

**令和元年度 第 1 回 海上技術安全研究所
研究計画・評価委員会報告書**

平成 30 年度研究業務実績年度評価

令和元年 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	8
(3) 海洋の開発	12
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発	15
参考添付：評価資料（抜粋）	18

参考

【重点】平成 30 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。

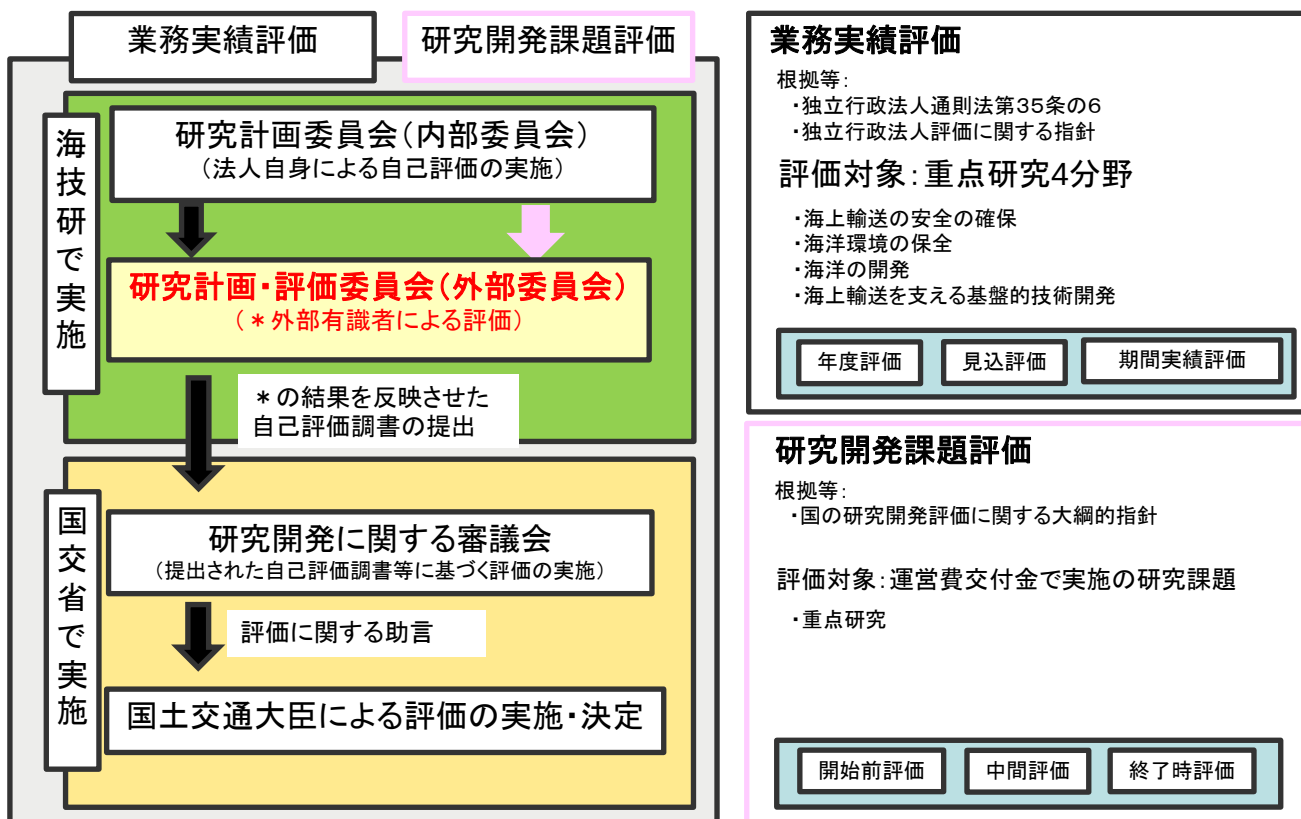
(2) 評価の種類

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ものであり、各年度計画の終了時、中長期計画の終了前年度及び終了時にそれぞれ年度評価、見込評価及び期間実績評価を実施します。

また、「研究開発課題評価」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

令和元年 5 月 21 日 (火)

(2) 評価の実施者

海上技術安全研究所研究計画・評価委員会 委員名簿

会務	氏 名	所属・役職名
会長	藤久保 昌彦	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	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
委員	大倉 浩治	一般社団法人 日本造船工業会 技術委員会委員長 (三菱造船株式会社 取締役社長)
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 アドバイザー)
委員	川越 美一	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 専務執行役員)
委員	後藤 浩二	国立大学法人 九州大学大学院 工学研究院 海洋システム工学部門 教授
委員	高橋 桂子	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター センター長
委員	塚本 達郎	国立大学法人 東京海洋大学 海洋工学部 教授
委員	濱田 邦裕	国立大学法人 広島大学大学院工学研究科 輸送・環境システム専攻 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 准教授

(3) 評価の種類及び対象

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

種類：◆「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた「年度評価」

対象：平成 30 年度に実施した重点研究

ここで、重点研究は中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。

なお、「独立行政法人の評価に関する指針」（平成 26 年 9 月 2 日、総務大臣決定）に準じ、全ての評価は S～D の 5 段階とし「B」を標準とします。

◆「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」

H30 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

平成 30 年度業務実績評価シート（重点研究 4 分野：安全）

評価者	まとめ	日付	令和元年 5 月 21 日
評価対象期間	平成 30 年度		
研究分野	海上輸送の安全の確保		

年度計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化（安全） 以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。 ※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「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場合は「B」、顕著な成果の創出等が認められる場合「A」、特に顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められる場合は「S」と付けて下さい。					
【評点】	☐ S	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。				
コメント	■ DLSA-Professional の計算手法の展開、弾性相似水槽試験模型の開発、AIS を利用した波浪荷重に対する操船影響の明確化は、新規的・発展的成果として高く評価される。いずれも時宜を得た成果である DLSA により「応答計算法」は充実し、AIS やモニタリング利用により「実態把握」は充実することが期待されるが、これらに適合する安全率等の「クライテリア」も充実すべきであり、国際基準への展開、国際競争力の向上のための必須の要素である。これら「論理軸」を含めた評価システムの全体像と開発目標を明確にして進めていただきたい。 ■ JASNAOE と JIN の受賞があり、国際ジャーナルへの発表も多くなっており、総じて顕著な成果を挙げられたものと思います。 DLSA システムの構築は、一貫した解析を可能にした面で有用であろうが、実用的な評価は、今後の模型実験やモニタリングでの応力レベルでの検証、そこからのリスクコントロールオプションの提案と実装を待つ必要があるのでは？また、個船の載荷状態のモニタリング手法も求められるでしょう。 波浪中操縦運動の推定精度向上のため、波漂流力の斜航影響が重要と確認したことは特筆すべき成果と考えますが、その影響を模型実験なしで推定する理論の構築がないと社会実装できないのでは？ 過大加速度についての模型実験と基準案に基づく数値シミュレーションの比較データを提供したことは成果といえるが、基準案自体は他国の提案であり、国研に期待されるのは他国に対抗できる規制の枠組みの提案と検証だと思いますが？ ■ ①安心安全で最新の技術を取り入れた工業製品を作り出すということは、船舶に限らず社会的に常に求められている。本件は、船舶の設計という観点において、設計に必要な多くの情報を網羅的に関連づけて解析をしながら、視覚的にもわかりやすい				

ソフトウェアの構築を目指していることは、設計技術のボトムアップに大いに貢献することが期待できる。

- ②個々の要素については、それぞれ独自に高度化しているところがあるが、本研究はそれらの成果に横串を通しながら、相互の関係性についても確実に評価できるようになっていることが高く評価できる。船舶などの巨大なシステムを設計するには、一般には諸々の要素技術に精通した設計技術者が必要となるが、そうした技術者を育てることは容易ではなく、本研究の成果によって、そうした技術者の育成にも貢献することが期待できる。
- ③研究の内容として、今できることについては、実船データの取り込み手法など、最新のデータ活用の技術なども積極的に取り入れていることがうかがえることから、現状の技術として十分に評価できる。
- ④設計技術を支援するソフトウェアの開発という点だけでなく、これらの支援をベースにすることで、設計技術のベースが上がることも大きな成果になり得るが、寧ろこれらのソフト的なサポートにより設計技術者が更なる個々の要素技術の進展や安全性の向上に注力する時間を創出できることが、本質的な競争力の向上につながっていくと考える。

■ 各技術分野での成果を組み合わせることで、より大きな効果を産業にフィードバックできるようなことを目指して取り組んでいただきたい。特に自動運航船やデジタルツインなどに関する点では横断型のプロジェクトなど研究体制にも工夫が必要になる可能性がある。

他分野とも共通する点として、海技研は海事に関する広範な技術が集積している研究所であり、産業界、学術界が研究所の技術や知識をより活用できる体制を検討いただきたい。

■ DLSA システムは、船舶の安全性評価向上および資産価値向上に資するデジタルツインシステムの業界標準（デファクトスタンダード的な）プラットフォームに発展する可能性を有しており、これの開発意義は極めて大きい。

AIS データを、単に船舶の衝突自己回避から利用目的を拡張することになった研究成果は評価できる。

■ 【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】

構造安全性を確保するための要素技術を一つ一つ確立していることは評価出来ます。

一方で、各研究が要素技術研究を個々に実施している印象を受けますので、要素技術、ソフトウェア技術を統合して構造基準の体系を構築する必要があると思います。

又、海技研で開発した荷重構造一貫解析評価システムに関し、既に実設計で活用されている同種のシステムとの比較も含めた評価が必要だと思います。

【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】

船舶に対する環境対策や自動化の新技术導入において安全性をきちんと評価可能な技術を用意することはたいへん有意義で社会ニーズに合致し競争力強化に資するものと思います。

一方、GHG 削減の要求は年々厳しさを増していますのでより幅広い分野に適用可能なガイドラインをなるべく早期に整備されることが期待されていると思います。

【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】

海難事故防止には停止性能や操縦性の評価が重要ですが、これらについて、より理解を深め適切な操縦性評価や基準の検討を進めていくことにより、安全性向上による社会貢献や競争力強化に繋がっていくことが期待されると思います。

- - ①部内評価のページを見ると特に 1 の研究が社会的ニーズに適し、社会的価値を生んだ研究として評価されている。それにより受賞もしているものと理解する。
しかし、2 の研究でも共同受賞しているのに部内評価では触れられていない。
 - ②計算と実測により導かれた結果を成果としているので、科学的意義があると言える。
 - ③長年の努力の積み重ねが H30 年度の成果を生んだと考える。その意味では H30 年度の成果がここまでで妥当なのかどうかは分り難い。
 - ④国際的な論文の提出も行われていて、国際的貢献になっている。
国際競争力への貢献に関しては、造船所の設計にどの程度生きた成果が出たのか不明であり、判定出来ない。逆に言えば、その辺を意識して研究成果を実務に反映出来る方法を模索するべきかと思う。

- - ・船舶の安全性を確保するためのソフト開発、実験、観測とモニタリング研究、およびリスク解析と評価についての研究開発は包括的であり、社会的ニーズと価値も高いものと評価できる。
 - ・成果については数値的評価があると、成果の意義がより説得力をもてると思う。
 - ・得られた成果が、実問題に対してどれほど用いられる予定か、さらにその波及効果が得られる可能性があるのかについて、ロードマップが示されるとさらに重要性が認識できると考える。

■
荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発をさらに進めたこと、極値推定法の開発、AIS データを活用して実運航船の波浪荷重を推定したこと、将来の水素利用や代替燃料の使用に向けたリスク評価、輻輳海域における推薦航路の設計による安全対策、船舶の停止性能基準の研究など、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。船上モニタリングで得られるビッグデータの分析や AIS データの活用など時期を得た研究と言える。

重点 2 の研究内容として、「低引火点燃料に関する陸上等の事故事例の収集」とあるが、実績としては、海難データの分析しか行われていない。陸上での事故事例は、無かったのか、調べなかったのか。

■
重点課題として設定されている船体構造モニタリングシステムの開発、船舶リスクの評価技術、安全運航と海難事故防止に関する研究は何れも社会の要求と合致し、安全・安心な海上輸送を実現する上で欠くことのできない重要な技術である。
それぞれの重点課題において、DLSA システムや OZT による安全評価など新規的で意義のある成果が得られているが、これらの中でも AIS データを利用した実運航船の波浪荷重推定に関する研究を特に高く評価する。この研究は実運航中の船舶の遭遇海象を想定する極めて新規的かつ有効な研究であり、世界に類を見ない、応用範囲の広い極めて有益な研究であり、S 評価が相応しいと考える。

今後の更なる発展を強く期待したい。

■
特に重点研究①は OUTPUT に対する期待は大きく、又、研究テーマはタイムリーである。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S : 1 A : 10 B : C : D :	
----------------------	--------------------------------------	--

平成 30 年度業務実績評価シート（重点研究 4 分野：環境）

評価者	まとめ	日付	令和元年 5 月 21 日
評価対象期間	平成 30 年度		
研究分野	海洋環境の保全		

年度計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化（環境） 以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。 ※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「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場合は「B」、顕著な成果の創出等が認められる場合「A」、特に顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められる場合は「S」と付けて下さい。					
【評点】	☐ S	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きい。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。				
コメント	■ グローバルキャップなどの排ガス規制や排ガス処理への対応、実海域性能推定に関する評価手法の充実と海象データベースの整備、水素混成ガスエンジンによる CO2 排出削減、燃料電池による動力システムの開発研究など、いずれも社会的ニーズに寄与する成果が得られている。特に実海域実船性能推定は、これまでの成果に基づくプログラムの船級認証を取得し、国際公開した点は、社会実装を果たした成果として高く評価できる。 ■ 低硫黄燃料の信頼性、スクラバの小型化、水素混焼ガスエンジンなど環境規制に有用な成果をあげられています。また、GLOBUS は、長く期待された波高、波周期、風速の 3 相関データベースであり、それを公開された意義は大きいと思います。さらに、JASNAOE 論文賞の連続受賞、そして多くの国際ジャーナル論文があり、総じて特に顕著な成果をあげられたものと思います。 VESTA 及びその中核である NMRI 法は、丸尾の抵抗増加理論など既存の指定法を取りまとめたもので、科学的新規性を目指していない、欧州のプロジェクトなどに使われるランキンソース法に精度で勝ってはいないという批判は正しいでしょうか？ 水中騒音について、推定と実測の良好一致の確認は科学的成果ですが、国研に求められるのは行政課題の解決策だと思いますがいかがでしょうか？ 燃料電池船の模型実験は画期的なものと思いますが、その実現に伴う電気推進、スマートグリッドに関する研究はどのように進められていますか？ ■ ①船舶からの GHG 排出抑制に関する研究は、他の研究機関に比して本研究所の貢献が大きいと期待されている分野で有り、そのことに真正面から取り組んでいる本研究課題は、社会的なニーズに合致する。海洋環境という題目からすると、やや船からの排出抑制に直結する研究に重きが大きい印象を受ける。ただし、海洋よりも広い地球環境への貢献という視点で見れば決して不合理ではない。				

- ②本研究所の強みを活かし、特に実船性能を評価する研究を世界をリードする水準で推進していることは高く評価できる。一方で、性能評価は解決の入り口に過ぎない。正確な評価と共に、新しいエンジンの開発につながる研究は、社会の価値観を刺激することが期待される。
- ③ ①②を踏まえた上で、現状の研究成果はしっかりと段階を踏みつつ進んでいると評価できる。
- ④ ②とも関連するが、GHG 削減に関する国際的な動向は、掛け声として前倒しで進んだり、当初目標よりも上方修正したりする傾向がうかがえる。本研究においても、それらの動向を踏まえつつ、より現実的な解決策の提示を目指していることがうかがえることから、国際的な信用力も含めて高く評価できる。
- ⑤新規のエンジンシステムに関する研究は、GHG の排出量の抑制を現実的な投資で達成するための手段として、大きな視点で見ると、近い将来的にその需要が大いに喚起されることが十分にある。先見性の評価については、将来において過去を観て評価できるのが筋ではあるが、予見される将来像の視点からは、先見性があったと後に言われる可能性のある技術課題への取り組みである。

■ GLOBUS のデータベースについて、活用方法の検討やデモンストレーションを行うことでプレゼンスを高めていただきたい。また、そのような活動を通じて、他のデータベースや海象予測に対する優位性を示していただきたい。

海技研の環境についてのプロジェクトポートフォリオと、国際的な目標に対する戦略的な位置づけの整合性を明確にすることで、萌芽的な研究の方針などをよりわかりやすく主張していただきたい。

■ 低硫黄燃料・水素混合ガスエンジン・水素燃料電池システムの研究については、基礎研究を蓄積することで船舶以外の分野にも展開できる可能性を秘めていることもあり、海技研で先行して研究を行うことで、海洋に限定することなく地球環境全体の保全に資する事ができる内容であると期待される。

福島第一原発周辺海域の放射線濃度測定については、世界が継続して注目している内容であるため、日本財団に研究経費申請するなどして、長期間に渡って継続して研究を遂行できる体制を作り、研究を継続することが期待される。

■ 【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】

2020 年に導入されるグローバル・キャップに対する国および関連業界団体からの要望に応える形で概ね実施されています。粒子状物質（PM）の組成分析や燃料着火性に関する成果には新規性が見られます。この分野での国際的な意義を高めるために、海外機関とのコラボレーションに期待します。

■ 【5. 実海域実船性能評価に関する研究】

本研究は海事クラスター共同研究の一環で実施されている内容を含み、その成果は最終的に国際基準化することを念頭において取り組まれているものと理解しています。これは我が国の船舶海洋工学の研究レベルを一層向上させるものであり、さらには技術的な裏付けを有する公正な基準作りを行うことで、国際的に高い評価を得られるものと期待します。

■ 【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】

CFD は様々な分野で活用が増加しており、船舶の性能推定においても適用範囲の拡大、精度の向上のニーズは多く、継続して研究に取り組む必要があると思います。

■ 【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】

燃料電池およびリチウムイオン電池を搭載した船舶の研究は着実に成果を積み重ねてきており、エンジンへの多様な燃料の可能性は個々の技術の検証と評価が進んでい

ると思います。

エンジンへの多様な燃料の可能性を考える上では、(2 種燃料の混焼用に 2 種燃料を船上搭載するのが良いのかなど) 船用としての適性を燃料製造や燃料輸送等も考慮した全体影響・GHG 影響をとして考えることも、研究対象として加えるとより良いと思います。

【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】

国や社会のニーズに適合した研究になっていると思います。具体的な成果が出ており、有効に利用されるものと思います。

■

①5 の研究は説明を受けても良く分らなかったが、自己評価を見ると社会的なニーズに適して価値を生んだ研究と言える。4 の研究もタイミングとして良い時期に必要なテスト結果を出した意義がある。ただ、小型スクラバーが開発出来たのであれば、世の中の役に実際に立つまで持って行くべきである。7 の研究は重要なのだが、未だこれから、と言う感じが有り、必要な技術を早めに見定めて進めていく必要がある。

②5 の研究は他にも認められたものと言えるので科学的意義が有る。

③良いタイミングで成果が出ている。

④5 の研究は国際的な水準で競争力向上にも役立っていると思われる。

⑤7 の研究は上述の様に、これから、と言う感じが有るが、ブレイクストーム的な作業とかを通じて広い範囲から可能性のある技術を探す必要があるのではないかと

■

- ・ 開発成果については、全体の開発計画のどのポジションにあるのかについての説明があると、開発の意義をより具体的に示すことができると考える。
- ・ また、開発家庭において、どのような独自性等が導入されているのか、他の開発と比べた時の卓越性が示されると、より独創性や新規性を示すことができると考える。
- ・ 連携、あるいは公開などの成果も示されている。連携から得られた副次的成果、公開による波及効果などについても、言及していただくとさらに開発の意義が深まると考える。

■

2020 年に導入される燃料中硫黄分の規制への適合燃料油の研究、内航船に搭載可能な小型スクラバーの開発、将来の規制導入に備えた PM の排出量データの収集、実海域での実船性能評価、船舶の省エネデバイスの開発、CFD を活用した水中騒音の研究、実プロペラ形状を使用した推進性能の計算手法の開発、防汚塗料の性能評価法の提案など、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。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。

■

実海域実船性能評価に関する研究、低硫黄燃料 (LSC) の利用に関する研究、小型の洗浄装置 (スクラバー) を開発などは何れも社会のニーズと合致し、海事産業の発展に資する研究が適切な時期に実施され、期待された成果を得ている。特に全球版波と風の統計データベース (GLOBUS) を作成や海上試運転 (速力試験) における波浪中抵抗増加の算定手法である NMRI 法にプログラムの国際公開、CFD 技術の高度化などは、実海域における運航性能評価を大きく推進するものであり、高く評価できる。いずれの重点課題においても期待される時期に着実な成果を挙げており、A 評価が妥当と判断する。本研究分野で得た成果は「海上輸送の安全の確保」にも応用可能な技術が含まれており、研究所内の横展開を期待する。

■

本領域については、重点研究④～⑧まで業界でも旬な分野であり、OUTPUT に期待している。

事務局とりまとめ欄

総合評価 A	S : 1 A : 10 B : C : D :	
-----------------------------	---	--

平成 30 年度業務実績評価シート（重点研究 4 分野：海洋）

評価者	まとめ	日付	令和元年 5 月 21 日
評価対象期間	平成 30 年度		
研究分野	海洋の開発		

年度計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化（海洋） 以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。 ※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「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場合は「B」、顕著な成果の創出等が認められる場合「A」、特に顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められる場合は「S」と付けて下さい。					
【評点】	☐ S	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きい。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。				
コメント	■ いずれの課題も十分な年度成果が得られている。磁性ビーズによるスラリーホースの耐摩耗性向上は海底鉱物資源開発の鍵となり得るアイデアであり、技術的・経済的成立に向けた展開を期待する。またわが国のような複雑で急峻な海底地形に対応する新型 AUV が開発され、性能を実証したことは、今後につながる成果である。海洋開発技術は、国際的な競争力比較が特に必要な分野であり、各課題について先進度比較を逐次示していただけるとありがたい。 ■ 揚鉤ユニットの全体挙動解析プログラムに着手されてその要素研究で顕著な成果を出されています。全体としての効果の確認が期待されます。 波浪発電への MPC 応用については、顕著な成果ですが、AR モデルの予測精度と制御対象ホライゾン長さの関係が重要なのでしょうか？ 他分野に比べて国際ジャーナル論文が少ない印象です。 ■ ①国家プロジェクトである SIP「海のジパング計画」に参画し、大きく且つ主導的な貢献をしており、海洋開発に必要なインフラや海洋の価値の創造につながる研究を高いレベルで行っていることは、かなり高く評価すべきである。 ②海洋開発自体が人類として初挑戦の塊のような研究ターゲットで有り、熱水鉱床開発や海中機器の有機的な運用に関する研究の進捗状況は、その国際的な水準と比肩しても新規性・発展性共に科学的も社会への創造性という観点でも高く評価できる。 ③こうした国家プロジェクトにおいては、達成目標期間の延長や現実的な壁の出現による目標の事実上の下方修正などがあることがあるのに対して、本研究課題に関する取り組みは、国家プロジェクトの当初予定を期限内にクリアしつつ、一部では想定以上速さでの進展がみえる部分もあると評価できる。これらのことから、時間管理も含め、非常に健全に研究が進展的に遂行されていることがうかがえる。				

④ ②および③の観点からも、本研究課題への取り組みを通じて、国際的な水準の実践を積んでいることがうかがえる。海洋開発に関する特に機器などの国際基準はまだまだ発展途上であり、これからの世界中の実践的な経験が集積することで、より洗練されていくと考えられる。その意味では、国内の EEZ などの領域に於ける海洋開発産業基盤がまだ決して強くない現状において、国家プロジェクトを通して実践を積んでいることは、今後の国際競争力の基盤であり、国益として評価すべきと思われる。

■ AUV の運用技術の先進性について複数機運用という点を中心に述べられているが、困難性や先進性について運用のメカニズムを含めて主張していただきたい。

■ 設定したロードマップに対して、適切に研究が進捗していると評価できる。
海底熱水鉱床の開発については、基礎研究だけでは実用化につなげることが難しい。関係省庁のみならず、民間を巻き込んで実用化につなげるためのコンソーシアム的なものを立ち上げるなどの取り組みも必要では？ ただし、このような活動は研究者が行うものではないため、このような活動を担当する専任人材の確保が重要と思われる。（海外における海底資源開発に関する実務経験を有する人のハンティングなど？）

■ **【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】**

それぞれの研究項目はともに国の開発計画に基づいており、国の方針、社会ニーズに適合していると考えます。

浮体式風力発電設備の損傷時復元性については、ルールの緩和による経済性に寄与し、波力発電については、再生可能エネルギーの中では新規性、発展性があると評価します。

海底資源開発関係の研究は、今後の発展性が有る内容と思います。

氷海水槽による研究については、国内では数少ない研究であり、今後の氷海域のプロジェクトに活用されることが期待されます。

■ **【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】**

SIP のプログラムに従って実施している AUV の複数機同時運用については、着実に成果を上げていると評価します。但し、どの事例も水深が浅い海域での実証であるので、今後大水深域での実用化につながる研究となることに期待します。

-
- ①新しい分野で、各研究項目の意義に関しては、どの様なものを期待して良いのか分り難く、自己評価を信じて採点せざるを得ない。
 - ② ①と同様に分り難い面があるが、科学的アプローチは採用されていると考える。
 - ③10の研究も継続的な研究の成果として今期で達成されたものとする。
 - ④なじみの無い分野なので、国際的にどの様な評価をされた研究なのか、良く分らない。自己アピールの中でも国際的な論文等には触れられていない。

■ AUV 複数同時運用による実問題解決の具体的事例が示されることを期待している。

■ 並進動揺型の波力発電装置を対象としたモデル予測制御の開発、浮体式数力発電の損傷時復元性規則に関するガイドラインの作成、海底資源開発に関して内部流を考慮した移送管の挙動解析プログラムの開発、スラリー輸送管の耐摩耗性能向上法の開発、航行型 AUV・洋上中継器の開発、AUV 複数機同時運用試験の実施など、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するもの

	である。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。 ■ 移送管の挙動の解析技術の開発，輸送管の耐摩耗性向上技術の開発，浮体式風力発電の損傷時復原性規則のガイドラインの作成，波力発電装置のモデル予測制御の実機実装用アルゴリズムの開発など，海洋開発と直結する研究が着実に実施され，成果を挙げている。また，複数の AUV 機の同時運用技術の開発と民間への技術移転など，世界最先端と評価できるものである。 以上のような研究成果が，当初目標とした時期までに達成されており，A 評価と判断する。 ■ 本分野は方向性が難しいが、AUV については日本の技術の集積が発揮しやすく、又、国際的にも先進的なので、海洋に関して日本技術の発信の先兵となることを期待している。
--	--

事務局とりまとめ欄		
総合評価	S : 1 A : 10 B : C : D :	
A		

平成 30 年度業務実績評価シート（重点研究 4 分野：基盤的技術）

評価者	まとめ	日付	令和元年 5 月 21 日
評価対象期間	平成 30 年度		
研究分野	海上輸送を支える基盤的技術開発		

年度計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化（基盤的技術） 以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。 ※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「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場合は「B」、顕著な成果の創出等が認められる場合「A」、特に顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められる場合は「S」と付けて下さい。					
【評点】	☐ S	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいのか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。				
コメント	■ AI 等を用いて、広域震災発生後の輸送計画のための支援システムの開発、海上物流の効率化・将来予測等の試みが行われている。これらは、今後の海上輸送を支える基盤技術として社会的ニーズ並びに発展性を有する。過去の実績との比較、関係諸機関へのヒアリング等を通して適用性の検証を進めると共に、スピーディーな技術の確立および社会実装を期待する。 造船所の生産現場に密着した各種研究は、実用展開が進んでおり、その定量的成果も示されている。中小造船所に限らずより幅広い生産現場へ、ひいては他産業へも成果波及を期待したい。 ■ AI など新技術を用いて、小組工程作業の合理化、画像からの他船検出、海運・造船需要予測などに顕著な成果をあげられています。 造船需要予測については、WTO 提訴問題など考えれば、より迅速な国際発信が必要と思われます。 フェリー到着予測では、冬季日本海など GLOBUS などのデータとの連携で明らかになる部分も多いのでは？ ■ ①国際的に高い水準と評価されている造船技術に対して、その技術継承と生産システムの効率化に関する本研究課題の取り組みは、これからの少子化に伴う労働力の減少に対する国際的な水準の維持への備えとして必須である。また、こうした技術の早期導入を進めることで、新規開発への人的・時間的な投入が可能となり、それが真の国際競争力を産み出す原動力となることから、その意義を評価したい。また、モーダルシフトに関する課題については、より直接的で即効性のある運輸全体での GHG の排出抑制につながり、社会的なニーズに合致している。また、広域震災への対策については、個々での最適化だけでなく備えの備えとしての冗長性の視点が欠				

かせない。この点においても、本取り組みは社会的ニーズに大いに適合している。

- ②本課題の推進にあたっては、最新の情報処理技術や確率論を積極的に取り込んでおり、現代社会に対する安全性の向上や選択肢の拡充を科学的な知見に基づいて提案できており、評価できる。
- ③特に南海トラフ地震に対する備えの充実が叫ばれている中、確実に成果を出しつつあることは評価できる。一方で、より実装に向けて他機関・他省庁・各自治体との連携や導入に今後注力することを期待したい。
- ④海上輸送や広域震災は必ずしも世界中で発生するとは言えないが、地学的にも日本の国土や領海を健全に管理するには避けて通れない事であり、本件については、世界水準や一般的であることより、日本固有の事情を加味したローカルな最適化が求められる。日本が対処すべき環境が過酷であるが故に、そこで培われた技術は他の島嶼国なども含め堅牢性など面で、国際的な貢献が期待できる。
- ⑤ ②の観点から、情報技術などの最新技術の積極的な取り込みが観られ、研究の機動性は高く評価できる。



産業界への貢献は高い水準で達成できているが、その成果の学術論文等での発表を積極的に行うことで、海事における産業と学術の連携推進と学術界でのプレゼンス向上を進めていただきたい。

生産管理について中小造船所の支援を積極的に行っているが、生産効率向上に加えて経営に関する支援も行うことで、雇用の維持や待遇の改善を通じた産業の魅力の向上もお願いしたい。



生産システム構築に関する研究については、造船所における人材育成にも貢献する方針で取り組むことが、長い目で見て日本の造船業の持続的発展に資することになるとおもわれるため、単なるソリューション提供とならないように注意していただきたい。

自律化運行については、ニーズが高い内容であるため、系を横断的に取り組むことが期待される。



【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】

IoT、AI を活用した生産現場の改善による生産性向上は、各造船所共通の課題であり、市中の IoT、AI 技術と海技研の固有技術を組み合わせたソリューションの提案は、日本造船業の国際競争力強化に寄与しうるものと評価します。

【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】

避航操船アルゴリズム開発も他船認識技術も自律運航システム開発には必須の技術であり、研究開発の成果はあると評価します。特に、避航操船アルゴリズムを操船シミュレータの他船制御に適用することは自律運航システムの検証にも有効と考えます。

しかしながら、これらの成果を現実のものとするためには実船への実装ステージへ進めるため、研究開発の加速は必要と思います。

【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】

震災時の複合一貫輸送は社会的なニーズも高く、国際的にも意味のある内容となっていると評価します。次のステップとして社会実装を実現する研究へ進むことを期待します。

国際海運、造船予想は、業界のニーズに合った解析であることが普及のためにも必要であり、現在、海技研で実施している研究開発が業界にニーズに合った内容であるかの検証が必要と思います。

	■ ①各研究に於いて、社会的価値のある研究はなされたと思われる。11 の研究は、中小の造船所と共に成果を出した様に見受けられるし、12 もそれなりの成果が出ている。13 は社会ニーズには沿っていると言える。 ②夫々に於いて研究の目標が少し低かったのではないかと、言う物足りなさがある。 ③今期の研究の成果は夫々出ていると思われる。 ④もう少し研究を進めて水準を上げれば国際的な成果となるのではないかと、自己アピールとしての国際論文例も見られない。 ⑤目標に対するアプローチの仕方を模索している感じで、これで終わってしまうか、もっと良い研究になるのか？ ■ ・基盤技術を ICT, AI など新たな技術を用いて挑戦的に開発している点を高く評価したい。 ・単なる流行に流されるのではない戦略性を持った取り組みとして深化させていただきたい。 ・MSC への貢献も高く評価したい。このような活動を発展させていただき、海技研の国際的プレゼンスをさらに上げていただきたい。 ■ 「中小造船業に適した新生産管理手法」について、実際の中小造船所において「工数最適化を目的とした生産計画・管理計画」を実船適用し、5～10%の工数削減の効果という成果を挙げており、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避航操船アルゴリズムの開発、カメラによる他船の検出技術の開発など、国の方針や社会のニーズに適合するものであり、成果の科学的意義も大きく、成果が期待された時期に創出されていると考えられる。画像処理による船舶の検出は、自律航行船のみならず海上交通における安全・安心の確保に貢献するものと考えられる。また国際的な水準に照らして大きな意義があるものである。 ■ 輸送経路選択問題、海運・造船需要予測、避航操船アルゴリズムなど、幅広い範囲で Deep Learning を中心とする AI 技術の適用を精力的に進めている。これらは時代の要請に合致するとともに、研究テーマ間の相乗効果も確認でき、知識・データシステム系を設置した効果が表れていると評価する。また、OZT の見える化による避航操船判断支援システムの開発や自律航行船の安全基準の研究では、新時代の安全・安心な海上物流の実現に向けた研究と評価でき、先見性を持って、社会に資する研究を行っている。 また AR を用いた造船業務支援システムや、工数・最適化を目的とした生産計画・実行管理では、造船現場の競争力向上に直結する研究が行われ、成果を挙げている。 国際的に意義のある実務的研究と萌芽的研究がバランスよく実施されており、十分な成果を挙げていることから A 評価と判断する。 ■ 本分野は NMRI がどの方向の研究を深度化させたら良いか、手探り感はあるが、各項目ともタイムリーさはある。IOT 研究のスタートとして期待する。
--	--

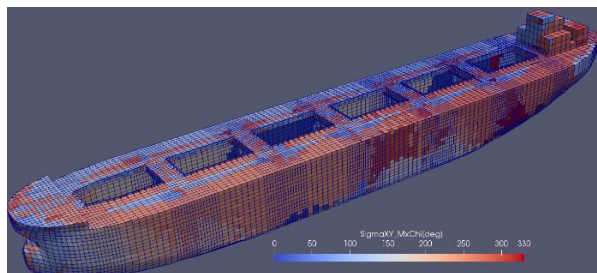
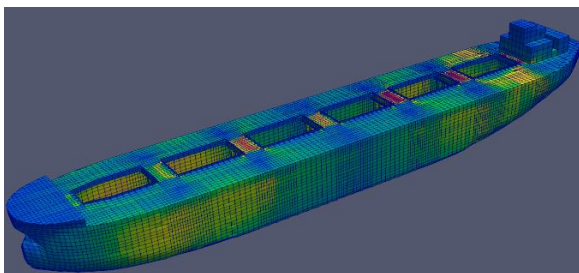
事務局とりまとめ欄		
総合評価 A	S : A : 10 B : 1 C : D :	

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

年度実績 □ 荷重・構造応答一貫解析強度評価システムを拡張し、新たに疲労被害度等の表示を可能とした。

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

極限海象に対応した荷重・構造応答一貫解析を最終目標として、前年度に開発した荷重解析—線形構造解析評価システム(DLSA-Basic)の、強度評価及び海象条件設定をモジュールとして出力できるソフト(DLSA-Basic-Projection)を開発することにより、船体の全体を通じた疲労被害度等の評価を可能とした。



強度評価マッピング

(左: 超過確率 10^{-8} レベルの応力の最大期待値 右: 応力が最大となる波向きの分布)

DLSAシステムの開発により 網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し造船所の設計への適用も可能とした世界的にも例をみない荷重構造一貫解析評価システムであり、日本の造船所の設計力の強化につながる。

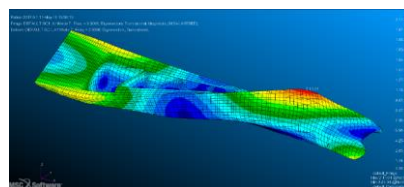
4

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

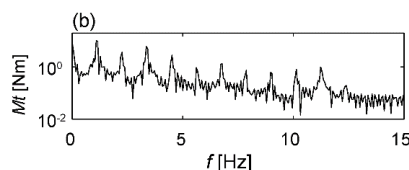
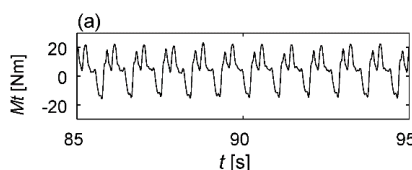
年度実績 □ FE解析に基づき剛性調整をして設計・製作した弾性模型を用いて、実海域再現水槽において、規則波中、変調不安定波中、多方向不規則波中曳航実験を行った。振りモーメントについて、波浪変動成分だけでなく、弾性振動成分も計測できていることを確認した。

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

船の振りの振動数だけでなく、振動のモード形状の相似性を考慮した弾性模型による実験を実施したのは世界初である。実験は公開実験にて公開した。



縦曲げ・振り剛性相似模型による水槽実験と模型船の設計に用いたFE固有値解析



斜向規則波中曳航試験で計測された振りモーメント;(a)時系列、(b)周波数スペクトル

H. Houtani, Y. Komoriyama, S. Matsui, M. Oka, H. Sawada, Y. Tanaka and K. Tanizawa: Designing a hydro-structural ship model to experimentally measure its vertical bending and torsional vibrations, Journal of Advanced Research in Ocean Engineering, 4(4), pp.174-184 (2018)

5

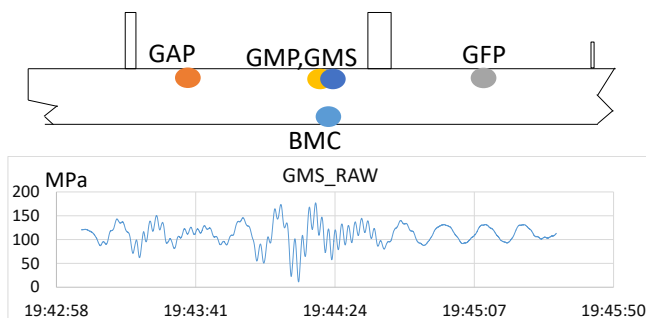
(1)海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

- 年度実績**
- モニタリングデータの解析により、船体構造設計時に使用される**推定荷重と、計測荷重を比較し、精度を検証**した。
 - AISデータに基づいて実運航船の波浪荷重を推定した。

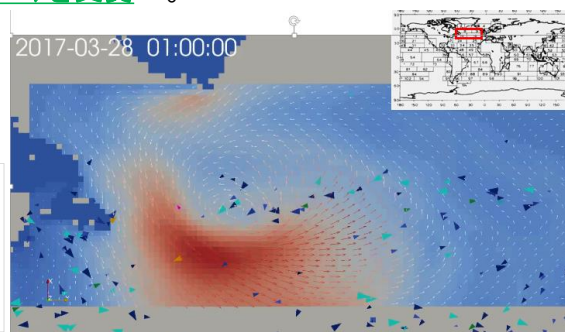
船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究 (重点研究☆1)

□モニタリングシステムの開発の一環として、14,000TEU型コンテナ船10隻で計測されたモニタリングデータを解析することにより、船体構造設計時に使用される**推定荷重と、計測荷重を比較し、精度を検証**した。

□ AISデータに基づいて実運航船の波浪荷重を推定し、最大荷重に対する操船影響の評価を可能とした。**日本船舶海洋工学会賞(論文)(2019)を受賞**＊。



14000TEU型コンテナ船の歪みセンサ配置(上)
計測された応力波形の例(下)



AISデータ及び波浪追算データによる荒天中操船
状況の可視化プログラム(特許出願)

＊ 岡正義他: AISデータに基づく実運航船の波浪荷重推定—最大荷重に対する操船影響の評価—, 日本船舶海洋工学会論文集

6

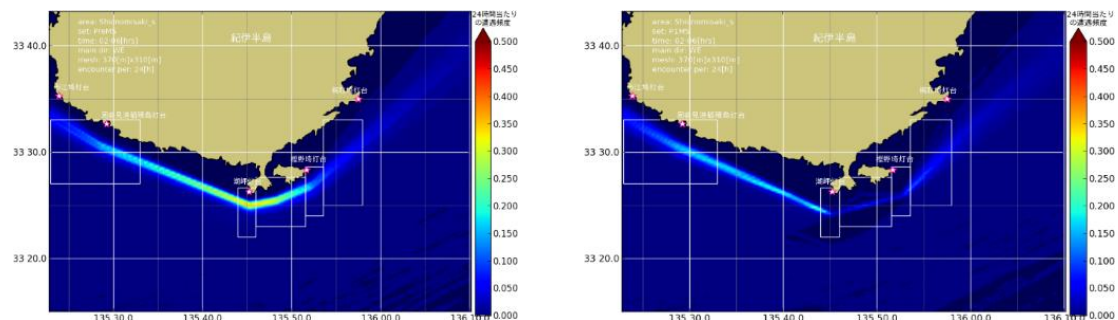
(1)海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

- 年度実績**
- 平成30年(2018年)1月に運用が開始された伊豆大島西岸沖海域の推薦航路における船舶交通の変化を分析し、前年度に立案した潮岬沖の整流化案へフィードバックした。
 - 整流化案下での交通状況をシミュレーションし、安全性および経済性による影響評価をもとに最適案を選定した。

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

□整流化案を導入した場合の予測交通下でのシミュレーションを実施し、安全性および経済性の両面から整流化案の効果の検証を行い最適案を選定した。遭遇頻度およびOZTによる安全性評価では、整流化案により現状よりも危険な状況が緩和されることが確認できた。

□伊豆大島西岸沖海域の推薦航路の策定に対して**日本航海学会航海功労賞を受賞**した＊。



(a)遭遇頻度分布 [現状・漁船なし]

(b)遭遇頻度分布 [最適案・漁船なし]

遭遇頻度による整流策の効果の検証

＊ 「伊豆大島西岸沖のAIS仮想航路標識による推薦航路の指定」 (海上保安庁・海技研・日本海難防止協会の3組織で受賞)

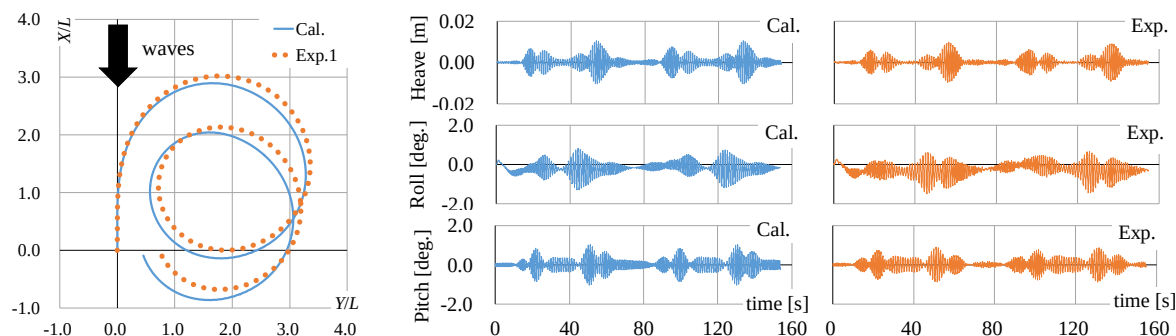
7

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

年度実績 □ 荒天下の操船評価のための操縦運動を含む6自由度波浪中船体運動計算法を改良し、非線形の船体動揺の概略の評価を可能としつつ、操縦運動時の航跡も概ね推定できるようになった。

安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究★3）

前年度までに作成した荒天下の操船評価のための操縦運動を含む6自由度波浪中船体運動計算法に関して、非線形の波浪強制力を考慮できるように計算法を改良した。また、過去に実施したタンカー模型船の規則波中旋回試験結果との比較からその妥当性を明らかにした。



タンカー船(KVLCC1)の規則波(波高船長比=1/100, 波長船長比=0.5, 操舵開始時正面向波)中右35° 旋回試験の比較

8

成果の公表(海上輸送の安全確保)

項目	件数	
ジャーナル論文	22本	
特許申請	1件	・船舶の波浪荷重推定方法及び波浪荷重推定プログラム
プログラム登録	4件	・DLSA-Basic ・単振動する火源上の火炎プルームの性状予測プログラム ・斜流に対応した矩形物体周りの風速場簡易推定プログラム ・EMEP法による方向スペクトル推定プログラム
国際貢献	5件	・NCSR 6/INF.7 Routing measures and mandatory ship reporting systems, Result of the questionnaire survey on the recommended route off the western coast of Izu Oshima Island ・Draft interim guidelines on the specification of direct stability assessment procedures, SDC6/5 Annex 1 ・Draft interim guidelines on vulnerability criteria for the second generation intact stability criteria, SDC6/5 ANNEX 3 ・Summary of results of questionnaire survey for finalizing the draft vulnerability criteria (Levels 1 and 2) for each the five stability failure modes within the intact stability correspondence group, SDC6/INF 3 ANNEX 3 ・Summary of decisive questionnaire survey and final outcomes of questionnaire survey for finalizing the draft vulnerability criteria (Levels 1 and 2) for each of the five stability failure modes within the intact stability correspondence group, SDC6/INF 3 ANNEX 4
受賞	3件	・平成31年度日本船舶海洋工学会論文賞「 <u>岡正義</u> 他:AISデータに基づく実運航船の波浪荷重推定—最大荷重に対する操船影響の評価—」 ・日本航海学会功績賞「伊豆大島西岸沖のAIS仮想航路標識による推薦航路の指定」 ・日本マリンエンジニアリング学会技術賞「 <u>岡秀行</u> , <u>太田進</u> , 他2:車両積載区画を模擬した可燃性ガス風洞における水素の移流拡散シミュレーション」

9

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(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。

⇒DLSAシステムの開発により 網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し造船所の設計への適用も可能した世界的にも例をみない荷重構造一貫解析評価システムであり、日本の造船所の設計力の強化につながる。

◎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。

⇒DLSAシステムの開発により全船を対象にした荷重解析～構造解析～強度評価を行うので途中の簡易化やギャップが無いので一般性が大きい。

⇒安全運航支援と設計革新を同時に達成する新しい手法として開発が期待される 船体構造デジタルツインに必要な不可欠な要素技術であり、技術を集約しかつ深化させたことの意義は大きい。

◎ 成果が期待された時期に創出されているか。

⇒DLSAシステムの開発は、国際的(国内含む)にも規則等への対応として全船荷重構造解析へのニーズが高まってきており、それを見越してのシステム開発である。

⇒IACSで見直されている波浪発現頻度表は、船舶設計に与える影響が大きく対応が求められているところ、世界に先駆けてAISデータを活用して実遭遇海象を推定する手法を示した意義は大きい。

◎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。

⇒ハルモニタリングデータやAISデータ波浪データ等のビッグデータを利用した新しい構造設計手法の構築が実現可能になっており、世界に先駆けて設計手法を構築することが国際競争力の向上に直結する。データに基づく設計手法の構築には、構造強度分野の研究だけでなく多岐の研究分野と連携が必要となるところ、本研究は既にこれを達成しており、手法構築の実現に最も近い立ち位置にある。

10

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	2.5	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	2.5	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

11

(2) 海洋環境の保全

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

年度実績

- 2020年1月より強化されるSOx規制に伴う、船舶における低硫黄燃料(LSC)の利用について、実機による低硫黄燃料の燃焼試験を実施した。

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

- SOx規制に対応した低硫黄燃料(LSC)の導入に伴い、動粘度の低下等燃料油性状の大幅変更が見込まれる中で、内航海運業界はその品質、信頼性及び安全性について懸念、社会問題化。
- これを受け、海技研は国内外の石油業界の多種多様な性状の試験燃料を用い、実機で燃焼試験を実施し、LSCの燃焼性や安全性を実証し、国の設置したオールジャパンの委員会等を通じて公表し、懸念の緩和・払拭に貢献した。



日経新聞(2019/5/13)

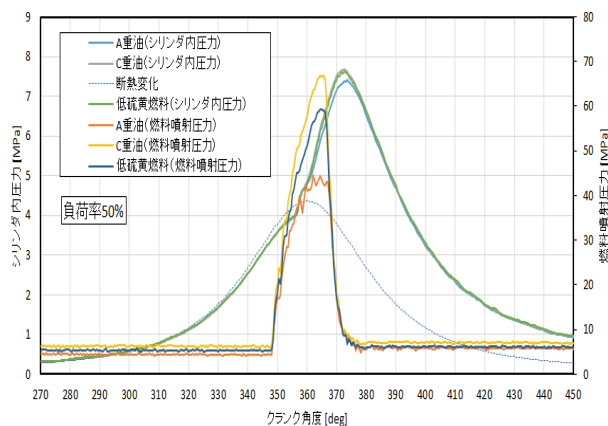


燃焼試験に用いた船用エンジン

燃焼試験に用いた各種燃料油の性状

	密度@15℃ (g/cm³)	動粘度@50℃ (mm²/S)	硫黄分 (%)	着火性指標		備考
				セタン指数	CCAI	
LSA重油(1)	0.864	2.438	0.08	43.6	---	現行内航用LSA重油
A重油(1)	0.887	2.32	0.27	36.3	---	ボイラー用
A重油(2)	0.884	2.03	0.16	35.4	---	外航船用
LSC重油(1)	0.920	98.2	0.28	---	797	国内発電所用
LSC重油(2)	0.934	157	0.24	---	806	韓国輸入燃料
LS原油	0.935	249.8	0.213	---	801	Duri原油
HSC重油(1)	0.941	35.2	1.06	---	833	(低粘度)
HSC重油(2)	0.986	153	2.42	---	857	外航船用
HSC重油(3)	0.978	198.6	2.24	---	847	現行内航用HSC重油

※青字は着火性良好なもの



実験用ディーゼルエンジンおよび燃焼試験結果(燃焼波形)の一例

13

(2) 海洋環境の保全

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

年度実績

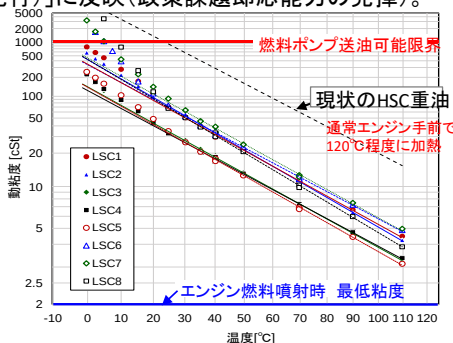
- SOx規制強化に伴う、船舶における低硫黄燃料(LSC)の利用について、船上での燃料物性変化に対する要素試験等を実施した。
- 同規制強化に対応できる小型の洗浄装置(スクラバー)を開発した。

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

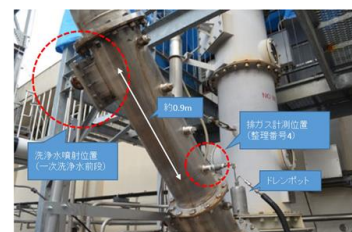
- 通常の加熱範囲内で低硫黄燃料油(LSC)の動粘度が適正な範囲内に収まるかどうかを内航海運業界が懸念。
- 海技研は、石油各社から集められた各種LSCと現状の高硫黄重油について、温度に対する動粘度の変化を計測。各種LSC(15~25cSt @ 50℃)に対して、現行と同様の加熱(110~120℃)をした場合でも、エンジン要求仕様の2cStを下回ることなく安全に使用可能であること、また、船内燃料管理に不可欠な「動粘度-温度関係」が、現行のC重油とほぼ同じ傾きであることを示した。(下右図)
- 寒冷地での加熱停止時のタンク内燃料油温度変化も計測。⇒これら成果は「2020年SOx規制適合船用燃料油使用手引書(国交省)(3月発行)」に反映(政策課題即応能力の発揮)。



実船計測
(冬季北海道)



- 従来のC重油を使用できるスクラバをできるだけ小型の船に搭載したいとの内航海運業界の要望。
- 海技研は小型ジェット式スクラバを設計・試作し、洗浄水の噴射量等の実験を行うことにより、国際海事機関(IMO)のガイドラインに規定されている排ガス中の硫黄分規制をクリアできることを証明した。(特許1件:スクラバ装置、及びスクラバ装置を搭載した船舶)
- ⇒今後、比較的小型の内航海運船へのスクラバ搭載が現実のものとなる。



小型ジェット式スクラバ

14

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

年度実績

海上試運転実施解析法(ITTC7.5-04-01-01.1, 2017)に記載されたNMRI法(波浪中抵抗増加計算)による波浪修正の高精度化のため、当計算プログラムについて日本海事協会からプログラム認証を取得し、海上試運転での波浪修正がより適切に行われるようプログラムを国際的に公開した。

VESTA ST

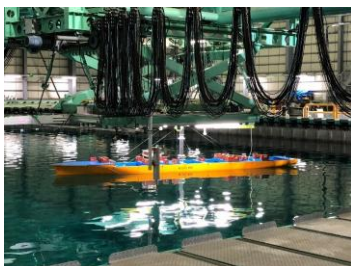
— CALCULATION ITEMS —

☒ (I) Calculation of external forces for the analysis of spectral data

☐ (IA) Calculation of added resistance in regular waves

Data Input Calculation Save Load Input Clear

Ver. V6.6.5 ST



プログラム VESTA-ST

波浪中自航試験

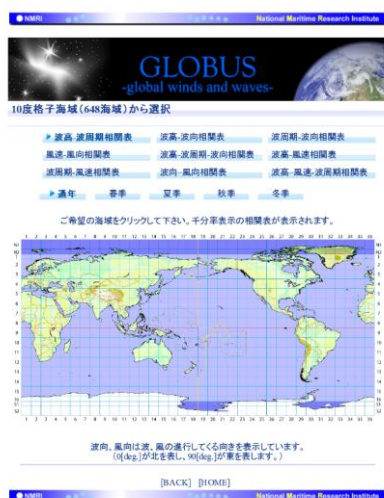
NMRI法のプログラム認証取得

15

-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

GLOBUSは気象庁の波浪推算データを用い、波と風の発現確率を表示するもので、従来より高度な全球域での波と風の長期統計を利用することが可能となり、船舶・海洋構造物の設計や運航、稼働率、リスク評価への活用が期待される。

[illegible]

ホームページ版GLOBUS(全球版波と風の長期統計データベース)と出力例

16

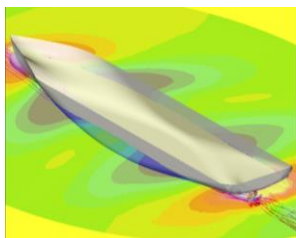
(2) 海洋環境の保全

-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

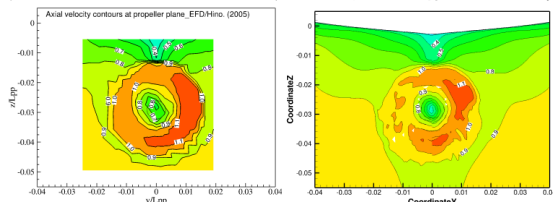
年度実績

- フルマルチグリッド手法と動的重合格子を用いて、プロペラ形状を忠実に再現した**実プロペラ形状**による**自由表面影響も考慮した高効率な計算手法**を開発した。
- 実海域実船性能評価プロジェクトと連携し、向波中での標準的計算法案を構築するとともに、波浪荷重推定にも用いることができる**大波高中**でデッキ形状まで再現した**船体運動計算もロバストに行える**ことを確認した。

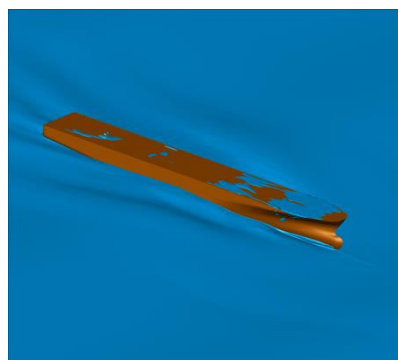
船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究(重点研究☆6)



実プロペラ形状による自由表面も考慮した推進性能計算



プロペラ後方の平均流場の比較(左:実験結果、右:計算結果)
Ohashi, K. et al.: Numerical Simulation of the Free Running of a Ship Using the Propeller Model and Dynamic Overset Grid Method, Ship Technology Research



大波高中での船体付近の自由表面

○プログラム有償使用許諾 70件(22機関)

17

(2) 海洋環境の保全

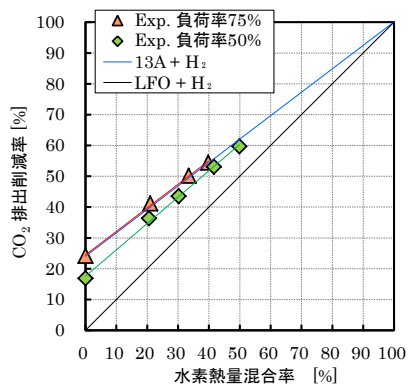
-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

年度実績

- 水素混焼ガスエンジンにより、50~60%のCO₂排出削減を検証した。

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(重点研究☆7)

- 都市ガス13Aを主燃料とした400kWガスエンジンの給気に水素を混合した際のCO₂排出削減効果並びに燃焼特性を調べる試験を実施した。
- ディーゼルエンジンの基準性能に対するCO₂排出量は、ガスエンジン実測で約20%削減、水素混焼ガスエンジン実測で50~60%の削減を確認した。



CO₂排出削減の試験結果

ガスエンジンの諸元

名称	AYG20L-SE(ヤンマー)
発電出力/回転速度	400 kW/1800 min ⁻¹
燃焼方式	ガス専焼/副室火花点火/希薄燃焼
ボア/ストローク	155 mm/180 mm
気筒数	6気筒
総行程容積	20 L
負荷	発電機+抵抗器
使用燃料	都市ガス(13A)



ガスエンジンの外観

18

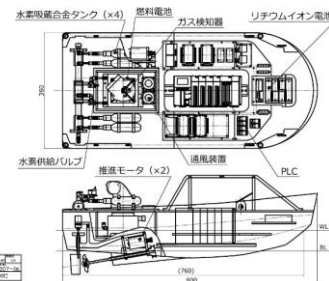
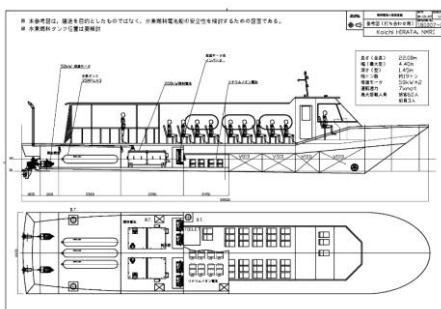
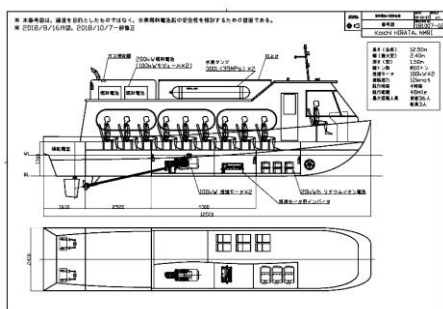
(2) 海洋環境の保全

-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 □ 水素燃料電池システムの制御システムを開発した。

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

- 水素燃料電池船の試設計を行い、実用化の課題を抽出し、開発ロードマップ案を策定した。
- 燃料電池、リチウムイオン電池及び電気推進システム等の関連機器の状態を適切に監視制御するシステムを開発し、模型船により検証した。



(a) 基本構造



(b) 外観

模型燃料電池船

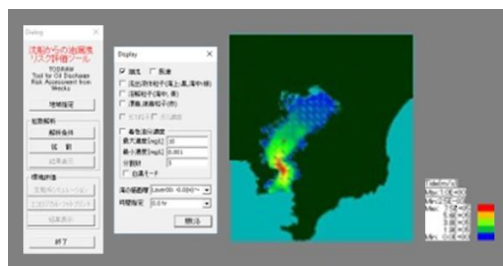
昨年度に策定された「水素燃料電池船の安全ガイドライン」の実用・普及に向けた課題が防火構造や通風装置、防爆機器にあることを提言した。

19

(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** □ 福島第一原発周辺海域において、海底堆積物中の放射性物質濃度分布を実測。
 □ 放射性物質の環境影響評価システムを、流出油に対応できるよう機能を拡張。
 □ ISO(国際標準化機構)の「防汚塗料の性能評価試験に係る規格」に関する作業原案(WD)を作成。

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)



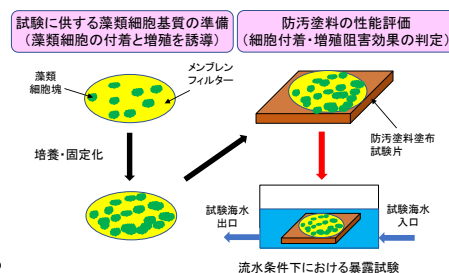
機能を拡張した環境影響評価システムの操作画面(東京湾で流出油が拡散する様子)

福島第一原発周辺海域で、曳航式放射線検出器を用いて、海底堆積物中の放射性物質濃度分布をモニタリングした。過去の実測結果と比較し、 ^{137}Cs の濃度が減少傾向にあることを明らかにした。

既存の放射性物質放出時の環境影響評価システムに、油の海洋拡散モデルを組み込み、流出油にも対応できる統合的な環境影響評価システムへと機能を拡張した。

藻類を用いた防汚塗料性能評価試験法(藻体膜固定化+流水式)を構築し、この試験法によって藻体への防汚剤影響が適切に評価できることを生物試験により検証した。

以上の結果に基づき、ISO(国際標準化機構)の「防汚塗料の性能評価試験に係る規格」の作業原案(WD)を作成した。



防汚塗料性能評価試験法の概念図 20

成果の公表(海洋環境の保全)

項目	件数	
ジャーナル論文	16本	
特許申請	5件	・船型・流場データベース ・小型ダクト付き船舶 ・自航試験方法 ・流場データ取得方法 ・実船データ評価方法
プログラム登録	5件	・船型データ変換ツール ・船体形状・船体性能推定プログラムEAGLE ・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) Ver3.32 ・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) Ver2.1R1 ・船体・付加物格子間補間情報計算プログラム(OS_GT_GEN Ver.1.0)
国際貢献	5件	・K. Kume and G. Strasser: Draft amendments to 2014 Guidelines on survey and certification of the EEDI, IMO/MEPC73/5/7 ・Y. Ohnishi and K. Kume: Comments on the Interim report of the Correspondence Group on EEDI review beyond phase 2, IMO/MEPC73/5/8 ・K. Kume: The contents of IMO document and the background of the submission to update 2014 Guidelines on survey and certification of the EEDI, ITTC/SOS ・ISO/FDIS 20233-1: Ships and marine technology ・ISO/WD 20233-2: Ships and marine technology
受賞	2件	・日本船舶海洋工学会論文賞「H. Orihara and M. Tsujimoto: Performance prediction of full-scale ship and analysis by means of on-board monitoring. Part 2: Validation of full-scale performance predictions in actual」 ・AMEC 2018 Best Paper Award「O. Bondarenko and T. Fukuda: The Advantage of Air Lubrication System Integration into the Propulsion Plant, Proceedings of 8th PAAMES and AMEC 2018」

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(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか。
⇒海事クラスター共同研究 実海域実船性能評価(オクタビア)プロジェクト(国内海事関係25社)と連携して実施している 重点研究であり、海事産業の競争力強化、成果の波及効果の面で社会的価値が非常に高い。
⇒適合燃料油に関する研究は、2020年に導入されるグローバル・キャップに対する国および関連業界団体からの強い要望に応える形で実施している。

◎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。
⇒高度化を実施している実運航性能シミュレータ(VESTA)は精度が高い計算法で、実船等でも幅広く信頼性が検証されている。海上試運転解析での波浪修正、実船モニタリング解析での平水中性能の抽出、ウェザールーティングでの適用、氷海中航行への拡張など、幅広く実船の性能解析に利用されている。
⇒船舶用途の水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンは新規性・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でのGHG削減戦略が採択され、これまでのEEDI(新造時平水中性能)から実運航状態でのGHG削減が必要となる。実海域実船性能評価に関する研究はすでにそれを対象として研究を実施しており、時機を得ている。
⇒小型スクラパー開発の研究は、2020年に導入されるグローバル・キャップに対応した研究であり、関連業界団体の協力の下、早い段階から実験と理論の両面から取り組んでいる。

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
⇒GHG削減は国際的に必要な技術であり、成果は国際競争力の向上につながる。

◎萌芽の研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。
⇒水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの実用化はしばらく先になると考えられるものの、将来技術として極めて重要であることから、先見性と機動性を持って対応している。

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	2.8	A
☆5	実海域実船性能評価に関する研究	3.4	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	2.6	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	2.8	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

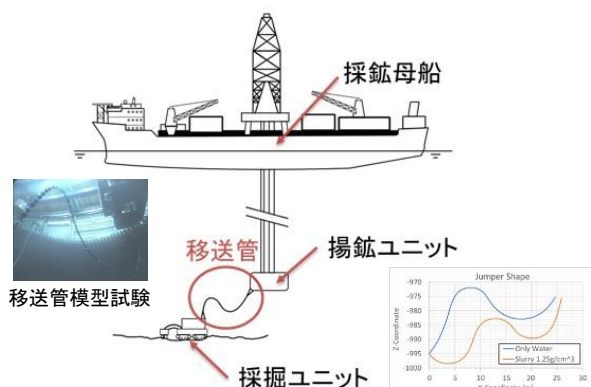
23

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

年度実績 □ 海底熱水鉱床開発に用いられる揚鉱管下端部の水中ポンプユニットから採掘ユニットまでを接続する移送管の挙動を同時に解析できるプログラムの開発を行なうなど、実用化に向けた課題解決に資する研究成果を創出した。

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究（重点研究☆9）

移送管模型試験で移送ホースの挙動を計測することにより、揚鉱管下端部の水中ポンプユニットから採掘ユニットまでを接続する移送管の挙動を同時に解析できるプログラムを開発した。



スラリー移送ホースの耐摩耗性向上方法として、特に摩耗しやすい屈曲部に磁性ビーズを付着させて保護層を設ける方法を考案した。基礎実験を行い、磁力、吸着力等の関係を明らかにし、特許出願を行った。



磁性ビーズ吸着の様子

輸送管の耐摩耗性向上方法、磁性ビーズ、及び磁力発生装置

25

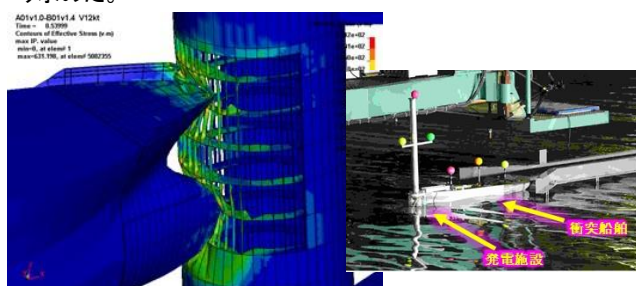
(3) 海洋の開発 - ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究
- ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究

年度実績

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

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究(重点研究☆9)

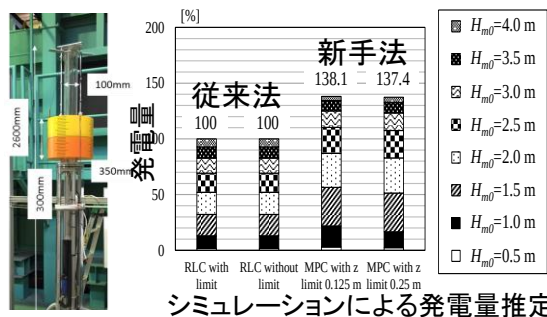
○復原性が問題となる事象及びその発生確率の検討を行うとともに、航行船舶が風力発電施設に衝突する際の浮体側壁破壊エネルギー等を数値シミュレーションや模型試験により求めた。



航行船舶との
衝突シミュレーション

衝突模型試験

○不規則波中における時系列最適制御について、数値解を求めるための反復法としてC/GMRES法を用いた**モデル予測制御の実機実装用アルゴリズムを開発**。



想定装置の
イメージ

梅田 準 ほか: リニア式波力発電装置のモデル予測制御に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 第28号 (2018).

