令和４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４年５月１７日

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

目　次

１．はじめに 1

２．評価の概要 2

３．評価の結果 3

「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

(1) 海上輸送の安全の確保 4

(2) 海洋環境の保全 7

(3) 海洋の開発 10

(4) 海上輸送を支える基盤的技術開発 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「見込評価」

(1) 海上輸送の安全の確保 33

(2) 海洋環境の保全 35

(3) 海洋の開発 37

(4) 海上輸送を支える基盤的技術開発 39

参考添付 2：評価資料（抜粋） 42

参考

令和 3 年度業務実績報告書

見込評価（中長期期間の計画と実績）【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。

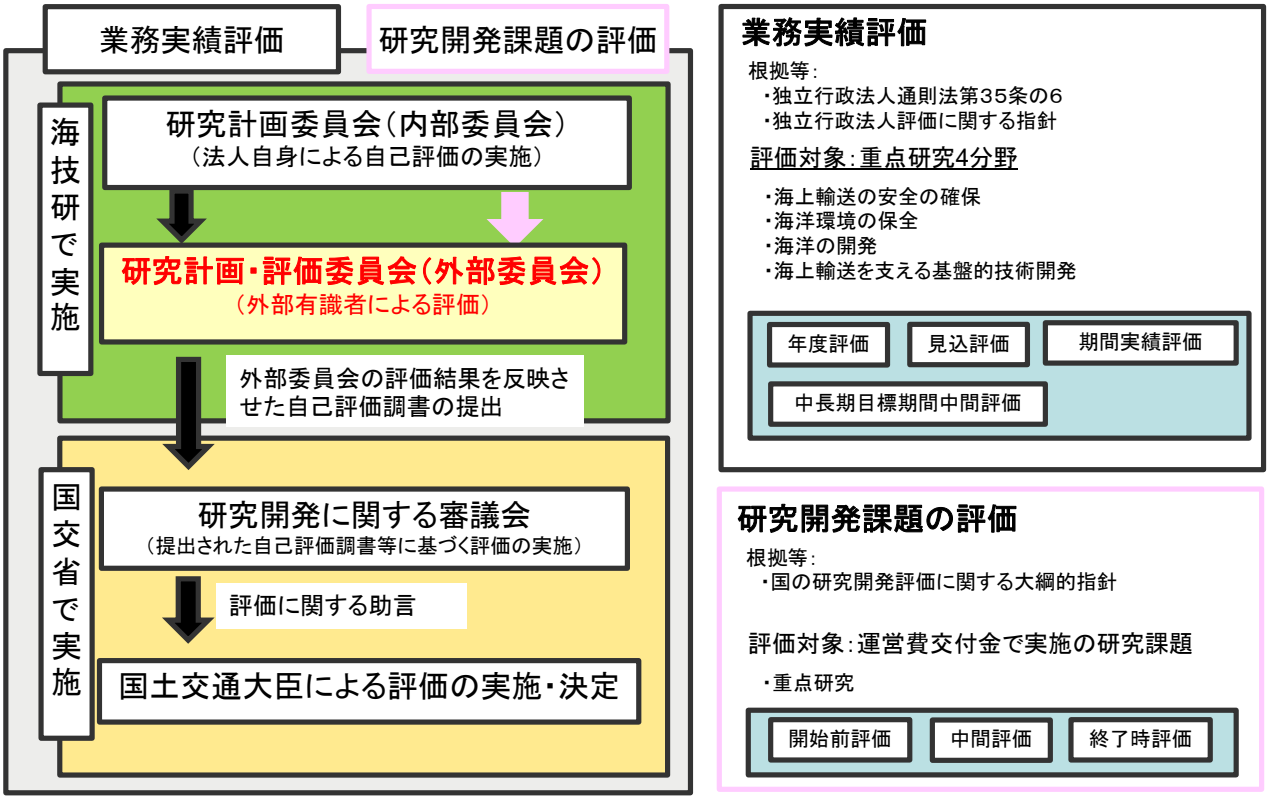
(2) 評価の種類

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」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４年５月１７日（火）

(2) 評価の実施者

海上技術安全研究所研究計画・評価委員会 委員名簿

会務	氏　　名	所属・役職名
会長	梅田　直哉	国立大学法人　大阪大学大学院　工学研究科 船舶海洋工学部門　教授
		以下 50 音順
委員	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
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マシナリー　代表取締役社長）
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	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　代表取締役社長）
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 3 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「見込評価」

対象：中長期目標期間終了時に見込まれ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」（平成 31 年 3 月 12 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 3 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「見込評価」

【中長期目標期間終了時に見込まれ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３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	①船体構造デジタルツインシステムを開発して実船で検証したこと、水素機関のリスクへの対応は社会的価値が高いと思われる。 ②耐航性理論と操縦性理論の統合モデルの構築は海技研の伝統的分野であり、さらに発展が期待できる。 ③関空事故を受けての走錨リスク判定システムを迅速に公開しその後の事故にも対応できた点、自動運航船の実証実験前にそのリスク評価の手順を示した点はタイムリーであった。 ④国際ジャーナルに発表している研究が船体構造分野で多い。 ---------- ・荷重評価の高度化、DLSA-Basic の機能強化、統合型船体構造デジタルツインシステムの開発を中心に多数の査読論文を発表しており、国際的な水準に照らしても新規性が高く学術的価値の高い研究が行われている。 ・デジタルトランスフォーメーション活用による海事産業の変革が急務である中、デジタルツインシステムの開発は時宜を得ている。 ・また、数値シミュレーションを活用したデータ同化技術による船体全体の応力応答や環境のリアルタイム把握においては、国内大学等のシーズを統合し、さらに統合システム(i-SAS)にまとめており、プラットフォームとしての発展性を有する。 ---------- ・従来の疲労強度評価は船長方向応力のみに基づいていますが，本来は考慮するべきである面内二軸負荷影響及び非線形応力影響も考慮する手法に改善したことは疲労現象を理解しつつ評価精度の改善に直結する成果であるため，高く評価します. ・自動運航船リスク解析に関しては，モデル提案にとどまらず実船実験の成果に寄与しており，自律船の商用ベースでの導入に資する重要な成果であると判断します. ---------- ・造船の設計力強化や船舶事故のリスク評価の高精度化、推薦航路の設計評価、荒天下操縦運動評価など、国の方針や社会的価値につながる重要な研究開発であり、計画通り進められおり、確実な成果を上げている。 ・自動運航船、無人運航船に関連する研究開発は、国際的にも帰休される技術であり、将来の日本の国際競争力向上に直接貢献できるものである。計画通りの成果が挙げられている。 ・今後、国際競争力への直接的な貢献について、具体的事例が積み上げられることを大いに期待している。 ---------- ・デジタルツイン技術は、世の中の現象をデジタルの中で再現する、という、本業界に限らず、世界の流れであり、安全性を十分有し、かつ、国際競争力のある船舶を日本の造船会社が供給する上で、今後非常に重要な技術と認識しています。 ・その観点から、船体構造デジタルツインを世界に先駆け開発する一方、実績に基づく、データドリブンな基準策定手法の確立や策定、水素燃料などの新燃料、自動運航船におけるリスク解析手法の検討といった評価基準まで踏み込んだことで、社会実装により一層近づいており、特に、評価ポイント①、④において顕著な成果があったと考えます。 ---------- ・船体荷重・構造応答一貫解析強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発を さらに進め、船体全域のリアスタイム応力応答を取得するできることを検証しているこ				

	と、機能追加した走錨リスク判定システムを開発し一般に公表したこと、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、水槽試験及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。船上モニタリングで得られるビッグデータの分析や AIS データの活用など時期を得た研究であるといえる。 ・荷重構造一貫解析システム（DLSA）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、将来の水素利用へ向けて、漏洩リスク解析のためのリスクモデルの構築が進んでいることなど、国の方針や社会ニーズに適合しており、社会的価値の創出に貢献するものであり、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、引き続き海上技術安全研究所として取り組むべき課題と考える。 以上より顕著な成果の創出等が認められると考える。 ---------- ・船体構造デジタルツインシステムは国際的にみても最先端に位置づけられるものであり，安全性と合理性を両立した次世代の船舶を実現するための基盤技術として，高く評価できる. ・また次世代燃料のリスク解析手法や自動運航船のリスク解析手順書の作成など，将来に向けて必要となる技術である．荒天下操船運動評価プログラムや走錨リスク判定プログラムなども社会のニーズと合致するものであり，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と評価できる. ・いずれの成果も国際的にみて学術的価値が高く，海上輸送の安全に寄与する成果が適切な時期に創出されていることから A 評価が妥当と思われる. ・なお，船体構造デジタルツインが産業に価値を生み出すためには，運航や建造のデジタルツインシステムとの連携が極めて重要である．海技研にはこれらの技術に関する蓄積もあるため，システム境界を拡大したより広範な範囲でのシステム化を強く期待する. ---------- ・発表論文数や受賞、国際貢献などの成果が十分でていることから、成果の科学的意義が質、量ともに十分であり、適切な時期に発表も行っていると考える。 ・関連するソフトウエアプログラムの DLSA、船体構造デジタルツイン、リスク評価技術、操船、走錨のシステムは造船所との連携も進んでおり、先端的な技術の実務への適用と評価を先導する重要な役割を果たしている。これらの実績から A と評価した。 ---------- ・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」は、今後、導入が本格化される次世代燃料の NH3 などを取り扱う上で非常に重要な研究です。機関室は区画としては流体が流れにくいところが有るのは、乗組員ならば知っていることなので、事前に対応が取れるように考察が進むと考えられます。 ・重点研究★3 「走錨リスク判定システム」は、過去の事故を例示していただき、その評価が適切に表現できていたと聞きました。今後、多くの船舶に本システムを搭載していただき、日頃から乗組員が適正な投錨が出来ているかを判断できるようにしていただきたいと強く要望致します。 ・成果の公表に記載されているように、いずれの項目も昨年を上回る実績であることが、A 評価にふさわしいと思えます。 ---------- ① リアルタイムを目指した解析技術やデジタルツインなどの昨今の情報科学の進展や可能性を取り込んでいけるような方向性、GHG 削減の為の水素社会を見越した研究開発や自動運航船などの方向性が明確に感じられ、研究のビジョンも含めた方向性を高く評価できる。 ② ①も踏まえつつ、社会実装のための実践的な研究が開始されており、その研究に基づく情報を取得しつつあることは、先端的な経験を積んでいるという意味で、科学的意義を見出すために必須である。研究分野に対しての海技研だけでなく現場も含めた横断型

	に連携している様子が伺え、より研究成果が実践的になっていると感じられる。それらの成果が理事長表彰を受けるなど、新規性を認められている。 ③　プログラム登録も順調にされており、タイムリーに社会的に実装されていくためのプロセスを進めていることが確認できる。 ④　GHG 対策は、直接的で効果的な国際貢献であると同時に、今後の製造や運航での国際的競争力や付加価値を得るため必須の技術である。単に船舶からの排出抑制だけでなく、自動運航船や走錨リスクに関する研究をするなど、次世代の生活様式も見据えた研究は国研ならでは貢献である。また、これらの研究活動を ISSC のメンバーを派遣することを通して国際的に発信する環境を整えていることも評価できる。 ---------- ・非常に興味深い研究がしっかりと進められている印象です。特にデジタルツインシステムについては色々な期待をしています。統合型とする事でより実際的な解析ができるレベルになったと思いますが、見易さ、使い易さに加えて、積み付け対応、事故対応、劣化度把握、等、解析データが輸送安全の価値を生むレベルに昇華するところまで持ち上げたいと思いました。共同研究も考えたい内容です。

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３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	①燃料転換や CO2・メタン削減に向けての研究は社会的要請に応えるものである。 ②CFD の高度化について、模型実験との比較により、今後科学的意義の確立が期待できる。 ③GHG 削減に向けての研究は、IMO の規制スケジュールに沿うものであり適切。 ④実海域性能評価の分野では国際ジャーナルへの論文発表が顕著に多い。 ⑤主機の経年劣化予測は今後の発展が期待される。 ---------- ・国際海運からの GHG 削減が急務である中、OCTARVIA プロジェクトフェーズ 2 は、実海域性能評価の標準化の観点から、世界中の船を客観的な同一基準で評価するものさしとして重要である。 ・OCTARVIA プロジェクトの成果を国際標準につなげていくための国際リードを海事クラスターで実施しており、国際競争力の向上につながるものとして評価できる。 ---------- ・次世代燃料開発は待ったなしの社会情勢であることから，当該研究による評価手法の改善は新燃料の開発において重要な役割を果たすものと期待されます. ・排ガス中から CO2 や CH4 を削減する技術については，様々な手法を開発し，その後コストなどを考慮しつつユーザが自由に選択できる環境が創出されることが望ましいため，本研究はこのような社会要請に応える優れた成果であると判断します. ・船舶動力における水素混燃技術研究の成果は，発電技術への水平展開が期待されます. ---------- ・燃料の計測・分析技術、実海域における実船舶の性能評価、船舶の総合評価、海洋汚染等国内外の社会ニーズに直接的に応える研究開発が着実に進められ、社会実装を含む（企業による利用を含む）成果が挙げられており、高く評価できる。 ・国の方針や社会ニーズのみならず国際的なニーズが高い研究開発テーマが進められており、着実に成果が挙げられている。 ・国際的な枠組みや取り組みなかで、国のプレゼンスの向上に貢献した具体的な成果を、今後、大いに期待したい。 ---------- ・重点研究４及び７は船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する研究開発であり、今後の日本の船舶のグリーン化による競争力を確保する上で非常に重要な研究である。LNG 燃料船が今後徐々に増えるが、そのさらなる GHG 削減のためのメタンスリップの削減に留まらず、水素・アンモニアといった次世代燃料の燃焼技術開発や CO2 分離膜による CO2 回収の実現、さらには、既存の内燃機関に留まらず、多様なエネルギ源を用いた新たな動力システムの開発、といった点で、評価ポイントに照らし合わせ（特に一部萌芽的研究でもある）、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。 ・重点研究５、６では、デジタルツイン技術を最大限活用し、船舶のみならず主機関の劣化判断を行うことで、実海域性能の総合的な評価を行うことで、実運航時の GHG 削減に貢献するものと考えられ、特に評価ポイント①の社会的価値において、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。 ---------- ・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いること、2020 年に導入された燃料中硫黄分の規制への適合燃料油の着火性指標の研究、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、水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの技術開発など、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 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、先見性と機動性をもった萌芽的研究といえる。 ・今後は、GHG 削減に対応する船舶動力システムについては、自律運航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。 ---------- ・次世代燃料の燃焼性評価技術，ＥＧＲを利用した排ガス処理技術，水素燃料の燃焼制御技術などは今後のＧＨＧ削減に向けて必須の技術であるとともに，科学的に重要な意味のある成果と評価できる. ・特に，実海域の実船性能評価に関する研究はＧＨＧ削減規制への対応に向けて日本が国際的な競争力を確保する上で極めて重要な意味を持つ．ＯＣＴＡＲＶＩＡ２では，実船モニタリング技術と海技研に技術的な蓄積のある性能評価技術を組み合わせ，統計的な手法による予測と，定評のある性能的観点からの予測を上手く組み合わせており，世界的にみても最先端の研究成果であり，産業界へのインパクトという観点でも顕著な成果と評価できる. ・損傷時の船舶運動シミュレーションや流出油漂流シミュレーションはこれまでよりも粒度の細かい新規性の高い研究成果であり，海洋の安全に大きく寄与する. ・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ことより A 評価と判断する. ---------- ・発表論文数や受賞、国際貢献などの成果が十分でていることから、成果の科学的意義が質、量ともに十分であり、適切な時期に発表も行っていると考える。 ・Octarvia について、他国の研究機関に比べて、運航中の船舶の詳細な実データを計測し、そのデータを使って研究活動を行っているという点で先行している。国際競争力をさらに高めるために現在の成果の社会実装を進めていただきたい。 以上のことから A 評価とした。 ---------- ・重点研究★5 「OCTARVIA2」にて、GHG 削減のために低速運航することで、船が傾斜して運航することが有ります。その際の船速と主機の出力との関係を正しく推定することができることになりました。造船所としては、次の一手として低速運航でも傾斜しない仕組みを開発しなければならいと思いました。 ・重点研究★7 「水素混焼の燃焼制御技術」は、海技研方式と書かれた「希釈燃焼」で燃焼速度の抑制と低 NOx を実現できました。この NOx の数値は従来の排出率を大幅に削減した画期的な研究であると言えます。 ・成果の公表に記載されているように、いずれの項目も昨年を上回る実績であることが、A 評価にふさわしいと思えます。 ---------- ① 海洋由来の環境負荷低減として、船舶からの排ガス削減に直接的に貢献できる研究、高度なモニタリングとその解析処理法の開発および、これまでの成果を踏まえつつ、カーボンフリー船の実現に向けた研究など、実社会に近い目線での研究開発がなされていることが認められる。 ③ ①も踏まえつつ、社会実装のための実践的な研究が開始されている。実践的研究の実施は、先端的な経験を積む好循環を生んでいることで、新規性や社会還元性の高い成果が出ていることがうかがえる。開発コードのプログラム登録も非常に多く、それらの成果が ISO での講演として紹介されるなど、客観的も国際社会的も高い評価を得ていることがわかる。 ④ 実海域海事クラスター共同研究実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクトフェーズ 2 を開始した点は、非常に大きい動きであると認識する。これらを通して、日進月歩の情報高度化の利点を十分に取り込みながら、社会実装上の必要なアップデートがされていることがうかがえる。また、この分野での国際貢献度も高いことが、活動報告からしっかりと伺える。 ④⑤ 海洋環境保全において、海洋物理場の把握は基本事項である。また、物理場としての広域影響と共に、発生源となりうる現象近傍での詳細解析は、その後の科学的で有効な対策の根幹となるものである。油漂流モデルの開発など汎用性も踏まえると、社会的

	必要性を見越した研究を遂行していることも評価できる。 ---------- ・GHG 削減の為の技術の効果を検証するにあたって、それらがどのような条件下で達成できるものなのかを明確に示さなければ実際の活用につながりにくい。実験条件と実際の船舶で活用できるようになるまでに必要なプロセス等もフォーカスし発表に盛り込んで頂けると良かった。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：11 B： C： D：

(3)海洋の開発

令和３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	①洋上風力発電の低コスト化という社会要請に応える研究について、運動・強度の連成させる評価を可能にしたことは重要である。 ②AUV の隊列運航に関する特許を多数申請しており十分な新規性が伺える。 ③GPS 波浪計の実機製作につなげるスピードで対応している。 ④国際ジャーナルに成果を適切に投稿している。 ---------- ・今後洋上風力発電などの再生可能エネルギーの必要性がますます高まると見込まれており、浮体式洋上風力発電施設の建造・運用コスト低減技術の開発や海中作業用の AUV 関連の技術開発などが、社会ニーズに沿い、かつ時宜を得て実施されている。 ・特に小型軽量航行型 AUV の開発は日本マリンエンジニアリング学会賞技術賞を受賞するなど学術的価値も高い。 ---------- 浮体式洋上風力発電施設建造・運用コスト低減技術に関する研究では，国際規格の提案及び提案が採用されるという成果を挙げていますが，この分野のみならず「規格を制する」ことは国際競争力の確保に極めて重要であるため，海洋における再生可能エネルギー分野で日本が世界と伍していくことに資する，優れた研究成果であると判断できます. ---------- ・国の方針や社会のニーズを踏まえた研究開発が計画通り進められ、着実に実績を積み上げている。 ・研究開発成果は、国プロ等を出口として設定しており、効果的に成果の創出がなされている。一方、蓄積してきた知見および成果の独自展開は今後の課題か。 ---------- ・重点研究９において、浮体建造費については、これまでの実績の 50%程度となる見通しを得た点で、評価ポイント①の社会的価値の創出および④の国際競争力の向上に繋がる点で、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。 ・重点研究１０において、海洋資源開発や海難事故時対応などの面で、特に、評価ポイント①の社会的価値の創出に関し、成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められます。 ---------- ・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元性の適用条件を明確化し、規定を IEC へ提案したこと、海底熱水鉱床に関して、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を評価する計画支援プログラムを開発したこと、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。複数機運用・協調行動を目指すとともに小型化、低コスト化を念頭においた AUV の開発や、実海域における試験を行っており、社会実装へ向けて成果が得られている。海底熱水鉱床開発とともに複数 AUV の統括監視技術、複数 AUV の運用を可能とするオペーレーションシステムの開発を進めて、世界から見れば遅れている海洋資源開発に活かし				

	ていただきたい。以上、十分な成果が得られていると考える。 ---------- ・浮体式洋上風力発電の普及に向けて，コストに優れる新たなセミサブ型浮体の提案と評価，海底熱水鉱床全体システムの稼働性評価・計画支援プログラムの開発，GPS 波浪計の新係留システムの適応性検証，合成繊維索を用いた係留系の試設計と評価など，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成果をあげている．これらは何れも国家プロジェクトへの貢献や業界への技術的支援という観点で高く評価できる． ・また，AUV の隊列制御システムや通信・測位システムは国際的にみても最先端の技術であり，今後の社会実装という観点でも期待できる． ・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るため A 評価とする．なお，今後は成果の社会実装をより加速させ，日本における海洋開発に関する産業の育成により一層貢献することを期待する． ---------- ・発表論文数や受賞、国際貢献などの成果が十分でていることから、成果の科学的意義が質、量ともに十分であり、適切な時期に発表も行っていると考える。今年度は特に国際貢献に関する成果が大きい。 ・研究能力を生かした国のプロジェクトへの貢献が非常に大きく、社会の要請に十分にこたえている。 以上のことから A 評価とした。 ---------- ・重点研究★9 「プロジェクト認証支援技術」にて、合成繊維索が使用できるとなると設置時の取り扱いも格段に向上するし、海洋生物の付着による劣化の頻度が格段に下がると思われます。私たちはチェーンとアンカー以外は考えつかなかったので、非常に新たな取り組みと言えます。 ・重点研究★10 「基本隊列制御システム」は、異なるメーカー（NMRI と IHI）の AUV を隊列に加えるために通信プロトコルや各種接続方法を調整しなければならないと説明していただきました。標準的なプラットフォームを構築することで、より最適な隊列をメーカーに左右されない仕組みを創り上げることが重要と思われます。 ・成果の公表に記載されているように、いずれの項目も昨年を上回る実績であることが、A 評価にふさわしいと思えます。 ---------- ①海洋開発は、日本は海に囲まれているにもかかわらず、国策としては大きな推進をしてきていなった部分である。しかし、近年の技術進展から海洋開発による海からの恩恵を引き出すことが可能になりつつあるだけでなく、一般社会からの期待が非常に高まってきている。海洋開発にかかわる多くのことが新たな海事産業の創出につながり、そのまま、社会的な価値を純増させる効果がある分野である。特に社会的な要請が強い海洋再生可能エネルギー、海底資源開発に直結する研究が国家プロジェクトの一環としてだけでなく、新規の民間企業の参入を呼び込めるような社会を引っ張る概念のものとで実施されており、高く評価できる。 ②日本の排他的経済水域の活用には、深海性や広域性から、これまでにない技術の投入が不可欠である。単に海洋開発の機器だけでなく、社会的なコスト削減の観点から、運用や操業だけでなく設置のしやすさ、あるいはメンテナンスや損傷時に関連する研究など、実態としての稼働性の向上につながる研究が軸として実施されており、一般社会へ還元時でのインパクトや、コスト的ブレイクスルーにつながること可能性が高い。 ③海洋再生可能エネルギーに関する成果は、海洋基本計画やエネルギー基本計画を見通して遂行され、洋上ならではの係留や水中の点検業務などの問題など実用上不可欠な問題を取り扱っており、十分に適切である。 ④海底熱水鉱床の開発は世界的に例がなく、AUV の高度な運用についても国際的にも先端的な AUV の開発運用を実施しながら、経験を蓄積している。また、研究に関する受賞も多く、IEC や ISO の国際基準の改定や策定にも貢献していることから、国際的な水準を持っていることがよくわかる。 ---------- ・非常に興味深く研究成果を見させて頂きました。浮体式風力発電については一緒に研究を進める分野もあると思いますのでよろしくお願いします。

事務局とりまとめ欄

総合評価	S：1 A：10 B： C： D：
A	

(4)海上輸送を支える基盤的技術開発

令和３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	①デジタルシップヤードという業界要請に応えて、造船用高精度建造シミュレーションを構築するなど成果を上げている。 ②遠隔操船での実験例を重ねていることは意義深い。 ③GHG 削減戦略評価システムは、2050 年に向けて必要となる時期に間に合うように開発されている。 ④国際ジャーナルに成果を適切に投稿している課題も多い。 ⑤単なるシミュレーションに終わらず、AI 等の利用で今後の発展が期待できる。 ---------- ・造船作業工程の細部まで踏み込んだ徹底的なのデジタル化に取り組んでいるが、令和 3 年度はデータ構造の策定や仮想的な建造シミュレーション技術の開発を実施し、造船所 2 社が導入を決定するという社会実装段階に達している。 ・本テーマは喫緊の課題である造船業の国際競争力向上につながる重要なテーマであり、大きな社会的価値があるとともに時宜を得たものである。 ---------- 造船用統合データプラットフォームは日本の造船所，特に中小造船所の DX 化に大きく貢献すると期待されます．一方，これらの知見を有する技術者が造船所には少ない（特に中小造船所にはいない）ので，アプリケーションの無償供与や操作指導等において，海技研の貢献を期待します．本データプラットフォームが国内の標準となることで，造船所間の分業化が推進でき，国内造船所全体としての建造能力の向上及び仕事の平準化も期待されます． ---------- ・国の方針や社会のニーズに適合した研究開発を着実に進め、成果を挙げているとともに、さらに先見性のある新しいテーマへの挑戦を通して、コミュニティと人材を開拓している点を高く評価する。 ・今後の研究開発の方向性の設定や社会実装、応用など、これからの展開を大いに期待したい。 ---------- ・重点研究１１「生産管理システム」のプロトタイプ開発は、評価ポイント①および④において非常に大きな意義を持つ研究と認識している。即ち、中韓の造船所は大規模化しており、規模の論理による低コスト化、開発リソースの確保、あらゆる船種の建造、といった点で競争力がある。これに対し、規模の点で劣る日本の造船各社はオールジャパンでデジタル技術による、サプライチェーンの効率化、建造工程の最適化は欠かせない。令和３年度は建造シミュレーション技術を開発し、２社の造船所が導入を予定している点で、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。 ・重点研究１２では、多種多様な条件下でのシミュレーションを高速で実施できる FTSS を構築し、外部への配布を想定した実行ファイルを構築した点で、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。 ・重点研究１３では、日本造船工業会の需要小委員会での活用や国際需要予測専門会議での国際貢献当、実ビジネスに貢献する開発を実施している点で、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。 ---------- ・造船用高精度建造シミュレーション手法を構築したこと、ゼロエミッション化への貢献を目指して、造船需要予測モデルと海上物流シミュレーターを統合して GHG 削減戦略評価システムを開発したこと、自律船に関して他船検知システムと避航操船アルゴリズ				

	ムの連携等の自動化システムの開発を進めていること、傷病者輸送シミュレーターをクラウド上に実装したこと、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。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。 ---------- ・造船用データ標準とデータプラットフォーム，造船作業工程のデジタル化，自律運航に関する統合シミュレーションシステムと遠隔操船システム，傷病者の輸送シミュレータと GHG 削減戦略評価システムなど，今後の海事産業と海上輸送にとって重要となる研究課題が基盤技術として選択されていることを先ず評価したい．特に重点研究 11 の新しい生産システムの構築に関する研究は，海技研が重点的に実施していることもあり，この１年間で大きく進歩したと評価する． 重要な課題が基盤技術として選択され，成果をあげていることから A 評価と判断する． ・なお，データプラットフォームや造船作業工程のデジタル化では，特定の造船所と連携して研究を進めているようであるが，製品表現や工程表現は造船所によって異なることが一般的である．データ構造の汎化について検討が必要と思われる． ・またシミュレータについてはモニタリングデータの取得とデータを利用したモデルの自動生成も考慮したシステムへと発展させ，建造デジタルツインの実現へと発展させることを期待する． ---------- ・発表論文数や受賞、国際貢献などの成果に加えて、造船所や自治体など外部との協業も多く、社会のニーズに対して適合度の高い成果を創出している。 ・造船所のシミュレーションとデジタル化、GHG 削減技術の将来における影響評価など、社会の要請が今後高まっている分野についての研究能力を備え、整合する研究成果を創出している。 以上のことから A 評価とした。 ---------- ・重点研究★11 「造船作業工程のデジタル化」は、私自身が工場の製造現場に長く勤務していた関係上、非常に興味のある研究です。小組立を進めるうえで、どのように材料を配材すべきか、どのような順番で溶接をすべきか？効率を少しでも向上させるために、長年研究してきた項目です。デジタル化が進み、シュミレーションで最適解が出せたら、産業の発展に寄与できると思えます。 ・重点研究★13 「傷病者輸送シュミレータ」は、Web 上で作動するプログラミングを開発することができました。このシュミレーションを活用して、この地域の隠れていた問題点を明らかにすることができると一人でも多く助かる体制が構築できると思います。 ・成果の公表に記載されているように、幾つかの項目は昨年を上回る実績でありますので、B 評価にふさわしいと思えます。 ---------- ①若年世代の人口減少は、周知なだけでなく労働世代の人口分布の予測は極めて容易であり、その予測に基づいた計画的に継続的な対策の戦略と実践が必要である。働き方改革、ヒューマンエラーの低減、無人化、遠隔化は、現代一体となって社会的に推進すべき問題である。本研究分野が扱っている研究テーマの背景や課題設定は、それらの社会要請に対して合致し、貢献が認められる。 ②とりわけ日本の製造業における労働環境は、大量の高度な人材を前提としていることが多く、それが改革を遅らせている面がある。作業工程の数値化やオブジェクト化は、作業支援システムの開発や船舶運航の無人化に向け必須であり、研究の波及効果は、他分野にも広がることが期待される。 ③現状における先進的な情報処理技術を取り入れることで、自動運行操船や遠隔操船の概念、シミュレーターのクラウド上への実装など、10 年前とは異なる概念の上での研究が実施されていることから、成果の創出時期としては、適切である。 ④想定されている大規模災害に対しての減災の観点からの研究が遂行されているが、これについては日本にとっては当事者として、国際的に先駆け的で適切な対応が必要とされている。自然災害への対応に関する研究は、長期的な視点からは大いに国際貢献につながらざるを得ない研究を実施している。 ⑤　特に通信と情報処理技術の双方の将来の進展をタイムリーに取り込めるような開発志向は感じられる。

	---------- ・この項目はちょっと時期を失した感があります。造船所はもっと早くデジタル化されるべきだと思っていましたし、自律運航のモジュールも開発に合わせて深度化するのではなくその前に統合システムとして構築されておくべきと考えます。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：9 B：2 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

【中期目標】

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。

【中期計画】

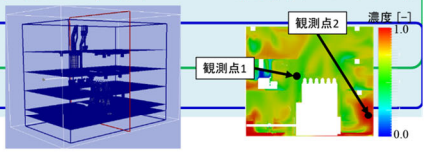
①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

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

【期間全体の研究目標】

重点☆1
- ☐全船直接荷重・構造強度評価の統合プラットフォームの開発
- ☐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
- ☐リスクベース新構造基準案の作成
- ☑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
- ☑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

重点☆2
- ☐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の導入
- ☐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
- ☑自動運航船の安全評価ガイドライン案
- ☑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
- ☐交通流制御の簡易版影響評価ツールの開発
- ☐管制支援技術の評価手法の開発



重点☆3
- ☐衝突事故を防ぐための船舶の操縦性能要件
- ☐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
- ☐損傷時船舶の安全性を確保するための要件と評価手法の合理的な体系化
- ☑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開発
- ☑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

☑は、成果を出して終了したもの
赤字は、研究目標に向けてR3年度に実施したもの
（黒字は、R3年度までは未実施）

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

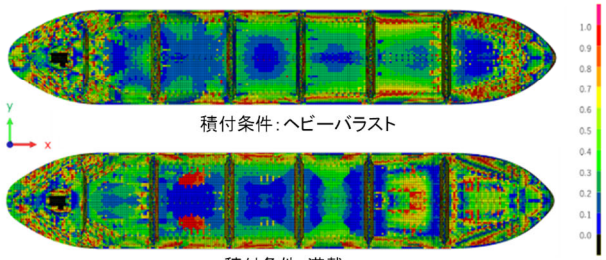
- 全船直接荷重構造強度評価の精度向上のために、多軸載荷の疲労寿命に及ぼす影響評価及び非線形統計予測による降伏強度評価を可能とするDLSA-Basicの機能強化。
- 船舶の安全運航や合理的メンテナンス等の支援を可能するために、ハルモニタリングとデータ同化手法を統合した船体構造デジタルツインシステムを開発。

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。

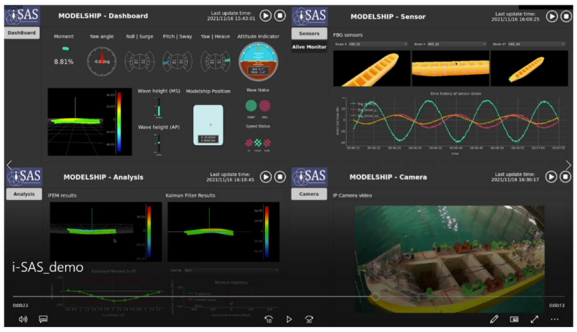
※図はタンクトップより上側の構造をカットした断面図



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

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

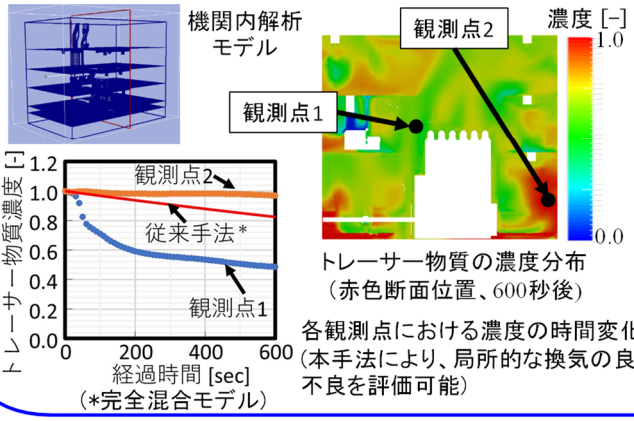
年度実績

- 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。

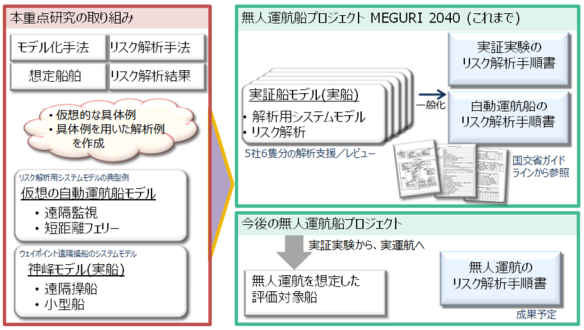


トレーサー物質の濃度分布
（赤色断面位置、600秒後）

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

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

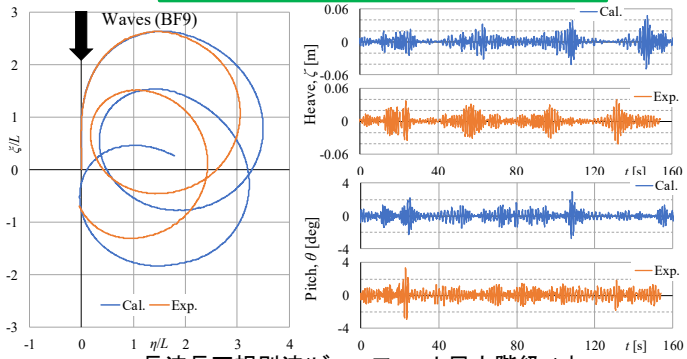
- 合理的な最低機関出力と波浪中操船安全性に関する基準案作成のために、不規則波中での操船時の船舶の操縦運動を、波浪動揺と併せて予測する荒天下操船運動評価プログラムの開発。
- 国土強靱化年次計画2020に明示された走錨事故の防止対策のために、走錨リスク判定システムを開発し、PC版及びWebアプリ版の形態で2021年7月1日に一般にリリース。

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。

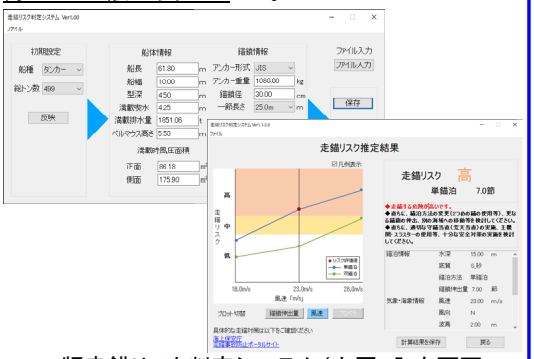
不規則波中の操縦運動・船体動揺を概ね推定可能



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）

7

成果の公表（海上輸送の安全確保）

件数のカッコ内の数字は、R2年度の実績

項目	件数	
査読論文	33編 (19)	・ ジャーナル17編（うち10編投稿中、4編採択済、3編掲載済） ・ プロシーディングス11編（うち6編投稿中、0編採択済、5編掲載済） ・ 海技研報告（研究報告）4編（うち0編編投稿中、1編採択済、3編掲載済） ・ 博士論文1編
特許申請	1件 (0)	・ 自動運航船の運航方法、リスク解析方法、運航システム、及びリスク解析システム（出願日2021/5/17）
プログラム登録	8件 (4)	・ NMRIW-Lite Web（波浪中船体応答計算クラウドアプリケーション） ・ 有限要素モデルを対象にした腐食予備厚付加及び削減プログラム ・ 船体-タンク連成解析プログラム ・ デジタルツインクラウドシステム ・ 走錨リスク判定システム(錨ing) ・ 走錨リスクを判定するための船体運動推定プログラム ・ 内航船の錨鎖を含めた船体詳細情報推定プログラム ・ 過大加速度直接復原性評価計算プログラム
国際貢献	2件 (2)	・ ISSC/Load Committee 委員 ・ ISSC/Dynamic Response Committee 委員
受賞	1件 (2)	・ 令和3年度理事長表彰（研究チーム表彰）：宮崎英樹，河村昂軌（走錨リスク判定システム（錨ing）の開発に貢献した功績）

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

◎**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。**
- 統合型デジタルツインシステムは船体の応力状態をリアルタイム取得・蓄積し、安全運航や合理的メンテナンス等の支援に貢献。
- 自動運航船の実証実験、商用運航への対応は、自動運航船の安全性の向上に資することが期待され、社会のニーズに合致。
- 国土強靱化年次計画2020の走錨事故の防止対策を進めるために、走錨リスク判定システムをR3年7月1日に一般にリリースしており，社会的価値（安全・安心の確保）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。**
- 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は、科学的にも学術的にも意義が大きい。
- GHG問題対応のために未検討であった船内構造を考慮した燃料漏えい事象への安全対策である換気の効率を評価したことは発展性が大きい。
- 耐航性理論と操縦性理論の統合モデルで船速低下や船体動揺まで含めた詳細な模型実験との比較検証を行った運動評価プログラムは、科学的意義は大きい。

◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
- 海事産業のデジタル変革に対応してデジタルツイン技術を利用した船体構造デジタルツインシステムを適切な時期に構築し対応。
- GHG問題対応のための代替燃料導入や水素利用技術は国際的に早急な対応が求められており、成果が業界の要請に対応。
- 国土強靱化年次計画2020の走錨事故の防止対策を進めるために、走錨リスク判定システムを期待された時期に公開し対応。

◎**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。**
- 船体構造デジタルツインを世界に先駆けて開発したことは、国際的な優位性を示すことでき国際競争力の強化に貢献。
- 安全性評価技術は、国内で開発される自動運航船に国際競争力を持つために必要不可欠な技術であり、日本の船舶産業の国際競争力の強化に貢献。
- 低速船の外乱下航行安全性評価の計算法は、GHG排出削減のために大型商船の低速航行時の安全性評価に寄与し国際競争力の強化に貢献。

※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	**2.7**	**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	**2.7**	**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】

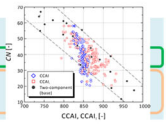
①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発

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

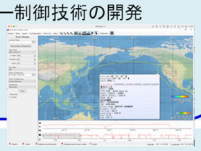
③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

【期間全体の研究目標】

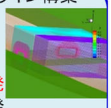
重点☆4
- ☐低硫黄燃料、次世代燃料の燃焼生成物の計測・分析技術の確立
- ☐SOx、GHG対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術の確立
- ☐GHG削減のための後処理技術の確立



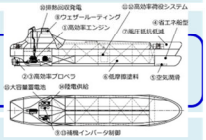
重点☆5
- ☑最適(エコ)運航システム
- ☐実海域実船性能評価技術の開発
- ☑多様化する推進プラントの船舶での・・・・・パラメータを決める推進プラントのシステム設計技術の開発
- ☑運航状況に応じた船用推進プラントの実海域自動適応によるスマートパワー制御技術の開発
- ☐デジタルツイン技術を用いた主機状態監視システムの開発
- ☐船尾流場制御
- ☐摩擦抵抗低減
- ☐GHG削減のための革新的省エネ技術開発



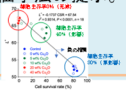
重点☆6
- ☑ハイブリッド型省エネ付加物及び実船スケールの平水中性能計算手法確立と計算ガイドライン構築
- ☐重合格子法に基づくキャビテーション計算手法の開発
- ☑上部構造物を含む風圧抵抗の評価手法の確立と計算ガイドラインの構築
- ☐自由航走を含む波浪中計算手法の開発
- ☐荒天時における区画損傷船舶の船体運動及び船体構造強度シミュレーション手法の開発
- ☑CAD、CFD、最適化手法を組み合わせた船体や省エネ付加物等の形状最適化手法の開発
- ☐新たなRANS/LES/LBMハイブリッド計算手法による高速な計算手法の開発



重点☆7
- ☐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



重点☆8
- ☑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。
- ☑船舶由来大気汚染物質（特に二次生成物質）の予測精度の向上。
- ☐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。



赤字は、研究目標に向けてR3年度に実施したもの。
☑は、研究目標を達成できる成果を出したもの。

12

（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

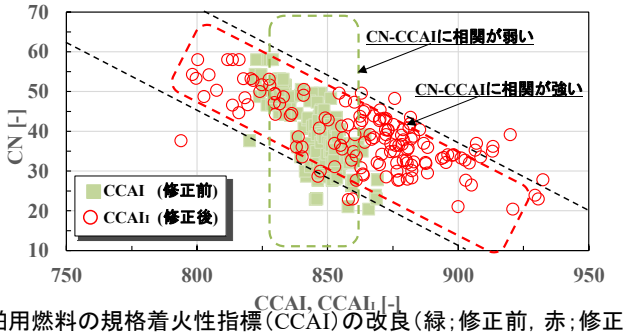
- 規格着火性指標CCAIを実燃料に即したものに改良することで、燃料油の比重と粘性という基本物性からの舶用燃料の着火性（着火性指標CN）推定精度が飛躍的に向上。これにより，燃料品質の安定化と船舶の安全航行に貢献。
- GHG削減のための排ガス中に含まれているCO2及びメタンの排出を削減するための後処理技術を検討。

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。

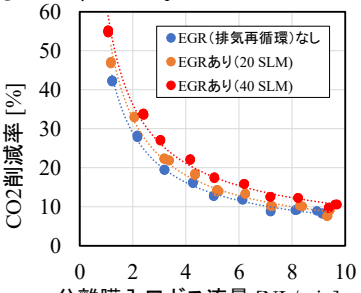


舶用燃料の規格着火性指標（CCAI）の改良（緑；修正前，赤；修正後）

○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

13

（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

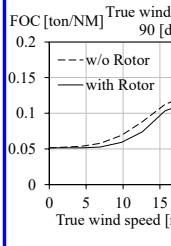
- ✓ GHG削減のため風力推進の利用を適切に評価するため、実運航性能シミュレータ（VESTA）に風力推進を考慮できるよう改良
- ✓ GHG削減のため取られる低速運航で、実海域中を航行する際に大きな割合を占める斜航影響を正しく推定する手法の開発
- ✓ 実海域性能保証を行うために重要となる、実船モニタリングデータにより実海域性能を検証できる技術の開発

○主機の経年劣化の予測アルゴリズム

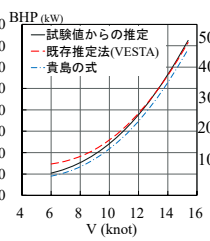
主機デジタルツイン技術と信頼性理論を組み合わせた主機の経年劣化の予測アルゴリズムを開発。具体例としては、

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。

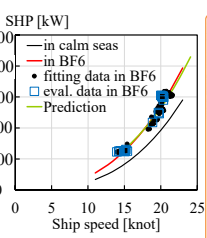
⇒その結果、下図の右下に示すように、ドック前1ヶ月単位で効率の劣化が判り、トレンドから整備時期等の予測ができる。



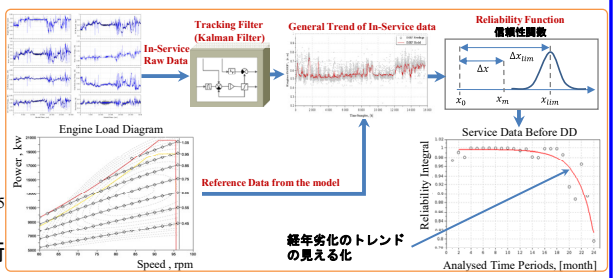
ローターによる燃料節減効果



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

14

（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

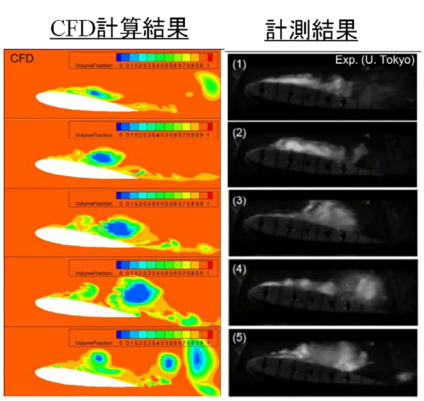
年度実績

- 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。

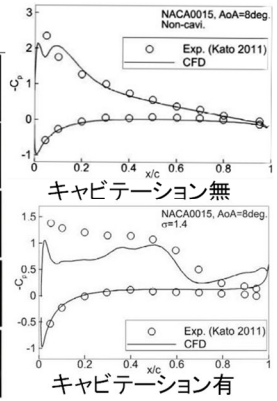
船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究（重点研究☆6）

○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。



二次元翼周りキャビテーションの可視化結果の比較

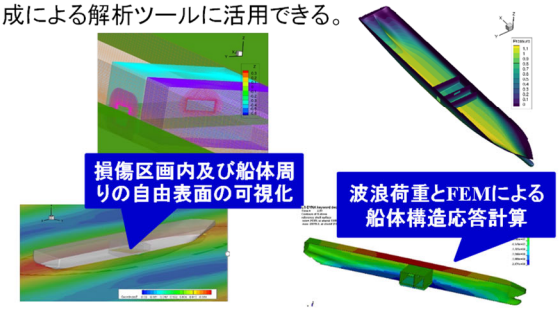


キャビテーション有無による翼面上圧力分布の検証

○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

（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

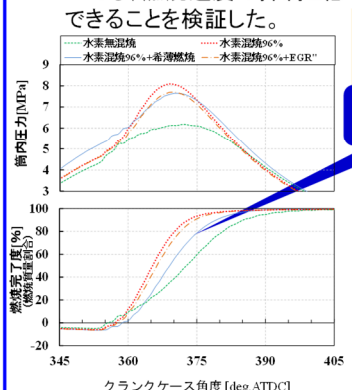
年度実績

- 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）

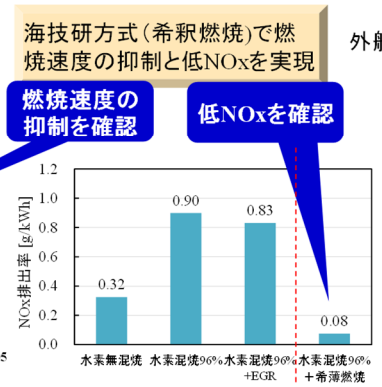
○水素混焼の燃焼制御技術

- ✓ 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



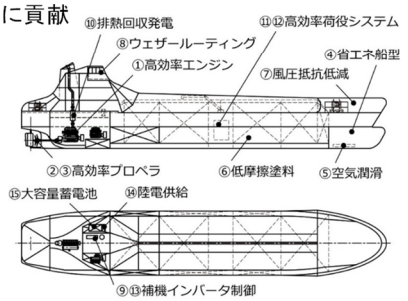
水素混焼時のNOx排出率

○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

（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

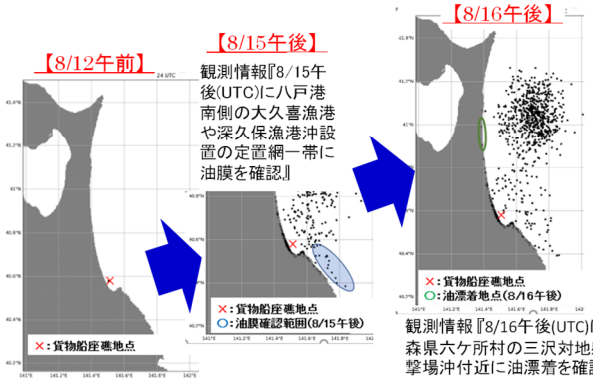
- 油漂流予測の性能向上のために、最新の要素試験結果に基づくモデルによる高精度流出油漂流予測システムを構築。
- IMOで審議中の船体付着生物管理ガイドライン（以降　ガイドラインという。）の見直しにおける懸念事項を解決に寄与するため、汚損や膜厚を評価する簡易評価試験法を検討。

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

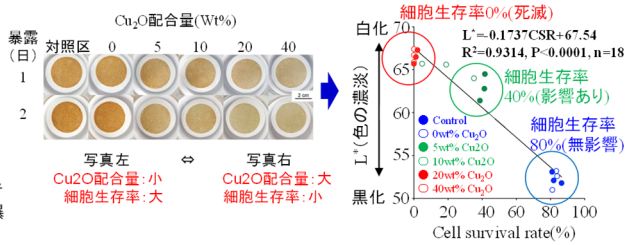
○簡易評価試験法

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）

17

成果の公表（海洋環境の保全）

件数のカッコ内の数字は、R2年度の実績

項目	件数	
査読論文	34編 (32)	・ジャーナル26編（うち20編投稿中、1編採択済、5編掲載済） ・プロシーディング4編（うち2編投稿中、0編採択済、2編掲載済） ・海技研報告（研究報告）2編（うち1編投稿中、0編採択済、1編掲載済） ・博士論文2編
特許申請	6件 (6)	・船舶の横揺抵抗増加低減方法、横揺抵抗増加低減システム、及び船舶（出願日2021/9/14） ・エンジンのモデルパラメータ同定方法、モデルパラメータ同定プログラム、及びエンジンのデジタルツイン管理システム（出願日2021/9/17） ・船舶の実船モニタリング解析による性能評価方法、性能評価プログラム、及び性能評価システム（出願日2021/9/30） ・燃焼ガスの分析システム及び燃焼ガスの分析方法（出願日2022/2/18） ・（自動負荷配分装置を備えた）船体摩擦抵抗低減装置（出願日2022/3/31） ・燃料噴射量評価方法、および燃料噴射量評価装置（出願日2021/9/24）
プログラム登録	10件 (6)	・プログラムVESTA（実運航性能シミュレータ）V5版 ・ライフサイクル主機燃費指標計算プログラムクラウド版（OCTARVIA-app V1版） ・船体形状・船体性能推定プログラムクラウド版（EAGLE-OCT-app V1版） ・実船モニタリングデータ解析プログラムクラウド版（SALVIA-OCT-app V1版） ・GLOBUS -Global Winds and Waves-表示プログラム　Ver.2 ・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）Ver3.35 ・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）Ver2.1R4 ・AutoDes Ver.2.2 ・CFDポスト解析システム Ver.1.0 ・非構造格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム（SURF）Ver6.46
国際貢献	10件 (5)	・Draft amendments to MEPC.1/Circ.815 for verification of the wind propulsion system, MEPC 76/6/2, 2021 ・Final Report and Recommendations to the 29th ITTC from SC SOS, Proc. of 29th ITTC, 2021 ・Preliminary consideration of amendments to the S/P trials guideline for WAPS-equipped ships - Work plan for ToR 8 - (ITTC/wind), 2022 ・Preliminary consideration of amendments to the S/P trials guideline for WAPS-equipped ships - Work plan for ToR 9 - (ITTC/wind), 2022 ・ITTC FSSPC Action plan for ToR 5(2)C（ITTC/FSSP), 2022 ・ITTC FSSPC Action plan for ToR 3E（ITTC/FSSP), 2022 ・ITTC FSSPC Action plan for ToR 8A（ITTC/FSSP), 2022 ・Wave correction methods (ISO15016 WG17), 2022 ・Consideration and proposal for wind limitation (ISO15016 WG17), 2022 ・国際標準化機構（ISO）-TC8（船舶海洋技術）-SC2（海洋環境保護委員会）、藻類を用いた船底防汚塗料の性能評価手法の研究進捗状況について講演：Progress report of bioassay method using brown algae, ISO/TC8/SC2プレナリー、2021年12月
受賞	0件 (5)	

18

主な評価軸に基づく分析（海洋環境の保全）
自己評価：A

◎**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。**
- 次世代燃料の新たな着火性・燃焼性評価指標の創出、排出物の計測・分析法、GHG削減技術の確立は、環境負荷低減に貢献。
- 23社が参加した海事クラスター共同研究OCTARVIA2を開始し、実海域性能評価技術の向上は海事産業の競争力強化に貢献。
- 区画損傷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の一貫計算は、安全・安心の確保に貢献。
- 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。

◎**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。**
- 炭化水素推定モデルによる着火性予測手法は、多様な基材からなる舶用燃料に汎用的に適用できる点で発展性が大きい。
- 重合格子における高精度界面捕獲スキームとキャビテーションモデルに基づく計算手法は、科学的に新規性・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燃焼メカニズムの解明、環境負荷物質の低減技術は、新規性・発展性が大きい。
- 海気象条件や時間経過による流出油の変化まで考慮できる高精度流出油漂流予測システムは、類例がなく、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。**
- 2023年のGHG削減の現存船適用に対応して、低速化、肥大化に対する研究開発に取り組めており、適切な時期に成果を創出。
- IMOのGHG削減戦略の採択とさらなる強化の見直しに対応して、GHG削減技術に関する研究より期待された時期に成果を創出。
- ISO規格は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反映される見込みであり、期待された時期に成果が創出。

◎**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、IMO/MEPC、ITTC、ISO等の議論をリードでき、我が国の海事産業の国際競争力強化に繋がる。
- 燃料転換に関わる研究成果は、国際的な水準に照らして十分に有益なデータを提供出来ており十分大きな意義がある。

◎**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。**
- 主機デジタルツイン技術と信頼性理論を組合わせた主機の経年劣化予測アルゴリズム開発は、萌芽的な先見性を持った対応。
- 格子ボルツマン法に基づく新規ハイブリッド計算手法開発は、萌芽的な研究で、次期中期を視野に入れて先見性を持って対応。
- 水素やアンモニア利用技術は、本格的な実用化は2020年代後半以降であるが萌芽的技術として、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

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	**2.5**	**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	**2.7**	**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	**2.4**	**B**

3. 海洋の開発

【中期目標】

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

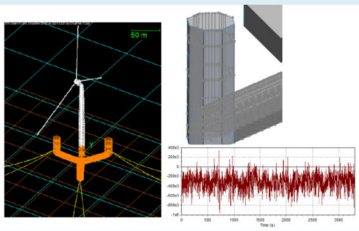
③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

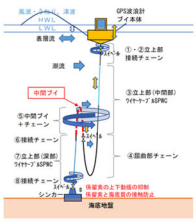
【期間全体の研究目標】

重点☆9

□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。





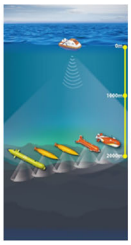
重点☆10

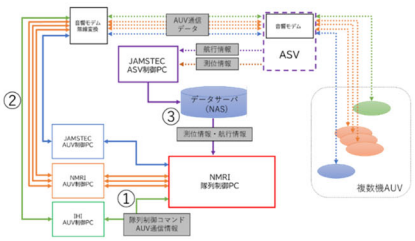
☑複数機の小型AUVの同時運用による広域探査システムのプロトタイプ（航行型の小型AUV、ホバリング型の小型AUV、洋上中継器、投入揚収装置）

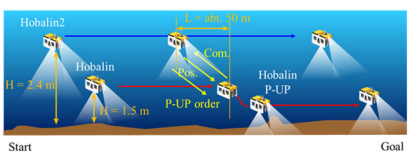
□広域探査システムの運用技術（隊列制御技術・ASVによる多AUV運用等）

□民間移転実施

□広域探査システムの企画・転用技術







赤字は、研究目標に向けてR3年度に実施したもの。
☑は、研究目標を達成できる成果を出したもの。

（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

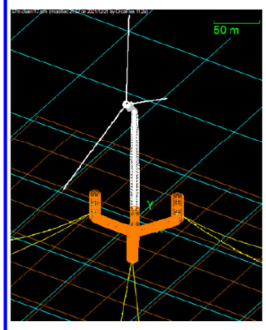
年度実績

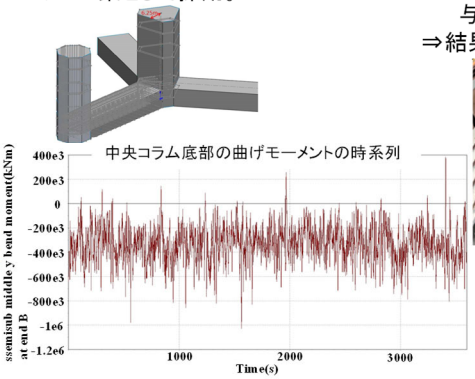
浮体式洋上風力発電の普及に向けて、国プロ（NEDO）などを通じて、業界への技術的な支援を行うために、浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術、及び浮体式風力発電プロジェクト認証支援技術の開発を実施。

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。



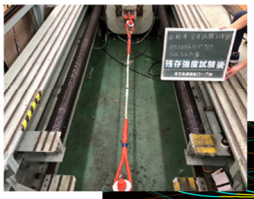


セミサブ型浮体の試設計及び構造強度の評価結果

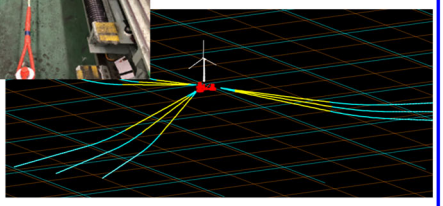
○プロジェクト認証支援技術

- ✓ 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

（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

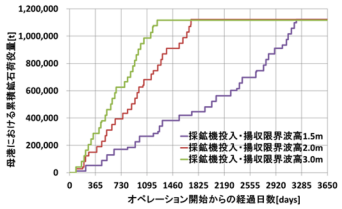
年度実績

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。

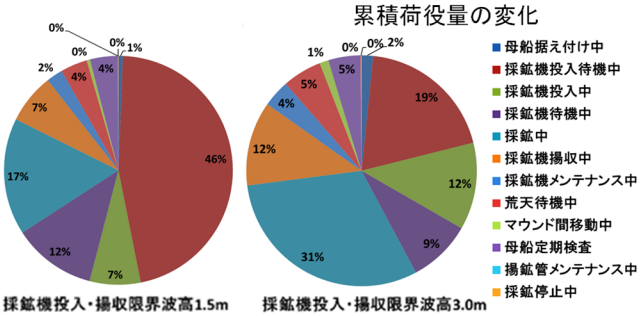
海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○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

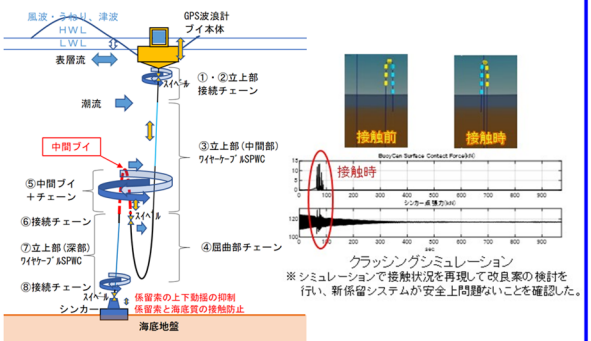


採鉱システムの詳細オペレーション時間占有率の比較

○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

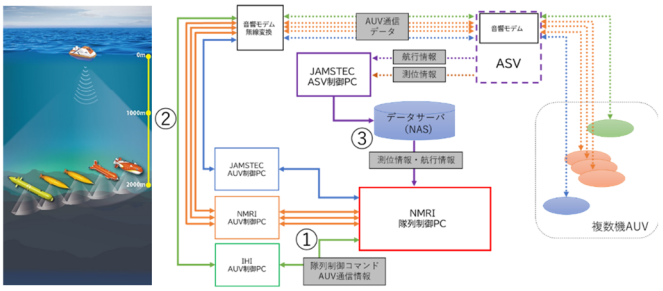
（3）海洋の開発 -③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

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

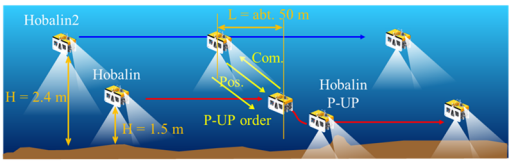
- ✓ SIP2事業に参画し、令和4年度に実施する基本隊列制御システムの実海域試験実証試験に向けた各種調整を行った。
- ✓ JAMSTEC ASVと音響ネットワークを構築するためのAUV整備
  JAMSTEC音響通信装置の増設
  （NMRI AUV2,3,4号機、IHI AUV）
- ✓ 他機関連携用に隊列制御システムの詳細設計
  通信プロトコル策定、機器間接続方法調整、
  ソフトウェア修正、コアプログラム登録



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

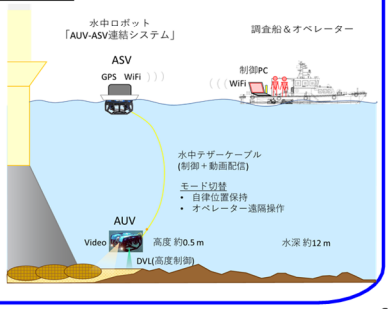
令和2年度開発のAUV-AUV通信・測位システムのプロトタイプを発展、当所実海域再現水槽・動揺水槽にてシステムの有効性を確認、さらに駿河湾で実証試験（12月）を実施。



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



成果の公表（海洋の開発）

件数のカッコ内の数字は、R2年度の実績

項目	件数	
査読論文	28編 (25)	・ ジャーナル14編（うち10編投稿中、0編採択済、4編掲載済） ・ プロシーディング14編（うち0編投稿中、13編採択済、1編掲載済）
特許申請	5件 (3)	・ 液体中に存在する微粒子の分離装置及び分離方法（出願日2022/3/23） ・ 水中航走体の音響測位処理方法、音響測位処理プログラム、及び音響測位処理 システム（出願日2021/8/31） ・ 水中航走体の監視方法、監視プログラム、及び監視システム（出願日2021/10/30） ・ 複数の水中航走体の運用方法及び複数の水中航走体の運用システム（分割出願日2021/12/24） ・ 水槽中での音響通信試験又は音響測位試験における音響反射影響の軽減方法、評価方法、及び音響反射影響軽減システム（出願日2022/3/24）
プログラム登録	3件 (4)	・ 浮体式洋上風車用リアルタイムハイブリッドシミュレーション用通信プログラム ・ 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 ・ AUV基本隊列制御プログラム
国際貢献	7件 (2)	・ ISO19901-2 Ed2への我が国沿岸域に適応した着底式海洋構造物の耐震設計法の提案 ・ Chujo, T., Haneda, K., Fujiwara, T., et al.: (Draft) Annex_Application of damage stability criteria, International Electrotechnical Commission (2021). ・ Chujo, T.: Summary of Draft of Annex X -Application of damage stability criteria-, International Electrotechnical Commission (2021). ・ Fujiwara, T., et al.: Guideline on Laboratory Modelling of Waves, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021). ・ Fujiwara, T., et al.: Guideline on Laboratory Modelling of Wind, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021). ・ Fujiwara, T., et al.: Guideline on Laboratory Modelling of Currents, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021). ・ Iafrati, A., Fujiwara, T., et al.: The Specialist Committee on Modelling of Environmental Conditions Final Report and Recommendations to the 29th ITTC, ITTC Report (2021).
受賞	3件 (8)	・ ASME OMAE Awards Committee, OMAE Conference Appreciation Award: Masanobu, S. ・ 日本マリンエンジニアリング学会賞（技術賞）、「深海調査に向けた小型軽量航行型AUVの開発」 ・ 理事長表彰（個人表彰）: 大坪和久（ISO/TC67/SC7への取り組みと研究成果の普及に貢献した功績）

主な評価軸に基づく分析（海洋の開発）
自己評価：A

◎**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。**
- 係留安全性評価技術を、浮体式洋上風力発電や海洋資源開発だけでなく、GPS波浪計にも拡張して成果で適切に社会に貢献。
- 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の成果・取組で適切に貢献。
- 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。
- 国家プロジェクトSIP第2期「革新的深海資源調査技術」への貢献を通じて成果の最大化に向けて、世界最先端の成果の創出。

◎**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。**
- 係留安全性評価技術は、海洋鉱物資源開発、再生可能エネルギー開発等の海洋全般の共通技術で、一般性は十分に大きい。
- 全体システムの稼働性評価・計画支援プログラムは、多様な海洋鉱物に適用可能であり、発展性及び一般性は十分に大きい。
- SIP第2期「革新的深海資源調査技術」に参画する中で、高度な技術開発に携わって創出した成果は新規性が十分に大きい。

◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
- GPS波浪計の新係留システムを対象とした研究は、当初計画していなかったが、国の検討を踏まえ迅速に対応。
- 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、前倒しに研究を実施。
- AUV技術開発は、風力発電施設の基部点検作業など社会実装に向けた成果を着実に創出。

◎**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。**
- 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
- 広範な海底鉱物資源等探査が非常に有用な技術であることを実海域試験等で実証し、国際的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

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	**2.9**	**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	**2.9**	**A**

4. 海上輸送を支える基盤的な技術開発

29

【中期目標】

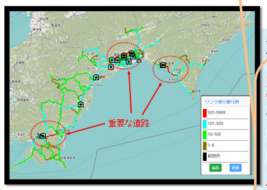
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。

【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



【期間全体の研究目標】

重点☆11

☑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

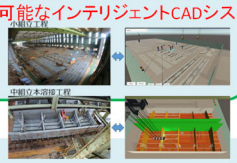
☐騒音低減のための高減衰材を活用した新たな構造仕様や施工方法の信頼性の高い設計手法を開発し、高減衰材導入に関するガイドラインを作成

☑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。



重点☆12

☑自律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律運航システム及び、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

☐自律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

重点☆13

☐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

☑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

赤字は、研究目標に向けてR3年度に実施したもの。
☑は、研究目標を達成できる成果を出したもの。

30

（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

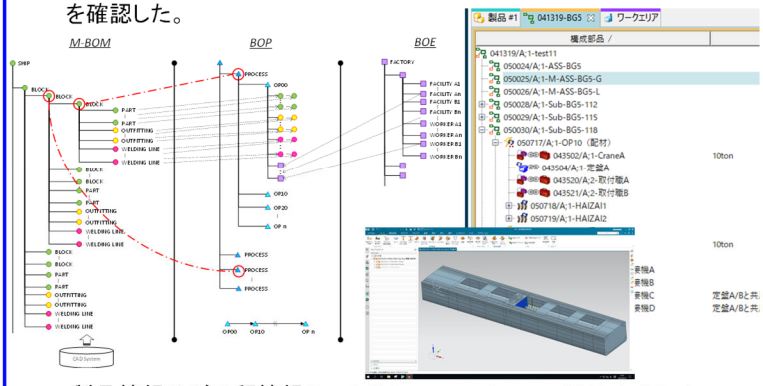
年度実績

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。

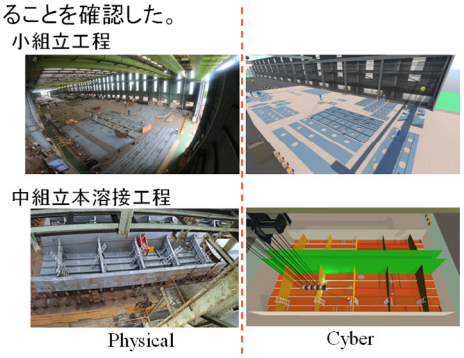


製品情報及び工程情報のデータ構造の一例

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。



小組立と中組立本溶接工程でのPhysicalとCyberとの比較

（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

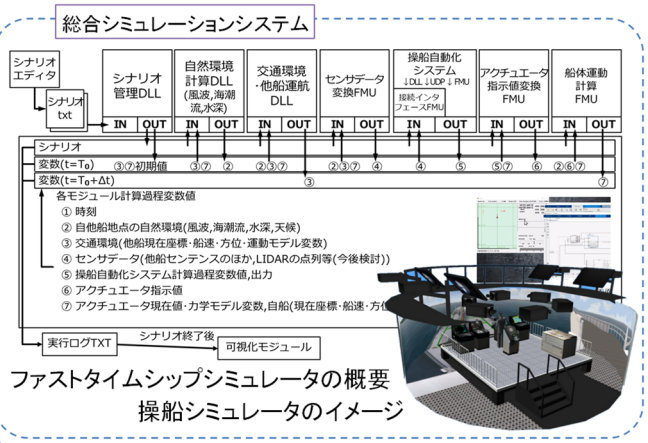
年度実績

- ◘ 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

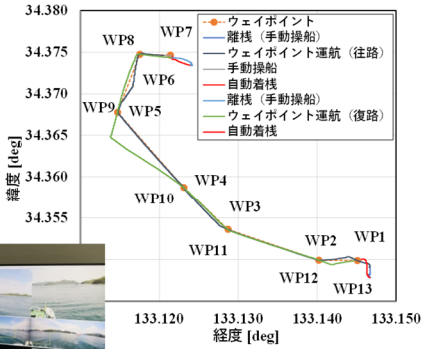
操船シミュレータのイメージ

○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

（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

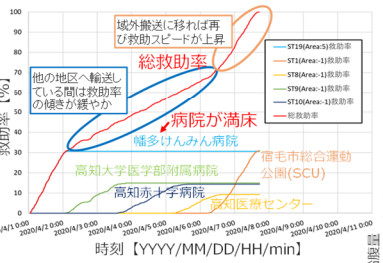
- 傷病者輸送シミュレータは、交通運輸技術開発推進制度における外部評価委員会において、複数の委員から「非常に意義の大きい成果を得られている」と評価。
- 海運ゼロエミッション化に貢献するために、造船需要予測モデルと海上物流シミュレータを統合したGHG削減戦略評価システムを開発。

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。

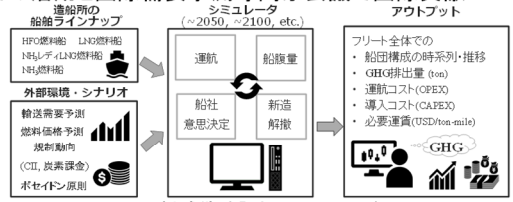
Webブラザーに表示したシミュレータ可視化画面



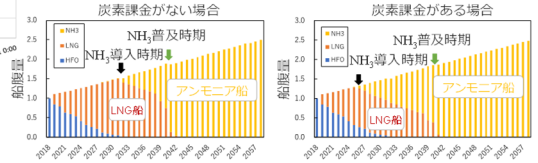
救助率の時系列変化

○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削減戦略評価システムの概要



バルクキャリアを対象とした代替燃料導入予測

33

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、R2年度の実績

項目	件数	
査読論文	10編 (12)	・ ジャーナル8編（うち4編投稿中、3編採択済、1編掲載済） ・ プロシーディングス2編（うち0編投稿中、2編採択済、0編掲載済）
特許申請	4件 (8)	・ 船舶の建造シミュレーション方法、建造シミュレーションプログラム、及び建造シミュレーションシステム（国際出願日：2021/9/17） ・ 統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーション方法、建造シミュレーションプログラム、及び建造シミュレーションシステム、並びに船舶の品質データベースの構築方法（国際出願日：2021/11/12） ・ 船舶の自動誘導方法、船舶の自動誘導プログラム、船舶の自動誘導システム、及び船舶（出願日2021/5/14） ・ 船舶の自動誘導方法、船舶の自動誘導プログラム、船舶の自動誘導システム、及び船舶（国際出願日2021/5/14）
プログラム登録	2件 (1)	・ 災害時傷病者輸送シミュレーションプログラム, 2021-NMRI-NLED- MAJIMA-01 ・ 運航・市場モデルによるゼロエミッション船コンセプト評価システム, 2021-NMRI-NLED-S.WANAKA-01
国際貢献	0件 (1)	
受賞	1件 (0)	・ 日本船舶海洋工学会　乾賞: 和中真之介 (ネットワーク最適化モデルを用いた国際海上輸送におけるGHG排出量削減効果の評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 第31巻, pp 205-212, 2020)

