

**令和2年度 第1回 海上技術安全研究所  
研究計画・評価委員会報告書**

**令和2年5月19日**

**国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所  
海上技術安全研究所**

# 目 次

1. はじめに .....	1
2. 評価の概要 .....	2
3. 評価の結果 .....	3
「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」 .....	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1：評価資料（抜粋） .....	16
「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「中長期目標期間中間評価」 .....	32
(1) 海上輸送の安全の確保 .....	32
(2) 海洋環境の保全 .....	35
(3) 海洋の開発 .....	38
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発 .....	40
参考添付2：評価資料（抜粋） .....	43

## 参考

【重点】令和1年度業務実績報告書

【重点】中長期目標期間の計画と実績（中長期目標期間中間評価）【補足資料】

## 1. はじめに

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

### (1) 評価の体制

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

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

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

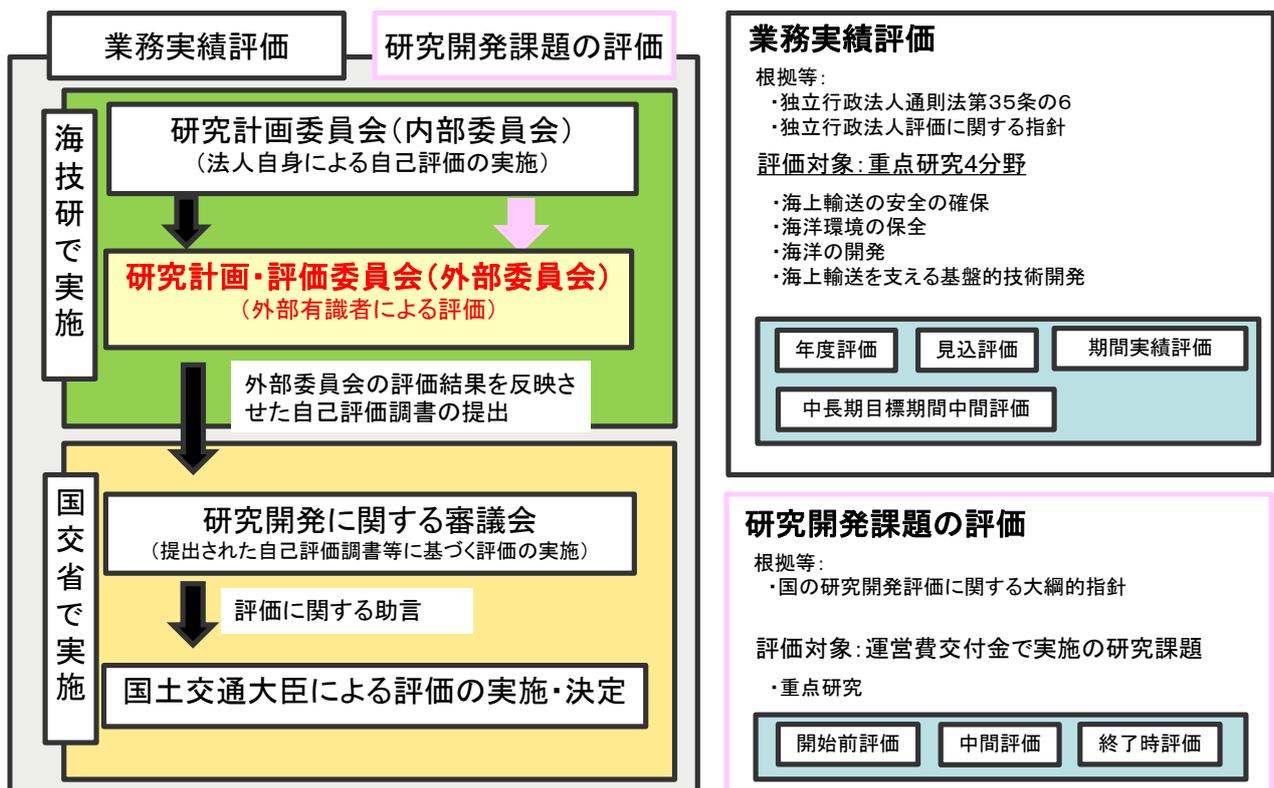
### (2) 評価の種類

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

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

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

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



## 2. 評価の概要

### (1) 評価の実施日

令和2年5月19日（火）

### (2) 評価の実施者

海上技術安全研究所研究計画・評価委員会 委員名簿

会務	氏名	所属・役職名
会長	藤久保 昌彦	国立大学法人 大阪大学大学院 工学研究科 船舶海洋工学部門 教授
以下 50 音順		
委員	梅田 直哉	国立大学法人 大阪大学大学院 工学研究科 船舶海洋工学部門 教授
委員	大津 正樹	一般社団法人 日本船用工業会 大形機関部会長 (株式会社三井E & S マシナリー ディーゼル事業部 アドバイザー)
委員	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 経営管理審議役／横浜研究所長
委員	塚本 達郎	国立大学法人 東京海洋大学 海洋工学部 教授
委員	濱田 邦裕	国立大学法人 広島大学大学院 先進理工系科学研究科 教授
委員	稗方 和夫	国立大学法人 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 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
委員	餅田 義典	一般社団法人 日本造船工業会 技術委員会委員長 (川崎重工業株式会社 顧問)

### (3) 評価の種類及び対象

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

- ◆ 「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

対象：令和1年度に実施した重点研究

- ◆ 「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「中長期目標期間中間評価」

対象：中長期目標期間の初年度から令和1年度までに実施した重点研究

ここで、重点研究は中長期計画に記載の重点的に取り組む研究開発課題です。

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

### 3. 評価の結果

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

評点は、「独立行政法人の評価に関する指針」（平成 31 年 3 月 12 日改定、総務大臣決定）に準じ、S、A、B、C、D の 5 段階の評語を付すことにより行います。なお、「B」を標準（所期の目標を達成していると認められる状態）とします。

#### ◆ 「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

令和 1 年度	
海上輸送の安全の確保	: A
海洋環境の保全	: A
海洋の開発	: A
海上輸送を支える基盤的な技術開発	: A

#### ◆ 「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「中長期目標期間中間評価」

平成 28 年度～令和 1 年度	
海上輸送の安全の確保	: A
海洋環境の保全	: A
海洋の開発	: A
海上輸送を支える基盤的な技術開発	: A

# 「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

## (1) 海上輸送の安全の確保

### 令和1年度業務実績評価シート【年度評価】

【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。</p> <p>②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。</p>				
コメント	<p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ DLSA、ハルモニタリング、AIS 利用、およびこれらを統合した船体構造デジタルツインにつながる成果が得られていることは、時宜を得た発展性の高い成果であると評価する。受賞実績も大である。液化水素運搬船の漏洩リスクについて、頻度および影響度解析が進展し、リスクモデルが構築された意義は大きい。</li> <li>・ DLSA に関する細かいことだが、実績報告書の図 1-1 は構造デジタルツインのオンボード・リアルタイム・アラートのコンセプト図であり、「概要」のリアルタイムは設計評価の即時性の話である。区別されたい。また DLSA-professional の目的は既定基準に沿った終局限界状態評価（ULS check）であり、DLSA-ultimate の目的は強非線形解析ツールによる終局限界状態や事故限界状態そのものの解明・予測にあると考える。それぞれの位置づけが明確に分かる説明が望ましい。</li> </ul> <p>■</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 過大加速度は軽荷状態で停船あるいは低速航行時において大きな問題となっており社会的ニーズにこたえています。ただ、示された操船支援の図表は船速 16 ノットに対するもので、また傾斜時の過大加速度に注目した実務上の理由も特に説明がないように思われます。</li> <li>② DLSA の 3 つのバージョンで、順次より精密化が図られていることは理解できますがそれにより船舶設計がどのように変化したか説明いただければなお良かったと思われま</li> <li>③ 液化水素運搬船の一番船の就航に合わせて、その安全評価が行われたことはタイムリーと思います。</li> <li>④ 国際ジャーナル発表論文も多く、国際水準の成果と思われま</li> </ol> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重点研究 1 では、従来の船体構造強度評価と比較してより詳細かつ定量性を向上させた解析法を構築しており、「安全・安心の確保」という社会的価値の創出に対する貢献は大きいと判断される。</li> <li>・ 重点研究 2 では、民間企業と連携して新たな安全性評価法を次世代のエネルギーとして期待される水素の運搬船に適用しているが、このように民間企業との積極的な連携は、海事産業の国際的な競争力強化に資するものが大きい。</li> <li>・ 重点研究 3 は、IMO ガイドライン作成に対する貢献が大きな成果を挙げているが、国際条約策定への貢献は国研の重要な使命であることから、有用な活用であったと評価できる。</li> </ul> <p>以上の観点から、「顕著な成果の創出」を達成したと判断できる。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発をさらに進め、新たに造船所 1 社で利用を開始するなど社会実装が進んだこと、極値推定法の開発、AIS データを活用して実運航船の波浪荷重を推定したこと、将来の水素利用へ向けて、液化水素運搬船の</li> </ul>				

構造被害度評価用実船モデルを開発したこと、第 2 世代非損傷時復原性基準を考慮した過大加速度の危険度評価による操船支援法を提案したことなど国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。特に荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発・拡張については、海事産業の競争力強化、国際競争力強化につながるものである。また、成果は国際学会でも評価されており、科学的意義、国際的な水準に照らして意義が十分にあると考えられる。船上モニタリングで得られるビッグデータの分析や AIS データの活用など時期を得た研究と言える。

- 
- ・ DLSA システムにより荷重解析から強度評価までの一貫した網羅的な評価が可能となった。これらは造船所の設計力の強化や船級規則の改正にも貢献することが期待され、科学的な意義が大きいのみではなく、わが国の海事産業の競争力強化にも貢献する。
- ・ また、ハルモニタリングや AIS を利用した荷重推定法などは国際的にも影響力が大きい極めて新規的な研究であり、次世代の合理的かつ安全な船舶の開発・設計に大いに資することが期待される。
- ・ 液体水素運搬船のリスクモデルの開発は世界初の液化水素運搬船の実現に貢献しており、過大加速度の危険度評価手法は第二世代の復原性基準のガイドライン策定に貢献している。
- ・ 何れの成果も国際的にみて高い水準の成果が期待される時期に創出されていることに加えて、社会的価値の創出にも大きく貢献しているため A 評価が妥当と思われる。

- 
- ・ 事前の計画に対して学術的・実用十分な成果をあげ、研究成果に対して数多くの賞を受けていることから 研究水準の高さが裏付けられている。
- ・ また、シミュレーションや解析のためソフトウェアクラウド化を推進していることから、これまでの研究成果が比較的少ない労力かつ短リードタイムで産業界に提供できると考えられ点も評価できる。今後は、DLSA の実用化の経験に基づいて ソフトウェア資産を実業界で活用する体制組んでいただきたい。重点研究のプロジェクトについて 成果の創出時期についても適切である。

- 
- ① リアルタイムを目指した解析技術やデジタルツインなどの昨今の情報科学の進展や可能性を取り込んでいけるような方向性、GHG 削減の為の水素社会を見越した研究開発などの方向性が明確に感じられ、研究のビジョンも含めた方向性を高く評価できる。
- ② ①も踏まえつつ、社会実装のための実践的な研究が開始されており、その研究に基づく情報を取得しつつあることは、先端的な経験を積んでいるという意味で、科学的意義を見出すために必須である。また、それらの成果が各種の賞を受賞していることは、客観的な新規性が認められている証左である。
- ③ 成果物が各種の賞を受賞するなど、客観的にも②の新規性だけでなく、タイムリーに社会的に評価されるタイミングを得ていることが確認できる。
- ④ GHG 対策は、直接的で効果的な国際貢献であると同時に、今後の製造や運航での国際的競争力や付加価値を得るため必須の技術である。単に船舶からの排出抑制だけでなく、液化水素の運搬船に関する研究をするなど、次世代の生活様式も見据えた研究は国研ならではの貢献である。

- 
- ・ DLSA システム開発およびモニタリングに関する一連の研究は着実に成果を積み上げており、社会的にニーズに合致した社会的価値を創出するテーマとして研究が推進されている。
- ・ 大変形取り扱い、ベイズ統計手法等を用いた新たな試みもなされており、科学的意義も大きく、今後のさらなる発展が期待される。
- ・ いくつかのガイドライン策定に貢献していることが示されているが、貢献の内容が具体的に示されるとよりインパクトが得られるものとする。
- ・ 世界的にも先進的な取り組みがなされているので、これらの実績が社会的価値として国際的な優位性を持つことを具体的に示すことができるよう、今後の発展に期待したい。

■

	<p>－社会的要請に合致している</p> <p>－学術的・国際的に高水準である</p> <p>と考えます。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ また、本邦造船所などが R&amp;D に以前ほど積極的でない中、実際に手を下して研究を行っているのは実質的に海上技術安全研究所のみになってきている現状では業界にとって非常に貴重なプロセスと成果であると考えます。</li> <li>・ ただし、国交省の IMO 対応に資する研究などは所謂 NEEDS 先行なのでその成果が外部に分かり易いものに対し、SEEDS 先行の研究をどのように実装してゆくかは今後も大きな課題と考えます。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 各研究が、IMO の基準に取り入れられている、または取り入れられる事は、日本の海事産業のステータス維持と、今後の発言力の向上に大いに役立つと思うので、大いに評価できる。</li> </ul> <p>■</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 中期に渡って一貫して取り組まれた研究が多く、それらは社会のニーズに有ったものであると認められる。</li> <li>② 例えばモニタリングの様な研究は、何年か前から始められているが、データの蓄積にも意味が有り、他に見られない成果が期待できると考える。</li> <li>③ 水素運搬船の安全の研究は、船の完成時期にも重なり、この種の船の建造に於いて欠かせないリスク検討の一環である。解析の結果が設計の改良に役立ったかどうかは聞き忘れたが、良い時期に行われたと言える。</li> <li>④ 一部国際的にも取り上げられていて、意義が有った研究だと考える。</li> </ol>
--	--

事務局とりまとめ欄

<p>総合評価</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">A</p>	<p>S : 1</p> <p>A : 10</p> <p>B :</p> <p>C :</p> <p>D :</p>	
---	---	--

## (2) 海洋環境の保全

### 令和1年度業務実績評価シート【年度評価】

【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。</p> <p>②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。</p> <p>⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。</p>				
コメント	<p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Sox 規制への対応、実海域性能評価法の開発を始めとして、社会的ニーズに合致した研究が進められている。特に Sox 規制導入前に、現状品質レベルの明確化や規制適合のための業界向け手引き書作成を行ったことは、時宜を得た成果である。船体+プロペラ+主機特性連成計算プログラムの開発や主機異常検知シミュレーション技術の開発は、主機デジタルツインに直結する成果であり、経済性と環境負荷低減を考慮した新たな運航支援技術の展開を期待したい。藻類を対象とした防汚効果評価試験法の提案は新規性・波及性に富み、高く評価できる。</li> </ul> <p>■</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① ③ 2020 年の SOx 規制に合わせて有用な成果を出された点は特筆されます。</li> <li>② 波浪中での主機のシミュレーションが可能になった点は新しく、今後の発展が期待されます。</li> <li>④ GHG 削減効果の予測では、不確かさ解析のうえ、海外他機関によるものとの比較が期待されます。</li> <li>⑤ 実船でのモニタリングで学会賞を受賞するなど、ビッグデータ時代を先取りしているといえましょう。</li> </ol> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重点研究 4 は、大気汚染対策に関する研究であることから社会的要請は非常に高い案件であるが、一連の研究で実船を活用した研究を遂行したことは、研究結果に対する信頼性を高める良い取り組みであったと判断する。また、国が発行する「手引書」作成に対する貢献は国研の重要な使命であることから、適正な活動が行われたことを示す事例であろう。</li> <li>・ 重点研究 5 では蓄積した成果について外部提供を開始しており、設計力の面から海事産業の競争力強化に大きく貢献するものであると判断される。また、機関と性能の研究者が連携して新たな成果を創出したことも、所内の研究活動を一層活性化させる取り組み成果であろうとの印象を持った。</li> <li>・ 重点研究 6 では、実船スケールの CFD 評価手法の構築を達成したが、数値流体力学分野において新規性に加え実務への応用性を高めたことは、科学的意義が大きい。</li> <li>・ 重点研究 7 は国策の提案に直結した内容であり、国研としての重要な使命に貢献した研究であると判断する。</li> <li>・ 重点研究 8 で取り上げている油拡散シミュレーションを、沖合での評価手法に拡張したことは、「安全・安心の確保」に直結する、より高く評価されるべき内容であると判断する。</li> </ul> <p>以上の観点から、「顕著な成果の創出」を達成したと判断できる。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2020 年に導入された燃料中硫黄分の規制への適合燃料油の研究、内航船に搭載可能な小型スクラバの開発、実船モニタリングデータを活用した実海域での実船性能の分析方法、実海域性能の推定方法、実海域性能評価方法の開発、船舶性能評価のための</li> </ul>				

CFD プログラムの高機能化、水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの技術開発、防汚塗料の性能評価法の構築など、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。これら成果は期待された時期に創出されている。成果は国際学会でも評価されており、科学的意義、国際的な水準に照らして意義が十分にあると考えられる。

- 
- ・ SOx 規制対応のための小型スクラバの開発や GHG 削減のためのロードマップの作成などは正に現在の社会ニーズと合致しており、社会的な価値の高い研究が期待された時期に迅速に実施されている。
- ・ また実船モニタリングデータを利用した実海域性能の推定方法の開発や全球波風データベースである GLOBUS の開発などは、今後、日本の造船業が他国と差別化していく上で必要不可欠な技術である。これが早期に実現された意義は大きい。
- ・ 上記以外にも次世代 CFD の開発や主機のデジタルツインの実現に向けた異常検知シミュレーションの実現など、社会の要求と合致したレベルの高い研究が適切な時期に実施されている。

いずれの分野でも顕著な成果をあげており、今後の発展も強く期待されるため A 評価と考える。

- 
- ・ 複数年度について発表論文および国際貢献を数多く行っており、表彰を受けていることから研究水準の高さが確認できる。
- ・ また、重点研究の5について、実海域性能や主機のデジタルツイン技術に関するところで学術・実務の両面から目標を超える成果が得られている。
- ・ 国際技術動向への貢献、学術・実務への貢献など適切なタイミングでの成果の創出を通じて実業へのインパクトにつながっていることが評価できる。

- 
- ① 海洋由来の環境負荷低減として、船舶からの排ガス削減に直接的に貢献できる研究、高度なモニタリングとその解析処理法の開発など、実社会に近い目線での研究開発がなされていることが認められる。
- ② ①も踏まえつつ、社会実装のための実践的な研究が開始されている。実践的研究の実施は、先端的な経験を積む好循環を生んでいることが、新規性や社会還元性の高い成果が出ていることがうかがえる。また、それらの成果が各種の賞を受賞していることで、客観的に現れている。
- ③ 船体+プロペラ+主機特性の連成解析は、本来の物理現象としては相互に干渉する一体のものであり、それらを統合的に実用的に扱うことが可能なシステムの開発は、原理的には旧来から開発されるべきものであったが、現実的に必要な精度で解析するには大量のデータの取り扱いが可能になっている情報の高度化があって初めて達成される。現時点における成果は、そうした日進月歩の情報高度化の利点を十分に組み込みながら進めてきている。
- ④⑤ 海洋環境保全において、海洋物理場の把握は基本事項である。また、物理場としての広域影響と共に、発生源となりうる現象近傍での詳細解析は、その後の科学的で有効な対策の根幹となるものである。防汚塗料の評価など少し先を見越した研究を遂行していることは評価できる。

- 
- ・ SOx 規制など国の方針や社会ニーズに適合したテーマでの研究成果が着実に得られている。
- ・ 実船スケールを対象としたデータ収集と解析手法開発がなされており、それらの成果が現実のガイドラインやロードマップ、評価等に貢献していること、加えて、有償利用（GLOBUS 等）を含む実用化がなされている。このような研究成果が社会実装として実現されていることは、高く評価できる。
- ・ 国際的な優位性については、さらに具体的な比較がなされるとより説得力がアップするものと考えられる。
- ・ 産業界など実ユーザのフィードバックを取り入れた研究開発及び取り組みがなされていることが示されると、社会的なニーズに対する機動性を、よりアピールできるものと考えられる。

	<p>■          ー社会的要請に合致している          ー学術的・国際的に高水準である          と考えます。          また、本邦造船所などが R&amp;D に以前ほど積極的でない中、実際に手を下して研究を行っているのは実質的に海上技術安全研究所のみになってきている現状では業界にとって非常に貴重なプロセスと成果であると考えます。          ただし、国交省の IMO 対応に資する研究などは所謂 NEEDS 先行なのでその成果が外部に分かり易いのに対し、SEEDS 先行の研究をどのように実装してゆくかは今後も大きな課題と考えます。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ GHG 削減へのロードマップを示されているが、これらは、今後の世界情勢、環境政策の変化に大きく左右されると思うので、毎年軌道修正が必要と思われる。</li> <li>・ 実海域性能評価の部分は、造船業界が国際競争力を保つ上で非常に大きな武器となり得るので、しっかり評価方法を確立して頂きたい。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>② 特に研究テーマ 4 とか 7 は社会的ニーズに良くマッチした研究だと考える。5 と 6 は専門外で分り難いが、それなりに継続的に研究してきているので、ニーズをとらえたものだと理解する。</li> <li>② テーマ 7 は現時点で海運界が注目している問題であり、そこに方向性を打ち出している点で評価出来る。</li> <li>③ テーマ 4 は低硫黄燃料への切り替えを控えて大事な時期に行われた研究であり、意義が有ったと言える。</li> <li>④ 自己評価に於いて、国際貢献が多くなされた事になっており、そのまま信じたい。</li> <li>⑤ 主機デジタルツインを作ったの研究は今後の成果に結びつけば、良い研究になりそう。</li> </ul>
--	---

事務局とりまとめ欄

総合評価  <b>A</b>	S : A : 11 B : C : D :	
----------------------	------------------------------------	--

### (3) 海洋の開発

#### 令和1年度業務実績評価シート【年度評価】

【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。</p> <p>②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。</p>				
コメント	<p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 当初年度計画は達成されており、海底熱水鉱床開発研究では揚鉱から荷役まで一貫の稼働性評価プログラムが開発され、他資源にも将来的に応用が期待される。ISO や論文賞などの顕著な成果も認められる。他方、例年に比べると新規的、挑戦的な中身が少なく感じられる。基盤的研究としての一つの達成期に入ってきたのかもしれないが、今後は実用化をさらに強く意識した展開を期待する。ジャーナルへの投稿が多数行われているが、採択論文を含めて和文論文集が大半を占める。戦略的に国際的成果発信を進めていただきたい。総合的には高いレベルの成果が得られており、A 評価とする。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>② 合成繊維索の特性が非線形であることはよく知られていると思われませんが、洋上風力発電への応用では不明であったのでしょうか？</li> <li>③ AUV の隊列航行の実現に大きな成果をあげられています。海洋開発上での期待される時期はいつか不明なように思いますが。</li> <li>③ 多くの論文が国際ジャーナルに投稿されており、今後一層の国際競争力の向上が期待されます。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重点研究 9 において採り上げた合成繊維索の洋上風車への適用は、建造コスト削減に直結することから、再生可能エネルギーの普及すなわち「環境負荷の低減」に対する貢献は極めて大きい。民間企業が懸念無く合成繊維索を採用できるよう、安全ガイドラインの構築に引き続き努めていただきたい。</li> <li>・ 重点研究 10 の研究成果は、中長期計画でターゲットとしている研究成果の波及分野以上の広範囲の産業・科学に貢献できるものと期待される。</li> <li>・ また、研究成果の公表状況も極めて良好である。</li> </ul> <p>以上の観点から、「顕著な成果の創出」を達成したと判断できる。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 洋上風力発電施設を対象とした浮体・係留・風車の一体シミュレーションモデルを構築したこと、海底熱水鉱床開発では揚鉱から陸上での荷役までを評価可能な全体システム稼働性評価プログラムを開発したこと、AUV 複数機同時運用においては隊列制御アルゴリズムの開発し、さらに実海域試験を行ったことなど、国の方針や社会ニーズに適合した研究開発が行われており、社会的価値の創出に貢献するものである。自然エネルギーによる発電および海洋資源開発は、日本は遅れており世界に追いついていかなければならない分野であり、これに取り組むことにより、国際競争力の強化につながる。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 浮体式洋上風力発電における風車・係留・浮体の一体シミュレーションモデルの開発や係留策への生物付着の影響評価など、海洋再生エネルギーの実現に必要な基盤技術の開発と安全評価手法の検討が着実になされている。また、海洋資源開発に関しては、全体システムの稼働性評価技術や商業生産を想定した計画支援システムの開発な</li> </ul>				

ど、その実現に向けた研究開発がなされている。これらの知見は、海底熱水鉱床開発における世界初の実証実験の成功にも大きく貢献している。

- ・ 海洋探査システムに関しては小型 AUV を開発し AUV ドッキング試験に成功するなど、複数の AUV を同時制御するための高度な隊列制御アルゴリズムの開発も含め世界最先端の成果をあげており、今後の実用化が強く期待される。

以上に示したように、国際的にみても高い水準の研究成果を達成しており、かつ、査読論文数や受賞数に代表される成果の公表という観点でも顕著な増加が認められ、今後の発展も強く期待される。したがって A 評価が適切と判断する。

■

- ・ SIP 第 2 期「革新的深海資源調査技術」への貢献や海洋基本計画、エネルギー基本計画に基づいた浮体式洋上風力発電の研究計画の策定など、国の方針や社会ニーズに適合した研究を着実に進めている。
- ・ また、その成果は十分な数の発表論文と表彰件数で裏付けられており、波浪中 VIM や AUV に関する技術開発は国際的にも高い水準に達している。
- ・ チャレンジングで新しい技術分野である海洋開発は、学术界へのプロモーションを通じて若手研究者、異分野の研究者の参入を推進して研究者コミュニティの層を厚くするようなこともお願いしたい。

■

- ① 海洋開発は、日本は海に囲まれているにもかかわらず、国策としては大きな推進をしてきていなかった部分である。しかし、近年の技術進展から海洋開発による海からの恩恵を引き出すこと可能になりつつあるだけでなく、一般社会からの期待が非常に高まってきている。海洋開発にかかわる多くのことが新たな海事産業の創出につながり、そのまま、社会的な価値を純増させる効果がある分野である。特に社会的な要請が強い海洋再生可能エネルギー、海底資源開発に直結する研究が国家プロジェクトの一環として実施されており、評価できる。
- ② 日本の排他的経済水域の活用には、深海性や広域性から、これまでにない技術の投入が不可欠であるだけでなく、深海の過酷環境を前提とした開発や、AUV の運用に関する研究は、一般社会へ還元時でのインパクトや、自動運転技術などへのブレイクスルーにつながることで可能性が高い。
- ③ 海洋再生可能エネルギーに関する成果は、海洋基本計画やエネルギー基本計画を見通して遂行され、洋上ならでの係留や水中の点検業務などの問題など実用上不可欠な問題を取り扱っており、十分に適切である。
- ④ 海底熱水鉱床の開発は世界的に例がなく、AUV の高度な運用についても国際的にも先端的な AUV の開発運用を実施しながら、経験を蓄積しており、国際的な水準を持っていると考えられる。

■

- ・ 国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値のために、着実に成果が積み上げられている。
- ・ 海底熱水鉱床開発におけるシステムの評価プログラムや支援プログラムについては、今後の実問題への適用のために産業界との協働を期待したい。
- ・ プログラム登録されている諸プログラムが、今後どのように公開され、実用されるのか、具体的指針や計画が示されると、実用化促進に向けたアピールがさらにできるものと考えられる。
- ・ 国際的な技術比較が示されると、成果の価値がよりわかりやすくなる印象である。

■

—社会的要請に合致している  
—学術的・国際的に高水準である  
と考えます。

また、本邦造船所などが R&D に以前ほど積極的でない中、実際に手を下して研究を行っているのは実質的に海上技術安全研究所のみになってきている現状では業界にとって非常に貴重なプロセスと成果であると考えます。

ただし、国交省の IMO 対応に資する研究などは所謂 NEEDS 先行なのでその成果が外部に分かり易いのに対し、SEEDS 先行の研究をどのように実装してゆくかは今後も大きな課題と考えます。

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■</li> <li>・ AUV については、当社でも開発しており、情報交換を行っているとは思いますが、海洋開発で、造船所に残った少ない案件ですので、世界のトップを走れるように継続してテーマを見つけて研究開発して頂きたい。</li> <li>■</li> <li>② テーマ 9 も 10 も社会ニーズは高い研究だと考える。</li> <li>② 夫々のテーマで部分的な成果は出ていると思われるが、全体の期待に対して成果がやや小さい感がある。</li> <li>③ 研究を計画した時点での予定には即した成果を出しているものと理解する。</li> <li>④ 自己評価でも国際貢献は少ないとしている模様。</li> <li>・ 全体として専門外で評価し難く、B と評価すべきか迷うが、AUV の研究等に於いて、そこそこの成果が出ていると推察して A とする。</li> </ul>
--	--

事務局とりまとめ欄

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

#### (4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

#### 令和1年度業務実績評価シート【年度評価】

【評点】	<input type="checkbox"/> S	<input checked="" type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
評価ポイント	<p>①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。</p> <p>②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きいか。</p> <p>③成果が期待された時期に創出されているか。</p> <p>④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。</p> <p>⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。</p>				
コメント	<p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生産支援、運航支援、物流計画、防災に関わる各課題について、AR、AI 等を利用した新規的かつ基盤的研究が進んでおり、産業界や社会に対してインパクトの大きい成果が得られている。開発・検討途上が多く論文成果等は少ないが、将来性と社会的重要度から A 評価とする。曲げ加工支援については、方法論先行ではなく、製造現場における実際の価値を造船所と議論しつつ、的確なる開発目標を設定いただきたい。災害時の総合的傷病者輸送は、3 研連携でこそできるテーマであり、今後の具体成果を期待する。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 大型船舶については、クラッチ使用前提の着棧操船は実用的でないと考えられますが。前後進切り替えの容易な電気推進の応用など考慮すべき様にも思われます。</li> <li>④ 他の競合する自動着棧制御の技術と相互比較するためには、定量的な指標による評価を行う必要があるように思います。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重点研究 11 で実施された板曲げ加工については、熟練技能者だよりである現状があるが、AR 利用など素人でも加工作業を比較的容易に行えるものを提案しており、「海事産業の競争力強化」に対する貢献は大きい。</li> <li>・ 重点研究 12 の「自動着棧」に関する技術開発は、無人船・自律船開発に直結する重要な研究項目であるが、これに関する諸問題と着実に解決していることは評価に値する。</li> <li>・ 重点研究 13 では、海技研だけにとどまらず 3 研究所統合効果を発揮した成果を社会に提供しており、成果も「安全・安心の確保」に直結した有用な内容である。</li> </ul> <p>以上の観点から、「顕著な成果の創出」を達成したと判断できる。</p> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「フィードバック式の曲げ加工支援システム」および「曲げ加工支援 AR システム」が造船所に導入され、社会実装が進んでいる。これは造船業の競争力強化に繋がるものであり、社会的価値の創出に十分に貢献するものである。また少子高齢化や人材不足への対応、造船工程の合理化、生産性の向上という社会のニーズへの対応しており、国の方針や社会のニーズに適合している。自律航行船の実現に向けた自動着棧アルゴリズムや着棧操船支援システムの開発、国の方針や社会のニーズに適合するものであり、成果の科学的意義も大きく、成果が期待された時期に創出されていると考えられる。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 曲げ加工は造船における極めて難易度の高い熟練依存技術の一つであり、その支援システムが実用化されたことは、社会のニーズに合致するとともにその科学的意義も高く評価できる。自動着棧システムや着棧操船支援システムも操船者の不足という社会のニーズと合致した社会的価値の高い研究であり、その早期の実用化が期待される。</li> </ul>				

- ・ また、AI を利用した災害時における総合的な輸送評価シミュレータは自然災害が続く近年において極めて重要な取り組みである。さらにこの取り組みは 3 研連携による新たな取組であり、喫緊の解決が必要な課題に対してこれまでの垣根を越えた新たな研究体制を構築し柔軟性と機動性をもって対応した事例として高く評価できる。
- ・ 成果の公表という観点からは、他の部門と比較して少な目ではあるが、本部門は論文数などではなく、実社会における活用を中心に評価すべきこと、および社会のニーズに対応して、これまでの枠組みを越えた機動性と先見性をもって対応していることを考慮して、A 評価が適切と判断する。

■

- ・ 造船現場で利用されるシステムの開発から、「自律型海上輸送システムの技術コンセプト開発」への参画などのビジョン策定まで、海事産業多くのフェーズを対象としながら研究成果をあげている。特に三研究所の連携での取り組みについて、クラウド化やデジタルツインというキーワードにより効率的かつ先端的な成果の創出が期待できる。
- ・ 今回の評価ポイントに含まれないが、情報技術へのフォーカスにより他の分野の成果の創出を支援する活動など、研究所全体のパフォーマンスを下支えする機能も期待されると考える。
- ・ また、人工知能技術の産業応用や三研究所の連携など、先見性と機動性のある運用がなされている。
- ・ 研究者数や研究プロジェクトのフェーズの関係から発表論文数が少ないと考えられるが、三研究所の連携での取り組みである災害対策など重要なテーマも多いので積極的に発表数を増やしていただきたい。

■

- ④ 若年世代の人口減少は、周知だけでなく労働世代の人口分布の予測は極めて容易であり、その予測に基づいた計画的に継続的な対策の戦略と実践が必要である。働き方改革、ヒューマンエラーの低減、無人化、遠隔化は、現代一体となって社会的に推進すべき問題であり、本研究分野が扱っている研究テーマは、それらの社会要請に対して合致し、貢献が認められる。
- ② とりわけ日本の製造業における労働環境は、大量の高度な人材を前提としていることが多く、それが改革を遅らせている面がある。日本の強みとされる高品質な製品開発を維持するための高いレベルでの技術継承を短期で実践できる作業支援システムの開発や船舶運航の無人化に向けた研究の波及効果は、他分野にも広く広がることが期待される。
- ③ 現状における先進的な情報処理技術を取り入れているなど、10 年前とは異なる概念の上での研究が実施されていることから、成果の創出時期としては、適切である。
- ④ 高齢化社会と一体の若年世代の人口減少については、早晩、多くの国で直線する問題であるが、日本は国際的にも先駆的で適切な対応が必要とされている。国際的にも国内での需要圧が強い課題であり、長期的な視点からは大いに国際貢献につながるを得ない研究を実施している。
- ⑤ 特に通信と情報処理技術の双方の将来の進展をタイムリーに取り込めるような開発志向は感じられる。

■

- ・ 開発されたアルゴリズム及び諸システムが、現実の問題に適用され、評価が行われ、実効性が示されつつあることは、高く評価できる。
- ・ 3 研（海技研、港空研、電子研）連携による災害時の傷病者輸送に関する取り組みは、社会的価値を創出する取り組みとして野心的であり、今後の展開を大いに期待する。

■

－社会的要請に合致している  
 －学術的・国際的に高水準である  
 と考えます。

また、本邦造船所などが R&D に以前ほど積極的でない中、実際に手を下して研究を行っているのは実質的に海上技術安全研究所のみになってきている現状では業界にとって非常に貴重なプロセスと成果であると考えます。

ただし、国交省の IMO 対応に資する研究などは所謂 NEEDS 先行なのでその成果が外部に分かり易いのに対し、SEEDS 先行の研究をどのように実装してゆくかは今後も大きな課

	<p>題と考えます。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自動着棧システムは、日本人の船員不足から、主に内航船で必要とされており、今後とも、船会社での実船試験を積み重ねていくことが必要と思われる。</li> </ul> </li> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>① テーマ 11 と 12 は社会ニーズに即した研究だと考えられる。テーマ 13 は非常に広義な範囲を示していて具体的研究内容がうまく見つかる事が必要。</li> <li>② テーマ 11 で示された曲げ加工支援のソフトは、実利的だと評価出来るが、自己評価は B になっていて、低い自己評価になっている。それに比べるとテーマ 12 や 13 は未だ実利的成果が出ていない様なのに自己評価は高い。12 の自動着棧は、日本のコンテナ船が韓国の港でクレーンを倒してしまった恥ずかしい例等を防げるのであれば、早々に実用化して貰いたいものである。</li> <li>③ 目標とされた時期に成果が出たものと理解する。</li> <li>④ 国際的貢献度は自己評価でも低いとしているので、それに従う。</li> <li>⑤ テーマ 13 の研究は、着眼点としては良いと感じるが、成果が何なのか見え難い。</li> </ul> </li> </ul>
--	--

事務局とりまとめ欄

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

# 1. 海上輸送の安全の確保

3

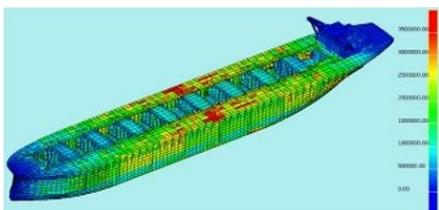
## (1) 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

- 年度実績**
- 昨年までに開発した荷重解析-線形構造解析評価システム(DLSA-Basic)で設定した海象条件での強度評価を可能にするよう改良し、新たに造船所1社で利用を開始(合計4社)。
  - 非線形荷重解析-非線形構造評価解析システム(DLSA-Professional)の開発により、全船体を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度の評価が可能。最終強度評価システムを完成。網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し造船所の設計の強化に貢献。

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

#### ODLSA-Basic

DLSA-Basicを活用した海象条件(設計波)設定法及び強度評価法を提案した。本システムは、船級規則改正に資するデータ構築に必要なツールとしても指定された。

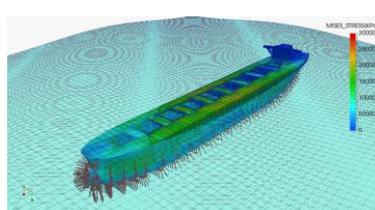


DLSA-Basic

線形解析による応力の最大期待値マッピング

#### ODLSA-Professional

DLSA-Professionalの構造解析における境界条件(外圧、内圧、拘束)設定法の提案及び検証を行った。これにより全船を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度評価が可能となった。

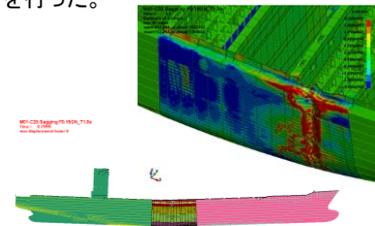


DLSA-Professional

極限海象での時刻歴応答解析

#### OCFD-FEA連成解析システム(DLSA-Ultimate)

DLSA-Ultimateにより流体構造連成を考慮した事故限界状態(1発大波によるスラミング)における大変形を考慮した船体動的構造応答評価法の高度化を行った。



DLSA-Ultimate

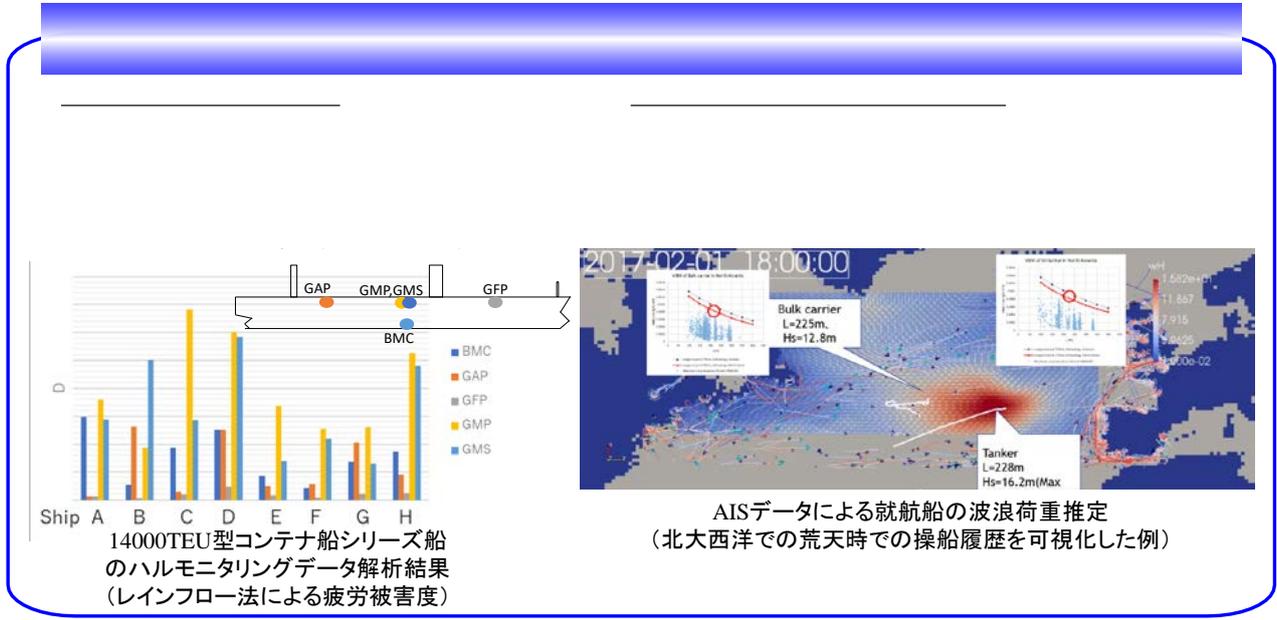
損傷時残余強度評価

OASME OMAE-2018SSR: Best Paper Awards

4

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

- 年度実績**
- 14000TEUシリーズ船モニタリングのデータ解析で得られた知見を集約し、ハルモニタリングシステム用ガイドラインの草案作成。
  - AIS位置情報に基づく就航船の荷重推定手法を開発し、構造基準へのフィードバック(設計用最悪海象設定)手法の提案。
  - DLSA・ハルモニタリング・AISを集約して「船体構造デジタルツイン」の開発に進展。



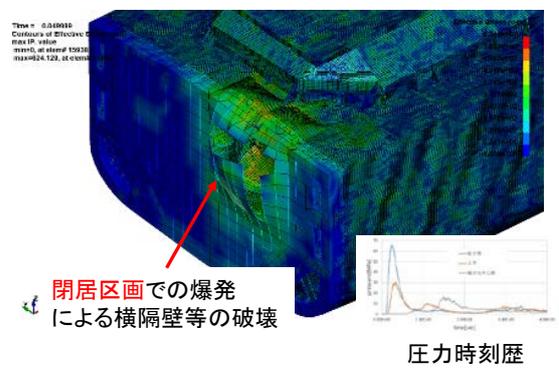
**(1) 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発**  
 - ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

- 年度実績**
- 液化水素運搬船の構造被害度評価用の実船モデルを開発するとともに部分モデルを用いた水素爆発試験解析を実施。造船事業者が世界初の液化水素運搬船の建造に着手に貢献。

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

○ 液化水素漏洩時の燃焼範囲・雰囲気温度等に基づき、熱-構造-流体連成を考慮した漏洩後の火災・爆発等による構造被害度評価手法を構築

- 川崎重工と連携し、世界初の液化水素運搬船(第1番船)の構造被害度評価用の実船全船モデルを作成。部分モデルを用いて閉居区画での等価水素爆発試験解析実施。
- 閉居区画での爆発を想定し、事故限界状態設計手法(ALS: Accidental Limit State Design)に基づき、火災・爆発後の船体折損等評価可能なモデルを構築。
- ペイジアンネットワークを用いて、液化水素漏洩から船体折損・全損までの構造安全に係るCoarseリスクモデルを構築。構造被害度評価結果をリスクモデルに反映予定。



液化水素運搬船の部分モデルを用いた等価水素爆発の試験解析結果

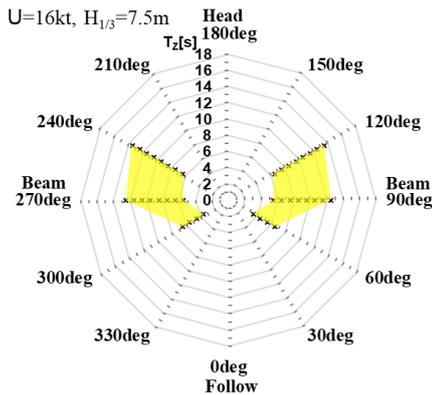
(1)海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発  
 - ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

年度実績 □ 第2世代非損傷時復原性基準を考慮した過大加速度の危険度評価手法を用いた操船支援法を提案し、暫定ガイドライン策定に貢献。

安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究（重点研究☆3）

○過大加速度の危険度評価

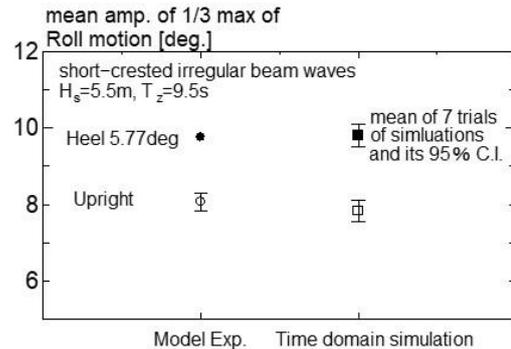
復原性に起因する波浪中の危険事象のひとつである過大加速度による事故を起こしたコンテナ船を供試船として不規則波中での横加速度の長期発生確率を用いた過大加速度の危険度評価を行い、操船要素である船速、波向、波周期を考慮した操船支援法を構築した。本成果はIMOで審議されている第2世代非損傷時復原性基準のガイドライン策定に貢献した。



コンテナ船の過大加速度の危険度評価法による操船支援  
 (船速16kts, 有義波高7.5mで回避すべき波向と波周期:黄色)

○時間領域船体運動計算法

短波頂不規則波中傾斜時の時間領域船体運動計算の結果は直立時、傾斜時とも実験結果とよく一致しており(図6)、危険度評価に用いる計算法として有効であることを示した。



短波頂不規則波中傾斜時の時間領域船体運動計算結果と模型実験との比較

## 成果の公表(海上輸送の安全確保)

項目	件数	
査読論文	28編	ジャーナル16編(うち2編投稿中) プロシーディングス12編(うち3編投稿中)
特許申請	1件	・衝突評価試験体、衝突試験方法および衝突試験装置
プログラム登録	3件	・NMRIW_PAPP (Performance Analysis by Principal Particular) ・DLSA-WPC (Direct Load and Structure Analysis – Water Pressure data Convertor ) ・CollisionRiskCalc
国際貢献	1件	・ Sample calculations of excessive acceleration failure mode, SDC7/INF.4.
受賞	5件	・ ASME OMAE-2018SSR: Best Paper Awards ・ 第8回ものづくり日本大賞: 製造・開発技術部門 九州経済産業局長賞 ・ 日本船舶海洋工学会: 日本船舶海洋工学会賞(論文賞)・日本海事協会賞・日本造船工業会賞 ・ うみそら研: 理事長表彰(論文賞) ・ 海上保安庁: 海上保安庁長官表彰

# 主な評価軸に基づく分析(海上輸送の安全確保)

## 自己評価:A

- ◎**成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値<sup>※1</sup>の創出に貢献するものであるか。**
  - DLSAシステム開発は、網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し、日本の造船所の設計力の強化に貢献。
  - GHG問題対応の水素社会の実現のために液化水素運搬船のリスクモデルの開発及び社会実装に向けた貢献。
  - 第2世代非損傷時復原性基準を考慮した過大加速度の危険度評価手法による操船支援法を提案で暫定ガイドライン策定に貢献。
- ◎**成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。**
  - DLSAシステム開発により全船を荷重解析-構造解析-強度評価と一貫したことで途中の簡易化やギャップ無い高い一般性評価。
  - AISデータによる船の遭遇波浪や作用荷重を明らかにし、そして設計荷重の設定に利用する新規の研究分野を開拓。
  - 水素利用技術等の実現のための一般性を持ったリスクモデル、それを構成する事故発生頻度データ、事故進展シナリオ等を整備。
- ◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
  - DLSAシステム開発は、現在進行中である船級規則全面改正に資するデータ構築に必要なツールとして指定。
  - 国際的要請である水素利用技術等のためのリスクモデルの開発は、適正な対応であり、業界の要請にも対応。
  - 第2世代非損傷時復原性基準は令和2年2月のIMO SDC小委員会で合意され、研究成果は期待された時期に創出。
- ◎**成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。**
  - 船体の動的最終強度は、世界で初めて実現象に即した動的非線形評価手法を導入し、系統的かつ定量的な評価。
  - ICFD手法を用いた流体構造連成解析法は、世界で初めてICFDを用いた船体構造のスラミング衝撃解析シミュレーションを実施。
  - リスク評価技術の高度化は、新規技術システムの実装に伴うリスクを見える化し、日本の船舶産業の国際競争力の強化に貢献。

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

9

## 研究テーマごとの自己評価(海上輸送の安全の確保)

重点番号	課題名	平均*	評価*
☆1	船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究	3.2	A
☆2	船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究	2.7	A
☆3	安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究	2.5	A

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

10

## 2. 海洋環境の保全

11

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

#### 年度実績

2020年SOx規制への対応

- 規制導入前に、国内外の石油業界の多種多様な性状の低硫黄燃料(LSC)で陸上燃焼試験及び実船試験を実施し、品質、信頼性、安全性に関する内航海運業界の懸念の緩和・払拭に貢献。また、「2020年SOx規制適合船用燃料油使用手引書第2版」(国交省、9月発行)の作成に貢献。
- 内航船への搭載を想定した世界一小型のSOx洗浄装置(スクラバー)を開発。

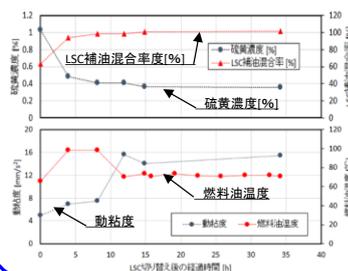
#### 船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究(重点研究☆4)

##### ○LSCの性状動向調査

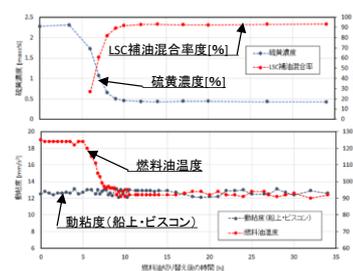
- ・陸上燃焼試験は、適合油(LSC)の性状動向調査及びその性状が船舶での使用条件に与える影響(着火・燃焼性、低粘度化と高流動点化、安定性など)について検討した。
- ・実船試験は、499GT小型貨物船～14,000GT級RoRo船の多種の船種12隻でのLSCによる実船トライアルを実施した。

##### C重油からLSC重油への燃料切替え (異なる設備を持つ内航船における手順・課題の確認)

温度を手動でコントロールの場合

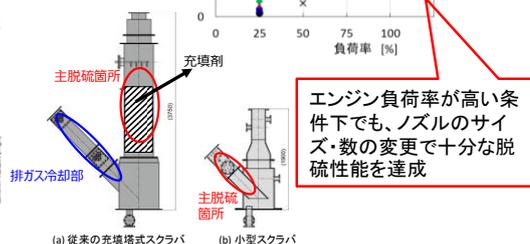
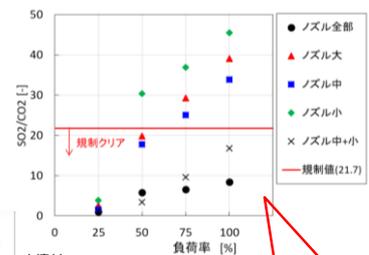


粘度調節器(ビスコン)使用の場合



##### ○スクラバーの小型化

エンジン負荷率が高くなり排ガス流量が増加した場合でも、洗浄水噴射ノズルを組み合わせることで、十分な脱硫性能が確認し、社会実装可能レベルに達成した。



エンジン負荷率が高い条件下でも、ノズルのサイズ・数の変更で十分な脱硫性能を達成

12

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

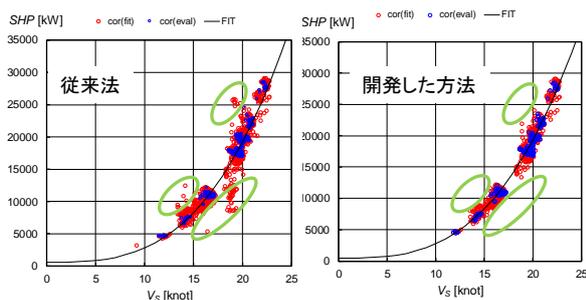
年度実績

- 実船モニタリングデータからの平水中性能抽出法として、RCM(Resistance Criteria Method)を開発し、そのガイドラインを作成。
- ライフサイクルの実海域実船性能を評価するため、GLOBUS(全球の波と風のデータベース)を活用した海象影響評価を実施。GLOBUS詳細版が完成し、外部有償提供を開始(4社販売)

実海域実船性能評価に関する研究(重点研究☆5)

ORCM

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

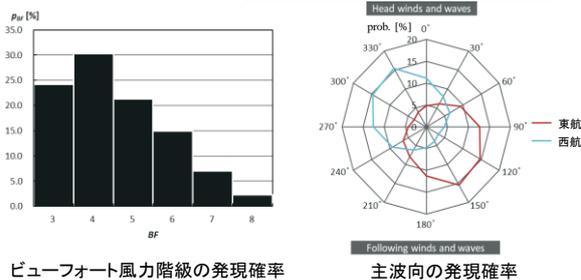


RCMによる抽出した平水中性能の精度向上の例

○ 日本船舶海洋工学会賞(論文賞)・日本海事協会賞・日本造船工業会賞、○日本船舶海洋工学会英文論文集優秀論文賞、○理事長表彰

OGLOBUS

ライフサイクルの実海域実船性能を評価する標準航路・海象の設定を検討し、気象海象の長期統計(GLOBUS)を利用した海象影響の評価を実施した。



ビューフォート風力階級の発現確率

主波向の発現確率

長期統計(GLOBUS)を利用して調査した海象影響(北太平洋航路)

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

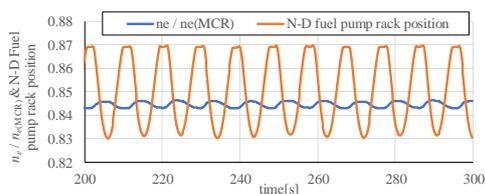
年度実績

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

実海域実船性能評価に関する研究(重点研究☆5)

○船体+プロペラ+主機応答連成計算プログラム

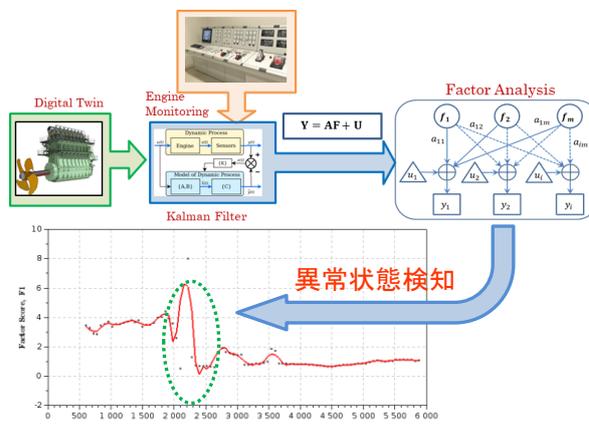
船体抵抗+プロペラ+主機特性の連成計算プログラムの開発により、波浪中主機負荷変動の時系列評価とガバナージェイン設定による影響評価が可能となった。



斜向波中主機応答の計算例

○主機の異常状態検知シミュレーション

主機シミュレーターに異常模擬モデルを追加、実機と同等のシミュレーションが可能とした。また、主機の異常状態シミュレーションプログラムの開発により、異常状態を検知するアルゴリズムの評価が可能となった。



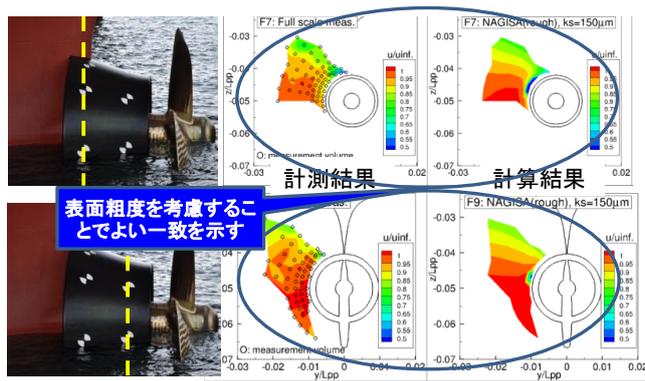
(2) 海洋環境の保全-②グリーンイノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

- 年度実績**
- 付加物付き船体の実船流場計測データに基づく実船スケール計算結果の検証及び計算ガイドライン構築。
  - 複雑な上部構造物形状における計算手法を開発し、国際水槽試験機関(ITTC)での標準計算ガイドライン案の構築(実海域実船性能評価プロジェクトにて実施)に貢献。

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

○平水での性能計算手法の高機能化・高速化

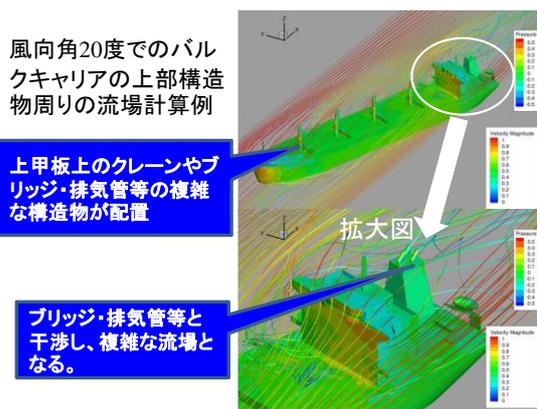
付加物付き実船SPIV計測結果に基づき、実船スケール計算結果を検証し、実船粗度を考慮することで計測結果と一致する計算結果が得られることを確認した。



付加物付き実船伴流計測結果との比較(2断面)

○上部構造物風圧力計算

上甲板上の複雑な構造物が配置される場合について、重合格子ベースのCFD計算で風圧力を精度(誤差5%程度)良く推定できる計算手法を開発した。



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

- 年度実績**
- ゼロエミッション燃料の要素試験を実施し、その結果に基づくGHG削減技術の将来シナリオと削減効果を作成。国交省「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」策定に貢献。

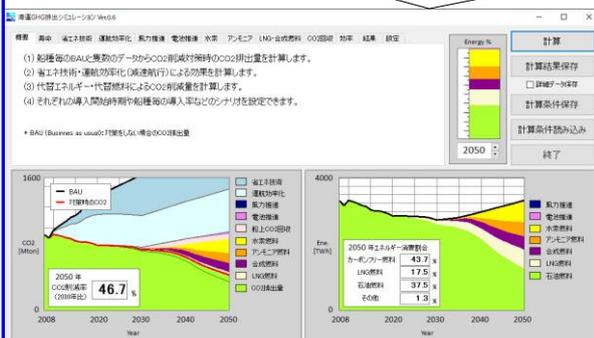
多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動カシステムの開発に関する研究(重点研究☆7)

○GHGロードマップ

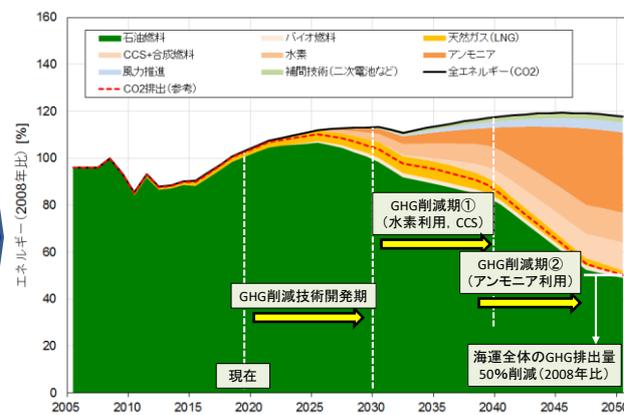
他機関※1に先行してゼロエミッション燃料の要素試験を実施するとともに、その結果に基づくGHG削減技術の将来シナリオ策定とGHG削減効果の推定を行った※2。

- ※1: 国内エンジンメーカーよりも先行して、水素混焼、アンモニア混焼の実機試験を実施。同時に国内エンジンメーカーと共同研究を実施。
- ※2: 国内外の他機関は文献調査によるシナリオ(ロードマップ)策定のみ、本成果は実機試験の結果を踏まえてGHG削減シナリオを検討。

外航船舶のCO<sub>2</sub>排出量の推測値から、設定したシナリオに基づくCO<sub>2</sub>削減量や代替燃料に内訳を計算している。



GHG削減シナリオ検討ツールによる計算例



技術開発調査に基づくGHG削減効果の推定【海技研シナリオ】

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

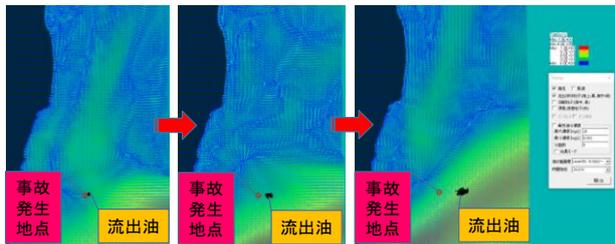
- 年度実績**
- 海洋への放射性物質流出時における環境影響評価のための海洋拡散シミュレーション技術を用いて油流出事故直後に迅速に海洋拡散評価ができるようにシステムを改良。
  - ISO21716 Series(防汚塗料防汚効果評価試験方法)のpart1~3(一般要件、フジツボ類、イガイ類)の最終partの藻類を用いた防汚塗料性能評価試験方法を構築。

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

**○海洋拡散シミュレーション**

油流出を対象とした海洋拡散評価に対して質量保存流速場モデルに基づく海流予測値を使用できるようにし、油流出事故直後に迅速に海洋拡散評価ができるようにシステムを改良した。

⇒流出油挙動を計算できる海域を、湾内のみ(従来)から日本全国の沖合へと拡張

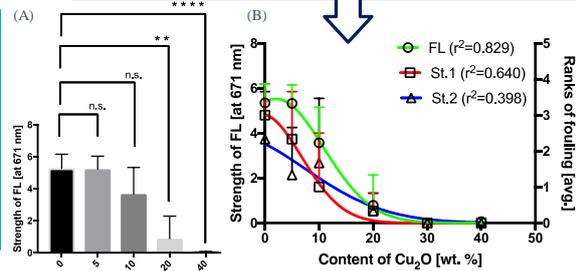


質量保存流速場モデルに基づく油流出時海洋拡散計算例  
(油流出事故発生地点：茨城県沖約50kmと想定)

**○防汚塗料性能評価**

藻類を用いた防汚塗料性能評価試験方法の骨子を作成し、ラボ試験及び実海域試験を通じて当該試験法により防汚性能を適切に評価できることを確認した(実海域浸漬試験を実施して妥当性を検証した防汚塗料性能評価試験法は、世界的に例を見ない)。

Cu<sub>2</sub>O含有量による防汚効果の閾値が明確(10wt.%と20wt.%の間)  
→ 当該試験法により防汚性能を適切に評価できることを確認



藻類を対象とした防汚効果評価試験方法の有効性確認試験結果  
(クロロフィル蛍光強度への亜酸化銅含有量影響の有意差検定)

17

**成果の公表(海洋環境の保全)**

項目	件数	
査読論文	37編	ジャーナル29編(うち18編投稿中) プロシーディング8編(うち4編投稿中)
特許申請	7件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 模型船試験自動化システム</li> <li>・ 船舶性能評価・提供システム</li> <li>・ 波浪スペクトル</li> <li>・ エンジンのモニタリングと因子分析の組み合わせによる 新しい異常検知・診断システム</li> <li>・ 船尾用付加物、船尾用付加物を有した船尾形状、及び船舶(ダクト・フィン)</li> <li>・ 船体表現手法</li> <li>・ 音響流による流場制御装置</li> </ul>
プログラム登録	5件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 船型設計支援ツール</li> <li>・ 船体形状・船体性能推定プログラムUNITAS-V4</li> <li>・ 船体長手方向法線ベクトルの影響を考慮したストリップ法による船体縦運動の動揺推定プログラム</li> <li>・ 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) Ver3.33</li> <li>・ 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) Ver2.1R2</li> </ul>
国際貢献	4件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Summary of Case Studies on Wind Forces Estimated by CFD - Validation of average wind velocity by JBC and HSBC -, ITTC/SOS (2019).</li> <li>・ Wind Velocity Profile and Representative Wind Velocity for a Wind Resistance Test, ITTC/SOS (2019).</li> <li>・ Summary of Case Study on Wind Forces by CFD (JBC) , ITTC/SOS (2019).</li> <li>・ Ships and marine technology – Bioassay methods for screening anti-fouling paints – Part 1-3, ISO CD投票可決(2019)</li> </ul>
受賞	3件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日本船舶海洋工学会: 日本船舶海洋工学会賞(論文賞)・日本海事協会賞・日本造船工業会賞</li> <li>・ 日本船舶海洋工学会: 日本船舶海洋工学会英文論文集優秀論文賞</li> <li>・ うみそら研: 理事長表彰</li> </ul>

18

# 主な評価軸に基づく分析(海洋環境の保全)

## 自己評価:A

- ◎**成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値<sup>※1</sup>の創出に貢献するものであるか。**
  - ・内航船舶に搭載可能な小型スクラバ開発は社会ニーズに対応した技術で、環境負荷の低減、国家プロジェクトに貢献。
  - ・実海域実船性能評価プロジェクトにより幅広い分野で共同して取り組み、実海域性能評価技術の向上は競争力強化に貢献。
  - ・CDFによる実船スケール計算に関するガイドラインの構築により海事局プロジェクトに貢献。
- ◎**成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。**
  - ・実船モニタリングデータは、実海域性能の分析方法、設計段階での実海域性能推定方法など成果の利用範囲に発展性が大きい。
  - ・船体+プロペラ+主機応答連成計算プログラムは、主機デジタルツインの開発に繋がる取り組みであり、科学的意義は大きい。
  - ・水素混焼エンジンに関して排気再循環技術(EGR)による燃焼抑制手法の実証は、国内外の中で先行した新規性が大きい。
  - ・実海域浸漬試験を実施して妥当性が検証された防汚塗料性能評価試験法は、世界的にも例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。**
  - ・2020年SOx規制に対応した研究は、早い段階から実験と理論の両面から取り組み、規制導入前に十分な情報発信を実施。
  - ・3年計画の海事クラスター共同研究(実海域実船性能評価プロジェクト)の進行に合わせており、予定通りに成果が創出。
- ◎**成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。**
  - ・内航船舶に搭載可能な小型スクラバの開発で得られた詳細な検討事項は、IMO等国际的な場での議論にも活用。
  - ・上部構造物の風圧抵抗推定計算法は、ITTCガイドラインへ反映されるなど、国際的な技術審議を主導。
- ◎**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。**
  - ・実船スケールでの性能推定を可能にするため、新たな計算手法や計算モデルを導入することで、先見性と機動性を持って対応。
  - ・水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの船舶への導入開始は2020年代後半になると考えられるものの、一部の要素研究やシステム開発研究は萌芽的技術として極めて重要であることから、先見性と機動性を持って対応。

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

19

## 研究テーマごとの自己評価(海洋環境の保全)

重点番号	課題名	平均	評価
☆4	船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究	2.7	A
☆5	実海域実船性能評価に関する研究	3.4	A
☆6	船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究	2.7	A
☆7	多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究	2.3	B
☆8	船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究	2.0	B

20

# 3. 海洋の開発

## (3) 海洋の開発

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

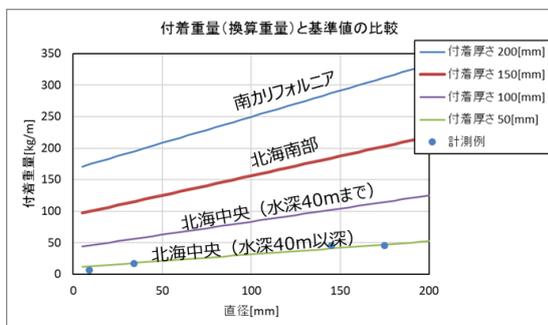
### 年度実績

□ 浮体式洋上風力発電については、近年注目されている合成繊維索を用いた係留系を対象とした安全性評価手法に関する検討を行って、現行の浮体式洋上風力発電施設の安全ガイドラインにおける留意点を抽出して、安全ガイドラインの改正案を検証。

### 海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究(重点研究☆9)

#### ○係留索の生物付着の影響評価

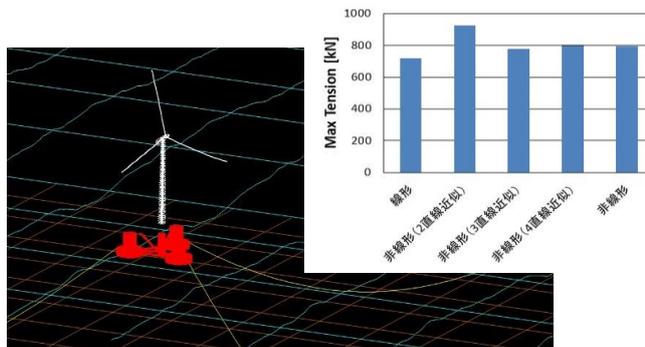
係留索として注目されている合成繊維索に対する生物付着量に関する調査を行って、今後改正される予定の安全ガイドラインに対する検討課題を抽出した。



合成繊維索直径と生物付着(青丸)及びISO評価値の関係(年評価値)

#### ○一体解析技術の確立

浮体・係留・風車の一体シミュレーションモデルを構築し、他機関の計算結果との比較・検証を行うとともに、合成繊維索の非線形軸剛性モデルの違いによるライン最大張力への影響をシミュレーションで確認し、安全ガイドライン改正案において安全性評価上考慮すべき事項を抽出した。



50年再現暴風中のライン張力の計算結果の比較

**(3) 海洋の開発**

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

**年度実績**

海底熱水鉱床開発の商業化を加速させる

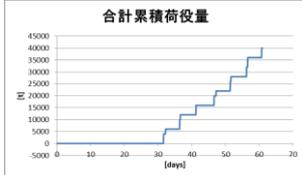
- 揚鉱から陸上での荷役までを評価可能な「全体システム稼働性評価プログラム」を開発。
- 海底熱水鉱床商業生産システムを想定した「計画支援プログラム」を開発。

**海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究 (重点研究☆9)**

**○全体システム稼働性評価プログラム**

揚鉱ユニット・採鉱母船・シャトル船による揚鉱・払出し・陸上での荷役までを考慮した陸揚げ量を評価可能とする全体システム稼働性評価技術の開発を行った。

【合計累積荷役量の例】



【入力用インターフェース】



**○計画支援プログラム**

前年度に抽出した課題を踏まえてプログラムの修正を行い、海底熱水鉱床商業生産システムを想定した計画支援プログラムを完成させた。



【データ出力画面のイメージ】

項目	単位	値
採掘量	ton	5,120,000
揚出量	ton	1,200
揚出率	%	2.34
揚出回数	回	15
揚出時間	分	400
揚出速度	ton/min	3
揚出効率	%	15
揚出コスト	円/ton	1
揚出距離	km	360
揚出回数	回	360
揚出時間	分	1
揚出効率	%	24
揚出コスト	円/ton	20,400

