

**令和3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3年5月21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」	3
(1) 海上輸送の安全の確保	4
(2) 海洋環境の保全	7
(3) 海洋の開発	10
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発	13
参考添付：評価資料（抜粋）	17

参考

重点研究 令和2年度業務実績報告書

1. はじめに

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

(1) 評価の体制

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

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

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

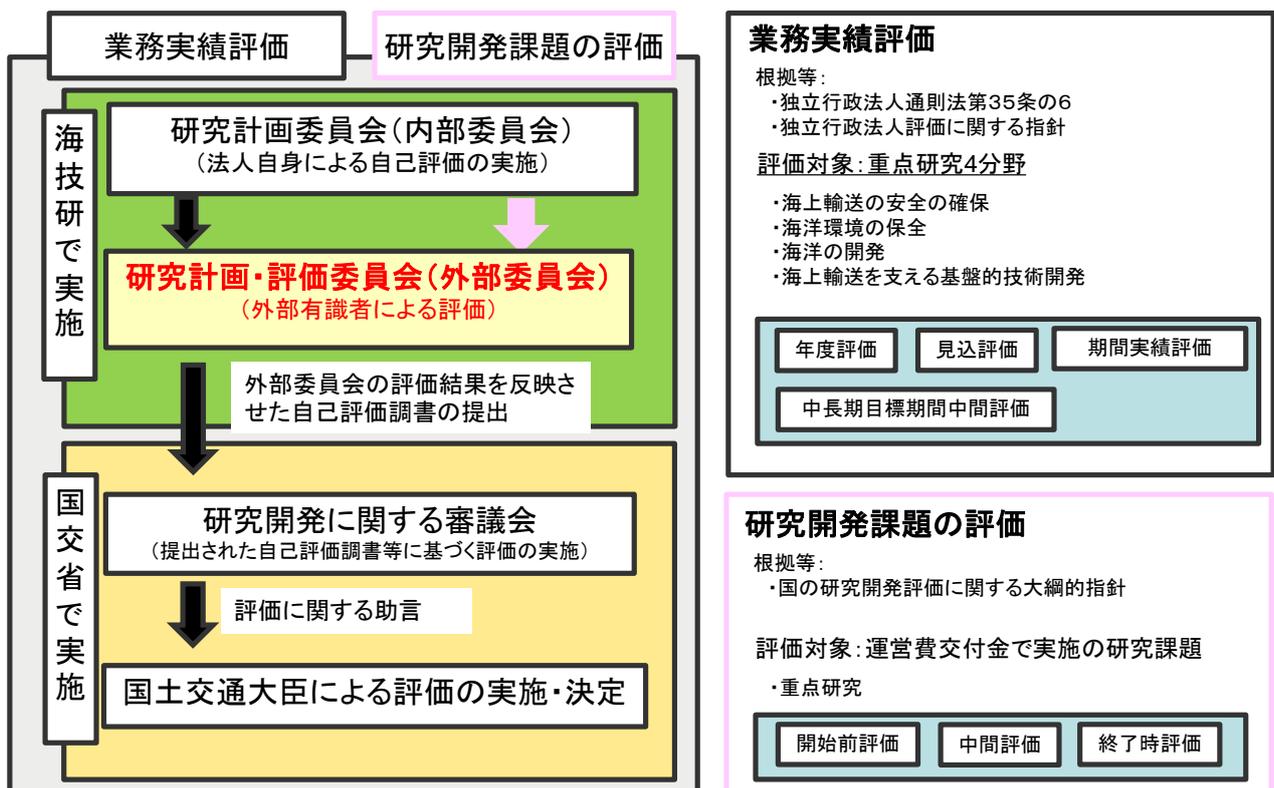
(2) 評価の種類

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

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

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

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



2. 評価の概要

(1) 評価の実施日

令和3年5月21日（金）

(2) 評価の実施者

海上技術安全研究所研究計画・評価委員会 委員名簿

会務	氏名	所属・役職名
会長	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	大津 正樹	一般社団法人 日本船用工業会 大形機関部会長 (株式会社三井E&Sマシナリー ディーゼル事業部 アドバイザー)
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	河野 一郎	一般社団法人 日本造船工業会 技術委員会 委員長 (川崎重工業株式会社 常務執行役員 エネルギーソリューション&マリンカンパニー バイスプレジデント 兼 船舶海洋ディビジョン長)
委員	後藤 浩二	国立大学法人 九州大学大学院工学研究院 海洋システム工学部門 教授
委員	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	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 准教授
委員	村井 基彦	国立大学法人 横浜国立大学大学院 環境情報研究院 人工環境と情報部門 教授
委員	山口 誠	一般社団法人 日本船主協会 環境委員会委員 (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2年度に実施した重点研究

ここで、重点研究は中長期計画に記載の重点的に取り組む研究開発課題です。

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

3. 評価の結果

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

評点は、「独立行政法人の評価に関する指針」（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2年度】

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

「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

(1) 海上輸送の安全の確保

令和2年度業務実績評価シート

【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>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。</p>				
コメント	<p>■</p> <p>① GHG 排出削減の切り札でもある水素運搬船の普及に向けて、そのリスク評価の方法を提案して貢献している点は特筆できる。</p> <p>② 疲労被害度予測をモニタリングで実証した点は科学的意義が深い。</p> <p>③ 過大加速度の簡易操船ガイダンスの支援システムが IMO での基準化に合わせた時期に開発されている。</p> <p>④ 評価の高い国際ジャーナルに多数の論文を発表しており、国際水準にあるといえる。</p> <p>■</p> <p>① 3 項の重点研究のそれぞれが、社会的価値を出し得る研究になっている。水素の漏洩に関する研究等、新しいニーズに沿った研究であると思われる。</p> <p>② 一部の説明に於いて、使用された図と説明が読者に分かり難く作られていると感じるが、意義の在る研究であると信じる。水素リスクについては、今後も色々な組織で検討されて、船の設計指針が出来ていくと考える。</p> <p>③ 何れの研究もタイミングの観点から、良好な時期になされた、と思われる。</p> <p>④ 国際競争力にまで影響が出るのかどうか、判断は出来ないが、国際的な場に出しても通用すると思われる研究になっている。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ DLSA の高度化、モニタリングデータの活用による疲労被害度予測や AIS データを活用した遭遇海象把握と設計荷重設定法の提案などを通して、構造安全性に対する社会ニーズの高まりの中業界全体で進められている合理的な規則制定や船体構造デジタルツインの開発に貢献しており、時宜を得た研究で成果を挙げていると評価できる。 ・ PSWF を用いたリアルタイム応答予測や、波浪荷重推定に適した新しい数学船型の開発など、新たな萌芽的な試みも査読論文として成果を挙げつつあり、学術的価値も大きい。国際的水準の研究がなされている。 <p>■</p> <p>① 平成30年 台風21号において、タンカーが走錨し、関西国際空港連絡橋に衝突した事故は記憶に新しく、この「走錨リスク判定システム」の開発は安全・安心という社会ニーズに大いに適合している。</p> <p>② 「操船支援用危険度評価システム」は簡単なデータの入力にてリスクの評価が可能であり、船員の負荷・ストレスの軽減に貢献するものである。</p>				

③ 「液体水素漏洩のリスク解析手法」は今後 GHG 対応の主役となりうる水素の漏洩によるリスクを定量評価するものであり、更なる研究が期待される。



- ・ 船体構造 DT のプロトタイプ構築に関し、関係機関を先導して精力的に進めていることは様々な機会に耳にしており、我が国の海事関連研究をリードする研究所としての実力を反映できていると思います。
- ・ IMO 対応についても、海技研が担うべき役割を勘案しつつ能動的かつ積極的に対応されていると判断できます。



- ・ 評価のポイントが意識されて、順調に進められていると思います。
- ・ 手法およびシステム開発が、確実に「海上輸送の安全確保」に結び付くように、得られた成果や業績をどのように実社会に結び付くのかの戦略についても示していただけると、成果の重要性についてより説得力が増すものと考えます。



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、ハルモニタリングシステムを開発してシリーズ建造船のモニタリングデータを用いて有効性を検証していること、走錨事故防止のための走錨リスク判定システムを開発したこと、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による操船支援用危険度評価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。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、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。また走錨リスク判定システムについては、ホームページなどで無償提供を予定されており、評価できる。

いずれの課題も海難事故防止の観点から重要な取り組みである。海難事故防止、海難事故解析については、海上技術安全研究所として積極的に取り組むべき課題と考える。



DLSA システムを用いたオンボードの船体運動の予測や、船体構造デジタルツインの中核となるハルモニタリングの開発など、国際的に科学的価値が高く我が国海事産業の発展にも寄与する研究が精力的に実施されており、成果も着実に上がっている。

液体水素の漏洩、潮岬沖の推薦航路の提案、走錨リスクの判定、操船支援用危険度評価システムなども海難事故防止のために重要な技術であり、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、重点研究 1 のモニタリングシステムや DALA システムと重点研究 3 の操船支援用危険度評価システムを総合的に考慮してシステム境界を拡大することにより更なる発展が見込めるため、これらの連携を検討することを期待する。



計測データを蓄積する取り組みは、計測や解析の技術的優位性だけでなく、データの時間的連続性も競争力の源泉となりうる。実証段階にある船体構造デジタルツインについては、計測を継続することで研究分野を国際的にリードできる研究活動と考える。

研究成果を産業界で利用できるような仕組みの開発も合わせて検討していただきたい。



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

	<p>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。</p> <p>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。また、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。</p> <p>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。</p> <p>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、液化水素の運搬船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の貢献である。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。</p> <p>■ 社会実装として安全との結び付けにはまだ隔たりを感じるものの、それぞれのアプローチの意味は大きく、それぞれの深堀により研究の進化が期待できると思いました。</p>
--	---

事務局とりまとめ欄

<p>総合評価</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">A</p>	<p>S :</p> <p>A : 11</p> <p>B :</p> <p>C :</p> <p>D :</p>	
---	---	--

(2) 海洋環境の保全

令和2年度業務実績評価シート

【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>				
コメント	<p>■</p> <p>① ゼロエミッションに向けて、アンモニア燃料や水素混焼についての技術課題を実験的に解決したうえ、CO2 排出削減効果を定量化した点で社会に貢献している。燃料電池、二次電池など他の要素への取り組みにも今後の期待は大である。</p> <p>② 実船レベルの CFD により実船の船速を推定できたことは意義深い。</p> <p>③ SOx 規制に対する燃料油の試験は時宜を得たものと思われる。</p> <p>④ アンモニア燃料、実船 CFD などでは、評価の高い国際ジャーナルに多数の論文を発表しており、国際水準にあるといえる。</p> <p>⑤ 主機の異常検出に AI を使うなど新技術の導入にも取り組んでいる。</p> <p>■</p> <p>① 夫々の研究に、社会的価値を認められると考える。</p> <p>② 例えば研究 5 の MRV データを使った分析は、上手に行えば注目される研究なのかと理解するが、ここでは説明が曖昧で、何が得られたのか良く分からない。正式な報告書にはしっかり分かり易く成果が示されているものと期待する。</p> <p>③ 研究 4 の 2020 年燃料は、もっと早い時期に成果を出すべきものなのかと理解する。研究 7 に於けるアンモニアや水素の研究は脚光を浴びる分野の研究として、継続が期待される。</p> <p>④ 国際競争力に関与出来そうなのは研究 7 だと思われる。現段階では未だ不足で、例えばアンモニアに於いては MAN が開発中のディーゼル噴射を試みる、とか国内の中速機関開発者と連携して研究を拡大して欲しい。水素焚きの機関はかなり難しいと考えられるので、成果が出れば国際的なものになる。</p> <p>⑤ 前項に書いた様に、研究 7 には今後の成果に期待が持たれる。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 海運におけるグリーンイノベーションが求められている中、実海域性能の評価方法や、その向上方法に関する研究を時宜を得て実施し成果を出しており、高く評価できる。 ・ 業界で連携して実海域性能評価法に関する国際標準化を目指していることは、国際競争力の向上につながる活動として評価できる。 ・ CFD 活用の次の段階として期待される実船スケール CFD について、様々な検討を通して計算ガイドラインを示したのは、国際的水準に照らしても高い科学的価値を持つと考える。 				

-
- ① 実海域における性能の把握は今後の GHG 削減を目的とした船型開発に大いに貢献するものである。
- ② 水素混焼、アンモニア混焼の研究は社会のニーズの合致しており、今後の発展が期待される。

-
- ・ 環境問題に対して船舶分野として排出大気汚染物質に関わる環境対策技術を着実に構築している。このような直近の利益につながりにくい課題には民間企業は取り組むことが難しいため、海技研が担う役割は大きいと思います。今後も注力し続けていただきたいと考えます。
- ・ 次世代船舶用燃料としてアンモニアが担う役割は、2021 年 4 月の世界銀行による家運部門の脱炭素化に関する調査報告の中で、「LNG 燃料が海運部門の脱炭素化において果たす役割は限定的」と言及されていることから、ますます重要になると推察されます。来るべき実用化に向けては国研における基礎研究成果の蓄積は極めて重要であることから、研究のさらなる推進が期待されます。

-
- ・ 今後のエミッションゼロ政策の促進にむけた海運業界の貢献を、科学的に、定量的に支える大変重要な基盤研究成果であると考えます。
- ・ 評価のポイントが意識されて、順調に進められていると思います。
- ・ 「海洋環境の保全」で得られた成果が、現在世界的に注視されている課題、例えば、CO₂ の削減や汚染の低減などに、どの程度の貢献ができるのかについての定量的な概算があれば、この研究開発と成果の大きなインパクトを、より一層、説得力をもって示せると考えます。

■

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研究の実施、実船スケール CFD 計算への取り組みを進めていること、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、防汚塗料の性能評価法の構築など、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。萌芽的要素についても先見性を持って取り組まれている。GHG 削減に対応する船舶動力システムについては、将来の自律航行船への対応も考慮して、信頼性、メンテナンス性などの観点からの検討も行ってもらいたい。また燃焼可視化装置については、次世代船舶用燃料油研究に幅広く活用できると考えられ、今後の成果に期待する。

■

重点研究 5 (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検討) は、データを利用した新たな環境問題対策へのアプローチであり、その新規性・将来性を高く評価する。また、重点研究 4 で実施した硫黄分規制に対応した適合油の着火性・燃焼性の評価は社会の懸念を払拭することに大きく貢献しており、社会的価値のある研究成果が期待された時期に得られている。

実船スケール CFD 技術は国際的にも注目されている技術の一つであり、海技研の強みを生かし、国際的なプレゼンスを向上させる上で重要な研究と考える。そのほかにも水素やアンモニアの燃焼技術や CO₂ 回収技術など、将来的に必要となる萌芽的研究も実施さ

	<p>れている。</p> <p>いずれの成果も、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とが適切に実施されていることより A 評価が適切と考える。</p> <p>■</p> <p>社会的価値と科学的意義が大きい GHG の削減に資する重要なテーマが多く含まれており、社会が必要としている研究成果を適切に提供できていると考える。産業界のニーズとのマッチングや社会実装に向けた戦略の検討などにも重点を置いて研究を進めていただきたい。</p> <p>■</p> <p>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。</p> <p>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。また、それらの成果が多くの賞を受賞しており、客観的にも社会的にも高い評価を得ていることがわかる。</p> <p>③ 実海域での主機の応答評価や損傷時の船舶の運動シミュレーションなど、単に理想的な環境下での性能把握ではなく、実践的な課題を多岐にわたって扱っている。現実的に必要な精度で解析するには大量のデータの取り扱いが必要であるが、日進月歩の情報高度化の利点を十分に取り込みながら進めており、社会実装上に必要なアップデートがされていることがうかがえる。</p> <p>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。スクラバ排水の環境影響評価など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。</p> <p>■</p> <p>アンモニア燃焼のところ、未燃アンモニアと亜酸化窒素を抑える検証について、軽油による CO2 排出インパクトや、減じたアンモニアと N2O による後処理インパクト削減等も定量的に説明してもらえるとより実装の視点につながりやすいと思った。</p>
--	---

事務局とりまとめ欄

<p>総合評価</p> <p style="font-size: 2em;">A</p>	<p>S :</p> <p>A : 11</p> <p>B :</p> <p>C :</p> <p>D :</p>	
---	---	--

(3) 海洋の開発

令和2年度業務実績評価シート

【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>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。</p>				
コメント	<p>■</p> <p>① 洋上風力発電施設や海底熱水鉱床開発での採算性、稼働率向上を研究し、社会ニーズに込えている。</p> <p>② 作業船オペレーション評価に取り組んで固有周期に着目しているが、低乾乾舷故の甲板滞留水による減衰力などへの影響もあるのでは。</p> <p>③ 洋上風力発電施設の研究成果は時宜を得たものである。</p> <p>④ 海底熱水鉱床開発では評価の高い国際ジャーナルに論文を発表しており、国際水準にあるといえる。</p> <p>■</p> <p>① 国家として大切な研究であると認識する。なかなか簡単には進まないとしても、人材やノウハウを集めながら継続していく事が必要と考える。</p> <p>② 取り組まれている研究がどの程度の意義のものか、つかみ難いが、実用化を目指す中で方向を決めて推進して欲しい。</p> <p>③ 洋上風力発電は今まさに脚光を浴びている訳で、今直ぐではなくても数年で成果を社会に示して欲しい。</p> <p>④ 国際的なレベルが良く分からないが、国としての国際競争力に影響を及ぼすものではないか、と考える。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 海洋再生可能エネルギーの活用促進が叫ばれ、洋上風力発電が注目を集める中、洋上風力発電のコスト低減技術に取り組んでいるのは、時宜を得、かつ社会ニーズに合致している。 ・ 作業船のオペレーションや AUV の運用などは、洋上風力発電の拡大に伴って必要となるであろう関連技術でもあり、社会ニーズに沿った研究開発が広い視野で行われている。 ・ 浮体構造物の安全評価方法に関して国際基準への貢献を目指した研究開発が行われており、国際競争力の向上につながるものと期待される。 <p>■</p> <p>① 海洋開発の重要性が益々高まる中、それぞれの研究は社会のニーズに適合しており、その成果も評価に値する。</p> <p>■</p> <p>海洋開発に関する研究には多大な資金が必要であるため、SIP や NEDO による国プロや JOGMEC との協力など、効率的な資金獲得・研究組織構成を実施し、有用な成果を得ていると判断します。これには、他機関等との適切な協力関係を構築したことで、人的な</p>				

リソースの有効活用もできているためと思われる。



- ・ 順調に研究開発を進められていると考えます。
- ・ 本「海洋の開発」重点研究を進めるには予算が必要ということから、主に外部資金により進められていると理解しておりましたが、必ずしもそうではないことが、質問に対するご回答からわかりました。
- ・ 運営交付金によって進められている研究開発と成果と外部資金によって進められている成果を、分離整理されて説明いただいたほうが評価資料としてはより理解しやすくなると思います。



浮体式洋上風力発電施設を対象とした建造・運用コスト削減、浮体・係留・風車の一体シミュレーションモデルを活用した合成繊維索の安全ガイドラインの作成、海底熱水鉱床開発では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開発を進めたこと、AUV 複数機同時運用においては基本隊列制御システムを開発しさらに実海域試験で有効性を確認したことなど、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。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。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。



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、係留系の安全評価ガイドラインの作成、作業船のオペレーションの評価技術の確立など着実な成果を上げている。また、採掘・揚鉱・採鉱母船の抵抗や圧力変化の一体解析プログラムや、海洋資源開発の全体システムの稼働性評価・計画支援プログラムの開発など、海洋資源開発の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。

一方、海洋資源等の探査に用いるAUVの制御システムや通信システムは国際的にも最先端に位置する萌芽的研究であり、SIPにも貢献している。

海洋開発の加速に必要な着実かつ先端的な成果をあげているため、A評価とする。



国際学会での受賞が複数あり、国際的にも高い水準の成果を創出していると考えられる。

また、国のニーズに基づいて進めている多くの研究テーマに対して、適切な時期に成果が得られている。



- 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かった部分である。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実施されており、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、これまでになかった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、運用や操業のしやすさ、あるいはメンテナンス業に関連する研究など、実態としての

	<p>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可能性が高い。</p> <p>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。</p> <p>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国内外を通して非常に多く、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。</p> <p>■</p> <p>ニーズに沿って進められているという説明であり A 評価としたが、正直研究が海洋研究のどのステージをサポートするものなのかよく理解できなかった。成果とその努力を考え、研究ありきで終わらぬよう国プロが推進される事を期待したい。</p>
--	---

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な技術開発

令和2年度業務実績評価シート

【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>				
コメント	<p>■</p> <p>① デジタルシップヤード、自動運航船、災害時の交通インフラの確保のいずれも社会ニーズに沿うもので相応の成果を上げている。一方、委員会では自己評価の低いデジタルシップヤードを単独の重点分野とすべきとの傾聴に値する提言があった。一方、自動運航船、災害時の交通インフラの確保も今後の国の方針として置き去りにはできない。デジタルシップヤードについては外部の研究者に追いつくように努力しているとのことであったが、海技研の人的リソースも有限であるから、むしろ先行する研究機関と共同研究を行って、その応用面に特化するなどの棲み分けが社会や国にとって有益かもしれない。</p> <p>② 小型とはいえ実船で自動着棧に成功したことは新規性がある。</p> <p>④ 自動運航船について評価の高い国際ジャーナルに複数の論文を発表しており、国際水準にあるといえる。</p> <p>■</p> <p>① 何れの研究も社会のニーズに合ったものであると考える。研究 11 などは、早く造船業に役立つものをアウトプットしないと造船業が消滅してしまう。どの研究も社会への反映が出来る事が究極の目的であり、高橋委員様が言われていた様に、そこを意識して研究し、発表し、実用になる所まで追求していただく必要が有る。</p> <p>② 特に研究 12 は海運界で注目を集める一つの field であり、今まで培われてきた技術に新たな研究を加えたものだと理解する。</p> <p>③ 中期的に必要な研究を重ねている、という理解であり、それなりに進んでいるものと理解する。</p> <p>④ 特に研究 12 は国際的水準のものだと推察する。</p> <p>⑤ 研究 11 が萌芽的研究、という事と理解する。始まったばかりなのかも知れないが造船所と協力して、早期に成果を出して欲しい。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ データサイエンス、AI の発展に伴い、船舶の自動運航が注目を集めており、これの実用化に向けた課題であるルールベース避航操船や自動離着棧操船の技術開発は、時宜を得、かつ社会ニーズに合致したものと言える。 ・ 造船作業工程のデジタル化は、造船業の競争力向上につながり得る重要なテーマであり、大きな意義がある。従来から多くの試みがある中で、本研究は作業工程のミクロな部分まで踏み込んだ、できるだけ完全なモデル作成とその活用を目指しており、野 				

心的な取り組みと言える。

-
- ① 非常に複雑な造船作業工程のデジタル化は過去に何度もトライされたが全て中途半端なシステムとなっている。厳しい状況にある造船業界の復活に向け成果が期待される。
- ② 「傷病者輸送シミュレーター」は道路、港湾、空港、病院、資材等、広範囲な条件を包含したシステムであり、社会的価値は非常に大きいと思われる。

■

船舶建造に関するデジタルツインであるデジタルシップヤードの構築に関して、造船所特有の事情を完全に反映させようとする取り組みを推進していることを高く評価します。一方で造船所ごとの設計・建造に関する思想と敷地環境を含む個別の制約がある中で一品生産に対応可能なデジタルシップヤードの構築には解決すべき課題が多すぎます。国研としての海技研は、PC における OS 的なデジタルシップヤードシステム（基本システム）を構築し、これをベースに各造船所が「簡単に」カスタマイズして個別事情に対応できるものを目指すことが適切と考えます。

資料 1-1 の 35 ページで言及されている接着剤の建造工程での利用に関しては、熟練溶接技術者の確保が年々難しくなっている建造現場への貢献に加え、航行中の補修を簡便にできるなど、波及効果が極めて大きい研究であるので、今後精力的に進めていただきたいと考えます。

国研としての役割の一つに、大きな事故が生じたときの原因究明があると考えます。このためには組織として損傷に関して最先端の研究能力を確保しておくことが極めて重要ですが、このような分野に関して重点研究に位置づけ、かつ継続して実施していなければ、組織のみならず個々の研究者の当該分野に関する研究能力が低下し、大きな事故に対応できなくなるのではないかと懸念を感じました。

-
- ・ 評価のポイントが意識されて、順調に進められていると思います。
- ・ 萌芽的な課題に挑戦されていること、3 研連携ならではの課題に挑戦されていることを高く評価いたします。
- ・ 非常に難しいけれど重要な課題への取り組みなので、実社会や関係業界との相互協働も視野に入れたさらなる展開を期待いたします。

■

災害時の複数輸送モードを考慮した輸送シミュレーター開発は、国家プロジェクトへの貢献、成果の科学的意義が大きいと考える。造船工程をモデル化による造船作業工程のデジタル化や複数の造船所で協業して船舶を建造することを想定した造船用統合データプラットフォームの開発など、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棧アルゴリズムや着棧操船支援システムの開発においては、実船での検証が行われており、国の方針や社会のニーズに適合しており、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。

■

重点研究 1 1 の造船工程のデジタル化は日本の造船業の最重要課題の一つである。これまで海技研における生産技術開発ではハードに着目した技術が多かったが、ソフトおよびシステム技術に着目した研究を開始されたことを高く評価する。関連大学や企業との人材

交流も含め、積極的に推進されることを期待する。

また、3研連携による大規模災害時の傷病者輸送シミュレータは輸送分野におけるビッグデータの新たな活用法を提案したものであり、新規性・将来性を評価する。このような共同研究により各分野の長所・短所や、アプローチの違いなどに関する知見を得られるものと思われる。是非、この知見を活かし、電子研や港空研の長所を海事分野に導入し、展開されることを期待する。

避航操船や自動着棧では、自律船の開発に向けて重要な技術が開発されており、我が国海運業の国際競争力強化に貢献すると評価できる。

本分野は長期的に見た場合には最も重要な分野であり、将来を意識した研究内容の変革や研究体制の再構築が進められている。その将来性を期待してA評価とする。

■
新しい生産システムの開発に当たっては、造船所のプロセス改善も合わせて行う必要があり、造船所への実装方法も併せて検討いただくのが良いかと考える。

造船作業工程のデジタル化については既存のシミュレーションソフトウェアの利用も検討しても良いかと考える。造船所のデジタルツインのようなものと認識している。

3研究所で連携した研究課題への取り組みなど、機動的な研究を実現するための研究所運営体制も備えていると考える。

-
- ① 若年世代の人口減少は、周知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を期待される。
 - ③ 現状における先進的な情報処理技術を取り入れているなど、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。

■
造船所の競争力アップに必要なものがデジタルイゼーションとして、その為の設備改良や新設計開発の投資コストは国が負担すべきという段階ではないかと思う。提言だけでそのコストもリスクも造船所持というのは、現在の造船所の体力から考えて無理があると思う。

船員の立場では色々と考えなければいけないが、内航船の将来は海外船員化、減員で条件向上し若手船員増加、無人化 のいずれかあるいは複数のアイデアくらいしか浮かばない。実現化の為にもこの研究を積極的に進めていただきたい。

事務局とりまとめ欄

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

1. 海上輸送の安全の確保

【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】

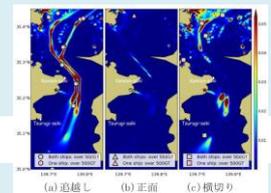
重点☆1

- 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
- 船体構造デジタルツインの開発に資する統合型船上モニタリングシステム、安全運航支援システム、構造性能評価システムの開発及びガイドライン作成、モニタリングシステムにより蓄積されたデータを活用した構造強度評価等へのフィードバック手法の開発
- ドローン及び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の開発
- 要素技術を集約した船体構造デジタルツインの実現



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
- 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
- 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
- 無人運航船の安全評価ガイドライン案



重点☆3

- 衝突事故を防ぐための船舶の操縦性能要件と基準案を作成
- 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
- 損傷時船舶の安全性を確保するための基準体系の確立



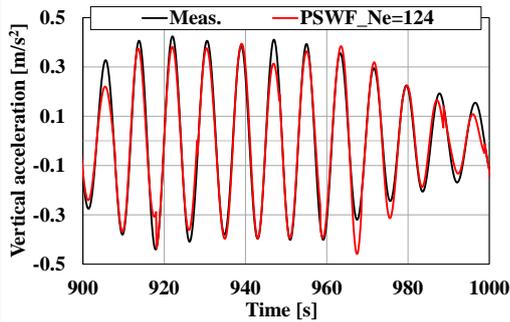
(1) 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

- 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)

ODLSAシステム

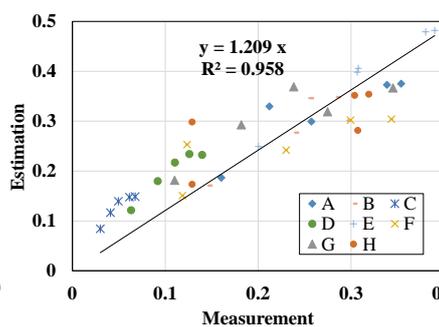
オンボードで計測された船体運動履歴を用いて、数十秒先までの船体運動をリアルタイムで予測する新しい手法を構築した。定常状態の実験データおよび非定常な実船データにより手法の精度を検証した。



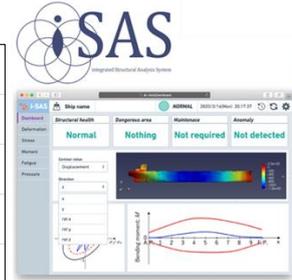
船体運動の予測結果の検証例

○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)

5

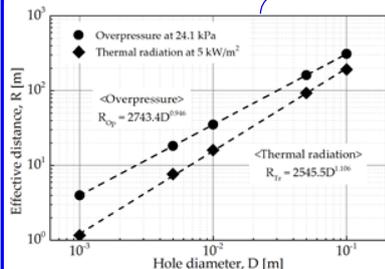
(1) 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発
- ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

- 年度実績**
- ❑ 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)

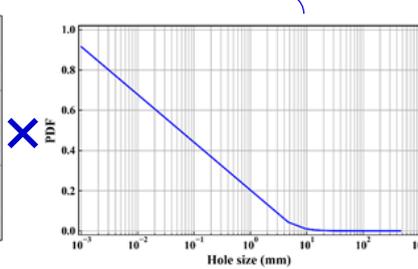
○液体水素漏洩のリスク解析手法

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)

- ◆: 放射熱で火傷
- : 爆風圧で鼓膜損傷



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)

○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 NCSR9への提案準備に貢献した。また、航路設置の際の事前調査方法、立案、安全性評価の方法を整備した。

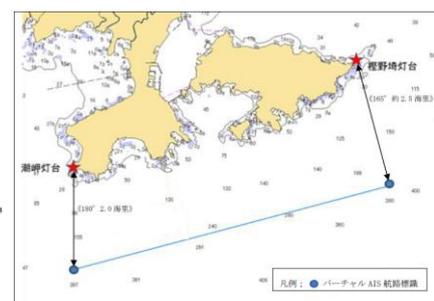


図 7.4.1 推薦航路設置案

潮岬沖の推薦航路設置案(文献※1より流用)

※1) 第五管区海上保安本部,公益社団法人 神戸海難防止研究会:潮岬沖における安全対策の構築に関する調査研究報告書, 2020

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

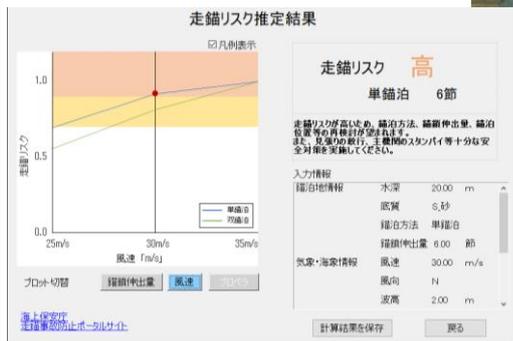
年度実績

- 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

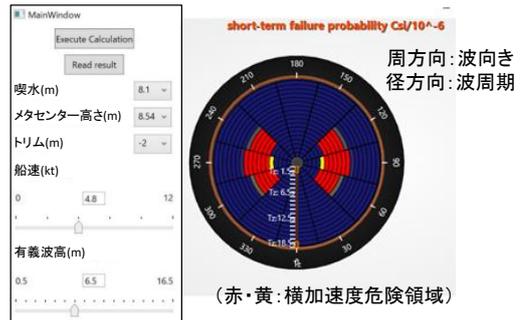
水槽実験で妥当性を検証した走錨危険度推定プログラム（錨泊船の振り回り運動を計算し最大錨鎖張力と限界把駐力を比較）に入出力GUIを組み合わせて、荒天下での走錨を回避するため、錨泊実施前に船長や乗組員の判断を支援する「走錨リスク判定システム」を開発した。



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割がいずれかの载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

成果の公表（海上輸送の安全確保）

項目	件数	
査読論文	19編 (28)	・ ジャーナル18編(うち11編投稿中、1編採択済) ・ プロシーディングス1編
特許申請	件 (1)	
プログラム登録	4件 (3)	・ 波風中を操縦運動する船の6自由度船体運動推定 ・ 第二世代非損傷時復原性基準過大加速度計算プログラムver1.0 ・ 可燃性液化ガスの海上流出に伴う大気拡散・火災放射熱による被害影響評価プログラム ・ TrafficStateAnalysisTool 2
国際貢献	2件 (1)	・ ISSC/Load Committee 委員 ・ ISSC/Dynamic Response Committee 委員
受賞	2件 (5)	・ 理事長表彰 特殊功績(個人)「国際海事機関第2世代非損傷時復原性基準暫定指針の策定に貢献した功績」 ・ 理事長表彰(グループ表彰)「DLSA-Basic(全船荷重構造解析)の開発及び実装・普及に貢献した功績」

件数のカッコ内の数字は、R1年度の実績

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。**
 - AISデータ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、合理的設計基準の創出に貢献。
 - GHG問題対応のための代替燃料の導入や水素社会の実現するために、安全に寄与するリスク解析手法の創出に貢献。
 - 走錨リスク判定システムは、走錨事故防止対策を実施している国の方針に適合し、社会的価値の創出に貢献。
- ◎**成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。**
 - 数値シミュレーションの推定精度を、ハルモニタリングデータを用いて検証し、非計測の部位や、非モニタリング船の応力及び疲労健全性評価を行えることは科学的意義は大きい。
 - GHG問題対応のための代替燃料のために整備したリスクモデルやそれを構成する事故発生頻度データ等は発展性が大きい。
 - 損傷船舶の波浪中CFD計算は、従来の模型実験に基づく研究では詳細を把握が困難であった物理量も含めた総合的な安全性評価への発展性が大きい。
- ◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
 - 海事産業のデジタル変革に対して数値シミュレーション、ハルモニタリングシステム及びデジタルツインが適切な時期に対応。
 - 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は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。**
 - シリーズ建造船でのハルモニタリングは世界初の取り組み、個船で異なる航路や遭遇波浪と安全性との相関を定量に評価。
 - リスク評価技術の高度化は、新規技術システムの実装に伴うリスクを見える化し、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低速航行化に寄与し国際競争力の強化に貢献。
- ◎**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。**
 - FBG圧力センサーを用いた操縦運動中のプロペラ回転流の影響下における船体表面や舵面の圧力計測結果など最新の研究成果の活用と緻密な検証を実施。

※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	3.1	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	2.8	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】

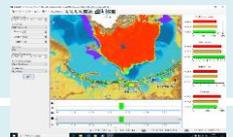
重点☆4

- 排ガス・排水等、トータルでの環境負荷低減を目指した排ガス処理システムの開発
- **SOx、GHG対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術**
- 次世代燃料の燃料生成物の成分を計測・分析することで定量的な評価を行い、その結果に基づいた削減技術の確立



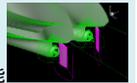
重点☆5

- 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

- **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**
- 実プロペラモデルとの組合せを……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
- 波浪中での計算手法
- **荒天時における損傷時船舶の自力航行などの船体運動シミュレーションが可能**
- ☑ CAD、CFD、最適化手法を組み合わせ、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



重点☆7

- **水素エネルギーを利用した船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。

(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、CCAIECNの線形性については今後の課題。

規制前後の規格着火性(CCAI)と実測着火性(ECN)の評価

○燃焼可視化装置

留出油や模擬燃料だけでなく、残渣燃料も含む次世代燃料の燃焼性評価に対応可能な燃焼可視化装置を整備。

→ 燃料噴霧から燃え切りまでの燃焼波形、火炎の画像、燃焼時の映像から着火だけでなく燃焼性も評価可能。

既存の着火指標による評価	可視化装置による評価 ※燃料噴射から着火・燃え切りまでの時間(msec)	着火	燃切
着火性良 CN 100 C ₁₆ H ₃₄		7.5	39
CN 50 C ₁₆ H ₃₄ + MN (1:1)		8.5	39
CCAIE 832 (CI 43) MDO (A重油)		9.5	38.5
CCAIE 837 HFO (C重油) 2.42%S		10	41

模擬燃料及び実用燃料の着火・燃焼性の比較

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**
- 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)

○実海域中主機応答評価のための研究開発

- 強化学習手法をベースにした遭遇海象に応じて主機運轉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。
- 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。
- 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性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

14

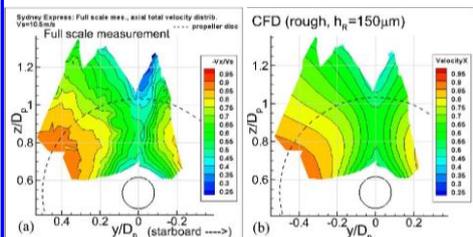
(2) 海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

- 年度実績**
- 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。

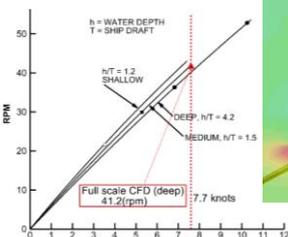
船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究(重点研究☆6)

○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。



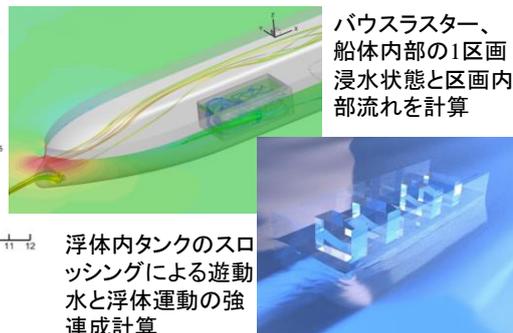
実船伴流計測結果 実船スケールCFD計算結果
実船計測結果とCFD計算結果との比較



実船プロペラ回転数推定と検証

○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、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。



バウスラスタ、船体内部の1区画浸水状態と区画内流れを計算

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

15

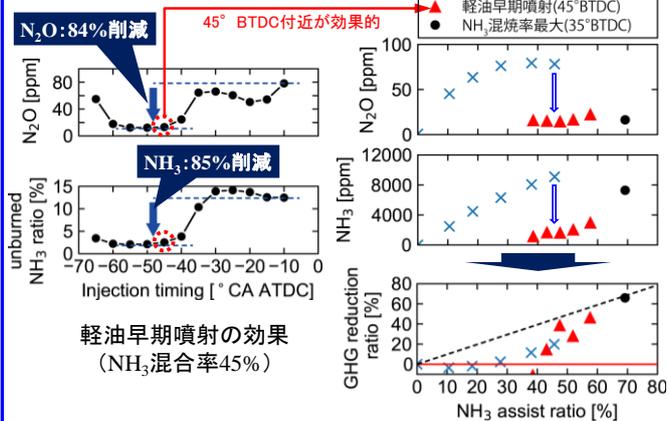
(2) 海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

- 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船用動カシステムとして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ドシステムを開発。

多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動カ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NH₃とN₂Oの排出量を画期的に低減する燃焼制御技術を開発した。

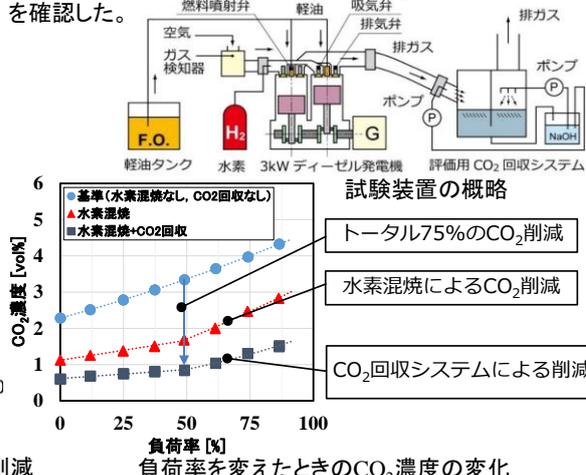


軽油早期噴射の効果 (NH₃混合率45%)

軽油早期噴射を用いた未燃NH₃とN₂Oの削減とGHG削減

○新たな船用動カシステム

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CO₂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CO₂削減が可能であることを確認した。



試験装置の概略

トータル75%のCO₂削減

水素混焼によるCO₂削減

CO₂回収システムによる削減

負荷率を変えたときのCO₂濃度の変化

16

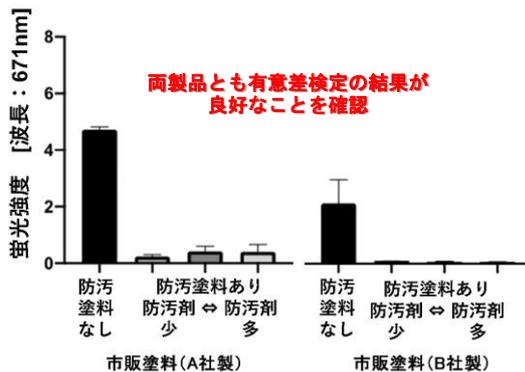
(2) 海洋環境の保全—③船舶の更なるグリーン化等を実現するための、PM等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法の開発に関する研究

- 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)

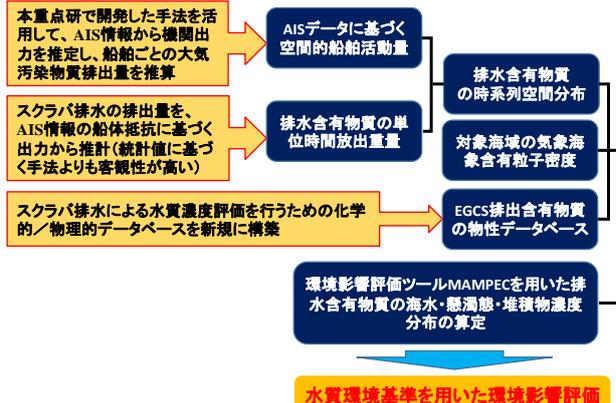
○防汚塗料性能評価

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°C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。



○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

成果の公表(海洋環境の保全)

件数のカッコ内の数字は、R1年度の実績

項目	件数	
査読論文	32編 (37)	<ul style="list-style-type: none"> ジャーナル25編(うち17編投稿中、3編採択済) プロシーディング4編(うち2編投稿中、1編採択済) 海技研報告(研究報告)3編
特許申請	6件 (7)	<ul style="list-style-type: none"> 構造物の流体抵抗低減方法、構造物の流体抵抗低減装置(出願日2021/06/29) 船舶の性能推定方法、性能推定プログラム、及び性能推定システム(出願日2021/03/31) 摩擦抵抗低減装置を備えた船舶、及びバブル発生装置(出願日2021/03/31) エンジンにおけるアンモニア混焼方法、アンモニア混焼エンジン、及びアンモニア混焼エンジンを搭載した船舶(出願日2021/03/11) 水素燃焼エンジンの燃焼制御方法、水素燃焼エンジン、及び水素燃焼エンジンを搭載した船舶(出願日2021/03/31) 重質油のエマルジョン化による流動性向上システム(出願日2021/03/15)
プログラム登録	6件 (5)	<ul style="list-style-type: none"> 一次元噴霧モデルにもとづく蒸発噴霧解析プログラム 船用燃料油の動粘度計算プログラム(1) 温度依存性予測) HOPE Cloud(船型性能簡易推定ツール) wwjapan cloud v1版(クラウド版日本近海の波と風データベース) 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) Ver3.34 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) Ver2.1R3
国際貢献	5件 (4)	<ul style="list-style-type: none"> ITTC: Guidelines on the CFD-based Determination of Wind Resistance Coefficients, 29th ITTC, 2021(予定) Final Report and Recommendations to the 29th ITTC from SC SOS, Proc. of 29th ITTC, 2021(予定) The Specialist Committee on Ice Final Report and Recommendations to the 29th ITTC, Proc. of 29th ITTC, 2021(予定) IMO:4.4 Marginal abatement cost curves, Fourth IMO GHG Study, IMO MEPC, 2020. 10 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,2020.11
行政要望	1件	<ul style="list-style-type: none"> AIS等のデータを用いた解析について、国土交通省 海事局 海洋・環境政策課
受賞	5件 (3)	<ul style="list-style-type: none"> 日本マリンエンジニアリング学会、CPD奨励賞 理事長表彰「実海域実船性能評価プロジェクトを実施し海事オープンイノベーションを推進した功績」 日本マリンエンジニアリング学会、ロイドレジスターマンソン賞 日本原子力学会、貢献賞 日本マリンエンジニアリング学会、功労賞

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。**
 - ・適合燃料油導入による燃料性状変化やそれによるトラブルの懸念が国及び関連業界団体にあったがそれを払拭することに貢献。
 - ・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貢献。
 - ・スクラバ排水による長期水質環境影響評価に関して、国による環境影響評価ガイドライン案の策定に貢献。
- ◎**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。**
 - ・既知の燃料成分で試製された適合燃料油でもおおまかに規格着火性指標(CCAI)と相関があることは、燃料分子構造と着火性の関係を示唆しており、成分の異なる他燃料への発展性が大きい。
 - ・波浪中主機負荷変動と燃料消費性能悪化の関係性を理論計算にて示すことができたことは、科学的に新規性が大きい。
 - ・船体に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を開発したことは、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。
- ◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
 - ・船舶由来の大気汚染物質、SOxスクラバ排水の環境影響については、IMOで議論されている最中で、適切な時期に成果が創出。
 - ・3年計画の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)は、予定通りの成果を期待された時期に創出。
 - ・IMOのPPR8で2021年よりCG(通信部会)で船体付着生物管理GL改定等が開始するので、適切な時期にISOとして成果が創出。
- ◎**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。**
 - ・スクラバ排水に含まれる海洋環境影響物質の同定と定量データは、IMO等国际的な場での議論に活用。
 - ・実船モニタリングデータ解析手法、模型試験の実施・解析法、実海域性能推定法、実海域性能評価法など国際標準化を目指す。
 - ・実船スケール計算は国際的に研究が始まっている分野で、国際的な水準に照らして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。**
 - ・船舶推進プラント数学モデルを活用した主機スマート制御システム開発等は、萌芽的要素を多く先見性を持って対応。
 - ・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やCO2回収システムの開発などについては、萌芽的研究として、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

19

研究テーマごとの自己評価(海洋環境の保全)

重点番号	課題名	平均	評価
☆4	船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究	2.6	A
☆5	実海域実船性能評価に関する研究	3.2	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	2.7	A
☆7	多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究	2.6	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	2.1	B

20

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

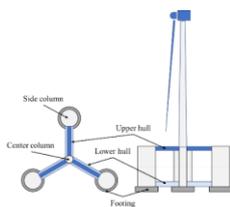
②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

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・ASVI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



(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

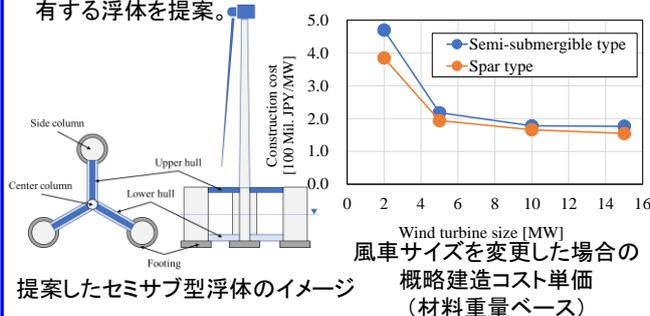
年度実績

- 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。

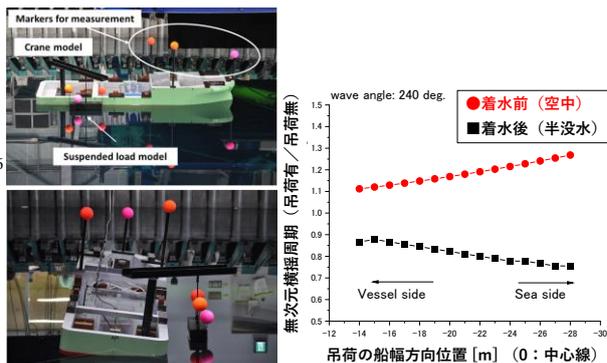


○安全評価ガイドライン案の作成

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。



(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

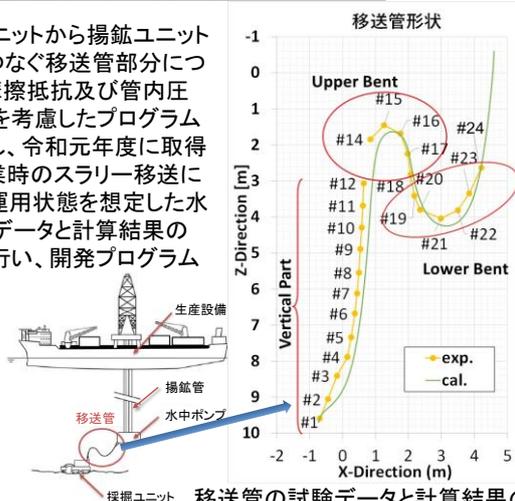
年度実績

- 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)

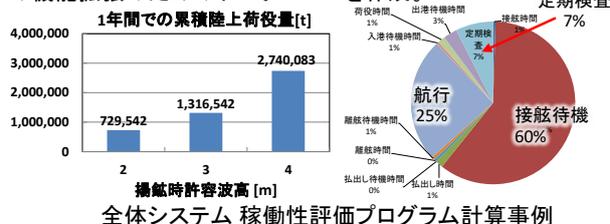
○採掘・揚鉱・採鉱母船一体解析プログラム

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。



○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。



(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

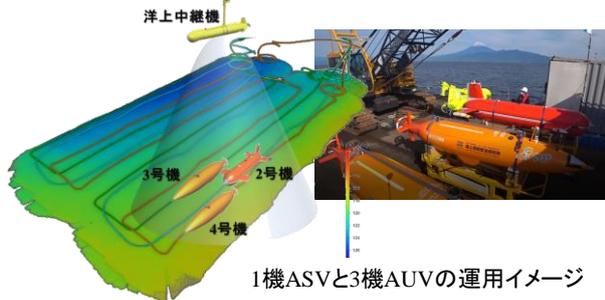
ナショナルプロジェクト(内閣府SIP第2期)、業界への技術的貢献を行うとともに、研究成果の社会実装(貢献)を目指すために

- 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CO₂シーブ潜航調査への貢献

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

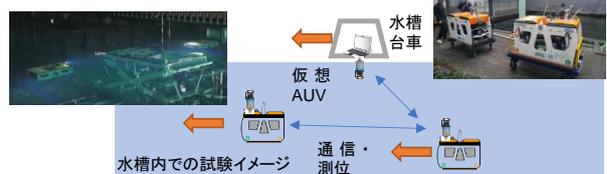


1機ASVと3機AUVの運用イメージ

- 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CO₂シーブ潜航調査

海底からのCO₂漏出状態の把握をAUVにより実証・社会実装実現



成果の公表(海洋の開発)

項目	件数	
査読論文	25編 (41)	・ ジャーナル16編(うち9編投稿中、3編採択済) ・ プロシーディング9編(うち0編投稿中、9編採択済)
特許申請	3件 (2)	・ 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2021/03/31) ・ 配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システム(出願日2021/03/08) ・ 水上中継機と水中航走体との連結システム及びその運用方法(出願日2021/03/19)
プログラム登録	4件 (7)	・ 半没状態にある吊荷と浮体の波浪中連成運動解析プログラム ・ mini-AUV制御用プログラム ・ AUV制御用インターフェースプログラム ・ AUV制御用共通プログラム
国際貢献	2件 (1)	・ IEC 61400-3-2改定作業での付属書Application of damage stability criteriaの提案 ・ ISO 20257-2策定作業での爆圧を考慮したFSRUトップサイドレイアウト設計の考え方の提案
受賞	8件 (4)	・ ASME OMAE Awards Committee, OMAE 2019 Best Paper of Ocean Space Utilization Symposium: Yamamoto, M., et al. (Experimental Analysis of Reduced-Scale Jumper for Deep-Sea Mining) ・ 理事長表彰(研究チーム表彰)「合理的な浮体式洋上風力発電施設損傷時復原性基準の検討・提案に貢献した功績」 ・ 理事長表彰(個人表彰、最優秀論文賞)「クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価, 第30巻, pp.187-200, 日本船舶海洋工学会論文集, 2019」 ・ 日本船舶海洋工学会 奨学褒章: 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指導成果 ・ New Approaches for Practical Simultaneous Operation of Multi-AUVs, IEEE OES Underwater Technology21, 最優秀賞 ・ 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 ・ 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 ・ Shell 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

件数のカッコ内の数字は、R1年度の実績

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。**
 - ・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。**
 - ・作業船オペレーション評価技術は、海洋鉱物資源開発、再生可能エネルギー開発等の海洋作業全てのオペレーションに共通。
 - ・海底熱水鉱床開発研究は、他の海洋鉱物資源開発にも転用可能な技術を扱っており、発展性及び一般性は十分に大きい。
 - ・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。**
 - ・浮体式洋上風力発電の成果は、海洋基本計画やエネルギー基本計画に基づいて研究を進めており、適切な時期に成果を創出。
 - ・作業船オペレーション評価技術は、洋上風力発電が本格的に商業化された段階で重要視されるので適切な時期に成果を創出。
 - ・AUV技術開発は、風力発電施設の基盤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
 - ・フローアシユアランス技術の研究成果は、我が国の海洋産業育成等への技術的な貢献を行い、国際競争力の向上につながる。
 - ・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。
- ◎**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、非線形モデル予測法を使った隊列制御アルゴリズムの開発)等は、萌芽的研究として、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	3.0	A