26

(3) 海洋の開発 - ③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

年度実績

- 世界最高レベルの調査効率を狙う**AUV複数機同時運用技術**を完成し、民間への技術移転を完了。
- AUV研究開発の**社会実装**の一環として民間技術移転・運用の拡大に努めた。

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

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

○海技研が独自に機体形状を開発した最新鋭の航行型3・4号機は、**世界的にもクラス最高レベルの運動性能**を誇り、複雑で急峻な海底カルデラの探査で実力を実証。

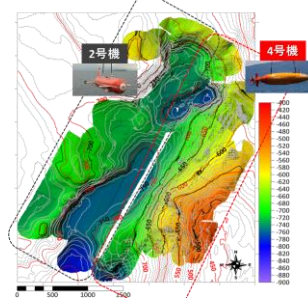
(日本船舶海洋工学会主催のシップ・オブ・ザ・イヤー2018において、航行型4号機が「海洋構造物・機器部門賞」を受賞)

○民間への技術移転を促進するため、AUV全機について運用・整備マニュアルを作成し、それを用いた実海域訓練を実施することにより、**民間事業者が独力で潜航計画からAUV運用、データ解析まで行える体制を構築**。研究開発に留まらない出口戦略を推進。

○我が国EEZにおける将来の広範なAUV活用を見据えて、海底資源開発以外にも、多岐に亘る調査対象を開拓



海技研が保有するAUV
(SIP「海のジバング計画」により製作)



【洋上風力発電施設の点検作業】
(東京電力プレス資料より抜粋)

運動性能に優れたAUVによって、
海底カルデラの急峻地形のマッピングに成功

27

成果の公表（海洋の開発）

項目	件数	
ジャーナル論文	8本	
特許申請	4件	・輸送管の耐摩耗性向上方法、磁性ビーズ、及び磁力発生装置 ・複数の水中航走体の運用方法及び複数の水中航走体の運営システム ・複数の水中航走体の揚収方法、及び複数の水中航走体の揚収システム ・水上航走体の姿勢制御による音響通信範囲の制御
プログラム登録	4件	・マネージドアイス中のモノコラムハル型構造物に作用する全体氷荷重推定プログラム ・内部スラリー流を考慮したカタナリー形状解析プログラム ・AUVほばりん制御用メインプログラム ・AUVほばりん運用ツールプログラム
受賞	1件	・AUV4号機が日本船舶海洋工学会Ship of the Year海洋構造物・海洋機器部門賞を受賞

28

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（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
⇒国家プロジェクトSIP「海のジバング計画」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、将来的な後続プロジェクトにつながる期待も認められる。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きい。
⇒海底熱水鉱床開発に関する研究では、実用化に向けた課題解決に資する研究成果を創出しており、得られた成果は他の鉱物資源にも適用できることから、発展性、一般性は十分に大きい。
⇒ASV1機に対して複数機同時運用の実績は世界的にも例がなく、当研究開発では同時運用機数が5機まで到達しており世界の最先端に位置すると考えられる。

◎成果が期待された時期に創出されているか。
⇒海洋エネルギー・鉱物資源開発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。
⇒第1期SIPの終了年度として当初目的まで達したことから、期待に応えた成果輩出となっている。

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
⇒浮体式風力発電施設の安全ガイドライン中の損傷時復原性基準の運用ガイドラインは、IEC基準及びその議論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。
⇒今後、広範な海底鉱物資源等探索を行う場合に非常に有用な技術レベルに短期間で達したことを証明した。1年から2年程度の取り組みであり、まだ、実績として十分とは言いがたいが、国際的競争力を着実に身に着けた意義は非常に大きい。

29

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	2.7	A
☆10	海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究	2.9	A

30

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発

-①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術開発に関する研究

- 年度実績**
- 「中小造船業に適した新生産管理手法」に関して、「工数最適化を目的とした生産計画・実行管理」を中小造船所7社にて実船適用し、5～10%の工数削減効果を確認。
 - ハイロウミックス工程を中小造船所3社に実展開し、5%の技能職の余力創出余地効果を確認。
 - 曲げ加工支援ARシステムについて、対象造船所向けにカスタマイズを行い、生産ラインへの実展開に向けた実証実験を実施し、造船所の作業環境であっても良好にAR表示が可能であることを確認。

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

新生産管理手法 実展開結果

工程	工数削減効果	造船所
鋼板NC切断工程	18%	A社
小組一取付工程	7%	A社
	9～13% (取付溶接合計)	B社
	19% (小組・組立合計)	C社
	6%	D社
	21%	A社
小組一溶接工程	9～13% (取付溶接合計)	B社
	19% (小組・組立合計)	C社
	5%	A社
	16%	E社
組立一取付工程	6～8%	F社
	19% (小組・組立合計)	C社
	25%	G社
	22%	E社
組立一溶接工程	8～21%	F社
	19% (小組・組立合計)	C社
	35%	G社
外業工程	11～19% (ハイロウミックス含む)	E社
管製作工程	23%	B社
ブロック配管工程	12%	D社
甲板鉄構工程	10%	B社

ハイロウミックス 実展開結果と効果推定

工程	工数削減効果	造船所
船殻 小組・組立工程	32%の一部(少なくとも4%以上)	A社
外業工程	11～19%の一部(分解不能)	B社
管製作工程	6～15%	C社
艙装 ブロック艙装・船上艙装工程	9～17%	B社

工程	番船内 工数比率 A	技能職の余力 創出余地(推定) B	番船効果 (推定) A×B
加工	7%	2%	0.1%
組立	33%	5%	1.7%
搭載	29%	5%	1.5%
船装	8%	10%	0.8%
機装	4%	10%	0.4%
管装	8%	10%	0.8%
電装	2%	10%	0.2%
塗装	9%	2%	0.2%
番船合計	100%		5.6%

※番船内工数比率は、特定の造船所によらず、ばら積み貨物船を想定した典型的な値。



実際の造船所における
「曲げ加工支援ARシステム」の検証

この他に塗装作業支援ARシステムについてプロタイプ機の開発を実施

32

(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

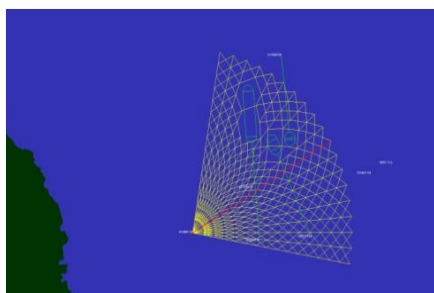
-②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

- 年度実績**
- 航行妨害ゾーン(OZT)を応用したルールベースの自動避航アルゴリズムを開発し、実際のAISデータを用いたシミュレーション環境で検証を実施した。操船シミュレータへの自動避航システム組み込みを行った。
 - OZTの見える化による避航操船判断支援システムを、民間企業及び大学と共同で開発した。

ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究(重点☆12)

○ 避航操船アルゴリズムの開発

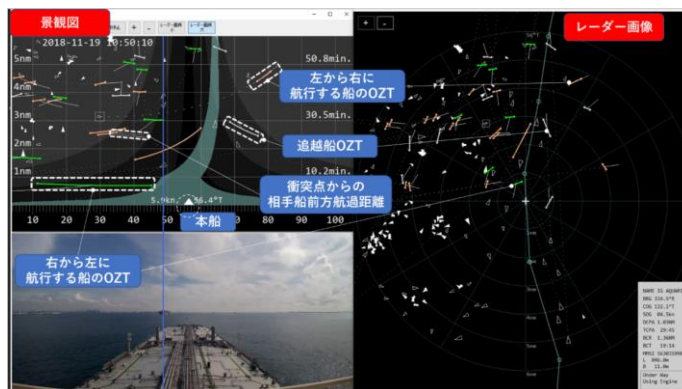
OZTを応用したルールベースの避航操船アルゴリズムを開発し、観測された実AISデータを対象としたファストタイムシミュレーション上の輻輳海域において、長期に亘り、衝突せずに航行可能なことが確認できた。



避航操船アルゴリズムのシミュレーションテストの画面

○ OZTの見える化による避航操船判断支援システムの開発

画面上の白破線内の線分OZTを回避するコース取りにより衝突を回避できるシステムを開発し、操船シミュレータでの評価実験で、有効性を確認した。



OZTを用いた避航操船判断支援システムの画面

33

(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

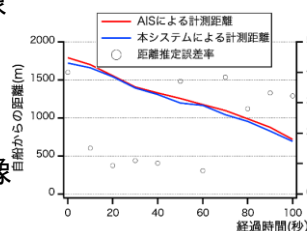
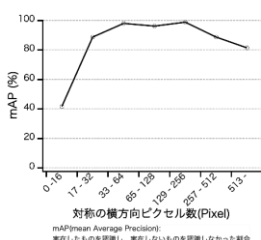
-海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発

- 年度実績**
- 画像処理による他船検出システムを構築し、その性能を実船で検証した。
 - 自律船の実現時の考慮すべき規則の洗い出しによるIMOの審議に貢献した。

ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究(重点☆12)

○ 立体視による他船検出システムの研究

左右のカメラ画像とその視差を利用している船舶の検出、属性判断、自船からの相対位置と相対方位を計測。実船環境下で、通常**95%以上の認識率**を得た。また、約1mile先の船が**距離誤差率 +0.5~+4%**で推定できた。



○ 自律航行船の安全基準の研究

自律運航を実現する際、海上安全人命条約等で、現行から変更等の必要があるものについて、対応案を整理し、情報提供を行った(MSC 99、2018年5月)。その後、MSC 99で設立されたレスポンス・グループの報告へのコメントを提出するとともに、今後の規則の論点整理の一部を海技研が中心となり担当することとなった(MSC 100、2018年12月)。



MSC 100/ 5/5 Comments on document MSC 100/5

34

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

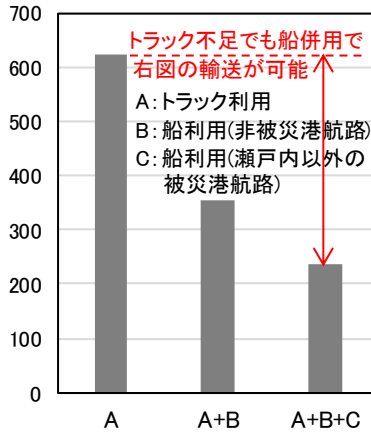
年度実績 □ 広域震災発生後の輸送計画作成・評価を行う**複合一貫輸送シミュレータを開発**。

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究(重点研究☆13)

○AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

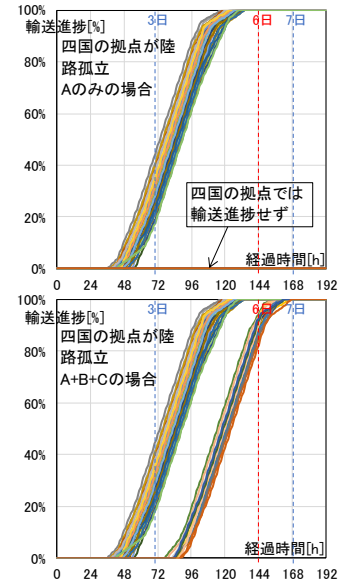
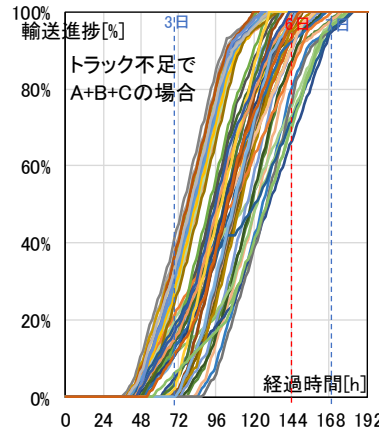
被災港(瀬戸内海及び付近の港を除く)も用いた海上輸送を併用することで、陸上輸送の実施不能状態を効果的に緩和できる可能性があることを示した。

必要トラック量[万台km]



<トラック不足の場合>

南海トラフ地震を想定した4~7日目用の災害支援物資輸送の評価例



<陸路孤立の場合>

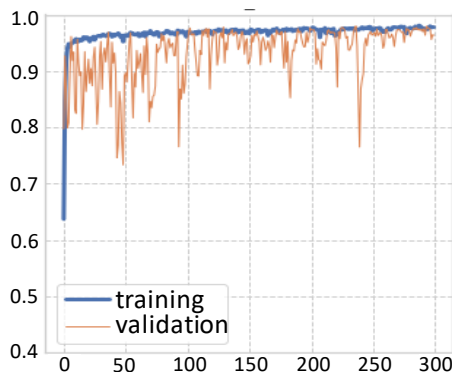
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発 -③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

年度実績 □ Deep Learningによる経路評価手法を開発。4経路中から正解経路を95%の正解率で選択可能。
□ Deep Learningによる航路別の海上運賃を予測するモデルを構築。

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究(重点研究☆13)

○AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

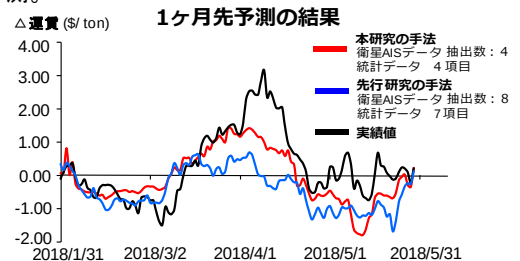
全国輸出入コンテナ貨物流動調査の非集計データを用い、貨物の輸送経路を評価



輸出入貨物経路推定の学習経過例

○AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

衛星AISデータと各種統計データ(石油価格、各種経済指標等)を入力データとし、航路別の海上運賃を予測。



	先行研究の手法	本研究の手法
方向一致率	68.9 (%)	79.8 (%)
相関係数	0.54 (-)	0.76 (-)
絶対平均誤差	0.80 (\$/ton)	0.56 (\$/ton)

豪州-中国間の海上運賃の予測結果

Wada, Y., Hamada, K., and Hirata, N.: Shipbuilding capacity optimization using shipbuilding demand forecasting model, Journal of Marine Science and Technology

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	
ジャーナル論文	6本	
プログラム登録	3件	・IL_CALCULATOR ・FFDB_EDITOR ・NN学習用DBエディター

37

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（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。

⇒輸出入貨物の輸送経路推定が可能となれば、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。また、広域震災時に支援物資輸送がスムーズに進むことで被災者の安全・安心向上に寄与する。

◎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。

⇒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、また確率論的安全評価の手法を取り入れて総合評価を行う点に新規性がある。

◎ 成果が期待された時期に創出されているか。

⇒災害時の支援物資輸送評価システムは南海トラフ地震が発生する前に成果が出される必要があるため、今後開発を急ぐ必要がある。

◎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。

⇒災害時の支援物資輸送評価システムは、複合一貫輸送を考慮しているため島嶼国での利用が可能であるため、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。

⇒貨物経路推定手法では最新の人工知能技術であるDeep Learningの応用を新たに試みている。

38

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	2.0	B
☆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	2.5	A

重点研究 平成30年度業務実績報告書

重点研究							
分野	番号	テーマ名	研究系	ページ 番号	研究期間		備考
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	構造安全評価系	p.1	28-34	7	
	☆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	海洋リスク評価系	p.13	28-34	7	
	☆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	流体性能評価系	p.23	28-34	7	
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	環境・動力系	p.31	28-34	7	
	☆5	実海域実船性能評価に関する研究	流体設計系 流体性能評価系	p.37	28-34	7	
	☆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	流体性能評価系	p.53	28-34	7	
	☆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	環境・動力系	p.59	28-34	7	
	☆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	環境・動力系	p.65	28-34	7	
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	海洋開発系 海洋先端技術系 海洋リスク評価系	p.71	28-34	7	
	☆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	海洋先端技術系	p.87	28-34	7	
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	構造基盤技術系	p.95	28-34	7	
	☆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	知識・データシステム系	p.103	28-32	5	
	☆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	知識・データシステム系	p.109	28-34	7	

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	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重・構造強度評価システムのベーシックデザインを決定するため、プロトタイプと各要素技術モジュールとの摺合せを行う。特に縦曲げ最終強度の成果を体系化された荷重・構造強度評価システムに反映するための検討を行う。これまでに開発した DLSA-Basic の高度化や極限海象に対応した DLSA-Professional の開発を行う。さらに、昨年度開発した船体構造モニタリングシステムのプロトタイプを基に、船体構造モニタリングガイドラインの草案を策定する。等

研究の背景

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

- ☐ 新構造基準作成に資する体系化された荷重・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
- 船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究

研究目標

- 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及び新構造基準案の作成
 - CFD や粒子法を含む強非線形荷重評価システム、及び、極限波設定手法、操船影響解明
 - 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
 - 構造設計と運航のリンクを高めた船体構造モニタリングシステムの開発及び操船支援用の評価基準確立および船体構造モニタリングシステムのガイドラインの作成
 - 極限海象下での船体弾性応答計測技術
 - 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
- 上記成果は、先進的な船体構造健全性評価システム等の実用化、及びデータ及びシミュレーションに基づく信頼性ベースの新構造基準に直結し、これによって安全と経済性を両立した船体構造設計、及び高度かつ迅速な海難事故解析等が実現が期待される。

平成 30 年度の研究内容

- トータルシステムのベーシックデザインを決定するため、プロトタイプと各要素技術モジュールとの摺合せを行う。(1)
- 縦曲げ最終強度の成果をトータルシステムに反映するための検討を行う。(1)
- これまでに開発した DLSA-Basic の高度化や極限海象に対応した DLSA-Professional の開発を行う。(1)
- スラミング衝撃荷重とホイッピングを含む縦曲げ応答のための CFD-FEA 双方向連成解析法を開発する。構築した手法をもとにした、最悪短期海象下での応答の極値分布推定法を構築する。(2)
- 3D スロッシング数値計算の高速化のため、既存の粒子法モデルの境界条件を改良する。(2)
- 位相差を有する二軸載荷条件下（位相差 π 、 $\Delta \sigma_x / \Delta \sigma_y = 2$ ）において、溶接止端部（応力集中場）から発生・伝播する表面き裂の疲労き裂成長履歴を推定する手法を検討する。(3)
- 位相差を有する二軸載荷条件下において、平板中（応力集中度 $K_t = 1$ ）の初期欠陥から発生・伝播し、初期に非均衡成長する表面き裂の疲労き裂伝播寿命を推定する手法を検討する。(3)
- 二軸重畳波変動載荷条件下における疲労き裂伝播試験用の制御ソフトウェアには制約条件があるので、予備試験を実施し、問題点の抽出を行う。(3)
- 前年度までに実施した模型試験結果を詳細に分析するとともに、非線形 FE 解析を実施し、繰り返し荷重が崩壊挙動及び最終強度に与える影響を明らかにする。(4)
- 寸法および荷重比を変化させたシリーズ解析結果から、二軸応力下の防撓パネルの崩壊挙動および最終強度を検証し、簡易的な縦曲げ最終強度計算手法を確立する。(4)
- 大型コンテナ船を対象に、振りを考慮可能な縦曲げ最終強度手法の高度化を目的に、横隔壁及び船側構造が振り変形に及ぼす影響を考慮可能な振り解析手法を確立する。(4)
- 極限海象における大型コンテナ船の「動的」ハルガーダ最終強度及び構造安全性に関する検討。(5)
- 事故限界状態（船舶衝突）に対する RCO（リスク・コントロール・オプション）のリスク軽減効果及び経済性効果推定手法の開発(5)
- 斜波中を含む極限海象下での非線形流体－構造連成応答を解明するため、実海域再現水槽にて平成 29 年度に製作した弾性模型を用いた水槽試験を実施する。(6)
- ハルモニタリング用ガイドラインの調査検討を行う。(7)
- 実データの設計へのフィードバック手法を検討する。
- 運航モニタリングの情報や波浪中構造応答特性のデータを統合した船体構造モニタリングシステムの概念設計を行う。(7)
- 荒天下および荒天回避の際の操船支援用のモニタリング項目と閾値の開発に向け、操船者を対象としたアンケート案を作成する。(7)

平成 30 年度の実績

- DLSA-Basic（荷重解析－線形構造解析評価システム）の荷重解析モジュールとして3次元グリーン関数法を適用した NMRIW-3D-Lite を開発した。内圧付与法（A 法/B 法）を選択可能とした。(1)
- DLSA-Basic（荷重解析－線形構造解析評価システム）の強度評価・海象条件設定モジュールとして DLSA-Basic-Projection（疲労及び降伏に関する統計評価値（疲労被害度等）を出力し、全船構造要素へのマッピングする）を開発した。(1)
- DLSA- Professional（非線形荷重解析－非線形構造解析評価システム）の構造解析における境界条件（外圧、内圧、拘束）設定法の提案及び検証を行った。これにより全船を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度の評価が可能となった。(1)

- 有限体積法 CFD と動的 FEA を用いて、ホイッピング評価のための弱連成法及び強連成法を構築し、検証を実施した。また CFD-FEA 連成法及び信頼性理論 FORM を基に、二重底曲げを含む複合荷重の極値に対応する不規則波列（設計不規則波）の同定法を構築した。（2）
- Open source である粒子法コード DualSPHysics を用いて、3D スロッシングに向け、境界条件を改良した。改良した数値モデルを利用し、大規模計算を行い、さらに実験データとの比較により、改良した数値モデルの予測精度を検証した。（2）
- 位相差を有する二軸載荷条件下において、溶接止端部（応力集中場）から発生・伝播する表面き裂の疲労き裂成長履歴を推定には、複数発生した微小表面き裂の発生数や合体成長過程に及ぼす溶接残留応力の影響を考慮する必要があることが判明した。（3）
- 位相差を有する二軸載荷条件下において、平板中（応力集中度 $K_t=1$ ）の初期欠陥から発生・伝播し、初期に非均衡成長する表面き裂の疲労き裂伝播シミュレーションを実施し、表面き裂の成長履歴推定が可能であることを示した。（3）
- 二軸重畳波変動載荷条件下における疲労き裂伝播試験用の制御ソフトウェアの問題点ならびに改良項目を抽出した。（3）
- 単調面内荷重載荷模型試験および繰り返し荷重載荷模型試験結果を比較し、繰り返し荷重により最終強度が低下するが、低下量は微小であることを明らかにした。また、非線形 FE 解析結果から、荷重の大きさおよび周期に対する繰り返し荷重下の最終強度に与える影響を明らかにした。（4）
- 二軸応力下における防撓パネルの最終強度を推定するための推定算式を導出した。導出した推定算式と非線形 FE 解析およびルール算式との比較を通して、精度検証を実施した。（4）
- 横隔壁および船側構造の変位関数およびひずみエネルギーの解析解を導出し、それらを利用し横隔壁及び船側構造を考慮した振り定数の導出を行った。また、本手法を一次元有限要素法プログラムに組み込み、汎用 FE 解析ソフトウェア「LS-DYNA」を用いた陰解法による FE 解析を実施し、その精度検証を実施した。（4）
- 非線形動的構造解析法を用いて、縦曲げモーメントの作用時間が、大型コンテナ船のハルガーダの動的構造応答に与える影響を明らかにした。また、不確実性（uncertainty）の1つである、解析モデルが、構造安全性評価に与える影響を明らかにした。（5）
- 非線形動的構造解析手法を用いて、境界条件を工夫することにより、材料非線形、座屈・崩壊、水圧を考慮したスラミングに対する船体の動的弾塑性応答の簡易評価手法を考案した。
- 衝突による船舶のリスク解析を実施し、RCO（リスク・コントロールオプション）によるリスク低減効果及び経済性効果を推定する手法を高度化した。特に、衝突速度モデルの構築、原油価格の推定モデルの構築を新規に行った。（5）
- 縦曲げおよび振り振動のモード形状が実船相似となるコンテナ船弾性模型を用いて波浪中曳航実験を行い、模型船の弾性応答を計測した。（6）
- 船上データの解析を行うプログラムを用いて、モニタリング対象船の及びその結果を表示する船体構造モニタリング GUI のプロトタイプを作成した。（7）
- 荒天航行に関するアンケート案を作成した。（7）
- 10 隻連続建造の 14000TEU 型大型コンテナ船の応力モニタリングプロジェクトにおいて、応力データ、航海系データ、波浪データ等を複合的に解析し、本船の健全性評価を行うとともに、設計に必要なホイッピングの影響を調べた。
- AIS データと波浪推算データを用いて、就航船の遭遇海象及び作用荷重の統計解析を行った。（7）

平成 30 年度の研究成果

- DLSA-Basic（荷重解析—線形構造解析評価システム）の荷重解析モジュールとして3次元グリーン関数法を適用した NMRIW-3D-Lite を開発した。内圧付与法（A 法/B 法）を選択可能とした。強度評価・海象条件設定モジュールとして DLSA-Basic-Projection（疲労及び降伏に関する統計評価値（疲労被害度等）を出力し、全船構造要素へのマッピングする）を開発した（図 1）。これにより、網羅的な強度と作業コスト低減を両立し造船所の設計への適用も可能した。世界的にも例をみない荷重構造一貫解析評価システムである。従来からの 2 社のユーザーに加え、新規に 1 社へ販売。他に本システムを適用し新構造設計を行う造船所が 1 社確定（共同研究）、1 社予定（来年度販売、共同研究の見込み）。また、船級規則改正に資するデータ構築に必要なツールとしても指定された。（1）
- DLSA- Professional（非線形荷重解析—非線形構造評価解析システム）の構造解析における境界条件（外圧、内圧、拘束）設定法の提案及び検証を行った。これにより全船を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度の評価が可能となった。（1）
- CFD-FEA 双方向連成法について、弱連成法を適用した場合はホイッピング振動成分の再現が困難であるが、強連成法を用いた場合は精度の良い再現が可能であることを確認した（図 2-1 (a)）。また、CFD-FEA 連成解析に基づく極値推定に非線形ストリップ法（NMRIW-II）を用いた設計点の予測・修正法を適用し、二重底曲げを含む複合荷重の任意の極値に対する設計不規則波及び発生確率の推定法を構築した（図 2-1(b)）。また、海技研 CFD（NAGISA）と FEA との片方向連成法を構築した。（2）
- 先行研究で、汎用粒子法モデルを基に、3D スロッシングの数値計算を行った。スロッシング模型実験との比較を通じて、数値計算精度を保障するためには十分小さい粒子サイズが必要であり、1 ケースの計算に 1 日間程度を要した。そのため、複数ケースの検証が困難である。数値計算を加速するため、Smoothed

- Boundary という新しい境界条件を提案し、粒子法モデルに実装した(図 2-2)。改良した粒子法モデルを用いて、より大きい粒子サイズを用いても改良前の境界条件(粒子サイズ小)による粒子法計算結果に匹敵する予測精度が実現でき、計算速度を 10 倍ほど高速化させることができた。(2)
- 位相差を有する二軸载荷条件下において、平板中(応力集中度 $K_t=1$)の初期欠陥から発生・伝播し、初期に非均衡成長する表面き裂の疲労き裂伝播シミュレーションを実施した。図 3 には、試験条件が応力比 0.05、 $\Delta\sigma_x=\Delta\sigma_y=172\text{MPa}$ 、位相差 π の場合の試験結果と数値シミュレーション結果を比較した一例を示す。二軸载荷状態を等価な単軸状態に換算し、等価分布応力法、結合力モデルを採用した RPG 荷重基準の疲労き裂伝播シミュレーションにより、表面き裂の成長履歴推定が可能であることを示した。(3)
- 同等な防撓パネル試験体を利用した単調荷重载荷模型試験及び繰り返し荷重载荷模型試験(図 4-1(a))の結果から、最終強度より小さい繰り返し荷重を受け続けることで変形が累積していき、やがて最終強度より小さい荷重にて崩壊に至ることを明らかにした(図 4-1(b))。繰り返し荷重の大きさ及び周期を変化させた非線形 FE 解析を実施し、周期及び荷重が大きいほど崩壊に至るまでの荷重の繰り返し数が小さいことを明らかにした(図 4-1(c))。(4)
- 非線形動的構造解析法を用いて、縦曲げモーメントの作用時間が、大型コンテナ船のハルガーダの動的構造応答に与える影響を明らかにした。同じ荷重でも、荷重周期が短い場合、最終強度に到達しないことが明らかとなった。また、不確実性(uncertainty)の 1 つである、解析モデルが、構造安全性評価に与える影響を明らかにした。解析モデルが最終強度に与える影響が定量的に明らかとなり、3 ホールド等の部分モデルでの評価は危険側であり、安全側評価のためには、極力全船に近いモデルで評価する必要があることが明らかとなった。(5)
- 衝突による船舶のリスク解析を実施し、RCO(リスク・コントロールオプション)によるリスク低減効果及び経済性効果を推定する手法を高度化した。特に、衝突速度モデルの構築、原油価格の推定モデルの構築を新規に行った。(5)
- FE 解析に基づき剛性調整をして設計・製作した弾性模型(図 6-1)を用いて、実海域再現水槽において、規則波中、変調不安定波中、多方向不規則波中曳航実験を行った。振りモーメントについて、波浪変動成分だけでなく、弾性振動成分も計測できていることを確認した(図 6-2)。船の振りの振動数だけでなく、振動のモード形状の相似性を考慮した弾性模型による実験を実施したのは世界初である。実験は公開実験にて公開した。(6)
- 構造設計と運航のリンクを高めた統合型船上モニタリングシステム用ガイドラインの構成案を作成した。(7)
- 実船データの統計解析プログラム(2017 年度に登録)を用いて、10 隻連続建造の 14,000TEU 型コンテナ船で計測された応力データを解析し、最大応力値及び疲労寿命に及ぼすホイッピングの影響を明らかにした(図 7-1 及び図 7-2)。また、計測応力を FE 解析による応力と比較して、現状の強度設計で行われる応力の予測精度を確認し、遭遇波浪の推定精度が予測精度に大きく影響を及ぼすことを示した。この研究成果は国土交通省の iShipping の報告書に反映されている。(7)
- 船長協会への聞き取り調査の結果に基づき、船が遭遇している波浪の実態や荒天下での操船方法、操船判断時の閾値(主に風・波浪等の外部条件)についての情報収集を行い、操船者へのアンケート案を作成した。(7)
- AIS データと波浪追算データを用いて、就航船の遭遇海象及び作用荷重の履歴及び統計解析を行うためのプログラムを開発し、これを用いて実遭遇海象をベースとした波浪発現頻度表を作成し(図 7-3)、また、遭遇波浪を元に就航船の最大荷重を推定し、数値シミュレーション及び規則による設計荷重の安全余裕を示した(図 7-4)(7)
- AIS データ及び波浪追算データによる荒天中操船状況の可視化プログラムを作成した。これを活用することで最大荷重と操船判断との関係性が次第に明らかになり、合理的な構造設計の実現に寄与する(図 7-5, 特許 1)。(7)
- 応力モニタリングシステムの普及を促進するため、オープンプラットフォームで応力データを解析して、相対的な評価結果をユーザーに示すためのプログラムのテスト運用を行い、その有効性を示した(受託研究)(7)。

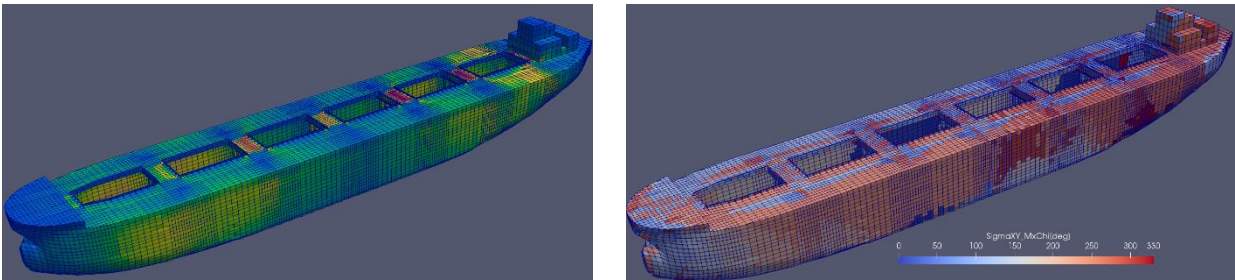


図 1 強度評価マッピング
(左：超過確率 10^{-8} レベルの応力の最大期待値 右：応力が最大となる波向きの分付)

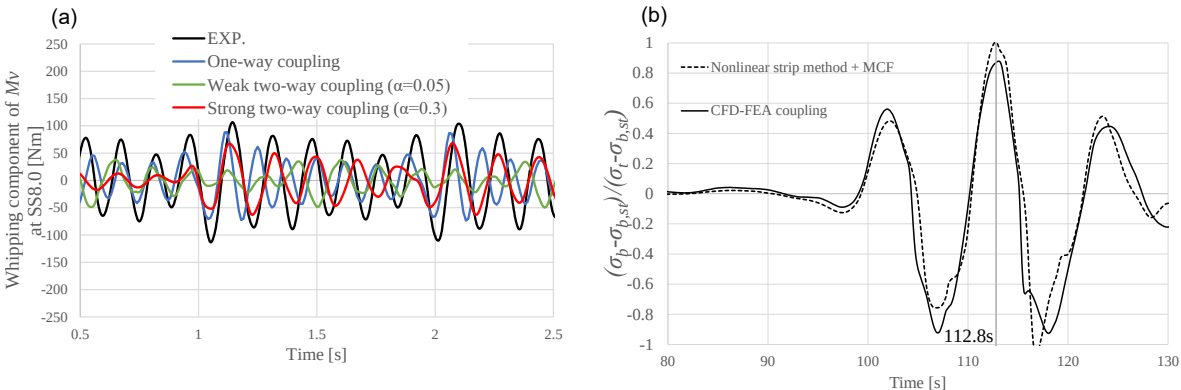


図 2-1 (a)ホイッピング振動の推定結果、 (b)波浪中船体複合荷重の極値推定結果

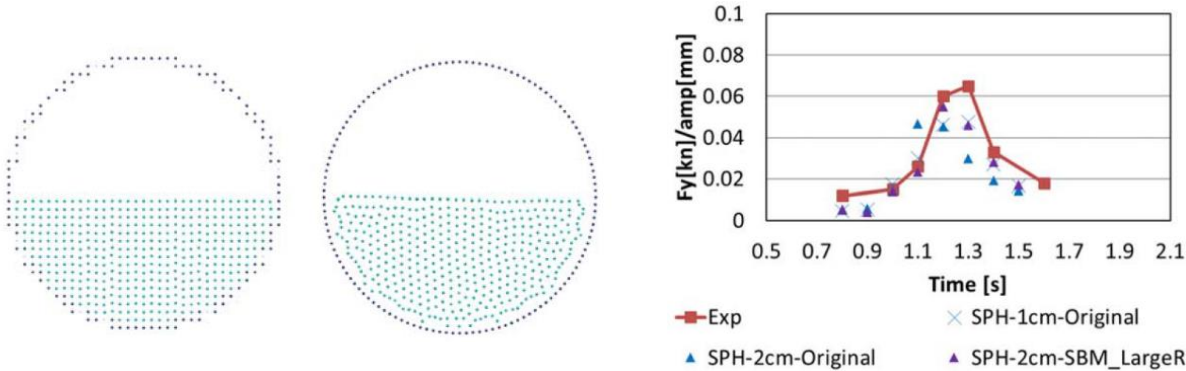


図 2-2 (a) 元の境界条件 (b) 改良した境界条件 (c) 境界条件改良前後の比較

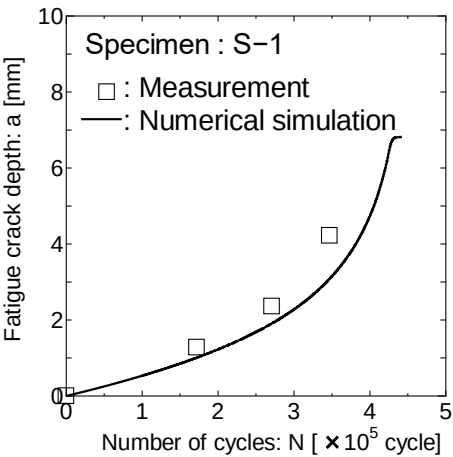


図 3-1 二軸載荷条件下における表面き裂の疲労き裂伝播試験結果と数値シミュレ

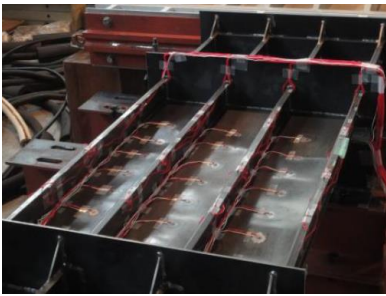
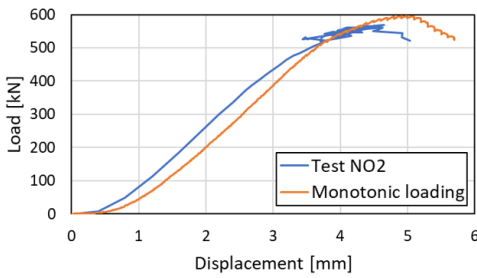
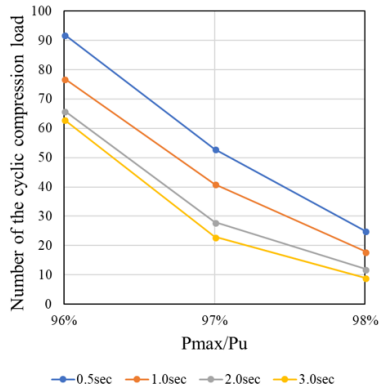


図 4-1 (a) 繰り返し座屈試験



(b) 荷重－変位関係



(c) 崩壊までの繰り返し数

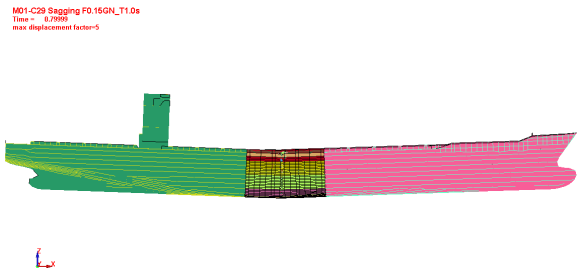


図 5-1 スラミングによる船体折損

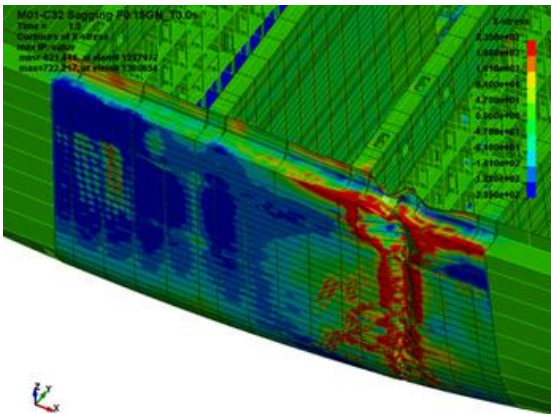


図 5.3 横断面の座屈崩壊

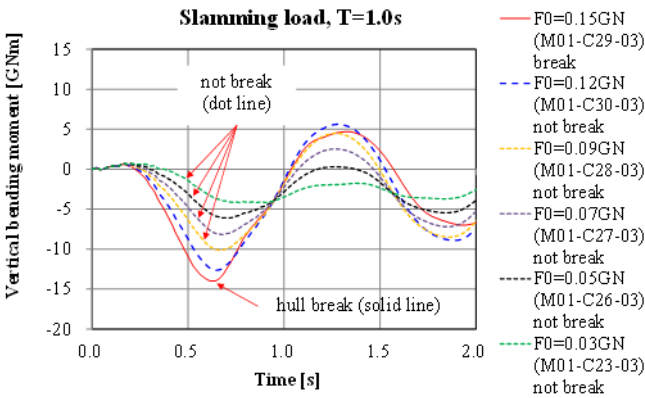


図 5-3 荷重最大値が与える影響（周期固定）

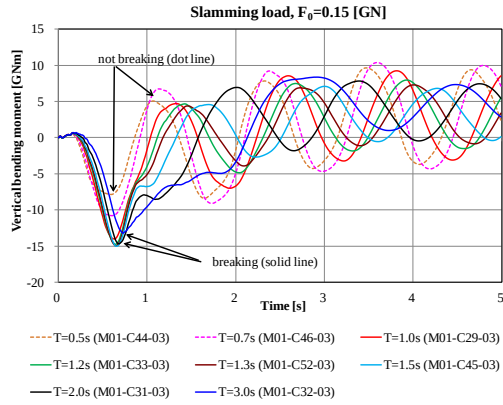


図 5-4 荷重周期が与える影響（振幅固定）

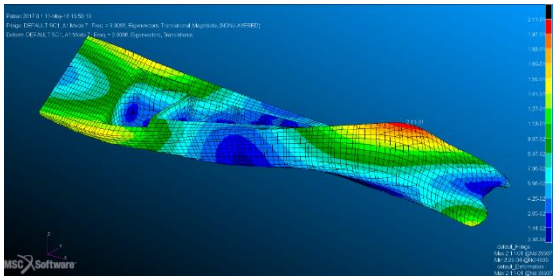
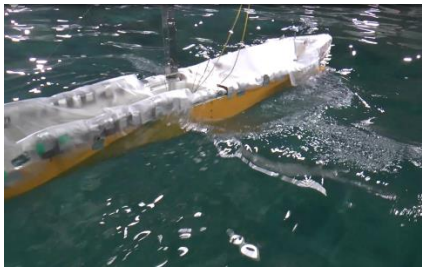


図 6-1 縦曲げ・振り剛性相似模型による水槽実験と模型船の設計に用いた FE 固有値解析

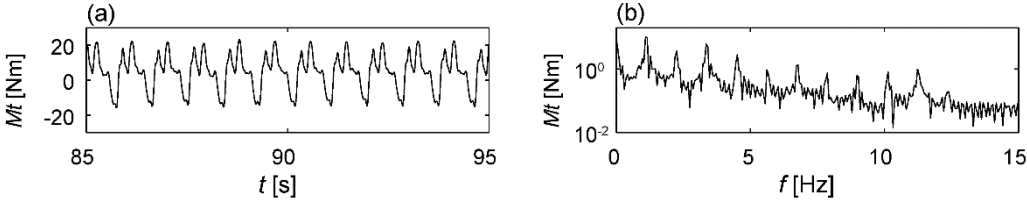


図 6-2 斜向規則波中曳航試験で計測された振りモーメント；(a)時系列、(b)周波数スペクトル

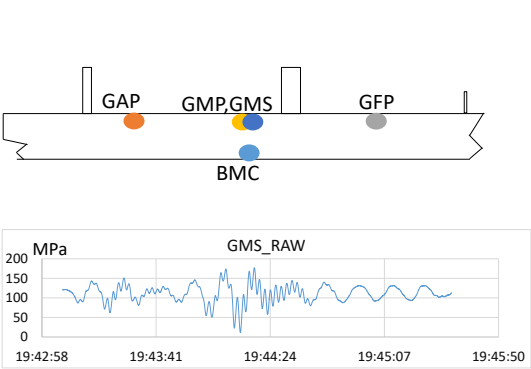


図 7-1 14000TEU 型コンテナ船の歪みセンサ配置(上)と計測された応力波形の例(下)

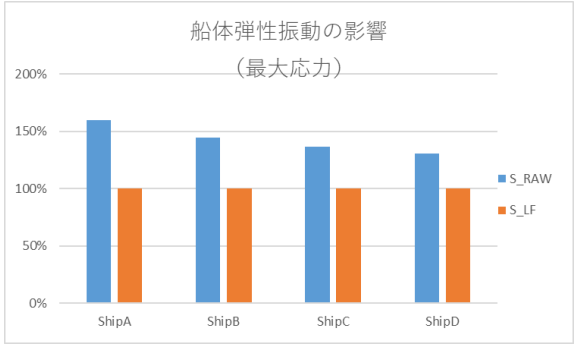


図 7-2 ホイッピングが最大応力値に与える影響
青:ホイッピング有り、オレンジ:ホイッピングなし

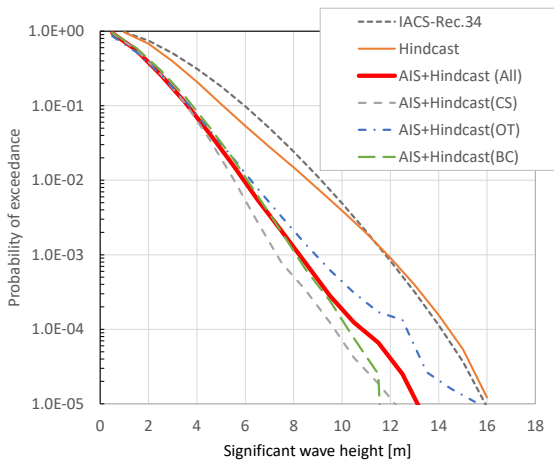


図 7-3 操船回避による波高低減効果
オレンジ:回避なし、赤:回避あり

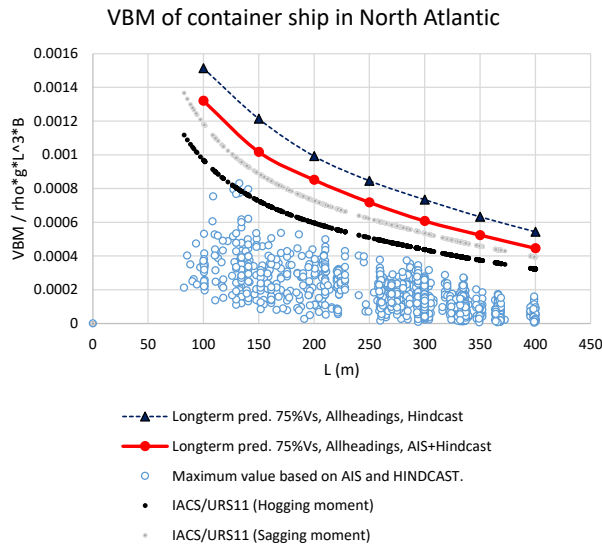


図 7-4 AIS データに基づき推定したコンテナ船の最大荷重(マーカ)及び予測値(曲線)との比較

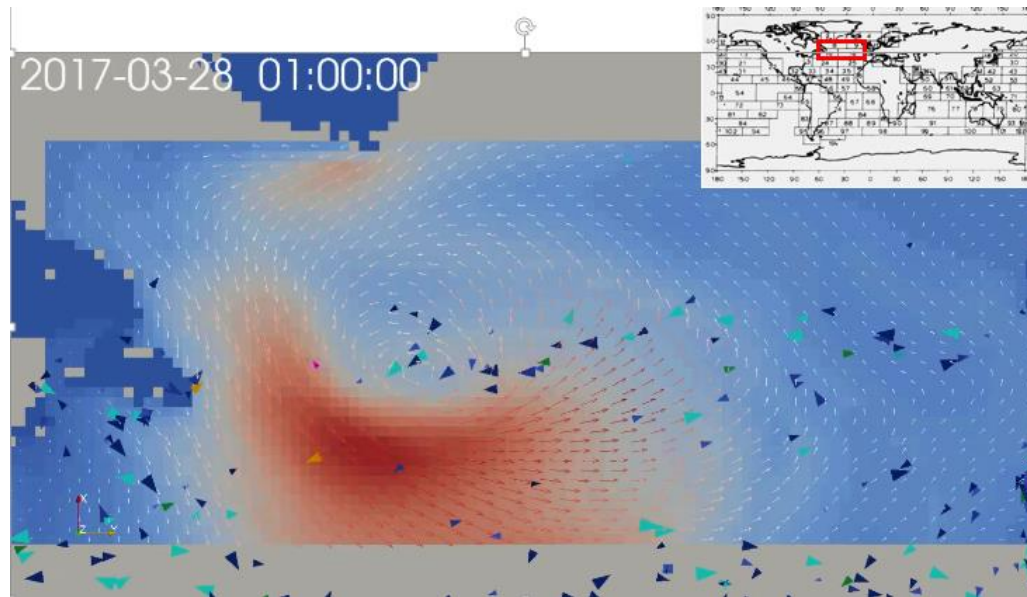


図 7-5 AIS データ及び波浪追算データによる荒天中操船状況の可視化プログラム(動画)

成果の公表

計 36 本、査読あり 20 本（うち投稿中 3 本）（うち Journal 11 本）

（論文）

- 松井貞興、村上睦尚：全船構造解析のための粒状貨物による倉内圧の設定法，日本船舶海洋工学会論文集，第 28 号，pp.203-209 (2018)（査読有）
- 松井貞興：波浪中船体応答の簡易算式の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 27 号，pp.395-400 (2018.11)
- 村上睦尚，松井貞興，小山直洋：波浪中における船体構造応答の推定手法 - 断面力と応力の相関に関する一検討，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 27 号，pp.309-311 (2018.11)
- 村上睦尚，白石哲平，松井貞興，越智宏：全船モデルとホールドモデルによる構造応答比較～DLSA システムのバルクキャリアへの適用例～，第 18 回海上技術安全研究所研究発表会(2018.7)
- 松井貞興、越智宏、村上睦尚：荷重構造一貫解析システム DLSA の開発，第 41 回日本船舶海洋工学会西部支部構造研究会
- 高見朋希，飯島一博：船底二重底曲げを考慮した船体縦強度評価のための設計不規則波導出，日本船舶海洋工学会論文集，第 28 号，pp.111-120 (2018)（査読有）
- T. Takami, Y. Komoriyama, T. Ando and K. Iijima: Experimental Validation of FORM Based Approach for Predicting Extreme Value Distribution of Hull Girder Bending Moment in a Ship, Proceedings of the ASME 2019 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2019)（査読有）（投稿中）
- T. Takami ; Development of Coupled CFD-FEA Method for Ship Structural Load and Its Application to Extreme Value Prediction by FORM, 大阪大学博士論文
- T. Takami and K. Iijima ; On the Assessment of Extreme Wave-induced Bending Moment of a Ship by FORM and Reduced Order Method based on coupled CFD and FEA, Proceedings of PRADS2019（査読有）（投稿中）
- 高見朋希，飯島一博：CFD-FEA 連成解析に基づくホイッピングを含む縦曲げモーメントの極値予測法の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 28 号，pp.217-220 (2019.5)
- K. Iijima and T. Takami ; Extreme Value Distribution of Combined Hull Girder and Double Bottom Bending Moments in a Container Ship by FORM, 32st Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM),(2018.10)（査読有）
- C. Ma, T. Ando and M. Oka: A Study on Behavior for Moss-Type LNG Tank Based on SPH Numerical Simulation and Large-scale Model Experiment, Journal of Offshore and Polar Engineering Vol20 No.4 (2018)（査読有）
- C. Ma, and M. Oka: Numerical Coupling Model Based on SPH and Panel Method to Solve the Sloshing