○エンジニアリング協会, 令和元年度エンジニアリング奨励特別賞, ○令和2年度日本船舶海洋工学会論文賞

**(3) 海洋の開発**

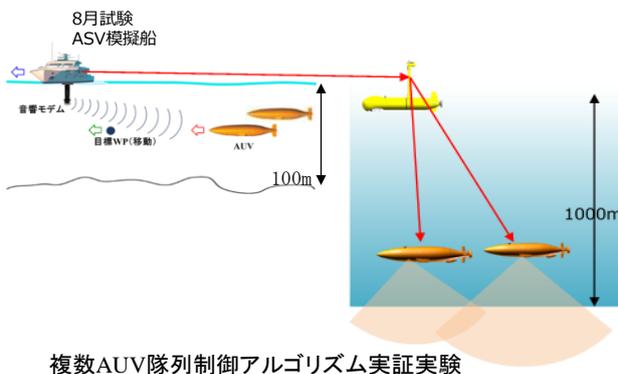
-③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

- 海洋資源探査、海洋構造物の保守点検、海底遺跡探査、沈船や不要埋没物（不発弾調査）等のAUVを使った社会実装（貢献）を目指すための隊列制御アルゴリズムのプロトタイプ完成と実海域による検証

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

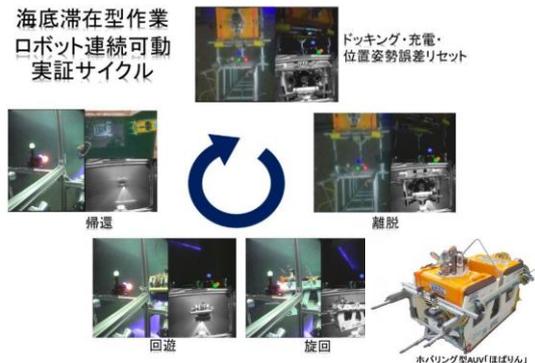
**○隊列制御アルゴリズム**

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



**○小型AUVの開発**

- ・電力と共同で、風力発電施設の基差点検作業の試行試験を実施。
- ・AUV充電ドッキング技術開発を岡山大学と共同で実施。複眼空間認識方法によるAUVドッキング試験を海技研内水槽で実施し、成功。



AUVほぼりんによるドッキング試験

[https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release\\_id696.html](https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id696.html)

## 成果の公表（海洋の開発）

項目	件数	
査読論文	41編	ジャーナル26編(うち22編投稿中) プロシーディング15編(うち1本投稿中)
特許申請	2件	・ 配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システム ・ 水中航走体の自己位置推定誤差補正方法及び水中航走体の自己位置推定誤差補正システム
プログラム登録	7件	・ 傾斜管内固液二相流圧力損失推定プログラム ・ 海底鉱物資源開発における計画支援プログラム ・ 全体システム稼働率計算プログラムver.2 ・ 2流体モデルを使った気液二相流の非定常解析プログラム ・ 複数AUV隊列制御シミュレーションプログラム ・ MiniAUV制御用メインプログラム ・ MiniAUV運用ツールプログラム
国際貢献	1件	・ ISO 19904-1 (2019)において、当研究所が主張してきた波浪中VIM(Vortex Induced Motion)に関する安全性評価での注意喚起条項が盛り込まれた。
受賞	4件	・ エンジニアリング協会: 令和元年度エンジニアリング奨励特別賞 ・ 日本船舶海洋工学会: 令和2年度日本船舶海洋工学会論文賞 ・ 第35回 北極圏国際シンポジウム「オホーツク海と流水」2020: 青田昌秋賞2020 ・ ASME OMAE Awards Committee: OMAE 2018 Best Paper of Ocean Engineering Symposium

25

## 主な評価軸に基づく分析（海洋の開発） 自己評価：A

### ◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値※1の創出に貢献するものであるか。

- ・ 浮体式洋上風力発電の成果は、国土交通省の安全ガイドラインに反映されながら、取組として次の改正に対しても適切に貢献。
- ・ 国家プロジェクトSIP第2期「革新的深海資源調査技術」への貢献を通じて成果の最大化に向けて、世界最先端の成果の創出。

### ◎成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。

- ・ 海底熱水鉱床開発研究は、他の海洋鉱物資源開発にも転用可能な技術を扱っており、発展性及び一般性は十分に大きい。

### ◎成果が期待された時期に創出されているか。

- ・ 浮体式洋上風力発電の成果は、海洋基本計画やエネルギー基本計画に基づいて研究を進めており、適切な時期に成果を創出。
- ・ 海底熱水鉱床開発研究は、商業化を加速させるために、必要な支援プログラムなどを成果として創出。
- ・ AUV技術開発は、超小型航行型AUV用制御プログラム、風力発電施設の点検試行試験など実用化に向けた成果を着実に創出。

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

- ・ 海底熱水鉱床開発に係るこれまでの研究成果は、国家プロジェクトにおいて世界初の実証試験成功に貢献。
- ・ 波浪中VIMに関する安全性評価での注意喚起条項がISOに盛り込まれるなど、成果が国際的な水準に照らして十分大きい。
- ・ AUV技術開発は、世界の最先端の一角を占める顕著な成果を創出し、国際競争力の向上につながるものである。

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

26

## 研究テーマごとの自己評価（海洋の開発）

重点 番号	課題名	平均	評価
☆9	海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究	3.1	A
☆10	海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究	2.8	A

27

## 4. 海上輸送を支える基盤的な 技術開発

28

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

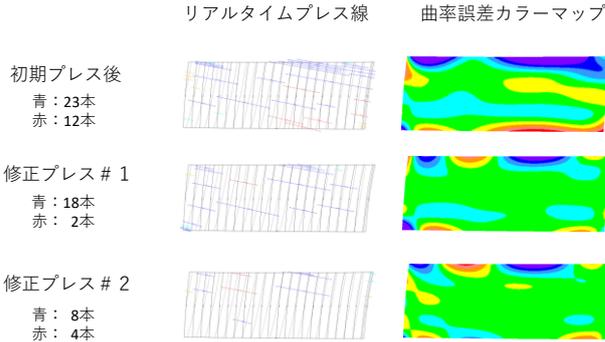
**年度実績**

- 「フィードバック型現場曲げ加工支援システム」を造船所1社に導入し、熟練作業者と同等程度の工数であることを確認。広く造船所等にも展開するためにシステムのパッケージ化(特許出願)。
- 曲げ加工支援システムを鋼板上でAR表示する「曲げ加工支援ARアプリケーション」に改良開発。造船所1社に導入し、実用上十分に使えることを実証実験で確認。

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

**○フィードバック型現場曲げ加工支援システム**

フィードバック型現場曲げ加工支援システムによるプレス作業の推移。プレス作業の経過とともにプレス線が減り、目的形状に向かっていくことが確認。

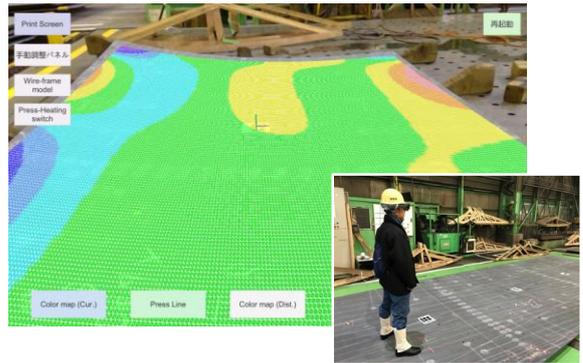


フィードバック型現場曲げ加工支援システム

「設計支援方法、設計支援プログラム、及び設計支援システム」(出願日2019/9/30)

**○曲げ加工支援ARアプリケーション**

AR表示を鋼板上でも安定的に行えるようにシステムを改良。表示デバイスに関してHMD(ヘッドマウントディスプレイ)対応のARアプリケーションを開発。



曲げ加工支援ARシステムの現場導入

29

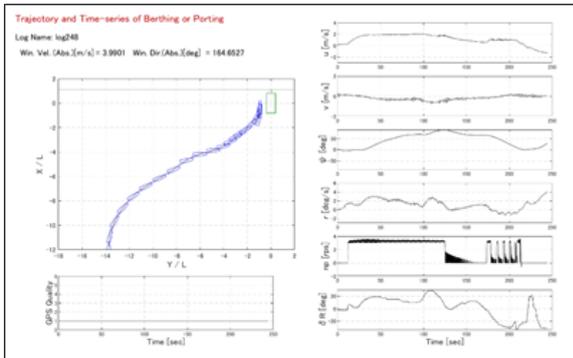
**(4)海上輸送を支える基盤的な技術開発 -②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発**

- 自動運航船の実用化に向けた課題の一つである着棧技術に関して「Pure pursuitとAutopilotによる自動着棧アルゴリズム」を開発。
- 操船者の精神的作業負担の軽減とユーザビリティに関して「音声情報を活用した着棧操船支援システム」を開発。

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

**○自動着棧アルゴリズム**

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



Pure pursuit + Autopilotによる自動着棧操船結果の一例

「船舶の着棧支援プログラム、船舶の着棧支援システム、及び船舶の着棧支援システムを搭載した船舶」(出願日2019/11/12)

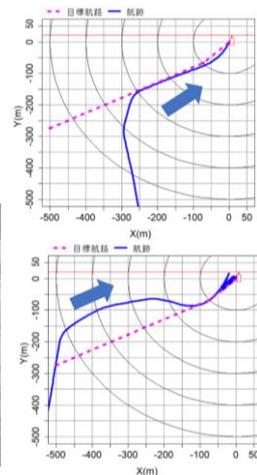
**○着棧操船支援システム**

実船搭載の音声情報を活用した着棧操船支援システムを開発。着棧目標位置における船速と進入角度を音声により、操船経験のない、または、少ない操船者15人のNASA-TLXスコアの平均値の結果から、精神的作業負担が軽減することを確認。



着棧支援システムの音声ガイダンスの例 操船シミュレータによる着棧実験

(上: 音声支援あり, 下: 音声支援なし)



30

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

**年度実績** □ 3研(海技研、港空研、電子研)連携による災害時の傷病者輸送に対するマルチエージェントモデルを用いたシミュレータの開発のためのフレームワークを構築。

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

○災害時における総合的な輸送性能評価シミュレータ

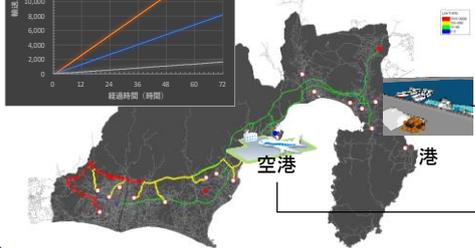
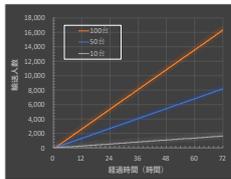
大規模災害を想定した、緊急消防援助隊ブロック訓練や自治体主催の大規模図上訓練等の参観によって傷病者輸送の一連の流れを確認し、情報の流れ、応援部隊配置の考え方などのシミュレータに必要な基盤となる動きを落とし込んだフレームワークを構築した。



学識・消防・自治体危機管理部署参加の専門家委員会を開催

矢板式の岸壁の場合、震度5強以上で供用可能率が低下(港空研)

応援部隊の輸送シミュレーション車両数を10, 50, 100台と変化した時の動きを確認(海技研)



計測震度	震度階	速度PSI (cm/s <sup>2.5</sup> )	供用可能率 (%)			
			重力式	矢板式	棧橋式	全体平均
3.00		5	100.0	100.0	100.0	100.0
3.50		10	100.0	100.0	100.0	100.0
4.00		15	100.0	93.8	100.0	97.9
4.50	5弱	35	100.0	75.0	100.0	91.7
5.00	5強	60	100.0	25.0	92.6	72.5
5.50	6弱	105	89.5	18.8	51.9	53.4
6.00	6強	175	47.4	18.8	7.4	24.5
6.50	7	280	36.8	0.0	7.4	14.7

空港面シミュレータに回転翼機の動きを追加(電子研)



**成果の公表(海上輸送を支える基盤的な技術開発)**

項目	件数	
査読論文	7編	ジャーナル4編(うち3編投稿中) プロシーディング3編
特許申請	6件	<ul style="list-style-type: none"> <li>平板プレス加工の作業支援方法、作業支援プログラム、及び作業</li> <li>曲面貼付フィルム作成プログラム、曲面貼付フィルム作成システム、曲面貼付フィルムを貼付した船体</li> <li>部材配置システム及び部材配置プログラム</li> <li>設計支援方法、設計支援プログラム、及び設計支援システム</li> <li>周辺状態表現方法、避航動作学習プログラム、避航動作学習システム、及び船舶</li> <li>船舶の着棧支援プログラム、船舶の着棧支援システム、及び船舶の着棧支援システムを搭載した船舶</li> </ul>

# 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<sup>※1</sup>の創出に貢献するものであるか。**
  - ・フィードバック型現場曲げ加工支援システムをパッケージ化し、広く造船所等に展開することで海事産業の競争力強化に貢献。
  - ・国土交通省の「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貢献。
  - ・国の大規模災害時の防災・減災対策に対して、総合的な輸送対策を評価可能なシミュレータを創出していくことで貢献。
- ◎**成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。**
  - ・「曲げ加工支援ARシステム」を造船現場に導入完了。造船現場へのAR技術の実用化は国内初であり、今後の発展は大きい。
  - ・自動着棧アルゴリズムは、設定パラメータや船舶に要求するアクチュエータが少なく、多種多様な船に適用可能である点で一般性があり、今後の発展性は大きい。
  - ・災害時の支援物資輸送では、確率論的安全評価の手法を取り入れて総合評価を行う点で新規性がある。
- ◎**成果が期待された時期に創出されているか。**
  - ・現状の造船現場の問題(技能者の不足、技能者の育成)に対して、曲げ加工支援システムは効果的なソリューションとして創出。
  - ・現在、国を挙げて自動運航船の研究開発を展開中であり、自動着棧アルゴリズムなどの要素技術を適切に成果として創出。
- ◎**成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。**
  - ・曲げ加工支援ARアプリケーションなど、国際水準と比較して十分な成果であり、我が国造船業の国際競争力の向上に大きく貢献。
  - ・自動着棧アルゴリズムは、国内外の他のシステムと違い、制御パラメータが少なく適用船が多い点で、国際競争力の向上に大きく貢献。
- ◎**萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。**
  - ・実船試験前における程度の開発を行えるシミュレーション機能有する実機の通信エミュレータを開発するなど、機動性をもって対応。

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

33

## 研究テーマごとの自己評価 (海上輸送を支える基盤的な技術開発)

重点番号	課題名	平均	評価
☆11	造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究	2.2	B
☆12	ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究	2.6	A
☆13	AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究	2.5	A

34

**「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野  
の「中長期目標期間中間評価」**

**(1) 海上輸送の安全の確保**

**令和1年度業務実績評価シート【中長期目標期間中間評価】**

【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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ いずれの重点研究も、年を追って段階的に成果が充実しており、分野全体としての成果公表や受賞実績も向上している。各課題の今後に向けた社会的意義や発展性も増大していると評価する。国際成果発信（特にジャーナル）は、課題および研究者によって偏りが見られ、総体としてさらに積極的に進めていただきたい。</li> <li>・ 船体構造デジタルツインの&lt;今後予想される成果&gt;に「現実に対応することが不可能な海難事故の検証が可能」とあるが、これだけではなく、船体の実応答を取得・分析・推論できることにより、品質保証、価値向上、メンテナンス・操船支援などで海事DXを牽引する、より多様な可能性があることを念頭に、今後進めていただきたい。</li> </ul> </li> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 年々、査読論文の発表数が増えるとともに、船体構造では論文賞、航路設計では学会功績賞を受けるなど順調に研究を進められているようです。</li> </ul> </li> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重点研究1におけるDLSAの構築は、種々の克服すべき課題があると理解しているが、中長期計画に沿って適切に進捗を達成できていることに加え、業界共同研究として実施されている「船殻構造デジタルツイン」</li> <li>・ 重点研究2では、世界でも競争が激しい「自律船」の具現化に際して有用な成果を着実に上げている。</li> <li>・ 重点研究3では、人的リソースの問題（担当者の出向）での一部研究の遅延以外は適切な進捗が達成できており、社会ニーズの高い衝突回避システムの具現化も十分に期待できる進捗管理がなされたと判断される。</li> </ul> <p>以上の状況を総合的に評価すると、中長期目標の中間評価としては「顕著な成果の創出」を達成していると判断できる。</p> </li> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 全船荷重構造一貫解析システム（DLSA）の開発については、社会実装も含めて着実に成果を上げていること、将来の水素利用へ向けて、漏洩リスク解析のためのリスクモデルの構築が進んでいることなど、国の方針や社会ニーズに適合しており、社会的価値の創出に貢献するものであり、評価できる。AIの活用は、時期を得ており、今後も船上モニタリングによって得られる膨大かつますます大きくなっていくデータを上手に分析、解析、活用されるよう期待する。過大加速度の危険度評価により、IMOの第2世代非損傷時復原性基準ガイドライン策定に貢献したことは評価できる。水素運搬船に関してもIMOの基準に反映できるよう成果に期待する。</li> <li>・ いずれの課題も海難事故防止の観点から重要な取り組みである。海難事故防止、海難事故解析については、海上技術安全研究所として取り組むべき課題と考える。</li> </ul> </li> </ul>				

- - ・ 船体荷重・構造応答一貫解析強度評価システムである DLSA システムは世界的に見ても最先端にあり、海事産業の競争力強化に大きく貢献する。さらに平成 29 年度より研究を開始している船体構造モニタリングシステムと DLSA システムとの統合は船体構造デジタルツインの実現に向けた中核技術であり、国際的観点・日本の競争力強化の観点の双方から見て、極めて意義の大きい研究である。中間評価までの 4 年間において、複数の論文賞の受賞や実用化などの側面において顕著な成果をあげていると評価できる。
    - ・ また液化水素運搬船のための数値シミュレーション技術の開発、航路設計のための交通流予測技術・海域リスクの評価技術、安全運航と海難事故防止のための操船支援法の開発などにおいても、海上輸送の安全確保に向けて国際的に高い水準の研究が精力的に展開されており、成果の公表の観点においても右肩上がりの将来のさらなる発展が期待される十分な成果を挙げている。
- 社会的・国際的に極めて意義がある高度な研究が実施され、今後のさらなる発展も期待されることから A 評価と判断する。

- ・ なお、世界は物を売る時代からサービスを提供する時代に変革したといわれている。研究機関の観点からは例えばシステムを開発して実用化することに加えて、そのシステムを実社会で運用するための方法論に関する価値が上昇しているものと考えられる。言い換えれば、システムを開発するまでが第一段階であり、そのシステムを利用して造船所が新たな価値を創成するための、システムの運用法や新たな船舶設計手法の検討が第二段階であり、この第二段階の重要性が増加しているものと理解できる。
- ・ このようなこれまで以上に広い意味での開発システムのサポート体制を構築し、研究成果の社会的価値をさらに上昇されると同時に、実社会における要望等を抽出する仕組みを構築されることを期待したい。

- - ・ 論文発表数が大きく増えており、学术界に大きな貢献をしていると考える。
  - ・ 発表論文数は研究フェーズのタイミングによる影響などもあると考えが、研究所の研究力や研究成果の蓄積を示していると理解した。
  - ・ 研究方針と重点研究の中個別のテーマもよく整合しており、また状況に応じた再設定も適切に行われており、中長期計画の中で効率的な成果があげられている。

- - ① リアルタイムを目指した解析技術やデジタルツインなどの昨今の情報科学の進展や可能性を取り込んでいけるような方向性、GHG 削減の為の水素社会を見越した研究開発などの方向性が明確に感じられ、研究のビジョンも含めた方向性を高く評価できる。また、4 年間の中での適切な研究方向の上方修正も感じられる。
  - ② ①も踏まえつつ、社会実装のための実践的な研究が開始されており、その研究に基づく情報を取得しつつあることは、先端的な経験を積んでいるという意味で、科学的意義を見出すために必須である。特に、この 2 年間で成果物が各種の賞を受賞するなど、客観的な新規性が認められているだけでなく、適切なアップデートがなされている。
  - ③ 荷重解析-構造解析-強度評価については、本来の物理現象としては一体のものであり、それらを統合的に実用的に扱うことが可能なシステムの開発は、原理的には旧来から開発されるべきものであったが、現実的に必要な精度で解析するには大量のデータの取り扱いが可能になっている情報の高度化があって初めて達成される。現時点における成果は、そうした日進月歩の情報高度化の利点を十分に取り込みながら進めてきている。
  - ④ GHG 対策は、直接的で効果的な国際貢献であると同時に、今後の製造や運航での国際的競争力や付加価値を得るため必須の技術である。単に船舶からの排出抑制だけでなく、液化水素の運搬船に関する研究をするなど、次世代の生活様式も見据えた研究は国研ならではの貢献である。また、適切なリスク評価は相対的な技術優位性や競争力を維持するためや、技術課題の明確化にとって必須であるだけでなく、リスクそのものは変化する社会的受容性も取り込んでいく必要がある。4 年間としてみると、柔軟に実践的な検証を進めている点は評価できる。

- - ・ 国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値を創造するために、着実に成果を挙げて

	<p>いることが認められる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重点研究間の協働によって、さらなる発展が期待されるテーマも見受けられる。今後の展開にも期待したい。</li> </ul> <p>■</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 関西国際空港での船の走錨事故の解析ツールの開発研究もされるとのこと、今後に期待しています。</li> <li>・ 又、デジタルツインモデルを作成し、安全性に関するシミュレーション解析が事前にできることで、船舶運航の安全性が大きく向上すると思うので、是非実用化していただきたい。</li> </ul> <p>■</p> <p>① 大型船の強度安全の研究は、継続的に続けられてきて、価値を生み出していると言える。今後どこまで進む事が必要なのか、良く分らないが、次第にレベルを上げるのが困難になって来るかも知れない。  小型船が転覆して人命が失われるケースが未だに時々ある様に思われるが、転覆しても人命が失われないための研究とか、必要なのではないのか。</p> <p>② 継続的な研究は、短期的な意味に加えて、モニタリングの様にデータ蓄積による新しい価値も出てくると考える。もう少し実施例を増やしても良いくらいかと。</p> <p>③ 研究の時期的妥当性は、各年度の成果が期待通りに出ているか、と言う事で評価されるのであれば、一般的に満たされていると思われる。研究テーマ自体に時期的な制約が有ったと思われるのは、水素運搬船のケースのみかと理解するが、研究の結果、設計の改良が有ったとすれば、素晴らしい事と言える。</p> <p>④ 特に H29 年度、H30 年度に国際貢献が有った事になっているので、その点は立派だと考える。</p> <p>上記を総合して、多年度に渡り、安定して高い実績を上げて来たと評価出来た。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 毎年、波浪等により船が転覆して人命が失われていると感じるが、転覆しても沈まない工夫とか、人命は助かる、と言った工夫は出来ないのだろうか？</li> </ul>
--	--

事務局とりまとめ欄

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

## (2) 海洋環境の保全

### 令和1年度業務実績評価シート【中長期目標期間中間評価】

【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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 実海域性能評価法は着実に進展しており、これと主機制御/監視システムの組み合わせにより、あらたな運航最適化や航行支援が可能になることが期待される。研究の国際的先進度は高い。機関・環境インパクト関連は、多様な課題・ニーズに臨機に対応する必要の多い分野であるが、個々に適確に対応されていると認識した。分野全体として論文、特許、受賞成果はコンスタントに達成されている。防汚評価試験法など萌芽的内容についても積極的成果発信を期待したい。</li> <li>■ 査読論文の発表数や学会賞受賞が多く、企業へのプログラム、データベースの提供も多いなど順調に研究を進められているようです。これらが造船産業における競争力の向上にどのように結びついているかも説明あればと思います。</li> <li>■ 各研究項目の進捗状況を俯瞰すると、いずれの項目も「中長期目標通りの成果」は当然の帰結となることが期待される。</li> <li>■ 一部の項目については「中長期目標以上の成果」も期待されるが、特に GHG ゼロエミッションコンセプト船の開発については、国に働きかけて特別な資金を獲得し、プロトタイプの実船を建造することまで昇華できるとよいのではないかと期待します。</li> <li>■ また、派手さは無いが福島沖の放射性物質影響評価は、「安全・安心の確保」に加え、風評被害防止という経済問題への対応にも多大なる寄与を達成していると評価できます。</li> </ul> <p>以上の状況を総合的に評価すると、中長期目標の中間評価としては「顕著な成果の創出」を達成していると判断できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2020年に導入された燃料中硫黄分の規制への適合燃料油の研究、内航船に搭載可能な小型スクラバの開発、実海域性能評価方法の開発、船舶性能評価のための CFD プログラムの高機能化、GHG 削減を目指した船舶動力システムの技術開発、防汚塗料の性能評価法の構築など、十分に成果を上げてきていると考える。実海域背の性能評価研究は、実海域実船性能評価プロジェクトに繋がったことも評価できる。</li> <li>■ GHG 削減に対応する船舶動力システムについては、自律航行船への対応も考慮して、信頼性、メンテナンス性などの観点からの検討も行ってもらいたい。</li> <li>■ CFD 技術は海技研の強みの一つであり、省エネ付加物を考慮した CFD ソフトを世界で初めて開発・実用化した実績は、科学的意義・社会的価値・成果の時期の全ての観点で高く評価できるものであり、顕著な成果である。</li> <li>■ また、実海域の性能評価のために実船モニタリングを早期に実施して、波浪中抵抗増加プログラムを開発したことも特筆すべき成果である。これらの成果は全球版気象海象データベースである GLOBUS と連携することにより、実海域性能と船舶のライフ</li> </ul>				

サイクルを考慮した次世代の船舶設計の実現に資するものである。世界に先駆けてこの研究成果を日本で得た意味は極めて大きく、今後も是非、大事に研究成果を発展させていただきたい。

- ・ また、船舶による環境負荷低減という観点からは、排ガスの計測・分析技術を開発と低硫黄燃料の基本的知見の獲得、小型スクラバーの開発、多様なエネルギーを用いた新エンジンの開発と GHG 削減シナリオに向けたロードマップの作成、放射性物質の環境影響評価技術の開発、防汚塗料の性能試験評価法の開発など、社会のニーズと正に合致した研究が実施され、着実に成果を挙げている。

以上のように社会的・国際的に重要な意義のある研究成果を適切な時期に得ていることから A 評価が適切と判断する。

- ・ なお、社会は複雑化・高度化しており、想定外の事態も想定したロバスト性がこれまで以上に求められている。GHG 削減に向けたロードマップに関しては、各種の不確実性を考慮して、代替案も含めたよりロバストなロードマップへと発展させることを期待する。また、GHG 削減というゴールに向けて実海域性能評価技術等をどのように位置づけ活用していくべきかという、これまでの研究成果を統合したより広範囲な観点からの研究へと発展させていくことも将来に向けた課題である。

- GHG 削減シナリオの策定など、政策決定の支援についての活動と、技術動向や技術開発の状況についての研究者の活動と連携させている点が研究所の強みとして評価できる。

- ・ カーボンフリ燃料などの社会的要請が高い萌芽的な研究に早期から取り組んでいる点は、中長期の計画の中で高く評価できるポイントである。

- ・ また、重点研究のテーマ整合性から効率的な成果創出ができていていると考える。

① 海洋由来の環境負荷低減として、船舶からの排ガス削減に直接的に貢献できる研究、高度なモニタリングとその解析処理法の開発など、実社会に近い目線での研究開発がなされていることが認められる。4 年間の研究開発としてみたときに、大きな視点から、年々、実装に向けてのテーマの絞り込みが適切になされていると感じられる。結果として、研究成果の利用者とのコミュニケーションを取りながら必要な開発が遂行されている。

② ①も踏まえつつ、社会実装のための実践的な研究が開始されている。実践的研究の実施は、先端的な経験を積む好循環を生んでいることが、新規性や社会還元性の高い成果が出ていることがうかがえる。また、それらの成果が各種の賞を受賞だけでなく、プログラムの公開などとして、一般社会に客観的に還元されてきている。

③ 船体+プロペラ+主機特性の連成解析は、本来の物理現象としては相互に干渉する一体のものであり、それらを統合的に実用的に扱うことが可能なシステムの開発は、原理的には旧来から開発されるべきものであったが、現実的に必要な精度で解析するには大量のデータの取り扱いが可能になっている情報の高度化があって初めて達成される。現時点における成果は、そうした日進月歩の情報高度化の利点を十分に組み込みながら進めてきている。

④ 海洋環境保全において、海洋物理場の把握は基本事項である。また、物理場としての広域影響と共に、発生源となりうる現象近傍での詳細解析は、その後の科学的で有効な対策の根幹となるものである。

⑤ 高度な技術を取り込んだ船舶開発への貢献だけでなく、海洋への放射線物質の拡散問題、防汚塗料の評価など先を見越しつつ、必要時には即応性を求められる研究を進展させていることは、評価しなければならない。

- 国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値を創造するために、着実に成果を挙げていることが認められる。

- ・ 船舶による環境負荷、実海域における運航評価、大気汚染等に関連する研究成果は着実に積み上げられている。一方で、生態系影響については、生体系環境評価による負荷低減についてはあまり強調されていない印象がある。

- ・ テーマの枠を超えた重点研究間の協力によるシナジー効果も期待したい。

	<p>■</p> <p>① 特にテーマ 4 や 7 は世界的な環境規制に対応する上で非常に重要なテーマであると考ええる。</p> <p>② テーマ 5 や 6 は継続的な研究が行われ、高い実績が出ていると考えられる。</p> <p>③ 成果を問われる時期が顕著にあったのは、テーマ 4 と 7 だと理解する。その要求に十分応えている。ただ、テーマ 7 に於いて、アンモニアや水素の燃料化はここにきて重要度が上がっているのに、H28 年度の研究から進んでいない様に見えるのは少し残念。水素直接燃焼に関しては、資料 1-1 や 1-2 を見てもどこで行われたのかすら分らない。</p> <p>④ 国際的な貢献は行われていると理解する。</p> <p>⑤ 既に上述したが、アンモニアや水素の燃焼を世間が注目しない内にテストしたのは立派。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>総合的に見て、多くのテーマで高い実績を残したと考える。特に GHG 削減のテーマは船の世界だけでなく大きなテーマであり、今後も力強い取組が期待される。その中で海上交通は国交省の守備範囲で、陸上発電等は経産省の守備範囲と思える。E-fuel を普及させるのであれば、両者が協議をしないと進まない部分があると思われ、協力して進めるプロジェクトが有っても良いのではないか？</li> </ul>
--	---

事務局とりまとめ欄

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

### (3) 海洋の開発

#### 令和1年度業務実績評価シート【中長期目標期間中間評価】

【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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■           <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海洋エネルギー開発、海底鉱物資源、海中利用技術（特に AUV）のそれぞれの分野で、新規的な成果が生み出され、4 年間の技術の進展が顕著に認められる。今後は、実装、コスト、時間スケールなど、実用化と技術移転に向けたさらにハイレベルの目標設定と、国際的な先導・発信を期待したい。</li> </ul> </li> <li>■           <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 年々、査読論文の発表数が増えるとともに、海水熱水鉱床開発では複数の学会賞を受けるなど順調に研究を進められているようです。</li> </ul> </li> <li>■           <ul style="list-style-type: none"> <li>・ SIP や海洋基本計画等、複数の国家プロジェクトへの貢献が極めて大きく、かつ継続して貢献している。</li> <li>・ また、研究成果の公表状況も極めて良好である。</li> </ul> <p>以上の状況から、中長期目標の中間評価としては「顕著な成果の創出」を達成していると判断できる。</p> </li> <li>■           <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 洋上風力、波力など海洋再生可能エネルギー発電施設の研究は、国の施策や社会ニーズに適合するものであり、成果が活用されることにより社会的価値の創出に繋がる。複数機運用・協調行動を目指すとともに小型化、低コスト化を念頭においた AUV の開発や、実海域における試験を行っており、社会実装へ向けて成果が得られている。海底熱水鉱床開発とともに複数 AUV の統括監視技術、複数 AUV の運用を可能とするオペレーションシステムの開発を進めて、世界から見れば遅れている海洋資源開発に活かしていただきたい。</li> </ul> </li> <li>■           <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 洋上風力発電に関する浮体・係留、風車一体のシミュレーション技術の開発や並進動揺型波力発電装置の制御技術の開発などにおいて、海洋再生エネルギー生産システムの効率を向上させ安全性を評価するための技術が開発されている。また、海底熱水鉱床についても稼働性の評価技術や移送管の挙動解析技術に関する有益な知見が得られている。AUV の運用に関しては複数の AUV を同時運用するための世界最先端の知見が得られている。</li> <li>・ SIP 等の国家プロジェクトに参加して世界最先端の研究成果の創出に貢献しており、最終年度となる本年度には研究成果の公表という観点でも顕著な成果を挙げていることから A 評価と判断する。</li> <li>・ なお、今後はこれまでの基礎研究の成果に立脚し、民間への技術移転が行われるものと思われる。この分野が日本において事業化され国際競争力を持つように、これまでの技術開発に加えて SWOT 分析なども含めたより広い範囲からの検討と課題抽出を行い、産業化を強力に支援することを期待する。</li> </ul> </li> </ul>				

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国や社会からの要請に対して、適切な時期に研究成果をあげ、目標を達成している。また、産業化に向けた海底鉱物資源開発システムへの計画支援プログラムや、AUV の隊列制御や計測高度の補正においては想定以上の研究成果が創出されている。資源の種類が異なるプロジェクトについて基盤技術の転用についても検討を進めており、効率的かつ期待される時期に技術を創出する体制を備えていると考える。</li> </ul> </li> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>① 海洋開発は、日本は海に囲まれているにもかかわらず、国策としては大きな推進をしてきていなかった部分である。しかし、近年の技術進展から海洋開発による海からの恩恵を引き出すこと可能になりつつあるだけでなく、一般社会からの期待が非常に高まってきている。海洋開発にかかわる多くのことが新たな海事産業の創出につながり、そのまま、社会的な価値を純増させる効果がある分野である。特に社会的な要請が強い海洋再生可能エネルギー、海底資源開発に直結する研究が国家プロジェクトの一環として実施されている。4年間を通して、海洋開発にかかわる広範な範囲の国家プロジェクトにタイムリーに確実に参画しており、社会的な貢献は高く評価できる。</li> <li>② 日本の排他的経済水域の活用には、深海性や広域性から、これまでにない技術の投入が不可欠であるだけでなく、深海の過酷環境を前提とした開発や、AUV の運用に関する研究は、一般社会へ還元時でのインパクトや、自動運転技術などへのブレイクスルーにつながることで可能性が高い。4年間を通して、個々の技術の成熟度の質が上がり、解決すべき課題が変遷しているだけでなく、新たな研究ターゲットへの挑戦の毎年重ねていることは評価できる。</li> <li>③ 海洋再生可能エネルギーに関する成果は、海洋基本計画やエネルギー基本計画を見通して遂行され、洋上ならでの係留や水中の点検業務などの問題など実用上不可欠で新規の開発が必須なことにチャレンジしている。受賞や成果の公表の推移を見ても、4年間の中で成果が出つつあることが示唆されている。</li> <li>④ 海底熱水鉱床の開発は世界的に例がなく、AUV の高度な運用についても国際的にも先端的な AUV の開発運用を実施しながら、経験を蓄積しており、国際的な水準を持っていると考えられる。こうした海洋開発は国際的な競争力の維持には国家的なサポートの充実が不可欠であり、海洋を世界レベルで活用できる国家になるべく、国策としてのビジョンを持ったこれまで以上の支援の充実を期待したい。</li> </ul> </li> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値を創造するために、着実に成果を挙げていることが認められる。</li> <li>・ 中長期目標に示されている「海洋資源開発に係るシステム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立」の部分のうち、安全性評価についての取り組みが明示的でない印象がある。</li> </ul> </li> <li>■ <ul style="list-style-type: none"> <li>① テーマとしては大きく、社会ニーズには合っている。そこから個別の研究内容を絞る時に、小さな内容になってしまい、全体への期待の中で、これで良いのか、と感じられる面がある。</li> <li>② どのテーマも、未だ具体的ご利益みたいなものが見え難く、評価し難い。</li> <li>③ 研究開始当初の目標時期には成果をだしているものと理解する。</li> <li>④ 国際的貢献度は未だ余り無いのかと推察する。</li> <li>・ AUV のテーマは継続的な研究なので、それなりに成果の蓄積が生まれているのかと理解する。それ以外はやや継続感が無く、位置付けが難しいのかと。難しい課題を扱う部門だと思うので、じっくり継続的に実績を重ねて行かないと成果が出ない気がする。</li> </ul> </li> </ul>
--	--

事務局とりまとめ欄	
総合評価  <b>A</b>	S : A : 11 B : C : D :

#### (4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

##### 令和1年度業務実績評価シート【中長期目標期間中間評価】

【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>■ 本分野では、海事産業および海上輸送に関わる基盤技術課題として、情報化、知能化、システム化、生産、新材料、人材育成等をキーワードとする諸課題が扱われてきている。評価軸①～⑤は、高いレベルで達成されてきていると評価する。デジタルイノベーションとシステム思考は、4分野共通の基盤要素であり、本分野がその連携の核となって先導いただきたい。</p> <p>現在、構造デジタルツインの研究が進んでいるが、現状は構造応答デジタルツインにとどまっている。本来は、これと建造デジタルツイン、維持管理デジタルツインがセットになって始めて、設計・生産・運用一体の船の最適化、品質保証、新たな価値創出を図ることができる。今後の開発視点に入れていただきたい。物流予測に関しては、コロナ後の社会の変化を、海事の視点だけではなく、地球規模・人類規模で考えることが必要と考えられ、この点も本分野関係者に期待するところである。</p> <p>■ 他の分野に比べると、国際ジャーナル論文や学会賞の数が少なくなっておりますが、これは研究開発の方法論がまだ世界的に定まっていない証ともいえます。一方、アフターコロナの海上物流の予測やAIなどの新技術の台頭など、社会からのニーズが今後さらに高まる分野であり、人的資源の重点投資が望まれるのではないのでしょうか？</p> <p>■ 資料1-2を参照すると、各重点研究の進捗状況が適切であることに加え、「中長期目標以上の成果」も複数の項目で期待されることは担当者の研究マネジメントが優れているからであろうと推察する。</p> <p>以上の状況を総合的に評価すると、中長期目標の中間評価としては「顕著な成果の創出」を達成していると判断できる。</p> <p>一方、海技研の重要な使命の一つとして、個社単独で研究や技術開発する人的・資金的リソースに劣る中小造船所の支援がありますが、これらの企業では実際の建造に際して困っている多くの案件に対する国研の支援を期待していると思われまます。委員会における口頭での説明の際に、この分野に研究所として割いている人員が少ないとの発言があったと記憶していますが、人員配置については論文になりやすい案件だけでなく、弱い立場からの社会要請に対して十分に配慮していただければと希望します。</p> <p>■ 技術の伝承、少子高齢化や人材不足への対応、造船工程の合理化、生産性の向上など造船所が抱える課題に対応する課題について、成果が得られ、また社会実装につながっており、国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献するものである。また造船業の国際競争力の向上にもつながる。</p> <p>■ 中小造船用生産管理システムや曲げ加工支援システムの開発と実用化など、海事産業の競争力強化に繋がる研究成果を挙げている。また自動着桟や自動運航についても着</p>				

実な成果を挙げており、これらは運航の競争力強化と安全性向上に繋がるものと理解する。

- ・ また、海上輸送や造船需要の将来予測や 3 研共同の災害時の輸送評価シミュレータの開発など、先見性をもった新たな試みも精力的に展開されている。
- ・ 今後の主たる研究課題として挙げている次世代造船設計システムは時代の要求と正に合致したものであり、データの標準化も含めてその成果を大いに期待している。
- ・ 実務に直結した実利のある研究と、新たな試みを含めた萌芽的研究がバランスよく展開され、今後の発展が大いに期待されることから A 評価とする。
- ・ なお、今後の取り組みに関連して、海技研としてのデータ取得・活用戦略をご検討いただきたい。各種の AI 技術の開発や戦略立案においてデータの活用は必須の課題であり、質の良い多様なデータを取得することが競争優位に繋がる。他の研究で獲得しているモニタリングデータや、造船所の建造データ、海技研が開発・提供している各種のソフトの利用データなどは将来の研究・開発・競争優位へと繋がる貴重な財産と考える。海技研のこれまでの成果やそのクラウド化を有効に利用すれば、ShipDC 等が担当する完成船舶のデータに加え、研究・開発・設計途上のデータの取得も期待され、海事産業におけるデータ戦略という観点において、日本が優位に立つことが期待できる。是非、ご検討いただければ幸いである。

■

- ・ 自動運航や人工知能技術の産業応用など萌芽的あるいは先端的なテーマを数多く取り上げている中で、船上作業の作業負荷を軽減する研究テーマなど、制度や技術動向に応じて柔軟かつ適切にテーマ設定がなされている。
- ・ 中期目標に整合しつつ個別テーマからは優れた成果が得られている。
- ・ 今後、社会からの要請に応えるには異分野の技術の統合が必要になる場合も増加することが予想されるが、3 研連携の取組みを進めるなど機動的な研究体制を備えていることも高く評価できる。
- ・ 発表論文や研究成果の効率的な創出にはテーマ間の整合性や連携を高めるなどの工夫を検討いただきたい。

■

- ① 若年世代の人口減少は、周知だけでなく労働世代の人口分布の予測は極めて容易であり、その予測に基づいた計画的に継続的な対策の戦略と実践が必要である。働き方改革、ヒューマンエラーの低減、無人化、遠隔化は、現代一体となって社会的に推進すべき問題であり、本研究分野が扱っている研究テーマは、それらの社会要請に対して合致している。4 年間の研究テーマについても、多くの要素が絡み合うようなシステム全体を俯瞰できることを可能とする研究から、詳細で緻密な部分に焦点を絞った研究の遂行など、社会的なニーズに応じた柔軟な貢献が認められる。
- ② とりわけ日本の製造業における労働環境は、大量の高度な人材を前提としていることが多く、それが改革を遅らせている面がある。日本の強みとされる高品質な製品開発を維持するための高いレベルでの技術継承を短期で実践できる作業支援システムの開発や船舶運航の無人化に向けた研究の波及効果は、他分野にも広く広がることが期待されている。身近で解決可能なことからチャレンジングな課題に取り組んでおり、数値的な評価は難しいが、4 年間の中での成果の具体性の質の向上が感じられる。
- ③ とりわけ AI や Deep Learning などこの数年で急激に進展している先進的な情報処理技術の取り入れを試みるなど、タイムリーに機動的な研究テーマを掲げてきている。
- ④ 高齢化社会と一体の若年世代の人口減少については、早晩、多くの国で直線する問題であるが、日本は国際的にも先駆的に対応が必要とされている。国際的にも国内での需要圧が強い課題であり、長期的な視点からは大いに国際貢献につながるべき研究を実施している。この点についてはこの 4 年間において、一貫していると評価できる。また、防災に関する研究を国研の強みを生かして開始していることは高く評価できる。
- ⑤ 通信と情報処理技術の双方の将来の進展をタイムリーに取り込めるような開発志向に加えて、大規模災害など想定外と想定内の境界が急激に変化しつつある現状を踏まえた先手につながる研究を進化させながら実践していることが伺える。

■

- ・ 国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値を創造するために、着実に成果を挙げていることが認められる。
- ・ 社会的期待が大きいテーマに取り組んでおられるので、中長期計画後半の展開ととりまとめに大いに期待したい。

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 災害対応輸送シミュレーションですが、現在、国会で、災害対応船、病院船の構想が進んでおり、そのあたりも含んだ研究開発としてはどうでしょうか？</li> <li>■ ① テーマ 11 は個々の案件に社会ニーズは有るのだろうが、なかなか大きなテーマに広がらない感じになっている。しかし、弊社の様な大型機関製造に於いても、製造プロセスの刷新が進まない事態になっていると思われ、何かのブレークスルーは求められていると感じる。          テーマ 12 は世の中で広く研究が進んでいるテーマかと理解する。研究の継続性も伺われるので、更に進めていただきたい。          テーマ 13 は研究の継続性は余り見られず、良いテーマを見つけかねているのかと理解してしまう。</li> <li>② テーマ 12 は重要だが、少しずつでも実用化して行く事が必要なのかと思う。</li> <li>③ 個々の研究の目標時期には即した成果が出ているものと理解する。</li> <li>④ 自己評価でも国際貢献度は低い。が、内航船業界のニーズに応えるのも立派な仕事ではないか？例えば、自動着棧に於いて、船体前後のロープを自動で岸壁に結び付ける様な仕掛けとか…。</li> <li>⑤ 自律運航船の研究は世界に遅れる事なく進めていただいていると思われるし、今後もそうであって欲しい。          テーマ 13 では、H29 年度の海運市況判断等は、継続的にデータを取って公開したら良いのではないか、と思う。その年のモーダルシフトも、その頃から国内大型 RORO 船の発注がそこそこ多数発生し、時期的に良い研究だったのではないかと感じる。これをもっと発展させる方法は無いのか？</li> </ul>
--	---

事務局とりまとめ欄

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

中長期目標期間の計画と実績（中長期目標期間中間評価）

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度(令和元年度)	令和2年度	令和3年度	令和4年度		
(1) 海上輸送の安全の確保 海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、 <b>先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発</b> や、 <b>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</b> 等に関する研究開発に取り組む。	①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究(重点研究★1)						中間評価			
		船体荷重・構造応答一貫解析強度評価システム(DLSA)の開発						<今後の研究計画> ★DLSA-Ultimateの開発(船舶基本設計ソフト(重点★6で開発したCFD)との融合) ★GUI(グラフィカルユーザーインターフェース)の開発と精度向上/解析時間の短縮 ★船体構造信頼性評価システムの構築 ★模型実験などによる検証  <予想される成果> ●DLSA-Ultimateの実用化【中長期目標以上の成果】 ⇒船舶の最終強度評価及び動的評価、事故時の残余強度が可能となり、海難事故の防止に貢献			
		●DLSA-Basic(荷重・構造応答一貫解析強度評価システム)を開発 ⇒解析に要する工数が約1/15程度になり、設計効率が大幅に向上 ■造船所5社で利用 <b>H28年度 P.1</b>	●極限海象に対応したシステム(DLSA-Professional)の開発に向けてCFDとFEMを組み合わせた連成解析手法を構築 ⇒船体構造設計の効率化・精緻化に寄与 ■DLSAを設計適用した新船がシブ・オブ・ザ・イヤー受賞 <b>H29年度 P.1</b>	●DLSA-Professional 開発に向けて疲労被害度等の全船構造要素マッピングソフトを開発 ⇒網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立 ⇒世界で例を見ないシステム ■造船所3社で利用開始 ■市村産業賞貢献賞 <b>H30年度 P.1</b>	●リアルタイム強度評価システムを開発 ●DLSA-Professionalを開発 ⇒構造の動的な応答、崩壊解析が可能 ■造船所1社で新規利用開始 ■ものづくり日本大賞 ■米国機械学会優秀論文 <b>R1年度 P.4</b>	船体構造デジタルツインの開発		<今後の研究計画> ★DLSAを中心に、船体構造(ハル)モニタリングシステムを統合して、実船での全船応力推定機能を構築 ★船体構造モニタリングガイドライン作成 ★船体構造デジタルツインの要素技術開発(安全運航・保守支援、設計フィードバック等) ★船体構造デジタルツイン水槽実験・実船計測  <予想される成果> ●船体構造デジタルツインのプロトタイプの開発【中長期目標以上の成果】 ⇒現実では起こすことが不可能な海難事故の検証が可能			
		船体構造モニタリングシステムの開発						●世界初のシリーズコンテナ船の船体構造モニタリング解析を実施 ⇒得られたデータで運航と疲労寿命の関係性を明確化 <b>H29年度 P.1</b>		●船体構造モニタリングガイドライン(草案)を作成 ⇒得られたデータをもとに、疲労寿命などに及ぼすホイピング影響を解明 ●解析プログラムの開発 ⇒就航船の最大荷重の推定が可能になり、設計時と荷重と比較ができ、安全余裕度の推定が可能 ■日本船舶海洋工学会賞(論文賞) <b>H30年度 P.2</b>	
船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究(重点研究★2)						GHG対策のための代替燃料等に係るリスク評価手法の開発					
液化水素運搬船、低引火点燃料船のリスクモデル・漏えいガスの数値シミュレーション手法開発						<今後の研究計画> ★GHG対応のための低引火点燃料船における燃料漏洩リスクモデルの開発 ★液化水素運搬船の船体構造に係るリスク評価手法の調査・検討 ★自動運航船を構成するシステムのモデル化  <予想される成果> ●可燃性ガス等の漏洩の際の被害影響評価手法の確立【中長期目標どおりの成果】 ●自動運航船のリスク評価ガイドライン案の作成【中長期目標以上の成果】 ⇒新しいコンセプトの船舶などの設計段階におけるリスク解析が可能であり、安全確保にも寄与					
整流化航路の設計のための交通流予測技術・海域リスク評価技術の開発						●液水漏えいによる構造破壊について専門家意見集約 ⇒ベイジアンネットワークを用いた液水運搬船の構造破壊のリスクモデルを開発		●液水運搬船プロトタイプ(HAZOP分析) ⇒燃料移送プロセス等のハザードとその対策のシナリオを特定		●被害度影響評価用の液水運搬船の実船モデルを構築 ●液化水素運搬船漏洩リスク解析のためのリスクモデルを構築 ⇒世界初の液化水素運搬船の建造に貢献 <b>R1年度 P.6</b>	
●潮岬沖の海難、船舶交通分析により衝突要因群を特定 ⇒潮岬沖の交通改善策を立案						●伊豆大島西岸沖推薦航路を設定 ⇒バーチャルAISを活用し、伊豆大島西岸沖で世界初の推薦航路設定することにより衝突の危険性の減少に貢献 ■日本航海学会航海功績賞 <b>H30年度 P.3</b>		●推薦航路を導入した船舶の行動を解析 ⇒多くの船舶が期待通りに推薦航路を遵守 ■海の日・海上保安庁長官表彰			

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度(令和元年度)	令和2年度	令和3年度	令和4年度
(1) 海上輸送の安全の確保	<p>(1) 海上輸送の安全の確保 海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、<b>先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発</b>や、<b>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</b>等に関する研究開発に取り組む。</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>	安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究(重点研究★3)						
			<p><b>最低出力暫定指針の改訂</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●理論的かつ学術的検討の踏まえた最低出力暫定指針改訂案をIMO(国際海事機関)に提出 ⇒合理的かつ実効可能な指針案の策定に貢献</li> </ul> <p><b>H28年度 P.2</b></p>	<p><b>操縦性能を推定模型実験法の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●実海域環境下での操縦性能を推定する模型実験法を開発 ⇒船舶の実海域環境下での操縦性が向上</li> </ul> <p><b>H29年度 P.2</b></p>	<p><b>運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●不規則波中直立時の時間領域計算法を用いた直接評価法の実施 ⇒第2世代非損傷時復原性基準の最終化審議に貢献</li> </ul> <p><b>R1年度 P.7</b></p>	<p><b>海難事故防止に必要な技術開発/走錨リスク判定システムの開発</b></p> <p><b>&lt;今後の研究計画&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★衝突回避装置と緊急自動避航アルゴリズムの統合システム化</li> <li>★荒天下操縦運動評価テストプログラムの開発・改良・拡張</li> <li>★荒天下の操船限界と機関出力の関係の評価</li> <li>★走錨危険度推定プログラムの開発・改良</li> <li>★走錨危険度モニタリングシステムの検討</li> </ul> <p><b>&lt;予想される成果&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●緊急時自動衝突回避システムの開発未達成(主任研究者の意向に伴い令和5年度まで延期)【中長期目標以下の成果】</li> <li>●荒天下の操船評価プログラムの開発【中長期目標どおりの成果】</li> <li>●走錨リスク判定システムの開発【中長期目標以上の成果】</li> </ul>			
			<p><b>主機設計手法の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●波浪中での荷重変動に対する主機応答特性を考慮できる水槽模型試験法を開発 ⇒荒天下運航中などの主機安全稼働に貢献</li> </ul> <p>■日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞)</p> <p><b>H28年度 P.3</b></p>	<p><b>船舶の新たな制動手法の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●舷側に抵抗体を設置するなど船舶の新たな制動手法を開発 ⇒一般的なプロペラ逆転による停止試験と比較して停止距離が短縮されることが確認され、今後の衝突事故減少へ期待</li> </ul> <p><b>H29年度 P.2</b></p>	<p><b>荒天下の操船評価手法の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●荒天下操縦運動評価テストプログラムの問題点の抽出と対策の立案 ⇒非線形の船体動揺の概略の評価を可能としつつ、規則波中旋回操縦運動時の航跡も概ね推定可能</li> </ul> <p><b>H30年度 P.4</b></p>				
<p><b>成果の公表</b></p>			<p>◆査読論文 6編 ◆特許申請 0件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 2件 ◆受賞 0件</p>	<p>◆査読論文 15編 ◆特許申請 0件 ◆プログラム登録 6件 ◆国際貢献 6件 ◆受賞 1件</p>	<p>◆査読論文 22編 ◆特許申請 1件 ◆プログラム登録 4件 ◆国際貢献 5件 ◆受賞 3件</p>	<p>◆査読論文 28編 ◆特許申請 1件 ◆プログラム登録 3件 ◆国際貢献 1件 ◆受賞 5件</p>			
自己評点	A	<p>【平均3.2「A」】船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究(重点研究★1)</p> <p>【平均2.7「A」】船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究(重点研究★2)</p> <p>【平均2.6「A」】安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究(重点研究★3)</p>							
(2) 海洋環境の保全	<p>(2) 海洋環境の保全 船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び<b>実海域における運航性能評価手法の研究開発</b>、並びに<b>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</b>等に関する研究開発に取り組む。</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>	船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究(重点研究★4)/多様なエネルギー源を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究(重点研究★7)						
			<p><b>SOx等排ガス処理技術、計測及び分析技術の高度化</b></p>				<p><b>次世代燃料の燃焼性評価等の確立</b></p>		
			<p>●船舶ディーゼル機関から排出されるPM等の計測組成を分析 ⇒将来的なBC、PM等排出規制検討の前提となる排出量の把握に寄与</p> <p>■日本マリンエンジニアリング学会論文賞</p> <p><b>H29年度 P.3</b></p>	<p>●低硫黄燃料の燃焼試験を実施し、品質等を確認 ⇒国交省「2020年SOx規制適合船用燃料油使用手引書」 ⇒内航海運業界の懸念の緩和・払拭に貢献</p> <p><b>H30年度 P.5</b></p>	<p>●規制導入前に低硫黄燃料の燃焼試験・実船試験を実施(12隻)し、品質等を確認 ⇒低硫黄燃料の基本的知見を業界と共有、 ⇒国交省「2020年SOx規制適合船用燃料油使用手引書(第2版)」</p> <p><b>R1年度 P.12</b></p>	<p><b>&lt;今後の研究計画&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★低硫黄燃料の燃焼改善技術の評価</li> <li>★燃焼試験装置による次世代燃料の燃焼生成物の計測・分析</li> <li>★スクラバーの環境負荷の検証</li> <li>★スクラバーにおけるSOx以外の環境影響物質の削減能力の評価</li> <li>★水素燃料電池船の実証</li> <li>★水素エンジン等の安全性確保技術の構築</li> <li>★アンモニア燃焼技術の高度化</li> </ul> <p><b>&lt;予想される成果&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●低硫黄燃料や次世代燃料の燃焼改善技術の確立【中長期目標どおりの成果】</li> <li>⇒燃料コスト削減や海洋環境の保全に貢献</li> <li>●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</li> </ul>			
<p><b>内航船向け小型スクラバーの開発</b></p>				<p><b>GHG削減評価技術・設計技術の構築</b></p>					
<p>●大型の排ガス洗浄装置(スクラバー)の小型化するための設計及び試作機を製作 ⇒内航船での活用に期待</p> <p><b>H30年度 P.6</b></p>	<p>●小型並行流ジェット式スクラバーを開発 ⇒世界で一番小さい ⇒エンジン負荷率が高くなり、排ガス流量が増加しても十分な脱硫性能が確認</p> <p><b>R1年度 P.12</b></p>	<p><b>&lt;今後の研究計画&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★GHG削減シナリオを策定 ⇒国交省「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」</li> </ul> <p><b>R1年度 P.16</b></p>	<p><b>&lt;今後の研究計画&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★GHG削減シナリオの作成・技術課題の明確化</li> <li>★カーボンフリー燃料船評価技術の検討</li> </ul> <p><b>&lt;予想される成果&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●カーボンフリー燃料船の安全性評価技術及び経済性評価技術の確立【中長期目標以上の成果】</li> <li>⇒GHG削減に貢献</li> </ul>						
<p><b>アンモニア/水素等多様なエネルギーを用いた新たな船用エンジンの開発等</b></p>			<p>●アンモニアの船用ディーゼルエンジンにおける直接燃焼システムの開発 ⇒戦略的イノベーション想像プログラム(SIP)の研究課題に採用(H29より開始)</p> <p><b>H28年度 P.4</b></p>	<p>●水素燃料電池船ガイドライン案の作成 ⇒国交省において「水素燃料電池船ガイドライン」を発行 ⇒水素燃料電池船の実現に向けて貢献</p> <p><b>H29年度 P.3</b></p>					

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度(令和元年度)	令和2年度	令和3年度	令和4年度	
(2) 海洋環境の保全	(2) 海洋環境の保全 船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	実海域実船性能に関する研究(重点研究★5)							
			実海域の実船性能評価法の開発						GHGゼロエミッションコンセプト船の開発(設計・建造面)	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●世界一の精度を有する全球版気象海象データベースを構築 ⇒船舶設計時に実海域運航性能(燃費)の評価が可能</li> </ul> <p>H28年度 P.6</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●実船モニタリングデータから実船性能を評価推定する手法を開発 ⇒排水量の補正について実海域中燃費の推定精度を確保し、燃費性能の良い船舶の設計等に活用</li> <li>■日本船舶海洋工学会賞(論文賞)</li> </ul> <p>H29年度 P.4</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●波浪中抵抗増加算出プログラムを公開 ⇒実海域(燃費)性能評価のための客観的なものさしとして貢献 ⇒国内外から8社がプログラムを使用</li> <li>■日本オープンイノベーション大賞優良事例(内閣府)</li> <li>■日本船舶海洋工学会賞(論文賞)</li> </ul> <p>H30年度 P.7</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●GLOBUS詳細版を完成</li> <li>●GLOBUSを利用した海象影響評価を実施。 ⇒ライフサイクルの実海域実船性能の評価に活用</li> <li>■GLOBUSの外部提供開始(4社に販売)</li> <li>■日本船舶海洋工学会英文論文集優秀論文賞</li> <li>■日本船舶海洋工学会賞(論文賞)</li> </ul> <p>R1年度 P.13</p>	<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★経年劣化・生物汚損影響評価法の作成</li> <li>★造船各社との連携による実海域性能船舶の設計・開発</li> <li>★実海域性能評価診断の試行</li> <li>★低速船コンセプト船の立案・評価</li> <li>★低速航走時の摩擦抵抗低減メカニズムの評価</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●実海域性能評価法/診断の確立【中長期目標どりの成果】</li> <li>●高実海域性能船舶の開発【中長期目標以上の成果】</li> <li>⇒コスト低減や省エネ効果の高い船型等の開発が可能</li> </ul>			
省エネ船型の開発			主機制御/主機監視システムの開発(運航面)							
<ul style="list-style-type: none"> <li>●大幅な省エネ率(約20~40%)を達成する船型群(約60種類)を開発 ⇒内航海運のCO2削減に貢献、船主のニーズに対応</li> </ul> <p>H28年度 P.5</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●船体+プロペラ+主機特性連成計算プログラムを開発 ⇒波浪中の主機への負荷状態の把握が可能</li> <li>■R1年度 P.14</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●主機の異常状態を検知するシミュレーションプログラムを開発 ⇒主機デジタルツイン技術を用いた新事業へ移管</li> <li>■R1年度 P.14</li> </ul>	<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★主機応答評価に関する検証</li> <li>★波浪中自由航走試験での検証</li> <li>★AI主機制御システムを含めた機関長支援システムの開発</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●実海域性能を考慮した主機制御方法の開発</li> <li>●主機デジタルツイン技術を用いた監視システムの開発【中長期目標以上の成果】</li> <li>⇒コスト低減や省エネ効果の高い主機等の開発が可能</li> </ul>							
船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究(重点研究★6)										
CFD計算手法の高度化										
<ul style="list-style-type: none"> <li>●水中騒音の計測システム・騒音推定方法を構築 ⇒我が国のキャビテーション水槽試験技術のISO規格化を実現</li> </ul> <p>H28年度 P.7</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●世界初の省エネ付加物に対応した次世代CFDソフトを開発し、計算のためのガイドラインを作成 ⇒船体の操縦・波浪中運動計算により、燃費性能の良い船舶の設計建造を促進</li> <li>■13社が利用</li> <li>■日本船舶海洋工学会賞(開発)</li> </ul> <p>H29年度 P.4</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●実船スケール計算法の確立 ⇒実船スケールにおける計算法を確立し、実船計測データと検証</li> <li>■17社が利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●実船スケール計算ガイドライン ⇒実船スケールにおけるCFD計算ガイドラインを構築</li> <li>●複雑な上部構造物形状における計算手法を開発 ⇒ITTCでの標準計算ガイドライン案の構築に貢献</li> <li>■18社が利用</li> </ul> <p>R1年度 P.15</p>	<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★キャビテーションモデルの構築・検証</li> <li>★実船馬力推定手法の確立</li> <li>★省エネ付加物の形状再現による高精度計算手法の確立</li> <li>★省エネ付加物を含む波浪中の計算手法の開発・確率</li> <li>★損傷時船体運動計算手法の開発</li> <li>★ハイブリッドRANS/LES/LBM計算手法の新規開発</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●CFD計算法の実用化・国際標準化【中長期目標どりの成果】</li> <li>●各種計算モジュールを統合した計算システムの構築【中長期目標どりの成果】</li> <li>●クラウドを活用した計算サービス【中長期計画以上の成果】</li> <li>⇒国際標準化への貢献、短期間で高性能な船型開発が可能</li> </ul>						

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度(令和元年度)	令和2年度	令和3年度	令和4年度	
(2) 海洋環境の保全	2) 海洋環境の保全 船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究(重点研究☆8)				海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化			
			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				<ul style="list-style-type: none"> <li>●日本近海の潮汐影響及び海洋拡散解析機能を追加した評価プログラムを作成</li> <li>●曳航式放射線検出器を用いて福島沖の放射性物質モニタリングを実施 ⇒海底堆積物中の137Csの濃度が減少傾向にあることを確認</li> <li>●R1年度 P.17</li> </ul>			
			船体付着生物の問題に関する研究				<ul style="list-style-type: none"> <li>●藻類を用いた防汚塗料性能評価試験法の素案作成</li> <li>●R1年度 P.17</li> </ul>			
成果の公表			◆査読論文 4編 ◆特許申請 6件 ◆プログラム登録 10件 ◆国際貢献 6件 ◆受賞 2件	◆査読論文 26編 ◆特許申請 5件 ◆プログラム登録 9件 ◆国際貢献 1件 ◆受賞 2件	◆査読論文 16編 ◆特許申請 5件 ◆プログラム登録 5件 ◆国際貢献 5件 ◆受賞 2件	◆査読論文 37編 ◆特許申請 7件 ◆プログラム登録 5件 ◆国際貢献 4件 ◆受賞 3件				
自己評点		A	<ul style="list-style-type: none"> <li>【平均2.6「A」】船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究(重点研究☆4)</li> <li>【平均3.4「A」】実海域実船性能に関する研究(重点研究☆5)</li> <li>【平均2.6「A」】船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究(重点研究☆6)</li> <li>【平均2.5「A」】多様なエネルギー源等を用いた新たな船舶動力システムの開発に関する研究(重点研究☆7)</li> <li>【平均2.1「B」】船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究(重点研究☆8)</li> </ul>							
(3) 海洋の開発	(3) 海洋の開発 海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発	海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究(重点研究☆9)				海洋再生可能エネルギー生産システムの研究開発			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●波力発電装置に関する波力高性能デバイスの開発を行い最適制御のロジックを開発 ⇒(海・潮流、温度差)安全ガイドライン策定、国内導入</li> <li>●H29年度 P.5</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>●並進動揺型波力発電装置の不規則波中での制御手法を確立 ⇒理論的波エネルギー吸収限界の約9割を確保でき、岩手県釜石湾実証フィールドで活用</li> <li>●H30年度 P.8</li> </ul>			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●浮体式風力発電に関する新たなIEC規格に対する損傷時復原性の適用条件を明確化 ⇒浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドラインを改正(3月)</li> <li>●H30年度 P.8</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>●浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドラインの更なる改正のための取り組みとして、合成繊維索を用いた係留系の安全性評価手法の開発</li> <li>●R1年度 P.22</li> </ul>			
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 4編</li> <li>◆特許申請 6件</li> <li>◆プログラム登録 10件</li> <li>◆国際貢献 6件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 26編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 9件</li> <li>◆国際貢献 1件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 16編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 5件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 37編</li> <li>◆特許申請 7件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 4件</li> <li>◆受賞 3件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 4編</li> <li>◆特許申請 6件</li> <li>◆プログラム登録 10件</li> <li>◆国際貢献 6件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 26編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 9件</li> <li>◆国際貢献 1件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 16編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 5件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 37編</li> <li>◆特許申請 7件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 4件</li> <li>◆受賞 3件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 4編</li> <li>◆特許申請 6件</li> <li>◆プログラム登録 10件</li> <li>◆国際貢献 6件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 26編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 9件</li> <li>◆国際貢献 1件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 16編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 5件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 37編</li> <li>◆特許申請 7件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 4件</li> <li>◆受賞 3件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 4編</li> <li>◆特許申請 6件</li> <li>◆プログラム登録 10件</li> <li>◆国際貢献 6件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 26編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 9件</li> <li>◆国際貢献 1件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 16編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 5件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 37編</li> <li>◆特許申請 7件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 4件</li> <li>◆受賞 3件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 4編</li> <li>◆特許申請 6件</li> <li>◆プログラム登録 10件</li> <li>◆国際貢献 6件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 26編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 9件</li> <li>◆国際貢献 1件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 16編</li> <li>◆特許申請 5件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 5件</li> <li>◆受賞 2件</li> </ul>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 37編</li> <li>◆特許申請 7件</li> <li>◆プログラム登録 5件</li> <li>◆国際貢献 4件</li> <li>◆受賞 3件</li> </ul>							

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度(令和元年度)	令和2年度	令和3年度	令和4年度			
(3) 海洋の開発	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、 <b>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</b> に取り組む。	②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発	海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究(重点研究★9) <再掲>				海底熱水鉱床に関する研究開発					
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●採鉱・揚鉱パイロット事業に参加し、稼働性・安全性評価を実施 ⇒H29実施の実海域試験の計画策定に貢献</li> <li>●氷況観測技術を開発</li> <li>■北方圏国際シンポジウム青田昌秋賞(工学部門・若手優秀講演)</li> </ul> <p>H28年度 P.8</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●採鉱・揚鉱パイロット試験中、これまでの成果を機器設計・製作オペレーション検討に活用</li> <li>●揚鉱母船の稼働性、揚鉱管挙動等の評価手を構築 ⇒世界初となる水深1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献</li> </ul> <p>H29年度 P.6</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●スラリー流を考慮した移送管の挙動解析プログラムを開発 ⇒磁性ビーズを付着した保護層を設けることにより、移送管の耐摩耗性を向上</li> </ul> <p>H30年度 P.9</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●海底熱水資源開発における計画支援プログラムの開発</li> <li>●稼働性評価プログラムを開発 ⇒海底熱水鉱床の今後の商業生産化の促進に貢献</li> <li>■エンジニアリング奨励特別賞</li> <li>■日本船舶海洋工学会賞(論文賞)</li> </ul> <p>R1年度 P.23</p>	<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★移動浮体の安全性評価(転覆危険条件の検討、浮体形状の影響評価)</li> <li>★採掘・揚鉱ユニット、採鉱母船を一体とした解析プログラムの開発</li> <li>★計画支援プログラムの機能及び適応範囲の拡張、</li> <li>★コバルトリッチクラスト開発を想定した計画支援用データベースの作成</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●海底熱水鉱床開発システムに関する安全性及び稼働性評価技術の開発【中長期目標どおりの成果】</li> <li>●産業化に向けた海底熱水資源開発システムへの計画支援プログラム(高度化)【中長期目標以上の成果】</li> </ul>					
			海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究(重点研究★10)				AUV運用技術に関する研究開発					
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●洋上中継器を開発し3機のAUVと同時運用 ⇒世界ではじめて成功し、海底熱水鉱床の更なる効率的な広域探査に貢献</li> </ul> <p>H28年度 P.9</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●AUV3機、ホバリング型AUV及び洋上中継器の同時運用に成功(沖縄海域)</li> <li>●航行型AUV4号機を開発 ⇒小型化、低コスト化を実現</li> <li>●水産資源調査に活用 ⇒民間への技術移転の推進</li> </ul> <p>H29年度 P.5</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●5機の同時運用技術を完成し、実証(伊豆諸島)</li> <li>●3・4号機は世界最高レベルの運動性能を実証。</li> <li>●マニュアル作成など民間へオペレーションを技術移転 ⇒海洋開発産業の発展への寄与</li> <li>●洋上風力発電施設の点検作業施行試験の実施 ⇒国内再生エネルギー普及への貢献</li> <li>■シップオブザイヤー2018「海洋構造物・機器部門賞」受賞</li> </ul> <p>H30年度 P.10</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●AUV隊列制御アルゴリズムを開発し、1000m水深海域で有効性を確認</li> <li>●AUV充電ドッキング技術を開発 ⇒海洋開発産業の発展への寄与</li> <li>⇒広範なAUV活用に寄与</li> </ul> <p>R1年度 P.24</p>	<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★高度推定フィルターのAUVシミュレータによる検証・高度化</li> <li>★AUV隊列制御アルゴリズムの統括制御システムの検討</li> <li>★制御システムの実海域実証実験</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●多数AUV全体制御システムの開発【中期目標以上の成果】</li> <li>●AUV間測位・通信技術制御アルゴリズムの開発【中長期目標以上の成果】</li> <li>●AUV技術の転用【中期目標どおりの成果】</li> <li>⇒AUVの隊列制御や計測高度の補正などの新技術の開発により、広域の資源探査・地震探査が可能。また、技術移転によ</li> </ul>					
成果の公表			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 0編</li> <li>◆特許申請 8件</li> <li>◆プログラム登録 3件</li> <li>◆国際貢献 0件</li> <li>◆受賞 1件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 10編</li> <li>◆特許申請 4件</li> <li>◆プログラム登録 1件</li> <li>◆国際貢献 0件</li> <li>◆受賞 0件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 8編</li> <li>◆特許申請 4件</li> <li>◆プログラム登録 4件</li> <li>◆国際貢献 0件</li> <li>◆受賞 1件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 41編</li> <li>◆特許申請 2件</li> <li>◆プログラム登録 7件</li> <li>◆国際貢献 1件</li> <li>◆受賞 4件</li> </ul>						
自己評点	A	【平均3.2「A」】 海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究(重点研究★9) 【平均2.8「A」】 海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究(重点研究★10)										
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発	海上輸送を支える基盤的な技術開発 海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新しい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、 <b>海事産業の発展を支える革新的技術、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</b> に関する研究開発に取り組む。	①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発	造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究(重点研究★11)				次世代造船設計システムの構築					
			生産管理システムの開発		曲げ加工支援ARシステムの開発							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●生産管理システムのプロトタイプ開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●生産管理システムを中小造船所用に開発・導入 ⇒5%以上の技能職工数削減・余力創出効果を確認</li> <li>■中小造船所2社に導入</li> </ul> <p>H29年度 P.7</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●生産管理システムを実証実験を通じ、改良 ⇒5~10%の工数削減効果を確認</li> <li>■中小造船所7社に適用</li> </ul> <p>H30年度 P.11</p>							
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●曲げ加工支援システムのプロトタイプを開発 ⇒曲げ過ぎや曲げ不足を修正するプレス線の表示が可能となり、造船所において有効性を確認</li> </ul> <p>H29年度 P.7</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●曲げ加工支援ARシステムを造船現場で実証実験を実施 ⇒造船現場でも明瞭にARを表示し、曲げ加工を効率的に実施することを検証</li> </ul> <p>H30年度 P.11</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●フィードバック型現場曲げ加工支援システムを開発 ⇒造船所1社が導入</li> <li>●曲げ加工支援ARシステムを改良開発 ⇒造船所1社が導入</li> </ul> <p>R1年度 P.29</p>			<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★造船設計・製造プロセスの整理</li> <li>★各社の設計データ・図面の標準化の検討・整理</li> <li>★次世代造船設計指針の検討・効果の実証</li> <li>★次世代造船設計のための騒音源を考慮した学習・予測モデルの構築</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●AI技術を活用した次世代造船設計システム(インテリジェントCAD)のプロトタイプの開発【中長期目標以上の成果】</li> <li>●騒音予測Webアプリの開発【中期目標以上の成果】</li> <li>⇒造船所における設計(工程管理・作業計画)での活用が可能。さらに設計データ等の標準化により、生産性向上・国際競争力強化に貢献</li> </ul>				