4. 海上輸送を支える基盤的な技術開発

【中期目標】

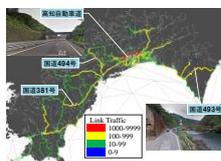
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。

【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】

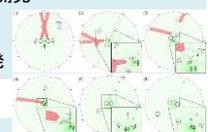
重点☆11

- 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
- 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。また、海技研の流体・構造・生産設計ソフトを統合した推進性能、ぎょう鉄難易度と溶接長を統合的に評価し、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
- 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。



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
- 着積支援システムと自動着積機能の開発
- 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

(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

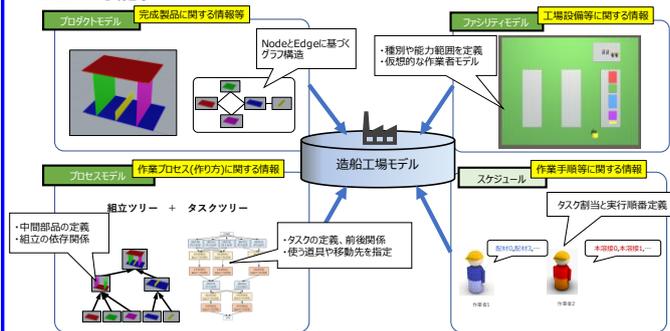
年度実績

- 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。

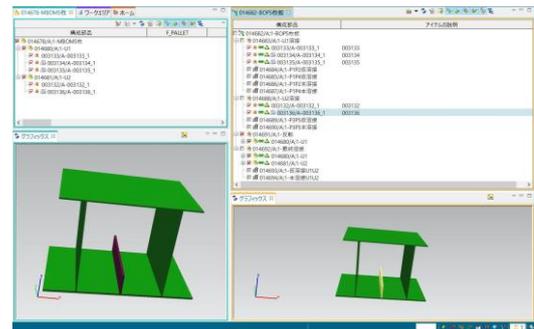


造船工程のモデル表現

「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2020/9/25) 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

(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

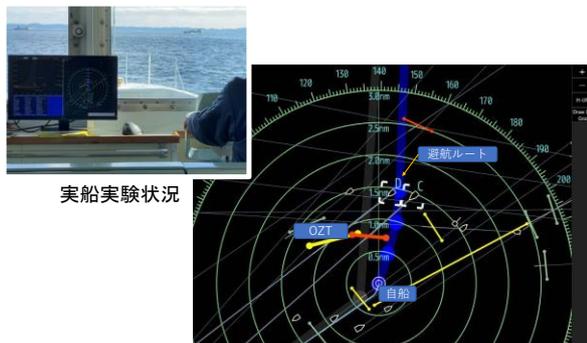
年度実績

- 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「自動離着岸操船システム」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。



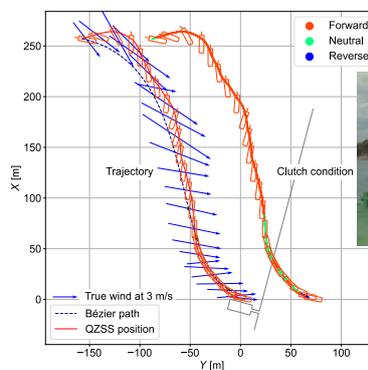
実船実験状況

OZT表示と提案する避航ルート

「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)

○自動離着岸操船システム

自動着岸システムを更新し、8~10m/s程度の強風時においても安定した自動着岸ができることを小型実験船により検証。



自動着岸実験の様子

改良したアルゴリズムによる強風時の着岸実験結果

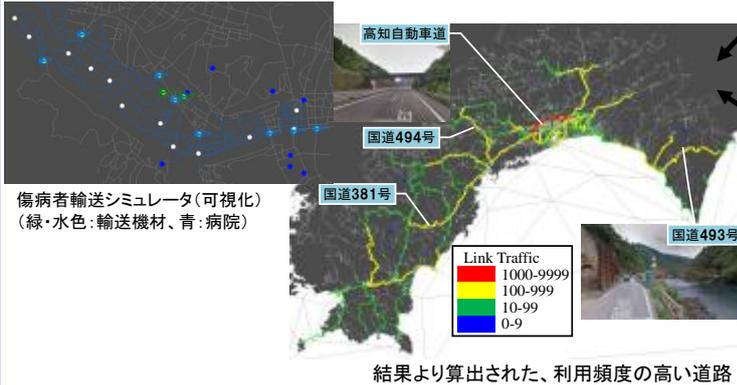
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発 -③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

- 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)

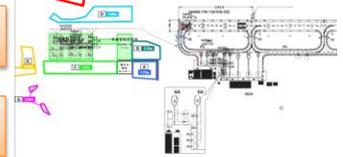
マルチエージェントシステムによる大規模災害時輸送のシミュレータのプロトタイプを開発し、静岡県及び高知県を対象に自治体の保有する被災想定をもとに分析を実施。輸送機材の数、道路の状況、被災想定等のシミュレーション条件を変更することで、あらゆる被災想定に対応。



→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

○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	震度階級	速度PSI (cm/s ²)	供用可能率 (%)	輸送能力 (人/日)
			全体	傷病者輸送
3.00		5	100.0	974
3.50		10	100.0	974
4.00		15	97.9	953
4.50	5階	35	91.7	892
5.00	5階	60	72.5	706
5.50	6階	105	53.4	519
6.00	6階	175	24.5	238
6.50	7	280	14.7	143

33

成果の公表(海上輸送を支える基盤的な技術開発)

項目	件数	
査読論文	12編(7)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ジャーナル11編(うち4編投稿中、1編採択済) ・ 海技研報告(研究報告)1編
特許申請	8件(6)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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2020/9/25) ・ 船舶の建造シミュレーションシステム 谷口智之ほか(出願日 2020/10/9) ・ 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、及び建造シミュレーションプログラム(出願日 2020/11/2) ・ 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システム (出願日 2020/11/2) ・ 船舶の品質データベースの構築方法、品質データベースの構築プログラム、統一データプラットフォーム、及び統一データプラットフォームの利用方法(出願日 2020/12/21) ・ 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2020/05/15) ・ 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) ・ 輸送経路予測プログラム及び輸送経路予測システム(出願日 2020/05/15)
プログラム登録	1件(0)	<ul style="list-style-type: none"> ・ INFINITモデルを用いた海上輸送シミュレーション
国際貢献	1件(0)	<ul style="list-style-type: none"> ・ Hiroyuki KOSAKA, Koichi HIRATA, Eiichi MURAOKA, Masaki ADACHI: 4.4 Marginal abatement cost curves, Fourth IMO GHG Study July 2020, MEPC 75-7-15
受賞	件(0)	

件数のカッコ内の数字は、R1年度の実績

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)の取組は、海事産業の競争力強化に貢献。
 - ・日本財団のMEGURI2040プロジェクトに参画し、第三者機関として安全性評価することで海事産業の競争力強化に貢献。
 - ・国の大規模災害時の防災・減災対策に対して、ボトルネックを事前に発見するシミュレータ開発で国家プロジェクトに貢献。
- ◎**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。**
 - ・建造データ標準化は、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、成果に一般性が十分に大きい。
 - ・AI技術を利用した避航操船アルゴリズムの構築は、避航操船の自動化技術への発展性が十分に大きい。
 - ・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。**
 - ・工程計画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。
 - ・国を挙げて自律船の研究開発が進む中、その要素技術である避航操船アルゴリズムの開発成果を適切な時期に創出。
 - ・国土強靱化のための対策は喫緊の課題としてあり、その対策としてAI等を用いた複合一貫輸送の評価を適切な時期に実施。
- ◎**成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。**
 - ・接着接合部の長期信頼性の確保等は、機械的締結を併用しない長尺部材の接着接合としては、国際的な水準で最先端技術。
 - ・遠隔操船システム及び自動着棧システムは、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。**
 - ・工程計画シミュレータは、市販のラインシミュレータでは表現できない造船作業のモデル化に取り組むことによって、造船設計・計画建造を合理的に変革していくための、先見性をもっている。

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

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	2.8	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	2.8	A

重点研究 令和2年度業務実績報告書

重点4分野	重点番号	テーマ名	研究主任者	所属	研究期間	ページ
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	構造安全評価系	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	海洋リスク評価系	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	流体性能評価系	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	環境・動力系	H28 -R4	p.31
	☆5	実海域実船性能評価に関する研究	辻本勝	流体設計系	H28 -R4	p.37
	☆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	流体性能評価系	H28 -R4	p.51
	☆7	多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究	高橋千織	環境・動力系	H28 -R4	p.57
	☆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	城田英之	環境・動力系	H28 -R4	p.63
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	海洋開発系	H28 -R4	p.70
	☆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	海洋先端技術系	H28 -R4	p.80
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	産業システム系	H28 -R4	p.88
	☆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	南真紀子	知識・データシステム系	H28 -R4	p.95
	☆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	知識・データシステム系	H28 -R4	p.108

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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p>	<p>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。</p> <p>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</p> <p>－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、体系化された荷重・構造強度評価システムを実用化するため、DLSAシステムの完成に向けた各モジュールの統合化及びシステム化を図る。また、船体構造モニタリングシステムのガイドラインの作成を行う。さらに、DLSAシステム及び船体構造モニタリングシステムを統合したデジタルツイン開発及びデジタルツインに必要な実船応力推定プログラムの開発を行う。等</p>

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。

□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

□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

期間全体の研究目標

- 全船直接荷重・構造強度評価(以下に開発する評価法等を含む)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
- 船体構造デジタルツインの開発に資する統合型船上モニタリングシステム、安全運航支援システム、構造性能評価システムの開発及びガイドライン作成、モニタリングシステムにより蓄積されたデータを活用した構造強度評価等へのフィードバック手法の開発
- ドローン及び 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の開発
- 要素技術を集約した船体構造デジタルツインの実現

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。

R2 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

- ・デジタルツイン構築及びクラウド利用に向けた線形解析周波応答型システムの更新【1-①: DLSA-Basic】
- ・非線形時刻歴応答評価型システムの開発【1-①: DLSA-Pro.】
- ・線形・非線形荷重推定及び荷重構造連成解析プログラムの開発【1-②: DLSA-AT】
- ・極限海象に対する動的船体構造応答推定手法の開発、及びリスクベースデザインのための船体最終強度を対象とした構造信頼性評価システムの高度化【1-⑤: DLSA-AT】
- ・二軸重畳載荷条件下の疲労亀裂伝播試験制御用ソフトウェアの改良、及び位相差を有する二軸重畳載荷条件下の疲労き裂成長履歴を推定する手法の確立【1-③: 最先端の要素技術】
- ・複合荷重及び又は繰返し荷重下での最終強度推定システムの開発【1-④: 最先端の要素技術】
- ・極限波中での構造強度評価のための水槽実験技術の確立【1-⑥: 最先端の要素技術】

□小項目 9 船体構造デジタルツインの開発

- ・ハルモニタリングガイドラインの作成
- ・AIを利用した船体の状態量予測と点検システム構築に向けた検討
- ・実船応力推定プログラム構築

R2 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・非線形荷重推定及び荷重構造連成解析プログラムの構築及び精度検証【1-①: DLSA-Basic 及び Pro.:】
- ・極限海象に対する動的船体構造応答推定手法の開発【1-②、⑤: DLSA-AT】
- ・船体最終強度を対象とした構造信頼性評価システムの高度化【1-⑤: DLSA-AT】
- ・二軸荷重比ならびに重畳波の荷重振幅の影響を考慮した二軸載荷条件下の疲労き裂成長評価手法を確立【1-③: 最先端の要素技術】
- ・複合荷重及び又は繰返し荷重下での船体構造の耐力低下及び崩壊挙動のモデル化に向けた模型実験【1-④: 最先端の要素技術】
- ・水槽試験による強度評価手法の確立に向けた要素技術の研究開発【1-⑥: 最先端の要素技術】

□小項目 9 船体構造デジタルツインの開発

- ・ハルモニタリングガイドラインの作成
- ・AIを利用した船体の状態量予測手法の開発、及び点検システム構築
- ・データ同化による実船応力推定プログラムの作成及びハルモニタリングシステムへの組み込み

R2 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 (図 1-①-1)。
- ・DLSA-Basic の荷重解析パート(NMRIW-Lite)のクラウド化及び NAGISA と NMRIW の連携プログラム(入力ファイル変換プログラム)を作成した。
- ・波浪荷重推定のための数学船型モデルを提案し、構造設計規則の開発に利用された。
- ・DLSA-Basic の GUI の機能向上(静水中荷重簡易確認機能、作用荷重確認アニメーション機能、応力 RAO 表示機能の追加など)
- ・DLSA-Basic を適用し全船強度評価を行い、二軸載荷が疲労寿命に及ぼす可能性がある部位を抽出した。
- ・最終強度評価システム DLSA-Pro.用 GUIを開発した。

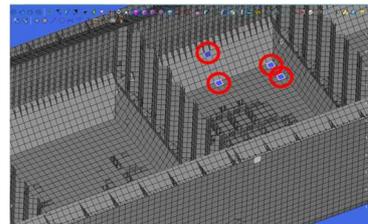
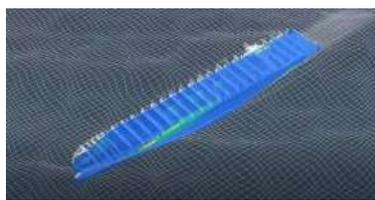


図 1-①-1 船体構造 DT (右:実船イメージ、左:DLSA-Basic 解析結果) 図 1-①-2 二軸載荷が確認された箇所

【1-②、⑤: DLSA-AT】

- ・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有効性を確認した(図 1-②-1)。
- ・海技研 CFD コード NAGISA を用いた船体波浪荷重の一貫した評価法の確立のための第一歩として、NAGISA 計算法の指針を構築した(図 1-②-2)。FEA と連成させた場合の計算指針は現在構築中。
- ・タンク内スロッシング衝撃圧の計算精度を向上するため、粒子法境界条件を改良した(図 1-②-3)。模型実験との比較を通じて、改良した粒子法の計算精度を検証した。
- ・規則波と不規則波浪条件を解析できるように時間領域 3 次元パネル法を改良し、パネル法(船体運動の解析)と粒子法(タンク内流体力)を連成させる両方向連成解析プログラムを開発した(図 1-②-4)。

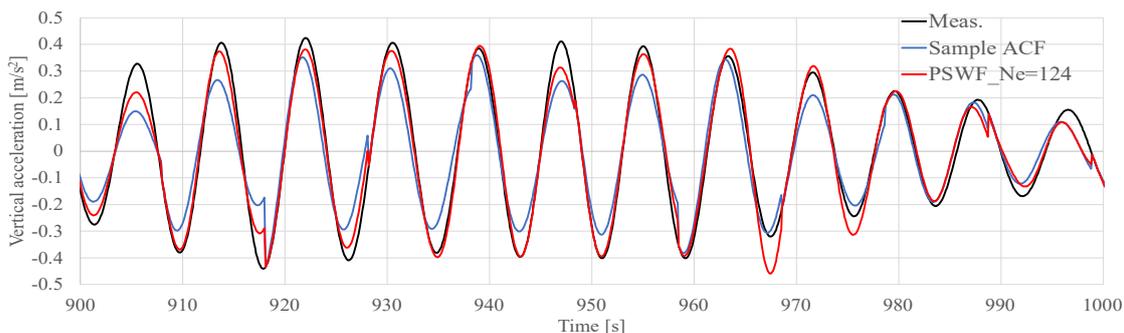


図 1-②-1 船体運動の予測結果の検証例

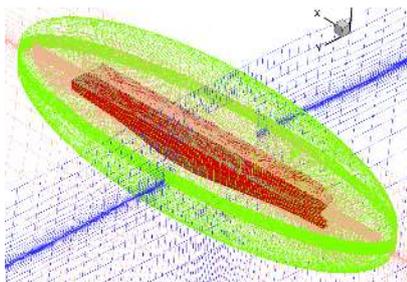


図 1-②-2 船体荷重評価のための NAGISA 格子分割及び結果

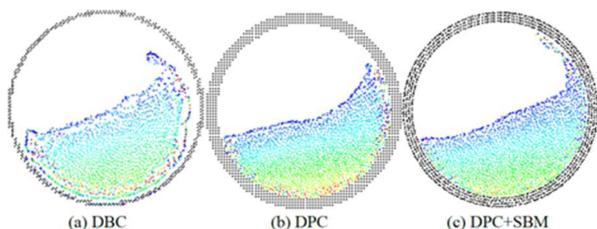


図 1-②-3 スロッシング流体圧力分布の比較

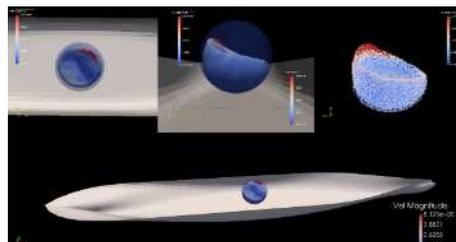


図 1-②-4 スロッシングと船体運動連成解析

- ・ICFD(InCompressible Fluid Dynamics)手法を用いた流体構造連成解析手法の高度化及び妥当性検証のためのベンチマーク解析、スラミング解析実施
- ・全船モデルを用いた規則波中の流体構造連成シミュレーション手法開発のための解析手法高度化実施
- ・ICFD 解析のためのノウハウ・知見を集積(図 1-⑤-1)

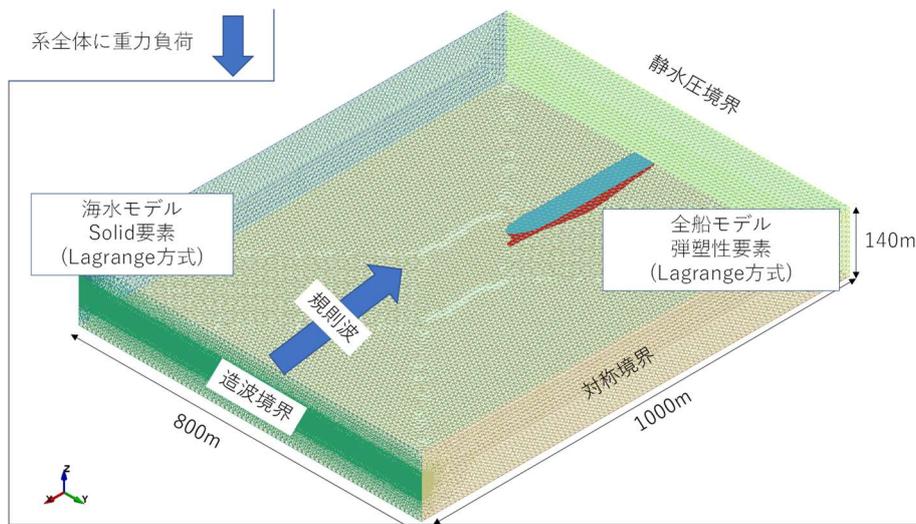


図 1-⑤-1 全船モデルによる波浪中、流体構造連成解析高度化

【1-③: 最先端の要素技術】

- ・二軸载荷条件下の重畳波の応力振幅影響を評価すべく疲労亀裂伝播試験を実施。
- ・重畳波(高周波成分)の影響により、疲労寿命が小さくなることを実験により明らかにした。
- ・これまでに開発した数値シミュレーション手法では、重畳波の影響を表現できない場合があることが判明したため、プログラム改良に向けて準備を進めている。

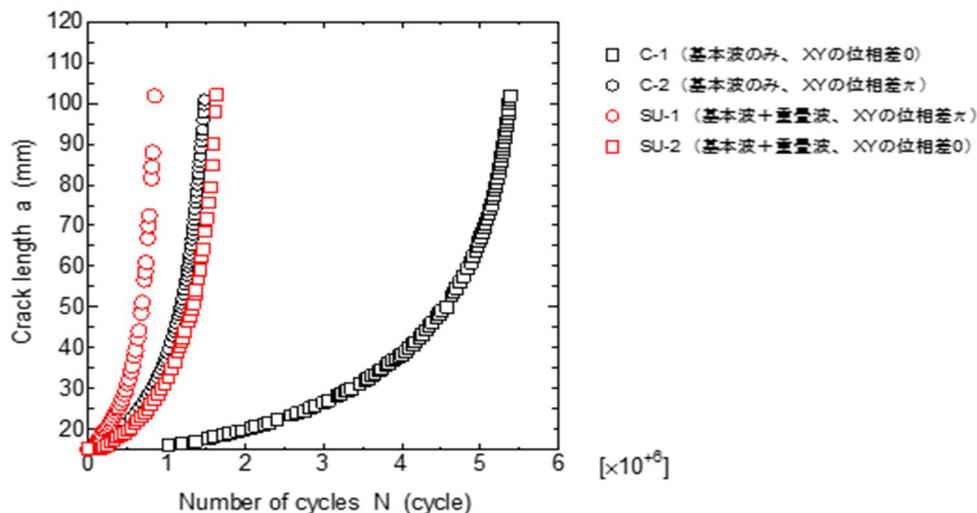
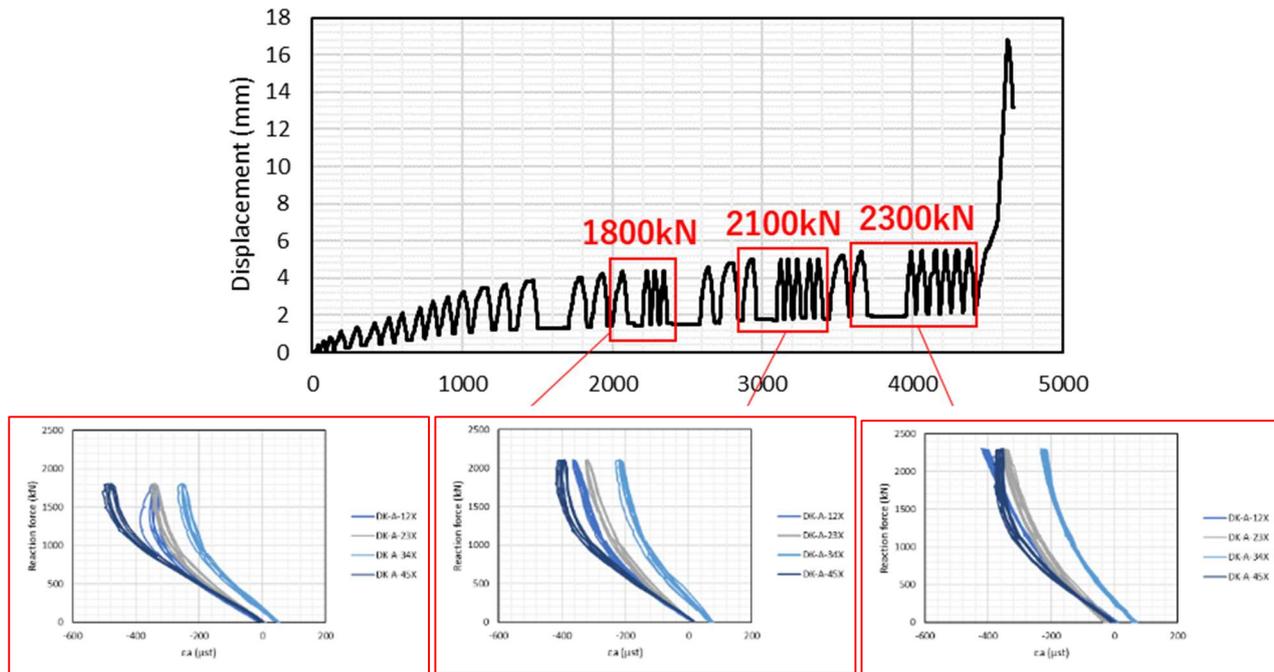


図 1-③-1 疲労寿命に与える重畳波の影響

【1-④：最先端の要素技術】

- ・繰返し荷重が船体縦曲げ最終強度に及ぼす影響を明らかにするために、ボックスガーター箱桁構造模型を用いた崩壊実験を実施した。試験方法には4点曲げを採用し、被試験部である中央スパンに純曲げ(デッキ側：圧縮、ボトム側：引張)を作用させた。最終強度の65.6%、76.5%、83.8%で繰返し荷重を載荷させた結果、ラチェット効果は微小であり、縦曲げ最終強度に与える影響も小さかったと考えられる。(図1-④-1)。
- ・損傷部が船体縦曲げ最終強度に与える影響を明らかにするために、破孔を有する箱桁構造模型を用いた4点曲げ崩壊実験を実施し、損傷部付近で、ひずみが局所的に大きくなる傾向があり、座屈が生じるとその影響がより顕著になることが分かった(図1-④-2)。従来損傷船体の縦曲げ最終強度の推定で考慮されている中立軸の傾斜に加えて、損傷部付近では座屈後のひずみの増加率が高くなる影響も検討する必要があることが明らかになった。



(a) 最終強度の65.6%の荷重 (b) 最終強度の76.5%の荷重 (c) 最終強度の83.8%の荷重
 図1-④-1 繰返し荷重下の変位・軸ひずみの挙動



図1-④-2 損傷あり箱桁構造模型の4点曲げ崩壊実験の様子

【1-⑥：最先端の要素技術】

- ・アクリル弾性模型船を用いた波浪中曳航試験(6自由度運動)を実施した(図1-⑥-1)。FBGひずみセンサを利用し、92点のひずみ、船体表面の113点の圧力を計測した。さらに、試験により得られた水圧データを船体表面に渡って補間し、得られた船体表面水圧をFEモデルに受け渡し、実験水圧を用いた荷重-構造一貫解析を実施し、船体部の局部応答をシミュレーション可能となった(図1-⑥-2)。

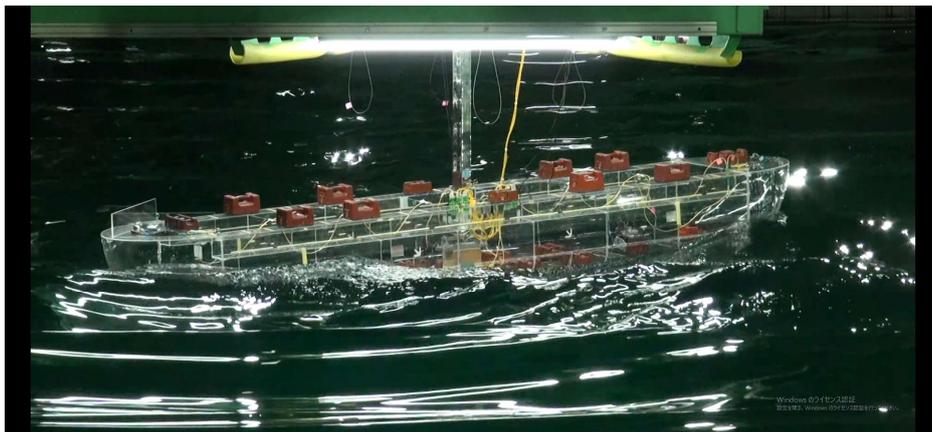


図 1-⑥-1 アクリル製弾性模型船を用いた波浪中曳航試験

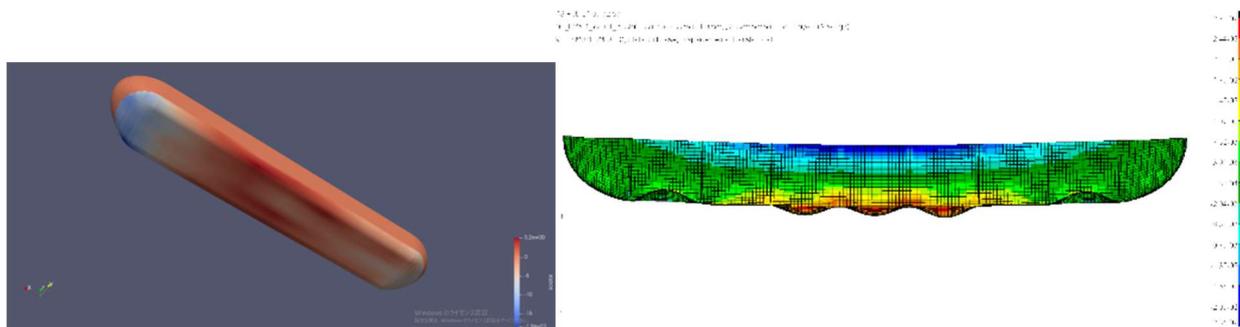


図 1-⑥-2 計測した船体表面水圧データを補間し荷重構造一貫解析(DLSA-Basic)を実施した結果(変形 1000 倍)

□小項目 9 船体構造デジタルツインの開発

- ・船級ノーテーション付与のためのハルモニタリングガイドライン案の作成に貢献した。
- ・シリーズ建造コンテナ船 10 隻のハルモニタリングによる応力データを解析して疲労健全性評価を行なった。(図9-1)
- ・船上データと数値シミュレーションを組合せた順解析により疲労健全性を推定し(図9-2)、要因分析に基づいて将来予測を行う手法を構築した(図9-3)。応力の計測データを用いて推定精度を検証した。
- ・船体の損傷や舶用品の欠陥を AI 画像認識で検出するための点検システムの構築を行った。
- ・船体構造デジタルツインのコアとなる DLSA 連携 HMS プログラム(DLSA/HMS)を構築した。また、(一財)日本船舶技術研究協会からの受託研究「超高精度船体構造デジタルツインの研究開発」の一環で、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 ; integrated Structural Analysis System)のプロトタイプを東京大学等と共同開発した。(図9-4)
- ・AIS データと波浪追算データを利用して、実就航のタンカー、バルクキャリア、コンテナ船が遭遇した波浪及び、船体に作用した波浪荷重の最大期待値の頻度分布を取得し、確率論的に設計荷重を設定する手法を提案した。(図9-5, 9-6)

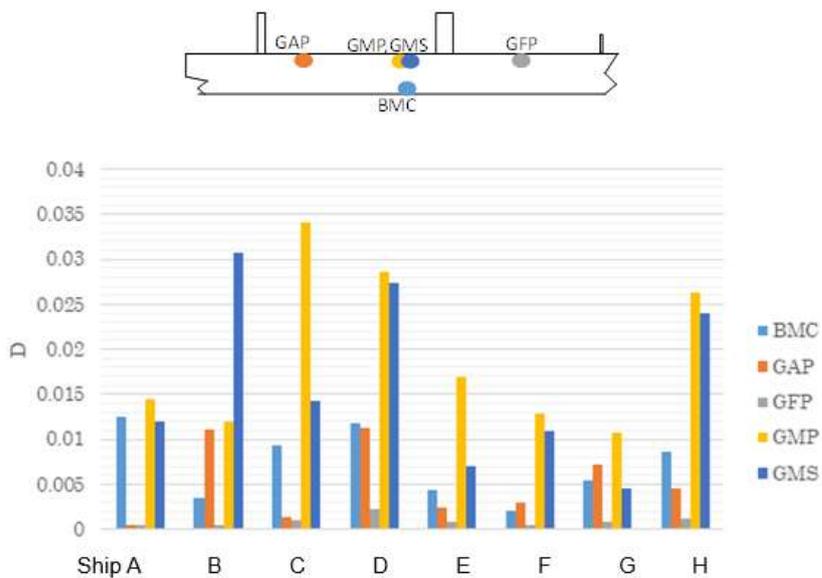


図9-1 計測データに基づき 25 年後の疲労被害度を推定した結果

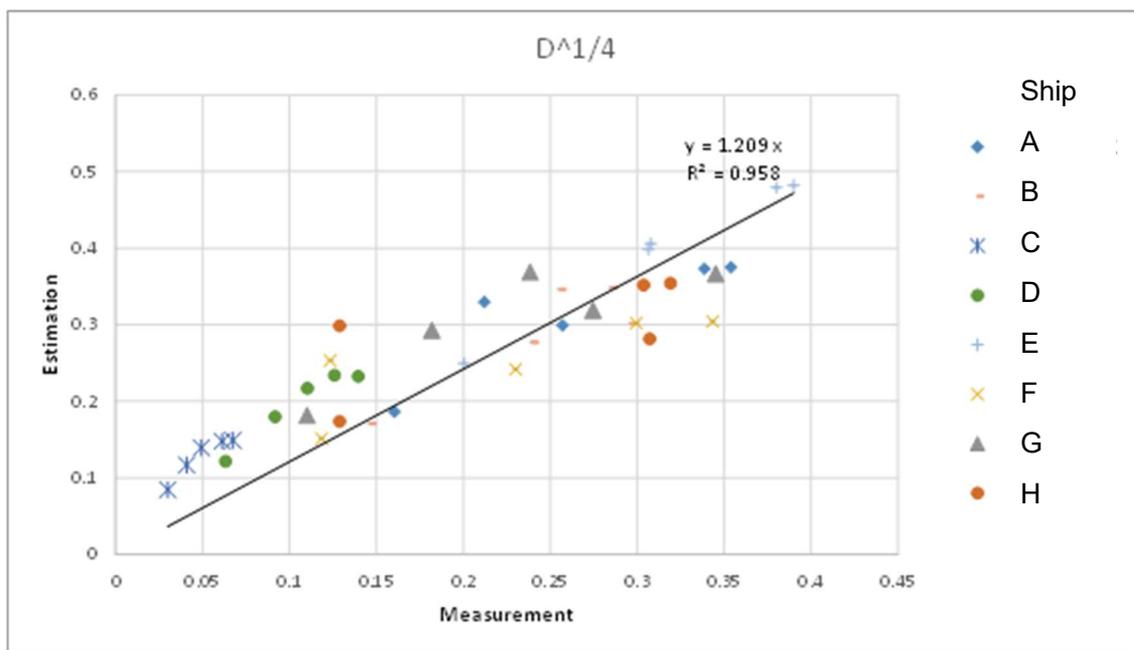


図9-2 順解析による推定値(縦軸)と応力モニタリングによる推定値(横軸)の比較

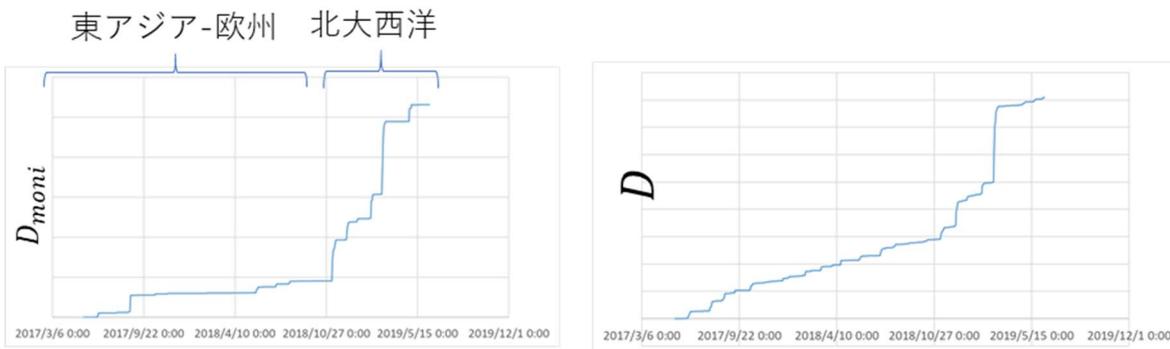


図9-3 疲労被害の成長曲線の実際(モニタリング)と予測

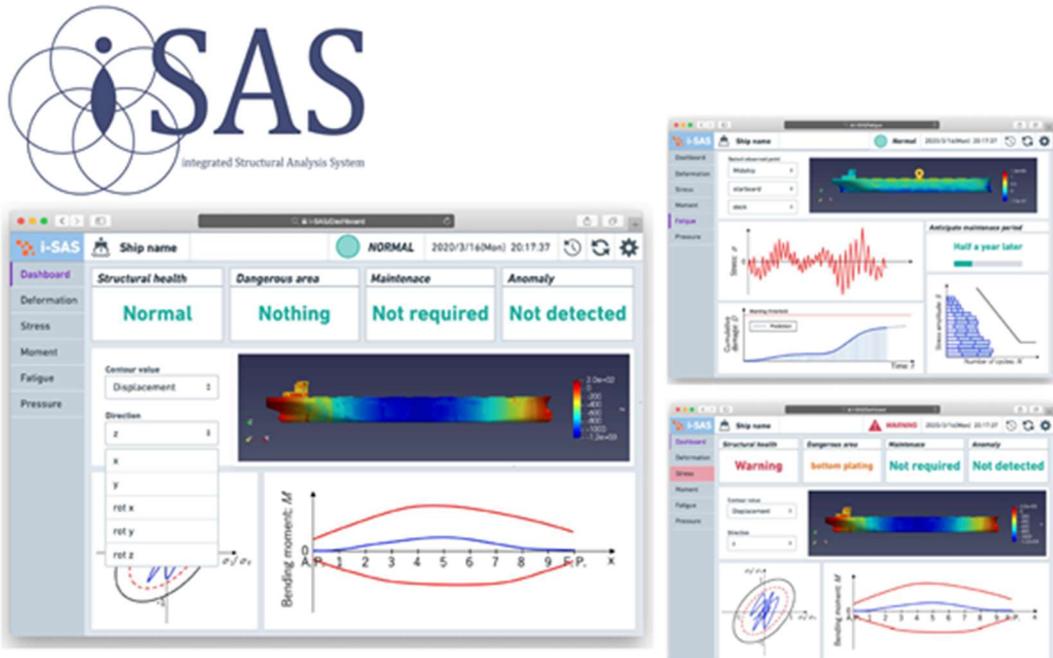


図 9-4 開発中の船体構造デジタルツインシステム (iSAS)

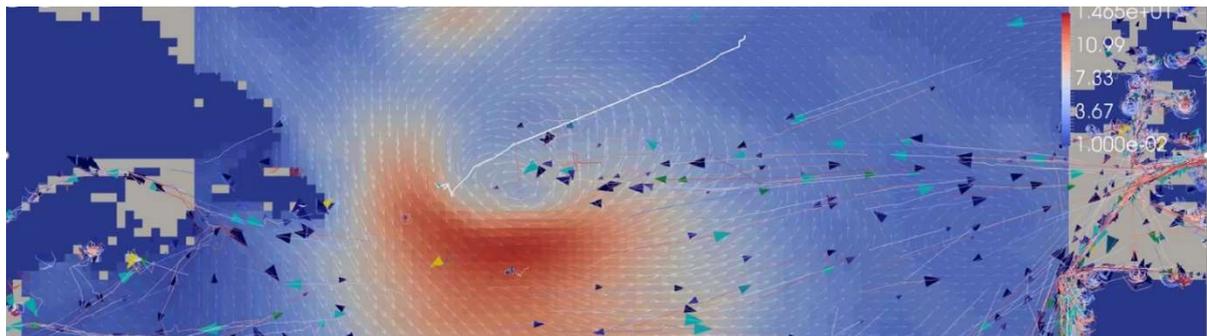


図 9-5 デジタルデータの活用例
(AIS データによる北大西洋就航船の遭遇海象把握と波浪荷重推定)

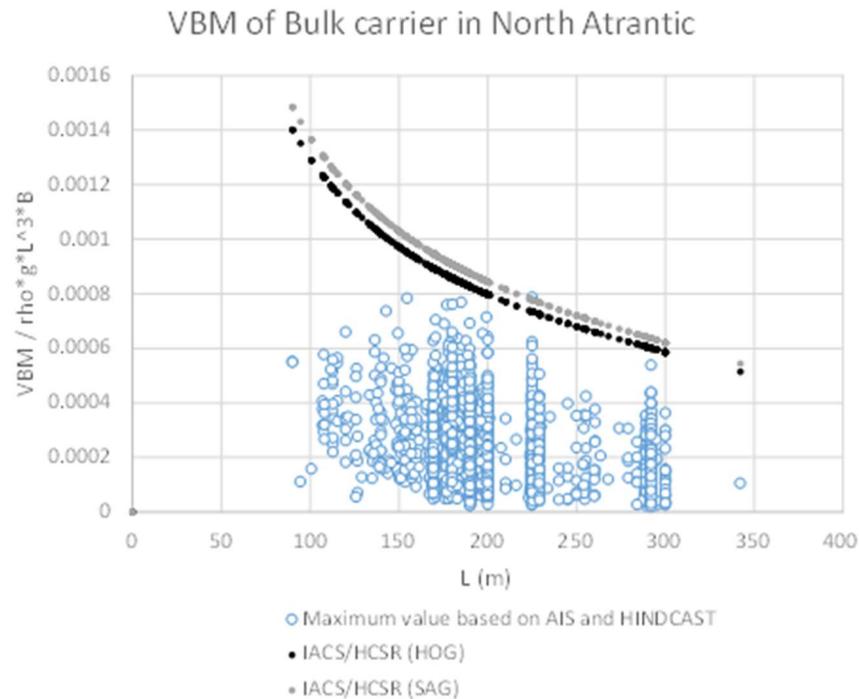


図9-6 設計荷重と北大西洋就航船（バルクキャリア）の実作用荷重

R2 年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):7件(投稿中:2件、採択済:0件)

- ・松井貞興: 船型パラメータを系統立てて変化させうる数学船型の開発—第2報 水線面二次モーメントおよび前後非対称性に関する形状パラメータの導入—, 日本船舶海洋工学会論文集, 第32巻(2020)
- ・松井貞興: A new mathematical hull-form with 10 shape parameters for evaluation of ship response in waves, Journal of Marine Science and Technology (JMST), (2020) (投稿中)
- ・Takami, T., Nielsen, U.D, and Jensen, J.J. (2020): Real-time Deterministic Prediction of Wave-induced Ship Responses Based on Short-time Measurements, Ocean Engineering Volume 221, 1, 108503.
- ・Takami, T., Nielsen, U.D, and Jensen, J.J. (2020): Estimation of Autocorrelation Function and Spectrum Density of Wave-induced Responses Using Prolate Spheroidal Wave Functions, Journal of Marine Science and Technology (available online).
- ・Takami, T, Chong, Ma : Surrogate Model Approach for Stochastic Prediction of Sloshing Loads Based on SPH and FORM, Applied Ocean Research (投稿中)
- ・Morishita, M., Gotoh, K., Anai, Y., Tsumura, S., Niwa, T.: Fatigue surface crack growth behavior in flat plate and out-of-plane gusset-welded joints under biaxial cyclic loads with different phases, Journal of Marine Science and Technology (JMST), Published online, 2020.
- ・Yamada, Y., Takamoto, K., Nakanishi, T., Chong, M., Komoriyama, Y., “NUMERICAL STUDY ON THE SLAMMING IMPACT OF STIFFENED FLAT PANEL USING ICFD METHOD: EFFECT OF STRUCTURAL RIGIDITY ON THE SLAMMING IMPACT”, Proceedings the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE-2020), OMAE2020-18242, August 3-7, 2020, Virtual, Online, 2020.

□その他発表論文:11件(投稿中:3件、採択済1件)

- ・松井貞興、村上睦尚: 数学船型を用いた波浪荷重推定に関する研究—第2報 水線面二次モーメントに関する形状パラメータの導入—, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第31号(2020)
- ・松井貞興、村上睦尚他: 数学船型を用いた波浪荷重推定に関する研究—第3報 数学船型の重量分布の決定方法—, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第31号(2020)
- ・Takami, T., Nielsen, U.D, and Jensen, J.J. (2020): Deterministic Prediction of Wave-induced Ship Responses Based on Corrected Autocorrelation Functions, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第31号(2020)

- ・Takami, T., Nielsen, U.D, and Jensen, J.J. (2021): Response Prediction based on FORM with Extrapolated Karhunen–Loeve Ocean Waves、日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 32 号、2021.5 (投稿中)
- ・C. Ma and M. Oka: Improvement of Boundary Condition for Sloshing Simulation in Spherical Tank, The 5th DualSPPhysics Users Workshop, 15th–17th March, 2021. (採択済)
- ・辰巳晃, 小森山祐輔他 : 3D レーザースキャナによるボックスガータ試験体の 初期たわみ計測とその成分分析、日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 32 号、2021.5 (投稿中)
- ・岡正義他: 海事関連技術のデジタル変革に向けて、令和 2 年(2020 年)度発表書誌論文研究報告、海上技術安全研究所第 20 巻別冊、2020.7
- ・岡正義他: 船体構造デジタルツインの早期実現に向けた研究開発、令和 2 年(2020 年)度発表書誌論文研究報告、海上技術安全研究所第 20 巻別冊、2020.7
- ・岡正義、馬沖、小森山祐輔: デジタルツインの検証のための水槽試験技術、KARIN 日本船舶海洋工学会誌第 94 号、2021.1
- ・岡正義: 海事関連技術のデジタル変革に向けた海技研の取り組み、うみコン 2021/3 国研シンポジウム、2021.2
- ・岡正義、馬沖: 北大西洋就航船の波浪荷重分布と最悪海象、日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 32 号、2021.5 (投稿中)

□特許申請:0 件

.

□コアプログラム登録:0 件

.

□国際貢献:2 件

- ・ISSC/Load Committee 委員 1 件
- ・ISSC/Dynamic Response Committee 委員 1 件

□受賞:1 件

- ・理事長表彰(グループ表彰:「DLSA-Basic(全船荷重構造解析)の開発及び実装・普及に貢献した功績」、構造安全評価系基準開発グループ

□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。

- ・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。
- ・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おいて活用され、合理的な設計基準を創出した。
- ・国土交通省先進安全船舶技術開発助成事業(iShipping Operation)「大型コンテナ船における船体構造ヘルスマニタリングに関する研究開発」の成果は、国際標準化に向けた船級ガイドラインに反映され、社会的価値の創出に貢献した。

□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。

- ・数値シミュレーションの推定精度を、ハルモニタリングデータを用いて検証し、非計測の部位や、非モニタリング船の応力及び疲労健全性評価を実現可能にした。任意の船舶に対して健全性評価を行うことで海上輸送の安全性向上が実現できることから、科学的意義は大きい。
- ・船型主要パラメータ(L,B,d,Cb,Cw,Cm 等)を用いた数学船型モデルを提案し、新構造基準の波浪荷重算式の策定に貢献した。今後の基準策定に必要な技術であり、科学的意義は大きい。
- ・水槽試験で計測される外板への水圧分布を入力として一貫解析を行なうプログラムを構築した。本プログラムによって、主に新船の荷重推定とこれに続き構造設計が可能になることから、十分な発展性があり科学的意義が大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか。

- ・海事産業のデジタル変革に対応して、数値シミュレーションプログラム及びハルモニタリングシステムとこれに続くデジタルツインを利用した安全運航技術や海上ビッグデータの活用による設計技術を整備した。

□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。

- ・デジタルツイン等を踏まえ、技術的にも、近い将来 3 次元弾塑性(剛体でない)解析手法による波浪中シミュレーションが現実的に可能になりつつある。本技術で、世界に先駆けてノウハウを集積しつつある。
- ・シリーズ建造船でのハルモニタリングは世界初の取り組みであり、データを分析して、個船で異なる航路や遭遇

波浪と安全性との相関を定量評価したことの意義は大きく、データ分析手法の標準化によって国際競争力の向上につながる。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

・該当しない

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□コメント

- ・本重点研究において開発した数値シミュレーションシステム(DLSA)を、安全運航や健全性評価に利用し、また、ハルモニタリングによるデジタルデータを用いてDLSAの精度検証を行い船体の応力推定精度を向上するなど、デジタル化による合理的運航や設計に貢献できる研究成果を創出している。
- ・デジタルツイン普及の社会ニーズを踏まえ、今年度は、応力計測点数を減らし、より安価に船体状態量評価ができる数値シミュレーション連携型ハルモニタリングプログラムを開発した。本研究成果は、海運、造船、船級、大学、研究機関で構成される民間プロジェクトで開発中のデジタルツインシステムのコアプログラムとして組み込まれ、実船へ搭載される計画である。
- ・研究計画に従って着実に成果を創出していることに加え、上記の成果を創出しており、「研究開発成果の最大化」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	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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p> <p>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</p>	<p>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。</p> <p>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</p> <p>－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、体系化された荷重・構造強度評価システムを実用化するため、DLSA システムの完成に向けた各モジュールの統合化及びシステム化を図る。また、船体構造モニタリングシステムのガイドラインの作成を行う。さらに、DLSA システム及び船体構造モニタリングシステムを統合したデジタルツイン開発及びデジタルツインに必要な実船応力推定プログラムの開発を行う。等</p> <p>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</p> <p>－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、規則波中の実船を対象とした荒天下操船運動評価テストプログラムの開発、運航危険性評価法を用いた操船支援方法の提案、実用性を考慮した低速時操縦運動特性の同定手法の構築及び走錨危険推定プ</p>

		ロケラム の作成・水槽実験での検証を行う。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）
 - ・管制支援技術の評価手法の開発（論文）
- 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。

R2 年度研究目標

□小項目 1

- ・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
- ・新規貨物・燃料等の船舶に関する安全基準の開発

□小項目 2

- ・複数シナリオに対する液化水素運搬船の確率的被害度影響評価手法の構築。

□小項目 3

- ・新たな交通状況がやや複雑な海域における安全対策検討のための航路案設計技術と衝突リスクの評価技術を構築する
- ・安全対策構築における基礎資料として海難事故データを収集し、必要項目を構造化する

□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

R2 年度研究内容

□小項目 1

- ・低引火点燃料船のリスクモデルに関する研究
- ・船舶の車両区域における火災安全性の高度化に関する研究
- ・安全基準の合理化のための調査

□小項目 2

- ・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リスクモデルの拡充・高度化(複数シナリオ検討)
- ・水素爆発による構造安全性評価手法の検討・開発(複数シナリオ検討)
- ・妥当性検証のための水素爆発模型実験の検討・仕様書案ベース作成

□小項目 3

- ・準ふくそう海域の交通流制御技術に関する研究
- ・危険度指標に関する研究
- ・海域のリスク評価技術に関する研究

□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

R2 年度研究成果

□小項目 1

- ・低引火点燃料の使用に伴うリスクのひとつである機関室内での漏洩事象に関して、プロパンを対象として漏洩・拡散・換気に関する数値シミュレーションを行った。その結果を用いて、現行規則の換気要件について、瞬時拡散・完全混合モデルに基づく室内濃度との比較から換気効率の評価を行った。その結果、比較的少量の漏洩であれば漏洩ガス密度が空気よりも高くても機関室に滞留しないことが分かったが、流出量が多い場合、密度が高いほど換気効率が低下し滞留する可能性が高くなることが分かった。
- ・液化水素運搬船の配管からの漏洩事象に関する定量的なリスク評価を行った。影響度の評価には、米国 Sandia 国立研究所が開発した陸上の水素関連設備のための被害影響度評価モデル HyRAM に含まれる、影響評価モジュールを修正して用いた。検討する事象として、漏洩とともに瞬時着火して発生する水素のジェット火災による放射熱の評価と、非着火漏洩後に形成する可燃性の蒸気雲が爆発して発生する蒸気雲爆発による爆風圧の評価の 2 つを対象とした。前者については、HyRAM のモデルをそのまま用い、後者については開放空間での爆風圧を評価するため、まず可燃範囲のガスの総重量を計算し、土橋ら(2013)が開発した水素の爆燃に用いられる経験式から爆風圧の評価を行った。漏洩源の流出穴径を変化させることで、深刻な影響が及ぶ距離を影響度の指標として流出穴径の関数として表現した(図 1-1)。この結果に加えて、漏洩頻度については英国周辺に位置するオフショア施設からの原油等の漏洩データベースである英国安全衛生庁(UK HSE)の Hydrocarbon Release Database(HcRD)及び高圧ガス保安協会の事事故例データベースの水素ステーションにおける事故データの 2 種類のデータを利用することで、これらから求められる漏洩頻度は水素運搬船からの漏洩頻度であると仮定し、機器毎の漏洩頻度①を昨年度、ベイズ推定より求めた。今年度は、漏洩穴径の確率密度関数(図 1-2)について、後述する拡張べき乗分布関数を用いて、FLNG の漏洩穴径の確率密度関数②を求めた結果を流用し、①と②から漏洩頻度を流出穴径の関数として表現し、上記の影響度の指標と組み合わせる漏洩穴径と発生頻度、影響度を含めて定量的にリスク解析を行う手法を開発した。
- ・オフショア施設のリスク評価は重要であり、ハザードとしては、漏洩や地震等が考えられる。オフショア施設からの原油等の漏洩時の流出穴径や地震のマグニチュード等は、一般的にべき乗分布に従うことが知られている。しかしながら、流出穴径や地震のマグニチュード等の確率変数の値が小さい領域や大きい領域では、べき乗分布から逸脱する。これまでに海技研は、確率変数の全領域にわたり、高精度で近似可能な拡張べき乗分布を開発している。本研究では、拡張べき乗分布関数のパラメータを実際のデータから推定する手法を開発し、例題としてオフショア施設からの原油等の漏洩時の流出穴径や地震エネルギーの確率密度関数の推定に適用し、拡張べき乗分布関数によりこれらの現象の確率密度関数を高精度で近似可能なことを確認した。
- ・オイルタンカーからの貨物漏洩について、浅層モデルを用いた数値シミュレーションを試みた。その際に、既往の研究では貨物タンクからの流出は簡便な Bernoulli の式に基づいて計算し、この値をソース項としてプール拡散のみを浅層モデルで解いていることに対して、開発手法では開口から貨物が流出する現象も含めて解いている。CFD モデルを用いた 3 次元の混相流シミュレーションと比較した結果、パラメータの一部に最適値が見いだせていないものの比較的良好な再現が得られた。
- ・車両区域に特有のデッキ裏のロンジやウェブ等の構造物を考慮した煙の流動特性に関する数値シミュレーションを行った結果、デッキ裏に沿って流れる煙を含む熱気流は多数のロンジが障害物となり運動量の散逸が起こるこ

