構築し、さらにデータドリブンな設計・基準の策定に関して、AIS に基づく遭遇波浪推定手法を提案、新設計規則に採用されるなど、次世代船舶の開発に資する技術を創出した。これらの研究成果は、国土交通大臣賞をはじめ、産官学における計6本の賞を受賞するなど、高く評価された。

以上により、中期目標を達成し目標を超える成果を得たことから、終了評価に対する自己評価を「A」とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(1)先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 (2)海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発

研究テーマ	重点☆2　船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4年度計画
海難事故の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、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や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。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、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、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故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先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、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、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故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先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、DLSA システムの完成に向けた要素技術成果の統合化及びシステム化を行うために、流体構造強連成システムのプロトタイプを DLSA-AT に取り入れる。さらに、統合デジタルツインシステム(i-SAS)の実用化に向け、運航中の外航船にシステムを搭載して、データ収録機能、応力等の状態量標示機能及びデータ同化手法の精度等のシステム検証を行う。また、急速に需要が高まっている GHG 対応燃料の運搬船、燃料船をリスクベース設計するために必要なリスク評価技術を開発する。 等 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発 －安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に対応する技術開発を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、交通流が交差するなど複雑な海域を対象とした新たな安全対策となる航路案の設計技術と衝突リスク評価技術の拡充、実船の停止性能を推定するための主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーションプログラムの開発、荒天下操船運動評価プログラムの高精度化、及び荒天下操縦性能基準案のための技術資料の作成を行う。 等

研究の背景

安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築をする。

具体的には、以下があげられる。
- GHG 対策のための代替燃料等に係るリスク評価手法の開発とリスクに基づく設計、運用基準等の策定に関する研究
- 新規燃料、新形式船等に係る船体構造のリスクベース設計・信頼性評価手法の開発
- 船舶交通流の制御とリスク評価に関する研究
- 無人運航船の安全性評価に関する研究

期間全体の研究目標

□新規貨物・燃料を扱う船舶のリスク評価手法を構築し、以下を含む成果を得る。
- ・新規貨物・燃料に係る危険要因と安全対策の明確化
- ・可燃性ガス等の漏洩の際の拡散状況と被害影響評価手法
- ・安全対策の実施に係る費用対効果の評価手法
- ・新規貨物・燃料および自動運航船等の船舶に関する安全基準案、リスクベース船舶設計ガイドライン案

□海上交通の安全性向上のための評価手法を開発し、以下を含む成果を得る。
- ・新航路の導入（設計された航路）
- ・航路案設定のための設計・評価法の構築（論文）
- ・交通流制御の簡易版影響評価ツールの開発（知財）

□無人運航船の安全評価に係る以下を成果とする。
- ・無人運航船の安全評価ガイドライン案

上記成果は、以下があげられる。
- リスクベース船舶設計ガイドライン等の実用化、安全基準の策定により社会実装を阻害するリスク要因が制御されることで、新規コンセプト船等の安全確保に寄与し社会実装を促進する。
- 国際ルールの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。水素等の新たな貨物、プロパン等の新規の低引火点燃料については、IMO 等でも議論され、期待されているところであり、安全基準、リスクベース船舶設計ガイドラインは十分意義がある。
- 準ふくそう海域での安全対策の実現により、海難事故を減少させ、安全安心な社会を実現する。
- 無人運航船の安全確保に寄与し、社会実装を促進する。

R4年度研究目標

□小項目 1
- ・新たに導入される低引火点燃料に係るリスクベース設計手法のためのリスク評価技術を開発し、当該燃料を使用する船舶の安全基準、ガイドラインを作成する。

□小項目 2
- ・液化水素運搬船のリスク評価手法を体系化する。規則・ガイドラインへフィードバックすべき事項を抽出する。

□小項目 3
- ・複数の安全対策構築のための技術を包括し、立案支援手法の体系化を行うとともに、海域リスク評価手法を構築する。

□小項目 4
- ・無人運航船の安全評価ガイドライン案を作成する。

R4年度研究内容

□小項目 1
- ・新たな低引火点燃料船に係る評価技術開発と新規貨物・燃料等に対応した安全基準の策定。
- ・内航海運のカーボンニュートラル実現に向けた代替設計承認のための安全性評価手法の構築
- ・液化水素運搬船のリスク評価手法の体系化とパイロット(試行)船の運航を踏まえた暫定要件レビューの実施。

□小項目 2
- ・水素爆発（爆轟(ばくごう)）による鋼板破壊実験の結果の検証。
- ・EU プロジェクトでの LNG 船のリスク・モデル（イベントツリー・モデル）を準用したリスクモデル（BN）の拡張。

□小項目 3

・安全対策構築のための立案支援手法の体系化。
・海域の衝突リスク評価手法の拡張。
・海域リスクの低減のためのビッグデータ、AI の海域管理への活用方法の検討。

□小項目 4

・無人運航船の安全評価ガイドライン案の作成。
・自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書の作成。
・無人運航モデル船の定量的リスク推定手法構築と、旅客船と貨物船のリスクの差の推定。

R4年度研究成果

□小項目 1

・新たな低引火点燃料船に係る評価技術開発と新規貨物・燃料等に対応した安全基準の策定

・低引火点燃料を使用する機関室における火災安全対策として、国際ガス燃料船安全コード(IGF コード)では 30 回/h の換気を行うことが求められる。一方、広大かつ様々な機関設備が存在する機関室内の気流場は複雑となるため、瞬時拡散・一様分布を仮定する簡易手法では局所的な滞留のおそれがある場所を特定するための空間的な換気効率の評価を行うことが困難である。そこで、東京大学の村上らが提案している陸上建築物において用いられる換気効率指標(SVE: Scale of Ventilation Efficiency)を用いた、機関室の換気効率評価について検討を行った。換気口より供給される新鮮な空気を基準値 0 として、任意の地点における空気の汚染度をあらわす空気齢に相当する SVE3 の評価を行った。OpenFOAM を用いて事前に気流場解析を行い、定常状態の気流場のもと汚染物質濃度に相当するパッシブスカラーの移流拡散現象を解く。その際、OpenFOAM のパッシブスカラー移流拡散ソルバーは渦粘性係数を必要としないため、乱流拡散現象は考慮することができない点が機関室の換気場の解析に適さないと判断した。そこで、渦粘性の影響を考慮するための修正をソースコードに組み込んだソルバーを作成し、乱流拡散の影響を考慮した SVE3 の算出を実施した。図 1-1(a)に示すとおり、機関室内の空間的な空気齢相当の分布を解析できることを確認した。既報のプロパンガス漏えい・拡散解析結果(図 1-1(c))と SVE3 分布(図 1-1(b))を比較すると、(b)の評価で換気効率が悪い換気ダクトの向きが水平方向の場合において、よりプロパンガスが滞留する結果となっていることから、SVE3 指標を用いた換気効率評価の有効性が確認できた。

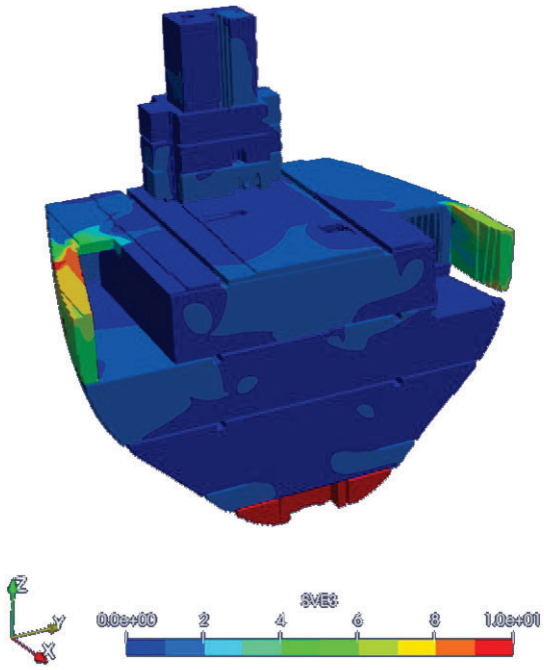
・内航海運のカーボンニュートラル実現に向けた代替設計承認のための安全性評価手法の構築

・国内物流を支える内航海運のカーボンニュートラル実現に向けた環境整備の一つとして、国交省の「水素燃料電池船の安全ガイドライン」（以下、安全ガイドライン）の見直しが進められている。現行のガイドラインは低温液化ガス・大型船を対象とする IGF コードを基に作成されており、火災安全・防爆、タンク位置、バンカリングなど圧縮ガス・小型船への適用が困難な安全要件が含まれている。このような背景のもと、代替設計承認のための安全評価手法の構築を目的に、燃料タンクの代替設計に係るリスク評価手法を新規に開発するとともに、そのリスク評価手順書を作成した。またこの手順書に基づく計算プログラムを作成した(図 1-2)。

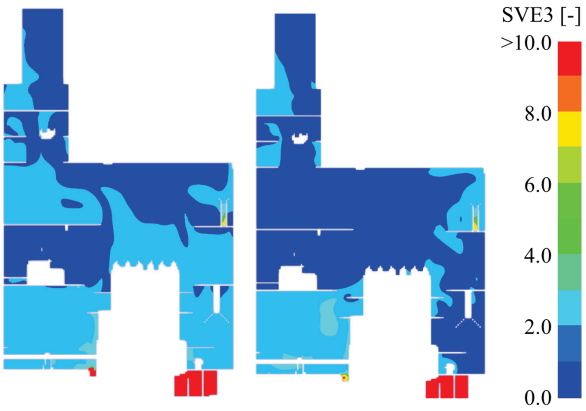
・水素燃料電池船が火災時に燃料である水素をベント放出する際の拡散性状について、ワークステーション等の高性能計算機を用いることなく簡便に予測する拡散解析モデルを開発した。開発したモデルは、日本船舶技術研究協会の調査研究事業において内航の燃料電池船のベント配置に関する代替設計の同等安全性証明のための標準手法に適用された。

・液化水素運搬船のリスク評価手法の体系化とパイロット(試行)船の運航を踏まえた暫定要件レビューの実施

・現在、国際的なガイドラインである、「ばら積み液化水素の運搬に関する暫定勧告」について、IMO の貨物運送小委員会 (CCC: The Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers) にて見直し作業を行っている。この中で、海技研は国際的な議論を主導すべくフォーカルポイントを務め、これまでに蓄積したパイロット(試行)船等の情報を踏まえた見直し案への反映を実施した。本件は、2023 年度も継続して実施される予定である。

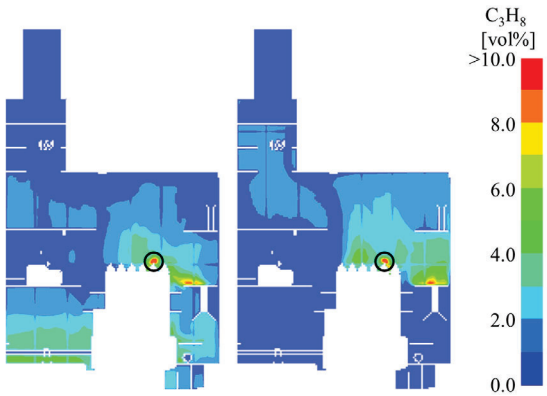


(a) SVE3 の空間分布の 3D 表示
(青: 換気良、赤: 換気不良)



(左) 水平方向　　(右)下向き

(b) 換気ダクトの向きの違いによる
船体中央断面における SVE3 分布の比較
(青:換気良、赤:換気不良)



(左) 水平方向　　(右)下向き

(c)換気ダクトの向きの違いによる
船体中央断面におけるプロパンガス濃度分布の比較
(黒丸部:流出源を示す)

図 1-1 機関室内の空間的な空気齢相当(SVE3)の分布

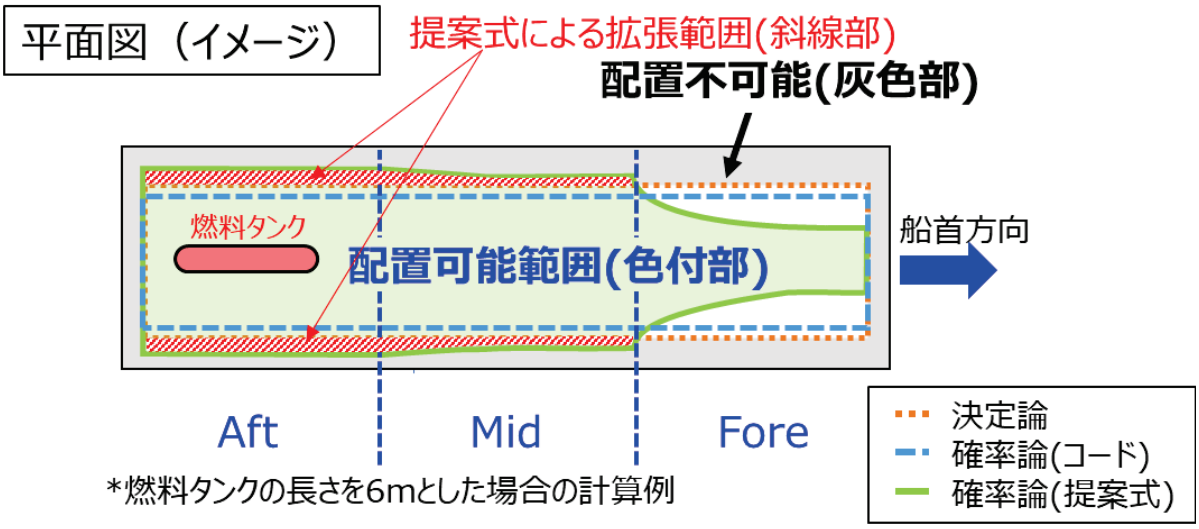


図 1-2　同等安全性証明のための燃料タンクの配置の代替設計に係る評価例
（本条件では、赤色斜線部で(中央部～後部で)タンク配置の設計自由度が高くなると試算）

□小項目 2

・水素爆発(爆轟(ばくごう))による鋼板破壊実験の結果を検証し、水素爆燃・爆轟への遷移過程の撮影に成功すると共に、爆轟現象における衝撃波先端が平面になることを実験的に確認した。衝撃波の鋼板への入反射及び鋼板構造応答の様子を高速度カメラ等で計測した。また、爆轟による鋼板変形メカニズム解明のために、塑性変形鋼板の3次元計測を実施し、詳細な鋼板変形状況を明らかにした。

・船内の閉囲区画(Closed space)で水素爆轟が生じた場合、爆轟による衝撃波が構造物壁面で反射を繰り返し、衝撃波が複数回構造物壁に衝突することが分かった。今後、水素爆轟によるリスク評価実施に際しては、反射波の影響、複数回の衝撃影響も一定程度考慮する必要があろうことが分かった。

・水素爆轟の実験的検証により、発生する最大圧力値レベル、構造被害度に関する定量的なデータが得られた。

・EU プロジェクトでの LNG 船のリスク・モデル(イベントツリー・モデル)を拡張して、液化水素運搬船の衝突、座礁、爆発時等の Coarse リスク・モデル(ベイジアンネットワーク)を構築し、リスク・モデルを拡張した。

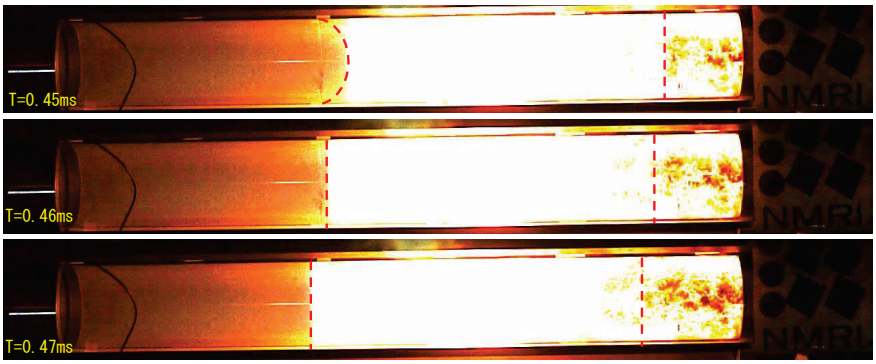


図 2-1　高速度カメラによるアクリル管内の水素爆轟現象の可視化、
爆燃・爆轟遷移に伴う衝撃波先端形状の変化

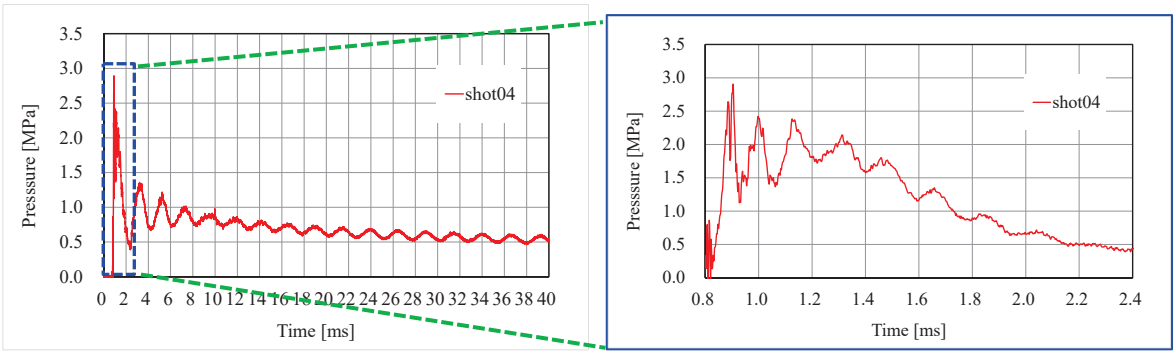


図 2-2　爆轟による管内圧力（管側面鋼板側）の時刻歴の例

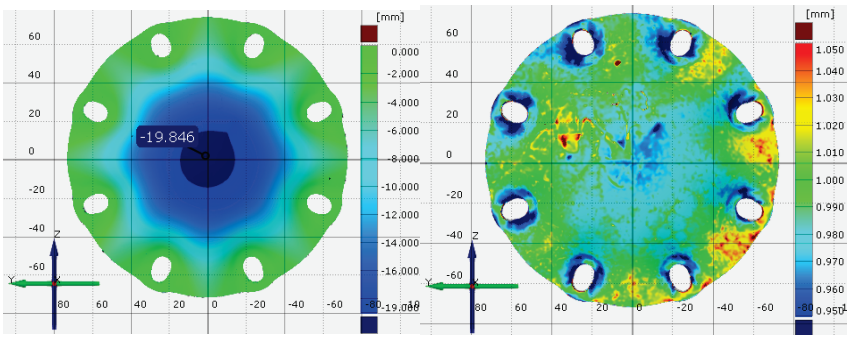


図 2-3　爆轟により塑性変形した鋼板の最大変形量及び板厚のコンター図例

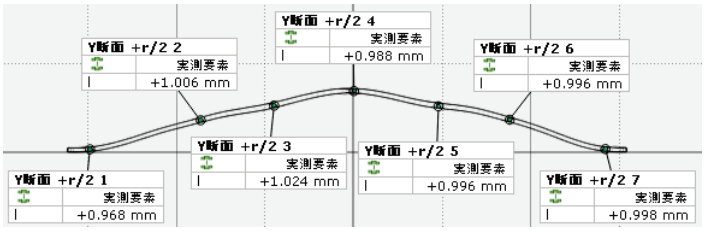


図 2-4　断面の板厚値例

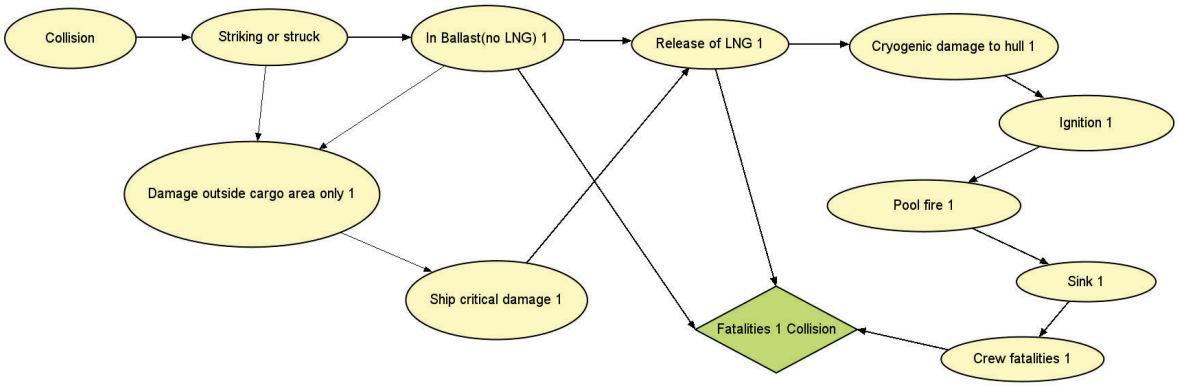


図 2-5　ベイジアンネットワーク（BN）による液化水素運搬船の衝突時のリスク・モデル例
（○：Chance node（Conditional Probability），　◇：Utility node（Consequence））

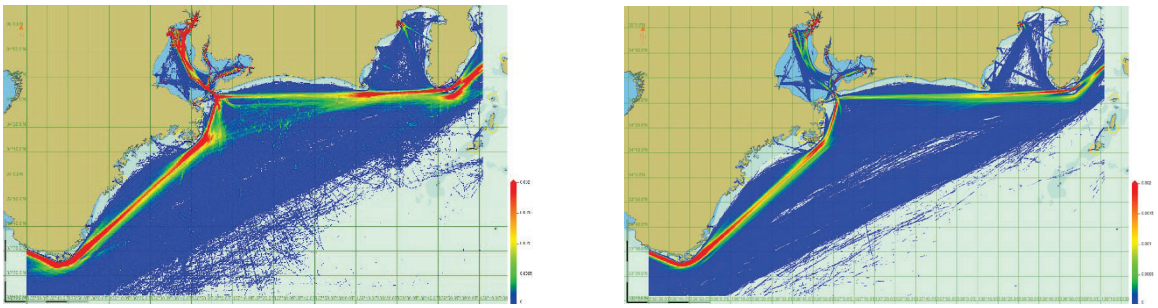
□小項目 3

・新規対象海域における航路案立案支援技術の拡張について、以下を実施した。

・潮岬沖の推薦航路（2018-2019 年度の成果、海上保安庁との共同研究）が、2022 年 11 月に開催された IMO MSC106 にて合意され、2023 年 6 月 1 日より運用が開始される。海上保安庁による IMO 対応のフォローを実施した。

・伊豆大島西岸沖と潮岬沖に続く安全対策構築の対象海域候補として、大王埼沖、御前埼沖における AIS デー

タ解析による基礎調査として、見合い別の遭遇頻度発生状況、船種・見合い別の衝突事故発生状況、交通密度分布を解析した。その結果、推薦航路設置による効果は、既往調査海域（伊豆大島西岸沖や潮岬沖）ほど高くはないと考えられることを示した。この結果を受け、海上保安庁は、大王埼沖、御前埼沖の安全対策構築の見送りを決定した（図 3-1）。



（a） 全方向の見合い関係における遭遇頻度　　（b） 反航船における遭遇頻度

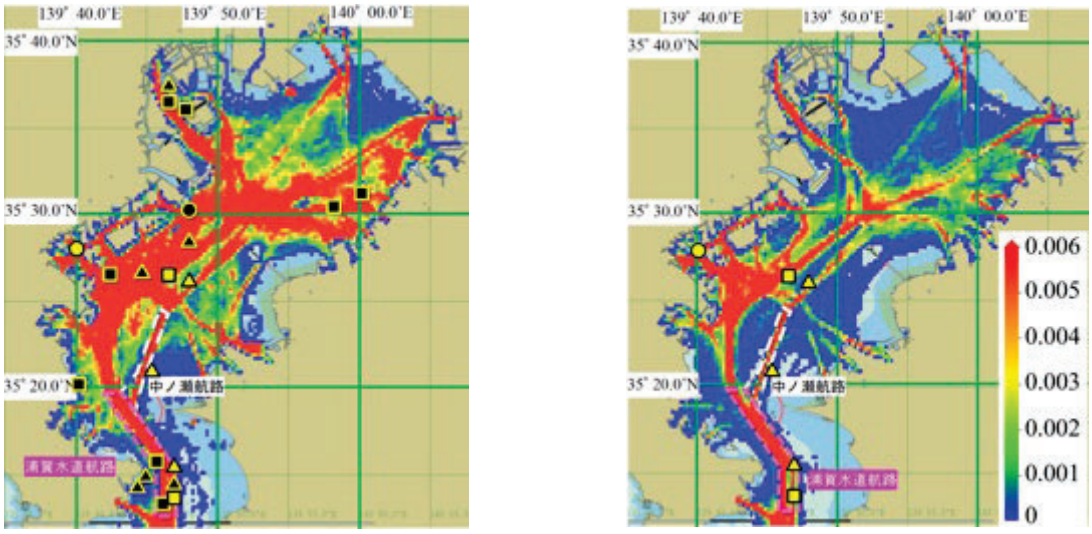
図 3-1　大王埼沖～御前埼沖海域における見合い別の遭遇頻度分布

・衝突リスクの評価技術に関する研究について、以下を実施した。

・海域に計算格子を導入した確率論的衝突リスク評価手法を用いた遭遇頻度の計算において、計算格子幅の感度解析を行った。海域により妥当な計算格子幅は異なるものの、本解析により正確な遭遇頻度の計算を行うことが可能となった。

・確率論的衝突リスク評価手法を適用し、東京湾を航行する船舶の AIS（Automatic Identification System：船舶自動識別装置）データ及びレーダデータを用いて、AIS 非搭載船舶を含めた遭遇頻度を見合い関係別に解析した。遭遇頻度はこれまで、AIS データのみを用いて計算することが多かったが、AIS 非搭載船舶の動的情報を示すレーダデータを用いることで、海上交通の実態に近い海域の遭遇頻度を示すことができた（図 3-2）。

・事故解析における状況認識の妥当性検証に適用するため、乗組員の衝突危険感に相当する衝突危険度指標の目安を明らかにすることを目的とし、事故調査報告書から抽出した乗組員の衝突に対する危険感と AIS データ分析による衝突危険度指標の関係を分析した。結果、危険度指標 CJ（Collision Judgement）と BC（Blocking Coefficient：避航操船空間閉塞度）の衝突危険感相当の目安、および危険を感じる OZ（Obstacle Zone by Target）T 識別のための評価エリアの角度と長さを示した。また、図 3-3 の棒グラフは CJ の原著論文で示された海域別の避航開始時での CJ 値（ただし、練習船は港内のみ）を表し、網掛け部分は本研究により明らかとなった危険感に相当する CJ 値の範囲を重畳したものである。CJ の大小の違いはあるものの、どの船種でも避航開始時の CJ 値は「衝突のおそれあり」（黄色網掛け部）もしくは「衝突を避けられない」（赤色網掛け部）の領域に存在していることから、危険感相当の CJ の範囲は妥当であることを示した。



（a） AIS 非搭載船舶を含む全船舶の分布　　（b） AIS 搭載船舶の分布

図 3-2　全見合い関係における遭遇頻度分布（カラースケール単位：24 時間当たりの遭遇頻度）

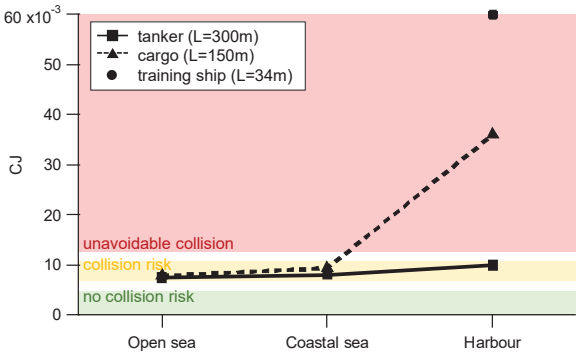


図 3-3　避航開始閾値と危険感相当の危険度指標 CJ 値の比較

・海域リスクの低減のためのビッグデータ、AI の海域管理への活用方法の検討として、以下を実施した。
・海上交通センターの運用管制官の運用管制業務において通常とは異なる海上交通流の状況（異常）を検知するため、ニューラルネットワークを用いた教師なし機械学習の一手法であるオートエンコーダ（自己符号化器）を用いて、航路逸脱時または航路逸脱が起こり得る船舶を検知するモデルを開発した（図 3-4）。これは、通常航行時のデータ（=正常状態）を学習させ正常データと入力データ（図 3-4 左図）の比較により正常状態のみを出力（図 3-4 右図）するものであり、これによって航行の異常状態を検出が可能となる（図 3-4 左図の矢印部分）。本研究については、2023 年度に海上保安庁と共同研究を実施する予定である。
・船舶行動の予測手法として、航跡をクラスタリングする手法を検討した。伊豆大島西岸沖の推薦航路の導入前後の航跡をクラスタリングし、導入前後の航跡を比較した。本手法を用いることで、新たな交通ルールを導入する際の航跡を予測することに役立つと考えられる。

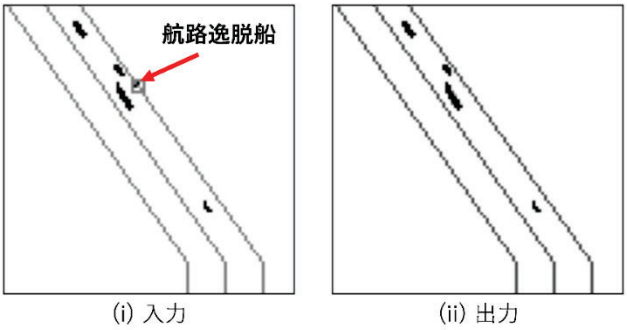


図 3-4　入出力画像の相違による異常(航路逸脱)検知の例（航路の境界線を追記）

□小項目 4

・無人運航船の安全評価ガイドライン案の作成
・IMO では、自動運航船（MASS: Maritime Autonomous Surface Ships）の国際規則策定の第一段階として、非強制 MASS コードを策定中であり、MASS の安全性等の確保のための目標及び機能要件案を検討中である。機能要件の策定には、MASS に潜む危険性やそれに対する対応策を検討する必要がある。そこで本研究では、下記の 2 種類の船種×3 種類の操船タイプの合計 6 隻の船舶を無人運航モデル船（以下「モデル船」）として設定し、リスク解析を実施した。モデル船の設定においては、昨年度実施した無人運航船の実証実験のための安全性評価のレビュー結果を参考にした。図 4-1 は、設定したモデル船のうち、船型 1)、操船タイプ ア）の船舶のシステムの全体像を示すシステムアーキテクチャである。
➢　船種
1）海域限定の旅客船（港外航行のみを無人運航する）
2）貨物船（離着岸、港外及び港内航行の全てにおいて無人運航する）
➢　操船タイプ
ア）遠隔コントロールセンター（RCC）なしに船舶側の自律性能により操船するタイプ
イ）RCC において操船するタイプ
ウ）RCC において航路指示し，当該航路指示に従い船舶側の自律性能により操船するタイプ
・上記のリスク解析結果を踏まえて、無人運航船の通常時の機能要件案を作成した。状況把握や操船制御等、合計 10 個の主機能を定義した上で、各々の主機能の説明、主機能の動作確認機能、不具合発生時の機能、船員への提示機能及び事前検証に分類して要件の作成・整理を行った。
・無人運航船の緊急時の機能要件案の作成を以下の流れで行った。まず文献調査により緊急時のオペレーシ

ョンに関する用語の定義案を作成した。定義した各用語を使って、緊急事態発生時の対応の流れを整理した「緊急時対応シーケンスの一般化モデル案」を作成した。さらに、既存有人船の緊急時対応に関する文献調査結果を参考に、上記「一般化モデル案」を利用して無人運航船の緊急時対応シーケンスの具体例（座礁、衝突、火災、浸水）を示し、これを踏まえて無人運航船の緊急時の機能要件案を作成した。

・IMO で策定中の非強制 MASS コードのうち、日本は航行セクションの策定を主導している。当所は、上記の無人運航船の機能要件案を念頭に置きつつ、国内事業者、日本船舶技術研究協会、日本海事協会と協力して、MASS の航行に関する機能要件案の策定作業を行った。

・自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書の作成

・2021 年度に作成した「自動運航船のリスク解析手順書」に微修正を施し、「自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書」を作成した。また、その附属書として、自動運航船の設計時及び無人運航船の実証実験時に求められるリスク解析の具体例を示すワークシートを「解析シート標準」として付した。さらに、2021 年度に作成した「自動運航船のリスク解析手順書」の英語版も作成し、海外の関係者からの参照の要望にも応えられるようにした。

・無人運航モデル船の定量的リスク推定手法構築と、旅客船と貨物船のリスクの差の推定

・非強制 MASS コードの対象は貨物船のみであるが、強制 MASS コードの策定時には旅客船も対象に加わる予定であり、既存規則と同様に旅客船と貨物船の差を考慮した規則策定がなされるものと考えられる。そこで本研究では、無人運航モデル船のリスクの定量的推定手法を構築し、その手法を用いて無人運航モデル船の旅客船と貨物船のリスクを定量的に比較した。

・上記推定の結果、旅客船のリスクは貨物船の約半分程度と推定された（図 4-2）。この推定においては、操船設備は旅客船と貨物船で共通と仮定しているため、推定結果の差は、MASS であるか否かに関わらず、既存規則が要求する旅客船と貨物船の構造等の要件の差に起因するものと考えられる。この結果からは、MASS コードにおいて既存規則との差分を規定する際、旅客船と貨物船とで要件の厳しさに差をつける必要はないと思われるが、今後、操船設備以外の設備についても船種による違いを考慮し、より詳細な検討が必要となる可能性がある。

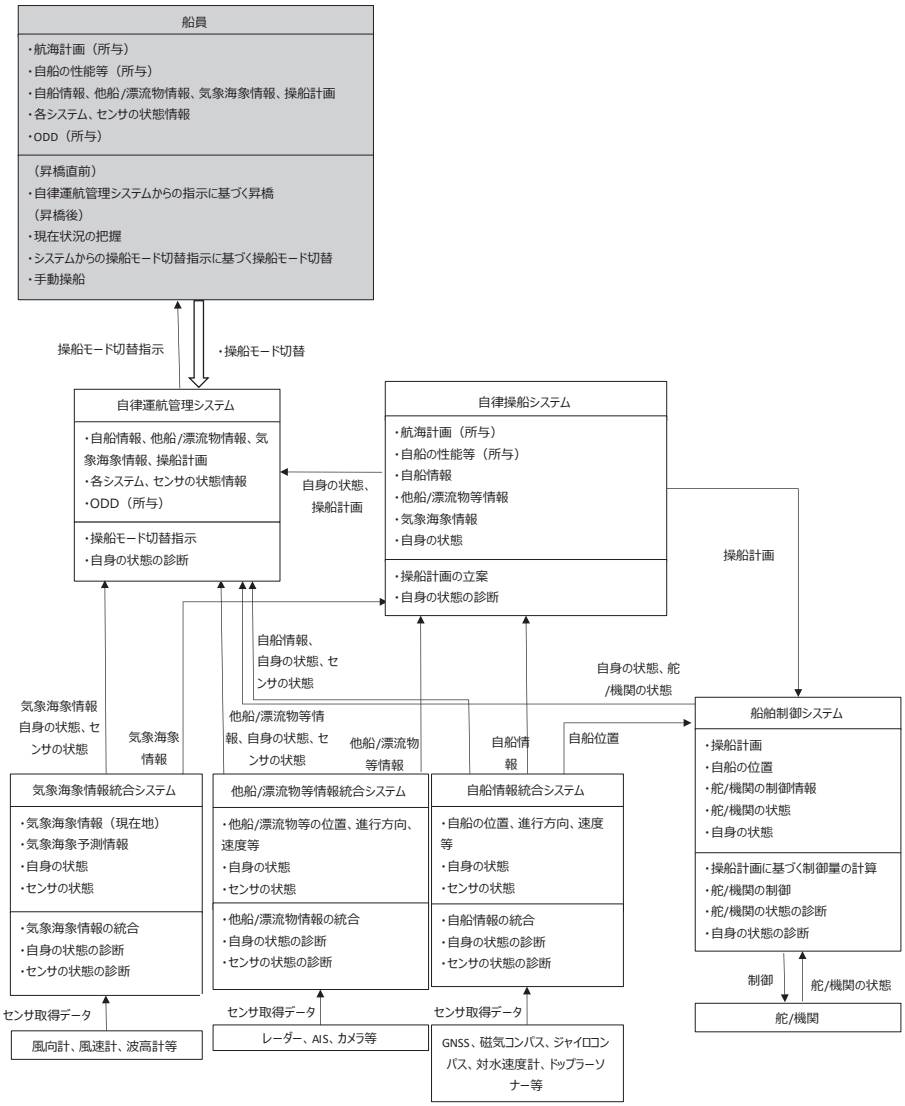


図 4-1 モデル船のシステムアーキテクチャ例
（海域限定の旅客船を RCC なしで船舶側の自律性能により操船するタイプの船舶）

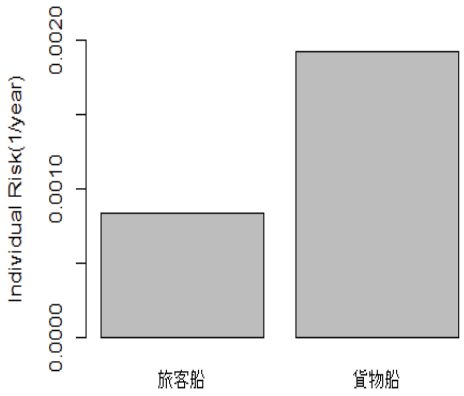


図 4-2 無人運航モデル船の旅客船と貨物船のリスクの比較

R4年度成果の公表

□査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：9 件（投稿中：4 件、採択済：1 件、掲載済：4 件）

・A. Kimura, Y. Oka, H. Oka, S. Ota, Experimental study on smoke flow behaviour under ships' deck structures in early stages of fire, J. Phys.: Conf. Ser. 2311 012009 (2022).(掲載済)
・A. Kimura, H. Oka, Y. Oka, Numerical Simulation of Smoke Flow in Ship Fire under Pendulum-like Motions, Proceedings of 14th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2023).(投稿中)
・Y. Oka, H. Oka, A. Kimura, Y. Goto, K. Kamiya, Numerical simulation of ceiling jet propagating along the inclined tunnel having a rectangular shape under natural ventilation, Proceedings of the 14th International Symposium on Fire Safety Science (IAFSS 2023)(投稿中)
・Y. Oka, A. Tanno, K. Matsuyama, H. Oka, Semi-empirical models of density jump position and temperature attenuation of smoke layer in horseshoe tunnel fire, Proceedings of 14th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2023).(採択済)
・Yamada, Y.: Experimental study on the detonation of hydrogen-air mixture gas in closed circular tube, Journal of OMAE (投稿準備中)
・志尾嘉洋，伊藤博子，川村恭己，河島園子：オートエンコーダを用いた航路逸脱検知モデルの開発，日本航海学会論文集，第 147 巻，pp.36-42 (2023) (掲載済)
・須山雄介，河島園子，伊藤博子，川村恭己：東京湾における AIS 非搭載船舶の動静解析と衝突原因確率の推定，日本航海学会論文集，第 147 巻，pp.85-94 (2023) (掲載済)
・Kawashima, S., Itoh, H., Kawamura, Y. and Otsuka, H.: Analysis of the Situation Awareness of Remote Ship Operators: A Simulation-based Study, Transactions of Navigation (投稿中)
・三宅里奈　ほか: 事故解析における衝突危険度指標を用いた状況認識評価，日本航海学会論文集（投稿準備中）
・三宅里奈，伊藤博子，石村惠以子，柚井智洋，塩苅恵，工藤潤一，河島園子，平田宏一，仁木洋一，小林充，澤田涼平，稲葉祥梧: 小型実験船の遠隔操船のリスク解析，海上技術安全研究所報告第 22 巻第 2 号研究報告，pp.41-56. (2022)(掲載済)
・Shiokari, M., Itoh, H., Yuzui T., Ishimura E., Miyake R., Kudo J., Kawashima S.: Structured model-based hazard identification method for autonomous ships, Reliability Engineering & System Safety（投稿中）

□その他発表論文：10 件（投稿中：1 件、掲載済：9 件）

・後藤耀太，木村新太，岡秀行，岡泰資，自然換気時の縦長矩形断面トンネル火災時に伝播する熱気流温度のダブルガウス分布式に基づく減衰予測，第 55 回安全工学研究発表会講演予稿集 (2022). (掲載済)
・岩本千咲喜，岡秀行，岡泰資，自然換気条件下のトンネル火災時における熱気流の跳水位置に対する断面形状および発熱速度の影響，第 55 回安全工学研究発表会講演予稿集 (2022). (掲載済)
・岩本千咲喜，岡秀行，上矢恭子，岡泰資，矩形断面形状と発熱速度を考慮した跳水位置予測式および煙層温度の簡易予測式の提案，2023 年度日本火災学会研究発表会概要集 (2023). (発表予定)
・須山雄介，河島園子，伊藤博子，川村恭己：東京湾における AIS 非搭載船舶の動静を考慮した衝突原因確率の推定，海上技術安全研究所第 22 回研究発表会講演集，pp.91-92 (2022) (掲載済)
・河島園子，伊藤博子：船舶遭遇頻度分布を用いた海上交通の地理情報システムの開発，海上技術安全研究所第 22 回研究発表会講演集，pp.93-94 (2022) (掲載済)
・Kawashima, S., Itoh, H., Kawamura, Y. and Otsuka, H.: Analysis of Situation Awareness of Remote Ship Operator Using Simulator, Asia Navigation Conference (ANC) (2022) (掲載済)
・三宅里奈: OZT 定量化手法を活用した衝突事故解析手法の構築，第 22 回研究発表会講演予稿集，pp.95-96, (2022). (掲載済)
・石村惠以子，塩苅恵，伊藤博子，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一，河島園子: 仮想の自動運航船のソフトウェアに関するハザード抽出について，第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集，pp.220-221. (2022) (掲載済)
・柚井智洋，伊藤博子，塩苅恵，石村惠以子，三宅里奈，工藤潤一，河島園子: 自動運航船のリスク解析支援ツールの開発に向けて，日本船舶海洋工学会講演会論文集第 35 号，pp.173-176. (2022) (掲載済)
・柚井智洋，伊藤博子，木村新太，塩苅恵，三宅里奈，工藤潤一，石村惠以子，河島園子: リスク評価技術の高度化－自動運航船と新規貨物・燃料船のリスク評価－，海上技術安全研究所報告第 22 巻別冊 第 22 回研究発表会講演集，pp.75-80. (2022) (掲載済)

□特許申請：1 件

・OZTによる海域衝突リスク評価方法、海域衝突リスク評価プログラム、及び海域衝突リスク評価システム　三宅里奈（特願 2022-141232）

□コアプログラム登録：3 件

・工藤潤一：　燃料タンク配置に係る代替設計支援プログラム（2023）
・河島園子，伊藤博子：　EFCalculation (2023)
・伊藤博子：　AISAnalyzer1.0 (2023)

□国際貢献： 2 件

・Shiokari, M.: Japanese MASS R&D Projects and Approaches for Ensuring Safety, IMO Seminar on Development of a Regulatory Framework for MASS. (2022) (掲載済)

・McHardy, C., Shiokari, M., et al.: Development of a Goal-based Instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) – Report of the Correspondence Group, IMO MSC 107/5. (2023) (掲載済)

□受賞：1 件

・河島園子：日本航海学会奨励賞（衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定，日本航海学会論文集，第 144 巻，pp.32-41, 2021）

□公開実験： 0 件

・

主な評価軸に基づく自己分析

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

・海運セクターにおける GHG 問題対応のための代替燃料の導入や水素社会の実現は、国際的な対応が求められている喫緊の課題であり、これらの安全に寄与するものである。

・準ふくそう海域の安全対策構築に関する研究は、海上保安庁が 2018 年に示した第 4 次交通ビジョンの一つに相当するものであり、衝突多発海域の安全性向上に貢献するものである。また、衝突事故解析手法に関する研究は、運輸安全委員会による事故解析の確度を向上することが期待され、船舶交通の安全・安心の確保に貢献するものである。

・無人運航船のリスク解析に関する研究は、現在開発が進められている自動運航船と、近い将来の登場が予測される無人運航船について、それぞれの具体的な運用形態や、その運航を実現するためのシステム構成といった対象物の定義が共有化されていない問題があったところ、これらを具体的に想定し、かつ適切な表現手法を導入することで提示、概念の共有化を実現した。さらに、それらの定義や概念に対するリスク解析手法を開発して提供し、またその解析結果を提示することで、自動運航船や無人運航船に内在しうるリスクに関する認識を明文化して議論を促進してきた。これらの共有化と議論の蓄積は、IMO における MASS コード策定のための草稿作業に際し、対象物に関する十分な知見を持って臨むことを可能とし、効果的な作業遂行に貢献している。

□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

・GHG 問題対応のための数値シミュレーションを用いた換気解析や簡易ガス拡散解析は、燃料漏えい事象に対する被害影響度評価および、換気設計など船舶の安全設計において重要な技術である。

・船舶交通の安全性評価技術は、近年開発が進められる自動運航船が航行する衝突リスク評価、新交通ルール策定および運用後の効果検証に必要な技術であり一般性が大きい。衝突事故解析手法は、本年度中に運輸安全委員会の衝突事故 1 事案の基礎解析として適用されており、社会的に価値があることが客観的に認められているものと判断される。

・一般に、リスクの推定は対象物の集合における運用中の事故履歴にもとづいて推定されるが、無人運航船の場合は、実船の導入数が著しく少ないために定量的な推定がなされてこなかった。本研究では、既存船舶と無人運航を行う船舶の共通点と相違点に着目し、相違点に伴う差異を個別に推定することで、無人運航船の定量的リスクの推定を行うための手法を構築し、実際に推定を行ったため、新規性が十分に大きい。さらに、この手法が構築されたことにより、今後は使用する機能等の個別の差異に着目してデータを蓄積することで、無人運航船の実船の導入に先駆けてリスクを掌握することが可能となり、発展性が非常に大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか

・GHG 問題対応に対応する代替燃料の安全利用のためのリスク解析技術の開発は、国際的に早急な対応が求められており、海事局、船級機関、業界からの要請にも対応している。今後、さらなる研究成果の創出に取り組む要がある。

・潮岬沖の推薦航路は、海上保安庁が 2018 年に示した第 4 次交通ビジョンの計画年度内に研究成果として創出された。また衝突事故解析手法を含めた船舶交通の安全性評価技術は、2023 年度から開始される第 5 次交通ビジョンに示される潮岬沖推薦航路フォローアップに適用可能なものであり、社会的なニーズに応える準備も進めている。

・自動運航船、無人運航船は近年開発が急速に進められ、これを受けて 2025 年の MASS コード策定を目指して世界各国で草稿作業が進められているなど、まさに現時点が期待された時期といえる。その中で複数の成果を上げてきたことは期待された時期の成果創出といえる。

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

・リスク評価技術の高度化は、新規技術システムの実装にともなうリスクを見える化し、新規技術を導入する造船

所のみならず、新規技術を実装した船舶を使用する船会社や、新技術適用船を含んだ海上交通の安全を俯瞰的に管理する監督官庁等のあらゆるステークホルダーにおいて、それぞれの事業の主体が低減すべきリスク、保有するリスクを取捨選択するために必要不可欠な技術であり、船舶産業の国際競争力の強化に資するものである。
・自動運航船、無人運航船に関連して、国際的な取り決めとしての MASS コードの策定作業に関与することは、国内業界の国際競争力の向上に直接的に寄与していると考えられる。
・

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか
・自動運航船、無人運航船に関連する研究は本中長期計画の計画時より組み込まれ、先見性を持って取り組みを始めたために、十分な調査にもとづく知見、必要な手法の開発による問題への対処、対象物のイメージの明文化といった必要なステップを踏みつつ、これらの知見により国内の多くの開発現場と密接に連携することを可能としたことから、常に状況の変化に先んじて成果を上げることができた。
・

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

【年度評価に関するコメント】
・新規貨物・燃料等の船舶に関するリスクベース船舶設計ガイドラインの検討・開発では、GHG 対策のための代替燃料の使用に伴う火災・爆発リスクに対応するため、SVE 指標を用いた複雑な船内構造を考慮した機関室の換気効率評価手法への適用性を確認した。また、燃料電池船からの水素ガスベント放出を想定した簡易大気拡散解析手法を構築し、国内中小造船所向けの代替設計のための拡散解析手法として適用されたことは、今年度の特筆すべき成果である。
・レーダデータを用いることにより、これまで考慮されていなかった小型船の影響が評価可能になるとともに、評価海域別の適切な格子条件を明らかにするなど、衝突リスク評価技術の高度化を行い、船舶の航行安全評価に貢献できる成果を創出している。
・自動運航船、無人運航船のリスク解析手法の構築の中でも、特に、新技術に関するリスク解析では困難であると言われる定量的リスク解析手法を構築したことは、顕著な成果であると言える。

【終了評価に関するコメント】
・新規貨物・燃料等の船舶に関するリスクベース船舶設計ガイドラインの検討・開発では、日本海事協会が発行する代替燃料船リスク評価ガイドライン、国土交通省の自動車運搬船の火災安全に関する通達、日本船舶技術研究協会が発行する燃料電池船の代替設計に関するリスク評価法、IMO における液化水素運搬船の暫定要件の見直し等において、本小項目の成果が社会実装された点で、社会的意義が大きい。
・COVID-19 の影響により IMO での審議が幾度も延期されたが、潮岬沖推薦航路が IMO MSC で合意され 2023 年 6 月 1 日より運用が開始される運びとなったことは、海上交通の安全性向上に取り組んだ本重点において特に堅調な成果を発出している。また、第 1 期中には、複数名の死亡が発生した海難が数件発生したこと、伊豆大島西岸沖推薦航路および東京湾口部の航路指定の 2 つの新交通ルールが新たに導入されたことによる船舶交通が変化したことから船舶交通の安全性向上のニーズが特に高まった時期でもあり、これら安全性評価技術をタイムリーに構築した点において社会的意義が大きい。
・自動運航船、無人運航船の運航形態やシステム構成の定義・表現方法、並びにこれらを用いたリスク解析手法の構築により、国際規則策定のための議論を促進することにつながった。国際規則策定のための議論は今後も継続されるため、将来的な成果の創出も期待できる。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(1) 先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 (2) 海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発
研究テーマ	重点☆3 安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4年度計画
海難事故の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、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や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。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、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、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故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先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、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、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故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先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、DLSA システムの完成に向けた要素技術成果の統合化及びシステム化を行うために、流体構造強連成システムのプロトタイプを DLSA-AT に取り入れる。さらに、統合デジタルツインシステム(i-SAS)の実用化に向け、運航中の外航船にシステムを搭載して、データ収録機能、応力等の状態量標示機能及びデータ同化手法の精度等のシステム検証を行う。また、急速に需要が高まっている GHG 対応燃料の運搬船、燃料船をリスクベース設計するために必要なリスク評価技術を開発する。 等 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発 －安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に対応する技術開発を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、交通流が交差するなど複雑な海域を対象とした新たな安全対策となる航路案の設計技術と衝突リスク評価技術の拡充、実船の停止性能を推定するための主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーションプログラムの開発、荒天下操船運動評価プログラムの高精度化、及び荒天下操縦性能基準案のための技術資料の作成を行う。 等

研究の背景

安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築をする。

具体的には、以下があげられる。
・衝突回避能要件の研究
・荒天下の操船安全性に関する研究
・衝突事故及び乗揚げ事故等の回避・予防技術の開発に関する研究
・遠隔計測による運航状況分析技術の開発に関する研究
・損傷時船舶の安全性評価に関する研究

期間全体の研究目標
・衝突事故を防ぐための船舶の操縦性能要件のとりまとめ
・荒天下の操船性能評価手法を確立し、合理的な最低出力と操船安全性に関する基準案を作成
・制動能力や旋回性能を向上させるための回避行動促進装置、緊急時自動衝突回避システムの試設計
・小型船の航行支援に資するスマートフォンアプリの開発ガイドライン案
・遠隔計測により運航状況の危険性を把握する船体運動状況分析技術の開発
・船体構造強度を考慮した損傷時船舶の安全性評価手法の開発

上記成果は、以下があげられる。
・衝突・乗揚げ予防システム等の実用化により海難事故及び事故に伴う被害の減少が図られる
・国際ルールの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
・合理的な基準体系の確立等により海難事故の防止が図られ、IMO 等の期待に応えられる

R4年度研究目標

□小項目 2
・衝突・座礁回避基準案のための技術資料
・主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーションプログラム

□小項目 4
・最終版荒天下操船運動評価プログラムの作成

□小項目 15
・開発した低速時操縦運動特性同定手法の有効性の実運航データによる実証

R4年度研究内容

□小項目 2
・衝突・座礁回避基準要件の検討
・停止性能推定精度の向上

□小項目 4
・荒天下操船運動評価プログラムの改良と本プログラムによる操船限界と主機出力の関係の評価

□小項目 15
・実運航データを用いた低速時操縦運動特性の同定に関する検討

R4年度研究成果

□小項目 2
(実施事項 1: 衝突・座礁回避基準要件の検討)
・過去の衝突が原因と考えられる海難事故のデータを分析して，船の停止性能と衝突事故の減少率の関係について整理を行った。これは以前，上野により行われた分析に衝突事故のデータを追加することにより，再検討を行ったものである。新たに 2017 年から 2022 年まで発生した事故データを追加し，2008 年から 2022 年までの 34 件の衝突事故を対象とした。衝突事故では 2 隻以上の船舶が関係しているので，分析対象隻数は 68 隻であった。また，衝突事故が発生した船速は個々で異なるため，分析を行う際には初速を 12kn 相当に換算した。
本解析に用いた船舶の総トン数の頻度分布を図1に示す。赤枠は上野が分析対象とした船舶で，水色が新たな船舶を追加して本分析の対象としたものである。衝突事故を起こしている船舶の分布に殆ど変更はなかった。

初速を 12kn 相当に換算した危険の認識地点から衝突地点までの距離の頻度分布表を図 2 に示す。赤枠は上野が分析対象とした船舶の結果で，水色が新たに追加した船舶を含めた結果である。この結果より停止距離が 4L よりも短い距離で衝突に至っている船舶が大半となっている。

次に 12kn での停止基準（Ds_12）と衝突事故の低減率の関係を図 3 に示す。赤線は上野の分析による結果で，青線が新たに追加した船舶を含めた結果である。衝突事故の低減率の傾向もほぼ同じで，12kn での停止基準を 10L とすると約 6%，6L とすると約 15%の低減率となる。しかし，既存の国際海事機関(IMO)の操縦性能基準では航海速力からの停止距離の基準が原則 15L 以下と定められている。肥大船などの航海速力が遅い船舶は，12kn での停止距離 6L 以下は達成することは難しいと考えられる。

（まとめ 1）

・2008 年から 2022 年までに発生した衝突事故を対象として，衝突事故を回避するために必要な停止性能の分析を行った。12kn からの停止性能が 6L であれば，約 15%の衝突事故の低減が期待できると考えられる。既存の船舶がこの基準を満たすことが可能かなど引き続き検討することが必要と考える。

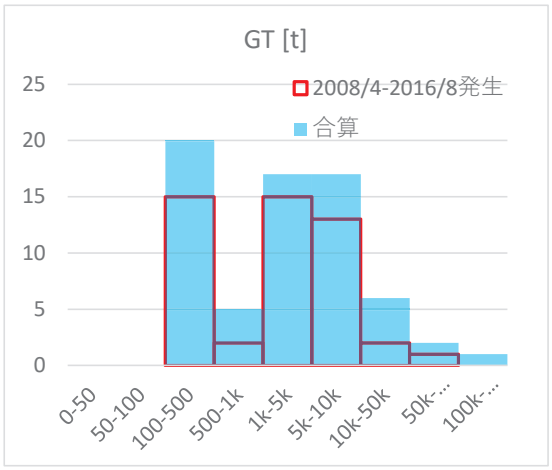


図 1 衝突事故を起こした船舶の総トン数

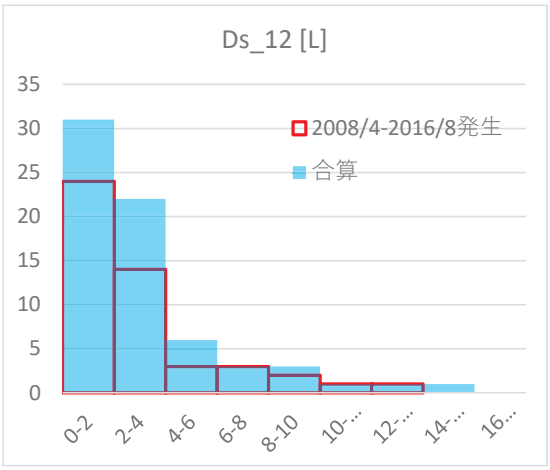


図 2 衝突点前の停止に必要な停止距離と船長の比（初速 12kn）

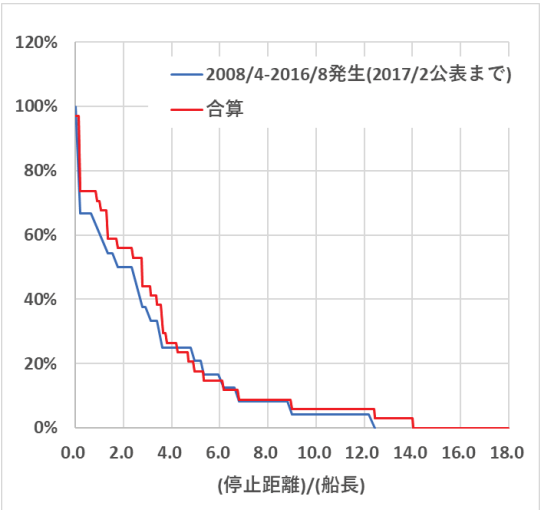


図 3 停止基準（初速 12kn）と衝突事故低減率の関係

（実施事項 2: 停止性能推定精度の向上 ）

・模型船を用いた水槽実験で計測される操縦性能は実船よりも良い値となることが知られている。そのため，水槽実験で実船の性能を直接計測する試みが行われるようになってきている。その一つとして上野らにより実船の停止性能を自由航走模型実験で評価する実験法（JSC）が提案されている。本手法は正転及び逆転時のプロペラ推力を実船と相似とするため，不足する推力はダクトファンを用いた補助推力装置で補っている。提案された実験法を用いて水槽実験を行った。供試模型は VLCC（全長 300m）の 3m 模型とした。正転時の実船の操縦性能を計測する際は船尾側のみに補助推力装置を搭載するが，逆転時のプロペラ推力を相似とするために本実験では船首にも補助推力装置を搭載した（図 4）。

水槽実験で計測された航跡を図 5 に示す。縦軸と横軸は船長で無次元化した値を用いている。図には 3 種類の航跡が記載されていて，赤線は提案された実験手法で実施した結果，緑線はプロペラ回転数をモデ

ルポイントで実施した結果（MP），青線はプロペラ回転数を実船相当として船体の摩擦修正のみを実施した結果（SFC）を示している。停止距離はプロペラ回転数の与え方（正転から遊転，逆転）により変化するが，今回の 3 ケースについては同じアルゴリズムを適用している。3 つを比較すると MP<SFC<JSC の順に停止距離が長くなっている。JSC は SFC の停止距離よりも 1 船長程度長くなっていることがわかる。

また，衝突を回避するために必要な停止性能を検討した際に用いた初速 12kn からの停止距離と航海速力からの停止距離を比較したものを図 6 に示す。航海速力は 15.5kn で 12kn との違いは 3.5kn である。しかし，停止距離としては 3L 程度の違いが生じている。本実験ではプロペラ回転数の指令値を船速の関数として与えており，初期船速の遅い方がプロペラ遊転状態に至るまでの時間が短いためと考える。そのため，プロペラ逆転をして後進力が発生し始めるのが早くなり，停止距離は短くなったと考える。今回の実験では 12kn での停止距離は，衝突事故を回避するために必要な停止性能の分析（実施事項 1）から求めた 6L を若干上回る値となっている。

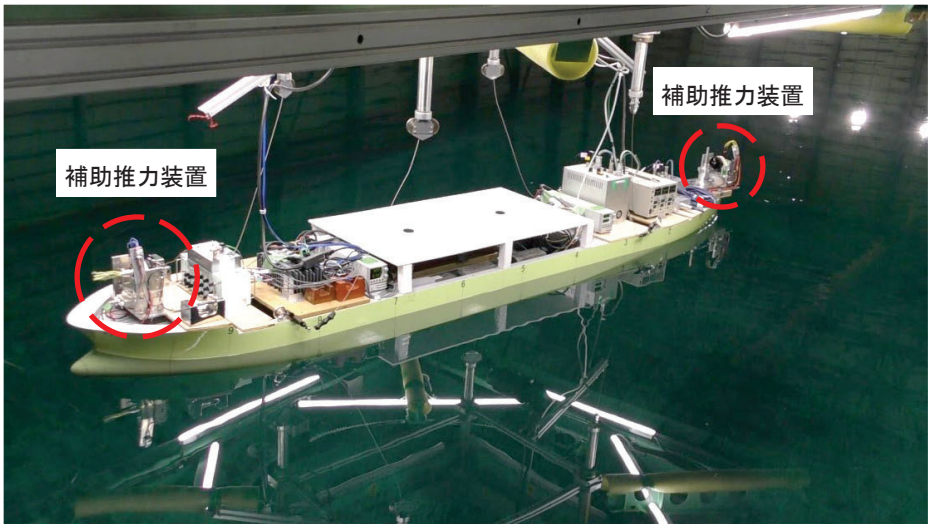
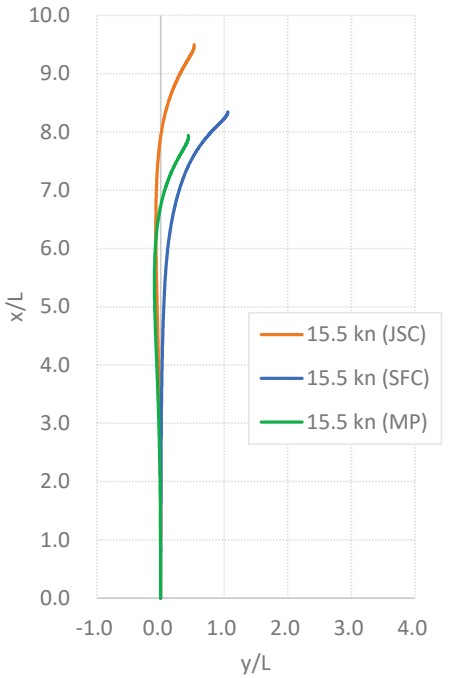


図 4 実船を模擬した停止実験の様子



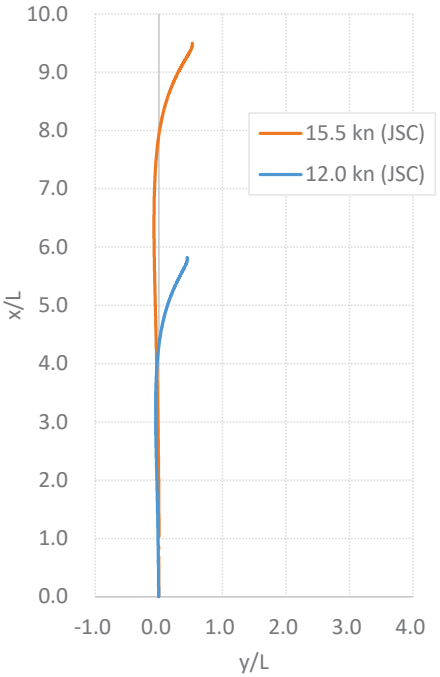


図 5 航海速力（15.5kn）からの停止実験　図 6 初期船速を変更した停止実験（JSC）

（まとめ 2）

・VLCC の 3m 模型を用いて上野らにより提案された実船の停止性能を自由航走模型実験で評価する方法に従い水槽実験を行ってその妥当性を検証した。また，停止距離がプロペラ回転数の与え方や初期船速の違いによって大きく相違することを確認した。なお，本水槽実験では自由航走実験だけではなく，拘束試験も行った。拘束試験はシミュレーション計算に必要な抵抗・自航・プロペラ逆転試験を行い必要なデータ

の計測を行った。計測されたデータを解析し，シミュレーション計算に必要な係数の算出をしている。算出された種々の係数を用いて主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーション計算を早期に行う予定である。

□小項目 4

・昨年度までに開発した不規則波中操縦運動時の 6 自由度船体運動計算法について，直進時の船体摩擦抵抗・有効伴流率・プロペラ単独性能への尺度影響ならびに，主機のトルクリミットによるプロペラ回転数の低下を考慮することで，実船尺度の計算へ拡張した。また，過去に提案した波風併存下の実船の操縦運動を直接評価する模型試験法による結果との比較から，本計算法の妥当性を明らかにした(図 7)。提案した計算法は，時間平均的な操縦運動(船速低下や針路保持に必要な当舵)だけでなく，操縦運動や船体動揺の波による変動成分までも，模型船と比較して時間平均的な波浪外力の影響を受けやすい実船の舵効き状態において大略妥当に推定できるところに，従来の 3 自由度の波浪中操縦運動計算法にはない新規性がある。

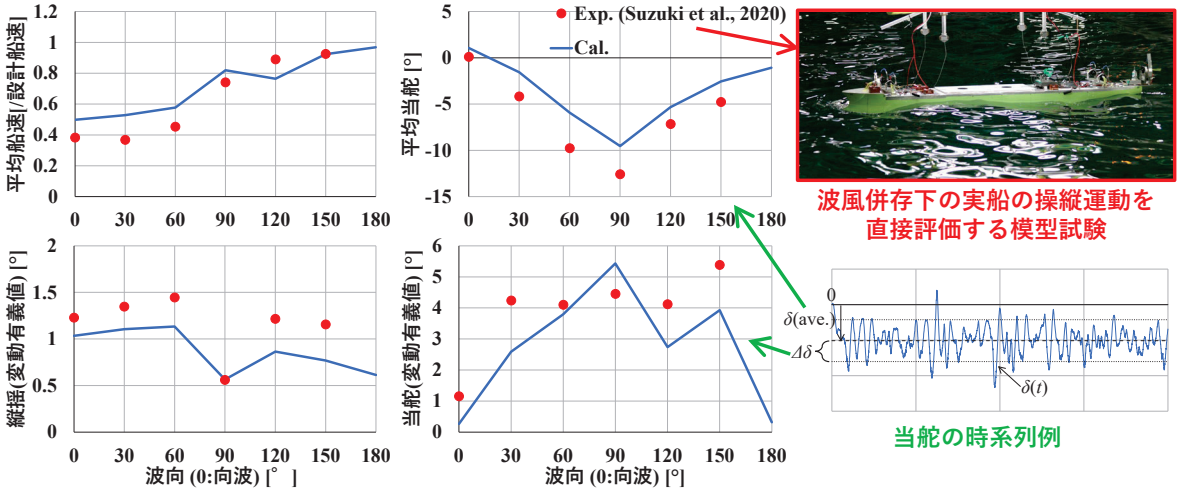
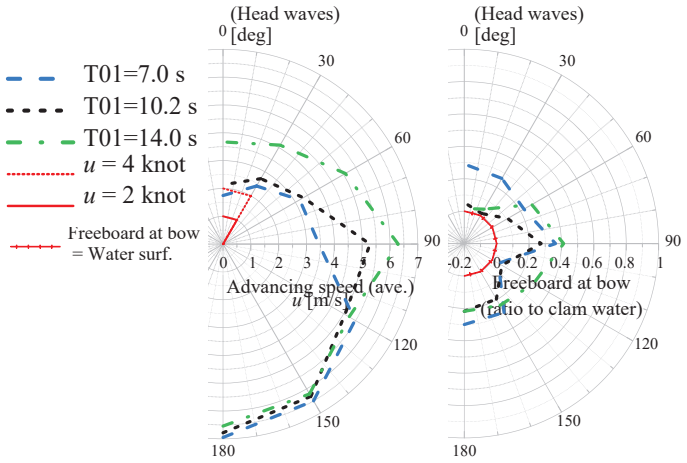
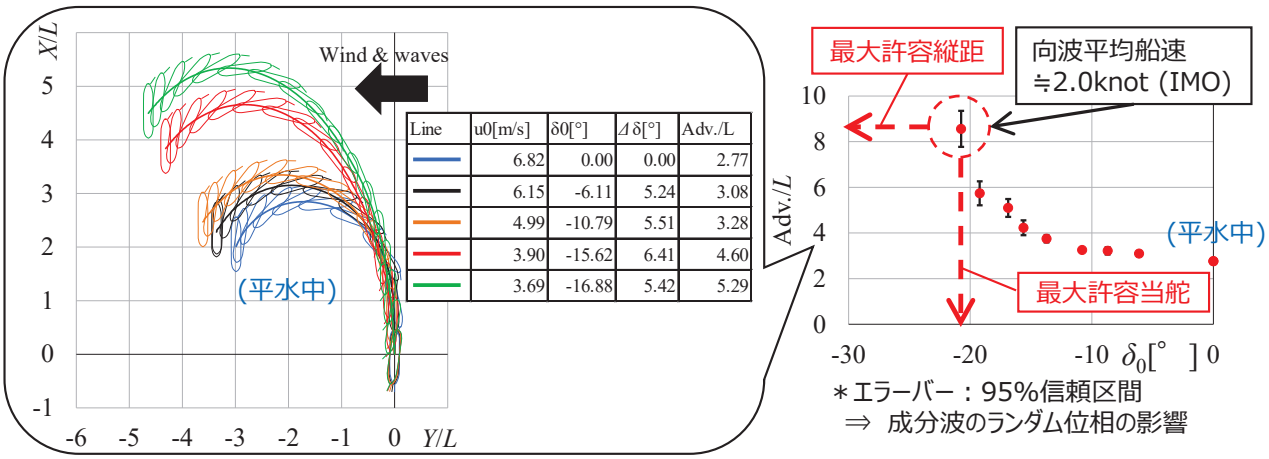


図 7　不規則波・風(ビューフォート風力階級 9)中の保針航行状態における大型タンカー(全長 320m)の 6 自由度船体運動推定結果の検証
(左上図:平均船速，左下図:縦揺角変動有義値，中央上図:平均当舵，中央下図:当舵変動有義値)

・上記の計算法を用いて，現行の荒天下最低機関出力ガイドライン(IMO)の見直しの必要性を示すための数値計算と検討を行った(図 8)。図 8(a)より，最低機関出力ガイドラインにおける操船限界(最低船速)は，必ずしも耐航性に関わる運航限界の条件(海水打ち込み等が発生しやすい条件)に一致しないため，別途これを考慮する必要性のあることが伺える。 また図 8(b)より，向波に対する現行の最低機関出力ガイドライン(最低船速 2knot)を基にすれば，横波中で安全に変針可能な当舵(平均値)の限界は約 20°，縦距の限界は平水中の約 3 倍となることが分かる。国内研究者・技術者を中心に現行のガイドラインの見直しの必要性について共通意識形成を図るための技術資料として，現在本結果をまとめた論文を作成中である。



(a)　保針航行状態の平均船速(左図)と船首海水打ち込み期待値(右図)

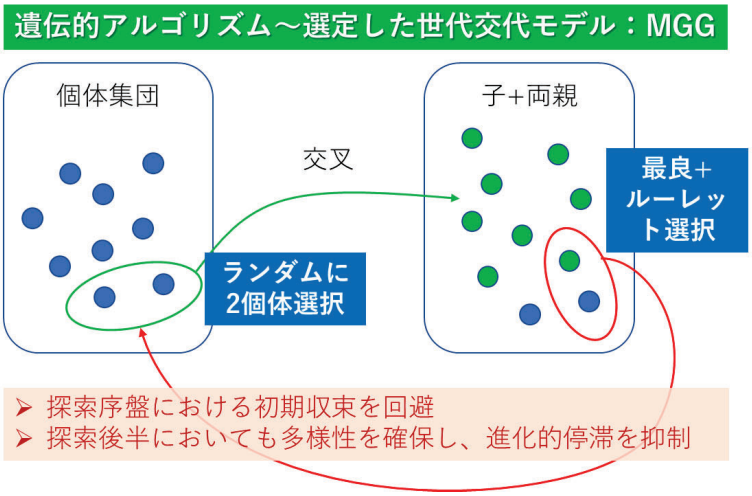


(b) 横波中の許容当舵の検討

図 8 大型タンカー(全長 320m)の荒天下操船限界評価例

口小項目 15

・“実計測データを用いた低速時操縦運動モデルの同定手法の開発”に関しては，前年度までに提案した手法を用いたモデル同定の基礎的実証を行った。この提案法の基本方針は，機械学習手法の一種である強化学習手法を用いて，船体運動の時系列でなく海上公試等の操縦性試験から得られる操縦性指標に基づいた報酬関数を設計して，得られた同定モデルが操縦性指標を再現できるようにすること，が狙いであった。今年度は報酬設計の基本方針はそのままに，より適切な機械学習手法として遺伝的アルゴリズム（GA）を適用し，SR108 船型の Zigzag 試験結果の公表値を入力情報とした手法の基礎的実証を行った。具体的には，操縦流体力微係数を提案手法による推定対象として，操縦流体力微係数から操舵応答モデル（KT モデル）を定めて Zigzag 操舵シミュレーションを行い，同定された流体力微係数により Zigzag 試験結果の公表値が再現できることを確認した。図 9 に選定した GA の世代交代モデル（MGG）のイメージ図，と Zigzag 試験指標値の目標値（計測値）と同定モデルによる推定値を示す。残念ながら実船の実運航データを用いた手法実証には及ばなかったが，提案手法の妥当性は検証されたため，次期の後継重点課題にて実運航データを用いた低速操縦運動モデルの同定に関する研究を継続していく。



Zigzag index	目標値	同定モデル計算結果
1st OSA [deg]	8.6	8.62
2nd OSA [deg]	16.5	16.50
t_{max} [s]	64.5	64.53
t_{min} [s]	164.3	164.29

図 9 選定した GA の世代交代モデル MGG のイメージ図と同定モデルによる Zigzag 試験指標計算値

・前年度までに開発した低速時の実船の舵効き及び船速を再現する自由航走模型試験法に関して，制御プログラム上の不備を含めた課題を改善しつつ，試験法のデモンストレーションとして風外乱下における自動着桟アルゴリズムの検証実験を行った。本実験で適用した自動着桟アルゴリズムは海技研で開発した PPA 法＋船速制御手法であり，実験では(1)平水中での制御パラメータ調整による着桟シナリオの成功に向けた検討 (2)ビューフォート風力階級5相当の風外乱下における自動着桟挙動の検証、の 2 通りの検証を行った。(2)の際は風荷重模擬装置を用いて想定風環境下における実船の風圧力の再現を行い，海技研で開発された船体横方向風外乱補償アルゴリズムを拡張した風外乱補償アルゴリズムの適用による改善効果の検証も行った。その結果，風外乱中では平水中で成功した制御パラメータ群では想定した着桟シナリオを完全に成功させるのは困難であり，拡張した風外乱補償アルゴリズムは一部風向条件では着桟シナリオを成功させたが多くの条件で成功まで導けるものではなく，外乱条件における課題が明確になった。図 10 に実験結果の一例として，検証時開始時の初期制御パラ

メータ値(図中の"Ini.")と調整を重ねた制御パラメータ値(図中の"Tuned")による平水中自動着桟の比較例を示す。初期パラメータでは目標停止位置((X,Y)=(0, 0))で船速を落として船体を停止させることが出来なかったが,調整後パラメータでは目標方位(-180 度)で船首方位を整えつつ目標位置で船体を停止させることが可能となった。以上の実験的試行により,提案した自由航走模型試験法及び実験システムは自動着桟アルゴリズムの体系的な検証に有用であることがわかった。これらの研究成果は 2022 年度内に発表することは叶わなかったが,次年度に開催予定の PAAMES/AMEC 2023 にて公表予定である。また,本実験ではオンライン式の公開実験を行い,自由航走模型試験法ベースで実船尺度相当の状況で自動着桟アルゴリズムの検証が行えることを示し,研究成果の PR を行っている。

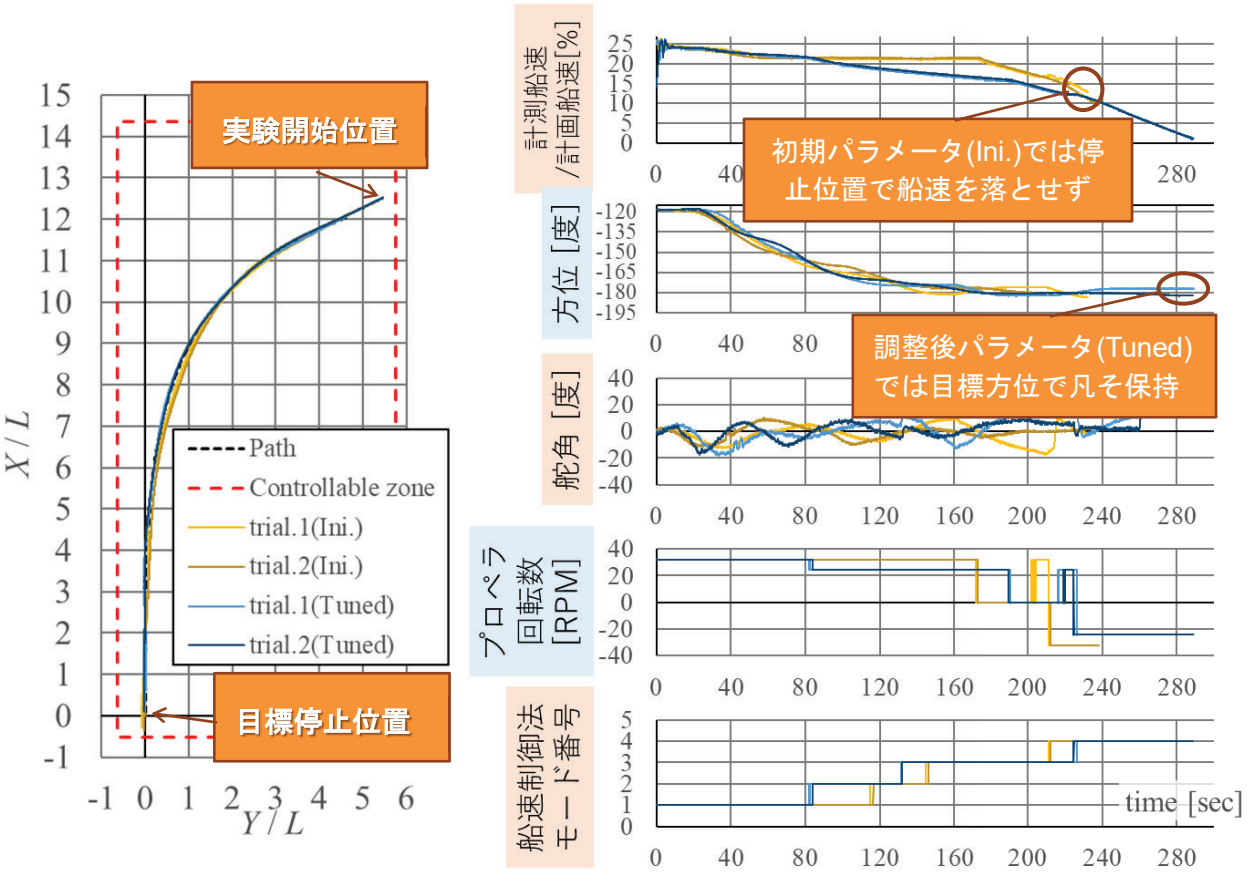


図 10 開発した自由航走試験法を用いた PPA 法＋速度制御手法による平水中自動着桟の実験例

・本小項目の活動の枠内にて,日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着桟操船時の操縦流体力特性の簡易推定手法に関する調査研究委員会」(研究委員会番号:P-64)に北川と澤田が参加し,離着桟時の操縦運動をシミュレーションするための数学モデル及びモデル内係数の簡易推定法に関する調査研究を行い,現状の課題抽出を行った。本委員会では北川は委員長を務め,委員会の取り纏め,活動成果の公表方針等,国内の自動離着桟技術の発展に貢献するべく活動を進めた。また,得られた知見を活用し,流体性能評価系の次期中長期の研究計画の立案にもフィードバックさせた。加えて,系主催講演会も兼ねて,本委員会の調査研究成果に関するハイブリッド方式講演会を実施し,北川から 2 件・澤田から 1 件の発表をする等,調査研究成果の公表を積極的に行った。図 11 は講演会参加者に対して実施したアンケートの内,「離着桟用操縦運動モデルに関する研究開発の内で今後に注力すべきトピック」を複数選択式で問うた結果である。これら研究需要は流体性能評価系の次期重点研究課題に於いても取り組む予定のトピックが多く,今後の研究開発動向を見定める上で有用な調査となった。

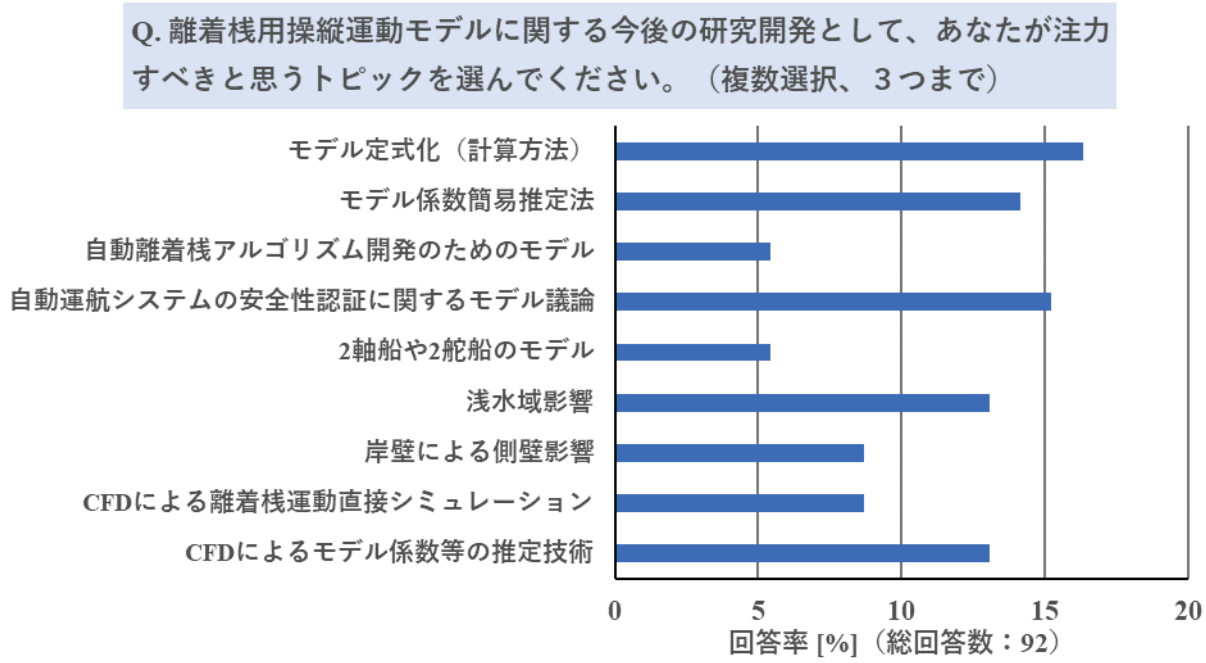


図 11 P-64 研究委員会の調査研究成果講演会において実施した参加者へのアンケート結果

R4年度成果の公表

口査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等)： 4 件(投稿中： 1 件、採択済： 0 件、掲載済： 3 件)

- Suzuki R., Tsukada Y., and Ueno M.: Effects of steady wave forces for oblique motion on estimation of manoeuvers of full-scale ships, Proceedings of 15th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS2022), pp.226-237 (2022).
- Suzuki R., Tsukada Y., and Ueno M.: Effects of steady wave forces on course-keeping manoeuvres of full- and model-scale ships moving obliquely in short waves, Ship Technology Research (Schiffstechnik) (Published online, Nov. 23, 刊行物番号未定) (2022).
- Suzuki R. and Ueno M.: Prediction of Steady Wave Forces and Moment Acting on Ships Manoeuvring in Short Waves, Proceedings of the 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE2023) (2023). (投稿中)
- Yasushi Kitagawa, Yoshiaki Tsukada and Kunihide Ohashi: On Measurement of Hydrodynamic Pressures on Hull and Rudder Surface in Free-running Model Test, Proceedings of PRADS 2022 (2022).