分野	中長期目標	中長期計画	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度(令和元年度)	令和2年度	令和3年度	令和4年度		
(4) 海上輸送を支える基盤的技術開発 海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新たなニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、 <b>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</b> 等に関する研究開発に取り組む。		②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発	ICTを利用した大陸間自動運航に係る支援技術に関する研究(重点研究★12)								
			自動運航システムの概念の構築								
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●AI技術を活用した画像処理によるAIS非搭載船検出システムを開発 ⇒自律船の想定したシステム開発に移行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●自律機能組み込み型操船シミュレータのフレームワークを構築 ⇒操船シミュレータ上で自動運航を体験できる環境を構築</li> <li>●自動避航操船機能モジュールを構築</li> <li>●自動運航船の運航に必要な規則を整理し、IMOへ提出 ⇒自動運航船の実現に向けて貢献</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●航行妨害ゾーン(OZT)を応用したルールベースの自動避航アルゴリズムを開発</li> <li>●実際のAISデータを用いたシミュレーション環境で検証を実施 ⇒操船シミュレータへの自動避航システム組み込み完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●自動運航船の実用化に向けた課題を解決するためにPure pursuitとAutopilotによる自動着岸アルゴリズムを開発</li> <li>●音声ガイダンスによる着岸操船支援システムを開発 ⇒小型実験船による実証試験を実施、操船者の精神的作業負担の軽減が可能</li> </ul>	<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★自動避航ファストタイムシミュレーション、操船シミュレータ評価のためのデータ標準化、避航経路の実海域評価実験</li> <li>★画像から不定形な障害物を検出するアルゴリズムの作成</li> <li>★立体視による位置推定プログラムの作成</li> <li>★操船シミュレータを用いた無人運航船技術の検証</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●避航経路表示システムの開発【中長期目標どおりの成果】</li> <li>●自動運航見張りシステムの開発【中長期目標どおりの成果】</li> <li>●自動運航船の検証ガイドラインの開発【中長期目標以上の成果】</li> </ul> <p>⇒船舶の自動運航機能の普及が図れ、船員不足への対応やヒューマンエラーによる海難事故の削減が可能</p>	H28年度 P.10	H29年度 P.8	H30年度 P.12	R1年度 P.30
			AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究(重点研究★13)								
海上貨物・造船需要等の評価及び予測手法の構築											
<ul style="list-style-type: none"> <li>●AISデータから船舶動静データへと変換するプログラムの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●衛星AISデータと各種統計データを基に自動的に海運市況予測可能なプログラムを開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●海上運賃予測モデルの構築 ⇒輸出入貨物を主な対象にAIを用いた輸送モデルの航路評価が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●INFINITモデルを用いた輸送シミュレーションを試作</li> </ul>	<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★GHG削減技術の将来輸送ネットワークへの影響評価</li> <li>★機械学習による海運市況予測の精度向上</li> <li>★利害関係者ワークショップの実施</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●海上貨物・造船需要等の評価・予測手法の開発【中長期目標どおりの成果】</li> </ul> <p>⇒IMOや国によるシナリオ分析や政策立案の際の意思決定、業界の経営計画やマーケティングに貢献</p>	H30年度 P.14						
平時及び災害時における複合一貫輸送評価手法の構築											
<ul style="list-style-type: none"> <li>●全体システムの設計・開発、トラックドライバーの労働時間等評価機構を実装 ⇒トラックドライバーの労働時間考慮した海上輸送量を算定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●モーダルシフトの可能性評価のためにDeepLearningを応用した流動経路推定モデルを開発 ⇒ベース貨物・有望貨物・見込み貨物が探索可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Deep learning技術による貨物輸送評価手法を開発 ⇒正解経路を95%の正解率</li> <li>●地震発生後の輸送計画作成から評価までの輸送シミュレータを開発 ⇒被災港も用いた海上輸送を併用することで遅延を効果的に緩和できる可能性を示した</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●3研(海技研、港空研、電子研)連携による災害時の傷病者輸送に対するマルチエージェントモデルを用いたシミュレータの開発のためのフレームワークを構築</li> </ul>	<p>&lt;今後の研究計画&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★荷主の港湾選択行動モデルの性能向上</li> <li>★プログラムのクラウド実装及び利用促進</li> <li>★支援物資輸送シナリオ作成及び評価</li> <li>★傷病者輸送シミュレータの開発・実証実験及び展開</li> </ul> <p>&lt;予想される成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●複合一貫輸送評価システムの開発【中長期目標どおりの成果】</li> <li>●広域災害時輸送評価システムの開発【中長期目標以上の成果】</li> </ul> <p>⇒効率的な物流及び防災・減災対策に貢献</p>	H30年度 P.13,14		R1年度 P.31				
成果の公表			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 0編</li> <li>◆特許申請 1件</li> <li>◆プログラム登録 4件</li> <li>◆国際貢献 0件</li> <li>◆受賞 1件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 5編</li> <li>◆特許申請 3件</li> <li>◆プログラム登録 3件</li> <li>◆国際貢献 0件</li> <li>◆受賞 0件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 6編</li> <li>◆特許申請 0件</li> <li>◆プログラム登録 3件</li> <li>◆国際貢献 0件</li> <li>◆受賞 0件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆査読論文 7編</li> <li>◆特許申請 6件</li> <li>◆プログラム登録 0件</li> <li>◆国際貢献 0件</li> <li>◆受賞 0件</li> </ul>					
自己評点	A	【平均2.3「B」】造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究(重点研究★11) 【平均2.6「A」】ICTを利用した大陸間自動運航に係る支援技術に関する研究(重点研究★12) 【平均2.5「A」】AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究(重点研究★13)									

## 重点研究 令和1年度業務実績報告書

重点 4分野	重点 番号	テーマ名	研究系	ページ 番号	研究期間		研究主任者
海上輸送の安全確保	☆1	船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究	構造安全評価系	p.1	2016 -2022	7	岡正義
	☆2	船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究	海洋リスク評価系	p.17	2016 -2022	7	伊藤博子
	☆3	安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究	流体性能評価系	p.31	2016 -2022	7	田口晴邦
海洋環境の保全	☆4	船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究	環境・動力系	p.40	2016 -2022	7	高橋千織
	☆5	実海域実船性能評価に関する研究	流体設計系 流体性能評価系	p.46	2016 -2022	7	辻本勝
	☆6	船舶の総合性能評価のための次世代CFD技術の高度化に関する研究	流体性能評価系	p.58	2016 -2022	7	大橋訓英
	☆7	多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究	環境・動力系	p.65	2016 -2022	7	平田宏一
	☆8	船舶に起因する海洋汚染防止技術及び生態系影響評価に関する研究	環境・動力系	p.71	2016 -2022	7	城田英之
海洋の開発	☆9	海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究	海洋開発系 海洋先端技術系 海洋リスク評価系	p.77	2016 -2022	7	正信聡太郎
	☆10	海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究	海洋先端技術系	p.93	2016 -2022	7	藤原敏文
基盤的技術開発	☆11	造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究	産業システム系	p.101	2016 -2022	7	岩田知明
	☆12	ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究	知識・データシステム系	p.110	2016 -2021	6	南真紀子
	☆13	AI等による輸送の効率化・最適化・予測等に関する研究	知識・データシステム系	p.123	2016 -2022	7	荒谷太郎

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>—安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。</p> <p>本年度は、体系化された荷重・構造強度評価システムの実用化を加速するため、DLSA-Professional の開発・実用化を行う。特に縦曲げ最終強度評価の機能を体系化された荷重・構造強度評価システムに追加を行う。また、これまでに開発した DLSA-Professional の高度化や損傷後の残余強度評価機能を追加した DLSA-Ultimate の開発を行う。さらに、DLSA の解析結果に基づく海象設定手法のシステム化、データ同化・補完手法を開発する。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、
- 新構造基準作成に資する体系化された荷重・構造強度評価システムの開発
  - 荷重・構造連成を考慮した数値解析手法の高度化及び極限波設定手法の開発
  - 最先端の疲労強度評価法の開発

- 最先端の船体縦曲げ最終強度評価法の開発
- リスク及び Reliability ベースの ALS (Accidental Limit State) 設計手法の開発
- 極限海象下での非線形流体－構造連成応答に関する実験的研究
- 船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究
- AI を活用した運航・保守・設計支援

#### 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
- CFD や粒子法を含む強非線形荷重評価システム、及び、流体構造連成解析手法、極限波設定手法、操船影響の評価法
- 二軸載荷条件下の疲労き裂成長評価技術、及び、き裂成長則の知見を統合した疲労強度評価法
- 流体・構造連成を考慮した波浪衝撃荷重推定法及び最終強度・残余強度評価法
- リスクベース新構造基準案の作成
- 荒天下での船体耐力評価技術及びこれを検証するための水槽試験計測技術
- 船体構造デジタルツインの開発に資する統合型船上モニタリングシステム、安全運航支援システム、構造性能評価システムの開発及びガイドライン作成、モニタリングシステムにより蓄積されたデータを活用した構造強度評価等へのフィードバック手法の開発
- ドローン及び AI 等を活用した安全運航・効果的保守・最適設計の支援手法の開発

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、船舶の折損事故等の防止が期待される。

#### R1 年度の研究内容

- DLSA-Basic の実用化の加速。DLSA の解析結果に基づく海象設定手法のシステム化。リアルタイム強度簡易評価手法の開発。
- DLSA-Professional の開発・実用化。最終強度評価の機能追加。
- DLSA-Ultimate の開発を行う。CFD(NAGISA)と LS-Dyna の連成解析手法の確立。
- 流体構造連成を考慮した船体構造応答の低次元モデル構築、及び船体複合荷重応答の極値予測法の構築。
- 強非線形解析手法を用いた流体構造連成現象予測法の開発。
- 数値解析手法を用いたスロッシング評価技術の開発。
- 二軸重畳載荷条件下における疲労き裂成長評価手法を確立。
  - ・島津製作所製 4830 制御装置用平面二軸実働波ソフトウエア問題点ならびに改良項目の抽出とソフトウエア改良
  - ・位相差を有する二軸載荷条件下における疲労き裂伝播試験（基本的な2つの試験条件）の実施
- 繰り返し圧縮及び引張の最終強度への影響を調査するために実施するボックスガーダー崩壊試験用の試験模型を設計・製作する。
- 損傷後船体最終強度の運動及び構造応答を解明するために実施する実海域再現水槽における曳航試験用のアクリル製弾性模型線を設計・製作する。
- 極限海象・事故限界状態における大型コンテナ船の「動的」ハルガーダ最終強度及び構造安全性に関する検討
- 事故限界状態（船舶衝突）に対する RCO（リスク・コントロール・オプション）のリスク軽減効果及び経済性効果推定手法の開発に関する発表を行う。
- 事故限界状態（スラミング＋whipping）における流体構造連成を用いた船体構造の動的応答評価手法の高度化。
- 船体構造デジタルツインの精度検証のための水槽試験を実施する。
- 水槽実験での計測荷重を用いた構造強度評価手法を構築する。
- ハルモニタリング用ガイドラインの調査検討を行う。
- AIS データを活用した荷重推定手法を構築する。
- 船体構造モニタリングシステムと DLSA を融合した船体構造デジタルツインの概念設計を行う。
- ドローンによる点検を想定して、き裂の発見に AI（深層学習）による画像認識が適用可能か否かの検討を行う。

#### R1 年度の実績

- DLSA-Basic（荷重解析－線形構造解析評価システム）を活用した海象条件（設計波）設定法及び強度評価法を提案した。リアルタイム強度評価を開発。
- DLSA- Professional（非線形荷重解析－非線形構造評価解析システム）の構造解析における境界条件（外圧、内圧、拘束）設定法の提案及び検証を行った。これにより全船を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度評価が可能となった。
- 海技研 CFD（NAGISA）と FEA 連成計算環境を構築した。

- 弾性応答を含む不規則中船体の波浪縦曲げモーメントの低次元モデルを構築し、これを用いた極値予測法の開発及び検証が完了した。
- MSC.Dytran を用いて、二次元のパウフレア断面形状の水面衝突解析を行い、理論値や他のプログラムとの比較を通して、その有用性を確認した。
- 時間領域 3 次元パネル法により規則波浪中船体運動を解析し、タンク内流体力を粒子法で解析して、両者を連成させる両方向連成解析プログラムを開発した。
- 昨年度に引き続き、平面二軸実働波ソフトウェアの問題点ならびに改良項目を抽出するとともに、ソフトウェアの改良を行い、二軸重畳載荷条件下における疲労き裂成長評価手法を確立した
- 位相差を有する二軸載荷条件下における疲労き裂伝播試験（基本的な2つの試験条件）の実施し、基本データを取得した。
- 繰り返し圧縮及び引張の最終強度への影響を調査するために実施するボックスガダー崩壊試験用の試験模型として、intact 状態のボックスガダー模型、損傷を模擬した孔を有するボックスガダー試験体の設計・製作を実施した。
- 傾斜状態の運動を計測しつつ、船体のひずみ計測まで実施可能な模型船として、アクリルを材料とした一体型弾性模型船の設計・開発を実施した。
- 非線形動的構造解析法を用いて、縦曲げモーメントの作用時間が、大型コンテナ船のハルガダーの動的構造応答に与える影響を明らかにした。また、不確実性（uncertainty）の1つである、解析モデルが、構造安全性評価に与える影響を明らかにした。
- 非線形動的構造解析手法を用いて、境界条件を工夫することにより、材料非線形、座屈・崩壊、水圧を考慮したスラミングに対する船体の動的弾塑性性応答の簡易評価手法を考案した。
- 衝突による船舶のリスク解析を実施し、RCO（リスク・コントロールオプション）によるリスク低減効果及び経済性効果を推定する手法を高度化した。特に、衝突速度モデルの構築、原油価格の推定モデルの構築を新規に行った。
- 新たな流体構造解析手法(ICFD)を用いて、事故限界状態（1 発大波によるスラミング）における動的構造応答評価法の高度化を行った。実験との比較及びISSC ベンチマークを通して、今次手法の有効性を確認した。今後は、実船体構造への適用、とりわけ、whipping 応答の高精度評価が今後の課題となる。
- 実海域再現水槽において弾性模型を用いて水槽試験を実施し、波浪中構造応答に関するデータを取得し、順解析／逆解析による応力推定手法の有用性を検証した。
- 水槽実験での多点水圧計測を行い、得られたデータを元に荷重構造一貫解析を行なう手法を構築した（プログラム登録）。
- 船上モニタリングデータ解析プログラムを用いて 14000TEU シリーズ船 8 隻の疲労評価を行い、個船による疲労寿命の差とこれに及ぼす操船影響を定量的に評価した。
- 操船の波浪への従属性を考慮して最大荷重の評価を行なう手法を構築し、AIS データと波浪推算データを用いて実遭遇荷重に与える影響を明らかにした。
- 船体構造デジタルツインの概念設計を行った（受託研究と連携）。
- デジタルカメラで撮影した損傷画像を収集し、Faster R-CNN を使用して学習、認識させた。学習にあたっては、元画像データに対して検査の実環境に近い環境を模擬的に再現して行った。

#### R1 年度の研究成果

- DLSA-Basic（荷重解析一線形構造解析評価システム）を活用した海象条件（設計波）設定法及び強度評価法を提案した。リアルタイム強度評価を開発した（図 1-1）。従来からの 5 社（DLSA-Basic : 3, NMRIW-II : 4）のユーザーに加え、新規に 3 社（DLSA-Basic : 1, NMRIW-II : 2, NMRIW-Lite : 1）へ販売。他に本システムを適用し新構造設計を行う造船所が 1 社確定（共同研究）、大学 1 確定（共同研究）。また、船級規則改正に資するデータ構築に必要なツールとしても指定された。
- DLSA- Professional（非線形荷重解析一非線形構造評価解析システム）の構造解析における境界条件（外圧、内圧、拘束）設定法の提案及び検証を行った。これにより全船を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度評価が可能となった（図 1-2）。
- CFD-FEA 連成計算を低計算コストで再現できる低次元モデルを構築した（図 2-1）。これと構造信頼性理論 FORM を使い、縦曲げモーメントの極値予測を行い、実験結果との比較検証を行った（図 2-2）。
- 海技研 CFD（NAGISA）と FEA 連成計算環境を構築し、既存の連成計算結果及び実験値との比較により有効性を確認した（図 2-3）。
- 開発した連成プログラムを用い、規則波浪中タンク内スロッシング荷重を考慮した船舶運動に関する数値解析を行った。スロッシング荷重が船舶運動に及ぼす非線形影響を調べた（図 2-4）。規則波浪中タンク内スワリング現象を生じることを確認できた（図 2-5）。
- 二軸重畳載荷条件下における疲労き裂成長評価手法を確立した。
- 二軸重畳載荷条件下における疲労き裂伝播試験の試験条件を表 3-1 に示す。基本波の周波数は 0.5Hz、重畳波の周波数は 5Hz とする。ここで、Y 方向が疲労き裂進展方向である。取得した疲労き裂伝播曲線を図 3-1 に示す。疲労き裂伝播寿命に及ぼす位相差の影響が顕著に表れることを確認した（疲労き裂伝播寿命に及ぼす重畳波の影響については 2020 年度に検討する）。

- 昨年度は繰り返し圧縮が最終強度に及ぼす影響を実験及び解析により解明した。今年度は圧縮に加えて引張荷重も生じる繰り返し荷重が最終強度に及ぼす影響を明らかにするために、intact 状態と損傷を模擬した孔有状態のボックスガーダー模型の設計・製作を実施した。ボックスガーダー模型にサギング・ホギングの曲げ変形を与えることで、デッキ部・船底部の防撓パネルに引張及び圧縮の繰返し荷重を負荷することが可能であるため、試験体としてボックスガーダータイプ(図4-1)を採用した。
- 損傷を模擬した傾斜状態の模型船の6自由度運動を計測するために、実海域再現水槽にて曳航試験が可能な模型船を開発した。さらに、船体のひずみを計測可能なように、アクリル材を用いた模型船を設計した。NMRIW-3D(グリーン関数法)を用いた荷重計算を使用し、模型船の形状及び寸法等の決定を実施した(図4-2)。
- GFRP、各種心材及びこれらを組み合わせたサンドイッチ板について、3点曲げ試験及び引張試験、並びに、試験結果を再現するFEM解析を実施し、サンドイッチ構造小型船舶の強度評価における板厚算入率を検討した。例えば、バルサ材を心材に使用した場合、バルサ材の板厚算入率を0.4以下に設定することにより、GFRP単板と等価な強度性能が得られることが明らかになった(図4-3)。また、各種心材に対して、FEM解析の際に設定すべき材料特性を明らかにすることができたため、今後、船体全体の解析に応用し、サンドイッチ板製小型船舶の基準改定に資する。
- 非線形動的構造解析法を用いて、縦曲げモーメントの作用時間が、大型コンテナ船のハルガーダの動的構造応答に与える影響を明らかにした。同じ荷重でも、荷重周期が短い場合、最終強度に到達しないことが明らかとなった。また、不確実性(uncertainty)の1つである、解析モデルが、構造安全性評価に与える影響を明らかにした。解析モデルが最終強度に与える影響が定量的に明らかとなり、3ホールド等の部分モデルでの評価は危険側であり、安全側評価のためには、極力全船に近いモデルで評価する必要が明らかとなった(図5-1~図5-2)。
- 近年開発された流体構造連成解析手法(ICFD: Incompressible Computer Fluid Dynamics)を用いて、世界で初めてICFDを用いた船体構造のスラミング衝撃解析シミュレーションを実施した。また、球の3次元落下解析を実施し、実験結果及び既存のSPH手法等と比較することにより、ICFD手法の有効性・妥当性を検証した。当該手法の適用を通して事故限界状態(1発大波によるスラミング)における船体動的構造応答評価法の高度化を行った。成果を米国機械学会主催の国際学会 OMAE-2020 に投稿し accept された。(図5-3、図5-4)
- ICFD 技術を用いて、日本代表として、国際船体構造会議(ISSC)の国際共同ベンチマーク解析に参加し、当該ベンチマークを通して、防撓版の水面衝撃に関する当該手法の有用性・有効性を確認した。ベンチマークの成果をISSC Committee 委員長と共に国際共同での英文ジャーナルに執筆中である。今後は、実船体構造への適用、とりわけ、whipping 応答の高精度評価が今後の課題となる。
- 日本製鉄との協業により、リスクベース評価手法の一環として、新材料高延性鋼を用いた衝突による船舶のリスク解析を実施し、RCO(リスク・コントロールオプション)によるリスク低減効果及び経済性効果を推定する手法を高度化した。特に、衝突速度モデルの構築、原油価格の推定モデルの構築を新規に行った。衝突による油流出リスク低減のために日本製鉄と協業し高延性鋼を開発し、追加解析や、社会実装、実船適用普及に大きく貢献した。
- 当所が日本製鉄等と共同開発した「高延性鋼」が大型船含め実船24隻に採用された成果等が認められ、当該研究担当者が他社担当者と共同で「高延性厚鋼板の開発による船舶衝突安全性の向上」として、第8回「ものづくり日本大賞(製造・開発技術部門九州経済産業局長賞)」を受賞(2019年12月)した。
- 実海域再現水槽において規則波中、不規則波中での曳航実験を行った。100点以上の歪計測データを用いて、波浪逆推定等の応力推定手法の精度検証を行なった(図6-1)。また、100点を超える多点水圧計測により求めた縦曲げモーメントと船体歪ゲージから求めた縦曲げモーメントが概ね一致することを示し(図6-2)、多点水圧計測データを入力とした構造強度評価の有効性を明らかにした。実験は公開実験にて公開した。
- 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。
- 実船データの統計解析プログラム(2017年度に登録)を用いて、連続建造の14,000TEU型コンテナ船で計測された応力データを解析して疲労被害度を予測し(図7-1)。疲労寿命への影響因子の影響度を明らかにした。その結果から運航履歴に基づいて疲労寿命を推定する簡易推定を提案した。これら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。
- AISデータと波浪追算データを用いて、就航船の遭遇海象及び作用荷重の履歴及び統計解析を行うプログラムを開発し、これを用いて操船と波浪との組合せ発現頻度表を作成した。組合せ頻度表を用いて波浪に対する操船の従属性を考慮した最大荷重推定手法を提案し、従属性の影響度を明らかにした(図7-2)。
- AISデータ及び波浪追算データによる荒天中操船状況の可視化プログラムを更新した(図7-3)。今後AI等を活用して操船パターンの分析を行い、設計及び安全運航に有効な操船モデルの構築につなげる。
- 就航船の実遭遇海象履歴を用いて、北大西洋就航船の横揺れを推定し、IMOで検討されている第2世代非損傷時復原性基準の実行可能性を検証した(受託研究)。
- 現状のAI技術では深層学習を用いた画像認識で、ベテランの点検員の認識を超えることは困難であるが、損傷画像を蓄積し、学習を重ねることで、点検員の見落としをなくすことに適用することは可能であることが分かった(図8-1)。

## 成果の公表

## 【公開実験・セミナー等】

- 海技研 DLSA セミナー2019 を開催した。造船所、船社、国内外船級、大学等の合計約 50 名の参加があった。
- 公開実験「船体構造デジタルツイン検証のための波浪中模型実験」2019.8

## 【論文】

計 31 本、うち本文査読付き会議録 8 本、査読有 10 本、表彰 3 件)

**(1) 米国機械学会(ASME)OMAE-2018SSR の Best Paper Awards (2019 年 6 月授賞式出席) (A1)**

(A1) Yamada, Y and Kameya, K: "A STUDY ON THE DYNAMIC ULTIMATE STRENGTH OF GLOBAL HULL GIRDER OF CONTAINER SHIPS SUBJECTED TO HOGGING MOMENT", Proceedings of the ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2018-77402, (2018).

**(2) 日本船舶海洋工学会賞(論文賞)・日本海事協会賞・日本造船工業会賞(2019 年 6 月授賞式出席) (A2)****(3) 理事長表彰(論文賞)(2019 年 12 月授賞式出席) (A2)**

(A2) 岡正義、高見朋希、馬沖: AIS データに基づく実運航船の波浪荷重推定 - 最大荷重に対する操船影響の評価一、日本船舶海洋工学会論文集 Vol.28 pp.89-97 (2018.12) .

- 松井貞興: 船型パラメータを系統立てて変化させうる数学船型の開発, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 30 号 (査読有)
- 松井貞興、村上睦尚、林原仁志、笛木隆太郎: 船体構造設計のための全船荷重構造解析並びに強度評価システム DLSA-Basic の開発, 海上技術安全研究所報告(研究報告), 第 19 巻第 3 号 (査読有)
- 松井貞興、他 NK3 名: 単胴船に作用する 6 自由度の Froude-Krylov 力の簡易算式の開発, 日本船舶海洋工学会論文集第 31 号 (査読有)
- 松井貞興、他 NK3 名: DEVELOPMENT OF CLOSED FORMULA OF LOAD BASED UPON LONG-TERM PREDICTION METHOD -1ST REPORT VERTICAL MOTIONS-, Proceedings of 39th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (本文査読付き会議録)
- 松井貞興、他 NK3 名: 波浪中船体応答の簡易算式の開発一第 3 報: Roll 運動一, 日本船舶海洋工学会令和 2 年春季講演会論文集
- 松井貞興、村上睦尚: 数学船型を用いた波浪荷重推定に関する研究, 日本船舶海洋工学会令和 2 年春季講演会論文集
- Takami T. et al., Numerical investigation into combined global and local hydroelastic response in a large container ship based on two-way coupled CFD and FEA, Journal of Marine Science and Technology, 2019 (accepted). (査読有)
- Takami T. et al., Efficient FORM-based extreme value prediction of nonlinear ship loads with an application of reduced-order model for coupled CFD and FEA, Journal of Marine Science and Technology, 2019 (accepted). (査読有)
- Takami T. et al., Extreme Value Prediction of Nonlinear Ship Loads by FORM Using Prolate Spheroidal Wave Functions, Marine Structures, 2019 (submitted). (査読有)
- Takami T. et al., On the Assessment of Extreme Wave-induced Bending Moment of a Ship by FORM and Reduced Order Method based on coupled CFD and FEA, PRADS2019, 2019.9. (本文査読付き会議録)
- 高見朋希、飯島一博, CFD-FEA 連成解析に基づくホイッピングを含む 縦曲げモーメントの極値予測法の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 28, 2019.6
- C. Ma, T. Ando and M. Oka: Numerical Simulation for Sloshing Behavior of Moss-Type LNG Tank based on Improved SPH Model, International Journal of Offshore and Polar Engineering (2020) (accepted、掲載待ち) (査読有)
- C. Ma and M. Oka: Numerical Investigation on Sloshing Pressure for Moss-Type LNG Tank based on Different SPH Models, ISOPE2020 (submitted) (本文査読付き会議録)
- 森下瑞生、穴井陽祐、津村秀一、後藤浩二、丹羽敏男: 位相差を有する面内二軸繰返し応力を受ける疲労表面亀裂の伝播解析, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 30 号, pp.115~121, 令和元年 12 月 (査読有)
- 田中、小森山、橋爪、櫻井: GFRP サンドイッチ板の強度について一その 1 材料試験と FEM 解析一, 日本船舶海洋工学会 2020 年度春季講演会
- 田中他: 最先端の船体縦曲げ最終強度評価法構築にかかる予備的検討 - 大型コンテナ船の安全対策に向けて一海上技術安全研究所報告(総合報告) 第 19 巻第 3 号, pp.41-48 (2019.12)

- Yamada, Y, (2019), "Dynamic Collapse Mechanism of Global Hull Girder of Container Ships Subjected to Hogging Moment", Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 141, (2019). (査読有)
- Yamada, Y.: "Approach to Simulate Dynamic Elasto-plastic Whipping Response of Global Hull Girder of a Large Container Ship due to Slamming Load", Proceedings of the 30th International Conference on Ocean and Polar Engineering (ISOPE) (2019). (本文査読付き会議録)
- Yamada, Y, Ochi., H, Ichikawa, K, "Risk Analysis of Ship-Ship Collision considering Striking Ship Velocity Model - Risk reducing effect of Highly Ductile Steel", Proceedings of International Conference on Collision and Grounding of Ships (ICCGS-2019) (2019). (本文査読付き会議録)
- Yamada, Y, Takamoto, K, Nakanishi, T, Ma, C, Komoriyama, Y, "NUMERICAL STUDY ON THE SLAMMING IMPACT OF STIFFENED FLAT PANEL USING ICFD METHOD - EFFECT OF STRUCTURAL RIGIDITY ON THE SLAMMING IMPACT", Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering(OMAE-2020) (2020). (本文査読付き会議録)
- 平方勝, 馬沖, 谷口智之, 小沢匠, 損傷画像認識への深層学習の適用について, JASNAOE 秋季講演会論文集, 2020
- 岡正義, 馬沖, 越知宏: AIS データに基づく実運航船の波浪荷重推定(第2報) - 波浪条件下での操船の確率を考慮した縦曲げモーメントの長期予測 - 日本船舶海洋工学会論文集第30号 (査読有)
- 馬沖, 岡正義: 船体モニタリングデータに基づく船体弾性振動の影響評価、日本学術会議、機械工学委員会構造安全性と信頼性に関する第9回日本学会論文集
- 伊藤博子, 岡正義: 海上輸送の安全・安心への取り組み、(公財) 鉄道総合技術研究所 RRR (鉄道総研レビュー) 2020年1月号
- 岡正義, 村上陸尚, 越知宏: 船体構造デジタルツインの開発に向けた取り組み: 海上技術安全研究所、海技研報告第19巻別冊(研究発表会講演集)、pp.35-38. (2019.7)
- 岡正義, 有馬俊朗, 越智宏: 船体構造モニタリングに関する調査研究、海上技術安全研究所報告(総合報告) 第19巻-1号、pp.35-44 (2019.8)
- 馬沖, 岡正義: AIS データ及び波浪データを用いたフリートの遭遇海象の可視化、海上技術安全研究所、海技研報告第19巻別冊(研究発表会講演集) (2019.7)
- 「大型コンテナ船における船体構造ヘルスマニタリングに関する研究開発(先進安全船舶技術研究開発支援事業)」令和元年度報告書(第3章累積疲労損傷度の推定手法の開発他) (2020.3)
- Oka, M., Takami, T., Ma, C. : Evaluation method for the maximum wave load based on AIS and hindcast wave data, Proceedings of the 14th International Symposium on Practical Design of Ships and other Floating Structures (PRADS2019) (2019) (本文査読付き会議録)
- Ma, C., Oka, M., Ochi, H. : An Investigation of Fatigue and Long-Term Stress Prediction for Container Ship Based on Full Scale Hull Monitoring System, Proceedings of the 14th International Symposium on Practical Design of Ships and other Floating Structures (PRADS2019) (2019) (本文査読付き会議録)

【知財・プログラム登録】

- NMRIW\_PAPP (Performance Analysis by Principal Particular) : 線形ストリップ法 NMRIW--Lite 或いは3次元 Green 関数法 NMRIW3D-Lite の外部オプションとして開発。内容: 船型主要パラメータ(L,B,d,Cb,Cw,Cm等)を満足する数学船型を自動で生成し、前記荷重解析を介して、各パラメータの波浪中応答に対する感度を自動で行う。
- DLSA-WPC ( Direct Load and Structure Analysis – Water Pressure data Converter ) : 水圧データの可視化および全船直接荷重構造一貫解析システム(DLSA)用インプットデータ生成プログラム(申請予定)水槽試験で得られた水圧データを用いて全船荷重構造一貫解析を行うため、多点水圧データからDLSAの入力データを生成するためのプログラム
- 特許: 衝突評価試験体、衝突試験方法および衝突試験装置; 海技研が共同開発した新鋼材高延性鋼(特許取得済)の模型実験による評価手法を特許化した。当該特許により他社が鋼材を開発しても実験評価が難しくなる。

主な評価軸に基づく自己分析

- ◎ 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか。
- DLSA システムの開発により 網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し造船所の設計への適用も可能にした世界的にも例をみない荷重構造一貫解析評価システムであり、日本の造船所の設計力の強化につながる、と共に、国内造船所等に認知されている。
- 本研究で開発した極値推定法は短期海象中における最大応答の発生確率を精度良く推定することを可能とし、船体構造デジタルツインに必要な荒天時の操船支援に必要な機能であり、社会的価値の創出に貢献するものである。
- 本研究で開発した船舶運動-タンク内流体荷重連成モデルを用い、波浪中船舶運動とタンク内流体荷重の相互影響を考慮でき、LNG 船設計への運用が予想され、社会的価値の創出に貢献するものである。

□国プロジェクト iShipping operation に参画し、海技研がこれまで海上保安庁の巡視船やメガフロート等海洋浮体の実機計測で培った技術を活かしてハルモニタリングシステムの開発を実現した。ハルモニタリングシステムの普及促進によって、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。

- DLSA システムの開発により全船を対象にした荷重解析～構造解析～強度評価を行うので途中の簡易化やギャップが無いので一般性が大きい。
- 二重底曲げ荷重を含む複合荷重の極値推定法を高次な計算法（CFD-FEA）を基にして構築したのは世界初であり、新規性が十分に大きい。
- 本研究で開発した船舶運動ータンク内流体荷重連成モデルはLNG 船だけではなく、一般的な船舶のバラストタンクにも対応でき、発展性が十分に大きい。
- これまで、船体最終強度は、準静的に評価されてきたが、船体大型化に伴って、荷重周期と船体ハルガダの共振影響が指摘されている。本研究により、荷重周期と動的構造応答との関係が明らかとなり、荷重周期が船体折損有無に影響することが明らかとなった。このような荷重周期については、船体構造規則では陽に考慮されていない。一方で、船体固有周期と出会い波周期の共振が船体最終強度に与える影響についてはこれまでの解析では解明されていない。解析条件により、船体折損発生可能性・メカニズム解明への貢献が期待される。日本海事協会でも同様の研究を実施しており、今後、委託研究等により連携して進めていくこととなった。
- 14000TEU 型コンテナ船シリーズ船のハルモニタリングデータを解析して、個々の運航状態等に照らし合わせて解析結果を比較することによって、ホイッピングの影響評価を行ったことは今後の安全設計を行なう上で意義がある。
- AIS データを用いて、船の遭遇波浪や作用荷重を明らかにし、そして設計荷重の設定に利用する手法の開発に早く取り組み提案した。新規の研究分野を開拓しリードしたことの科学的意義は大きい、

◎成果が期待された時期に創出されているか。

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

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

- CFD を用いた荷重推定法は近年各国で着目されており、今後のさらなる適用により国際競争力向上につながる。と考える。
- 非線形スワリングが波浪中船舶運動に及ぼす影響に関する研究は世界中でも少なく国際競争力の向上につながる。
- 船体の動的最終強度については、世界で初めて動的な評価手法を導入し、系統的かつ定量的な評価を実施することで当該分野に従来の発想とは全く異なる新たな評価手法を提案した。当該論文は、米国機械学会主催の OMAE-2018 で評価され、2018 年の OMAE-SSR（安全・構造・信頼性）部門の最優秀論文賞（Best paper award）を受賞した。OMAЕ の最優秀論文賞は世界中から投稿された 1200 以上の論文の中から各部門毎に毎年 1 論文だけが厳正な審査の上選定される。日本人が受賞したことは珍しく、SSR 部門では日本人初の受賞であり、OMAЕ での受賞は海上技術安全研究所として初である。さらに当該論文は、追記・査読後、英文ジャーナル（Journal of Offshore Mechanics and Engineering）にも Accept され成果が国際的に認められた。
- 近年開発された ICFD（Incompressible Computer Fluid Dynamics）手法を用いた流体構造連成解析法を用いて、世界で初めて ICFD を用いた船体構造のスラミング衝撃解析シミュレーションを実施し、国際学会 OMAE-2020 に Review を経て投稿し、国際的に評価された。さらに、ICFD 技術を用いて、国際船体構造会議（ISSC）と協業でのスラミング・ベンチマーク解析に参加しており、国際共同での英文ジャーナルを執筆中である。ISSC と協業することにより、国際的認知度も高まり、ICFD 手法では世界をリードしていると言える。

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

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

□ビッグデータを活用した次世代の船舶設計及び規則に対する先行例として、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。

H28年度から R1 年度の実績および R4 年度までの計画

(別紙を作成)

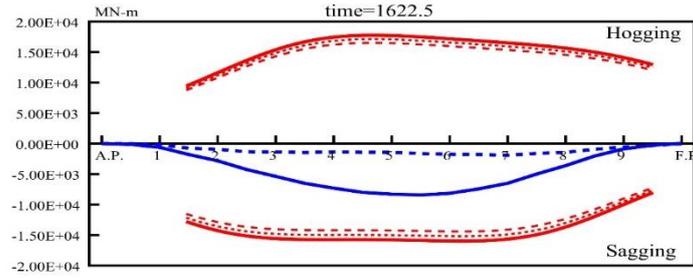


図 1-1 縦曲げモーメントリアルタイム強度評価の表示例 (赤: 船体の強度、青: 現在の荷重)

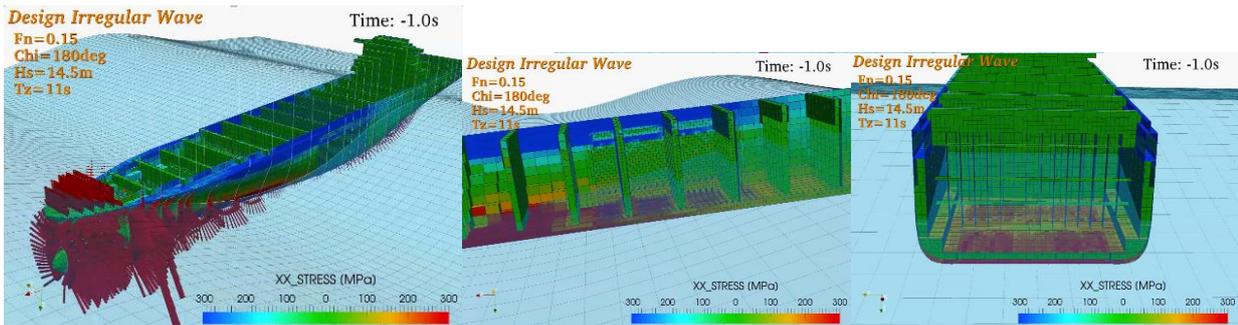


図 1-2 DLSA- Professional による全船荷重構造一貫解析の例

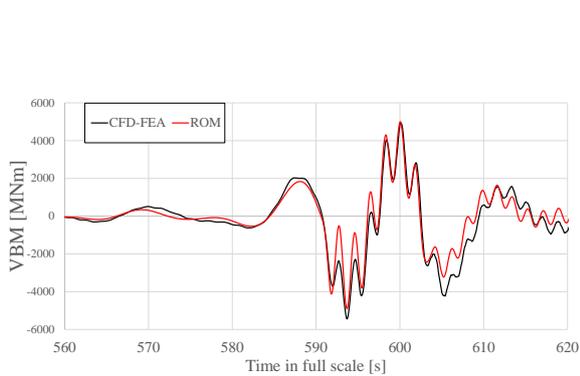


図 2-1 : 低次元モデル (ROM) の検証

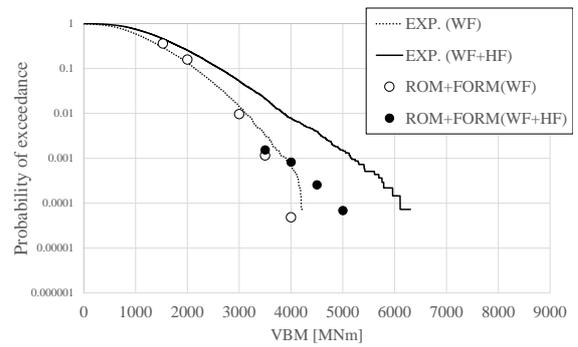


図 2-2 : 極値予測結果の検証

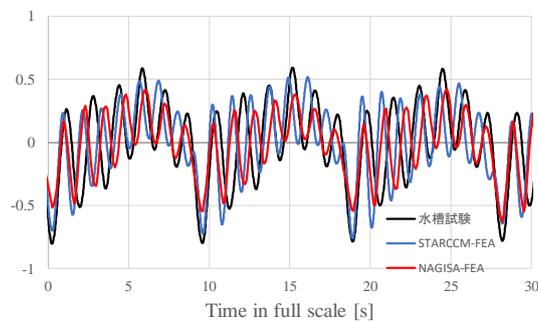


図 2-3 : NAGISA-FEA の検証

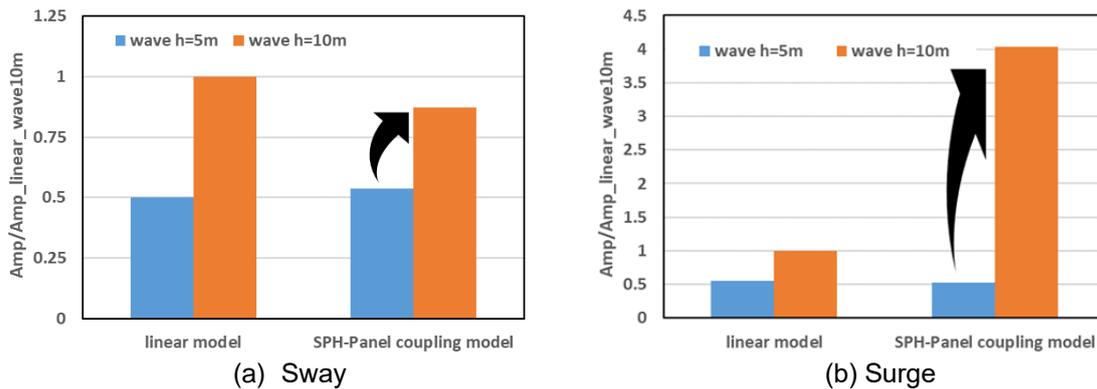


図 2-4 : Sway 方向の動揺を想定したスロッシング荷重の非線形影響 (Linear : ポテンシャル理論、SPH : 粒子法)

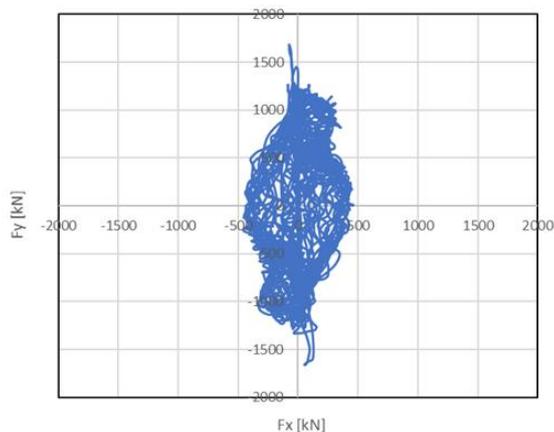


図 2-5 : スワリングを生じる際のタンク内流体荷重履歴

表 3-1 二軸重畳载荷条件下における疲労き裂伝播試験の試験条件

試験片 ID	基本波の応力比 R	基本波 $\Delta\sigma_{x,y}$ , 重畳波 $\Delta\sigma_s$		位相差 $\phi$ [rad]
		$\Delta\sigma_{x0}$ , $\Delta\sigma_s$ [MPa]	$\Delta\sigma_{y0}$ , $\Delta\sigma_s$ [MPa]	
SU-1	0.1	70, 7/0.3	70, 7/0.3	0
SU-2	0,1	70, 7/0.3	70, 7/0.3	$\pi$

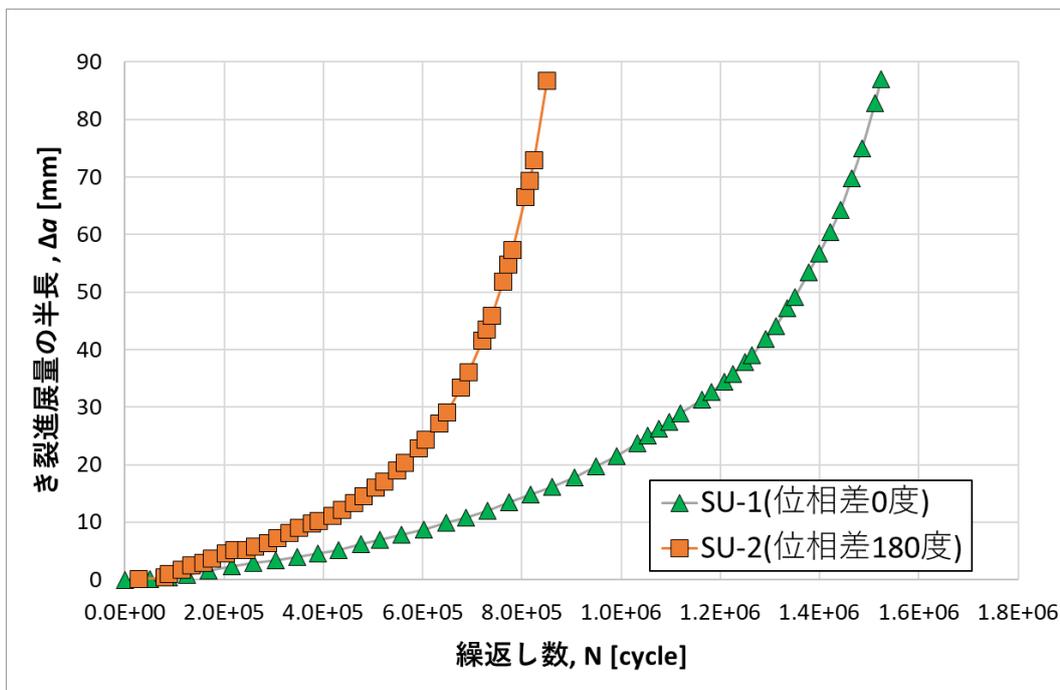
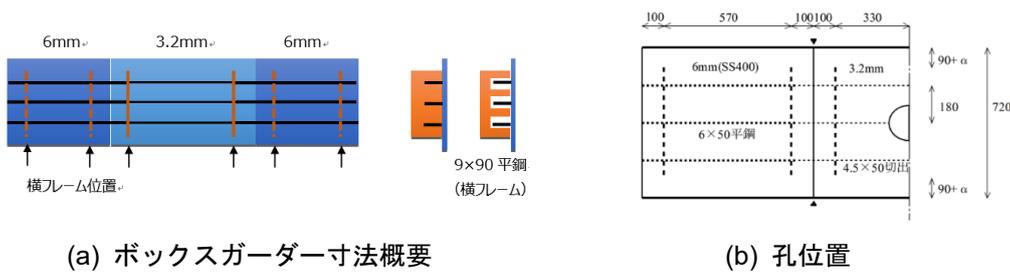


図 3-1 二軸重畳荷条件下における疲労き裂伝播曲線



(a) ボックスガーダー寸法概要

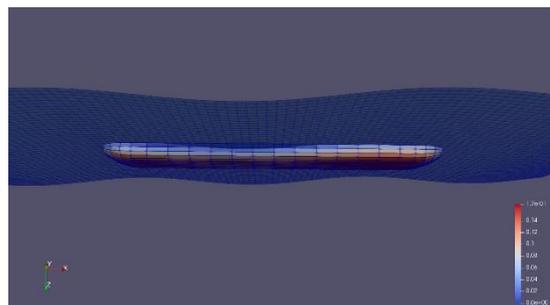
(b) 孔位置

図 4-1 繰り返し荷重載荷試験用ボックスガーダー

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost



(a) アクリル弾性模型船モデル



(b) NMRW-3D による荷重計算

図 4-2 アクリル製弾性模型船のモデルと荷重計算

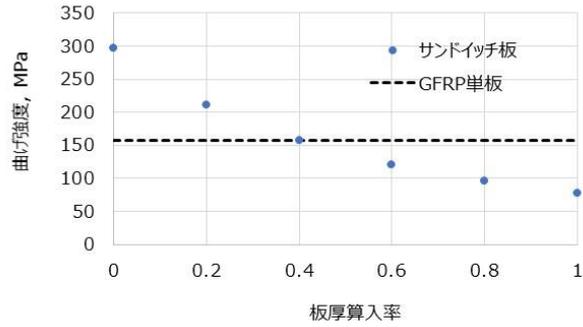


図 4-3 バルサ材を心材としたサンドイッチ板の板厚算入率と曲げ強度の関係

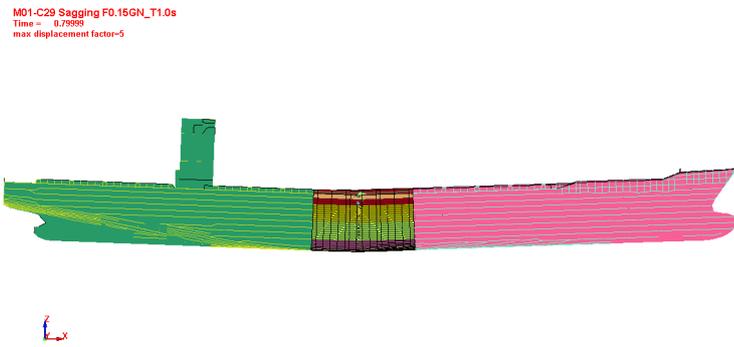


図 5-1 流体構造連成を考慮した一発大波による船体折損解析

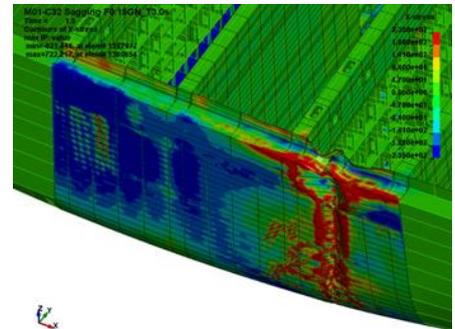


図 5.2 左条件におけるハルガーダ崩壊

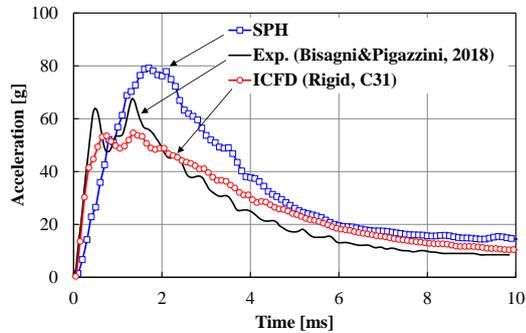
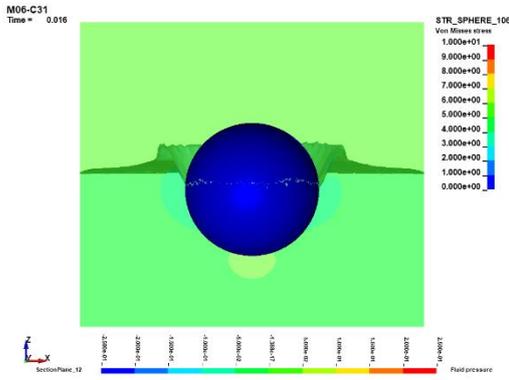


図 5-3 流体構造連成解析によるスラミング応答解析結果の実験との比較

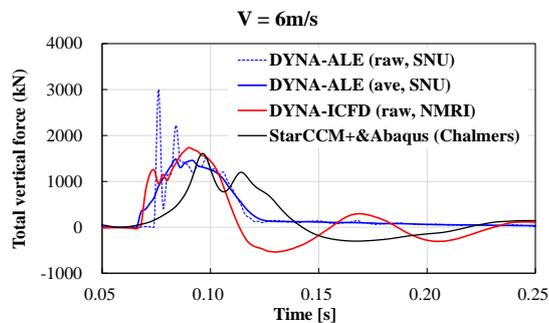
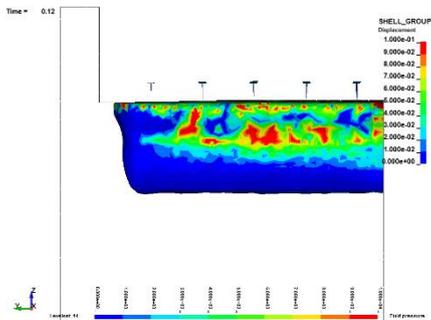


図 5-4 流体構造連成解析を用いた事故限界状態 (Accidental limit state) 時の防撓板の応答解析結果の国際ベンチマーク比較

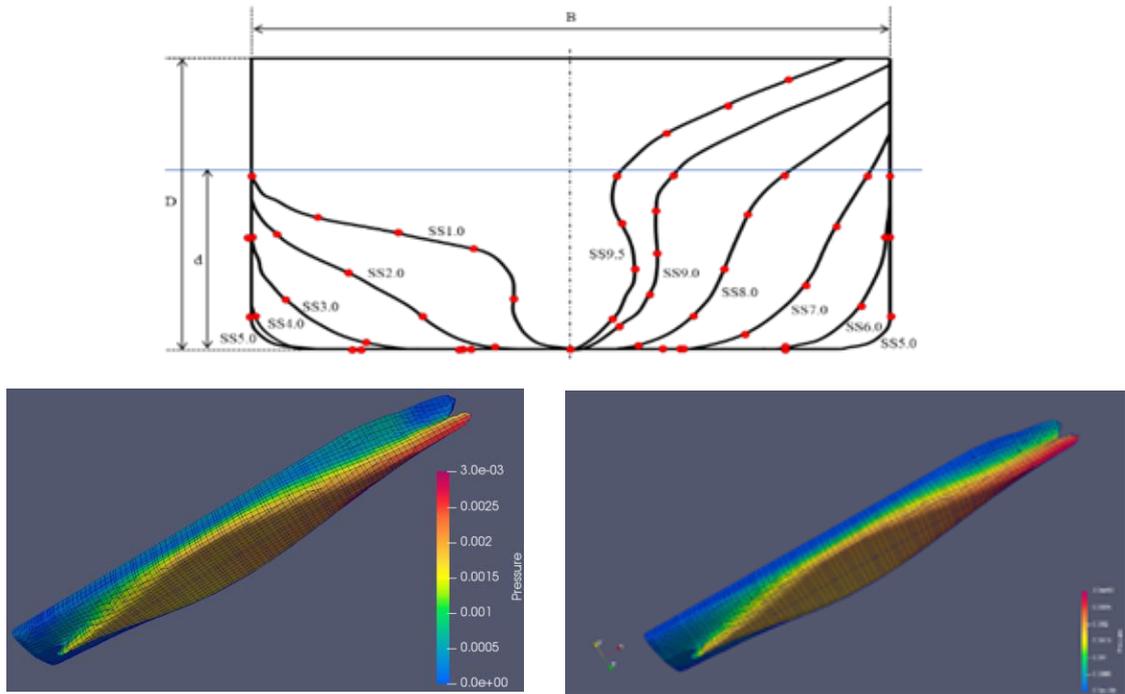


図 6-1 光ファイバ (FBG) センサによる多点計測(139 点)による水圧分布 (左) と数値計算 (右) との比較

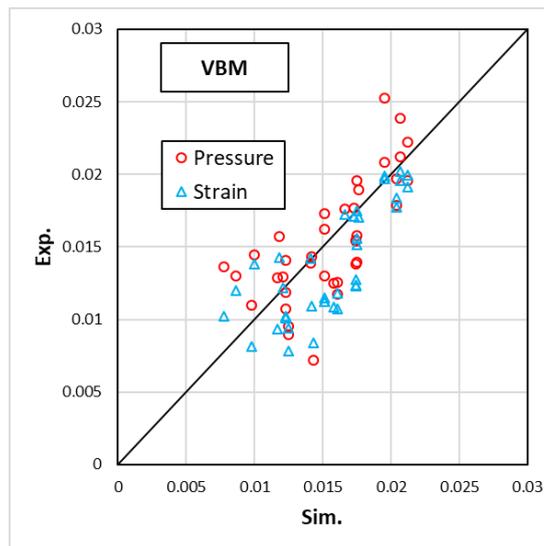


図 6-2 模型実験と数値計算との縦曲げモーメントの比較 (Pressure : 多点水圧計測、Strain : 歪ゲージ(従来手法))

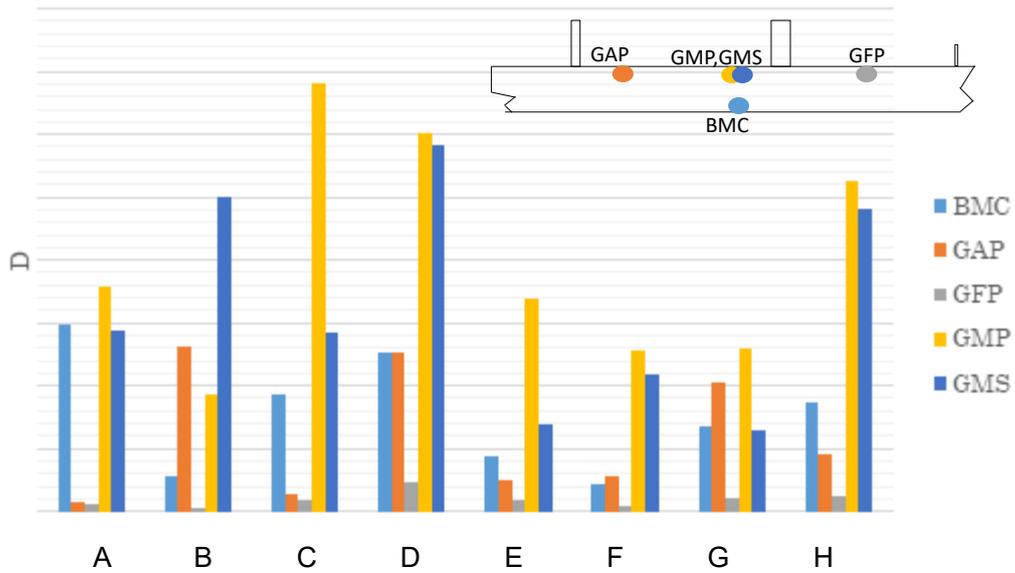


図 7-1 ハルモニタリングによるコンテナ船 (A 船~H 船) の疲労評価結果 (応力波形をレインフロー解析して求めた累積疲労被害度 D)

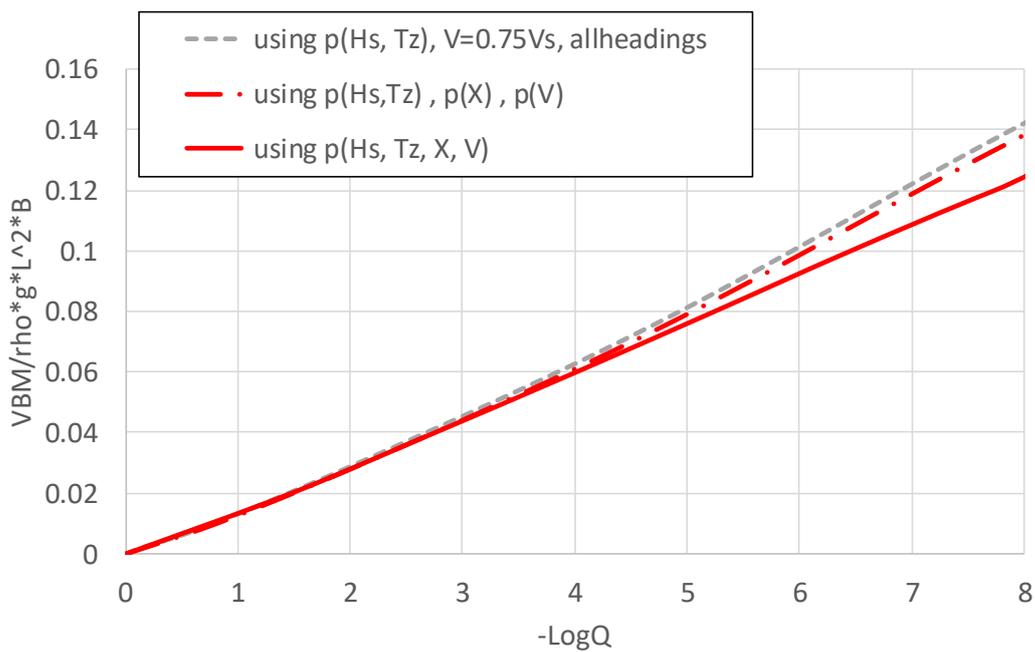


図 7-2 操船状態と波浪との同時性を考慮した長期予測結果 (実船) と考慮しない場合の結果 (1点鎖線) の比較

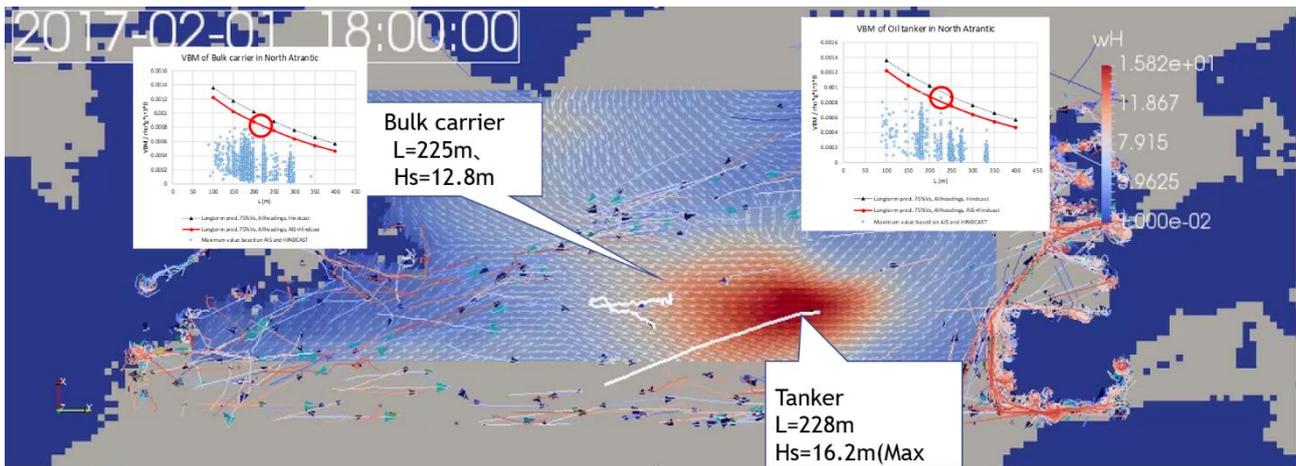


図 7-3 北大西洋での荒天時での操船履歴を可視化した例

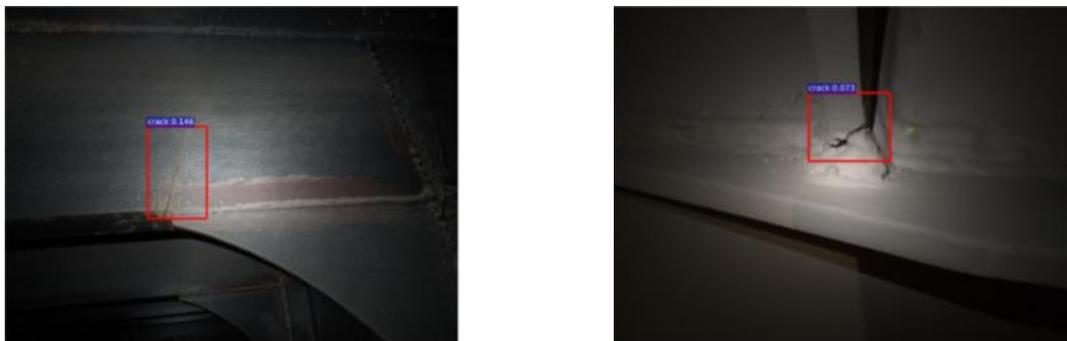


図 8-1 AIによる損傷認識一例

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>S</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

【年度評価に関するコメント】

□全船荷重構造一貫解析システム (DLSA) の社会実装、及びハルモニタリングシステムの実用化等、着実に成果を出している。本年度は特に DLSA-Basic 及び NMRIW の導入先を前年度までの 5 社から 8 社へ増やし、ユーザセミナーを開催して標準ツールとして業界に認知させることに成功したこと、またハルモニタリング技術の活用策である船体構造デジタルツインのコンセプトデザインを完成させ、日本船舶技術研究協会の委員会運営及び 7 大学との共同研究を通じて、オープンイノベーションでの研究開発を行ない、公開実験を開催及び成果報告セミナーに対応したことなど、研究成果の社会実装に努めた意義は大きく高く評価できる。さらに、国際学会にも多く貢献し、ISSC へのベンチマークテストへの貢献、国際学会の実行委員としての貢献に加えて、船体折損と荷重作用時間との関係性を数値シミュレーションで明らかにした国際学会論文が最優秀論文を受賞するなどプレゼンスを示し、計画を超える顕著な成果を上げた。以上より、自己評価は「S」と考える。

【中間評価に関するコメント】

□全船荷重構造一貫解析システム (DLSA) の社会実装、及び船上モニタリングシステムから発展した船体構造デジタルツインの開発等、長期ビジョンの実現に向けて着実に成果を出している。これらのシステムの技術基盤となる波浪荷重推定、疲労寿命推定、座屈崩壊シミュレーション、水槽試験技術等、最先端の研究を行い学術的な成果を公表した。重点研究において要素技術を深化させ、また研究成果を集約して社会実装を実現させるなど顕著な成果を上げた。以上より自己評価は「A」と考える。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

<b>研究開発課題</b>	(1) 先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 (2) 海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発
<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆2 船舶のリスク評価技術及びリスクに基づく安全対策構築のための影響評価技術の開発に関する研究</b>

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>－安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重・構造強度評価システムの実用化を加速するため、DLSA-Professionalの開発・実用化を行う。特に縦曲げ最終強度評価の機能を体系化された荷重・構造強度評価システムに追加を行う。また、これまでに開発したDLSA-Professionalの高度化や損傷後の残余強度評価機能を追加したDLSA-Ultimateの開発を行う。さらに、DLSAの解析結果に基づく海象設定手法のシステム化、データ同化・補完手法を開発する。等</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p> <p>－波漂流力に関する模型実験と荒天下操船運動評価テストプログラムによる船速低下推定精度の把握、水槽試験による低速時の変針及び通常航行時の旋回性能</p>

		<p>向上装置の有効性検証及び改良、遠隔計測等による船体運動状況分析システムを用いた操船支援方法の検討、貨物船・タンカー等の衝突(単)事故分析に基づく損傷実態の把握と損傷モデルの検討及び損傷船舶の船内区画進展浸水との連成を考慮した波浪中運動推定法の検討を実施する。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

- 新規コンセプト船等に係るリスク評価手法の開発とリスクに基づく設計、運用基準等の策定に関する研究
- 新規燃料、新形式船等に係る船体構造のリスクベース設計・信頼性評価手法の開発
- 船舶交通流の制御とリスク評価に関する研究

**研究目標**

- 新規貨物・燃料を扱う船舶のリスク評価手法（以下を含む）の開発
  - ・新規貨物・燃料に係る危険要因と安全対策の明確化
  - ・可燃性ガス等の漏洩の際の拡散状況と被害影響評価手法
  - ・安全対策の実施に係る費用対効果の評価手法
  - ・新規貨物・燃料および自動運航船等の船舶に関する安全基準案、リスクベース船舶設計ガイドライン案
- 海上交通の安全性向上に係る以下を成果とする
  - ・新航路の導入（設計された航路）
  - ・航路案設定のための設計・評価法の構築（論文）
  - ・交通流制御の簡易版影響評価ツールの開発（知財）
  - ・管制支援技術の開発（論文）

上記成果として、①リスクベース船舶設計ガイドライン等の実用化、安全基準の策定により社会実装を阻害するリスク要因が制御されることで、新規コンセプト船等の安全を確保に寄与し社会実装を促進する。② 国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力が強化され、また、水素等の新たな貨物、プロパン等の新規の低引火点燃料については、IMO 等でも議論され、期待されているところであり、安全基準、リスクベース船舶設計ガイドラインの意義が十分ある。③ 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。

**R1 年度の研究内容**

- 液化水素運搬船のリスクモデルの開発および社会実装に向けた支援
 

SAFEDOR において基準モデルとなっている LNG 運搬船のリスクモデルをベースとして、IHS データの解析から得られる LNG 運搬船と LPG 運搬船のリスクモデル及びこれまで請負研究等において実施したリスク評価結果や IMO における液化水素運搬船の暫定要件を整理・集約するとともに、その結果を踏まえて液化水素運搬船に特有のシナリオを抽出することで液化水素運搬船のリスクモデルを開発する。
- GHG 問題対応のための船舶に関するリスクモデル構築に関する研究
 