とで、煙が伝播する時間が長くなるとともに、熱気流の厚み大きくなることが分かった。陸上の建築物では、火災によって生じる熱気流の浮力の影響から天井にできる限り近い位置に煙探知器を設置することが一般的であるが、車両区域ではロンジの影響によって必ずしもデッキ裏近傍の位置において煙濃度が最大値となるとは限らなかった。このことから、実態としてロンジの下端付近に設置されていることに関して探知の遅れ等の問題が無いことが分かった。

- ・2019 年度に実施した国際ガスキャリアコードの全面改正による懸案事項の調査結果あり、そのうち Filling Limit の設定における reference temperature の指定とそれに伴う追加措置について、全面改正前後での要件の比較調査を行った結果、改正後コードでは液封の考慮が欠けていることが確認できた。これについては、2021 年度以降に国際基準に反映すべく継続して作業を進めていく。

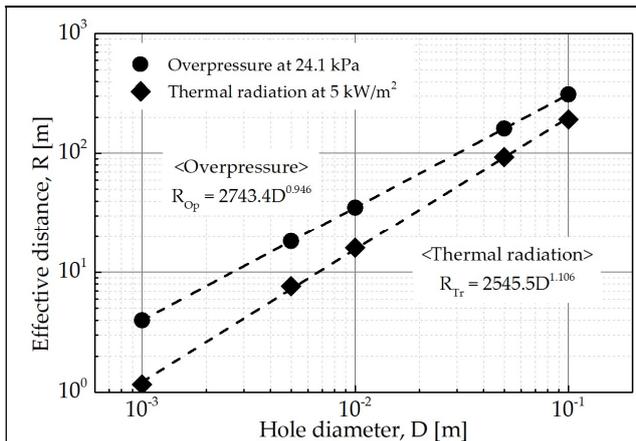


図 1-1 流出穴径と影響度(放射熱、爆風圧)の関係

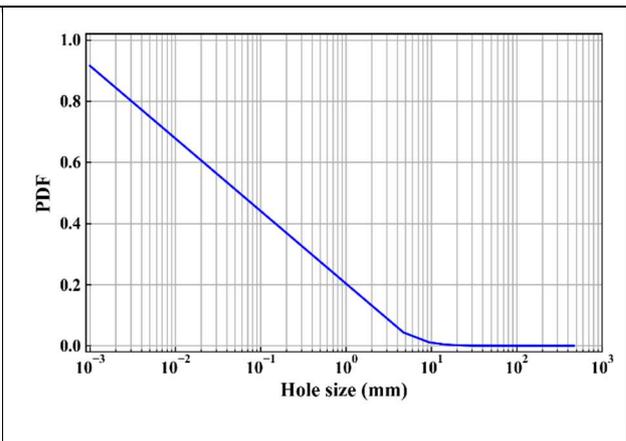


図 1-2 配管からの漏洩に関する流出穴径の確率密度関数

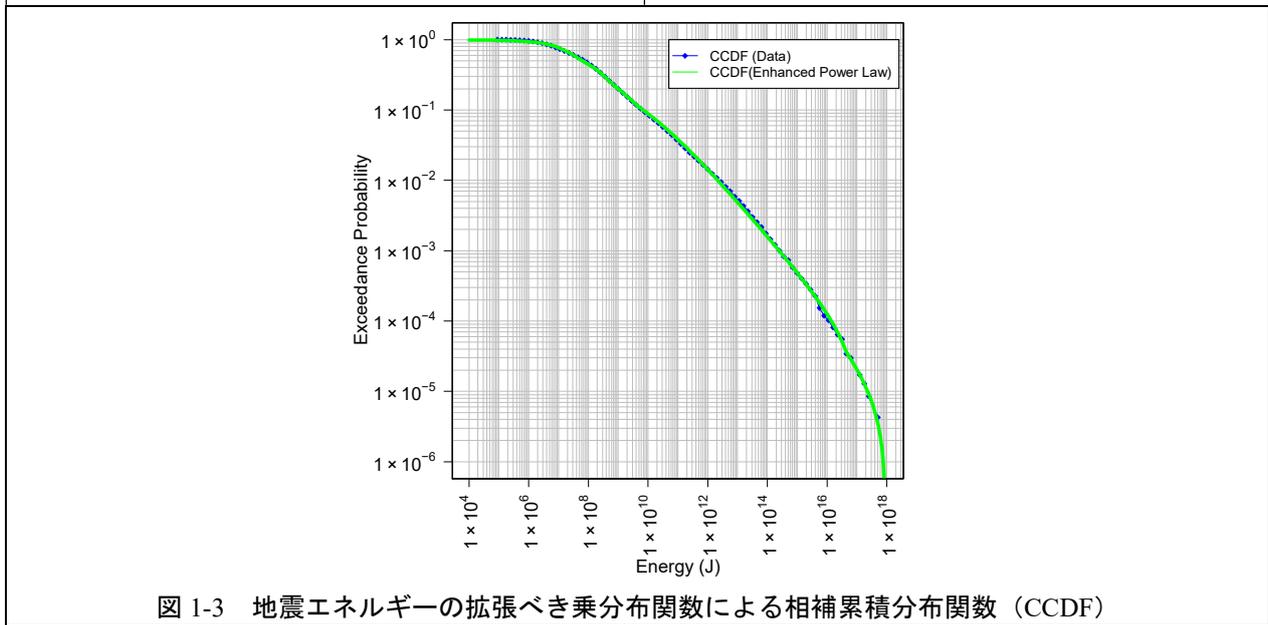


図 1-3 地震エネルギーの拡張べき乗分布関数による相補累積分布関数 (CCDF)

□小項目 2

- ・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リスクモデルの拡充・高度化を実施した。ベイジアンネットワークのノードを追加し、各ノード間の関係を見直し、改善・拡充を行った。一部のノードに仮の値として条件付き確率を設定し、コンパイル成功により、リスクが表示できるまでを確認した。
- ・水素爆発による構造安全性評価手法の検討・開発を実施した(解析中)。爆発シナリオとしては、大きく2つ。1つは、ガイドラインで規程されている closed space での爆発でブリッジ付近での爆発。もう1つは、船体中央部での爆発について試解析を実施した。

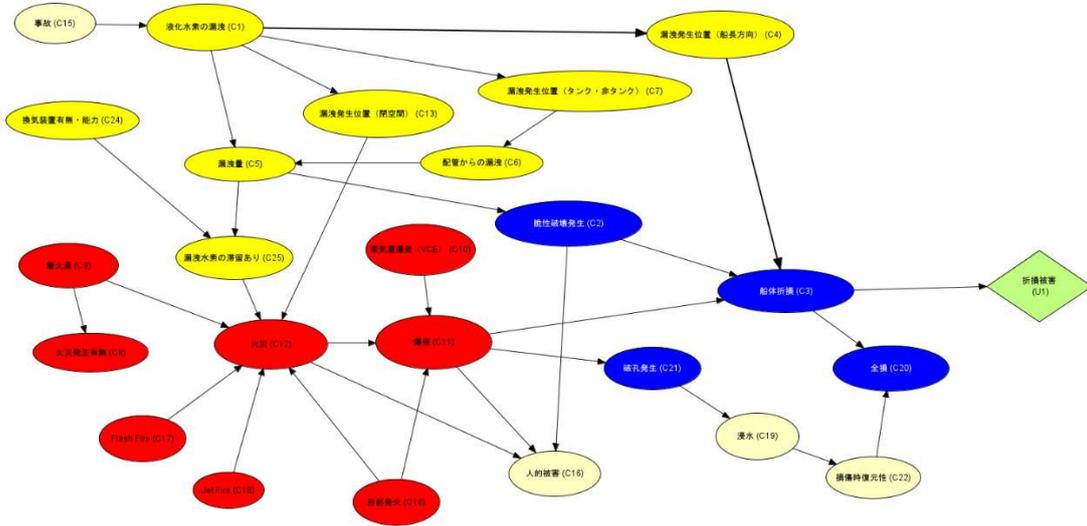


図 2-1 ベイジアンネットワークを用いた構造安全リスク・ベースモデル



図 2-2 ベイジアンネットワークを用いたリスク一覧表示例

□小項目 3

- ・準ふくそう海域の交通流制御技術に関する研究について、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、2022 年に開催予定の IMO NCSR9 に提案する予定であるため、追加解析等の提案文書の作成支援を行った(来年度も継続してフォローアップを行う予定である)。
 - ・伊豆大島西岸沖と潮岬沖に続く安全対策構築の対象海域候補として、大王埼沖、御前崎沖が挙げられ、交通流の概要調査、漁業活動の実態に関するアンケート調査を実施した。これらを踏まえ、対象海域が選定され、次年度に交通制御のための航路の立案と安全性評価を行う予定である。
 - ・前年度までに実施した伊豆大島西岸沖と潮岬沖の安全対策構築に関する知見をもとに、航路案を立案する際の事前調査方法、立案方法、安全性評価方法からなる航路案立案支援手法を構築した。
- ・危険度指標に関する研究について、以下を実施した。
 - ・運輸安全委員会の船舶衝突事故の調査解析を支援するため、既往の衝突危険度を測る複数の指標をプログラム化(ツール名: TrafficStateAnalysisTool 2)した。また、見合い関係における危険度を表す指標の開発のため、操船者の主観(危険感)と、船舶間の物理的な関係(定量指標)の相関を、運輸安全委員会の船舶事故調査報告書から抽出したデータを用いて分析し、これらを取りまとめて解析ツールを構築した。
 - ・さらに、針路上の不安全率と危険減衰率の加重平均であらわされる OZT による閉塞状況の定量評価法を検討し、事故解析における衝突危険度評価の有効性検証を行い、危険感や操船行動の根拠の事実確認および妥当性評価に適用できることを確認した(図 3-1)。

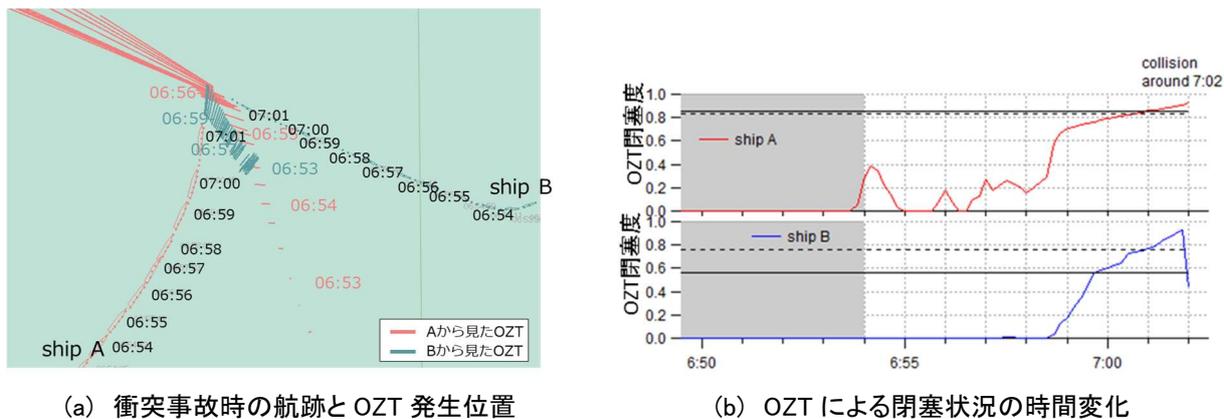


図 3-1 衝突事故時の OZT による評価の例

- ・海域のリスク評価技術に関する研究について、以下を実施した。
 - ・複数の海域で前年度までに開発した通航進路別の遭遇頻度推定手法を用いて、AIS 航跡データから進路別の衝突原因確率を推定し、海域の特徴と合わせて分析した(図 3-2)。衝突原因確率は、整流海域よりも進路が錯綜する海域で高いこと、また、見合い関係別では、正面からの位置関係が最も高く、追越し及び横切り関係は従来推定されてきた値よりも低くなるのが分かった。

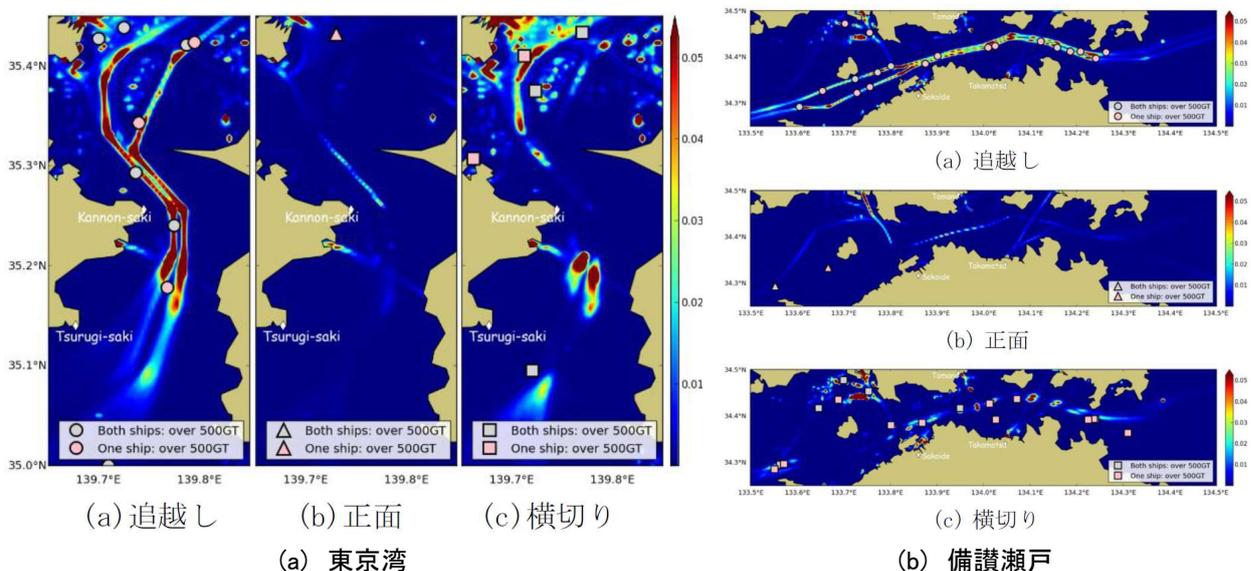


図 3-2 遭遇頻度分布と衝突発生場所

□小項目 4

・自動運航船のリスク解析を行なうため、自動運航船を構成するシステムや、このシステムを用いた運航方法を表現し、そのシステムを用いて運航した場合に想定されるハザードを同定し、そのリスクを推定する必要がある。これを行うため、以下の事項を行った。

・従来の機械システム向けのリスク評価手法や、ソフトウェアで構成されるシステムをモデル化する手法を調査し、モデル化手法を検討した。さらに、システムズ・アプローチなどの安全性解析手法を参考にして、自動運航船のためのシステムのモデル化を含むリスク解析手法を提案した。

・仮想的な自動運航船を設計し、そこで用いるシステムが使用できる条件を整理して、自動運航船が自動運航できる条件(運航設計領域)の設定を試行した。

・仮想的な自動運航船に、提案するリスク解析手法を適用し、通常の運航状態におけるハザードの抽出を試行した。さらに、そのハザードのリスクを半定量評価するために必要となる、波及する結果の頻度や影響度の抽出方法を検討した。

R2 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): 11 件(投稿中:8 件、採択済:1 件、掲載済:2 件)**

- ・A. Kimura, M. Asami, H. Oka, Y. Oka: Development of an algebraic model of empirical parameterization of near wakes around a vehicle, *Fluids* 6(2):75, 2021.2.
- ・木村, 工藤, 柚井, 伊藤, 岡: 代替燃料船における漏洩ガスの換気シミュレーション, *日本マリンエンジニアリング学会誌*, (採択済).
- ・T. Yuzui, A. Kimura, J. Kudo, H. Itoh, H. Oka: Quantitative risk analysis on jet fire due to a leakage of a hazardous substance – Case: Liquefied Hydrogen Carrier–, *Safety* (投稿準備中)
- ・F. Kaneko, T. Yuzui: AN EFFECTIVE METHOD FOR HIGHLY ACCURATE ESTIMATION OF CCDF OF SEISMIC ENERGY AND LEAK HOLE DIAMETER IN RISK ASSESSMENT OF OFFSHORE OIL – RELATED FACILITIES, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (投稿中)
- ・志尾, 伊藤, 川村, 河島: 再起型ニューラルネットワークを用いた船舶の動静予測モデルの開発, *日本航海学会論文集*, 第 143 巻, pp.77–82 (2020)
- ・F. Kaneko: On a method for estimation number of collision candidates at all intersectional angles between two water ways, *Journal of Navigation*, (投稿中)
- ・M. Asami, A. Kimura, H. Oka: Evaluation and improvement of algebraic models for flow fields around a single rectangular obstacle using a diagnostic mass-consistent model, *Fluids*, (投稿中)
- ・H. Oka, Y. Oka: Theoretical investigation on a fire-induced ceiling flow in a rectangular corridor under natural ventilation, *Applied Sciences*, (投稿中)
- ・A. Tanno, H. Oka, K. Kamiya, Y. Oka: Determination of smoke layer thickness from vertical temperature distribution in tunnel fires under natural ventilation, *Tunnelling and underground space technology*, (投稿中)
- ・河島, 伊藤, 川村: 衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定, *日本航海学会論文集*, (投稿中)
- ・B. Song, H. Itoh, Y. Kawamura: Development of training method for vessel traffic service based on cognitive process, *Cognition, Technology & Work*, (投稿中)

□その他発表論文: 16 件(投稿中: 4 件、掲載済:12 件)

- ・木村, 浅見, 岡(秀), 岡(泰), 質量保存流速場モデルを用いた車両まわりの渦流れ場に関する 数値シミュレーション, *安全工学シンポジウム 2020 講演要旨集*, 2020.7.
- ・木村, 岡, 浅層モデルを用いた液体貨物漏洩に関する数値シミュレーション, 第 53 回安全工学研究発表会講演予稿集, 2020.12.
- ・A. Kimura, M. Asami, H. Oka, Y. Oka, Development of a parameterization model of near wakes around a vehicle, *Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2020)*, 2020.12.
- ・河島, 伊藤, 川村, 矢渡: 衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定, *日本航海学会講演予稿集*, Vol. 8, No. 1, pp.40–43 (2020)
- ・志尾, 伊藤, 川村, 河島: 再帰型ニューラルネットワークを用いた船舶の動静予測モデルの開発, *日本航海学会講演予稿集*, Vol. 8, No. 1, pp.60–63 (2020)
- ・塩莉, 伊藤, 柚井: 自動運航船のリスク解析手法の構築に向けて, *日本船舶海洋工学会講演会論文集*, 第 30 号, pp.393–396 (2020)

- ・柚井, 塩莉, 伊藤: 船舶事故の要因分析への STAMP/CAST の適用, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 30 号, pp.165-168 (2020)
- ・三宅: 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講演会論文集, 第 31 号(2020)
- ・柚井, 工藤: 海事分野における安全規制の事後評価に関する研究-差の差分分析を用いた IGC コード義務化による事故頻度低減効果の推定の試み-, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 31 号(2020)
- ・塩莉, 伊藤, 柚井: 自動運航船のリスク解析手法の構築に向けた試み, 海上技術安全研究所第 20 回研究発表会 HP 掲載, pp.97-98 (2020)
- ・M. Shiokari, S. Ota: Considerations on the common regulatory issues among the IMO instruments for realization of Maritime Autonomous Surface Ships, IOP Conference series: Materials Science and Engineering (2020)
- ・M. Asami, A. Kimura, H. Oka: Evaluation by comparison with actual measurement on a Far-wake Parameterization for a Diagnostic Mass Consistent Flow Model, Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2020), 2020.12.
- ・A. Kimura, R. Suga, H. Oka, Y. Oka: Numerical Investigation of the effect of cross-sectional aspect ratio of a space on the ceiling flow, Proceedings of 12th Asia Oceania Symposium on Fire Science and Technology, (アブストラクト審査, 投稿中).
- ・C. Iwamoto, H. Oka, K. Kamiya, K. Matsuyama, Y. Oka: A New Model to Predict the Density Jump Position of Ceiling Jets in Tunnel Fires, Proceedings of 12th Asia Oceania Symposium on Fire Science and Technology, (アブストラクト審査, 投稿中).
- ・岩本千咲喜, 岡秀行, 岡泰資: 断面形状と発熱速度を考慮した跳水位置の予測式の提案, 2021 年度日本火災学会研究発表会概要集, (講演予定).
- ・塩莉, 伊藤, 柚井, 石村, 三宅, 工藤, 河島: システムモデリングによるリスク解析手法の自動運航船の概念設計への適用, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (講演予定).

□特許申請:0 件

.

□コアプログラム登録: 2 件

- ・可燃性液化ガスの海上流出に伴う大気拡散・火災放射熱による被害影響評価プログラム, 木村, 岡.
- ・TrafficStateAnalysisTool 2: 三宅, 工藤

□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。

- ・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。

□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 問題対応のための代替燃料のために整備してきたリスクモデルや、それを構成する事故発生頻度データ、事故進展シナリオはリスク評価において必要不可欠であるにもかかわらず、整備が十分になされていなかったことから、本研究成果はこれに寄与する。さらに、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。また、浅層モデルによる拡散評価モデルの根幹は、浅水波近似が適用できる重力によって駆動する流れの問題を数値的に解析する手法であるため、これに関連する諸問題(火砕流、土砂流、河川工学等)にも波及する普遍的な価値がある。このテーマでは、関連する内容で 2 件の外部資金(科研費)の獲得に成功しており、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。
- ・海上交通の安全性向上のための研究は、準ふくそう海域を対象としているものであるが、沿岸域の船舶交通の観測が可能となってから日が浅いために観測実績やリスクモデルが十分に整備されていない状態であったところ、本研究成果はこれに寄与する。海上交通の安全性向上関連テーマでは、関連する内容で 3 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。

□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利用技術は国際的に早急な対応が求められており、業界からの要請にも対応している。今後研究成果の創出はより一層加速させる必要がある。
- ・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。

□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、現行規則の換気要件に従った設計を想定し、漏洩に伴う拡散現象と換気の効率について、重要な知見を得ることができた。また、このような漏洩後の事象の計算に加え、想定すべき漏洩量や漏洩の頻度についての情報収集を進めることで、新規貨物・燃料等の船舶に関するリスク解析を定量的に行う手法を開発す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試解析することができ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 に提案する準備に貢献した。また、これまでに行ってきた海上交通に関する事前調査方法や航路案の立案と安全性評価の方法を整理してきたことで、今後の対象海域に対して、より効率的、効果的な対策の立案が行えるようにしたことは重要な成果である。これらに加え、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。

研究計画委員会による評価	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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p> <p>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</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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</p> <p>－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、体系化された荷重・構造強度評価システムを実用化するため、DLSA システムの完成に向けた各モジュールの統合化及びシステム化を図る。また、船体構造モニタリングシステムのガイドラインの作成を行う。さらに、DLSA システム及び船体構造モニタリングシステムを統合したデジタルツイン開発及びデジタルツインに必要な実船応力推定プログラムの開発を行う。等</p> <p>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</p> <p>－安全運航と海難事故防止に必</p>

		<p>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、規則波中の実船を対象とした荒天下操船運動評価テストプログラムの開発、運航危険性評価法を用いた操船支援方法の提案、実用性を考慮した低速時操縦運動特性の同定手法の構築及び走錨危険推定プログラムの作成・水槽実験での検証を行う。等</p>
--	--	--

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
- 損傷時安全基準に関する研究

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と基準案を作成
- 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
- 損傷時船舶の安全性を確保するための基準体系の確立

上記成果は、以下があげられる。

- 緊急時自動衝突回避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。

R2年度研究目標

□小項目 4(荒天下の操船評価手法の開発)

- ・規則波中の実船を対象とした荒天下操船運動評価テストプログラムの完成

□小項目 13(運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発)

- ・船体運動状況分析システムを用いた操船支援方法の提案

□小項目 14(新形式客船及び貨物船の損傷時安全基準に関する研究)

- ・複数の計算手法を用いた損傷浸水した船舶の波浪中運動試算と危険事象の有無の確認

□小項目 15(港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究)

- ・実用性を考慮した低速時操縦運動特性の同定手法の構築と離着棧のような港内操船を実海域再現水槽で再現するための実験環境整備

□小項目 16(走錨防止支援システムに関する研究)

- ・水槽実験で検証された走錨危険度推定プログラム

R2年度研究内容

□小項目 4(荒天下の操船評価手法の開発)

- ・斜航影響を考慮した実用的な波漂流力推定法の開発・荒天下操船運動評価テストプログラムへの組み込み

□小項目 13(運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発)

- ・運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発

□小項目 14(新形式客船及び貨物船の損傷時安全基準に関する研究)

- ・損傷浸水時の船舶に要求される耐航性能についての検討

□小項目 15(港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究)

- ・船舶の低速時操縦運動特性の同定手法に関する検討と港内操船再現のための水槽実験手法の開発

□小項目 16(走錨防止支援システムに関する研究)

- ・走錨危険度推定プログラムの作成及び水槽実験による検証
- ・走錨モニタリングシステムの検討

R2 年度研究成果

□小項目 4(荒天下の操船評価手法の開発)

- ・前年度までに開発した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、模型だけでなく実船の舵効き状態での妥当性も、自由航走模型試験との比較から検証した。規則波中(波長船長比 0.6, 波高船長比 1/58.2)をオートパイロットで保針航行するタンカーの実船と模型の舵効き状態での、船速比ならびに当舵の平均値について、計算と実験で比較した結果を図1に示す。なお、実船舵効き状態での実験結果は、実船実験データでなく、本小項目で前年度までに開発した実験法(Suzuki et al., 2019, Ocean Engineering)を活用した実船の舵効き状態での自由航走模型試験の結果である。数値計算における波漂流力の反射波成分については、今後精度向上の必要性があるものの斜航影響を考慮可能な上野ら(2001, 日本造船学会論文集)の推定法を採用した。

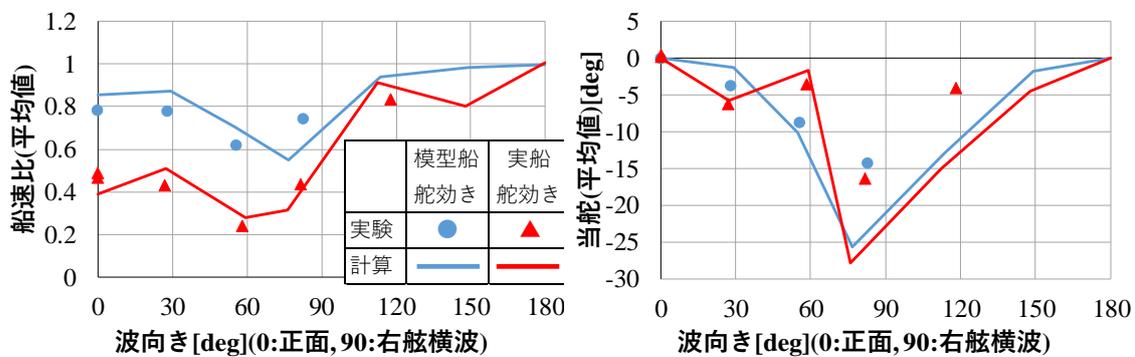


図1 規則波中(波長船長比 0.6, 波高船長比 1/58.2)をオートパイロットで保針航行するタンカーの実船と模型の舵効き状態での船速比と当舵の平均値

- ・前年度までに開発した規則波中操縦運動時の6自由度船体運動計算法を、既存の規則波の波力成分等の線形重ね合わせに基づき大波高の不規則波中の計算に拡張した。その計算の一例として、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を図 2 に示す。水槽模型試験による精度検証と改善は、令和 3 年度に実施する予定である。

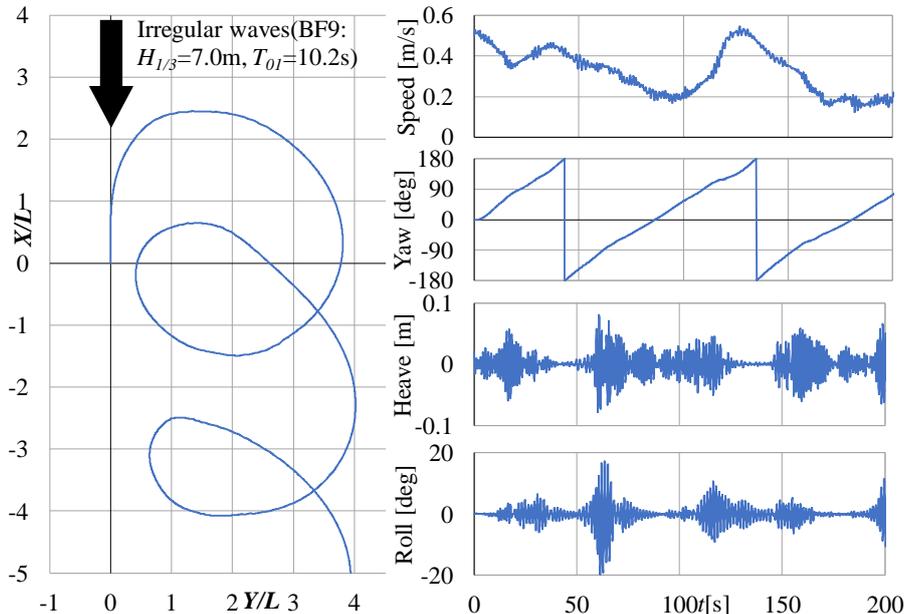


図2 タンカー模型に対する一方向不規則波(ビューフォート風力階級 9)中 35 度旋回時の船体運動の推定

(追加成果)

- 前年度までに開発した規則波中操縦運動時の6自由度船体運動計算法に関するプログラムを民間企業1社(商船会社の子会社)に提供した。また、そのために、対象とする特殊舵を有する内航コンテナ船について、数値計算に必要な係数を同定するとともに、推定結果の妥当性も検証した(守秘義務につき、図は割愛)。

□小項目 13(運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発)

- 運航中発生する危険現象のひとつである横加速度を取り上げ、危険を回避する操船支援法を開発した。空載状態のコンテナ船のブリッジ内で大きな横加速度が発生し、死傷者が出る事故が報告されている。IMOで最終化された第二世代非損傷時復原性基準暫定ガイドライン(MSC cir.1627)には復原性に起因する危険現象のひとつとして過大加速度モードが挙げられている。
- 開発した操船支援法は海象(波高と波周期)と船の速度、針路(波向)、載荷状態(喫水、トリム、GM)を入力値とし、過大加速度の危険性評価結果を操船者に適切に示し、危険を回避する操船を支援するもので、GUIを備えた具体的な操船支援用危険度評価システムを作成した(図3)。ここでの危険度評価計算は北大西洋の波浪発現頻度表(IACS No.34)にある各海象での不規則波中横加速度の分散値の計算結果を用いて1.0Gを閾値とした短期発生確率で行っており、本システムでは評価結果と発生確率の閾値 10^{-6} の比で示している。なお、評価計算法は第二世代非損傷時復原性基準の過大加速度モードを網羅している。
- 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(第一、第二段階基準)が不合格と判定されることが分かっており、多くの船舶が運航制限(波高制限)や運航ガイダンス、直接復原性評価(時間領域計算)の実施を検討することになる。本システムは運航ガイダンスにも活用できる仕様とした。

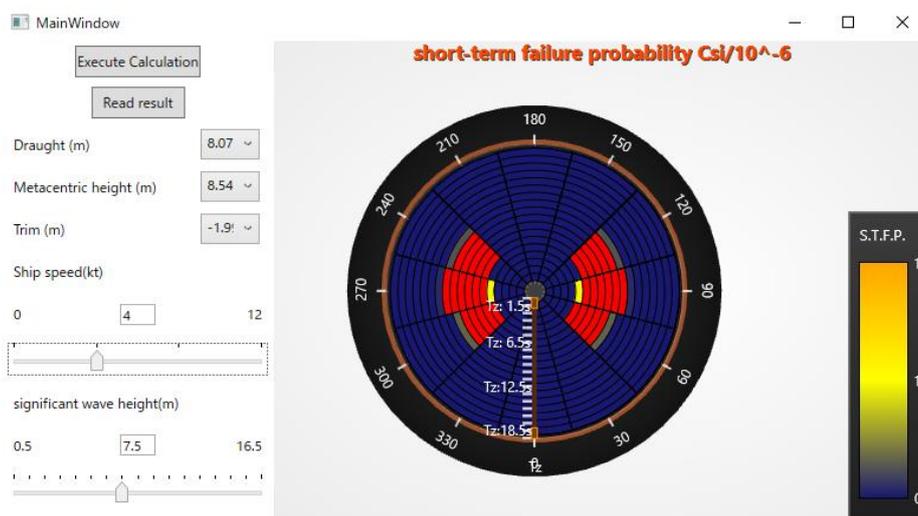
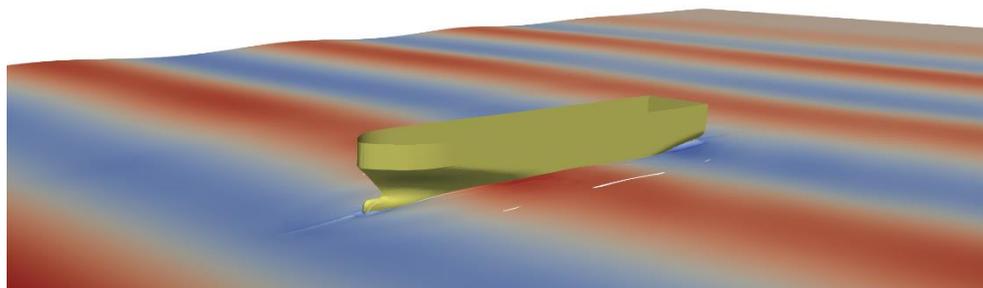


図3 操船支援用危険度評価システム(横加速度)

□小項目 14(新形式客船及び貨物船の損傷時安全基準に関する研究)

- 海技研のCFDシステムを用いて6自由度状態における定常力とばね力も考慮した波浪中船体運動計算(図4)及び斜波における安定した長時間造波計算法(図5)の検討を行い、区画損傷時の復原性の検討のベースとなる計算手法を構築した。



波浪中船体運動の可視化 ($\lambda/L=1.2$)

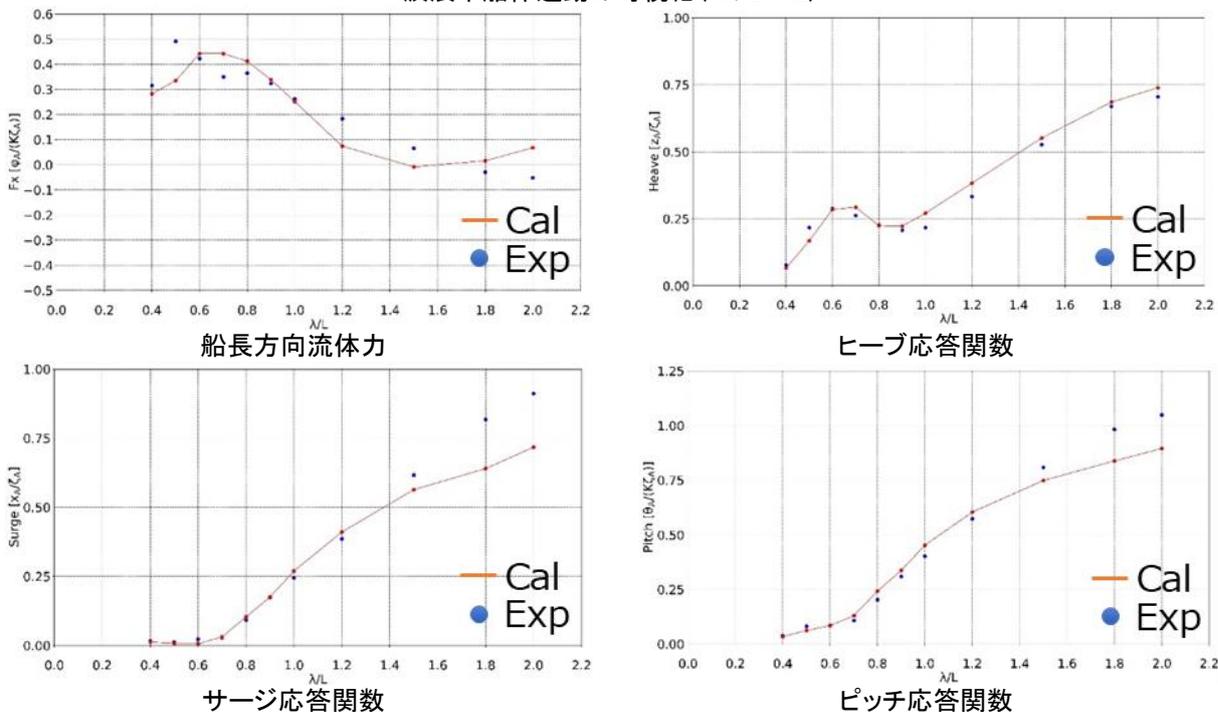
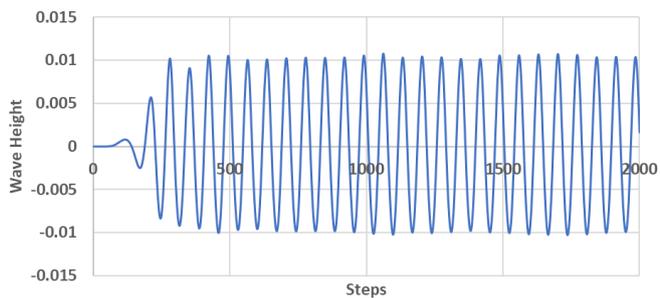


図4 6 自由度状態における定常力とばね力も考慮した波浪中船体運動計算



斜波(30度)造波の可視化



計測波高の時系列

図5 斜波における長時間造波計算

□小項目 15(港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究)

・船舶の操縦運動数学モデルを、模型船や CFD による拘束試験結果ベースではなく、実船で比較的データが入手しやすい操縦性試験結果からモデル同定を行う手法の検討を行った。具体的には、文献調査による既存手法調査と、手法検証のための操縦流体力データ取得のための拘束模型試験(CMT)及び航跡データのための自由航走模型試験を実施した。

- ・自動離着棧アルゴリズムの評価及び検証のためのツール開発として、上野らが開発した船速舵効き修正法 (RSC 法) をベースとして拡張し、自由航走模型試験にて実船の低速操縦運動を再現するための実験手法を提案した。そして、想定風環境下で実船に作用する風圧力を再現する風荷重模擬装置を 4m クラスの模型船用に整備し、風環境下での船舶操縦運動を評価できる環境を整備した。これらの手法開発と実験環境整備により、自由航走模型試験にて自動離着棧アルゴリズムの実船スケールでの直接評価が可能になったと言える。
- ・上記の自由航走試験手法の適用として、33000DWT ケミカルタンカーの模型船(実船での垂線間長 170.5m)を対象に、実海域再現水槽において、自動着棧模型実験の試行として海技研が開発した自動着棧アルゴリズム(PPA 法)の制御パラメータ検討を行った。そして、無風下での自動着棧成功例の制御パラメータに対し、風荷重模擬装置を用いることで風環境下での影響評価を行った。
 例を図6に示す。経路開始点の座標[X, Y]は[20, -8]及び目標地点(停止地点)は[-27, 8]であり、目標地点にて船首方位を 90 度にしつつ船体を停止(前後方向船速を 0.02m/s 以下)させるように制御パラメータを検討し、無風化(図中, "No Wind")では成功と見なせる制御パラメータ群を探索できた。一方、そのパラメータ群でビューフォート風力階級 6 相当(実船スケールで風速 12.6m/s)の風環境下で自動着棧を試行した所、成功に至ることはなく、風環境等の外乱を考慮したアルゴリズム設計の必要性を定量的に認識できる結果となった。
 以上により、開発した模型試験手法が自動離着棧アルゴリズムの評価に十分有用であると判断した。
- ・なお、これらの水槽模型試験はFBG 圧力センサーを用いて主に船尾を中心とした多点の船体表面圧力の計測を行っている。FBG 圧力センサーは操舵を伴う模型舵にも貼付している(図7)。プロペラ回転流の影響下における操縦運動中の圧力計測は確認する限り他に例が無く、本データは操縦運動数学モデルの改良や CFD での自由航走状態の直接計算手法の検証等に活用する予定である。

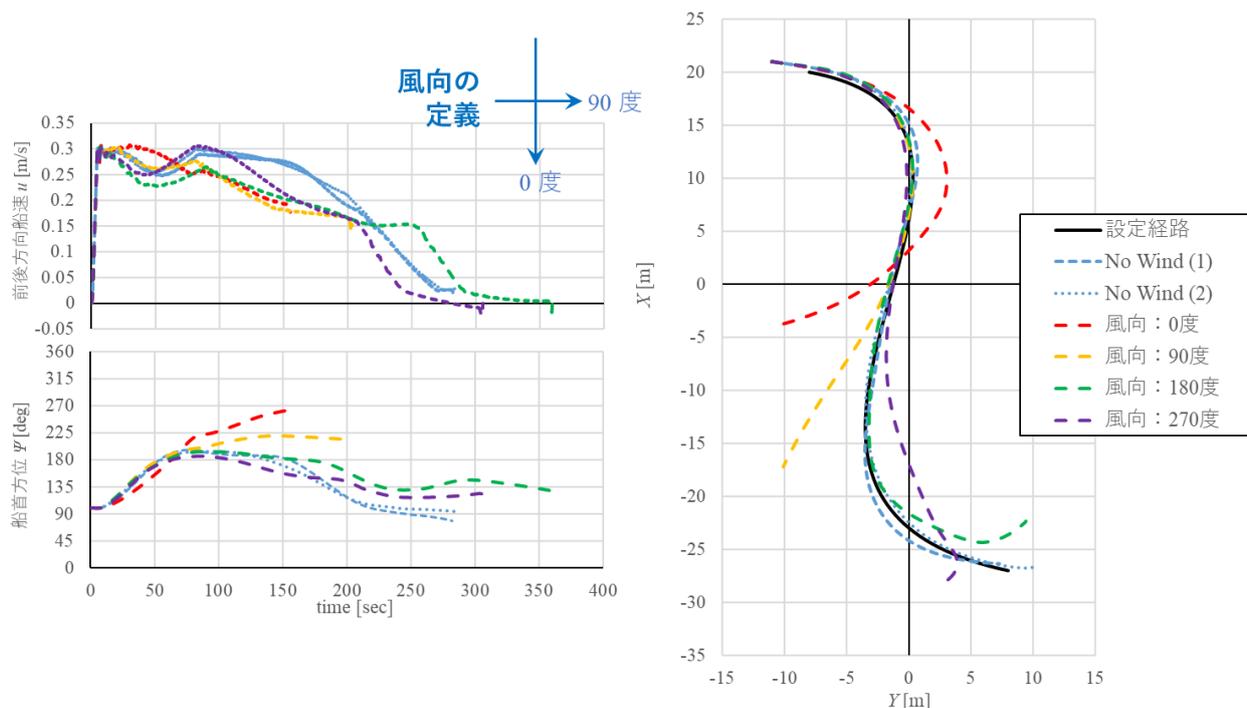


図6 ケミカルタンカー模型船(実船 170.5m)を対象とした実船低速操縦運動を再現する模型試験法による自動着棧アルゴリズム(PPA 法)の制御パラメータ検証実験(風環境下の風速はビューフォート風力階級 6 相当の 12.6m/s)



図7 プロペラ付近船尾と模型舵に貼付した FBG 圧力センサー

□小項目 16(走錨防止支援システムに関する研究)

・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するプログラム(走錨危険度推定プログラム)を3自由度のMMGモデルをベースに、外力項として風圧力、波漂流力、錨鎖張力を付加して作成した。その際、内航タンカー及び内航フェリー船型の模型船を用いた水槽実験を行って、低速時の操縦流体力(図8)やプロペラ推力、舵力、波漂流力(図9)を計測し、計測結果から各々の力の推定式を再構築した。

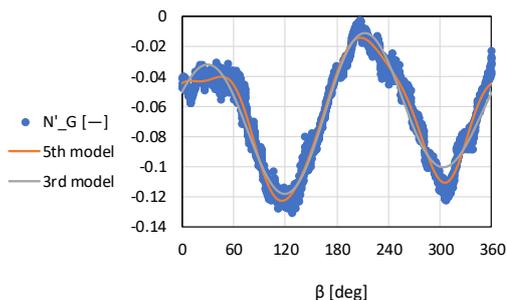


図8 低速・大斜航状態の操縦流体力の計測状況(左)と計測データ(右)(海洋構造物試験水槽)

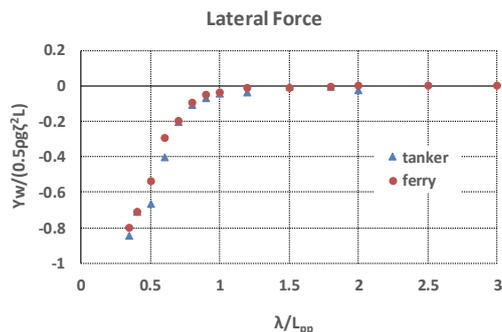


図9 波漂流力の計測状況(左)と計測データ(右)(実海域再現水槽)

・錨泊条件、外力条件をパラメータとした波・風中の錨泊船の振れ回り運動に関する水槽実験(図10)を行って、船体運動や錨鎖張力の計測結果との比較により走錨危険度推定プログラムの妥当性を確認した。

・走錨危険度推定プログラムに入出力 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」(図11)を開発した。「走錨リスク判定システム」は、船舶、気象・海象等のデータを入力することにより、錨泊方法、錨鎖長さ、風速に対応した走錨リスクを提示し、船舶運航者に走錨を回避するための判断材料を提供するもので、今後当所の HP や海技研クラウドで公開され関係者に無償提供される(公開時期: 本年台風シーズン前)。

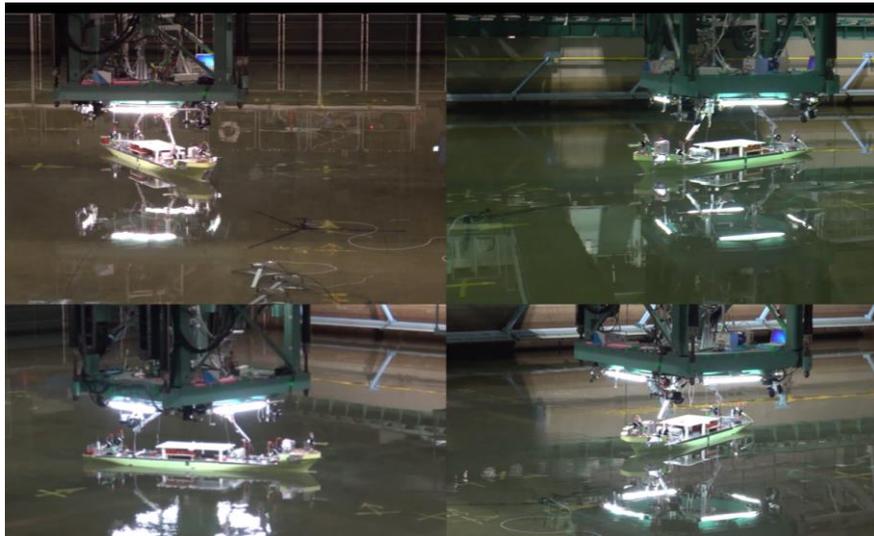


図10 波・風中の錨泊船の振れ回り運動に関する水槽実験(海洋構造物試験水槽)

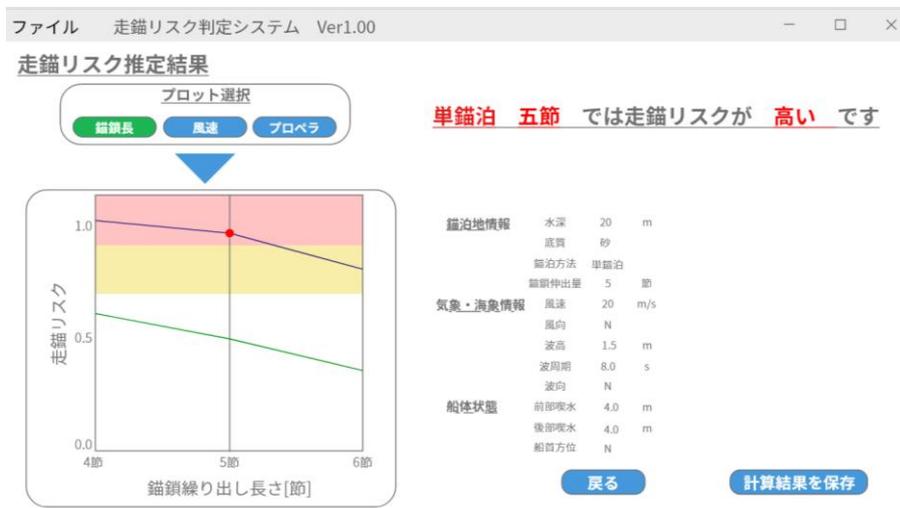


図11 走錨リスク判定システム

- ・錨泊中の船舶において錨鎖張力を直接計測することは実際上困難であることから、錨泊中の錨鎖が錨とベルマウスを通る鉛直面内においてカテナリー形状をなすものと仮定すると、錨鎖と水平面のなす角と水深、錨鎖の単位長さ当たりの重量などから錨鎖張力を推定することが可能であることを利用し、船上で計測が可能なデータを用いて錨鎖張力を推定し、錨泊条件(水深、底質、錨・錨鎖特性)から算定される係駐力と比較することで走錨危険度をモニタリングする手法を考案し、R3 年度研究計画としてまとめた。

R2 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)

- ・Ryosuke Suzuki, Michio Ueno, and Yoshiaki Tsukada : Numerical simulation of 6-degrees-of-freedom motions for a manoeuvring ship in regular waves, Applied Ocean Research (投稿中, 刊行物番号・刊行物発行年月・ページ番号未定)。

□その他発表論文: 5件(投稿中: 1件、掲載済: 4件)

- ・鈴木良介, 塚田吉昭, 上野道雄: 実船の操縦運動推定に対する波漂流力の影響に関する一考察, 海技研報告, 第 20 巻別冊, pp.99-100 (2020)。
- ・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への取り組み, 海技研報告, 第 20 巻別冊, pp.101-102 (2020)。
- ・宮崎英樹, 田口晴邦: 荒天時の走錨リスクの低減に向けて, 海技研報告, 第 20 巻別冊, pp.103-104 (2020)。

- ・鈴木良介, 上野道雄, 塚田吉昭: 操船シミュレータのための波浪中操縦運動・船体動揺推定モデルの開発, 第20回海上技術安全研究所講演会(2020)(刊行物なし)
- ・北川泰士, 塚田吉昭: 実船の港内操縦運動を再現するための模型試験法の開発と自動着棧アルゴリズム検討への適用, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第32号(2021)(掲載予定).

□特許申請:0件

.

□コアプログラム登録:2件

- ・波風中を操縦運動する船の6自由度船体運動推定プログラム 鈴木良介, 北川泰士, 上野道雄, 大森拓也
- ・第二世代非損傷時復原性基準過大加速度計算プログラム ver1.0 黒田貴子

□国際貢献:0件

.