口その他発表論文： 7 件(投稿中： 0 件、掲載済： 7 件)

- 鈴木良介, 塚田吉昭: 不規則波中を旋回する船の波浪動揺と操縦運動計算法の一提案, 海上技術安全研究所報告, 第 22 巻 別冊 令和 4 年度(第 22 回) 研究発表会講演集, pp.81-82 (2022).
- 鈴木良介, 塚田吉昭: 短波長波中を斜航する船に働く定常波力推定法について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 35 号, pp.377-379 (2022).
- 北川泰士, 韮澤遼太, 大橋訓英, 塚田吉昭:舵表面圧力の積分で得られる舵直圧力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 35 号, pp.355-359, 2022.
- 北川泰士, 塚田吉昭, 大橋訓英:自由航走中模型船の船体表面非定常圧力の計測, 第 22 回推進・運動性能研究会(口頭発表) (2022).
- 北川泰士, 矢澤真樹:Propeller モデルの調査結果, 船舶の離着桟時の操縦運動を予測するための数学モデル及びその簡易構築手法の調査研究に関する講演会(共催:海技研, 兼 系主催講演会)(口頭発表) (2023).
- 北川泰士:プロペラ逆転時モデルに関する研究事例紹介, 船舶の離着桟時の操縦運動を予測するための数学モデル及びその簡易構築手法の調査研究に関する講演会(共催:海技研, 兼 系主催講演会)(口頭発表) (2023).
- 北川泰士:事例紹介～港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究, エムアイエス株式会社ホームページ(寄稿), URL: https://www.mttis.co.jp/items/user_stories/nmri/ (2023).

口特許申請： 0 件

-

□コアプログラム登録： 1 件
・実海域中を通常・低速航行する船の 6 自由度船体運動推定プログラム，鈴木良介ほか

□国際貢献： 0 件
・

□受賞： 1 件
・令和4年度理事長表彰（個人表彰，最優秀論文賞）：鈴木良介（Numerical simulation of 6-degrees-of-freedom motions for a manoeuvring ship in regular waves, Applied Ocean Research, Vol.113, No.102732 (2021)）

□公開実験： 1 件
・小項目 15 で開発した模型試験法のデモンストレーションとして，オンライン公開実験「自動離着桟アルゴリズム検証のための自由航走試験法による模型実験」を実施した。参加人数：50 名。（2022 年 8 月 9 日）

□その他： 1 件
・系主催講演会として，小項目 15 の研究成果に記載した日本船舶海洋工学会 P-64 研究委員会の調査研究成果に関する講演会を実施した。講演会は対面式とオンライン式のハイブリッド要領で開催し，合計 99 名（現地：23 名，オンライン：76 名）が参加した。（2023 年 3 月 15 日）

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
・衝突回避基準の研究に関しては，衝突事故・乗揚げ事故は船舶事故の半分以上を占めており，これらの事故が削減出来れば海難事故による経済損失や環境負荷低減に有用であると考える。
・我が国の産学官公の連携による「国際海運 GHG ゼロエミッション」プロジェクトにおけるロードマップにも示されている通り”大型商船の低速航行化”は GHG 排出削減のための 1 つの選択肢である。その中で，今年度提案した荒天下操船運動評価法は，低速運航船で問題となる荒天下の操縦性能を合理的に評価可能とするものである。そのため，本成果・取り組み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。
・港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究の研究成果は，自動運航船（特に自動離着桟技術）の研究開発における操縦運動モデル活用や自動離着桟アルゴリズムの検証に有用であり，社会ニーズに適合しつつ社会的価値のあるものと考えられる。

□成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか
・衝突回避基準の研究では，自由航走模型実験で実船の停止性能を評価する実験手法を確立した。これまで模型船を用いた水槽実験で実船の停止性能が評価できることはなく，本実験手法を確立したことは新規性があると言える。また，従来の模型実験手法と比較して，今回の手法を適用した方が停止距離は長くなることが確認されるなど新しい知見が得られた。
・船舶の波浪中操縦性能推定法はこれまでにも数多く研究されてきているが，(1)船体動揺，(2)不規則波海象，(3)1 波 1 波の出会い波の違いによる操縦運動（航跡など）や船体動揺の変化，(4)主機のトルクリミットまでも考慮したものはほとんどない。今年度提案した荒天下操船運動評価法は，上記を包括的に考慮可能としながら，実海域を航行する船の操舵・船体応答をよりリアルかつ信頼できる精度で取り扱うことのできるものであるため，新規性がある。
・荒天下の操船限界に関する技術資料は，現在のところ大型タンカーを対象とした 1 例ではあるが，その検討に用いた評価法は様々な船に対して適用可能であるため，本成果の一般性は十分大きい。
・港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究で開発した，自由航走模型試験による低速時の実船の舵効き及び船速の再現手法は，海技研の独自技術として新規性が高い。

□成果が期待された時期に創出されているか
・IMO において，2013 年に荒天下の操船性能維持を目的とした最低機関出力の暫定ガイドランが導入され，2021 年にその最終化がなされた。しかし，最終案においてもガイドラインの見直しを継続することが合意されているため，波浪中の操縦性能をより理論的かつ適切に推定する手法の構築は今後も強く望まれる。本研究成果（荒天下操船運動評価法）はその方向性に真っ先に応えるものであるため，期待された時期に成果が創出されていると言える。
・港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究では，概ね期待された時期に成果が創出できているが，自動離着桟技術の普及に向けて更なる加速も重要である。

□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
・最終ガイドラインに取って代わる荒天下最低機関出力の評価手法は未だに他国から提案・確立されていないた

め，本研究成果（荒天下操船運動評価法）を活用することで我が国が国際ルールの改定を主導する機会と成り得る。これにより，技術的正当性の乏しい規制の導入による社会的コストの増加を防ぎながら，船舶の安全性と我が国海事産業の社会的負担のバランスを確保した合理的な安全規制体系の構築が可能となり，国際競争力の向上につながる。
・港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究で実施した自由航走模型試験手法の開発は，設備面・技術面にて総合的に国際的に高水準であると言える。実計測データを用いた操縦運動モデル同定手法の研究は新規アイディアを含むが，研究スタート時期であることと昨今のホットトピックであることから遅れを取らないように進める必要がある。

□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
・港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究で実施した自由航走模型試験手法に関する開発は，萌芽的研究に位置づけられる内容であり，自動運航船の技術開発を見据えた研究スタートが出来ていたと言える。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

【年度評価に関するコメント】
・前年度までに作成し従来の模型試験によって検証してきた荒天下操船運動評価のテストプログラムを，実船尺度に拡張することで最終版プログラムを開発し，プログラム登録を完了した。また，これを活用して荒天下の操船限界について検討した。これは，合理的な最低機関出力と操船安全性に関する基準案を作成・改定するための重要な技術資料になると考えられる。
・低速時の実船の舵効き及び船速を再現する自由航走模型試験の開発及び風外乱に対応できる試験環境の整備を完了し，平水中自動着桟アルゴリズムを検証する体制を整えた。また，日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着桟操船時の操縦流体力特性の簡易推定手法に関する調査研究委員会」を立ち上げ，低速操縦性関連の国内関連研究及び学会活動に貢献した。

年度計画に従って研究を実施し，上記の顕著な成果を創出しており，「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」ことから「A」と評価した。

【終了評価に関するコメント】
・衝突事故を減らすための停止性能を船の性能面から分析して新しい停止性能基準の考え方を示したことは実効性のある停止性能基準策定に向けての議論の基礎になると考えられる。また，至近距離にまで衝突が迫った段階における避航操船手法の研究は自律船等を含めた船の衝突に対する新たな視点を与える研究になると考えられる。
・荒天下の操船安全性に関する研究を実施し，第一に荒天下の操船性能の実験的ならびに理論的評価手法を開発した。これらは複数の学術雑誌論文として公開されているため，客観的な信頼性も認められていると考える。第二に，評価法の提案のみに留まらず，これらを活用して荒天下の操船限界の検討を行い，合理的な最低機関出力と操船安全性に関する基準案を作成・改定するための技術資料としてまとめた。本技術資料は，今後国際的な場で本件の議論が開始される際に重要な基礎資料になると考えられる。
・第 2 世代非損傷時復原性基準暫定指針の過大加速度モードは，現存する船舶の 7 割がいずれかの載荷状態で簡易基準が不合格と判定されることが判明しており，その代替措置として認められる運航ガイダンスに活用できる操船支援用危険度評価システムを開発したことは顕著な成果であり，今後 IMO で基準の強制化に向けた議論が行われる場合に重要な基礎資料となると考えられる。
・錨泊実施前に運航者に走錨を回避するための判断材料（錨泊方法，錨鎖長さ，風速に対応した走錨リスク）を提供する PC 版及び Web アプリ版の「走錨リスク判定システム」を開発し，令和 3 年 7 月 1 日に一般にリリースしたことは，走錨事故防止対策を実施している国の方針に適合した顕著な成果であり，社会的な安全・安心の確保に役立つものと考えられる。
・低速時の実船の舵効き及び船速を再現する自由航走模型試験の開発及び風外乱に対応できる試験環境の整備を完了し，平水中自動着桟アルゴリズムを検証する体制を整えたことは顕著な成果である。更に，日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着桟操船時の操縦流体力特性の簡易推定手法に関する調査研究委員会」を立ち上げ，低速操縦性関連の国内関連研究及び学会活動に貢献したことも研究成果の社会実装化に役立つものと考えられる。

期間全体の研究目標をすべて達成したうえで，上述した「顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる」ことから「A」と評価した。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	**(3)環境インパクト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に資する規制手法に関する研究** **(5)船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発**

研究テーマ	**重点☆4　船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究**

中長期目標	中長期計画	R4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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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環境インパクト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に資する規制手法に関する研究開発 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	IMO　において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物　NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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環境インパクト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に資する規制手法に関する研究開発 －SOx 規制対応燃料およびガス燃料の燃焼改善技術と着火性評価手法の提案・検証、並びに次世代燃料燃焼時に問題となる排出物の計測・分析技術を確立し削減対策を検討する。 等 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発 －GHG 削減のための後処理技術によるメタンスリップ、N_2O 等の削減方法の検討を行う。 －グリーン・イノベーションを実現するために、水素やアンモニア等の代替燃料の高負荷・高混焼率での燃焼安定化技術の開発、内航船・外航船のカーボンフリー燃料利用技術の検討を行う。 等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。
・次世代燃料の燃焼性評価手法の確立
・GHG・環境影響物質削減のための計測・分析技術の確立

期間全体の研究目標

・低硫黄燃料、次世代燃料の燃焼生成物の計測・分析技術の確立
・SOx、GHG 対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善のための指標構築
・GHG 削減のための後処理技術の確立

上記成果は、以下があげられる。
・燃料の硫黄分規制や GHG 削減戦略に対応して、行政、業界の要望に応える形での GHG 削減技術、燃焼改善、計測システムなどの技術開発を行う。今後の燃料多様化も対応可能となり海洋環境が保全される。
・先駆的な技術開発により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。

R4年度研究目標

□小項目 4

・SOx 規制対応燃料およびガス燃料の燃焼改善技術と着火性評価手法に関する提案，検証をおこなう。

□小項目 5

・次世代燃料燃焼時に問題となる排出物について、計測・分析技術を確立し削減対策につなげる。
・触媒を用いてメタンスリップや N_2O を削減するため、触媒反応に干渉する成分の同定や温度の影響を調査し、削減率が向上する条件を解明する。

R4年度研究内容

□小項目 4

・燃焼性評価手法の確立を目標に大きくわけて2つ、すなわち液体燃料に対する着火性指標とガス燃料に対する着火性指標について研究した。
・液体燃料について、舶用燃料の着火性指標（セタン指数、CN）を予測するため、規格着火性指標（CCAI）を実燃料に即したものに改良することを目的としている。そのため、燃料を構成している炭化水素の構造が着火性へ与える影響を加味して、CCAI 値を修正し、実燃料を用いた推定セタン価（ECN）の実測値との相関関係を調べる。ユーザーの利便性を考慮し、最終的に、修正された CCAI 値は、燃料性状の基礎パラメータ（動粘度、密度）から求まるような表式とし、着火性を正しく予測できるようにする。
・ガス燃料について、これまで構築したガス燃料着火のための液体燃料の着火モデルと併せ、ガス燃料の着火モデルを構築することで、多様なガス組成に対して、異常燃焼すなわちノッキング現象の発生を精度良く予測する手法を開発する。異常燃焼を防いで燃焼をよくすることは、未燃のメタン、つまりメタンスリップ抑制につながるため、GHG 削減技術となる。これまでの結果や知見等を用いて，希薄ガスエンジンの運転条件（当量比や回転数の変化）に対して精度よく予測できる，ガス燃料の耐ノック性評価手法を提案する。

□小項目 5

・低硫黄燃料、次世代燃料の燃焼時に発生する燃焼生成物について計測・分析を行う。アンモニア燃料では避けることのできない N2O 計測に干渉するガス成分がないか、計測原理の異なる計測装置による同時計測を行い調査する。また、アンモニア燃料使用時の粒子状物質（PM）排出について実験的に調査する。さらに、低硫黄燃料使用時のブラックカーボン排出について、燃料組成との関係を明らかにする。
・後処理技術によるメタンスリップ、一酸化二窒素（N_2O）の削減方法の研究を行う。メタン削減については、メタン酸化反応時の触媒内の温度計測を行い、ガスエンジン排気下における反応熱が触媒性能に及ぼす影響を調べる。N_2O 削減については、アンモニア燃料使用時の排気組成及び温度を模擬した環境における、N_2O 還元触媒の性能に与える影響を調査する。

R4年度研究成果

□小項目 4

・液体燃料に対する着火性指標

前年度に実際の舶用燃料を 89 種類の炭化水素でモデル化し，それらのモル分率を推定する方法を構築した。この手法では，舶用燃料の密度，動粘度，推定セタン価の 3 つの実測値から 89 種類の炭化水素のモル分率が

推定される。これを実際の舶用燃料に適用した。結果の一例が図 1 である。ここでは，密度と動粘度から計算される着火性指標（CCAI）が同一の舶用燃料における、実測燃料着火性（推定セタン価：ECN）とその燃料中の特徴的な成分（炭素数が 6 から 40 の 15 種類の多環芳香族，3～7 分枝の 6 種類の i-アルカン（2,2,3-trimethylbutane, 2,2,4-trimethylpentane, 2,2,5-trimethylhexane, 2,6,10-trimethyldodecane, 2,2,4,6,6-pentamethylheptane, 2,2,4,4,6,8,8-heptamethylnonane）の積算）の関係を示す。同一 CCAI でも実測された ECN は 10～35 までの様々な着火となっているが，その成分は，ECN が大きい燃料（着火しやすい燃料）になると，多環芳香族が増加し，多

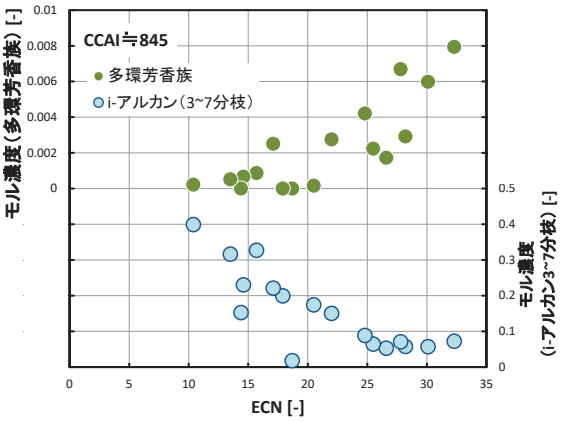


図 1　同一着火性指標（CCAI）値を持つ舶用燃料の実測された着火性（推定セタン価：ECN）と推定された構成成分の関係例

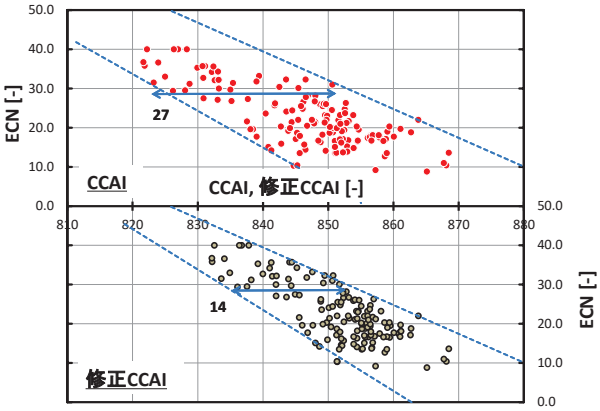


図 2　舶用燃料の着火性指標（CCAI）の修正値と実測された着火性（ECN）の関係

分枝のアルカンは減少することが予測された。この手法により，多種多様な炭化水素の混合物である舶用燃料をモデル化し，燃料ごとの特徴を推定することができるようになった。炭化水素構造を予測できるようになったことは、着火性の異なる燃料の要因解析の一助となる。（日本マリンエンジニアリング学会誌，58-1（2023），pp.117-124.）

図 2 は舶用燃料 143 種の CCAI と ECN（上図），修正された CCAI とECN（下図）の関係を示す。図 2 上図に示すように，CCAI は傾向として着火性を示しているが，同一 ECN と計測された燃料であっても，CCAI 値は最大で 25 以上の差があり，バラツキが大きい。そこで，以下の式のように，CCAI を修正することで，図 2 下図に示すように ECN が 30 の時に取り得る CCAI 値の幅を約 27 から 14 と約半分にすることができた。ECN と完全な線形関係を得ることはできていないが，より精度の高い指標を提案した。また、舶用燃料の場合、計測できる物性値は少ないことから、下記のように、一般的な燃料性状である、密度と動粘度から CCAI を修正できることが可能な表式とした。

動粘度ν_L<200cSt の場合

$$\begin{cases} CCAI_r = CCAI + 25\left[1-\exp\left\{-40\left(980-\rho_L\right)\right\}\right] & \left(\rho_L < 980\ kg/m^3\right) \\ \quad = CCAI & \left(\rho_L > 980\ kg/m^3\right) \end{cases}$$

動粘度ν_L>200cSt の場合

$$\begin{cases} CCAI_r = CCAI + 13\left[1-\exp\left\{-40\left(1000-\rho_L\right)\right\}\right] & \left(\rho_L < 1000\ kg/m^3\right) \\ \quad = CCAI & \left(\rho_L > 1000\ kg/m^3\right) \end{cases}$$

cSt：動粘度単位（センチストークス）
$CCAI_r$：修正 CCAI 値
ρ_L：密度

・ガス燃料に対する着火性指標

希薄ガスの燃焼改善手法の検討を，微小の液体燃料を用いるマイクロパイロット方式を対象に行った。液体燃料種，噴射圧力，噴射期間を変更することで，燃焼室中心部での着火を行うように制御すると，燃焼改善（燃焼期間の短縮）を行うことができた。なお，希薄条件での燃焼期間の短縮は，熱効率向上，未燃成分の減少の効果が得られることが想定できる。（日本マリンエンジニアリング学会誌，巻号未定（掲載決定））

前年度に，雰囲気条件が低温，空気とガスの混合気でガス濃度が希薄になると，耐ノック性指標であるメタン価と着火遅れの相関が低くなることが明らかになった。これはガス中に含まれる成分ごとに、着火遅れやその温度・濃度依存性に違いがあるためである。そこで，メタン価（MN）に各濃度に関する重みを用いた補正係数をかけたところ，修正された MN と着火遅れの相関性を向上させることができることがわかった。図 3 は MN に補正係数であ

るガス中成分（メタン(CH_4)，エタン(C_2H_6)，プロパン(C_3H_8)，ペンタン(C_5H_{12})，水素(H_2)，酸素(O_2)，二酸化炭素(CO_2)，窒素(N_2)）の体積分率 Vfi と重み Si の積の和を掛けた値と、着火遅れの相関を示している。図内の Stoich（ストイキ）は，燃料と空気が燃焼反応に対して過不足なく反応し，燃料と酸素が完全に消費される条件，Lean（リーン）は，燃料に対して空気が多く，燃焼後に酸素が残存する条件を指している。ここでは Stoich を基準条件として，排ガス（特に NOx）量の低減のためにガスエンジンで採用されている Lean 条件も検討対象としている。各成分の重みが調整係数となっているが，両者は良い相関を示している。次に、この手法を用いて，各成分の寄与を検証した。図 4 には温度，濃度を変更した時の重みを無次元化し、各成分の重み係数を示しているが，これはメタン価では表し切れない着火遅れに対する、各成分の影響の大きさを表しており，高温，低温を比較すると，高温のみでプロパン，ペンタンの効果があること，低温でエタンの効果が大きくなることが明らかになった。また，ガス濃度の濃淡では，濃い場合にはブタンの効果が大きく，薄い場合には窒素の効果が表れることがわかった。以上の通り，ガス燃料の耐ノック性を表すメタン価は着火性との関係があるが，雰囲気温度，ガス濃度によって相関性に違いが現れることから，温度，濃度の変更による各成分の着火遅れに及ぼす影響が異なり，これらを補正することで着火遅れ予測の精度を改善できることを明らかにした。

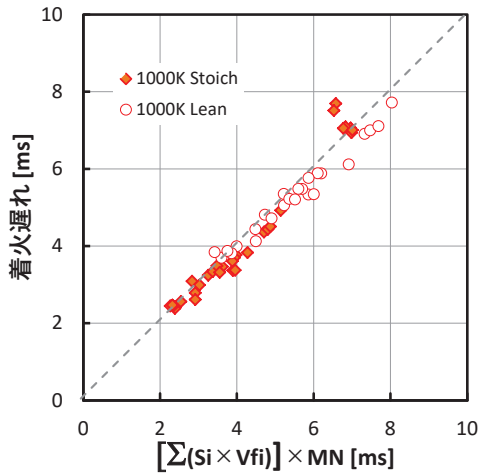


図 3　補正されたメタン価と着火遅れの関係

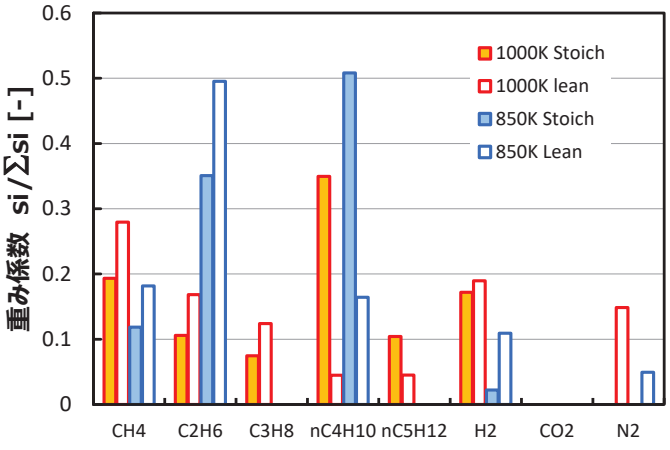


図 4　温度，濃度条件による各成分の着火に及ぼす重み係数

□小項目 5

・低硫黄燃料使用時のブラックカーボン排出と燃料組成との相関に関する研究

2020 年 SOx 規制対応の低硫黄燃料油（適合油）は、従来燃料油と性状が大きく異なり、燃料基材や製法も異なるため、ブラックカーボン排出量の増加が IMO（国際海事機関）で懸念されていた。そこで、適合油（硫黄分<0.50%、VLSFO）、従来油（硫黄分＜3.5%、HFO）、ECA（指定海域）対応燃料（燃料油中硫黄分＜0.10%、ULSFO）、を用いて4－ストロークの中速エンジンを運転し、ブラックカーボン（BC）排出量を比較した。その結果、エンジン負荷率の高い条件では、燃料油による BC 排出量の差はほとんどなかったが、低負荷率では適合油が従来油よりも BC 排出量が多いことが明らかになった。一般にアロマ分が多いと BC 排出量が多いとされているため、燃料油の組成分析を行ったところ、芳香族分、レジン分、アスファルテン分といった、いわゆるアロマ分の比率は、VLSFO が約 25%、HFO が 53%、ULSFO が約 30%だった。つまり、アロマ分のみでは VLSFO の BC 排出量の増加を説明することができないことがわかった。そこで、元素分析で H/C 比を比較したところ、VLSFO がもっとも低く、これは、アロマ分以外に不飽和炭化水素が多いことを示しており、これが BC の高排出量の要因になっているものと考えられた。IMO では燃料油中のアロマ分を規制し、BC 排出量を削減する意見がでていた一方、燃料油中のアロマ分を単純に削減することは、燃料油の不安定化も招き、船の運航に悪影響を与える懸念も示されていた。本研究で、アロマ分が直接の BC 排出原因といえないことを示したことは、BC 排出削減対策として拙速にアロマ規制をすることを抑止するための基礎データとなった。

・アンモニア混焼試験時の排ガス計測・PM 計測に関する研究

ディーゼル燃料へのアンモニア混焼を行うと、CO_2 は減少するが、より温暖化効果の高い N_2O が発生することが懸念されている。また未燃のアンモニアも生じる。通常のガス分析の計測レベルに比べ未燃アンモニアレベルは高くなることが予想され、そのようなアンモニアの大きなバックグラウンドのあるところで、各排ガス成分を精度よく計測可能か調査することは、将来的にアンモニア燃料エンジンの排ガスインベントリを研究するためにも重要である。そこで、単気筒小型 4 ストロークディーゼル機関（AVL type 520、ボア/ストローク 112/110mm、8kW、1500 min^{-1}）の吸気にアンモニアをいれ、着火用燃料として軽油を用いたアンモニア混焼実験を行い、計測法としてフーリエ変換赤外分光法(FTIR)と非分散型赤外線吸収法(NDIR)という 2 種の原理の異なる計測装置を用い比較を行った。

FTIR 法は，全波長のスペクトルを一度に計測でき、感度も高く、多成分混合ガスの測定に適している。NDIR は光学フィルタにより波長を選択して測定していることから、対象ガス特有の吸収帯を利用でき精度も安定性も高い。今後、IMOにおいて、アンモニア燃料船の排出ガス規制がどのような方向に進むかは未知であるが、船上計測を行うことを想定すると、装置構成が単純で堅牢なNDIR法がのぞましい。計測値を比較した結果、アンモニアの混焼率にかかわらず N_2O、CO_2、NOx については、2 つの分析方法の計測値はよく一致し、アンモニアの干渉なく精度よく成分を定量できることがわかった。一方 CO に関しては、アンモニアが 10000ppm を超える場合、NDIR 法による計測値は経時的に FTIR 法による計測値から逸脱していき、アンモニアの干渉を受けていることが示唆された(図 5)。今後、原因の特定と解決方法を検討するとともに、さらにアンモニア混焼率を上げていく際に、FTIR法においても、他の成分の計測への影響の確認が必要である。

また、アンモニア混焼の PM 排出量への影響について検討した。エンジン出力を一定とし、発熱量換算で 70%のアンモニアを吸気に入れた場合の PM の排出量は、軽油のみの時より減少し、元素状炭素(EC)が大きく減少したことが要因であった。一方、有機炭素(OC)はアンモニア混焼により増加し、主要成分となっていることが分かった。今後、このOC増加の原因を特定し、PM削減につなげていく予定である。このように、脱炭素化が進むと OC や EC がさらに減少し、PM の秤量の精度が重要となる。そのため、秤量の精度向上を目指し、フィルタ自体の湿度依存特性を求める実験を行い、技術調査資料として海技研報告に投稿した。(海上技術安全研究所報告第 22 巻第 3 号(R04/12/23)、341-345)

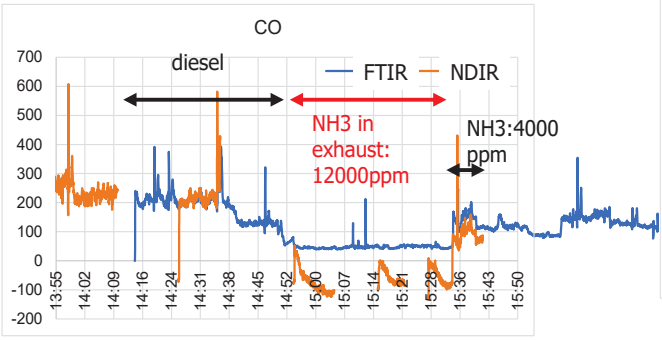


図 5 ディーゼル燃料にアンモニアを混焼した場合の CO 排出量の計測

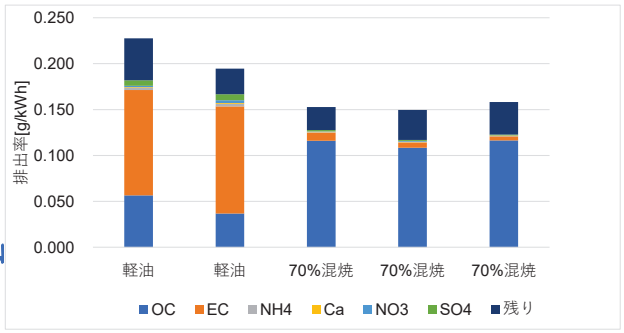
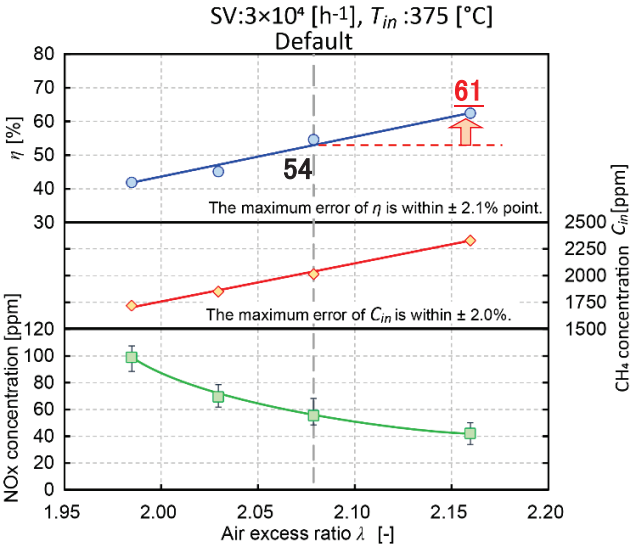


図 6 ディーゼル燃料にアンモニアを混焼した場合の PM 排出量の計測

・メタン酸化触媒によるメタン削減効果の研究

ガスエンジンを負荷率 75%で一定で運転し、空気過剰率(λ)を変化させ、排気中のメタン(CH_4)及び NOx 濃度を変化させた際のメタン酸化触媒の性能に与える影響を調査した。図 7 に示すように、デフォルトの設定値(λ＝2.08)からλを増加させ、メタン濃度が1割高く、NOx 濃度が 2 割低い条件にすると、メタン削減率(η)を 54%から



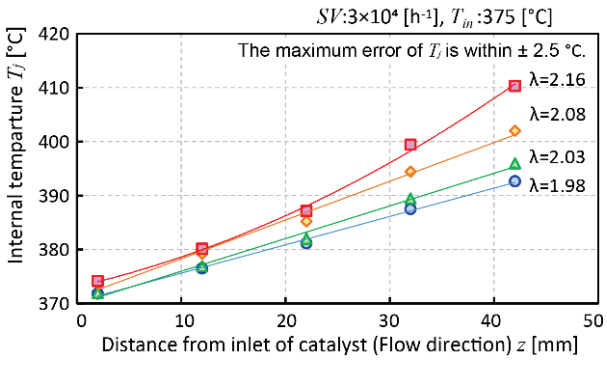


図 8 空気過剰率の変化が触媒内温度分布に与える影響

図 7 空気過剰率と CH_4 削減率、NOx 及び CH_4 排出濃度の関係

7%ポイント程度改善する効果があることが確認できた。この時、図 8 に示すように、λ の増加に伴い、触媒内部の温度上昇が確認されたことから、メタン濃度の増加と共に触媒内における反応熱（発熱）に伴う温度上昇が起きていることがわかった。さらに一酸化窒素（NO）濃度が低下し NO による阻害反応が低下することで、メタン酸化反応が促進されたものと考えられる。（ガスエンジン排ガス中の NOx の主成分は NO である。）これまで得られた成果を取りまとめ、投稿論文にまとめた。（International Journal of Engine Research (査読対応中)）

・一酸化二窒素（N_2O）還元触媒による N_2O 削減効果の研究

アンモニア燃焼エンジンの排気中 N_2O を削減する N_2O 還元触媒の性能を調査するため、還元剤であるアンモニア（NH_3）濃度の比(N_2O:NH_3)を 3.3 として、温度を変化させたときの触媒性能試験を行った。また、排気中一酸化窒素（NO）が存在する場合の濃度の比(N_2O+NO:NH_3)を 2.5 として、性能比較を行った。図 9 に示すように、N_2O のみより NO が共存する場合の N_2O 削減率及び NH_3 削減率が共に高くなることが明らかとなった。また、ある温度での化学反応速度を予測するアレニウス式（$k=A\exp(-E/RT)$, k：反応速度定数、A：頻度因子、E：活性化エネルギー、R：気体定数、T：絶対温度）を用いた N_2O の反応速度解析の結果、図 10 に示すように、NO が共存する場合の反応速度定数が高く保てることから、性能が高いことが明らかとなった。一方で、高い触媒性能を発揮するためには、500℃近い温度が必要であり、船上で適用する場合には、エネルギー源確保の課題があると考えられる。

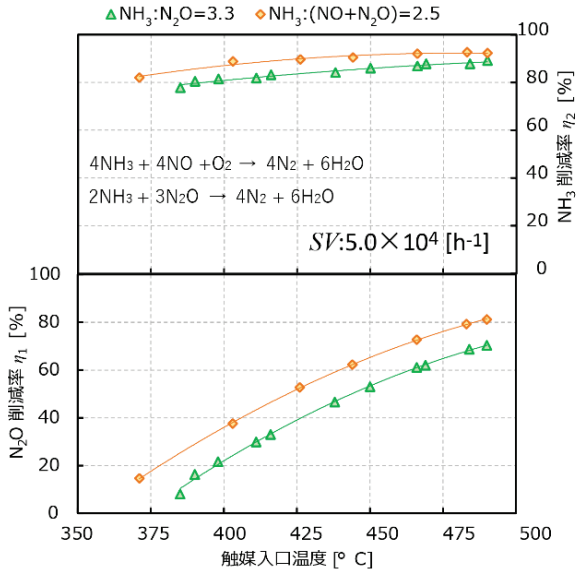


図 9　N_2O 還元触媒の N_2O 及び NH_3 削減率

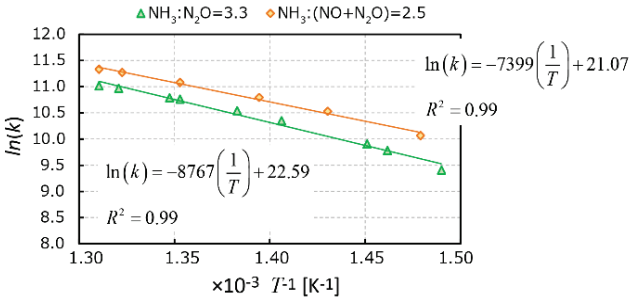


図 10　N_2O 還元反応の反応速度解析結果

・燃料油中硫黄分規制に対応するため、代替措置として、排ガス中の硫黄酸化物(SOx)を除去する排ガス浄化装置（EGCS：Exhaust Gas Cleaning Systems, スクラバ）が認められている。EGCS で排ガスの洗浄水を船外に排出する際には、IMO で定められた EGCS ガイドラインにより排水の水質モニタリングが義務づけられている。このうち、pH を船上で計測するためのプロトコルを規定した ISO 基準を策定し発行された。（ISO 23668:2022）

R4年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：4 件（投稿中：1 件、採択済：1 件、掲載済：2 件）

・高木，川内，舶用燃料の着火性評価のための燃料成分推定 −推定手法の構築と多成分燃料（残渣油）への適用，日本マリンエンジニアリング学会誌，58−1（2023），pp.117−124.

・今井，高木，パイロット燃料の着火特性がメタン-空気予混合気の着火・燃焼特性に及ぼす影響，日本マリンエンジニアリング学会誌，巻号未定（掲載決定）

・Yoshifuru Nitta, Yasuhisa Ichikawa, Yoichi Niki, Akiko Masuda and Koichi Hirata, ″Performance Evaluation of Methane Oxidation Catalyst for Marine Gas−Engine in Actual Exhaust and Simulated Gas″ International Journal of Engine Research（投稿中）

・Paivi T. Aakko−Saksa, Kati Lehtoranta, Niina Kuittinen, Anssi Jarvinen, Jukka−Pekka Jalkanen, Kent Johnson, Heejung Jung, Leonidas Ntziachristos, St´ephanie Gagn´e, Chiori Takahashi, Panu Karjalainen, Topi Ronkko, Hilkka Timonen, Reduction in greenhouse gas and other emissions from ship engines: Current trends and future options, Progress in Energy and Combustion Science,94, 101055 (2023).（掲載済）

口その他発表論文：2 件（投稿中：0 件、掲載済：2 件）

・大橋厚人、未使用PM捕集フィルタの相対湿度に対する重量変化について、海上技術安全研究所報告第 22 巻第

3 号(R04/12/23)、341-345.
・羽島雄大、高橋千織、益田晶子、スクラバ排水監視における濁度計測に及ぼす黒色浮遊物質の影響、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集、92 巻、ページ: 199-200、発行年: 2022 年.

□特許申請:0 件
・

□コアプログラム登録:0 件
・

□国際貢献:2 件
・ISO 23668:2022 Ships and marine technology —Marine environment protection — Continuous on-board pH monitoring method、2022 年 11 月 8 日発行。
・PPR 10/INF.22 (2022) Update on the international Technical Working Group on the Development of a Standardized Sampling, Conditioning and Measurement Protocol for Black Carbon Emissions from Marine Engines

□受賞:0 件
・

□公開実験:0 件
・

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか
・本研究は、IMO による環境規制(GHG 削減、大気環境影響物質削減)に対応した国の指針に基づき実施しているものであり、これらの方針に対応するため、低硫黄適合油やガス燃料の燃焼改善技術と着火性に関する評価指標の創出、次世代燃料の排出物の計測・分析法、削減技術の確立において十分な成果を挙げている。
・燃料油の着火性指標の高精度化, また硫黄分規制後の適合油の規格と実際の着火性の状況, ガス燃料における評価方法に関し、公表・公知化することは、使用者側、製造者側双方にニーズがあり社会的価値が高い。
・GHG 削減のための次世代燃料に対応した、排出物の計測・分析方法および削減技術を構築することは、環境負荷の低減に貢献するものである。また、低硫黄燃料を用いたときのブラックカーボンの排出量と燃料組成の関係や次世代燃料の排出物データの蓄積は、今後の IMO における議論にも資するものとなる。

□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
・本重点で構築した舶用液体燃料の炭化水素推定モデルにより、多種多様な炭化水素の混合物である舶用燃料をモデル化し, 燃料ごとの着火性を推定することができるようになった。さらに、燃料使用者が比較的入手しやすい燃料性状の基礎パラメータ(動粘度、密度)から着火性を正しく予測できるようになるため、一般性も高い。
・メタン酸化触媒はガス機関からのメタンスリップを削減するために不可欠の技術である。メタン削減率の低いエンジン高負荷率運転時にも、NOx やメタン濃度の調整で削減率が上げられることが実験的に明らかになり、触媒を有効に活用するためのエンジン運転指針として意義が高い。

□成果が期待された時期に創出されているか
・低硫黄適合油をはじめとした液体燃料は製油所単位や時期によっても組成が異なり、燃料性状が大きくことなることが船舶オペレータにとっては負担になっている。多様な燃料油に対応するよう構築した評価軸は、今後ドロップイン燃料やアンモニア等の次世代燃料のパイロット燃料として液体燃料を使用する際にも、着火性指標として使用できる点で、適切な時期に創出されたものといえる。
・IMO において GHG 削減戦略がたてられ、国としても削減目標を定めたところ、CO_2 のみならず、より温暖化効果の高いメタンや N_2O の削減は喫緊の課題である。これらの船上後処理を目的とした本研究は、エンジン技術では解決しきれないエミッションを処理するためのもので、次世代燃料の燃焼技術と併せて進めるべき課題である。

□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
・アンモニアなどの次世代燃料を用いた際の排出物計測データについては、アンモニア燃料エンジンが商用化されていないことから、まだ有用なデータがないため、非常に競争力のあるデータとなっている。また、先んじてデータ蓄積を行い、問題点についても指摘できていることから、今後の国際的議論においても意義が大きい。また、燃料組成と排出物(ブラックカーボンなど)の相関に関するデータ、GHG 削減技術の科学的データは、IMO など国際的な場での議論にも活用され、その意義は大きい。

□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
・本研究は、萌芽的研究に相当しない。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

【年度評価に関するコメント】
・代替燃料であるアンモニア使用時に不可欠なパイロット燃料や、低硫黄燃料油のような液体燃料の着火性指標の改良に加え、ガス燃料についても耐ノック性指標と着火遅れとの相関関係式を改善し、実燃料使用時のものさしとして、使用者が活用できる技術を創出した。さらに次世代燃料使用時の排出物分析と計測手法の検討、データ蓄積を行ったほか、GHG 削減のための後処理技術の研究を進め、次期中長期計画に繋がる研究成果となっている。

【終了評価に関するコメント】
・さまざまな大気環境規制に対応し、各年度において技術開発を行った。
・H28 年度では、ブラックカーボン（BC）の排出実態調査のため、計測手法の評価および計測プロトコルの確立、粒子状物質（PM）の実船サンプリングシステムの設計と製作を行った。
・H29 年度では、船舶ディーゼル機関から排出される PM 等の計測や組成分析を行い、将来的な BC、PM 等排出規制検討の前提となる排出量の把握に寄与した。
・H30 年度では、2020 年 SOx規制に適合した低硫黄燃料の燃焼試験・陸上試験を実施し、国交省「2020 年 SOx規制適合舶用燃料油使用手引書」に貢献した。また、SOxを船上で除去するスクラバを内航船向けに小型化するため試作機による試験を行った。
・R1年度には、前年度の結果をもとに、世界一小さい小型並行流ジェット式スクラバを開発し、負荷率が高く排ガス流量が高い条件でも十分にSOx を除去できることを実証した。また、規制適合油の実船試験を行い、燃料油中硫黄分等を逐次分析し、燃料の品質を確認した。
・R2 年度は規制適合油に関する着火性指標の検討、次世代燃料使用時のブローバイガスの分析手法確立等を行い、水素混焼時のエンジン運転の安全性を向上させた。
・R3 年度は舶用燃料の着火性指標の改善のため、舶用燃料の炭化水素推定手法を構築したほか、GHG 削減のための後処理技術として、CO2 分離膜とメタン酸化触媒の検討を行った。
・このように、SOx 規制に関しては、規制適合油の新たな導入に対する内航海運の懸念を払しょくする顕著な成果を挙げたほか、GHG削減目標に従い、適切な時期に着火性指標の改良、排ガス後処理技術の高度化、次世代燃料に対応した計測技術の検討をしており、これらは次期中長期計画につながり、将来的な成果創出が期待できるものである。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(4)船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

研究テーマ	重点☆5　実海域実船性能評価に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物 NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発、及び実船スケールにおける波浪中のフリーラン計算手法の開発を行う。 等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。

・次世代 EEDI,EEOI の開発及び実海域運航性能向上技術に関する研究
・水槽試験を活用した舶用推進プラントの実海域自動適応制御技術開発に関する研究
・船体表面流の制御による船舶の省エネルギー技術開発に関する研究

期間全体の研究目標

・最適(エコ)運航システム
・実海域実船性能評価技術の開発
・多様化する推進プラントの船舶での実海域性能を踏まえた最適設計パラメータを決める推進プラントのシステム設計技術の開発
・運航状況に応じた舶用推進プラントの実海域自動適応によるスマートパワー制御技術の開発
・デジタルツイン技術を用いた主機状態監視システムの開発

・船尾流場制御
・摩擦抵抗低減
・GHG 削減のための革新的省エネ技術開発

上記成果は、以下があげられる。
【社会的観点】
・実海域性能の水槽試験・数値計算技術による高精度推定が可能となるとともに、極めて省エネ効果の高い船型・省エネデバイス開発が可能となり、省エネルギーが強化され、海洋環境が保護される。合理的な燃費報告規制により、実海域での省エネ運航が可能となり、GHGの削減が図られる。また、推進プラントの実海域性能向上により更なる省エネが実現される。
・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。
【経済的観点】
・国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。
・革新的省エネ技術の実現により、我が国造船業の国際競争力が強化されるとともに、最適(エコ)運航システムの実現により、我が国海運のコスト低減が達成される。実海域での実船性能を直接水槽試験で評価可能となり新たな推進プラントの開発が促進され、我が国海洋産業の国際競争力が強化される。
【国際的観点】
・船舶の省エネ化、推進プラントの実海域性能向上により、国際海運の排出する温室効果ガスが削減され、地球環境が保全される。
・環境性能に優れた先進的超省エネ船の実現、運航技量評価方法等により、GHG 排出規制の的確な実施が図られ、IMO 等の期待に応えられる。
・北極海航路の性能推定技術により、ポーラーコード等の技術的要請に応えられる。

R4年度研究目標

□小項目 5
・実海域性能診断技術の確立。
・低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発。
・造船各社との請負等による実海域性能船舶の設計・開発。
・気候変動による大洋航路の変化をウェザールーティングシミュレーションにより評価。

□小項目 17
・昨年度に開発した信頼性関数手法を活用した経年劣化アルゴリズムの開発を促進し、エンジンコンポーネント（過給機・冷却器、など）の個別の劣化予測を可能にする手法を開発する。
・前年度までに開発を進めている“遭遇海象に応じて主機運転状態を最適にする主機制御パラメータ自動調整アルゴリズム”を用いて、自律型船舶の主機革新的制御アルゴリズムの設計を目的として、報酬設計や制御方針設計を行う。
・研究成果の社会実装を目的として、船舶機関長支援システム技術の実運航船での実証試験を実施するための取り組みを行う。加えて、デジタルツイン技術による主機状態監視技術の開発を総括しながら、次期中長期で開発すべき発展技術の課題抽出を行う。

□小項目 18
・船型・流場データベースのブラッシュアップ。
・水槽試験結果と数値計算のデータ同化手法の評価。
・実船流場と模型船流場の比較結果のフィードバック。

□小項目 19
・GHG ゼロエミッションを想定した NMRI コンセプト船の総合評価（GHG 削減効果の向上、実海域性能評価、操縦性能評価、水中騒音評価、経済性評価）。
・高度空気潤滑システムの開発および内航船への社会実装。
・弾性表面波デバイス実用化のための課題抽出。
・GHG 削減・水中騒音低減を両立させる空気吹出型省エネデバイスの開発。

R4年度研究内容

□小項目 5
・実海域性能評価法の高度化。
・造船各社と実海域性能船舶の設計・開発を行う。
・波浪中計測システムへの評価結果フィードバックの組み込み。
・気候変動に対する海運分野での緩和・適応策を検討。

□小項目 17

・エンジンコンポーネントの個別の劣化予測を可能にする手法を開発
・AI 技術を適用した推進プラント制御系設計に関する研究

□小項目 18
・船型・流場データベースの公開。
・データ同化による数値計算の高精度化。
・実船流場と模型船流場の比較結果の数値計算等の精度向上。

□小項目 19
・GHG ゼロエミッションを想定した NMRI コンセプト船に関する研究（波浪中試験、操縦性能試験、キャビテーション試験）。
・Active 制御型省エネデバイスに関する研究（400m 水槽での長尺模型試験、小型回流水槽での詳細計測試験、弾性表面波デバイス評価試験）。
・水中騒音低減に関する研究（プロペラ水中騒音の実船推定精度向上、キャビテーション試験による付加物の有効性確認）。

R4年度研究成果

□小項目 5
・実海域性能評価法の高度化について、ローター船を対象にウェザールーティングによる省エネ効果の評価を行った（図 1）。また、生涯燃費におけるローター船の省エネ効果の評価を燃料消費量の長期予測結果に基づいて実施した（図 2）。
・低速域を含めた実海域性能評価技術の開発のため、荷重度変更モデルを用いた自航要素の推定法を提案し、実海域性能評価法の精度向上を行った（図 3）。
・波浪中計測システムを使用し、400m 水槽においてケミカルタンカー模型による繰り返し試験を実施し、各パラメータの不確かさの波浪中抵抗増加係数への寄与を調査し、精度向上の対応方針が明確になった（図 4）。
・利用者コメントを反映し、全球の波と風データベース（GLOBUS）の機能強化を行い、針路を入力とした波向・風向の変換を可能とした。これにより航路上の発現頻度表の作成を容易にした。また、海技研クラウド上に GLOBUS Cloudをリリースした（図 5）。
・パナマックスバルクキャリアの AIS 航路データとその時の気象海象データを用いて実海域性能評価を行い、実運航における気象海象要素の性能への影響の分析を可能とした（図 6）。
・気候変動に対する海運分野での緩和・適応策を検討について、現在気候、将来気候における気象海象の数値予測データを用いてウェザールーティング（WAN：海象適応航法）を実施し、燃料消費量に及ぼす気候変動の影響を評価し（図 7）、北太平洋では気候変動に伴い最適航路が南に寄る傾向を把握した。
・海上試運転時の波浪修正法について、STAWAVE-1 に代わる簡易推定法 Simple-NMRI 法を開発し、ITTC にて提案した（図 8）。
・海事クラスター共同研究 実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクト フェーズ 2（24 社参加）と連携し、フェーズ 1 での成果（実海域実船性能評価法）の検証および手法の高度化、国際標準化活動を実施した。
・ウェザールーティングサービス会社と連携し、当所で開発した実海域性能モデルを組み込んだウェザールーティングサービスを提供することとなった。

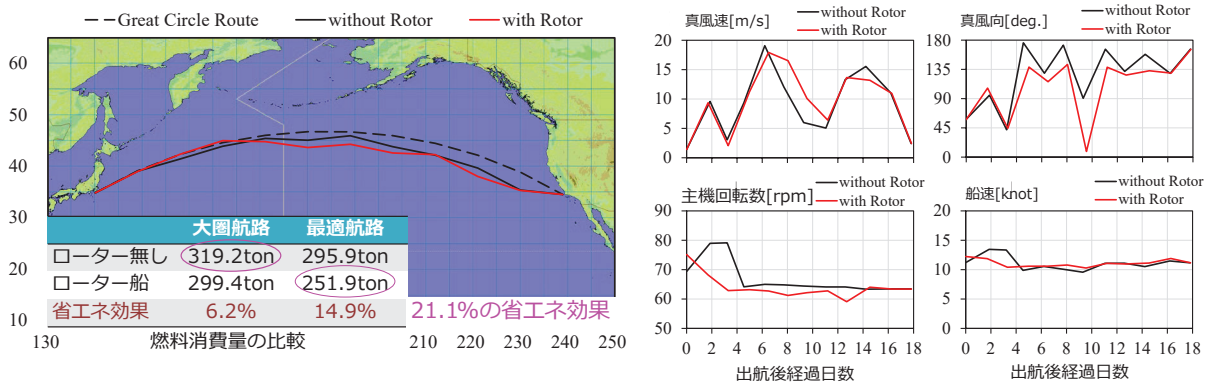
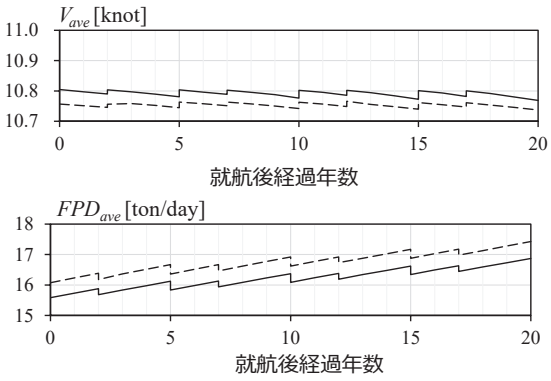


図 1 ローター船を対象としたウェザールーティング（北太平洋東航時）



ローター搭載による生涯燃費の評価

ローター無し	1.22×10^5	ton
ローター有り	1.18×10^5	ton
省エネ量	3,890	ton
省エネ効果	3.2%	−

図 2　ローター船の船速、燃料消費量の経時変化（実線：ローター有り、破線：ローター無し）

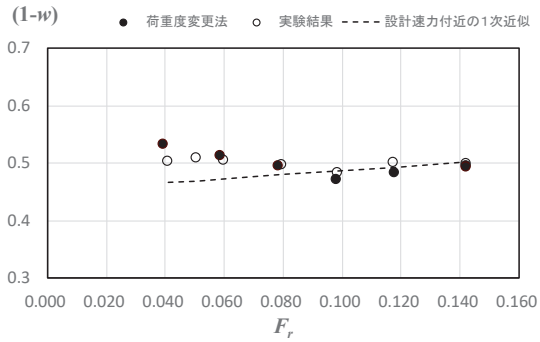


図 3　伴流係数の荷重度変更モデルと従来法（1次近似）の比較

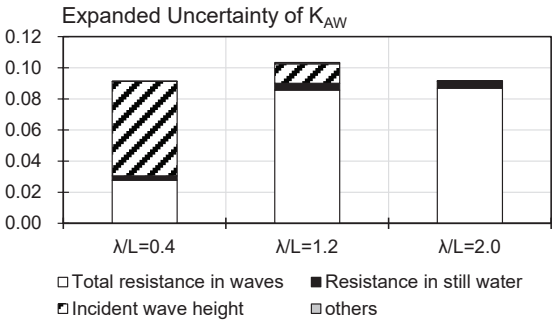


図 4　波浪中抵抗増加係数の不確かさ評価



図 5　GLOBUS Cloud の操作画面

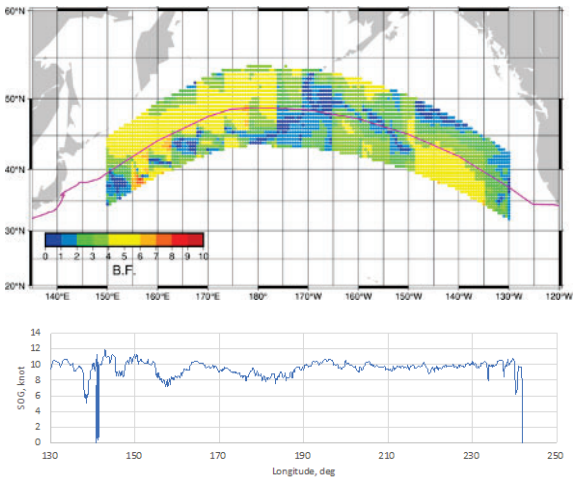
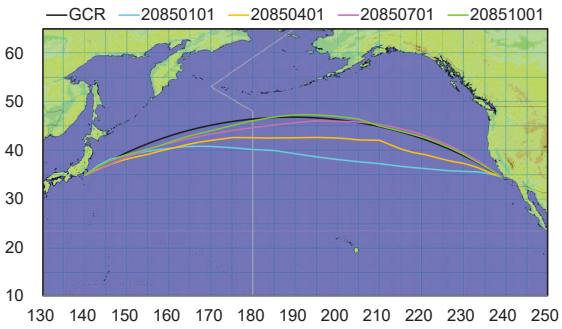


図 6　AIS データと気象海象データを用いた実海域性能評価例（パナマックスバルクキャリア）



GCR：大圏航路、他：WAN 航路（出航日）

図 7　ウェザールーティング例

（コンテナ船、西航、2085 年、評価シナリオ：RCP2.6）

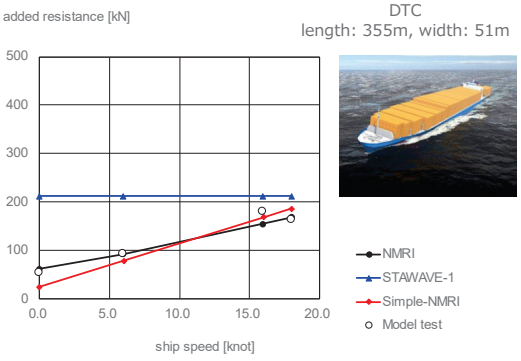


図 8　Simple−NMRI 法による波浪中抵抗増加の推定

□小項目 17

・AI 機関長システムの根幹をなす主機デジタルツイン技術を開発し，エンジン性能や各部品の劣化を明示化するアルゴリズムを作成し，就航船実データを用いて検証した（図 9, 10）。

・ “強化学習手法を適用した主機運転状態を最適にする主機制御パラメータ自動調整アルゴリズム”について、並列計算技術を適用するために計算環境を改造し計算パフォーマンスを改良した。さらに強化学習の報酬関数の設計を確立し，二つのアルゴリズム（PPO と TRPO）で PID 制御の最適調整ができることを示した（図 11, 12）。

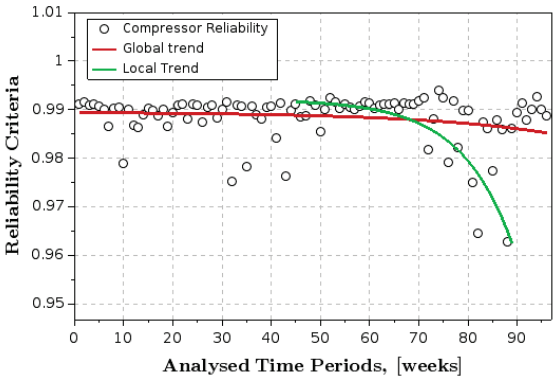


図 9　過給機のコンプレッサーの劣化評価

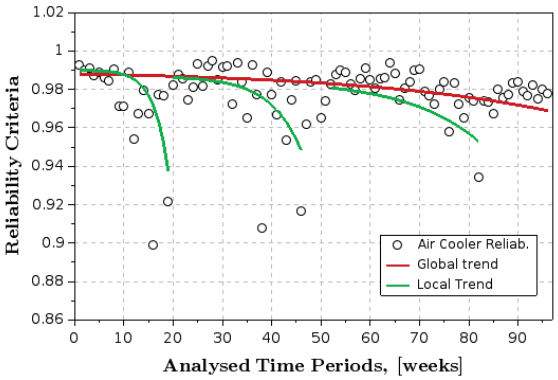


図 10　空気冷却器の劣化評価

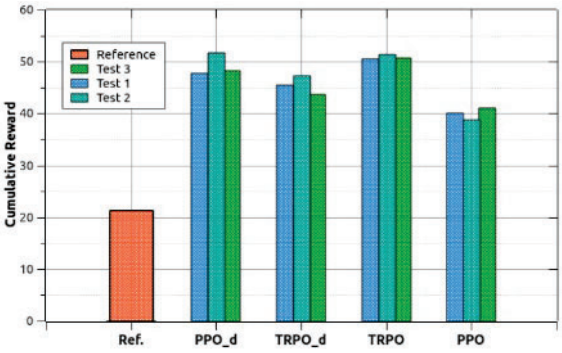


図 11　強化学習のアルゴリズムのベンチマーク

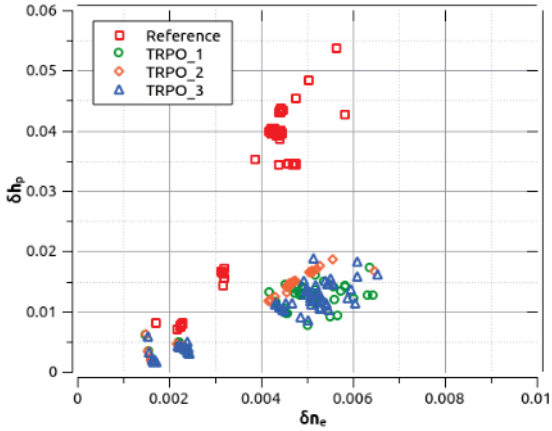


図 12　選定アルゴリズムによる PID ゲイン自動調整結果に基づくエンジン応答の違い

□小項目 18

・伴流設計システム（図 13）の船型・流場データベースを内航船タンカー、外航コンテナ、PCC、バルク、タンカーを含む多様性のある 1 万船型程度のデータベースにアップデートした。また、これらに加えて、一般利用可能な数式船型、KVLCC2 船型の船型データベースを構築した。

・開発した伴流設計システム（社内データ用：Excel 版）を造船所が導入し、今後設計での利用が行われることとなった（図 14）。また、伴流設計システムの Web アプリ版を開発した。

・コンテナ船型のグースネック船首形状の複雑な造波現象に対して、単一格子で複数の喫水・トリム条件に対応できるロバスト性の高い構造格子生成を可能とした。これにより適切なトリムチャート（抵抗変化）の作成を可能とした（図 15, 16）。

・2018 年に実施した外航ばら積み船での省エネ付加物まわりの実船流場計測（図 17）と同条件で模型船の流場計測（図 18）を実施した。これにより船尾伴流の尺度影響について検証データを取得した。

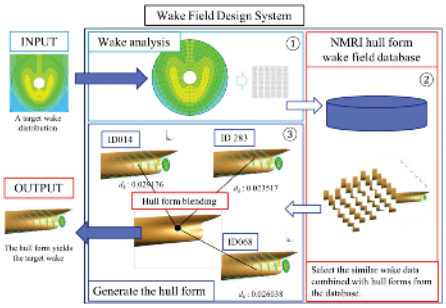


図 13　伴流設計システムの概要図

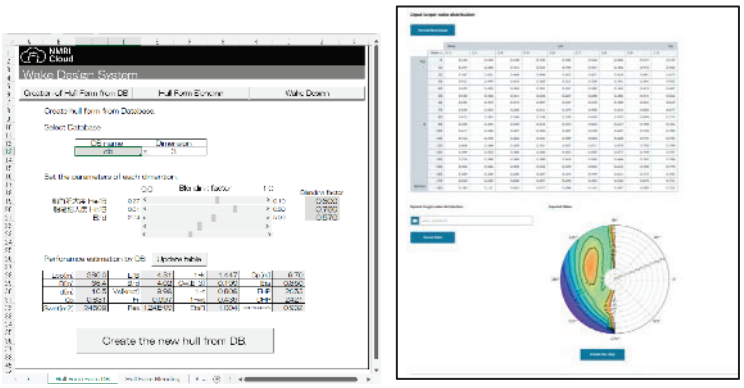


図 14　伴流設計システムの画面

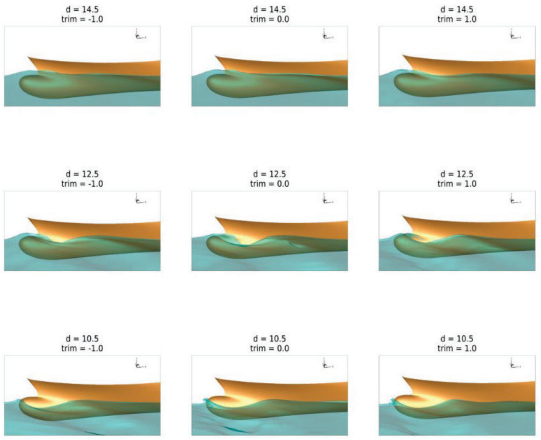


図 15　船首流場（喫水・トリム別）

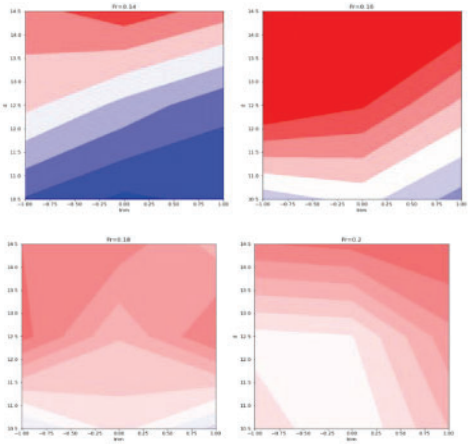


図 16　全抵抗係数の比較（船速別）

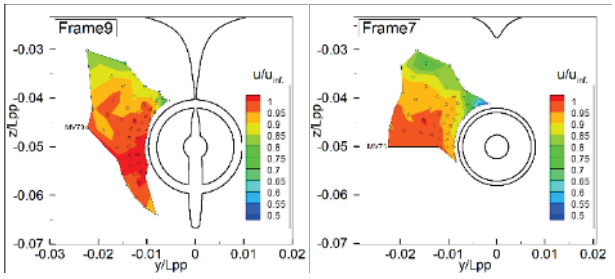


図 17　実船流場

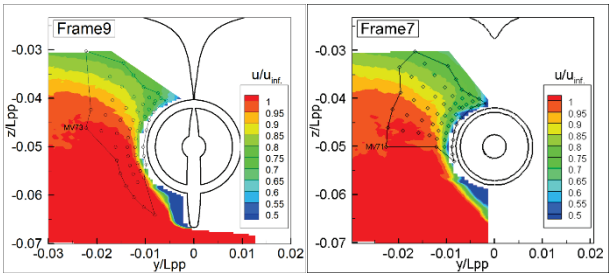


図 18　模型船流場

□小項目 19

・低速幅広肥大船について、拘束模型試験（図 19）により針路安定性を評価した。斜航・旋回時に船体に働く流体力等を計測し（図 20）、操縦流体力微係数を求めた。同微係数を用いて得られる針路安定性指数では、低速幅広船は針路不安定側と判定されたものの、現実的な形状を有するタンカー船型である KVLCC1, 2 よりは安定側となることが分かった。

・低速幅広肥大船のプロペラのキャビテーション試験(図 21)を実施し、船尾変動圧計測により実機換算の船尾変動圧力が問題ないレベルであることを確認した（図 22）。

・最適化アルゴリズムの一種である差分進化法を用いてプロペラ効率の向上、キャビティ体積の低減を両立させる翼形状の最適設計を実施した（図 23, 24）。これにより単独効率を 2.5%、キャビテーション体積を 22%低減できる改良プロペラが得られた。

・実運航性能シミュレータ VESTA を使って低速幅広肥大船の実海域性能を評価した（図 25）。低速幅広肥大船の主機出力（BHP）は実海域中でも従来船より小さく、さらに載貨重量も大きいことから単位輸送貨物量当たりの燃費効率は従来船に対して約 1.7 倍高い（BF6～7）ことが確認された。平水中のみならず実海域においても低速幅広肥大船の優位性を示すことができた。

・低速幅広肥大船の抵抗自航試験結果には、従来船型に比べ計測値のばらつきが大きい傾向が確認された。また船尾周りの PIV 計測により伴流分布や船体表面の主流速度の変動（分散）が大きいことも確認された。幅広肥大船の低速時の計測精度の向上のためには船体周りの流場を安定化（乱流化）させる試験法が必要であり、その解決策として船体後半部に乱流促進を追加しその効果を確認した（図 26）。追加の乱流促進がない場合には、低速幅広肥大船の船体周りの流れは層流状態の箇所が存在し、そこから剥離が非定常に生じるが、追加の乱流促進によって剥離の抑制ができ、流場が安定し、抵抗自航試験結果も安定することを確認した（図 27, 28）。

・空気潤滑を低速幅広肥大船に適用した時の効果を明らかにするために空気潤滑状態の CFD シミュレーションを実施した（図 29）。従来船型（JBC）と比較して、低速幅広船は浸水表面積のうち平坦な船底が占める割合が大きく、同じ相当気膜厚さになる空気を船底に吹き出した場合に、全体の摩擦抵抗係数の低減量が従来船型よりも10%増加することが明らかになった（図 30）。
・運航データ、市況データ、船価データの分析をもとに運航条件の設定を行い、2030 年から 2050 年までの燃料価格予測値に基づいて、低速幅広肥大船の経済性評価を行った。輸送貨物を石炭・鉄鉱石、航路を日本−豪州と想定し 2030 年の経済性を推定（図 31）。低速幅広肥大船は、リプレース候補の 180,000DWT のバルクキャリアと比較し、重油による運航時は同等の経済性を持つこと、また、アンモニアや水素といった高価なゼロエミッション燃料使用時は、従来船型よりも経済性が高いことを明らかにした。
・空気潤滑システムによる抵抗低減効果を向上させる周期吹出法について、船速・相当空気膜厚さ（船底に吹出した空気が一様な厚さの気膜として存在すると仮定した場合の膜厚）・吹出周期などに対する影響評価を実施するため、長尺模型試験用の周期吹出システムを設計・製作した。このシステムを用いて実船レイノルズ数となるよう全長 36m の長尺模型で周期吹出のシリーズ試験を実施し（図 32）、効果を確認した。
・内航船への空気潤滑システムの実装を進めるために、既存船の隻数が多い 4,999DWT 型タンカーを対象として内航船用空気潤滑システムの基本設計を実施した。空気吹出部の配置と気泡流の船底被覆状況を CFD により確認し、省エネ効果の推定（図 33）を行った。その結果、吹出動力も考慮した正味の省エネ効果として、満載状態で 3.7%、バラスト状態で 7.7%となることを確認した。
・音響流を壁面から約 30 度の角度で放射できる音響流放射型流場制御デバイス（以下、流場制御デバイス）を用いて流場制御実験を行った。音響流を上流側に放射（図 34）することにより、音響流の強さによっては、デバイスの上流側、下流側両方で剪断力が減少すること（図 35）を確認した。デバイス前後での剪断力の減少は、デバイス近傍の壁面で摩擦抵抗が低減していることを示しており、本デバイスによる流体制御が、流体の抵抗低減に有効であることが確認された。
・基本設計段階で使用可能な実船の水中騒音推定ツールを開発した。本ツールでは、水中騒音の簡易推定式である Brown の式を用いて、船のプロペラから放出される水中騒音レベルを推定する。本ツールでの水中騒音推定結果とバルクキャリアの実船計測結果を比較（図 36）から、本ツールによって船速の変化による水中騒音の変化を捉えられていることが確認できる。本ツールを HOPE Light V6 に新機能として追加した（図 37）。また、IMO での水中騒音ガイドラインの改正案の審議において、日本提案（提案文書 2 件、インフォメーション文書 2 件）の作成と改正案の最終化作業に貢献した。
・ダクト型省エネ付加物（WAD と USTD）に空気吹出機能を付与してキャビテーション試験（図 38）を実施し、ダクト型省エネ付加物によって最大 8dB（付加物無しとの比較）の水中騒音低減を確認した（図 39）。

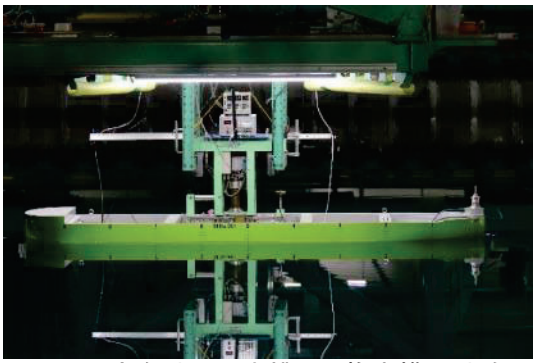


図 19 実海域再現水槽での拘束模型試験

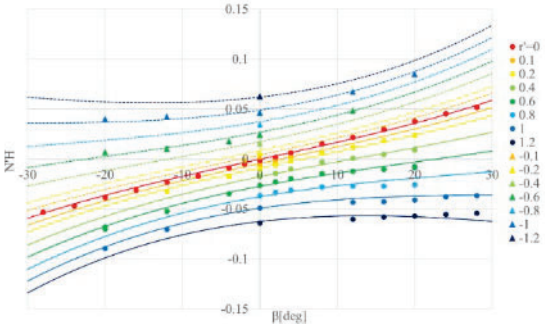
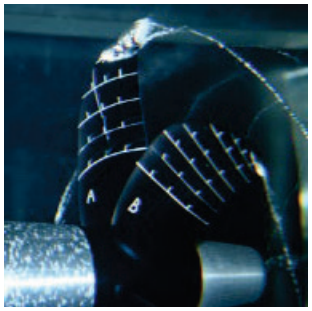


図 20 操縦流体力（回頭モーメント）



Θ=20deg.（Ballast MCR 状態）

図 21 改良プロペラのキャビテーションの発生状況

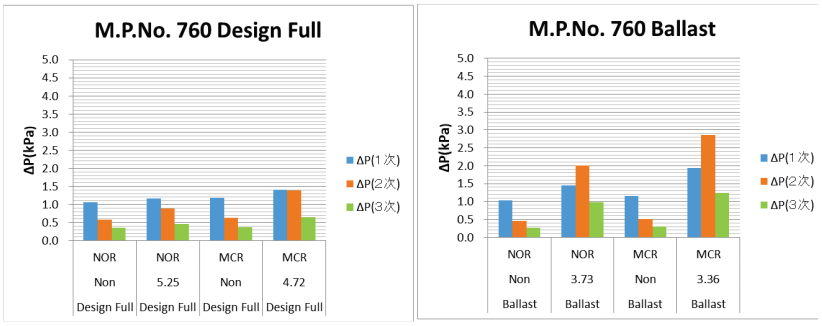


図 22 船尾変動圧力の実機換算値

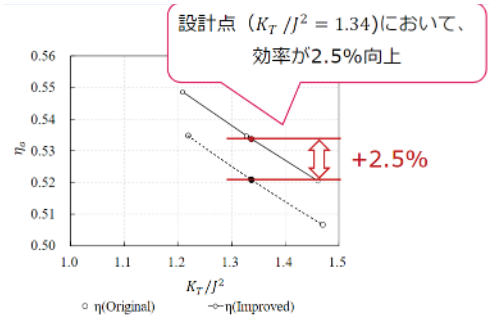


図 23　プロペラ最適設計前後のプロペラ効率比較

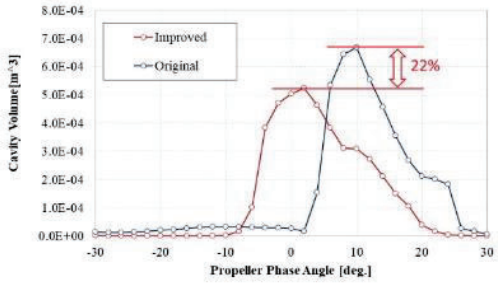


図 24　プロペラ最適設計前後のキャビテーション体積比較

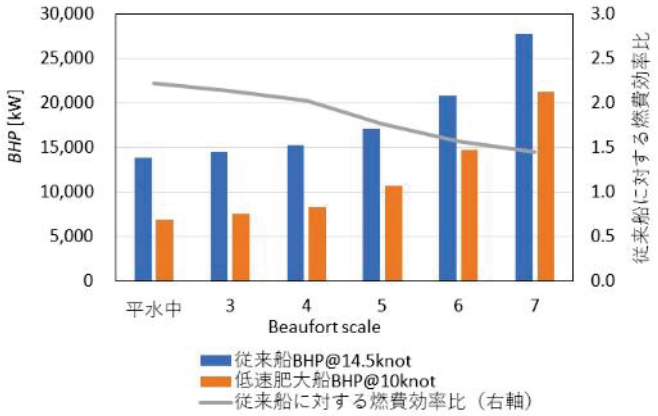


図 25　VESTA で推定した BHP および燃費効率比

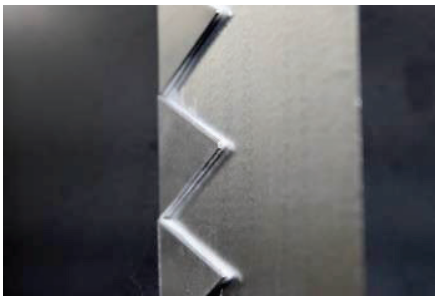
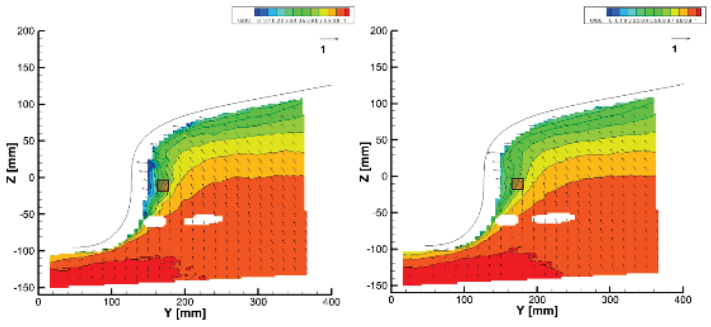
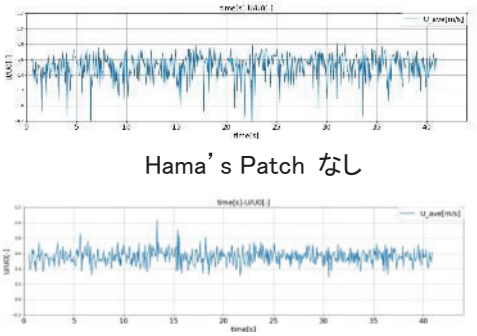


図 26　追加の乱流促進（Hama's Patch）



追加乱流促進なし　　追加乱流促進あり

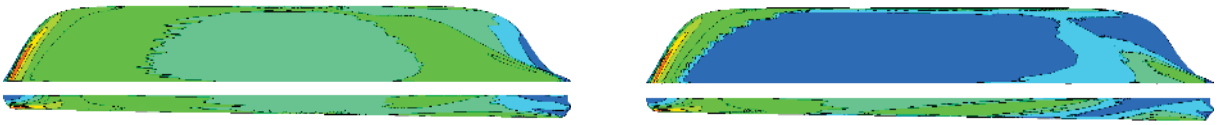
図 27　横断面内の主流速分布（時間平均）
（Fr =0.07, S.S. 3/4 より 40mm 前方の断面）



Hama's Patch　なし

Hama's Patch　あり

図 28　図 27 の赤色の矩形領域の主流速の時系列データ（領域平均）



気泡なし（上　平面図、下　側面図）　　気泡あり（上　平面図、下　側面図）

図 29　摩擦抵抗係数の比較(低速幅広肥大船)

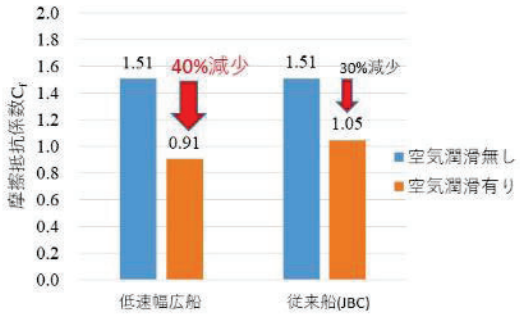


図 30　摩擦抵抗係数の比較(船速 10 ノット、満載状態、相当気膜厚さ *ta* =7mm)

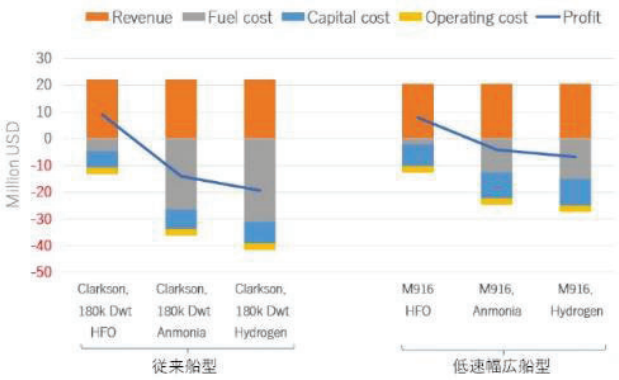
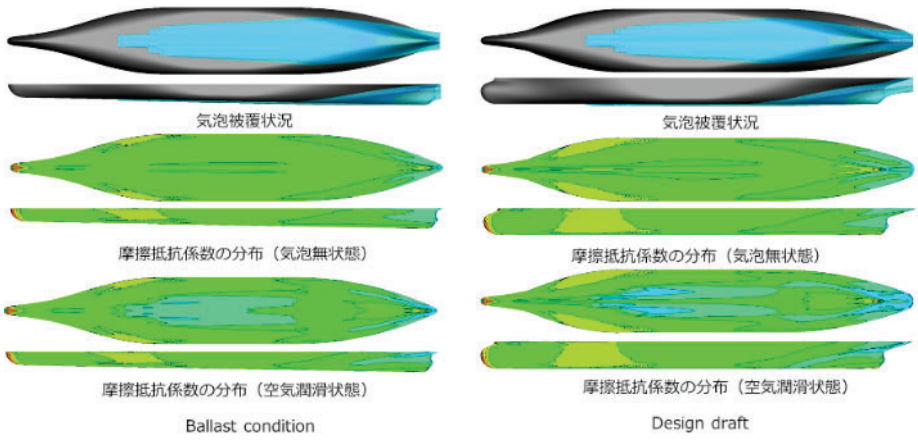


図 31　2030 年の利益とその費用構成の比較



図 32　36m 長尺模型試験



Lpp	Lpp	m	98	
B	B	m	15.4	
Bef（有効被覆幅）	Bef	m	12.4	*
D	D	m	7.5	
伝達効率 ηt = BHP/DHP	ηt		1.03	
発電効率（主補燃費差合）	1/ηg		1.18	**
プロペラ直径	Dp	m	3.20	
			バラスト	満載
主機負荷			85%	85%
実船係数			0.95	0.95
船速	V	k t s	14.5	13.5
主機出力	BHP	kW	1,665	1,665
前部喫水	df	m	3.00	6.50
中央部喫水	dm	m	3.85	6.50
後部喫水	da	m	4.70	6.50
推進効率	ηp		0.680	0.645
有効馬力	EHP	kW	1099	1043
気泡なし抵抗	R	kg	15,032	15,324
被覆部空気膜厚さ	te	mm	7.0	7.0
吹き出し部空気膜厚さ	ta	mm	12.4	12.4
所要空気量（船底部）	Q	m3/min	39	36
所要空気量（大気圧）	Q	m3/min	54	60
抵抗低減量	ΔR	kg	1,553	1,459
抵抗比	rr		0.897	0.905
プロペラ加重度CT	Ct		1.658	1.977
空気吹き出し時の加重度CT'	Ct'		1.487	1.789
加重度変化分のηoの変化率	ηo		1.021	1.021
所要馬力	BHPa	kW	1,464	1,477
名目省エネ率	e	%	12.1%	11.3%
喫水による水頭(kPa)		kPa	39	67
kwh当たりの排気ガス総量		Nm3/kWh	0.0	0.0
ブロア空気量(m3/min)	Qb	m3/min	54	60
ブロア管路損失	dP	kPa	5.0	5.0
吐出圧(kPa)		kPa	44	72
ブロア馬力（KW）			62	108
最終所要馬力	BHPa b	kW	1,537	1,604
実質省エネ率	e		7.7%	3.7%