34

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

◎**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。**
- データ標準化、造船用統一データプラットフォーム及び建造シミュレーションの取組は、海事産業の競争力強化に貢献。
- GBSガイドラインに則った自動運航船の安全ガイドラインの骨子を作成するのに協力し、日本案としてIMOへ提案することで貢献。
- 南海トラフ地震等国の大規模災害時の防災・減災対策の方針に対して傷病者輸送シミュレータを開発しWeb公開することで貢献。

◎**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。**
- データ標準化は、複数造船所での設計、建造を実施する際の業界標準が可能となり、成果の一般性が十分に大きい。
- 付随作業まで考慮し、マルチエージェントシステムに基づく自律性を再現した建造シミュレーション技術は、新規性が大きい。
- 自動着桟アルゴリズムは、設定パラメータが少なく、船舶に要求するアクチュエータは舵とプロペラのみで一般性が十分に大きい。
- 災害時の輸送を対象にしたシミュレータは、複数輸送モードを考慮している点、災害時輸送に着目している点で新規性が大きい。

◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
- 建造シミュレータ開発は、造船所ニーズに即しており、成果を造船業の国際競争力の回復に資する適切な時期に創出。
- 国を挙げた自動運航船の実用化の取り組みに対し、自動運航船の安全性評価や認証等にかかわる成果を適切な時期に創出。
- 国際海運の貨物、船腹量、建造量の需要予測は、2050年のカーボンニュートラルを念頭に、成果が期待された時期に創出。

◎**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。**
- 建造シミュレータは、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繋がる成果。
- 自動運航船の安全性評価及び遠隔操船システムは、自動運航船に必要な技術であり、我が国海運の国際競争力の向上に貢献。
- 国際海運の貨物、船腹量、建造量の需要予測は、国際的なゼロエミ燃料船の促進で海運造船業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。**
- 操船リスクシミュレータでの操船権の移譲に関するオーバーライドの実験を実施し、今後必要となる自動運航船の安全性評価の基準の検討に資するデータを先見性を持って収集。
- 地震災害のみならず、原発避難や近年頻発している水害におけるシミュレーションができるかを先見性を持って検討。

※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

35

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	**2.4**	**B**
☆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	**2.7**	**A**
☆13	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	**2.7**	**A**

36

「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「見込評価」

(1)海上輸送の安全の確保

令和３年度業務実績評価シート「見込評価」

【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	①伊豆大島西岸沖推薦航路の設定は、社会に直接貢献している。荷重構造一貫解析システムや船体構造デジタルツインについても社会実装が期待されている。最終的に工数削減や効率化が具体的な産業競争力向上にどのように結びついたかが課題か。 ②荒天下操縦運動評価について、未解決の前進航行限界状態を含む模型実験による検証が期待される。 ③無人運航船や水素燃料船のリスク評価は、期待されている時期の完成が見込まれている。 ④船体構造分野以外についても国際ジャーナルへの成果公表が期待できる。 ---------- ・概ね中期計画を達成しており、一部(走錨リスク判定システムの開発)においては計画に無かった成果を達成している。 ---------- ・DLSA や CFD に関するコード開発，DT 研究の進捗状況を考慮すると，すべての評価ポイントにおいて，当初期待レベル以上の進捗を達成できると判断します. ・近年の気象変動影響に伴い海象条件も厳しくなり，船体の大型化も進んでいることから，船体がねじられる挙動も生じ，結果として船体に生じる応力状態は面内二軸状態よりも複雑になると思われます．本研究を一層先進的な取り組みに深化させるためにも，DLSA でより詳細に船体に生じる応力状態を評価可能とするだけでなく，この出力結果を活用した種々の強度評価（局部強度評価の観点では，単なるに疲労被害度評価に留まらず疲労亀裂成長評価，さらにその先で懸念される脆性破壊強度評価など．全体強度評価の観点では，時系列の応力履歴も考慮した弾塑性座屈強度評価など）も評価できる手法の開発に努めてほしいが，容易ではないため，次期中期計画での実用化に向けた基礎研究は行っていただきたい. ・当初計画になかった走錨リスク判定システムを開発・無償公開したことは，国研として社会から期待される使命を達成しており，かつスピード感を持って社会実装させたことは高く評価してよいと考えます. ---------- ・国の方針や社会ニーズに即した研究開発テーマが予定通り進められ、着実に成果を挙げている。 ・研究開発の成果はすでに一部は公開されており、企業による利用、伊豆大島西岸沖推薦航路の設定など社会実装が並行して進められている点は高く評価できる。 ---------- ・各々の重点研究の最終達成度見込みは 重点研究１：100% 重点研究２：100% 重点研究３：110% であり、特に重点研究３において、当初計画に無かった、走錨リスク判定システムを一般向にリリースした点で、「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。				

	・なお、今後は、特に、デジタルツイン技術の早期社会実装に向け、研究開発のさらなる加速に期待します。 ---------- ・船体荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発、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。来年度末までに当初計画を上回る成果が期待できる。 ---------- ・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，海事産業の競争力強化に大きく貢献する研究として高く評価する. ・また，自動運航，代替燃料，荒天時等，時代の要請を見据えたリスク評価・安全性評価手法に関する研究が多方面から実施されており，社会ニーズへの適合や成果の創出される時期という観点でも高く評価できる. ・さらには，走錨リスク等の評価など，当初は想定されていなかった課題に対して社会の要望に基づき，迅速・柔軟な対応がなされている. ・成果の公表という観点からもこの６年間で査読論文数やプログラム登録数が大きく向上しており，高く評価することができる. ・以上より，この６年間で顕著な成果が挙がっており，当初目標を上回る成果が期待できることからＡ評価とする. ---------- ・発表論文数や受賞、国際貢献などの成果が十分でていることから、成果の科学的意義が質、量ともに十分であり、適切な時期に発表も行っていると考える。 ・DLSA-Basic や船体構造デジタルツインの開発を通じては、産業界との連携も密に行われており、DLSA-Basic はすでに複数の造船会社が利用していることからこの成果の社会ニーズとの整合性の高さが確認できる。 ・成果の社会実装への道筋を示しながら、科学的意義の高い研究成果を数多く上げていることからＳ評価とした。 ---------- ・各重点研究の達成度が、既に 90～95%まで進捗していること。また、最終達成度が、100%を超える予想が見込まれる点を評価する。 ---------- ① DLSA - AT の開発（流体解析ソフト（CFD）との融合）や、ポスト処理、プリ処理でのインターフェースへの対応など、現実的な研究の実装に向けた仕上げとして非常に良い流れを維持していると感じます。 ②④ 構造信頼性評価などは単に解析精度だけでなく可視化による一般性の充実とともに、流体構造連成の研究成果は ISSC などを通した、国際基準への反映と取り入れが進む分野であり、国際貢献も含めて期待できます。 ③④ 模型実験による検証は、様々な視点で重要な項目になりますので、確実に遂行していただきたい。一方で、模型実験の場合にはどうしても船型・波浪条件などが限られてしまうことから、その点の精度などの取り扱いには十分に留意（その条件にのみ精度が上がるようなチューニングに終始しないような）をお願いしたい。それを含めても、海技研の施設の強みを生かした検証は国際的にも有意義な成果が得られると思います。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S：1 A：10 B： C： D：

(2)海洋環境の保全

令和３年度業務実績評価シート「見込評価」

【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	①③低硫黄燃料の燃焼試験は 2020 年の SOX 規制対応で内航海運に直接貢献している。実海域性能評価の社会実装も今後に期待が大きい。 ②実船スケールの CFD の実船での検証は科学的意義が大きく、さらに損傷時の推定についても実船検証が期待される。 ③福島沖の放射能物質モニタリングは適切な時期に結果を出している。 ⑤生物付着への取り組みは今後の成果が期待できる。 ---------- ・OCTARVIA プロジェクト等の成果を国際標準として確立していくべく、IMO 等における議論をリードしていくことが重要であり、それらを含めて中期目標の最終達成度見込みが計画を上回っている。 ---------- いずれの重点研究についても，中期計画中の進捗状況に加え，具体的な出口設定がなされている状況を考慮すれば，当初想定以上の成果が見込まれます. ---------- ・国の方針や国内外の社会ニーズに直接貢献可能な研究開発が計画通り進められ、着実に成果を挙げており、高く評価できる。 ---------- ・各々の重点研究の最終達成度見込みは 重点研究４：100%、 重点研究５：110% 重点研究６：110% 重点研究７：100% 重点研究８：110% である。 ・特に重点研究５，６において、実海域性能推定実用化に向け、23 者が参加した「OCTARVIA」プロジェクトの Phase2 が開始したこと、デジタルツインにより、主機関の劣化判断も可能とした点で、「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。 ・なお、重点研究４，７の GHG 削減技術（次世代燃料燃焼技術、CO2 回収、メタンスリップ削減、等）はグリーンイノベーション基金により多くの開発が始まっていることもあり、最終年度には、日本の競争力確保のためにも、さらなる研究開発の加速による顕著な成果を期待します。また、次世代燃料という点で重点研究７の一部は重点研究４において実施したほうが分かりやすいのではと感じました。次期計画では検討いただければ幸甚です。 ---------- ・2020 年に導入された燃料中硫黄分の規制への適合燃料油の着火性指標の研究では、新たに着火性指標の改善が実施されており、評価できる。最終的な GHG 排出ゼロを目指した排出削減を目的とした水素エンジンおよびアンモニアエンジンの実用化に向けた研究、CO2 分離膜による CO2 分離・回収技術の研究など社会的価値を創出し、科学的意義も大きい研究が期待された時期に行われている。総合的に令和 4 年度末までに当初計				

	画を上回る成果が期待できる。 ---------- ・実海域実船性能評価に関する研究は，日本の海事産業が国際競争力を確保する上で，最も重要な研究課題の一つである．この分野における海技研の中長期期間の成果として，全球版気象海象データベースＧＬＯＢＵＳの構築と外部提供の開始，実船モニタリングに基づく性能評価手法の開発，内航船のための新船型の開発，実海域実船性能評価のための OCTAVIA プロジェクトなど，多数の顕著な成果が挙がっておる．時代を見据えた研究が精力的に行われ，世界に先駆けて大きな成果をあげていることを高く評価したい． ・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． ・なお，実海域性能評価技術と，重点研究１の構造モニタリング，さらには基盤技術として検討されている建造シミュレータ／モニタリング技術を上手く融合させることにより，船舶のデジタル化において日本が世界をリードし，産業の競争力強化に大きく貢献することが期待できる． ・重点研究５において特に顕著な成果が挙がっていること，他の重点研究の成果も高く評価できること，さらに重点研究５，１，１１，１３等の融合により将来的に特別な成果が期待できることを考慮し，Ｓ評価とする． ---------- ・発表論文数や受賞、国際貢献などの成果が十分でていることから、成果の科学的意義が質、量ともに十分であり、適切な時期に発表も行っていると考える。 ・この分野では、高度な科学的知見をシミュレーションソフトウエアの形で数多く提供している。これらの個別のシミュレーションを、デジタルツインやクラウドというキーワードで連携、基盤化を進める方針が示されており、今後より大きな成果が期待できる。 以上のことからＡ評価とした。 ---------- ・各重点研究の達成度が、既に 80～95%まで進捗していること。また、最終達成度が、100%を超える予想が見込まれる点を評価する。 ---------- ・全体を通して、これまでの研究の遂行状態が、当初の予定を上回るペースで進んでいることが伺えており、研究の達成・遂行の見通しは良好であるという印象を受ける。 ①②　研究の課題のブラッシュアップ及びこれまでの成果を踏まえた進展という見地からも、動力システムの研究視点では、カーボンフリー船舶、実海域実船性能の分野の視点では、低速船コンセプト、AI 主機制御、CFD 分野では産業界への計算ツールの公開、生態系との関係では海洋環境影響評価してステムの強化的拡張など、かなり実践的で社会的意義が高く、且つ海技研の優位性を活かした目標設定がなされており、達成の可能性も含め高く評価できる。 ③　①および②とも重複するが、研究の目標設定でのキーワードは、この数年の研究成果や社会情勢の脱炭素への大きな変化の潮流を踏まえ、4~5 年前には記載が難しかったと思われるものへと、対応がされている。その意味では、成果については、社会の期待時期に比べて、一歩ずつ前に出られていると感じる。 ④⑤　①～③の記載でもあるように、研究の目標設定は、充分に変動している国際社会の将来を見据えつつ、現実的な意味での社会に必要な研究成果および開発ソフトなどの実装を目指しており、先見性および機動性については、充分と感じる。

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３年度業務実績評価シート「見込評価」

【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	①浮体式洋上風力発電についての一連の研究、世界初となる海底熱水鉱床の連続揚鉱試験への貢献は社会的意義が大きい。 ②AUV の運用技術の実証は多くの受賞につながっている。 ---------- ・洋上風力発電システムの実海域モニタリングシステムの構築、国や国際機関における安全ガイドライン・運用ガイドライン等への貢献など、大きな成果が見込まれる。 ---------- ・海底熱水鉱床開発関係の研究では，シミュレーションにとどまらず，国に対しての働きかけを強め，次期の中期研究期間において，AUV 研究とも絡めつつ実証試験的な研究を立ち上げられるよう，理論武装を強めてほしいと考えます. ・AUV 研究については，知床での船舶事故の捜索にも活用可能な環境での活用を念頭に研究を進めてください．今回の捜査で海技研の AUV 機体を活用していれば社会的なインパクトが極めて大きかったと思います. ---------- ・国の方針や社会のニーズを踏まえた研究開発が計画通り進められ、着実に成果を挙げている。 ---------- ・各々の重点研究の最終達成度見込みは 重点研究９：110%、 重点研究１０：110% であり、特に、AUV－ASV 連結システムという新たなアイデアを製品化にまで到達させた点で、評価ポイントに照らし合わせ、「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。 ---------- ・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。令和４度末までに計画を上回る成果の創出が期待できることから、顕著な成果の創出等が認められると判断した。 ---------- ・世界初の水深 1,600ｍの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験への成功，海底鉱物資源の稼 働性評価プログラムの開発，ＡＵＶの同時運用や隊列評価プログラムなど，世界最先端の研究が実施され，その成果は高く評価できる. ・成果の公表という観点からも，中長期期間中において大きな飛躍が認められ，近年の公表論文数や受賞数は高く評価できる. ・総合的にみて顕著な成果が得られていることからＡ評価とする. ---------- ・発表論文数や受賞、国際貢献などの成果が十分でていることから、成果の科学的意義が				

	質、量ともに十分であり、適切な時期に発表も行っていると考える。 ・資源開発の経済性評価などの実装向けの研究から、AUV に関する技術面、社会の要請に対応する国プロへの貢献など、評価項目に対応する研究活動が計画的に進められている。また、その成果の質の高さが国際貢献や受賞で裏付けられている。 以上のことからＡ評価とした。 ---------- ・各重点研究の達成度が、既に 90%まで進捗していること。また、最終達成度が、110%の予想が見込まれる点を評価する。 ---------- ①② 海洋再生可能エネルギーを取り巻く社会環境は、国際的にダイナミックにその価値が創出されている。日本社会での環境は、その国際的なダイナミズムに対してかなり感度が低いと言わざるを得ないが、それでも確実に、海洋再生可能エネルギーの必要性と重要性の認識が健全な形で高まりつつある。それを踏まえると、海技研でのこの分野についての取り組みは、海洋エネルギー産業が、国内での海事産業の大きな一分野に育つために大きな貢献をしていることが伺える。この点は、AUV の運用とも連携が図られている。また、海底資源関係についても、これまでの国内での一般的な資源調達の常識や意識の変化が必要な分野であるが、その中で、しっかりと国際的な視点でも高度な研究目標設定をしている。 ③④ ①～②とも連動するが、この分野については、国際的な重要性の認識が相当のスピード感で上昇しており、まさにパラダイムシフトが発生している。日本はその資源的および地勢的には国際社会からは羨ましがられるほどのポテンシャルを有しているにもかかわらず、その重要性の認識度がかなり弱く、残念ながらポテンシャルに比して、パラダイムシフトには程遠い状況ではある。それでも、わずかにではあるが、海洋再生可能エネルギーや海底資源の自国内調達の重要性とそのポテンシャルの認識には期待感だけでなく現実感をもっての将来性が語られるようになってきている。こうした海外での急激な技術革新やチャレンジ的なプロジェクトが実行されていく中で、日本が社会実装に向けて動く機運になった時に、動けるための地道で且つ国際標準に対して引けを取らない水準を維持した研究目標設定をしていることは非常に評価できる。 また、国内事情からすれば、こうした分野に貢献できる人材を高度に大量に育成していくことも必要となっていくことから、その点についての貢献についても、大型の浮体式洋上風車やＡＵＶなど研究分野のアドバルーン的なものをしっかりと外部発信の強化を期待したい。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：11 B： C： D：

(4)海上輸送を支える基盤的技術開発

令和３年度業務実績評価シート「見込評価」

【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	①デジタルシップヤードという業界要請に応えて、造船用高精度建造シミュレーションを構築するなど成果を上げている。 ②自動運航船について実船実験を継続している点は意義が深い。 ③GHG 削減戦略評価システムは、2050 年に向けて必要となる時期に間に合うように開発されている。 ⑤傷病者輸送シミュレータについては今後の災害時の活用が期待される。 ---------- ・建造シミュレーターは今後適用可能な作業工程の拡大や実際の造船所の現場での運用フィードバックにより、より包括的かつ高度なものとなっていくことが期待される。 ・自律運航の技術開発も時宜を得たものである。小型実験船での実証試験を通して当初予定以上の知見を得ており、大きな成果が見込まれる。 ---------- ・重点研究 11 は，暗黙知をシステム化するもので，かつ国際的な造船所間の競争に資する技術開発であると思いますので，拙速な論文化（アイデアの公知化）は好ましくないと考えます．国内造船所への実装が十分に達成するまでは，特に競合国に情報が漏れないような対応を望みます．（期間内での査読論文の数は評価指標の中で重視するべきではない．） ・また，修繕・解撤に関しても同様の研究を進めるように検討をお願いします．特に解撤については，本研究のような取り組みにより，人件費を大幅に抑制できる可能性が見いだせるため，国内でも船舶解撤の業界が復活できると期待されます． ・今回は重点研究に対する評価を求められているが，「基盤的技術開発」には既に確立しているように思われる技術分野も多数存在します．重点４分野の中の「基盤的技術開発」については，地道な基礎研究についても目配りを忘れないようにしてください．数値シミュレーションはプログラム次第で何でも出力できますが，数値シミュレーションの基となる理論を考察できる研究者を育成し続けることが，将来的な海技研の研究力を維持・発展させるために必要不可欠です． ---------- ・国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が進められているとともに、新しい視点からの研究開発への取り組みを通して、コミュニティのさらなる活性化と人材育成が図られている点を高く評価する。この成果が、より具体的なデータとして示されると説得力が非常に増すと考えられる。 ---------- ・各々の重点研究の最終達成度見込みは 重点研究１１：100%、 重点研究１２：110% 重点研究１３：110% である。 年度評価においてコメントしたが、実運用を開始しつつある点で、「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。 ・一方、同じく年度評価にてコメントしたが、本研究分野では、日本の造船各社の競争力				

	強化のためには、重点研究１１「生産管理システム」のプロトタイプ開発に最も注力すべきと考える。 ・従い、最大限早期実用化を目指した、より具体的な「次世代造船設計システムの実用化開発のロードマップ」の作成をお願いします。さらに造船に留まらず、舶用機器業界への展開も期待します。具体的には、ご検討されている、データ連携を造船－舶用に拡張し造舶の生産情報を共有化・統合化する、建造シミュレーションの舶用業界での活用等を期待します。 ---------- ・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。 ・技術の伝承、少子高齢化や人材不足への対応、造船工程の合理化、生産性の向上など造船所が抱える課題に対応する課題について、成果が得られ、また社会実装につながっており、国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献するものである。また造船業の国際競争力の向上にもつながる。 ・自動避航操船システムや自動離着桟システムおよび遠隔操船システムの実用化に向けた開発が期待でき、令和４年度末までに当初計画を上回る成果の創出が予測される。 ---------- ・3 研共同研究である傷病者輸送シミュレータはうみそら研の改組の成果が表れた良い事例であり，顕著な成果として高く評価できる． また，近年の研究である建造シミュレータや海上輸送・造船需要予測などは時代の要請と合致した重要な研究であり，大変興味深い成果が得られ始めている． 中長期全体で評価した場合，期待された成果が得られ，また将来に向けて成果の創出が強く期待できることから B 評価とする．但し，ここ数年に着目した場合には，他の分野に勝るとも劣らない成果が得られている． ・なお，この分野に限ったことではないが，中長期期間において成果の公表数は大きく向上しており，海技研全体として良い方向に組織改革・意識改革がなされているものと評価する．この要因を十分に分析・調査して，ぜひ，今後に生かしてほしい．但し論文数等に単純に数値目標等を掲げた場合には量的側面のみが重視され，研究の質に悪影響を及ぼすリスクもある．また，社会実装等の側面を考慮した場合には単に論文数等の観点では成果の重要性を適切に評価できない研究課題もある．このような観点も踏まえ，組織改革をより一層進展されることを期待する． ---------- ・発表論文数や受賞、国際貢献などの成果に加えて、造船所や自治体など外部との協業も多く、社会のニーズに対して適合度の高い成果を創出している。 ・造船所のデータの標準化や造船所のシミュレーション技術は相乗効果の大きい要素技術であり、これまでの成果による学界産業界へのインパクトが期待できる。 以上のことからＡ評価とした。 ---------- ・各重点研究の達成度が、既に 85～90%まで進捗していること。また、最終達成度が、100%を超える予想が見込まれる点を評価する。 ---------- ①　全体として社会のニーズに即した研究が実施され、機と社会的意義は適切に捉えていると感じられる。特に、自動運行船に向けての、避航操船システム、自動離着桟システム及び遠隔操船システムのなどの取り組みは、海上運輸や海上交通での人命の安全性の飛躍的な向上が見込めるだけでなく、国内輸送に対しての概念を大きく変容させる可能性があるポテンシャルのある研究取り組み課題である。 ②③　①とも関連するが、社会実装という点では、現場とかなり近い分野であり、発展性及び一般性および汎用性への展開という点で、しっかりとした目標設定がなされてお

	り、これまでの研究の進捗状況からも実効性もあると期待できる。 ④⑤　この分野についての重要性の社会認識が、国際的にも高いことから、研究成果の進展が国際基準などへ先進的に貢献することは、容易に想像できる。また、研究目標の中でも自動化から無人化、コンテナ船の需要予測から機械学習による海運市況の予測へと、最新の情報技術を取り入れつつ現実的に到達可能な目標設定がなされていると思われる。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S： A：8 B：3 C： D：

見込評価（中長期期間の計画と実績）

中間評価　　見込評価

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	最終目標への見込
（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）**						
			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 **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 **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.5**	**＜今後の研究計画＞** ★DLSA-ATの開発（流体解析ソフト（重点☆6で開発したCFD）との融合） ★GUI(グラフィカルユーザインターフェース）の開発と精度向上／解析時間の短縮 ★構造信頼性評価機能の追加 ★模型実験などによる検証 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　100%
							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**	
				●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 **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 ●解析プログラムの開発 ⇒就航船の最大荷重 ■日本船舶海洋工学会賞 **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 ■日本船舶海洋工学会賞 **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 **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.5**	**＜今後の研究計画＞** ★DLSAを中心に、船体構造（ハル）モニタリングシステムを統合して、実船での全船応力推定機能を構築 ★船体構造モニタリングガイドライン作成 ★船体構造デジタルツインの要素技術開発（安全運航・保守支援、設計フィードバック等） ★船体構造デジタルツイン水槽実験・実船検証 **＜達成度＞** ●現状の達成度　95% ●最終達成度の見込み　100%
			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				**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 **H30年度 P.3**	●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**	●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**	●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.6**	**＜今後の研究計画＞** ★GHG対応のための低引火点燃料船における燃料漏洩リスクモデルの開発 ★液化水素運搬船の船体構造に係るリスク評価手法の調査・検討 ★無人運航船のリスク解析手順書の開発 **＜達成度＞** ●現状の達成度　95% ●最終達成度の見込み　100%
			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			**船舶交通流の制御とその影響評価法の開発**		**無人運航船の安全性評価**	
				●潮岬沖の海難、船舶交通分析により衝突要因群を特定 ⇒潮岬沖の交通改善策を立案 **H29年度 P.1**	●伊豆大島西岸沖推薦航路を設定 ⇒バーチャルAISを活用し、伊豆大島西岸沖で世界初の推薦航路設定することにより衝突の危険性の減少に貢献 ■日本航海学会航海功績賞 **H30年度 P.3**	●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 **R1年度 P.2**	●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**	●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.6**	

研究成果の今後の発展

重点☆1

【DLSA関連】

荷重構造一貫解析システムの社会実装により、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する。

船損事故やコンテナの荷崩れ事故などへの早急かつ精度よい評価を可能にして、安全・安心の確保に貢献する。

【デジタルツイン関連】

船体構造デジタルツインにより船体や波浪のデータをリアルタイム取得・蓄積・活用することで、安全運航や合理的メンテナンス等の支援に貢献して海事従事者の負担軽減を図るとともに、今後の統合型デジタルツインの開発を通じて総合的判断支援や自動運航船の実現に寄与する。

データドリブンな基準策定手法によって、将来の安全で環境適合性のある船舶の設計を可能にする。

重点☆2

・代替燃料船や新規貨物船を建造する造船所等および船級協会において定量的解析を要する際に、開発したガイドラインの提供や計算実施等の技術支援を行い社会実装に結び付ける。

・新たな海域での推薦航路の設計評価技術および衝突事故解析手法を開発し、そ れらの社会実装を目指すことにより安全・安心な船舶交通の実現に貢献する。

・自動運航船、無人運航船を建造する際に、開発したリスク解析手法を用いて解析することで自動運航船等としての認証取得に寄与し、自動運航の安全な実現に繋げる。

中間評価　　見込評価

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	最終目標への見込
（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。	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関する研究（**重点研究☆3**） 最低出力暫定指針の改 ●理論的かつ学術的検討の踏まえた最低出力暫定指針改訂案を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 ●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 ●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**	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 ●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.7**	**＜今後の研究計画＞** ★荒天下操縦運動評価プログラムの改良 ★荒天下の操船限界と機関出力の関係の評価，荒天下操縦性能基準要件の検討 ★衝突・座礁回避基準要件の検討 ★実運航データを用いた低速時操縦運動特性同定手法の検討 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　110%
	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	
	自己評点	A	【平均　3.0「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　2.7「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）						
（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** SOx等排ガス処理技術、計測及び分析技術の高度化 ●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） **H28年度 P.4**	●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 **H29年度 P.3** ●水素燃料電池船ガイドライン案の作成 ⇒国交省において「水素燃料電池船ガイドライン」を発行 ⇒水素燃料電池船の実現に向けて貢献 **H29年度 P.3**	●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 **H30年度 P.5** 内航船向け小型スクラバーの開発 ●大型の排ガス洗浄装置（スクラバー）の小型化するための設計及び試作機を製作 ⇒内航船での活用に期待 **H30年度 P.6** ●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	●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）」 **R1年度 P.5** ●小型並行流ジェット式スクラバーを開発 ⇒世界で一番小さい ⇒エンジン負荷率が高くなり、排ガス流量が増加しても十分な脱硫性能が確認 **R1年度 P.5** ●GHG削減のシナリオを策定 ⇒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」 **R1年度 P.9**	次世代燃料の燃焼性評価等の確立 ●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 **R2年度 P.4** 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 **R2年度 P.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 ⇒ゼロエーミッションに向けて貢献 **R2年度 P.7**	☆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 **R3年度 P.13** ☆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 **R3年度 P.16** ●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 **R3年度 P.16**	**＜今後の研究計画＞** ＜今後の研究計画＞ ★低硫黄燃料の着火性指標の詳細評価 ★次世代燃料の着火性評価指標の詳細評価 →着火性推定手法の検討 、適合油の着火性評価について論文発表 →着火性推定について特許化検討 ★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 →燃料組成と燃焼生成物との相関について論文発表 ★後処理技術によるメタンスリップ、N2O等の削減方法の研究 →メタン削減技術として、メタン酸化触媒の性能評価に関する論文発表 **＜☆4の達成度＞** ●現状の達成度　80% ●最終達成度の見込み　100% **＜今後の研究計画＞** ★水素エンジン等の安全性確保技術の構築 ★アンモニア燃焼技術の高度化 ★GHG削減シナリオの作成・技術課題の明確化 ★カーボンフリー燃料船評価技術の検討 **＜☆7の達成度＞** ●現状の達成度　80% ●最終達成度の見込み　100%
			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						

研究成果の今後の発展

重点☆3
荒天下操縦運動評価プログラム
必要に応じて、新造船に対してIMOの「荒天下で操縦性能を保持するために必要な最低機関出力に関するガイドライン」の基準判定が不可欠となる造船所を中心に本プログラムのデモ版を無償公開・利用してもらい、本プログラムの有用性を認識してもらう(販売のきっかけを作る)。

最終達成度を110%とした理由は，当初計画になった走錨リスク判定システムの開発を行いR3年7月1日に一般にリリースしたことを考慮したため。

重点☆4
　本研究では実燃料を構成する炭化水素の構造を推定し、そこから着火性予測をするモデルを構築する。この新しいモデルを用いれば、難しい炭化水素構造を推定せずとも、従来どおりの燃料基礎パラメータ（動粘度および密度）から着火性が予測できることから、燃料使用者が燃料入手時に添付される燃料油性状表から容易に着火性を予測できるようになり波及効果が大きい。その他の効果として
・GHGに対応したカーボンニュートラルな新たな液体燃料との混合燃料を考える上で、燃料燃焼性の予測技術の基盤となる。
・次世代燃料であるアンモニア、または低炭素燃料であるメタン（天然ガス）といったガス燃料のパイロット燃料の着火性を正確に予測できるようなり、アンモニア等の燃焼コントロールのためにも有用。
　また、排ガス後処理技術は、エンジン技術や次世代燃料と相補的に活用することでGHG削減に貢献できる。特に、メタン、N2O削減は、GHG削減のためには、なくてはならない技術でありニーズがある。後処理技術として触媒反応に焦点をあて、実排ガスを用いた模擬試験から、舶用での効率のよい反応条件を解明し、実機実装の基盤データを提供する。
重点☆７
・アンモニア燃焼プロセスの解明と燃焼技術の確立によるアンモニア燃焼エンジンの低エミッション化（CO2，NOx，N2O等の排出削減）
・国産NH3-DFエンジンの開発に貢献
・水素混焼・専焼リーンバーンガスエンジンの実現
・水素燃焼エンジンの社会実装に向けた安全管理技術の確立（エンジン制御技術、水素ガス供給・排ガス系の安全管理）
・NOxテクニカルコード改正提案の可能性
・バイオ燃料利用ガイドラインの作成などカーボンニュートラル燃料普及への貢献
・外航・内航のカーボンニュートラル実現のロードマップ策定等に貢献。

中間評価　見込評価

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	最終目標への見込
（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	実海域実船性能に関する研究（**重点研究☆5**） 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 **H28年度 P.6**	●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 ■日本船舶海洋工学会賞（論文賞） **H29年度 P.4**	●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 ■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） **H30年度 P.7**	●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 ■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） **R1年度 P.6**	●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 **R2年度 P.5**	●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 **R3年度 P.14**	**＜今後の研究計画＞** ★経年劣化・生物汚損影響評価法の作成 ★造船各社との連携による実海域性能の高い船舶の設計・開発 ★実海域性能評価診断の試行 ★低速船コンセプト船の立案・評価 ★低速航走時の摩擦抵抗低減メカニズムの評価 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　110%
			省エネ船型の開発 ●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 **H28年度 P.5**			主機制御／主機監視システムの開発（運航面） ●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 **R1年度 P.7** ●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**	●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） **R2年度 P.5**	●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 **R3年度 P.14**	**＜今後の研究計画＞** ★主機応答評価に関する検証 ★波浪中自由航走試験での検証 ★AI主機制御システムを含めた機関長支援システムの開発 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　110%
			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 **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 ■13社が利用 ■日本船舶海洋工学会賞（開発） **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.15**	**＜今後の研究計画＞** ★キャビテーションモデルの構築・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 ★重合格子によるハイブリッド計算手法の新規開発 ★計算手法を統合したCFD計算システムを構築し、産業界へ提供(27社以上の利用見込み) **＜達成度＞** ●現状の達成度　95% ●最終達成度の見込み　110%

研究成果の今後の発展
重点☆5 OCTARVIAプロジェクトの実施により実海域実船性能評価法の国際リードを海事クラスター（23社）で実施。 既存船適用やCII格付けによるGHG削減に重要となる実海域性能の診断評価技術について、低速運航の評価技術を中心に次期中長期計画で実施するための技術的準備を着実に実施。
重点☆6 ・実海域性能を推定できる高速なCFDシステムの開発とともに産業界への提供 ・内航船CN等のゼロエミッション船開発への活用 ・狭水路の操縦性能や離着桟操船を想定した港内操縦運動の評価ツールへの拡張 最終年度は27社以上の利用見込みで、計画を再構築するとともに開始時にはなかった小項目 1.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(実海域実船性能評価プロジェクトとの連携による新項目) 2.ハイブリッドRANS/LES/LBM計算手法の新規開発」 の2つを追加したため、最終年度の達成見込みを110%とした。

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（中間評価）	令和2年度	令和3年度（見込評価）	最終目標への見込
（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** ●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		●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	**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 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.15	**＜今後の研究計画＞** ★船体付着物管理のための動向調査 ★防汚塗料性能評価試験法の標準化 ★海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化 **＜達成度＞** ●現状の達成度　95% ●最終達成度の見込み　110%
			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 ■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.15	
	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	
	自己評点	A	【 平均　2.7「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　3.3「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　2.7「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　2.5「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）						
（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）** **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	●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 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貢献 ●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 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.23	**＜今後の研究計画＞** ★浮体寸法の最適化 ★合成繊維索を用いた係留系の簡易設計・評価ツールの開発、合成繊維索の生物付着評価 ★風車タワー接舷時のCTVの安全性評価 ★日本沿岸域における波力発電装置の発電性能評価 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　110%

研究成果の今後の発展

重点☆8

●船体付着生物の問題に関する研究

現在審議中のIMO生物管理ガイドライン見直しにおいて、既にISO化済みの防汚塗料性能評価試験法に加えて、令和3～4年度に開発中の藻類・フジツボ汚損簡易評価試験法、防汚塗膜厚簡易評価法を提案・反映させる。

●海洋環境影響評価システムの対象物質及び高度化

油漂流の実事象をシミュレーションで再現するために必要な海流データ等を、情報発信プラットフォームから一般～学術分野向けに発信し、ユーザの反応・要望の収集及び見直し等を図る。

●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（令和4年度～）

重油エマルション化による流動促進に基づく新規の重油回収システムを提案し、海上流出油・沈船からの油回収及び回収船からの高粘度重油荷揚げ技術の革新に繋げる。

※最終達成度の見込みを100%を上回る数字にした理由

中長期計画スタート時は計画していなかった研究（藻類汚損簡易評価試験法の開発、フジツボ汚損簡易評価試験法の開発、防汚塗膜厚簡易評価法の開発）を、IMO生物管理ガイドライン見直しの審議動向を踏まえて、中長期計画の後半に追加したため。

重点☆9

●安全性及び経済性を両立させた浮体式洋上風力発電システム、設置・保守オペレーションの実現 ← ナショプロやJIP事業等を通じた民間企業による活用

●洋上風力発電施設及びマリンオペレーションに関する安全ガイドライン案の作成 ← ナショプロを通じた国が策定する安全ガイドラインへの反映

◇R2年度から、係留安全性評価技術及び作業船オペレーション評価技術の対象を浮体式洋上風力発電分野に重点化し、研究成果の最大化を意識した取組を進めた。

◇また、当初計画していなかった「洋上風力発電システムの実海域モニタリングシステムの構築」を最終目標にした研究を追加した。

◇研究成果は、国が策定した安全ガイドラインや運用ガイドラインの策定、IEC・ISOの改定作業に活用されるなど、ナショプロや業界への技術支援に貢献した。

中間評価　見込評価

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	最終目標への見込
（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 ■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**	●海底鉱物資源開発における計画支援プログラムの開発 ●稼働性評価プログラムを開発 ⇒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 **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.24**	**＜今後の研究計画＞** ★稼働性・経済性評価のための開発支援プログラムの開発 ★フローアシュアランス解析プログラムの開発 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　110%
		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（**重点研究☆10**） AUV運用技術に関する研究開発 ●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 **H28年度 P.9**	●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 **H29年度 P.5**	●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 **H30年度 P.10**	●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 **R1年度 P.12**	●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 **R2年度 P.11**	●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) **R3年度 P.25**	**＜今後の研究計画＞** ★AUV隊列制御アルゴリズムの統括制御システムの検討 ★制御システムの実海域実証実験 ★高度推定フィルターのAUVシミュレータによる検証・高度化 ★AUV-ASV連結システムの運用高度化 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　110%
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	
自己評点	A	【 平均　2.9「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　2.9「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）							

研究成果の今後の発展

重点☆9

・商業化を目指した海底熱水鉱床開発システムの安全性評価技術、計画支援技術の提供 ← ナショプロを通じた国が実施する総合的な検証・評価への活用、資源会社等による活用

◇海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験事業に民間企業とともに参加し、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に貢献した。本試験事業の成果が評価され、エンジニアリング奨励特別賞、日本船舶海洋工学会論文賞を受賞した。

◇また、当初計画していなかった「海底熱水鉱床開発システムの稼働性評価技術の開発」を最終目標にした研究を追加するとともに、係留安全性評価技術の対象をGPS波浪計の新係留システムにも拡張した。

◇研究成果は、ナショプロやISOの改定作業に活用されるなど、ナショプロや業界への技術支援に貢献した。

重点☆10

・AUV-AUV通信技術を使ったAUV群制御技術開発を実施、効果的な海底地層探査への技術開発

・AUVを使った無人・自動海洋構造物点検作業への展開・実証

・本中長期において多数の受賞を得たため目標以上成果達成と判断する。また、成果目標において社会実装が強く要求されているSIP2事業を問題なく遂行する予定としている。

・AUV-ASV連結システムのような新たなアイディアを実証し、製品化させるまで到達している。本システムをより高度化させる。

中間評価　見込評価

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	最終目標への見込
（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**） 生産管理システムの開発 → 次世代造船設計システムの構築 ●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 **H29年度 P.7** 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 **H29年度 P.7**	●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 **H30年度 P.11** ●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 **H30年度 P.11**	●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 **R1年度 P.29**	●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 **R2年度 P.12**	●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 **R3年度 P.31**	**＜今後の研究計画＞** ★設計－製造のデータ連携のためのデータ標準化を検証 ★建造シミュレーション等のためのPLMシステムの開発 ★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 ★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 **＜達成度＞** ●現状の達成度　85% ●最終達成度の見込み　100%
		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動運航に係る支援技術に関する研究（**重点研究☆12**） 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 **H28年度 P.10**	●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 **H29年度 P.8**	●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 **H30年度 P.12**	●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 **R1年度 P.30**	●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 **R2年度 P.13**	●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 **R3年度 P.32**	**＜今後の研究計画＞** ★自動避航操船システムの開発と試行を実施 ★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 ★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 ★無人運航船の安全性評価手法の開発 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　110%
		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	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**） 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 ●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	●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 ●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	●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 **H30年度 P.14** ●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 **H30年度 P.13,14**	●INFINITモデルを用いた輸送シミュレーションを試作 ●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 **R1年度 P.31**	●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 ●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 **R3年度 P.33** 平時及び災害時における複合一貫輸送評価手法の構築 ●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 **R2年度 P.14**	●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 ●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 **R3年度 P.33**	**＜今後の研究計画＞** ★GHG削減技術の将来輸送ネットワークへの影響評価 ★機械学習による海運市況予測の精度向上 ★利害関係者ワークショップの実施 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　100% **＜今後の研究計画＞** ★他の自治体への展開に向けて活動を実施 ★国・地方公共団体・指定公共機関における情報共有に寄与、国土強靭化対策に貢献 **＜達成度＞** ●現状の達成度　90% ●最終達成度の見込み　110%
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	
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　2.8「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）						

研究成果の今後の発展

重点☆11

●小項目4：異種材接合が可能な構造接着は、新材料利用技術の一つである。当該研究分野の学術的な今後の展開としては、競争資金により、接着部の破壊靭性やき裂進展特性の定量化に関する研究を実施し、接着部の信頼性向上を図る。社会実装としては、民間請負研究により、適用部位毎の個別課題を解決し、構造接着の実機への適用拡大を支援する。

●小項目8：本研究で提案するデータ構造に基づいて、国内造船所におけるPLM整備を展開する。また、データ連携を実装に伴い、モデルベース設計、設計自動化等、研究開発のすそ野を広げていく。

●小項目9：今後，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（当面は内業工程を優先）．社会実装としては，設計，計画立案を本シミュレータベースで実施することや，現場の進捗管理や作業指示に本シミュレータとその他デバイスを組み合わせて実装できると考える（R4年度はこの足がかりとなる部分を一部検討する）

重点☆12

一部の自動化システムの実船導入

自動運航船の安全性評価に関するIMOガイドラインの日本提案への反映

自動運航船のNKの認証ガイドラインへの反映（FTSS/SHSを用いた安全性評価）

FTSS/SHSによる無人/自動運航船の開発環境の提供

●実船での実証実験の実施など社会実装に向けた検討が当初の予定より大きく進んでいるため、達成見込みを110%とした。

重点☆13

開発したシミュレータやシステムについて、使いやすいモノにすべく、ユーザーインターフェースを強化する。

国土強靭化対策に貢献できるように、国・地方公共団体・指定公共機関における情報共有、また他のシステムとの連携を進める。

広域災害においても高速に計算できるよう量子コンピューティングの活用の検討を進める。

利害関係者等を含めたワークショップシステムとして活用し、コンサルティングツールとして広く展開することを目指す。

※最終達成度の見込みを100%を上回る数字にした理由

研究開発に概ね目処がつき、社会実装に向けた外部とのやり取りを中心に実施するため

令和3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.12
	☆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.21
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.30
	☆5	実海域実船性能評価に関する研究	辻本勝	H28 −R4	p.38
	☆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.53
	☆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.60
	☆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.66
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.74
	☆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	H28 −R4	p.85
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.93
	☆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.102
	☆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.110

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	R3 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、デジタルツインへのDLSA-Basic の機能の活用・実装を引き続き行うとともに、クラウド化した荷重計算機能の運用・外部利用の検討を行う。また、DLSA-AT のモジュールとしての CFD と構造 FEM 解析機能等の高精度化を図るほか、船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成を行い、さらに、DLSA 連携 HMS プログラム（DLSA/HMS）を組み込んだ船体構造デジタルツインシステム(i-SAS) を実海域試験等で検証する。 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
・リスクベース新構造基準案の作成
・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。

R3 年度研究目標

□小項目 1 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
・実装及びクラウド化及び強度評価機能の向上【1-①：DLSA-Basic】
・DLSA-Professional の GUI 改良及び検証【1-①：DLSA-Pro.】
・非線形、極値応答評価のための DLSA-AT 計算環境の構築【1-②：DLSA-AT】
・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検証・構築【1-②：DLSA-AT】
・リスク評価・ALS 評価手法並びに事故解析手法の高度化【1-⑤：DLSA-AT】
・重畳波を含む二軸荷重下の疲労強度評価法の開発【1-③：最先端の要素技術の確立】
・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【1-④：最先端の要素技術の確立】
・極限海象下での非線形流体－構造応答の実験技術の確立【1-⑥：最先端の要素技術の確立】

□小項目 9
・船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成
・AI 等による船体健全性予測システムの構築
・船体構造デジタルツインシステムの構築と実船検証
・波浪データと AIS データを利用した確率論に基づく設計荷重設定手法の構築

・R3 年度研究内容

□小項目 1 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
・線形ストリップ法 NMRIW-Lite 及び 3 次元線形 Green 関数法 NMRIW_3D_Lite の開発の完成【1-①：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【1-①：DLSA-Basic】
・極限波自動設定プログラムによる機能追加【1-①：DLSA-Pro.】
・GUI の改良及び複合荷重下における最終強度推定手法の高度化【1-①：DLSA-Pro.】
・CFD-FEA 計算を行うインターフェースを構築【1-②：DLSA-AT】
・実験結果との比較によるスロッシング荷重及び構造応答評価に対する粒子法コードの検証【1-②：DLSA-AT】
・極限海象に対する流体構造連成を考慮した実海域船体応答予測手法の開発【1-⑤：DLSA-AT】
・二軸重畳載荷条件下における疲労き裂伝播試験の実施【1-③：最先端の要素技術の確立】
・中央断面が傾斜し、且つ破孔を有する箱桁構造模型の設計・製作及び 4 点曲げ繰返し曲げ崩壊実験の実施【1-④：最先端の要素技術の確立】
・GFRP 材料を用いた全船／局部弾性模型の設計・製作及び船体のたわみ量計測及びたわみ量からの応力推定手法の開発【1-⑥：最先端の要素技術の確立】

□小項目 9 船体構造デジタルツインの開発

1. 船体構造デジタルツインの標準化
2. AI 等を利用した設計・運航・保守支援手法の構築
3. 船体構造デジタルツインシステムの構築
4. データ活用型の船体強度評価手法の開発

R3 年度研究成果

□小項目 1 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

【1－①：DLSA-Basic 及び Pro.】

・船技協・船体構造 DT のプロトタイプに利用された
・全船有限要素モデルを対象にした腐食予備厚付加及び削減機能を追加した。
・線形ストリップ法および 3 次元 Green 関数法のクラウド利用 Web アプリケーション版 NMRIW-Lite Web を開発し、販売開始した(図 1-①-1)。
・DLSA-Basic の POST 機能に非線形統計予測機能を追加することで降伏強度評価を合理化（図 1-①-2）、応力の多軸度評価および全船モデルへのマッピング機能を追加（図 1-①-3）、船級規則に準拠したホットスポット応力ベースの疲労強度評価機能を追加した（図 1-①-4・図 1-①-5）。
・DLSA-Pro.の最大耐荷力評価用の極限海象波の設定機能及び非線形構造解析用 FE モデル自動作成機能を追加した。
・「海技研 DLSA セミナー2022」（2022/1/25）をオンラインにて開催し、新機能を含む DLSA の最新情報を紹介した。当日は造船所、海運会社、国内外船級協会、大学等より 57 名の参加があった。

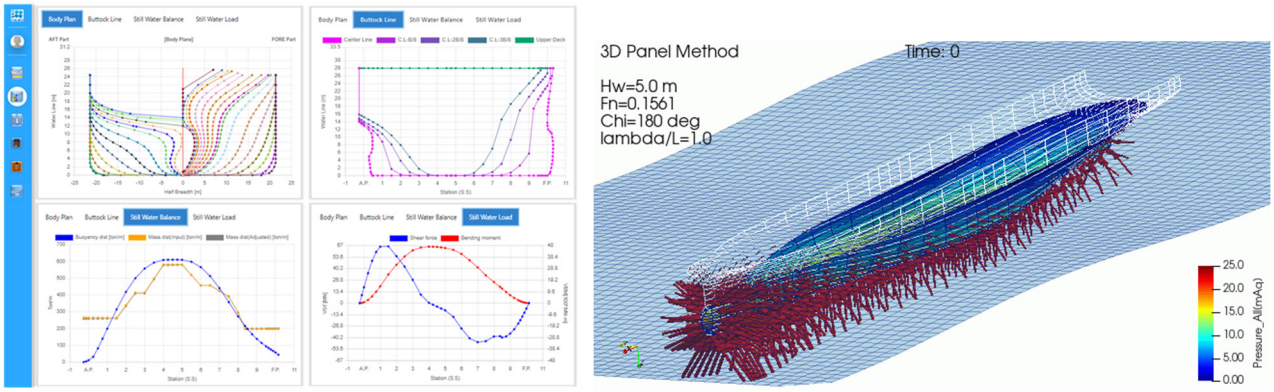


図 1-①-1 NMRIW-Lite Web の web ブラウザ上の操作画面（左）および結果アニメーション(右)

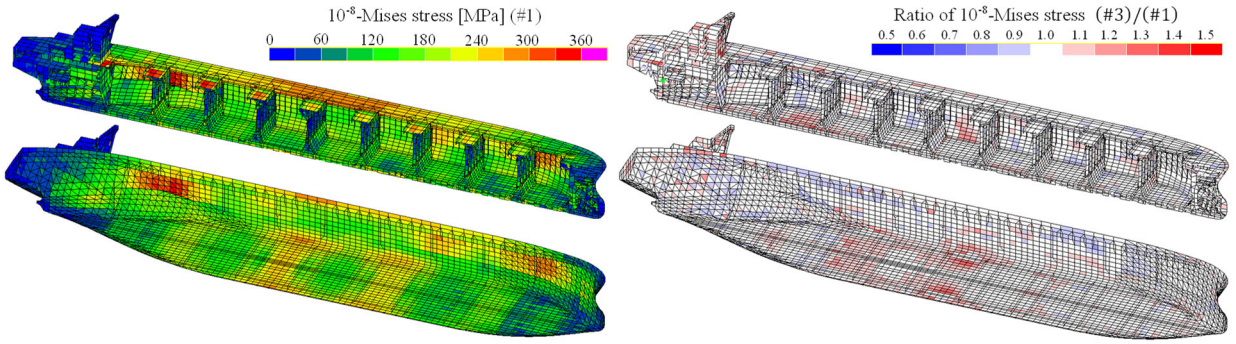


図 1-①-2 DLSA-Basic の新機能による Mises 応力の最大期待値（左）と従来法による結果との比（右）のマッピング

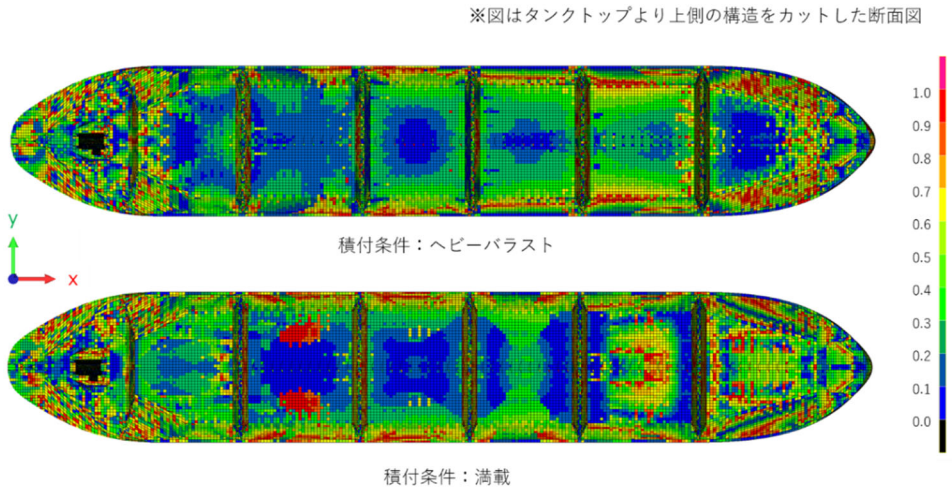


図 1−①−3　x 方向および y 方向応力の振幅比をとった応力の 2 軸指標の全船マッピング結果

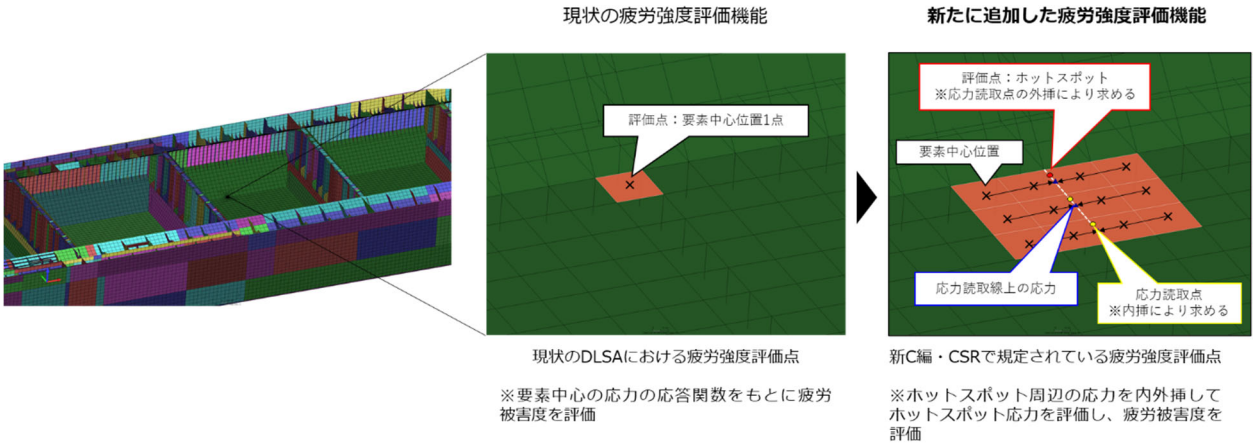


図 1−①−4　DLSA−Basic における疲労強度評価機能の新旧比較

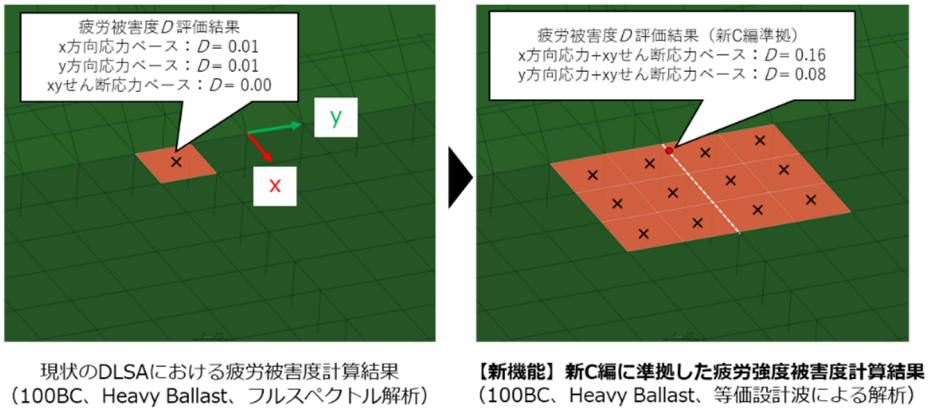


図 1−①−5　DLSA−Basic における疲労被害度の計算例

【1－②⑤：DLSA−AT】
・矩形タンク内のスロッシング荷重の極値評価法と、タンク内構造の弾性応答の簡易評価法を開発した（図 1−②−1）。手法検証用の模型を製作した。
・CFD－FEA 連成解析を用いて船体の衝撃による弾性応答のみならず、共振現象（スプリンギング応答）の評価が可能なことを明らかにした（図 1−②−2）。
・タンク内スロッシング荷重を考慮した LNG 船模型実験を考察した。
・パネル法と粒子法を連成させる両方向連成 Hybrid 解析プログラムを開発した（図 1−②−3）。模型実験に関す Hybrid 連成数値モデルを作成した。非線形影響を検討するため、線形パネル法数値モデルも構築した。

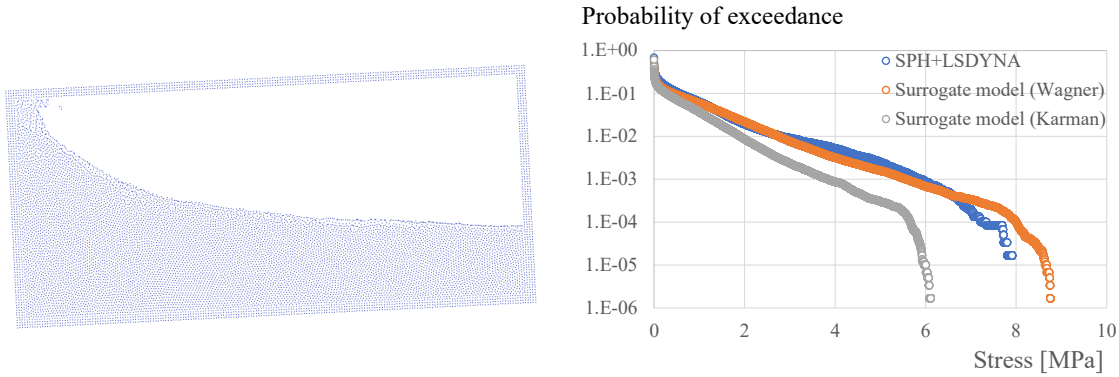


図 1-②-1 SPH モデル（左）と SPH+LSDYNA と簡易評価法による斜板応力の極値評価結果の比較（右）

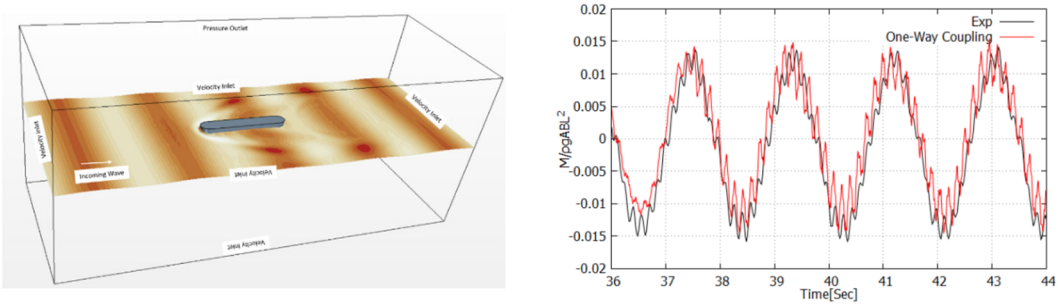


図 1-②-2 船体 CFD モデル（左）と CFD-FEA 連成計算によるスプリンギング評価例（右）

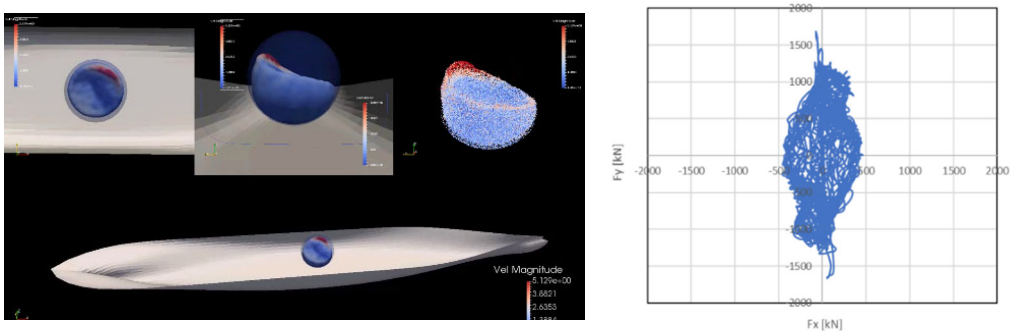


図 1-②-3 パネル法と粒子法を連成モデル（左）と連成計算によるスワリング評価例（右）

【1-③：最先端の要素技術】

・二軸載荷条件下の重畳波の応力振幅影響が表れる条件の明確化を目的とし、疲労亀裂伝播試験を行った。その結果、最大応力と最小応力を包絡波として実施した条件下において、単軸載荷条件下（従来知見）とは異なる傾向を示す条件（図 1-③-1）が確認された。

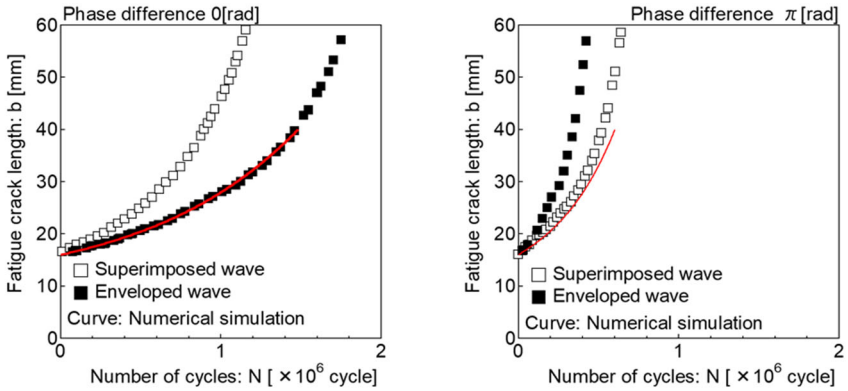
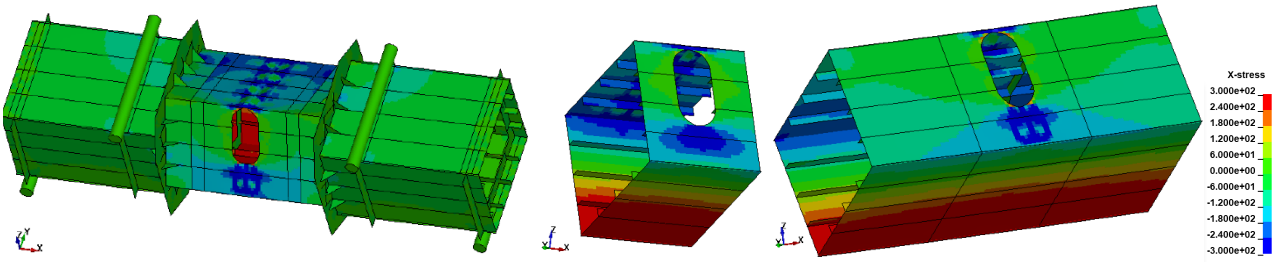


図 1-③-1 重畳波条件と包絡波条件の試験結果及び推定結果（左右では位相差のみ異なる条件）

※赤線：従来の知見基づくシミュレーション

【1－④：最先端の要素技術】
・中央断面を 30deg 傾斜した開口を設けた箱桁構造試験体の設計・製作および実験を実施した（図1−④−1）。
・縦曲げ最終強度に至るまでの崩壊挙動および中立軸の変化を実験的に解明した。また、実験状態を再現した LS-DYNA による有限要素解析(FEA)により中立軸位置の変化も含めた崩壊挙動を精度良く得られた。また、座屈変形や開口部近傍の局所変形を考慮するために 3span モデルが必要であることが分かった（図 1-④-2）。

図1−④−1　傾斜した開口有り箱桁構造模型及びその崩壊の様子



実験モデル　　1span mode　　3span model

図 1−④−2　モデルよるの FEA 結果（x 軸応力分布）の比較

【1－⑥：最先端の要素技術】
・モーションキャプチャーを用いた GFRP サンドイッチパネル製弾性模型船の陸上での縦曲げ試験を実施し、計測された模型船たわみと梁理論が良い一致を示すことを確認した（図 1−⑥−1）。（東大協業）
・GFRP サンドイッチパネル製弾性模型船を用いた波浪中曳航試験を実施し、規則波中試験結果を用いて、各応答について DLSA により得られる応答関数の精度検証を実施した（図 1−⑥−2）。
・2 方向の短波頂不規則波中曳航試験を実施し、波浪スペクトル推定手法を用いて、方向波スペクトルの推定が可能であることを示した（図 1−⑥−3）。

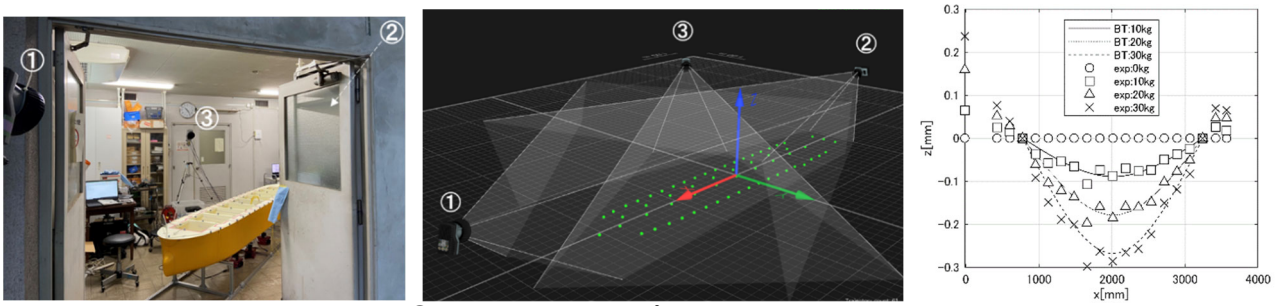
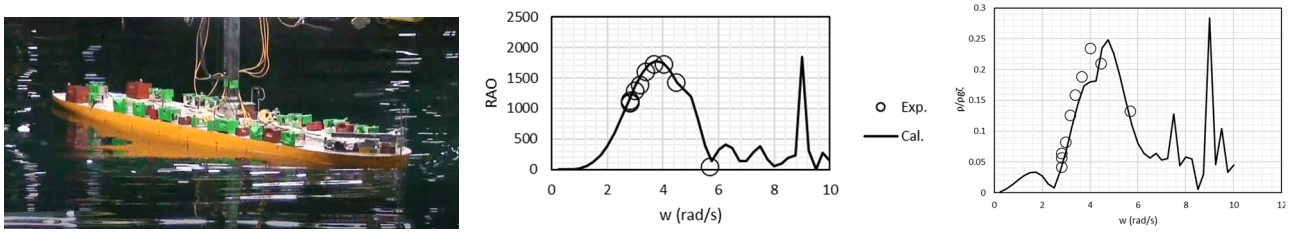
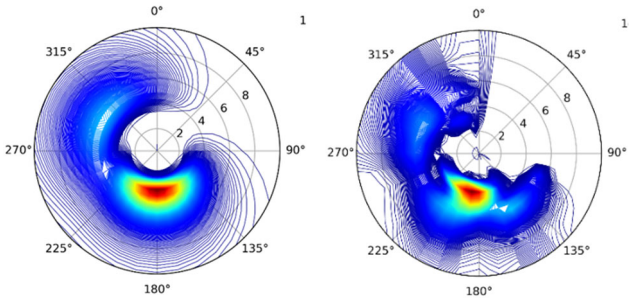


図 1−⑥−1　モーションキャプチャーによるたわみ計測



弾性模型船を用いた波浪中曳航試験　　縦曲げモーメントの応答関数　　船底の水圧の応答関数

図 1−⑥−2　実験値と DLSA(パネル法、FEA)の応答関数の比較



設定した方向波スペクトル　　逆推定した方向波スペクトル

図 1-⑥-3　2 方向短波頂不規則波中試験結果を用いた波浪スペクトル推定手法の検証

□小項目 9　船体構造デジタルツインの開発

・コンテナ船モニタリングの共同研究の一環で、船体構造デジタルツインの認証用ガイドラインのベースとなる「船体構造モニタリングシステムに関するガイドライン」を作成。2021 年 7 月に日本海事協会より発行された。
・ハルモニタリングシステム(NMRI/HMS)を利用した船体疲労健全性予測システムについて、コンテナ船モニタリングのデータで検証した結果をシステムにフィードバックしてブラッシュアップした。
・舶用品の欠陥認識にあたって，画像認識 AI だけでは不十分な問題に対して，知識処理 AI を活用して，設計知識を踏まえた対応を可能にするための課題を整理した．（共同研究と連携）
・ハルモニタリングシステム(NMRI/HMS)を複数ユーザが遠隔操作可能なデジタルツインクラウドシステムを構築して実海域試験で検証した。(図 9-2)
・NMRI/HMS 及び波浪逆推定手法などのデータ同化技術を組み込んだ船体構造デジタルツイン統合システム(i-SAS)を、大学等との共同研究をプラットフォームとして構築し、水槽試験、実海域試験で検証した(図 9-3)。実船体全域の応力応答をリアルタイムで取得可能であること、及び、波浪逆推定により実海域の波浪スペクトル・波浪荷重を良好な精度で推定できることを確認した。
・全球海域の AIS データと波浪推算データを用いて、実運航の船舶の遭遇海象を調べた。遭遇海象を設計規則の想定する海象と比較することで、設計荷重の部分安全率における遭遇海象の影響度を示した。(図 9-4)
・AIS データと波浪推算データを用いて、大荷重の発生する可能性の高い海域を特定した。データ解析の結果、コンテナ船及びタンカーは北大西洋が多く，バルクキャリアは相対的にみて北太平洋が多いことなど、船種と海域・航路、あるいは船サイズと波浪荷重の関係を調べ、設計用の波浪荷重の設定に資する情報を提供した．(図 9-5)

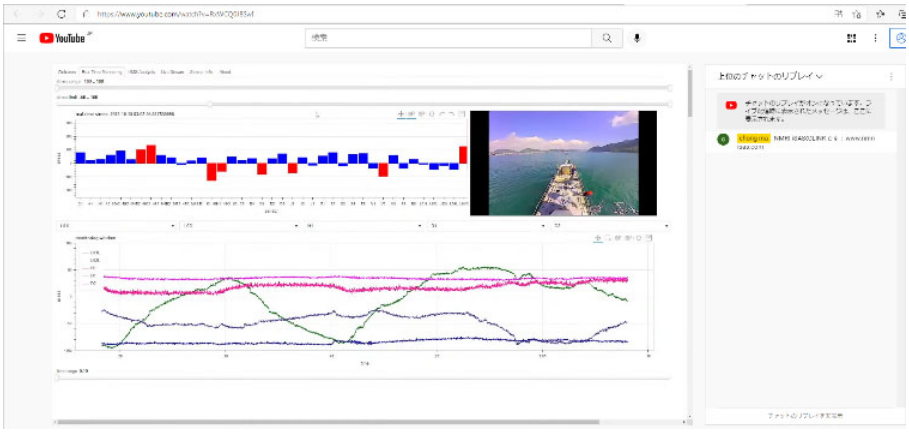


図 9-2　デジタルツインクラウドシステム(Web アプリ)

