

**平成 30 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 29 年度研究業務実績年度評価

平成 30 年 11 月 16 日

**国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所**

目 次

1. はじめに	1
2. 評価の概要	2
3. 評価の結果	3
「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」	3
(1) 海上輸送の安全の確保	4
(2) 海洋環境の保全	7
(3) 海洋の開発	10
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発	13
参考添付：評価資料（抜粋）	16

参考

【重点】平成 29 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。

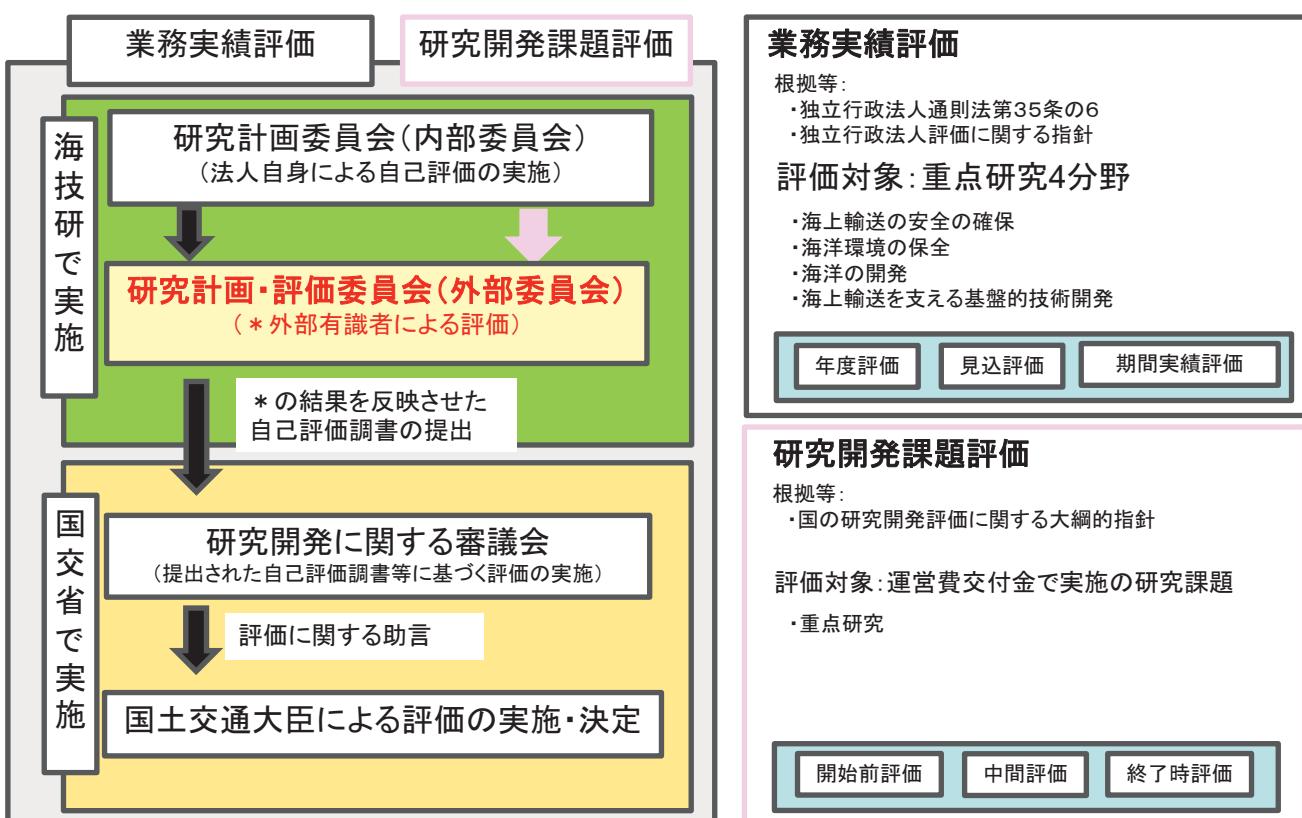
(2) 評価の種類

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、「国的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

平成 30 年 5 月 18 日(金)

(2) 評価の実施者

海上技術安全研究所研究計画・評価委員会 委員名簿

会務	氏 名	所属・役職名
会長	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 (三井造船株式会社(機械・システム事業本部) 技術理事)
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所 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、以下の通りです。

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 29 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通りになりました。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」

H29 年度

海上輸送の安全の確保	: A
海洋環境の保全	: S
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 29 年度業務実績評価シート（重点研究 4 分野：安全）

評価者	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 30 年 5 月 18 日
評価対象期間	平成 29 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）					
【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。</p> <p>②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。</p>				
コメント	<p>■ 船舶の構造安全および安全運行に関わる十分な年度研究成果が得られている。特に DLSA システムの拡充、ハルモニタリングに基づく強度評価、舵効き修正を加味した実海域操縦性能推定法の開発等は顕著な成果である。課題 1, 2 に関して、現時点では、荷重・構造一貫解析とハルモニタリング研究は独立に行われているが、今後はそれらを連携させた現象把握・予測と構造規則への反映、さらにリスクグループも加わった評価技術の確立など、より体系的な研究成果の創出を期待したい。</p> <p>なお、本分野に限ったことではないが、委員会でも指摘があったように、各研究の最終成果目標（発信、社会実装を含む）を明確にして、その中の現時点の成果の位置づけがより明確に解る記述にしていただきたい。</p> <p>■ 海難事故のうち衝突の割合は大きく、また IMO の操縦性基準でも停止距離の要件があることから、新たな制動装置の開発により停止距離が従来よりも小さくされた社会的意義は大きい。また、これにより逆転制動に要する主機馬力の減少も見込めるので、安全のみならず EEDI 規制に対する国際的優位性確保につながりうる。</p> <p>■ 荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発、船上モニタリングシステムの開発、実海域における操船性評価のための模型試験法開発、船舶の新たな制動手法の開発など、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。特に荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発については、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。旅客船の損傷時復原性に係る人命損失リスクに関する費用対効果の評価モデルにより、IMO における第 2 世代非損傷時復原性基準の検討に提案がなされており、科学的意義、国際的な水準に照らした意義が十分にあると考えられる。いずれのテーマも順調に進められていると考える。</p>				

■ 模型試験実験および船上モニタリングを連携して実船舶の航行制御に取り組む課題は、社会的価値や重要性が大きい。実船舶での実証と適用に向けた着実な取り組みを期待する。

■ 船舶の安全性向上に不可欠な、実運行中の各種のモニタリングデータを、国の研究機関という特性を活かして収集され、分析・解析に役立てている。

実質的な常時モニタリングにより収集・集積されるデータには従来の海上試験時とは異なる情報が得られる可能性が高く、通常運用時の船舶の状況の科学的な可視化には欠かすことができない根拠となることが期待される。この点は疑う余地がない。

知の国際化や共有化が進んでいる中では、その情報の上流側にいる場合と、下流側にいる場合とでは目指すべき方向が異なると思われるが、本件に関しては、まず上流側としてシリーズ船のデータ取得を試みるなど、データを生成・収集する仕組み作りにも貢献していると思われる。

今後の研究状況の進展では、膨大に集積される実践データに対して、従来とは異なる切り口の情報の捌き方が求められる。この点では更なる成果の向上が期待されることから、本課題の評価は総合的に A とした。

■ 評価ポイント①について、今後蓄積されるデータの活用方法に向けた取り組みが期待される。

■ 重点研究 1 で開発した、CFD と FEM の連成解析手法は、特にホイッピング等の非線形応答解析において、船体に生じる応力状態を従来法と比較して高精度に推定できることは今後の船体安全性評価及び設計検討において有用なツールとなることが期待されます。

重点研究 2 については、測定結果について今後詳細に分析することが期待されます。

研究成果を、日本の造船所（技術力や研究開発資金面で劣る事業所は特に）に還元されることを期待しています。

■ 船体構造のモニタリングは海事関係における最重要検討課題の一つである。今回海技研が実施した研究は、個船ではなく 14000 TEU コンテナ船シリーズにおいて系統的にモニタリングを実施している点に特徴があり、得られる知見は極めて社会的インパクトが大きなものである。

また、荷重・構造応答一貫解析強度評価システムにおけるホイッピング等の非線形現象の再現と性能検証、実海域における操縦性能評価のための模型試験法の開発、船舶の新たな制動手法の提案など、海上輸送の安全の確保に貢献する社会的価値がある研究成果を着実に得ている。

何れも社会的価値・科学的意義が大きな研究成果を期待される時期に得ており、我が国の国際競争力の向上に資する成果であるため A 評価と判断する。

なお、船体構造のモニタリングについては、より幅広い船舶を対象とした系統的なデータの取得と、得られたデータの解析・利用方法に関する一層の研究が必要である。船舶の設計・運用を変革する可能性がある極めて価値がある研究であるため、今後もデータの取得・管理・解析に関する総合的な観点から、研究を継続することを期待する。

■ (1) 安全分野における 6 つのテーマはいずれも社会的価値が高く、時宜も得たテーマとなっている。

(2) 科学的意義における新規性（実海域における船体構造モニタリングや操船性評価

	<p>等) 並びに今年度の研究実績は評価できるが、いずれのテーマも研究期間 6~7 年における 2 年が終了した段階であり、発展性・一般性に関しては、今後の研究の成果によるところが大きい。</p> <p>特に、先進的な荷重・構造強度評価手法に関する 2 テーマについては、現在取り組んでいる要素研究を如何に統合して一貫性を持たせた評価手法、新構造基準、モニタリングシステムに展開できるかがポイントになるので、今後の成果に期待するところである。</p> <p>(3) 液化水素運搬の HAZOP は社会的貢献大であり、発展性も大きいと評価。</p> <p>(4) 操船性評価手法並びに事故解析・予防技術開発に関する 2 テーマについては、IMO における新非損傷時復原性策定の動きにマッチしており、船舶制動デバイス新技術開発につながる要素も含まれているので、今後の研究に期待したい。</p> <p>(5) 海上交通流に関しては、船舶交通状況の分析、可視化は非常に有効であるが、分析結果と実海難事故事例との整合評価並びに他の輻輳海域への適用の有効性検討が必要であり、シミュレーションに加えて、海域的視点、実運航視点での検証が必要と考える。更なる発展を期待したい。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 船に取って必要な強度を定める、と言う事は社会的ニーズに適合している。日本にとって貴重なノウハウを蓄積する事にもなり、期待される仕事である。 ② 特に実船でのモニタリングはこれ程組織的に行われたことは無いのではないか、と思わせるもので、将来に渡り時を経るに従い価値が出るものと考える。 ③ モニタリング以外の項目では成果が既に出ているものがある様だが、モニタリングについては、必ずしも短期的な成果に留まらず、多年度に渡ってデータを解析する必要もあると考えられる。 ④ 専門外で良く分らない面もあるが、国際的に見ても意義の大きい研究だと感じられる。 <p>全体評価として、S に近い A と考える。</p> <p>■</p> <p>重点研究 1について、</p> <p>今まで各造船所で類似の試みはあったように記憶しています。</p> <p>ここで試みられている手法は制度/コストなどの面でどのような特徴があるのか見える化をされてはいかがか。</p> <p>重点研究 2について、</p> <p>船上のモニタリングについても、ここでは今までとは違いどのような社会実装的 output があるのかが分かりづらいところです。多分疲労だけではないと思います。</p> <p>その他は基礎的研究の要素も強いと考えますので、次回での進捗に期待します。</p>
--	--

事務局とりまとめ欄

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

平成 29 年度業務実績評価シート（重点研究 4 分野：環境）

評価者	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 30 年 5 月 18 日
評価対象期間	平成 29 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）					
【評点】	<input checked="" type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。				
コメント	<p>■ 各種論文賞を受賞し学術的に高い成果を上げるとともに、これらが実海域実船性能評価プロジェクト、ソフトの普及、ガイドライン策定など、時宜を得た社会実装につながっている。評価ポイントは高いレベルで達成されている。</p> <p>■ 実船データからの海域燃費推定については、学会賞受賞により明らかのように、従来のアドミラルティ係数による方法を超えるもので、今後の EEDI 規制上極めて有益な成果である。 省エネ付加物の CFD 計算の標準化も、学会賞受賞により明らかのように、従来省エネ付加物の効果が実験でも CFD でも正確に推定することが困難という状況を打破する点で、今後の EEDI 規制上極めて有益な成果である。</p> <p>BC と PM の排出削減技術の実証も、学会賞受賞により明らかのように、今後の MARPOL 規制上極めて有益な成果である。</p> <p>水素燃料電池船の実船実験も、今後の GHG 規制上極めて有益な成果である。 上記いずれも科学的な興味よりも社会的ニーズを優先させた地道な取り組みであり、国研の成果として評価に値する。</p> <p>■ 実海域実船性能評価プロジェクトの開始、実船モニタリングにより実船性能をモニタリングする手法の開発、燃料油の硫黄分規制を踏まえた低硫黄燃料油に関する研究、水素燃料電池船安全ガイドラインの作成、船舶から排出される BC・PM の分析・低減技術の開発など、国土交通省が推進している船舶による環境負荷低減に資するものであり、海事産業の競争力強化にも貢献するものであるとともに、いずれも科学的意義も大きく、国際標準に照らしても大きな意義のあるものである。また、いずれも成果が期待された時期に抄出されていると考える。</p>				

	<p>水中騒音に関して、プロペラだけではなく船舶全体からの騒音についての検討を行う予定はないのでしょうか。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 実船 モニタリングデータから性能を評価推定する手法の開発は社会的価値が高い。学術的な価値も認められ、成果の活用展開も着実に進められていることは評価に値する。加えて、NAGISA の計算ガイドラン整備も着実な成果を挙げていることは、今後の産業への貢献が期待できる。 ■ 研究分野「海洋環境の保全」としては、A 評価が妥当であると考える。 <p>■ 昨今の地球温暖化問題など、人間活動が起因とされている諸問題の解決が国際的に求められている。特に地球規模での人類の経済活動を支える海上物流に伴う環境影響は、発生源が海上となることから、陸上で生活する多くの人にとっては気づきにくくまた先送りされがちな課題である。しかし、国際的には人口・経済規模は拡大を続けており、その拡大は加速化している印象すらある。本機関での研究については、研究機関としての特徴を活かし、特に海上物流に伴う排ガスの抑制に直結する研究を主体的に実践している。</p> <p>実海域運航性能評価については、この 10 年で劇的に世界的なトレンドが変化している。本課題の中でも特に EEDI・EEOI および次世代 CFD の開発については、そのトレンドを国際的な視点で牽引できる成果が出ている。</p> <p>また、更に次世代を見据えた水素燃料などの燃料電池船の開発につながる研究および海上輸送の増大が海洋の環境へ与える影響についても評価が出来る仕組みの開発に挑んでいる点なども大いに評価出る。</p> <p>これらの観点から本研究課題の成果を S とする。</p> <p>■ ITTC でのプレゼンスなど国際的な場での評価も受けた優れた研究と考える。</p> <p>■ 専門外のため、見当違いの指摘かもしれません、重点研究 10 は「海洋環境の保全」とは趣旨が違うのでは？（船舶性能設計ツールの改善が主では？）</p> <p>■ 次世代 EEDI, EEOI の開発および実海域運航性能向上技術に関する研究では、実船モニタリングデータから実船性能を評価する極めて有用かつ実用的な技術を開発している。また、次世代 CFD 技術の高度化に関する研究では、省エネデバイスに対応した CFD コードを開発するとともに、その CFD 計算のためのガイドラインを作成している。さらに、船舶から排出される BC・PM 等の分析、低減技術や、水素燃料電池船の安全ガイドラインなど、社会・国家の要請と合致する研究開発を実施している。</p> <p>これら一連の研究により、複数の学会賞を受賞するなど特筆すべき成果をあげており、S 評価と判断する。特に、モニタリングデータから実船性能を評価推定する手法の開発は、大学では実施することのできない研究であり、組織としての海技研の強みが十分に発揮された研究である。この研究の経緯やプロセスなどをしっかりと調査して海技研の強みを自己分析した上で、今後の研究活動に生かすことを期待する。</p> <p>■ (1)環境分野における 8 つのテーマはいずれも社会的価値が高く、時宜も得たテーマとなっている。 (2)特に実船モニタリングデータに基づいた性能評価技術の開発は高精度で、新規性も高く、意義は極めて大きい。 (3)又、船用推進プラントの実海域自動適応制御技術開発における主機の制御と波浪中運航の適合化された評価手法は適用範囲も広く意義がある。更に、波浪中の革新的エンジン制御適用による省エネ効果の評価を進め、実機適用による検討を期待する</p>
--	---

	<p>ところである。</p> <p>(4)次世代 CFD 技術の高度化においては、より詳細で高度な検討・評価のできる CFD 技術を発展させ、使いやすく一般に提供していることは評価でき、又、推進性能推定精度向上に対するニーズにも合致しており、継続的な開発を期待する。</p> <p>(5)船体表面流の制御による省エネ技術開発においては、船体表面境界層のアクティブ制御技術には期待するところであり、従来技術で解明、再現評価できていない要素が多い分野もあるので今後の発展に期待する。</p> <p>(6)多様なエネルギー活用、生態系への影響、有害物質の流出対策等においては、社会的意義、時期いずれも評価できる。特に、防汚効果評価試験方法及び実船の水中騒音精度向上予測計算手法の開発並びに広範囲の物質海洋拡散シミュレーション構築の取組みは新規性もあり、意義は大きい。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> ①研究は大別してエンジンに関するものと船体周りの流れに関するものに分かれる。エンジンに関するものは分り易い反面、ニーズに対して十分なのか、良く分らない。船体周りの流れの研究は、素人には非常に分り難く、また、やや細部に枝分かれし過ぎている感じがある。 ②エンジンに関するものは、意義の面で普通、と言う感じ。一方船体周りの流れの方は、自己評価が高いが、評価者にはほとんど判断不能なので、そのまま信じるしかない。 ③妥当と考えるが、IMO の場で議論されている遠い将来に対する準備はこれで良いのか、とやや不安になる。 ④船体周りの流れの研究は、良く分らないが国際的な水準のものと推察する。全体評価として、A と考える。成果の価値が今一つ分らず、自己評価の S には出来なかった。 <p>■</p> <p>重点研究 8について、 弊社も協業しているテーマであり、順調に進んでいると理解しています。 せっかくの取組なので、もう少し情意的に発信できたらと思います。</p> <p>重点研究 10について、 本件も新しい取り組みで面白いと思います。 ただ、実際にどのように使いこなせて行けるのかの説明がぜひとも欲しいものです。 他の案件も社会実装的には基盤技術の推進に繋がるもの多く、今後の成果に期待します。</p>
--	--

事務局とりまとめ欄

総合評価 S	S : 6 A : 5 B : C : D :	
------------------	-------------------------------------	--

平成 29 年度業務実績評価シート（重点研究 4 分野：海洋）

評価者	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 30 年 5 月 18 日
評価対象期間	平成 29 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」、顯著な成果の創出等が認められる場合、「A」、特に顯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】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	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	<ul style="list-style-type: none"> ■ いずれの課題も十分な年度成果が得られていると評価する。揚鉱の実現には、稼働性と管の耐久性の向上が必須の要素であり、それらに直結する成果が得られたことの意義は大きい。特に摩耗低減は、採鉱オペレーションへ全般への波及効果大と評価する。 ■ 海底熱水鉱床の揚鉱の成功や AUV による調査、波力発電装置開発は、海洋開発現場における確かな成果であり特筆されるべきである。ただ、大きなプロジェクトであるので、他の参加機関との役割分担なども明確にされた説明があるほうが海技研の貢献がより印象づけられるものと思われる。 ■ JOGMEC の実施する採鉱・揚鉱パイロット試験事業に参加し、世界で初めて水深 1600m の海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献したこと、戦略的イノベーション創造プログラムに参加して複数 AUV と洋上中継基地の同時運用オペレーションを実施したこと、並進動搖型波力発電装置の開発において不規則波中での発電性能評価を行ったことなど、資源・エネルギーを確保するために海洋開発を進めていくとする国の方針、社会のニーズに適合したものであり、社会的価値の創出に貢献するものである。科学的意義も大きく、民間への技術移転も計画されており、国際的競争力の向上にもつながるものであり、我が国の海洋開発技術発展に大きな寄与をしている。 ■ 国家プロジェクトへの貢献や配管などの摩耗損傷箇所を把握し寿命延ばす方法の開発は、社会的価値や産業界への展開も期待され評価できる ・プロジェクトへの貢献については、具体的な貢献内容が明示されることをお願いし 				

たい。

■ 海洋の開発では、海洋に潜在的存在する様々なポテンシャルを引き出すことが目的となる。日本は海に囲まれてはいるが、日本の社会としては海洋の潜在性を活かした産業として漁業以外の発想に乏しい。しかし、日本周辺の海が単に漁場として優れているだけ無く、エネルギーや海底資源に恵まれている空間であるという認識が、日本社会において徐々に浸透しつつあるのが現状である。それを踏まえて、近年、特にエネルギーは地球温暖化や CO₂ 削減の観点から、海底資源は資源自給による産業の主体性の観点からそれらを顕在化する海洋技術に対しての期待が高まっている。

日本の海の開発にあたって特に海底資源の利活用については、大水深を克服する技術は欠かせない。国際的にも前例が殆ど無い技術要素の集積が求められているが、本課題ではパイロット試験にまで到達したことは大いに評価できる。海洋エネルギーでも実践的な性能向上に欠かせないソフト面での研究開発つながる研究がなされている。また、海洋開発に欠かせない海域の高速で高精度高密度な情報取得を支える技術として AUV の効率的な利活用の加速化についても、実践的な成果を上げつつある。

日本の海域の海洋開発では、複雑な海象に対応できる深い海域で通用する技術開発が、不可欠であり、国際的にも挑戦的な技術課題が山積している。それらの商用化に向けて、研究開発としての継続性と更なる成果が期待できることから、総合的な評価は A とする。

■ プロジェクトの機密性を保ちつつ、研究の質の高さを客観的に裏付けるための査読のある国際論文誌での発表も推進していただきたい。

■ 民間レベルでは取り組みが難しい案件について、国研として精力的に貢献されたと評価します。

■ 揚鉱母船の稼働性および揚鉱管挙動に関する評価手法を開発することにより、海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献するとともに、配管の摩耗損傷個所を把握してその寿命を延長する方法を提案し 4 件の特許を取得するなど、科学的に意義のある研究活動を実施しており、国家プロジェクトにも貢献している。

また、AUV の小型化・低コスト化やその同時運用オペレーションなどは S I P の推進に貢献するとともに技術の民間移転にも成功している。

新規性・発展性のある研究成果を期待された時期に創出しており、国家プロジェクトにも貢献していることから A 評価が適切と判断する。

■ (1)海洋開発分野における 4 つのテーマはいずれも社会的価値が高く、時宜も得たテーマとなっている。

(2)特に、世界初となる水深 1600m の海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功は、特筆すべき成果であり、揚鉱母船・揚鉱管等に関する実海域でのデータによる評価手法の構築並びに配管摩耗損傷個所の把握等に関する特許出願は、今後の商用化に向けた検討においても大いに期待するところである。又、海洋資源開発につながる海洋構造物の安全性検証は、我が国としても保持しておくべき重要な技術であり、実験とシミュレーションを組み合わせた研究は意義が深い。

(3)海洋再生エネルギーに関する基盤技術開発は非常に重要であり、波力発電装置の基礎研究の社会的意義は高い。また、洋上風力発電における 3 翼独立制御については、発電効率への寄与と動搖抑制の効果について今後の数値的な評価を期待する。

(4)尚、探査システムに関する基盤技術及び運用技術の開発については、航行型 AUV の開発並びに複数機同時運用の実績は評価できるが、今後更に広域探査システムを深化させていく必要があることを考えると、国際競争力の向上につながる取り組みが重要であり、国内外ベンチマークと開発のマイルストーンを明確にしていく必要が

	<p>ある。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> ①何れの研究も社会ニーズに適合したものと思われるが、研究 17 の海洋風力発電は、既にヨーロッパに比較して大きく遅れていて、この研究で巻き返しが出来るのか、やや不安。 ②動的 simulation を行った研究が多いが、それらがどの様な一般性を持って、例えば何かの改善に結びつくのか、良く分らない。研究 18 は自己評価が高いが、Jogmec の実作業に対しての貢献度をもっと強調して欲しい。例えば揚鉱配管に対する特許で、寿命がどう長くなるのか、等。 ③研究のタイミング、成果の出方は良いと思われる。 ④研究 19 や 20 が国際的にどのレベルに有るのか、良く分らないが、期待をしたい分野ではある。 <p>全体評価は A とする。</p> <p>■</p> <p>重点研究 18 について、 今注目度の高い、レアアースとメタンハイドレートのうち前者に関する貢献であり、社会ニーズへの適合性高いと考えます。 残りの案件も基盤技術的に意義深いと考えます。</p>
--	---

事務局とりまとめ欄

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

平成 29 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	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 30 年 5 月 18 日
評価対象期間	平成 29 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）					
<p>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。</p> <p>※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。</p>					
【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。</p> <p>②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。</p> <p>⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。</p>				
コメント	<p>■ 自律運行支援システム、加工支援システムを始め、いずれの課題も十分な年度成果が得られていると評価する。その中で、課題 25 は海上物流の効率化・最適化を図るべく、種々のプログラム開発を行っているが、全体がどのように有機的に結びついて、最終的にどのような定量的成果を上げようとするのかがよく見えないため、研究目標の明確化を望みたい。</p> <p>■ 自動運航船についての研究開発が海外で先行するなか、国際規則の面に着目して検討を始めた点は、遅れを挽回する戦略としても効果的と思われる。今後は、並行して進めている、操船シミュレータによる無人船と遭遇した在来船における人間機械系の解析、画像からの相手船自動認識機能の開発ともリンクさせて、自動運航船開発についての国際競争力確保につながる可能性があると評価したい。</p> <p>■ これまでに開発した生産管理システムを実際に造船所に導入して効果を上げており、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。また自律航行船運航のために必要な国際規則の制定改廃に関する分析を行っており、これは IMO における今後の議論に資すると考えられ、国際的な水準に照らして大きな意義があるものである。</p>				

■

- ・自動運航船の認証に必要な研究開発や 造船所における生産管理システムや ICT を活用した造船現場の生産支援システム開発・導入は着実な実績を積み上げてことが評価できる。特に、ICT 技術を応用した造船現場の生産支援は、定量的な指標が示されており説得力が高い。

■

現代及びこれからの人間の生産活動や経済活動において、「安全」と「効率」は歴史的に類を見ないほど要求されてきている。ともすれば相反する「安全」と「効率」を両立させるためには、人間が直接的にかかわる領域を減らす無人化・自動化あるいは、判断をサポートする情報提供の精度向上などの技術が欠かせない。本研究課題では、研究機関の特徴を活かし、ヒューマンエラーを減らすべく船舶の自動運転技術の開発に直結する研究及び膨大な情報に立脚した工程管理を要求される船舶生産システムを支援できる技術開発を実施しており、社会的な要請の少し先を見据えたタイムリーな研究開発として評価できる。

成果の科学的な意義については、船舶の自動運転に関する技術開発は、国際基準への貢献などの実績からも十分にあると考えられる。また、造船産業は他のものづくり産業に比しても膨大な生産工程管理と生産技術の集積によって成り立っており、その生産性の向上につながる造船技術のシステム化は、造船に限らず他の多くのものづくりの現場にも波及できる可能性がある技術開発である。世界的に例を見ない日本に於ける労働人口減少を補う技術開発は、早晚、国際的にも必要とされることは容易に想像される。

今後の船舶の自動運転の実証試験ができる環境整備や、研究要素だけでなく統合的な実証段階への技術進展に対しての期待も含めて、本課題に対する総合的な評価を A とする。

■

情報技術や人工知能等の活用について、研究所内の開発と外部技術の活用をバランスよく行うことも想定しつつ、効率的な社会への価値提供に向けて検討いただきたい。

■

堅実に成果を出していると評価できますが、他の 3 分野と比較してアピールできる成果が相対的に低い印象です。

■

将来の自律運航を見据えた操船リスクシミュレータのフレームワークの提案や、自動運行に必要な規則の整理、AIS 等の海上物流ビッグデータの活用方法の検討、造船所におけるデジタルツインの実現に向けた研究など、将来を見据えた海事産業の競争力強化に資する研究が萌芽的研究も含めて先見性を持って行われている。また、ニューラルネットを用いた騒音予測システムや、中小造船所における生産管理システムの導入など、実務を考慮した研究も並行して行われている。

総合的に見て、将来の基盤技術と期待される新規的な研究が実施されており、十分な成果が得られていることから A 評価と判断する。

なお成果の公表という観点からは、得られた成果と比較して査読付き論文としての公表がやや少ないようと思われる。良い成果が得られているので、研究成果をまとめて積極的に論文として投稿されることを望む。

-
- (1) 基盤技術開発分野における 4 つのテーマはいずれも社会的価値が高く、時宜も得たテーマとなっている。
 - (2) 特に自律運航の操船シミュレーターは非常に重要な技術であり、かなり有益な成果である。更に研究を進めるうえでは、自律運航性船に必要なメンテナンスレスの推進プラントの検討や、カメラだけではなくレーダ、AIS、LIDAR 等による船舶認

	<p>識技術の統合化も研究する必要がある。</p> <p>(3) 又、造船業の競争力強化や新しい生産システムに関する研究においては、海技研の固有技術である曲率線展開と AR 技術を組み合わせることによる外板ぎょう鉄作業の 3D 化提案は非常に有益な成果と評価できる。AR 装置のウェアラブル化等安全にも配慮したうえで、実用化に向けた展開に期待する。</p> <p>(4) 船内騒音対策等に関する研究において、実用的な精度での騒音予測技術開発の意義は大きい。データの充実、学習による予測精度向上が見込め、本成果の活用・発展を期待する。</p> <p>(5) 海上物流の効率化・最適化とその評価において船舶の運航支援プログラム構築並びに AI 技術導入によるシステム開発は、将来のビッグデータ解析手法の更なる成長と結びつくことにより、発展性が高く評価できる。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> ①何れの研究も、その社会的ニーズに沿ったものと思える。その具体的研究内容は、このままで本当に最終目的に達するものなのか、良く分らない。更に多年度に渡って研究を続けてブラッシュアップする必要があるのかと感じる。 ②研究 21~23 はもう少し継続して進めて行った先に成果が出るのかと思われる。研究 25 は着眼点としては面白いものがあるが、どの様に利用する技術なのか、これも先の楽しみかと。 ③単年度の成果として達成したレベルとしてはこれでも良いと思われるが、前述の様に継続して大きな成果に結び付けて欲しい。 ④研究 23 は国際的な競争の中で行われている研究と考えれば、例えば実際の運用テスト等、先に進めて行かねばならないと思われる。その他の研究はむしろ国内向けに進めて、日本だけのために活かせれば良いのではないだろうか？ <p>全体として、B に近い A と評価する。</p> <p>■</p> <p>重点研究 2 3について、 今注目度の高い自律航行に関する研究ですが、今後は海技研ならではの分野での研究貢献を期待します。</p> <p>重点研究 2 1について、 各現場ステージでの効率アップに繋がる研究として評価できます。 今後は設計/工作の一連の情報の流れ/共有/過去からの feed back などをできるだけ人に頼らずに AI、ICT を利用した基盤づくりも模索いただきたい。</p>
--	---

事務局とりまとめ欄

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

参考添付：評価資料（抜粋）

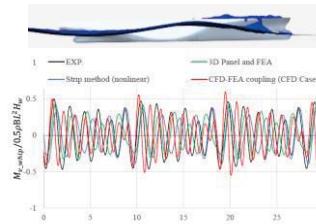
(1) 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発

年度実績

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

船舶の先進的な荷重・構造強度評価手法に必要な評価システムの開発及び新構造基準の作成に関する研究(重点研究1)

- 極限海象に対応した荷重・構造応答一貫解析強度評価システム(DLSA-professional)の開発の一環として、CFDとFEMを組合せた連成解析手法を構築し、ホイッピング等非線形現象の再現性を水槽試験及び従来手法(非線形ストリップ法、パネル法)と比較検証した。
- 設計工数の削減に資するため、構造信頼性理論及びCFD/ストリップ法の2段階解析を用いて短期海象中の最大応答を高速かつ高精度に推定する手法を構築した。



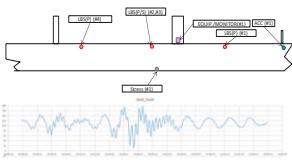
検査用のコンテナ船弹性模型(上)
と弹性模型のモード解析(下)

CFD連成シミュレーションによる
ホイッピング応答の解析例

Takami, T., Oka, M., Matsui, S. and Iijima, K.: A numerical simulation method for predicting global and local hydroelastic response of a ship based on CFD and FEA coupling, Marine Structures, Volume 59, May 2018, Pages 368-386

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

- 船上モニタリングの先進的な取組の一環として、船社、造船所、船級協会、大学等で構成される国プロジェクトに参画し、2016年から2018年にかけ10隻シリーズ建造される14,000TEU型コンテナ船のモニタリングで得られたデータを解析して疲労評価を行い、運航と疲労寿命との関係性を明確化した。
- このような研究開発で得られるビッグデータを将来の国際基準策定に活用する可能性について国際海事機関(IMO)に提起した。



14000TEU型コンテナ船の垂みセンサ配置(上)

と計測された応力波形の例(下)



シリーズ船の疲労被害度
推定値の比較

平成29年度国土交通省先進安全船舶技術研究開発補助事業「大型コンテナ船における船体構造ヘルスモニタリングに関する研究開発」
Integrated onboard monitoring system for safe and efficient ship operation (IMO MSC 97. INF.12)

4

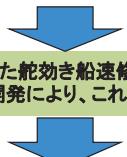
(1) 海上輸送の安全の確保 - ②安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準化に関する研究

年度実績

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

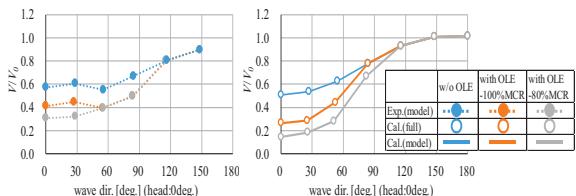
安全運航に必要な操船性評価手法の開発及び基準化に関する研究(重点研究4)

模型試験による、波風が併存する実海域環境下での操縦性能推定は極めて困難



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

船舶の実海域環境下での操縦性能向上につながり、衝突海難事故低減への貢献が見込まれる



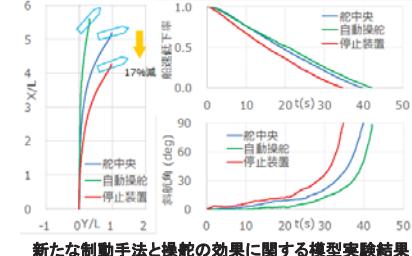
舵効き船速修正に主機の作動制限を考慮する方法を適用した波風中の船速低下の実験値と計算結果の比較(左、模型実験; 右、実船対応数値計算)

塙田吉昭、鈴木良介、上野道雄: 風荷重模擬装置の開発と実海域環境下の自由航行模型試験、海上技術安全研究所報告(研究報告), 17巻3号(2018), pp. 167-186.

海難事故防止に資する事故解析及び予防技術の開発に関する研究(重点研究5)

○斜航状態での抵抗増加を活用するために舷側に抵抗体を設置するなど新たな制動手法を開発。

⇒水槽実験の結果、一般的なプロペラ逆転による停止試験と比べて停止距離が約17%短縮されることを確認し、本制動手法を特許出願。



新たな制動手法と操舵の効果に関する模型実験結果

7

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

→船体構造モニタリングによるデータ構築及び解析は、国土交通省が掲げる海事生産性革命i-shipping (operation)に貢献するとともに、安全運航支援と設計革新を同時に達成する手段として社会的価値の創出に大きく貢献する。

→実海域における操縦性能評価のための模型試験法開発及び船舶の新たな制動手法の開発は、海難事故の大半を占める衝突・座礁事故の低減に資するものであり、社会的価値(安全・安心の確保)の創出に貢献する。

◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。

→14000TEUコンテナ船シリーズの船上モニタリングデータの解析は世界初の取組であり、新規性が大きいとともに、モニタリングで構築されるビッグデータを設計及び規則へフィードバックする手法は確立されていないことから、今後の発展性も大きい。

→船舶の新たな制動手法は、制動距離を短縮する画期的な成果であり科学的意義(新規性)が大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

→世界の海上貨物輸送需要の増大に伴い、超大型コンテナ船のニーズも増大しているところ、モニタリングによるデータ構築及び解析は、これら船舶の規則や設計へのフィードバックが期待されており、時宜を得たものである。

→船舶省エネ規制による機関出力低減が避けられない状況下においても、適切な操縦性能が求められる中、実海域における操縦性能評価のための模型試験法開発は、これらの需要に応えるものである。

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

→モニタリングによるデータ構築及び解析は、船体構造強度に関する国際基準の検討にフィードバックすることで、我が国が得意とする安全性と経済合理性を両立する船舶の建造、運航を可能とし、国際競争力の向上につながる。

12

(2) 海洋環境の保全

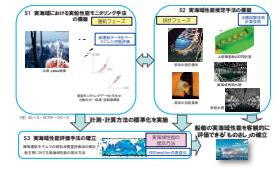
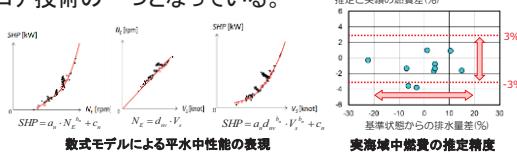
-① 実海域実船性能評価に関する研究、船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究

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

次世代EEDI、EEOIの開発及び実海域運航性能向上技術に関する研究(重点研究8)

○実船モニタリングデータの解析法として重要となる排水量の補正について±20%の幅広い範囲で実海域中燃費推定の精度を確保する手法を開発し、日本船舶海洋工学会賞(論文)(2018)を受賞した。

○2017年10月に開始された我が国海事クラスターの国際競争力強化の取組である「実海域実船性能評価プロジェクト」(参加25社)においても、本研究成果が活用され、重要なコア技術の一つとなっている。



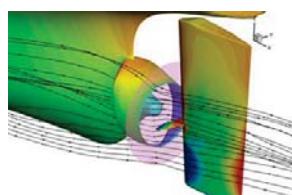
橋田ほか:実運航性能評価における船速一回転数一主機出力関係のモデル化,
日本船舶海洋工学会論文集第25号(2017), pp.39-46

船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究(重点研究10)

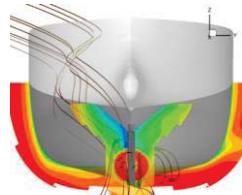
○海技研が開発した次世代CFDコードNAGISAを用いて、世界初の省エネ付加物のCFD計算のためのガイドラインを作成した。この功績により、日本船舶海洋工学会賞(開発)(2017)を受賞した。

○NAGISAをはじめとする次世代CFDの機能拡張が進み、複雑な形状を組み合わせた実用的な省エネデバイスに対応するとともに、船体の操縦・波浪中運動計算が可能になった。

○次世代CFDのソフトウェアとしての価値が向上したため、有償の使用許諾を開始。現在13社と次世代CFDの正式契約。



複数の省エネデバイスを設置した肥大船の自航流れ計算



肥大船の操縦性能試験計算
(Z試験)

15

(2) 海洋環境の保全

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

年度実績

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

船舶から排出される大気汚染物質に関する環境対策技術に関する研究(重点研究7)

○可搬式PM捕集装置を用いて4機の船用ディーゼル機関でPM計測・組成分析を行い、船舶特有のPM排出量データの作成に必要なPM組成分析データを蓄積した。

※日本マリンエンジニアリング学会論文賞受賞



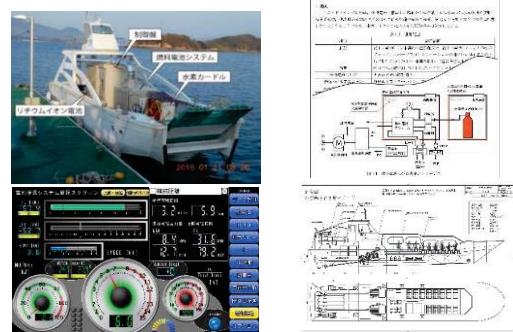
○エンジンの運転条件によるBC・PM排出削減効果の評価を行い、エンジンの燃料噴射圧を上げることにより60~77%のBC削減効果、2~3割のPM削減効果を確認した。

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

多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究(重点研究12)

○燃料電池、リチウムイオン電池及び電気推進システム等の関連機器の状態を適切に監視制御するシステムを構築し、実船実験を行った。

○これらの研究成果を基に、国土交通省による水素燃料電池船の安全ガイドライン案を作成し、国土交通省に提出した。(平成30年3月発行)



水素燃料電池船の安全ガイドライン(一部抜粋・上)とその検証のために試設計をした小型旅客船の例(下)

19

主な評価軸に基づく分析(海洋環境の保全) 自己評価:S

◎成果・取組が國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。

⇒実船モニタリングデータから実船性能を評価推定する手法の開発は、環境負荷の低減及び海事産業の競争力強化に貢献するものである。また、我が国海事クラスターの国際競争力強化の取組である「実海域実船性能評価プロジェクト」においても成果が活用され、社会的価値が大きい。

⇒水素燃料電池船安全ガイドラインの作成は、国が推進する水素社会の実現に貢献するものである。

◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。

⇒NAGISAを用いて作成した世界初の省エネ付加物のCFD計算ガイドラインは、日本船舶海洋工学会賞(開発)を受賞するなど、科学的意義が十分大きい。

⇒水素燃料電池システムを搭載した実船による安全性の実証は世界でも数少なく、科学的意義が十分大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

⇒実船モニタリングデータから実船性能を評価推定する手法の開発は、船舶の省エネ規制が段階的に強化されるなか、期待された時期に成果が創出されている。

⇒船舶から排出されるBC、PMの分析・低減技術の開発は、船舶の環境規制強化の動きのなか、期待された時期に成果が創出されている。

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

⇒燃料電池船の安全要件は国際海事機関(IMO)でも検討が開始された段階であることから、国際的な水準に照らして十分大きな意義がある。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。

⇒水素燃料電池等多様なエネルギー源を用いた船用動力システムの安全性・性能評価は、将来のGHG排出の大幅な削減を目指す国際社会の要請に先見性をもって対応する取組である。

24

(3) 海洋の開発 - ①海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究

年度実績

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

海洋資源・エネルギー開発統合システム等の総合安全性評価技術の開発に関する研究(重点研究18)

<海底熱水鉱床開発>

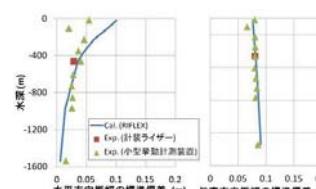
- 採鉱・揚鉱パイロット試験事業に民間企業と共に参加し、採鉱・揚鉱パイロット試験の稼働性評価、安全性評価等を実施。また、当所がこれまでに実施してきた揚鉱に関する研究成果が参加企業による機器設計・製作やオペレーション検討に活用。世界初となる水深約1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献するとともに、揚鉱母船の稼働性、揚鉱管挙動等に関して実海域試験で取得した各種データとの比較を通じて、それらの評価手法を構築した。
- 海底熱水鉱床開発専用では世界初となる、計画支援プログラムのβ版を作成した。
- 配管の摩耗損傷箇所を把握し、配管等の寿命を延ばす方法を検討し、特許を4件出願した。



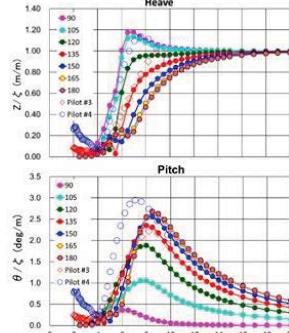
採鉱・揚鉱パイロット試験概念図(左)及び洋上に揚がった鉱石(右)
(経済産業省ホームページより)



摩擦試験状況



揚鉱管の挙動評価



揚鉱母船の稼働性評価

(3) 海洋の開発

-②海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究、海洋資源開発に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究

年度実績

- 並進動揺型波力発電装置の不規則波中での発電性能評価及び性能最適化を行った。また、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)に参加し、航行型AUV3機、ホバリング型AUV 1機及び洋上中継器の同時運用オペレーションを実施するとともに、AUVの民間への技術移転を推進した。

海洋再生エネルギーに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の開発並びに開発の加速に係る技術の開発に関する研究 (重点研究17)

- 並進動揺型波力発電装置が不規則波に遭遇した際の制御最適化に関する研究を行い、概ね規則波中と同レベルの発電性能が確保できる制御手法を確立した。
(岩手県及び釜石市と連携し、総合海洋政策本部が選定した釜石湾実証フィールド設置を想定した検討を実施。)
- 並進動揺型波力発電装置の性能最適化(出力最大化のためのアクティブ制御)で重要な粘性減衰力の把握のため、実用的なCFD計算手法の検討を行った。



水槽実験状況



実証試験サイト等の配置イメージ
総合海洋政策本部が選定した釜石湾実証フィールド(釜石市HPより)



フロート周りの流れのCFD計算例

海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究(重点研究20)

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



同時オペレーションによる海底カラム熱水城調査(微細地形、海底地層、熱水ブルーム、光学画像、地磁気、海水化学特性等)

- 小型化、低コスト化を実現するとともに、複数機運用を見据えた航行型AUV4号機を開発し、実海域での性能試験を完了した。(3号機から運動性能を向上させると共に、成果を3号機にもフィードバック)

- ホバリング型AUV「ほばりん」は、民間企業の運用により、水産資源調査(水産研究・教育機構主催)に活用。⇒民間への技術移転の推進



主な評価軸に基づく分析(海洋の開発) 自己評価:A

◎成果・取組が國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。

⇒国家プロジェクトである世界初の水深約1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献した。

⇒複数AUV及び洋上中継器の同時運用オペレーションは、國の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)である次世代海洋資源調査技術の推進に貢献するものである。また、開発したホバリング型AUVは民間会社運用のもと水産資源調査に活用され、國家プロジェクトにより開発された技術の民間移転が推進された。

◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。

⇒研究所の研究成果が世界初の水深約1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献したこと、配管の摩耗損傷箇所を把握し、配管等の寿命を延ばす方法を研究し、特許を4件出願したことは、科学的意義が十分に大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

⇒海洋エネルギー・鉱物資源開発計画において予定されていた実海域における採鉱・揚鉱パイロット試験の実施に貢献し、期待された時期に成果を創出している。

⇒再生エネルギーの重要性が増すなか、並進動搖型波力発電装置に係る研究開発は、期待された時期に成果を創出している。

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

⇒海底熱水鉱床開発に向けた取組により得られた技術は国際的にもトップクラスの水準であり、我が国関係分野の国際競争力の向上につながる。

⇒並進動搖型波力発電装置の発電効率最大化制御技術は、世界的にも確立されていないことから、国際的な水準に照らして十分大きな意義がある。

36

(4)海上輸送を支える基盤的な技術開発 -①ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究

年度実績

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

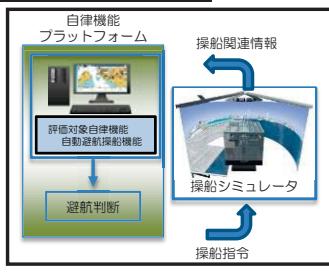
船舶のICT(情報通信技術)を利用した大陸間自律運航、メンテナンスフリー等に係るモニタリングシステム等の支援技術に関する研究 (重点研究23)

①自律機能組み込みのフレームワークの構築

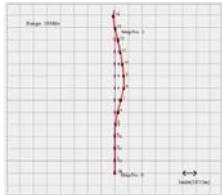
操船シミュレータに自律機能組み込みフレームワークを構築し、自動運航を体験できる環境を構築した。



自動運航船プラットフォームでの操船の様子



自動運航船プラットフォームの構成



モジュール化された避航操船機能による操船シミュレータ上の避航操船結果

②自動運航船に必要な要素機能の開発を実施

・自動運航の基本となる自動避航操船機能モジュールを構築した。
・実船搭載カメラから取得した画像から教師データベースを作成し、深層学習アルゴリズムにより船影の検出に成功した。