□受賞:1件

- ・理事長表彰 特殊功績(個人): 国際海事機関第2世代非損傷時復原性基準暫定指針の策定に貢献した功績, 黒田貴子

□公開実験:1件

- ・波・風中の錨泊船の振れ回り運動に関する水槽実験, 2020.9.18

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・検証した保針航行時の6自由度波浪中船体運動計算法によって実海域環境下での実船の操縦性能が評価可能となり、海上における「安全・安心の確保」につながる。
- ・国際海事機関(IMO)において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対象である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したことから、国の方針に適合し、社会的価値(安全・安心の確保)の創出に貢献するものとする。
- ・近年船員の負担軽減も目指した自動離着棧技術の研究開発が進められており、自動離着棧アルゴリズムの評価及び検証のための必要な模型試験手法の確立は、社内ニーズに適合し、社会的価値(海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものとする。
- ・走錨リスク判定システムは、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)を提供するもので、走錨事故防止対策を実施している国の方針に適合し、社会的価値(安全・安心の確保)の創出に貢献するものとする。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。

- ・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。
- ・損傷船舶の波浪中 CFD 計算では、船体運動や浸水量の他に内部区画の水圧や波浪荷重も含めた従来の模型実験に基づく研究では詳細を把握することが困難であった物理量も含めた総合的な安全性評価への発展が期待できる。

□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。
- ・IMO の第2世代非損傷時復原性基準は昨年11月のMSCで暫定指針として承認され各国で試適用することが求められたことから、研究成果は期待された時期に創出されたものとする。
- ・国土強靱化年次計画 2020 においても走錨事故の防止対策を進めることとされていることから、研究成果(走錨リスク判定システム)は期待された時期に創出されたものとする。

□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。また国内でも、船技協を中心として、超低速船に関する検討会が立ち上がりつつある。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可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。

- ・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、FBG 圧力センサーを用いた操縦運動中のプロペラ回転流の影響下における船体表面や舵面の圧力計測結果など最新の研究成果の活用と緻密な検証によって研究を進めている。

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□コメント

- ・規則波中を保針航行時の実船の操縦運動(船速低下や当舵)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は顕著な成果であり、今後荒天下の操船限界手法を確立する上での重要な基礎技術になると考えられる。
- ・第2世代非損傷時復原性基準暫定指針の過大加速度モードは、現存する船舶の7割がいずれかの載荷状態で簡易基準が不合格と判定されることが判明しており、その代替措置として認められる運航ガイダンスに活用できる操船支援用危険度評価システムを開発したことは顕著な成果であり、今後IMOで基準の強制化に向けた議論が行われる場合に重要な基礎資料となると考えられる。
- ・錨泊実施前に運航者に走錨を回避するための判断材料(錨泊方法、錨鎖長さ、風速に対応した走錨リスク)を提供する走錨リスク判定システムを開発したことは、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	A
--------------	---

研究開発課題	<p>(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</p> <p>(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</p>
---------------	---

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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p> <p>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</p>	<p>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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。</p> <p>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</p> <p>—低硫黄燃料油や次世代燃料が燃焼した際に生じる環境影響物質の定量化、環境影響への因果関係を解明するための計測・分析法の検討を行う。等</p> <p>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</p> <p>—環境影響物質削減のための排ガス後処理装置の研究開発を行う。</p> <p>—水素エンジン等の燃焼安定化技術の開発と安全性の検討、船用エンジンのアンモニア燃焼技術の研究開発を行う。等</p>

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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。

- 排ガス規制対応のための計測・分析技術の高度化
- 排ガス処理技術の高度化に関する研究
- 船舶から排出される PM 等の環境影響評価技術の高度化
- 次世代燃料の燃焼性評価手法の確立
- GHG・環境影響物質削減のための計測・分析技術の確立

期間全体の研究目標

- 排ガス・排水等、トータルでの環境負荷低減を目指した排ガス処理システムの開発
- SO_x、GHG 対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術
- 次世代燃料の燃料生成物の成分を計測・分析することで定量的な評価を行い、その結果に基づいた削減技術の確立

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小型スクラバや燃焼改善、計測システムなどの技術開発を行う。今後の燃料多様化も対応可能となり海洋環境が保全される。
- 先駆的な技術開発により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。

R2 年度研究目標

□ 小項目 4

- ・ ガス燃料の微量ガス成分の耐ノック性影響評価
- ・ SO_x 規制対応燃料の燃焼改善技術及びその時の GHG への影響の実験的検証

□ 小項目 5

- ・ スクラバによる PM、BC、CO₂ 削減率の計測
- ・ 排ガスの成分からスクラバ排水への移行について、排ガスおよび排水の分析から解明
- ・ 燃焼試験装置を用い、次世代燃料の燃焼時に発生する燃焼生成物について分析・同定する

R2 年度研究内容

□ 小項目 4

- ・ SO_x、GHG 対応燃料の燃焼改善技術の開発

□ 小項目 5

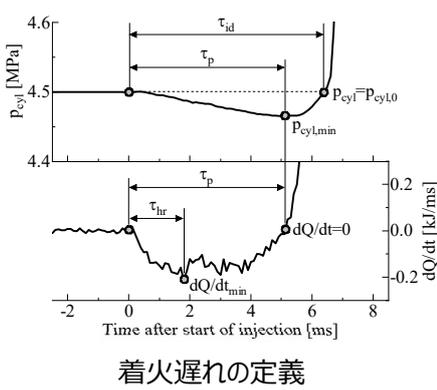
- ・ スクラバの GHG 削減への応用
- ・ スクラバの環境負荷の検証
- ・ 次世代燃料の燃焼生成物に関する調査

R2 年度研究成果

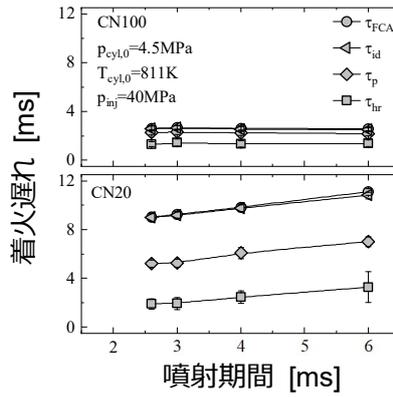
□ 小項目 4

- ・ 2020 年硫黄分規制対応適合油は、これまで市場に出していない新しい燃料油であり、様々な基材をブレンドして作られる。その配合は石油メーカーによって違うだけでなく、製油所や季節によっても異なる。そこで、本研究では、様々な基材を用い、現実的なブレンド油を試製し、その燃料の着火性評価を実施した。まず、基準燃料による確認試験として、燃料試験装置に合わせて規格化された着火遅れおよび様々な定義による着火遅れとその時の蒸発過程について評価したほか、数値解析により、噴射期間の違いによる噴霧内の濃度、温度分布を予測した(図 1~2)。この結果、十分な着火可能な空気と燃料の混合気形成されていたとしても、蒸発に伴う温度低下によって着火が遅れることがわかった。この基準燃料試験から、実測着火性指標を修正し(修正 ECN)、適合油も ISO8217 にある規格着火性指標(CCAI)にほぼ対応していることを実証した(図3)。個別の燃料で見ると CCAI の低下に対して修正 ECN が増加しない燃料もあり、この理由については次年度の課題とする。

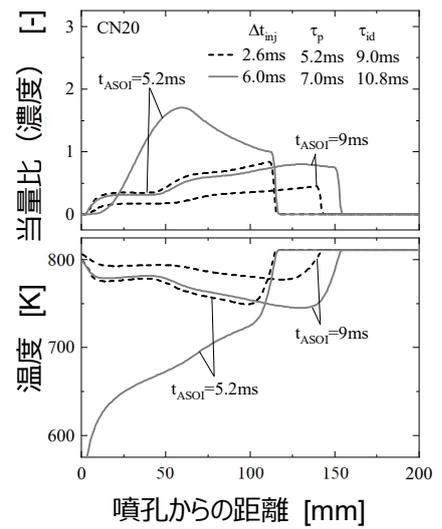
- ・ 液体燃料の分割噴射、燃料噴射圧変更によるガス燃料の着火性影響試験を実施し、分割噴射の効果が雰囲気(空気中、ガス燃料中)によって異なることが実証された。図 4 に二段噴射時の燃焼観察例を示す。また、天然ガスに含まれるメタン以外の微量ガス成分は、産地によって異なることが知られている。そこで、異なる微量ガス成分をメタン中に混合することによって燃焼試験を行ったところ、液体燃料の着火には大きな影響はなく、燃焼期間に効果が表れることが明らかになった。燃焼期間が短いことは、ガスエンジンにおける効率向上(GHG 削減)の可能性を示唆しており、この結果については、追試験を含めて詳細に検討し、次年度の評価指標の構築につなげる。



着火遅れの定義



噴射期間 [ms]



噴孔からの距離 [mm]

図 1 基準燃料による着火遅れの評価

図 2 モデルによる基準燃料による着火遅れの評価例

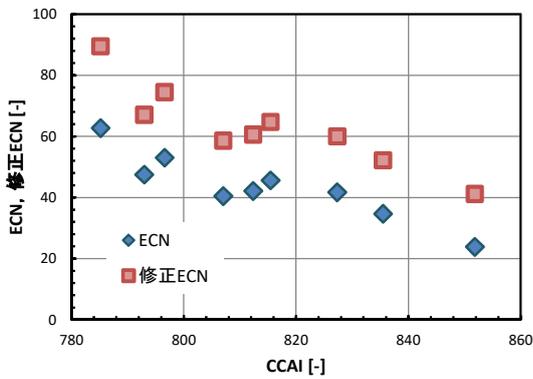


図 3 モデルによる基準燃料による着火遅れの評価例

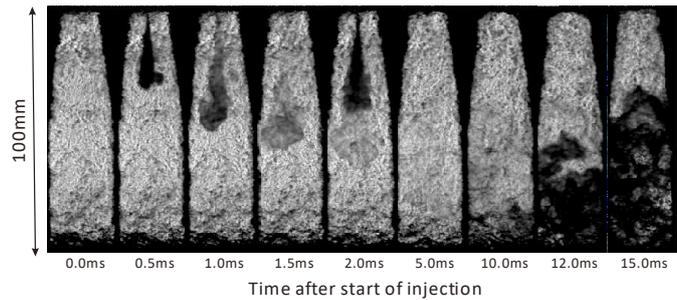


図 4 二段噴射時の燃料噴霧と火炎観察例

□小項目 5

・GHG 削減のため、スクラバによる CO2 削減効果の検証をおこなった(重点☆7と連携。次年度より重点☆4で実施)。LPG エンジンで 50~60%、ディーゼルエンジンで 10~20%削減を確認。ディーゼルエンジンは水素混焼を併用することで約 75%削減可能であることを確認した。次年度は、回収した CO2 の分離技術の検討および CO2 回収装置(スクラバ)を搭載する船舶の試設計を行う。

・スクラバ排水の環境影響を評価するため、スクラバ排水に移行する可能性のある、排ガス中に含まれる多環芳香族炭化水素(PAHs)の捕集システムを構築し、捕集したサンプルを分析した。その結果、排水モニタリング対象物質であるフェナントレンを始め、アントラセン・ピレンなどの環数の大きな、より有害な PAH が確認された。次年度は、異なる燃料を用いた際の PAH の種類、排出量の変化について調査する。

・ガスエンジンからのブローパイガス計測法を確立した。それにより、ガスエンジンの水素混焼時の水素濃度を計測可能になったことで、爆発限界を超えるなどの危険を察知できるようになった。次年度は、メタンスリップなど GHG 削減につながる成分についての計測・分析をおこなう。

・適合油などの残渣燃料にも対応可能な燃焼可視化装置(OCA)を稼働させ、燃焼波形、火炎の画像、燃焼時の映像を取得できるようになった。模擬燃料や各種燃料との燃焼性の違いを、火炎画像によって明らかにした(図2)。次年度は排出物の分析も行き、燃料組成との相関について詳細な分析をおこなう。この、燃料組成と排出物との詳細データは、IMO 提案への科学的根拠となりうる(ブラックカーボンおよび PAH)

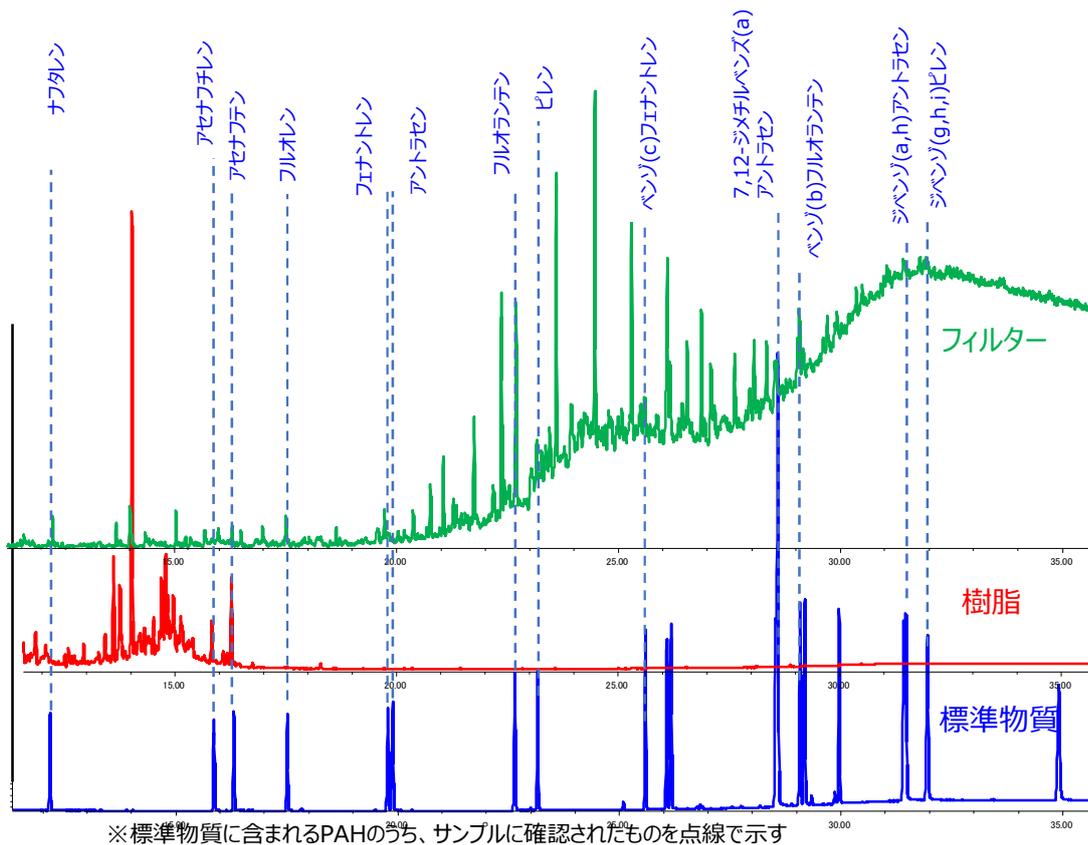


図1 PAHs 標準物質と排ガス中に含まれる PAHs のクロマトグラム

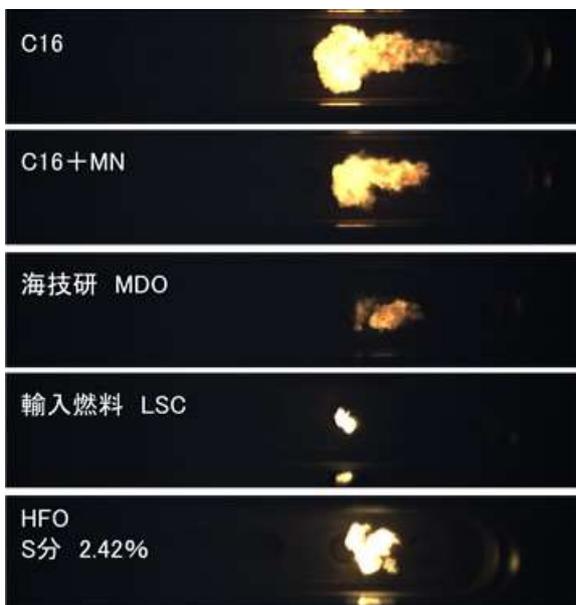


図2 燃料油種および模擬燃料油の着火性の違い

R2 年度成果の公表

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

- ・川内、高木、二成分系燃料におけるディーゼル噴霧の混合気形成過程と着火の関係に関する考察、日本マリンエンジニアリング学会(採択済、2021年5月発行誌掲載予定)
- ・内藤(北大)他、「Experimental study on evaporation characteristics of light cycle oil (LCO) droplet under various ambient conditions」、Energy & Fuels(投稿中)
- ・高木、「二成分系モデル燃料による船用重質油の着火性指標に関する評価」、JIME(投稿中)
- ・大橋、「恒温恒湿槽内におけるPM捕集フィルタの質量変化に関する考察」、JIME(投稿中)

□その他発表論文:6件(投稿中:0件、掲載済:6件)

- ・中村、市川、船用ガス機関のブローバイガス吸入・再燃焼技術に向けた成分分析、日本マリンエンジニアリング学会、学術講演会
- ・益田、船舶業界の環境への取り組み: 排ガスおよび温室効果ガスの規制の動向、環境技術 2 号特集、環境技術学会(2021.3)
- ・高橋、排ガス規制動向と規制対策技術、日本船舶海洋工学会、KANRIN 第 92 号(2020.9)
- ・高橋、硫黄分規制導入による燃料油性状への影響、日本マリンエンジニアリング学会誌第 56 巻第 3 号(2021.5)

□特許申請:0件

.

□コアプログラム登録:2件

- ・川内、「一次元噴霧モデルにもとづく蒸発噴霧解析プログラム」
- ・益田、高橋、金山「船用燃料油の動粘度計算プログラム(1) 温度依存性予測」

□国際貢献:0件

.

□受賞:1件

- ・大橋、日本マリンエンジニアリング学会、CPD 奨励賞

□公開実験:0件**主な評価軸に基づく自己分析****□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか。**

- ・本研究は、IMO が定めた方針(燃料硫黄分規制、GHG 削減)に対応するため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・分析法の確立は不可欠である。適切な評価軸を持つことは、環境影響物質・GHG 削減につながり、社会的価値(環境負荷の低減)の創出に貢献するものである。
- ・適合燃料油導入に伴う燃料性状の変化と、それに起因するトラブルの懸念が国および関連業界団体にあったが、適合油について、現実的に考えられる様々な作成手法によって燃料を作成し、着火性に問題を生じる燃料はないことを明らかにしたのは、非常に社会的価値が大きい。
- ・アンモニアや水素などの脱炭素燃料への移行は不可避であるが、それぞれ人体への毒性、爆発性があり、ブローバイガス中に排出される未燃燃料の計測は安全確保のために必須の技術である。
- ・燃料組成と排出物との相関および排出量データは、IMO でも関心をもたれているものであり、今後合理的な規制を検討する際に貢献できる貴重なデータである。

□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。

- ・2020 年より導入された低硫黄適合油を様々な基材(原油蒸留された燃料材料)で試製し、その燃料の着火性評価を実施することによって、従来の指標とは異なる、適合油に対応した修正着火性指標を提案しており、新規性が高い。
- ・数値モデルによって、実験では得られにくい着火時の燃料噴霧内部の蒸気量、温度分布を評価できるようになった科学的意義は大きく、今後燃料油や着火のパラメータが変更されても燃料噴霧内部の状態を推定できるため、発展性が高い。

□成果が期待された時期に創出されているか。

- ・低硫黄適合油は製油所単位や時期によっても組成が異なり、今後も燃料性状の変化に注視が必要である。適切な評価軸を用いて、個別のトラブル対応や今後の ISO や IMO での議論にも対応していく予定である。
- ・船舶由来の大気汚染物質、SOx スクラバ排水の環境影響などについては、IMO でも議論されており、本研究で得られたデータや知見は、それら議論における学術的根拠として活用される。

□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。

- ・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、スクラバ排水に含まれる海洋環境影響物質の同定と定量データは、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	B
--------------	---

コメント

- ・次年度より、GHG削減のための排ガス後処理技術の構築もおこなう予定であり、次世代の多様な燃料に対応できる燃焼性指標の確立は実エンジンでの燃焼予測にも活用できることから、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	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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p>	<p>海洋環境の保全 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。</p> <p>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</p> <p>－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、実船性能推定手法の検証を複数船種で検討、造船各社等との連携による高実海域性能船舶の設計・開発の検討及び実海域性能評価法の国際標準化に向けた検討を行う。等</p>

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。

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船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

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。

R2 年度研究目標

□小項目 5

- ・経年劣化・生物汚損影響評価法のガイドライン案
- ・直接実船性能推定手法の試行
- ・低速時波浪中推進性能モデルの検討
- ・造船各社との請負による実海域性能船舶の設計・開発
- ・実海域性能評価法の国際標準化提案

□小項目 6

- ・実運航試験によるベストプラクティスモデルの検証

□小項目 16

- ・AI 技術を適用した主機制御自動調整システムの完成

□小項目 17

- ・AI 技術を適用し主機の異常診断システムの完成

□小項目 18

- ・適用船型を拡張した船型・流場データベースの構築
- ・伴流設計システムの適用船型の拡張及び有効性の検証
- ・実船計測へ応用可能な PIV 計測システムの曳航水槽による評価

□小項目 19

- ・最適設計システムを用いた肥大船型・プロペラの最適形状立案
- ・気泡吹出周波数制御の実船システム提案
- ・空気潤滑法の摩擦抵抗低減メカニズムの解明
- ・弾性表面波デバイスの抵抗低減効果の拡大検討
- ・超低速船の水中騒音レベル把握
- ・キャビタンでの空気潤滑試験による水中騒音低減効果の評価

R2 年度研究内容

□小項目 5

- ・実海域実船性能評価技術を開発する。
- ・経年劣化・生物汚損影響評価法を開発する
- ・直接実船性能推定手法を複数船種で実施する。
- ・低速時波浪中推進性能モデルの作成を行う。
- ・造船各社と実海域性能船舶の設計・開発を行う。
- ・実海域再現水槽試験に AI 学習を組み込む。
- ・実海域性能評価法の国際標準化を検討する

□小項目 6

- ・ベストプラクティス運航モデルを実運航試験により検証・評価する。

□小項目 16

- ・AI 技術を適用した主機制御自動調整システムを開発し、省エネ性能や安全性能を最も高めることが可能なシステム設定の検討を行う

□小項目 17

- ・デジタルツインモデルを利用して異常検知、異常予兆を行い、異常原因を特定するシステムの開発

□小項目 18

- ・船型・流場データベースと伴流設計システムの統合
- ・船型・流場データベースの一般商船等への拡張
- ・伴流設計システムを一般商船等へ適用
- ・実船対応可能な伴流計測システムの試設計
- ・曳航水槽における伴流計測システムのブラッシュアップ
- ・流場計測結果と数値計算のデータ同化手法の検討

□小項目 19

- ・超低速肥大船の推進性能及び技術課題の検討
- ・空気潤滑法の摩擦抵抗低減効果の向上
- ・気泡による摩擦抵抗低減メカニズムの解明
- ・弾性表面波デバイスの開発
- ・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に関する F/S

R2 年度研究成果

□小項目 5

- ・実海域実船性能評価技術の開発については、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）の抽出条件を検討し同手法の適用範囲の拡張と精度向上を行った。また OCTARVIA プロジェクトと連携し実船モニタリングデータを用いて同手法の検証を行い手法の有効性を示した（図 1）。また、評価法については計算プログラム化し、プログラム登録を行った。さらに、RCM の波風中の性能評価法としての有効性について検討を行い、波、風に関する抽出条件等、今後検討すべき事項が明らかになった。

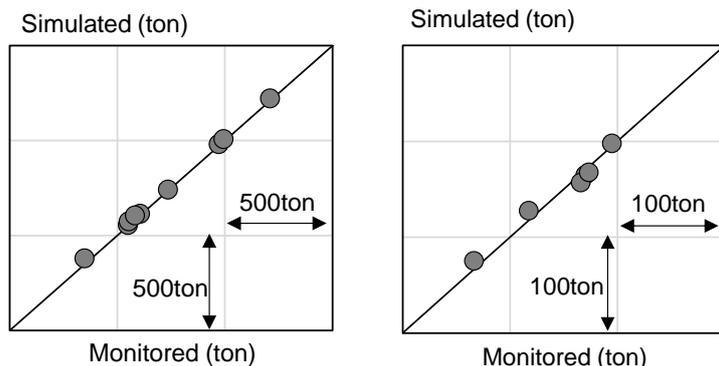


図 1 RCM を用いた燃費のシミュレーション結果と実船モニタリングデータとの比較
(左: コンテナ船、右: タンカー)

- ・経年劣化・生物汚損影響評価法を開発については、前記 RCM に基づいた評価法の構築を行い、OCTARVIA プロジェクトと連携し自動車運搬船、撒積船の長期間の実船モニタリングデータを用いてその有効性を確認した（図 2）。

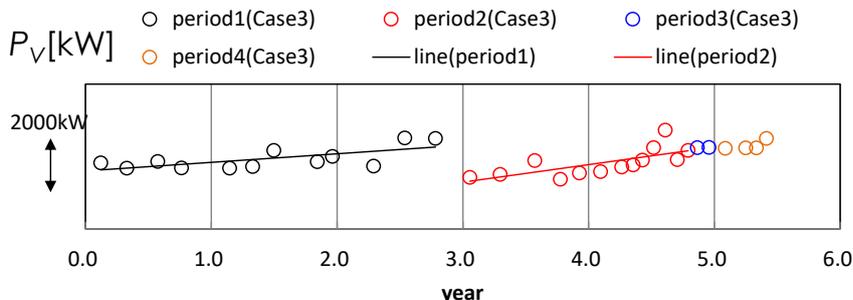


図 2 撒積船での経年劣化・生物汚損影響評価例(主機出力増加の時系列)

- ・複数船種による直接実船性能推定手法の実施については、船上での波浪観測手段として X バンド波浪レーダーに注目し、国内外の開発動向を調査した。

- ・低速時波浪中推進性能モデルの作成については、タンカー船型とバルカー船型の低速時向波中抵抗増加試験を実施した。大型コンテナ船の結果も含め、低速時波浪中抵抗増加の成分抽出を実施し、低速時における波浪中抵抗増加の反射波成分と運動成分の寄与について明らかにし、モデルの検討を実施した。また、抵抗増加に横揺影響を考慮することにより、横波～斜追波中の波浪中抵抗増加の推定精度を向上した(図3)。低速時の実海域シミュレーションを実施し、大斜航中の斜航抵抗の精度が実海域性能において重要であることが明らかとなり、バルカー船型および大型コンテナ船の大斜航を含む斜航試験を実施し、斜航抵抗の新たな簡易推定式および近似表現の構築を実施した(図4)。

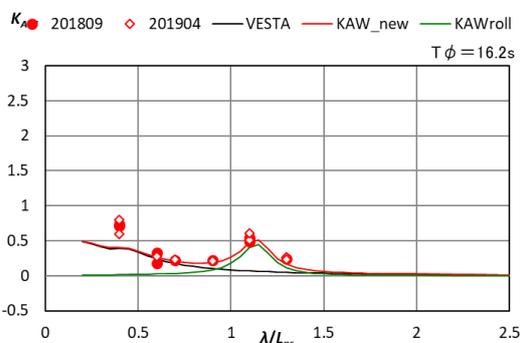


図3 横波中抵抗増加の検証結果
(コンテナ船(DTC))

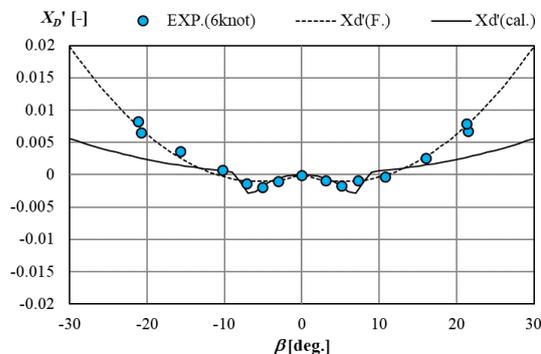


図4 斜航抵抗試験結果およびモデル式
(バルカー(JBC))

- ・造船各社との実海域性能船舶の設計・開発については、請負研究に関連して、風力推進ローター船の実海域燃費評価を実施した。
- ・実海域再現水槽の水槽制御システムに組み込んだ自動計測解析機能を用いて実施した検証試験結果についてまとめ、自動計測解析機能の妥当性を確認した。
- ・実海域性能評価法の国際標準化に向けて、評価法を実装した計算プログラム(図5)の作成及び評価法の文書化を行った。また、海運会社等の関連団体にヒアリングと研究成果の紹介を行い国際標準化に必要な情報の収集と情報の展開を行った。

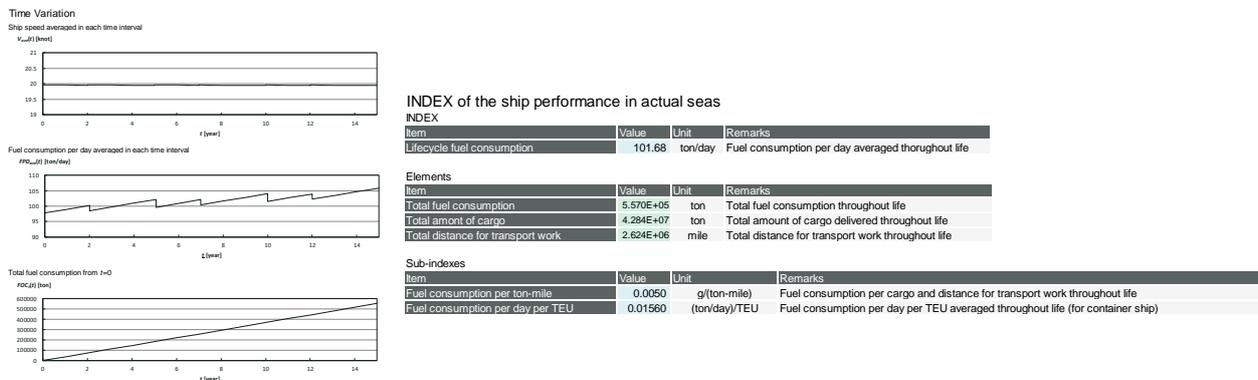


図5 実海域性能評価計算の例

□小項目6

- ・最適運航検討の一環として2019のEUMRVデータを入手し分析した。その結果、通常船にはないアイスクラス船の特性として、特に高いCO₂排出量のデータが見られることが確認された。船種別の分析では、船種ごとの運航の特性がCO₂排出量データの傾向に表れていることが確認された(図6)。
- ・船舶要目データ及びAISデータにより、より詳細な運航形態に関する情報を付加して分析し、ベストプラクティス運航モデルとなるデータを抽出して、実運航の分析・検証を行った。

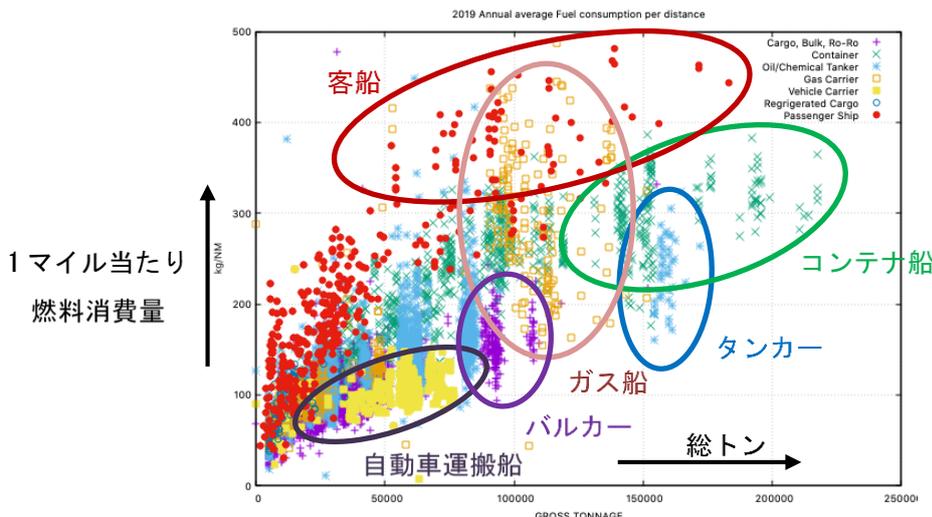


図 6 2019 年 EUMRV データ(v69)に含まれる全船の船種別 CO₂ 排出量(マイルあたり)

- ・北極海航路に対応する最適航路探索ソフトをリリースし、国交省の産学官連携協議会を通じ、船社等に公開した(図 7)。このソフトは VESTA-ICE による船速・燃費等推定ルーチンが組み込まれており、また A*アルゴリズムによる航路最適化機能を有し、加えて海水分布のデータを与えることで、航路距離・燃費・航行時間の最適化条件に基づき、北極海航路における航路の選択肢を提示することができる。

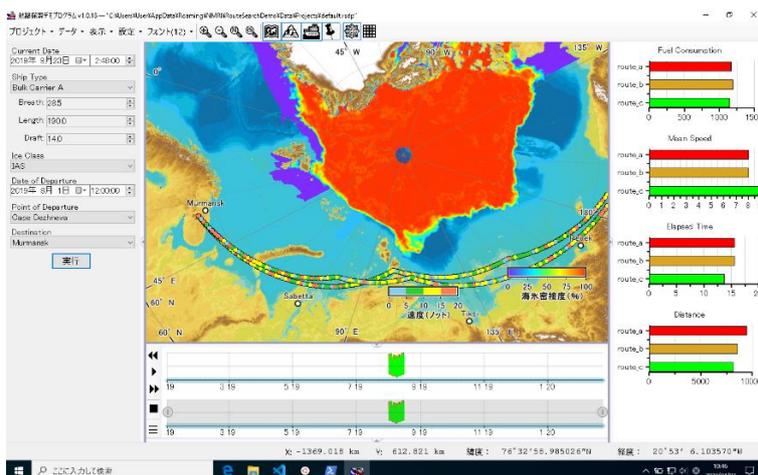


図 7 最適航路探索ソフト RouteSearch のインターフェース

□小項目 16

- ・海技研にて開発した主機特性数学モデル(Hybrid-CMV モデル)を組み込み、これまでに開発した“船体+プロペラ+主機応答連成計算プログラム”を改良した。Hybrid-CMV モデルは、従前の CMV モデルでは評価が困難であった 1 サイクルでの燃料燃焼とエンジントルク発生との関係について、CMV モデルベースでこれらを合理的に評価可能である上に同じ評価が可能で詳細計算手法よりも高速計算が可能であることが特徴である。本プログラムは、パナマックスバルクキャリア船を対象船とした主機特性を考慮した波浪中水槽模型試験結果との比較を通じ、高い計算精度を有することを確認している。そして、本プログラムの活用により波浪中主機負荷変動が大きいほど燃料消費性能が悪化することを理論計算にて示し(図 8)、学術的に新規性の高い知見を得ることが出来た。これらの成果は論文発表にて適宜公表している。
- ・上記の波浪中主機性能の評価のため、プロペラメーカーとの共同研究により波浪中プロペラ性能の評価を行うことで技術開発を推進した。
- ・昨年度より開発を進めている“遭遇海象に応じて主機運転状態を最適にする主機制御パラメータ自動調整アルゴリズム”を令和 2 年度は本格化させた。具体的には、(1)学習用の入出力パラメータの決定、(2)目標船速を担保しながら主機負荷変動抑制と燃費性能向上を目的とした報酬計算仕様の設計、(3)学習計算用ルーチンの検討により自動調整アルゴリズムを設計した。図 9 にそのフローチャートを示す。学習計算には燃料消費性能を実用的な計算時間で評価できる上記の改良“船体+プロペラ+主機応答連成計算プログラム”を適用した。学習進度に応じた正規化報酬点の時間変化を図 10 に示す。初期設定から 1.3%程度の改良が見られた。
- ・本小項目は令和 2 年度が最終年度であり、これまで得られた成果の概要を以下に示す。

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の Hybrid-CMV モデル組み込みによる高度化(小項目 17 と連携)。成果の一部は外部企業との共同研究にも活用されている。
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”の開発。本プログラムは外部企業との共同研究においても活用されている。

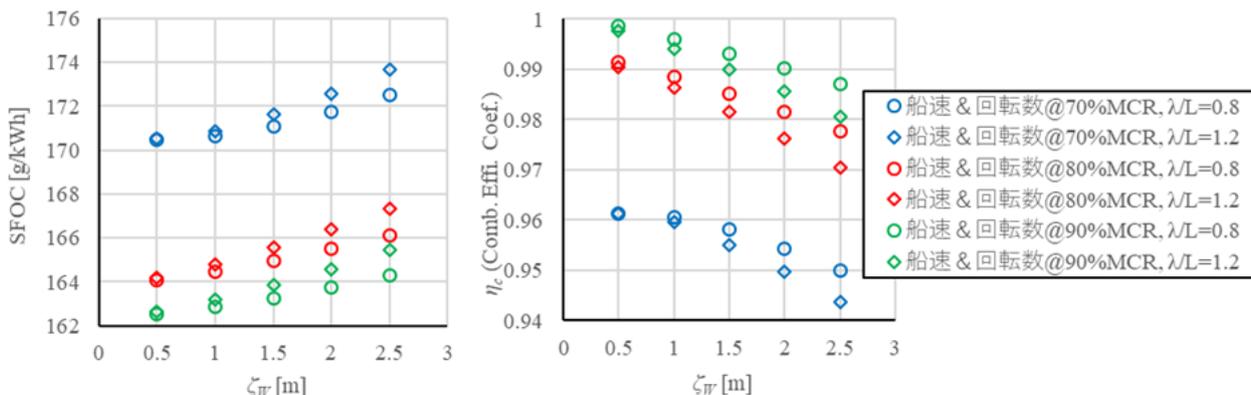


図 8 波振幅増加に伴う主機燃料消費率(SFOC)と燃焼効率係数の悪化の例

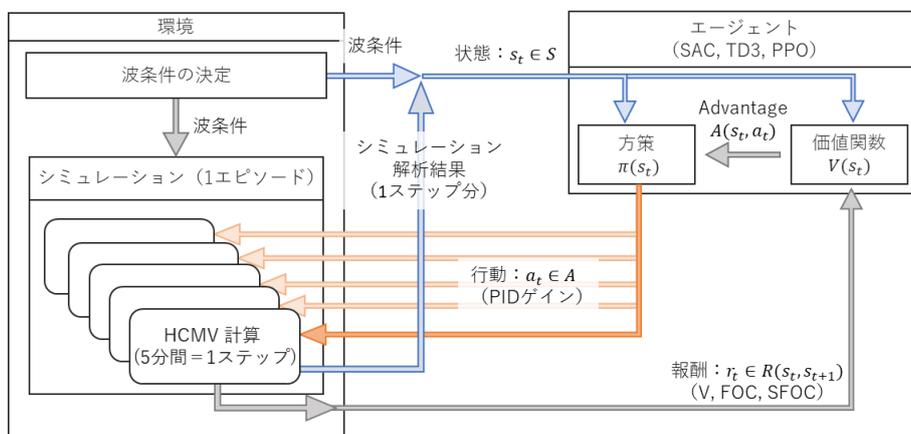


図 9 強化学習を適用した主機ガバナーPID ゲイン自動調整アルゴリズムのフローチャート

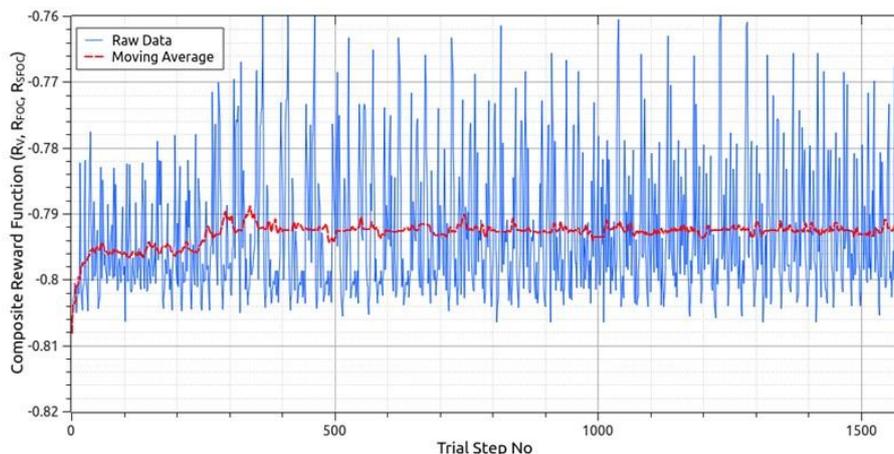


図 10 強化学習アルゴリズムによる学習進度に応じた報酬点の時間変化

□小項目 17

- ・これまでに開発した“船体+プロペラ+主機応答連成計算プログラム”を利用して波浪中主機負荷変動が燃料の燃焼に与える影響を評価するために、対象船の主機特性数学モデルに対して新たに燃料燃焼特性を含めて Hybrid-CMV モデルを構築した(小項目 16 と連携)。
- ・実機を使った試験結果により、燃料油に応じて空気過剰率が小さいほど燃焼特性が悪化する結果が得られた(図 10)。
- ・昨年度より開発を進めている「主機の異常診断システム」に、AI を使い自動で診断を行うアルゴリズムを開発して

追加した。このアルゴリズムの検証は主機の異常状態を模擬するシミュレーションで行った。図 11 にアルゴリズムのフローチャートを示す(この進展として、実データでのアルゴリズムの検証・評価のために主機メーカーとの共同研究を計画中である)。

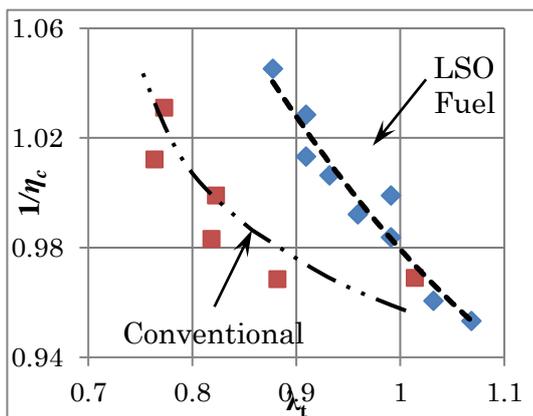


図 10 Degradation of combustion efficiency η_c as a function of air excess ratio λ and fuel type

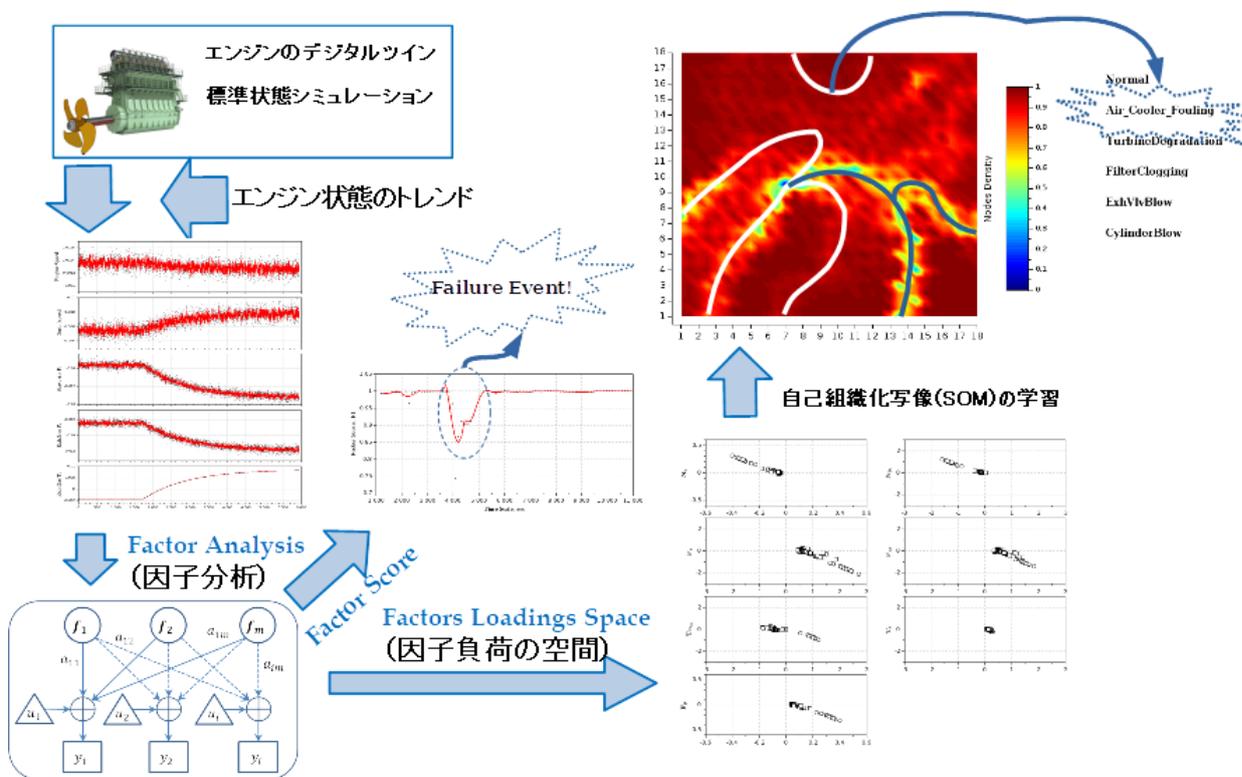


図 11 因子分析と自己組織化写像を適用した異常診断アルゴリズムのフローチャート

□小項目 18

- 伴流設計システムの汎用性をより高めるため、従来開発し水槽試験で精度確認を行っている伴流設計手法とは別に、R1 年度に特許出願した AI 技術を船型設計に応用するための鍵となる船体表現手法 (IHR: Imaged-based Hull Form Representation) と AI 技術のひとつである CNN (Convolutional Neural Network) を組み合わせ、従来手法 (CFD 計算) よりも数万倍高速に船尾伴流場を推定することが出来る高速伴流推定手法を開発し (図 12、13)、以下 2 点の研究成果が得られた。
 - 1) CNN による伴流推定法において損失関数に伴流の分布関数の勾配を導入することで、推定伴流の振動が軽減され、推定精度が向上した。
 - 2) CNN による伴流推定法と最適化手法を組み合わせ、所望の伴流を実現する船型を提示 (レコメンド) する手法を新たに開発した (図 14)。

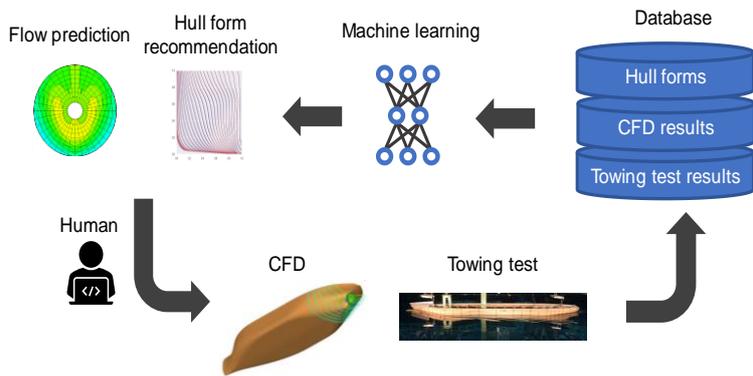


図 12 船型・流場データベースによる設計システムの概念図

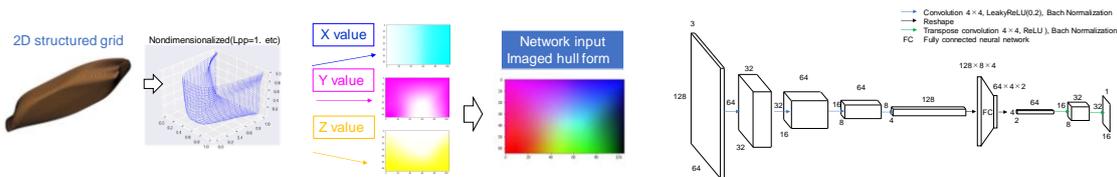


図 13 CNN による流場推定手法の概念図

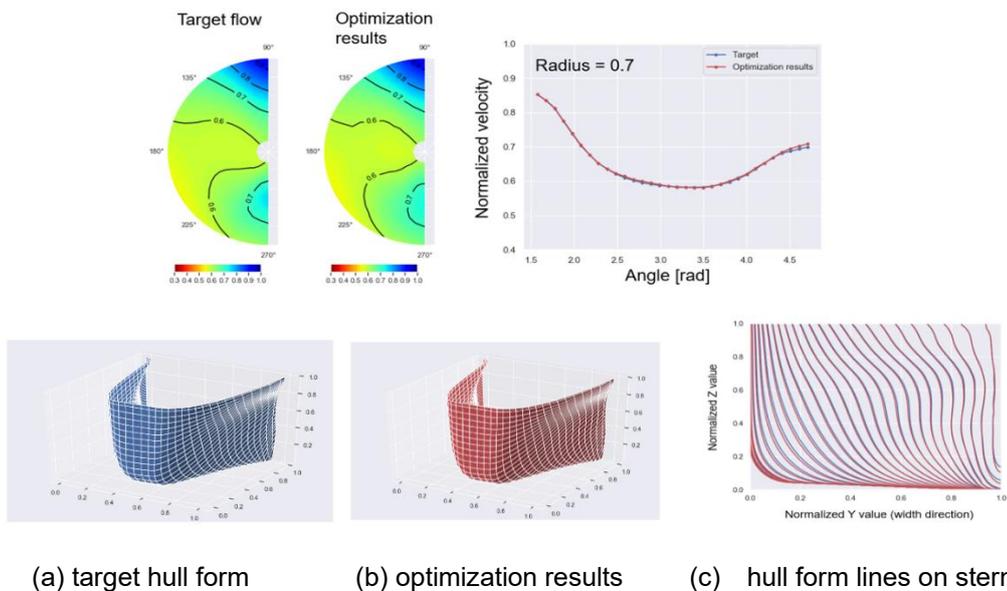


図 14 CNN による伴流推定法と最適化手法を組み合わせた所望の伴流をもつ船型レコメンド手法

- ・船型・流場データベースによる設計システムのクラウド環境基盤の検討として以下を実施した。
 - 1)船型・流場データベースによる設計システムの実用化に向けて造船所と開発中のシステムの評価を行った。
 - 2)クラウド環境を活用した水槽オンライン立ち会いシステムのプロトタイプを開発し、水槽データベースのクラウド化についてデータベースの基本設計を行った(図 15)。
- ・水槽試験結果と数値計算のデータ同化手法として、データベースの発展である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た。今後、適用船型の拡張による評価・改良を行い、最適トリム運航へ実施・評価を可能とするシステムとする。



図 15 水槽オンライン立会システムの画面

・大型キャビテーション水槽の PIV 計測システムの精度向上のため、レーザーの配置の見直しやキャリブレーションボードの調整機構の追加等を実施した。改良したシステムを用いて、ダクト型省エネデバイス(海技研開発 WAD、USTD)の伴流を計測し(図 16)、過去に実施した船尾変動圧力および水中騒音計測結果との関連を調査した。過去の研究によりダクト型省エネデバイス(WAD)により船尾変動圧力および水中騒音の低下が確認されているが、今回の計測から、ダクト型省エネデバイスによる船尾伴流のピーク値の改善が確認された(図 17)。

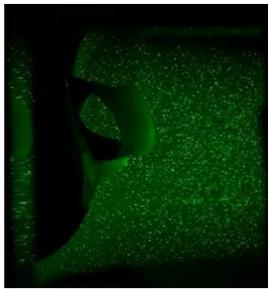


図 16 USTD まわりの流場計測

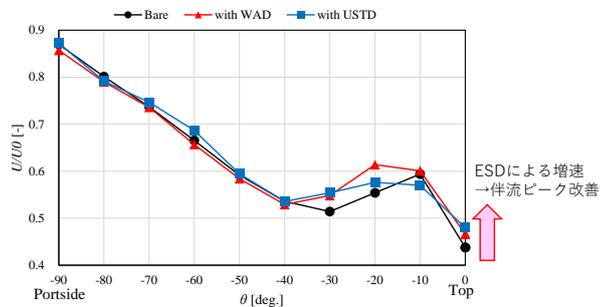


図 17 主流方向速度分布(r/R=0.8)

・曳航水槽においてプロペラ単独状態のプロペラ前後の流場計測手法を確立した。本手法を用いて、フィン付きボスキャップに適用し、通常ボスキャップ時発生するハブ渦がフィン付きボスキャップにより消滅する機構が明らかになった(図 18)。

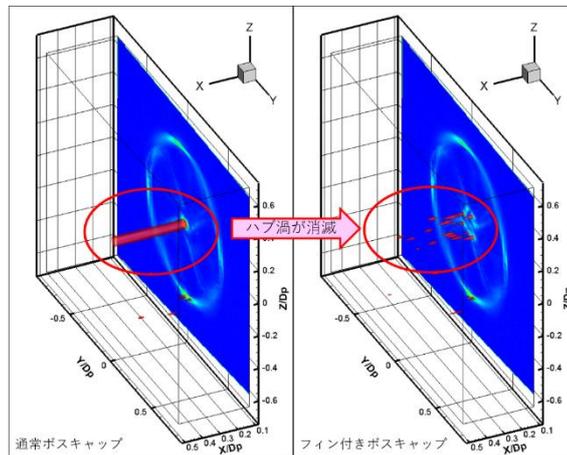


図 18 PIV 計測結果によるプロペラ後方渦度分布および速度勾配テンソルの第 2 不変量の等値面の可視化

□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: バルクキャリアを対象に、GHG ゼロエミッション船の運航コストの評価可能な海上物流シミュレータを作成した。ゼロエミッション船の導入戦略シナリオを提示し、低速・大型化による GHG 削減効果を定量化した(図 19)。
- ・Active 制御型省エネデバイス: 気泡吹出周波数制御により船速 8kt 時の摩擦抵抗低減効果が 28%から 34%に 6%向上することを確認した(図 20)。時系列 PTV により、気泡周囲の流場を計測。壁面近傍の速度勾配が変化することにより、抵抗が変化する可能性が示唆される(図 21)。
- ・弾性表面波デバイス: 音響波により水流(約 2mm/s)が発生することを確認した(図 22)。
- ・水中騒音低減: 大型キャビテーション水槽第 2 計測胴における TSP(Time Stretched Pulse)信号を用いた伝達関数の測定方法を構築し、反射・残響の影響を補正できることを確認した(図 23)。文献調査の結果、空気潤滑法で

発生する気泡流により、低減可能な水中騒音の周波数帯が明らかとなった。

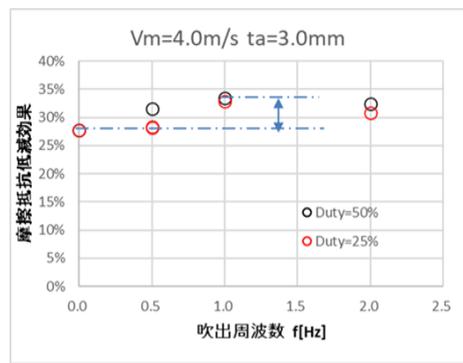
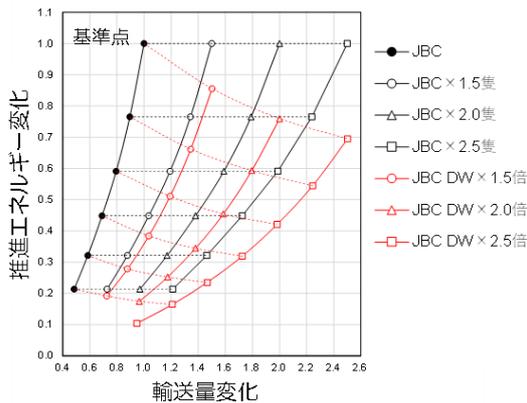