図 33　4,999DWT 型タンカーを対象とした内航船用空気潤滑システムの基本設計結果

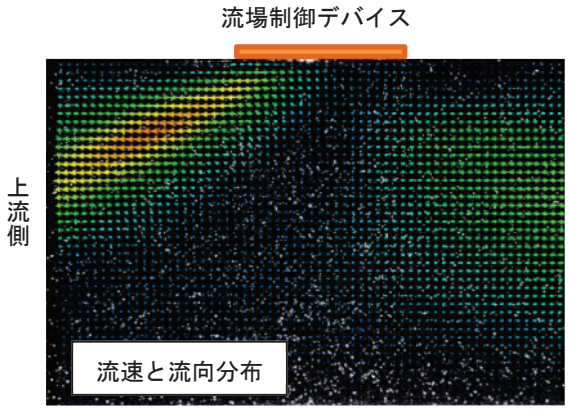


図 34　流場制御デバイスによる音響流の放射

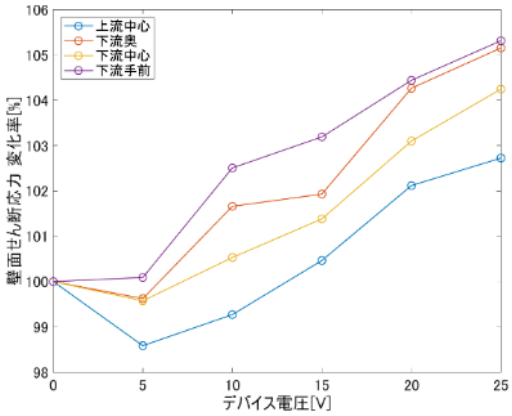


図 35　デバイスへの入力電圧と剪断力の関係

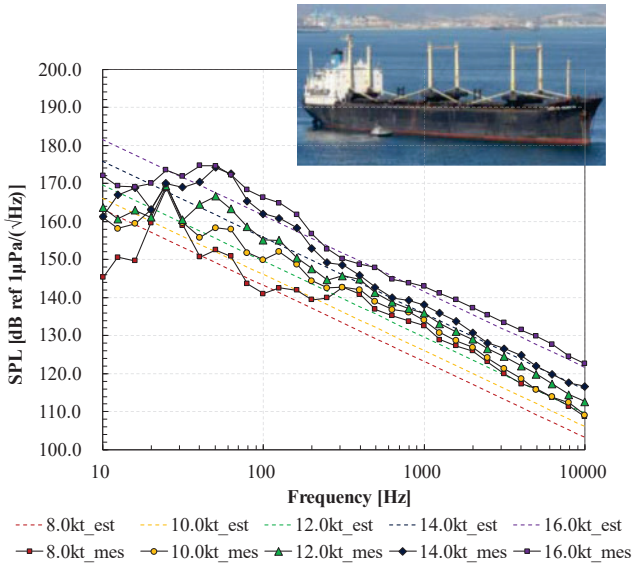


図 36　バルクキャリアの水中騒音の実船計測結果（mes）と推定結果（est）との比較

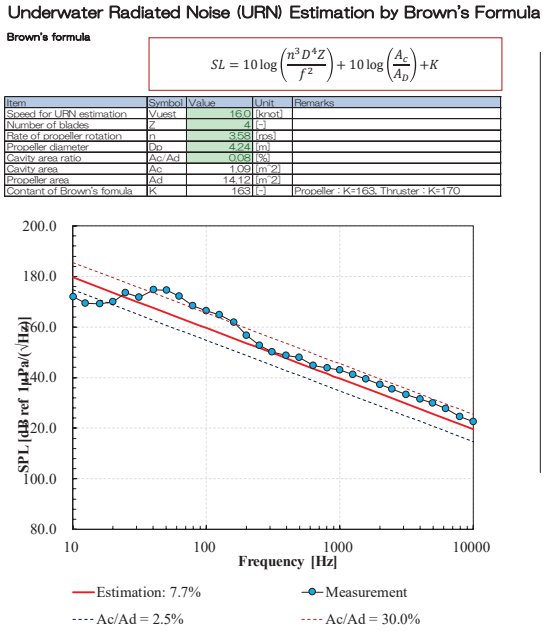


図 37　HOPE Light V6 の水中騒音推定

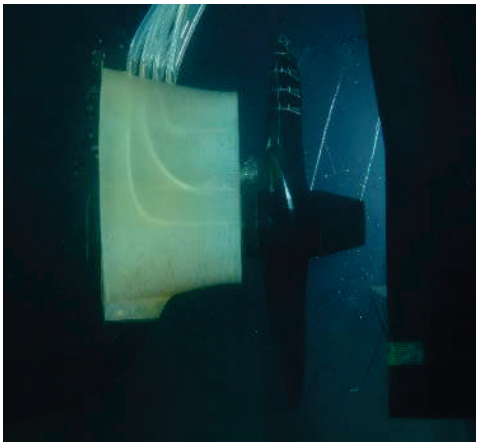


図 38　空気吹出中のキャビテーション試験

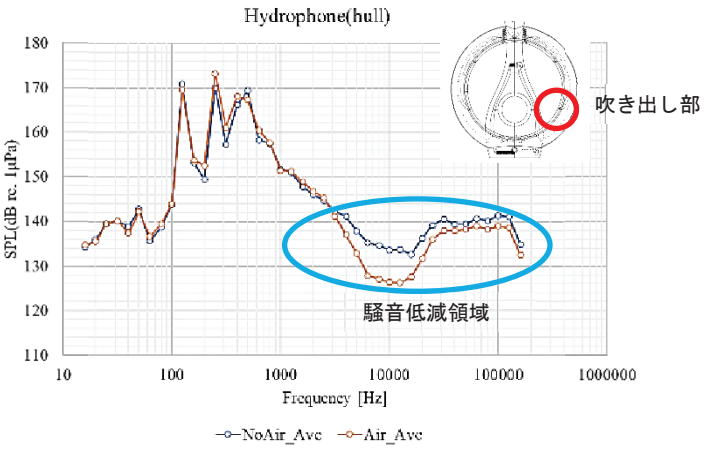


図 39　空気吹出有無での水中騒音計測結果の比較

R4年度成果の公表

口査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):17 件(投稿中:9 件、採択済:3 件、掲載済:5 件)

・M. Kuroda et al.: The estimation of ship performance with self-propulsion factors by the load variation method (INT-NAM 2023)(投稿中)

・N. Sogihara et al.: LIFECYCLE ASSESSMENT OF FUEL SAVING IN BULK CARRIER WITH A FLETTNER ROTOR (OMAE2023)（採択済）
・N. Sogihara et al.: Enhancing Measurements of Added Resistance in Regular Waves Based on Uncertainty Analysis(INT-NAM 2023)（投稿中）
・T. Matsuzawa et al.: Full-scale experiments of JCG P/V SOYA from 1991 to 2013 in the Southern Sea of Okhotsk（Okhotsk Sea and Polar Oceans Research）（掲載済）
・金子杏実ほか：平水区域の波と風の統計的性質－日本海・三陸海岸－（日本航海学会論文集）（掲載済）
・金子杏実ほか：平水区域の波と風の統計的性質 －九州・北海道－（日本航海学会論文集）（投稿中）
・Kume,K. et al.: Experimental Validation of Standardised Procedures for Added Resistance and Ship Motion Estimates in Regular Waves by Round-robin Tests (JMST)（投稿中）
・O. Bondarenko et al.: DEVELOPMENT OF A FREE-RUNNING MODEL TEST METHODOLOGY FOR EVALUATION OF A FULL-SCALE SHIP PROPULSION SYSTEM PERFORMANCE (30th CIMAC Congress)（採択済）
・K. Shiraishi et al.: Development of Cavitation Shape Measurement Method Using Multi-View Line Sensing Method (7th International Symposium on Marine Propulsors)（掲載済）
・K. Shiraishi et al.: Cavity Shape Measurement on Propeller Blade Surface by Combination Line CCD Camera Measurement Method (JMST)（投稿中）
・M. Kanazawa et al.: Bridging similar ships' dynamics for safeguarding the system identification of maneuvering models (Ocean Engineering)（投稿中）
・Y. Ichinose et al.: Interactive ship flow simulation enhanced by neural network model in a web environment (37th International ECMS Conference on Modelling and Simulation)（投稿中）
・岡田善久ほか：プロペラピッチ分布と複数の省エネ付加物の干渉影響に関する研究－ピッチ分布と船尾ダクトが舵周りの流場に与える影響について－（日本船舶海洋工学会論文集）（採択済）
・拾井隆道ほか：Fiber Bragg Gratings センサーを利用した壁面せん断応力計の開発（海上技術安全研究所報告（研究報告））（掲載済）
・Hiroi, T., et al.: Investigation of Drag Reduction by Bubbles Using Simultaneous Measurement of Wall Shear Stress, Liquid Phase Velocity and Bubble Distribution (ASME 2022 Fluids Engineering Division Summer Meeting)（掲載済）
・H. Kawashima et al.: Parameter Effects of Air Lubrication on Energy Savings (JMST)（投稿中）
・澤田祐希ほか：空気吹出機構を持つ省エネダクトを用いた水中騒音低減に関する研究（日本船舶海洋工学会論文集）（投稿中）

□その他発表論文：35 件（投稿中：2 件、掲載済：33 件）

・辻本勝：船舶の風圧抵抗低減・風力利用と近年の動向（日本船舶海洋工学会誌（KANRIN））（掲載済）
・久米健一：海上における風の商船への影響（日本船舶海洋工学会誌（KANRIN））（掲載済）
・松沢孝俊ほか：南部オホーツク海における氷中航行の実船実験(日本船舶海洋工学会秋季講演会)（掲載済）
・T. Matsuzawa et al.: Development of risk quantification method for oil-spill along the ship tracks in the Arctic (The 37th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans 2023)（掲載済）
・N. Sogihara et al.: Lifecycle Assessment of Fuel Oil Consumption of a Ship in Service (HullPIC2022)（掲載済）
・粉原直人ほか：ウェザールーティングによる ローター船の省エネ効果の評価に関する研究（海上技術安全研究所研究発表会）（掲載済）
・粉原直人ほか：実船モニタリングにおける統計解析周期に関する検討（日本船舶海洋工学会秋季講演会）（掲載済）
・粉原直人ほか：ローター船の省エネ効果に関する研究（第 83 回実海域推進性能研究会）（掲載済）
・金子杏実ほか：平水区域の波と風の統計的性質－海域の特徴－（第 83 回実海域推進性能研究会）（掲載済）
・金子杏実ほか：平水区域の波と風の統計的性質とその評価（海上技術安全研究所研究発表会）（掲載済）
・辻本勝：EEDI 規制と船舶性能（関西海事教育アライアンス）（掲載済）
・辻本勝：船舶抵抗・推進論（東京大学大学院新領域創成科学研究科）（掲載済）
・辻本勝：流体設計系が取組む研究開発ー実海域実船性能ー（九州大学大学院工学研究院）（掲載済）
・辻本勝：400m 水槽工事について（第 84 回実海域推進性能研究会）（掲載済）
・辻本勝：400m 水槽工事と流体設計系中長期ビジョン（第 11 回水槽試験技術交流会）（掲載済）
・辻本勝：中水槽の中長期ビジョンと将来像，海上技術安全研究所報告（海上技術安全研究所報告）（掲載済）
・粉原直人ほか：中水槽の推進性能試験における不確かさ評価（海上技術安全研究所報告）（掲載済）
・O. Bondarenko et al.: Assessment of Propulsion Engine Reliability Degradation Through the Continuous Analysis of Service Data (G-NAOE 2022)（掲載済）
・北川泰士ほか：船舶の波浪中主機応答予測のための実験的手法及び計算手法（海上技術安全研究所報告）（掲載済）
・ボンダレンコ オレクシーほか：強化学習技術を用いた舶用エンジン最適制御システムの開発の現状と課題（海上技術安全研究所研究発表会）（掲載済）
・ボンダレンコ オレクシーほか：船舶推進主機のデジタルツイン － 数学モデルとモデル同定の検証（日本船舶海洋工学会会誌（KANRIN））（掲載済）

・O. Bondarenko et al.: Empowering Propulsion Engine Digitalization Utilizing Digital Twin, Kalman Filter and Data Assimilation(日本船舶海洋工学会令和 5 年春季講演会)(投稿中)
・白石耕一郎ほか:差分進化法を用いた舶用プロペラ翼形状の多目的最適化法の開発(第 86 回ターボ機械協会総会講演会講演集)(掲載済)
・白石耕一郎ほか:多視点型ラインセンシング法を用いたキャビテーション形状計測(第 87 回ターボ機械協会(京都)講演会講演集)(掲載済)
・白石耕一郎ほか:大型キャビテーション水槽における計測技術の高度化(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
・拾井隆道:外航ばら積み船における実船伴流、水中騒音、船尾変動圧力計測(第 199 回舶用プロペラ研究会)(掲載済)
・拾井隆道:本物の船の周りの流れはどうなっている?(今治地域造船技術講演会)(掲載済)
・K. Kume: The Geometry of JBC Above Water Surface and the Wind Tunnel Test Results(海上技術安全研究所報告)(掲載済)
・Kawashima, H., et al.: Experiments On Flow Field Control Using a Unidirectional Acoustic Flow Generator Device (13th Pacific Symposium Flow Visualisation and Image Processing) (掲載済)
・川島英幹ほか:カーボンニュートラル社会に対応した船舶の省エネデバイスと省エネ船型の技術開発(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
・川島英幹ほか:音響流放射型流場デバイスによる流場制御実験(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
・拾井隆道:奨励賞授賞論文紹介 ダブル光ファイバープローブを用いた気泡による乱流摩擦抵抗変化に関する研究(日本船舶海洋工学会誌(KANRIN))(掲載済)
・拾井隆道:せん断応力計測による水平チャネルにおける気泡による摩擦抵抗変化の速度影響調査(日本混相流学会混相流シンポジウム 2022)(掲載済)
・拾井隆道ほか:ダブル光ファイバープローブを用いた乱流境界層中の気泡特性計測技術の開発(日本船舶海洋工学会第 22 回推進・運動性能研究会)(掲載済)
・朴 炫珍 ほか : Estimation of the diffusion of bubblesinjected for the air lubrication on a flat-bottom ship (International Conference on Multiphase Flow)(投稿中)

□特許申請:3 件
・船舶推進システムの性能劣化モニタリング方法、性能劣化モニタリングプログラム、及び性能劣化モニタリングシステム
・多視点型ラインセンシング法による3次元計測装置
・画像処理を用いたキャビテーション発生の定量的評価装置

□コアプログラム登録:3 件
・実船性能高速シミュレーションライブラリモジュール V2 版
・SALVIA-OCT-app V2 版
・HOPE Light V6

□国際貢献:12 件
・TOR8 – Derive a modified procedure for full scale trial of wind propulsion ships –(ITTC/wind), 2022
・Suggested Decision-making process(ISO WG17)
・Validation of NMRI method for Wave Correction(ITTC FSSPC)
・Progress of ToR 3E(ITTC FSSP)
・Progress of ToR 5C(ITTC FSSPC)
・Some conclusions required to be reconsidered in the current comment list (ISO WG17 N123)
・Validation for NMRI method(ITTC FSSPC)
・Current Status Report for TOR8(30th ITTC Specialist Committee on Ice 4th Meeting)
・Comments on the concept to manage the underwater radiated noise level of each ship proposed by the Correspondence Group on review of the Guidelines for the Reduction of Underwater Noise (MEPC.1/Circ.833) (SDC 9/5/4)
・Comments on the next steps proposed by the Correspondence Group on review of the Guidelines for the Reduction of Underwater Noise (MEPC.1/Circ.833) (SDC 9/5/5)
・Report on underwater sound measurements in Japan and discussion on estimating source levels of underwater radiated noise from a ship (SDC 9/INF.10)
・Study on comparison of operational and design approaches based on the relationship between Underwater Radiated Noise (URN) reduction measures and GHG emission (SDC 9/INF.11)

□受賞:2 件
・拾井隆道:日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞),「ダブル光ファイバープローブを用いた気泡による乱流摩擦抵抗変化に関する研究」, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 34 号.

・金子杏実:フレッシュマン講演奨励賞,「平水区域の波と風の統計的性質－日本海・三陸海岸－」, 日本航海学会第 146 回講演会

□公開実験:1 件
・中水槽 50 周年記念講演会, 中水槽オンライン立会システム, 2022.

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 社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 を開始し、実海域性能評価技術(ライフサイクル主機燃費評価技術)の向上は海事産業の競争力強化に貢献できている。
・風力アシスト船は GHG 排出削減のために、今後需要が高まると考えられ、長期予測に基づく省エネ効果の適切な評価は、実燃費の削減につながり、IMO GHG 削減戦略など国として取り組むべき方策に合致するものである
・開発した主機デジタルツイン技術や主機劣化予測技術は、国際的にも有意な技術であり、我が国の海事産業の競争力強化に貢献するものである。
・開発した AI 機関長システムのコンセプトはこれからの自律運航船の普及に向けてニーズと合致するものである。
・船型・流場データベースによる船型設計システムは DX 技術を活用したものであり、今後の数値計算・模型試験・実船データ間のデータ同化に不可欠な技術であり、社会的価値が高い。
・GHG ゼロエミッション化を想定して開発した低速幅広肥大船は、比較対象となる従来船に対し単位貨物輸送量当たりの GHG 排出量が 55%減となる。また当該船の経済性評価の結果、燃料単価が高い脱炭素燃料を使用する際には従来船型よりも利益が大きく、実現可能性が高い船型となっていることから環境負荷低減に貢献できる。

□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
・低速域にも適用できる評価技術の開発や波浪中抵抗増加の不確かさに関する研究は、実海域性能診断技術の基盤となる技術であり、成果の意義は十分に大きい。
・就航データを用いた主機モデルの係数同定(デジタルツイン化)に関する技術は実証を含みながら開発が進められており、培われた技術の科学的意義は高い。
・実船と模型船の省エネ付加物を搭載した船尾周りの流場計測結果は、これまでに例が無く非常に価値が高いデータである。
・周期吹出法による空気潤滑は摩擦抵抗低減効果を高めることができ、通常の空気潤滑システムでの吹出方法を変更するだけであるため発展性が大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか
・ウェザールーティングサービスにつながる成果の展開ができており、期待されたタイミングで創出されている。
・これからの自律運航船の普及促進時期に主機作動に関する自動化技術(最適運転、異常診断等)の技術開発が成果として現れてきており、期待された時期に成果が創出されている。
・IMO では 2050 年には GHG 排出ネットゼロとする提案もなされており、新船型の普及に要する時間を考慮すれば、ゼロエミ化に適した低速幅広船型の開発は適切な時期に創出できている。

□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
・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。
・船舶からの水中騒音の低減は国際的に求められており不可避であるが、その推定法を開発したことは国際的に意義が大きいとともに、低減対策のために過重な負担を強いられないための事前評価として我が国海事産業の発展に寄与する。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか
・AI 機関長システムは自律運航船の普及時期をターゲットに成果創出が進んでおり、先見性と機動性を持って対応できている。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R4年度)	S
終了評価(H28年度～R4年度)	S

【年度評価に関するコメント】
・国際海運からの GHG 排出削減に対し、風力アシスト船評価法、ウェザールーティングの高度化、船型・流場データベースによる船型設計システムの開発、低速幅広肥大船のコンセプト評価、周期吹出法による空気潤滑の効

率向上、水中騒音の簡易推定法の開発といった個別の技術開発を進めるだけでなく、海事クラスター共同研究により、これらを総合的に評価する「ものさし」の開発し、さらに IMO、ITTC、ISO 等の議論に積極的に関与することで、我が国海事産業の競争力強化に大きく貢献できている。
・AI 機関長システムは自律運航船の普及時期をターゲットに研究開発が着実に進んでおり、萌芽的研究として先見性と機動性を持って対応できている。

【終了評価に関するコメント】
・国際海運からの GHG 排出削減は当初の見込みを超えるスピードで規制強化が進展したが、それに呼応して船舶性能に関する規制内容（海上試運転の実施解析法、風力推進システムの利用ガイダンス、現存船への規制適用、水中騒音推定等）の技術評価を進めることができ、この分野での IMO、ITTC、ISO 等の議論のリードにつながる取り組みができている。
・海事クラスター共同研究　実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクト（フェーズ 1（25 社），フェーズ 2（24 社））では中心となってプロジェクトを実施できている。このプロジェクトは本重点研究の内容が基盤となっており、この分野での我が国海事産業の国際競争力強化を進める取り組みが実施できている。
・OCTARVIA プロジェクトでの実海域性能推定法・実船モニタリングデータ解析法の標準化、AIS データと気象海象データを組み合わせた実運航の評価、波浪による主機負荷変動を考慮した主機デジタルツイン技術や主機劣化予測技術、伴流設計システム、プロペラからのキャビテーション予測（ボリューム計測）、GHG ゼロエミッション化コンセプト船開発（低速幅広肥大船）、周期吹出法による空気潤滑、音響流による抵抗低減等、非常に多くの研究成果を創出している。
・研究成果をとりまとめた多くのプログラム（実運航性能シミュレータ：VESTA、船体形状・船体性能推定プログラム：UNITAS、全球の波と風データベース：GLOBUS、船舶性能簡易推定ツール：HOPE Light、伴流設計システム、実船性能高速シミュレーションライブラリモジュール）が創出でき、これらは外部利用に繋がっている。
・クラウドに対応したプログラム開発（日本近海の波と風データベース、GLOBUS、HOPE Light、伴流設計システム、船舶推進性能データベース）を進め、新規性のある取り組みができており、また、デジタル基盤技術の整備を早期に実施できている。
・論文等の成果も非常に多く、学会表彰等多くの賞を受けており、極めて高いレベルの成果創出がなされている。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(4)船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

研究テーマ	重点☆6　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

中長期目標	中長期計画	R4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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物 NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発、及び実船スケールにおける波浪中のフリーラン計算手法の開発を行う。 等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。
- 平水中での性能計算手法の高機能化・高速化
- 実プロペラモデルを用いたハイブリッド型省エネデバイスの性能計算手法の開発および二相流への拡張
- 実船馬力推定における風圧抵抗評価手法の確立およびガイドライン策定
- 付加物を含む波浪中での計算手法の確立
- 荒天下における大振幅動揺計算手法の開発
- 船体や省エネ付加物等の形状最適化システムの構築
- ハイブリッド RANS/LES/LBM 法による新規計算手法の開発

期間全体の研究目標

・実船スケールを含む平水中性能計算手法の確立と計算ガイドライン(国交省海事局, ITTC への提案)
・実プロペラモデルとの組合せを含む実用的な形状を有するハイブリッド型省エネ付加物に対する性能推定手法およびキャビテーション計算手法の開発
・上部構造物を含む風圧抵抗の評価手法の確立と計算ガイドライン(実海域実船性能評価プロジェクト)
・波浪中での計算手法(実海域実船性能評価プロジェクト)
・荒天時における区画損傷時船舶の船体運動及び船体構造強度のシミュレーションが可能
・CAD、CFD、最適化手法を組み合わせて、船体や省エネ付加物等の形状最適化が可能
・大規模計算にも適した新たな RANS/LES/LBM ハイブリッド計算手法により高速な計算手法を開発

上記成果は、以下があげられる。

・平水中における実船スケールを含む計算ガイドライン、実船馬力推定における風圧抵抗評価手法の確立およびガイドライン等の成果を活用し、ITTC Recommended Procedure 等による国際標準化において公平かつ標準的な計算法の策定に貢献する
・大波高時の区画傷時の船体運動計算が可能になり、船体構造強度を含めた計算手法を確立する
・実海域性能を推定できる高速な CFD システムを産業界に提供することにより、短期間で高性能な船型を開発できるようになる。また、平水中・波浪中で効果の高い省エネ付加物等の開発により、我が国海洋産業の国際競争力が強化される

R4年度研究目標

□小項目 2
・一様・非一様流中における舶用プロペラキャビテーション計算と検証を行うとともに、モデルの高度化、さらに舶用プロペラキャビテーション計算に適した計算手法の指針を検討し、計算手法を確立する。

□小項目 4
・実船スケールにおける波浪中由航走計算手法を開発する。

□小項目 5
・海難事故を想定した状態を設定し、海難事故の解析にも資する計算手法として、荒天時における区画損傷時船舶の船体運動及び船体構造強度のシミュレーションが可能な計算手法を確立する。

□小項目 7
・格子ボルツマン法と有限体積法の重合格子によるハイブリッド計算手法の開発を継続する。有限体積法で使用する乱流モデルのハイブリッド計算手法への適用性について基礎的な検証を行う。

R4年度研究内容

□小項目 2
・一様・非一様流中における舶用プロペラキャビテーション問題に対する検証を行うとともに、キャビテーションモデルのキャビテーション気泡について圧縮性を考慮する方法・液相中の溶存気体の気相への析出量を考慮する方法等を開発し、モデルの高度化を行う。また、舶用プロペラキャビテーション計算に適したプロペラ周りへの重合格子生成法についても検討を行い、計算指針を検討する。

□小項目 4
・動的重合格子手法による実船スケールでの向波中での直進状態及び波浪中旋回状態の計算手法を開発し、検証を行う。実船スケールの高アスペクト比格子が移動した場合でも精確かつ高効率で重合情報を構築する手法を開発する。

□小項目 5
・海難事故事例等から、座礁等により船体が損傷して区画浸水している状態を選定する。複数の区画浸水と損傷孔を設定し、波浪中計算を行い、船体構造応答計算に必要な波浪荷重を導出する。導出した波浪荷重を元に区画損傷状態における弾性変形の船体構造応答計算を行い、一般性及び拡張性を有する連成計算手法を確立する。

□小項目 7
・ハイブリッド計算手法開発の継続として乱流モデルのハイブリッド計算手法への適用性について基礎的な検証を行う。

R4年度研究成果

□小項目 2

・ 省エネ付加物有り/無しの船尾伴流中で作動するプロペラについて、プロペラ翼に発生するキャビテーション範囲を推定した。
・キャビテーション計算条件であるプロペラ荷重および船尾伴流を正確に再現するための計算格子生成指針を得た。
・上記指針で得た計算格子を用いることで、非常に流場変化の激しい逆転状態でのプロペラ周り流場も計算可能であることを示した。

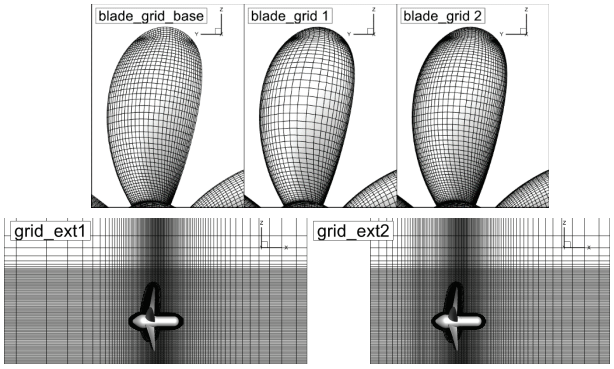


図 プロペラキャビテーション用計算格子

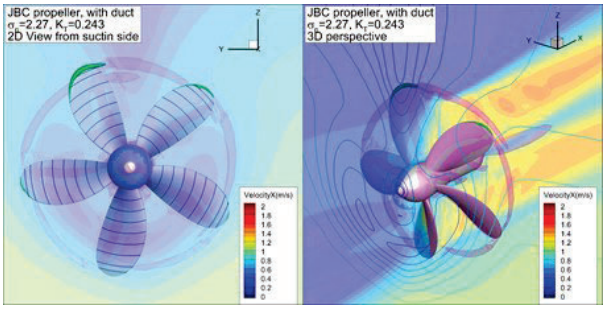


図 伴流中でのプロペラキャビテーション計算

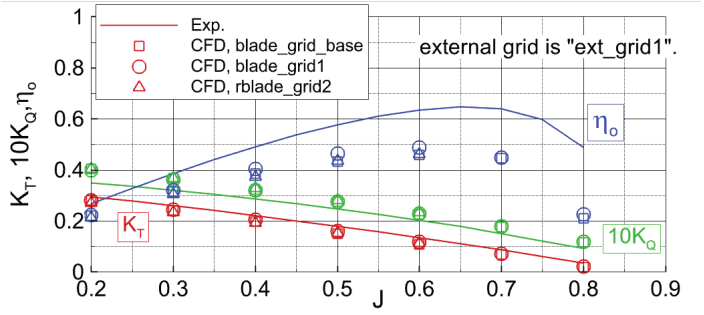


図 単独性能の比較検証

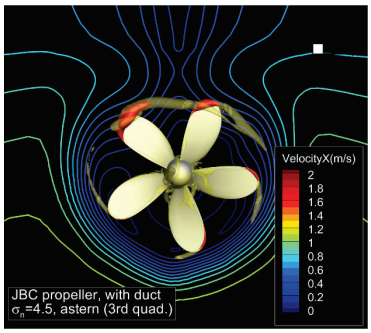


図 逆転状態におけるキャビテーション発生範囲推定

□小項目 4

・タンカー船型の KVLCC 船型(船長 320m)を使用し、実船スケールにおける波浪中での航走計算手法を開発し、向波中の直進状態の計算及び波浪中旋回計算等を行った。地球固定座標系で波浪場を表現し計算領域全体をまかなう格子、自走する船体と舵等を動的重合格子手法に基づき組み合わせ、1000 万点程度の格子数を使用して、波浪中(波高 5m、波長船長比=1.0)での自由航走と 35 度旋回計算を実現した。
・重合格子手法において、計算から除外する領域を指定する solid block 機能と、各計算格子の干渉/非干渉の明示的制御を組み合わせることで、ラダーホーンを有する舵等についても、重合格子を生成できる独自の手法を開発した。フラップ舵の舵角付き操縦運動シミュレーション手法を模型試験結果と比較することで検証を実施した。

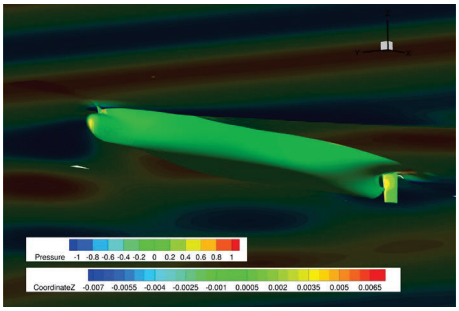


図 波浪中の自由航走旋回シミュレーション

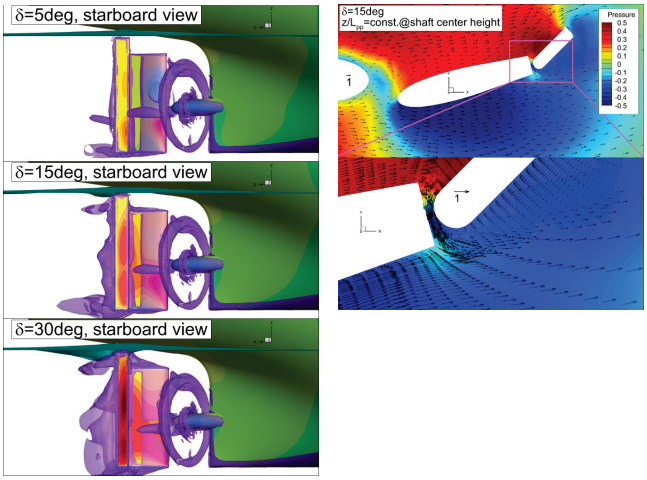


図 フラップ舵付きでの操縦運動シミュレーション

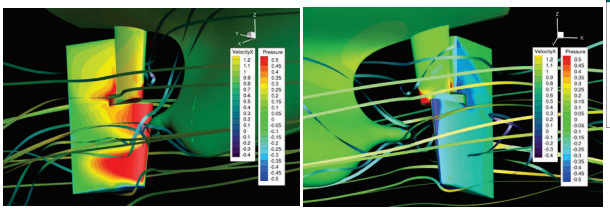


図 ラダーホーン付き舵回り計算（自航）例

□小項目 5

・海難事故事例から状態を設定し、海難事故の解析にも資する計算手法として、荒天時における区画損傷時船舶の船体運動及び船体構造強度のシミュレーションが可能な計算手法を確立した。船長約 170m のカーフェリーの事故事例を選定し、両舷の void タンク等、6 つの区画及び船長方向に 6 区画に渡る亀裂による損傷孔を重合格子手法により再現した。複数区画が浸水し向波(波高 3m、波長船長比 1.0)を受ける状態で、船体運動や圧力分布の変動等から計算手法の妥当性を確認した。

・複数区画損傷状態の結果から波浪荷重を抽出し、同状態の FE モデルに荷重をマッピングすることで構造応答計算を行った。主船体や区画の応力の変動等から妥当性を確認した。国際的にもこのように多数の区画の損傷状態を扱われた例は見られない。

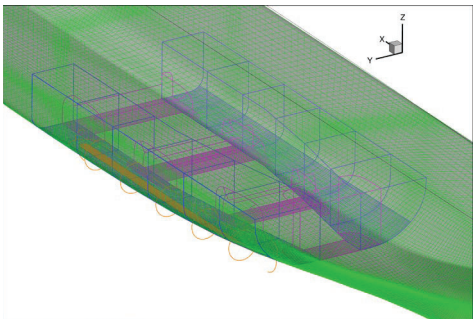


図 複数区画浸水及び損傷孔の重合格子

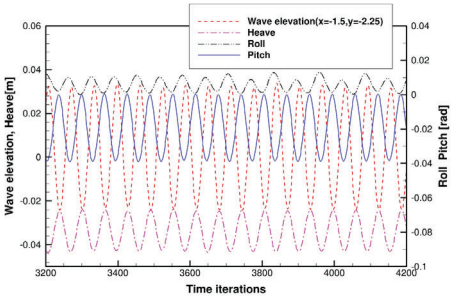


図 複数区画浸水状態での船体運動の履歴

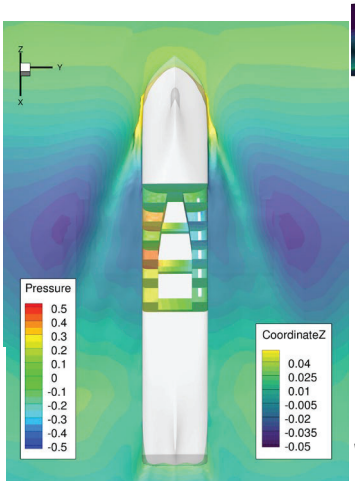
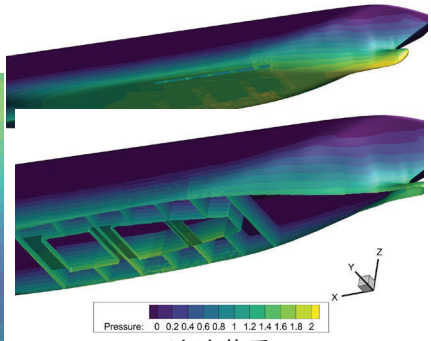
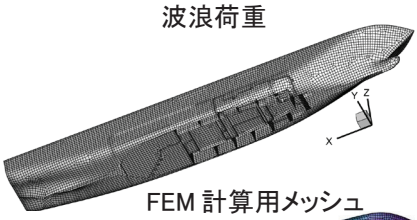


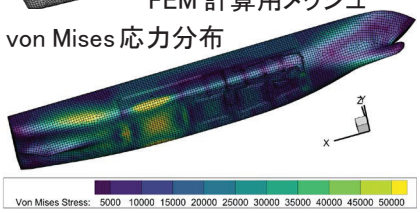
図 向波中での区画内を含む圧力分布



波浪荷重



FEM 計算用メッシュ



von Mises 応力分布

図 波浪荷重と船体構造応答計算

□小項目 7

・重合格子による有限体積法(FVM)と格子ボルツマン法(LBM)のハイブリッド化の検討を継続。円柱周り流れにおいて円柱周りに有限体積法を、外側領域に格子ボルツマン法を適用し、重合格子手法により流場変数を交換。有限体積法のみの場合とハイブリッド計算法で比較し、円柱周り流場、抵抗係数についても両者で一致する結果が得られた。

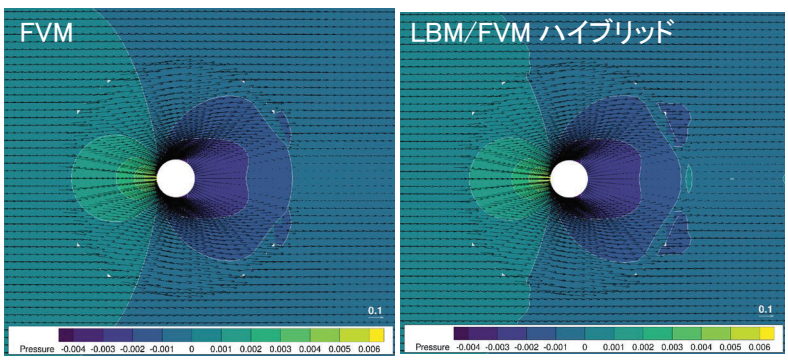


図 有限体積法とハイブリッド法の円柱周り流れ場の比較

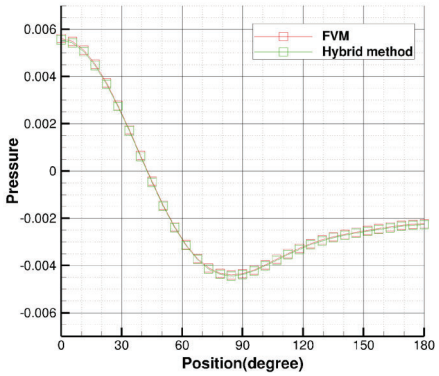


図 円柱表面圧力分布の比較

R4年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等)： 2 件(投稿中： 0 件、採択済： 0 件、掲載済： 2 件)

・Kobayashi, H. et al.：CFD assessment of the wind forces and moments of superstructures through RANS, Applied Ocean Research, Vol.129, 2022

・Sakamoto, N. et al.：False bottoms revisited: computational study for KCS under pure yaw motion in shallow water (H/T = 1.2), Journal of Marine Science and Technology, 2022

□その他発表論文： 7 件（投稿中： 0 件、掲載済： 7 件）
・坂本信晶他：水槽床状態の違いが浅水域船舶操縦性評価に与える影響の解明，海技研発表会
・Ohashi, K.：Development of Hybrid Parallelization Method on Overset-Grids Method Using Shared Memory (OpenMP) and Distributed Memory (MPI) Techniques, ACFD2022
・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化に関する基礎検討，日本流体力学会年会 2022
・Sakamoto, N. et al.：Viscous CFD Estimation of Rudder-related Parameters in MMG model for a Ship with Flap Rudder，日本船舶海洋工学会秋季講演会
・Kobayashi, H. et al.：Numerical simulation for ship motion of a damaged ship in beam sea，第 36 回数値流体力学シンポジウム, 2022
・Kobayashi, H. et al.：Numerical simulation of turning motion in regular head waves，第 36 回数値流体力学シンポジウム, 2022
・大橋訓英他：流体構造連成による波浪中での船体運動と応力解析，第 36 回数値流体力学シンポジウム, 2022

□特許申請： 0 件
・

□コアプログラム登録： 3 件
・重合格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(NAGISA) Ver4.0
・複雑形状物体まわり流場計算のための重合格子処理プログラム（UP_GRID）Ver2.1R5
・CFD ポスト解析システム Ver.2.0

□国際貢献： 0 件
・

□受賞： 0 件
・

□公開実験： 0 件
・

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか
・波浪中での実船の操縦性能評価に資する自由航走シミュレーション手法を確立した。
・海難事故事例から区画浸水状態を設定し、重合格子手法に基づく荒天時の区画損傷船舶の船体運動及び船体構造強度シミュレーション手法を確立した。
・新 CFD システムを活用したコンサルティング(波浪中 CFD 計算と性能評価)を実施。
・新 CFD システムの実利用 23 社に加えて新規に 3 社が契約。
・中小造船所を対象としたゼロエミ船開発のための船型開発人材育成研修にて新 CFD システムを活用。

□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
・船尾伴流中で作動するプロペラキャビテーションの計算の計算格子生成指針を構築した。
・動的重合格子手法により波浪中での実船の自由航走状態及び 35 度旋回を実現する計算手法を開発した。
・海難事故事例に基づく条件を設定し、複数区画損傷状態での流体構造連成手法を確立した。
・有限体積法と格子ボルツマン法のハイブリッド手法を構築し、重合格子による流場変数の交換や高レイノルズ数に対応するための乱流モデルの格子ボルツマン手法への導入等による基礎検証を行った。

□成果が期待された時期に創出されているか
・成果を論文にまとめて発表するとともにオンラインセミナー等により手法の普及を図った。
・関連するプログラムとして新規に 3 件登録した。

□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
・国際的にも独自の重合格子手法と機能開発を行った。
・海難事故例に基づく多数の区画の損傷状態の波浪中シミュレーションと流体構造連成計算は国際的にも扱われた例は見られない。
・成果をまとめ、国際ジャーナルに研究期間中を通して掲載。

・新 CFD 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。

□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

・次期中期を視野に格子ボルツマン法に基づくハイブリッド計算手法開発を継続し、高レイノルズ数に対応するための基礎検証を行った。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	B
終了評価（H28年度～R4年度）	B

【年度評価に関するコメント】

・プロペラキャビテーション計算に適するプロペラ荷重及び船尾伴流を計算するための格子生成指針を構築するとともに、実船スケールでの波浪中航走計算手法を開発し、加えて独自の重合格子手法を発展させてより、複雑な状態の計算も可能にした。
・国際的にも例を見ない、海難事故事例に相当する複数区画損傷状態での波浪中計算手法及び流体構造連成による構造応答計算手法を確立した。
・新 CFD システムを活用したコンサルティングや中小造船所を対象とした人材育成研修を実施。加えて、新規契約 3 社を含めた 26 社に有償利用いただいている。
・研究成果について国際ジャーナルに 2 件とプログラム登録が 3 件。

【終了評価に関するコメント】

・海事局 i-Shipping プロジェクトにおける実船性能の CFD による高精度推定に向けて、国際的にも例のない、実船流場等との比較検証から、実船スケール計算ガイドラインを構築した。
・ITTC の特設委員会にて新たに制定される CFD により形状影響係数計算の利用方法について、ケーススタディに多数参加し、計算ガイドラインの成立過程に深く関与した。
・実海域実船性能評価プロジェクトと連携し、風圧抵抗計算に関わるパラメータ等を検証・整理し、計算ガイドラインの構築に貢献した。また、並行して ITTC の特設委員会における風圧抵抗計算ガイドラインの構築に関与し、新たな上部構造物の計算も実施し、ガイドラインの成立過程に深く関与した。
・先端的で海外の研究機関等でも取り組みが始まっている波浪中の自由航走状態について、動的重合格子手法に基づく計算手法を開発した。また、複数区画が浸水した状態を扱えるように重合格子手法を拡張し、国際的にも例をみない、事故事例に基づく多数の区画の浸水状態での波浪中船体運動計算とともに波浪荷重を導出し、船体構造応答まで一貫して計算できる手法を構築した。
・新 CFD システムの実利用は研究期間中に契約社が着実に増加し、最終年度では 26 社に有償利用いただいた。
・研究期間中の研究成果について累計で国際ジャーナルに 20 件掲載とプログラム登録が 18 件。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(4)船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

研究テーマ	重点☆7　多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	Ｒ４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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物 NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 ー実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発、及び実船スケールにおける波浪中のフリーラン計算手法の開発を行う。等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。
・ 多様なエネルギー源を用いた舶用動力システム技術
・ 各種動力システムの安全性・船舶適用性評価
・ アンモニア燃料利用における未燃アンモニアと亜酸化窒素の排出低減方法の開発

期間全体の研究目標

・水素エネルギーを利用した舶用動力システムおよび多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価手法
・各種動力システムの安全性評価手法

上記成果は、以下があげられる。
・ 多様なエネルギー源を船舶で活用する技術により、水素社会、環境にやさしい社会が実現される。
・ 先駆的な技術開発により我が国海事産業の国際競争力が強化される。

R4年度研究目標

□小項目 3

・高負荷・高混焼率での水素混焼ガスエンジンの燃焼安定化技術の確立
・水素混焼ガスエンジンの安全管理手法の確立
・カーボンフリー燃料利用時の排気流量評価手法の検討
・強化学習の理論に基づく水素混焼ガスエンジンシステムシミュレータ構築

□小項目 4

・アンモニア混焼ディーゼル機関からの未燃 NH3 及び N2O 排出量低減手法の確立
・水素による NH3 燃焼支援効果の利用技術の検討
・舶用大型エンジンのアンモニア層状噴射燃焼技術の開発

□小項目 5

・連携型省エネ内航船のコンセプト立案と実船建造支援
・ 内航船のカーボンフリー燃料利用技術に関する研究
・ 外航船のカーボンフリー燃料利用技術に関する研究

R4年度研究内容

□小項目 3

・水素エンジン等の安全性評価

□小項目 4

・アンモニア燃料利用技術の開発

□小項目 5

・多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価

R4年度研究成果

□小項目 3

・負荷率 25%、50%、75%、93%の幅広い条件にて水素熱量混焼率 90%以上(図 1)で実験した。希薄燃焼、副室燃料停止、点火時期調整によって、適切な燃焼期間で安定燃焼を実現した。さらに、高水素混焼率であっても、低 NOx(図 2)かつ高効率(図 3)が実現できることを確認した。
・クランクケースの空気希釈システムと水素濃度監視によって、クランクケース内水素濃度を LEL50%以下に維持することができた。希釈空気流量が過大になると、クランクケース内圧力が増大することで、軸端から潤滑油が漏洩することが確認された。十分かつ適切な希釈をするためには、クランクケース内圧力をコントロールするため、クランクケース排出管に吸引ブロアを設置するなどの対策を検討する必要がある。
・炭素バランス法と酸素バランス法による排気流量の評価を実施した(図 4)。水素無混焼時は、両手法は近い値(±1%以内)であった。ガス分析精度の影響(図 4 中のエラーバー)は、水素熱量混合率 60%以下では炭素バランス法と酸素バランス法は同程度であるが、水素熱量混合率 90%付近では炭素バランス法ではガス分析精度の影響が大きいが、酸素バランス法では小さく有利となることがわかった。
・前年度構築した強化学習計算環境をさらに改良し、並列計算技術を導入することで計算パフォーマンスを向上した。上記計算プログラムを活用して様々な制御アルゴリズムの検証を行った。その結果、エージェントアルゴリズム PPO および TRPO を使用した場合、学習回数に応じて報酬点の向上及びガスエンジンの運転状態向上が期待できる計算例が得られた。(図 5)

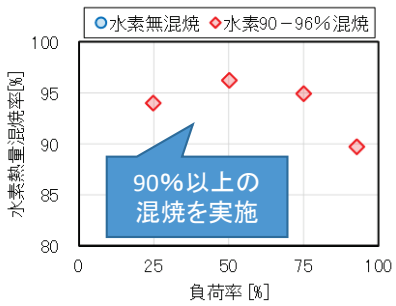


図 1 負荷率と水素熱量混合率

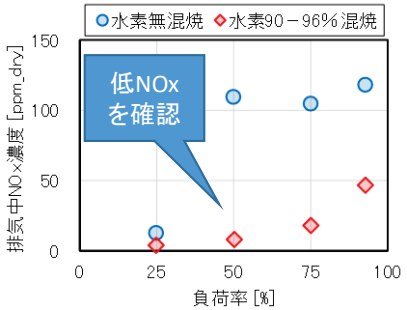


図 2 排気中 NOx 濃度

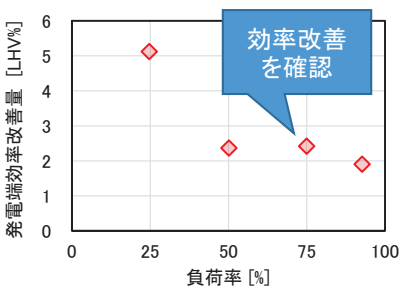


図 3 発電端効率の改善量

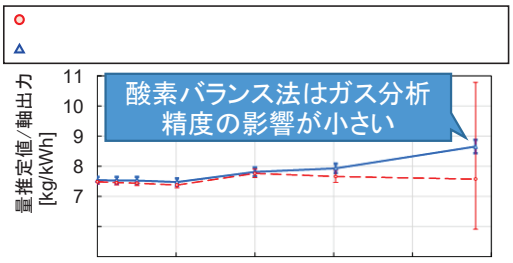


図 4 炭素バランス法と酸素バランス法の比較

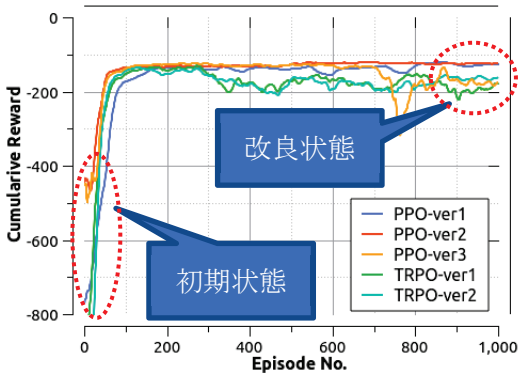


図 5 学習回数に応じた報酬点

□小項目 4

・アンモニア混焼ディーゼル機関からの未燃 NH_3 及び N_2O 排出量低減手法の確立については、吸気加熱器を(図 6)用いて吸気温度をコントロールし(液化 NH_3 の気化熱で吸気温度が下がる対策)、吸気温度が N_2O や未燃 NH_3 排出量に与える影響を調査し、NH_3 混焼率が 60%より多い場合、吸気温度を上昇させることで、N_2O の排出量を低減できることを確認した(図 7)。

・NH_3 混焼率 60%以上の混焼率において、軽油早期噴射による燃焼位相の制御による未燃 NH_3 と N_2O の低減効果を調査した。NH_3 混焼率が 70%より多い場合、軽油早期噴射によるエンジンの運転が困難であり、未燃 NH_3 と N_2O の低減効果が得られなかった(図 8)。同方式の適用範囲の拡張のため CFD の活用を考え、エンジン内の燃焼状態を解析(図 9)し、定性的に実験結果と一致する結果を得た(図 10)。

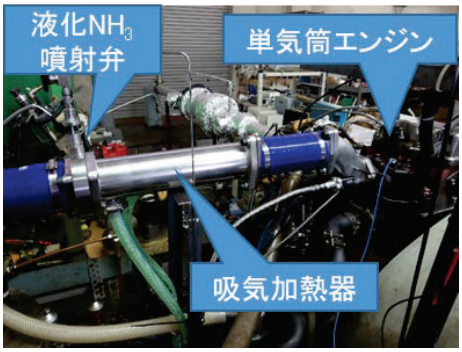


図 6 液化 NH_3 噴射弁と吸気加熱器

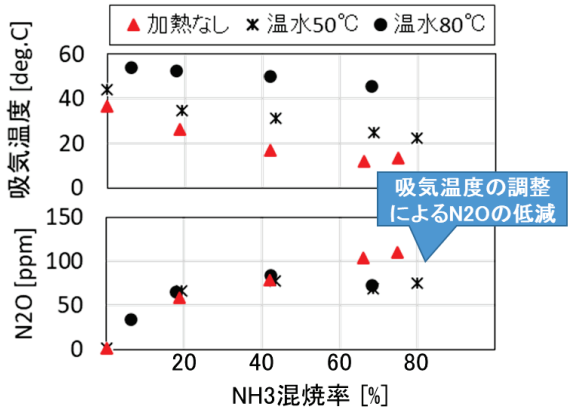


図 7 吸気温度上昇による N_2O の低減混焼率

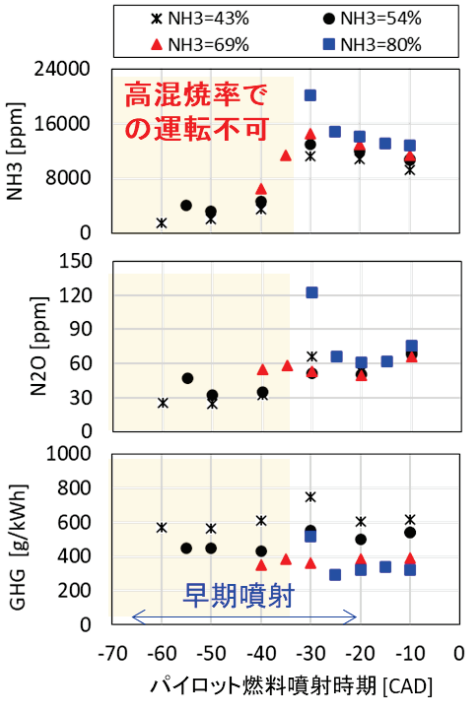


図 8 NH_3 混焼率別の早期噴射による排ガスへの影響

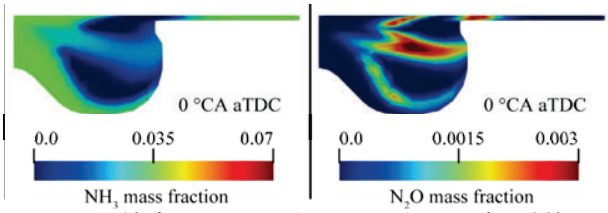


図 9 燃焼室内の NH_3：左と N_2O：右の分布(計算)

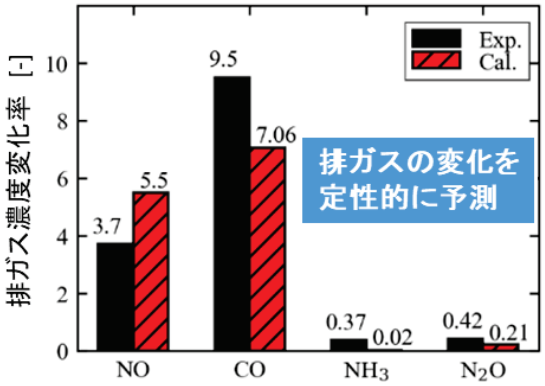


図 10 排ガス成分変化比率(実験：黒・計算：赤)

・水素による NH_3 燃焼支援効果の利用技術を検討するため、NH_3 混焼割合と H_2 の混合量を変化させて、H_2 の混合により未燃 NH_3 低減やその他排ガス成分の変化と燃焼状態の変化を確認した。また、NH_3 改質触媒を利用して H_2 を含む NH_3 改質ガスを単気筒エンジンに供給し、NH_3 改質システムの実現に向けた課題を抽出した。
・舶用大型エンジンのアンモニア層状噴射（補助燃料–NH_3–補助燃料）燃焼技術の開発については、大型定容燃焼試験装置（図 9）を用いて、舶用 2st エンジンに適用する NH_3 層状噴射燃焼に関する可視化実験を実施した。NH_3 層状噴霧火炎の分光計測から NH_3 燃焼の証拠となる NH_2*の発光を観測し、NH_3 は火炎基部で速やかに燃焼を開始し先端に至るまでに反応が完了していることが明らかになった。（図 10）。シャドウグラフ撮影（噴霧形成部分を影として撮影する手法）から、NH_3 層状噴霧と 100%補助燃料噴霧の発達特性は類似することが明らかになり（図 11）、従来燃料の噴霧の知見の一部を、NH_3 層状噴霧の設計や CFD に適用できることが示された。高速度撮影から、従来燃料の燃焼には見られない特徴的な燃焼プロセス（リフトオフ位置の下流への移動、噴射終了時期付近での再着火など）が初めて明らかになった（図 12）。

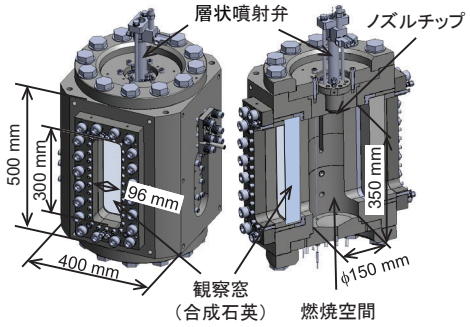


図 9 大型燃焼試験装置

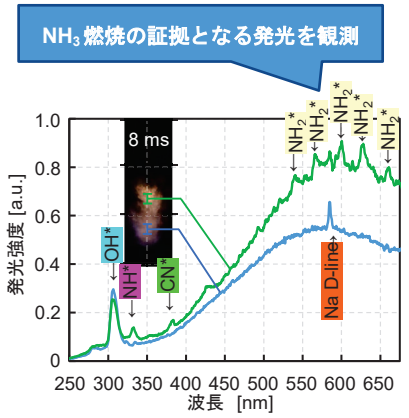


図 10 火炎発光の分光計測結果

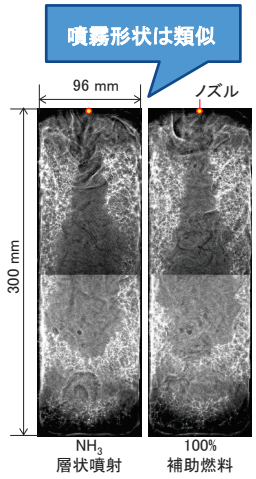


図 11 噴霧形状の可視化画像

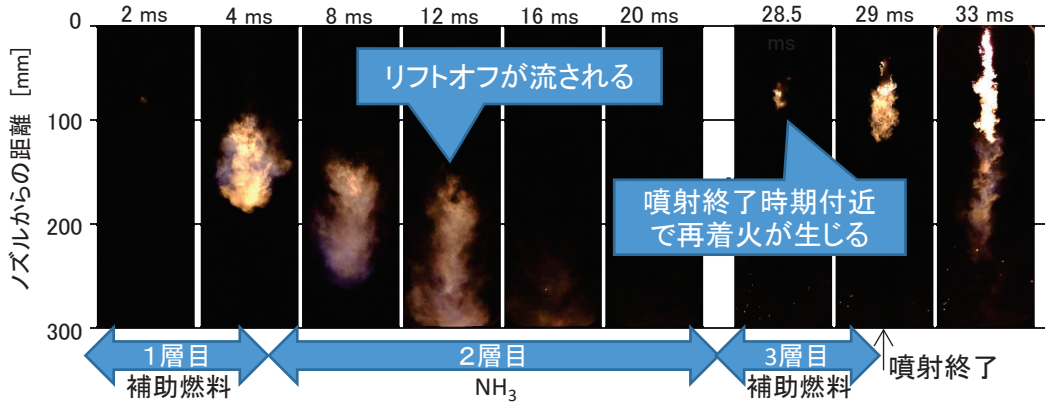


図 12 NH_3 層状噴射燃焼の可視化画像（補助燃料には軽油代替としてセタンを使用）

□小項目 5

・連携型省エネ内航船のコンセプト立案と実船建造支援のため、2021 年度に国土交通省が提案した、省エネ機器の組み合わせや船主との連携による GHG 削減を目指す“連携型省エネ船”について、国土交通省や内航海運関係者らと共同で、詳細なコンセプトを検討・立案した（図 13）。また、（一社）内航ミライ研究会らが実施する環境省事業に協力して、運航・荷役・離着桟・停泊時の省エネ化を目指した 499GT 内航貨物船の建造支援を行った。
・内航船のカーボンフリー燃料利用技術に関する研究として、内航船の 2050 年ネットカーボンニュートラルを目指して、水素エンジンを搭載する小型船の安全性評価等を実施した。また、国土交通省事業として、バイオ燃料を利用する大型貨物船の実証試験を補助するとともに、バイオ燃料に関連した各種陸上試験を実施し、その成果を基に「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン案」を策定した（図 14、表 1）。

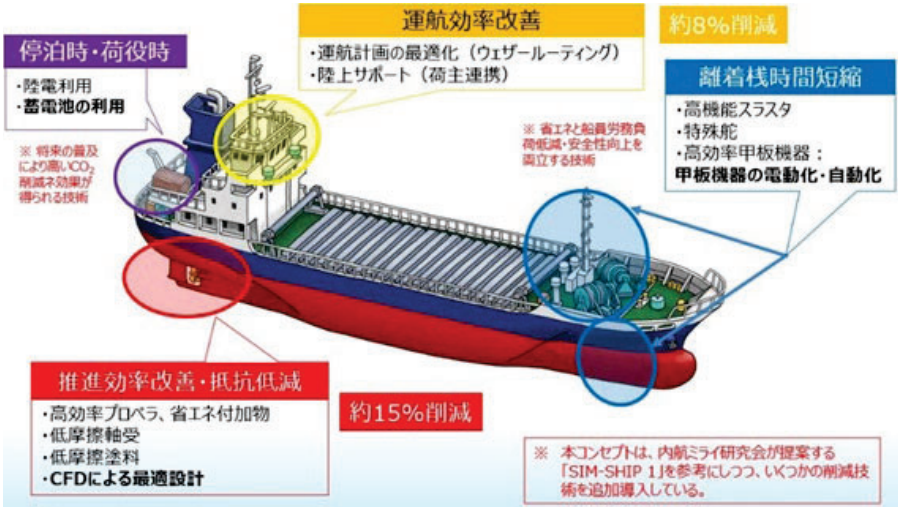


図 13 連携型省エネ船のコンセプト例（2022 年度国交省事業）

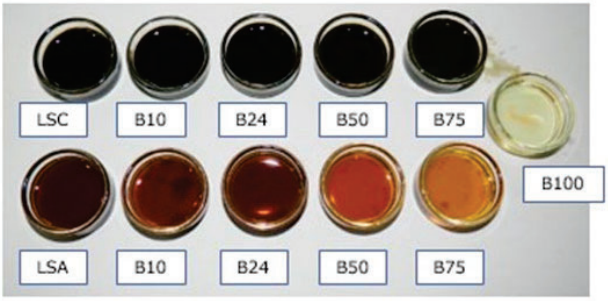


図 14 各種試験に用いたバイオ燃料混合油
（2022 年度国交省事業）

表 1 バイオ燃料使用時の要点例
（2022 年度国交省事業）

No.	
1	ゴム材料や金属材料への影響に注意する必要がある。
2	燃料清浄機やエンジンの運転のため、バイオ燃料を使用する前に混合油の動粘度や密度を把握しておく必要がある。
3	エンジンの運転制限やボイラへの使用などは、各メーカに確認し、運転条件などについて協議することを推奨する。
4	燃料油を長時間貯蔵した場合など、安定性が悪化し、スラッジが発生することがあるので、注意が必要である。

R4年度成果の公表

□査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）： 4 件（投稿中： 1 件、採択済： 2 件、掲載済： 1 件）

- Yasuhisa Ichikawa, Yoichi Niki, Koji Takasaki, Hideaki Kobayashi, Akihiro Miyanagi, Experimental study of combustion process of NH_3 stratified spray using imaging methods for NH_3 fueled large two-stroke marine engine, Applications in Energy and Combustion Science, Vol13, 2023, 100119
- Yoichi Niki, Experimental and numerical analysis of unburned ammonia and nitrous oxide emission characteristics in ammonia/diesel dual-fuel engine, International Journal of Engine Research, SAGE, ジャーナル（投稿中）
- Yoichi Niki, Koichi Hirata, Kazuyuki Kobayashi, Yuki Shimizu, Development of premixed ammonia combustion strategy with minimum emissions for marine diesel engines, CIMAC 2023, 本文査読付プロシーディングス(採択済:6 月発表予定)
- Hiromichi Oba, Kazuhisa Ito, Chikara Matsuda, Yasuhisa Ichikawa, Koji Takasaki, Fundamental study of the effect of stratified NH3 injection system for nitrogen compounds reduction, CIMAC 2023, 本文査読付プロシーディングス(採択済:6 月発表予定)

□その他発表論文： 9 件（投稿中： 0 件、掲載済： 9 件）

- 仁木洋一、ディーゼルエンジンへのアンモニア燃料利用の現状と課題、化学工学会 産官学連携センター開発型企業の会（系共催講演会）
- 仁木洋一、平田宏一、NH3 混焼ディーゼル機関における CFD を用いた燃焼計算結果と実験結果の比較、日本マリンエンジニアリング学会、第 92 回学術講演会
- 仁木洋一、「ディーゼルエンジンへのアンモニア燃料利用の現状と課題、化学工学会 第 88 年会
- 市川泰久、舶用リーンバーンガスエンジンの水素専焼に向けた技術開発、第22回海技研研究発表会
- 市川泰久、仁木洋一、高崎講二、小林秀昭、三柳晃洋、NH3 層状噴霧火炎の燃焼プロセスの可視化、日本マリンエンジニアリング学会、第 92 回学術講演会
- 市川泰久、仁木洋一、高崎講二、小林秀昭、三柳晃洋、アンモニア層状噴霧燃焼の可視化計測による燃焼機構

の解明、日本燃焼学会、第 60 回燃焼シンポジウム
・Yasuhisa Ichikawa, Yoichi Niki, Koji Takasaki, Hideaki Kobayashi, Akihiro Miyanagi, Combustion Process in NH3 Stratified Spray Flame for Large Two-Stroke Marine Engine, Applications in Energy and Combustion Science, The 19th International Conference on Flow Dynamics
・平田宏一、船舶用代替燃料に関する取り組みと展望（解説）、トライボロジー学会誌「トライボロジスト」, 67 巻, 8 号, p.561-566, 2022 年 8 月.
・高橋千織、仁木洋一、市川泰久、西尾澄人、低･脱炭素燃料の利用技術と課題、日本マリンエンジニアリング学会誌「マリンエンジニアリング」、58 巻、2 号、2023 年 3 月.

□特許申請：１件
・仁木洋一、エンジンにおけるアンモニア混焼方法、アンモニア混焼エンジン、及びアンモニア混焼エンジンを搭載した船舶

□コアプログラム登録：　０件
・

□国際貢献：６件
・アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの策定
・MSC104（2022 年 10 月）における提案文書案の作成（MSC104/15/10、MSC104/15/30　2 件）
・CG コーディネータとして CG レポートをとりまとめ、提案文書を作成した。CCC8（2022 年 9 月）にて審議（CCC 8/13、CCC 8/INF.10　2 件）
・国際連携センターにおいて、上記内容を取りまとめ、海事局との共催で「アンモニア燃料船の国際 WS」を開催、2022 年 10 月
・水素燃料船の国際安全ガイドラインの策定
・CG の国内意見をとりまとめ、CCC8 における審議に貢献

□受賞：１件
・日本船舶海洋工学会シップ・オブ・ザ・イヤー2021　部門賞、水素混焼エンジン船「ハイドロびんご（Hydro BINGO）」

□公開実験：０件
・

□その他：１件
・化学工学会　産官学連携センター開発型企業の会（系共催講演会）：アンモニアエンジンの見学と実験の紹介

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
・IMO GHG 削減戦略は、2023 年春の改定で現行の目標よりさらに野心的な目標を設定することになっている。日本は「2050 年までに GHG 排出を全体としてゼロ」とすることを掲げており、内航・外航ともに、更なる研究の必要性が高まっている。本研究課題は、国交省の内航カーボンニュートラル推進方針の策定や、国交省・船技協の国際海運 GHG 削減ロードマップの改定にも貢献するなど、社会ニーズに適合しており、社会的価値の創出に貢献している。

□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
・船舶用途での水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの研究については、燃焼メカニズムの解明、環境負荷物質の低減技術、安全確保のための技術開発など新規性・発展性が高く、技術の一般性・汎用性も高い。成果の科学的意義は十分に大きい。また、バイオ燃料に関する研究に関しても、舶用燃料としての利用を考えた場合、陸上利用とは異なる懸念事項のあることが示唆され、次期中期における研究課題が明らかとなった。

□成果が期待された時期に創出されているか
・IMO の GHG 削減戦略、日本国内も含めた世界的な GHG 削減への取り組みなど様々な代替燃料の利用技術や省エネ、削減技術に関する研究の必要性が高まっている。国際的にも大きなプロジェクトや法整備が始まっているところであり、期待された時期に成果が創出されている。

□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
・GHG 削減への取り組みは、全地球的な取り組みであり、この分野における成果は国際競争力の向上につながる。特に燃料転換に関わる研究成果については、国際的にも十分なデータが提供されておらず貴重であり、GHG 削減技術実用化に貢献しうる成果を上げた。

□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

・水素やアンモニア利用技術については、本格的な実用化は 2020 年代後半以降になると考えられるものの、萌芽的技術として、先見性と機動性を持って対応している。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	S
終了評価（H28年度～R4年度）	A

【年度評価に関するコメント】

水素、アンモニア燃焼技術や燃焼解析技術の高度化は GHG 削減技術実現のための基礎研究として成果の創出を最大限に行った。また、査読論文だけでなく、成果普及のために所内外で講演や解説記事などの発表を行っている。複数のエンジンメーカーとの共同研究だけでなく、国や業界の要望に応えて、連携型省エネ船の詳細検討やバイオ燃料ガイドラインの策定など、社会実装を見据えた成果につなげることができた。

【終了評価に関するコメント】

中長期期間全体を通して、目標に向かって着実に研究を進めることができた。IMO や国の方針にも対応して、臨機応変に研究課題を組み替え、必要とされる研究を加えながら学術的な研究と社会実装の両方で成果を出すことができた。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(5)船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

研究テーマ	重点☆8 船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4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、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO_2)、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO_2)、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、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。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発 - GHG 削減のための後処理技術によるメタンスリップ、N_2O 等の削減方法の検討を行う。 - グリーン・イノベーションを実現するために、水素やアンモニア等の代替燃料の高負荷・高混焼率での燃焼安定化技術の開発、内航船・外航船のカーボンフリー燃料利用技術の検討を行う。 等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO_2)、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。
・ 流出油の回収・処理の高効率化に関する研究
・ 油・放射性物質等が環境放出した際の環境影響評価システムの高度化
・ 船体付着生物の問題に関する研究
・ 船舶に起因する大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術の高度化
・ 防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発

期間全体の研究目標

・厳しい海象条件でも滞油性能の高いオイルフェンス(あるいは新規の漏油防止装置)の提案
・一部の海底堆積物への放射性物質の集中あるいは希釈状況の把握が可能となることによる、原発事故による漁業や水産物への将来にわたる環境影響及び対策の検討への寄与
・放射性物質輸送容器が海没した際の、放射性物質海洋放出による環境影響評価手法の提示
・広範囲な物質(油・有害化学物質・放射性物質・船体防汚塗料に由来する銅等の船舶起源海洋汚染物質)を対象とした、閉鎖湾内・外洋のいずれの場合にも適用可能な海洋拡散シミュレーション計算基盤の構築
・船体付着生物管理ガイドラインの見直しにおける、妥当かつ合理性のある船体付着生物の越境移動抑制方策の提示
・ニッチエリアに対する防汚技術が IMO で新たに問題視された場合の技術的バックデータの蓄積・提示

上記成果は、以下があげられる。

・本研究の実施により新しい油回収・処理効率向上技術が開発されれば、油除去作業に伴う困難さが軽減され、かつ海難事故に起因する油流出による甚大な環境汚染を低減することが期待できる。
・本研究で整備される環境影響評価支援システムにより、事故対応措置のみならず、事故による漁業や水産物に与える影響を将来にわたって把握するために有用な情報の提供が可能となり、科学的根拠に基づく食品等の国内基準や行動規範の策定、衛生管理レベルの向上に資することが期待される。
・本研究で高度化される海洋拡散シミュレーション技術により、広範囲な物質(油・有害化学物質・放射性物質・船体防汚塗料に由来する銅等の船舶起源海洋汚染物質)及び広い海域(閉鎖湾内と外洋)を対象とした海洋拡散シミュレーション計算が可能となり、研究成果を化学物質の安全性評価に係る基礎データ、及び IMO における議論のバックデータとして活用することが期待できる。
・生物の越境移動の問題について合理的な規制が導入されることにより、海洋環境が保護される。また、国際ルールの形成に対して戦略的に関与することにより、我が国の海洋産業の国際競争力強化につながる。

R4 年度研究目標

□小項目 4

・燃料油が海洋環境へ流出した場合を想定して、その燃料油の含有する硫黄分により、その流出油の拡散範囲がどの程度変化するのかを評価する。
・化学的に安定で分解されずに海洋中を浮遊し続ける海底火山噴火由来の砕屑物は、船舶の安全な航行に影響するため、海洋での挙動、任意海域への到達時刻、軽石の存在する水深を短期間で予測できるモデルを開発するとともに、特に船舶の海水取込口閉塞防止の観点から、船体の流線に追従して軽石が移動するか否か評価する方法を提案し、今後類似の自然事象が発生した際の対応策検討に資する。
・前年度までに準備した発信コンテンツをプラットフォームに搭載し、情報発信の試験運用を行う。

□小項目 5

・音響/分光計測技術を用いた防汚システム管理手法の実船適用性の検証に向けて、超音波探傷法(二探法)の計測手法を、生物試験を実施することで再現性を確認する。また、色空間パラメータ(CIELAB)計測法を用いて、生物試験条件、供試生物の活性評価法を構築する等、試験の再現性および有効性を確認する。
・分光計測技術を用いて、供試生物を藻類とする船底防汚塗料の性能評価試験法を開発し、国際規格化に向けて準備する。

□小項目 6【R4～R5:分野横断的研究課題】

・重高圧ジェットを用いた重油エマルション化実験装置を設計・製作し、重油・水及び界面活性剤によるエマルション化の基本的特性(生成条件/生成方法等)を明らかにする。

R4 年度研究内容

□小項目 4

・流出油の硫黄分の違いによる海洋流出分布の変化を評価する。
・海底火山噴火により放出された軽石の挙動を再現できる簡易モデルを開発する。このモデルを用いて軽石の海洋環境における分布を予測するとともに、航行中船舶周辺における軽石の挙動を評価する。
・情報発信プラットフォームを試験運用する。

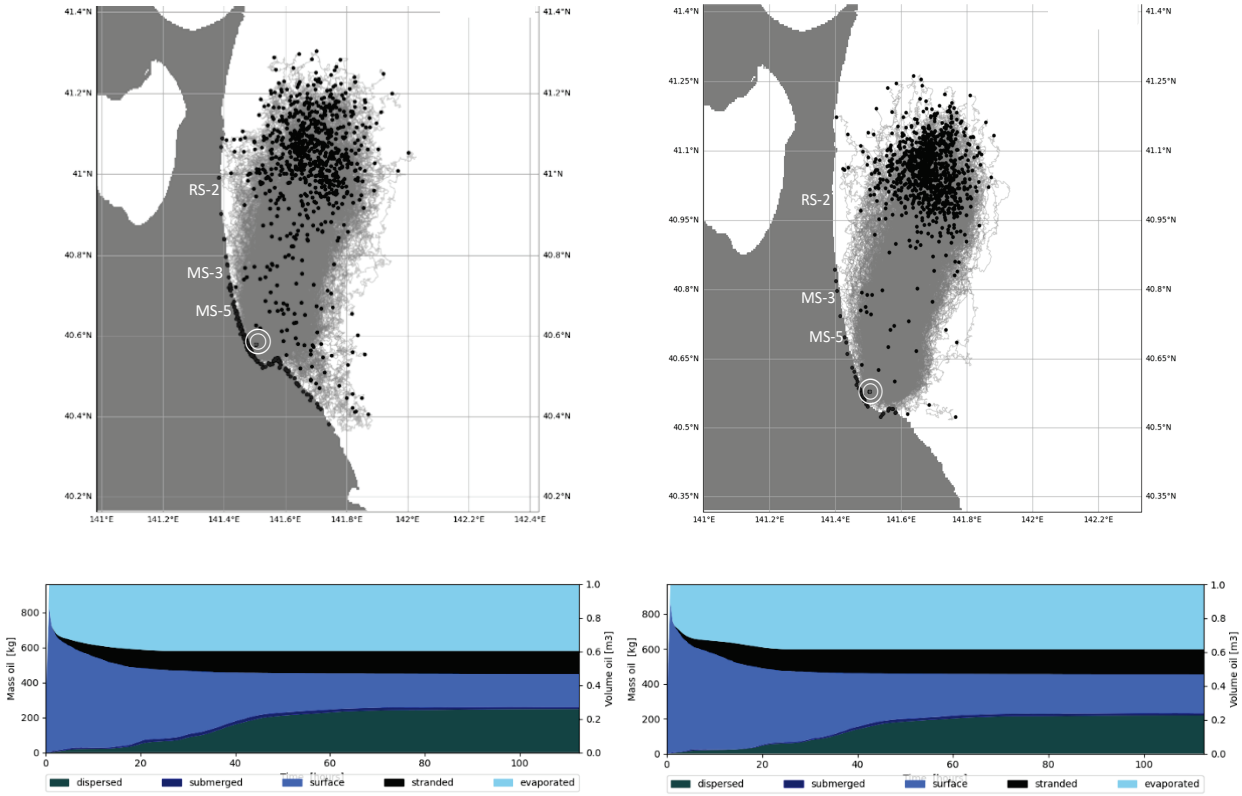
□小項目 5

・実船計測及び実海域浸漬試験等を行い、音響/分光計測技術を用いた防汚システム管理手法の実船適用を検証するべく、超音波探傷法(二探法)の有効性および再現性を確認するために、供試生物にフジツボを用いて付着試験を実施し、解析法の最適化を図る。
・褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験法について、色空間パラメータを用いて評価すると共に、国際規格となる試験法の草案を完成させる。

□小項目 6【R4～R5：分野横断的研究課題】
・重油エマルション化に係る基本的特性の解明

R4 年度研究成果
□小項目 4: 船舶に起因する大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術の高度化

(1) 硫黄分の異なる燃料油の海洋流出事象の変化
・従来開発および改良を進めてきた、海洋環境に流出した油の、海水の駆動力による【分散過程】、分散された【油滴の形状分布】、海上風による油の【水平方向への輸送】【鉛直方向への輸送】、及び【油の風化】を考慮できる油運命予測モデルを用いて、実際の貨物船の座礁事故に伴う燃料油の海洋環境への流出事象を対象に、燃料油の硫黄分規制前後における流出油の漂流予測を行った。硫黄分を多く含有する油は概して粘性が高いため、海洋中での移動量が小さく、風化時間が長くなる。図 1-1 に示されるように、硫黄分の少ない油は拡散範囲が広い一方で、風化が大きくなることが示唆される。異なる硫黄分からなる油の拡散に関して、実海洋環境に基づき影響評価した計算例は世界初といえる。

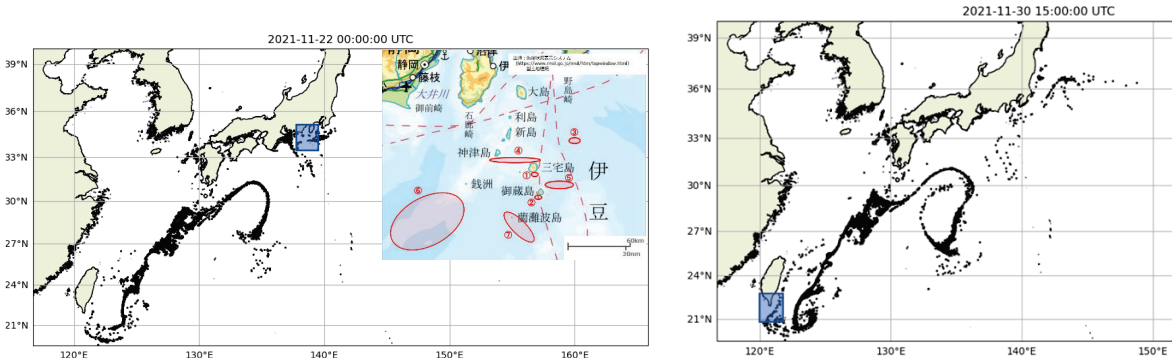


(a) 燃料 IFO-180LS 2014 (硫黄分：小)　　(b) 燃料 INTER-MEDIATE FUEL OIL300 (硫黄分：大)

図 1-1 ◎から流出した油の、流出開始から計算終了までの流出油の軌跡。流出油は、(a) 硫黄分規制後の燃料に対応する IFO-180LS 2014、(b) 規制前の燃料に対応する INTER-MEDIATE FUEL OIL300 を仮定。油の含有する硫黄分が小さい場合、海洋の拡散範囲が大きくなることに伴い、陸域への油の漂着位置も広域になる。その一方で、油の風化はより大きくなる。

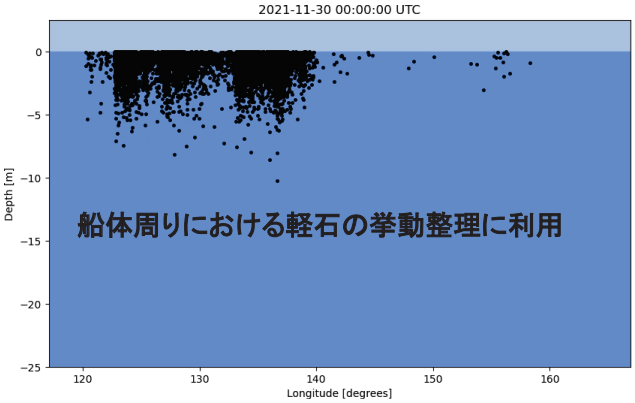
(2) 簡易モデルを用いた海底火山噴火により放出された軽石の海洋環境における分布予測および航行中船舶周辺における挙動評価
・海底火山噴火で海洋へ放出された軽石は、化学的に安定で分解されずに海洋中を浮遊し続け、船舶の航行に影響する。今後類似の自然事象が発生した際の対応策検討に資するべく、海洋における軽石の挙動、特に海水取込口閉塞防止の観点から、任意海域への到達時刻、軽石の存在する水深、および航行中船舶船体周辺における挙動を短期間で予測する方法を提案した。このような物質に関しては、物理的な特性(体積および密度)が不明確であり、簡便且つ実用的に軽石の挙動を予測できるモデルが存在しないことが課題であり、本研究では具体的な詳細値ではなく巨視的な終端速度で表現し、海洋中における軽石の水平および鉛直方向の移動変位を評価できるようにした。図 1-2 に示すように、任意海域への到達時刻、漂着位置の観測値を概ね再現できた。
・図 1-2 の計算から得られる軽石の存在する水深情報を用いて、流体への追従性評価のための無次元数であるストークス数で整理することで、軽石が船体周りでどのように挙動するのかを評価できるようにした。軽石が船体周りの

流線に従うかどうかは、船速あるいは船体長により異なる。その結果は図 1-3 のようにまとめられ、航行中船舶の海水取込口が軽石で閉塞することを防止する観点で有用である。軽石の海洋中輸送の簡易なモデルおよび航行中船舶周りでの軽石の挙動に関して、従来詳細な重要な軽石の存在する水深を予測できるようにした。終端速度に着目した軽石の簡易モデル、および軽石の船体周りでの挙動に関して端的なダイアグラムとして提示したのは世界初といえる。

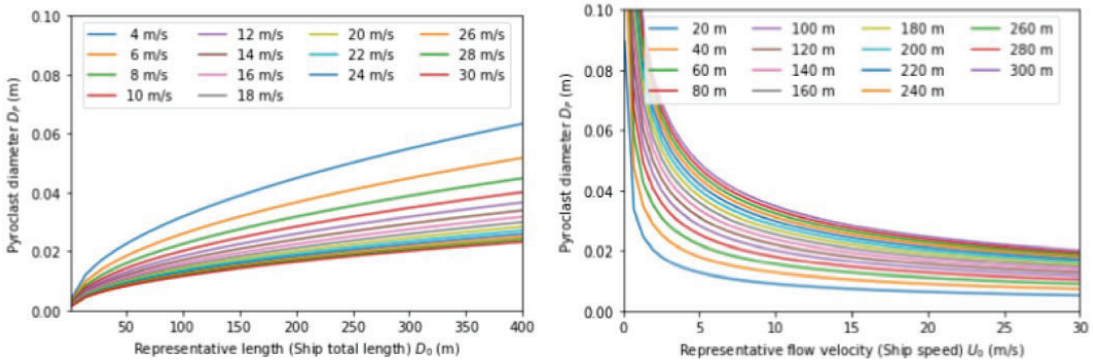


(a) 2021 年 11 月 22 日（三宅島に到達）　　(b) 2021 年 11 月 30 日(台湾南部に到達)

図 1-2 任意海域への到達時刻、漂着位置の観測値。(a) 海保第三管区による観測「11/22 三宅島/御蔵島の南西側広域に軽石が確認」の到達時刻および分布を概ね再現。(b) 台湾海洋委員会による報告「11/29-30 午後に屏東県と台東県にまたがる太平洋岸で軽石を観測」に到達時刻が合致。



(a) 小粒径の軽石が存在する予測水深(経度平均)



(b) ストークス数≈1 となる船体全長に対する軽石の直径　(c) ストークス数≈1 となる船速に対する軽石の直径

図 1-3 軽石の存在する予測水深(a)を用いて、軽石の流体への追従性をストークス数で整理した結果。ストークス数≈1 となる(b)船速、および(c)船体長に対応する軽石の直径。船体長が大きい場合、流線に従う軽石の直径は大きくなり、船速が大きい場合、流線に従う軽石の直径は小さくなることを示唆。

(3) 発信コンテンツの海技研 WEB 上への公表および情報発信の試験運用

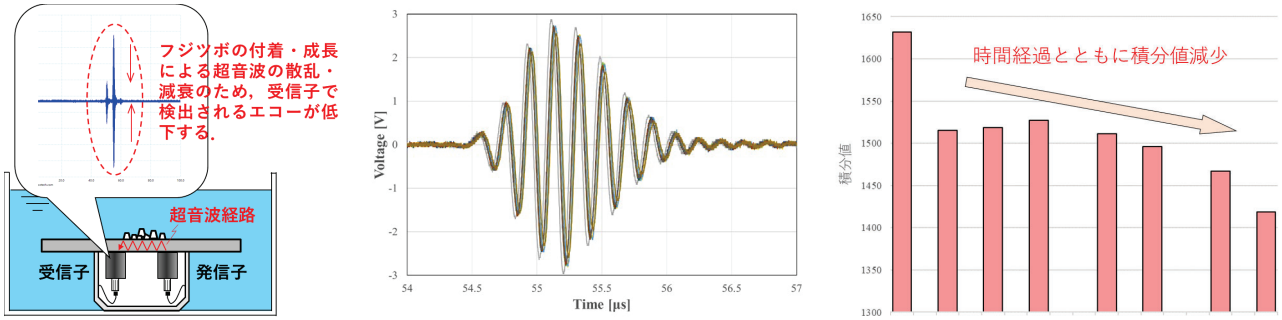
・本研究(1)に係る油運命モデルによる油流出シミュレーションに必要なデータ及び油を移動させる駆動力として整備すべき海流データをまとめ、海技研 WEB 上へ公表した。実際に動作させるための平易なマニュアルを整備した。

□小項目 5: 防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発

船体の生物汚損を介した越境移動が環境に与える影響が大きいとして、近年問題となっている。IMO においては、この問題について、船体付着生物管理に関するガイドラインを策定しガイドラインを審議中である。ガイドラインにおいては、船体の汚損度による水中洗浄のスキームを作成中であり、生物汚損の初期段階で除去することは重要である。そこで、船底防汚塗料を対象とする防汚システムにおいて、その管理最適化に必要な、生物汚損の早期検知を目的として、超音波二探法および色空間パラメータを用いた簡易検出技術に関する基盤的技術の開発に取り組んだ。また、これら管理手法の実船適用性については、船体外板の状況、船舶運航管理の把握、計測位置の検討等、さらなる検討が必要であることが分かった。さらに、超音波エコーおよび色空間パラメータの計測値を用いて、実船の塗膜厚や、付着した藻類の活性を推定できる手法を確立した。