両舷カメラと他船検出結果

③自動運航船の運航に必要な規則の整理

・自動車等他分野の自律機能の認証手法についての調査を行い、その手順を検討した。
・自動運航船を運航するにあたり制定改廃が必要な国際規則の対応別分類を行い、IMOに提案した。※

①、③に関しては、交通運輸技術開発推進制度「自律型海上輸送システムの技術コンセプトの開発」及び(一財)日本船舶技術研究協会「自動運航船の開発・実装に係る制度の研究に関する検討会」に関連して実施。

※Studies conducted in Japan on mandatory regulations relating to Maritime Autonomous Surface Ships - SOLAS, STCW and COLREGS (IMO MSC 99/INF.14)

39

(4)海上輸送を支える基盤的な技術開発

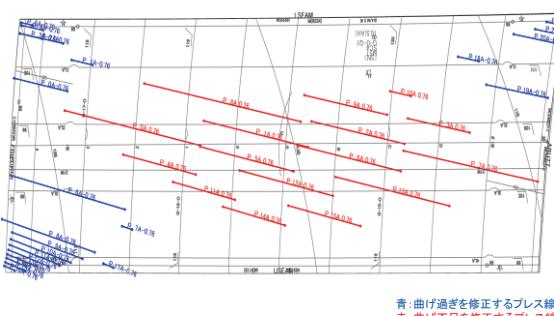
-②造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築に関する研究

年度実績

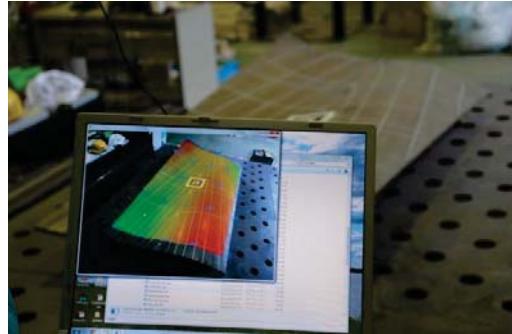
これまでに開発した生産管理システム等を造船所に導入し、技能職工数削減効果及び技能職余力創出効果を確認した。また、ICT技術を応用した造船現場の生産支援のため、造船曲げ加工作業支援システム等を開発した。

造船業の競争力強化や少子高齢化等に対応するための新しい生産システムの構築に関する研究(重点研究21)

○造船曲げ加工作業者に鋼板のプレス作業要領を随時情報提供する「リアルタイムプレス線出力システム」を開発し、造船所での実証実験で有効性を確認するとともに、既開発の「曲げ加工支援ARアプリケーション」に接続した。



開発したシステムによる追加のプレス線指示



曲げ加工支援ARアプリケーション

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。

⇒自動運航船の認証に必要な研究開発は、国土交通省の平成29年度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」の一環として実施しており、国の方針、国家プロジェクトに貢献するものである。

⇒造船所における生産管理システムやICTを活用した造船現場の生産支援システムの開発・導入は、国土交通省が推進する海事生産性革命(i-shipping (production))に貢献し、我が国造船業の競争力強化に資するものである。

◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。

⇒ARを活用した生産現場支援システムの要素技術は多様な工程からなる造船業への展開が見込まれ、科学的意義(発展性、一般性)が十分に大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

⇒自動運航船実現の前提として必要な規則分析は、我が国が率先して国際海事機関(IMO)に提出しており、期待された時期に成果が創出されている。

⇒我が国造船業における生産性向上や人材不足対策は喫緊の課題であるが、造船所における生産管理システムやICTを活用した造船現場の生産支援システムの開発成果を速やかに社会実装している。

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

⇒自動運航船運航のために必要な国際規則の制定改廃に関する分析は我が国が唯一実施し、今後国際海事機関(IMO)における規則審議の土台となることから、国際的な水準に照らして十分大きな意義を持つ成果である。

◎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。

⇒将来の自動運航船の認証に必要となる要素技術開発に、先見性と機動性をもって対応している。

重点研究 平成29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	船舶の先進的な荷重・構造強度評価手法に必要な評価システムの開発及び新構造基準案の作成に関する研究	構造安全評価系	p.1	28-34	7	
	2	先進的な荷重・構造強度評価手法と連携する船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究	構造安全評価系	p.9	28-34	7	
	3	液化水素運搬船及び低引火点燃料船等の設計のためのリスク評価手法の開発に関する研究	海洋リスク評価系	p.15	28-34	7	
	4	安全運航に必要な操船性評価手法の開発及び基準化に関する研究	流体性能評価系	p.19	28-34	7	
	5	海難事故防止に資する事故解析及び予防技術の開発に関する研究	流体性能評価系	p.25	28-34	7	
	6	海上交通流シミュレーションの高度化及び安全対策の検討とその影響評価法に関する研究	海洋リスク評価系	p.29	28-34	7	
海洋環境の保全	7 13 14	船舶から排出される大気汚染物質に関する環境対策技術に関する研究	環境・動力系	p.33	28-34	7	
	8	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	流体設計系	p.39	28-33	6	
	9	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	流体性能評価系	p.45	28-32	5	
	10	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.51	28-34	7	
	11	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	流体設計系	p.57	28-34	7	
	12	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.63	28-34	7	
	15	船舶に起因する生態系影響の評価技術の構築に関する研究	環境・動力系	p.67	28-34	7	
	16	船舶からの油及び有害物質の流出等の対策に関する研究	環境・動力系	p.71	28-31	4	
海洋の開発	17	海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の開発並びに開発の加速に係る技術の開発に関する研究	海洋利用水中技術系	p.75	28-34	7	
	18	海洋資源・エネルギー開発統合システム等の総合安全性評価技術の開発に関する研究	海洋開発系	p.81	28-34	7	
	19	海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究	海洋開発系	p.89	28-34	7	
	20	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	海洋利用水中技術系	p.97	28-34	7	
海上輸送を支える基盤的技術開発	21	造船業の競争力強化や少子高齢化等に対応するための新しい生産システムの構築に関する研究	構造基盤技術系	p.101	28-31	4	
	22	船内騒音対策等の新たなニーズに対応した新材料利用技術に関する研究	構造基盤技術系	p.105	28-34	7	
	23	ICTを利用した大陸間自律運航、メンテナンスフリー等に係るモニタリングシステム等の支援技術に関する研究	運航・物流系	p.109	28-32	5	
	25	海陸複合一貫輸送を考慮した海上物流の効率化・最適化とその評価等に関する研究	運航・物流系	p.113	28-32	5	

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	1. 船舶の先進的な荷重・構造強度評価手法に必要な評価システムの開発及び新構造基準案の作成に関する研究	
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。	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進めます。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 - 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、民間等とも協力し研究開発を進める体制を構築し、研究開発の推進を図る。本年度は、船体構造基準に資する設計海象及び設計波の設定手法の確立等を実施する。等</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 - 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、民間等とも協力し研究開発を進める体制を構築し、研究開発の推進を図る。本年度は、船体構造基準に資する設計海象及び設計波の設定手法の確立等を実施する。等</p>

研究の背景

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

- 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・構造一貫解析システムの高度化、及び、設計海象設定手法の開発
- 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

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
- 強非線形荷重評価システム、及び、最悪海象・極限海象設定法の開発
- 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の開発
- 極限海象下での船体弹性応答計測技術、CFD や粒子法による流体・構造連成を考慮した波浪衝撃荷重推定法及び最終強度・残余強度評価法の開発
- ALS（Accidental Limit State）設計手法、船体最終強度信頼性評価システム、Multi-physics 非線形解析システムの開発

上記成果は、先進的な評価システム等の実用化及び新構造基準により、合理的な船体設計、高度な海難事故解析等が可能となり、船舶の折損事故等を防止することが期待される。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なり得る。

平成 29 年度の研究内容

(1) 全体システム関係

□全船荷重・構造一貫強度評価システム DLSA-Basic (Direct Load and Strength Analysis) の検証を行う。また、DLSA-Basic を元にトータルシステムのプラットフォーム設計を行う。

(2) 荷重関係

□運動・荷重計算モジュール NMRIW-II の検証を行うとともに、最悪海象・極限海象設定法の開発を行う。

(3) 疲労強度関係

(3-1)

□位相差を有する 2 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成長履歴を推定する手法を検討する。

□位相差を有する 2 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する手法を検討する。

(3-2)

□嵐荷重モデルの構築を目的とした実船の応力モニタリングデータの分析、並びに、遭遇海象履歴のデータ整備を行う。

(4) 最終強度関係

(4-1)

□斜波中を含む極限海象下での非線形流体-構造応答を解明するため、船体の縦曲げ剛性、捩り剛性、重量、慣性モーメント等の船長方向分布を、できる限り実船と相似にした弾性模型船を設計・製作する。製作した模型船の曲げ試験やハンマーリング試験を実施して相似性を確認し、その後、波浪中の曳航試験を実施してその弾性応答を計測する。

(4-2)

□流体-構造連成解析を用いた規則波中ホイッピング予測のための数値解析手法を構築する。得られたホイッピング応答の予測精度を他の数値解析手法及び実験結果と比較検証する。

□流体-構造連成解析を用いた不規則波中ホイッピング予測のための数値解析手法を構築する。構築した数値解析手法を用いて、短期海象中の最大応答を求める手法を開発する。

(4-3)

□年度前半に 1 軸圧縮を受ける防撃パネル試験体の繰り返し座屈試験を実施する（2 体）とともに、2 軸圧縮用防撃パネル試験体を製作する。

□年度後半には、2 軸圧縮を受ける防撃パネル試験体の繰り返し座屈試験を実施し（2 体）、成果をとりまとめるとともに、2 軸圧縮+水圧が作用する場合の試験方法について検討を開始する。

(5) リスク関係

□コンテナ船ハルガーダーの動的構造応答に関する検討

□リスク・信頼性評価のためのハルガーダー強度簡易推定手法高度化

平成 29 年度の実績

(1) 全体システム関係

□全船荷重・構造一貫強度評価システム DLSA-Basic 及び DLSA-Basic W（コア部分及び GUI）が完成した。

□DLSA-Basic を基にしたトータルシステムのプラットフォーム設計が完了した。

□極限海象下における最終強度を評価できる全船荷重・構造一貫強度評価システム DLSA-Professional（コア部分）が完成した。

(2) 荷重関係

□運動・荷重計算モジュール NMRIW-II の精度検証の一環として、国際船舶海洋構造物会議（ISSC）のベンチマーク計算に参加し、報告書を提出した。

(3) 疲労強度関係

(3-1)

□2 軸載荷条件下における表面き裂は、単軸載荷条件下と同様のアスペクト比変化を示し、川原が提案した均衡成長、並びに、非均衡成長曲線を用いて推定可能であることを明らかにした。

(4) 最終強度関係

(4-2)

□CFD と FEM を連成させた荷重-構造連成解析手法を構築し、検証した。

□CFD-FEM 連成手法を用いた不規則波中ホイッピング予測を達成した。

(4-3)

□繰り返し座屈試験及び FEM 構造解析により、繰り返し圧縮を受ける防撃パネルの座屈撓みの累積メカニズム、並びに、累積した座屈撓みが最終強度に及ぼす影響を明らかにした。

平成29年度の研究成果

(1) 全体システム関係

- 全船荷重・構造一貫強度評価システム DLSA-Basic 及び DLSA-Basic W（コア及び GUI）の構築を完了し、検証を行った。【本システムを利用した自動車運搬船の全船荷重・構造一貫強度評価に関する請負研究にも活用】
- 上記 DLSA-Basic を基に、トータルシステムのプラットフォーム設計を完了した。【完成すると世界にも例を見ない】
- 極限海象下における最終強度を評価できる全船荷重・構造一貫強度評価システム DLSA-Professional のコア部分を完成させた（図1参照）。【日本一】
- DLSA-Basic は、さらに2社が購入予定（H30年春）。

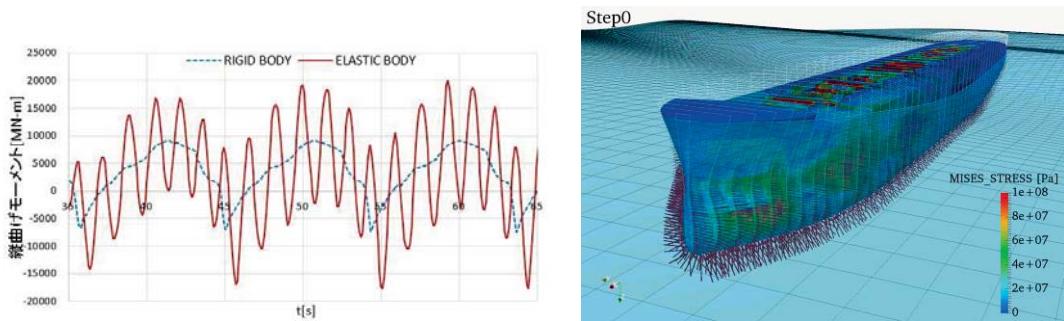


図1 DLSA-Professionalによる計算結果の例

(2) 荷重関係

- 運動・荷重計算モジュール NMRIW-II の精度検証の一環として、国際船舶海洋構造物会議（ISSC）技術委員会が実施した「実コンテナ船の波浪荷重・構造応答のベンチマーク計算」に参加し、計算結果を報告書にまとめ委員会に提出した。諸機関で実施された計算結果と良好な相関が確認された。
 - 規則波中における模型船の船体応答について、NMRIW-II による計算結果を実験結果と比較することにより、NMRIW-II の適用性を検証するとともに、海上技術安全研究所報告として論文発表を行った。
 - 最悪海象・極限海象設定法を開発し、DLSA-Basic に内装した。
- (3) 疲労強度関係
- (3-1)
- 位相差0ならびに π 、 $\Delta\sigma_x/\Delta\sigma_y=1$ ならびに2の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成長履歴を検討した。表1に載荷条件、図2に表面き裂のアスペクト比変化を示す。図2から分かるように、二軸載荷条件下における表面き裂は、単軸載荷条件下と同様のアスペクト比変化を示し、川原が提案した均衡成長（図2の実線）ならびに非均衡成長曲線（図2の破線）を用いて推定可能である。
 - 位相差 π 、 $\Delta\sigma_x/\Delta\sigma_y=2$ の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試験を実施中である（位相差0ならびに π 、 $\Delta\sigma_x/\Delta\sigma_y=1$ は実施済み）。

表1 載荷条件

Specimen ID	R	$\Delta\sigma_{x0}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{y0}$ [MPa]	ϕ [rad]
S-1	0.05	120		π
S-2		172		
S-3		190	0	π
S-4		133		
S-5		190	95	0
S-6		150	75	π

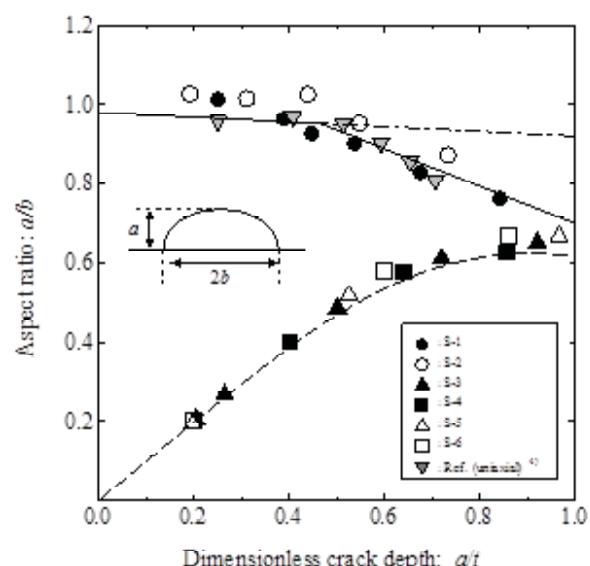


図2 2軸載荷条件下における表面き裂のアスペクト比変化($K_t = 1$)

(3-2)

□嵐荷重の元データとなる実船の遭遇海象履歴のデータベースを構築した（重点研究2と成果を共有）。

(4 最終強度関係)

(4-1)

□発泡ウレタンにより弾性模型船を設計し、現在製作中である。模型船のFEモデルを作成し、縦曲げや捩り振動のおおよその相似性を確認しているが（図3参照）、実際の模型船の相似性の検証は、平成30年3月の水槽実験にて実施する予定である。捩り剛性の相似性を考慮した模型実験は世界でも数少なく、特に、分割型でなく一体型で製作した例は世界で初と考えられる。

□平成29年度日本船舶海洋工学会春季講演会における講演「変調不安定波の波形について（宝谷、早稲田、谷澤）」にて、若手優秀講演賞を受賞。

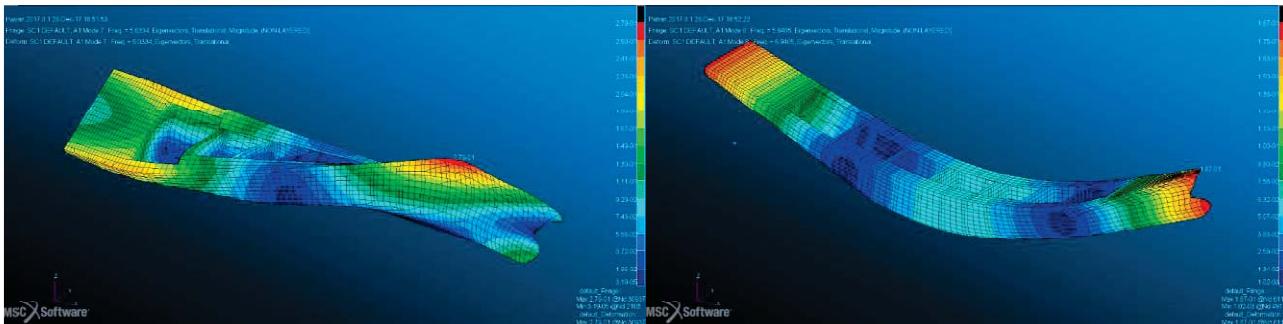


図3 コンテナ船弾性モデルによる固有振動数解析（左：捩り振動、右：縦曲げ2節振動）

(4-2)

□CFD-FEM連成手法を3通り（片方向連成、双方向弱連成、双方向強連成）で構築し、それぞれの手法を規則波中ホイッピング予測に適用した場合の特性及び精度を検証した（図4参照）。

□CFD-FEM連成手法と構造信頼性理論を用いた短期海象中の最大応答推定法を構築した。

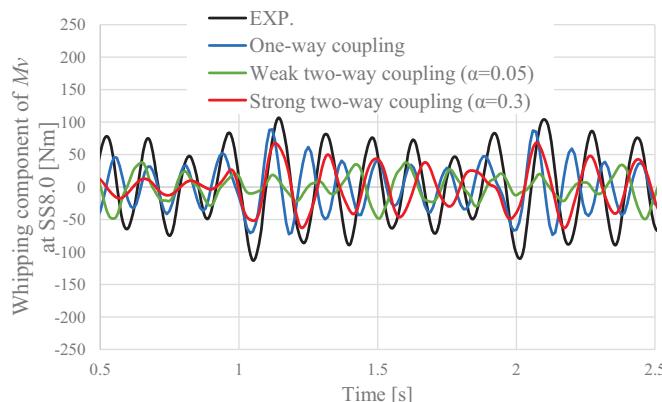


図4 ホイッピング応答のベンチマーク結果例

(4-3)

□繰り返し座屈試験およびFEM構造解析により、繰り返し圧縮を受ける防撓パネルの座屈撓みの累積メカニズム（図5参照）、並びに、累積した座屈撓みが最終強度に及ぼす影響が明らかになった。

□追加の成果として、2軸面内圧縮を受ける連続防撓パネルの最終強度推定式を開発した。

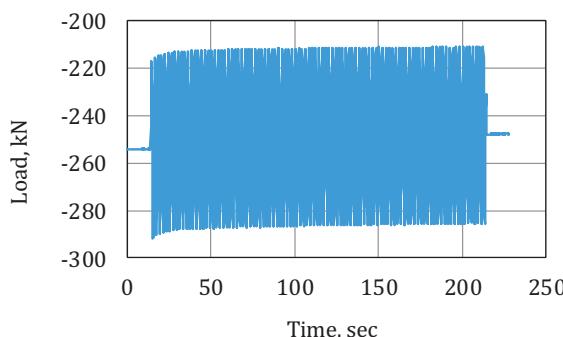


図5 マクロ弾性域内繰り返し載荷（ストローク振幅一定）における荷重範囲の変化

(5 リスク関係)

□荷重周期、解析モデル、歪速度依存性がコンテナ船ハルガーダーの動的構造応答に与える影響の解明

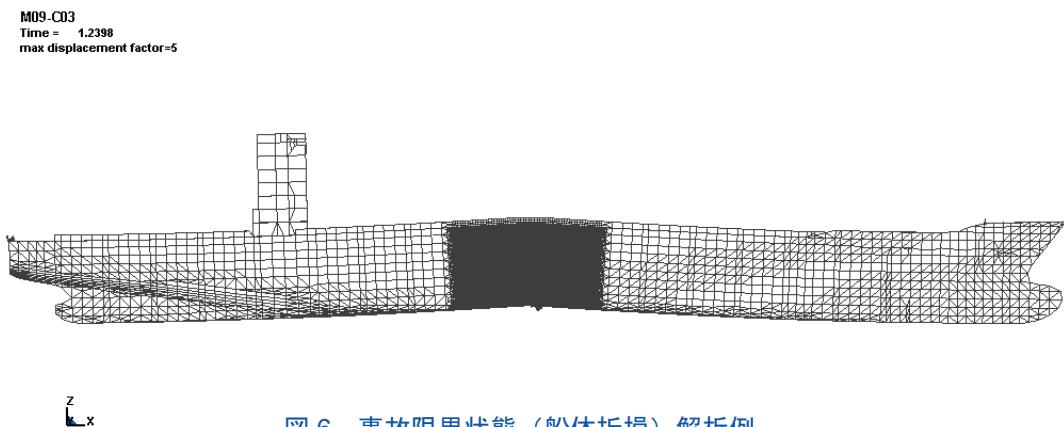


図 6 事故限界状態（船体折損）解析例

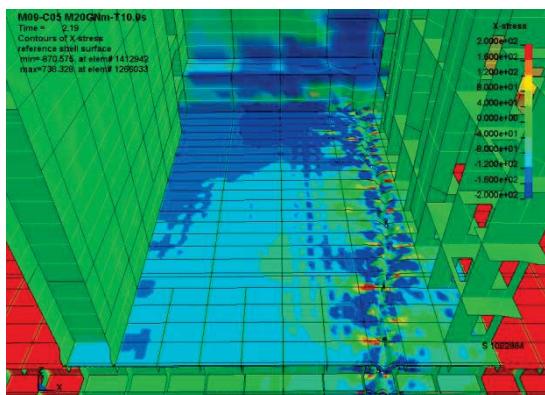


図 7 船底座屈崩壊解析例

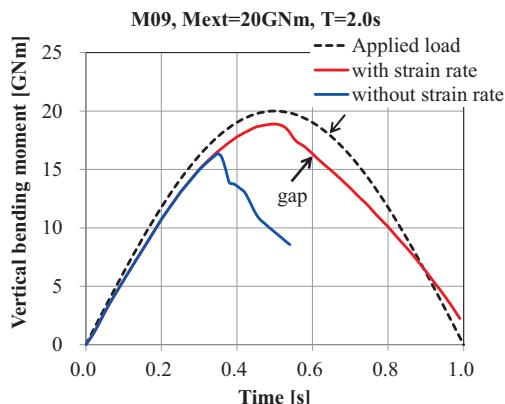


図 9 歪速度依存性が限界荷重に与える影響

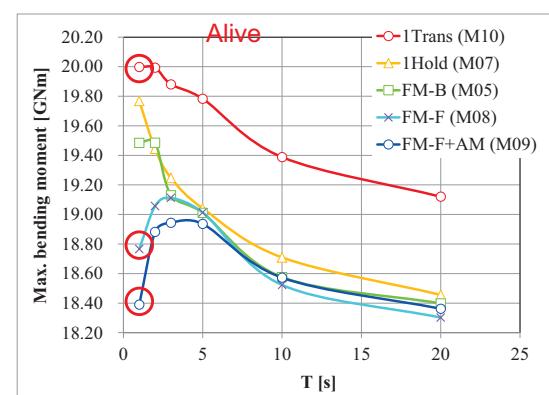


図 8 荷重周期が限界荷重に与える影響

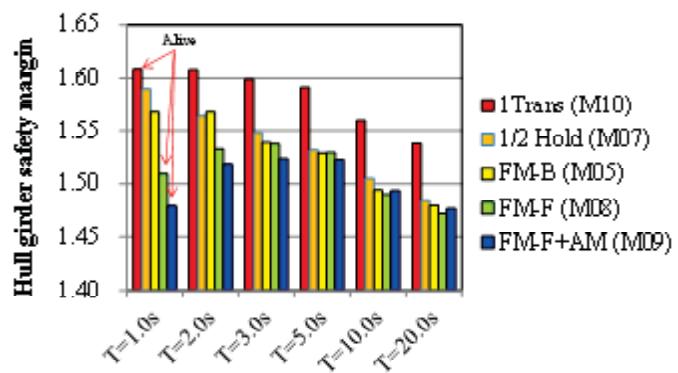


図 10 Uncertainty が安全率に与える影響

成果の公表

□出願特許：0 件
□プログラム登録：3 件

(1 全体システム関係)

- 1) 村上睦尚, 松井貞興, 花岡諒 : 全船荷重構造一貫解析強度評価システム（ベーシック版）DLSA-Basic
- 2) 林原仁志, 村上睦尚, 松井貞興 : 応力の応答関数作成プログラム
- 3) 松井貞興, 村上睦尚 : 波浪、荷重、船体運動及び構造応答の動画作成プログラム

□発表論文：19 件

(ジャーナル)

- 1) Takami, T., Oka, M., Matsui, S. and Iijima, K. : A numerical simulation method for predicting global and local hydroelastic response of a ship based on CFD and FEA coupling, Marine Structures, Volume 59, May 2018, Pages 368-386

- 2) 後藤浩二, 清水啓司, 穴井陽祐他 : 位相差を有する面内二軸繰返し荷重下における面外ガセット溶接継手の疲労亀裂成長挙動, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 26 号
 - 3) 宝谷英貴, 早稲田卓爾, 谷澤克治 : ステレオカメラによる実験水槽内の波形状および自由表面流体粒子速度の計測法 - 一方向規則波による検証 -, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 25 号, (2017), pp.93-102.
- (本文査読付きプロシードィングス)
- 1) Houtani, H., Waseda, T. and Tanizawa, K.: Experimental and numerical investigations of temporally and spatially periodic modulated wave trains, *Physics of Fluids*, accepted (2018).
 - 2) Takami, T., Iijima, K. 2018, Numerical Method to Estimate Fluid-Structure Interaction Effect of Ships under Severe Wave Condition, Proceedings of the ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, (OMAE2018), CD-ROM.
 - 3) Komoriyama, Y., Tanaka, Y., Ando, T., et al.: EFFECTS OF CUMULATIVE BUCKLING DEFORMATION FORMED BY CYCLIC LOADING ON ULTIMATE STRENGTH OF STIFFENED PANEL, (OMAE2018), CD-ROM.
 - 4) Komoriyama, Y and Yanagihara, D: A SIMPLE DESIGN FORMULA TO ESTIMATE ULTIMATE STRENGTH OF STIFFENED PANELS UNDER BI-AXIAL COMPRESSION MAINLY IN TRANSVERSE DIRECTION, (OMAE2018), CD-ROM.
 - 5) Yamada, Y. and Kameya, K.: A FUNDAMENTAL STUDY ON THE DYNAMIC RESPONSE OF HULL GIRDER OF CONTAINER SHIPS SUBJECTED TO HOGGING MOMENT, (OMAE-2018), CD-ROM.

(海技研報告の研究報告)

- 1) 松井貞興, 村上睦尚 : 構造設計のための非線形波浪荷重解析プログラム NMRIW-II, 海上技術安全研究所報告 (研究報告), 17:3, (2017), pp.33-79.
- 2) 松井貞興, 村上睦尚, 岡正義 : 実験との比較による非線形波浪荷重解析プログラム NMRIW-II の適用性の検証—規則波中船体応答ー, 17:3, (2017), pp.83-166.

(その他)

- 1) 穴井陽祐, 丹羽敏男, 後藤浩二 : 面内二軸繰返し荷重下における疲労表面亀裂の形状変化, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 25 号, (2017).
- 2) 宝谷英貴, 早稲田卓爾, 谷澤克治 : 変調不安定波の波形について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 24 号, (2017) , pp.323-326. : 若手優秀講演賞受賞 (2017 年 5 月)
- 3) Houtani, H., Waseda, T. and Tanizawa, K.: Vertical bending moments of a container ship in modulational wave trains, *Proceedings of the 10th International Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics*, No. 375, (2017).
- 4) Takami, T., Oka, M., Iijima, K. 2017, Development of CFD and FEA coupling method and its application to hydro-elastic response estimation, *31st Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures* (TEAM2017).
- 5) 高見朋希, 岡正義, 飯島一博 : CFD-FEA 連成手法を用いた極限海象中の船体弾性応答評価について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 25 号, (2017).
- 6) 小森山祐輔, 柳原大輔 : 幅方向に支配的な 2 軸面内圧縮を受ける連続防撓パネルの最終強度推定, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 24 号, (2017), pp.407-410.
- 7) Komoriyama, Y. and Yanagihara, D.: The Formula to Estimate Ultimate Strength of Continuous Stiffened Panel under Bi-axial Compression Mainly in Transverse Direction, (TEAM2017),pp.123-130.
- 8) 田中義照, 小森山祐輔, 安藤孝弘他 : 繰り返し圧縮荷重を受ける防撓パネルの座屈変形累積についてー第 2 報 FEM による詳細シミュレーションー, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 25 号, (2017), pp. 399-404.
- 9) 山田, 亀谷 : コンテナ船のハルガーダー動的応答に関する基礎的検討 (第 2 報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 25 号, (2017).

□受賞 : 0 件

主な評価軸に基づく自己分析

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

(1 全体システム関係)

□本研究の成果を活用し、船級協会の規則改定（安全・安心の確保）に向けての請負研究実施、民間造船所の設計業務効率化（海事産業の競争力強化）のためのプログラム販売等により社会的価値の創出に貢献した。

(4-1)

□近年の大型コンテナ船の最低次の振動モードは捩りであり、極限海象下でのコンテナ船の捩り振動の把握は安全性の面から重要である。コンテナ船の捩り剛性を考慮し、捩り振動を模型実験で計測する新しい技術は、社会的価値（安全・安心の確保）の創出に貢献するものであると考える。

◎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。

(4-1)

縦曲げ剛性だけでなく捩り剛性を考慮した一体型弾性模型船の製作は世界で初めてと考えられ、新規性が十分に大きい。

(4-3)

多軸及び繰り返し荷重を受ける防撓パネルの座屈変形累積に関する研究は、これまで取り組まれたことがなく、新規性が大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

(4-1)

実船における船体構造モニタリングの実用化されてきている中、実験との比較、実験による検証の必要性という観点から、成果が期待された時期に創出されていると考える。

(4-3)

研究計画に従った構造試験及びFEM解析を実施するとともに、成果を学会、国際会議にて発表しており、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。

(4-1)

縦曲げ剛性だけでなく捩り剛性を考慮した一体型弾性模型船の製作は世界で初めてと考えられ、国際的な水準に照らして十分大きな意義があると考えられる。

◎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。

(4-1)

縦曲げ剛性だけでなく捩り剛性を考慮した一体型弾性模型船の製作は世界で初めてと考えられ先見性があり、それに対して構造安全評価系、流体性能評価系との協力体制の中で機動性を持って対応できていると考える。

(4-3)

多軸及び繰り返し荷重を受ける防撓パネルの座屈変形累積に関する研究は、これまで取り組まれたことがなく、先見性を持って対応できたと考える。

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

全船荷重・構造一貫強度評価システム DLSA-Basic 等、「研究開発成果の最大化」に向けて「顕著な成果の創出が認められる。また、弾性模型船による波浪中試験、二軸載荷影響を考慮したき裂伝播特性、繰り返し圧縮による座屈変形の累積、および、リスク・信頼性評価に基づく構造規則開発等、将来的な成果の創出の期待等が認められる。

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	
研究テーマ	2. 先進的な荷重・構造強度評価手法と連携する船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究	
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。	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 - 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、民間等とも協力し研究開発を進める体制を構築し、研究開発の推進を図る。本年度は、船体構造基準に資する設計海象及び設計波の設定手法の確立等を実施する。 等</p>

研究の背景

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

□船上モニタリングシステムの開発

□蓄積された実船計測データの設計海象及び荷重の特性を把握するための評価手順の開発

研究目標

□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

□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、モニタリングシステム等の実用化、ガイドラインの国際標準化により、合理的な船体設計、船舶

の運航が可能となり、船舶の折損事故等を防止されることが期待される。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なり得る。

平成 29 年度の研究内容

- 船体構造モニタリングシステム用ガイドラインを検討した。
- 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い、システムのプロトタイプの開発を行なった。
- 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した。

平成 29 年度の実績

- 船上データの解析を行うプログラム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。
- 荒天航行に関して、操船者への聞き取り結果を講演論文としてとりまとめるとともに、アンケート案を作成した。
- AIS データと波浪推算データを用いた操船影響の評価法を研究論文にまとめた（図 4、図 5）。

平成 29 年度の研究成果

- 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。
- 船級協会が作成しているガイドラインで求められるモニタリングデータの仕様を整理した（図 1）
- 純国産の船体構造モニタリングシステムの開発に向けて、国内のセンサーメーカーとの協業を開始した。
- 応力モニタリングデータ等の不規則波形データを統計解析して長期予測値及び累積疲労被害度等、強度評価に必要なパラメータを計算するプログラムを作成し登録した（プログラム登録 1）。このプログラムは船体構造モニタリングのメインエンジンとなる。
- 作成したプログラムを用いて、10 隻連続建造の 14000TEU コンテナ船の疲労寿命評価を行い、疲労寿命に対する弾性振動の影響及びその個船間のバラつきを示した（図 2）。また、実データに基いてホイッピング等の船体弾性振動が疲労寿命に与える影響を明確にし（図 3）、航海系データ及び波浪データの解析によって操船との関係性を調べた。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。
- 波浪中応力応答関数及び航路データを用いて応力の長期最大値及び疲労被害度を計算するプログラムを作成し登録した（プログラム登録 2）。このプログラムは船体構造モニタリングの構成要素のひとつに位置付けられる。
- 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。
- AIS データと波浪推算データを組合せることで、船の実遭遇波浪の確率分布を求め、従来の波浪発現頻度表を用いた評価結果と比較することで、荒天回避に伴う操船影響を示した。（図 4,5）
- 加速度センサの耐久性の利点を活かして長期間モニタリングに供することを目的として、MEMS 加速度計の信頼性の確認試験を実施した（F 社との共同研究）。

Class	ABS	BV	DNV	KR	LR	NK
Year	2003	2008	2005	2008	2003	2008
Notation	HM2	MON-HULL	HMON	HMS	SEA	HMS
Specification (Frequency range) Strain/Acc	0-5Hz/ 0-5Hz	-	0.01-3Hz (Motion) 5-100Hz (Slamming) 30-1200Hz (Sloshing)	0-5Hz/ 0-5Hz	0-5Hz/ 0-5Hz	0-5Hz/ 0-100Hz
Sampling rate	3 times the maximum F.R.	-	20Hz (Motion) 500Hz (Slamming) 3000Hz (Sloshing)	-	4 times the maximim F.R.	-
Accuracy Strain/Acc	5μ/0.01G	-	20μ/0.01G	-	5μ/0.02G	10μ/0.01G
Setting/ Calibration	S [*] 1 annually	S [*] 1 -	S [*] 1 annually	S [*] 1 annually	S [*] 1 annually	S [*] 1 *2
UPS	-	30min	10min	10min	-	-
VDR	-	-	IEC61162	-	IEC61162	-

図1 船級ガイドラインで求められるセンサ仕様

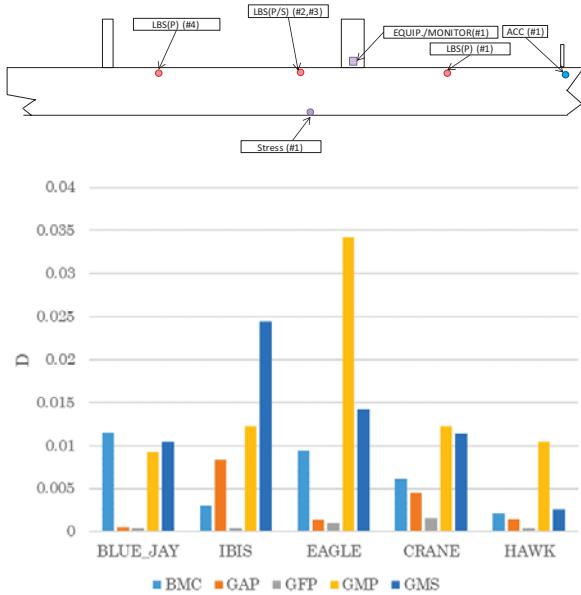
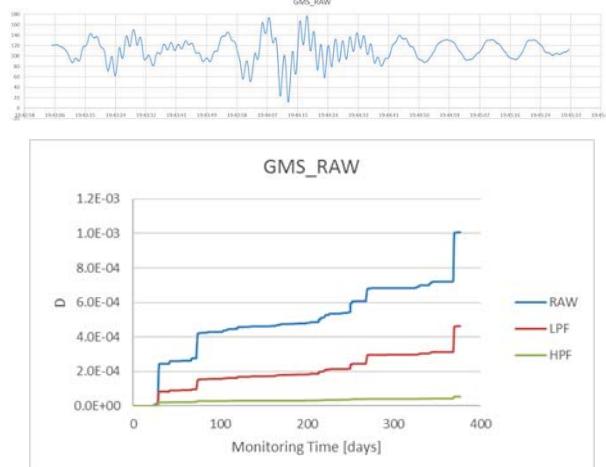
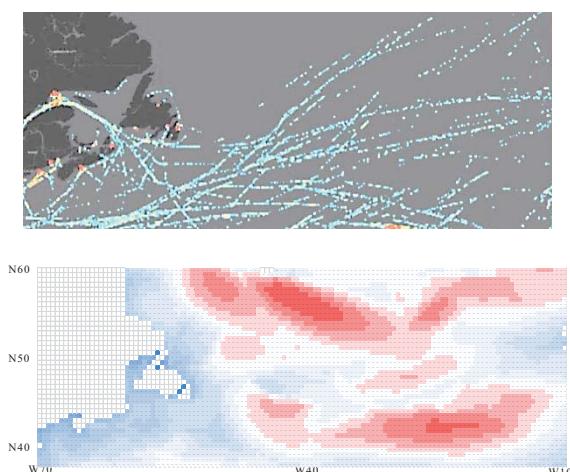
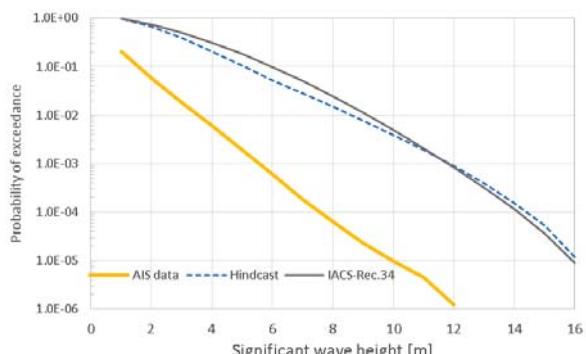


図2 14000TEU型コンテナ船の歪みゲージ配置(上)とシリーズ船の疲労被害度の比較(下)

図3 弾性振動が重畠した応力波形(上)と弾性振動
が疲労被害度の進行に与える影響
(青: 弾性振動を含む応力、赤: 弾性振動を除去し
た応力)図4 北大西洋海域のAIS船舶位置情報(2017年)と
有義波高の最大値の分布図5 北大西洋海域で船舶が実際に遭遇した海象
(AISdata)と設計で用いられる波浪発現頻度表
(IACS/Rec.34)を比較した例

成果の公表

【論文等】

(2017 年度) (6 本)

- 越智宏 : 船体安全の IoT と計測センサ, 次世代センサ総合シンポジウム(2017.9)
- 越智宏, 岡正義 : 船体安全の IoT と計測センサ(Hull Structure Monitoring System), 次世代センサ vol.27 No.2(2017.12)
- 「大型コンテナ船における船体構造ヘルスモニタリングに関する研究開発（先進安全船舶技術研究開発支援事業）」平成 29 年度報告書（第 3 章累積疲労損傷度の推定手法の開発）(2018.2)
- 岡正義, 馬沖, 高見朋希 : AIS データを利用した船舶の実遭遇波浪の解明に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 26 号、(2018.5)
- 有馬俊朗 : 「海技情報」船舶の構造安全評価について（その 6）、船長協会会誌「Captain」438 号
- 有馬俊朗 : 「海技情報」船舶の構造安全評価について（その 7）、船長協会会誌「Captain」439 号 (2016 年度) (参考)
- Integrated onboard monitoring system for safe and efficient ship operation(IMO/MSC97/inf)

【プログラム登録】(2 本)

(2017 年度)

- 1 「実海域での不規則時系列データの解析プログラム」(馬沖、岡正義)
- 2 「統計的解析法に基づく長期予測プログラム 一航路及び操船に応じた疲労寿命推定ー」(馬沖、岡正義)

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上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、十分に大きいか。

□運航状態が異なる同型船のハルモニタリングデータを解析して、これまで船舶設計及び規則で不明瞭とされていた操船影響を示した。シリーズ船のモニタリングデータの解析は世界初であり新規性がある。

□モニタリングで構築されるビッグデータを設計及び規則へフィードバックする手法は確立しておらず、研究の発展性は十分に大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□超大型コンテナ船の社会ニーズに応じて、応力モニタリングの活用が急務な課題となっており、モニタリングの信頼性向上及びデータによる安全運航と設計及び規則へのフィードバック手法を期待されて時期に研究成果を出した。

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

□国際航行する船舶に対するハルモニタリングのデータや AIS データ波浪データ等のビッグデータを解析して船舶の遭遇波浪や作用応力を明らかにした。この成果を国際基準や船級規則にフィードバックすることで、船の安全性と軽量化を同時に実現する船舶の建造と運航が可能になり、我が国の海運・造船の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。

□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

□船上モニタリングは、安全運航支援と設計革新を同時に達成する新しい手段として期待されているところ、本研究ではその実現に向け精力的に取り組み、外部と積極的に連携して特に顕著な成果を創出した。よって自己評価は「S」と考える。

今後は、データの信頼性向上の為のセンサ及びシステム開発、及びデータを運航・保船や設計・基準へフィードバックする手法等、具体的な研究内容を重点的に行い研究成果の最大化を図る計画である。

研究計画委員会による評価

A

□

研究開発課題	(1) 先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	
研究テーマ	3. 液化水素運搬船及び低引火点燃料船等の設計のためのリスク評価手法の開発に関する研究	
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。	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －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、民間等とも協力し研究開発を進める体制を構築し、研究開発の推進を図る。本年度は、船体構造基準に資する設計海象及び設計波の設定手法の確立等を実施する。 等</p>

研究の背景

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

- 液化水素運搬船等に対応したリスクモデルの構築
- 液化水素運搬船等に対応した被害影響評価手法の開発
- 新規燃料、新形式船に係る船体構造、燃料移送設備等のリスクベース設計手法の研究
- 新規貨物・燃料等に対応した安全基準の策定

研究目標

- 新規貨物・燃料を扱う船舶と海上交通上のリスク評価手法（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わる費用対効果の評価手法 など
- 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を作成
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、安全基準による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が確立することが期待される。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なり得る。

平成 29 年度の研究内容

- 液化水素運搬船のリスクモデル構築、水素に関連する陸上等の事故事例の収集
- 液化水素運搬船等に対応した被害影響評価手法の開発。液化水素運搬時事故による燃焼範囲を推定するための計算コードを開発する。
- 液化水素運搬船暫定ガイドラインをベースに造船所・船級と共に構造リスク評価対象検討。
- 液化水素運搬船の被害影響評価手法の開発に実船解析モデルの構築に係る造船所・船級との調整。
- ベイジアンネットワークを用いた液化水素運搬船の構造リスクモデル拡張。

平成 29 年度の実績

- 液化水素運搬船の HAZOP 会議参加、LPG 燃料船の HAZID 分析を実施したことにより、新規貨物（液化水素）・燃料（LPG）に係るハザードと対策の明確化ができた。
- 液化水素運搬船等に対応した被害影響評価手法の開発
- 液化水素運搬船の被害影響評価手法の開発に実船解析モデルの構築に係る造船所・船級との調整。
- 被害影響評価手法の開発に係る造船所・船級との連携体制構築
- 被害影響評価手法の開発に係る GAP 解析に係る文献調査

平成 29 年度の研究成果

- リスクモデル構築の参考のために、水素ガスステーションや水素燃料自動車、ガス燃料船等に関するリスク評価研究の文献調査を行った。
- 液化水素運搬船のプロトタイプ船に関する HAZOP 会議に参加し、当該船舶の燃料移送プロセス等におけるハザードとその対策等について議論を行うことで、さらに詳細解析が必要となる箇所やシナリオを特定した。
- LPG 燃料船の HAZID 分析を行った。貨物として積載する LPG を燃料として使用するために新たに必要となるシステム機能の構成要素と役割の整理を行い、これらの部分に生じるハザードの抽出とその対策等について検討し、議論を行うことで、今後新規燃料の使用を考慮した場合に検討が必要となる箇所やシナリオを特定した。
- 液化水素運搬船等に対応した被害影響評価手法の開発
船内等の閉鎖された区画において、保管中または移送中のタンク、配管等から引火性ガスが漏えいした場合の被害影響度評価のために、より実用的な換気解析手法が求められることを鑑み、換気解析のための数値解析モデルに関して、乱流モデル、境界条件、格子幅等をパラメータとして実用的な計算条件に関する検討を行い、成果として公表した（図 1）。引き続き、空調衛生分野における最新の実用的な乱流モデルに着目し、換気解析モデルへの組み込みと、上記の条件での比較検討を進めている。
- 新規貨物・燃料等に対応した安全基準の策定
IGF コードにおいて要求される代替設計のためのリスク評価に関して、前年度までに開発してきたガイドラインを完成させると共に、中小造船所を対象に講師としてリスク評価の基礎から、IGF コードで検討すべき項目および解析方法について、教材を開発し、講義を行った。また、その評価手法について、造船所からの問い合わせに対して技術的対応を行った。
日本船舶技術研究協会からの受託業務「IMO フォロ-：防火検討会-旅客船 Ro-Ro 区域の安全対策に係る調査」を通じて、新規貨物としての電気自動車および代替燃料自動車の輸送時における火災安全対策の検討を行った。また、IMO 第 5 回船舶設備小委員会 (SSE 5) における日本提案文書案に助言および修正提案を行い、当該文章の作成に貢献した。

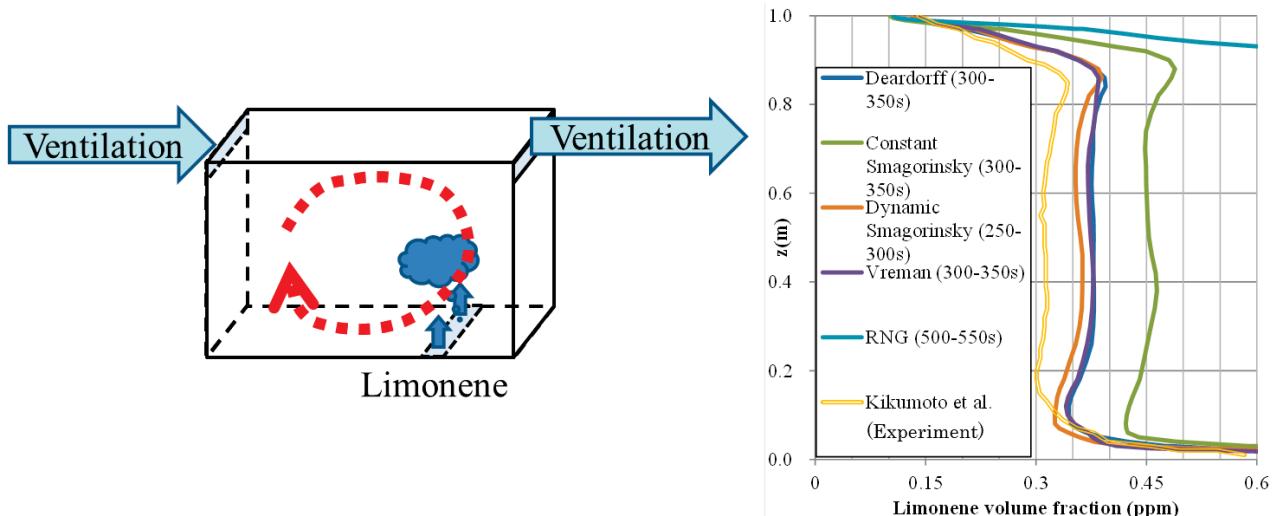


図1 換気解析例 (Limonene ガス、換気実験 (Kikumoto et al.) との比較)