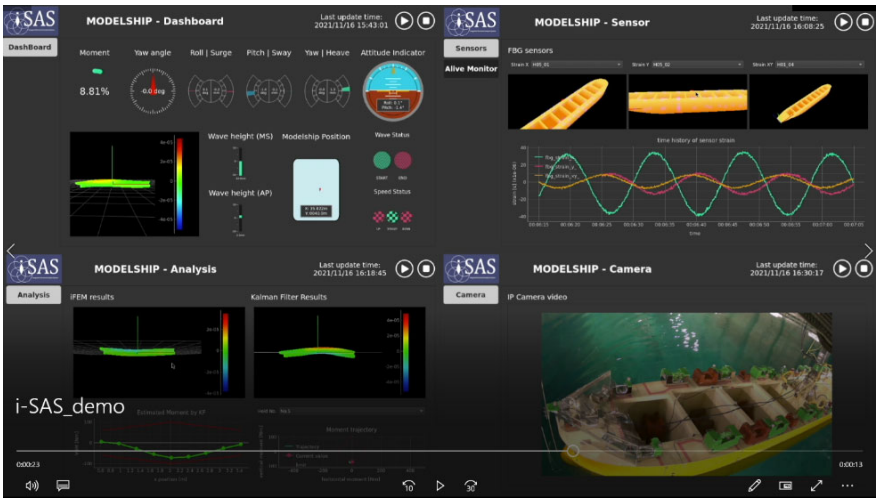


図 9-3　統合型デジタルツインシステム(i-SAS)のプロトタイプ

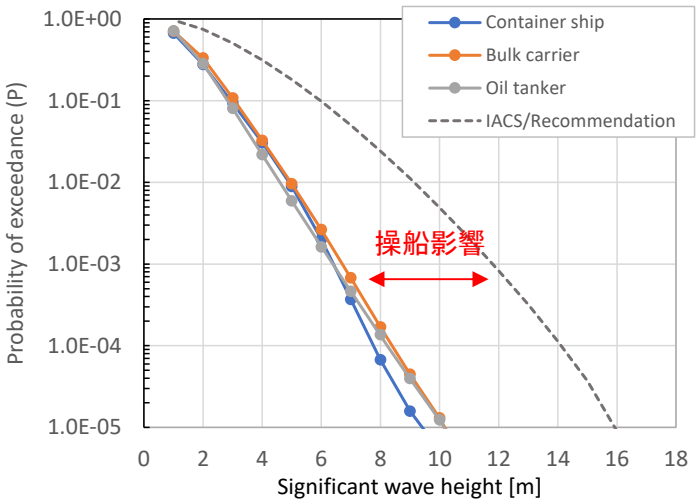


図 9-4　設計規則の想定海象と船舶の遭遇海象の比較（有義波高）

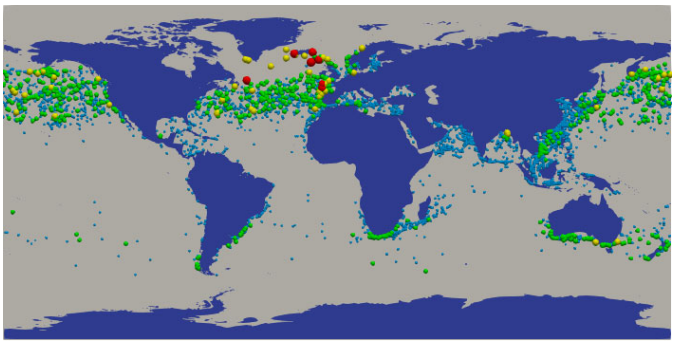


図 9-5　データ活用による最大荷重の発生海域（コンテナ船、4,892 隻；赤が規則荷重を超過した船）

R3 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：5 件、採択済：5 件、掲載済：7 件）

・松井貞興，篠本恭平，杉本圭：波浪中船体運動に係る流体力の簡易推定式の開発　―その1：復原力係数―，海上技術安全研究所報告 Vol. 21-3 (2022) (掲載済)

・松井貞興，篠本恭平，杉本圭：波浪中船体運動に係る流体力の簡易推定式の開発　―その2：Heave と pitch の付加質量，造波減衰力係数および scattering 流体力―，海上技術安全研究所報告 Vol. 21-3 (2022) (掲載済)

・松井貞興，篠本恭平，杉本圭：波浪中船体運動に係る流体力の簡易推定式の開発　―その3：Roll の付加慣性

モーメント―, 海上技術安全研究所報告 Vol. 21-3 (2022) (掲載済)
・松井貞興, 篠本恭平, 杉本圭：船体運動の応答関数における支配パラメータの抽出と簡易推定式の提案, 日本船舶海洋工学会論文集第 34 号 (2022) (採択済)
・松井貞興, 篠本恭平, 杉本圭：船体構造設計のための波浪中応答長期予測値の簡易算式に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集第 35 号 (2022) (採択済)
・Sadaoki Matsui: Practical Estimation Method for Extreme Value Distribution of von Mises Stress in Ship Structure, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
・Takami, T, Ma, C: Surrogate Model Approach for Stochastic Prediction of Sloshing Loads Based on SPH and FORM, Ships and Offshore Structures (採択済)
・Takami, T., Ma, C: Extreme Tank Force Prediction by FORM Using Time Domain Numerical Simulation Based on SPH, Proc. of ISOPE2021.(掲載済)
・Pal, SK, Iijima, K, Tatsumi, A, Fujikubo, M, Takami, T: Experimental and Numerical Investigation of High Frequency Vibrations in Segmented Ship Model Using One-Way Coupling of CFD and FEM, MARSTRUCT2021. .(掲載済)
・安藤孝弘、津村秀一、穴井陽祐、森下瑞生、丹羽敏男、後藤浩二：大型油圧アクチュエータを用いた 2 軸重畳波繰返し加振システムの開発、実験力学 22 巻 1 号、2022.3 (採択済)
・安藤孝弘, 小森山祐輔, 橋爪豊, 田中義照：繰り返し載荷による防撓パネル座屈変形の変化について, 海上技術安全研究所報告, 2022. (採択済)
・Yamada、Y. and Ma, C., 2022, “APPROACH TO SIMULATE FLUID-STRUCTURE INTERACTION OF A SHIP IN 3-DIMENSIONAL NUMERICAL TOWING TANK”, OMAE-2022(投稿中)
・小森山祐輔：水圧計測による波浪中船体構造応答の推定手法－第 1 報 縦曲げモーメントの推定－, 日本船舶海洋工学会論文集, 2022. (投稿中)
・Yusuke Komoriyama, Kazuhiro Iijima, Masahiko Fujikubo: A Kalman filtering technique for prediction of wave time histories around ship based on response measurements ant its experimental validation, OMAE2022, 2022. (投稿中)
・Tomoki Takami, Ulrik Dam Nielsen, Chen Xi, Jørgen Juncher Jensen, and Masayoshi Oka: Reconstruction of Incident Wave Profiles Based on Short-Time Ship Response Measurements, Applied Ocean Research(投稿中)
・Kubo, H., Okada, T., Chen, X., Kawamura, Y. Mitsuyuki, T: Bayesian updating of sea state parameters based on measured hull stresses given on-board at regular intervals, 34th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2020/21), pp.478-487, 2021. .(掲載済)
・久保宏美, 岡田哲男, 陳曦, 川村恭己, 満行泰河, 船体応答に基づく推定波浪情報の時刻歴ベイズ更新に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, pp.1-9, 2021. .(掲載済)

□その他発表論文：19 件（投稿中：10 件、掲載済：9 件）
・松井貞興：船体構造に生じる非線形応力の極値統計予測 －第 1 報：平均ゼロの 2 応力成分から成る Von-Mises 応力および合力応力－, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 33 号, pp.275-286 (2021) (掲載済)
・松井貞興：船体構造に生じる非線形応力の極値統計予測 －第 2 報：平均が非ゼロの 3 応力成分から成る Von-Mises 応力－, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 34 号(2022) (投稿中)
・松井貞興：設計規則波を用いた船体の降伏強度評価に関する一考察, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 34 号(2022) (投稿中)
・大橋、高見: 船体に働く波浪荷重と流体構造連成解析について、計算工学講演会論文集(Vol. 26)(掲載済)
・小森山祐輔, 田中義照：面内圧縮荷重を受ける矩形パネルの動的座屈崩壊挙動に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 21 巻, 第 1 号（令和 3 年度）総合報告, pp.15-31, 2021. .(掲載済)
・小森山祐輔, 田中義照, 安藤孝弘, 橋爪豊, 辰巳晃, 藤久保昌彦：傾斜した損傷船体構造の崩壊挙動－傾斜した開口有りボックスガーダーを用いた実験および有限要素解析による検討－, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 34 号, 2022. (投稿中)
・小森山祐輔, 馬冲, 岡正義：船体構造デジタルツインに必要な数値シミュレーション手法検証のための水槽試験技術の開発, 海上技術安全研究所報告, 21, pp.31-36, 2021. .(掲載済)
・小森山祐輔, 宝谷英貴, 沢田博史, 岡正義：FBG ひずみセンサを用いた波浪中船体構造応答の計測, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 33, pp.99-102, 2021. .(掲載済)
・宝谷英貴, 三上航平, 小森山祐輔, 陳曦ら：バルクキャリア弾性模型を用いた水槽試験による船体構造デジタルツインのデータ同化手法の検証, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 34 号, 2022. (投稿中)
・岡正義、馬冲： AIS データに基づく波浪荷重予測（全球での波浪縦曲げモーメントの最大値と発生海域）、日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 33 号, 2021. .(掲載済)
・岡正義： 船体構造デジタルツイン構築のためのデータ同化技術、日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 34 号, 2022. (投稿中)
・岡正義：船体構造デジタルツイン統合システムの開発、日本船舶技術研究協会「海事産業の DX に向けて」ウェビナー2022.3.(投稿中)
・高見朋希, 陳曦, 岡正義：短時間船体応答計測に基づく時間領域波浪推定, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 33 号, pp449-453, 2021. .(掲載済)

・高見朋希，陳曦，小森山祐輔：多方向不規則波中の船体応答計測に基づく波浪及び非計測応答の時間領域推定，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・久保宏美，岡田哲男，陳曦，川村恭己，満行泰河：船体応答に基づく推定波浪情報の時刻歴ベイズ更新に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，pp.293-301，2021.（掲載済）
・平川真一，吉田智美，岡田哲男，辰巳晃，内田響，陳曦ら：ケープサイズばら積み貨物船の静水中・波浪中応答評価，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・内田響，陳曦，岡田哲男，川村恭己，満行泰河，吉田智美：ケープサイズバルクキャリアの実船応力計測に基づく遭遇波浪推定に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・虎谷大地，馬沖，吉田隼基，大西弘益，河邉拓樹，稗方和夫：国際海運における二酸化炭素削減方策検討のためのインタラクティブシミュレーション，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，2021.（掲載済）
・三上航平，小林真輝人，宮下知也，小森山祐輔，馬沖，辰巳晃，藤公博，見良津黎，平川真一，満行泰河，村山英晶：デジタルツインシステムプラットフォーム i-SAS の開発と水槽試験におけるシステム検証，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）

□特許申請：0 件
・
・

□コアプログラム登録： 4 件
・NMRIW-Lite Web（波浪中船体応答計算クラウドアプリケーション）：松井貞興
・有限要素モデルを対象にした腐食予備厚付加及び削減プログラム：村上睦尚
・船体-タンク連成解析プログラム：岡正義他
・デジタルツインクラウドシステム：馬沖他（申請中）

□国際貢献： 2 件
・ISSC Loads Committee ： 岡正義
・ISSC Dynamic Response Committee ： 山田安平

□受賞： 0 件
・

□公開実験：1 件
・「船体構造デジタルツインシステムの水槽試験による機能検証」 2021.11
・

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
・荷重構造一貫解析システムの社会実装により、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。
・近年に発生している船損事故やコンテナの荷崩れ事故などへの早急かつ精度よい評価が可能であり、将来への安全・安心の確保に貢献するものである。
・本重点研究で開発した統合型デジタルツインシステムは、船体の応力状態をリアルタイム取得及び履歴を取得することによって、安全運航や合理的メンテナンス等の支援を可能にするもので、海事従事者の負担軽減が図られるとともに、将来的な遠隔操船や自動運航船の実現に寄与する。
・AIS データの活用による操船影響を考慮した波浪荷重推定手法が新設計規則の策定に活用され、合理的な設計基準を創出した。実績に基づくデータドリブンな基準策定手法を確立したことによって、より安全でかつ軽量な経済合理性のある船舶の実現に繋がる。

□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。
・スロッシング応答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、より効率的な評価法が示されたため、科学的意義が十分に大きい。
・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スロッシング→船体運動 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を構築した。船体全域の応力状態を船上でリアルタイムで可視化することで安全操船を支援する機能、及び波浪逆推定によって短期の応答スペクトルを取得することで針路や船速等の運航判断を支援する機能が、実用上十分な計算速度と精度を有することを、水槽試験及び実船試験で検証した。
・AIS 及び波浪のビッグデータを解析して、就航する全ての船舶の遭遇海象や波浪荷重の分布を取得した。波浪荷重の分布に基づいて、個船の健全性評価や新船の強度設計を確率的な手法で行う事を可能にした。

□成果が期待された時期に創出されているか
・近年に発生している船損事故やコンテナの荷崩れ事故などに対して、早急かつ精度よい評価が求めれており、そのために必要な成果及び技術開発を創出することができた。
・海事産業のデジタル変革に対応して、歪センサと数値シミュレーションによるデジタルツイン技術を利用した運航システムの構築や海上ビッグデータの活用によるデータドリブンな設計手法を整備した。

□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
・国際的にも全体と局所のひずみ応答の比を実船相似にした弾性模型船は新規性が高く、また 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た研究も新規性は高い。このように、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できた点で国際競争力の向上につながるものである。
・近年、ハルモニタリングシステムを搭載した船がその割合を増やしているが、計測点数の少なさや、センサで計測したデータの信頼性において、ユーザが満足するほどの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。GHG 削減の社会要求によって予想される新形式船や洋上浮体には、ハルモニタリングシステムが標準的に搭載されることが予想され、市場拡大に伴って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先駆けて開発したことは、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	A

コメント
・

研究計画委員会による評価	
年度評価 （令和 3 年度）	A
見込評価	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	R3 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、デジタルツインへの DLSA-Basic の機能の活用・実装を引き続き行うとともに、クラウド化した荷重計算機能の運用・外部利用の検討を行う。また、DLSA-AT のモジュールとしての CFD と構造 FEM 解析機能等の高精度化を図るほか、船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成を行い、さらに、DLSA 連携 HMS プログラム(DLSA/HMS)を組み込んだ船体構造デジタルツインシステム(i-SAS)を実海域試験等で検証する。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、準輻輳海域を対象とした安全対策の立案支援手法と海域リスク評価技術を開発、荒天下操船運動評価プログラムの大波高不規則波中への計算拡張と検証、走錨危険度モニタリング手法の確立及び走錨リスク判定システムへの機能追加を行う。 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を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の十分意義がある。

□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。

R3 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における影響因子の抽出。リスク評価技術の高度化。

□小項目 3

・新しい海域を対象とした安全対策の立案支援手法と海域リスク評価技術を開発する。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を検討する。

□小項目 4

・無人運航船の安全評価ガイドラインに記載すべき事項を抽出する。自動運航船のリスクモデルを構築する。

・R3 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

□小項目 2

・液化水素運搬船のリスク評価手法の実験的検討・評価モデル構築

□小項目 3

・交通状況がやや複雑な海域における安全対策構築のための立案支援技術と海域リスク評価技術の開発

□小項目 4
・無人運航船に係るリスク評価技術の構築のための安全性評価の実施

R3 年度研究成果

□小項目 1
・商用の大型の液化水素運搬船を解析の対象として、既存の安全基準（義務要件や暫定勧告）を考慮しつつハザードの抽出を実施することで、液化水素のばら積み運搬の暫定勧告の見直しを要請する新規作業計画の IMO 提案文書における論点の整理に貢献した。

・機関室内における漏えいした燃料ガスの滞留に対する安全対策として換気による迅速な排除が重要となる。複雑な船内の構造を考慮した換気効率の空間分布を評価するため、室内建築物の空調衛生分野で用いられる東大生研の村上らが開発した SVE 指標のうち、空気齢に相当する SVE-3 の適用性の検討を行った。複雑な船体モデルを用いると、計算が不安定となり数値解を得ることが難しかったため、船型は考慮せず単純なビル状の建物内にエンジンと換気ダクトを有する空間を対象として、計算を行った。厳密な空気齢を計算する手法ではなく、初期値にパッシブスカラーとして汚染物質を空間全体に分布させて、換気流によって汚染物質が除去される過程に基づく簡便な手法を採用した結果、図 1-2 のように汚染物質濃度の空間分布を得ることができた。引き続き、船体形状や様々な船内機器を配置したうえで、漏えいガスを発生させて数値シミュレーションを行い、SVE 指標をもちいた滞留性状の評価への適用性を検討していく。

・昨年度請負研究として実施した、「自動車運搬船の火災事故に関する早期探知・延焼防止対策の検討（フェーズ2）に係る調査研究」の成果は、令和 3 年 6 月 10 日付の国土交通省海事局安全基準室通達（国海安 28 号）「大型自動車運搬船における火災事故発生時の被害低減に向けた改善措置について ～固定式泡消火装置の効果的使用に向けて～」として社会実装された。

・海技研が今期重点研究の期間中に策定に貢献した、2017 年に IMO で採択された液化水素のばら積み運搬の暫定勧告に基づいて建造された「すいそふろんてぃあ」（全長 116m）が、2022 年 2 月に世界初の日豪間長距離海上輸送の実証実験が実施された。

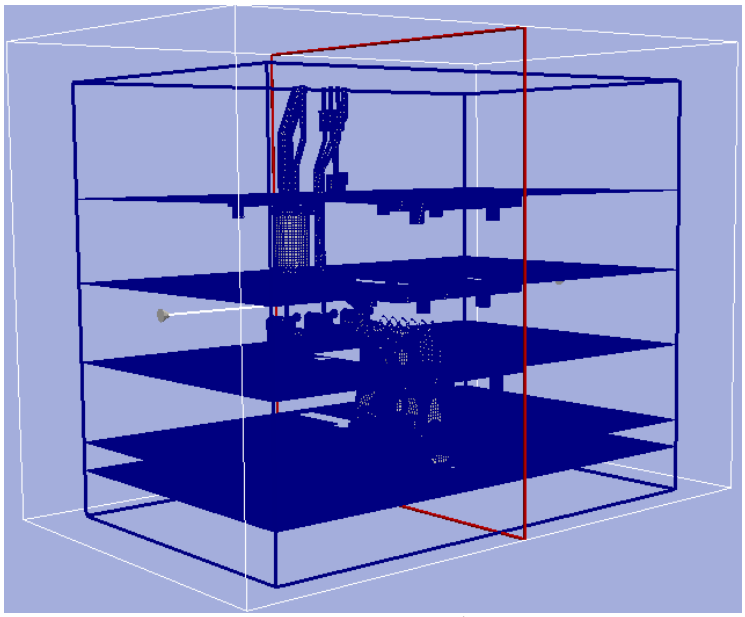


図 1-1 解析モデル

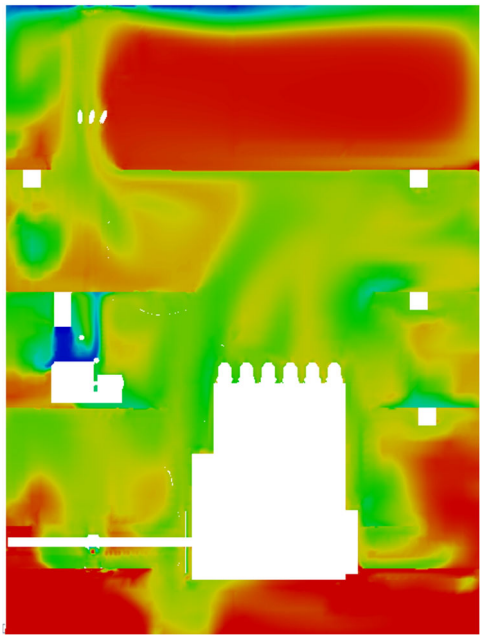


図 1-2 600 秒後の汚染物質の濃度分布
（図 1-1、赤色平面位置。赤：高濃度部、緑：中濃度部、青：低濃度部）

□小項目 2
・水素爆発（爆轟ばくごう）による鋼板破壊実験を実施し、鋼板変形メカニズム解明並びに数値解析法検証のための実験データを取得した。高速度カメラによる水素爆轟現象の撮影に成功した。

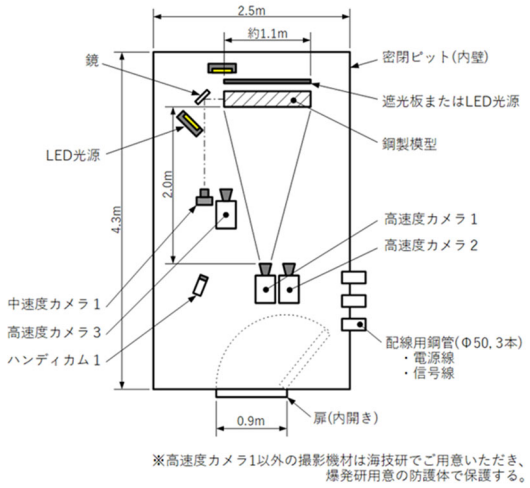


図 2-1　爆発ピット

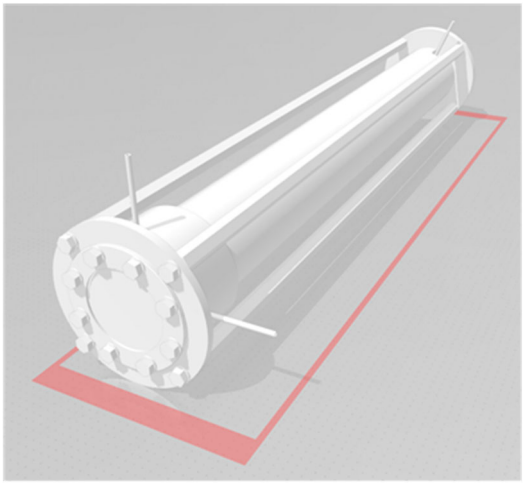


図 2-2　アクリル円筒管

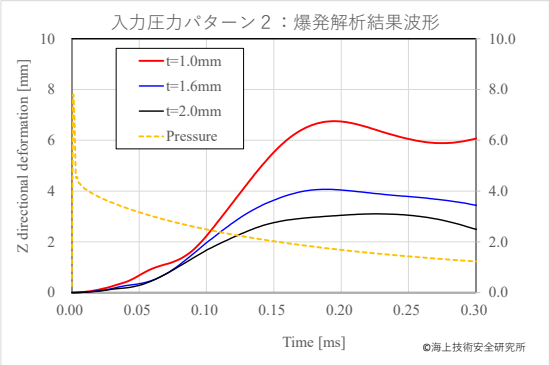


図 2-3　事前解析結果例

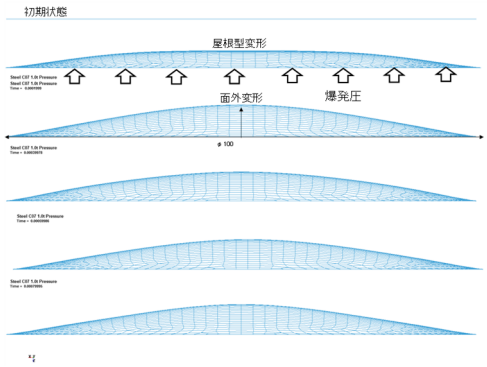


図 2-4　事前解析結果例(鋼板変形)

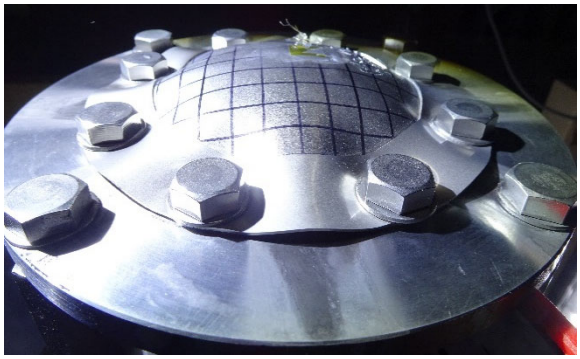


図 2-5 水素爆発(爆轟)による鋼板変形状況

口小項目 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。

・海上保安庁との共同研究の 2018-2019 年度の成果である潮岬沖の推薦航路について、保安庁による IMO NCSR9(2022 年 6 月開催)での審議に向けて、提案文書のフォローアップを実施した。

・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、海上保安庁から大王埼沖、御前埼沖が挙げられた。次の安全対策海域の候補海域を選定するため、御前埼、大王埼の基礎解析を実施した。御前埼、大王埼ともに交通密度が高く、商船、漁船問わず衝突が多く発生していることを示した(図 3-1)。

・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。

・OZT を定量的に表す OZT 閉塞度と、それを用いた衝突事故解析手法を開発した。事故解析に適用するためには、OZT 閉塞度は、対象 OZT は最小安全航過距離を包含する範囲、対象範囲は自船針路を中心に 5 度ずつにて評価することが望ましいことを示した。さらに事故調査報告書の内容と解析結果から、他船認知の妥当性評価、避航遅れの可能性評価への適用性を示した（図 3-2）。
・OZT を用いた決定論的海域の衝突リスク評価手法の開発を最終目的に、その基礎研究として、1 日当たりに実際に発生した危険な OZT 数と、その期待値最大個数の比で表される OZT 遭遇頻度を考案し、海域のリスク評価への適用性と課題を確認した（図 3-3）。

・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に関する研究について、以下を実施した。
・AIS データでは得られない AIS 非搭載の情報を得るため、レーダー情報の中から AIS を搭載していない船舶のみを分離するための AIS データとの照合技術を開発し、これを用いて AIS を搭載しない船舶の航跡データを取得した。その結果、東京湾内の 1 か月間で、AIS 搭載船の隻数とほぼ同等の AIS 非搭載船の航跡が得られた（図 3-4）。なお、レーダー情報は、東京海洋大学　先端ナビゲートシステムにて取得したデータを使用した。
・さらに得られた AIS 非搭載船の航跡データと AIS データを用いて衝突事故確率を推定し、既往研究と比較した結果、1980 年～1990 年代の推定結果より大幅に減少（何らかのミス等により衝突に至る可能性が低くなっている）しており、新たな航海計器等の発展が寄与していることが示唆された。

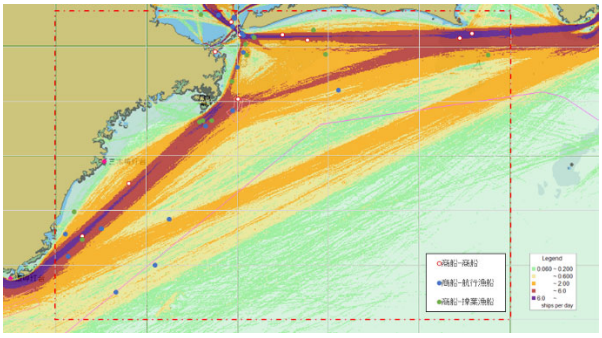


図 3-1　御前埼から大王埼の海域における通航密度分布と 2009 年から 2018 年での衝突発生位置

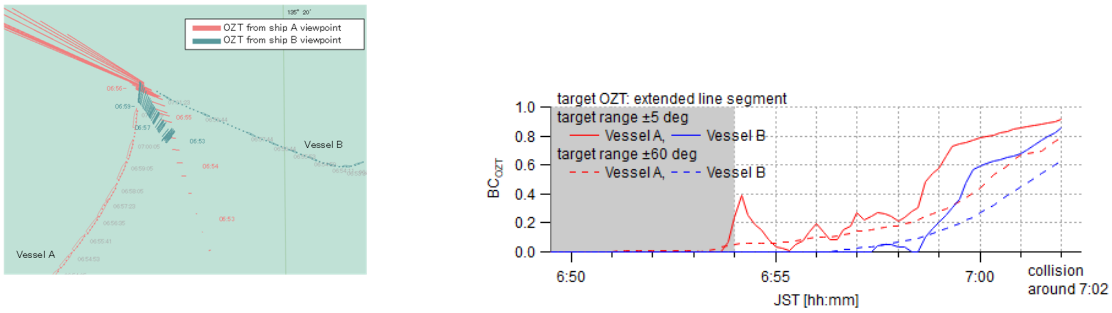


図 3-2　OZT 閉塞度を用いた衝突解析の事例（左：衝突までの航跡と OZT 発生位置、
右：左図の状況下での OZT 閉塞度）

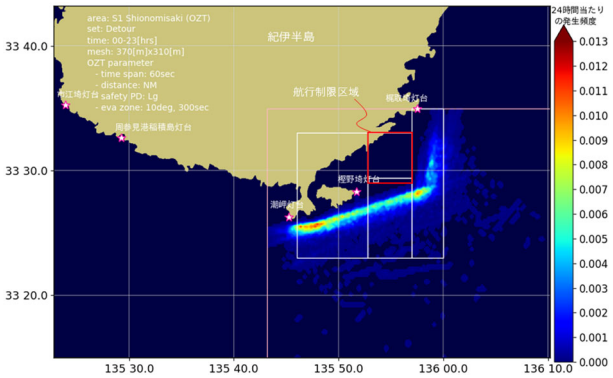


図 3-3　仮想の航行制限区域設定下での
OZT 遭遇頻度分布図の例

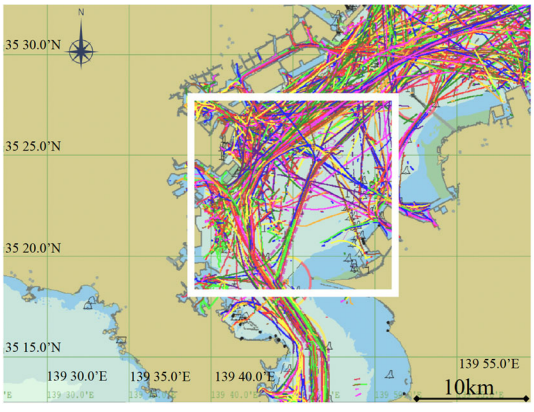


図 3-4　2015/3/4 のレーダー情報より抽出した
AIS 非搭載船舶の航跡の例

□小項目 4

・無人運航船の安全評価ガイドラインに記載すべき事項を抽出するために、以下を行った。

・自動運航船の安全評価ガイドラインにおいて、実証実験を行う様々な自動運航船システムの導入に関連するリスク評価方法を記載するため、自動運航船を構成するシステムのリスク解析用システムモデルの構築を行ってきた。まず、既存の各種機械システム向けのリスク評価手法、ソフトウエアのモデル化手法、システムズ・アプローチ等を用いた安全性解析手法等についての調査結果を行い、導入されるシステムの基本的な機能や相互作用を整理してリスク解析用システムモデルを構築した。

・自動運航を行うシステムを規定している運航設計領域等の条件を整理し、リスク解析を行うための枠組みを構築した。

・上述の自動運航船を構成するシステムのリスク解析用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、ハザード抽出を行った上で、これらのハザードにより波及する効果の影響等を抽出した。

・自動運航船の機能に関連して抽出した上述の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。

・以上の結果は、「自動運航船のリスク解析手順書」として日本船舶技術協会のウェブサイトで公開されるとともに、国土交通省海事局による「自動運航船に関する安全ガイドライン」(2022.2)から、具体的な実施方法についての参考文献例として参照されるに至った。

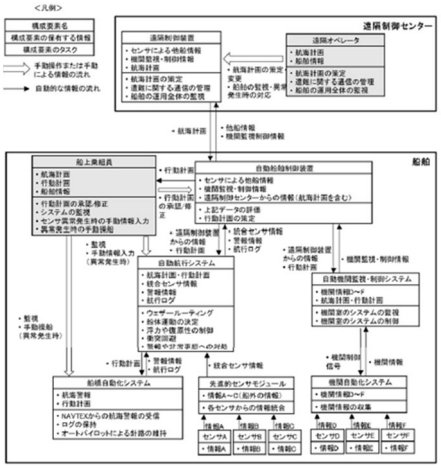


図 A1.1　仮想的な自動運航船に対するモデル化の例

図 4.1 システムモデルの例

表 A2.1 考慮すべきハザードの例

分類	ハザード
外部環境	悪天候
	視界不良
	輻輳海域
	想定外の他船の挙動
自動化システム及び関連装置の不良	情報収集装置からの信号喪失
	情報収集装置からの情報の信頼性や安定性の低下
	自動化システム内の関連装置の故障
	自動化システムのソフトウエアのバグ
	個船へのパラメータ等の調整が不適切（自動化システムへ本船の運動性能が正しく反映されていない等）
	自動化システムは関連装置の電源喪失
	ヒューマンマシンインターフェースが不適切（警報発令の理由がわかりにくい、自動化システムから人間へ移行する際の時間的余裕が足りない等）
	自動化システムと他のシステムとのインターフェースが不適切（認知情報範囲の相違、運動モデルの相違、パラメータの不一致、システムの故障、通信不良など）
検知	漂流物等の小型物標の検知失敗
	衝突対象の検知失敗
	航路標識の検知失敗
	船灯、音、形の検知失敗
	半没水型の曳航装置や浮揚装置（地震計やトロール網等）の検知失敗
	海図と計測された水深の不一致の検知失敗
	気海象予報と実際の気海象の不一致の検知失敗
	センサの性能低下の検知失敗
	自動化システムの性能低下の検知失敗
	スラミングや高振動の検知失敗
航行	他船や海洋構造物との衝突
	浮遊物との衝突

図 4.2 考慮すべきハザードの例

表 5.1 頻度の指標（FI: Frequency Index）の定義の例[7]

FI	頻度	定義	F (per ship year)
7	頻繁	1隻において月に1度発生	10
5	時々	10 隻において年に1度発生	0.1
3	稀な	1,000 隻において年に1度発生	10^{-3}
1	非常に稀な	全世界 5,000 隻あったとして生涯中に1度発生	10^{-5}

表 5.2 深刻度（安全）の指標（SI: Severity Index）の定義の例 [7]

SI	深刻度	人間への影響	船体への影響	S（死者数換算）
1	小さな影響	単一負傷者又は複数の軽傷者	局所機器の損傷	0.01
2	大きな影響	複数の負傷者又は重傷者	重大で無い損傷	0.1
3	深刻な影響	単一の死者又は複数の重傷者	重大な損傷	1
4	破滅的影響	複数の死者	全損	10

表 5.3 深刻度（環境）の指標（SI: Severity Index）の定義の例 [7]

SI	深刻度	定義
1	Category 1	1トン未満の油流出量
2	Category 2	1トン以上 10 トン未満の油流出量
3	Category 3	10 トン以上 100 トン未満の油流出量
4	Category 4	100 トン以上 1,000 トン未満の油流出量
5	Category 5	1,000 トン以上 10,000 トン未満の油流出量
6	Category 6	10,000 トン以上の油流出量

表 5.4 リスク指標（RI: Risk Index）の定義（リスクマトリクス）の例 [7]

FI	頻度	深刻度 (SI)			
		1	2	3	4
		小さな影響	大きな影響	深刻な影響	破滅的影響
7	頻繁	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	時々	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	稀な	4	5	6	7

図 4.3 半定量指標の例

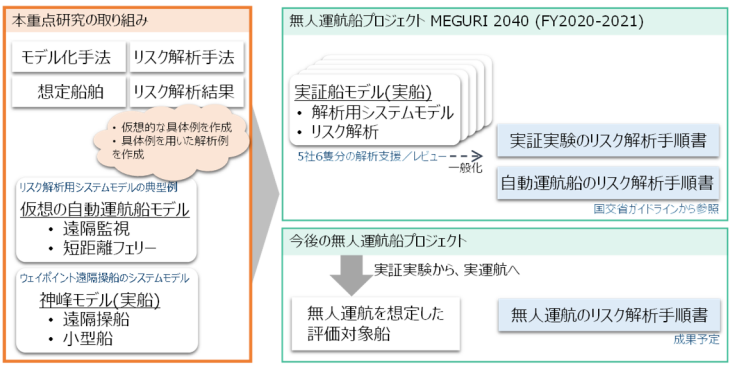


図 4.4 本研究の成果と社会貢献（無人運航船プロジェクト）の関係

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）：13 件（投稿中：10 件、採択済： 件、掲載済： 3 件）

- A. Kimura, R. Suga, H. Oka, Y. Oka, Numerical study on the fire-induced ceiling flow thickness considering the cross-sectional aspect ratio of a compartment, Proceedings of 13th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2021).
- A. Kimura, Y. Oka, H. Oka, S. Ota, Experimental study on smoke flow behaviour under ships' deck structures in early stages of fire, Proceedings of The International Maritime and Port Technology and Development Conference (MTEC) and The 4th International Conference on Maritime Autonomous Surface Ships (ICMASS) (MTEC-ICMASS 2022) (2022) (投稿中)
- Oka, H., Tanno, A., Kamiya, K., Oka, Y.: Simple Theoretical Model for Ceiling-Jet Temperature in Corridor Fire, Fire Safety Journal (投稿中)
- F. Kaneko & T. Yuzui, A New Method for Reducing the Number of Detailed Risk Analysis, Reliability Engineering and System Safety (2022) (投稿中)
- F. Kaneko, A Method for Estimating the Number of Collision Candidates of Ships Based on the Probabilistic Distribution of Sailing Conditions on a Ship Occurrence Line, Proceedings of ANC2021 (2021)
- F. Kaneko, A Method for Estimating the Number of Collision Candidates of Ships Based on Their Occurrence on Lines, Transactions of Navigation (投稿中)
- 三宅里奈：衝突危険度評価を活用した衝突事故解析手法の確立－OZT 定量化手法の構築－，日本船舶海洋工学会論文集，第 34 巻，pp.159-169 （2021）
- Miyake, R., Itoh, H.,：Method of Design and Safety Assessment for Establishing a Ships' Routing, Journal of Marin Science and Engineering (MDPI) (投稿中)
- Miyake, R., Kudo, J., Ishimura, E., Shiokari M., Itoh, H., Yuzui, T., Kawashima S., Hirata, K., Niki, Y., Inaba S., Kobayashi, M., Sawada, R.: Application of Dynamic-Task-Based Hazard Identification Method to Remote operation of Experimental Ship Shinpo, Proc. of MTEC/ICMASS 2022 (2022) (投稿中)
- Yamada, T., Sato M., Kuranobu, R., Watanabe R., Itoh, H., Shiokari M., Yuzuzi T.: Evaluation of effectiveness of the STAMP / STPA in risk analysis of autonomous ship systems, Proc. of MTEC/ICMASS 2022 (2022) (投稿中)
- Shiokari, M., Kudo J., Miyake R., Yuzui T., Itoh H., Ishimura E., Kawashima S., Hirata K., Kobayashi M., Sawada R.: Application of Risk Analysis Method with System Modeling to Remote Operation of Experimental Ship, Shinpo, Proc. of Autonomous Ships 2022 (2022) (投稿中)
- 石村惠以子，高野慧，笛木隆太郎，塩苅恵，伊藤博子，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一(仮)：仮想の自動運航船を対象としたタスクベースのハザード抽出について(仮題)，日本マリンエンジニアリング学会誌 (3/24 所外発表申請予定)
- Shiokari, M., Itoh, H., Yuzui T., Ishimura E., Miyake R., Kudo J., Kawashima S.: Application of Risk Analysis Method with System Modeling to a Hypothetical Autonomous Ship, Journal of Marine Science and Technology (JMST) (3/24 所外発表申請予定)

口その他発表論文： 18 件（投稿中： 6 件、掲載済： 12 件）

- 柚井智洋: FSA における費用対効果評価の閾値設定手法の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号 (2021).
- 柚井智洋: 国際規則の観点からの船舶の安全確保の取り組み，日本信頼性学会誌「信頼性」，第 43 巻，第 6 号 (2021).
- 金湖富士夫: 線上での船舶発生と航行要素の確率分布に基く衝突危険発生数推定方法，日本航海学会誌，219 巻，pp.18-19 (2022).
- Shio, Y., Itoh, H., Kawamura, Y,. and Kawashima, S.：Development of Ship Behavior Prediction Model for Supporting VTS Operations by Using Recurrent Neural Network, Proc. 34th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2020/21) (2021)
- 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 －定量的な衝突危険度指標－，日本航海学会講演予稿集，第 9 巻，第 2 号，pp.63-66 (2021)
- 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（仮題），日本航海学会講演予稿集，第 10 巻，第 1 号 (2022) (3/8 所外発表申請提出予定)
- 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(仮名)，日本航海学会講演予稿集，第 10 巻，第 1 号 (2022) (3/8 所外発表申請提出予定)
- 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 －OZT（Obstacle Zone by Target）－，日本航海学会講演予稿集，第 10 巻，第 1 号 (2022) (投稿中)
- 石村惠以子，伊藤博子，塩苅恵，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一，河島園子: 仮想の自動運航船を対象とした安全性評価，海技研研究発表会 (2021)
- 塩苅恵，伊藤博子，石村惠以子，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一，平田宏一，仁木洋一：小型実験船「神峰」の遠隔操船システムのモデル化，第 91 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.167-168 (2021)

・石村惠以子，高野慧，笛木隆太郎，塩苅恵，伊藤博子，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一：仮想の自動運航船を対象としたタスクベースのハザード抽出について，第 91 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.169-170 (2021)
・三宅里奈，稲葉祥梧，塩苅恵，石村惠以子，伊藤博子，柚井智洋，工藤潤一，平田宏一，仁木洋一：小型実験船「神峰」の遠隔操船実験に基づくタスク分析，第 91 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.171-172 (2021)
・工藤潤一，柚井智洋，伊藤博子，石村惠以子，三宅里奈，塩苅恵，平田宏一，仁木洋一：小型実験船「神峰」による遠隔操船実験におけるハザード抽出，第 91 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.173-174 (2021)
・伊藤博子，柚井智洋，塩苅恵，石村惠以子，三宅里奈，工藤潤一：自動運航システムのリスク評価，ClassNK 技報 No.4 pp.9-18 (2021)
・Itoh, H., Yuzui, T., Shiokari, M., Ishimura, E., Miyake R., Kudo J.: Risk Assessment of Autonomous Ship Systems, ClassNK Technical Report No. 4 pp.11-23 (2021)
・柚井智洋，伊藤博子，塩苅恵，河島園子，工藤潤一，石村惠以子，三宅里奈：自動運航船のリスク解析手順書の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集 Vol. 34 (2022) (投稿中)
・石村惠以子，高野慧，笛木隆太郎，塩苅恵，伊藤博子： 短距離小型旅客船の無人運航実証実験のリスク解析，日本船舶海洋工学会講演会論文集 Vol. 34 (2022) (投稿中)
・山田智章，佐藤誠，倉信力也，渡邊遼，伊藤博子，塩苅恵，柚井智洋: 自動運航システムのリスク解析手法に対する認証的視点からの考察，日本船舶海洋工学会講演会論文集 Vol. 34 (2022) (投稿中)

□特許申請： 1 件
・自動運航船の運航方法、リスク解析方法、運航システム、及びリスク解析システム

□コアプログラム登録： 件
・

□国際貢献： 件
・

□受賞： 件
・

□公開実験： 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
・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、我が国のみならず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。
・海上交通の安全性向上に関する対応は、海上保安庁が 2018 年に示した第 4 次交通ビジョンの準ふくそう海域における安全対策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。
・自動運航船の実証実験、商用運航への対応は、自動運航船の安全性の向上に資することが期待され、社会のニーズに合致している。

□成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか
・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。船内構造を考慮した評価手法はこれまでに検討がなされておらず、その内容が学術的、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。
・準ふくそう海域の安全対策構築に関する研究は、その成果を見た民間事業者から類似の安全性評価に関する請負依頼があり外部資金を得た。本研究が、社会的に価値があり、また十分な成果を挙げていることが、客観的に認められているものと判断される。海上交通の安全性向上関連テーマでは、本重点研究期間中に関連する内容で 4 件の外部資金（科研費、防衛装備庁安全保障技術研究推進制度）の獲得に成功しており、本テーマが学術的、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。
・自動運航船の実証実験についてリスク評価を実施することで、事業者による自動運航船の実現を支援しつつ、自動運航船に係るリスク評価に必要な実データを蓄積し、自動運航船のリスク解析手順書を開発してきたが、その過程において開発した解析技術は査読付き論文 2 本、国際学会、国内学会で複数件の発表を行い、学術的、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。

□成果が期待された時期に創出されているか

・GHG 問題対応のための代替燃料導入や水素の大量輸送技術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。
・潮岬沖の整流化案は、伊豆大島西岸沖に引き続き実運用を目指すものであり、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し、推薦航路として整備される見込みである。

□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

・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など、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。
・安全性評価の技術は、国内で開発されている自動運航船が国際競争力を持つために必要不可欠な技術であり、日本船舶技術研究協会や日本海事協会等とも連携して評価法の確立、普及を行うことは船舶産業の国際競争力の強化に資するものである。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

・該当しない

研究主任者による自己評価	A

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、低引火点燃料の使用に伴う主要なリスクのひとつとして、機関室内での漏洩現象に着目し、複雑な船内構造を考慮した換気効率評価手法に関して試解析を通して、重要な知見を得ることができたことは、今年度の特筆すべき成果である。
・水素爆発を想定した場合の液化水素運搬船の構造の安全性について、構造リスクモデルの構築を進め、爆発シナリオを用意してその影響を数値解析した上で、実際に水素爆発（爆轟）により鋼板を破壊させる実験を実施し、鋼板の変形メカニズム解明並びに数値解析法検証のための実験データを取得したことは、重要な成果である。
・海上交通の安全に関して、潮岬沖の推薦航路について IMO の NCSR への提案準備に貢献したこと、及び推薦航路構築に用いる海上交通の調査方法、航路案の立案方法、安全性評価方法を拡充して今後の対象海域に対する効果的な対策立案のための技術を整備したことは重要な成果である。さらに、船舶間の衝突危険度を表す指標の計算プログラムの整備と、この指標と操船者の主観的な危険認知の関係の解明に向けた調査の結果は、今後海上交通における客観的な安全指標を整備することに資する今年度の重要な成果である。
・自動運航船の実証実験についてリスク評価を実施することで、事業者による自動運航船の実現を支援しつつ、自動運航船に係るリスク評価に必要な実データを蓄積し、自動運航船のリスク解析手順書を開発してきたことは重要な成果である。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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、デジタルツインへの DLSA-Basic の機能の活用・実装を引き続き行うとともに、クラウド化した荷重計算機能の運用・外部利用の検討を行う。また、DLSA-AT のモジュールとしての CFD と構造 FEM 解析機能等の高精度化を図るほか、船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成を行い、さらに、DLSA 連携 HMS プログラム（DLSA/HMS）を組み込んだ船体構造デジタルツインシステム（i-SAS）を実海域試験等で検証する。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、準輻輳海域を対象とした安全対策の立案支援手法と海域リスク評価技術を開発、荒天下操船運動評価プログラムの大波高不規則波中への計算拡張と検証、走錨危険度モニタリング手法の確立及び走錨リスク判定システムへの機能追加を行う。 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
□損傷時船舶の安全性を確保するための要件と評価手法の合理的な体系化

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。

R3 年度研究目標

□小項目 4
・荒天下操船運動評価プログラム

□小項目 14
・損傷時の復原性と船体構造強度の安全性評価にむけた要素抽出

□小項目 15
・開発した操縦運動モデル同定手法の有効性実証と実船相当の舵力・プロペラ力を模擬した上での自動離着桟実験環境の整備

□小項目 16
・走錨危険度モニタリング手法の確立
・走錨危険度推定プログラムの機能追加

・R3 年度研究内容

□小項目 4
・荒天下操船運動評価プログラムの不規則波中ならびに低速航行状態の計算への拡張

□小項目 14
・複数区画が損傷した状態について，CFD により波浪中の船体運動計算を行い，船体の運動等について妥当な結果が得られるかどうか確認する。
・アクリル製弾性模型船における傾斜状態の曳航試験結果に基づき，傾斜状態での船体の構造応答を解析する。FBG ひずみセンサにより得られたひずみから，縦曲げモーメント等を算出し，傾斜状態で考慮すべき荷重を抽出する。CFD 計算により得られた波浪荷重を FEM の荷重として与える検討を行う。

□小項目 15
・開発した低速時操縦運動モデル同定手法の模型試験による実証及び強風下の自動着桟に関する水槽実験実施

□小項目 16
・走錨危険度モニタリング手法の開発
・プロペラ推力を利用した走錨危険度軽減手法に関する検討

R3 年度研究成果

口小項目 4

・タンカー模型を用いた水槽試験を実施することで，既存の規則波の波力成分等の線形重ね合わせに基づいて前年度に拡張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， その推定精度の検証を行った。また，船体運動による流体反力に過去の運動履歴影響を考慮する等によって改良を行い，ビューフォート風力階級 9 程度の大波高の不規則波中まで 35 度旋回時の船体運動を概ね推定可能とした．(図 1)

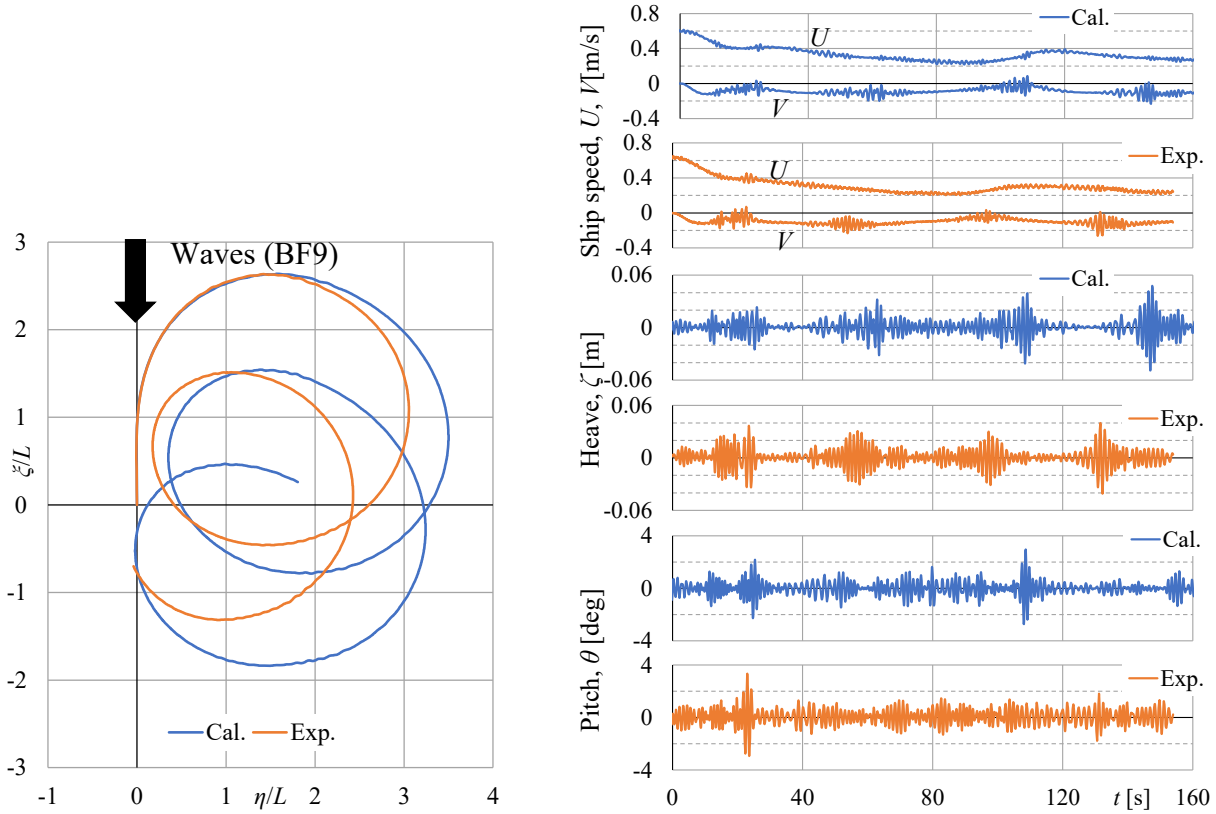


図 1　タンカー模型に対する一方向不規則波(ビューフォート風力階級 9)中 35 度旋回時の船体運動の推定結果と実験値の比較

・上記の操船時の 6 自由度船体運動計算法について，既存の方法を基に船体に働く流体力(芳村康男ほか，2020)や舵力のモデル(北川泰士ほか，2015)を切り替えることで，着桟航行やプロペラ逆転停止航行のような低速時・大斜航時の平水中操縦運動計算への拡張を行い，内航コンテナ船を対象とした模型試験との比較からその精度を検証した。(請負研究の対象船であり，守秘義務につき図は割愛)

(追加成果)

・既存の斜航時の定常波力推定法として上野らの方法(2000)に着目したうえで，その計算法で用いられる船体遠方域と近傍域の波高の関係式における不合理な点を修正し，更に船体近傍流れを高精度化するために粘性を考慮した CFD 計算による推定値を活用することで，短波長における直進時ならびに斜航時の定常波力の推定精度を改善した。(図 2)

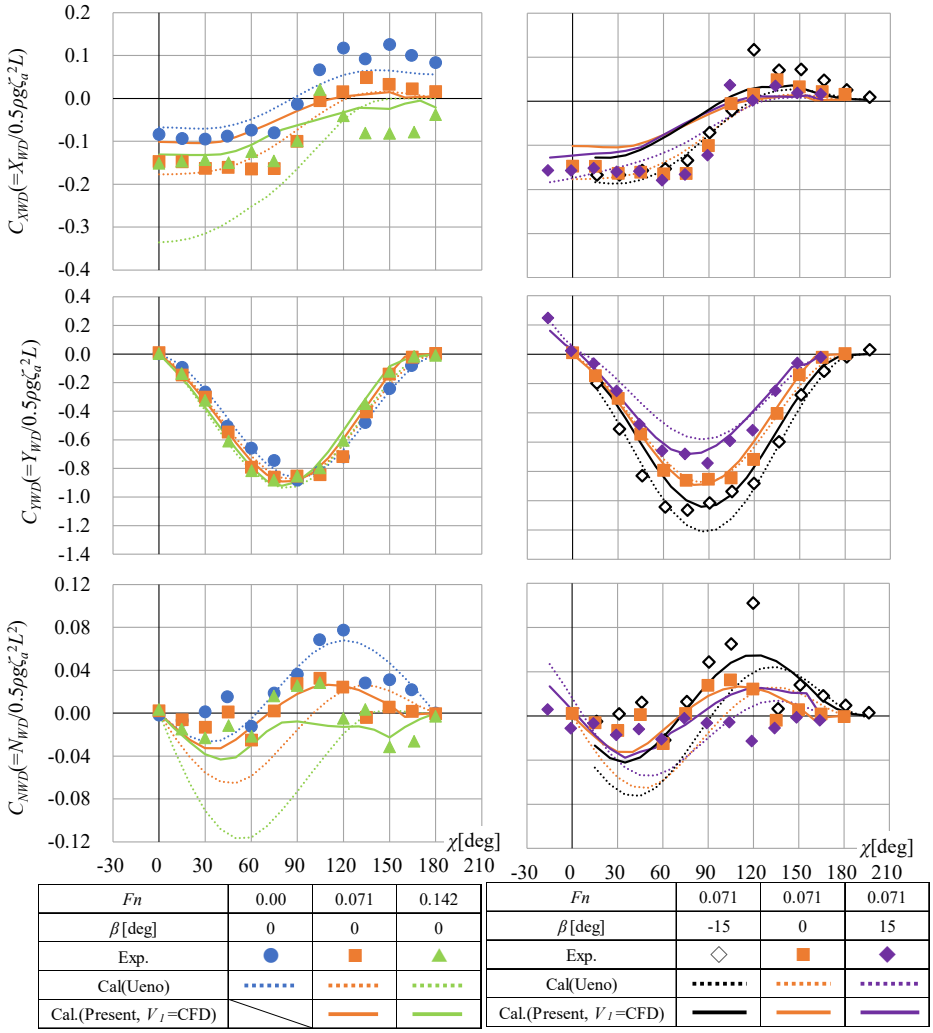


図 2　直進時(左図)および斜航時(右図)のタンカーに働く規則波中定常波力(波長船長比 0.4)の計算法改良前後における推定結果と実験値の比較

□小項目 14

・損傷時復原性に係る文献等に基づく現状調査を行い，安全性評価要素を整理した。
・複数区画が損傷した状態を選定し，CFD により波浪中の船体運動計算を行い，船体運動等の計算結果の妥当性について確認した。損傷有無について横波(波長船長比=1.17)を受ける状態で，船体横揺れ運動の応答関数等の比較を行うとともに，損傷による複数区画内及び船体周りの水面の時系列変化について確認した(図 3)。さらに，計算結果から船体構造応答計算用の波浪荷重を導出した。
・アクリル製弾性模型船における傾斜状態の曳航試験結果に基づき，傾斜状態での船体の構造応答を解析し，傾斜影響について確認した。区画損傷時の CFD 計算により得られた波浪荷重と FEM との連成解析手法を構築し，船体の構造応答について確認した(図4)。

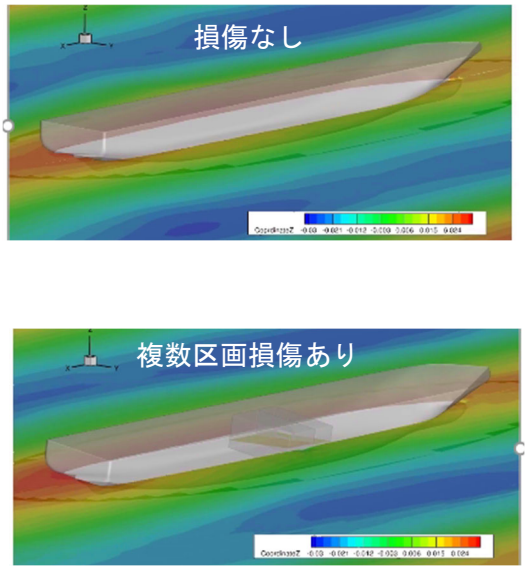


図 3 横波(波長船長比=1.17)における損傷有無での船体周り及び内部の水面(波高の等値面)の可視化図

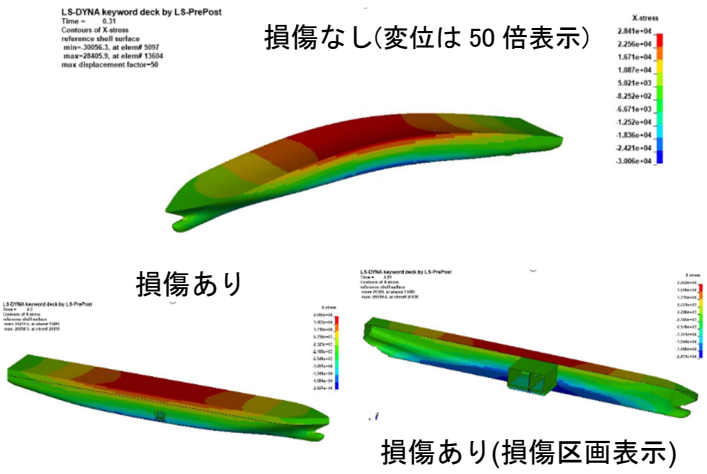


図 4 抽出した波浪荷重に基づく主船体の x 軸方向応力分布と変位

□小項目 15

・本小項目では低速時の港内操縦運動を表現できる操縦運動数学モデルのモデル内係数を自由航走データから求めるための手法の開発が目的の一つであり，R2 年度には同定手法の文献調査や検証用データのための模型試験を実施した。R3 年度は前年度の手法調査結果を基に機械学習手法の 1 種である強化学習を適用したモデル同定システムを設計した。システムフローの概念図を図 5 に示す。自由航走データそのものでなく，比較的容易に取得できる操縦性試験データに基づき，それから解析される操縦性指標の利用を前提としたシステムである。そして，このシステムを構築するための Matlab 系ソフトウェアの調達を含めシステム実証のため環境整備を行った。加えて操縦性自由航走試験も実施し，R2 年度実施の模型試験で不足のあった港内速力相当での Zigzag 試験のデータを整備した。また，本研究内容をベースとして科研費課題の新規申請を行った。一方，実計測データを用いたモデル同定の実証までは進捗が及ばず，これは次年度以降の課題とする。

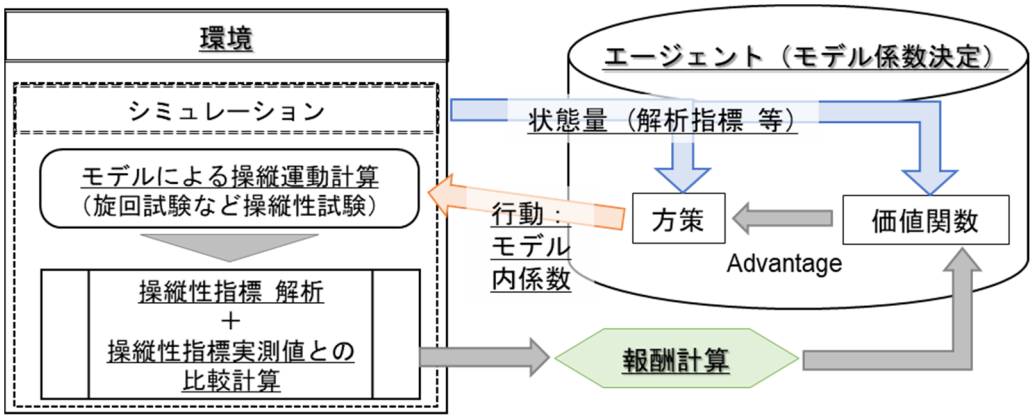


図 5 強化学習手法を適用した操縦運動数学モデル同定システムのフロー図

・R2 年度は自動離着桟アルゴリズムを実船スケールに即して検証できる自由航走模型試験法を開発し，実船に作用する風圧力を再現できる風荷重模擬装置を併用することで風外乱下の実船の離着桟操縦運動を再現できる模型試験システムを整備し，重点☆12 で開発された自動着桟アルゴリズムを適用して開発した模型試験法の検証実験を行った。R3 年度はこの発展研究として，重点☆12 で開発された風外乱補償制御アルゴリズムを導入した自動着桟アルゴリズムを対象に，強風下を想定した風外乱下に於ける自動着桟の模型実験を行った(図 6)。結果として，模型システムの制御上の課題から強風下自動着桟の成功には至らなかったが，課題を抽出できたことから R4 年度にはこの点を改善した模型実験を改めて実施する計画とする。

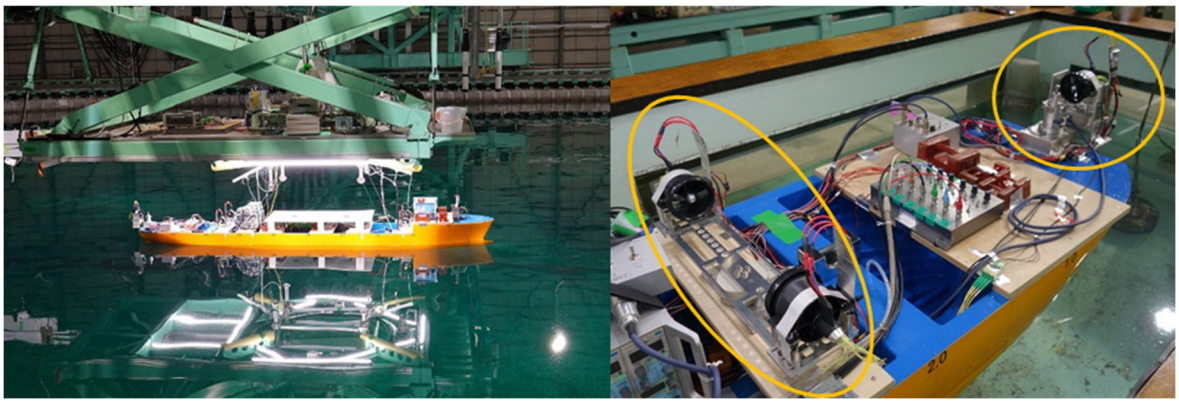


図 6 開発した模型試験法による自動着桟アルゴリズム検証実験（左：自走する模型船，右：風荷重模擬装置）

・流体性能評価系の北川が代表となり，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」を申請した。これは，自動離着桟技術に関する国内外の研究開発の機運の高まりがある中，離着桟操縦運動を再現する操縦運動数学モデルの構築が複雑で高コストであることを受け，これらモデルを簡易に構築する手法の開発を目的とするものである。メンバーは国内の大学および造船所の操縦性研究関係者であり，設置期間は 2022 年 4 月から 2023 年 3 月までの予定である。

□小項目 16

・昨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」（図 7）を開発し，令和 3 年 7 月 1 日に一般にリリースした。

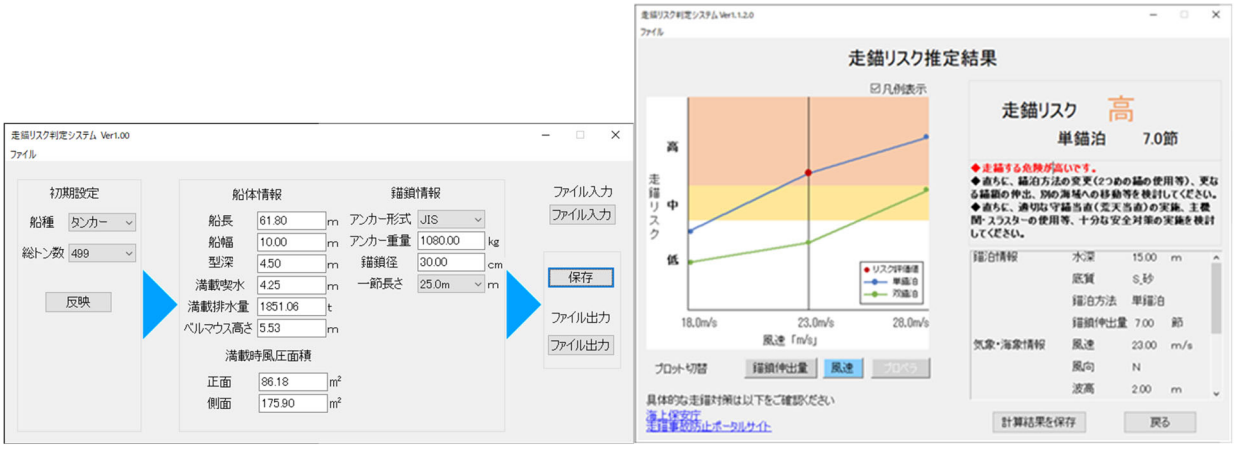


図 7 PC 版走錨リスク判定システム（左図：入力画面，右図：計算結果表示画面）

・走錨危険度モニタリング手法として，錨泊中の船舶の錨鎖と水平面とのなす角度を計測することで，船体に働く錨鎖張力が推定できることを確認した（図 8）。これにより船上で錨鎖の角度を計測することで，走錨リスクを評価することが可能となる。

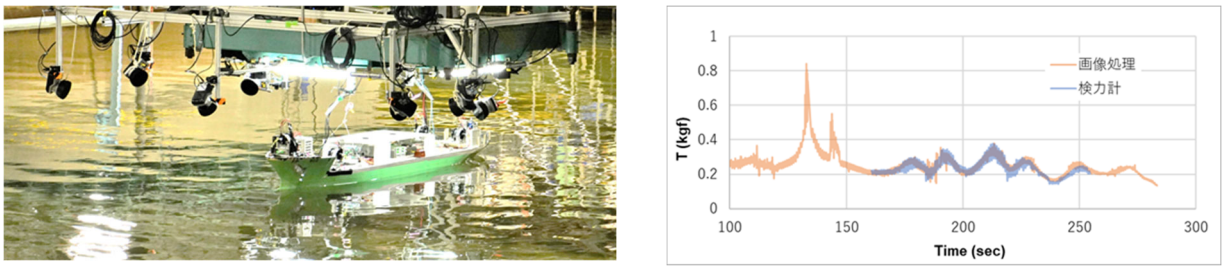


図 8 錨鎖の角度から推定した錨鎖張力と検力計で計測した錨鎖張力の比較

・錨泊中の船舶の振れ回り運動を再現した水槽実験を行い，錨泊方法の違いにより同一外乱下でも振れ回り運動が異なることを確認した。特に双錨泊に関しては開き角や錨鎖の長さ，投錨時の向きを適切に選択しないと，双錨泊の効果が十分に得られないことを確認した（図 9）。

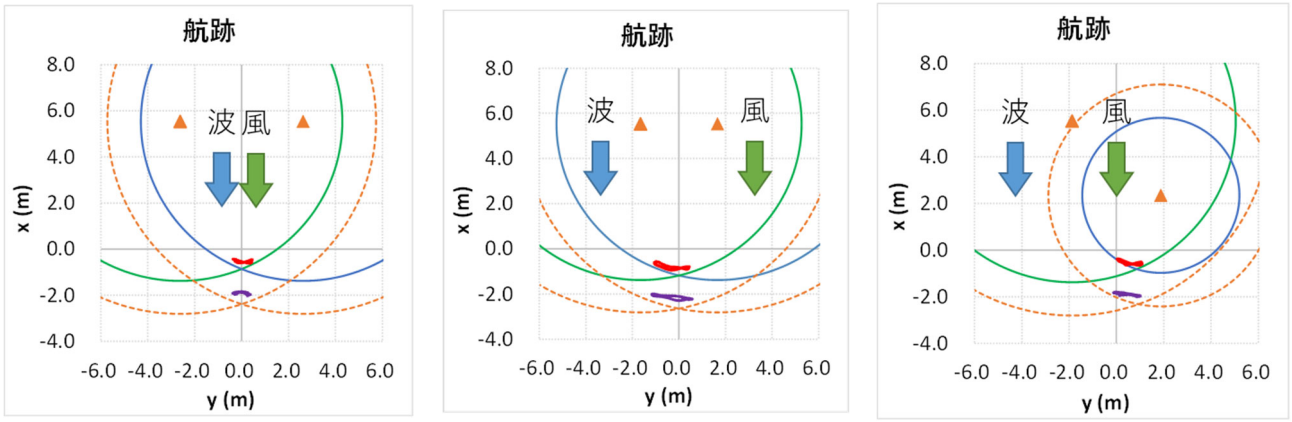
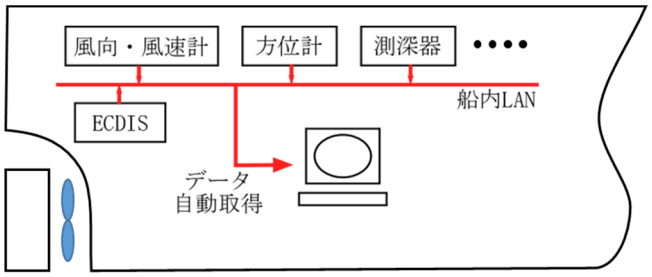


図 9 双錨泊時の開き角や左右舷の錨鎖長の違いによる振れ回り運動の比較

・走錨リスク判定システム(錨 ing)に，船舶の航海機器で計測された情報をネットワーク経由で自動取得できる機能を追加した（図 10）。これにより船員の入力作業の省力化が図れ，また船上で計測されたデータを気象・海象情報として利用することで走錨リスクの判定精度の向上が期待できる。さらに，自動取得した情報を用いて走錨リスク判定システムの連続計算を行うことで走錨リスクの時系列変化を確認すること(走錨危険度モニタリング)が可能となった。



✓ 計測データ反映による走錨リスクの判定の精度向上
✓ 「錨ing」の連続計算による走錨リスクのモニタリング

図 10 船上における走錨リスク判定システム（錨 ing）入力データの自動取得（概念図）

R3 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）：3 件（投稿中：1件、採択済： 件、掲載済：2 件）

・鈴木良介：波風併存中の実船の操縦運動推定に関する研究，横浜国立大学大学院 理工学府 博士論文 (2021)， pp.1-147，DOI：http://doi.org/10.18880/00014166.
・Waskito, T. K., Sasa, K., Chen, C., Kitagawa, Y., Lee, S.: Comparative study of realistic ship motions simulation for optimal ship routing of a bulk carrier in rough seas, Ocean Engineering. （投稿中）
・Eiko SAITO, Accuracy of DCPA and TCPA Estimated Based on Population Parameters of Information Obtained by Smartphones, Transactions of Navigation, Volume 6, Issue 2, pp.109-120 (2021)

口その他発表論文：6 件（投稿中：1 件、掲載済：5 件）

・Ryosuke Suzuki, Michio Ueno, and Yoshiaki Tsukada : A study on numerical simulation of 6-degrees-of-freedom motions for a manoeuvring ship in regular waves, Joint meeting on naval hydrodynamics (2021), (刊行物なし).
・北川泰士他：実船の港内操縦運動を再現する自由航走模型試験法の開発と自動着桟アルゴリズム検証への適用実験，令和 3 年度 第 1 回推進・運動性能研究会において講演 (2021).
・北川泰士他：低速時の舵効き修正を考慮した自由航走模型試験法と自動着桟アルゴリズム検証への適用実験，海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp.109-110 (2021).
・宮崎英樹他：走錨リスク判定システムの開発，海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp.19-24 (2021).
・黒田貴子：第二世代非損傷時復原性基準の過大加速度モードに関する研究，海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp.25-30 (2021).
・Eiko Saito: Accuracy of Information Obtained by Smartphones Required for Collision Alerts' Support of Small Crafts, Proceedings of International Technical Meeting (ITM 2022) (2022)

□特許申請： 件
・

□コアプログラム登録：4件
・走錨リスク判定システム(錨 ing)　河村昂軌，宮崎英樹，田口晴邦
・走錨リスクを判定するための船体運動推定プログラム　宮崎英樹他
・内航船の錨鎖を含めた船体詳細情報推定プログラム　河村昂軌，宮崎英樹
・過大加速度直接復原性評価計算プログラム　黒田貴子