GHG 問題対応に係るリスクとして、その大部分は燃料使用に伴う燃料タンク周辺や機関区域内の燃料漏洩に起因する火災危険性である。一方、車両を積載する船舶の車両区域においてガソリンの代替燃料を使用する燃料電池自動車や CNG 車、LP 車などの車両貨物の火災危険性の増加が懸念されており、IMO では防火基準の見直し等が進められている。これらのリスクに対して、可燃性ガスの滞留を防止するための換気設計が有効であるが、機関室や車両区域のような広大な空間内の換気流場に関するケーススタディの実施にあたり、CFD モデルは精度が高いものの計算コストが大きく実用的な解析手法が求められている。そこで、質量保存流速場モデル（通称 MASCION モデル）を用いた、気流場解析のための数値シミュレーションモデルを開発する。

あわせて、液体燃料が漏洩した際に沸騰しながら広がる過程をシミュレートするための数値モデルを開発する。また、GHG 対応燃料を使用する船舶のリスク解析に必要な海難事故統計データを収集し、整理を行う。
- 安全基準の合理化のための調査
- 火災・爆発による被害度影響評価基盤技術の整備
 

液化水素運搬船の船体構造に係るリスク評価基準・ガイドラインの詳細調査を行い、液化水素漏洩時の被

害度影響評価法の基盤技術を整備する。また、液化水素運搬船の解析モデル作成のため、液化水素漏洩時の船体構造に係るベイジアンネットワークモデルを検討する。

□潮岬沖海域における安全対策による影響評価

本年度の対象海域である潮岬沖海域における衝突の要因となる問題点の抽出と、危険を緩和しうる改善策の影響評価を行うとともに、過去に導入された安全対策による船舶交通の変化を調査し、対策後の安全阻害要因を調査する。

### R1 年度の実績

□液化水素運搬船のリスクモデルの開発および社会実装に向けた支援

液化水素運搬船の漏洩リスク解析のためのリスクモデルを構築した。その際、リスクモデルの入力値の一つである機器毎の漏洩頻度は、一般的にデータから頻度論に基づき推定されるが、液化水素運搬船の場合、データが存在しないため、ベイズ推定モデルを構築し、利用可能なデータから漏洩頻度をベイズ推定した。さらに、漏洩した水素に着火して生じる被害影響度の評価指標として、可燃範囲にある水素ガスの量を採用し、米国サンディア国立研究所が開発した水素拡散評価コード HyRAM を用いて、その算定を行った。これらを統合し、リスクモデルに基づいて水素が漏洩した際の頻度と影響度を評価する手法を開発した。

液化水素運搬船の社会実装の支援として、プロトタイプ船の代替設計の主管庁承認に係る同等性評価のためのリスク解析に関する技術支援を行った。

□GHG 問題対応のための船舶に関する数値シミュレーションモデルに関する研究

機関室や車両区域のような広大な空間における、可燃性ガスの換気解析に適用可能な実用的数値解析モデルとして、質量保存流速場モデルを開発した。車両まわりの渦流れに関する代数モデルを組み込んで、CFD モデルによる計算結果の再現性について確認を行った。

□液化ガス漏えいに伴う沸騰プール、蒸発ガス拡散評価モデルの開発

液化ガスが漏洩して形成する液体プールの広がりや蒸発ガスの拡散を評価するための数値シミュレーション手法として、浅層モデルを用いた計算コードを開発した。その際に、当該計算コードの精度を左右する、移流項スキームに航空宇宙分野の圧縮性流体計算コードで成功を収めているいくつかの数値スキームを適用し、解析解との比較によって性能評価を行い、実装すべき数値スキームの検討を行った。

□GHG 問題対応のための船舶に関する事故統計分析

併せて、低引火点燃料船のリスク評価のための事故統計データの整備を目的として、海難事故統計を用いて LPG 運搬船の海難種類別の発生頻度、人命損失リスクの調査、整理を行った。

□安全基準の合理化のための調査

液化ガス運搬船を対象とする国際規則に対し、合理性の無い等の事項を聴取した。

□火災・爆発による被害度影響評価基盤技術の整備

液化水素運搬船の実船モデルの高精度化。特に、液化水素タンクの作成並びにタンク回りモデル化の高精度化を行った。また、Particle Blast Method (PBM) による液化水素運搬船実船モデルを用いた閉区画 (closed space) からの等価水素爆発による被害度影響評価手法の基礎確立を行った。

□潮岬沖海域における安全対策による影響評価

潮岬沖海域の特徴である航路片側の陸岸による制限下を考慮した推薦航路導入後の船舶行動予測手法を考慮した導入による効果予測手法を確立し、当該海域における安全対策の立案に貢献した。また、以前に導入された伊豆大島西岸沖の導入後の船舶行動を分析し、対策後に残る安全阻害要因の分析を行った。

### R1 年度の研究成果

□液化水素運搬船のリスクモデルの開発および社会実装に向けた支援

構築したベイズ推定モデルを用いて、英国周辺に位置するオフショア施設からの原油等の漏洩データベースである英国安全衛生庁 (UK HSE) の Hydrocarbon Release Database (HcRD) 及び高压ガス保安協会 of 事故事例データベースの水素ステーションにおける事故データの 2 種類のデータを利用することで、これらから求められる漏洩頻度は水素運搬船からの漏洩頻度であると仮定し、機器毎の漏洩頻度をベイズ推定した (図 1)。また、水素漏洩に伴う影響度の評価については HyRAM コードを用いて、液化水素運搬船で取り扱われる圧力条件のもと、漏洩源の口径を変化させて可燃範囲にあるガス量を算出した結果、図 2 に示すような口径に対する可燃範囲にあるガス量の傾向が得られた。

原油タンカーを対象に、作成したシミュレーションを用いて、戦略毎の費用対効果評価を実施した。シミュレーション結果より、作成したシミュレーションが定性的には問題ないことを確認した。また、貨物タンクのカスタム化という需要変動に対応する新技術を考え、その新技術は、将来的に低コスト化が実現すれば費用対効果が良い技術になることが分かった (図 3)。

液化水素運搬船の社会実装の支援については、設計者が作成した代替設計承認のための同等性評価書につ

いて助言を行った結果、これに基づいて修正された評価書が主管庁へ提出され、最終的に代替設計が承認された。

□GHG 問題対応のための船舶に関する数値シミュレーションモデルに関する研究

換気解析の対象の一つである車両区域を例にして、MASCON モデルによる車両のまわりに形成する渦流れの数値シミュレーションを行った。既往の代数モデルの一つである Carpentieri ら(2012) が開発した CAR-BUILD モデルを組み込んだ結果、物体後部に形成する Wake について CFD モデルでは存在しない循環渦が形成しており、その結果を再現しなかった。そこで、既存の代数モデルに修正を加えて MASCON モデルによるシミュレーションを行った結果、車両後部の双子渦を再現することに成功した。(図 4)

□液化ガス漏えいに伴う沸騰プール、蒸発ガス拡散評価モデルの開発

液化ガスが漏洩して形成する液体プールの広がりや蒸発ガスの拡散を評価する数値シミュレーションコードについて、ダム状にせき止められた水が乾いた地面に向かって崩落する初期値問題等を対象として、既存の HLL スキームと、圧縮性流体に用いられる AUSM 系スキーム、AUSM スキームを改良した SLAU 系スキームの計 6 種類について、解析解との比較による性能評価を行った。図 5 にダム崩落の様子を示す。その結果、AUSM 系および SLAU 系の数値スキームは、ドライベッド問題と呼ばれる水波の進行方向の水位が 0 の条件であっても、解析解を概ね再現することが分かった。各数値スキームで、再現性のよい初期条件が異なったため、精度の良いシミュレーションを行うためには、与えられた初期値の条件によって数値スキームを切り替える必要があることが分かった。

□GHG 問題対応のための船舶に関する事故統計分析

低引火点燃料船のリスク評価のための事故統計データに関して、LPG 運搬船を対象に海難事故統計の分析から、図 6 に示すような海難種類別の発生頻度、人命損失リスク、これらに対する信頼区間を明らかにした。

□安全基準の合理化のための調査

液化ガス運搬船を対象とする国際規則に対し、合理性の無い等の事項を整理した。規則改正を行うために提案文書案を作成した。特定のタンク形式に偏った不合理な規則案を排除することは、我が国の国際競争力の強化につながる。

□火災・爆発による被害度影響評価基盤技術の整備

液化水素運搬船モデルの液化水素タンク回りの高精度化を実施(図 7)

PBM 法を用いた実船(液化水素運搬船)における被害度影響評価法の試解析成功(図 8、9、10)

ベンダー(JSOL 及び LSTC 社)とも協業し PBM 法を改良し、圧力の時刻歴を出力できるように改良した(図 10-1)。当該改良により定量的な圧力比較も実施できるようになった。

爆発時の等価エネルギーを変えた 3 ケースの試解析を実施し、爆発エネルギーが被害度に与える定性的検討を実施。

□潮岬沖海域における安全対策による影響評価

潮岬沖海域の特徴である航路片側の陸岸による制限下を考慮した推薦航路導入後の船舶行動予測手法を考慮した導入による効果予測手法を確立し、当該海域における安全対策の立案に必要な技術の確立を行った。また、昨年度に続き潮岬沖海域の状況の分析を行い、神戸海難防止研究会が実施する潮岬沖における安全対策の構築に関する調査研究委員会への解析資料提供を行うと共に、必要な説明を行った。図 11,12 に潮岬沖海域における同航船同士の OZT の発生回数及び遭遇頻度の現状と推定を示す。

また、以前に導入された伊豆大島西岸沖の導入後の船舶行動を分析し、対策後に残る安全阻害要因の分析を行った。伊豆大島西岸沖の推薦航路における導入前後の遵守率の推移を解析した(図 13)。なお、導入前は推薦航路予定位置に対する航行位置から算出した。また、伊豆大島西岸沖海域における OD(航路群)毎の横断面方向の通航位置分布を作成して、低遵守率の原因を解析した(図 14)。安全対策の効果の推定として、伊豆大島西岸沖海域における反航船の遭遇頻度の導入前後の変化についても調査を行った(図 15,16)。

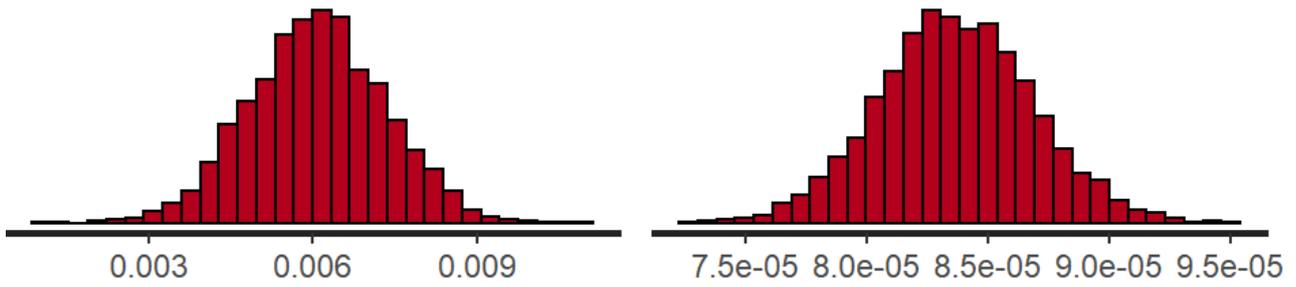


図1 機器毎の漏洩頻度のベイズ推定結果の例 (左: Pumps, 右: Pipes)

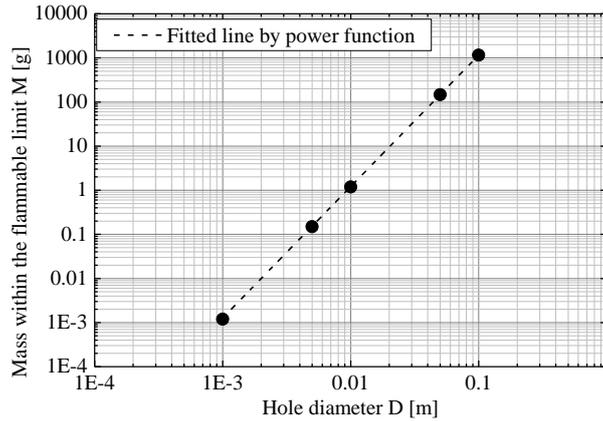


図2 水素ガスの漏洩口径に対する可燃範囲ガスの総質量の関係

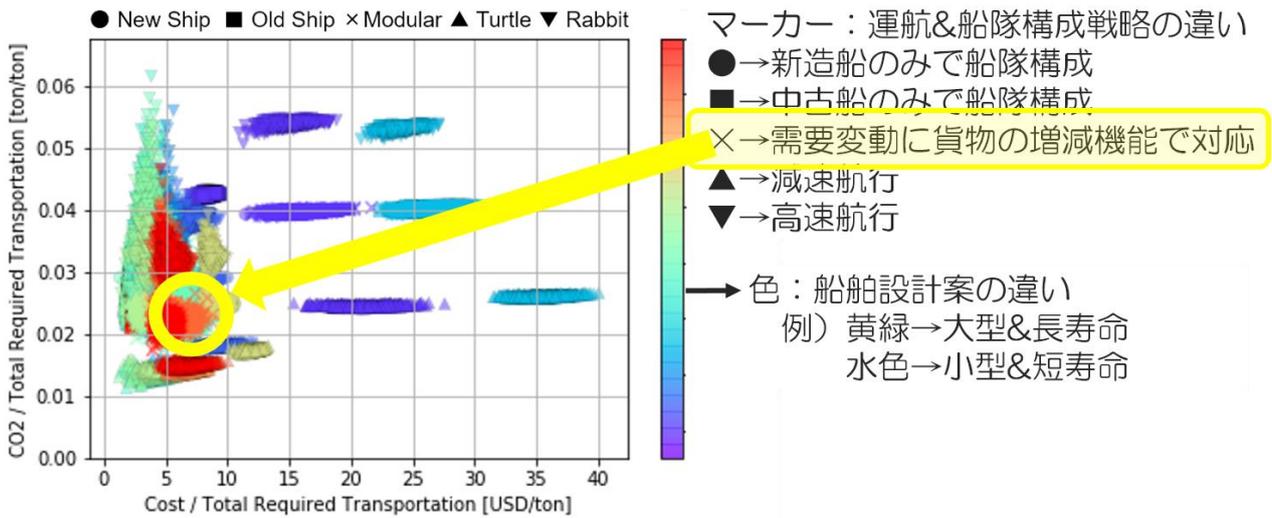


図3 戦略毎の費用とCO2排出量の散布図

(貨物タンクのモジュール化が低コスト化すれば黄色丸部分が左に移動し、費用対効果が良くなる)

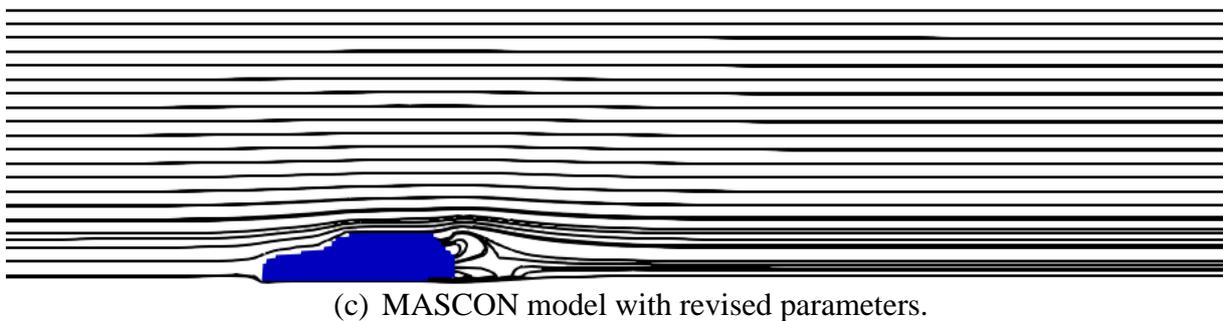
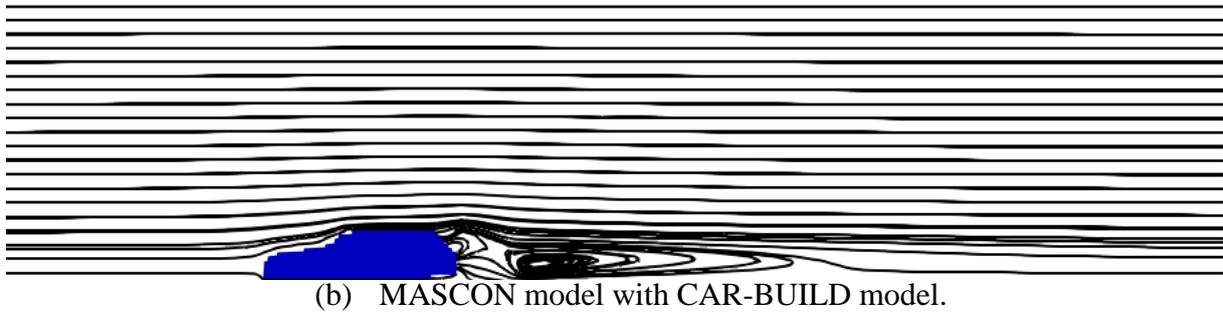


図4 車両の周りに形成する渦流れに関する流線図の比較

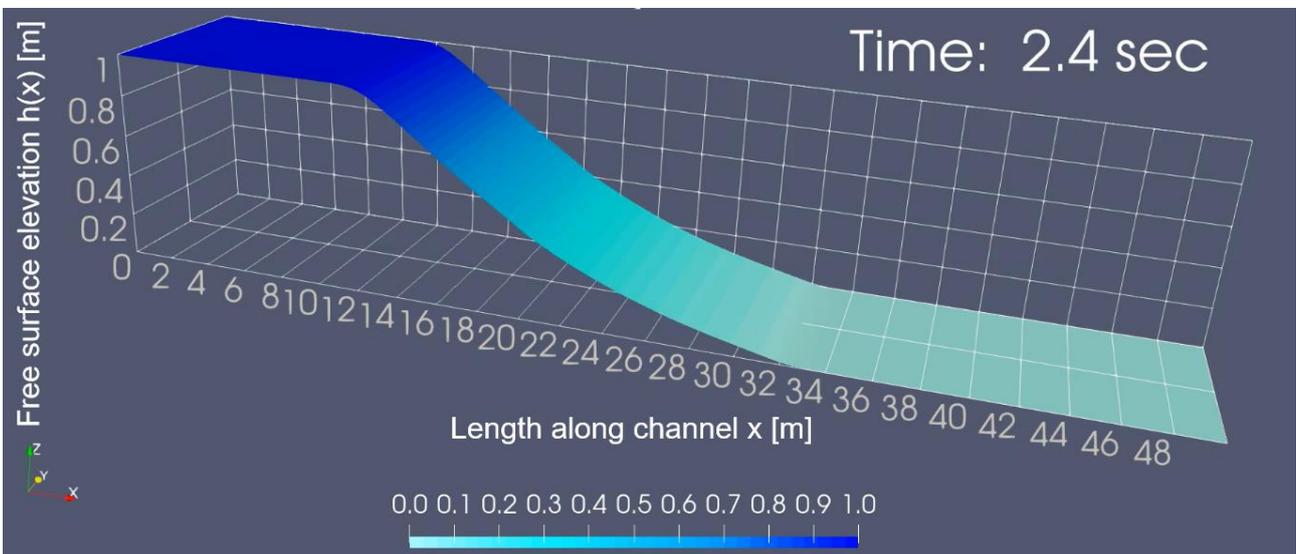


図5 数値スキーム検証のためのダム崩落問題計算結果 (AUSM スキーム)

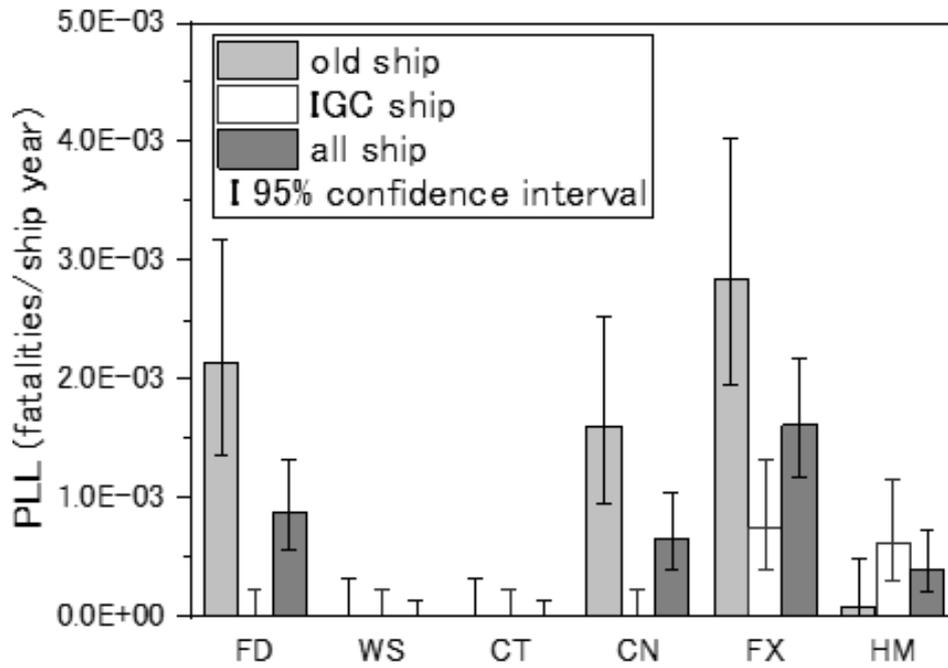


図6 LPG 運搬船の海難種類別の人命損失リスクの分析結果

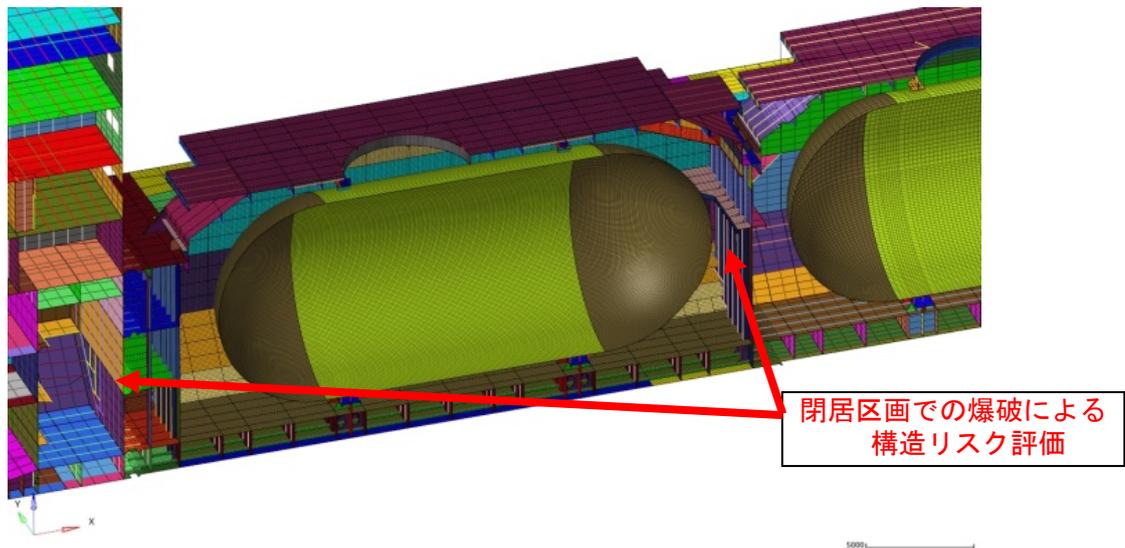


図7 2019年度に改良した液化水素運搬船の詳細メッシュモデル（川崎重工より）

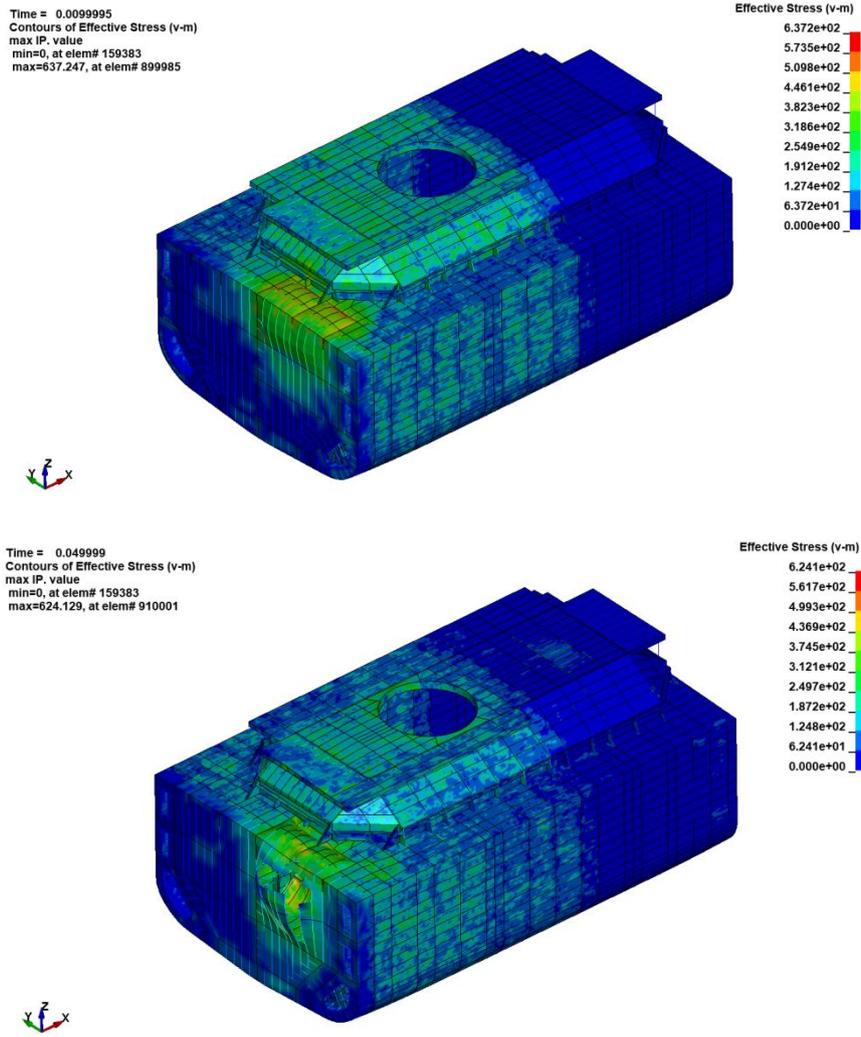


図 10 液化水素運搬船の部分モデル (No.2 ホールド) を用いた等価水素爆発解析の試解析結果

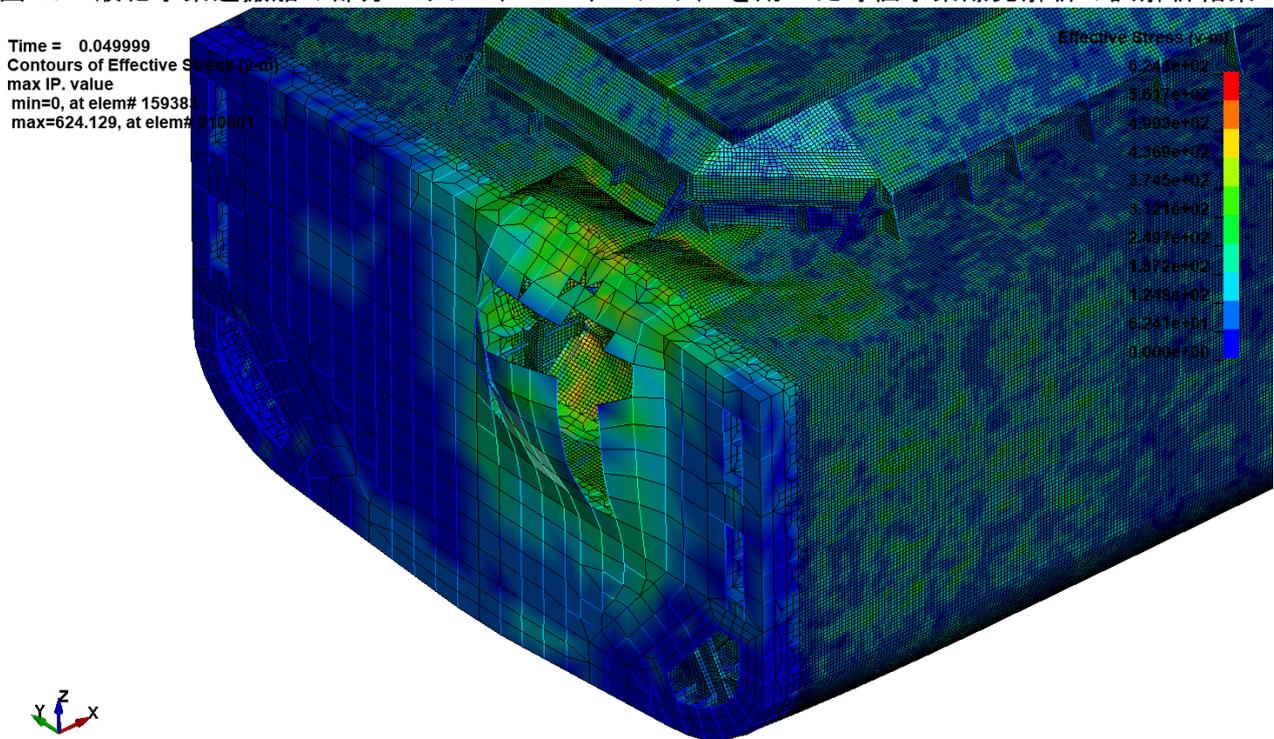


図 11 液化水素運搬船の部分モデル (No.2 ホールド) を用いた等価水素爆発解析の試解析結果

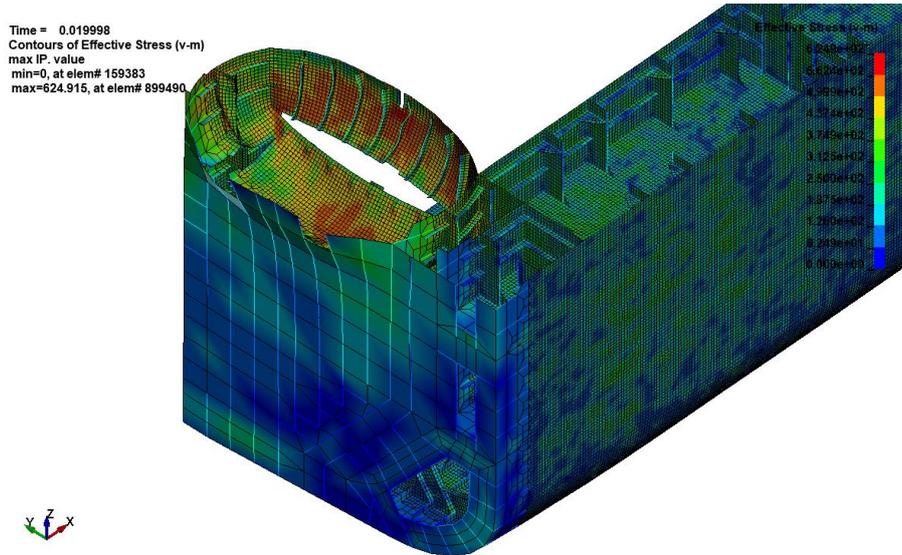


図 12 液化水素運搬船の部分モデル (No.2 ホールド) を用いた等価水素爆発解析の試解析結果

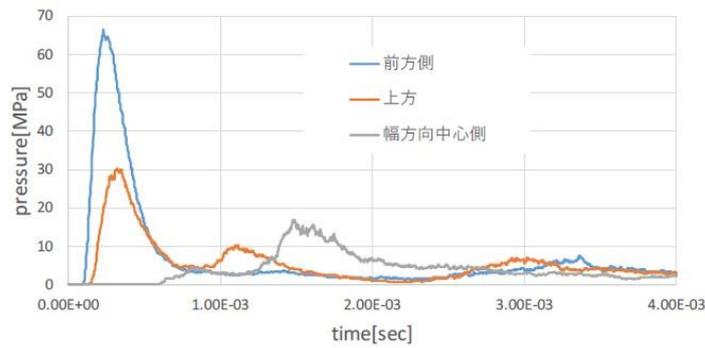


図 12-1 爆発時の closed space (閉区画) における圧力の時刻歴の比較

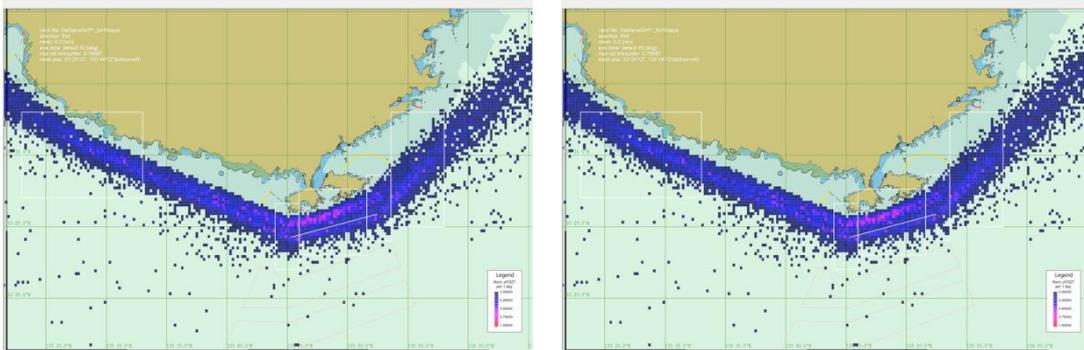


図 13 潮岬沖海域における同航船同士の OZT 遭遇の現状と推定 (左: 現状、右: 2.0 海里案)

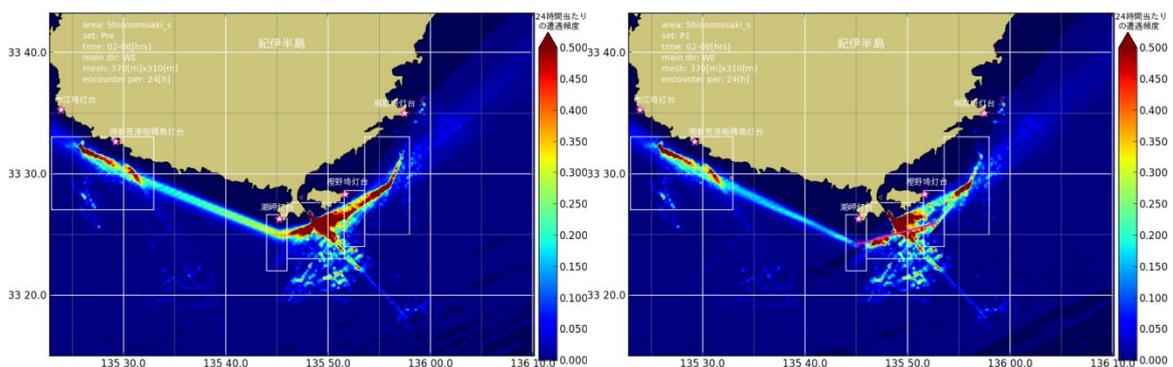


図 14 潮岬沖海域における同航船同士の遭遇頻度の現状と推定 (左: 現状、右: 2.0 海里案)

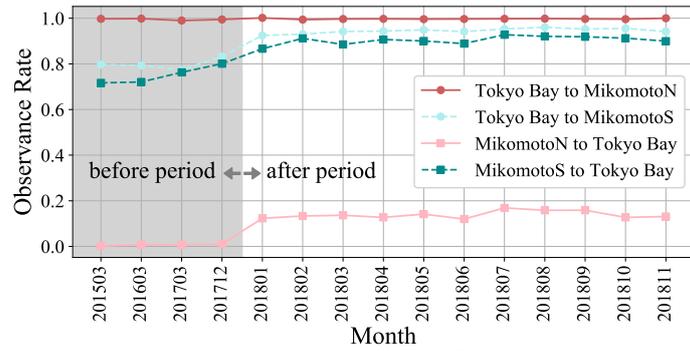


図 15 伊豆大島西岸沖の推薦航路における導入前後の遵守率の推移 (導入前は推薦航路予定位置に対する航行位置から算出)

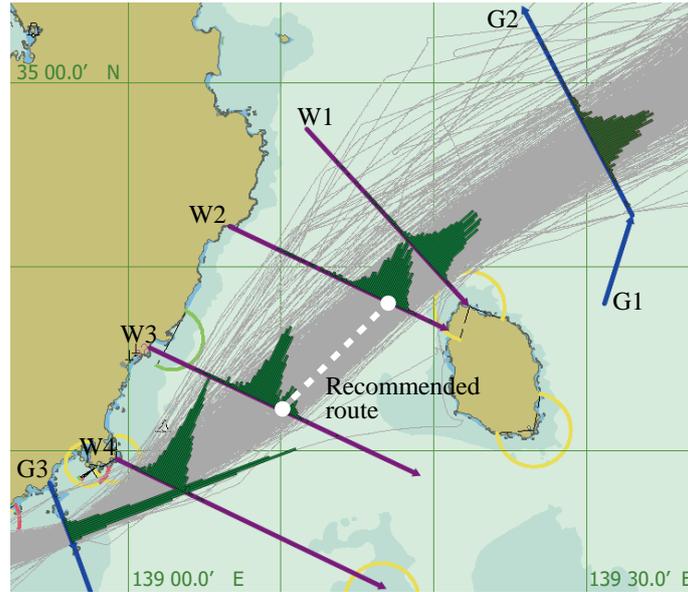


図 16 伊豆大島西岸沖海域における遵守率の低い OD (航路群) の横断面方向の通航位置分布

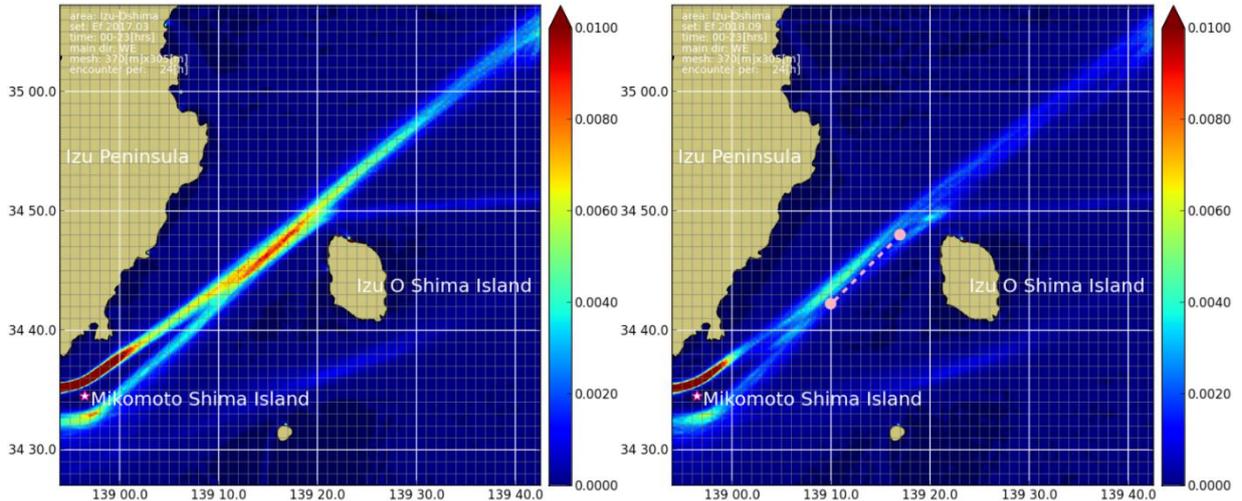


図 17 伊豆大島西岸沖海域における反航船の遭遇頻度の変化(左: 2017.3(導入前) 右: 2018.9(導入後))

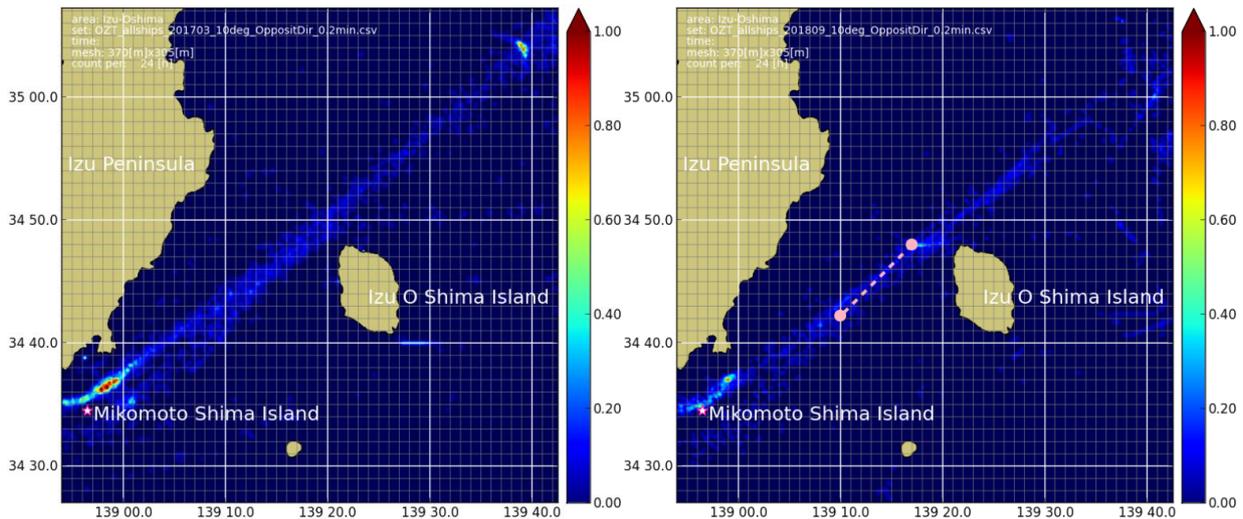


図 18 伊豆大島西岸沖海域における反航船のOZT発生数の変化(左: 2017.3(導入前) 右: 2018.9(導入後))

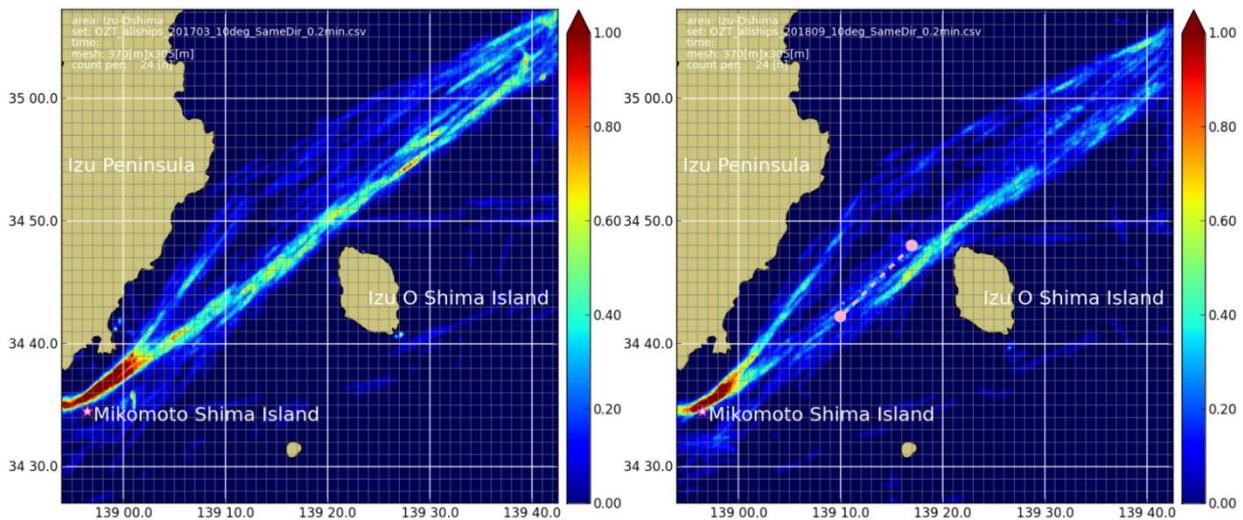


図 19 伊豆大島西岸沖海域における同航船のOZT発生数の変化(左: 2017.3(導入前) 右: 2018.9(導入後))

成果の公表

□論文

・査読付き論文誌

- (1) 工藤, 柚井: 海難情報を用いたLPG運搬船の人命損失リスク, 日本マリンエンジニアリング学会誌(掲載決定)
- (2) 宋, 伊藤, 川村, 福戸: 海上交通管制業務における管制官の管制過程に関する分析, 日本航海学会論文集, vol.140, 2019.7.
- (3) 三宅, 伊藤, 山本, 牧野: コンテナ船衝突事故に係る状況認識の評価, 日本航海学会論文集, vol.140, 2019.7.
- (4) 伊藤, 南, 山本, 牧野: コンテナ船衝突事故に係る認知行動分析, 日本航海学会論文集, vol.140, 2019.7.
- (5) Oka, Y. and Oka, H.: Temperature and velocity distributions of a ceiling-jet along a flat-ceilinged tunnel with natural ventilation, Fire Safety Journal 112 (2020) 102969.

・本文査読付き会議録

- (1) 伊藤, 三宅: Research on Change of Traffic Safety Accompanying the Implementation of a New Recommended Route, Proc. of 8th International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore (ICCGS 2019), 2019.10.
- (2) 河島, 伊藤: Assessment of Ship Encounter and Collision in Congested Sea Areas, Proc. of 8th International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore (ICCGS 2019), 2019.10.
- (3) Oka, Y. and Oka, H.: Temperature and velocity distributions within a ceiling-jet along a flat-ceilinged horizontal tunnel with natural ventilation, The 9th International Seminar on Fire and Explosion Hazards (9th ISFEH), 2019.4.
- (4) Tanno, A., Oka, H. and Oka, Y.: Simple Prediction Model for Temperature Attenuation of Fire-Induced

Ceiling Flow in Consideration of the Side Wall Effects along a Flat-ceilinged Tunnel, The 12th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2019), 2019.7.

・その他 (査読なし概要集等)

- (1) 工藤, 柚井: 海難情報を用いた IGC コード適否による LPG 運搬船の海難種類発生頻度, 日本航海学会講演予稿集, vol. 7, No.1, 2019.5.
- (2) 工藤, 柚井: 海難データを用いた液化ガス運搬船の事故発生頻度の分析, 第 13 回海上技術安全研究所研究発表会講演集, 2019.6
- (3) Kimura, A., Oka, H. and Oka, Y.: Performance Evaluation of AUSM type schemes for the Numerical Simulations of Dam-Break Problems, Proc. of Asia Pacific Symposium on Safety 2019 (APSS2019), 2019.9.
- (4) 柚井他: システムズアプローチによる海事産業の意思決定支援に向けて, 令和元年度 (第 19 回) 海上技術安全研究所講演会講演集, pp.47-64, 2019.11.
- (5) 柚井他: ライフサイクルでのコストと CO2 排出量を考慮した船団構成と運航戦略のトレードスペース分析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 29 号, pp.127-132, 2019.11.
- (6) 木村, 岡(秀), 岡(泰): 質量保存流速場モデルを用いた閉囲空間における複雑気流場の簡易予測手法の開発, 第 52 回安全工学研究発表会, 2019.11.
- (7) 木村: 「リスクベースマネジメントにおける影響度評価」, 第 4 章 シミュレータを用いた影響度評価 (書籍の分担執筆), 2020.3.(予定)
- (8) 宋, 伊藤, 川村: 海上交通管制業務における運用管制官の新人教育のための 海上交通ルーティンの開発, 日本航海学会講演予稿集, vol.7, No.2, 2019.10.
- (9) 須賀, 岡(泰), 岡(秀): 数値計算に基づく水平方向に細長い空間内の火災熱気流挙動, 2019 年度日本火災学会研究発表会概要集, 2019.5.
- (10) 丹野, 岡(秀), 岡(泰): 矩形通路の断面形状を考慮した天井流の温度減衰簡易予測式の提案, 2019 年度日本火災学会研究発表会概要集, 2019.5.

□講演のみ

- (1) 岡(泰), 岡(秀), 今関, 岸上, 木村, 新谷, 鈴木, 松山, 山内: 火災流動現象の実用的数値モデルの開発専門委員会活動報告, 2019 年度日本火災学会研究発表会 (ポスター), 2019.5.

□その他

- (1) 伊藤, 岡(正): 海上輸送の安全・安心への取り組み, RRR (Railway Research Review) 2020 年 1 月号 vol.77, No.1 —さらなる安全・安心な鉄道をめざして—, 2020.1.

□受賞

- (1) 海上保安庁長官表彰「準ふくそう海域における安全対策として関係機関と共同研究を行いバーチャル AIS を活用した推薦航路を設置し船舶交通の安全に大きく寄与した功績」(海技研として受賞), 2019.7.

□国際貢献

□プログラム登録

- (1) 三宅, CollisionRiskCalc, P 第 11042 号 - 1, 2019.12.18.

**主な評価軸に基づく自己分析**

- 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか。
- GHG 問題対応のための代替燃料の導入や水素社会の実現は、我が国のみならず国際的な対応が求められている喫緊の課題であり、これらの安全に寄与するものである。
- 海上交通の安全性向上に関する対応は、海上保安庁が 2018 年に示した第 4 次交通ビジョンの準ふくそう海域における安全対策の一つに相当するものであり、衝突多発海域の安全性向上に貢献するものである。
- 成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。
- GHG 問題対応のための代替燃料のために整備してきたリスクモデルや、それを構成する事故発生頻度データ、事故進展シナリオはリスク評価において必要不可欠であるにもかかわらず、整備が十分になされていなかったことから、本研究成果はこれに寄与するものである。
- 同様に、数値シミュレーションを用いた換気解析は、燃料漏えい事象に対する被害影響度評価および、換気設計など船舶の安全設計において重要な技術である。また、浅層モデルによる拡散評価モデルの根幹は、浅水波近似が適用できる重力によって駆動する流れの問題を数値的に解析する手法であるため、これに関連する諸問題(火砕流、土砂流、河川工学等)にも波及する普遍的な価値がある。
- 上記の GHG 対応のための代替燃料関連テーマでは、関連する内容で 2 件の外部資金(科研費)の獲得に成功しており、その内容が学術的、社会的に価値があることが、客観的に認められたものと判断される。

- 海上交通の安全性向上のための研究は、準ふくそう海域を対象としているものであるが、沿岸域の船舶交通の観測が可能となってから日が浅いために観測実績やリスクモデルが十分に整備されていない状態であったところ、本研究成果はこれに寄与するものである。
- 上記の海上交通の安全性向上関連テーマでは、関連する内容で3件の外部資金（科研費、防衛装備庁安全保障技術研究推進制度）の獲得に成功しており、本テーマが学術的、社会的に価値があることが、客観的に認められたものと判断される。

○成果が期待された時期に創出されているか。

- GHG 問題対応のための代替燃料導入や水素利用技術は国際的に早急な対応が求められており、業界からの要請にも対応している。今後研究成果の創出はより一層加速させる必要がある。
- 潮岬沖の整流化案は、伊豆大島西岸沖に引き続き実運用を目指すものであり、海上保安庁が2018年に示した第4次交通ビジョンの計画年度内に研究成果として創出し、推薦航路として整備される見込みである。

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

- リスク評価技術の高度化は、新規技術システムの実装にともなうリスクを見える化し、新規技術を導入する造船所のみならず、新規技術を実装した船舶を使用する船会社など、事業の主体が低減すべきリスク、保有するリスクを取捨選択するために必要不可欠な技術であり、船舶産業の国際競争力の強化に資するものである。

○萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

- 該当しない

**H28年度からR1年度の実績およびR4年度までの計画**

（別紙を作成）

研究主任者による自己評価	
年度評価（R1年度）	<b>A</b>
中間評価（H28～R1年度）	<b>A</b>

**【年度評価に関するコメント】**

- 液化水素運搬船における漏えいリスク解析のためのリスクモデルは、液化水素運搬船のリスク評価において必須であるが、十分に整備されていない状況にあった。各種の事故発生頻度データにもとづく事故進展シナリオと、燃料漏えい事象に対する拡散評価モデルの構築が進み、漏えいリスクモデルとして整備できたことは、本年度の特筆すべき成果である。
- 液化水素運搬船の実船モデルを用いた閉区画からの等価水素爆発の評価は、漏えい後の火災、爆発による被害度影響評価法として今後の詳細解析に資する重要な成果である。
- GHG 対応の代替燃料と位置づけられている液化ガスの漏えいに伴う液体プールの広がり数値シミュレーションする方法や、リスク評価のための事故統計データの整備は、今後の船舶における代替燃料導入の際の換気設計等に必須とされており、重要な成果である。
- 海上交通に関して、実運用をめざす潮岬沖海域の安全対策構築に貢献しつつ、当該海域の海域の特徴を考慮して新制度下での行動予測手法を確立したことは、この後の海上交通の評価手法の一般化に資する重要な成果である。

**【中間評価に関するコメント】**

- GHG 問題対応のための代替燃料の導入や水素関連のリスクモデルおよびこれを構成する事故発生頻度データや事故進展シナリオはリスク評価において必要不可欠であるにもかかわらず、整備が十分になされていない状況にあったが、本研究により整備が進んだ。漏えい頻度と影響の双方についての解析が進み、漏えいリスク解析のためのリスクモデルが構築できたことは、本研究の特筆すべき成果である。
- 火災・爆発による被害度影響評価基盤技術として、構造解析を行うモデルと解析手法が整備された。特に、仮の船体モデルではなく、世界初の液化水素運搬船の実船モデルが入手できたことの意義は大きい。この実船モデルを用いて被害度影響評価を実施することで、液化水素運搬船のガイドラインの将来の改正を見込んでおり、これに備えて造船所、船級協会との協力関係を築くこともできた。
- 海上交通に関しては、本課題開始前からの取り組みが実を結び、国内初の推薦航路の運用が開始される中、より対応の難しい困難な海域の安全対策立案に必要な要素技術の拡充を行ってきた。さらに、安全対策の運用が開始された海域から、実績データの入手も可能となり、安全対策による各種影響の推定精度の向上にもつながるなど、良い循環が始まっている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

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

<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆3 安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究</b>
--------------	---

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>－安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重・構造強度評価システムの実用化を加速するため、DLSA-Professional の開発・実用化を行う。特に縦曲げ最終強度評価の機能を体系化された荷重・構造強度評価システムに追加を行う。また、これまでに開発した DLSA-Professional の高度化や損傷後の残余強度評価機能を追加した DLSA-Ultimate の開発を行う。さらに、DLSA の解析結果に基づく海象設定手法のシステム化、データ同化・補完手法を開発する。等</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p> <p>－波漂流力に関する模型実験と荒天下操船運動評価テストプログラムによる船速低下推定精度の把握、水槽試験による低速時の変針及び通常航行時の旋回性能</p>

		<p>向上装置の有効性検証及び改良、遠隔計測等による船体運動状況分析システムを用いた操船支援方法の検討、貨物船・タンカー等の衝突(単)事故分析に基づく損傷実態の把握と損傷モデルの検討及び損傷船舶の船内区画進展浸水との連成を考慮した波浪中運動推定法の検討を実施する。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

- 衝突回避要件の研究
- 荒天下の操船安全性に関する研究
- 衝突事故及び乗揚げ事故等の回避・予防技術の開発に関する研究
- 遠隔計測による運航状況分析技術の開発に関する研究
- 損傷時安全基準に関する研究

#### 研究目標

- 衝突事故を防ぐための船舶の操縦性能要件と基準案を作成
- 荒天下の操船性能評価手法を確立し、合理的な最低出力と操船安全性に関する基準案を作成
- 制動能力や旋回性能を向上させるための回避行動促進装置、緊急時自動衝突回避システムの開発
- 遠隔計測により運航状況の危険性を把握する船体運動状況分析技術の開発
- 損傷時船舶の安全性を確保するための基準体系の確立

上記成果は、緊急時自動衝突回避システム等の実用化により海難事故及び事故に伴う被害の減少が図られる。また、国際ルールの形成への戦略的な関与により、我が国海洋産業の国際競争力強化へととなり得る。

#### R1 年度の研究内容

- 船舶の停止性能の実用的推定のためのシミュレーション計算モデルの検討
- 荒天下操縦運動評価テストプログラムによる保針航行状態推定のための計算法の基礎方針の決定。また、その際重要となる波漂流力とその斜航影響を考慮する実用的方法の提案・検証
- 港湾設計および出入港基準の調査
- 効率的な変針による衝突回避装置の水槽実験による検証
- 緊急自動衝突回避システムの検証
- IMO 第2世代非損傷時復原性基準を考慮した、船速、波向き等操船要素を含む運航危険性（過大加速度）評価法と操船支援法の構築。また、波浪中の危険性評価に用いる計算ツールとして短波頂不規則波中での傾斜時の時間領域船体運動計算法の構築。
- 貨物船・タンカー等の衝突(単)事故分析に基づく損傷実態の把握と損傷モデルの検討及び船内区画進展浸水との連成を考慮した波浪中運動推定法の検討

#### R1 年度の実績

- 船舶の停止性能はプロペラの回転が正転から逆転に移行する時間の影響を受けることが知られている。そこで船体の操縦運動の推定手法の1つであるMMGモデルを用いたシミュレーション計算で、停止性能の推定を行うために必要なモデルの検討を行った。
- 前年度までに作成した荒天下操縦運動評価テストプログラムを、保針航行状態推定可能となるように拡張した。また、2隻の模型船を対象に自由航走模型試験を実施し、計算法の妥当性を検証した。
- 波漂流力の船体斜航影響を拘束模型試験により調査した。また、既存の短波長域を対象とした斜航時の波漂流力推定法(上野, 2000)の推定精度を確認した。
- 荒天下で操船が困難となった場合に港湾などの輻輳海域では衝突や座礁などの危険性が高い。そこで既存の港湾の設計基準について調査を行った。また、既存の基準に対して荒天下の影響をどのように反映することが可能か検討を行った。
- 衝突や座礁を操船による変針で回避するための手法について検討を行った。検討した手法を用いて水槽試験を行い、その効果を検証した。
- 緊急自動衝突回避システムについて、自船と他船の両船が同システムを搭載しその機能を利用した際に、浅瀬等により同方向に避航せざるを得ない状況で、同方向に大角度変針をした場合の適切なシステム稼働開始時期を検証した。

- 復原性に起因する波浪中の危険事象のひとつである過大加速度による事故を起こしたコンテナ船を供試船として不規則波中での横加速度の長期発生確率を用いた過大加速度の危険度評価を行い、操船要素である船速、波向、波周期を考慮した操船支援法を検討した。その際、国際海事機関（IMO）で審議されている第2世代非損傷時復原性基準のガイドラインを考慮した。
- 流体力の推定には3次元特異点分布法を用い、メモリー影響を含んだ時間領域船体運動計算法により短波頂不規則波中傾斜時の船体運動計算を行い、模型実験と比較した。
- 日本近海で発生した貨物船・タンカー・旅客船の衝突（単）事故に関する運輸安全委員会の事故調査報告書から、衝突状況、損傷状況と船体規模や航海速力に関するデータを抽出・分析した。また、船内区画進展浸水との連成を考慮した波浪中運動推定法の検討のベースとして、粒子法を用いたLNGタンクのスロッシング、スワーリング現象の数値シミュレーションを行い公表された模型実験結果と比較した。

#### R1年度の研究成果

- 一般的に停止性能を推定する場合には、プロペラ回転が正転から逆転に至るまでの回転数を時系列データとして入力していた。曳航試験で得られた船体に働く不平衡流体力とプロペラ回転数の時系列データを与えると時系列データとして与えると水槽実験で行った停止試験結果を実用的に推定することが可能であることを確認した。また、船舶の停止距離は初期船速に大きく依存するが、プロペラ回転数を時系列データとして与えることで船速を変化させても推定可能であることを確認した。しかし、停船動作中の実船のプロペラ回転数は船速と主機の特性で決まる値であり、事前に時系列データを用意することは困難である。調査したところ、昭和50年前後にこの問題を考慮したモデルが提案されていることが確認された。しかし、このモデルを使用するためにはクラッシュ・アスターンにおけるエア投入のタイミングを与える必要があることが判明し、現在はその調査を行っている。
- 本年度拡張した荒天下操縦運動評価テストプログラムによって、規則波中保針航行時の船の平均的な船速低下・斜航角・当舵量・6自由度船体動揺を大略推定可能であることを明らかにした。また、本計算法は肥大船と痩せ形船のような大きく異なる船型に対して幅広く適用可能であることを明らかにした(図1)。
- 既存の短波長域を対象とした斜航時の波漂流力推定法(上野, 2000)では、回頭モーメントの船速影響・斜航影響の推定精度が必ずしも十分ではないことが明らかになった(図2)。具体的な改善についてはR2年度に実施予定。
- 既存の港湾基準は2007年9月に「次世代の航路計画基準(2007)」が航海学会、運航者、造船・航海・港湾研究者により策定された。本基準は大きく分けて「航路水深」と「航路幅員」の2つの項目から構成されている。このうち、荒天下で影響を受けると考えられる項目としては、縦揺れと上下揺れによる沈下量や横揺れと上下揺れの沈下量、風影響による漂流角、ヨーイングの蛇行量による漂流幅などが考えられる。このうち、風影響による漂流角やヨーイングの蛇行量による漂流幅に及ぼす影響は大きいと考えられる。これらの項目にどのような影響が及ぶか検討中である。
- 船舶が衝突や座礁を回避する手法としては停船か操舵による変針が考えられる。操舵により変針をすると船体は旋回運動を行う。旋回運動中は船体が斜航することで生じる向心力と船体に働く遠心力が釣り合った状態となる。操舵により変針する場合、船体は旋回運動を行う。旋回運動とは船体が斜航することで生じる向心力と船体に働く遠心力が釣り合った状態のときに成り立つ。斜航角が増加することで旋回径は小さくなり旋回性能は向上すると考えられるが、追従性能という観点からすると斜航角の増加は望ましくない。例えば、輻輳海域などで衝突を回避した場合には追従性能が劣ると他の船舶と衝突する危険性が生じる。そこで、本研究では旋回性能を向上させつつ、追従性能には影響を及ぼさないような操船方法について検討を行った。さらに幾つかの状態について水槽実験を行い、旋回性能と追従性能について確認を行った。タンカー船型の模型を用いて水槽実験を行った状態は4つで、①通常の舵のみ、②船体の後方に左右舷方向に外力を発生させ高揚力舵と模擬したもの、③通常の舵と船首付近に左右舷方向に外力を発生させたもの、④通常の舵と船首付近で左右舷方向だけではなく船首方向にも外力を発生させたものである。これらを用いて12kt相当の船速でZ操舵試験を行った。図3に計測された航跡(a)と斜航角(b)、船首方位角(c)、船速低下(d)の一例を示す。図中の線は①が青線、②が黄色線、③がグレーの破線、④が赤の破線である。②・③・④で与えた外力の大きさは同じである。また外力は操舵開始から初めの転舵までの8秒程度のみ与えている。航跡と船首方位角の比較から、外力を与えたものは①よりも早い段階で変針を始めていることが確認された。しかし、②は転舵後に航跡と船首方位角ともに一番外側まで膨らんでいることがわかる。これは斜航角が他のものよりも大きく発達しているためで、転舵により方向転換を試みても増加した斜航角を減少させるのに時間を要するためと考えられる。また、船速低下を比較すると②と④がほぼ同じに減速していることが確認された。衝突時の被害を抑えるためには減速することも重要であり、総合的に判断すると④が望ましい操船方法と考える。④とは左右舷方向だけではなく船首方向にも外力を発生させており、例えばバウスラスタの噴流の向きを調整するルーバーのようなものを装備することで実現できる可能性はあると考える。
- 緊急自動衝突回避システムについて、操船シミュレータの他船運動にも相手船との異常接近時に大角度変針を行う機能を組み込んだ。操船シミュレータを用いて、自船と他船が異常接近した際に両船で同方向に避航する緊急自動衝突回避システムを稼働させ、浅瀬等により同方向に避航せざるを得ない状況で、稼働開始時期の調整により衝突に至る場合と、衝突を回避できる場合の検証を行った(図4)。

- 不規則波中での横加速度の長期発生確率を用いた危険度評価法を用いて、操船要素である船速、波向、波周期を考慮した操船支援法をコンテナ船を対象に示した(図5)。図5は船速16kts、有義波高7.5mで閾値を超える波向と波周期の組み合わせを×印で示している。
- 短波頂不規則波中傾斜時の時間領域船体運動計算の結果は直立時、傾斜時とも実験結果とよく一致しており(図6)、危険度評価に用いる計算法として有効であることを示した。
- 500GT以上の貨物船の航行中の衝突(単)事故(48隻)の衝突時の速力と損傷程度の相関を分析して関係を明らかにした(図7)。
- 粒子法の一つであるMPS法を用いて、LNGタンクのスロッシング、スワーリング現象の数値シミュレーションを行い吉田らによって実施された模型試験結果との比較を行った。その結果、タンク壁圧力の時刻歴は、タンク上部の計測点に関しては過大評価であったが、タンク下部の計測点についてはおおよその一致していることを確認した。また、シミュレーションにおいても模型試験にて発生したスワーリング現象が確認されタンクにかかる流体力の変化も模型試験結果とおおよその一致を確認した(図10)。

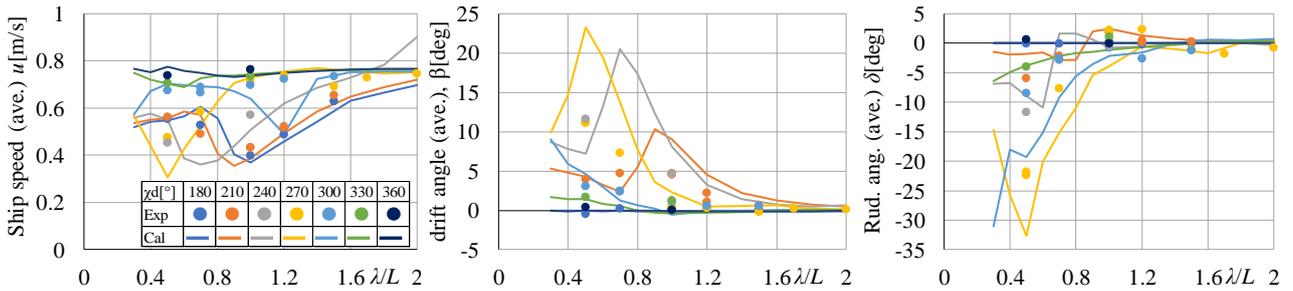
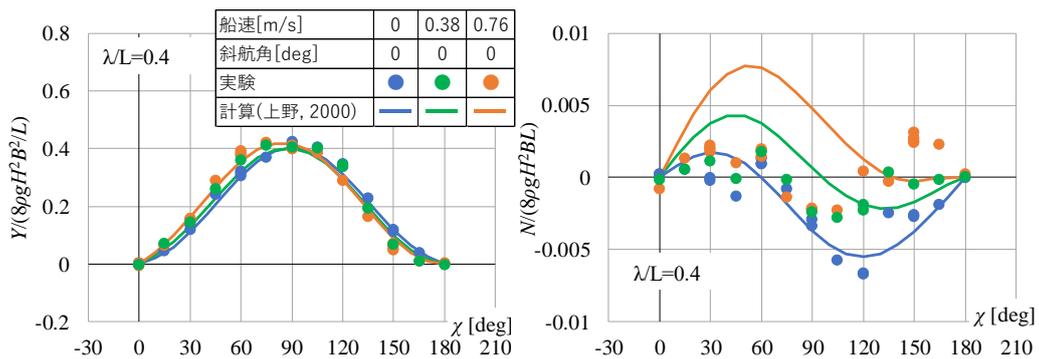
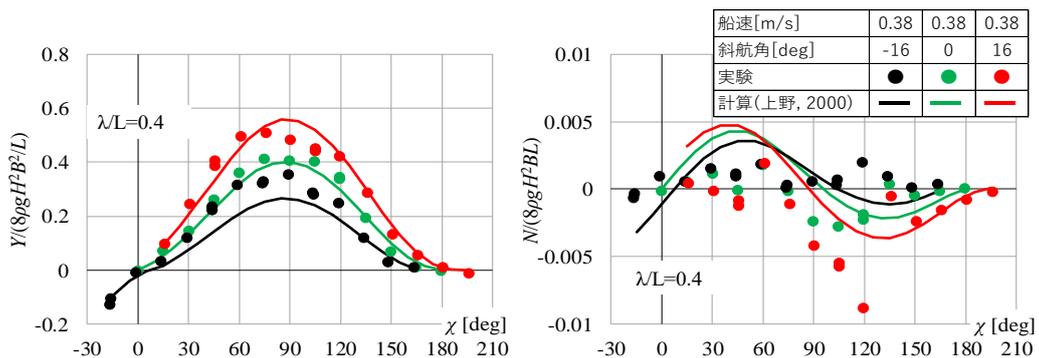


図1: タンカー模型の規則波(波高船長比 1/50)中保針航行時の船体運動の比較

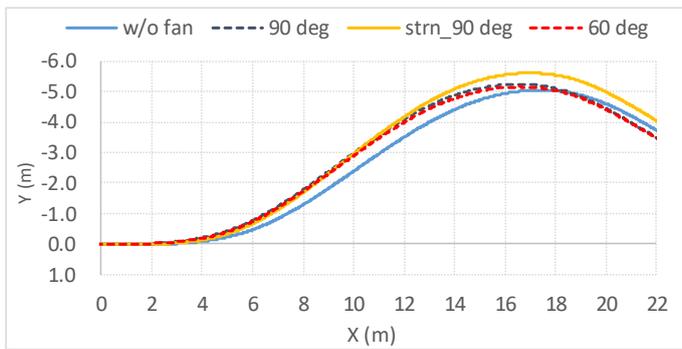


(a) 直進曳航時

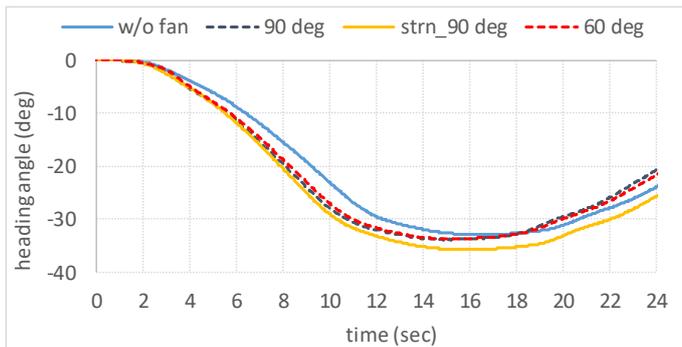


(b) 斜航曳航時

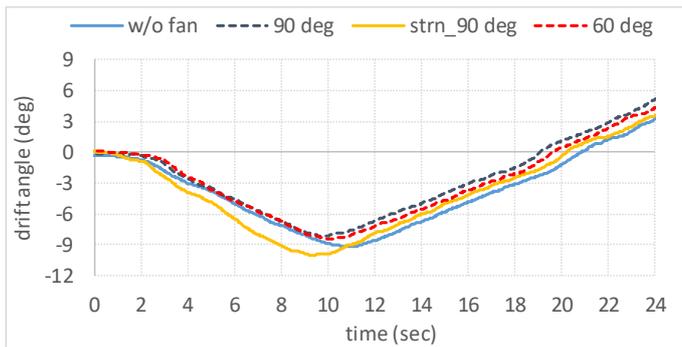
図2: 波漂流力の船速影響、斜航影響と既存の推定法(上野, 2000)の検証



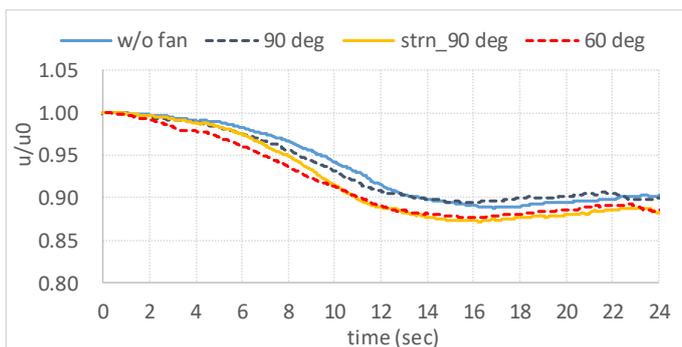
(a) 航跡の比較



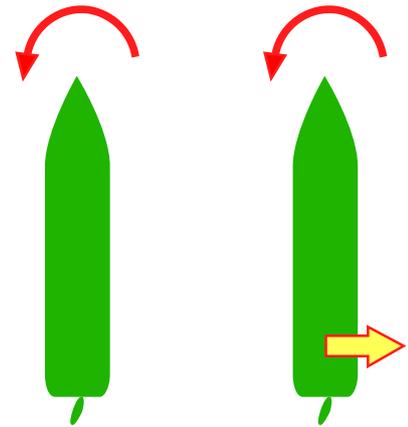
(b) 船首方位角の比較



(c) 斜航角の比較

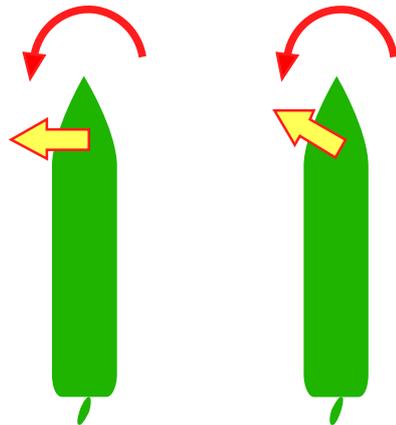


(d) 船速低下の比較



① w/o fan

② strn\_90deg



③ 90deg

④ 60deg

図3: 効率的な変針による衝突回避装置の水槽実験による検証 (20度Z試験: タンカー船型)

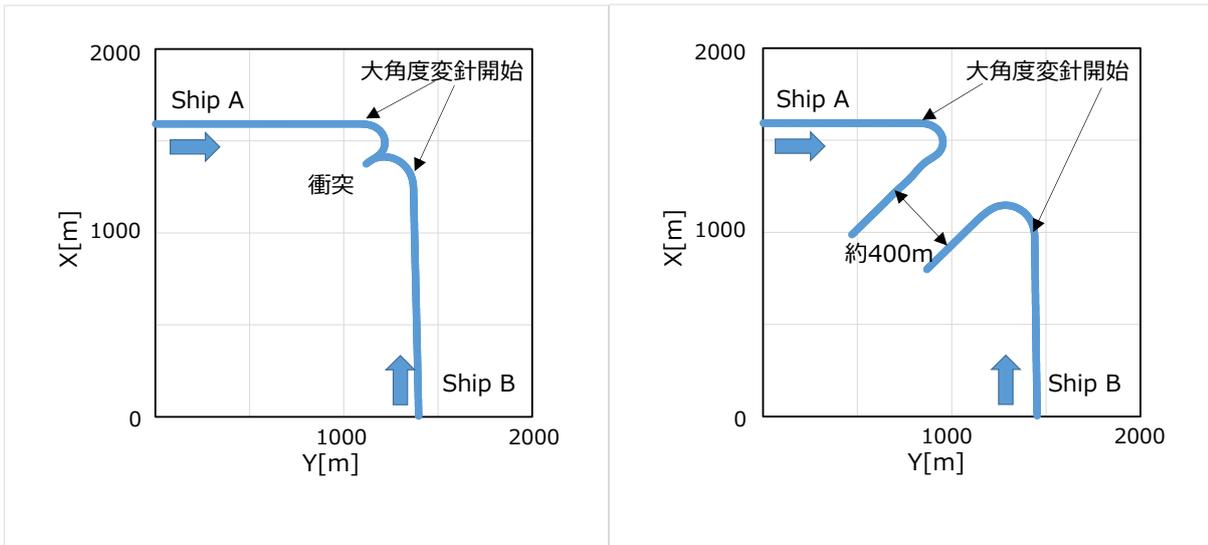


図4：緊急自動衝突回避システムによる航跡  
 (左図：システム稼働時期が遅く衝突に至った例、右図：適切なシステム稼働により衝突を回避した例)

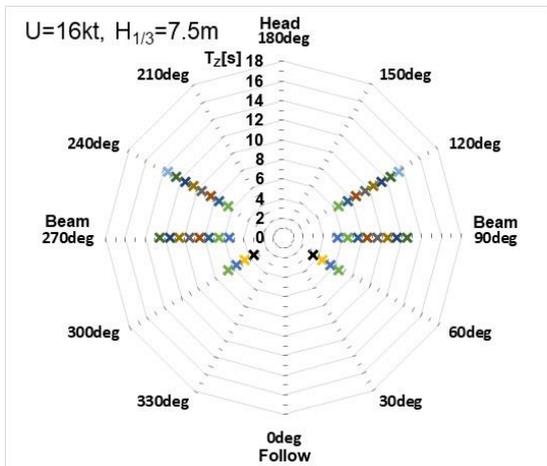


図5：コンテナ船の過大加速度の危険度評価法による操船支援

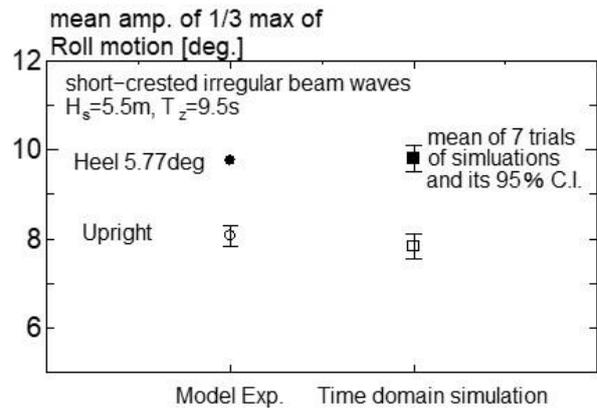


図6：短波頂不規則波中傾斜時の時間領域船体運動計算結果と模型実験との比較

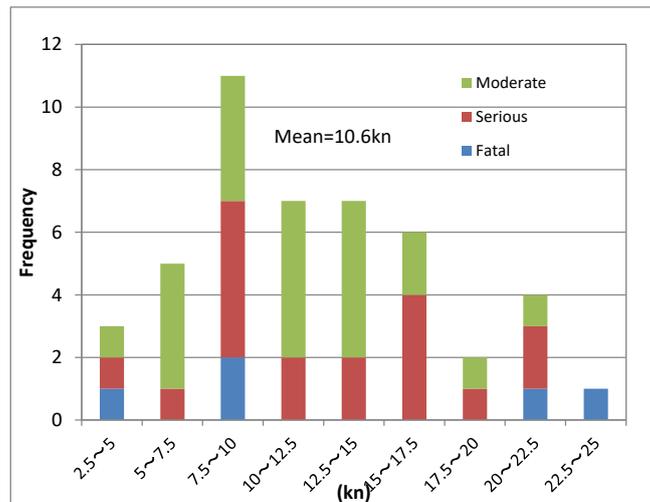


図7：衝突(単)事故時の速力と損傷程度の関係 (Moderate:外板亀裂・凹損、Serious:外板破口、Fatal:船内区画浸水及び転覆・沈没)

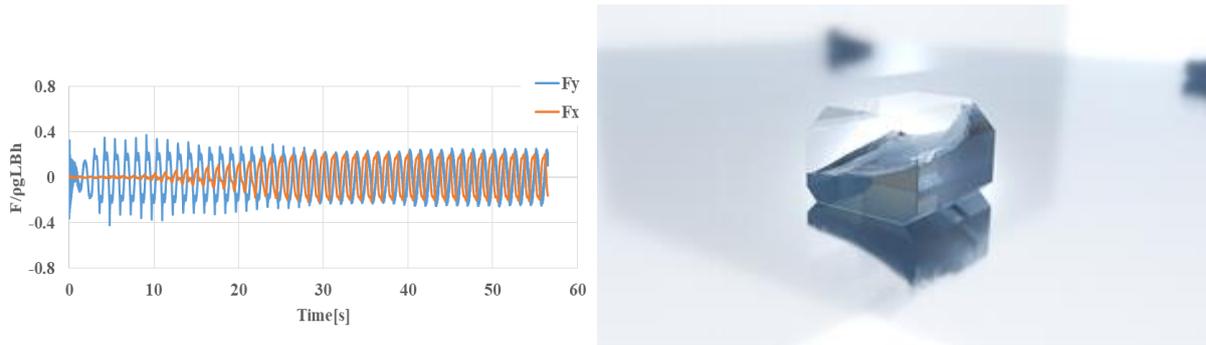


図8：スワーリング現象の数値シミュレーション  
(左図：タンクに作用する流体力、右図：可視化した自由表面)

### 成果の公表

#### □発表論文

##### ・査読論文誌

- (1) Suzuki R. et al., Estimation of full-scale ship manoeuvrability in adverse weather using free-running model test, Ocean engineering, 2019 (投稿中).