- Effect on Ship Motion in Wave Condition, Proceedings of the 30th International Conference on Ocean and Polar Engineering (ISOPE) (2019). (査読有)
- C.Ma, M.Oka and K.Iijima: A Nonlinear Numerical Fluid-Structure Interaction Research for Hydro-Elastoplastic Behavior of VLFS, Proceedings of the 8th International conference on HYDROELASTICITY IN MARINE TECHNOLOGY(2018.9)
- 岡正義、高速船のスラミング衝突について(その4 大型高速船の構造強度基準) 舟艇協会、舟艇技法 No.134 (2018.6)
- 森下瑞生、後藤浩二、穴井陽祐、丹羽敏男：位相差を有する面内二軸繰返し応力を受ける表面亀裂の伝播解析、日本船舶海洋工学会講演会論文集第 27 号, 2018A-GS16-3, 平成 30 年 11 月
- M. Morishita, K. Gotoh, Y. Anai, T. Niwa : Numerical simulation of fatigue surface crack propagation under biaxial tensile loadings with phase differences, The 6th World Maritime Technology Conference (WMTTC18), F180130-160, 平成 30 年 12 月 (査読有)
- 山田安平、越智宏、市川和利：“衝突速度を考慮した船舶からの油流出リスク評価手法～高延性鋼の適用効果～”、日本船舶海洋工学会講演会論文集第 27 号。(2018.11) .
- Yamada, Y, (2019), “Dynamic Collapse Mechanism of Global Hull Girder of Container Ships Subjected to Hogging Moment” , Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 141, (2019). (査読有)
- Yamada, Y.: ” Approach to Simulate Dynamic Elasto-plastic Whipping Response of Global Hull Girder of a Large Container Ship due to Slamming Load” , Proceedings of the 30th International Conference on Ocean and Polar Engineering (ISOPE) (2019). (査読有)
- H. Houtani, T. Waseda, W. Fujimoto, K. Kiyomatsu and K. Tanizawa: Generation of a spatially periodic directional wave field in a rectangular wave basin based on higher-order spectral simulation, Ocean Engineering, 169, pp.428-441 (2018) (査読有)
- 宝谷英貴、小森山祐輔、松井貞興、岡正義、沢田博史、田中義照、谷澤克治：縦曲げおよび振りのモード形状を考慮した箱型弾性模型の製作、日本船舶海洋工学会論文集, 第 28 号, pp.121-132 (2018) (査読有)
- H. Houtani, T. Waseda, K. Tanizawa and H. Sawada: Temporal variation of modulated-wave-train geometries and their influence on vertical bending moments of a container ship, Applied Ocean Research Journal, accepted (2019) (査読有)
- H. Houtani, Y. Komoriyama, S. Matsui, M. Oka, H. Sawada, Y. Tanaka and K. Tanizawa: Designing a hydro-structural model ship to experimentally measure its vertical-bending and torsional vibrations, Proceedings of the 8th International Conference on HYDROELASTICITY IN MARINE TECHNOLOGY, (2018.9) (査読有)
- H. Houtani, Y. Komoriyama, S. Matsui, M. Oka, H. Sawada, Y. Tanaka and K. Tanizawa: Designing a hydro-structural ship model to experimentally measure its vertical bending and torsional vibrations, Journal of Advanced Research in Ocean Engineering, 4(4), pp.174-184 (2018) (査読有) (* Proceedings paper の修正版が Journal として掲載)
- 松井貞興、宝谷英貴、小森山祐輔、沢田博史：模型船の縦曲げと振りの検定法について、日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 27 号, pp.297-300 (2018.11)
- 公開実験(世界初！ 縦曲げ・振り弾性相似模型船の水槽実験を公開)の実施, 2018 年 8 月 16 日 実海域再現水槽にて
- C. Ma, M.Oka and H.Ochi ; An Investigation of Fatigue and Long-Term Stress Prediction for Container Ship Based on Full Scale Hull Monitoring System, Proceedings of PRADS2019 (査読有) (投稿中)
- M.Oka, T.Takami and C. Ma ; Evaluation method for the maximum wave load based on AIS and hindcast wave data, Proceedings of PRADS2019 (査読有) (投稿中)
- 「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(国土交通省先進安全船舶技術研究開発支援事業)」平成 30 年度報告書(第 3 章累積疲労損傷度の推定手法の開発他)(2019.2)
- 岡正義、船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究、第 18 回海技研研究発表会(2018.7)
- 岡正義他 AIS データに基づく実運航船の波浪荷重推定 ―最大荷重に対する操船影響の評価―、日本船舶海洋工学会論文集 Vol.28 pp.89-98 (2018.12) (査読有、論文賞受賞)
- 岡正義他、モニタリング技術の最前線、日本船舶海洋工学会関西支部シンポジウム講演集、(2018.12)
- 岡正義他、AIS 及び波浪データに基づく波浪荷重推定、日本船舶海洋工学会東部支部構造研究会(2019.1)
- 有馬俊朗、岡正義、最先端の構造強度評価法に関する実用的手引書の開発、海技研報告 18 巻 3 号(2018.12) (査読有)
- 岡正義、高見朋希、水面衝撃荷重による動的弾性応答に関する研究、海技研報告 18 巻 3 号(2018.12) (査読有)

(特許)

船舶の波浪荷重推定方法及び波浪荷重推定プログラム(2018.8)

(プログラム)
DLSA-Basic (2018.5)

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。
- DLSA システムの開発により 網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し造船所の設計への適用も可能した世界的にも例をみない荷重構造一貫解析評価システムであり、日本の造船所の設計力の強化につながる。
- 本研究で開発された極値推定法は短期海象中における最大応答の発生確率を精度良く推定することを可能とさせるため、将来的に船舶の安全性向上へ繋がることが予想され、社会的価値の創出に貢献するものであると考える。
- 本研究で改良された粒子法境界条件を利用すれば、改良前と同精度で 10 倍程度の高速度が実現でき、将来的に実タンク構造のスロッシング解析、ひいては LNG 船設計への運用が予想され、社会的価値の創出に貢献するものであると考える。
- 荷重周期と船体ハルガーダ構造応答との関係が明らかとなった。また、流力弾塑性評価のための新たな簡易推定手法の基礎を開発した。今後、船体固有周期と出会い波周期の共振による船体折損発生可能性・メカニズム解明への貢献が期待される。
- 国プロジェクト iShipping operation に参画し、海技研がこれまで海上保安庁の巡視船やメガフロート等海洋浮体の実機計測で培った技術を活かし、プロジェクトに貢献した。このプロジェクトが成功することによって、ハルモニタリングの普及が加速され安全運航に寄与するとともに、実データに基づく設計革新が促進される。これによって社会的価値の創出に貢献できる。

- ◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きい。
- DLSA システムの開発により全船を対象にした荷重解析〜構造解析〜強度評価を行うので途中の簡易化やギャップが無いので一般性が大きい。
- 二重底曲げ荷重を含む複合荷重の極値推定法を高次の計算法（CFD-FEA）を基にして構築したのは世界初であり、新規性が十分に大きい。
- 本研究で開発した境界条件の改良手法はスロッシングだけでなく、スラミングや流体構造連成問題等にも応用でき、発展性が十分に大きいと考える。
- これまで、船体最終強度は、準静的に評価されてきたが、船体大型化に伴って、荷重周期と船体ハルガーダの共振影響が指摘されている。本研究により、荷重周期と動的構造応答との関係が明らかとなり、荷重周期が船体折損有無に影響することが明らかとなった。このような荷重周期については、船体構造規則では陽に考慮されていない。一方で、船体固有周期と出会い波周期の共振が船体最終強度に与える影響についてはこれまでの解析では解明されていない。解析条件により、船体折損発生可能性・メカニズム解明への貢献が期待される。日本海事協会でも同様の研究を実施しており、今後、委託研究等により連携して進めていくこととなった。
- シリーズ同型船のハルモニタリングデータを解析して、個々の運航状態等に照らし合わせて解析結果を比較することによって、ホイッピングの影響及び操船影響の相対評価を行ったことに意義がある。
- AIS データを用いて、船の遭遇波浪や作用荷重を明らかにし、そして設計荷重の設定に利用する手法の開発に一早く取り組んだ。新規の研究分野を開拓しリードしたことの科学的意義は大きい。

- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- DLSA システムの開発は、国際的（国内含む）にも規則等への対応として全船荷重構造解析へのニーズが高まってきており、それを見越してのシステム開発である。具体的には、現在進行中である船級規則全面改正に資するデータ構築に必要なツールとしても指定された。（過去には海外船級への根拠資料作成に適用された実績もあり）
- 双方向連成解析法及び極値推定法について、国際会議およびジャーナル論文にて年度内に成果を公表することができ、成果が期待された時期に創出されていると考える。
- 境界条件の改良手法について、国際会議に研究成果を発表でき、成果が期待された時期に創出されていると考える。
- 船上モニタリングを前提とした新たな設計手法や運航手法を確立することが、当面の課題であり、これを早期に実現するため、モニタリングプロジェクトへの参画を通じて、船上モニタリングで得られるビッグデータの分析に携わり必要なプログラムを整備した。
- IACS で見直されている波浪発現頻度表は、船舶設計に与える影響が大きく対応が求められているところ、世界に先駆けて AIS データを活用して実遭遇海象を推定する手法を示した意義は大きい。

- ◎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。
- CFD を用いた荷重推定法は近年各国で着目されており、今後のさらなる適用により国際競争力向上につながると考える。
- 粒子法境界条件について国際会議に発表した論文が学会委員会からジャーナル論文（IJOPPE）に推薦され

- たため、成果が国際的に認められと考える。今後のさらなる適用により国際競争力向上につながると考える。
- 船体の動的最終強度に関する学会誌（Journal of Offshore Mechanics and Engineering）に、査読付き英語論文として Accept されたため、成果が国際的に認められと考える。
 - ハルモニタリングデータや AIS データ波浪データ等のビッグデータを利用した新しい構造設計手法の構築が実現可能になっており、世界に先駆けて設計手法を構築することが国際競争力の向上に直結する。データに基づく設計手法の構築には、構造強度分野の研究だけでなく多岐の研究分野と連携が必要となるところ、本研究は既にこれを達成しており、手法構築の実現に最も近い立ち位置にある。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

- ビッグデータを活用した次世代の船舶設計及び規則に対する先行例を示すため、ここ数年で蓄積された AIS データを用いて船舶の遭遇波浪の実態を明らかにし、信頼性設計や規則に資する波浪確率モデルを構築した。

研究主任者による自己評価	S
--------------	----------

- 荷重構造一貫解析システム（DLSA）の社会実装、及び実船モニタリングプロジェクトを通じた船上モニタリングシステムの開発利用等、長期ビジョンの実現に向けて着実に成果を出している。また、信頼性評価手法に基づく設計荷重設定手法の確立や、2 軸応力場での疲労寿命推定、繰り返し座屈による崩壊シミュレーション、弾性模型等、個別の要素技術においても最先端の研究を行い、タイムリーに成果を公表している。これらに代表される成果は、安全運航支援と設計革新を同時に達成する新しい手法として開発が期待される船体構造デジタルツインに必要な要素技術であり、重点研究において技術を集約しかつ深化させたことの意義は大きい。
- 以上より、自己評価は「S」と考える。

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☆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	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重・構造強度評価システムのベシックデザインを決定するため、プロトタイプと各要素技術モジュールとの摺合せを行う。特に縦曲げ最終強度の成果を体系化された荷重・構造強度評価システムに反映するための検討を行う。これまでに開発した DLSA-Basic の高度化や極限海象に対応した DLSA-Professional の開発を行う。さらに、昨年度開発した船体構造モニタリングシステムのプロトタイプを基に、船体構造モニタリングガイドラインの草案を策定する。等 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発 －衝突回避装置の開発に関する研究と緊急自動衝突回避システムのプロトタイプの評価、操船要素を考慮した危険性評価手法の検討、乗揚げ事故分析に基づく損傷実態の把握を行う。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

- 液化水素運搬船及び低引火点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その影響評価法に関する研究

研究目標

- 新規貨物・燃料を扱う船舶と海上交通のリスク評価手法（以下を含む）を開発。
 - ・ 新規貨物・燃料に係るハザードと対策の明確化
 - ・ 可燃性ガス等の漏洩の際の拡散状況と被害の予測手法
 - ・ 安全対策の実施に係る費用対効果の評価手法
 - ・ 新規貨物・燃料を扱う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
- 現在の交通に対する問題点の特定と安全目標の立案に必要なツール群を開発。
 - ・ 準ふくそう海域等における交通流制御規則の設計手法
 - ・ 交通流制御規則適用時の交通の予測とその際の安全性評価指標
 - ・ 実際の海域における新たな交通流制御規則

上記成果は、リスクベース船舶設計ガイドライン等の実用化、安全基準により、新燃料輸送船等の安全が確保され、水素社会等の実現に向けた輸送体系の確立が期待される。また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、安全安心な社会の実現も期待される。

平成 30 年度の研究内容

- 低引火点燃料に関連する陸上等の事故事例の収集

低引火点燃料に関連する陸上等の事故事例や LNG との物性の相違等について情報収集し、事故事例等の情報を整理する。
- 低引火点燃料船の事故による燃焼範囲の定量解析数値モデルの開発

低引火点燃料漏えいに伴う機関室等の換気解析を対象として最適なモデル定数等の検討を行う。
- 火災・爆発による被害度影響評価基盤技術の整備のため、液化水素運搬船の船体構造に係るリスク評価基準・ガイドラインの詳細調査を行い、液化水素漏洩時の被害度影響評価法の基盤技術を整備する。

液化水素運搬船の解析モデル作成のため、液化水素漏洩時の船体構造に係るベイジアンネットワークモデルを検討する。
- 当該年度の対象海域における衝突の要因となる問題点の抽出と、危険を緩和しうる改善策の影響評価を行うとともに、近年導入された安全対策による船舶交通の変化を調査し、安全阻害要因を調査する。

平成 30 年度の実績

- 低引火点燃料に関連する陸上等の事故事例の収集として、IHS 海難データを詳細に分析し、液化ガス運搬船の海難事故頻度解析および事故シナリオ分析を行った。
- 低引火点燃料船の事故による燃焼範囲の定量解析数値モデルの開発として、次世代の低引火点燃料として期待される LPG に着目し、米国 NIST が開発した 3 次元 CFD コード Fire Dynamics Simulator を用いて機関室内での燃料漏えい事象に関する換気シミュレーションを実施した。加えて、液化ガス運搬船から海上へ貨物が漏えいした場合を想定し、浅水方程式を支配方程式とする浅層モデルを用いたガス拡散シミュレーション手法の開発を行った。
- 爆発による被害度影響評価手法の基礎検討並びに実船液化水素運搬船モデルの作成
- 水素爆発による被害度影響評価に係る 3 社（川崎重工、NK、海技研）連携体制の構築
- 平成 30 年(2018 年) 1 月に運用が開始された伊豆大島西岸沖海域の推薦航路における船舶交通の変化を分析し、前年度に立案した潮岬沖の整流化案へフィードバックした。整流化案下での交通状況をシミュレーションし、安全性および経済性による影響評価をもとに最適案を選定した。
- 平成 30 年(2018 年) 5 月に発生した衝突事故について、CREAM 分析手法および状況認識の評価による人的要因に起因する事故の総合的な分析手法を構築した。

平成 30 年度の研究成果

- 低引火点燃料に関連する陸上等の事故事例の収集
 - * 液化ガス運搬船の事故発生頻度の推定のため、既存の船舶のうち、LNG 船について IGC コード適用前の船舶と IGC コード適用後の船舶を対象として IHS 海難データを分析し海難発生頻度を算出した(図 1)。
 - * IHS 海難データを詳細に分析し、LPG 燃料船等の新形式船のリスク解析に適用が可能な事故シナリオを構築した(図 2)。
- 低引火点燃料船の事故による燃焼範囲の定量解析数値モデルの開発

- * 機関室内での LPG 燃料ガス漏えい事故を想定した換気解析シミュレーションを行った結果、検討した事故シナリオおよび換気設計において、現状の IGF コードで要求される換気風量を満足しているにもかかわらず漏えいガスが滞留することがわかった。換気口の向きを変えた場合の結果に差異があったことから、燃料ガス漏えい対策には換気風量のみでなく換気の気流設計が重要となることが分かった（図 3）。
- * 液化ガス漏えい拡散評価のための浅層モデルでは、単純な水のダムブレイク問題を解くための Hyper-WAT コードに、液化ガス雲が周囲の空気を連行する効果や摩擦項を支配方程式のソース項として与えてフラクショナルステップ法で解くことで、空気より重いガスの重力流に特有の物理現象を考慮することができるようになった。しかし、既存のアルゴンガスを用いたダムブレイク実験の結果を忠実に再現するには至っておらず、引き続き改良を行っていく（図 4）。

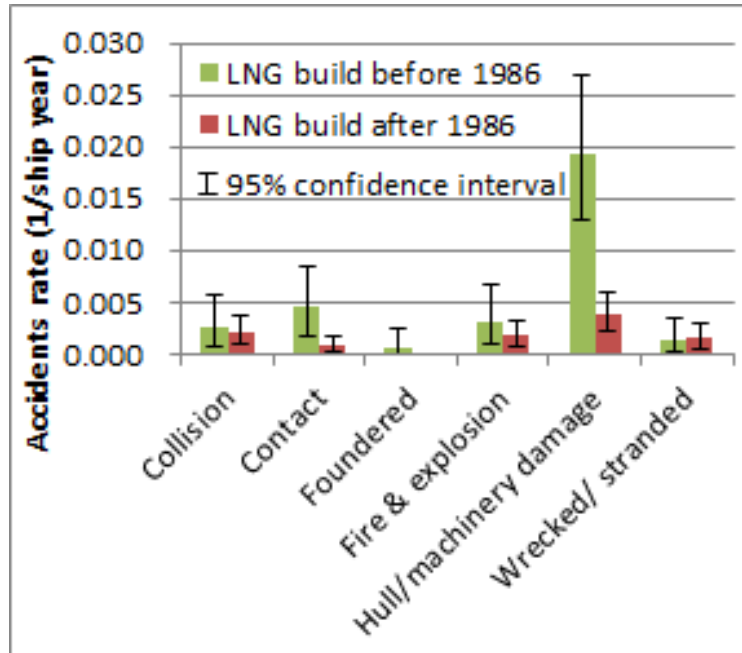


図 1 IGC コード適用船/非適用船の事故発生頻度解析結果

Seq.	1st Event		2nd Event		3rd Event		4th Event		5th Event		Total num. of sequences	Total fatalities [persons]	Total vol. of spillage of hazardous substances [ton]
	Type	Place	Type	Place	Type	Place	Type	Place	Type	Place			
1	Capsized	Hull/Ship									2	17	0
2	Collision	Hull/Ship	Foundered	Hull/Ship							3	17	1,014
3	Fire	Other Space									5	13	0
4	Capsized	Hull/Ship	Stranded/ Wrecked	Hull/Ship	Part Submerged	Hull/Ship	Foundered	Hull/Ship			1	10	11
5	Foundered	Hull/Ship									10	10	0
6	Explosion	Hull/Ship	Fire	Hull/Ship							2	8	0
7	Capsized	Hull/Ship	Foundered	Hull/Ship							1	7	0
8	Spark (Gas Cutting or Welding)	Hull/Ship	Explosion	Hull/Ship	Fire	Hull/Ship					1	6	0
9	Burst	Cargo Pump									1	6	0
10	Explosion	Cargo Area	Fire	Cargo Area	Fractured	Hull/Ship					1	5	0
11	Fire	Engine Room	Fire	Super-structure							1	5	0
12	Explosion	Cargo Pump	Fire	Cargo Pump							2	4	0
13	Explosion	Hull/Ship									3	4	0
14	Fire	Hull/Ship									10	4	0
15	Listed	Hull/Ship	Foundered	Hull/Ship							2	4	0
16	Explosion	Super-structure	Breakdown	Hull/Ship	Disjoined/ Parted	Hull/Ship					1	3	0

図 2 IHS データに基づく事故進展シナリオの分析結果 (LPG タンカー)

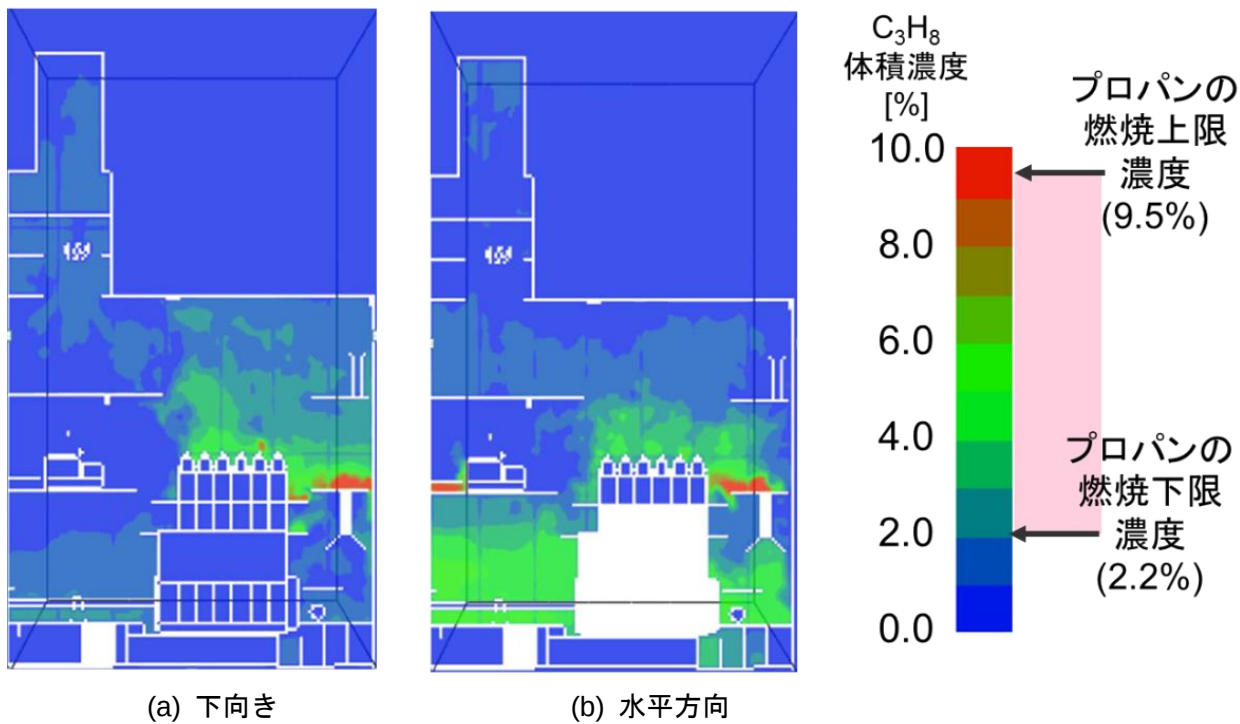


図 3 換気風吹き出し口の方向によるプロパンガスの滞留の様子

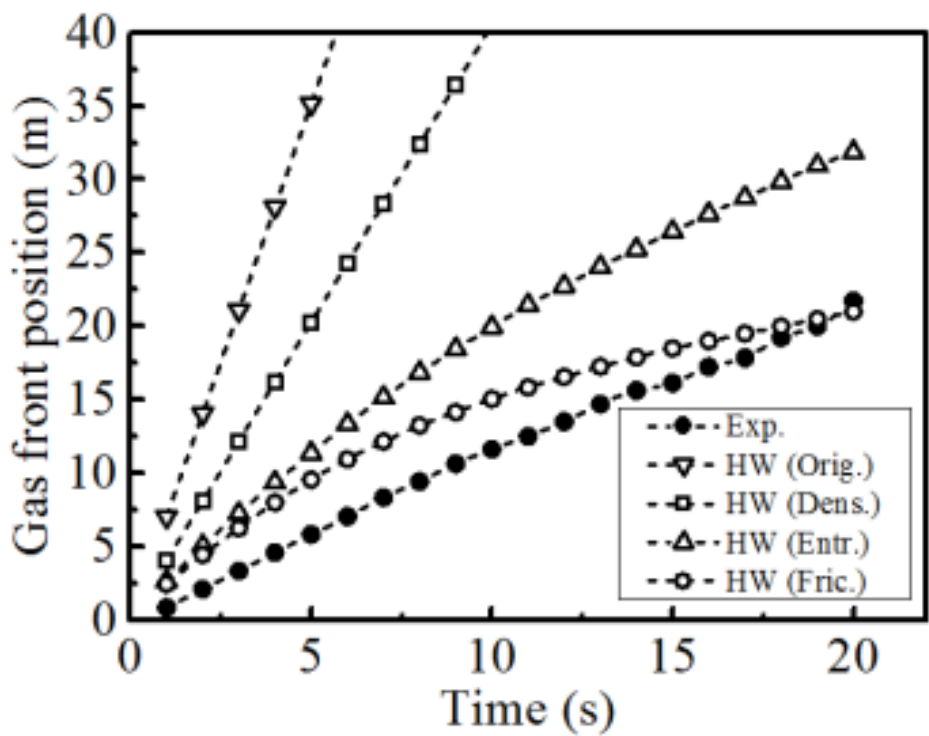


図 4 浅層モデルによるアルゴンガス拡散評価の比較

□爆発による被害度影響評価手法の基礎検討並びに実船液化水素運搬船モデルの作成

- * 液化水素運搬船における水素爆発のリスク定量化のために、爆発解析に特化した手法である PBM (Particle Blast Method) 法による解析の有用性を検証した。PBM 法を用いて防撓パネルから一定距離 (0.5m) 離れた位置で爆発した場合の試験解析 ((図 5~図 7)) を実施し、解析手法の定性的な有効性を確認した。今後、本手法を実船モデルに適用し、実船体での被害度影響評価を検討する。
- * 被害度影響評価用の液化水素運搬船 (実船第 1 号 川崎重工業建造中) モデルの作成 (図 8)

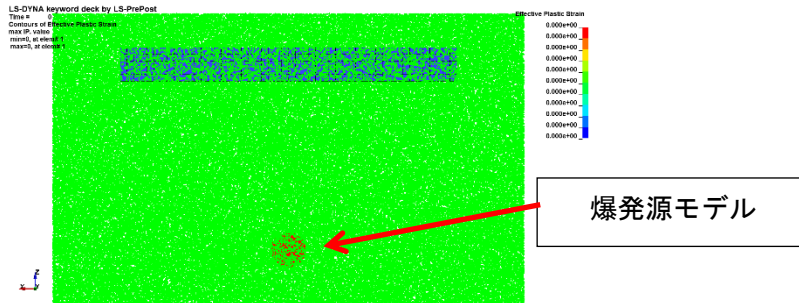


図 5 PBM (Particle Blast Method)法における粒子と構造物モデル

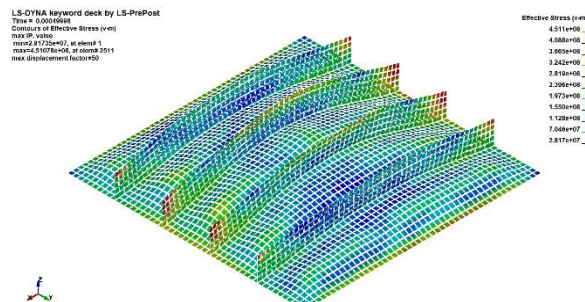


図 6 爆破解析による Von Mises stress 分布 (変形量 20 倍表示)

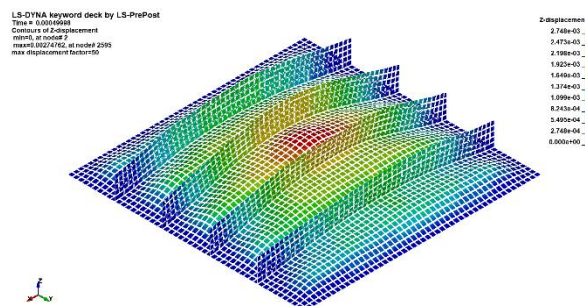


図 7 爆破解析による防撓板の面外変形量コンター図 (変形量 20 倍表示)



図8 液化水素運搬船（2020年に建造する予定のPilot船）の実船モデル
（イメージ図（HySTRAより））

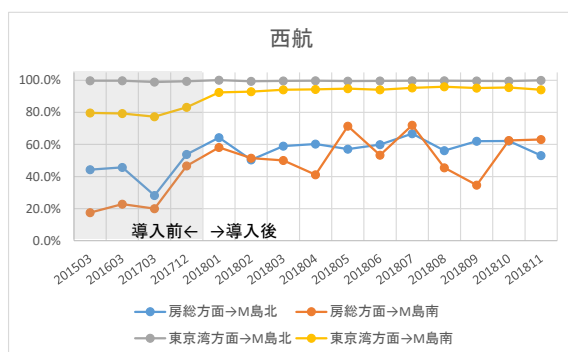
□平成30年(2018年)1月に運用が開始された伊豆大島西方海域の推薦航路における船舶交通の変化を分析した。

- * 航路の遵守率および遵守率に影響する要因を分析した。図9は、東西方向別の推薦航路入口地点における右側通航遵守率の変化である。多少増減はあるが、運用開始直後から遵守率はほぼ一定であり、時間経過はほとんど影響しないことがわかった。
- * 遭遇頻度およびOZTにより、推薦航路導入前後の危険状況の変化を分析した。図10は導入前の状況、図11は導入後の状況である。月別で変動はあるものの、遭遇頻度およびOZT発生頻度ともに高頻度の範囲が狭くなる、もしくは頻度が低くなるなど、一定の効果が確認できた。
- * 推薦航路導入前の通航位置からの変移量および変針点数が遵守率に大きく影響することがわかった。

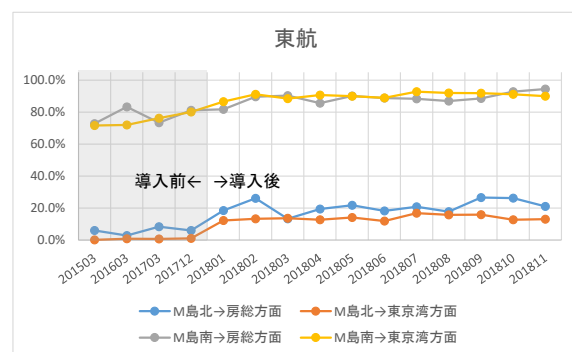
□整流化案下での交通流の将来予測に基づくシミュレーションを行い、遭遇頻度およびOZTによる影響評価に基づき最適案を選定した。

- * 伊豆大島推薦航路で観察された結果を前年度に立案した潮岬沖の整流化案へフィードバックし、前年度に設計した整流化案を再検討した。
- * 整流化案を導入した場合の予測交通下でのシミュレーションを実施し、安全性および経済性の両面から整流化案の効果の検証を行い最適案を選定した。遭遇頻度およびOZTによる安全性評価では、整流化案により現状よりも危険な状況が緩和されることが確認できた。図12は、漁船が存在しない状況での反航船の遭遇頻度分布図である。

□平成30年(2018年)5月に発生した衝突事故について、一般的な人的要因の解析手法であるCREAM分析手法に、AISデータ等の航行状況情報から得られる状況認識評価を合わせて人的要因に起因する事故を総合的に分析する手法を構築した。図13は本手法で用いられる情報と主な分析内容を示す。

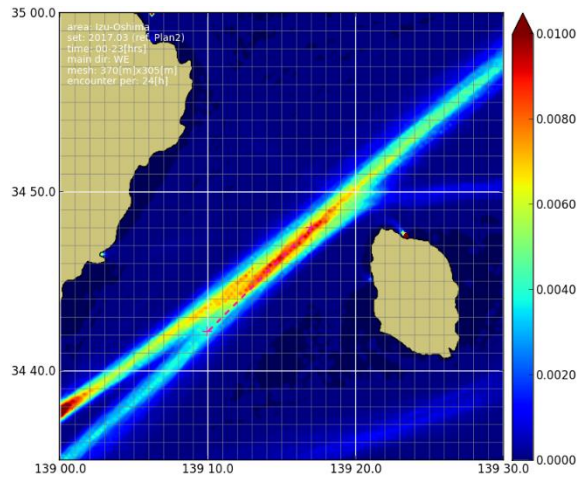


(a) 西航船

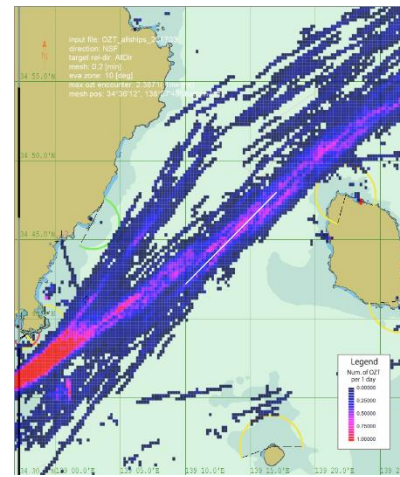


(b) 東航船

図9 推薦航路入口地点での右側通航遵守率の変化

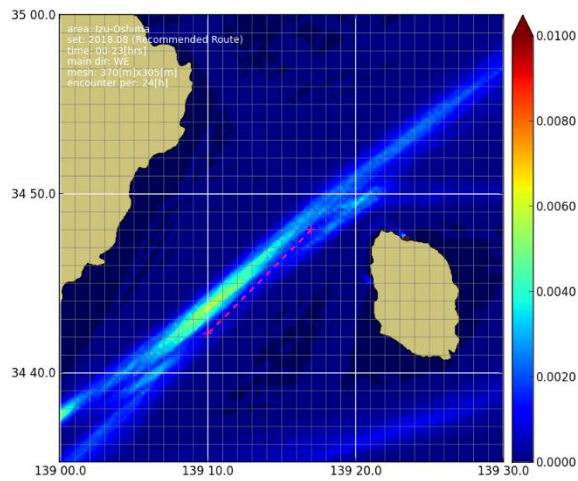


(a) 反航船の遭遇頻度分布図

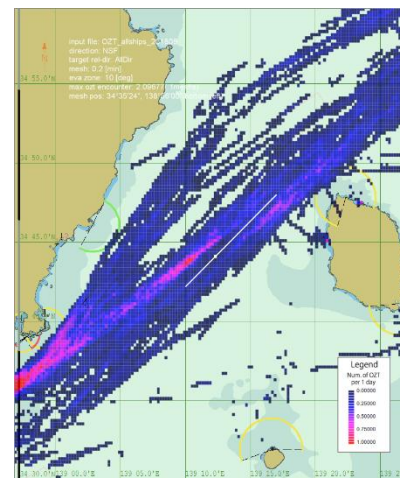


(b) OZT 発生頻度分布図

図 10 推薦航路導入前の危険状況（分析期間：20170301-0331）

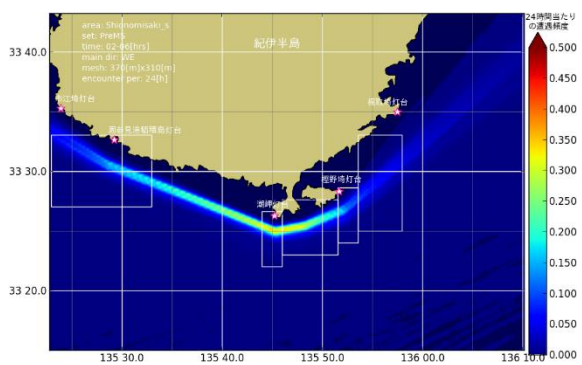


(a) 反航船の遭遇頻度分布図

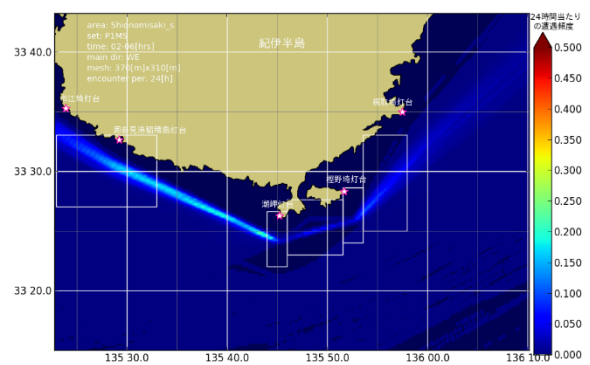


(b) OZT 発生頻度分布図

図 11 推薦航路導入後の危険状況（分析期間：20180801-0831）



(a) 遭遇頻度分布 [現状・漁船なし]



(b) 遭遇頻度分布 [最適案・漁船なし]

図 12 遭遇頻度による整流策の効果の検証

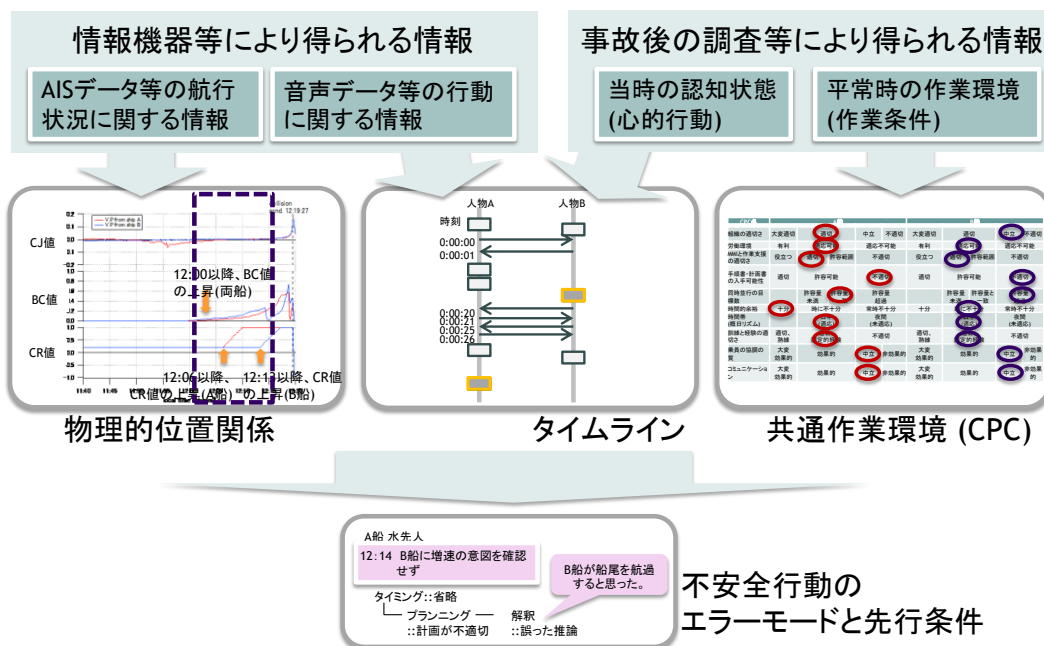


図13 人的要因に起因する事故分析手法

成果の公表

論文・講演論文合計 31 件（うち査読有 12 件（うち投稿中 5 件））

□論文 7 件

- * 木村新太. 船舶火災のリスクアセスメントについて, 日本火災学会誌, 第 68 巻, 4 号, 2018. (査読有)
- * 伊藤博子, 南真紀子, 山本聖子, 牧野真人. コンテナ船衝突事故に係る認知行動分析, 日本航海学会論文集 (査読有) (投稿中)
- * 三宅里奈, 伊藤博子, 山本聖子, 牧野真人. コンテナ船衝突事故に係る状況認識の評価, 日本航海学会論文集 (査読有) (投稿中)
- * 宋彬冰, 伊藤博子, 川村恭己, 福戸淳司. 海上交通管制業務における管制官の管制過程に関する分析, 日本航海学会論文集 (査読有) (投稿中)
- * T. Yuzui and F. Kaneko. Frequency versus Tons of Oil Spilt Curve of Oil tankers using an Enhanced Power Law Distribution, Journal of marine science and technology (JMST) (査読有) (投稿中)
- * H. Oka and Y. Oka. Analytical Study of Fire-Induced Ceiling Flow in a Rectangular Corridor, Applied Thermal Engineering (査読有) (投稿中)
- * Y. Oka, H. Oka and M. Iizuka. Experimental Study of Fire Plume above a Fire Source with Simple Harmonic Oscillation in Horizontal Direction, Fire technology, Vol. 55, Issue 3, pp.875–902 (査読有)

□講演 24 件（内査読有 5 件）

- * 柚井智洋. 世界的な海難統計に基づく海域別海難特性の分析, 日本船舶海洋工学会春季講演会論文集, 第 26 号, 2018.
- * T. Yuzui and F. Kaneko. Development of accident scenarios by analysis of historical data on ship accidents, Proceedings of the 7th International Maritime Conference on DESIGN FOR SAFETY, pp.138-147, 2018. (査読有)
- * Junichi KUDOU, Tomohiro YUZUI. Accident analysis of liquefied natural gas carriers using historical data on ship accidents, Proc. of the 16th IAIN World Congress 2018, D7-2, 2018. (査読有)
- * 木村新太, 岡秀行, 岡泰資. 浅層モデルに基づく高密度ガス拡散簡易評価モデルに関する研究, 第 51 回安全工学研究発表会講演予稿集, 2018.
- * 木村新太, 岡秀行, 岡泰資. 高密度ガス拡散評価のための数値解析に関する研究, 安全工学シンポジウム 2018 講演予稿集, 2018.
- * 木村新太, 工藤潤一, 柚井智洋, 岡秀行, 伊藤博子. 代替燃料使用に伴う漏えいガスの換気解析評価, 海技研究発表会講演集, 2018.
- * 河島園子, 川村恭己, 伊藤博子, 福戸淳司. 輻輳海域における船舶遭遇頻度の推定手法の開発, 日本船舶海洋工学会春季講演会講演論文集, 第 26 号, 2018.
- * 伊藤博子, 南真紀子, 山本聖子, 牧野真人. コンテナ船衝突事故に係る認知行動分析, 日本航海学会春季講演会予稿集, 2018.
- * 三宅里奈, 伊藤博子, 山本聖子, 牧野真人. コンテナ船衝突事故に係る状況認識の評価, 日本航海学会春季

講演会予稿集, 2018.

- * 宋彬冰, 伊藤博子, 川村恭己, 福戸淳司. 海上交通管制業務における管制官の管制過程に関する分析, 日本航海学会春季講演会予稿集, 2018.
- * 伊藤博子, 三宅里奈. 伊豆大島西方の準ふくそう海域における推薦航路について. 電子研研究発表会, 2018.
- * 伊藤博子, 三宅里奈. 伊豆大島西方沖の AIS 仮想航路標識による推薦航路の指定ー 技術的側面からみた構築までのプロセス, 日本航海学会 航海功績賞受賞講演, 2018.
- * 三宅里奈, 伊藤博子, 齊藤詠子. 推薦航路による安全性評価のための要素技術の開発, 海技研研究発表会講演集, 2018.
- * Hiroko Itoh. Risk Management & Vessel Traffic, IALA IWRAP Seminar, 2018.
- * Bingbing Song, Hiroko Itoh, Yasumi Kawamura, Junji Fukuto. Analysis of Cognitive Processes of Operators of Vessel Traffic Service, Proc. of the 16th IAIN World Congress 2018. (査読有)
- * 三宅里奈. 伊豆大島西岸沖の推薦航路の導入に伴う船舶交通の変化, 日本航海学会 海上交通工学研究会, 2019.
- * Y. Oka and H. Oka. Temperature and velocity distributions within a ceiling -jet along a flat-ceilinged horizontal tunnel with natural ventilation, Proc. of the 9th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. (査読有)
- * A. Tanno, H. Oka and Y. Oka. Simple Prediction Model for Temperature Attenuation of Fire-Induced Ceiling Flow in Consideration of the Side Wall Effects along a Flat-ceilinged Tunnel, Proc. of the 12th Asia-Pacific Conference on Combustion. (査読有) (掲載予定)
- * 岡秀行, 岡泰資. 矩形通路の側壁影響を考慮した天井流の簡易モデル, 日本火災学会研究発表会概要集, 2018.
- * 須賀龍之介, 岡泰資, 岡秀行. 軸方向に細長い空間で火災が発生した場合の熱気流挙動に関する数値解析, 日本火災学会研究発表会概要集, 2018.
- * 岡泰資, 岡秀行. トンネル火災時に形成される天井流内の分布性状, 日本火災学会研究発表会概要集, 2018.
- * 新谷祐介, 岡秀行. ゼロ方程式乱流モデルを用いた単室内の煙流動解析, 日本火災学会研究発表会概要集, 2018.
- * 丹野碧, 岡秀行, 岡泰資. 矩形通路の側壁の影響を考慮した天井流の温度減衰簡易予測式の提案, 第 51 回安全工学研究発表会講演予稿集, 2018.
- * 岡秀行, 岡泰資. 天井流の簡易理論モデルにおける壁面摩擦係数の影響, 安全工学シンポジウム 2018 講演予稿集, 2018.

□受賞

- * 航海学会航海功労賞「伊豆大島西岸沖の AIS 仮想航路標識による推薦航路の指定」(海保・海技研・日海防の3組織で受賞)
- * 日本マリンエンジニアリング学会技術賞「車両積載区画を模擬した可燃性ガス風洞における水素の移流拡散シミュレーション」(岡秀行, 太田進, 他2名)

□国際貢献

- * NCSR 6/INF.7 Routeing measures and mandatory ship reporting systems, Result of the questionnaire survey on the recommended route off the western coast of Izu Oshima Island (2019.1)

□プログラム登録

- * 単振動する火源上の火炎プルームの性状予測プログラム (P 第 10849 号-1, 平成 30 年 5 月 17 日登録)
- * 斜流に対応した矩形物体周りの風速場簡易推定プログラム (P 第 10950 号-1, 平成 31 年 3 月 29 日登録)

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。
 - 水素社会の実現や代替燃料への対応は、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、新規技術システムの安全に寄与するものである。
 - 海上保安庁が 2013 年に示した第 3 次交通ビジョンの準ふくそう海域の安全対策の一つに相当するものであり、衝突多発海域である潮岬沖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。
 - 事故発生頻度データや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い状況にあり、本研究成果はこれに寄与するものである。
- 同様に、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。

□実際に運用が開始された推薦航路での分析結果をフィードバックすることにより、整流化案の設計法および交通の将来予測法をより一般的な手法として再構築できた。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□低炭素社会に向けた水素利用技術や、代替燃料対応は国際的に早急な対応が求められている。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、伊豆大島に引き続き実運用を目指すものであり、海上保安庁が2013年に示した第3次交通ビジョンの計画年度内に研究成果を創出できた。

◎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。

□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

□該当しない

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□事故発生頻度データや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い状況にあったが、本研究により整備が進んだ。数値シミュレーションを用いた換気解析を始めとする解析技術の開発により、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適用でき、設計段階での評価に使用できるようになり、その成果は大きいと考える。

□火災・爆発による被害度影響評価基盤技術の整備は全体的に遅れていたが、解析モデル、解析手法が整備された。特に、仮の船体モデルではなく、液化水素運搬船（世界初）の実船モデルが入手できたことの意義は大きい。実船モデルを用いて、被害度影響評価できることが大きいと考える。液化水素運搬船のガイドラインの将来の改正に備えて、造船所・NKとも連携して、今後意義のある解析を実施していくこととしたい。解析手法については、今後妥当性の検証を含めた bursh up が必用であり、研究課題となる。

□海上交通に関しては、初年度からの取り組みが実を結び推薦航路の運用が開始されたため、今年度はその分析結果をフィードバックすることにより、整流化案の設計法および交通の将来予測法をより一般的な手法として構築することができた。これにより、今後はより高精度な予測に基づく推薦航路の設計が可能となり、その成果は大きいと考える。

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	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重・構造強度評価システムのベーシックデザインを決定するため、プロトタイプと各要素技術モジュールとの摺合せを行う。特に縦曲げ最終強度の成果を体系化された荷重・構造強度評価システムに反映するための検討を行う。これまでに開発した DLSA-Basic の高度化や極限海象に対応した DLSA-Professional の開発を行う。さらに、昨年度開発した船体構造モニタリングシステムのプロトタイプを基に、船体構造モニタリングガイドラインの草案を策定する。等 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発 －衝突回避装置の開発に関する研究と緊急自動衝突回避システムのプロトタイプの評価、操船要素を考慮した危険性評価手法の検討、乗揚げ事故分析に基づく損傷実態の把握を行う。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

- 衝突回避能要件の研究
- 荒天下の操船安全性に関する研究 □ 船舶交通流の制御とその影響評価法に関する研究
- 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

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、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期待される。また、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強化へと繋がり得る。

平成 30 年度の研究内容

- 基本性能と停止性能の関係の解析
- 荒天下操船運動評価テストプログラムの改良と波漂流力推定法の信頼性調査
- 衝突回避装置の開発に関する研究と低速時に有効な変針手法・装置の検討および通常航行時の旋回性能向上手法・装置の検討
- 緊急自動衝突回避を用いたシステムのプロトタイプの評価
- 操船要素（船速、針路）を考慮した運航危険性の評価手法の検討及び遠隔計測等による船体運動状況分析システムの検討
- 貨物船・タンカー等の乗揚げ事故分析に基づく損傷実態の把握と損傷モデルの検討及び損傷船舶の波浪中運動の推定法の検討

平成 30 年度の実績

- 停止基準と機関出力の関係について分析をおこなうとともに新たな事故データを加えてこれまでの分析結果を確認した。研究成果を海技研究発表会と国際会議(International Design Conf.)において発表した。
- 船体動揺を含めた波浪中の操縦運動を評価するための確立された計算法は未だなく、さらに模型実験による十分な検証がなされた研究例は少ない。計算法の基礎は前年度までに提案しているが、本年度の研究で行った改良により、非線形の船体動揺の概略の評価を可能としつつ、操縦運動時の航跡も概ね推定できるようになった。波漂流力の斜航影響を実験的に明らかにし、更にその影響が実船の操縦運動推定に与える影響についてまで明らかにした。
- 旋回性能の向上を目的とした装置について調査をおこない、旋回性能を向上させる手法の検討を行うとともに既存の手法を参考に低速時に有効な変針手法について検討をおこなった。
- 緊急自動衝突回避システムについて、実際に発生した衝突海難の見合い関係を参考としたシナリオを作成し、操船シミュレータを利用した実験により、プロトタイプの評価を行った。
- 運航危険性の評価手法として復原性に起因する海難事故事象の 1 つである過大加速度の長期超過確率を、不規則波中時間領域計算を用いた超過回数（直接カウント法）を用いて算出する手法を示した。研究成果は国際会議（STAB2018）において発表し、また IMO で審議中の第 2 世代非損傷時復原性基準に関してレポートを提出した。運航状況の危険性を評価し、操船支援に活用することを目指した遠隔計測等による船体運動状況分析システムに必要な構成要素を検討し、その結果等を基に同システムの概念設計を行った。
- 日本近海で発生した貨物船・タンカー・旅客船の乗揚げ事故に関する運輸安全委員会の事故調査報告書から、衝突状況、損傷状況と船体規模や航海速力に関するデータを抽出・分析した。また、損傷船舶の波浪中運動を重量付加法の考えで損傷区画の自由水影響を考慮して推定する手法について検討を行った。

平成 30 年度の研究成果

- 船の停止運動を直線等減速運動と見なして単純化した上で、停止基準値として初速 12kn の停止距離を設けた場合、どれくらいの機関出力が必要となるかを既存船のデータをもとに推定した(図 1)。
- 前年度までに作成した荒天下の操船評価のための操縦運動を含む 6 自由度波浪中船体運動計算法に関して、非線形の波浪強制力を考慮できるように計算法を改良した。また、過去に実施したタンカー模型船の規則波中旋回試験結果との比較からその妥当性を明らかにした(図 2)。斜航状態による波漂流力の影響を拘束模型試験により調査した(図 3)。また、平水中の 3 自由度操縦運動計算法に波の影響として波漂流力のみを考慮した既存の数値計算法を用いて、波漂流力の斜航影響の考慮の有無による定常航行状態推定への影響を調査し

た。その推定結果を過去の自由航走試験結果と比較することで、実船の自航点では波漂流力の斜航影響を考慮することで計算精度が向上することが明らかとなった(図4)。

□旋回性能を向上させる手法として、高揚力舵を装備する手法が多く用いられていたが、通常の航行では必要以上の舵直圧力は不要なため、高揚力舵を装備する場合には舵面積を小さくして舵抵抗の抑制を行うことが多く、そのため、高揚力舵を装備しているからと言って、一概に旋回性能が良いとは限らないと考えられる。これらの検討結果から衝突回避に限定すると針路を短時間で変更することが有効と考えられたため、旋回初期段階での回頭角速度を向上させることが重要であることがわかった。

□緊急自動衝突回避システムのプロトタイプの評価のために、実際に発生した衝突海難を調査し、操船シミュレータのシナリオに組み込んだ。そのシナリオを用いて、自船について、緊急自動衝突回避システムを適用した実験を行った。図5は最接近点まで1kmを切り、また、最接近時間(TCPA)まで3分を切った際に緊急自動衝突回避システムが作動した場合の航跡を示す。

□不規則波中の横加速度について不規則波中時間領域計算と模型実験を実施し、超過確率を両者の時系列データを用いて閾値を超過する回数をカウントする方法(直接カウント法)と分散値を用いた場合と比較した(図6)。両者の直接カウント法による超過確率はほぼ同じ値になっているが、直接カウント法による超過確率は、Rayleigh分布を仮定してその分散値から求めた超過確率より小さくなる傾向が見られ、分散値から求めた超過確率の方が安全側評価となることを示した。また、操船要素となる船速(低速)を有する場合の不規則波中船体運動計測を実施した結果、停止時と差がないことを確認した。

□500GT以上の貨物船の航行中の乗揚げ事故(52隻)の乗揚げ時の速力と損傷程度の相関を分析してこれらの関係を明らかにした(図7)。

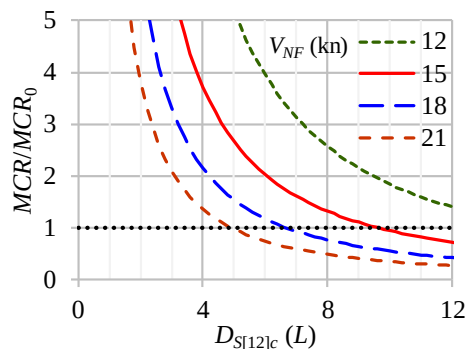


図1(右): 初速 12kn における停止距離(停止基準値($DS_{[12]c}$, 単位: 船の長さ(L))とこれを満足するために必要な機関出力ともとの機関出力の比(MCR/MCR_0)の関係(線の種類は船の航海船速の違いを表す。)

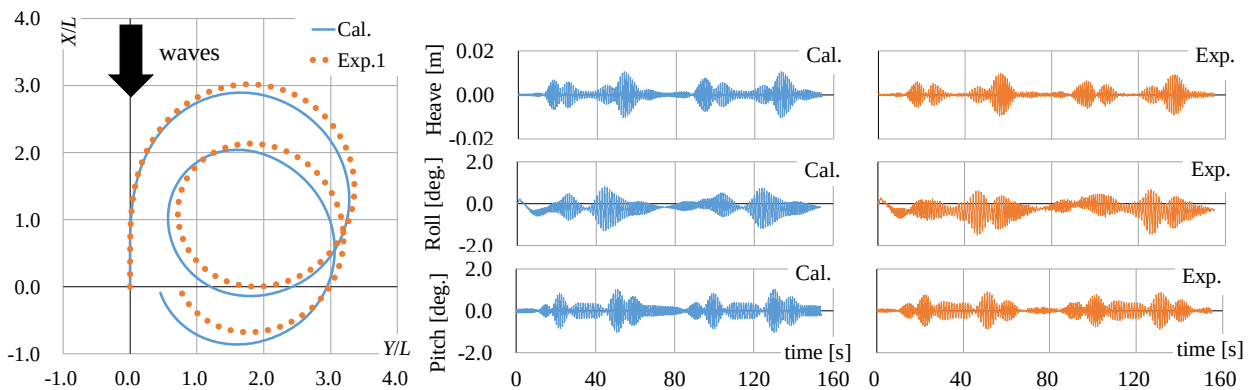


図2: タンカー船(KVLCC1)の規則波(波高船長比=1/100, 波長船長比=0.5, 操舵開始時正面向波)中右 35° 旋回試験の比較

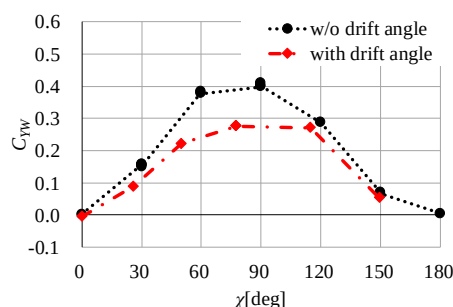


図3: タンカー船型(KVLCC1)に対する波漂流横力の斜航影響(規則波, 波高船長比=1/58, 波長船長比=0.4)

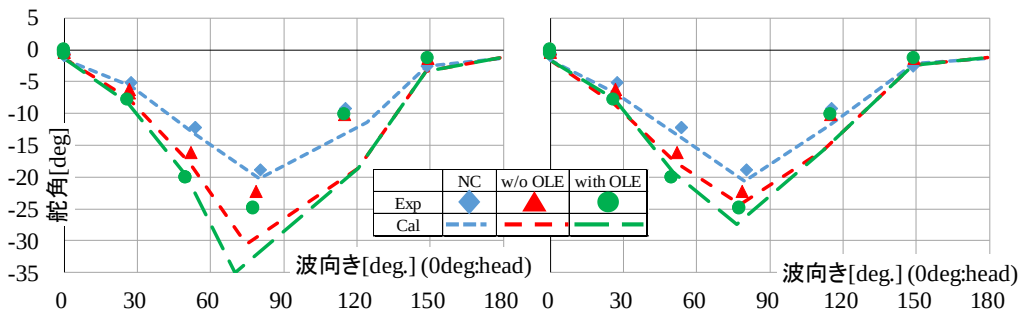


図 4 : タンカー船型(KVLCC1)に対する規則波中(波高船長比=1/58, 波長船長比=0.4)定常航行状態における舵角の推定に与える波漂流力の斜航の影響(左図の線が直進状態の波漂流力計測値を用いた推定値、右図の線が斜航状態の波漂流力計測値を用いた推定値を示す。青が模型船の自航点、赤が実船の自航点で主機の制限を考慮していない状態、緑が実船の自航点で主機の制限を考慮した状態を意味する。右図の推定値が自由航走試験結果(点)によく一致していることから、波漂流力の斜航影響を考慮する必要があることを確認できる。)

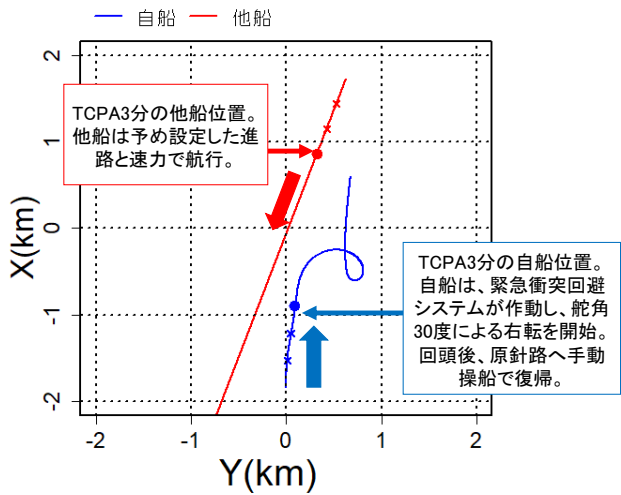


図 5 : 緊急自動衝突回避システムの効果(最接近点まで 1km・最接近時間(TCPA)まで 3 分を切った場合)

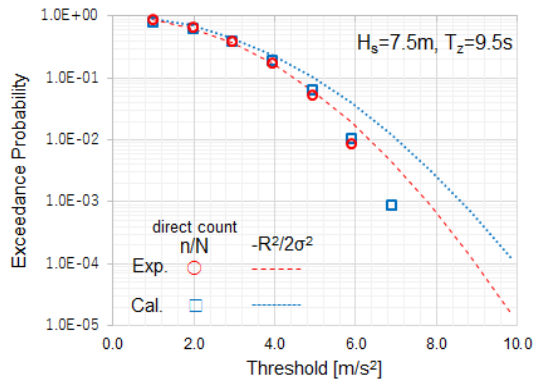


図 6 : 横加速度の閾値と超過確率の関係

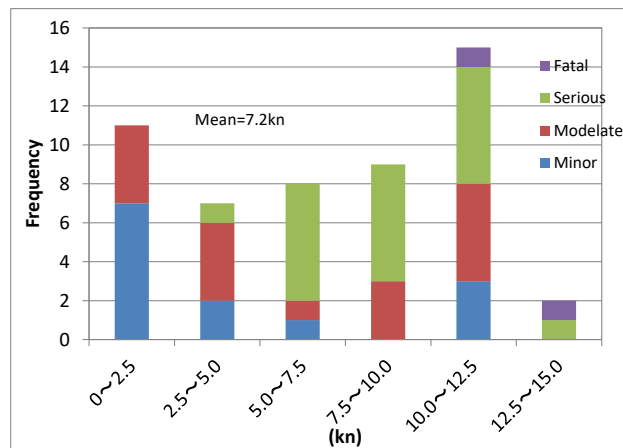


図7：乗揚げ時の速力と損傷程度の関係（Minor：外板擦過傷、Moderate：外板亀裂・凹損、Serious：外板破口、Fatal：船内区画浸水及び転覆・沈没）

成果の公表

□ 発表論文

・ 査読論文誌

- (1) Suzuki R. et al., Estimation of full-scale ship manoeuvring motion by free-running model test with consideration of the operational limit of an engine, Ocean engineering, 172, 2019.1., pp. 697-711.
- (2) 宮崎英樹ほか，斜め追い波を航行中の高速 RO/RO フェリーの大傾斜の発生状況について，日本船舶海洋工学会論文集，28，2019，pp. 45-52.
- (3) Ueno M., Suzuki R., Tsukada Y., Full-scale ship propeller torque in wind and waves estimated by free-running model test, Ocean engineering (掲載決定)
- (4) Kuroda T. et al., Direct Stability Assessment for Excessive Acceleration Failure Mode and Validation by Model Test, Ocean engineering (投稿中).