□国際貢献： 件
・

□受賞：1 件
・令和 3 年度理事長表彰（研究チーム表彰）：宮崎英樹，河村昂軌（走錨リスク判定システム（錨 ing）の開発に貢献した功績）

□公開実験： 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
・提案・検証した不規則波中操船時の6自由度船体運動計算法によって，実海域環境下での船舶の安全性を操縦性能ならびに耐航性能の観点から評価可能となり，海上における「安全・安心の確保」につながる。
・海難事故における損傷時の船舶の安全性評価に資する，CFD による浸水状態での船体運動と船体構造応答の評価を可能にする海難事故解析ツールを構築した。
・自動運航船技術の一つである自動離着桟技術の検証のための技術開発を目的としており，社会ニーズに適合している。
・走錨防止支援システムに関する研究の一部は国土交通省からの請負事業として実施しており，国の方針や社会ニーズに合致している。また，研究成果である走錨リスク判定システムを R3 年 7 月 1 日に一般にリリースしており，社会的価値（安全・安心の確保）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
・船体動揺を含めた波浪中の操縦運動を評価するための計算法の多くは検討段階にあり，特に本研究で採用した耐航性理論と操縦性理論を統合したモデルに関して，船速低下や船体動揺まで含めた詳細な模型実験との比較や検証を行った研究は貴重である。更に，本年度可能にした不規則波中の計算については，特にその研究例が少なく，貴重であると言える。
・これまでに提案されている定常波力推定法のほとんどは停止時や直進時を前提としているため，本年度提案した斜航状態を考慮した計算法は貴重である。斜航時の定常波力推定法は過去にいくつか提案されているが，どれも検討段階であり，一方で既存の過去の方法をベースとしながらも提案した計算法によって， 実用的な精度で斜航時を含む定常波力を推定可能とした点に新規性があると言える。
・複数区画の損傷状態を重合格子手法により扱うことができ，CFD による波浪荷重の抽出から船体構造応答まで一貫した連成解析を可能にした。
・錨泊中の船舶の振れ回り運動を再現した水槽実験を行った前例は少なく，新規性がある。また，種々の錨泊方法で揚錨のために錨の位置まで接近できるかを確認した前例はなく，有益な知見が得られたと考える。

□成果が期待された時期に創出されているか
・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継続審議されており，現行の簡易評価手法に代わって波浪中性能を適切に推定する手法の構築が強く望まれている中，本研究成果はその方向性に応えるものと考えられる。
・走錨防止支援システムに関する研究の一部は国からの請負事業として実施しており，研究成果である走錨リスク判定システム（錨 ing）を令和 3 年 7 月 1 日に一般にリリースしたことを考慮すると，成果は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
・GHG 排出削減のために大型商船の低速航行化は今後も加速していくと考えられる。本研究で提案する計算法は，低速船の外乱下航行安全性を評価する計算法になり得る。そのため，本研究成果は国際競争力の向上につながると考えられる。
・種々の錨泊方法で揚錨のために錨の位置まで接近できるかを確認した前例の殆どない水槽実験を行い，国際的な水準に照らしても十分意義のある研究と考える。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

・波浪中の操縦性能推定や港内等における低速航行時の操縦性評価は新しい課題ではないものの解決すべき要素が多い課題であるため，最終的な操縦性評価に至るまでに段階ごとの緻密な検証を行うことで，核となる要素技術を見極めながら，またそれに対応できるように最新の他者の研究動向を調査しながら研究を進めている。
・走錨防止支援システムに関する研究は，昨年度と今年度の 2 年間という短期間で実施し，その成果の一部である走錨リスク判定システム（錨 ing）を令和 3 年 7 月 1 日に一般にリリースしたことを考慮すると言う意味では，機動性の高い研究であったと考える。

研究主任者による自己評価	A

コメント

・より実海域環境に近い不規則波中での操船時の船舶の操縦運動ならびに波浪動揺といった 6 自由度の船体運動を推定可能にしたこと，ならびに波浪中での操縦運動推定の際に不可欠となる定常波力について斜航状態を考慮して実用的な精度で推定可能にしたこと顕著な成果であり，本成果は最終的に確立予定の”荒天下の操船限界手法”にとって重要な要素技術になると考えられる。
・昨年度開発した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）を提供する走錨リスク判定システムに，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，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。

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。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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（CO2）、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（CO2）、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 －希薄濃度場でのガス燃料の耐ノック性評価手法の提案・検証及び燃料成分と排ガス成分の相関の解明を行う。　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 CO2 及びメタンの排出を削減するための後処理技術の検討を行う。 －GI（グリーンイノベーション）を実現するために、水素・アンモニア混焼時にも安全で安定した燃焼技術の開発、強化学習の理論に基づくエンジンシステムシミュレータの構築及び多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価を行う。　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（CO2）、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。
□GHG・環境影響物質削減のための計測・分析技術の確立
□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
□次世代燃料の燃焼性評価手法の確立

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技術の確立
□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燃焼生成物の分析・計測システムや燃焼改善技術などの開発を行う。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

R3 年度研究目標
□小項目 4
・SOx 規制対応燃料の着火性詳細分析とその時の GHG への対応
・希薄濃度場でのガス燃料の耐ノック性評価手法の提案、検証
□小項目 5
・次世代燃料の燃焼時に発生する燃焼生成物について燃焼試験装置および実エンジンで計測・分析
・燃料成分と排ガスの成分の相関の解明およびスクラバによる環境負荷の検証
□小項目 6
・スクラバおよび分離膜による CO2 回収技術の検討
・触媒等の後処理技術によるメタンスリップ削減方法の研究

・R3 年度研究内容
□小項目 4
・SOx, GHG 対応燃料の燃焼改善技術の開発

□小項目 5
・次世代燃料の燃焼生成物に関する調査
・スクラバの環境負荷の検証
□小項目 6
・GHG 削減のための後処理技術・削減技術の検討

R3 年度研究成果
□小項目 4
・舶用燃料の着火性，燃焼性評価に広く用いられている定容燃焼装置（FCA）は評価方法が規格化されているが，昨年度までに FCA のポテンシャルを評価し，着火に至る燃料と空気の混合状況についてモデルにより解析した。舶用燃料は多種の炭化水素が混合している物質であるので，まず単成分（直鎖アルカン，芳香族）炭化水素での着火性，それらを混合した二成分炭化水素において，FCA により実測された燃料着火性（CN）と規格化された密度と動粘度から計算された指標（CCAI）との関係を調べた結果が図 1 である。ここで，CCAI と CN の関係は線形であり，着火性は単成分の混合比で決まることが明らかになった。そのため，次に実際の舶用燃料を構成する燃料基材（原油から蒸留等によって，おおまかに分割された市場供給燃料の基；多種炭化水素が含まれている）の混合比を変更して，着火性を評価した。結果が図 2 であり，多種の炭化水素が含まれる基材同士の混合でも，混合前の燃料の着火性がわかれば，混合物の着火性も予測できることが明らかになった。
その後，これまで計測されている舶用燃料データを用いて，舶用燃料を二成分燃料でモデル化し，ベースとし二成分燃料の範囲内に着火性が収まる結果は得られたが，誤差も大きく，次年度に改良を加えた修正着火性指標を提案できるよう，図 3 に例示する舶用燃料の炭化水素推定手法の構築，準備を行った。
2020 年からの舶用燃料の低硫黄燃料化によって，本小項目にて検討している着火性は，悪くなったという報告はないが，これまでの規制前の燃料を前提として使われてきた指標と実際の着火性との一致度は下がることが想定される。現在検討しているモデルによる着火性予測手法の構築および公表・公知化により，使用者側，製造者側に問題点および現状を認識させることができると考える。

・昨年度までに実施してきた研究では，天然ガス/空気予混合気中に噴射された液体燃料の着火遅れを実験的に調べた。そこでは，雰囲気中の気体燃料と液体燃料，両者の着火性の相互作用に着目し，実験を実施，評価した．前年度はガス燃料のみの着火性（耐ノック性）に着目し，研究を実施した。天然ガスは常温で気体状態にある炭化水素（主に C1-C5）の混合物であり，成分比をパラメータにすると，混合比の組み合わせが膨大となるため試験の実施が困難となる。そのため，素反応解析と呼ばれる化学反応計算によって，ガス燃料の着火性を求めることにした。文献調査を実施し，天然ガスの成分である C1 から C5 までの炭化水素で構成されるガス/空気予混合気

の着火遅れを計算するための反応機構を選定した。本詳細反応機構は，エンジン条件（600K–1200K，1MPa–3MPa）を対象に検証されており，高精度に予混合気の着火遅れが予測できる。図 4 は，計算で求めた着火遅れ時間とメタン価の関係を示したものである。ガス燃料の耐ノック性（メタン価）と着火遅れ時間には相関性があり，この条件ではメタン価によって燃料の耐ノック性を評価できる。しかし，雰囲気温度を 850 K としたときの結果を図 5 に示すが，メタン価と着火遅れ時間の相関性は低下していることがわかる。これは，エンジンの運転条件によっては，メタン価によって燃料の耐ノック性を適切に評価できないことを示している。これらの結果から，希薄ガスエンジンの運転条件に対して追従可能となる，ガス燃料の耐ノック性評価手法が必要になることを明らかにした。

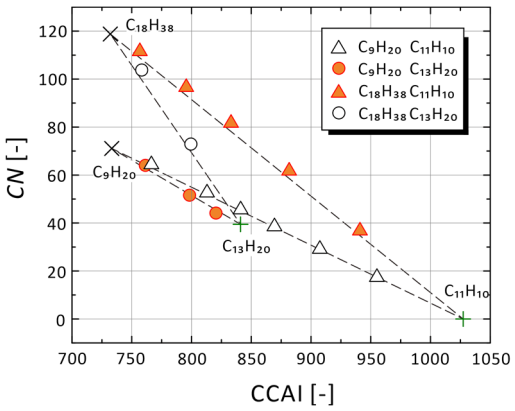


図 1 単成分炭化水素とその二成分混合燃料の着火性に関する線形性
（図中の×および＋は単成分の着火性指標を示す。凡例に示すのはそれぞれの混合物。）

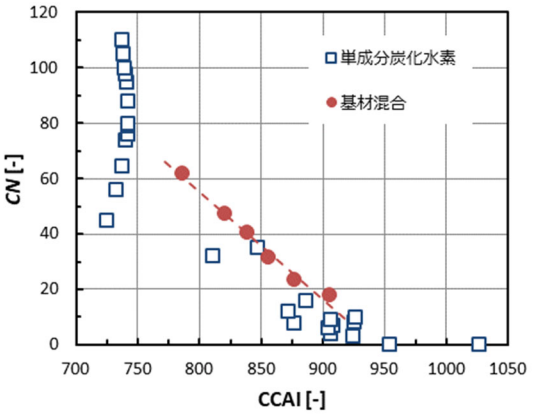


図 2 燃料基材の混合時の着火性に関する線形性。

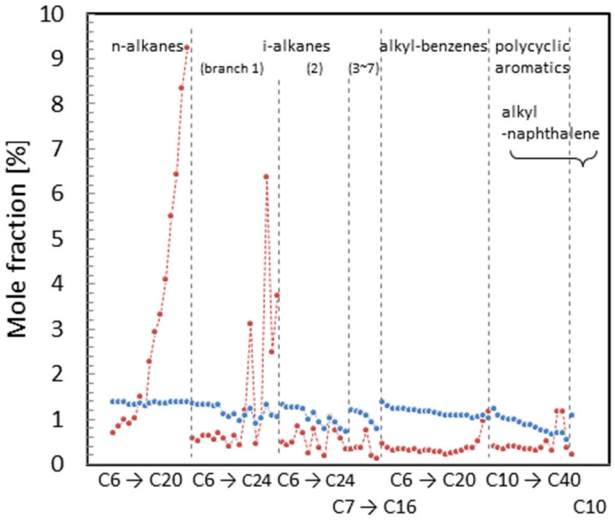


図 3 同一 CCAI での燃料成分予測例
(青線；CN10，赤線；CN32)

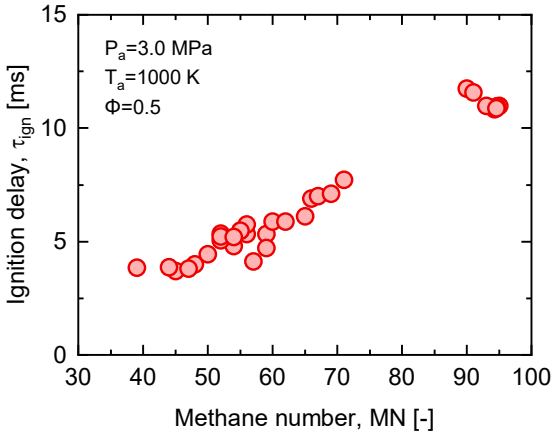


図 4　メタン価と着火遅れの関係（雰囲気温度 1000 K）

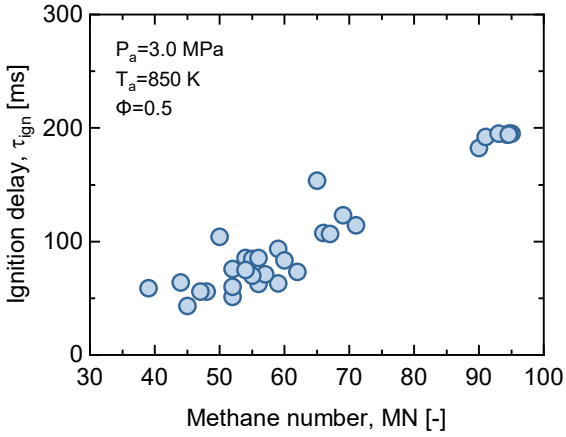


図 5　メタン価と着火遅れの関係（雰囲気温度 850 K）

□小項目 5

・次世代燃料(水素・アンモニア)使用時の排ガス計測およびブローバイガス計測を行って、環境影響物質の特定と定量を行った。天然ガス（主成分メタン）を燃料とするリーンバーンガス機関は、ディーゼル機関と比較し、大気汚染物質である窒素酸化物(NOx)や硫黄酸化物(SOx)、温室効果ガスである二酸化炭素の排出が少ないが、予混合燃焼方式を採用しているため未燃メタンの排出が課題となっている。メタンは排ガスだけでなく，クランクケースから排出されるブローバイガスにも含まれており、ガス機関からの GHG 排出の一因になっていると考えられる。舶用機関からのメタン排出の実態を明らかにするため、排ガスおよびブローバイガスの組成分析を行った。その結果、排ガス中のメタン濃度は 0.2–0.3%だったが、ブローバイ中は 2.4–2.6%と高かった。また、燃料である都市ガスとブローバイガスの組成を微量成分まで含めて分析したところ、ほぼその組成は一致し、未燃の都市ガス成分が、そのままの組成でブローバイガスとなっていることがわかった。（水素混焼時のクランクケース内の可燃性評価については重点☆7で報告予定）

・多環芳香族炭化水素（PAH）の排出と燃料、エンジンの運転条件との相関を調査した。PAH は芳香族環がいくつかつながった構造をしており、その環の数が多いほど、発がん性などの人体毒性も大きいと言われている。粒子状物質（PM）の場合、フィルタで捕集を行うが、PAH の場合、排ガス中でガス状の成分もあると考えられたことから、フィルタ捕集の後ろで、さらにガス状成分をトラップできる樹脂を配置した、2 段階捕集装置を作製した。図1は、燃料およびエンジンの負荷率を変えて捕集を行ったときの、PAH の環数の比率を示したものである。いずれの燃料でも、エンジン負荷率では、あまり大きく比率は変わらなかったが、留出油 MDO と残渣油 HFO では、その組成は大きくことなり、HFO の方がより環数の多い PAH が排出されることがわかった。また、樹脂およびフィルタに捕集された PAH の環数の分布は非常に特徴的で、2 環、3 環の比較的小さな PAH は樹脂に多く捕集され、フィルタには 4 環以上の大きな PAH が捕集された（図 2）。これにより、2，3環の PAH は排ガス中にガス状で存在し、4 環以上のものは PM や BC に吸着していることがわかった。
現在、排ガス中の硫黄酸化物を除去するスクラバの排水の常時監視項目として PAH があるが、PAH の中でもフェナントレンという 3 環の PAH を対象としている。そこでフィルタおよび樹脂に捕集されたフェナントレンの全量がスクラバ排水に溶解すると仮定して、スクラバ排水中の濃度を試算したが、規制値の 1/10 程度であり、環境影響は小さいことがわかった。

・粒子状物質（PM）を捕集し、フィルタ重量法により PM を定量するとともに、その炭素成分である元素状炭素（EC）と有機炭素（OC）をサーマルオプティカル法により定量した。得られた排出率を、MDO 使用時(図3)と HFO 使用時(図4)に分けて示した。縦軸は HFO の方が 10 倍大きいことに注意されたい。PM の排出率は全負荷率で、HFO の方が、MDO より多かった。HFO の場合、EC、OC 以外の「その他」成分も多いが、この主な成分はサルフェートとその結合水、わずかに灰分である。HFO は硫黄分が 2.2%と MDO（0.1%未満）に比べ非常に高く、それがサルフェートが多くなる原因となっている。また EC はブラックカーボン、いわゆるススであり、燃料の不完全燃焼により生じる炭素成分である。高負荷率の 75%、100%では HFO でも MDO でも EC の排出率は 0.1g/kWh 以下、一方、低負荷率、特に HFO を用いたときの 25%負荷率の EC の排出率排出率は 1.56g/kWh となっており、高負荷率では燃料によらず十分な燃焼が行われている一方、低負荷率では燃焼状態が良くないことがわかった。

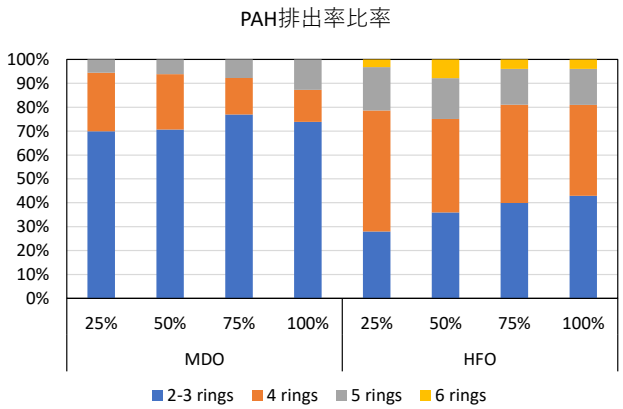


図 1　排ガス中 PAH の環数比率
留出油（MDO）では2－3環の PAH の比率が高く、残渣油（HFO）では4環以上の比較的大きな PAH の比率が多かった。

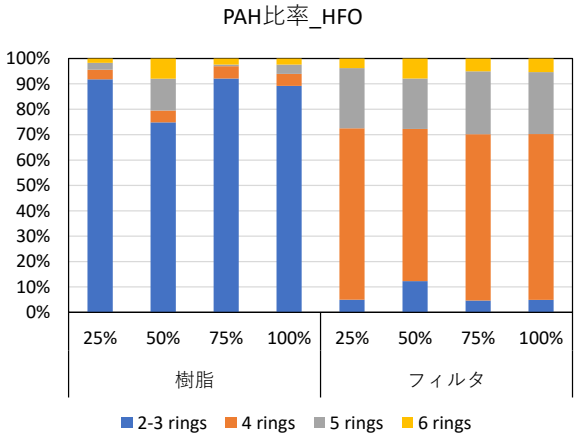


図 2　樹脂およびフィルタに捕集された PAH の環数比率（HFO 使用時）
樹脂には2－3環の PAH が主に捕集され、フィルタには4環以上の比較的大きな PAH が捕集された。

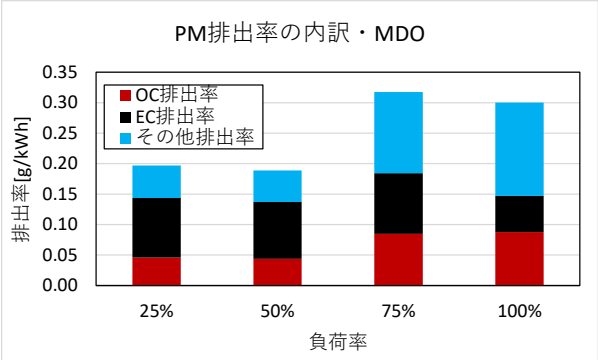


図 3　PM 排出率とその内訳（MDO）

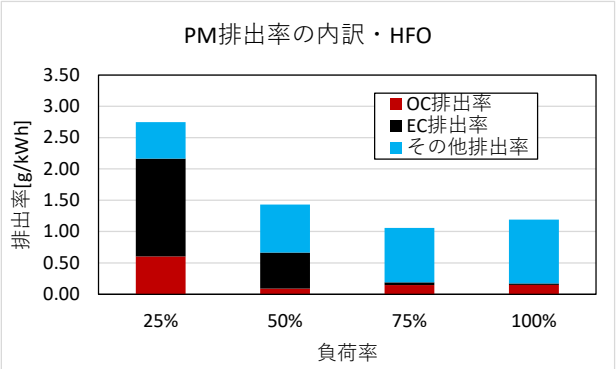


図 4　PM 排出率とその内訳（HFO）

□小項目 6

・CO_2 分離膜を利用した GHG 削減に関する研究をおこなった。小型ディーゼル発電機の排ガスを分流し、分離膜への流量を系統的に変化させ、CO_2 削減率を調査した。その結果、分離膜入口側のガス流量が低いほど、CO_2 削減率が高くなることがわかった(図 1)。また模擬 EGR によって、分離膜の入口の CO_2 濃度を増加させると削減率も高くなった。また分離ガス流量を一定にして分離膜の圧力を変えたところ、分離膜の圧力が高くなるほど、CO_2 削減率が高くなり、分離側ガス中の CO_2 濃度は最大 70vol%程度まで高まった。このように、分離側の CO_2 は高濃度でドライであることから、冷却するだけで容易に CO_2 を回収することができた。船舶に搭載する際の課題としては、排ガスの圧力を高める手段、分離膜の性能を阻害する排ガス中の水分の除去手段の検討がある。（海技研、日本ガイシ、第一中央汽船、新来島どっくによる共同研究）

・後処理装置（酸化触媒）によるメタンスリップ低減効果を確認するため、ガスエンジンの実排気における触媒の性能を、実験的に評価した。海技研保有のガスエンジンは発電機運転を前提としていることから、舶用運転の低負荷率では、未燃メタンすなわちメタンスリップが多く発生する（図2中段）。また低負荷率では排ガス温度も低く（図2上段）、触媒反応にとっては不利である。それにもかかわらず、触媒によるメタン転換率（図2下段）は 100%で、完全にメタンが削減されることがわかった。逆に比較的排ガス温度が高く、触媒性能が発揮されると予想された 75%や 100%の高負荷率では、メタン削減率は 5 割程度だった。その理由を調べるため、模擬排ガスを使いマイクロリアクタという反応容器で触媒反応をおこなったところ、低負荷率を模擬した条件では、触媒出口での温度上昇が大きく、逆に高負荷率を模擬した条件では温度上昇が小さいことがわかった（図3）。これにより、低負荷率で温度が低い不利な条件であっても、メタン濃度が高い場合は触媒反応にともなう発熱が生じ、酸化反応が促進されることが示唆された。

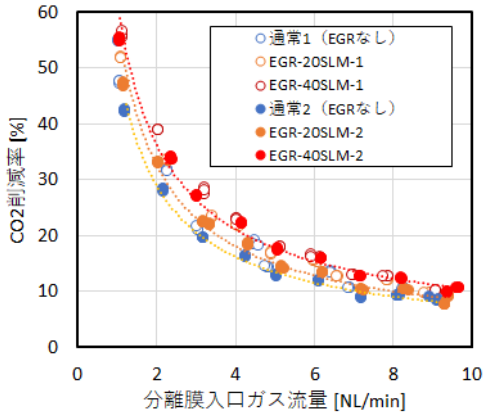


図 1　CO_2 削減率の分離膜入口ガス流量依存性
通常：EGR なし、EGR-20SLM：EGR ガスを 20SLM で導入、EGR-40SLM：EGR ガスを 40SLM で導入（SLM：20℃1 気圧での流量[L/min]）

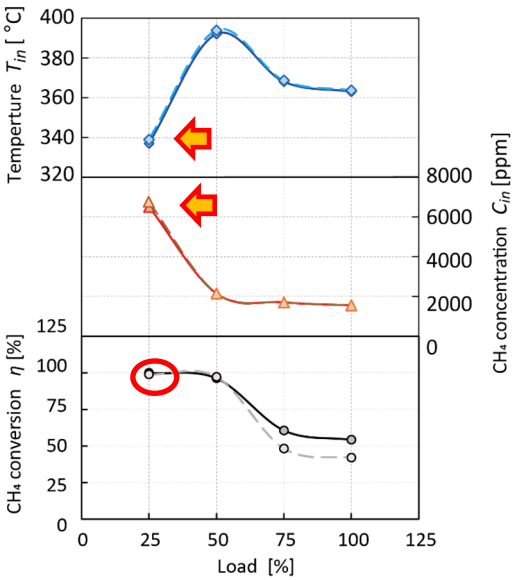


図 2　実排気による触媒性能測定結果
上段：触媒入口の排ガス温度、中段：触媒入口のメタン濃度、下段：触媒によるメタン変換率。実線、破線は 2 回の実験結果をそれぞれ示す。

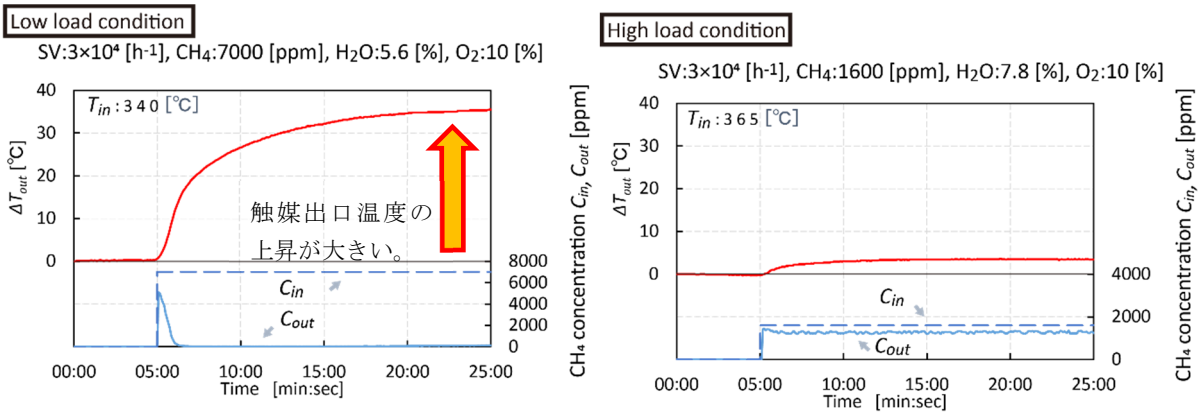


図 3　模擬排ガスによるシミュレート実験
赤線：触媒出口温度の温度上昇度、青線：触媒入口（C_{in}）および出口（C_{out}）におけるメタン濃度、
左：エンジンの低負荷率運転を模擬，右：エンジンの高負荷率運転を模擬。

R3 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：1 件、採択済：1 件、掲載済：1 件）

- 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, COMODIA 2022（採択済）
- 高木正英、今井康雄、川内智詞、ディーゼル噴霧・燃焼における壁面熱伝達の現象解析，海技研報告（研究報告）、第 21 巻、3 号（掲載済）
- Päivi T. Aakko-Saksa, Kati Lehtoranta, Niina Kuittinen, Anssi Järvinen, Jukka-Pekka Jalkanen, Kent Johnson, Heejung Jung, Leonidas Ntziachristos, Stéphanie Gagné, Chiori Takahashi, Panu Karjalainen, Topi Rönkkö, and Hilkka Timonen, Climate and health benefits with optimised ship emission control choices, Progress in Energy and Combustion Science, under review（投稿中）

□その他発表論文：2 件（投稿中：0 件、掲載済：2 件）

- 高木正英，舶用低硫黄燃料の着火性指標，海技研報告第 21 巻別冊，pp.73-78.，および海技研発表会資料 https://www.nmri.go.jp/event/presentation/R3/lecture_14.pdf.

・高木正英, 舶用重質油の着火性指標に関する検討, 91 回マリンエンジニアリング学術講演会, pp.293-294.

□特許申請：0 件
・

□コアプログラム登録：1 件
・2 サイクル排気タービン過給機関性能解析プログラム（発明者：川内智詞）

□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
・本研究は、国が定めた方針（GHG 削減、大気環境影響物質削減）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、GHG 削減のための多様な燃料（次世代燃料）の新たな着火性・燃焼性評価指標の創出、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。適切な評価軸を構築し、公表・公知化することは、使用者側、製造者側に問題点および現状を認識させることにつながり社会的価値が高い。また、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、環境影響物質・GHG 削減につながり、環境負荷の低減に貢献するものである。さらに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
・2020 年の燃料油中硫黄分規制に対応するため、従来油とは異なる基材からなる低硫黄適合油が導入され、規制前の燃料を前提として使われてきた着火性指標と実際の着火性との一致度は下がることが想定されている。現在検討している舶用燃料の炭化水素推定モデルによる着火性予測手法は、多様な基材からなる舶用燃料に汎用的に適用できる点で発展性が高いだけでなく、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。触媒性能は触媒メーカーが反応阻害因子も含め広く研究しているが、舶用機関の実排ガスを用いた研究例は非常に限られている。本研究では、実機（ガスエンジン）での実験に加え、実排ガスに基づいた模擬ガスによるマイクロリアクタを使った実験により、実排ガスから効率良くメタンを削減する条件を解明している。この結果は実機運転にフィードバックすることができ、他の大気環境影響物質（たとえば窒素酸化物 NOx）も抑えつつメタンも効率良く削減できる条件を確立することで、ガスエンジン全般の GHG 削減につながり、大きな意義がある。

□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。適合油の導入に併せ、タイムリーに適切な評価軸を構築してきている。このような評価軸を構築することで個別のトラブルを減らしたり、また燃料そのものの向上につながるよう公知に努めていく。
・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 やメタンの削減は喫緊の課題であり、船上後処理を前提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
・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、萌芽的研究に該当しない。

研究主任者による自己評価	A

コメント

・代替燃料であるアンモニア使用時もパイロット燃料として不可欠である液体燃料の着火性指標の改良や、GHG削減のための後処理技術の研究を進めており、次期中期に繋がる研究成果が期待できる。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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（CO2）、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（CO2）、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、実海域性能評価法への経年変化影響の組み込み、低速時波浪中推進性能モデルの構築、模型スケールにおける波浪中自由航走状態の CFD 計算手法の開発、及び実海域性能に関する現行のガイドライン等への実海域性能評価手法の組み込みを検討し、国際標準提案の作成を行う。 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（CO2）、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。

R3 年度研究目標

□小項目 5
・実海域性能評価法への経年変化評価法の組み込みと評価。
・経年劣化・生物汚損影響評価法の国際提案。
・入力データのレベルに応じた実海域性能診断の試行。
・低速時波浪中推進性能モデルの構築。
・造船各社との請負等による実海域性能船舶の設計・開発。
・風力推進船の運航性能評価と VESTA への組み込み。

□小項目 6
・実運航性能の推定に基づく最適運航の検討
・最適運航システムの検証

□小項目 17
・ AI を活用した主機異常診断システムと主機自動調整システムの統合システムの設計
・ 主機エンジンの劣化を予測するモデルの開発

□小項目 18
・船型・流場データベースによる設計システムの試運用とその改良
・曳航水槽及びキャビテーション水槽における PIV 等の流場計測技術の高度化及びデータ同化手法との連携

□小項目 19
・超低速肥大船の水槽試験による推進性能評価
・新型空気潤滑システムの回流水槽での抵抗低減評価
・弾性表面波デバイスの回流水槽での抵抗低減評価
・水中騒音低減に効果的な空気吹き出しパターンの実験評価

・R3 年度研究内容

□小項目 5
・経年劣化・生物汚損影響評価法の標準化を検討する。
・経年劣化・生物汚損評価法の実海域性能評価法への反映。
・実海域性能診断技術の実用可能性を検討する。
・低速時波浪中推進性能モデルの構築と検証を実施する。
・省エネ技術による実海域性能影響評価法を開発する。
・造船各社と実海域性能船舶の設計・開発を行う。
・実海域再現水槽に自動解析システムを構築する。

□小項目 6

・航路最適化プログラム、海象データベース GLOBUS のインターフェースの利便性向上を図る。
・モデルケースの AIS データや排ガス規制データの分析により、最適運航を導出する。

□小項目 17

・図1の船舶機関長支援システムの開発を念頭において，主機の異常診断システムと最適制御システムの統合システムアーキテクチャーを設計し、シミュレーションベースで統合システムの検討を行う。
・就航船の長期データ解析と劣化対象に応じた主機デジタルツイン技術を用いて経年劣化の予測モデルを開発。

□小項目 18

・船型・流場データベースの拡張
・船型・流場データベースを用いた設計システムのブラッシュアップ
・トリムチャートの自動作成プログラムと水槽試験とのデータ同化システムの構築
・400m 水槽においてデータ同化システムの構築のためトリム変更試験を実施
・大型キャビテーション水槽において高速度カメラ・変動圧力・水中騒音の同時計測を実施
・PIV による流場計測結果と同時計測データセットを比較することによって、船尾流場の変化がキャビテーションに与える影響を調査

□小項目 19

・GHG ゼロエミッションを想定した NMRI コンセプト船の開発（低速幅広肥大船型）
・Active 制御型省エネデバイスに関する研究（気泡による摩擦抵抗変化の速度影響調査。弾性表面波デバイスの開発）
・水中騒音低減に関する研究（プロペラ水中騒音の実船と模型船の相関把握，気泡流による船舶からの水中騒音低減手法の高度化）

R3 年度研究成果

□小項目 5

・経年劣化・生物汚損影響評価法の標準化の検討について、船社との共同研究を通じて長期間の実船モニタリングデータを取得した。また、既存規格である ISO19030 における解析結果との比較を実施し、標準手法の改善点の抽出に取り組んだ。
・経年劣化・生物汚損評価法の実海域性能評価法への反映に関して、計算プログラムのクラウド化に着手し、実船モニタリングデータ解析及びその結果を踏まえた実海域性能評価をクラウド上で計算できる体制を整備するとともに、本クラウドについてはプログラム登録を実施した（図 1、図 2）。

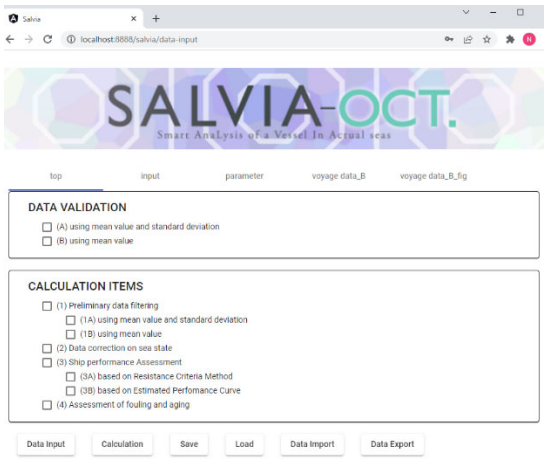


図 1 SALVIA-OCT. トップ画面

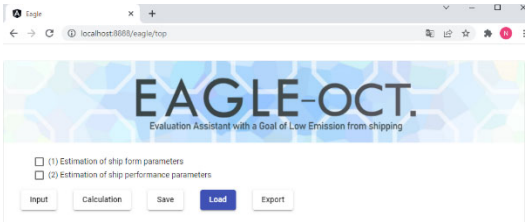


図 2 EAGLE-OCT. トップ画面

・実海域性能診断技術の実用可能性の検討について、前年度までに構築した抵抗増加率に基づくデータ抽出による性能評価手法（RCM、Resistance Criteria Method）の適用範囲を平水中から波風中に拡張し、その有効性について検討を行った（図 3）。また、実船モニタリング解析における高精度化のためのデータ同化手法を検討し、その内容について特許出願した。

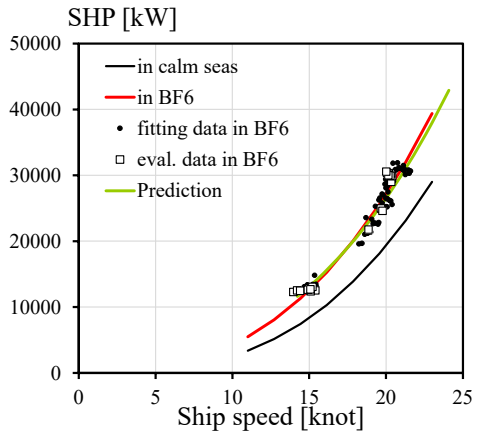


図 3 ビューフォート風力階級6相当の海象における実船モニタリング解析

・省エネ技術による実海域性能影響評価法の開発について、請負研究や技術コンサルと関連して帆やローターを搭載した船舶の省エネ効果の推定を行った（図 4、図 5）。

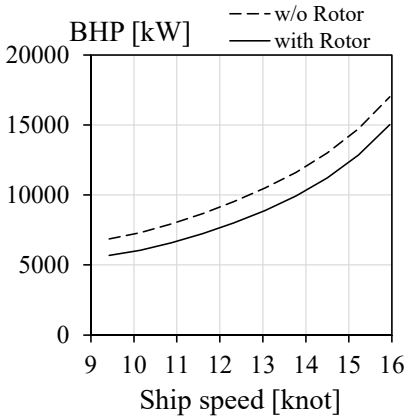


図 4 ローターによる馬力削減効果
（真風速 15.7m/s、真風向 90 度）

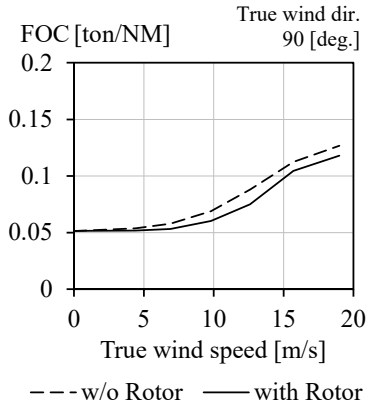


図 5 ローターによる省エネ効果
（1 海里当たりの燃料消費量）

・低速時波浪中推進モデル構築のため、低速時に寄与が大きくなる斜航流体力について、水槽試験により調査を行い、結果を実海域性能推定法に組み込み、感度調査を行った（図 6）。
・実海域再現水槽の水槽制御システムに自動計測・解析機能を組み込み、2 次解析のアルゴリズムについて検討した。
・実運航性能シミュレータ VESTA に、風力推進船の評価機能及び耐航性能評価機能を組み込んだ（図 7）。

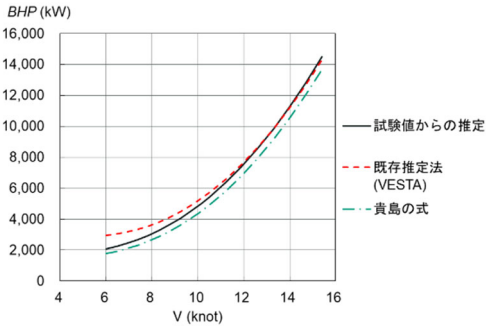


図 6 斜航抵抗の主機出力に対する影響
（ケープサイズバルカー　バラスト状態）

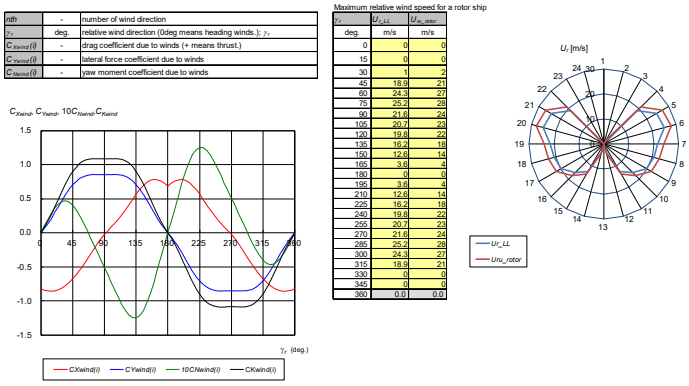


図 7 VESTA の風力推進船（ローター船）入力画面

・GHG 排出規制の対応を進めていく必要があり、これらの技術検討を基に、当所が中心となり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（23 者参加）を開始。

□小項目 6

・航路探索プログラムのインターフェースを改良し（図 8）、AIS データと要目データの表示が可能になった。これにより、実績データに基づく最適航路の検証が容易になった。また、全球の波と風データベース（GLOBUS）のインターフェース改良を行い、多数の海域を解析する場合の処理の効率化を可能とした。

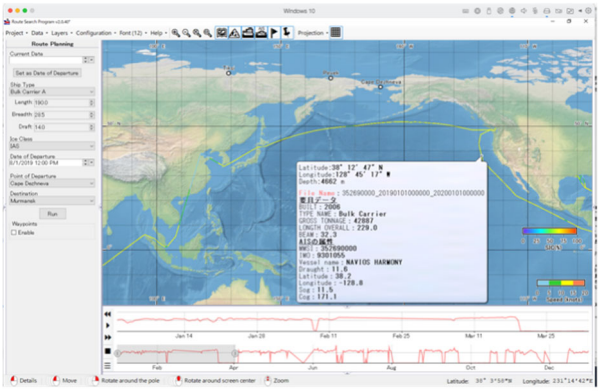
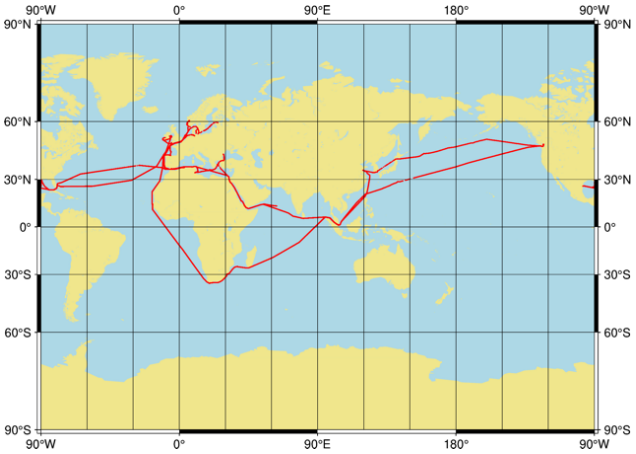
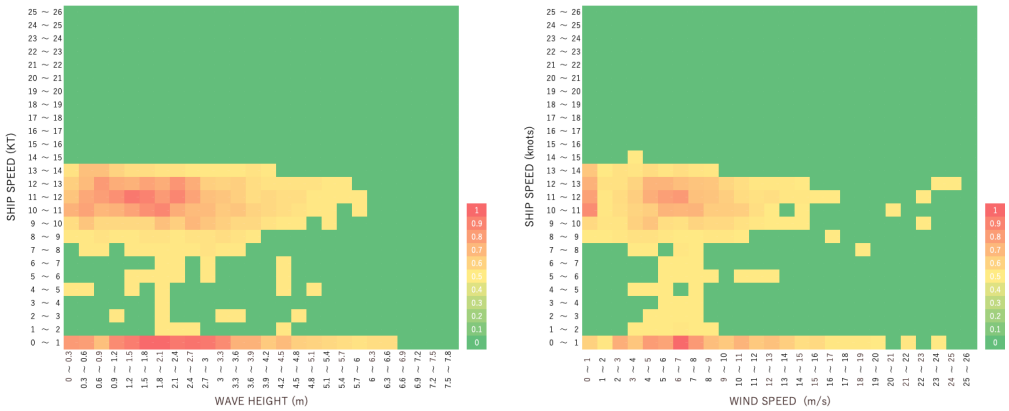


図 8 航路探索プログラムの改良後インターフェース

・EUMRV データを参照して抽出した要目の異なる複数船舶について、衛星 AIS データに基づく実際の航路（図 9a）に沿った運航分析を行なった。GPV データから風及び波のデータを取得し、また AMSR2 衛星データから海氷密接度のデータを取得することで、船速と環境要因（風、波、海氷）の相関を比較した（図 9b）。これにより、実績としてどのような航路選択がおこなわれていたか、環境要因ごとの詳細が明らかになった。



(a) 2020 年における航跡



(b) 風速ー船速（左）及び波高ー船速（右）の頻度確率分布

図 9 衛星 AIS データと GPV データによる 25,000GT バルクキャリアの運航分析例

□小項目 17

・昨年度より開発を進めている“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、本年度は並列計算技術を適用すると共に 1 エピソード−1 ステップ間の計算仕様の確

定など、計算パフォーマンスを改良させた（図 10）。
・昨年度より開発を進めている”主機デジタルツイン技術”を本年度は就航船データの解析アルゴリズムに組み込み、主機の経年劣化の予測アルゴリズムを完成させた。具体的には、（1）主機性能計算用の入力パラメータを決定し、カルマンフィルタの適用法確立、（2）劣化無し状態の推定を目的とした主機イニシャルモデルの設計、（3）同じ状態において就航船データと主機デジタルツインの性能差を計算し、信頼性関数を適用させる。図 11 にそのフローチャートを示す。そして、信頼性関数を用いて劣化の予測アルゴリズムを就航船データに適用して劣化傾向を実際に分析し、提案手法が問題無く計算できていることを確認した。
・本小項目に統合された小項目 16 の研究成果である“船体−プロペラ−主機応答連成計算プログラム”を活用して実施した共同研究が終了し、その成果として論文 3 件（内、査読付き 1 件）を投稿した。

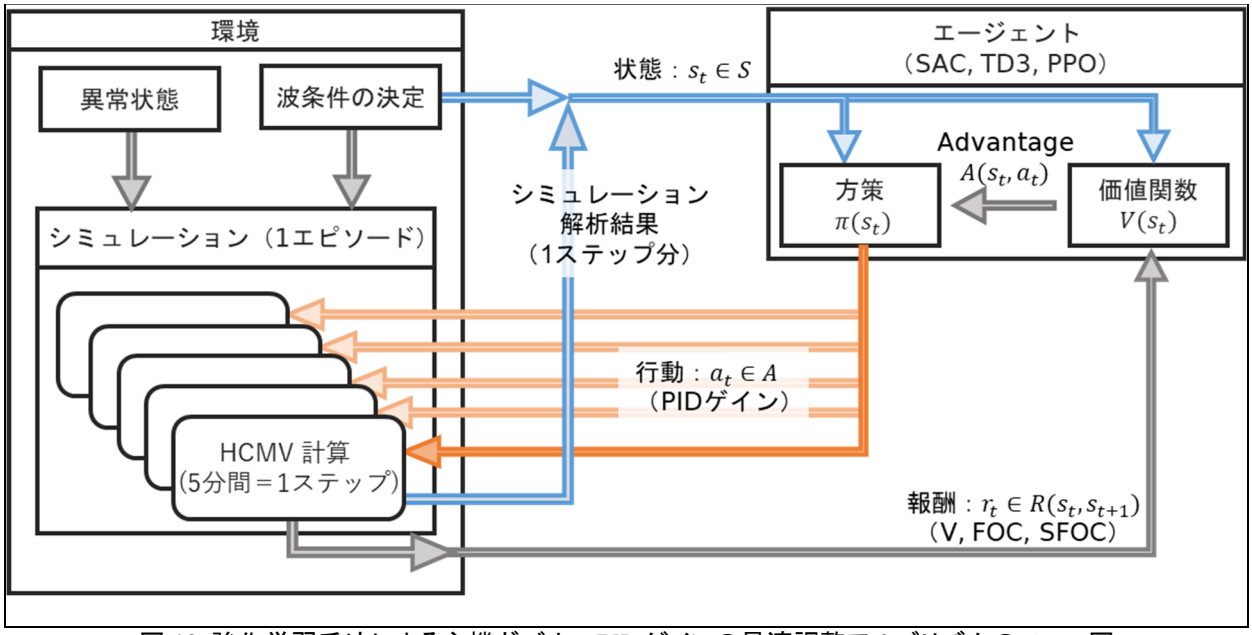


図 10 強化学習手法による主機ガバナーPID ゲインの最適調整アルゴリズムのフロー図

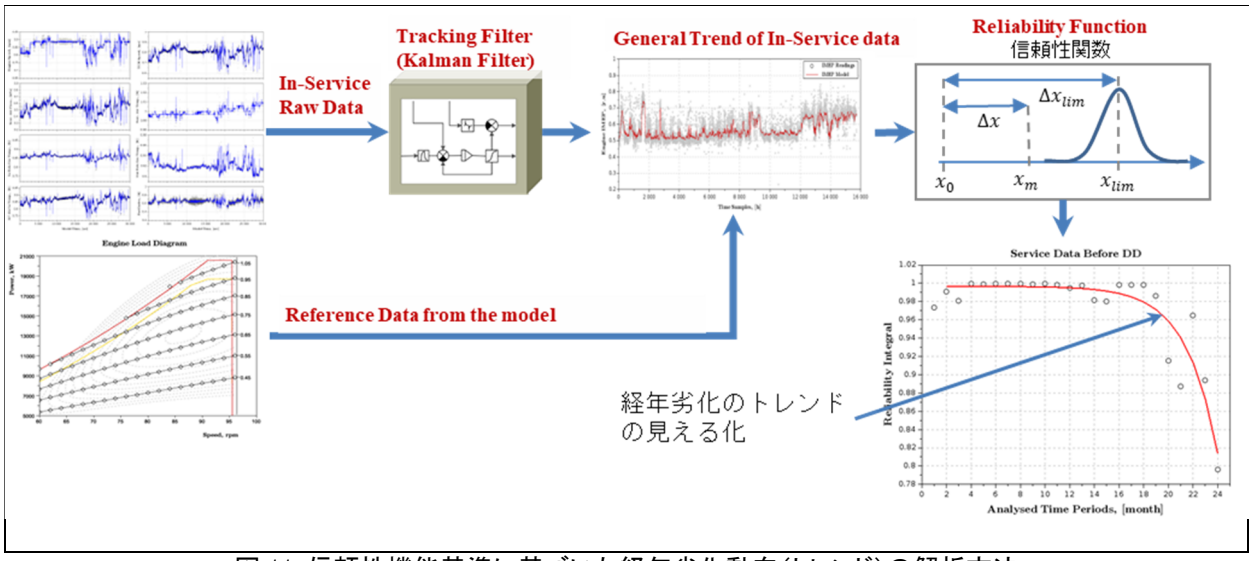


図 11 信頼性機能基準に基づいた経年劣化動向（トレンド）の解析方法

□小項目 18

（1）船型・流場データベースによる設計システムの試運用とその改良

船型・流場データベースによる設計システムを造船所で試用し、新しい設計手法を現場で採用するために必要な補間データや表示すべき項目などの改善点を抽出し、これらの改善点の内、データベースからの推進性能補間推定機能など造船所ニーズの高い機能を実装し、一般に利用可能なシステムに改良した（図 12）。また、データベースの発展としてトリムチャートの自動作成プログラムと、水槽試験とのデータ同化システムのプロトタイプを開発し、400m 水槽においてシステム評価とデータ同化手法の検討のためのデータを取得した。来年度は開発した設計システムを海技研クラウド上で公開（図 13）するとともに、当所で構築している船型データベースの充実とブラッシュアップを図る。

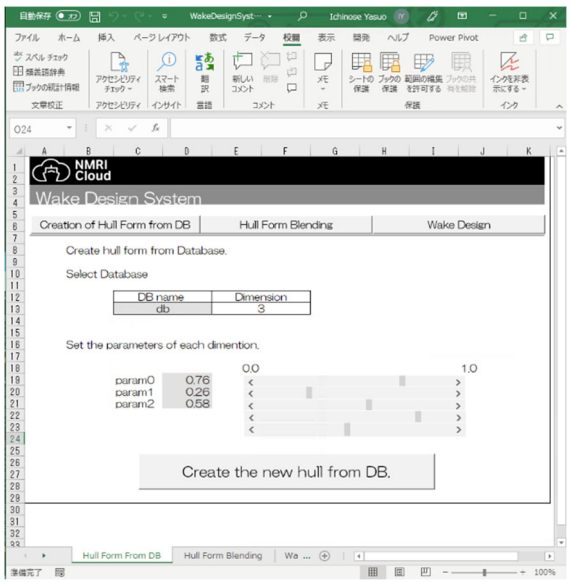


図 12 伴流設計システム Excel 版の画面

図 13 海技研クラウド上の伴流設計システム web サイトのイメージ図

（2）曳航水槽及びキャビテーション水槽における PIV 等の流場計測技術の高度化

実船流場計測と同状態での抵抗自航試験を行い、模型スケールでの実船試験状態での推進性能や省エネ付加物の効果について、検証データを取得した。

キャビテーション水槽第 2 計測胴において、当所で開発した船尾省エネ付加物 WAD と USTD を用いたキャビテーション試験を実施した。その結果、開発した付加物によって変動圧力の翼周波数第 1 成分が付加物無の状態に比べ 40%減少することを確認した（図 14）。また、水中騒音についても最大 6dB 低減することを確認した（図 15）。また、キャビテーション水槽でのステレオ PIV 計測において、立体校正板や新型のプリズムを導入し、計測効率や計測精度の向上を図った。省エネ付加物による変動圧力と水流騒音の低減効果について、計測した流場から伴流ピークの緩和によってキャビテーションが低減することが要因であることを確認した（図 16）。

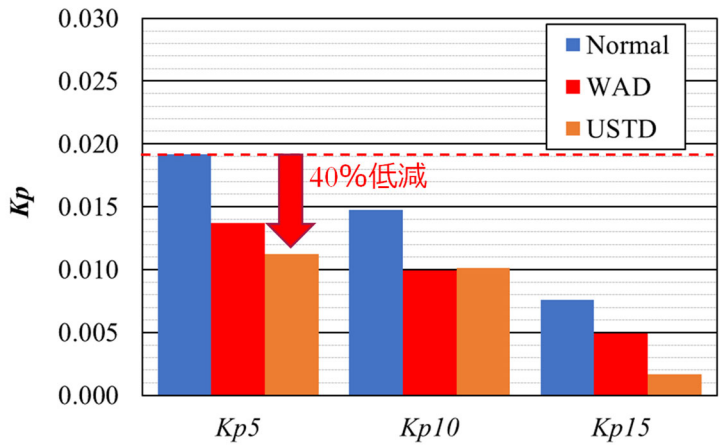


図 14 付加物無（Normal）、WAD、USTD の変動圧計測結果の比較（条件：KT=0.224, σn=1.95）

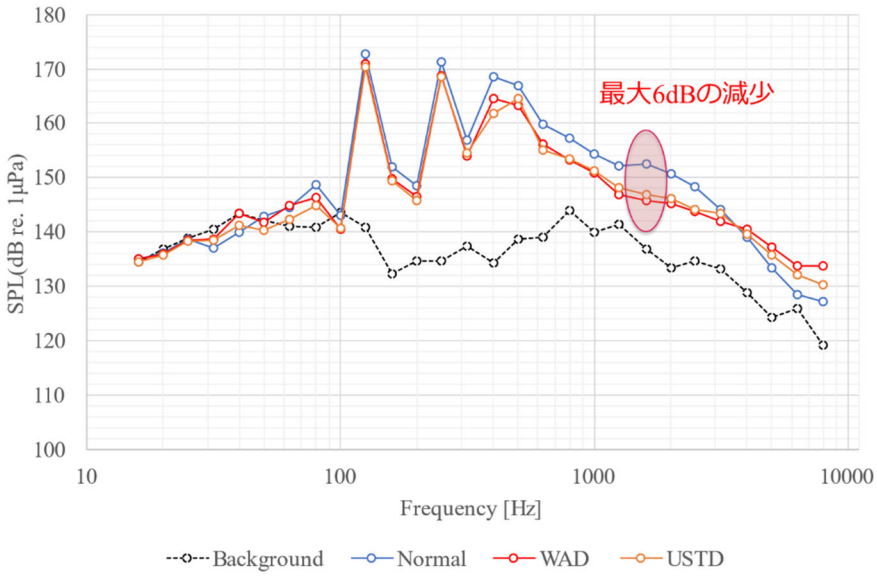


図 15 付加物無（Normal）、WAD、USTD の水中騒音計測結果の比較（条件：KT=0.224, σn=1.95）

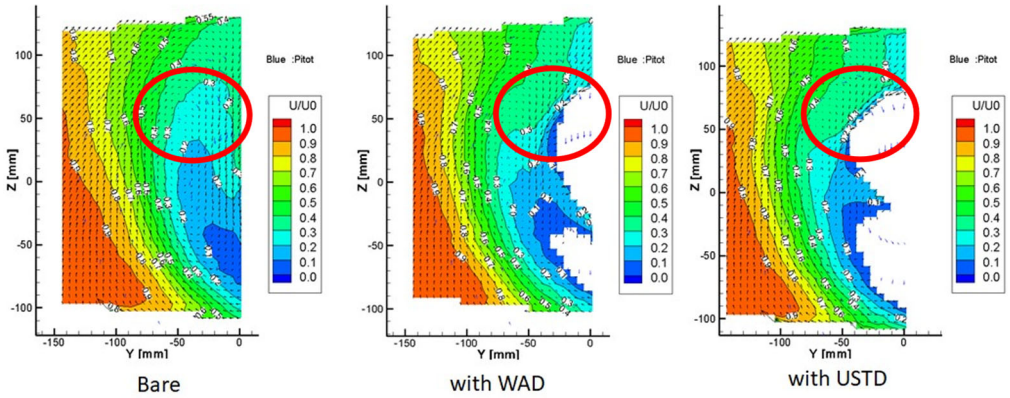


図 16 プロペラ面前方の断面の PIV 計測結果。裸殻、付加物(WAD,USTD)有り無しでの比較

□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

- ケープサイズバルクキャリアを対象に本研究で開発した低速幅広肥大船型(M916)は、従来船である JBC 船型に対して、GHG で 55%減、CII（Carbon Intensity Indicator）で 35%減となり、GHG の大幅削減が可能な船型であることが水槽試験で明らかとなった（表 1, 図 17）。
- 燃料を液化水素（LH）および液化アンモニア（LA）とした場合、燃料タンク容積は重油（HFO）の場合と比べ、それぞれ 5.7 倍、2.7 倍となり、このタンク大型化の影響は防熱等の付帯設備を考慮し、エネルギー効率でそれぞれ 5%と 3%の悪化となる（表 2）。

表 1 低速幅広肥大船型（M916)の主要目

		M916	JBC
Lpp	m	286.00	280.00
B	m	73.12	45.00
d	m	16.50	16.50
L／B	-	3.91	6.22
B／d	-	4.43	2.73
C_B	-	0.8323	0.8580
Displacement Δ	ton	294,447	179,092
Design Speed	knot	10.0	14.5
Δ/Δ_JBC	-	1.64	1.00

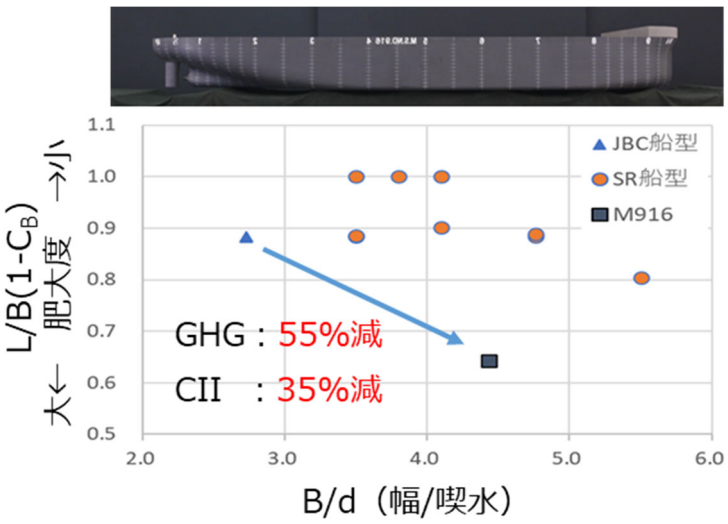


図 17 気泡による摩擦抵抗変化の速度影響

表 2 代替燃料使用時のタンク容量，エネルギー効率の比較

		JBC	M916	M916H	M916A
Fuel		HFO	HFO	LH	LA
Service speed, Vs	knot	14.5	10.0	10.0	10.0
Deadweight, DW	ton	158,000	254,000	228,124	244,641
DW/DW(M916)	-	-	1.00	0.90	0.96
Fuel tank volume ratio	-	-	1.0	5.7	2.7
Fuel tank capacity	ton	3,813	5,505	31,381	14,865
BHP	kW	12,585	6,256	6,256	6,256
EEC/EEC(JBC)	-	1.00	0.45	0.50	0.47
GHG/GHG(JBC)	-	1.00	0.45	0.00	0.00
CII/CII(JBC)	-	1.00	0.65	0.00	0.00

LH：Liquid Hydrogen,　LA：Liquid Ammonia,　EEC：エネルギー効率

Active 制御型省エネデバイスに関する研究（気泡による摩擦抵抗変化の速度影響調査）

・ 水平チャネルにおける気泡流中のせん断応力の計測から、速度により抵抗低減効果は変化し、断面内平均流速 U_m = 1 ～ 2.5 [m/s]においては気泡により摩擦抵抗が増加することなどが確認された。また、これまでに実施した PTV 計測やボイド率計測結果から、速度による気泡径および気泡位置の変化により、摩擦抵抗の速度影響は(I)Drag increase region、(II)Transition region、(III)Drag decrease region に分類して説明できることを示した（図 18）。

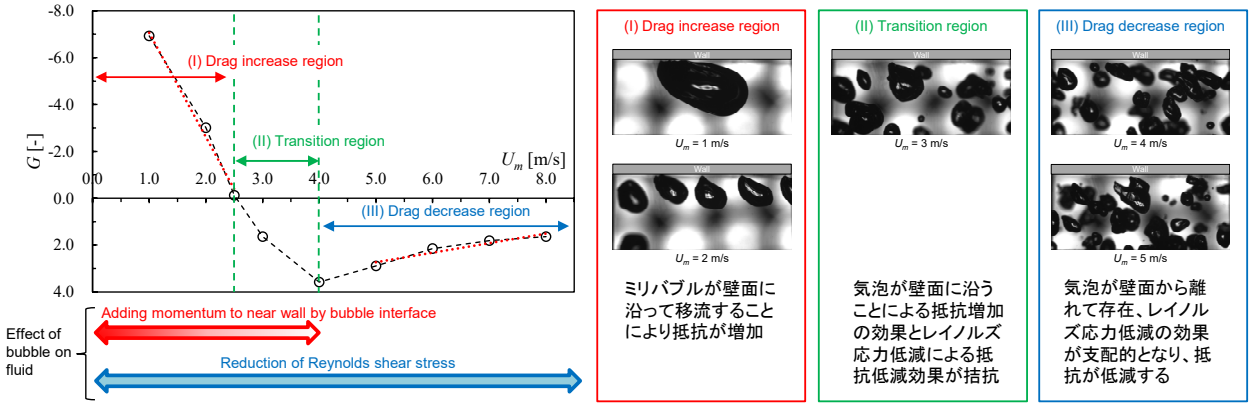


図 18 気泡による摩擦抵抗変化の速度影響

Active 制御型省エネデバイスに関する研究（弾性表面波デバイスの開発）

・ 表面波音速が水に近い圧電材料である BGO を用いた弾性表面波デバイスを製作し、音響流の放射角を約 30 度にすることに成功した。図 19 に PIV による流場計測結果を示す。従来型のニオブ酸リチウム弾性表面波デバイスの音響流の放射角は、約 70 度（図 20）であり、流体制御デバイスとして使用する場合、主流方向成分より垂直方向成分が大きく、流場制御に使用するのは困難であった。新開発のデバイスは、主流方向成分が、垂直方向成分に卓越するため、有効な流場制御デバイスとして期待できる。音響流の放射される速さは、入力電力電圧 40V で約 32mm/s、20V で約 18mm/s と入力する電圧に概ね比例し、流場制御デバイスとして有効な特徴を持つことを確認した。

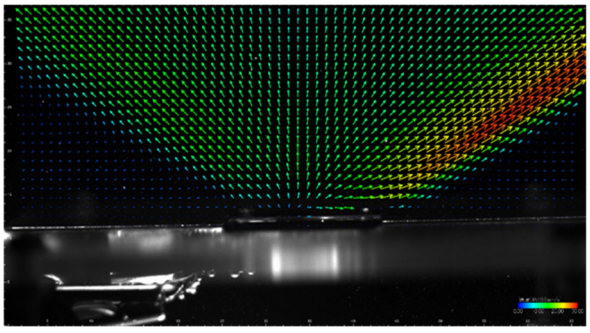


図 19 新開発の BGO 弾性表面波デバイスから放射される音響流
（放射角約 30 度）

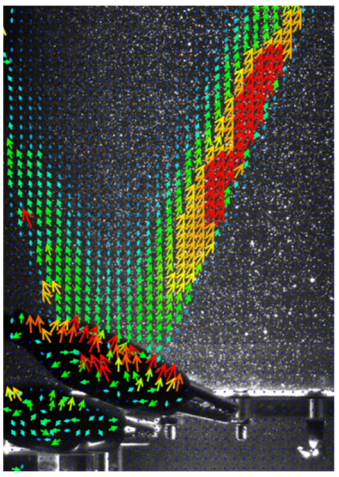


図 20 従来型のニオブ酸リチウム弾性表面波デバイスから放射される音響流
（放射角約 70 度）

Active 制御型省エネデバイスに関する研究（水中騒音低減）

・ 前年度開発した TSP（Time Stretched Pulse）信号を用いた伝達関数計測法を用いて、大型キャビテーション水槽第 1 計測胴の伝達関数を計測（図 21）し、計測胴のサイズ及び試験状態が異なる場合でも有効な伝達関数が得られることを確認した。また、青雲丸 I 世 HSP の模型プロペラ対象に水中騒音計測を行い、その計測結果を伝達関数によって補正し、ITTC の方法を用いて実船換算を行った結果が実船計測結果と良好に一致することを確認した（図 22）。

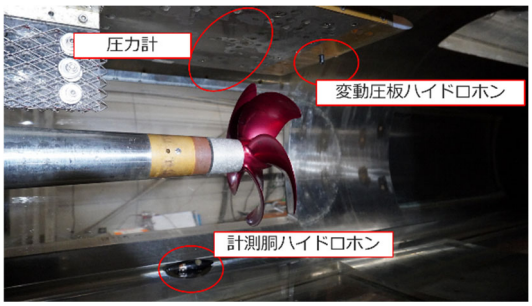


図 21 水中騒音計測風景

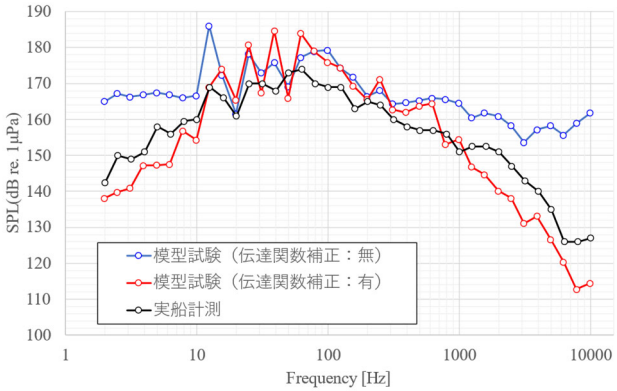


図 22 実船と模型試験の水中騒音の比較結果

- 空気吹き出しによる水中騒音低減効果の検証のため、空気吹き出し位置と空気吹き出し量を変更可能な空気吹き出しシステムを構築した（図 23）。大型キャビテーション水槽第 2 計測胴において、JBC 改良船型の模型船を用いたキャビテーション試験を行い、水中騒音低減に効果的な空気吹き出しパターン（吹き出し位置、吹き出し量）の調査を行った。その結果、最適な空気吹き出しによって水中騒音が 8dB 減少することを確認した（図 24）。

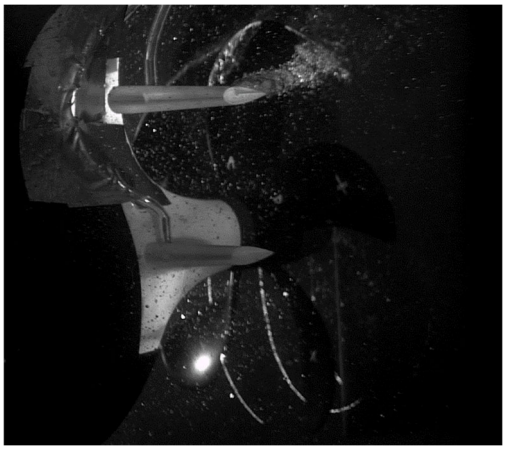


図 23 空気吹き出し有り（上左舷）

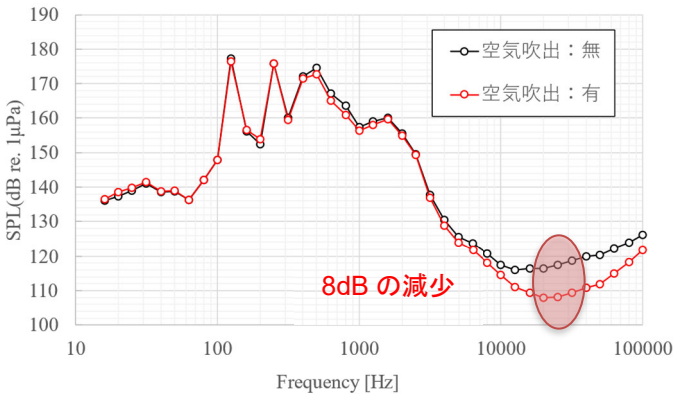


図 24 空気吹出による水中騒音低減効果

R3 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）：26 件（投稿中：18 件、採択済： 件、掲載済：8 件）

- S. Yokota et al.：A Practical Correction Method for Added Resistance in Oblique Waves Considering the Influence of Roll Motion, Journal of JASNAOE, Vol.34, pp. 1–10, 2021.
- M. Kuroda et al.：Development of the Evaluation Method for Life Cycle Ship Performance, Journal of JASNAOE, Vol.34, pp. 19–27, 2021.
- J. Wang et al.: Validation study on a new semi-empirical method for the prediction of added resistance in waves of arbitrary heading in analyzing ship speed trial results, Ocean Engineering, Vol. 240, 2021
- Bondarenko O., et.al.: The Outlook for Machine Learning Application in the Problem of Propulsion Engine Monitoring and Diagnostics, In Proc.: COMODIA Conference, 2022
- T. Tanaka, et al.: Repetitive bubble injection promoting frictional drag reduction in high-speed horizontal turbulent channel flows, Ocean Engineering, Vol. 239, 2021
- 田中泰爾ほか：乱流境界層への気泡注入による摩擦抵抗低減効果：長尺模型船実験と実スケール性能の推定、日本機械学会論文集、2022
- 粉原直人ほか：実海域におけるローター船の省エネ効果の評価、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
- K. Kume et al.: Evaluation of Aerodynamic Characteristics of a Ship with Flettner Rotors by Wind Tunnel Tests and RANS-Based CFD, Ocean Engineering（投稿中）
- M. Kuroda et al.：Evaluation of Ship Performance in terms of Shipping Route and Weather Condition, Ocean Engineering（投稿中）