図 19 気泡吹出周波数の変化による大型化・隻数増加と推進エネルギー・輸送量の関係 図 20 周期吹出による摩擦抵抗低減効果の向上

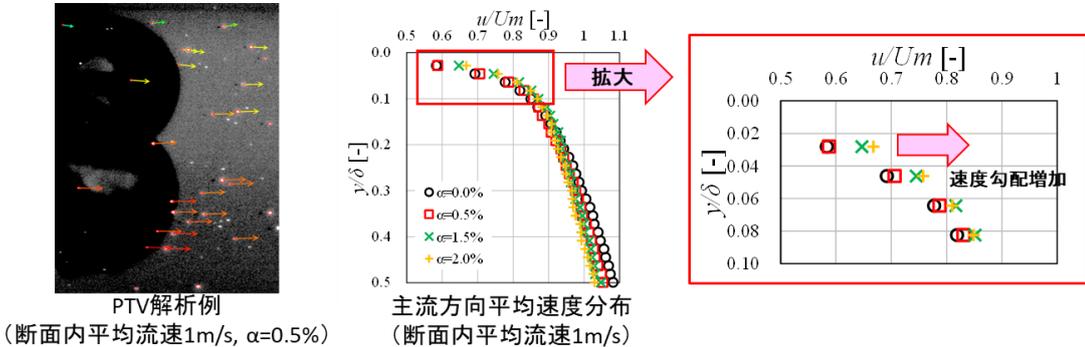


図 21 時系列 PTV による気泡周囲流速計測例

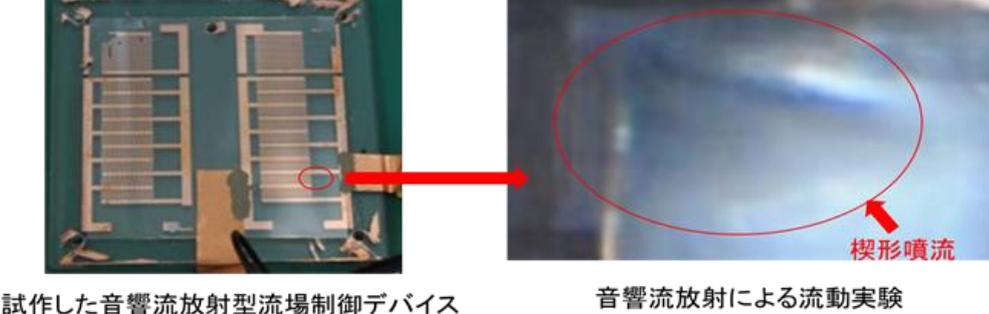


図 22 音響流放射による水流発生確認実験

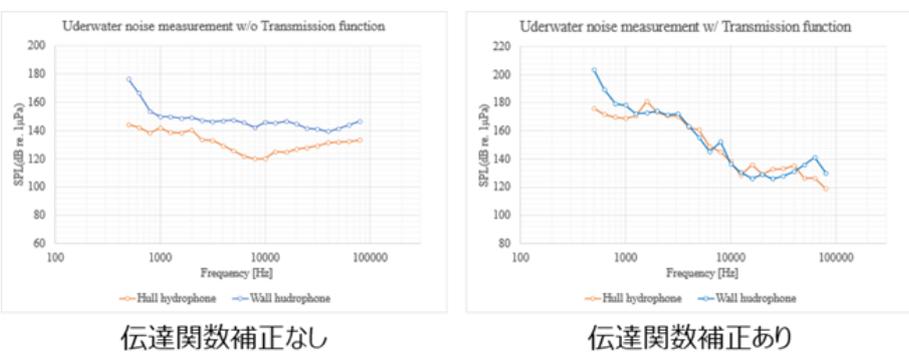


図 23 伝達関数補正による反射・残響音の補正例

R2 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):21 件(見込み含む)(投稿中:14 件、採択済:2 件、掲載済:5 件)**

- K. Kume et al.: Validation of dimensionless method using height average wind velocities for wind forces, Journal of JASNAOE, Vol.31, pp.39-46 (2020)
- S. Yokota et al.: Detailed Study on the Behavior of Ships in Very Short Waves, Proc. OMAE2020, OMAE2020-19008, pp.1-6
- 大場弘樹他: マイクロバブルをトレーサーに用いた PIV 計測法の開発-模型船周りの流場計測と波高影響調査-, 海技研報告, 第 20 巻, 第 1 号, pp.51-62, 2020
- M. Kuroda et al.: Automated Measurement System for Actual Sea Model Basin, 海技研報告, 第 20 巻, 第 1 号, pp.63-75, 2020
- A. Kaneko et al.: Evaluation of Occurrence Probability of Winds for Use of Wind Propulsion System in Calculating Attained Energy Efficiency Design Index, Transaction of Navigation, Vol.6, No. 2, 2021 (採択済)
- N. Sogihara et al.: Uncertainty Assessment in Ship Performance Evaluation by Monte Carlo Simulation Using Onboard Monitoring Data, Journal of JASNAOE (投稿中)
- A. Sakurada et al.: Application of Energy Saving Bow Shape in Actual Seas to JBC, Proc. of OMAE2021 (投稿中)
- 久米健一, 濱田達也: コンテナ船の甲板上積み付け状態と風圧力の関係, 日本船舶海洋工学会論文集(投稿中)
- S. Yokota et al.: A Practical Correction Method for Added Resistance in Oblique Waves Considering the Influence of Roll Motion, Journal of JASNAOE (投稿中)
- 松沢孝俊: GLAS データを利用した POLARIS による北極海の可航性評価, 日本船舶海洋工学会論文集(投稿中)
- Bondarenko O., et al.: Development of Detailed Engine Model for Evaluation Propulsion Performance in Waves by a Self-Propulsion Model Test, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- 岡田善久他: 複数の省エネ付加物とプロペラの干渉影響に関する研究-プロペラ位置とピッチ分布による自航要素への影響-, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 32 号, pp.1-8 (2020)
- K. Shiraishi et al.: "Accuracy Verification of Cavity Shape Measurement Using Combination Line CCD Camera Measurement Method", Proceedings of International Symposium on Cavitation (CAV2021), 2021. (採択済)
- Y. Ichinose et al.: A Wake Field Prediction Method for a Curved Surface Such as a Hull Form Utilizing a Convolutional Neural Network, Journal of Marine Science and Technology. (投稿中)
- 若生大輔他: "長尺平板模型を用いた空気潤滑法における周期吹出による摩擦抵抗低減に関する研究(第 1 報)-20m および 36m 模型における摩擦抵抗低減効果-", 日本船舶海洋工学会論文集, 2021.(投稿中)
- 濱田達也他: "長尺平板模型を用いた空気潤滑法における周期吹出による摩擦抵抗低減に関する研究(第 2 報)-局所剪断力およびボイド率分布-", 日本船舶海洋工学会論文集, 2021.(投稿中)
- 澤田祐希他: ワイヤメッシュスクリーンを用いた水素気泡発生装置の開発およびプロペラキャビテーション試験への適用の検証, 日本船舶海洋工学会論文集(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).
- H. Kawashima et al.: Experimental Study on Air Lubrication Using 50m Long Flat Plate -1st Report: Effect of End Plate and Center Keel on Drag Reduction in Air Lubrication -, Journal of Marine Science and Technology. (投稿中)
- H. Kawashima et al.: Experimental Study on Air Lubrication Using 50m Long Flat Plate - 2nd Report: Effect of Air Injection Method and Air Injection Section Arrangement on Drag Reduction in Air Lubrication-, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- C. Kawakita: Effect of Skew Angle on Hydrodynamic Performance of Flexible Composite Marine Propellers, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)

□その他発表論文:30 件(投稿中:2 件、掲載済:28 件)

- 粉原直人他: 海技研が提供する船舶の実海域性能に対するソリューション, 海技研報告, 第 20 巻別冊, pp.25-30, 2020
- 金子杏実他: 風力推進の利用のための代表航路での風速・風向の発現確率, 第 80 回 実海域推進性能研究会 (2020)
- 久米健一: 風圧力の無次元化に用いる高さ平均風速の有効性について, 第 80 回 実海域推進性能研究会 (2020)
- 折原秀夫他: 制限水路における推進性能-ITTC における海上速力試験での浅水影響修正法の検討について-, KANRIN 93 号 (2020)
- S. Yokota et al: Measurement and Estimation of Added Resistance in Waves at Low-Speed, International Conference on PAAMES/AMEC 2021 (投稿中)

- ・ 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 (2020)
- ・ 辻本勝他:今後の船, 海洋へのいざない, 日本船舶海洋工学会 (2021)
- ・ 松沢孝俊:北極海における船舶運航の安全性と経済性の向上, JCAR 北極域研究船利用計画ワークショップ (2020)
- ・ 松沢孝俊:北極海航路における運航支援システムについて - プロトタイプ提案, 第 10 回北極海航路に係る産学官連携協議会, 国土交通省, 2020 年 8 月 3 日 (2020)
- ・ 松沢孝俊:北極海航路における運航支援システムの紹介, 2020 年度第 1 回北極の未来に関する研究会, 日本財団・笹川平和財団, 2020 年 10 月 6 日 (2020)
- ・ 松沢孝俊:氷海工学の観点から, 北極環境研究コンソーシアム 2020 年度第 2 回全体集会 (2020)
- ・ 北川泰士他:波浪中主機負荷変動が燃料消費性能に及ぼす影響に関する一検証, 第 80 回 実海域推進性能研究会 (2020)
- ・ 北川泰士他:波浪中主機負荷変動が燃料消費特性に及ぼす影響に関する一検証、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 31 号 (2020).
- ・ 北川泰士他:船用主機デジタルツインに関する研究開発と技術的課題、海技研報告, 第 20 巻別冊, pp.43-48, 2020
- ・ Bondarenko O., et.al.: Performance Degradation of Propulsion Engines due to Aging、海上技術安全研究所令和 2 年度研究発表会、PS-8, 2020.
- ・ 一ノ瀬康雄:科学の力で水をあやつる ~船舶の最新流体シミュレーション~, 今治地区造船技術講演会 (2020)
- ・ 一ノ瀬康雄他:船型設計技術, 日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会シンポジウム『GHG 排出量ゼロに向けた船舶流体力学の現状と展望』(2020)
- ・ 毛利隆之他:キャビテーション・水中騒音に関する水槽試験技術, 日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会シンポジウム『GHG 排出量ゼロに向けた船舶流体力学の現状と展望』(2020)
- ・ 岡田善久他:省エネ付加物とプロペラの干渉影響の研究－模型試験による自航要素の変化の検証－, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 30 号, pp.505-509 (2020)
- ・ 眞砂徹他:内航省エネ船型の実船適用, 海技研報告, 第 20 巻, 第 2 号, pp.43-51, 2020
- ・ 一ノ瀬康雄他:船型バリエーションの開発, 海技研報告, 第 20 巻, 第 2 号, pp.27-42, 2020
- ・ 拾井隆道他:高度流体制御技術によるゼロエミッション船の実現, 海技研報告, 第 20 巻別冊, pp.73-78, 2020
- ・ 宮川和芳他:キャビテーションによる流体励振力予測、ターボ機械、2020 年 9 月号 (2020)
- ・ 田中泰爾他:36m 長尺平板におけるボイド波生成による摩擦抵抗低減効果の促進, 混相流シンポジウム 2020 (2020)
- ・ 大石義彦他:36m 長尺平板を用いた摩擦抵抗低減時における気泡ボイド波の可視化, 第 48 回 可視化情報シンポジウム(2020)
- ・ 田中泰爾他:高速チャネル乱流におけるボイド波生成による壁面せん断応力の変調, 日本流体力学学会年会 2020
- ・ 田中泰爾他:36m 長尺平板模型における間欠的気泡注入による空気潤滑法の高効率化、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 32 号 (2021)(投稿中).
- ・ 大石義彦他:36m 長尺平板における気泡抵抗低減時のせん断応力の変調, 日本機械学会第 98 期流体工学部門講演会論文集(2020)
- ・ 川北千春:ゼロエミッション・コンセプト船, 日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会シンポジウム『GHG 排出量ゼロに向けた船舶流体力学の現状と展望』(2020)
- ・ 川北千春:ゼロエミッション船の研究開発動向, 第 152 回造工中手船型研究会 (2021)

□特許申請:3 件

- ・ 構造物の流体抵抗低減方法、構造物の流体抵抗低減装置 (特願 2020-111951)
- ・ 船舶の性能推定方法、性能推定プログラム、及び性能推定システム(出願手続き中)
- ・ 摩擦抵抗低減装置を備えた船舶、及びバブル発生装置(出願手続き中)

□コアプログラム登録:2 件

- ・ HOPE Cloud(船型性能簡易推定ツール)
- ・ wwjapan cloud v1 版(クラウド版日本近海の波と風データベース)

□国際貢献:3 件

- ・ ITTC: Guidelines on the CFD-based Determination of Wind Resistance Coefficients, 29th ITTC, 2021(予定)
- ・ Final Report and Recommendations to the 29th ITTC from SC SOS, Proc. of 29th ITTC, 2021(予定)
- ・ The Specialist Committee on Ice Final Report and Recommendations to the 29th ITTC, Proc. of 29th ITTC, 2021(予定)

□行政要望:1件

- ・ AIS等のデータを用いた解析について、国土交通省 海事局 海洋・環境政策課
※現存船燃費性能規制(EEXI)の検討のため AIS 及び気象海象等のデータに基づき運航解析を実施。

□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。**

- ・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針に合致するものである。また、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 Project)により幅広い分野で共同して取り組んでおり、実海域性能評価技術の向上は競争力強化に貢献できている。
- ・我が国の北極政策にある北極海航路の利活用及び環境保全に合致する取り組みである。我が国がオブザーバーになっている北極評議会では、近年増加する北極海通航船舶による環境リスクに注目しており、EUMRV は船舶 CO₂ 排出規制のバックデータとなり得るが、それに付加価値を与えるものである。
- ・実海域運航データ解析の取り組みは、行政要望の速やかな実施に繋がった。
- ・船舶からの GHG 削減や水中騒音低減の取り組みは、世界的な環境負荷低減ニーズと整合している。

□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。

- ・実船モニタリングデータによる実海域性能の分析方法、設計段階での実海域性能の推定方法、実海域性能評価方法の開発と包括的に取り組んでおり、成果の利用範囲は十分に広い。
- ・現在の EUMRV はデータとしての完全性や有効性が課題である。AIS データや衛星氷況データ等と併せて欠落している情報を補い、また価値を拡充する取り組みはまだ見られておらず、新規性が高い。
- ・波浪中主機負荷変動と燃料消費性能悪化の関係性を理論計算にて示すことができ、科学的に新規性がある。
- ・主機デジタルツインの開発に繋がる取り組みであり、科学的意義は大きい。
- ・GHG 削減のための革新的省エネ技術開発では、日本船舶海洋工学会でのシンポジウム開催の中心的役割を担い、学術的貢献は大きい。

□成果が期待された時期に創出されているか。

- ・3年計画の海事クラスター共同研究の進行に合わせており、予定通りに成果が創出されている。
- ・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。この時点でデータを分析し、有効性を評価することは、今後の MRV ルールの方向性に対してインパクトが大きい。

□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。

- ・実船モニタリングデータ解析手法、模型試験の実施・解析法、実海域性能推定法、実海域性能評価法はいずれも国際標準化を想定して取り組んでいる。すでに一部(高さ平均風速の導入)は ITTC ガイドラインへ反映されるなど、国際的な技術審議の主導につながっている。
- ・北極海における経済活動の拡大に対して合理的な規制を与えるためのバックデータであり、我が国が正当な主張を通すために保有すべき根拠となる。
- ・超低速船の開発や空気潤滑法の高度化は、世界トップレベルの技術であり、その取り組みは社会的意義が大きく、成果の社会実装により、国内企業の国際競争力につながる。

□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。

- ・「水槽試験技術と船舶推進プラント数学モデルを活用した主機スマート制御システム開発」及び「主機デジタルツイン技術を用いた船舶主機状態監視システムの開発」の実施内容は時系列での主機制御等の萌芽的要素を多く含み、デジタルツインに関するニーズに合った研究であり、先見性をもって対応できている。

研究主任者による自己評価

A

□コメント

- ・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(フェーズ1)の成果創出に貢献できている、同フェーズ2の開始に繋がるなど、引き続き高い成果創出が見込まれる。
- ・本研究での取り組みが行政要望の速やかな実施に繋がったことは評価できる。
- ・プログラム等のクラウド化への取り組み、デジタルツイン技術や GHG 削減のための革新的省エネ技術開発など、新規性のある取り組みも実施できている。

研究計画委員会による評価	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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p>	<p>海洋環境の保全 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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。</p> <p>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</p> <p>－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、実船性能推定手法の検証を複数船種で検討、造船各社等との連携による高実海域性能船舶の設計・開発の検討及び実海域性能評価法の国際標準化に向けた検討を行う。等</p>

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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。

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)
- 荒天時における損傷時船舶の自力航行などの船体運動シミュレーションが可能
- CAD、CFD、最適化手法を組み合わせ、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
- 大波高時の区画損傷時船舶の運動シミュレーションが可能になり、将来の合理的な復原性基準の実現に貢献
- 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の開発／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

R2 年度研究目標

□小項目 1

- ・実船馬力の推定における格子分割数や粗度設定等の物理モデルのパラメータ選定による計算手法を確立する。
- ・開発中の重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISAにおいて分散メモリ型並列手法を開発する。
- ・自走状態のシミュレーションにおいて、体積力モデルの選択と使用数の制約をなくし、複数の船舶が自走する状態も計算できる手法を開発する。

□小項目 2

- ・重合格子法における各格子の重合状態の計算アルゴリズムを更新し、メモリ等計算リソースの効率的な使用とそれに伴う手法を開発し、格子ブロック数が極多数の場合においても重合情報生成を可能とすることで、ハイブリッド型省エネデバイスの性能計算手法を確立する。
- ・二相流れに対応した NAGISA の開発を継続し、界面捕獲スキームを重合格子に対応させる。また、NAGISA に組み込むためのキャビテーションモデルプログラムを開発する。

□小項目 4

- ・動的重合格子法を現実的な計算時間で行うことと、不完全な重合情報にならざるを得ない場合でも計算を破綻させずに計算を継続する手法を開発する。

□小項目 5

- ・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、主船体に損傷状態を取り扱えるよう、重合情報生成システムの改良を行う。

□小項目 7

- ・新たな数値計算手法として格子ボルツマン法(LBM)を主体とした高速なハイブリッド計算手法の開発を開始する。

R2 年度研究内容

□小項目 1

- ・実船馬力推定に関わる粗度高さ等の物理モデルのパラメータ選定と格子分割数による不確かさ解析等により、実船馬力計算手法を確立する。
- ・分散メモリ型並列手法を開発する。重合格子において有効な計算負荷の分散アルゴリズムを検討し、分散計算のランクごとに計算負荷が均等になる手法や通信のオーバーヘッドを小さくできる手法等を開発する。
- ・体積力モデルの選択と使用数の制約がないデータ構造を導入し、パウスラスタ等アクセラレーターが多数動作する状態を計算できるとともに、複数の船舶が任意に自走する状態も扱えるように拡張する。

□小項目 2

- ・グルーピングや除外判定法の見直し等により重合情報生成アルゴリズムを開発することで、多数の格子ブロックを使用して形状再現性を高めた場合においても数値シミュレーションにより流れ場を求めることができるようになる。
- ・前年度開発した界面捕獲スキームによる二相流れの基礎検証を継続する。これと並行し、重合格子を使用した際でも、補間エラーを出来るだけ抑えることの出来る界面捕獲スキームを開発する。一流体・均質媒体を仮定したキャビテーションモデルである、Zwart モデルおよび Schnerr-Sauer モデルのプログラムを開発し、ソルバー NAGISA への組み込み基礎検証計算を行う。

□小項目 4

- ・波浪中のフリーラン計算であることを前提とした場合に適用が可能な制約条件(波浪場の計算領域は矩形の格子で定義され、船体はその中を6自由度運動している)を適用することにより、重合情報生成の高速化手法を開発する。
- ・近似的な補間情報により、当該ステップの計算を行い、計算を継続させる手法を開発する。

□小項目 5

- ・損傷し浸水した船舶の波浪中での運動計算を扱えるよう、重合情報生成システムの拡張を行う。

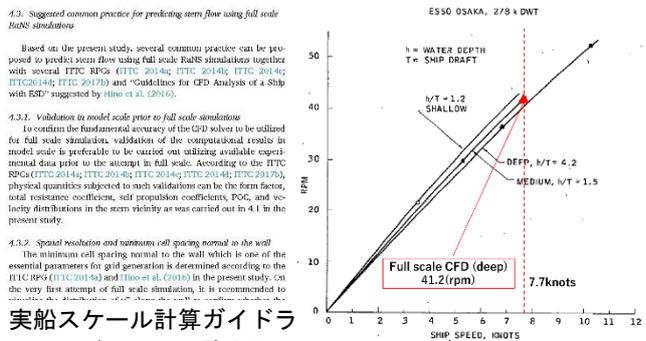
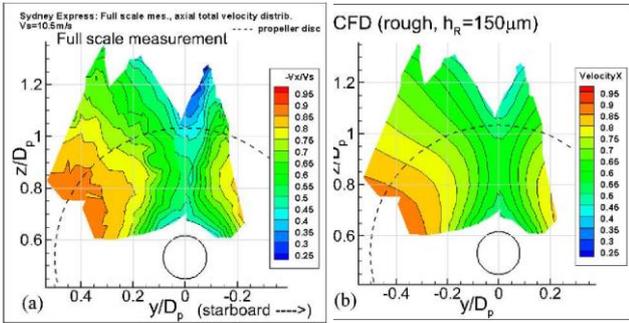
□小項目 7

・新たな数値計算手法として格子ボルツマン法(LBM)を主体とした高速な計算手法の開発を開始する。

R2 年度研究成果

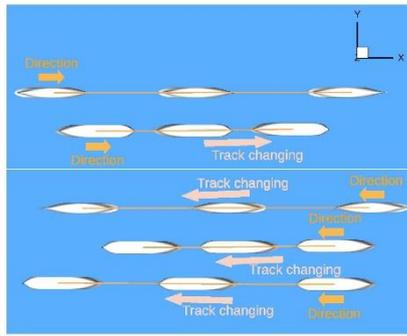
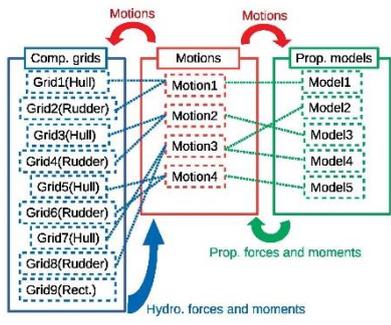
□小項目 1

・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、実船計測結果との検証を通じて明らかにし、計算パラメータ等をまとめ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。また、前述の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。



実船伴流計測結果 実船スケール CFD 計算結果 インのジャーナル論文化 実船プロペラ回転数推定と検証
図 実船スケール計算ガイドラインと検証結果

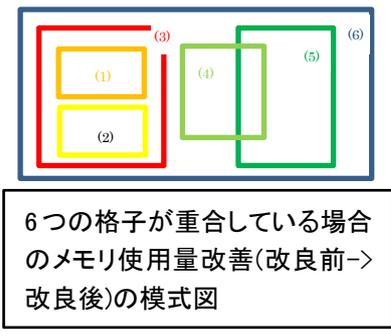
- ・重合格子においても有効な分散メモリ型並列手法を開発。重合格子を構成する計算格子を計算ノードに分散して配置し、計算ノード間で重合情報に基づく変数を通信及び同期することで全格子での流場計算を行い、2 倍程度の高速化を実現した。
- ・重合格子における計算格子、運動方程式と体積力モデルの制約を伴わないデータ構造とそれらに関連付ける手法を開発し、複数の船舶が任意に自走する状態も扱えるように拡張した。



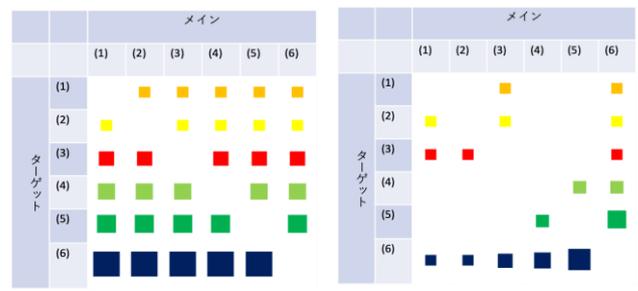
体積力モデルのデータ構造 多船航路航行状態のシミュレーションへの応用
図 体積力モデルの制約なしデータ構造と多船航路航行状態への応用

□小項目 2

・アルゴリズムを改良し、格子の全組合せではなく重合する組合せのみでメモリを確保することで効率化を実現した。極めて多数の格子がある場合(例えば組み合わせ数約 395,000 通り等)の重合格子生成も可能にした。



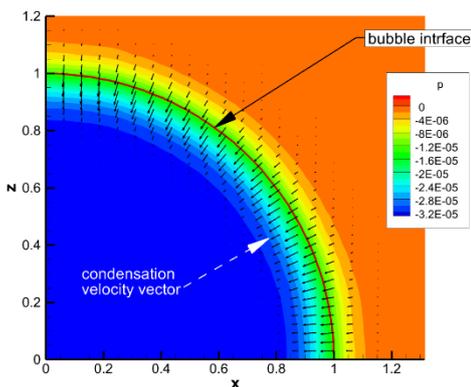
6つの格子が重合している場合のメモリ使用量改善(改良前→改良後)の模式図



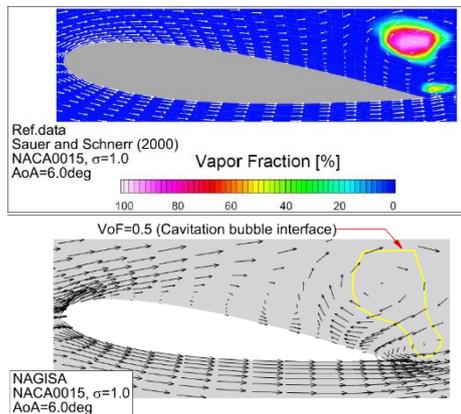
改良前 改良後
■が各組合せでの割当メモリ。大きさが容量を概念的に示す。

図 重合格子の組み合わせに基づくメモリ使用量の改良

- 動的重合格子に対応した界面捕獲アルゴリズムを開発し、様々なケースの検証問題を通じて、物理量の保存性等の確認を行った。Schnerr-Sauer モデルに基づくキャビテーション計算プログラムを開発し、前述の界面捕獲アルゴリズムと共に NAGISA への組み込みを行った。単一球形気泡の収縮問題を通じた基礎検証を行い、開発した手法の妥当性を確認した。



単一球形気泡の収縮

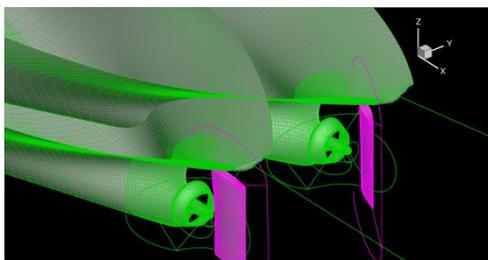


二次元翼周りのキャビテーション

図 キャビテーションモデルの基礎検証

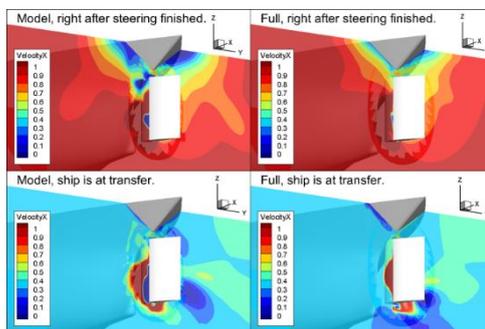
□小項目 4

- 波浪中のフリーラン計算等において制約条件を付加し、運動相対位置を考慮した動的重合格子のアルゴリズムの改良により、高速化とロバスト化を図った。
- 改良した動的重合格子手法を用いて模型及び実船スケールでの自由航走シミュレーションを行い、計算結果を検証した。
- 複数の外部機関において波浪中計算の実用化がなされた(社会実装)。波浪中の船体表面圧力、波向き変更を含む波浪中抵抗増加、運動の応答関数等、詳細な検証も行われている。



舵を除く格子の相対位置関係は変化しないため、重合関係の解を更新しない

図 動的重合格子のアルゴリズム改良



模型スケール 実船スケール

図 35度旋回中模型・実船スケール流場の比較

□小項目 5

- 損傷による一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。新しい格子トポロジーを導入することで、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、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になった。
- 開発した手法を波漂流力の評価、浮体内部の自由水との波浪中での強連成計算へ適用した。

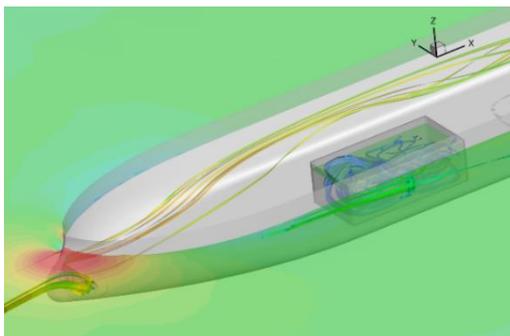


図 一区画浸水状態を想定した計算と流線追跡

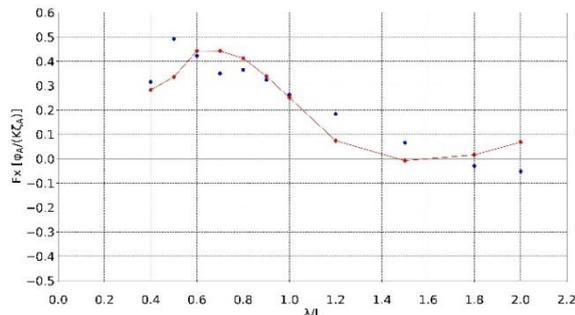


図 波漂流力の検証(重点☆03と連携)

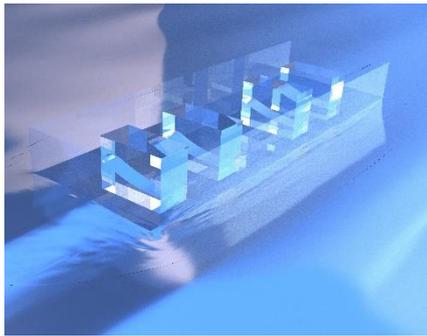


図 タンク内自由水と浮体の強連成計算

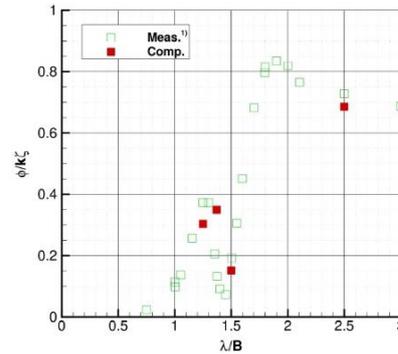


図 タンク内自由水との連成による浮体の横揺れ応答関数の検証

□小項目 7

- ・長期ビジョンにおける「次世代超高速・高精度計算手法の基盤開発」を目標に並列化を含むプロトタイプコードの開発に着手した。CAD データを元に物体条件を扱う埋め込み境界法等について文献調査も行った。

R2 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): 3件(投稿中: 1件、採択済: 0件、掲載済: 2件)

- ・Sakamoto, N. et al.; An overset RaNS prediction and validation of full scale stern wake for 1,600TEU container ship and 63,000 DWT bulk carrier with an energy saving device, Applied Ocean Research, Vol.105, 2020
- ・Korkmaz, B. K. et al.: CFD based form factor determination method, Ocean Engineering, Vol.220, 2020
- ・Sakamoto, N. et al.; CFD Based Turning Circle Maneuvering Simulation for a Merchant Ship with High-lift Rudder, ISOPE2021(投稿中)

□その他発表論文: 11件(投稿中: 0件、掲載済: 10件)

- ・Ohashi, K.: Development of the numerical method for simulation of ship motions in regular waves with changing wave direction, ICCM 2020
- ・Sakamoto, N. et al.: Model and Full Scale CFD of the Esso Osaka under 35deg Turning Circle Maneuver in Deep Water, 日本船舶海洋工学会秋季講演会
- ・日野孝則, 大橋訓英: CFD 技術, 日本船舶海洋工学会 推進・運動性能研究会シンポジウム 4章
- ・大橋訓英; 自走する船群の数値シミュレーション, 第 25 回 計算工学講演会
- ・Sakamoto, N. et al.: Application of “THINC” Interface Capturing Scheme to the Structured Overset CFD Solver, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2020
- ・大橋訓英他, 船舶の総合性能評価にむけた CFD 技術開発, 海技研報告第 20 巻別冊
- ・Sakamoto, N. et al.: Overset RaNS Study of the Effect of Tank Bottom Condition for KCS under Static Drift/Rudder Configurations in Shallow Water, SIMMAN2020(採択済)
- ・Sakamoto, N. et al.: 6DoF Overset URaNS Simulations of KCS under Zig-zag and Turning Tests in Deep Water, SIMMAN2020(採択済)
- ・Ohashi, K.: Numerical Simulation of Sloshing in LNG Tank Including Irregular Tank Motion Using Moving Grid Technique, WCCM & ECCOMAS 2020
- ・大橋訓英; 不規則運動下での LNG タンクのスロッシング計算, 日本流体力学学会 年会 2020
- ・大橋訓英: タンク内流動と浮体運動の強連成シミュレーション, 第 34 回数値流体力学シンポジウム

□特許申請: 0件

□コアプログラム登録: 2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) Ver3.34
- ・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) Ver2.1R3

□国際貢献: 0件

□受賞: 1件

- ・理事長表彰「実海域実船性能評価プロジェクトを実施し海事オープンイノベーションを推進した功績」(分担者)

□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。

- ・世界的に実船スケールCFD計算への取り組みが始まっているところ、先駆けて海事局プロジェクトの成果である実船スケールCFD計算ガイドラインを元に実船馬力推定に関わるパラメータ選定と検証、不確かさ解析等をまとめ、国際ジャーナル2本に掲載した。
- ・関連請負研究(波浪中計算)及び受託研究(実船スケール計算)を実施。
- ・新CFDシステムの実利用18社に加えて新規に1社が契約。
- ・新CFDシステムを活用した複数の外部機関による独自の実用化の公表(波浪中船体表面圧力の検証、波向き変更を含む波浪中シミュレーションとその実験結果による検証)

□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。

- ・重合格子においても有効な分散メモリ型並列手法を新規に開発した。
- ・自由表面付きでの模型及び実船スケールにおける自由航走状態の計算法を構築し、成果を公表した。
- ・重合格子手法に関する独自の高速化及び効率化手法を開発した。
- ・他に例のない構造格子ベースで重合格子に対応する界面捕獲スキームに基づくキャビテーションモデルを開発し、基礎検証を行った。
- ・損傷による浸水を想定した船体を扱えるよう、物体内への貫通孔、凹部、閉区画等の複雑な状態にも対応し、パウラスター、損傷孔等も計算できる手法を開発した。

□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、コロナ禍でも対応し、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2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。

- ・実船スケール計算は国際的に研究が始まっている分野であり、ITTCの常設及び特設委員会におけるケーススタディに参加した成果及び実船スケールCFD計算ガイドラインを含む結果が国際ジャーナルに掲載された。
- ・重点☆3と連携し、損傷時船舶の安全性を確保するための機能要件の抽出と国際基準化に資する計算手法を開発した。
- ・波浪中計算法については外部機関においても実用化され、国際競争力の向上に貢献している。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

- ・次期中期を視野に、格子ボルツマン法に基づく新規ハイブリッド計算手法開発に着手した。また、CADデータだけで流場を計算できる埋め込み境界法について調査。

研究主任者による自己評価	B
--------------	---

□コメント

- ・実船スケールCFDガイドラインとそれに基づく結果は世界に先駆けて国際ジャーナルに掲載され、また、ITTCの常設及び特設委員会におけるケーススタディに参加した成果も国際共著で論文化された。
- ・関連する請負研究等を実施するとともに、波浪中計算法は実用化され(社会実装)、外部機関独自の論文にて公表されるレベルまで到達した。
- ・新CFDシステムについては実利用18社の継続に加えて新規に1社契約。
- ・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2件。

研究計画委員会による評価	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船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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p>	<p>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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。</p> <p>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</p> <p>－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、実船性能推定手法の検証を複数船種で検討、造船各社等との連携による高実海域性能船舶の設計・開発の検討及び実海域性能評価法の国際標準化に向けた検討を行う。等</p>

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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。

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船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船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洋産業の国際競争力が強化される。

R2 年度研究目標

□小項目 3

- ・水素エンジン等の安全性評価と燃焼技術の調査。水素混焼時の燃焼安定化技術の開発と機関の安全性に関する調査
- ・船用大型エンジンの水素・アンモニア燃焼技術開発(内燃機関内の燃焼を模擬できる可視化燃焼試験装置の製作)

□小項目 4

- ・軽油早期噴射を用いたアンモニア混焼ディーゼル機関からの未燃アンモニア及び亜酸化窒素排出量低減手法の開発
- ・アンモニア混焼機関の排ガス後処理システムの研究開発

□小項目 5

- ・GHG 対策技術・代替燃料のカーボンフリー船への導入時期やそれぞれの技術課題、船舶への適用性を調査

R2 年度研究内容

□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

R2 年度研究成果

□小項目 3

- ・水素混焼(LNG/H₂)時の燃焼制御のため、水噴射を実施し、燃焼速度の抑制効果と NO_x 排出率の低減効果を確認した。この結果は、水素専焼エンジンを高負荷域で安全に使用する際の知見となる。(図 3-1、図 3-2)
- ・すべての負荷率において、水素熱量混焼率 20%でメタン排出率を 50%削減できることを確認した。また、水素混焼に加えて空気過剰率(λ)を調整することで、さらにメタンスリップを削減した。これらの効果は、特にメタン排出率の高い低負荷で効果的であり、メタン排出率を最大 80%、GHG 排出で 60%程度の削減を(25%負荷率時)達成した(図 3-3)
- ・現状までに水素熱量混焼率 60%において、GHG 排出率削減率 70%を実証した(50%負荷率時)。本年度は安全な水素専焼を目指した技術開発を進めた。(図 3-4)
- ・船用内燃機関内の燃焼を模擬できる大型の定容燃焼試験装置を構築し、水素やアンモニアの燃焼試験の実施が可能となった。

□小項目 4

- ・既設の NH₃ ガス供給装置による NH₃ 混合率を増加させた実験を実施した。供給熱量割合で、最大混焼率 69%を達成(前年度は 20%程度)した。
- ・軽油早期噴射による未燃 NH₃ と N₂O 排出量の低減を確認した(図 4-1)。関連した成果を英文論文として投稿した。
- ・軽油早期噴射と NH₃ 供給量の増加を行い、混焼率 58%時に、軽油のみの運転と比較して GHG 削減率 46%を達成(図 4-2)した。
- ・市販の N₂O 分解触媒を入手し、NH₃ 混焼エンジンを想定した排ガス条件で性能試験を実施した(図 4-3)。その結果、限られた温度条件において(400°C~)、N₂O を半減するための設計指針が得られた。

□小項目 5

- ・前年度までに、水素やアンモニアなどの石油代替燃料、さらに内燃機関や燃料電池システム、電気推進システムなどの動力源の特性を調査し、各技術・代替燃料の船舶への導入に向けた技術課題、船舶への適用性について整理した。それらの研究成果を踏まえて 3 種類のゼロエミッション船コンセプトを検討し、エネルギー収支や CO₂ 削減の評価を行った(図 5-1~図 5-3)。さらに、それぞれの船舶を完成させるために必要な技術を取りまとめた。
- ・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 CO₂ 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 CO₂ 削減が可能なることを確認した(図 5-4、図 5-5)。
- ・アンモニア燃料船の基本構成や構成要素を検討し、簡易的なリスク評価を実施した(図 5-6、図 5-7)。



図 3-1 シリンダ吸気への水噴射の様子

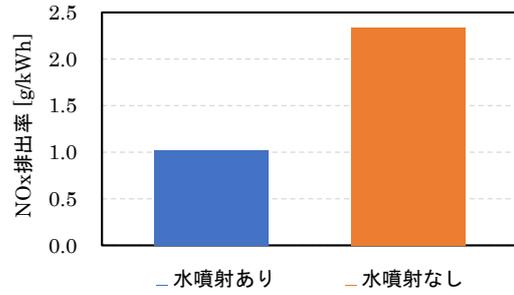


図 3-2 水噴射による NOx 低減効果

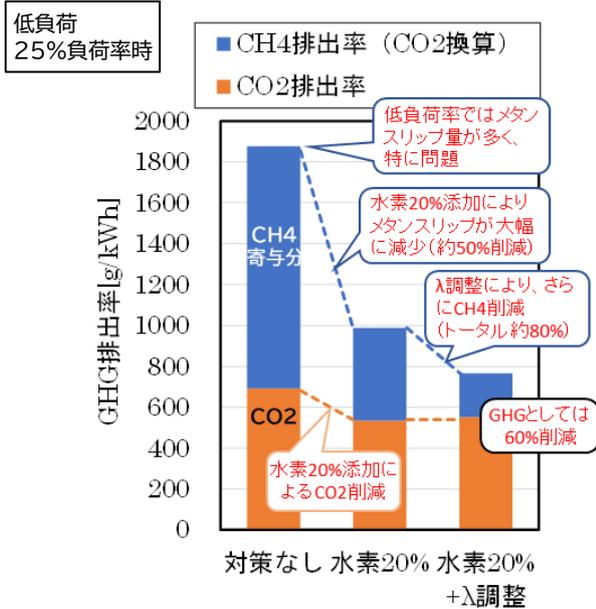


図 3-3 水素混焼と空気過剰率λの調整によるメタン排出削減 (メタンスリップ量の多い低負荷での GHG 削減)

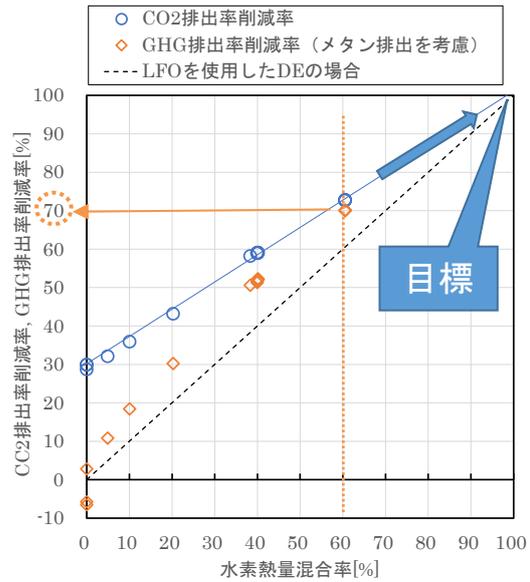


図 3-4 水素熱量混合率と CO2、GHG 削減率の実績

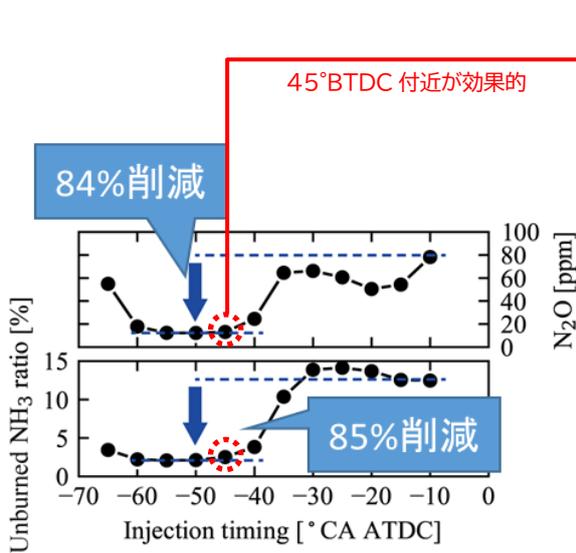


図 4-1 軽油早期噴射の効果

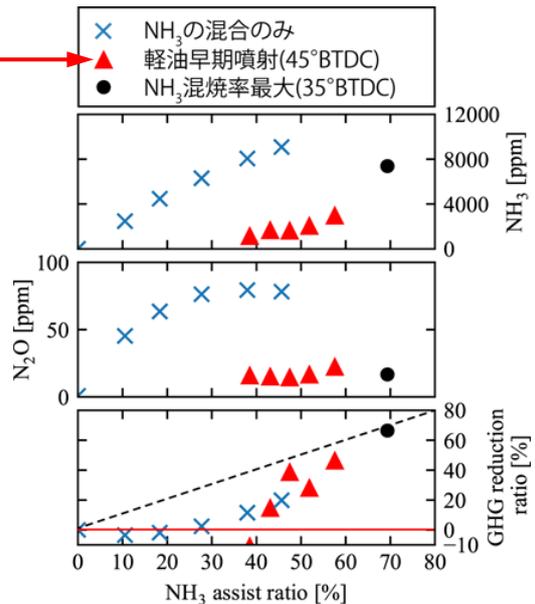


図 4-2 軽油早期噴射を用いた未燃 NH₃と N₂O の削減と GHG 削減

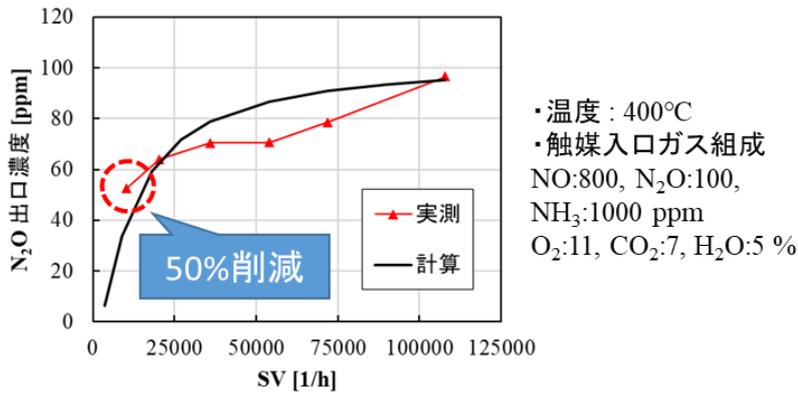


図 4-3 触媒による N₂O 削減性能

	コンセプト船①	コンセプト船②	コンセプト船③
船種	80,000DWTバルクキャリア	6,000TEUコンテナ船	150,000m ³ 液化ガス運搬船
主機関	水素混焼エンジン	アンモニアエンジン	ガスエンジン発電機 (メタン)
イメージ			
概要	<ul style="list-style-type: none"> 技術的ハードルが比較的低い水素混焼エンジン (混焼率50%) を用いる。 その他の省エネ技術とCO₂回収により最大90%のCO₂削減を実現する。 	<ul style="list-style-type: none"> 主機に大出力アンモニアエンジンを用いる。 アンモニア混焼の発電機を搭載する。 90%程度のCO₂削減を実現する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2020年時点のLNG運搬船をベースとする。 船上CO₂回収と合成燃料利用を組み合わせた持続可能な海運カーボンリサイクルを検討する。

図 5-1 ゼロエミッション船のコンセプト検討

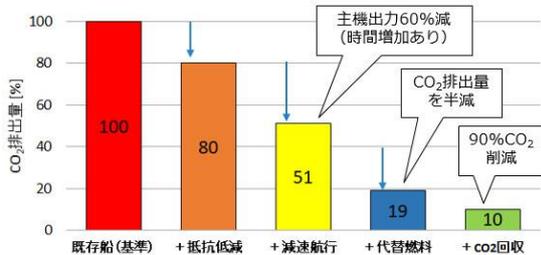


図 5-2 水素混焼エンジン船の CO₂ 削減 (コンセプト船①)

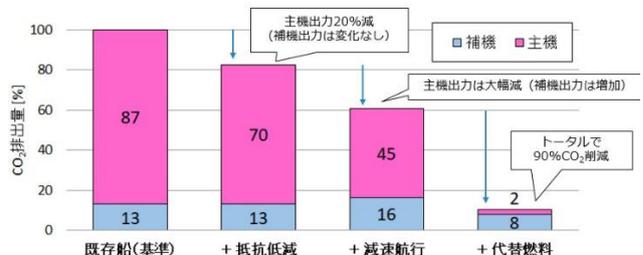


図 5-3 アンモニア燃料船の CO₂ 削減 (コンセプト船②)

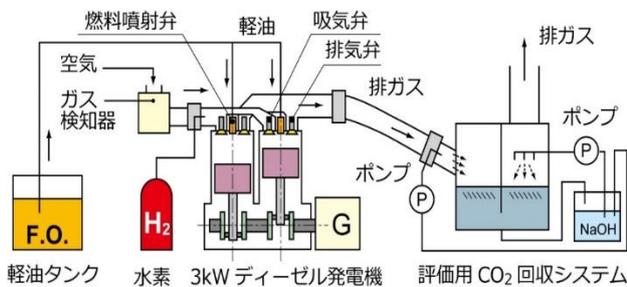


図 5-4 水素混焼エンジンと CO₂ 回収システムを組み合わせた小型試験装置の構成

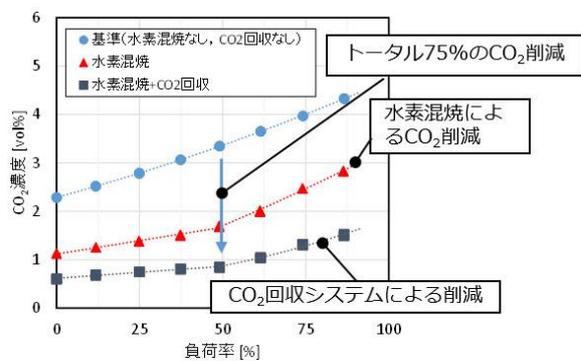


図 5-5 水素混焼エンジンと CO₂ 回収システムを組み合わせた試験の結果

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月のIMO GHG削減戦略が採択されたことや、パリ協定の下で進む国際的なGHG削減の取り組みなど、研究の必要性が高まっている。GHG削減戦略対応は社会ニーズに適合している。

□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の開発など新規性・発展性が高く、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削減戦略の採択によって、GHG削減技術のための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。

□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やCO₂回収システムの開発などについては、実用化には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	B
--------------	---

□コメント

・エンジンにおけるアンモニア、水素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	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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p>	<p>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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。</p> <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> －環境影響物質削減のための排ガス後処理装置の研究開発を行う。 －水素エンジン等の燃焼安定化技術の開発と安全性の検討、船用エンジンのアンモニア燃焼技術の研究開発を行う。等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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。

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
- 船舶に由来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

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。
- 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。
- 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・放射性物質など)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。
- 船舶由来汚染物質の陸域環境寄与率の簡易評価手法の確立、及び詳細評価精度の向上により、大気・海洋環境評価手法を標準化する。これは、国による大気規制導入検討の際に、技術面から貢献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。

R2 年度研究目標

□小項目3: 船体付着生物の問題に関する研究

- ・国際規格 ISO-21716 (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) の提案、発行

□小項目4: 船舶に起因する大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術の高度化

- ・海技研で実施した研究のとりまとめ

R2 年度研究内容

□小項目3

- ・国際規格 ISO-21716 (Part-4) 藻類を用いた防汚塗料性能評価手法に関する通過試験の実施による、詳細な試験パラメータの確認
- ・メーカー等へのヒアリング、文献調査による、ニッチエリアにおける船体付着生物管理のための新技術の開発動向の把握

□小項目4

- ・これまで海技研で実施した、大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術について、研究内容及び成果のとりまとめ

R2 年度研究成果

□小項目3

- ・フジツボ・イガイを対象とする国際規格の発行

本重点研において R 元年度までに開発・評価・検証を行った、汚損生物(フジツボ、イガイ)を用いた船底防汚塗料の性能評価のためのスクリーニング法の成果に基づき、試験法案(ドラフト)を作成した。ISO/TC8/SC2/WG5(国際標準化機構/船舶及び海洋技術専門委員会/海洋環境保護分科委員会/船底防汚システム作業委員会)のプロジェクトリーダーとして、当該試験法案に関する審議に対応し、国際規格 ISO 21716-1~3(2020)として発行させた(2020年11月)。

- ・藻類を対象とする国際規格発行のための塗料評価試験

汚損生物として藻類(シオミドロ)を用いた防汚塗料性能評価法の構築について、水温 15°C の条件で市販塗料の性能評価を実施し、昨年度までに構築した藻類を対象とする船底防汚塗料性能評価試験法が有効であることを確認した(図1)。

WGでの議論における指摘事項(藻類の試験水温について、20°Cの場合についても検証すべき)への対応として、藻類生物量と蛍光強度との相関について調査した。その結果、生物量が増大するとともに、ある生物量を超えると蛍光強度が飽和することを突き止めた(図2)。一方、藻類量が極端に少ないと藻類が試験基板に定着せず適切ではない。以上の事実は、試験生物量として最適な濃度範囲が存在することを示唆するものである。

- ・従来の防汚塗料性能評価手法に代わる簡易手法の検討

藻類を対象とした従来式の蛍光強度測定法は、複雑な計測装置と前処理を必要とするため、実際に現場で塗料性能評価を行う際にハードルが高い。そこで、従来法に代わる簡易的なその場(in-situ)評価手法として、ポータブル色彩色度計の利用可能性について予備的検討を行った(図3)。藻類を用いた予備的な生物試験を行った結果、防汚塗料中の亜酸化銅の量によって光パラメータのプロファイル(緑、赤、黄、青、白、黒の組み合わせ)が変化することを確認した。この事実は、色彩色度計が藻類を対象とした塗料性能評価の指標として利用できる可能性を示すものである。

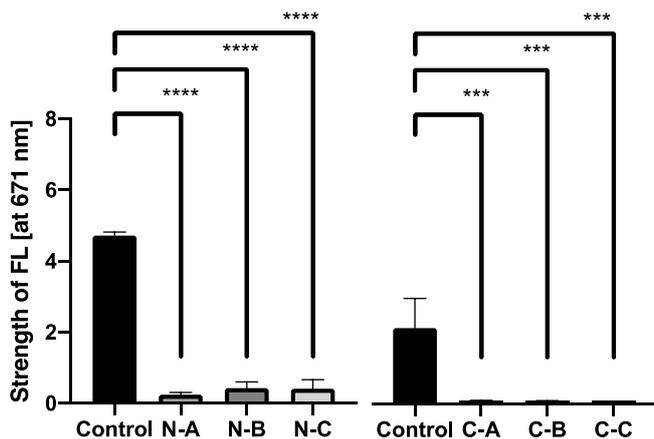


図1 市販塗料を用いた生物試験結果 (水温 15°C)