(1) 音響計測技術を用いた防汚システム管理手法の実船適用性の検証

・船体外板は厚い鋼板に船底防汚塗料を含む防汚システムが導入されており、それらの塗膜層に対して主要な汚損生物であるフジツボの付着検知に、超音波を適用する技術を適用した(図 2-1(a))。本検討では、二本のプローブを用いて超音波を入射・反射される射角探傷法(二探法)を利用し、取得したエコー(図 2-1(b))の解析の結果、フジツボ幼生の付着・成長に伴うエコーの変化(積分値の減少)が検出できた(図 2-1(c))。また、超音波エコー位相の遅れを用いた塗膜厚計測の高精度な計測手法の構築についても検討を行い、塗膜厚みを 4 水準とする超音波エコーの計測を実施し、膜厚の変化によってエコー位相遅れが大きくなることが観測できた(図 2-2)。構築した本計測手法を用いて、塗膜厚とエコー位相遅れの相関関係を調査し、線形近似で表現することができた(図 2-2)。



(a) 実験の構成　(b) 超音波エコーの例　(c) 超音波エコーの解析結果

図 2-1 二探法によるフジツボ付着検出の検討

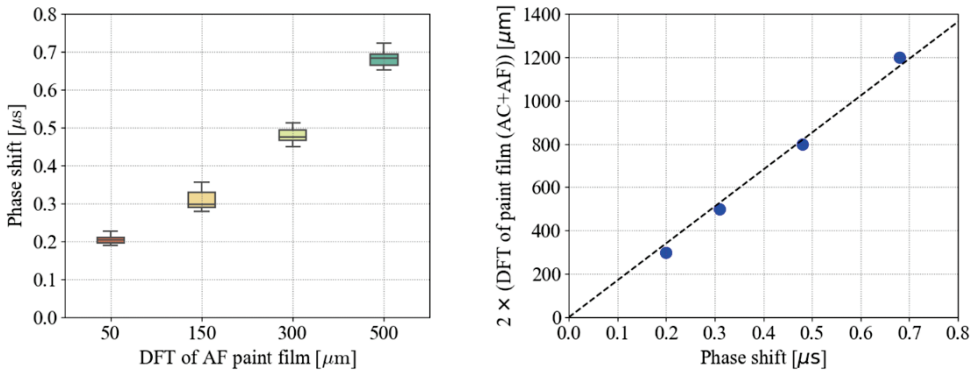


図 2-2 塗膜厚を変えた場合のエコー位相遅れの変化(左)、塗膜厚とエコー位相遅れとの相関関係(右)

(2) 分光計測技術を用いた防汚システム管理手法の実船適用性の検証

・船底防汚塗料の亜酸化銅含有量による褐藻(シオミドロ)への影響について、色空間パラメータ(白黒：L^*、a^*：緑赤、b^*：青黄、の色調変化を表現)を用いた簡易的評価手法、および褐藻を用いた生物試験の再現性を確認した。また、ラボ生物試験装置の最適化(図 2-3)、付着基盤に合わせた供試試験片の塗装法検討、試験水交換率、暴露期間等の試験条件、および藻類の供試条件(生物活性、図 2-4)についても検討し、$\Delta E^*>4$ となる条件を設定する等、生物試験法を完成させた。また、適切な細胞染色法を検討し、これを用いて、褐藻の色空間パラメータの有効性を確認するために、細胞生存率と亜酸化銅配合量との相関を調べ、パラメータを選択することで、線形近似による高い

相関を示すことがわかり、色空間パラメータの再現性および有効性を確認した(図 2-5)。この結果は、実際に船体外板に付着した藻類活性を、色空間パラメータ値より推測できる可能性を示した。これらの成果は、国際学会(WAS2022、シンガポール)および欧文誌 2 報(2 報とも J. Biofouling、現在査読中)にて発表された。

・さらに、これら研究成果を基に、ISO21716 シリーズの第 4 部(藻類を用いた船底防汚塗料性能評価試験法)として、草案を完成し、ISO/TC8/SC2 への追加提案に向けた審議の準備を行っている。また、当該試験法を審議する WG5 の付託事項(市販塗料を用いた褐藻の生物試験、および異なる藻類(緑藻)を用いた生物試験)についても検討し成果を纏めた。これらの結果は、2023 年 4 月中旬に開催される、WCC-AFCC にて発表(オンライン)する予定である。

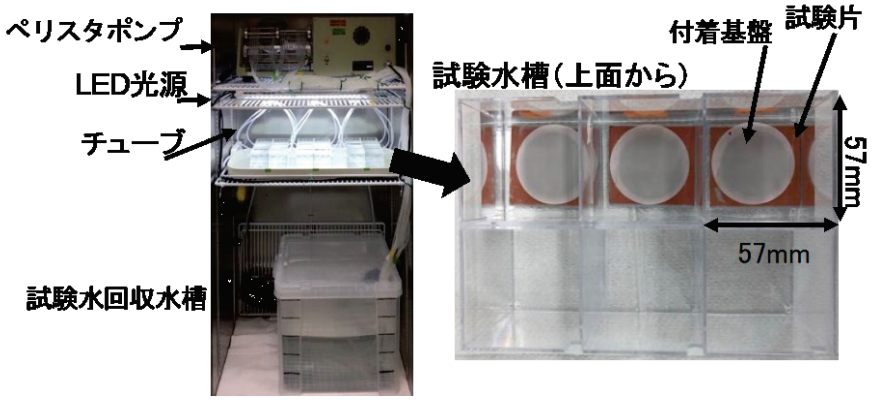


図 2-3 ラボ生物試験装置(左)及び試験水槽(右)の外観

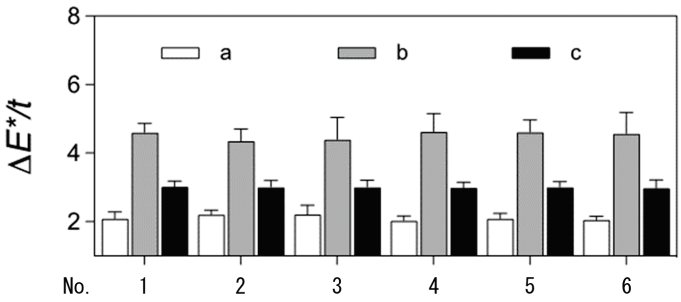


図 2-4 各供試試験片に用いる藻類の、固定基盤上での固定期間における ΔE*値(a:固定期間 0-3 日、b:固定期間 3-5 日、c:固定期間 0-5 日、における各 ΔE*値を示す。)

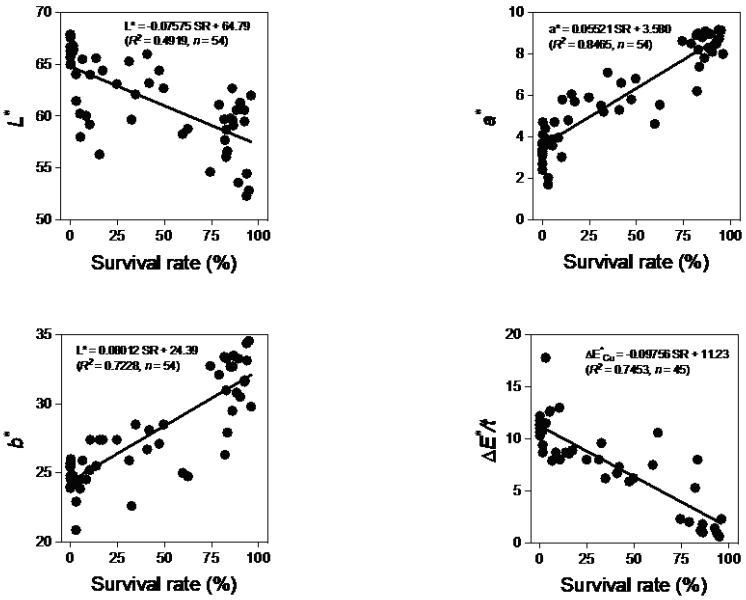


図 2-5 色空間パラメータおよび ΔE*値と褐藻細胞生存率との関係(図中には線形近似式及び相関係数を示す)

□小項目 6: 重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発

船舶の燃料として広く使用されている重質油は粘度が高いため、油回収作業を阻害する要因となる。他方で、特定の条件下で水と重質油が混合撹拌すると、粘性が低いエマルションが生成される。このエマルションを制御することで、迅速な油回収技術の実現に繋がる。本研究項目では、回収対象の重質油について①から③までの 3 項目に分けて、各項目について研究開発に取り組んだ(図 3-1)。

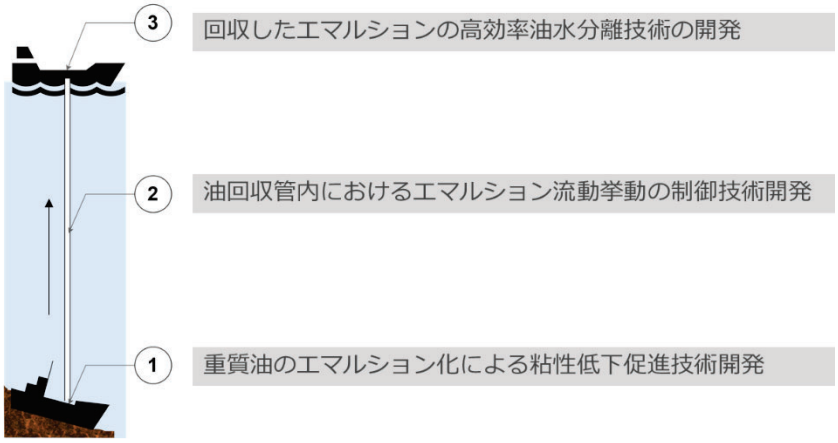


図 3-1 当該研究が対象とする油回収技術の概略図と研究項目

(1) 重質油のエマルション化による粘性低下促進技術開発

・粘性が高い重質油に高圧で水を噴射して、エマルションの生成過程についてその詳細を明らかにした。当該研究では、透明のシリコンオイルを用いることで、エマルション化過程の詳細な混合撹拌挙動を高速度カメラで撮影した。高圧で噴射する水は油と区別するために食紅で着色するとともに、界面活性剤を予め添加した(図 3-2;3-3)。さらにエマルション化後の挙動について観測し、オイル層および水層が形成されることを確認するとともに、エマルション層が長期にわたり存在することを確認した(図 3-4)。



図 3-2 噴射試験で使用した試料

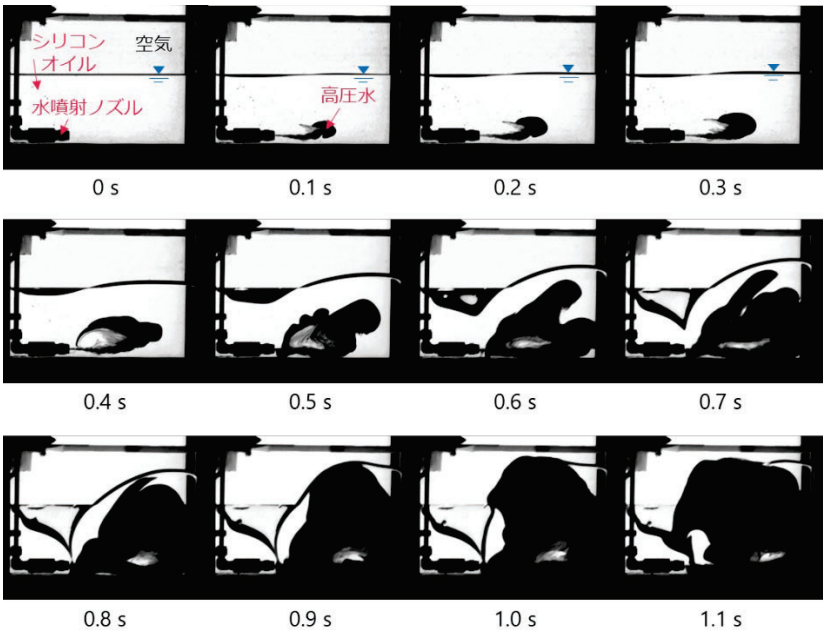
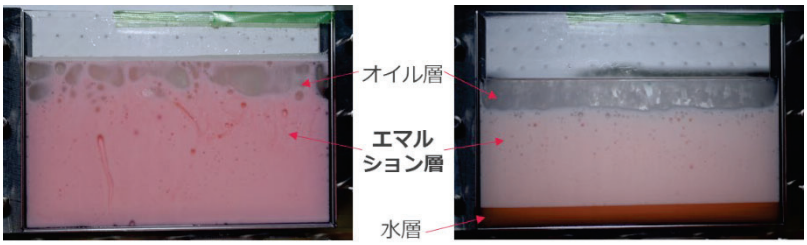


図 3-3 高圧水噴射によるエマルション化過程の詳細可視化画像



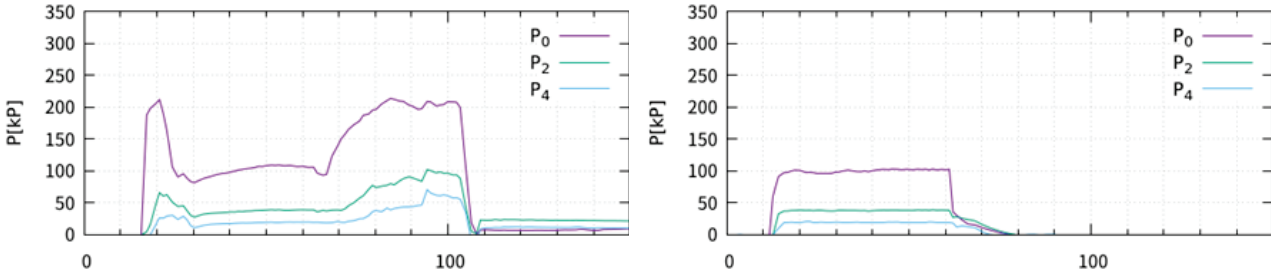
水噴射直後　　90 時間経過後

図 3-4 エマルション化後の経時変化

・R5 年度においても可視化計測を継続するとともに、生成したエマルションのレオロジー(せん断速度とせん断応力の関係)を計測することで、噴射圧と生成するエマルションの相関を取得する。

(2) 油回収管内におけるエマルション流動挙動の制御技術開発

・エジェクタによる重質油移送試験装置を構築し、重質油移送の検証を実施した。鉛直垂直方向約 4 m 規模の試験装置を構築し、実際の重質油を用いた。重質油回収に用いる駆動水には、通常の水道水と、界面活性剤を添加した水溶液を利用した。その結果、界面活性剤を添加しない水溶液では回収管内の圧力が大きく上昇するような、回収作業を阻害する挙動が見られた(図 3-5(a))。一方で界面活性剤を添加した水溶液を用いた条件においては、終始圧力の上昇が抑制され、安定した挙動を示した。これにより、界面活性剤の添加による有効性が確認できた(図 3-5(b))。



(a) 水＋重質油　　(b) 界面活性剤水溶液＋重質油時

図 3-5 回収管内圧力変化

(3) 回収したエマルションの高効率油水分離技術の開発

・重質油の粘性低下のため、重質油と同時に水(海水)が回収される。この回収される水をエマルションから分離できれば、(1)の駆動水として再利用できるため、重質油の回収効率向上に繋がる。既存研究でエマルション油水分離に対して有効性が示されている微細気泡を活用する手法を応用した。微細気泡を簡便に生成するために本研究で使用したベンチュリ管を活用することにより、微細気泡と液体を、従来手法に比べてより積極的に接触させられる。図 3-6 は、ベンチュリ管に水および空気を流した条件における可視化撮影画像および圧力分布の計測結果で、微細気泡の生成が確認された。油水分離の一例として、この装置に「水+空気+A 重油」の混合流体を通過させると、管出口で回収したエマルションの油水分離時間が異なる結果が得られた。

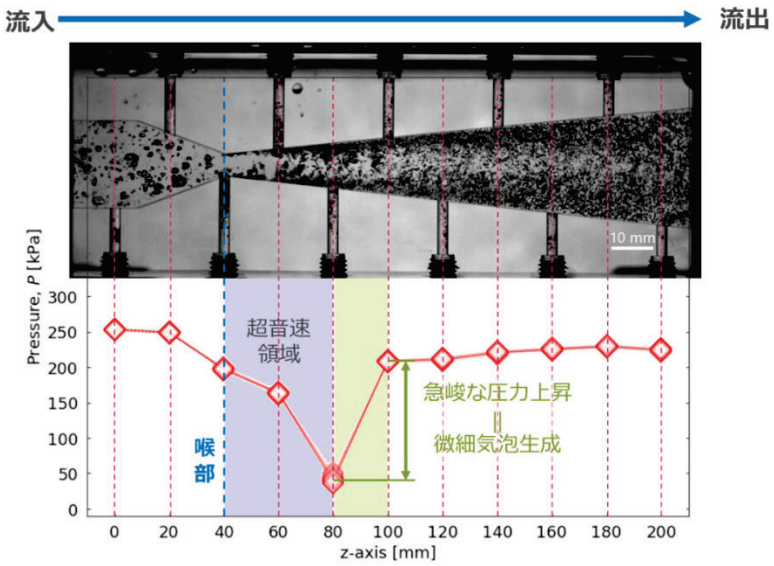


図 3-6 ベンチュリ管内圧力分布

R4 年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 7 件(投稿中: 4 件、採択済: 3 件、掲載済: 3 件)

- M. Asami et al.: Drift prediction of pyroclasts released through the volcanic activity of Fukutoku-Okanoba into the marine environment, Marine Pollution Bulletin, Volume 186, January 2023, 114402. (採択済)
- R.Kojima et al.: A LABORATORY BIOASSAY FOR EVALUATING THE EFFICACY OF ANTI-FOULING PAINTS ON Ectocarpus siliculosus USING ITS CIELAB COORDINATES, UNDER A FLOW-THROUGH CONDITION. World Aquaculture Singapore 2022 (WAS2022). (採択済)
- Ma et al.: Experimental Study on Pressure Drop Reduction in Pipe Line Flow of Heavy Fuel Oil by Adding Surfactant Aqueous Solution The Japanese Society for Multiphase Flow, Proceedings of 11th ICMF. (採択済)
- M. Asami et al.: Predictive simulation of oil distribution after an oil spill into the ocean of fuel oils with varying sulfur content, Oceanological and Hydrobiological Studies. (投稿中)
- R. Kojima et al.: A Method for Screening Antifouling Paints using the CIELAB coordinates of Ectocarpus siliculosus under a Flow-through Condition. Biofouling, The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research. (投稿中)
- R. Kojima et al.: Laboratory bioassay method for screening antifouling coatings using thallus fragments of brown macroalga Ectocarpus siliculosus: their formation, storage, affixation to substrates, evaluation of viability and quantity through their color, and preliminary screening test under flow-through conditions. Biofouling, The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research. (投稿中)
- 馬驍ら: 小型ジェット式スクラバ内液滴の直接可視化計測と解析モデル, 日本マリンエンジニアリング学会誌. (投稿中)

□その他発表論文: 7 件(投稿中: 0 件、掲載済: 7 件)

- 浅見光史ら: 海洋環境保全のための流出油漂流予測システムの高度化と今後の展望, 海上技術安全研究所研究発表会講演集. (掲載済)
- 小島隆志: 船底防汚塗料に関連する船体付着生物管理ガイドラインの概要, 日本水産学会シンポジウム.(掲載済)
- 馬驍ら: 小型舶用ジェット式スクラバの噴霧液滴可視化計測と解析モデル, 第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集. (掲載済)
- 小野正夫ら: 高粘度重質油配管移送時のエマルション化による流動性変化に関する検討, 第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集. (掲載済)
- 安達雅樹: 代替燃料船検討のための既存燃料船の簡易評価モデル, 第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集. (掲載済)
- 小島隆志: 水中洗浄等に関する ISO 規格開発の国内外の動向について, 第 16 回舶用標準化推進協議会/標準化セミナー. (掲載済)
- 馬驍ら: 流動性向上のための重質油ー水エマルションの粘性特性に関する実験と物理モデル, 海上技術安全研究所研究発表会講演集. (掲載済)

□特許申請: 0 件

-

□コアプログラム登録: 0 件

-

□国際貢献： 1 件

・R. Kojima: Ships and marine technology — Bioassay methods for screening anti-fouling paints —Part 4: Algae ISO (as NWIP of ISO 21716).

□受賞： 1 件

・馬驍: 日本マリンエンジニアリング学会学術講演会優秀講演賞「小型舶用ジェット式スクラバの噴霧液滴可視化計測と解析モデル」2022 年 10 月.

□公開実験： 0 件

・

主な評価軸に基づく自己分析

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

(小項目 4)

・化学的に安定で分解されずに海洋中を浮遊し続ける海底火山噴火由来の砕屑物は、船舶の安全な航行に影響するため、海洋での挙動、任意海域への到達時刻、軽石の存在する水深を短期間で予測できるモデルを開発するとともに、特に船舶の海水取込口閉塞防止の観点から、船体の流線に追従して軽石が移動するか否か評価する方法を提案しており、今後類似の自然事象が発生した際の対応策検討に資するものであることを確信する。

・一般ユーザや関連業界からの社会ニーズに応じるよう、油流出シミュレーションの実施に有用なデータ（高精度メッシュの海流データなど）等のコンテンツを、情報発信プラットフォームから提供した。

(小項目 5)

・船体付着生物の問題に関する研究は、我が国が IMO 等国際の場において、科学的合理性と実行性の両面から妥当な防汚塗料性能評価試験法を提案することを目的に、国と連携して検討を進めているものであり、国の方針に適合している。

・IMO における船体付着生物管理ガイドラインの見直しについては、昨年度から日本船舶技術研究協会船体付着生物管理ガイドライン対応 WG が新規に設立され、本研究担当者が WG 主査として我が国としての対応に関する検討を進めている。

(小項目 6)

・迅速な油回収実現を最終目的に掲げる当該研究は、近年でも発生する油回収を要する船舶事故による海洋環境負荷を低減に直結するものであり、国の方針に適合し、社会的価値の創出に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

(小項目 4)

・流出油漂流予測システムについて、硫黄分の異なる燃料油の海洋環境への流出事故を想定した油分布予測シミュレーションを実施し、その流動性の違いにより移動および漂着位置が変化することを評価した事例はなく、学術的価値がある。

・海底火山噴火由来の軽石のモデルは、化学的に安定で性質が大きく変化しない物質で詳細データが確保できない場合の仮定に有益であるとともに、従来適用事例はない。のみならず、軽石が航行中船舶の船体における流線に追従するか否かを、軽石の直径と船速、あるいは船体長で整理した結果は、エンジン冷却用海水取込口閉塞による航行不能を未然に防止することにおける評価による砕屑物漂流予測計算では、簡易な入力条件で短い計算時間で定性的な空間分布が予測できる手法を用いており、他に類例がないものである。

(小項目 5)

・昨年度から取り組んだ、①色空間パラメータを利用した藻類汚損の簡易評価手法、②二探法（超音波）を利用したフジツボ汚損の簡易評価手法の開発、③超音波を利用した防汚塗膜厚さの簡易評価手法、の 3 課題の開発は、いずれも基礎技術(分光計測技術/音響計測技術)を新規分野に適用して実用化を目指す応用研究であり、従来方式と比べて現場の計測員が簡易に扱うことができる手法という意味で、新規性等の科学的意義が大きいと考えられる。

・上記①の成果より、ISO-21716 の第 4 部として完成した草案は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法としては世界初の国際規格であり、現在 IMO で審議中の船体付着生物管理ガイドラインにおける防汚システムにおいて、適切な管理方法として参照される可能性が高いと考えられる。

(小項目 6)

・エマルションはせん断速度によって粘性が変化する擬塑性流体に分類され、その特性を制御して活用する油回収

技術は学術的新規性を有するだけでなく、それを用いて迅速な油回収を実現しようとする当該研究は、環境保護・環境負荷低減など SDGs 観点からもその意義は十分大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか

（小項目 4）

・軽石のモデルシミュレーションは、海底火山から軽石が放出された後、比較的早い段階でモデル構築および計算を開始できている。また、軽石の放出源である海底火山噴火の機構に関する仮説がある程度明確になった段階で論文投稿を完了できている。

（小項目 5）

・2020 年 11 月に発行された ISO-21716-1～3(2020)（防汚塗料をスクリーニングするためのバイオアッセイ法)に追加提案するため、「色空間パラメータを利用した藻類汚損の簡易評価法」を用いた生物試験法を開発し、第 4 部として草案を完成した。これら ISO 規格は、現在 IMO で審議中の船体付着生物管理ガイドラインの見直しにおいて、適切な船体付着生物管理方法として参照される可能性が高く、期待された時期に成果が創出されていると考える。また、この草案の基になった結果については、国際学会、論文にて成果を発表した。

・超音波探傷法については、フジツボ付着検出技術、および塗膜厚計測の基礎となる知見を獲得した。特に後者については、停泊時におけるその場観察(In-situ)ができることから、今後水中洗浄による塗膜影響を直接評価できる手法として期待される。

（小項目 6）

・本年度から始動した本研究課題において、期間内に試験装置の設計・製作・試験計測を行い、各項目のそれぞれにおいて計測データ、可視化画像からエマルションに関する基礎的な特性が得られている。

□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

（小項目 4）

・海底火山噴火由来の軽石のモデルおよび船体周りの流線追従の評価図は、査読付論文として採択済であることから、国際的な水準であることが示唆される。

（小項目 5）

・ISO-21716 の第 4 部として完成した草案は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法としては世界初の国際規格であり、現在 IMO で審議中の船体付着生物管理ガイドラインにおける防汚システムにおいて、適切な管理方法として参照される可能性が高いと考えられる。この規格により、上市されている船底防汚塗料の中から、防汚性能の明確な区別、および適切な製品の選択が、誰でもできるようになるために、我が国の塗料メーカーの技術的優位性が高まるものと考えられる。

・超音波探傷法については、これまでに類似の研究発表(超音波による船体への生物付着検出)などはなされておらず、超音波による船体付着生物検出技術が確立できれば先進的な船体外板メンテナンス法の基礎となり国際競争力の向上につながると考えられる。

（小項目 6）

・エマルションを伴う管内流挙動について、国際会議の査読付きプロシーディングスに採択済であることから、国際的な水準であることが示唆される。

□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

（小項目 4）

・軽石の放出源である海底火山噴火の機構に関する仮説が十分に定まらない段階において、放出源をパラメータとして仮定し、計算結果を蓄積することで、モデルの妥当性を評価するように先見性をもって対応してきた。実際に仮説が明確になった段階において、それが予測していたものとほぼ同一であることを確認できている。

（小項目 5）

・現在 IMO で審議中の船体付着生物管理ガイドライン見直しの議論では、代表的な付着生物である藻類やフジツボ等による汚損度や、防汚塗膜厚さを実際に現場で判断・評価するための手法が十分に整備されておらず、ガイドラインの実行可能性が疑問視されている。こうした状況を踏まえ、本研究では、①色空間パラメータを利用した藻類汚損の簡易評価手法、②二探法（超音波）を利用したフジツボ汚損の簡易評価手法、③超音波を利用した防汚塗膜

厚さの簡易評価手法、の 3 課題を開発し、これらの手法の有効性および再現性を確認した。特に①については、得られた研究成果を基に、ISO-21716 の第 4 部として、試験法草案を完成し、国際規格発行に向けた準備を進めている。

（小項目 6）
・これまでに培ったエマルションの特性に関する知見に基づいて、本研究で新たな効率的油回収システムを提案した。試験装置構築から試験計測に至るまで、先見性を持って対応することで、価値あるデータの取得を行ってきた。さらに海技研-港空研が連携して取り組んでいる課題であり、機動性を持って対応していると言える。

研究主任者による自己評価	
年度評価(R4 年度)	A
終了評価(H28 年度～R4年度)	A

【年度評価に関するコメント】
（小項目 4）
・油運命モデルの改良を進めていたところ、偶発した事故事象あるいは自然災害に基づき、当該モデルおよび新たに構築した簡易モデルの予測性能を評価することでその有用性を評価できた。のみならず、このモデルを用いて、硫黄分含有量の違いによる油拡散の変化、あるいは海底火山からの軽石が海水取込口閉塞することを防止する観点から、その船体周りでの挙動に関して端的なダイアグラムとして提示した点は、安全政策に資すると思料される。

（小項目 5）
・ISO-21716 の第 4 部として完成した草案は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法としては世界初の国際規格であり、現在 IMO で審議中の船体付着生物管理ガイドラインにおける防汚システムにおいて、適切な管理方法として参照される可能性が高いと考えられる。この規格により、上市されている船底防汚塗料の中から、防汚性能の明確な区別、および適切な製品の選択が、誰でもできるようになるために、我が国の塗料メーカーの技術的優位性が高まるものと考えられる。

（小項目 6）
・今年度より開始した【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】においては、港空研との分野横断的研究課題に位置付けられ、研究計画は港空研の実験施設を用いた実証、および数値解析による油の流動促進の機構究明からなる。初年度ではあるが、本資料にあるように、早くも具体的な有意な成果が得られている。

以上の理由から、本研究の自己評価として【「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。】と判断し、(A)とする。

【終了評価に関するコメント】
【海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発】
・東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により海洋放出された放射性核種の、海洋環境における中長期的な濃度分布の変化について、数値モデルシミュレーションによる予測、および曳航式放射線検出器を用いた実海域における海底堆積物中の放射性物質濃度計測によるモニタリングの両面から取り組んできた。前者においては、海水中における放射性核種が短期間に移流拡散され希釈するのに対して、堆積物に吸着したものは長期に残存することを早期段階で予測しており、その後の堆積物あるいは水産物のモニタリングの方針に貢献してきた。また、後者においては、従来の堆積物の定点採取による分析調査法では、断片的な情報を与えるのみであったところ、海底の連続面的な分布を確保することができ、全体として放射性核種がどのように動態しているかを評価することで詳細な経時変化が得られ、長期的な放射性核種のモニタリング計画において注視すべき空間的評価位置を具体的に示すことができた。これらをまとめ、国の放射線モニタリング計画へ提言することができた。
【海洋環境影響評価システムの対象物質拡張および高度化】
・【大気汚染物質の排出量推定】から派生される EGCS スクラバ排水による長期水質環境影響評価を実施し、国による EGCS 環境影響評価ガイドライン案の策定に係る具体的なサポートデータを提供することで貢献できた。
・【油運命予測モデル】に関しては、油運命予測モデルを新しい知見に基づき改良し、偶発した貨物船座礁に伴う海洋環境への燃料油流出事象に基づき、流出油の環境影響として重要な油の漂流位置を予測できることを示した。のみならず、燃料油の硫黄分規制に関連して、漂流状況と硫黄分の関連について評価することができた。
・【簡易モデルを用いた軽石の分布予測および航行中船舶周辺における挙動評価】に関しては、終端速度に着目した

軽石のモデル、および軽石の船体周りでの挙動に関して端的なダイアグラムとして提示でき、学術および安全政策の両面で貢献できた。

【船体付着生物の問題に関する研究】
・藻類に係る防汚塗料性能評価試験法の構築から始まり、その有効性の実証、実環境に適合させるための簡易評価試験法の開発とその実証を行い、その有効性を示してきた。成果・取組が国の方針および社会ニーズに照会して適合しているとともに、海事産業の競争力強化創出に貢献するものであるとともに、成果の科学的意義は大きく、国際的な水準に照会して大きな意義のあるものである。

【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】
・港空研との分野横断的研究課題に位置付けられ、回収技術を最終目的としており環境政策に資する研究であるとともに、港空研の実験施設を用いた実証、および数値解析による油の流動促進の機構から計画されており、政策のみならず学術的にも有意な構成となっている。初年度ではあるが、本資料にあるように、早くも具体的な成果がみられる。

以上の理由から、本研究の自己評価として【「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。】と判断し、(A)とする。

研究計画委員会による評価	
年度評価(R4 年度)	A
終了評価(H28 年度～R4 年度)	A

研究開発課題	(6)海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 (7)海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

研究テーマ	重点☆9　海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4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育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する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育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究	海洋可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 －安全性及び経済性を両立させた海洋再生可能エネルギー発電デバイス（新浮体形式・制御法及び製造法等を提案）の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、合成繊維索を使用したウィンドファームに適した係留系を簡易的に設計・評価可能なツールの開発、風車設置船（SEP）の位置保持性能評価プログラムの開発、及び作業員輸送船（CTV）と風車タワーの接舷状態における波浪中動揺評価プログラムの検証を行う。 等 ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 －鉱物資源開発のための全体システムの稼働性評価プログラムと計画支援プログラムを統合した開発支援プログラムの構築、及び管内流のアスファルテン付着とガスハイドレート生成・分解モデルを構築するとともに、フローアシュアランス解析プログラムの開発を行う。 等

研究の背景

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、海洋産業育成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を行う。

具体的には、以下があげられる。
・海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究
・海洋エネルギー・鉱物資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究
・浮体式風力発電におけるデジタルツイン技術の構築及び保守点検技術の高度化

期間全体の研究目標
・安全性及び経済性を両立させた海洋再生可能エネルギー発電デバイス（新浮体形式・制御法及び製造法等を提案）を開発する。また、安全ガイドラインを整備・改訂するとともに、必要となる実験技術を確立する。さらに要素技術として、設置・保守オペレーションで使用される作業船に対する安全性・稼働性評価技術を確立する。
・商業化を目指した海底熱水鉱床開発用全体システムに関する安全性・稼働性評価手法を構築するとともに、厳環境下におけるサブシー機器を含めた海洋資源開発システムの設計手法及び安全性評価手法を構築する。
・従来の浮体ー風車連成解析機能に強度評価機能を追加し、浮体のデジタルツインを実現するとともにそれを活用し保守管理技術の高度化に資する疲労被害度算出機能を開発する。

上記成果は、以下があげられる。
・ガイドライン化及び開発したコスト低減技術、設置・保守関連技術の民間企業による採用により、我が国の海洋再生エネルギー産業の競争力が強化され、海洋における再生可能エネルギーの開発が促進され、大気中への二酸化炭素排出削減、ひいては地球の温暖化防止に資する。
・商業化を目指した海底熱水鉱床開発用海中システムや全体システムの計画支援を行うことにより、技術的・経済的にフィージブルなシステム開発を可能とし、世界初となる海底熱水鉱床開発事業の実現につながる。さらには、研究成果を他の海底鉱物資源開発事業に展開する。また、我が国民間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確保だけでなく環境保全にも貢献することができる。
・保守点検の効率化・低コスト化に資することで浮体式洋上風力発電の普及を促進し、ゼロカーボン目標の達成、ひいては地球の温暖化防止に資する。

R4年度研究目標
□小項目 1
・浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術（改善）
・係留合成繊維索の生物付着に関する評価法（改良）
・計測・収録・配信システムの構築
・風車設置船の位置保持性能評価プログラム
・浮体式波力発電実時間制御・発電電力評価技術を用いた発電量評価及び制御法（改善）

□小項目 2
・稼働性・経済性評価プログラム
・アスファルテン付着モデル
・ハイドレート生成・分解モデル
・フローアシュアランス解析プログラム（β版）

□小項目 4
・強度評価連成解析機能

R4年度研究内容
□小項目 1
・浮体式風力発電に関する研究
・風車設置作業等における位置保持評価に関する研究
・浮体式波力発電に関する研究

□小項目 2
・開発技術の採鉱・揚鉱総合実証システム設計への適用
・開発支援プログラムの開発
・アスファルテン付着モデルに関する検討
・ハイドレート分解・生成モデルに関する研究

□小項目 4
・デジタルツイン技術に関する研究

R4年度研究成果

口小項目 1

・浮体式風力発電における風車のブレードピッチ制御と浮体の波浪中応答特性や疲労の関係を整理した。ブレードピッチ制御には従来よりも浮体式風力発電への適用が進んだ制御アルゴリズム（ROSCO）を用い、セミサブ型浮体の寸法を変化させた際の浮体応答、タワー基部荷重、材料重量当たりの単価を仮定した建造コストを対象に感度解析を実施した（図 1）。

・浮体式風力発電の検査及びモニタリングについて検討を実施し、AUV/ROV を用いた画像による検査、防食に関する検査についてガイドライン案を作成した。ウィンドファームの検査合理化に向け、ファーム内の浮体の遭遇海象の差が係留張力に与える影響について、定量的な評価を実施した（図 2）。

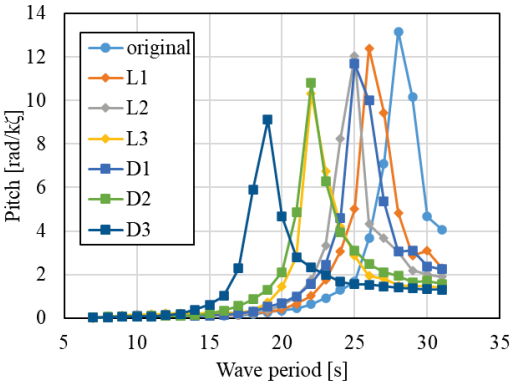


図 1　セミサブ型浮体のパラメータを変更した際の波浪中応答特性（L：ロワーハル長さの変更、D：コラム径の変更）

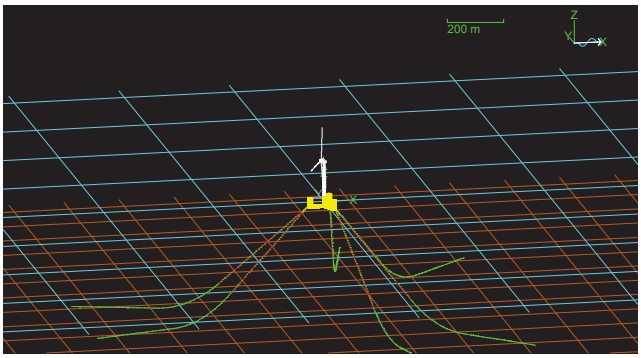


図 2　ウィンドファームの検査合理化検討のための計算モデル

さらに、

・IEC において、浮体式風力発電の損傷時復原性規定に関する当研究所の提案が IEC61400-3-2 Annex S として承認された。承認に際しては、IEC TC88（R4 年度は 9 回開催）での提案文書に関する討論、参加国からのコメントに対応する修正作業、討論、読み合わせを実施した。

・浮体式風力発電において合成繊維索を用いた係留系について、セミサブ型浮体とセミトート係留を対象に制約条件を満たす係留仕様を準静的な手法に基づき簡易的に算出するプログラムを作成した（図 3）。

・合成繊維索に対する生物付着量の調査を実施し、実海域観測試験の結果に基づき変化量をまとめた（図 4）。

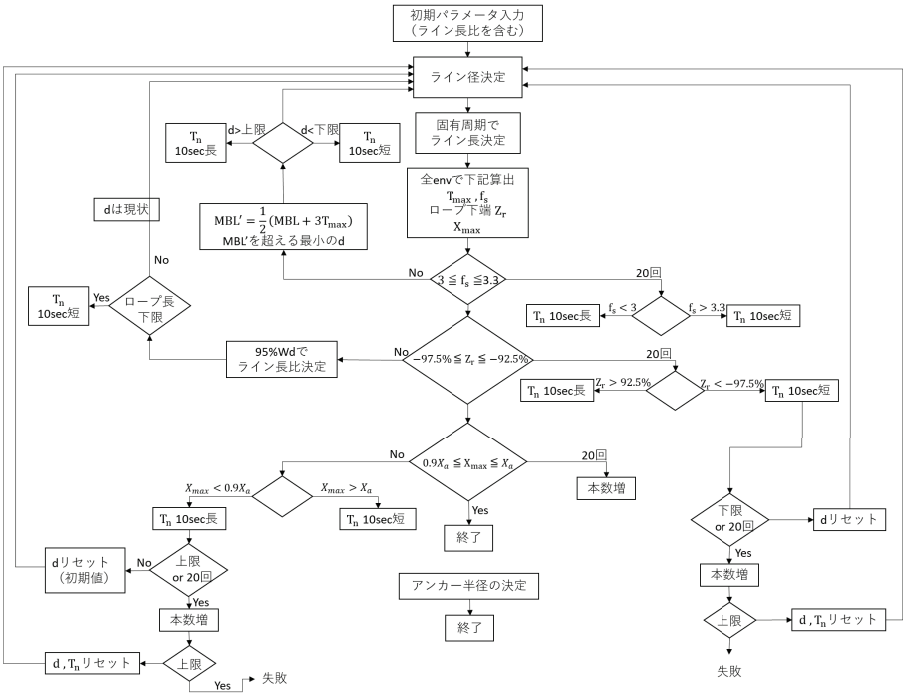


図 3　係留仕様算出プログラムのフロー図

・バージ船と多目的作業船の2浮体によるマルチリフトオペレーションの波浪中運動試験を実施し、クレーン作業中

の吊荷の質量や船間距離が多目的作業船の DP 性能に及ぼす影響について明らかにし、それを基にして最適な DP 設計法を検討した。

・CTV（Crew Transfer Vessel）が風車タワーに接舷した状態における波浪中動揺試験を実施し（図 5）、船首部押し付けによって生じる摩擦力が船体運動へ与える影響について評価するとともに、数値計算プログラムを検証した。当該プログラムを使うことによって、船首部の固着・スリップ状態を定量的に評価できることを確認した（図 6）

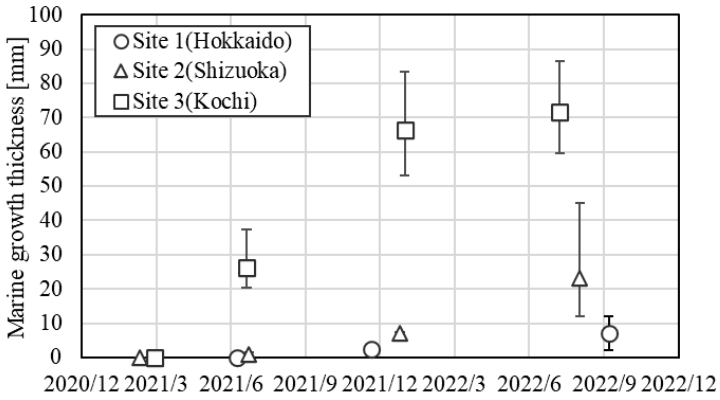


図 4　合成繊維索試験体の実海域浸漬試験結果

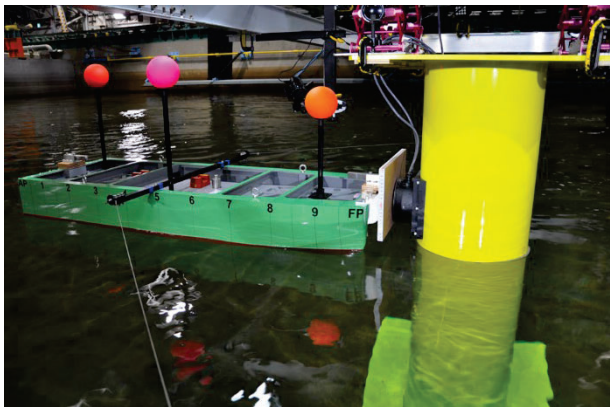


図 5　船首接舷した CTV 波浪中動揺試験

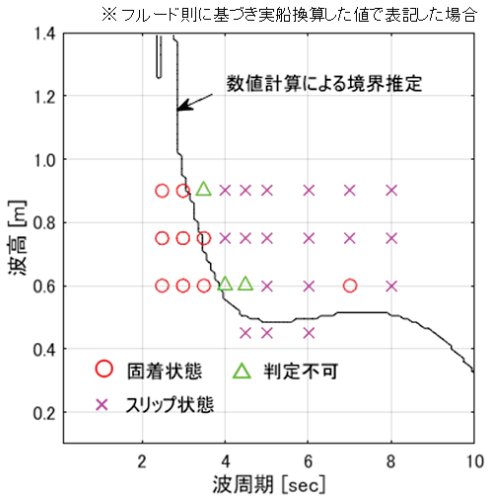


図 6　CTV 船首部の固着/スリップ境界

・SEP 船模型を用いた風洞試験を実施して SEP 船の各脚部に作用する荷重を個別に計測し、脚部に作用する風荷重がSEP船全体に作用する風荷重の半分程度となる状況が発生し得ることを明らかにした（図 7）。さらに流場計測を実施して、PIV 解析により SEP 船の脚部の影響を受けた流場の変化データを取得した（図 8）。この結果と荷重計測結果を相互に参照し、SEP 船の脚部間の流場干渉が作用荷重へ与える影響を考察した。

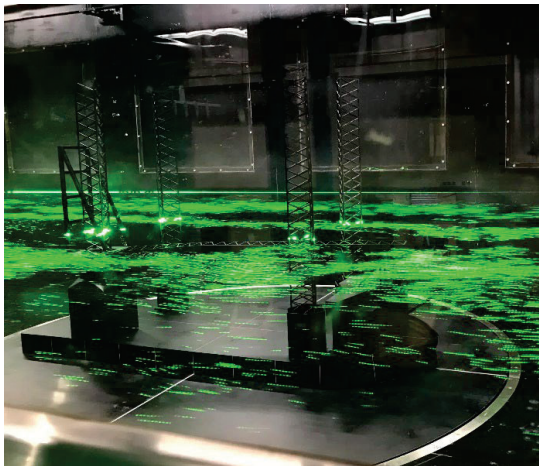


図 7　SEP 船の風洞試験の様子

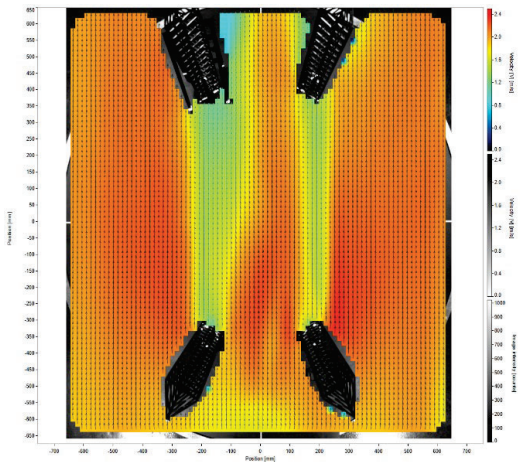
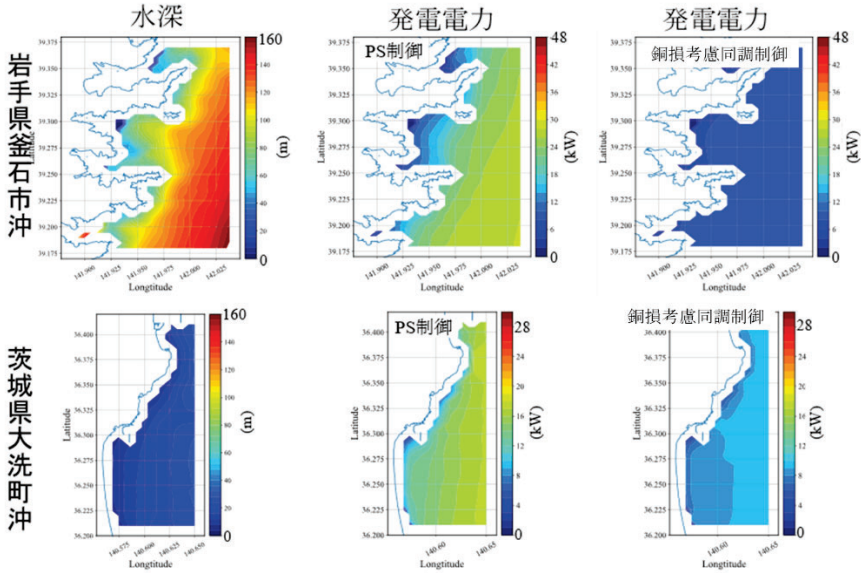


図 8　SEP 船周りの風場（PIV）

・1 自由度並進動揺型波力発電装置を対象とした上下揺れのパワースペクトル密度を用いて変位の制約条件も考慮しながら発電電力を最大化する制御法（以下、PS 制御：R3 年度開発）の有用性を確認するため、岩手県釜石市沖及び茨城県大洗町沖の 2 海域を対象に発電電力評価を行った。ここでは、海域の水深を考慮した波スペクトルを用いることでより現実に即した評価とした。PS 制御を用いることで、変位の制約条件を考慮できない従来の制御法（銅損を考慮した同調制御）よりも発電性能が約 50%向上していることを確認した（図 9）。



【PS 制御】
- 船体応答の短期予測の考え方を援用し、変位の制約条件を満たした最適制御ゲインを決定
- 周波数領域の計算のため計算時間が短く、波力発電装置の試設計時に有用

図 9　釜石市沖、大洗町沖での波力発電電力評価結果

□小項目 2

・海底鉱物資源開発のスラリー移送に係る評価モデルの構築において、揚鉱・移送時に想定される揚鉱管・移送管の傾斜に伴う影響を考慮した脈動固液二相流の圧力損失推定モデルを構築し、スラリー移送試験（図 10）結果との比較により、モデルの妥当性を検証した（図 11）。さらに、ガスリフトによる資源揚収に係る評価モデルの構築に向けて、鉛直管内における固気液三相流の摩擦損失推定手法を新たに構築した。

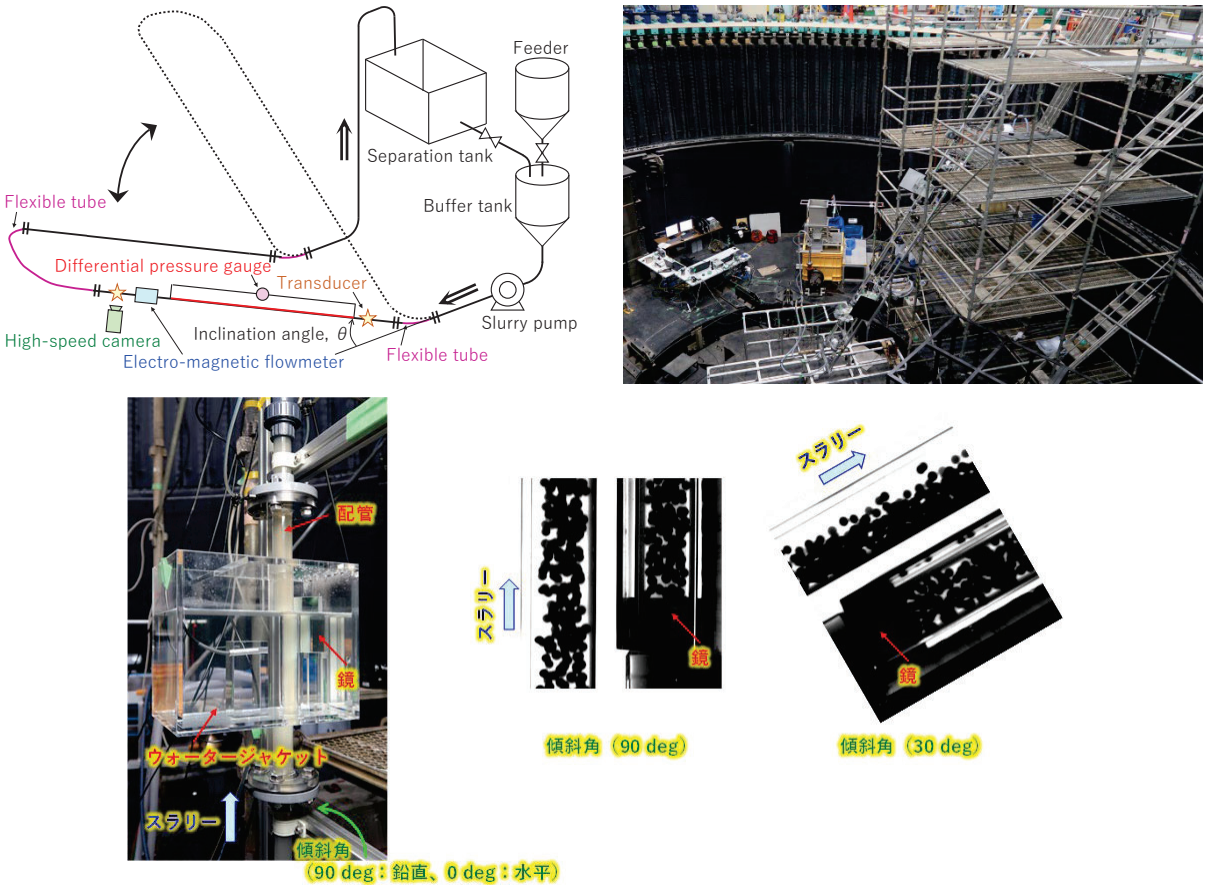
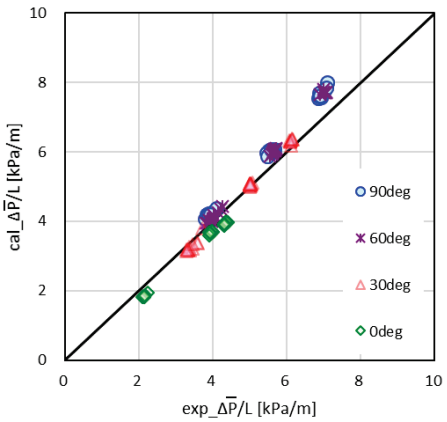
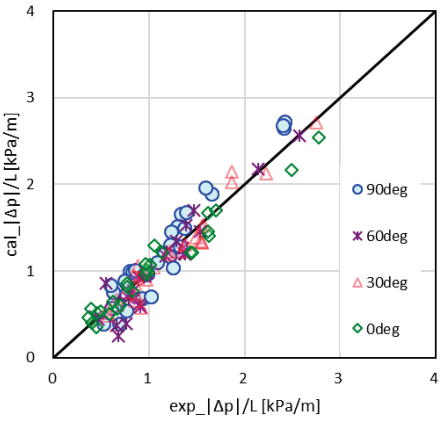


図 10　スラリー移送試験（上図：試験設備概要、下図：流動状況）



(a) 時間平均成分



(b) 変動成分

図 11 傾斜管内脈動固液二相流における圧力損失の計算結果と計測結果の比較

・採鉱機のようなクローラを有する移動体の縮尺模型を用いた水槽試験において、高速あるいは低速で航行する移動体に作用する操縦流体力を取得し、操縦微係数で構成した流体力の推定式を構築した。また、風洞試験において移動体に作用する風荷重を取得するとともに、旋回運動時の姿勢変化に伴う移動体周りの風場の変化を可視化試験により把握した。さらに、水際近くの入射波と反射波が共存する領域を航行する場合に作用する波浪荷重を計測した。砕波中での計測も行い、移動体に作用する波浪荷重に及ぼす砕波の影響についても考察した。取得した操縦流体力や風荷重、波浪荷重は他機関が開発中の大型シミュレータで活用するためにデータベースの形で整理し、操縦流体力の推定式とともに実装された。また、操縦運動中の移動体に作用する流体力の推定可能性を検証するために、海技研で開発した CFD コード NAGISA にて同移動体周りの流場と移動体に作用する操縦流体力を推定した。後者は操縦微係数の形で水槽試験の結果と比較し、良好な一致が得られた。

・異なる言語で開発された経済性の検討が可能な計画支援プログラムと稼働性評価プログラムを簡易的に統合した開発支援プログラムを作成した。本統合により、共通の設定条件(開発地点、荷役地点、輸送距離、シャトル船の隻数など)を共有し総合的な解析が可能となった(図 12)。なお、各プログラムの単独使用も可能である(図 13)。併せて、運用面の向上を図るため、単独使用、統合使用に係わらず評価結果と設定条件をレポート出力する機能も追加した(図 14)。稼働性評価プログラムでは、操業期間だけでなく、採掘、揚鉱、荷役などの各作業に要する占有時間(図 14-1(b))を得ることができ、システム変更をした場合の稼働率の比較やボトルネックとなる作業項目の抽出が可能である。

さらに、
・計画支援プログラム及び稼働性評価プログラムの計算結果は、海底資源開発の国家プロジェクトや初期検討を行っている機関に活用された。

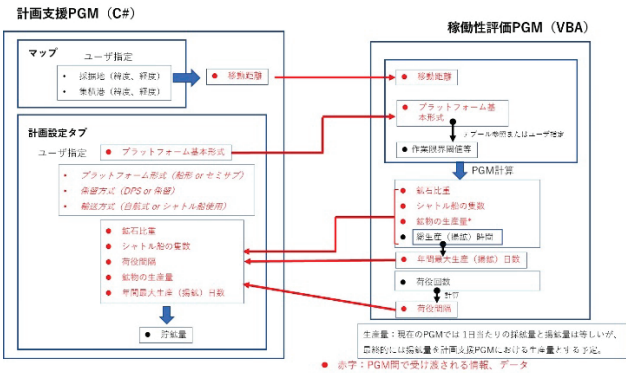
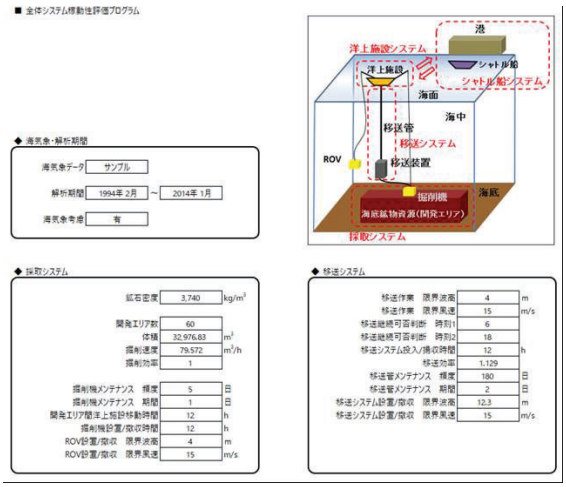
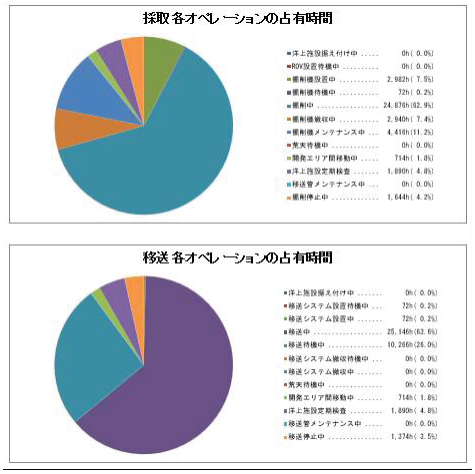


図 12 統合時におけるプログラム間のデータ共有フロー



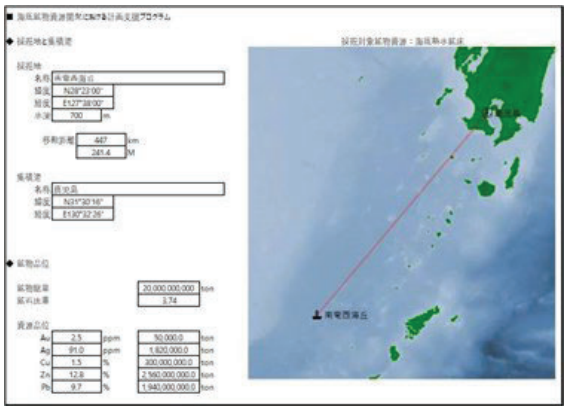
図 13 開発支援プログラムのトップメニュー

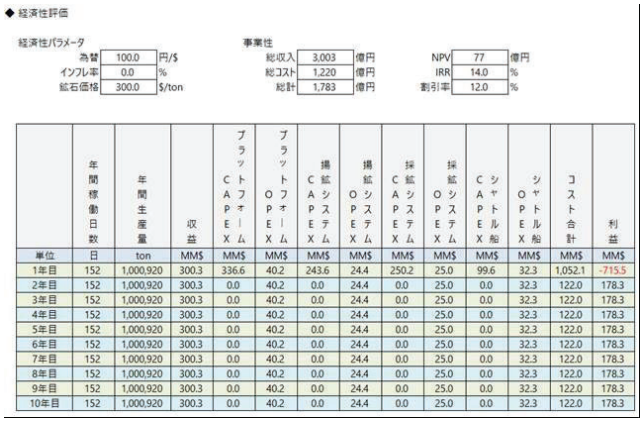




（a）稼働性評価入力条件　　（b）稼働性評価結果事例

図 14-1　レポート表示事例





	年間稼働日数	年間生産量	収益	プラットフォームCAPEX	プラットフォームOPEX	揚鉱システムCAPEX	揚鉱システムOPEX	採鉱システムCAPEX	採鉱システムOPEX	シャトル船CAPEX	シャトル船OPEX	コスト合計	利益
単位	日	ton	MM$	MM$	MM$	MM$	MM$	MM$	MM$	MM$	MM$	MM$	MM$
1年目	152	1,000,920	300.3	336.6	40.2	243.6	24.4	250.2	25.0	99.6	32.3	1,052.1	-715.5
2年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3
3年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3
4年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3
5年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3
6年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3
7年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3
8年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3
9年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3
10年目	152	1,000,920	300.3	0.0	40.2	0.0	24.4	0.0	25.0	0.0	32.3	122.0	178.3

（c）経済性評価入力条件　　（d）経済性評価結果事例

図 14-2　レポート表示事例（つづき）

・アスファルテンの付着量評価のための SARA 解析（Saturate, Aromatic, Resin and Asphaltene Analysis）及び壁面付着に対しての流れの影響を解明するための回流試験を実施した（図 15 及び図 16）。SARA 解析の結果、高温高圧条件において試験用金属管に付着した重質油の組成についてのデータが得られた。さらに、処理時間を変えた付着試験での SARA 解析結果を比較し、処理時間による付着物組成の変化について、示唆的なデータを得た。



図 15　アスファルテン付着量評価のための SARA 解析

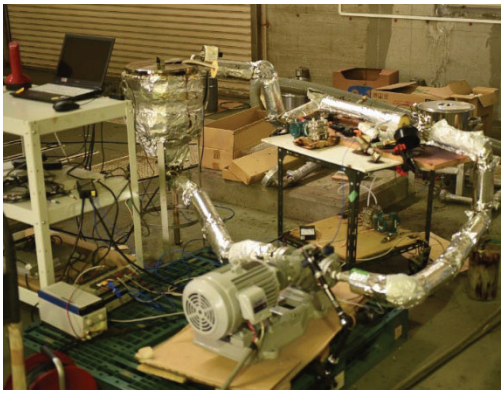


図 16　アスファルテン壁面付着評価のための回流試験

・小型の圧力容器を用いてガスと水からのガスハイドレートを生成し、プローブ式マイクロスコープカメラを用いた画像観察と、温度・圧力データの測定から、ガスハイドレート生成・分解過程についての検討を実施した。ガスハイドレート生成過程においては、過飽和等の非平衡状態を経由してバルク状のガスハイドレートが生成する様子が観察された（図 17）。また分解過程においては、ベントによる小規模な減圧を繰り返した場合は、おおむね相平衡曲

線に沿って分解が進むことが確認された（図 18）。過年度に実施した、フローループ型試験装置を用いた管内流動試験の知見と合わせて、流動のある条件におけるガスハイドレート生成・分解モデルの構築に関する知見を取りまとめた。

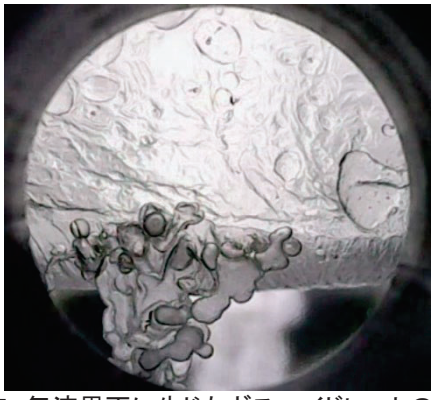


図 17　気液界面に生じたガスハイドレートの様子

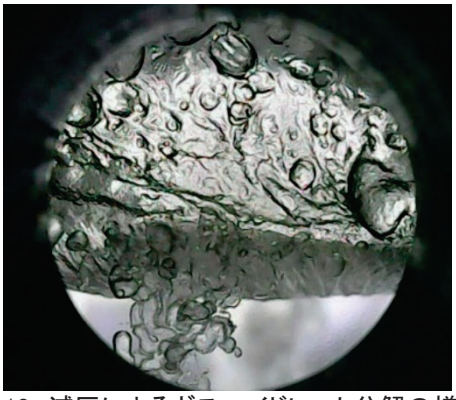


図 18　減圧によるガスハイドレート分解の様子

さらに、

・本研究成果を活用して、液体 CO_2 輸送船と洋上圧入設備間を結ぶ移送管ホースにおける管内流とホース挙動について数値計算を用いた調査を実施し、洋上での CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）オペレーションの安全性・稼働性評価において今後取り組むべき技術課題等について明らかにした。

□小項目 4

・浮体変位から遭遇海象を推定する手法を検討して推定精度を確認するとともに、水槽試験のための縮尺模型の製作及び浮体内の応力推定のための有限要素モデルの作成を実施した（図 19）。

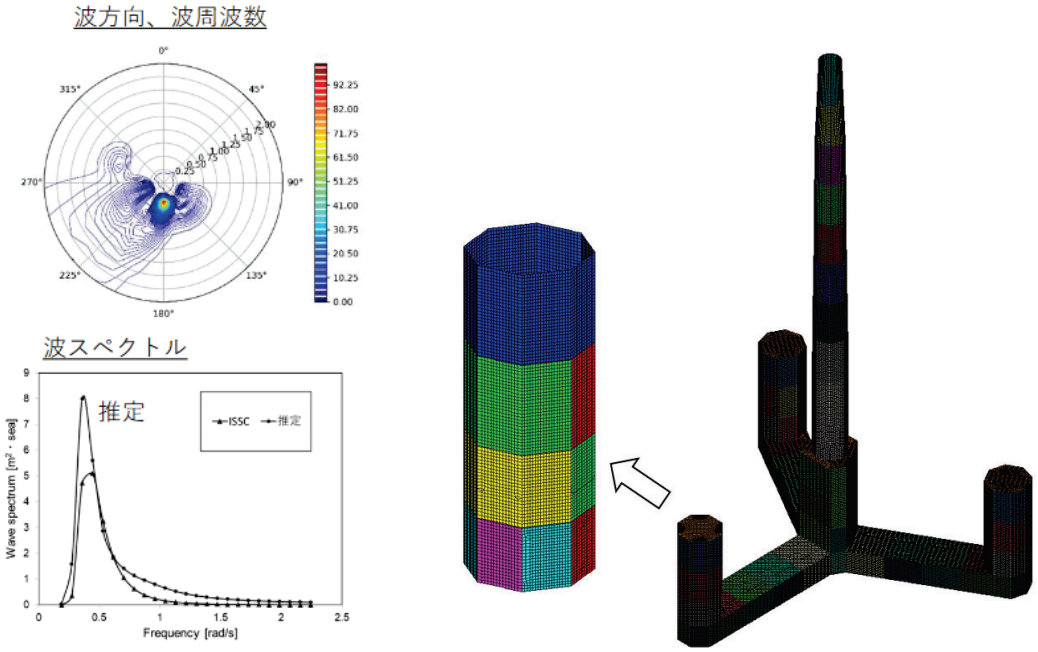


図 19　遭遇海象の推定結果（左図）及び有限要素モデル（右図）

R4年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：23 件（投稿中：8 件、採択済：11 件、掲載済：4 件）

・Otsubo, K.: On wave-induced coupled motion during cooperative multi-crane lifting operation with two vessels, International Journal of Offshore and Polar Engineering. (採択済)
・Fujiwara, T., *et al.*: Forced oscillation experiments for each vibration mode of closely spaced parallel pipes in steady flow, Journal of Fluids and Structures, Vol.117, 103833 (2023). (掲載済)
・Fujiwara, T.: Fundamental Study on Vibration Suppression Mechanisms using Flexible Joints for Hanging Pipes, Journal of Fluids and Structures. (投稿中)
・Takano, S., *et al.*: Correlation for Calculating Frictional Pressure Drops in Vertical Three-Phase Flows for Subsea-Resource Production, Ocean Engineering, Vol.275, 114121 (2023). (掲載済)
・Yoon, D., *et al.*: Ultrasound measurement for the large bubbles rising in angled slug pipe flows, Flow Measurement and Instrumentation, Vol.91, 102357 (2023) (掲載済)
・Takano, S., *et al.*: Experimental Studies on Velocities of Gas- and Solid-Phases in Gas-Liquid-Solid Three-Phase Flow for Subsea Resource Production, Multiphase Science and Technology (投稿中)
・Nakajima, Y., *et al.*: Grinding Characteristics of Quartz Particles in Ball Mill under High-Pressure Condition, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. (投稿中)
・蓮見知弘ほか: 浮体式洋上風力発電の洋上施工時間推計モデル定式化と解析，日本船舶海洋工学会論文集，第 37 巻 (2023). (採択済)
・山本裕介ほか: 浮体式洋上風況観測システム「Buoy Lidar」の摩耗量予測と摩耗低減に関する研究，日本船舶海洋工学会論文集. (投稿中)
・中條俊樹ほか: 超大型風車を対象とした水槽模型試験技術，日本風力エネルギー学会論文集 (投稿中)
・梅田隼ほか: ガウス過程回帰による波力発電装置の運動モデルの学習，日本船舶海洋工学会論文集. (投稿中)
・羽田絢ほか: 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. (投稿中)
・中條俊樹ほか: 浮体式ウィンドファームにおける遭遇海象の差による係留張力影響の解析について，日本船舶海洋工学会論文集. (投稿中)
・Otsubo, K.: On the stick/slip phenomenon of a crew transfer vessel pushing its bow against an offshore wind tower during a transfer operation, Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済)
・Tomohiro Hasumi, *et al.*: Estimation for the Efficiency of Offshore Installation Process of Floating Offshore Wind Turbines in Japan, Proc. 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2023). (採択済)
・Ken Haneda, *et al.*: Wind Turbine Controller Effects on Fatigue Loads and Lifetime Power Generation of a Floating Offshore Wind Turbine, Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済)
・Toshiki Chujo, *et al.*: Estimation of Effect of Randomness in Sea Conditions for Mooring Tension in Floating Offshore Wind Farm, Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済))
・Yamamoto, M., *et al.*: Study on the axial tension reduction of a dual-bore vertical riser system for deep sea mining, Proc. 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Artic Engineering (2023). (採択済)
・Masanobu, S., *et al.*: Study on Large Particle Slurry Transport in Inclined Pipes with Pulsating Flow for Subsea Mining, Proc. 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2023). (採択済)
・Takano, S., *et al.*: Numerical Simulation on Gas-Liquid-Solid Three-Phase Flow by Gas-Lift Pumping System for Deep Sea Mining, Proc. 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2023). (採択済)
・Nakajima, Y., *et al* : Gas hydrate formation and dissociation under static and dynamic conditions, Proc. the 13th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP13) (2022). (掲載済)
・Nakajima, Y., *et al* : Morphological observation of gas hydrate formation in gas-water systems, Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済)
・Yamamoto, J., et al.: Study on the plugging inside the riser pipe during the transfer of the low-temperature substances such as methane hydrate, Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済)

口その他発表論文：38 件（投稿中：1 件、掲載済：35 件）

・谷口友基: 非線形モデル予測制御によるポイントアブソーバー型波力発電装置の実時間制御に関する研究，大阪府立大学博士論文 (2022).
・中條俊樹: 研究グループ紹介　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　洋上風力発電プロジェクトチーム，電気学会誌. (投稿中)
・羽田絢ほか: 機構解析を用いた新形式浮体式洋上風力発電の波浪中応答及び局所荷重評価に関する研究，第 22 回海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
・中條俊樹ほか: 浮体式洋上風力発電の促進のための技術開発，第 22 回海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).

・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電における計測の将来像について，使えるセンサ・シンポジウム 2022 (2022)
・蓮見知弘ほか: 浮体式洋上風力発電の洋上施工時間推計モデルの解析，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号 (2022).
・梅田隼ほか: ガウス過程回帰による並進動揺型波力発電装置の運動推定の特長，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 35 号, pp.631-635 (2022).
・Tomoki Taniguchi, *et al.*: EXPERIMENTAL VALIDATION OF NONLINEAR MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR FLOATING POINT ABSORBER TYPE WAVE ENERGY CONVERTER WITH LINEAR GENERATOR, Proc. Grand Renewable Energy 2022 (2022).
・Ken Haneda, *et al.*: REPORT ON A CASE STUDY OF MARINE GROWTH ON SYNTHETIC FIBER ROPES IN THE SEA AROUND JAPAN, Proc. GRAND RENEWABLE ENERGY 2022 (2022).
・梅田隼ほか: Motion Estimation of Point Absorber type Wave Energy Converter by Gaussian Process Regression, 第 23 回船舶海洋工学会推進・運動性能研究会 (2022).
・中條俊樹: 浮体式風力発電技術最前線，一般財団法人 エンジニアリング協会 (2022).
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電のロードマップと海技研の研究開発，第 22 回海上技術安全研究所講演会 (2022).
・中條俊樹: 合成繊維索係留に対する生物付着影響について，日本船舶海洋工学会海洋工学研究会 (2022).
・Kaiyu Lao, *et al.*: Real-time control experiments of Transverse Flux Type Linear Generator for Wave Energy Converter — With the design of real-time wave predictor, 電気学会リニアドライブ研究会 (2023).
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の最新事情と研究課題，東京大学講義「海事技術イノベーション」(2023).
・Toshiki CHUJO: Technological Trend and Target of Floating Offshore Wind Turbines in Japan, The APEC(Asia Pacific Economic Cooperation) Workshop on Support Offshore Wind Deployment and Grid Connection in APEC Region (2023).
・羽田絢: 浮体式洋上風力発電の導入促進に向けた研究紹介，横浜市政策局、海と産業革新コンベンション うみコン 2023 (2023).
・石田茂資: 風力発電は海へ向かう－海と風が創るエネルギー，三鷹ネットワーク大学推進機構 (2023).
・蓮見知弘ほか: 浮体式洋上ウィンドファームの洋上施工作業時間推計モデルの解析，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 36 号 (2023).
・梅田隼ほか: 海域水深と変位制約を考慮した波力発電装置の発電性能評価，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 36 号 (2023)
・齊藤昌勝ほか: 合成繊維索係留システムの最適設計の考え方について，第 22 回海上技術安全研究所講演会講演資料 (2022).
・大坪和久ほか: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価，日本船舶海洋工学会講演会論文賞受賞記念講演 (2022)
・大坪和久ほか: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価，日本船舶海洋工学会 KANRIN, 第 103 号, pp.4 (2022).
・大坪和久: 風車タワーに船首接舷した CTV の波浪中運動評価，海上技術安全研究所（第 22 回）研究発表会 講演集, pp.107-108 (2022).
・梅田隼: 波力・潮流海流発電装置の開発動向，第 6 回海洋資源開発技術プラットフォーム会合 (2022).
・谷口友基ほか: 並進動揺型波力発電装置を対象とした 実時間最適制御法の水槽模型試験による検証，日本船舶海洋工学会講演会論文賞受賞記念講演 (2022)
・谷口友基ほか: 並進動揺型波力発電装置を対象とした実時間最適制御法の水槽模型試験による検証，日本船舶海洋工学会 KANRIN, 第 103 号, pp.6 (2022).
・谷口友基ほか: Kane の方程式を用いた浮体式ポイントアブソーバー型波力発電装置の定式化と波浪中運動評価，第 22 回海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
・Kaiyu Lao, et al.: Water Tank Experiment to Evaluate a Transverse Flux Type Linear Generator in Wave Energy Converter, 電気学会研究会回転機/リニアドライブ/家電・民生合同研究会 (2022).
・山本譲司ほか: 海底鉱物資源開発のための計画支援システムの開発，海上技術安全研究所報告，第 22 巻，別冊, pp.29-33 (2022).
・山本マルシオほか: 海底鉱物資源開発における移送管の内部流影響に関する数値解析について，海上技術安全研究所(第 22 回)研究発表会講演集, pp.111-112 (2022).
・林拓己ほか: エアリフトポンプ内スラグ流のための超音波モニタリング技術の開発，混相流シンポジウム講演集 (2022).
・高野慧ほか: 海洋鉱物資源とエアリフトポンプ方式における移送評価技術，混相流，第 36 巻，第 3 号, pp.312-319 (2022).
・村井祐一ほか: 超音波によるエアリフト管内の混相流の計測，混相流，第 36 巻，第 3 号, pp.329-335 (2022).
・村井祐一ほか: エアリフト管内の気液二相流の超音波モニタリング技術の開発，日本機械学会第 100 期流体工学部門講演会講演論文集 (2022).
・高野慧ほか 傾斜管における脈動スラリー流の移送評価に関する実験的研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 35 号, pp.727-730 (2022).
・湯川和浩ほか: 浮航型水陸両用車に作用する荷重および運動性能評価，海上技術安全研究所（第 22 回）研究

発表会 講演集, pp.133-134 (2022).
・中島康晴ほか: 小型耐圧容器を用いた重質油の付着性評価の試み, 石油学会第 70 回研究発表会 (2022).