・M. Kuroda et al.: Assessment of Energy Saving Technologies using the Evaluation Method of Life Cycle Ship Performance –Application of OCTARVIA INDEX for the Evaluation–, Journal of JASNAOE（投稿中）
・M. Kuroda et al.：Effect of Hydrodynamic Forces due to Drift Motion on Ship Performance in Actual Seas at Low Speed, Proc. of PRADS2022.（投稿中）
・M. Tsujimoto et al.: Research and Development of OCTARVIA Project –Evaluation of Ship Performance in Actual Seas–, JMST（投稿中）
・深澤良平：ハマパッチを用いた乱流促進による馬力推定とその評価、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・北川泰士ほか：CFRP プロペラ搭載船の波浪中燃料消費性能に関する基礎的研究、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・Y. Ichinose et al.: A Manipulation and Analysis Method for Hull Surface that Organize and Visualize Propulsive Performance, Ocean Engineering（投稿中）
・K. Shiraishi et al, Verification Based on Pressure Fluctuation Induced by Cavitating Propellers for Cavity Shape Measurement Using Combination-Line CCD Camera Measurement Method, Ocean Engineering（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、ターボ機械協会誌（投稿中）
・澤田祐希ほか：ダクト型省エネ付加物によるプロペラキャビテーションへの影響、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・K. Shiraishi et al.: Deformed Shape Estimation for Flexible Composite Marine Propellers by Image Registration, JMST（投稿中）
・T. Tanaka, et al.: Frictional drag reduction by bubble injection in turbulent boundary layers beneath a 36-m-long flat-bottom model ship, Ocean Engineering（投稿中）
・T. Tanaka, et al.: Downstream persistence of frictional drag reduction with repetitive bubble injection, Ocean Engineering（投稿中）
・H. Kawashima et al.: Effect of Roughness Shape Parameters on Turbulent Frictional Resistance on Two-Dimensional Quasi-Wavy Rough Surf, JMST（投稿中）
・H. Kawashima et al.: Estimation Method of Drag Reduction Effect in Actual Vessels by Air Lubrication Using Tank Test Results on Long Flat Plates, JMST（投稿中）
・D. Arakawa et al.: Numerical Study on Influence of Air Bubbles around Ship Hull on Propulsive Efficiency, Journal of JASNAOE（投稿中）
・粉原直人：実海域性能推定の高精度化に関する研究，大阪大学博士論文、2021 年 9 月
・拾井隆道：乱流境界層中の気泡による摩擦抵抗変化に関する研究、横浜国立大学博士論文、2022 年 3 月

口その他発表論文：38 件（投稿中：8 件、掲載済：30 件）

・M. Tsujimoto：OCTARVIA Project –Evaluation of ship performance in actual seas–、台湾船社向けセミナーIoS-OP セミナー What's IoS-OP? Data utilization & Cyber Security （2021）
・辻本勝：OCTARVIAI の成果と OCTARVIAII の計画、海上技術安全研究所報告第 21 巻別冊，pp.59-64
・辻本勝ほか：OCTARVIA の成果と OCTARVIA フェーズ 2 の計画、第 81 回実海域推進性能研究会（2021）
・辻本勝ほか：ITTC 総会報告、第 81 回実海域推進性能研究会（2021）
・辻本勝ほか：OCTARVIA プロジェクトの概要，海上技術安全研究所報告（総合報告），第 21 巻，第 2 号，pp. 1-9.
・辻本勝：OCTARVIA プロジェクト（実海域実船性能評価プロジェクト）フェーズ 2 の開始、第 82 回実海域推進性能研究会（2022）
・辻本勝：OCTARVIA Project の web アプリとその活用、IoS-OP 国内船社向けセミナー（2021）
・宇都正太郎ほか：国際試験水槽委員会（ITTC）第 29 期活動報告、KANRIN（2021）
・久米健一：GHG 削減短期対策（EEXI,CII）の現状と見通し -IMO/MEPC での議論-、第 81 回実海域推進性能研究会（2021）
・粉原直人ほか：実船モニタリングによる実船性能評価法の構築，海上技術安全研究所報告（総合報告），第 21 巻，第 2 号，pp. 11-25.
・粉原直人：海技研における実船モニタリングに関する研究、KFR・KSSG 共催シンポジウム 実船モニタリングの最前線（2022）
・久米健一ほか：設計段階での実船性能推定法の構築，海上技術安全研究所報告（総合報告），第 21 巻，第 2 号，pp. 27-38.
・久米健一：内航海運のための省エネルギー標準船型の開発、マリンエンジニアリング 57(1), pp. 60-64, 2022
・黒田麻利子ほか：実海域実船性能評価指標 ―ライフサイクル主機燃費―，海上技術安全研究所報告（総合報告），第 21 巻，第 2 号，pp. 39-49.
・N. Sogihara：Evaluation of Ship Performance in Actual Seas Using Onboard Monitoring Data，日本船舶海洋工学会講演論文集，第 32 号
・辻本勝：EEDI 規制と船舶性能、関西海事教育アライアンス（2021）
・辻本勝：船舶抵抗・推進論 (1)実海域船型学、(2)実海域推進性能－規制の国際動向－、(3)実海域推進性能－設計への利用－、(4)実海域推進性能－運航への利用－，東京大学大学院新領域創成科学科（2021）
・辻本勝：OCTARVIA プロジェクトでの技術開発、九州大学大学院工学研究院（2021）
・松沢孝俊：VESTA-ICE による北極海航路のルーティングシステムの開発，海技研 2021 年度研究発表会（2021）

・金子杏実ほか：瀬戸内海及び付近における平水区域の解析、第 81 回実海域推進性能研究会（2021）
・金子杏実ほか：平水区域の波と風の統計的性質－海域比較－，日本航海学会 2021 年秋季講演予稿集，Vol. 9, No.2, pp.71-74 (2021)
・ボンダレンコ オレクシーほか：実運航データによる主機デジタルツインの同定及び同化の問題について，日本マリンエンジニアリング学会第 91 回学術講演会.
・一ノ瀬康雄，海技研水槽の自動化とオンラインモニタリングシステム，第 82 回実海域推進性能研究会，2022 年 1 月，オンライン開催 (2021)
・一ノ瀬康雄ほか：機械学習を活用した船尾流場推定手法と伴流設計システム，海上技術安全研究所，令和3年度研究発表会 (2021)
・田中泰爾ほか：乱流境界層への気泡注入による摩擦抵抗低減効果の下流持続性(第 25 回 動力・エネルギー技術シンポジウム)日本機械学会
・林拓矢ほか：光ヘテロダイン式デュアルビーム法を用いた気泡流の乱流せん断応力測定（日本混相流学会 混相流シンポジウム 2021）
・藤井夏海ほか：長尺模型船における人工ボイド波の液相支配領域での局所剪断応力分布の評価（日本混相流学会 混相流シンポジウム 2021）
・佐藤弘康ほか：36m長尺模型船を用いた翼型気泡発生装置による空気導入性能と正味抵抗低減について（日本機械学会 2021 年度 年次大会）
・川北千春ほか：プロペラに生じるキャビテーション励振力の予測精度（キャビテーションに関するシンポジウム）
・白石耕一郎ほか: キャビテーション水槽における伝達関数計測法，ターボ機械協会プロペラ分科会，2021 年 12 月
・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 2022 年春季講演予稿集，Vol. 10 (2022)（投稿中）
・北川泰士ほか：自由航走模型試験と理論計算による CFRP プロペラ搭載船の波浪中推進性能評価に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，(2022)（投稿中）
・北川泰士ほか：CFRP プロペラ搭載船の波浪中燃料消費性能の評価に関する基礎的研究 日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，(2022)（投稿中）
・一ノ瀬康雄: 推進性能を向上するための船体形状の設計技術，日本トライボロジー学会学会誌トライボロジスト（投稿中）
・Y. Ichinose et al., A hull form design system suitable for machine learning that integrates deformation, data structure, and analysis, Proceedings of 21th Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries（投稿中）
・川北千春ほか：低速幅広肥大船型による GHG 削減への取り組み，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，(2022)（投稿中）
・T. Tanaka et al.: Bubbly Drag Reduction Promoted by Generating Void Waves in High-Speed Turbulent Channel Flows, Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics, 2022（投稿中）
・Y. Oishi et al.: Application of Variable Interval Time Averaging Method to Waveform of Wall Shear Stress in Bubbly Flow, Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics, 2022（投稿中）

□特許申請：5 件
・船舶の実船モニタリング解析による性能評価方法、性能評価プログラム、及び性能評価システム
・船舶の横揺抵抗増加低減方法、横揺抵抗増加低減システム、及び船舶
・エンジンのモデルパラメータ同定方法、モデルパラメータ同定プログラム、及びエンジンのデジタルツイン管理システム
・燃焼ガスの分析システム及び燃焼ガスの分析方法
・自動負荷配分装置を備えた船体摩擦抵抗低減装置

□コアプログラム登録：5 件
・プログラム VESTA（実運航性能シミュレータ）V5 版
・ライフサイクル主機燃費指標計算プログラムクラウド版（OCTARVIA-app V1 版）
・船体形状・船体性能推定プログラムクラウド版（EAGLE-OCT-app V1 版）
・実船モニタリングデータ解析プログラムクラウド版（SALVIA-OCT-app V1 版）
・GLOBUS -Global Winds and Waves-表示プログラム Ver.2

□国際貢献：9 件
・Draft amendments to MEPC.1/Circ.815 for verification of the wind propulsion system, MEPC 76/6/2, 2021
・Final Report and Recommendations to the 29th ITTC from SC SOS, Proc. of 29th ITTC, 2021
・Preliminary consideration of amendments to the S/P trials guideline for WAPS-equipped ships – Work plan for ToR 8 – (ITTC/wind), 2022
・Preliminary consideration of amendments to the S/P trials guideline for WAPS-equipped ships – Work plan for ToR 9 – (ITTC/wind), 2022

・ITTC FSSPC Action plan for ToR 5(2)C （ITTC/FSSP), 2022
・ITTC FSSPC Action plan for ToR 3E （ITTC/FSSP), 2022
・ITTC FSSPC Action plan for ToR 8A （ITTC/FSSP), 2022
・Wave correction methods (ISO15016 WG17), 2022
・Consideration and proposal for wind limitation (ISO15016 WG17), 2022

□受賞： 件
・

□公開実験：1 件
・オンライン立会システムを使用した 400m 水槽の自動計測システム，令和 4 年 1 月

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
・実海域性能の向上は GHG 排出削減に寄与し、パリ協定や 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。また、23 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の向上は海事産業の競争力強化に貢献できている。
・船舶 GHG 排出規制は北極海を含む全急規模に広がっており、年間排出量だけではなく運航ルートに沿って分析することは各運航の最適化に寄与し、総量として船舶全体による環境負荷の低減につながる。
・GHG 削減のため低速幅広肥大船型をコンセプト船として開発し、従来船型に対して、GHG で 55%減、CII（Carbon Intensity Indicator）で 35%減となり、GHG の大幅削減が可能なことを確認でき、海事産業の競争力強化に繋がる。

□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
・実船モニタリングデータによる実海域性能の検証技術は今後、実海域性能保証や実海域性能診断を進めるための基盤となる技術であり、成果の意義は十分に大きい。
・EUMRV データだけでは不可能だった環境負荷に対する影響因子の個別評価及び航路選択の合理性が、AIS データを用いることで可能になった。
・船型・流場データベースによる設計システムはデジタル化技術を活用したものであり、今後の船型データと模型試験、実船データ間のデータ同化・ビッグデータ利用に必要な技術であり、意義が大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか
・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 の開始に合わせ、準備となる技術検討を実施できており、期待されたタイミングで創出されている。
・EUMRV は 2018 年のデータが初公開であり、まだ用途や活用法が確立していない。この時点で有効な利用例を提示することは、今後の MRV ルール整備に対してポジティブな効果をもたらす。
・2023 年の GHG 削減の現存船適用に対応して、低速化、肥大化に対する研究開発に取り組めており、適切な時期に成果を創出できている。

□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。
・年間の 5,000GT 以上全船のデータを整備しており、これを用いて分析すれば幅広い実績に基づいて結果が得られるという点は、分析の公平性・普遍性に優れており国際的な評価に耐えうるものである。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか
・航路探索システムによる最適な航路の探索は自動運航にも有用であり、今後の船舶業界のニーズにマッチしている。
・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し、先進的取り組みを実施。

研究主任者による自己評価	S

コメント

・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なように、当所が中心となり 23 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（OCTARVIA）プロジェクトフェーズ2を開始できた。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、我が国海事産業の国際競争力強化を進める取り組みを実施できている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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（CO2）、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（CO2）、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、実海域性能評価法への経年変化影響の組み込み、低速時波浪中推進性能モデルの構築、模型スケールにおける波浪中自由航走状態の CFD 計算手法の開発、及び実海域性能に関する現行のガイドライン等への実海域性能評価手法の組み込みを検討し、国際標準提案の作成を行う。 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（CO2）、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。

R3 年度研究目標

□小項目 2

・二相流れに対応した NAGISA の開発を継続し、2 次元翼におけるキャビテーションモデルの基礎検証を行うと共に、3 次元非一様流中におけるプロペラキャビテーション計算を可能にするための、伴流再現法・キャビテーション計算安定化手法を開発する。

□小項目 4

・模型スケールにおける波浪中自由航走状態の計算手法を開発する。

□小項目 5

・損傷時復原性の検討における様々な損傷パターンに対応すべく、主船体内部の複数区画の損傷部分を扱えるよう、重合格子手法を拡張する。損傷し浸水した状態について波向きを変更し、手法の検証を行う。

□小項目 7

・格子ボルツマン法を主体としたハイブリッド計算手法の開発を継続する。基礎的なテストケースを設定し、検証計算を行う。

・R3 年度研究内容

□小項目 2

・前年度開発した二相流れ対応 NAGISA による二次元キャビテーション問題に対する基礎検証を継続するとともに、プロペラキャビテーション計算を可能とするための、船尾伴流再現法・キャビテーション計算を安定化させる手法を開発する。

□小項目 4

・動的重合格子手法による模型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。

□小項目 5

・主船体内部の複数の区画が浸水した状態について、区画間の孔と区画を重合格子手法で取り扱えるよう手法を拡張する。開発する手法に基づき、自由表面の挙動を含む流場の変動や船体の運動について妥当な結果が得られるかどうか検証する。

□小項目 7

・ハイブリッド計算手法の開発を継続し、基礎的なテストケースにおける流場変数等に関する検証を行う。

R3 年度研究成果

□小項目 2

・VOF 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行った。
・非一様流中におけるキャビテーション計算を比較的短時間で可能とするため、船尾流れを境界条件として与え、流場を再現する方法を開発した。再現した船尾伴流中でプロペラキャビテーション計算を行い、キャビテーション

の発生範囲の計測結果との比較等を行った。

・付加物付きのタンカー船型の実船性能推定に関する国際的な(13 機関が参加)ベンチマーク計算に参加し、既公表の実船スケール CFD 計算ガイドラインを活用して、手法の有効性を示した。結果は他参加機関の結果とあわせて国際ジャーナル論文(投稿中)にまとめられた。

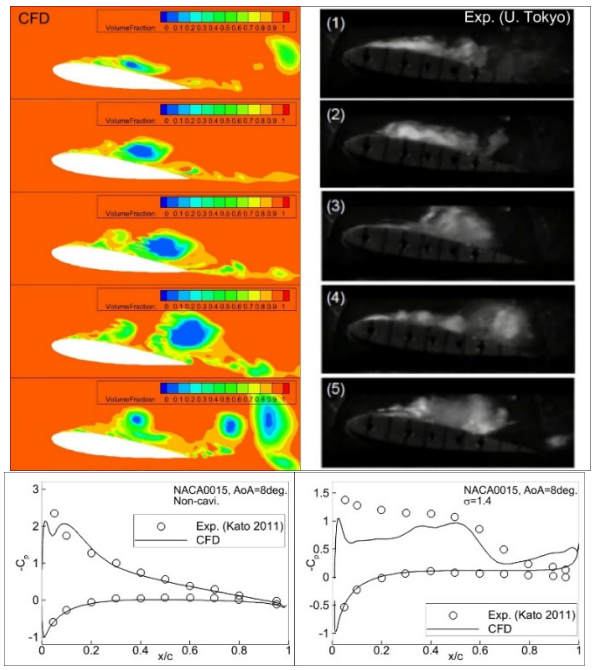


図 二次元翼周りのキャビテーション発達時系列および翼面上圧力分布の検証

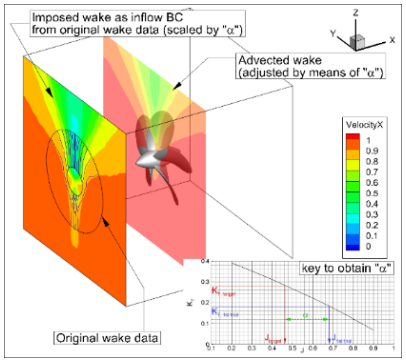


図 キャビテーション計算領域中への船尾流れの再現

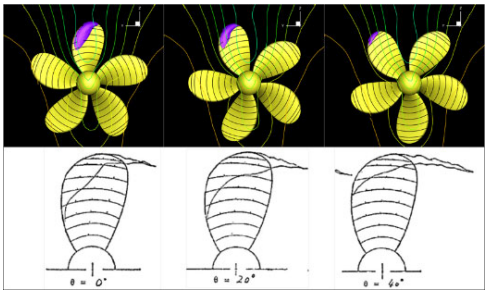


図 三次元プロペラキャビテーション計算とキャビテーション発生範囲の計測結果との比較

□小項目 4

・通常舵、特殊舵について自由航走状態での 35 度旋回の計算を行い、旋回径や舵力等の違いについて明らかにした。

・模型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。水槽試験を模擬し、造波とともに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、波浪中での自由航走と 35 度旋回計算を実現した。

・外部機関独自による実用化がなされ、肥大船の PMM 操縦運動シミュレーションにより、流体力等を精度良く推定できることが示されている。また、自律船に関係する請負研究において、深水及び浅水域におけるフラップ舵付きの CMT での操縦流体力を精度良く推定できること等を示した。

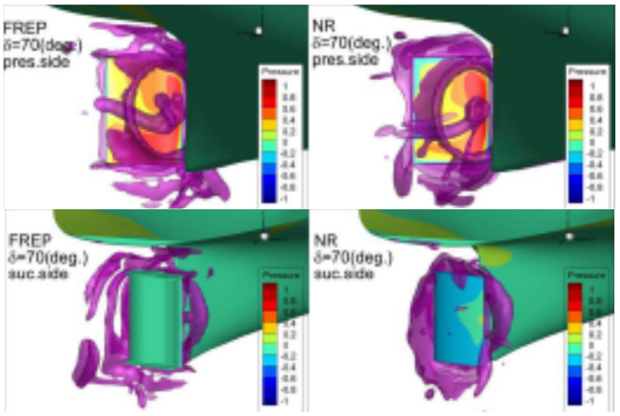


図 舵形状による圧力及び渦構造の変化

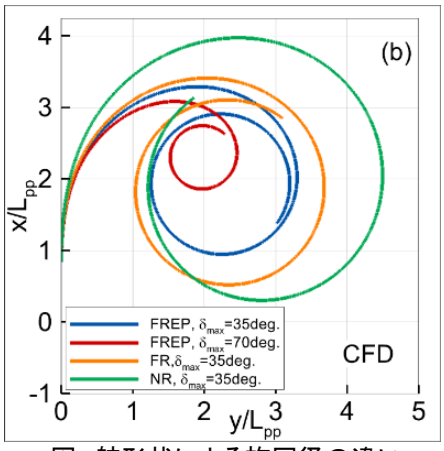
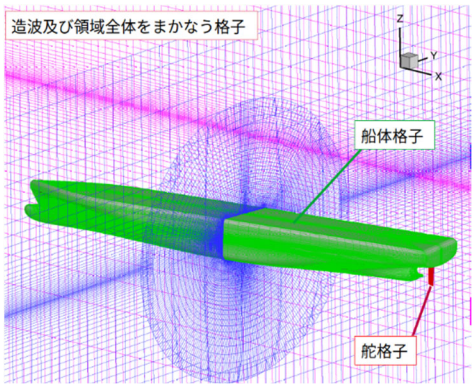
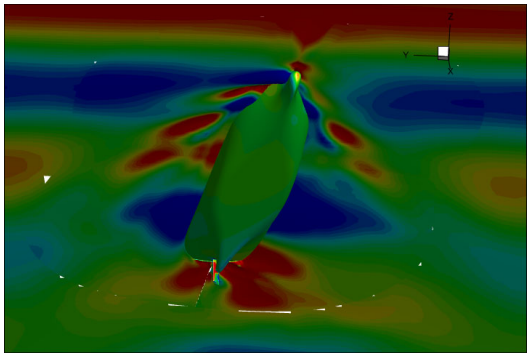


図 舵形状による旋回径の違い





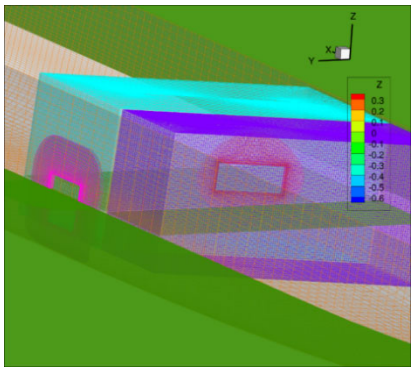
動的重合格子手法に基づく波浪中旋回計算用格子　　波浪中 35 度旋回における船体周り自由表面の可視化

図　動的重合格子による波浪中自由航走状態及び 35 度旋回の計算

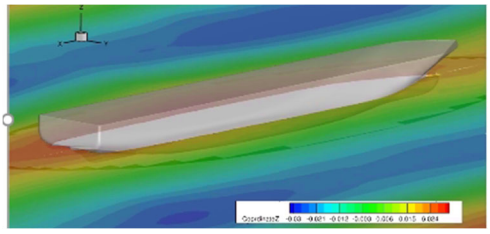
□小項目 5

・重点☆03 と連携し、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。複数区画が浸水し、横波(波長船長比 1.17)を受ける状態で、船体運動や区画内の水面の変動等から、計算手法の妥当性を確認した。

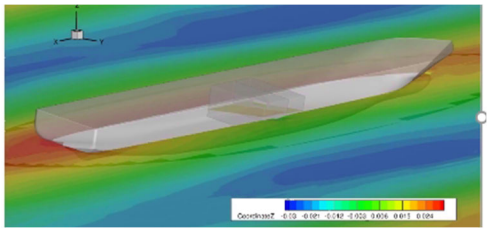
・複数区画が浸水した状態における波浪荷重を求め、FEM による船体構造応答との連成計算について検討を行った。



複数区画浸水状態の重合格子

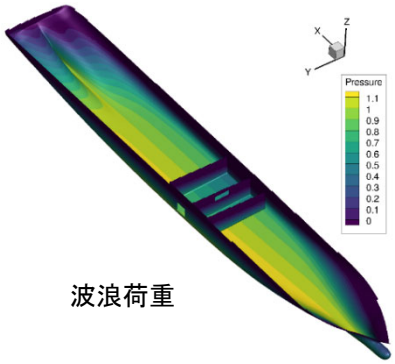


損傷なし

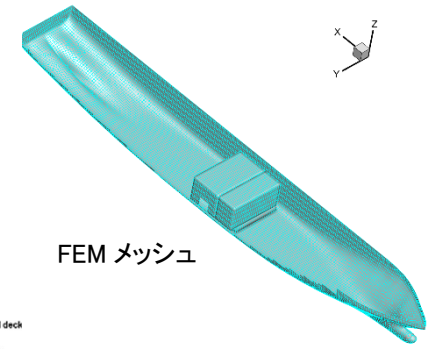


複数区画浸水状態

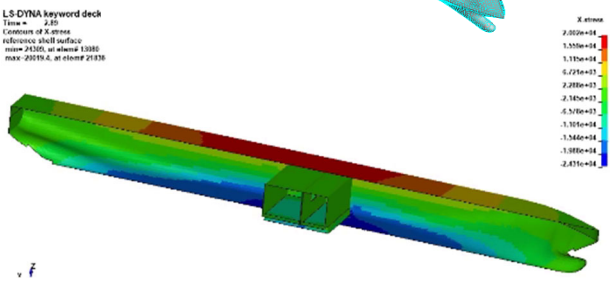
図　複数区画浸水状態の重合格子と自由表面可視化



波浪荷重



FEM メッシュ



複数区画浸水状態での x 軸方向応力分布

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基礎検討を行った。平行平板間流れ等における格子ボルツマン法の基礎検証とともに円柱周り流れにおいて重合格子による FVM/LBM ハイブリッド計算手法の妥当性について確認を行った。

・重合格子によるハイブリッド計算手法に適した並列化手法として、領域分割と Message Passing Interface(MPI)による分散メモリ型と OpenMP による共有メモリ型を組み合わせた並列計算手法を開発。分割法の調査により MPI

または OpenMP のみの計算時間と比較して 4-13 倍の高速化を見込める。

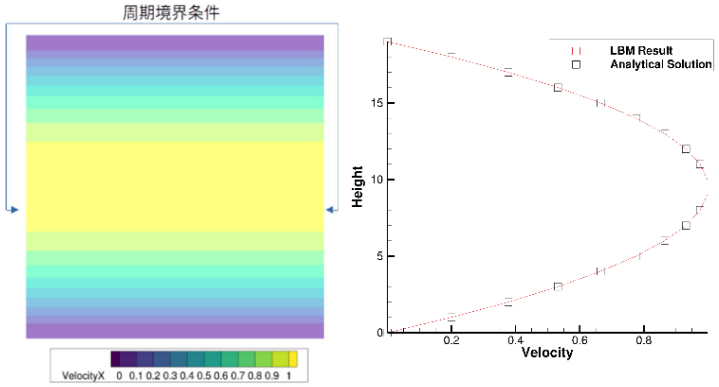


図　格子ボルツマン手法の基礎検証(平行平板間流れ)

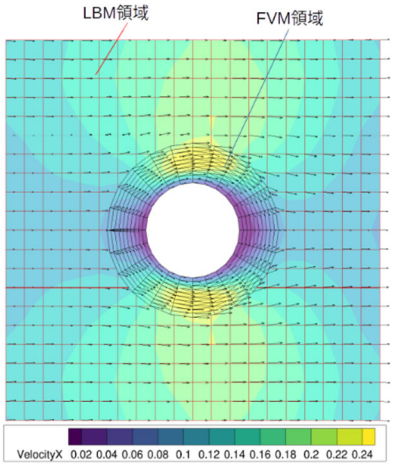


図　FVM/LBM ハイブリッド計算手法による円柱周り流れの計算結果

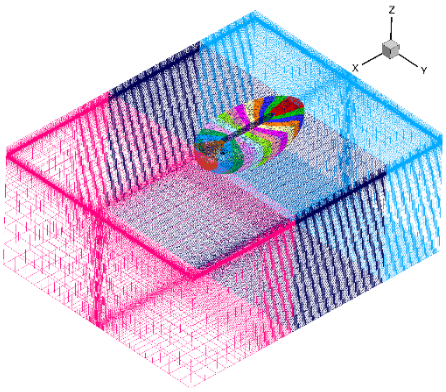


図　重合格子に適した領域分割手法の開発

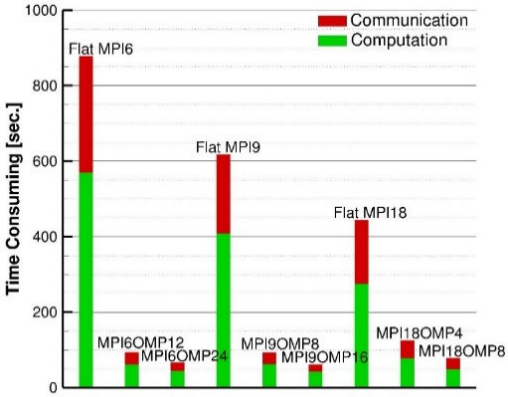


図　並列手法による計算時間の比較

R3 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:2 件、採択済:　件、掲載済:　件)

・Sakamoto, N. et al. :Overset RaNS Simulations and Validations for the Effect of False Bottom to the KCS under Static 2 Drift and Static Rudder in Shallow Water, JMST(投稿中)

・Andersson, J. et al. : Ship-Scale CFD Benchmark Study of a Pre-Swirl Duct on KVLCC2, Applied Ocean Research(投稿中)

□その他発表論文:6 件(投稿中:　件、掲載済:6 件)

・大橋訓英:船体に働く波浪荷重と流体構造連成解析について, 第 26 回 計算工学講演会

・Ohashi, K. : Numerical Simulation of Strongly Coupled Liquid Fluids in Tanks inside of Floating Body and its Motions with Incoming Lateral Regular Waves, ECCOMAS MARINE 2021

・坂本信晶他:海技研 CFD"NAGISA"を用いた自由航走計算による一般商船の操縦性能推定, 海技研発表会

・Sakamoto, N. et al. : Fundamental Validation of Cavitation and Interface Capturing Models implemented on NAGISA, 混相流シンポジウム 2021

・大橋訓英:船体周り流れの重合格子における領域分割とハイブリッド並列計算手法の開発, 日本流体力学会年会 2021

・Sakamoto, N. et al. : Effect of False Bottom to the KCS under Pure Yawing Motion in Shallow Water (H/T=1.2) -Preliminary study by means of viscous CFD-, 日本船舶海洋工学会秋季講演会

□特許申請:0 件

・

□コアプログラム登録:5 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) Ver3.35

・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）Ver2.1R4
・AutoDes Ver.2.2
・CFD ポスト解析システム Ver.1.0
・非構造格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム（SURF） Ver6.46

□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
・重点☆3 と連携し、海難事故における損傷時船舶の安全性の評価に資する、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して計算できる手法を構築した。
・関連請負研究(自律船に関連する深水/浅水域の CMT 操縦流体力の推定等)を実施。
・新 CFD システムの実利用 19 社に加えて新規に 1 社が契約。
・新 CFD システムを活用した外部機関による独自の実用化の公表(PMM 操縦運動シミュレーション)。

□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
・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まで拡張し、計算結果の検証等を行った。
・動的重合格子手法により波浪中で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。
・船体内部の複数区画が浸水した状態について、区画や孔を重合格子で取り扱えるよう拡張し、波浪中運動等の検証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開発した。
・有限体積法と格子ボルツマン法のハイブリッド計算法を開発し、流場変数の妥当性等を確認した。
・重合格子においても有効な分散メモリ型と OpenMP による共有メモリ型を組み合わせた並列計算手法を新規に開発し、その有効性を示した。

□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 5 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
・先端的で国際ジャーナルでの発表数も増えつつある波浪中の自由航走状態について、独自の動的重合格子手法等により実現した。
・既公表の実船スケール計算法を活用し、付加物付きのタンカー船型の実船性能推定に関する国際的なベンチマーク計算に参加し、手法の有効性を示した。成果は国際共著のジャーナル論文にまとめられた。
・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、昨年度着手した格子ボルツマン法に基づく新規ハイブリッド計算手法開発を継続し、基礎検証やハイブリッド計算法の妥当性を確認した。

研究主任者による自己評価	B

コメント
・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、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。
・実船スケール計算手法を活用して、付加物付きのタンカー船型の実船性能推定に関する国際的なベンチマーク計算に参加し、計算法の有効性を示した。
・関連する請負研究(自律船の操縦流体力推定等)を実施するとともに、新 CFD システムについては実利用 20 社(19 社継続、1 社新規)に加えて外部機関独自の論文(PMM 操縦運動シミュレーション)にて公表されるレベルまで到達した。
・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 5 件。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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（CO2）、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（CO2）、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 －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、実海域性能評価法への経年変化影響の組み込み、低速時波浪中推進性能モデルの構築、模型スケールにおける波浪中自由航走状態の CFD 計算手法の開発、及び実海域性能に関する現行のガイドライン等への実海域性能評価手法の組み込みを検討し、国際標準提案の作成を行う。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（CO2）、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。

R3 年度研究目標

□小項目 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
□小項目 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
□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

・R3 年度研究内容

□小項目 3
・水素エンジンの燃焼技術とクランクケース安全性について、400kW ガスエンジン発電機を用いて評価。
・舶用 2 ストロークエンジン内の燃焼を模擬できる大型の定容燃焼試験装置による実験から水素・アンモニア燃焼技術を開発。
・強化学習の理論に基づき水素混焼ガスエンジンシステムシミュレータを構築。
□小項目 4
・液化アンモニア供給装置を用いて、アンモニア混焼試験を実施する。
・軽油早期噴射の 2 段化による、大気汚染物質の低減効果を実験により確認する。
□小項目 5
・多様なエネルギー源を用いた動力システムのエネルギー的な評価を実施する。

R3 年度研究成果

□小項目 3
・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%において安定した燃焼を実現し、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確認した。（図 1、図 2）
・昨年度製作した可視化定容燃焼試験装置（図 3）を用いて、アンモニアー補助燃料の層状噴射燃焼の基礎実験を実施した。層状噴射によって着火・燃焼が成立すること、N2O 排出低減に有効であることが明らかになった。（図 4）
・水素混焼時のクランクケース内の可燃性評価について論文（海技研報告）にとりまとめた。
・開発を進めている “ガスエンジンシミュレータ”に、すべての負荷率において燃焼特性を詳細に評価することのできる“Hybrid-CMV モデル”を実装した。この改良したガスエンジンシミュレータを用いて最適制御を検討するための強化学習計算環境を構築し、ガスエンジンの応答性の検討を開始した。（図 5）
□小項目 4
・アンモニアエンジンの実験を行い、軽油早期噴射による未燃 NH3 と N2O の低減効果（前年度報告）を維持したまま、軽油早期噴射の 2 段化によって、増加していた CO と THC の排出量の低減に効果があることを確認した。成果は国際学会（査読付きプロシーディング）にて発表した(図 6)。
・液化 NH3 供給装置を新規に構築し、エンジンの吸気への液化 NH3 供給による NH3 混焼実験を実施した（高い混焼率でも安定して試験が可能）。その結果、NH3 の気化熱による吸気温度の低下が原因と見られる N2O 排出量の増加(図 6)が確認された。吸気加熱装置による対策を実施した（図 7）。
□小項目 5
・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。
・内航船の GHG 削減については、様々な省エネ技術を組み合わせた“連携型省エネ船”を検討するなど、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した（図 8）。
・外航船の GHG 削減については、2050 年ネットカーボンニュートラルに向けた検討を行い、バックキャストによる目標設定や課題対策の整理など、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した。

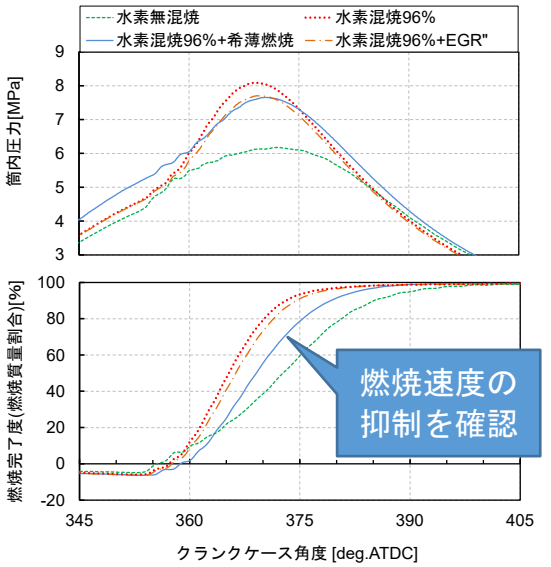


図 1　水素混焼時の燃焼特性

下図：燃焼完了度[%]はシリンダ内の熱発生量に基づく燃焼の完了度合であり、燃焼完了時の熱発生量を100%として、燃焼に伴う熱発生過程を示す。

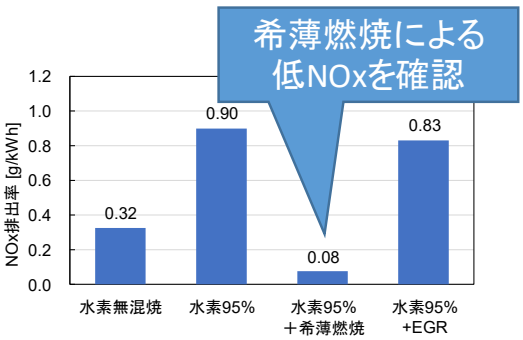


図 2　水素混焼時の NOx 排出率

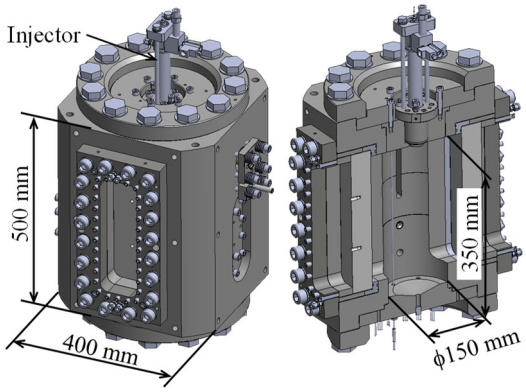


図 3　可視化定容燃焼試験装置

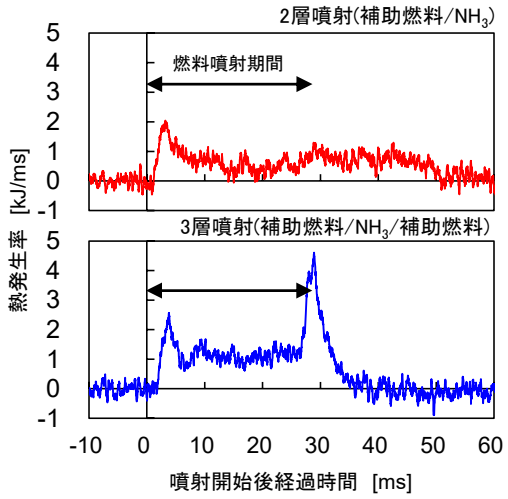


図 4　アンモニア層状噴射燃焼の特性

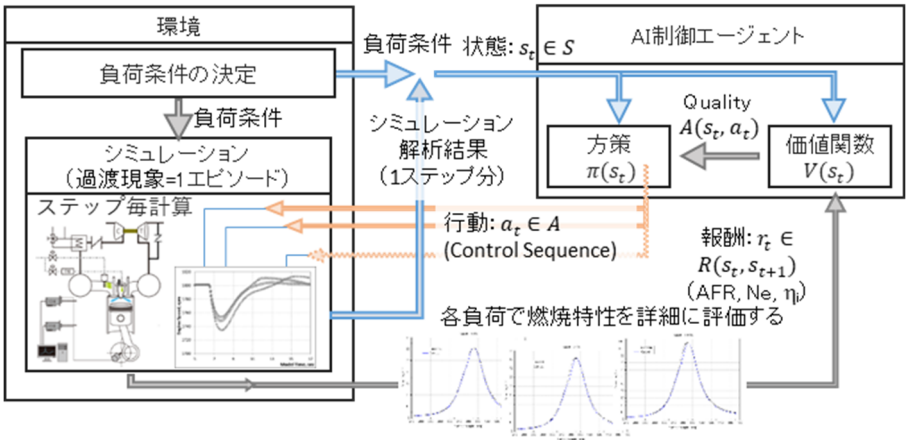


図 5　強化学習計算環境

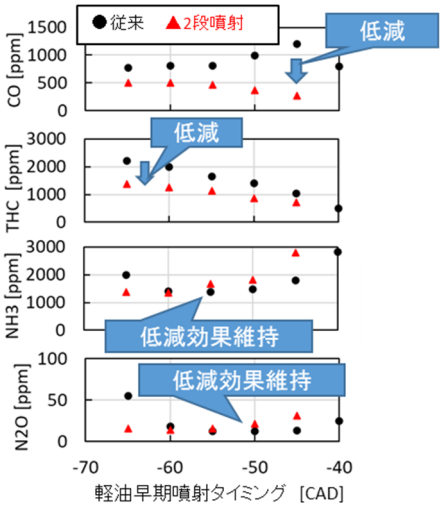


図 6 軽油早期噴射の 2 段化による CO と THC の低減効果

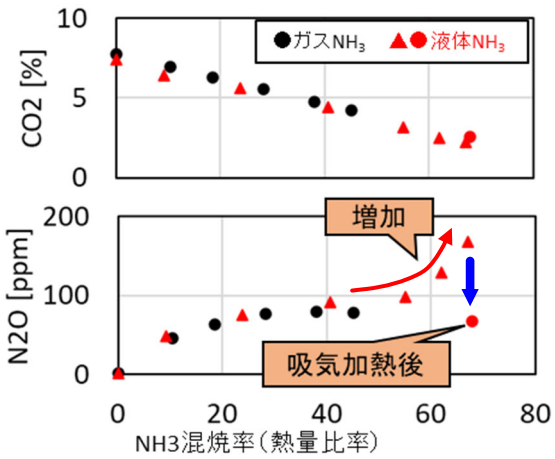


図 7 液化 NH3 供給による N2O の増加と吸気加熱の効果

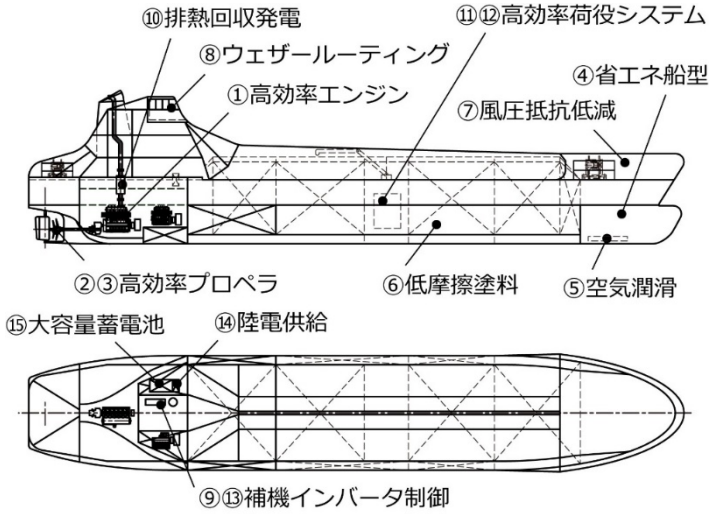


図 8 各種省エネ技術を導入した“連携型省エネ船”のイメージ

R3 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）： 3 件（投稿中： 1 件、採択済： 0 件、掲載済： 2 件）

- Yasuhisa Ichikawa, NH3 combustion using three-layer stratified fuel injection for a large two-stroke marine engine: experimental verification of the concept, Applications in Energy and Combustion Science, Vol.10, 2022 (HP にて掲載済)
- 中村ほか、リーンバーンガス機関におけるブローバイガスの成分分析および水素混焼時のクランクケース内ガス可燃性評価、海技研報告 （投稿中）
- Yoichi Niki, Experimental investigation of effects of split diesel-pilot injection on emissions from ammonia-diesel dual fuel engine, ASME, ICEF2021.（本文査読付プロシーディングス）

口その他発表論文： 10 件（投稿中： 1 件、掲載済： 9 件）

- 市川泰久ほか：層状噴射によるアンモニアのディーゼル噴霧燃焼改善のための基礎研究、日本マリンエンジニアリング学会第 91 会学術講演会(2021.9).
- 市川泰久ほか：層状噴射によるアンモニアディーゼル燃焼コンセプトの提案、第 59 回燃焼シンポジウム(2021.11).
- 仁木洋一、市川泰久、新田好古、平田宏一、アンモニア混焼ディーゼル機関に関する研究開発の現状、海上技術安全研究所研究発表会講演集
- 仁木洋一、市川泰久、平田宏一、数値計算を用いたアンモニアの燃焼解析、日本マリンエンジニアリング学会、第 91 回学術講演会
- 仁木洋一、アンモニア混焼による舶用ディーゼル機関からの GHG 削減 （講演のみ） 、第 21 回海上技術安全研究所講演会

・仁木洋一、アンモニア／軽油混焼ディーゼルエンジンの現状と課題（講演のみ）、公益財団法人原総合知的通信システム基金、ゼロエミッション海運、船舶用燃料アンモニアの最新動向
・仁木洋一、アンモニア混焼に関する研究（講演のみ）、日本マリンエンジニアリング学会　冷凍空調・環境調和技術研究委員会公開研究委員会
・平田宏一、GHG 削減船の実現に向けた検討、海上技術安全研究所報告第 21 巻別冊（令和 3 年度），第 21 回研究発表会講演集
・平田宏一、内航船舶の GHG 排出の現状と GHG 削減対策、日本海難防止協会，情報誌「海と安全」（解説記事）
・平田宏一、船舶用代替燃料に関する取り組みと展望、トライボロジー学会誌「トライボロジスト」、（解説記事、投稿中）

□特許申請：１件
・「燃料噴射量評価方法、および燃料噴射量評価装置」（市川、仁木）

□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
・2018 年 4 月に採択された 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」を新たな目標として掲げることを提案しており、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。

□成果が期待された時期に創出されているか
・IMO の GHG 削減戦略の採択とさらなる強化のための見直し、世界的な GHG 削減への取り組みなど、GHG 削減技術に関する研究の必要性が高まっており、期待された時期に成果が創出されることが見込まれる。

□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る。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか
・水素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	A

コメント

・エンジンにおけるアンモニア，水素の高混焼率での安全利用のための燃焼制御技術の開発や，実船への研究開発成果の最大化に向けて研究を実施しており、GHG 削減技術として将来的な成果の創出が期待できる。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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（CO2）、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（CO2）、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 CO2 及びメタンの排出を削減するための後処理技術の検討を行う。 －GI（グリーンイノベーション）を実現するために、水素・アンモニア混焼時にも安全で安定した燃焼技術の開発、強化学習の理論に基づくエンジンシステムシミュレータの構築及び多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価を行う。 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（CO2）、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

・モニタリングによる海底堆積物中の放射性物質濃度分布の分析

・数値解析による海底堆積物中における放射性物質高濃度領域の形成過程の解明

・環境影響評価システムの高度化・検証

□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。

R3 年度研究目標

□小項目 4

・油運命モデル導入等による油漂流予測性能について、全油分の海中連行量／毒性成分溶出量等の観点から検証する。また、予測性能向上のための感度解析に基づき、流出油運命モデルの構成パラメータの修正、最新知見に基づく構成モデルの更新を行う。
・港空研で新規構築予定の情報発信プラットフォーム上に海技研提供コンテンツ（検証済みシステム／関連研究資源）を搭載するための準備（インターフェイス構築など）を行う。

□小項目 5

・色彩色度パラメータを利用した、藻類の付着を対象とした汚損評価手法を構築する。ラボ試験の実施により、実船計測適用のための要素技術を確立する。
・超音波を利用した防汚塗膜厚さの評価手法及びフジツボ幼生による汚損モニタリング手法を構築する。

・R3 年度研究内容

□小項目 4

・油運命モデル導入による油漂流予測性能の検証
・情報発信プラットフォームからコンテンツを発信するための準備（港空研と共同で実施）

□小項目 5

・分光計測技術による藻類汚損モニタリング技術の確立
・音響計測技術による塗膜管理手法の確立

R3 年度研究成果

□小項目 4

(1) 油運命モデル導入による油漂流予測性能の検証

(a) 油漂流予測シミュレーションシステム（以下、予測システム）の改善

［油運命モデル］ 海表面の油が海上風及び波浪に晒されることによる海水中への【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】、渦拡散係数に基づく拡散係数による【鉛直方向への輸送】、及び【油の風化】(揮発、乳化、分散)に関するパラメータを、最新の要素試験結果に基づくものに更新した。

［油移動の駆動力］ 油運命モデルを海洋モデルに基づく海流で計算できるようにし、従来特定の港湾内のみに限定されていた評価範囲を拡張した。また、計算速度を上げるために、流出油の移動計算手法を変更した。

(b) 油漂流予測性能の検証

(a)の改善を経た予測システムが、複雑な海洋環境での実現象を適切に再現・予測できることを検証した。

［油運命モデル］ 岩手県の八戸沖で昨年 8 月に発生した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として、流出油の漂流状況を予測した(図 1)。予測システムによる評価結果を航空機及び海上保安庁による漂着位置の観測結果と比較し、漂着位置の観測結果を再現していることを確認した。モデルの感度評価を行った結果、今年度改善したモデルのうち、【分散過程】【水平方向への輸送】【鉛直方向への輸送】【油の風化】が予測に大きく影響することを確認した。これらの過程を考慮することで、観測結果（下北半島上部に至る漂着）を再現することが可能となった。本事象に対する予測計算は、他に類例がない。

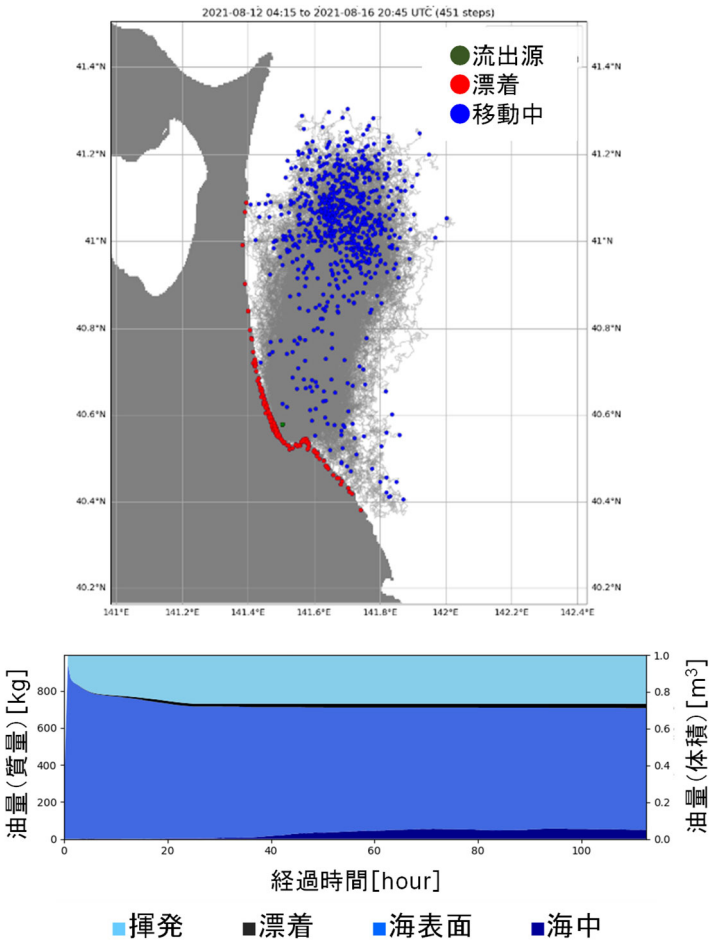


図 1　事故発生から 52 時間経過後の流出油分布（上）及び流出油の状態の経時変化（下）

[油移動の駆動力] 小笠原諸島で昨年 8 月に噴火した海底火山から放出された砕屑物漂流を対象に、海流及び計算手法の検証を実施した（図 2）。予測システムによる評価結果が、海上保安庁及び台湾海洋委員会による噴火から 3 か月経過後の観測結果を再現していることを確認した。本事象に対する予測計算では、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。

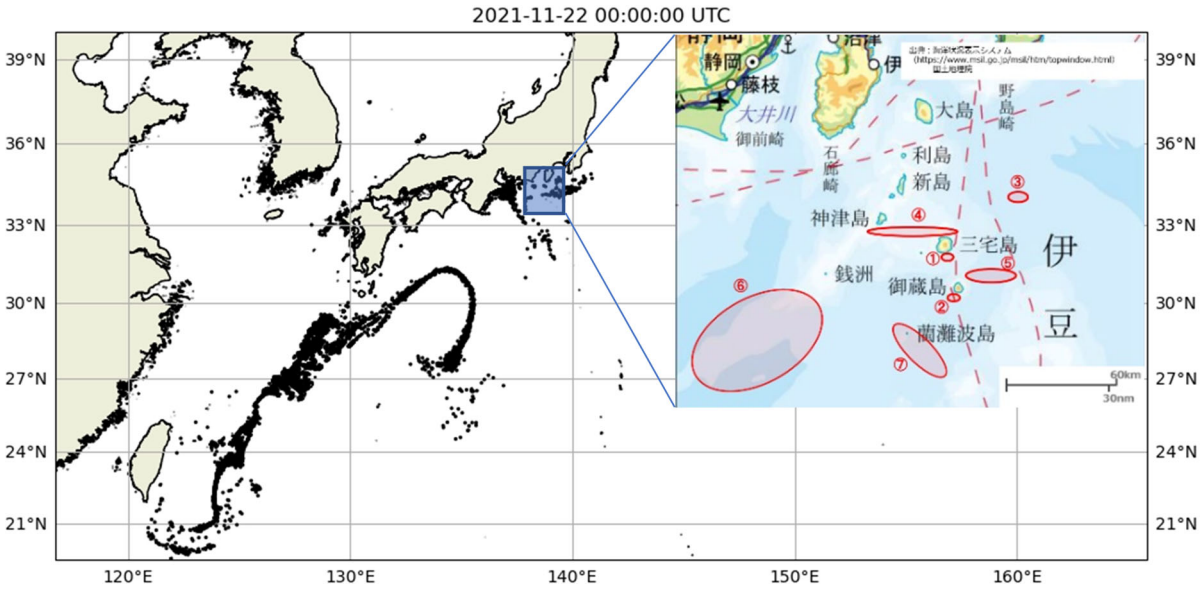


図 2　噴火発生から 3 か月経過後の軽石漂流分布　（左：予測結果、右上：海上保安庁の情報）

(2) 情報発信プラットフォームからコンテンツを発信するための準備（港空研と共同で実施）
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確認するとともに、プラットフォームで公表する際の留意点を整理した。

□小項目 5

(1) 生物汚損の早期検知を目的とする簡易検出技術の構築

(a) 分光計測技術による藻類汚損の簡易検出技術の確立

防汚塗料中の亜酸化銅による褐藻への影響を、色空間パラメータ（一例として L*を記載）及び細胞生存率との相関により評価し、褐藻汚損を簡易的に検出するための指標として色空間パラメータが利用できることを確認した。

検討ではまず、亜酸化銅の配合量を 0～40 重量%の範囲で変えた防汚塗料試験片に対して、48 時間の褐藻付着暴露試験を行い、その外観変化を調べた（図 3）。続いて、暴露試験で得られた外観の色空間パラメータ（L^*、a^*、b^*）と亜酸化銅配合量及び藻類細胞生存率との相関関係を評価した（図 4、ただしL^*との相関のみを示す）。図 4 の結果は、色空間パラメータと亜酸化銅配合量（藻類細胞生存率）との間には明確な相関関係があり、褐藻付着状況の数値による定量的評価が可能であることを示すものである。

さらに、試験条件（試験水温、試験水置換率、光量）、試験片調製法及び色度計測条件を最適化し、当該試験法を最終化した。

以上により、本試験法を新規の簡易試験法として ISO 21716-4（藻類を対象とする船底防汚塗料性能評価試験法）に組み込んで提案するための準備が完了した。

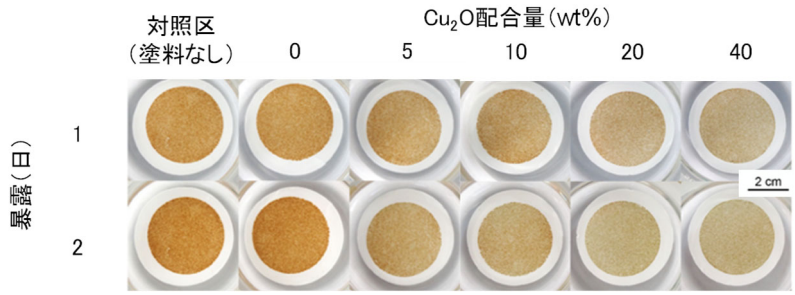


図 3　藻類（褐藻）付着による外観変化（上：暴露後 1 日経過、下：2 日経過）

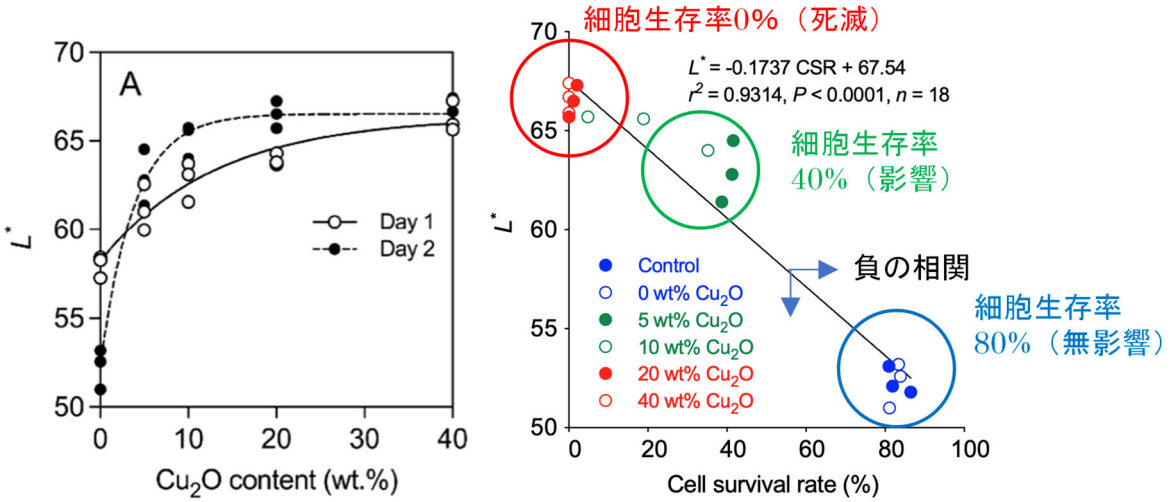


図 4　色空間パラメータと亜酸化銅配合量（左）、藻類細胞生存率（右）との相関関係

(b) 音響計測技術によるフジツボ汚損の簡易検出技術の確立

従来、フジツボの付着検知は、一本のプローブで超音波を船体垂直方向に入射・反射させる方式（一探法）によっていたが、その場合には計測対象範囲がプローブ径と同程度に限られていた。そこで本検討では、二本のプローブで超音波を斜めに入射・反射させる射角探傷の方法（二探法）を利用して、これまで計測対象外であったフジツボ幼生の付着検出が可能かどうかを、ラボ試験によって検討した（図 5）。

ラボ試験の結果、(1) 発信子から斜め方向に入射した超音波がフジツボ付着・成長により散乱・減衰され、受信子で検出されるエコーが低下することを確認し、(2) 取得した超音波データの解析に基づき、フジツボ幼生の成長段階が本手法を用いてどの程度まで検出可能かを明らかにした。

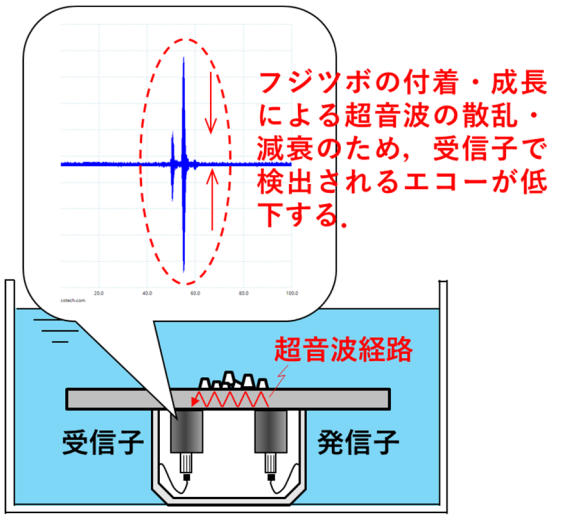


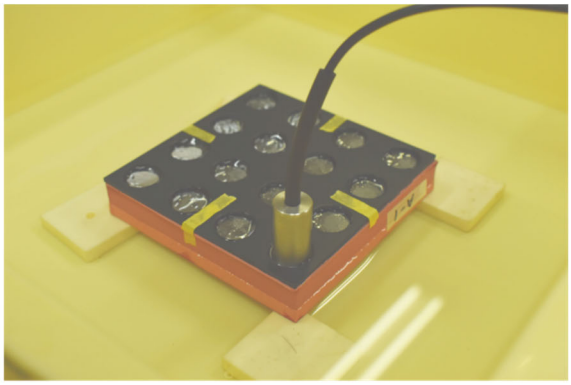
図 5　二探法によるフジツボ付着検出判定の概念図

(2) 音響計測技術による塗膜厚管理手法の検討

船体外板のように厚い鋼板の上に薄い塗膜層が重なる系に対して超音波を入射した際に観測されるエコー（反射波）は、それらの複数の層界面からの反射・透過がすべて重なった波形として現れる。

本検討では、この波形から防汚塗膜厚さの情報を簡易的に得ることを目的に、ラボ計測試験を実施し（図 6）、エコーから塗膜表面で反射されるエコーを直接分離・抽出する手法が有効であることを確認した。続いて、防汚塗膜厚さの異なる複数の試験片について超音波計測を行ったデータに基づき、超音波計測から塗膜厚さを算出するためのアルゴリズムを開発した。これにより、超音波の伝播時間の大小から防汚塗膜厚さを推定することが可能となった（図 7）。

本手法は、従来手法（エコーのスペクトル変化観察）と比べて、現場で簡易に塗膜厚が推定できる有力な手法であり、現在見直し中の IMO 船体付着生物管理ガイドラインに提案・反映することが期待できる。



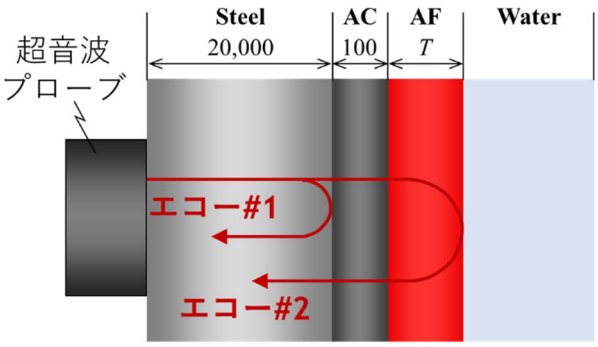


図 6　超音波による防汚塗膜厚さのラボ計測試験
（Steel：鋼板（船体外板を想定）、AC：防食塗料、AF：防汚塗料）

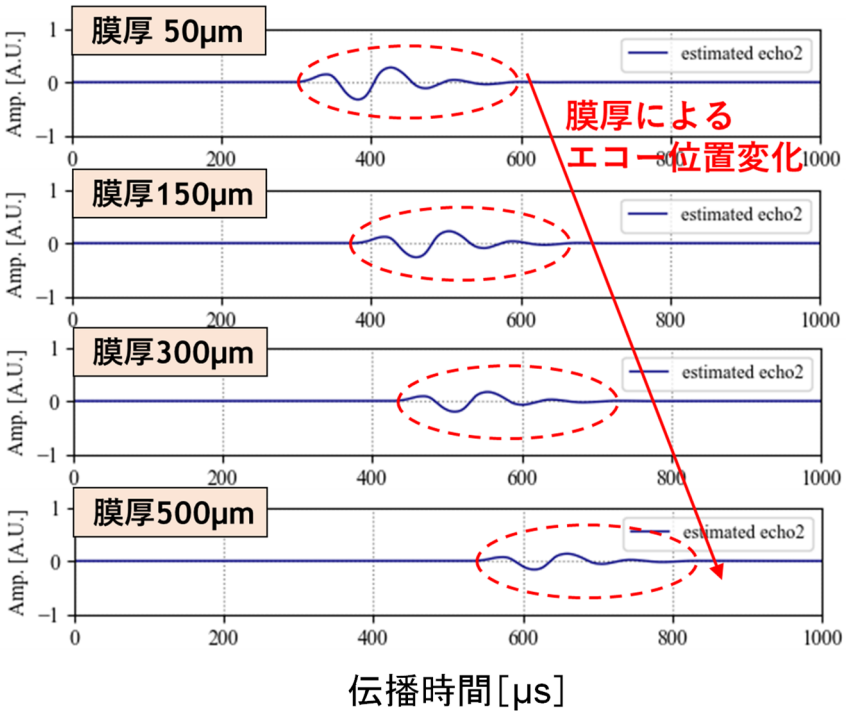


図 7　防汚塗膜厚さの違いによる超音波伝播時間

R3 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：1 件（投稿中：0 件、掲載済：1 件）

・小島隆志、船底防汚塗料をスクリーニングするラボ生物試験法の開発、オンラインシンポジウム研究講演会（火力原子力発電技術協会海生生物対策研究会）、2021 年 7 月

□特許申請：0 件

・

□コアプログラム登録：1 件

・船舶排出物量推計プログラム

□国際貢献：1 件

・国際標準化機構（ISO）-TC8（船舶海洋技術）-SC2（海洋環境保護委員会）にて、藻類を用いた船底防汚塗料の性能評価手法の研究進捗状況について講演：Progress report of bioassay method using brown algae, ISO/TC8/SC2 プレナリー、2021 年 12 月

□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

（小項目 4）

・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（港空研と共同）することで、一般ユーザや関連業界からの社会ニーズに応える予定である（来年度実施）。

（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。

□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）

・構築済みの流出油漂流予測シミュレーションシステムに対して、①油運命モデルの更新、②計算に用いる海流データの変更、③流出油の移動計算スキームの変更、及び性能向上に関する検証（感度評価）を行い、実現象の再現・予測性能が向上したことを確認した。このように、日本周辺海域（内湾・沖合を含む）を対象として、海気象条件の相違や時間経過による流出油の変化まで考慮できる流出油漂流予測システムは類例がなく、学術的価値がある。

・小笠原諸島海底火山噴火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）

・今年度から新規に取り組んだ 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開発の 3 課題は、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人間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る。

□成果が期待された時期に創出されているか

（小項目 5）

・本研究で開発し 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）に続き、藻類を対象とした ISO-21716-4 についても本研究担当者が中心となって発行準備を進めているが、この中に本年度新規に開発した「色空間パラメータを利用した藻類汚損の簡易評価法」を提案として盛り込む予定である。この 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反映される見込みであり、期待された時期に成果が創出されていると考える。

□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

（小項目 5）

・現在発行準備を進めている ISO-21716-4 は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法としては世界初の国際規格であり、現在 IMO で審議中の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。この規格により、市場において防汚塗料性能を明確に区別することが可能となり、我が国の塗料メーカーの技術的優位性が高まるものと考えられる。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか

（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、本研究では今年度から新規に 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開発　の 3 課題に着手し、これらの手法の有効性を確認した。特に①については、昨年度機動的に取り組んだ予備検討結果を踏まえ、新規試験法として ISO-21716-4 に組み込む準備をすでに完了した。

研究主任者による自己評価	A

コメント

・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 主査として国としての対応、検討を進めており、既に発行済みの国際規格 ISO-21716-1～3(2020)をガイドライン見直しに適切に反映させるべく努めている。

・ISO/TC8/SC2/WG5（国際標準化機構／船舶及び海洋技術専門委員会／海洋環境保護分科委員会／船底防汚システム作業委員会）における議論動向を踏まえ、本研究担当者がプロジェクトリーダーとして審議に対応し、発行済み ISO-21716-1～3(2020)を補強するための ISO-21716-4（対象：藻類）の発行準備を進めている。

・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における懸念事項の解決に寄与するため、今年度から新規研究（①藻類汚損簡易評価試験法の開発、②フジツボ汚損簡易評価試験法の開発、③防汚塗膜厚簡易評価法の開発）を開始した。このうち①については新規試験法として ISO 化する準備を既に完了し、中長期最終年度に IMO ガイドライン見直しにこれらの内容を反映させる目途がついた。また②③についても評価手法の妥当性を確認済みであり、中長期計画最終年度に実施予定のプロトタイプ試験機を用いた検討を経て IMO ガイドライン見直しに反映させる予定である。

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

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	B
見込評価	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	R3 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 －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、浮体式風力発電の実運用に即対応可能なデータ収録システムの等の改善、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開発及び合成繊維索に対する生物付着影響を定量的に評価するため実海域への浸漬試験を行う。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 －複数管ライザーの渦励振に関する数値解析手法の検討、計画支援プログラム用データベースにコバルトリッチクラストを対象としたデータを組み込む機能拡張、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ための統合フローの検討及び管内流のアスファルテンの付着モデルとガスハイドレートの生成・分解モデルの検討を行う。 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
- ・浮体・係留、製造・洋上連続施工等に関連した低コスト・高効率発電デバイス、方策の開発（初期投資コスト削減技術開発（浮体式風力・波力））
- ・認証及びステージゲート判定のための安全性・性能評価手法の構築（新たなガイドライン研究による基準内容の検討・新提案（浮体式風力））
- ・保守・モニタリング技術等に関連したライフサイクル運用コスト削減技術の開発（浮体式風力）

□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
- ・海底熱水鉱床開発等のナショナルプロジェクトの技術支援（採鉱・揚鉱安全性評価技術、浮体システム安全性評価技術、全体システム稼働性評価及び計画支援技術の開発）
- ・厳環境下に設置される海洋資源開発システムの安全性・稼働性評価手法の構築（SURF システムにおける管内流の健全性評価技術の開発）

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。

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。

R3 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（収録システム完成）
- ・Crew Transfer Vessel（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
- ・浮体式波力発電実時間制御・発電電力評価技術の水槽試験・評価法

□小項目 2
- ・安全性・稼働性評価技術の高度化（他の鉱物資源等）
- ・複数管ライザーの渦励振解析技術
- ・稼働性評価プログラム（拡張）
- ・計画支援プログラムの拡張（コバルトリッチクラスト開発）
- ・開発支援プログラム開発に向けた統合フロー
- ・アスファルテン付着予測解析プログラム（β 版）改造

・R3 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波浪中動揺評価に関する研究
- ・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
- ・複数管ライザーの渦励振に関する解析手法の開発
- ・鉱物資源に係る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

R3 年度研究成果

□小項目 1

・セミサブ型の浮体、スパー型の浮体について、前年度より大型の風車を搭載した場合の概略寸法の算出と賦存量の評価を実施して、搭載風車と浮体形式に応じた導入ポテンシャルを明らかにした。また、15MW 風車を搭載したセミサブ型浮体に対し、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数値解析手法を構築した（図 1）。

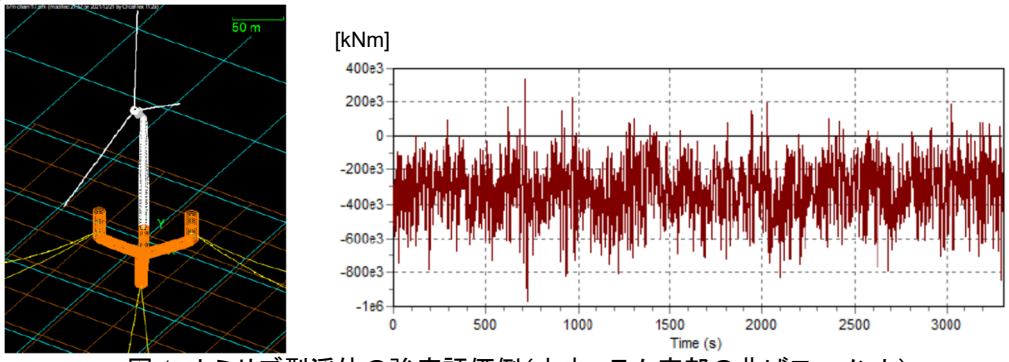


図 1　セミサブ型浮体の強度評価例（中央コラム底部の曲げモーメント）

・ウィンドファームに適した合成繊維索を用いた係留系の設計手法を確立し、複数の試設計を実施した（図 2）。

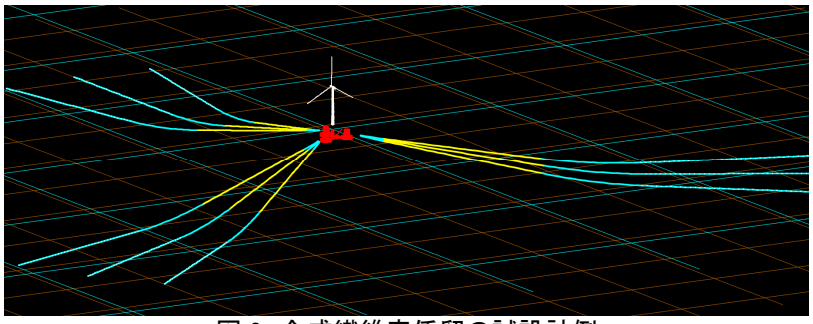


図 2　合成繊維索係留の試設計例

・合成繊維索の試験体を実海域に浸漬し、付着量を計測するとともに、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（図 2）。結果は安全ガイドライン改訂案の一部となる予定である。

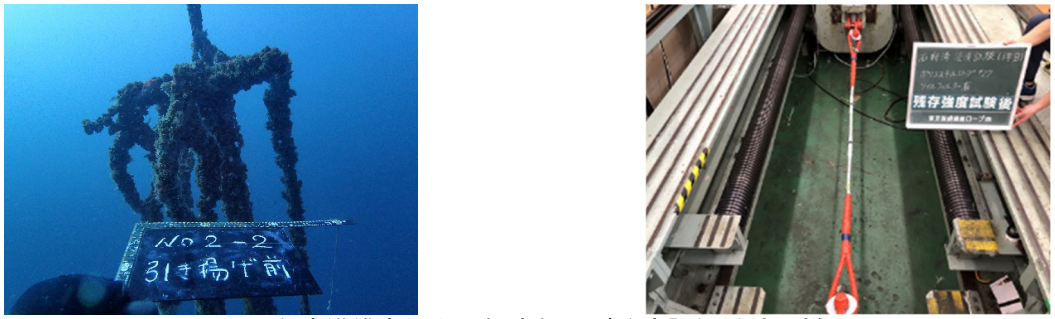


図 2　合成繊維索係留の観察例及び強度評価試験の様子

・NEDO による実海域実証試験に用いる観測・収録・配信システムの基幹部分を改良し、収録周波数や収録モードの変更、風車の状態監視システムへのデータ出力機能を追加した。