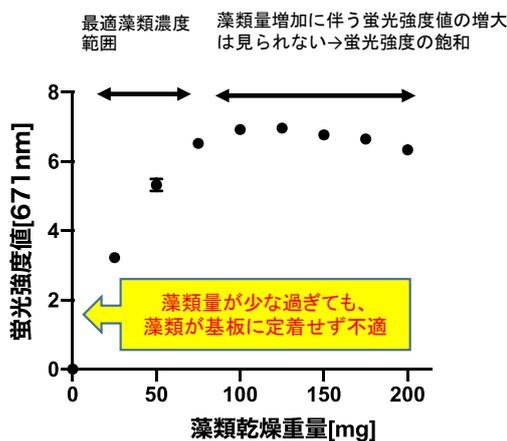


図2 藻類量 (Dry-weight) - 蛍光強度の相関 (水温 20°C)

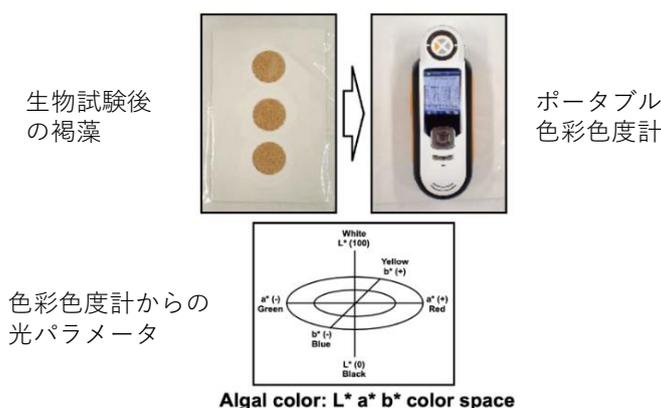


図3 ポータブル色彩色度計を用いた藻類の簡易防汚評価

□小項目4

・海技研で実施した大気/海洋汚染物質の環境影響評価研究のとりまとめ

海技研で第 2~3 期中期計画に実施した、大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術について、研究開始時の状況、研究成果及び現状・問題点の観点から整理・とりまとめを行った(図 4 及び表 1)。また、海洋汚染物質の一つである船舶からの流出油研究についても、同様な整理・とりまとめを行った。

・スクラバ排水による長期水質環境影響評価 (国交省海事局からの請負調査業務として実施)

2020 年 1 月より開始された船舶燃料油中の S 分濃度規制では、使用燃料中の S 分が 0.5%を超える場合について、代替措置として排ガス洗浄装置(EGCS)を使用することが認められている。本研究では、海技研がこれまで開発した手法に基づき、船技協 WG で作成された EGCS ガイドライン案に基づき濃度計算を行った。EGCS 環境影響評価のフローチャートを図 5 に示す。評価の概要は以下の通りである。

- ① AIS データに基づく船舶活動量を推計し、評価対象海域における EGCS 排水に含まれる各評価対象物質成分の 1 日当たり放出重量を算出した。活動量の計算では、本重点研で開発した船体抵抗に基づく出力推定の手法を適用した。
- ② スクラバ排水による長期水質影響評価のための評価には、船底塗料用防汚剤の環境中濃度推計において実績のある数理モデル MAMPEC (Marine Antifoulant Model to Predict Environmental Concentrations) を採用した。1 日当たりスクラバ排水放出量中に含まれる物質として、金属 11 種及び多環芳香族炭化水素(PAH)21 種を抽出し、文献調査に基づき、MAMPEC の計算で使用する化合物データベース(水分配係数、有機炭素吸収係数、ヘンリー則定数等を含む)を新規作成した。
- ③ 評価対象海域において、MAMPEC を用いて上記 32 種の物質濃度を評価した。

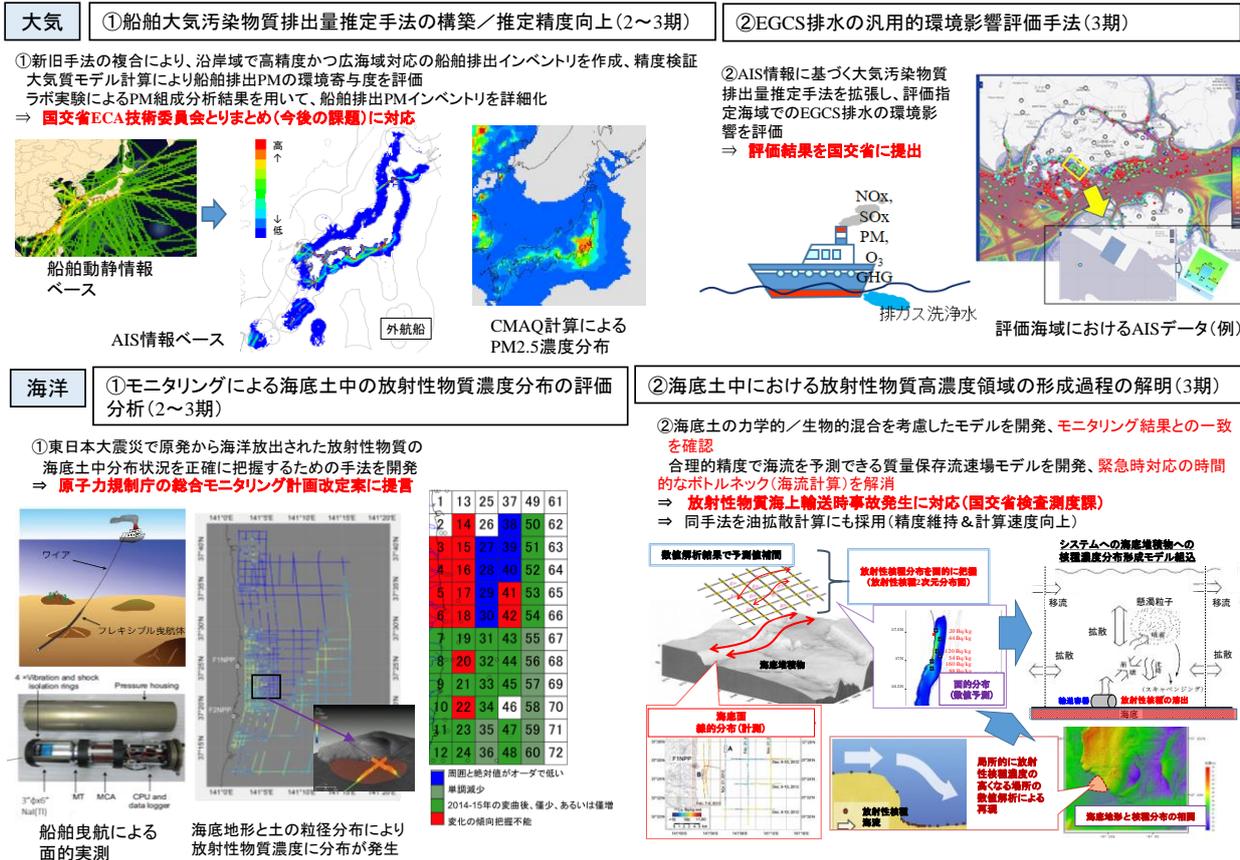


図4 海技研における大気／環境汚染物質の環境影響評価研究のとりまとめ

表1 海技研における大気／環境汚染物質の環境影響評価研究のとりまとめ
(研究開始時の状況、研究成果及び現状・問題点の観点から整理)

大気・海洋汚染物質の環境影響評価		研究開始時点での状況	海技研の取り組み／成果	現状／未解決課題
大気汚染物質	SOx / NOx ECA対応	・日本周辺海域を航行する船舶による大気汚染物質排出量推定のための確立された手法が存在せず ・船舶による大気汚染物質の排出実態も不明	・従来の船舶動静データによる手法をベースに、AIS情報による手法を併用。陸地近傍の船舶航行状態を忠実に再現することで、ECA導入検討に耐える精度の船舶排出インベントリを作成 ・上記データを使って大気質計算を実施し、陸域SOx/NOx濃度への船舶寄与率を評価 ・各種大気規制が導入される場合の、2020年における船舶SOx/NOx削減量をシナリオ別に予測 ⇒ 上記結果: 国のECA導入検討資料として活用(1期)	・AIS搭載船舶の排出量推定手法は確立、AIS非搭載船舶については燃料消費量から一次推定レベル(陸域沿岸の大気質計算には不十分な精度) ・船舶からの排出実態は依然としてデータ不足
	PM / PM2.5 船舶由来のPM排出インベントリの詳細化	・船舶由来のPM: 実測・分析データなし(燃料消費量からの推定値のみ)	・所内ラボ機関(4スト)からの排ガス中PMの構成成分を詳細分析し、PM排出インベントリのプロファイル(EC/OC/Sulfate/Nitrate/その他の分類)を作成(3期)	・燃料性状によりプロファイルが異なるため、SOx/NOxより扱いが困難 ・船舶からの排出実態は依然としてデータ不足
海洋汚染物質	放射性物質 環境影度向上	・東日本大震災で福島第一原発から福島沖に海洋放出された放射性物質の海底堆積物中分布状況を面的に実測 ・既存モデルでは、濃度評価値が実測結果と一致せず	・海底堆積物の力学的／生物学的混合を考慮したモデルを実装 ⇒ 実測結果と一致(3期)	・震災直後の長期予測として議員からの解析要請に基づき、汚染水の拡散状況について海洋拡散解析を実施
	システム緊急時対応のためのシステム高発速化	・海流計算プロセスが移流拡散計算の時間的なボトルネックとなり、緊急時対応が困難	・数値海洋力学モデルと比較して、合理的精度で海流を予測できる質量保存流速場モデルを開発、システム実装 ⇒ 詳細モデルと比較して、計算負荷が1/100程度に改善(3期)	・開発した海流予測モデルを、流出油漂流予測計算へ実装
	事故対応訓練のバックアップ	・放射性物質海上輸送時事故発生時における体制の構築、緊急時対応の通報体制の保守整備が不十分	・開発したシステムを用いて、国交省検測課と共同で事故シナリオを設定。事故対応・通報訓練を実施する体制を整備(3期)	・事故対応訓練を含めた国交省検測課課員業務として実施し、整備済み体制を維持・保守
流出油	漂流予測計算	・国交省: 海上保安庁と気象庁が連携して漂流予測(ただし海表面での漂流のみ)	・港湾内油流出事故の3次元シミュレーション技術を確認(1期) ・沖合油事故対応のため計算システム拡張、質量保存流速場モデル導入による海流精度向上(3期) ⇒ 日本周辺沖合海域における油漂流が、合理的精度かつ迅速に計算できる基盤を整備	・日本周辺沖合海域における油流出事故事例に基づく油漂流予測性能の検証
金属 / PAH	EGCS排水規制対応	・EGCS排水中の各物質・排水量は船舶活動量に依存するも、船種・船型に応じた排出量推定システム無し ・船舶から排出されるEGCS排水の汎用的な環境影響評価手法が未確立	・AIS情報に基づく大気汚染物質推定手法を援用 ・EGCS排水に含まれる化合物データベースを構築 ・評価指定海域における海流、地形、港湾形状の設定方法に関するガイドライン案を作成 ⇒ 指定海域でのEGCS排水の環境影響評価結果を国に提出(3期)	・EGCS排水の汎用的環境影響評価手法を提案するガイドライン構築のため、国交省海洋・環境政策課と連携して評価手法の検討を継続中

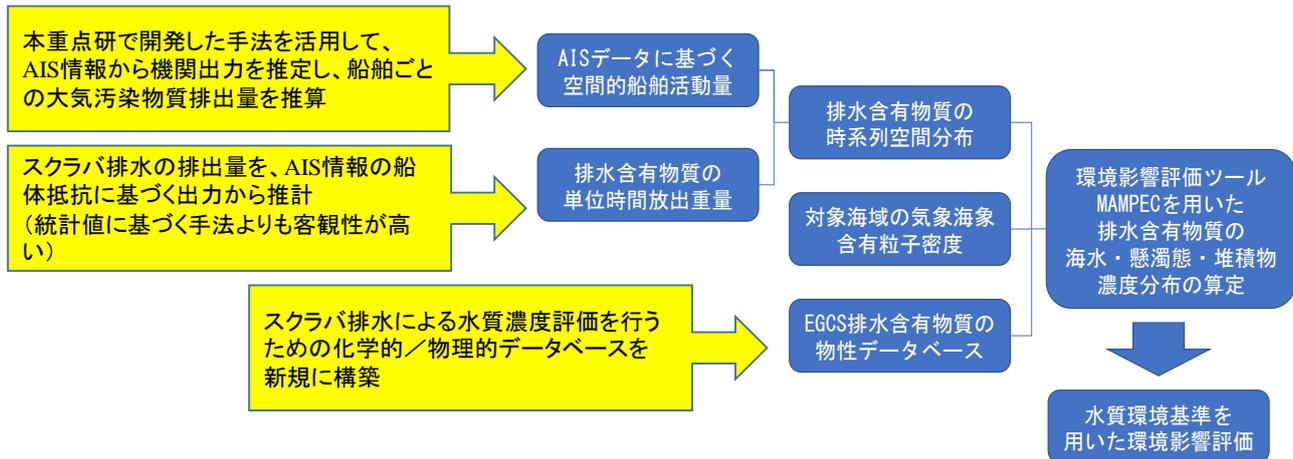


図5 EGCS 環境影響評価のフローチャート

R2 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、掲載済: 1 件)

- ・浅見光史、大西世紀、鎌田創、FW-CADIS 法により導出した分散低減パラメータを用いた Monte-Carlo 粒子輸送計算による低レベル放射性廃棄物輸送船「青栄丸」の線量当量率評価、日本原子力学会和文論文誌、19 巻、4 号、p. 220-233、2020 年
- ・宮田修、亀山道弘、油処理剤の水中散布における油粒の形状と挙動に関する実験的研究、日本マリンエンジニアリング学会誌(投稿中)

□その他発表論文: 3 件(投稿中: 0 件、掲載済: 3 件)

- ・小島隆志ほか、藻類を用いた防汚塗料の流水条件下での防汚性能評価法について、第 90 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、2020 年 10 月
- ・小島隆志、船底防汚塗料の防汚性能評価試験法、オンラインシンポジウム「海洋利用と生物付着の制御」(日本付着生物学会、日本マリンエンジニアリング学会の共催)、2020 年 10 月
- ・浅見光史、木村新太、岡秀行、Evaluation of a Far-wake Parameterization for a Diagnostic Mass Consistent Flow Model、Asia-Pacific Association for Computational Mechanics、2020 年 12 月

□特許申請: 1 件

- ・小野正夫、城田英之、馬驍、藤田勇(港空研)、重質油のエマルション化による流動性向上システム(R3.3.15)

□コアプログラム登録: 0 件

なし

□国際貢献: 1 件

- ・ISO-21716(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) のうち、Part-1 : 一般、Part-2 : フジツボ、Part-3 : イガイの部分までが、2020 年 11 月に国際規格として発行された。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る。

□受賞: 2 件

- ・浅見光史、第 52 回日本原子力学会賞・貢献賞(授賞理由: 放射線遮蔽工学の体系化と知識の普及、「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会(幹事)、「遮蔽計算の応用技術」研究専門委員会(幹事))
- ・小島隆志、日本マリンエンジニアリング学会功労賞(授賞理由: JIME 海洋環境研究委員会委員長として、船底防汚塗料に関する研究及び海洋保全に関して積極的な学会活動を実施)

□公開実験: 0 件

なし

□その他(セミナー主催): 1 件

- ・船底防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供 (R3.3.16)

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

- ・船体付着生物の問題に関する研究は、我が国が IMO 等国际の場において、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、今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。
- ・スクラバ排水による長期水質環境影響評価については、科学的根拠に基づかない地域排水規制の導入抑止を目的に、国による環境影響評価ガイドライン案の策定に資するもので、国と連携した社会的価値の創出及び我が国の国際競争力の向上に直結するものである。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。

- ・本研究において、実海域浸漬試験を実施して妥当性が検証された防汚塗料性能評価試験法は、世界的にも例を見ないものである。
- ・スクラバ排水の排出量は、AIS データから得られる船種船型情報の船体抵抗に基づく出力から排ガス量を推計しており、統計データに基づく手法と比較して客観性があり、一般性の観点から有意なものである。
- ・スクラバ排水による長期水質環境影響評価で使用したモデルは、評価対象物質が塗料溶出濃度のみであるため、本研究で、スクラバ排水による水質濃度評価を行うための化学的/物理的データベースを構築したが、このデータベースは一般性の高いものである。

□成果が期待された時期に創出されているか。

- ・本研究で開発・提案した 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) が当初の予定通り、2020 年 11 月に発行した。藻類を対象とした Part-4 についても近く発行される予定であり、これらの内容は IMO ガイドラインの見直しに反映される予定であり、期待された時期に成果が創出されていると考える。
- ・スクラバ排水による長期水質環境影響評価については、年度途中で国交省海事局からの請負調査業務として実施したものである。本業務は、本重点で実施した AIS 情報を用いた船舶大気汚染物質排出量の推定手法を利用することによって短期間で実施され、国交省のニーズに迅速に対応することができた。

□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。

- ・2020 年 11 月に国際規格として発行された ISO-21716-1~3(2020) 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る。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。

- ・藻類を対象とした従来式の蛍光強度測定法は、実際に現場で性能評価を行うことが困難であることを踏まえ、従来法に代わる簡易的なその場(in-situ)評価手法として、ポータブル色彩色度計の利用可能性を検討し、光パラメータプロファイルが藻類を対象とした塗料性能評価の指標として利用できる可能性を見出した。

研究主任者による自己評価

B

□コメント

- ・船体付着生物の問題に関する研究では、IMO における議論の動向を注視しつつ、代表的な船底付着生物を対象に、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開発し、ラボ/実海域実験を通じて当該試験法の妥当性を検証した。それらの成果に基づき、ISO 試験法案(ドラフト)を作成し、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)のプロジェクトリーダーとして、当該試験法案の WG での審議に対応し、国際規格 ISO 21716-1~3(2020)として当初の予定通りに発行させた(2020 年 11 月)。
- ・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、今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。
- ・スクラバ排水による長期水質環境影響評価については、2020 年 SOx 規制対応の一環として、国の行政要望に応じて実施したものである。本重点研でこれまで実施した手法を活用して、国による EGCS 環境影響

評価ガイドライン案の策定に貢献することができた。これにより、科学的根拠に基づき排水規制が導入されることが期待できる。

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、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」(B)とした。

研究計画委員会による評価	B
--------------	----------

研究開発課題	<p>(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</p> <p>(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</p>
---------------	---

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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p> <p>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</p>	<p>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。</p> <p>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</p> <p>－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、浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術の検討、風車設置作業等における連成運動評価のための吊荷と浮体の連成運動評価プログラムの開発、係留合成繊維索の生物付着に関する評価法の検討を行う。等</p> <p>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</p> <p>－海底熱水鉱床開発等の実プロジェクトの技術支援のために採掘・揚鉱・採鉱母船一体挙動解析プログラムの開発及びコバルトリッチクラスト開発を想定した計画支援プログラム用データベースの作成を行う。等</p>

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。

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。

R2 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
- ・吊荷と浮体の連成運動評価プログラム(機能拡張)
- ・浮体式風力発電施設の安全ガイドライン改定案(係留系)
- ・係留合成繊維索の生物付着に関する評価法
- ・浮体式波力発電実時間制御・発電電力評価技術と制御アルゴリズムの高度化

□小項目 2

- ・採掘・揚鉱・採鉱母船一体挙動解析プログラム
- ・計画支援プログラム用データベース(機能拡張)
- ・アスファルテン付着予測解析プログラム

R2 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連成運動評価に関する研究
- ・浮体式波力発電に関する研究

□小項目 2

- ・採鉱母船等の安全性・稼働性評価技術に関する研究
- ・全体システムの稼働性評価・計画支援技術に関する研究
- ・アスファルテン付着モデルに関する研究
- ・ハイドレート分解・生成モデルに関する研究

R2 年度研究成果

□小項目 1

・セミサブ型浮体、スパー型浮体を対象として、浮体形状を変数とし、浮体の建造コスト低減を目的としたパラメトリックスタディとその結果に対する波浪中動揺特性を解析した。その結果、良好な性能を有する浮体を提案した(図 1)。

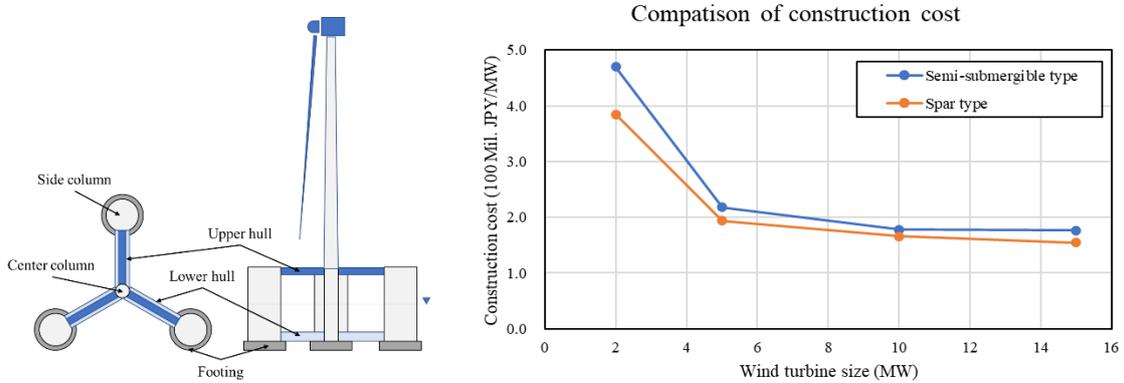


図 1 セミサブ型浮体のイメージ図及び風車サイズを変更した場合の材料重量に基づく概略建造コスト単価

・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、平成 30 年度に実施した試験結果との比較検討を行うとともに、着水前後における作業船のロールの固有周期の変化とそれが稼働性評価に与える影響について調査した(図 2)。当研究所で開発された CFD ソルバー「NAGISA」と多体剛体系解析プログラムを連成し、吊荷が懸下された状態における作業船の波浪中動揺シミュレーションを実施して試験結果との検証を行った。排水量の異なる 2 浮体を使った吊荷のマルチリフト状態における波浪中動揺試験を実施し、吊荷と浮体との連成影響について調査し、そのモデリング法について検討した(図 3)。洋上風車の設置時に使用される SEP 船の波浪中動揺性能に対する脚部展開の影響について調査するとともに、日本近海の有望海域を対象とした稼働性評価を試行した。陸と洋上の風力発電設備との間を人員・物資輸送する小型高速船(Crew Transfer Vessel)が洋上設備に接舷した状態における波浪中動揺評価に関する数値計算法を定式化し、プログラムを開発するとともに、計算検証のために令和 3 年度に実施する水槽試験についても検討した。

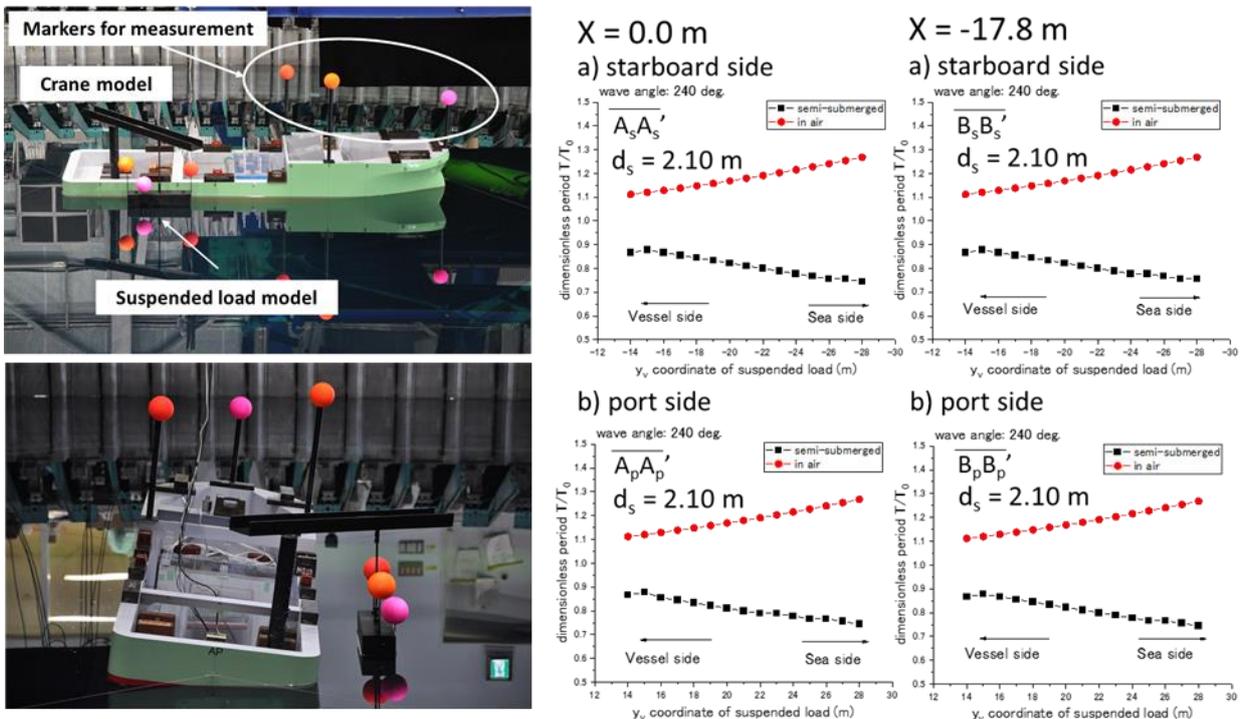


図 2 クレーン作業中の吊荷が着水した直後における作業船との波浪中連成運動評価 (左: 水槽試験の様子、右: 吊点が作業船のロールの固有周期へ与える影響の変化)

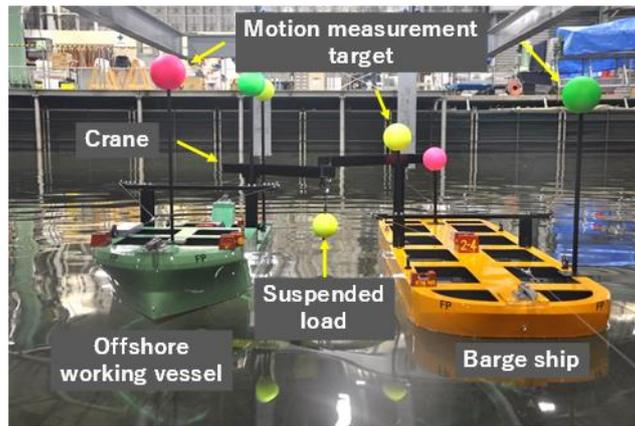


図3 2浮体を使った吊荷のマルチリフト状態における波浪中動揺試験の様子

- 合成繊維索を用いた係留について、風車・浮体・係留の一体解析モデルを作成し、浮体式洋上風力発電システムの係留安全性評価を実施することにより、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として暴風時(50年再現風速)の他に定格荷重とカットオフ風速の間で最大張力が発生する可能性が極めて高いこと等)を抽出して、安全ガイドラインの改定案としてまとめた(図4)。

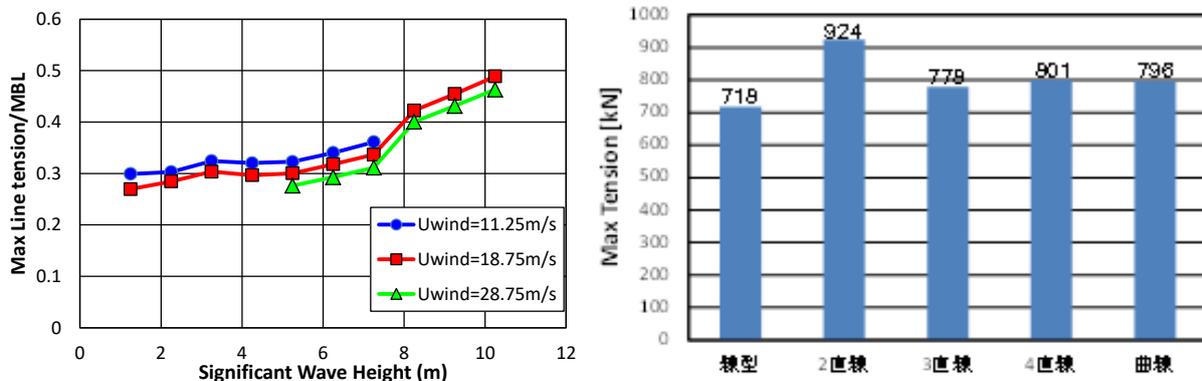


図4 係留安全性評価結果(左:頻度表に従って計算した最大張力(定格風速:11.4m/s、カットオフ風速:25m/s)、右:軸剛性特性に違いによる最大張力の比較)

- 合成繊維索を用いた係留について、生物付着の観測結果(図5)を参考にしながら安全性の評価手順を提案するとともに試設計を実施し、主に疲労強度を中心に安全性評価を実施した。また、サブロープの疲労試験を実施し、T-N線図を作成するとともに国際基準との比較検証を実施した。

さらに、

- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(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構築した(図6)。

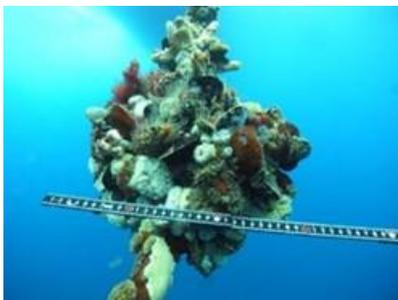


図5 合成繊維索に対する生物付着の観測例



図6 実海域実証試験用計測・収録・配信システム

- 並進動揺型波力発電装置を対象として、模型に組み込み可能な小型陸上試験システムを開発し、非線形モデル予測制御法の実時間制御検証を行うとともに、小型陸上試験システムを模型に実装して水槽試験を行うことで、陸上試験と水槽試験を統合した実時間制御・発電電力評価技術を開発した(図7、図8)。

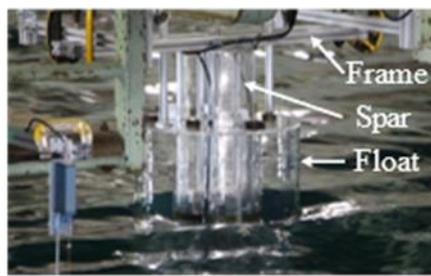
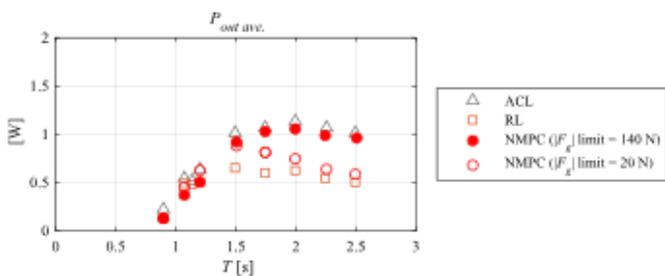


図 7 水槽試験模型による発電電力評価(規則波)と試験の様子

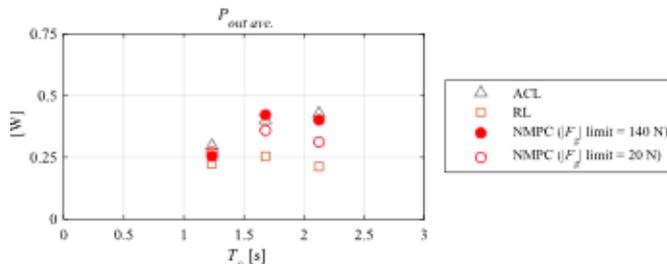


図 8 水槽試験模型による発電電力評価(不規則波)

□小項目 2

・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を行うにあたり、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(図 9)、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、開発プログラムの検証を行った(図 10)。

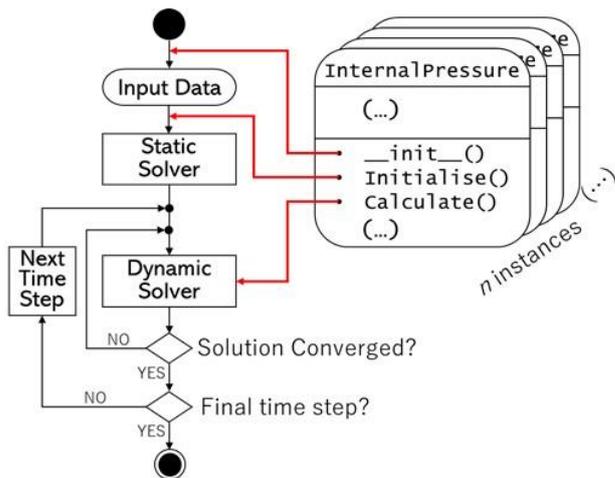


図 9 内部流れの影響を考慮した時間領域解析フロー

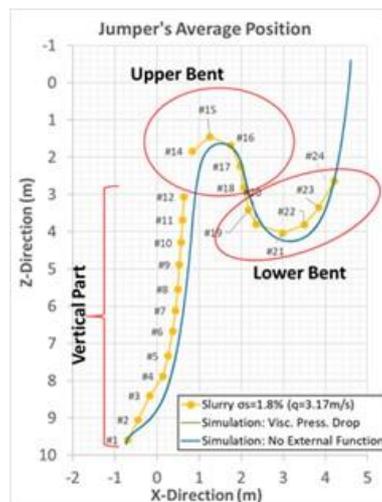


図 10 試験データとの検証結果

さらに、

・固定鉛直管内の脈動固液二相流、軸方向に振動する鉛直管内の固液二相流それぞれに対する圧力損失推定手法を構築した(図 11)。

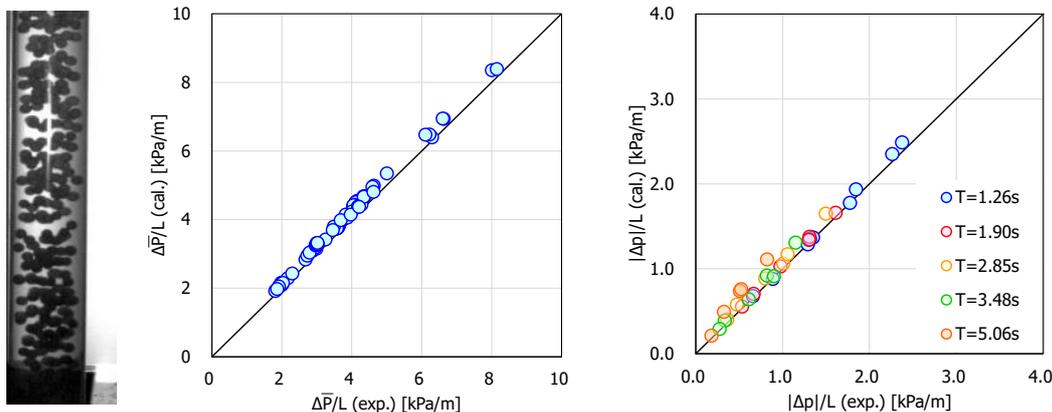


図 11 固定鉛直配管内の脈動スラリー流の圧力損失推定結果(左: 定常成分、右: 変動成分)

- ・移送管の耐久性評価手法に係る研究として、ファインバブル発生装置を用いた窒素脱気水と酸素飽和水を、小規模循環式試験装置に適宜供給することで、当該装置内の流体の溶存酸素量の制御を試みる試験を実施した(特許に関わるため公表不可)。昨年度出願した特許の内容に本試験結果を加え、国内優先権主張出願を行った。
- ・採鉱機のようなクローラを有する移動体の動揺性能に影響を与えると思われる横揺れ流体力に着目し、高速で航行する、アスペクト比が小さく箱型の移動体を対象に、曳航中の横揺れ強制動揺試験を実施し、高いフルード数までの流体力(特に粘性減衰係数の特性)を把握した(図 12)。また、当研究所で開発された CFD ソルバー「NAGISA」を用いて高速で航行する移動体の数値流体解析を実施して、波切り板、船尾フラップ等の付加物がヒープ・ピッチモーメントに与える影響を明らかにした(図 13)。

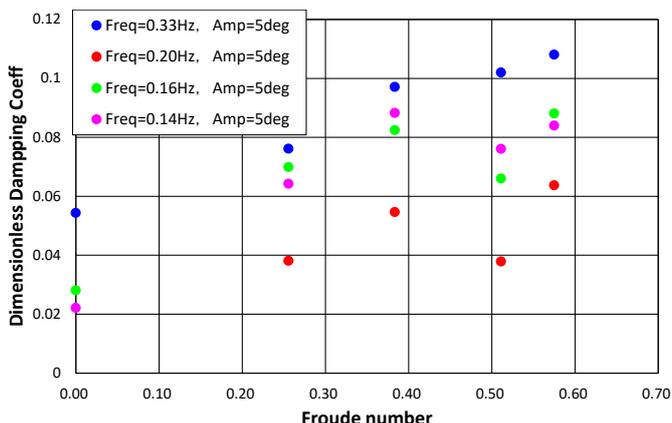


図 12 箱型移動体の高フルード数域での粘性減衰係数

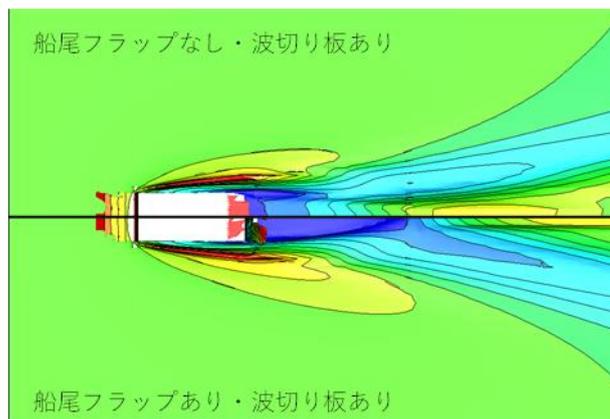


図 13 高速曳航時の移動体の CFD 解析結果例

- ・令和元年度に開発した海底鉱物資源開発のための計画支援プログラムの機能を拡張するため、コバルトリッチクラストを対象とする新たな資源データベースの作成を行った(図 14、表 1)。

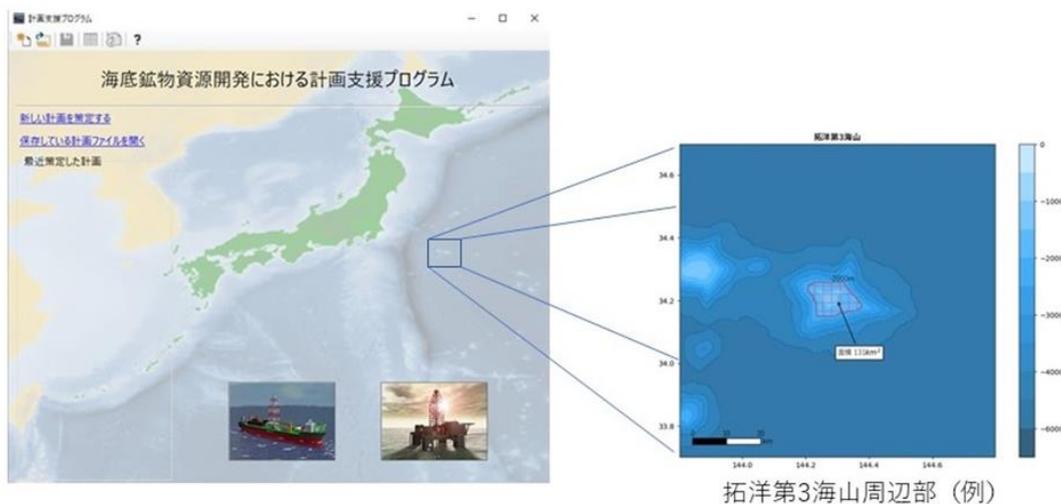


図 14 計画支援プログラムに追加予定のデータのイメージ

表 1 コバルトリッチクラストの資源データの例

No.	地名	北緯			東経			水深		鉱区面積 km ²
		度	分	秒	度	分	秒	m	~ m	
1	拓洋第3海山	34	12	0	144	18	0	1,500	~ 5,500	131
2	小笠原東海山	26	9	0	144	9	0	1,200	~ 2,500	1,288
3	小笠原海台	25	18	0	143	48	0	1,400	~ 2,000	833
4	半沢海山	25	48	0	147	0	0	1,000	~ 3,000	696
5	奄美海台	28	6	36	132	15	0	1,800	~ 2,500	222
6	駒橋海山	28	25	48	134	15	0	500	~ 2,000	61
7	大東海嶺	25	27	36	133	42	0	1,500	~ 2,500	121
8	流星海山	25	36	0	135	36	0	900	~ 2,200	124
9	拓洋第5海山	23	0	0	153	24	0	1,100	~ 5,500	2,868

- ・昨年度開発した、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用いて、揚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(図 15)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 16)。

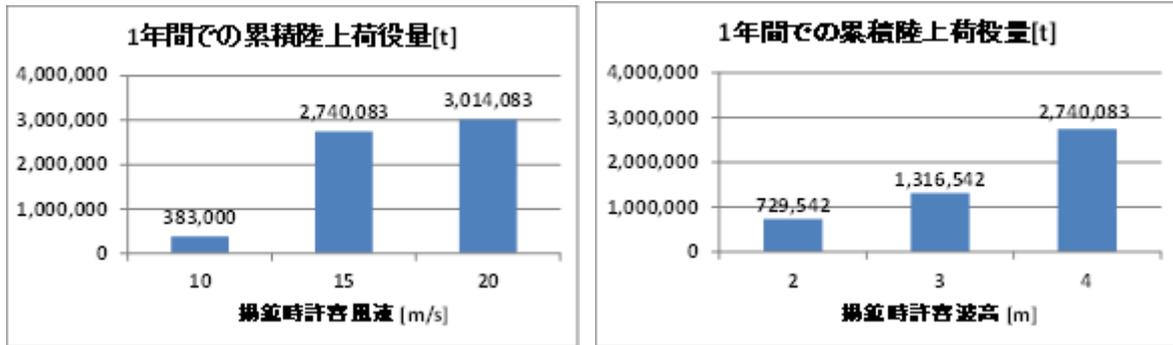


図 15 パラメータスタディの結果

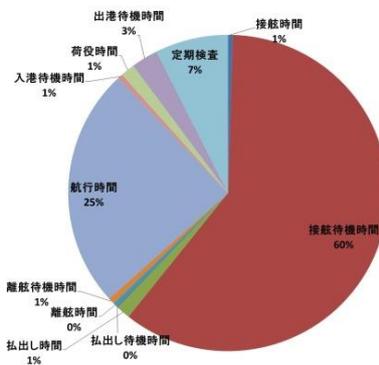


図 16 シャトル船の各オペレーション時間占有率(評価期間: 1年間)

- ・アスファルテン付着量評価のための付着モデルについて検討するとともに、質量、運動量、エネルギー保存則をベースとした定常解析プログラム(β版)を開発した。アスファルテン管壁付着機構解明及び付着量を評価するため、重質油を用いた予備的なラボ試験を実施した。また、熱的な条件が内部流の相変化に及ぼす影響を解明するため、常圧下において、ガスハイドレートを模擬した氷スラリーのループ試験を実施し、相変化過程を観察するとともに、データを取得した。ガスハイドレート生成・分解モデルに関する検討を行った(図 17)。

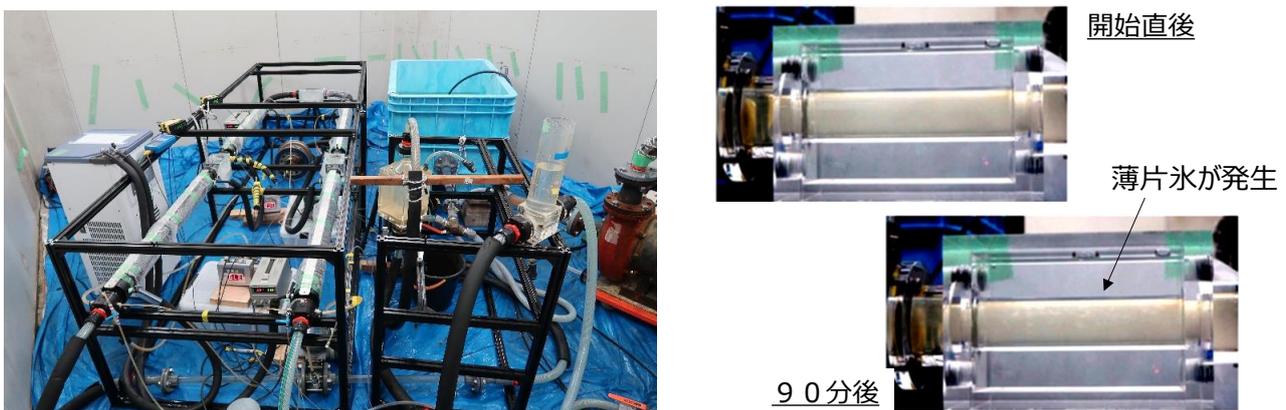


図 17 ガスハイドレートを模擬した氷スラリーの相変化に及ぼす影響を調査するための常圧下ループ試験 (左: ループ試験の様子、右: 管内に薄片氷が発生した時の様子)

- ・海上技術安全研究所と横浜国立大学の連携講座において学生の研究指導、修士論文(1件)及び卒業論文(1件)の執筆指導を行った。修士論文1件の研究内容は論文にし、日本船舶海洋工学会論文集に投稿した。

R2 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):18件(投稿中:7件、採択済:8件、掲載済:3件)

- ・Masanobu, S., *et al.*: Hydraulic Transport of Large Solid Particles with Pulsating Flow in Vertical Pipes for Subsea Mining, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (J. OMAE), Vol.143, No.6, (Published Online, March 13) (2021)
- ・谷口友基 ほか: 波力発電装置の陸上試験装置の開発と実時間最適制御法の検証, 日本船舶海洋工学会論文集, 第32号, pp.99-108 (2020)
- ・石村恵以子 ほか: 海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験の安全性評価, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第56巻, 第1号, pp.155-161 (2021)
- ・大坪和久 ほか: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価 第2報 吊荷が着水した直後の波浪中連成運動解析, 日本船舶海洋工学会論文集. (採択済)
- ・Chujo, T., *et al.*: Consideration of New Damage Stability Criteria for Floating Offshore Wind Turbines, Journal of Marine Science and Technology (JMST). (投稿中)
- ・Okada, Y., *et al.*: Parameter-varying Modeling and Nonlinear Model Predictive Control with Disturbance Prediction for Floating Offshore Wind Turbines, Journal of Marine Science and Technology (JMST). (投稿中)
- ・Suzuki, H., *et al.*: Wave and Wind Responses of a Very-light FOWT with Guy-Wired Supported Tower Numerical and Experimental Studies, Journal of Marine Science and Engineering. (投稿中)
- ・Yamamoto, M., *et al.*: Measurement and Simulation of VIV response of a submersed drillstring in the transition to the critical flow regime, Journal of Marine Science and Technology (JMST). (投稿中)
- ・Takano, S., *et al.*: Study on Pipe Wear Based on Large Scale Experiment and Scale Effect for Deep Sea Mining, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (J. OMAE). (投稿中)
- ・Nakajima, Y., *et al.*: Experimental Study on Beneficiation of Seafloor Massive Sulfides by Liquid-Liquid Extraction, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (J. OMAE). (投稿中)
- ・石原祐希 ほか: External turret 係留におけるスラミングを考慮した船首部最大曲げモーメントの予測, 日本船舶海洋工学会論文集. (投稿中)
- ・Chujo, T., *et al.*: Concept Study for the Floater Type Selection on Floating Offshore Wind Turbines, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)
- ・Hirao, C. S., *et al.*: Tank Test and Numerical Simulations of Floating OTEC, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2021). (採択済)
- ・Saito, M.: Fatigue Analysis of Mooring Systems for Floating Offshore Wind Turbines, Proc. 31st International Ocean and Polar Engineering Conference (2021). (採択済)
- ・Yamamoto, M., *et al.*: Numerical Simulation of a Jumper Conveying Slurry for Deep-Sea Mining, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)
- ・Masanobu, S., *et al.*: Experimental Investigation of Large Particle Slurry Transport in Vertically Oscillating Pipe for Subsea Mining, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)
- ・Takano, S., *et al.*: Experimental Study on Void Fractions and Pressure Drops in Three-phase Flow for Deep Sea Mining, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)
- ・Yamamoto, J., *et al.*: Experimental Study on Plugging Inside a Pipe using Carbonated Ice as a Substitute For Methane Hydrate, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)

□その他発表論文:21件(掲載済:21件)

- ・Takano, S., *et al.*: Evaluation Method of Pipe Wear for Development of Seafloor Massive Sulfides, Journal of JSCE, Vol.8 (2020).
- ・Chujo, T., *et al.*: Investigation of Biofouling on Synthetic Fiber Rope for The Safety Criteria of Floating Offshore Turbines Mooring Design -Investigation in Hokkaido-, UT21 Underwater Video Competition (2021)
- ・Haneda, A., *et al.*: Investigation of Biofouling on Synthetic Fiber Rope for The Safety Criteria of Floating Offshore Turbines Mooring Design -Investigation in Shizuoka Prefecture-, UT21 Underwater Video Competition (2021)
- ・Yamamoto, M., *et al.*: A Review of the R&D on Riser System for the Manganese Nodules Exploitation, Proc. 49th Underwater Mining Conference (2020).
- ・Nakajima, Y., *et al.*: Experimental Study on Plugging Caused by Methane Hydrate Formation in Pipes, Proc. Global OCEANS 2020 (2020).
- ・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電の将来ビジョンと海技研の取り組み, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.13-17 (2020)
- ・羽田絢 ほか: 海技研の模型試験技術と将来展望, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.57-61 (2020)
- ・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電の将来ビジョンと海技研の取り組み, 横浜国立大学セミナー (2020)
- ・中條俊樹 ほか: 海上技術安全研究所における洋上風力発電への取り組み, 横浜国立大学セミナー (2020)
- ・鈴木長之ほか: 浮体式洋上風力発電の設計セミナーの紹介, 日本風力エネルギー学会誌「風力エネルギー」通巻 第135号, pp.415-417 (2020)

- ・石田圭 ほか: 水中線状構造物の流体力に関する研究, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.143-144 (2020)
- ・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電の技術動向について, 日本風力エネルギー学会誌, 通巻 第 136 号, pp.583-586 (2021)
- ・谷口友基 ほか: 非線形モデル予測制御による波力発電装置の高効率化と実装試験, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.115-116 (2020)
- ・谷口友基 ほか: ポイントアブソーバー型波力発電装置の陸上試験装置による実時間最適制御, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻, 第 3 号, pp.17-28 (2020)
- ・梅田隼 ほか: 強化学習を利用した波力発電装置の制御, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻, 第 4 号, pp.17-27 (2021)
- ・大坪和久 ほか: 海洋エネルギー・鉱物資源開発技術に対する海技研の取り組み, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第 56 巻, 第 1 号 (2021).
- ・高野慧 ほか: 鉛直動揺管におけるスラリー移送に関する実験的研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 31 号 (2020).
- ・山本マルシオ ほか: 固液二相流がフレキシブルホースの動的挙動に与える影響に関する実験的研究, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.119-120 (2020)
- ・高野慧 ほか: 海洋鉱物資源開発における傾斜管内の固気液三相流の移送評価, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻, 第 3 号 (2020).
- ・高野慧 ほか: 鉛直動揺管内におけるスラリー移送評価, pp.145-146 (2020)
- ・大坪和久 ほか: 水陸両用車に作用する流体力及び波浪外力に関する研究, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.121-122 (2020)

□特許申請: 2 件

- ・液体中に存在する微粒子の分離装置及び分離方法 中島康晴ほか(特願 2021-61189)
- ・配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システム(国内優先権主張出願) 高橋一比古ほか(特願 2021-036709)

□コアプログラム登録: 1 件

- ・半没状態にある吊荷と浮体の波浪中連成運動解析プログラム 大坪和久

□国際貢献: 2 件

- ・中條俊樹 ほか: IEC 61400-3-2 改定作業での付属書 Application of damage stability criteria の提案
- ・大坪和久: ISO 20257-2 策定作業での爆圧を考慮した FSRU トップサイドレイアウト設計の考え方の提案

□受賞: 5 件

- ・令和 2 年度日本船舶海洋工学会論文賞: 大坪和久 ほか(海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験のための稼働性評価)
- ・ASME OMAE Awards Committee, OMAE 2019 Best Paper of Ocean Space Utilization Symposium: Yamamoto, M., et al.(Experimental Analysis of Reduced-Scale Jumper for Deep-Sea Mining)
- ・理事長表彰(研究チーム表彰): 中條俊樹 ほか(合理的な浮体式洋上風力発電施設損傷時復原性基準の検討・提案に貢献した功績)
- ・理事長表彰(個人表彰、最優秀論文賞): 大坪和久(クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価, 第 30 巻, pp.187-200, 日本船舶海洋工学会論文集, 2019)
- ・日本船舶海洋工学会 奨学褒章: 石原祐希(External turret に働くスラム力特性と船首部の曲げモーメント予測), 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指導

□公開実験: 1 件

- ・浮体式洋上風力発電小型模型の設計製作セミナー (2021.3)

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、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、今年度から浮体式洋上風力発電分野に重点化し、国土交通省の安全ガイドラインに反映されているなど、その価値が社会的にも認められている。
- ・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指導した学生が日本船舶海洋工学会の奨学褒章(修士)を受賞するなど、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。