##### ・その他

- (1) 鈴木良介ほか, 操縦性と耐航性の数学モデルを統合した運動方程式による波浪中旋回時の船体運動推定, 海上技術安全研究所報告 第19巻 別紙 第19回研究発表会講演集, 2019.7., pp.94-95.
- (2) Suzuki R. et al., Free-running model test using rudder effectiveness and speed response correction, and wind loads simulator, Proceedings of AMT'19, 2019.10.
- (3) Suzuki R. et al., Development and utilization of FMT method for direct evaluation of full-scale ship manoeuvring limit in adverse weather conditions, Seminar at the Institute of Marine Engineering of the National Research Council of Italy (CNR-INM), 2019.10., (非公開資料).
- (4) Suzuki R. et al., Prediction of manoeuvring motion in waves for KCS using a unified method, Proceedings of SIMMAN2020, 2020.6. (予定).
- (5) 鈴木良介ほか, 規則波中保針航行時の6自由度船体運動計算, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 30, 2020.5.(予定).
- (6) 河村昂軌, GPU クラスタを用いた粒子法によるLNGタンクのスロッシングとスワーリング計算, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 30, 2020.5.(予定).

#### □出願特許

- (1) 初期旋回性能向上装置 (予定)

#### □IMO 資料

- (1) Sample calculations of excessive acceleration failure mode, SDC7/INF.4.

### 主な評価軸に基づく自己分析

- 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
- 提案・検証した保針航行時の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り、海上における「安全・安心の確保」につながる。
- 国際海事機関（IMO）において審議中の第2世代非損傷時復原性基準の対象とされている5つの復原性事故モードの内、過大加速度モードの評価手法を提案し、簡易基準及び直接復原性評価の暫定ガイドライン策定に貢献したことから、国の方針に適合し、社会的価値（安全・安心の確保）の創出に貢献するものとする。
- 成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
- 船体動揺を含めた波浪中の操縦運動を評価するための計算法の多くは検討段階にあり、特に本研究で採用した耐航性理論と操縦性理論を統合したモデルに関して、船速低下や船体動揺まで含めた詳細な模型実験との比較や検証を行った研究は貴重である。
- IMOの操縦性能基準では航海速力での旋回性能や保針性能のみが規定されており、輻輳海域における船速での性能については問われていない。船舶を短時間で変針させるという性能向上の観点から衝突事故を回避することを目的とした研究は初めてと思われる。
- 避航操船の研究は、これまでも行われているが、相手船との距離が3海里前後の場合からの避航開始が多く、異常接近時を対象としたものは少ない。

- 成果が期待された時期に創出されているか。
- 荒天下の操船性能維持を目的とした最低機関出力の暫定ガイドランがEEDI規制Phase2の2020年まで延期されることが決まり、現行の簡易評価手法に代わって波浪中性能を適切に推定する手法の構築が強く望まれている中、本研究成果はその方向性に応えるものと考えられる。
- IMOの操縦性基準ができてからも船の衝突・座礁事故は依然として海難事故の半分以上を占めており、長い間その減少が強く望まれている。
- IMOの第2世代非損傷時復原性基準は本年2月のSDC小委員会で合意され、研究成果は期待された時期に創出されたと考える。
  
- 成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
- 海難事故減少に実効性のある基準策定に向けた研究は国際的に見ても意義深く、他に先駆けて本課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。
- GHG排出削減のために大型商船の低速航行化は今後も加速していくと考えられる。また国内でも、船技協を中心として、超低速船に関する検討会が立ち上がろうとしている。本研究で提案する計算法は、低速船の外乱下航行安全性を評価可する計算法になり得る。そのため、本研究成果は国際競争力の向上につながると考えられる。
  
- 萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
- 波浪中の操縦性能推定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る。

**H28年度からR1年度の実績およびR4年度までの計画**

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1年度)	<b>A</b>

**【年度評価に関するコメント】**

- 規則波中を保針航行時の船の操縦運動(船速低下や当舵)ならびに波浪動揺といった6自由度の船体運動を推定可能にしたことは、今後荒天下の操船限界手法を確立する上での重要な基礎技術になると考えられる。
- 衝突事故を減らすため、至近距離にまで衝突が迫った段階における緊急自動避航手法の研究は自律船等を含めたより船の衝突に対する新たな視点を与える研究になると考えられる。
- 復原性に起因する波浪中の危険事象のひとつである横加速度に着目し、船速、波向き等操船要素を含む運航危険性評価法と操船支援法をIMOで審議されている第2世代非損傷時復原性基準策定状況を考慮しながら構築したことは、国際的にも安心・安全な社会に貢献していると考えられる。

**【中間評価に関するコメント】**

- 衝突事故を減らすための停止性能を船の性能面から分析して新しい停止性能基準の考え方を示したことは実効性のある停止性能基準策定に向けての議論の基礎になると考えられる。至近距離にまで衝突が迫った段階における避航操船手法の研究は自律船等を含めたより船の衝突に対する新たな視点を与える研究になると考えられる。
- 本年度までに規則波中での6自由度の船体運動の推定法を提案し、旋回運動や保針航行といった様々な操縦運動状態、また痩せ形船や肥大船といった幅広い船型への適用性を明らかにした。これは、今後荒天下の操船限界手法を確立する上での重要な基礎技術になると考えられる。また、波浪中の操縦性能と船体動揺に代表される耐航性能の両面からの船舶航行安全性を評価し得るものである。さらに、波漂流力の斜航影響といった外乱下船体運動推定に影響を及ぼす様々な要因を分析的に明らかにしたことは、実船尺度での操船限界評価の推定精度向上につながると考えられる。
- 長時間造波が可能な実海域再現水槽の特徴を最大限に活かした模型実験結果を基にした研究は学術的な成果の創出として意義深いだけでなく、不規則波中横加速度に関するIMO第2世代非損傷時復原性基準の審議に重要な役割を果たしていることから国際的にも安心・安全な社会に貢献していると考えられる。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素 (CO2)、窒素酸化物 (NOx)、硫黄酸化物 (SOx) 等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン (BC) 等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質 (PM) 等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素 (CO2)、窒素酸化物 (NOx)、硫黄酸化物 (SOx) 等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン (BC) 等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発</p> <p>ーテストエンジンを用いた計測データに基づく船舶排出量データの精度検証、PM 及び PM2.5 前駆物質の実船計測を実施する。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>ー排ガス規制対応のための計測・分析技術の開発、燃料・排ガス中の環境負荷物質評価手法の確立、SOx スクラバの小型化のための技術開発、SOx・GHG 排出削減規制対策のための排ガス処理技術開発を実施する。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 (NOx)、硫黄酸化物 (SOx) 等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン (BC) 等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、

- 排ガス規制対応のための計測・分析技術の高度化

- 排ガス処理技術の高度化に関する研究
- 船舶から排出されるPM等の環境影響評価技術の高度化
- 次世代燃料の燃焼性評価手法の確立

#### 研究目標

- 陸上から個船ごとにSOx濃度を計測するシステムの開発（不適合油対策）
- 排ガス・排水等、トータルでの環境負荷低減を目指した排ガス処理システムの開発
- SOx規制対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術
- 大気質シミュレーションにより規制の効果を評価。船舶の大気汚染への寄与率を低くするような燃料・運航条件を提案

上記成果は、2020年からの燃料の硫黄分規制に対応して、行政、業界の要望に応える形での小型スクラバや燃焼改善、計測システムなどの技術開発を行うことで、今後の燃料多様化も対応可能となり海洋環境が保全される。また、先駆的な技術開発により我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。さらに、実験で得られた排ガス計測データ（BC、PM、NOx、GHG等）やAISデータ等を活用した大気質シミュレーションの結果は、国内だけでなく、IMOにおける議論においても学術的根拠として活用される。

#### R1年度の研究内容

- 2020年から開始される硫黄分規制に伴って低硫黄化された適合油（LSC）を用いた、ラボ試験及び実船トライアルの実施
- 小型SOxスクラバのための技術開発
- 各種排ガス処理装置の調査
- 船舶起源の大気汚染物質の排出濃度分布を図示するシステムを構築。
- SOx規制対応燃料における想定燃料（低セタン指数燃料）の燃焼性評価モデル構築。

#### R1年度の実績

- 昨年度に続き、2020年以降に提供される適合油（LSC）の性状動向の調査及びその性状変化が船舶での使用条件に与える影響（着火・燃焼性、低粘度化と高流動点化、安定性など）について検討した。今年度は、ラボ試験だけでなく、実船トライアルも実施し、船舶で使用するにあたって必要となる対策や留意事項について確認した。
- 内航船舶にSOxスクラバを搭載することを想定して並行流ジェット式の小型スクラバを製作し、規制に対応できる脱硫性能を達成する条件を調査した（図3）。
- ブラックカーボン等の削減技術が、他の排ガス成分または環境負荷物質の排出に与える影響を考慮して、各削減技術のメリット・デメリット、実現性、入手性等について調査をおこなった。
- 日本周辺におけるPM濃度及びその船舶寄与度などを評価するため、日本周辺海域における船舶起源の大気汚染物質の排出濃度の分布を図示するシステムを構築した。
- 想定される低硫黄燃料に対して、着火性を評価するための基礎的研究として、燃料噴霧内外の温度推定手法を確立した。また、着火性の異なる燃料の燃焼性評価をおこなった。

#### R1年度の研究成果

- 2020年以降に提供される適合油（LSC）の性状動向の調査及びその性状が船舶での使用条件に与える影響（着火・燃焼性、低粘度化と高流動点化、安定性など）について検討した。今年度は、ラボ試験（図1）だけでなく、実船トライアル（図2）も実施し、HSCを提供しているバンカリング船におけるLSC補油についての課題調査や、船舶で使用するにあたって必要となる対策や留意事項について確認した。
- 内航船舶にSOxスクラバを搭載することを想定して小型並行流ジェット式スクラバを製作し、種々の噴射ノズルを組み合わせ、規制に対応できる脱硫性能を達成する条件を調査した（図3）。その結果、機関の負荷率が高く、排ガス流量が多い場合でも、噴射ノズルを組み合わせることで十分な脱硫性能が確認された。
- 日本周辺海域における船舶起源の大気汚染物質の排出濃度分布を図示するシステムを構築した。輻輳海域等の航跡の密集する海域での空間指定・経時変化を把握するための期間指定、あるいは船型別濃度を把握するための船型指定ができるプログラムとした。図示する排出量データは時々刻々の航跡データを記述するAISの出力に基づくため容量が膨大となるため、月毎リレーショナルデータモデルで出力・整理するシステムとした（図4）。
- 燃料噴霧内外の温度推定手法を確立し、特別な計測手法や仮定を用いることなく解析的に火炎温度を推定できるようにした。これまでは、気体の状態方程式から求められる平均的な温度のみだったが、より詳細な解析が可能になった。火炎温度は2000K程度（図5(a)中央部）となり、既往研究の結果とほぼ一致した結果が得られた。また、図5(b)に示すように壁面温度からの熱流束解析を実施し、噴射圧力ごとの壁面への移動熱量の評価も行えるようにした。また、同一セタン指数（現在、留出油の着火性指標として使用されている）の4種類の燃料を対象に実験をおこなった。着火性評価の他に全量の排気からフィルタによって捕集されたすすの排出を評価したところ、図5(c)に示すように、同一セタン指数でもすすの排出には大きな違いが現れることが明らかになった。すなわち、セタン指数のみでは排出量予測はできないので、燃焼試験が必要であることを示唆している。

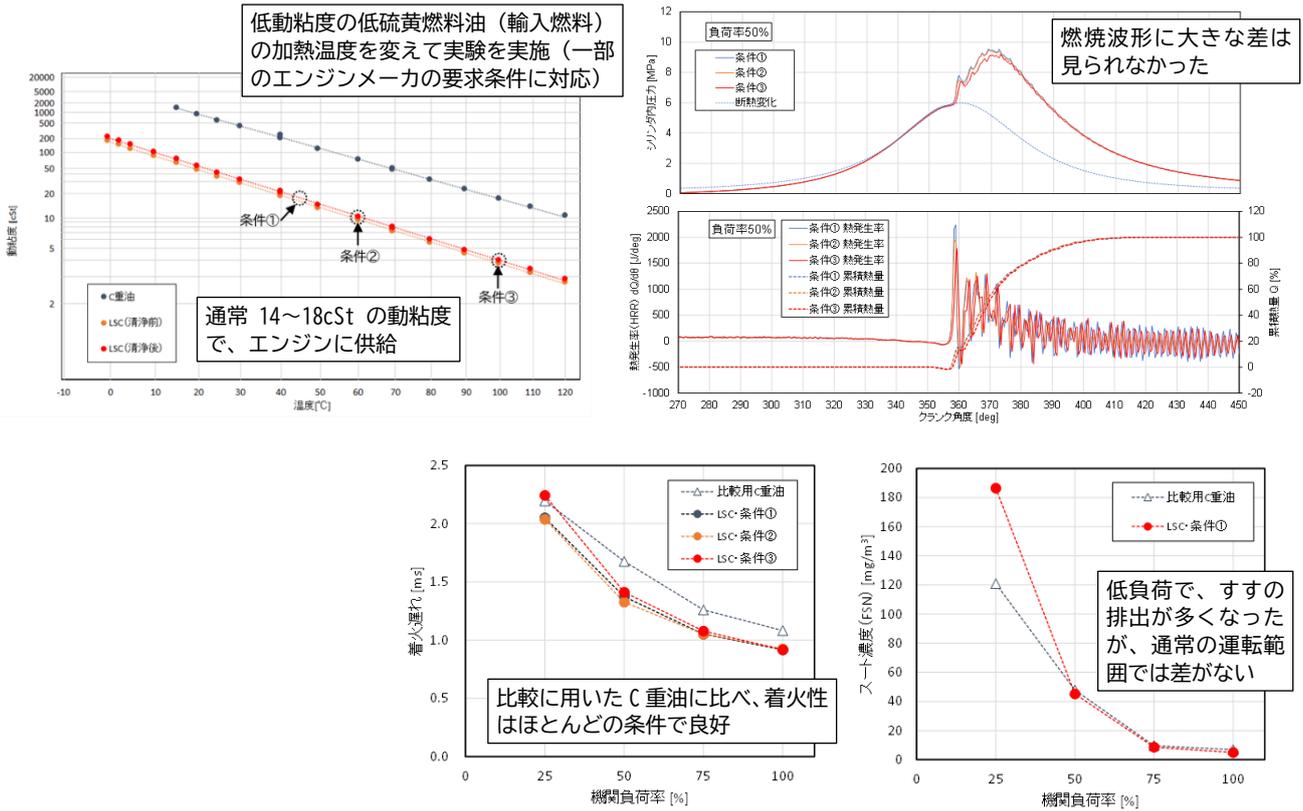


図1 適合油の陸上試験結果の一例（輸入燃料の利用可能性の検討）

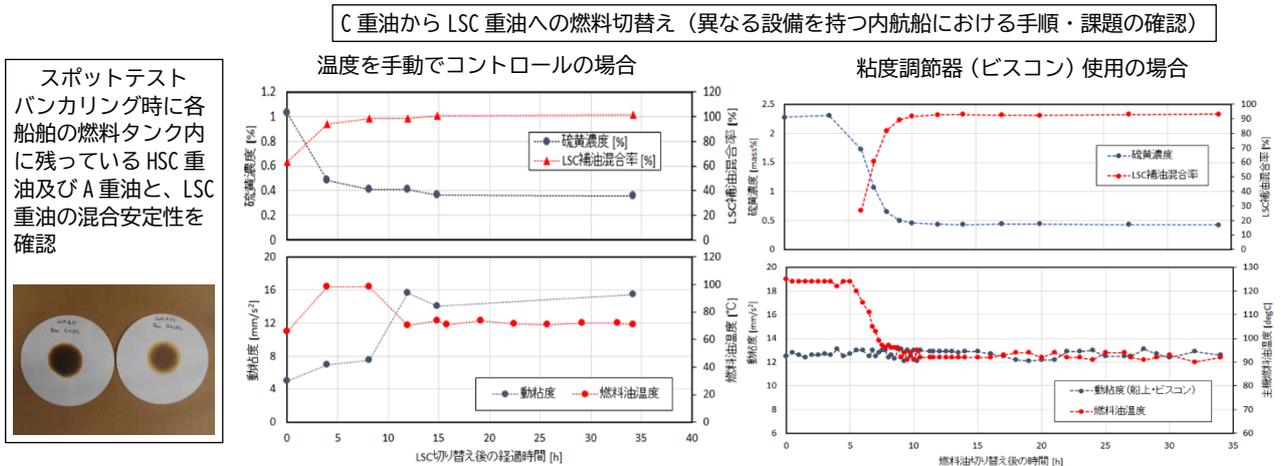


図2 適合油の実船トライアル（499GT 小型貨物船～14,000GT 級 RoRo 船など 12 隻で実施）

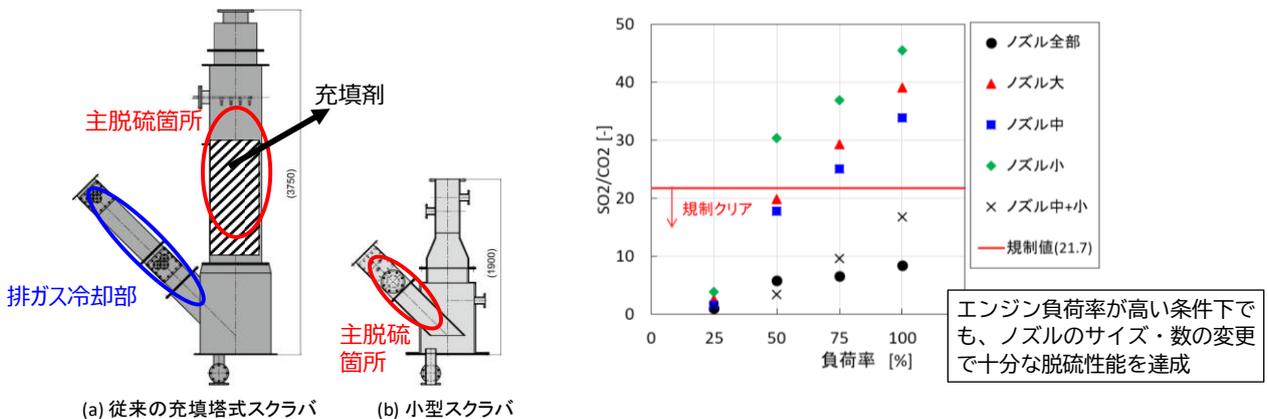


図3 小型スクラバの開発

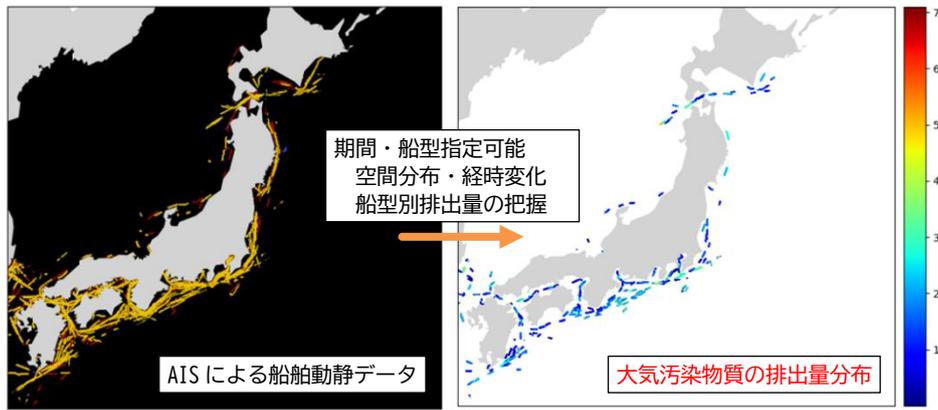
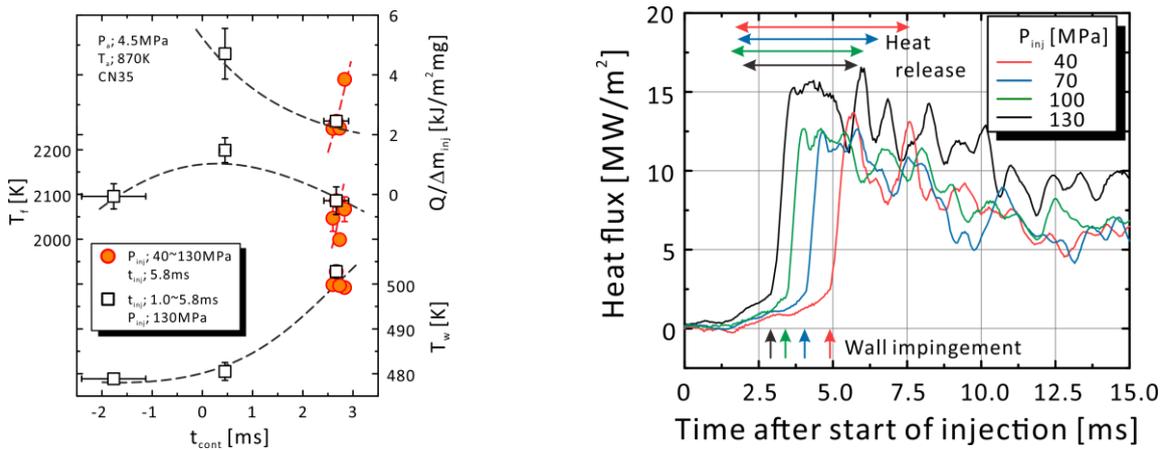
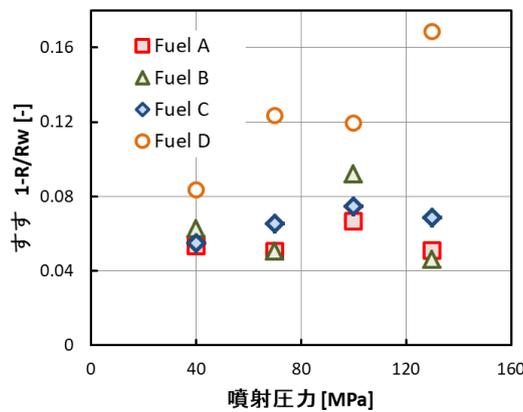


図4 日本周辺海域における船舶起源の大気汚染物質の排出量分布



(a) 特別な計測手法や仮定を用いることなく解析的に火炎温度を推定する手法を確立

(b) 壁面への移動熱量が評価可能になり、シリンダー内の燃焼過程がより精密に評価可能となった



(c) 同じセタン指数 (ISO8217 で定められている着火性指標) を持つ組成の異なる4種類の燃料を使用。急速圧縮装置を用いて、着火・燃焼プロセスを観察。スス発生量も計測。→同一セタン指数燃料でも、すす排出量が異なる。セタン指数のみでは排出量予測はできないので、燃焼試験必要

図5 燃料の燃焼性評価手法の検討

成果の公表

□ 発表論文

・ 査読論文誌

- (1) 大橋厚人, 中村真由子, PM 計測における排気採取位置の影響, 日本マリンエンジニアリング学会誌 第54巻第4号(2019), 644-649.
- (2) 高木正英, 今井康雄, 川内智詞, 林利昭, 長谷川貴将, 渡邊学, 分解軽油の混合がディーゼル噴霧の着火, 燃焼特性に及ぼす影響, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 掲載決定
- (3) 高木正英, 川内智詞, 今井康雄, 橋本望, 内藤雄心, 渡邊学, 長谷川貴将, 林利昭, 市場燃料に適用できる液滴蒸発モデルによるセタン指数と蒸発性に関する数値解析, 自動車技術会 3月中投稿

・ その他

- (1) 高橋千織, 益田晶子, 中村真由子: 大気環境規制の動向と燃料多様化が規制対策に及ぼす影響, マリンエンジニアリング, 54巻3号, pp.328 - 333, 2019年5月
- (2) 益田晶子, 船用機関から排出されるPM・ブラックカーボンの計測と削減方法について, 自動車技術会,

2019年5月

- (3) 高橋千織, IMO 排ガス規制動向と排ガス低減技術の紹介, Horiba Technical Report Readout, 52号, pp.12-19, 2019年6月
- (4) 平田宏一, 市川泰久, 高橋千織, 益田晶子, 中村真由子, 馬駿, SOx スクラバの小型化に関する研究, 海上技術安全研究所報告(海技研研究発表会講演集)第19巻別冊, pp.112-113, 2019年7月.
- (5) 平田宏一, 低硫黄燃料油の実船トライアルについて, 日本船用工業会第27回船用技術フォーラム(講演), 2019年9月.
- (6) 高橋千織, 益田晶子, 安藤裕友, 松本怜大: 排ガス洗浄装置に係る国際規格化への取り組み(総合報告), 海上技術安全研究所報告, 第19巻, 第2号, pp.331-338, 2019年9月
- (7) 馬駿, 益田晶子, 船用ジェット式スクラバによるBC粒子除去メカニズム解明に向けた数値計算, 第60回大気環境学会年会講演要旨集, 2019年9月
- (8) 中村真由子, 大橋厚人, 益田晶子, 高橋千織, サーマルオプティカル法による船用ディーゼル機関排ガス中の炭素成分分析に関する検討(第4報:昇温設定の検討), 第60回大気環境学会年会講演要旨集, 2019年9月
- (9) 中村真由子, 大橋厚人, 益田晶子, 高橋千織, サーマルオプティカル法による船用ディーゼル機関排ガス中の炭素成分分析に関する検討(第5報:船用機関排ガス用プロトコルの提案), 第60回大気環境学会年会講演要旨集, 2019年9月
- (10) 安達雅樹, 脱硫スクラバー船とLNG燃料船に関する統計分析, 第89回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会講演集, OS2-6, pp.169-170, 2019年9月
- (11) 益田晶子, 国際海運における環境規制動向, 第60回大気環境学会年会, 2019年9月
- (12) 高木正英, 今井康雄, 川内智詞, ディーゼル燃焼における壁面熱伝達とすすの関係, 第89回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.303-304, 2019年10月
- (13) 馬駿, 益田, 小型化に向けた船用ジェット式スクラバによるSOx除去に関する数値計算 第89回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, 2019年10月
- (14) 高橋千織, 中村真由子, 2020年適合油における着火・燃焼性評価法の検討, 第89回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.147-148, 2019年10月
- (15) 高崎講二, 竹田充志, 高橋千織, 岡崎航介, 2020年適合油に対するCCAIの有効性, 第89回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.149-150, 2019年10月
- (16) 平田宏一, 低硫黄燃料油の実船トライアルについて, 第19回海上技術安全研究所講演会ランチョンセミナー(講演), 2019年11月.
- (17) 高橋千織, 林利昭, 低硫黄燃料油の供給とその燃料性状, 日本船舶海洋工学会誌KANRIN, 第78号, 2019年11月
- (18) 高橋千織, 船舶用燃料油の組成と着火・燃焼性, 石油学会2019石油製品討論会予稿集(CD配布), 2019年12月

#### 主な評価軸に基づく自己分析

- 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか。
- 適合燃料油に関する研究は、2020年に導入されるグローバル・キャップに対する国および関連業界団体からの強い要望に応える形で実施した。適合燃料油導入に伴う燃料性状の変化と、それに起因する懸念を払拭し、関係省庁、石油元売り、船会社、エンジン及び船用機器メーカー等の協力を得て取り組んだ。本件はIMO、ISO改定の議論とも関連するが、特に国内では燃料のアベイラビリティを確保する目的もあり、社会的価値の高い重要な課題である。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
- 内航船舶に搭載可能な小型スクラバ開発は社会ニーズに対応した技術であるだけでなく、得られた詳細な研究成果は、社会的価値(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)に資する結果に該当する。
- PM等の精緻な排出量データ等については、今後、IMOおよび日本国内における規制検討が開始された場合、合理的な規制の検討に貢献することができ、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減等)の創出に貢献するものである
- 成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。
- 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、新規性が高い。今年度はさらにススの発生予測まで拡張しており、科学的意義は大きい。
- AISデータを利用した船舶由来の大気汚染物質の排出量推定プログラムは、位置的、時間的変化を船型別に把握できるようにしている。膨大なデータ量を処理するため、月毎リレーショナルデータモデルを利用しており、新規性がある。対象物質の変更も排出量基礎データがあれば簡易に変更でき、発展性が期待できる。
- 成果が期待された時期に創出されているか。
- 2020年に導入されるグローバル・キャップに対応した研究であり、関連業界団体の協力の下、早い段階か

ら実験と理論の両面から取り組んでいる。規制導入前に十分な情報発信ができた。また、規制導入後も燃料性状の変化に注視しており、個別のトラブル対応や今後の ISO や IMO での議論にも対応していく予定である。

- 内航船舶に搭載可能な小型スクラバの開発については、燃料価格の動向が明らかになってきたことから、硫黄分規制へのオプションとして、改めて注目を集めている。
- 船舶由来の大気汚染物質を対象とする規制については IMO 等でも議論されており、得られた各種データ及び知見はそれら議論における学術的根拠として活用される。

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

- 内航船舶に搭載可能な小型スクラバの開発で得られた詳細な検討事項は、IMO 等国際的な場での議論にも活用され、その意義は大きい。
- 低セタン指数燃料に関する研究は、世界的な石油精製技術の進展により生じる燃料基材（LCO）に関連する研究であり、その意義は十分に大きい。

○萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

- 本研究は、萌芽的研究に該当しない。

**H28 年度から R1 年度の実績および R4 年度までの計画**

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>B</b>

**【年度評価に関するコメント】**

2020 年に導入されるグローバル・キャップへの対応は、国および関連業界団体からの強い要望に応える形で実施した。関係省庁、石油元売り、船会社、エンジン及び船用機器メーカー等の協力を得て取り組んだ結果、規制後の燃料性状の変化に関する基本的な知見を得るとともに、業界へ向けたガイダンスを規制導入前に示すことができ、懸念を払拭することができた。内航船用小型スクラバの開発も含め、国内における燃料のアベイラビリティを確保するための社会的価値の高い重要な課題である。

**【中間評価に関するコメント】**

社会ニーズに応じて、柔軟に計画を変更しつつ、IMO、ISO への貢献も意識しつつ研究を実施してきた。実用的な課題を払しょくするための研究（硫黄分規制、小型スクラバ、スクラバ排水のモニタリング装置の ISO 化など）と、科学的かつ将来的に非常に重要となる研究（PM 分析プロトコルの開発、船舶由来の大気汚染物質の排出量推定プログラムの開発、燃料着火性指標の評価など）を実施しており、十分な成果を上げている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

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

<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆5 実海域実船性能評価に関する研究</b>
--------------	-----------------------------

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) 等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) 等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン (BC) 等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 —実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を継続する。本年度は、標準化した実船モニタリング解析法を用い、経年劣化・生物汚損影響評価を検討する。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 (CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) 等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン (BC) 等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築。具体的には、

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

**研究目標**

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

上記成果は、以下の事が期待される。

- ①極めて省エネ効果の高い船型・省エネデバイス開発が可能となり、省エネルギーが強化され、海洋環境が保護される。合理的な燃費報告規制により、実海域での省エネ運航が可能となり、GHG の削減が図られる。また、推進プラントの実海域性能向上により更なる省エネが実現される。さらに、海事クラスター共同研究での人材育成を通じ我が国海事産業（クラスター）競争力強化に資する。
- ②国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。また、革新的省エネ技術の実現により、我が国造船業の国際競争力が強化されるとともに、最適(エコ)運航システムの実現により、

我が国海運のコスト低減が達成される。実海域での実船性能を直接水槽試験で評価可能となり新たな推進プラントの開発が促進され、我が国海洋産業の国際競争力が強化される。

- ③船舶の省エネ化、推進プラントの実海域性能向上により、国際海運の排出する温室効果ガスが削減され、地球環境が保全される。また、運航技量評価方法等により、燃費報告規制的確な実施が図られ、IMO等の期待に応えられる。さらに、北極海航路の性能推定技術により、ポーラーコード等の技術的要請に応えられる。

#### R1年度の研究内容

- 実船モニタリングデータによる実海域性能評価のガイドライン案を作成する。
- 波浪中および風圧力 CFD 計算法を作成する。
- 波浪中試験及び風洞試験法を作成する。
- 実海域性能評価法の計算手順の作成、プログラム化、検証を行う。
- 実海域実船性能評価手法に関する国際動向調査、海外船社へのヒアリングを行う。
- 最適運航システムの開発の一環として、氷海対応 VESTA (VESTA-ICE) の対象船型拡張及びウェザールーティングへの VESTA 活用のための環境構築
- 出会い海象に応じて主機電子ガバナーゲインを目的に応じて自動調整するアルゴリズムの開発と、数値計算及び主機特性自航装置を用いた模型試験による実証
- 前年度までに開発している主機特性自航装置を用いる水槽試験法の汎用化を目的として、これまでの自由航走方式による試験法を曳航試験方式に適用するための検討を行う
- 推進プラントエンジンのデジタルツインを開発するために運転状態に応じてモデルパラメータ同定するアルゴリズムの開発を行う。
- 推進システムの異常検知を目的としてインテリジェントモニタリングアルゴリズムの開発を行う。
- 一般商船を対象とした船型・流場データベース作成の効率化を目的として伴流設計システムの拡張を図る。
- 船型とプロペラ、そして省エネ付加物を一体的に最適設計するシステムの構築を目的とし、伴流設計システムの知見を応用した省エネ付加物の検討を行う。
- 流場計測技術の高度化に向け、長手方向に複数断面の 2D3C PIV 計測を行い実験データから 3次元渦構造を再構築、CFD 計算結果と比較を行う。
- 400m 水槽における 2D3C PIV 計測の実現のために、マイクロバブルをトレーサとした PIV 計測を実施し、課題等を抽出する。
- キャビテーションと船尾流場の関係を明らかにすることを目的として、大型キャビテーション水槽に流場計測技術の構築を行う。
- 流場計測データと CFD 等の数値計算を組み合わせたデータ同化手法について検討を開始する。
- 超低速船の推進性能および技術課題を明らかにする。
- 空気潤滑法における気泡吹出周波数制御による摩擦抵抗低減効果を確認する。
- 弾性表面波デバイスによる効果的な乱流摩擦抵抗低減法の探索を実施する。
- プロペラ水中騒音の実船と模型の相関を把握する。

#### R1年度の実績

- 実船モニタリングデータからの平水中性能抽出法として、RCM (Resistance Criteria Method) を開発し、そのガイドラインを作成した。
- 実船性能評価のための汚損、経年影響評価法について検討した。
- 実船の慣動半径の標準値について実船データの調査及び文献調査を実施した。
- 波浪中計算法の作成のために CFD により全方位波中の抵抗増加計算を実施した。
- 風圧力計算法の作成のために CFD により風圧力計算を実施した。また、同計算法を ITTC で作成中の CFD による風圧力計算ガイドライン案に反映するよう委員会活動を通じて働きかけ、合意された。
- 波浪中試験、風洞試験の推奨実施・解析法を作成した。波浪中試験法については海外での比較試験結果を用いてその妥当性を確認した。
- ライフサイクルの実海域実船性能を評価する標準航路・海象の設定を検討し、計算法を開発した。
- 評価手法の想定ユーザーである国内外船社へのヒアリングを実施した。
- EU-MRV データ及び北極海航路を通航した船舶の燃料消費等の分析を行い、分析ツールを構築した。
- 氷海対応 VESTA (VESTA-ICE) の対象船型拡張及びウェザールーティング環境構築を実施した。
- 船舶主機電子ガバナーのゲインの自動調整アルゴリズム開発のための“船体抵抗+プロペラ+主機特性の連成計算プログラム”を作成した。
- 強化学習手法に基づく主機電子ガバナーゲインの自動調整アルゴリズム設計に関する検討を行った。
- 主機特性自航装置を用いる水槽試験法を曳航方式で実施するための方法論を構築し、実際に水槽試験を実施して自由航走試験結果と比較した。
- インテリジェントモニタリングのための主機シミュレーションプログラムを作成した。
- 異常状態を検知するためカルマンフィルターを適用して因子分析を行う手法の検討を行った。
- 開発した主機シミュレーションプログラムにより、異常状態を検知するアルゴリズムの検証を実施した。
- カルマンフィルターに基づく主機モデルのパラメータ同定するアルゴリズムを設計し、就航船での実データを使い検証を実施した。

- 伴流設計技術の高度化を目的とし、伴流設計に AI 技術を適用するための船型表現手法と高速伴流推定システムの開発を行った。
- 伴流設計技術の知見を応用し、従来開発済みの省エネ付加物 (WAD/USTD) の省エネ効果をさらに高めるダクト/フィン型の省エネ付加物の検討を行った。
- 伴流設計システムの実用化 (外部提供) の手法についてクラウド環境による外部提供手法を検討した。
- ダクト型省エネ付加物の喫水影響を把握するため、FBG 圧力センサを用いた船尾圧力分布計測およびピトー管を用いた伴流分布計測の解析を実施した。
- 曳航水槽における流場計測技術の高度化を目的とし、長手方向に複数断面の 2 次元 3 成分 (2D3C) PIV 計測を行い実験データから 3 次元渦構造を再構築、CFD 計算結果と比較を行った。
- 400m 水槽における 2D3C PIV 計測の実現のために、マイクロバブルをトレーサとした PIV 計測を実施し、課題等の抽出を行った。
- キャビテーション水槽における流場計測技術の構築を目的として、PIV 計測システムの構築及び試計測を行い、課題等の抽出を行った。
- 肥大船を対象に、低速航走時の直進および斜行状態の推進性能を水槽試験にて把握した。
- 36m 長尺模型を用いた気泡吹出周波数制御による摩擦抵抗低減効果を計測した。
- 弾性表面波デバイスの試作品の改良および特性試験を実施した。
- 練習船を対象に実船及び模型船の水中騒音データを取得した。

**R1 年度の研究成果**

- 実船モニタリングデータ解析における平水中性能評価の高度化のため、見掛けスリップ比によるデータフィルタリング法を開発し、その有効性を示した。また、外乱の推定精度が良好でない場合にも一定の精度を確保できるよう、抵抗増加率に着目したフィルタリング手法として RCM(Resistance Criteria Method)を開発した (図 1)。
- 汚損・経年影響が推進性能に及ぼす影響を評価するためのシミュレーションツールを作成した (図 2)。
- 実船モニタリングにおける多層型対水流速計の利用可能性について、一般商船で実施される往復航行試験を実施し、検証データを取得した (図 3) (OCTARVIA Project と連携)。
- 実船の運航状態 (縦慣動半径、横慣動半径、横揺固有周期) について、要目ベースで推定する簡易式を作成した。
- CFD により全方位波中の抵抗増加計算を実施し (図 4)、波浪中 CFD 計算法を作成した (OCTARVIA Project と連携)。
- CFD により風圧力計算を実施し、風圧力計算法を作成した (OCTARVIA Project と連携)。また、同計算法を ITTC ガイドライン案に反映した (図 5)。
- 波浪中試験、風洞試験の推奨実施・解析法を作成した (OCTARVIA Project と連携)。波浪中試験法については海外での比較試験結果を用いてその妥当性を確認した (OCTARVIA Project と連携)。
- ライフサイクルの実海域実船性能を評価する標準航路・海象の設定を検討し、気象海象の長期統計 (GLOBUS) を利用した海象影響の評価を実施した (図 6)。

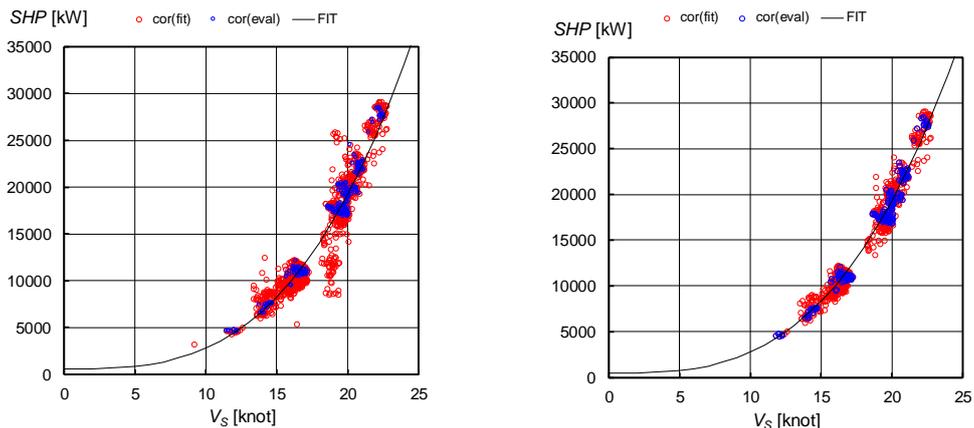


図 1 RCM による抽出した平水中性能の精度向上の例  
(左: RCM なし、右: RCM あり)

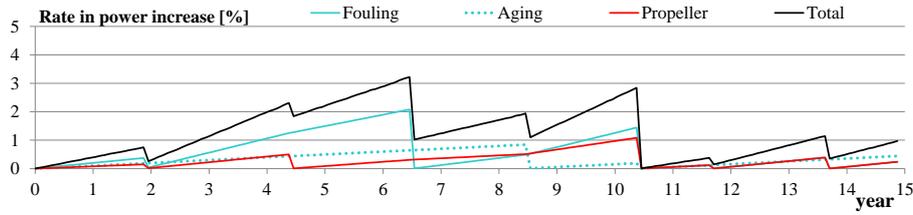


図2 汚損・経年影響による馬力増加率の時系列の例

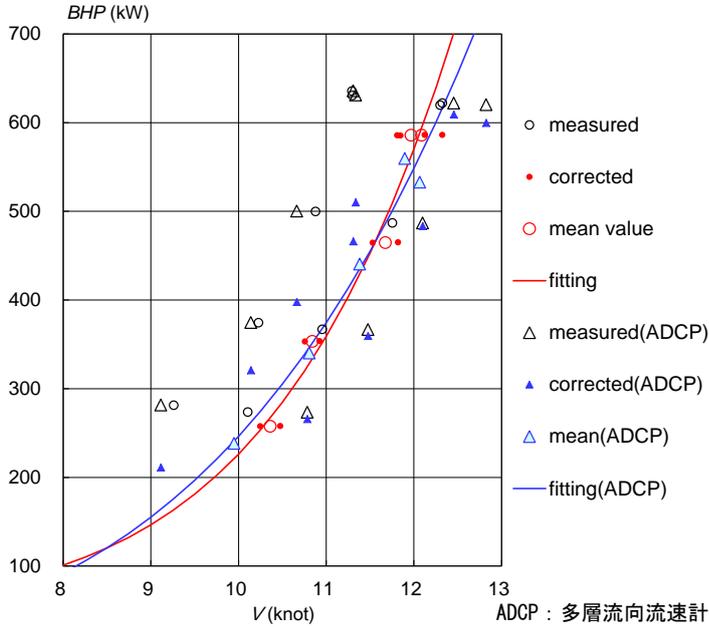


図3 ADCP計測と往復航行試験による検証データ取得 (OCTARVIA Project との協業)

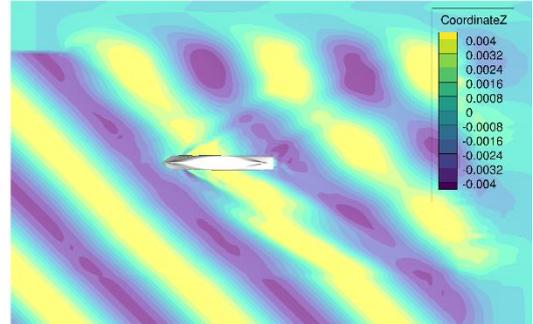


図4 CFDによる斜波中の抵抗増加計算例 (OCTARVIA Project との協業)

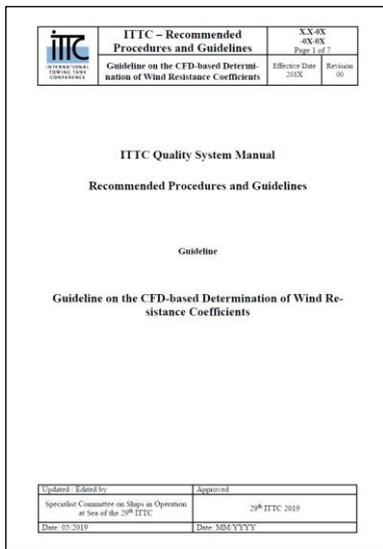


図5 成果が反映されたITTCの風CFD計算ガイドライン(案)

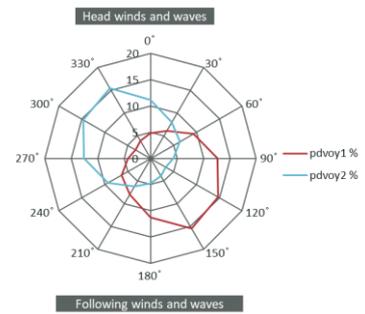
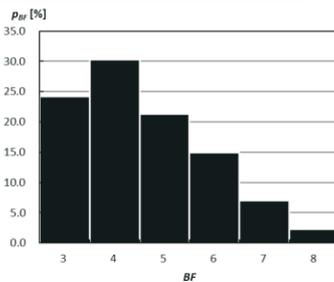


図6 長期統計(GLOBUS)を利用して調査した海象影響 (北太平洋航路)

□2018年のEU-MRVデータの分析によりアイスクラス船28隻の年間燃料消費量を抽出し、元データから欠落している年間総航路長を海水密度ごとに解析して補い、北極海航路を通航した船舶の運航性能実態を明らかにした(図7)。

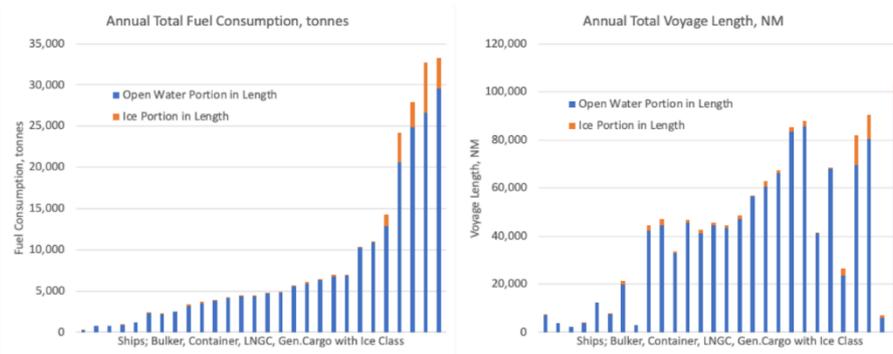


図7 アイスクラス船に関する年間燃料消費量（左）及び年間総航路長（右）  
青色は開水中、橙色は海水氷密度 15%以上の氷中を表す。

- “船体抵抗+プロペラ+主機特性の連成計算プログラム”の開発により、波浪中主機負荷変動の時系列評価とガバナーゲイン設定による影響評価が可能となった（計算例：図8）
- 主機電子ガバナーゲインの自動調整アルゴリズム設計について基本方針を定めた
- 曳航方式に展開した主機特性自航装置を用いる水槽試験法は自由航走方式と同等の計測が可能であることを実験結果から示した。

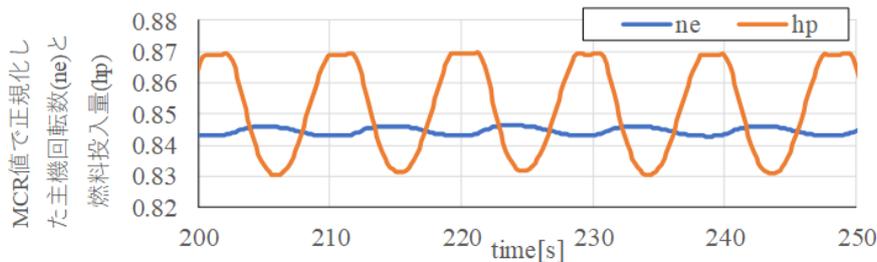


図8 開発プログラムによる規則波中（斜め向波）の波浪中主機負荷変動計算例

- 主機モデルのパラメータを同定するアルゴリズムについて基本設計を定めた（図9は計算例）。
- 主機シミュレーションプログラムに異常模擬モデルを追加し、主機の実機試験により有効性を検証した。異常状態を検知するアルゴリズムの評価が可能となった（図2は検証例）

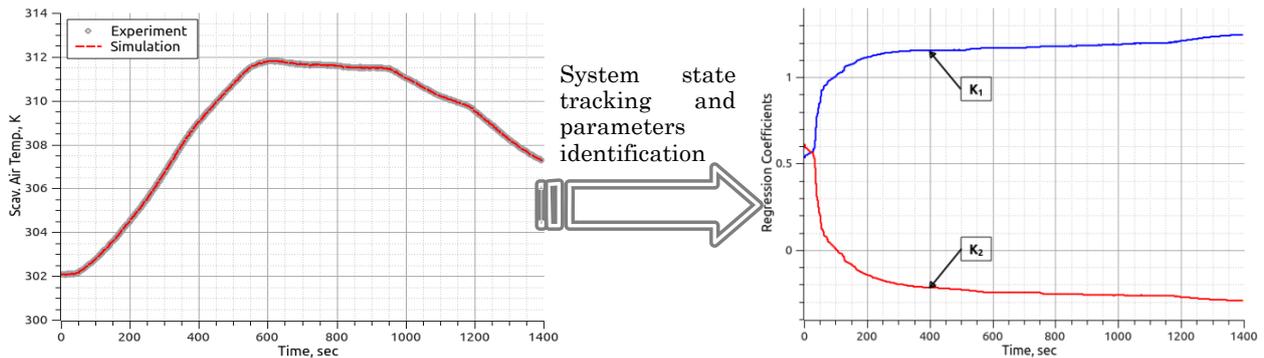


図9 主機モデルのパラメータ同定によるガバナー時定数の計算例

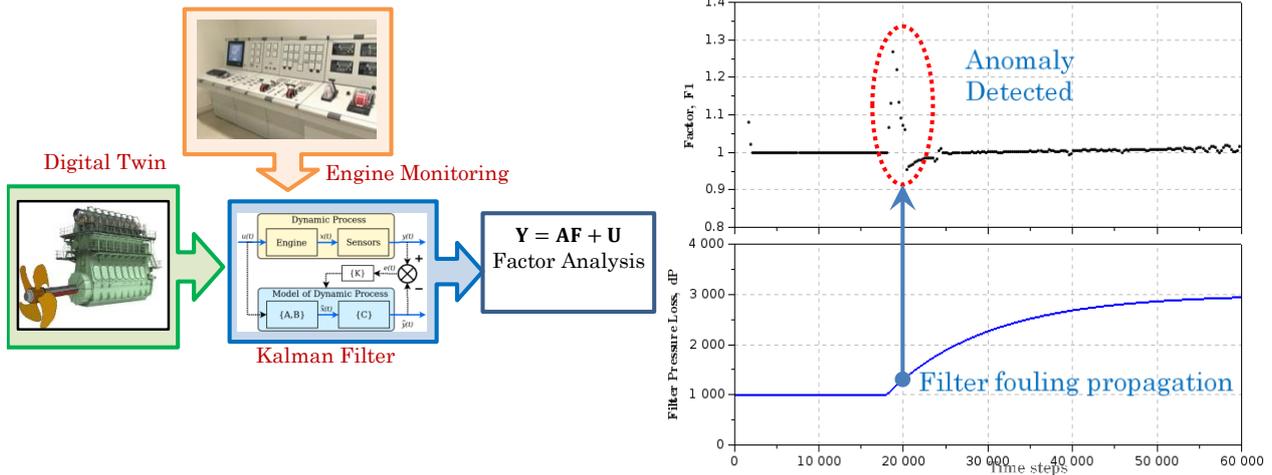


図10 主機シミュレーションプログラムによる異常検出の検証例

- AI 技術を船型設計に応用するための鍵となる船体表現手法 (IHR: Imaged-based Hull Form Representation) を開発した。
- 開発した船体表現手法 (IHR) と AI 技術のひとつである CNN (Convolutional Neural Network) を組み合わせ、従来手法 (CFD 計算) よりも数万倍高速に船尾伴流場を推定することが出来る高速伴流推定システムを開発した (図 11)。
- 内航船データベースを用いて高速伴流推定システムの推定精度の評価を行い、実用的な精度で伴流分布が推定できることを確認した。
- 伴流設計技術の知見を応用し、従来開発済みの省エネ付加物 (WAD/USTD) の省エネ効果をさらに高めるダクト/フィン型の省エネ付加物の検討を行った。
- 伴流設計システムの実用化 (外部提供) の手法についてクラウド環境による外部提供手法を検討した。クラウド準備 WG と連携し、設計ツールのクラウド環境による外部提供の実現上の課題等をリスト化した。
- FBG センサによる船尾圧力分布と PIV による長手方向複数断面の流場計測により、船尾ビルジ渦の発達過程を圧力と流場の両面から実験的に評価することが可能となった (図 12)。
- 大型キャビテーション水槽第 2 計測胴における模型船船尾まわりの PIV 計測システムの構築を行い、試計測を実施した (図 13)。その結果構築したシステムにより省エネデバイスの有無による流場への影響を評価可能なことを確認した。一方、精度向上のためにはキャリブレーションの高度化等が必要なことが明らかになった。
- ダクト型省エネ付加物の喫水影響を調査し、本対象船では満載状態よりバラスト状態のダクトによる自航要素の改善および馬力削減効果が大いことを確認した。これは、船尾縦渦の中心高さが低くなることにより、伴流分布のダクト前縁の一部面内流速の向きがプロペラ中心方向に向かうことでダクトに流入する流入速度および流入角が改善し、推力減少係数が改善していることを、水槽試験結果と CFD 結果を比較することによって明らかにした (図 14)。
- 実船 PIV 試験結果の解析を行い、実船伴流においても船尾ダクトによる流場への影響を確認することが出来た。またプロペラ位相角によってプロペラ前方流場が変化することを確認した。

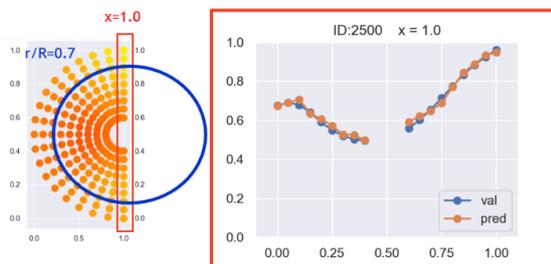


図 11 CNN による流場推定結果 (青: CFD、橙: 推定値)

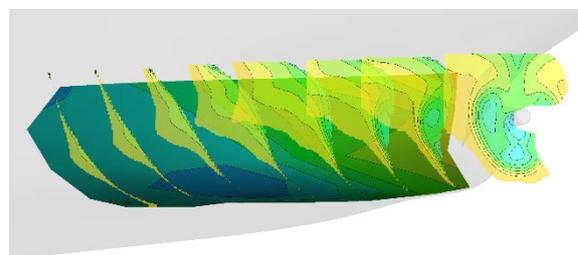


図 12 FBG センサによる船尾圧力分布と PIV による流場計測結果



図 13 大型キャビテーション水槽 PIV 計測システム

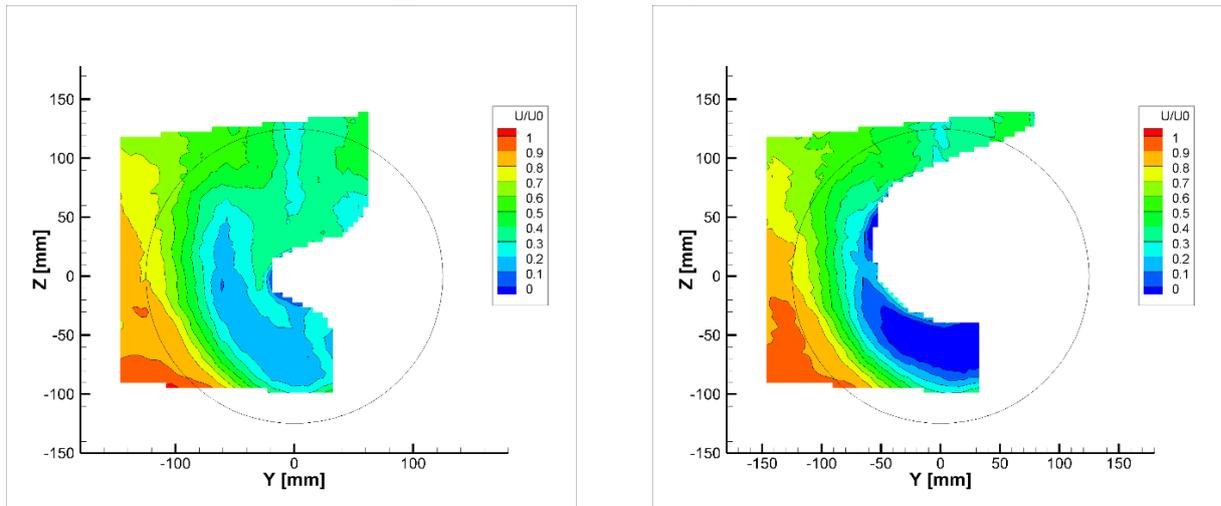


図 14 船尾付加物後方の流れ (左: 裸殻、右: 船尾ダクト付)

- 超低速肥大船開発の一環として船速約 5~16knot における抵抗・自航試験を実施し、斜航時を含めた推進性能を把握した (図 15)。10knot 相当以下の低速では計測値が小さく、かつ模型の乱流遷移が不十分と思われるため、現在の自航動力計等の計測装置では計測値のバラツキが大きくなる問題が明らかとなった。問題解決のためには、模型船を大きくするか自航動力計の更新が必要と考えられる。
- 船速 12~16knot において、連続気泡吹出 (吹出周波数 0Hz) に比べ、摩擦抵抗低減効果が約 5% 向上する有効な気泡吹出方法 (間欠空気潤滑法: 吹出周波数 0.5Hz) を見出した (図 16) (北海道大学と連携)。
- 弾性表面波試作デバイスの計測結果を基に、圧電材料の物性と厚み、圧電材料を貼り付ける基材の物性、回路の周波数から決まる音響流放射角について推定ツールを改良した。旧試作デバイスで生じた問題を解決する改良を行った新試作デバイス (図 17) の特性試験の結果、縦波伝搬速度が推定式と一致した。
- 船速の低下 (プロペラ回転数の低下) とともに、プロペラに発生するキャビテーションが減少し、水中騒音が低下する現象を定量的に把握し (図 18), 実船-模型の相関データを取得した。

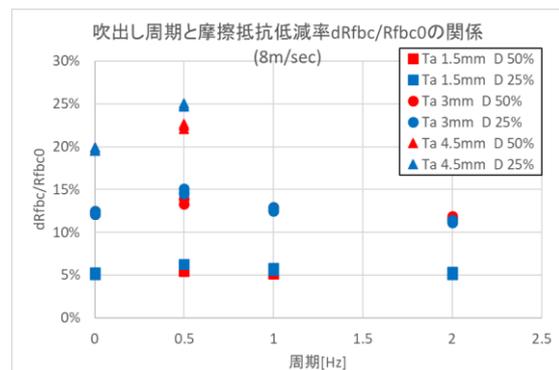
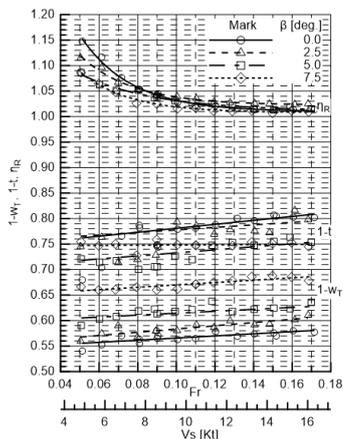


図 15 船速約 5~16knot における斜航角 ( $\beta$ ) による自航要素の変化

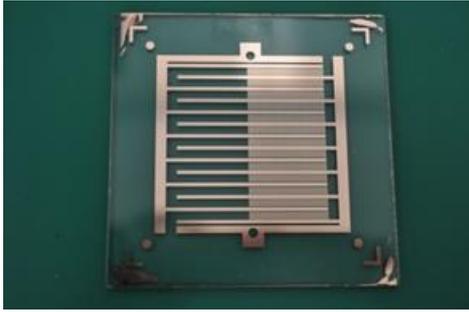


図 17 弾性表面波新試作デバイス

図 16 気泡吹出周波数の変化による摩擦抵抗低減効果 (間欠空気潤滑法)

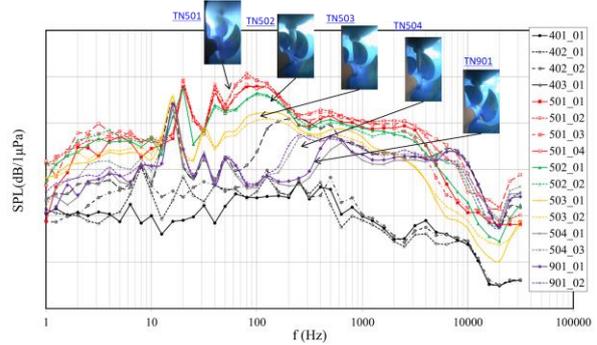


図 18 実船水中騒音計測結果 (近接音場)