さらに、

・着底式風力発電施設設計等への影響が考えられる ISO19901-2 Ed2（着底式海洋構造物の耐震設計）の更新に対し、港湾空港技術研究所と共同して我が国沿岸域に適応した耐震設計法を提示したところ、FDIS 案として採用された。

・国際電気標準会議（IEC）では、現在改訂作業中のドラフトにおいて、無人かつ損傷時に環境影響の少ない浮体については一定条件下で損傷時復原性を要求しないという規定になっている。この一定条件について、航行船舶との衝突確率に基づき明確にするとともに、Annex として提案を行った。提案は各国投票にかけられている段階である。

・国際試験水槽委員会（ITTC）では、再生可能エネルギー関連施設を含めた海洋構造物の水槽試験を行うために、試験環境の波、風、流れに関するガイドラインの作成を行ってきた。当該年度、当研究所担当員が参加しながら、とりまとめを行い、ITTC Recommended Procedures and Guidelines として Laboratory Modelling of Waves、Laboratory Modelling of Wind、Laboratory Modelling of Current を最終化させた。

・吊荷と多目的作業船の波浪中連成運動解析プログラムをベースに、排水量の異なる 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解析プログラムを開発した。また、2020 年度末に実施した模型試験の結果を解析し（図 3）、計算結果との比較検証を行った。

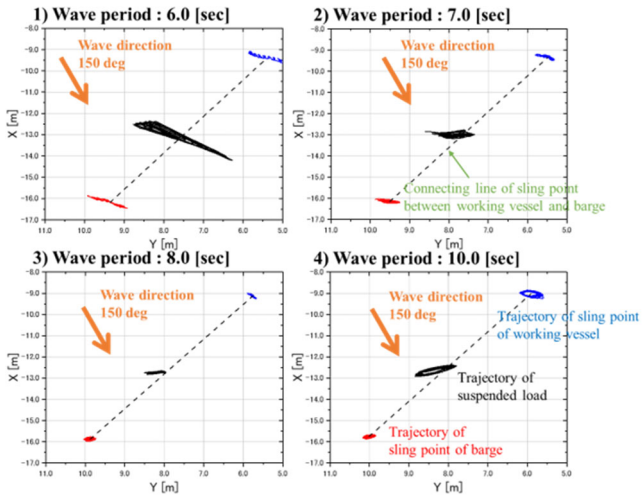


図 3　マルチリフトオペレーションにおける各船の吊点と吊荷の航跡

・CTV が風車タワーに接舷した状態における運動解析プログラム（β 版）を開発し、船首部押し付けによって生じる動摩擦力が船体運動へ与える影響について評価した。
・SEP 船の脚部が風荷重に与える影響を評価するための風洞試験に向けた準備を行った。

・運動拘束を有する系の定式化に有用な Kane 型運動方程式を用いて、浮体式ポイントアブソーバー型波力発電（以下、FPAWEC）の定式化を行い、数値計算と水槽試験にてモデル化の妥当性を検証した（図 4、図 5）。また、Kane 型運動方程式で定式化した FPAWEC を対象とした非線形モデル予測制御（NMPC）器を開発し、水槽試験にて実時間制御（制御周期 50 ms）が可能であることを検証した。FPAWEC を対象に様々な制御方法での発電電力評価を行う数値シミュレータを開発した。

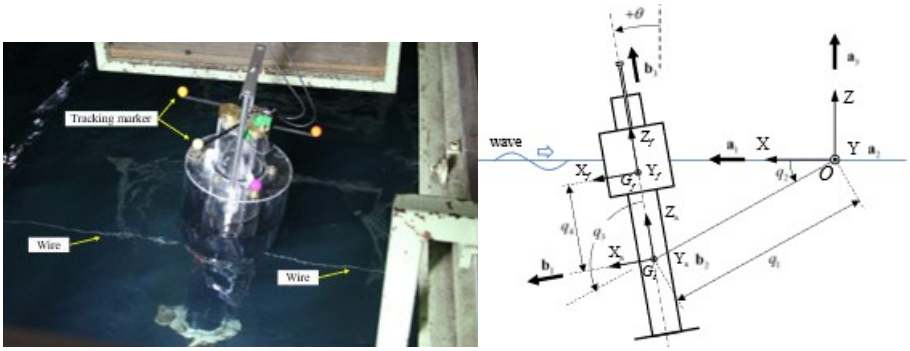


図 4　FPAWEC の制御状態における波浪中運動計測の様子と定式化における座標系

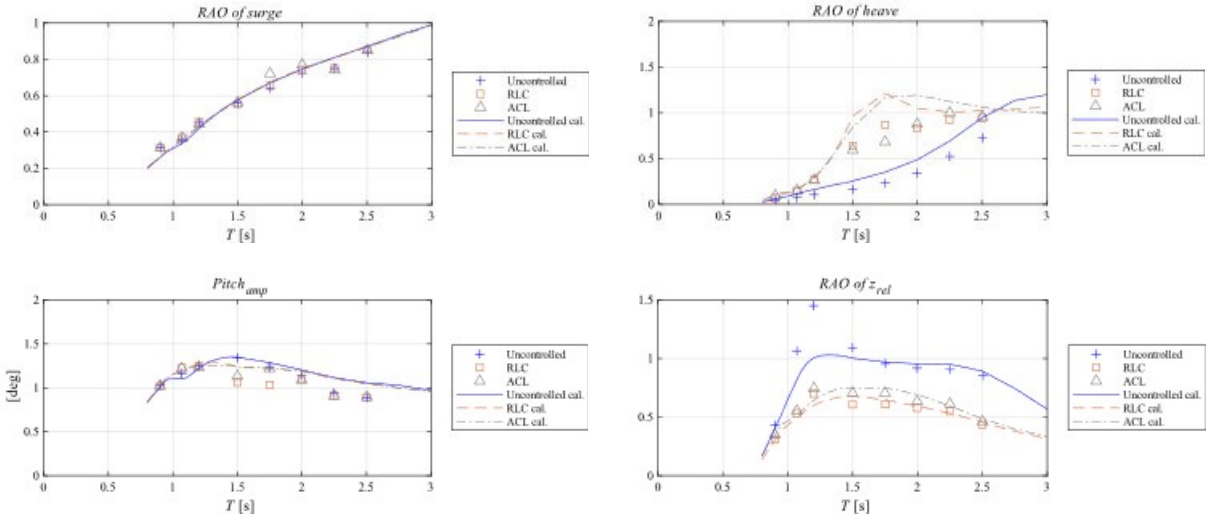


図 5　水槽試験模型による FPAWEC の運動評価（規則波）

口小項目 2

・海底で集鉱された鉱石をスラリーポンプで揚収するシステムについて、海底で採掘する採鉱システムとスラリーポンプをつなぐ柔軟な移送管の形状が管内圧力損失に及ぼす影響を評価するとともに、妥当な運転流速に関して考察した。また、海洋資源の揚収手法について有望な手法の一つと考えられているエアリフト揚収システムを対象として、固気液三相流移送における固気液各相の体積率と摩擦損失評価手法を構築し、模型試験を通じて、その妥当性を検証した（図 6）。

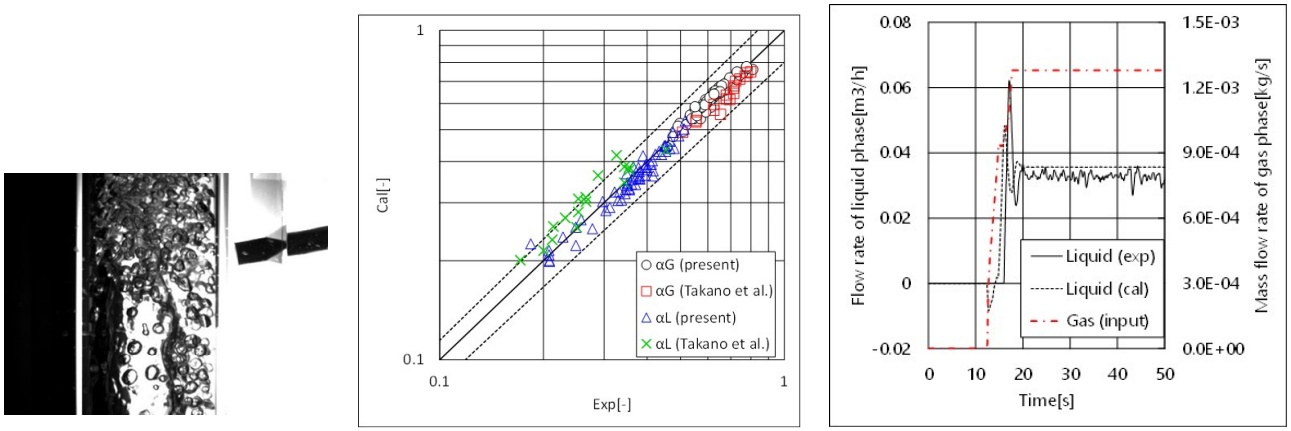


図 6　固気液三相流の移送状況及び試験結果と計算結果の比較例

・CFD を用いた複数管ライザーの渦励振に関する数値解析手法の検討を行うとともに、時間領域解析プログラムを用いて複数管ライザーの挙動評価を行った（図 7、図 8）。さらに、複数管ライザーの渦励振低減法を新たに開発し、特許申請した。

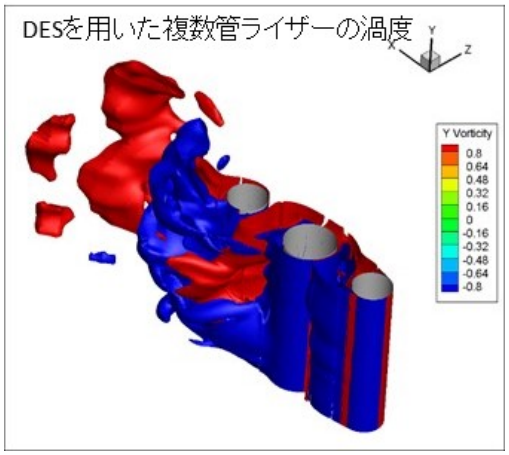


図 7　複数管ライザーの CFD 解析事例

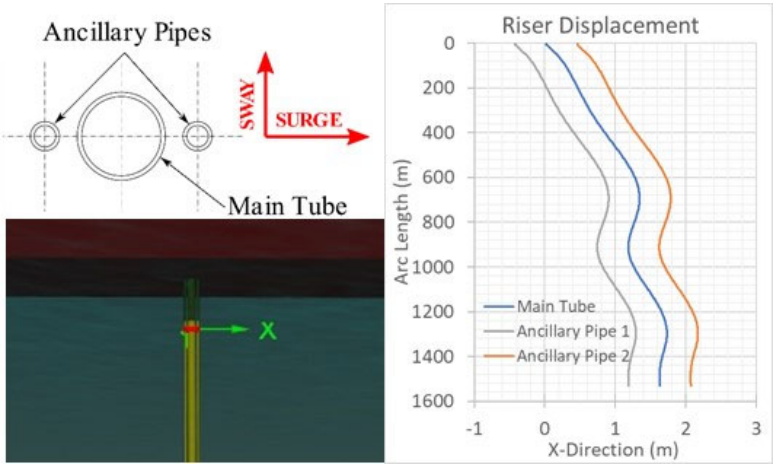
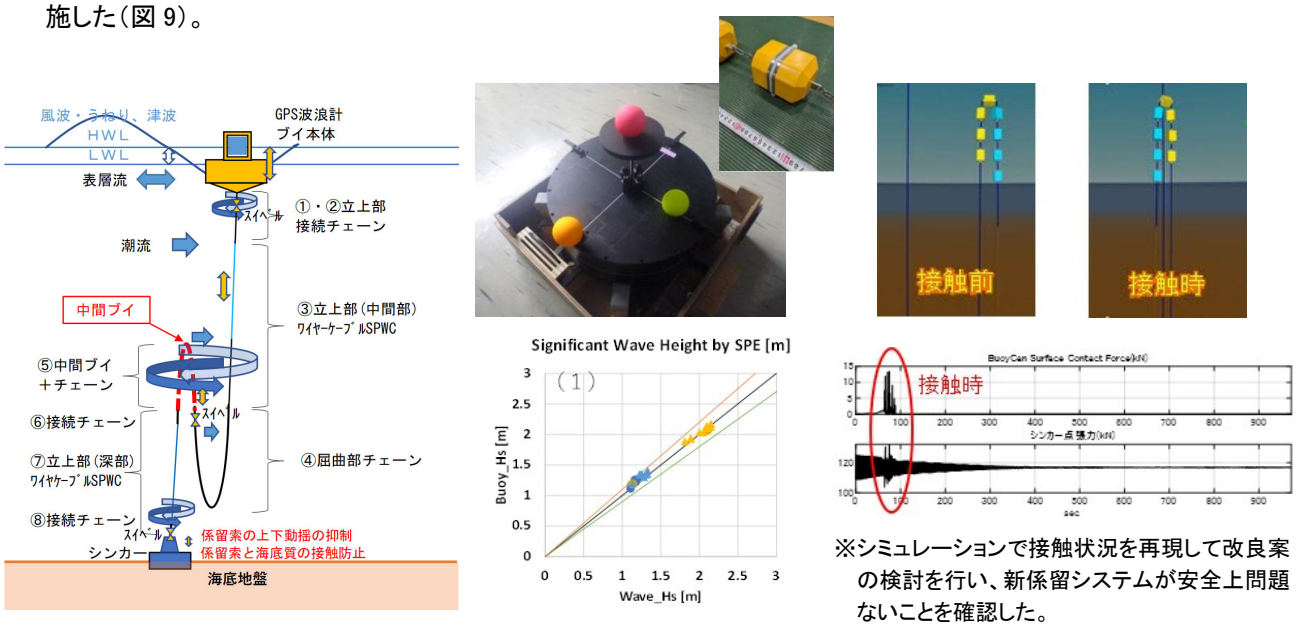


図 8　複数管ライザーの挙動解析事例

さらに、

・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を行うとともに、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（図 9）。



※シミュレーションで接触状況を再現して改良案の検討を行い、新係留システムが安全上問題ないことを確認した。

図 9　GPS 波浪計の新係留システム
（左：イメージ図、中：模型試験、右：クラッシングシミュレーション

・計画支援技術については、海底熱水鉱床に加えて、コバルトリッチクラストの資源データを内蔵した計画支援プログラムを開発した（図 10）。

・また、過年度に開発した、海底での揚鉱から陸上における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拡張し、海底での採鉱から陸上における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とした。採鉱作業時の限界波高等を変化させたパラメータスタディを実施するとともに、各オペレーションの時間占有率を求め、全体システム最適化に向け、ボトルネックとなるオペレーションを抽出した（図 11、図 12）。さらに、本研究の成果を特許申請した。

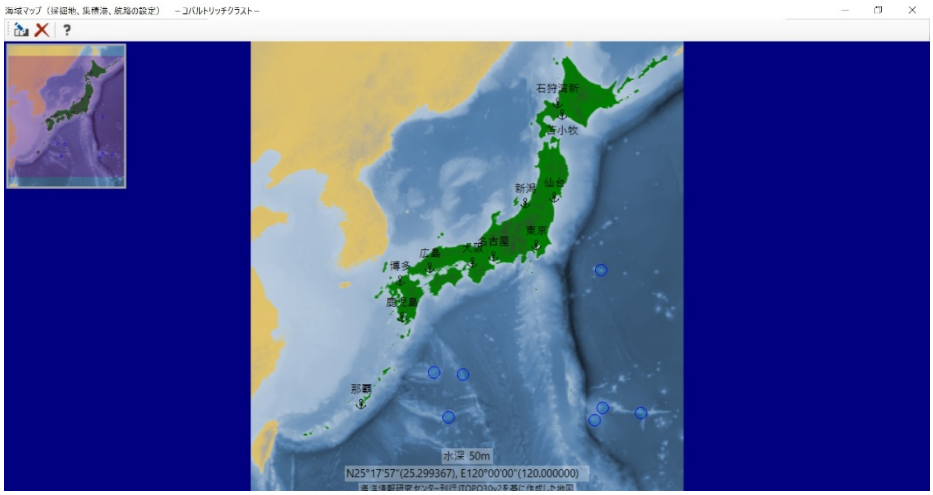


図 10　計画支援プログラムでのコバルトリッチクラストの資源マップ
（青丸はコバルトリッチクラストの賦存海域を示す）

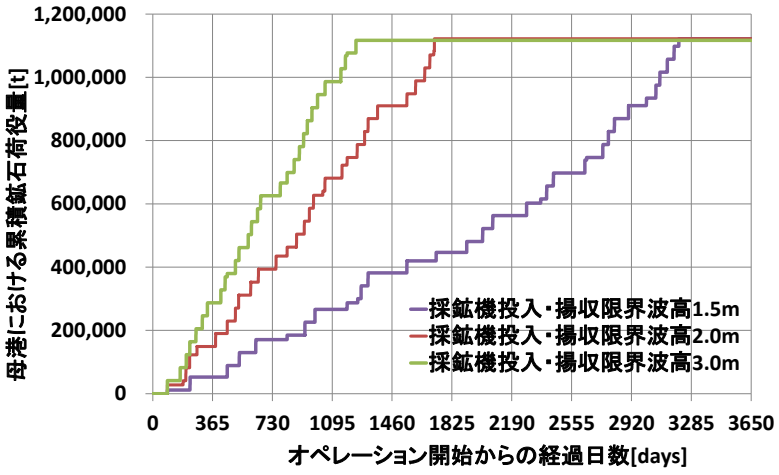


図 11　採鉱機投入・揚収限界波高を変化させた時の母港における累積荷役量の変化

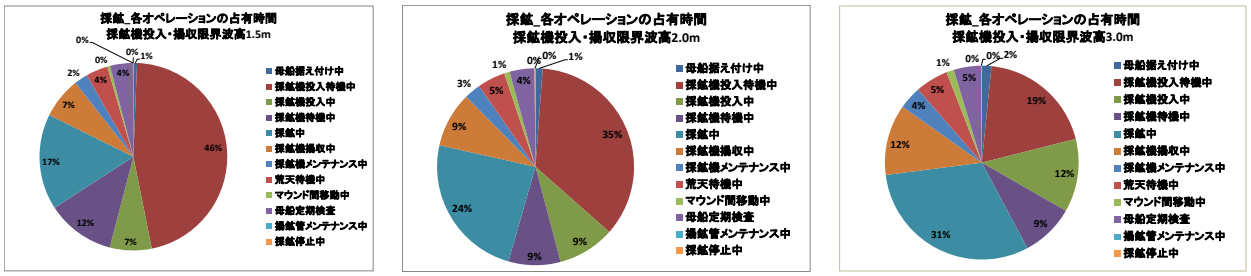


図 12　採鉱機投入・揚収限界波高を変化させた時の採鉱システムの詳細オペレーション時間占有率

・クローラ付き移動体を対象とした拘束曳航試験により、移動体に作用する流体力や追い波中の波浪荷重を取得した。CFD 解析による推定結果と試験結果を比較し、良好な一致を示した。また、風洞試験により、移動体の姿勢の違いが風荷重に及ぼす影響を検討した。それらの試験で取得した荷重データは国内関係研究所が構築中の大型シミュレータに活用された。また、追い波中での自由航走試験により、航走時に大きな動揺が生じる危険な波浪条件を把握し、一般船舶との違いについて検討を行った。今後、移動体の運用に対する活用が期待できる。

・アスファルテン付着予測を行うための定常解析プログラム（β 版）を開発した。
・耐圧容器に封入した重質油試料を所定の温度・圧力条件におき、アスファルテン付着量の時間変化を把握した。（図 13）
・温度や塩分等の条件がハイドレートの生成・分解過程に与える影響を解明するため、ハイドレート相変化過程の観察及び温度・圧力データを取得した。（図 14）

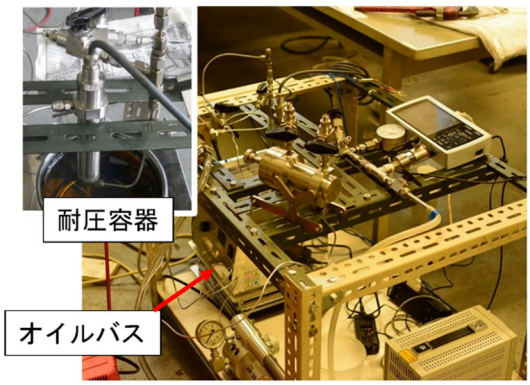


図 13　アスファルテン付着試験装置全体

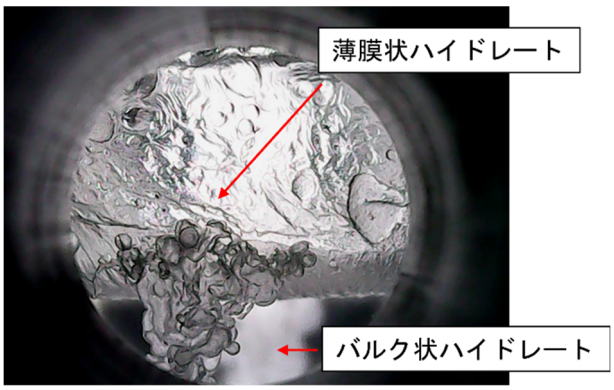


図 14　ハイドレート生成の様子（人工海水使用）

R3 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）：21 件（投稿中：8 件、採択済：11 件、掲載済：2 件）

・Srinivasamurthy, S., Chujo, T., Haneda, K., *et al.*: Study of slow-drift damping on wind tracking performance of a new-type FOWT 'Optiflow' with single-point mooring, Ocean Engineering, Vol.242, 110131 (2021).
・Umeda, J., *et al.*: A Combined Model-based and Model-free Reactive-control Scheme – Considering Copper Loss and Movable-floater displacement Constraint – for a Wave Energy Converter, Journal of Marine Science and Technology (JMST). （投稿中）
・Murai, Y., Takano, S., *et al.*: Ultrasound Doppler measurement of air-lift two-phase and particulate three-phase pipe flows, Experiments in Fluids. （投稿中）
・中條俊樹: 超大型風車を搭載した浮体式洋上風力発電の日本近海における導入ポテンシャル評価，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
・羽田絢 ほか: 機構解析による新型式 FOWT 浮体の波浪中動揺及び弾性体応答の評価に関する研究，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
・齊藤昌勝 ほか: グループ波中で係留ラインの最大張力を 極大化するメカニズムに関する考察，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
・谷口友基 ほか: Kane 型運動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，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
・片山徹，梅田隼ほか: CFD による柱状滑走体周りの流れの縮尺影響の調査，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
・湯川和浩 ほか: 高速滑走艇の運動性能評価（第1報），日本船舶海洋工学会論文集 （投稿中）
・Chujo, T.: Installation Potential of Very Large Floating Offshore Wind Turbines in Japan, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
・Saito, M., *et al.*: Consideration on DLC Used for Mooring System Design of Floating Wind Turbine, Proc. 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference (2022). (採択済)
・Otsubo, K.: On wave-induced coupled motion during cooperative multi-crane lifting operation with two vessels, Proc. 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference (2022). (採択済)
・Hirao, C. S., *et al.*: Model Test and Numerical Simulation for Floating Oscillating Water Column Type Wave Energy Converter with Backward Bend Duct, Proceedings of the 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference, (2022). （採択済）
・Araki, M., *et al.*: Model Experiments and Numerical Simulation on GPS Buoy with Steep Wave Mooring, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
・Yamamoto, M., *et al.*: Simulation of a Vertical Riser System Composed of Two Pipes for Deep Sea Mining, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
・Masanobu, S., *et al.*: Study on Large Particle Slurry Transport in Jumper for Subsea Mining, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
・Takano, S., *et al.*: Flow Assurance for Gas-Liquid-Solid Three-Phase Flow at High Void Fraction of Gas Phase for Methane Hydrate Transport, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
・Watanabe, M.: A Fundamental Study of Active Method for Experiment of Mooring Line Included Model, Proc. 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference (2022). (採択済)
・Hasegawa, K., *et al.*: Kinetic Characteristics and Hydrodynamic Forces on Semi-Planing Typed High-Speed Vehicle by Model Test and RANS Simulation, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
・Nakajima, Y., *et al.*: Observation of gas hydrate formation at gas-liquid interface, Proc. the International Conference on Power Engineering (ICOPE-2021) (2021).
・Yamamoto, J., *et al.*: Preliminary experiments for construction of an evaluation model for methane hydrate transportation, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). (採択済)

口その他発表論文：21 件（掲載済：21 件）

・羽田絢: 3 翼独立制御式風車模型を用いた風洞試験，横浜国立大学最先端科学高等研究院 (2021).
・Chujo, T., Haneda, K.: Parametric study for concept design of floating offshore wind turbines, Wind Energy Science Conference (2021).
・藤原敏文: 日本における浮体式風力発電施設の開発・量産・普及，海洋技術フォーラムシンポジウム (2021).
・中條俊樹: タレットを用いた一点係留方式の浮体式洋上風力発電について，佐賀大学海洋エネルギーセンター海洋エネルギーシンポジウム 2021 (2021).
・藤原敏文: うみそら研の洋上風力発電関連研究の取り組みについて，Web，洋上風力発電に関するうみそら研発表会 (2021).
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の合成繊維索を用いた係留系の設計について，Web，洋上風力発電に関するうみそら研発表会 (2021).

・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の水槽模型試験における計測技術について, Web, 一般社団法人センサイト協議会 (2021).
・鈴木英之, 中條俊樹: 浮体式洋上風力発電施設の安全評価手法等の確立のための調査研究, 日本風力エネルギー学会誌, 第 140 号 (2021).
・黒岩隆夫: 15MW 風車用の風力発電施設浮体試設計, うみそら研研究会 (2021).
・黒岩隆夫 ほか: 15MW 風車用スパー型浮体の予備検討, 第 43 回風力エネルギー利用シンポジウム講演集 (2021).
・大坪和久: 洋上・海底施設作業船と吊荷の波浪中連成運動評価, 海上技術安全研究所報告(別冊), 第 21 巻 (2021).
・藤原敏文: 国際試験水槽委員会(ITTC)第 29 期活動報告 Modelling of Environmental Conditions, 日本船舶海洋工学会学会誌 KANRIN, (2021).
・藤原敏文: 海洋工学のキャリアデザイン, 大阪府立大学工学域, (2021).
・藤原敏文: 波力発電の可能性, 月刊誌電気計算, (2021).
・梅田隼: 並進動揺型波力発電装置のベイズ最適化を用いたインピーダンス制御, 海上技術安全研究所(第 21 回)研究発表会 講演集, pp.105-106 (2021).
・高野慧 ほか: 海底熱水鉱床開発におけるライザー管のスラリーエロージョン, トライボロジスト, Vol.66, No.12, pp.906-911 (2021).
・高野慧 ほか: 固気液三相流移送における各相の体積率と摩擦損失評価手法, 海上技術安全研究所(第 21 回)研究発表会 講演集, pp.103-104 (2021).
・高野慧 ほか: 海洋鉱物資源開発におけるエアリフトポンプの非定常シミュレーション, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 33 号, pp.315-319 (2021).
・Yamamoto, M., *et al.*: Study on Riser System in Hang-Off Configuration for Deep-Sea Mining, Proc. Offshore Technology Conference Asia 2022 (2022).
・渡邊充史 ほか: タンデムオフローディング時のシャトルタンカーの振れ回り挙動推定, 海上技術安全研究所(第 21 回)研究発表会 講演集, pp.101-102 (2021).
・長谷川賢太 ほか: 高速滑走艇の水槽試験と CFD 解析, 海上技術安全研究所(第 21 回)研究発表会 講演集, pp.133-134 (2021).

□特許申請：3 件
・複数管ライザーの渦励振の低減方法に関する特許 山本マルシオほか
・液体中に存在する微粒子の分離装置及び分離方法(国内優先権主張出願) 中島康晴
・資源開発向けトータルオペレーション解析手法 渡邊充史

□コアプログラム登録：2 件
・浮体式洋上風車用リアルタイムハイブリッドシミュレーション用通信プログラム 渡邊充史
・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 大坪和久

□国際貢献：7 件
・ISO19901-2 Ed2 への我が国沿岸域に適応した着底式海洋構造物の耐震設計法の提案
・Chujo, T., Haneda, K., Fujiwara, T., *et al.*: (Draft) Annex_Application of damage stability criteria, International Electrotechnical Commission (2021).
・Chujo, T.: Summary of Draft of Annex X -Application of damage stability criteria-, International Electrotechnical Commission (2021).
・Fujiwara, T., *et al.*: Guideline on Laboratory Modelling of Waves, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021).
・Fujiwara, T., *et al.*: Guideline on Laboratory Modelling of Wind, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021).
・Fujiwara, T., *et al.*: Guideline on Laboratory Modelling of Currents, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021).
・Iafrati, A., Fujiwara, T., *et al.*: The Specialist Committee on Modelling of Environmental Conditions Final Report and Recommendations to the 29th ITTC, ITTC Report (2021).

□受賞：2 件
・ASME OMAE Awards Committee, OMAE Conference Appreciation Award: Masanobu, S.
・理事長表彰(個人表彰): 大坪和久(ISO/TC67/SC7 への取り組みと研究成果の普及に貢献した功績)

□公開実験：1 件
・バンカリング時における 2 船体まわりの風場計測試験(R3.3.25)

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。特に、新たな国の検討を踏まえ、係留安全性評価技術の対象を、浮体式洋上風力発電や海洋資源開発の分野だけでなく、GPS 波浪計にも拡張して成果を創出するなど、当該技術の価値が社会的にも認められている。
・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、前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、一般性が十分に大きい。今年度は、本研究で開発している係留安全性評価技術を活用して、研究対象を GPS 波浪計の新係留システムにも展開した。
・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、今年度はコバルトリッチクラストにも適用するなど、発展性及び一般性は十分に大きい。さらに、科学研究費助成事業の基盤研究 A 等の枠組みにおいて新たな研究開発にも取り組んでおり、新規性等も十分に大きい。
・さらに、研究成果の一部で特許出願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、GPS 波浪計の新係留システムを対象とした研究は当初計画していなかったが、国の検討を踏まえ迅速に対応した。
・また作業船オペレーション評価技術は、今後、洋上風力発電が本格的に商業化される段階で重視される技術になると考えられるが、当該研究はそれに先んじて研究をスタートし、その技術確立を目指している。さらに、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。
・ISO や 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	A

コメント

・浮体式風力発電については、係留安全性評価技術や作業船オペレーション評価技術の対象を前年度から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、国が検討している浮体式風力発電施設安全ガイドラインの改定に貢献できる研究成果を創出するとともに、これまでの成果等を ISO や IEC 等に反映すべく積極的に対応している。
・当初計画していなかった「GPS 波浪計の新係留システム」を対象とした研究も実施して、国の検討を踏まえ迅速に対応した。
・前年度から新たに開始した「海底熱水鉱床開発システムの稼働性評価技術の開発」で得られた研究成果を、海底熱水鉱床開発に係る国家プロジェクトで活用した。

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。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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 －高精度・安価な小型 AUV による広域探査システム・運用技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、複数 AUV を用いた AUV-AUV 通信・測位アルゴリズムの有効性の検証及びシミュレーション等による航行型 AUV 最適誘導制御法の有効性の検証を行う。 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を推進すること、また、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 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
□広域探査システムの運用技術（隊列制御技術・ASV による多 AUV 運用等）完成
□民間移転実施
□広域探査システムの企画・転用技術

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。

R3 年度研究目標

□小項目 5

・JAMSTEC 所有 AUV との連携も実施しながら隊列制御有効性を検証、複数 AUV を用いて AUV-AUV 通信・測位アルゴリズムの有効性検証・改善

□小項目 6

・最適高度誘導制御法等の実海域試験による検証

□小項目 7

・深海底探査等に資する複数 AUV の活用方策に関する研究開発

・R3 年度研究内容

□小項目 5

・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 通信・測位システムの開発・実海域試験実施・システム完成

□小項目 6

・AUV 実機ダイナミクスに基づいたシミュレータの開発
・実海域・実機モデルを用いた最適深度制御法のシミュレーション検証
・地形照合自機位置推定法に関する研究

□小項目 7

・洋上風力発電等に資する複数 AUV の活用方策に関する AUV 試作（AUV-ASV 連結システムの開発）

R3 年度研究成果

□小項目 5

・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実証試験に向けた各種調整を行った（図 1）。
・次年度の試験を念頭に置き、JAMSTEC の保有する ASV と通信し、複数機 AUV を用いた隊列制御システムを構築するためには、ハードウェア・ソフトウェアの両方において必要部分を共通化させる必要がある。隊列制御へ参加する AUV は、海技研の航行型 2、3、4 号機の 3 機と JAMSTEC ゆめいるかの 1 機、IHI の AU-3、1 機の計 5 機であり、それぞれに JAMSTEC の開発した音響測位装置が追加搭載された。また、支援母船上での各運用チームの機器接続仕様および隊列制御コマンド・航行ステータス配信のための音響メッセージ仕様について詳細設計を行った。

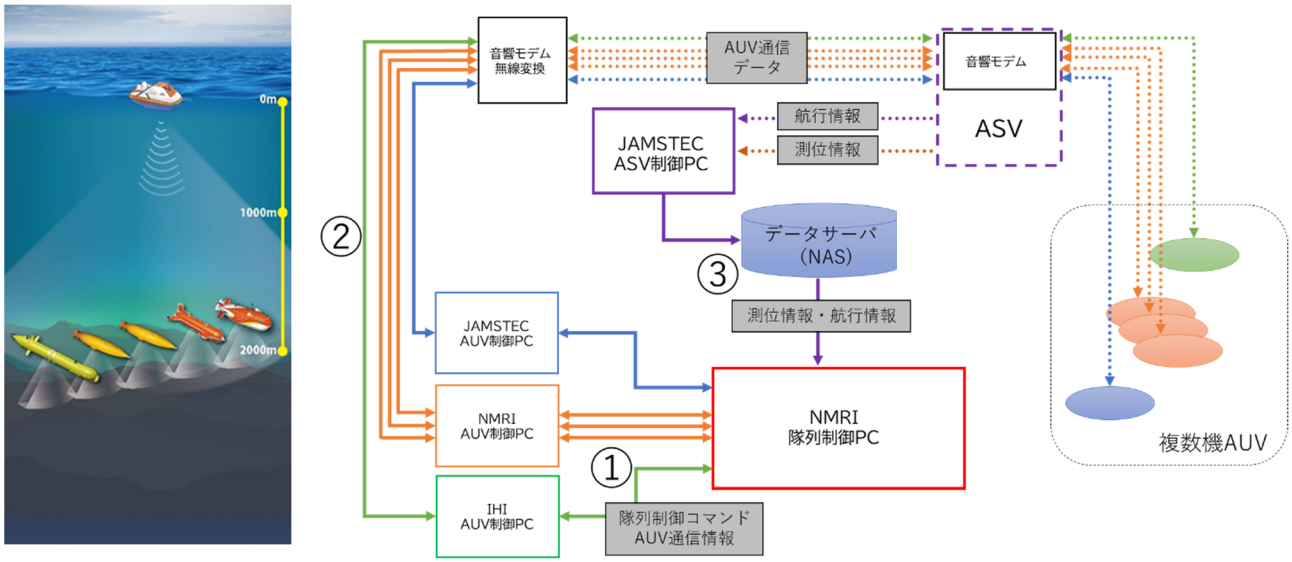
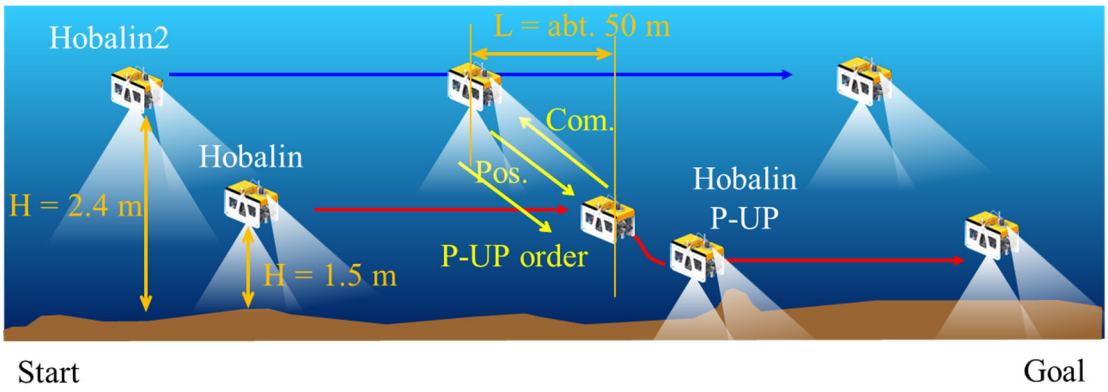


図 1 基本隊列制御システムの実海域試験に向けた調整
（ASV と 5 機 AUV の想定試験概念図（左）、機器間接続・通信経路設計（右））

・令和 2 年度に開発した 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し、駿河湾で実証試験を実施した（図 2）。使用した AUV は SIP 第 1 期、第 2 期でそれぞれ製作した「ほばりん」および「ほばりん2」で、これらは海技研で独自に製作したソフトウェアで制御されており、拡張性の高さを特徴としている。本開発において新たな通信メッセージ定義および行動アルゴリズムが追加された。
・AUV−AUV 通信・測位は AUV の位置誤差補正が困難な水深数千メートルの海底において誤差の少ない観測を実現する技術である。図 2 に試験結果を示す。双方向に通信を行い、お互いの状態を把握（タイミング同期ウェイポイント航走）する。さらに、ほばりん2がほばりんを測位し、ほばりん2の把握する位置関係と等しくなるようポジションアップデート指示を送信した。その結果、ほばりんは自身の位置の誤りを訂正するため移動し、AUV−AUV 通信・測位とポジションアップデートが達成された。



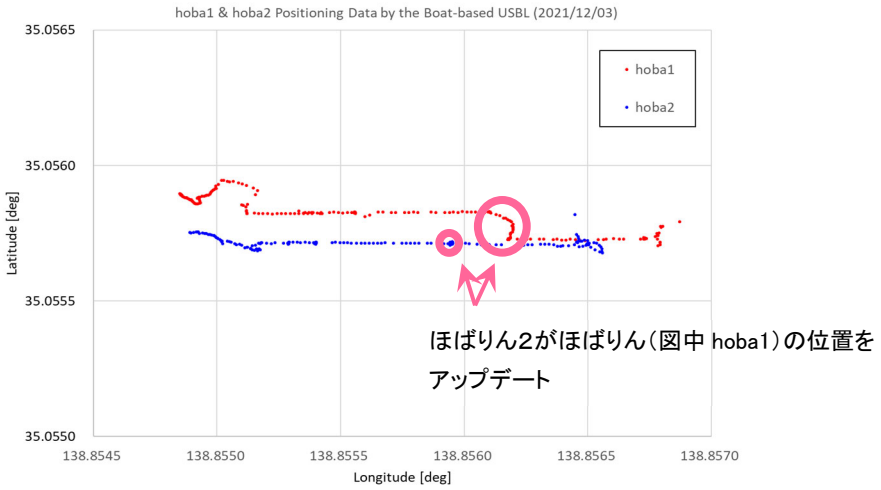


図 2 駿河湾における AUV−AUV 通信・測位システム試験
（上図：投入を待つほばりん・ほばりん2、中図：AUV−AUV 通信・測位の概念図、下図：試験結果）

口小項目 6

・海技研の航行型 AUV 主力機である NMRI 航行型 AUV3(4)号機のダイナミック・モデルを実装したシミュレータを開発した。自動制御で動作する移動体であるが故、シミュレータには機体の動力学モデルのみならず、PID 補償を基本とするフィードバック制御系が組み込まれた閉ループダイナミック・モデルを実装した。

・実海域試験を通じて確認した実機の挙動から、シミュレータが実機性能の予測に十分な精度を提供することを確認した（図 3）。

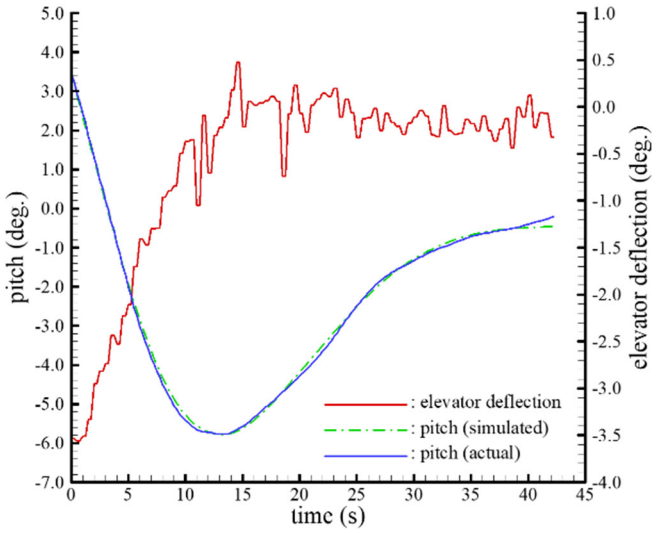


図 3　NMRI 航行型 AUV3 号機のピッチ応答（シミュレーションと実機挙動）

・NMRI 航行型 AUV3(4)号機のダイナミック・モデルを実装したシミュレータを用い、最適深度制御法の有効性を検証した（図 4）。

・シミュレーションからは最適目標深度誘導により、劣駆動の航行型 AUV が海底精査に対応できる距離まで高度を下げながらも、海底衝突を防ぐ安全な航行を実現しており、提案する最適深度制御法の有効性を確認した。また、R3 年度には最適誘導のみならず下位制御に対する最適化も行った。これは、翼制御を基本とすることから、低速航行時に制御性が著しく低下する航行型 AUV ならではの脆弱性に対応するもので、システム同定の手法で求めた NMRI 航行型 AUV3(4)号機のダイナミック・モデルを用い、下位制御系としての PID コントローラを最適チューニングした。

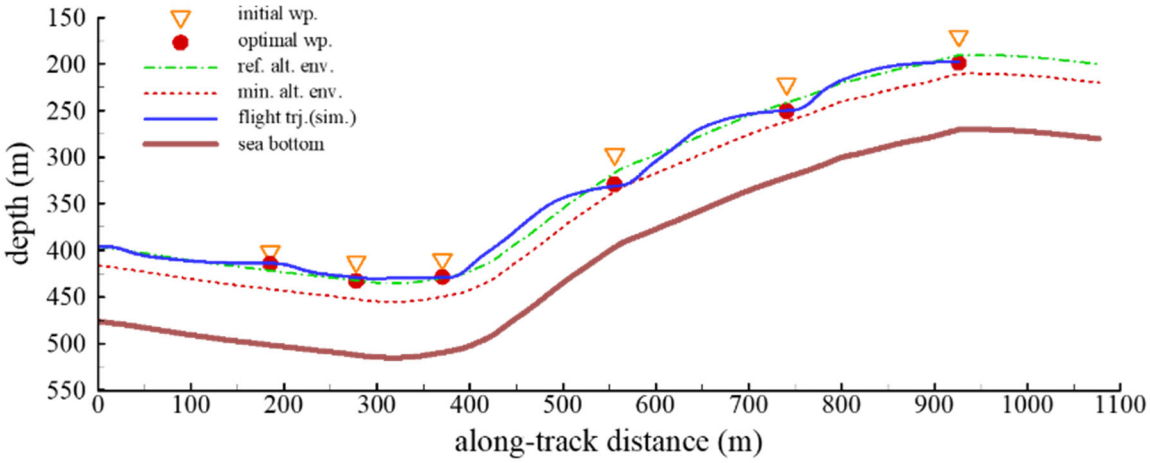


図 4　最適目標深度誘導による NMRI 航行型 AUV3(4)号機の急斜面航行シミュレーション

・オブザーバー情報に基づいた高度フィルタリング手法の一方法論として、地形照合自機位置推定法(TERCOM)を採用し、シミュレーションを中心に研究・開発を行った（図 5）。
・既知の低解像度海底地形情報を利用する本手法では、航行軌道に沿った 1D の海底断面を求め、逆問題を解くことで AUV の現在位置を推定する。推定した AUV 位置と既知の低解像度地形との照合により機体高度の参照値が得られ、実時間高度推定におけるカットオフ(cut-off)フィルターが設けられる。また、この参照値は欠測や誤計測が続く場合の高度推定プロセスにて、基準値として用いることができる。

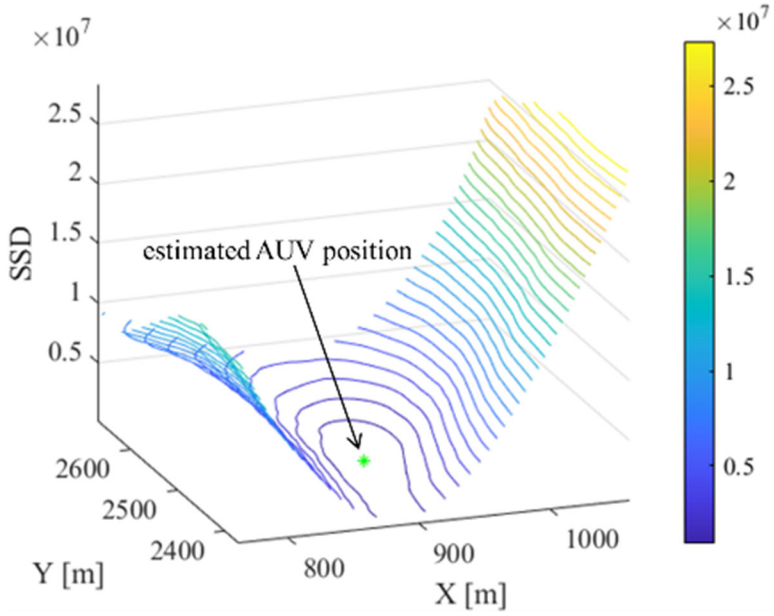
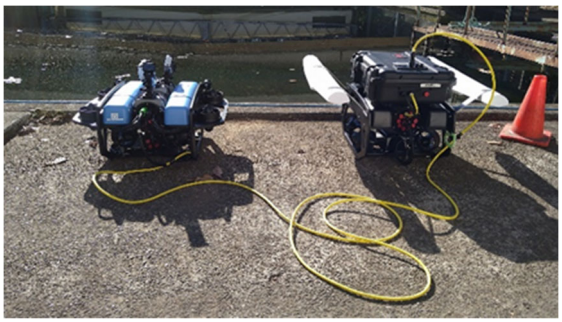


図 5　TERCOM による AUV 自機位置推定の結果

口小項目 7

・T 電力との共同研究（H30～R1）を踏まえ、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」一式を開発した（図 6）。また、試験水槽において動作確認試験を行った。
・銚子沖洋上風力発電設備において、水深 12m の海底部点検を実施し、リアルタイム点検技術の性能を実証した（図 7, 8）。



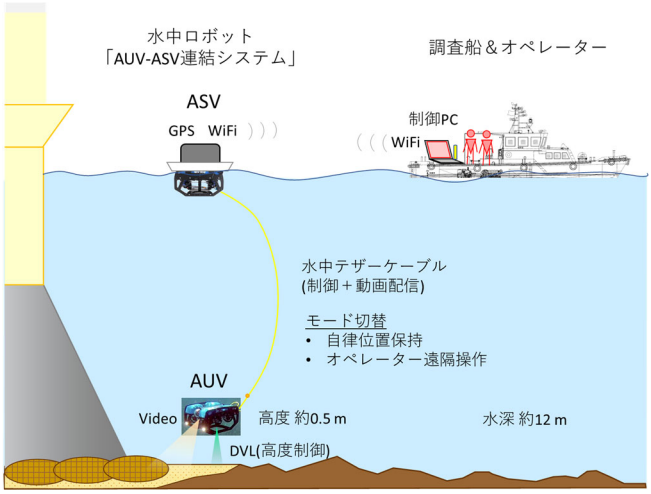


図 6　AUV-ASV 連結システム一式の外観（左）とシステム概要（右）

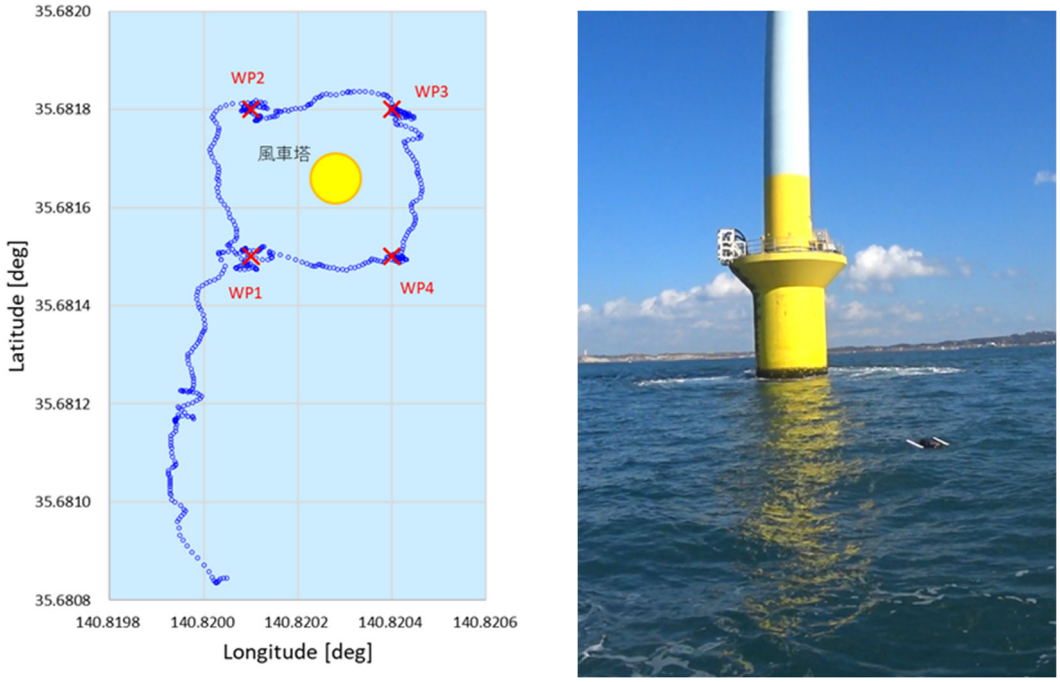


図 7　銚子沖洋上風力発電設備での「AUV-ASV 連結システム」による点検技術試験
ASV 単体による風車塔の自律周回航行の経路（左）とその時の様子（右）

図 8　銚子沖洋上風力発電設備での「AUV-ASV 連結システム」による海底撮影映像の例

R3 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：2 件、採択済：2 件、掲載済：3 件）

- Horng, H., Sasano, M., Okamoto, A., Inaba, S., et al.: Stereo-vision-based AUV navigation system for resetting the Inertial Navigation System error, Journal of Artificial Life and Robotics（2021）
- Fujiwara, T., Umeda, J., Sato, T., Kim, K., and Sasano, M.: NAVIGATIONAL SIMULATION OF CRUISING AUVS, Proceedings of the ASME 2022 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering（2021）
- Fujiwara, T., Kim, K., Sasano, M., Sato, T., Inaba, S., Okamoto, A., Imasato, M., and Osawa, H.: SEA TRIALS SUMMARIZATION ON FUNDAMENTAL FORMATION CONTROL OF MULTIPLE CRUISING AUVS –2ND REPORT: 3 CRUISING AUVS WITH 1 ASV TRIAL, AND HOVERING AUVS' AUV-AUV POSITIONING AND COMMUNICATION–, Proceedings of the ASME 2022 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering（2021）
- Kim, K.: Optimal Maneuver-Based Navigation for Cruising AUVs, Papers of National Maritime Research Institute, 21-4（2022）
- Umeda, J., Fujiwara, T.: Prediction Model Using Multiple Regression Analysis for Self-propulsion Points of Cruising AUV in Actual Seas, Papers of National Maritime Research Institute, 21-4（2022）

・佐藤匠、金岡秀：潜航前複雑地形選別による汎用的自己位置推定手法、日本マリンエンジニアリング学会論文集（投稿中）
・Kim, K., Sato, T., and Fujiwara, T.: System Identification Approach for High-Maneuverability AUV Control Synthesis, Journal of Robotics and Mechatronics （投稿中）

□その他発表論文：13 件（投稿中：0 件、掲載済：13 件）
・藤原敏文、金岡秀、篠野雅彦、佐藤匠、稲葉祥梧、岡本章裕、今里元信、瀧本忠教：海技研 AUV 開発最新状況、海上技術安全研究所研究発表会論文集、第 21 巻別冊（通巻 93 号）（2021）
・岡本章裕、谷口友基、佐藤匠、平尾春華、稲葉祥梧、梅田隼: 高性能航行型 AUV の開発、日本水路協会機関紙季刊水路 198、Vol.50、No.2（2021）
・藤原敏文：SIP2 AUV/ASV Development、台灣海洋科技研究中心(Taiwan Ocean Research Institute, TORI)との情報交換会（2021）
・赤松友成、今里元信ほか：海中音の計測手法・評価手法のガイダンス発行、海洋音響学会誌、Vol.48 No.3、2021
・大澤弘敬、 藤原敏文：SIP「革新的深海資源調査技術」の動向、日本船舶海洋工学会学会誌 KANRIN、第 99 号（2021）
・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、東京大学新領域創成科学研究科 Web ページ（2021）
・金岡秀、篠野雅彦、藤原敏文、今里元信、岡本章裕、佐藤匠、稲葉祥梧：SIP 第 1 期「次世代海洋資源調査技術」での成果、海上技術安全研究所報告、第 21 巻第 4 号（2022）
・藤原敏文、金岡秀、篠野雅彦、関口秀紀、今里元信、岡本章裕、佐藤匠、稲葉祥梧、谷口友基、平尾春華、梅田隼、瀧本忠教：SIP 第 2 期「革新的深海資源調査技術」での成果、海上技術安全研究所報告、第 21 巻第 4 号（2022）
・金岡秀、藤原敏文、篠野雅彦、今里元信、岡本章裕、佐藤匠、稲葉祥梧：複数 AUV 隊列制御による海底調査の新戦略、海上技術安全研究所報告、第 21 巻第 4 号（2022）
・篠野雅彦、今里元信、岡本章裕、稲葉祥梧、藤原敏文：AUV 研究の社会実装への展開、海上技術安全研究所報告、第 21 巻第 4 号（2022）
・Taniguchi, T., Umeda, J., Fujiwara, T., Kim, K., Sato, T., and Inaba, S.: Path Following Control of Autonomous Underwater Vehicle Using Nonlinear Model Predictive Control, Papers of National Maritime Research Institute, 21-4（2022）
・Okamoto, A., Imasato, M., Hirao, S., Sekiguchi, H., Seta, T., Sasano, M., and Fujiwara, T.: Development of Testbed AUV for Formation Control and its Fundamental Experiment in Actual Sea Model Basin, Papers of National Maritime Research Institute, 21-4（2022）
・金岡秀、藤原敏文、篠野雅彦、今里元信、岡本章裕、佐藤匠、稲葉祥梧、瀧本忠教：海技研の AUV 複数機同時運用への取り組み、日本船舶海洋工学会海洋環境研究会（2022）

□特許申請：5 件
・稲葉：水中航走体の音響測位処理方法、音響測位処理プログラム、及び音響測位処理 システム（出願日 2021/8/31）
・稲葉：水中航走体の監視方法、監視プログラム、及び監視システム（出願日 2021/10/30）
・金：複数の水中航走体の運用方法及び複数の水中航走体の運用システム（分割出願日 2021/12/24）
・篠野：水槽中での音響通信試験又は音響測位試験における音響反射影響の軽減方法、評価方法、及び音響反射影響軽減システム（出願日 2022/3/24）
・篠野：AUV-ASV 連結 MCS システム（出願中）

□コアプログラム登録：1 件
・岡本、AUV 基本隊列制御プログラム

□国際貢献：0 件
・

□受賞：1 件
・日本マリンエンジニアリング学会賞（技術賞）、「深海調査に向けた小型軽量航行型 AUV の開発」

□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

・国家プロジェクト第 2 期 SIP「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、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。

□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

・前述と同様に、SIP 第 2 期「革新的深海資源調査技術」に参画する中で、高度な技術開発を推進。

□成果が期待された時期に創出されているか

・SIP 第 2 期 R3 年度の目標・成果を着実に達成。
・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

・SIP 第 2 期事業に関しては、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等で示した。国際的競争力を着実に身に着け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

・AUV-AUV 通信・測位制御システム、AUV-ASV 連結システムの創出、隊列制御アルゴリズム開発（昨年成果の論文化）等、本年度の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	B

コメント

・AUV-AUV 通信・測位制御技術開発は、今後の AUV 群制御技術に繋がることから、SIP2 プロジェクトでの外部有識者助言委員会においても好意的評価を得ている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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 －防振部材への火気を伴わない接合方法の利用のための設計指針・施工要領のガイドライン案の策定を行う。 －内業工程における造船作業の一覧および体系的な整理、再現に必要なデータ構造の定義とモデル化を行う。 －造船作業のモデル化と自律判断を再現するアルゴリズムを検討し、試作システムを構築する。 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。

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。（⑧に統合して実施）
□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。

R3 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案

□小項目 8
・設計・製造プロセスにおけるデータの仕様案、標準化案
・インテリジェント CAD システムのプロトタイプの効果検証
・設計作業のコミュニケーションモニタリングシステムのプロトタイプ案

□小項目 9
・内業工程における造船作業の一覧および体系的な整理
・再現に必要なデータ構造の定義とモデル化
・シミュレーションシステムの一部の試作および妥当性検証
・過去番船モデルの一部データベース化
・類似検索システムのプロトタイプ

・R3 年度研究内容

□小項目 4
・設計指針・施工要領の策定、規則基準への提言
・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
・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

R3 年度研究成果

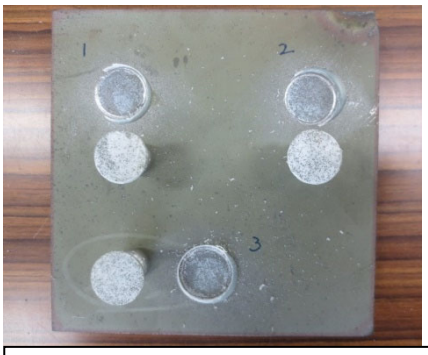
□小項目 4
・船殻構造の起振応答量解析は難しく、設計時に推定していた固有振動数とは異なり、実際には、損傷報告後に判明した振動モードの固有振動数が起振周波数域に存在し、共振を起こしていた事例が確認されている。現状、課題が生じている部位は、燃料タンク壁や清水タンク壁で、エンジンやプロペラを起振源として、壁が共振した場合は 10Hz 程度の振動が発生することがあり、試運転後や就航後に振動が確認され対策が必要な事例が生じている。試運転後や就航後は、接合部裏面（飲料水である清水タンク内面には特別な塗装がされている）も含む塗装の焼けが発生すると更なる追加工事が発生するため、溶接などの火気工事を伴う補強部材の追加は可能な限り回避することが望ましい。そこで、評価対象部材として共振防止カーリング（板材補強小型骨材）を選定した。現状では、亜鉛ショッププライマー船級鋼板（KA）による幅 200mm×厚さ 12mm のフラットバーが溶接により接合されている。単位長さ 1m 当たりの重量は 18.84kg/m である。
・造船分野での使用に適した構造用接着剤の材料としての認定要件である ClassNK「構造用接着剤使用のためのガイドライン」では、「安全率については当面 40 倍とする。ただし詳細設計により減じることができる。」とされてい

る。現在、NK ガイドラインに基づく認定を継続している構造用接着剤は、すべて接着層厚が厚い場合に適した第二世代アクリル樹脂(SGA)系接着剤である。SGA の引張剪断強度は引張強度の 6 割程度であり、強度の低い引張剪断強度を用いて強度評価が行われる。200×12FB の自重が剪断力として作用する場合の引張剪断強度は 0.016MPa である。40 倍の安全率で必要な引張剪断強度は 0.64MPa 以上である。

・本研究で評価対象として選定した SGA の引張剪断強度のカタログ値は、接着剤メーカーが推奨する「#120 ペーパーで完全研磨（24 往復）した場合」の冷間圧延鋼板では 21-25MPa である。また、自動車分野の主要材料の一つである溶融亜鉛メッキ鋼板に対応した接着剤であり、引張剪断強度のカタログ値は、「脱脂処理のみで研磨無しの場合」の溶融亜鉛メッキ鋼板では 13-18MPa である。上述の通り、評価対象 SGA の引張剪断強度は 200×12FB の自重に対して 40 倍の強度安全率を踏まえた場合に対してもなお数倍以上の余裕があり、必要接着面積など要件は十分確保されている。また、溶融亜鉛メッキ鋼板では、脱脂処理のみの研磨無しで接着可能とされていることから、まずは、評価対象部材であるフラットバー（300mm 長による予備試験）接着部被着面の前処理として、研磨せずに接着したところ自重によるずれは確認されなかった。

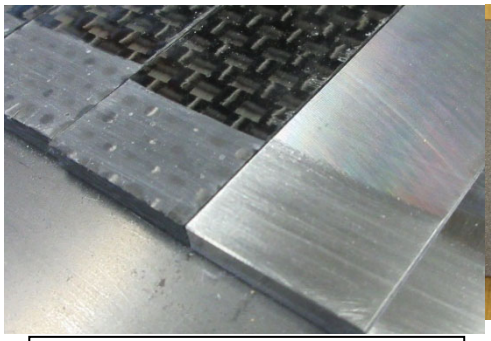
・火気を伴わない接合方法として、構造接着は適しているものの、1m 超部材で実用化するためには、造船所からは、被着面前処理の要件緩和による作業工数削減が期待されている。そこで、本研究終了後は民間資金のみで、引き続き、火気を伴わない接合方法の一つである構造接着の実用化を促進させるため、より多くの造船所が新たなアプリケーションとして構造接着を利用する際の障害を低減させる狙いで、作業が簡便となるよう被着面前処理の要件を見直すこととした。まず初めに亜鉛ショッププライマーの密着力を、JIS K 5600-5-7:2014「塗料一般試験方法―第 5 部：塗膜の機械的性質― 第 7 節：付着性（プルオフ法）」（ISO 4624:2002, Paints and varnishes―Pull-off test for adhesion（MOD））に準拠して計測した。被着面前処理は、JIS K 5600-1-4:2004「塗料一般試験方法―第 1 部」（ISO/DIS 1514:2002, Paints and varnishes―Standard panels for testing (MOD)）に規定する前処理として、粒度#80 のアルミナ質研削材による研磨紙を用いて 10 往復研磨した。その結果、亜鉛ショッププライマーの密着力は 15-21MPa で十分であり（図 1 参照）、被着面前処理としての研磨の度合いの方が構造用接着剤の強度に及ぼす影響が大きいことを確認した。

・溶融亜鉛メッキ鋼板とは異なり、亜鉛ショッププライマーに対しては接着剤メーカーがデータを有していないことから、連携造船所と協議の上、本研究では、研磨無しは除外し、#120 ペーパーで完全研磨（24 往復）した場合と、その半分の研磨工数となる#120 ペーパーで 12 往復研磨した削りむらの残る不完全サンディング状態の場合（図 2 参照）とで、引張剪断試験・圧縮剪断試験により剪断強度にどの程度違いが生じるか評価し（進行中）、令和 4 年度に実証部材を用いて実用に適するか効果を検証する。この結果を踏まえて、被着面前処理などの接着作業詳細の要件を定める。

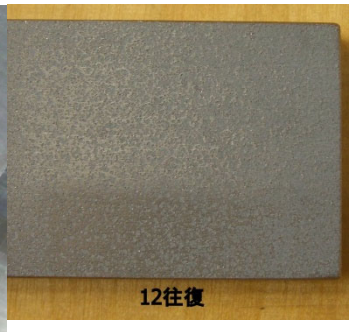


亜鉛ショッププライマーの密着力:15-21MPa
JIS K 5600-5-7:2014（試験法）
JIS K 5600-1-4:2004（被着面前処理）
#80 ペーパーによる 10 往復研磨

図 1 亜鉛ショッププライマーの密着力



SM490A：21-25MPa
CFRP:8-12MPa
#120 ペーパーによる 24 往復研磨



亜鉛ショッププライマーKA
#120 ペーパーによる 12 往復研磨

図 2 被着面前処理状態

口小項目 8

・造船の標準化及び造船用 PLM システムの開発については、PLM システムを造船における統一データプラットフォームとして、基本設計、詳細設計、生産設計の設計プロセスを検討している。2021 年度では、実際の船舶を想定して、工程設計までの製品データをモデリングした。製品データ、工程データは BOM、BOP(Bill of process) の形式で表現されるが、特に「建造シミュレーション」への接続を想定してデータ構造を策定した（図 3 参照）。また、PLM 内で生成した製品データを、手作業によるデータ補填処理を介すが、建造シミュレーションに接続し、実際の造船所の小組工程を対象に建造シミュレーションが実施できることを確認した。また、異種間の造船設計システムで生成されたデータについて、提案する BOM、BOP のデータ構造にデータ交換できるかを検討した。具体的には、国内造船業で最も使用されている造船設計用 CAD でモデリングされた船殻データについて、PLM システム内の BOM、BOP へのデータ交換について検討し、データ交換に際する仕様等を整理した（図 4 参照）。

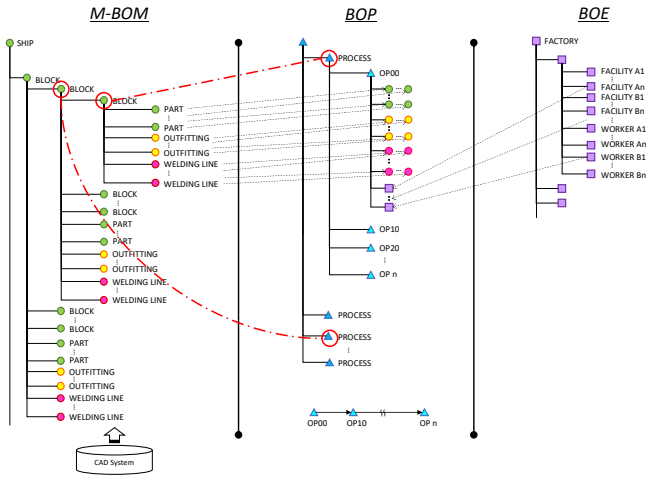


図 3　提案する製品情報及び工程情報のデータ構造

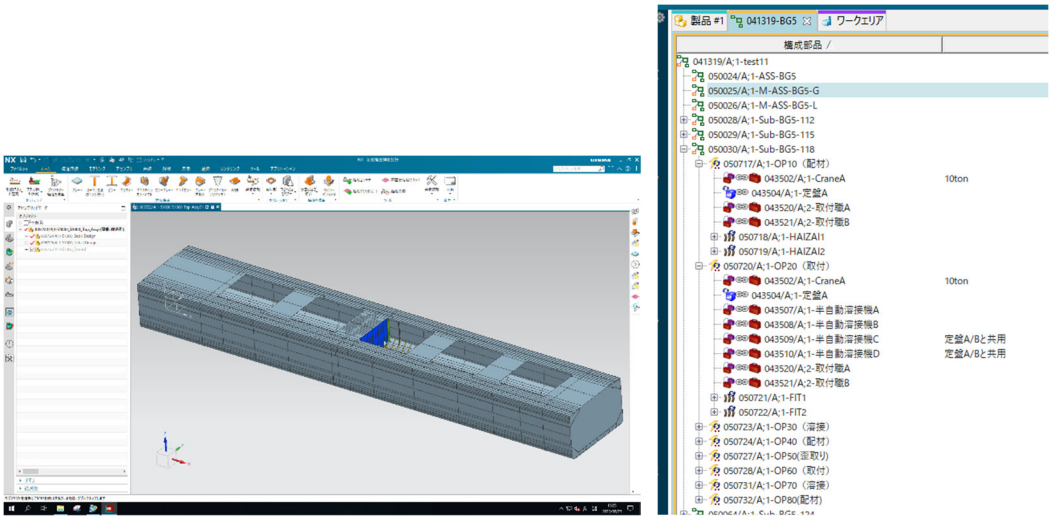


図 4　実際の船舶を想定したモデリング（左）と PLM システム内の BOP のイメージ（右）

・造船における協業体制に関する検討として、上記の BOM、BOP を基盤として、製品データ及び工程データをたちどころに生成するための設計プロセスについて検討した。具体的には、ベース船型から各ヤードを想定した派生船型を生成する設計プロセスを整理し、実際の船舶を想定してベース船型から派生船型生成の一連の流れのデモを作成した。
・インテリジェント CAD システムの研究開発については、推進性能に係る船型初期設計の段階で生産性を考慮するシステムとして、CAD システム上に海技研の CFD（推進性能評価）と曲率線展開プログラム（生産性評価）を連携するプロトタイプシステムを開発し、設計プロセスにおけるフロントローディングの有効性を検証した（図 5 参照）。また、設計作業におけるコミュニケーションモニタリング手法、不具合データや未建造の船型データ等から機械学習の活用により新たな価値を持つデータによる設計プロセスの応用、データ取引等について検討した（図 6 参照）。

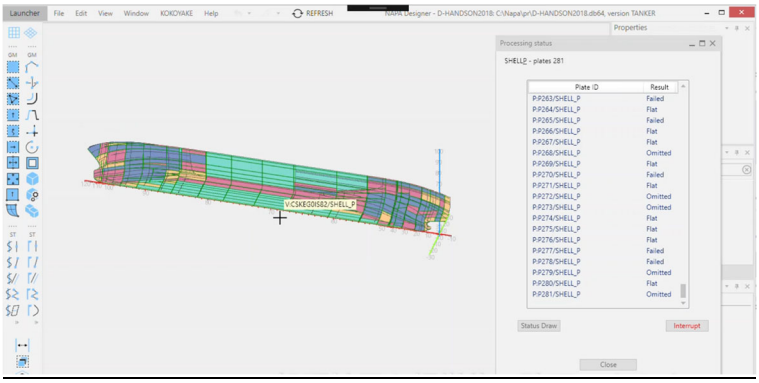


図 5　フロントローディングシステムのプロトタイプ

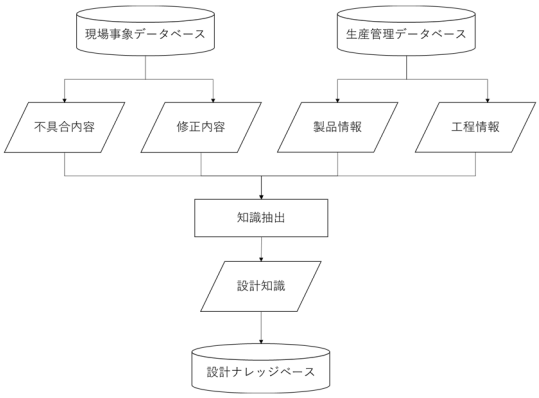


図 6　設計ナレッジベースの概念図

□小項目 9

・建造工程の仮想空間上での詳細な再現を目指し、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新たに考案した。3D 仮想空間上に造船工場内の作業者を想定したマルチエージェントを配置し、各エージェントがルールベース AI に基づきタスクの選択と実行を行うことで、建造工程を再現する。タスクの表現として、カスタムタスクとベーシックタスクという概念を導入し、道具の取得や歩行といった付随作業まで詳細に再現する手法を新たに提案した（図 7 参照）。