- ・作業船オペレーション評価技術に係る研究は、今年度からは浮体式洋上風力発電分野に重点化して進めているが、本研究は従来の石油・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、海洋調査といった海洋で作業する全てのオペレーションに共通するものであり、一般性が十分に大きい。
- ・浮体式波力発電装置については、開発した発電性能を向上することが可能な制御アルゴリズムを水槽模型試験により検証しており、実機適用への発展性は十分に大きい。
- ・海底熱水鉱床開発に係る研究では、他の海洋鉱物資源開発にも転用可能な技術を扱っており、発展性及び一般性は十分に大きく、今年度からコバルトリッチクラストへの適用を始めている。
- ・さらに、研究成果の一部で日本船舶海洋工学会論文賞を受賞したほか、特許出願や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研究を進めており、タイムリーに成果を創出している。また、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た段階で重視される技術になると考えられるが、当該研究はそれに先んじて研究をスタートし、その技術確立を目指している。さらに、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。
- ・フローアシュアランス技術の研究で得られる成果は、我が国の海洋産業育成等への技術的な貢献とともに、実際の開発・生産を担う本邦企業を技術的に支援し、国際競争力の向上に直結するものであり、意義がある。
- ・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今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している。
- ・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「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令和元年度から新たに追加し、海底熱水鉱床開発に係る国家プロジェクトで活用を開始した。
- ・さらに、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技術の開発」を最終目標にした研究を新たに追加し、今年度はモニタリングシステムの基幹部分を構築した。本研究成果は、浮体式洋上風力発電に係る国家プロジェクトで来年度以降活用する計画である。
- ・さらに、海洋鉱物資源開発のための揚鉱技術開発においてキーとなる配管内圧力損失評価に関して、固定鉛直管内の脈動固液二相流、軸方向に振動する鉛直配管内の固液二相流それぞれに対する圧力損失推定手法を開発した。本研究成果は、当初計画していなかったものであり、本重点研究で構築している採掘ユニット・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精度向上に資するデータを提供することが可能となった。

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	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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発</p>	<p>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。</p> <p>③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発</p> <p>－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、フィルタリング手法を用いた最適高度誘導制御法の開発、シミュレーション計算や試験水槽等による隊列制御アルゴリズム(AUV-AUV 測位等)の開発を行う。等</p>

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が必要とされている。

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(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

結果として、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。

R2 年度研究目標

□小項目 5

- ・隊列制御アルゴリズム開発

□小項目 6

- ・要素技術の開発

□小項目 7

- ・深海底探査法に関する研究開発

R2 年度研究内容

□小項目 5

- ・SIP2 事業、小型 AUV 等を用いた試験水槽等により、隊列制御アルゴリズム(AUV-AUV 測位・通信を含む)の開発

□小項目 6

- ・最適高度誘導制御法の開発・シミュレータ上での有効性検証

□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

R2 年度研究成果

□小項目 5

- ・隊列制御アルゴリズム開発
 - SIP2 事業に参画しながら駿河湾において、最終的に 3 機の航行型 AUV(海技研 AUV2, 3, 4 号機を使用)を 1 機 ASV が統括監視・制御するシステム(基本隊列制御システム)を開発し、実海域でシステムの有効性を検証した。その際、問題なく精緻な海底地形も計測した(図 1 は第 1 回、8/1-8 実施、図 2 は第 2 回、10/17~24 実施試験)。効率的な AUV の複数機運用技術に貢献。

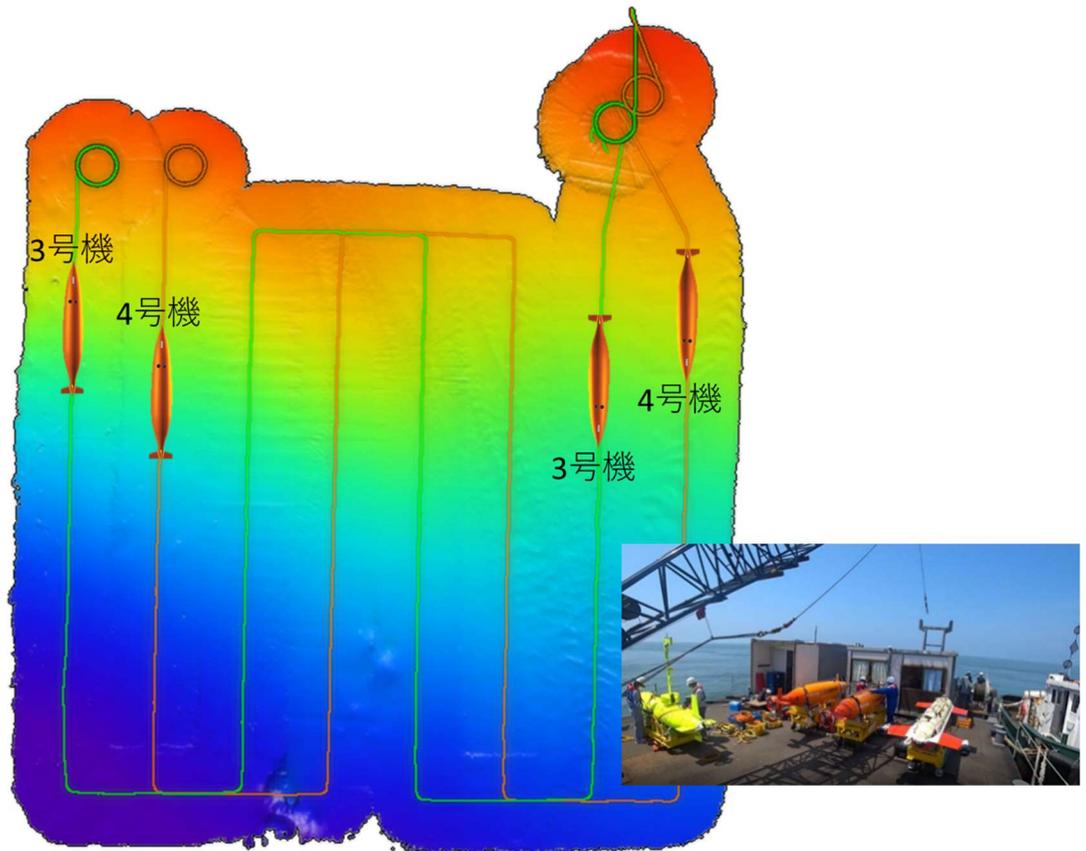


図 1 1 機 ASV と 2 機 AUV(AUV3, 4 号機)による海底地形図
(基本隊列制御システムを使った駿河湾実証試験)

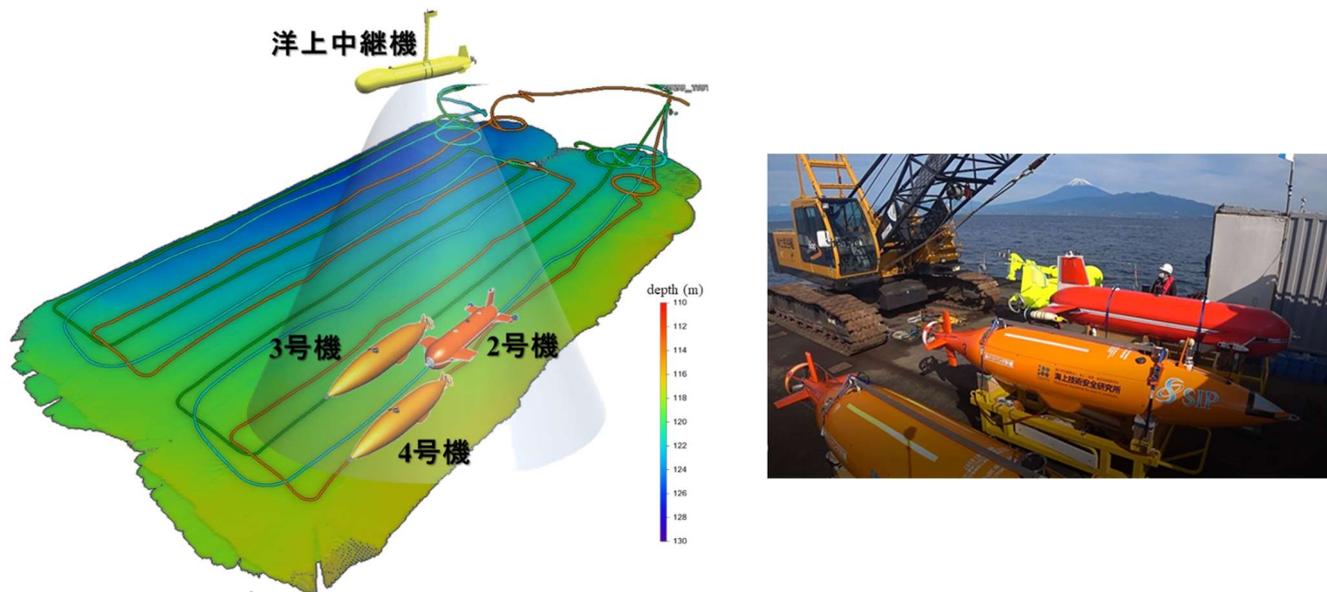


図2 1機ASV(洋上中継機)で3機AUV(AUV2, 3, 4号機)を統括監視・制御するシステム(基本隊列制御システム)を完成、駿河湾で有効性を確認、その際の海底地形図と使用ASVとAUV

・AUV-AUV 測位・通信制御アルゴリズム開発

- 海技研で独自に製作した制御システムを用いたホバリング型AUV「ほばりん2」(今年度新規製作)と第1期SIPで開発された「ほばりん」を用いてAUV-AUV通信・測位システムのプロトタイプを完成させた(図3)。当所の実海域再現水槽でシステム確認試験を実施し、その有効性を確認した。深海海底化で観測誤差の少ない、精緻なAUV稼働が実現できる技術開発である。
- 昨年度開発した小型航行型AUV(mini-AUV)に付随する制御プログラムに改良を加えることで、外部機関へのプログラム販売を実施。超小型航行型AUVの国内デファクトスタンダード化に向けての対応を外部機関とも連携しながら実施中。安価で汎用的、また、平易に利用可能なAUVの普及に前進した。

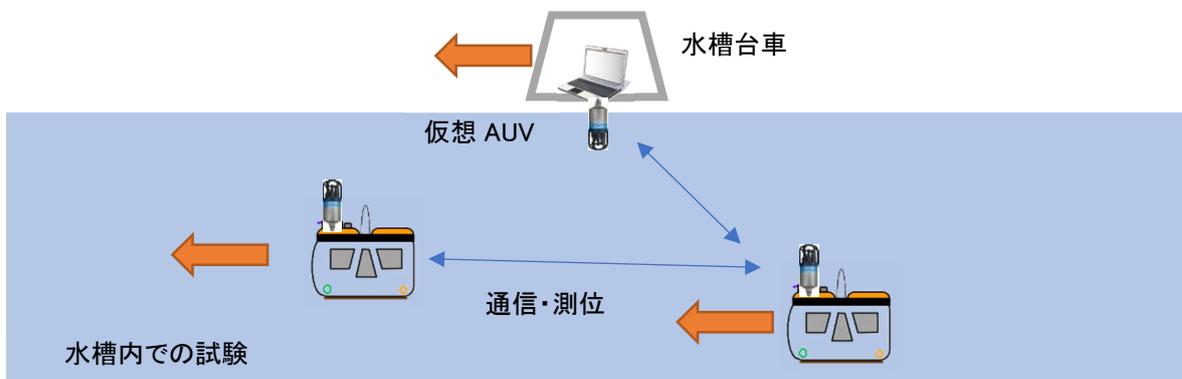
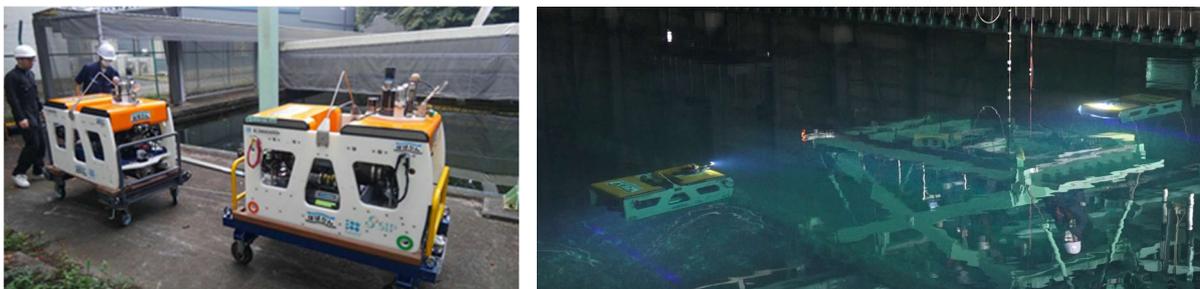


図3 AUV-AUV 通信・測位システムのプロトタイプ開発
(上図左: 使用した2機のほばりん、上図右: 実海域再現水槽での試験状況、下図: 実施概念)

□小項目 6

- ・最適高度誘導制御法の開発・シミュレータ上での有効性検証
 - 海底地形、AUV 運動モデル及び航法を仮想空間で具現化し、AUV の挙動を時系列で求められる 3D シミュレータを Matlab 計算環境で開発した。シミュレーションは実海域潜航試験の結果を忠実に再現しており、その有効性を確認した(図 4)。
 - ウェイポイントの最適化を通じた最適高度誘導の実現に向け、実海域試験現場で適用可能な数値アルゴリズムを開発した。また、3D シミュレータの開発にて観測や航行制御に使われる音響装置の動作を模擬するため、ソナー方程式をベースとする音響環境モデリングを行った。
 - 従来の深度制御ではなく、高度制御を進展させることで、急峻な海底地形下においても鮮明な海底地形図・海底情報の取得可能となる。技術を着実に進展させた。

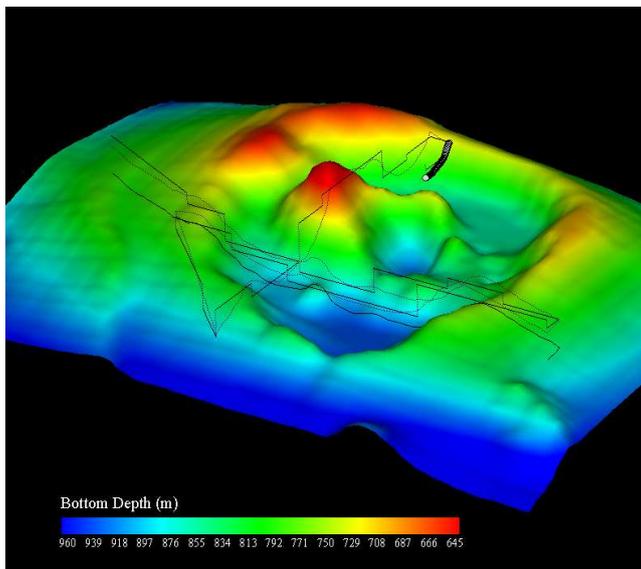


図 4 3D シミュレータによる AUV 航行計算結果の可視化

□小項目 7

- ・複数 AUV の活用方策に関する研究開発
 - 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小型 AUV システムの製作を開始した(図 5)。AUV と ASV を連結させることで、母船とはケーブル接続なく、AUV での計測情報を即座に母船に転送可能となる。
 - また、環境省深海底 CO2 貯留 (CCS) 実証事業の一部として、AUV を用いた CO2 シープの pH 分布測定を静岡県式根島で実施(図 6)。CCS 貯留時に CO2 の噴出が無いことを AUV を使って無人観測することが可能である。さらに、将来の複数 AUV 深海底音響探査(3 次元地震探査)を目指した水槽試験の結果をまとめて公表した(図 7)。

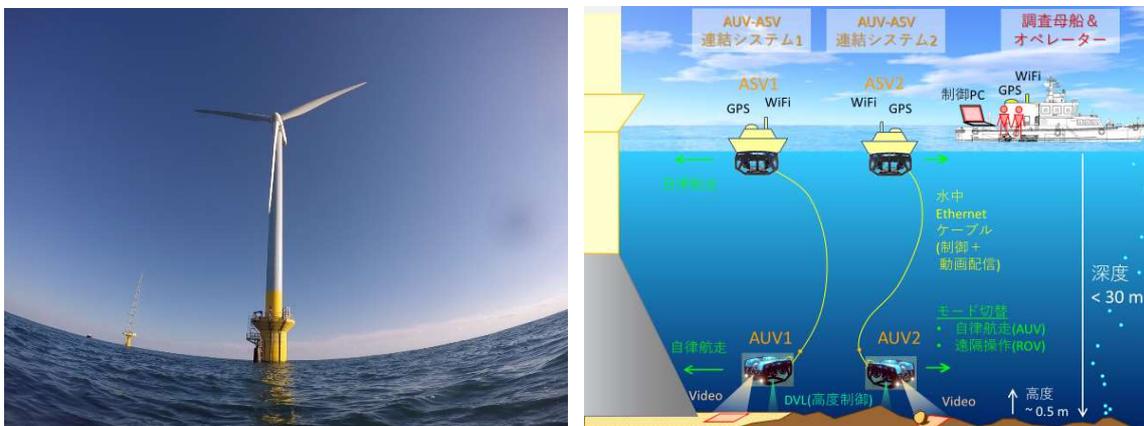


図 5 対象例としての銚子沖風力発電設備(左)と AUV-ASV 連結システム概要(右)

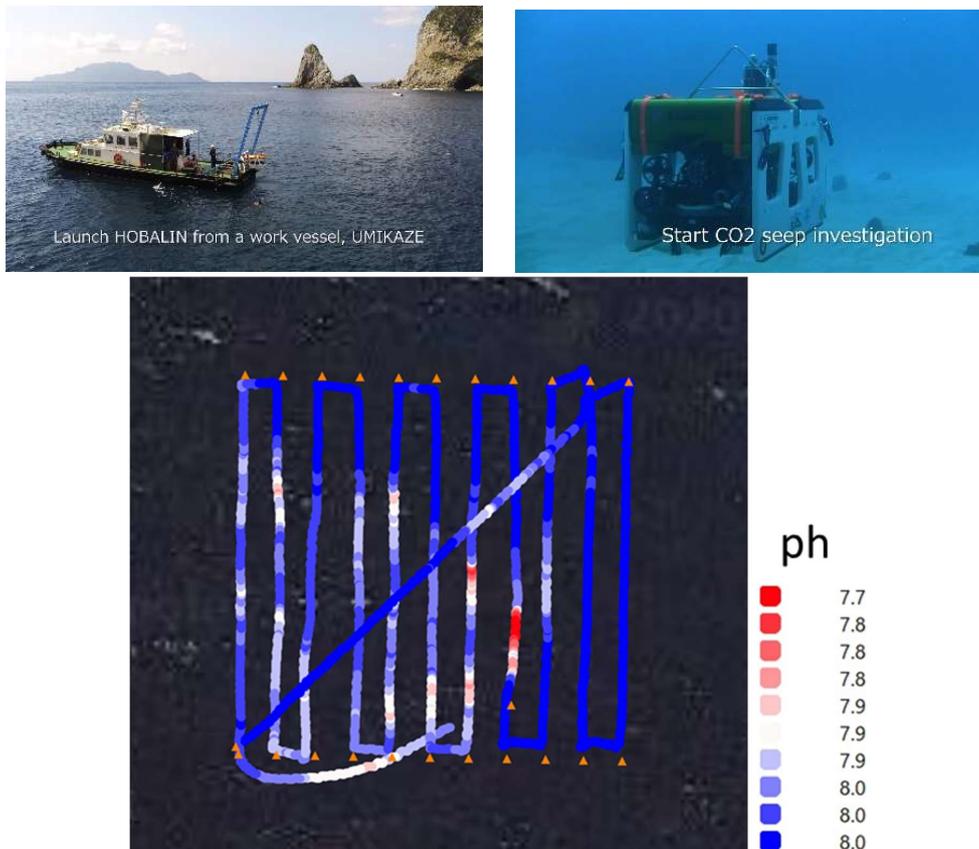


図6 式根島御釜湾 CO2 シープ「ほばりん」潜航調査と pH 分布測定結果

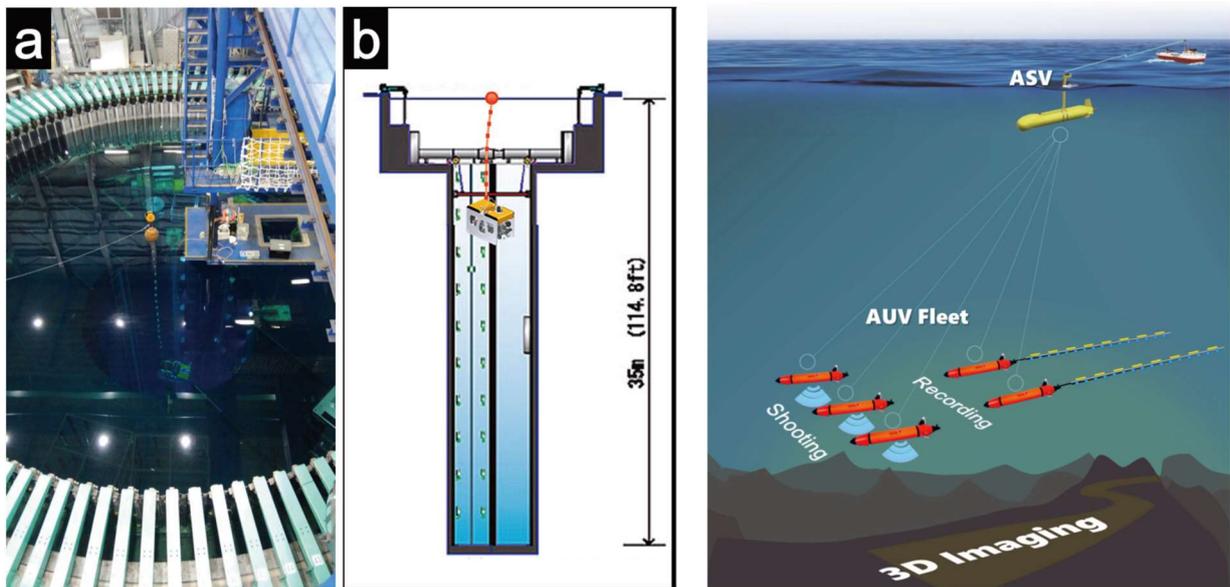


図7 複数 AUV を用いた海底下音響探査法に関する水槽試験と将来構想

R2 年度成果の公表

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

- ・平尾、藤原、岡本、関口、今里、篠野、小型 AUV の操縦運動モデルに関する一検討、日本船舶海洋工学会論文集、第 32 巻、2021
- ・稲葉、篠野、須藤、浦、ASV による複数 AUV の管制、日本マリンエンジニアリング学会誌、2021 (採択済)
- ・多良、塚原、篠野、村上、浅川、AUV を用いた反射法地震探査システムの開発と展望、物理探査 74 巻、2021 (採択済)

- ・Jun Umeda, Toru Katayama, Hirotada Hashimoto, Burak Yildiz, Study on Bilge Keel Component of Roll Damping for Non Periodic Motion, Fluid Mechanics and Its Applications, 2021 (投稿中)
- ・藤原、金、篠野、佐藤、稲葉、岡本、今里、大澤、SEA TRIALS SUMMARIZATION ON FUNDAMENTAL FORMATION CONTROL OF MULTIPLE CRUISING AUVS, Proceedings of the ASME 2021 40th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2021 (採択済)
- ・梅田、藤原、MODELING RELATION BETWEEN THE SPEED AND PROPELLER REVOLUTION OF THE CRUISING AUV USING MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS, Proceedings of the ASME 2021 40th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2021 (採択済)
- ・宮澤、有馬、谷口、梅田、藤原、非線形モデル予測制御による自律型海中ロボットの潜航シミュレーション、日本船舶海洋工学会論文集、2021 (投稿中)

□その他発表論文:11件(投稿中:0件、掲載済:11件)

- ・篠野、熊谷、矢野、ROV・AUVによる湖底遺跡調査、テクノオーシャンニュース No.75、2021
- ・佐藤、金、篠野、稲葉、藤原、航行型AUVの隊列制御による海底鉱物資源調査の安定化、海上技術安全研究所研究発表会講演集、2020
- ・梅田、坂本、藤原、付加物が航行型AUVの流力性能に与える影響、日本船舶海洋工学会令和2年秋季講演会論文集、2020
- ・金、佐藤、稲葉、松田、高島、大野、実戦としての複数AUV同時運用 - 伊豆諸島海域の高効率・高精度海底調査、日本マリンエンジニアリング学会誌、2021
- ・篠野、岡本、三木、西林、高月、石灰、川上、仙洞田、吉田、The CO2 seep investigation by HOBALIN, IEEE OES Underwater Technology21 UT21、2021
- ・稲葉、篠野、藤原、須藤、小西、The Recovery of the Semi-Submersible ASV with a Folding Antenna, IEEE OES Underwater Technology21 UT21、2021
- ・金、佐藤、稲葉、岡本、高橋、篠野、今里、瀧本、藤原、New Approaches for Practical Simultaneous Operation of Multi-AUVs, IEEE OES Underwater Technology21 UT21、2021
- ・藤原、長谷川、志村、Autonomous fleets for mapping the deep ocean, Nature (Focal Point)、Vol.590 No.7844、2021
- ・佐藤、和申、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、2021
- ・藤原、海技研におけるAUV研究開発、国土交通省総合政策局第3回海における次世代モビリティに関する産学官協議会、2021
- ・梅田、坂本、藤原、船舶用CFDによるAUVの抵抗・自航要素の推定、第15回船舶用CFDセミナー、海技研、2021

□特許申請:1件

- ・篠野:「AUV-ASV 連結システム」(出願中)

□コアプログラム登録:3件

- ・岡本、mini-AUV 制御用プログラム
- ・岡本、AUV 制御用インターフェースプログラム
- ・岡本、AUV 制御用共通プログラム

□国際貢献:0件

.

□受賞:4件

- ・金、佐藤、稲葉、岡本、高橋、篠野、今里、瀧本、藤原、New Approaches for Practical Simultaneous Operation of Multi-AUVs, IEEE OES Underwater Technology21, 最優秀賞
- ・岡本、谷口、佐藤、平尾、稲葉、梅田、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
- ・今里、金、佐藤ほか、マリンエンジニアリング学会賞(技術賞)受賞
- ・稲葉ほか、Shell 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

□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 R2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、風力発電施設の基差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の技術開発を進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、非線形モデル予測法を使った隊列制御アルゴリズムの開発(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	A
--------------	----------

□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。
- ・AUV-ASV連結システムの創出に関しては、先進的な取り組みとして評価できる。
- ・昨年度開発した超小型航行型AUVに付随する制御プログラムに改良を加えることで、外部機関へのプログラム販売を行うことができた。超小型航行型AUVの国内デファクトスタンダード化に向けて外部機関とも連携しながら対応を実施しているところ。
- ・AUV隊列制御システムの開発においては、IEEE OES Underwater Technology21 コンフェレンス(コロナのため今年度はビデオコンペ)では、最優秀賞を受賞。ほか、日本水路協会水路技術奨励賞、マリンエンジニアリング学会賞(技術賞)、Shell 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と7名程度の組織人員で4件の受賞を獲得した。

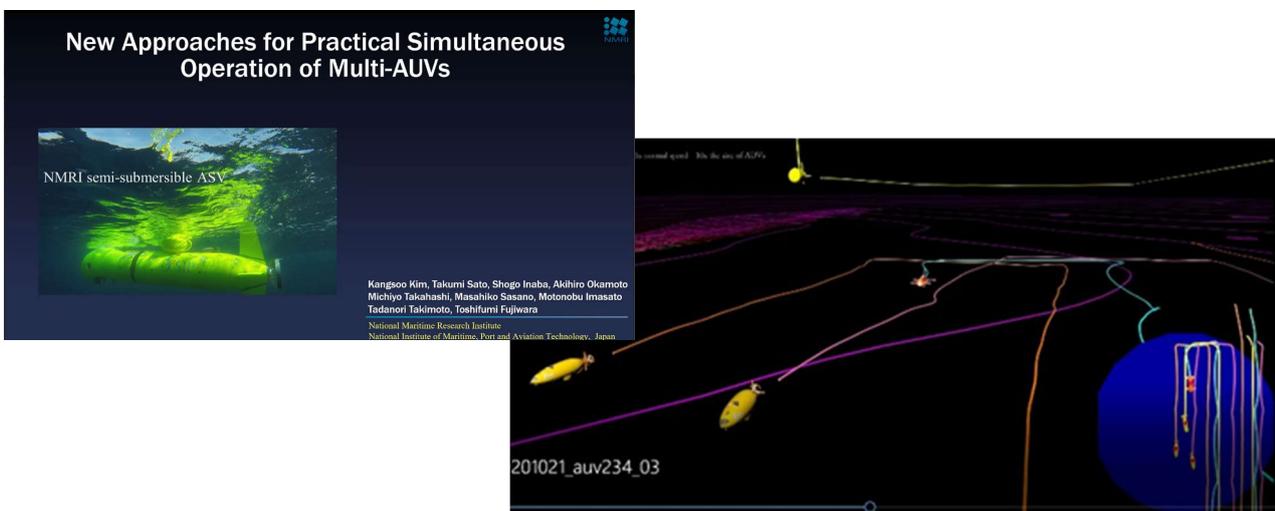


図8 IEEE OES Underwater Technology21 コンフェレンスビデオコンペでの受賞作品

研究計画委員会による評価	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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発 －造船の協業体制を想定した新しい造船ビジネスモデルの構築のために、造船協業体制における設計・建造プロセスの共通化・標準化の項目の検討を行う。 －ローカルな騒音源を考慮した騒音予測機能を構築し、ニューラルネットワークによる騒音予測 Web アプリの開発を行う。等</p>

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ことが求められている。

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
- 高減衰材料の一般商船で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
- インテリジェント CAD システムに関する研究
- 造船の協業体制に向けた研究

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
- 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。また、海技研の流体・構造・生産設計ソフトを統合した推進性能、ぎょう鉄難易度と溶接長を統合的に評価し、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
- 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。
上記成果は、以下があげられる。
 - 未来の造船工場(新技術の導入、新しい働き方の提案)や生産現場の改善計画の普及により、労働者不足の改善及び地方都市の活性化等地方創生に資するとともに、我が国造船業の国際競争力が強化される。
 - 船内騒音対策・軽量化・設計自由度の向上などを通じて船内労働環境の改善に資するとともに、造船産業の国際競争力の強化を図り造船業の活性化(地方創生)に資する。造船設計・生産性向上に資する。
 - 設計フロントローディングによる戻り工事の低減及び建造コスト管理の高精度化により、我が国造船業の国際競争力が強化される。
 - 造船設計及び製造の生産性向上とともに、企業間を超えた協業体制等の新しい造船ビジネスモデルの構築に関して技術面で支援する。

R2 年度研究目標

□小項目 4

- ・接合部強度評価データセットの取得
- ・難燃性や損傷対策などの規則要件適合対策

□小項目 6

- ・騒音・振動対策を考慮した機関室・居住区知的設計システム(プロトタイプ)の開発(ニューラルネットワークによる騒音予測システムの改良)
- ・工程管理に関する知的設計システム(プロトタイプ)の制作

□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を使用した試設計による設計フロントローディングの効果検証
- ・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

R2 年度研究内容

□小項目 4

- ・各種強度試験・環境劣化促進試験による接合部強度評価
- ・防火性・難燃性・損傷対策等の規則要求の対応策

□小項目 6

- ・ローカルな騒音源を考慮した騒音予測
- ・工程管理に関する知的設計システムの技術的な検討

□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 システムのプロトタイプの効果検証を実施するための導入準備と課題整理
- ・造船ビックデータとその設計応用に関する基礎的検討としてセンサーフュージョン技術について調査

R2 年度研究成果

□小項目 4

- ・構造用接着剤認定要件 ClassNK「構造用接着剤使用のためのガイドライン」の設計基準強度において、劣化後の強度保持率(劣化後の平均強度/初期の平均強度) η_d などは実験的に確認する必要がある。FTP Code 及び防火構造材料の認定も取得した NK 認定構造用接着剤である S 社の製品 M7-15 は、被着材が鋼・複合材の場合、ガイドラインで安全率を考慮して設定している $\eta_d > 0.25$ を満たしており、適用できることを確認した。(図 1 参照)
- ・2020 年迄に、FTP Code Part2(煙・毒性試験)、FTP Code Part5(表面燃焼性試験)、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)の認定を取得した構造用接着剤に絞り込み、その他の接合方法については重点研究としては対応しないこととなった。
- ・2021 年度研究計画の一部を前倒して、仮固定治具・施工手順・施工方法などの施工要領を作成した。1m 未満の艀装品サイズでは、作業員 1 名で 1 分未満の位置合わせ・加圧時間で接着可能であることを確認した。(図 2 参照)

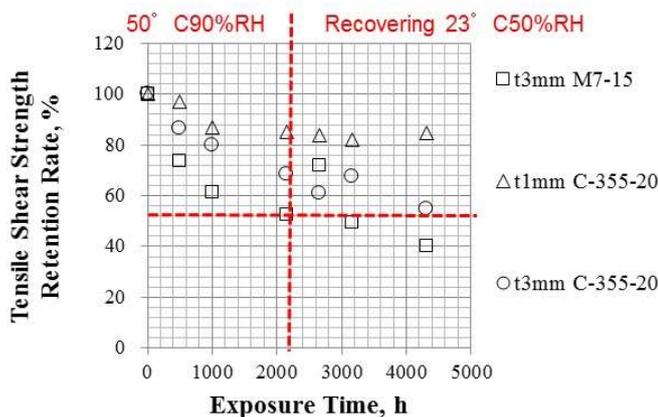


図1 劣化後の強度保持率 η_d



図2 マグネット、瞬間接着剤、両面テープによる仮止め方法

□小項目6

- ・開発済みの騒音予測モデルで、実用上十分な騒音予測が可能であったが、エアコンの調整不足等でエアコンノイズの影響が大きな部屋に対しては、エアコンノイズや通路からの空気伝搬音(居住区内のダクト等から)によるローカルな騒音(ノイズ)の影響があると、図3左に示すように、実測値とニューラルネットワークによる騒音予測結果に差(予測誤差)が生じていた。今年度は、エアコン騒音(ノイズ)を考慮した精緻な予測を実現させるために、エアコン騒音の特徴を表現するニューラルネットワークモデルを構築した。エアコン騒音の特徴を捉えた学習が安定して収束することを確認した。これにより、学習結果を利用してエアコン単独運転時の騒音レベルの予測が可能となった。
- ・従来の騒音予測(航行中)結果にエアコン単独の騒音予測結果を足し合わせることによって、エアコン騒音の影響を考慮した騒音予測結果が求まる(図3右青丸参照)。図3左に示すように、従来の騒音予測ではエアコンノイズの影響を考慮できていなかったが、図3右に示すように、1,000Hzから2,000Hzに発生しているエアコン騒音(エアコン単独のノイズ計測結果を与えた)を考慮した設計評価が可能となった。
- ・設計者はエアコン騒音レベルを任意に設定して、設計評価できるようになった。これによって、設計段階で騒音コードの規制値に対して、余裕をもった設計・対策が可能となる。海上公試前に艀装岸壁に係留中でのエアコン単独試験を行い、設計時に想定したエアコン単独の騒音レベル以下になっていることを確認すれば、海上公試において規制値を超えない可能性が高まる。

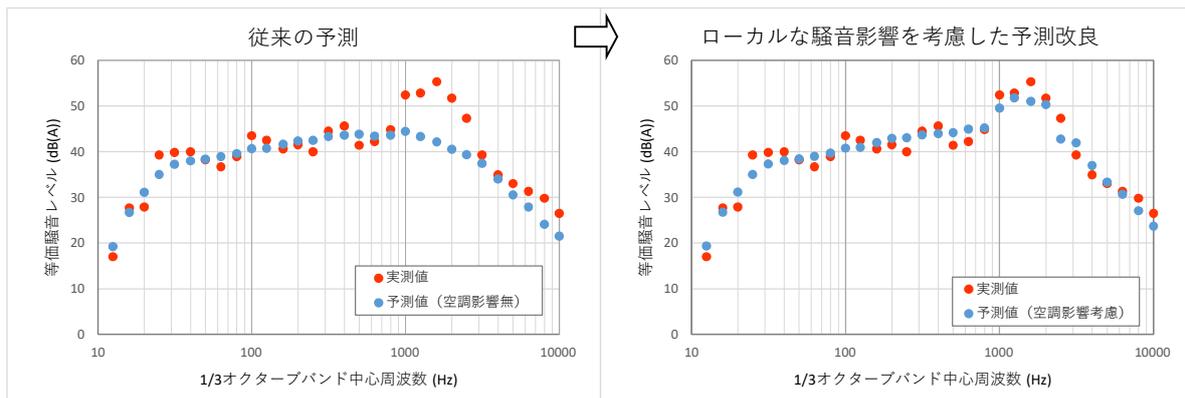


図 3 ローカルな騒音源を考慮した騒音予測

- 造船作業における工数推定及び生産計画の高精度化を目指し、造船作業のモデリング及び建造シミュレーションに関する検討を行った。本シミュレーションモデルは、造船作業の特徴である作業者が作業に応じて、移動・動作することを表現すること、すなわち作業者の詳細な動きを表現した。
- 造船工程のモデル化にあたって、図 4 に示すように、製品(プロダクトモデル)、設備・道具(ファシリティモデル)、作業(プロセスモデル)のデータ構造(情報の内容、形式、関係性等)を定義した。本データ構造に基づいて、建造シミュレーションを実施するための情報処理の手法を整理した。これに基づく建造シミュレーションシステムの試作を行い、工場内の作業者の詳細な動きを視覚化できるとともに、ガントチャート等で表現できるようになった。
- 同じ製品の製造に対して、生産方法の違いにより作業手順や作業時間が変わりうることを確認した。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となった。造船所内における情報の流れ、モノの流れをデジタルで一気通貫にコントロールするデジタルシップヤードの実現にむけて、造船工程のモデリングの基礎を整備した。

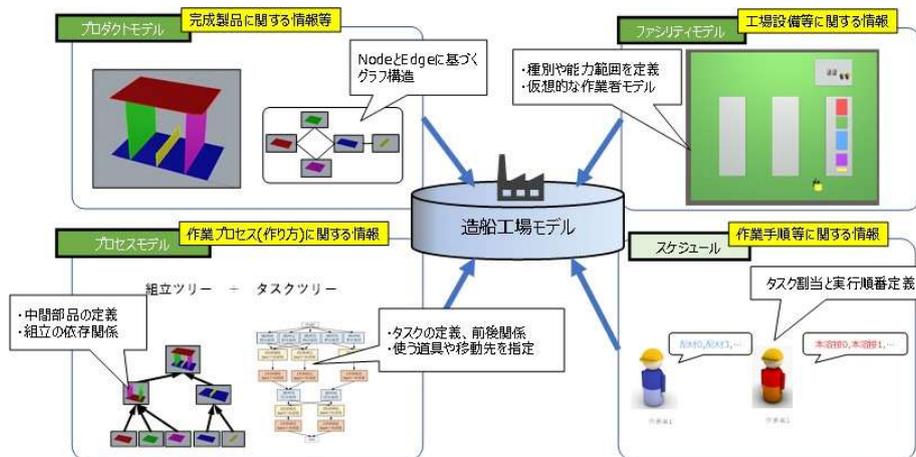


図 4 造船工程のモデル表現

□小項目 8

- 造船のデータ標準化のため、過去の関連プロジェクト(造船 CIMS、造船 STEP)や建設・建築業界の BIM IFC (Industry Foundation Class) 等を参考に、造船のデータ構造の在り方について整理を行った。特に複数造船所間の協業体制を想定し、データ構造として必要なデータ(クラス、クラス間の関連等)についてオブジェクト指向手法に基づき整理を行い、データモデル設計書の素案を作成した。
- データ構造を基盤として、設計、建造等の造船の一連のプロセスにおいてデータを統一的に取り扱う統一データプラットフォームについて検討し、既存の PLM システム上での実装を実施した。大型ロット発注を複数の造船所間で協業して建造する場合を想定し、業務プロセス、データ構造(BOM の構造)を整理し、それを効率的に運用するためのシステム(CAD と PLM システム等の連携)についてデモ機を開発した。(図 5 及び図 6 参照)

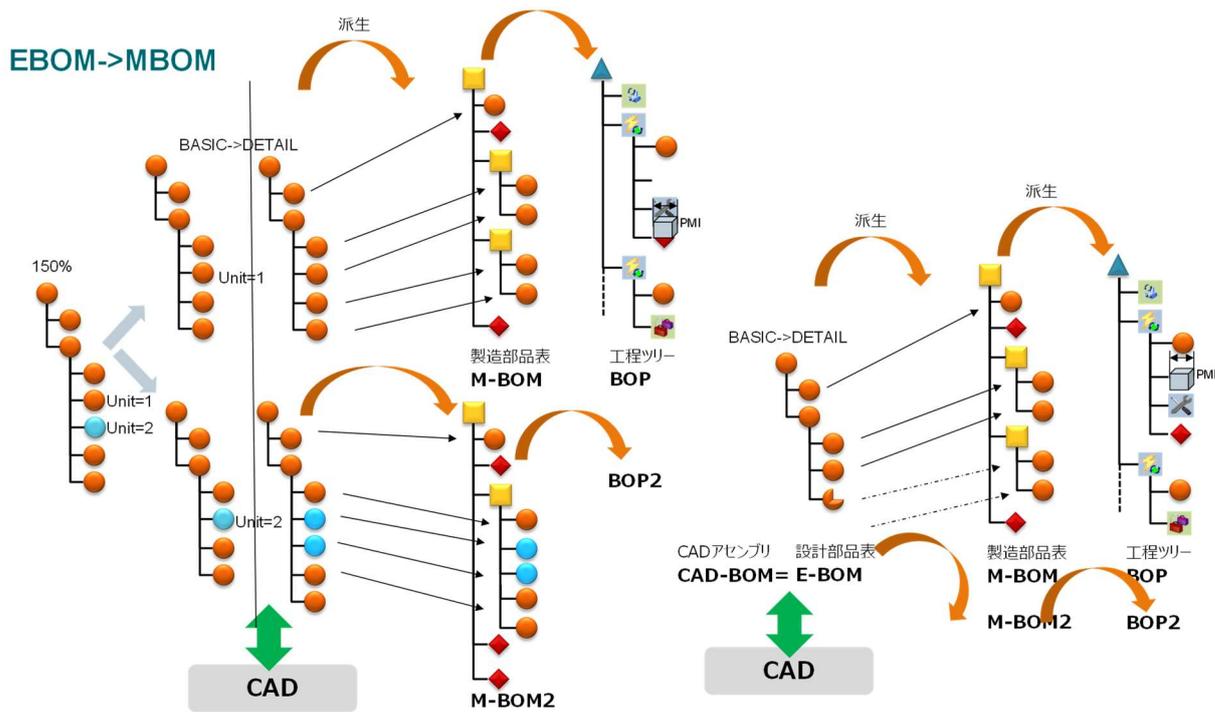


図 5 複数造船所の協業を想定した造船 BOM の構造

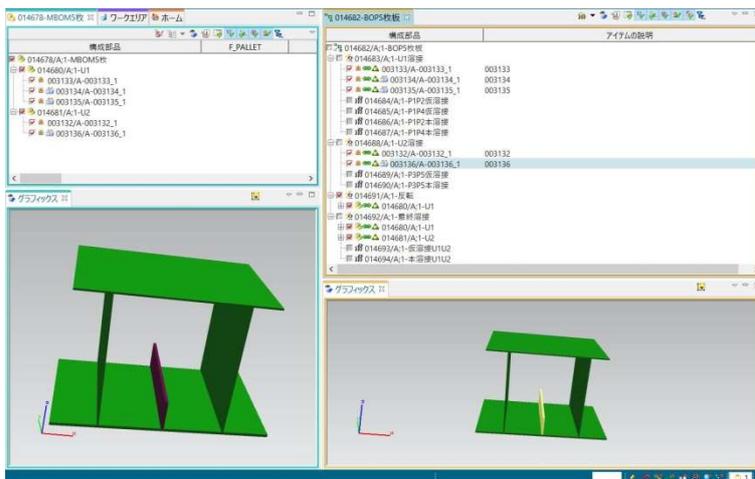


図 6 デモ機として開発した造船用 PLM システム

- ・コミュニケーションモニタリング等の造船設計ビックデータとその設計応用に関する研究では、現在設計にフィードバックできていない会話データや実験動画などから設計者の暗黙知を形式知化するための要素技術を調査し、造船設計においてこの有効性を検証ためのプロトタイプ開発の対象領域の候補を作成した。
- ・設計のフロントローディングを実現するインテリジェント CAD のプロトタイプに関して、造船所・CAD メーカーと共同で造船設計現場での効果検証を実施するため、設計フェーズにおける開発ツールの使い分けの検討、効果検証のための対象船型の選定を行った。(図 7 参照)

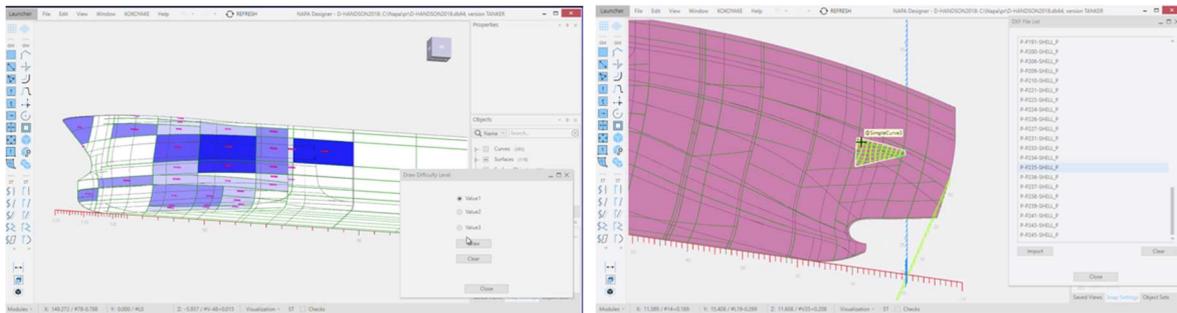


図7 開発中プロトタイプ加工難易度評価の一例

R2 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:0件、採択済:1件、掲載済:0件)

- ・M. Takezawa, K. Matsuo, T. Ando: Development of Support System for Ship-hull Plate Forming using Laser Scanner, Int. J. of Automation Technology Vol.15 No.3, 2021(採択済)

□その他発表論文:5件(投稿中:0件、掲載済:5件)

- ・平方勝 ほか:次世代造船システムの構想, 海上技術安全研究発表会講演集
- ・谷口智之 ほか:強化学習を用いた AI ネスティングシステムの開発, 海技研研究発表会講演集 PS
- ・松尾宏平 ほか:フィードバック式プレス施工支援システムの研究開発, 海技研研究発表会講演集 PS
- ・平方勝 ほか:次世代の造船設計システム構想, 日本船舶海洋工学会ワークショップ
- ・竹澤正仁 ほか:造船用高精度建造シミュレーションに関する基礎的検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第31号, pp.177-183(2020)

□特許申請:5件

- ・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 谷口 智之ほか(出願日 2020/9/25)
- ・船舶の建造シミュレーションシステム 谷口智之ほか(出願日 2020/10/9)
- ・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、及び建造シミュレーションプログラム 松尾宏平ほか(出願日 2020/11/2)
- ・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システム 松尾宏平ほか(出願日 2020/11/2)
- ・船舶の品質データベースの構築方法、品質データベースの構築プログラム、統一データプラットフォーム、及び統一データプラットフォームの利用方法 松尾宏平ほか(出願日 2020/12/21)

□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:1件

- ・新開発の次世代 CFRP の成形手法 竹澤正仁ほか、2021/2/5

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。
- ・騒音コードに適合させることに対して、造船所は新設計船舶の設計など、依然として不安を持っており、騒音予測に対するニーズは依然ある。ニューラルネットワークによる騒音予測システムを改良発展させていく成果があり、社会ニーズに適合している。

- ・我が国造船業の国際競争力の低下は著しく、さらに新型コロナの影響も追い打ちをかけて、手持ち工事が1年余りといった状態となり、生き残りを模索中である。この危機を乗り越えるためには、中韓に競合できる船価を作り出すことが何より重要であり、コスト改善の可能性のある建造工程の効率向上が必要である。精緻な工程計画を立てることを支援する工程計画シミュレータの開発が望まれており、社会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、海事産業の競争力強化の観点から国は業界再編、造船所間の統合、協業を推進しているところ、その技術的支援として協業体制下における造船業務、造船システムの在り方について検討しており、国の方針や社会のニーズに適合した研究開発内容であると評価している。

□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。

- ・接着継手の長期挙動に及ぼす環境の影響に関する研究は不十分で、接着接合部の環境劣化を考慮した長期信頼性の評価手法は未だ確立されたものがなく、接着工学の分野において、新規性・発展性は大きい。
- ・工程計画検討のシミュレータ開発は、ライン産業とは異なる造船作業のモデリングにかかわる新規性の高い研究である。今後は、造船業務の基本設計、機能設計、調達、生産設計、生産計画・建造をデジタルで一気通貫による情報の流れを実現したデジタルシップヤード構想へと発展させていく意義のある研究である。
- ・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、実現すればその一般性は高い。

□成果が期待された時期に創出されているか。

- ・工程計画シミュレータの開発は、造船所のニーズに即しており、開発に期待する機運が高まっている。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、本格的開発にむけたベースが確立できた。
- ・データの標準化及び造船用統合データプラットフォーム(造船用 PLM システム)の研究開発に関しては、民間において造船所間の統合、連携の動きが活発化している中、適した時期に実施されている。

□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。

- ・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、機械的締結を併用しない長尺部材の接着接合は、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。
- ・騒音予測に関する研究は、IMO の条約で定められた船舶の品質を確保するために必要なツールを提供するものである。工程計画シミュレータは、安定した生産計画、生産効率の改善に寄与するツールであり、いずれの研究も造船所の設計・建造における国際競争力の向上に貢献する。
- ・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が、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システムを国内の大型太宗船の設計、建造を対象に研究開発する事例は意義がある。特に、複数造船所の協業を想定して、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。

□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。

- ・ニューラルネットワークによる騒音予測システムの改良は、社会的ニーズに対応した応用研究である。ローカルな騒音源を考慮した予測精度の向上につなげ、造船設計者へのニーズを組んだ先見性のある研究成果である。
- ・工程計画シミュレータは、ラインシミュレータでは表現できない造船作業のモデル化に取り組むことによって、造船設計・計画を合理的に変革していくための、先見性をもった研究である。造船設計・建造のデジタルトランスフォーメーションにつながるインパクトのある研究である。

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「騒音・振動及び生産設計にかかわる知的設計システムに関する研究」及び「造船の協業体制に向けた研究」を追加した上で、今年度は、造船作業工程のデジタル化や、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	B
--------------	---

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	R2 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 ー 避航操船アルゴリズムを組み込んだ自動避航操船システムの開発及び任意の自動避航操船システムの評価に必要なファストタイムシミュレーションシステムの開発を行う。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ことが求められている。

具体的には、以下があげられる。

- 自律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
- 自律航行船の安全基準の研究
- 自動離着機機能の開発
- 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
- 着機支援システムと自動着機機能の開発
- 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。

R2 年度研究目標

□小項目 1

- ・ツール(システム)構築と入出力データの標準化、要素機能(避航)の充実

□小項目 2

- ・要素機能(画像処理)の充実、実システムへの適用促進(避航アルゴリズムとの連携)

□小項目 4

- ・陸上からの情報提供・管制

□小項目 5

- ・要素機能(自動着機)の充実、自動離着機操船システムの検証

□小項目 6

・ツールとしてのシミュレータシステムの構築、検証方法の確立

R2 年度研究内容

□小項目 1

- ・自動避航操船システムを構築する。
- ・避航操船機能の評価のためのファストタイムシミュレーションシステムを開発する。

□小項目 2

- ・検出機能改良と避航アルゴリズムとの連携を行う。

□小項目 4

- ・陸上からの自動運航船のバックアップ機能の小型実験船への実装を行う。
- ・自動運航船における陸上からの情報提供・管制について調査する。

□小項目 5

- ・自動離着岸操船システムを作成する。

□小項目 6

- ・総合シミュレーションシステムの開発とそれによる検証技術を検討する。

R2 年度研究成果

□小項目 1

- ・自動運航システムの開発のためのツールの開発を実施した。Json 形式で UDP 通信することにより、避航操船アルゴリズムの実行環境を問わず、避航操船アルゴリズムの評価をするシミュレーションが実施できるようになった。
- ・避航操船アルゴリズムの研究開発として、時系列を考慮した深層強化学習による避航アルゴリズムを提案し、査読論文に採択された。

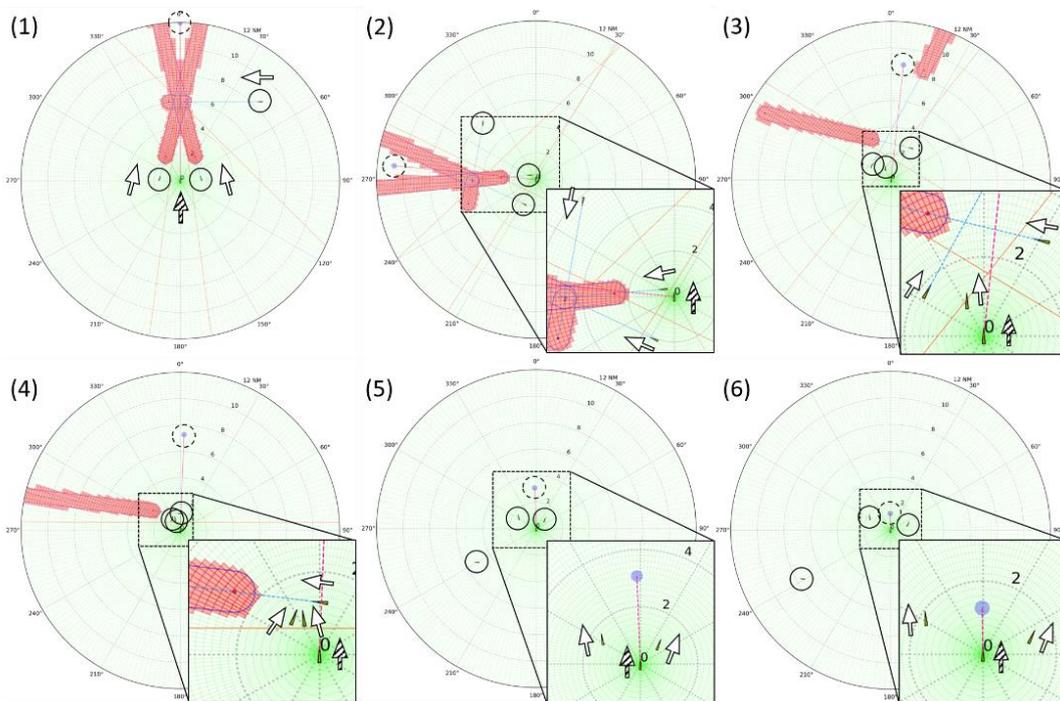


図 1-1 深層強化学習を使った避航操船のスナップショット

(1)からスタートし(6)まで適当な時間間隔での自船周りの状況を示しており、各時刻で自船は図中央に位置しすべて自船のヘッドアップで表示している。実線の円で囲まれたのは相手船、破線の円で囲まれるのは自船が目標とするウェイポイントを表す。ボーダーと白抜き矢印はそれぞれ自船と相手船の船首方位を表す。グレーの領域は自船から見た相手船によって発生した OZT をグリッドセンサーにより検知したときの、OZT を検知した各グリッドセルを示している。