成果の公表

□ その他 :

- (1) 工藤, 伊藤, 木村, 船舶における燃料ガス漏洩を想定した換気効果の検討, 安全工学シンポジウム 2017 講演予稿集
- (2) 木村, 岡(秀), 岡(泰), 低密度浮力プルームの数理モデリングに関する検討, 安全工学シンポジウム 2017 講演予稿集
- (3) J. KUDO, H. OKA, A. KIMURA et al., Numerical investigation of ventilation effect for denser-than-air gas leakage in enclosed space, Proceedings of the Asia Pacific Symposium on Safety 2017
- (4) A. KIMURA, H. OKA, Y. OKA, Numerical study of the near-field entrainment phenomena of buoyant plumes, Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety 2017

□ 船級協会ガイドライン資料 (昨年度からの継続) :

- (1) 天然ガス燃料船のリスク評価ガイドライン IGF コード関係
- (2) FMEA の実施に関するガイドライン (IGC コード関係)
- (3) 代替設計及び配置の認証のためのリスク評価ガイドライン (Circ.1455, Circ.1002 及び Circ.1212 関係)
- (4) 技術附録書 衝突・接触の定量評価方法 (QRA)

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。

□ IGF コードにおいて要求される代替設計のためのリスク評価に対応することは、今後、新規貨物・燃料を扱う船舶の扱いを考える造船所、船会社、船級等にとって必須の技術的要素であり、その一部を担っていることは安全・安心の確保、海事産業の競争力強化の観点で社会のニーズに貢献するものである。

◎ 成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□ 本研究にて取り上げた具体的な個別の設計は、各社が新たに開発している船舶であり、その中でもこれまでの船舶と異なる差分に着眼してハザードの抽出、整理を行うことは内容的に新規性が大きい。さらに、開発されている船舶のコンセプト、実現方法は今後多くの新規貨物・燃料船に共有されるものと考えられ、発展性、一般性が大きい。

◎ 成果が期待された時期に創出されているか。

□ 本研究で取り上げている個別の設計については、本研究の中で必要な安全対策等に帰着し、適切な時期に反映されている。また、今後の同型船、類似船の出現に備え、必要な知見、手法を揃えている。

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

□ IGF コード、IGC コードに適応することは、国際競争力の向上のために必須であり、本研究はこれに呼応している。

◎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。
 該当しない。

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

研究計画の内容を満足する成果であり、液化水素運搬船、新規貨物・燃料を扱う船舶のリスク評価手法の確立、IGF コードで求められる安全性評価を行う手法の実用化に向けて大きく進展するものであるが、一部の検討は途上にあり、今後の成果と普及が待たれるため。

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

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	4. 安全運航に必要な操船性評価手法の開発及び基準化に関する研究	
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。	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －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、民間等とも協力し研究開発を進める体制を構築し、研究開発の推進を図る。本年度は、船体構造基準に資する設計海象及び設計波の設定手法の確立等を実施する。 等</p>

研究の背景

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

□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

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

上記成果は、合理的な操縦性能基準等により、衝突事故が軽減されるとともに、荒天下での安全性の向上が図られことが期待される。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なり得る。

平成 29 年度の研究内容

- 過去の衝突事故データを調査し、機関出力、旋回・停止性能や衝突回避行動の内容と行動開始時の船速、相手船までの距離、衝突時の船速等の関係を統計的に分析することで船の性能面から見た衝突事故の実態を定量的に調べた。
- EEDI の最低出力暫定指針の妥当性を評価して合理的な指針の要件を抽出することを目的とし、IMO 最低出力暫定指針の改訂内容に対する EEDI 規制に対する影響をまとめ、IMO/MEPC71 の審議に役立てた。
- 新たに波浪中操縦性能模型実験を実施し、瘦せ形船に対する荒天下の操船評価のための数値計算テストプログラムの検証とそのための拡張を行った。さらに、これまでに開発した主機作動制限を考慮する模型実験手法の妥当性を調べた。

平成 29 年度の実績

- 船の衝突事故の原因は人為的過失によるとされ、一般に事故分析もこの観点からおこなわれるが、本研究では船の性能面からの衝突事故の分析をおこない、船の停止性能と衝突事故の減少率の関係を調べてこれを明らかにした。
- EEDI の最低出力暫定指針の改訂審議にて、外洋と沿岸域との海象評価を行い、本指針が想定する沿岸域で設定される波高条件を示し、MEPC71 に情報提供 (MEPC71/INF.29) した。
- 船体動搖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ほとんどない。本研究で提案した計算法は、本年度の成果によって肥大船だけでなく GM の小さい瘦せ形船にまで概略適用可能であることを明らかにすことができた。数値計算によらず模型実験で直接主機制限を考慮した実船の操縦性能を推定し得る模型実験法の妥当性を明らかにした。

平成 29 年度の研究成果

- 運輸安全委員会の船舶事故報告書のうち「事故等種類」が「重大」かつ「事故区分」が「衝突」、「船舶種類」が「旅客船」と「貨物船」、「タンカー」の事故を対象として分析した結果、初速 12kn の停止距離が 10 船長以下で約 4%、6 船長以下で約 17% の重大衝突事故の低減が見込めることがわかった。

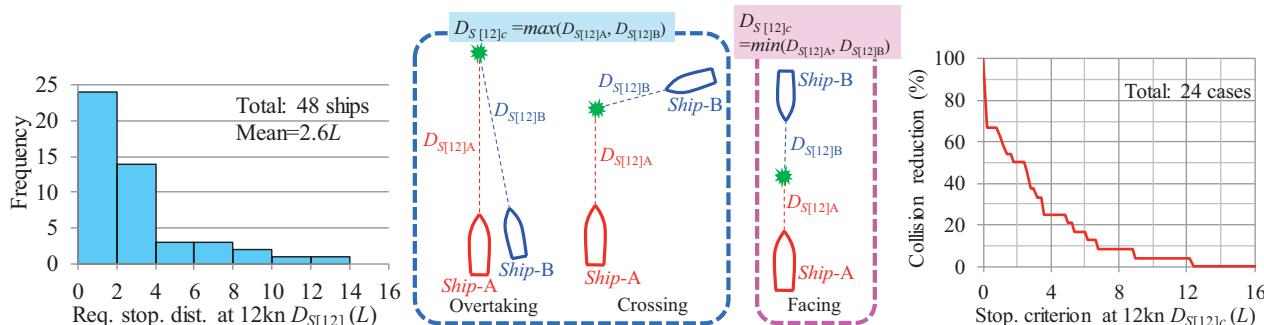


図 1(左) : 衝突点前で停止するために必要な性能を初速 12kn の停止性能 $D_{S[12]}$ で表したときの頻度分布。事故分析に基づく。

図 2(中) : 衝突の 3 分類。衝突を避けるためには、追い越しと横切りは少なくとも 1 隻が、行き合いの場合は 2 隻とも停止する必要がある。

図 3(右) : 初速 12kn の停止性能基準 $D_{S[12]c}$ と衝突減少割合の関係。厳しい停止基準ほど事故減少に寄与する。

- 当所の保有する気象海象データベースを用い、外洋（北太平洋）と沿岸域（本州南岸）との海象評価を行い、沿岸域では同一風速でも有義波高が 15%程度小さい評価となることを示し（図 2）、最低出力暫定指針の合理的な提案 (MEPC 71/5/13, MEPC71/INF.28) につなげた。

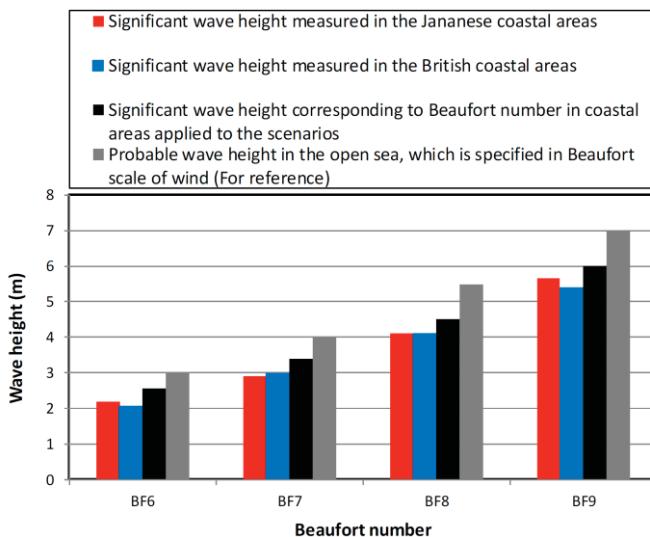


図4 有義波高のビューフォート風力階級別評価(赤,日本沿岸; 青,英國沿岸; 黒,提案海象, 灰,外洋)

□前年度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を小GMの瘦せ形船型にも適用可能のように拡張し、新たに実施したコンテナ模型船の波浪中旋回試験と比較した。その結果、本計算法の妥当性を明らかにした。(図5)

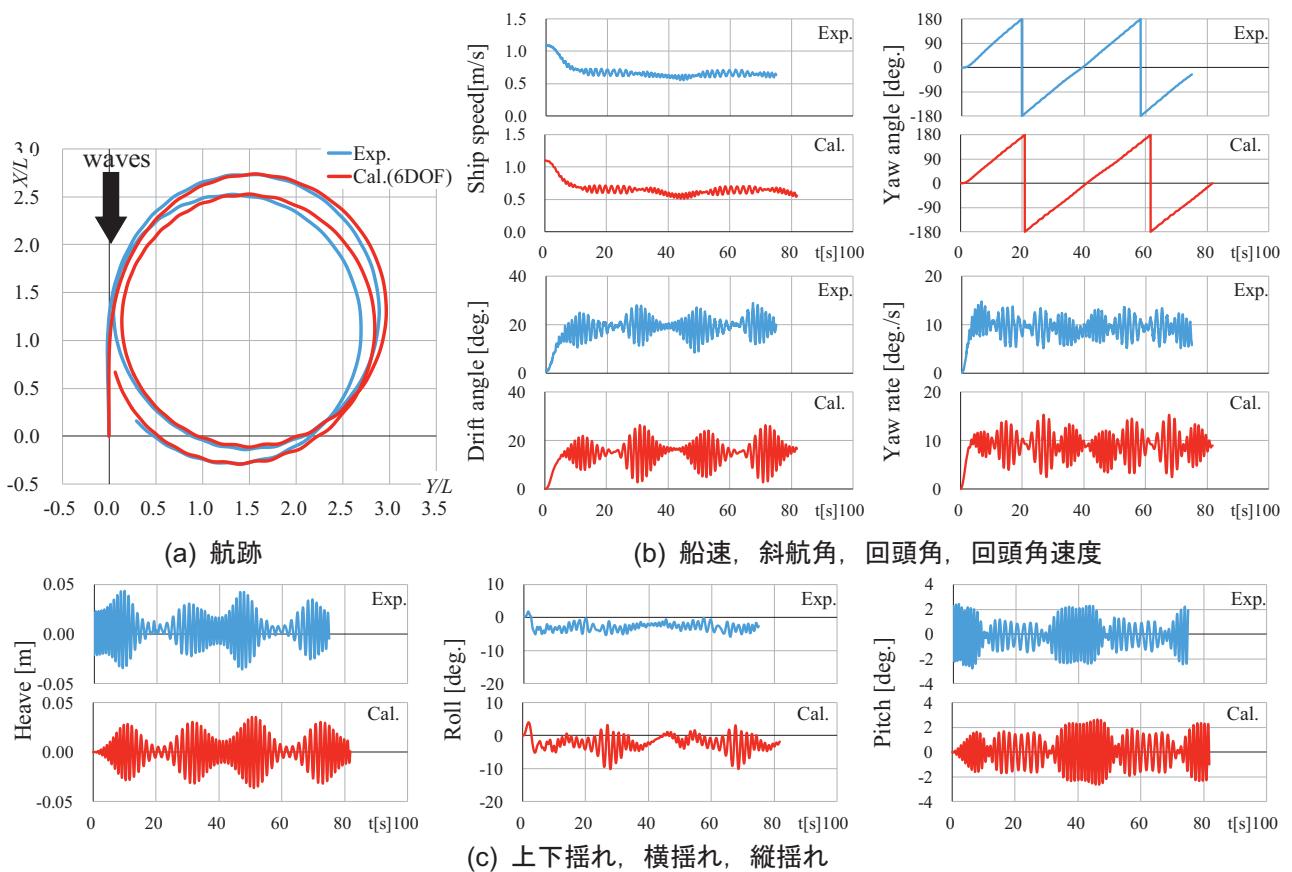


図5: コンテナ船(KCS)の規則波(波高船長比=1/50, 波長船長比=1.0, 操舵開始時正面向波)中右35°旋回試験の比較。

□当所で開発した主機作動制限を考慮する模型実験手法の妥当性を、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との比較によって明らかにした。(図6)

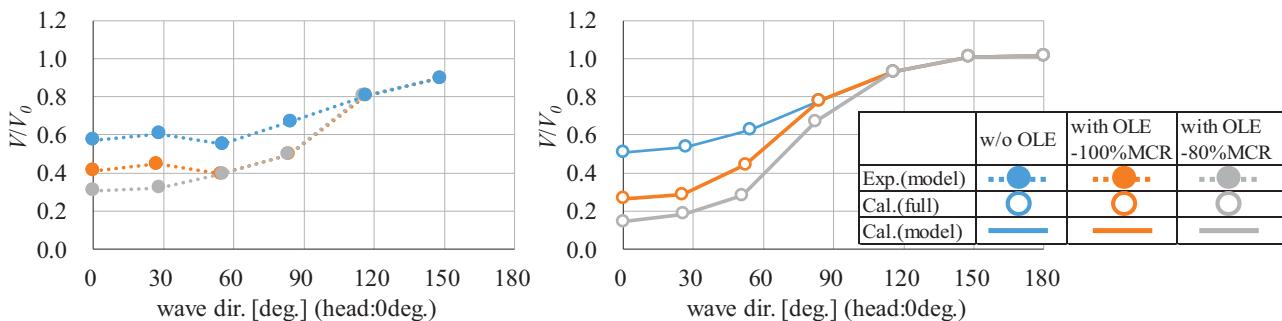


図6: 舵効き船速修正に主機の作動制限を考慮する方法を適用した波風中の船速低下の実験値と計算結果の比較(タンカー、多方向不規則波、有義波高7m、平均波周期10.2s、風速22.7m/s)。左が模型実験、右の線が実船尺度計算、右の点が模型尺度計算。青が主機作動制限を考慮していない結果で、オレンジとグレーが制限を考慮した結果。オレンジとグレーの応答に対する主機作動制限は、それぞれ対象船の最大連続出力MCR、80%のMCRから推定した。実験で明らかとなった主機制限の考慮やその制限の強さに対する船速低下の変化が定性的に数値計算と一致していることから、本試験法の妥当性を確認できる。

成果の公表

□発表論文

本文査読付きプロシーディングス

- (1) Ueno M., Suzuki, R., Tsukada Y., 2018, Model Ship Control and Estimation of Full-scale Propeller Torque in Wind and Waves, The 11th IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, Robotics, and Vehicles, Opatija, pp.(未定).
- (2) Ueno M., 2018, Collision Accidents Analysis from the Viewpoint of Stopping Ability of Ships, 2018, Proceedings of the 13th International Marine Design Conference, Helsinki, pp.(未定).

海技研報告(研究報告)

- (1) 塚田吉昭、鈴木良介、上野道雄：風荷重模擬装置の開発と実海域環境下の自由航走模型試験、海上技術安全研究所報告(研究報告), 17巻3号 (2018), pp. 167-186.

その他

- (1) 鈴木良介、上野道雄、塚田吉昭：波浪中における旋回運動と船体動搖推定法の検証、海上技術安全研究所研究発表会講演集, 17号 (2017), pp. 146-147.
- (2) 上野道雄、鈴木良介、塚田吉昭：自走模型船による波風中の実船性能の直接推定、日本船舶海洋工学会、推進性能・運動性能合同研究会 (2017).
- (3) Suzuki R., Tsukada Y., Ueno M., 2017, Experimental estimation of manoeuvrability of full-scale ship in wind and waves using free-running model, Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Model Measurement Technology for the Maritime Industry, Glasgow, pp. 484-497.
- (4) 上野道雄：船の停止性能の観点からの衝突事故の分析、日本航海学会講演会予稿集, 5巻2号 (2017), pp. 102-103.
- (5) 上野道雄、鈴木良介、塚田吉昭：自走模型船による斜め波風中実船変動トルクの推定、日本船舶海洋工学会講演会論文集, 26号 (2018), pp.(未定).

□IMO資料

- (1) MEPC71/INF.29, Supplementary information on the draft revised Guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions, submitted by Denmark, Germany, Japan and Spain.

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新たな視点を提供すると考えられる。

□国内海事産業からの要請に応え、最低出力暫定指針の評価条件となる沿岸域の海象評価を実施し、合理的な評価を目指した。なお、日本等からの最低出力暫定指針の改訂提案は採用されなかった。

□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ることによって海上における「安全・安心の確保」につながる。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□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。

□沿岸域の海象評価により、同一風速でも有義波高が15%程度小さい評価となることを定量的に示した。

□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複数の船に対する検証を行った研究は貴重と考えられる。主機の制限を含めた実船の操縦性能を模型実験で直接評価する試みは世界的にも例が少なく、波漂流回頭モーメントなど理論的推定が現状では困難な要素も物理現象として結果に反映できる本手法には新規性と発展性があると考えます。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□IMOの操縦性基準ができるからも船の衝突・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。

□国内海事産業からの要請が文書締めきり1ヶ月前であったが優先的に対応し方針・文書作成に間に合った。

□荒天下の操船性能維持を目的とした最低機関出力の暫定ガイドランが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。

◎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、他に先駆けて本課題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。

□最低出力暫定指針の評価条件を合理的なものとすることで、要求値が過大とならないことは国際競争力の向上につながる。

□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過去に例を見ない水槽試験法の提案など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。

□本年度の研究が対象とした事故数が必ずしも十分ではなく今後さらに研究が必要であるが、考え方の妥当性をまず確認するために、初年度は「先見性と機動性を持って」試行的に実施した。

□(IMO対応に関しては萌芽的研究には当たりません。)

□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いわば目標指向型の停止基準の策定に向けた考え方を船の性能面から示した研究成果は、現段階ではデータ数が少なく試行的なものであるが、学術的にも社会的にも停止基準に対する新しい視点を与える点で有益と考えられる。

□荒天下の操縦性能を推定しうる十分信頼性のある手法が確立されているとは言えない現段階において、IMOにおける最低出力暫定基準に関する審議を可能な限り合理性のあるものにすることに貢献したことは国際的にも評価されるとともに我が国の国際競争力の向上にもつながる成果であったと考えられる。

□波風のある実海域における船の性能保証を求める国際的な動向の中で、本研究の目標は近い将来に求められる新たな国際基準策定に向けての基盤となる技術を確立することであり、本年度の複数船型を対象とした詳細な検証等に見られる研究成果はその目標に向けての着実な進捗を示すものと考えられる。

研究計画委員会による評価	A
□	

研究開発課題 (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 5. 海難事故防止に資する事故解析及び予防技術の開発に関する研究

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。	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p> <p>一輻轆海域等における操船困難要因の緩和方法方策の洗い出しとこれを実現する交通流の改善法を策定する。 等</p>

研究の背景

輻轆水域における航路閉塞や多数の死傷者が発生するなどの社会的影響が著しい大規模海難の発生防止等船舶の安全性向上及び船舶運航の安全確保や小型船舶の安全対策の推進が必要とされている。このため、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。具体的には、

□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

□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

□小型船用航行支援装置の開発

□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、損傷時船舶の安全性を確保するための基準体系の確立等により、海難事故及び事故に伴う被害の減少が図られることが期待される。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なり得る。

平成29年度の研究内容

□衝突及び乗揚げ事故を回避することを目的とした船舶の新たな制動手法について検討し、その結果を基に模型船搭載用制動装置の製作・模型船制御プログラムの修正などを行って水槽実験を実施し、新たな制動手法の有効性を確認した。

□何らかの理由（無人船橋等）で、相手船との異常接近となった場合に、自動的に避航を行う緊急時自動衝突回避システムのアルゴリズムの内、自船の予測航跡について外乱影響を考慮したものとする改善を行った。

□波浪中海難事故の事象として現在 IMO で審議されている第二世代非損傷時復原性基準で扱う 5 つの復原性事故モードの 1 つである「過大加速度」を対象に、事故を回避する操船支援を行うための過大加速度評価手法を提案するために、①短波頂不規則波中でのブリッジ高さで横方向に働く加速度計算手法を構築し、②短波頂不規則波中での船体運動計測を実施して計算法の定量的検証を行うとともに、③実験で検証された計算法を用いて横加速度 1G を閾値とする長期の超過確率を用いた評価法を検討した。

□RORO 客船損傷時のハザード及び安全対策の抽出、リスク評価モデルの作成を行った。

平成 29 年度の実績

□過大加速度による事故を起こしたコンテナ船を供試船とした短波頂不規則波中での模型実験の結果で精度検証した計算法を用いて、北大西洋の波浪発現頻度表にある海象全ての条件下での横加速度を計算して求めた長期の超過確率から 1 年あたりの超過確率で評価する過大加速度評価法を示した。研究成果は IMO 文書として提出した。

平成 29 年度の研究成果

□固定ピッチのプロペラを装備したコンテナ船模型を用いた水槽実験を行い、新たな制動手法の有効性を確認した結果、新たな制動手法は一般的なプロペラ逆転による停止試験と比べて Track Rearch で 17% の短縮されることが確認された（図 1）。本制動手法については、特許出願に向けて準備中（特許相談済）である

□相手船を船舶自動識別装置、レーダー等により動静を把握し、衝突の危険性を評価して、衝突直前時に大角度変針等により自動的に操船制御する緊急時自動衝突回避システムのコンセプトを改善し、自船の予測航跡に外乱影響を考慮した運動モデルを組み込み、操船リスクシミュレータとの接続を行った。

□過大加速度による事故を起こしたコンテナ船を供試船として短波頂不規則波中の船体運動を周波数応答の線形重ね合わせ法で計算し、実船 3 時間相当の模型実験結果と比較した結果、本計算法が十分な精度を有していることを確認した（図 2）。

周波数応答の線形重ね合わせ法を用いて北大西洋の波浪発現頻度表にある全ての波浪条件で計算した分散値から横加速度の閾値を 1G とした場合の超過確率を求め、海象の出現確率との積の荷重平均による長期の超過確率 (2.02×10^{-5}) より 1 年当たりの超過確率 (1.000) を求めて過大加速度の評価を行った（図 3）。

メモリー影響と横揺れ減衰力の粘性成分を考慮した時間領域計算を線形重ね合わせ法と同様に IACS の波浪発現頻度表にある全ての波浪条件で実施し、横加速度の長期の超過確率を求めた。その結果、時間領域計算による長期の超過確率 (1.68×10^{-5}) は安全側の評価である線形重ね合わせ法より小さくなるが、1 年当たりの超過確率 (1.000) は線形重ね合わせ法と同じになることを示した。

上記成果を取り纏めて、IMO SDC5（船舶設計・構造小委員会）に過大加速度モード直接復原性評価の例として文書 (SDC5/6/13) を提出した。

□前年度構築した旅客船の損傷時復原性に係る人命損失リスクに関する費用対効果の評価モデルを修正し RORO 客船へ適用することで、損傷時復原性規則である要求区画指数 R を現行規則 (SOLAS 2009) から IMO SDC3 に日本が提案した式に変更した場合の費用対効果評価を一般客船及び RORO 客船について実施した。また、その成果を纏めて査読付き論文として公表した。

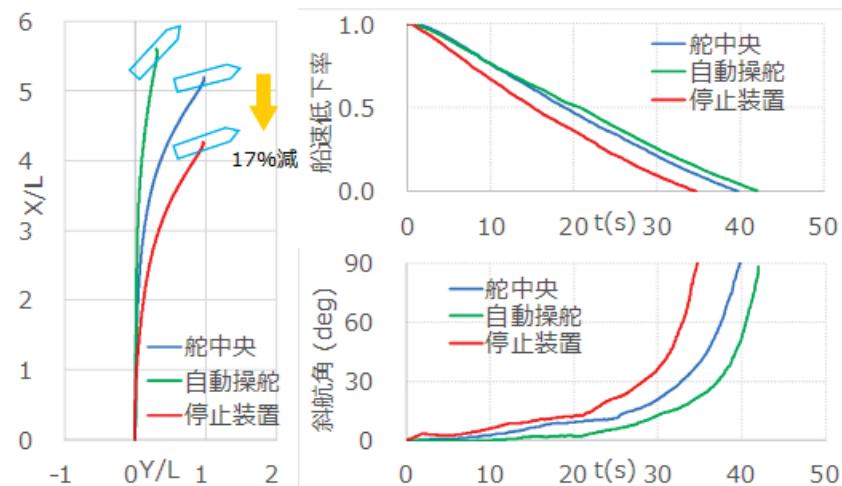


図 1 停止性能に対する新たな制動手法と操舵の効果に関する模型実験結果

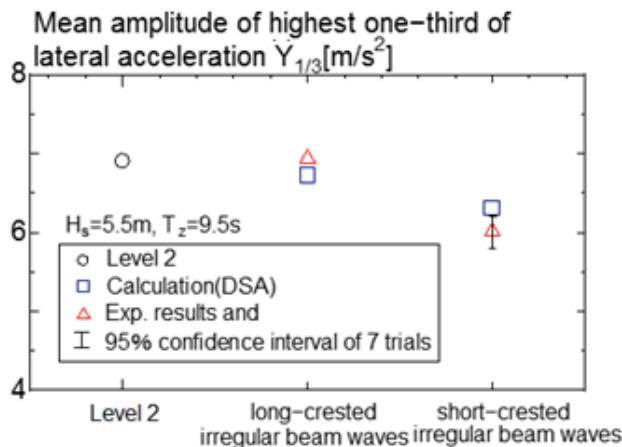


図2 不規則波中横加速度の実験と計算結果の比較

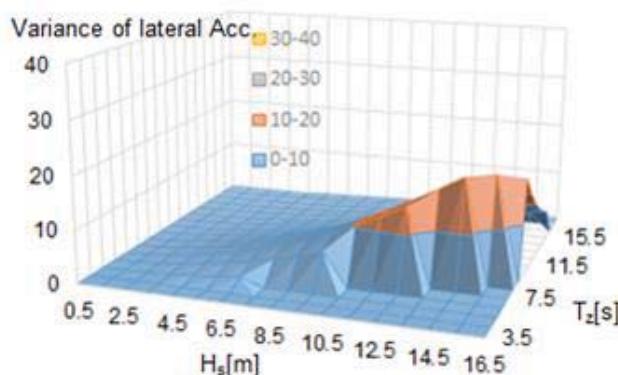


図3 横加速度の分散値（線形重ね合わせ法）

成果の公表

- 柚井智洋, 金湖富士夫, 荒井誠 : 旅客船の要求区画指数 R 見直し FSA における費用対効果評価, 日本船舶 海洋工学会論文集, 第 26 号 (2017), pp.237-245.
- 柚井智洋 : 旅客船の総合安全性評価に関する研究 - FSA における一般化モデルの拡張と費用対効果の観点からの要求区画指数 R の最適化 -, 横浜国立大学学位論文 (2017).
- IMO 提案文書
SDC5/6/13, Comments on document SDC 5/6 – Application example of direct stability assessment for excessive acceleration failure mode, submitted by Japan.

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。
- 国際海事機関 (IMO) において検討中の第 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直接復原性評価手法を検討し提案文書 (SDC5/6/13) として取りまとめるとともに、審議に参画したことから、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考える。
- ◎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。
- これまで IMO における安全規制の費用対効果 (FSA) は一般化モデルと呼ばれる個船に対して実施されるのが一般的であり、その費用対効果評価指標 GCAF も個船に対して求められていたが、本研究では世界中の旅客船の定員数の分布を考慮することにより、GCAF の確率分布を算出した。これまで GCAF の確率分布を求めた事例は存在せず、本研究の成果の科学的意義と言える。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- IMO における第 2 世代非損傷時復原性基準の検討では、最終化に向けた審議を進めていることから、上述した提案文書に取りまとめた研究成果は、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。

□IMOで検討中の第2世代非損傷時復原性基準に反映される研究成果であり、それが合理的なものになることにより、我が国の海運・造船業の国際競争力の確保につながると考える。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

□衝突及び乗揚げ事故を回避することを目的とした船舶の新たな制動手法及び緊急時自動衝突回避システムの開発研究に関しては、適時の対応を行っていると考える。

研究主任者による自己評価	B
--------------	---

□研究成果を第2世代非損傷時復原性基準に関するIMO審議に反映させたほか、評価指標の確率分布を考慮した損傷時復原性に係る人命損失リスクに関する費用対効果の評価モデルをRORO客船へ適用するなどして科学的意義のある研究成果を創出するとともに、船舶の新たな制動手法及び緊急時自動衝突回避システムの開発研究に取り組むことで将来的な成果の創出の期待が認められる。

研究計画委員会による評価	A
--------------	---

□

研究開発課題 (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 6. 海上交通流シミュレーションの高度化及び安全対策の検討とその影響評価法に関する研究

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。	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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 一輻輳海域等における操船困難要因の緩和方法方策の洗い出しとこれを実現する交通流の改善法を策定する。 等</p>

研究の背景

海上保安庁においては、輻輳海域や準輻輳海域として交通量が多く複雑な進路交差が生じている海域に力点をおいて安全対策等を推進していくこととしており、具体的な対応が求められている。このため、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。具体的には、

- 交通状況の把握及び安全目標の設定支援に関する研究
- 交通流制御の方法に関する研究
- 交通流制御のための評価指標に関する研究

研究目標

- 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
- 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、準ふくそう海域での安全対策の実現により、海難事故を減少させ、安全安心な社会を実現することが期待される。

平成 29 年度の研究内容

- 対象海域における近年の海難情報および航跡情報を用いた傾向分析を行い、交通流整流により実現すべき目標を立案するために必要な情報を抽出、分析する。
- 指定された海域における海難および交通状況から問題点を洗い出し衝突の危険を緩和しうる改善策を検討してその効果を評価する。

平成 29 年度の実績

□ 潮岬沖を対象海域として、海難および船舶交通の分析を行い、当該海域における衝突の要因を洗い出し、衝突の危険が発生する機会を低減させる改善策を検討した。検討に必要な基礎情報および改善策の検討方法など、交通状況の危険緩和策を講じるための具体的な手法を構築した。

平成 29 年度の研究成果

□ AIS データ解析ツール (AIS Analyzer) や船舶交通状況分析ツール (TrafficStateAnalysisTool) 等を活用して、潮岬沖を対象海域とした海難情報分析および通航状況の分析を行った。また、その分析結果を元に、交通流の整流化案の検討を行った。なお、本研究の成果を用いて、海上保安庁との共同研究を実施した。

- * 図 1 は、長さ約 370m × 間隔約 310m を持つゲートを対象海域に設定し、1 日当たりに通過する東航船と西航船を計数して作成した遭遇頻度分布図である。図から、潮岬灯台の沖では、灯台から南に約 2NM までの遭遇頻度が高く、特に約 1.5NM までに強い集中が観察できる。
- * 図 2 および図 3 は、経度 2 分刻み、緯度 0.2 分刻みのゲートを通過した西航船、東航船の通航位置を、陸側からの累積度数により表示し、かつ日あたりの通航数の多い部分を網掛けにしたものである。太線は各方向で最も通航隻数が多いゲートを結んでいる。この図より、全体的な通航位置の傾向として、東航船が多く通航する場所は、西航船が多く通航する場所よりも南にあり、両者の間には概ね 0.4~0.6NM の距離があることが観察できる。
- * 海難状況、遭遇頻度分布および通航位置分布の分析結果を元に、推薦航路の具体案を作成した。当該海域の衝突を削減するためには、東西交通流を分離し遭遇を抑制することが有効であるものの、現状の交通流は陸岸至近の通航が多いことから、陸岸から離れた位置における推薦航路の設定は使用者の順守率の維持が難しく、遭遇の抑制に十分な効果が見込めない恐れがある。そこで、推薦航路を構成する要素を位置、角度、長さの 3 つにわけ、これらの組み合わせによって使用者がとるべき行動やその場合の印象を個別に確認して、より効果的と考えられる 3 組の組み合わせを候補として選出した。図 4 に、推薦航路の基案の一例と西航船の通航密度分布を表す。
- * 推荐航路案の影響評価を行うため、交通状況の分析結果および海上保安庁が実施した潮岬周辺の漁協へのアンケート集計結果を元に、船舶交通のモデル化を行い、交通流シミュレーションの準備を行った。来年度には、シミュレーションを実施し、その結果に対して遭遇頻度および OZT 等の指標を用いた影響評価を行うことで、最適案決定のための資料を作成する。

□ OZT (Obstacle Zone by Target) の評価手法により衝突危険度を可視化する手法の検討を行った。一度に OZT 遭遇した隻数を重み付けして、海域に設定したメッシュ内に存在する OZT 遭遇回数を総和することによって、場所ごとの OZT 遭遇のしやすさ（衝突の危険度が高い）の表現法を開発した。図 5 は、平成 27 年度に海上保安庁との共同研究として行った、伊豆大島西方海域における推薦航路導入後のシミュレーション結果に基づく OZT 遭遇頻度分布である。稻取港から出入港する漁船と東西交通流の交差部および神子元島北側の船舶が集中する場所に OZT 遭遇しやすい場所が存在していることがわかる。

□ AIS データから抽出した避航時のデータを分析し、2 船間の距離と方位変化を変数として新たな衝突危険度の評価方法を検討した。抽出したデータの避航開始時期について、自船船長および相対速度で無次元化した距離の分布を近似し、操船者が避航を開始する時期とその確率を関数として表現した。

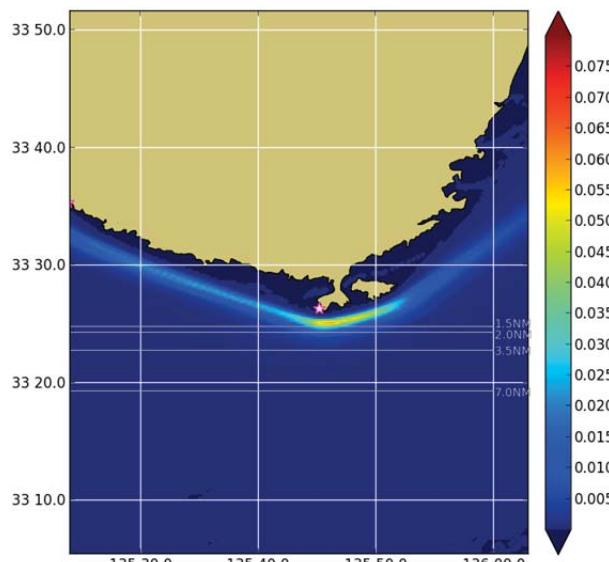


図 1 潮岬沖における遭遇頻度分布図

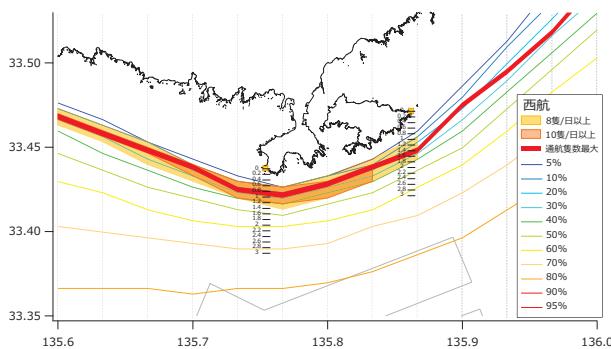


図2 西航船の通行位置分布

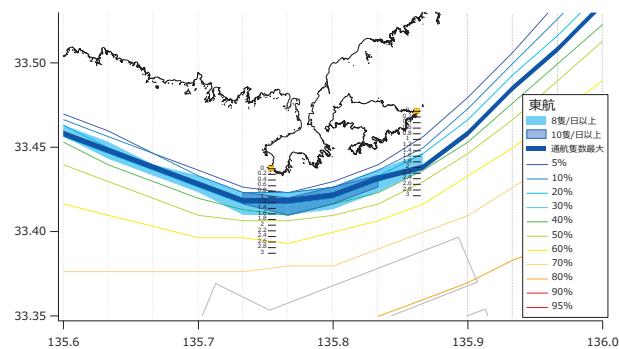


図3 東航船の通行位置分布

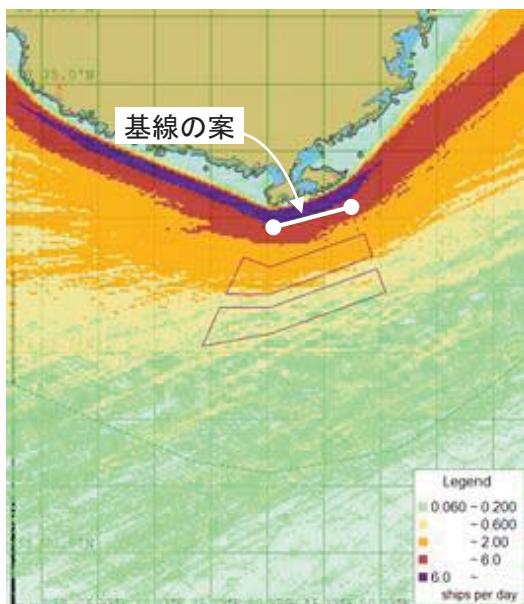


図4 通航密度分布と推薦航路の案

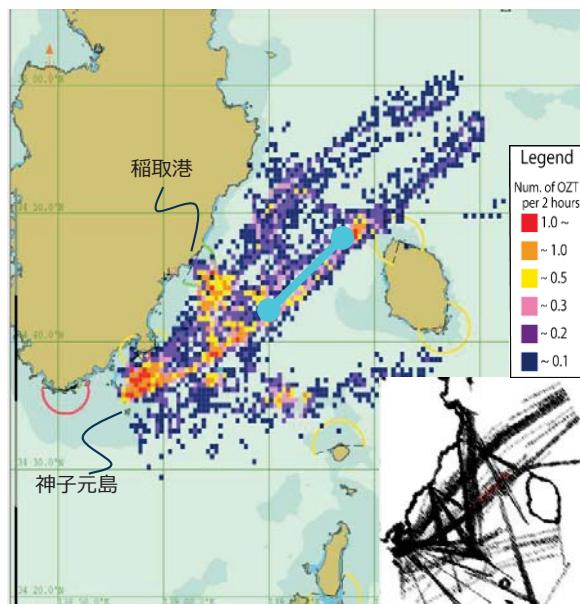


図5 伊豆大島推薦航路とOZT遭遇頻度分布

成果の公表

- プログラム登録：船舶交通状況分析ツール（Traffic State Analysis Tool）
- 本文査読付きプロシードィングス：
 - ・Rina Miyake, Hiroko Itoh, Chihiro Nishizaki and et al., 2017, Safety Assessment for Establishing Ships' Routeing - Recommended Route Off the Western Coast of Izu O Shima Island, Proc. The Fourth Asian Conference on Defence Technology 4th AC DT, Tokyo, pp.70-75.
 - ・Rina Miyake, Junji Fukuto and Kazuhiko Hasegawa, 2017, Evaluation Method of Collision Risk Based on Actual Ship Behaviours Extracted from AIS Data, Proc. 12th International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Gdynia, Poland, pp.161-166.
- その他：
 - ・伊藤博子, 南真紀子, 三宅里奈, 2017, 衝突海難分析における情報技術の活用, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.110-119.
 - ・三宅里奈, 伊藤博子, 西崎ちひろ, 他, 2017, 推荐航路設計のための安全性評価手法の適用例, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.170-171.

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、十分に大きいか。

本研究成果の交通状況の危険緩和策設計のための手法は、他海域における同様の検討にも適用することができる。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

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成果を創出できる。

◎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。

該当しない。

◎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。

該当しない。

研究主任者による自己評価	B
--------------	---

研究計画を満足するものであり、潮岬沖の安全対策向上に貢献するものであるが、推薦航路の影響評価の検討が不十分であるため。なお、影響評価の一部は、海上保安庁からの業務調整により来年度に実施する予定である。

研究計画委員会による評価	B
--------------	---

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	7. 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。	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進めます。</p> <p>①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進めます。</p> <p>①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発</p> <p>－2020年から始まる舶用燃料油の硫黄分0.5%の上限規制(グローバルキャップ規制)を見据えて、効果の評価をするために、実船計測等によりデータを取得する。等</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p> <p>－船舶から排出されるBC・PM等の削減に資するため、エンジン内および後処理技術の高度化等、環境影響低減技術の開発を行う。等</p>

研究の背景

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。具体的には、

- 船舶から排出されるPM計測技術の確立及び環境影響評価技術の高度化
- BC・PM低減技術実用化のための技術課題の解決と評価
- 排ガス処理技術の高度化及び統合型排ガス監視システムの開発
- 次世代燃料の燃焼性評価手法の確立

研究目標

- BC、PM 及び PM2.5 前駆物質の計測法、及び計測プロトコル
- 実船舶の PM 排出特性等を反映した PM 排出量データ
- MRV の合理的な GHG 規制指標
- 燃料や動力システムの多様化に対応した PM・BC 除去システムと性能評価・設計ツール
- 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監視システム
- 統合型排ガス監視システムの設計ツール
- SOx 規制対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術

上記成果は、BC 計測方法、PM 等の精緻な排出量データ等、それらの成果を国土交通省に提供することにより、IMO における合理的な規制の検討に貢献する。また統合型排ガス監視システムについては、機関メーカー、造船所、船会社との共同研究等により、実用的なシステムを開発するとともに実証試験を実施し、普及を促進するものである。

平成 29 年度の研究内容

【船舶から排出される PM 計測技術の確立及び環境影響評価技術の高度化】

- ・実船上で PM 計測実験を行うための準備として、前年度までに製作した可搬式 PM 捕集装置のカスタマイズ・改良及び課題の洗い出しを行う。

【BC・PM 低減技術実用化のための技術課題の解決と評価】

- ・エンジンの運転条件による BC・PM 排出削減効果の評価を行う。BC 計測法の比較評価を行う。
- ・SOx 規制対応燃料を用いた場合の BC・PM 排出特性の計測に関する調査を行う。

【排ガス処理技術の高度化及び統合型排ガス監視システムの開発】

- ・実船に搭載した脱硝触媒及び制御機器等を含めた SCR 脱硝システムを撤去・回収し、SCR 脱硝システムの耐久性能について取りまとめる。
- ・主にオーブループ方式の SOx スクラバを対象とした調査を行い、その基本性能を調べる。さらにその調査結果に基づき、SOx スクラバを実船に搭載する際のシステム設計技術を構築する。

【次世代燃料の燃焼性評価手法の確立】

- ・新たに使用が想定される低硫黄燃料に対して問題点の抽出を行う。また、実燃料に対応できる蒸発モデルを確立し、LCO を中心とした難燃性燃料への展開を行うことでモデルの有効性を確認する。

平成 29 年度の実績

【船舶から排出される PM 計測技術の確立及び環境影響評価技術の高度化】

- ・前年度までに製作した可搬式 PM 捕集装置について、当所所有及び外部機関の PM 捕集装置と比較実験を行い、計測結果がおおむね良好に一致することを確認（検証）した。
- ・可搬式 PM 捕集装置を用いて 4 機の舶用ディーゼル機関において PM 計測及び組成分析を行い、船舶特有の PM 組成プロファイル及び PM 排出量データの作成に必要な PM 組成分析データを蓄積した。

【BC・PM 低減技術実用化のための技術課題の解決と評価】

- ・エンジンの燃料噴射圧を上げることにより、60～77% の BC 削減効果、2～3 割の PM 削減効果を得た。
- ・2 種類の BC 計測法による計測結果と PM 中の元素状炭素 (=BC) の熱分析結果とを比較し、エンジン形式やエンジン負荷率・燃料によらず、BC 計測器同士の計測値が良好に一致することを確認した。
- ・低硫黄 A 重油及び低硫黄 C 重油を用いて BC・PM 計測を行い、高硫黄 C 重油の場合と比較した結果、BC 排出量が燃料硫黄分と直接関係しないことを明らかにした。

【排ガス処理技術の高度化及び統合型排ガス監視システムの開発】

- ・2009 年 3 月より実船試験を行ってきた SCR 脱硝システムを撤去し、最終段階で搭載していた数種類の触媒の性能劣化状況を確認した。8 年間にわたる長期実船試験の状況を取りまとめた。
- ・SOx スクラバに関する昨年度までの調査結果等に基づき、699GT 内航貨物船に対応する SOx スクラバの搭載可能性を検討した。スクラバの脱硫性能や設置スペースのほか、洗浄水ポンプの仕様や消費電力、洗浄水の船外排出等の技術課題を抽出・整理した。

【次世代燃料の燃焼性評価手法の確立】

- ・SOx 規制に対応する方法として、芳香族成分を多く含むが硫黄分の比較的低い LCO (分解軽油) が、重油中により多く混合されることが予想されることから、燃料企画での着火性指標であるセタン指数に対して、LCO 含有の有無が燃料着火性に与える影響を調べた。その結果、LCO の有無と着火性にはほとんど相関がなく、セタン指数による評価を行えば良いことを確認した。構築した蒸発モデルを用いて、セタン指数の異なる実在燃料の蒸発性を再現できることを示した。

平成 29 年度の研究成果

【船舶から排出される PM 計測技術の確立及び環境影響評価技術の高度化】

- ・当所所有の実験機関において 2 台の PM 計測装置の比較実験を行った結果、両装置により得られた PM 計測結果は非常に良く一致した（図 1）。
- ・船舶特有の PM 組成プロファイル及び PM 排出量データの作成の予備作業として、2016 年度を対象とした AIS に基づく船舶活動量（外航船・内航船）の集計及び解析を行った。

【BC・PM 低減技術実用化のための技術課題の解決と評価】

- ・エンジンの燃料噴射圧を上げることで、60~77%のBC削減効果があったが、PMについては2~3割の削減効果にとどまった。なお、噴射圧を高くすることでPMの増加が見られる条件もあり、これについては有機炭素及び炭素以外の成分の増加が主な要因であった。
- ・2種類のBC計測法による計測結果とPM中の元素状炭素(=BC)の熱分析結果とを比較したところ、エンジン形式やエンジン負荷率・燃料が異なっていても、BC計測器同士の計測値が良好に一致することを確認した。一方、BC計測器と熱分析の結果についても相関は高かったが、比例係数はエンジンや燃料によって変化した。
- ・ほぼ同じ硫黄分(0.5%未満)を含むA重油及びC重油を用いてBC・PM計測を行った。A重油に比べてC重油では、エンジン負荷率の低い時にBC排出量が顕著に増加した。なお、その排出量は高硫黄C重油(硫黄分2.2%)の場合と大きな違いではなく、BC排出量が燃料硫黄分と直接関係しないことを明らかにした。PM排出量についても、低負荷率時にはA重油よりC重油で増加したが、これは元素状炭素の増加を反映した結果であると考えられる。