□特許申請：2 件
・鉱石移送関係、山本譲司（出願準備中）
・水面上漂流物の遮蔽及び回収方法、並びにそれに用いる遮蔽及び回収装置、高橋一比古（特願 2022-160179）

□コアプログラム登録：1 件
・LSTM を用いた係留ライン張力推定プログラム（渡邊充史）

□国際貢献：1 件
・IEC61400-3-2 “Wind energy generation systems – Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines, Annex: Application of Damage Stability Criteria”

□受賞：4 件
・日本船舶海洋工学会賞（論文賞, 副賞 日本造船工業会賞）: 大坪和久, 長谷川賢太（クレーン作業中の吊荷と多目的作業船の波浪中連成運動評価, 同 第 2 報 吊荷が着水した直後での波浪中連成運動解析）
・日本船舶海洋工学会賞（論文賞, 副賞 日本海事協会賞）: 谷口友基, 藤原敏文, 梅田隼, 片山徹（並進動揺型波力発電装置を対象とした実時間最適制御法の水槽模型試験による検証 (2022)
・谷口友基: ORAL PRESENTATION AWARD, Grand Renewable Energy 2022 International Conference (2022)
・理事長表彰（グループ表彰）「海洋構造物試験水槽の維持管理および機能向上に貢献した功績」（海洋システム研究グループ

□公開実験：1 件
・風車タワーに船首接舷した洋上風力発電アクセス船の波浪中運動を評価するための水槽模型試験(R4.4.25)

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。
・アスファルテンやハイドレートによる管内閉塞回避といったフローアシュアランスは、依然として石油・天然ガス開発の運用における技術的課題であり、本研究が目指すモデル構築はその課題解決に資するものであり、延いては海洋資源開発分野への進出に意欲を見せる本邦企業を中心とした国内海事産業の環境整備や国際競争力強化に貢献するものである。
・横浜国立大学連携講座の一環として本研究テーマの中で学生を指導するなど、海洋人材育成にも大いに貢献した。

□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
・係留安全性や作業船オペレーションの評価技術に係る研究は、一昨年度から浮体式洋上風力発電分野に重点化して進めているが、当該研究は従来の石油・天然ガス開発分野や、海洋鉱物資源開発、再生可能エネルギー開発等に共通するものであり、発展性及び一般性が十分に大きい。
・海底熱水鉱床開発に係る研究では、他の海洋鉱物資源開発にも転用可能な技術を扱っており、発展性及び一般性は十分に大きく、海底熱水鉱床開発の成果を踏まえコバルトリッチクラスト開発への適用も始めている。
・フローアシュアランスに係る研究では、洋上での CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）オペレーションへの適用も始めている。
・さらに、研究成果の一部で特許申請やコアプログラム登録もしている。

□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進めており、タイムリーに成果を創出している。
・特に、浮体式洋上風力発電施設が今後実稼働されていく中で、ウィンドファームの保守点検に関する安全ガイドラインの検討を行って検査の方向性決定に関して一定の成果を出すとともに、保守管理コストの低減につながるデジタルツイン技術の構築を目指した取り組みを実施している。作業船オペレーション評価技術についても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。
・また、コバルトリッチクラスト開発については海洋基本計画に基づいて規定されている開発計画を踏まえ、前倒しに研究を進めている。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか
・海底熱水鉱床開発に係るこれまでの研究成果は、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、当該分野において先行した技術及び経験を有しており、高い国際競争力を有するものである。特に揚鉱管・移送管内スラリー評価技術については我が国がリードしており、ノルウェーやブラジルの研究者との交流を進めている。
・IEC 等の策定・改定作業に対して、我が国がリードすることが将来的には可能となる成果が創出されている。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか
・該当しない。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	S

【年度評価に関するコメント】
・浮体式洋上風力発電については、これまでに石油・天然ガス開発分野や海底鉱物資源開発分野で構築してきた技術の一部を浮体式洋上風力発電分野に重点化するとともに、当研究所の洋上風力発電プロジェクトチームとも連携して、研究成果の最大化を意識した取組を進めている。さらに、将来の浮体式洋上風力発電ウィンドファームのための安全ガイドラインやオペレーション評価に貢献できる研究成果を創出しているとともに、これまでの研究成果に基づく提案が IEC の規定（IEC61400-3-2 Annex S）として承認された。本規定により、浮体のコスト低減が可能となり、海事産業の競争力強化につながることが期待される。
・本研究で開発した、海底資源開発のための計画支援プログラム及び稼働性評価プログラムを、海底熱水鉱床開発に係る国家プロジェクトに活用するとともに、レアアース泥等の海底資源開発の初期検討を行っている外部機関にも計算結果が活用された。
・洋上での CCS オペレーションにおける安全性・稼働性評価につながるフローアシュアランス分析技術を構築した。

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。

【終了評価に関するコメント】
・海洋再生可能エネルギー発電施設の研究成果が、国が策定した安全ガイドラインや運用ガイドラインに活用されており、社会的価値の創出に大きく貢献していると考える。
・浮体式洋上風力発電施設や浮体式構造物の係留システムに関する研究成果を ISO や IEC 等の規定として提案・協議した結果、規定に盛り込まれており、当研究所の取組が国際的にも認められていると考える。
・当研究所は、採鉱・揚鉱パイロット試験事業に民間企業とともに参画し、当該試験の稼働性評価、安全性評価、及び揚鉱管の強度評価等を実施するとともに、これまでに実施してきた当研究所の研究成果が参加企業による機器設計・製作やオペレーション検討に活用されるなど、世界初となる海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に対して技術的貢献ができたと考えている。当該試験の成功によって、海底熱水鉱床開発事業に向けた検討が加速するとともに、我が国は国際的にみても本分野でトップクラスの技術を保有することができたと考える。
・これらの研究成果により、エンジニアリング奨励特別賞（エンジニアリング協会）、日本船舶海洋工学会論文賞（日本船舶海洋工学会）等の多くの賞を受賞した。

以上のことから、「研究開発成果の最大化」に向けて「特に顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められるもの」として、「S」評価とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(8) 海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

研究テーマ	重点☆10 海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4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育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する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育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成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。 ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成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。 ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発 －他機関の AUV を含めた複数 AUV を用いた基本隊列制御システムの有効性の検証、及び AUV-ASV 連結システム利用した洋上風力発電設備の海中部の遠隔点検試験等の提案・実証を行う。 等

研究の背景

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、海洋産業育成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を行う。

具体的には、以下があげられる。

・高効率小型 AUV（自律型無人潜水機）システムの研究開発
・AUV 要素技術の研究開発
・複数 AUV の同時運用システムの研究開発
・AUV 研究開発成果の社会実装・民間活用・国際規格化

期間全体の研究目標

・複数機の小型 AUV の同時運用による広域探査システムのプロトタイプ完成
（航行型の小型 AUV、ホバリング型の小型 AUV、洋上中継器、投入揚収装置）
・広域探査システムの運用技術（隊列制御技術・ASV（洋上中継機）による多数 AUV 運用等）完成
・隊列制御を行った多数 AUV による地震探査が可能（従前の船舶からの調査に比べて、高精度のデータ取得が可能）等、AUV 運用において高効率化
・民間移転実施
・SIP 第 2 期事業に参画（簡易に搭載可能な隊列制御アルゴリズム、システム開発を実施）する中で、民間事業者と協力しながら対応。SIP 事業終了後に、民間調査が可能（社会実装の完成）
・広域探査システムの企画・転用技術
・自律行動に対して汎用的に利用されることの多い ROS（ロボットオペレーティングシステム）を活用した AUV 制御アルゴリズムの開発を行い、他機種 AUV への展開利用を平易化する。国内開発 AUV へのシステム搭載を実施。さらに、エネルギー関連、水産関連支援関連、風力発電施設等も含んだ海洋構造物・パイプライン等の保守点検等で実用可能な AUV 開発、点検作業等を実施。

上記成果は、以下があげられる。
・ 高精度・安価な小型 AUV による広域探査システム・運用技術の開発により、海洋資源開発が促進されるとともに、民間企業への技術移転等により、我が国の海洋産業の競争力が強化される。

R4年度研究目標

□小項目 5
・JAMSTEC（国立研究開発法人海洋開発研究機構）所有 AUV、民間他機関との連携も実施しながら隊列制御有効性を検証（汎用性を証明）

□小項目 6
・航行型 AUV 最適誘導制御法および高度推定フィルターの研究開発

□小項目 7
・洋上風力発電設備の検査等を念頭においた複数 AUV 活用方策に関して調査・研究。銚子沖洋上風力発電設備において、「AUV-ASV 連結システム」の海中部映像点検の性能評価

R4年度研究内容

□小項目 5
・大深度での複数 AUV 隊列制御技術の研究開発

□小項目 6
・探索アルゴリズムの高度化による航行型 AUV 最適誘導の高速化
・地形複雑度を用いた高速自機位置探索手法の開発

□小項目 7
・R3 年度までに製作した「AUV-ASV 連結システム」について、実海域運用に適するように改良実施。深海水槽、動揺水槽にてシステム動作確認を行い、銚子沖洋上風力発電設備において海中部点検技術試験を実施

R4年度研究成果

□小項目 5
・SIP 第 2 期事業に参画し、令和 3 年度に開発・調整した基本隊列制御システムの実海域実証試験を行った（図1）。

・6 月駿河湾試験
JAMSTEC の ASV「KaiKoo」、海技研航行型 AUV2・3・4 号機、株式会社 IHI 製 AUV「AU3」の 5 機のビークルを基本隊列制御システムで制御するため、ハードウェア共通化として令和 3 年度、各 AUV へ JAMSTEC 製音響測位装置の搭載、ソフトウェア共通化として通信プロトコルの策定・実装を行った。4 月の全ビークルを集めた JAMSTE 岸壁における通信測位試験を経て、6 月に駿河湾の水深 120m 海域において各 AUV の単機潜航試験および全機を用いた基本隊列制御試験を行った。全機の潜航および MBES（マルチビーム音響測深機）を用いた海底地形計測に成功し、基本隊列制御システムが想定通りに機能することを確認した。一方で、AUV が近接して航行した場合、MBES のソナー干渉が生じ、地形データに一部欠損が生じることも明らかになった。

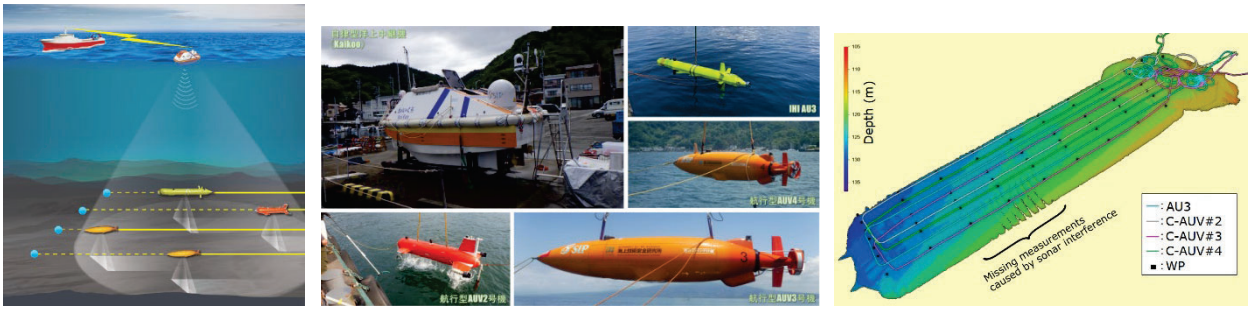


図1 基本隊列制御システムを用いた 6 月駿河湾での実海域試験
（5 機の ASV・AUV の試験概念図（左）、試験に配備された ASV・AUV（中）、取得した海底地形データ（右））

・9 月駿河湾試験
JAMSTEC 研究船「よこすか」および東洋建設株式会社自航式多目的船「AUGUST EXPLORER」を支援母船とし、深度 1300m 海域で基本隊列制御試験を実施した。基本隊列制御システムにソナー干渉を防ぐためのアルゴリズムを追加実装し、5 機の ASV・AUV を用いた広域・詳細（1m 解像度）な海底地形データの取得に成功した。

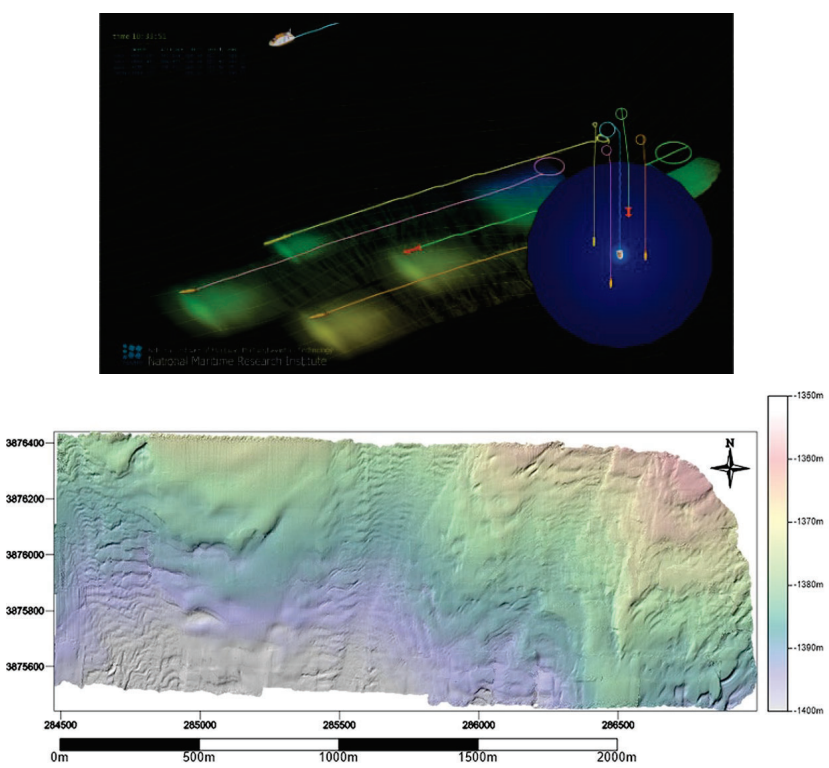


図 2　9 月駿河湾 1300m 海域での基本隊列制御実証試験
（ログデータから復元した隊列関係（上）、広域・詳細（1m 解像度）な海底地形データ（下））

・ソナー干渉回避アルゴリズムの開発（10 機の基本隊列制御シミュレーションによる有効性検証）
基本隊列制御において、AUV 同士が近接する場合に MBES 観測でソナー干渉（海底地形観測欠落部）が生じることが明らかになった。通信可能範囲から出ようとする AUV へは ASV へ近づくように、そうでない場合は近接する AUV から離れるように制御するアルゴリズムへと改修し、10 機の AUV モデルを用いてシミュレーション計算を行った。ソナー干渉を伴わない隊列制御システムを完成させた。

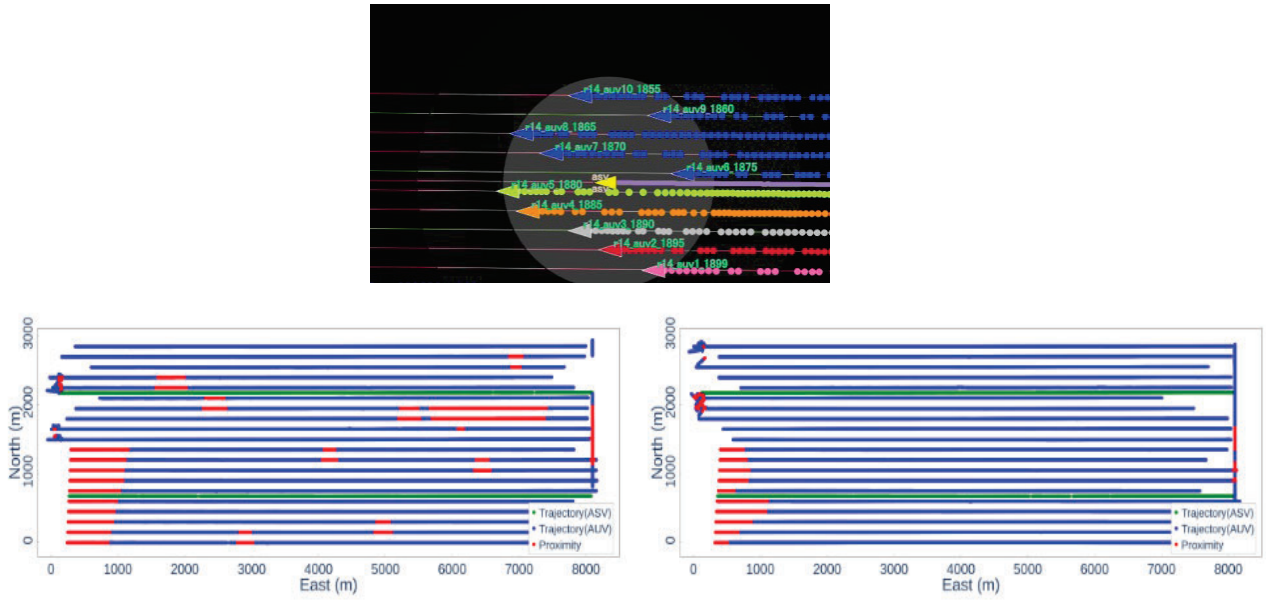


図3 MBES ソナー干渉防止機能付き隊列制御システムによる 10 機 AUV 隊列シミュレーション
（10 機シミュレーションの監視画面（上）、干渉防止方策なし結果（下左）、干渉防止あり結果（下右）、
左下スタートの 10 機一往復航行シミュレーション、赤ライン部はソナー干渉箇所）

・AUV-AUV 通信・測位、位置誤差検出アルゴリズムの開発
潜航の初期待機において各ビークルの認識位置誤差を修正することは重要なプロセスであるが、監視拠点からの測位誤差により正確な位置補正が難しい。そこで、画像処理の図形検出アルゴリズムとして知られるハフ変換により円軌道を描くことで、AUV 位置誤差の検出・補正を高精度化する手法を開発した。外れ値を含む測位データであっても頑健に位置誤差補正が可能な結果が得られることがわかった。本手法を実機試験にも適用し、有効性を確認した。

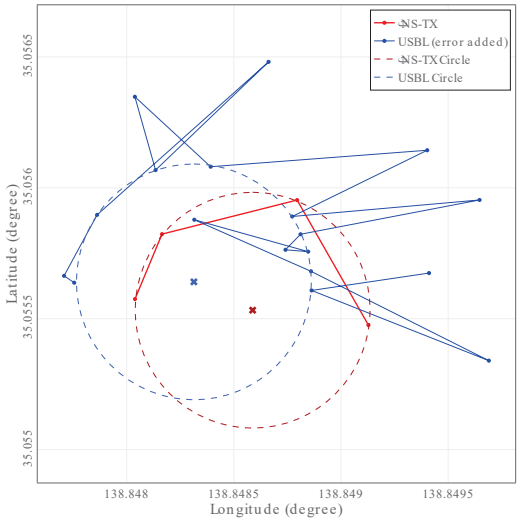


図 4　ハフ変換を用いた AUV 軌道検出結果

□小項目 6

・航行型 AUV 最適誘導の問題において、GDS(Gradient Descent Search)法をベースに、探索毎にステップサイズを最適化することで、収束性を改善する新しい数値解探索アルゴリズムを開発し、適用した。その結果、既存の GDS(Gradient Descent Search)法と比べ、同等の精度の収束解が最大約 70%短縮した計算時間で求められることを確認し、実機実装に向けた一つの土台作りができた（図 5）。

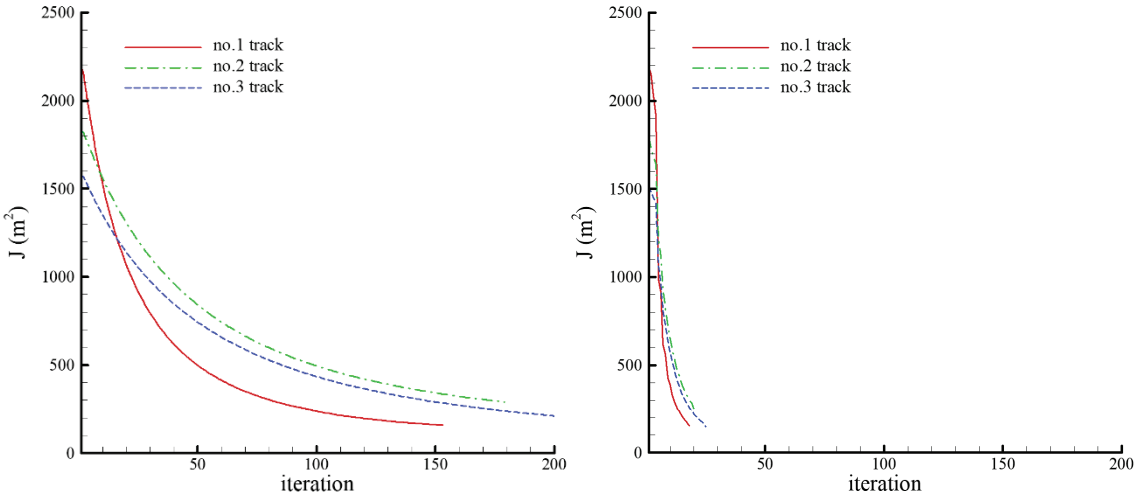


図 5 探索アルゴリズムによる収束性の比較（既存（左）と最適ステップサイズ（右））

・高度推定フィルターとして TERCOM（地形照合自機位置推定）が提供する高度情報の精度は、既知の低解像度地形情報に依存することから、制限的である。こうした問題の解決に向け、DVL（ドップラー流速・高度計）のビーム毎にマッチングした後、各ビーム（図 6 のビーム 1～4）で得られた推定位置に対し、各ビームの SSD（Sum of Squared Differences）値の逆数に比例する重みづけを行い、平均化する手法を開発した。この手法により、マッチング精度を考慮した平均化が可能となり、安定かつもっともらしい自機位置推定結果が得られることを確認した（図 6 の WC）。

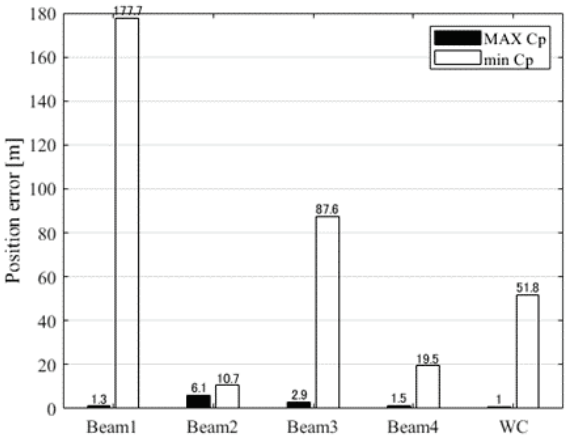


図 6 TERCOM による自機位置推定結果
（MAX Cp：最大複雑度地形、min Cp：最小複雑度地形で、WC は 4 ビームによる位置推定の重みづけ平均）

□小項目 7

・R3 年度までに製作した「AUV-ASV 連結システム」の不具合点（コネクタの防水性能等）について改良を施し、深海水槽、動揺水槽にてシステム動作確認を行った後、銚子沖洋上風力発電設備において、海中部点検技術試験を実施した。「AUV-ASV 連結システム」の運用方法として、以下が有効であることがわかった。
- ASV-作業船間がケーブルレス（無線 LAN）であるため、作業船は ASV を直接目視できる範囲であれば、緩い位置保持（ASV との距離 20～50m の範囲）を行うだけで十分であった
- 「AUV-ASV 連結システム」が着水位置から風車塔に接近する際など、長距離を移動する際には、ASV が AUV をケーブル曳航する方法が有効であった。
- 「AUV-ASV 連結システム」の AUV は、海面から海底までの 20m 以内の鉛直距離を、1 分以内で上下移動することが可能であり、風車塔の東西南北＋α（北西）の 5 方向に関して、30 分以内での点検撮影完了が可能であった。



図 7 銚子沖洋上風力発電設備での海中部点検技術試験の様子
（AUV-ASV 連結システム(左)、風車塔に接近した ASV を作業船から撮影（中）、海底付近の AUV（右））

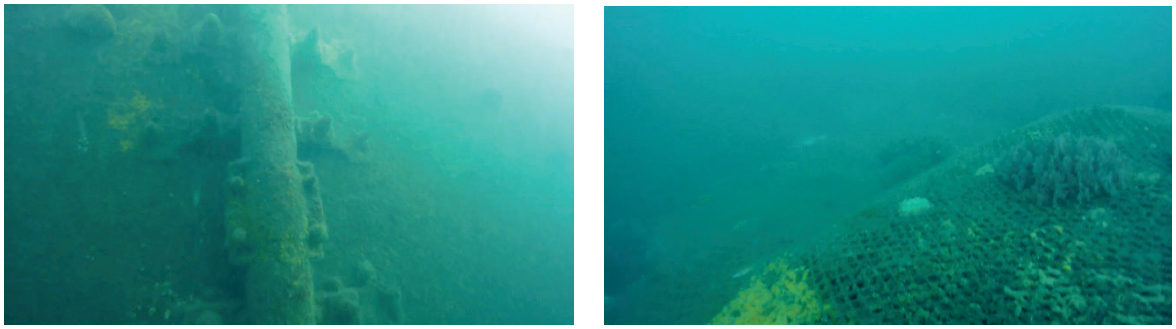


図 8 「AUV-ASV 連結システム」の AUV による海中撮影映像
（風車塔西側側面のケーブル保護管（左）、風車塔東側海底付近の洗堀防止用フィルターユニット（右））

・本事業は、国土交通省総合政策局海洋政策課の R4 年度公募型事業「海の次世代モビリティの利活用に関する実証事業」に応募し、採択された。また、事業実施に成功し、3 月に開催された成果報告会でも実施内容の総括を行った。
・海中撮影映像を関係各所（東京電力リニューアブルパワー、銚子市漁協、日本潜水協会）に確認いただき、映像点検として十分な画質を有しているとの評価を得た。

R4年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）： 7件（投稿中： 3件、採択済： 4件、掲載済： 0件）

・Akihiro Okamoto, Masahiko Sasano, Kangsoo Kim and Toshifumi Fujiwara: Position Error Correction Method Using Circle Hough Transform for AUV Navigation, Transactions of Navigation. (採択済)
・Kanako Kobatake and Masakazu Arima: Verification of Swarm Intelligent Underwater Robot System for Marine Environment Observation with Vehicle Loss Compensation and Functionality Maintenance, Proceedings of the ASME 2023, 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2023 (2023). (採択済)
・Takumi Sato, Kangsoo Kim, Masahiko Sasano, Akihiro Okamoto, Shogo Inaba, Satoshi Kondo, Hiroshi Matsumoto, Takashi Murashima, Toshifumi Fujiwara and Hiroyuki Osawa: Sea Trials of Multiple Heterogenous Cruising AUVs and ASV with Basic Formation Control, Proceedings of the ASME 2023, 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2023 (2023). (採択済)
・Toshifumi Fujiwara: Formation Control Specifications on Multiple Cruising AUVs for Seafloor Topography Mapping, Proceedings of The 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済)
・Akihiro Okamoto, Masahiko Sasano, Kangsoo Kim and Toshifumi Fujiwara: Development of formation control system for multiple AUVs with sonar interference avoidance function, Journal of Robotics and Mechatronics (2023). (投稿中)
・Kangsoo Kim, Akihiro Okamoto, Masahiko Sasano, and Toshifumi Fujiwara et al.: A new approach of weakly coordinated multi-AUV operation: The basic formation control, Journal of Field Robotics (2023).(投稿中)
・Masahiko Sasano: Environmental observation of shallow CO2 seep by a hovering AUV Hobalin in Shikine Island Environmental Monitoring and Assessment, Springer (2023).(投稿中)

口その他発表論文：17件（投稿中： 2件、掲載済：15件）

・稲葉祥梧，佐藤匠，岡本章裕，篠野雅彦，金岡秀，藤原敏文: AUV 深度による測位評価と航跡補正，海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
・篠野雅彦，岡本章裕，稲葉祥梧，藤原敏文: 海底資源探査・洋上風力発電設備における AUV の新しい活用技術，海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
・Masahiko SASANO, Akihiro OKAMOTO, Shogo INABA, Toshifumi FUJIWARA, Hiroyuki YAMAMOTO, Eiichi ASAKAWA, and Sotaro TAKASHIMA: Applications for Autonomous Control of Multiple AUVs Toward Deep-Sea Resource Explorations, Proceedings of the OCEANS 2022 Hampton Roads (2022).
・佐藤匠: 国際舞台で輝け！海事・海洋技術開発のエキスパートに，東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 (2022).
・篠野雅彦: 複数 AUV の水中協調作業，日本ロボット学会第 145 回ロボット工学セミナー (2022).
・藤原敏文: 海技研海洋先端技術系の研究，九州大学大学院船舶海洋工学専攻 (2022).
・金岡秀: 海上技術安全研究所の AUV 研究開発について，総合海洋政策本部 (2022).
・Akihiro Okamoto, Kangsoo Kim, Masahiko Sasano, Takumi Sato, Shogo Inaba, Satoshi Kondo, Hiroshi Matsumoto, Takashi Murashima, Takuya Shimura, Toshifumi Fujiwara and Hiroyuki Osawa: Development of Basic Formation Control System for Heterogeneous Autonomous Marine Vehicles and its Sea Trials in Suruga Bay, Underwater Technology (UT23) (2023).
・Inaba Shogo, Sasano Masahiko: Similar Object Identification in Sonar Images by Machine Learning, Underwater Technology (UT23) (2023).
・Masahiko Sasano: Multiple AUV operation technologies for deep-sea bottom resources exploration in Japanese SIP offshore project, United States and Japan Conference on the Development and Utilization of Natural Resources/Sea Bottom Surveys Panel (2023).
・藤原敏文: 自律型無人潜水機 AUV の開発と将来展望，公益財団法人笹川平和財団海洋政策研究所 Ocean Newsletter および Web. (投稿中)
・藤原敏文: 海技研の AUV 研究と今後の展望，第 165 回海洋技術フォーラム資料 (2023).
・篠野雅彦: 複数 AUV の水中協調作業，次世代センサ協議会海洋計測センサ技術研究会 (2023).
・篠野雅彦:「AUV-ASV 連結システム」を用いた 洋上風力発電設備の海中部点検，国土交通省主催セミナー (2023).
・稲葉祥梧，篠野雅彦，須藤拓，浦環: ASV による複数 AUV の管制，マリンエンジニアリング学会 HP. (投稿中)
・篠野雅彦: 複数 AUV の新形式運用,日本プロジェクト産業協議会（JAPIC）海洋資源事業化委員会 (2023).
・海技研プレスリリース: 複数の自律型海中ロボットの隊列制御による高効率な海底調査技術の実証試験について，海上技術安全研究所 (2023).

口特許申請： 2件

・拡張 AUV-ASV 連結システム：篠野雅彦
・ハフ変換を用いた AUV の位置誤差検出および補正法：岡本章裕、篠野雅彦、金岡秀、藤原敏文

□コアプログラム登録： 3件
・AUV プログラム用 Python パッケージ：岡本章裕
・隊列制御プログラム：岡本章裕
・複数機 AUV 潜航情報表示プログラム：岡本章裕

□国際貢献： 0件
・

□受賞： 3 件
・日本マリンエンジニアリング学会：ロイドレジスター電気電子工学賞
・うみそら研チーム表彰：複数 AUV 隊列制御実証チーム、複数 AUV の隊列制御システムの構築とその有効性を実海域で実証した功績
・日本航海学会：2022 年度英文論文誌の論文賞

□公開実験： 0件
・

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか
・国家プロジェクト SIP 第 2 期「革新的深海資源調査技術」への貢献を通じた研究開発成果の最大化に向けて、世界の最先端の一角を占める顕著な成果の創出が認められる。今後もより一層の進展が望まれるところ。
・AUV の社会的活用に広がりを見せる中、海中構造物の保守点検に関する AUV の活用を先進的に進める等、開発技術の社会貢献を進めている。
・海技研で開発した航行型 AUV3 号機、4 号機が独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の調査航海で利用され、広範囲な海底地形観測を実施。事業成功に貢献した。

□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
・新形式慣性航法装置補正法の提案として、画像処理の図形検出アルゴリズムとして知られるハフ変換により円軌道を描く AUV の位置誤差検出・補正を高精度化する手法を開発した。外れ値を含む測位データであっても頑健に位置誤差補正が可能となった。本手法を実機試験にも適用し、有効性を確認。従前から問題であった慣性航法装置の誤差除去に関する一方策を新規提案。
・航行型 AUV 最適誘導の問題で演算収束性を改善。今後の実機 AUV 制御アルゴリズム高度化に目処をつける。

□成果が期待された時期に創出されているか
・SIP 第 2 期事業の R4 年度の目標・成果を着実に達成した。
・社会的価値創出に向けて、SIP 第 2 期事業の複数機 AUV の高度運用技術開発、AUV-AUV 通信・測位制御システムの創出、風力発電施設の基部点検作業を可能とする新規 AUV を試行、検討を実施している状況。着実に AUV の技術開発を発展させているところ。

□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
・SIP 第 2 期事業に関しては、開発した隊列制御システムが、今後、広範な海底鉱物資源等探査を行う場合に非常に有用な技術であることを実海域試験を通じて示した。国際的にも進んだ技術開発を実施している意義は非常に大きい。

□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
・地形照合自機位置推定 TERCOM の手法改善、AUV-ASV 連結システムの改良といった先見的、発展的内容に関して、成果を着実に創出。年度成果としては十分評価できる。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

【年度評価に関するコメント】
・SIP 第 2 期事業の最終成果目標を達成した。AUV-ASV 連結システムの開発進展等、単年度計画を着実に達成した。また、学会賞の受賞や AUV が実事業に活用されるなど、目標を上回る成果を達成した。

【終了評価に関するコメント】
・内閣府 SIP 第 2 期事業に参画し、AUV 群制御技術の基盤となる AUV 間通信・測位制御対応等、計画を上回る成果を得る。SIP 第 3 期事業でのさらなる貢献を期待される成果を達成した。
・AUV の自己位置補正など高度な AUV 航法技術を各種提案した。
・AUV-ASV 連結システムといった AUV の新たな活用方法の提案と実証に成功した。
・海技研で開発した航行型 AUV3 号機、4 号機が民間会社に活用され実計測事業に貢献した。
・研究実施開始当初計画に比べて大きく AUV 研究開発を進展させたことは大きな成果と言える。また、AUV 開発に関しては多くの賞を受賞するとともに、社会実装に成功した。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(9)海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発

研究テーマ	重点☆11　造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4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、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、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。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する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海事産業の発展を支える技術革新と人材育成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、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する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海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発 －造船の協業体制を構築するため、造船のデータ標準化のひな型を作成するとともに、造船PLM システムのシステム開発を行い、建造シミュレータの接続等のデモの作成を行う。 －設計データ生成技術に関して、設計テンプレートや過去番船モデルのリユースを利用した、高速生成機能の開発を行う。 －建造シミュレーションシステムに関して、造船所の内業工程に着目したプロトタイプ版の開発を行う。 等

研究の背景

海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する。

具体的には、以下があげられる。

・ 建造モニタリングシステムの開発
・ 生産性向上に資する機器の開発
・ 新しい造船生産工程管理の提案
・ 防振部材への火気を伴わない接合方法の利用に関する研究
・ 騒音予測プログラムの改良
・ 騒音・振動及び生産設計にかかわる知的設計システムの構築
・ 造船の協業体制に向けた研究
・ 生産計画におけるモデルベース開発に向けた研究

期間全体の研究目標

・ 建造モニタリングシステムの開発（造船 IoT 体制の構築）、生産現場の改善により生産性の 20%向上（リードタイムの短縮、実トーチ時間など）、ウェアラブル等を用いた新造船インタフェースの開発
・ 造船用パワーアシストスーツの開発、工作ロボットの開発
・ 非熟練及び短時間労働者を新たに取り入れた新しい概念の造船工程の提案、造船所でのモデル事業の実施、未活用労働者向けの技能研修プログラムの開発
・ 騒音低減のための防振部材を活用した新たな構造仕様や施工方法の信頼性の高い設計手法を開発し、防振部材導入に関するガイドラインを作成
・ 現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルの構築等により改良し、多様な船舶に対する騒音予測をより高精度で行う騒音予測技術を開発
・ 生産設計分野における知的設計システム（プロトタイプ）を開発

・設計・製造プロセスにおけるデータの仕様、標準化を策定する。次世代造船設計システム（インテリジェント CAD）のビジョンとその実用化開発のロードマップを策定する。推進性能と生産性（ぎょう鉄難易度と溶接長等）を統合的に評価し、船型形状と外板板割りの多目的最適化が可能なインテリジェント CAD システムのプロトタイプを開発する。
・内業工程を再現するシミュレーションシステムのプロトタイプを開発し、船殻ブロックに対するリユースシステムのプロトタイプを開発する。（リユースシステムの開発は小項目 8 に統合して実施）

上記成果は、以下があげられる。
・未来の造船工場（新技術の導入、新しい働き方の提案）や生産現場の改善計画の普及により、労働者不足の改善及び地方都市の活性化等地方創生に資するとともに、我が国造船業の国際競争力が強化される。
・船内騒音対策・軽量化・設計自由度の向上などを通じて船内労働環境の改善に資するとともに、造船産業の国際競争力の強化を図り造船業の活性化（地方創生）に資する。造船設計・生産性向上に資する。
・設計フロントローディングによる戻り工事の低減及び建造コスト管理の高精度化により、我が国造船業の国際競争力が強化される。
・造船設計及び製造の生産性向上とともに、企業間を超えた協業体制等の新しい造船ビジネスモデルの構築に関して技術面で支援する。
・シミュレーションシステムおよびリユースシステムの開発を通じて、造船所の生産設計の効率化および安定的な生産に資する。

R4年度研究目標

□小項目 4
・設計指針・施工要領のガイドラインの提案

□小項目 8
・造船 PLM(Product Lifecycle Management)システムのシステム開発
・開発したインテリジェント CAD システムを含む次世代造船設計システムの実用化開発のロードマップの作成

□小項目 9
・シミュレータの他工程に対する拡張，検証
・データ標準化のひな型の作成（小項目 8 に統合して実施）

R4年度研究内容

□小項目 4
・実船試験による効果の検証

□小項目 8
・造船の標準化に関する研究
・次世代造船設計システムの実用化開発のロードマップ作成
・インテリジェント CAD システムに関する研究

□小項目 9
・仮想的な工場を再現するシミュレータに関する研究
・過去番船モデルのリユースに関する研究（小項目 8 に統合して実施）

R4年度研究成果

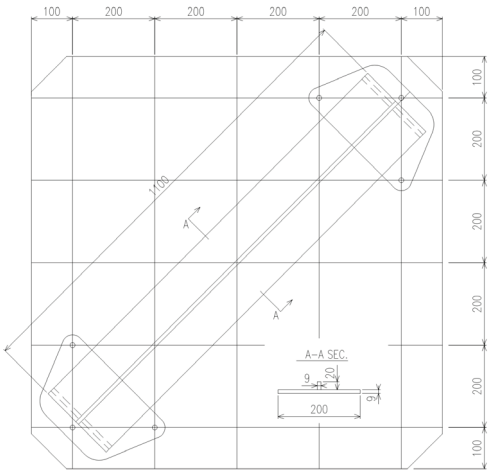
□小項目 4
・船殻構造の起振応答量解析は難しく、設計時に推定していた固有振動数とは異なり、実際には、損傷報告後に判明した振動モードの固有振動数が起振周波数域に存在し、共振を起こしていた事例が確認されている。現状、課題が生じている部位は、燃料タンク壁や清水タンク壁で、エンジンやプロペラを起振源として、壁が共振した場合は 10Hz 程度の振動が発生することがあり、試運転後や就航後に振動が確認され対策が必要な事例が生じている。試運転後や就航後は、接合部裏面（飲料水である清水タンク内面には特別な塗装がされている）も含む塗装の焼けが発生すると更なる追加工事が発生するため、溶接などの火気工事を伴う補強部材の追加は可能な限り回避することが望ましい。そこで、本研究の実証段階では、構造接着を用いた共振防止カーリング（板材補強小型骨材）の取付の実機への適用に取り組んでいる。
・本研究では、これまで全ての試験片製作時は、評価対象接着剤メーカー製品の製作を取り扱っている複合成形材料・繊維メーカーのグループ会社にて精密に接着接合を行ってきた。しかしながら、被着面前処理の度合いや接着層厚などが構造接着の接合強度のばらつきに影響を及ぼすため、実機への適用に先立ち、連携造船所自身が接着接合した試験体を用いて、構造接着を用いた共振防止カーリングの効果を検証するための振動試験を実施した。接着層厚の異なる 10 体の接着試験体並びに比較検証用の溶接試験体 1 体について試験を実施した

(図 1、図 2)。

・試験体の固有振動数を求めるスイープ試験を加速度±4.9m/s²(0.5G)で実施したところ、試験体の固有値は 58Hz、応答倍率は約 27 倍であった。実船で想定される振動応答の範囲としては、振動評価に用いられる Lloyd's Register「Ship Vibration and Noise」の上限とすると、試験体の固有値に近い起震周波数 60Hz の場合の基準上限加速度は±27m/s² であり、応答倍率が約 27 倍であることを考慮すると、加速度±1 m/s² が実船で想定される振動応答の範囲となる。よって、加速度±1.0m/s² で再度スイープ試験を実施したところ、試験体の固有振動数は 56～60Hz、応答倍率は 32.1～36.7 倍であった。比較試験で実施した同形状の溶接試験体の固有振動数は 58Hz、応答倍率は 38.3 倍であった。構造接着の場合も溶接とほぼ同程度の剛性であった。

・また、「Ship Vibration and Noise」では、20Hz 以下の基準上限変位は 0.5mm であり、実船で想定される起震周波数は 10Hz 程度では、基準上限加速度は±2m/s²である。試験体の耐久性を確認するためのスポット試験により、接着部の剥離が生じる変位を得るため、実船で想定される振動応答を超える加速度で、5 分間ずつ段階的に加速度を±1 m/s²→±3m/s²→±6m/s²→±9m/s²→±12m/s² と上げる計画で試験を実施した。接着層厚 0.5mm、3.0mm、6.0mm では、加速度±6m/s² で剥離が発生し、応答倍率の平均は、36～49 倍(±219～±294 m/s²)であった。接着層厚 9.0mm では、加速度±9m/s² で剥離が発生し、応答倍率の平均は、35 倍(±319 m/s²)であった。十分な接着強度を有することを確認した。

・共振防止カーリングのように接着線長が 1m を超える場合であっても、令和 2 年度に作成した艤装品サイズ用の仮固定治具・施工手順・施工方法などの施工要領で、接着可能であることを確認した。本重点研究では、実船試験による効果の検証を目指していたが、研究期間内で実機への適用に至ることができなかった。今後は、連携造船所からの請負研究を計画しており、実機への適用支援を引き続き行う。



(mm)

図 1 振動試験体配置図

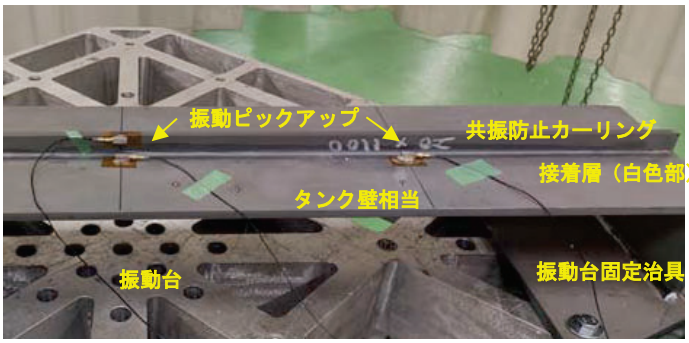


図 2 振動ピックアップ(加速度計)取付状態

□小項目 8

・製品データをたちどころに生成できる仕組みや仕様変更等にも柔軟に対応できる設計手法を整備するため、PLM(Product Lifecycle Management)システムを基盤とする設計プロセス、データ生成機能について検討した。具体的には、過去番船モデルの流用設計により製品モデルを BOM/BOP(Bill of Process/ Bill of Product)データまで含めて高速設計する一連の手法を検討した。この際、3 次元モデルの設計変更については既存 CAD システムのパラメトリック設計機能(形状情報をパラメトリックに表現することで類似形状部品を複製処理できる機能)及びルールベース設計機能(設計標準等の設計ルールを CAD に搭載することでスロット形状や開先処理等の生産設計を自動処理する機能)を活用することで、新船の 3 次元モデルが高速かつ低工数で設計できることを確認するとともに、それら機能の活用を想定した設計プロセスを整理した(図 3)。また、新船の BOM/BOP データ生成について、PLM システムのテンプレート機能(レシピ機能)をカスタマイズすることで類似部品の BOM/BOP データを自動生成できることを確認した(図 4)。これらの機能確認、機能開発にあたっては、実際の船舶製品モデルの生成を想定し、上流から下流までの設計プロセスを再現することで実施した。具体的には、代替燃料対応による機関室内燃料タンク拡張の設計変更を想定した上で、設計プロセスの一連のデモ作成まで実施した(図 5)。

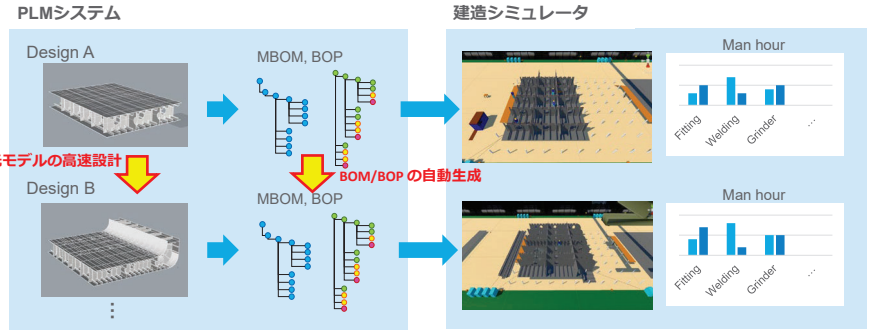


図 3　過去番船モデルの流用設計による高速設計、データ生成のイメージ

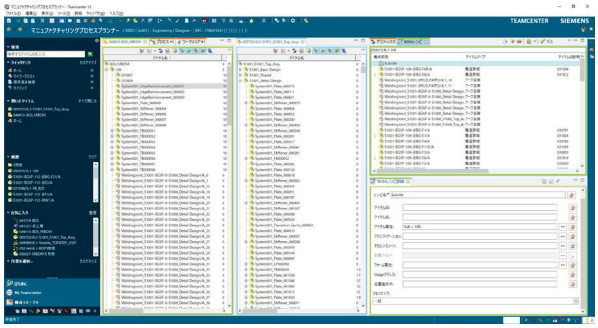


図 4　BOM/BOP データと BOM のレシピ機能

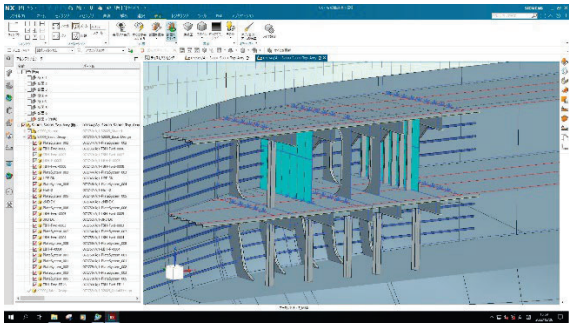


図 5　機関室の流用設計デモ

・本研究の提案手法（設計プロセス、データ構造）を汎用的に活用するため、データ構造はそのままに簡易システムで同様のことが実証できるかを検証した。このため、汎用パッケージ製品ではなく、当所開発の簡易的 PLM システムを開発し、当該システムで BOM/BOP データをデータ管理できることを確認した。簡易的 PLM システムはゲーム開発エンジン Unity 上で開発した。
・インテリジェント CAD システムについては、MBSE（Model Based Systems Engineering）の製品開発手法の観点から次世代造船設計システムの実用化開発のロードマップについて整理を行った。船舶開発における V 字開発モデルについて整理を行った上で、特に設計及び製造の DX 化のための技術要件や技術要件に対応する技術ソリューションの整理を行い、今後の実用化に向けたロードマップを整理した（図 6）。

要求	要件	サブ要件	説明
計画通りに製品を製作すること	製品の工程（プロセス）情報を出力すること。	ブロック分割、組立ツリー、組立要領を作成すること。	・製造に関するデータ（ピース類、治具類、足場架設等）をシステム上で設計データと併せて統合的に管理。 ・製品データから高速にブロック分割、組立ツリー、組立要領のデータを生成。 ・工程データを Bill of Process (BOP) の体系で管理し、PLM システム上で製品データとデータ連携。 ・工程情報の内容や表現を揃える（データ標準化、ヘテロ環境整備）。
	プロセスの工数、工期を出力すること。	作業者の要素作業単位で積み上げて工数、工期を求めること。	・製品個体ごとにその構成作業を分解し、その積み上げによって工数、工期等を見積もる（「工数＝物量×能率」の世界から脱却）。
		製品情報が揃わない状況で工数、工期を求めること。	・過去番船の流用設計等により製品モデルを仮作成した上で上記の積み上げ方式で工数等を求める。類似の過去番船データを活用して積み上げ方式で求める。
	日程計画、設備（定盤等）計画、人員計画を出力すること。	リソースまで考慮した最適な日程計画を出力すること。	・日程計画とリソース計画を同時に最適化するシステム。大規模な最適化計算。
		造船所全体で一元化した日程管理、原価管理をすること。	・小日程等の細かい管理粒度を情報の最小要素として、工場全体の日程計画、管理を行う。ミクロ／マクロの日程を同じデータに基づいて切り替えて見る。
	製造現場に作業指示を出力すること。	製造現場への作業指図情報を作成すること。	・製品情報、工程情報、日程情報をデータ連携した上で、製造現場にシステム的に製造指図を行う。タブレットなどを介して施工手順と併せて指示し、製造の着完データを取得する（製造現場での着完の状況が設計データと連携）。
		付随作業まで含めて要素作業単位で作業指示を出すこと。	・工程情報を基に、製造現場での詳細な作業手順情報を作成する。 ・付随作業まで含むビジュアルな作業イメージを提供する。 ・細かい時間単位で製品の仕上がり状況を提示する。
		製品の個体誤差に応じて個体ごとに作業指示を出すこと。	・溶接変形シミュレーションや計測によるブロックの変形解析により、ブロック個体に応じて作業指示を出す。 ・熱を使わず、施工工数や設備費用がリーズナブルな切断・接合方法を開発する。
		ロボットに作業を実施させること。	・詳細な作業手順情報に基づきロボットに作業を代替させる。段取り作業、準備作業を支援する付随作業ロボットを導入する。
	製造現場に仕掛品や部品をジャストインタイムで供給すること。	構内の製造ラインに JIT で供給すること。	・構内の物流を見える化し、小ロット（究極には 1 個流し）で製造ステージに届ける物流体制。構内物流には AGV 等を活用。
		サプライヤーに JIT で納品してもらうこと。	・造船ー舶用の生産ラインの同期化のため双方の生産情報を連携する。 ・大きなロット単位ではなく、必要な時にばらばらに納品する（JIT 納品）。
	製造現場の作業実績を取得すること。	作業者の作業内容や作業進捗を取得すること。	・計画と同じ粒度で製造現場の実績データを取得し進捗管理を行う。異常に対してタイムリーに軌道修正する。 ・細かい管理によって作業者は自分事として認識できる。作業者が製品に付与した価値を見える化、計量化する。
		作業者の安全状況や体調管理データを取得すること。	・作業者周辺の状況や作業者自身のバイタルデータを取得し、危険や熱中症等に対してアラームを発信する。健康状態と作業品質の関連を取る。
	製品の作業後の状態を取得すること。品質を定量化すること。	施工箇所の全数検査を実施すること。	・施工箇所を原則、全量検査し、品質を定量化した上で客観的な品質管理とする。
		データに基づく船主、船級検査体制とすること。	・全量検査とともに、データによる承認プロセスを導入する。 ・検査データを製品データと紐づけて管理し、「船のカルテ」として船の就航後も活用する。

図 6　造船所の DX 化に向けた技術要件の整理の例

□小項目 9

・前年度より当研究所で研究開発を実施している建造シミュレーション技術について、本年度は大組立工程に適用できるように拡張を実施した。一般的に組立の工程は、造船の製造工数全体に対して 3～4 割ほどを占めており、付随作業が多く、ブロックの中に人が潜り込むなどの製品形状に由来する立体的な制約も存在するため、これまで過去の関連研究でも取り扱いが非常に少ない、難易度の高い工程であった。本研究では、特に製品が大きく、人がブロックに入り込むような大組立工程に対して、実際の工程を参考に緻密な建造シミュレーションを実施した(図 7～9)。

・図 7 に示すように、浅川造船株式会社のご協力のもと、実際の小組立工程を対象としたシミュレーションが可能であることを示し、また、図 8 に示すように、小組立で製作された小組部材を組み立てる大組立工程のシミュレーションが可能であることを示した。

・図 9 に示すように、工程の拡張だけでなく、設備の異なる別の造船所(ジャパン マリンユナイテッド株式会社)に対しても、同様に適用可能であることを確認した。一方で、両造船所ともに 1 隻すべてのブロックに対する汎用性の確認までには至っていない。

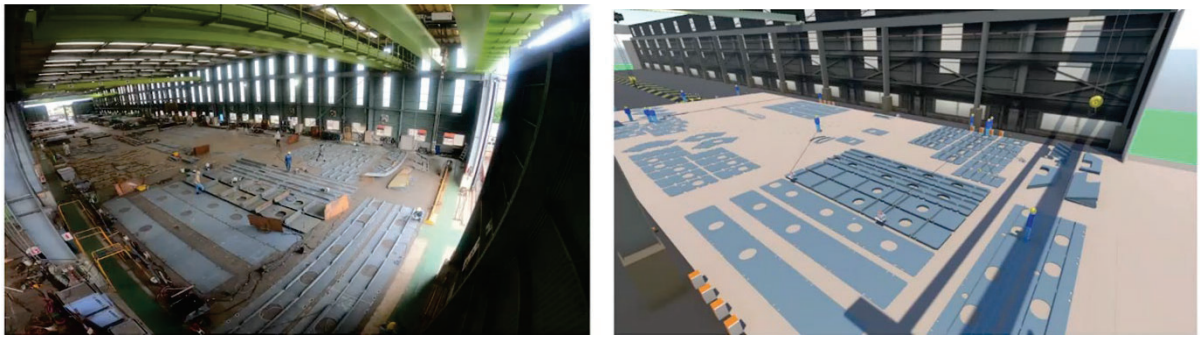


図 7　小組立工程の建造シミュレーション(浅川造船株式会社)
(左:実際の造船所の様子、 右:建造シミュレータによる計算)

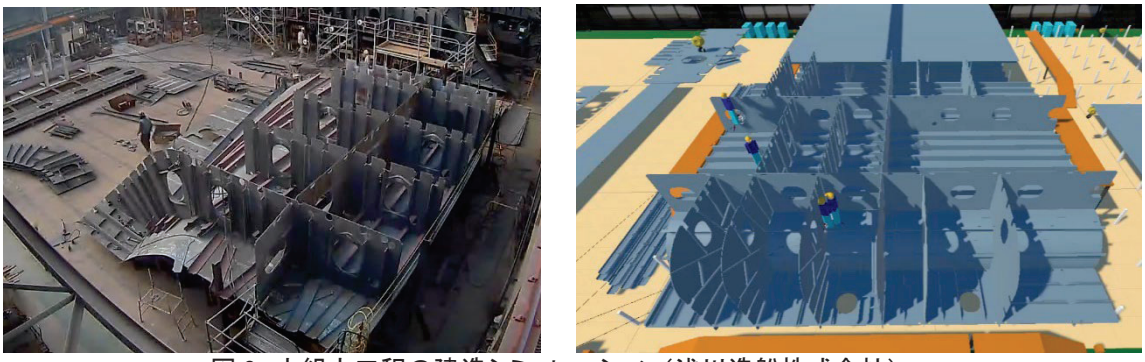


図 8　大組立工程の建造シミュレーション(浅川造船株式会社)
(左:実際の造船所の様子、 右:建造シミュレータによる計算)

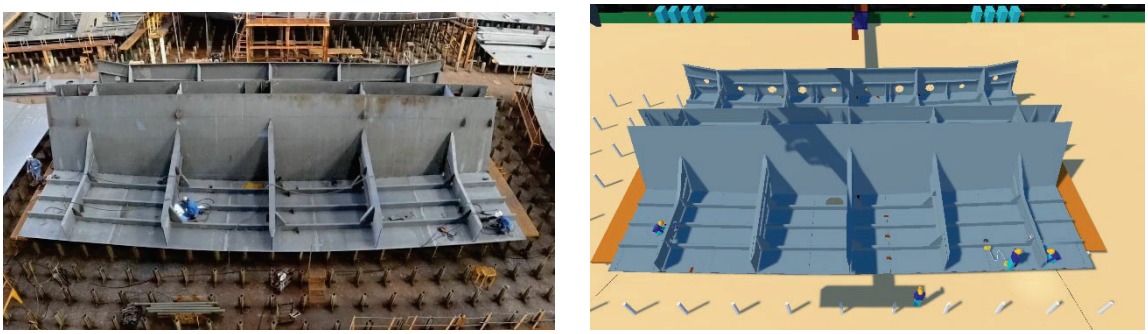


図 9　別造船所での大組立工程の建造シミュレーション(ジャパン マリンユナイテッド株式会社)
(左:実際の造船所の様子、 右:建造シミュレータによる計算)

・上記の建造シミュレータを適用するにあたり、実際の造船所で用いられている CAD データから本シミュレータを

実行するまでのデータフローについて検討を実施した。図 10 に示すように、造船所で利用している市販の CAD システムから汎用的な形式で形状や MBOM（Manufacturing-BOM）相当の情報を出力し、それらを Rhinoceros7 と Grasshopper をプラットフォームとして、シミュレータ用の入力形式に変換する。その際に BOP（Bill of Process）の情報が欠けているため、本研究では今回の工程と設備に限定的ではあるが、簡易的に BOP を自動生成するルールベースのアルゴリズムを構築した。また、シミュレーションを実行する前に、設備や製品のレイアウト、設備や道具の個数、人員、資格、タスクの進行状況などの初期条件を設定するプレ処理部を構築し、最後にソルバーであるシミュレータが実行できるまでの一連のデータフローを確認した。

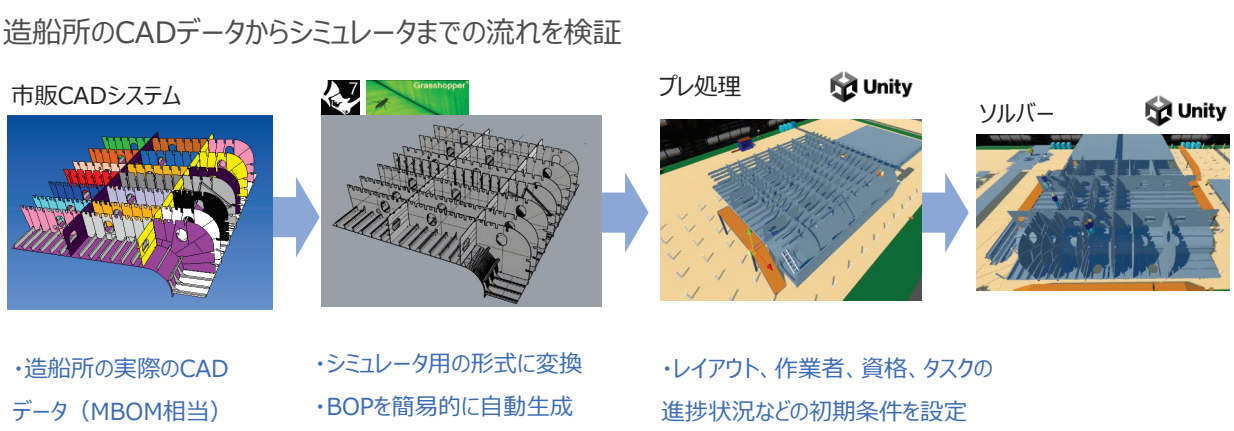


図 10　MBOM-BOP-シミュレーションに至る一連のデータフローの検証

・建造シミュレータを実造船所で利用するユースケースについて検討を実施した。造船所と打ち合わせを実施し、将来的な利用から直近の利用に至るまでユースケース案を以下のように整理した。

- ・初期計画段階での利用
- ・設計段階における製造工数への評価と最適な製品設計
- ・大日程、中日程、小日程計画の精密化・精度向上、一元的計画
- ・工作手順や作業性などの事前検討
- ・詳細な作業手順の事前作成。作業前のイメージアップ
- ・作業指示、作業管理での活用　など。

特に、2 つ目の設計段階における製造工数の評価については、図 11 に示すような仮想的な平行部のブロックを対象として、ブロックの代表寸法の変化が工数に及ぼす影響について、建造シミュレータを用いて評価するといった概念実証を実施した。

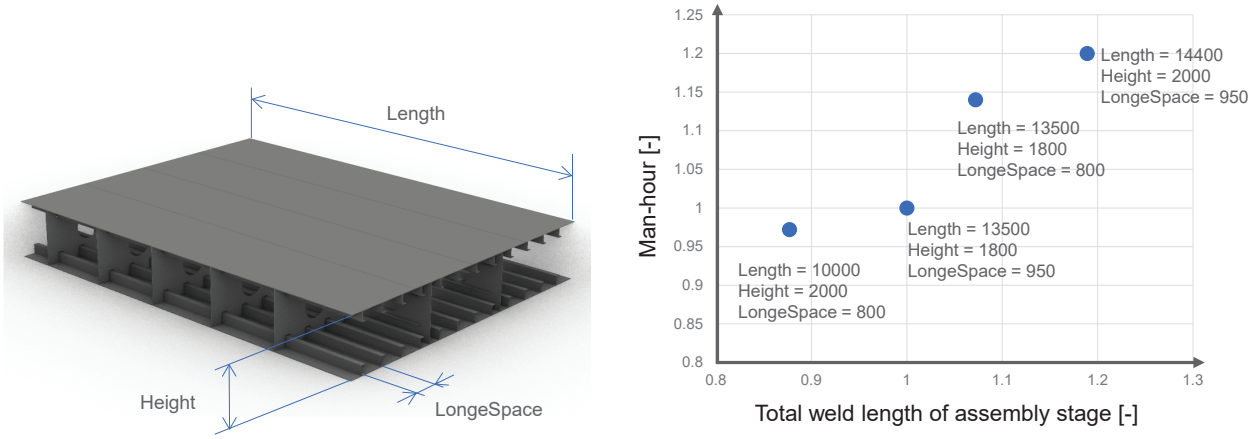


図 11　設計段階における製造工数評価に関する概念検証（シミュレーション結果）

R4年度成果の公表

□査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）： 0 件（投稿中： 0 件、採択済： 0 件、掲載済： 0 件）

・

□その他発表論文： 7 件（投稿中： 0 件、掲載済： 7 件）

・松尾宏平ほか 造船におけるデータ標準化と PLM システムに関する研究 海上技術安全研究所研究発表会講演集 2022

・Matsuo, K., et al. : Development of PLM System for Production Planning and Production Control in Shipbuilding, Proceedings of the 20th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS) (2022).

・Tomoyuki Taniguchi, etc.: A study of process simulation based on a multi-agent system for shipbuilding, Proceedings of the 20th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS) (2022).

・松尾宏平 スマートヤードに向けたデータ連携 日本船舶海洋工学会学会誌 KANRIN 105 号 pp39-43 （2022 年 11 月）

・松尾宏平 海技研のデジタルシップヤード構想 海上技術安全研究所今治地域造船技術講演会 （2022 年 12 月）

・松尾宏平ほか DX 造船所の技術要件とその具体像に関する一考察 日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 36 号、2023

・谷口智之 ほか：ブロック大組立工程に対する工程情報生成と建造シミュレーションに関する基礎的検討、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 36 号、2023

□特許申請： 0 件

・

□コアプログラム登録： 0 件

・

□国際貢献： 0 件

・

□受賞： 0 件

・

□公開実験： 0 件

・

主な評価軸に基づく自己分析

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

・火気を伴わない接合方法は、材料選択や設計・施工の自由度向上による生産性の効率向上など、海事産業の競争力強化等の社会的価値創出に貢献するものである。造船業界においても関心が高まっており、社会のニーズに適合している。

・造船用 PLM システム及びデータ標準化の研究開発に関して、国は第 5 期国土交通省技術基本計画にて「DX 造船所」の実現による造船所の抜本的な生産性向上を掲げているところ、当該研究は国の方針に適合した研究開発内容であると評価する。また、我が国造船業は、今後、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対して正しい製品を正しい時に提供することが求められる。本研究は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貢献する。

・建造シミュレータに関する研究開発は、国が定めた方針（「科学技術・イノベーション基本計画」、「第 5 期国土交通省技術基本計画」など）や海事産業の競争力強化の観点、および具体的な国内造船所のニーズに基づいて実施している。 特に国際競争力強化において、短納期、コスト、品質といった観点からの改善や、新燃料対応船や自律運航船などの新設計船に対する建造面での正確な評価のためにも大いに貢献できる内容である。

□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

・機械的締結やスポット溶接などを併用しない構造接着単独接合の実用化に関する研究は、非常に限られており、当該分野の他の既存研究に対して新規性・優位性がある。また、より多くの造船所が新たなアプリケーションとして構造接着を実機に適用できることを目指して取り組んでおり、一般性も十分に大きい。

・造船業における PLM システム導入及び BOM/BOP によるデータ連携は現在のところ、国内造船所での取り組み事例がない一方、国外（特に欧州）における先端造船所では関連する取り組みが活発化しており、国内造船所の関心が強い。そのような中、当所の研究開発は当該分野に関する国内の研究開発をリードしており、当所が国内造船所向けの PLM 導入モデルを示すことは新規性がある。本研究におけるデータ構造等は国内造船所で汎用

的に活用できるように策定しており、各社向けにカスタマイズは必要であるが、ひな型モデルとして一般性を有している。
・建造シミュレータに関する研究開発に関して、大組立工程に対して、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。設計、計画段階や製造実行段階といった各段階において様々なユースケースがあり、発展性は十分に大きい。本年度は 2 つの造船所の実データをもとに、同一のシステムで実行できたことからも一般性が高いといえる。

□成果が期待された時期に創出されているか
・防振部材への火気を伴わない接合方法の利用に関しては、造船所から期待される成果を適切な時期に創出することができなかった。
・造船用 PLM システム及びデータ標準化の研究開発に関しては、国内造船所で導入実績がない一方、国外先端造船所では積極的な研究開発プロジェクトが組まれており、国内の関心が高い。今後の複雑な製品開発にあたって、データ連携に基づく製品開発体制への移行は必須であり、このような中、国内の研究開発をリードする形で研究開発の成果を生み出していることから、期待されている時期に適切に成果を創出しているといえる。
・建造シミュレータに関する研究開発に関して、デジタル化・DX の推進が進む昨今の状況や、我が国造船業の国際競争力の回復が望まれている現状において、適切な時期に成果を創出しているといえる。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか
・接着接合部の長期信頼性の確保や品質保証などが大きな課題とされており、機械的締結やスポット溶接を併用しない構造接着単独接合は、造船以外の他分野を見渡しても国際的な水準で最先端の研究であり、国際競争力の向上につながるものである。
・造船用 PLM システム及びデータ標準化の研究開発に関しては、国外先端造船所で関連プロジェクトが始動しており、国際的な研究開発トレンドを考慮しても、適切な研究課題であると評価する。当所の研究内容及び成果は、国外の類似プロジェクトと比較して遜色ないレベルであり、本研究成果が国内造船所に導入されることは先進性を保ち、国際競争力の向上に寄与するものと考える。
・建造シミュレータに関する研究開発に関して、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。

□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
・防振部材への火気を伴わない接合方法の利用に関して、本件について該当項目は無し。
・造船用 PLM システム及びデータ標準化の研究開発に関して、本件について該当項目は無し。
・建造シミュレータに関する研究開発に関して、本件について該当項目は無し。

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	B
終了評価（H28年度～R4年度）	B

【年度評価に関するコメント】
・「防振部材への火気を伴わない接合方法」の利用では、信頼性に対する造船所の要望に対応するために当初計画以上の研究項目、研究期間を必要とし、最終年度である今年度中に、実船試験による効果の検証に至ることができなかった。しかしながら、造船所間の統合・協業並びに造船作業工程のデジタル化を推進するため、令和 2 年度に開始した「データの標準化及び造船用統合データプラットフォームの開発」、並びに、令和 3 年度に開始した「建造シミュレータに関する研究開発」では、着実に成果を創出しており、「研究開発成果の最大化」に向けて、「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、「B」評価とした。

【終了評価に関するコメント】
・中長期期間全体では、国の取組や社会ニーズを踏まえ、当初計画していなかった「造船の協業体制に向けた研究」や「生産計画におけるモデルベース開発に向けた研究」を追加した上で、造船所間の統合・協業並びに造船作業工程のデジタル化を推進するため、データの標準化及び造船用統合データプラットフォームの開発、建造シミュレータに関する研究開発を行った。研究計画に従って、「生産管理システムの開発」、「曲げ加工支援 AR システムの開発」など着実に成果を創出していると共に、当初計画を上回り「次世代造船システムの構築」の成果を創出しており、「研究開発成果の最大化」に向けて、「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「B」評価とした。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	(10) 海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

研究テーマ	重点☆12 ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4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、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、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。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する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海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する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海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発 －過去の検証結果より抽出されたセンサの異常判断や遠隔監視機能のユーザビリティなどの対策を施した自動化システム及び遠隔操船システムの実用技術の構築・検証を行う。また、自動運航船のシステム評価のため、総合シミュレーションシステムを用いた安全評価手法の構築を行う。等

研究の背景

海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する。

具体的には、以下があげられる。

・自動運航システムの構築
・立体視による他船検出システムの研究
・自動航行船の安全基準の研究
・自動離着桟機能の開発
・シミュレーションシステムによる検証技術の研究

期間全体の研究目標

・自動運航システムのコンセプトの構築
・大洋航行における計画航路に基づいた自動運航システム及び、自動避航システムの開発
・複数のセンサ及びデータに基づく航行障害物情報の統合センシング技術の開発
・自動運航を実現するための規則の対応案
・着桟支援システムと自動着桟機能の開発
・シミュレーションシステムによる無人運航船（自動運航船）の検証技術の開発

上記成果は、以下があげられる。

・自動運航機能の普及により、船員不足への対応、ヒューマンエラーによる海難事故の削減に寄与できる。また、先進的な技術開発を行うことで、我が国海事産業の国際競争力の強化が図られる。

R4年度研究目標

□小項目 1

・　自動避航操船システムの開発
・　自動離着桟システム及び遠隔操船システムの開発
・　自動運航船等の不具合時等の状況把握支援機能要件の抽出とシステムの構築
・　自動化システムを支援システムとして実用化促進

□小項目 6

・　シミュレーションシステムを用いた安全評価手法の構築

R4年度研究内容

□小項目 1

・　自動避航操船システムの開発と試行を実施する。
・　自動離着桟システム及び遠隔操船システムの実用技術を構築する。
・　不具合発生によるアラーム発報時等の状況把握支援機能の検討

□小項目 6

・　シミュレーションによる評価法検討

R4年度研究成果

□小項目 1

(1) 小型実験船による自動化システムの課題対策

・前年度までの小型実験船「神峰」を用いた実船試験により得られた遠隔操船のための監視機能および自動避航操船機能のユーザビリティに関する課題について、インターフェイスの改善を行った（図 1）。
・その後、小型実験船「神峰」による検証試験を行い、自動避航操船と自動着桟を連続して行う自動運航システムが概ね適切に機能することを確認した（図 2）。さらに、本自動運航システムを用いた遠隔操船の検証試験を実施し、容易な操作で遠隔操船が可能なことを確認した（図 3）。



(a) 自動避航操船機能の表示画面　　(b) 遠隔操船（陸上）の表示画面

図 1　自動避航操船機能の表示画面

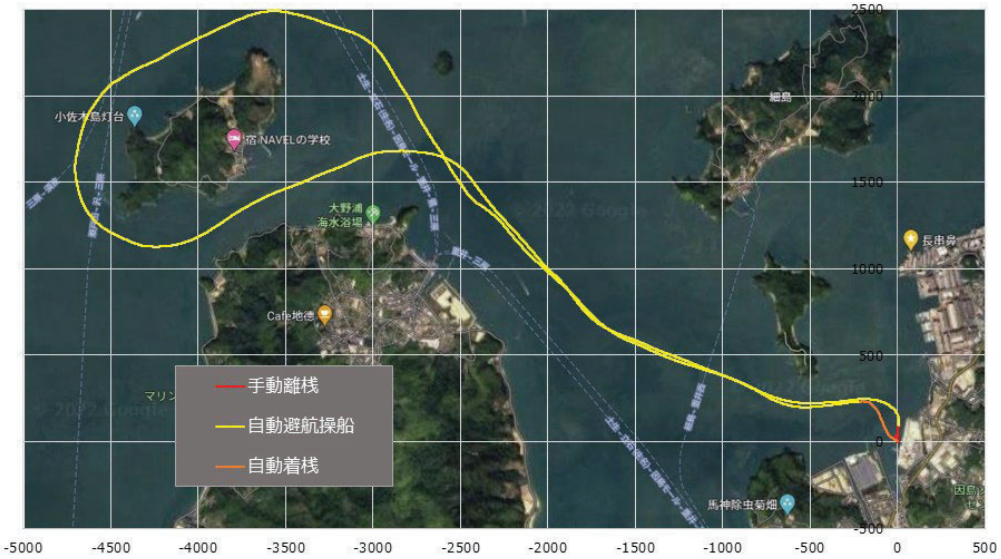
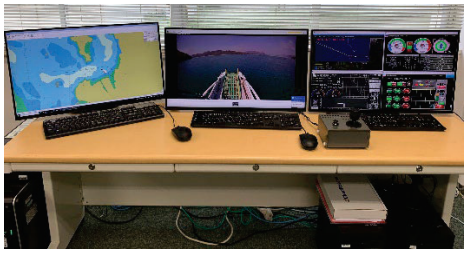
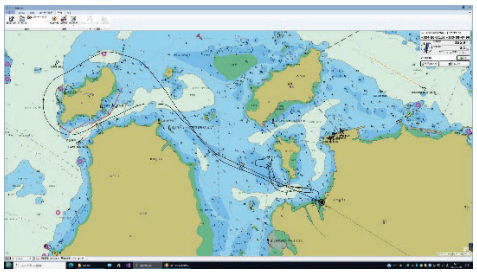


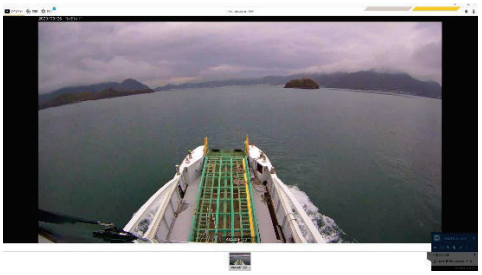
図 2　Full 自動運航システムの試験結果



(a) 遠隔操船場所(三鷹)



(b) 電子海図画面



(c) リアルタイム映像画面



(d) 監視・制御画面

図 3 遠隔操船時の表示画面

・不具合発生によるアラーム発報時等の状況把握支援機能の検討

自動運航船・無人運航船等においては、船体側の各種機器の不具合等発生時や各種アラーム等発報時に、「人」(乗組員・遠隔監視員・移乗してきた対応員等)が当該船舶の状況を把握し、要すれば適切な対応をする必要がある。従前の場合、乗船している船員が、毎日の点検・記録から整備・保守、そして運転まで行っており、「何」が「何処」にあり、それはどの様な「機能」を有し、「現在の値」は如何ほどか、これまでの「履歴」はどうであったか、自ら把握していた。ただ、自動運航船等においては、「人」は当該船の管理に専従しているわけではないため、不具合等が発生して「人」の対応を要する事象の場合は、短時間の内に当該船舶の状況を把握し、必要な対応をしなくてはならない。これまでの調査・検討や、2021 年度に実施した基盤研究や JMETS(海技教育機構)との共同研究の成果等を基に、自動運航船等を想定した支援システムの試設計・及び基本的な機能の試作を行った。

検討結果より、機器データ(現時点では、機器の名称と役割)や配置図をのみならず、系統図も含め相互に連携して表示が可能であると、状況把握の促進に資すると考えられた。よって、システムは[配置図]-[系統図]-[機器データ] 各々に対し、インタラクティブに操作と表示が可能であるものとした。試設計の連携概念を図 4 に示す。

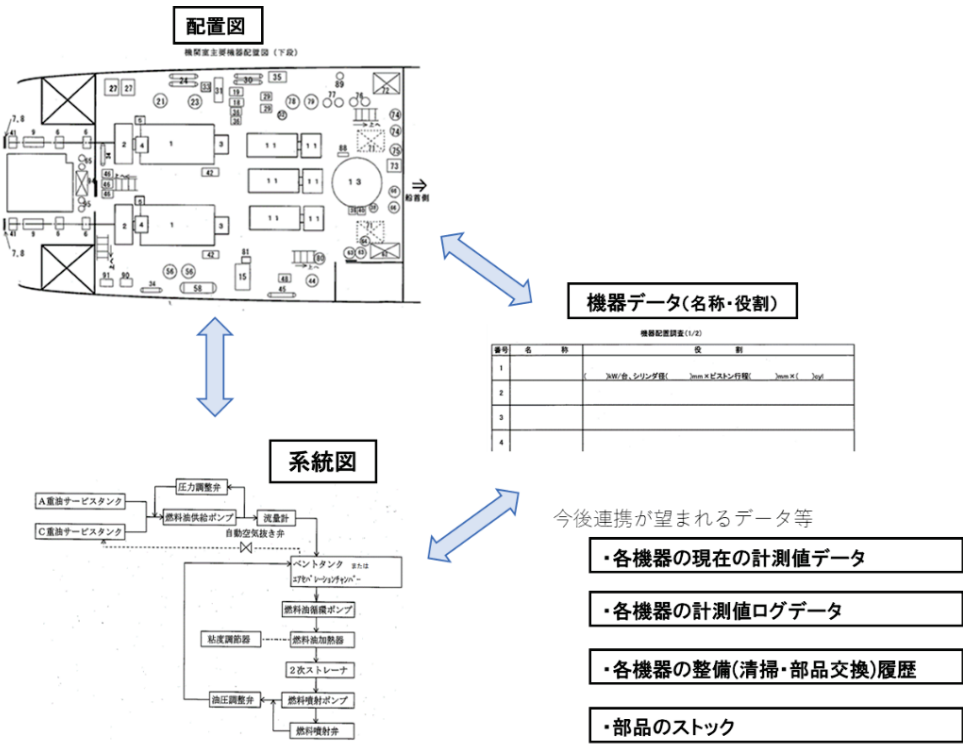
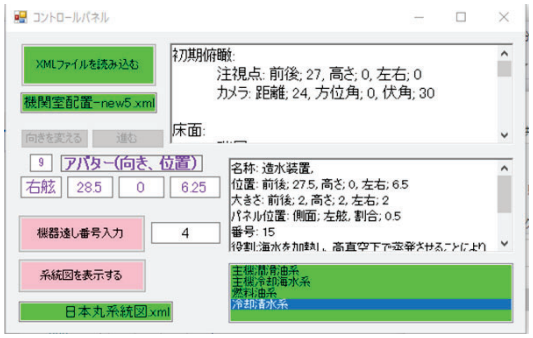


図 4 配置図(位置情報)- 系統図 - 機器データ の連携概念図

試設計を基に、一部の系統についてシステムを試作し、動作を確認した。システムが動作するプラットフォームとしては、将来的にはスマートフォン上での動作も検討する必要があると考えるが、現時点では開発の容易性の観点から Windows タブレット PC 上で動作するものとした。試作したシステムについては、現場の船員による試用（トライアル）を行い、得られたフィードバックに基づき改良を行った。試作・改良を行った支援システムについて図 5 に示す。船員の意見から、例えば新しい船に配属されたことを想定すると、乗船前の事前の予習や、現場での使用、自室に戻っての復習に使用可能であり、従前の紙の図面や資料による習熟より効率的となる可能性があるとの意見が得られた。

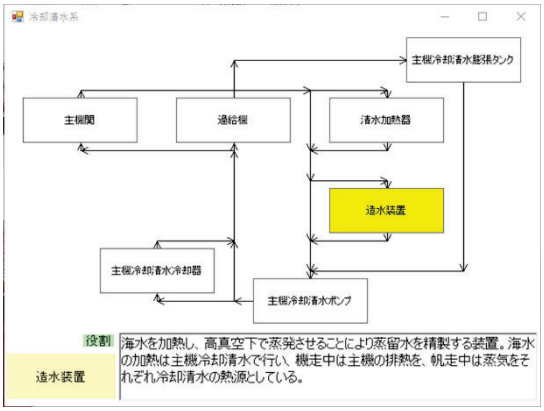
以上のとおり、不具合等発生時の状況の把握を支援するシステムについて、必要な機能の抽出とその試作を実施した。



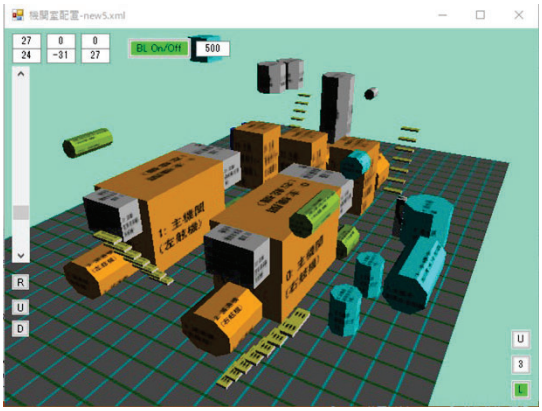
（a） コントロールパネル



（b） 機器画像



（c） 系統図

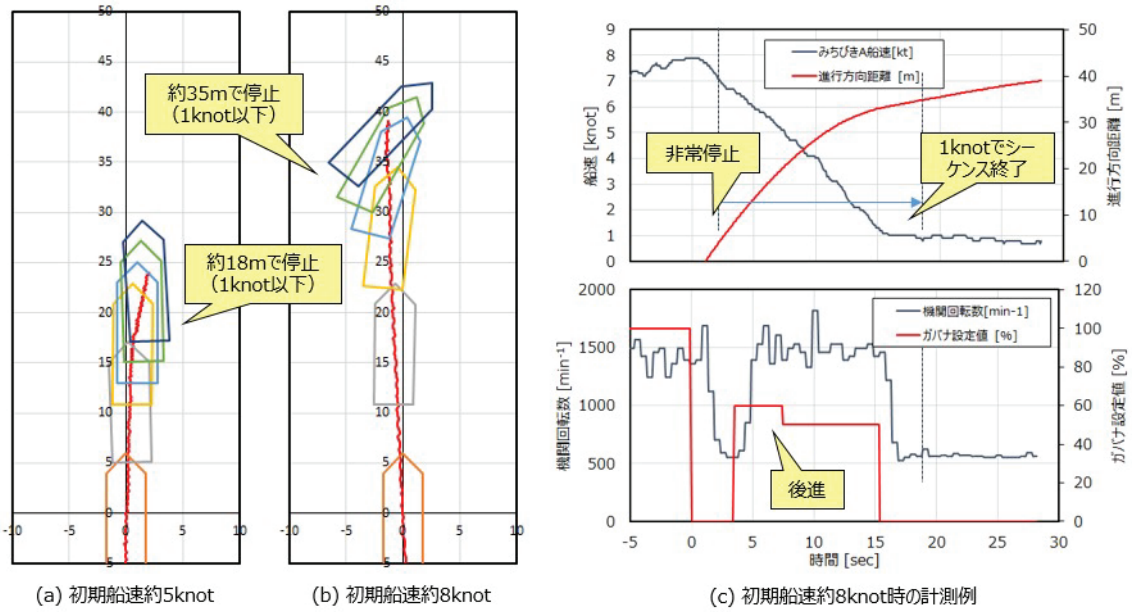


（d） 3D 配置図

図 5 試作支援システム表示例 （機関室の造水装置）

(2) 自動化システムの適用範囲拡大のための実用技術に関する研究

・2021 年度までに小型実験船「神峰」による検証試験を進めてきた自動化システムの一部である、非常停止機能を小型作業船に導入し、その機能を検証した。本機能は、自動ブレーキシステム（進行方向の障害物等を検知し、自動的に後進操作を行うシーケンス制御）を想定しており、仮想の障害物を設定することによって、適切に機能することを確認した（図 6）。



(a) 初期船速約5knot　(b) 初期船速約8knot　(c) 初期船速約8knot時の計測例

図 6　小型作業船による自動ブレーキシステム(非常停止機能)の試験結果

・本研究で進めてきた自動化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、船首・船尾スラスタおよび2基の係船ウインチを搭載した模型船を用いて、自動着桟・係船支援のシステム開発を行った。模型試験により、綱取り作業を除く一連の動作を自動化できることを確認した(図 7、図 8)。また、スラスタによる方位制御など、一部の自動化システムについては、199GT ケミカルタンカーを用いた実船試験を行い、実用技術に関する検討を進めた(図 9)。

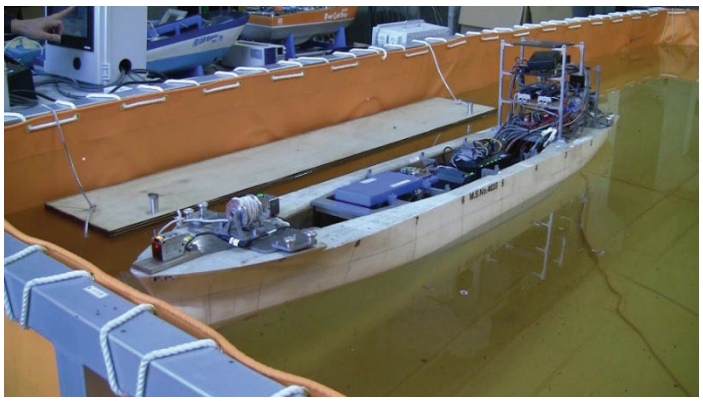


図 7　499GT 模型船(全長 2m)

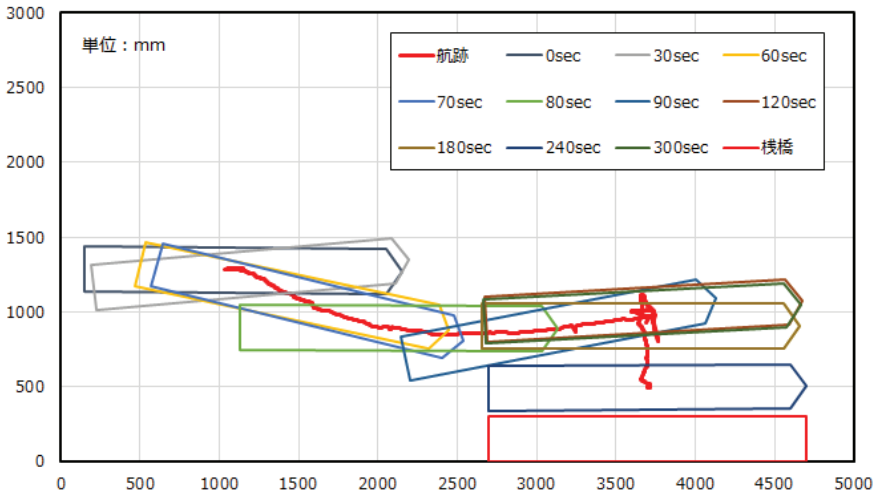
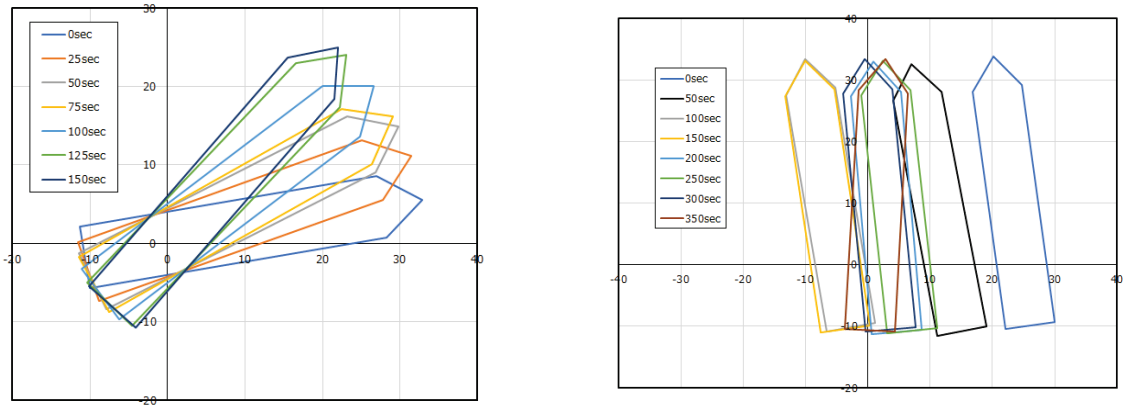


図 8　499GT 模型船による自動着桟試験の計測結果例



（a）スラスタによる方位制御　　（b）スラスタによる平行移動制御

図 9　199GT ケミカルタンカーによる実船試験の例

・内航船の運航事業者およびエンジンメーカ、舶用機器メーカによる協力のもと、陸上監視機能を活用した陸上サポートシステムの技術を構築した。数隻の内航船にシステムを搭載し、アラーム機能等を含めて、適切な陸上監視が可能であることを確認した（図 10、図 11）。なお、本研究開発の一部は、国土交通省総合政策局の令和 4 年度交通運輸技術開発推進制度により実施した。

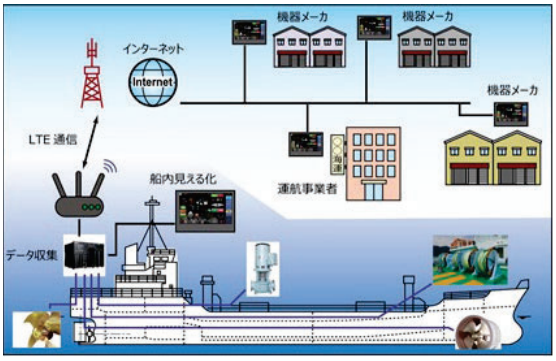


図 10　陸上サポートシステムのイメージ

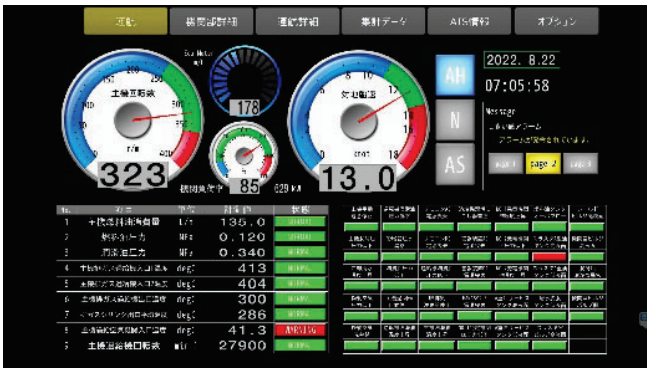


図 11　エンジン監視画面の例（299GT 貨物船）

□小項目 6

・自動運航船の航行が社会に受容されるためには、自動運航船が安全であることを示す必要があり、自動化システムの認証基準等の策定に資することを目的として、安全評価手法や評価に必要な SHS(操船シミュレータ)及び高速シミュレーションの実行が可能な FTSS（ファストタイムシップシミュレータ）からなる総合シミュレーションシステムの構築などの検討を進めており、第 22 回海上技術安全研究所研究発表会において概要を報告した。（図 12、表 1）

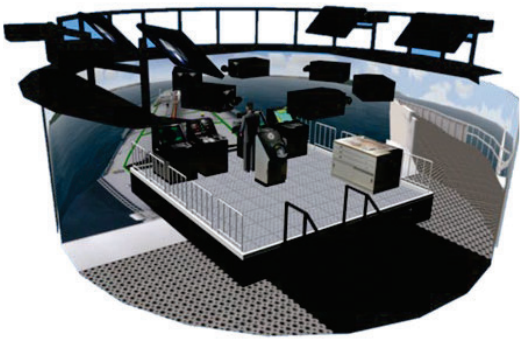


図 12　SHS イメージ
（2021 年 3 月作成）

表 1　SHS の基本仕様

Visual system	Cylindrical screen r=6.5m, Field of view (H x V) 360deg. x 30deg. Screen for downward view
Bridge	Overhead Panel (Main engine RPM, Speed indicator, Rudder angle indicator, Wind direction /anemometer, clock, inclinometer, etc.) Radar x 2, ECDIS(Electronic Navigation Chart), Steering stand, Repeater compass, Navigation console, Chart table, Binoculars, etc.
Reproduction	Time changeover without steps (day, dusk, night) Ship's Lights and Shapes Characteristics of light of AtoN Weather (including restricted visibility due to fog)　　etc.