成果の公表

□表彰: 3件

- (1) 日本船舶海洋工学会賞 (論文賞)・日本海事協会賞・日本造船工業会賞 (A1)
- (2) 日本船舶海洋工学会英文論文集優秀論文賞 (A1)
  - (A1) H. Orihara and M. Tsujimoto: Performance prediction of full-scale ship and analysis by means of on-board monitoring. Part 2: Validation of full-scale performance predictions in actual seas, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 23, Issue 4 (2018).
- (3) 理事長表彰 (A2)
  - (A2) VESTA-ST を開発し海上試運転での合理的な波浪修正法の国際実施に貢献した功績

□発表論文

- ・査読論文誌: 22件
- (1) K. Kume, H. Ohba, H. Orihara and S. Mizokami: Wind Velocity Profile and Representative Wind Velocity for Wind Resistance Measurement of Ship Models, Journal of JASNAOE, Vol.30, pp.1-13 (2019)
- (2) H. Yasukawa, M. Tsujimoto: Impact of Bow Shape on Added Resistance of a Full Hull Ship in Head Waves, Ship Technology Research (投稿中)
- (3) M. Tsujimoto, H. Yasukawa, K. Yamamoto, T. Lee: Validation of Added Resistance in Waves by Tank Tests and Sea Trial Data, Ship Technology Research (投稿中)
- (4) K. Kume et al.: Validation of dimensionless method using height average wind velocities for wind forces、日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- (5) N. Sogihara et al.: Uncertainty Analysis for Measurement of Added Resistance in Short Regular Waves — Its Application and Evaluation —, Ocean Engineering (投稿中)
- (6) 大場弘樹他: マイクロバブルをトレーサに用いた PIV 計測法の開発—模型船周りの流場計測と波高影響調査—、海上技術安全研究所報告 (投稿中)。
- (7) 大場弘樹他: マイクロバブルをトレーサに用いた PIV 計測法の開発—船舶試験水槽での適用と検証—、海上技術安全研究所報告、第 19 巻第 1 号、pp. 91-100 (2019).
- (8) UNITAS: A tool for supporting evaluation on ship performance in actual seas、海上技術安全研究所報告、第 19 巻第 1 号、pp. 101-122 (2019).
- (9) 複数台の波高計による簡便な波向推定法とその検証、海上技術安全研究所報告第 19 巻第 3 号、pp. 23-40 (2019)
- (10) M. Kuroda, M. Tsujimoto, H. Ohba, K. Hoshino: Automated Measurement System for Actual Sea Model Basin、海上技術安全研究所報告 (投稿中)。
- (11) Y. Kitagawa et al., An experimental method to identify a component of wave orbital motion in propeller effective inflow velocity and its effects on load fluctuations of a ship main engine in waves, Applied Ocean Research, 92, 2019.11, Article 101922.
- (12) Bondarenko O., et al., Development of a diesel engine's digital twin for predicting propulsion system dynamics, Energy, Vol.196, 2020 (doi: 10.1016/j.energy.2020.117126)
- (13) Bondarenko O., Y. Kitagawa: Application of the Kalman Filtering Technique for Nonlinear State Estimation in Propulsion System, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- (14) Y. Ichinose and Y. Tahara: A Wake Field Design System utilizing a Database Analysis to Enhance the Performance of Energy Saving Devices and Propeller, Journal of Marine Science and Technology, No.24, pp.1119–1133 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00773-018-0611-x>
- (15) 濱田達也他: ダクト型省エネ付加物の喫水影響に関する研究、日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)

- (16) T. Hiroi et al.: Full-Scale On-board Measurements of Flow Fields around ESD in Wake by PIV, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- (17) K. Shiraishi et al.: Development of 3D Shape Measurement System for Deformation Measurements of Flexible Composite Marine Propellers, Ocean Engineering (投稿中)
- (18) C. Kawakita et al.: Evaluation of Drag Reduction for Ship with Air Lubrication System, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- (19) 藤沢純一他: 低速肥大船の斜航中推進性能について、日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- (20) H. Kawashima et al.: Speed Dependence of Drag Reduction by Air Lubrication and Effect of Void Fraction and Velocity Distribution in Boundary Layer, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- (21) H. Kawashima et al.: Effect of roughness parameter of coated surface on frictional resistance, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- (22) 若生大輔他: 長尺平板模型を用いた空気潤滑法における周期吹出による摩擦抵抗低減に関する研究、日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)

・本文査読付き会議録: 5件

- (1) N. Sogihara, A. Sakurada, M. Kuroda, M. Tsujimoto, Y. Sugimoto and K. Hasegawa: Development of a Numerical Model on Displacement Correction for Ship Performance in Calm Seas Based on Full-Scale Measurement: ISOPE2019, pp.4719-4724 (2019)
- (2) S. Yokota, M. Kuroda, R. Fukasawa, H. Ohba, M. Tsujimoto: Detailed Study on the Behavior of Ships in Very Short Waves, OMAE2020 (2020) (投稿中)
- (3) Y. Ichinose and T. Taniguchi: A Fast Stern Wake Prediction Method Utilizing Convolutional Neural Network OMAE2020 (2020) (投稿中)
- (4) T. Tanaka, H.J. Park, Y. Oishi, Y. Tasaka, Y. Murai, C. Kawakita: Bubbly Drag Reduction Promoted by Generating Void Waves in High-Speed Turbulent Channel Flows, Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics (2020) (投稿中)
- (5) Kumagai, C. Kawakita, Y. Oishi, Y. Murai: Towing tank experiments using a ship model rigged with hydrofoil bubble generators for ship drag reduction: Ships prefer small air bubbles?, Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics (2020) (投稿中)

・その他: 44件

- (1) 辻本勝: 流体分野の GHG 削減—今後の対応と技術—、海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊、pp. 9-14 (2019)
- (2) 粉原直人、黒田麻利子、櫻田顕子、横田早織、辻本勝: 実船モニタリングデータ解析のための船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE の開発、海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊、pp. 82-83 (2019)
- (3) 櫻田顕子、横田早織: 実船搭載を想定した波高計による波向計算プログラムの開発、海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊、pp. 86-87 (2019)
- (4) 辻本勝: 実海域推進性能と実海域船型学—国際海運からの GHG 排出規制と海上技術安全研究所における取り組み—、令和元年度船舶海洋工学研修 推進性能応用 (2019)
- (5) 辻本勝: EEDI 規制と船舶性能、関西海事教育アライアンス (2019)
- (6) 辻本勝: 船舶の抵抗・推進 (1) 実海域船型学 (2) 実海域推進性能—規制の国際動向— (3) 実海域推進性能—設計・運航への利用—、東京大学大学院新領域創成科学研究科船舶抵抗・推進論 (2019)
- (7) 辻本勝: 流体分野の GHG 削減、第 78 回実海域推進性能研究会 (2019)
- (8) 久米健一: GHG 削減へ向けた IMO/MEPC および ITTC/SOS の動向、第 78 回実海域推進性能研究会 (2019)
- (9) 辻本勝、Oleksiy Bondarenko、福田哲吾、北川泰士: 主機軸系慣性モーメントの簡易推定、第 79 回実海域推進性能研究会 (2020)
- (10) 横田早織、黒田麻利子、深澤良平、大場弘樹、辻本勝: 大型船舶で顕著となる極短波長における向波中抵抗増加と試験の精度、第 79 回実海域推進性能研究会 (2020)
- (11) 黒田麻利子: 実船からの温室効果ガス削減のための海技研の研究開発、バリシップ 2019 (2019)
- (12) 久米健一: ハード面からの温室効果ガス削減への取り組み—内航船型及び省エネ装置の事例—、バリシップ 2019 (2019)
- (13) 黒田麻利子、辻本勝、櫻田顕子: 実海域省エネ船首 COVE、バリシップ 2019 (2019)
- (14) 松沢孝俊、北極海航路における運航支援システムについて、第 9 回北極海航路に係る産官学連携協議会 (2019)
- (15) 辻本勝: 船舶分野の地球温暖化ガス排出規制と海洋情報の利用、第 4 回海洋・宇宙産業連携推進検討会 (2020)
- (16) 北川泰士、塚田吉昭、上野道雄、鈴木良介: 主機特性及び操縦性能の相似則を考慮した自由航走模型試験法、KFR 第 345 回例会「新しい水槽試験技術」 (2019)
- (17) 北川泰士、他、デジタルツイン技術を活用した船舶主機モニタリングシステム及び実海域下船速・主機状態予測システムの開発、海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊、pp. 92-93 (2019)

- (18) 北川泰士, 船舶の主機負荷変動推定のための波浪中プロペラ有効流入速度モデルに関する研究, 大阪大学 博士学位論文 (2020)
- (19) 北川泰士、蓮池伸宏: 不規則波中の船舶性能を再現する規則波条件を決定するための一手法、第79回実海域推進性能研究会 (2020)
- (20) 北川泰士、蓮池伸宏, 実海象中の船舶性能を再現する規則波条件を決定するための一手法, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号 (2020) (投稿中)
- (21) Bondarenko O., et al.: Development of a Diesel engine's Digital Twin for the prediction of propulsion system dynamics. In Proc.: The 2<sup>nd</sup> International Conference on Modeling and Optimization of Ship Energy Systems (MOSES), pp.19-27 (2019)
- (22) ボンダレンコオレクシー、福田哲吾、北川泰士: 船舶推進プラントとして主機デジタルツインの開発, 海上技術安全研究所報告第19巻別冊, pp.39-46 (2019)
- (23) 拾井隆道、Windén Bjorn、藤沢純一、上入佐光: 外航ばら積み船における実船流場計測及び水中騒音、船尾変動圧力計測, 海上技術安全研究所報告第19巻別冊, pp. 84-85 (2019)
- (24) T. Hiroi, B. Windén, A. Kleinwächter, E. Ebert, J. Fujisawa, H. Kamiirisa, N. Damaschke, C. Kawakita : Full-scale on-board measurements of wake velocity profiles, underwater noise and propeller induced pressure fluctuations, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第29号, pp.193-198 (2019).
- (25) 一ノ瀬康雄: デジタル化にともなう船舶性能解析技術の将来展望, 第19回海上技術安全研究所講演会講演集, pp. 33-46 (2019).
- (26) 一ノ瀬康雄、谷口智之: Convolutional Neural Networkによる高速流場推定手法の提案, 第14回推進・運動性能研究会 (2019)
- (27) 一ノ瀬康雄: 船舶設計における AI/クラウド技術の活用, 西部造船会技術研究会構造部会第37回若手勉強会 (2019)
- (28) 一ノ瀬康雄: デジタル技術による船舶省エネ化の将来展望, 海と産業革新コンベンション (うみコン2020) (2020)
- (29) 濱田達也, 一ノ瀬康雄, 新川大治朗, 藤沢純一: FBG 圧力センサとピトー管を用いた圧力・流場計測によるダクト型省エネ付加物の喫水影響に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第29号, pp. 187-192 (2019)
- (30) 拾井隆道、濱田達也、澤田祐希、牧野雅彦: 海技研高速チャンネルにおける気液二相流中 PIV 計測技術と大型キャビテーション水槽における PIV の利用、回流水槽における PIV 技術に関するミニシンポジウム (2019)
- (31) 田中泰爾, 朴炫珍, 田坂祐司, 村井祐一, 川北千春: ボイド波生成による高速チャンネル乱流の摩擦抵抗低減率向上, 日本機械学会 第24回動力・エネルギーシンポジウム (2019)
- (32) 中村隼人, 大石義彦, 河合秀樹, 村井祐一, 川北千春, 濱田達也: 水平チャンネル気泡流における乱流せん断応力とボイド率の変動値の4象限解析, 日本機械学会 第97期流体工学部門講演会講演論文集 (2019)
- (33) 佐藤弘康, 川北千春, 大石義彦, 村井祐一, 熊谷一郎, 藤原佳祐, 内本翔希: 翼型気泡発生装置を用いた36m長尺模型船の摩擦抵抗低減実験, 日本機械学会・関東学生会第59回学生員卒業研究発表講演会(2020)
- (34) 川北千春: 船舶における推進装置に関する評価研究, 化学工学誌 83 巻 6 号(2019)
- (35) 川北千春, 藤沢純一, 澤田祐希, 拾井隆通, 木村校優: プロペラ前方ダクトによる水中騒音低減効果, 日本船舶海工学会 第13回推進・運動性能研究会 (2019)
- (36) 木村校優, 岸本隆, 松田識史, 川北千春: 実船のプロペラ放射雑音計測に関する考察, ターボ機械協会 第82回ターボ機械協会講演会論文集 (2019)
- (37) 川北千春, 川並康剛, 山磨敏夫: 船用弾性変形プロペラのスキュー角影響, ターボ機械協会 第82回ターボ機械協会講演会論文集 (2019)
- (38) 峰島大誠, 中居俊介, 向居善郁, 宮川和芳, 川北千春: 水中翼のフラッタ特性把握及びキャビテーションによる影響評価, 第82回ターボ機械協会講演会論文集 (2019)
- (39) 若生大輔, 濱田達也, 川北千春: 長尺模型を使用した空気潤滑試験-全抵抗および局所摩擦抵抗, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020) (投稿中)
- (40) 濱田達也, 若生大輔, 川北千春: 20m 長尺模型を用いた空気潤滑法によるボイド率分布と局所せん断力の低減に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020) (投稿中)
- (41) 松田識史, 岸本隆, 木村校優, 川北千春: SPIVによる深江丸実船流場計測実施について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020) (投稿中)
- (42) 川島英幹他: 空気潤滑における速度とボイド率の抵抗低減効果への影響, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020) (投稿中)
- (43) 新郷将司, 金井健, 川北千春: 超低速肥大船の主要目の検討 (第1報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020) (投稿中)
- (44) 一ノ瀬康雄他: システムズアプローチによる海上ゼロエミッションデータセンターのコンセプト評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020) (投稿中)

□特許出願: 7件

- (1) 模型船試験自動化システム

- (2) 船舶性能評価・提供システム
- (3) 波浪スペクトル
- (4) エンジンのモニタリングと因子分析の組み合わせによる新しい異常検知・診断システム
- (5) 船尾用付加物、船尾用付加物を有した船尾形状、及び船舶（ダクト・フィン）
- (6) 船体表現手法
- (7) 音響流による流場制御装置

□プログラム登録：3件

- (1) 船型設計支援ツール
- (2) 船体形状・船体性能推定プログラム UNITAS-V4
- (3) 船体長手方向法線ベクトルの影響を考慮したストリップ法による船体縦運動の動揺推定プログラム

□プレス発表：2件

- (1) 全球版波と風の統計データベース（GLOBUS）詳細版をリリースー高詳細な全球の気象海象の長期統計データが利用可能ー：令和元年7月19日
- (2) 36m長尺模型船による高度空気潤滑法の抵抗低減実験を公開：令和元年10月4日

□国際貢献：3件

- (1) K. Kume: Summary of Case Studies on Wind Forces Estimated by CFD - Validation of average wind velocity by JBC and HSBC -, ITTC/SOS (2019).
- (2) K. Kume: Wind Velocity Profile and Representative Wind Velocity for a Wind Resistance Test, ITTC/SOS (2019).
- (3) K. Kume: Summary of Case Study on Wind Forces by CFD (JBC) , ITTC/SOS (2019).

□博士学位取得：1名

- (1) 北川泰士：船舶の主機負荷変動推定のための波浪中プロペラ有効流入速度モデルに関する研究，大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻（2020）

**主な評価軸に基づく自己分析**

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

□実海域性能の向上はGHG排出削減に直接的に寄与し、パリ協定やIMO GHG削減戦略など国として取り組むべき方針に合致するものである。また、海事クラスター共同研究 実海域実船性能評価プロジェクト（OCTARVIA Project）により幅広い分野で共同して取り組んでおり、実海域性能評価技術の向上は競争力強化に貢献できている。

□我が国の北極政策にある北極海航路の利活用及び環境保全に合致する取り組みである。我が国がオブザーバーになっている北極評議会では、近年増加する北極海通航船舶による環境リスクに注目しており、EU-MRVは船舶CO<sub>2</sub>排出規制のバックデータとなり得るが、それに付加価値を与えるものである。

□船舶からのGHG削減や水中騒音低減の取り組みは、世界的な環境負荷低減ニーズと整合している。

○成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□実船モニタリングデータによる実海域性能の分析方法、設計段階での実海域性能の推定方法、実海域性能評価方法の開発と包括的に取り組んでおり、成果の利用範囲は十分に広い。

□現在のEU-MRVはデータとしての完全性や有効性が課題である。AISデータや衛星氷況データ等と併せて欠落している情報を補い、また価値を拡充する取り組みはまだ見られておらず、新規性が高い。

□主機デジタルツインの開発に繋がる取り組みであり、科学的意義は大きい。

□PIVによる流場計測とFBGセンサによる船体表面圧力を組み合わせて計測した例は無く、本研究で得られたデータは船体・省エネ付加物・プロペラの干渉影響を明らかにするために貴重なものである。

□空気潤滑法における空気吹出法の工夫（周期吹出）により、摩擦抵抗低減効果が向上する現象を見出したことは、壁面乱流制御に関する新たな知見を得たことになり、今後の摩擦抵抗低減手法の発展に繋がる。

○成果が期待された時期に創出されているか。

□3年計画の海事クラスター共同研究の進行に合わせており、予定通りに成果が創出されている。

□EU-MRVは2018年のデータが初公開であり、まだ用途や活用法が確立していない。この時点でデータを分析し、有効性を評価することは、今後のMRVルールの方向性に対してインパクトが大きい。

□2030年頃には、ゼロエミッション船の実現を期待されており、更に研究開発を加速させる必要がある。

○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。

□実船モニタリングデータ解析手法、模型試験の実施・解析法、実海域性能推定法、実海域性能評価法はいずれも国際標準化を想定して取り組んでいる。すでに一部（風CFD計算法）はITTCガイドラインへ反

- 映されるなど、国際的な技術審議の主導につながっている。
- 北極海における経済活動の拡大に対して合理的な規制を与えるためのバックデータであり、我が国が正当な主張を通すために保有すべき根拠となる。
  - 超低速船の開発や空気潤滑法の高度化は、世界トップレベルの技術であり、社会実装に向けて更に開発を加速させることにより、国内企業の国際競争力につながる。
- 萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
- 「水槽試験技術と船舶推進プラント数学モデルを活用した主機スマート制御システム開発」及び「主機デジタルツイン技術を用いた船舶主機状態監視システムの開発」の実施内容は時系列での主機制御等の萌芽的要素を多く含み、近い将来におけるデジタルツインに関するニーズに合った研究であり、先見性をもって対応できている。
  - 弾性表面波デバイスは、境界層制御による抵抗低減法として大きな先見性・可能性があるが、開発には困難を伴っている。生じた問題に対して、その都度解決策を考え対応している。

**H28年度からR1年度の実績およびR4年度までの計画**

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1年度)	<b>S</b>
中間評価 (H28~R1年度)	<b>S</b>

**【年度評価に関するコメント】**

- 研究成果の社会実装、デファクト化を目指して、取り組んでおり、実船モニタリングデータ解析法やライフサイクル主機燃費の計算手法、全球の波と風データベース (GLOBUS) の開発、船体表現手法 (IHR) と CNN を組み合わせた高速伴流推定システム、空気潤滑法における空気の周期吹出法など、有用な研究成果が得られている。
- 2019年度途中で突然公表された EU-MRV データの解析にこれまでの研究成果を適用して機動的に取り組んでいる点は評価に値する。
- 学会表彰を受ける高いレベルの成果創出がなされている。

**【中間評価に関するコメント】**

- 本研究は、船舶の運航する実海域での性能を正確に評価するためことを目的としており、25社で実施する海事クラスター共同研究 実海域実船性能評価プロジェクト (OCTARVIA Project) の開始に繋がった。プロジェクトも着実に実施できており、成果に対するインパクトは大きく、産業界から期待されている。
- 本研究により、実運航性能シミュレータ (VESTA)、船体形状・船体性能推定プログラム (UNITAS)、全球の波と風データベース (GLOBUS) のプログラムが開発・改良され、実際に社会利用されている。
- EEDIweather の世界初の認証実施の取り組みの他、海上試運転での波浪修正法について、ITTC を通じて技術検証を行い、本研究の成果が認められた。これにより、IMO での EEDI 認証で全方位の波浪修正が初めて可能となり、合理的手法により、我が国の国際競争力の向上につながった。それにあわせ、試運転時波風外力算定プログラム (VESTA-ST) の国際提供を開始した。
- 論文等の成果も非常に多く、学会表彰等多くの賞を受けており、高いレベルの成果創出がなされている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1年度)	<b>A</b>

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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>一実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を継続する。本年度は、標準化した実船モニタリング解析法を用い、経年劣化・生物汚損影響評価を検討する。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（CO<sub>2</sub>）、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築。具体的には、

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

**研究目標**

- 実船スケールを含む平水中性能計算手法の確立と計算ガイドライン（国交省海事局）
- 実プロペラモデルとの組合せを含む実用的な形状を有するハイブリッド型省エネ付加物に対する性能推定手法およびキャビテーション計算手法の開発
- 上部構造物を含む風圧抵抗の評価手法の確立と計算ガイドライン（実海域実船性能評価プロジェクト）
- 波浪中での計算手法（実海域実船性能評価プロジェクト）
- 荒天時における損傷時船舶の自力航行などの船体運動シミュレーション手法の開発
- CAD、CFD、最適化手法を組み合わせ、船体や省エネ付加物等の形状最適化が可能

上記成果は、平水中における実船スケールを含む計算ガイドライン、実船馬力推定における風圧抵抗評価手法の確立およびガイドライン等の成果を活用し、ITTC Recommended Procedure 等による国際標準化において公平かつ標準的な計算法の策定に貢献し得る。また、大波高時の損傷船舶の自力航行シミュレーションが可能になり、将来の合理的な復原性基準の構築につながるとともに、海難事故を減少させ、安全・安心な社会の実現に貢献する。さらに、実海域性能を推定できる高速な CFD システムを産業界に提供することにより、短期間で高性能な船型を開発できるようになる。また、平水中・波浪中で効果の高い省エネ付加物等の開発により、我が国海洋産業の国際競争力強化へととなり得る。

#### R1 年度の研究内容

□平水中での性能計算手法の高機能化・高速化

動的重合格子とプロペラ形状を忠実に再現した計算格子を使用した実形状プロペラ計算手法における計算負荷の低減を目的として、重合格子の格子ごとに時間ステップを定義するマルチタイムステップ法を導入する。また、実船馬力の直接推定を可能にするため、数理モデルの選定や格子分割数等のパラメータ影響を調査し、実用に資する計算手法を構築する。

□実プロペラモデルを用いたハイブリッド型省エネデバイスの性能計算手法の開発および二相流への拡張

重合情報生成システム UP\_GRID を機能拡張し、付加物取り付けの際の境界面処理を改良するとともに O 型トポロジーで部分接合する手法を開発し、対応可能な省エネデバイス等を拡充する。さらに開口部を有する形状を扱えるよう機能拡張を行う。界面捕獲法の精度向上と重合格子化を検討する。

□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

複数の船種について風向・風速を変化させたシリーズ計算を行い、実験結果との比較・検証を実施するとともに、計算ガイドラインを構築する。

□付加物を含む波浪中での計算手法の確立

向波以外の波向での波浪中抵抗計算を行い、実験結果との比較による検証を行う。また、船首水面上形状が異なる船型での波浪中計算を実施し、実験結果と比較することにより計算精度を検証する。

#### R1 年度の実績

□動的重合格子を用いる、プロペラ形状を忠実に再現した計算格子を使用した実形状プロペラ計算法において、マルチタイムステップ法を導入し、格子ごとに時間ステップを定義できるよう拡張した。動的重合格子の重合情報更新のインターバルを設定する手法とも組み合わせ、動的重合格子のオーバーヘッドを小さくでき、計算時間を短縮できる新たな手法を開発した。実船スケール計算において粗度を考慮できる壁関数モデルを開発し、実船流場との比較検証を行った。省エネ付加物付きの実船 SPIV 計測データに基づく、詳細な比較検証を行った。さらに練習船における実船スケール計算を行い、実船 SPIV 及びスラスト・トルク計測結果との比較検証から、実船スケール計算法のガイドラインを構築した。自由表面付き自由航走状態の計算法を構築し、実験結果との比較から、その有効性を示した。浅水状態での計算法を検討し、浅水時の底面の境界条件により違いを明らかにし、実験結果との比較検証を行った。

□付加物取り付けの際の境界面処理の改良として、複数の境界面が他物体表面に接合しているケースや開口部付近の特定の部位だけが接合するケースなど、接合状態が複雑な場合でも接合処理を可能とする手法を開発した。物体に部分接合する省エネデバイスに対して新しく O 型トポロジーによる手法を開発し、計算の安定性が向上した。

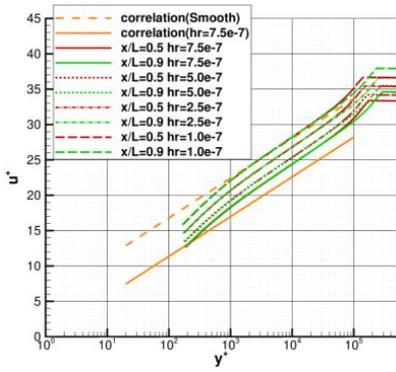
□多次元 THINC 法を用いたセル積分ベースの界面捕獲アルゴリズムについて、時間積分法等の見直しにより、体積保存率が向上した。また、計算過程に使用するパラメータの計算法等を改良することで、並列化無しでも、計算時間を従来の約 1/3 に短縮した。開発した界面捕獲アルゴリズムを重合格子に対応させ、単一格子状態と比べ、体積保存率がほぼ同一になることを確認したが、格子の重合状態によってはアルゴリズムの改良が必要であることも明らかになった。

□重合格子法を用いて、PCC 船型（デッキライン上に多数の小構造物が配置）、ケミカルタンカー船型（上甲板上トランスバルクヘッド付き）、バルクキャリア船型（クレーンやブリッジのバルコニー付き）等様々な上部構造物形状への CFD 計算手法を開発した。検証については実海域実船性能評価プロジェクトにて行い、風圧力抵抗等に関して風洞試験と概ね良い一致が得られた。計算結果に基づき、計算格子、数理モデルの選択、境界層の取扱、境界条件、解析方法等に関して計算ガイドラインとしてまとめた。（実海域実船性能評価プロジェクトと連携）

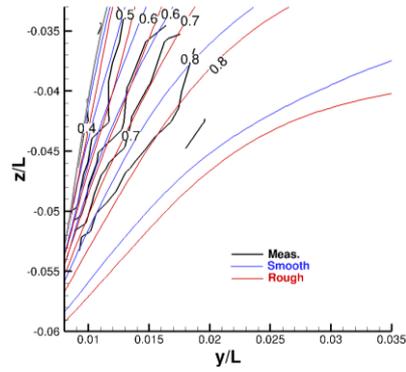
□水面上形状が異なる船型差等を含めて定量的に推定できる波浪中計算手法を開発し、実海域実船性能評価プロジェクトにて向波中の標準計算法を構築した。波向きを変更した規則波中の計算を複数船型で行い、実験結果との検証から、精度良く推定できることを示した。（一部は実海域実船性能評価プロジェクトにて実施）

#### R1 年度の研究成果

□実船スケール計算において粗度を考慮できる壁関数モデルを開発し、実船流場計測結果との比較から、モデルの有効性を示した。

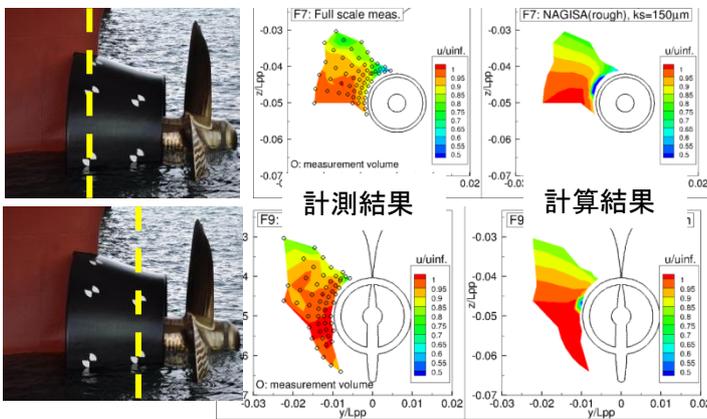


実船相当平板での粗度による無次元速度分布の変化

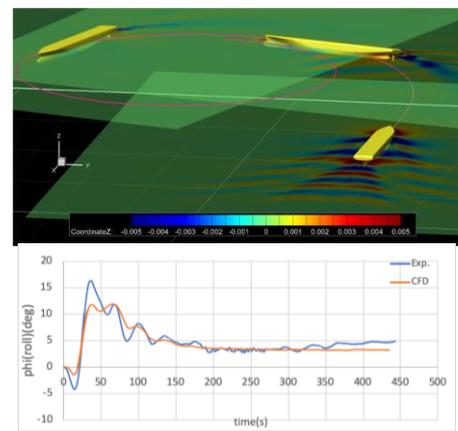


実船流場データとの比較(赤線: 粗度モデル)

□付加物付き実船 SPIV 計測結果に基づき、実船スケール計算結果を検証し、実船粗度を考慮することで計測結果と一致する結果が得られることを示した。さらに練習船における SPIV 及びブラスト・トルク計画結果との比較を行い、実船スケールにおける計算ガイドラインを構築した。  
 □自由表面付きでの自由航走計算法を開発し、船速や船体運動のロール角の時刻歴等の実験結果との比較から計算法の有効性を示した。



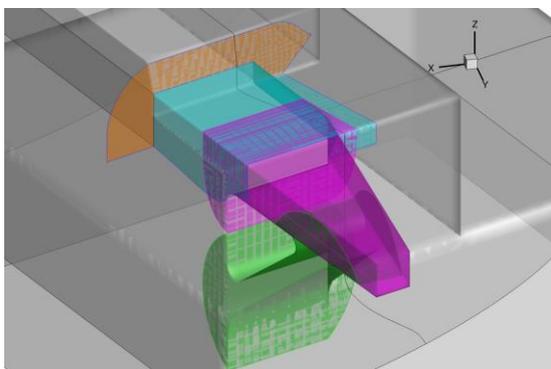
付加物付き実船 SPIV 計測結果と計算結果の比較



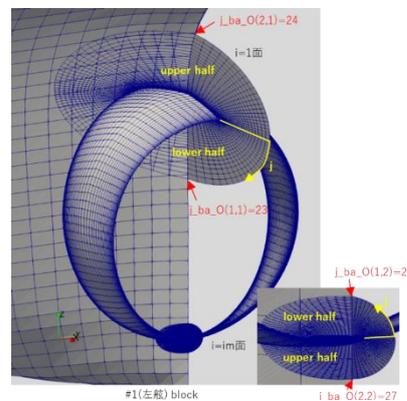
自由表面付き自由航走計算結果

上図: 航走時可視化、下図: ロール角時刻歴の比較

□計算格子の複数の境界面を他の計算格子の物体表面と接合できるように改良した。開口部がある場合に一部を接合し、かつ重合させることを可能にした。また、部分貫入する省エネデバイスについて O 型トポロジー格子による手法を開発することで流場計算の安定性が向上した。

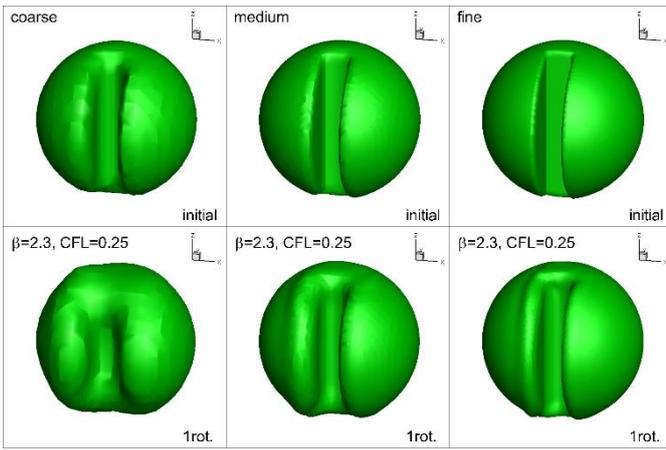


上部構造物のブリッジへのウィング接合状態

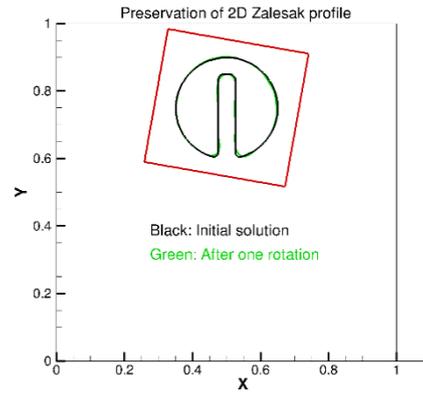


船尾に部分貫入するダクト

□多次元 THINC 法を用いたセル積分ベースの界面捕獲アルゴリズムについて、計算法の見直しにより、体積保存率の向上・計算時間の短縮を達成し、また計算アルゴリズムを重合格子に対応するよう拡張した。

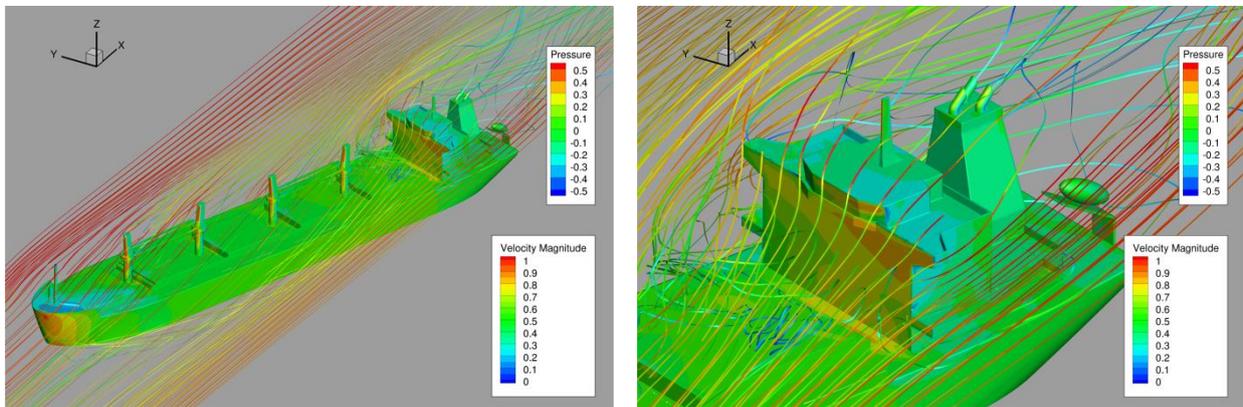


多次元 THINC 法による界面捕獲検証結果  
(上段: 初期状態、下段: 移流計算後)

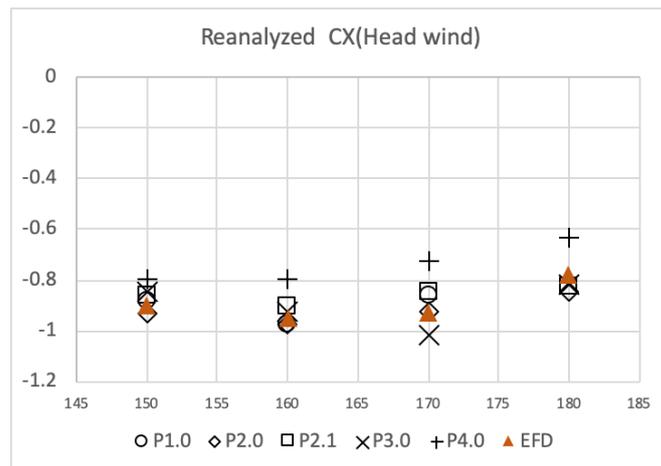


重合格子対応 THINC 法による界面捕獲計算結果  
黒: 初期状態、緑: 移流後、赤: 計算格子の重合領域

□上甲板上の複雑な構造物が配置される場合について、重合格子ベースの CFD 計算で風圧力を精度良く推定できる計算手法を開発した。実海域実船性能評価プロジェクトにおける計算格子、計算パラメータ、解析方法等風圧力計算に関する計算ガイドライン構築に貢献した。

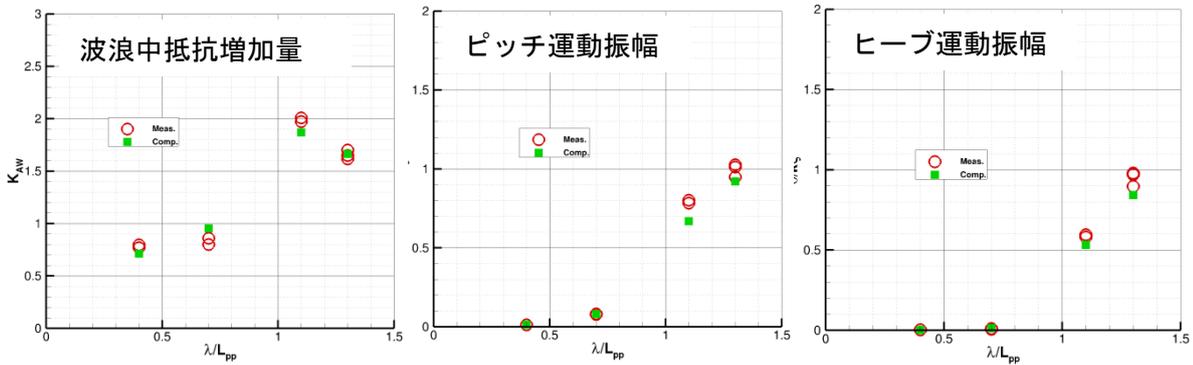


風向角 20 度でのバルクキャリアの上部構造物周りの流場計算例(左: 船体全体、右: ブリッジ部分)

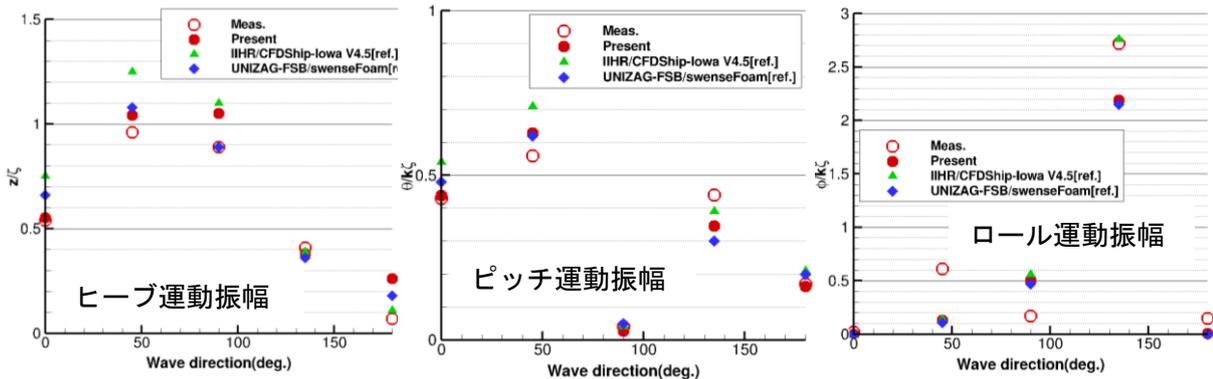
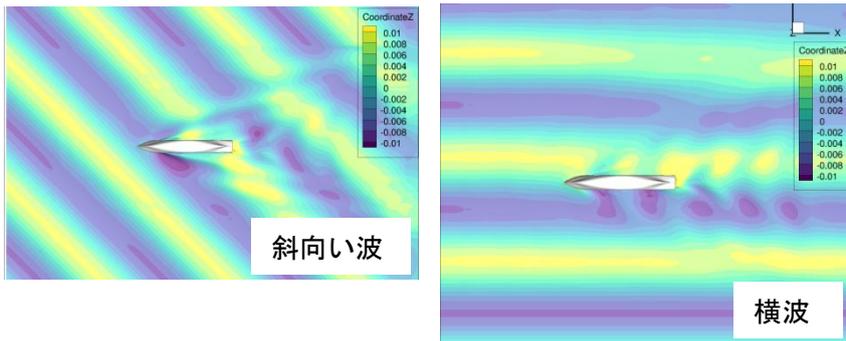


複数研究機関による風圧力計算結果と計測結果との比較(P3.0 が本計算結果)

□水面上形状の異なる複数の船型等について向波中での抵抗計算手法を開発し、実海域実船性能評価プロジェクトにおいて実験結果との比較検証を行った。波向きを変更した計算を複数船型で実施し、実験結果との比較から、十分に精度を有することを示した。(一部は実海域実船性能評価プロジェクトにて実施)



バルクキャリア船型における向波中計算結果



コンテナ船型における波向き変更計算結果

□新バージョンのリリースと普及のためのセミナー開催各1回

成果の公表

□プログラム登録2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) Ver3.33
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) Ver2.1R2

□査読付き論文4件

1. Sakamoto, N. et al. : Identification of KVLCC2 manoeuvring parameters for a modular-type mathematical model by RaNS method with an overset approach, Ocean Engineering Vol.188
2. Kobayashi, H. et al. : On calculation guidelines of ship motion and added resistance in head waves -parametric studies by RANS-, Applied Ocean Research (投稿中)
3. Ohashi, K. : Numerical Study of Roughness Model Effect Including Low-Reynolds Number Model and Wall Function Method at Actual Ship Scale, JMST
4. Tani, G. et al. : NOISE MEASUREMENTS OF A CAVITATING PROPELLER IN DIFFERENT FACILITIES: RESULTS OF THE ROUND-ROBIN TEST PROGRAMME, Ocean Engineering (投稿中)

□本文査読付き会議録3件

1. Sakamoto, N. et al. : Estimation of Flows around a Full Scale Ship by Structured Overset RaNS Code "NAGISA", IWSH 2019

2. Ohashi, K. : Comparison of Wall Function Model with Low-Reynolds Number Model under Roughness Effect Condition at Actual Ship Scale, 22th Numerical Towing Tank Symposium
3. Ohashi, K. : NUMERICAL STUDY OF ROUGHNESS MODEL EFFECT AT ACTUAL SHIP SCALE, ECCOMAS MARINE 2019

□その他 10 件

1. 大橋訓英他: 実船スケール(レイノルズ数 10 の 9 乗相当)における壁関数と粗度条件の適用性調査, 第 24 回 計算工学講演会
2. 坂本信晶他: 実船省エネ付加物周りの流場解析および実船 PIV 計測結果を用いた検証, 海技研発表会
3. 大橋訓英: マルチタイムステップと動的重合格子法による船舶の推進状態の計算手法の開発, 日本流体力学会年会
4. 小林寛他: 向波中の波浪中抵抗増加 CFD 計算における計算条件の設定について—RANS 計算のパラメトリックスタディー, 日本船舶海洋工学会秋季講演会
5. Sakamoto, N. et al. : Overset RaNS Computation of Flow around Bulk Carrier with ESD in Full Scale and its Validation, 日本船舶海洋工学会秋季講演会
6. 坂本信晶他: 実船船尾流場の直接推定-実船計測とシミュレーションの融合-, 海技研講演会
7. Sakamoto, N. et al. : Overset RaNS Study for the Effect of Tank Bottom Condition to the KCS under Static Drift in Shallow Water, 第 15 回推進・運動性能研究会
8. 小林寛: CFD 解析のスマート化, 海技研報告
9. Kobayashi, H. et al. : Numerical Study for Wind Resistance of a Bulk Carrier, 2020 年度日本船舶海洋工学会春季講演会(投稿済)
10. Sakamoto, N. et al. : Overset RaNS Study for the Effect of Tank Bottom Condition to the KCS under Static Drift in Shallow Water, 2020 年度日本船舶海洋工学会春季講演会(投稿済)

主な評価軸に基づく自己分析

- 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか。
- 海事局プロジェクトである実船スケール流場に関する PIV 計測結果と計算結果の比較検証とともに、格子分割数や乱流モデル等の標準的計算パラメータの検討から、実船スケール計算に関するガイドラインを構築し、国際標準化等に対する提言をまとめた。
- 実海域実船性能評価プロジェクトと連携し、向波での標準的な計算法を構築するとともに水面上形状変更、波向き変更計算法を開発した。複数の上部構造物計算から風圧抵抗の計算ガイドラインの構築に貢献するとともに国際水槽機関(ITTC)における計算ガイドラインについて適正な内容となるよう提案した。関係する分担計算を実施し、とりまとめも行った。
- 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。
- 新たな計算の高速化手法とともに、実船スケールでも有効な、粗度を考慮できる壁関数モデルを開発した。
- 自由表面付きでの自由航走状態の計算法を構築した。
- 複雑な形状を有する複数の上部構造物について風圧抵抗を推定できる手法を開発した。
- 構造格子ベースで重合格子に対応する界面捕獲スキームは他に例がなく、新規性が高い。
- 成果が期待された時期に創出されているか。
- 成果を論文にまとめて発表するとともに、セミナー等により手法の普及を図った。
- 関連するプログラムとして新規に 2 件登録した。
- 成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
- 実船スケール計算は国際的に研究が始まっている分野であり、ITTC の常設及び特設委員会におけるケーススタディに参加し、計算結果の提供や考察に意見をあげることで、適切な内容にまとめた。
- 実船スケール計算ガイドラインを構築し、計算法の国際標準化に向けた提言をまとめた。
- CFD による上部構造物の風圧抵抗推定は ITTC の特設委員会で計算ガイドラインを検討されており、また波浪中での性能改善は実海域実船性能評価プロジェクトのテーマでもあり、標準計算法案は実用化に寄与するもので、国際競争力の向上に貢献している。
- 萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
- 実船スケールでの性能推定を可能にするため、新たな計算法や計算モデルを導入している。また、計算法の国際的な標準化も視野に入れ、ITTC の委員会において計算ガイドラインを複数構築している。

## H28年度からR1年度の実績およびR4年度までの計画

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1年度)	<b>A</b>

## 【年度評価に関するコメント】

- 実船スケール性能の直接推定に向けて、実船流場の PIV 計測結果との比較検証及び計算パラメータ影響の調査から実船スケール計算ガイドラインを構築した。関連し、実船スケールでも有効な粗度モデルを開発した。ITTC の常設及び特設委員会での実船馬力推定に関する議論に貢献する計算結果も提供した。
- 社会ニーズが高い波浪中計算の実用化にむけ、実海域実船性能評価プロジェクトと連携し、計算パラメータの影響調査等から標準的計算法を構築し、多ケースでの計算結果の検証を行った。
- 風圧抵抗計算に関する ITTC の特設委員会でのガイドラインの議論にあわせて、多数のケースでの検証計算を行い、ガイドラインの構築に貢献した。
- 研究成果について国際ジャーナルに 4 件(2 件査読中)とプログラム登録が 2 件。

## 【中間評価に関するコメント】

- 海事局 i-Shipping プロジェクトにおける実船性能の CFD による高精度推定に向けて、実船流場及びスラスト・トルク計測結果との比較検証から、実船スケール計算ガイドラインを構築した。
- ITTC の特設委員会にて新たに制定される CFD により形状影響係数計算の利用方法について、ケーススタディに多数参加し、計算ガイドラインの成立過程に深く関与した。
- 実海域実船性能評価プロジェクトと連携し、風圧抵抗計算に関わるパラメータ等を検証・整理し、計算ガイドラインの構築に貢献した。また、並行して ITTC の特設委員会における風圧抵抗計算ガイドラインの構築に関与し、新たな上部構造物の計算も実施し、ガイドラインの成立過程に深く関与した。
- 波浪中の多種多様な状態と形状について計算し、標準計算法とともに、高精度に推定できることを示した。(実海域実船性能評価プロジェクトとも連携)
- 中間評価時点で新 CFD システムの実利用 18 社。
- 研究成果について国際ジャーナルに 8 件(2 件査読中)とプログラム登録が 12 件。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1年度)	<b>A</b>

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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>ー実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を継続する。本年度は、標準化した実船モニタリング解析法を用い、経年劣化・生物汚損影響評価を検討する。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(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築。具体的には、

- 多様なエネルギー源を用いた船用動力システム技術
- 各種動力システムの安全性・船舶適用性評価
- アンモニア燃料利用における未燃アンモニアと亜酸化窒素の排出低減方法の開発

**研究目標**

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

上記成果は、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と、および、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となり得る。

**R1年度の研究内容**

- 水素混焼ガスエンジンの排気再循環(EGR)技術による燃焼抑制技術を開発する。
- 水素混焼ガスエンジンのクランクケース内の燃料成分濃度を計測し、安全性の評価し、対策を検討する。
- 水素混焼ガスエンジンの水素脆性に関する文献調査を行う。

- アンモニア混焼エンジンに関連して、アンモニア燃焼の反応計算を利用して、未燃 NH<sub>3</sub> および N<sub>2</sub>O の効果的な排出量削減手法を検討する。
- アンモニア混焼エンジンのアンモニア混焼率増加のため、実験用エンジンへのアンモニア取り入れ部を改造する。
- 未燃 NH<sub>3</sub> 対策として用いる酸化触媒の種類、排ガス組成および温度が N<sub>2</sub>O や NO<sub>x</sub> の発生挙動に与える影響の実験的に調査する。
- 船用大型エンジンへの適用を想定して、水素・アンモニア燃焼技術を研究・開発するための燃焼試験装置を設計する。
- 実現性が高い GHG 削減船の調査を実施する。
- 水素燃料電池システム等を搭載する船舶の試設計を進展させ、安全対策等について詳細に検討する。

#### R1 年度の実績

- 昨年度までの実験から、ガスエンジンに水素混焼した場合、燃焼期間の短縮によって筒内圧力が上昇することがわかった。R1 年度は筒内圧力の上昇を抑制するために、排気再循環技術 (EGR) を用いた燃焼抑制手法について実験を行い、有効性を検討した。
- 水素混焼時のクランクケース内の燃料成分 (水素とメタン、エタン、プロパン、ブタン等) の濃度を分析し、可燃下限界を推定することによってクランクケース内の安全性を評価した。
- 船用機関材料として広く使用されている鋳鉄に関して、水素脆性の研究例が少ないこと、シリンダ内のような圧力・温度変動がある場合についても十分な研究が行われていないことがわかった。
- アンモニア混焼エンジンにおける未燃 NH<sub>3</sub> および N<sub>2</sub>O の削減手法の検討として、化学反応機構を用いた数値計算モデルを構築し、アンモニア・ヘプタン (軽油相当燃料)・空気の予混合気の燃焼反応の数値解析を実施した。
- アンモニア混焼率を増加させる手段として、液化アンモニアの噴霧試験装置を試作し、予備試験を実施した。
- 触媒要素試験装置を用いて、Pt 系酸化触媒のアンモニア分解時の反応生成物を測定した。
- 船用大型エンジンの燃焼を模擬できる燃焼試験装置を設計した。
- GHG 削減技術およびその効果について調査し、GHG 削減船への適用性について取りまとめた。
- 水素燃料電池システムおよび水素混焼エンジンを搭載する小型船舶を主対象として、その適用性並びに安全性を調べた。

#### R1 年度の研究成果

- 水素混焼ガスエンジンの陸上実験より、EGR の適用および点火時期の調整が水素の急激な燃焼を効果的に抑制するとともに、メタンスリップを大幅に低減できる優れた手法であることを実証した (図 1)。
- 水素混焼ガスエンジンにおけるクランクケース内の燃料成分濃度は、水素熱量混焼率 25%において、可燃下限界 (着火によって爆発を起こす最低濃度) を超えることがわかった (図 2)。対策としてクランクケース内を空気で希釈するシステムを構築し、その効果を検証した。
- アンモニア混焼エンジンにおける化学反応機構を用いた数値計算モデルにより、ヘプタン (軽油相当燃料) とアンモニアの予混合気の燃焼計算を実施した結果、ヘプタンの混合によりアンモニアの分解 (燃焼) が早く進むことが明らかになった (図 3)。
- 試作した液化アンモニア噴射装置の予備試験を実施し、その噴霧状況並びに基本性能を確認した (図 4)。
- 触媒要素試験装置を用いて、Pt 系貴金属を用いた酸化触媒のアンモニア酸化性能および反応生成物を測定した。この結果、Pd 触媒を用いた場合に Pt 触媒よりも、低い温度におけるアンモニアの酸化反応が進み、さらに N<sub>2</sub>O および NO<sub>x</sub> の生成を抑える効果が得られることが明らかになった (図 5)。
- 今後活用の拡大する可能性のある代替燃料並びに GHG 削減技術について、上記研究成果を含めて、開発状況を調査し、実現可能性を検討した (表 1)。さらに、将来の代替燃料並びに GHG 削減技術による GHG 削減シナリオを検討するための計算ツールを作成した (図 6)。

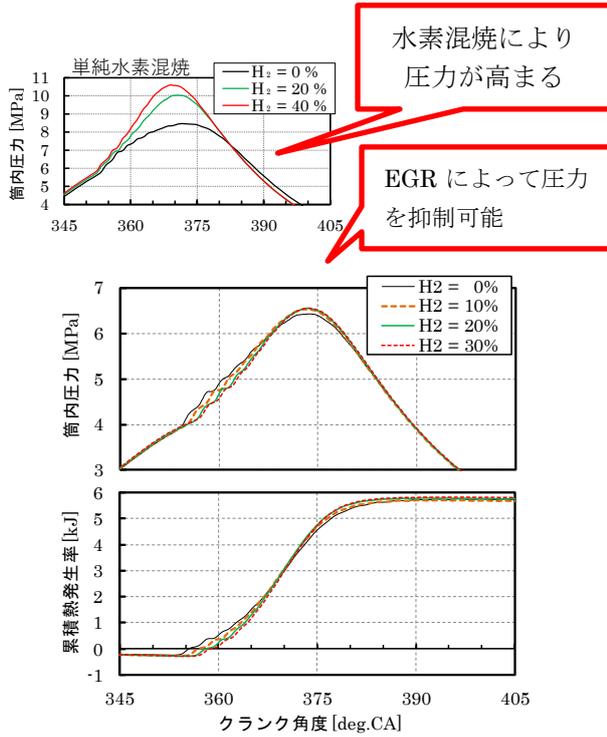


図1 EGR 技術の適用による筒内圧力上昇の抑制

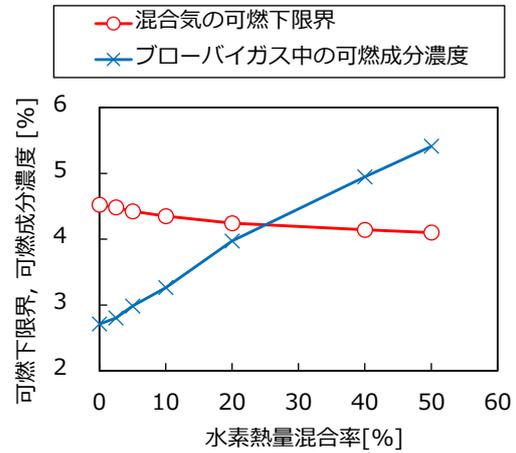


図2 クランクケース内の燃料濃度と可燃下限界

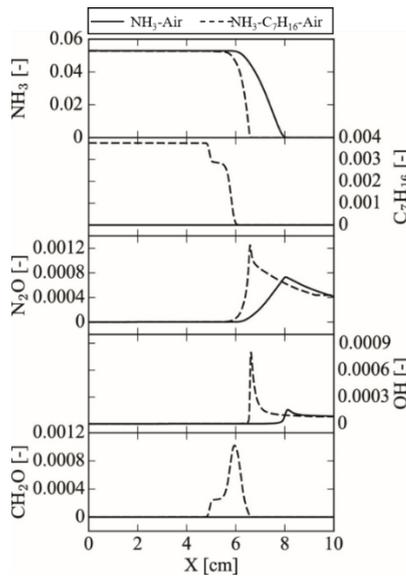


図3 アンモニア燃焼反応計算結果

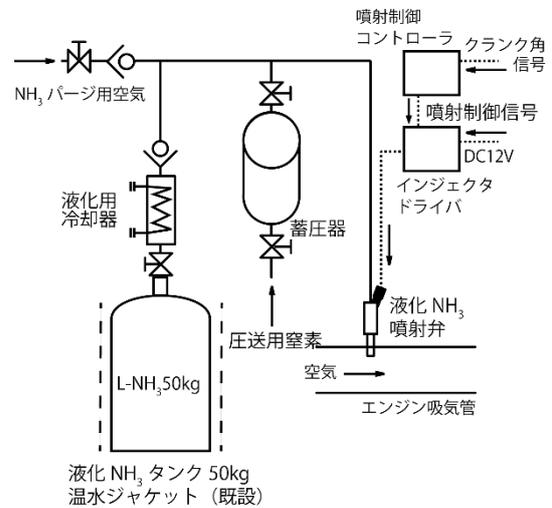
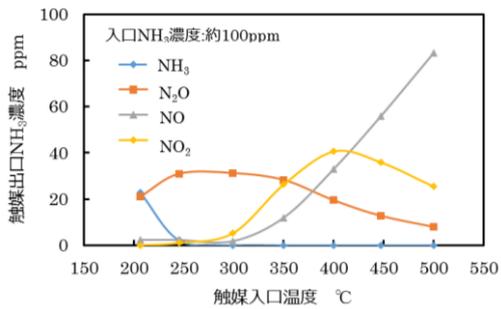
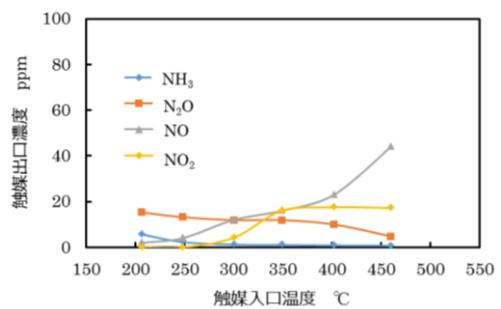


図4 液化アンモニア供給装置の概要



(a) Pt 0.5% 触媒



(b) Pd 0.5% 触媒

図5 Pt系触媒およびPd系触媒によるNH<sub>3</sub>酸化性能試験と反応生成物の挙動

表 1 代替燃料の主な物性と特徴

	熱量あたり CO <sub>2</sub> 排出 量※1	熱量あたり 燃料体積 ※1	利点	課題
水素(H <sub>2</sub> ) (燃料電池含 む)	0	4.46	・船上 CO <sub>2</sub> 排出ゼロ ・小型の水素燃料混焼船・燃料電池船は実績 あり ・陸上ボイラー・ガスタービンの実績あり	・燃料体積(C 重油の約 4.5 倍) ・貯蔵安定性の技術課題(液体時-253℃) ・供給インフラ未整備 ・パンカリング技術未成熟 ・燃焼制御等の技術課題
アンモニア	0 N <sub>2</sub> O 未考 慮	2.72	・船上 CO <sub>2</sub> 排出ゼロ ・ガスタービン燃焼の実績あり	・燃料体積(C 重油の約 2.7 倍) ・NO <sub>x</sub> 発生 ・N <sub>2</sub> O 発生(温室効果は CO <sub>2</sub> の約 300 倍 とされている) ・毒性あり ・専焼での燃焼性、大出力化等の技術課題
LNG	0.74 メタンスリッ プ未考慮	1.65	・実用化済 ・(水素等に比べ)エネルギー体積密度が高い ・合成/バイオメタン用にインフラ転用可能 ・現行 IGF コードで規則整備済	・CO <sub>2</sub> 削減効果限定的 ・メタンスリップ [・化石燃料使用に対する国際的な逆風?]
メタン (CH <sub>4</sub> )	0.71 [0※2] メタンスリッ プ未考慮	1.80	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボ ンニュートラル扱い ・実用化済の LNG と技術的に同等に使用可 能 ・LNG のインフラ転用可能	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボ ンリサイクルメタンをカーボンニュートラルと する明示的な記載は無い
バイオディー ゼル	[0]	(~1.2)	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボ ンニュートラル扱い ・陸上において混焼は商業レベル	・貯蔵安定性の技術課題 [・他セクター消費のため、海運への供給不 足?]
メタノール (CH <sub>3</sub> OH)	0.90 [0※2]	2.39	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボ ンニュートラル扱い ・メタノール燃料船は建造実績あり ・取扱い容易	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボ ンリサイクルメタンをカーボンニュートラルと する明示的な記載は無い ・燃料体積(C 重油の約 2.4 倍) ・着火性、大出力化の技術課題
エタノール (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	0.93 [0※2]	1.79	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボ ンニュートラル扱い ・バイオエタノールの生産は商業レベル ・取扱い容易	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボ ンリサイクルメタンをカーボンニュートラルと する明示的な記載は無い ・着火性、大出力化の技術課題

※1 熱量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量及び燃料体積(液化時)は、低位発熱量 40.4 MJ/kg、CO<sub>2</sub> 排出係数 Cf=3.114 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel、比重 0.94 の船用重油(C 重油)を基準としている。熱量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量は IPCC ガイドライン 及び EEDI 計算ガイドライン の低位発熱量を基に算出している。

※2 カーボンリサイクル燃料(CO<sub>2</sub>を分離・回収して再利用する技術によって人工的に製造される燃料)やバイオ燃料の場合 0 となる。

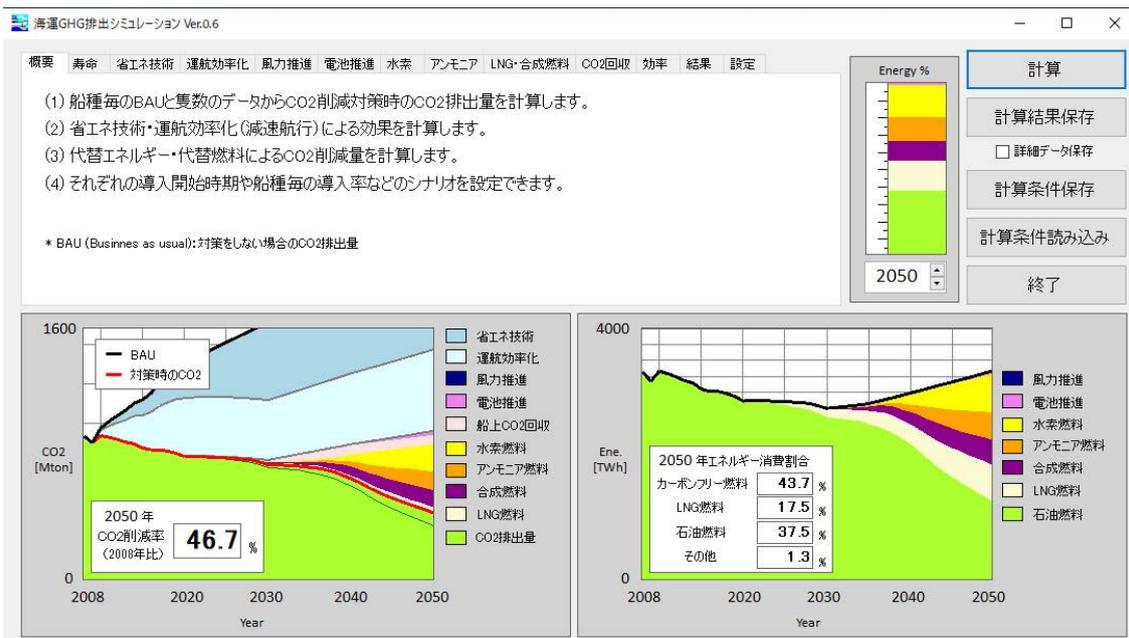


図 6 GHG 削減シナリオ検討ツールによる計算例

成果の公表

査読付き論文

なし

本文査読付き会議録

なし

その他の発表論文

(1) Y. niki, K. Hirata, Y. Ichikawa, C. Takahashi, Utilization of H<sub>2</sub> and ammonia as marine fuel, The International Council on Clean Transportation, Technical Workshop on Zero Emission Vessel Technology, (2019).

(2) 市川ほか、排気再循環技術による水素混焼リーンバーンガス機関の燃焼抑制に関する研究, 日本マリンエンジニアリング学会, 第89回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, 2019.10.

(3) 中村ほか、水素混焼リーンバーンガス機関のブローバイガス計測, 日本マリンエンジニアリング学会, 第89回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, 2019.10.

(4) 平田、低・脱炭素燃料に対応する船用動力システムに関する研究, 海上技術安全研究所報告(海技研研究発表会講演集)第19巻別冊, p.3-7, 2019年7月.

(5) 平田、船舶分野における地球温室効果ガス(GHG)排出削減技術, バリシップ2019, 海上技術安全研究所セミナー, 2019年5月.

(6) 平田、水素燃料電池システムの船舶分野への適用と研究開発事例, エネルギー総合工学研究所, 季報「エネルギー総合工学」, 2019年4月.