・ 本文査読付き会議録

- (1) Kuroda T. et al., Direct Stability Assessment for Excessive Acceleration Failure Mode and Validation by Model Test, STAB2018, 2018.9.

・ その他

- (1) 上野道雄，衝突事故を減らすための停止性能基準，海上技術安全研究所研究発表会講演集，18，2018.7.，pp. 84-93.
- (2) 齊藤詠子ほか，スマートフォンから取得した情報による CPA 解析，日本航海学会講演予稿集，6-2，2018.9.，pp. 157-160.
- (3) 齊藤詠子ほか，スマートフォンによる小型船舶の衝突防止に必要な情報の精度評価，海上技術安全研究所研究発表会講演集，18，2018.7.
- (4) 黒田貴子ほか，第二世代非損傷時復原性基準過大加速度モードの直接復原性評価，海上技術安全研究所研究発表会講演集，18，2018.7.
- (5) 鈴木良介ほか，規則波中を旋回する船の波浪動揺と操縦運動推定計算法の一提案，第12回推進・運動性能研究会，2019.2.
- (6) 鈴木良介ほか，規則波中を旋回する船の6自由度船体運動計算，日本船舶海洋工学会講演会論文集，28，2019.6.(予定).

□ プログラム登録

- (1) EMEP 法による方向スペクトル推定プログラム

□ IMO 資料

- (1) Draft interim guidelines on the specification of direct stability assessment procedures, SDC6/5 Annex 1
- (2) Draft interim guidelines on vulnerability criteria for the second generation intact stability criteria, SDC6/5 ANNEX 3
- (3) Summary of results of questionnaire survey for finalizing the draft vulnerability criteria (Levels 1 and 2) for each the five stability failure modes within the intact stability correspondence group, SDC6/INF 3 ANNEX 3
- (4) Summary of decisive questionnaire survey and final outcomes of questionnaire survey for finalizing the draft vulnerability criteria (Levels 1 and 2) for each of the five stability failure modes within the intact stability correspondence group, SDC6/INF 3 ANNEX 4

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。
- 船の衝突事故を減らすことは「安全・安心の確保、環境負荷の低減」につながるものであるが、現行の停止性能基準は必ずしも衝突事故を減らすための基準にはなっていない現状において、本研究は海難事故減少に向けての新たな視点を提供すると考えられる。
- 提案・検証した操縦運動を含む 6 自由度波浪中船体運動計算法や既存の直進時波漂流力推定法の信頼性調査によって実海域環境下での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）において審議中の第 2 世代非損傷時復原性基準の対象とされている 5 つの復原性事故モードの内、過大加速度モードの評価手法を提案し、簡易基準及び直接復原性評価の暫定ガイドライン策定に貢献したことから、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。

- ◎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。
- 船の性能の観点から衝突事故を減らすためにあるべき停止性能基準を論じた研究は初めてと思われる。
- 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を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と考えられる。波漂流力の斜航影響について理論的・実験的に検討した研究は少ないながらも過去に例がある。しかし、その影響が操縦運動推定に与える影響まで明らかにした点に本研究の新規性がある。また、前年度までに提案した自由航走模型試験法との比較により、実船に対する操縦運動推定の影響を明らかにした点に独自性がある。
- IMO の操縦性能基準では航海速力での旋回性能や保針性能のみが規定されており、輻輳海域における船速での性能については問われていない。船舶を短時間で変針させるという性能向上の観点から衝突事故を回避することを目的とした研究は初めてと思われる。
- 避航操船の研究は、これまでも行われているが、相手船との距離が 3 海里前後の場合からの避航開始が多く、異常接近時を対象としたものは少ない。
- 3 時間相当の長時間での不規則波中横加速度を含む運動計測は他に実施されておらず、船の危険性を評価する指標、手法検討時の重要なデータとなる。

- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- IMO の操縦性能基準ができてからも船の衝突・座礁事故は依然として海難事故の半分以上を占めており、長い間その減少が強く望まれている。
- 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インが EEDI 規制 Phase 2 の 2020 年まで延期されることが決まり、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最終化に向けた審議を進めており、研究成果は期待された時期に創出されたと考える。

- ◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
- 海難事故減少に実効性のある基準策定に向けた研究は国際的に見ても意義深く、他に先駆けて本課第 1 期に取り組むことは国際競争力の向上につながると考えられる。
- 波浪中船体運動計算法の模型実験に基づく詳細な検証や直進時の波漂流力推定の信頼性調査は実海域における船の新しい性能推定手法の創出として国際競争力の向上につながると考えられる。

- ◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
- 新たな事故データを加えて新しい考え方の妥当性を確認しながら研究を進めた。
- 波浪中の操縦性能推定は新しい課題ではないものの解決すべき要素が多い課題であるため、最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ます。

研究主任者による自己評価

A

- 衝突事故を減らすための停止性能を船の性能面から分析して新しい停止性能基準の考え方を示したことは実効性のある停止性能基準策定に向けての議論の基礎になると考えられる。至近距離にまで衝突が迫った段階における避航操船手法の研究は自律船等を含めたより船の衝突に対する新たな視点を与える研究になると考えられる。
- 6 自由度の船体運動推定計算において計算結果におよぼす様々な要因を分析的に明らかにしたことは外乱下の船体運動を統一的に取り扱うための推定法の確立に向けての重要な知見になるとともに、最低出力の議論を含む波風が併存する実海域における船の安全性確保に向けての技術の基礎となると考えられる。
- 長時間造波が可能な実海域再現水槽の特徴を最大限に活かした模型実験結果を基にした研究は学術的な成果の創出として意義深いだけでなく、不規則波中横加速度に関する IMO 第 2 世代非損傷時復原性基準の審

議に重要な役割を果たしていることから国際的にも安心・安全な社会に貢献していると考えられる。

研究計画委員会による評価	A
--------------	---

□

研究開発課題	(3) 環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究 (5) 船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発
--------	---

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素 (CO₂)、窒素酸化物 (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。 ①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質 (PM) 等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素 (CO₂)、窒素酸化物 (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。 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 ーテストエンジンを用いた PM 計測結果に基づく PM 排出係数及び組成プロファイルの設定、及びこれらを用いた船舶排出量データの作成を実施する。等 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質 (PM) 等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発 ー排ガス規制に向けた対策技術の動向調査と評価及び規制実施のための計測・分析手法を確立する。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する。具体的には、

- 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

研究目標

- 陸上から個船ごとに SOx 濃度を計測するシステムの開発（不適合油対策）
- 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 規制対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術
- 大気質シミュレーションにより規制の効果を評価。船舶の大気汚染への寄与率を低くするような燃料・運航条件を提案。

上記成果は、2020 年からの燃料の硫黄分規制に対応して、行政、業界の要望に応える形で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ことで、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。また先駆的な技術開発により我が国海洋産業の国際競争力強化へとつながる。

平成 30 年度の研究内容

- 小項目 1：排ガス規制対応のための計測・分析技術の高度化
組成の異なる低硫黄燃料を用いたブラックカーボン（BC）・PM 計測データの最終化と、計測プロトコルを作成する。またこれらの結果をもとに BC 削減技術の総合的評価を行う。遠隔からの SOx 濃度計測システム構築のためのプロトタイプ作製とその検証実験の実施。低硫黄燃料及び PM 組成の評価方法の検討と、燃料の燃焼・排ガス特性への影響を明らかにし、2020 年以降に起こりうる問題点について調査する。
- 小項目 2：排ガス処理技術の高度化に関する研究
今まで行ってきた様々な排ガス処理技術を実船に搭載することを想定して、SOx スクラバを小型化するための技術開発並びに排ガス処理装置の正常な運転を監視するためのシステム開発を行い、それらの技術課題を抽出する。
- 小項目 3：船舶から排出される PM 等の環境影響評価技術の高度化
可搬式 PM 捕集装置を用いて船用ラボ機関を対象に得られた PM 計測データの解析結果を用いて、船舶特有の PM 排出係数及び PM 組成プロファイルを設定し、これらの設定値を用いた船舶排出量データ（アップデート版）を作成する。
- 小項目 4：次世代燃料の燃焼性評価手法の確立
前年度に作成した燃料蒸発モデルについて、広域の周囲温度、圧力条件に対応できるようにモデルの改良を行う。また、現状想定される低硫黄燃料に対して、同一着火性指標燃料の始動時を想定した燃焼試験により、着火性評価を行う。併せて、ガス燃料の耐ノック性の燃料種影響を評価する。

平成 30 年度の実績

- 小項目 1：排ガス規制対応のための計測・分析技術の高度化
 - ・燃料組成の大きく異なる複数の低硫黄燃料油を入手し、船用ディーゼル機関での排ガス計測実験を行った。PM 排出量は高硫黄残渣油から低硫黄燃料油に転換することで大きく削減できる一方で、BC 排出量については、燃料油中の硫黄分とは直接相関はなく、エンジンの形式や仕様、負荷率の影響が大きかった。特に燃料油中の残渣成分が多く、燃焼条件が不十分（低負荷運転時など）であると増加する。
 - ・BC 削減技術について、削減効果だけではなく、船舶への搭載可能性、経済性、安全性、他の排ガス規制への影響等も含めて評価を行った。
 - ・燃料の着火・燃焼性評価試験法である FCA 試験の結果と、上記の実機試験結果との関係についても検討し、その有効性について考察した。
 - ・PM の組成分析法であるサーマルオプティカル法（TOA）について、船用エンジンを排出源とした場合に最も適した分析用昇温プロトコルを考案し、検証した。
- 小項目 2：排ガス処理技術の高度化に関する研究
 - ・総トン数 499～749GT の比較的小型の内航貨物船へのスクラバ搭載を目標とし、スクラバ小型化のための技術的要件を検討した。スクラバの排ガス洗浄方式のうち、並行流ジェット式が小型化を行うために最も適していると考えられた。当所既存スクラバの 1 次洗浄水部分を利用して噴霧条件等を変えた実験を行い、小型スクラバ設計のための基礎データを得た。
 - ・窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)規制など複数の排ガス規制に対応するため、複数の排ガス処理装置を搭載する場合を想定した。これらの装置は長期間の運転が前提のため、それぞれの排ガス処理装置の正常な運転を監視するためのシステムが必要である。このため、各排ガス処理装置の制御システムをネットワークで接続し、一つの制御画面で監視するシステムを開発した。
- 小項目 3：船舶から排出される PM 等の環境影響評価技術の高度化
 - ・ラボ船用ディーゼル機関を対象とする PM 測定・分析結果等に基づき、船舶由来の PM 組成に対して燃料種類や運転条件（機関負荷率）等の諸因子が与える影響について分析し、燃料種類（A 重油、C 重油）の相違が、排出される PM 組成に大きく影響を与える因子であることを確認した。この結果をもとに、燃料種類ごとの PM 組成プロファイルを作成した。SOx, PM, NMVOC（非メタン炭化水素）、CO の排出係数に関する調査結果、及び上記 PM 組成プロファイルを用いて、AIS（船舶位置情報）に基づく船舶排出量データ（2016 年）のアップデート版を作成した。
- 小項目 4：次世代燃料の燃焼性評価手法の確立
 - ・船用燃料の規格において、着火性（セタン指数）は、燃料の蒸発と密度によって評価される。従って、燃料の蒸発性を検討することで、着火に至る燃料蒸発と化学反応時間の関係が明確になると考えられる。本

研究では、実用燃料に適用可能な蒸発モデルの開発を行うため、試薬の混合による模擬燃料を作成し、実験と計算の比較によりモデルの有効性を検証した。また、燃料規制によって新たに流通すると想定される低硫黄燃料で、最も着火性の低いセタン指数 35 の燃料 5 種類に対して急速圧縮試験装置を用いて実験を行った。

・耐圧容器等の装置設計・製作を行い、予備試験を行った。

平成 30 年度の研究成果

□小項目 1：排ガス規制対応のための計測・分析技術の高度化

- ・燃料組成の異なる低硫黄燃料を準備し、BC や PM 排出量に与える影響について明らかにするため、実機試験を行った。PM 排出量は高硫黄残渣油から低硫黄燃料油に転換することで大きく削減できる一方、BC 排出量については燃料油中の硫黄分とは直接相関はなく、燃料の残渣成分によって燃焼条件の悪い条件下では増加した。エンジン形式やエンジン負荷率によって影響を受けるが、同じ 4 ストロークエンジンでも、燃料の着火・燃焼性への敏感度は異なることがわかった。(図 1 参照)
- ・燃料の着火・燃焼性評価試験法である FCA 試験の結果から、複数の指標を組み合わせることで、燃料のもつ燃焼性に起因するトラブルリスクを予測できる可能性が確認された。実際のトラブルについては、各エンジンの燃料の着火性に対する敏感度にも左右されることが示唆された。
- ・今まで行ってきた PM 組成分析法 (TOA 法) の船用エンジン向けの分析プロトコル開発を最終化した。TOA 法では、PM 中の炭素成分 (元素炭素 (EC)、有機炭素 (OC)) を昇温・遊離させて分析する。その昇温のプロトコル (段階的な温度変化、温度持続時間) を検討し、EC や OC が極端に多いような船舶特有の PM の場合も、正確に定量が行えるプロトコルを構築し、検証した。(図 2 参照)

□小項目 2：排ガス処理技術の高度化に関する研究

- ・当所既存スクラバの一部を利用し、洗浄水の噴射量、噴射ノズルからの距離、噴霧状態 (噴霧洗浄水粒径) を変えた実験を行い、0.9m 程度の配管長さがあるジェット式スクラバは、国際海事機関 (IMO) の EGCS ガイドラインに規定されている排ガス中の硫黄分規制をクリアできることを明らかにした。(図 3 参照) この結果をもとに、小型ジェット式スクラバを設計・試作した。
- ・船舶からの排ガス中に含まれる窒素酸化物 (NOx)、硫黄酸化物 (SOx) の除去技術である SCR 脱硝装置、SOx スクラバが正常に機能していることを長期にわたって監視するためのシステム開発を進めた。エンジンおよび各排ガス処理装置の制御システムをネットワークで接続し、それぞれの機器の運転・停止、運転条件の変更、運転状態の監視を行い、ログデータを残すシステムを開発した。(図 4 参照)

□小項目 3：船舶から排出される PM 等の環境影響評価技術の高度化

- ・PM 排出量データの精緻化は、以下の 2 段階によって行うこととした。
 - (1) PM 排出量の修正 (排出係数のアップデート)
 - (2) PM 組成の新規設定 (元素炭素 (EC)、有機炭素 (OC)、硝酸塩 (Nitrate)、硫酸塩 (Sulfate)、その他成分 (Others) の 5 種類)
- ※ 今回の設定は一次評価と位置づけ、平成 31 年度 (以降) に、二次 (以降) の評価として機関ストローク別 (2 スト/4 スト)、負荷率の相違、主機/補機別の評価を行う。
- ・ラボ船用ディーゼル機関を対象とする PM 測定・分析結果等に基づき、PM 組成プロファイルを以下の考え方によって設定した (具体的な設定値は表 1 参照)。
 - (a) Nitrate : 排出量ゼロとする。
 - (b) Sulfate : 燃料中硫黄分の PM 転化率を 2% として推算する。
 - (c) OC : 燃料中 S 分に関わらずほぼ一定値 (0.1g/kWh) とする。
 - (d) EC : PM 排出量の 5% とする。
 - (e) Others : PM 量 - (Nitrate 量 + Sulfate 量 + OC 量 + EC 量) とする。

□小項目 4：次世代燃料の燃焼性評価手法の確立

- ・船用燃料油の着火に至る蒸発と化学反応時間の関係を明らかにするため、実用燃料に適用可能な蒸発モデルの開発を行った。開発したモデルが試薬ベースの混合に対応できるかを実験と比較し、その有効性を検証した。図 5 は、2 成分燃料の混合比を変更した時の液滴径の変化と液滴温度を比較した結果であるが、計算モデルが実験結果と良い一致を示した。
- ・同じ着火性指標 (最も着火性の低いセタン指数 35) であるが、ブレンド組成の異なる燃料 5 種類に対して、急速圧縮試験装置を用いた燃焼実験を行った。現在の指標でほとんど一致している燃料にも関わらず着火性が異なること、その着火性がかつて使用されていた着火性指標 (セタン指数 (旧)) によって整理できることが明らかになった (図 6 参照)。これは、同一指標の燃料が供給されても着火性が異なることを意味しており、この理由については、これまで作成した燃料モデルを用いて次年度検討することを予定している。

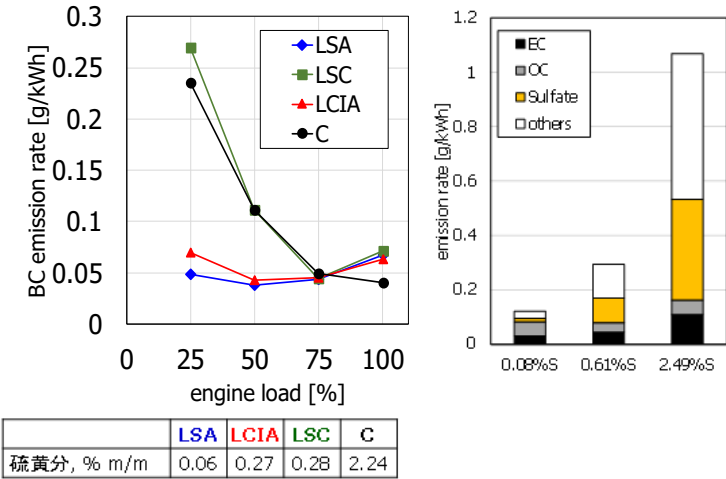


図1 硫黄分の異なる燃料を用いたときの、BC 排出率のエンジン負荷率依存性 (左図) および PM 排出率 (右図)

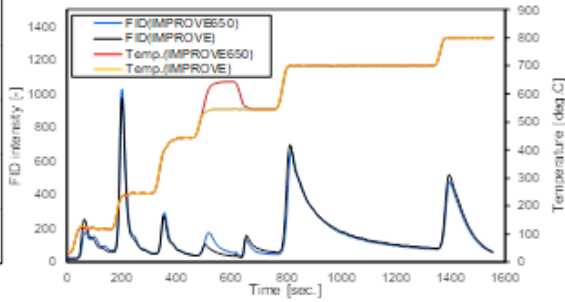


図2 TOA 法による船用ディーゼルエンジンから排出されたPMの組成分析に適した昇温プログラムの検討

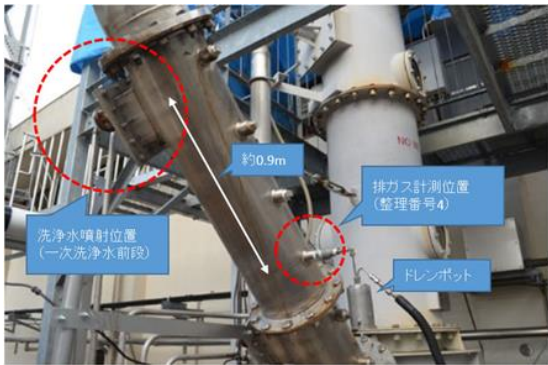


図3 ジェット式スクラバにおける、洗浄水条件 (流速、噴霧状態距離) を変えた実験

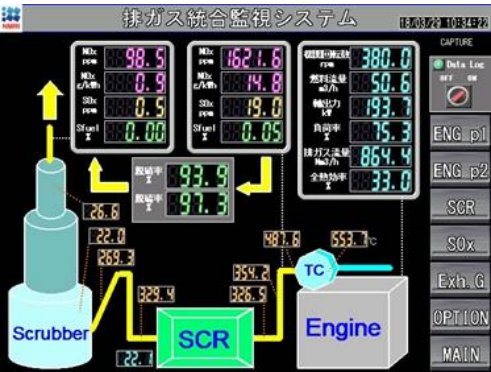
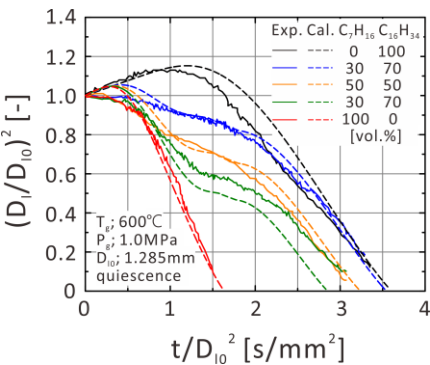


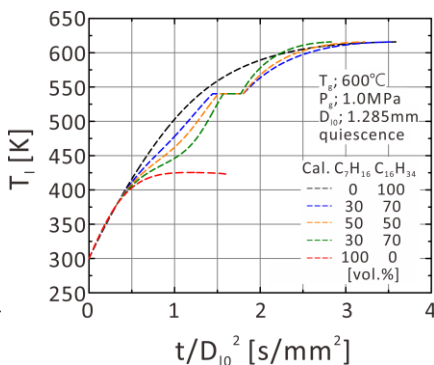
図4 排ガス処理システムの運転制御システム画面

表1 作成したPM 組成プロフィール

PM 排出係数 及び PM プロファイ ル (2016 年)		S 分 [%]	燃料消費率 [g-fuel/kWh]	排出係数及び PM 排出プロフィール					
				PM	SO ₂	Sulfate	OC	EC	Others
外航船	C 重油	2.58	195	1.39	10.1	0.302	0.1	0.0693	0.916
	A 重油	0.4	205	0.282	1.64	0.0492	0.1	0.0141	0.118



液滴径の時間変化



液滴温度の時間変化

図5 蒸発特性の実験との比較

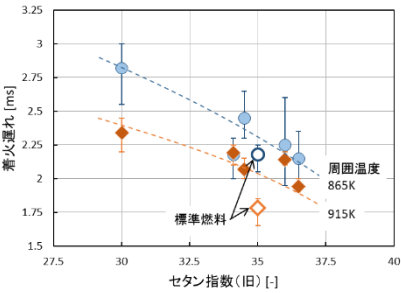


図6 LCO 混合による着火遅れへの影響 (旧セタン指数による整理)

成果の公表

□出願特許

1) 平田ほか、スクラバ装置、及びスクラバ装置を搭載した船舶、3月特許出願

□その他

- 1) 中村ほか、Effects of Injection Pressure on Emission and Components of Particulate Matter From Marine Diesel Engine, Proceedings of the ASME 2018 Internal Combustion Fall Technical Conference
- 2) 中村ほか、サーマルオプティカル法による船用ディーゼル機関排ガス中の炭素成分分析に関する検討（第2報：光学補正法の検討）、第59回大気環境学会年会講演要旨集（2018）
- 3) 中村ほか、サーマルオプティカル法による船用ディーゼル機関排ガス中の炭素成分分析に関する検討（第3報：昇温方法の検討）、第59回大気環境学会年会講演要旨集（2018）
- 4) 益田ほか、船用機関から排出されるPM・ブラックカーボンの計測と規制に関する動向、大気環境学会シンポジウム
- 5) 中村ほか、低硫黄燃料油を用いた船用ディーゼル機関から排出される粒子状物質の組成、日マリ学術講演会
- 6) 益田ほか、低硫黄燃料油を用いた船用ディーゼル機関から排出されるブラックカーボンの計測、日マリ学術講演会
- 7) 高橋ほか、大気環境規制の動向と燃料多様化が規制対策に及ぼす影響、日マリ学術講演会
- 8) 高橋ほか、New research on Black Carbon control, 5th ICCT Workshop on Marine Black Carbon Emissions
- 9) 高橋ほか、大気環境規制の動向と燃料多様化が規制対策に及ぼす影響、マリンエンジニアリング 54巻3号（2019.5）
- 10) 高木ほか、分解軽油の混合によるディーゼル噴霧着火、燃焼への影響、日マリ学術講演会
- 11) 平田ほか、船用SCR脱硝装置のフィールド試験及び脱硝触媒の耐久性能評価、海上技術安全研究所報告（総合報告）、第18巻、第1号、2018
- 12) 城田ほか、船舶由来の大気汚染物質インベントリの作成及び精緻化、日本機械学会第27回交通・物流部門大会（TRANSLOG2018）講演論文集
- 13) 横井ほか、AISデータに基づく船舶起源大気汚染物質の排出量インベントリーの作成方法と大気質シミュレーション、海上技術安全研究所報告（研究報告）、第18巻、第3号、2018

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。
- 適合燃料油に関する研究は、2020年に導入されるグローバル・キャップに対する国および関連業界団体からの強い要望に応える形で実施している。適合燃料油導入に伴う燃料性状の変化と、それに起因する懸念を払拭すべく、燃料元売り、船用機器メーカー、船会社等との協力を得て、早い段階から実験と理論の両面から取り組んでおり、成果を上げている。
- 船舶由来のPM計測および分析技術の確立、BC・PM低減技術実用化のための技術課題の解決と評価、統合型排ガス監視システムの開発、内航船舶に搭載可能な小型スクラバの開発の各項目で得られた詳細な研究成果は、いずれも社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減）に資する結果に該当する。
- PM等の精緻な排出量データ等については、今後、IMOおよび日本国内における規制検討が開始された場合、合理的な規制の検討に貢献することができる。
- ◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きい。
- 燃料着火性（セタン指数）の違いを表現できる実在燃料を想定した蒸発モデルはこれまで検討されておらず、新規性が大きい。
- TOA法によるPM組成分析法の研究は、船用機関排ガスを対象として確立されたプロトコルがない。大気環境学会等での発表でも反響が大きく、将来的に海外研究機関との連携も期待できる。
- 船舶由来のPMの組成についてはこれまで実測データがほとんどなく、船舶由来のPM排出量データにもPM組成が十分に反映されていなかった。本研究で船舶由来のPM排出量データを精緻化することにより、今後PM2.5及びオゾン等の二次生成メカニズムの解明や大気質計算精度の向上に寄与することになり、その意義は非常に大きい。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- 本研究は、2020年に導入されるグローバル・キャップに対応した研究であり、関連業界団体の協力の下、早い段階から実験と理論の両面から取り組んでいる。すでに着実な成果を上げており、規制導入前にして十分な情報発信ができていると考える。
- 船舶由来の大気汚染物質を対象とする規制についてはIMO等でも議論されており、得られた各種データ及び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。
- BC・PM低減技術実用化のための技術課題の解決と評価、内航船舶に搭載可能な小型スクラバの開発の各項目で得られた詳細な研究成果は、IMO等国際的な場での議論にも活用され、その意義は大きい。
- TOA法によるPM組成分析法の研究は、PPRに参加する海外研究機関でもその困難さが指摘されており、大気環境分野でも注目されている。今後、国内外の研究機関との連携も期待でき、その意義は十分に大きい。

- ☐ 低セタン指数燃料に関する研究は、世界的な石油精製技術の進展により生じる燃料基材（LCO）に関連する研究であり、その意義は十分に大きい。
- ◎ 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。
- ☐ 本研究は、萌芽的研究に該当しない。

研究主任者による自己評価	A（～S）
--------------	--------------

- ☐ 環境負荷の低減，また環境規制導入を検討するための基礎データとして，いずれの小項目においても科学的意義のある成果が得られている。特に燃料や小型スクラバー開発のためのデータと開発技術は，2020年のSOx規制に向けて社会実装につながる成果である。

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	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO ₂ ）、窒素酸化物（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。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO ₂ ）、窒素酸化物（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。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －実船の実海域性能を高度化する 研究プロジェクトにおける研究を加速する。本年度は、平水中速力・出力・回転数カーブを求める標準的手法の作成を行う。等

研究の背景

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

研究目標

☐ 波浪影響をより合理的なものとする計算法を確立等
☐ 最小限のパラメータで推進プラントの特性を忠実に表現可能な汎用数学モデルの開発等
☐ 船尾形状の変更、適切な付加物、境界層吸込・吹出等の技術を統合した最適伴流設計システムの開発等
上記成果は、以下の事が期待される。

①社会的観点

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。

②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。

③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。

運航技量評価方法等により、燃費報告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。

平成 30 年度の研究内容

- 実船モニタリングデータから平水中速力・出力・回転数カーブを求める手法の標準化を行う。
- 波浪中水槽試験を実施し、波浪中自航要素評価法を評価する。
- 実海域再現水槽の自動化計測システムの開発を行う。
- 風の CFD 計算を行い、CFD 計算ガイドラインを作成する
- 評価条件を検討し、実海域性能評価法を開発する。
- VESTA（実運航性能シミュレータ）を用いてベストプラクティスを抽出する。
- 水中抵抗モデルを実運航性能シミュレータに組み込む
- 実船の水中航行データを取得する
- 船舶推進プラントの波浪中応答計算法とシステム設計技術を開発する。
- 推進プラントの数学モデルを用いたスマート制御技術を開発する。
- 対象船を変えて所望の伴流分布の再現を試みるとともに、省エネ効果の算出を行う。
- 前年度の結果を活用し、CFD(実船スケール)を援用した旋回流回収型省エネデバイスの最適設計を実施する。その結果を確認するため、水槽試験による性能および船尾流場計測を実施した上で、模型-実船相関を適用する。
- キャビテーション体積、変動水圧、水中放射雑音の関連メカニズムを解明する。
- 水中騒音予測シミュレーションを構築し、模型から実船スケールアップ手法を検討する。
- 空気潤滑船用船尾付加物の設計ツールで改良型の空気潤滑船用船尾付加物を設計し、水槽試験を実施し、その効果を確認する。

平成 30 年度の実績

- 実船モニタリングデータから平水中速力・出力・回転数カーブを求める手法を構築し、さらに標準化するためのモデル化、プログラム開発を行った。
- 実海域再現水槽及び 400m 水槽で波浪中試験を実施し、波浪中自航要素推定法の検証を行った。また、波浪中抵抗増加の NMRI 法プログラムの NK 認証を取得し、プログラムを公開した。
- 実海域再現水槽の計測・解析自動化を行った。
- 複数船型に対し風の CFD 計算、風洞試験を行い、標準解析法案を作成した。
- 実海域性能評価指標案を作成し、標準評価条件を作成した。
- VESTA を用いてウェザールーティングの評価を行った。
- 水中抵抗増加モデルをモジュール化して VESTA への組み込みを行った。
- NSR 通航船舶の AIS データを解析し、一部について VESTA-ICE によるシミュレーションを実施した。
- 推進プラントの波浪中応答計算プログラムを開発し、水槽試験で有効性の検証を行った。推進プラント設計技術の基本方針を決定した。
- 推進プラント数学モデルを開発し、リアルタイムにシミュレートできるようにした。大型 2 ストローク機関において動的応答性を計測し確認した。AI ガバナーの根幹となる人工ニューラルネットワーク (ANN) の構成を定め、水槽試験で性能評価を行った。
- 外航ケミカルタンカー船型に拡張した船型・流場データベースを構築し、伴流設計システムの適用船型を拡張した。
- CFD により自航状態の舵まわりの流速分布を計算し、そのデータからプロペラ後方の旋回流を回収する舵フィンの設計手法を構築した。コンテナ船型に設計手法を適用し舵フィンを設計、水槽試験により検証した。また、差分進化を用いた多目的プロペラ形状最適化プログラムを開発し、数値計算において基準プロペラに比べ最適化プロペラが効率 1.5%、キャビテーションを 20%減少することを確認した。
- 水槽実験レベルでの水中騒音関連のメカニズム解明を行い、キャビテーションノイズ水槽試験法について ISO に提案した。
- 水中騒音の水槽試験に対応するニアフィールドの CFD シミュレーション計算を行い、相似則を適用して、実船試験結果と比較し、非常によく一致する結果を得ることを確認した。また、実運航中のバルクキャリアにおいて、水中騒音計測及びキャビテーション観察を実施した。
- CFD を用いた空気潤滑船の自航要素推定法および高速自航試験を実施し、気泡流中における省エネデバイス（プロペラ前方ダクトおよびプロペラ前方フィン等）との干渉メカニズムを把握した。また、気泡を

吹き出す周波数を制御することにより摩擦抵抗の低減効果が増大することを小型高速流路での実験で確認した。

平成 30 年度の研究成果

- 実船モニタリングデータ解析の標準化するために重要となる排水量修正のモデル化を行った（図 1）。また、実船モニタリングデータ解析の効率化を図るためプログラム EAGLE を開発した（図 2）。
- 波浪中自航試験を行い、開発した波浪中自航要素推定モデルを評価した（図 3, 4）。
- 海上試運転実施解析法（ITTC7.5-04-01-01.1, 2017）の更新に伴う EEDI 検査認証ガイドラインの改訂提案が IMO/MEPC で合意された。解析法に記載の NMRI 法（波浪中抵抗増加計算）による波浪修正の高精度化のため、当計算プログラムについて日本海事協会からプログラム認証を取得し（図 6）、海上試運転での波浪修正がより適切に行われるようプログラムを国際的に公開した。
- 実海域再現水槽の水槽制御システムに搭載されている連続自動計測システムに解析機能を追加し、計測に加え、フーリエ解析等について自動的に処理する仕組みを作成した。（図 5）。
- ITTC/SOS にて、風圧力の CFD 計算ガイドライン作成に関するベンチマーク計算に参画するとともに、より適切な内容とするため対象船型の追加を提案し風洞試験データの提供を行った（図 7, 8）。
- 実海域性能評価指標について、船のライフサイクルを考慮したものとするため、評価条件となる標準モデルを作成した。

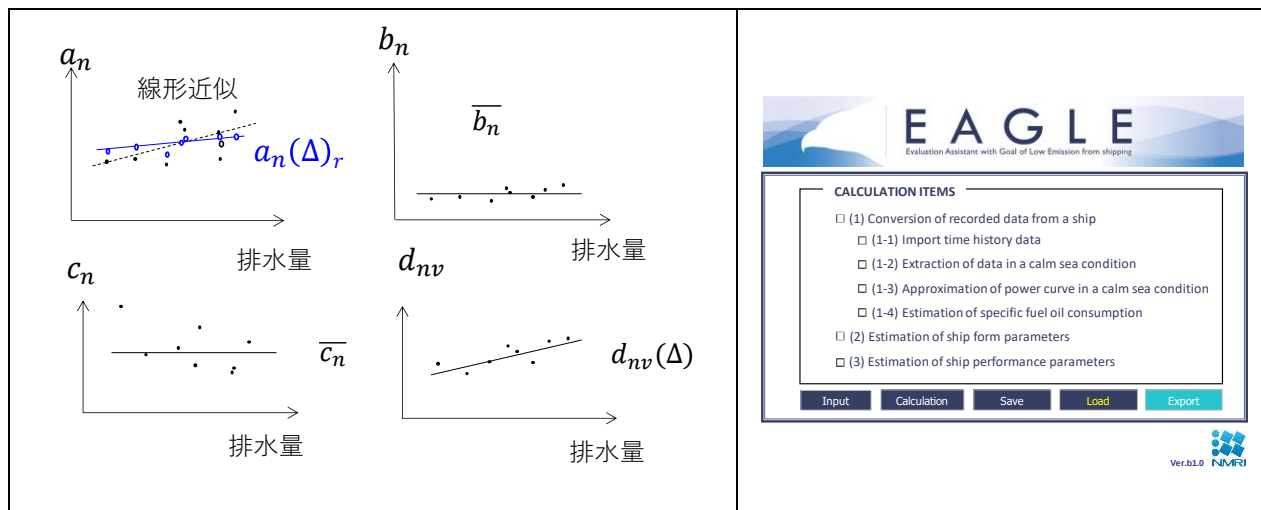


図 1 排水量修正のモデル化（パラメータ）

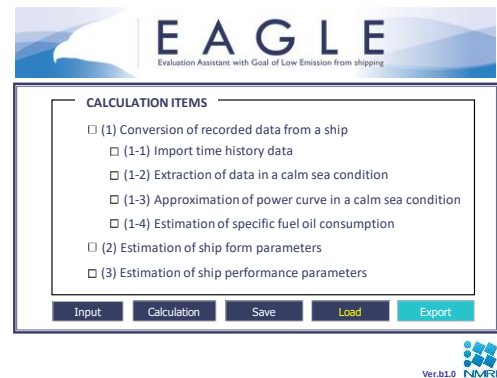


図 2 プログラム EAGLE

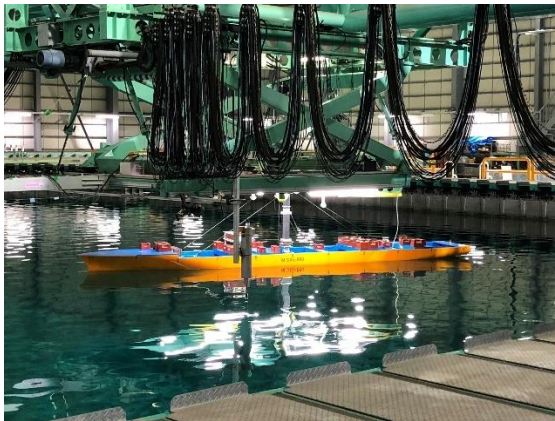


図 3 波浪中自航試験

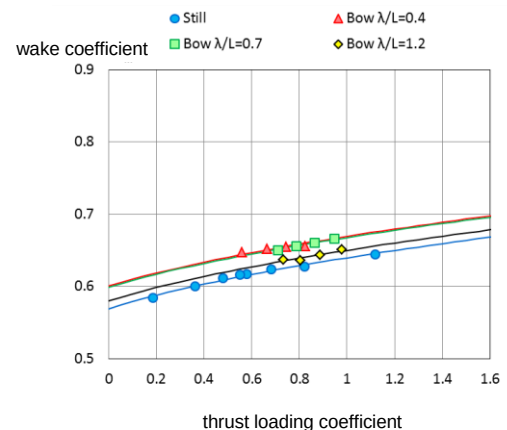


図 4 波浪中伴流係数の周波数応答の例

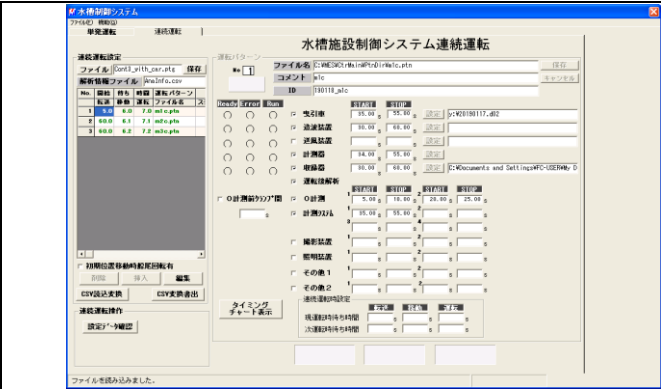


図 5 自動計測・解析システム(実海域再現水槽)



図 6 NMRI 法のプログラム認証取得



図 7 風洞試験の様子

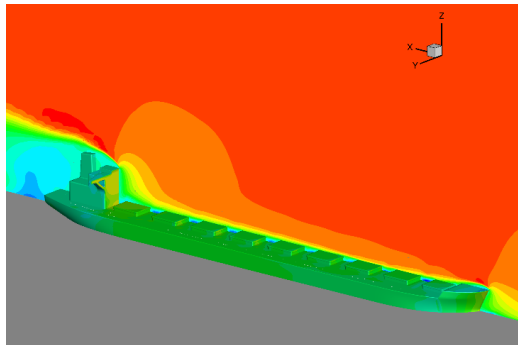


図 8 風の CFD 計算例

- 自動車運搬船で VESTA によるウェザールーティングを実施し、従来モデルに対し燃費削減効果約 5% であること、到着遅延リスクが低減することを示した (図 9, 10)。また、全球版の波と風データベース (GLOBUS) をホームページで公開し、世界で初めて全球での波高一波周期一風速を含む 3 相関表について一般の利用を可能とした (図 11)。
- 氷中抵抗増加モデルを開発し (図 12)、VESTA へ組み込み (VESTA-ICE) を行った。
- バルクキャリア、コンテナ船、LNG タンカー等を含む 65 隻の AIS データを入手し、その北極海における航路と衛星氷況データとの比較・解析を実施し、最新の運航実績を把握するとともに、氷中性能変化に関する知見を拡充した (図 13)。



図 9 ウェザールーティングの実施例

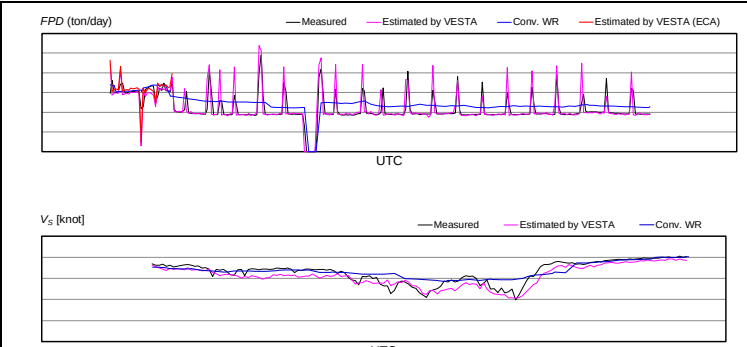


図 10 ウェザールーティングでの燃費・速度評価の例

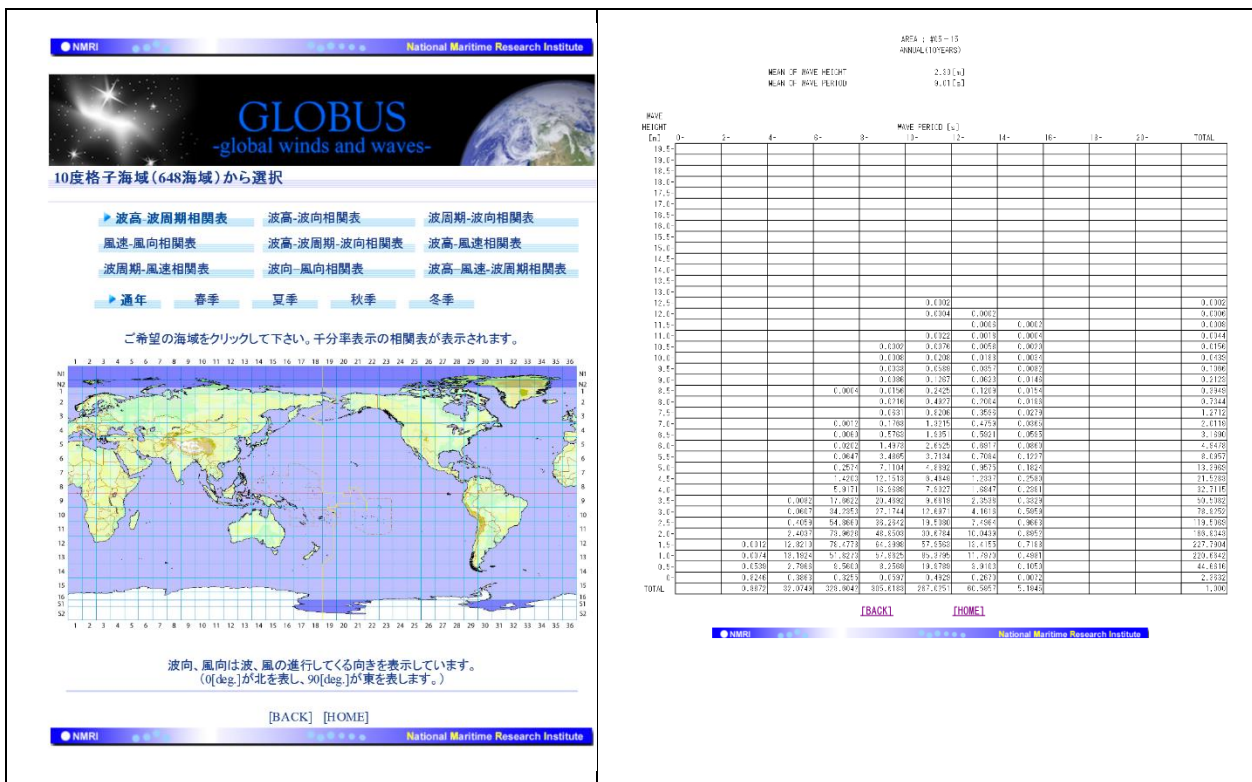


図 11 ホームページ版 GLOBUS（全球版波と風の長期統計データベース）と出力例

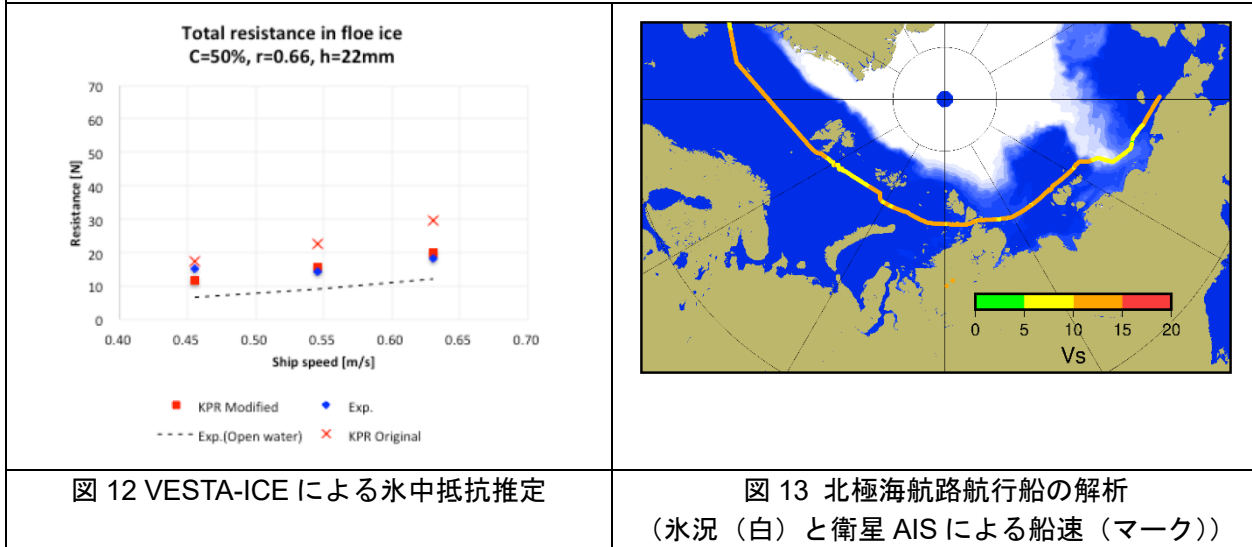


図 12 VESTA-ICE による水中抵抗推定

図 13 北極海航路航行船の解析
(氷況 (白) と衛星 AIS による船速 (マーク))

□長手方向影響項を考慮したストリップ法による船体前後運動成分と減衰特性を実験で同定する波粒子運動成分とによる波浪中プロペラモデルと、主機の燃焼特性とパワー特性を準定常的に扱う Cycle Mean Value (CMV)モデルとを連成させて計算する手法により、船舶の波浪中主機負荷変動の高精度推定が可能となった(図 14)。また、主機特性時系列応答を考慮した主機特性自航装置を用いる水槽試験法を、操縦性能の相似性を考慮して拡張し、斜航・旋回状態の実船性能が模型試験で直接評価することが可能になった(図 15)。

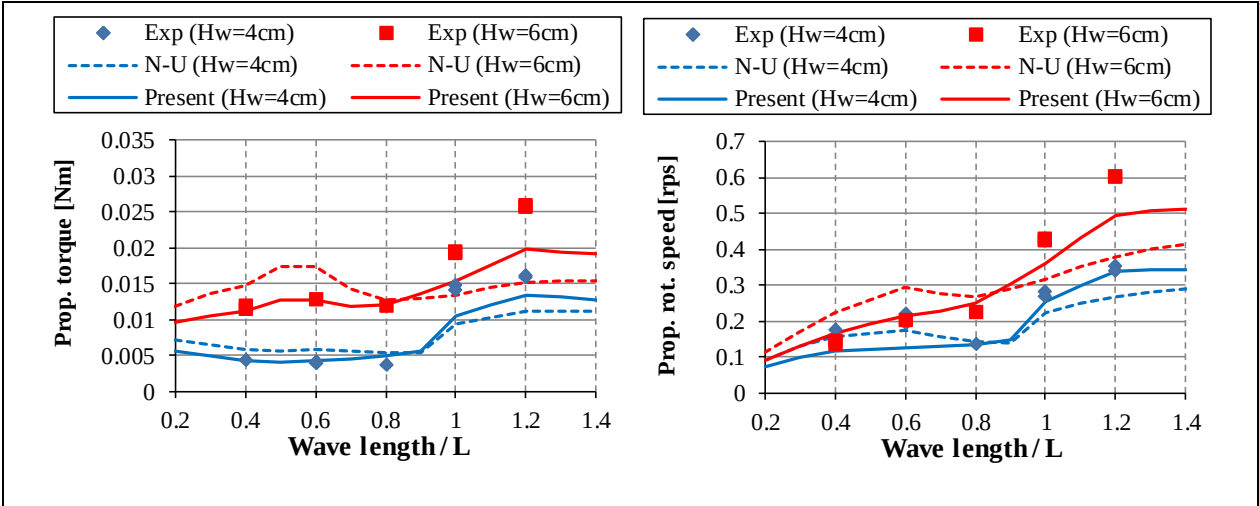


図 14 規則波向波航走中のプロペラトルク・回転数の変動両振幅 計算値と計測値の比較（“Exp”：計測値、“N-U”：中村・上野モデル(従来手法)、“Present”：本研究での提案手法）

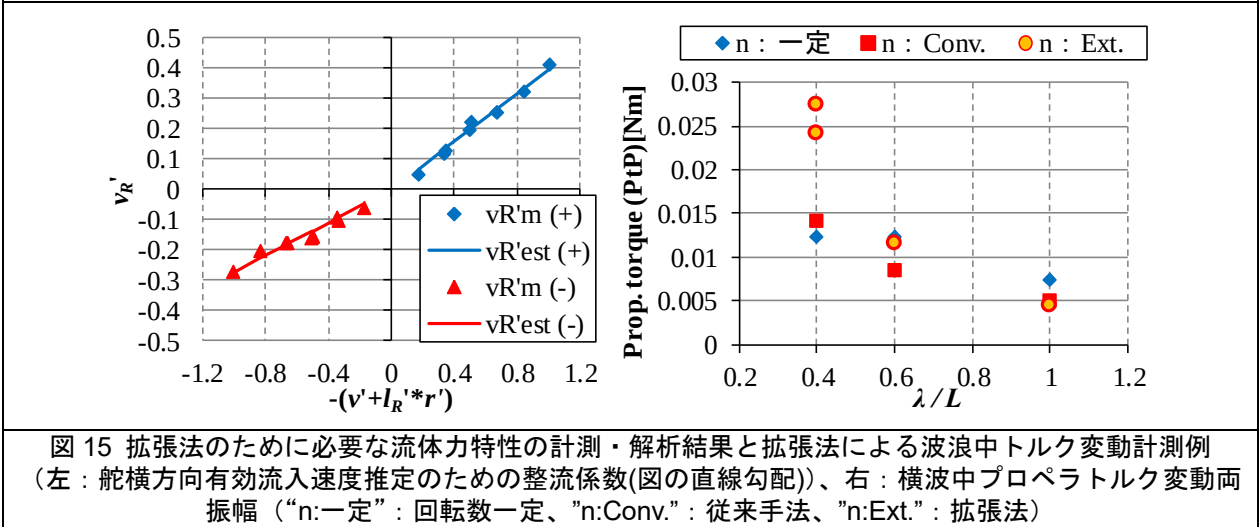


図 15 拡張法のために必要な流体力特性の計測・解析結果と拡張法による波浪中トルク変動計測例（左：舵横方向有効流入速度推定のための整流係数(図の直線勾配)）、右：横波中プロペラトルク変動両振幅（“n:一定”：回転数一定、“n:Conv.”：従来手法、“n:Ext.”：拡張法）

□高度化したエンジン状態オブザーバーの検証として、波浪中プロペラトルクモデルと主機特性モデルの連成計算結果を対象にオブザーバーを適用し、プロペラトルク変動がオブザーバーにより精度良く逆推定されることを確認した（図 16）。また、AI 技術を活用して設計したガバナーの効果について、主機特性自航装置を用いた水槽試験により検証し、その効果が概ね設計通りであることを確認した（図 17）。

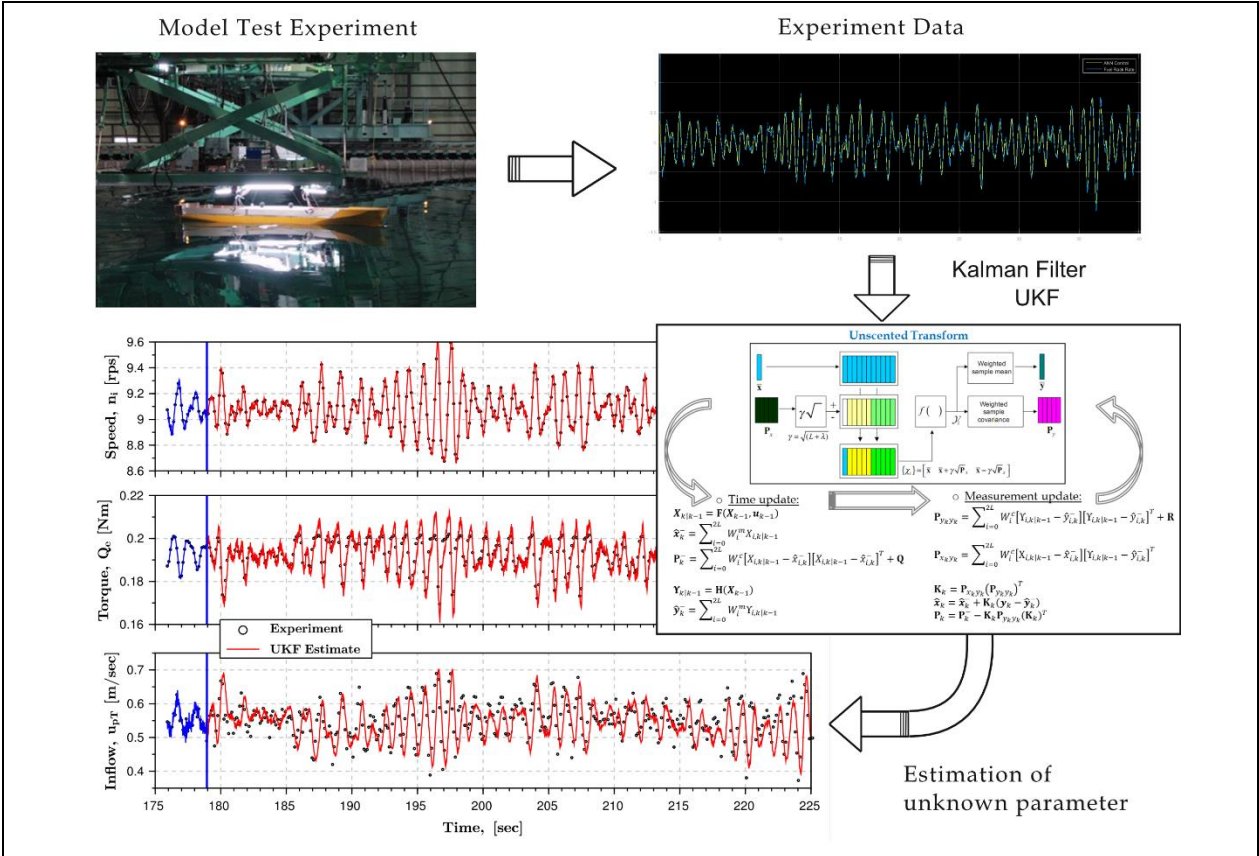


図 16 エンジン状態オブザーバーによるプロペラトルク・流入速度変動による逆推定

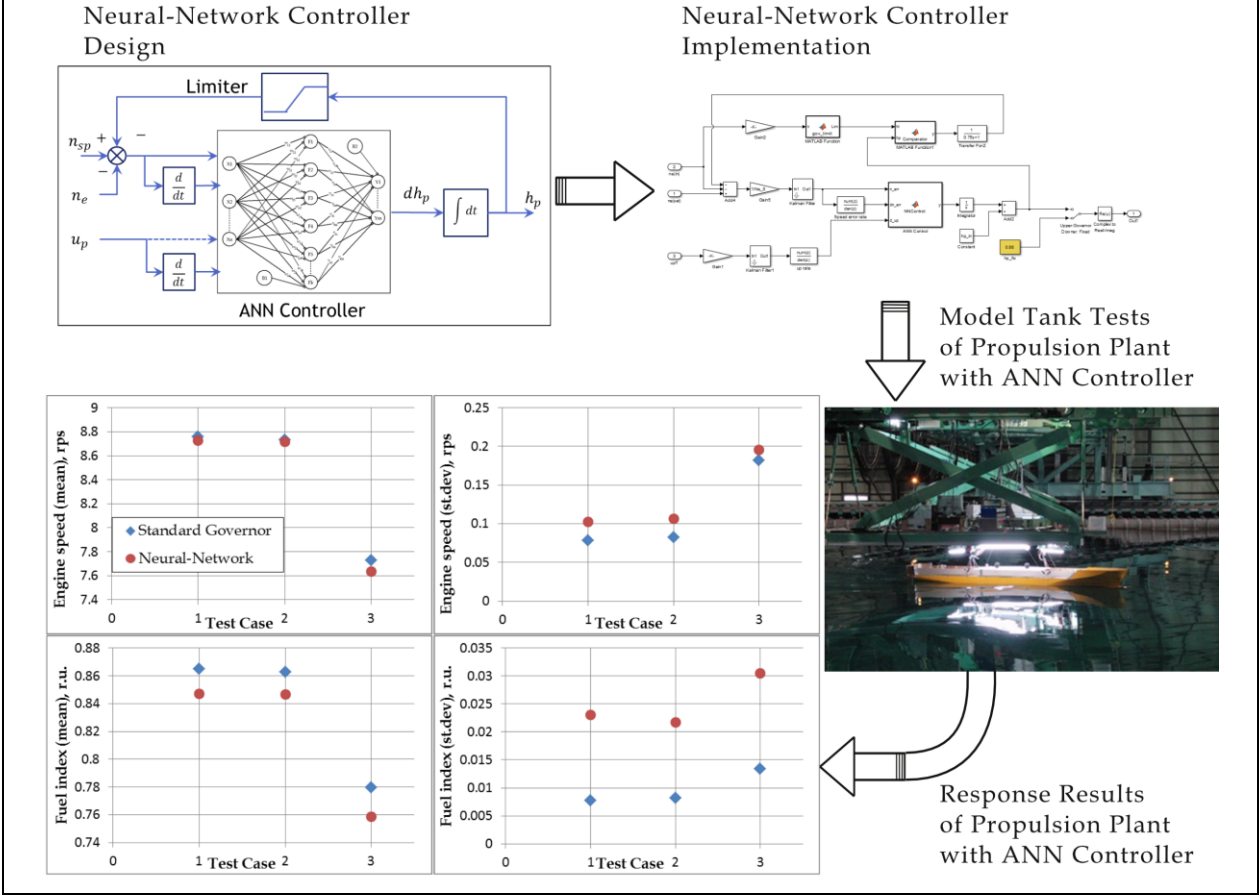


図 17 AI 技術を活用して設計したガバナーの効果検証

□内航船型の船型・流場データベースの外航船型の拡張を実施した（図 18）。
□実運航中のバルクキャリアの船尾流場を計測するために、PIV（Particle Image Velocimetry、粒子画像計

- 測法)の適用方法を検討した(図19)。また、CFDによる自航状態の舵まわりの流速分布を取得して、取得した流場データからプロペラ後方の旋回流を回収する舵フィンの設計手法を構築した(図20)。コンテナ船型に設計手法を適用し舵フィンを設計し、コード長をパラメータとした計算から、ポテンシャル計算(Potential)に対し、本手法(BLCAL)はコード長が短くなっても効果が増加しない合理的な結果が得られ、有効性を示した(図21)。さらに、旋回流回収型省エネデバイスの最適設計にはプロペラ形状の最適化も必要であるため、進化計算の最適化アルゴリズムである差分進化(Differential Evolution)を用いたプロペラ形状最適化プログラムを開発した。749 総トン一般貨物船用プロペラを基準プロペラとして最適化を行い、数値計算において効率1.5%、キャビテーションを20%減少させた(図22)。
- 水中騒音に関する国際標準化への対応が必要であり、国内WGの座長として国内意見をまとめ、韓国提案のISO/FDIS 20233-1(プロペラキャビテーションノイズ評価のためのモデル試験方法 - 第1部:音源レベル推定法)について、日本などが保有する中小型水槽によるプロペラキャビテーションのモデル試験法(Wire-mesh法)の追加、水槽試験と同等手段として、計算法(経験式(Brown式等)・数値流体力学(CFD)を援用した計算法の採用)も認める内容が盛り込まれた。同じく韓国提案のISO/WD 20233-2(プロペラキャビテーションノイズ評価のためのモデル試験方法 - 第2部:音源探査)について、音源探査法は未だ研究段階であり、本規格で紹介する方法は一例に過ぎない旨を明記させた。また、欧州のHTF(Hydro Testing Forum)の模型プロペラ持回り試験に参加し、EU主要研究機関の試験結果を評価した(図23)。
- 実運航中のバルクキャリアを対象とした水中騒音及び変動圧力の同時計測システムを構築し、実船試験において、システムの有効性を確認した(図24)。水中騒音の水槽試験に対応するニアフィールドのCFDシミュレーション計算を行い、相似則を適用して、実船試験結果と比較し、非常によく一致する結果を得ることができた(図25)。