・自動避航システムの安全評価手法の開発では、評価対象の機能、評価すべき安全性の対象を明確にした。避航操船において重要な交通法規である COLREGs（Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea：海上における衝突予防のための国際規則に関する条約） の Rule8-10 及び Rule13-17 の航法に関する規定を考慮の対象とした。新たに提案した見合い関係のカテゴリ(図 13)と停止船の存在、変針の有無を考慮して COLREGs の Rule13-17 を網羅する 1 対 1 及び、1 対 2 の基本テストシナリオ群の設計方針を示した(図 14～図 16)。また、評価は FTSS と SHS を連携させ網羅性を確保しつつ効率的に実施することを検討した。内航船の操縦運動モデルの拡充のため、2 軸 2 舵の旅客船の操縦運動モデルを作成した(図 17)。

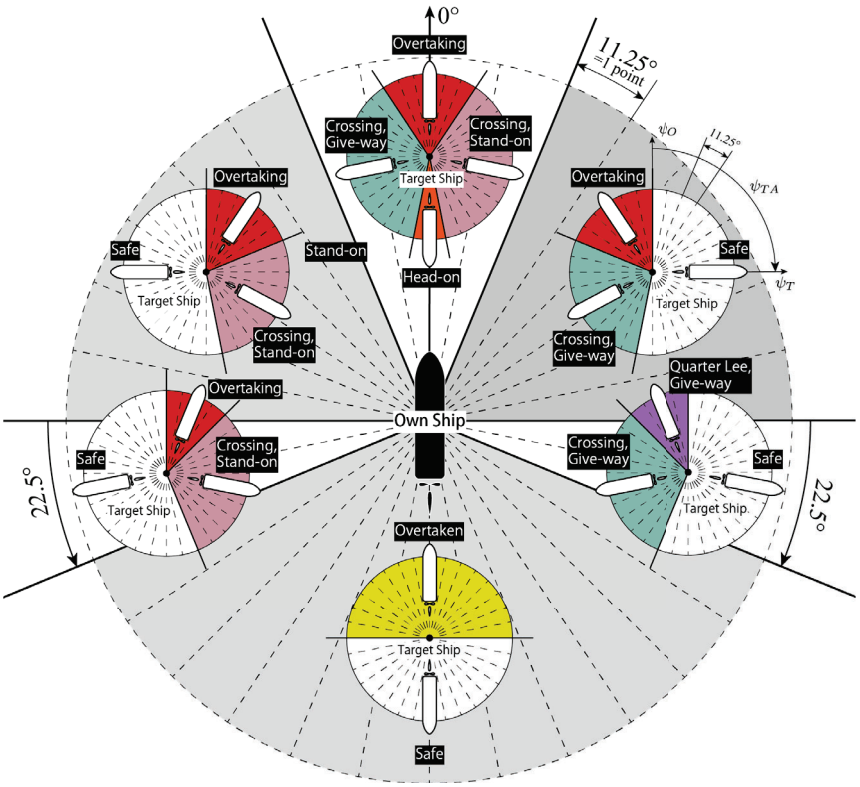


図 13　見合い関係のカテゴリ

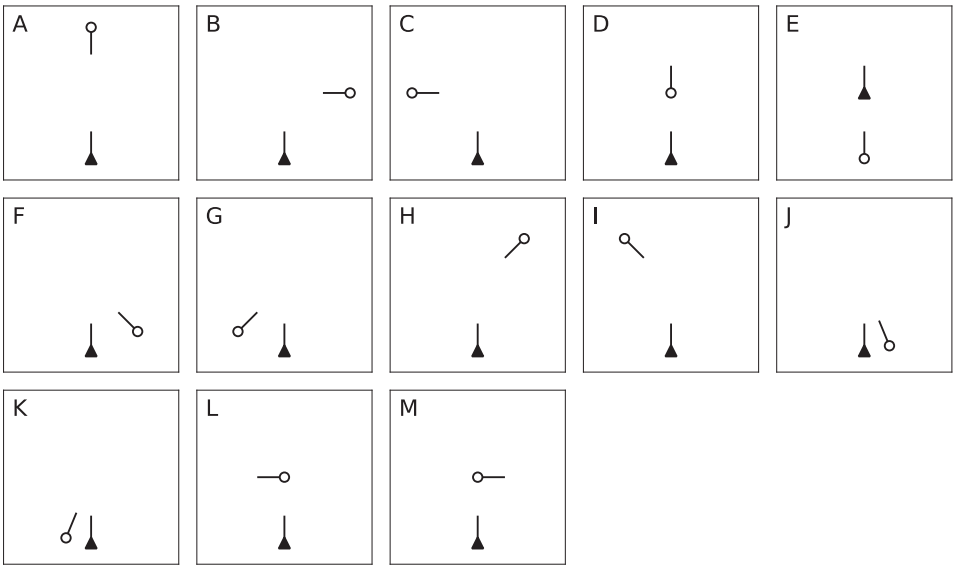


図 14　基本テストシナリオセット案
（1 対 1：変針無し、▲自船(自動運航)、○相手船、｜針路）
※L、M は、漁船・プレジャーボートを想定し停止船を配置しており、停船したまま、もしくは設定されたタイミングで動き出し、自船の針路を妨害する。

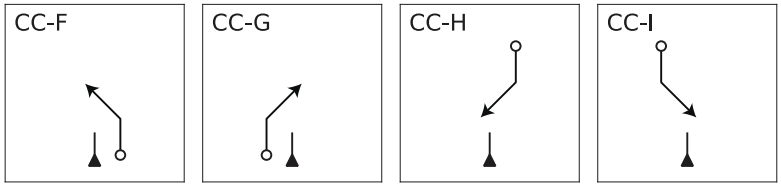


図 15　基本テストシナリオセット案
（1 対 1：変針有り、▲自船(自動運航)、○相手船、｜針路）

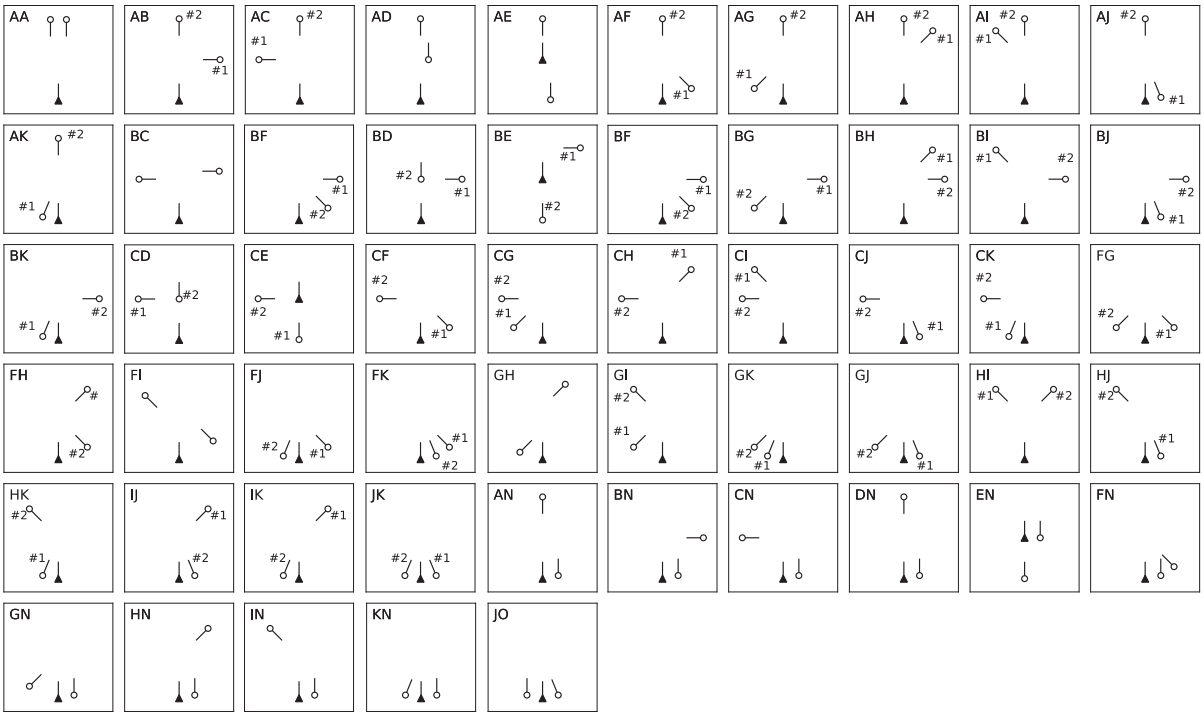


図 16　基本テストシナリオセット案
（1 対 2、▲自船(自動運航)、○相手船、｜針路）

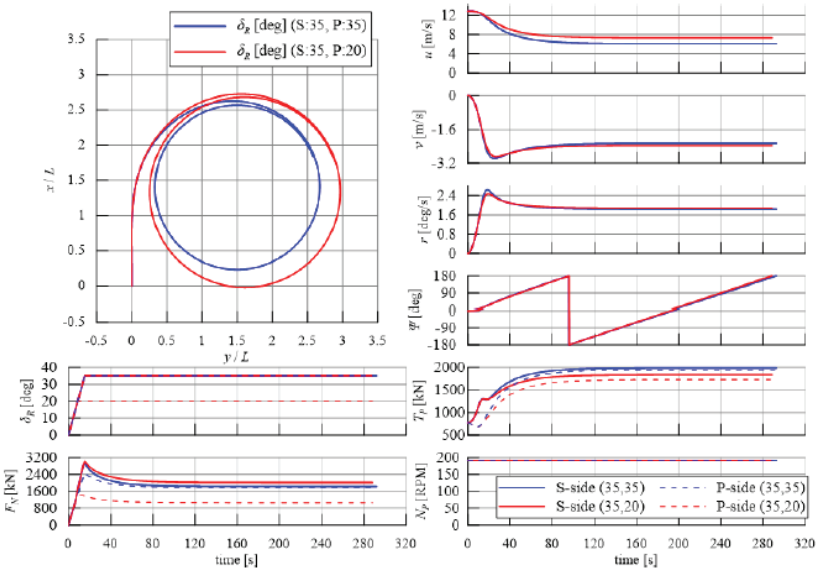


図 17　旅客船の操縦運動モデルの作成（旋回試験シミュレーション結果）

R4年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 7 件(投稿中: 4 件、採択済: 1 件、掲載済: 2 件)

・Kokubun, K.: Status and Issues in Development of MASS, Proceedings of World Automation Congress 2022, (Published Online, November 18) (2022)
・澤田、北川、平田、Automatic berthing control under wind disturbances and its implementation in an embedded system、JMST(採択済み、印刷中)
・澤田、平田、Mapping and Localization for Autonomous Ship using LiDAR SLAM on the Sea、JMST
・小池(阪大)、Dostal(ハンブルグ工科大)、澤田、宮内(阪大)、牧(阪大)、A Study on the Implementation of Nonlinear Kalman Filter Applying MMG Model、JMST(投稿中)
・牧(阪大)、丸山(阪大)、Dostal(ハンブルグ工科大)、笹(神大)、澤田、脇田(阪大)、Practical method for evaluating wind influence on autonomous ship operations (2nd Report)、JMST (投稿中)
・小林ほか:立体視による他船検出・位置推定システム、測位航法学会論文集(投稿中)
・Kokubun, K.: Application of Mission Function Control to Berthing Problem, Transactions of Navigation, (投稿中)

□その他発表論文: 17 件(投稿中: 2 件、掲載済: 15 件)

・國分健太郎: 自動運航船の実用化に向けた海上技術安全研究所の取組み(第三報), 日本人間工学会第 63 回大会 web 予稿集 (2022)
・南、シミュレーションを用いた自動化システムの安全性評価, 日本人間工学会第 63 回大会 web 予稿集 (2022)
・平田ほか、小型実験船「神峰」による自動離着桟及び遠隔操船の実用技術、海上技術安全研究所報告第 22 巻別冊(第 22 回研究発表会講演集)、pp.77-82、2022.
・平田ほか、小型実験船の自動運航システム、海上技術安全研究所報告(総合報告)、第 22 巻, 第 2 号
・澤田ほか、小型実験船の自動着桟システム、海上技術安全研究所報告(総合報告)、第 22 巻, 第 2 号
・小林ほか、小型実験船の遠隔操船用周囲監視カメラシステム、海上技術安全研究所報告(総合報告)、第 22 巻, 第 2 号
・佐藤ほか、小型実験船の自動避航システム、海上技術安全研究所報告(総合報告)、第 22 巻, 第 2 号
・北川、澤田、港内操船を再現するための操縦運動数学モデルとその簡易 構築手法、海上技術安全研究所報告第 22 巻別冊(第 22 回研究発表会講演集)、pp.83-88、2022.
・小池(阪大)、澤田他、MMG モデルを適用した非線形カルマンフィルタの実装に関する一考察、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 35 号
・宮内(阪大)、澤田ほか、自動運航船開発に適したシミュレーターモデルとは、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 35 号
・澤田、南、自動避航操船アルゴリズムのための評価用交通シナリオセット設計、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 35 号
・澤田、自動避航アルゴリズムの評価のためのシナリオ設計法、日本船舶海洋工学会講演会論文集(投稿中)
・南、総合シミュレーションシステムを用いた自律・無人運航船の安全性評価、海上技術安全研究所報告第 22 巻別冊(第 22 回研究発表会講演集)、pp.71-76、2022.
・小林ほか:不特定浮遊障害物のカメラ画像検出プログラムの開発、日本航海学会 2023 年春季講演予稿集(投稿中)
・疋田賢次郎, 沼野正義, 石村惠以子, 船内位置情報と系統図及び機器情報等が連携した現場作業習熟を支援するシステムの開発, (国)海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 令和 4 年度研究発表会 講演集 2022.
・沼野正義, 石村惠以子, 疋田賢次郎, マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -V エージェント間の視点の共有-, (公社)日本マリンエンジニアリング学会, 第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集 2022.
・石村惠以子,沼野正義,疋田賢次郎, マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -VI 舶用機器間の関連探索アプリの開発による作業者への支援 -, (公社)日本マリンエンジニアリング学会, 第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集 2022.

□特許申請: 1 件

・國分健太郎、自動係船方法、及び自動係船システム

□コアプログラム登録: 2 件

・國分健太郎、間島隆博、ミッションファンクション制御則を用いた船舶の着桟制御
・澤田、自動着桟制御プログラム、P11266 号-1

□国際貢献: 0 件

・

□受賞: 1 件

・MTEC/ICMASS2022 Best Paper Award (Maritime Safety), Minami, M., et al.(Development of the Comprehensive

Simulation System for Autonomous Ships）

□公開実験： 0件

・

主な評価軸に基づく自己分析

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

・日本財団の MEGURI2040 プロジェクトに参画し、第三者機関として安全性評価を担当し、貢献している。
・IMO で検討が進む MASS ガイド（非強制 MASS コード案）において、MSC106 の日本案作成及び MSC107 に向けた Navigation 部分（日本が担当）の作成に貢献した。
・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
・自動化システムの一部機能について、社会実装に向け小型作業船及び 199GT 内航船での実証を開始しており、自動化システムに対する競争力強化が期待される。

□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

・小型実験船による研究を進めてきた自動着桟・係船システム及び非常停止機能の多種多様な船舶への適用範囲を拡大するため、199GT 内航船及び小型作業船による実船試験を実施しており、今後の発展が見込める。
・機関監視に関して、陸上サポートシステムを内航船に搭載し機能確認の実施および人が常時監視を行っていない自動運航船におけるアラーム発報時の状況把握支援機能の開発は、自動運航船の実現のため機関のより一層の省人化を進めるうえで重要であり、今後の発展が見込まれる。
・2021 年度に整備した高速シミュレーションが可能な FTSS（ファストタイムシップシミュレータ）とリアルタイムで実行し人による主観的な評価が可能な操船シミュレータを組み合わせ、網羅性を持ちつつ安全評価の効率化を図る手法は新規性があり、認証への利用等発展性も有する。

□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、船陸間の通信システム、自動着桟・係船システム、機関監視システムならびに自動化システムの安全性評価や認証は、計画どおり期待された時期に成果が出ている。

□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

・近年研究が進められている自動運航船の開発に必要な要素技術であり、我が国海運の国際競争力の強化に資する。
・現在、国内外で発表されている自動着桟システムはスラスタやポッド推進等の高度な操縦機構を備えた一部の専用船に適用できるものであり、一方で本研究のシステムは一軸一舵の船であれば広く適用できる。
・遠隔操船システム及び自動着桟システムの実験船実験結果は自律運航船のシステム要件の検討や安全評価にも利用することができる。

□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機能確認を行った。
・将来、自動運航船に搭載する自動避航システムの安全評価で認証機関が使用することを想定し、交通流シナリオ（評価シナリオ）を開発した

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

【年度評価に関するコメント】

自動運航船に関する研究として、昨年度までに開発を進めた自動避航操船、自動離着桟操船の一連の作業を連続した実施を確認するなど自動化システムの開発を着実に進めている。また、操船シミュレータを完成させ自動運航船を考慮したプラットフォームの構築と安全評価や認証への活用に対し適切に研究が進められ、先端の技術開発がなされている。特に、自動化システムの安全性評価では、船技協と連携し IMO に提案した日本案の作成に貢献した。また安全性評価用プラットフォームとしてこれまで開発してきた FTSS を外部の意見等も取り入れ改良を実施するなど安全性評価の社会実装に向けた検討が行われている。そして、今年度も引き続き実施している自動

離着桟・係船及び機関監視の研究では、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。

【終了評価に関するコメント】

自動運航船に必要な機能及びその機能を実現する技術を整理し、技術開発を行ってきた。また、開発の効率化を図るため、開発対象とした小型実験船とミニシミュレータを連携させ陸上と船上の開発の移行をスムーズにするなど開発環境を整備した。他船検知システムと避航操船アルゴリズムの連携など個別に開発を進めた技術を連携させ自動化システムとして構築し、最終年度において、離桟から着桟までの一連の作業が連蔵して実施できることを確認した。また、一部の自動化システムについては、実運航船を用いた実戦実験を実施し社会実装に向けた検討を進めるなど、顕著な成果が出た。

自動運航船の安全評価では、船技協等を連携し操船シミュレータおよび FTSS からなる総合シミュレーションシステムを完成させた。自動避航アルゴリズムを対象に評価テストシナリオセットの提案や IMO への日本提案の作成支援等、安全評価技術についても顕著な成果が出た。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

研究開発課題	（11）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

研究テーマ	重点☆13　AI等による輸送の効率化・最適化・予測等に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4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、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、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。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する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。 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	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する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。 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 －物資輸送に関する輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をするためのシステムの開発・改良を行う。また、港湾振興を担う地方自治体・団体等のニーズを踏まえて、貨物経路推定手法を用いた貨物の新規貨物発見及び既存貨物の特性分類を設定し、システムの改修を行う。 －開発した GHG 削減戦略評価プラットフォームを用いて、様々な代替燃料船の初期検討を行う。また、燃料供給インフラの位置、規模の最適化についての検討を行う。等

研究の背景

海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資する。

具体的には、以下があげられる。

AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
- ・平時及び災害時における複合一貫輸送評価手法の研究
- ・船舶の運航情報提供システムの開発

AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究
- ・データフュージョン技術の開発と海上貨物・造船需要等の評価・予測手法
- ・システムオブシステムズ手法による海事産業の構造変化の影響評価手法の研究

船隊運航管理システムの高度化

期間全体の研究目標

- ・港湾振興組織等を対象とした輸出入貨物輸送経路推定プログラム。自治体・国を対象とした災害時における傷病者及び支援物資輸送評価手法及びシステム
- ・国、自治体・指定公共機関を対象とした緊急支援物資輸送システム
- ・船社等を対象とした船舶の運航情報提供システム
- ・国、造船会社等を対象とした海上貨物・造船需要等の評価・予測手法
- ・海運・造船会社、船級を対象とした海上ゼロ・エミッション輸送を評価するシミュレータ・ワークショップシステム
- ・内航船社を対象とした高度化された船体運航管理システム

上記成果は、以下があげられる。

- ・システムの実用化、普及により、効率的な物流が実現し、環境保全、我が国物流システムの国際競争力が強化される。

R4年度研究目標

□小項目 4

・AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

□小項目 5

・AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

R4年度研究内容

□小項目 4

・緊急支援物資輸送システムに関してプル型輸送を見据えた形での改良を実施する（国受託）。平時（非災害時）輸送については、想定ユーザーを対象にヒアリングを実施すると共に Web 公開内容の改修を行う。

□小項目 5

・データ融合技術に基づくコストの算定と、世界的な外航貨物需要データの精度向上を行う。
開発した GHG 削減戦略評価プラットフォームを用いて、様々な代替燃料船の初期検討を行う。燃料供給インフラの位置、規模の最適化についても検討する。

R4年度研究成果

□小項目 4

・昨年度より開発している、大規模災害時における輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をサポートするための緊急支援物資輸送システムについて、複数の物資に対応できるような改良を一部行い、昨年度の現場実証からの意見があったユーザーインターフェースについて一部改良を行った（図 1）。

・緊急支援物資輸送システムを活用した訓練について、岡山県、高知県、宿毛市、物流事業者等が参加した実動演習において活用された（図 2、図 3）。

・緊急支援物資輸送システムでは、プル型支援時に予想される計算爆発に備え、疑似量子コンピュータによる配送アルゴリズムの定式化を実施し、小規模な問題における PoC（Proof of Concept：概念実証）を行った。（図 4）。

・災害時の支援物資輸送では、プル型輸送期の着地での輸送済み物資の充足率を均質化するよう輸送計画の改善を行うと共に、プッシュ期・復旧復興期の利用可能船の評価を行った（図 5）。

・輸出入貨物輸送経路予測については、想定利用者にヒアリングを行い、また手法の改良を行うと共に最新データを含む 4 回分(2003,2008,2013,2018 年)のデータで予測計算を行い海技研クラウドの AI 貨物輸送経路分析システム上で公開した（図 6）。

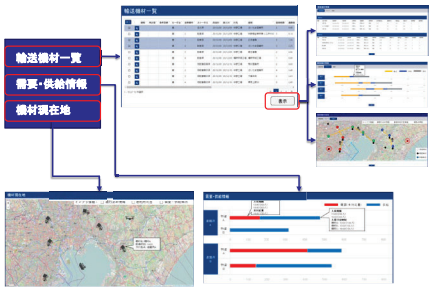


図 1　緊急支援物資輸送システム

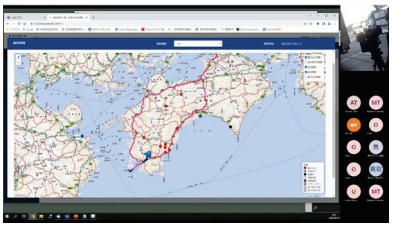


図 2　実動演習の様子
（オンラインによる共有）



図 3　実動演習の様子
（物資の積み替え）

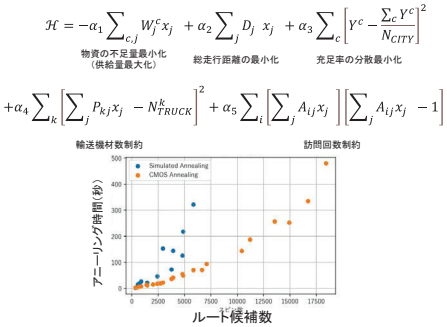


図 4　疑似量子における配送アルゴリズムの定式化

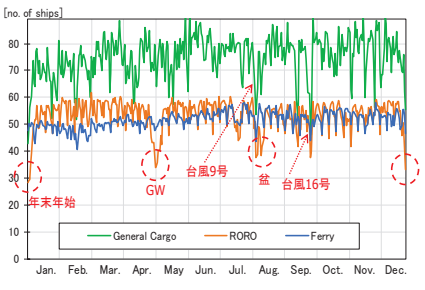


図 5　プル期・復旧復興期の利用可能船の評価（2021 年）

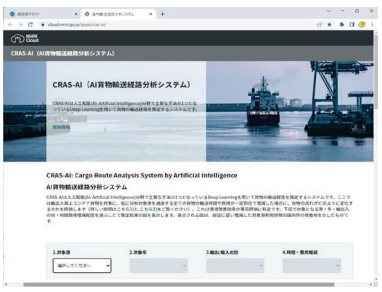


図 6　海技研クラウド上の AI 貨物輸送経路分析システム

□小項目 5

・国際海上コンテナ輸送を対象にして、コンテナ船の需要予測モデルを開発し，将来のコンテナ船の建造需要予測を行った（図 7）。
・国際機関や海事コンサルタントによる国際海運の燃料需要シナリオや燃料価格の将来シナリオに基づき、データの加工技術を使用して項目の統一化を行い、在来燃料やゼロエミ燃料の需要シナリオを作成した。また課金・還付（Feebate）制度を適用したケースで，炭素課金額の算定を行った（図 8）。
・国際機関の要請により AI 技術（neural network）を利用した海運市場の分析・予測に関する基礎研修を海外機関向けに実施した。
・IMO において EU より提案されている GHG Fuel Standard(GFS)規制の規制案と燃料、技術、将来の輸送需要のシナリオを入力として、将来の代替燃料及び代替燃料船の需要、規制の影響・効果等を定量的に議論するツールを開発した(図 9)。建造需要と代替燃料選択に関する意思決定のモデルによって、規制や燃料コストなどのシナリオに対応する将来見通しを定量化した(図 10)。
・国際海運の主要バルク貨物を対象にして、貿易統計等に基づき、輸送コストの推計精度を向上する方法（図 11）、また、コンテナ貨物を対象にして、船舶の積載貨物量を推計する方法を欠損値補完法や AI 技術（neural network）を用いて開発した。
・IEA のゼロエミ燃料導入シナリオや輸送需要シナリオに基づき、建造需要量を予測する方法を開発した（図 12）。

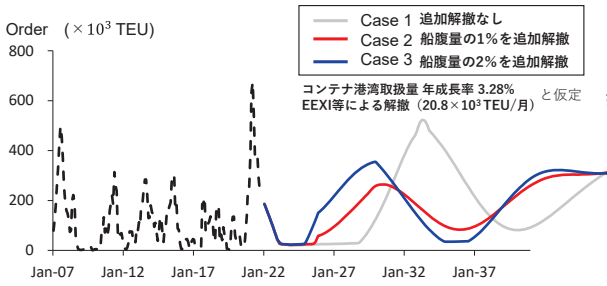


図 7　コンテナ船建造需要量の
将来シミュレーション

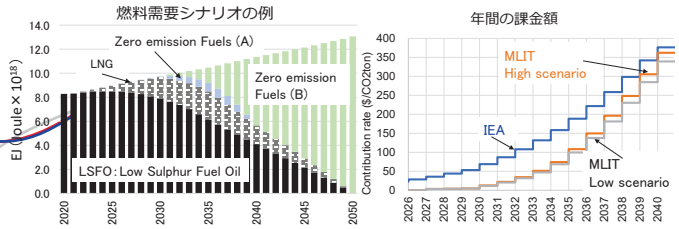


図 8　国際海運の燃料需要シナリオ
と課金額の作成例

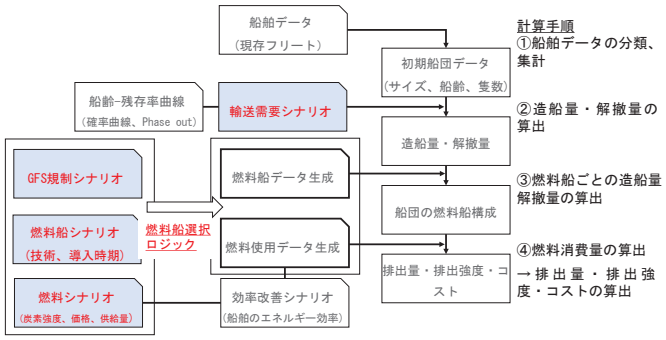


図 9　GFS 規制案を入力とした船団の
燃料転換シミュレーションの開発

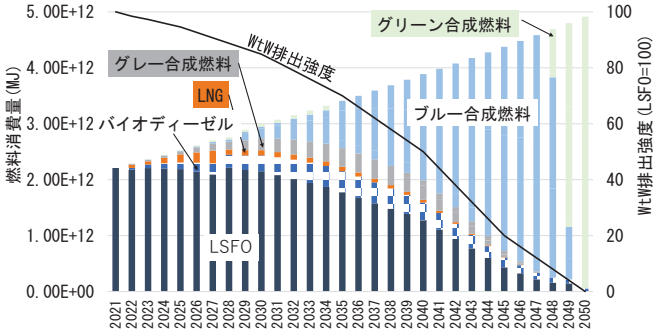


図 10　バルクキャリアにおける
燃料転換シミュレーション（出力イメージ）

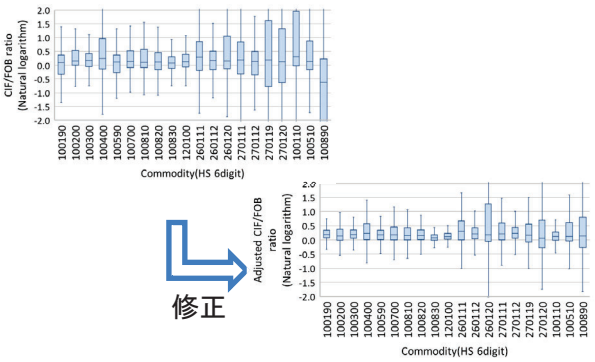


図 11　主要バルク貨物の輸送コスト推計値
における精度改善（変動の減少）結果

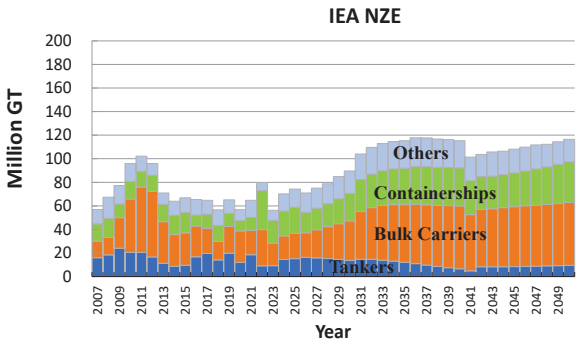


図 12　IEA のゼロエミ燃料導入シナリオに基づ
く建造需要予測の結果

R4年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：10 件（投稿中： 3 件、採択済： 1 件、掲載済： 6 件）

・中山恵介，荒谷太郎，間島隆博：高知県におけるシミュレータを用いた傷病者の輸送計画に関する検討，土木計画学：政策と実践，2022.（投稿中）
・Taro ARATANI and Takahiro MAJIMA: Estimation of Transportation Capacity after Road Disruptions during Large-scale Disasters using Transport Simulator for Injured People, the XXVII World Road Congress Prague, Czech Republic 2023.（投稿中）
・Taro ARATANI, Keiko MIYAZAKI, Toru TAKAHASHI, Shinichi INOUE, Yui FUJIMOTO: Actual Conditions and Issues Regarding Barrier-free Access for Tourist Boats, Transportation Research Record (TRANSED-DRT), 2023.（投稿中）
・松倉洋史：南海トラフ地震におけるプル型輸送期以降の船舶利用可能性評価，日本船舶海洋工学会論文集，vol.37，2023（採択済）
・Takahiro MAJIMA, Taro ARATANI, Shinji HOSOTSUBO: Information Sharing System for Relief Supplies Transport Operation in the Event of Disasters, 9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022),2022.9.（掲載済）
・荒谷太郎，Hwayoung Kim、Thi Quynh Mai Pham、宮崎恵子：離島航路利用者における移動負担感の日韓比較，実践政策学，Vol.8，No.1，pp.25-41，2022.（掲載済）
・DAF Muzhoffar, Yujiro Wada, Kunihiro Hamada, Takumi Kamata, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, Takahiro Majima, Comprehensive Evaluation of Vessel Movement Data Reliability, 9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022),2022.9.（掲載済）
・和田祐次郎，平山大貴，濱田邦裕，渡邊大介，五十嵐祐介，間島隆博：海上物流ビッグデータを用いた ケープサイズバルカー市況の予測に関する研究，海運経済研究，vol.56，2022. 10.（掲載済）
・Hiroyuki KOSAKA,: Imputation of Missing Data in Maritime Container Trade Data, 9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022), 2022.9.（掲載済）
・Hiroyuki KOSAKA,: Analysis of CIF/FOB Ratio in Reconciliation of Trade Statistics, International Association of Maritime Economists Conference 2022 (IAME 2022), 2022.9.（掲載済）

口その他発表論文：12 件（投稿中： 2 件、掲載済：10 件）

・松倉洋史：南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用－日本海側フェリー/RORO 船隊輸送の半割れケースの評価と輸送計画の改良－，令和 5 年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集，2023.5（投稿中）
・和田祐次郎，伊藤大河，渡邊大介，五十嵐祐介，濱田邦裕：海上物流ビッグデータを用いたパナマックスバルカー市況の予測に関する研究，令和 5 年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集，2023.5（投稿中）
・高橋佳歩、正木晶子、荒谷太郎、間島隆博、小埜和夫：災害時の救援物資配送計画に対する CMOS アニーリング技術の適用検討、MCPC 第 7 回量子コンピュータ推進セミナー オンライン、2023.3.（掲載済）
・高橋佳歩、正木晶子、荒谷太郎、間島隆博、小埜和夫：災害時の配送計画に関する疑似量子コンピュータの有効性、日本オペレーションズ・リサーチ学会 2022 年秋季研究発表会&シンポジウム、2022.9.（掲載済）
・青山久枝、荒谷太郎、間島隆博、山田泉、今込毅：大規模災害時の空港面運用に関するシミュレーションによる課題の検討、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2022、CD-ROM、2022.8.（掲載済）
・Taro ARATANI, Keiko MIYAZAKI, Toru TAKAHASHI, Shinichi INOUE, Yui FUJIMOTO: Actual Conditions and Issues Regarding Barrier-free Access for Tourist Boats, Transportation Research Board, the TRANSED: Mobility, Accessibility & Demand Response Transportation Conference, 2022.9.（掲載済）
・松倉洋史、荒谷太郎、間島隆博：南海トラフ地震時における日本海側フェリー/RORO 船隊による支援物資輸送，海上技術安全研究所研究発表会予稿集，2022（掲載済）
・Hiroshi Matsukura: Ship Availability Evaluation from Pull-type Transportation Period of Nankai Trough Earthquake, Proceedings of Autumn Conference of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, November 2022.（掲載済）
・Shinnosuke WANAKA, Ryutaro KAKIUCHI, Naoki FUJITA, Kazuo HIEKATA, Hiroyuki YAMATO: Study on Simulation Based Evaluation of Route and Cargo Specific Project for Introducing Decarbonized Ships, Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, 2022.9 (掲載済)
・Shinnosuke WANAKA, Ryutaro KAKIUCHI, Naoki FUJITA, Kazuo HIEKATA, Hiroyuki YAMATO: Simulation Method of Fleet Transition Based on Technology, Economics, and Regulation Scenario for Decarbonizaton of Shipping, Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, 2022.9 (掲載済)
・Kazuki TAKAHASHI, Yumiko USHIJIMA, Yoshihiro FUJITA, Takuya SAITO, Hiroyuki YAMATO, Ryutaro KAKIUCHI, and Shinnosuke WANAKA, Development of a Communication Platform to Support Consensus-Building Among Stakeholders in Shipping Decarbonization, Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, 2022.9 (掲載済)
・Yujiro Wada, Kunihiro Hamada, Hiroki Hirayama, Takahiro Majima, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, Development

of a Shipping Market Forecasting System Using Vessel Movement Data and its Practical Application, 20th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS2022), 2022.9.（掲載済）

□特許申請： 1 件
・コンテナ船の需要予測方法，需要予測プログラム，及び需要予測システム

□コアプログラム登録： 1 件
・災害時の配送計画立案支援プログラム

□国際貢献： 6 件
・IMO の審議対応：4件（ISWG-GHG12, ISWG-GHG13, MEPC79, ISWG-GHG14）
・IMO 提案文書（ISWG-GHG 13/4/6）にデータ分析結果を提供：1件
・国際機関の要請に対応し，AI 技術等を利用した海運市場の分析・予測に関する基礎研修を海外機関向けに実施：1件

□受賞： 0 件
・

□公開実験：1 件
・災害時の支援物資輸送に係る実動演習を公開(2023 年 2 月 14 日)

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 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
・大規模災害時における輸送については、わが国において自然災害の頻発している中、防災・減災対策が重要な政策課題となっている。
・国としても総力戦で防災・減災対策を講じているところであり、自治体においても、県内の複数の組織がそれぞれ防災、減災対策を行っている中、それらを束ねて総合的に評価する視点が重要となっている。緊急支援物資輸送システムについては、「総力戦で挑む防災・減災プロジェクト」にも記載されており重点施策となっている。
・自治体の参加する実動演習において、経路および輸送機材の情報共有システムとして活用しており、システムの活用が期待されているところである。
・災害時の支援物資輸送については、南海トラフ地震等の大規模広域災害時に陸路のみによる輸送が適切に実施できない事態を想定したもの(冗長システム)であり、安全・安心の確保に有益である。
・輸出入貨物の輸送経路推定手法により、海上輸送費用、荷役費用、港湾機能といったサービスの変化に対して、どの程度貨物量が増減するかが見通すことができ、港湾振興及びモーダルシフトの有力な支援ツールとなりうる。
AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究
・国際海運のゼロエミ燃料の需要シナリオ，Feebate制度による課金額の算定は、海事コンサルタント等と実施し，この成果は IMO の提案文書（ISWG GHG-13/4/6）の基礎資料として活用されているため、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。
・AI 技術等を利用した海運市場の分析・予測に関する研究では，その基礎技術に関する研修を海外機関向けに実施しているため、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いるため、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。

□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

AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
・災害時の支援物資輸送では、国が担当する広域物資輸送拠点までの一次輸送を主な対象に、陸路輸送が機能不全に陥った際の対策を検討してとしているが、これは従来検討されていない視点である。またシナリオ分析により多様な評価を行う点に新規性がある。
・配送計画問題において、計算が大規模になった際に備え、疑似量子コンピュータによる配送アルゴリズム定式化を実施し、小規模な問題における PoC を行っている。
・災害時の支援物資輸送では、国が担当する広域物資輸送拠点までの一次輸送を主な対象に、陸路輸送が機能不全に陥った際の対策を検討してとしているが、これは従来検討されていない分野である。またシナリオ分析により多様な評価を行う点に新規性がある。
・輸出入海上コンテナ貨物を対象とし、貨物の輸送経路推定モデルに従来の拡張犠牲量モデル等に代えて Deep Learning 手法を適用したことで多数の変数を考慮可能となった。これは他にはない新しい取り組みである。
AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究
・貿易統計データの加工や輸送コストの推計は、最新の学術論文を参考して詳細データの検討を実施しているため、成果の科学的意義は大きい。

・コンテナ船需要予測モデルは、海上荷動き量，造船の特性，コロナ禍によるコンテナ船の混雑を考慮した詳細なモデルであり、世界的に見ても前例がないことからも，新規性が高いモデルとなっている。

□成果が期待された時期に創出されているか

AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

・わが国において自然災害の頻発しているなか、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、国土強靭化のための対策は喫緊の課題となっている。

・港湾による取扱貨物の寡占化が進む中、貨物の適切な分散、競争、及び港の共存共栄が求められている。その課題解決に資する評価技術の開発であるため、今後の有用性は大きいと期待できる。

AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

・国際海運における燃料需要シナリオの分析，Feebate 制度を前提とした炭素税の算定は、2050 年のカーボンニュートラルを想定した検討も行っているため、成果が期待された時期に創出されている。

・コンテナ船の需要予測モデルを用いて、アフターコロナにおける将来シミュレーションを実施し、将来需要を分析しているため、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が検討されているため、成果が期待された時期に創出されている。

□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

AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

・災害時の対応やそれに関する計画は、災害大国であるわが国がリードしていると言える。

・荷主の港湾選択行動をモデル化して港毎の輸出入貨物量を推定することで、港湾改善の効果を定量化できることから、日本の港湾のグローバル競争を考えた場合に競争力を強化する上で有益であると考える。

AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

・国際海運における燃料需要シナリオの分析，Feebate 制度を前提とした炭素税の算定、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、国際的なゼロエミ燃料船の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。

・開発したコンテナ船需要予測モデルは、世界的に見ても前例がないことからも、海事コンサル技術等の国際競争力の向上等につながる。

□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

AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

・支援物資輸送について想定外にもできる限り対応できるように、システムを活用した訓練等の実施、自治体の方との意見交換を実施している。

・計算速度を上げるために疑似量子における PoC を実施している

・貨物経路推定手法では最新の AI 技術である Deep Learning 技術を応用している。

AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

・データの加工では、AI とデータフュージョンを組み合わせた手法を取り入れ、先見性と機動性を持って対応している。

・コンテナ船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，モデルの拡張性を考慮して開発している.

研究主任者による自己評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

【年度評価に関するコメント】

・昨年度に引き続き、緊急支援物資輸送システムを活用した自治体を巻き込んだ形での実動演習を実施し、社会実装に向けた取り組みを実施している。

・国際海運・造船需要予測においても、日本海事センターの環境問題委員会やIMO提案文書で活用されている。また、日本造船工業会での活用、海外機関向けの研修の実施で国際貢献等をしており、社会実装に向けた研究・活動を実施していると考える。

・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、外部からも高い期待をされており、「研究開発成果の最大化」に向けて「顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められるもの」として「A」評価とした。

【終了評価に関するコメント】
・傷病者輸送シミュレータについては、交通運輸技術開発推進制度における外部評価委員会において、複数の委員から「非常に意義の大きい成果を得られている」と評価をもらっている。
・緊急支援物資輸送システムの開発についても、国・自治体・指定公共機関参加のオンライン机上演習および現場実証において活用している。
・船隊運航管理システムについては、社会実装が進み、個船の運航情報に係るデータが、クラウド上で可視化され、複数の船会社や荷主において運航管理に活用されている。

研究計画委員会による評価	
年度評価（R4年度）	A
終了評価（H28年度～R4年度）	A

中長期期間の実績（終了評価）
【補足資料】

H28年度

①海上輸送の安全の確保

年度実績

●船舶の構造強度評価における各種解析モジュールを連結するプラットフォームとなる解析ツール （全船荷重・構造一貫強度評価システム（DLSA-Basic））を開発した。

全船荷重・構造一貫強度評価システム（DLSA-Basic）

○構造強度評価において、波浪中運動解析、荷重推定、構造解析、強度評価（降伏、座屈、疲労）の各分野の専門家が実施していた解析を１人の設計者で実施可能になり、工数が約1/15になるなど効率が大幅に向上。

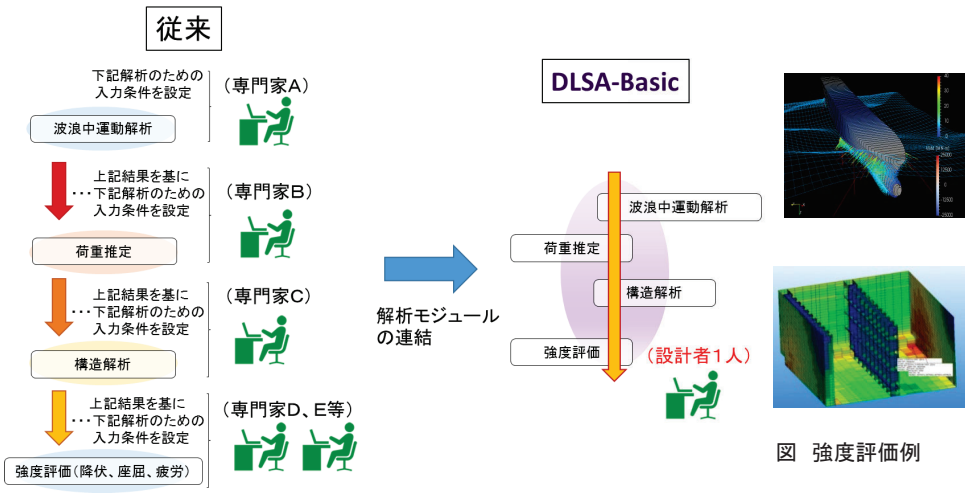


図　強度評価例

○船体に働く衝撃圧力の推定精度を向上させた荷重推定ソフト（NMRIWのバージョンアップ）を開発。

DLSA-Basicへの組み込み可能な開発・改良中のオプション群

- **波浪中運動・荷重**
  - ・スラミング荷重を推定
  - ・最悪海象・極限海象を特定
- **最先端の疲労強度評価法**
  - ・疲労寿命推定可能なき裂成長推定
  - ・二軸載荷条件下の疲労き裂伝播曲線を推定
- **流体・構造連成問題の効率的解析**
  - ・CFDとFEMの一方向連成解析システムを構築
- **最先端の最終強度評価手法**
  - ・繰り返し圧縮荷重下の連続防撓パネルの崩壊現象を解明
- **リスクベース設計手法**
  - ・動的非線形縦曲げ最終強度を評価可能な変断面流力弾塑性ビームモデルを構築

【自己評価】S　船舶設計の飛躍的な生産性向上に貢献する成果を創出した。

H28年度P.1

②海上輸送の安全の確保

年度実績

●荒天下で操船を維持するために最低限必要な推進出力を定めた最低出力暫定指針の改訂に向けて、欧州の研究グループと連携しつつ、我が国造船所の技術水準を考慮した合理的かつ実行可能な指針案の策定に貢献。

●改訂指針を容易に満足できる高揚力舵の性能を確認する手法を確立。

最低出力暫定指針の改訂

○最低出力暫定指針には、学術的に検討不十分な点も多く含まれていることから、理論的・学術的な検討を行った指針に改訂する必要があった。

○当初、検討を主導していた欧州の研究グループは、運航実態等を十分に考慮していなかったため、要求値が過大になる等、我が国海運・造船業等海事産業に深刻な影響を及ぼす懸念があった。

○合理的かつ実効可能な指針案の策定に貢献

簡易手法の設定等学術的な検討を行うとともに、実際の運航状態と海象条件の関係を分析することにより、合理的かつ実効可能な指針を提案。



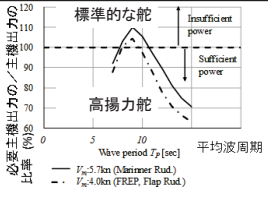


➡ ***欧州研究グループと共同で作成した指針案を日本及びドイツ・デンマーク等欧州関係国によりIMOに提案（本年7月に審議予定）***

(文書番号MEPC71/5/13, INF28, INF 29)

○指針を容易に満足できる省エネ技術を実証

我が国造船所が指針に適合する船舶を建造できるよう支援。指針を容易に満足することができる高揚力舵の実効性を証明する手法を確立。





➡ ***高揚力舵はその高い保針力をもって、標準的な舵に比べ、必要出力を約２割低減可能であることを実証***

（日本船舶海洋工学会講演会論文集 第21号 “An Experimental Study on the Performance of High Lift Rudders under High Propeller Loads”）

【自己評定】S　暫定指針の改訂作業において我が国海事産業の実態を反映するなど、我が国の国際競争力の強化に貢献した。

H28年度P.2

③海上輸送を支える基盤的技術開発

年度実績

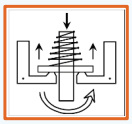
●波浪中での負荷変動に対する主機応答特性（回転数、燃費等の変動）を考慮できる水槽試験法を開発し、水槽模型試験により主機設計が可能であることを示し、実海域性能評価の高度化に貢献した。

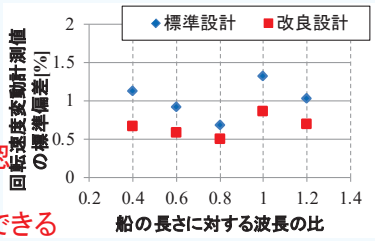
水槽模型試験を通じて主機設計を直接検証できる手法を構築

EEDI導入により船舶搭載主機の出力は抑制傾向となると予想され、出力の抑制による荒天中操縦性悪化が見込まれる。このため、波浪中での負荷変動に対する主機応答特性も含めた実海域性能評価手法及びそれに対応する主機設計手法の確立が急務である。

開発した水槽試験法を活用し、水槽模型試験を通じて主機設計が可能であることを示した。

ケーススタディ
～波浪中負荷変動に対する主機回転速度変動を抑制できる機械式ガバナーの改良設計を検証



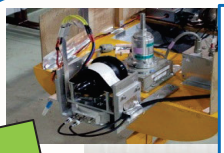


回転数変動抑制を確認
⇒荒天下運航中など、主機安全稼働に貢献できる

活用

○実海象中での船速低下、燃料消費量等を水槽模型試験で直接計測できる方法を開発

平成28年度　日本船舶海洋工学会奨励賞（乾賞）を受賞



補助推力装置
（プロペラ荷重度を実船相当にするための摩擦修正量を自走模型船に付与できる）





主機特性自航装置
（実船主機回転速度応答などを模型試験で再現）

【自己評定】A　波浪中のエンジン応答も考慮できる船舶実海域性能の評価技術を開発し、主機設計にも応用できることを示して船舶性能の総合的な評価技術の高度化に貢献した。

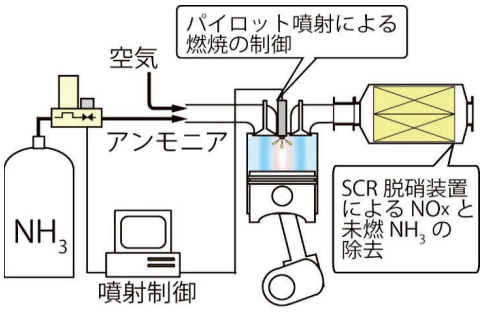
H28年度P.3

②海上輸送を支える基盤的技術開発

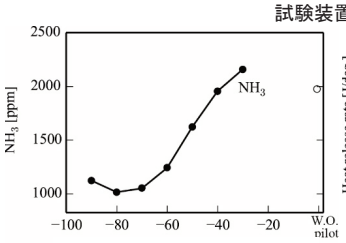
年度実績

●水素社会の実現に向けて、エネルギーキャリアとして有望視されているアンモニアの直接燃焼システムを開発した。

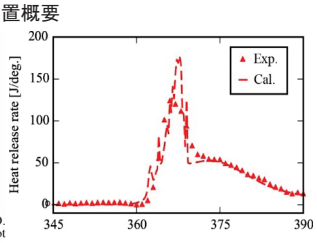
アンモニアの直接燃焼システムの開発



試験装置概要



パイロット噴射による未燃アンモニアの削減効果



シミュレーションと実験結果の比較（アンモニア混合吸気時）

○軽油を燃料とした舶用ディーゼルエンジンの吸気にアンモニアを混合したアンモニア直接燃焼システム（軽油消費量を低減化するもの）について、その実用化のため基礎研究に着手。

○吸気へのアンモニア混合の影響、パイロット噴射（メイン噴射前に行う噴射）の効果等を把握し、多段噴射による未燃アンモニアの低減効果を確認。

○吸気にアンモニアを混合した場合について、いくつかの事例で燃焼状況を予測する燃焼解析シミュレーションを実施。

○当該成果を基にして、実用化に向けた更なる効率向上等の研究をSIP※の研究課題「エネルギーキャリア」にて、29年度より開始。

※ 戦略的イノベーション創造プログラム：科学技術イノベーション実現のための国家プロジェクト（内閣府）

（科学研究費助成事業実施状況報告書（平成28年度））

【自己評定】A　アンモニアの直接燃焼システムの研究開発は、船舶用では例を見ない取り組みであり、29年度のSIPに採用された先見性のある萌芽的研究である。

H28年度P.4

①海洋環境の保全

年度実績　●内航海運の省エネルギー化を促進するための、省エネ船型の開発等を実施した。

船舶の省エネ関連技術開発

◎国の内航海運の省エネ施策のうち、「省エネモデル船型開発」に位置付け。
（「内航海運の省エネ化の促進に関する検討会」報告書抜粋（平成28年6月））

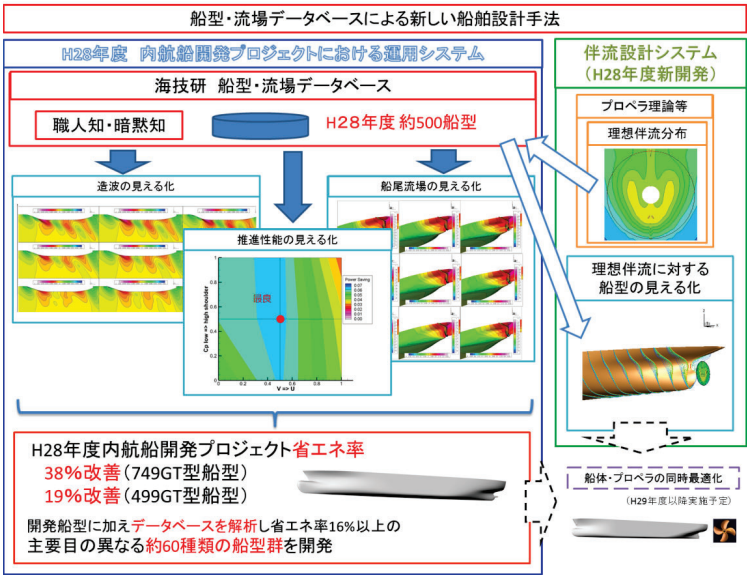
研究成果

目標（16%）を大幅に上回る省エネ率を達成	目標を達成する船型群の開発に成功	中小造船所で利用できる新設計システムの開発	成果の普及

最大38%改善	60種類の船型群	職人知を科学に	図面の無償提供

研究成果による社会への貢献

内航海運のGHG削減の可能性を拡大	船主・オペ・荷主の多様な仕様に応える広い選択肢の提供	中小造船所の船型開発能力の向上	複数の造船所が、建造に向けた商談中



（平成28年度「内航海運のための省エネルギー船型群の研究開発報告書」）

（注）伴流：船体の後方にできる流れの遅くなった領域。伴流の分布が船体とプロペラの推進（省エネ）性能に大きく影響。

【自己評定】S　内航船について大幅な省エネ性能を実現した船型の設計手法を短期に確立。

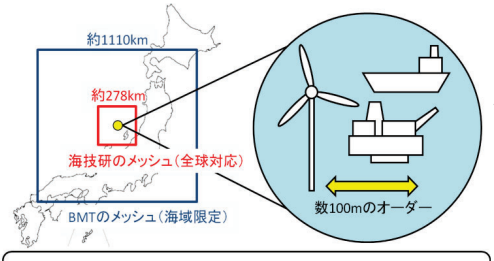
H28年度P.5

②海洋環境の保全

年度実績　●世界一の精度を有する「全球版気象海象データベース」を構築し、実海域運航性能を評価するための基盤を確立した。

実海域運航性能向上技術に関する研究

海技研は、気象庁波浪推算データ（波・風の約150億(注1)を超える膨大な基礎データ）を統計処理して、世界で最も精度が高く、かつ、全球を網羅する気象海象データベース(注2)を構築。

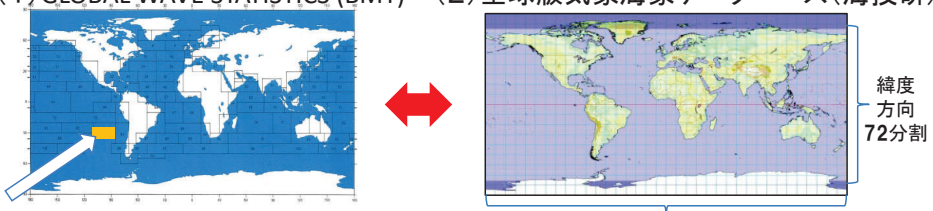


精度の高いデータがあることで、船舶や構造物の合理的な性能・稼動性評価が可能になる。
（既存データ（BMT）のメッシュサイズでは信頼度が低すぎる）

このような高精度な気象海象データベースを用いると、国際航路上の燃費の標準値が高精度に計算可能となり、船舶設計時に実海域運航性能を評価することが可能となる。

○これまで世界で標準的に利用されているデータベースとの比較

（1）GLOBAL WAVE STATISTICS (BMT)　（2）全球版気象海象データベース（海技研）



例：ブロックNo73　（※）ブロックは全部で108個）

比較のポイント	（1）BMT（左）	（2）海技研（右）	改善点
ブロックの数	108	10368	約100倍
メッシュ（赤道の場合）	最小で10°（約1110km）	2.5°（約278km）	解像度16倍以上
発現頻度表	波高－波周期 風速－風向	左に加え 波高－波向 波高－風速など 2相関に加え、3相関も提供（12種類）	初めて3相関（波高－波周期－風速）の発現頻度表を提供 （2次元から3次元での検討が可能）

○世界の様々な分野で活用可能な高い汎用性

（他の用途例）・海洋資源開発事業（リグ・生産用浮体等の稼働率推定）
・風力・波力等海洋エネルギーの資源ポテンシャル分析（風況マップ等）
・海底機器等の敷設工事（施工計画の立案）、等
（ユーザー例）造船事業者、海洋資源開発事業者、自然エネルギー開発事業者、海底機器等の敷設事業者、国、大学等の研究者等

（日本船舶海洋工学会講演会論文集 第24号
「全球の気象海象統計データベースの開発」）

（注1）メッシュ数［（経度方向360°/0.5°）*（緯度方向150°/0.5°）］
×10年分×365日×4回/日×5つのデータ（風速、波高等）＝約150億
（注2）地図上のブロック毎に波と風の統計データを整理した数表

【自己評定】A　客観的な省エネ船の評価につながる世界で最も高精度な全球版気象海象データベースの開発に成功。

H28年度P.6

③海洋環境の保全

年度実績

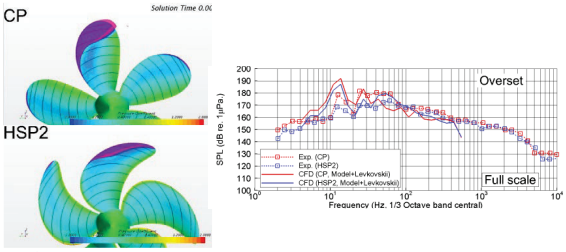
●水中騒音の計測システム・騒音推定方法の構築及び我が国のキャビテーション水槽試験技術のISO基準化を実現した。

船舶に起因する生態系影響の評価技術の構築に関する研究

研究実施内容



① キャビテーション水槽の水中騒音計測



キャビテーション発生状況　　水中騒音レベル推定

② CFDによる騒音発生状況のシミュレーション

水中騒音の水槽試験・CFD等による計測法・推定法構築、精度検証

国際動向を踏まえ必要な技術を開発

2008年　欧州（EU）：2020年までにクジラ類等海洋生物保護を目的とした水中騒音の規制導入を加盟国に義務化
2014年　国際海事機関（IMO）：「商船からの水中騒音低減のためのガイドライン」を承認
2016年　生物多様性条約（CBD）：「海洋及び沿岸の生物多様性における人為的水中騒音の影響」を決議

平成28年度の成果

①キャビテーション水槽におけるプロペラ水中騒音計測システムを構築
就航船2隻のプロペラ水中騒音計測を実施し、精度を検証

②CFDによる水中騒音推定方法を開発
CFDを援用した水中騒音推定法を開発。計算結果を、水槽試験結果および実船計測結果と比較し、開発した手法の妥当性を確認。

③ISO基準・CBD/SBSTTA（科学技術助言補助機関会合）勧告への対応
①②の成果を活用し、キャビテーション水槽試験法のISO基準（注1）に、中韓・欧州標準である模型船を使用したキャビテーション水槽試験法だけでなく、我が国がノウハウを有するワイヤーメッシュ法（注2）を採用させた。また、CBD/SBSTTAから勧告された、水中騒音推定ツールキット整備に対応した。

日本方式試験法の維持・ツール整備といった業界要望を実現。

（注1）ISO20233/DIS：「プロペラキャビテーションノイズの評価のモデル試験方法」

（注2）キャビテーション水槽試験において、プロペラの前に金属の網状のものを設置して、船舶の伴流（流速の遅い領域）を再現する方法。

【自己評定】A　水中騒音計測システムやCFDによる水中騒音推定法の構築を行うとともに、我が国の技術をISO基準等に反映させることにより、国際競争力の維持・強化に貢献。

H28年度P.7

②海洋の開発

年度実績

●採鉱・揚鉱パイロット試験事業における実海域試験（今年度予定）の安全性・稼働性評価を実施

●海底熱水鉱床の商業生産システムのコンセプトを検討するとともに、スラリー輸送管の寿命延伸方法等を考案し、関連特許5件を出願した。

●フロンティア海域（北極海）における資源開発支援のための氷況観測技術の開発を実施した。

海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立

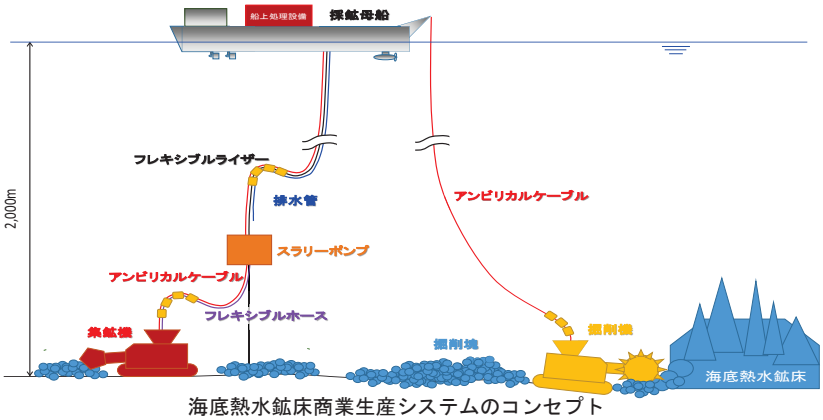
＜海底熱水鉱床開発＞

○経済産業省委託事業で（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が実施している採鉱・揚鉱パイロット試験事業に、民間企業と共に参加。安全性・稼働性評価等の技術的検討を行い、平成29年度実施予定の実海域試験の計画策定につなげた。

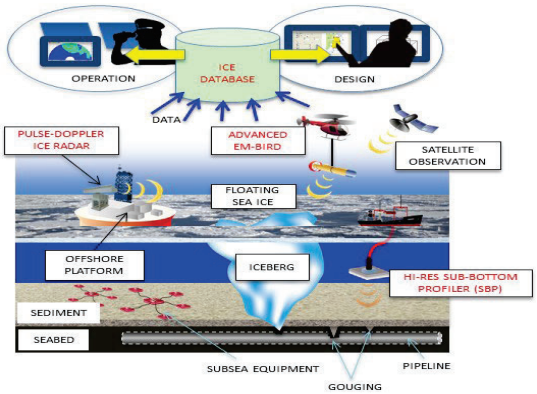
○将来の商業化のための、我が国の海底熱水鉱床生産システムのコンセプトを検討し、同システムの基本計画支援のためのプログラム構成図を作成した。また、スラリー輸送管の寿命延伸方法等を考案し、関連特許5件を出願した。

＜フロンティア海域開発＞

○JOGMEC技術ソリューション事業に大学、民間企業ともとに参加。氷海域における資源開発に不可欠な氷況観測技術の開発を実施し、「ほぼ実用化の段階」との高い評価を受けた。



海底熱水鉱床商業生産システムのコンセプト



氷況観測技術開発の概要図

【自己評定】 A　海底熱水鉱床等の海洋資源開発プロジェクト実現に十分寄与する成果を上げた。

H28年度P.8

①海洋の開発

年度実績

●高性能航行型AUV3号機及び洋上中継器を製作し、高難易度の実海域連接試験を実施した。
●水中局域測位システム等の要素技術の開発を行った。

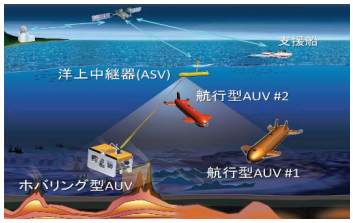
海底鉱物資源開発等に係る基盤技術の構築に関する研究

＜海底熱水鉱床等広域探査技術の開発に貢献＞

国の科学技術イノベーション総合戦略にもとづくSIP（戦略的イノベーションプログラム）に参加し、

○海底熱水鉱床等の更なる広域探査を可能とする小型AUV【航行型3号機】及び複数AUVの統括監視（位置補正、非常時指令等）をするための【洋上中継器】を開発。
（Autonomous Underwater Vehicle：自律型無人潜水機）

○世界レベルで難易度の高い複数AUVの運用を可能とするオペレーション・システムを開発。
（3機のAUVと洋上中継器の同時運用による熱水地帯での全自動海底調査に世界初成功）

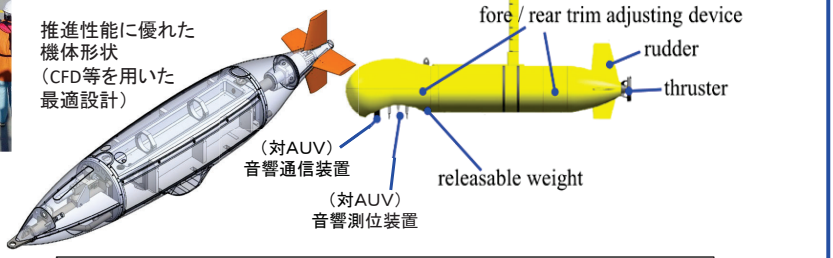








同時運用による海底調査への出動状況



新たに開発した3号機（左）および洋上中継器（右）

（次世代海洋資源調査技術シンポジウム（2016.12.19）「無人探査機（AUV）の複数同時運用による海洋調査の新たなパラダイム」）

【自己評定】S　世界初となる海底広域探査手法など、海底資源開発に有効な支援ツールの開発において顕著な成果を上げた。

H28年度P.9

①海上輸送を支える基盤的技術開発

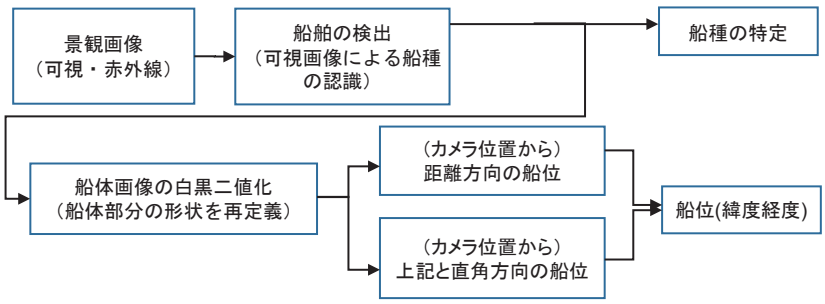
年度実績

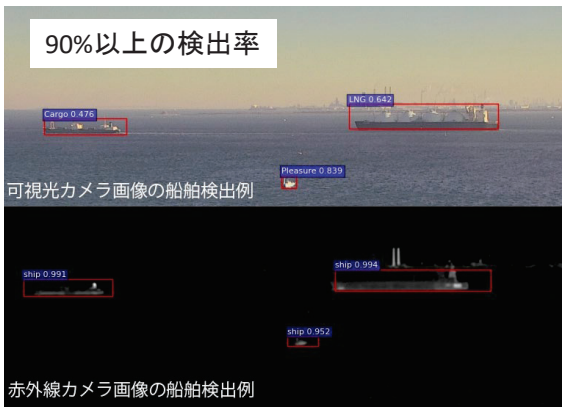
●AI技術を活用し、船舶を画像処理により検出・追尾するシステムを開発した。

画像処理によるAIS非搭載船検出システムの開発

○レーダー及びAISでは検出できない船舶があることから、AI技術の一つである機械学習機能（Deep Learning）を用いて、陸上に設置した可視カメラ及び遠赤外線カメラの画像を処理することにより、船舶の検出、船種の特定、及び追尾を可能とするシステムを開発。

○Deep Leaningに必要な画像のデータベースと画像抽出システムを構築（可視：4,270枚、赤外:2,813枚）。





船舶検出結果画像

（海上保安庁からの請負研究）

（平成28年度　AIS非搭載船の動静把握に関する技術開発報告書）

【自己評定】A　AI技術を用いた船舶分野では例を見ない取り組みであり、衝突事故防止等、海上交通の安全性に大きく貢献できる研究である。

H28年度P.10

H29年度

（1）海上輸送の安全の確保 － ①先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発

年度実績

船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な船体構造基準体系の確立を目指し、荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発を行った。また、国土交通省が掲げる海事生産性革命（i-shipping（operation））の一環として、世界初となるシリーズ船の船体構造モニタリングを実施し、得られたデータを解析して疲労寿命の評価を行った。

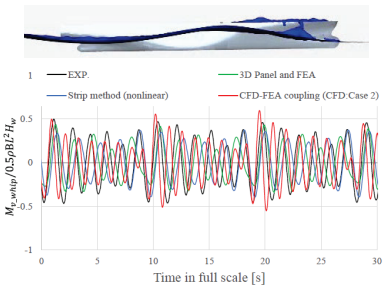
船舶の先進的な荷重・構造強度評価手法に必要な評価システムの開発及び新構造基準案の作成に関する研究（重点研究1）

○極限海象に対応した荷重・構造応答一貫解析強度評価システム(DLSA-professional)の開発の一環として、CFDとFEMを組合せた連成解析手法を構築し、ホイッピング等非線形現象の再現性を水槽試験及び従来手法（非線形ストリップ法、パネル法）と比較検証した。

○設計工数の削減に資するため、構造信頼性理論及びCFD/ストリップ法の2段階解析を用いて短期海象中の最大応答を高速かつ高精度に推定する手法を構築した。



検証用のコンテナ船弾性模型（上）と弾性模型のモード解析（下）



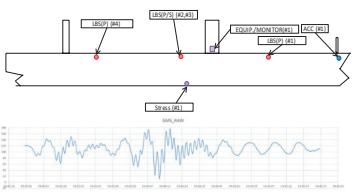
CFD連成シミュレーションによるホイッピング応答の解析例

Takami, T. , Oka, M. , Matsui, S. and Iijima, K. : A numerical simulation method for predicting global and local hydroelastic response of a ship based on CFD and FEA coupling, Marine Structures, Volume 59, May 2018, Pages 368-386

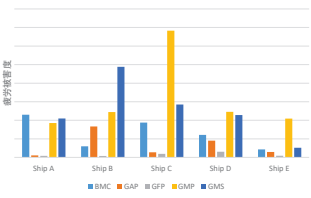
先進的な荷重・構造強度評価手法と連携する船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究2）

○船上モニタリングの先進的な取組の一環として、船社、造船所、船級協会、大学等で構成される国プロジェクトに参画し、2016年から2018年にかけ10隻シリーズ建造される14,000TEU型コンテナ船のモニタリングで得られたデータを解析して疲労評価を行い、運航と疲労寿命との関係性を明確化した。

○このような研究開発で得られるビッグデータを将来の国際基準策定に活用する可能性について国際海事機関（IMO）に提起した。



14000TEU型コンテナ船の歪みセンサ配置（上）と計測された応力波形の例（下）



シリーズ船の疲労被害度推定値の比較

平成29年度国土交通省□□□□□□□□□□□□□□□□□「大型コンテナ船における船体構造ヘルスモニタリングに関する研究開発」

Integrated onboard monitoring system for safe and efficient ship operation (IMO MSC 97.INF.12)

（1）海上輸送の安全の確保 -②安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準化に関する研究

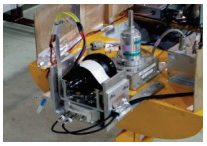
年度実績

衝突・乗揚げ等海難事故の防止に資するため、実海域環境下での操縦性能を推定する模型実験法の開発を行い、その妥当性を検証した。また、舷側に抵抗体を設置する船舶の新たな制動手法を開発し、その有効性を確認した。

安全運航に必要な操船性評価手法の開発及び基準化に関する研究（重点研究4）

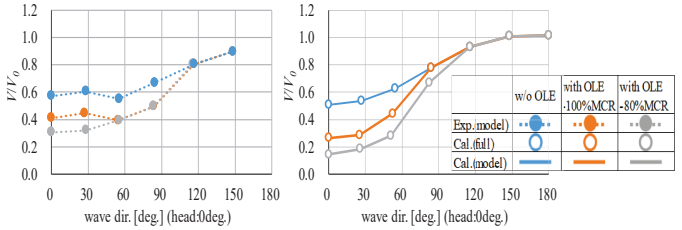
模型試験による、波風が併存する実海域環境下での操縦性能推定は極めて困難

補助推力装置を使った舵効き船速修正方法と風荷重模擬装置の開発により、これを克服



補助推力装置

船舶の実海域環境下での操縦性能向上につながり、衝突海難事故低減への貢献が見込まれる



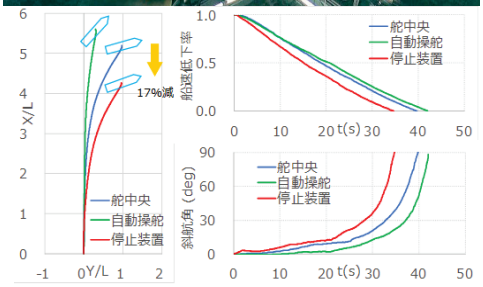
舵効き船速修正に主機の作動制限を考慮する方法を適用した波風中の船速低下の実験値と計算結果の比較(左, 模型実験; 右, 実船対応数値計算)

塚田吉昭, 鈴木良介, 上野道雄：風荷重模擬装置の開発と実海域環境下の自由航走模型試験, 海上技術安全研究所報告(研究報告), 17巻3号 (2018), pp. 167-186.