主な評価軸に基づく自己分析

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

2018年4月にIMO GHG削減戦略が採択されたことによって、研究の必要性が高まっている。GHG削減戦略対応は社会ニーズに適合している。水素やアンモニアなどのカーボンフリー燃料の実証試験は、社会的価値の創出に貢献している。

成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きい。

船舶用途の水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンは新規性・発展性が高く、成果の科学的意義は十分に大きい。特に、水素混焼エンジンに関連した排気再循環技術(EGR)に燃焼抑制手法の実証は、国内外の研究に先行した成果である。

成果が期待された時期に創出されているか。

上記の通り、2018年4月にIMO GHG削減戦略が採択されたことによって研究の必要性が高まっており、上記のカーボンフリー燃料の実証試験など、期待された時期に成果が創出されている。

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

GHG削減は国際的に必要な技術であり、水素混焼エンジンに関連した成果などは国際競争力の向上につながる。

萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの船舶への導入開始は2020年代後半になると考えられるものの、一部の要素研究やシステム開発研究は萌芽的技術として極めて重要であることから、先見性と機動性を持って対応している。

H28年度からR1年度の実績およびR4年度までの計画

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>B</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

## 【年度評価に関するコメント】

研究開発成果の最大化に向けた研究を実施しており、GHG 削減技術として将来的な成果の創出が期待できる。

## 【中間評価に関するコメント】

船舶用途の水素混焼エンジンやアンモニア混焼エンジンの実機試験は当所が先行して実施してきた。また、今までに実施してきた水素燃料の船舶への搭載技術の成果については、実用・普及に向けた開発につながっている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>B</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO2)、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p> <p>－排ガス規制対応のための計測・分析技術の開発、燃料・排ガス中の環境負荷物質評価手法の確立、SOxスクラバの小型化のための技術開発、SOx・GHG 排出削減規制対策のための排ガス処理技術開発を実施する。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(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築。具体的には、
- 流出油の回収・処理の高効率化に関する研究
  - 油・放射性物質等が環境放出した際の環境影響評価システムの高度化
    - ・モニタリングによる海底堆積物中の放射性物質濃度分布の分析
    - ・数値解析による海底堆積物中における放射性物質高濃度領域の形成過程の解明
    - ・環境影響評価システムの高度化・検証
  - 船体付着生物の問題に関する研究
  - 海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化

**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・船体防汚塗料に由来する銅等の船舶起源海洋汚染物質）を対象とした、閉鎖湾内・外洋のいずれの場合にも適用可能な海洋拡散シミュレーション計算基盤の構築。
- 船体付着生物管理ガイドラインの見直しにおける、妥当かつ合理性のある船体付着生物の越境移動抑制方策の提示。
- ニッチエリアに対する防汚技術が IMO で新たに問題視された場合の技術的バックデータの蓄積・提示。

上記成果は、以下の事が期待される。

- ①本研究の実施により新しい油回収・処理効率向上技術が開発されれば、油除去作業に伴う困難さが軽減され、かつ海難事故に起因する油流出による甚大な環境汚染を低減することが期待できる。
- ②本研究で整備される環境影響評価支援システムにより、事故対応措置のみならず、事故による漁業や水産物に与える影響を将来にわたって把握するために有用な情報の提供が可能となり、科学的根拠に基づく食品等の国内基準や行動規範の策定、衛生管理レベルの向上に資することが期待される。
- ③本研究で高度化される海洋拡散シミュレーション技術により、広範囲な物質(油・有害化学物質・放射性物質・船体防汚塗料に由来する銅等の船舶起源海洋汚染物質)及び広い海域(閉鎖湾内と外洋)を対象とした海洋拡散シミュレーション計算が可能となり、研究成果を化学物質の安全性評価に係る基礎データ、及び IMO における議論のバックデータとして活用することが期待できる。
- ④生物の越境移動の問題について合理的な規制が導入されることにより、海洋環境が保護される。また、国際ルールの形成に対して戦略的に関与することにより、我が国の海洋産業の国際競争力強化につながる。

### R1 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】

- 油処理剤の微細化促進効果が得られる処理剤混合方法及び混合条件を実験的に明らかにし、これまでに当所で実施した油回収・処理効率向上技術に関するとりまとめを行う。

#### 【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】

- 油等有害物質拡散モデル及び放射性物質拡散モデルを一つの環境影響評価システムに統合し、日本周辺海域の任意の海域で流出した油の流動計算ができるようにする。

#### 【船体付着生物の問題に関する研究】

- 日本提案の ISO 原案の発効を目指し、ソウ類を用いた防汚塗料の防汚効果評価試験方法のドラフトを作成する。

#### 【海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化】

- 油等有害物質及び放射性物質以外の船舶起源海洋汚染物質について IMO 提案書及び文献の調査を行い、これまで構築してきた海洋放出時環境影響評価システムへの適用可能性を調べる。

### R1 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】

- 座礁船の燃料タンクからの重質油回収作業を容易にするため、重質油に水及び添加剤（界面活性剤など）を加えて重質油の流動性を能動的に制御する手法について、実験的に検討した。

#### 【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】

- 曳航式放射線検出器を用いた海底堆積物中の放射性物質  $^{137}\text{Cs}$  濃度分布の経時変化に基づき、国のモニタリング計画へどのように反映すべきか、その提言をまとめた。

- 油流出を対象とした海洋拡散評価に対して、質量保存流速場モデルに基づく海流予測値を使用できるようにし、油流出事故直後に迅速に海洋拡散評価ができるようにシステムを改良した。

#### 【船体付着生物の問題に関する研究】

- ソウ類を対象とした防汚塗料性能評価試験法の骨子を作成し、主要な汚損生物であるシオミドロを用いたラボ試験を行って、温度・流速等の基本的な試験条件を設定した。さらに、実海域試験を行って得られた結果をラボ試験結果と比較することで、当該試験法の妥当性を検証した。

#### 【海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化】

- 船舶起源海洋汚染物質のうち、船底防汚塗料由来の銅化合物及び排ガス洗浄水中に含まれる重金属について、構築済みの海洋放出時環境影響評価システムへの適用可能性を調べた。

### R1 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】

- 重質油に加える水添加率及び界面活性剤種類／添加率を変化させた場合の粘度変化を計測した結果、適量の界面活性剤を加えることで重質油の粘度が（1000 分の 1 程度まで）急激に低下することが分かった（図 1）。また、顕微鏡観察の結果より、重質油－水－界面活性剤の 3 成分分散混合系が、水添加率を増やすと、不安定な W/O エマルジョンから安定した O/W エマルジョンへと転移することを確認した（図 2）。以上の試験結果は、重質油に界面活性剤を添加して加水することで、重質油の粘度特性を飛躍的に改善できる可能性を示唆するものである。

【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】

- 現在、本研究による海底堆積物中放射性物質濃度のモニタリング結果に基づく提言を、国によるモニタリング計画に反映させる取り組みが進められている。これにより、本研究成果は、国による放射性物質の分布状況の中長期予測に活用される。
- 油流出を対象とした海洋拡散評価に対して、質量保存流速場モデルに基づく海流予測値を使用できるようにし、油流出事故直後に迅速に海洋拡散評価ができるようにシステムを改良した(図3)。
- 【船体付着生物の問題に関する研究】
- 昨年度までに構築したフジツボ及びムラサキガイを用いた防汚塗料性能評価試験法に関する ISO 21716 Part-1~3 について、試験法案の追加修正及び各国コメントを反映し、委員会原案 (CD) 投票の通過、及び国際規格案 (DIS) の作成を経て、DIS 投票の段階まで進展させた。
- ソウ類を対象とした防汚塗料性能評価試験法の骨子を作成した。シオミドロ (*Ectocarpus siliculosus*) を用いてラボ実験を行い、当該試験法を用いて防汚塗料の性能が評価できることを示した(図4)。さらに、広島及び岡山の2か所で実海域試験を行って得られた亜酸化銅濃度と汚損との関係をラボ試験結果と比較したところ、両者の結果がおおむね一致しており、当該試験法の妥当性を確認することができた(図5)。以上のように、実海域浸漬試験を実施して妥当性が検証された防汚塗料性能評価試験法は、世界的にも例を見ないものである。
- ソウ類を用いた防汚塗料性能評価試験法に関する成果を、ISO/TC8/SC2/WG5 中間会合にて報告した。新規追加提案に備えて、ISO 21716-4 (藻類を用いた生物試験法) の原案 (NWP) を作成した。
- 【海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化】
- 流出油・放射性物質以外の船舶由来海洋汚染物質について、海洋放出時環境影響評価システムへの適用可能性を調べた。例えば船底防汚塗料由来の銅化合物については、従来行われている閉鎖湾内での影響評価手法で局所の高濃度生成領域の評価ができなため、海洋中微粒子に吸着・移流しつつ海底へ沈降してゆく運命モデルの開発が必要となる、等の結果を得た。

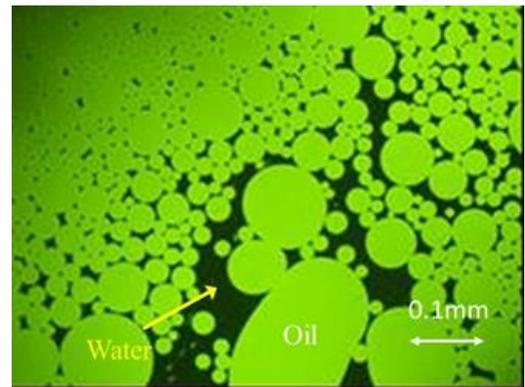
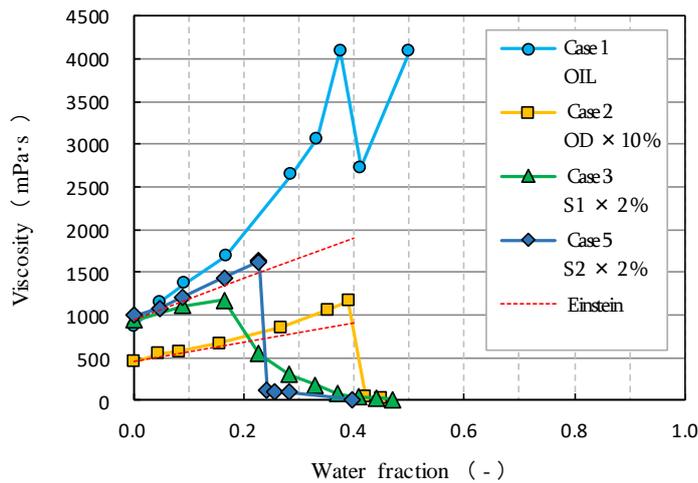


図2 図1のCase2でO/Wエマルションが安定形成されている状態

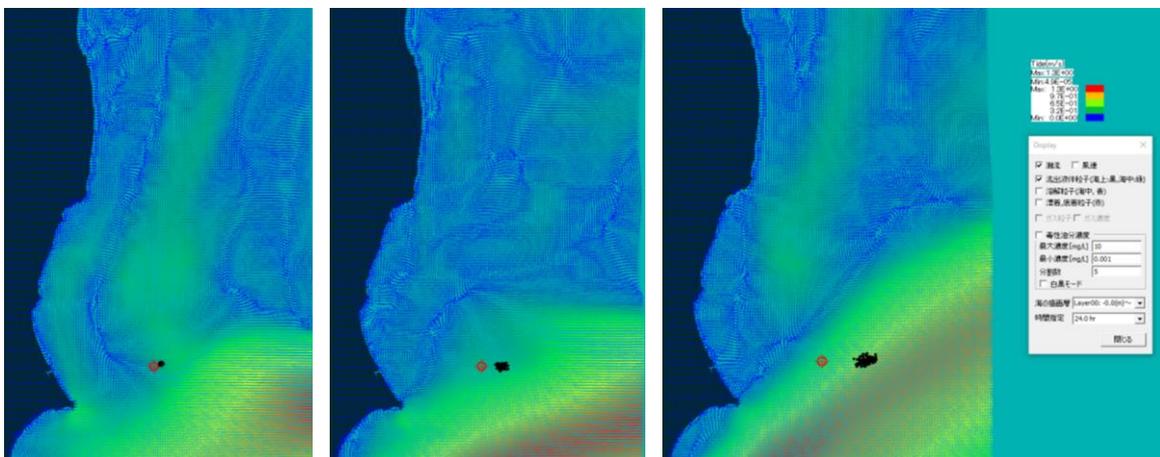


図3 質量保存流速場モデルに基づく油流出時海洋拡散計算例

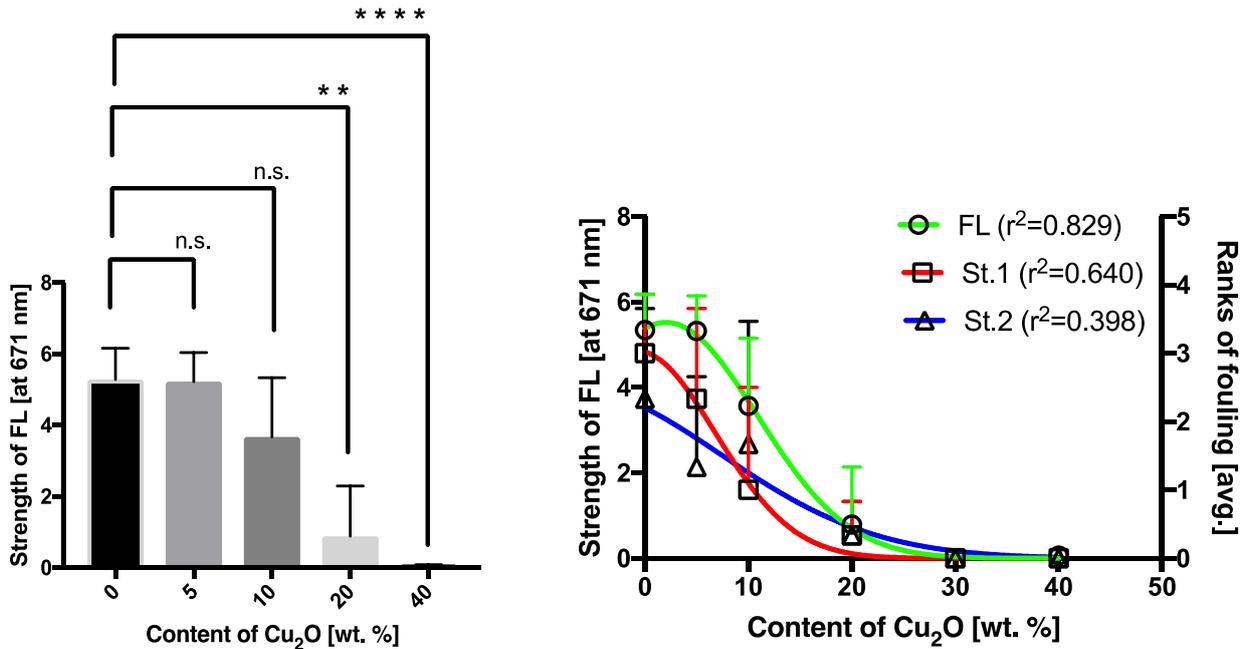


図4 シオミドロを用いた防汚塗料の性能評価試験結果

[左図]: ラボ生物試験における亜酸化銅配合量に対する、ソウ類から抽出した色素の蛍光強度値における有意差検定結果。\*\*は亜酸化銅配合量 0wt.%に対して有意な差を、\*\*\*\*は非常に顕著な有意差を示している。  
 [右図]: 亜酸化銅配合量に対する実海域浸漬試験とラボ生物試験との比較。FL (緑): ラボ実験における蛍光強度値、St.1 (赤) 及び St.2 (岡山): 広島及び岡山での実海域試験における汚損指数。両者とも亜酸化銅配合量の増加に伴い汚損が減少する傾向を示している。

#### 成果の公表

##### ・講演発表 (査読あり)

- (1) Kojima R, *et al.*, “A laboratory bioassay for the efficacy of antifouling paints using *Ectocarpus siliculosus*”, The 12<sup>th</sup> International Marine Biotechnology Conference, Shizuoka, 2019. Sep.
- (2) Kojima R, *et al.*, A laboratory *in-situ* bioassay for evaluating the efficacy of anti-fouling paints using macroalgae *Ectocarpus siliculosus*”, Aquaculture Europe 2019, Berlin, 2019. Oct.

##### ・口頭発表 (査読なし)

- (3) 小野正夫ほか4名, エマルション化による高粘度重質油の流動性向上に関する検討, 日本機械学会関東支部第26期総会・講演会講演論文集 (2020).

##### ・ISO 資料

- (4) R. Kojima, “A report on the progress of the proposed WD 21716-4 (Part-4: Algae), Intersessional meeting of ISO/TC8/SC2/WG5 at Hamburg, Germany (Hamburg DIN), 2019. Nov.
- (5) Ships and marine technology – Bioassay methods for screening anti-fouling paints – Part 1: General requirements, ISO/CD 21716-1, 2020 (発効).
- (6) Ships and marine technology – Bioassay methods for screening anti-fouling paints – Part 2: Mussels, ISO/CD 21716-2, 2020 (発効).
- (7) Ships and marine technology – Bioassay methods for screening anti-fouling paints – Part 3: Barnacles, ISO/CD 21716-3, 2020 (発効).

#### 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。
- 現在、本研究で実施した海底堆積物中放射性物質 <sup>137</sup>Cs 濃度分布のモニタリング結果に基づく提言を、国によるモニタリング計画に反映させる取り組みが進行中であり、国の方針 (行政ニーズ) に適合している。本研究成果は、国による放射性物質の分布状況の中長期予測に活用される予定であり、国民の安全・安心の確保に貢献するものである。
- 船体付着生物の問題に関する研究は、我が国が IMO 等国際の場において、科学的合理性と実行性の両面から妥当な防汚塗料性能評価試験法を提案することを目的に、国と連携して検討を進めているもので、国の方針に適合している。

- 成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
- 本研究で得られた海底堆積物中放射性物質濃度に関する実測データは、放射性物質の海中移行モデルの比較検証用データとして活用することができるものであり、科学的意義が大きい。
- 実海域浸漬試験を実施して妥当性が検証された防汚塗料性能評価試験法は、世界的にも例を見ないものである。
  
- 成果が期待された時期に創出されているか。
- 海底堆積物中放射性物質のモニタリング結果に基づく提言は、原子力規制庁からの行政要望として実施され、国のスケジュールに従って期待された時期に成果が創出された。
- 今後 IMO で予定されている船体付着生物管理ガイドラインの見直しへの対応として、防汚塗料の防汚効果評価試験方法の ISO 化をほぼ完了させており（ISO 21716 Part-1~3 は完了、Part-4 については R2 年度中に完了予定）、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。
- 本研究で得られた海底堆積物中放射性物質濃度に関する実測データは、放射性物質の海中移行モデルの比較検証用データとして活用することができるものであり、国際的な水準に照らして十分に大きな意義がある。
- ソウ類を用いた防汚塗料性能評価試験法に関する研究成果を国際会議で発表したほか、同成果を ISO/TC8/SC2/WG5 中間会合にて報告し、当該試験法の有効性や実行性の面で優れていることをアピールできた。今後、本成果を IMO における船体付着生物管理ガイドラインの見直しに反映させる準備が整ったことから、その意義は十分に大きいと考える。
  
- 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。
- 高粘度重質油の回収効率化に関して、重質油の粘度特性を飛躍的に改善できる可能性のある研究結果を得た。本研究については、次年度から科研費により詳細な検討を行う予定である。

**H28 年度から R1 年度の実績および R4 年度までの計画**

（別紙を作成）

研究主任者による自己評価	
年度評価（R1 年度）	<b>B</b>
中間評価（H28～R1 年度）	<b>B～A</b>

**【年度評価に関するコメント】**

- 船舶に関連する海洋汚染物質のうち、国内外で特に問題となっている放射性物質、船体付着生物、流出油を対象に、個別の課題を解決するための研究を実施し、当初の予定通りの成果を得ることができた。

**【中間評価に関するコメント】**

- 従来型オイルフェンスの持つ課題（設置時間が長い、船舶航行の障害となる、再利用できない）をクリアできる新型オイルフェンスを港空研及びメーカーと共同開発し、性能評価及び特許出願を行った。
- 前中長期計画で作成し、すでに原子力規制庁で放射性物質環境影響評価に使用されているシステムに、詳細計算が可能な数値海洋モデルを組み込んで事故後の再現計算機能を備えたシステムへと高度化した。また、福島沖で海底堆積物中放射性物質の実測を行い、その結果に基づき行った提言が、国による将来予測に活用されており、行政ニーズに応える十分な成果を上げている。
- 船体付着生物の問題に関する研究では、IMO における議論の動向を注視しつつ、代表的な船底付着生物を対象に、科学的合理性と実行性の両面から妥当な防汚塗料性能評価試験法を開発し、ラボ／実海域実験を通じて当該試験法の妥当性を検証した。その結果を ISO 21716 として提出し、IMO での船体付着生物管理ガイドラインの見直しの際の技術バックデータを提供することができた。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>B</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>B</b>

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p> <p>②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p> <p>ー海洋再生可能エネルギー浮体式風力発電については、3翼独立制御制御の効果をもとに検証する。浮体式波力発電については、実用化を目指した高効率制御システムの検討を行う。等</p> <p>②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p> <p>ー商業化に向けた採鉱システムに係る安全性・稼働性評価、計画支援プログラムの開発、厳海象下で用いられる浮体システムの係留設計法の開発、大型海底機器揚降作業に関する安全性評価技術の検討、海底フローライン中の流動現象モデリングの検討を実施する。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、

□海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究

- ・低コスト・高効率発電デバイスの開発
- ・認証及びステージゲート判定のための安全性・性能評価手法の構築

・産業化に向けた要素技術の開発

- 海洋資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究
  - ・海底熱水鉱床開発等のナショナルプロジェクトの技術支援
  - ・厳環境下に設置される海洋資源開発システムの安全性・稼働性評価手法の構築
- 海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究
  - ・プロジェクト認証支援技術の開発
  - ・プロジェクト認証基準の整備

研究目標

- 安全性及び経済性を両立させた海洋再生可能エネルギー発電デバイスを開発する。また、安全ガイドラインを整備・改訂するとともに、必要となる実験技術を確立する。さらに要素技術として、浮体式洋上風力発電では、安全性及び経済性を両立させるブレードピッチ制御手法を確立する。また、波力発電装置に関する実時間制御・発電電力評価法を構築する。
- 商業化を目指した海底熱水鉱床開発用全体システムに関する安全性・稼働性評価手法を構築するとともに、厳環境下におけるサブシー機器を含めた海洋資源開発システムの設計手法及び安全性評価手法を構築する。
- 海洋資源開発システムのプロジェクト認証の技術的基盤である支援技術を開発するとともに、認証基準を整備（海洋開発分野のオペレーション安全ガイドラインの作成等）する。

上記成果は、以下があげられる。

- ①開発した技術を活用し、ナショナルプロジェクト等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る。エネルギーモード（例えば、波力）によっては、位置的偏在が比較的に少ないため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ため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。
- ②商業化を目指した海底熱水鉱床開発用海中システムや全体システムの計画支援を行うことにより、技術的・経済的にフィジブルなシステム開発を可能とし、世界初となる海底熱水鉱床開発事業の実現につながる。さらには、研究成果を他の海底鉱物資源開発事業に展開する。また、我が国民間企業の海洋産業への進出を技術的に支援することにより、我が国の海洋産業の育成やエネルギー・鉱物資源の安定供給確保に貢献することができる。
- ③海洋開発分野のオペレーション安全ガイドラインの策定により、海洋資源開発プロジェクトへの我が国事業者の参入及び国内での海洋構造物の導入が促進される。リスクを把握及び予測した導入計画が立てられ、安全を配慮した海洋開発が実現可能で、当該分野の安全技術の進歩も期待できる。

R1 年度の研究内容

- 海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究
  - ・海洋再生可能エネルギー浮体式風力発電施設の新たなガイドラインに対する検討課題を抽出する。
  - ・浮体式風力発電施設のブレードピッチ制御手法を数値シミュレーション及び実験法の観点から検討する。
  - ・海洋再生可能エネルギー波力発電について、強化学習を用いた新形式制御法及び陸上試験システムを用いた実時間制御・発電電力評価技術の構築に向けた検討を行う。
- 海洋資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究
  - ・採掘ユニットから揚鉱ユニットまでの鉱石移送時の移送管の挙動及び摩耗低減手法の検討に資するデータを試験により取得するとともに、平成30年度に開発した採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船を一体とした解析プログラムの改良を図るための検討を行う。さらに、海底鉱石の選別に係る検討を行う。
  - ・海底熱水鉱床開発等に用いられる全体システムの計画支援プログラムを開発する。
  - ・マネージドアイス中の浮体動揺シミュレーションの検証データを得るために、氷海水槽での係留試験データの解析及び、最新の社会情勢を反映させた個別要素法の利用に向けて氷海工学関連分野の調査を行う。平成30年度に実施した文献調査等からの実験データとの比較結果に基づき氷の材料モデルの改良を行う。さらに構造応答解析を実施し、氷の破壊挙動の構造安全性に対する影響を検討する。
  - ・海中機器を対象とした吊荷と多目的作業船の波浪中連成運動についての数値解析を行うとともに、揚降物に作用する水面衝撃圧の数値シミュレーションに関する数値計算法の調査及び水槽実験について検討する。さらに、フローアシュアランスの解析で使用される非定常解析プログラムを開発する。
- 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
  - ・海洋開発の事故リスク評価手法の整備のため、津波襲来時に想定される一点係留のFSRUと漂流船舶との衝突事故を対象として、考えられるハザードを抽出し、事故シナリオを作成する。これらを基に、FSRUと漂流船舶の挙動シミュレーションを行い、漂流及び衝突の発生状況を解析する。
  - ・50m規模の浅海で使用されるようになった合成繊維ロープを対象に、終局限界状態における係留系の挙動を把握するため、数値シミュレーションにより最大張力に対する軸剛性の非線形性及び影響の検討を

行う。

- ・ 厳海象条件下でバースに係留された船舶に対する挙動評価技術の構築のため、前年度に製作した、係留された船舶の挙動計算モデルに対し水槽試験（曳航試験、自由動揺試験、波浪中動揺試験）を実施し、シミュレーション計算に必要なデータの取得及び計算モデルの精度検証を行う。

#### R1 年度の実績

□ 海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究

- ・ 海洋再生可能エネルギー浮体式風力発電については、平成 30 年度の研究成果（損傷時復原性の確保に関する国内への適用に必要な条件の明確化）が浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン（令和 2 年 3 月改正）に反映されるとともに、国海事行政の要請に基づき新たなガイドラインに対する検討課題を抽出して、その課題に対する解決方法を示した。
- ・ さらに、安全性及び経済性を両立させる風力発電施設運用を目指して、ブレードピッチ制御を風洞施設内で実現できる模型製作を行うとともに、風力発電施設の後流状況の把握、浮体動揺やブレードピッチ制御による風車後流への影響を把握した。
- ・ 海洋再生可能エネルギー波力発電については、水槽模型に搭載可能な小型 PTO 模型を設計し、数値計算にて実時間制御器の発電性能を把握した。

□ 海洋資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究

- ・ 採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船を一体とした挙動解析プログラムの開発を行うにあたり、採掘ユニットから揚鉱ユニットまでをつなぐ移送管部分について、平成 30 年度に取得した水单相移送時の移送管に関する水槽試験データと計算結果の比較を行い、開発中のプログラムをスラリー移送へ拡張するためのモデル化について検討した。併せて、生産時のスラリー移送を想定した水槽試験を実施し、プログラムの検証用データを取得した。

スラリー移送によってスラリー輸送管の摩耗量を評価する実験を行う際に、スラリー液中の溶存酸素濃度を制御することを目的として、特殊な技術により溶存酸素濃度を制御した溶液を作成することができることを確認するとともに、それらの溶液に鋼板を浸漬しておくことで、溶存酸素濃度の違いによる鋼板の錆の発生程度が異なることを確認した。

海底鉱石選別ユニットの検討として、気泡による鉱石粒子の選別ならびに固液混合物の管路輸送における圧力損失評価の研究を実施した。気泡による鉱石粒子の選別では、気泡のサイズ計測を行うため、画像処理ライブラリ（OpenCV）を用いた気泡径計測プログラムの開発を実施した。また、鉱石粒子の選別に適した新たな手法を探索し、超音波を用いた手法の原理を確認する実験を行い、海底選別への適用可能性を検討した。固液混合物の管路輸送における圧力損失評価では、従来水平管の圧力損失評価に用いられている経験式を鉛直管および曲げ管にも適用し、適用可能範囲の検討を行った。なお、これらの検討は、横浜国立大学連携講座における研究指導の一環として実施した。

横浜国立大学連携講座では、大学院生 3 名（博士課程前期 2 年×2 名、博士課程前期 1 年×1 名）及び学部 4 年生 3 名に対する研究指導を実施した。学生には、FPSO の offloading 稼働性評価（M2）、浮体構造物の External Turret に作用するスラム力の評価（M1）、強制動揺装置を用いた波浪中船体衝撃力の再現と計測（B4）、気液二相流に含まれる気泡のサイズ計測プログラムの開発（M2）、固液二相流の圧力損失評価（B4）、超音波を用いた海底鉱石選別手法の基礎的研究（B4）のテーマを与え、平均して週 1 回のペースで研究指導を行った。修士論文 2 件及び卒業論文 3 件の指導を行った。

- ・ 平成 30 年度に抽出した課題を踏まえて計画支援プログラムの修正を行って、プログラムを完成した。

採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船・シャトル船による採掘・揚鉱・払出し・陸上での荷役までを考慮した陸揚げ量を評価可能とする全体システム稼働性評価技術の開発を最終目標として、揚鉱から陸上での荷役までを評価可能なプログラムを開発した。なお本研究は、当初は計画しておらず、社会ニーズ等を踏まえて今年度新たに追加したものである。

- ・ マネージドアイス中の浮体動揺シミュレーションの検証データを得るために、氷海水槽での係留試験データを解析し国際シンポジウムで発表した。カナダ国立研究機関、セントジョンズ C-CORE 社、ニューファンドランドメモリアル大学を訪問し氷海工学関連分野の研究調査を実施した。

構造安全性評価のための氷塊の材料構成則及び解析モデルの検討を行った。フィンランド国立技術研究センターの論文に掲載されている氷塊-鉄球衝突の実験データを数値化し、当該実験と同条件の非線形衝突シミュレーションを実施した。衝突時の荷重時刻歴について同実験データと数値シミュレーション結果の比

較を行い、氷の材料モデルの改良に関する検討を実施した。

- ・吊荷の振れ回り運動解析プログラムを開発し、平成30年度に実施した水槽試験結果との比較検討を行うとともに、稼働性評価に資するクレーン作業中の多目的作業船と吊荷の連成運動解析を実施した。

作業船で揚降作業中の吊荷が水面を貫通する際に作用する衝撃荷重を数値シミュレーションすることを目的に計算手法について調査を行った。そして、本研究所で開発された構造格子用CFDソルバーNAGISAの水面衝突の数値シミュレーションへの適用性を確認するために、まずはNAGISAを用いて単相流による水面衝突シミュレーションを行った。円柱の移動には動的重合格子法を用い、自由表面影響はレベルセット法を用いた。また、計算時間の観点から有望である格子ボルツマン法プログラムの開発に着手した。吊荷に作用する衝撃荷重の実験的検討のため、試験計画及び模型製作を行った。

フローアシュアランスの解析に適した水平配管内部を流れる気液二相流の非定常解析法を検討し、その解析プログラムを開発した。

□海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究

- ・一点係留のFSRUと漂流船舶との衝突に関するハザード及びシナリオに基づき、津波中の外力特性を含めた船舶の漂流挙動シミュレーションを行い、漂流挙動と衝突発生時の状態は、船舶への津波襲来時の入射角が影響することを明らかにした。
- ・シミュレーション対象を洋上風力発電施設とした。非線形軸剛性の影響検討の準備として浮体・係留・風車の一体シミュレーションモデルを構築し、線形軸剛性ライン係留での他機関の計算結果との比較計算を行った。また、他機関が行った非線形軸剛性ライン係留の実験（非公開）との比較計算を準備中である。
- ・バルクキャリア船型を対象とした曳航試験により、船体に作用する浅水域での潮流力荷重係数を取得した。また、バースに係留された船舶に対する波浪中動揺試験を実施し、前年度に製作した係留動揺シミュレーションモデルの精度を検証し、良好な結果が得られた。

**R1年度の研究成果**

□海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究

- ・海洋再生可能エネルギー浮体式風力発電については、国海事行政の要請に基づき新たなガイドラインに対する検討課題を抽出するとともに、その課題に対する解決方法を示した（図1）。

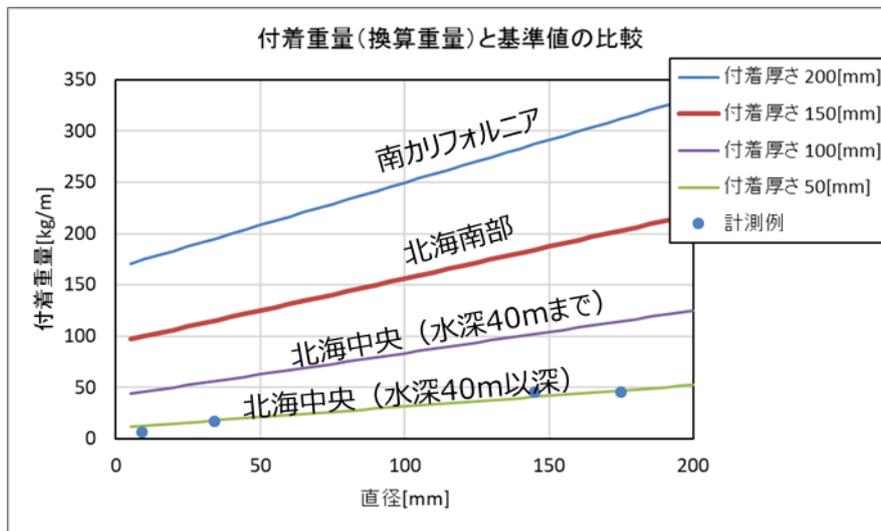


図1 合成繊維索直径と生物付着（青丸）及びISO評価値の関係（年評価値）

- ・さらに、安全性及び経済性を両立させる風力発電施設運用を目指して、ブレードピッチ制御を風洞施設内で実現できる模型製作を行うとともに、風力発電施設の後流状況の把握、浮体動揺やブレードピッチ制御による風車後流への影響を把握した（図2）。

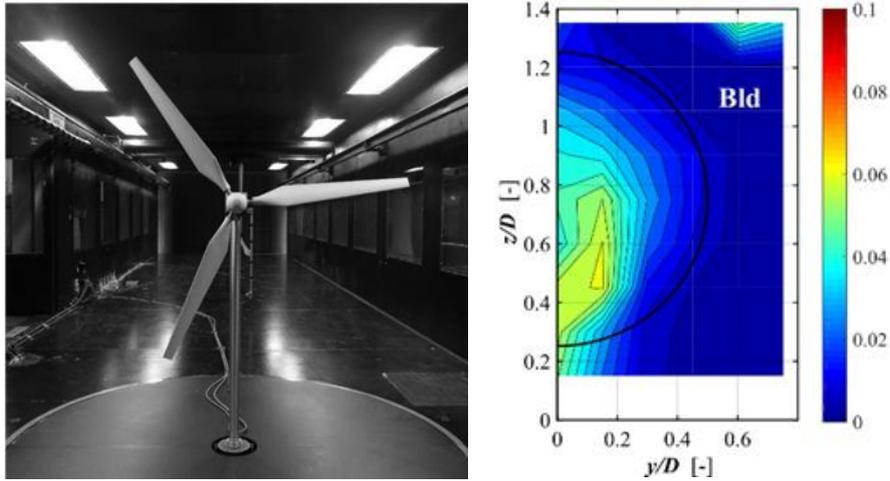


図2 ブレードピッチ制御可能な風洞模型と後流影響評価

- ・海洋再生可能エネルギー波力発電については、試設計に適用可能な短期予測に基づく変位制約条件を考慮した発電量最大化制御法を提案した(図3)。

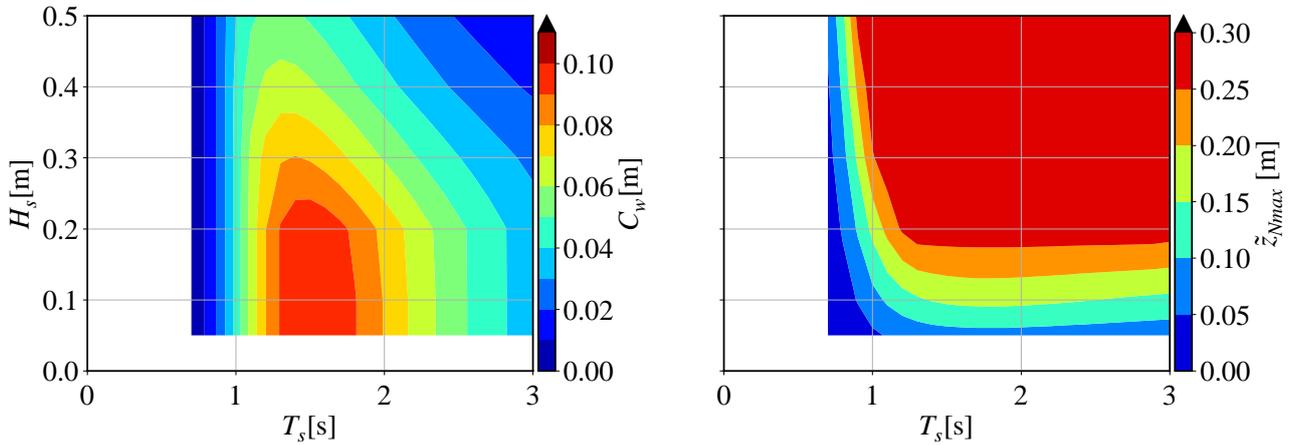


図3 有義波高及び有義波周期に対するエネルギー吸収幅(左)と最大変位(右)

□海洋資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究

- ・採掘ユニット・揚鉦ユニット・採鉦母船を一体とした挙動解析プログラムの開発では、これまでの水中線状構造物挙動解析プログラムの動的解析において考慮されていなかった管内の局所的な内圧変動やスラリ一流の濃度変動の影響を含めた解析が可能なプログラム開発を進めている。平成30年度に取得した内部流れ(水単相流)の影響に係る移送管模型試験データと計算結果との比較(図4)を通じて、内圧変動を考慮したプログラムを作成するために必要な項目を抽出した。さらに、スラリ移送を想定した模型試験(公開実験も実施)を行い、次年度に実施するプログラム検証のためのデータを取得した(図5)。

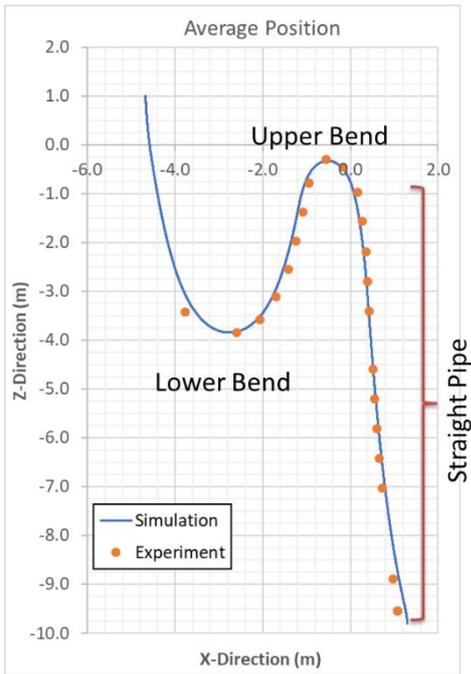


図4 移送管挙動の実験値と計算値の比較例  
(内部流：水単相)



図5 スラリー移送を想定した模型試験の様子  
(公開実験時)

スラリー輸送管の摩耗量評価手法の検討のため、溶存酸素濃度の異なる溶液を清水と人工海水で複数種類作成し、鉄の鋼板を浸漬させて溶存酸素濃度の経時変化と鋼板の錆の発生程度を確認する基礎実験を実施した。基礎実験を通して、溶存酸素濃度の制御方法や、溶存酸素濃度と錆の発生程度の間関係を明らかにし、特許出願を行った。

海底鉱石選別ユニットの検討として、気泡による鉱石粒子の選別ならびに固液混合物の管路輸送における圧力損失評価の研究を実施した（本研究は、横浜国立大学連携講座における研究指導の一環として実施）。気泡による鉱石粒子の選別では、気泡のサイズ計測を行うため、画像処理ライブラリ（OpenCV）を用いた気泡径計測プログラムを開発した。プログラムにより計測された気泡径を手動で計測した気泡径と比較し、比較的良好な精度で計測が可能であることを確認した（図6）。また、鉱石粒子の選別に適した微細な気泡を発生させる新たな手法として、超音波を用いた手法の原理を確認する実験を行い、海底選別への適用可能性を検討した。実験では、超音波の照射による気泡発生を確認するとともに、超音波の周波数及び出力、水温等の条件が気泡発生や粒子選別に及ぼす影響について調査した（図7）。さらに、固液混合物の管路輸送における圧力損失評価では、従来水平管の圧力損失評価に用いられている Durand 式の鉛直管及び曲げ管への適用可能範囲の検討を行った。数種類の固体粒子群を用いて、固液混合物を、閉ループ式の管路模型（内径 25mmΦ）内を異なる流量条件で流動させる実験を行って、管内流速がおおむね 1.5m/s 以上となる条件では、圧力損失の実験値と計算値が±20%の範囲で一致することが示された。

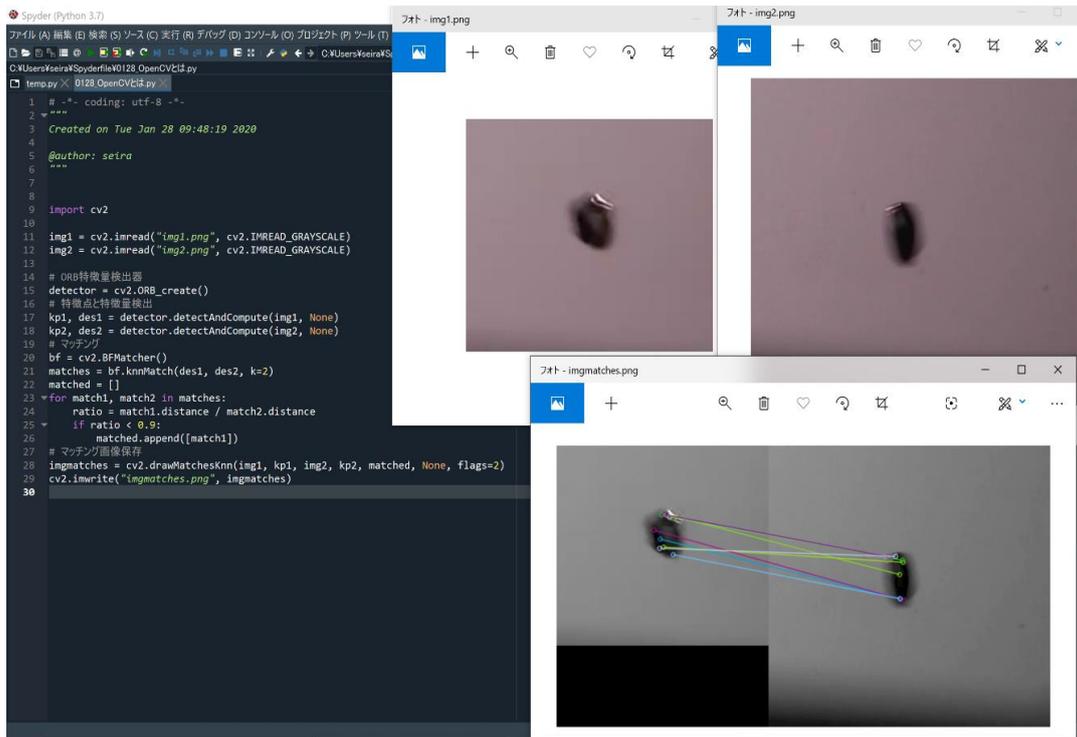


図6 気泡径計測プログラムの画面及び画像中の気泡の特徴点マッチングの例

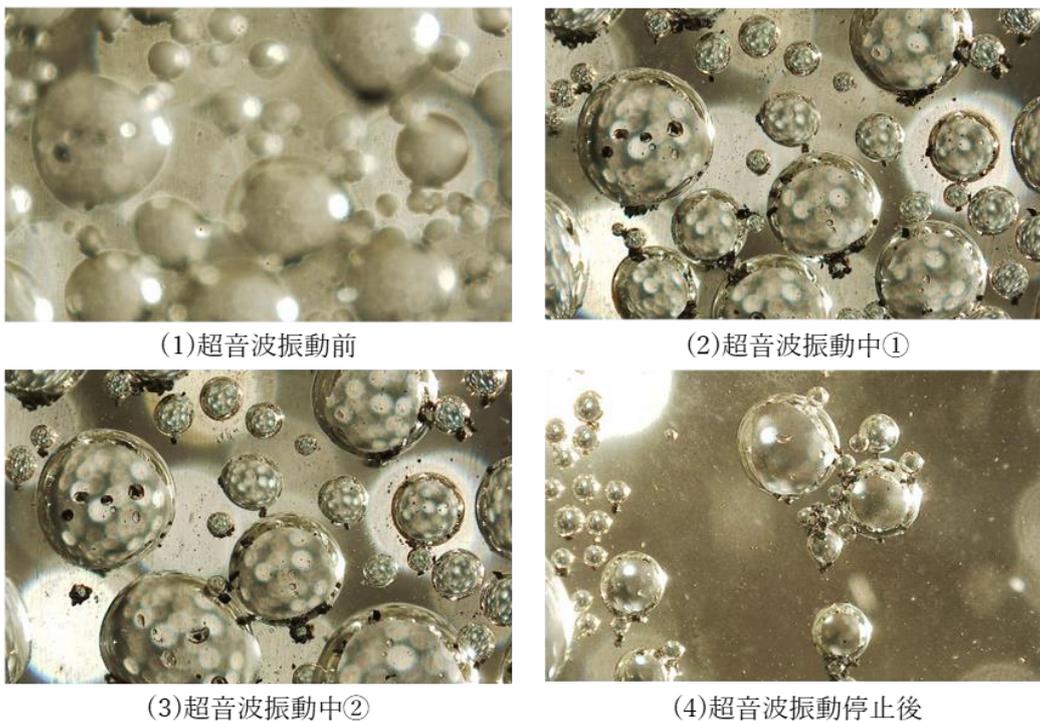


図7 超音波照射による微細気泡周辺の鉋物粒子の挙動（マイクロSCOPEによる観察）

横浜国立大学連携講座としては、大学院生3名（博士課程前期2年×2名、博士課程前期1年×1名）及び学部4年生3名に対する研究指導を実施した。学生には、FPSOのoffloading稼働性評価（M2）、浮体構造物のExternal Turretに作用するスラム力の評価（M1）、強制動揺装置を用いた波浪中船体衝撃力の再現と計測（B4）、気泡のサイズ計測プログラムの開発（M2）、固液二相流の圧力損失評価（B4）、超音波を用いた新たな海底鉋石選別手法の基礎的研究（B4）のテーマを与え、平均して週1回のペースで研究指導を行った。上記の研究指導の成果として、査読付き論文2件、その他の発表1件の成果公表が得られた。

- ・平成30年度に抽出した課題を踏まえて計画支援プログラムの修正を行い、プログラムを完成させた(図8)。さらに、揚鉋から陸上での荷役までを考慮した全体システムの稼働性評価プログラムを開発した(図9)。



図8 計画支援プログラムのインターフェース  
(左: 表紙、右: データ出力画面のイメージ)

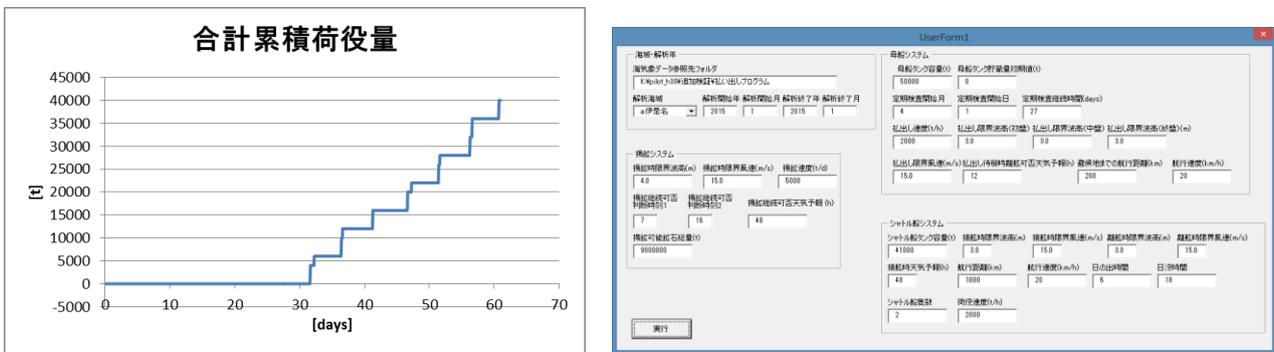


図9 全体システム稼働率計算プログラム  
(左: 合計累積荷役量の例、右: 入力用インターフェース)

- 係留浮体が氷盤サイズと漂流速度から得られる代表時間ならびに氷盤の破壊サイズ（特性長）と漂流速度から得られる代表時間に起因すると思われる振動成分を明らかにした（図10）。冰山から海底機器を保護するためのシステムやリッジ、リッジキールと海底との干渉等に関する海外機関の現在の取組みや今後の計画ならびにデータを共有し、個別要素法を利用した新たな研究計画を立案した。

氷塊－鉄球衝突の実験データと同条件の非線形衝突シミュレーション結果を衝突時の荷重時刻歴に関して比較し、前年度までに作成した氷の材料モデルによって合理的に荷重を推定できることが分かった（図11）。また、氷の材料モデルはモデルスケールに依存し、その影響を適切に考慮するには氷の破碎挙動を表現する必要があるが、当該挙動はモデルのメッシュサイズに大きく依存するため、P-A（Pressure-Area）カーブと等価になるように応力-歪関係を設定するのが計算上好ましいことがわかった。

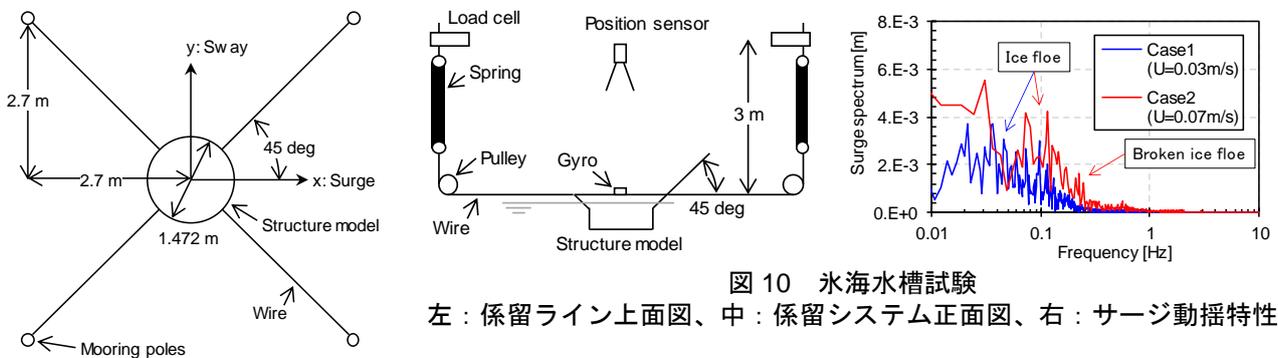


図10 氷海水槽試験  
左: 係留ライン上面図、中: 係留システム正面図、右: サージ動揺特性



図 11-1 氷塊-鉄球衝突実験

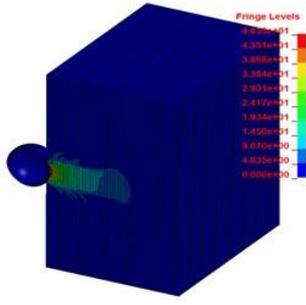


図 11-2 衝突シミュレーション

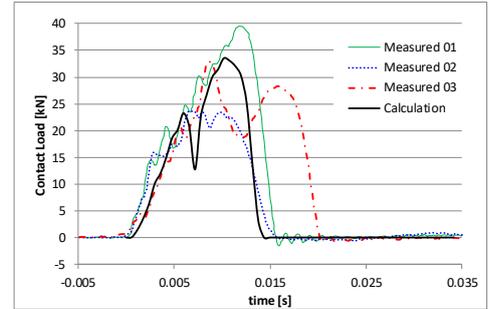


図 11-3 荷重時系列の比較

- 多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動について詳細に分析した。吊荷が作業船の排水量に対して高々1%程度であっても吊点次第では連成挙動に大きな影響を与えることを明らかにした(図12)。

本研究所で開発された構造格子用 CFD ソルバーNAGISA の RANS (レイノルズ平均モデル) を用いて 2次元円柱の水面衝突シミュレーションを単相にて解析して、その解析性能について把握した(図13)。また、格子ボルツマン法の解析有意性について調査し、気液二相計算のための計算プログラムの開発に着手した。

フローシュアランス解析で必要となる水平配管内における非定常気液二相流解析プログラムを新たに開発した。

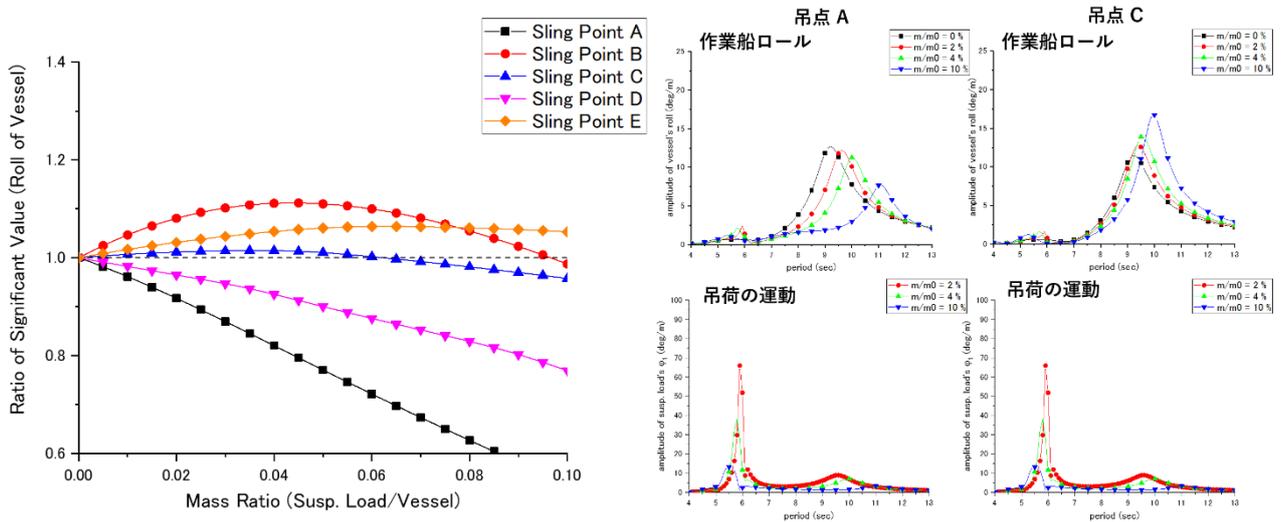


図 12 吊荷と多目的作業船の連成運動評価結果  
(左: 不規則波中での連成影響評価、右: 吊荷の質量が応答関数へ与える影響の変化)

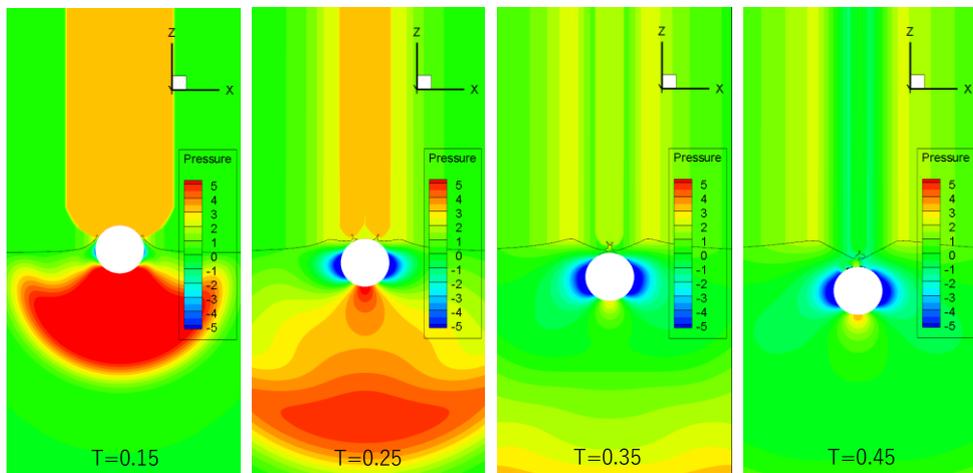


図 13 NAGISA による 2次元円柱の水面衝突シミュレーション  
(直径 1m、衝突速度 3m/s、実線は水面、コンターは圧力を表す)

□ 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

- ・ 漂流や衝突に関する過去の事故事例や論文等を調査し、津波襲来時に一点係留のFSRUと船舶の漂流及び衝突に関する考えられるハザードの抽出及び事故シナリオの作成を実施した。このハザードやシナリオに基づき、昨年度構築した津波波力と潮流力の特徴を考慮した漂流運動をするシミュレーションモデルを用いて、ある津波条件下のFSRUと船舶の漂流挙動を解析したところ、初期状態のFSRUと船舶への津波襲来時の入射角が、漂流挙動に大きく影響を及ぼすことが分かった(図14)。津波の流向の変化後は、当初の津波の入射角によらずに船首方位がほぼ一定となるため(図15)、FSRUと漂流船舶の衝突の向きや速度等の衝突パターンを大別することができた。

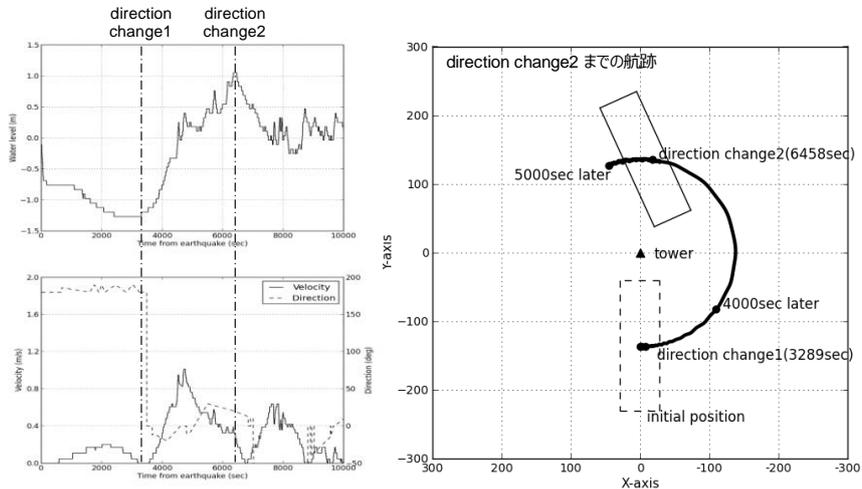


図14 津波襲来時のFSRUの漂流航跡

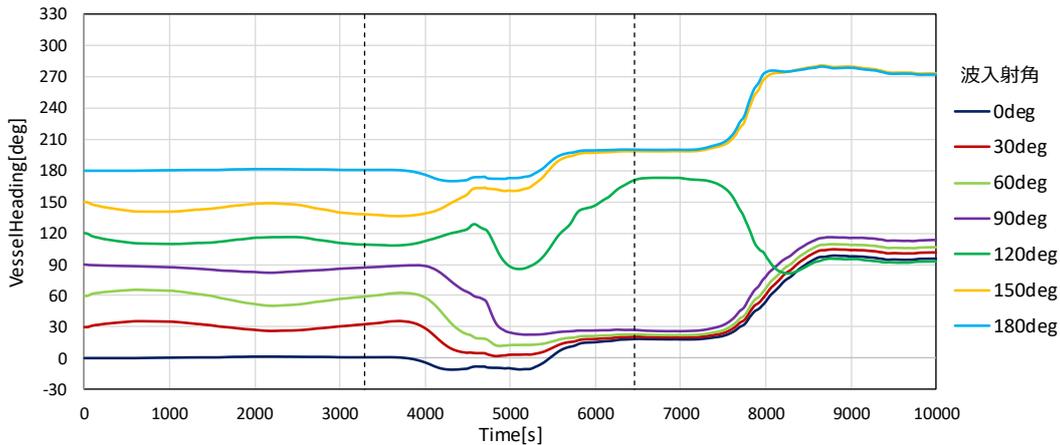


図15 漂流中の船舶の船首方位の変化

- ・ 洋上風力発電施設を対象とした浮体・係留・風車の一体シミュレーションモデルを構築し、他機関の計算結果との比較を行って、異なる風乱流モデル(当研究所: 1軸、他機関: 3軸)を用いても係留ライン張力に差異はほとんど見られないことを確認した(図16)。さらに、合成繊維索を用いた係留系の安全性評価手法に関する検討を行って、現行の浮体式洋上風力発電施設の安全ガイドラインにおける留意点を抽出した。具体的には、現行の安全ガイドラインでは『① 現状では一体解析技術は確立されているとは言えない、② 合成繊維索の非線形軸剛性は線形化して扱う』となっているが、検討の結果、① 一体解析技術による安全性評価が許容可能であることを示唆する結果が得られた、② ナイロン等の非線形性の強い素材では、非線形性について留意するよう注意喚起が必要であることを示した(図17)。

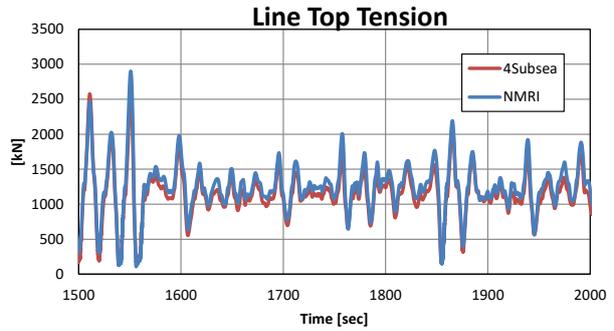
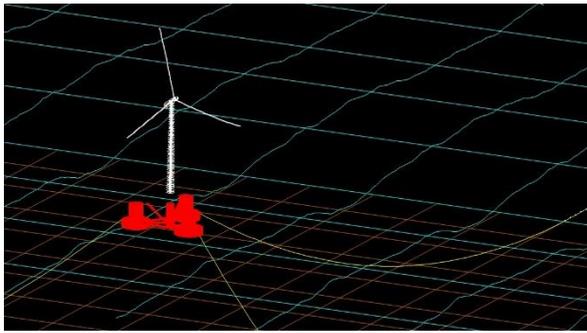


図 16 50年再現暴風中のライン張力の計算結果の比較

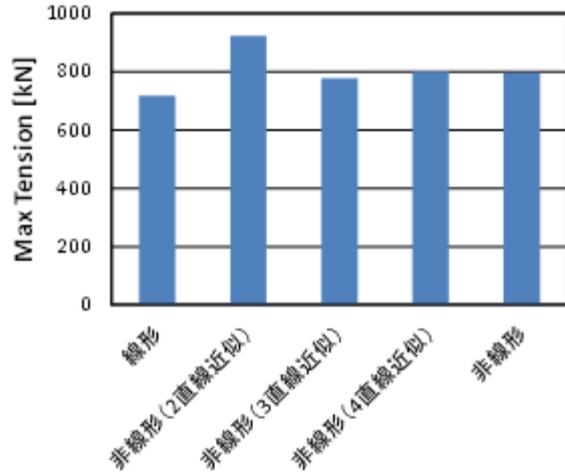
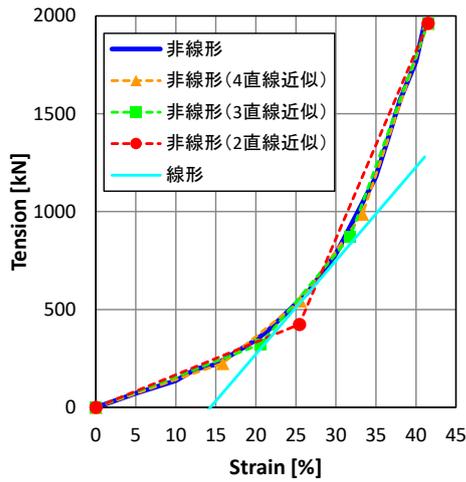


図 17 合成繊維索の非線形軸剛性モデルの違いによるライン最大張力の変化

(左: 各モデルのライン特性、右: 50年再現暴風中のライン最大張力)

※ 本事例では、4直線以上での近似により非線形特性を考慮しないと正しい評価ができなことが示唆された。

- 係留船舶としてバルクキャリア船型を対象とした、浅水域（水深喫水比  $H/d=1.2$ ）での曳航試験を実施し、船体に作用する潮流荷重係数を取得することで、流体力 DB を拡充した。昨年度に取得した深水域での結果と比較を行い、潮流荷重係数に及ぼす水深影響を把握した（図 18）。また、波浪中における係留動揺試験を実施した（図 19）。風波に加えて、うねりのような長周期波の有無や係留破断を模擬した実験も行い、破断後の浮体動揺と索張力の過渡応答についても、データを取得することができた。また、実験結果を用いて平成 30 年度に製作した数値シミュレーションモデルの推定精度の検証を行い、良好な結果を得ることができた（図 20）。

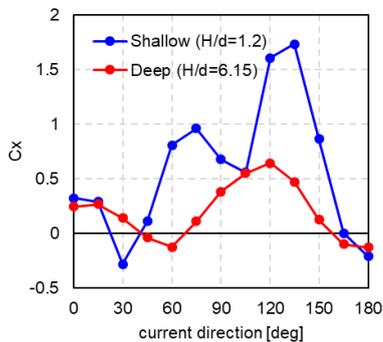


図 18 バルクキャリア船型に作用する潮流荷重係数（前後力）



図 19 パースに係留された船舶の波浪中動揺試験

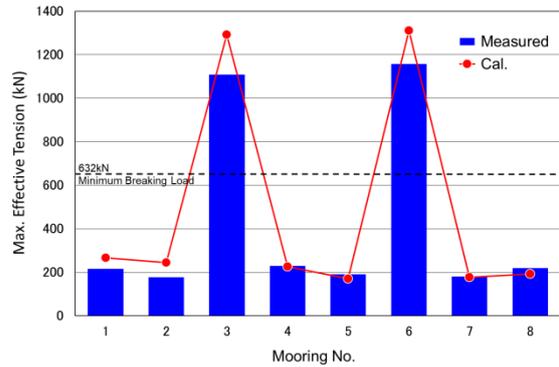
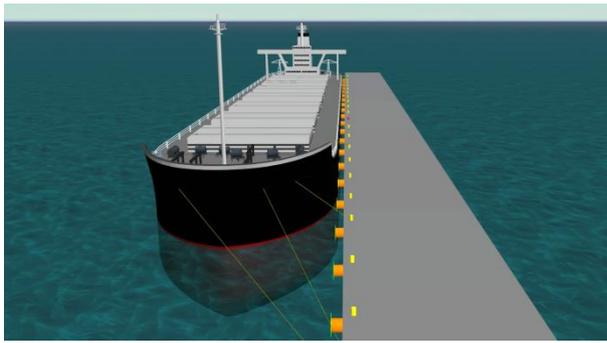


図 20 数値シミュレーションモデルの推定精度の検証例

成果の公表

□特許：1件

- ・配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システム 高橋一比古ほか

□コアプログラム登録：4件

- ・傾斜管内固液二相流圧力損失推定プログラム 正信聡太郎、荒木元輝
- ・海底鉱物資源開発における計画支援プログラム 中島康晴
- ・全体システム稼働率計算プログラム ver.2 渡邊充史
- ・2流体モデルを使った気液二相流の非定常解析プログラム 大坪和久

□発表論文等：45件

- 【ジャーナル、本文査読付プロシーディングス、海技研報告の研究報告】33件（投稿中：17件、採択済：3件）
- ・大坪和久 ほか: 海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験の稼働性評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 第29号, pp.147-162 (2019)
- ・谷口友基 ほか: モデル予測制御による波力発電装置の高効率化, 日本船舶海洋工学会論文集, 第29号, pp.171-179 (2019)
- ・湯川和浩 ほか: セミサブリグに働く粘性波漂流力と係留力の異常値予測, 日本船舶海洋工学会論文集, 第30号, pp.59-69 (2019)
- ・大坪和久 ほか: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 第30号, pp.187-200 (2019)
- ・Chujo, T., *et al.*: Consideration of New Damage Stability Criteria for Floating Offshore Wind Turbines, Journal of Marine Science and Technology (JMST) (投稿中)
- ・Okada, Y., Haneda, K., *et al.*: Parameter-varying Modeling and Nonlinear Model Predictive Control with Disturbance Prediction for Floating Offshore Wind Turbines, Journal of Marine Science and Technology (JMST) (投稿中)
- ・羽田絢 ほか: 浮体式洋上風力発電施設の加振が後流に及ぼす影響に関する実験的研究, 風力エネルギー学会論文集 (投稿中)
- ・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電における IEC の新たな損傷時復原性規定の運用について, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・羽田絢 ほか: 浮体式洋上風力発電施設と船舶の衝突挙動に関する実験的研究, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・中條俊樹 ほか: 浮遊式水平軸型海流・潮流発電の安全性照査に係る水槽模型試験による検討, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・梅田隼 ほか: リニア式波力発電装置の発電電力の短期予測と制約条件付き最適制御法, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・Fujiwara, T., *et al.*: Experimental Study on Two Vertical Risers in Steady Flow, Journal of Marine Science and Technology (JMST) (投稿中)
- ・高野慧 ほか: 海底熱水鉱床開発におけるスラリー移送による大規模配管摩耗実験と縮尺影響に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) (投稿中)
- ・中島康晴 ほか: 海底選鉱への適用を目的とした画像解析による気泡計測手法の開発, 可視化情報学会論文集 (投稿中)
- ・Hasegawa, K., *et al.*: The effect of ice failure and an elastic modulus of ice floes in a non-smooth DEM simulation for a conical structure under managed ice condition, Cold Regions Science and Technology (投稿中)

- ・石村恵以子 ほか: 海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験の安全性評価, 日本マリンエンジニアリング学会学会誌 (投稿中)
- ・湯川和浩 ほか: Ship-to-Ship 方式による出荷時の 2 船間 Gap Resonance 評価, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・湯川和浩 ほか: 金属内管ホースを用いた Ship-to-Ship 方式による LNG バンカリングの安全性評価, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・渡邊充史 ほか: 一点係留された船体の振れ回り運動に関する数値計算モデルの構築と挙動評価, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・齊藤昌勝 ほか: 係留系の終局限界挙動について—巨大グループ波中で最大ライン張力を極大化する要因—, 日本船舶海洋工学会論文集 (投稿中)
- ・Yamamoto, M., *et al.*: EXPERIMENTAL ANALYSIS OF REDUCED-SCALE JUMPER FOR DEEP-SEA MINING, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Imai, S., *et al.*: Experimental Study on Bubble Size Measurement for Development of Seafloor Massive Sulfides, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Nakajima, Y., *et al.*: Development of Elemental Technologies for Seafloor Mineral Processing of Seafloor Massive Sulfides, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Takano, S., *et al.*: STUDY ON PIPE WEAR EVALUATION BASED ON LARGE SCALE EXPERIMENT FOR DEEP SEA MINING, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Umeda, J., *et al.*: Study on a Wave Energy Converter with One Line Tension Leg Mooring Under Optimal Control, Proc. 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2019).
- ・Watanabe, M. *et al.*: Experiment and Numerical Simulation of Vortex Induced Vibration on Buoyancy Module Area of Steel Lazy Wave Riser, Proc. 29th ISOPE (2019).
- ・Okada, Y., Haneda, K., *et al.*: Parameter-varying Modeling and Nonlinear Model Predictive Control for Floating Offshore Wind Turbines, Proc. International Federation of Automatic Control (2019).
- ・Hasegawa, K., *et al.*: Managed Ice Loads Simulation using Breakable Ice Model for Fixed Conical Structure and Ice Tank Test, Proc. 25th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (2019).
- ・Araki, M., *et al.*: CFD Simulation and Model Experiment of Offshore Support Vessel with Heavy Suspended load in Wave, the 11th International Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics (2019)
- ・Chujo, T., *et al.*: STUDY ON THE CONSIDERATION METHOD OF DAMAGE STABILITY CRITERIA CORRESPONDING TO IEC 61400-3-2 FOR FLOATING OFFSHORE WIND TURBINE, Proc. 39th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering, OMAE2020-18252 (2020) (採択済)
- ・Yamamoto, M., *et al.*: The Effects of Solid-Liquid Internal Flow on the Dynamic Behavior of a Reduced-Scale Jumper for Deep-Sea Mining, Proc. 39th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering, OMAE2020-18688 (2020) (採択済)
- ・Ishihara, Y., Murai, M., Nakanishi, S., Kato, S., and Nakajima, Y: Experimental Study of Slam Forces on External Turrets with Different Top Angles, Proc. 39th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering, OMAE2020-18327 (2020) (採択済)
- ・Masanobu, S., *et al.*: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LARGE PARTICLE SLURRY TRANSPORT IN VERTICAL PIPES WITH PULSATING FLOW, Proc. 39th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering, OMAE2020-18194 (2020) (採択済)

#### 【その他】12件

- ・Fujiwara, T.: Research and development activities on ocean renewable energy in NMRI, World NAOE Forum 2019, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers (2019)
- ・Hasegawa, K., *et al.*: Ice tank test of Moored Conical Structure Model in Managed Ice, Proc. 35th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (2020) [青田昌秋賞]
- ・Hasegawa, K., *et al.*: Estimation of Global Ice Load exerted on Offshore Structure used for Arctic Resource Development, Sixth International Symposium on Arctic Research (Poster) (2020)
- ・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電施設と船舶の衝突に係る損傷時復原性の検討, JCROSSAR2019 (2019)
- ・Schnepf, A., Haneda, K., *et al.*: Wave and wind basin testing of a very light floating offshore wind turbine with guy wires, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 29 号 (2019)
- ・梅田隼 ほか: リニア式波力発電装置の PTO 相似比の取り扱い, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 29 号 (2019)
- ・橋本和樹, 羽田絢 ほか: 一点係留された新形式浮体洋上風車 'Optiflow' の風追従性に関する研究, 第 28 回海洋工学シンポジウム論文集, 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会 (2020)
- ・谷口友基 ほか: 並進動揺型波力発電装置の陸上試験装置の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 30 号 (2020)
- ・石原祐希, 加藤俊司 ほか: External タレットに働くスラム力の基礎研究—Deadrise angle による影響—, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 28 号 (2019)

- ・石原祐希, 加藤俊司 ほか: External タレットに作用するスラム力に及ぼす Deadrise Angle の影響に関する研究, 海技研報告第 19 巻別冊 (2019)
- ・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資料 (2019)
- ・石原祐希, 加藤俊司 ほか: External タレットに作用するスラム力に及ぼす Deadrise Angle の影響に関する研究, 第 62 回海洋教育フォーラム (2019)

□公開実験: 1 件

- ・海底鉱物資源開発に係る解析手法検証のための模型実験, 2019.10.28

□受賞: 4 件

- ・エンジニアリング協会, 令和元年度エンジニアリング奨励特別賞: 海底熱水鉱床採鉱・揚鉱パイロット試験プロジェクトチーム ((独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、三菱造船(株)、日鉄エンジニアリング(株)、(国研)海上・港湾・航空技術研究所、清水建設(株)、住友金属鉱山(株)、深田サルベージ建設(株)、(株)三井三池製作所、三菱重工業(株))
- ・令和 2 年度日本船舶海洋工学会論文賞: 大坪和久ほか (海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験のための稼働性評価)
- ・第 35 回 北極圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」2020, 青田昌秋賞 2020: Hasegawa, K., *et al.* (Ice tank test of Moored Conical Structure Model in Managed Ice)
- ・ASME OOA Awards Committee, OMAE 2018 Best Paper of Ocean Engineering Symposium: Fujiwara, T. (OMA2018-77238 "Semi-Submersible Floater's VIM Simulation Method for Mooring Line Safety Assessment")

□国際貢献

- ・ISO 19904-1 (2019) において、当研究所が主張してきた波浪中 VIM (Vortex Induced Motion) に関する安全性評価での注意喚起条項が盛り込まれた。