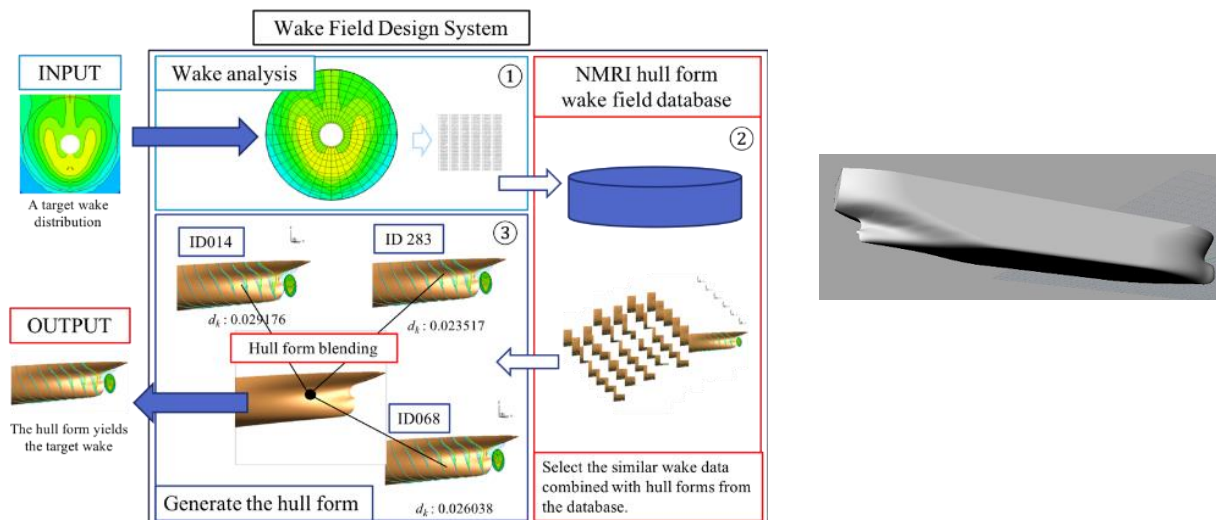


図18 船型・流場データベースの概念図と外航船への拡張



図19 実船計測海域とPIV計測断面

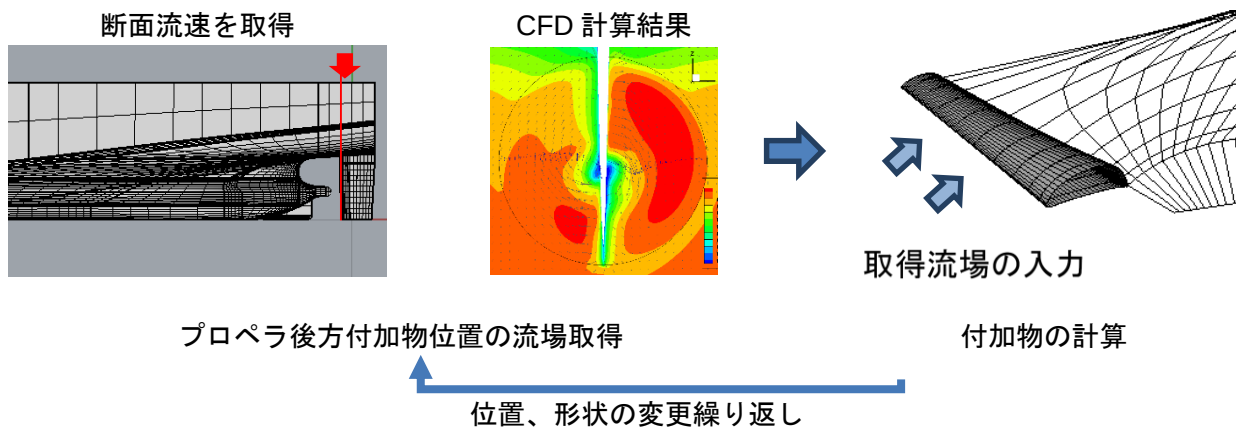


図 20 プロペラ後方の旋回流回収型省エネデバイスの設計手法

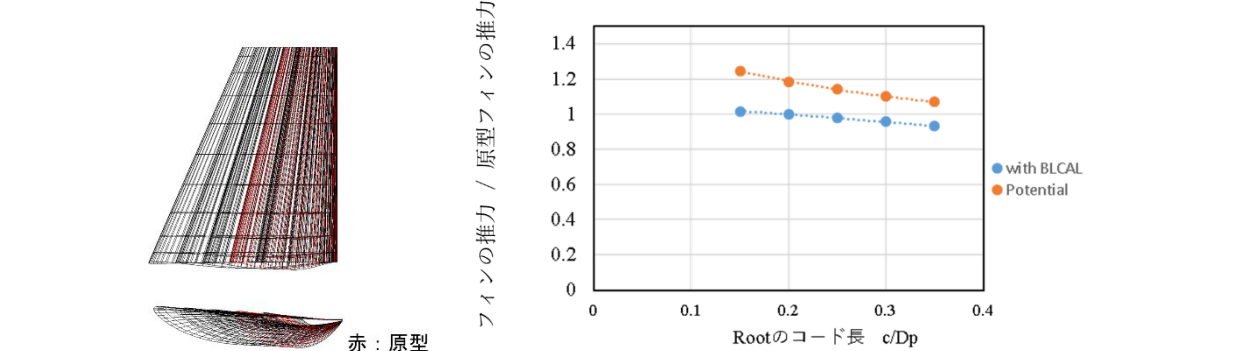


図 21 舵フィンの設計とコンテナ船型での検証結果

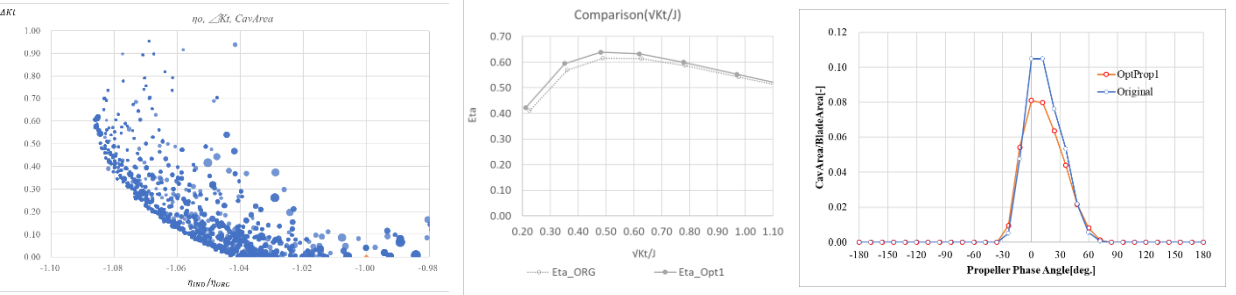
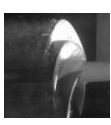


図 22 プロペラ形状最適化プログラムによる計算結果

Condition		MARIN	Strathclyde Genoa	SSPA	NMRI
Shaft angle		5°	5°	5°	5°
J=0.4	σ_v : low				

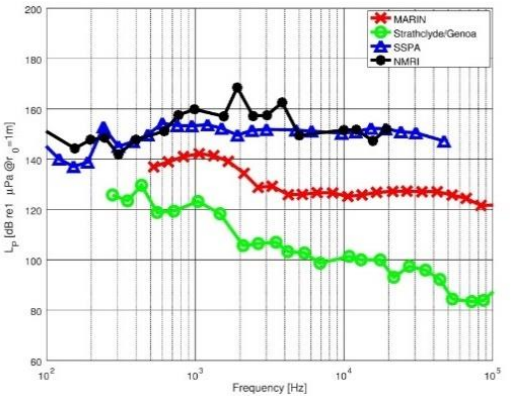


図 23 模型プロペラ持回り試験の評価

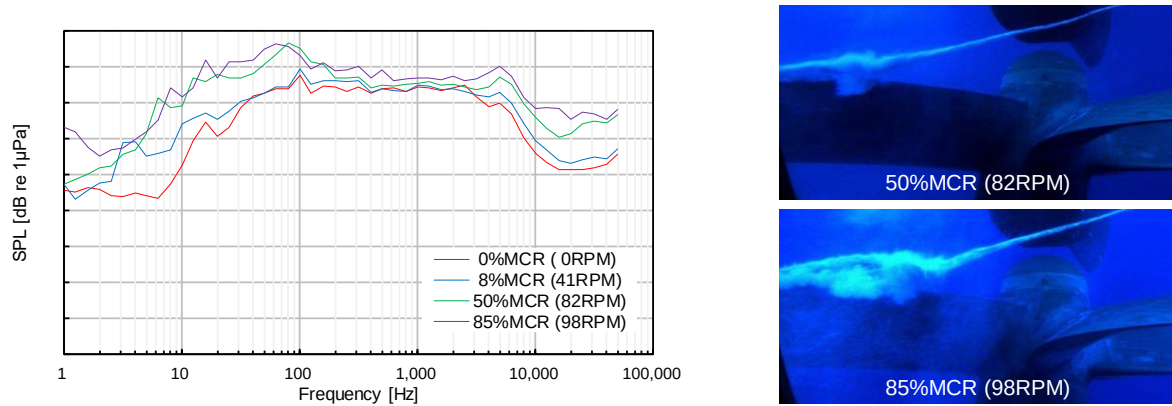


図 24 水中騒音 1/3 オクターブバンド解析結果（左）と実船のキャビテーション画像（右）

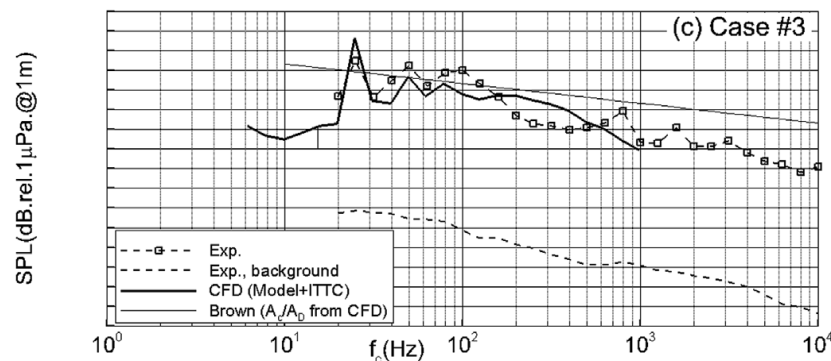


図 25 実船試験結果と CFD シミュレーション計算結果の比較

(縦軸間隔は 10dB、ITTC 相似則を適用、Brown の簡易推定法による結果も表示)

□気泡流中における省エネデバイス（プロペラ前方ダクトおよびプロペラ前方フィン）の効果の評価を行い、気泡によりダクトによる推力減少係数の改善が小さくなり（図 25、26）、自航要素の悪化影響がフィン型デバイスよりもダクト型デバイスの方が大きいことが分かった（図 27）。また、高速自航模型試験と CFD の傾向は良く一致し、模型船レイノルズ数での結果よりも実船レイノルズ数における自航要素の悪化影響は小さいと計算結果から予想される（図 28）。また、乱流境界層への気泡注入による摩擦抵抗低減の効果は、ボイド率の時空間の変動であるボイド波が存在するときに向上するため、流速 5-8 m/s の高速水平チャネル乱流 ($Re > 50,000$) に、平均空気流量と周波数を変化させて間欠的に気泡を注入し、人工的にボイド波を与え、流路下流において、せん断応力計で壁面摩擦を直接計測すると同時に、移流するボイド波を可視化した（図 29）。間欠的に気泡を注入した場合、一定の空気流量で気泡を注入した場合より抵抗低減率が向上した。また、注入周波数が 2 Hz 程度するとき、他の周波数の条件と比べて抵抗低減効果が大きくなった（図 30）。複合材料型弾性表面波デバイスを設計・試作し、流体駆動試験を実施した。音響波の放射状況から、デバイスの音速の推定式パラメータの修正を行った。

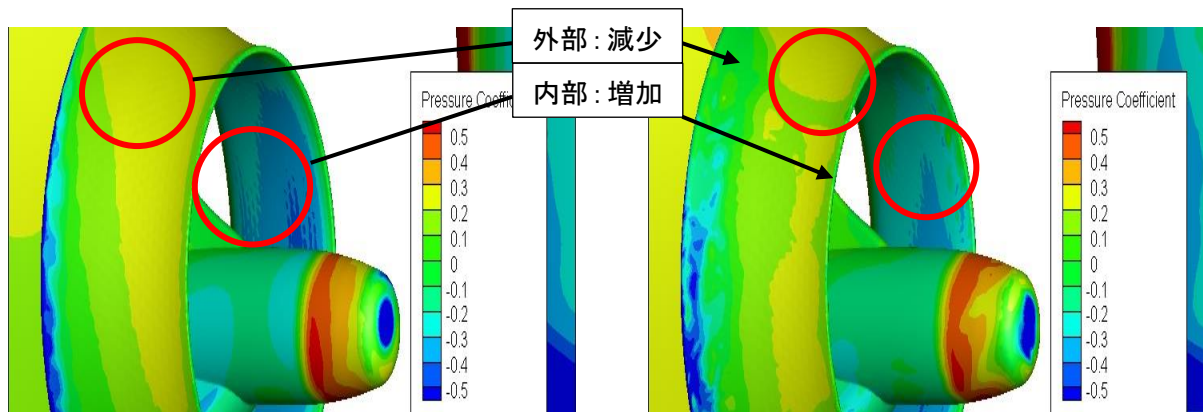


図 25 WAD 圧力分布（気泡無）

図 26 WAD 圧力分布（気泡有）

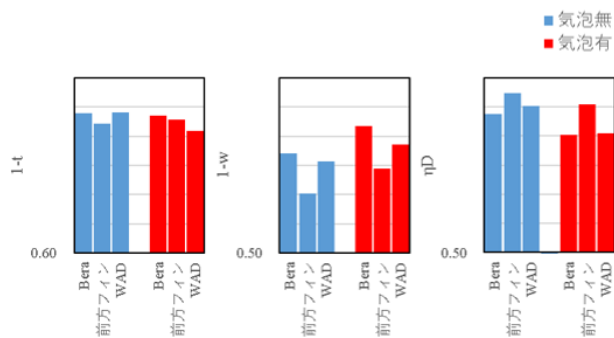


図 27 気泡流中での自航要素、推進効率の比較

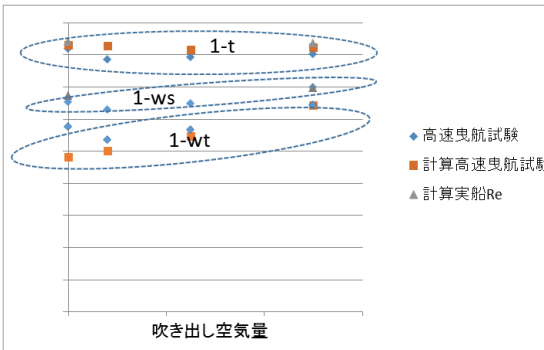


図 28 高速自航模型試験と CFD による空気潤滑効果の評価

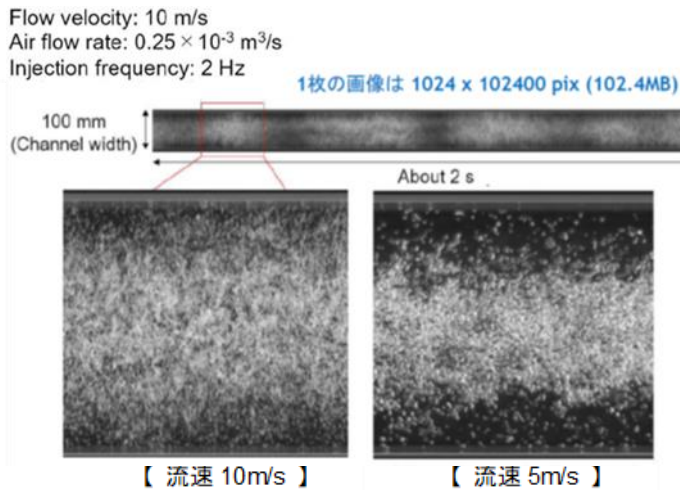


図 29 ボイド波の可視化と間欠注入によるボイド波周波数の均一化

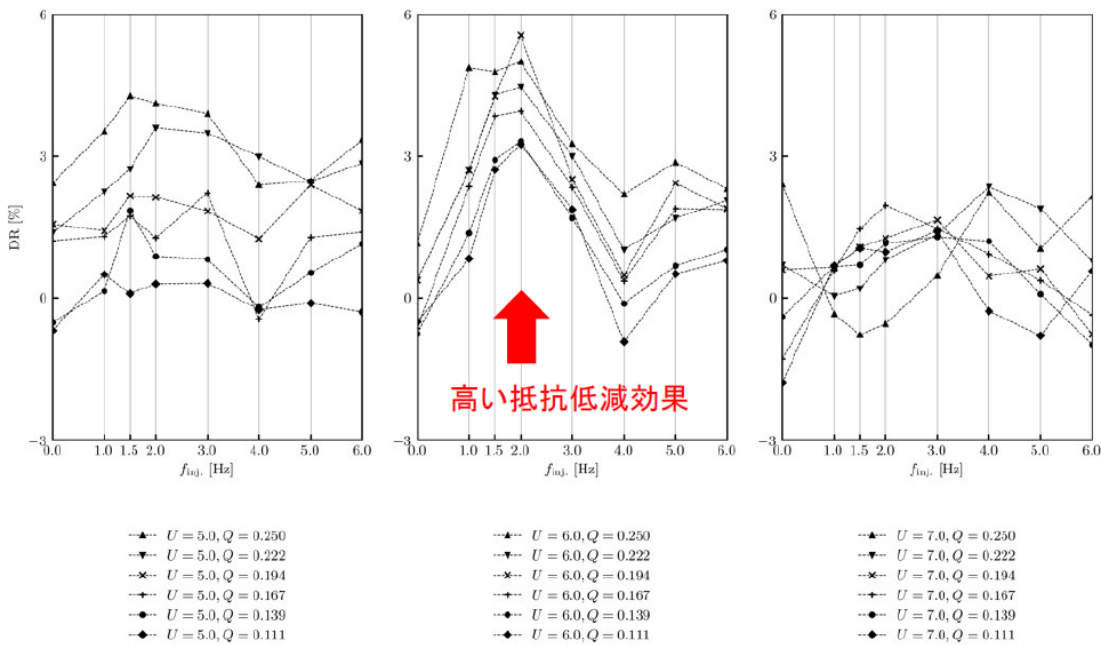


図 30 摩擦抵抗低減効果と気泡吹出周波数の関係 (U：流速、Q：気泡注入量)

成果の公表

- 特許出願：5 件
- (1) 船型・流場データベース
- (2) 小型ダクト付き船舶
- (3) 自航試験方法

- (4) 流場データ取得方法
- (5) 実船データ評価方法

□プログラム登録：2件

- (1) 船型データ変換ツール
- (2) 船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE

□受賞：4件

- (1) 平成30年日本船舶海洋工学会賞（論文賞）・日本海事協会賞（(A1), (A2)）
- (2) AMEC 2018 Best Paper Award（査読論文(13)）
- (3) 平成30年度理事長表彰（最優秀論文賞）（(A1), (A2)）
- (4) 平成31年日本船舶海洋工学会賞（論文賞）（内定）（査読論文(6)）

(A1) 櫻田顕子、粉原直人、黒田麻利子、辻本勝、杉本義彦、長谷川健：実運航シミュレーションによる実船データ解析－排水量修正と波風修正の適用－、日本船舶海洋工学会論文集、第25号（2017）。

(A2) 櫻田顕子、黒田麻利子、辻本勝、杉本義彦、長谷川健：実運航性能評価における速力-回転数-主機出力関係のモデル化、日本船舶海洋工学会論文集、第25号（2017）。

□プレス発表：3件

- (1) EEDIの実海域係数（EEDIweather）で最終認証に関する鑑定書取得
- (2) 海技研 NMRI 法プログラムを公開－合理的な波浪修正により海上試運転での平水中性能をより高精度に評価－
- (3) 全球版波と風の統計データベース（GLOBUS）をHPで公開－世界で初めて全球での波高一波周期－風速を含む3相関表が利用可能－

□査読論文：37件（うち投稿中15件）

- (1) N. Sogihara, M. Tsujimoto, R. Fukasawa and H. Ohba: Investigation on Trim Optimization to Enhance the Propulsive Performance of Fine Ships, Journal of JASNAOE, No. 27, (2018).
- (2) N. Sogihara, M. Tsujimoto, R. Fukasawa and H. Ohba: Trim Optimization for Ship Performance in Actual Seas, Proceedings of INT-NAM2018 (2018).
- (3) M. Tsujimoto, N. Sogihara, M. Kuroda, K. Kume and H. Ohba : A Practical Prediction Method for Self Propulsion Factors in Actual Seas, Proceedings of ISOPE2018 (2018).
- (4) M. Kuroda, K. Takagi, M. Tsujimoto and J. Fujisawa: The Effect of the Long-period Components of Added Resistance in Irregular Waves, Proceedings of NAV2018 (2018).
- (5) M. Kuroda and K. Takagi: Slowly-varying Added Resistance in Irregular Waves in Consideration of Higher Order Components, Journal of JASNAOE, No. 28, (2018).
- (6) H. Orihara and M. Tsujimoto: Performance prediction of full-scale ship and analysis by means of on-board monitoring. Part 2: Validation of full-scale performance predictions in actual seas, Journal of Marine Science and Technology, Vol.23, Issue 4 (2018).
- (7) M. Tsujimoto and H. Orihara: Performance prediction of full-scale ship and analysis by means of on-board monitoring (Part 1 ship performance prediction in actual seas), Journal of Marine Science and Technology, Vol.24, Issue 1 (2019).
- (8) 黒田麻利子、辻本勝、櫻田顕子、粉原直人、肥後崎愛：実船データによるPCCの横揺推定法の検証、海上技術安全研究所報告、第18巻第3号（2019）。
- (9) M. Tsujimoto, M. Kuroda, N. Sogihara, A. Sakurada: Development of Empirical Formulae for Estimating Ship Performance, Papers of National Maritime Research Institute, Vol.18, No.3 (2019).
- (10) M. Tsujimoto, T. Matsuzawa and K. Kume: Statistical Characteristics of Global Winds and Waves, Proceedings of ISOPE2018 (2018).
- (11) M. Tsujimoto, T. Matsuzawa, N. Sogihara, K. Hirayama, Y. Sugimoto, K. Hasegawa and K. Yokokawa: Advanced Weather Routing System for Ships in Actual Seas -Development and Validation by a Ship-, Proceedings of 16th IAIN World Congress, International Association of Institutes of Navigation (2018).
- (12) Y. Kitagawa, O. Bondarenko, Y. Tsukada, T. Fukuda and K. Tanizawa: An Application of the Tank Test with a Model Ship for Design of Ship Propulsion Plant System, Journal of JIME, Vol.53 No.3, (2018).
- (13) O. Bondarenko and T. Fukuda: The Advantage of Air Lubrication System Integration into the Propulsion Plant, Proceedings of 8th PAAMES and AMEC 2018 (2018).
- (14) Y. Ichinose and Y. Tahara: A Wake Field Design System utilizing a Database Analysis to Enhance the Performance of Energy Saving Devices and Propeller, Journal of Marine Science and Technology (2018).
- (15) Y. Ichinose and Y. Tahara: Development of an Automatic Hull Form Generation Method to Design Specific Wake Field, Proceedings of IMDC2018 (2018).
- (16) K. Kume and R. Fukasawa: Experimental Investigation of Surface Pressure Distribution of the Duct-Type Energy Saving Device for ships both in calm water and in wave conditions, Proceedings of

- ISOPE2018 (2018).
- (17) K. Shiraishi, Y. Sawada, K. Hoshino and D. Arakawa: Experimental estimation for pressure fluctuation on ship stern induced by cavitating propeller using cavity shape measurements, Proceedings of 10th International Cavitation Symposium (CAV2018) (2018).
 - (18) N. Sakamoto and H. Kamiirisa: Prediction of near field propeller cavitation noise by viscous CFD with semi-empirical approach and its validation in model and full scale, Ocean Engineering, 168 (2018).
 - (19) N. Sakamoto and H. Kamiirisa: Propeller Cavitation Noise Radiated from Single and Twin-Screw Cargo Liners: CFD Prediction and Full Scale Validation, 10th International Cavitation Symposium (CAV2018) (2018).
 - (20) C. Kawakita: A Hydrodynamic Design Method of Ship Applying the Air Lubrication System, Proceedings of ISOPE2018 (2018).
 - (21) D. Arakawa, H. Kawasima and C. Kawakita: Numerical Estimation of Self-propulsion Factors for Ship with Air Lubrication, Proceedings of ISOPE2018 (2018).
 - (22) G. Taillon, H. Komatsu, K. Miyagawa, S. Saito and C. Kawakita : Cavitation erosion resistance of high-strength fiber reinforced composite material, 29th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems (2018).
 - (23) K. Kume, H. Ohba, H. Orihara and S. Mizokami: Wind Velocity Profile and Representative Wind Velocity for Wind Resistance Measurement of Ship Models, Journal of JASNAOE (投稿中) .
 - (24) N. Sogihara, M. Tsujimoto, R. Fukasawa and T. Hamada: Uncertainty Analysis for Measurement of Added Resistance in Short Regular Waves -Its Application and Evaluation-, Journal of JASNAOE (投稿中) .
 - (25) 大場弘樹、星野邦弘、黒田麻利子、澤田祐希、辻本勝：船舶試験水槽におけるマイクロバブルをトレーサに用いた PIV による模型船周りの流場計測と波高影響調査、日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中) .
 - (26) N. Sogihara, A. Sakurada, M. Kuroda, M. Tsujimoto, Y. Sugimoto and K. Hasegawa: Development of a Numerical Model on Displacement Correction for Ship Performance in Calm Seas Based on Full-Scale Measurement, Proceedings of ISOPE2019 (2019) (採択済) .
 - (27) A. Sakurada, N. Sogihara, M. Kuroda, M. Tsujimoto, Y. Sugimoto, K. Hasegawa and T. Danno: Application of a Numerical Model on Displacement Correction to the Evaluation of Ship Performance in Calm Seas for a Bulk Carrier Using Ship Monitoring Data, Proceedings of PRADS2019 (2019) (投稿中) .
 - (28) Y. Kitagawa and M. Kashiwagi: A Strip Method Including nx -Related Terms and its Effects on Propeller Inflow Velocity in Waves, Journal of JASNAOE, No. 29, (2019) (採択済) .
 - (29) Y. Kitagawa, Y. Tsukada, O. Bondarenko and T. Fukuda: Development of a Methodology of the Tank Model Test with the Marine Diesel Engine Simulator for Direct Assessment of Propulsion and Course-Keeping Performance of Full-Scale Ship in Oblique and Beam Sea, Proceedings of PRADS2019 (2019) (投稿中) .
 - (30) O. Bondarenko and T. Fukuda: Development of a Diesel engine's Digital Twin for the prediction of propulsion system dynamics, Proceedings of MOSES 2019 (2019) (投稿中) .
 - (31) D. Arakawa, K. Shiraishi and J. Ando: Construction and Analysis of Response Surface between Blade Shape and Propeller Characteristics using Multivariate Chebyshev Approximation, Proceedings of Sixth International Symposium on Marine Propulsors SMP'19 (2019) (採択済) .
 - (32) K. Shiraishi, Y. Sawada, D. Arakawa and K. Kimura: A Study on Deformation Measurements and Hydrodynamic Investigation of the Flexible Composite Marine Propeller, Proceedings of Sixth International Symposium on Marine Propulsors SMP'19 (2019) (投稿中) .
 - (33) C. Kawakita: A Hydrodynamic Design Method of Ship Applying the Air Lubrication System, International Journal of Offshore and Polar Engineering (2019) (投稿中) .
 - (34) C. Kawakita: An Experimental Study on Hydrodynamic Performance of Flexible Composite Model Propellers, Proceedings of Sixth International Symposium on Marine Propulsors SMP'19 (2019) (採択済) .
 - (35) C. Kawakita and T. Hamada: Experimental Investigation on Influence of Inclination and Curved Surface of Ship Bottom in Air Lubrication Method, Proceedings of ASME'2019 AJKFluids (2019) (採択済) .
 - (36) T. Hiroi, T. Hamada and C. Kawakita: Investigation on the Characteristic of Bubbles in Horizontal Channel Flow by Fiber Optics Sensor, Proceedings of the ASME-JSME-KSME 2019 Joint Fluids Engineering Conference (2019) (採択済) .
 - (37) H. Kawashima, H. Mieno, T. Hiroi and T. Hamada: Effect of Roughness Shape Parameter of Painted Surface on Frictional Resistance, Proceedings of PRADS2019 (2019) (投稿中) .

□国際貢献：5 件

- (1) K. Kume and G. Strasser: Draft amendments to 2014 Guidelines on survey and certification of the EEDI, IMO/MEPC73/5/7 (2018).
- (2) Y. Ohnishi and K. Kume: Comments on the Interim report of the Correspondence Group on EEDI review

beyond phase 2, IMO/MEPC73/5/8 (2018).

- (3) K. Kume: The contents of IMO document and the background of the submission to update 2014 Guidelines on survey and certification of the EEDI, ITTC/SOS (2018).
- (4) ISO/FDIS 20233-1: "Ships and marine technology - Model test method for propeller cavitation noise evaluation in ship design - Part 1: Source level estimation"
- (5) ISO/WD 20233-2: "Ships and marine technology - Model test method for propeller cavitation noise evaluation in ship design - Part 2: Noise source localization"

□講演他：38 件

- (1) M. Tsujimoto: Big Data towards Estimating Ship Performance in Service, Proceedings of Maritime Big Data & VPO Forum (2018).
- (2) 辻本勝：ビッグデータの活用による実海域性能評価、第 18 回海上技術安全研究所研究発表会 (2018).
- (3) 実海域実船性能評価の構築—OCTARVIA PROJECT—、第 18 回海上技術安全研究所講演会 (2018).
- (4) 辻本勝：M. Tsujimoto: Towards accurate performance evaluation of ships in actual seas, Proceedings of World NAOE Forum 2018 A Trend of Digital Twin and Data Platform in Maritime Industry, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers (2018).
- (5) 辻本勝：実海域推進性能評価と実船のモニタリング解析、海事三学会合同シンポジウム（第 4 回）海事分野におけるイノベーション講演集、日本船舶海洋工学会・日本マリンエンジニアリング学会・日本航海学会 (2019).
- (6) A. Sakurada, N. Sogihara, M. Kuroda, M. Tsujimoto, Y. Sugimoto and K. Hasegawa: Analysis of the Onboard Measurement Data by Performance Simulations in Actual Sea -Application of Correction for displacement and Weather Correction-, ClassNK Technical Bulletin, Vol. 36 (2018).
- (7) A. Sakurada, M. Kuroda, M. Tsujimoto, Y. Sugimoto and K. Hasegawa: A Numerical Model of Speed-Revolution-Power Relation for the Evaluation of Ship Performance in Actual Seas, ClassNK Technical Bulletin, Vol. 36 (2018).
- (8) 粉原直人、辻本勝、深澤良平、濱田達也、横田早織：波浪中抵抗増加の計測における不確かさ解析の適用とその評価、第 76 回実海域推進性能研究会 (2018).
- (9) 山本虎卓、久米健一、折原秀夫：ITTC PSS/SOS 報告（試運転解析法 RP 改正）、日本船舶海洋工学会・推進運動性能研究会 (2019).
- (10) 黒田麻利子、大場弘樹、辻本勝：実海域再現水槽の計測・解析自動化について、第 8 回水槽試験技術交流会(2019).
- (11) 黒田麻利子、辻本勝、櫻田顕子、粉原直人、肥後崎愛：実船データによる PCC の横揺評価法の検証、第 77 回実海域推進性能研究会 (2019).
- (12) 横田早織、櫻田顕子：複数台の波高計による波向計測プログラムの開発、第 77 回実海域推進性能研究会 (2019).
- (13) 辻本勝：EEDI 規制と船舶性能、関西海事教育アライアンス講義—海事産業とマリタイムガバナンス (2018) .
- (14) 辻本勝：船舶の抵抗・推進（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・運航への利用—、東京大学大学院工学研究科講義—特別講義Ⅲ（2018）.
- (15) 辻本勝：船舶運航からの GHG 削減—ウェザールーティングの高度化—、日本技術士会船舶・海洋/航空・宇宙部会 (2018).
- (16) 松沢孝俊：氷海用船舶・海洋構造物の技術開発、日本海洋工学会第 50 回海洋工学パネル (2018).
- (17) 松沢孝俊：船舶の氷中推進性能の推定について～氷海水槽における模型試験の手順、日本マリンエンジニアリング学会 (2018).
- (18) T. Matsuzawa: Bridging between Science and Engineering, Workshop on Ice Navigation Support System (2018).
- (19) 松沢孝俊、下田春人、若生大輔、宇都正太郎：商船船型に適した氷中抵抗モデルの開発—運動量ベースモデルの適用におけるパラメータ解析—、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 26 号 (2018).
- (20) 松沢孝俊：船舶の氷中性能推定に関する氷海水槽試験、日本マリンエンジニアリング学会第 63 回特別基金講演会「極海航路と氷海船」 (2019).
- (21) 松沢孝俊：氷海船舶の設計における氷海水槽の役割、第 145 回造工中手船型研究会 (2019).
- (22) Y. Kitagawa and M. Kashiwagi: A New Strip-Theory Method Including Effects of Longitudinal Direction Component of Normal Vector on Body Surface, 日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 26 号、(2018).
- (23) 北川泰士、塚田吉昭、Bondarenko Oleksiy、福田哲吾、谷澤克治：水槽試験の活用による主機特性及び設計が波浪中推進性能へ与える影響の検証、第 18 回海上技術安全研究所研究発表会 (2018).
- (24) 北川泰士、塚田吉昭：波浪中主機負荷変動の理論推定手法に関する研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 27 号 (2018).
- (25) 北川泰士、柏木正：物体表面法線ベクトルの船体長手方向成分の影響を考慮した新しいストリップ法、第 76 回実海域推進性能研究会 (2018).
- (26) 北川泰士、塚田吉昭、Bondarenko Oleksiy、福田哲吾、谷澤克治：波浪中主機負荷変動推定のための

- プロペラ有効流入速度モデルに関する研究、第 196 回船用プロペラ研究会 (2018).
- (27) O. Bondarenko and T. Fukuda : Assessment of Propulsion System Integration via Process Modeling、海技研報告 17 巻 4 号 (総合報告) (2018).
- (28) O. Bondarenko and T. Fukuda : Study on Application of Turbocharged Diesel Engine for the Air Lubrication System of Ship's Hull、海技研報告 18 巻 3 号 (総合報告) (2019).
- (29) 一ノ瀬康雄：船尾伴流場の設計を可能とする船型自動生成手法の開発ー水槽試験による有効性の検証ー、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 26 号 (2018).
- (30) 一ノ瀬康雄：CFD と統合船型データベースによる船型性能「見える化」技術を活用した内航省エネ船型開発、Sea Japan 2018 (2018).
- (31) 新川大治朗：多変数チェビシェフ近似を用いたプロペラ特性の応答曲面近似について、第 11 回推進・運動性能研究会 (2018).
- (32) 白石耕一郎、澤田祐希、川北千春：キャビティ体積とプロペラ変動圧力に関する実験的考察、ターボ機械協会第 17 回プロペラ分科会 (2018).
- (33) 白石耕一郎、澤田祐希：組合せライン CCD 法を用いた三次元形状計測装置による模型プロペラに生じるキャビテーションの形状計測、可視化情報学会誌 (2019).
- (34) D. Arakawa, C. Kawakita, H. Kawashima, Y. Kawanami, K. Shiraishi, Y. Ichinose and T. Hiroi: Recent Research Activities at NMRI Fluid Control Research Group, Hydro-Testing Forum (2019).
- (35) 拾井隆道、新川大治朗、濱田達也、川島英幹、川北千春：水槽試験による空気潤滑船の推進性能推定法の研究、日本船舶海洋工学会第 10 回推進・運動性能研究会 (2018).
- (36) N. Sogihara, T. Yonezawa, T. Ishiguro, Y. Sugimoto, S. Masuyama, H. Mieno, M. Shimada, Y. Matsubara: Introduction of OCTARVIA Project: Project for Ship Performance in Actual Seas, Proceedings of 4th Hull Performance & Insight Conference (2019) (投稿中) .
- (37) 北川泰士、塚田吉昭、柏木正：ストリップ法における n_x 影響項が前後揺れと波浪中プロペラ流入速度変動に与える影響、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 28 号 (2019) (投稿中) .
- (38) O. Bondarenko and Y. Kitagawa: Estimation of effective inflow velocity into propeller utilizing engine model and the Kalman filtering technique, 日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 28 号 (2019) (投稿中) .

□博士学位取得 1 名

一ノ瀬康雄：船型データベースを活用した船尾伴流場設計法に関する研究、九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻 (2019).

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。
- 実海域での実船性能評価は、実運航状態での GHG 削減のために取り組む必要のある研究テーマであり、環境負荷低減に係る社会的ニーズが高い。
- 海事クラスター共同研究 実海域実船性能評価（オクタビア）プロジェクト（国内海事関係 25 社）と連携して実施している重点研究であり、海事産業の競争力強化、成果の波及効果の面で社会的価値が非常に高い。
- 船舶の省エネ技術開発は、国際海運からの CO₂ 排出量削減のために必要かつ重要であり、環境負荷の低減に貢献する。さらに、効果の高い省エネ技術を国内造船所に提供することにより、日本の海事産業の国際競争力の強化につながる。
- ◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きい。
- 高度化を実施している実運航性能シミュレータ（VESTA）は精度が高い計算法で、実船等でも幅広く信頼性が検証されている。海上試運転解析での波浪修正、実船モニタリング解析での平水中性能の抽出、ウェザールーティングでの適用、氷海中航行への拡張など、幅広く実船の性能解析に利用されている。
- これまで研究例が少ない波浪中主機負荷変動の数値計算法の開発やその高精度化、及び主機特性と推進性能に加えて操縦運動までも実船と相似性を保つように拡張した水槽試験法の方法論など、十分な新規性を有する研究開発を実施している。
- 新しい統合エンジンモデルを開発し、船舶関係では適用例が少ない Hardware in the Loop（HIL）テストベンチでオンラインシミュレーションを行い、スマート制御の検証が行えるようにしたのは科学的意義が大きい。
- 伴流設計システムによって得られた知見は、船型学の観点でも非常に意義のあるものであり、特許出願に繋がった。この知見を船型及びプロペラ設計に応用することが可能である。
- CFD を活用して船舶水中騒音を精度よく予測できた例はなく、十分に新規性がある。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- IMO での GHG 削減戦略が採択され、これまでの EEDI（新造時平水中性能）から実運航状態での GHG 削減が必要となる。本研究はすでにそれを対象として研究を実施しており、時機を得ている。

- EEDI Phase3 の対応のために省エネ船型及び付加物の開発が求められており、船型・流場データベースは本対応に有効な技術である。
- CFD による水中騒音予測は CBD(Convention on Biological Diversity)決議に沿うものでありタイムリーに開発ができた。

- ◎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。
- 研究成果は、IMO/MEPC での EEDI 各ガイドラインへの反映、ISO 規格への技術的反映、ITTC（国際試験水槽会議）での技術的審議のリードに繋がるものであり、国際機関（IMO, ISO, ITTC）での議論に技術面で貢献できている。
- キャビテーションに関する ISO においては、国内海事産業が不合理な規格に縛られることの無いように活動できている。
- 今後ますます船舶水中騒音規制が厳しくなる状況であり、CFD により水中騒音が精度よく予測できるようになったことは、国連の生物多様性条約 CBD で決議された船舶水中騒音ツールキットの開発そのものであり、先行してこの対応が取れたことは国際競争力の向上に資する。
- いずれの技術も国際的に高いレベル（世界トップレベル）の内容であり、短期開発的な内容以外にも中長期的な開発内容を包含しており、国際競争力の向上に資する内容である。

- ◎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。
- 船舶の波浪中主機負荷変動を評価できる数値計算技術や水槽実験手法を適用した性能評価手法など、現状では萌芽的な技術であるが、実運航での GHG 削減を見据え、AI を利用したガバナ設計や Hardware in the Loop（HIL）によるシミュレーション（デジタルツイン）技術を利用して取り組むなど、自律運航船への適用を見据えた技術開発であり、先見性と機動性を持った対応がとれている。

研究主任者による自己評価	S
--------------	----------

- 研究成果の社会実装、デファクト化を目指して、国際基準への取り込み、プログラムの開発・公開に取り組み、特に顕著な成果が出ている。
- 学会表彰を受ける高いレベルの成果創出がなされている

研究計画委員会による評価	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	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO ₂ ）、窒素酸化物（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。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO ₂ ）、窒素酸化物（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。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 ー実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を加速する。本年度は、平水中速力・出力・回転数カーブを求める標準的手法の作成を行う。等

研究の背景

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

- 平水中での自由航走計算手法の開発
- 実船スケールでの平水中性能計算手法の開発
- ハイブリッド型省エネデバイスの性能シミュレーションとキャビテーション計算へのCFDコードの拡張
- 実船馬力推定における風圧抵抗評価手法の確立
- 波浪中での諸問題に対するCFDコードの拡張
- 形状最適化手法開発

研究目標

- 以下の特徴を有するCFDシステムの開発
- 1.平水中における自由航走計算が可能
- 2.実船スケールでの平水中の流場計算や性能推定が可能
- 3.実プロペラ形状とも組合せ、実用的な形状を有するハイブリッド省エネデバイスの性能評価が可能
- 4.キャビテーション計算手法の開発
- 5.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
- 6.波浪中の抵抗・推進・操縦運動性能解析が可能
- 7.大波高時の転覆やブローチングなどの船体運動シミュレーションが可能
- 8.船体や省エネ付加物等の形状最適化が可能

上記成果は、抵抗・推進から耐航・操縦運動性能を推定できる高精度な CFD システムを産業界に提供することにより、大きな省エネにつながる高度な船型開発を効率的に行うことが可能になり、GHG が削減される。また大波高時の転覆やブローチング等のシミュレーションも可能になることで、海難事故を減少させ、安全・安心な社会の実現に貢献することが期待される。さらに効率的な省エネデバイスの開発により、我が国海洋産業の国際競争力強化へとつながる。

平成 30 年度の研究内容

□ 平水中での抵抗・推進・操縦性能計算手法の高機能化・高速化
 重合格子対応の構造格子ベースのソルバー NAGISA と重合情報生成システム UP_GRID による動的重合格子を用いて、実プロペラ形状を使用した自由表面影響を含む推進状態の計算手法を開発する。最新のメニーコアアーキテクチャである Xeon Phi KNL におけるベクトル化手法を適用し、ソルバーの高速化効率等を確認する。実船スケール計算結果と実船計測結果の比較により実船スケール計算手法を確立する。また、粗度モデルを導入し、粗度影響を評価できる計算手法を開発する。

□ 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
 重合情報生成システム UP_GRID において押し出し手法及び自由表面クラスタリング等の手法を改良し、様々な形状に対してロバストで高品質な格子生成を可能にする手法の開発を行う。構造格子有限体積法に適した界面捕獲アルゴリズムを使用し、3次元を含むベンチマーク問題において検証を行う。キャビテーションモデルについてモデルを調査し、実装に向けた定式化を行う。

□ 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
 複数の船種について風向・風速を変化させた計算を行い、風洞試験結果との比較検証を行う。

□ 省エネ付加物影響を含む波浪中での計算手法の確立
 格子分割数や時間刻み、運動の自由度及び壁関数の導入により、少ない計算リソースでの波浪中での標準的計算手法案の作成とともに、水槽試験結果との比較に基づく精度検証と計算手法の有効性を確認する。

□ 船体や省エネ付加物等の形状最適化システムの構築
 開発済みの最適化手法について実用問題での検証を行う。

平成 30 年度の実績

□ 動的重合格子を用いて、プロペラ形状を忠実に再現した計算格子を使用した実プロペラ形状による自由表面影響も考慮した推進性能の計算手法を開発した。計算にはフルマルチグリッド手法を用い、新たなパラメータとして動的重合格子の重合情報更新のインターバルを導入し、計算時間を短縮できることを示した。また、Intel 社製 Xeon Phi を使用し、乱流モデルや自由表面モデルを含む船舶周り流れにおける速度向上率等の調査を行った。加えて、2 船型の実船流場計測状態について、格子分割数や乱流モデル及び粗度の計算結果に与える影響を調査し、計算条件の設定を含む実船スケール計算のガイドラインを作成した。加えて、国際水槽機関(ITTC)の常設及び特設委員会での実船馬力推定における CFD の活用に関して、議論が必要として設定されたケースにおける計算結果を提供した。

□ キャビテーション界面の捕獲を目的とした、多次元 THINC 法に基づくセル積分ベースの構造格子用界面捕獲スキームを開発した。開発したスキームを、2次元および3次元ベンチマーク問題に適用し、体積分率の保存性等の検証を通じ、計算手法の妥当性が確認できた。マイクロスケールのキャビテーションモデルについて、文献調査および NAGISA に導入可能な形で、再定式化を完了した。

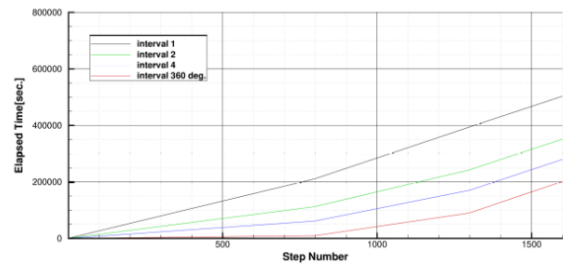
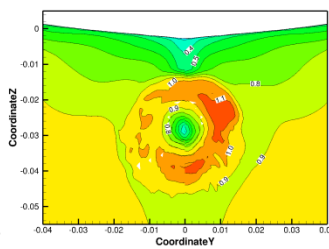
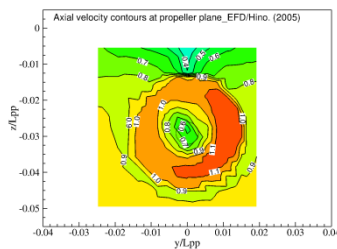
□ 複数の船型について重合格子法を用いた風圧力 CFD 計算を実施した。風洞格子・船体格子・上部構造物格子等の別々な格子を重合させることで、風向きを変更する場合でも格子の再生成が不要であり効率的なシリーズ計算が可能であることや、個々の部品それぞれに加わる力を求めることが容易であり、上部構造物の形状や配置を検討する際に重合格子法は有効な手法であることを示した。風速の影響や格子依存性等ガイドラインのベースとなる項目の検討を行い、素案をまとめた(実海域実船性能評価プロジェクトと連携)。

□ 肥大船型について、計算格子(格子分割数等)や計算パラメータ・解析方法(時間刻みや波高の抽出方法等)の変更が抵抗増加量と船体運動に与える影響を調査するとともに、船体運動の自由度と壁関数の導入により安定かつ計算負荷の低い手法を構築し、水槽試験結果との比較により精度検証を行った。追加検討結果に基づき標準計算手法案を作成した。(実海域実船性能評価プロジェクトと連携)。

□ 開発済みの最適化手法を実問題へ適用し、その有効性を確認するとともに成果を論文にまとめて発表した。

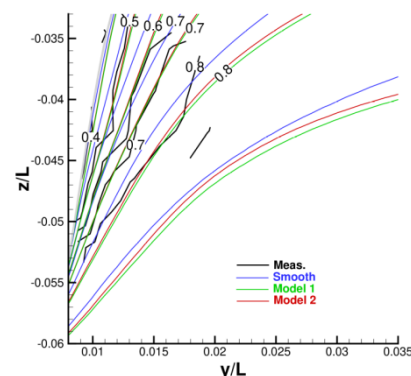
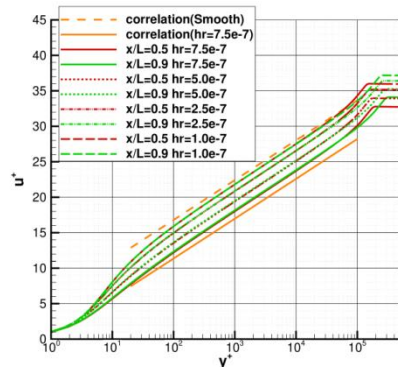
平成 30 年度の研究成果

□フルマルチグリッド手法と動的重合格子を用いた実プロペラ計算を行い、新しいパラメータとして重合情報の更新間隔を導入し、重合情報の更新に関わる計算のオーバーヘッドを小さくする計算手法を開発した。自由表面も考慮した推進状態の計算において計算時間を 20%以上短縮できる結果を示したとともに、プロペラ後方の流場について実験結果との比較検証を行った。



プロペラ後方の平均流場の比較(左:実験結果、右:計算結果) 計算の高速化(赤線:新しく開発した手法)
□2 隻の異なる船型(練習船および省エネ付加物付きバルクキャリア)について、実船スケール CFD 計算を行い、計算結果を実船流場計測データを用いて検証した。格子分割数を変更した不確かさ解析、乱流モデル及び粗度の計算結果に与える影響を調査し、計算条件の設定を含む実船スケール計算のガイドラインを作成した。

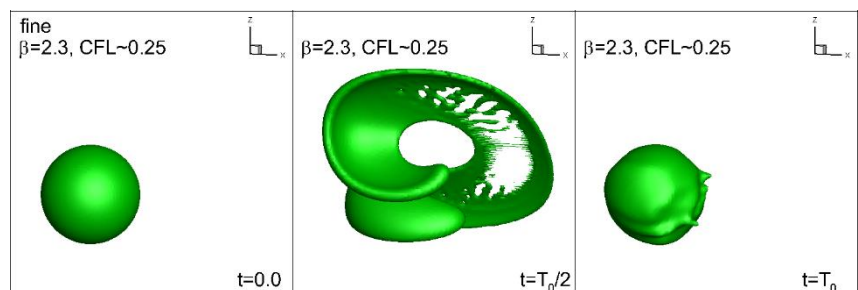
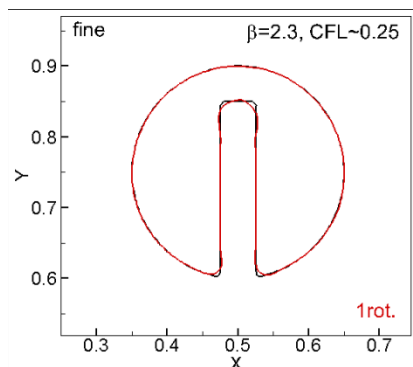
□粗度モデルについて実船スケール相当の平板で検証を行い、粗度高さによる抵抗値等の変化等を確認した。さらに実船流場データを有する船型において自由表面を考慮した推進状態を再現し、実船流場との比較から粗度モデルの有効性を示した。



実船相当平板での粗度による無次元速度分布の変化 実船流場データとの比較(赤・緑線:粗度モデル)

□最新のメニーコアアーキテクチャ Xeon Phi における並列計算手法 OpenMP とベクトル化手法について、乱流モデルや自由表面モデルを含む船体周り流れの計算に適用するとともに、プロセッサの性能をさらに発揮させるための情報収集を行った。

□多次元 THINC 法に基づくセル積分ベースの構造格子用界面捕獲スキームを開発し、2 次元および 3 次元ベンチマーク問題にて、体積分率や形状の保存性等の検証を行うことで、計算手法の妥当性を確認した。

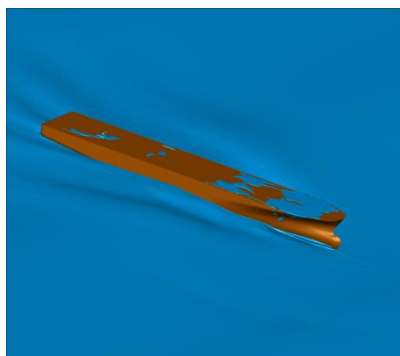


2 次元非定常速度場における移流検証結果
(赤線:初期値、黒線:1 回転後の計算値)

3 次元非定常速度場における移流検証結果
(初期値→半周期後→1 周期後)

□実海域実船性能評価プロジェクトと連携し、上部構造物の風圧抵抗 CFD 計算に関する検討を横浜国立大学とも協力して実施した。バルクキャリア(JBC)船型について、重合格子法をベースにした CFD 計算により、開発中の重合格子生成プログラム UP_GRID が、複雑形状物体が多数ある場合においても重合情報を生成可能であることを示した。また、風向・風速影響、格子依存性等について試験結果と比較・検証を行った。

- 前述のバルクキャリア船型での計算による知見も踏まえて PCC 船型について重合格子を作成した。風向きを変更した CFD 計算を共同研究プロジェクトにおいて分担して行い、試験結果と比較・検証を行った。
- ITTC/SOS コミッティーで、風圧力に関する CFD ベンチマーク計算が行われることとなり、対象船型周りの格子作成と CFD 計算を実施した。
- 実海域実船性能評価プロジェクトと連携し、向波中での標準的計算法案を構築するとともに、波浪荷重推定にも用いることができる大波高中で船体形状も忠実に再現した計算もロバストに行えることを確認した。



大波高中での船体付近の自由表面

- 新バージョンのリリースと普及のためのセミナー開催 1 回

成果の公表

- プログラム登録 3 件

1. 重合格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(NAGISA) Ver3.32
2. 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) Ver2.1R1
3. 船体・付加物格子間補間情報計算プログラム(OS_GT_GEN Ver.1.0)

- 発表論文 12 件

1. 大橋訓英他：Xeon Phi による共有メモリ型計算手法の数値モデルを含む船舶周り流れへの適用，第 23 回 計算工学講演会 (2018)
2. 大橋訓英：動的重合格子による船舶の自由表面影響下での推進状態の数値シミュレーション，日本流体力学学会年会 (2018)
3. 大橋訓英：二方程式乱流モデルにおける粗度モデルの実船スケールでの影響調査，第 32 回 数値流体力学シンポジウム (2018)
4. Ohashi, K. et al. : Development of a structured overset Navier-Stokes solver with a moving grid and full multigrid method, Journal of Marine Science and Technology, (2018)
5. Ohashi, K. et al. : Numerical Simulation of the Free Running of a Ship Using the Propeller Model and Dynamic Overset Grid Method, Ship Technology Research, (2018)
6. Sakamoto, N., Kamiirisa, H. : Propeller Cavitation Noise Radiated from Single and Twin-Screw Cargo Liners: CFD Prediction and Full Scale Validation, 10th International Symp. On Cavitation.
7. Sakamoto, N., Ohashi, K. : Implementation of THINC-type VoF Advection Scheme on Structured FVM Solver, 20th Numerical Towing Tank Symposium (2018)
8. Sakamoto, N. : Recent Trends of Viscous CFD Analysis for Cavitating Marine Propellers, 第 19 回キャビテーションに関するシンポジウム (2018)
9. Tahara, Y., et al. : Variable decomposition approach applied to multi-objective optimization for minimum powering of commercial ships, Journal of Marine Science and Technology, (2018)
10. Tahara, Y. et al. : Simulation Based Global Concept and Local Geometry Optimization for Ship Design Considering Propulsive Performance in Actual Seas and Fatigue Damage Evaluation by Using Global Oceanographic Model and Onboard Monitored Data, Proceedings of 32nd Symposium on Naval Hydrodynamics, (2018)
11. Kobayashi, H., Sakamoto, N., Ohashi, K. : Solid Block Approach for Hole-Cutting Procedure in Overset Assembling, PRADS 2019(投稿中)
12. 平田信行他：次世代 CFD の研究開発状況，H30 年度海技研研究発表会講演集 (2018)

主な評価軸に基づく自己分析

- ◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
- 海事局プロジェクトである実船スケール流場に関する PIV 計測結果と計算結果の比較検証とともに、格子分割数や乱流モデル等の標準的計算パラメータの検討から、実船スケール計算に関するガイドラインを構築した。

□海事クラスター共同研究において、向波での標準的な計算法案に関して素案を作成するとともに検証作業に参加者で分担して実施し、そのとりまとめを行った。風圧抵抗の計算ガイドラインにむけて、格子依存性、流入速度、速度プロファイル、風向き等の計算パラメータの影響調査を行うとともに、プロジェクトの方針に沿って分担計算のとりまとめも行った。
□関連する請負研究2件(1件は2017年度より継続)を実施した。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいのか。
□新たな計算の高速化手法を開発するとともに、大規模計算にむけた基礎的検討を進めた。
□実船スケールにおいて粗度モデルの詳細な検討結果を示すとともに、実船流場計測データとの比較検証から粗度モデルの実船流場での有効性を示した。
□キャビテーション界面を捕獲するために開発した界面捕獲スキームは、構造格子ベースでは現段階で他に例がなく、新規性が高い。

◎成果が期待された時期に創出されているか。
□成果を論文にまとめて発表するとともに、セミナーや請負研究により手法の普及を図った。
□関連するプログラムとして新規に3件登録した。

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
□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、国際水槽機関(ITTC)の常設及び特設委員会での議論も始まっており、先行して成果を国内外の学会で打ち出している。
□CFDによる上部構造物の風圧抵抗推定はITTCの特設委員会で計算ガイドラインを検討されており、また波浪中での性能改善は実海域実船性能評価プロジェクトのテーマでもあり、標準計算法案は実用化に寄与するもので、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。
□デジタルツインも視野に入れ、実船性能の直接推定にむけたマルチスケール・マルチフィジクスの計算手法の開発を進めている。

研究主任者による自己評価	A
--------------	----------

□実船スケール性能の直接推定に向けて、実船流場のPIV計測結果との比較検証及び計算パラメータ影響の調査から実船スケール計算ガイドラインを構築した。関連し、実船スケールでも有効な粗度モデルを開発した。ITTCの常設及び特設委員会での実船馬力推定に関する議論に貢献する計算結果も提供した。
□社会ニーズが高い波浪中計算の実用化にむけ、実海域実船性能評価プロジェクトと連携し、計算パラメータの影響調査等から標準的計算法を構築し、検証を行った。
□風圧抵抗計算に関するITTCの特設委員会でのガイドラインの議論にあわせて、想定される主要な項目に関する調査を行い、ガイドラインの基礎となる検証結果を得た。
□研究成果について国際ジャーナルに3件掲載とプログラム登録が3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	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO ₂ ）、窒素酸化物（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。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO ₂ ）、窒素酸化物（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。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を加速する。本年度は、平水中速力・出力・回転数カーブを求める標準的手法の作成を行う。等

研究の背景

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

研究目標

☐ 水素エネルギー利用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、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の実現が期待される。また、先駆的な技術開発により我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成30年度の研究内容

☐ 燃料電池システムを搭載する小型船舶に関する実用システム技術の構築、燃料電池を利用した電気推進システムの信頼性・安全性の調査・検証を行う。さらに、これらの試験や調査から得られる知見より、昨年度までに策定を進めてきた水素燃料電池船の安全ガイドライン案の見直し作業を行う。