【排ガス処理技術の高度化及び統合型排ガス監視システムの開発】

- ・SCR脱硝システムの実船試験において、最終段階で搭載していた触媒の性能劣化状況を評価した(図2)。SCR脱硝システムの撤去工事を行い、長期実船試験を終了した(図3)。
- ・699GT内航貨物船に対応するSOxスクラバの搭載可能性を検討した(図4)。既存のファンネルに設置可能なスクラバ本体の目標寸法や洗浄水ポンプを含めた海水管系統を提案した(図5及び図6)。

【次世代燃料の燃焼性評価手法の確立】

- ・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を対象とした燃焼実験を行い、LCO混合の有無に関わらず着火性指標(セタン指数)に対する着火遅れの関係に相違がないことを明らかにした(図7)。着火性改善手法である燃料の分割噴射(パイロット噴射)によって着火遅れは短くなるが、その場合でもLCO混合の有無による影響は見られない。すなわち、着火性に関してLCO特有の問題はなく、セタン指数によって評価することが可能であり、より詳細な着火性については、含有される炭化水素の分子構造等によって評価されるべきであると考えられる。
- ・実用燃料に適用可能な蒸発モデルを構築し、現行着火性指標(新セタン指数)が等しい燃料における蒸発速度を比較した(図8)。図8より、本モデルによって燃料による差異を評価できていることが分かる。さらに、作成した蒸発モデルにより予測された燃料成分による蒸発性と着火性指標(セタン指数)の変化を調べた(図9)。図9より、船用燃料に相当するセタン指数45以下の領域になると、燃料成分によって蒸発時間が異なってくることが分かる。これは、燃料が着火するまでの時間を「蒸発」と「反応」に分けて考えると、蒸発時間の長い燃料はそれだけ反応時間が短いことを示唆している。また、船用燃料は同一のセタン指数となっても様々な燃料成分によって作成できることを示している。

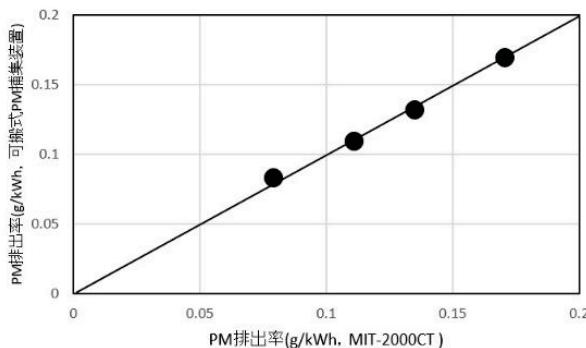


図1 PM計測装置2機によるPM排出率の比較結果

[横軸：エフテクノ製PM計測装置(MIT-2000CT)
縦軸：可搬式PM捕集装置]

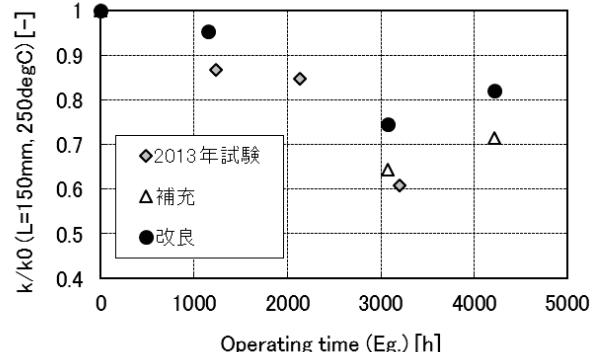


図2 触媒の性能劣化状況
(排ガス暴露時間：約4,200時間)

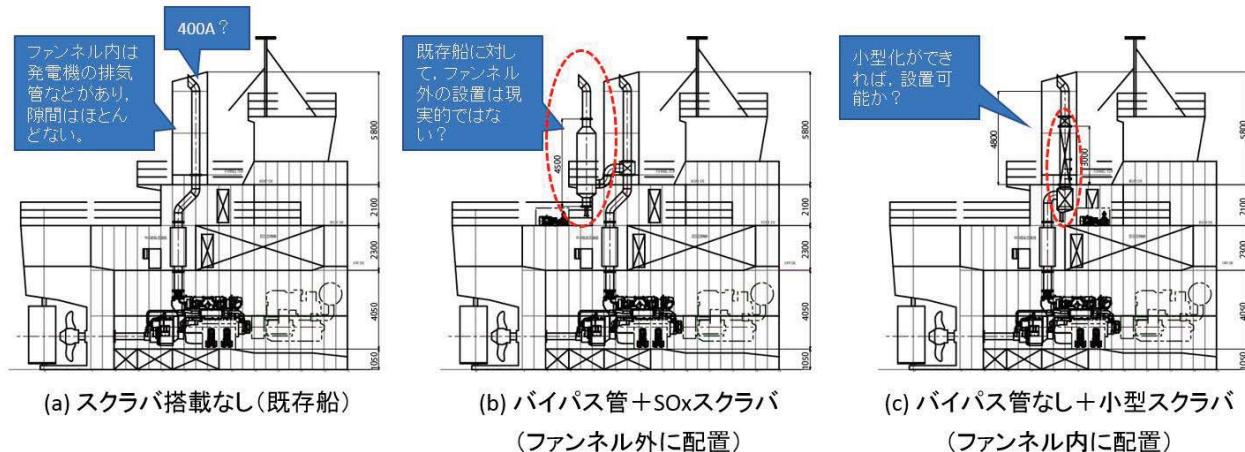


図4 SOxスクラバの搭載可能性に関する検討（対象船：699GT 内航貨物船）



図3 SCR脱硝システムの撤去工事の様子

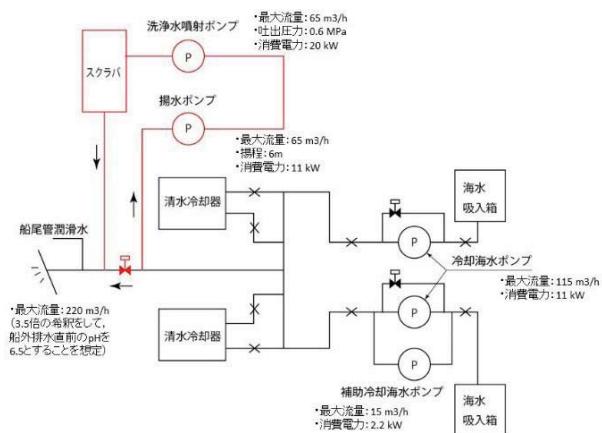


図6 海水管系に関する検討結果

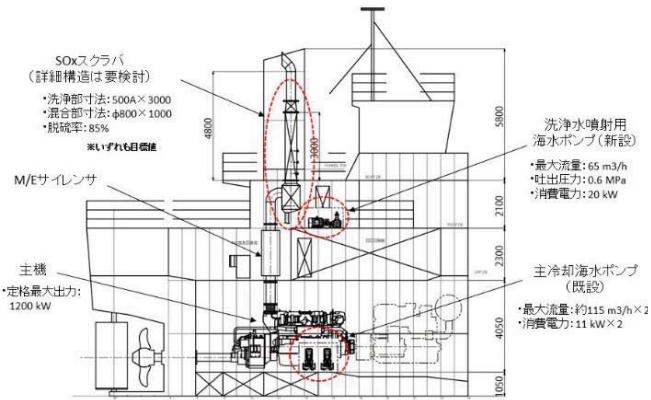


図5 SOxスクラバの目標寸法と仕様

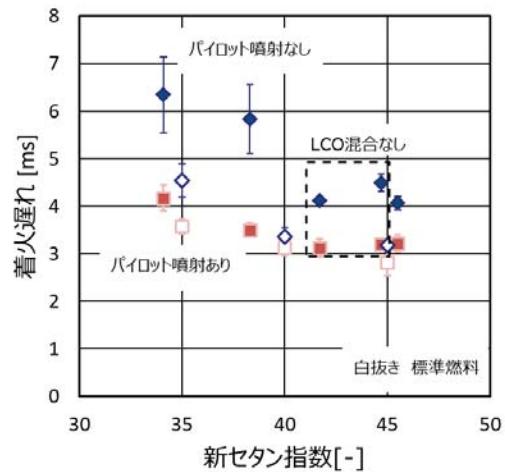


図7 LCO混合の有無による着火遅れへの影響

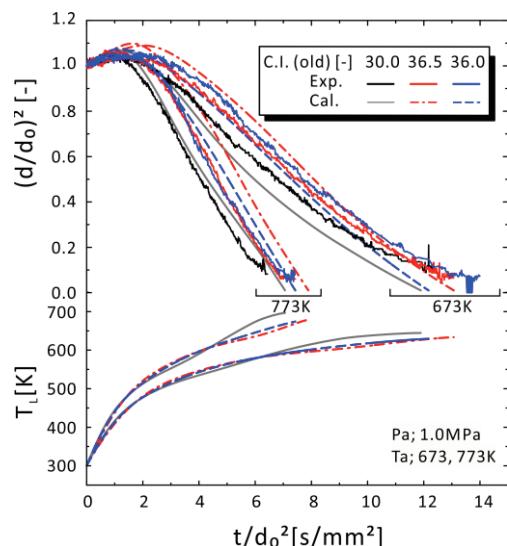
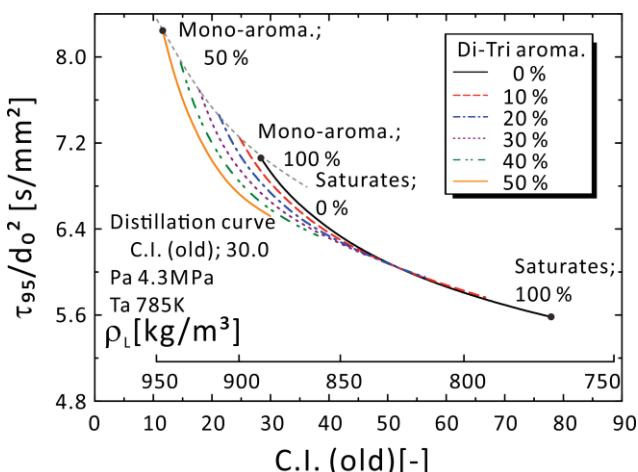


図 8 蒸発特性の実験との比較

図 9 燃料成分が蒸発時間に及ぼす影響
(液滴直径の減衰と液滴温度)

成果の公表

【出願特許】1件

- 1) 栗原、西尾、岸、特許案「排ガス規制に対応した運転を行う船舶、及び船舶の排ガス規制に対応した運転方法」、2018年3月出願予定

【プログラム登録】1件

- 1) 分子運動論に基づく船舶燃料の単一燃料蒸発解析プログラム

【発表論文】15件

○ジャーナル

- 1) 大橋、城田、中村ほか、舶用ディーゼル機関から排出されるPMの分析事例-大気質シミュレーションへの適用、日本マリンエンジニアリング学会誌、第52巻、第6号、pp.778-787 (2017) [第43回日本マリンエンジニアリング学会論文賞受賞]
- 2) 高木、今井、分解軽油の着火性に及ぼすパイロット噴射の効果、自動車技術会論文集（投稿中）
- 3) 高木、今井、燃料着火性とパイロット主噴射の干渉がディーゼル噴霧の着火・燃焼性に及ぼす影響、日本機械学会論文集（投稿中）

○その他

- 1) 城田、横井、大橋ほか、Elaboration of PM emission data from ships for Community Multi-scale Air Quality Modeling System (CMAQ)、ISME2017、(2017)
- 2) 中村、大橋、益田ほか、サーマルオプティカル法による舶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58回大気環境学会年会予稿集、(2017)
- 3) 高橋、Effect of Heavy Fuel Oil Blending Components on Combustion Properties、ISME2017、(2017)
- 4) 益田、中村、高橋ほか、Determination of Black Carbon Concentration from Marine Diesel Engines by Multi-Instrumental Measurements、ISME2017、(2017)
- 5) 中村、大橋、益田ほか、Influences of Engine Type and Fuel Grade on Compositional Characteristics of Particulate Matter Emission from Marine Diesel Engines、ISME2017、(2017)
- 6) 内藤、橋本、高木ほか、高温高圧下における低着火性燃料液滴の蒸発特性に関する実験的研究、日本機械学会、2017年度年次大会講演論文集、G0600106
- 7) 内藤、橋本、高木ほか、分解軽油(LCO)液滴の蒸発特性に関する実験的研究、日本機械学会、北海道支部55回講演会講演論文集、(2017)
- 8) 高木、川内、今井ほか、液滴蒸発モデルを用いた実在燃料のセタン指数と蒸発性に関する数値解析、自動車技術会、第28回内燃機関シンポジウム講演要旨集、pp.71、(2017)
- 9) 城田、解説 グローバル・キャップに関する規制動向、vol.52、No.4、pp.63、(2017)
- 10) 高橋、国際海事機関におけるSOx規制強化と代替技術としての舶用スクラバについて、日本防錆技術協会、防錆管理、vol.61、No.8285-292、(2017)
- 11) 高橋、林、中村ほか、解説 舶用燃料油の動向とブラックカーボン・PM排出に与える影響、日本マリンエンジニアリング学会誌、vol.52、No.4、pp.88-93、(2017)
- 12) 益田、高橋、中村ほか、舶用ディーゼル機関からのブラックカーボン排出削減技術の検討、第17回海上技術安全研究所研究発表会、(2017)

主な評価軸に基づく自己分析

◎成果・取組が國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。

- ・2020年に導入されるグローバル・キャップについては、その実施に対して関連業界団体より懸念する声が出ている。本研究では、こうした懸念を払拭すべく、燃料・船用機器メーカー等と協力の下、将来普及される可能性のある燃料の燃焼性について、早い段階から実験と理論の両面から取り組んでおり、着実な成果を上げつつある。
 - ・燃料中硫黄分規制に関する燃料着火性の影響について、燃料作成手法の懸念（LCO の多量混合）に対して、LCO 特有の問題が着火性については生じないことを示した。この成果は、社会的価値（安全・安心の確保）に資する結果に該当する。
 - ・船舶由来の PM 計測技術の確立、BC・PM 低減技術実用化のための技術課題の解決と評価、排ガス処理技術の高度化及び統合型排ガス監視システム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。
- ◎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。
- ・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。
 - ・環境影響評価技術の高度化の一環として実施中の「船舶特有の PM 組成プロファイル及び PM 排出量データの精緻化」については、過去に検討例がなく、大気質シミュレーションの精度向上に貢献し得るという観点から、特に大気環境学の分野への寄与が大きい。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- ・本研究では、2020年に導入されるグローバル・キャップに対する懸念を払拭すべく、燃料・船用機器メーカー等と協力の下、将来普及される可能性のある燃料の燃焼性について、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、規制導入前に十分な情報発信が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。
- ・本研究は、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)
--------------	---------------

□本研究は、舶用燃料油のグローバル・キャップ規制の 2020 年開始や、現在 IMO で議論されている BC 削減問題に伴う様々な技術的課題に対して、國の方針及び国際動向と歩調を合わせて実施中の課題である。将来普及される可能性のある低硫黄燃料を対象とした実験を迅速に実施し、懸念される燃焼性や BC・PM 排出低減効果に関して多数の成果をあげており、特に、國民の安全・安心の確保、環境負荷の低減の観点から見た社会的価値が極めて大きい。

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	8. 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
--------------	---

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。	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p> <p>- IMOにおける温室効果ガス（GHG）の排出削減に関する包括的な戦略の採択やグローバルキヤップ規制の導入など、2020年より次世代環境規制が本格化することを見据え、民間等とも協力し、実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトを立ち上げ、研究の加速を図る。本年度は、実船の性能を就航時のモニタリングデータから評価推定する手法の確立等を実施する。</p> <p>等</p>

研究の背景

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン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、

- 最適(エコ)運航システム開発
- 実燃費評価技術の開発

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
 - 高度化した海象適用航法 (WAN)のシミュレーションツールを開発
 - 実運航の燃費評価、運航技量評価方法を確立
 - 実燃費を低減させる技術を運航・設計に活用する手法を構築
- 上記成果は、合理的なM R V規制により、より省エネ運航が可能となり、G H Gの削減が図られることが期待される。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なり得る。

平成 29 年度の研究内容

- 実船モニタリングデータにより、平水中速力・出力・回転数カーブを求める手法を開発する。
- 現在の試運転海域に波・風・流れを直接計測するセンサーを設置することにより、試運転実施の効率化、解析の高精度化の検討を行う。
- 波浪中船尾流場評価法の開発のためにベンチマーク試験を実施する。
- 波浪中抵抗増加と水面上形状の関係を調査するため、肥大船の波浪中抵抗増加を低減する COVE 形状を対象とした水槽試験を行う。
- 水槽試験の精度向上を目的に、実海域再現水槽の計測自動化を行う。
- 風の CFD 計算を行い風洞試験と比較する。
- 一般商船船型の模型を用いた氷海試験、曳航水槽で低速過負荷試験を実施する。
- 衛星 AIS データ分析を行う。
- 実船モニタリングデータよりベストプラクティス要件を抽出する。

平成 29 年度の実績

- 実船モニタリングデータによる逆算解析法を実施し、排水量変化を考慮した平水中速力・出力・回転数カーブを求める手法を開発し、それに関するプログラム登録を行った。また、実船モニタリングデータからの外乱修正法の検討を行い、プログラム登録を行った。
- 試運転海域への設置に適した海上ブイ・センサーの技術調査を実施した。また、携帯型船体運動計測システムをプログラム登録。
- 波浪中船尾流場評価法の開発のため、大型／中型模型船によるベンチマーク試験を実施し、波浪中自航要素の波向影響データの取得を行った。また、μバブル PIV システムにより船尾流場可視化試験を行い、撮影した船長－深さ面データを幅方向に複数断面取得することで幅－深さ面データの解析を行い、プロペラ面内流場の定性的評価を可能とした。
- 波浪中抵抗増加と水面上形状の関係を調査するため、COVE 形状を対象とした水槽試験を行い、甲板面積確保などの実用船型開発の検討を行った。
- 実海域再現水槽での曳引車－造波機の連接システムを開発し、計測自動化を行った。
- 4 船種を対象とした風洞試験を実施し、風の CFD 計算との比較データを取得した。
- 氷海水槽におけるパラメータ試験で、氷中抵抗モデルの一般商船船型に適合する改良方針を得た。また、400m 水槽における低速過負荷試験で、氷海用模型に適した乱流促進手法の評価用データを取得し、国際会議で発表した。
- 夏季北極海の衛星 AIS データ分析により、氷海実運航シミュレータの検証用データを取得した。氷中抵抗を推定するプログラムをプログラム登録。
- 実運航性能へのトリム影響評価を行い、論文投稿した。

平成 29 年度の研究成果

- 船社や船用メーカーなど水槽試験データや造船設計データ入手できない立場での実船モニタリングデータの解析法として、平水中性能データのデータフィッティングを基本とする逆算解析法を提案し、実海域実船性能評価プロジェクトにおいて希望する参加社にて解析作業を実施し、排水量修正法や経年劣化・汚損影響評価の検討を行った。また、実船モニタリングデータの解析法として、水槽試験データや造船設計データを用いた外力修正を行うことにより特定海象下での性能を評価する外乱修正法について検討を行い、外乱修正法が実船モニタリングデータの解析に有効な手法であることを示した（図 1）。
- 試運転実施解析法について、ITTC での推奨手法に当所の研究成果が反映された。世界初となる VLCC の EEDIweather 予備認証及びケミカルタンカーでの EEDIweather の最終認証取得に貢献した（図 2）。また、実運用で豊富な実績のある波浪ブイ計測システムのナウファスについて港湾空港技術研究所に調査を行い、係留方式や設置海域、ターゲットとする波高、データの陸上への伝送方式など運用に関する情報、ブイ設置のための初期投資費用、維持費用などコストに関する情報を得た。

□μバブル PIV 方式により 3 次元流場情報の解析を行った（図 3）。また、平水中荷重度変更試験結果を

ベースとし、実験回帰式により波向を含めた波浪影響を考慮できる波浪中自航要素評価法を開発した（図4）。

□実海域再現水槽の試験効率向上と精度向上のため水槽制御システムを改良し、計測装置・収録器との連動を加え計測自動化システムを搭載した（図5）。

□氷海水槽試験で得られたデータにより、氷中抵抗モデルのパラメータを改良した結果、一般商船船型について適合度が向上した（図6）。また、400m水槽で行った低速過負荷試験で、氷海用模型に簡単に設置除去できる乱流促進手法としてハマパッチを採用し、試験結果から通常のスタッドと同様の効果を持つことを確認した（図7）。

□衛星 AIS データの分析により、Arc4 クラスのバルクキャリア等の船速低下と氷況との関係を解析した（図8）。

□実運航性能シミュレーションの結果、船首トリムにより省エネが可能といわれるトリム運航は、載貨重量とのバランスによりエネルギー効率運航指標（EEOI）で運航性能を評価した場合にも有効な省エネ運航方法であることを示した（図9）。

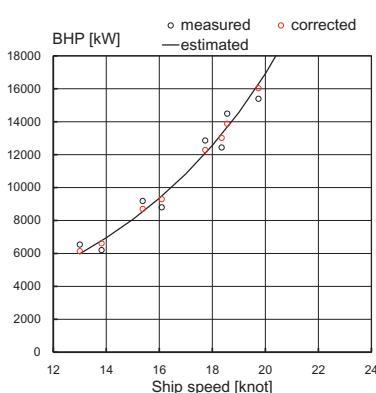


図1 外乱修正の例

世界初となる VLCC での
EEDIweather 予備認証での水槽試
験 (400m 水槽)ケミカルタンカーでの
EEDIweather 最終認証
(海上試運転)

図2 EEDIweather の認証取得

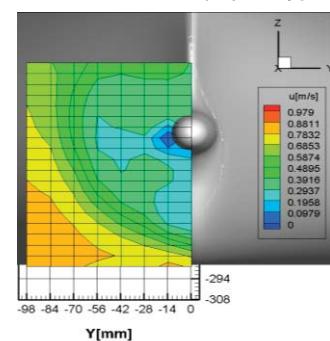
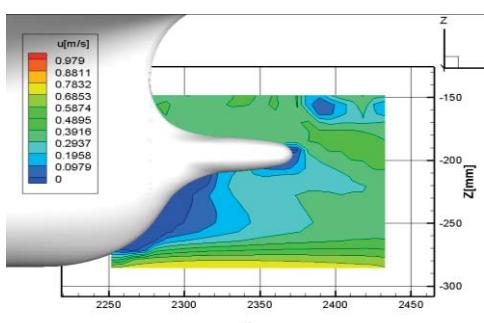


図3 船尾流場の解析（船長方向分布（撮影断面）、プロペラ面内分布）

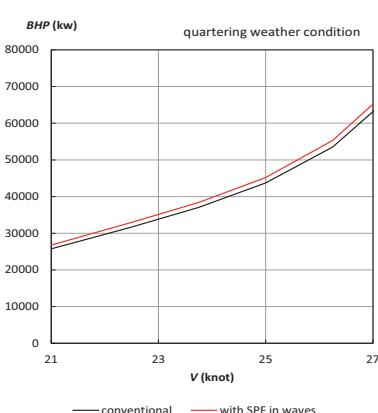
図4 波浪中自航要素考慮による主機
出力の変化（斜追波、斜追風）

図5 自動計測システム画面（実海域再現水槽）

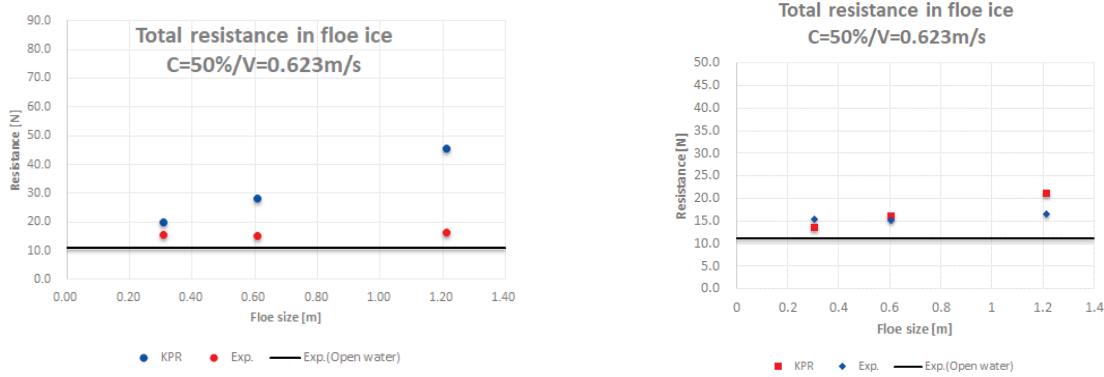


図6 氷中抵抗推定モデルと実験値の比較（左：従来モデル、右：改良モデル）

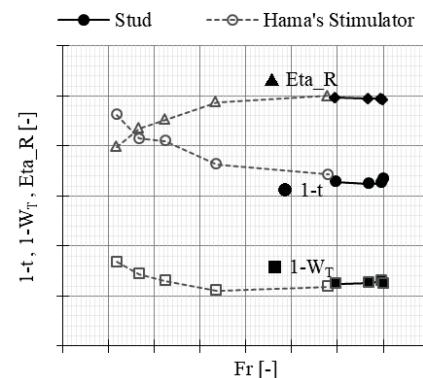


図7 ハマパッチの船首部への設置状況（左）とスタッドとハマパッチの自航要素の比較（右）

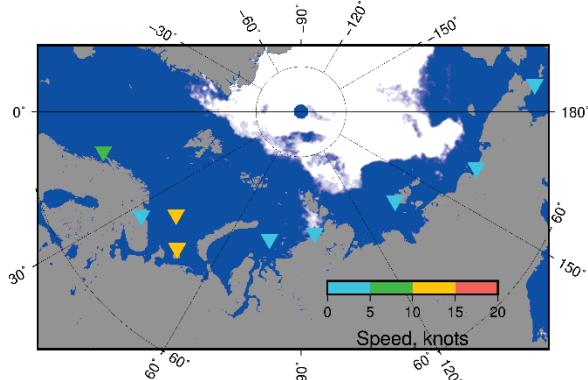


図8 2013年9月15日の衛星氷況（白）と衛星AISによる船舶動静（船速に応じて着色）

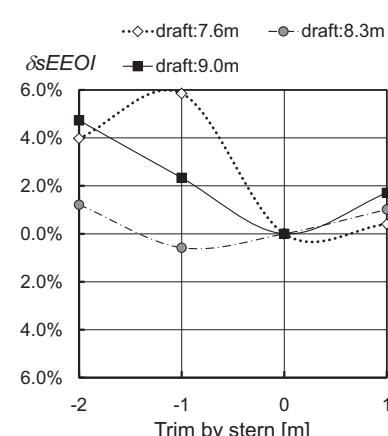


図9 EEOIへのトリム影響評価

成果の公表

□査読論文 6 件 :

- (1) N. Sogihara, M. Tsujimoto, R. Fukasawa, et al.: Investigation on Trim Optimization to Enhance the Propulsive Performance of Fine Ships, Journal of JASNAOE, Vol.27 (2018) (査読終了)
- (2) H. Ohba, K. Hoshino, M. Kuroda, et al.: Measurement of the Stern Field in Regular Waves by PIV Measurement System Using Micro-bubbles, Proc. of FLUCOM2017 (2017), #603 pp.1-9.
- (3) N. Sogihara, M. Tsujimoto, R. Fukasawa, et al.: Trim Optimization for Ship Performance in Actual Seas, Proc. of INT-NAM 2018 (2018), pp.551-564
- (4) M. Tsujimoto, T. Matsuzawa, K. Kume: Statistical Characteristics of Global Winds and Waves, Proc. of ISOPE 2018 (2018) (査読終了)
- (5) M. Tsujimoto, N. Sogihara, M. Kuroda, et al.: A Practical Prediction Method for Self Propulsion Factors in Actual Seas, Proc. of ISOPE 2018 (2018) (査読終了)
- (6) M. Kuroda, K. Takagi, M. Tsujimoto, et al.: The Effect of the Long-period Components of Added Resistance in Regular Waves, Proc. of NAV 2018 (2018) (査読終了)

□講演等 20 件 :

- (1) L. Mak and M. Tsujimoto: Monitor and review the state of the art for EEDI and EEOI prediction and determination methods, Proc. of 28th ITTC conference, Vol.2 (2017), pp.450-456
- (2) M. Tsujimoto, K. Yamamoto, H. Yasukawa, et al.: Analysis of Speed/Power Sea Trial Results, Proc. of 28th ITTC conference, Vol.2 (2017), pp.461-476
- (3) M. Tsujimoto and G. Grigoropoulos: Explore Ship in Service Issues, Proc. of 28th ITTC conference, Vol.2 (2017), pp.482-485
- (4) T. Matsuzawa: Recent Works in NMRI, Report of 29th ITTC/ICE committee #1 (2018), pp. 1-8
- (5) T. Matsuzawa: Power estimation of NSR going ships, Special Seminar on Arctic Research Today and Future, (2017), pp.1-10
- (6) R. Fukasawa, T. Matsuzawa, D. Wako: Effect of Hama's Stimulator of a Model Ship for the Ice Model Basin on Performance Prediction, Proc. of 33rd Int. Symp. on Okhotsk Sea and Sea Ice (2018), pp. 1-4
- (7) 松沢孝俊, 下田春人, 若生大輔他 : 一般貨物船型に適した氷中抵抗モデルの開発, 日本船舶海洋工学会講演会講演会論文集, 第 26 号 (2018)
- (8) 辻本勝 : 三鷹オーブンイノベーションリサーチパークー海事クラスター共同研究—実海域実船性能評価プロジェクト, バリシップ 2017 (2017)
- (9) 辻本勝 : 実海域性能向上に向けて、バリシップ 2017 海上技術安全研究所セミナー (2017) , pp.1-15
- (10) 辻本勝 : 実海域性能向上への取り組み—実海域実船性能評価プロジェクト—, 第 17 回海上技術安全研究所研究発表会 (2017) , pp.1-12
- (11) 辻本勝 : 実海域実船性能プロジェクトについて, 第 74 回実海域推進性能研究会 (2017) , pp.1-12
- (12) 大場弘樹, 星野邦弘, 辻本勝 : マイクロバブルをトレーサに用いた PIV 計測法—波浪中の省エネ付加物の影響—, 第 74 回実海域推進性能研究会 (2017) , pp.1-13
- (13) 粉原直人, 櫻田顕子, 黒田麻利子他 : 実運航性能評価のための船速一回転数一主機出力関係のモデル化, 第 74 回実海域推進性能研究会 (2017) , pp.1-16
- (14) 辻本勝 : ITTC28 期総会報告, 第 75 回実海域推進性能研究会 (2017) , pp.1-14
- (15) 星野邦弘 : 特別講演 : 水槽試験技術 第 1 部 : 水槽試験および実船の計測技術について、第 2 部 : 円筒構造物の流力振動, 第 75 回実海域推進性能研究会 (2017) , pp.1-72
- (16) 黒田麻利子 : 不規則波中抵抗増加の長周期変動について, 第 75 回実海域推進性能研究会 (2017) , pp.1-33
- (17) 黒田麻利子, 辻本勝, 星野邦弘 : 実海域再現水槽の計測自動化について, 第 75 回実海域推進性能研究会 (2017) , pp.1-10
- (18) 辻本勝 : 外航海運の GHG 規制と技術的検討, 大阪大学工学部, 海事政策論講義 (2017)
- (19) 辻本勝 : 船舶の抵抗・推進, 東京大学大学院, 海洋環境学特別講義Ⅲ (2017)
- (20) 辻本勝 : 実海域推進性能～実海域船型学, HRC 研究会 (2018) , pp.1-35

□受賞 1 件 :

- (1) 日本船舶海洋工学会賞（論文賞）及び日本海事協会賞(2018)
櫻田顕子, 黒田麻利子, 辻本勝他 : 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) , pp.33-38 及び実運航性能評価における船速一回転数一主機出力関係のモデル化, 日本船舶海洋工学会論文集第 25 号 (2017) , pp.39-46

□博士学位取得 1 件 :

- (1) 黒田麻利子 : 不規則波中抵抗増加の長周期変動に関する研究, 博士（環境学）, 東京大学大学院新領域創成科学研究科 (2017)

□国際基準策定への貢献 (ITTC 推奨手法) 1 件 :

- (1) ITTC Recommended Procedures 7.5-04-01-01.1 -Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials-(2017)

□プログラム登録 4 件 :

- (1) UNITAS (船体パラメータ及び船体性能推定プログラム) V3
- (2) CROW (外乱修正プログラム)
- (3) SOMEREC (携帯型船体運動計測システム)
- (4) ICE モジュール Ver.1.0

□プレス発表・公開実験 6 件 :

- (1) 実海域実船性能評価プロジェクトでの国内外持ち回り試験で使用する模型船を使用した波浪中自航試験を公開 (2017 年 6 月 9 日)
- (2) 実海域性能プロジェクトの発足について (2017 年 5 月 12 日)

- (3) VLCC で世界初、EEDI の実海域係数 (EEDIweather) の予備認証に関する鑑定書取得－海技研の 400m 水槽で実施－（2017 年 5 月 15 日）
- (4) EEDI の実海域係数 (EEDIweather) で最終認証に関する鑑定書取得－37 型ケミカルタンカーが竣工、GHG 削減を促進－（2017 年 5 月 17 日）
- (5) 実海域実船性能評価プロジェクトの参加募集の開始について（2017 年 6 月 5 日）
- (6) 実海域実船性能評価プロジェクトの開始について（2017 年 10 月 31 日）

主な評価軸に基づく自己分析

- ◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
- 日本海事クラスターの国際競争力強化の取り組みとなる実海域実船性能評価プロジェクトを提案し、25 社（船社、造船所、プロペラ・舵メーカー、ガバナーメーカー、塗料メーカー、気象コンサルタント、船級協会、研究所）の参加を得て開始した（研究期間 3 年間）。
- 海上試運転実施・解析法の ITTC の推奨手法の策定に貢献し、推奨手法に当所の研究成果が反映され、海上試運転での波浪修正等、合理的な実施が可能となった。また、当所が取り組んできた EEDIweather (IMO で定められた実海域を考慮した船舶の燃費性能指標) について、VLCC 船型で初めてとなる予備認証、ケミカルタンカーでの最終認証の鑑定書取得に協力し、民間での普及に努めた。
- 2018 年からヤマルプロジェクト向け LNG キャリアの運航に本邦船社が参加することになり、北極海航路の安全かつ経済的な最適運航を目指すために、一般商船船型の氷中性能評価に対する需要の高まりがあり、当所の研究が貢献できる。
- これらの研究は技術者・大学等での講演を通じて普及に努めている。
- ◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
- 実船モニタリングでの逆算解析法は設計情報が無くても実船モニタリングデータを解析できること、排水量修正の新たな方法が入っていることなど、これまでに当所以外で実施例がなく、汎用性も高い。
- 一般商船を対象に改良された氷中抵抗モデルはこれまでになく、氷海水槽試験に基づいてその改良の指針を示した点で意義が大きい。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- 海事クラスター共同研究実施の機運に対し、速やかに実海域実船性能評価プロジェクトの立ち上げを行うことが出来ている。
- ヤマルプロジェクト向け LNG キャリア全 15 隻は 2017 年からデリバリーが始まり、当面の期間建造・就航が繰り返される。これを対象に民間気象会社が北極海での最適航路提供サービスを目指しており、本研究はそのニーズに時期的にもマッチしている。
- ◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
- 実船モニタリングデータに基づいた実船性能評価技術の開発であり、高精度かつ世界に類を見ない解析法であるため、船社、造船所等の国際競争力の向上に寄与する。
- ヤマルプロジェクト向け LNG キャリアは、Arc7 という高い氷中航行能力を持つつ、大型かつ LNG という纖細な貨物を輸送する船を北極海で通年運航する点で、今までに全く類を見ない新しい案件であり、世界から注目されている。当所を含む本邦の研究機関では、これをプラットフォームとする氷中航行支援プロジェクトを進めており、本研究内容が活用されることで、世界でも最先端の支援システムが完成する。
- ◎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。
- 本研究は現在のところ萌芽的な内容を含まない。

研究主任者による自己評価	S
--------------	---

□実海域推進性能評価法、実船モニタリングデータ解析法といったこれまでの当所での実海域性能に関する研究に対して、実海域実船性能評価プロジェクトを提案し、日本海事クラスター 25 社の参加につながったため S と評価した。

研究計画委員会による評価	S
--------------	---

□

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	9. 水槽試験を活用した舶用推進プラントの実海域自動適応制御技術開発に関する研究	
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。	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p> <p>- IMOにおける温室効果ガス（GHG）の排出削減に関する包括的な戦略の採択やグローバルキャップ規制の導入など、2020年より次世代環境規制が本格化することを見据え、民間等とも協力し、実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトを立ち上げ、研究の加速を図る。本年度は、実船の性能を就航時のモニタリングデータから評価推定する手法の確立等を実施する。 等</p>

研究の背景

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン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、

- 多様化する推進プラントの船舶での実海域性能を踏まえた最適設計パラメータを決める推進プラントのシステム設計技術の開発
- 運航状況に応じた推進プラントパラメータの実海域自動適応によるスマートパワー制御技術の開発

研究目標

- 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
- 実海域環境下を運航する船舶の推進プラント応答計算法の開発
- 推進プラントの数学モデルと実船計測による推進プラントのパラメータ同定技術の開発
- 推進プラントの基本設計ツールの開発

□ 運航状況に応じた舶用推進プラントの実海域自動適応によるスマートパワー制御技術の開発

上記成果は、推進プラントの実海域性能向上により省エネが実現され、GHGの削減、EEDI規制の着実な実施が期待される。また実海域での性能を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強化へとなり得る。

平成 29 年度の研究内容

(小項目 1) 実機に忠実な推進プラントの数学モデルの研究開発

(第3期に開発したサイクル平均(CMV)モデルに平成28年度に改良を加えたモデル、以下では標準モデルと書く)を、さらに実機に忠実なモデルに改良することと、革新的なエンジン制御を組み入れて、実海域におけるエネルギー効率を高めるケーススタディーが出来るようになる。このため、下記3点を目標とする。

- 実海域における短期の波、風による負荷変動の過渡状態や大気環境の変化等の定常状態における燃費推定がより精度よく出来るように標準モデルを改良する。
- 革新的なエンジン制御システムを検討するために、エンジンデータ取得のオブザーバーを開発し、実機テストエンジンでテストする。
- 実機テストエンジンの陸上運転を利用して、エンジンシミュレータの検証を行う。

(小項目 2) 波浪中を航走する船舶の推進プラント応答計算法の開発

□ 航走する船舶の推進プラントの波浪中応答計算コードの開発について、プロペラトルク変動をより精度良く推定するため、波浪中プロペラ有効流入速度モデル中の船体運動成分の推定法を高度化する。また、船体横運動によるプロペラトルクへの影響を実験結果等を基にして検証し、適宜モデルの高度化を図る。更に本計算コードの外部展開を見据えたプログラム登録について検討を行う。

□ 実船主機特性を模擬できる主機特性自航装置を用いた水槽試験法について、斜航状態に対応できるように方法論を拡張すると共に、最低出力規制が対象となる海象下や想定船・小型主機を対象に本試験法による試験を実施して波浪中主機応答や推進性能の評価を行う。

(共通)

□ 本研究課題によるアウトカムを最大化するため、民間企業等に本課題のPRを行って共同研究の展開を模索する。

平成 29 年度の実績

(小項目 1) 実機に忠実な推進プラントの数学モデルの研究開発

□ エンジン標準モデルはサイクル平均モデル(CMVモデル)であったが、燃費等のエンジン性能をよりよくシミュレートするために、統合エンジンモデル(CMVモデル+Wiebe燃焼モデル)を検討し、その一部のWiebe燃焼モデルを開発した。

□ 革新的なエンジン制御に必要なカルマンフィルターオブザーバーを開発した。実機テストの前に昨年度に開発したHardware in the Loop test benchでテストし、エンジン性能状態の観測のみならず、計測されていないプロペラトルク変動もうまく観測されることがわかった。

□ 統合エンジンモデルの開発するためには掃気圧や回転数等のエンジン性能と掃気効率と燃料消費率(燃費)の相関を実機において計測し確認することが必要である。このため大型2ストローク機関を利用して実験を行いし、エンジン状態を計算できるようになった。統合エンジンモデルを組み入れたオブザーバーの実機検証テストは次年度に行う予定。

(小項目 2) 波浪中を航走する船舶の推進プラント応答計算法の開発

□ プロペラトルク変動の推定に重要な船体縦運動の計算精度を高めることを目的として、波浪中船体運動を推定できる計算法であるストリップ法について通常は考慮されない船体長さ方向の船体表面法線ベクトルを考慮した定式化を行い、この計算手法による計算結果を実験結果と比較することで有効性を確認した。これにより、船体運動をより精度良く推定できることになり、開発している波浪中推進プラント応答計算コードがより精度良くプラント応答を計算できるようになった。

また、プロペラへ横方向から流れの流入が在る場合のプロペラ特性について実験的に検証を行った。そして、斜波・横波中の模型船自航試験を実施し、特に斜め追波中でプロペラトルク変動が最も激しくなる等、トルク変動と波条件・船体運動条件の関連性について多くの知見を得た。これらの実験結果を基に船体横運動の影響も考慮できるプロペラ有効流速モデルに関する検討を行う予定であったが、実験結果の詳細解析が現在も継続中であり、モデル作成は次年度予定となる見込みである。

そして、本計算コードを外部展開する検討として、入力データ等の仕様、必要な出力項目、次年度以降に検討を進める推進プラントシステム基本設計ツールへの引用、について検討を行った。

□主機特性自航装置を用いた水槽試験法は実船と同じ航走状態を模型船で再現させることができる試験法であるが、直進航走状態を前提として方法論が構築されているため、斜波・横波中航走時に誘起される斜航状態でも試験法を適用できるよう実船相当の舵効きを与えられるよう舵角を制御する試験法の拡張を行った。そして、この拡張法の検証のため水槽試験を実施し、想定通りの制御が行えたことを確認した。一方、最低出力規制を想定した供試船・小型主機を対象にした水槽試験による性能評価の検討は、後述の共同研究展開の検討との兼合いもあり、本年度の実施は見送った。

(共通)

□本研究課題の知見を活かした外部との共同研究展開を模索するため、民間企業(2社)を訪問して研究PRを行った。この内、主機ガバナーメーカー(N社)と協議を続け、平成30年度より共同研究を開始できる目途が立った。(現在、実施内容の詳細を協議中)

平成29年度の研究成果

- (小項目1) 実機に忠実な推進プラントの数学モデルの研究開発
 - エンジン状態のオブザーバーの開発。
 - エンジンモデルに燃焼モデルを組み入れ高度化。
 - 大型2ストローク実験機関を利用して実験を行い、掃気効率と燃料消費率（燃費）の相関を確認。
- (小項目2) 波浪中を航走する船舶の推進プラント応答計算法の開発
 - 波浪中推進プラント応答計算コードの計算手法の高度化
 - 主機特性自航装置を用いた水槽試験法を拡張して斜航状態へも対応可能にした

(共通)

- 民間企業との共同研究開始見込み(1件)

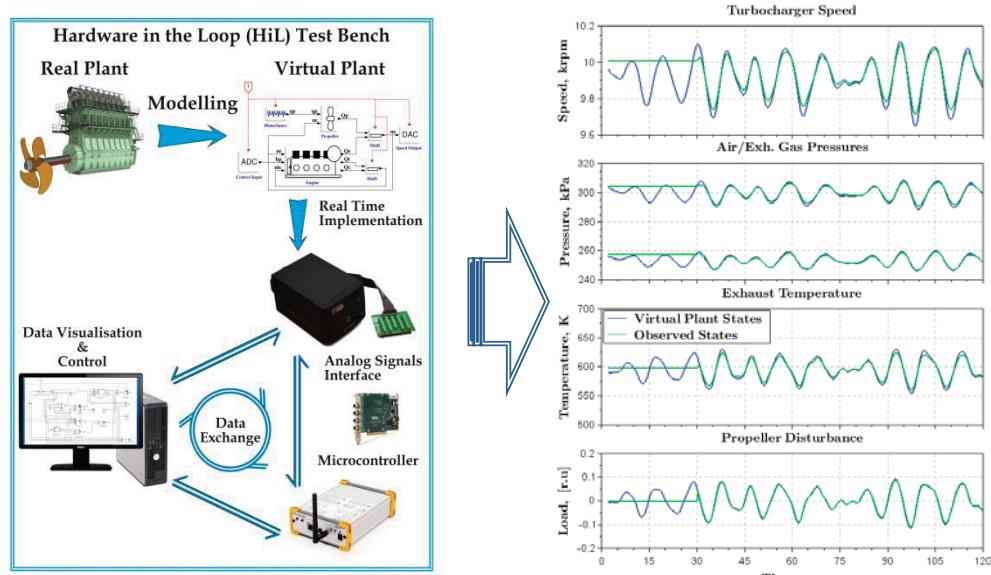


図1 HIL Test bench を用いたエンジン状態オブザーバーの動作確認

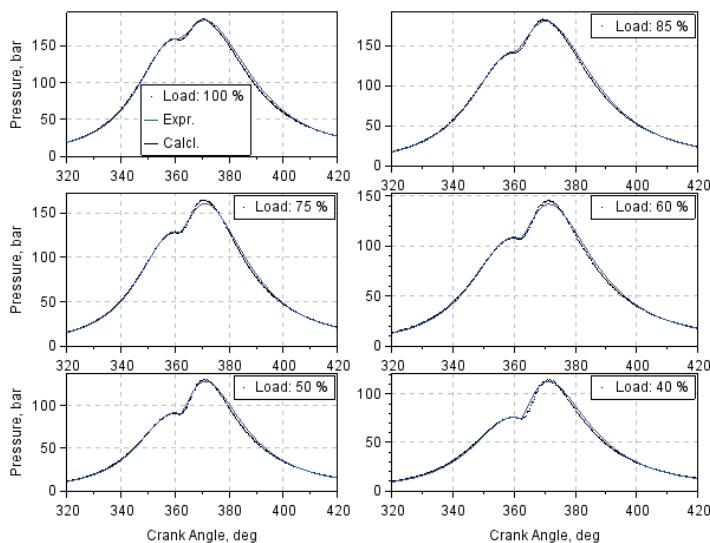


図2 Wiebe 関数を用いた燃焼モデルによる計算値と実験値の比較

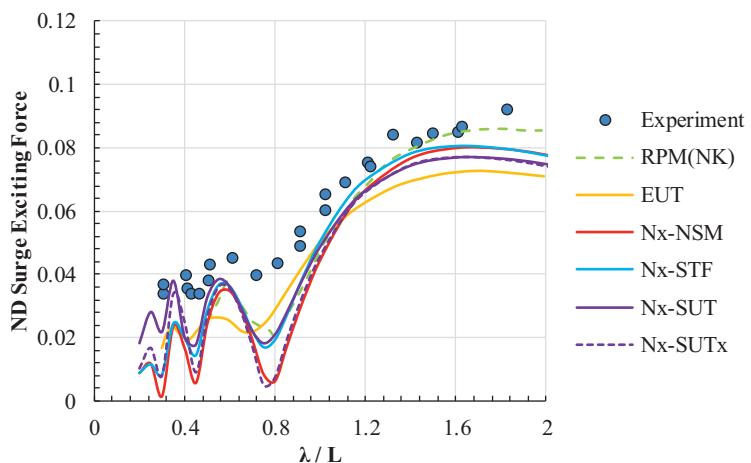


図3 新たに定式化したストリップ法による前後方向波浪強制力の計算例（点は実験点、"Nx-"と付く結果が新たに提案した各種計算法、Nx-SUT の結果が短波長域で実験結果と良好に一致している）

成果の公表

□査読付論文 件数:2

- (1) Yasushi Kitagawa, Oleksiy Bondarenko, Yoshiaki Tsukada, et al. : 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), pp. 82–88.
- (2) Oleksiy Bondarenko and Tetsugo Fukuda : Intelligent Air Management for Ultimate Flexibility of Ship Propulsion Plant Operation - 1st Report : Experiment and Simulation, Journal of JIME, Vol. 53 No. 3, (2018), pp. 75–81.