海難事故防止に資する事故解析及び予防技術の開発に関する研究（重点研究5）

○斜航状態での抵抗増加を活用するために舷側に抵抗体を設置するなど新たな制動手法を開発。
⇒水槽実験の結果、一般的なプロペラ逆転による停止試験と比べて停止距離が約17%短縮されることを確認し、本制動手法を特許出願。





新たな制動手法と操舵の効果に関する模型実験結果

H29年度P.2

（2）海洋環境の保全
-②船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究、多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究

年度実績

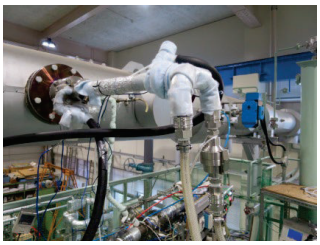
船舶から排出されるBC（ブラックカーボン）、PM（粒子状物質）等の分析・低減技術の開発を行った。また、水素燃料電池等多様なエネルギー源を用いた舶用動力システムの安全性・性能評価を行い、国土交通省による水素燃料電池船の安全ガイドライン策定に貢献した。

船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究7）

○可搬式PM捕集装置を用いて4機の舶用ディーゼル機関でPM計測・組成分析を行い、船舶特有のPM排出量データの作成に必要なPM組成分析データを蓄積した。
※日本マリンエンジニアリング学会論文賞受賞



可搬式PM捕集装置



所外のディーゼル機関に設置してPM計測する様子

○エンジンの運転条件によるBC・PM排出削減効果の評価を行い、エンジンの燃料噴射圧を上げることにより60～77%のBC削減効果、2～3割のPM削減効果を確認した。

※大橋ほか、舶用ディーゼル機関から排出されるPMの分析事例－大気質シミュレーションへの適用、日本マリンエンジニアリング学会誌第52巻、第6号、pp778-787, 2017

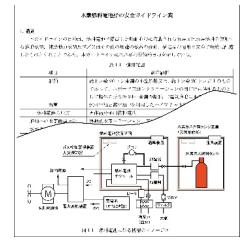
多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究（重点研究12）

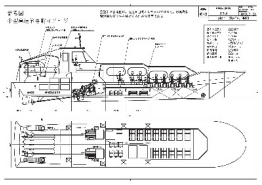
○燃料電池、リチウムイオン電池及び電気推進システム等の関連機器の状態を適切に監視制御するシステムを構築し、実船実験を行った。
○これらの研究成果を基に、国土交通省による**水素燃料電池船の安全ガイドライン案を作成し、国土交通省に提出**した。（平成30年3月発行）





水素燃料電池システム及びリチウムイオン電池を搭載した小型実験船（上）と監視画面（下）





水素燃料電池船の安全ガイドライン（一部抜粋・上）とその検証のために試設計をした小型旅客船の例（下）

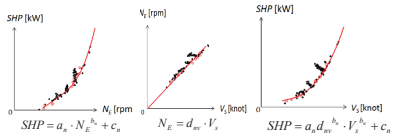
H29年度P.3

（2）海洋環境の保全
-①実海域実船性能評価に関する研究、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

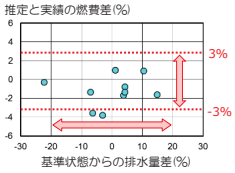
年度実績 就航時モニタリングデータから実船性能を評価推定する手法を確立した。また、海技研が開発した次世代CFDコードNAGISAを用いて、世界初の省エネ付加物のCFD計算のためのガイドラインを作成した。

次世代EEDI、EEOIの開発及び実海域運航性能向上技術に関する研究（重点研究8）

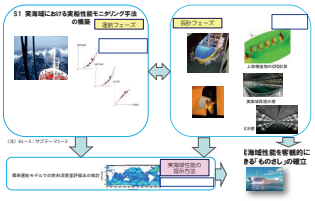
○実船モニタリングデータの解析法として重要となる排水量の補正について±20%の幅広い範囲で実海域中燃費推定の精度を確保する手法を開発し、**日本船舶海洋工学会賞（論文）（2018）を受賞**した。
○2017年10月に開始された我が国海事クラスターの国際競争力強化の取組である「実海域実船性能評価プロジェクト」（参加25社）においても、本研究成果が活用され、重要なコア技術の一つとなっている。



数式モデルによる平水中性能の表現



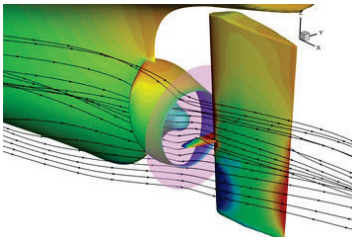
実海域中燃費の推定精度

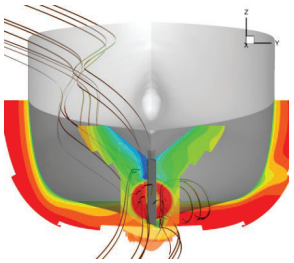

実海域実船性能評価プロジェクト（OCTARVIA）

櫻田ほか：実運航性能評価における船速ー回転数ー主機出力関係のモデル化，日本船舶海洋工学会論文集第25号（2017），pp.39-46

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（重点研究10）

○海技研が開発した次世代CFDコードNAGISAを用いて、世界初の省エネ付加物のCFD計算のためのガイドラインを作成した。この功績により、**日本船舶海洋工学会賞（開発）（2017）を受賞**した。
○NAGISAをはじめとする次世代CFDの機能拡張が進み、複雑な形状を組み合わせた**実用的な省エネデバイス**に対応するとともに、船体の**操縦・波浪中運動計算**が可能になった。
○次世代CFDのソフトウェアとしての価値が向上したため、有償の使用許諾を開始。**現在13社と次世代CFDの正式契約**。


複数の省エネデバイスを設置した肥大船の自航流れ計算


肥大船の操縦性能試験計算（Z試験）

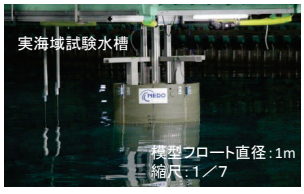
H29年度P.4

（3）海洋の開発
-②海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究、海洋資源開発に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究

年度実績 並進動揺型波力発電装置の不規則波中での発電性能評価及び性能最適化を行った。また、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）に参加し、航行型AUV3機、ホバリング型AUV1機及び洋上中継器の同時運用オペレーションを実施するとともに、AUVの民間への技術移転を推進した。

海洋再生エネルギーに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の開発並びに開発の加速に係る技術の開発に関する研究（重点研究17）

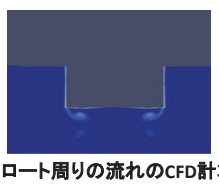
○並進動揺型波力発電装置が不規則波に遭遇した際の制御最適化に関する研究を行い、概ね規則波中と同レベルの発電性能が確保できる制御手法を確立した。
（岩手県及び釜石市と連携し、総合海洋政策本部が選定した釜石湾実証フィールド設置を想定した検討を実施。）
○並進動揺型波力発電装置の性能最適化（出力最大化のためのアクティブ制御）で重要になる粘性減衰力の把握のため、実用的なCFD計算手法の検討を行った。



水槽実験状況



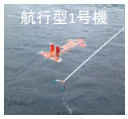
総合海洋政策本部が選定した釜石湾実証フィールド（釜石市HPより）


フロート周りの流れのCFD計算例

海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究（重点研究20）

○航行型AUV3機、ホバリング型AUV及び洋上中継器の同時オペレーションを実施した。（沖縄海域、鹿児島湾）











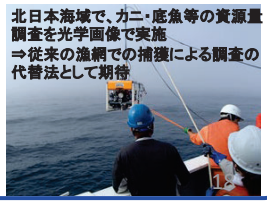



同時オペレーションによる海底カルデラ熱水域調査（微細地形、海底地層、熱水プルーム、光学画像、地磁気、海水化学特性等）

○小型化、低コスト化を実現するとともに、複数機運用を見据えた航行型AUV4号機を開発し、実海域での性能試験を完了した。（3号機から運動性能を向上させると共に、成果を3号機にもフィードバック）


航行型AUV4号機

○ホバリング型AUV「ほばりん」は、民間企業の運用により、水産資源調査（水産研究・教育機構主催）に活用。⇒民間への技術移転の推進



H29年度P.5

（3）海洋の開発 － ①海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究

年度実績

経済産業省委託事業で（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が実施している採鉱・揚鉱パイロット試験事業に参加し、世界初となる水深約1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献した。

海洋資源・エネルギー開発統合システム等の総合安全性評価技術の開発に関する研究（重点研究18）

＜海底熱水鉱床開発＞

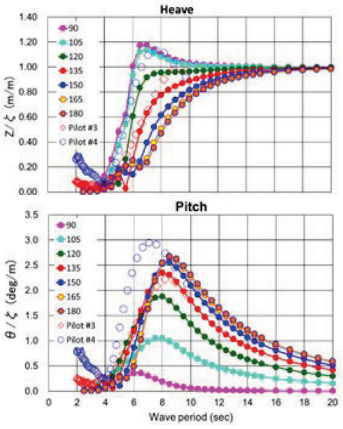
○採鉱・揚鉱パイロット試験事業に民間企業と共に参加し、採鉱・揚鉱パイロット試験の稼働性評価、安全性評価等を実施。また、当所がこれまでに実施してきた揚鉱に関する研究成果を参加企業による機器設計・製作やオペレーション検討に活用。世界初となる水深約1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献するとともに、揚鉱母船の稼働性、揚鉱管挙動等に関して実海域試験で取得した各種データとの比較を通じて、それらの評価手法を構築した。

○配管の摩耗損傷箇所を把握し、配管等の寿命を延ばす方法を検討し、特許を4件出願した。

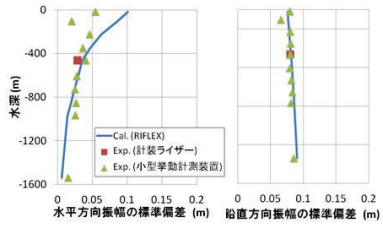




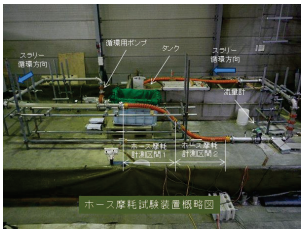
採鉱・揚鉱パイロット試験概念図（左）及び洋上に揚がった鉱石（右）
（経済産業省ホームページより）



揚鉱母船の稼働性評価



揚鉱管の挙動評価



摩耗試験状況

H29年度P.6

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発
－②造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築に関する研究

年度実績

これまでに開発した生産管理システム等を中小造船所に導入し、中小造船業全体で5%以上の技能職工数削減効果及び技能職余力創出効果を確認した。また、ICT技術を応用した造船現場の生産支援のため、造船曲げ加工作業支援システム等を開発した。

造船業の競争力強化や少子高齢化等に対応するための新しい生産システムの構築に関する研究（重点研究21）

○これまでに開発した生産管理システム及び未活用労働力を活用した造船工程管理手法を中小造船所2社に導入
⇒一般的な中小造船業全体の造船工程全体で
・5%以上の技能職工数削減効果
・5%以上の技能職余力創出効果
を確認した。

技能職工数削減効果（実証実験のサンプル）

	船殻組立取付	船殻組立溶接	船殻搭載
A造船所	約2%減	約19%減	
B造船所	約8%減		約3%減

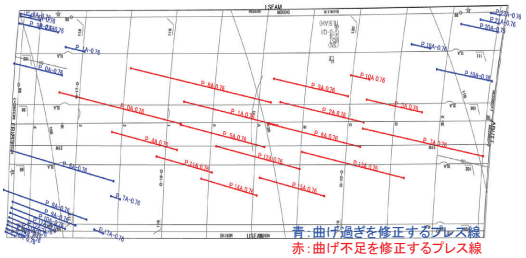
技能職余力創出効果（実証実験のサンプル）

A造船所（管製作）	約15%
B造船所（船殻組立溶接）	約11%

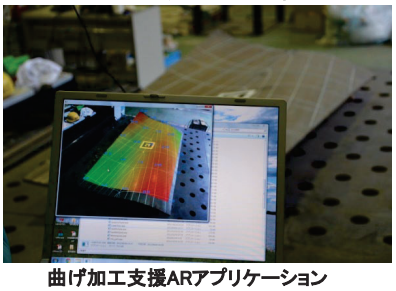
造船工程全体の工数削減効果及び余力創出効果の推計のベースとなる実証実験の結果

（平成29年度日本財団助成事業 「中小造船業への新しい生産管理手法の導入による人材活用」（日本中小型造船工業会）報告書）

○造船曲げ加工作業者に鋼板のプレス作業要領を随時情報提供する「リアルタイムプレス線出力システム」を開発し、造船所での実証実験で有効性を確認するとともに、既開発の「曲げ加工支援ARアプリケーション」に接続した。



開発したシステムによる追加のプレス線指示



曲げ加工支援ARアプリケーション

H29年度P.7

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発　-① ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究

年度実績

今後、自動運航船の開発実用化が進むため、国際規則の制定改廃の検討や自律化システムのための認証法の開発が必要となる。これに備えるため、①システム認証用の操船シミュレータへの自律機能組み込みのフレームワークの構築、②自動運航船に必要な要素機能の試作、③自動運航船の運航に必要な規則の整理・国際海事機関（IMO）への提案を実施した。

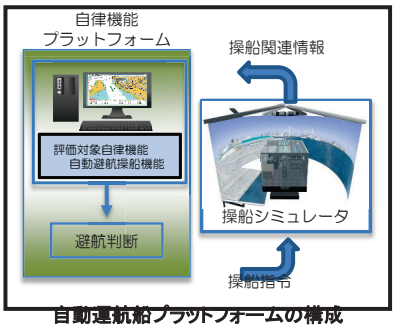
船舶のICT（情報通信技術）を利用した大陸間自律運航、メンテナンスフリー等に係るモニタリングシステム等の支援技術に関する研究（重点研究23）

①自律機能組み込みのフレームワークの構築

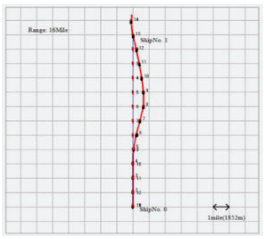
操船シミュレータに自律機能組み込みフレームワークを構築し、自動運航を体験できる環境を構築した。

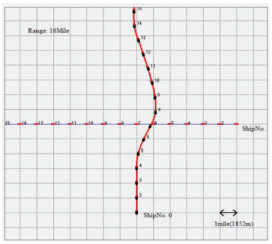


自動運航船プラットフォームでの操船の様子



自動運航船プラットフォームの構成





モジュール化された避航操船機能による操船シミュレータ上の避航操船結果

② 自動運航船に必要な要素機能の開発を実施

・自動運航の基本となる自動避航操船機能モジュールを構築した。
・実船搭載カメラから取得した画像から教師データベースを作成し、深層学習アルゴリズムにより船影の検出に成功した。



両舷カメラと他船検出結果

③自動運航船の運航に必要な規則の整理

・自動車等他分野の自律機能の認証手法についての調査を行い、その手順を検討した。
・自動運航船を運航するにあたり制定改廃が必要な国際規則の対応別分類を行い、IMOに提案した。※

①、③に関しては、交通運輸技術開発推進制度「自律型海上輸送システムの技術コンセプトの開発」及び（一財）日本船舶技術研究協会「自動運航船の開発・実装に係る制度の研究に関する検討会」に関連して実施。

※Studies conducted in Japan on mandatory regulations relating to Maritime Autonomous Surface Ships – SOLAS, STCW and COLREGs (IMO MSC 99/INF.14)

H29年度P.8

H30年度

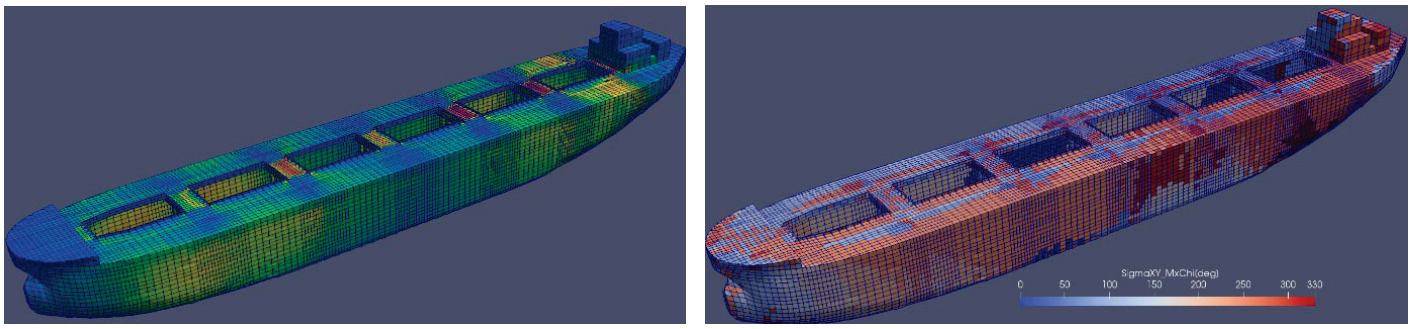
（１）海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

年度実績

□ 荷重・構造応答一貫解析強度評価システムを拡張し、新たに疲労被害度等の表示を可能とした。

船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1）

極限海象に対応した荷重・構造応答一貫解析を最終目標として、前年度に開発した荷重解析一線形構造解析評価システム（DLSA-Basic）の、強度評価及び海象条件設定をモジュールとして出力できるソフト（DLSA-Basic-Projection）を開発することにより、船体の全体を通じた疲労被害度等の評価を可能とした。



強度評価マッピング
（左：超過確率10^{-8}レベルの応力の最大期待値　右：応力が最大となる波向きの分布）

DLSAシステムの開発により 網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し造船所の設計への適用も可能とした世界的にも例をみない荷重構造一貫解析評価システムであり、日本の造船所の設計力の強化につながる。

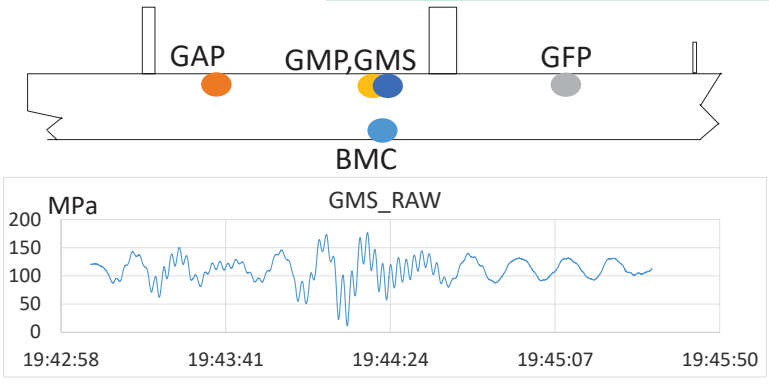
（１）海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

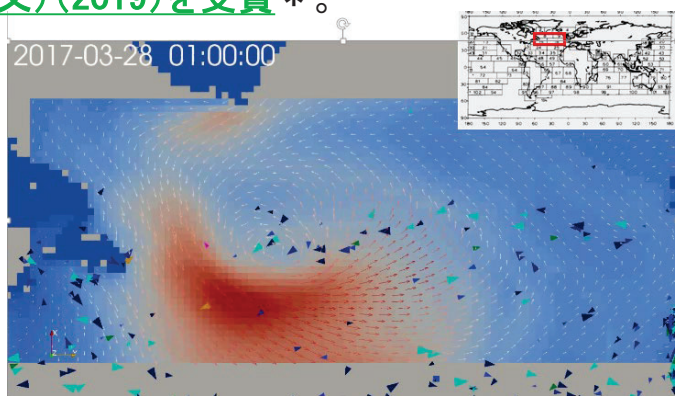
年度実績

□ モニタリングデータの解析により、船体構造設計時に使用される推定荷重と、計測荷重を比較し、精度を検証した。
□ AISデータに基づいて実運航船の波浪荷重を推定した。

船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1）

□モニタリングシステムの開発の一環として、14,000TEU型コンテナ船10隻で計測されたモニタリングデータを解析することにより、船体構造設計時に使用される推定荷重と、計測荷重を比較し、精度を検証した。
□ AISデータに基づいて実運航船の波浪荷重を推定し、最大荷重に対する操船影響の評価を可能とした。日本船舶海洋工学会賞（論文）（2019）を受賞＊。





14000TEU型コンテナ船の歪みセンサ配置（上）
計測された応力波形の例（下）

AISデータ及び波浪追算データによる荒天中操船状況の可視化プログラム（特許出願）

＊岡正義他：AISデータに基づく実運航船の波浪荷重推定ー最大荷重に対する操船影響の評価ー，日本船舶海洋工学会論文集

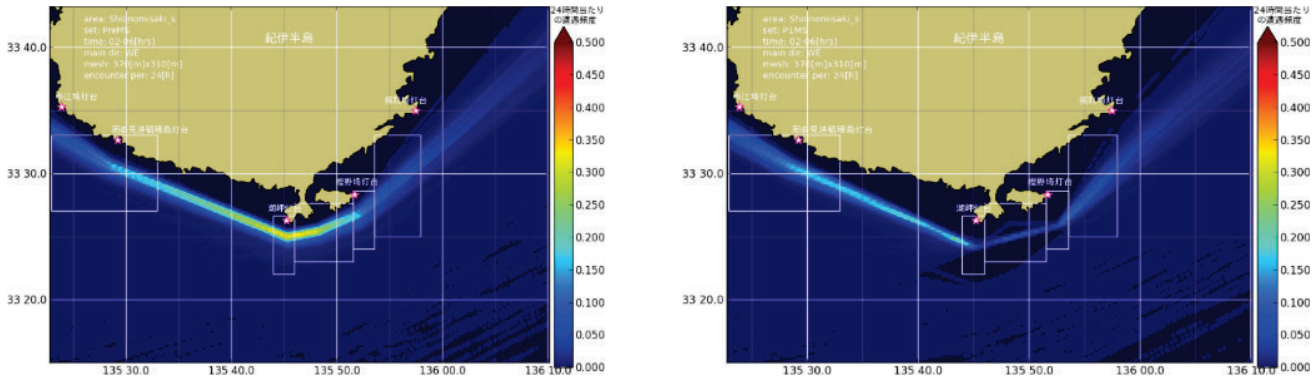
（１）海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

年度実績

- 平成30年(2018年) 1月に運用が開始された伊豆大島西岸沖海域の推薦航路における船舶交通の変化を分析し、前年度に立案した潮岬沖の整流化案へフィードバックした。
- 整流化案下での交通状況をシミュレーションし、安全性および経済性による影響評価をもとに最適案を選定した。

船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究（重点研究☆2）

□整流化案を導入した場合の予測交通下でのシミュレーションを実施し、安全性および経済性の両面から整流化案の効果の検証を行い最適案を選定した。遭遇頻度およびOZTによる安全性評価では、整流化案により現状よりも危険な状況が緩和されることが確認できた。
□伊豆大島西岸沖海域の推薦航路の策定に対して日本航海学会航海功労賞を受賞した*。



(a)遭遇頻度分布 [現状・漁船なし]　(b)遭遇頻度分布 [最適案・漁船なし]

遭遇頻度による整流策の効果の検証

＊「伊豆大島西岸沖のAIS仮想航路標識による推薦航路の指定」（海上保安庁・海技研・日本海難防止協会の3組織で受賞）

H30年度P.3

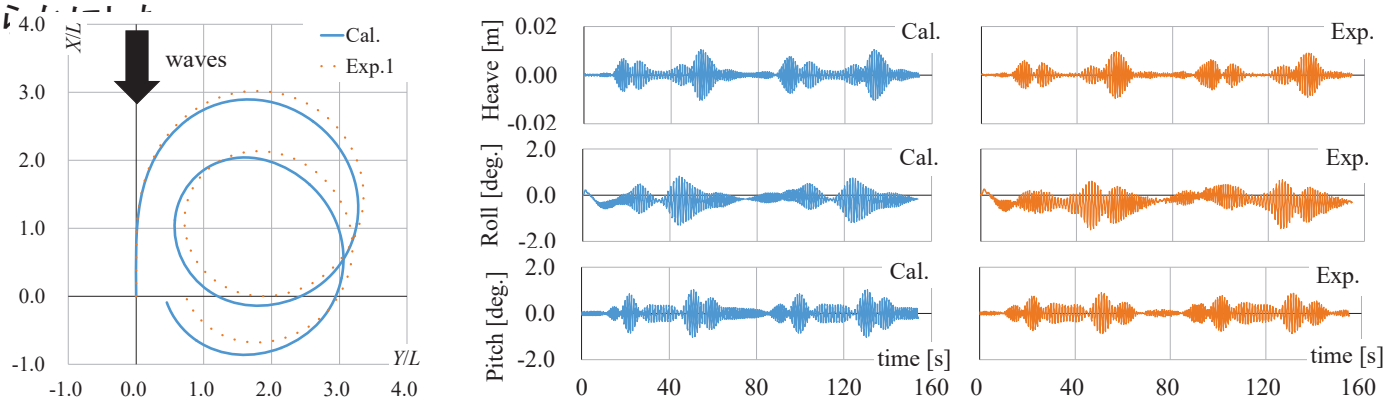
（１）海上輸送の安全の確保 - ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

年度実績

- 荒天下の操船評価のための操縦運動を含む6自由度波浪中船体運動計算法を改良し、非線形の船体動揺の概略の評価を可能としつつ、操縦運動時の航跡も概ね推定できるようになった。

安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究☆3）

前年度までに作成した荒天下の操船評価のための操縦運動を含む6自由度波浪中船体運動計算法に関して、非線形の波浪強制力を考慮できるように計算法を改良した。また、過去に実施したタンカー模型船の規則波中旋回試験結果との比較からその妥当性を明らかにした。



タンカー船(KVLCC1)の規則波(波高船長比=1/100，波長船長比=0.5，操舵開始時正面向波)中右35°　旋回試験の比較

H30年度P.4

（２）海洋環境の保全
－①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究

年度実績

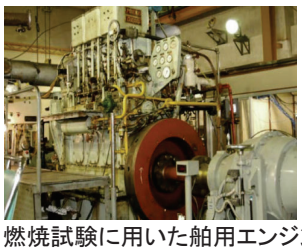
□ 2020年1月より強化されるSOx規制に伴う、船舶における低硫黄燃料（LSC）の利用について、実機による低硫黄燃料の燃焼試験を実施した。

船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

●SOx規制に対応した低硫黄燃料（LSC）の導入に伴い、動粘度の低下等燃料油性状の大幅変更が見込まれる中で、内航海運業界はその品質、信頼性及び安全性について懸念、社会問題化。
●これを受け、海技研は国内外の石油業界の多種多様な性状の試験燃料を用い、実機で燃焼試験を実施し、LSCの燃焼性や安全性を実証し、国の設置したオールジャパンの委員会等を通じて公表し、懸念の緩和・払拭に貢献した。



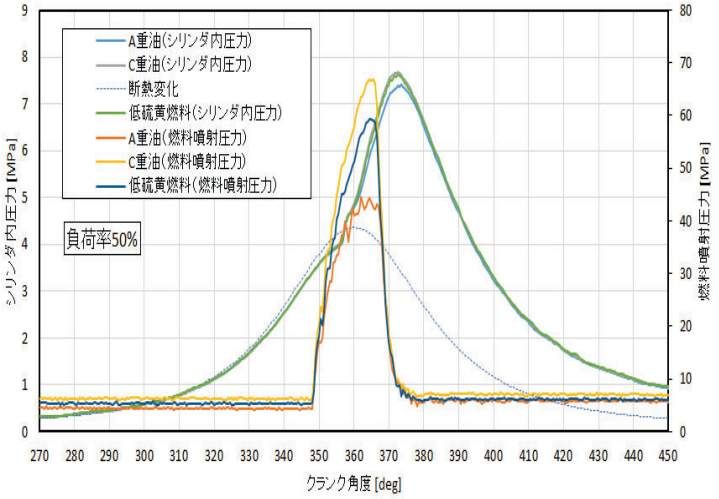
日経新聞（2019/5/13）


燃焼試験に用いた舶用エンジン

燃焼試験に用いた各種燃料油の性状

	密度@15℃ (g/cm³)	動粘度@50℃ (mm²/S)	硫黄分 (%)	着火性指標 セタン指数	着火性指標 CCAI	備考
LSA重油(1)	0.864	2.438	0.08	43.6	---	現行内航用LSA重油
A重油(1)	0.887	2.32	0.27	36.3	---	ボイラー用
A重油(2)	0.884	2.03	0.16	35.4	---	外航船用
LSC重油(1)	0.920	98.2	0.28	---	797	国内発電所用
LSC重油(2)	0.934	157	0.24	---	806	韓国輸入燃料
LS原油	0.935	249.8	0.213	---	801	Duri原油
HSC重油(1)	0.941	35.2	1.06	---	833	（低粘度）
HSC重油(2)	0.986	153	2.42	---	857	外航船用
HSC重油(3)	0.978	198.6	2.24	---	847	現行内航用HSC重油

※青字は着火性良好なもの



実験用ディーゼルエンジンおよび燃焼試験結果（燃焼波形）の一例

H30年度P.5

（２）海洋環境の保全
－①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究

年度実績

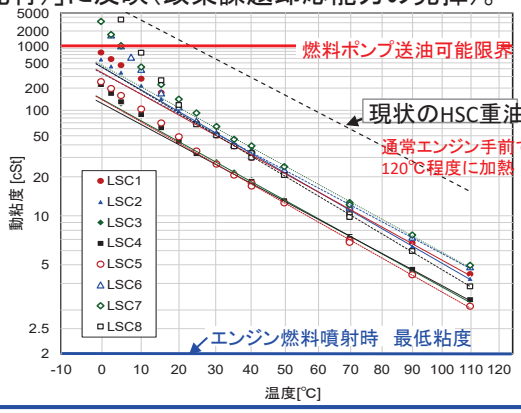
□ SOx規制強化に伴う、船舶における低硫黄燃料（LSC）の利用について、船上での燃料物性変化に対する要素試験等を実施した。

□ 同規制強化に対応できる小型の洗浄装置（スクラバー）を開発した。

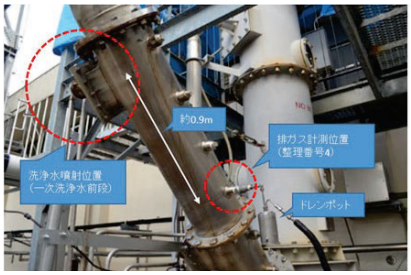
船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

●通常の加熱範囲内で低硫黄燃料油（LSC）の動粘度が適正な範囲内に収まるかどうかを内航海運業界が懸念。
●海技研は、石油各社から集められた各種LSCと現状の高硫黄重油について、温度に対する動粘度の変化を計測。各種LSC（15～25cSt at 50℃）に対して、現行と同様の加熱（110～120℃）をした場合でも、エンジン要求仕様の2cStを下回ることはなく安全に使用可能であること、また、船内燃料管理に不可欠な「動粘度－温度関係」が、現行のC重油とほぼ同じ傾きであることを示した。（下右図）
●寒冷地での加熱停止時のタンク内燃料油温度変化も計測。
⇒これら成果は「2020年SOx規制適合舶用燃料油使用手引書（国交省）（3月発行）」に反映（政策課題即応能力の発揮）。


実船計測
（冬季北海道）



●従来のC重油を使用できるスクラバをできるだけ小型の船に搭載したいとの内航海運業界の要望。
●海技研は小型ジェット式スクラバを設計・試作し、洗浄水の噴射量等の実験を行いうことにより、国際海事機関（IMO）のガイドラインに規定されている排ガス中の硫黄分規制をクリアできることを証明した。（特許1件：スクラバ装置、及びスクラバ装置を搭載した船舶）
⇒今後、比較的小型の内航貨物船へのスクラバ搭載が現実のものとなる。





小型ジェット式スクラバ

H30年度P.6

（２）海洋環境の保全
-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

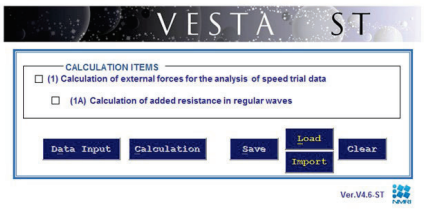
年度実績

- 海上試運転（速力試験）における波浪中抵抗増加の算定手法であるNMRI法をプログラム化し、公開した。

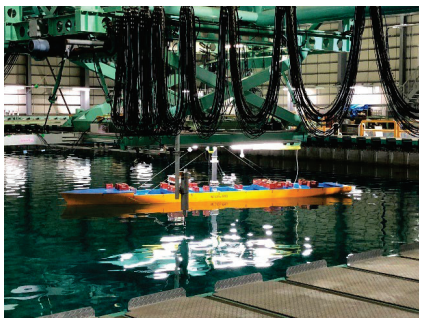
実海域実船性能評価に関する研究（重点研究☆5）

海上試運転実施解析法（ITTC7.5-04-01-01.1, 2017）に記載されたNMRI法（波浪中抵抗増加計算）による波浪修正の高精度化のため、当計算プログラムについて日本海事協会からプログラム認証を取得し、海上試運転での波浪修正がより適切に行われるようプログラムを国際的に公開した。

※国内外から8社がプログラム使用申請済。



プログラムVESTA-ST



波浪中自航試験



NMRI法のプログラム認証取得

○内閣府第1回日本オープンイノベーション大賞優良事例
○日本船舶海洋工学会賞 （論文賞）

H30年度P.7

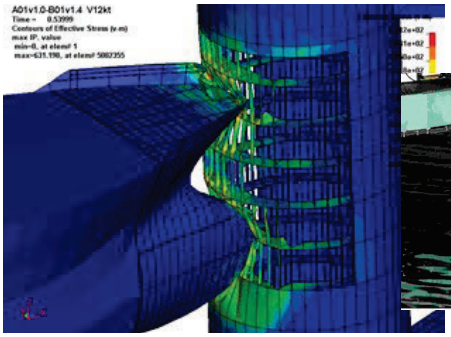
（３）海洋の開発 - ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
- ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

年度実績

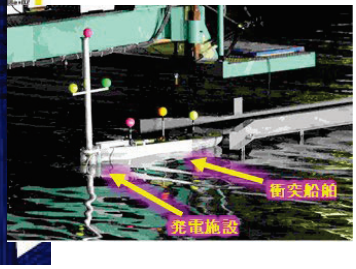
- 浮体式風力発電について、新たに発行されるIEC規格の国内運用を機に、業界における合理的な設計改良を支援するため、損傷時復原性規則に関するガイドライン案を作成。
- 並進動揺型の波力発電装置のモデル予測制御アルゴリズムを開発。日本沿岸域に設置した場合を想定すると発電量が約40%増となることを確認。

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○復原性が問題となる事象及びその発生確率の検討を行うとともに、航行船舶が風力発電施設に衝突する際の浮体側壁破壊エネルギー等を数値シミュレーションや模型試験により求めた。

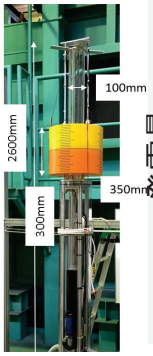


航行船舶との衝突シミュレーション



衝突模型試験

○不規則波中における時系列最適制御について、数値解を求めるための反復法としてC/GMRES法を用いたモデル予測制御の実機実装用アルゴリズムを開発。



想定装置のイメージ



シミュレーションによる発電量推定

梅田隼 ほか：リニア式波力発電装置のモデル予測制御に関する研究，日本船舶海洋工学会論文集，第28号（2018）.

H30年度P.8

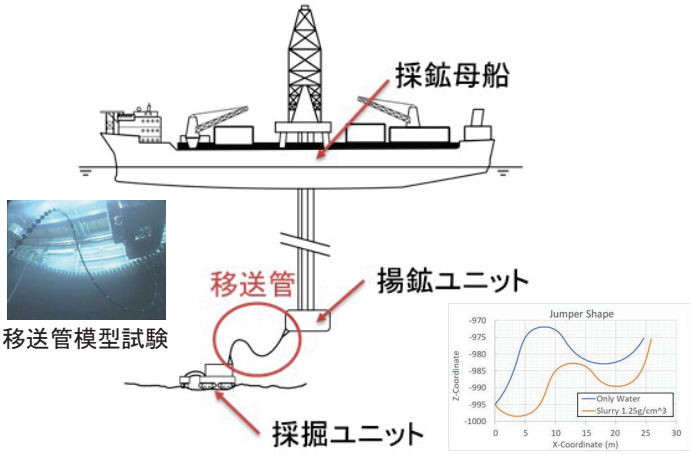
（３） 海洋の開発 －①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
－②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

年度実績

- 海底熱水鉱床開発に用いられる揚鉱管下端部の水中ポンプユニットから採掘ユニットまでを接続する移送管の挙動を同時に解析できるプログラムの開発を行なうなど、実用化に向けた課題解決に資する研究成果を創出した。

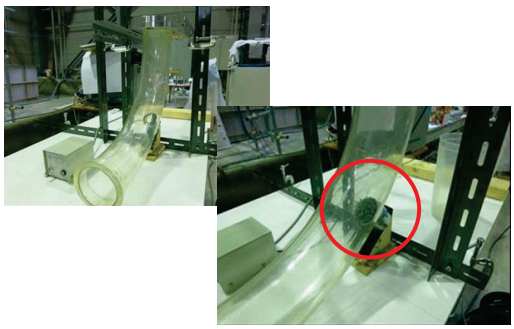
海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

移送管模型試験で移送ホースの挙動を計測することにより、揚鉱管下端部の水中ポンプユニットから採掘ユニットまでを接続する移送管の挙動を同時に解析できるプログラムを開発した。



移送管模型試験

スラリー移送ホースの耐摩耗性向上方法として、特に摩耗しやすい屈曲部に磁性ビーズを付着させて保護層を設ける方法を考案した。基礎実験を行い、磁力、吸着力等の関係を明らかにし、特許出願を行った。


磁性ビーズ吸着の様子

輸送管の耐摩耗性向上方法、磁性ビーズ、及び磁力発生装置

H30年度P.9

（3）海洋の開発 －③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

年度実績

- 世界最高レベルの調査効率を狙うAUV複数機同時運用技術を完成し、民間への技術移転を完了。
- AUV研究開発の社会実装の一環として民間技術移転・運用の拡大に努めた。

海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究（重点研究☆10）

○民間事業者の手により、海技研が保有する全機のAUV（5機）の同時運用を駿河湾のテストフィールドで実証すると共に、伊豆諸島の熱水地帯調査での複数機AUV潜航調査（7回）を成功させた。

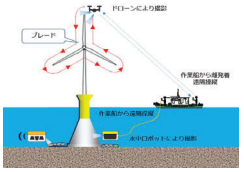
○海技研が独自に機体形状を開発した最新鋭の航行型3・4号機は、世界的にもクラス最高レベルの運動性能を誇り、複雑で急峻な海底カルデラの探査で実力を実証。
（日本船舶海洋工学会主催のシップ・オブ・ザ・イヤー2018において、航行型4号機が「海洋構造物・機器部門賞」を受賞）

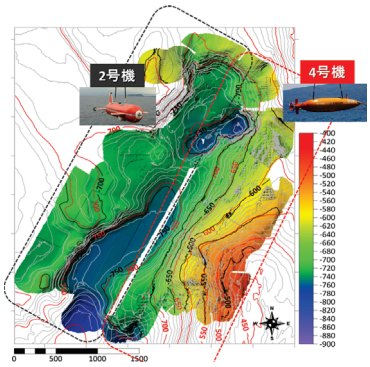
○民間への技術移転を促進するため、AUV全機について運用・整備マニュアルを作成し、それを用いた実海域訓練を実施することにより、民間事業者が独力で潜航計画からAUV運用、データ解析まで行える体制を構築。研究開発に留まらない出口戦略を推進。

○我が国EEZにおける将来の広範なAUV活用を見据えて、海底資源開発以外にも、多岐に亘る調査対象を開拓



海技研が保有するAUV
（SIP「海のジパング計画」により製作）


【洋上風力発電施設の点検作業】
（東京電力プレス資料より抜粋）



運動性能に優れたAUVによって、
海底カルデラの急峻地形のマッピングに成功

H30年度P.10

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発
－①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術開発に関する研究

年度実績

- 「中小造船業に適した新生産管理手法」に関して、「工数最適化を目的とした生産計画・実行管理」を中小造船所7社にて実船適用し、5～10%の工数削減効果を確認。
- ハイロウミックス工程を中小造船所3社に実展開し、5%の技能職の余力創出余地効果を確認。
- 曲げ加工支援ARシステムについて、対象造船所向けにカスタマイズを行い、生産ラインへの実展開に向けた実証実験を実施し、造船所の作業環境であっても良好にAR表示が可能であることを確認。

造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究（重点研究☆11）

新生産管理手法　実展開結果

工程		工数削減効果		造船所
船殻	鋼板NC切断工程	18%		A社
	小組－取付工程	7%		A社
		9～13%	（取付溶接合計）	B社
		19%	（小組・組立合計）	C社
		6%		D社
	小組－溶接工程	21%		A社
		9～13%	（取付溶接合計）	B社
		19%	（小組・組立合計）	C社
	組立－取付工程	5%		A社
		16%		E社
		6～8%		F社
		19%	（小組・組立合計）	C社
		25%		G社
	組立－溶接工程	22%		E社
		8～21%		F社
		19%	（小組・組立合計）	C社
		35%		G社
	外業工程	11～19%	（ハイロウミックス含む）	E社
艤装	管製作工程	23%		B社
	ブロック配管工程	12%		D社
	甲板鉄艤工程	10%		B社

ハイロウミックス
実展開結果と効果推定

工程		工数削減効果	造船所
船殻	小組・組立工程	32%の一部（少なくとも4%以上）	A社
	外業工程	11～19%の一部（分解不能）	B社
艤装	管製作工程	6～15%	C社
	ブロック艤装・船上艤装工程	9～17%	B社

工程	番船内工数比率 A	技能職の余力創出余地（推定） B	番船効果（推定） A×B
加工	7%	2%	0.1%
組立	33%	5%	1.7%
搭載	29%	5%	1.5%
船装	8%	10%	0.8%
機装	4%	10%	0.4%
管装	8%	10%	0.8%
電装	2%	10%	0.2%
塗装	9%	2%	0.2%
番船合計	100%		5.6%

※番船内工数比率は、特定の造船所によらず、ばら積み貨物船を想定した典型的な値。



実際の造船所における
「曲げ加工支援ARシステム」の検証

この他に塗装作業支援ARシステムについてプロタイプ機の開発を実施

H30年度P.11

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発
－②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

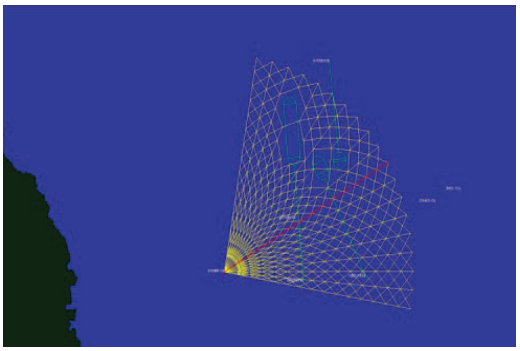
年度実績

- 航行妨害ゾーン（OZT）を応用したルールベースの自動避航アルゴリズムを開発し、実際のAISデータを用いたシミュレーション環境で検証を実施した。操船シミュレータへの自動避航システム組み込みを行った。
- OZTの見える化による避航操船判断支援システムを、民間企業及び大学と共同で開発した。

ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究（重点☆12）

○ 避航操船アルゴリズムの開発

OZTを応用したルールベースの避航操船アルゴリズムを開発し、観測された実AISデータを対象としたファストタイムシミュレーション上の輻輳海域において、長期に亘り、衝突せずに航行可能なことが確認できた。



避航操船アルゴリズムのシミュレーションテストの画面

○ OZTの見える化による避航操船判断支援システムの開発

画面上の白破線内の線分OZTを回避するコース取りにより衝突を回避できるシステムを開発し、操船シミュレータでの評価実験で、有効性を確認した。



OZTを用いた避航操船判断支援システムの画面

H30年度P.12

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

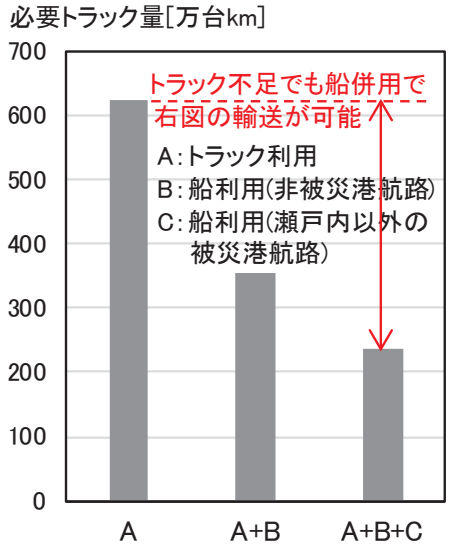
年度実績

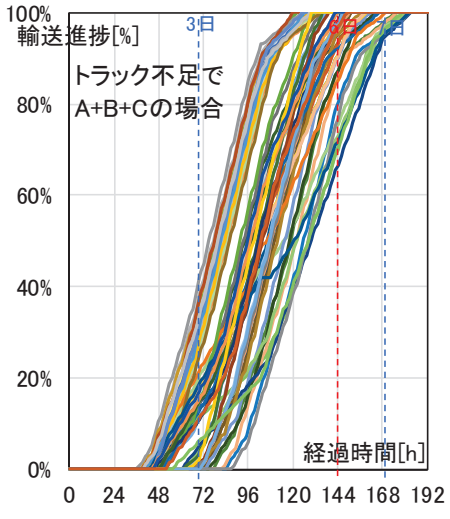
□ 広域震災発生後の輸送計画作成・評価を行う複合一貫輸送シミュレータを開発。

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（重点研究☆13）

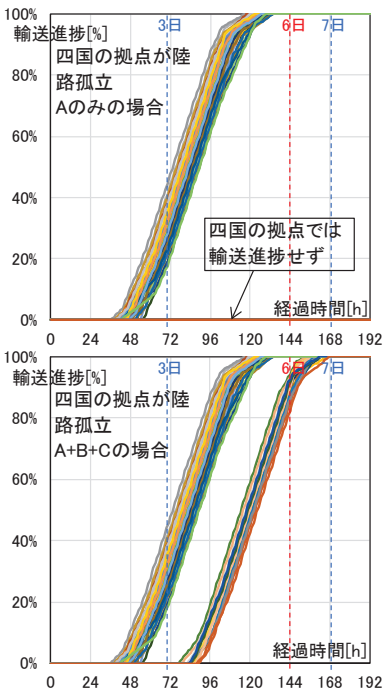
○AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

被災港（瀬戸内海及び付近の港を除く）も用いた海上輸送を併用することで、陸上輸送の実施不能状態を効果的に緩和できる可能性があることを示した。





<トラック不足の場合>



<陸路孤立の場合>

南海トラフ地震を想定した4～7日目用の災害支援物資輸送の評価例

H30年度P.13

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

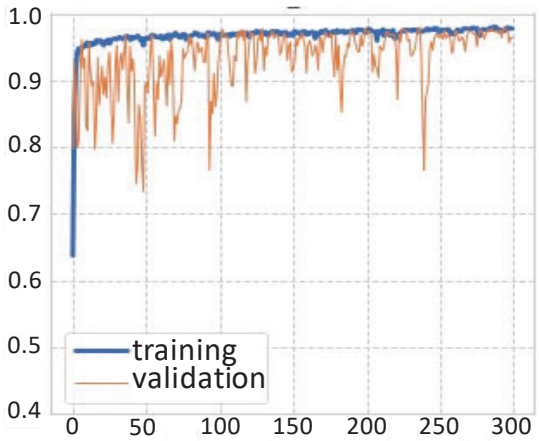
年度実績

□ Deep Learningによる経路評価手法を開発。4経路中から正解経路を95%の正解率で選択可能。
□ Deep Learningによる航路別の海上運賃を予測するモデルを構築。

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（重点研究☆13）

○AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

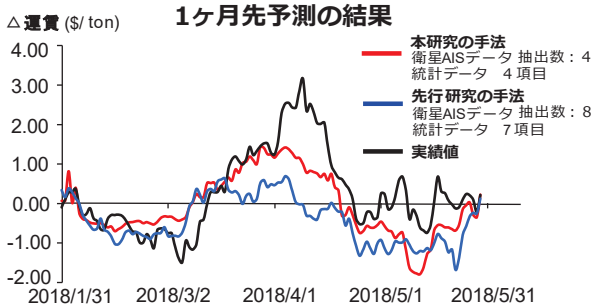
全国輸出入コンテナ貨物流動調査の非集計データを用い、貨物の輸送経路を評価



輸出入貨物経路推定の学習経過例

○AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

衛星AISデータと各種統計データ（石油価格、各種経済指標等）を入力データとし、航路別の海上運賃を予測。



	先行研究の手法	本研究の手法
方向一致率	68.9 (%)	79.8 (%)
相関係数	0.54 (-)	0.76 (-)
絶対平均誤差	0.80 ($/ton)	0.56 ($/ton)

豪州-中国間の海上運賃の予測結果

Wada, Y., Hamada, K., and Hirata, N.: Shipbuilding capacity optimization using shipbuilding demand forecasting model, Journal of Marine Science and Technology

H30年度P.14

R1年度

（1）海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

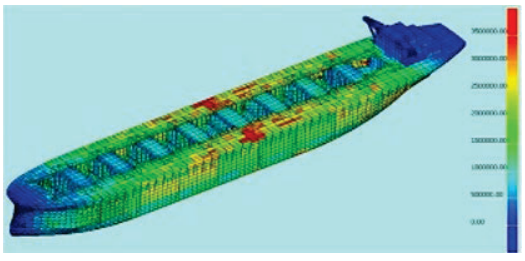
年度実績

- 昨年までに開発した荷重解析-線形構造解析評価システム（DLSA-Basic）で設定した海象条件での強度評価を可能にするよう改良し、新たに造船所１社で利用を開始（合計４社）。
- 非線形荷重解析-非線形構造評価解析システム（DLSA-Professional）の開発により、全船体を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度の評価が可能。最終強度評価システムを完成。網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し造船所の設計の強化に貢献。

船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1）

○DLSA-Basic

DLSA-Basicを活用した海象条件（設計波）設定法及び強度評価法を提案した。本システムは、船級規則改正に資するデータ構築に必要なツールしても指定された。

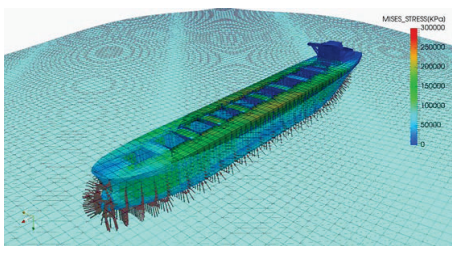


DLSA-Basic

線形解析による応力の最大期待値マッピング

○DLSA-Professional

DLSA-Professional の構造解析における境界条件（外圧、内圧、拘束）設定法の提案及び検証を行った。これにより全船を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度評価が可能となった。

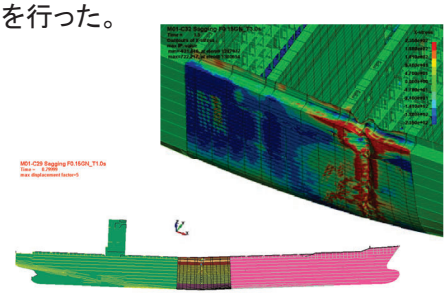


DLSA-Professional

極限海象での時刻歴応答解析

○CFD-FEA連成解析システム（DLSA-Ultimate）

DLSA-Ultimateにより流体構造連成を考慮した事故限界状態（１発大波によるスラミング）における大変形を考慮した船体動的構造応答評価法の高度化を行った。



DLSA-Ultimate

損傷時残余強度評価

○ASME OMAE-2018SSR：Best Paper Awards

（1）海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

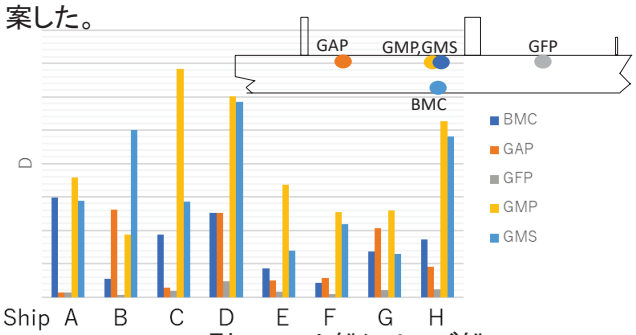
年度実績

- 14000TEUシリーズ船モニタリングのデータ解析で得られた知見を集約し、ハルモニタリングシステム用ガイドラインの草案作成。
- AIS位置情報に基づく就航船の荷重推定手法を開発し、構造基準へのフィードバック（設計用最悪海象設定）手法の提案。
- DLSA・ハルモニタリング・AISを集約して「船体構造デジタルツイン」の開発に進展。

船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1）

○ハルモニタリングシステム

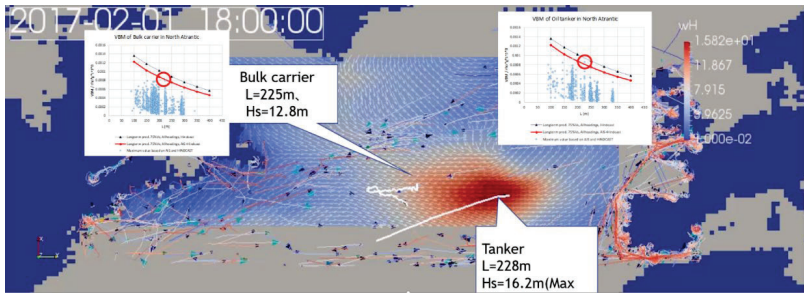
実船データの統計解析プログラムを用いて、連続建造の14,000TEU型コンテナ船で計測された応力データを解析して疲労被害度を予測し、疲労寿命への影響因子の影響度を明らかにした。その結果から運航履歴に基づいて疲労寿命を推定する簡易推定を提案した。



14000TEU型コンテナ船シリーズ船のハルモニタリングデータ解析結果（レインフロー法による疲労被害度）

○AISデータを活用した荷重推定手法

AISデータと波浪追算データを用いて、就航船の遭遇海象及び作用荷重の履歴及び統計解析を行うプログラムを開発し、これを用いて操船と波浪との組合せ発現頻度表を作成し、設計波浪荷重に対する操船影響を明らかにした。



AISデータによる就航船の波浪荷重推定
（北大西洋での荒天時での操船履歴を可視化した例）

○日本船舶海洋工学会：日本船舶海洋工学会賞（論文賞）・日本海事協会賞・日本造船工業会賞
○うみそら研：理事長表彰（論文賞）

R1年度P.2

（1）海上輸送の安全の確保

- ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発
- ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

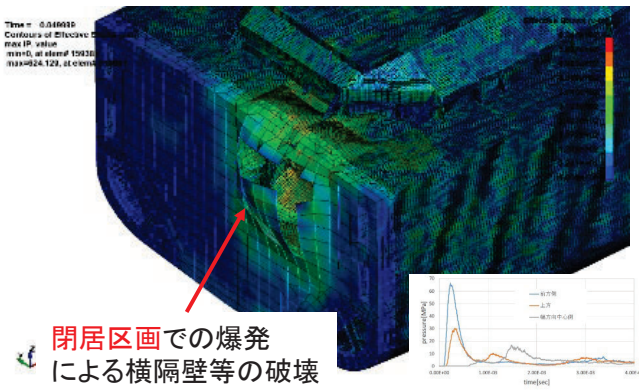
年度実績

- 液化水素運搬船の構造被害度評価用の実船モデルを開発するとともに部分モデルを用いた水素爆発試解析を実施。造船事業者が世界初の液化水素運搬船の建造に着手に貢献。

船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究（重点研究☆2）

○液化水素漏洩時の燃焼範囲・雰囲気の温度等に基づき、熱ー構造ー流体連成を考慮した漏洩後の火災・爆発等による構造被害度評価手法を構築

- 川崎重工と連携し、世界初の液化水素運搬船（第1番船）の構造被害度評価用の実船全船モデルを作成。部分モデルを用いて閉居区画での等価水素爆発試解析実施。
- 閉居区画での爆発を想定し、事故限界状態設計手法（ALS：Accidental Limit State Design）に基づき、火災・爆発後の船体折損等評価可能なモデルを構築。
- ベイジアンネットワークを用いて、液化水素漏洩から船体折損・全損までの構造安全に係るCoarseリスクモデルを構築 。構造被害度評価結果をリスクモデルに反映予定。



液化水素運搬船の部分モデルを
用いた等価水素爆発の試解析結果

R1年度P.3

（1）海上輸送の安全の確保

－①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発
－②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

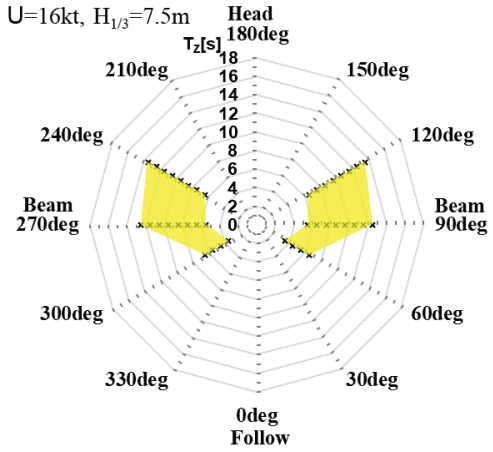
年度実績

□ 第2世代非損傷時復原性基準を考慮した過大加速度の危険度評価手法を用いた操船支援法を提案し，暫定ガイドライン策定に貢献。

安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究☆3）

○過大加速度の危険度評価

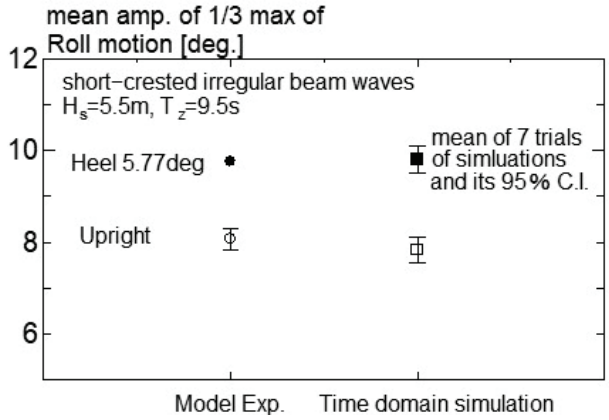
復原性に起因する波浪中の危険事象のひとつである過大加速度による事故を起こしたコンテナ船を供試船として不規則波中での横加速度の長期発生確率を用いた過大加速度の危険度評価を行い，操船要素である船速，波向，波周期を考慮した操船支援法を構築した。本成果はIMOで審議されている第2世代非損傷時復原性基準のガイドライン策定に貢献した。



コンテナ船の過大加速度の危険度評価法による操船支援
（船速16kts，有義波高7.5mで回避すべき波向と波周期：黄色）

○□□□□□□□□□□□

短波頂不規則波中傾斜時の時間領域船体運動計算の結果は直立時，傾斜時とも実験結果とよく一致しており（図6），危険度評価に用いる計算法として有効であることを示した。



短波頂不規則波中傾斜時の時間領域船体運動計算結果と模型実験との比較

（2）海洋環境の保全-①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究

年度実績

2020年SOx規制への対応

□ 規制導入前に、国内外の石油業界の多種多様な性状の低硫黄燃料（LSC）で陸上燃焼試験及び実船試験を実施し、品質、信頼性、安全性に関する内航海運業界の懸念の緩和・払拭に貢献。また、「2020年SOx規制適合舶用燃料油使用手引書第2版）」(国交省、9月発行)の作成に貢献。

□ 内航船への搭載を想定した世界一小型のSOx洗浄装置（スクラバー）を開発。

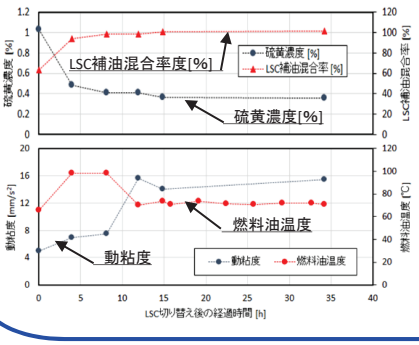
船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

○LSCの性状動向調査

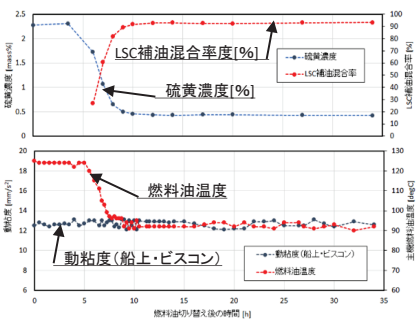
- 陸上燃焼試験は、適合油（LSC）の性状動向調査及びその性状が船舶での使用条件に与える影響（着火・燃焼性、低粘度化と高流動点化、安定性など）について検討した。
- 実船試験は、499GT小型貨物船～14,000GT級RoRo船の多種の船種12隻でのLSCによる実船トライアルを実施した。

C重油からLSC重油への燃料切替え
（異なる設備を持つ内航船における手順・課題の確認）

温度を手動でコントロールの場合

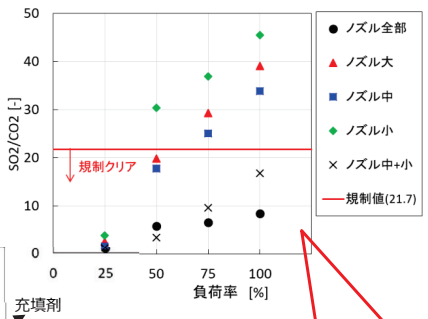


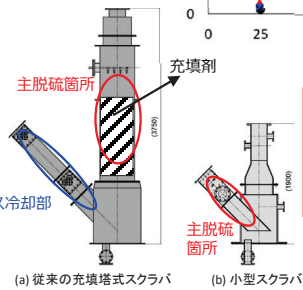
粘度調節器（ビスコン）使用の場合



○スクラバの小型化

エンジン負荷率が高くなり排ガス流量が増加した場合でも、洗浄水噴射ノズルを組み合わせることで、十分な脱硫性能が確認し、社会実装可能レベルに達成した。





エンジン負荷率が高い条件下でも、ノズルのサイズ・数の変更で十分な脱硫性能を達成

（2）海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

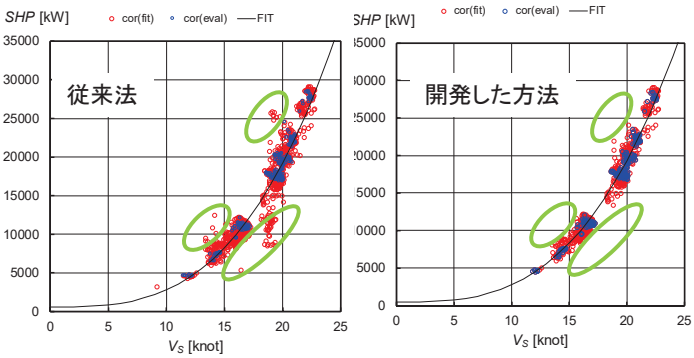
年度実績

- 実船モニタリングデータからの平水中性能抽出法として、RCM（Resistance Criteria Method）を開発し、そのガイドラインを作成。
- ライフサイクルの実海域実船性能を評価するため、GLOBUS（全球の波と風のデータベース）を活用した海象影響評価を実施。GLOBUS詳細版が完成し、外部有償提供を開始（4社販売）

実海域実船性能評価に関する研究（重点研究☆5）

○RCM

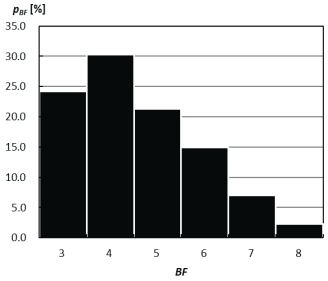
実船モニタリングデータ解析における平水中性能評価の高度化のため、見掛けスリップ比及び平水中からの抵抗増加率を閾値とした評価法RCMを開発した。



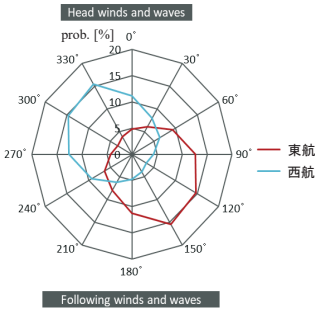
RCMによる抽出した平水中性能の精度向上の例

○GLOBUS

ライフサイクルの実海域実船性能を評価する標準航路・海象の設定を検討し、気象海象の長期統計（GLOBUS）を利用した海象影響の評価を実施した。



ビューフォート風力階級の発現確率



主波向の発現確率

長期統計（GLOBUS）を利用して調査した海象影響（北太平洋航路）

○ 日本船舶海洋工学会賞（論文賞）・日本海事協会賞・日本造船工業会賞、○日本船舶海洋工学会英文論文集優秀論文賞、○理事長表彰

R1年度P.6

（2）海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

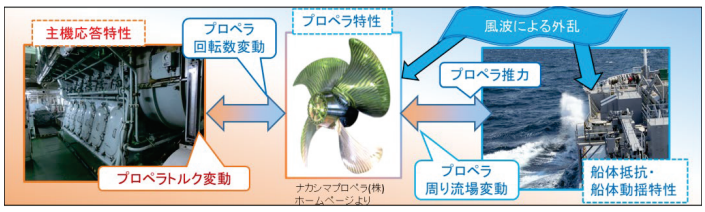
年度実績

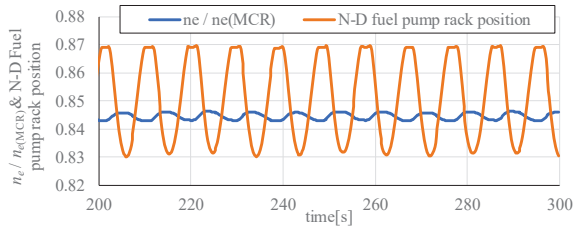
- 主機デジタルツインの実用化を目指すために、船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラムの開発や主機の異常状態を検知するシミュレーションプログラムの開発

実海域実船性能評価に関する研究（重点研究☆5）

○船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラム

船体抵抗＋プロペラ＋主機特性の連成計算プログラムの開発により、波浪中主機負荷変動の時系列評価とガバナーゲイン設定による影響評価が可能となった。

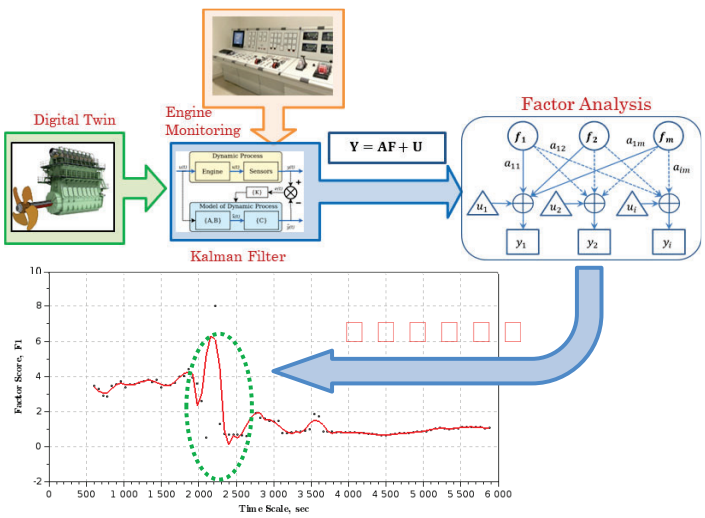




斜向波中主機応答の計算例

○主機の異常状態検知シミュレーション

主機シミュレーターに異常模擬モデルを追加、実機と同等のシミュレーションが可能とした。また、主機の異常状態シミュレーションプログラムの開発により、異常状態を検知するアルゴリズムの評価が可能となった。



R1年度P.7

（2）海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

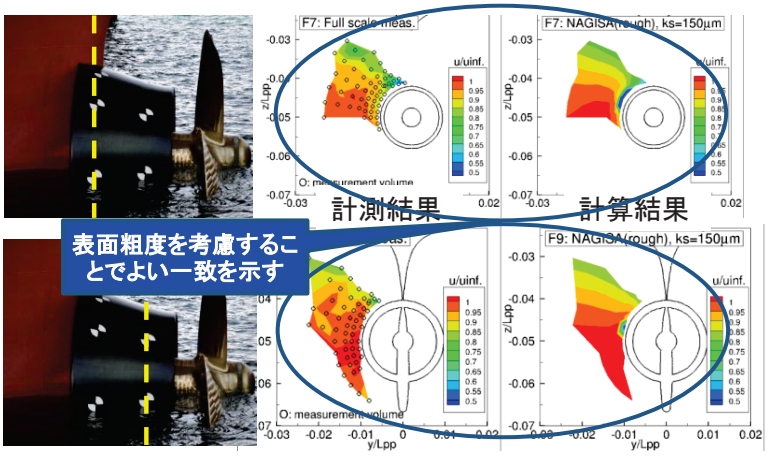
年度実績

- 付加物付き船体の実船流場計測データに基づく実船スケール計算結果の検証及び計算ガイドライン構築。
- 複雑な上部構造物形状における計算手法を開発し、国際水槽試験機関（ITTC）での標準計算ガイドライン案の構築(実海域実船性能評価プロジェクトにて実施)に貢献。

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（重点研究☆6）

○平水中での性能計算手法の高機能化・高速化

付加物付き実船SPIV計測結果に基づき、実船スケール計算結果を検証し、実船粗度を考慮することで計測結果と一致する計算結果が得られることを確認した。

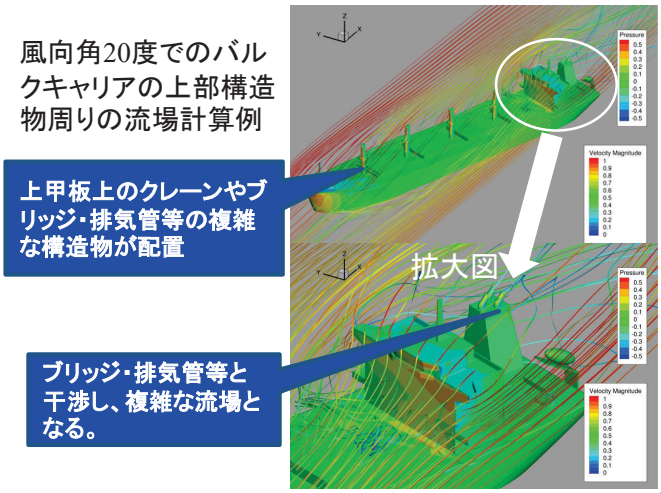


付加物付き実船伴流計測結果との比較(2断面)

○□□□□□□□□□□

上甲板上の複雑な構造物が配置される場合について、重合格子ベースのCFD計算で風圧力を精度(誤差5%程度)良く推定できる計算手法を開発した。

風向角20度でのバルクキャリアの上部構造物周りの流場計算例



R1年度P.8

（2）海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

年度実績

- ゼロエミッション燃料の要素試験を実施し、その結果に基づくGHG削減技術の将来シナリオと削減効果を作成。国交省「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」策定に貢献。

多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究（重点研究☆7）

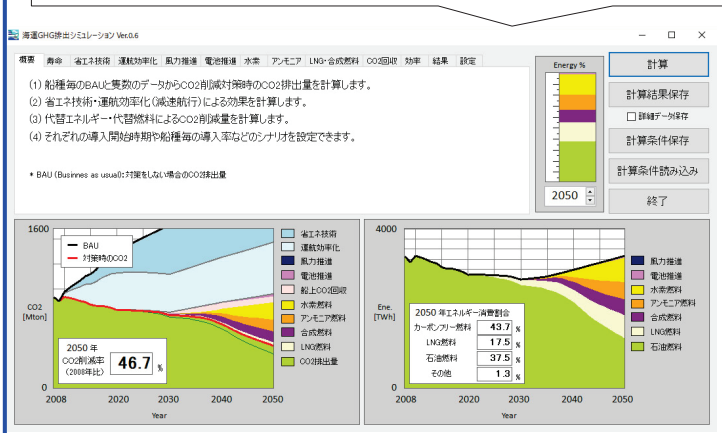
○GHGロードマップ

他機関※1に先行してゼロエミッション燃料の要素試験を実施するとともに，その結果に基づくGHG削減技術の将来シナリオ策定とGHG削減効果の推定を行った※2。

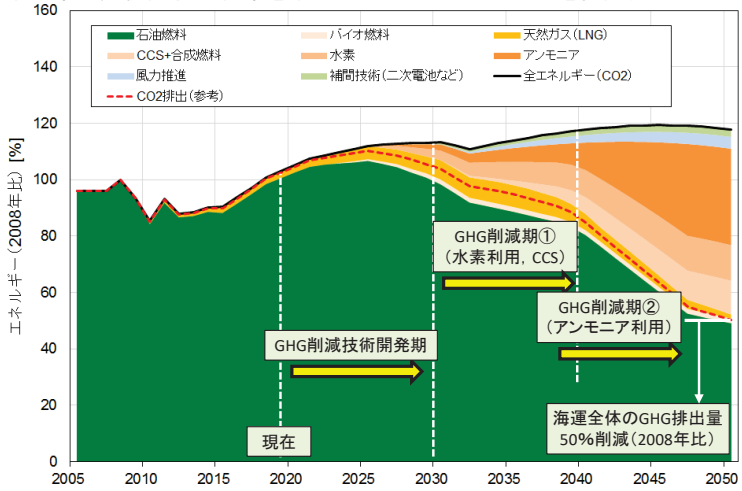
※1: 国内エンジンメーカよりも先行して，水素混焼，アンモニア混焼の実機試験を実施。同時に国内エンジンメーカと共同研究を実施。

※2: 国内外の他機関は文献調査によるシナリオ（ロードマップ）策定のみ，本成果は実機試験の結果を踏まえてGHG削減シナリオを検討。

外航船舶のCO_2排出量の推測値から，設定したシナリオに基づくCO_2削減量や代替燃料に内訳を計算している。



GHG削減シナリオ検討ツールによる計算例



技術開発調査に基づくGHG削減効果の推定【海技研シナリオ】

R1年度P.9

（2）海洋環境の保全－③船舶の更なるグリーン化等を実現するための、PM等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法の開発に関する研究

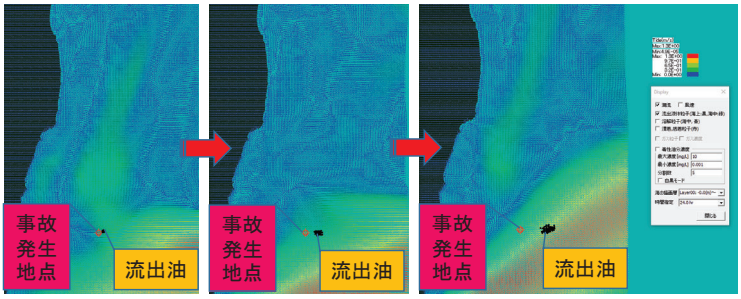
年度実績

- 海洋への放射性物質流出時における環境影響評価のための海洋拡散シミュレーション技術を用いて油流出事故直後に迅速に海洋拡散評価ができるようにシステムを改良。
- ISO21716 Series（防汚塗料防汚効果評価試験方法）のpart1～3（一般要件、フジツボ類、イガイ類）の最終partの藻類を用いた防汚塗料性能評価試験方法を構築。

船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究（重点研究☆8）

○海洋拡散シミュレーション

油流出を対象とした海洋拡散評価に対して質量保存流速場モデルに基づく海流予測値を使用できるようにし、油流出事故直後に迅速に海洋拡散評価ができるようにシステムを改良した。
⇒流出油挙動を計算できる海域を、湾内のみ（従来）から日本全国の沖合へと拡張

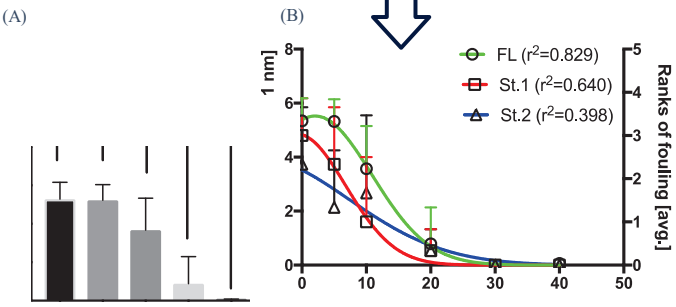


質量保存流速場モデルに基づく油流出時海洋拡散計算例
（油流出事故発生地点：茨城県沖約50kmと想定）

○防汚塗料性能評価

藻類を用いた防汚塗料性能評価試験方法の骨子を作成し、ラボ試験及び実海域試験を通じて当該試験法により防汚性能を適切に評価できることを確認した（実海域浸漬試験を実施して妥当性を検証した防汚塗料性能評価試験法は、世界的に例を見ない）。

Cu_2O含有量による防汚効果の閾値が明確（10wt.%と20wt.% の間）
→ 当該試験法により防汚性能を適切に評価できることを確認



藻類を対象とした防汚効果評価試験方法の有効性確認試験結果
（クロロフィル蛍光強度への亜酸化銅含有量影響の有意差検定）

R1年度P.10

（3）海洋の開発

－ ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
－ ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

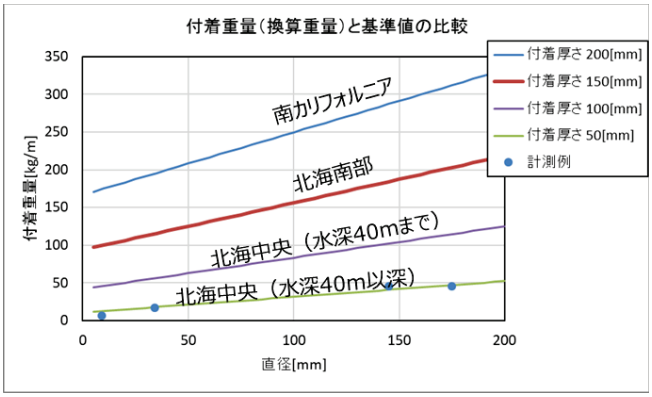
年度実績

- 浮体式洋上風力発電については、近年注目されている合成繊維索を用いた係留系を対象とした安全性評価手法に関する検討を行って、現行の浮体式洋上風力発電施設の安全ガイドラインにおける留意点を抽出して、安全ガイドラインの改正案を検証。

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○係留索の生物付着の影響評価

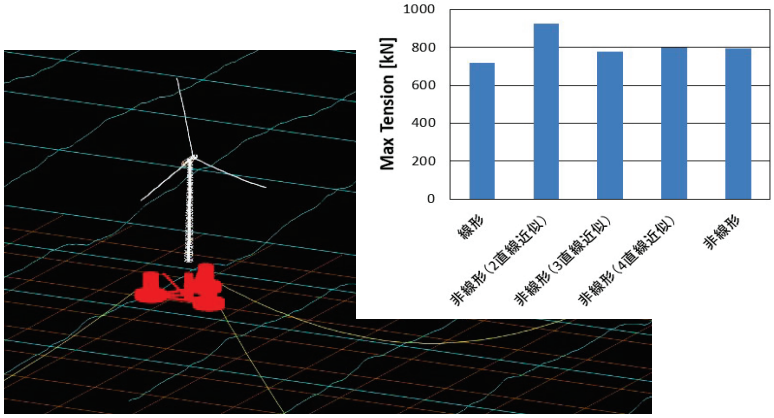
係留索として注目されている合成繊維索に対する生物付着量に関する調査を行って、今後改正される予定の安全ガイドラインに対する検討課題を抽出した。



合成繊維索直径と生物付着（青丸）及びISO評価値の関係（年評価値）

○一体解析技術の確立

浮体・係留・風車の一体シミュレーションモデルを構築し、他機関の計算結果との比較・検証を行うとともに、合成繊維索の非線形軸剛性モデルの違いによるライン最大張力への影響をシミュレーションで確認し、安全ガイドライン改正案において安全性評価上考慮すべき事項を抽出した。



50年再現暴風中のライン張力の計算結果の比較

R1年度P.11

（3）海洋の開発

－ ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
－ ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

年度実績

海底熱水鉱床開発の商業化を加速させる

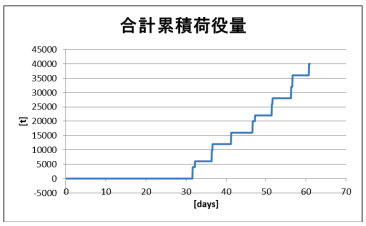
- 揚鉱から陸上での荷役までを評価可能な「全体システム稼働性評価プログラム」を開発。
- 海底熱水鉱床商業生産システムを想定した「計画支援プログラム」を開発。

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○全体システム稼働性評価プログラム

揚鉱ユニット・採鉱母船・シャトル船による揚鉱・払出し・陸上での荷役までを考慮した陸揚げ量を評価可能とする全体システム稼働性評価技術の開発を行った。

【合計累積荷役量の例】



【入力用インターフェース】



○計画支援プログラム

前年度に抽出した課題を踏まえてプログラムの修正を行い、海底熱水鉱床商業生産システムを想定した計画支援プログラムを完成させた。



【データ出力画面のイメージ】



○エンジニアリング協会，令和元年度エンジニアリング奨励特別賞、○令和2年度日本船舶海洋工学会論文賞

R1年度P.12

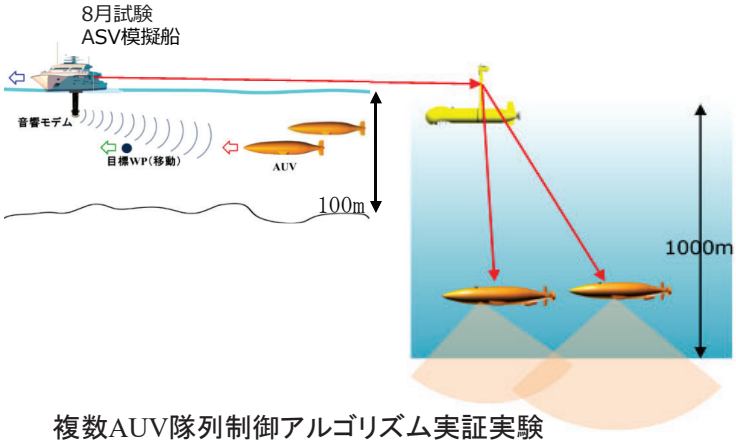
（3）海洋の開発 －③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

- 海洋資源探査、海洋構造物の保守点検、海底遺跡探査、沈船や不要埋没物（不発弾調査）等のAUVを使った社会実装（貢献）を目指すための隊列制御アルゴリズムのプロトタイプ完成と実海域による検証

海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究（重点研究☆10）

○隊列制御アルゴリズム

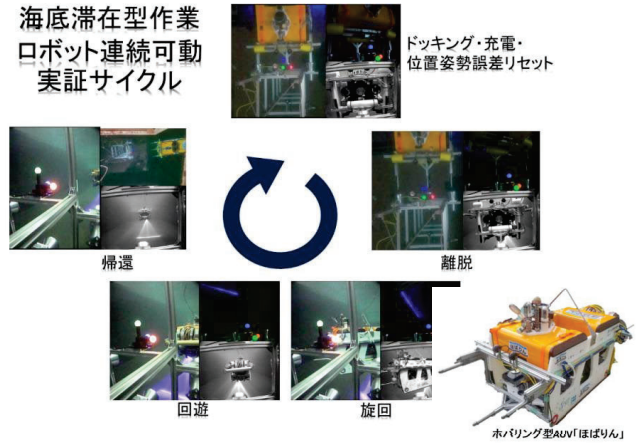
・SIP第2期に参画する中で、複数AUVを同時運用する際の隊列制御アルゴリズムの開発を実施。さらに非線形モデル予測制御を使ったAUVの隊列制御方法の高度化手法を開発した。
・駿河湾（1000m深）実海域試験では、ASVをリーダ機、2機航行型AUVをフォロワー機とした動的ウェイポイント航走を実現し、運用技術の高度化（隊列制御技術の発展）を実施。



複数AUV隊列制御アルゴリズム実証実験
（駿河湾にて実施）

○小型AUVの開発

・電力と共同で、風力発電施設の基部点検作業の試行試験を実施。
・AUV充電ドッキング技術開発を岡山大学と共同で実施。複眼空間認識方法によるAUVドッキング試験を海技研内水槽で実施し、成功。



AUVほばりんによるドッキング試験
https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id696.html

R1年度P.13

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術開発に関する研究

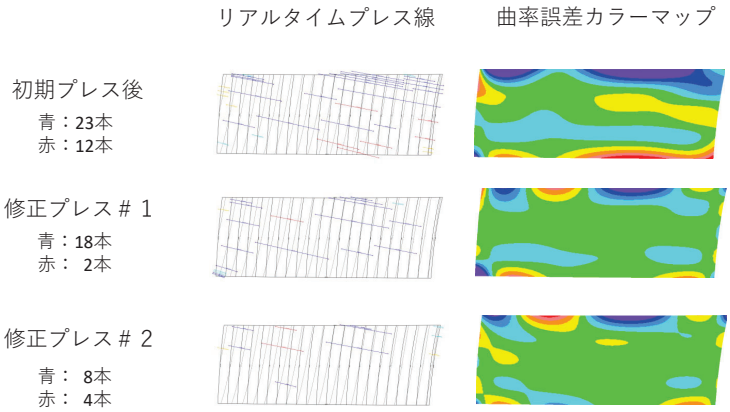
年度実績

- 「フィードバック型現場曲げ加工支援システム」を造船所1社に導入し、熟練作業者と同等程度の工数であることを確認。広く造船所等に実展開するためにシステムのパッケージ化（特許出願）。
- 曲げ加工支援システムを鋼板上でAR表示する「曲げ加工支援ARアプリケーション」に改良開発。造船所1社に導入し、実用上十分に使えることを実証実験で確認。

造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究（重点研究☆11）

○フィードバック型現場曲げ加工支援システム

フィードバック型現場曲げ加工支援システムによるプレス作業の推移。プレス作業の経過とともにプレス線が減り、目的形状に向かっていることが確認。

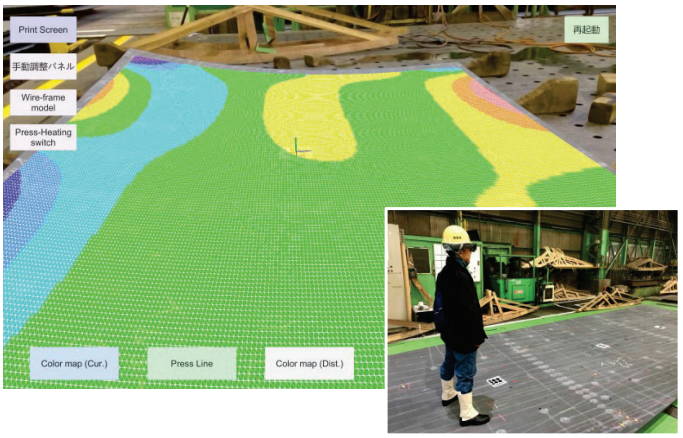


フィードバック型現場曲げ加工支援システム

「設計支援方法、設計支援プログラム、及び設計支援システム」（出願日2019/9/30）

○曲げ加工支援ARアプリケーション

AR表示を鋼板上でも安定的に行えるようにシステムを改良。表示デバイスに関してHMD（ヘッドマウントディスプレイ）対応のARアプリケーションを開発。



曲げ加工支援ARシステムの現場導入

R1年度P.14

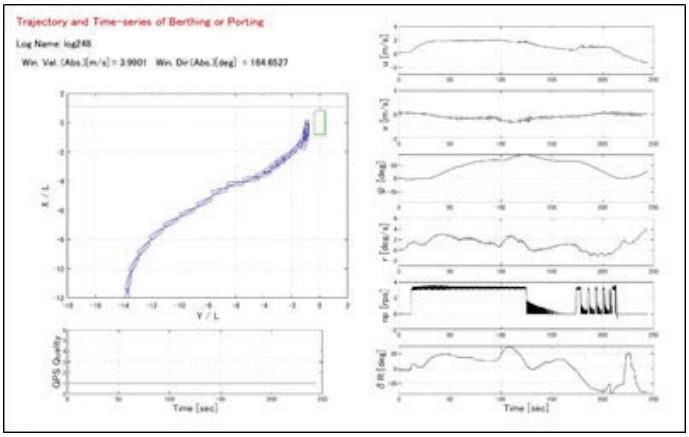
（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

- 自動運航船の実用化に向けた課題の一つである着桟技術に関して「Pure pursuitとAutopilotによる自動着桟アルゴリズム」を開発。
- 操船者の精神的作業負担の軽減とユーザビリティに関して「音声情報を活用した着桟操船支援システム」を開発。

ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究（重点☆12）

○自動着桟アルゴリズム

Pure pursuitとAutopilotによる自動着桟アルゴリズムにより平均風速3.9m/s下で一般走行では問題なく、ニュートラル走行時でも経路誤差を一定以下に押さえ目標位置に着桟制御できることを実証試験で確認。



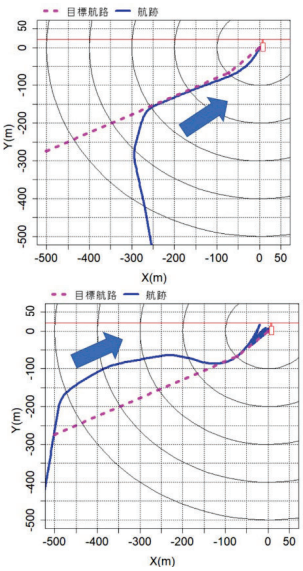
Pure pursuit＋Autopilotによる自動着桟操船結果の一例

○着桟操船支援システム

実船搭載の音声情報を活用した着桟操船支援システムを開発。着桟目標位置における船速と進入角度を音声により、操船経験のない、または、少ない操船者15人のNASA-TLXスコアの平均値の結果から、精神的作業負担が軽減することを確認。



着桟支援システムの音声ガイダンスの例



操船シミュレータによる着桟実験
（上：音声支援あり、下：音声支援なし）

「船舶の着桟支援プログラム、船舶の着桟支援システム、及び船舶の着桟支援システムを搭載した船舶」（出願日2019/11/12）

R1年度P.15

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

年度実績 □ 3研（海技研、港空研、電子研）連携による災害時の傷病者輸送に対するマルチエージェントモデルを用いたシミュレータの開発のためのフレームワークを構築。

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（重点研究☆13）

○災害時における総合的な輸送性能評価シミュレータ

大規模災害を想定した、緊急消防援助隊ブロック訓練や自治体主催の大規模図上訓練等の参観によって傷病者輸送の一連の流れを確認し、情報の流れ、応援部隊配置の考え方などのシミュレータに必要な基盤となる動きを落とし込んだフレームワークを構築した。

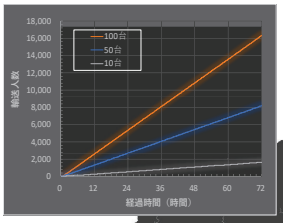


学識・消防・自治体危機管理部局参加の専門家委員会を開催

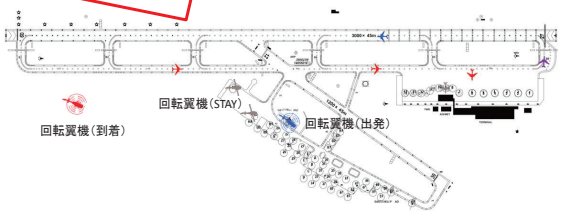
矢板式の岸壁の場合、震度5強以上で供用可能率が低下（港空研）

計測震度	震度階	速度PSI (cm/s$^{0.5}$)	供用可能率（%） 重力式	矢板式	桟橋式	全体平均
3.00		5	100.0	100.0	100.0	100.0
3.50		10	100.0	100.0	100.0	100.0
4.00		15	100.0	93.8	100.0	97.9
4.50	5弱	35	100.0	75.0	100.0	91.7
5.00	5強	60	100.0	25.0	92.6	72.5
5.50	6弱	105	89.5	18.8	51.9	53.4
6.00	6強	175	47.4	18.8	7.4	24.5
6.50	7	280	36.8	0.0	7.4	14.7

応援部隊の輸送シミュレーション
車両数を10, 50, 100台と変化させた時の動きを確認（海技研）



空港面シミュレータに回転翼機の動きを追加（電子研）



R1年度P.16

R2年度

（1）海上輸送の安全の確保 – ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

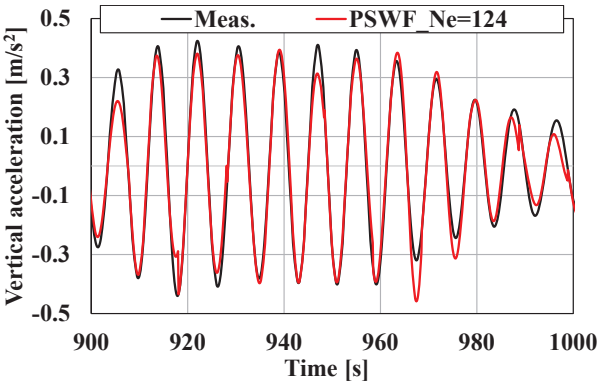
年度実績

- 荒天時の安全操船支援に資するため、オンボード船体運動予測手法を開発。実船データを利用して予測精度を検証。
- 船体構造デジタルツインシステムのコア要素となるハルモニタリングシステムを開発。シリーズ建造船10隻による5年分のモニタリングデータを利用して有効性を検証。

船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1）

○DLSAシステム

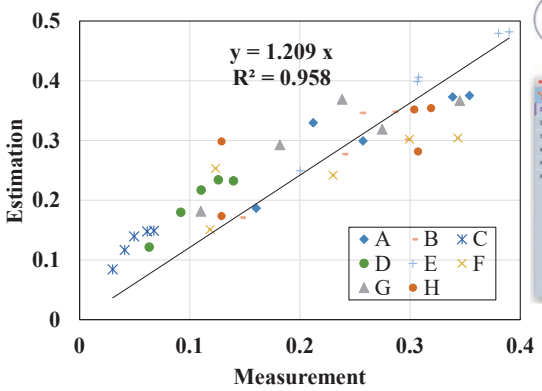
オンボードで計測された船体運動履歴を用いて、数十秒先までの船体運動をリアルタイムで予測する新しい手法を構築した。定常状態の実験データおよび非定常な実船データにより手法の精度を検証した。



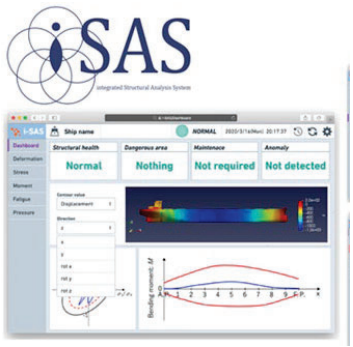
船体運動の予測結果の検証例

○船体構造デジタルツイン

数値解析で得られた船体応答特性及び波浪データを用いた順解析型の応力推定プログラムの精度をシリーズ船のモニタリングデータを用いて検証。非計測船／非計測部位の応力推定及び疲労寿命評価が可能であることを実証した。本プログラムをコアとした船体構造デジタルツインシステムを開発中。



疲労被害度推定値と実測値との比較



開発中の船体構造デジタルツインシステム（iSAS）

（1）海上輸送の安全の確保

– ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発
– ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

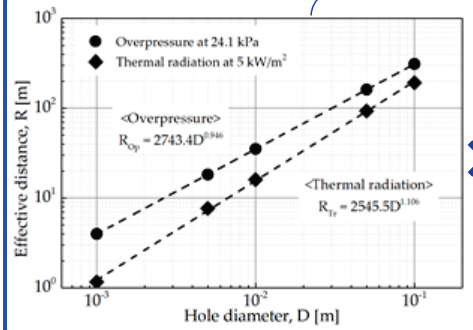
年度実績

- GHG問題対応を行う上で、水素社会の実現するために、液体水素漏洩が定量的にリスク解析を行える手法を開発。
- 2022年に開催予定のIMO NCSR9への提案のために、潮岬沖の推薦航路（2018-2019年度実施）の提案文書の作成支援として追加解析等を実施。