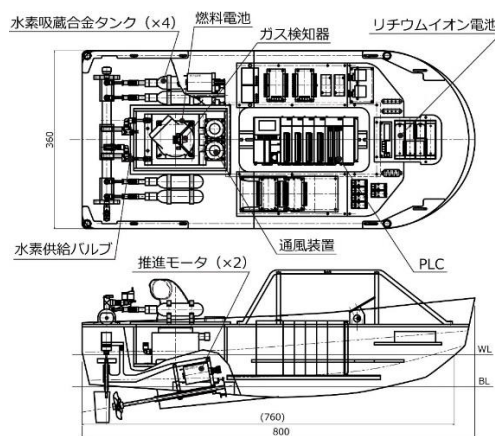
- メタンガスを主燃料とする船用ガスエンジンに対して、異なるガス燃料（主に水素）を混焼させた場合の安定燃焼を実現する技術を開発することを目指して、エンジンの安定性評価（燃焼の安定性）と排ガス成分・排出量について詳細な調査を行う。
- 石油燃料を主燃料とするディーゼルエンジンに補助燃料としてアンモニアを供給した場合に発生する未燃のアンモニア（ NH_3 ）と亜酸化窒素（ N_2O ）の低減方法を開発するため、単気筒エンジンによる実験を行い、エンジン内部での燃焼及び排ガス後処理を組み合わせた低減方法を開発する。

平成 30 年度の実績

- 燃料電池及びリチウムイオン電池を搭載した模型船並びにその制御システムを開発し、主に電気推進システムの信頼性・安全性を高める制御手法を構築した。
- 昨年度までに実施した水素燃料電池の実船試験に使用していた水素関連設備を調査し、それらの安全性を確認した。さらに、所外関係者と水素燃料タンクに関する試験を実施し、その安全性を確認した。
- 上記試験及び調査から得られた知見より、昨年度に策定された「水素燃料電池船の安全ガイドライン」の課題について提言した。
- 都市ガス 13A を主燃料とした 400kW ガスエンジンの給気に水素を混合した際の CO_2 排出削減効果並びに燃焼特性を調べる試験を実施し、ディーゼルエンジンの基準性能に対する CO_2 排出量を 50～60%削減できることを検証した。
- 単気筒の試験エンジン（無過給）を用い、発熱量比 20 %のアンモニアを吸気に導入した実験を行い、トルク・回転数を通常の船用特性から変更することが、燃焼効率の向上及び亜酸化窒素（ N_2O ）の削減に有効であることを確認した。
- 未燃アンモニアの対応技術として、脱硝触媒（SCR）による実機試験を行った。その結果、 NO_x を削減しながら、未燃アンモニアを大幅に削減できることを確認した。

平成 30 年度の研究成果

- 燃料電池及びリチウムイオン電池を搭載した模型船並びにその制御システムを開発し、適切な状態監視と出力制限によって、水素燃料電池船に用いる電気推進システムの冗長性を確保する制御手法を構築した（図 1、図 2 参照）。
- 昨年度までに実施した水素燃料電池の実船試験に使用していた水素配管やバルブ類、圧力調節器の水素漏洩試験を実施し、それらの安全性を確認した（図 3）。さらに、所外関係者と水素燃料タンクに関する試験を実施し、その安全性を確認した。
- 上記試験及び調査から得られた知見より、昨年度に策定された「水素燃料電池船の安全ガイドライン」の実用・普及に向けた課題が防火構造や通風装置、防爆機器にあることを提言した。
- 400kW ガスエンジンの給気が発熱量比 50%までの水素を混合した際の CO_2 排出削減効果並びに燃焼特性を調べる試験を実施した。その結果、ディーゼルエンジンの基準性能に対する CO_2 排出量を 50～60%削減できることを検証した（図 4、図 5 参照）。
- さらに、水素混焼によって燃焼波形が大きく異なること（図 6）、水素熱量混合率の増加によって未燃率（メタンスリップに相当）が大きく減少すること、熱効率が向上することを確認した（図 7 参照）。
- 発熱量比 20 %のアンモニアを単気筒ディーゼルエンジンの吸気に導入した実験を行い、トルク・回転数を通常の船用特性から変更することや電子燃料噴射が、燃焼効率の向上及び亜酸化窒素（ N_2O ）の削減に有効であることを確認した（図 8～図 10 参照）。
- アンモニア混焼エンジンに脱硝触媒（SCR）を取り付けることで、 NO_x と未燃アンモニアの同時削減が可能なることを検証した（図 11、図 12 参照）。



(a) 基本構造



(b) 外観

図 1 模型燃料電池船

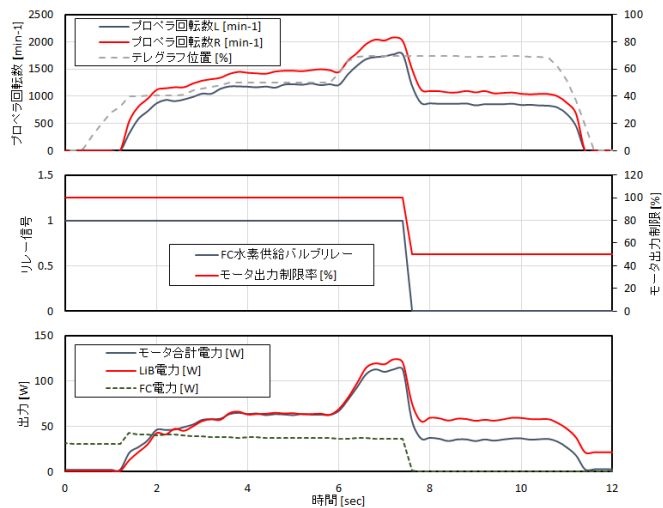


図2 燃料電池システム緊急遮断時の推進動力維持



図3 水素用圧力調節器の漏洩試験



図4 実験用 400kW ガスエンジン

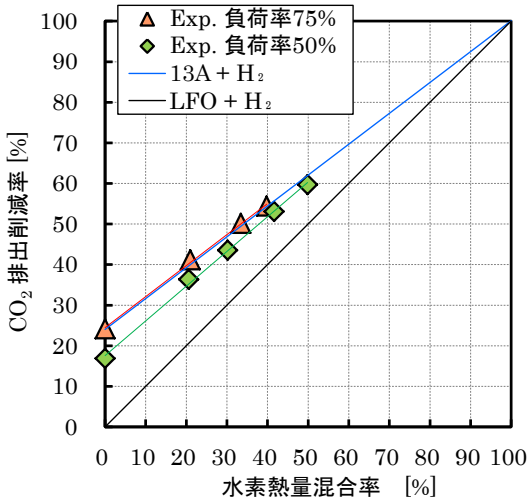


図5 水素混焼による CO₂ 排出削減効果

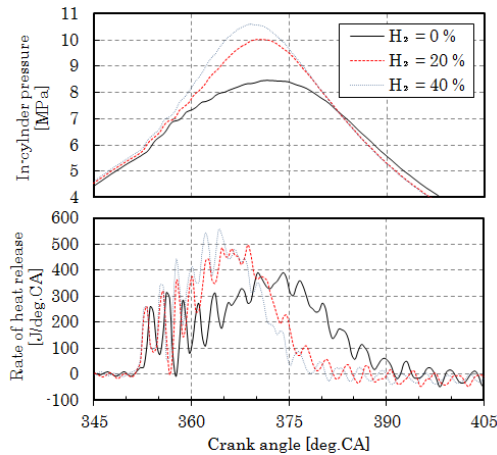


図6 水素混焼時の圧力波形と熱発生率

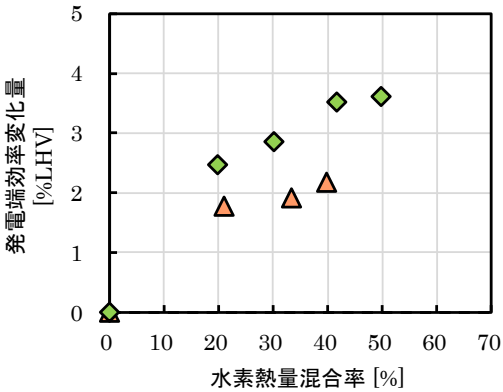


図7 水素混焼時の熱効率

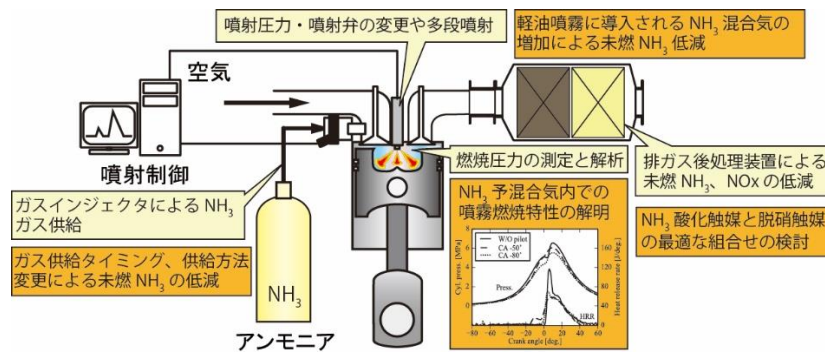


図 8 アンモニア混焼エンジンの概念図

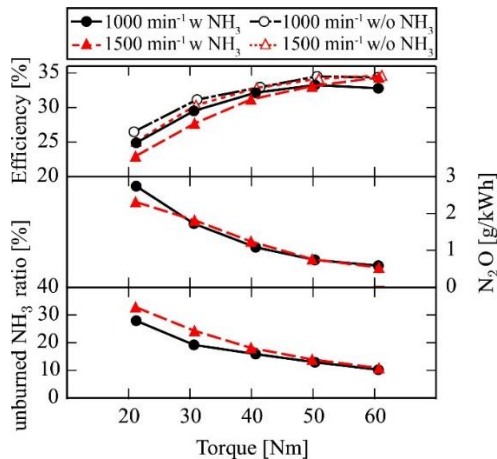


図 9 試験結果の一例 (発熱量比 20%)

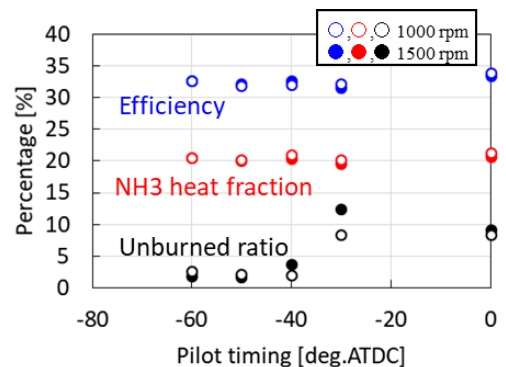


図 10 電子燃料噴射時 (パイロット噴射) の燃焼効率、排ガス組成、熱効率への影響

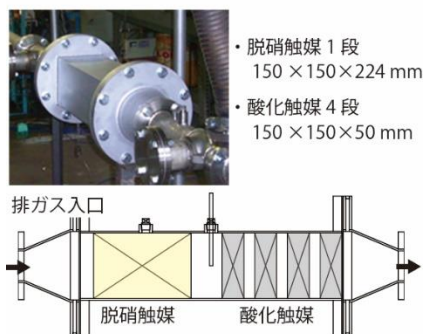


図 11 脱硝触媒 (SCR)

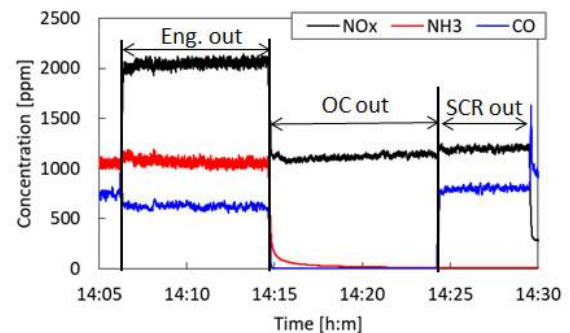


図 12 脱硝触媒 (SCR) によるアンモニア混焼エンジンの NOx・未燃アンモニア同時削減

成果の公表

□ 発表論文リスト

- (1) Yoichi Niki, Yoshifuru Nitta, Hidenori Sekiguchi and Koichi Hirata, EMISSION AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINE FUMIGATED WITH AMMONIA, Proceedings of the ASME 2018 Internal Combustion Fall Technical Conference.
- (2) Yasuhisa Ichikawa, Hidenori Sekiguchi, Oleksiy Bondarenko and Koichi Hirata, AN EXHAUST GAS TEMPERATURE INCREASE TECHNIQUE USING EGR DEVICE FOR THE APPLICATION OF WASTE HEAT RECOVERY TECHNOLOGY ON A LEAN BURN GAS ENGINE, Proceedings of the ASME 2018 Internal Combustion Fall Technical Conference.
- (3) 平田宏一, 水素燃料電池システムの船舶分野への適用と課題, 船舶海洋工学会誌 KANRIN, 第 81 号, 2018 年 11 月.
- (4) 市川泰久, 関口秀紀, 平田宏一, 船用リーンバーンガス機関の水素混焼技術に関する研究, 第 88 回マリエンジンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集 (シンポジウム), p. 131-132 (2018 年 11 月).

- (5) 平田宏一，清河勝美，水素燃料電池船の開発への取り組み，第 88 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集，p. 189-192（2018 年 11 月）。
- (6) 平田宏一，清河勝美，灰庭照緒，平岩琢也，行實文明，日本マリンエンジニアリング学会誌，第 54 巻 第 2 号，水素燃料電池船の開発への取り組み，2019 年 3 月。

□講演リスト

- (1) 平田宏一，多様なエネルギー源等を用いた新たな動力システムの開発に関する研究，平成 30 年度（第 18 回）海上技術安全研究所研究発表会講演集，p. 184-193，2018 年 7 月。
- (2) 仁木洋一，新田好古，春海一佳，平田宏一，西尾澄人，関口秀紀，市川泰久，アンモニア混焼エンジン，平成 30 年度（第 18 回）海上技術安全研究所研究発表会講演集（PS），p. 236-237，2018 年 7 月。
- (3) 平田宏一，水素燃料電池船の実用開発に向けた取り組み，第 18 回海上技術安全研究所講演会，p.42-49，2018 年 11 月。
- (4) 平田宏一，排ガス削減のための動力源の多様化について，日本船用工業会船用技術フォーラム，p.33-40，2018 年 11 月。
- (5) 平田宏一，新たな動力システムの開発 ～船舶への水素燃料等多様なエネルギー源の活用～，平成 30 年度一般財団法人日本造船技術センター技術セミナー講演集，p.62-69，2018 年 11 月。
- (6) 平田宏一，水素燃料電池システムの船舶分野への適用と技術課題，エネルギー総合工学研究所，第 384 回月例研究会，2018 年 12 月。

主な評価軸に基づく自己分析

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

□2018 年 4 月に IMO GHG 削減戦略が採択されたことによって、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。

□船舶用途の水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンは新規性・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。

□上記の通り、2018 年 4 月に IMO GHG 削減戦略が採択されたことによって研究の必要性が高まっており、成果が期待された時期に創出されている。

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

□GHG 削減は国際的に必要な技術であり、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。

□水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの実用化はしばらく先になると考えられるものの、将来技術として極めて重要であることから、先見性と機動性を持って対応している。

研究主任者による自己評価

A

□研究開発成果の最大化に向けた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	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO ₂)、窒素酸化物(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。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO ₂)、窒素酸化物(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。 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 ー排ガス規制に向けた対策技術の動向調査と評価及び規制実施のための計測・分析手法を確立する。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、

- ☐ 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

研究目標

- ☐ 厳しい海象条件でも滞油性能の高いオイルフェンス（あるいは新規の漏油防止装置）の提案。
- ☐ 一部の海底堆積物への放射性物質の集中あるいは希釈状況の把握が可能となることによる、原発事故による漁業や水産物への将来にわたる環境影響及び対策の検討への寄与。
- ☐ 放射性物質輸送容器が海没した際の、放射性物質海洋放出による環境影響評価手法の提示。
- ☐ 広範囲な物質（油・有害化学物質・放射性物質等）を対象とした、閉鎖湾内・外洋のいずれの場合にも適用可能な海洋拡散シミュレーション計算基盤の構築。
- ☐ 船体付着生物管理ガイドラインの見直しにおける、妥当かつ合理性のある船体付着生物の越境移動抑制方策の提示。

□ニッチエリアに対する防汚技術がIMOで新たに問題視された場合の技術的バックデータの蓄積・提示。
上記成果は、以下の事が期待される。

- ①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。
- ②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。
- ③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・放射性物質等)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として活用。
- ④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へととなり得る。

平成30年度の研究内容

- 【海難事故時における油回収・処理効率向上技術の開発】
- 高粘度油微細化による油回収効率化を目的として、水蒸気爆発を利用した流動促進手法により高粘度重質油が微細化・流動化する程度を実験的に評価する。併せて、油処理剤の利用が微細化を促進する効果についても確認する。
- 【海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発】
- 福島第一原子力発電所周辺海域に設定した測線上を、曳航式放射線検出器を用いて放射性物質濃度を測定した結果から、放射性物質濃度の経時変化を調査する。
- 日本近海の海水流動データ及び海上風の風速・風向データを基に、数値海洋モデルを用いて閉鎖性海域及び外洋域の海水流動場を予測できる環境影響評価システムへと高度化し、海上に流出した油の拡散解析ならびに放射性物質の海中移行解析の双方が可能な統一されたシステムを構築する。
- 【船体付着生物の問題に関する研究】
- 国際標準化機構(ISO)船舶及び海洋技術専門委員会(TC8)海洋環境保護分科委員会(SC2)船体への防汚塗料システム(WG5)において、日本提案のISO原案を元に作業原案(WD)等を作成する。

平成30年度の実績

- 【海難事故時における油回収・処理効率向上技術の開発】
- 水蒸気爆発を利用した流動促進実験として、容器内で150℃に加熱した模擬油(及び油処理剤の混合液)に常温水を高圧噴射して水蒸気爆発を発生させる実験を行った。
- 上記の実験結果における問題点(ナタネ油による重油希釈効果が大きく粘度低下の定量化が困難)及び手法実用化の観点を踏まえ、インジェクターを用いて40℃の温水を常温高粘度模擬油(及び油処理剤の混合物)中に高圧噴射する予備実験を行った。
- 【海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発】
- 曳航式放射線検出器を用いたモニタリングにより、海底堆積物中の放射性物質濃度分布の経時変化を調べ、 ^{137}Cs の濃度が減少傾向にあることを明らかにした。
- すでに整備した日本近海海流・海上風データを境界条件として、代表的な数値海洋モデルの一つであるPrinceton Ocean Model(POM)を用いた詳細な海水流動予測を実行できる環境を整備した。これまでの影響評価システムは事故直後の迅速な対応に主眼を置いた簡易モデルが中心の構成であったが、詳細計算が可能な数値海洋モデルを整備することによって事故後の再現計算機能も備えたシステムへと高度化することができた。加えて、海上に流出した油の海洋拡散モデルを当該システムに組み込み、放射性物質だけでなく油流出時にも対応できる統合的なシステムへと機能を拡張した。
- 【船体付着生物の問題に関する研究】
- 「防汚塗料の性能評価試験に係る規格」の作業原案(WD)を作成した。
- フジツボを用いた防汚塗料性能評価に関する論文を投稿し受理された。
- 藻類を用いた防汚塗料の性能評価試験法に関する原案を作成した。

平成30年度の研究成果

- 【海難事故時における油回収・処理効率向上技術の開発】
- 水蒸気爆発を利用した流動促進実験(図1-1)では、油中にエマルジョン化したと思われる微細な粒子群が発生することを確認した(図1-2)。
- 温水高圧噴射による流動促進実験では、実験後の白濁部分(水と油処理剤の混合物)に大量のO/W(oil in water)エマルジョンと思われる構造が生成していることを顕微鏡観察により確認した(図1-3)。この結果は、高圧噴射による効果と油処理剤適用の効果が得られていることを示唆するものと考えられる。
- 【海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発】
- 海底堆積物に含まれている放射性物質濃度のモニタリング結果は、国のモニタリング計画に反映され、放射性物質の分布状況の中長期的な予測に活用される。

□これまで、放射性物質が環境中に漏洩した場合の被害範囲の推定を目的に開発してきた環境影響評価システムに対して、海上に流出した油の海洋拡散モデルを組み込み、放射性物質だけでなく油流出時にも対応できる統一的なシステムへと機能を拡張した（図 2-1）。

【船体付着生物の問題に関する研究】

□藻類をホモジナイズにより調整することのできる細胞懸濁液を用いて、ワカメの配偶体細胞を用いた防汚塗料の性能評価に関する予備的検討を行った。得られた結果を、シオミドロを用いた防汚塗料の性能評価に適用し、試験条件を流水式とする藻類の生物試験法を構築した（図 3-1 及び図 3-2）。

□亜酸化銅含有量と蛍光強度の閾値を求めるため、統計解析手法を用いて有意差検定を実施した。対照を 0wt%とした有意差検定の結果、藻体をフィルターに固定化した生物試験（及び流水式条件での生物試験）では 10wt%から有意差を示し 20wt%では顕著な差を示した（図 3-3）。藻体細胞を試験片に直接固定化した場合には蛍光強度のばらつきがより大きいこと等から、フィルター固定化かつ流水式条件による生物試験は藻体への防汚剤影響を適切に評価できることを示した。

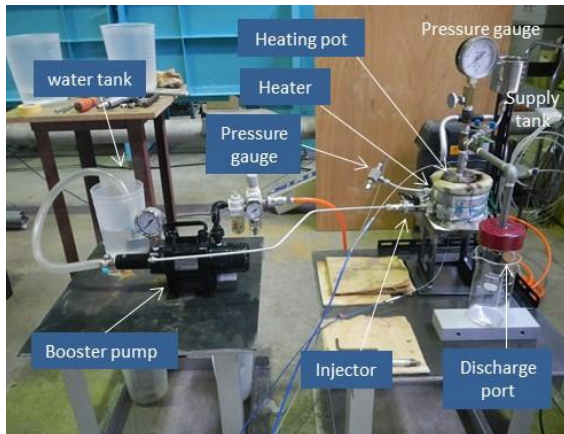


図 1-1 水蒸気爆発による高粘度油微細化実験装置

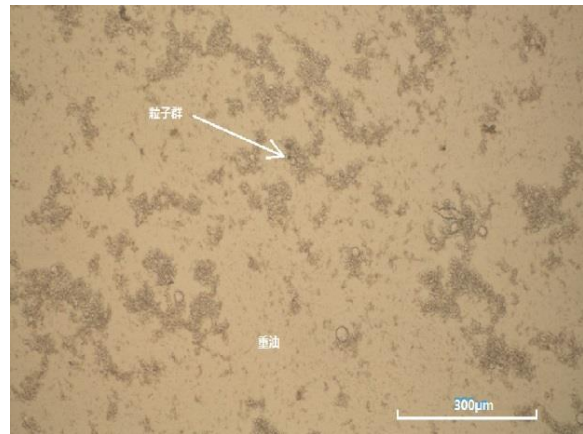


図 1-2 実験後の C 重油中に生じた微細粒子群

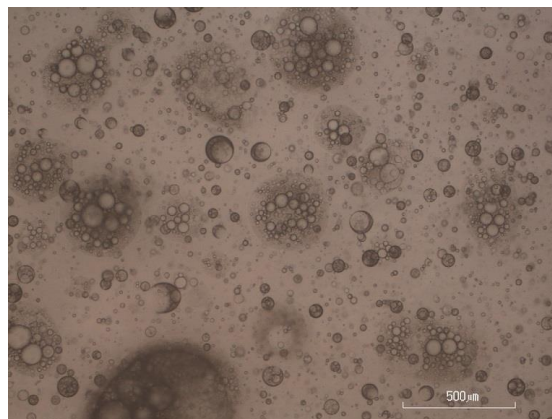


図 1-3 実験後の白濁部分（水と油処理剤の混合物）に生じた O/W（oil in water）エマルションと思われる構造

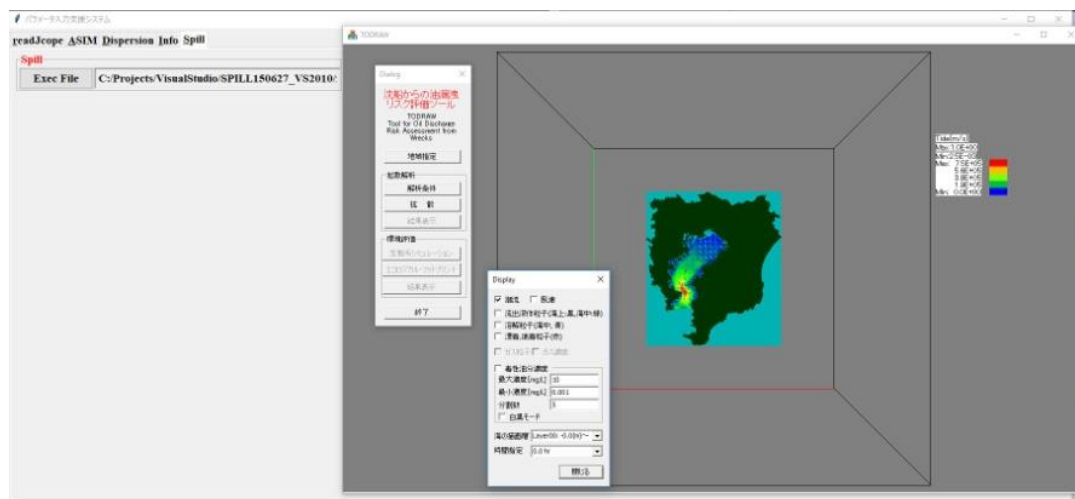


図 2-1 油流出時の対応ができるよう機能を拡張した放射性物質環境影響評価システム

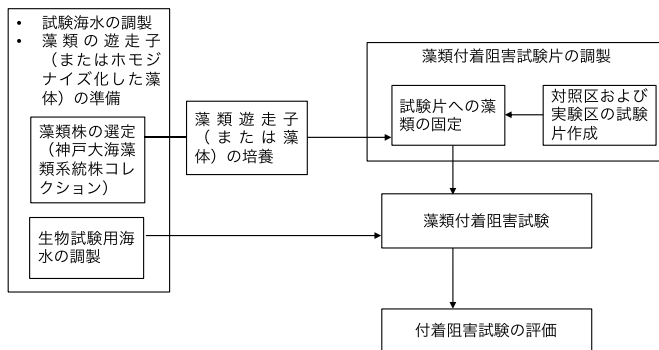


図 3-1 藻類を用いた防汚塗料性能評価試験法の概要

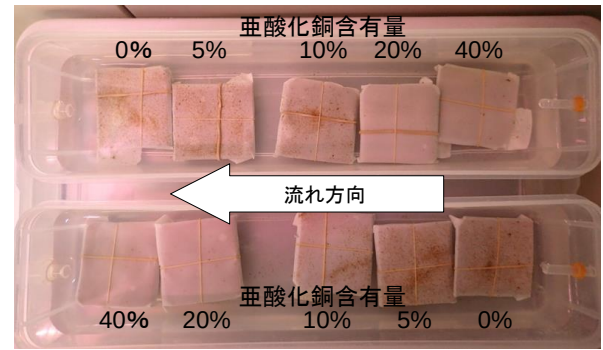


図 3-2 藻体膜固定化を用いた流水条件での生物試験の様子

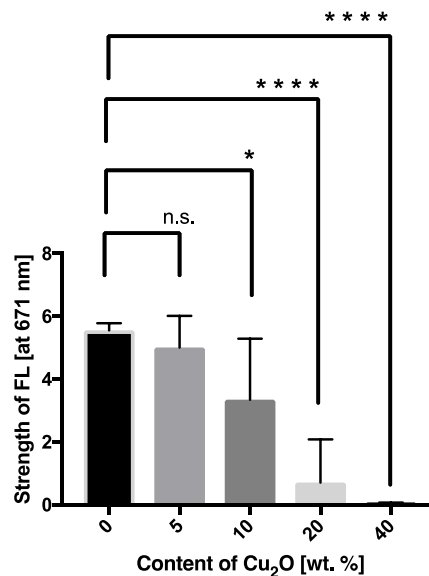


図 3-3 クロロフィル蛍光強度への亜酸化銅含有量影響の有意差検定結果

成果の公表

1. 小野正夫ほか 4 名, 圧力波による高粘度油の微細化及び流動化に関する研究, 第 27 回海洋工学シンポジウム予稿集, 日本船舶海洋工学会, 2018 年 8 月.
2. 大西世紀ほか 5 名, 海域における曳航式ガンマ線スペクトロメータ定量化のための換算係数および不確かさの評価, 海上技術安全研究所報告, 第 18 巻 第 2 号 (2018 年), pp. 4-18.
3. 鎌田創ほか 2 名, 海底土中に分布する ^{137}Cs 濃度の測定結果—分布状況とその経時変化—, 海上技術安全研究所報告, 第 18 巻 第 2 号 (2018 年), pp. 19-33.
4. 長尾誠也ほか 5 名, 阿武隈沖海底土における放射性セシウム濃度の時空間変動とその変動要因について, 海上技術安全研究所報告, 第 18 巻 第 2 号 (2018 年), pp. 35-47.
5. 浅見光史, 海底堆積物の広域および局所的変動調査, 海上技術安全研究所報告, 第 18 巻 第 2 号 (2018 年), pp. 49-65.
6. 浅見光史ほか 4 名, Temporal Changes in Radioactive Cs Concentration in Sea Sediment off East Japan after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Accident, Proceedings of 2019 IEEE Symposium on Underwater Technology, Taiwan.
7. 大西世紀ほか 2 名, 福島第一原子力発電所事故に伴う海底のモニタリング手法, 日本原子力学会 2018 年秋の大会予稿集.
8. 大西世紀ほか 2 名, 福島第一原子力発電所事故に伴う海底土広域測定手法, 日本原子力学会誌, 2019 年 5 月 (掲載予定).
9. Kojima, R. et al., Designing a Laboratory Bioassay for Evaluating the Efficacy of Antifouling Paints on *Amphibalanus amphitrite* Using a Flow-Through System, Coatings 2019, 9(2), 112; <https://doi.org/10.3390/coatings9020112>.
10. R. Kojima, Concept of proposed ISO 21716 series, International Organization for Standardization (ISO) Technical Committee 8 Sub Committee 2 Working Group 5, 2018.6.13.

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。
- 曳航式放射能検出器を用いた海底堆積物中の放射性物質濃度のモニタリング結果は、今後の国のモニタリング計画に反映される成果であり、国の方針（行政ニーズ）に適合している。
- 船体付着生物の問題に関する研究は、もともと我が国がIMOやISOの国際の場において防汚塗料の性能評価試験に係る提案を行うことを目的に開始、検討が進められているもので、国の方針に適合している。
- ◎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。
- 海底堆積物中の放射性物質濃度に関する実測データは、放射性物質の海中移行モデルの比較検証用データとして活用することができるものであり、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。
- 海底土放射性物質のモニタリングは原子力規制庁からの行政要望として実施したものであり、期待された時期に結果が創出されている。
- ◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
- 藻類を用いた防汚塗料の性能評価に関して、国際学会（ICMCF2019）にてその研究成果を発表した。また、フジツボを用いた防汚塗料の性能評価についてその研究成果を論文にまとめてインパクトファクターの高い欧文誌（Coatings）へ投稿し、採択されている。
- ◎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。
- 高粘度油の回収効率化に関する検討については、油回収現場での作業の困難さ（問題点）についてサルベージ会社からヒアリング調査を行った上で、新規手法の開発を進めている。

研究主任者による自己評価

A～B

【海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発】及び【船体付着生物の問題に関する研究】については、国立研究開発法人として国の方針や社会のニーズに適切に取り組み、当初の予定通りの進捗によって十分な成果が得られていると考える。従って、これらについては自己評価をAとする。なお、【海難事故時における油回収・処理効率向上技術の開発】については、新しい高粘度油回収効率化手法の有効性が確認されつつあるが、研究進捗が当初の予定よりやや遅れており、自己評価をBとする。

研究計画委員会による評価

B

□

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

研究テーマ	重点☆9 海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究
-------	--------------------------------

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 ー浮体式洋上風力発電施設の 3 翼独立制御の風洞実験法を確立する。また、3 翼独立制御ロジックの効果を検証する。等 ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 ー採掘ユニット、揚鉤ユニットと採鉤母船の一体解析プログラムを開発する。また、計画支援プログラム（β版）の改善項目を抽出する。等

研究の背景

船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援。具体的には、

□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

- ・低コスト・高効率発電デバイスの開発
- ・認証及びステータスゲート判定のための安全性・性能評価手法の構築
- ・産業化に向けた要素技術の開発

□海洋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
- ・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

□海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究

- ・プロジェクト認証支援技術（RAM 解析技術、リスク評価手法、統合シミュレータ等）の開発
- ・プロジェクト認証基準の整備

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。
 - 商業化を目指した海底熱水鉱床開発用全体システムのマリンオペレーションに関する安全性・稼働性評価手法を構築するとともに、厳環境下での海洋エネルギー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。
 - 海洋資源開発システムの HSE 認証の技術的基盤である支援技術を開発するとともに、認証基準を整備（FLNG・FSRU ガイドライン改正案、認証ガイドライン、マニュアルを作成）する。
- 上記成果は、ナショナルプロジェクト等への参画や我が国民間企業への技術的支援を通じて、海洋エネルギー・鉱物資源開発の促進や我が国海洋産業の競争力の強化に貢献することが期待される。

平成 30 年度の研究内容

- 海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究
 - ・海洋再生可能エネルギー発電については、並進動揺型の波力発電を対象として、実用化を目指した制御システムを検討するとともに、実海域運用を念頭においた性能・安全性評価方法を検討する。浮体式風力発電については、新たに制定される IEC 規格の中で、我が国で運用する場合の課題を抽出し、その解決策を検討するとともに、ブレードピッチ制御がブレード曲げモーメントへ及ぼす影響を調査する。
- 海洋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
 - ・揚鉱ユニットの全体挙動解析プログラムをもとに、揚鉱管下端部の水中ポンプユニットから採掘ユニットまでを接続する移送管の挙動を同時に解析できるプログラムを開発し、採掘ユニット、揚鉱ユニット、採鉱母船の一体解析可能なプログラムとして作成する。併せて、移送ホースについては、基本的な動揺特性を把握するために水槽試験を実施し、解析に必要なデータを取得する。また、潮流中において揚鉱管等の海中機器に作用する流体力について、当所で開発された CFD ソルバーを用いて解析する。
 - ・鉱石スラリー等による移送ホース、揚鉱管の管内摩耗低減、耐久性向上に関する技術の検討及び検証試験を行い、新たな耐久性向上技術の開発を行う。
 - ・大水深環境において岩石等を掘削する場合、岩石の強度特性が変化するとされる現象（ハイパーバリック効果）について文献調査等を行うとともに、実験的な検討を実施する。
 - ・比重選別機等を用いて鉱石粒子選別試験を実施し、粒子の選別特性を検討する。また、レーザーによる鉱石品位計測データを集積する。上記の結果をもとに海底環境に適用可能な鉱石選別システムの概念検討を行う。
 - ・昨年度に作成した海底熱水鉱床開発用全体システムの計画支援プログラムについて、課題出しを行う。
 - ・極域環境下で用いられる浮体・係留、ライザーシステムの安全性・稼働性評価技術の検討及び開発を行うとともに、氷の破壊挙動を考慮した構造応答解析法の検討及び実験値との比較を実施する。
 - ・これまでに開発してきた内部流と構造解析の連成解析プログラムの機能拡張を行いながら、その検証のための小規模ループ試験を実施する。
 - ・設置オペレーション解析でコアになると思われる、海底機器に働く流体力解析についての数値計算及び水槽試験を実施すると共に、吊荷の振れ回り挙動を再現するための数値計算プログラムを開発する。なお、流体力解析の数値計算の一部については基盤研と連動して行う。
- 海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究
 - ・浅海域で船体に働く潮流荷重を計測し、データベースを拡充する。また、うねりを含む厳海気象条件下で棧橋係船された船舶の挙動や係船索の破断現象、破断後の挙動評価が可能な数値計算モデルを開発する。
 - ・極大波（最大波高が有義波高の 2 倍を超える波）について、最大波高、継続時間、連なり数等のパターン分類の指標作成を行い、モンテカルロシミュレーションによるパターン毎の発生頻度算出を行う。また、パターン毎に指標と浮体運動・索鎖張力の最大値、張力変動の支配的周波数帯との関係を極大波中浮体挙動試験・時間領域挙動シミュレーションにより明らかにする。
 - ・Spar 型浮体と Yoke 装置を組み合わせた Disconnectable Moor Spar System に FPSO を繋げて稼働する状況を対象として、FPSO-Yoke-Spar 型浮体-係留索による一体挙動解析モデルを構築する。また、水槽試験を実施し、解析モデルの検証を行う。その結果に基づき解析モデルの改良を行い、Disconnectable Moor Spar System を FPSO に適用する場合の稼働性及び安全性評価を実施するとともに課題の抽出を行う。
 - ・External タレットの縮尺模型を用いた衝撃荷重計測試験を実施する。タレット底面の Dead rise angle と波の組み合わせ（規則波及び不規則波による波の振幅と上昇速度）を変数にとり、タレット平均圧力（タレット衝撃荷重をタレット面積で除算）並びにインパクト時の最大圧と波の上昇速度の関係を整理する。また、既存の簡易推定法による推定結果と計測結果の比較を行い、妥当性を検証する。
 - ・津波襲来時や厳海気象下で想定される発生事故の評価として、FSRU 等の海洋構造物が津波により漂流物と衝突することを付随的発生事象として挙げ、津波中の海洋構造物と漂流船舶との衝突について、挙動シミュレーションによるリスク評価手法を確立することを目的として、漂流運動をシミュレーションするモデルの検証を水槽試験により行う。

平成 30 年度の実績

□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

- ・並進動揺型の波力発電装置を対象に、水槽模型に実装可能なモデル予測制御（MPC：Model Predictive Control）を開発し、規則波及び不規則中試験で MPC アルゴリズムの詳細検討を行うとともに、その有効性を確認した。C/GMRES 法（Continuation/Generalized Minimal Residual Method：高速で連立一次方程式の数値解を求めるための反復法の一つ）を使った MPC も開発し、有効性を確認した。具体的には、日本沿岸域の長期波浪追算データに基づく海象条件を設定し、当該海象条件に対する MPC の有用性を数値シミュレーションにて示した。

□浮体式風力発電については、IEC 規格で新たに盛り込まれる損傷時復原性規則の扱い（風力発電施設に対して、付近を航行する船舶が無い等で、浸水時復原性の安全基準が不要と判断される場合の規制のあり方）について課題を抽出するとともに、国内規制に取り込みの際のガイドライン案を作成した。さらに、ブレードピッチ制御がブレード曲げモーメントへ及ぼす影響をシミュレーション計算により調査した。

□海洋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

- ・移送管形状及び外力を推定する解析プログラム開発のために基礎的な水槽試験を実施し、水中ポンプに接続する移送管部分の挙動と内部流による影響を計測した。また、ライザー管の水中挙動でも特に危険な渦励振を精確に推定するため、実機スケールのレイノルズ数における一様流中の円柱に掛かる流体力を本所で開発された CFD ソルバー NAGISA と重合格子システム UP_GRID を用いて推定し、過去の実験、CFD 計算結果と比較、検証した。

スラリー輸送管の耐摩耗性向上方法として、輸送配管の特に摩耗しやすい屈曲管外部に磁石等を配置させておき、輸送配管内に磁性ビーズ（鋼球等）を供給して屈曲部に磁性ビーズを付着させて保護層を設けることで耐摩耗性の向上を図ることを目的に、磁石の種類、磁力の違い、磁性ビーズの大きさ等の様々な条件での磁性ビーズの吸着力を調べその特性を明らかにした。

大水深環境において岩石等を掘削する場合、岩石の強度特性が変化するとされる現象（ハイパーバリック効果）について文献調査及び専門家へのヒアリングを実施した。陸上試験設備を用いてハイパーバリック効果を検証する実験手法が見いだせなかったため、実験は実施しないこととした。

比重選別機としてジグ選別機を模擬した簡易的な試験装置を製作し、海底熱水鉱床の鉱石試料を粉砕して調製した鉱石粒子を用いて選別試験を実施し、粒子の選別特性を検討した。また、鉱石表面の疎水性に着目した液液抽出法（多油浮選）の適用可能性についても検討した。上記の結果をもとに海底環境に適用可能な鉱石選別システムの概念検討を行った（東京大学との共同研究であり、また上記試験に使用した海底熱水鉱床の鉱石試料は海洋研究開発機構殿より提供を受けたものである）。

- ・昨年度に作成した海底熱水鉱床開発用全体システムの計画支援プログラムについて、課題出しを行った。
 - ・実験における氷板の初期配置を数値計算内で再現することで、氷荷重の推定精度が向上することを示し国際シンポジウムでその成果を発表した。
 - ・出砂におけるパイプライン内部における流動状況への影響を把握するための小規模ループ試験を実施し、差圧計と振動センサーを使った同時計測を通じて、出砂量とのそれらの関係性に関するデータを取得した。また、昨年度までに開発した内部流と構造解析に関する連成プログラムに対して、運動量保存則を通じた構造解析部への遠心力効果の組み込みと内部流非定常計算プログラムの開発を現在行っており、前述したループ試験のデータを使った検証を今後試みる予定である。
- 海底機器を横吊させた状態での作業船の波浪中動揺試験を実施した。昨年度はワイヤー吊りで試験を行ったが、今年度はアルミロッドを使用して精度良い運動計測を目指した。両年度の試験を通じ、横吊状態での揚降物の波浪中運動を明らかにした。海技研が開発した CFD ソルバーを使用し、揚降物が吊下げられた状態での作業船近傍の流れ場を明らかにすると共に、作業船波浪中動揺を試験結果と比較した。加えて、吊荷運動を 2 次元振り子として単純モデル化した上で数値計算を行い試験結果と比較した。現在、様々な吊り方（複数ワイヤー方式や 2 船吊り等）を含めた汎用性の高いオペレーション計算へ対応するため、拘束系での多体問題として定式化した上で数値計算プログラムを現在開発している。
- 作業船近傍で海底機器を揚降するオペレーションを想定し、海底機器に作用する流体力を計測するための強制動揺試験を実施して付加質量と造波減衰力データを取得した。
- 海洋でのオペレーションに関する国際研究ネットワーク組成のため、この分野での国際標準化や研究が非常に活発なシンガポールの大学、研究機関に若手研究者が訪問して研究講演及び意見交換を行った。

□海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究

- ・浅海域で肥大船型に働く潮流荷重を計測し、データベースを拡充した。
うねりを含む厳海気象条件下で棧橋係船された船体の挙動や係船索の破断現象、破断後の船体挙動評価が可能となる数値計算モデルを開発した。
- ・波のパラメータ及び浮体の Surge の固有周期を変数として極大波中挙動計測を実施し、ライン張力の変動が波周期優勢になる場合と長周期優勢になる場合の条件を明らかにした。
- ・Spar 型浮体と Yoke 装置を組み合わせた Disconnectable Moor Spar System に FPSO を繋げて稼働する状況を対象として、FPSO-Yoke-Spar 型浮体-係留索による一体挙動解析モデルを構築した。
Disconnectable Moor Spar System と FPSO の縮尺模型を用いた水槽試験を実施した。粘性減衰係数の取得

及び波浪中の動揺計測を行い、後者について計算結果と計測結果が良好な一致を示すことを確認した。

Disconnectable Moor Spar System を FPSO に適用する場合の出荷時における稼働性評価を実施し、従来の External タレットを有する FPSO に対し、出荷時の稼働時間が向上する可能性が高いことを示した。また、当該システムを FPSO に適用する場合の生産まで含めた稼働性評価に対する技術課題を抽出した。

- External タレットの縮尺模型を用いたスラミング力計測試験を実施し、スラミング力に及ぼすタレット底面の Dead rise angle の影響を検討した。タレット底面が平板の場合は、先行研究の結果と近い値を示すことを確認した。

タレット底面に 10deg の Dead rise angle を設けることで、平板の場合に比べてスラミング力の 3 時間相当の最大値期待値を低減できることを確認し、Dead rise angle の優位性を示した。

スラミング力の理論推定モデルを構築した。推定モデルに含まれるスラミング係数を模型試験との比較により同定することによって、スラミング力計測試験の結果を精度良く推定できるようになった。

- 津波により漂流する船舶の挙動シミュレーションモデルの検証のため水槽試験を行い、モデルの妥当性を確認した。さらに、津波中の外力特性を含めた漂流船舶の挙動シミュレーションを行い、津波の船舶への入射角別の挙動の違いを明らかにした。
- 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（2 件）の執筆指導を行った。卒業論文 1 件の研究内容は論文にし、日本船舶海洋工学会の平成 31 年春季講演会での講演申請を行った。

平成 30 年度の研究成果

□ 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

- 並進動揺型の波力発電装置を対象に、スペクトル形状影響、波予測影響等を詳細に検討し、発電性能を向上させるための課題を明らかにした（図 1）。また、C/GMRES 法による MPC アルゴリズムを開発して、シミュレーション計算を行って、日本沿岸域に設置した場合を想定すると発電量が約 40% 増となることを確認した（図 2）。

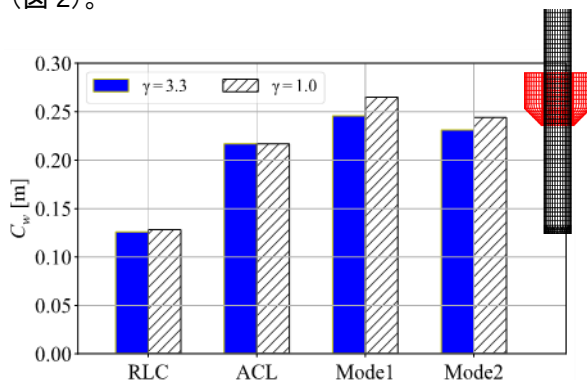


図 1 波力発電装置の波エネルギー吸収効率
(RLC：抵抗制御、ACL：出力最大制御、Model1：MPC 入射波既知、Model2：MPC 入射波予測)

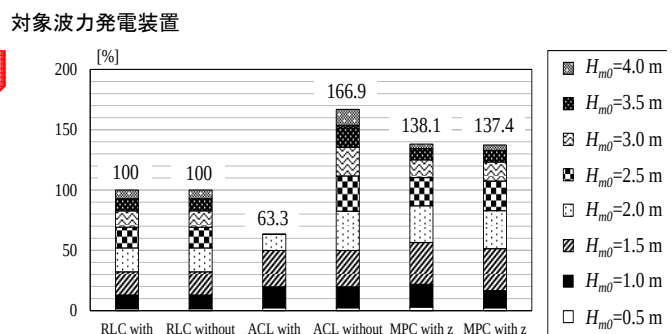


図 2 日本沿岸域における波力発電装置発電効率

- 浮体式風力発電施設の損傷時復原性が問題となる事象及びその発生確率について例示的に検討を行うとともに、航行船舶が風力発電施設に衝突する際の浮体側壁破壊エネルギー等を数値シミュレーションや模型試験により求めた。さらに損傷時復原性規則に関するガイドライン案を作成した。

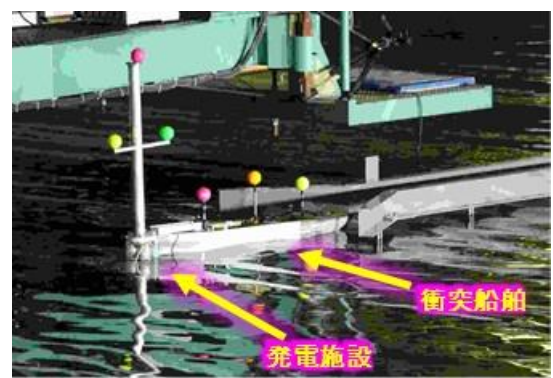
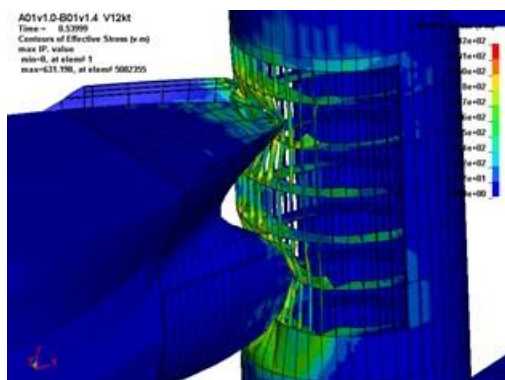


図 3 航行船舶の浮体式風力発電施設への衝突シミュレーション（左）と衝突模型試験（右）

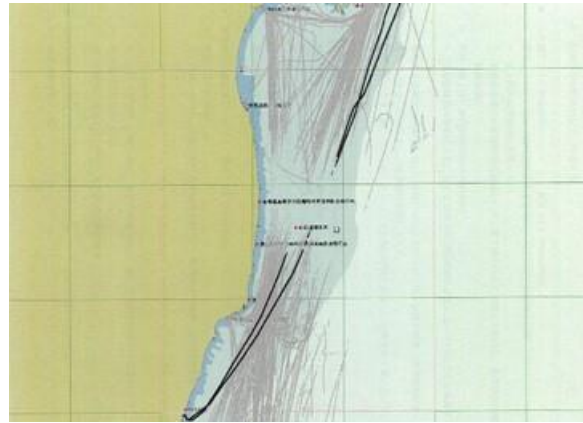


図4 東日本域 AIS データによる浮体式風力発電施設への衝突リスク分析

□海洋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

- ・内部流を考慮した移送管模型試験を行い、移送ホースの挙動計測を行い（図 6）、解析に必要なデータを取得した。揚鉱管下端部の水中ポンプユニットから採掘ユニットまでを接続する移送管の挙動を同時に解析できるプログラムの開発を行った（図 5、図 7）。

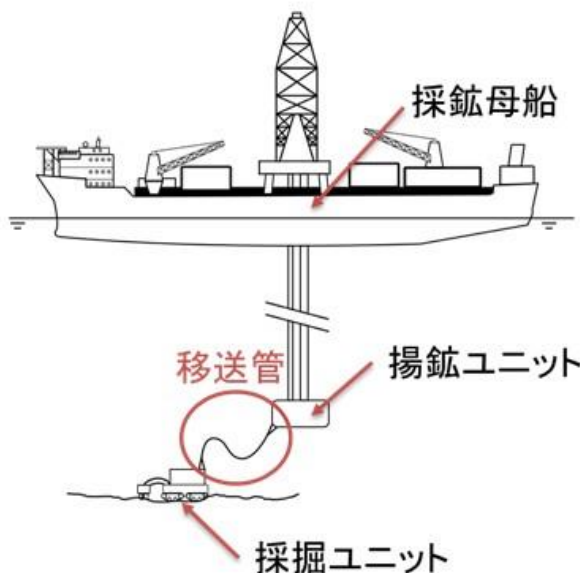


図5 一体解析概念図

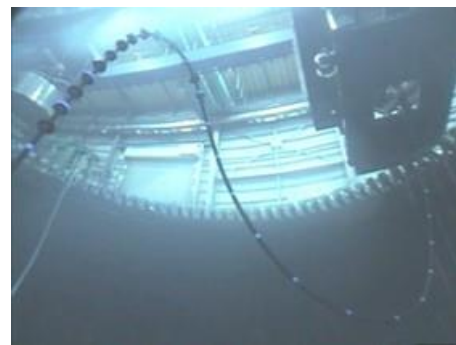


図6 移送管模型試験の様子

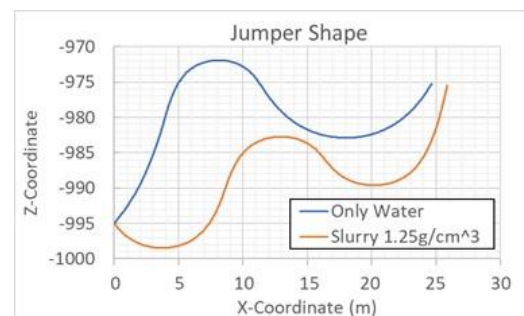


図7 移送管部分の解析結果例

ライザー管に作用する流体力を精確に推定するため、CFD ソルバーNAGISA と重合格子システム UP_GRID を用いて実機スケールに近く、抗力係数が急激に低下し推定の難しい臨界領域付近のレイノルズ数 (Re) における一様流中の固定円柱周りの流れを 2 次元及び 3 次元モデルで計算し、得られた流体力を過去の実験結果と比較・検証を行った。2 次元及び 3 次元モデルの計算結果から算出した抗力係数と過去の実験、CFD 計算結果との比較により 2 次元モデルは抗力係数を常に過大評価している。一方、3 次元モデルの抗力係数は臨界領域より低いレイノルズ数では過去の実験や CFD 計算結果と比較的近いが、臨界領域付近での抗力係数の低下が見られなかった（図 8）。3 次元モデルでは 2 次元モデルでは表現できなかった渦の 3 次元構造が表現できており、流れ場が大きく異なることがわかる（図 9）。これらから 2 次元的形状の円柱に対しても精確な流体力を算出するためには 3 次元モデルを用いる必要があることがわかった。今後、計算格子、乱流モデル、時間ステップ等に関する依存性について詳細な検討を行い、臨界領域での精度向上と効率的に精確な結果が得られるモデルを検討・開発する。

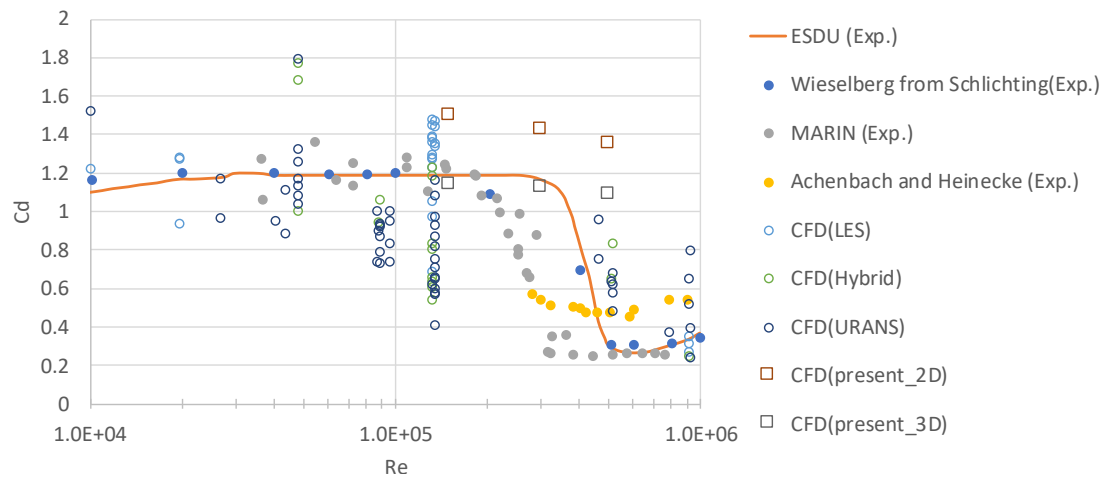


図8 円柱周りの流れにおける CFD 計算と過去の実験、CFD 計算結果の抗力係数

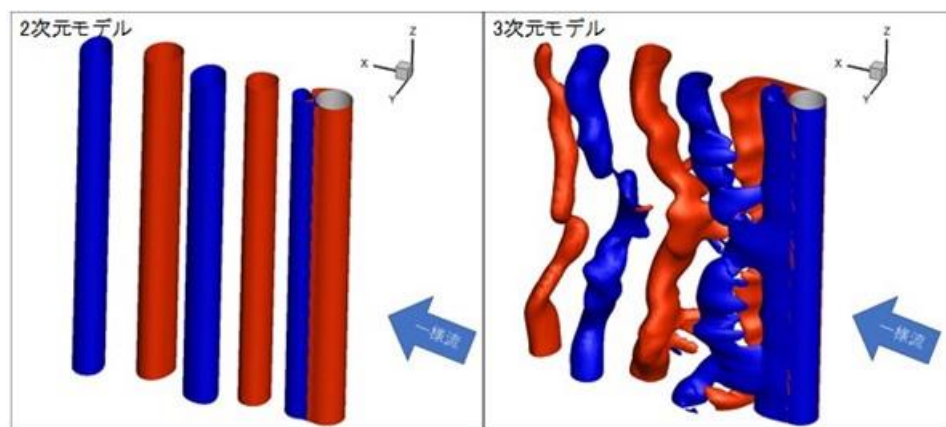


図9 円柱周りの流れ ($Re=5.0 \times 10^5$) における渦度=1 (赤)、-1 (青) の等値面

スラリー輸送管の耐摩耗性向上方法として、輸送配管の特に摩耗しやすい屈曲管外部に磁石等を配置させておき、輸送配管内に磁性ビーズ（鋼球等）を供給して屈曲部に磁性ビーズを付着させて保護層を設けることで耐摩耗性の向上を図るための基礎実験（図10、図11）を行い、磁力、吸着力等の関係を明らかにし、特許出願を行った。



図10 磁性ビーズ吸着試験装置

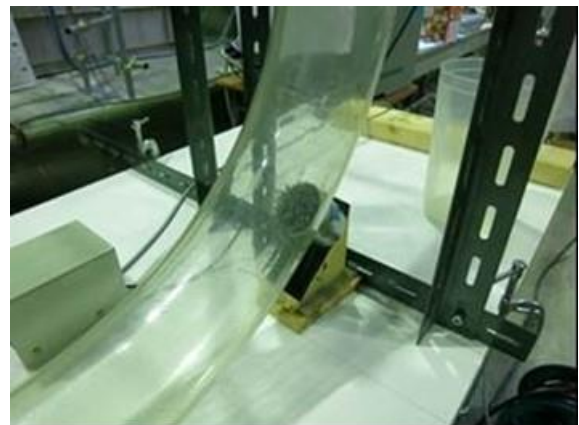


図11 磁性ビーズ吸着の様子

大水深環境におけるハイパーバリック効果について文献調査等の結果をとりまとめた。

簡易的なジグ選別試験（図12）の結果、鉬石粒子のうち、脈石であるシリカを多く含む粒子とそれ以外の粒子を上下に分離することに成功した（図13）。また、液液抽出法の検討では、陸上での選鉱に近い選別性能を有することが示唆された。上記の結果をもとに、粗砕された粒子を用いてまずジグ選別を行い、さらに液液抽出法による選別を行うシステムを考案した。

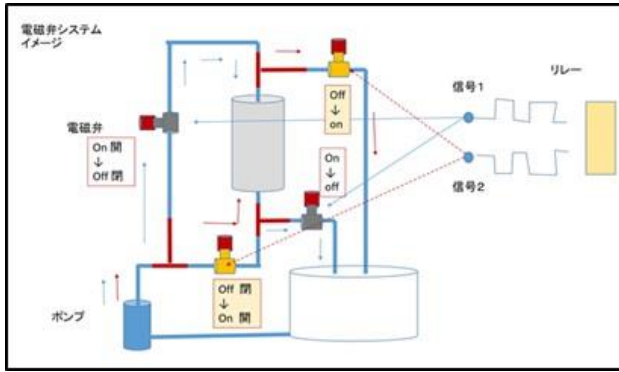


図12 簡易的なジグ選別試験装置の概念図

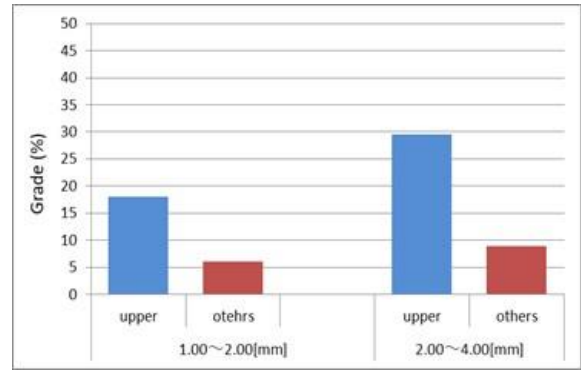


図13 ジグ選別試験結果（シリカ含有率）

昨年度に作成した海底熱水鉱床開発用全体システムの計画支援プログラムについて、改善項目を抽出した。

- ・氷海水槽において係留試験を実施し、模型氷に対する浮体動揺と試験法の知見を得た（図14）。また、実験における氷板の初期配置を撮影した映像から個々の氷板の位置や回転角を数値的に取得するプログラムを作成した。この初期配置を開発中の氷荷重シミュレーションに適用することで、推定精度が向上することを示した（図15）。更に開発中の氷荷重シミュレーションに氷板の破壊モデルを組み込み、過去に実施した実験結果と比較してピーク荷重が低下するなどの合理的な結果が得られ、この成果を国際学会 POAC2019 で発表予定である。