□査読付プロシードィング 件数:2

- (1) Yasushi Kitagawa, Oleksiy Bondarenko, Yoshiaki Tsukada, et al. : An Application of the Tank Test with a Model Ship for Design of Ship Propulsion Plant System, Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (ISME2017TOKYO), (2017), pp. 278–283.
- (2) Oleksiy Bondarenko and Tetsugo Fukuda : Intelligent Air Management for Ultimate Flexibility of Ship Propulsion Plant Operation - 1st Report : Experiment and Simulation, Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (ISME2017TOKYO) , (2017), pp. 272–277.

□講演等 件数:6

- (1) 北川泰士、塚田吉昭：波粒子運動が波浪中プロペラ推力及びトルクに与える影響に関する実験的研究、第7回推進・運動性能研究会に於いて、(2017).
- (2) 北川泰士、塚田吉昭：波粒子運動が波浪中プロペラ推力及びトルクに与える影響に関する実験的研究、第74回実海域推進性能研究会に於いて、(2017).
- (3) Bondarenko Oleksiy, Fukuda Tetsugo and Kitagawa Yasushi: Ship Propulsion Plant Control - Present and Future Challenge, 日本内燃機関連合会講演会に於いて、(2017).
- (4) 北川泰士、柏木正：船体長さ方向法線ベクトルを考慮したストリップ法による波浪中船体運動計算法について、第9回推進・運動性能研究会に於いて、(2018).
- (5) 北川泰士、塚田吉昭、Bondarenko Oleksiy、他：主機応答特性を考慮した水槽模型試験法による実海域推進性能の評価と主機設計の検証、2017年度RIOS研究会に於いて（依頼講演）、(2018).
- (6) Yasushi Kitagawa and Masashi 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).

□海技研報告 件数:0

なし

□特許出願 件数:2

- (1) エンジン状態観測器を用いたエンジン制御方法、エンジン制御プログラム及びエンジン制御装置（整理番号 17P123KG）
- (2) 燃料供給制御方法及び燃料供給制御システム（整理番号 18P044KG）

プログラム登録 件数:1
 (1) Wiebe 関数のパラメータ自動同定プログラム

プレス発表・公開実験 件数:0
 なし

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。

□EEDI 規制の導入により船舶の実海域性能の向上は益々重要になるが、本研究課題における主機性能向上のための取組や主機特性を高度に考慮できる船舶性能評価法に関して得られる知見は、国内の造船業・主機メーカーの競争力強化に資するものであり社会的価値の創出に十分貢献できる。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□本研究課題で開発している主機特性までを考慮して実船性能を評価できる水槽試験法の研究はこれまで各種受賞を受けており学術的新規性は高く、本年度の成果でこの方法論を拡張できた事による科学的な意義は十分に高いと言える。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□主機特性まで含めて船舶性能を評価できる手法（計算コードや水槽試験法）が開発されていることは、昨今の EEDI 規制導入による実海域性能向上のニーズに即していると言える。また、本課題の知見を活用して民間企業との共同研究が開始されようとしていることも研究成果が適切な時期に創出されていることの証左と言える。

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

□船舶の主機特性と波浪中流体力特性までを連携させた取組みは世界的に見ても例が少ないため十分に大きな意義があり、前述の通り国際競争力の向上に資すると考えられる。

◎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。

□主機特性自航装置を用いた水槽試験法が斜波や横波中を問わずあらゆる方向から来る波に対応できるようになったことは、近い将来に検討すべき最低出力規制が問題となる海象下に於いても本試験法の適応が可能となるため、先見性を持って研究開発に取り組めていると言える。

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□当初の目標としていた研究計画は概ね達成できた。当初の想定よりも、多くの論文数、特許申請 2 件およびプログラム登録 1 件を達成できた。さらに、民間企業との共同研究開始の見込みも立ち、顕著な研究成果を上げられたと言えるため A 評価とした。

研究計画委員会による評価	A
--------------	---

□

研究開発課題	(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	10. 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。	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p> <p>- IMOにおける温室効果ガス（GHG）の排出削減に関する包括的な戦略の採択やグローバルキャップ規制の導入など、2020年より次世代環境規制が本格化することを見据え、民間等とも協力し、実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトを立ち上げ、研究の加速を図る。本年度は、実船の性能を就航時のモニタリングデータから評価推定する手法の確立等を実施する。 等</p>

研究の背景

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン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、

- 省エネ船の開発のベースとなる平水中抵抗・推進・操縦性能計算手法の開発および形状最適化システム構築
- 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シミュレーションへの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

研究目標

- 以下の特徴を有するソフトウェアの開発
 - 1.平水中における抵抗・推進・操縦性能計算が可能
 - 2.CAD、CFD、最適化手法を組み合わせて、船体や省エネ付加物等の形状最適化が可能
 - 3.実プロペラモデルと組合せ、実用的な形状を有するハイブリッド ESD に対する性能推定が可能
 - 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

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なり得る。

平成 29 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推進性能の計算手法を開発する。また、最新のメニーコアアーキテクチャである Xeon Phi KNL における並列計算手法を開発し、ソルバーの高速化効率等を確認する。加えて、実船スケール計算にむけたベンチマーク計算を行う。

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
複数の省エネ付加物が干渉する状態を取り扱えるよう、重合情報生成システム UP_GRID を機能拡張する。重合格子対応ソルバーNAGISA を二相流を扱えるように拡張するとともに、キャビテーションモデルを導入する。

- 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に関する研究

上部構造物の CFD による風圧抵抗計算手法を確立するため、風洞試験との比較により、格子生成手法や CFD 計算での物理モデル等のパラメータ設定を検証する。

- 省エネ付加物影響を含む波浪中の計算手法の確立

重合情報生成システム UP_GRID と重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISA により省エネ付加物がついた状態について規則波中での抵抗計算手法の検討を行い、適した計算パラメータを見出す。

平成 29 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、時間精度等の適したパラメータの検討を行い、安定した計算ができる事を確認した。また、Intel 社製 Xeon Phi を使用し、プロセッサ上のメモリを使用したメモリ転送速度のベンチマーク、二重模型流れへの適用性の検討を行った。加えて、実船スケールにむけて、模型スケールでの検証計算と格子等のパラメータを変更した実船スケール計算を行った。

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。

風洞内において一様流を吹かせた場合に、床面上に発達する境界層流れを計算し、実験と比較した。次に、設定した速度分布が船体に流入するように、流入境界での境界条件（速度分布）を探索する手法を開発した。また、船体乾舷部の格子点数を変化させ、不確かさ解析を実施した。（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、規則波向波条件下で波長・時間刻み・格子解像度についてシリーズ計算を実施した（実海域実船性能評価プロジェクトと連携）。

付加物付きの状態での規則波中での計算を行い、静止水面上の圧力の時間変動、波浪中抵抗増加量等の波高影響、速度影響等の比較検証を行った。また、大波高中での運動計算について検討した。

平成 29 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（図 1）、従来手法より計算時間を 20%以上削減できることを示した（図 2）。

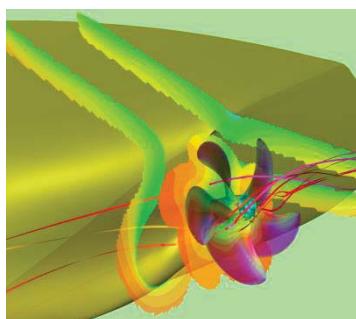


図 1 船後の実形状プロペラ計算での流場

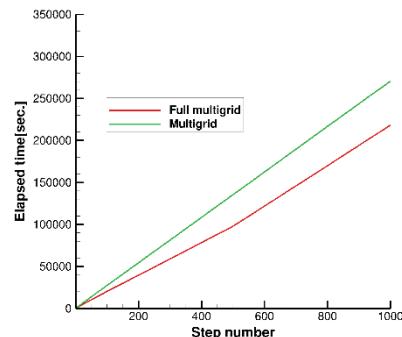


図 2 計算の高速化(赤線：新しく開発した手法)

- 風洞を模擬した条件のもと、風洞床面上を発達する境界層流れの計算を行い、床面近傍の流場を CFD で再現できることを確認した。また、船体に設定した速度分布をが流入するように、流入境界での速度に関する境界条件を探索する手法を開発し、その有効性を確認した。（実海域実船性能評価プロジェクトと連携）

- 各種船型において向波中での運動の振幅、抵抗増加量を比較検証するとともに、静止水面上の船体表面圧力を実験と比較した結果、良い合致をみた（図 3）。また、大波高の向波中での船体運動計算も、ロバストに計算することができた（図 4）。

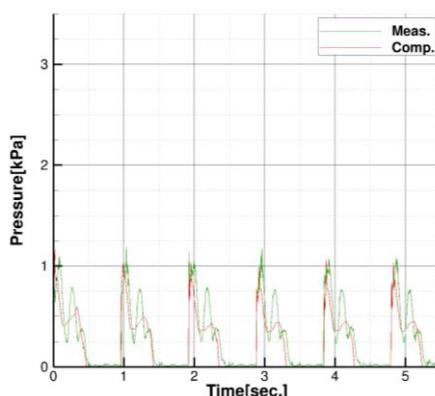


図 3 静止水面上の圧力の時間変動の比較

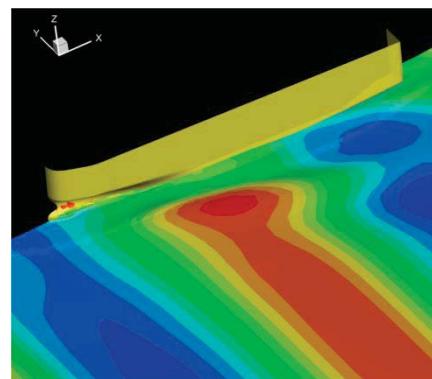


図 4 大波高中での船体付近の自由表面

- NAGISA を用いて、世界で初めて省エネ付加物の CFD 計算のためのガイドラインを作成し、日本船舶海洋工学会賞(開発)を受賞した。

- NAGISA をはじめとする次世代 CFD の機能拡張が進み、ソフトウェアとしての価値が向上したため、今年度より有償の使用許諾を開始した。なお、現在、次世代 CFD の正式契約 13 社(総契約金額 2 割増)

- 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（図 5）



図 5 第 12 回 CFD セミナーの様子

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) Ver3.30
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) Ver2.1
3. 船体・付加物格子間補間情報計算プログラム(OS_GT_GEN) Ver.180301.1

□発表論文 9 件

1.ジャーナル

- 1) Sakamoto, N. and Kamiirisa, H.: Propeller cavitation noise radiated from single and twin-screw cargo liners: CFD prediction and full scale validation, Journal of Physics: Conference Ed., (2018)

2.その他

- 2) 大橋訓英, 小野寺直幸 : Xeon Phi による共有メモリ型計算手法の船舶周り流れへの適用性について, 第 22 回計算工学講演会 (2017)
- 3) 大橋訓英 : フルマルチグリッド手法と動的重合格子による船舶の推進状態の数値シミュレーション, 日本流体力学会年会 2017 (2017)
- 4) Ohashi, K. and Sakamoto, N. : Numerical Simulation of Flows around Moving Bodies using an Overset Moving Grid Technique, 20th Numerical Towing Tank Symposium (2017)
- 5) Kobayashi, H. : Shallow water effect for a high block coefficient ship, 20th Numerical Towing Tank Symposium (2017)
- 6) 平田信行, 田原裕介, 大橋訓英 他: 次世代 CFD コード NAGISA の開発, H29 年度海技研研究発表会講演集 (2017)
- 7) 小林寛, 平田信行, 大橋訓英 他: 重合格子法による浅水計算及び UP_GRID の新機能紹介, H29 年度海技研研究発表会講演集 (2017)
- 8) Hino, T., Hirata, N., Ohashi, K. et al., Hull form design and flow measurements of a bulk carrier with an energy-saving device for CFD validation, ClassNK Technical Bulletin vol.35 (2017)
- 9) Stern, F., Larsson, L., Hirata, N., et al., Tokyo 2015 CFD Workshop, Proc. 28th ITTC (2017)

□受賞 1 件

- 1) 日野孝則, 平田信行, 大橋訓英他: 省エネ付加物性能評価のための新船型開発および流体データベースの構築, 日本船舶海洋工学会賞(開発) (2017).

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。

□今年度より、次世代 CFD の有償の使用許諾を開始した。なお、現在、正式契約 13 社(総契約金額 2 割増)

□海事局プロジェクトである実船スケールの流場推定の基礎検証として模型スケールでの実験結果との比較、実船スケール計算に適した計算パラメータの抽出、実船スケール計算による直接馬力推定を行った。

□今年度より始まった海事クラスター共同研究における向波での波浪中計算手法の諸検討、風圧抵抗の標準化に向けた検討を開始した。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□これまで簡単にはできなかった船体と省エネ付加物の流力干渉など複雑な流れのメカニズムを、簡便に明らかにすることが可能になった。

□新たな計算の高速化手法を導入するとともに、大規模計算にむけた基礎的検討を行った。

□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について、構造格子ベースでは現段階で他に公表例を確認しておらず、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、次世代 CFD のセミナーや請負研究により、手法の普及を図った。

□次世代 CFD のプログラムを毎年登録するとともに、有償の使用許諾を開始した。

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

□国際学会での発表を行い、発表後に国外雑誌への投稿の推奨に関する案内を 2 件受けている。波浪中の計算等、成果は国際的な数値計算の動向に適合したものであり、国際競争力の向上に貢献している。

□次世代 CFD の使い勝手を良くし、使用法等のサポートを行うことにより、CFD を介して日本の造船所の技術力が向上し、国際競争力の向上につながっていく。

□実船スケール CFD 計算による性能評価・検証は、欧州でも近年活発に行われている(KONKAV II 等)研究動向に合致している。

◎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。

□実船性能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鋭意進めている。

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□NAGISA をはじめとする次世代 CFD の機能拡張が進み、ソフトウェアとしての価値が向上したため、今年度より有償の使用許諾を開始した。なお、現在、次世代 CFD の正式契約 13 社(総契約金額 2 割増)

□NAGISA を用いて、世界で初めて省エネ付加物の CFD 計算のためのガイドラインを作成し、日本船舶海洋工学会賞(開発)を受賞した。

□国プロによる実船性能評価技術ならびに海事クラスターによる風圧抵抗や波浪中性能推定技術の向上により、水槽の代替となる数値水槽の構築が期待される。

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	11. 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
--------------	---

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。	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p> <p>- IMOにおける温室効果ガス（GHG）の排出削減に関する包括的な戦略の採択やグローバルキャップ規制の導入など、2020年より次世代環境規制が本格化することを見据え、民間等とも協力し、実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトを立ち上げ、研究の加速を図る。本年度は、実船の性能を就航時のモニタリングデータから評価推定する手法の確立等を実施する。 等</p>

研究の背景

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン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、

□船尾流場制御の開発

□摩擦抵抗低減の開発

□上記技術のシナジー効果による高度な省エネ効果が得られる技術開発

研究目標

- 船尾形状の変更、適切な付加物、境界層吸い込み・吐き出し等の技術を統合した最適伴流設計システムの開発
 - 旋回流とプロペラの干渉効果にもとづくプロペラ配置・プロペラ形状等の設計法、推進器上流側の船体・pre-swirl型省エネデバイスの設計法、推進器が造り出した旋回流を回収するためのpost-swirl型省エネデバイスおよび舵の設計法の開発
 - 空気潤滑法における気泡のプロペラ面への流入を防ぐ流力デバイスの開発及び空気吹き出し位置、付加物、船尾形状のベストミックス化
 - 乱流制御技術を活用して空気投入のエネルギーロスを減ずる技術の開発
 - 乱流境界層の動的および静的制御技術を用いた船体表面創製による摩擦抵抗低減技術の開発
- 上記成果は、船尾流場制御および摩擦抵抗低減技術等の実用化により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、省エネルギーの強化及び船舶の省エネ化により、国際的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ことが期待される。また、海運のコスト低減が達成されることで、我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 29 年度の研究内容**1.船尾流場制御****(1)伴流設計技術**

- 開発中の伴流設計システムを用いて、省エネ付加物効果の高い内航 749 総トン一般貨物船の伴流を設計し、水槽試験により伴流設計システムの有効性を確認
- 波浪および船体運動が船尾ダクトの推進性能に及ぼす影響を把握

(2)旋回流とプロペラの干渉制御技術

- pre-swirl 型省エネデバイスとして、プロペラ前方フィンに注目し、CFD によりその作動原理を解明することで、フィンの設計法構築
- プロペラ理論設計手法の構築、等方性複合材料プロペラの翼変形量および流体特性推定手法の高度化
- キャビテーションの推定精度向上を目指したキャビティ形状計測法の高度化

2.摩擦抵抗低減技術**(1)空気潤滑法の効率向上技術**

- CFD を用いた空気潤滑システム搭載船の自航要素推定法の構築および気泡流中における省エネデバイスとの干渉影響の把握

(2)表面創製による摩擦低減技術

- 亂流境界層の動的制御技術として、船底の表面層を動的に制御して、乱流境界層の流れの構造を変化させ、摩擦抵抗を低減する方法を開発するため、SAW(Surface Acoustic Wave)デバイスを用いた弾性表面波による流体制御装置を試作し、物体表面を制御した表面の制御パラメータと流体への作用・摩擦抵抗への影響の関係を調査。さらに効果を確認できた制御表面を対象として、流場計測を行い、制御物体による流場への作用のメカニズムを調査

平成 29 年度の実績**1.船尾流場制御****(1)伴流設計技術**

- 船尾伴流場の設計が可能な伴流設計システムにより内航貨物船を試設計し、世界で初めて伴流設計システムの有効性を水槽試験により確認した。
- 波浪中荷重度変更試験を実施し、船尾ダクト表面圧力の波浪中における変動を平均値だけでなく時系列変化についても定量的に評価した。

(2)旋回流とプロペラの干渉制御技術

- CFD を活用した pre-swirl 型省エネデバイスの尺度影響の解明、および流場情報を基にした優先度の高い設計パラメーターの抽出事例は世界初である。
- 世界で初めてライン CCD 法を用いた非接触計測技術により、等方性複合材料プロペラの翼変形量計測を計測した結果と開発した流体-構造連成数値計算プログラムの推定結果を比較し、良好に一致することを確認した。
- ライン CCD 法を用いたキャビティ形状計測精度を向上させ、計測したキャビティ体積から高精度に変動圧力を推定できることを確認した。キャビティ形状計測技術は世界トップ。

2.摩擦抵抗低減技術

(1)空気潤滑法の効率向上技術

- 世界で初めて空気潤滑法における自航要素推定技術を構築した。空気潤滑法における省エネ効率評価技術は世界トップである。本手法を用いてダクト等の省エネデバイスが空気潤滑状態における気泡流の影響により、省エネデバイス本来の性能が発揮されないメカニズムを明らかにした。さらに、空気潤滑状態におけるプロペラ位置流場の変化や、FBG センサーを用いた船尾圧力の変化を、水槽実験により世界で初めて計測した。

(2)表面創製による摩擦低減技術

- SAW デバイスを用いた流場制御デバイスの試作
- 塗装粗面の粗度パラメータから摩擦抵抗を推定する手法を世界で初めて考案

平成 29 年度の研究成果

1.船尾流場制御

(1)伴流設計技術

- 船型流場データベースを基に、省エネ付加物の効果向上、キャビテーション低減が可能な理想的な船尾伴流分布を入力として、理想伴流分布を実現する船型を出力する世界初の伴流設計システムにより内航 749 総トン一般貨物船を設計し、水槽試験によりキャビテーション性能に対する伴流分布の改善、省エネ付加物の効果向上を確認した（図 1）。また、省エネ付加物の効果向上及び、キャビテーション低減が可能な理想伴流分布について、設計に必要な要件を整理することで船型+省エネ付加物の一体設計システムの基礎を構築した。
- 船尾ダクトはプロペラ荷重度の増加に比例して発生する推力が増大し、それは平水中波浪中いずれも同程度であった。また船尾ダクトの省エネ効果に対する波浪の影響は短波長領域においてはほとんどなく、船体運動を伴うような中・長波長領域においても顕著な性能悪化は見られないことを確認し、実海域における省エネ装置の性能変化に関する知見を蓄積した（図 2）。



図 1 伴流設計システムを用いた船型改善による省エネ効果（水槽試験結果）

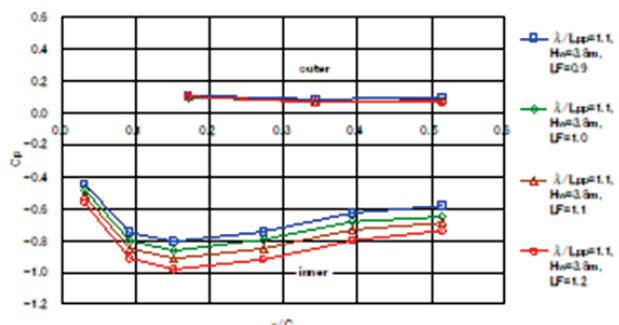


図 2 波浪中荷重度変更時のダクト表面圧力

(2)旋回流とプロペラの干渉制御技術

- 模型および実船スケール CFD 解析により、プロペラ前方フィン周りの詳細流場解析を行い、フィン前方流場へのプロペラ誘導速度影響、尺度影響等を明らかにすると共に、プロペラ前方フィンの設計に、優先度の高い設計パラメーターを抽出し、その物理的な理由を解明した（図 3）。実船スケールベースで試設計したフィンは、原型に対して約 3% の性能改善量を得た。民間との共同研究の成果でもあり、共同研究先におけるフィンの設計に活用されている。
- 等方性複合材模型プロペラに、組合ライン CCD 法を用いた三次元形状計測技術を応用し、翼変形量を計測するための計測方法を構築。等方性複合材模型プロペラ（樹脂製プロペラ）の一様流中及び伴流中の変形量計測を実施し、開発した計測技術の有効性を確認した。
- QCM と FEM プログラムと組み合わせた流体-構造連成計算法の高度化を図った。水槽試験での変形量計測結果とプログラムによる推定結果を比較し、良好に一致することを確認した（図 4）。
- 組合せライン CCD 法のピーク検出方法を改良することによって、キャビティ形状計測精度を向上させ、計測したキャビティ体積から高精度に変動圧力を推定できることを確認した（図 5, 6）。

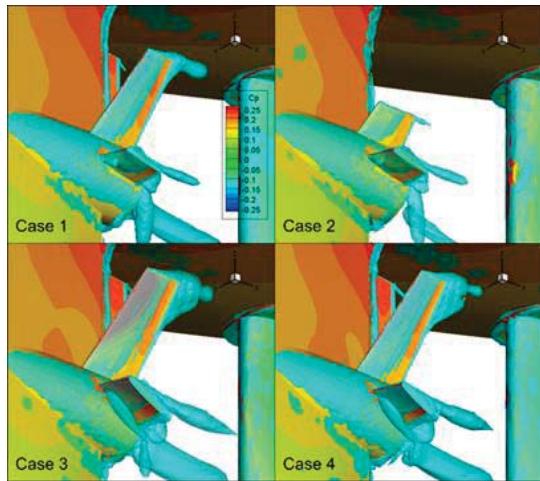


図3 プロペラ前方フィン周りの渦構造

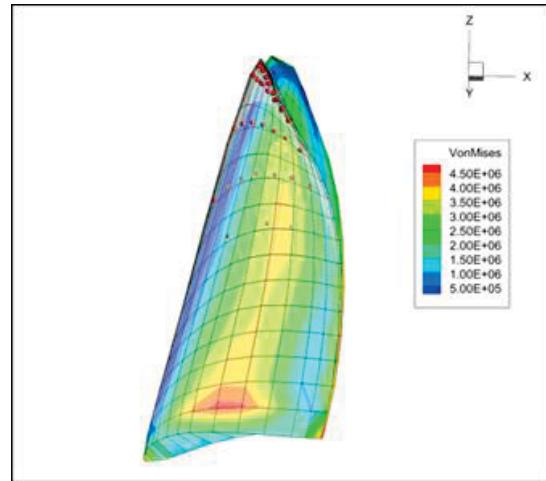


図4 変形量計測結果と数値計算結果の比較

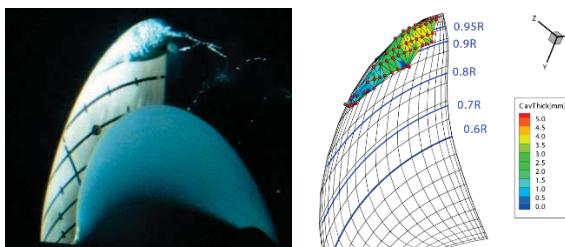
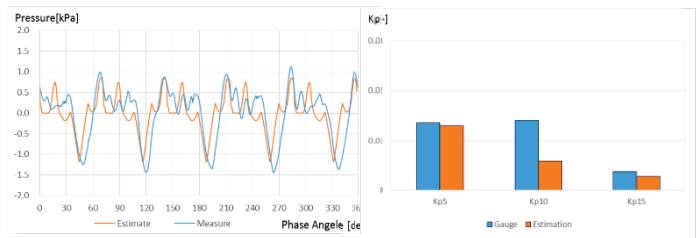


図5 キャビティ形状計測結果の比較

図6 変動圧力の比較
(左:時系列波形、右:フーリエ解析)

2.摩擦抵抗低減技術

(1) 空気潤滑法の効率向上技術

- CFD を用いて平水中を直進航走する空気潤滑システム搭載船の摩擦抵抗低減効果および自航要素の変化を予測可能なベースとなる計算手法（空気潤滑船の自航要素推定法）を構築し、気泡流中で自航要素悪化のメカニズムを推定した（図 7）。さらに、自航要素の悪化を防止するデバイスを検討し、水槽試験にて評価した（図 8）。
- 物質・材料研究機構・日本ペイントマリンで開発された超撥水コーティングを施工した表面形状による気膜保持性能と摩擦抵抗低減効果の関係を把握した。

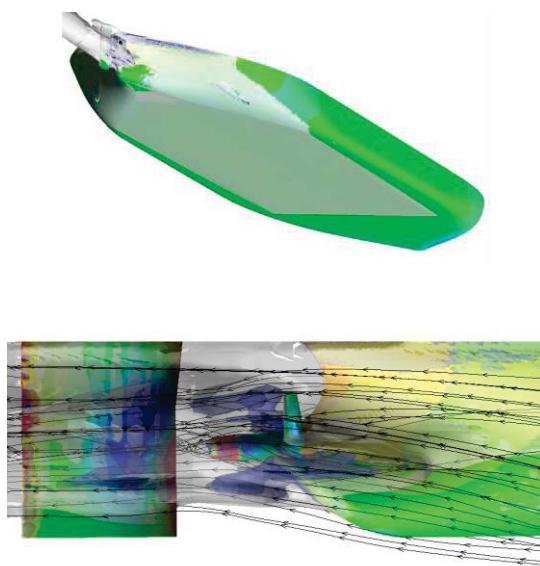


図7 船体周りのボイド率分布および流線のCFD 推定結果

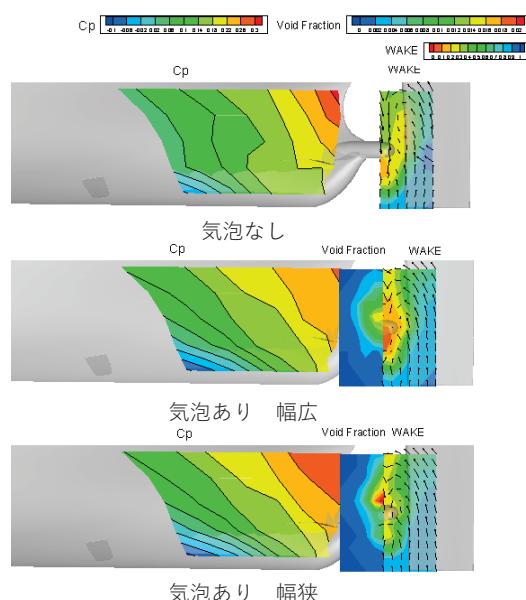


図8 FBG センサーを用いた気泡有無状態における船尾表面圧力分布の計測例

(2)表面創製による摩擦低減技術

- 亂流境界層の動的制御技術として、船底の表面層を動的に制御して、乱流境界層の流れの構造を変化させ、摩擦抵抗を低減する方法を開発するため、物体表面層に任意のパラメータの弾性表面波（進行波）を発生させ制御する技術について調査検討した。その結果、SAW(Surface Acoustic Wave)デバイスを用いて音響流の発生させることによる物体表面付近の速度勾配を緩和する方法が有望であると考えた。調査の結果、音響流の速度、壁面に対する角度などは、表面波を発生させる物体の音速や、厚み、回路の形状、電源の周波数などにより、制御出来ることが判り、過去文献からこれらのパラメータを制御した場合の物体表面の音速と音響流の放射角の推定式を作り、その推定式に基づき、流場制御デバイスの設計と試作を行った（図9）。
- 本重点研究に関連する共同研究「船舶用塗料に起因する船底摩擦抵抗に関する研究開発」において、全長14mと2mの塗装粗面平板の水槽試験の解析結果から、長さの影響を考慮した表面粗度パラメータと摩擦抵抗増加の関係式を導きだすことができた。その結果、全長ベースのレイノルズ数や、摩擦速度では、表面粗度パラメータと摩擦抵抗増加の関係を整理することができず、長さ方向に発達する境界層と表面形状の関係で、粗度部分で発生する局所的な圧力抵抗の総和で決定づけられることが分った。従前、いわゆる砂粒粗面の摩擦抵抗の推定式は存在したが、塗装粗面のような波状粗面に関する確立された推定式は無く、船体の長さ等の尺度影響を考慮した塗装粗面の摩擦抵抗の推定式を導き出したのは世界初であり、低摩擦抵抗塗料の実船での省エネ効果を精度よく評価できるようになる（図10）。

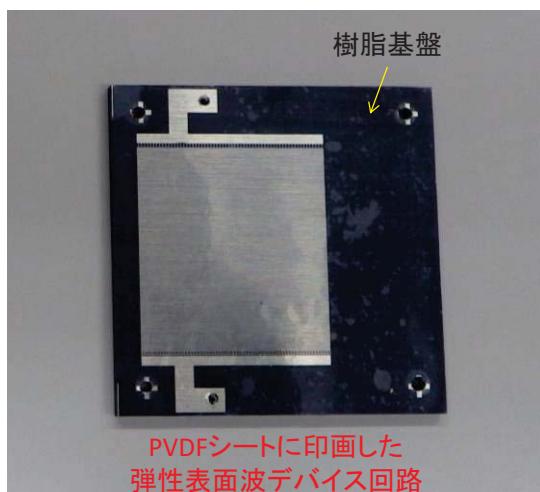


図9 試作流場制御デバイス

$$C_F = C_{F0} + \left(\frac{V_k}{V} \right)^2 \frac{S_k}{S} \alpha c \frac{Rc}{RSm}$$

塗装粗面摩擦抵抗の推定式

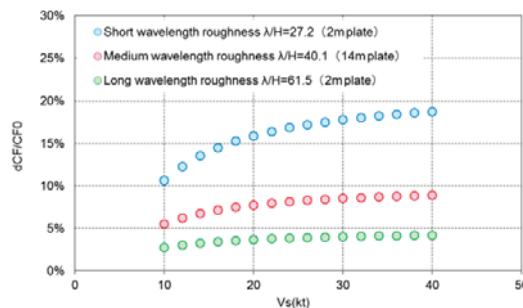


図10 全長200mの船の船速の変化に伴う各塗装面の摩擦抵抗係数増加率の推定結果

成果の公表

□出願特許：波状粗面摩擦抵抗の評価方法及び摩擦抵抗評価装置

□発表論文

（ジャーナル、本文査読付きプロシーディングス、海技研研究報告）

- ・ 一ノ瀬康雄、田原裕介、久米健一：総トン数に制限を有する内航船の船型データベースの構築とその評価—749 総トン型一般貨物船を対象としたプロトタイプの開発—、日本船舶海洋工学会論文集、第26号（2017）。
- ・ 久米健一、深澤良平：船尾ダクト表面圧力に対する波浪及び荷重度の影響、日本船舶海洋工学会論文集（2018）。
- ・ Kume, K., Fukasawa, R.: 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).
- ・ Arakawa, D., Kawasimam, H., Kawakita, C., Numerical Estimation of Self-Propulsion Factors for Ship with Air Lubrication, Proceedings of ISOPE2018 (2018).
- ・ Kawakita, C., A Hydrodynamic Design Method of Ship Applying the Air Lubrication System, Proceedings of ISOPE2018 (2018).
- ・ Shiraishi, K., Sawada Y. and Hoshino, K.: Cavity Shape Measurement Using Combination Line CCD Camera Measurement Method, Proc. 5th International Symposium on Marine Propulsors (2017).
- ・ Shiraishi, K., Sawada, Y., Arakawa, D. and Hoshino, K.: Experimental estimation for pressure fluctuation on ship stern induced by cavitating propeller using cavity shape measurements, Proc. 10th International Cavitation Symposium (2018).

- Hiroi, T. et al, IEXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GEOMETRIC ROUGHNESS PARAMETERS ON TURBULENT BOUNDARY LAYER BY LDV MEASUREMENTS, AMT17 (2017), pp. 129–140.

(その他)

- 一ノ瀬康雄, 田原裕介 : 伴流の任意制御を可能とする船型自動生成手法の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 25 号 (2017)
- 一ノ瀬康雄, 久米健一, 金子杏実, 田原裕介 : 内航海運の省エネルギー船型バリエーションの開発, 平成 29 年度海上技術安全研究所発表会講演集 (2017)
- 久米健一, 一ノ瀬康雄, 田原裕介, 川北千春, 金子杏実, 谷澤克治, 日野孝則 : 内航海運のための省エネルギー船型群の開発 : 平成 29 年度海上技術安全研究所発表会講演集 (2017)
- 久米健一, 深澤良平 : 波浪及び船体運動が船尾ダクト表面圧力に及ぼす影響, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 25 号 (2017)
- Sakamoto N., Mokuo K., and Tamashima M., 2017, Viscous CFD analysis of working principle for pre-swirl stator fins equipped on a tanker, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 25 号, pp. 111-116.
- 新川大治朗, 川島英幹, 川北千春 : 自航状態における空気潤滑船周りの流れの数値シミュレーション, 日本船舶海洋工学会講演会論文, 第 25 号 (2017), pp.159-164.
- 川島英幹他 : 塗装粗面摩擦抵抗の尺度影響について—長短塗装粗面平板の摩擦抵抗の比較—、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 24 号 (2017)、pp.729-734

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。

□ 国際海運に対する CO₂ 排出量削減の国際的な要求を達成するためには、船舶の省エネ技術開発は、必要かつ重要であり、環境負荷の低減に貢献する。さらに、世界トップの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、十分に大きいか。

□ 世界初や世界トップとなる技術や、造船所では費用対効果の面からなかなか手が出せない技術が主体であり、いずれの技術も世界トップレベルに進化させ、海技研のキー技術となり得る。また、技術も今後重要な実海域性能向上に発展可能な技術である。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□ H30 年度からは、波浪中を含めた実海域における船舶の推進性能向上に関する研究に軸足を移してゆく予定であり、H29 年度の成果として、平水中を主体とした省エネデバイスの研究開発に成果を予定通り得ることができている。2025 年 (H37) から開始される EEDI Phase3 (削減率 30%) を達成可能な技術を開発するための時間は残り僅かであり、本研究を遅延無く進めていく必要がある。

◎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。

□ 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。

□ 「表面創製による摩擦低減技術」は、新たな指導原理を求めるための基礎的な研究であり、10 年後の実用化を目指した萌芽的研究要素を有する。新たなアイデアの摩擦抵抗低減技術を世界に先駆けて開発する内容である。

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

□EEDI Phase3 の達成に必要な技術（伴流設計システム、波浪中省エネダクト性能、省エネデバイスの尺度影響の解明、複合材プロペラの開発、空気潤滑法の自航性能や省エネデバイスとの干渉効果推定）に関し、世界トップもしくは世界トップレベルとした成果である。2025 年までには製品化が必要な Phase3 対応省エネ技術の開発が期待できる。

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

□

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

研究テーマ	12. 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。	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p> <p>- IMOにおける温室効果ガス（GHG）の排出削減に関する包括的な戦略の採択やグローバルキャップ規制の導入など、2020年より次世代環境規制が本格化することを見据え、民間等とも協力し、実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトを立ち上げ、研究の加速を図る。本年度は、実船の性能を就航時のモニタリングデータから評価推定する手法の確立等を実施する。</p>

研究の背景

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン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の開発・検討
- 各種動力システムの安全性評価

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の開発
- 各種動力システムの安全性評価手法の開発
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が実現されることが期待される。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 29 年度の研究内容

- 前年度までに設計・試作した水素ガスインジェクタの高圧化に向けた改良を行うと共に、ガスリーク特性および耐久性試験等を実施・評価する。
- 平成 28 年度に開発を開始した水素燃料電池システムの制御・監視システムを改良し、大出力燃料電池に対応した実用的な制御・監視システムを開発する。
- 燃料電池スタックや配管からの水素漏洩および通常発電時の余剰水素を想定して、これらの水素を含むガスの換気や船外排出に着目し、安全性を評価するための CFD 解析並びに検証試験を実施する。
- 平成 28 年度までの成果並びに前項までに実施する研究成果等を活用して、水素燃料電池船の安全ガイドライン策定に向けた調査を行い、安全要件を整理し、安全ガイドライン案を完成させる。
- 平成 28 年度構築した模擬バイオガス製造装置を用いてバイオガス混焼ガス機関の燃焼安定性や熱効率等について詳細な性能評価を行う。水素・水を大量に混焼するためのポートインジェクションシステムを構築する。未燃燃料（メタン等）の排出削減に向けた対策技術の調査・検討を行う。
- 単気筒ディーゼルエンジンにおいてガス燃料（天然ガスやアンモニア等）と軽油の混焼試験を実施し、安定燃焼を実現する技術課題を抽出する。

平成 29 年度の実績

- 試験用水素ガスインジェクタの構造部品を交換し、3~5 MPa の噴射圧力に対応するための改良を行った。さらに、ガスリーク特性および耐久性試験等を実施し、性能を評価した。
- 燃料電池、リチウムイオン電池および電気推進システムなどの関連機器の状態を適切に監視・制御するシステムを構築した。
- 小型実験船に水素燃料電池システムおよびリチウムイオン電池を搭載し、実船試験を実施した。さらに上記で開発した監視システムを小型実験船に搭載し、その動作や有効性を検証した。
- 水素燃料電池システムにおける水素を含むガスの換気や船外排出に着目し、安全性を評価するための CFD 解析並びに検証試験を実施した。
- 所外関係者と詳細な検討を行い、水素燃料電池船の安全ガイドライン案を完成させた。
- バイオガス混焼ガスエンジンの詳細な性能評価を行った。水素を大量に混焼するためのシステムを構築した。また EGR の研究成果をとりまとめ学会で発表した。実排ガスを用いたメタンスリップ低減触媒の評価試験を行った。
- 単気筒ディーゼルエンジンにおいてガス燃料（天然ガスやアンモニア等）と軽油の混焼試験を実施し、燃焼特性等を評価した。

平成 29 年度の研究成果

- 試験用水素ガスインジェクタのガスリーク特性および耐久性試験等を実施し、運転中にインジェクタの動作が不安定になるなどの不具合が確認された。運転後の摺動部の観察により、その原因是運転中に生じた表面の凹凸および保管中に生じた表面の変質であることが確認され、技術課題を明確にした。
- 燃料電池、リチウムイオン電池および電気推進システムの状態を適切に監視・制御するシステムを構築し、模型船によりその動作を検証した（図 1）。
- 小型実験船に水素燃料電池システムおよびリチウムイオン電池を搭載し、実船試験を実施した（図 2）。各要素機器の動作が適切に動作することを確認した他、水素漏洩等の不具合が発生した際の安全機能が適切に作動することを検証した。さらに、国土交通省からの請負研究のもと、水素燃料電池船の安全ガイドライン案を完成させた。
- バイオガス混焼ガスエンジンの詳細な性能評価を行い、燃焼不安定化や発電効率低下の要因を明らかにするとともに性能維持のための対策を検討した。また、水素を大量に混焼するための水素・水ポートインジェクションシステムを構築した。
- メタン酸化触媒を用いた、ガスエンジン排ガス中のメタンスリップ低減効果を確認するため、実排ガスを用いた性能試験を実施し、除去性能等を評価した。
- 単気筒ディーゼルエンジンにおいてアンモニアガスと軽油の混焼試験を実施し、排ガス中の未燃のアンモニアの削減に、軽油の多段噴射が効果的であることを確認した。また、アンモニアの燃焼により温室効果ガスである N₂O が排出されることを明らかにした。

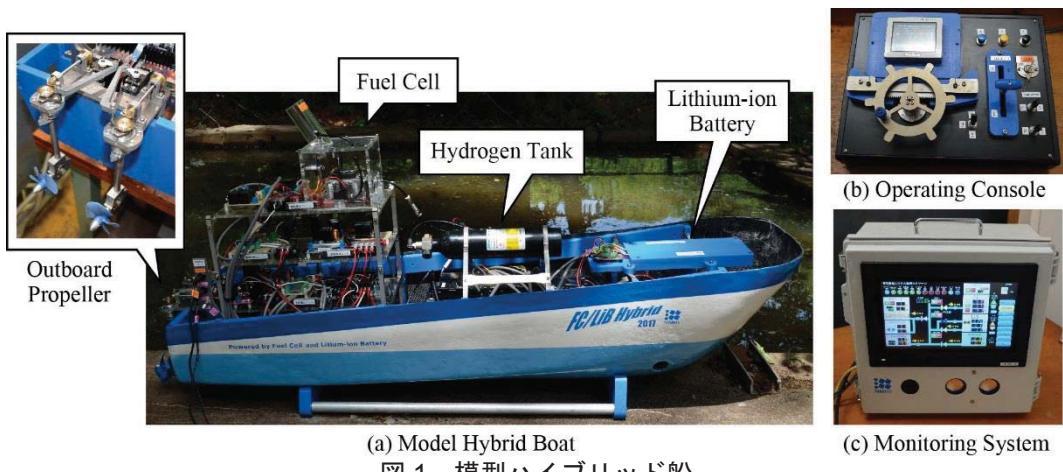


図1 模型ハイブリッド船



図2 水素燃料電池システムおよびリチウムイオン電池を搭載した小型実験船

成果の公表

(査読付き論文)

- Yoshifuru Nitta, Dong-Hoon Yoo, Sumito Nishio, et al., Evaluation of Emissions Characteristics of Marine Diesel Engine Intake of Exhaust Gas of Lean Burn Gas Engine, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol.140(2), (2018).
- Yoshifuru Nitta, Yoichi Niki, Koichi Hirata, et al., Effects of the Combustion Characteristics of Diesel Engine by the Intake of Exhaust Gas from Gas Engine, 日本マリンエンジニアリング学会誌, (投稿中).

(査読付きプロシードィング)

- Yoshifuru Nitta, Yoichi Niki, Koichi Hirata, et al., Effects of the combustion characteristics of diesel engine by the intake of exhaust gas from gas engine, Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (ISME), Tokyo, Japan (2017), B13-313.

(その他の講演論文等)

- 平田宏一：水素燃料電池とリチウムイオン電池を搭載した模型ハイブリッド船の設計・試作, 日本機械学会, 交通・物流部門大会, TRANSLOG 2017 (2017).
- 平田宏一：船舶分野における燃料電池システムの展開, 平成 29 年度（第 17 回）海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2017), p. 90-99.
- 平田宏一, 関口秀紀, 仁木洋一, 他 : マリンハイブリッドシステムに関する研究開発, 海上技術安全研究所報告 (総合報告), 第 17 卷第 4 号 (2018).
- 栗原敏郎 : 自動車のハイブリッド技術動向調査, 月刊共有船 7 月号 (2017).
- 岸武行, 安達雅樹, 樽井真一 : LNG ガスタービンコンバインドサイクルの船舶への導入-NOx 及び SOx 規制対応ディーゼルとの比較, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第 53 卷第 2 号 (技術資料) (2018).

- 仁木洋一, 新田好古, 平田宏一, 他 : 水素エネルギーキャリアの船舶利用に関する検討, 日本機械学会, 交通・物流部門大会, TRANSLOG 2017 (2017).
- 市川泰久, 関口秀紀, Oleksiy Bondarenko, 他 : リーンバーンガス機関の適正制御パラメータとガス燃料組成の影響に関する研究, 海上技術安全研究所報告 (総合報告), 第 17 卷第 4 号 (2018).
- 市川泰久, Oleksiy Bondarenko, 関口秀紀, 他 : 排熱回収装置の高効率化に向けたリーンバーンガス機関の排気温度上昇に関する検討, 日本マリンエンジニアリング学会, 第 87 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集 (2017), p.161-162.
- Yasuhisa Ichikawa, Hidenori Sekiguchi, Oleksiy Bondarenko, et al., An Exhaust Gas Temperature Increase Technique of Lean Burn Gas Engine for Waste Heat Recovery Technology Application, Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (ISME), Tokyo, Japan (2017), A02-207.
- 新田好古, 仁木洋一, 平田宏一 : ガスエンジン排ガスを吸入する舶用ディーゼルエンジンにおける吸気ガス組成が排気に与える影響, 平成 29 年度海上技術安全研究所発表会講演集 (2017).

(特許出願)

- 岸武行, 西尾澄人, 栗原敏郎, 特許「未燃メタンの処理方法及び未燃メタン処理装置」, 2018 年 3 月出願.