・さらに、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、実船(海洋大の汐路丸)で検証を行った。また、OZTの表示方法についての特許出願をおこなった。



図 1-2 汐路丸実験状況

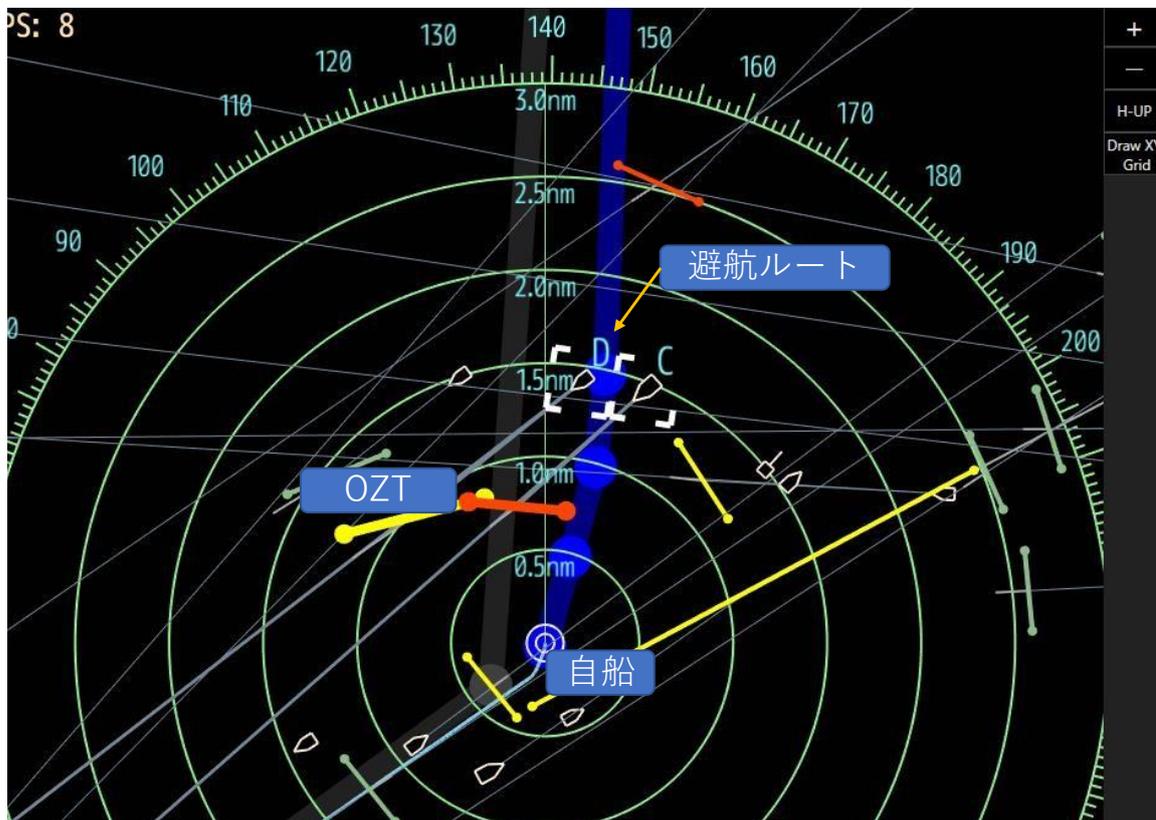


図 1-3 提案する避航ルート

□小項目 2

- ・画像マッチングアルゴリズムの改善により、立体視距離推定誤差を低減した。
- ・1~2mile 先の灯浮標の推定距離偶然誤差は 1.1%程度、4mile 先の反航船の推定距離偶然誤差は 5%程度であった。解像度から理論的に見込まれる誤差程度とほぼ一致した(図 2-1~図 2-2)。
- ・2021 年度小型船による自動運航実験計画にあわせ、小型船搭載用の全方位他船監視システムを構築した(図 2-3~図 2-4)。
- ・(一財)日本船舶技術研究協会「海事におけるデジタルイノベーション推進のための画像認識システムの構築等に係る研究開発」研究委員会委員および WG 委員に引き続き就任、先行事例として講演、発表。科研費を獲得し基礎的研究を並行して実施している。

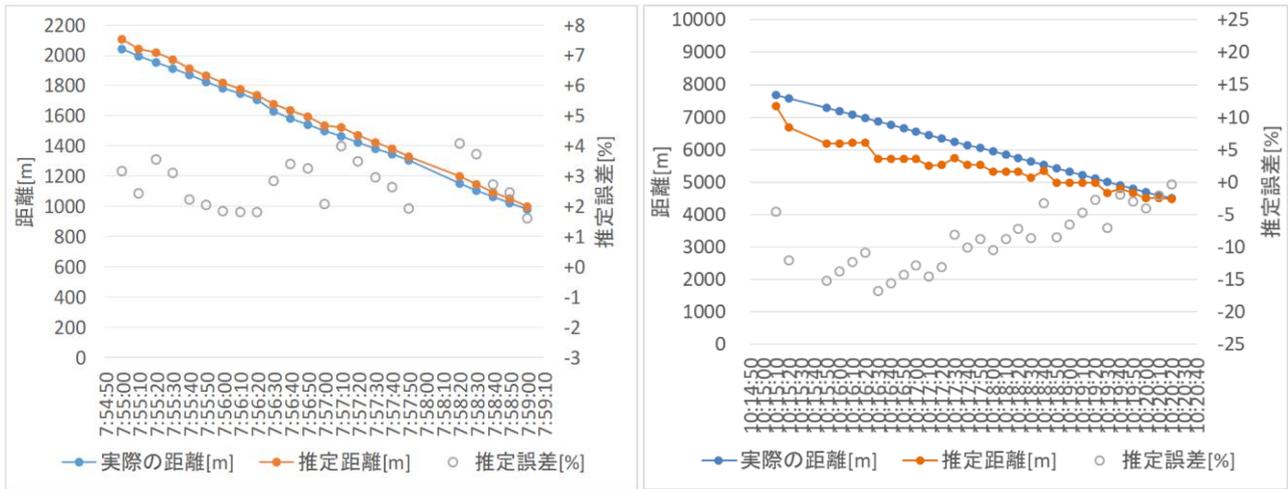


図 2-1 距離推定と誤差例 左:1mile 先灯浮標 右:4mile 先反航船

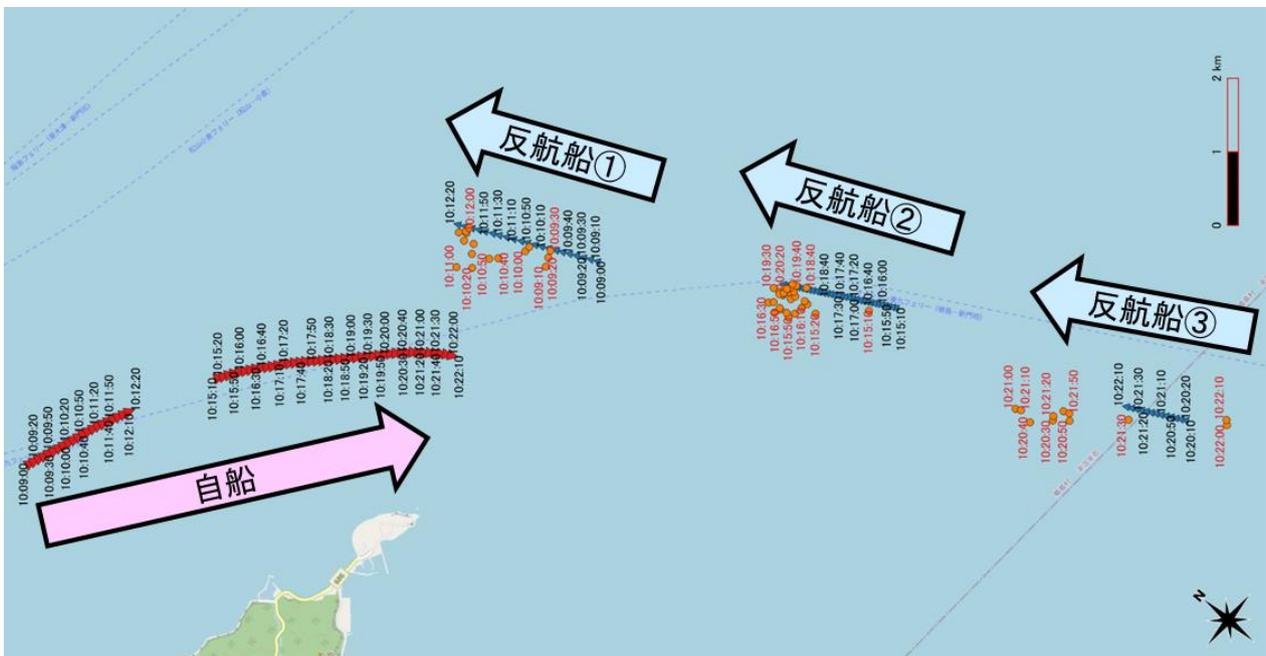


図 2-2 反航船推定位置と実際の位置



図 2-3 小型船に設置した全方位他船監視システムの一部



図 2-4 全方位他船監視システム検出試験結果

□小項目 4

- ・当初の計画通り、陸上からの自動運航船のバックアップ機能として、実船上で計測データ及びカメラ画像データを船・陸間通信技術により陸上に転送し、陸上で確認できるシステムを構築した(図 4-1)。
- ・さらに、遠隔操船システムと計画航路追従機能を組み合わせることによって、陸上からの遠隔操船によって計画航路追従が行えるシステムを試作した。この遠隔操船システムを小型実験船に実装し、広島県尾道市因島の海上において、遠隔操船システムの動作確認試験を行い、他船が周りにいない状況で遠隔操船ができることを確認した(図 4-2)。
- ・自動運航船における陸上からの情報提供や管制について調査し、現状をまとめた。

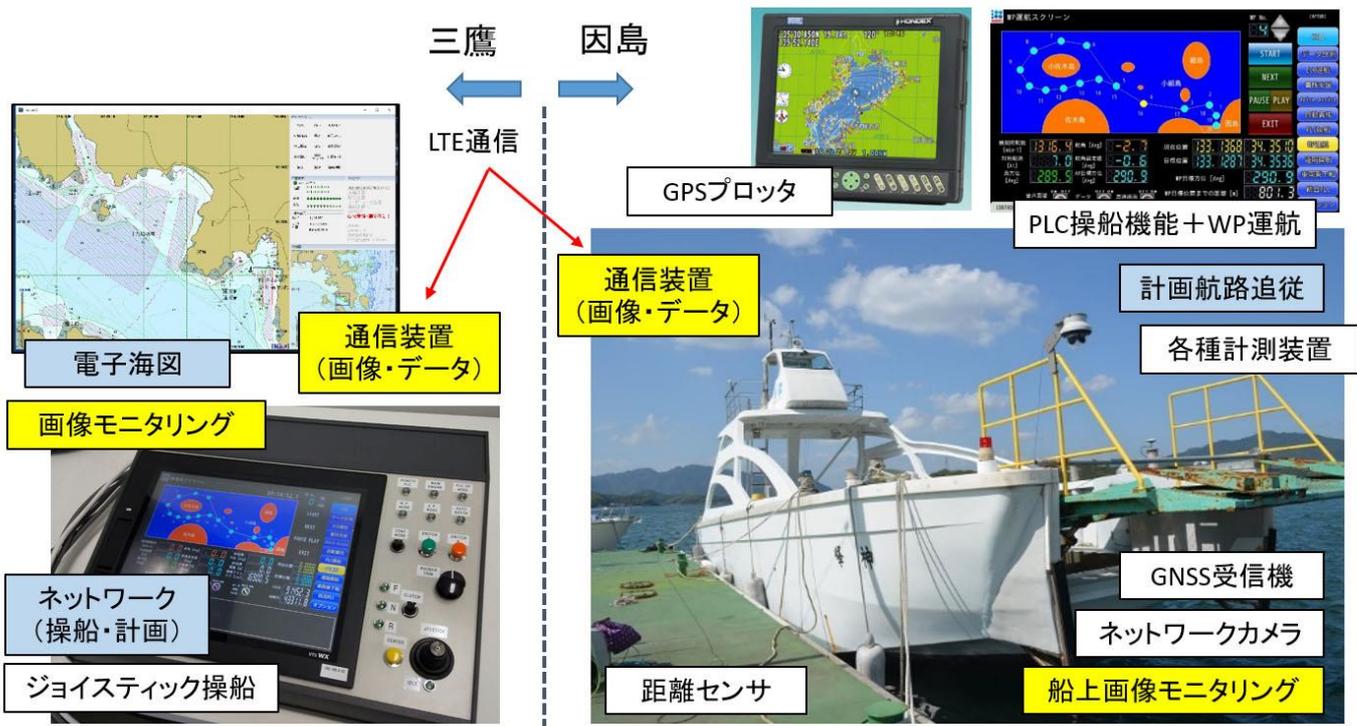


図 4-1 遠隔操船システムの小型実験船への実装並びに遠隔操船の概要

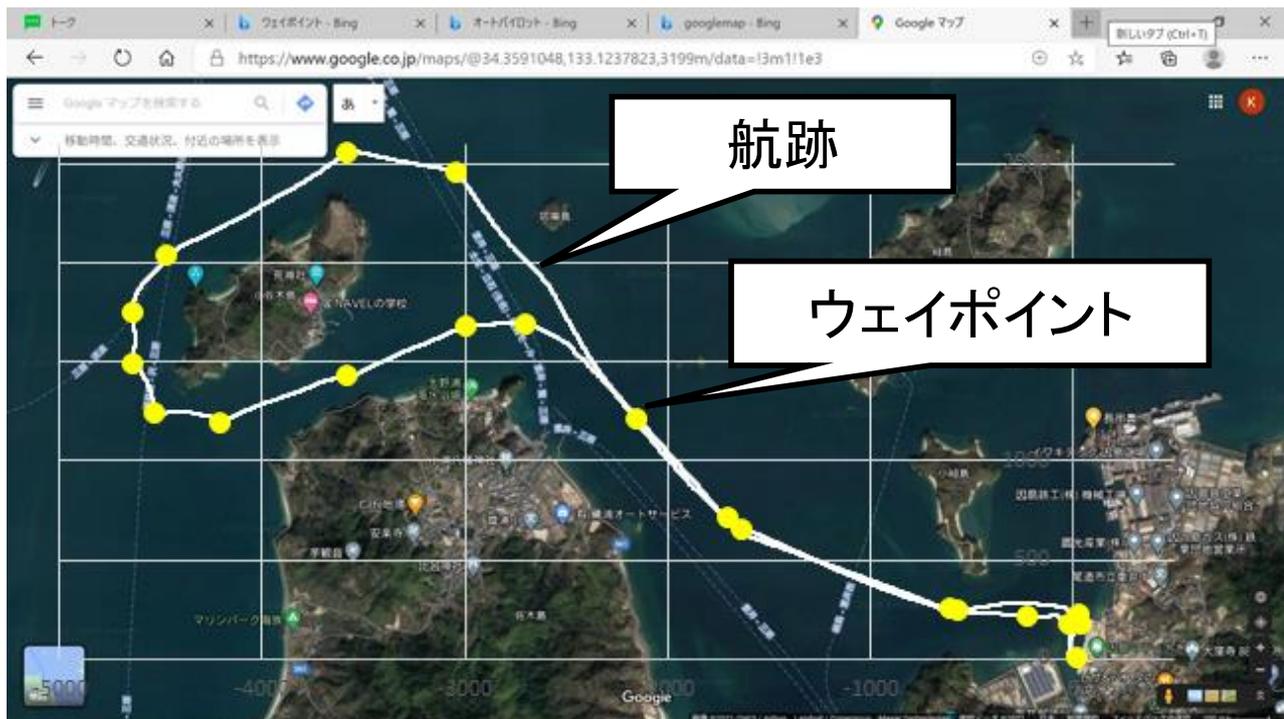


図 4-2 計画航路追従(ウェイポイント運航)の試験結果

□小項目 5

- ・2019 年度に実装した自動着機制御コードおよび、シミュレーションコードの実装言語を Python3 から Julia に全面的に変更し、JIT コンパイラによる実行速度の向上および実装の整理を行った。また、2019 年に開発した低速時の MMG モデルの計算において、船体に働く Cross flow drag の積分計算を近似式に変更し、従来式(シンプソン則)、従来式(精度保証付き Gauss-Kronrod 求積法ソルバ(Quad.jl))の 2 つの実装と比較し精度および実装速度を検証した(表 5-1)。結果的に Gauss-Kronrod 求積法による計算結果と同等の精度を保ちつつ、シンプソン則による実装に比べて、船体運動シミュレーションの計算速度を向上することができた。
- ・昨年度整備した実験船(神峰)の PLC 制御システムを操船シミュレータの小型版であるミニシミュレータ(5号館)にも整備し、PLC を介してミニシミュレータで神峰のシミュレーションを行うことが可能となった。さらに、自動着機

制御コードに付随したシミュレータコードを実装しており、実験船、ミニシミュレータ、シミュレータコード (Python3/Julia) に応じて通信内容の処理を変えることで、すべての環境で着棧制御コードの共通化を行った(図 5-1)。共通化により、陸上と船上の開発の移行をスムーズにすることで開発時のバグを抑制し、開発コードの品質向上を実現した。

- ・2019 年度より進めてきた実験用小型船向けの自動着棧システムを更新し、検証試験を実施した。風圧力特性と舵による力をもとにしたフィードフォワード制御を導入し、さらに着棧直前の回頭モードのクラッチ操作を改良することによって、8~10m/s 程度の強風時においても比較的安定した自動着棧ができることを確認した(図 5-2、図 5-3(a,b))。
- ・操船者/船員の負荷低減に資するため、内航船舶に適したリーズナブルで実用的な省力化・効率化システムの総合的な研究開発を進めた。船首・船尾のスラストやジョイスティック操船、監視カメラなどの様々な船員負荷低減技術を導入した 499GT 模型船を設計・試作し、水槽試験によって機能を確認した(図 5-4)。

表 5-1 MMG コードの実行速度の比較

実装	実行速度
近似式[吉村他 2020](Julia)	162.400 μ s
Gauss-Kronrod 求積法 (Julia)	608.700 μ s
シンプソン則 (Julia)	178.299 μ s
シンプソン則 (Python3, 参考)	47899.246 μ s

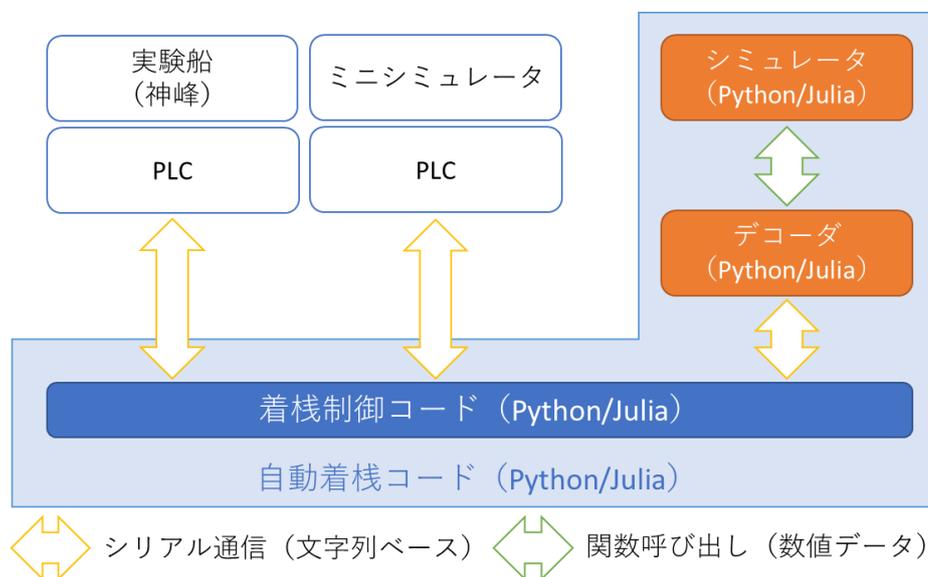


図 5-1 自動着棧コードと実験船・ミニシミュレータおよびシミュレータコードの関係図



図 5-2 自動着棧実験船の様子

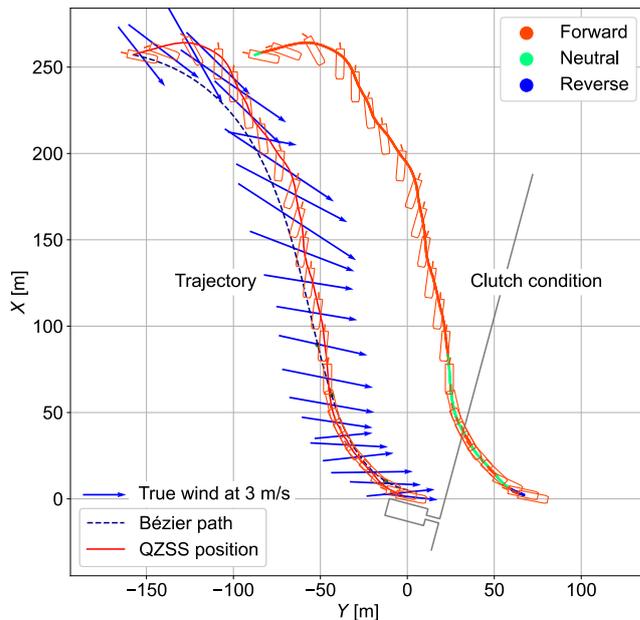


図 5-3(a) 改良したアルゴリズムによる強風時の着岸実験結果

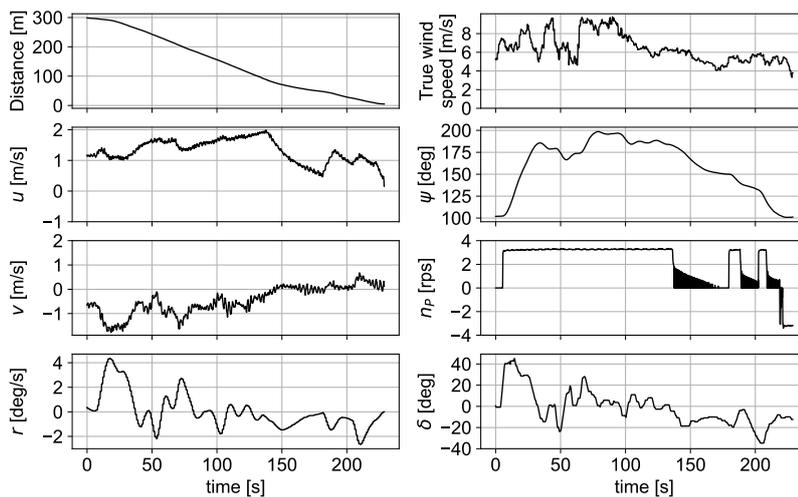


図 5-3(b) 実験時(図 5-2(a))のセンサ解析結果の時系列



図 5-4 様々な負荷低減技術を導入した 499GT 模型船

□小項目 6

・日本財団の MEGURI2040 プロジェクトにおいては、無人運航船を 2025 年までに実用化し、2040 年までに内航船の半数を無人運航船にする事を目標に、2021 年度中の実証試験を予定しており、当所は、第三者機関として、安全性評価を担当している。具体的には、将来的な遠隔操船船・自動運航船に必要な機能、HMI、不測の事態に陥った時のフォールバックとしてのオーバーライド手法等を検討し、遠隔操船船・自動運航船の自動化システムの安全性評価に必要な、ファストタイムシミュレーションシステム、操船シミュレータ、機関シミュレータ、センサシミュレータ、避難シミュレータから構成される、総合シミュレーションシステムの概要設計を実施した(図 6-1～図 6-2)。また、オーバーライドの検証用のモックアップを作成(図 6-3)し、遠隔監視模擬システムを構築した(図 6-4)。加えて、事故データ、AIS データをベースに、評価に使用するシナリオの検討を実施した(図 6-5)。

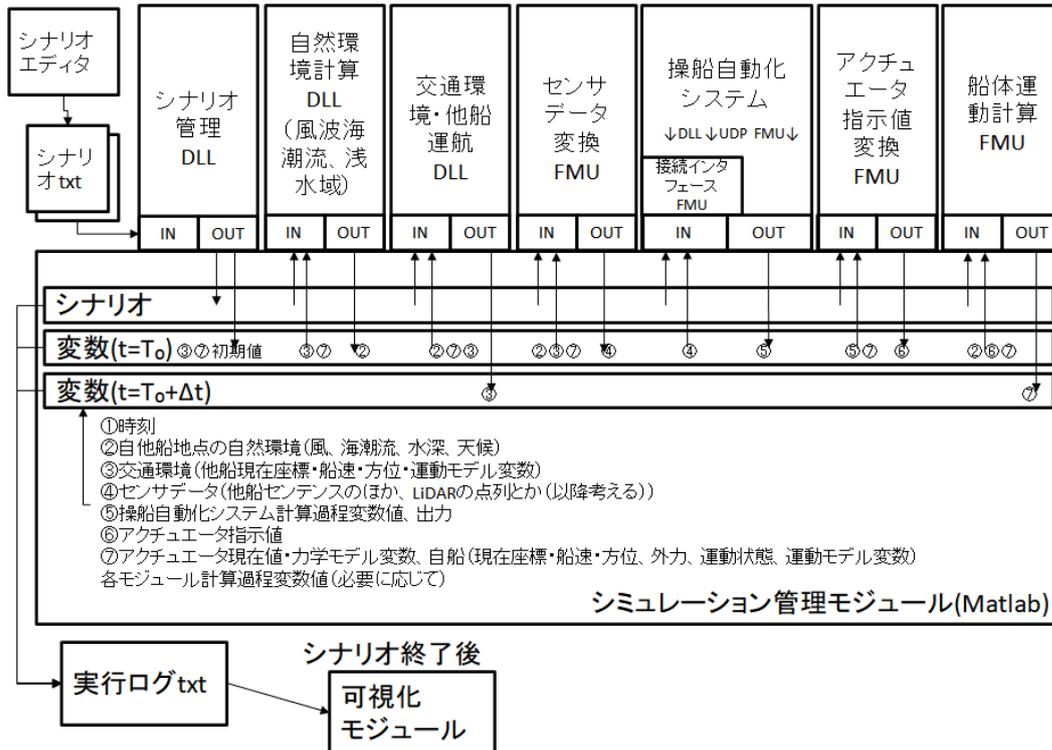


図 6-1 ファストタイムシミュレーションシステム

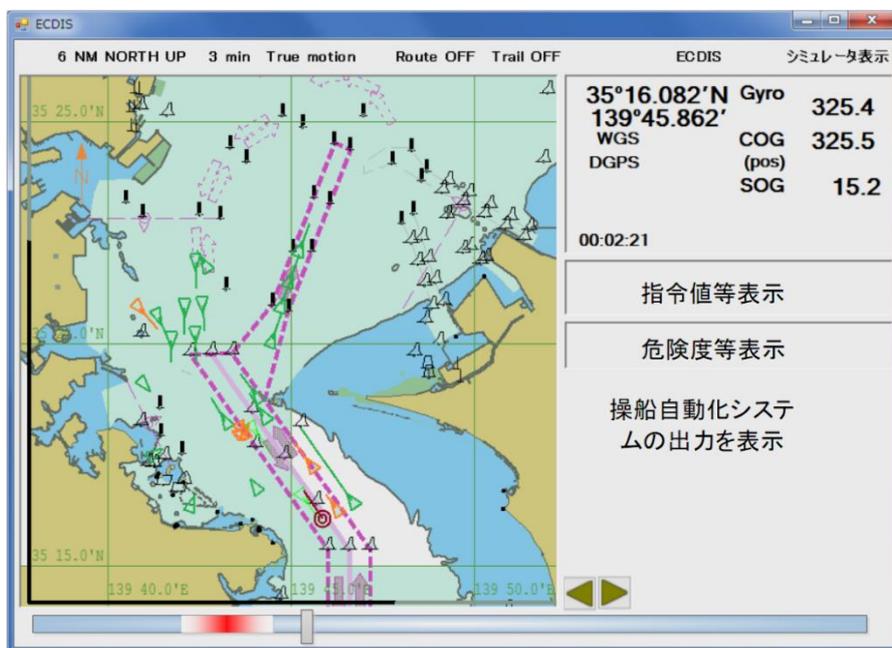


図 6-2 シミュレーション結果



図 6-3 操船用モックアップ



操船シミュレータ
(無人運航船側を再現)



遠隔監視システムの画面
(遠隔地側の監視画面を再現)

図 6-4 製作した操船シミュレータと遠隔監視模擬システムの動作状況

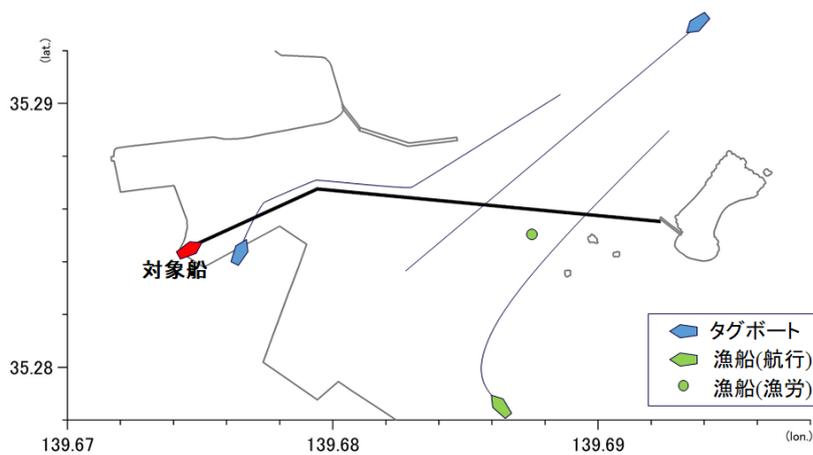


図 6-5 シナリオ案

R2 年度成果の公表**□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):4件(投稿中:1件、採択済0件、掲載済:3件)**

- ・Sawada R., Sato K. and Majima T.: Automatic Ship Collision Avoidance using Deep Reinforcement Learning with LSTM in Continuous Action Spaces, J. Mar Sci Technol, (JMST), 2020
- ・Sawada R., Hirata K., Kitagawa Y., Saito E., Ueno M., Tanizawa K. and Fukuto J., : Path following Algorithm Application to Automatic Berthing Control, J Mar Sci Technol, (JMST), 2020
- ・Miyuchi, Y., Sawada, R., Akimoto, Y., Umeda, N. & Maki, A. Optimization on Trajectory planning of Autonomous Docking / Berthing for the Realistic Port Geometry, Ocean Engineering (2021). (投稿中)
- ・小林充 ほか:可視光・遠赤外線画像と深層学習による浦賀水道航路の通航船舶の検出, 海技研報告第 20 巻第4号, 2021

□その他発表論文:11件(投稿中:2件、掲載済:9件)

- ・平田宏一, 海技研における自動着棧システムの研究開発, 日本人間工学会, 関東支部第 50 回大会講演論文集, 2020 年 12 月.
- ・平田宏一, 海技研における自動着棧システムと要素技術の研究開発, 第 20 回海上技術安全研究所講演会, 2020 年 12 月.
- ・澤田涼平, 平田宏一, 北川泰士, 齊藤詠子, 上野道雄, 宮崎恵子, 谷澤克治, 福戸淳司:経路追従制御による自動着棧操船システムの開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 30 号, pp.43-49, 2020
- ・澤田涼平:深層強化学習による自動避航操船研究, Marine Engineering 日本マリンエンジニアリング学会誌 (Journal of the JIME), 第 55 巻, 第 6 号, pp.16-20, 2020
- ・澤田涼平, 平田宏一, 北川泰士, 齊藤詠子, 宮崎恵子, 上野道雄, 福戸淳司:着棧操船の音声支援と自動着棧制御に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻(別冊), 第 20 回研究発表会 講演集, 2020(採択済)
- ・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り組み, 日本人間工学会関東支部第 50 回大会講演集(2020)
- ・國分健太郎, 南真紀子, 伊藤博子, 小林充:自動運航船の実用化に向けた当所の取り組み, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻(別冊), 第 20 回研究発表会 講演集, 2020
- ・南真紀子, 丹羽康之, 佐藤圭二, 間島隆博:自動避航アルゴリズムの評価に関する検討, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻(別冊), 第 20 回研究発表会 講演集, 2020
- ・澤田涼平:深層強化学習を用いた複数の船舶を考慮した自動避航操船, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻, 第 4 号, 2021
- ・澤田涼平, 北川泰士, 平田宏一:風外乱補償型経路追従制御による自動着棧制御, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 32 号, 2021(投稿中)
- ・澤田涼平, 平田宏一:航行環境を考慮した着棧制御のための経路計画, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 32 号, 2021(投稿中)

□特許申請:2件

- ・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 佐藤圭二ほか
- ・名称:「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」、出願番号:特願 2020-086108

□コアプログラム登録:1件

- ・立体視による物体検出のための撮影・情報記録プログラム 小林充

□国際貢献:0件

.

□受賞:0件

.

□公開実験:3件

- ・人にやさしい 499GT 貨物船に関する模型実験, 2021 年 1 月 25 日
- ・小型実験船「神峰」による自動着棧システムの実船実験, 2021 年 3 月 18 日
- ・衝突を自動的に回避する避航操船システムに係る実験, 2021 年 3 月 25 日

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

- ・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。
- ・立体視による他船検出システムについて、画像からの船舶検出と位置推定は、AIS やレーダーでは検出できない船舶を避航するために不可欠の技術要素であり、その実現に貢献するものである。
- ・自動着棧操船は、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、着棧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

□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。

- ・ シミュレーションと避航操船アルゴリズムの接続環境を整備した。任意のアルゴリズムを評価するため接続インターフェースの標準化は重要であり、課題を抽出し改良するためのプラットフォームの構築は意義がある。
- ・ 避航操船の自動化技術は確立されておらず、早期実現を目指したルールベースの避航アルゴリズムによるシステムの開発に加えて、研究要素の強い深層学習の利用など AI 技術を利用した避航操船アルゴリズムの構築する試みは意義がある。
- ・ 機械学習を用いた船舶検出は革新性がある。また立体視による位置精度向上は、他が取り組んでいないものである。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棧アルゴリズムは、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。風圧力特性と舵による力をもとにしたフィードフォワード制御を導入等により外乱に対する制御性能の向上を図るなど発展性も認められる。
- ・ 陸上からの遠隔操船によって計画航路追従が行えるシステムを試作し、実船実験により遠隔操船システムの動作確認試験を行い、遠隔操船ができることを確認した。遠隔操船にかかわる技術の検証が可能となり発展性を有する。

□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、その要素技術である避航操船アルゴリズムの開発、実用化に不可欠な自動避航アルゴリズムを対象とした安全評価や認証方法の確立、ならびに、レーダー、AIS 以外による捕捉としての画像処理と立体視による他船検出システムの開発は、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。
- ・ 立体視による他船検出システムについて、小項目研究主任が(一財)日本船舶技術研究協会「海事におけるデジタルイノベーション推進のための画像認識システムの構築等に係る研究開発」研究委員会委員および WG 委員に就任し、先行事例として講演等により発表し我が国における今後の海事画像認識研究の方向づけを行った。
- ・ 現在、国内外で発表されている自動着棧システムはスラストやポッド推進等の高度な操縦機構を備えた一部の専用船に適用できるものであり、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棧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。また、実験船、ミニシミュレータおよびシミュレータコードで着棧制御コードの共通化し、陸上と船上の開発の移行をスムーズにするなど、研究の機動性の確保に努めた。

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、避航操船アルゴリズムの開発、操船シミュレータに対して自律船の考えに基づくプラットフォームの構築と安全評価や認証への活用、自律航行に必要な他船検出の AI による対応、離着棧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、自動避航アルゴリズムの開発では、早期の実現可能性の高いルールベースに基づく操船支援システムを開発し実船実験により検証を行う一方で研究要素の強い AI 技術の深層強化学習を使った避航操船アルゴリズムの開発を行うなどバランスの取れた研究を実施している。また json 形式で UDP 通信が可能なシミュレーションシステムを開発し通信仕様を満たす避航アルゴリズムを検証する環境を整えるなど顕著な成果が出ている。また、昨年度から実施している自動離着棧の研究では、所内複数の系が連携した体制で実施し、今年度もアルゴリズムの改良によりさらに厳しい外乱下でも安定した着棧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	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	R2 年度計画
<p>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。</p>	<p>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。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p>	<p>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。</p> <p>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</p> <p>ー 平時輸送の輸出入貨物を対象とし、貨物経路推定の基本手法の性能向上の検討、災害時の輸送に関しては、地域防災計画等よりネットワークデータ等の基盤データの整備を行い、陸、海、空を含めた大規模災害時を対象とした輸送シミュレータの開発を行う。</p> <p>ー 国際海運・造船における経済状況を表す貨物流動データ等及び海運会社・造船会社の活動を表す運航データや船腹・建造データにおいてデータフュージョン(データ融合)技術の検討を行う。等</p>

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ことが求められている。

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
- ・ 平時及び震災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。

R2 年度研究目標

□小項目 4

4) 災害時の傷病者輸送については、地域防災計画等の資料よりネットワークデータ等の基盤データを整備し、大規模災害時のシミュレータの開発を行う(国受)。支援物資輸送についてはシナリオ生成・物資輸送結果の総合評価機能を開発する。

輸出入貨物輸送経路予測システムは、想定利用者の意見を基に課題解決可能なよう開発を行い、クラウドに実装する。

□小項目 5

5) 国際海運・造船需要予測、内航海運を例として、AI 手法等の適用に基づく融合技術の応用を行う。開発した System of Systems のモデルに基づく国際海運における GHG 削減等規制の影響評価を行う。

最新の AIS データから教師データを作成し、AI の再学習を行い、船舶の運航状況可視化のためのプログラムを開発する。(民請)

ディープラーニングをベースとして海運市況予測モデルを作成(広大担当)し、UI を整備してユーザービリティを高める。

貿易統計データに基づくデータベースとモデル開発。(科研)

R2 年度研究内容

□小項目 4

・4) AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・ 傷病者輸送シミュレータについて、地域防災計画等の資料よりネットワークデータ等の基盤データを整備し、大規模災害時におけるシミュレータ開発を行った。
- ・ 輸出入貨物輸送経路予測システムは、想定ユーザーへのヒアリング、Web 公開用の貨物輸送経路分析例とそれに合わせたシステム改修、海技研クラウドでの公開等を行った。
- ・ 支援物資輸送については発災後利用可能な船種や船腹量の分析を行ってシナリオを作成すると共に、充足率を用いた物資輸送結果の総合評価機能を開発した。

□小項目 5

・5) AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

- ・ IMO 4th GHG Study のコンソーシアムに、海技研 GHG PT メンバー等と参加し、代替燃料船等のコスト評価や最新の情報収集を実施した。
- ・ これまでに開発したバルクキャリアの輸送シミュレーションと造船市場予測モデルを統合し、ゼロエミッション船の中長期導入戦略を評価するシミュレーションを開発した。

R2 年度研究成果

□小項目 4

- ・ 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、病院への搬送人数、機材ごとの輸送人数を定量的に示した(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、2年目における年度末評価委員会において、委員の先生方から緻密なシステムで大変重要な技術を開発されていると評価を受けた。

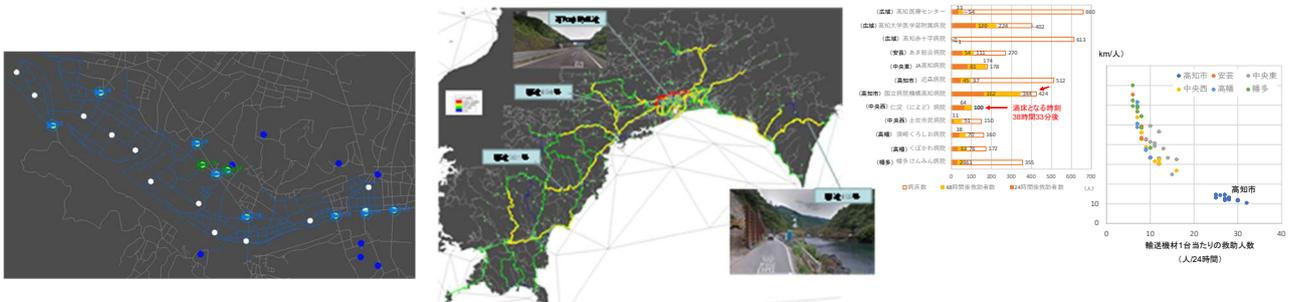


図 1: シミュレータ可視化画面 (緑・水色: 輸送機材、青: 病院)

図 2: 結果より算出された、利用頻度の高い道路

図 3: 病院への搬送人数、機材ごとの輸送人数をグラフ化

- ・ 想定ユーザーである地方港湾を対象にヒアリング調査を実施し、分析内容は港にとって知りたい内容であり、

さらに詳しい分析を期待するとの結果が得られた。それらの結果を基に公開用輸出入貨物輸送経路予測システムを開発して海技研クラウド上に公開した(図4)。

・南海トラフ地震後に利用可能となる船種や船腹量の分析を行い、発災後24時間程度から多数の船舶を支援物資輸送に利用可能となると示すと共に、解析シナリオを作成して輸送の総合的評価機能を開発した(図5)。



図4: 海技研クラウドに公開した貨物輸送経路分析システム(一部)

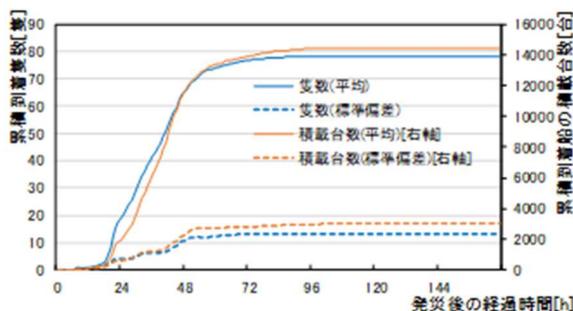


図5: 発災後の経過時間と到着済み船舶の累積輸送力の分析結果

□小項目5

- ・ IMO 4th GHG Studyに参加し、最新の情報収集を行うと共に、様々なCO₂削減技術のコスト評価を行った。
- ・ CO₂削減技術の全体的なコスト評価を行うため、CO₂削減可能量とコストの関係を示す限界削減費用曲線の作成(図6)、減速航行における限界削減費用の感度分析等を実施した(図7)。
- ・ 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した。
- ・ 開発したシミュレータを活用し、ゼロエミッション船導入時の運航コストを減速等の影響も加味し評価した。(図8)
- ・ 開発したシミュレータを活用し、複数のゼロエミッション船導入戦略を評価し、IMOの削減戦略に対応する導入戦略の検討を実施した。(図9, 10)

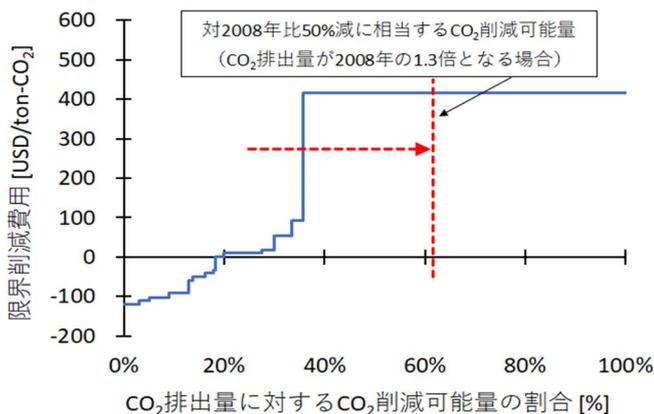


図6: 2050年の国際海運における限界削減費用曲線

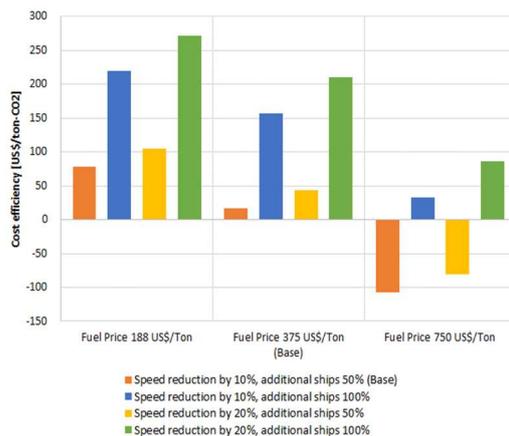


図7: 減速航行における限界削減費用の感度分析

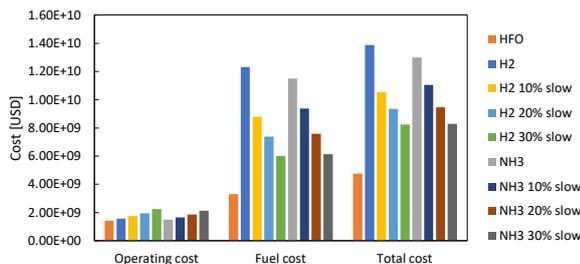


図 8: ゼロエミッション船導入による運航コストへの影響評価

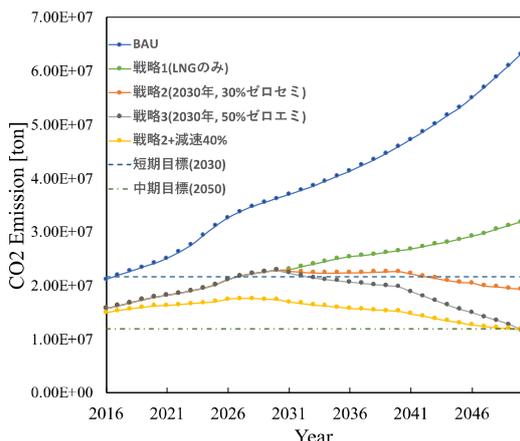


図 9: ゼロエミッション船導入戦略ごとの GHG 排出量の推移

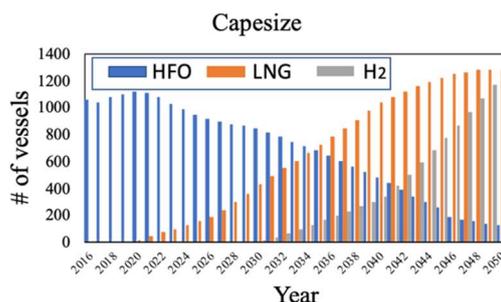


図 10: シミュレータが予測した船団における H2 燃料船への移行シナリオ

R2 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):6件(投稿中:3件、採択済:0件、掲載済:3件)

- ・ 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 (2021)(投稿中)
- ・ 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 (2021)(投稿中)
- ・ Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Kunihiro Hamad, Shinnosuke Wanaka: Evaluation of GHG Emission Measures Based on Shipping and Shipbuilding Market Forecasting, Sustainability, Vol. 13, No. 5, 2021.
- ・ Kazuo Hiekata, Shinnosuke Wanaka, Yoshinori Okubo: Mining Rules of Decision-making for Fleet Management Under Market Uncertainty Using Genetic Algorithm, Maritime Policy and Management, 2021. (投稿中).
- ・ 和中真之介, 稗方和夫, 堀井悠司: 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.
- ・ 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助物資輸送への船舶の利用可能性評価, 日本船舶海洋工学会論文集, vol.32, 2020.

□その他発表論文:6件(投稿中:0件、掲載済:6件)

- ・ 荒谷太郎: 大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析~マルチエージェントシステムによるシミュレータの開発~, 第 5 回「交通運輸技術フォーラム」, 2021.
- ・ 荒谷太郎: 大規模災害時における傷病者輸送シミュレータ開発に関する取組, 第 13 回港湾空港技術講演会 in 横浜, 2020.
- ・ 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: マルチエージェントシステムによる傷病者輸送シミュレータの開発, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM) Vol.62, 2020.

- ・ 荒谷太郎, 間島隆博, 小濱英司, 大矢陽介: 大規模災害時の船舶による救援活動, 港湾荷役, 第 65 巻 4 号, pp.417-421, 2020.
- ・ 和中真之介, 和田裕次郎, 山村巽, 川北千春, 濱田邦裕: 海運・造船市場モデルと運航モデルの統合によるゼロエミッション船導入戦略の検討, 日本船舶海洋工学会講演論文集, Vol.30, 2020.
- ・ 松倉洋史, 荒谷太郎, 間島隆博: 南海トラフ地震における船舶による支援物資輸送への利用可能性評価法, 日本船舶海洋工学会令和 2 年秋季講演会論文集, 2020.

□特許申請: 1 件

- ・ 輸送経路予測プログラム及び輸送経路予測システム 松倉洋史

□コアプログラム登録: 1 件

- ・ INFINIT モデルを用いた海上輸送シミュレーション 和中真之介

□国際貢献: 1 件

- ・ Hiroyuki KOSAKA, Koichi HIRATA, Eiichi MURAOKA, Masaki ADACHI: 4.4 Marginal abatement cost curves, Fourth IMO GHG Study July 2020, MEPC 75-7-15.

□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。

□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なか、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。
- ・ 輸出入貨物の輸送経路推定が可能となれば、海上輸送費用、荷役費用、港湾機能といったサービスの変化に対して、どの程度貨物量が増減するかが見通すことができ、港湾振興及びモーダルシフトの有力な支援ツールとなる。
- ・ 荷主・物流事業者は、海上輸送は遅れやすいという認識がある。実データに基づいた分析及び、運航定時性評価システムの構築が可能となれば、荷主・物流事業者が物流計画を検討する上で参考となり、トラックドライバー不足等においてモーダルシフト進展が必要な状況において有力な支援ツールとなる。

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・ IMO 4th GHG Study の参加は、国や船技協の運航タスクフォース等の支援に基づき実施しているため、国や社会のニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献している。
- ・ 海運市況は様々な市場や社会的な情勢、時には市場心理の影響も受けて大きく変動するため、予測が困難な経済的指標の一つ。より精度、透明性の高い判断が業務上求められている
GHG 削減技術、海運市況が将来の輸送ネットワークに与える影響は、船級、造船所、船社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。

□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える。
- ・ 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に代えて Deep Learning 手法を適用した。これにより多数の変数を考慮可能となった。他にはない新しい取り組みである。
- ・ 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時輸送を主な対象として課題を整理しており、またシナリオ分析手法を取り入れて総合評価を行う点に新規性がある。

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・ AI 技術や衛星 AIS データを用いて海運市況・航路別の海上運賃を予測する研究は例が少なく、新規性は十分

確保できている。

- ・造船需要予測に関する研究は、近年の最新データを用いて System Dynamics の枠組みによりモデルを構築した研究は例がなく、新規性を十分に確保できている。また代替燃料など GHG 削減に向けたオプションの評価を行う海上輸送シミュレータについてもネットワーク最適化モデルである INFINIT を拡張した新しいモデルを適用しており新規性は十分である。今後は両者を連携させたシステムオブシステムズのシミュレータとしてさらなる発展が期待される。
- ・IMO 4th GHG Study に参加して作成した限界削減費用曲線は、IMO の専門家レビューの評価を受けているため一般性が高い。

□成果が期待された時期に創出されているか。

□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。
- ・物流分野における労働力不足が顕在化している現在において、特に幹線輸送のドライバー不足が深刻である。そのため、フェリー等を用いたモーダルシフトを進展させるためのツールの開発を進める必要がある。

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・IMO 4th GHG Study での成果は、海技研を含む国際コンソーシアムの提案が IMO の公募に採択されたことで実現しているため、期待された時期に創出されている。
- ・AI・ビッグデータ解析技術を用いた海運市況予測は、商社、船社、大学との共同研究を締結し、各社ともにニーズの高い研究を先行して行った点で時宜を得た適切な時期に成果を得られていると考えている。

□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、輸出入貨物量を推定することは、日本の港湾のグローバル競争を考えた場合に日本の港湾競争力を強化する点で重要であると考ええる。

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・GHG 排出量評価シミュレーションは、環境性能に優れた日本の海運・造船業の国際競争力をさらに強化するために、定量的な知見を提供するため意義のある分析である。
- ・海運市況予測研究の成果は、衛星 AIS データの新たな利用方法を提案するものであり、海事産業における意義は大きい。しかし実用的な海運市況予測技術は未だ開発できていないため、研究を継続することで更なる発展が望める。

□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における輸送機材の動きを模擬できるように試みている。
- ・港空研の港湾利用性可否判定や電子研での災害時における空港容量の判定結果をシミュレーションの入力項目として活用できるよう整えている。
- ・貨物経路推定手法では最新の AI 技術である Deep Learning の応用を活用している。

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・AI 技術、システムオブシステムズ技術 (System Dynamics) を取り入れ、先見性と機動性を持った対応をしている。

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□コメント

AI 等の技術を活用しつつ国の方針や社会のニーズに適合した研究を実施していると考えている。災害時輸送に関しては、競争的資金である交通運輸技術開発推進制度のもと実施を行い、国交省主催の年度末評価や自治体等からも高い期待がされている。国際海運・造船需要予測においても、IMO 4th GHG Study への参加や、国や業界において対応が必要となっているゼロエミッション船等のシミュレーションに関して、技術や解析結果等を提供しており、社会実装に向けた研究を実施していると考ええる。

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	A
--------------	---