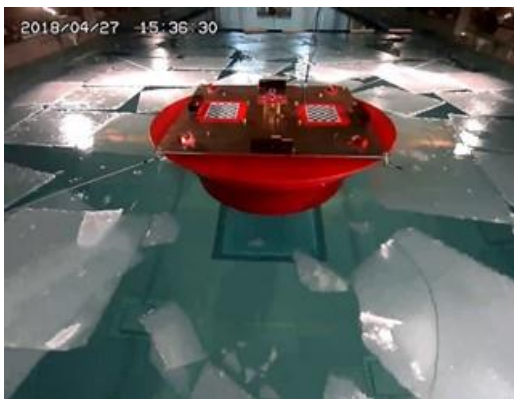


図14 氷海水槽における係留試験

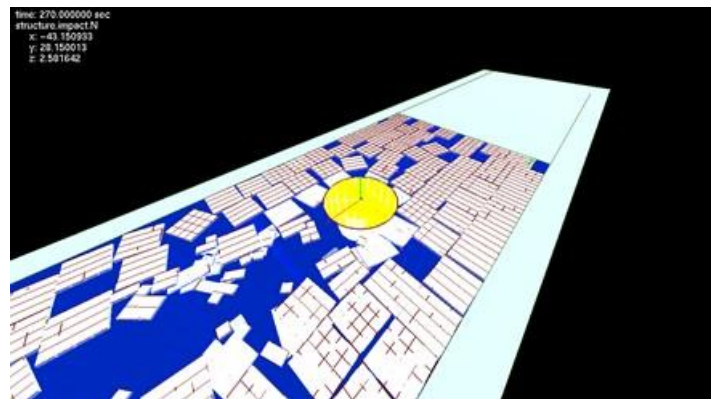


図15 氷板破壊モデルを組み込んだ氷荷重シミュレーション

構造安全性評価のための氷塊の材料構成則及び解析モデルの検討を行った。他文献で実施した氷塊－鉄球衝突の実験について、実験結果の時刻歴を数値化した。当該実験と同条件の非線形衝突シミュレーションを実施・比較することで、強度評価のための氷のFE材料モデルの改良に関する検討を行った（図16）。

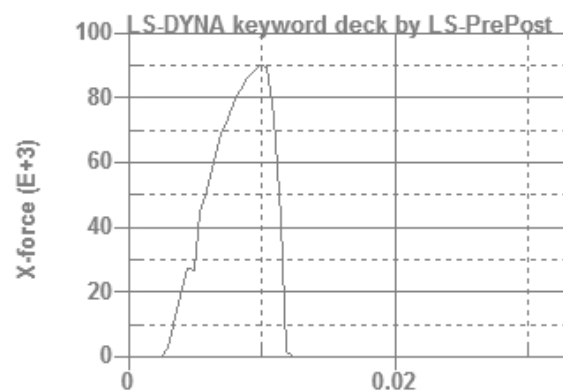
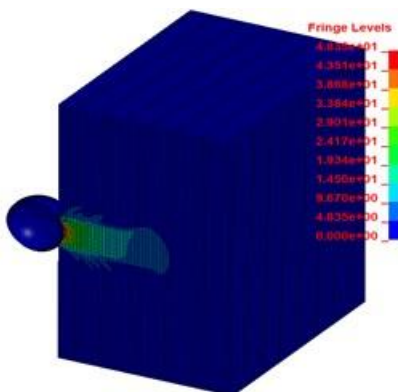


図16 氷塊と鉄球の衝突シミュレーションの様子（左）と荷重時系列（右）

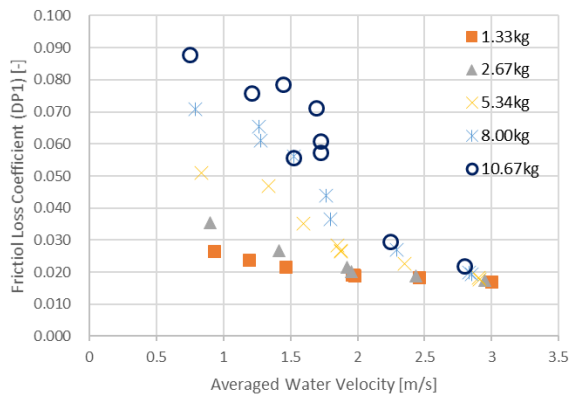
- ・パイプライン内部に少量の砂が発生した状況をいち早く検知するための方策に関しての検討を行うため、小規模ループ試験を行った。短時間フーリエ解析や統計解析を行った結果、振動センサーについては概ね少量の発生でも感度良く出砂発生を検知することが可能であるが、差圧に関してはある程度の量の発生がなければ検知は難しく、さらに流量が早くなるほど困難になることを明らかにした（図 17）。
横吊状態での揚降物の振れ回り運動について数値計算と試験結果の比較を行った。数値計算結果は安全側の結果となっており安全性評価としては現時点では活用はできるものの、計算精度として依然として問題があるものと考えている。この課題を踏まえながら、現在はより様々な吊り荷状態の運動計算が可能な数値計算プログラムの開発へ発展させている。また、海技研が開発した CFD ソルバーを使って作業船から揚降物を吊下げた状態での波浪中の流れ場及び作業船の動揺解析を行った。動揺解析については試験結果との比較を通じて検証している（図 18）。さらに、作業船近傍で海底機器を揚降するオペレーションを想定し、海底機器に作用する流体力を計測するための強制動揺試験を実施して付加質量と造波減衰力データを取得した（図 19）。



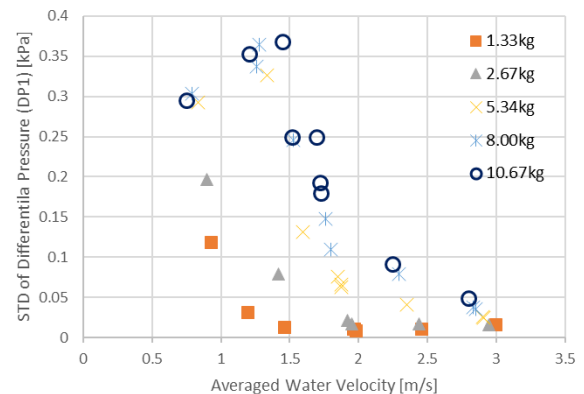
小規模ループ試験の様子



試験に使用した砂



流量と摩擦損失係数の相関

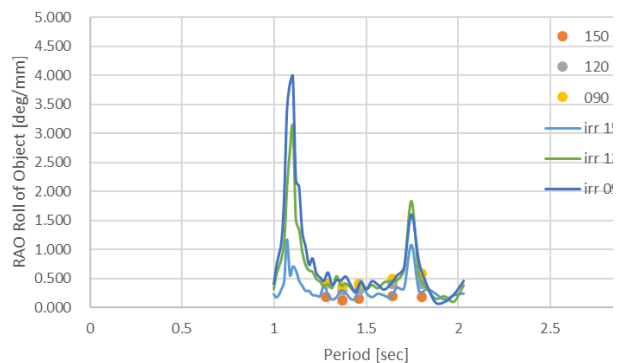


流量と差圧標準偏差の相関

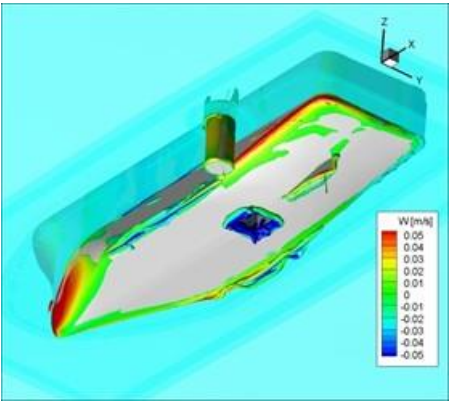
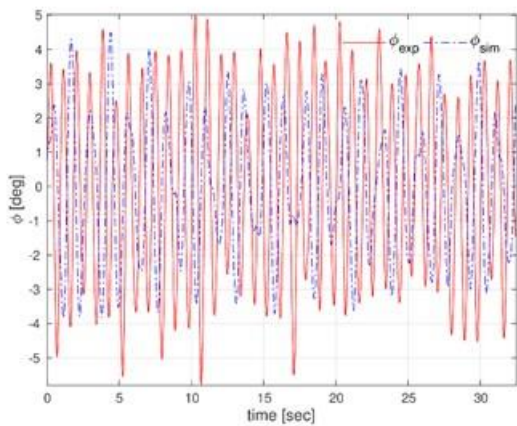
図 17 パイプライン内部の流動状況に関する研究成果



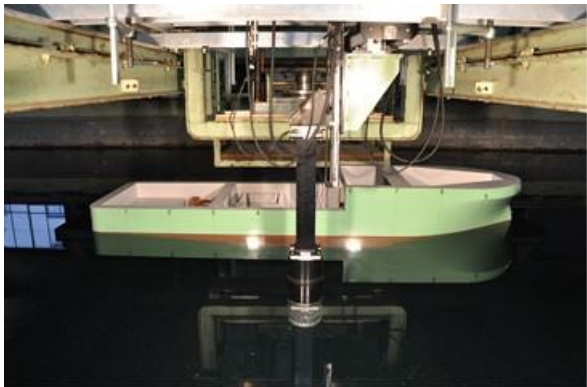
横吊状態での波浪中動揺試験



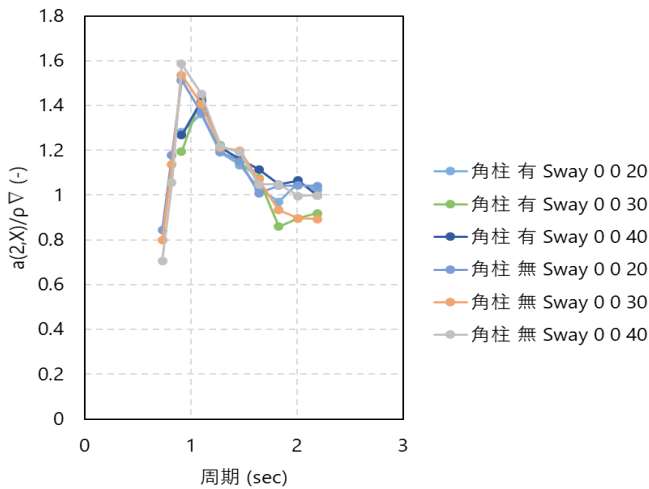
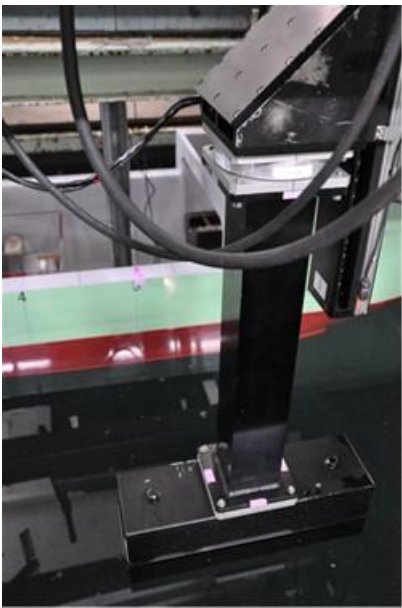
横吊状態での挙動計測結果



振れ回り運動の数値計算
CFD 解析による流れ場の把握
図 18 揚降オペレーションに関する研究成果



作業船近傍での揚降物強制動揺試験



揚降物に作用する流体力計測結果
図 19 揚降物に作用する流体力解析に関する研究成果

□海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究

- ・肥大船型の模型船を用いて浅水域（水深喫水比 $H/d=1.3$ 及び 2.0 ）における拘束曳航試験を実施し、船体に働く潮流荷重データを取得し、データベースを拡充した（図 20）。また、昨年度に機能強化を行った洋上出荷オペレーションシミュレータに対し、バルクキャリア船型を対象として、うねりを含む厳海気象条件下で棧橋係船された船体の挙動を解析する時間領域シミュレーションモデルを構築した。本モデルにより、船体の挙動に加えて係船索の破断現象、破断後の船体の挙動評価が可能となり、係船索の破断とそれに伴う漂流を含めた事故解析も行えるようになった（図 21）。次年度に、洋上出荷オペレーションシミュレータの精度検証を目的として、棧橋係留船の波浪中動揺試験及び係留索の破断試験を実施する予定である。

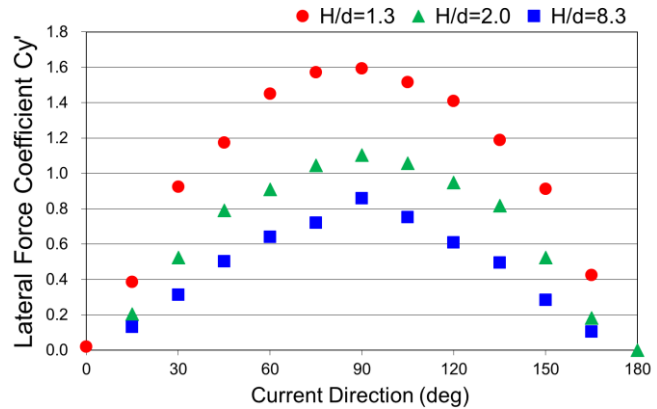


図 20 浅水域における拘束曳航試験の様子（左図）と横力の無次元係数（右図）

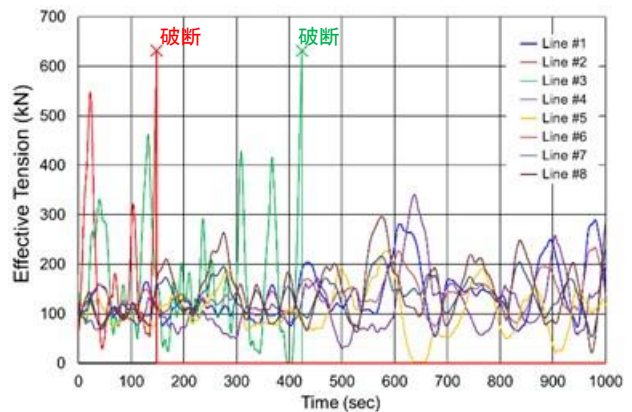
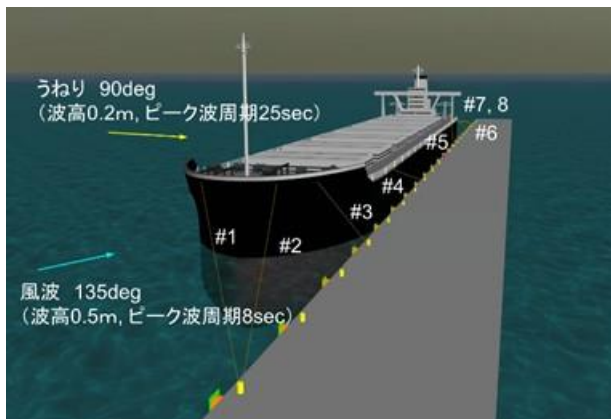


図 21 栈橋に係船された船体の挙動シミュレーション例

- ・小径チェーンを用いた係留浮体に対する極大波（最大波高が有義波高の 2 倍を超える波）中の挙動試験を行い、浅海域での係留ラインの終局限界挙動を明らかにした。小径のチェーンに係留ラインとすると軸剛性が高いため、ラインの動的挙動が強調される。本試験により、極大波中でライン張力が波周期で大きく変動する場合があること（この状態は、最大張力が極めて高く、終局限界状態を示す危険な状態と考えられる）、この状態は浮体の長周期運動のピークと極大波の最大波高のタイミングが一致する場合に発生すること（ライン取り付け点の軌跡から判明、図 22）が判明した。次に、極大波のピークと長周期運動のピークのタイミングの一致が、どのような頻度で発生するかをモンテカルロシミュレーションにより確認した。波エネルギーのピークと長周期運動のピークの時間差の順序統計の傾斜は浮体の固有周期の 2 倍の範囲でほぼ一定（図 23）で、ピークのタイミングの一致は一般的に発生する事象であることが判明した。

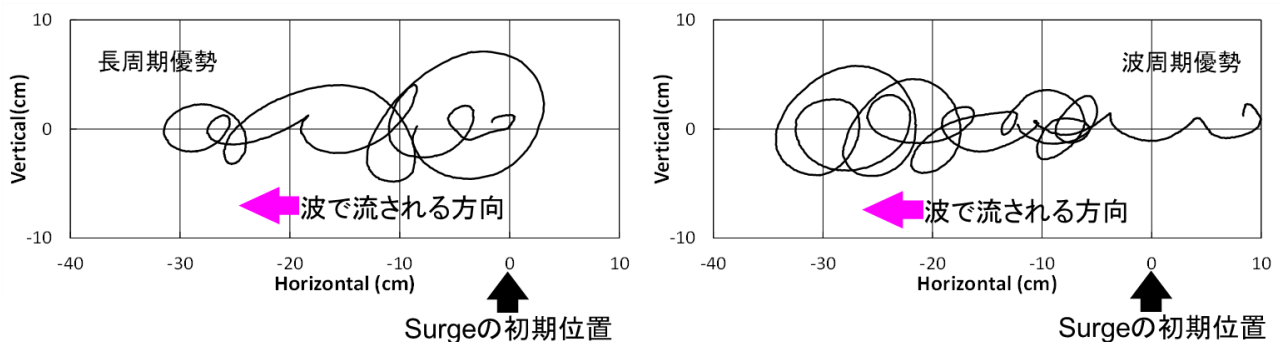


図 22 係留ライン取り付け点の軌跡

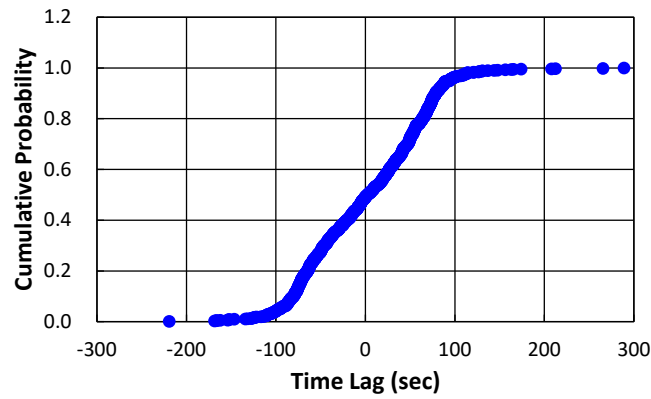


図 23 ピークの時間差の順序統計

・ Spar 型浮体と Yoke 装置を組み合わせた Disconnectable Moor Spar System の設計を行って、当該システムに FPSO を繋げて稼働する状況を対象として、FPSO-Yoke-Spar 型浮体-係留索による時間領域における一体挙動解析モデルを構築するとともに、Disconnectable Moor Spar System と FPSO の縮尺模型を用いた水槽試験により粘性減衰係数の取得及び波浪中の動揺計測を行った（図 24）。構築した一体挙動解析モデルでの計算結果と実験の計測結果が良好な一致を示すことを確認し（図 25）、海洋資源開発に Disconnectable Moor Spar System を適用する場合の安全性・稼働性が評価できるようになった。連続する 1 ヶ月間の波、風、流れのデータを用い、Disconnectable Moor Spar System を FPSO に適用する場合の出荷時における稼働性評価を実施した結果、用いた 1 ヶ月間のデータにおいて 95% と高い稼働時間が得られた（表 1）。動揺の面では従来の External タレットを有する FPSO に比べて高い波高でも稼働できるため、Disconnectable Moor Spar System により稼働性が向上する可能性が高いことがわかった。

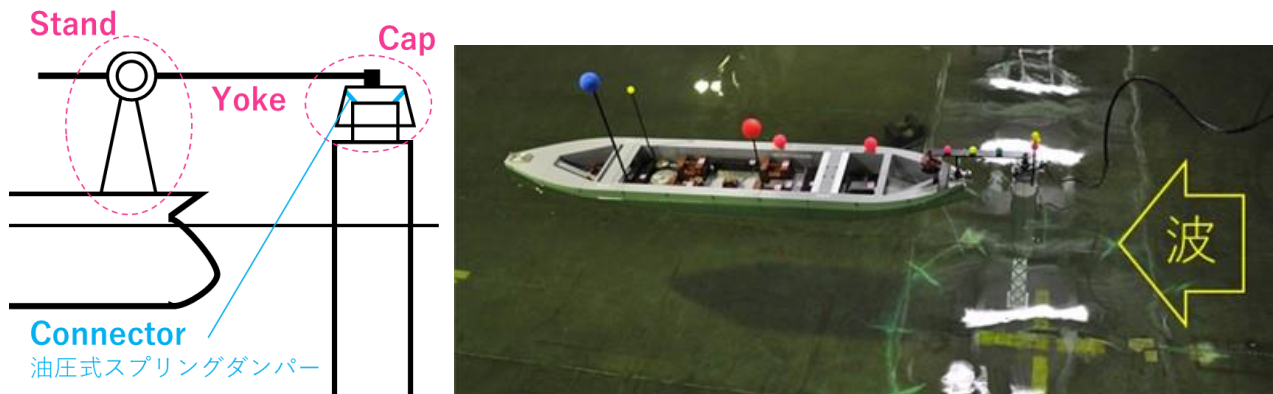


図 24 スパー型浮体及び Yoke 係留システムの設計（左図）と波浪中動揺試験の様子（右図）

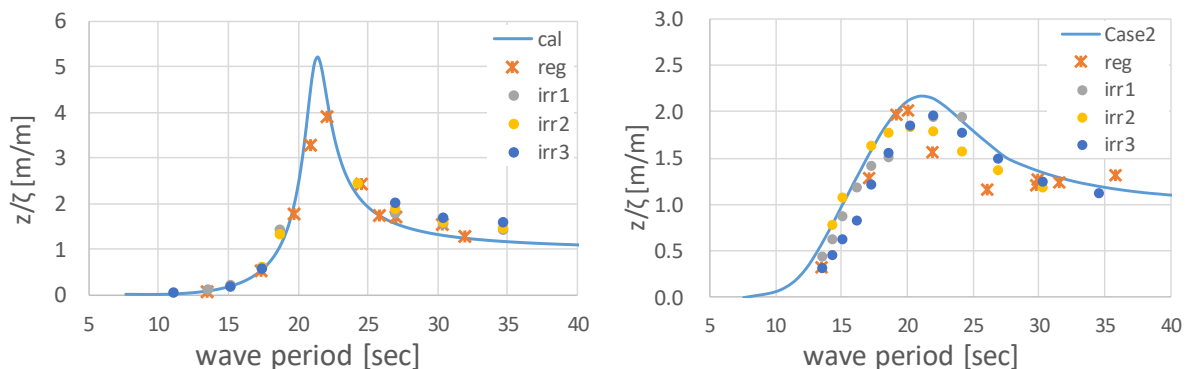


図 25 Spar 型浮体の波浪中 Heave の RAO（係留状態の Spar 単体（左図）、FPSO 接続時の Spar（右図））

表 1 Disconnectable Moor Spar システム (FPSO 係留時) の出荷時稼働性評価結果 (期間: 1 ヶ月間)

	FPSO		Spar		Yoke System				Total
	A_{ccz}	ϕ	A_{ccz}	ϕ	θ	θ_{re}	θ_{rot}	Tens.	
稼働率[%]	97.6	98.0	100	100	100	100	100	100	95.6
累計稼働時間[h]	729	726	744	744	744	744	744	744	711

・ External タレットの縮尺模型を用いたスラミング力計測試験を実施した。Dead rise angle が 0deg (平板)、10deg、20deg の 3 種類の模型を用意し、スラミング力に及ぼすタレット底面の Dead rise angle の影響を検討した (図 26)。タレット底面が平板の場合は、先行研究の結果と近い値を示すことを確認した。タレット底面に 10deg の Dead rise angle を設けることで、平板の場合に比べてスラミング力の 3 時間相当の最大値期待値を低減できることを確認し、Dead rise angle の優位性を示した (表 2)。また、時間領域シミュレーションによるスラミング力の推定モデルを構築した。推定モデルに含まれるスラミング係数は模型試験との比較により同定し、スラミング力計測試験の結果を精度良く推定できるようになった (図 27)。

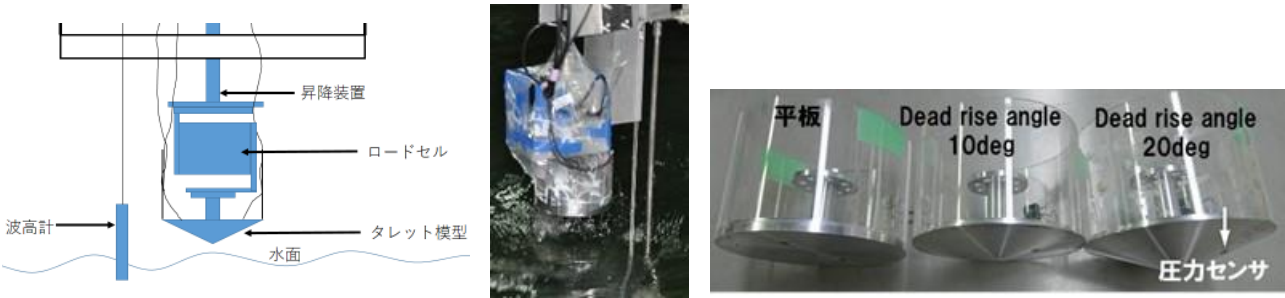


図 26 スラミング力計測試験のセッティング (左図、中央図) 及びタレット模型 (右図)

表 2 スラミング力の 3 時間相当における最大値期待値

波の条件	分布	予想されるスラム力($\times 10^3[kN]$)		
		0°	10°	20°
条件1 $H_s = 15.6m, T_p = 15s, \gamma = 3.3$	GEV	11.7	7.8	8.7
	Weibull	9.8	6.7	7.4
	Gumbel	11.8	8.2	8.9
条件2 $H_s = 12.2m, T_p = 13.5s, \gamma = 3.3$	GEV	8.6	6.4	5.9
	Weibull	7.0	4.9	5.9
	Gumbel	8.7	6.4	6.8
条件3 $H_s = 10.4m, T_p = 13s, \gamma = 3.3$	GEV	12.2	6.4	5.9
	Weibull	8.3	4.9	5.9
	Gumbel	11.1	6.5	6.8

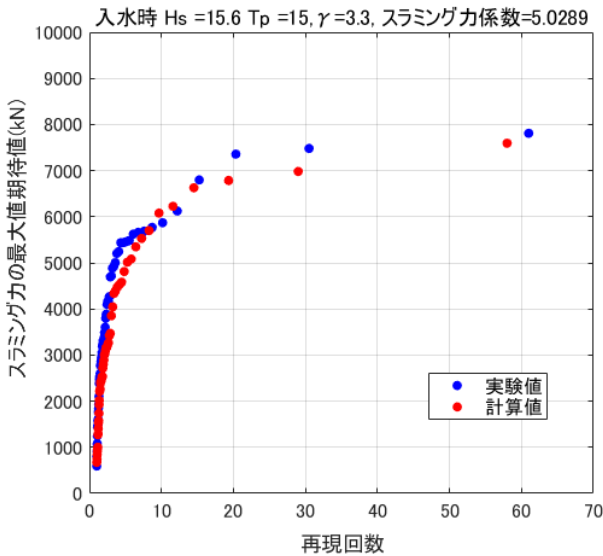


図 27 スラミング力の推定結果

・津波中の海洋構造物と漂流船舶の挙動シミュレーションに基づく衝突事故の評価手法の確立のため、船舶の漂流運動をシミュレーションするモデルの検証を水槽試験により実施した。漂流対象の総トン数 500 トン相当の比較的小型な船舶に対して、波強制力・漂流力・潮流力を計測し、実験値と計算値を比較したところ、概ね良い一致を示すことを確認した（図 28）。そして、本結果と実験で合わせた GM や慣動半径の結果を基に、津波波力・潮流力の特性を考慮した漂流運動をするシミュレーションモデルを構築した。また、本シミュレーションモデルを用いて、船舶の漂流挙動を解析し、波力と潮流力の漂流への影響や、津波の船舶への入射角別の漂流挙動（航跡・船首方位）の違いを明らかにした（図 29）。本対象におけるシミュレーションによる衝突事故の評価は例を見ないものである。

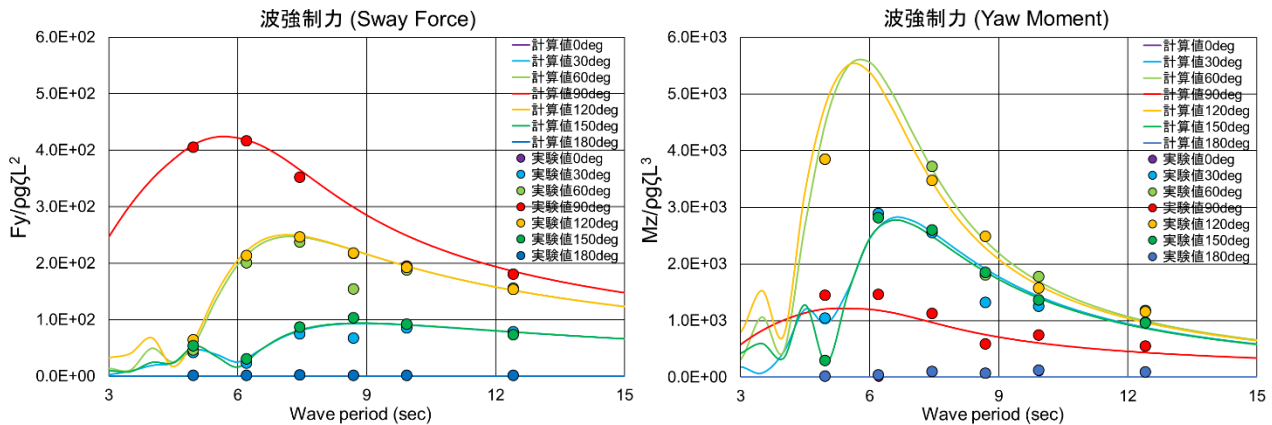


図 28 波強制力係数の実験値と計算値の比較例

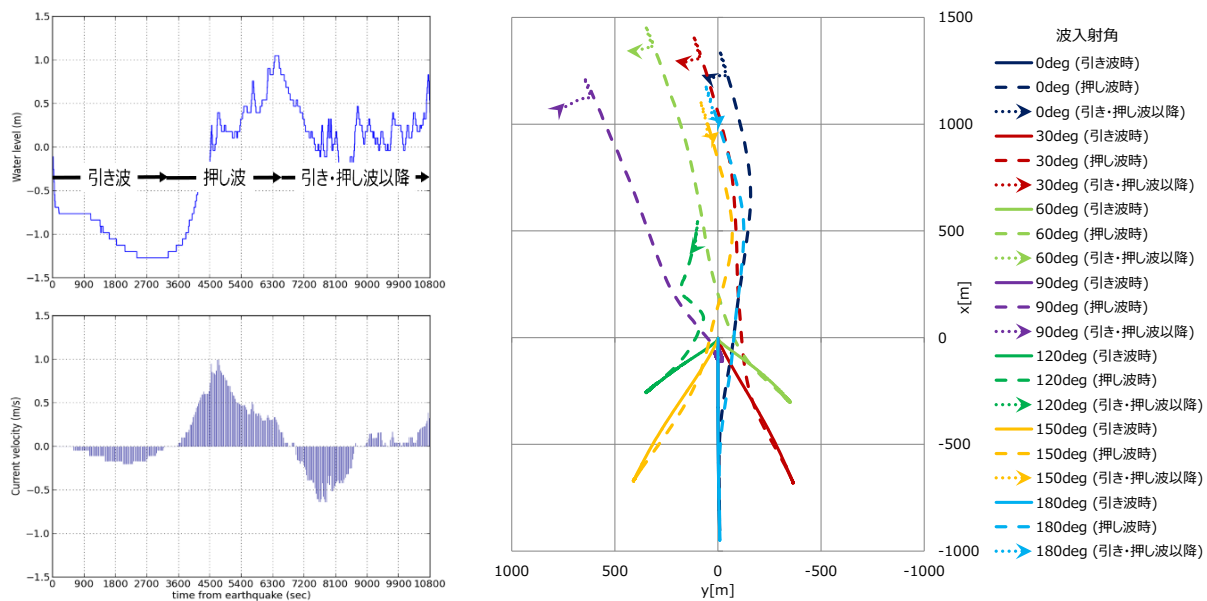


図 29 船舶への津波入射角別の漂流挙動

成果の公表

□特許：1 件

・輸送管の耐摩耗性向上方法、磁性ビーズ、及び磁力発生装置（国内優先権主張出願） 高橋一比古ほか

□コアプログラム登録：2 件

・マネージドアイス中のモノコラムハル型構造物に作用する全体氷荷重推定プログラム 長谷川賢太
・内部スラリー流を考慮したカタナリー形状解析プログラム 大坪和久

□発表論文等：34 件

【ジャーナル、本文査読付プロシーディングス、海技研報告の研究報告】 13 件（投稿中 4 件）

・梅田隼 ほか：リニア式波力発電装置のモデル予測制御に関する研究，日本船舶海洋工学会論文集，第 28 号（2018）。

- ・谷口友基 ほか：リニア式波力発電装置のモデル予測制御に関する研究，日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）。
- ・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，日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）。
- ・湯川和浩，加藤俊司：セミサブリグに働く粘性波漂流力と係留力の異常値予測，日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）。
- ・河島園子 ほか：浮体式設備設置のための沿岸域における係留システム設計及び津波中衝突危険性解析に関する研究（第一報），日本船舶海洋工学会論文集（投稿準備中）。
- ・Yamamoto, M., *et al.* : EXPERIMENTAL ANALYSIS OF REDUCED-SCALE JUMPER FOR DEEP-SEA MINING, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Imai, S., *et al.* : Experimental Study on Bubble Size Measurement for Development of Seafloor Massive Sulfides, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Nakajima, Y., *et al.* : Development of Elemental Technologies for Seafloor Mineral Processing of Seafloor Massive Sulfides, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Takano, S., *et al.* : STUDY ON PIPE WEAR EVALUATION BASED ON LARGE SCALE EXPERIMENT FOR DEEP SEA MINING, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Umeda, J., *et al.* : Study on a Wave Energy Converter with One Line Tension Leg Mooring Under Optimal Control, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Watanabe, M. *et al.* : Experiment and Numerical Simulation of Vortex Induced Vibration on Buoyancy Module Area of Steel Lazy Wave Riser, Proc. 29th ISOPE (2019).
- ・Okada, Y., Haneda, K., *et al.* : Parameter-varying Modeling and Nonlinear Model Predictive Control for Floating Offshore Wind Turbines, Proc. International Federation of Automatic Control (2019).
- ・Hasegawa, K., *et al.* : Managed Ice Loads Simulation using Breakable Ice Model for Fixed Conical Structure and Ice Tank Test, Proc. 25th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (2019).

【その他】 21 件

- ・Chujo, T., *et al.* : Wind Tunnel Test with Individual Blade Pitch Control Wind Turbine Model in Wind Turbine Model in Wind Shear, GRE2018 (2018).
- ・Yamamoto, J., Yamamoto, M., *et al.* : Deep-Sea Mining R&D Activities in the NMRI, Proc. 47th Underwater Mining Conference, Bergen, Norway (2018).
- ・Nakajima, Y. *et al.* : Measurement of Metal Grade of Ore Particles in Slurry Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, Proc. OCEANS'18 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEANS'18 (2018).
- ・Fujiwara, T., *et al.* : A Study on Behavior Estimation of Lift Pipe for SMS Mining, Proc. OCEANS'18 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEANS'18 (2018).
- ・Hayashi, N., Takano, S., *et al.* : Study on Slurry Transportation in Riser for Seafloor Massive Sulfides, Proc. OCEANS'18 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEANS'18 (2018).
- ・Chujo, T., *et al.* : Scale Model Experiment of Weather-Vane-Type Floating Platform for Downwind-Type Offshore Wind Turbine, Proc. OCEANS'18 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEANS'18 (2018).
- ・Hasegawa, K., *et al.* : Influence of Initial Arrangement of Ice Floes on Ice Loads in Non-smooth Discrete Element Method Simulation, Proc. 34th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (2019).
- ・藤原敏文：再生可能エネルギー風力／波力／海流・潮流発電装置の技術開発・安全性評価，テクノオーシャン 2018(2018)。
- ・梅田隼 ほか：深層強化学習を用いたポイントアブソーバー型波力発電装置，第 27 回海洋工学シンポジウム論文集(2018)。
- ・中條俊樹 ほか：大縮尺模型を用いた浮体式洋上風力発電の水槽試験，第 27 回海洋工学シンポジウム論文集(2018)。
- ・谷口友基 ほか：モデル予測制御を用いたポイントアブソーバー型波力発電装置の検討，第 27 回海洋工学シンポジウム論文集 (2018)。
- ・藤原敏文 ほか：海洋エネルギー技術研究開発事業次世代海洋エネルギー技術開発リニア式波力発電，平成 30 年度 NEDO 成果報告会講演集 (2018)。
- ・中條俊樹 ほか：浮体式を想定した風車後流に関する実験的研究，第 40 回風力エネルギー利用シンポジウム講演集 (2018)。
- ・藤原敏文：NEDO 委託事業「海洋エネルギー技術研究開発／次世代海洋エネルギー発電技術開発／リニア式波力発電研究開発」について，岩手県海洋エネルギー産業化研究会平成 30 年度第 1 回講演会資料(2018)。
- ・大坪和久 ほか：サブシー機器インストレーションの安全性評価に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 26 号 (2018)。
- ・今井せいら ほか：海底熱水鉱床開発のための気泡径計測の研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 26 号 (2018)。

- ・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，第 88 回日本マリンエンジニアリング学術講演会（2018）。
- ・山辺雄太，中島康晴 ほか：海底熱水鉱床の海底選鉱に関する基盤的検討，平成 30 年資源・素材関連学協会合同秋季大会講演要旨集（2018）。
- ・山辺雄太，中島康晴 ほか：海底熱水鉱床の海底選鉱システムに関する基盤的検討，資源・素材学会平成 31 年度春季大会（ポスター発表）（2019）。
- ・二瓶泰範，井上俊司，中條俊樹：我が国の浮体式洋上風力発電の研究開発の取り組み，日本船舶海洋工学会誌，KANRIN2019 年 5 月号（2019）。
- ・石原祐希，加藤俊司，湯川和浩，中島康晴，村井基彦：External タレットに働くスラム力の基礎研究－Dead rise angle による影響－，日本船舶海洋工学会講演会論文集（2019）。

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。
- 横浜国立大学連携講座の一環で本研究テーマの中で指導した学生 2 名が日本船舶海洋工学会の奨学褒賞（学部、修士）を、1 名が同大学の弘陵賞を受賞するなど、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。
- 浮体式波力発電装置については、発電性能を格段に向上することが可能な制御アルゴリズムを構築し、プロジェクト認証支援技術に関する研究では、社会のニーズはあるが現在のところ研究開発が行われていない分野の研究を進めていることから、新規性は十分に大きい。また海底熱水鉱床開発に関する研究では、実用化に向けた課題解決に資する研究成果を創出しており、得られた成果は他の鉱物資源にも適用できることから、発展性、一般性は十分に大きい。さらに、研究成果の一部で特許出願やプログラム登録もしている。

以上のことから、成果の科学的意義は十分に大きいと考える。

- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- 本研究の多くは、海洋エネルギー・鉱物資源開発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、FSRU の津波対応指針が近い将来に公表されることを考慮し、当該指針のベースとなる研究成果の論文発表等も行っている。

以上のことから、期待された時期に成果を創出できていると考える。

- ◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
- 浮体式風力発電施設の安全ガイドライン中の損傷時復原性基準の運用ガイドラインについては、IEC 基準及びその議論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。また、海底熱水鉱床開発に向けた取り組みにより得られた技術は、国際的にもトップクラスの水準を誇っており、我が国の関係分野での国際競争力の向上に十分つながるものである。さらに、海洋構造物の Availability 解析技術及び標準的リスク評価手法に基づき、プロジェクト認証基準の整備に取り組む総合的な研究は国際的に見てもなされておらず、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る。

以上のことから、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成果を創出できていると考える。

- ◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
- 浮体式波力発電装置については、国内的にもまだ十分浸透していないところであるが、有効な制御アルゴリズムの開発を先行的に実施しているところは大きな意義がある。SURF については、石油メジャーとも太いネットワークを有する本邦メーカーと情報交換を行って将来的なニーズを抽出しつつ研究を実施している。

以上ことから、萌芽的研究については、先見性と機動性を持って対応していると考える。

研究主任者による自己評価	B
--------------	----------

☐ 今年度に策定された第3期海洋基本計画も考慮しながら研究を進めるとともに、研究計画に従って着実に成果を創出していることから、「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」と考える。

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	年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発 ーAUV を運用するために必要となる要素技術の研究を進め、AUV 複数機同時運用技術の信頼性向上の研究開発を行う。等

研究の背景

船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援。具体的には、

- ☐ 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及び支援
- ☐ 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

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）の開発
- ☐ 広域探査システムの運用技術の開発
- ☐ 広域探査システムの企画・仕様設定技術の開発

上記成果は、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強化へととなり得る。

平成 30 年度の研究内容

- ☐ 航行型 AUV・洋上中継器の開発・信頼性向上
実海域で実証試験を行う中で AUV および洋上中継器の開発・調整を実施。信頼性向上に繋げた。
- ☐ 要素技術の開発として国産 INS（慣性航法装置）の完成
改良を行っていた国産 INS を完成、最終化
- ☐ AUV 複数機同時運用試験
民間企業への技術移転を念頭に置きながら、複数機 AUV の同時運用により広域の資源探査技術を獲得
- ☐ AUV 研究開発成果の社会実装・民間活用
AUV 研究成果の社会実装・民間活用化を実施

平成 30 年度の実績

□航行型 AUV・洋上中継器の開発・信頼性向上

- ・平成 29 年度に続いて、航行型 3, 4 号機のマニュアルを作成。実海域で実証試験を行う中で航行型 AUV・洋上中継器の調整作業を継続的に行う中で、AUV 複数機同時運用技術の信頼性向上に繋がった。

□国産 INS の完成

- ・国産 INS の試作機を完成させ、実機 AUV に搭載。確認試験を実施することで機器有効性を確認

□AUV 複数機同時運用試験

- ・民間主体の統合調査航海（6 月）における奄美大島西方沖にて AUV 高精度海底調査の実現
熱水ブルームの可視化等、海底鉱物資源探査に有効な技術を立証。2m メッシュの海底地形データ取得
- ・9 月の駿河湾において、ASV1 機と AUV5 機を用いて同時運用を実証
- ・民間主体の統合調査航海（10 月）により民間運用技術完成を実証
民間による複数機同時運用を実施。想定ユーザーからの良好な評価も受け、航海を成功裏に終了

□AUV 研究開発の社会実装の一環として民間技術移転・運用の拡大

- ・ホバリング型 AUV「ほぼりん」琵琶湖湖底遺跡調査を実施
- ・銚子沖風力発電施設の基差点検作業の試行試験を実施。今後の AUV 活用の方策として期待される。

平成 30 年度の研究成果

- 小型化、低コスト化等と共に複数機運用・協調行動を念頭に置いた航行型 AUV1~4 号機、詳細な海底探査に活用可能なホバリング型 AUV「ほぼりん」、それらを監視・通信・制御する洋上中継器を完成させた。（図 1-1）



図 1-1 航行型 AUV1~4 号機、ホバリング型 AUV「ほぼりん」、および洋上中継器

□国産 INS の完成

- ・初めて国内生産による AUV 用 INS を完成させ、陸上作動試験、クレーンでの吊下試験、曳航試験を実施。その後、航行型 AUV4 号機に搭載、制御ソフトとの連携を確認。駿河湾にて、実海域試験を実施（図 2-1）。80m 海域において計 3 回の潜航（潜水合計約 1 時間）に成功。AUV への搭載に問題の無いことを確認

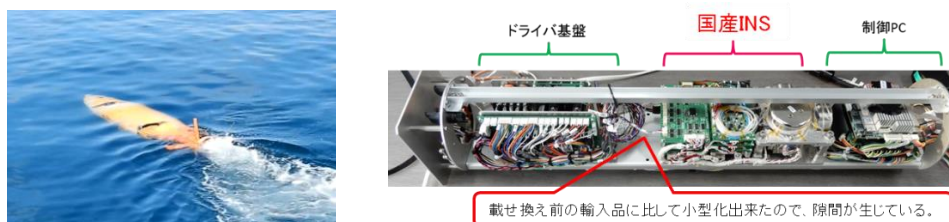


図 2-1 INS 搭載試験時の AUV4 号機（左）と内部機器（右）

□AUV の複数機同時運用技術を完成

- ・ 後述の民間技術移転・運用拡大とも関連するが、平成 30 年 6 月に東奄西海域で、民間企業が運用主体となって海洋資源調査に係る AUV 運用を実施
- ・ 平成 30 年 9 月の駿河湾においては、ASV1 機と AUV5 機（航行型 1~4 号機、ほぼりん）を用いて水深約 30m にて複数機同時運用を実証した（図 3-1）。

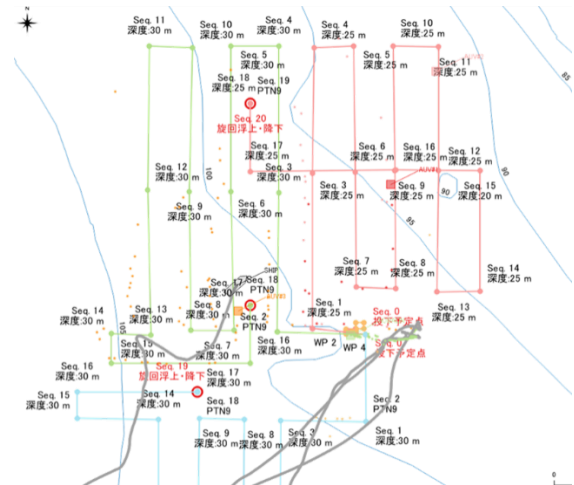


図 3-1 平成 30 年 9 月駿河湾にて AUV 等の全機同時運用を実証
(右図は AUV5 機同時潜航時の音響測位画面)

- ・ 平成 30 年 10 月には、伊豆諸島（大室ダシ、東青ヶ島カルデラ、スミスリフト）において民間企業による複数機 AUV 熱水地帯調査を実施し、複数機同時潜航 4 回、3 号機単独潜航 2 回、ほぼりん単独潜航 1 回、全 7 回の潜航調査を成功させた（図 3-2）。複数機 AUV 同時運用の有効性及び民間事業化への可能性を確認するとともに、広域高効率調査を実現した。

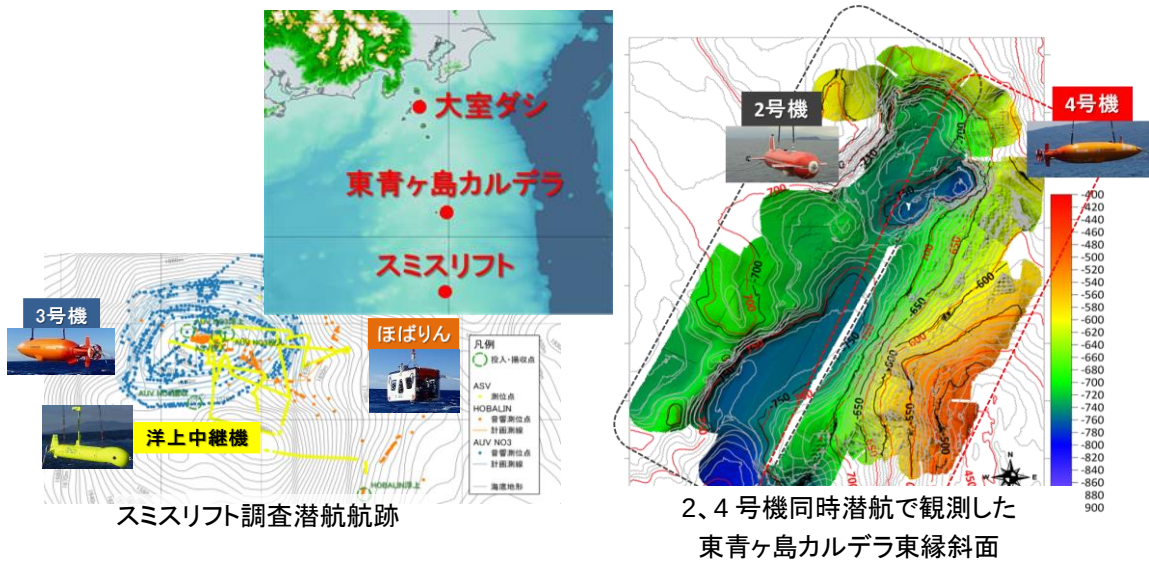


図 3-2 平成 30 年 10 月民間企業による伊豆諸島での複数機 AUV 熱水地帯調査

- ・ 上記の様に AUV 等を民間企業に継続的に提供すると共に、円滑な使用技術の移転に資するためにマニュアル類も作成して提供
- ・ 平成 28 年 12 月には、それまでの成果を基に「3 機の複数 AUV と洋上中継器の同時運用による熱水地帯での全自動海底調査に世界初成功」として報道発表を行ったところであるが、その後もこれに追従または凌駕する他国報道は確認されておらず、当研究開発では更に同時運用機数を 5 機に伸ばしていることから、依然として世界の最先端に位置すると考えられる。

□民間技術移転・運用の拡大

- ・ NHK取材協力として伊豆諸島最南端の孀婦岩（標高 99m）をほばりんにて調査。生態観測の一環として魚類等の画像取得に成功

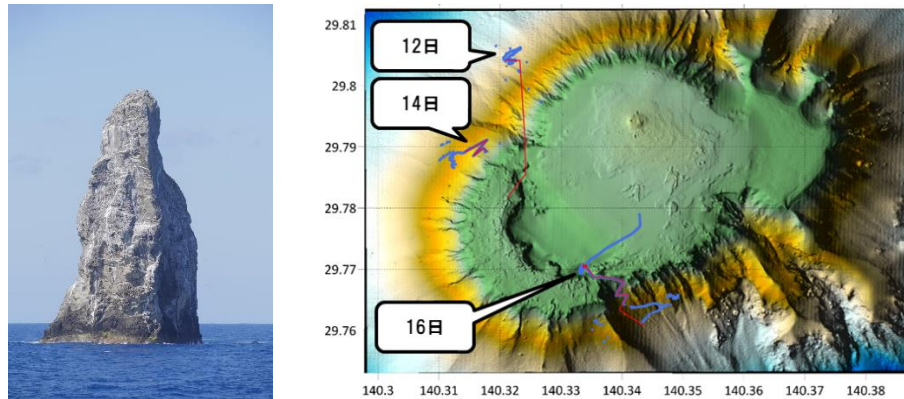


図 4-1 調査した孀婦岩（左）と付近での探索経路（右）

- ・ 琵琶湖北部でのほばりんの潜航調査により、27,425 m² の湖底画像を取得。結果として 1000 年以上前と推測される 9 個の壺を確認（図 4-2）。NHK 大津放送局(2018.6.26 ニュース)、京都新聞(2018.6.21 一面)等が本調査の内容を報道。TBS「アサ秘ジャーナル」(2018.8.27)でも紹介

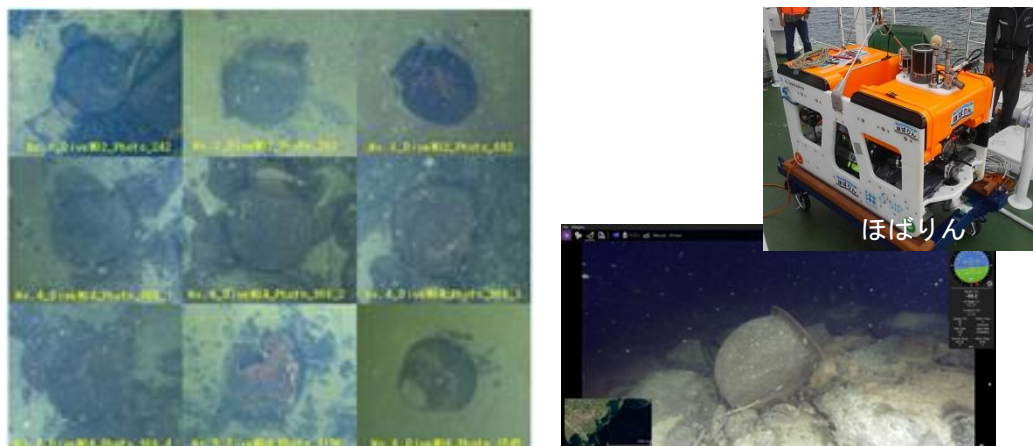


図 4-2 文化遺産発掘を目的とした琵琶湖北部でのほばりんの潜航調査

- ・ 銚子沖風力発電施設の基基点検作業の試行試験をほばりんが実施（図 4-3）。

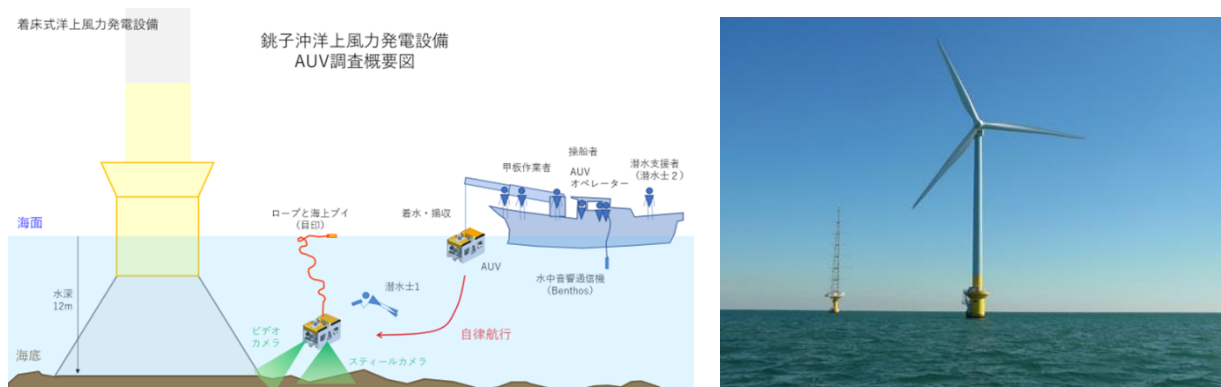


図 4-3 ほばりんによる銚子沖風力発電施設の基基点検試行作業

- ・ Shell Ocean Discovery XPRIZE に参画し、超広域高速海底マッピングにチャレンジした（図 4-4、水深 4,000m 実海域試験で、24 時間以内に 250km² 以上の海底地図作成）。その中でも運用する AUV・ASV のノイズ解析および利用音響帯域の整備に研究実績を応用した。12 月に地中海（ギリシャ共和国メッシニア県カラマタ市メッシニア湾海域）で行われた決勝戦にも参加し、これまで培ってきた ASV による AUV 管制技術のノウハウが生かされた。本コンペティション結果発表は 2019 年 5 月ごろを予定。



図 4-4 曳航試験中の AUV2 機と ASV（ギリシャ、カラマタにて）

□研究内容の広報・普及活動

- ・ メディアを通じた研究活動の紹介を実施した。TBS「アサ秘ジャーナル」(2018.8.27)にて、海技研 AUV の活躍状況が放映された（図 5-1）。



図 5-1 TBS「アサ秘ジャーナル」への出演

成果の公表

ジャーナル（計 3 件）

- ・ Neettiyath, U., Sato, T. et al. : Deep-sea robotic survey and data processing methods for regional scale estimation of manganese crust distribution, Journal of Field Robotics, Wiley InterScience（投稿中）
- ・ Okamoto, A., Seta, Y., Sasano, M., Inoue, S. and Ura, T. : Surveying Hydrothermal Vents Visually and Autonomously Using a Hovering-type AUV: Launching Hobalin into the West Offshore of Kumejima, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, American Geophysical Union（投稿中）
- ・ Kim, K.: Optimal Waypoint Navigation for Underactuated Cruising AUVs, Informatics in Control, Automation and Robotics, Springer（投稿中）

本文査読付きプロシーディングス（計 1 件）

- ・ 金岡秀：A Suboptimal Strategy for Autonomous Marine Vehicle Navigation in Variable Sea Currents, IFAC2018

海技研報告の研究報告

無し

上記以外の研究報告（計 14 件）

- ・ 金岡秀：次世代海底資源調査に向けた純無人型探査ユニットの開発と実海域展開, Sea Japan2018
- ・ 篠野雅彦：海中ロボットを用いた海底調査技術, テクノオーシャン 2018

- ・ 金岡秀ほか：次世代海洋調査の新戦略 複数 AUV 同時展開による高効率・高精度な海洋調査の実現に向けて、第 18 回海上技術安全研究所研究発表会講演集(2018)
- ・ 篠野雅彦、瀬田剛広、岡本章祐、稲葉祥梧：ホバリング型 AUV「ほぼりん」の開発状況、第 18 回海上技術安全研究所研究発表会講演集(2018)
- ・ 篠野雅彦：ホバリング型 AUV「ほぼりん」について、びわ湖トラストー海技研共同研究調査結果発表(2018)
- ・ 平尾春華：特別セッション「海の調査の仕事」、海洋調査技術学会海洋調査技術学会創立 30 周年記念研究発表会講演要旨集(2018)
- ・ 高島創太郎、篠野雅彦、瀬田剛広、岡本章祐、稲葉祥梧他：ホバリング型 AUV「ほぼりん」による海底掘削前の海底環境調査、海洋調査技術学会海洋調査技術学会創立 30 周年記念研究発表会講演要旨集(2018)
- ・ 金岡秀、井上俊司：深海の探査、笹川平和財団海洋政策研究所、海洋白書 2018
- ・ 篠野雅彦：海技研の水中ロボットのご紹介、海洋都市横浜うみ協議会(2018)
- ・ 児子健一郎、金岡秀他：偏波保持ファイバを使った海洋・宇宙向け FOG ベース INS の開発、日本航空宇宙学会第 62 回宇宙科学技術連合講演会講演集(2018)
- ・ 金岡秀：AUV 複数運用の現状と今後、SIP 第 1 期海のジパング計画テーマ合同総括会議予稿集、内閣府(2018)
- ・ Kim, K., Sato, T., and Matsuda, K. : Advanced AUV Navigation and Operation towards Sager and Efficient Near-Bottom Survey, MTS/IEEE(2019)
- ・ Sato, T., Kim, K., and Inaba, S. et al. : Exploring hydrothermal deposits with multiple autonomous underwater vehicles, Underwater Technology2019
- ・ Sasano, M., Okamoto, A. et al. : Optical Investigation of Archaeological Remains on Bottom of Lake Biwa by a hovering-type AUV “Hobalin”, Underwater Technology2019

プログラム登録（計 2 件）

- ・ 岡本章裕、稲葉祥梧、篠野雅彦：AUV ほぼりん制御用メインプログラム
- ・ 岡本章裕、稲葉祥梧、篠野雅彦：AUV ほぼりん運用ツールプログラム

特許（計 3 件）

- ・ 金岡秀：複数の水中航走体の運用方法及び複数の水中航走体の運営システム
- ・ 金岡秀：複数の水中航走体の揚収方法、及び複数の水中航走体の揚収システム
- ・ 稲葉祥梧：水上航走体の姿勢制御による音響通信範囲の制御

公開試験（計 1 件）

- ・ ホバリング型 AUV「ほぼりん」のご紹介と障害物回避試験

主な評価軸に基づく自己分析

- ◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
- 国家プロジェクト SIP「海のジパング計画」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、将来的な後続プロジェクトにつながる期待も認められる。
- ◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きい。
- ASV1 機に対して複数機同時運用の実績は世界的にも例がなく、当研究開発では同時運用機数が 5 機まで到達しており世界の最先端に位置すると考えられる。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- 第 1 期 SIP の終了年度として当初目的まで達したことから、期待に応えた成果輩出となっている。
- ◎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。
- 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レベルに短期間で達したことを証明した。1 年から 2 年程度の取り組みであり、まだ、実績として十分とはいえないが、国際的競争力を着実に身に着けた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。
- 本研究開発は第 1 期 SIP への貢献を通じた対応となっているため、萌芽的要素が少ないが、海外製品に市場が占有されている中、国内生産 INS に道筋を付けたことは大きな意義がある。また、AUV の機器調整を含め、様々な事象に対して、機動性をもって対応し、当初目標を完遂した意義は大きい。