主な評価軸に基づく自己分析

◎成果・取組が國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、経済産業省が公開している水素基本戦略に適合し、将来の海上水素社会の実現に貢献する。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□水素燃料電池システムを搭載した実船による実験は世界でも数少なく、成果の科学的意義は大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□水素燃料電池の開発や石油代替燃料の利用技術の成果は、期待された時期に創出されている。

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

□燃料電池システムは IMO においても安全要件の議論が始められたところであり、本研究の成果は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。

□実船と同等の機能を持つ模型ハイブリッド船の開発や多種燃料の混燃試験など、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
--------------	---

□水素を利用した燃料電池システムに関する研究成果などは、水素基本戦略などの國の方針や社会のニーズに適合し、国家プロジェクトに貢献している。また、成果は期待された時期に創出されている。

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	15. 船舶に起因する生態系影響の評価技術の構築に関する研究	
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。	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p> <p>一船舶から排出されるBC・PM等の削減に資するため、エンジン内および後処理技術の高度化等、環境影響低減技術の開発を行う。等</p>

研究の背景

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン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、

- 防汚効果評価方法等の提案
- 防汚技術を評価する方法の確立
- 船舶起因の水中騒音の予測技術の確立

研究目標

- 管理ガイドラインの見直しにおいて、妥当かつ合理性のある船体付着生物の越境移動の抑制方策を作成
- ニッセニアに対する防汚技術の評価を行い、IMOで新たに問題視された場合の技術的データを蓄積
- 水中騒音の予測技術を構築し、船舶水中騒音規制に対応できる技術的データを蓄積
- 上記成果は、合理的な規制により海洋環境が保護されることが期待される。また本研究で得られたデータ・知見は学術的根拠としてなり得る。

平成 29 年度の研究内容

- 防汚塗料の防汚効果評価試験方法の ISO 化を目指すために、昨年度に不成立になった新作業項目（NWP）を再提案し成立させ、次のステップである作業原案（WD）の作成に進める。
- 船体付着生物管理ガイドラインの対応として、ニッヂエリアリアの生物付着を抑制する対策技術の検討を行う。
- キャビテーション水槽内の音場を推定し、水中騒音計測システムを高精度化するために必要な境界要素法プログラムを開発する。
- CFD による翼次成分音圧推定法を高度化する

平成 29 年度の実績

- フジツボ及びムラサキガイを用いた防汚塗料の防汚効果評価試験方法に関して、再投票の結果、ISO/NP21716-1～3 を NWP として採択することが可決され、3 年の期間を以て審議されることとなった。
- 1 軸および 2 軸旅貨客船を対象とした実船水中騒音計測結果に基づき CFD によるシミュレーション計算を実施して、低周波域では非常によく予測できることが検証された。
- 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に関して① 国内主要研究機関の水槽試験方法である Wire-mesh 法の反映、② 水槽試験と同等手段としての CFD 計算法などが反映された内容に修正されて、ISO 20233-1:2018 として ISO 規格となった。

平成 29 年度の研究成果

- フジツボ及びムラサキガイ以外の供試生物（例えば藻類など）を用いた方法も検討する必要があるとのコメントに対して、藻類について検討を行った。検討した結果、藻類の培養法（図 1）および、付着藻類からの色素抽出による蛍光強度測定法（図 2）を確立した。これにより、藻類を用いた防汚塗料の防汚効果評価試験法の基礎資料を作成し、データを蓄積することができた。
- 1 軸および 2 軸旅貨客船を対象とした水中騒音を推定する CFD 計算の高度化（図 3）を実施した。その結果、実船測定結果と比較して良好な推定（図 4）が得ることができた。

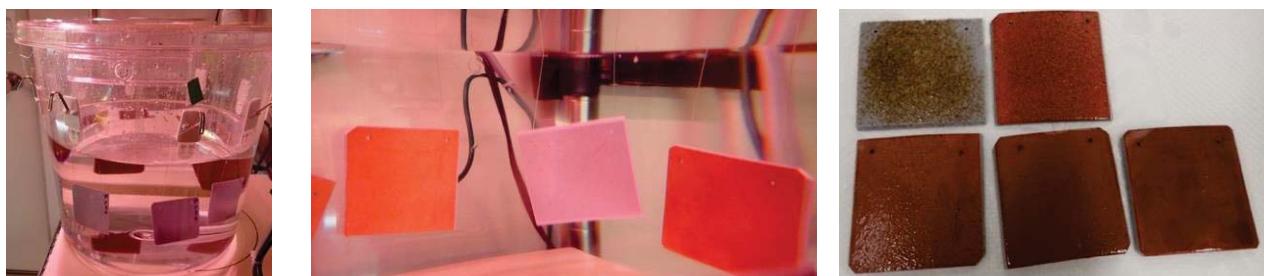


図 1. 3 日間の予備培養後、培地を充たしたポリカーボネート容器内の培養（左）、容器内に吊された試験片の様子（中）および藻体の試験片への着生状況（右）

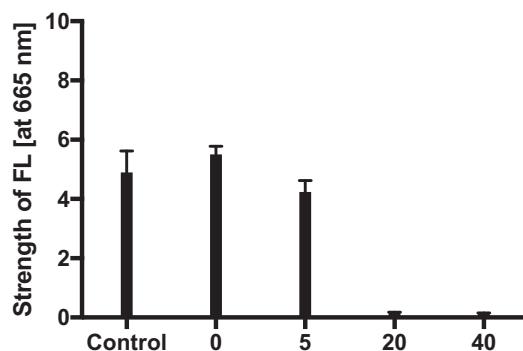


図 2. 藻体の試験片からの採取方法（左上）、対照区および試験区から抽出した色素（左下、左から対照区、亜酸化銅配合量 0、5、20 および 40wt%を示す）および抽出した色素の蛍光強度測定結果（右）

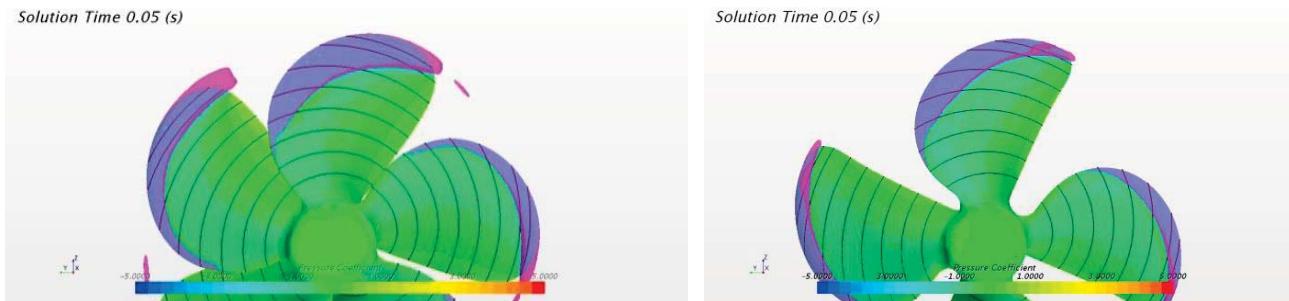


図3. 1軸船のキャビテーション計算結果（左図）及び2軸船のキャビテーション

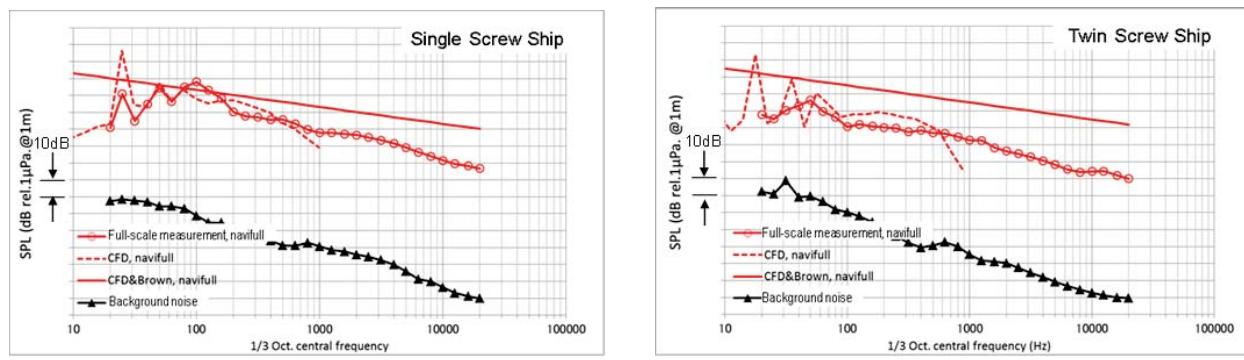
1軸船の水中騒音 CFD 計算結果(破線)
と実船計測結果(○付実線)2軸船の水中騒音 CFD 計算結果(破線)
と実船計測結果(○付実線)

図4. 計算結果と実船計測結果

成果の公表

- R. Kojima, S. Kobayashi, K. Matumura, et al., 2018, A method for evaluating the efficacy of antifouling paints on *Balanus amphitrite* in the laboratory using a flow-through system, Journal Biofouling, *in-contribution*.
- R. Kojima, T. Shibata, H. Ando, et al., 2018, A preliminary approach of laboratory bioassay for the efficacy of antifouling paints using *Ectocarpus siliculosus*, Proc. The International Congress on Marine Corrosion and Fouling 19th Conference (19th ICMCF), Florida, USA, *in-progress*.
- N. Sakamoto, J. Fujisawa, Y. Sawada, et al., 2017, Measurement of cavitation noise radiated from a marine propeller with and without shaft inclination, Proc. The 5th International Conference on Advanced Model Measurement Technology for The Maritime Industry (AMT'17), Glasgow, UK.
- H. Kamiirisa, H. Sakamoto, A. Sakurada, 2017, Research of underwater ship radiated noise (USRN) toward marine environmental protection in Japan, Proc. The 5th International Conference on Advanced Model Measurement Technology for The Maritime Industry (AMT'17), Glasgow, UK.

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。
- 合理的な規制に導くために適切な試験方法などを提案することで、海洋環境に与える負荷を低減することに貢献している。
- ◎ 成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
- 季節や地域に依存しないラボベースでの防汚塗料の防汚効果評価試験方法は、今まで存在しておらず、新規性及び一般性があり、十分に科学的意義が大きいと考えられる。
- 実船の水中騒音を精度良く予測することが出来る計算手法を開発出来たことは、新規性があり、十分に科学的意義が大きいと考えられる。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□船体付着生物管理ガイドラインの見直し作業前に、適切な防汚塗料の防汚効果評価試験方法が国際的に受け入れられるように準備していることから時期として適正である。

□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が国際標準として最終的に決まろうとしている時期に、成果等が適切に反映されている。

◎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。

□合理的な生物の越境移動等は、国際的に議論され、越境移動の抑制方策等の具体的な対応が期待されていることから、防汚性能の評価技術は、成果・取組が国際的な水準に照らして十分に大きな意義がある。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

□

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□防汚塗料の防汚効果評価試験方法に関しては ISO の NWP として採択された点及び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に関しては ISO 規格に反映された点で顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる

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	16. 船舶からの油及び有害物質の流出等の対策に関する研究	
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。	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進めます。</p> <p>①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進めます。</p> <p>①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発</p> <p>－2020年から始まる舶用燃料油の硫黄分0.5%の上限規制(グローバルキャップ規制)を見据えて、効果の評価をするために、実船計測等によりデータを取得する。等</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p> <p>－船舶から排出されるBC・PM等の削減に資するため、エンジン内および後処理技術の高度化等、環境影響低減技術の開発を行う。等</p>

研究の背景

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。具体的には、

- 流出油の回収・処理の高効率化に関する研究
- 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
- 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

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

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される

平成 29 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】**

- ・気泡噴流を利用した改良オイルフェンスの性能確認試験を行い、期待する滞油性能が得られることを確認する。
- ・水蒸気注入による微細化・分散化効果等について、小規模蒸気爆発実験装置を用いて確認する。

【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】

- ・前年度までに整備した日本近海の海水運動データ及び海上風の風速・風向データと、これらのデータ処理に必要なプログラム群について、現状の環境影響評価システムに組み込む。
- ・前年度までに改良した海水中のみの物質拡散モデルを拡張して、放射性物質の海底堆積物への沈着評価モデルを開発する。

平成 29 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】**

- ・水中気泡群から発生する表面流を利用したオイルフェンスの改良として、従来式とは異なる新しい発想に基づく浮沈式気泡噴流型オイルフェンスの性能確認予備実験を実施し、期待する性能が得られることを確認した。
- ・平成 28 年度に製作した小規模蒸気爆発実験装置を、水蒸気爆発を連続的に発生させることができるように改良し、水蒸気爆発によって生じた圧力波を重質油に向けて連続発射できることを確認した（図 1）。さらに実験結果を踏まえ、高粘度油微細化実験用可視化タンクを新たに設計・製作した。

【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】

- ・日本近海海流・海上風データ及びデータ処理プログラム群を整備した。海流データとしては、海洋研究開発機構（JAMSTEC）で開発された海洋変動予測システムで求められる JCOPE2 データを、海上風データとしては、米国環境予測センター及び大気研究センターの配布する NCEP/NCAR 再解析データ、及びさらに時空間解像度の詳細な気象業務支援センター配布の GPV に対応可能な仕様とした。
- ・前年度までに改良した海水中のみの物質拡散モデルを拡張し、海水から海底堆積物の近傍に存在する懸濁状物質及び海底堆積層内の粒子への放射性物質の吸着・脱着反応を考慮したモデルを開発した（図 2）。

平成 29 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】**

- ・水中気泡群から発生する表面流を利用したオイルフェンスの改良として、従来式とは異なる新しい発想に基づく浮沈式気泡噴流型オイルフェンスの性能確認予備実験を、港湾空港技術研究所と共同で、実海域流出油実験装置を用いて実施した。実験を通じて期待する性能が得られることを確認し、併せて問題点の抽出等を行った。
- ・平成 28 年度に製作した小規模蒸気爆発実験装置を、水蒸気爆発を連続的に発生させることができるように改良し、水蒸気爆発によって生じた圧力波を重質油に向けて連続発射できることを確認した。併せて容器内の圧力計測及び重質油の状態等の顕微鏡観察を行った。
- ・水蒸気爆発による油の微細化現象及び拡散の程度を目視観察するため、高粘度油微細化実験用可視化タンクを新たに設計・製作した。

【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】

- ・当所では、海事局検査測度課が所有している事故時影響評価システムの維持及び管理を行っている。本システムでは放射性物質運搬船の事故を想定して放射性物質が大気あるいは海洋に放出された場合の被害度の評価に対応しているが、現状では油や有害化学物質の漏洩時の評価には対応していない。平成 29 年度は、主に海表面を漂流する油及び有害化学物質の被害度評価に対応させることを目的に、海上風データを取り込

み、数値海洋モデルを用いることで海水流動計算の予測精度の向上を図った（図3）。また、数値海洋モデルを採用することにより、広い海域（閉鎖湾内と外洋）を対象とした流動予測が可能になった。

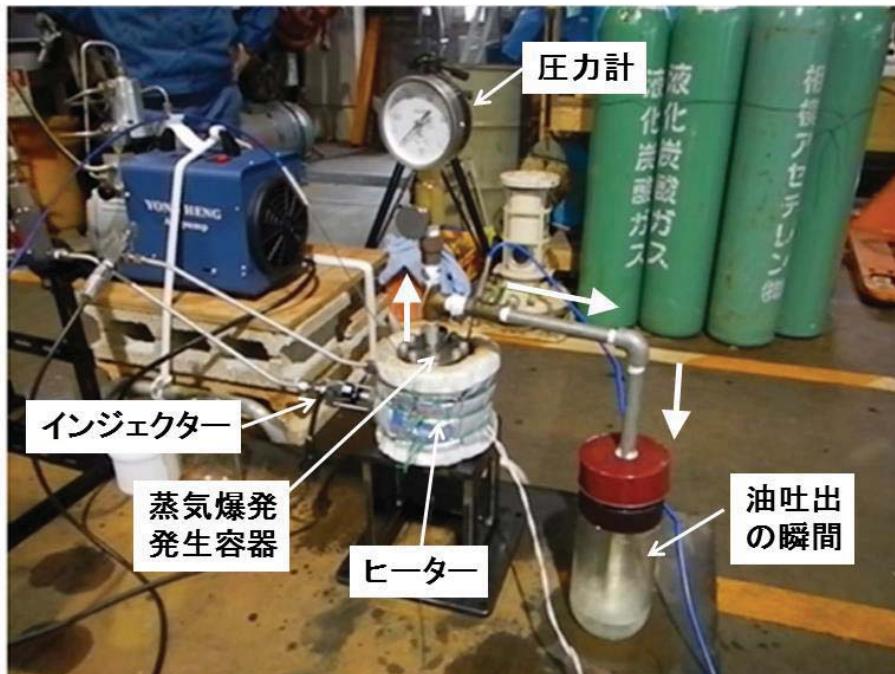


図1 水蒸気爆発によって生じた圧力波を重質油に向けて連続発射する実験の様子
(右下ガラス容器に油が吐出する様子が確認できる)

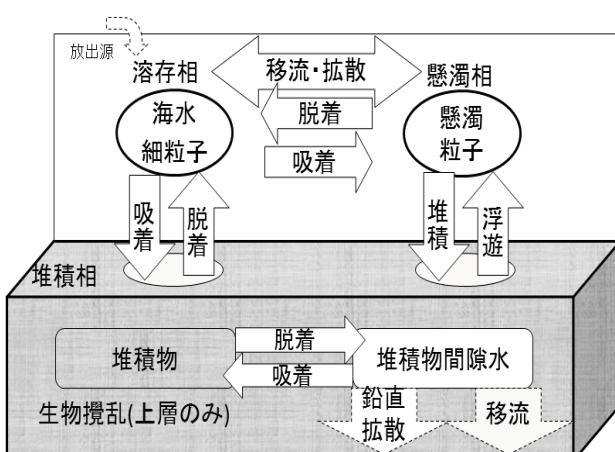


図2 海水及び海底堆積物における放射性物質移行モデル

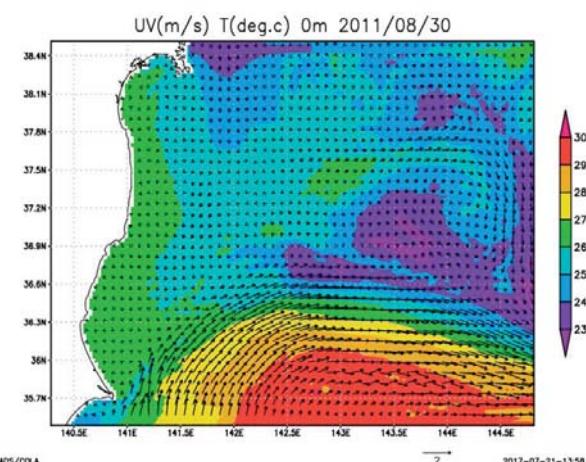


図3 海上風データを組み込み、温度、塩分によるデータ同化を行った海流場の計算例
(福島沖海表面における速度ベクトル及び温度分布)

成果の公表

【発表論文】4件

○その他

- 1) S. Terasaki, N. Odano and M. Asami, "Existence Forms and Distribution Characteristics of Radio cesium in Marine Sediments in the Coastal Area Off Fukushima Prefecture," Proceedings of 6th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry, (2017)
- 2) 長尾、寺崎、小田野ほか、セジメントトラップ実験によって観測された粒子態放射性セシウムの移行性、日本放射化学会年会・第61回放射化学討論会、(2017)
- 3) 寺崎、長尾、小田野ほか、福島沿岸域堆積物中放射性セシウムの存在形態と分布特性、日本放射化学会年会・第61回放射化学討論会、(2017)
- 4) 大西、ソーントン・ブレア、浅見ほか、地理情報システムによる東北沿岸域での海底土放射性セシウム濃度計測結果の可視化、日本原子力学会2017年秋の大会予稿集、(2017)

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については、海事局検査測度課が所有している事故時影響評価システムの維持及び管理に直結する内容であり、国の方針に適合した研究と言える。
 - ・日本周辺海域の閉鎖湾内・外洋のいずれの場合にも適用可能で、広範囲の物質（油・有害化学物質・放射性物質等）を対象とした海洋拡散シミュレーション計算基盤を構築する試みはこれまでになされておらず、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減）の観点から、極めて大きな意義がある。
 - ・オイルフェンスは流出油の物理的除去方策として従来から用いられてきたが、荒天下における事故や自然災害等の有事の際に使用されることが多いが、そのような荒天状況では油の捕捉効率が悪いことが問題視されている。本研究で港湾空港技術研究所と共同で取り扱う新型式オイルフェンスは、こうした問題を解決し、国民の安全・安心の確保、環境負荷の低減に寄与する研究として位置づけられる。
 - ・日本周辺海域には多数の沈没船・座礁船が存在しており、経年によるタンク腐食に起因する重油の流出が懸念されている。本研究で対象としている、座礁船等の燃料油タンクから水蒸気爆発や油処理剤等を併用して油の効率的回収を試みる技術は、そうした懸念を払拭し、国民の安全・安心の確保と環境負荷の低減に大いに寄与するものである。
- ◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
 - ・日本周辺海域の閉鎖湾内・外洋のいずれの場合にも適用可能で、広範囲の物質（油・有害化学物質・放射性物質等）を対象とした海洋拡散シミュレーション計算基盤を構築する試みはこれまでになされておらず、新規性がある。
 - ・座礁船等の燃料油タンクから、水蒸気爆発や油処理剤等を併用して油の効率的回収を試みる技術の開発は、これまでに類例がなく、新規性及び発展性がある。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
 - ・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は、行政要望への対応研究の側面があり、国の期待するスケジュールに従って実施され、成果が創出されている。
- ◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
 - ・日本周辺海域の閉鎖湾内・外洋のいずれの場合にも適用可能で、広範囲の物質（油・有害化学物質・放射性物質等）を対象とした海洋拡散シミュレーション計算基盤を構築する研究は、国際的に見ても遜色ないレベルにある。
- ◎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。
 - ・座礁船等の燃料油タンクから水蒸気爆発や油処理剤等を併用して油の効率的回収を試みる技術は、油の微細化に効果的な条件を実験的に解明する萌芽的研究に該当する。本研究に関しては直ちに実用化に結びつく性質の内容ではないが、海技研と港空研で従来行ってきた油処理研究の知見等に基づき、国研が主導的に取り組むべき課題として取り組みを進めている。

研究主任者による自己評価

B

□本研究のうち、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については、行政要望に直結した内容であり、これをさらに油・有害化学物質まで取り扱えるよう展開した海洋拡散シミュレーション計算基盤の構築についても、最終的なアウトカムとして完成に至れば新規性のある試みと言える。

□実用レベルの検討段階にある新型式オイルフェンス、萌芽的研究の段階にある水蒸気爆発や油処理剤等を併用して油の効率的回収を試みる技術の開発のいずれも、「流出油回収」という有事以外はその重要性があまり省みられることのない地味な分野ではあるが、国民の安全・安心の確保及び環境負荷の低減の観点から、平常時に国研が着実に遂行すべき研究であると考える。

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	
研究テーマ	17. 海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の開発並びに開発の加速に係る技術の開発に関する研究	
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。	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p>

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の実用的な発電デバイスの開発
- 認証およびステージゲート判定のための安全性・性能評価手法の研究
- 有効な技術開発を進めるための要素技術開発

研究目標

- 安全性および性能の最大化を追求した発電デバイスを開発
- 認証およびステージゲート判定のための技術ツールを開発
- 実証フィールドで使用する技術ツール群を開発
- マージンを適正化した必要十分な安全性確保に資する風車・浮体連成荷重評価ツールを開発
- 安全性と発電量・発電品質の両立に資する浮体式用ブレードピッチ制御法を開発
- 安全性の検証および点検・メンテナンスコストの削減に資する浮体構造モニタリングの実用的手法を開発
- 安全性と発電量・発電品質の両立に資するウインドファーム配置最適化の検討ツールを開発

上記成果は、開発した技術を活用し、国等のプロジェクトに参画することにより海洋における再生可能エネルギーの開発が促進されるとともに、我が国海洋産業の競争力が強化され、またエネルギー・モード（例えば、波力等）によっては、位置的偏在が比較的に少ないので全国で取り組み可能であるのに加え、小規模からの導入が可能で製造・保守管理に必要な資本も少ないので、地域密着型の事業展開が可能であり、地方創生にも資することが期待される。

平成 29 年度の研究内容

- 並進動搖型波力発電装置の同調制御法を対象に、不規則波中の波予測の基づくフィードフォワード最適制御ロジックを検討、および制御も含めた実験技術の検討

- 波力発電や海流発電におけるCFDの適用性検討のための試解析を行い、計算技術に関する課題や解決策の方向性を整理
- 浮体式風力発電施設における3翼独立制御技術を模擬した安全性・性能評価開発のための風洞実験技術の検討および適切な制御ロジックの検討
- 浮体式風力発電施設における風車の後流について、風洞実験によって、浮体式風力発電と着床式洋上風力発電の特性の差異を調査

平成29年度の実績

- 並進動揺型波力発電装置の発電性能に係る最適制御について、不規則波中での性能を確認
- 並進動揺型波力発電装置の性能最適化に係る粘性減衰特性をCFDで試解析し検討上の技術的留意点を整理
- 3翼独立制御を行うための風車模型を開発し、3翼独立制御の基本的な制御ロジックを適用した風洞実験にて、風速の垂直分布から発生するピッチ・モーメントの低減効果を確認
- 風洞実験における風車後流計測実験手法を確立

平成29年度の研究成果

□並進動揺型波力発電装置の発電性能評価試験として、昨年度は規則波に遭遇した際の波予測、制御最適化の実験的検証を行い、開発した制御技術の規則波中における発電性能向上を確認した。今年度は、これに引き続き、不規則波中での発電性能を検討した。規則波中では最適な制御パラメータは理論上は一意に決まるが、不規則波中ではそれが刻々と変化するところに難しさがある。基本的には、波予測のモジュールとモデル予測制御のモジュールで構成されたアルゴリズムを適用し、数値シミュレーションと水槽実験の両面からアプローチした。結果として、不規則波中であっても規則波中と同レベルの発電性能が確保できる目途を付けた。特に、発電装置側の可動範囲制限等を考慮した非線形性の強い場合においても、開発した手法が有効であることが確認された。

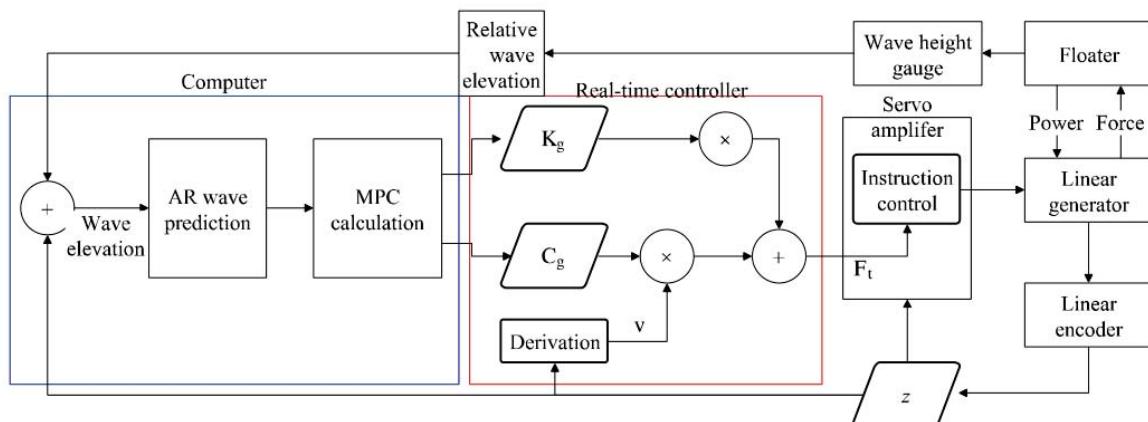


図1 数値シミュレーションのアルゴリズム

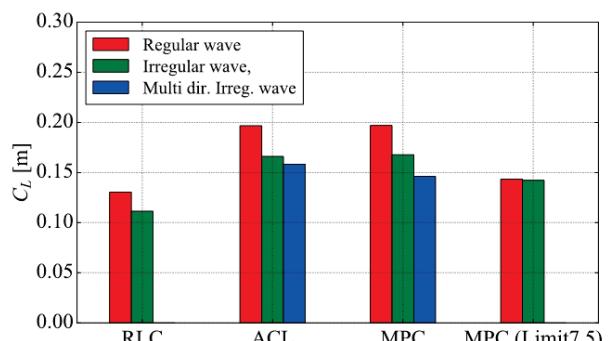
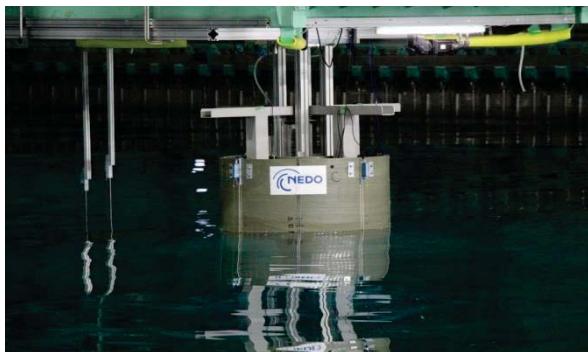


図2 水槽実験

□並進動揺型波力発電装置の性能最適化においては、いわゆるインピーダンス・マッチングの観点から、流体的な減衰力の正確な把握が重要であり、その中で粘性減衰力の寄与は無視できない。粘性減衰力は尺度影響も大きいことから、実験的な把握にも限界があり、実用的なCFD計算手法の確立を目指した。汎用的な技術の確立を目指す立場から、汎用CFDソフトを利用して、系統的な試解析を実施し、必要な計算精度と実用的な計算時間の兼ね合い等から推奨される計算指針を得た。

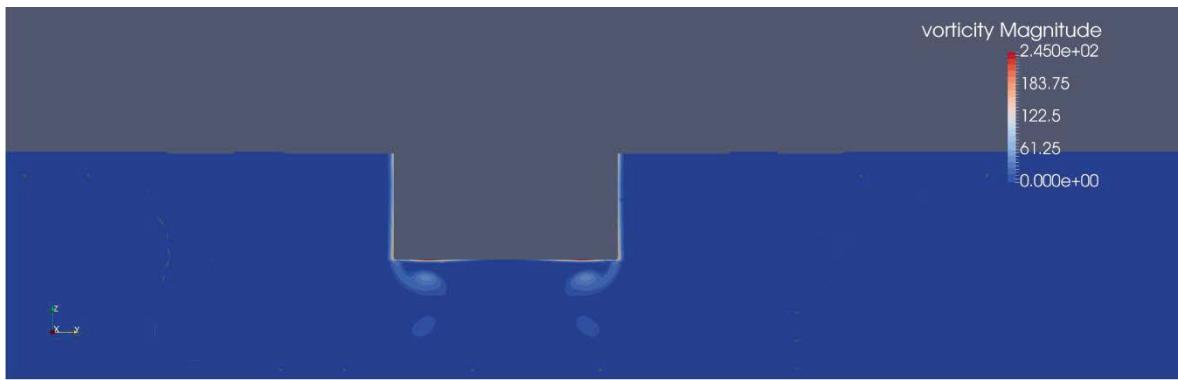


図3 並進動揺型波力発電装置のフロート周りの流れのCFD計算例

□浮体式洋上風力発電では、タワー基部モーメントに対する反力を大きく取れない（傾斜・動揺してしまう）ために、これを踏まえた制御が重要である。例えば、風速の垂直分布から発生するピッチ・モーメント、ジャイロ効果によって発生するヨー・モーメントなどに対する制御は、3翼をそれぞれ独立的に制御することにより動揺抑制の効果が發揮できる。そこで、この制御技術を模擬した安全性・性能評価開発のための風洞実験技術の検討を行った。まず、3翼独立制御を行うための風車模型を開発した。これは、機構が重量化をするのを極力抑え、且つ信頼性の高い動きをさせるための工夫を凝らした調整を必要とした。更に、同模型で、3翼独立制御の基本的な制御ロジックを適用し、前述の風速の垂直分布から発生するピッチ・モーメントの低減効果を実験的に確認した。

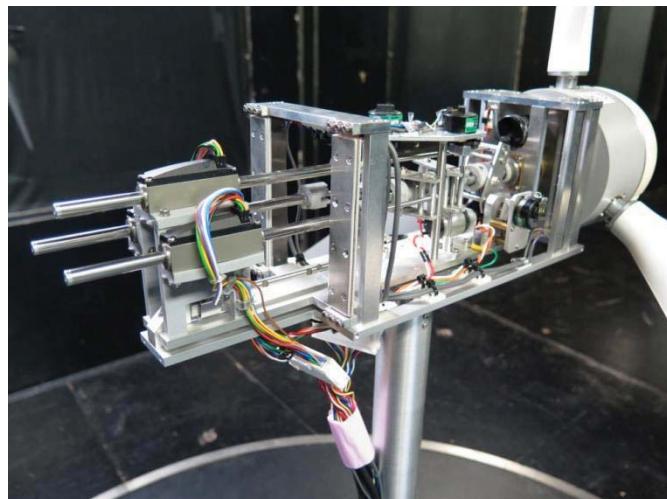


図4 3翼独立制御を行うための風車模型

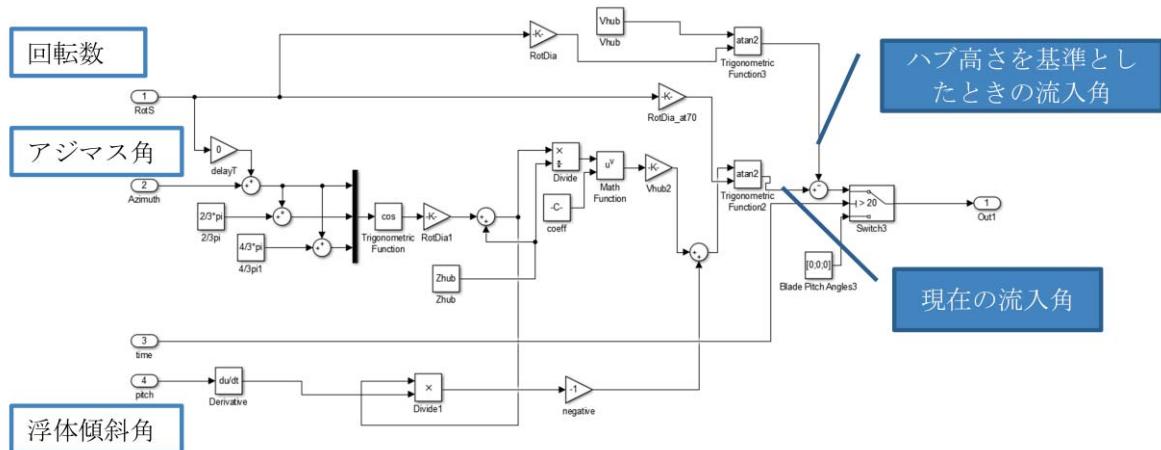


図5 3翼独立制御アルゴリズム

□風車後流およびそれに対する風下風車の影響の評価技術の確立に向けて、風洞実験手法を検討した。波浪中で動搖する浮体式風力発電を想定した実験を行うための、機械的強制動搖下での実験手法も検討した。何れも実験を試行し、妥当な計測が行われていることを確認した。(次年度以降に、系統的な評価を行って行く。)

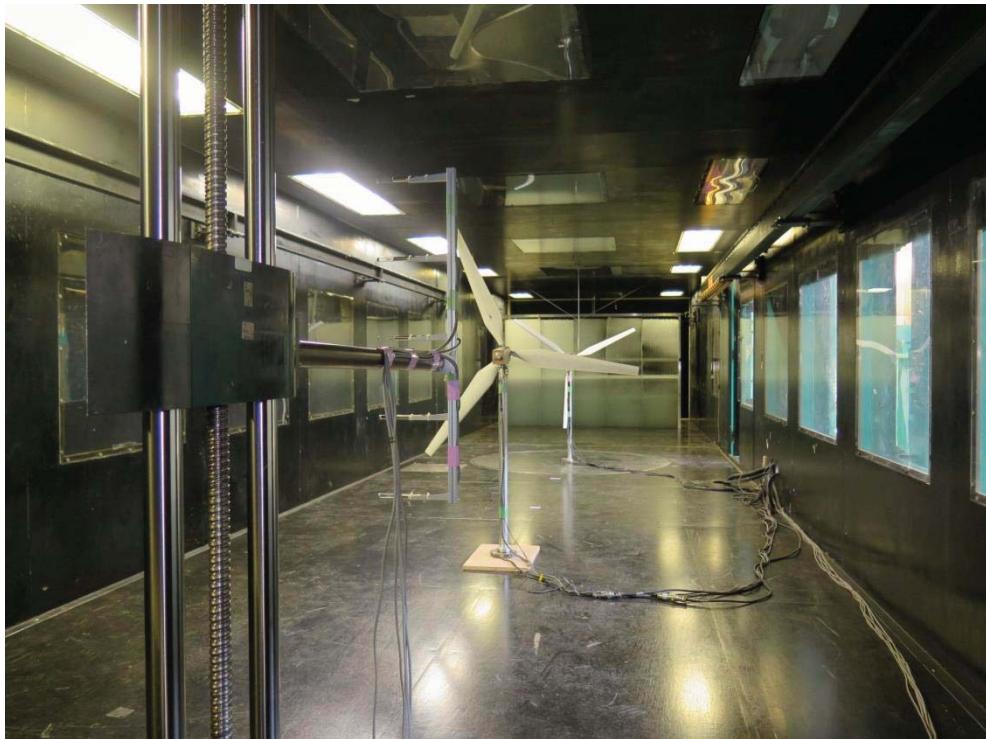


図 6 風洞実験における風車後流計測実験

成果の公表

ジャーナル

- 1)上野和浩、山田雅貴、羽田絢、他：強風下の浮体式洋上風力発電におけるブレードピッチ曲げ応力の変動抑制を目的とする非線形モデル予測、計測自動学会論文集、第 54 卷第 2 号（2017）
- 2)谷口友基、平尾春華、國分健太郎、他：一点緊張係留された並進動搖型波力発電装置に関する研究、日本船舶海洋工学会論文集(2018) （投稿中）

本文査読付きプロシーディングス

- 1)Umeda, Goto, Fujiwara, et al. : Experimental Study on Model predictive Control for a Point Absorber Type Energy Converter with a Linear Generator, OMAE2018

海技研報告の研究報告

無し

上記以外

- 1)井上俊司：海洋再生エネルギー発電装置の安全性照査のための水槽実験の基本的考え方について、平成 29 年度 日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集（2017）
- 2)井上俊司：波力発電装置の安全性照査のための水槽実験における尺度影響に関する一考察、平成 29 年度 日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集（2017）
- 3)Kurosaki, Yamamoto, Goto, et al. : Wave Energy Innovation by Progressive Tuning Control Strategy, Grand renewable Energy 2018
- 4)Chujo, Haneda, Nimura, et al. : Wind Tunnel Test with Individual Blade Pitch Control Wind Turbine Model in Wind Shear, Grand renewable Energy 2018
- 5)Chujo, Haneda, Inoue : Scale Model Experiment of Weather-Vane-Type Floating Platform for Downwind-Type Offshore Wind Turbine, OCEANS2018 MTS/IEEE (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。
- 並進動搖型波力発電関連および浮体式風力発電関連で、共に、当重点研究で培った実験技術が NEDO プロジェクトに大きな貢献をしている。我が国でも環境対策に係る再生エネルギー利用の議論が高まる中、波力発

電は離島等に分散型電源として、洋上風力は国勢上で陸上の余地が少ない我が国の自然エネルギーの切り札として期待が高く、これに応える重要な要素技術開発に貢献している。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□船舶海洋工学の流体力学、空気力学および先端的な制御工学を融合させた分野であり、海技研の古典的な技術ポテンシャルに立脚しつつも、学際領域を取り込んだ先端分野となっている。いわゆるイノベーション分野の一つと位置付けることが出来る。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□我が国においては、今般のエネルギー基本計画の改定において、再生エネルギーの重要性が確認されるものと考えられる状況で、NEDO 等の事業に連携して研究を進めており、社会の要求に応えたタイミングでの進捗となっている。

◎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。

□並進動揺型波力発電装置における発電効率最大化制御技術、浮体式風力発電施設における3翼独立制御技術、共に世界的にも未確立された技術が未だ無い最先端の研究課題である。

◎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。

□A I の導入を含めて、今後、一気に進展する可能性を秘めた分野であり、技術革新が期待できる。

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□国等のプロジェクトへの参画を通じた研究開発成果の最大化に向け、発電効率の向上や装置の信頼性向上に資する顕著な成果の創出が認められ、将来的な再生エネルギー事業創出等への期待も認められる。

研究計画委員会による評価	A
--------------	---

□

研究開発課題 (7) 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	研究テーマ 18. 海洋資源・エネルギー開発統合システム等の総合安全性評価技術の開発に関する研究	
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。	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 －海底熱水鉱床開発に関連するプロジェクト等の支援や複合環境外力下での海洋構造物の安全性評価技術等の開発を進める。 等</p>

研究の背景

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

- 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（暴風域、強海流域、氷海域：海水、氷山等）で使用される海底エネルギー開発統合システム（浮体システム（支援船、輸送船を含む）+Surfシステム）の安全性・稼働性評価技術の開発

研究目標

- 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、オペレーションガイドラインを作成
- 商業化を目指した海底熱水鉱床開発用海中システムや全体システムの計画支援プログラムを開発
- 厳環境下で使用される係留・ライザーシステムの設計技術及び安全性評価技術を開発
- Surfシステムのinstallation技術等の安全性健全性評価技術を開発
- 厳環境下で使用される海底エネルギー開発統合システムの総合安全性、稼働性評価技術を開発するとともに、船級協会等に安全性に関わる技術指針を作成
- Disconnectable Turret/Riserシステム等を用いた厳環境下で使用されるFPSOシステムを開発

上記成果は、商業化を目指した海底熱水鉱床開発用海中システムや全体システムの計画支援プログラムを事業主体に提案することにより、技術的・経済的にフィジブルなシステム開発を可能とし、世界初となる海底熱水鉱床開発事業の実現につながり、さらには、研究成果を他の海底鉱物資源開発事業に展開し、我が国民間企業の海洋産業への進出を技術的に支援することにより、我が国の海洋産業の育成やエネルギー・鉱物資源の安

定供給確保に貢献することが期待される。

平成 29 年度の研究内容

- 海底熱水鉱床商業生産システムのコンセプトに基づき、稼働性の検討を行う。
水中条件において模擬鉱石等の掘削試験を行い、所要動力等の比較により簡易的な採掘ユニットの掘削性能評価手法を検討する。
採掘ユニット及び揚鉱ユニットを含めた一体システムの挙動解析を行う。
揚鉱管及び戻り管で構成されるライザーシステムを対象とした VIV 解析プログラムを開発する。また、集鉱・揚鉱に供するフレキシブルホースや鋼管の耐久性を向上するために、管内摩耗のモニタリング技術及び摩耗低減技術に関する検討を行う。
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し、とりまとめを行う。
経済産業省の委託を受けて(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) が実施している採鉱・揚鉱パイロット試験事業に民間企業とともに参加する。
採鉱・揚鉱パイロット試験で得られた知見も活用して、採鉱・揚鉱オペレーションに関する安全ガイドラインの骨子を作成する。
- 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のβ版を作成する。
- 小氷盤群中で浮体動搖の影響を考慮した氷荷重シミュレーションプログラム開発および氷海水槽における係留試験法の検討を行う。また、氷の破壊挙動を考慮した構造応答解析法の検討を行う。
- パイプライン、ライザーを含めた構造物中の内部多相流に関する流体解析プログラムの開発を行う。また、設置オペレーション解析でコアになる、海底機器に作用する流体力についての数値解析及び水槽試験を実施する。

平成 29 年度の実績

- 海底熱水鉱床商業生産システムの稼働性の検討のために、日本近海の波浪推算データと JCOPE2 再解析データを用いた静穏海象継続時間割合と静穏時間作業確率を求めるプログラムを開発し、海底熱水鉱床が存在するとされる複数地点において複数の連続作業日数（オペレーションウィンドウサイズ）の静穏海象継続時間割合と静穏時間作業確率を算出した。
採掘ユニットの掘削性能評価手法の検討に関して、海底鉱石等の強度特性に対する高圧力の影響に関する文献調査を行い、高圧水中条件における鉱石等の掘削試験の手法を検討した。
揚鉱ユニットと母船を接続した状態での挙動を解析するためのツールの適用性を検討した。
2 本円柱の VIV 振動推定に必要な流体力データベースを作成するために模型試験を行った。また、管内摩耗のモニタリング技術及び摩耗低減技術に関する検討を行い、検証実験を行った。
鉱石選別手法として、浮遊選鉱を適用する手法を考案し、高圧水中条件における接触角等の基礎データの取得や、気泡径計測技術の研究を実施した。また、レーザーを利用した現場型鉱石品位計測技術の選別ユニットへの適用を目的として、選別に適した粉碎済み鉱石粒子を対象とした品位計測データの取得を行った。
経済産業省の委託事業にて JOGMEC が実施した採鉱・揚鉱パイロット試験事業において、採鉱・揚鉱パイロット試験の稼働性評価、安全性評価における事前検討及び事後評価を実施するとともに、揚鉱母船の稼働性評価手法及び揚鉱管挙動評価手法を構築した。
採鉱・揚鉱オペレーションの実海域試験におけるインシデント情報、関連する労働災害情報など、安全ガイドラインに必要な項目に関する資料を調査した。平成 28 年度までの安全性評価、平成 29 年度の追加の評価結果等からオペレーションにおいて注意すべきことを整理した。
□既存の計画支援プログラムのアルゴリズムを調査し、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のβ版を作成した。
□小氷盤群中において浮体に作用する氷荷重の数値シミュレーションプログラム及び同簡易推定法を開発し、氷海水槽試験結果と比較して精度を検証した。前者について国際学会で成果を発表した。
平成 28 年に引き続き船尾ダクトの氷塊衝突時の構造応答解析を行った。成果を国際学会で発表するとともに、国際ジャーナルに投稿し受理された。
□内部流解析のための定常及び非定常数値計算を行うため、質量・運動量保存則に基づき離散化を行い、数値計算プログラムを開発した。
パイプラインのエルボー付近に発生する固液相の圧力勾配の変動現象を観察するため、線形安定性解析を行い、その支配的な物理パラメータとその影響について数値的に調査した。
内部流とフレキシブルホースの干渉影響を調査するため、流体構造連成解析プログラムを開発し、フレキシブルホースの定常形状に影響を与えるパラメータについて調査した。
海底機器の設置オペレーションを想定した水槽試験を実施し、揚降物の振れ回り運動などに関する実験データ取得及び知見を獲得した。CFD 解析を含めた対応数値計算を現在実施中である。

平成29年度の研究成果

□海底熱水鉱床商業生産システムを対象とした静穏時間作業確率の算出結果の一例を示す(図1)。若御子カルデラは薩摩湾に囲まれているため、海気象が比較的穏やかで連続作業日数が長くなても静穏時間作業確率が比較的高いままであるが、ほとんど遮るものなり外海の明神海丘や沖縄本島から少し離れた伊是名海穴では連続作業日数が延びるに従い静穏時間作業確率が急激に低下する。

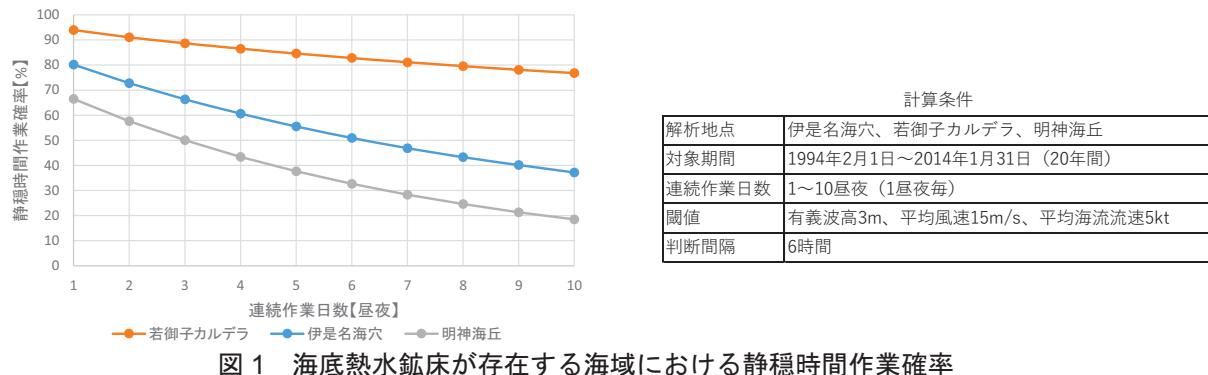


図1 海底熱水鉱床が存在する海域における静穏時間作業確率

採掘ユニットの掘削性能評価手法の構築が、商業レベルの採鉱技術を確立するための技術的課題の一つであるとして関係機関へ提案した。

揚鉱ユニットと母船を接続した状態での挙動を解析するためのツールにて、静的及び動的な計算が実施可能であることを確認した。

研究例の少ない動搖2本円柱について、模型試験結果に基づき、相対運動を加味した動搖パターン分けを行い、2本円柱のVIV挙動推定プログラムに必要な振動パターン毎の流体力データベースを作成した(図2)。また、配管の摩耗損傷箇所を把握し、配管等の寿命を延ばす方法として、スラリー中の鉱石の摩耗評価方法、ホース内管の色分けによる摩耗検知方法、摩耗低減のためのライザー付きホース、磁性ビーズによる摩耗低減方法等について検討し、検証実験を行うとともに特許を4件出願した(図3)。



図2 2本円柱曳航試験装置



図3 摩耗試験状況

レーザーによる粉碎済み鉱石粒子の品位計測データや、高圧水中条件における鉱石の接触角等、世界的にもあまり蓄積されていない基礎データを取得することができた(図4)。

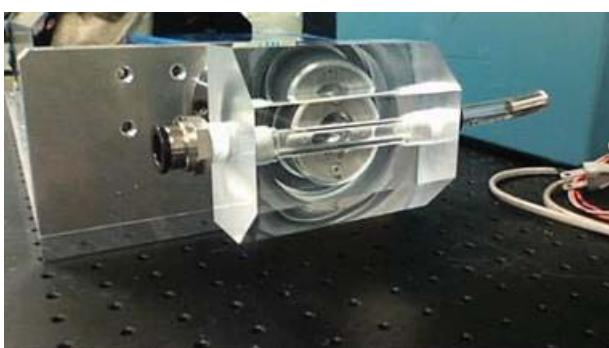
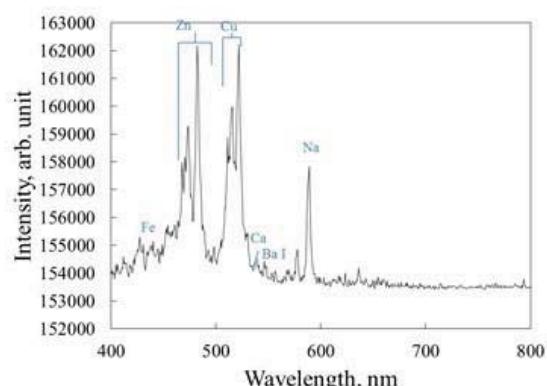