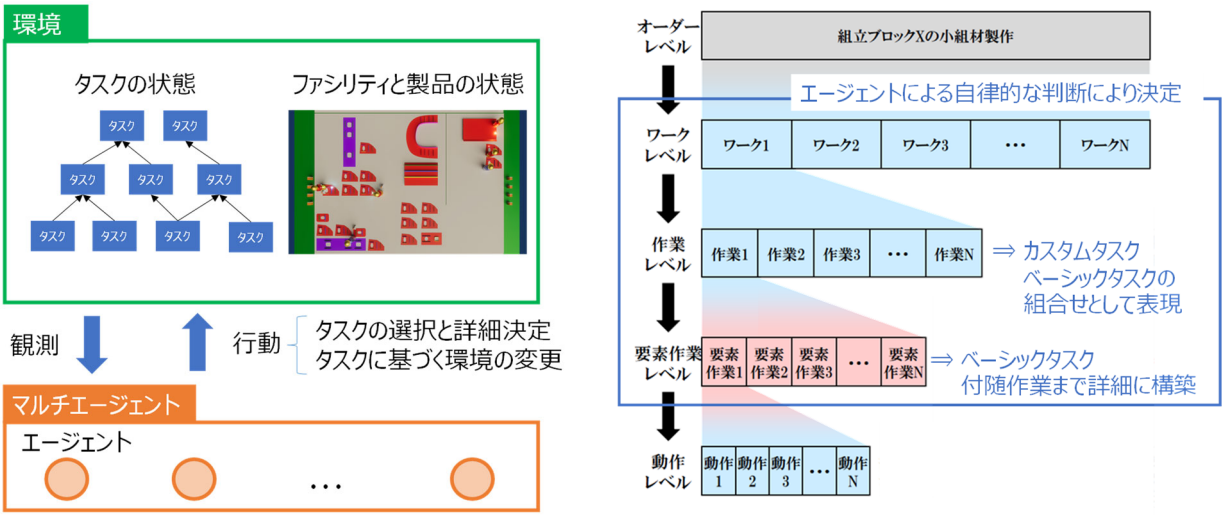


図 7　マルチエージェントシステム（MAS）に基づく造船用高精度建造シミュレーションの概要

・造船所の実際の小組立工程および中組立本溶接工程を対象に、本シミュレータによる再現を実施した（図 8 参照）。また、実際の作業のビデオ撮影から、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（図 9 参照）。中組本溶接工程においては、簡易自動台車の台数による影響を検討し、非線形な傾向を示すことを明らかにした。この結果は連携した造船所の独自調査結果とも一致する傾向であった（図 10 参照）。また、本シミュレータの設計や計画段階での利用や現場の作業効率向上といった活用方法も検討中である。

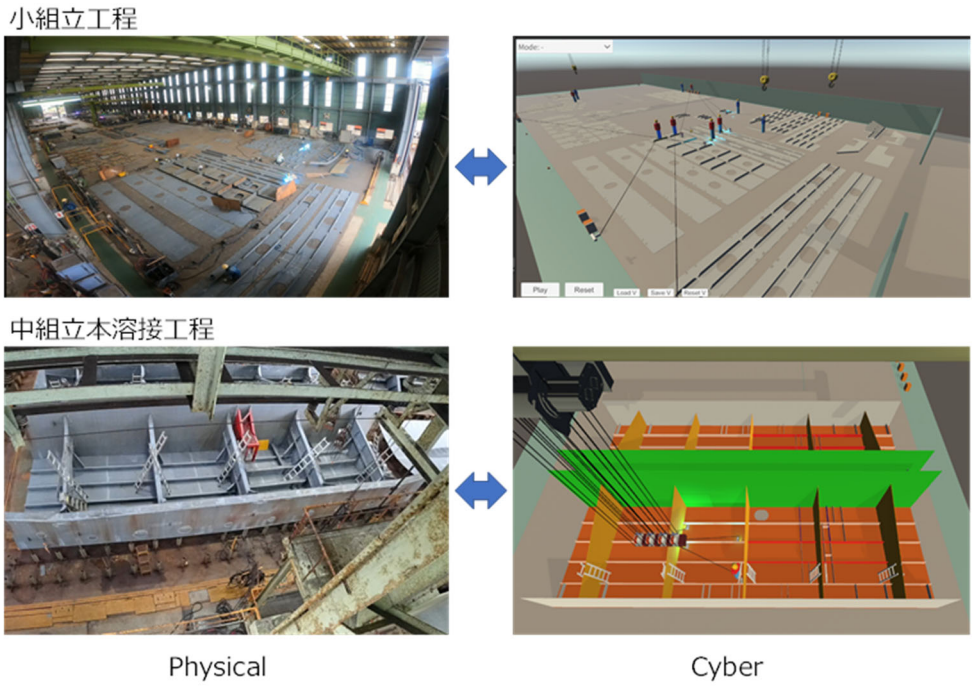


図 8　小組立および中組立本溶接工程の再現

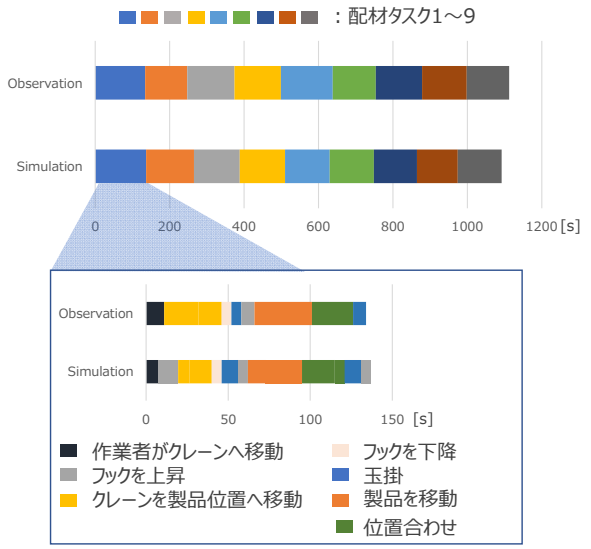


図 9　小組立工程における配材タスクの実工程との比較

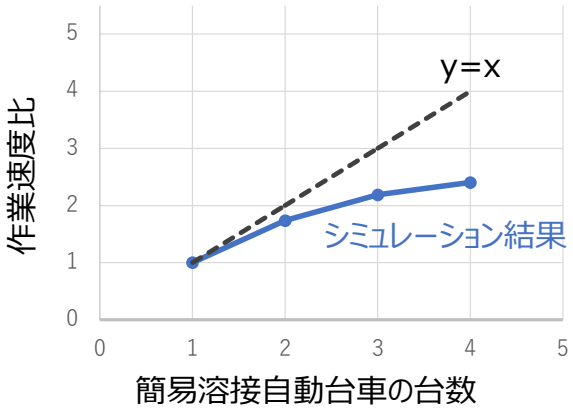


図 10　中組立本溶接工程における簡易自動台車の台数影響のシミュレーション結果

・上記シミュレータを実行するにあたって、入力データを準備する作業は大きな労力を伴う。シミュレーションを気軽に実行できるようにするため、これら入力データ準備の省力化を検討し、本小組立工程に限定的ではあるものの、自動生成システムのプロトタイプを構築した。製品の形状と溶接線の情報を利用して、Rhinoceros7 とGrasshopperおよび python を活用したデータの自動処理により、タスク情報を自動で構築するシステムのプロトタイプを実装した。今回対象とした小組立工程に限定的ではあるが、タスク情報の自動構築が可能であることを確認した（図 11 参照）。

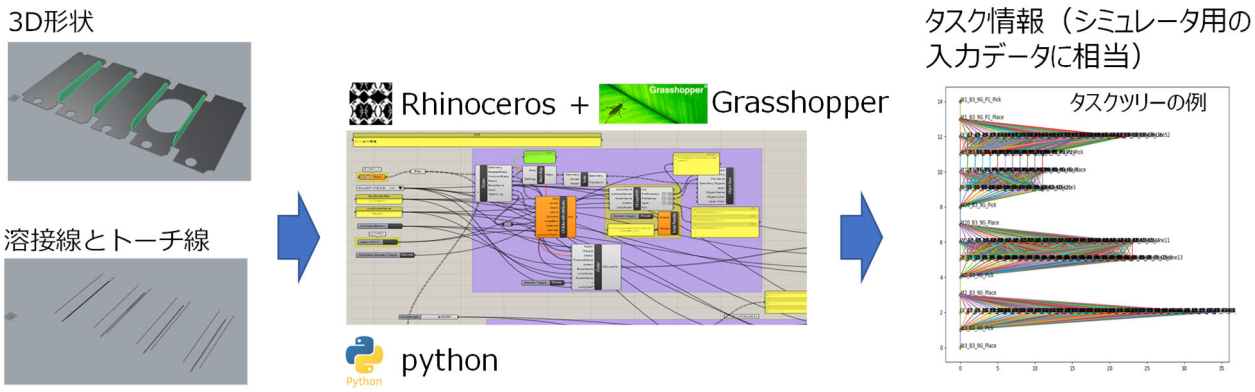


図 11　入力データの自動構築システムのプロトタイプ

R3 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）：1 件（投稿中：1 件、採択済：0 件、掲載済：0 件）

・谷口智之，竹澤正仁，松尾宏平：マルチエージェントシステムに基づく造船用高精度シミュレータの開発、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）

□その他発表論文：　2 件（投稿中：1 件、掲載済：1 件）

・松尾宏平、森下瑞生、比翼謙太郎、末岡雅喜、谷口智之、竹澤正仁：造船用 PLM システム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 34 号、2022 （講演可否通知 3/18 待ち）

・谷口智之、竹澤正仁：マルチエージェントシステムに基づく造船用高精度建造シミュレーションに関する基礎的研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 33 号、2021

□特許申請：2 件

・船舶の建造シミュレーション方法、建造シミュレーションプログラム、及び建造シミュレーションシステム、谷口智之ほか（国際出願：PCT/JP2021/034408）

・統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーション方法、建造シミュレーションプログラム、及び建造シミュレーションシステム、並びに船舶の品質データベースの構築方法（国際出願：PCT/番号確認中）

□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。

・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（造船用 PLM システム）の研究開発に関して、国が定めた方針（「海事産業の基盤強化のための海上運送法等の一部を改正する法律案」など）や海事産業の競争力強化の観点から、国はデータ連携の推進を進めているところ、国の方針に適合した研究開発内容であると評価している。本年度の成果は、データ連携についてひとつの具体例を示すものであり、データ連携の実現に貢献するものと評価する。

・建造シミュレータに関する研究開発は、国が定めた方針（「海事産業の基盤強化のための海上運送法等の一部を改正する法律案」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。 特に中韓に競合できる短納期、コスト、品質といった観点からの改善が重要であり、生産計画や建造工程の効率化を通じて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。
・データの標準化に関しては、協業体制下における設計、建造を実施する際の業界標準となるべく研究開発しているものであり、実現すればその発展性、一般性は高い。
・建造シミュレータに関する研究開発に関して、従来のラインシミュレータやプロセスシミュレータでは考慮していない制約や項目を取り入れ、付随作業まで考慮し、マルチエージェントシステムに基づく自律性を再現した建造シミュレーション技術は先例がない。今年度は建造シミュレーション技術の基礎的な研究と検証に重点を置いて進めているが、本研究は設計段階、計画段階、実行段階と各段階において様々な利用方法があり、発展性が十分に大きい。また、基本的なアルゴリズムは造船業一般において共通して利用できるものであり、先行して構築したシステムは軽微な修正によって別造船所でも利用可能であることから一般性が高い。

□成果が期待された時期に創出されているか

・設計自由度向上の観点から、造船用の構造用接着剤の基本的な要件として、多くの造船所から低火炎伝播特性が求められていた。この防火性・難燃性の規則対応策が課題の 1 つであったが、本重点研究で連携しているイギリスの接着剤メーカーの SGA 系接着剤二種類が、2019 年に初めて、FTP Code Part5(表面燃焼性試験)の認定を取得し、2020 年中に、FTP Code Part2(煙・毒性試験)、ISO1716(発熱量試験)、並びに、鋼船規則 R 編の規定による防火構造材料（難燃性上張り材(不燃性・難燃性基材用、不燃性基材用、難燃性基材用)、難燃性表面床張り材、一次甲板床張り材）の認定も取得している。造船所から期待される成果が適切な時期に創出されている。
・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（造船用 PLM システム）の研究開発に関して、造船業におけるデータ連携の重要性がより一層叫ばれる中、一方で、具体的な実装イメージに乏しいのが実情である。このような中、データ構造及びそれを実装するPLMシステムに関して、ひとつの事例を提案できたことは、適切な時期に研究開発を実施しているものと評価する。
・建造シミュレータに関する研究開発に関して、海事産業の基盤強化のための海上運送法等の一部を改正する法律案が提出されるなど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、タイムリーに成果を創出している。

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

・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。
・造船用統合データプラットフォーム（造船用 PLM システム）の研究開発については、欧州で研究開発及び実装が先行している中、一般製造業（自動車産業、航空機産業等）でも先行して取り入れられている概念（BOM、BOP 等）を国内の設計、建造を対象に研究開発する事例は意義がある。特に、建造シミュレータ等による精緻な生産計画、生産管理を想定して、造船 BOM の設計を行ったことは新しい知見であると評価している。
・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。
・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（造船用 PLM システム）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	B

コメント

・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、今年度は、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。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	B
見込評価	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	R3 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 －他船検出機能システムの開発と自動避航システムの構築、自動運航船におけるオーバーライド及び避難における問題点の洗い出し、ファストタイムシミュレーションシステムの構築、小型内航貨物船の模型試験による自動着桟システムの検証及び船-陸通信を含めた遠隔操船システムの構築を行う。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。

R3 年度研究目標

□小項目 1
・他船検知システムと避航アルゴリズムとの連携
・小型実験船による、試行の実施

□小項目 6
・自動運航船におけるオーバーライド及び避難における問題点の洗い出し。ファストタイムシミュレーションシステムの構築

□小項目 7
・数百総トン程度の小型内航貨物船の模型試験による自動着桟システムの検証
・船−陸通信を含めた遠隔操船システムの構築

・R3 年度研究内容

□小項目 1
・自動避航システムに、他船検出機能を導入する。
・自動避航操船システムの開発と試行を実施する

□小項目 6
・自動運航船のモックアップ実験及び総合シミュレーションシステムの構築を実施する

□小項目 7
・自動着桟システムの適用範囲を拡大する。
・小型実験船により遠隔操船システムの実証試験を行う。

R3 年度研究成果

□小項目 1
・小型実験船「神峰」でカメラ他船監視システムを構築。魚眼カメラから全方位景観画像を構成、船影検出・動きを検知し自動避航システムに送信する機能をもたせた。また、遠隔操船用として検知結果を画面表示・音声で報告、ズームカメラと連動、陸上に映像を送信・カメラ制御を受信する機能をもたせた（図 1）。これを使った遠隔操船実験を行った（図 7）。

図 1 カメラ他船監視システム

・小型実験船「神峰」に、自動避航システムと他船検知機能との連携機能を導入した（図2）。他船検知システムで船影を検出し、その船影位置を時間的に前後で比較を行うことで本船に接近しているか、または離れているかを算出し、相手船の方位と、その相手船が接近しているかどうかをもとめ、結果を UDP で船内 LAN に文字列形式で送信する。自動避航システム側では UDP で受信した文字列を解析し、カメラで取得した相手船方位を描画する仕組みを構築した。

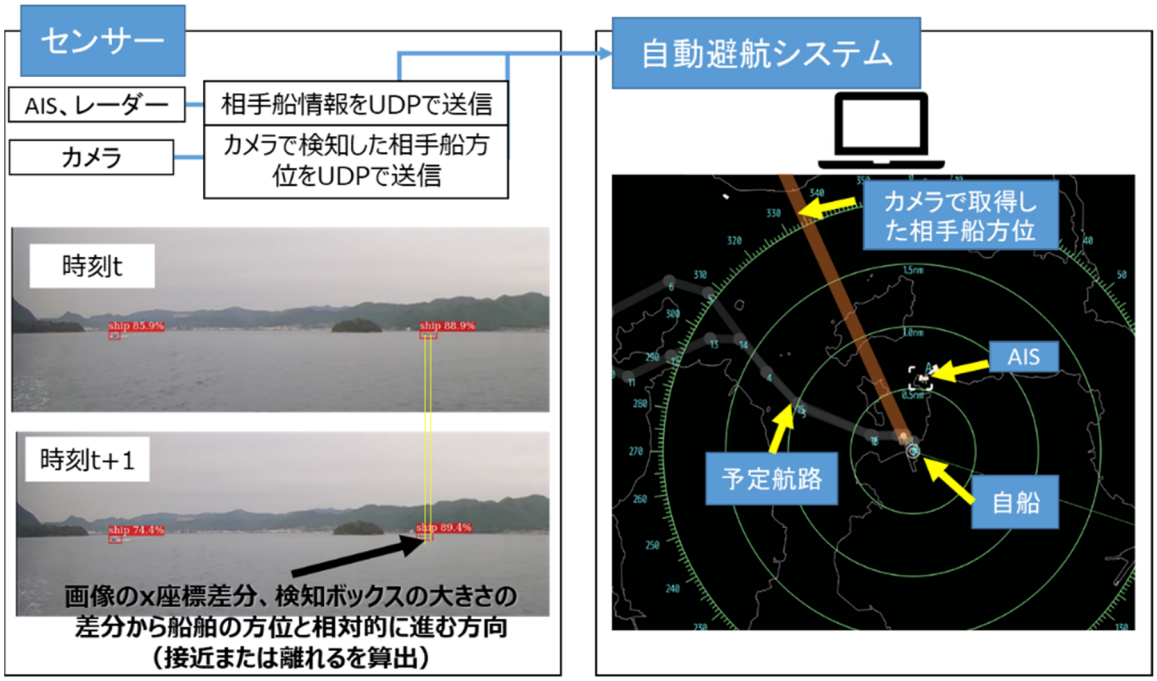


図 2　他船検知システムと自動避航システム連携図

・小型実験船「神峰」に設置した AIS 情報と、レーダーで捕捉した TT（Target Track）情報から避航航路の計算を行い、相手船を回避するルートが生成されることを確認した(図3)。

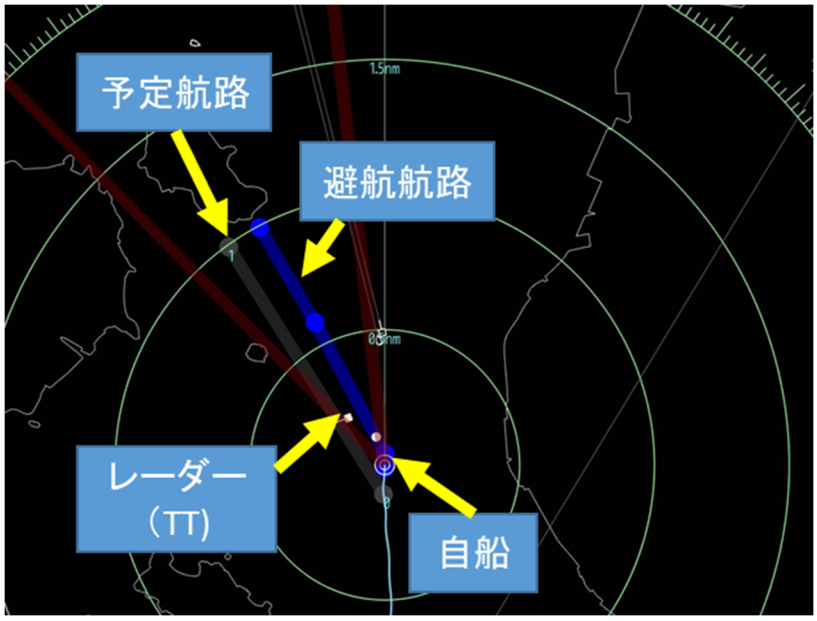


図 3　因島付近での避航経路計算結果

□小項目 6

・GBS ガイドラインに則った自動運航船の安全ガイドラインの骨子を、自動運転車のガイドライン及び IGF code 等を参考に、船技協と検討し、IMO へ提案した日本案作成に貢献した。

・GBS ガイドラインでは、まず、目的を定義し、その目的を満足するための機能要件を定義し、その機能要件に対するハザードをリスク解析から洗い出す。次に機能要件を満足するための各システムの一般要件を定義し、ハザードが生じた場合のリスクの増加を、各ハザードに対応したシナリオを作成して確認する。具体的には、ハザードによって誘起される事象の評価方法（評価指標）及び閾値を決め、対応して増大するリスクを求め、増大したリスクが許容されれば安全と見做す。

・参考とした ISO 34502 では、自動車の運転者もしくは自動運転車の AI の行動を、認知、判断、実行の 3 フェーズに分け、各フェーズで生じるハザードである外乱を、物理原理で区分して、それぞれのリスクの増大を考慮してい

る。
・また、ISO 26262 では、ハザードとして故障を考え、フェールセーフ、つまり、冗長性を持たせる事により、リスクの増大を抑えることとしている。
・また、ISO 21448 (SOTIF)では、ハザードとして人間のミスユースや、仕様の曖昧さによる機能不全を考え、HAZID等により未知なハザードを減らすと共に、設計にフィードバックして仕様を明確にする等により、増大するリスクを低減することとしている。
・無人運航船に対する、これらのハザードに対応したシナリオ、もしくは、これらのハザードの組合せに対応したシナリオは、まとめて図 4 のように表せられる。

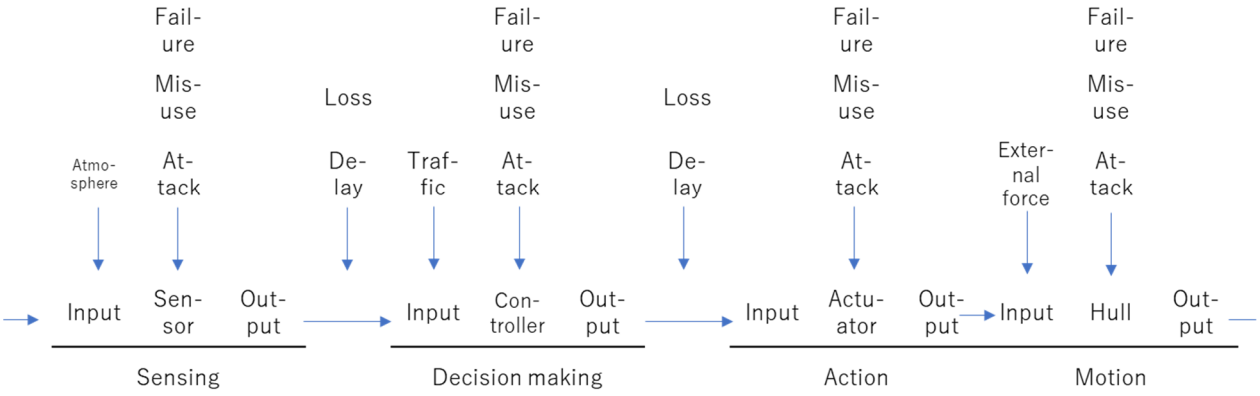


図 4　Scenario architecture

・Atmosphere が認知に対する外乱、Traffic が判断に対する外乱、External force が実行に対する外乱を表し、ISO34502 を、センサ、コントローラ、アクチュエータ、ハルに対する Failure という状態が ISO26262 を、センサ、コントローラ、アクチュエータ、ハルに対する Misuse が SOTIF を表している。また、図 4 にはサイバーや海賊による Attack を加えた。これにより、通常の避航操船、離着桟操船で考え得るシナリオを一通り網羅した。また、認知と判断間及び判断と実行間に情報の Loss 及び Delay を加えて、遠隔からの避航操船、離着桟操船で考え得るシナリオも一通り網羅した。
・避航操船におけるハザード（輻輳度、見合い関係等）によって誘起される事象の評価方法（評価指標）及び閾値は今年度、離着桟操船における評価方法（評価指標）及び閾値は来年度、東京海洋大学及び JMETS から提出される。
・各ハザードにより誘起される事象を上記の評価指標で評価し、対応して増大するリスクを求め、増大したリスクが許容されれば安全と見做されるので、来年度は、各ハザードにより誘起される事象の具体的な評価方法及び、対応して増大するリスクの具体的な求め方を検討し、安全ガイドラインに反映させる。
・また、上記の評価は試験結果から判断されるが、通常の避航操船及び離着桟操船の試験は、ファスト・タイム・シップ・シミュレータ（FTSS）（図 5）及び操船シミュレータ（SHS）（図 6）で実施する。また、遠隔による避航操船及び離着桟操船の試験は、各社のリモート・コントロール・センターと操船シミュレータ（図 6）を繋いで実施できるようにする。

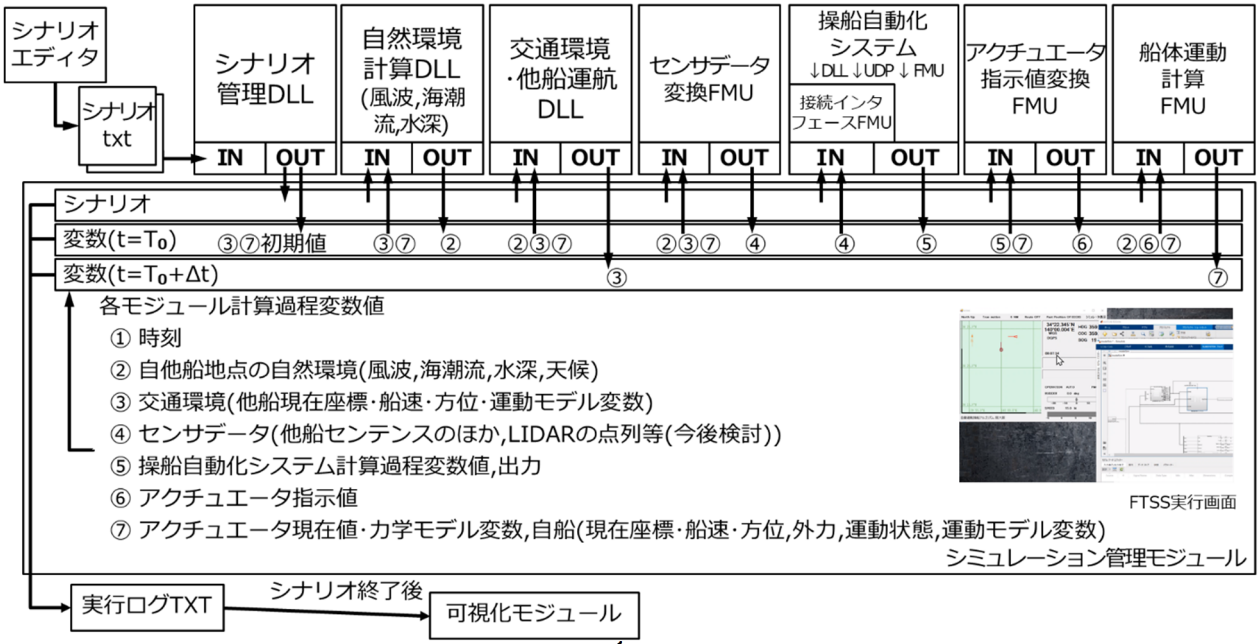


図 5　FTSS

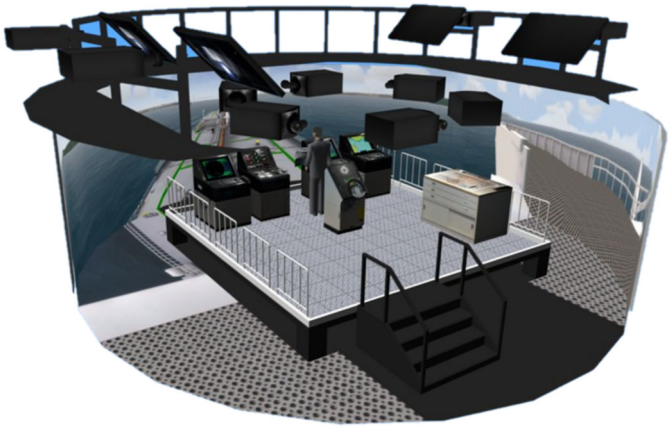


図 6 SHS イメージ

・今年度は、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。また、SHS のハードウェアの詳細仕様を決定した。
・また、無人運航における他船検知センサシステムの検証手法に関しては、検証ガイドラインを作成し実海域で検証する方向で、引き続き検討することとした。
・また、オーバーライド実験から、オーバーライドにおける評価指標として、判断までの時間が適当である事を確認した。
・また、遠隔操船を模擬するための情報伝達時の欠損及び時間遅れの疑似発生システムを構築した。
・また、「神峰」を用いて機関遠隔監視システムの要件を洗い出した（表 1）。

表 1　無人運航船のための機関遠隔監視システムに必要な要件（案）

	システム	必要な要件
第1段階	遠隔状態監視	● 警報発令時、遠隔地において原因究明が可能な情報提示がされる。
第2段階	遠隔制御	● 関連機器の健全性が保たれていることを確認できる機能を有する。 ● 船内において操作する場合と同等の状態監視・確認をした後、各種機器の操作を行う。その詳細は対象とする機器によって異なる。
第3段階	不具合時対応	● 遠隔地に送られてくるデータだけからトラブルの度合いを判断する手順を有している。 ● 不具合発生時の手順を記したマニュアルを作成されている。 ● 機器破損や運航不能等の重大な状態に至らせないための対策が講じられている。
第4段階	機器破損・運航不能時対応	● 人的・物的被害を最小とするための対策が講じられている。

・また、船員が減少した客船における乗客避難を現行法で対応する場合の条件を次のように洗い出した。
・退船の判断を行う船長に対し必要な情報が伝達されること
・船員法第 14 条の 3 の「非常の場合における海員の作業」の操練（例：機関室の構造、各種メータ類の配置の理解など）が十分に行われること

□小項目 7

・小型実験船「神峰」により、船−陸通信を含めたそれぞれの自動化システムについての安全要件（開発目標）を整理し、機能確認試験を実施した。
・昨年度より構築してきた小型実験船「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た（図 7～10）。
・昨年度より構築してきた自動着桟制御の機能を PLC に実装し、実験船に搭載されている PLC の制御システムと接続、動作確認を実施した。また、3D LiDAR によるマリーナ周辺の海岸線に沿った点群計測を行い、海上における SLAM（自己位置推定と地図作成の同時実行）を行った。
・自動着桟システムの適用範囲を拡大するため、199GT 内航船の離着桟操船時の詳細データを取得した。また、

昨年度までに開発を進めてきた模型船の自動化システムを見直し、簡易的な試験を行った。

図 7　遠隔操船試験の様子

図 8　通信遅れ時間の確認画面

図 9 遠隔操船試験の計画経路

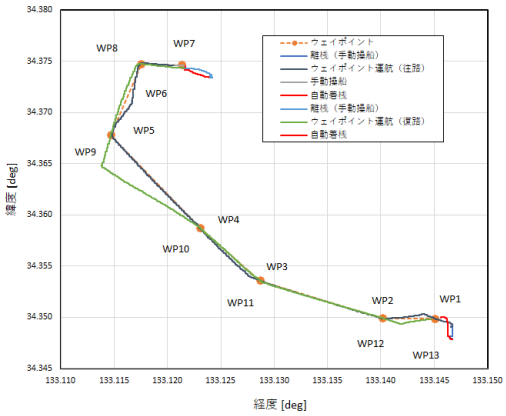


図 10　遠隔操船試験の航跡

R3 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）：3 件（投稿中： 1 件、採択済： 1 件、掲載済： 1件）

- A. Maki, Y. Maruyama, L. Dostal, Masahiro Sakai, R. Sawada, N. Umeda, K. Sasa, Practical methodology of wind process generation for examining autonomous operating system of ships, Journal of Marine Science Technology, 2021 (投稿中)
- Y. Miyauchi, R. Sawada, Y. Akimoto, N. Umeda, A. Maki, Optimization on planning of trajectory and control of autonomous berthing and unberthing for the realistic port geometry, Ocean Engineering, vol. 245, 2022
- M. Minami, M. Kobayashi, K. Hikida, K. Kokubun: Development of the Comprehensive Simulation System for Autonomous Ships, Proceedings of MTEC2022 and ICMASS2022(採択済)

口その他発表論文： 件（投稿中： 2 件、掲載済： 9 件）

- 平田宏一，澤田涼平，小林充，齊藤詠子，佐藤圭二，宮崎恵子，南真紀子，國分健太郎，福戸淳司，小型実験船「神峰」による自動化システムの機能確認試験，第 91 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集，p. 165-166（2021 年 9 月）.
- 澤田涼平，平田宏一，自動着桟における曲線経路追従制御，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，pp.9-15（2021 年 11 月）
- 牧敦生，丸山湧生，Leo Dostal，酒井政宏，澤田涼平，笹健児，梅田直哉，自動運航性能評価のための不規則風外乱の高速計算アルゴリズムの開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，pp. 65-75（2021 年 11 月）
- 澤田涼平，平田宏一，自動運航船に向けた操船自動化システムの検証，第 30 回 交通・物流部門大会（TRANSLOG2021） 講演会論文集（2021 年 12 月）
- 澤田涼平，「自動運航船の研究紹介」と「研究活動と英語」，弓削商船高等専門学校産学連携フォーラム2021・専攻科特別研究中間発表会講演論文集（2021 年 12 月）
- 澤田涼平，平田宏一，自動着桟のための点群地図作成と自己位置推定，日本船舶海洋工学会講演会論文集（投稿中）
- 牧敦生，丸山湧生，Leo Dostal，笹健児，澤田涼平，脇田康希，酒井政宏，梅田直哉，自動運航性能評価のための不規則風外乱の高速計算アルゴリズムの開発（第2報），日本船舶海洋工学会講演会論文集（投稿中）
- 國分健太郎、自動運航船開発の現状と課題、第 12 回横幹連合コンファレンス前刷り集、2021.12
- 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（第二報）、日本人間工学会関東支

部第 51 回大会前刷り集、2021.12
・南真紀子、シミュレーションによる自動/無人運航船の安全性評価法の検討、日本人間工学会関東支部第 51 回大会前刷り集、2021.12
・南真紀子、國分健太郎、小林充、疋田賢次郎、吉村健志、佐藤圭二、齊藤詠子：ClassNK 技報　2021 年第 4 号

□特許申請：１件
・（国内優先権）「船舶の自動誘導方法、船舶の自動誘導プログラム、船舶の自動誘導システム、及び船舶」

□コアプログラム登録：件
・

□国際貢献：１件
・「The 5th International Conference of Naval Architecture and Marine Engineering – (ICNAME 2021) The 1st International High-level Forum on Smart and Autonomous Navigation Technology of Ship」講演、題目「"Introduction of Research on Autonomous Ships in NMRI"」

□受賞：件
・

□公開実験：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。
・GBS ガイドラインに則った自動運航船の安全ガイドラインの骨子を、自動運転車のガイドライン及び IGF code 等を参考に、船技協と検討し、IMO へ提案した日本案作成に貢献した。
・自動着桟操船は、特に多くの船員を必要とする作業であり、特に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、着桟操船の自動化は作業の省力化につながる技術として期待される
・小型実験船「神峰」により、船-陸通信を含めた各自動化システムについての安全要件（開発目標）を整理し、機能確認試験を実施したことは、自動化システムの安全性評価の検討に貢献することが期待される。

□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
・機械学習を用いた画像からの船影検出と船影位置の差分から相手船の相対的な進行方向を算出する技術は革新性がある。画像からの検出技術は一般性が高く、荷役の無人化、監視の省力化など多様な課題に適用可能である。
・本研究で開発した自動着桟アルゴリズムは、設定するパラメータが少なくまた船舶に要求するアクチュエータは舵とプロペラのみであり必要要件が最小限であるため多くの船に適用が可能である点で一般性を有する。
・自動着桟システムの適用範囲を拡大するため、199GT 内航船の離着桟操船時の詳細データの取得等、今後の発展が見込める。
・３DLiDAR によるマリーナ周辺の海岸線に沿った点群計測により海上における SLAM（自己位置推定と地図作成の同時実行）の試行は、自船位置把握技術への応用など発展性を有する。

□成果が期待された時期に創出されているか
・現在、国を挙げて自律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、自動離着桟システム、自動化システムの安全性評価や認証、ならびにレーダー、AIS 以外による捕捉としての画像処理による他船検出システムと避航アルゴリズムの連携は、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律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

・実験船の制御システムを所内のミニシミュレータにも整備しミニシミュレータでのシミュレーションを実施する環境を整えた。操船リスクシミュレータでの操船権の移譲に関するオーバーライドの実験を実施し、今後必要となる自動運航船の安全性評価の基準の検討に資するデータを収集した。

研究主任者による自己評価	A

コメント

・自律船に関する研究として、昨年度までに開発を進めた他船検知システムと避航操船アルゴリズムの連携等の自動化システムの開発を着実に進めている。また、操船シミュレータに対して自律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、離着桟の自動化等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昨年度構築したファストタイムシップシミュレータを実行ファイル形式で外部への配布し意見を収集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、アルゴリズムの改良によりさらに安定した着桟が確認できるなど顕著な成果が出ている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	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	R3 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を行う。本年度はコンテナ輸送サービスを対象として、新たな コンテナ流動のデータを用いて多様な条件でのシミュレーションを実行し、アルゴリズムとパラメータを調整することで、経路推定確率の予測精度の向上を図る。 －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の推定と予測、バルクキャリアを対象とした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 削減戦略評価プラットフォームの開発を行う。 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。

□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
□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。

R3 年度研究目標

□小項目 4

・災害時の支援物資輸送については、物資充足率等を複数のシナリオを対象にして評価する。
・輸出入貨物輸送経路予測については、最新データを利用可能とすると共に、推定性能向上に取り組む。

□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の推定と予測を行う。
・バルクキャリアを対象に、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 削減戦略評価プラットフォームを開発する。外部と連携し(民請)、シミュレータの精度、機能を拡充する。

・R3 年度研究内容

□小項目 4

・災害時の支援物資輸送に関する研究
・輸出入貨物輸送経路予測に関する研究

□小項目 5

・AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

R3 年度研究成果

□小項目 4

・昨年度まで開発した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。(図 1)
・開発したシミュレータを活用し、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し、利用頻度の高い道路の可視化(図 2)や、救助率の時系列変化等を複数の分析事例を定量的に示した(図 3)。
・令和元年度に交通運輸技術開発推進制度に採択され、最終年度における年度末評価委員会において、複数の委員の先生方から「非常に意義の大きい成果を得られている」「素晴らしいシステムができている」と評価を受けた。
・本年度より実施している緊急支援物資のデジタル化等推進事業において、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システムを開発した。開発したシステムは、国、自治体、指定公共機関が参加した机上演習、現場実証において活用された(図 4)。
・災害時の支援物資輸送については、南海トラフ地震の多様な発生形態を考慮するため、全割れ、東/西からの半割れ等のシナリオを対象とした評価を実施した。その結果、それらシナリオにおいても日本海側を中心としたフェリー/RORO 船隊を用いた輸送を陸路のみによる輸送と併用することで、概ね目標とする時間内に輸送を遂行でき、またトラック総走行距離を 3～5 割程度削減できるなどトラック輸送関連資源の節減に大きく貢献できることを示し、更に、その実施にあたって重点的に整備することが効果的な、航路及び施設を抽出することができた(図5)。
・輸出入貨物輸送経路予測については、最新版の詳細なデータを入手したところ、採用されているデータ項目/用語等が旧データと異なっていたため、入力データ編集プログラムを改修し入力データを新たに作成し直した。また、大量の計算を高速で行う必要があるため、ディープラーニング用に最適化した分散計算環境(ハードウェア、バッチ計算システム、集計処理システム)を構築した。以上を用い、ハイパーパラメータ及び他パラメータの組合せ最適化計算、特徴量エンジニアリング等を行った結果、全ての年度の輸出入貨物について 8～9 割の正答率を確保することができた(図6)。

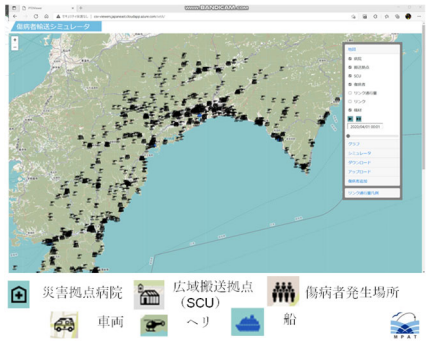


図 1:シミュレータ可視化画面
（緑・水色：輸送機材、青：病院）

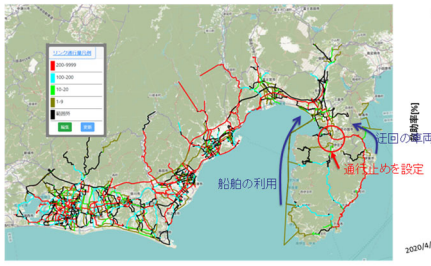


図 2: 利用頻度の高い道路の可視化

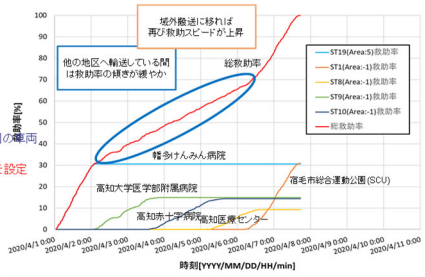


図 3: 救助率の時系列変化

図 4:算出された輸送ルート及び実際にトラック、船の位置が表示された画面

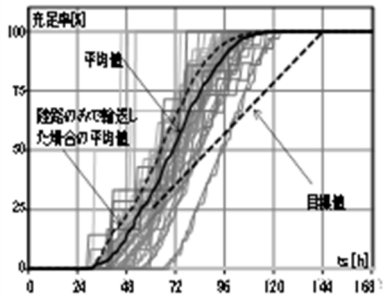


図 5: 南海トラフ地震半割れシナリオ時の支援物資充足率推移

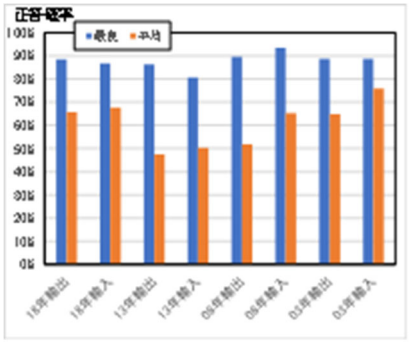


図 6: 各年の経路予測正答確率（最良のモデルを採用する）

□小項目 5

・海運造船業界の需要予測作業に参加し、国際海運の燃料需要シナリオの作成、国際海上コンテナ輸送を対象にして、国際コンテナ貨物需要の予測とコンテナ船の船腹量予測や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（図 8）。
・世界の外航貨物需要を捉える貿易統計において、鉄鉱石、石炭、穀物等のバルク品目を対象にし、データの修正技術と輸送コストの推計技術を検討した（図 9、図 10）。
・バルクキャリアを対象とし、輸送需要予測、CII(Carbon Intensity Indicator)による規制シナリオ、炭素課金に基づく代替燃料導入の予測を行った(図 11)。シナリオを変化させ、感度解析を行い、今後の海運ゼロエミッション化において有用と思われる技術コンセプトの検討を行った。

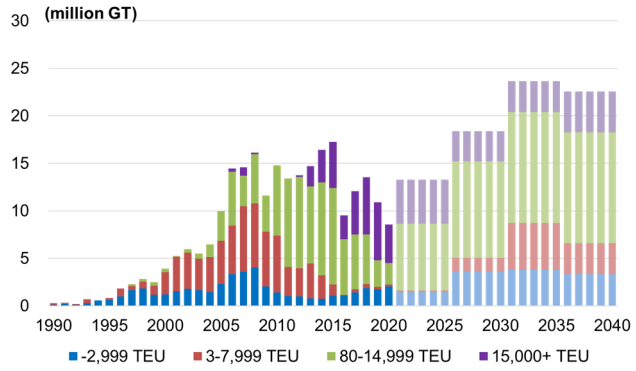


図 7: コンテナ船建造需要量の推計例

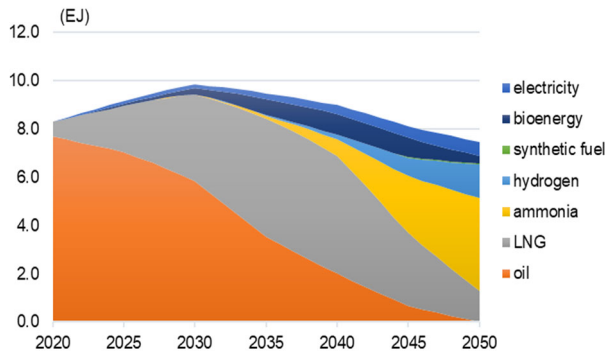


図 8: 国際海運の燃料需要シナリオの作成例

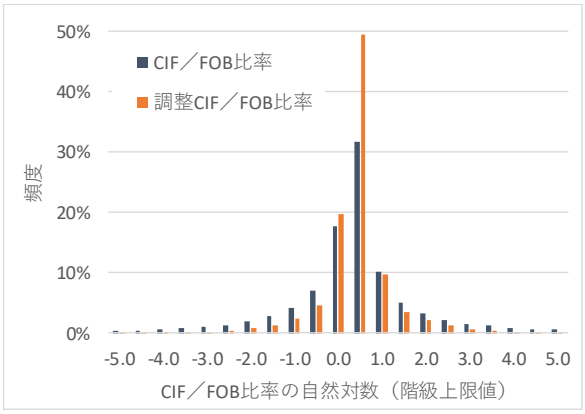


図 9: 貿易統計の修正結果（バルク品目）

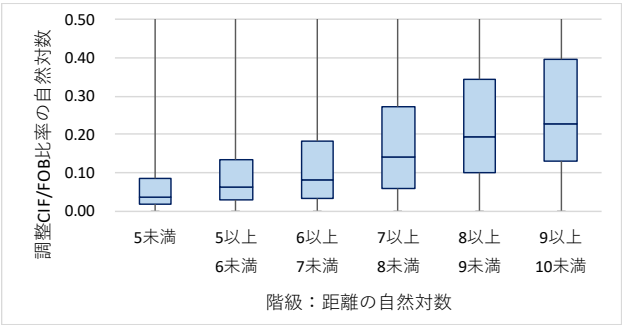


図 10: 輸送コストの解析例（バルク品目）

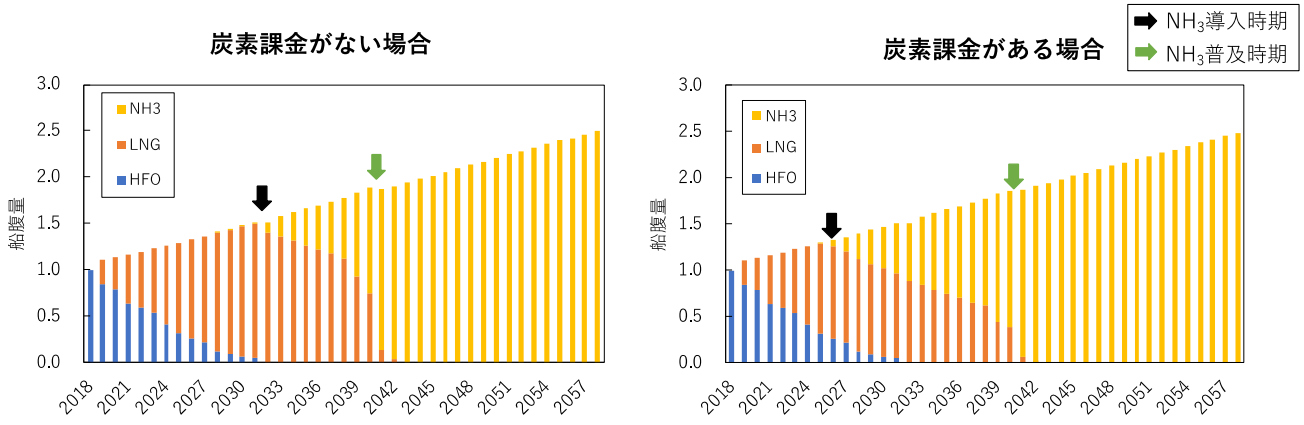


図 11: バルクキャリアを対象とした代替燃料導入予測

R3 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）： 6 件（投稿中：2 件、採択済：4 件、掲載済：0 件）

- 松倉洋史，荒谷太郎，間島隆博：南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用－プッシュ型輸送期間の日本海側フェリー/RORO 船隊輸送－，日本船舶海洋工学会論文集，vol.34，2021.（採択済）
- Hiroyuki KOSAKA, Takenori TEZUKA and Taro ARATANI: Development of an Estimation Method for Maritime Shipment Size in Iron Ore Trade, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.14 (2022)（採択済）
- Taro ARATANI, Keiji SATO and Takahiro MAJIMA: Comparison of Delay Characteristics for Freight Trains and Long-Distance Ferries, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.14 (2022)（採択済）
- Shinnosuke Wanaka, Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Chiharu Kawakita, Kunihiro Hamada, An Integrated Simulation of Shipping Market and Ship Operation Model to Study Future Strategy of GHG Zero Emission Vessels, International Association of Maritime Economics 2021.（採択済）

・小坂浩之：貿易統計データの調整に向けた CIF／FOB 比率の検討，日本ロジスティクスシステム学会誌，vol.18，2022.（投稿中）
・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）

□その他発表論文： 10 件（投稿中：1 件、掲載済：9 件）
・荒谷太郎：傷病者輸送シミュレータを用いた国土強靭化対策の検討，SCI-Japan ウェビナー，2022.（投稿中）
・荒谷太郎，小濱英司，大矢陽介，間島隆博：大規模災害時における 海上輸送の可能性に関する検討，日本航海学会誌 Navigation219 号，2022.（掲載済）
・荒谷太郎：緊急支援物資輸送システムの開発について，ぼうさいこくたい in 釜石，2021.（掲載済）
・青山久枝，荒谷太郎，間島隆博，山田泉，今込毅：大規模災害時における 空港面運用に関するシミュレータを用いた検討，土木計画学研究発表会・講演集 Vol.64，CD-ROM，2021.（掲載済）
・Taro ARATANI, Eiji KOHAMA, Yousuke OHYA, Takahiro MAJIMA: Possibility of Maritime Transport in Large-scale Natural Disasters in Japan, Asia Navigation Conference 2021.（掲載済）
・荒谷太郎，間島隆博，小濱英司，山田泉，大矢陽介，青山久枝，松倉洋史：災害時輸送におけるシミュレータ活用，海上技術安全研究所報告第 21 巻，pp.53-57.2021.（掲載済）
・松倉洋史：AI 貨物輸送経路推定システム(CRAS-AI)を用いた海上輸出入コンテナ貨物取扱港の支援，海上技術安全研究所研究発表会予稿集，2021.（掲載済）
・Hiroshi Matsukura, Taro Aratani and Takahiro Majima: Ship Utilization for Transporting Relief Supplies after the Nankai Trough Earthquake－Ferry/RORO Fleet Transportation in Japan Sea during Push-type Transportation Term－, Proceedings of Autumn Conference of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, November 2021.（掲載済）
・Hiroyuki KOSAKA and Taro ARATANI: Missing Data Imputation for Estimating Shipment Size of Container Ships, Asia Navigation Conference 2021.（掲載済）
・和中真之介，稗方和夫，大和裕幸，国際海運ゼロエミッション達成のための環境・技術・経済のシミュレータによる評価，日本海洋政策学会第 13 回年次大会，2021.（掲載済）

□特許申請： 件
・

□コアプログラム登録：2 件
・間島隆博：災害時傷病者輸送シミュレーションプログラム，2021-NMRI-NLED- MAJIMA-01
・和中真之介: 運航・市場モデルによるゼロエミッション船コンセプト評価システム，2021-NMRI-NLED-S.WANAKA-01

□国際貢献： 件
・

□受賞：1 件
・日本船舶海洋工学会 乾賞: 和中真之介（ネットワーク最適化モデルを用いた国際海上輸送における GHG 排出量削減効果の評価，日本船舶海洋工学会論文集，第 31 巻，pp 205-212，2020）

□公開実験： 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

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。
・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
・国際海運の貨物、船腹量、建造量の需要予測は、海運造船業等と実施し、また一部の成果は IMO の提案文書の基礎資料とすることを予定しているため、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。

□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

・災害時における輸送を対象にしたシミュレータは、複数の輸送モードを考慮している点、災害時の輸送に着目している点においてこれまでにない新規性を有していると考える。

・開発している大規模災害時における輸送シミュレータは、シミュレーションの条件設定次第で、地震や水害など複数の災害に対応できることから、複数自治体・関係機関への展開など研究開発成果の発展性が高いと考える。社会実装に向けた意見交換においても、避難シミュレーション等への発展性が期待できると言われている。

・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。

・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。

□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、国土強靱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

・国際海運の貨物、船腹量、建造量の需要予測は、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。

□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

・国際海運の貨物、船腹量、建造量の需要予測は、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。

□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

・地震災害のみならず、近年頻発している水害や原発避難におけるシミュレーションができるか試みている。

・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。

研究主任者による自己評価	A

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されている。

・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等をしており、社会実装に向けた研究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。

研究計画委員会による評価	
年度評価 （R3年度）	A
見込評価	A

中長期期間の計画と実績（見込評価）
【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。

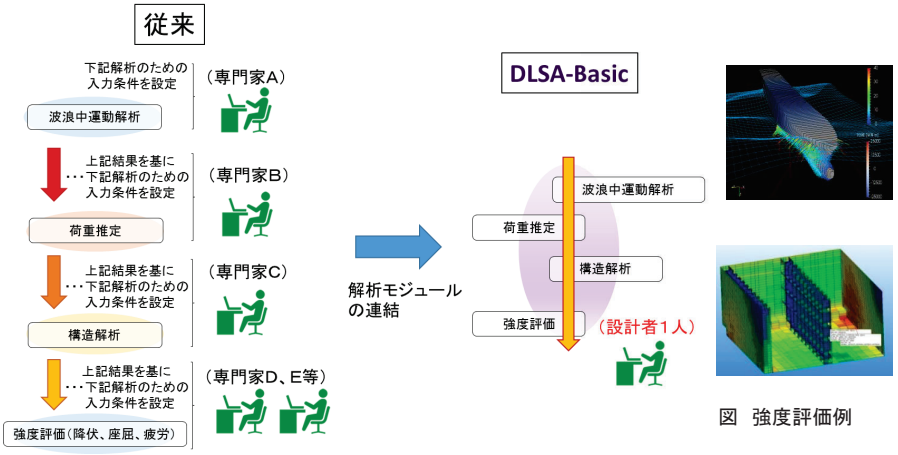


図　強度評価例

○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。

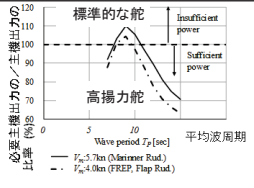
○合理的かつ実効可能な指針案の策定に貢献

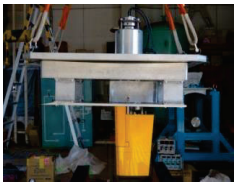
簡易手法の設定等学術的な検討を行うとともに、実際の運航状態と海象条件の関係を分析することにより、合理的かつ実効可能な指針を提案。

➡ ***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

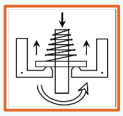
●波浪中での負荷変動に対する主機応答特性（回転数、燃費等の変動）を考慮できる水槽試験法を開発し、水槽模型試験により主機設計が可能であることを示し、実海域性能評価の高度化に貢献した。

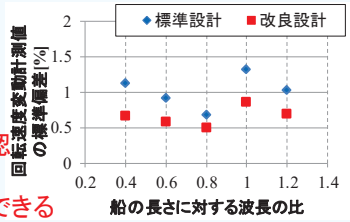
水槽模型試験を通じて主機設計を直接検証できる手法を構築

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。

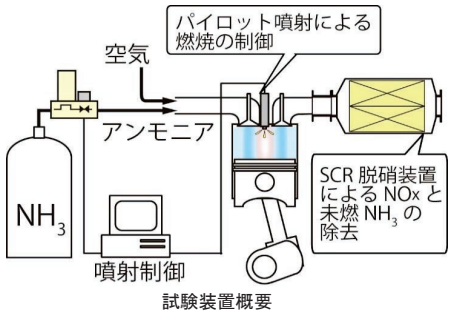
H28年度P.3

②海上輸送を支える基盤的技術開発

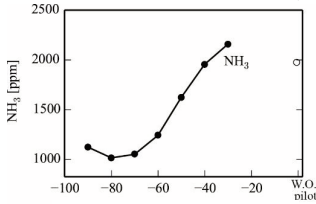
年度実績

●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。

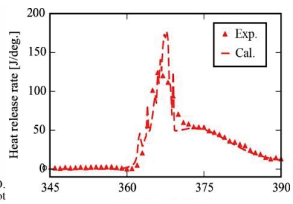
アンモニアの直接燃焼システムの開発



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））

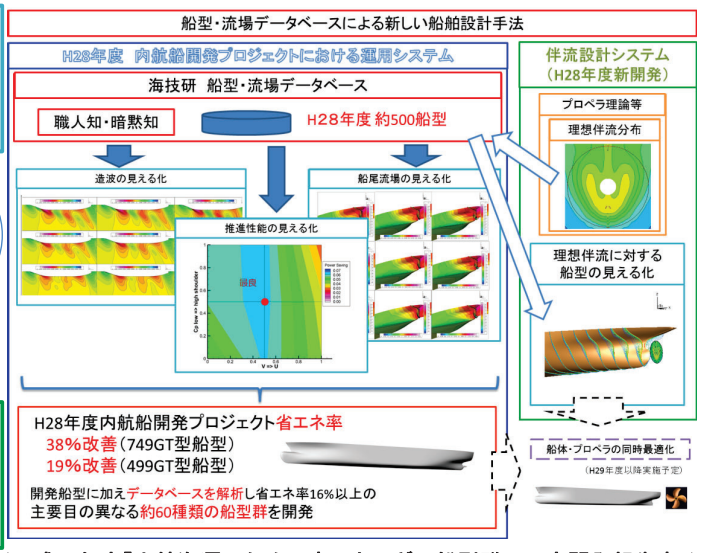
研究成果

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。

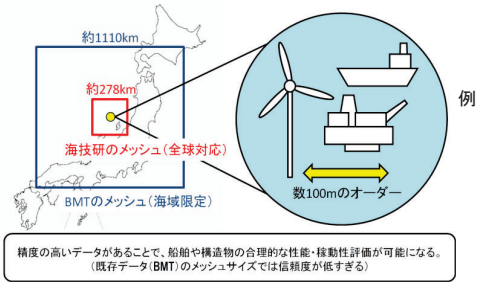
H28年度P.5

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。

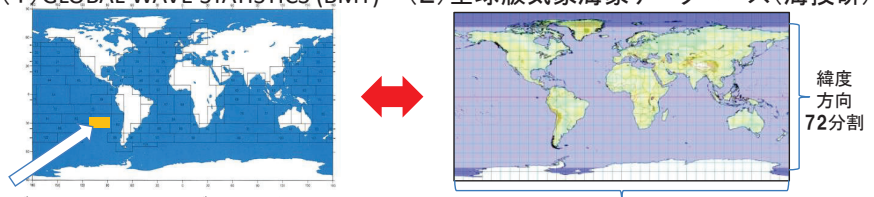


精度の高いデータがあることで、船舶や構造物の合理的な性能・稼動性評価が可能になる。
（既存データ（BMT）のメッシュサイズでは信頼度が低すぎる）

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

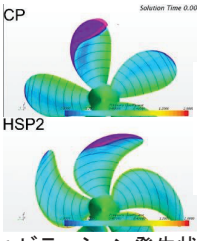
年度実績

●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。

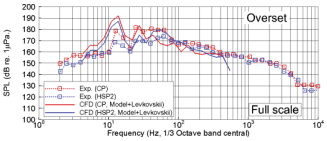
船舶に起因する生態系影響の評価技術の構築に関する研究

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

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。

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

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

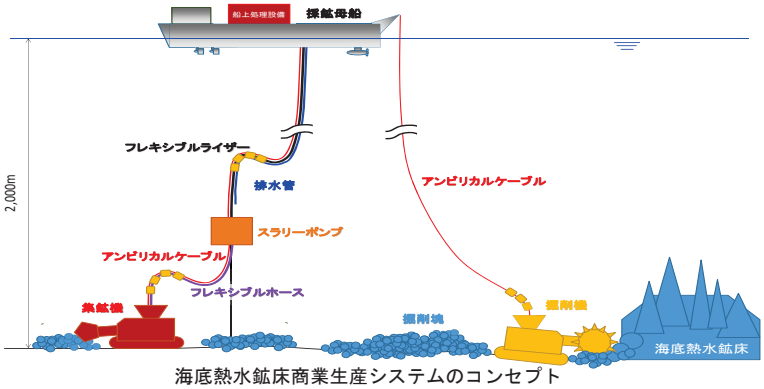
＜海底熱水鉱床開発＞

○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。

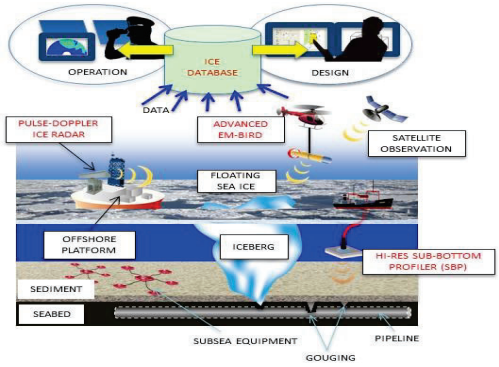
○将来の商業化のための、我が国の海底熱水鉱床生産システムのコンセプトを検討し、同システムの基本計画支援のためのプログラム構成図を作成した。また、スラリー輸送管の寿命延伸方法等を考案し、関連特許5件を出願した。

＜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。

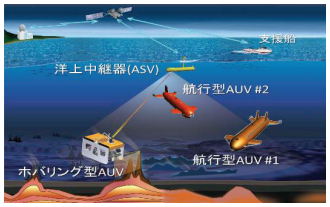
海底鉱物資源開発等に係る基盤技術の構築に関する研究

＜海底熱水鉱床等広域探査技術の開発に貢献＞

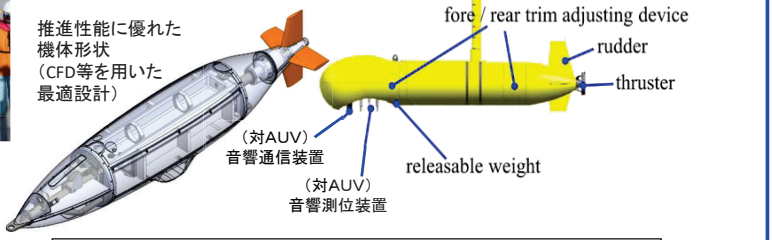
国の科学技術イノベーション総合戦略にもとづくSIP（戦略的イノベーションプログラム）に参加し、

○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

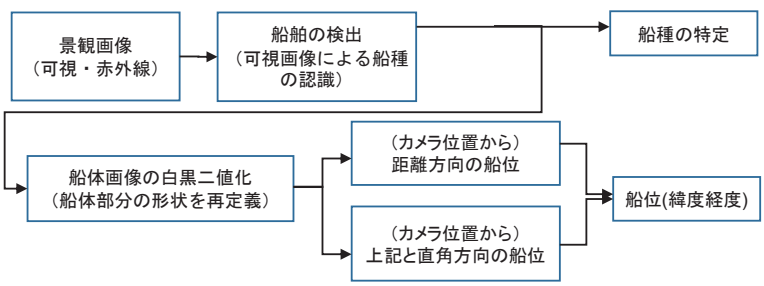
年度実績

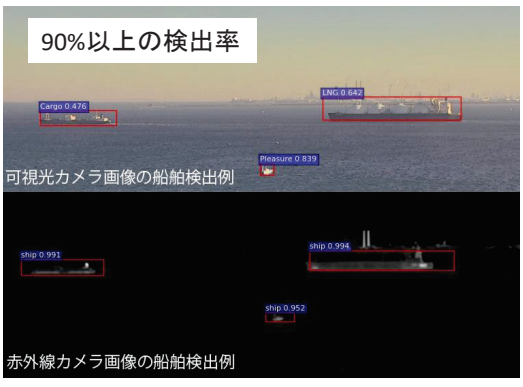
●AI技術を活用し、船舶を画像処理により検出・追尾するシステムを開発した。

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

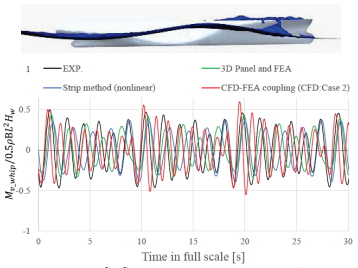
船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な船体構造基準体系の確立を目指し、荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発を行った。また、国土交通省が掲げる海事生産性革命（i-shipping（operation））の一環として、世界初となるシリーズ船の船体構造モニタリングを実施し、得られたデータを解析して疲労寿命の評価を行った。

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）



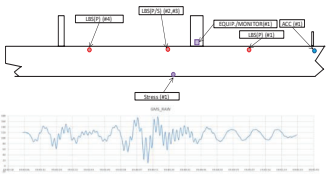
CFD連成シミュレーションによるホイッピング応答の解析例

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

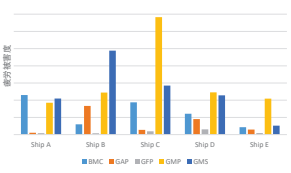
先進的な荷重・構造強度評価手法と連携する船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究2）

○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 先進安全船舶技術研究開発補助事業「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

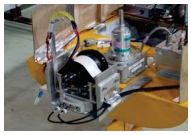
衝突・乗揚げ等海難事故の防止に資するため、実海域環境下での操縦性能を推定する模型実験法の開発を行い、その妥当性を検証した。また、舷側に抵抗体を設置する船舶の新たな制動手法を開発し、その有効性を確認した。

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

↓

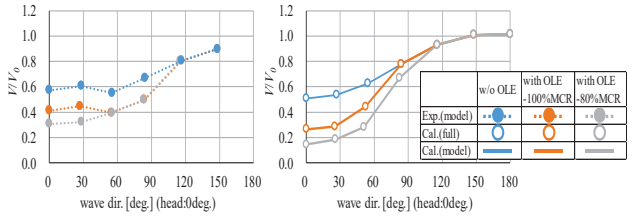
補助推力装置を使った舵効き船速修正方法と風荷重模擬装置の開発により、これを克服



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

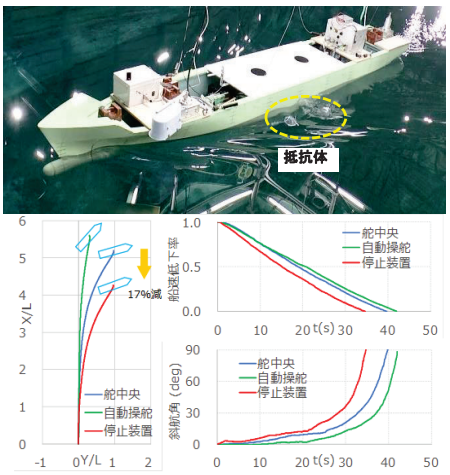


舵効き船速修正に主機の作動制限を考慮する方法を適用した波風中の船速低下の実験値と計算結果の比較(左, 模型実験; 右, 実船対応数値計算)

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

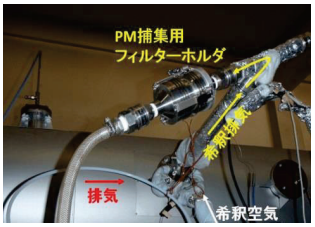
（2）海洋環境の保全
－②船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究、多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究

年度実績

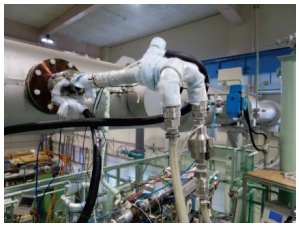
船舶から排出されるBC（ブラックカーボン）、PM（粒子状物質）等の分析・低減技術の開発を行った。また、水素燃料電池等多様なエネルギー源を用いた舶用動力システムの安全性・性能評価を行い、国土交通省による水素燃料電池船の安全ガイドライン策定に貢献した。

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

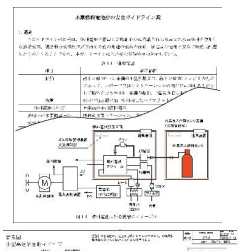
○エンジンの運転条件によるBC・PM排出削減効果の評価を行い、エンジンの燃料噴射圧を上げることにより60～77%のBC削減効果、2～3割のPM削減効果を確認した。

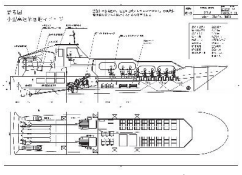
※大橋ほか、舶用ディーゼル機関から排出されるPMの分析事例ー大気質シミュレーションへの適用、日本マリンエンジニアリング学会誌第52巻、第6号、pp778-787, 2017

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）

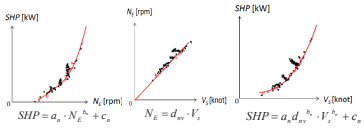
H29年度P.3

（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

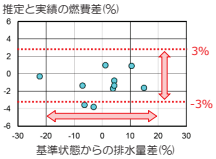
年度実績　就航時モニタリングデータから実船性能を評価推定する手法を確立した。また、海技研が開発した次世代CFDコードNAGISAを用いて、世界初の省エネ付加物のCFD計算のためのガイドラインを作成した。

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



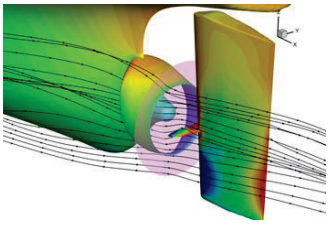
実海域中燃費の推定精度

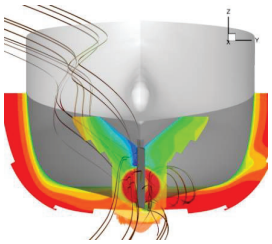
実海域実船性能評価プロジェクト（OCTARVIA）

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）

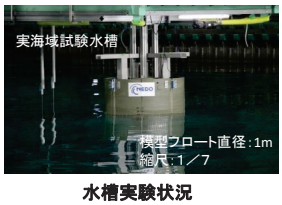
H29年度P.4

（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。



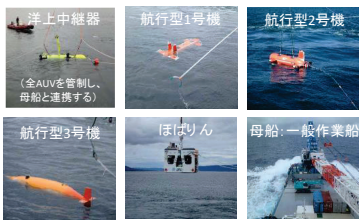
水槽実験状況

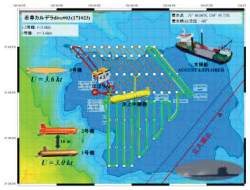
フロート周りの流れのCFD計算例

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）

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）

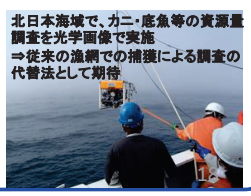
○航行型AUV3機、ホバリング型AUV及び洋上中継器の同時オペレーションを実施した。（沖縄海域、鹿児島湾）




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）
○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

航行型AUV4号機



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

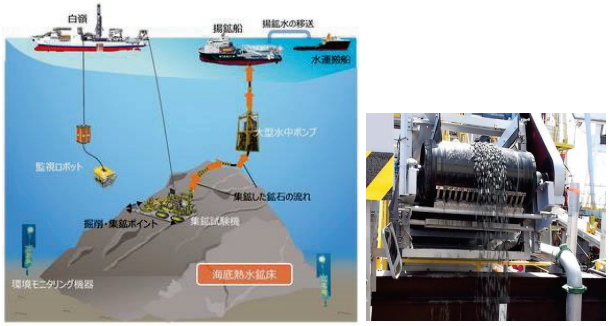
経済産業省委託事業で（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が実施している採鉱・揚鉱パイロット試験事業に参加し、世界初となる水深約1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献した。

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）

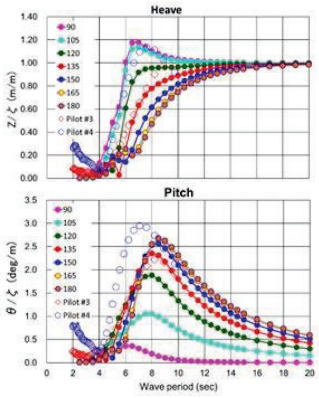
＜海底熱水鉱床開発＞

○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。

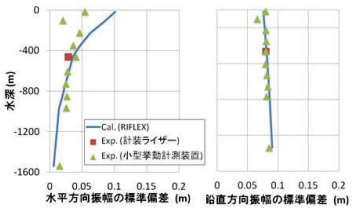
○配管の摩耗損傷箇所を把握し、配管等の寿命を延ばす方法を検討し、特許を4件出願した。