研究主任者による自己評価	S
--------------	----------

□SIP に参画する中で、SIP 中の主事業として位置づけられた AUV の複数機運用技術およびそれらの民間移転事業を成功裏に終えたことは非常に評価できる。フォローアップとしての技術移転事業・広報活動にも十分取り組んで成果を上げた。

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	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新たなニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発 －これまで開発してきた生産管理システムを造船所へ導入し、実証実験を実施する。造船工程モデリング技術を提案する。 －騒音に影響を及ぼす振動解析・振動対策を検討し、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する。等

研究の背景

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

- 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

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
- 上記成果は、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強化へとつながる。また、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）や、造船設計・生産性向上が期待される。

平成30年度の研究内容

- 生産管理システムの中小造船所への導入（約3社）、レーザースキャナを用いた外板等の精度管理、生産支援システムの開発、塗装作業支援ARアプリケーションのプロトタイプ開発、船殻小組立工程の造船シミュレーションシステムのプロトタイプ開発

- 造船用作業アシストロボットの仕様、造船用 CFRP 設計 CAD/CAM のプロトタイプ開発、造船工場内定期観測ドローンの仕様
- ハイロウミックス工程の中小造船所への導入
- 居住区の振動・騒音伝播特性解析データセットの取得、高減衰材を活用した構造仕様の開発、信頼性評価法案の考案
- 振動評価を取り入れた騒音予測（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）を行うと共に、ネスティング問題に対する知的設計システム（強化学習に基づくプロトタイプ）を構築する

平成 30 年度の実績

- 「中小造船業に適した新生産管理手法」に関して、「工数最適化を目的とした生産計画・実行管理」を中小造船所 7 社にて実船適用し、5～10%の工数削減効果を確認した。
- 曲げ加工を支援するリアルタイムプレス線出力システムについて、対象造船所向けにカスタマイズを行い、生産ラインへの実展開に向けた実証実験を実施した。
- 曲げ加工支援 AR システムについて、対象造船所向けにカスタマイズを行い、生産ラインへの実展開に向けた実証実験を実施した。
- 塗装作業支援 AR システムについて、プロトタイプ機の開発を行った。
- 造船小組工程に関する生産シミュレーションを実施し、部材、道具、設備の配置等によって、作業者の付随作業がばらつき、製造リードタイムに長短が生じることを表現した。
- CFRP 曲率線ツールパスを自動描画する造船用 CFRP 設計 CAD/CAM のプロトタイプを開発した。
- ドローンによるブロック定盤管理システムについて、実際の造船所におけるドローンの飛行・撮影の実証実験を行った。
- ハイロウミックス工程を中小造船所 3 社に実展開し、5%の技能職の余力創出余地効果を確認した。
- コンテナ船を想定した全船 FE モデル及び簡易箱型 FE モデルの 2 種類を用いて、振動伝播特性解析を行い、主機台下に CFRP 板を設置した場合の振動特性の変化について調査した。造船部材要件に適した接合部に対する、環境劣化を考慮した長期信頼性の評価手法について検討を行い、その適合性を確認した。
- 騒音予測に必要な音響パラメータを、振動理論をもとに予測できるプログラムの開発を行った。このことにより、ニューラルネットワークによる騒音予測で使用できる騒音対策材料の適用範囲が拡大した。
- ネスティング問題（生産設計）に強化学習を適用するため、簡易モデルによる検討を行い、今後のプロトタイプ実現の目途を立てた。

平成 30 年度の研究成果

- 「工数最適化を目的とした生産計画・実行管理」について、中小造船所 7 社に、負荷平準化を伴った中日程計画、管理監督者が行なう業績管理（3 本グラフによる日程と工数の管理）、職場リーダーやスタッフが行なう職場作業指示・管理（ワーク別標準作業進行図による日々の具体的作業の管理）等を導入し、実船の生産管理に展開した。その結果、いずれの造船所においても工数の削減効果が確認でき、これらの結果から、本手法は一般的な中小造船業の造船工程全体に対して少なくとも工数削減効果 5～10%が得られることを明らかにした。
- 平成 29 年度に開発したリアルタイムプレス線出力システムについて、実際の造船所の生産ラインへの導入を見据えて、対象造船所向けのカスタマイズを実施した。レーザースキャナによる外板計測データを読み込み、加工中の外板の曲面表現、曲率線情報に基づく形状評価、追加作業指示線を作業現場でリアルタイムに実施するシステムを、対象造船所の作業方法（プレス線の入れ方、順序のつけ方等）に準拠するようにカスタマイズした。造船所での実証実験を行い、開発システムの形状評価、追加作業指示線の妥当性を確認した。次年度に、当該造船所の生産ラインへの実展開を行う。
- 上記の曲率線情報に基づく曲り外板形状評価、追加作業指示線を作業現場においてより効果的に情報伝達するため、「曲げ加工支援 AR システム」の現場導入に取り組んだ。具体的には、大型鋼板に対する重畳表示の対応（複数マーカー対応）、リアルタイムプレス線出力システムとのインタフェースの開発を行った。造船所での実証実験を行い、造船所の作業環境であっても良好に AR 表示が可能であることを確認した。次年度に、当該造船所の生産ラインへの実展開を行うが、AR 技術の造船現場での実展開は我が国初の実績となる。



図 1 実際の造船所における「曲げ加工支援 AR システム」の検証

□塗装作業支援 AR システムとは、塗装作業者がスプレー塗装作業中にスマートグラス等を介して、塗装対象物への塗着膜厚分布等をリアルタイムに確認するものである。本年度はその要素技術として、塗装ガンの位置把握機能及び塗着シミュレーション機能の開発を行った。塗装ガンの位置把握はモーションセンサーで行い、このため、モーションセンサーシステムの導入、及びセンサー埋め込み塗装ガンを試作した。モーションセンサーで計測される塗装ガンの位置、方向及び別途計測されるトリガー（塗料噴出）ON/OFF 情報から、塗装対象物への塗着をシミュレーションするシステムについてプロトタイプを開発した。

□平成 29 年度に引き続き、造船小組工程に関する生産シミュレーションを実施した。本年度は、実際の小組作業をより再現するため、作業空間（定盤やブロック配置等）、設備（クレーン）の干渉を表現して生産シミュレーションを実施した。併せて、膨大なケースの離散シミュレーションを計算機上で効率的に解くための計算手法（最適解の探索のための AI 利用）について検討を行った。シミュレーションにより、定盤の配置やクレーンの干渉により、付随作業がばらつき、製造リードタイムに長短が発生することを確認した。また、生産シミュレーションの結果を分析することで、効率的な造船作業に関する一般的規則（ブロックは同種のものをまとめて配置した方が良いか、異種を交えながら定盤面積を最小にする配置が良いか、一つのブロックの組立をすべて完了してから次のブロックに着手する方が良いか、異なるブロックを跨ぎながら作業する方が良いか等）を発見できることを確認した。

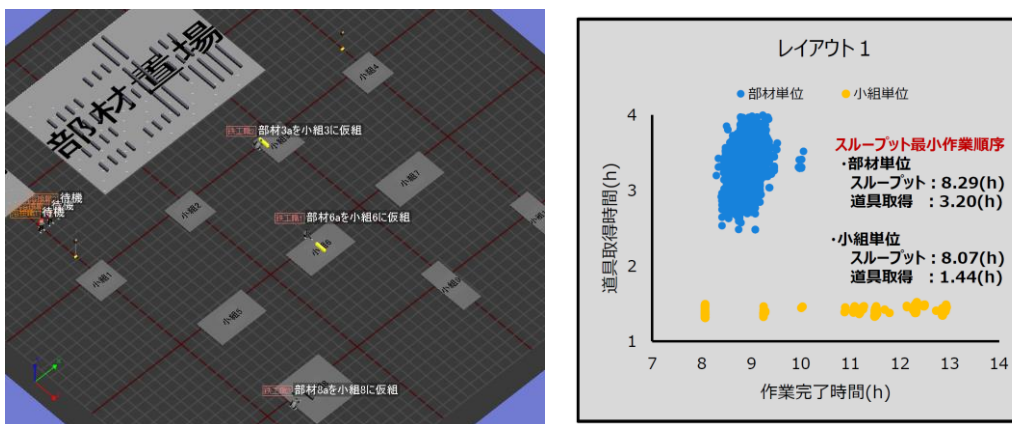


図2 小組工程についての生産シミュレーション

□造船用 CFRP 設計 CAD/CAM のプロトタイプの開発として、炭素繊維トウを曲率線方向に最適配置するツールパス自動描画システムの開発を行った。曲面形状に応じて、曲率線方向に炭素繊維トウ間の粗密が一定になるように、一筆書きのツールパス図面を出図する。また、そのツールパスに基づき作成されたプリフォームから、実際の CFRP 曲面構造物の成形を行い、その成形性について評価した。

□ドローンによる定盤管理システムについて、本年度は、ドローンによる造船所の飛行、データ取得に関する実証実験を実施した。実際の造船所のブロック置場（屋外）の約 60m×60m 区画の上空を飛行し、LiDAR によりブロックの 3 次元形状の取得を行った。また、マーカー等によるブロック認識技術について検討した。スペックの異なるドローン、飛行パターンについて試験し、造船所の環境及び定盤管理に適したドローン、飛行及び計測センサーの仕様について整理した。



図3 造船所でのドローンによる定盤管理

□「未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発」のハイロウミックス工程について、本年度は中小造船所3社（平成29年度は2社）において現場展開を行い、いずれの造船所においても工数削減効果が確認できた。このことから、提案手法によって一般的な中小造船業の造船工程全体に対して、技能職の余力を5%以上創出する効果が得られることを明らかにした。

□起振力を主機軸力、ガイドモーメント（X型、H型）及びアンバランスモーメントの4ケース（図4参照）について、全船FEモデル及び簡易モデル（図5参照）を用いた周波数応答解析を行い、CFRP板設置による居住区振動特性の変化を調べた。結果、主機台へのCFRP板導入による居住区の振動軽減の効果は小さいことが見受けられた（図6左図参照）。これは、製作可能な最大厚50mm程度のCFRP板では、主機の質量と比較して小さすぎるため、十分な振動減衰効果が得られなかったと考えられる。ただし、主機付近の振動特性については、簡易モデルを用いた計算結果によれば、CFRP板設置による軽減効果が周波数帯によって現れることが確認できた（図6右図参照）。

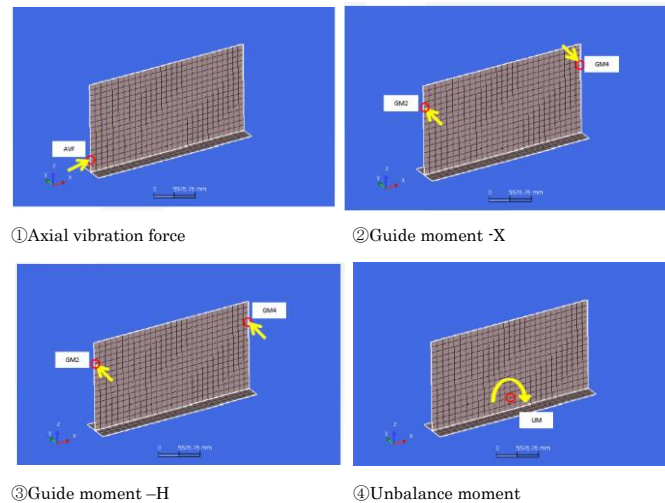


図4 主機起振力

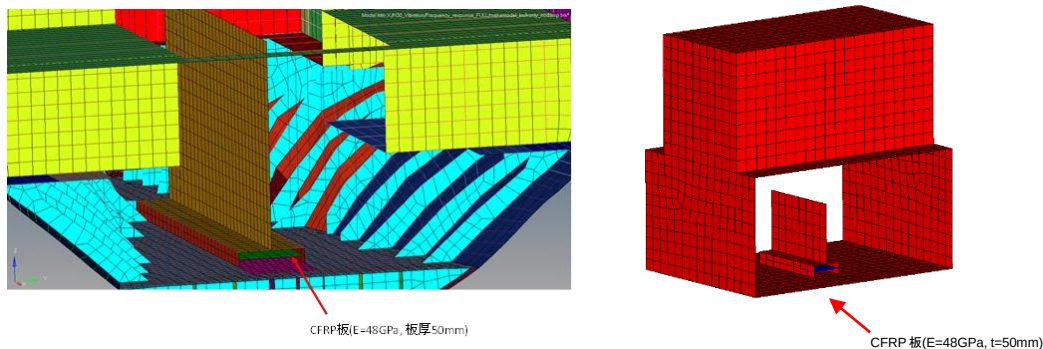


図5 CFRP板を設置したFEモデル（左：全船モデル、右：簡易モデル）

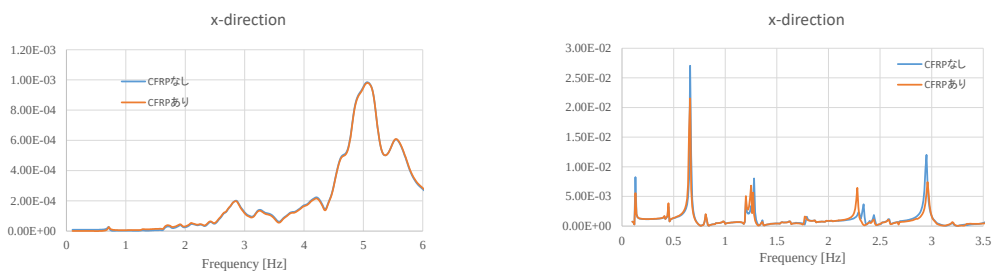


図6 周波数応答解析結果

（左：評価箇所；居住区、全船モデル 右：評価箇所；主機付近、簡易モデル）

□制振材料の設置箇所・負荷荷重・強度要件などの構造仕様を検討し、その制振対策の効果について評価を行った。真空含浸工法や異種材接合における、被着材の特性や切削方法・接合表面の前処理方法などに関する検

討を行った。劣化後の強度保持率・変動係数・ばらつき係数・複合劣化係数を用いた長期信頼性の評価手法に関する検討を行った。IMO 火災試験コード並びに構造用接着剤の適合性調査を行った。
 □振動理論に基づき、任意の浮床構成における振動伝達率の計算方法及び実験結果から浮床構成材の材料物性値を求める方法を確立した。またこれらの計算を自動で行うプログラムを開発した。（図7参照）
 □エアコンの騒音予測において、実船での計測値と数値解析での予測値の誤差を求める手法を開発し、これに基づき誤差評価を行った。また、この誤差を最小化させる予測値の補正量も併せて検討した。
 □ネスティング問題（生産設計）に強化学習を適用するため、簡易モデルによる検討を行い、今後のプロトタイプ実現の目途を立てた。（図8参照）

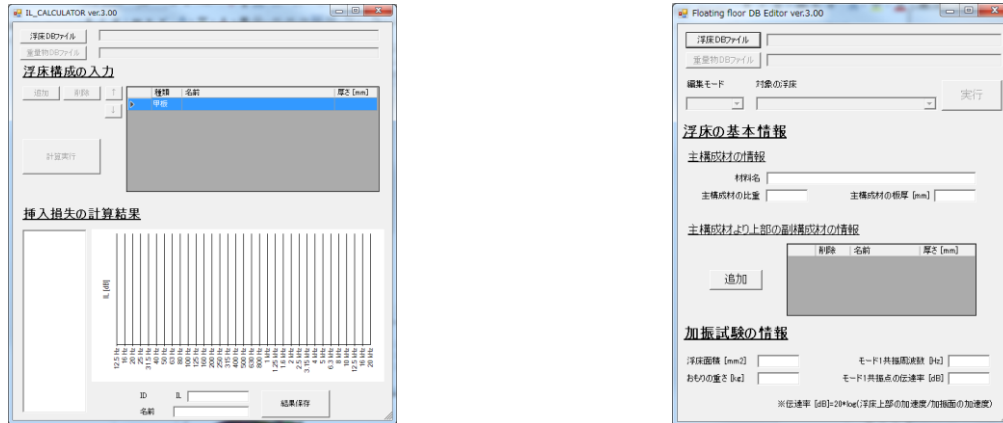


図7 浮床の伝達率を計算するプログラム（左）と材料物性値を求めるプログラム（右）

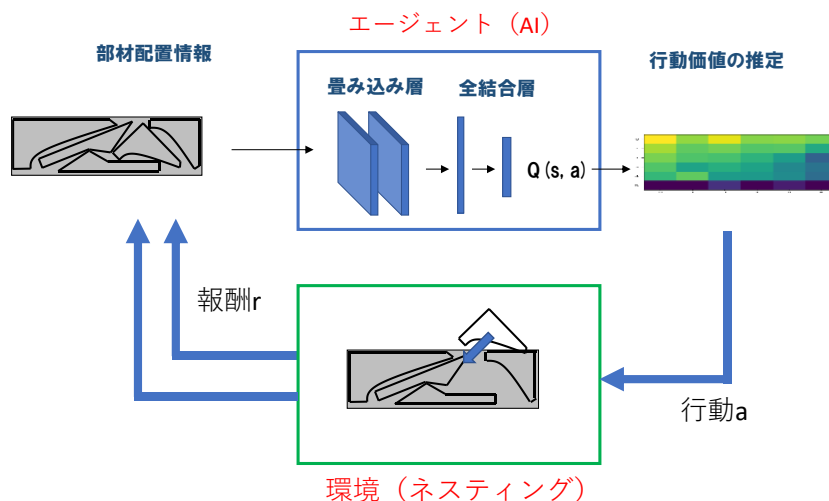


図8 強化学習によるネスティング

成果の公表

プログラム登録：3件

- 小沢 匠，平方 勝：IL_CALCULATOR
- 小沢 匠，平方 勝：FFDB_EDITOR（申請中）
- 小沢 匠，平方 勝：NN 学習用 DB エディター（申請中）

ジャーナル、本文査読付きプロシーディングス、海技研報告の研究報告：4件

- 松尾宏平、藤本修平他：曲率線情報に基づく造船プレス加工支援システムに関する研究、日本船舶海洋工学会論文集第28号（2018）、pp.189-201.
- K. Matsuo, S. Fujimoto: Fundamental Research for Application of Augmented Reality Technology to Manufacturing in Shipbuilding, Journal of Marine Science and Technology,（投稿中）
- T. Iwata, H. Hayashibara: Durability and flammability evaluation of SGA structural adhesive joints consisting of a thick adhesive layer for shipbuilding, The Journal of Adhesion. Vol.95, (2019), DOI:10.1080/00218464.2019.1581067.
- H. Hayashibara, T. Iwata, T. Ando, C. Murakami, E. Mori, I. Kobayashi : Characteristics of Degradation Process for Structural Adhesive Bonding Joint on Exposure Deck of Ship, J. Marine Science and Technology,（投稿中）.

その他発表：3件

- 松尾宏平、谷川文章：生産シミュレータによる造船作業のモデル化に関する研究 ～海技研のデジタルシッ
プヤード構築に向けた方針とその取り組み～、海上技術安全研究所研究発表会講演集，第18号（2018），
pp.104-113.
- T. Iwata, H. Hayashibara, 2018, Durability and flammability evaluation of SGA structural adhesives joint
consisting of thick adhesive layer for shipbuilding, Book of abstracts of the 12th European Adhesion
Conference and 4th Luso-Brazilian conference on Adhesion and Adhesives, Lisbon, Portugal, p.197.
- 小沢 匠，2018, Analytical Study on Transmissibility of Vibration in Floating Floor，平成30年度日本船舶
海洋工学会秋季講演会，東京，日本，ポスターセッション.

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。
- 「中小造船業に適した新生産管理手法」については、実際の中小造船業において、「工数最適化を目的とし
た生産計画・実行管理」にて5～10%の工数削減効果の成果を上げている。また、ハイロウミックス工程に関
して、5%の技能職の余力創出余地効果を実証している。本取り組みに対する中小造船業の評価は高く、提案
手法の中小造船業への定着により継続的な生産性の改善が見込め、本研究の果たした社会的価値の創出は大き
いものと評価している。
- 科学技術イノベーション総合戦略の1つである異種材料接合技術の高度化は、材料選択や設計の自由度を向
上させ設計・生産性の効率向上に貢献するため、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
果であり、社会のニーズに適合している。
- ネスティング（生産設計）にAIを活用しようとすることは、コスト削減、生産効率向上につながる。造船
産業の競争力に直結するテーマであり、社会的貢献度は大きい。
- ◎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。
- ARシステムの研究開発については、造船業への展開において当所が当該分野をリードしている。本研究課
題で取り組んでいる「曲げ加工ARシステム」については、現場実装の目処が付き、次年度に対象造船所の生
産ラインへの現場導入を行う。造船製造現場におけるAR技術の実用化は少なくとも国内初のことと認識して
いる。
- 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・汎用性は大きい。
- 造船所は、新たな（データベースにない）騒音対策材を適用した騒音予測を行いたいとの要求を持っている。
上記プログラムは、そのニーズに応えた内容となっている。ニューラルネットワークによる騒音予測とセット
で活用することによって、騒音予測プログラムの利用促進につながる。新規性・発展性に富んだ意義のある成
果である。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- 造船業における生産性向上や人材不足の問題は現在進行形の課題である。本研究課題の一部については当初
から研究成果の即現場展開を見据えたものであり、実際、その成果（工数削減効果5～10%、余力創出効果5%）
を達成、現場貢献している。この点で、本研究開発の成果は期待されている時期に創出されているものと評価
する。
- IMOの騒音規制は2019年7月1日以降に全船適用された。新たな騒音対策材料を使用して、新設計の船舶
に対する騒音予測を行うケースは今後もつづく。期待された時期に創出できている。
- ◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
- 造船作業の付随作業に着目し、それを科学的に表現し、造船の生産計画に応用する取り組みは国外を見渡し
ても類似の研究事例は見当たらない。これが実用化された場合、その工数削減効果は40%と見積もっており、
我が国造船業の国際競争力の向上に大きく貢献できる。
- 騒音予測、ネスティングいずれも、造船所の設計に寄与するものであり、造船所の国際競争力の向上に貢献
する。
- ◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
- 2018年度後半に初めて構造用接着材がIMO火災試験コードに適合するなど、技術の進展に合わせて評価対
象材料を見直し、機動性を持って対応している。
- 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。新た
な騒音対策品を見込んで機動性をもって対応した。
- ネスティング（生産設計）にAIを活用することは先見性をもった研究である。最新のAI技術（深層強化学
習）を取り入れ機動性を持った研究が行えている。

研究主任者による自己評価	B
--------------	----------

□非熟練及び短時間労働者を新たに取り入れる「未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発」については、一般社団法人中小型造船工業会と連携して実施し、平成31年度までの計画を前倒して今年度で完了した。5%の技能職の余力創出余地効果を実証試験により確認し、国際競争力の向上に貢献する生産性の改善効果が得られることを明らかにした。人材不足の課題を解決する手法として中小造船事業者から評価されている。

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	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新たな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 一操船リスクシミュレータへ他船の自律機能の追加と避航操船機能の試評価を行う。2台のビデオカメラの立体視による画像処理技術を用いた他船検出の基本機能を構築する。等

研究の背景

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

- 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

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、多段階の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
- 自律運航システム機能を組み込んだシミュレータあるいは実船搭載システムによる有効性評価手法の開発

上記成果は、自律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が期待できる。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強化へと期待を得る。

平成 30 年度の研究内容

- 避航操船として航行妨害ゾーン（OZT）を応用したルールベースのアルゴリズムを開発し、実際の AIS データを用いたシミュレーション環境で検証を行う。
- 避航操船を対象として、操船シミュレータ上の他船においても自動避航操船が実現できる環境を構築し、自動避航操船機能の評価を試行する。
- 2 台のビデオカメラを含む船載記録システムの構築、画像処理アルゴリズムと船舶位置推定アルゴリズムの検討と実装を行う。画像検出アルゴリズムの工夫により検出率を向上させる検討を行う。
- 自律運航を実現するため、現行国際条約及び国内法令の改正点の洗い出しを行い、これに対する現実的な対応案を作成する。
- 自律船のバックアップの機能要件の洗い出しを行う。
- OZT の見える化（可視化）による避航操船判断支援システムの開発を行う。（商船三井、商船三井テクノトレード、東京海洋大学との共同研究として実施）

平成 30 年度の実績

- OZT を応用したルールベースの避航操船アルゴリズムを開発し、輻輳海域の AIS データを用いて、ファーストタイムシミュレーションを実施し、検証を行った。
- 自律船の動きを外から客観的に確認するため、操船シミュレータの他船の制御部分に自動避航操船機能

を組み込むことにより、他船の自動避航操船を可能とするフレームワークを構築した。

- 深層学習アルゴリズムにより船影を検出し、両眼による画像マッチングを行うことで他船の相対位置を推定できていることを確認した。またアルゴリズム上の工夫とトレーニング・テストデータの整備により、検出率を向上させた。
- 自律運航を実現するため、海上安全人命条約等で、現行から変更の必要があるものと現状維持で問題がない規則の整理を行った。この結果を国際海事機関（IMO）に情報提供を行った。
- 自律船のバックアップの機能要件の明確化のために、航海シナリオに沿って、船員が現在行っている作業の洗い出しを行った。
- タブレット端末への OZT の見える化（可視化）による避航操船判断支援システムを開発し、操船シミュレータを利用した評価実験および公開実験を行った。

平成 30 年度の研究成果

- OZT を応用したルールベースの避航操船アルゴリズムを開発し、AIS データによるファストタイムシミュレーション上の輻輳海域において、長期に亘り、衝突せずに航行可能なことが確認できた（図 1）。
- 平成 29 年度に操船シミュレータへ組み込んだ自動避航操船機能を拡張して、他船に対する自動避航操船機能を操船シミュレータに組み込み、避航操船を客観的に確認できるようにした。
- 自動避航操船機能に組み込んだ避航操船アルゴリズムを対象として、操船シミュレータを用いて、他船の自動避航操船機能評価の試行を行った（図 2、図 3）。これにより今後、自動避航機能の安全評価と認証方法の確立に利用する環境を整えた。
- 深層学習アルゴリズムにより、カメラ画像から船影の検出ができていることを確認した（図 4、図 5）。日中の好天時では、約 95%の検出率を実現している。また両眼画像の船影部分をマッチングし画像一致部分の視野角から相対位置を推定することで GUI（試作）上に他船位置を表示させた。検出した船舶との相対距離の精度について、相対距離約 1 海里的の船舶との距離推定では、AIS 位置情報を正として比較した場合、推定誤差+0.5～+4%を実現した（図 6）。
- 自律運航を実現するため、海上安全人命条約等で、現行から変更の必要があるものについて、対応案を整理した。IMO への情報提供を行い（MSC 99、2018 年 5 月）、今後の規則論点整理の一部を海技研が中心となり担当することとなった（MSC 100、2018 年 12 月）。
- 自律船のバックアップの機能要件として、基本的な自律機能の洗い出すため、航海のシナリオに沿って、船員が現在行っている作業を①航海計画策定、②離岸作業、③港内操船、④航海、⑤着岸作業という 5 つのフェーズに分類し、各フェーズに対して、船員が現在行っているタスクとサブタスク、サブタスクを実行するために必要な情報、阻害要因とその対策を整理した。
- タブレット端末への OZT の見える化（可視化）による避航操船判断支援システム（図 7）を開発し、輻輳海域を模擬した状況での操船シミュレータでの評価実験を行い、有効性を確認した。

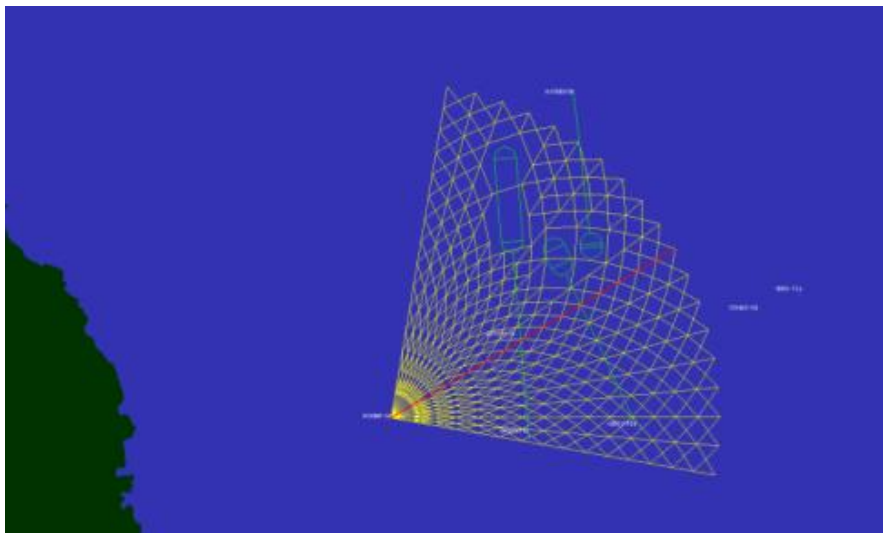


図 1 避航操船アルゴリズムのシミュレーションテストの画面

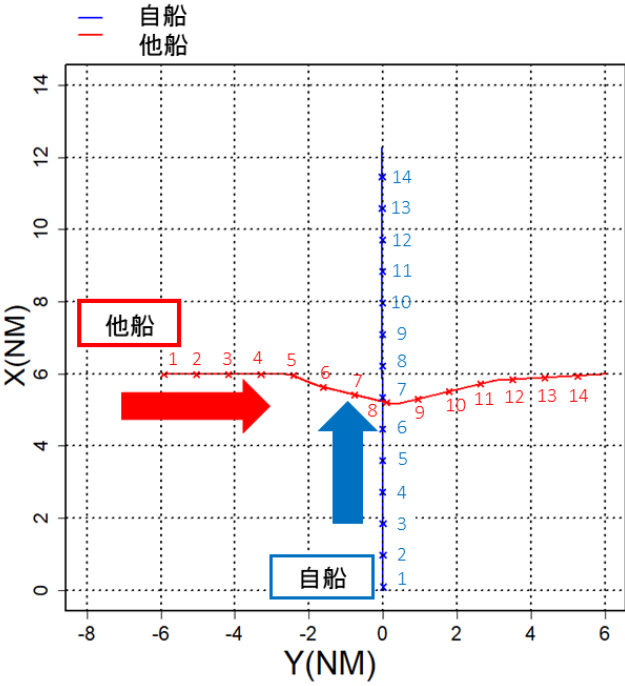


図 2 自動避航操船機能による他船（赤色）と自船（青色）の航跡（点は5分おき）

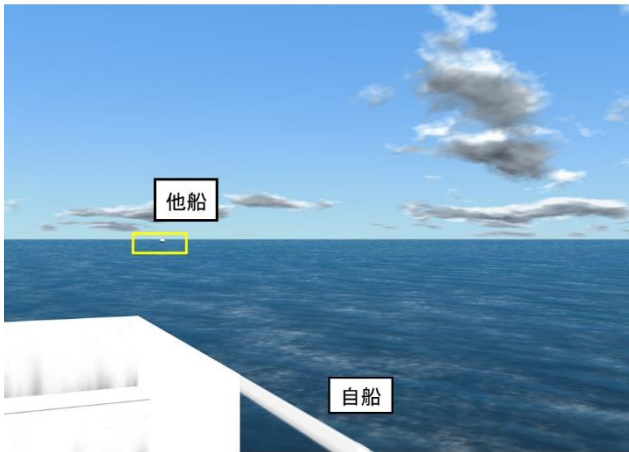
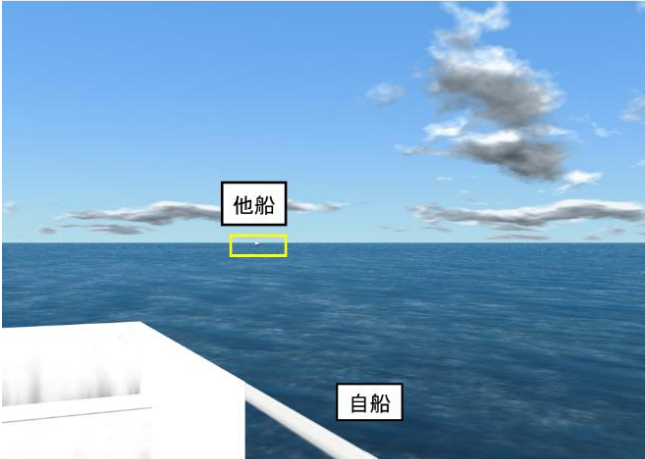


図 2 の時刻 6 の時点の状況

図 2 の時刻 7 の時点の状況

図 3 自船の左舷ウイング側からの景観画像による他船の避航状況
（他船のベアリングが変わり自船の後方を航過していく状況）

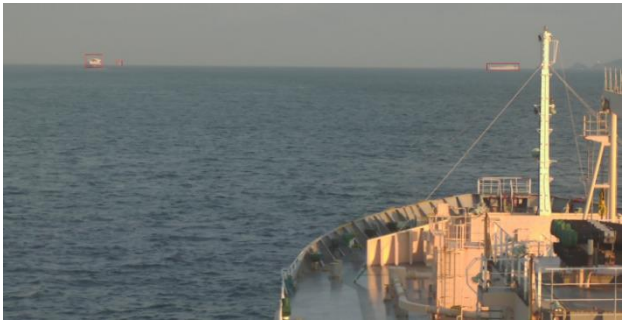


図 4 左舷のカメラ画像と検出結果

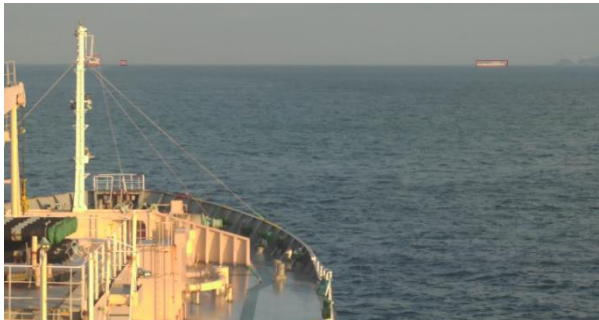


図 5 右舷のカメラ画像と検出結果

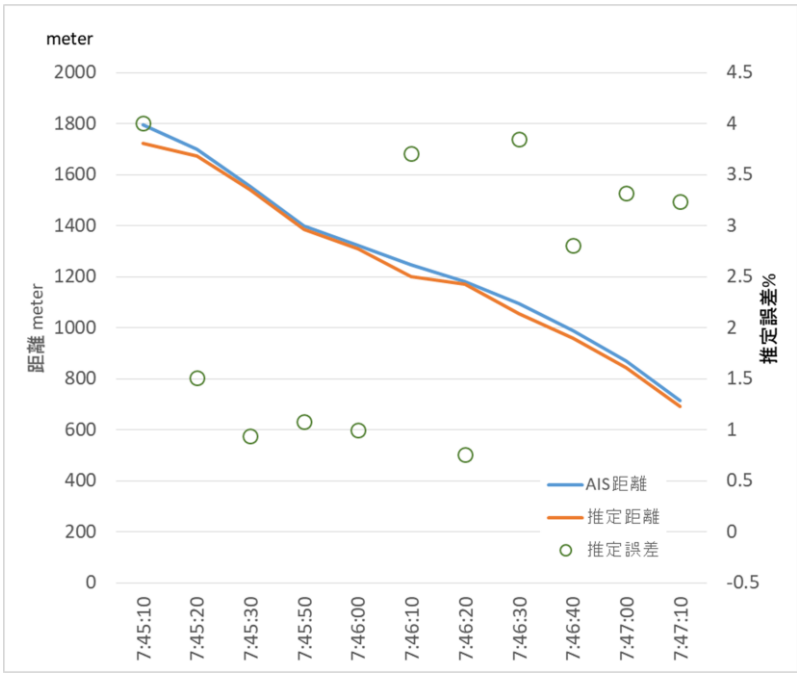


図 6 AIS 情報との比較による検出した距離の推定誤差



図 7 OZT の見える化による避航操船判断支援システムの画面

成果の公表

- 福戸淳司、自動運航船とその関連技術の国際動向、海事三学会合同シンポジウム（第4回）海事分野におけるイノベーション、日本船舶海洋工学会、日本マリンエンジニアリング学会、日本航海学会、pp.31-43.
- 福戸淳司、AISデータを用いた遭遇船舶の前方航過距離の計測、日本船舶海洋工学会平成30年度秋季講演会論文集第27号
- 丹羽康之、自動運航船の取組みー国内及び海外プロジェクトについてー、日本マリンエンジニアリング学会誌第54巻第2号、pp.204-209.
- 丹羽康之、自動運航船の衝突回避に係る要素技術、第3回交通運輸技術フォーラム～宇宙でつなぐ陸海空の自動運転～、国土交通省、pp.35-43.
- 宮崎恵子、丹羽康之、齊藤詠子、疋田賢次郎、小林充、南真紀子、福戸淳司、自動運航船のための避航システムと操船シミュレータでの構成について、日本機械学会交通・物流部門大会
- 丹羽康之、小林充、齊藤詠子、福戸淳司、自律避航実現のための取り組み、海上技術安全研究所第18回研究発表会、pp.124-133.
- 吉村健志、小林充、丹羽康之、南真紀子、齊藤詠子、船舶運航における安全への取り組み、日本交通科学学会誌、p.34.
- Eiko SAITO, Yasuyuki NIWA, Junji FUKUTO, Kenjiro HIKIDA, Introduction of an Automatic Collision Avoidance Function on a Ship Handling Simulator, Conference Proceedings of International Society of Offshore and Polar Engineering 2019 (ISOPE 2019)(講演審査通過)
- 小林充、丹羽康之、福戸淳司、岩崎一晴、深層学習による景観画像からの船影の検出、日本船舶海洋工学会平成30年度春季講演会論文集第26号、pp.121-124.
- 小林充、丹羽康之、福戸淳司、岩崎一晴、沿岸カメラ画像からの船影の検出と船種の認識への深層学習の適用、日本船舶海洋工学会誌咸臨第79号、pp.28-31.
- 小林充、丹羽康之、福戸淳司、岩崎一晴、沿岸カメラ画像からの船舶検出に関する研究、日本機械学会交通・物流部門大会
- 小林充、ディープラーニングによる他船検出、マリンITワークショップ、公立はこだて未来大学
- Susumu OTA, Megumi SHIOKARI, Reiko KIKUCHI, Safe Carriage of Cargoes on Unmanned Maritime Autonomous Surface Ships, The 16th World Congress of the International Association of Institute of Navigation (IAIN) 2018, pp.67-76.
- REGULATORY SCOPING EXERCISE FOR THE USE OF MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (MASS), Comments on document MSC 100/5, MSC 100/5/5.
- 公開実験：避航操船支援システム評価のための公開実験、2018年12月18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。
 - 国土交通省の交通運輸技術開発推進制度「自律型海上輸送システムの技術コンセプトの開発」に参画し、自律システムの安全性評価及び認証についての検討を担当し、貢献している。
 - 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。
 - 自動避航アルゴリズムの開発、操船リスクシミュレータを用いた安全評価の策定、並びに、国際及び国内の自律運航に関する規則等の整理は、自動運航船の社会受容性の確保及び社会実装に不可欠な技術並びに知見である。
- ◎ 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。
 - 現在、避航操船の自動化技術は確立されておらず、衝突の危険性についての指標に基づき、複数船の避航に対応した人間の感覚に合う避航操船アルゴリズムの構築する試みは意義がある。また、他船にも避航機能を実現したことにより、自船を保持船とした場合の避航義務船（他船）の動きを客観的に観測ことができ、今後の安全評価や認証方法の確立に活用できる。
 - 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、今後多様な課題に適用可能である（例えば荷役の無人化、監視の省力化など）。
- ◎ 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、規則等の整備に向けて、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。
 - 近年研究がすすめられている自律船の開発に必要な要素技術の一つであり、我が国海運の国際競争力の

強化に資する。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

☐

研究主任者による自己評価	B
--------------	----------

☐ 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、船舶の自律化関連する法的調査や検討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。

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

☐

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等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究**

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発 ー輸出入貨物を主な対象に、AI を用いた輸送モデル改良・航路評価手法を開発する。また、地震発生後の輸送計画作成から評価までの輸送シミュレータを開発する。等

研究の背景

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

□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統合システムの技術の検討
- ・海上貨物・造船需要・海運市況等の評価・予測手法の研究及びシステム開発

□ 船隊運航管理システムの高度化

- ・航海計画アルゴリズムを改良し、アルゴリズムの頑強性、高速性、推定精度を高度化する
- ・航海評価アルゴリズムを改良し、アルゴリズムの頑強性、推定精度を高度化する
- ・情報基盤システムのユーザビリティを高度化するとともにビッグデータの取扱いができるデータベースシステムへの移行を踏まえた設計を行う

研究目標

□平時及び震災時における複合一貫輸送評価手法及びシステム

□船舶の運航情報提供システム

□海上貨物・造船需要・海運市況等の評価・予測手法及びシステム

□船体運航管理システムの高度化

上記成果は、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強化へととなり得る。

平成 30 年度の研究内容

□AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・複合一貫輸送の評価の研究では、輸出入貨物を主な対象に、AI を用いた輸送モデル改良・航路評価手法開発を行うとともに、地震発生後の輸送計画作成から評価までの輸送シミュレータを開発する。
- ・リアルタイム運航状況提供システムの開発では、昨年度に引き続き遅延実態に関するデータを収集するとともに、単航路における運航定時性評価システムのプロトタイプを開発する。

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・AIS データ、貨物流動データ、船舶動静データ等を有効に活用し、造船需要予測や海運市況予測を実施するために、各データを融合する（データフュージョン）技術を AI も考慮して開発する。
- ・造船需要予測では、様々なシミュレーションを効率的に実施するため、モデルに使用される関係式等を自動

で生成する手法の検討に着手する。海運市況予測では、特に AIS データを活用し、AI による予測手法を開発する。

□船隊運航管理システムの高度化に関する研究

- ・アルゴリズム・ソフト開発、評価手法を改良、高度化するとともに、現行のファイル処理を基盤としたシステムから、IoT&ビッグデータとしてのシステムへ移行するため、プログラム実装を行う。

平成 30 年度の実績

□AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・広域震災時の災害支援物資輸送における冗長手段としての海上輸送の必要性を提示（学会講演会に投稿）
- ・到着予測モデルの検討結果をもとに到着予定を遅延実態から予測する手法を開発（学会講演会に投稿）

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・AIS データ等に基づく船舶の GHG 排出特性の解析（政府請負研究 2 件実施）
- ・AI 等による船舶の積載貨物量の推計と輸送効率の解析（民間請負 1 件実施）
- ・Deep Learning を用いて、航路毎の海上運賃を予測するモデルを構築
- ・System Dynamics に基づく造船需要予測シナリオの獲得

□船隊運航管理システムの高度化に関する研究

- ・気象海象データを用いた航路計画アルゴリズムの開発
- ・ビッグデータの扱いを踏まえたデータベースシステムの開発および関連プログラムの改良
- ・機械学習による手入力情報のチェックプログラム、モニタリングデータ可視化プログラムの開発

平成 30 年度の研究成果

□AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・平時(非災害時)を対象とした複合一貫輸送では、輸出入海上コンテナ貨物の全数統計調査である全国輸出入コンテナ貨物流動調査の非集計データを用い、貨物の国内部分の輸送経路を評価する推定モデルを Deep Learning 手法を用いて改良した。その結果、4 経路中から正解経路を選択する場合で 95%程度の正解率を得ることが出来た（図 1）。
- ・災害時を対象とした複合一貫輸送では、地震発生後の輸送計画作成から評価までの輸送シミュレータを開発して評価を行った。その結果、広域震災時におけるプッシュ型輸送(4~7 日目の災害支援物資輸送)の実施にあたり、被災港(瀬戸内海及び付近の港を除く)も用いた海上輸送を併用することで遅延を効果的に緩和できる可能性があることを示した（図 2）。

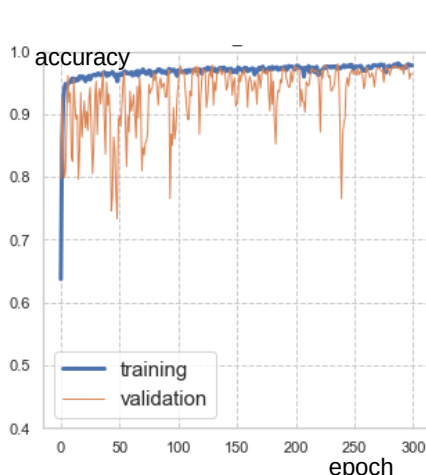


図 1:輸出入貨物経路推定の学習経過例

必要トラック量[万台km]

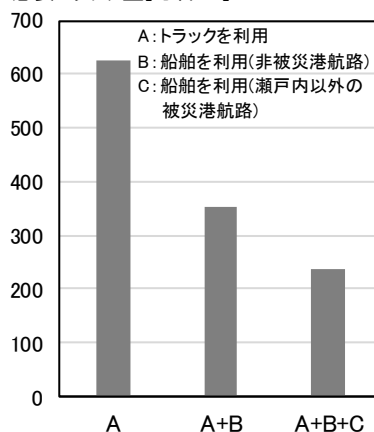
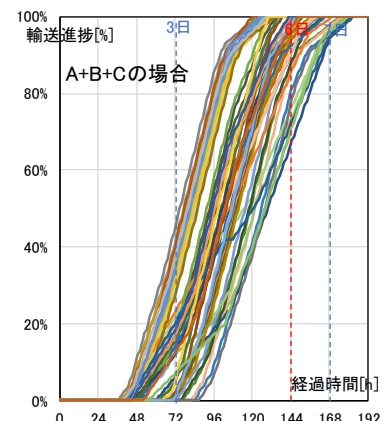


図 2:南海トラフ地震を想定した災害支援物資輸送評価例



- ・リアルタイム運航状況提供システムの開発では、季節変動等の要因による遅延や運休・欠航が発生しているのかを明らかにするために、前年度より収集している貨物鉄道とフェリーにおける遅延実態に関するデータについて時系列分析を行った。その結果長距離フェリーは、夏期の遅れは少ないが冬期に多くなる傾向が見られ、貨物鉄道は平均的に遅れが多い傾向が見られた（図 3）。
- ・昨年度作成した到着予定を遅延実態から予測させるモデルを用いた、運航定時性評価システムのプロトタイプを作成した（図 4）。

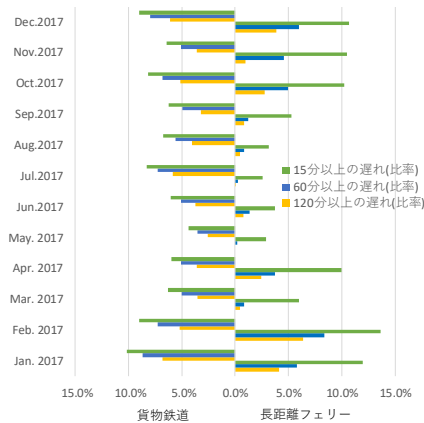


図3：貨物鉄道・フェリーの遅延の実態

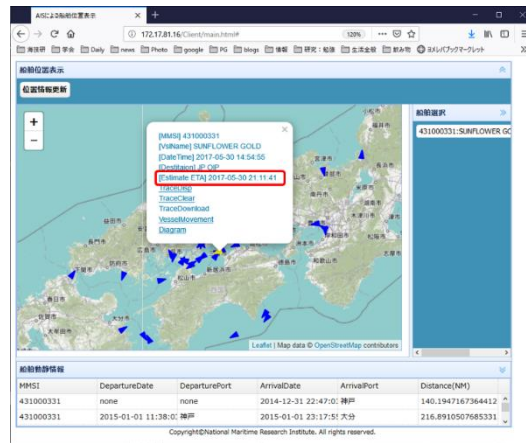


図4：フェリー到着予測システムプロトタイプ

□AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・IMO GHG StudyのGHG排出予測における船舶の減速航行等を評価するため、AISデータ等の各種運航データを融合した解析技術を構築した。海運・造船予測のシミュレーションにより、IMOのGHG削減戦略における燃費効率目標の達成方法を算定した（図5）。
- ・豪州から出港するバルクキャリアの鉄鉱石積載量の実績値に対して船舶動静データを融合し、船舶の喫水、停泊時間等からDeep Learningにより積載貨物量を推計した。従来の回帰モデルとの比較からDeep Learningの手法が有効であることを実証した（図6）。

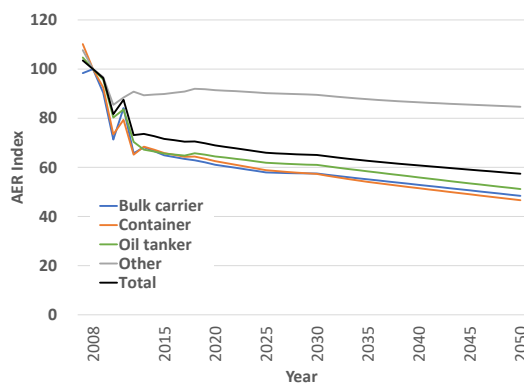


図5：燃費効率のシミュレーション結果

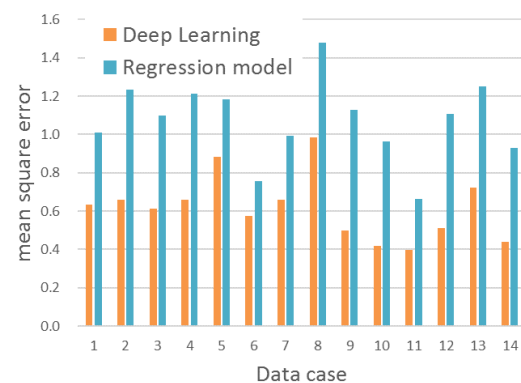


図6：積載貨物量の推計結果（DLと回帰モデル）

- ・航路別に衛星AISデータから、ある海域の船舶隻数、船速、総船舶容積の時系列データを抽出した。この抽出した衛星AISデータと各種統計データ（石油価格、各種経済指標等）を入力データとし、航路別の海上運賃を予測するモデルをDeep Learningの技術を用いて構築した。（図7）
- ・造船需要予測のモデルについて自動生成手法の検討に着手した。また造船市場に関して利益最大を目的とした建造能力の最適化問題としてSystem Dynamicsに基づく解析システムを強化した。このシステムを用いて各種解析を行い、造船建造能力の拡張・削減が将来の造船需給バランスに与える影響を考察した（図8）

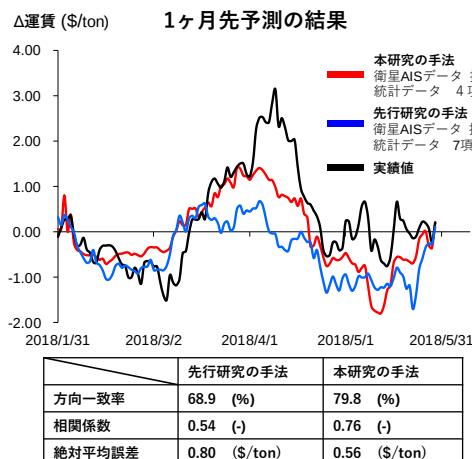


図7：豪州-中国間の海上運賃の予測結果

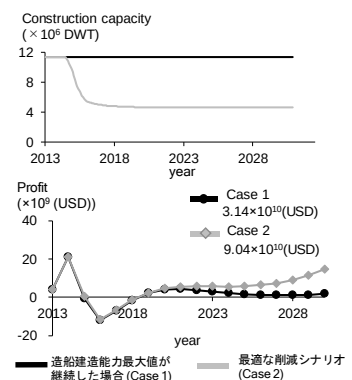
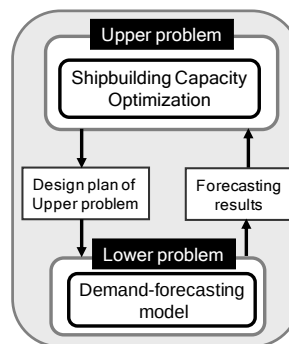


図8：造船建造能力の最適化結果

□船隊運航管理システムの高度化に関する研究

- ・航海計画アルゴリズムの高度化のため、船速計画に加えて航路最適化アルゴリズムを構築し、デスクトップPC上で検証を行い、燃料消費量の抑制効果を確認した（図9）。
- ・船舶と航海の指定により、船速、燃料消費量、航跡等のモニタリング可視化データを出力するプログラムを開発し、解析結果の確認作業を支援した（図10）。

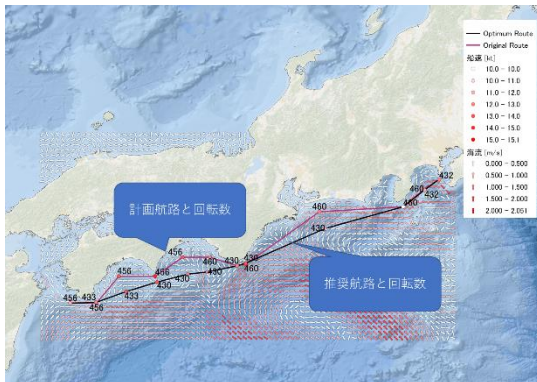
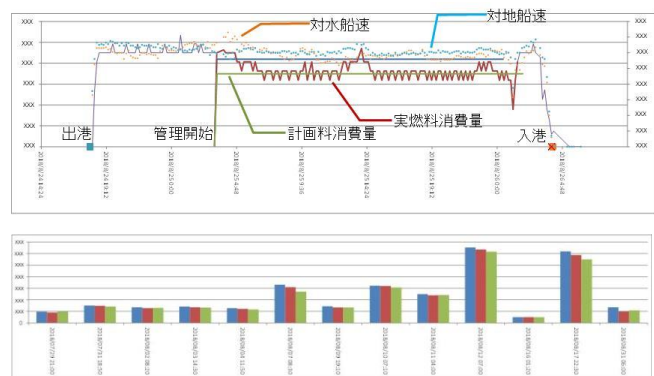


図9 航海計画のシミュレーション結果

図10 モニタリングデータの可視化（上図：履歴
下図：燃料消費量の月次報告）

成果の公表

□論文

(1)査読付きジャーナル

- ・ Taro ARATANI and Keiji SATO: Possibility of intermodal freight transport using ferry and RORO ships in Japan, Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin, No.54(126), pp95-102, 2018.
- ・ Wada, Y., Hamada, K., Hirata, N.: Shipbuilding capacity optimization using shipbuilding demand forecasting model, Journal of Marine Science and Technology, (投稿中) (2019).

(2)本文査読付きプロシーディングス

- ・ Hwayoung KIM and Taro ARATANI: Analysis of Efficiency on Automobile Export Ports in Korea and Japan, Asia Navigation Conference 2018 proceedings, (USB), 2018.
- ・ Wada, Y.: Dry Bulk Freight Index Forecasting based on Satellite AIS Data using Deep Learning, International Association of Maritime Economists 2019 (IAME 2019), Greece, (投稿中)(2019).

(3)講演予稿集等(本文査読無し)

- ・ 和田祐次郎：Deep Learning を用いた衛星 AIS 情報によるバルチック海運指数の予測に関する研究，日本船舶海洋工学会平成 30 年春季講演会(2018).
- ・ 松倉洋史、和田祐次郎：内航貨物経路推定と海運市況予測ー物流分野における AI・ビッグデータへの取組みからー，海上技術安全研究所第 18 回研究発表会 (2018).
- ・ 小坂浩之：GHG 削減と国際物流の動向，第 18 回海上技術安全研究所講演会 (2018).
- ・ 荒谷太郎、佐藤圭二：都府県別の潜在的な海上輸送分担率の推定，土木学会第 73 回年次学術講演会講演概要集，第 VI 部門 2018.
- ・ 松倉洋史、荒谷太郎、間島隆博：広域震災時の支援物資輸送における海上輸送の必要性，船舶海洋工学会 2019 年春季講演会予稿集(2019)

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

- ・輸出入貨物の輸送経路推定が可能となれば、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。また、広域震災時に支援物資輸送がスムーズに進むことで被災者の安全・安心向上に寄与する。
- ・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、モーダルシフト進展への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

- ・得られた成果は、船技協の運航タスクフォースや民間企業に活用されているため、国や社会のニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献する。
- ・海運市況予測のモデルを構築する研究は、学術研究・産業利用に関しても海外が先行している。海技研が先行して研究開発することで、海外企業の独占を防止、海事産業の振興への貢献が期待できる。

□船隊運航管理システムの高度化に関する研究

- ・内航船を対象とした船隊運航管理システム、eE-NaviPlan(NPO 法人マリンテクノロジストの登録商標)は実運用を展開中である。今回の航海計画プログラムは、eE-NaviPlan に実装されている船速計画に組み込まれる予定であり、さらなる省エネ運航を促して環境負荷の低減に貢献でき、喫緊の課題である GHG 排出量の抑制に繋がる。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいのか。

□AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・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性量モデルに代えて 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、また確率論的安全評価の手法を取り入れて総合評価を行う点に新規性がある。
- ・これまでの到着時刻予測は、出航後のスケジュールから予測するものが多いが、本件では、荷主や物流事業者がフェリーにトラックを乗せる前（出航前）に判断可能なシステムを目指しており、これらは今までにない予測システムと考える。

□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。ばら積み貨物市場を中心に検討しているが、研究対象を原油・石油製品市場等に変えることで更なる発展が考えられる。
- ・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。今後は船舶の GHG 削減による海運・造船市場の影響評価を対象とすることで、更なる発展が考えられる。
- ・燃費効率を評価した海運・造船のシミュレーションは、IMO GHG Study の方法に準拠させていることから一般性が高い。

□船隊運航管理システムの高度化に関する研究

- ・現在、航路計画はセメント船での検討を中心に行っているが、今後は定時性に厳しいフェリーなど他の船種への適用も検討しており、さらなる発展が考えられる。また、乗組員による手入力情報の誤りは計算結果の信頼性低下に直結するが、その対策として一部の入力データに機械学習による検査機能を試行した。この対象データを拡張することで、データの信頼性が上がるとともに、運用作業の効率化が期待できる。

◎成果が期待された時期に創出されているのか。

□AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・災害時の支援物資輸送評価システムは南海トラフ地震が発生する前に成果が出される必要があるため、今後開発を急ぐ必要がある。
- ・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

- ・民間企業より AI・ビッグデータ解析技術を用いた海運市況予測が検討され始めている。複数の大手海運会社・総合商社等から技術指導や共同研究の打診があることから、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言える。
- ・船舶の燃費効率の解析は、今年度に IMO の GHG 削減戦略が決定された所であることから適時である。
- ・船舶の積載貨物の推定は、現在の各種データの利用方法において民間企業の関心も高いことから適時である。

□船隊運航管理システムの高度化に関する研究

- ・船速計画を使用している民間企業からは、航路計画の要望が出ており、非常に関心が高く、eE-NaviPlan への実装が期待されている。また、eE-NaviPlan への参加船舶は増加しており、今後もニーズを踏まえた改良、発展を目指す。

◎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

- ・災害時の支援物資輸送評価システムは、複合一貫輸送を考慮しているため島嶼国での利用が可能であるため、大きな意義がある。

□AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・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。

- ・IMO GHG Study に準拠した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。

☐ 船隊運航管理システムの高度化に関する研究

- ・内航船を対象とした船隊管理システムではあるが、船速計画アルゴリズムは、気象海象、海流と、水深や近海、限定近海区域なども考慮した推奨航路を出すことが可能であり、これらのデータを揃えることで他の海域でも実応用が可能な状況となっている。また、参加船舶の実海域におけるモニタリングデータが蓄積されつつあり、貴重なデータベースとなる。

◎ 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

- ・貨物経路推定手法では最新の人工知能技術である Deep Learning の応用を新たに試みている。

☐ 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。

☐ 船隊運航管理システムの高度化に関する研究

- ・航路計画では船速計画と比較して計算コストがかかるため、航路計画のサービスを受ける船舶の増加に耐えうる高速なアルゴリズム、計算手法を開発、実装した。さらに、データベースを導入してビッグデータにも対応可能な改良を施すとともに、クラウドシステム上での運用も対象として最新の IT 技術を導入している。

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

- ☐ 最新の解析手法である AI も活用しつつ様々なプログラムの開発を行い、手法や分析等の様々な成果が出ているだけでなく、請負研究に繋がったプログラム、実運用に供したプログラムなど、社会手なニーズにも幅広く対応している。

研究計画委員会による評価	A
--------------	---

☐