図4 レーザーによる鉱石粒子品位計測用チャンバの外観（左）及び計測データの例（右）



経済産業省の委託事業にて JOGMEC が実施した採鉱・揚鉱パイロット試験事業において、採鉱・揚鉱パイロット試験の稼働性評価、安全性評価等を行って、水深約 1,600m の海底熱水鉱床を海水とともに連続的に洋上に揚げるという世界初となる試験の成功に貢献するとともに、揚鉱母船の稼働性、揚鉱管挙動等に関する実海域試験にて取得した各種データとの比較を通じて、それらの評価手法を構築した（図 5）。平成 28 年度に行なった既存の安全ガイドライン、DP 事故の調査に引き続き、過年度までに行なった HAZID 会議、HAZOP 会議、平成 29 年度に実施した差分 HAZID 会議、浅海域試験より得られたハザード情報から注意すべきことをとりまとめ、安全対策とその方法の検討を行なった。これらに加え、実海域試験により得られたインシデント情報から商用化に向けて注意すべきことを抽出し、安全ガイドラインに記載する項目としてとりまとめた。



図 5 採鉱・揚鉱パイロット試験概要（左）及び洋上に揚がった鉱石（右）（経済産業省 HP より）

□海底熱水鉱床開発専用としては世界初となる、計画支援プログラムのβ版を作成した（図 6）。平成 30 年度にプログラム登録を行う予定である。

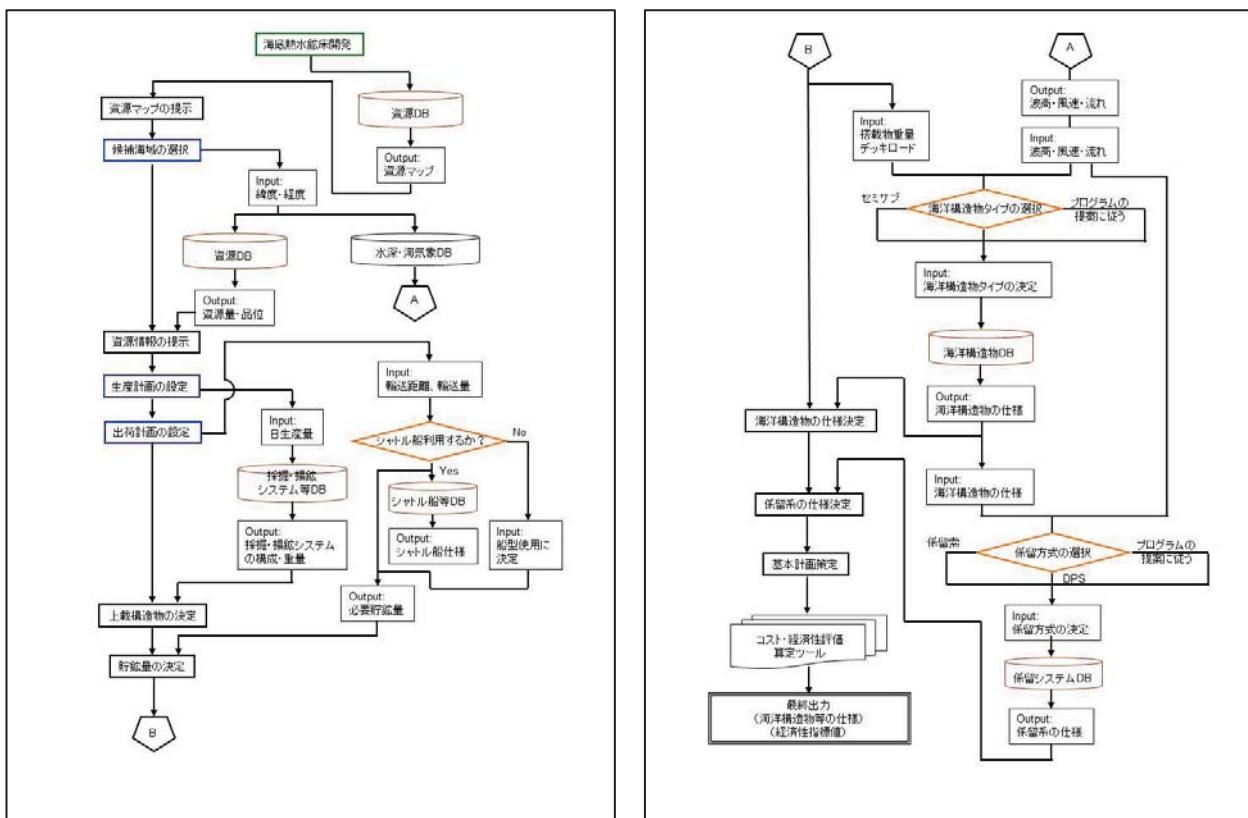


図6 計画支援プログラムβ版のプログラム構成

□浮体動揺を考慮可能な手法で氷荷重シミュレーションプログラムのベースを開発した。当該手法を小氷盤群中におけるモノコラムハル型浮体の曳航試験に適用し、実験結果と比較して合理的な結果が得られることを確認した（図7）。小氷盤群中で浮体に作用するピーク荷重の発生要因を示し、成果を国際シンポジウム「オホーツク海と流水」で発表するとともに、国際学会 ISOPE2018 で発表予定である。また、モノコラムハル型浮体である Kulluk の実機データから、氷海水槽試験における係留設計を実施した。

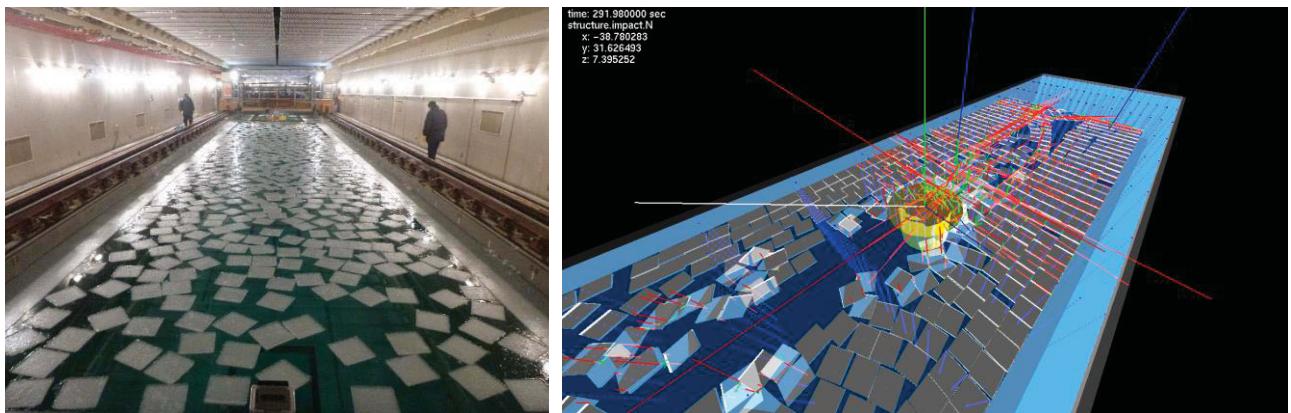


図7 小氷盤群中の氷海水槽試験（左）と氷荷重シミュレーション（右）

氷塊の材料構成則について検討し、氷の破壊挙動を再現可能な構造応答解析手法のベースを構築した。当該手法を、WAD を有する船舶と氷塊の衝突解析に適用し、従来手法と比して合理的な結果が得られることを確認した（図8）。WAD に対して、氷塊を FE モデル化し動的衝突解析がされた例は世界で初である。加えて、感度解析を行い、氷塊衝突時の WAD の構造応答の傾向を明らかにし、運動量理論と比較を行った。以上の成果を、国際学会 POAC2017 で発表し、また英文ジャーナル IJNAOE に投稿し、受理された。

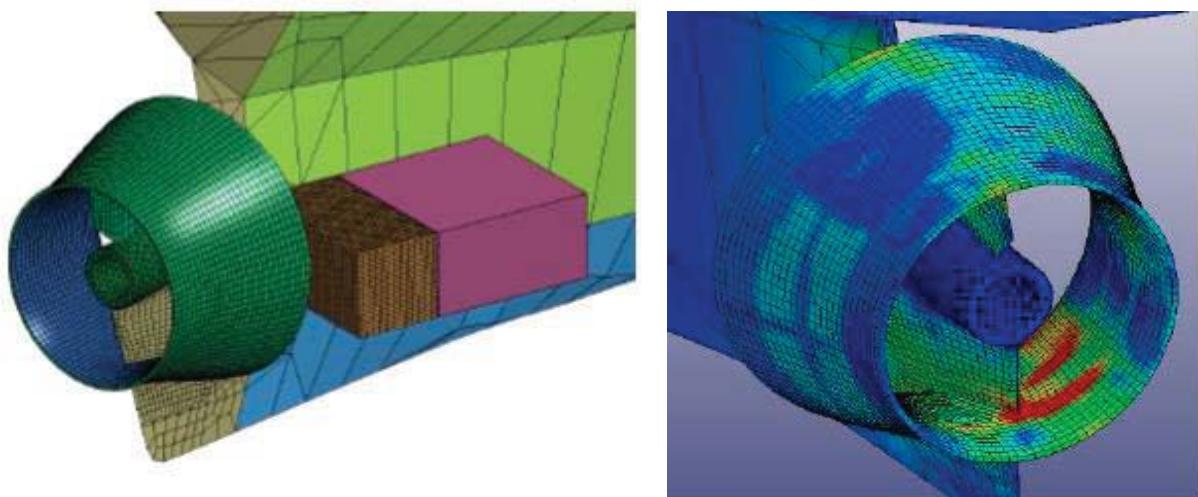


図 8 WAD の氷塊衝突解析モデル（左）と構造応答（右）

□内部流解析（気液相）のためのコアとなる数値計算プログラムを開発した。

スラリー輸送効率に影響を及ぼす、パイプラインのエルボー付近に発生する圧力勾配変動の安定性について、支配的な物理パラメータを数値的に明らかにした（図 9）。

内部流とパイプライン（柔軟構造物）の連成挙動解析プログラムを開発し、パラメトリックスタディを通じて干渉効果に関する知見を得た（図 10）。

海底機器設置オペレーションにおいて、従来の研究で注目されていた揚降物に作用する波浪衝撃力や張力変動ではなく、揚降物の振れ回り挙動に新たに注目し、実験データ及び知見を得た（図 11、図 12）。

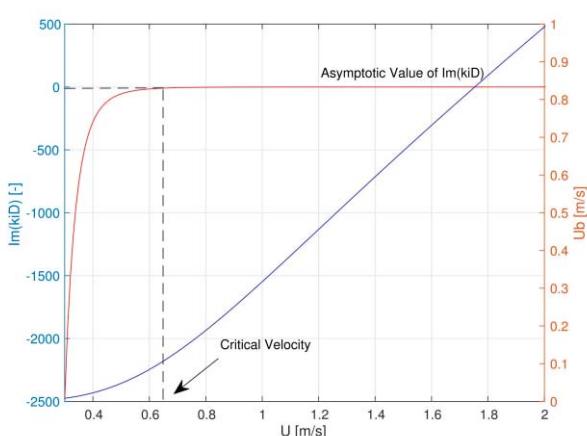


図 9 内部流線形安定性解析

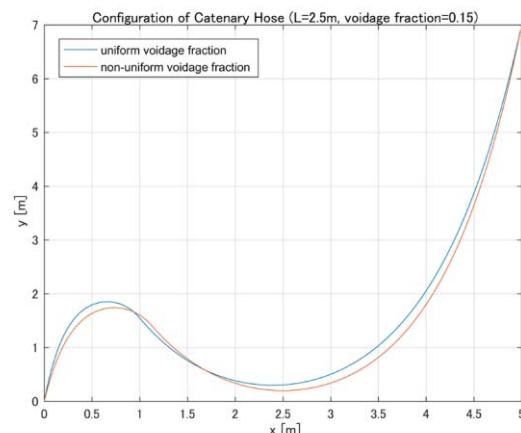


図 10 フレキシブルホースの数値解析

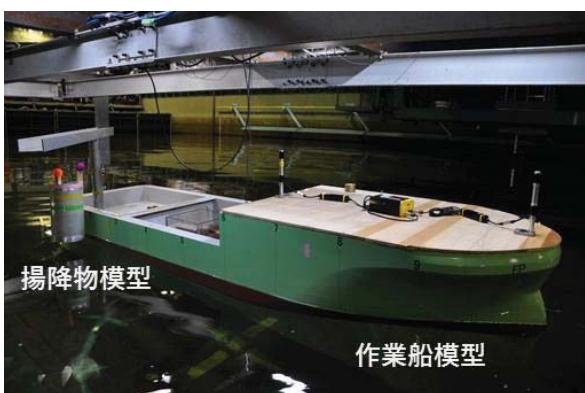


図 11 揚降作業の水槽試験

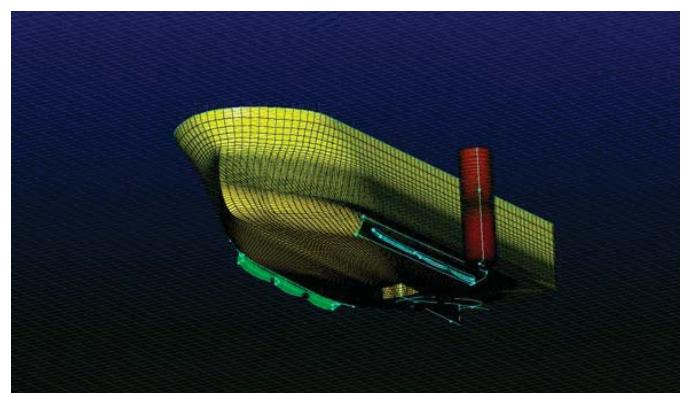


図 12 実験対応の数値計算格子（現在、計算実施中）

成果の公表

□特許：4件

- ・鉱石スラリー輸送用配管系の摩耗評価方法、摩耗評価装置、及び鉱石の摩耗度測定装置
- ・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
- ・摩耗検知機能を持つ輸送管、輸送管の製造方法、摩耗検知方法、及び輸送管の運用方法
- ・摩耗検知機能を持つ輸送管、摩耗検知方法、及び輸送管の運用方法

□発表論文等：8件

【ジャーナル、本文査読付きプロシードィングス、海技研報告の研究報告】

- ・高橋一比古、正信聰太郎、金田成雄ほか：積層フレキシブルパイプモデルの曲げ試験および断面解析、海上技術安全研究所報告、第17巻、第2号（2017）、pp.67-84.
- ・Matsui, S., Uto, S., Yamada, Y., et al. : Numerical Study on the Structural Response of Energy-Saving Device of Ice-Class Vessel due to Impact of Ice block, Proc. the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (2017), POAC17-045, pp.1-17.

【その他】

- ・Hasegawa, K., Uto, S., Matsuzawa, T., et al. : Non-smooth Discrete Element Method simulation on Single Ice Floe-Structure Interaction and Comparison with Result of Ice Tank Test, Proc. the 33rd International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (2018), pp.187-190.
- ・正信聰太郎、山本謙司、高橋一比古ほか：海底鉱物資源開発等に係る基盤技術の構築に関する研究、海上技術安全研究所報告、第17巻、第2号（2017）、pp.1-28.
- ・Araki, M., Masanobu, S., Kanada, S., et al. : Experimental Study on Riser Pipe Motion and Pressure Loss during Hydraulic Transport of Large Particles in Oscillating Pipe、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第24号（2017）、pp.639-644.
- ・大坪和久：内部スラリー流を考慮したフレキシブルホースの定常形状解析、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第25号（2017）、pp.671-674.
- ・石田圭、大坪和久、佐藤宏ほか：揚鉱管を懸下したオフショア作業船の波浪中動揺試験、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第25号（2017）、pp.497-501.
- ・高野慧、正信聰太郎、金田成雄ほか：海底鉱物資源開発におけるエアリフト方式での揚鉱に関する実験的研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第25号（2017）、pp.661-664.

□発表予定論文等：10件

【ジャーナル、本文査読付きプロシードィングス、海技研報告の研究報告】

- ・Matsui, S., Uto, S., Yamada, Y., et al. : Numerical Study on the Structural Response of Energy-Saving Device of Ice-Class Vessel due to Impact of Ice block, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering (IJNAOE), Vol. 10, Issue 2 (2018).
- ・高野慧、小野正夫、正信聰太郎：海底熱水鉱床のスラリー移送による揚鉱管の摩耗量評価方法の提案、土木学会論文集（2018.6公開予定）。
- ・Takahashi, I., Masanobu, S., Kanada, S., et al. : Bending Tests and Cross-section Analyses of Multilayered Flexible Pipe Models, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)。
- ・Takano, S., Masanobu, S., Kanada, S., et al. : Experimental Studies of Air-Lift Pump for Deep Sea Mining, Proc. 37th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2018).
- ・Hasegawa, K., Uto, S., Shimoda, H., et al. : Numerical and Experimental Investigations of Managed Ice Loads acting on Fixed Conical Structure, Proc. the 28th International Ocean and Polar Engineering Conference (2018).

【その他】

- ・Nakajima, Y., Yamamoto, J., Takahashi, T., et al. : Measurement of Metal Grade of Ore Particles in Slurry Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, Proc. OCEANS'18 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEAN'18 (2018).
- ・Hayashi, N., Takano, S., Shiotsuki, K., et al. : Study on Slurry Transportation in Riser for Seafloor Massive Sulfides, Proc. OCEANS'18 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEAN'18 (2018).
- ・Fujiwara, T., Masanobu, S., Kanada, S., et al. : A Study on Behavior Estimation of Lift Pipe for SMS Mining, Proc. OCEANS'18 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEAN'18 (2018).
- ・大坪和久、荒木元輝、石田圭ほか：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、加藤俊司、中島康晴ほか：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）。

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。
- 海底熱水鉱床採鉱・揚鉱技術の開発は、我が国の金属鉱物資源を確保する上で重要な課題であり、当該課題解決のための JOGMEC 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上げており、社会的価値を創出している。
- ◎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。
- 世界初となる海底熱水鉱床のスラリーによる連続揚鉱試験の成功に貢献するとともに、研究成果の一部で特許出願もなされており、また当該課題は他の海底鉱物資源にも適用できることから、科学的意義は大きい。
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
- 海洋エネルギー・鉱物資源開発計画において平成 29 年度に予定されていた、実海域における採鉱・揚鉱パイロット試験の実施等に十分貢献しており、タイムリーに成果を創出している。
- ◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
- 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。
- ◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
- 該当しない。

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

□当所は、採鉱・揚鉱パイロット試験事業に、民間企業とともに参加し、当該試験の稼働性評価、安全性評価、及び揚鉱管の強度評価等を実施するとともに、これまでに実施してきた当所の研究成果が参加企業による機器設計・製作やオペレーション検討に活用されるなど、世界初となる海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に対して技術的貢献ができたと考えている。当該試験の成功によって、海底熱水鉱床開発事業に向けた検討が加速するとともに、我が国は国際的にみても本分野でトップクラスの技術を保有することができたと考える。以上のことから、「研究開発成果の最大化」に向けて「特に顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められるもの」として、「S」評価とした。

研究計画委員会による評価	A
□	

研究開発課題	(7) 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
---------------	---

研究テーマ	19. 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	
中長期目標	中長期計画	年度計画

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、

- 複合環境外力下における海洋構造物の RAM (Reliability, Availability & Maintainability) 解析技術の開発
- 海洋構造物に係るオペレーション安全の標準的リスク評価手法の整備
- 海洋構造物の総合的シミュレータの開発
- プロジェクト認証基準の整備

研究目標

- 海洋構造物の HSE 認証の基準の整備 (FLNG・FSRU ガイドライン改正案、認証ガイドライン、マニュアル等の作成)
- 海洋構造物の HSE 認証の技術的基盤である支援技術の開発 (RAM 解析技術、リスク評価手法、統合シミュレータ等)

上記成果は、ブラックボックスであった海洋構造物の HSE 認証基準の整備とその技術的基盤である支援技術が開発されることにより、海洋資源開発プロジェクトへの我が国事業者の参入が促進されるとともに、HSE 認証での仕様変更に係る事業リスクの回避及び独自技術の蓄積が可能となり、我が国海洋産業の発展が実現され、また整備した認証基準及び開発した支援技術が HSE 認証を通じ実プロジェクトに適用され、かつ、実プロジェクトからの技術的な知見・経験がフィードバックされるため、海洋産業の発展だけでなく、未開であつた海洋資源開発分野の安全技術の著しい進歩も期待される。

平成 29 年度の研究内容

- 水槽試験により、タレットまわりの船体動揺を精度良く推定するために重要となる Yaw 運動に対する粘性減衰係数を取得する。
- 複合外力下での総合試験を実施し、係留張力や振れまわり運動等の動揺データを取得し、洋上出荷オペレーションシミュレータの推定精度を検証する。また、Steel lazy wave riser の浅海域への適用可能性を検討するため、Steel lazy wave riser を接続した FPSO システムとシャトル運搬船を対象とした安全性、稼働性評価を行う。
- 潮流下の VIV を考慮した Steel lazy wave riser の水槽試験を実施し、数値シミュレーションで必要となる諸係数の同定や荷重、振動モード等のデータを取得する。また、洋上出荷オペレーションシミュレータを用いた浮体・係留・ライザーの一体動的シミュレーションにより、浅海域における Steel lazy wave riser を接続した FPSO システムの安全性評価や riser の疲労評価を実施し、浅海域への適用可能性の検討や課題抽出を行う。
- Disconnectable Mooring Spar (DMS) と FPSO 等との接合を対象とした数値計算モデルを構築し、DMS の安全性評価および洋上出荷オペレーションへの適用可能性について検討を行う。
- FSRU 等の FLNG システムの津波対策として、オペレーション上危険と考えられる衝突に着目し、衝突シミュレーション手法を考案し、安全評価手法として整備する。

平成 29 年度の実績

- FPSO からシャトルタンカーへの洋上出荷を想定し、Turret の設置位置および潮流の流速をパラメータとした FPSO の潮流中振れまわり挙動計測試験を実施し、流速と船体挙動、振れまわり周期の関係を把握した。
- 上記水槽試験と数値シミュレーションの結果を比較することで、潮流中で振れまわる FPSO に働く回頭角速度による抗力 (Yaw rate damping) を同定した。
- Steel lazy wave riser の縮尺模型を対象とした潮流下の VIV (Vortex Induced Vibration) 挙動計測試験を実施し、数値シミュレーションで必要となる諸係数の同定や振動モード、荷重等のデータを取得した。
- VIV 振幅や振動周波数について、周波数領域の解析結果と模型試験結果が良く一致することを示した。
- 水深 1,800m の海域を対象とした実機スケールライザーの潮流中 VIV 挙動解析を行い、時間領域法による解析結果は周波数領域による解析結果に比べて、VIV 挙動の最大振幅を過大評価し、流速が小さい場合にモード形状も異なることを示した。
- クラシックスパー型とトラススパー型の Disconnectable Mooring Spar (DMS) に対し、波浪中における Heave 運動および Pitch 運動の応答解析からトラススパー型浮体の優位性を示した。
- FPSO-DMS-係留索による一体挙動解析モデルの構築を始めるとともに、解析モデルの精度検証を目的とした水槽試験で用いる模型や治具等の設計を行った。
- 海洋構造物の RAM 解析および厳海象下における総合安全性評価のための基盤技術として開発している洋上出荷オペレーションシミュレータについて、Tether ラインで繋がれた Pliant wave riser の計算モデルを構築し、ライザー内容物（高圧生産流体）を考慮した浅海域における FPSO の稼働性や安全性が評価できるように改良を行った。
- FPSO の External Turret が海面下に没水する場合のタレット底面への衝撃圧の評価手法について調査を行い、洋上出荷オペレーションシミュレータの解析結果（External Turret の没水速度）を用いて、Turret 底面の最大衝撃圧が評価できるようになった。
- VLCC および LNG 船模型を用いて浅水域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拡充した。
- 洋上出荷オペレーションシミュレータの岸壁係船モデルにワインチ機能を追加し、数値シミュレーション時の索取りに応じた最適な初期張力配分が可能となるように機能を強化した。
- 安全評価手法として、FSRU と漂流船舶の衝突に関して、2 船の挙動を含む衝突状況を抽出し、漂流状況や衝突力を解析・評価できるプログラムを構築した。
- FSRU を国内に設置することを想定し、国土交通省の津波対応指針の策定に向け、FSRU システムへの津波影響や緊急時オペレーションの検討等のハード及びソフト面の津波防災対策に関する技術検討を、指針(案)としてまとめた。
- 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、修士論文および卒業論文の執筆指導を行った。修士論文の研究内容については、日本船舶海洋工学会の平成 29 年秋季講演会において発表を行った。

平成 29 年度の研究成果

- FPSO からシャトルタンカーへの洋上出荷を想定し、Turret の設置位置 (External Turret と Internal Turret) および潮流の流速をパラメータとした FPSO 模型による潮流中の振れまわり挙動計測試験を実施した(図 1)。流速と船体の挙動 (Yaw と Sway 運動)、振れまわり周期の関係を把握するとともに (図 2)、潮流中で振れまわり運動をする FPSO の挙動に対する推定精度に大きな影響を及ぼすと考えられる、船体に働く回頭角速度による抗力 (Yaw rate damping) を同定し、海洋構造物の RAM 解析および厳海象下における総合安全性評価のための基盤技術として開発している洋上出荷オペレーションシミュレータで活用できるようにした。



図1 潮流中の振れまわり挙動計測試験

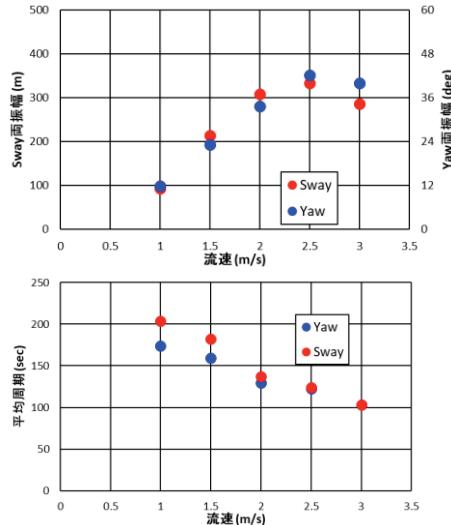


図2 流速と振れまわり振幅、周期の関係

□ Steel lazy wave riser の縮尺模型を用いた潮流下の VIV (Vortex Induced Vibration) 振動計測試験を実施し（図3）、数値シミュレーションで必要となる諸係数の同定や振動モード、荷重等のデータを取得した。また、VIV 振幅や振動周波数について、周波数領域法と時間領域法で実施したシミュレーション結果に対し、周波数領域法による結果が実験値と良い一致を示すことを確認した（図4）。さらに両解析手法を用いて、水深 1,800m の海域を対象とした実機スケールの Steel lazy wave riser と Simple catenary riser を対象として、静的特性と潮流中の VIV 振動解析を行った。その結果、実験結果との比較と同様に周波数領域法に比べ時間領域法による結果は、VIV 振動の最大振幅を過大評価し、流速が小さい場合にモード形状も異なる値を示すことを明らかにした。

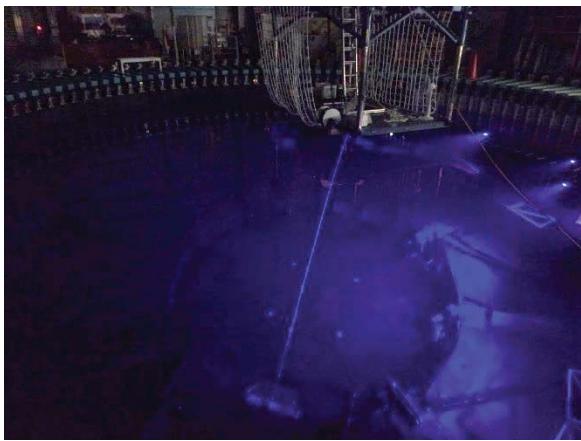


図3 Steel lazy wave raiser の VIV 振動計測試験

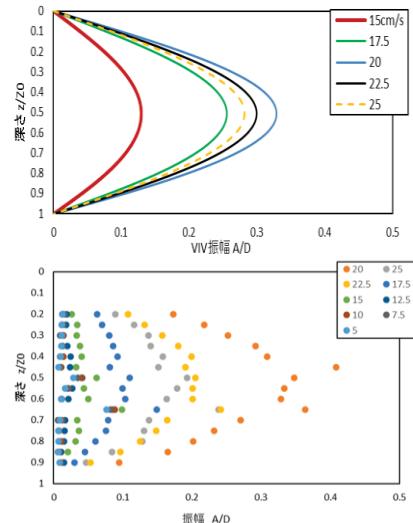


図4 VIV 振幅の比較例（上段：計算結果、下段：試験結果）

□ Disconnectable Mooring Spar (DMS) について、クラシックスパー型（ストレーキの有無 2 種類）とトラススパー型（ストレーキ有り）の合計 3 種類の主寸法を設定し、粘性減衰係数や重心位置等の諸元を推定した。また、係留がある場合と無い場合について波浪中の動搖応答を計算し（図5）、Heave 運動および Pitch 運動の有義値と MPM (Most Provable Maximum) 値の両面からトラススパー型浮体の優位性を示した（図6）。また、次年度は DMS に FPSO が繋がれて稼働している状況（例えば、メタンハイドレート並びに海底鉱物資源開発）を対象として、終局限界環境条件下での稼働性および安全性評価手法に関する研究を行う予定であり、今年度は洋上出荷オペレーションシミュレータにおいて、FPSO の接続時に加えて、Yoke 切り離し後や係留ライン破断後の DMS や FPSO の過渡応答も含めた評価が可能となるように、FPSO-DMS-係留索による一体挙動解析モデルの構築を行うとともに、解析モデルの精度検証を目的とした水槽試験で用いる模型や治具等の設計、計測システムの検討を行った。

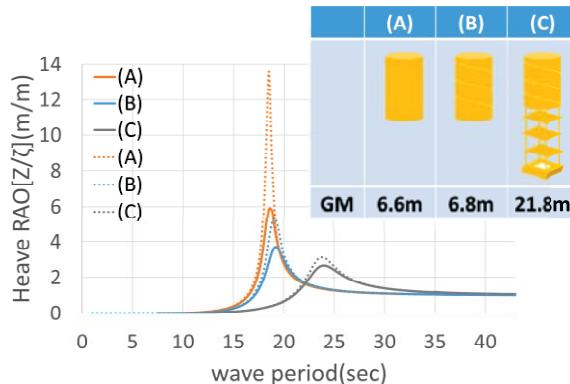


図5 スパー型浮体に対する動搖応答 RAO の比較（Heave 運動）

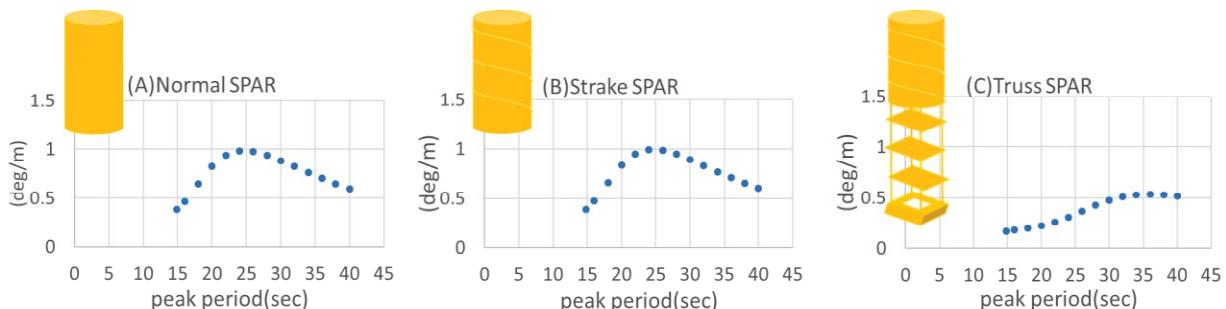


図6 スパー型浮体に対する Heave 運動の有義値応答の比較

□ 海洋構造物の RAM 解析および厳海象下における総合安全性評価のための基盤技術として開発している洋上出荷オペレーションシミュレータについて、Steel lazy wave riser に加えて Tether ラインで繋がれた Pliant wave riser (図 7) の計算モデルを構築し、浅海域で FPSO を稼働する場合の稼働性や安全性が評価できるように改良した。また、ライザーの内容物について海水以外に高圧生産流体を考慮できるようにして、より実際に即したモデルにおいて稼働性や安全性を評価できるようになった (図 8)。さらに、安全性評価の一環として稼働中に FPSO の External Turret が海面下に没水する場合のタレット底面への衝撃圧の評価手法について調査を行い、洋上出荷オペレーションシミュレータの浮体挙動 (External Turret の没水速度) の解析結果を用いて、衝撃圧の評価が行えるようになった (図 9)。次年度は水槽試験を実施し、底面形状の異なる複数のタレット模型に圧力センサーを組み込み、規則波および不規則波中でタレット底面に波を当てて衝撃圧を計測することで、数値シミュレーションの推定精度を検証する予定である。

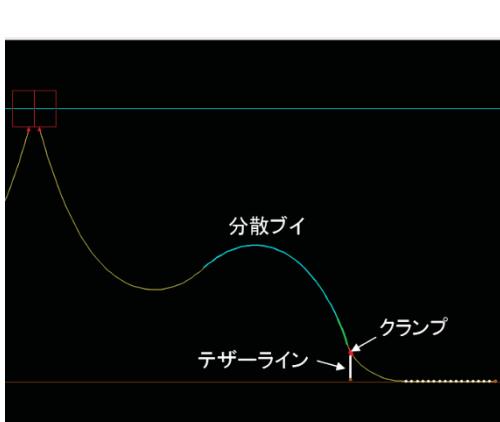


図7 Pliant wave riser

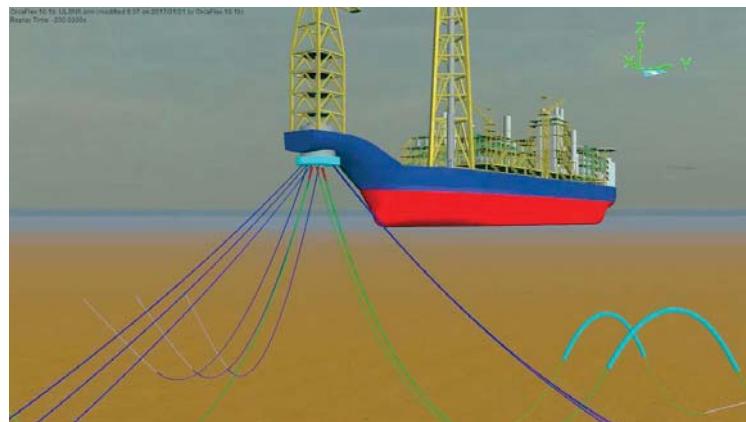


図8 浅海域における Pliant wave riser と FPSO の数値シミュレーション画面

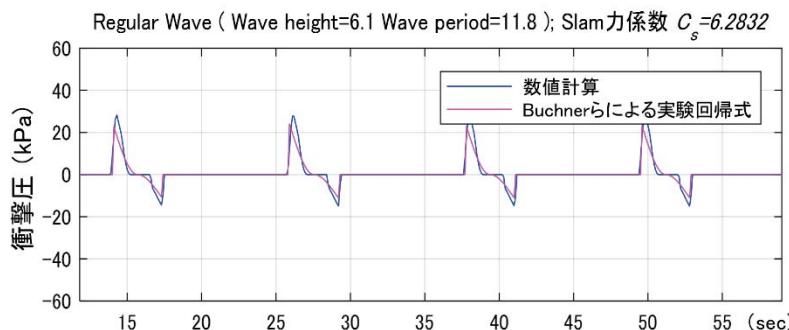


図9 規則波中におけるタレット底面に働く衝撃圧の評価

□ 肥大船型および痩せ型船型の模型船を用いて浅水域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10）。また、洋上出荷オペレーションシミュレータの岸壁係船モデルにワインチ機能を追加し、数値シミュレーション時の索取りに応じた最適な初期張力配分が可能となるように機能を強化した（図11）。

今年度は複数の造船所や運輸安全委員会から厳海象時の係船索張力の評価やうねり等による係船索破断に関する問い合わせがあり、次年度に洋上出荷オペレーションシミュレータを用いた数値シミュレーションによる評価が出来るよう計算モデルを整備した。次年度は、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、岸壁係留船の波浪中動揺試験および係留索の破断試験を実施する予定である。



図10 浅水域における拘束曳航試験

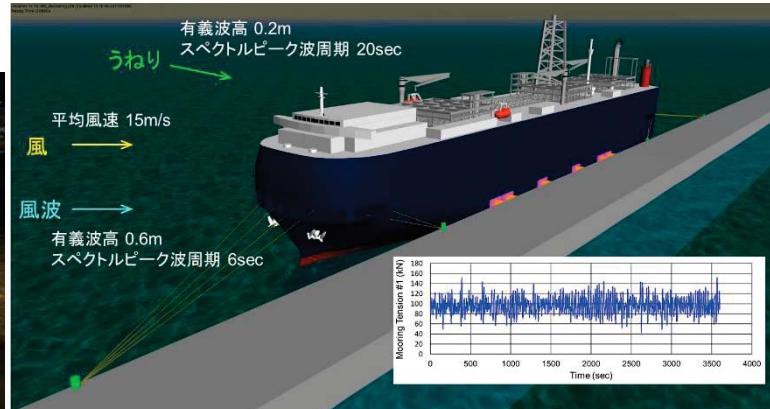


図11 岸壁係留船の数値シミュレーション例

□ 国内のFSRUが津波襲来に伴い付随的に発生する事象である衝突について、FSRU（一点係留）と津波により漂流した船舶間の衝突状況及び危険性を抽出・解析可能な時間領域シミュレーションプログラムを構築した（図12）。FSRU周辺に漂流船舶をランダムに配置して、漂流船舶とFSRUの挙動をシミュレーションすることにより、衝突有無や状況を抽出することができた。また、抽出した衝突状況を解析することにより、漂流船舶の航跡（図13）や衝突力（図14）を示した。衝突結果を視覚化することで、衝突の可能性や危険性を把握することとした。

津波襲来等によるFSRUと漂流船舶の衝突に着目したシミュレーション解析は現在のところ実施されておらず、当該衝突の状況を解析して視覚化することにより、FSRUと周囲の船舶との安全領域を検討する手法となることが期待される。

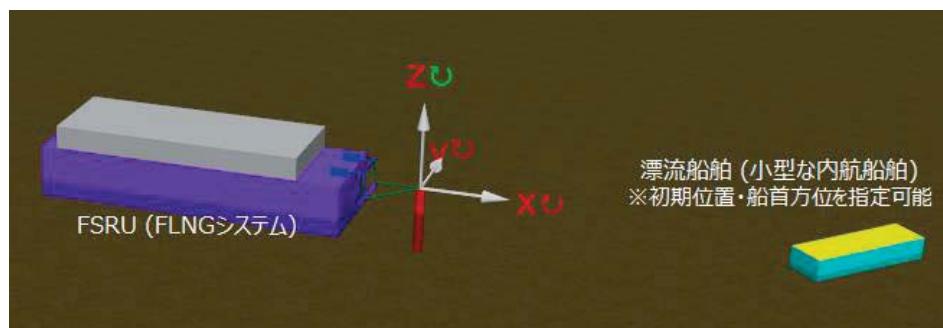


図12 FSRU（一点係留）と漂流船舶（比較的小型な内航船舶）の衝突評価シミュレーション

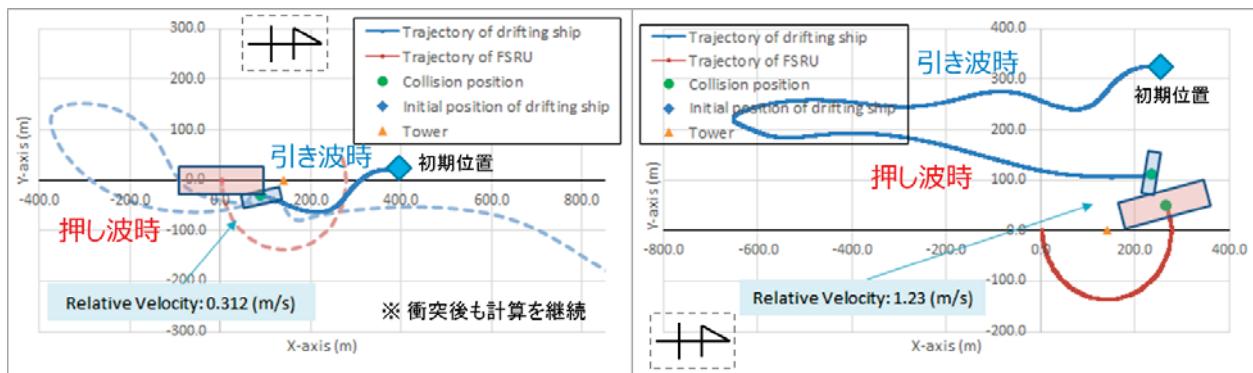


図 13 漂流船舶の航跡（漂流船舶初期船首方位 45 度の場合）

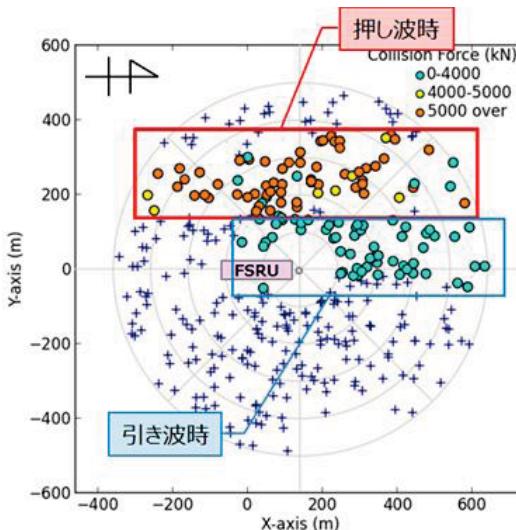


図 14 漂流船舶の初期位置別の衝突力評価（漂流船舶初期船首方位 45 度の場合）

成果の公表

□発表論文等：7 件

【その他】

- ・福島涼, 加藤俊司, 湯川和浩, 村井基彦：不規則波中におけるセミサブ型浮体にはたらく粘性漂流力について, 日本船舶海洋工学会 講演会論文集, 第 24 号 (2017) .
- ・石田有子, 加藤俊司, 湯川和浩, 村井基彦：タワーヨーク係留システムの設計および安全性評価に関する研究, 海上技術安全研究所 研究発表会講演集, 第 17 回 (2017) , pp.178-179.
- ・知花快人, 加藤俊司, 湯川和浩：シンプルカテナリーライザーの VIV 挙動解析, 日本船舶海洋工学会 講演会論文集, 第 25 号 (2017) .
- ・石田有子, 加藤俊司, 湯川和浩, 村井基彦：FSRU におけるタワーヨーク係留システムの設計および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 25 号 (2017) .
- ・河島園子, 加藤俊司, 湯川和浩, 前田克弥ほか：津波襲来時の FSRU と漂流船舶の衝突シミュレーションに基づく危険性の検討, 日本船舶海洋工学会 講演会論文集, 第 25 号 (2017) .
- ・湯川和浩, 藤原敏文, 齊藤昌勝, 佐藤宏ほか：洋上天然ガス生産システム等の総合安全性評価技術に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 17 卷, 第 2 号 (2017) .
- ・湯川和浩：洋上 LNG 移送の稼働性・安全性評価, 東京海洋大学 海洋開発環境エネルギー概論 配布資料 (2017) .