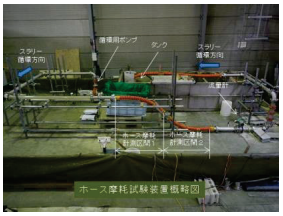
採鉱・揚鉱パイロット試験概念図（左）及び洋上に揚がった鉱石（右）
（経済産業省ホームページより）



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。

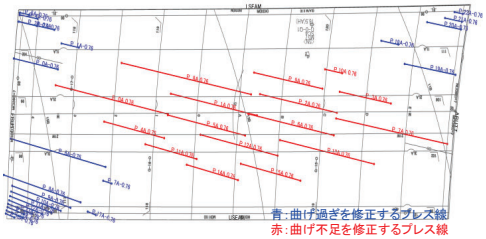
技能職工数削減効果（実証実験のサンプル）			
	船殻組立取付	船殻組立溶接	船殻搭載
A造船所	約2%減	約19%減	
B造船所	約8%減		約3%減

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%

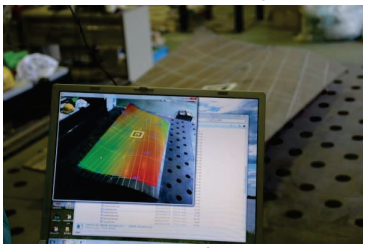
造船工程全体の工数削減効果及び余力創出効果の推計のベースとなる実証実験の結果

（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

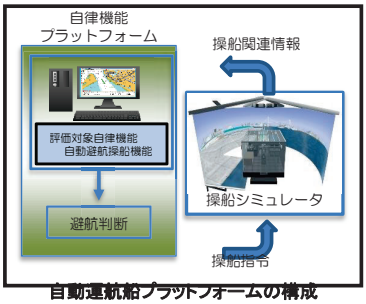
今後、自動運航船の開発実用化が進むため、国際規則の制定改廃の検討や自律化システムのための認証法の開発が必要となる。これに備えるため、①システム認証用の操船シミュレータへの自律機能組み込みのフレームワークの構築、②自動運航船に必要な要素機能の試作、③自動運航船の運航に必要な規則の整理・国際海事機関（IMO）への提案を実施した。

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）

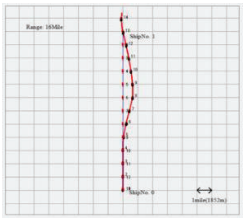
①自律機能組み込みのフレームワークの構築

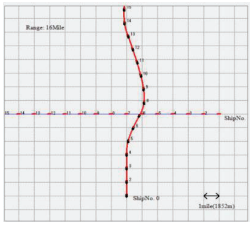
操船シミュレータに自律機能組み込みフレームワークを構築し、自動運航を体験できる環境を構築した。

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

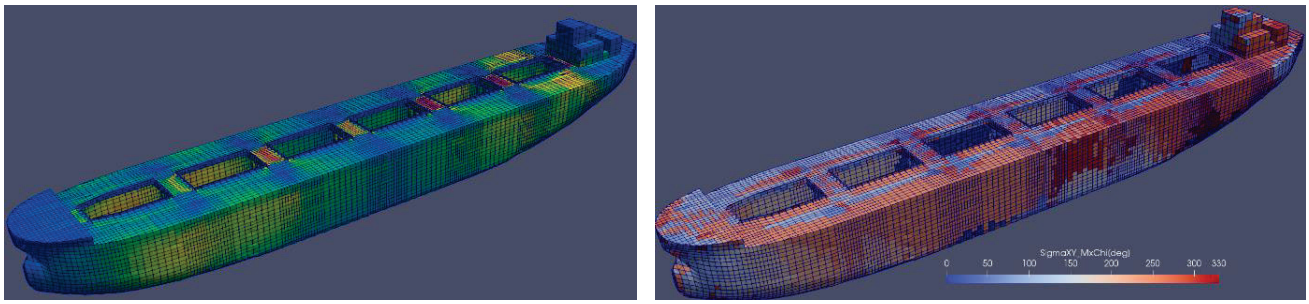
（１） 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

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

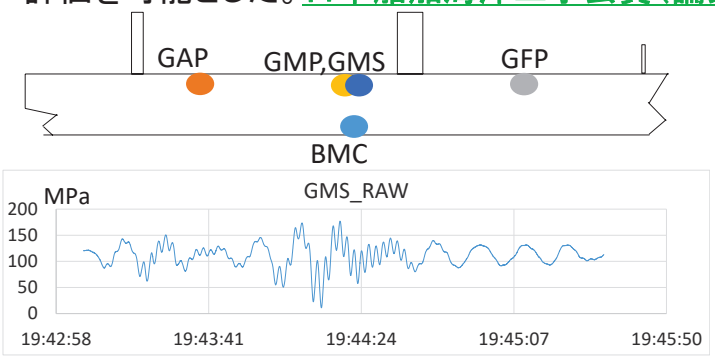
年度実績

- 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。

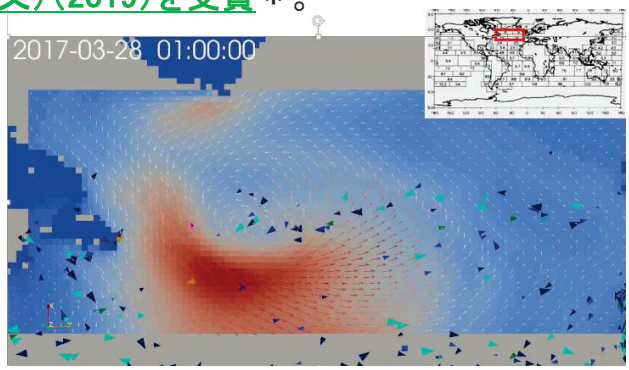
船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究（重点研究☆1）

□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

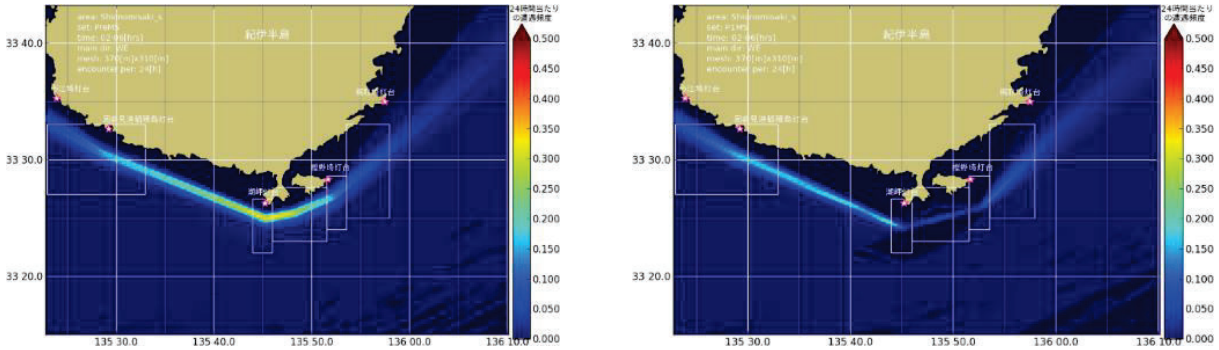
（１） 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

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

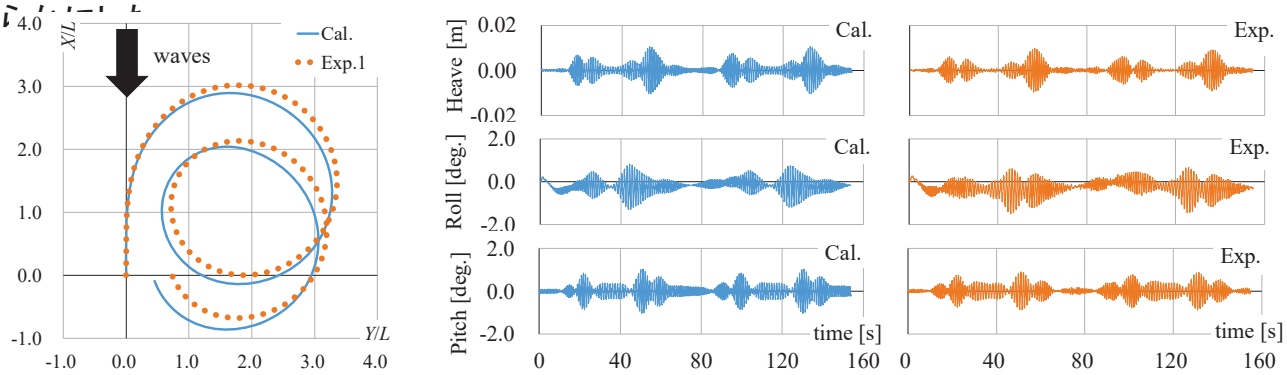
（１） 海上輸送の安全の確保 - ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

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



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

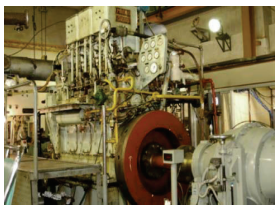
年度実績

- 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。

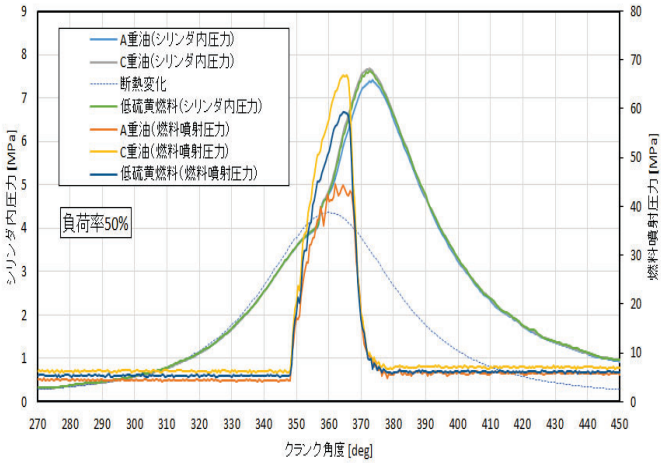
日経新聞（2019/5/13）


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

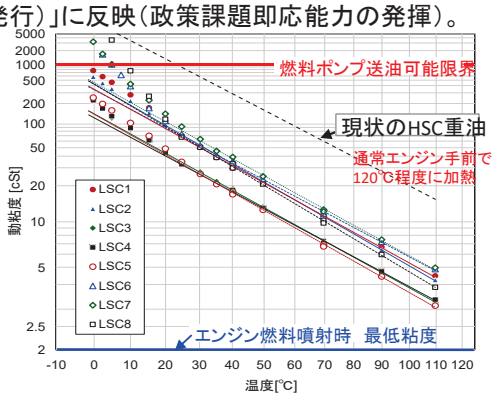
年度実績

- 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。

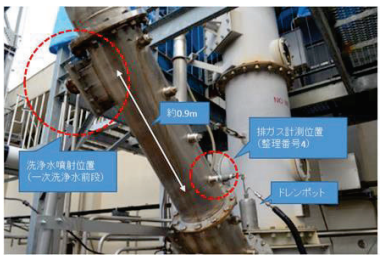
船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

●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

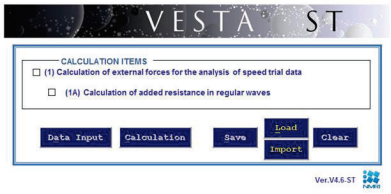
年度実績

- 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。

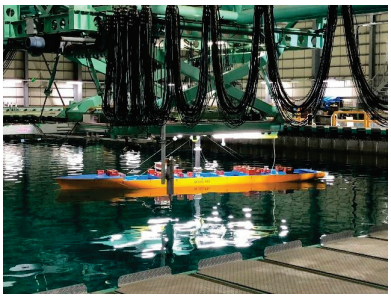
実海域実船性能評価に関する研究（重点研究☆5）

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

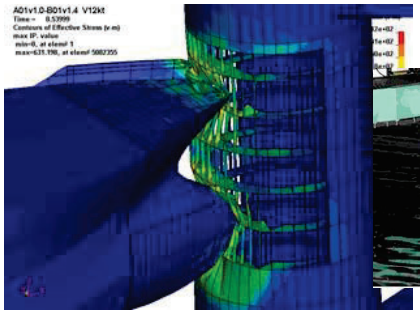
（３）海洋の開発 - ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
- ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

年度実績

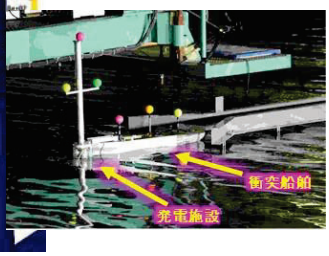
- 浮体式風力発電について、新たに発行されるIEC規格の国内運用を機に、業界における合理的な設計改良を支援するため、損傷時復原性規則に関するガイドライン案を作成。
- 並進動揺型の波力発電装置のモデル予測制御アルゴリズムを開発。日本沿岸域に設置した場合を想定すると発電量が約40%増となることを確認。

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。

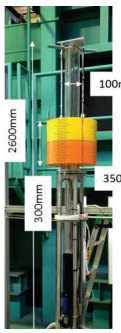


航行船舶との衝突シミュレーション

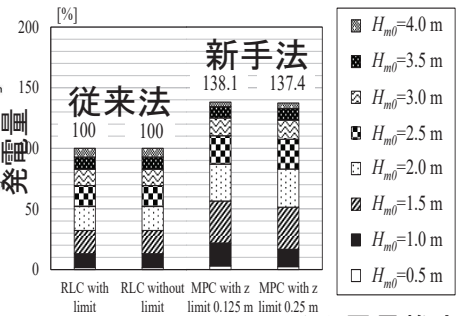


衝突模型試験

○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

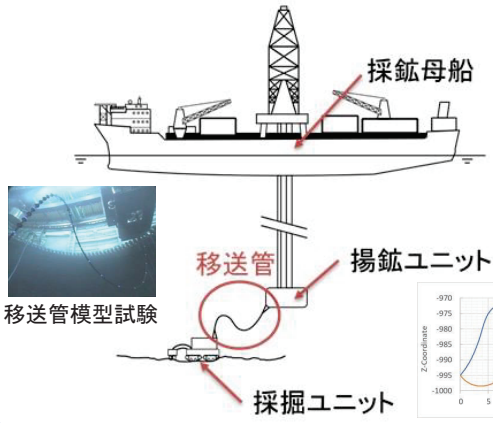
（３） 海洋の開発 － ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
－ ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

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。

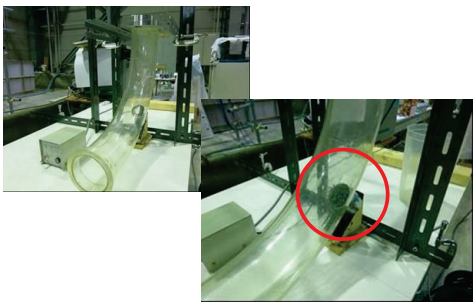
海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

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）

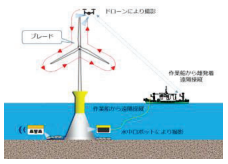
○民間事業者の手により、海技研が保有する全機のAUV（5機）の同時運用を駿河湾のテストフィールドで実証すると共に、伊豆諸島の熱水地帯調査での複数機AUV潜航調査（7回）を成功させた。

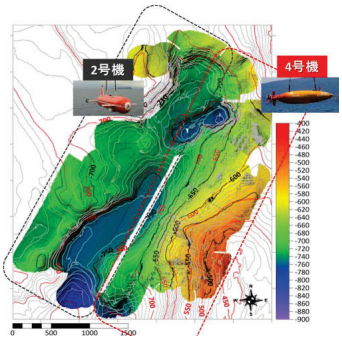
○海技研が独自に機体形状を開発した最新鋭の航行型3・4号機は、世界的にもクラス最高レベルの運動性能を誇り、複雑で急峻な海底カルデラの探査で実力を実証。
（日本船舶海洋工学会主催のシップ・オブ・ザ・イヤー2018において、航行型4号機が「海洋構造物・機器部門賞」を受賞）

○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
	小組ー取付工程	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
	小組ー溶接工程	21%		A社
		9～13%	（取付溶接合計）	B社
		19%	（小組・組立合計）	C社
	組立ー取付工程	5%		A社
		16%		E社
		6～8%		F社
		19%	（小組・組立合計）	C社
		25%		G社
	組立ー溶接工程	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

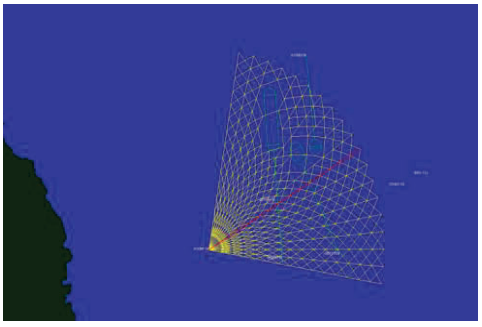
年度実績

- 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

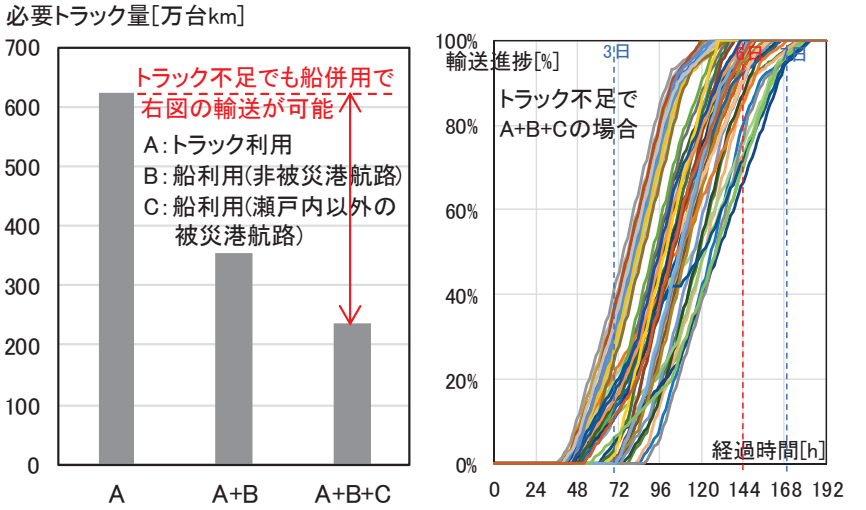
年度実績

□ 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。

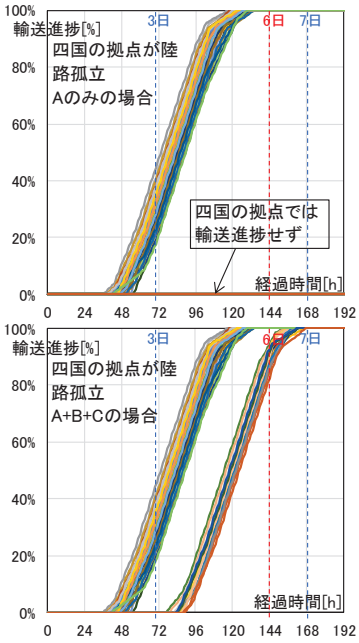
AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究（重点研究☆13）

○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

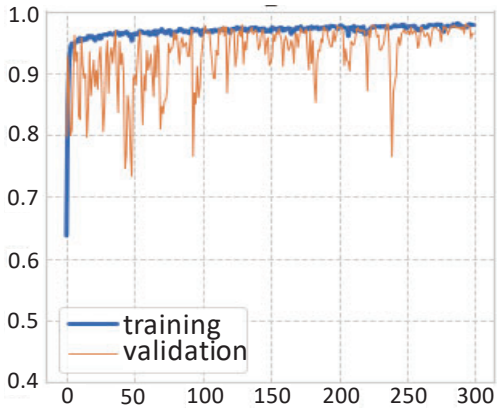
年度実績

□ 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

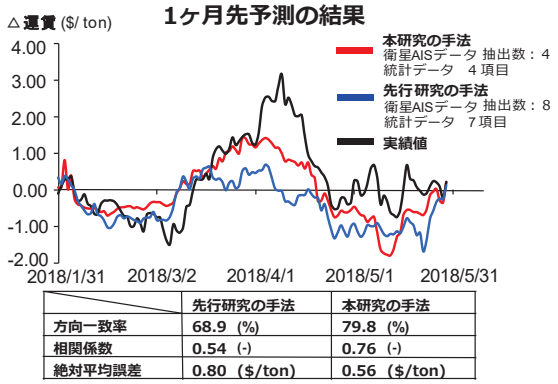
全国輸出入コンテナ貨物流動調査の非集計データを用い、貨物の輸送経路を評価



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

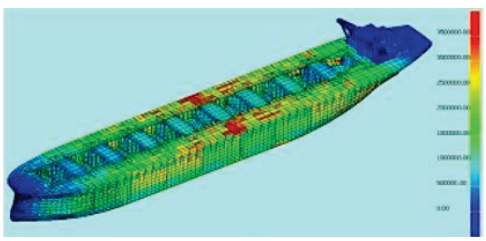
年度実績

- 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）

〇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。

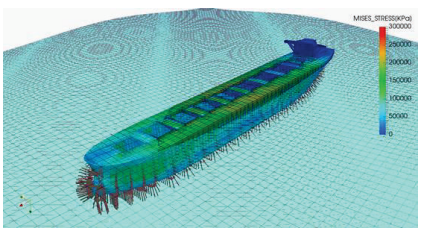


DLSA-Basic

線形解析による応力の最大期待値マッピング

〇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。

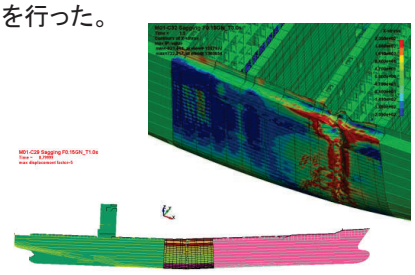


DLSA-Professional

極限海象での時刻歴応答解析

〇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

〇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

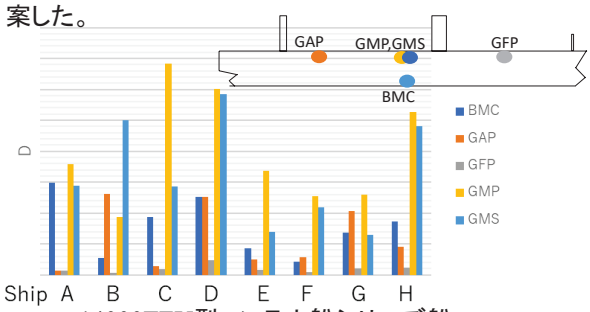
年度実績

- 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

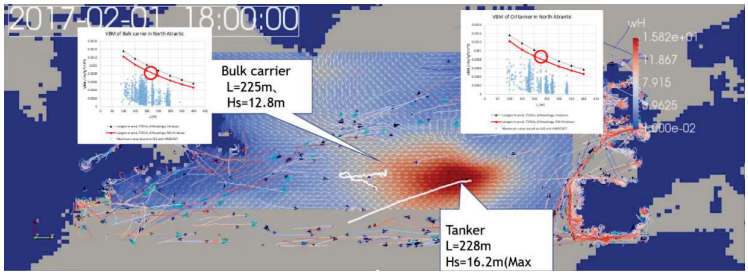
実船データの統計解析プログラムを用いて、連続建造の14,000TEU型コンテナ船で計測された応力データを解析して疲労被害度を予測し、疲労寿命への影響因子の影響度を明らかにした。その結果から運航履歴に基づいて疲労寿命を推定する簡易推定を提案した。



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）

（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

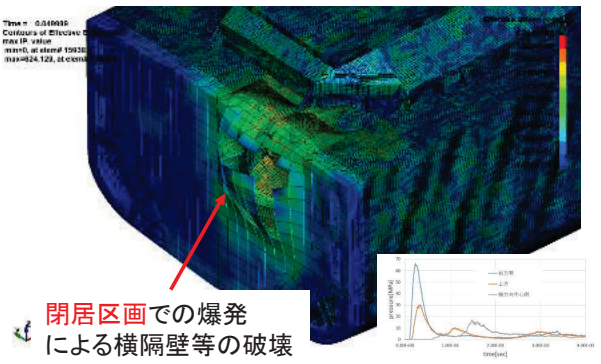
年度実績

- 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

（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

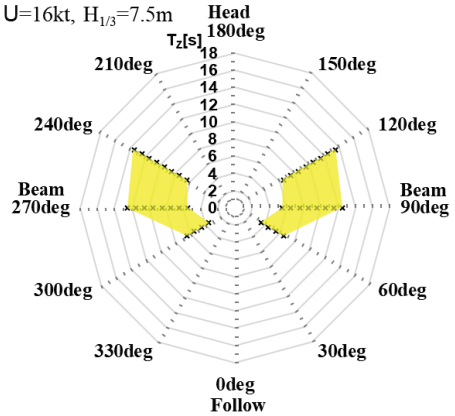
年度実績

□ 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

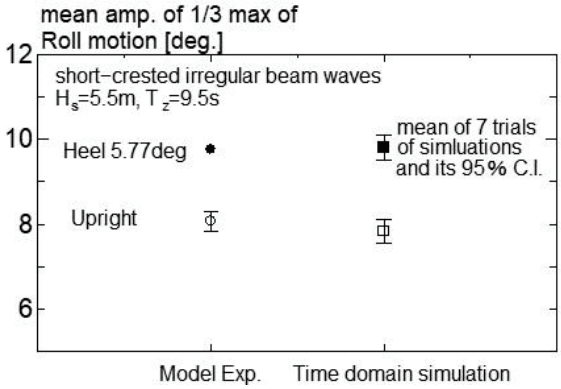
復原性に起因する波浪中の危険事象のひとつである過大加速度による事故を起こしたコンテナ船を供試船として不規則波中での横加速度の長期発生確率を用いた過大加速度の危険度評価を行い，操船要素である船速，波向，波周期を考慮した操船支援法を構築した。本成果はIMOで審議されている第2世代非損傷時復原性基準のガイドライン策定に貢献した。



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）

○時間領域船体運動計算法

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

R1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。

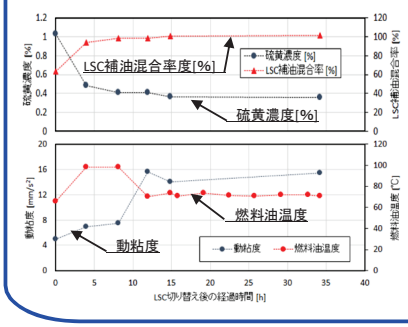
船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

○LSCの性状動向調査

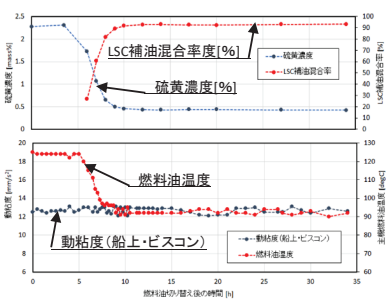
- 陸上燃焼試験は、適合油（LSC）の性状動向調査及びその性状が船舶での使用条件に与える影響（着火・燃焼性、低粘度化と高流動点化、安定性など）について検討した。
- 実船試験は、499GT小型貨物船～14,000GT級RoRo船の多種の船種12隻でのLSCによる実船トライアルを実施した。

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

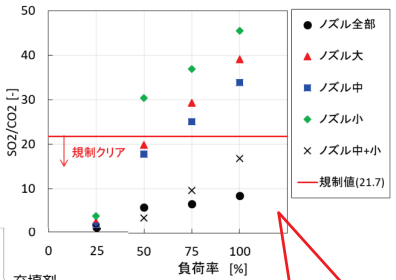


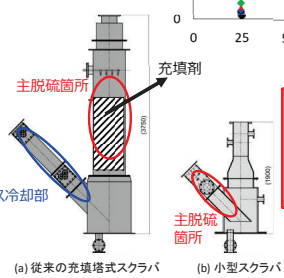
粘度調節器（ビスコン）使用の場合



○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

R1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

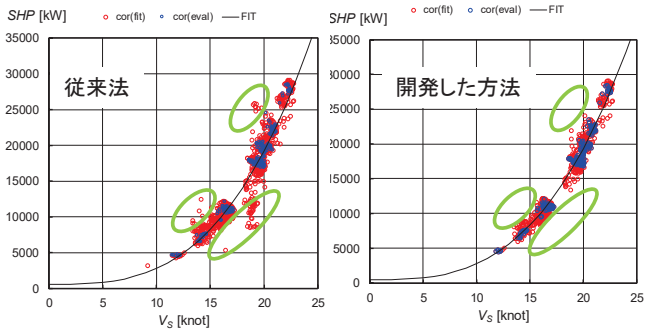
年度実績

- 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

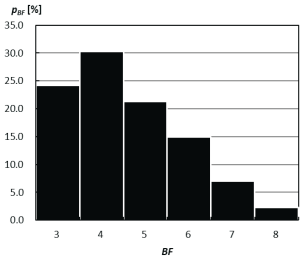
実船モニタリングデータ解析における平水中性能評価の高度化のため、見掛けスリップ比及び平水中からの抵抗増加率を閾値とした評価法RCMを開発した。



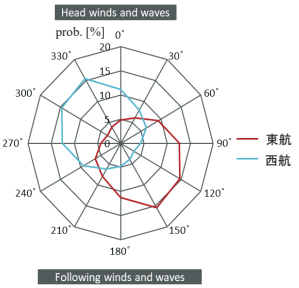
RCMによる抽出した平水中性能の精度向上の例

○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

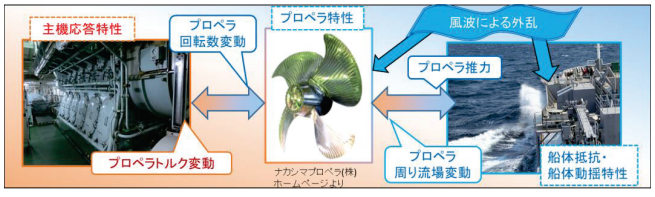
年度実績

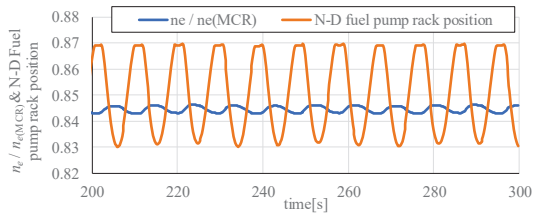
- 主機デジタルツインの実用化を目指すために、船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラムの開発や主機の異常状態を検知するシミュレーションプログラムの開発

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。

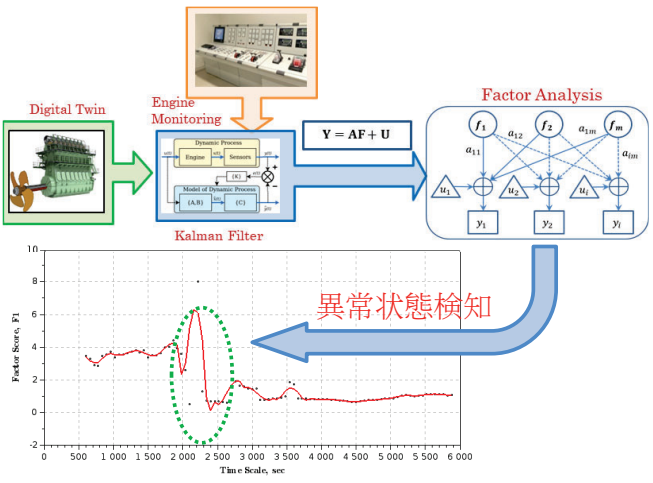




斜向波中主機応答の計算例

○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

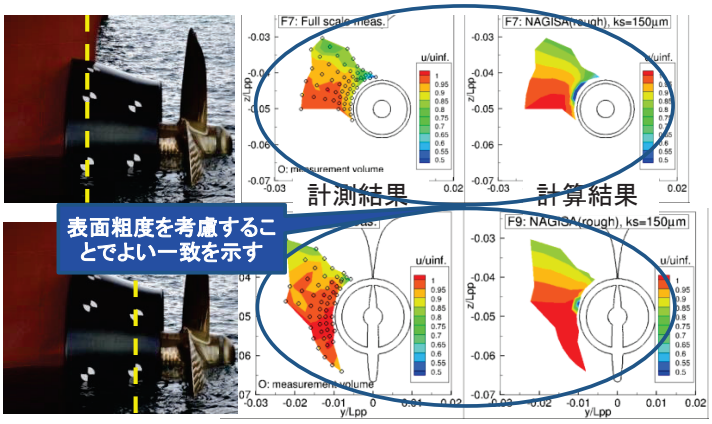
年度実績

- 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

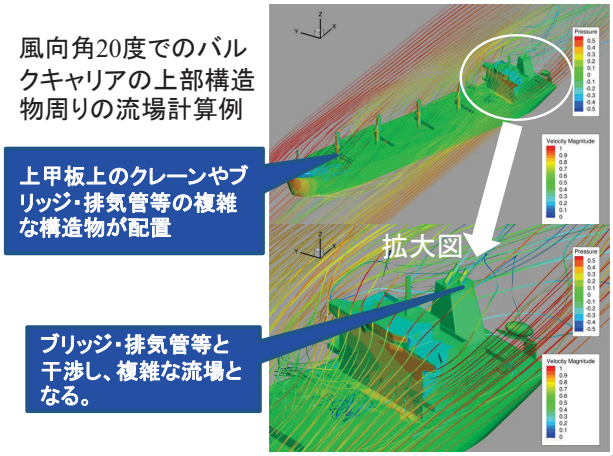
付加物付き実船SPIV計測結果に基づき、実船スケール計算結果を検証し、実船粗度を考慮することで計測結果と一致する計算結果が得られることを確認した。



付加物付き実船伴流計測結果との比較(2断面)

○上部構造物風圧力計算

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。



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）

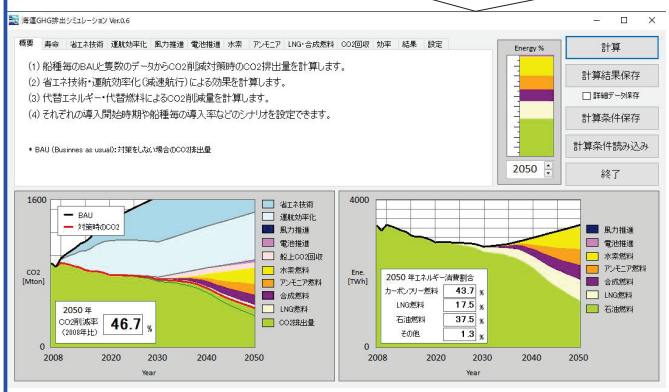
○GHGロードマップ

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 。

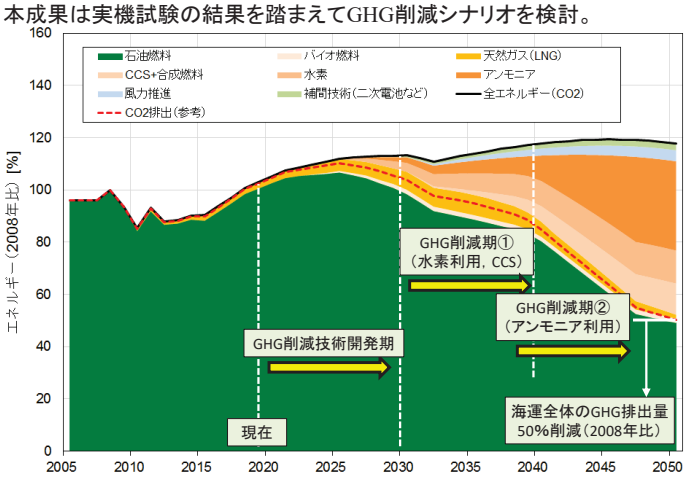
※1: 国内エンジンメーカよりも先行して，水素混焼，アンモニア混焼の実機試験を実施。同時に国内エンジンメーカと共同研究を実施。

※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

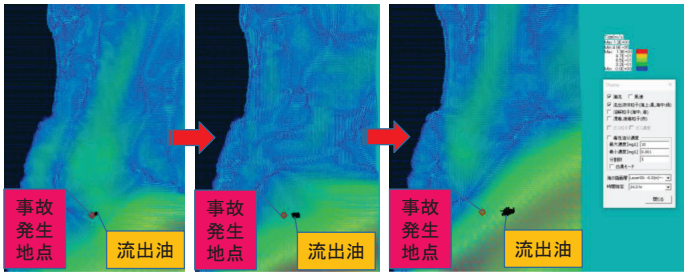
年度実績

- 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

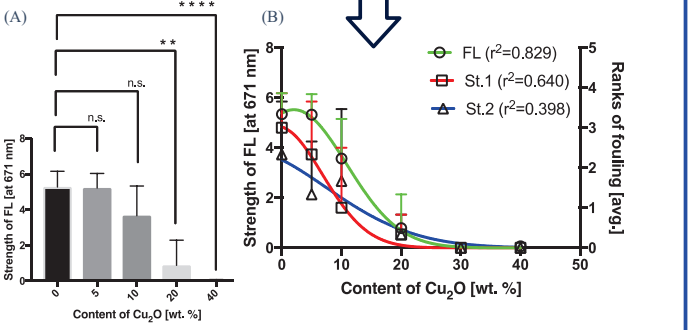


質量保存流速場モデルに基づく油流出時海洋拡散計算例
（油流出事故発生地点：茨城県沖約50kmと想定）

○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）。

Cu2O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

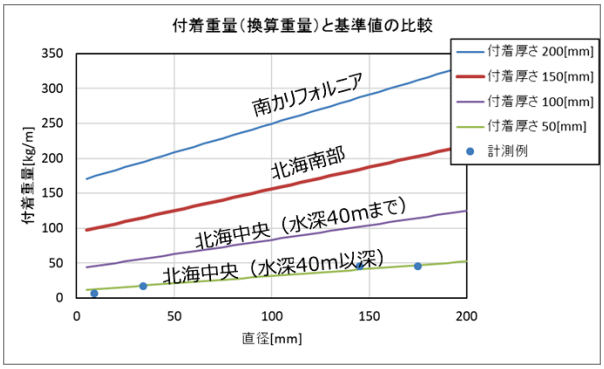
年度実績

- 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

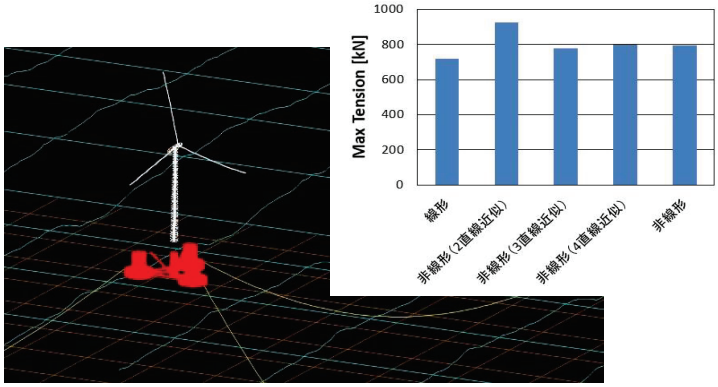
係留索として注目されている合成繊維索に対する生物付着量に関する調査を行って、今後改正される予定の安全ガイドラインに対する検討課題を抽出した。



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

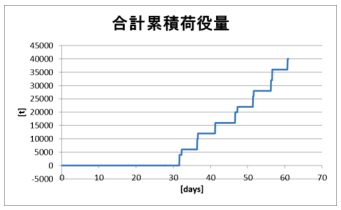
- 揚鉱から陸上での荷役までを評価可能な「全体システム稼働性評価プログラム」を開発。
- 海底熱水鉱床商業生産システムを想定した「計画支援プログラム」を開発。

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】

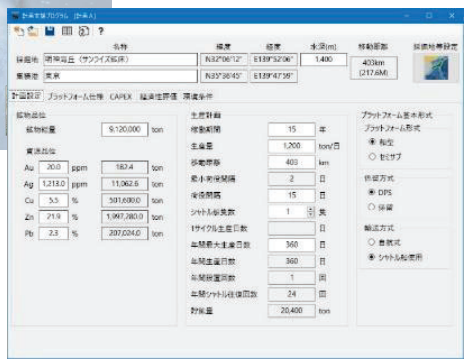


【入力用インターフェース】

○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

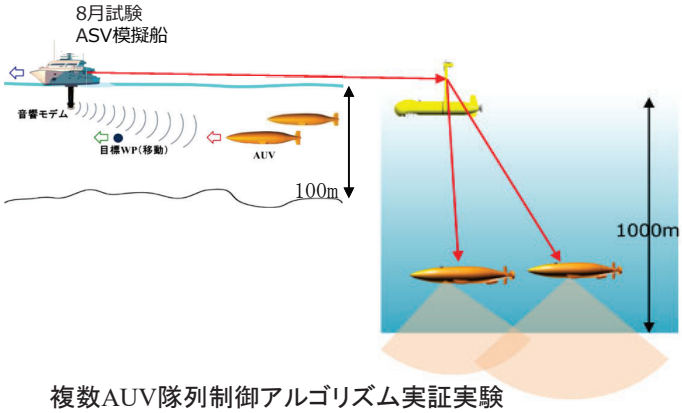
（3）海洋の開発 －③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

- 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

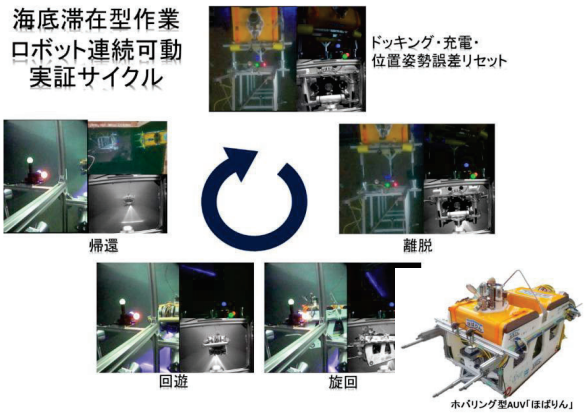
・SIP第2期に参画する中で、複数AUVを同時運用する際の隊列制御アルゴリズムの開発を実施。さらに非線形モデル予測制御を使ったAUVの隊列制御方法の高度化手法を開発した。
・駿河湾（1000m深）実海域試験では、ASVをリーダ機、2機航行型AUVをフォロワー機とした動的ウェイポイント航走を実現し、運用技術の高度化（隊列制御技術の発展）を実施。



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

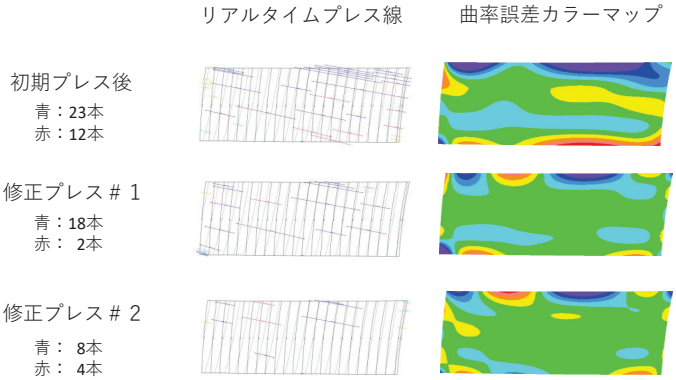
年度実績

- 「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

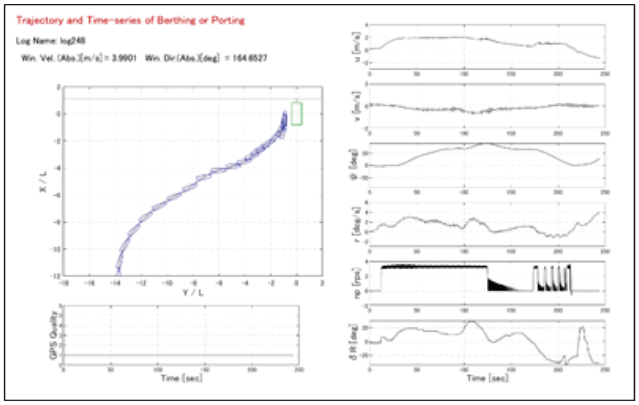
（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発 -②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

- 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

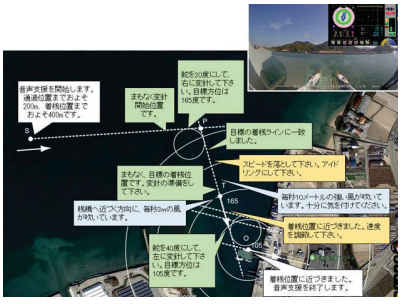
Pure pursuitとAutopilotによる自動着桟アルゴリズムにより平均風速3.9m/s下で一般走行では問題なく、ニュートラル走行時でも経路誤差を一定以下に押さえ目標位置に着桟制御できることを実証試験で確認。



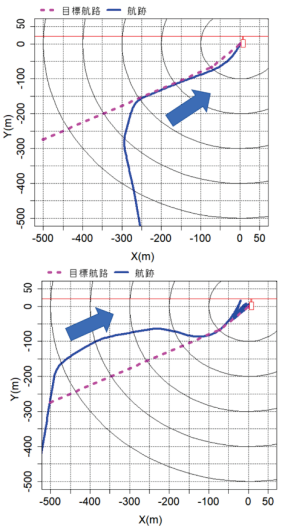
Pure pursuit + Autopilotによる自動着桟操船結果の一例

○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

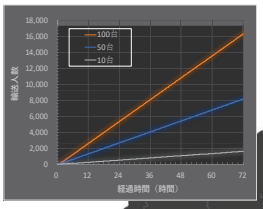
大規模災害を想定した、緊急消防援助隊ブロック訓練や自治体主催の大規模図上訓練等の参観によって傷病者輸送の一連の流れを確認し、情報の流れ、応援部隊配置の考え方などのシミュレータに必要な基盤となる動きを落とし込んだフレームワークを構築した。

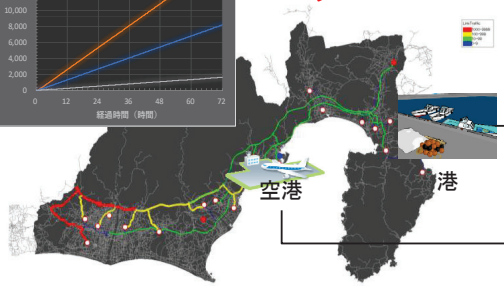
学識・消防・自治体危機管理部局参加の専門家委員会を開催

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）

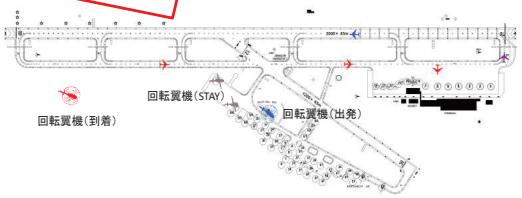
計測震度	震度階	速度PSI (cm/s$^{0.5}$)	供用可能率（%） 重力式	矢板式	桟橋式	全体平均
3.00		5	100.0	100.0	100.0	100.0
3.50		10	100.0	100.0	100.0	100.0
4.00		15	100.0	93.8	100.0	97.9
4.50	5弱	35	100.0	75.0	100.0	91.7
5.00	5強	60	100.0	25.0	92.6	72.5
5.50	6弱	105	89.5	18.8	51.9	53.4
6.00	6強	175	47.4	18.8	7.4	24.5
6.50	7	280	36.8	0.0	7.4	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

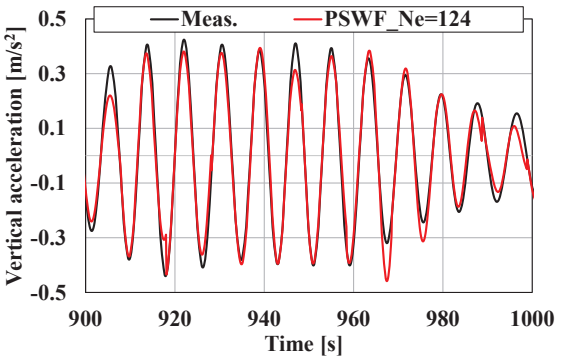
年度実績

- 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

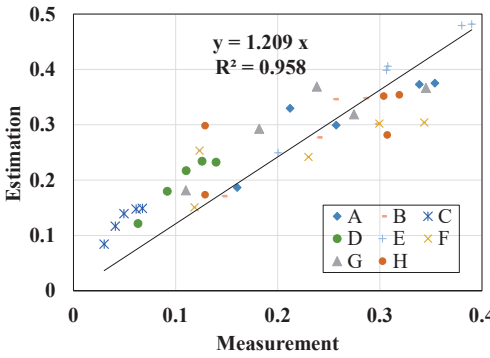
オンボードで計測された船体運動履歴を用いて、数十秒先までの船体運動をリアルタイムで予測する新しい手法を構築した。定常状態の実験データおよび非定常な実船データにより手法の精度を検証した。



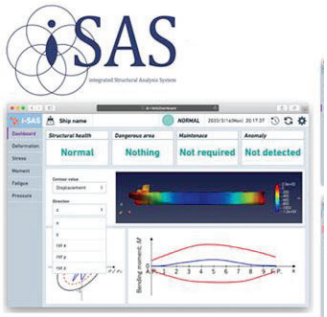
船体運動の予測結果の検証例

○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）

R2年度P.1

（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

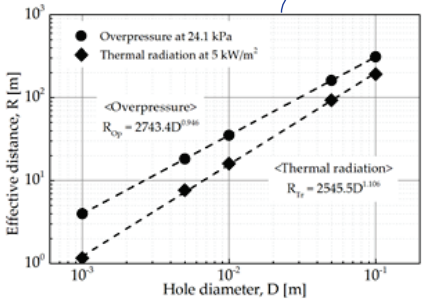
年度実績

- 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。

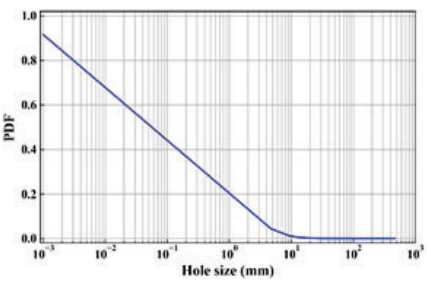
船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究（重点研究☆2）

○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。

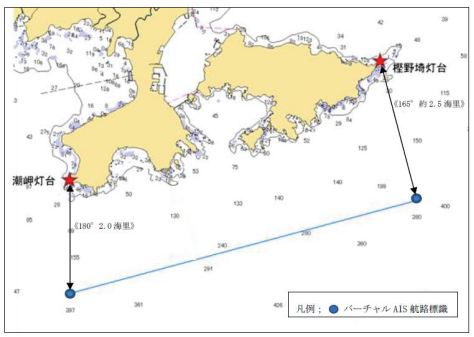


図 7.4.1 推薦航路設置案

潮岬沖の推薦航路設置案（文献※1より流用）

R2年度P.2

※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

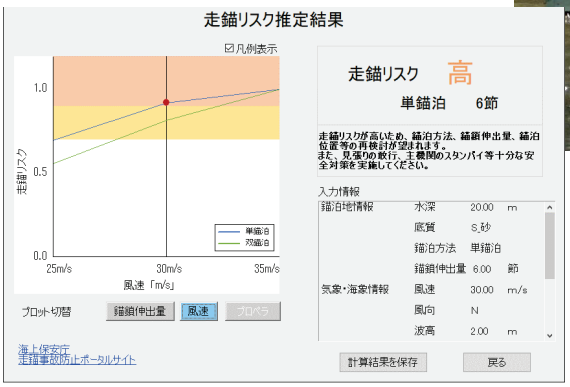
年度実績

- 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

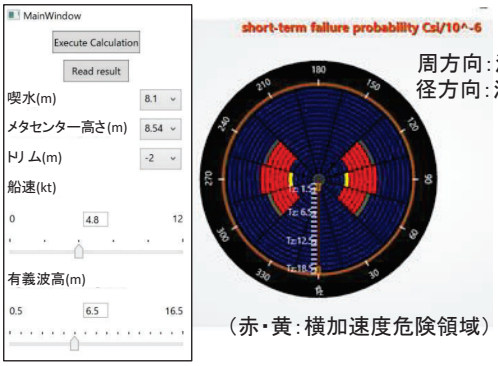
水槽実験で妥当性を検証した走錨危険度推定プログラム（錨泊船の振れ回り運動を計算し最大錨鎖張力と限界把駐力を比較）に入出力GUIを組み合わせて、荒天下での走錨を回避するため，錨泊実施前に船長や乗組員の判断を支援する「走錨リスク判定システム」を開発した。



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。



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%硫黄分規制に対応した適合油に関し、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。

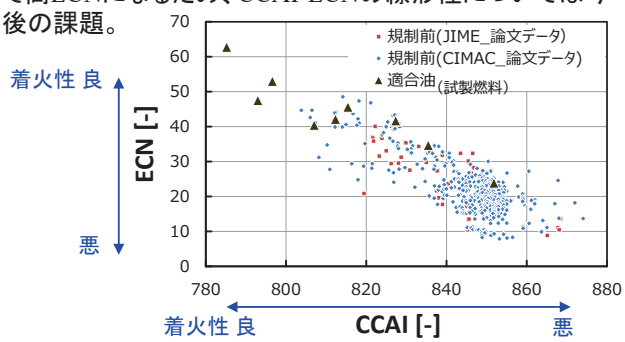
船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究（重点研究☆4）

○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。

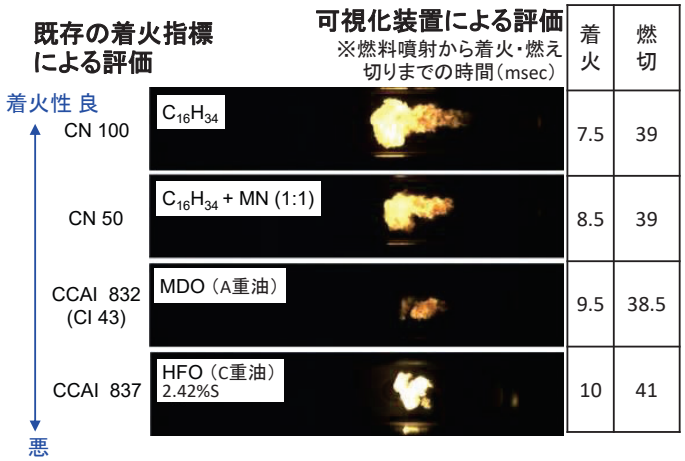


規制前後の規格着火性（CCAI）と実測着火性(ECN)の評価

○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。



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

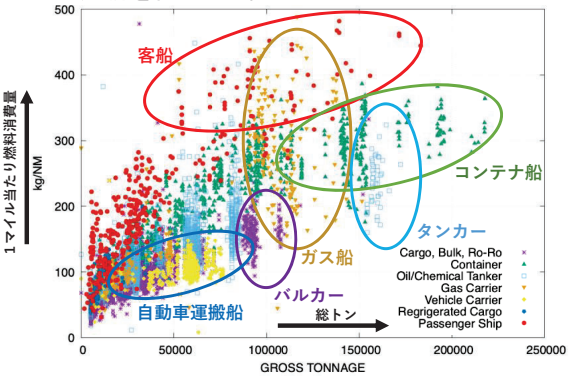
年度実績

- 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

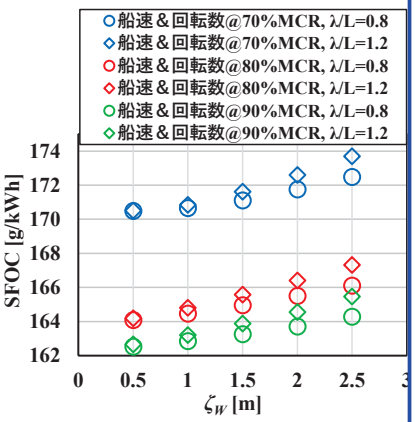
EU-MRVデータに含まれる1万隻以上の船舶の船種・アイスクラス別特性を明らかにした。
船舶要目データ、衛星AISデータ、気象海象データを組み合わせ、EU-MRVデータだけでは得られない情報を付加した分析を行なった。



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。

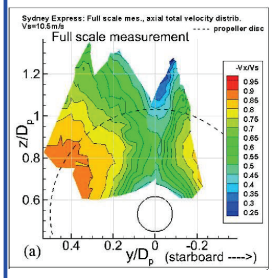
船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究（重点研究☆6）

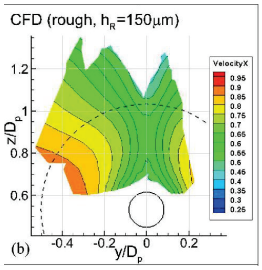
○実船スケールCFD計算

- 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

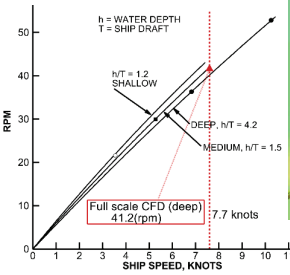
- 波浪中計算手法開発：損傷による1区画浸水を想定した船体内部の計算領域を扱えるよう、重合情報システムを拡張した。
- 新格子トポロジー導入により、物体内への貫通孔、凹部、閉区画の計算領域配置に対応し、バウスラスター、シーチェスト、ムーンプール、カーゴホールド、損傷孔等の計算が可能となった。



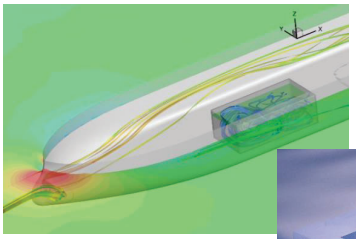


実船伴流計測結果　実船スケールCFD計算結果

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

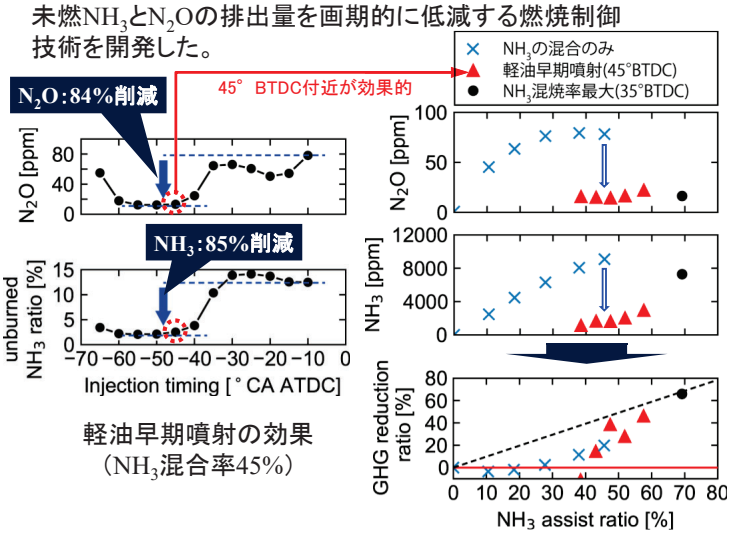
年度実績

- 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。

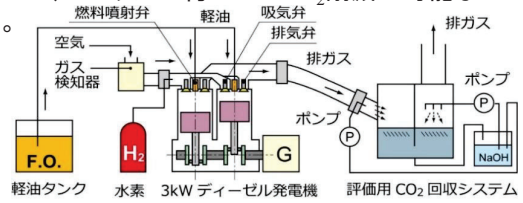


軽油早期噴射の効果（NH_3混合率45%）

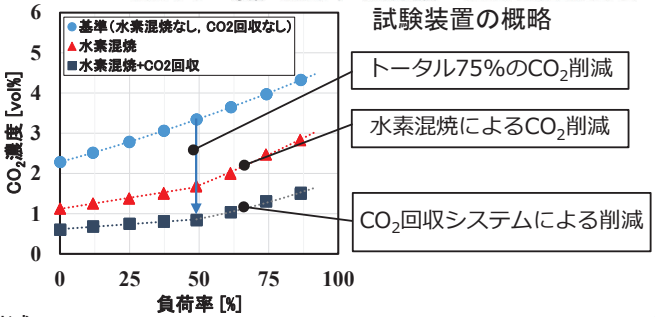
軽油早期噴射を用いた未燃NH_3とN_2Oの削減とGHG削減

○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

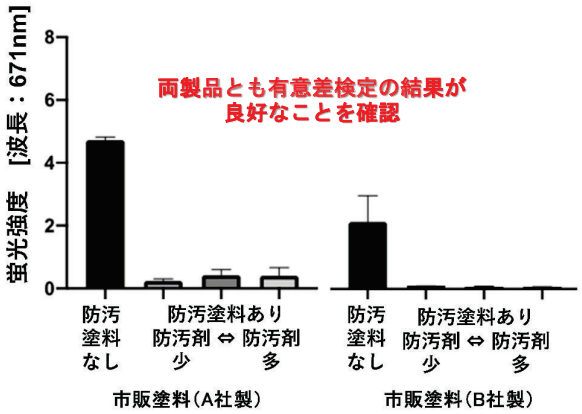
年度実績

- 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

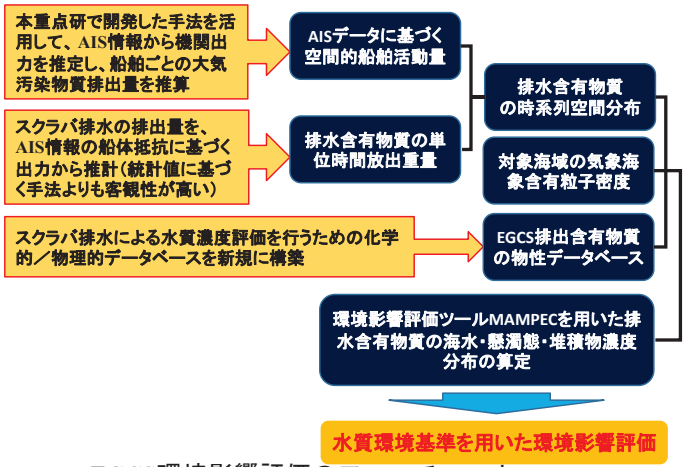
シオミドロを用いた市販塗料の性能評価を実施し、藻類を対象とする評価法の有効性を確認した。また、ISO/WGでの指摘事項に対応すべく、水温20℃での試験を実施し、試験条件パラメータの最適化に資する結果を得た。



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

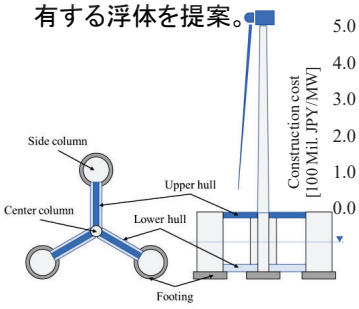
年度実績

□ 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。

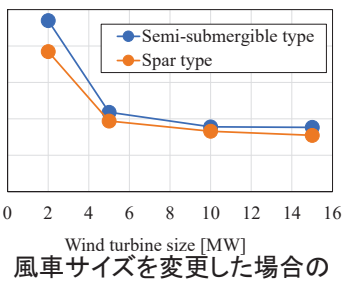
海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

○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



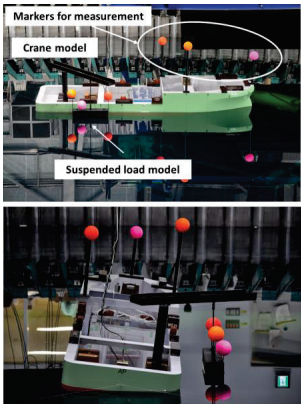
風車サイズを変更した場合の概略建造コスト単価（材料重量ベース）

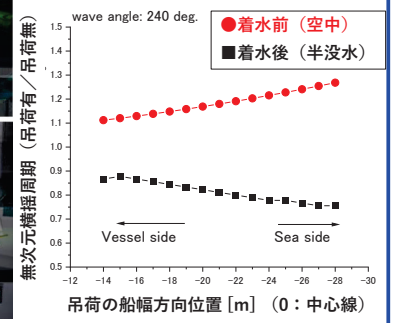
○安全評価ガイドライン案の作成

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。

○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

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、

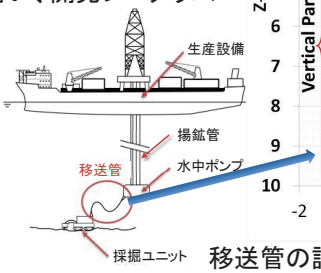
□ 採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船を一体とした挙動解析プログラムの開発にあたり「摩擦抵抗及び管内圧力変化を考慮したプログラム」を開発。

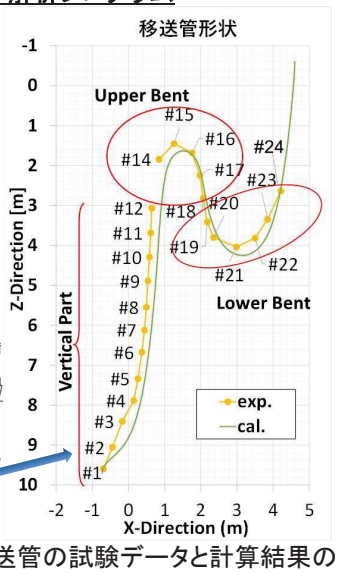
□ 令和元年度に開発した揚鉱から陸上での荷役までを評価可能な「全体システムの稼働性評価プログラム」を用いて、システム最適化に資するパラメータスタディを実施。

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。



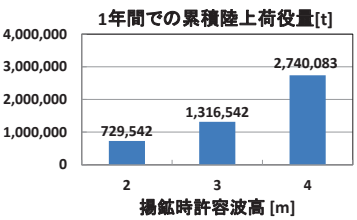


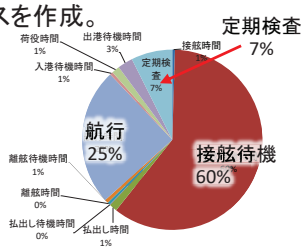
移送管の試験データと計算結果の比較

○ASME OMAE Awards Committee、OMAE 2019 Best Paper of Ocean Engineering Symposium

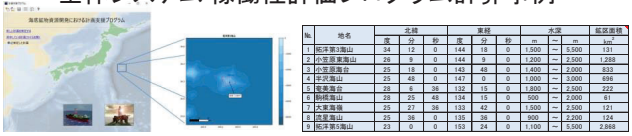
○全体システムの稼働性評価・計画支援プログラム

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

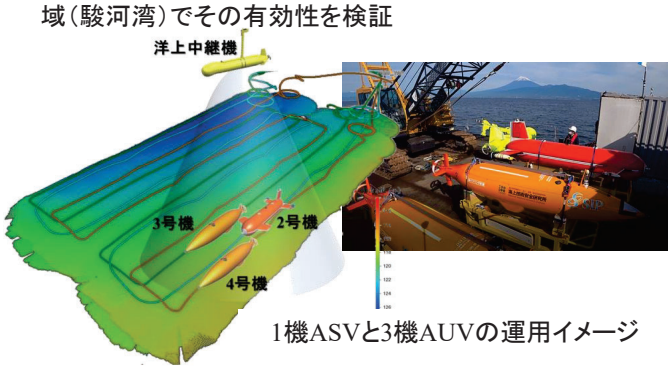
ナショナルプロジェクト（内閣府SIP第2期）、業界への技術的貢献を行うとともに、研究成果の社会実装（貢献）を目指すために

- 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

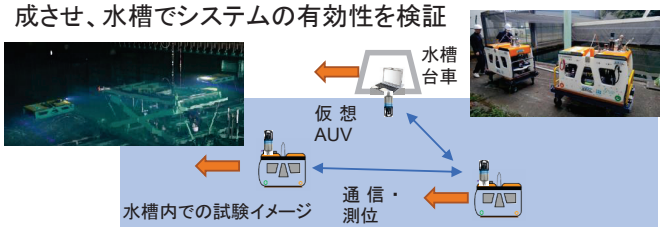


1機ASVと3機AUVの運用イメージ

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

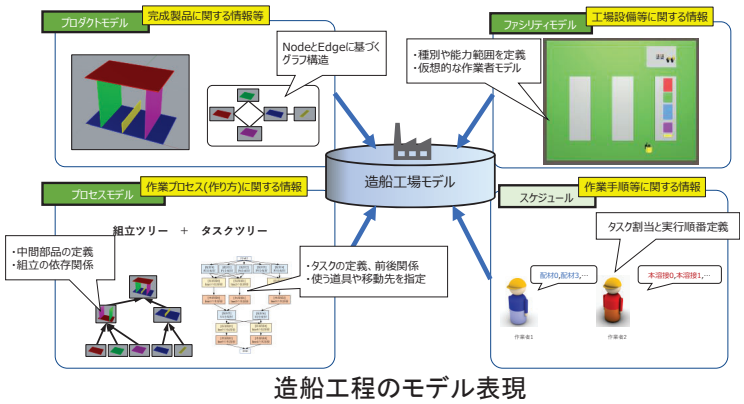
海事産業の競争力強化を図るため、デジタルシップヤード構想を実現する一環として

- 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。

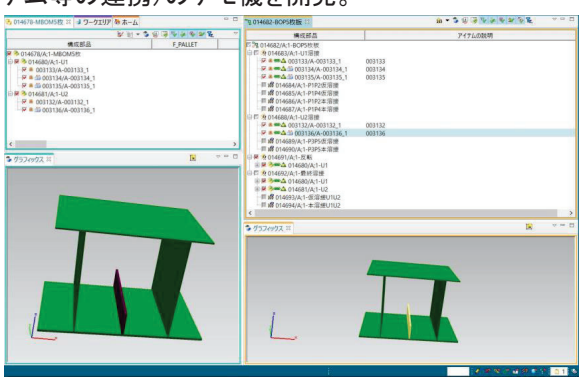


造船工程のモデル表現

「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

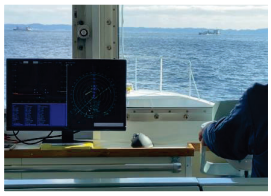
年度実績

- 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。

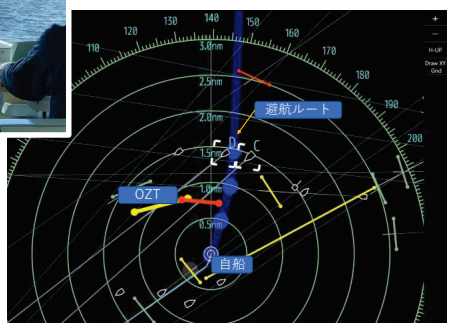
ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究（重点☆12）

○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。



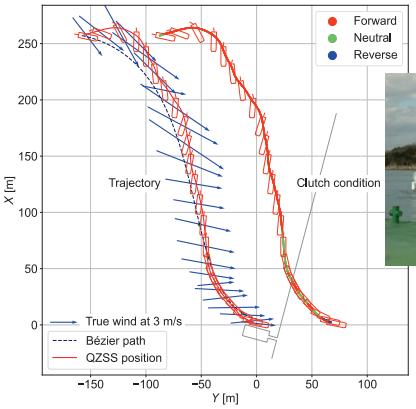
実船実験状況



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

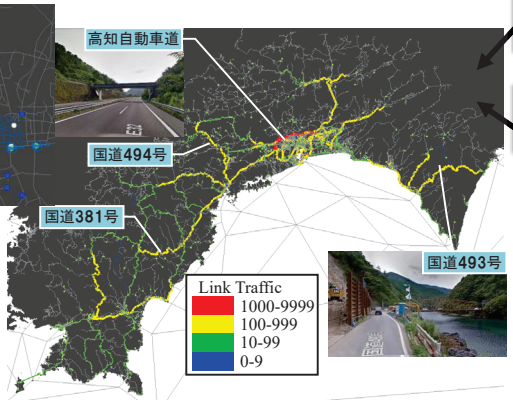
- 3研（海技研、港空研、電子研）連携による大規模災害時の陸上・海上・航空輸送に関わる救援活動において発生するボトルネックを事前に発見するシミュレータを開発。
- 自治体（静岡県及び高知県）の被災想定を基にシミュレーションを実施。

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）

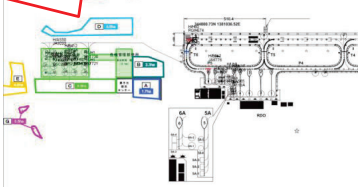


結果より算出された、利用頻度の高い道路

○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

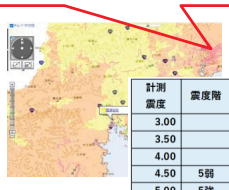
救援機の受け入れ機数



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