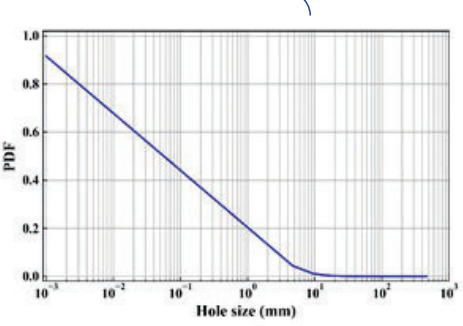
船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究（重点研究☆2）

○液体水素漏洩のリスク解析手法

液化水素運搬船上の液化水素が流通する機器からの漏洩事象を対象として、漏洩穴径と影響度、発生頻度を含めて定量的にリスク解析を行う手法を開発した。



漏洩源の流出穴径の変化と深刻な影響が及ぶ距離との関係（影響度）



配管からの漏洩に関する流出穴径の確率密度関数（発生頻度）

◆：放射熱で火傷
●：爆風圧で鼓膜損傷

○潮岬沖の推薦航路

潮岬沖の推薦航路について海上保安庁によるIMO NCSRへの提案準備に貢献した。また、航路設置の際の事前調査方法、立案、安全性評価の方法を整備した。

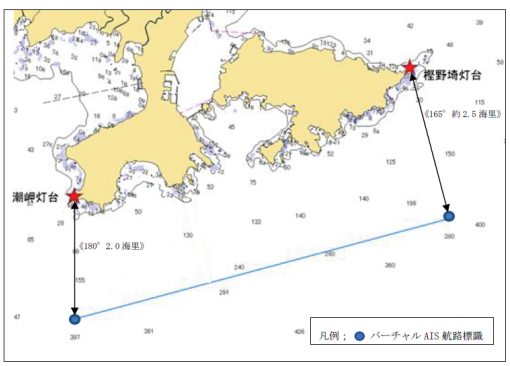


図 7.4.1 推薦航路設置案

潮岬沖の推薦航路設置案（文献※1より流用）

※1）第五管区海上保安本部,公益社団法人 神戸海難防止研究会:潮岬沖における安全対策の構築に関する調査研究報告書, 2020

（1）海上輸送の安全の確保

－ ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発
－ ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

年度実績

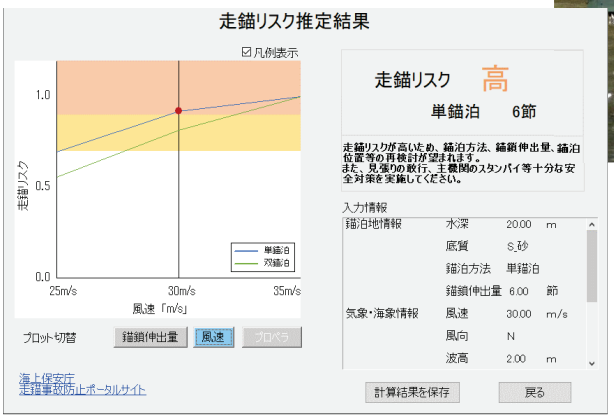
- 国土強靭化年次計画2020に明示された走錨事故の防止対策のために、走錨リスク判定システムの開発し、HPやクラウドによって関係者に無償提供の準備を実施。
- IMOの暫定指針として承認された第2世代非損傷時復原性基準の5つの復原性事故モードの内、過大加速度モードの運航ガイダンスに活用できる操船支援用危険度評価システムを開発。

安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究☆3）

○走錨リスク判定システム

水槽実験で妥当性を検証した走錨危険度推定プログラム（錨泊船の振れ回り運動を計算し最大錨鎖張力と限界把駐力を比較）に入出力GUIを組み合わせて、荒天下での走錨を回避するため，錨泊実施前に船長や乗組員の判断を支援する「走錨リスク判定システム」を開発した。

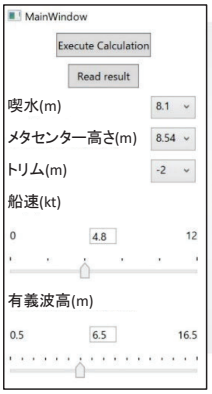




走錨リスク判定システム（出力画面）

○操船支援用危険度評価システム

昨年IMOで承認された第2世代非損傷時復原性基準暫定指針の過大加速度モードは、現存する船舶の7割がいずれかの載荷状態で簡易基準では不合格と判定されることが判明しており、その代替措置として認められる運航ガイダンスに活用できる操船支援用危険度評価システムを開発した。





（赤・黄：横加速度危険領域）

横加速度による危険度評価システムの表示画面

R2年度P.3

（2）海洋環境の保全

－ ①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究
－ ③船舶の更なるグリーン化等を実現するための、PM等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法の開発に関する研究

年度実績

- 0.50%□ □ □ □ □ に□ □した適合油に関し、燃料性状の変化やそれに伴う既存評価指標との不一致の懸念があるため、着火性を評価。着火性、既存指標との関係に問題がないことを実証。
- 適合油などの残渣燃料油にも対応可能な燃焼可視化装置を用い、燃焼波形、火炎の画像、燃焼時の映像解析から、燃焼性を評価する手法を構築。

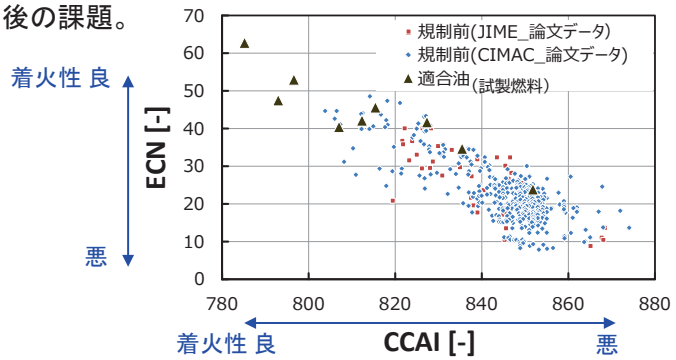
船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

○着火性評価

様々な基材を用いて、ISO燃料油規格に準じた現実的なブレンド油を複数試製し、その燃料の着火性評価を実施。

→ 実測から計算される着火性指標（ECN）を、基準燃料によって検証。 検証結果より実測着火性指標の修正を提案（修正ECN）。

→ ISO規格の着火性指標(CCAI)と比較し、試製適合油の着火性は問題がなかった。ただし、高硫黄燃料油と比較して高ECNになるため、CCAI-ECNの線形性については今後の課題。



規制前後の規格着火性（CCAI）と実測着火性(ECN)の評価

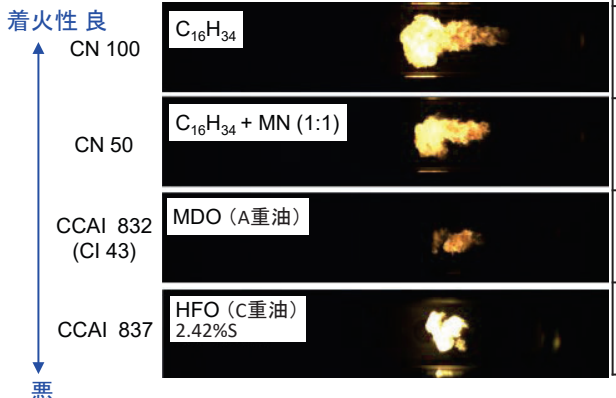
○燃焼可視化装置

留出油や模擬燃料だけでなく、残渣燃料も含む次世代燃料の燃焼性評価に対応可能な燃焼可視化装置を整備。

→ 燃料噴霧から燃え切りまでの燃焼波形、火炎の画像、燃焼時の映像から着火だけでなく燃焼性も評価可能。

既存の着火指標による評価

可視化装置による評価
※燃料噴射から着火・燃え切りまでの時間（msec）



着火	燃切
7.5	39
8.5	39
9.5	38.5
10	41

模擬燃料及び実用燃料の着火・燃焼性の比較

R2年度P.4

（2）海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

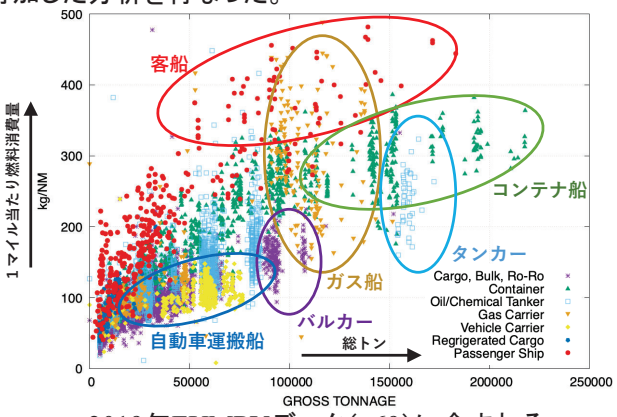
年度実績

- 海運業界の燃費報告制度に関する欧州規制に関連するEUMRV(EU Monitoring, Reporting and Verification)データ単体では完全性や有効性に課題があるため、実海域性能で培った情報を付加し、船舶排出ガス規制への対応へ活用
- 波浪中主機負荷変動と燃料消費性能悪化の関係性を評価可能な「船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラム」を開発、外部企業との共同研究等で活用中（社会実装に貢献）

実海域実船性能評価に関する研究（重点研究☆5）

○船舶排出ガス規制への対応

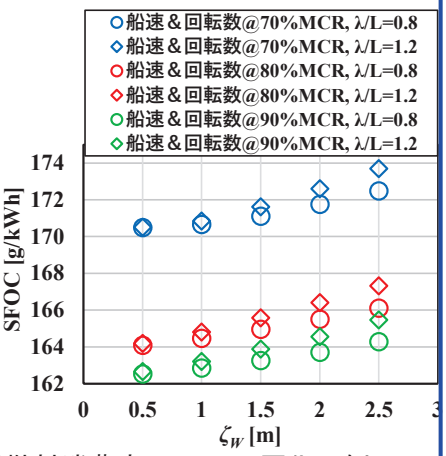
EU-MRVデータに含まれる1万隻以上の船舶の船種・アイスクラス別特性を明らかにした。
船舶要目データ、衛星AISデータ、気象海象データを組み合わせ、EU-MRVデータだけでは得られない情報を付加した分析を行なった。



2019年EUMRVデータ（v69）に含まれる全船の船種別燃料消費量（1マイルあたり）

○実海象中主機応答評価のための研究開発

1. 強化学習手法をベースにした遭遇海象に応じて主機運転状態を最適にする主機制御パラメータ自動調整アルゴリズムの設計。
2. 主機特性自航装置を用いた水槽試験法をHybrid-CMVモデル組み込んで高度化。成果の一部は外部企業との共同研究にも活用した。
3. 波浪中の船速と変動量含めた主機状態を同時に評価できる“船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラム”を開発。Hybrid-CMVモデルの組み込みにより主機負荷変動と燃料消費悪化の関係を陽に示せるようになり、学術的に新規性の高い成果が得られた。本プログラムは外部企業との共同研究においても活用中。



波振幅増加に伴う主機燃料消費率(SFOC)の悪化の例

R2年度P.5

（2）海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

年度実績

- 世界的に実船スケールCFD計算への取り組み進む最中、手法の標準化を行うため、実船スケールCFD計算ガイドラインを作成。
- 損傷し浸水した船舶の波浪中での運動計算を可能にするため、主船体の損傷状態を取り扱えるような損傷時船舶の運動シミュレーションの開発。

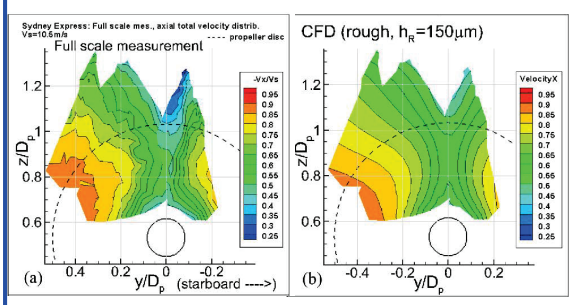
船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究（重点研究☆6）

○実船スケールCFD計算

- 実船スケールCFD計算において、実船の抵抗・推進性能の直接推定に必要な格子解像度・計算に用いることのできる粗度高さ等を、実船計測結果（コンテナ船）との検証を通じて明らかにした。
- 実船スケール計算ガイドラインと共に、国際ジャーナル2本に掲載した。
- 計算ガイドラインを適用した実船スケール自由航走計算を実施し、実船のプロペラ回転数を精度よく直接推定できることを示した。

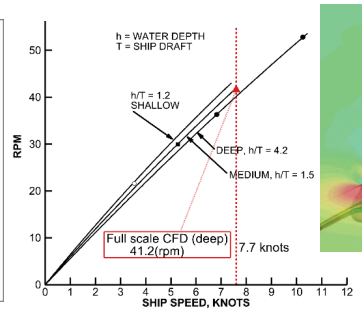
○損傷時船舶の運動シミュレーション

- 波浪中計算手法開発：損傷による1区画浸水を想定した船体内部の計算領域を扱えるよう、重合情報システムを拡張した。
- 新格子トポロジー導入により、物体内への貫通孔、凹部、閉区画の計算領域配置に対応し、バウスラスター、シーチェスト、ムーンプール、カーゴホールド、損傷孔等の計算が可能となった。

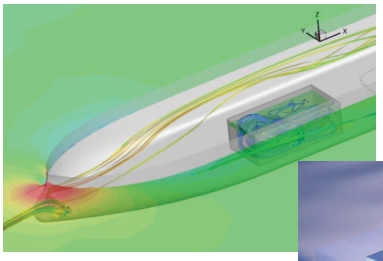


実船伴流計測結果　実船スケールCFD計算結果

実船計測結果とCFD計算結果との比較



実船プロペラ回転数推定と検証



バウスラスター、船体内部の1区画浸水状態と区画内部流れを計算



浮体内タンクのスロッシングによる遊動水と浮体運動の強連成計算

R2年度P.6

（2）海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

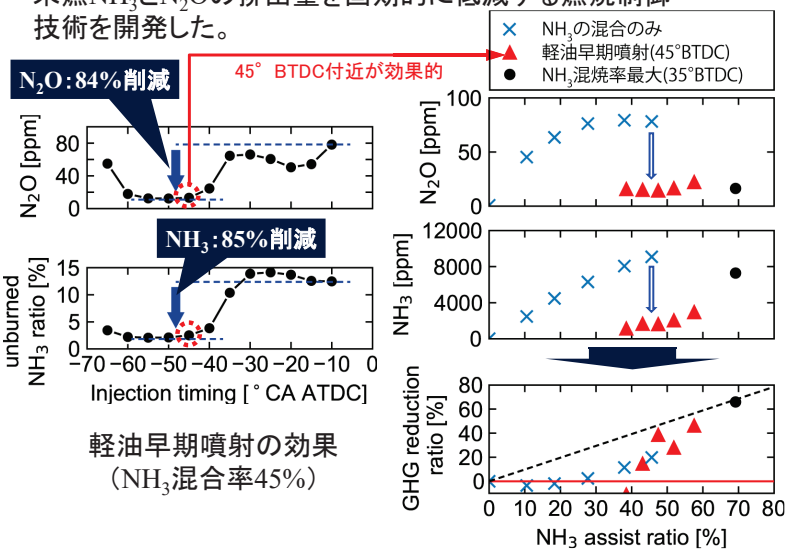
年度実績

- 舶用エンジンにアンモニア燃料利用を実現させる上で課題になっている未燃アンモニアと亜酸化窒素の排出低減するために、アンモニアの安全利用が可能な燃焼制御技術を開発。
- GHG削減技術のための新たな舶用動力システムとして水素混焼エンジンとCO_2回収システムを組み合わせたハイブリットシステムを開発。

多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究（重点研究☆7）

○アンモニアの燃焼制御技術

既存エンジンを用いた軽油早期噴射により、課題である未燃NH_3とN_2Oの排出量を画期的に低減する燃焼制御技術を開発した。

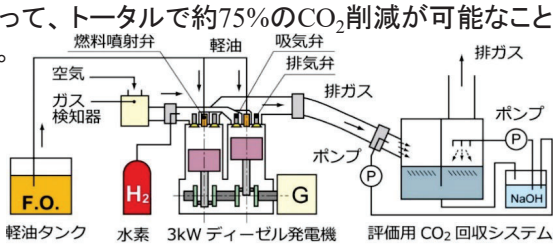


軽油早期噴射の効果（NH_3混合率45%）

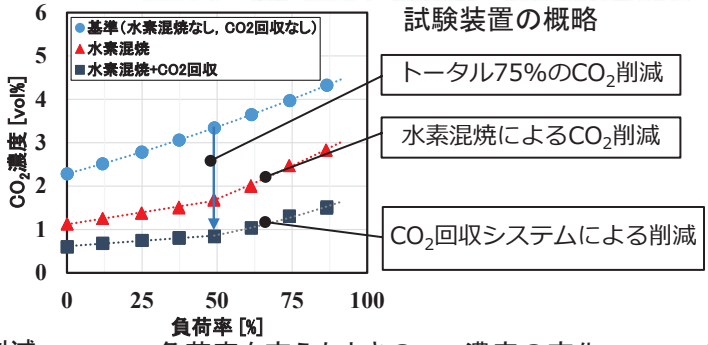
軽油早期噴射を用いた未燃NH_3とN_2Oの削減とGHG削減

○新たな舶用動力システム

水素混焼エンジン（最大混焼率50%）と水酸化ナトリウム水溶液を用いたCO_2回収システムを組み合わせた小型エンジン試験によって、トータルで約75%のCO_2削減が可能なことを確認した。



試験装置の概略



負荷率を変えたときのCO_2濃度の変化

R2年度P.7

（2）海洋環境の保全-③船舶の更なるグリーン化等を実現するための、PM等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法の開発に関する研究

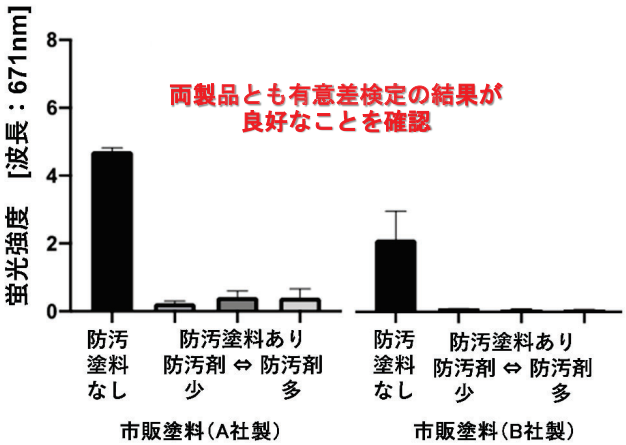
年度実績

- ISO21716 Series（防汚塗料防汚効果評価試験方法）のpart1～3（一般要件、フジツボ類、イガイ類）が発行され、藻類を用いた手法に関してもISOに提案準備を完了。
- EGCSスクラバ排水による長期水質環境影響評価を行うため、本重点研でこれまで実施した大気汚染物質排出量推計手法を応用して評価を実施し、国によるEGCS環境影響評価ガイドライン案の策定に貢献。

船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究（重点研究☆8）

○防汚塗料性能評価

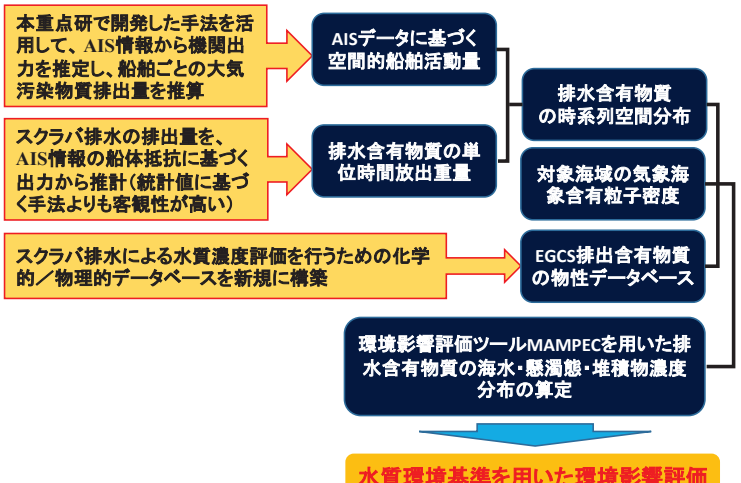
シオミドロを用いた市販塗料の性能評価を実施し、藻類を対象とする評価法の有効性を確認した。また、ISO/WGでの指摘事項に対応すべく、水温20℃での試験を実施し、試験条件パラメータの最適化に資する結果を得た。



市販塗料による藻類の防汚効果

○EGCSスクラバ排水の影響評価

AIS情報を利用した大気汚染物質排出量推計手法に基づき、対象海域内におけるスクラバ排水由来の金属/PAHの濃度を下記フローチャートに従い計算、環境基準との評価を実施。



EGCS環境影響評価のフローチャート

R2年度P.8

（3）海洋の開発

－ ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
－ ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

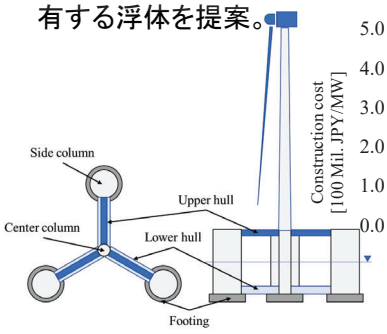
年度実績

□ 浮体式洋上風力発電の普及に向けて、国プロ（NEDO）、業界への技術的な支援を行うために、浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術、作業船オペレーション評価の確立及び安全評価ガイドライン案の作成を実施。

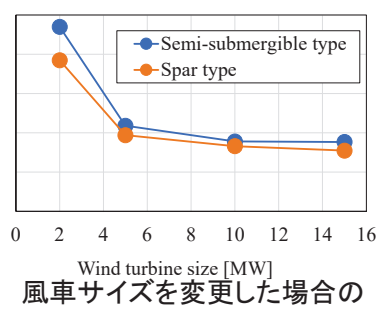
海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術

セミサブ型浮体とスパー型浮体に対し、浮体寸法を変更した場合のパラメトリックスタディを実施して、良好な性能を有する浮体を提案。



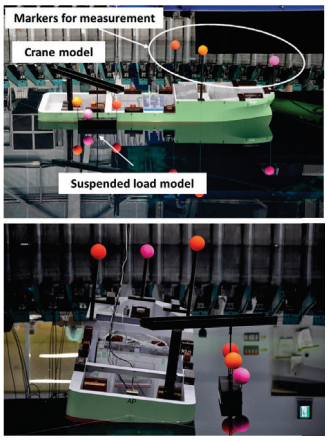
提案したセミサブ型浮体のイメージ

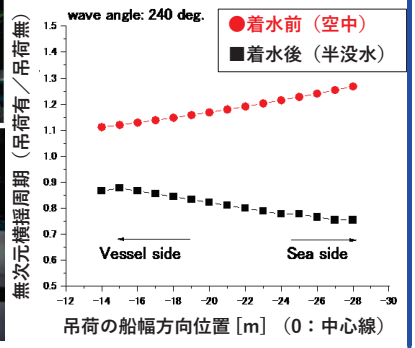


風車サイズを変更した場合の概略建造コスト単価（材料重量ベース）

○作業船オペレーション評価の確立

クレーン作業中の吊荷が着水した直後における作業船との波浪中連成運動解析プログラムを開発し、作業船の固有周期や稼働性に与える影響を評価する手法を確立。





クレーン作業中の吊荷が着水した直後における作業船との波浪中連成運動評価

○安全評価ガイドライン案の作成

合成繊維索を使用した係留系において、風車・浮体・係留の一体解析による係留安全性評価を行うことにより評価における留意点（合成繊維索の軸剛性の非線形性、最大張力の発生する環境条件）を抽出して、安全ガイドラインの改定案を作成。

R2年度P.9

（3）海洋の開発

－ ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
－ ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

年度実績

海底熱水鉱床開発の国プロ（JOGMEC）及び商業化を加速させるために、

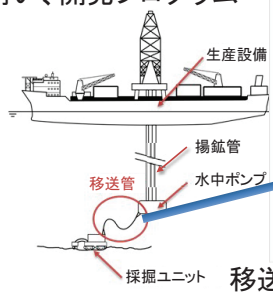
□ 採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船を一体とした挙動解析プログラムの開発にあたり「摩擦抵抗及び管内圧力変化を考慮したプログラム」を開発。

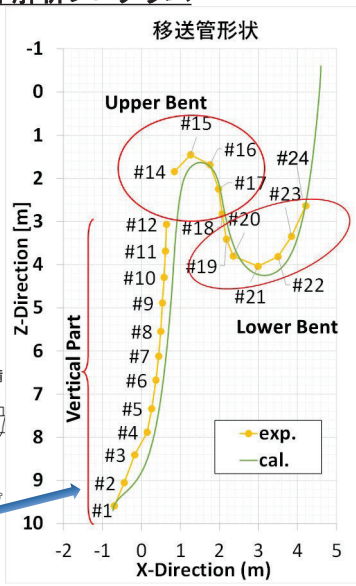
□ 令和元年度に開発した揚鉱から陸上での荷役までを評価可能な「全体システムの稼働性評価プログラム」を用いて、システム最適化に資するパラメータスタディを実施。

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○採掘・揚鉱・採鉱母船一体解析プログラム

採掘ユニットから揚鉱ユニットまでをつなぐ移送管部分について、摩擦抵抗及び管内圧力変化を考慮したプログラムを開発し、令和元年度に取得した商業時のスラリー移送における運用状態を想定した水槽試験データと計算結果の比較を行い、開発プログラムを検証。



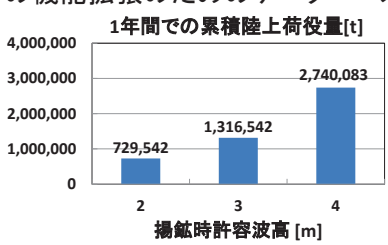


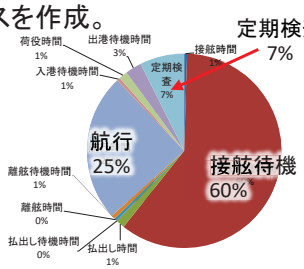
移送管の試験データと計算結果の比較

○ASME OMAE Awards Committee、OMAE 2019 Best Paper of Ocean Engineering Symposium

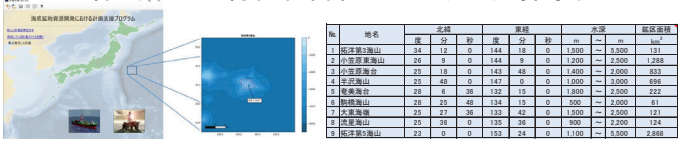
○全体システムの稼働性評価・計画支援プログラム

揚鉱から陸上での荷役までを評価可能な稼働性評価プログラムで、全体システム最適化に資するパラメータスタディを実施し、ボトルネックとなるオペレーションを抽出。また、新たな鉱物資源としてコバルトリッチクラストを追加した計画支援プログラムの機能拡張のためのデータベースを作成。





全体システム 稼働性評価プログラム計算事例



計画支援プログラムのデータのイメージ

R2年度P.10

（3）海洋の開発 －③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

年度実績

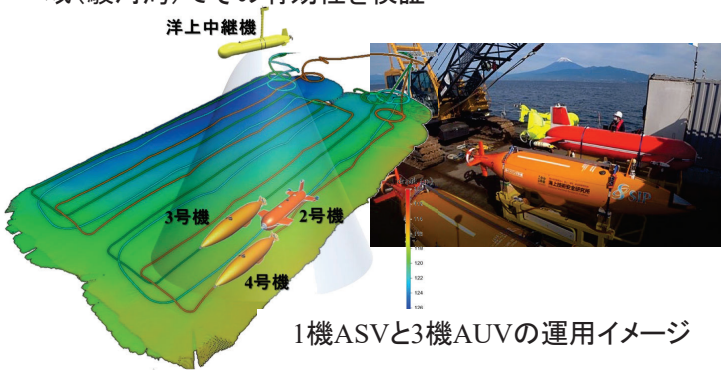
ナショナルプロジェクト（内閣府SIP第2期）、業界への技術的貢献を行うとともに、研究成果の社会実装（貢献）を目指すために

- 基本隊列制御システムの開発と実海域検証
- AUV-AUV測位・通信システムの開発
- 環境省CCS実証事業CO_2シープ潜航調査への貢献

海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究（重点研究☆10）

○基本隊列制御システム

SIP2事業に参画しながら3機の航行型AUVを1ASVが統括、運用するシステム（基本隊列制御システム）を開発し、実海域（駿河湾）でその有効性を検証

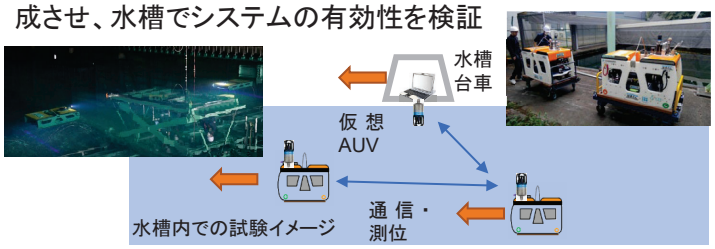


1機ASVと3機AUVの運用イメージ

①New Approaches for Practical Simultaneous Operation of Multi-AUVs, IEEE OES Underwater Technology21, 最優秀賞
②一般財団法人日本水路協会、令和2年度水路技術奨励賞受賞
③公益社団法人 日本マリンエンジニアリング学会、マリンエンジニアリング学会賞(技術賞)受賞
④Shell Ocean Discovery XPRIZEに参画したTeamKUROSHIOが第9回ロボット大賞にて審査員特別賞を受賞

○AUV-AUV測位・通信システム

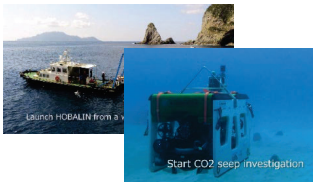
独自に製作した制御システムを搭載したホバリング型AUVとSIP第1期で開発されたしたホバリング型AUV「ほばりん」を用いてAUV-AUV測位・通信システムのプロトタイプを完成させ、水槽でシステムの有効性を検証



AUV-AUV通信・測位システムのプロトタイプ状況図

○環境省CCS実証事業CO_2シープ潜航調査

海底からのCO_2漏出状態の把握をAUVにより実証・社会実装実現



R2年度P.11

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術開発に関する研究

年度実績

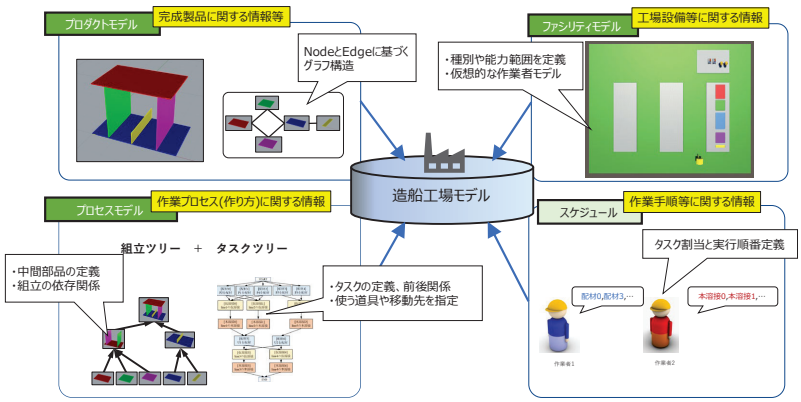
海事産業の競争力強化を図るため、デジタルシップヤード構想を実現する一環として

- 造船工程をモデル化し，そのデータ構造（情報の内容，形式，関係性等）を定義して造船作業工程のデジタル化を提案。
- 造船所間の統合・協業を推進するため、データの標準化及び造船用統合データプラットフォームの開発

造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究（重点研究☆11）

○造船作業工程のデジタル化

造船作業工程のデジタル化により、造船所内の工程を詳細な作業の積み上げにより、作業手順や作業時間を定量的に示すことが可能。

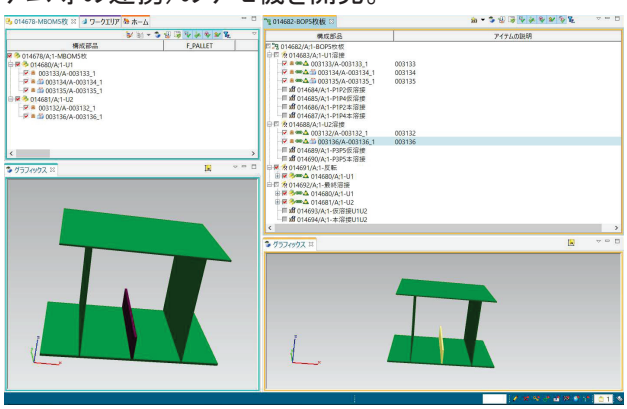


造船工程のモデル表現

「船舶の建造シミュレーション方法及び建造シミュレーションプログラム」（出願日20202/9/25）他4件の特許出願

○造船用統合データプラットフォーム

大型ロットを複数の造船所間で協業して建造を想定し、業務プロセス、データ構造（BOM（Bill of Materials））を整理し、効率的に運用できるシステム（CADとPLMシステム等の連携）のデモ機を開発。



デモ機として開発した造船用PLMシステム

R2年度P.12

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

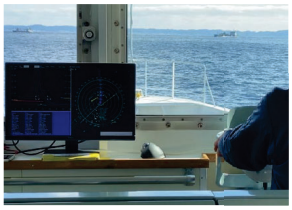
年度実績

- 自動運航船の実用化に向けた課題の一つである避航操船技術に関して「ルールベースのアルゴリズムを用いた避航操船支援システム」を開発・実船検証
- 船員にかかる負担を小さくするために作業の省力化につながる技術に関して「自動離着桟操船システム」を開発・実船検証。

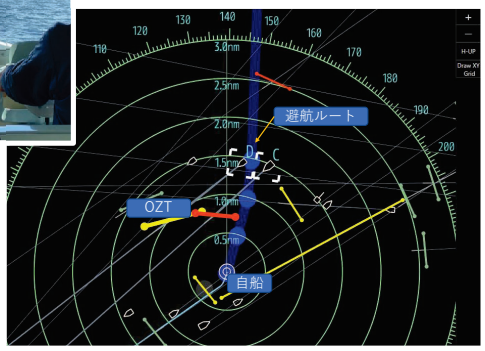
ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究（重点☆12）

○避航操船アルゴリズム

避航操船アルゴリズムを操船支援へ活用するために、早期実現可能性の高い、妨害ゾーン（Obstacle Zone by Target：OZT）を用いたルールベースのアルゴリズムを用いた避航操船支援システムを開発し、東京海洋大学の汐路丸により実船で検証。



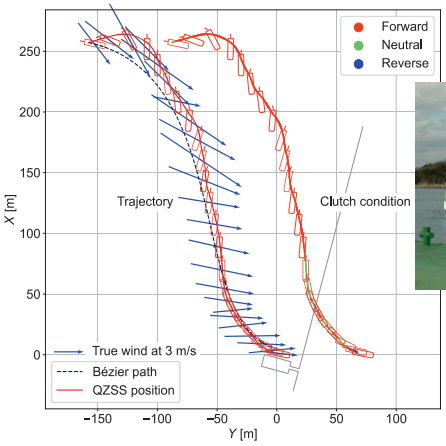
実船実験状況



OZT表示と提案する避航ルート

○自動離着桟操船システム

自動着桟システムを更新し、8～10m/s程度の強風時においても安定した自動着桟ができることを小型実験船により検証。



改良したアルゴリズムによる強風時の着桟実験結果



自動着桟実船試験の様子

「妨害ゾーン判断方法、移動体用システム及び妨害ゾーン表示方法」（出願日2020/06/05）

R2年度P.13

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

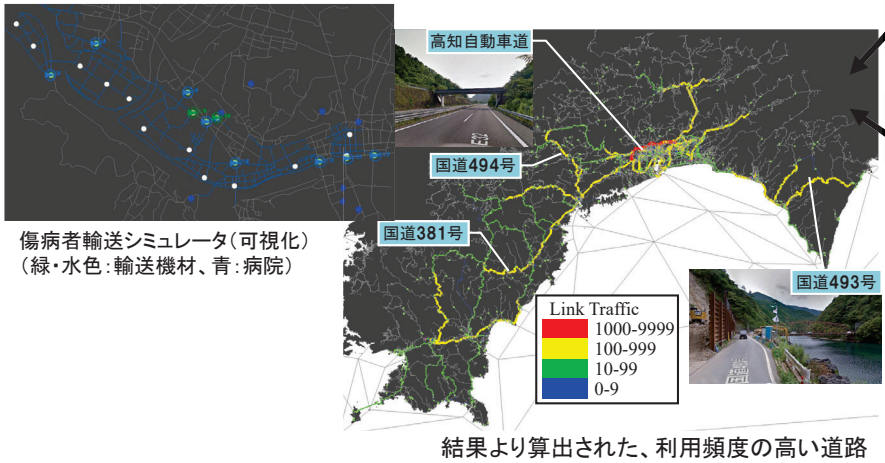
年度実績

- 3研（海技研、港空研、電子研）連携による大規模災害時の陸上・海上・航空輸送に関わる救援活動において発生するボトルネックを事前に発見するシミュレータを開発。
- 自治体（静岡県及び高知県）の被災想定を基にシミュレーションを実施。

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（重点研究☆13）

○傷病者輸送シミュレータ（海技研）

マルチエージェントシステムによる大規模災害時輸送のシミュレータのプロトタイプを開発し、静岡県及び高知県を対象に自治体の保有する被災想定をもとに分析を実施。輸送機材の数、道路の状況、被災想定等のシミュレーション条件を変更することで、あらゆる被災想定に対応。



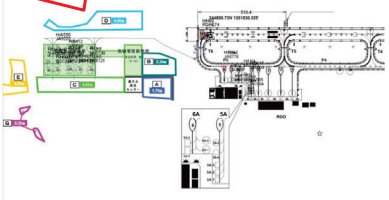
傷病者輸送シミュレータ（可視化）
（緑・水色：輸送機材、青：病院）

結果より算出された、利用頻度の高い道路

○空港面シミュレータ（電子研）

大規模災害時に空港に集中する救援機の駐機スペース等を設定し、混雑状況のシミュレーションを基に受入能力等を検討

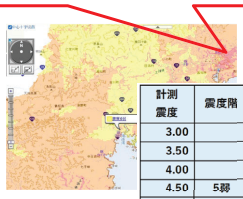
救援機の受け入れ機数



港湾施設の利用可否判定

○港湾の利用性評価（港空研）

震度階級別に岸壁の供用可能率を算出し、大規模災害時に船舶が活用できる港湾を特定



計測震度	震度階	速度PSI (cm/s$^{0.5}$)	供用可能率（%） 全体	供用可能率（%） 傷病者輸送	輸送能力（人／日）
3.00		5	100.0	20.0	974
3.50		10	100.0	20.0	974
4.00		15	97.9	19.6	953
4.50	5弱	35	91.7	18.3	892
5.00	5強	60	72.5	14.5	706
5.50	6弱	105	53.4	10.7	519
6.00	6強	175	24.5	4.9	238
6.50	7	280	14.7	2.9	143

→交通運輸技術開発推進制度の外部有識者による年度評価で、委員より「緻密なシステムで大変重要な技術を開発されている」との評価

R2年度P.14

R3年度

（1）海上輸送の安全の確保 －①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

年度実績

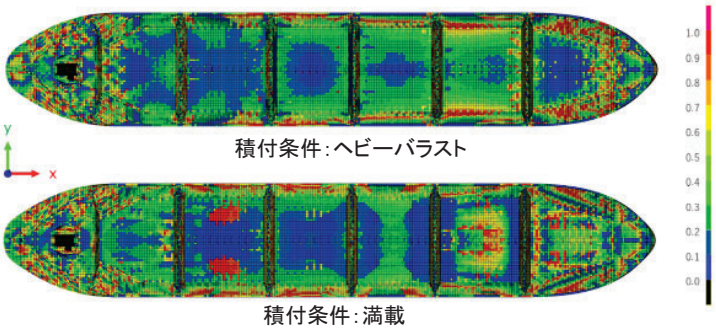
- 全船直接荷重構造強度評価の精度向上のために、多軸載荷の疲労寿命に及ぼす影響評価及び非線形統計予測による降伏強度評価を可能とするDLSA-Basicの機能強化。
- 船舶の安全運航や合理的メンテナンス等の支援を可能するために、ハルモニタリングとデータ同化手法を統合した船体構造デジタルツインシステムを開発。

船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1）

○DLSA-Basicの機能強化

DLSA-Basicの疲労強度評価において、従来のx軸方向の応力での評価に加えて、x軸とy軸方向の応力の影響を考慮できるよう機能を拡張した。また降伏強度評価において、非線形のミーゼス応力値で統計予測を行う機能を追加した。本機能の活用により、船体構造の安全性向上、より合理的設計手法の構築に資することが可能となる。

※図はタンクトップより上側の構造をカットした断面図



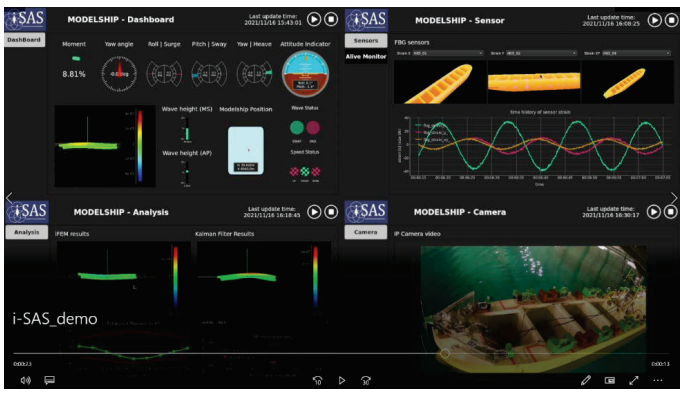
積付条件：ヘビーバラスト

積付条件：満載

2方向の応力の影響度を示すコンター
（x方向とy方向の繰り返し応力の振幅の比）

○統合型デジタルツインシステム

ハルモニタリングとデータ同化手法を統合した船体構造デジタルツインシステムを開発し、水槽試験及び実船で検証を実施した。その結果、システム搭載により船体全域のリアルタイム応力応答、及び実海域の波浪スペクトル・波浪荷重を取得することが可能であることを検証した。また、クラウド化により複数ユーザの遠隔操作・支援を可能にした。



統合型デジタルツインシステム(i-SAS)のプロトタイプ

（1）海上輸送の安全の確保 －①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

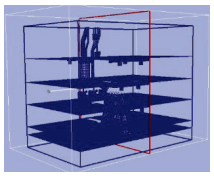
年度実績

- 新たに導入される低引火点燃料に係るリスクベース設計のために、主要なリスク解析手法の開発を視野に可燃性ガス等の漏洩の際の拡散状況と被害影響評価手法を導入。
- 自動運航船のシステムを解析するためのモデル化手法、ハザードを抽出するためのリスク解析手法などを構築して、手順書を作成。

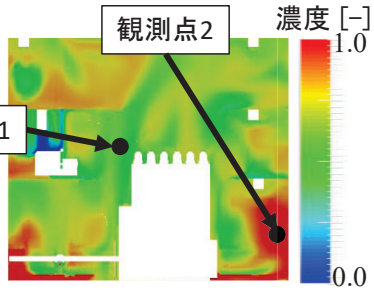
船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究（重点研究☆2）

○低引火点燃料の使用に伴う主要なリスク解析手法

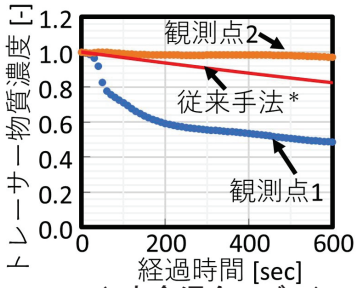
機関室内での燃料漏えい事象への安全対策の一つである換気の効率を評価するため、陸上建築物の室内空調に適用される換気効率指標を活用した。それを用いて、船内の複雑な構造を考慮した換気効率の空間分布に関する試解析を実施し、その適用可能性を確認した。



機関内解析モデル



トレーサー物質の濃度分布
（赤色断面位置、600秒後）

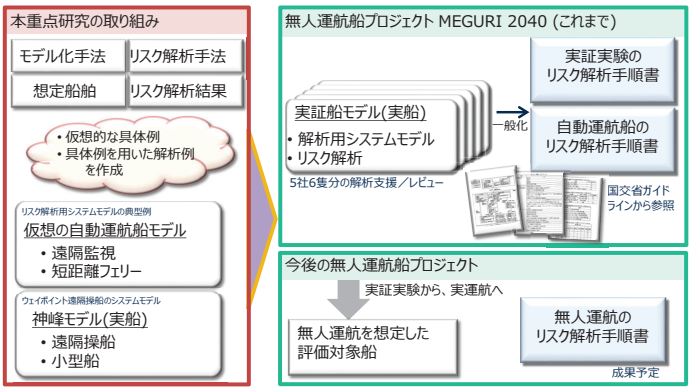


（*完全混合モデル）

各観測点における濃度の時間変化（本手法により、局所的な換気の良/不良を評価可能）

○自動運航船のリスク解析手順書

自動運航船のシステムモデルとその実証実験における運用フェーズを想定し、ハザードの抽出を通して自動運航船を構成するシステムのハザードや波及する効果の影響等を抽出した。また、抽出したハザードとその影響を考慮して、各ハザードから波及する結果の頻度や影響度等を考慮した半定量評価を実施するための手法を検討した。



重点研究の成果と社会貢献（無人運航船プロジェクト）の関係

R3年度P.2

（1）海上輸送の安全の確保 －①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

年度実績

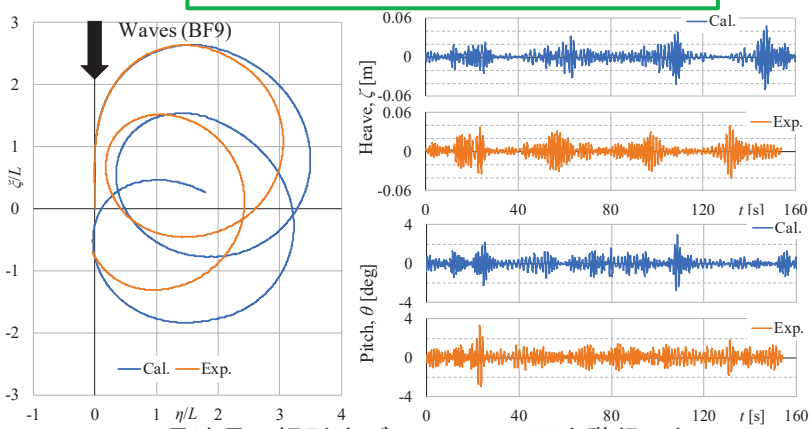
- 合理的な最低機関出力と波浪中操船安全性に関する基準案作成のために、不規則波中での操船時の船舶の操縦運動を、波浪動揺と併せて予測する荒天下操船運動評価プログラムの開発。
- 国土強靱化年次計画2020に明示された走錨事故の防止対策のために、走錨リスク判定システムを開発し、PC版及びWebアプリ版の形態で2021年7月1日に一般にリリース。

安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究☆3）

○荒天下操船運動評価プログラム

前年度に不規則波中まで拡張した操船時6自由度船体運動計算法の検証と推定精度向上のための改良、既存の流体力モデルを基にした着桟航行やプロペラ逆転停止等の計算への拡張により、自動運航船を含む実運航状況における実海域での総合的操縦運動・波浪動揺評価手法を開発した。

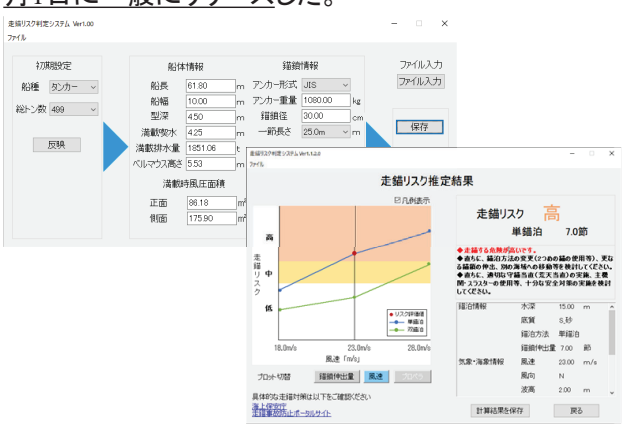
不規則波中の操縦運動・船体動揺を概ね推定可能



長波長不規則波(ビューフォート風力階級9)中
35度旋回運動の推定と検証(タンカー)

○走錨リスク判定システム

前年度作成した走錨危険度推定プログラムに錨泊時のプロペラ推力簡易推定手法を組み込み、走錨危険度軽減のためにプロペラを作動させた場合のリスク判定を行う機能を追加したPC版及びWebアプリ版の「走錨リスク判定システム」を開発し、2021年7月1日に一般にリリースした。



PC版走錨リスク判定システム（上図：入力画面、左図：計算結果出力画面）

R3年度P.3

（2）海洋環境の保全

－①環境インパクト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に資する規制手法に関する研究
－③船舶の更なるグリーン化等を実現するための、PM等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法の開発に関する研究

年度実績

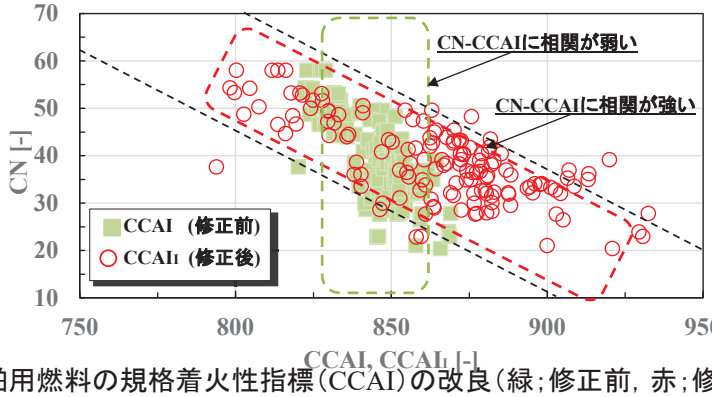
- 規格着火性指標CCAIを実燃料に即したものに改良することで、燃料油の比重と粘性という基本物性からの舶用燃料の着火性（着火性指標CN）推定精度が飛躍的に向上。これにより，燃料品質の安定化と船舶の安全航行に貢献。
- GHG削減のための排ガス中に含まれているCO2及びメタンの排出を削減するための後処理技術を検討。

船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

○次世代燃料の燃焼性評価手法

着火性試験により求める舶用燃料の着火性（着火性指標CN）を簡便に予測するため、規格着火性指標CCAIを実燃料に即したものに改良した。

- ✓ 単成分燃料，二成分燃料で得られた実測のCNと従来のCCAIの線形相関を実証した。
- ✓ 実際の舶用燃料を飽和炭化水素系、芳香族系の二成分系燃料にモデル化し、CCAIを分子構造を反映した指標に改良した。

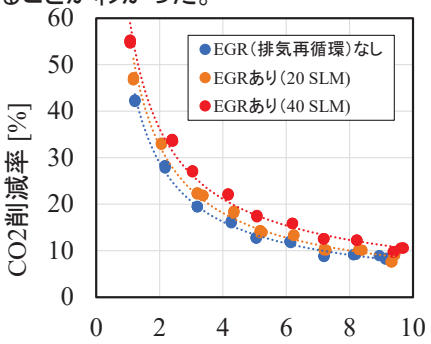


舶用燃料の規格着火性指標（CCAI）の改良（緑；修正前，赤；修正後）

○GHG削減のための排ガス後処理技術

排ガス中に含まれるCO2またはメタンの削減に取り組んだ。

- ✓ CO2分離膜を利用したCO2削減では、分離膜入口側のガス流量が低いほど、また分離膜の入口のCO2濃度を増加させるとCO2削減率が高くなり、最大50%程度のCO2削減ができた。
- ✓ 実排ガスを用い、酸化触媒を利用したメタン削減実験では、低温であってもメタン濃度が高ければ100%メタンを削減できることがわかった。（SLM：20°C1気圧での流量[L/min]）



分離膜によるCO_2削減率

R3年度P.4

（2）海洋環境の保全 -②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

年度実績

- 2023年からの既存船へのGHG排出規制開始（EEXI,CII）に向け、実海域実船性能評価法をキーに対応可能とするため、実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクトフェーズ2を開始。
- 船舶推進システムの安全と経済性の観点から、主機全体と各部の劣化を予測する主機劣化予測アルゴリズムを開発。

実海域実船性能評価に関する研究（重点研究☆5）

○OCTARVIA2

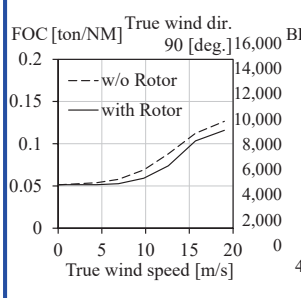
- ✓ GHG削減のため風力推進の利用を適切に評価するため、実運航性能シミュレータ（VESTA）に風力推進を考慮できるよう改良
- ✓ GHG削減のため取られる低速運航で、実海域中を航行する際に大きな割合を占める斜航影響を正しく推定する手法の開発
- ✓ 実海域性能保証を行うために重要となる、実船モニタリングデータにより実海域性能を検証できる技術の開発

○主機の経年劣化の予測アルゴリズム

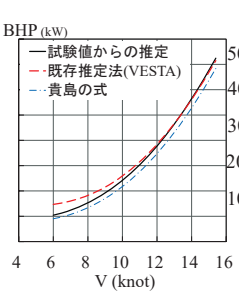
主機デジタルツイン技術と信頼性理論を組み合わせた主機の経年劣化の予測アルゴリズムを開発。具体例としては、

1. 主機効率の劣化を見る入力パラメータを決定（馬力と燃料流量）し、状態推定のカルマンフィルタの適用法確立
2. 劣化無し状態の主機イニシャルモデルの設計
3. 同じ状態における就航船データと主機デジタルツインの性能差を計算し、信頼性関数を適用。

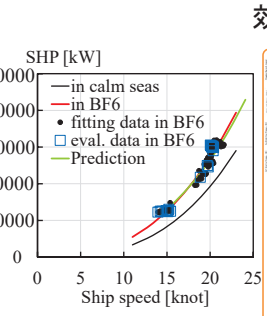
⇒その結果、下図の右下に示すように、ドック前1ヶ月単位で効率の劣化が判り、トレンドから整備時期等の予測ができる。



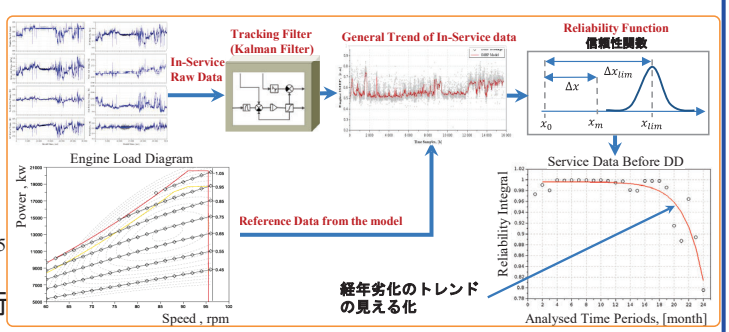
ローターによる燃料節減効果



斜航抵抗の推定精度（主機出力評価）



実海域性能検証技術（予測と検証比較）



信頼性機能基準に基づいた経年劣化動向の解析方法

R3年度P.5

（2）海洋環境の保全　-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

年度実績

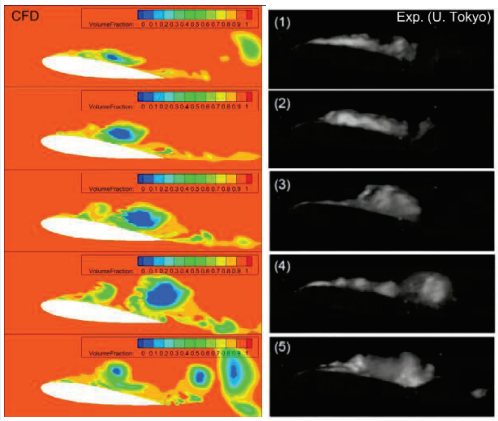
- VOF（Volume Of Fluid）法による二相流れに対応し、二次元翼周りのキャビテーション計算の精度検証を実施。
- 重点☆3と連携し、海難事故時の損傷船舶の安全性評価に資する、損傷による区画浸水を想定した状態での波浪中運動及び波浪荷重導出から船体構造応答まで一貫計算できる手法を構築。

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（重点研究☆6）

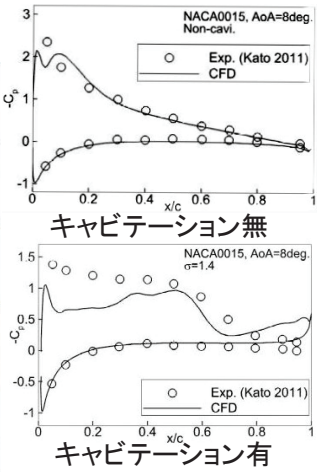
○二次元翼周りのキャビテーションモデル

重合格子に対応する高精度界面捕獲スキームによるキャビテーションモデルに基づく計算手法をプロペラキャビテーション計算まで拡張した。検証として二次元翼周り流れにおけるキャビテーション有無による翼面上圧力分布の比較等を行った。

CFD計算結果　　計測結果



二次元翼周りキャビテーションの可視化結果の比較

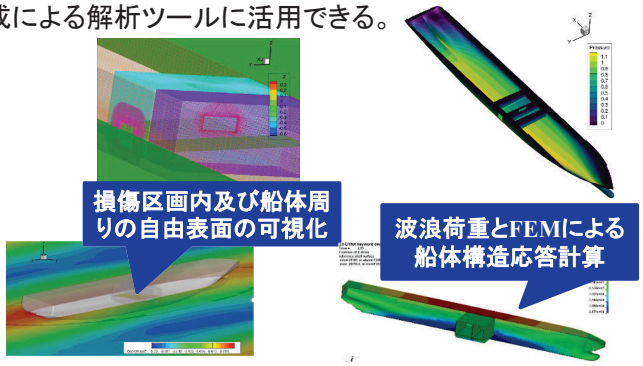


キャビテーション有無による翼面上圧力分布の検証

○損傷時船舶の運動シミュレーション

複数の区画及び損傷孔に対応した重合格子生成手法を開発し、検証ケースとして選定した複数区画損傷状態へ適用した。区画内の水面の変動等から妥当性を確認するとともに波浪荷重を導出し、FEMによる船体構造応答との連成計算手法を構築した。

⇒その結果、損傷船の曳航時の応力評価や洋上風車等の運動・構造評価への拡張性を有するCFDとFEMの連成による解析ツールに活用できる。



重合格子による複数区画浸水状態の計算と波浪荷重に基づく船体構造応答

R3年度P.6

（2）海洋環境の保全　-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

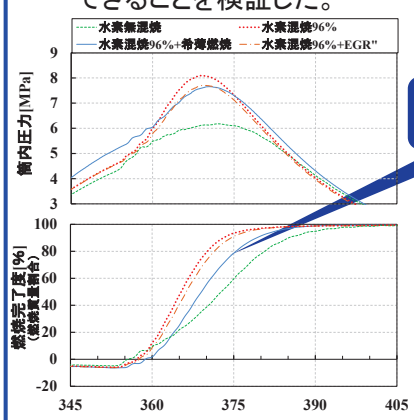
年度実績

- 船舶用途での水素混焼エンジンを実現するために、水素の安全利用や環境負荷物質の低減技術を確保する燃焼制御技術を開発。
- カーボンフリー船への導入に向けた技術課題等について整理し、国交省の内航カーボンニュートラル推進方針の策定や、国交省・船技協の国際海運GHG削減ロードマップの改定に貢献。

多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究（重点研究☆7）

○水素混焼の燃焼制御技術

- ✓ 水素混焼ガスエンジンの実験を実施し、50%負荷率、水素熱量混焼率96%において、GHG排出率削減率96%を実証した。
- ✓ 水素混焼時の燃焼制御のため希薄燃焼と排気再循環（EGR）を実施し、希薄燃焼によって高混焼率においても、燃焼速度の抑制と低いNOx排出率が実現できることを検証した。

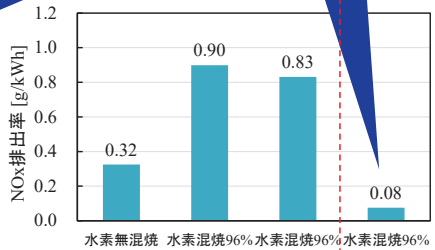


水素混焼時の燃焼特性

海技研方式（希釈燃焼）で燃焼速度の抑制と低NOxを実現

燃焼速度の抑制を確認

低NOxを確認



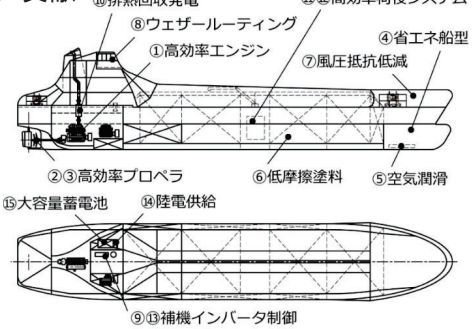
水素混焼時のNOx排出率

○カーボンフリー船

水素やアンモニアなどの石油代替燃料を用いた舶用エネルギーシステムの特性を調査し、各技術・代替燃料のカーボンフリー船への導入に向けた技術課題、船舶への適用性や将来性について整理した。

内航船：“連携型省エネ船”コンセプト検討など、国交省の内航カーボンニュートラル推進方針の策定に貢献

外航船：2050年ネットカーボンニュートラルに向けた、国交省・船技協の国際海運GHG削減ロードマップの改定に貢献



各種省エネ技術を導入した“連携型省エネ船”イメージ

R3年度P.7

（2）海洋環境の保全　-③船舶の更なるグリーン化等を実現するための、PM等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法の開発に関する研究

年度実績

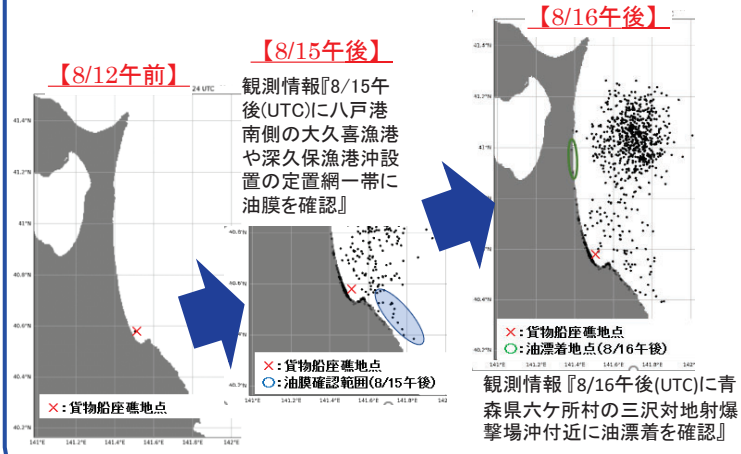
- 油漂流予測の性能向上のために、最新の要素試験結果に基づくモデルによる高精度流出油漂流予測システムを構築。
- IMOで審議中の船体付着生物管理ガイドライン（以降　ガイドラインという。）の見直しにおける懸念事項を解決に寄与するため、汚損や膜厚を評価する簡易評価試験法を検討。

船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究（重点研究☆8）

○高精度流出油漂流予測システム

油運命モデルの更新、海流データ／油移動計算方法の変更により複雑な海洋環境での実現象が再現・予測可能になったことを検証

⇒日本周辺海域（内湾・沖合含む）を対象に、海気象条件の相違や時間経過による流出油の状態変化まで考慮できる予測システムは類例がなく、学術的価値を示した。



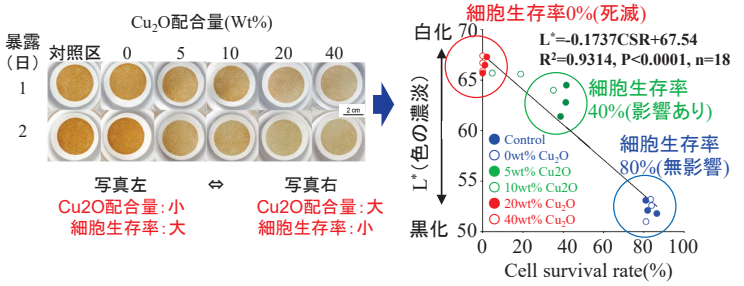
八戸沖貨物船座礁事故発生から4日半経過までの流出油分布

○簡易評価試験法

ガイドラインを実効性のあるものにするためには、藻類やフジツボによる船体付着汚損を、その場計測（ON-SITE計測）で評価したり、防汚塗料の塗膜厚による防汚性の健全性を評価する必要がある。そのため、下記の簡易評価試験法を検討した。

①藻類汚損の簡易評価試験法
②フジツボ汚損の簡易評価試験法
③防汚塗膜厚さの簡易評価法
→ すべて手法の妥当性を確認済み

①については、新規試験法としてISO化する準備を完了し、ガイドライン見直しに反映させるための目途を立てた。



Cu2O配合量と細胞生存率（右）との相関関係（L*のみ）

R3年度P.8

（3）海洋の開発

- ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
- ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

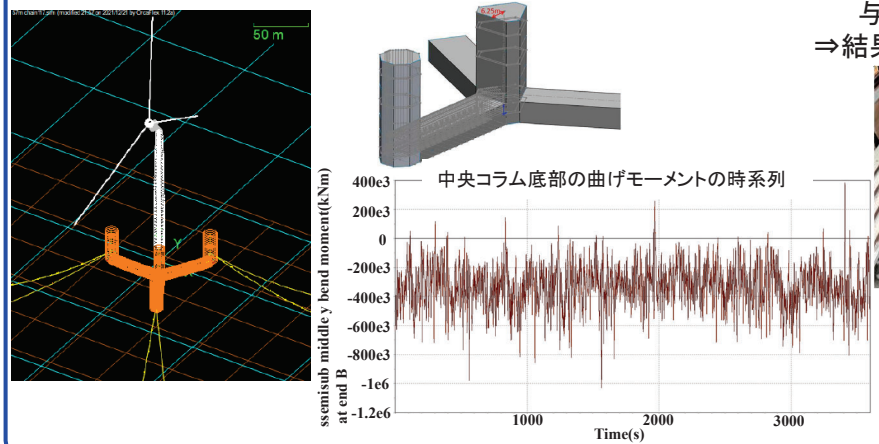
年度実績

浮体式洋上風力発電の普及に向けて、国プロ（NEDO）などを通じて、業界への技術的な支援を行うために、浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術、及び浮体式風力発電プロジェクト認証支援技術の開発を実施。

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術

- ✓ 15MW風車を搭載したセミサブ型に対し、風車・係留系との連成影響を含む波浪中応答特性を求めるとともに、試設計結果に基づく強度評価を実施した。その結果、波浪中応答解析と強度評価を連成して評価可能な体制を構築した。
- ✓ 過去に検討した浮体式風力発電施設の損傷時復原性規定をIECに提案。また、我が国沿岸域に適応した耐震設計法を提示し、ISO19901-2 Ed2のFDIS案として採用。

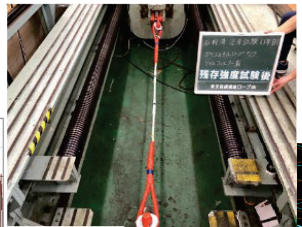


セミサブ型浮体の試設計及び構造強度の評価結果

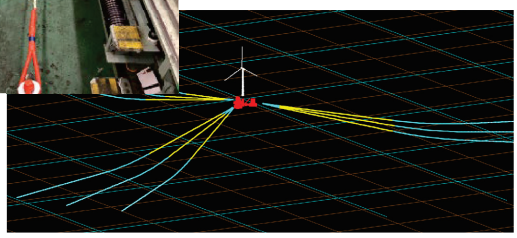
○プロジェクト認証支援技術

- ✓ 合成繊維索を使用した係留系において、確立された風車・浮体・係留の設計手法を用い、複数の試設計を実施した。
- ✓ 合成繊維索を使用した係留系において、生物付着影響を評価するため、合成繊維索の試験体を実海域に設置し、付着生物量の調査を行うとともに、一部試験体については強度評価を実施し生物付着が繊維索の強度に与える影響を評価した。

⇒結果は安全ガイドライン改訂案の一部となる予定



強度評価試験の様子



合成繊維索を用いた係留系の試設計例

R3年度P.9

（3）海洋の開発

－①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
－②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

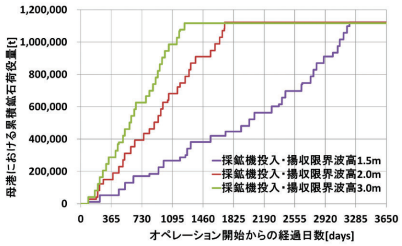
年度実績

海底熱水鉱床開発の商業化を加速させるために、国プロ（JOGMEC）などを通じて、ボトルネックとなるオペレーションを評価できる全体システムの稼働性評価及び計画支援プログラムの開発を実施するとともに、海域特性に対応したGPS波浪計の新係留システムの安全性評価技術の開発を実施。

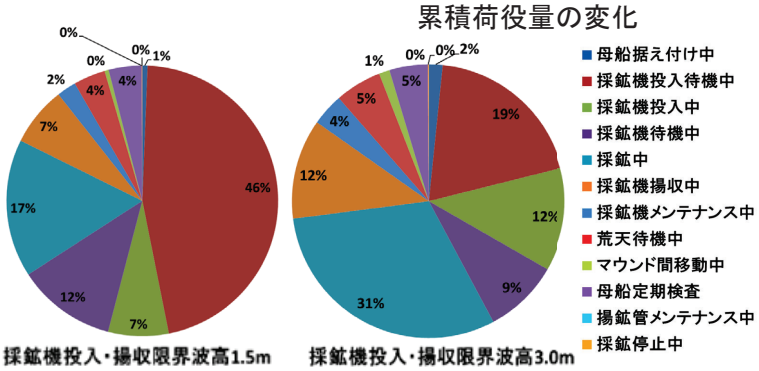
海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○全体システムの稼働性評価・計画支援プログラム

海底熱水鉱床開発の商業化に向け、海底での採鉱から陸上での荷役までの鉱物量をシームレスに評価するプログラムを開発した。採鉱時の限界波高等の条件を変化させたパラメータスタディを実施し、ボトルネックとなるオペレーションの抽出が可能であることを示した。



採鉱機投入・揚収限界波高を変化させた時の母港における累積荷役量の変化

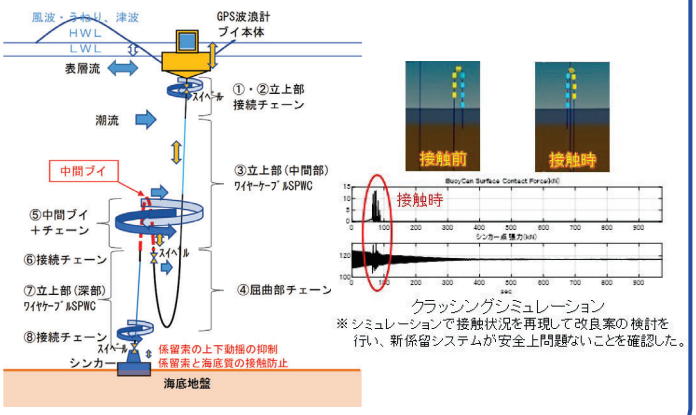


採鉱システムの詳細オペレーション時間占有率の比較

○GPS波浪計の新係留システム

国土交通省では、GPS波浪計について既存の係留索の維持管理方法の検討以外に、海域特性に対応した、新たな係留方式の検討を行っている。当研究所はその一部の検討として、新たに提案されたGPS波浪計の新係留システムの諸元に基づいた係留システムの適用性検証のための数値シミュレーション及び模型試験を実施した。

⇒その結果、海技研の検討で提示したシステム案で問題ないことを確認し、実機製作に移行している。



GPS波浪計の新係留システム

R3年度P.10

（3）海洋の開発 －③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

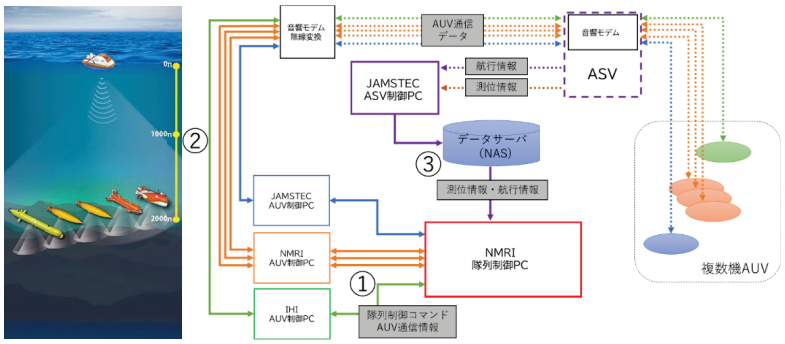
年度実績

AUV技術の社会実装（貢献）のために、ナショナルプロジェクト（内閣府SIP第2期）に参画し基本隊列制御システムの実海域試験に向けた調整実施・完了、AUV-AUV測位・通信システムの有効性確認、及びAUV-ASV連結システムの商品化を実施。

海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究（重点研究☆10）

○基本隊列制御システム

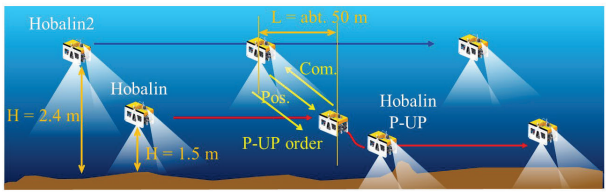
- ✓ SIP2事業に参画し、令和4年度に実施する基本隊列制御システムの実海域試験実証試験に向けた各種調整を行った。
- ✓ JAMSTEC ASVと音響ネットワークを構築するためのAUV整備
  JAMSTEC音響通信装置の増設
  （NMRI AUV2,3,4号機、IHI AUV）
- ✓ 他機関連携用に隊列制御システムの詳細設計
  通信プロトコル策定、機器間接続方法調整、ソフトウェア修正、コアプログラム登録



基本隊列制御システムの実海域試験概念図（ASVと5機AUVの想定）と機器間接続・通信経路設計

○AUV-AUV測位・通信システム

令和2年度開発のAUV-AUV通信・測位システムのプロトタイプを発展、当所実海域再現水槽・動揺水槽にてシステムの有効性を確認、さらに駿河湾で実証試験（12月）を実施。

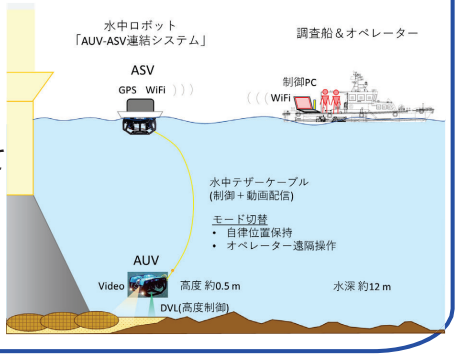


AUV-AUV通信・測位の概念図

○AUV-ASV連結システム

小型でリアルタイム海底映像転送可能な「AUV-ASV連結システム」を開発した。また、試験水槽において動作確認試験を行った。

⇒商品化



R3年度P.11

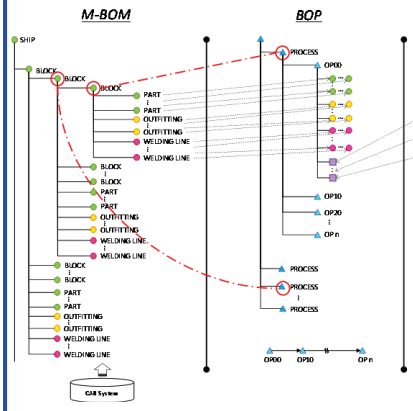
（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 -①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術開発に関する研究

年度実績 海事産業の競争力強化を図るため、デジタルシップヤード構想を実現する一環として、造船所間の統合・協業を可能とするデータ標準と造船用統合データプラットフォームの開発、及び建造工程の仮想空間上の再現のための造船作業工程のデジタル化を提案。

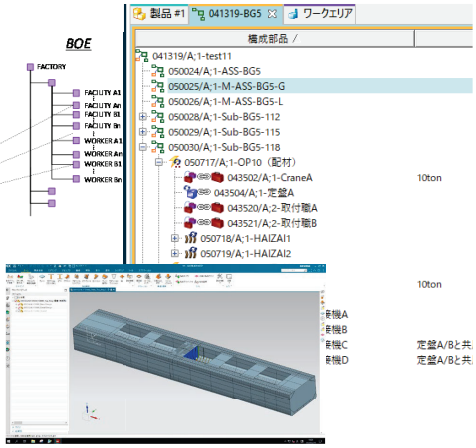
造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究（重点研究☆11）

○データ標準と造船用統合データプラットフォーム

- ✓ 製品情報、工程情報をBOM(Bill Of Materials)、BOP(Bill of Process)の形式で表現するデータ構造を策定し、それに基づき、実際の船舶の設計から工程までのモデリングを可能とした。
- ✓ モデリングした製品データを建造シミュレーションに接続し、実際の小組工程を想定して建造シミュレーションが実施できることを確認した。



製品情報及び工程情報のデータ構造の一例

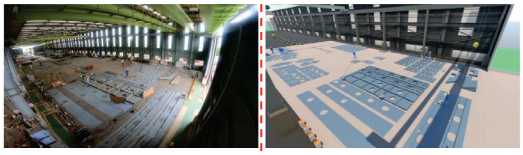


建造シミュレーションに接続するためのモデリングした製品データのイメージ

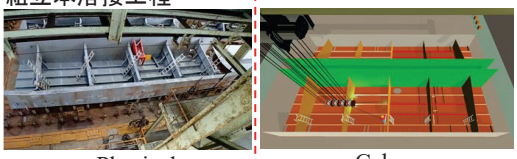
○造船作業工程のデジタル化

- ✓ 建造工程の仮想空間上での詳細な再現を可能とするマルチエージェントシステム(MAS)に基づく造船用高精度建造シミュレーション手法を構築した。
- ✓ 造船所の実際の小組立および中組立本溶接工程において、ビデオ撮影と本シミュレータ結果を作業要素単位での比較を実施し、妥当な近似精度であることを確認した。

小組立工程



中組立本溶接工程



Physical　Cyber

小組立と中組立本溶接工程でのPhysicalとCyberとの比較

R3年度P.12

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 -②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

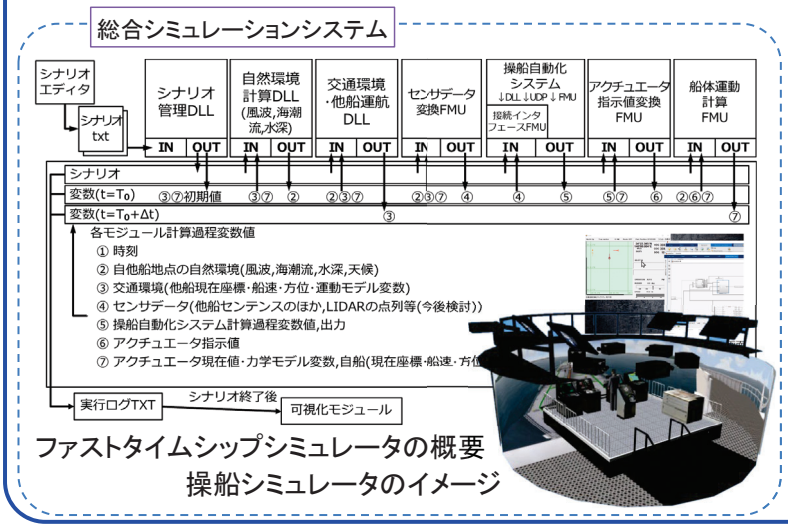
年度実績

- □ 自動運航船の機能評価や安全評価を行うために、ファスト・タイム・シップ・シミュレータ（FTSS）及び操船シミュレータ（SHS）を組み合わせた総合シミュレーションシステムを構築。
- □ 遠隔操船の実用化に向けた課題の一つである通信遅れ等を解決するために、遠隔操船システムを開発・実船検証。

ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究（重点☆12）

○総合シミュレーションシステム

- ✓ 多種多様な条件下でのシミュレーションを高速で計算を実施するFTSSを構築し、外部への配布を想定した実行ファイル及びドキュメントを作成した。
- ✓ 自動運航船の評価に必要な機能要件等に基づきSHSのハードウェアの詳細仕様を決定した。



ファストタイムシップシミュレータの概要

操船シミュレータのイメージ

○遠隔操船システム

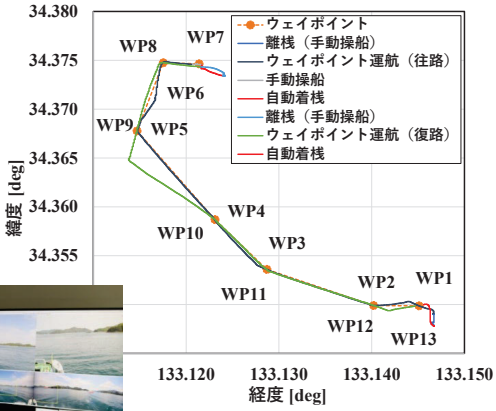
小型実験船「神峰」の遠隔操船システムを用いた実船試験を行い、通信遅れの把握や通信遅れが生じたときの対応、さらに各種センサの健全性の確認方法等が重要であることを確認し、安全で使いやすいシステムを構築する。



神峰の写真



遠隔操船試験の様子



遠隔操船試験の航跡

R3年度P.13

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 －③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

年度実績

- 傷病者輸送シミュレータは、交通運輸技術開発推進制度における外部評価委員会において、複数の委員から「非常に意義の大きい成果を得られている」と評価。
- 海運ゼロエミッション化に貢献するために、造船需要予測モデルと海上物流シミュレータを統合したGHG削減戦略評価システムを開発。

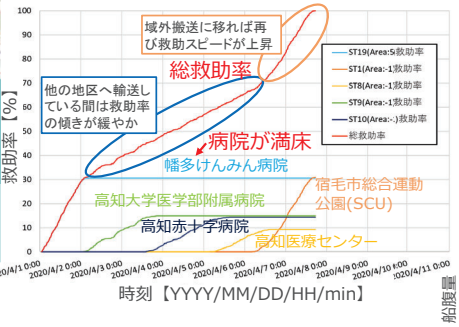
AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（重点研究☆13）

○傷病者輸送シミュレータ

- ✓ 傷病者輸送シミュレータをクラウド上に実装を行い、Webブラウザ上で動くモノに改良を実施した。
- ✓ 開発したシミュレータを活用し、自治体の保有する被災想定をもとに分析を実施し、救助率の時系列変化等を定量的に示した。



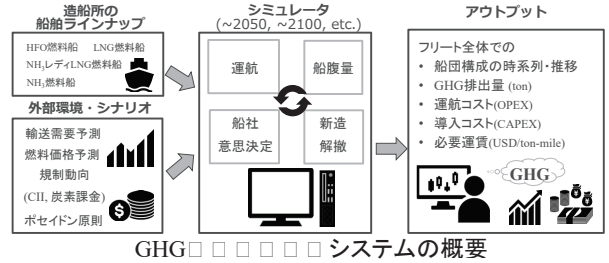
Webブラザーに表示したシミュレータ可視化画面



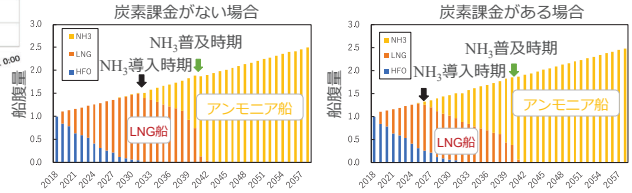
救助率の時系列変化

○GHG削減戦略評価システム

バルクキャリアを対象とし、造船需要予測とGHG排出量推定によって、規制シナリオ、炭素課金など将来の様々なシナリオに基づく代替燃料導入を予測するシステムを開発
⇒国際海運・造船需要予測において、日本海事センターの環境問題委員会で活用や日本造船工業会の需給小委員会での活用と国際需要予測専門家会議で国際貢献



GHG□ □ □ □ □ □ システムの概要



バルクキャリアを対象とした代替燃料導入予測

R3年度P.14