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、国が定める方針（現行の海洋基本計画やエネルギー基本計画等）に示される浮体式 LNG 生産貯蔵積出施設など、国際競争力のある資源開発関連産業の戦略的育成や天然ガスシフトの促進、天然ガスの高度利用等の方針に基づいている。得られる成果は海洋資源開発に係るプロジェクト認証を目的とした支援技術であり、海洋資源開発分野への進出に意欲を見せる船社を中心とした国内海事産業の環境整備や競争力強化に貢献するものである。

□ FSRU を国内に設置することを想定した津波対応指針の策定について検討が行われており（昨年度に引き続き、今年度も国土交通省の委員会が開催され出席した）、津波襲来時の FSRU と漂流船舶の衝突シミュレーションは、本委員会で作成された指針（案）を背景に、津波に対する安全性を担保するための評価手法として構築したものである。

以上のことから、本研究の成果や取組は国の方針や社会のニーズに適用し、社会的価値の創出に貢献していると考えられる。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□ HSE 認証支援技術の開発の中でも、海洋構造物の RAM (Reliability, Availability & Maintainability) 解析技術と認証支援ツールの開発を総合的に取り扱った研究例は無い。FSRU と漂流船舶の衝突に着目した検討やシミュレーションプログラムの構築についても現在のところ研究開発は行われておらず、成果の新規性が高い。また、本研究の成果は海洋資源開発分野への進出を希望する我が国の企業において活用してもらえるものであり、一般性も高い。

以上のことから、成果の科学的な意義は十分に大きいと考えられる。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□ 計画通りに研究を進め、成果を創出するとともに外部に対しても成果の発表を行っている。RAM 解析技術に関する研究開発については、新たに提案されている海洋構造物の生産・出荷装置への対応として、数値計算モデルの構築と並行して水槽試験による検証が必要であり、その部分については今後スケジュールを調整しながら研究を遂行し、成果を出して行きたい。また、昨年度から今年度にかけて国内 FSRU の津波への対応指針の検討に関する委員会が開催されており、今年度に FSRU と漂流船舶の衝突シミュレーションプログラムの構築について成果の外部発表を行っている。

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られる。

◎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。

□ 海洋構造物の RAM 解析技術および標準的リスク評価手法の整備、統合シミュレータの開発に基づき、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みてもなされておらず、また、得られる成果は我が国の海洋産業育成等への技術的な貢献とともに、実際の開発・生産を担う本邦企業を技術的に支援し、国際競争力の向上に直結するものであり、意義があるものと考えられる。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

□ 新たに提案されている海洋構造物の生産・出荷システムについても順次対応して数値計算モデルを構築しており、RAM 解析が可能となるように研究開発を進めている。また、国内に FSRU を設置する際に懸念される津波による影響等について、過去の津波の影響を考慮して、衝突シミュレーションプログラムを構築した。

以上のことから、先見性と機動性をもって研究を遂行していると考えられる。

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

□ 海洋構造物の RAM (Reliability, Availability & Maintainability) 解析技術と認証支援ツールの開発については、新たに提案されている海洋構造物の生産・出荷システムも視野にいれた取り組みがなされ、将来得られる成果も我が国の企業が海洋資源開発に参入するための支援技術であり、国際競争力の向上に繋がるものであり、将来的な成果の創出に対する期待感が非常に大きい。また、FSRU システムへの津波影響や緊急時オペレーションの検討等、本研究で実施したハードおよびソフト面の津波防災対策に関する技術検討内容は、本年度に国土交通省の指針（案）としてまとめられた。これらのことと勘案して「A」評価と考える。

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

□

研究開発課題 (8) 海洋の利用に関する技術に関する研究開発

研究テーマ 20. 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。	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海洋の利用に関する技術に関する研究開発</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海洋の利用に関する技術に関する研究開発</p> <p>一 実海域試験等を行い、AUV の複数運用技術の高度化を行う。また、AUV を運用するために必要となる要素技術の研究を進め、国産の慣性航法装置等の開発を進める。等</p>

研究の背景

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

- 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 の国際規格化
- AUV 研究開発の水平展開

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が強化されることが期待される。

平成 29 年度の研究内容

- 小型化、低コスト化等と共に、複数機運用、協調行動を見据えた小型 AUV を研究開発
- 洋上中継器は、本体を稼働させるとともに、洋上中継器と複数の AUV の同時運用時の監視、通信、制御を可能とするオペレーションを検討
- 投入・揚収システムについては、信頼性、操作性、コスト等の面から評価を行い、改良の検討を実施

□局域測位システムの開発を実施

□効率的な広域探査を実施するための運用技術開発について、さまざまなニーズに応じて、適切な探査システムを企画し、仕様設定ができる技術を確立

平成 29 年度の実績

- 航行型 AUV4 号機の完成
- 洋上中継器と複数の AUV の同時運用オペレーションを実施
- 投入・揚収システムを完成
- 局域測位システムの実海域試験を実施
- 効率的な広域探査を実施するための運用技術を取り纏めたマニュアルを作成

平成 29 年度の研究成果

- 小型化、低コスト化等と共に、複数機運用、協調行動を見据えた航行型 AUV4 号機を研究開発
同機は、昨年度製作した 3 号機と同型なるも、3 号機の実海域運用状況を踏まえた改良点（運動の安定性）等を改善して完成。（3 号機も同等の改造を実施）



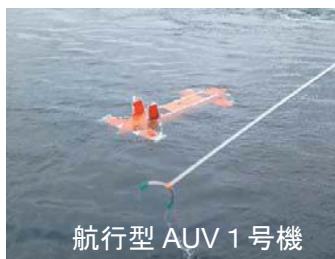
図 1 航行型 AUV 4 号機の全容

□洋上中継器は、本体を稼働させ、洋上中継器と複数の AUV の同時運用時の監視、通信、制御を可能とするオペレーションを実施。

実際には、民間企業（技術の民間移転の成果）が主体となり、沖縄海域および鹿児島湾の海底熱水域での調査（マッピング、光学画像等）を実施。別途、ほばりんは、水産資源調査（光学画像）も実施。



洋上中継器



航行型 AUV 1 号機



航行型 AUV2 号機



航行型 AUV 3 号機



ほばりん



作業船（母船）

図 2 複数 AUV 同時運用の様子

□投入・揚収システムについては、信頼性、操作性、コスト等の面から評価を行い、改良を完成。
具体的には、20ft 規格コンテナ 2 個に全システムを収納可能ならしめる小型化等を実施。

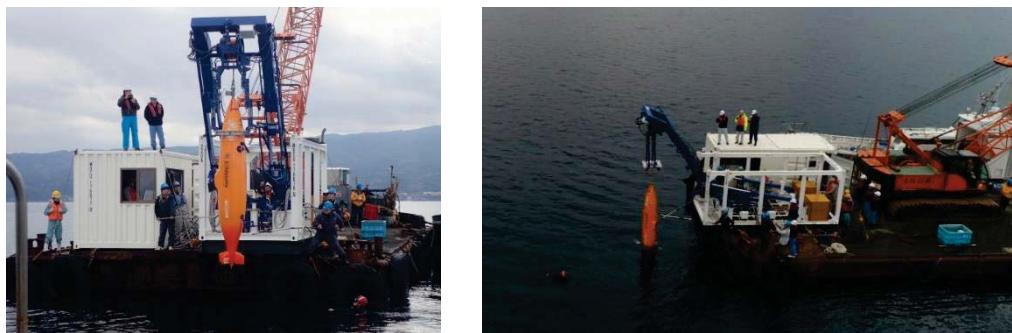


図3 投入・揚収システムの実海域試験の状況

□局域測位システムの開発は実海域試験を実施

3つのGPS同期ピンガを海洋上の3点（既知とする）に配置し、GPS信号を同時に発音し、その音を潜航中のAUV等で捉えて、その到来時間差からAUVが自身の位置を求めるものである。（将来技術として実用化を図って行く。）

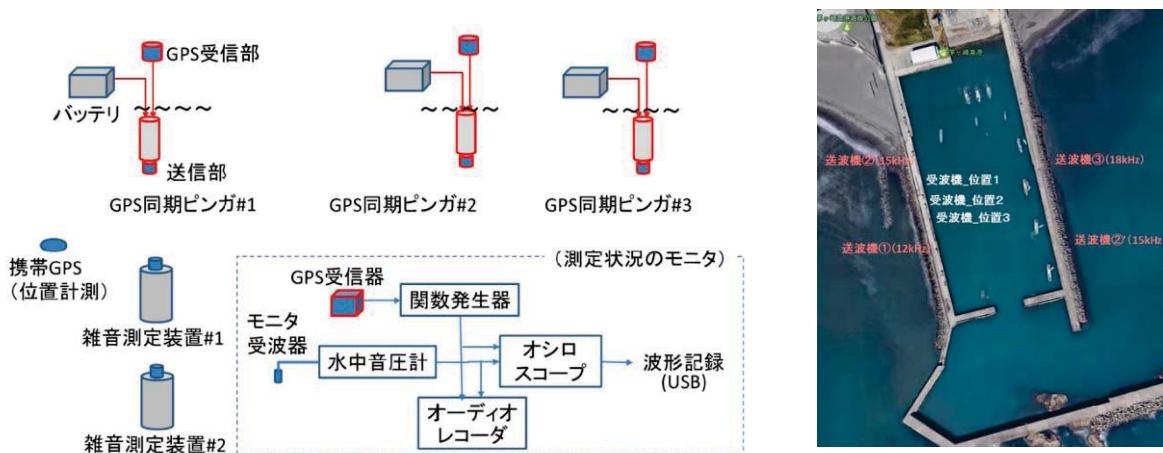


図4 局域測位システムの構成と実海域実験の状況

□効率的な広域探査を実施するための運用技術開発について、さまざまなニーズに応じて、適切な探査システムを企画し、仕様設定ができる技術を取り纏めた運用マニュアルを作成
⇒ 民間への技術移転に活用中

成果の公表

ジャーナル

無し

本文査読付きプロシーディングス

無し

海技研報告の研究報告

無し

上記以外

- 1) 金岡秀、井上俊司、須藤拓、他：次世代型・複数AUV同時運用ユニットの誕生に向けて～改訂熱水域におけるAUV3機とASVの運用事例～、第59回海中海底フォーラム予稿集（2017）
- 2) Seta, Okamoto, Sasano, et al. : An Observation of Sea Floor by a Hovering Type AUV HOBALIN with Offshore Multi-Purpose Work Vessel Kaiyu at Middle Okinawa Trough, OCEANS2017
- 3) Seta, Inaba, Okamoto, et al. : Development of New Operating System Software for a Hovering Type Autonomous Underwater HOBALIN, ASCC2017
- 4) 野雅彦、瀬田剛広、岡本章裕、他：ホバリング型AUV「ほばりん」による海底熱水域の低高度潜航調査、海洋調査協会 第29回研究成果発表会要旨集、(2017)
- 5) 金岡秀：複数AUVの同時展開による高度な海底調査、海と産業革新コンベンション 2018
- 6) 稲葉祥吾：海技研におけるAUV・ASVの開発と実海域での運用、海と産業革新コンベンション 2018

- 7) Seta, Okamoto, Inaba, et al. : A New ROS-Based Operation Software for an Autonomous Underwater Vehicle HOBALIN and Its Test in Real Sea, OCEANS2018 MTS/IEEE (2018)
- 8) Sasano, Okamoto, Seta, et al. : Detection of small hydrothermal vents by low-altitude seafloor exploration of a hovering-type AUV "Hobalin", OCEANS2018 MTS/IEEE (2018)
- 9) Sato, Kim, Imasato, et al. : Sea trials a high maneuverability compact autonomous underwater vehicle, OCEANS2018 MTS/IEEE (2018)
- 10) Inaba, Sasano : Realization of the ASV Remote Operation by Digital Convenience Radio, OCEANS2018 MTS/IEEE (2018)
- 11) 濑田剛広、岡本章裕 : 実運航データを用いたホバリング型自律水中探査艇のスラスター配置・負荷割合も最適設計に関する研究, 日本船舶海洋工学会 平成30年度春季講演会論文集 (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。
□国家プロジェクトS I Pに貢献
- ◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
□我が国の水中ロボット技術の粋を糾合して研究を実施している
- ◎成果が期待された時期に創出されているか。
□E E Z利用や海底資源開発のニーズに合わせた研究開発となっている
- ◎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。
□世界の最先端の一角を占める複数A U V同時運用を開発中
- ◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
□次期S I Pへの発展を狙う

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

□国家プロジェクトS I P「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。

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	21. 造船業の競争力強化や少子高齢化等に対応するための新しい生産システムの構築に関する研究
-------	--

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。	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> -これまで開発してきた生産管理システムの中小造船所への展開を検討する。各社の実態に合わせたシステム構成や運用方法等の指導・提案を行う。 -ニューラルネットワークモデルを活用し、多用な船舶に対する高精度な騒音予測技術を開発する。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、

- 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

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ーフェースの開発
 - 造船用パワーアシストツールの開発、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
- 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が強化されることが期待される。

平成 29 年度の研究内容

- 「建造モニタリングシステムとモニタリング情報の高度解析技術の開発」では、生産管理システムを実際の造船所に導入する。また、ICT 技術を応用した現場での生産支援・生産管理システムとして、曲げ加工支援 AR システム及び造船溶接支援 AR システムの現場導入を図り、それらと建造モニタリングシステムの接続を行う。
- 「造船用ロボットの開発」では、造船所におけるパワーアシストツール利用について、パワーアシストツールの研究開発動向や造船所の実態を鑑み、今後の研究開発の指針を定める。また、曲面の CFRP 成形技術（将来的自動成形・ロボット成形技術を含む）を提案し、平成 29 年度は曲面に沿った CFRP 繊維の最適配置、

ツールパスの自動生成手法について特許の出願を行う。

□「未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発」では、ハイロウミックス工程について、実証実験を行い、その効果の検証を行う。また、造船の新しい生産方式、働き方としてのハイロウミックス工程の周知、普及に取り組む。

平成 29 年度の実績

- 造船の小組工程を想定した造船シミュレータのプロトタイプを開発。
- ICT 技術を応用した現場での生産支援・生産管理システムとして、造船曲げ加工におけるリアルタイムプレス線出力システムを開発。プログラム登録。
- 船殻ブロックのレーザースキャナー計測、精度管理システムの開発
- 曲率線配向に基づく CFRP プロペラ模型の製作。曲率線配向 CFRP 成形法について特許出願の準備。

平成 29 年度の研究成果

□造船作業の臨機応変性を計算機上で表現する試みとして、造船の小組工程を想定した造船シミュレータを開発に取り組んだ。開発したシミュレータ上にて、定盤上に展開された小組材の作業順序が異なるという臨機応変の結果として、小組作業の付随作業（道具揃え等）時間が変動し、統計モデルとして表現できることを示した。今後、建造モニタリングシステムとの接続により造船シミュレータに投入するパラメータを高精度化し、これにより造船作業のモデル化から要素作業レベルでの工程計画の実現に取り組んでいく。

□ICT 技術を応用した現場での生産支援・生産管理システムに関しては、造船曲げ加工に対して、作業者に、鋼板上のどこを、どのようにプレスすればよいかを隨時、情報提供するものとして「リアルタイムプレス線」出力システムを開発した。施工中の外板の形状をレーザースキャナーで計測すれば、現在形状と目的形状の差から次に実施すべきプレス位置、プレス荷重を出力するものである。このリアルタイムプレス線の妥当性は実際の造船所での実証実験で確認された。また、リアルタイムプレス線出力システムを、「曲げ加工支援 AR アプリケーション」等の ICT デバイスを用いた情報インターフェースに接続した。



青：曲げ過ぎを修正するプレス
赤：曲げ不足を修正するプレス

図 1 開発したシステムによる追加のプレス線指示

□鋼板、曲り外板に対して、精度管理を行うレーザースキャナー計測、精度管理システムを開発した。このシステムは、3D CAD から設計データを読み込む機能、レーザースキャナーで計測された点群データを読み込む機能、対象の鋼板あるいは曲り外板上の点群のみを自動抽出する機能、点群データと設計データを適切に重ね合わせる機能、現物の形状と設計形状を比較し精度評価結果をカラーマップ表示する機能、評価インデックス（仕上がり具合度など）を表示する機能を有する。

□「造船用ロボットの開発」では、曲率線配向の CFRP 成形技術について実験室レベルでの実機を製作し、成形性及び製品品質に関する効果を確認した。具体的には、曲面構造物に対して、炭素繊維トウの曲率線配向ツールパスの設計、プリフォームの作成、実験室での CFRP 成形を行い、その成形性及び品質が優れていることを確認した。現在、この成形手法に関して、特許出願の準備に取り組んでいる。



図2 自動車ボンネット曲面に対する提案手法での CFRP 成形物

成果の公表

- 「リアルタイムプレス線」のプログラム登録
- 曲率線配向の CFRP 成形法の特許出願準備
- 松尾宏平, 竹澤正仁, 櫻井昭男 : 複合材における炭素繊維の曲率線配置に関する研究, 第 9 回日本複合材料会議 (JCCM-9) 講演論文集, 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。
 - 本研究開発は、造船業における生産性向上と人材不足への対応の面で社会的ニーズに合致し、その成果を上げている。
 - 造船シミュレータの研究開発については、造船業の生産性向上における基盤的技術になりうるとの評価から、次期 SIP の課題候補になった。
- ◎ 成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
 - 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おり、その新規性とともに、これまで研究開発を通して、曲げ加工、艤装品取付、溶接の作業を支援するシステム開発に取り組んでおり、その要素技術は広い一般性を有しているものと評価している。
 - 今年度より造船作業への造船シミュレータの開発に着手した。要素作業レベルで、造船作業をモデル化する技術開発は他に前例が見当たらない。今後、造船シミュレータに投入する造船作業のパラメータを建造モニタリングデータから補完したり、人工知能技術で予測する取り組みを見通しており、更なる科学的意義の高まりに期待している。
- ◎ 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、問題であるが、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。
- ◎ 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。
 - 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、国際的に見ても、当所が当該分野をリードしている。
 - 造船シミュレータの研究開発については、今後、建造モニタリングシステムとの接続による造船所の IoT 化、造船作業のモデル化における人工知能の応用など、世界をリードする研究開発課題となりうるものと期待している。
- ◎ 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。
 - IoT 技術、人工知能技術へのキャッチアップの重要性が高まる中、造船シミュレータの研究開発において、それらに対応性をつけて研究開発に取り組んでいる。

研究主任者による自己評価	A
--------------	---

□本研究課題における生産管理システムの開発、曲げ加工に関する取り組み、レーザースキャナーの応用に関する研究開発は、国内の造船産業に向けた問題解決型の研究開発であり、一部は既にその成果が現場展開されており、本研究開発の成果、意義は高いものと評価している。

□世界をリードする研究開発の展開の観点では、造船シミュレータの研究開発への着手を評価している。「すべての作業を数値で計画でき、その計画に照らして数値に基づいて実行途中の管理ができ、結果として計画通りに終わる」という「デジタルシップヤード」構想を掲げているが、その実現の中核技術の一つとして、臨機応変な造船作業をモデル化するための造船シミュレータがある。この研究開発によりデジタルシップヤードが実現すれば、我が国造船業のイノベーションとなり、社会へ大きな貢献を果たせるとともに、研究開発の新規性、科学的意義の観点でも、IoT技術、人工知能を活用した先端的な取り組みとして展開できるものと期待している。

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 22. 船内騒音対策等の新たなニーズに対応した新材料利用技術に関する研究

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ます。 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ます。 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の中小造船所への展開を検討する。各社の実態に合わせたシステム構成や運用方法等の指導・提案を行う。 —ニューラルネットワークモデルを活用し、多用な船舶に対する高精度な騒音予測技術を開発する。 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、

- 複合材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

研究目標

□騒音低減のための複合材構造の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、複合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
上記成果は、船内騒音対策・軽量化・設計自由度の向上などを通じて船内労働環境の改善に資するとともに、造船産業の国際競争力の強化を図り造船業の活性化（地方創生）に資することが期待される。

平成 29 年度の研究内容

□複合材を活用した構造仕様について検討し、居住区の振動・騒音伝播特性解析を行うと共に、造船部材要件に則した接合法について検討し、複合材を活用した新構造の製作手法を開発する。
□現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルによるパターン学習技術を導入し、多様な船舶に対する高精度な騒音予測手法へと改良を行う。騒音・振動実船計測を行い、教師データ（騒音計測データ）を充実させる。汎化性能の確保と予測精度の向上に向けて、ニューラルネットワークの入出力・隠れ層の最適な構造の検討、学習率などのパラメータ調整テクニックのシステムへの組み込みを行う。ニューラルネットワークによる騒音予測プログラムをサーバー・クライアント方式の Web アプリシステム(AI-AcousticNet)とし、騒音計測データ（教師データ）の一元管理、教師データの充実による学習・予測精度向上に繋がる環境整備を行う。

平成 29 年度の実績

□ポストパナマックス型コンテナ船の全船 FE モデル及び上部構造+船尾構造モデルについて、主機からの起振力による振動応答の特性を周波数応答解析により検証した。

□Janssen 法による騒音予測プログラムの課題を解決するために、ニューラルネットワークによる騒音予測を確立し、実用化の目途が付いた。

平成 29 年度の研究成果

□国内外における、全船 FE 解析の振動伝播評価に対する適用に関する技術・文献調査を行った。振動評価法に関する技術調査を行い、既存の評価法 (RMS 値ベース) の有する問題点を整理した。ポストパナマックス型コンテナ船の全船 FE モデル及び上部構造+船尾構造モデル（部分モデル）に対して、主機起振力に軸力、ガイドモーメント、及びアンバランスモーメントを想定し、周波数応答解析を実施した。結果、全船 FE モデルと部分モデルで周波数特性に遜色がないことを確認した。（図 1 参照）

□海洋構造物では、鋼一繊維強化複合材を用いた補修のニーズがあることが明らかとなった。そこで、海洋構造物も含めた造船要件として適切な鋼一繊維強化複合材の接合方法について、先行している橋梁等の事例に関する調査により、評価・選定を行った。構造接着に加え、VaRTM (the vacuum-assisted resin transfer molding : 真空含浸) 工法も有望であることが明らかとなり、要件や強度評価手法に関する検討を行った。

□多層パーセプトロンタイプのニューラルネットワークを構築し、過学習することなく騒音学習を行うことができ、ローカルなノイズ（たとえばエアコン吹き出し口からのノイズ）が無ければ、実用的な精度で予測できていることを検証した。図 2 は、騒音予測スペクトルと騒音計測スペクトルを比較した一例である（OA 値誤差 0.8dB(A)）。

□騒音計測データ（教師データ）を一元管理し、騒音学習・予測精度を向上させることを目的に、ニューラルネットワークによる騒音予測プログラムを Web アプリシステム (AI-AcousticNet) にした（図 3 参照）。

□Janssen 法による騒音予測プログラムに代えてニューラルネットワークによる騒音予測システムに移行することを関係者で調整中 (Janssen 法による騒音予測プログラムユーザーは 26 社 (平成 30 年 3 月時点))。

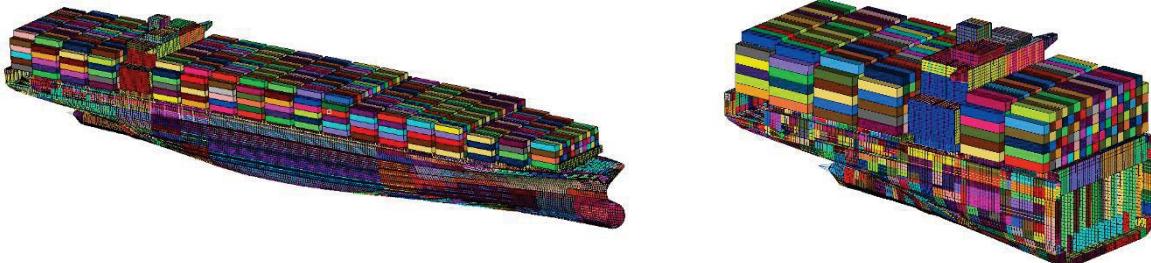


図 1 検証に使用した全船 FE モデル（左）と部分モデル（右）

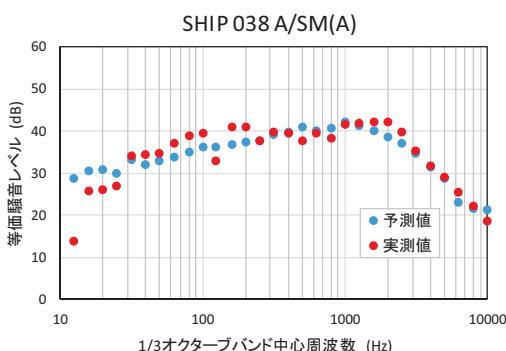


図 2 騒音予測結果と騒音計測結果の比較

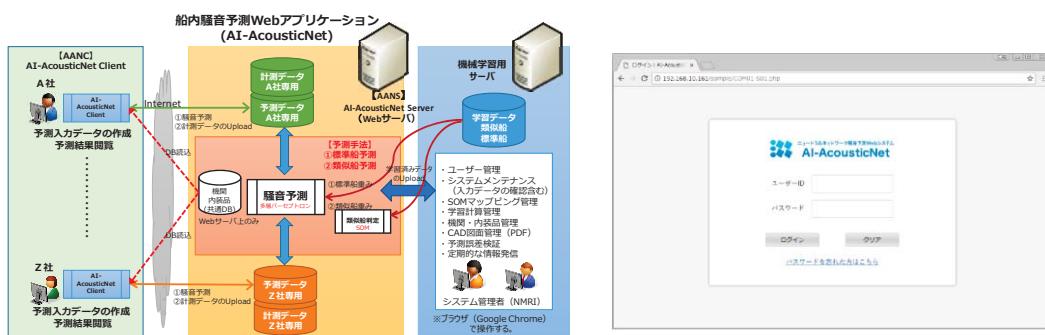


図 3 騒音予測システム (AI-AcousticNet)

成果の公表

ジャーナル、本文査読付きプローシーディングス、海技研報告の研究報告：0件

その他発表：7件

- 平方 勝、馬 沖：ニューラルネットワークによる騒音予測、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 25 号 (2017), pp.637-642.
- 小沢 匠、平方 勝、塚田泰樹、他：船舶居住区騒音における構造・内装最適化、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 25 号 (2017), pp.649-654.
- 谷口智之、平方 勝：上部構造物の低次振動に対する簡易的な解析法の開発、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 25 号 (2017), pp.643-648.
- 平方 勝、馬 沖、小沢 匠：騒音規制への取り組み、海上技術安全研究所研究発表会講演集、第 17 号 (2017), pp.154-155.
- 平方 勝、馬 沖、谷口智之：船舶の設計・検査における AI の適用研究、海上技術安全研究所講演会講演集、第 17 号 (2017), pp.70-86.
- 平方 勝：内航船の騒音対策、平成 29 年度内航船舶技術支援セミナー、(2017).
- 平方 勝、小沢 匠：SEA モデルを用いた船内騒音対策最適化の検討、PUCA2017、(2017).

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。

□ 騒音規制は造船業界にとって大変厳しい規制であり、騒音予測に対する海事産業からの要望は大きい。騒音コードに適合するかどうかは、引き渡し直前の海上公試で合否が判定される。不合格であった場合は、船主の引取拒否（造船所の損失）につながり、造船所は大きな不安を抱えている。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、十分に大きいか。

□ ニューラルネットワークは 1990 年代にも大きなブームとなつたが、騒音予測に対する適用は例がない。ニューラルネットワークの価値は、教師データが充実するにしたがって、学習により予測精度が向上していくことにある。IMO の騒音規制により騒音計測が義務化されたことで、計測データが蓄積していく環境になった。本成果の活用、発展が見込まれる。

◎ 成果が期待された時期に創出されているか。

□ IMO の騒音規制は契約日ベースではすでに始まっており、引渡し日ベースでは、2019 年 7 月 1 日以降に適用されるため、造船所が騒音規制に対応しなければならないタイミングである。Janssen 法による騒音予測プログラムを活用している造船所、その他造船所も高い関心を示している。

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

□ 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。

□ 社会的ニーズに対応した応用研究である。騒音規制が本格的に始まる時期までに成果が公表できるように、機動性をもって対応した。Web アプリシステムにすることによって、参加造船所からの騒音計測結果（教師データ）を一元管理し、学習・予測に活用できる。造船所が不安に思っている新設計船の騒音予測に対応できるなど、先見性をもって研究に取り組んだ。

研究主任者による自己評価	A
□	

研究計画委員会による評価	A
□	

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

研究テーマ	23. ICTを利用した大陸間自律運航、メンテナンスフリー等に係るモニタリングシステム等の支援技術に関する研究
-------	---

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。	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進めます。</p> <p>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</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進めます。</p> <p>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</p> <p>－自律機能のデモ機能が実行可能となるように、操船リスクシミュレータへ自律機能を組み込む手法の試設計を行う。 等</p>

研究の背景

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

- 自律運航システムの構築
- 推進動力システムの構築
- 法制面の検討
- 実運航環境におけるデータ蓄積と持続的なシステム改善の仕組みの構築

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
- メンテナンスフリーに近づける動力システムのコンセプトの開発
- 新しいコンセプトによる動力システムを考慮した、メンテナンス管理システムの開発
- 陸上からの自律運航モニタリングシステムの開発
- 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
- 実運航下でのデータ蓄積の仕組み及び持続的なシステム改善技術の開発

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の寄与及び先進的な技術開発を行うことで、我が国海事産業の国際競争力の強化が図られることが期待される。

平成 29 年度の研究内容

- 自律運航機能の操船シミュレータへの組み込みの一環として、自動避航機能のテストシステムの構築と自律避航操船機能のモジュール化およびこのモジュールを操船シミュレータへ組み込み自律運航船の操船体験ができる環境を構築した。
- 2 台のビデオカメラを含む船載記録システムの構築、データ収集、画像処理アルゴリズムの検討を行った。
- 平成 28 年度に収集した動力システムのメンテナンス項目を取りまとめ、主要な機器に対するメンテナンスの短期集中化を検討・提案した。
- 自律船のテスト環境実現のため、先行事例として、自動車における自律運転実現のガイドラインの調査を行った。また、IMO の動向調査を行った。

平成 29 年度の実績

- 自律運航機能の主要機能である避航操船機能を対象に、そのモジュール化手法の構築、モジュールのテストのためのシミュレーションプログラムの作成及び避航操船機能を体験するためのシミュレータへの自律運航機能の組み込みを行った。
- U社船舶に 2 台のビデオカメラを設置、航海データを含む画像記録システムを構築、データ収集を継続している。
- 取得した画像から船影部分を指定した教師画像データベースを作成した。
- 深層学習アルゴリズムにより船影の検出器を作成、船影が検出できていることを確認した。
- 検出率改善等、改善方策の案を検討した。
- 既存船舶の主要な機器に対するメンテナンスについて、点検・整備のインターバルが短い項目をピックアップし、メンテナンスの短期集中化を検討した。
- 警察庁による自動走行システムの公道実証実験ガイドラインを調査するとともに、国内における自動走行実証実験を調査した。これにより、自律船のテスト環境実現のために必要な体制や安全措置等の項目を整理した。
- IMO の動向としては、2017 年 6 月開催の IMO 第 98 回海上安全委員会（Maritime Safety Committee）が、自律船の安全に関する検討の開始に合意し、(1)自律無人運航を排除する規則、(2)自律無人運航に適用できない規則、(3)自律無人運航を排除しないが修正を要する規則の検討から始め、今後 4 年間の計画で進める予定となっている。そこで、自律船の航行に係る SOLAS 条約及び関係コードに対して、上記(1)から(3)の分析を行った。

平成 29 年度の研究成果

- 平成 28 年度に構築した操船シミュレータ上の自律運航船プラットフォーム（図 1）に自動操船機能モジュールを組み込み、自律航行船の体験を可能とした。
- 自律運航船への組み込みを考慮した自動避航操船機能のモジュール化手法を構築し、保有する自動避航操船アルゴリズムのモジュール化を行い（図 2）、テスト環境の構築を行った。
- 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 3、図 4）。平成 30 年度は検出率等向上のための検討と改善、立体視による他船の相対位置の推定を行う。
- 点検・整備のインターバルが短い項目（3ヶ月以下）として、主機、発電機及び軸系の各部グリースアップやフィルタ点検・洗浄、空気系統の漏洩点検、排エコ煙管掃除、各部保護亜鉛の点検などがあり、いずれも短期集中化が可能であることを確認した。
- 自律船のテスト環境実現のために必要な体制や安全措置等の項目を整理した。今後、改正や新規作成が必要な規則を検討する基礎となる。
- 自律船の航行に係る IMO 規則の分析結果をとりまとめた。今後、必要な IMO 規則の改正及び新規作成に関する IMO での議論の基礎を提供した。



図 1 自律運航船プラットフォームでの操船の様子

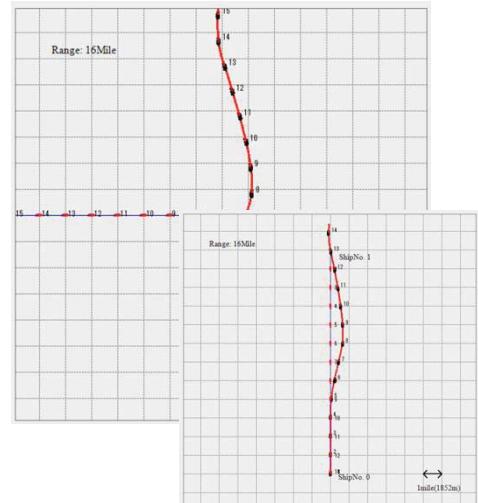


図 2 モジュール化された避航操船
アルゴリズムによる操船結果
自船は、南から北に向かい避航
右上：右からの横切り船との航跡
左下：行きい船との航跡



図3 左舷のカメラと他船検出結果



図4 右舷のカメラと他船検出結果

成果の公表

□自律船に関する講演 5 件

「自律船への取り組み」バリシップ海技研セミナー

「船橋の自律化技術」第 17 回海上技術安全研究所研究発表会

「Activities on R & D of autonomous ships」Digital Ship The Maritime CIO Forum Tokyo

「自律船の開発動向と技術課題」日本造船技術センター技術セミナー広島

「海外の自動運航船の技術開発動向と今後の取り組み」第 17 回海上技術安全研究所講演会

□ "Identification of IMO Regulations relating to Unmanned Operations of Maritime Autonomous Surface Ships - SOLAS Convention and Related Mandatory IMO Instruments", 太田進、海上技術安全研究所報告 第 17 卷 第 3 号、2018.1

□ 「避航判断方法、避航判断プログラム、及び避航判断装置」に関する特許 1 件出願予定。プログラム登録 1 件

主な評価軸に基づく自己分析

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

□ 国土交通省の平成 29 年度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は自律運航について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。

□ 海技研報告 "Identification of IMO Regulations relating to Unmanned Operations of Maritime Autonomous Surface Ships - SOLAS Convention and Related Mandatory IMO Instruments" は、IMO の審議に貢献している。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□ 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（CR,OZT）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、自律運航の実現には、計画航路の沿った航行の実現の他、避航操船の自動化、他船の検出等多くの高度な要素技術があり、操船の自律化を実現する際には、こうした技術の安全性の確認とこれを確保するための認証法を確立する必要がある。

□ 機械学習を用いた船舶検出は革新性がある。また動搖する船内での距離推定は例がなく、動搖補正等の対処が必要となり、新規性がある。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構築とトラックコントロールや遠隔操船等の自律船の基本機能を操船シミュレータに組み込み体験出来る環境を構築するのは、計画どおり期待された時期に成果がでている。

□ 自律運航のための各種研究が現在行われている中で、他船の検出についてはレーダーや AIS によることが多い。しかし AIS は妨害や偽装も可能であり頑健とはいえない。運航の基本は見張りといわれているように、可視情報をもとにした頑健性の高い補助的な他船検出技術が同時に必要であり、カメラによる船影の検出技術の成果が活用される。

□ 船舶に先がけて、実用化が進められている自動車の安全性評価や認証等の手法や IMO の審議に先立っての自律船実現に障害となる事象の調査を行うことは、適切な時期に行われていると言える。

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

近年研究がすすめられている自律運航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	A
--------------	---

自律船に関する研究として、自律船の考えに基づくプラットフォームの構築、自律航行のネックになっている他船検出のAIによる対応、自律船の運航形態に対応した機関のメンテナンスの計画、船舶の自律化関連する法的調査等適切に研究が進められ、他船検出や避航操船等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	A
--------------	---

研究開発課題 (11) 海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発

研究テーマ 25. 海陸複合一貫輸送を考慮した海上物流の効率化・最適化とその評価等に関する研究

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ます。 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ます。 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 -運航会社等へのヒアリング等、モーダルシフトの実態調査を進め、鉄道・フェリー・RORO船輸送における遅延実態に関するデータ分析により遅延等の発生要因を明らかにする。 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、

- 複合一貫輸送効率評価システムと評価指標の開発
- AIS情報等による海上貨物輸送量の把握と造船需要予測
- 船隊運航管理システムの高度化

研究目標

- 複合一貫輸送効率評価システムと評価指標の開発によりモーダルシフト転換を促進する支援策の研究開発
 - 船舶の運航情報提供システムの開発、および、船隊運行管理システムの高度化
 - AISデータ等から船舶動静、貨物流動を把握できるシステムと需要予測技術の開発
- 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が強化されることが期待される。

平成29年度の研究内容

【複合一貫輸送評価システムの研究開発】

- ・移出入貨物を主な対象に、輸送モデル改良・航路評価手法の開発、貨物データ作成法の調査を行った。
- ・運航情報を自動取得しデータベースに記録するシステムの開発、到着予測モデルの検討の実施を行った。

【AIS情報等による海上貨物輸送量の把握と造船需要予測】

- ・AISデータと船舶動静データを組み合わせて使用し、造船需要予測等における高度な情報を作成することを目的として、AI手法の適用による個別船舶の積載貨物量を推計する手法の試作を行った。
- ・ディープラーニング技術と衛星AIS情報を用いた海運市況予測を目的として、衛星AISデータ、個船データ、各種統計データ等を用いて、海運市況を予測するモデルを自動的に構築するプログラム・手法をディープラーニング技術により開発。さらに、自動構築したモデルの予測精度検証を行った。

【船隊運航管理システムの高度化】

- ・高速処理、コスト低減のため気象・海象データをグリッド化した。
- ・解析過程をファイルからデータベースへ移行するための試行プログラムを作成した。
- ・船舶モニタリングデータの船陸間通信状況を監視、分析するプログラムを開発し、実運用に供した。
- ・航海評価システムで、機関回転数やCPP翼角を基礎とする手法の試行プログラムの開発を行った。

平成 29 年度の実績

【複合一貫輸送評価システムの研究開発】

- ・DeepLearning を応用した流動経路推定モデルを開発。
- ・鉄道、海運の遅延情報をデータベース化。本件で業界紙（物流ウィークリー）から取材を受け、記事が掲載。

【AIS 情報等による海上貨物輸送量の把握と造船需要予測】

- ・DeepLearning を応用し、需要予測推定プログラムを開発。
- ・民間請負研究を 3 件実施。

【船隊運航管理システムの高度化】

- ・実運用中の船隊管理システム、eE-NaviPlan に係る業務効率を改善するプログラムの開発と、燃料消費量推定の精度向上を目的とした試行プログラムを開発。
- ・高速計算を目的とした気象データのグリッド化プログラムの開発、および、データベースシステムへの移行を踏まえた試行プログラムを開発

平成 29 年度の研究成果

【複合一貫輸送評価システムの研究開発】

- ・国内発かつ国内着のユニットロードを主な対象に、輸送の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 手法を用いることで考慮因子の拡張及び精度向上を試み、更に重要度解析を行って有望な経路決定因子を抽出した(図 1)。また既存及び新規の RORO/フェリー航路を対象に、ベース貨物・有望貨物・見込み貨物を探索することで航路評価を行い、モーダルシフトの可能性を評価した(図 2)。また、産業連関法を基礎とした貨物データ作成の検討を行った(図 3)。
- ・貨物列車とフェリー・RORO 船における遅延実態に関するデータの収集に際し、運航情報を自動で取得しデータベースに記録するシステムを開発した。具体的にはフェリー・RORO 船に関しては AIS データを気象データと結合するシステムと、任意の時間データを補正するシステムを、貨物列車に関しては WEB に掲載されている運航情報の HTML を CSV 形式に変換し、遅延データベースにするシステムを開発した(図 4)。それを元に取得した数ヶ月分のデータを活用し遅延要因を明らかにすると共に、到着予測モデルの検討を実施した(図 5)。

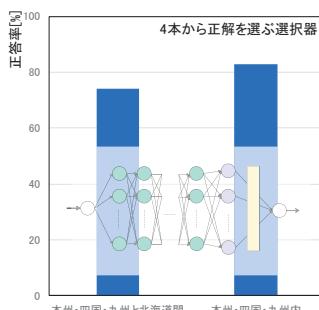


図 1 経路選択器の開発

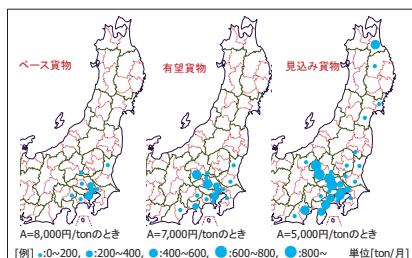


図 2 有望貨物抽出による航路評価

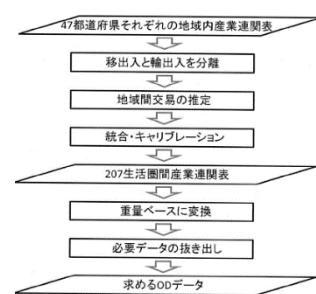


図 3 貨物データ作成法

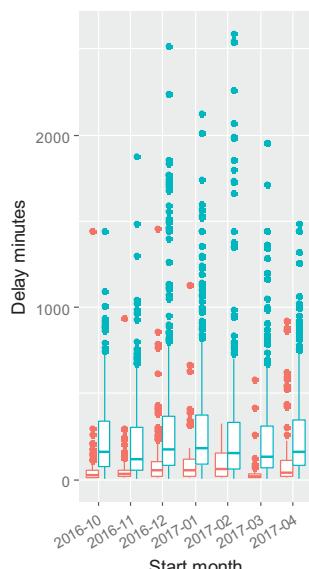


図 4 月別の遅延時間の分布（単位：分）

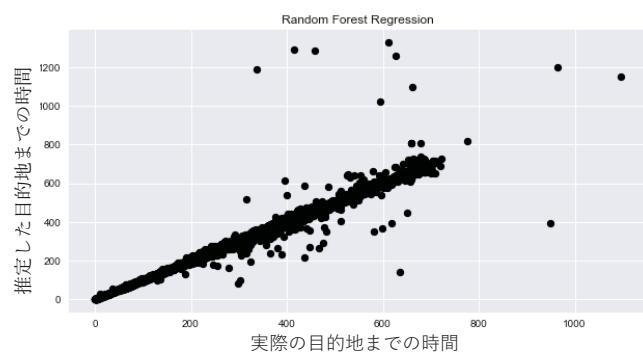


図 5 フェリー到着時刻予測検討結果

【AIS情報等による海上貨物輸送量の把握と造船需要予測】

- 船舶の寄港港湾、寄港時間、寄港時喫水等から、AI等の各種手法によって米国の輸入コンテナ貨物量を推計し、各手法の推計値と実績値の誤差を比較した(図6)。
- JAXAの衛星AISデータから、船舶サイズ、船舶の向き、船速等を用いてフィルタリング処理を行い、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するプログラムを作成し、このデータの平準化について検討した(図7)。さらに、抽出した衛星AISデータと各種統計データ(石油価格、鉄鉱石価格、鉄鋼業の株価指標)を入力データ(D)とし、前日からの差分値(ΔD)も入力データに加え、自動的に海運市況予測のモデルを構築するプログラムをディープラーニングの技術を用いて作成。このプログラムを用いて自動構築したモデルを用いて提案手法の有効性を検証した(図8)。
- 船舶が航行する地球規模のシーレーンネットワークの整備を行った。このネットワークを活用し、目的地までの航路推定を行うプログラム開発を1件、民間請負研究として実施した(図9)。

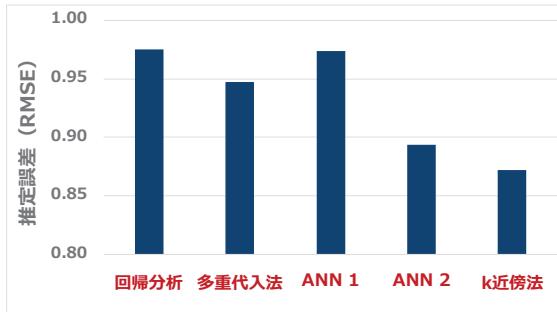


図6 各手法による米国輸入コンテナ貨物量の推計値と実績値の比較

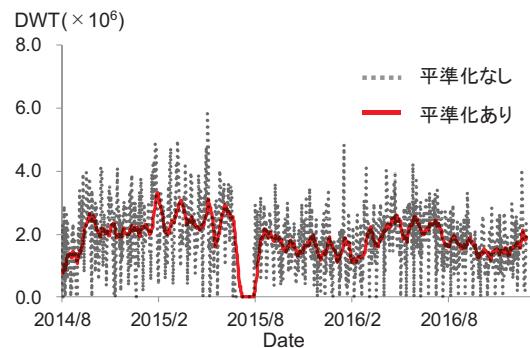


図7 衛星AISデータから抽出したオーストラリア周辺における船舶の総DWT

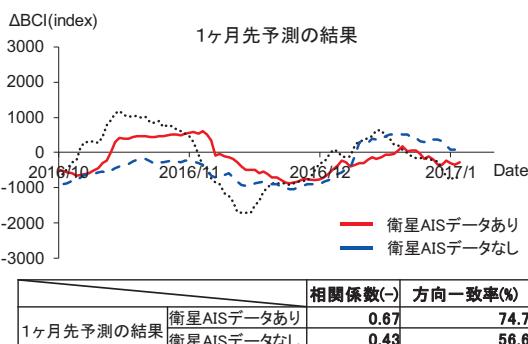


図8 予測モデルを1ヶ月先の予測結果の検証



図9 拡張されたシーレーンネットワーク

【船隊運航管理システムの高度化】

- 気象・海象データに係る処理速度の向上、および、データに係るコスト低減を目的として、気象・海象データをグリッド化し、解析に必要となるデータ容量を概ね1/100に抑えた。(図10)。
- 船舶モニタリングデータの船陸間通信状況を監視、分析するプログラムを開発し、実運用に供した。(図11)
- 航海評価システムの解析過程で、燃料消費量を基礎とした手法から、機関回転数やCPP翼角を基礎とする手法へ移行するための試行プログラムの開発、および、航海評価解析プログラムにおいてデータベースを用いて解析する過程への移行(ビッグデータを見越した改良)を踏まえた試行プログラムを開発し、動作を確認した。検証を重ね、実運用への移行に備える。



図10 気象・海象データの表示結果



図11 通信状況分析システムの結果
(色付きのマス(船舶と時間帯)が不通を意味)

成果の公表

□複合一貫輸送評価システムの研究開発

【論文】

■査読付きジャーナル

- ・松倉洋史, 瀬田剛広, 荒谷太郎 : 貨物自動車運転者の労働条件改善時におけるモーダルシフト進展評価, 日本船舶海洋工学会論文集第 26 号, (2017)
- ・Wada, Y., Hamada, K., Hirata, N., et. al.: A Study on System Dynamics Model for the Demand Forecasting of Shipbuilding, Journal of Marine Science and Technology, (2018), (In press).

■本文査読付きプロセッシングス

- ・Kosaka, H.: Estimating International Freight Flows and Transport Costs Based on Trade Statistics, International Association of Maritime Economists (IAME 2017), Kyoto Japan, (2017).
- ・Majima, T.: Network Structure Analysis for International Maritime Container Transportation: From the View Point of Complex Networks, International Association of Maritime Economists (IAME 2017), Kyoto Japan, (2017).
- ・Wada, Y., :A Study on the Improvement and Application of System Dynamics Model for Demand Forecasting of Ships, International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2017 (ICCAS2017), Singapore, (2017).

■講演予稿集等（本文査読無し）

- ・松倉洋史, 瀬田剛広, 荒谷太郎 : ユニットロード貨物流動経路シミュレーションの新規貨物開拓への利用, 日本船舶海洋工学会平成 29 年秋季講演会論文集, (2017).
- ・Sato, K., and Aratani T.: Fundamental Analysis on Operational Conditions of Long Distance Ferry and Freight Train in Japan, EASTS 2017 CONFERENCE in Ho Chi Minh City, Vietnam, (2017).
- ・Aratani T., and Sato, K.,: Fundamental Study of Intermodal Freight Transport between Kyushu Area and Kansai Kanto Area in Japan, EASTS 2017 CONFERENCE in Ho Chi Minh City, Vietnam, (2017).
- ・荒谷太郎, 佐藤圭二 : 九州～関西・中部・関東間におけるフェリー・RORO 船による輸送品目特性の分析, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, 第 VI 部門, (2017).
- ・荒谷太郎, 佐藤圭二, 間島隆博 : 鉄道貨物輸送とフェリー貨物輸送における遅延実態に関する分析, 第 34 回日本物流学会全国大会研究報告集, (2017), pp.101-104.
- ・佐藤圭二, 荒谷太郎 : 国内長距離フェリー遅延確率分析経過報告, 海上技術安全研究所第 17 回研究発表会, pp.168-169, (2017).
- ・和田祐次郎 : 船舶需要予測用 SD モデルの活用に関する研究、日本船舶海洋工学平成 29 年会春季講演会、(2017)
- ・松倉洋史, 和田祐次郎 : 貨物輸送経路推定問題への Deep Learning 手法の試適用, 日本船舶海洋工学会平成 30 年春季講演会, 投稿中, (2018).
- ・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, 投稿中, (2018).

【特許】

- ・和田祐次郎 : 海運市況予測システム、海運市況予測プログラム及び海運市況予測方法（出願）
- ・和田祐次郎 : 海運市況予測運用システム（出願）

【プログラム登録】

- ・間島隆博 : AIS 情報による航路、到着予定期刻推定プログラム、2017-NMRI-NLED-MAJIMA- 01、平成 30 年 3 月申請

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。

実運用が展開されている、船隊管理システム、eE-NaviPlan は、燃料消費量の抑制を目的とした解析、情報共有システムであり、環境負荷低減のニーズにマッチしている。本件では、この業務を支援するプログラム群の開発、解析精度の向上で貢献している。また、需要予測では、従来の手法に沿った分析方法を採用しているものの、請負研究 2 件を獲得しており、社会のニーズを組み入れた活動となっている。

◎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。

国内発かつ国内着のユニットロードを主な対象に、輸送の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 手法を応用した。また、海運市況予測のモデルを構築するプログラムでも、Deep Learning を用いた。これらの分野において、AI 技術を積極的に活用した例は少数にとどまるため、新規性は十分あり、解析結果の精度に関しても改善が期待できる出力が得られているため、発展性も望める。

◎成果が期待された時期に創出されているか。

トラックドライバーの労働力不足は喫緊の課題であるが、海運の定時性に関する信頼感の低さや遅延情報の不足がモーダルシフトの推進を阻害する要因として繰り返し挙げられている。本件では、海運定時性のデータに関する分析結果を、国内定期船航路を網羅する形で定量的に示しており、その情報共有可視化システムもプログラム化している。さらに、船隊管理システム、eE-NaviPlan ではサービスを受けるユーザーからの要望も汲み取って開発を進めており、時期として適切な成果が得られている。

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

本テーマでは、内航海運のモーダルシフトや船隊運行管理システムといった国内を対象とした取り組みが多いが、手法としては AI 技術の応用も含み、今後の発展が期待できるため、国際的な視点でも取組みを強める。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

最新の人工知能技術である Deep Learning の応用を試みており、先見性と機動性を持った対応をしている。

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

□最新の解析ツールである AI も活用しつつ様々なプログラムツールの開発を行い、プログラム登録や特許として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開発など、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
--------------	----------

□