**主な評価軸に基づく自己分析**

- 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか。
- 本研究は、国が定めた方針(海洋基本計画やエネルギー基本計画等)や海洋開発分野への進出に意欲を見せる本邦企業のニーズに基づいて実施しているものであり、国家プロジェクトへの参画等を通じて、当研究所は十分な成果を挙げており、社会的価値を創出している。特に、浮体式洋上風力発電に係る研究の成果は国土交通省の安全ガイドラインに反映され、海底熱水鉱床開発に係る研究の成果はエンジニアリング奨励特別賞(エンジニアリング協会)を受賞し、また過年度に実施した波浪中 VIM 研究成果が ISO で引用されるなど、その価値が社会的にも認められている。
- これまで石油・天然ガス生産分野で構築してきた係留安全性評価技術や作業船オペレーション評価技術を浮体式風力発電分野にも適用するなど、浮体式風力発電に関する研究体制を強化しており、国土交通省が検討している浮体式風力発電施設安全ガイドラインの改訂への貢献につながると考えている。
- フローアシュアランス技術やプロジェクト認証支援技術は、海洋資源開発分野への進出に意欲を見せる本邦企業を中心とした国内海事産業の環境整備や国際競争力強化に貢献するものである。
- 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。
- 浮体式波力発電装置については、発電性能を向上することが可能な制御アルゴリズムを開発しており、新規性は十分に大きい。
- 海底熱水鉱床開発に係る研究では、他の海洋鉱物資源開発にも転用可能な技術を扱っており、発展性及び一般性は十分に大きい。さらに、研究成果の一部で日本船舶海洋工学会論文賞を受賞した(予定)ほか、特許出願やプログラム登録もしている。
- マネージドアイス中の浮体動揺に関する研究や過年度に実施した VIM 研究の成果が国際シンポジウムで表彰されるなど科学的意義は十分に大きい。
- プロジェクト認証支援技術の研究では、新たに提案されるシステムについても順次対応可能な数値計算モデルを構築しており、総合的な安全性評価や稼働性評価が可能となるように研究開発を進めており、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。
- 本研究の多くは、海洋基本計画やエネルギー基本計画に基づいて研究を進めており、タイムリーに成果を創出している。また、国土交通省の浮体式洋上風力発電施設安全ガイドラインが改訂されることを視野に入れ、近年注目されている合成繊維ロープを対象とした係留安全性に関する研究に着手しており、その意義は大きい。さらに、FSRU の津波対応指針が近い将来に公表されることを考慮し、当該指針のベースとなる安全・安心に関する取り組みを行っている。

- 成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
  - 浮体式風力発電施設安全ガイドラインにおける係留安全性に関し、生物付着の影響評価などは先進的な取組として評価できる。さらに、平成30年度の研究成果である損傷時復原性の運用方法も含め、IEC基準及びその議論に対して我が国がリードすることが将来的には可能となる成果が創出されている。
  - 海底熱水鉱床開発に係るこれまでの研究成果は、国家プロジェクトにおいて世界初の実証試験成功に貢献しており、当該研究分野において高い国際競争力を有するものである。
  - フローアシュアランス技術やプロジェクト認証支援技術の研究で得られる成果は我が国の海洋産業育成等への技術的な貢献とともに、実際の開発・生産を担う本邦企業を技術的に支援し、国際競争力の向上に直結するものであり、意義がある。
- 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。

**H28年度からR1年度の実績およびR4年度までの計画**

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1年度)	<b>S</b>

**【年度評価に関するコメント】**

- これまで石油・天然ガス生産分野で構築してきた係留安全性評価技術や作業船オペレーション評価技術を浮体式風力発電分野にも適用して、研究成果の最大化を意識した取組を進めており、国が検討している浮体式風力発電施設安全ガイドラインの改訂に貢献できる研究成果を創出している。
- 国の取組や社会ニーズを踏まえ、当初計画していなかった「海底熱水鉱床開発システムの稼働性評価技術の開発」を最終目標にした研究を新たに追加し、今年度は揚鉱から陸上での荷役までを評価可能なプログラムを開発した。本研究成果は、海底熱水鉱床開発に係る国家プロジェクトで来年度以降活用する計画である。

研究計画に従って着実に成果を創出していることに加え、上記の成果を創出しており、「研究開発成果の最大化」に向けて「顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められるもの」として「A」評価とした。

**【中間評価に関するコメント】**

- 海洋再生可能エネルギー発電施設の研究成果が、国が策定した安全ガイドラインや運用ガイドラインに活用されており、社会的価値の創出に大きく貢献していると考えます。
- ISO19904-1の中のVIM (Vortex Induced Motion) に関する規定について、従来規定では流れ中VIM評価のみを行うことが要求されていたが、当研究所では波・流れ中において、流れ中のみのVIM現象とは異なること、加えて波の影響によりVIMが低速流れでも発達することを明らかにし、波が加わった中でのVIMについても従来規定に加えて安全性評価上配慮すべきとの主張を行ってきた結果、当該条項がISO19904-1 (2019) に盛り込まれ、当研究所の取組が国際的にも認められていると考えます。
- 当研究所は、採鉱・揚鉱パイロット試験事業に、民間企業とともに参加し、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研究所の研究成果が参加企業による機器設計・製作やオペレーション検討に活用されるなど、世界初となる海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に対して技術的貢献ができたと考えている。当該試験の成功によって、海底熱水鉱床開発事業に向けた検討が加速するとともに、我が国は国際的に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ている。本試験事業の成果が評価され、当研究所の研究者も関わっているプロジェクトチームが、エンジニアリング協会より令和元年度エンジニアリング奨励特別賞（実プロ化が期待される先駆的な技術等を対象）を受賞した。さらに、当研究所の研究者が執筆した当該試験に関する研究論文が、日本船舶海洋工学会論文賞を受賞した。

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

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

<b>研究開発課題</b>	<b>(8) 海洋の利用に関連する技術に関する研究開発</b>	
<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆10 海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究</b>	
中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発</p> <p>ー第2期 SIP プロジェクト（戦略的イノベーション創造プログラム：革新的深海資源調査技術）を遂行して行く中で、複数 AUV 利用法の拡張に関する研究開発を行う。等</p>

**研究の背景**

- 船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援。具体的には、
- 高効率小型 AUV システムの研究開発
  - AUV 要素技術の研究開発及び支援
  - 複数 AUV の同時運用システムの研究開発
  - AUV 研究開発成果の社会実装・民間活用・国際規格化

**研究目標**

- 複数機の小型 AUV の同時運用による広域探査システムのプロトタイプ（航行型の小型 AUV、ホバリング型の小型 AUV、洋上中継器、投入揚収装置）
- 広域探査システムの運用技術（隊列制御技術・ASV による多 AUV 運用等）
- 民間移転実施
- 広域探査システムの企画・仕様設定技術

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の強化となり得る。

**R1 年度の研究内容**

- 小型 AUV システム開発
- AUV 要素技術の開発
- AUV 隊列制御アルゴリズム開発
- AUV の活用方策の推進

**R1 年度の実績**

□ROS を用いた超小型 AUV の開発

運用が容易な 2m クラスの航行型 AUV (mini-AUV) の制御アルゴリズムの開発を実施。ROS (Robot Operating System) 環境下での航行型 AUV 用制御アルゴリズムを完成。静的・動的ウェイポイント航走を海技研内試験水槽で実施。

□最適高度誘導制御法の開発

海底地形に適応し、至近距離まで海底に接近することで超高精度・高品質の海底観測情報が収集できる航行型 AUV の実現に向け、機体の深度制御をベースとするウェイポイント方式の誘導制御法を開発。

□隊列制御アルゴリズムのプロトタイプ完成と実海域による検証

複数 AUV を同時運用する際の隊列制御アルゴリズムの開発を実施した。さらに非線形モデル予測制御を使った AUV の隊列制御方法の高度化手法を開発した。

実海域試験では、ASV をリーダー機、2 機航行型 AUV をフォロワー機とした動的ウェイポイント航走を実現し、運用技術の高度化 (隊列制御技術の発展) を実施した。

□AUV の活用方策の推進

複数 AUV 利用法の拡張に関して、SIP 第 2 期で実施している AUV 隊列制御を用いた海底資源探査の研究開発に加えて、海洋再生エネルギー分野、海洋環境調査分野等、幅広い分野に複数 AUV の新たな利用法を検討。

海洋構造物の保守管理に資する安価で小型な AUV 開発の可能性について検討を開始。

航行性能が非常に優れていることが評価され NMRI 航行型 AUV4 号機が日本船舶海洋工学会シップオブザイヤー (海洋構造物・機器部門) 受賞。

Shell Ocean Discovery XPRIZE に参画し、準優勝 (32 チーム参加) を獲得。

**R1 年度の研究成果**

□ROS を用いた超小型 AUV の開発

実海域でも使用でき、また、アルゴリズム開発が当所内で容易に行えるよう 2m クラスの航行型 AUV (mini-AUV) (図 1-1) を昨年度製作したが、その AUV に使用可能な ROS (Robot Operating System) 環境下での航行型 AUV 用制御アルゴリズムを完成させた。固定ウェイポイント (静的方式) による当所の実海域再現水槽内での航走、時々刻々発行される指定ウェイポイントを目指して航走する動的ウェイポイント航走を可能にした (図 1-2)。このことにより、実海域で現状運営を行っている航行型 AUV (3, 4 号機) 等と同じシステムが完成し、今後制御アルゴリズムを開発する上での基盤技術を確認した。



図 1-1 : 海技研で内部プログラムを独自開発した mini-AUV

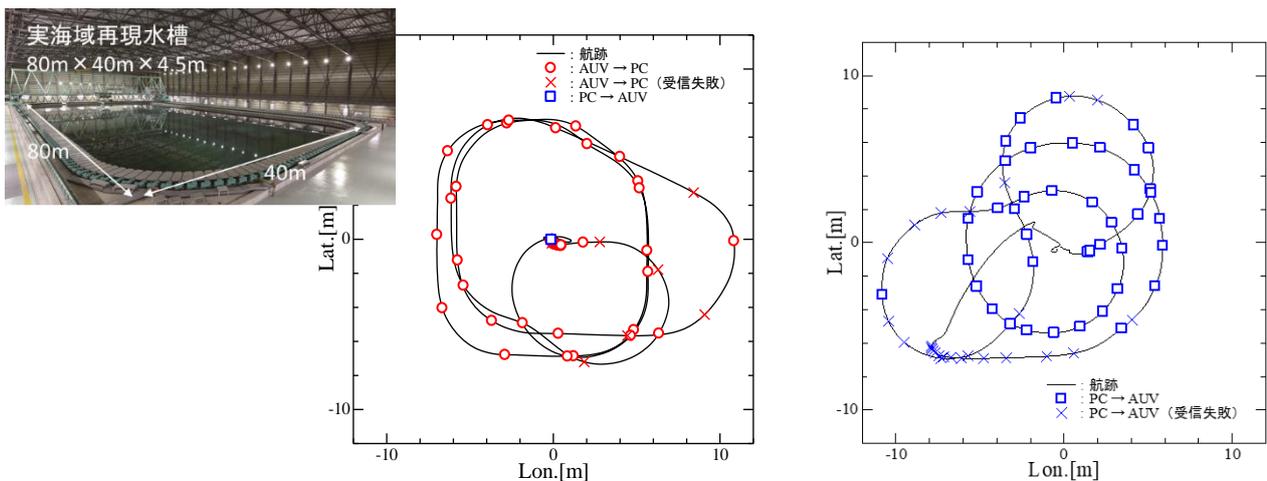


図 1-2 : 海技研内実海域再現水槽での mini-AUV 航走試験 (固定ウェイポイントを目指しながら、適宜仮想 AUV と通信している状況、動的ウェイポイント指示により水槽内を航走)

□最適高度誘導制御法の開発

資源調査等に資するサブメーターオーダーの詳細な海底地形を把握するためには、約 40m 以下の近距離で海底に接近し、ソナー計測を行う必要がある。ところが、劣駆動の制約を受け、更に比較的高速で巡行する航行型 AUV は、海底衝突の危険性から現状約 80m の高度を基準に運用され、メーターオーダーの海底地形観測を行っている。本研究では、至近距離まで海底に接近することで超高精度・高品質の海底観測情報が収集できる航行型 AUV の実現に向け、深度制御をベースとする最適ウェイポイント方式の誘導航法を開発した。

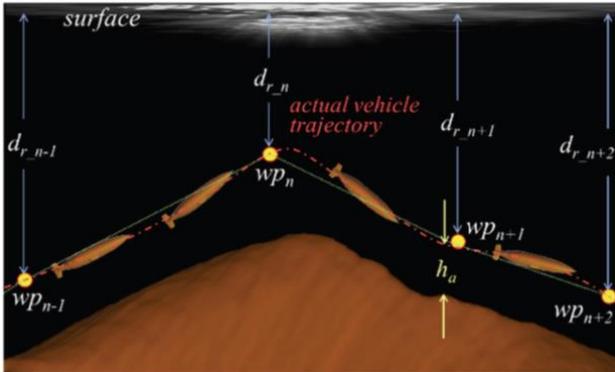


図 2-1：最適深度誘導航行のイメージ

□隊列制御アルゴリズムのプロトタイプ完成と実海域による検証

・ AUV 隊列制御アルゴリズム開発

SIP 第 2 期で必要としている複数 AUV を同時運用する際の隊列制御アルゴリズムの開発を実施した。具体的には、航行型 AUV の CFD 計算により定常流体力を特定し（水槽試験結果とも比較）、AUV の操縦モデルを作成するとともに、シミュレータ上で動的ウェイポイント航走を再現することを可能とした。このことにより、実海域で実際の AUV を航走させる前段階で、動的ウェイポイント航走の成立性の検討が行えた。

さらに非線形モデル予測制御を使った AUV の隊列制御方法の高度化手法について検討を行い、モデル予測制御を使ったアルゴリズムの有効性をシミュレーション計算により確認した。

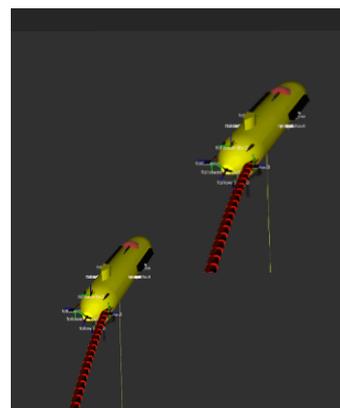
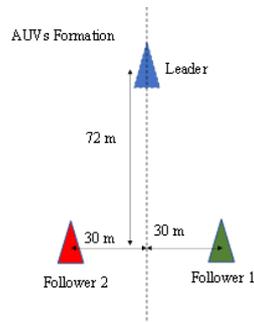
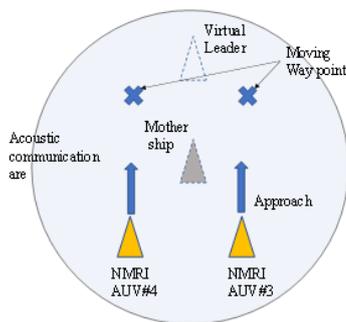
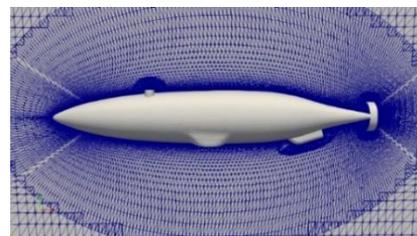


図 3-1：対象とした航行型 AUV#3,4 号機と CFD モデリングの様子（上段）、実海域隊列制御試験実施状況とシミュレーション状況（下段）

・ 実海域による検証

8/17-24、および 12/14~21 にかけて、駿河湾にて AUV 複数機同時運用（隊列制御技術開発）を実施した。8 月は支援船を ASV に模擬した条件で、12 月は ASV がリーダー機として、目標ウェイポイントを指示し、そのウェイポイントに対する目標相対位置を AUV が目指すことで、最終的には所定の隊列を組んだ航行を 1000m 水深海域で実施した。

マルチビームソナーを使った海底地形観測も実施し、隊列制御アルゴリズムの有効性を検証した。

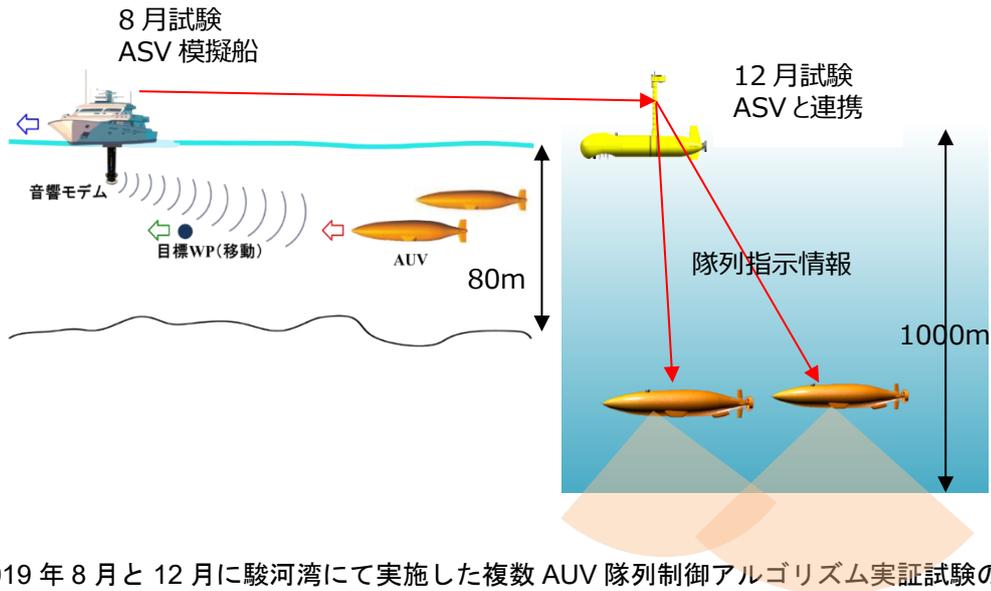


図 4-1 2019年8月と12月に駿河湾にて実施した複数 AUV 隊列制御アルゴリズム実証試験の様子

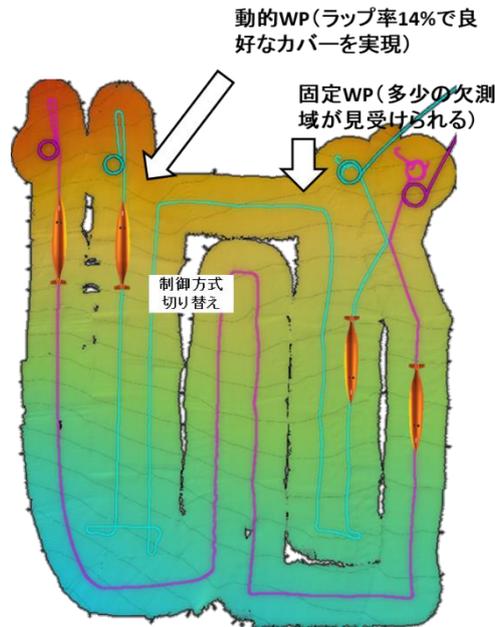


図 4-2 複数 AUV 隊列制御アルゴリズム実証試験の海底地形観測結果

□AUV の活用方策の推進

東京電力と共同で、昨年度にひきつづき銚子沖風力発電施設の基差点検作業の試行試験をほぼりんが実施(図 4-1)。その後の検討として、小型で逐次データ転送型の小型 AUV の開発を共同研究として着手開始。

さらに、AUV の長期間水中運用を目指し、AUV 充電ドッキング技術開発を岡山大学と共同で実施。複眼空間認識方法による AUV ドッキングの施行を海技研内水槽で実施し、成功した。

Shell Ocean Discovery XPRIZE に参画し、超広域高速海底マッピングにチャレンジした(図 4-2、水深 4,000m 実海域試験で、24 時間以内に 250km<sup>2</sup> 以上の海底地図作成)。その中でも運用する AUV・ASV のノイズ解析および利用音響帯域の整備に研究実績を応用した。これまで培ってきた ASV による AUV 管制技術のノウハウが生かされた。結果発表として準優勝(32 チーム参加)を獲得。

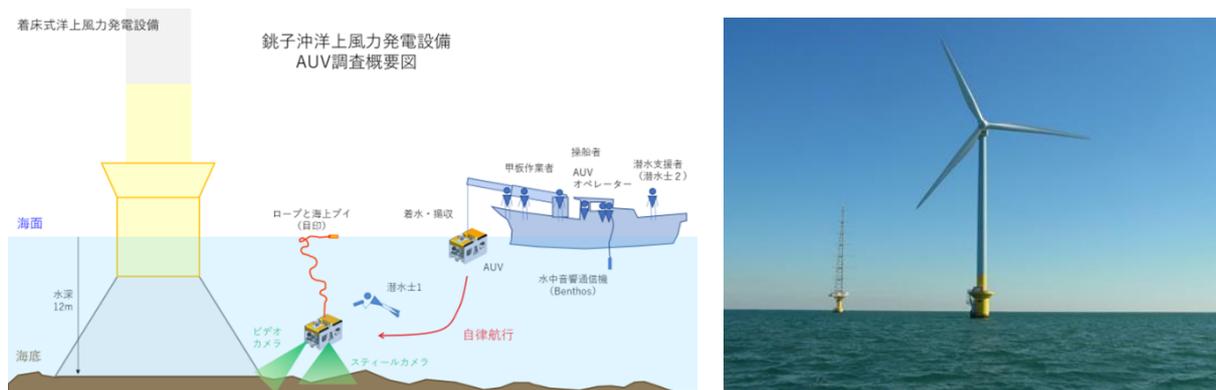


図 4-1 : AUV ほぼりんによる銚子沖風力発電施設の基基点検作業試行

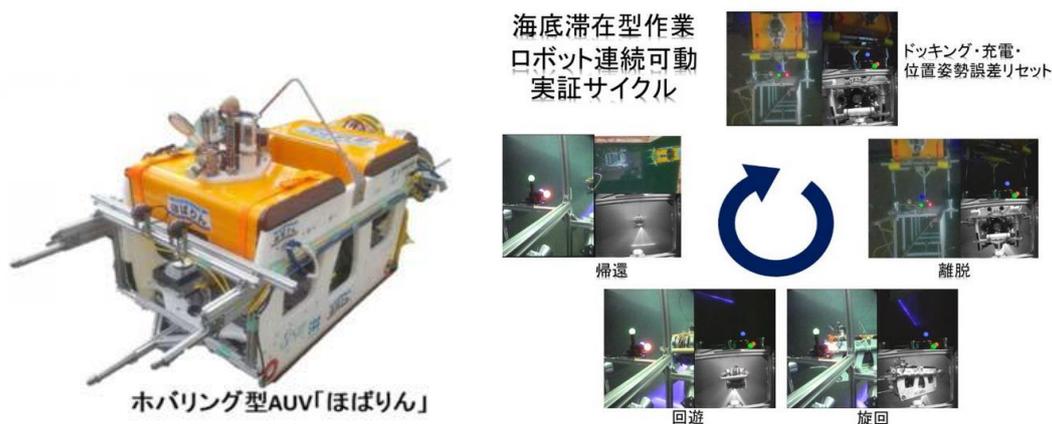


図 4-2 AUV ドッキング試験状況



図 4-3 曳航試験中の AUV2 機と ASV (ギリシャ、カラマタにて)

**成果の公表**

□ 発表論文

・ 査読論文誌 (計 8 件)

- (1) 今里、金、佐藤、大藪、伊藤、深海調査に向けた小型軽量航行型 AUV の開発、マリンエンジニアリング学会誌、2019 (投稿中)
- (2) 稲葉、篠野、須藤、浦、ASV による複数 AUV の管制、海洋音響学会誌 (投稿中)
- (3) 梅田、金、佐藤、稲葉、藤原、NUMERICAL SIMULATIONS AND SEA TRIAL FOR LEADER FOLLOWER FORMATION CONTROL OF CRUISING-TYPE AUVS、OMAE2020-18253、2020
- (4) 谷口、梅田、藤原、金、佐藤、稲葉、Path Following Control of Autonomous Underwater Vehicle Using Nonlinear Model Predictive Control、OMAE2020-18241、2020
- (5) 金、Reconfigurable minimum-time autonomous marine vehicle guidance in variable sea currents、Automation and Control、IntechOpen (投稿中)
- (6) 佐藤、金、今里、松田：海底熱水鉱床調査用航行型 AUV4 号機の実海域性能評価、海洋調査技術学会、

2020 (投稿中)

- (7) 岡本、今里、平尾、関口、篠野、瀬田、藤原、Development of a Testbed AUV for Formation Control and its Test in the Actual Sea Model Basin、Journal of Robotics and Mechatronics (投稿中)
- (8) 岡本、瀬田、篠野、井上、浦、高島、Development of the AUV Hobalin and its Deployment for Exploring Hydrothermal Fields: Transferring Operational Technique to the Private Sector through Dive Surveys、Marine Technology Society Journal (投稿中)

・その他 (計 17 件)

- (1) Umesh Neettiyath、ほか 5 名、佐藤、An AUV Based Method for Estimating Hectare-scale Distributions of Deep Sea Cobalt-rich Manganese Crust Deposits、OCEANS2019 Proceedings 2019
- (2) 金、佐藤、NMRI 航行型 AUV4 号機、シップ・オブ・ザ・イヤー2018、日本船舶海洋工学会、2019
- (3) 稲葉、私が水中ロボットを仕事にするまで、帆船日本丸・横浜みなと博物館、2019
- (4) 徳長、ほか 5 名、稲葉 Team KUROSHIO のデータ処理～ XPRIZE 決勝ラウンド in カラマタ ～、海洋調査技術学会、2019
- (5) 稲葉、五島列島沖合に海没処分された潜水艦 24 艦の全貌、海洋調査技術学会誌、2019
- (6) 篠野、ホバリング型海中ロボット「ほぱりん」で海の底を見てくる、日本マリンエンジニアリング学会第 89 回学術講演会「海事産業と学生の交流会」、2019
- (7) 稲葉、挑戦し続けた 3 年間の軌跡、Team KUROSHIO 特集、朝日新聞出版社ムック、2019
- (8) 金、佐藤、今里、稲葉、篠野、岡本、井上、AUV 複数運用による高効率・高精度海底調査、海洋理工学会 2019 年度秋季大会講演論文集、201914
- (9) 佐藤、金、篠野、藤原、井上、今里、岡本、海上技術安全研究所の海中ロボティクスへの取り組み、海洋都市横浜うみ協議会、2019
- (10) 佐藤、金、海底地形計測による AUV 自己位置推定手法について、海上技術安全研究所第 19 巻別冊、2019
- (11) 金、佐藤、今里、稲葉、篠野、岡本、井上、藤原、複数 AUV 同時運用による海底調査の現状と今後、海上技術安全研究所第 19 巻別冊、2019
- (12) 平尾、地底熱水鉱床の電位異常計測、海上技術安全研究所第 19 巻別冊、2019
- (13) 宮澤、谷口、梅田、藤原、有馬、非線形モデル予測制御による自律型海中ロボットの潜航シミュレーション、2020 年春季日本船舶海洋工学会講演会論文集、2020
- (14) 梅田、佐藤、金、稲葉、藤原、航行型 AUV 隊列制御の実海域試験と数値計算、2020 年春季日本船舶海洋工学会講演会論文集、2020
- (15) 佐藤、金、海底地形照合による AUV 自己位置推定手法、2020 年春季日本船舶海洋工学会講演会論文集、2020
- (16) 東京電力：銚子沖洋上風力発電所における遠隔点検の実証実験について～水中ロボット・空中ドローンを活用し、保守点検作業の自動化を目指す～、2019.5.14 プレスリリース、[http://www.tepco.co.jp/press/release/2019/1514883\\_8709.html](http://www.tepco.co.jp/press/release/2019/1514883_8709.html)
- (17) 岡山大、海上技術安全研究所との共同研究により自動海底ロボットの模擬充電に成功、自律型水中ロボットの自動揚収および深海自動充電実用化へ前進、2020.2.3 プレスリリース、[https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release\\_id696.html](https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id696.html)

プログラム登録 (計 3 件)

- ・ 金 岡秀：複数 AUV 隊列制御シミュレーションプログラム
- ・ 岡本章裕：MiniAUV 制御用メインプログラム
- ・ 岡本章裕：MiniAUV 運用ツールプログラム

特許 (計 1 件)

- ・ 篠野雅彦：水中航走体の自己位置推定誤差補正方法及び水中航走体の自己位置推定誤差補正システム

#### 主な評価軸に基づく自己分析

- 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
- 国家プロジェクト SIP 第 2 期「革新的深海資源調査技術」への貢献を通じた研究開発成果の最大化に向けて、世界の最先端の一角を占める顕著な成果の創出が認められ、今後もより一層の進展が望まれるところ。
- AUV の社会的活用に広がりを見せる中、海中構造物の保守点検に関する AUV の活用を先進的に進める等、開発技術の社会貢献を進めているところ。
- 成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
- 前述と同様に、SIP 第 2 期「革新的深海資源調査技術」に参画する中で、高度な技術開発を推進。
- 成果が期待された時期に創出されているか。

□SIP 第 2 期での目標成果を着実に達成。

□社会的価値創出に向けて、SIP 第 2 期事業のみならず、超小型航行型 AUV 用制御プログラムの創出、風力発電施設の基部点検作業の試行試験を実施している状況。着実に AUV の技術開発を進展させているところである。

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

□SIP 第 2 期事業に関しては、今後、広範な海底鉱物資源等探査を行う場合に非常に有用な技術であることを実海域試験等で示した。2 年程度の取り組みであり、まだ、実績として十分とはいえないが、国際的競争力を着実に身に着けた意義は非常に大きい。

○萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

□超小型航行型 AUV 用制御プログラムの創出、非線形モデル予測法を使った隊列制御アルゴリズムの開発等、本年度の成果としては評価できる。

**H28 年度から R1 年度の実績および R4 年度までの計画**

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

**【年度評価に関するコメント】**

□査読付き論文が昨年度 4 件から今年度 8 件等、昨年度に比べて着実に成果を上げた。また、目標とした研究開発内容に関して十分達成した状況である。

**【中間評価に関するコメント】**

□SIP 第 1 期(平成 26 年から平成 30 年)に参画する中で、SIP 中の主事業として位置づけられた AUV の複数機運用技術およびそれらの民間移転事業を成功裏に終えたことは非常に評価できる。フォローアップとしての技術移転事業・広報活動にも十分取り組んで成果を上げた。民間事業者への技術移転は、想定を上回る成果を上げたことから、以下に示すその他の達成状況も鑑み A に値すると考える。

□小型化、低コスト化等と共に複数機運用・協調行動を念頭に置いた航行型 AUV1~4 号機、詳細な海底探査に活用可能なホバリング型 AUV「ほぼりん」、それらを監視・通信・制御する洋上中継器を完成させた。(図 A1)

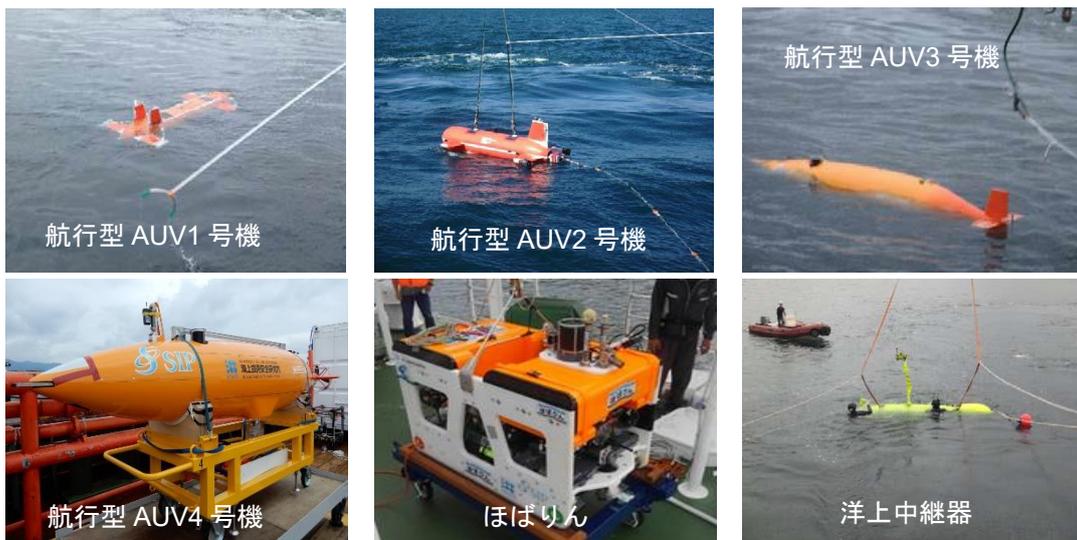


図 A1 : 航行型 AUV1~4 号機、ホバリング型 AUV「ほぼりん」、および洋上中継器

□SIP 第 1 期中で国内生産 INS 開発を実施したが、海外製品に市場が占有されている中、国産 INS に道筋を付けたことは大きな意義がある。また、AUV の機器調整を含め、様々な事象に対して、機動性をもって対応し、当初目標を完遂した意義は大きい。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>A</b>

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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。</p> <p>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"> <li>－造船現場データの高度解析技術、造船作業を支援するインタフェース技術を開発する。</li> <li>－騒音に影響を及ぼす振動対策を検討し、ニューラルネットワークによる騒音予測の誤差評価を実施する。等</li> </ul>

**研究の背景**

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

- 建造モニタリングシステムの開発
- 生産性向上に資する機器の開発
- 新しい造船生産工程管理の提案
- 高減衰材料の一般商船での利用に関する研究
- 騒音予測プログラムの改良
- 騒音・振動及び生産設計にかかわる知的設計システムの構築
- インテリジェント CAD システムに関する研究

**研究目標**

- 建造モニタリングシステムの開発（造船 IoT 体制の構築）、生産現場の改善により生産性の 20%向上（リードタイムの短縮、実トーチ時間など）、ウェアラブル等を用いた新造船インタフェースの開発
- 造船用パワーアシストスーツの開発、工作ロボットの開発
- 非熟練及び短時間労働者を新たに取入れた新しい概念の造船工程の提案、造船所でのモデル事業の実施、未活用労働者向けの技能研修プログラムの開発
- 騒音低減のための高減衰材を活用した新たな構造仕様や施工方法の信頼性の高い設計手法を開発し、高減衰材導入に関するガイドラインを作成
- 現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルの構築等により改良し、多様な船舶に対する騒音予測をより高精度で行う騒音予測技術を開発
- 生産設計分野における知的設計システム（プロトタイプ）を開発
- 次世代造船設計システム（インテリジェント CAD）のビジョンとその実用化開発のロードマップを策定。また、海技研の流体・構造・生産設計ソフトを統合した推進性能、ぎょう鉄難易度と溶接長を統合的に評価し、船型形状と外板板割りの多目的最適化が可能なインテリジェント CAD システムのプロトタイプを開発

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。また、船内騒音対策・軽量化・設計自由度の向上などを通じて船内労働環境の改善に資するとともに、造船産業の国際競争力の強化を図り造船業の活性化（地方創生）および造船設計・生産性向上に資する。さらに、設計フロントローディングによる戻り工事の低減及び建造コスト管理の高精度化により、我が国造船

業の国際競争力の強化が期待される。

#### R1 年度の研究内容

- 小組工程の職場モデル設計書の作成。フィードバック型現場曲げ加工支援システムの現場実装。AI ワークサンプリングシステムのプロトタイプ機の開発。曲げ加工支援 AR システムの現場実装。塗装作業支援 AR システムのプロトタイプ機の開発。
- 道具運搬ロボット知能部のプロトタイプ機の開発。造船用 CFRP 設計 CAD/CAM プロトタイプ機の評価。ドローンによるブロック定盤管理システムの仕様。
- 造船部材要件に適した接合法の接合条件データセットの取得。
- ニューラルネットワークによる騒音予測結果に対して、説明・解釈機能を持たせる機能構築に向けた検討を行う。さらに、騒音源（空気伝搬音か固体伝搬音か等）を予測するニューラルネットワークモデルを構築するための検討を行う。強化学習を用いたネスティング問題に対するシステムプロトタイプを造船所と共同して構築する。
- 設計フロントローディングによる戻り工数の低減を目的としたインテリジェント CAD システムの検討。

#### R1 年度の実績

- 作業者の臨機応変な振る舞いを表現するための造船製造現場の職場モデルについて検討を行った。船殻の小組工程を対象に、製造現場のオブジェクト指向モデリング設計書について検討した。
- フィードバック式の曲げ加工支援システムについて、これを実際の造船所に導入し、その効果（生産性向上等）について検証した。
- 画像データから深層学習により作業者の作業内容を認識し、リアルタイムで主作業率等を表示するワークサンプリングシステムの開発を行った。
- 曲げ加工支援 AR アプリケーションの現場実装を行い、その効果について検証した。
- 塗装作業支援 AR アプリケーションに関して、塗装作業の作業データを抽出し、塗装作業の進捗や良否を算出する手法について検討を行った。
- 付随作業（道具の運搬、機材の取り換え、部品の交換等）を支援する造船用付随作業支援ロボットについて検討を行った。工場内の自走式の道具運搬ロボットを対象として、造船所での運用条件（工場環境、造船作業特性）に適した運搬計画、経路判断を行う人工知能の開発に取り組んだ。
- 船用プロペラを対象に、曲率線配向の CFRP プロペラ（縮尺）を製作した。CFRP 構造物について FEM 解析を実施し、曲率線配向の性能を定量的に評価した。
- 曲率線情報の高度利用として、3次元曲面へのフィルムの最適貼付技術について検討した。
- ブロック定盤管理システム（ブロックの認識方法、LIDAR による3次元モデルと定盤計画システム上の CAD モデルとの比較等）について検討を行った。
- 構造接着については、FTP Code（煙・毒性試験、表面燃焼性試験）、ISO1716（発熱量試験）、鋼船規則 R 編の規定による防火構造材料認定の対応を行った。
- 真空含浸工法については、施工条件の評価・選定を行った。被着面の前処理の有無など施工性も含めた接合条件パラメータの組合せが接合強度に及ぼす影響を評価し、造船部材要件として適切な接合条件を明らかにした。
- 造船所・艀装品の設計・調達担当者などを対象としたセミナーにおいて、環境劣化を考慮した長期信頼性の評価手法について解説を行い、造船分野での構造接着手法の普及促進を図った。
- 海上公試の騒音スペクトルからエアコンに起因する空気伝搬音が支配的か否かを予測するニューラルネットワークモデルを構築した。
- Deep Q Network (DQN) を活用して、船殻部材の2次元データから歩留まり率を上げる（廃材の割合を下げる）最適配置を推定するシステム（プロトタイプ）を構築し、実際の船殻部材データを利用して歩留まり率の改善（学習過程）を確認した。
- 設計フロントローディングを実現する配置計画と推進性能を同時最適化する設計システムを開発、バルクキャリアの試設計でシステムの有効性を示し、その成果を国際学会で発表した。
- 開発した上流設計システム上で生産性の初期評価が可能となるようシステムを改良し、造船所・CAD メーカーと共に改良システムの初期評価を行った。
- 次世代造船設計システム（インテリジェント CAD）のコアとなる技術要素について検討し、受注産業で大きな課題となっている現場不具合を改善する知識データベースを活用した次世代 CAD システムを概念設計し、この技術の特許を出願した。

#### R1 年度の研究成果

- 基本クラス（抽象化されたクラス）として臨機応変の発生する要素を網羅的に表現し、派生クラスとして具体的な造船工程を表現した船殻の小組工程に関する職場モデル設計書（データ構造）を整理した。
- フィードバック型現場曲げ加工支援システムを実際の造船所1社に導入した。このシステムの支援により、曲げ加工において熟練作業者と同等程度の工数で、曲げ型レスで曲げ加工が完結することを実証実験で確認した。今後、他の造船所等に販売ができるように開発したシステムをパッケージ化した（図1参照）。

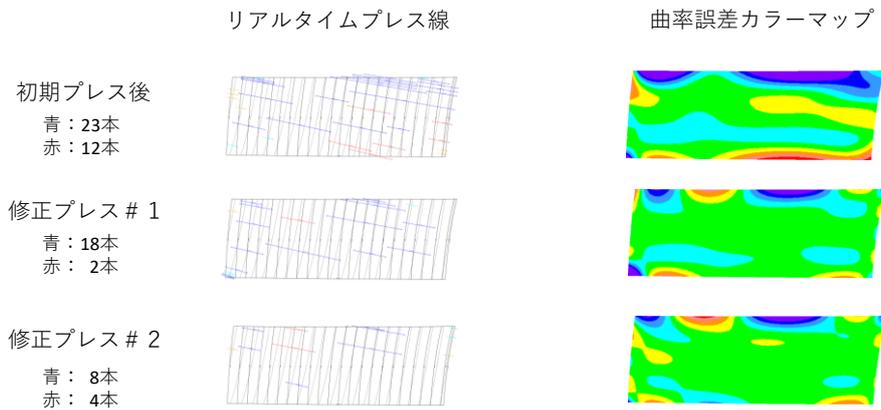


図1 フィードバック型現場曲げ加工支援システムによるプレス作業の推移  
(プレス作業の経過とともにプレス線が減り、目的形状に向かっていることが確認できる)

□AI ワークサンプリングシステムのプロトタイプを開発した。作業の画像データから主作業／付随作業／無付加価値行為等を自動分類し、リアルタイムにその比率を表示するシステムを開発した。作業内容の学習を行えば、小組工程等、作業の様子を画像で捉えやすい工程に対して汎用的かつ簡便に展開できるシステムである(図2参照)。

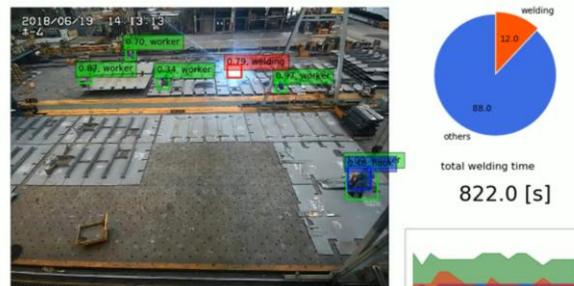


図2 AIワークサンプリングシステム

□曲げ加工支援 AR アプリケーションを実際の造船所1社に導入した。今年度は、AR表示を鋼板上でも安定的に行えるようにシステムの改良を行った。また、表示デバイスに関してHMD(ヘッドマウントディスプレイ)対応のARアプリケーションを開発し、造船所での実証実験で実用上十分に使えることを確認した(図3参照)。

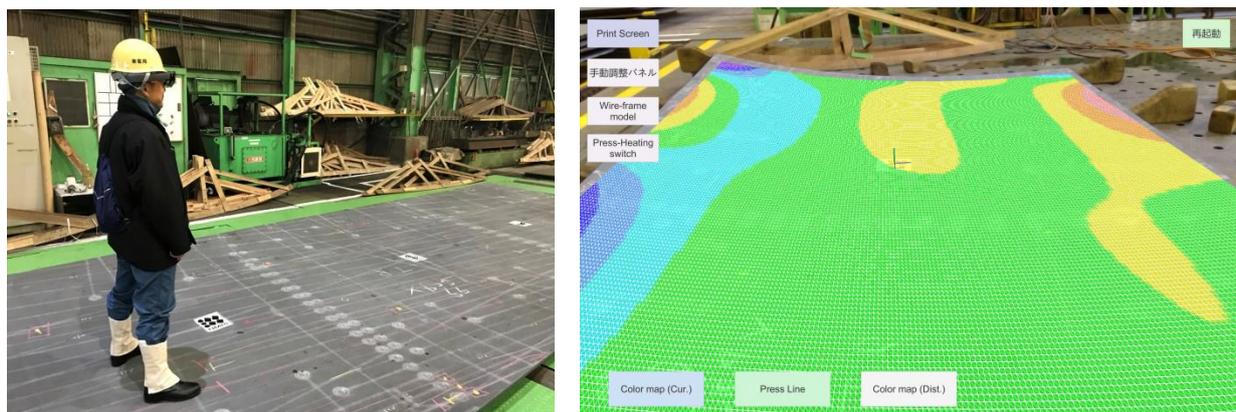


図3 曲げ加工支援 AR アプリケーション

□レーザースキャナ等による外板の3次元計測結果を作業者に効果的に伝達するため、バーチャルな環境内で現在形状に対して目的形状を3次的に転がし、その様子を可視化する3次元バーチャル曲げ型を考案した。目的形状との当たり(接触)の様子をインタラクティブに確認することができ、画面内で、距離誤差のみならず、横曲がり、縦曲がり、ねじれ等、板全体のマクロナ形状の様子を把握できるシステムを開発した。  
□塗装作業支援 AR システム等から取得できるスプレーガン位置やトリガの on/off 検知センサ等の各種データを利用して、塗装作業の進捗や良否(修正すべき点)を算出する手法を開発した。本手法で塗料の使用量

(原単位) や塗装品質等の簡易的評価が行える (図4 参照)。

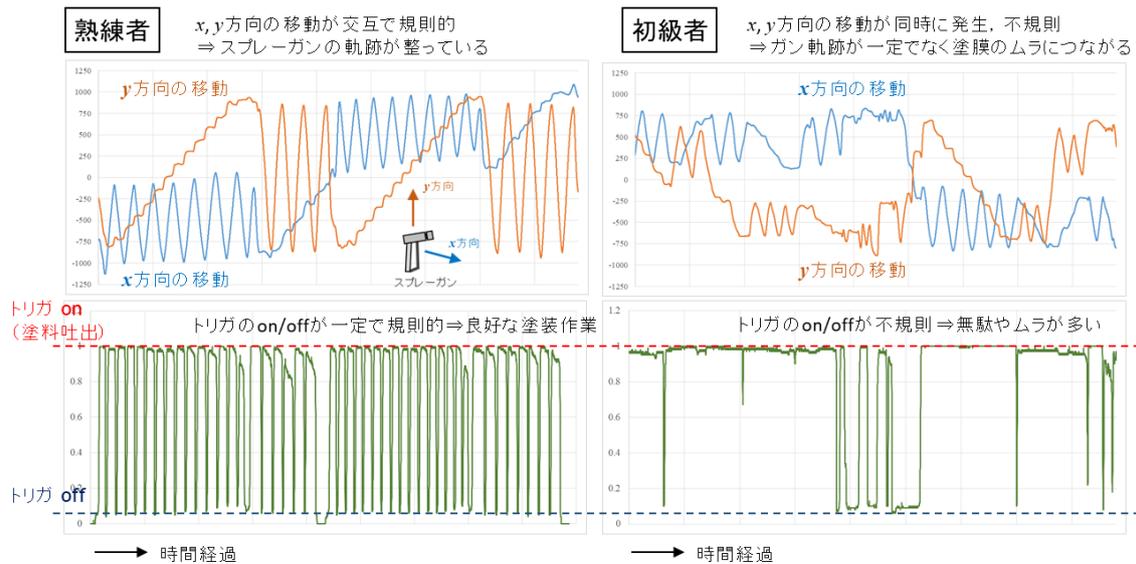


図4 塗装作業データの抽出とデータからの技量の判定

□工場内の自走式の道具運搬ロボット (AGV) を対象として、その最適な動作データを出力する人工知能を開発した。道具運搬のスケジュール (必要な道具と目的地、時間) を与えると、定盤レイアウトやブロック配置に応じて、複数台のAGVが衝突することなく、最適な運搬経路を出力する強化学習のAIのプロトタイプを開発した。

□プロペラ翼の平面展開、曲率線配向の炭素繊維配置、炭素繊維トウを一筆書きで編み込むツールパスの出力を行うシステムを開発し、これに基づき、曲率線配向のCFRP船用プロペラ (縮小モデル) を製作した。

□曲率線情報の高度利用として、3次元曲面へのフィルムの最適貼付技術について検討した。無理な引張やシワが発生しないフィルムの最適配置と展開図の出力手法を考案した。この研究は将来の船体への塗装代替技術として想定したもの (図5 参照)。

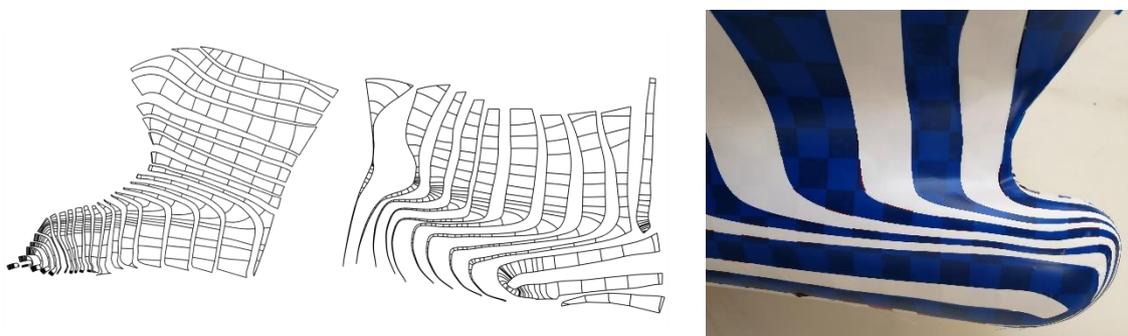


図5 船体 (模型船) へのフィルムの添付の例 (左: フィルムの展開図、右: 貼付の例)

□炭素繊維の材質、繊維配向を調整することで、ある荷重条件下にて目的形状に弾性変形させるCFRPプロペラについて検討し、目的形状に応じてその変形を実現するためのプロペラの各位置における材料特性 (ヤング率、ポアソン比、異方性) を逆計算で求める手法を考案した。

□バーチャル上のブロック定盤に、ドローン等からの観測情報を取り込み、ブロック定盤の計画と実績を管理するブロック定盤管理システムを開発した。このシステムをプラットフォームとして、定盤計画、作業進捗の管理、遅延などの警告・対応策の提示、AGVデータの作成等の生産管理に関するアプリケーション開発を行うことができる。

□構造接着については、FTP Code Part2 (煙・毒性試験)、FTP Code Part5 (表面燃焼性試験)、ISO1716 (発熱量試験)、並びに、鋼船規則 R 編の規定による防火構造材料 (難燃性上張り材 (不燃性・難燃性基材用)、不燃性基材用、難燃性基材用)、難燃性表面床張り材、一次甲板床張り材) 認定の対応を行った。また、居住区における部位別の防火規則適合要件を調査し、防火関連認定未取得の接着剤の適用範囲を明らかにした。

□VaRTM (the vacuum-assisted resin transfer molding: 真空含浸) 工法については、施工条件の評価・選定を行った。被着面の前処理の有無など施工性も含めた接合条件パラメータの組合せが接合強度に及ぼす影響を評価し、造船部材要件として適切な接合条件を明らかにした (表1)。なお、可搬性や作業性が溶接に

及ばない、レーザーなどの可搬に適さない装置を必要とする手法、可搬式でない装置による薬品処理を必要とする手法、ボルトなどの機械的締結については、対象外とした。  
 □造船所・艦装品の設計・調達担当者などを対象とした鋼船対応構造用接着剤セミナーにおいて、昨年度構築した環境劣化を考慮した長期信頼性の評価手法について劣化係数などの解説を行い、造船分野での構造接着手法の普及促進を図った。  
 □湿潤後乾燥回復試験など環境劣化促進試験については、当初計画通り年度をまたいで実施中。

表 1 造船部材要件として適切な異種材接合条件

	構造用接着剤	VaRTM成型
接着部	第二世代アクリル樹脂系接着剤(SGA)	鋼材接触面は複合材樹脂リッチ層(接着接合)
消防法危険物 (製品で異なる)	第2類引火性固体, 第4類第1石油類	硬化剤: 第5類自己反応性物質有機過酸化物
被着体接合面前処理	プライマー不要 サンディング要	プライマー不要 サンディング不要
充填可能被着材間隔	3mm程度	制約無(複合材被着材を後工程で積層)
作業可能時間	冬季	速乾型硬化剤(23°Cで5分)
	標準	標準硬化剤(23°Cで15分)
	夏季	遅硬化型硬化剤(35°Cで15分)
固着時間	作業可能時間の4倍程度の圧縮時間が必要	3時間で脱型(包材撤去)可能
硬化剤混合比感受性	鈍感(±20%許容)	鈍感(±20%許容)
副資材	不要(混合ガンの使用で施工速度向上)	要(真空脱気用包材、真空ポンプなど)
異材接合部劣化前 引張せん断強度 (複合材樹脂により異なる)	9~12 MPa (接着層厚3mmの場合)	10~15 MPa

□海上公試時の居室の騒音計測スペクトルから、当該居室の騒音にエアコンの影響があるか否かを判定する機械学習モデルを構築した。この判定モデルの精度を表 2 に示す。表 2 は学習に使用していないテストデータにおける判定結果であり、この判定モデルでは実際にエアコン騒音の影響があった 89 部屋の居室の内、約 97%に当たる 86 部屋を影響があると正常に予測した。また、エアコンの影響がなかった 589 部屋の内、誤って支配的と予測したものは約 0.17%に当たる 1 部屋のみであり、発見率のみならず精度も極めて高い判定モデルとなった。

表 2 テストデータでの判定結果

実測	支配的	支配的	非支配的	非支配的
予測	支配的	非支配的	支配的	非支配的
件数	86	3	1	588

□深層強化学習をネスティング問題に応用し、自己学習と人手による配置データから学習する 2 つの学習を構築することにより、人手の手直しが不必要なレベルの結果を得ることができた(図 6)。左図は、自己学習の結果を利用して鋼材を配置した図である。右図は、ベテランの配置を模倣学習した結果を利用して配置した図である。

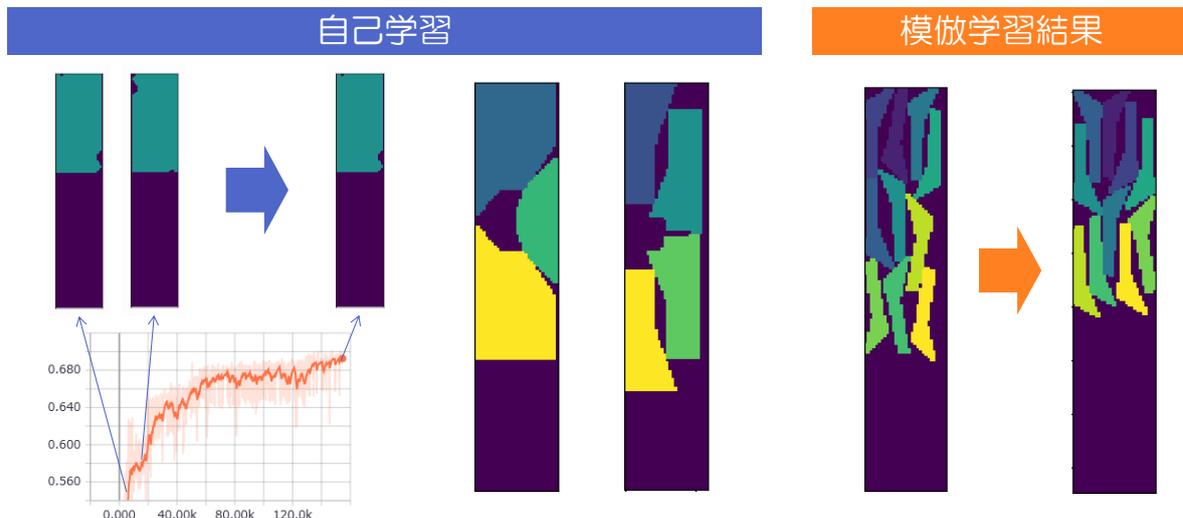


図 6 自己学習, 模倣学習によるネスティング結果

□海技研 CFD と造船用 3D CAD のデファクトスタンダードである NAPA と組み合わせ、主機の構造部材の配置を自動概略設計し、推進性能と載貨容積とを多目的最適化する設計システムを開発し、載貨重量 6 万ト

ンのバルクキャリアに対して試設計を行い、設計コストの低減、顧客への船型提案手法の改善等の有効性を確認した。(図7)

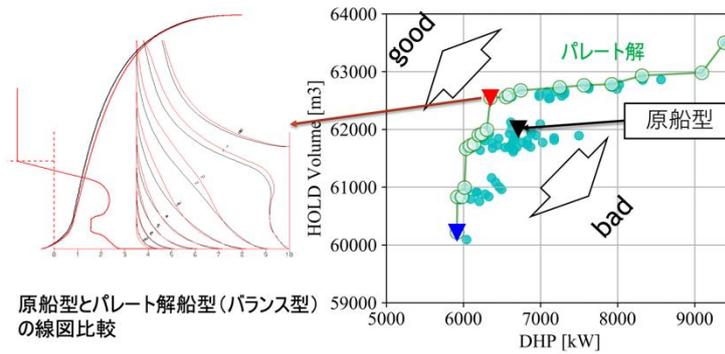


図7 推進性能と載貨重量の多目的最適化の結果と最適船型の一例

□開発した上流設計システム上で生産性の初期評価を実現するため、設計システムに海技研の曲率線展開プログラムを組み込み、造船所・CADメーカーと共に開発プロトタイプの初期評価を行い、有効性および改善点の抽出を行った。(図8)

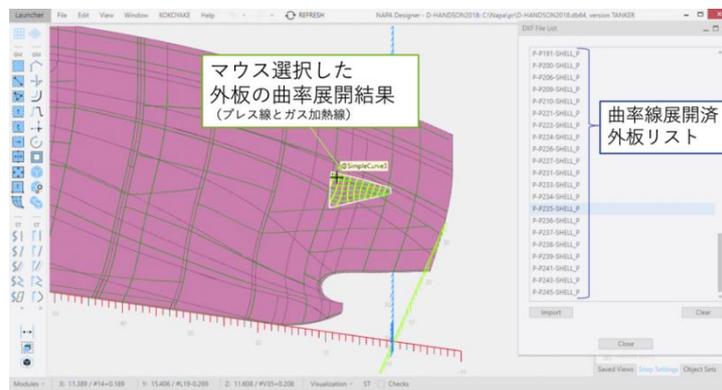


図8 開発設計システムと連携した海技研の曲率線展開の結果の一例

□次世代造船設計システム(インテリジェントCAD)のコアとなる技術要素を検討し、造船を含む建築など受注産業全体で大きな課題となっている現場不具合を、IoTによる作業者のモニタリング、CADの作業ログ、会話データのモニタリング等で収集したデータベースを機械学習することで不具合の発生を予測し、CADシステム等で事前に注意を促すシステムを概念設計し、この技術の特許を出願した。(図9)

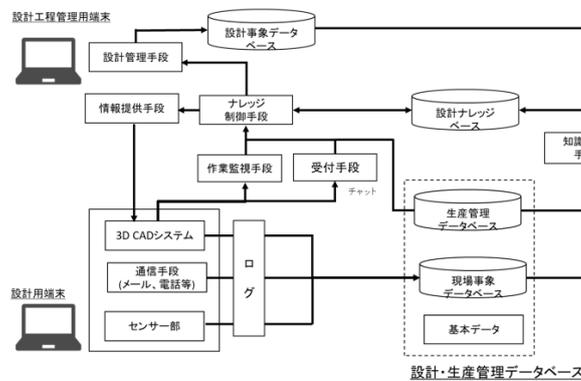


図9 インテリジェントCADの概念図

## 成果の公表

出願特許：4件

- 「平板プレス加工の作業支援方法、作業支援プログラム、及び作業」(出願日 2019/9/4)
- 「曲面貼付フィルム作成プログラム、曲面貼付フィルム作成システム、曲面貼付フィルムを貼付した船体」(出願日 2019/9/4)
- (大島造船所と共同で申請中):「部材配置システム及び部材配置プログラム」(出願日 2019/6/14)
- 「設計支援方法、設計支援プログラム、及び設計支援システム」(出願日 2019/9/30)

ジャーナル、本文査読付きプロシーディングス、海技研報告の研究報告：1件

□Ichinose, Y., Tahara, Y., Takami, T., Kaneko, A., Masui, T., Arai, D : A study of multi-objective optimization for propulsion performance and cargo capacity, Proceedings of Practical Design of Ships and other floating structures, 2019, No Page.

その他発表：11件

- Matsuo, K., Takezawa, M.: Development of work support system of press work for sheet metal forming, The 19th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS2019), Rotterdam, (2019), Vol.3, pp.89-96.
- Takezawa, M., Matsuo, K.: Application of Freeform Surface Unfolding Method Based on Lines of Curvature, The 19th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS2019), Rotterdam, (2019), Vol.1, pp.1-6.
- 松尾宏平, 竹澤正仁: 造船のぎょう鉄作業を支援する AR システムの開発, 職業能力開発総合大学校 PTU フォーラム, 東京, (2019), ページ無.
- 谷川文章, 松尾宏平: 未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発, 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻第 3 号, (2019), pp.49-76.
- 岩田知明: 構造用接着剤のこれまでの経緯と今後の展開, Scott Bader 主催構造用接着剤セミナー, 福岡, (2019), ページ無.
- 谷口智之, 平方勝, 藤本修平, 山根健次, 馬沖: 最新の人工知能技術の活用ーネスティング AI と画像認識による点検ー, 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻別冊, (2019), pp.51-55.
- 平方勝, 谷口智之, 馬沖: 知能構築にあたっての学習・発達に関する一考察, 第 12 回人工知能学会汎用人工知能研究会(SIG-AGI), 東京, (2019), ページ無.
- 平方勝: 海事分野への AI の適用, 日本造船技術センター, 東京, (2019), ページ無.
- 藤本修平, 谷口智之: 拡張現実 (AR) を利用した塗装作業支援システムのプロトタイプ開発, 日本塗装技術協会 第 35 回塗料・塗装研究発表会, 東京, (2019), ページ未定.
- 一ノ瀬康雄, 藤原亮二, 益井 崇好: 初期設計における流体・生産一貫解析システムの開発について, NAPA User Seminar Japan 2019, 神戸, (2019), ページ無.
- 一ノ瀬康雄, 藤本修平, 松尾宏平, 高見朋希, 金子杏実: 船型設計のフロントローディングによる全体最適設計, 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻第 4 号, (2020), ページ未定.

## 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。
  - フィードバック型現場曲げ加工支援システムをパッケージ化し、広く造船所等に展開できるようにした。造船曲げ加工における生産性の向上、技能者の不足、技能者の育成に対して効果的なソリューションを提供できる。
  - 科学技術イノベーション総合戦略の1つである異種材料接合技術の高度化は、材料選択や設計の自由度を向上させ設計・生産性の効率向上に貢献するため、造船業界においても関心が高まっており、社会のニーズに適合している。
  - 騒音コードに適合させることに対して、造船所は新設計船舶の設計など、依然として不安を持っており、騒音予測に対するニーズは依然ある。ニューラルネットワークによる騒音予測システムを改良発展させていく成果であり、社会のニーズに適合している。
  - ネスティング(生産設計)にAIを活用しようとすることは、コスト削減、生産効率向上につながる。造船産業の競争力に直結するテーマであり、社会的貢献度は大きい。
- 成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか。
- 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いる。本研究課

- 題で取り組んでいる「曲げ加工支援 AR システム」については、本年度の活動を通して、実際の造船工場への導入が完了した。造船製造現場における AR 技術の実用化は少なくとも国内初のことと認識している。
- 曲率線配向の CFRP 成形技術については、船舶に限らず、航空機や自動車等、他の産業への応用性がある。実際、本年度において JAXA と航空機への展開について共同研究を実施し、航空機分野においても本手法は展開可能であることを確認した。
  - 接着接合部並びに真空含浸工法による施工部の環境劣化を考慮した長期信頼性の評価手法は未だ確立されたものがなく、接着工学の分野において、新規性・汎用性は大きい。
  - 自動ネスティング手法は既に存在するが、強化学習と模倣学習を活用して自律的に性能が向上していく手法に新規性がある。既存の手法に比べ、最適解を出力するまでの時間が短く、また、人手による修正結果も模倣することができるようになるため、従来手法よりも優位性がある。
  - IoT 機器等から不具合データベースを収集し機械学習により不具合を未然に防ぐ技術は、造船だけでなく他の受注産業にも広く応用可能で一般性が高い。

○成果が期待された時期に創出されているか。

- フィードバック型現場曲げ加工支援システム、曲げ加工支援 AR アプリケーションは造船所へされており、期待された時期に成果として創出されている。
- ネスティングは、造船所のニーズに即しており、期待された時期に創出された。

○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。

- 熟練作業者と同等程度の工数の曲げ型レスで曲げ加工を可能とするフィードバック型現場曲げ加工支援システムや、表示デバイスに関して HMD（ヘッドマウントディスプレイ）対応の曲げ加工支援 AR アプリケーションなど、国際的な水準と比較して十分な成果であり、我が国造船業の国際競争力の向上に大きく貢献できる。
- 騒音予測、ネスティングいずれも、造船所の設計に寄与するものであり、造船所の国際競争力の向上に貢献する。

○萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

- 自由曲面への最適フィルム貼付技術については、将来の塗装技術の代替等、様々な応用先が考えられる。これにより、環境問題への対応、生産性の向上等、実用化の際のインパクトが大きい。科学的な新規性もあり、本年度に特許を出願した。
- ニューラルネットワークによる騒音予測システムの改良は、社会的ニーズに対応した応用研究である。新たな騒音対策品を見込んで機動性をもって対応した。
- ネスティング（生産設計）に AI を活用することは先見性をもった研究である。最新の AI 技術（深層強化学習）を取り入れ機動性を持った研究が行えている。

**H28 年度から R1 年度の実績および R4 年度までの計画**

（別紙を作成）

研究主任者による自己評価	
年度評価（R1 年度）	<b>B</b>
中間評価（H28～R1 年度）	<b>B</b>

**【年度評価に関するコメント】**

□フィードバック型現場曲げ加工支援システム、曲げ加工支援 AR アプリケーションは造船所への導入実績があり評価されている。また、3次元バーチャル曲げ型の開発、塗装作業の技量判定システム、ブロック定盤管理システム、3次元曲面へのフィルムの最適貼付技術など、今後の生産性向上に結びつく技術を開発した。

**【中間評価に関するコメント】**

□「中小造船業に適した新生産管理手法」については、実際の中小造船業7社において導入され、「工数最適化を目的とした生産計画・実行管理」にて5～10%の工数削減効果の成果を上げている。また、非熟練及び短時間労働者を新たに取り入れる「未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発」については、5%の技能職の余力創出余地効果を実証試験により確認し、国際競争力の向上に貢献する生産性の改善効果が得られることを明らかにした。人材不足の課題を解決する手法として中小造船事業者から評価されている。

□IMO の騒音規制は引渡日ベースでも、2019 年 7 月 1 日以降に適用されるが、騒音規制が本格的に始まる

時期までに騒音予測プログラムを成果として提供でき、騒音予測において造船業界に大きく貢献できた。  
その後数件の騒音評価の請負研究に結びついている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1 年度)	<b>B</b>
中間評価 (H28~R1 年度)	<b>B</b>

<b>研究開発課題</b>	<b>(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</b>	
<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆12 ICTを利用した大陸間自律運航に係る支援技術に関する研究</b>	
<b>中長期目標</b>	<b>中長期計画</b>	<b>年度計画</b>
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新たなニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発 ー操船シミュレータ上に組み込んだ自律操船が可能なテストベッドの避航操船機能に対して、安全評価方法を検討し、評価実験を行う。等

**研究の背景**

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

- 自律運航システムの構築
- 立体視による他船検出システムの研究
- 自律航行船の安全基準の研究
- 自動離着棧機能の開発

**研究目標**

- 自律運航システムのコンセプトの構築
- 自律運航システム機能を組み込んだシミュレータによる有効性評価手法の開発
- 大洋航行における計画航路に基づいた自律運航システム及び、自動避航システムの開発
- レーダー、AIS 以外の捕捉としての画像処理と立体視による他船検出システムの開発
- 自律運航を実現するための規則の対応案
- 着棧支援システムと自動着棧機能の開発

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に寄与できる。また、先進的な技術開発を行うことで、我が国海事産業の国際競争力の強化が図られる。

**R1 年度の研究内容**

- 自動避航アルゴリズムの開発を継続するとともに、操船シミュレータによる評価方法の検討を行う。
- 前年度開発したタブレットの提示による避航操船支援システムを実船搭載する（商船三井、商船三井テクノトレード、東京海洋大学との共同研究）とともに、遠隔によるタブレット画面のモニタリングを行う。
- 立体視による他船検出システムについて、物体検出手法の改善による検出率の向上、立体視の画像マッチングアルゴリズムの改善による位置精度の向上。GUI システムを構築し公開実験を行う。
- 離着棧操船における低速時の小型船舶の操縦運動特性の把握を行う。
- 低速時の小型船舶の操縦運動数学モデルの開発とシミュレーションを行う。
- 自動離着棧システムの研究のため、小型実験船（シームレス船）「神峰」の制御システム（ハードウェア、ソフトウェア）の開発を行う。
- AI 等を用いた自動離着棧システムの検討を行う。
- 経路追従制御アルゴリズムを用いた着棧操船アルゴリズムの開発を行う。
- 経路追従制御アルゴリズムによる実船の着棧操船システムの開発を行う。
- 音声情報を活用した着棧操船支援システムの開発と小型実験船による実証、操船シミュレータによる支援システムの評価を行う。

## R1年度の実績

- 自動避航アルゴリズムについて、ルールベースによるもの、深層強化学習によるもの等を開発し、これらを適用するファストタイムシミュレーションシステムを構築した。ファストタイムシミュレーションでは、延べ10万以上の見合い関係について実行した。
- タブレットの提示による避航操船支援システムを東京海洋大学練習船汐路丸に搭載し、動作確認を行った。また、船上で動作中のタブレット画面を陸上からモニタリングを行った。
- 立体視による他船検出システムについて、深層学習アルゴリズムおよび前処理等の工夫により、検出率を向上させた。画像マッチングアルゴリズムの改善により、立体視距離推定誤差を低減させた。GUIシステムを構築し航行中の画像を用いた検証を行った。
- 最適計算による着棧操船の解を教師データにした、ニューラルネットワークとPID制御による経路追従を想定した非線形最適化計算手法の検証を行った。計算にはESSO OSAKAの3mモデルを対象としたMMGモデルを用いて、最新の進化計算手法の一つであるIPOP-CMA-ESの性能を評価した。
- 離着棧操船シミュレーションのための操縦運動数学モデルの調査・検討を行った(運動性能研究グループとの共同)。芳村のCross flow dragモデルと、弊所の先行研究による成果からプロペラ正逆転の両方に対応した低速域の操縦運動数学モデルを検討した。
- 小型実験船「神峰」による自動着棧実験を行うため、PLC制御システムを構築し、PLCまたは制御用PCから、エンジン回転数、クラッチ、舵角、ハウスラストの操作をできるようにした。
- 神峰を用いた操縦性試験を実施し、主機のクラッチ制御に対応した実船計測データを用いてMMGモデルベースの低速域操縦運動数学モデルを構築し、計算プログラムを開発した(運動性能研究グループが担当)。開発された操縦運動数学モデルを用いたシミュレーションは係数の同定に用いられた実船計測データおよび、後述の自動着棧操船の実験データと比較し十分な精度で運動を予測できることを確認した。
- 自動着棧操船アルゴリズムの開発環境を整備することを目的として、神峰に搭載されたPLC制御システムの通信エミュレータを開発し、自動着棧プログラムの開発期間短縮とバグ発生の頻度低減を達成した。
- Pure pursuitとAutopilotによる船舶の経路追従アルゴリズムを開発した。また、着棧操船開始時に自動で着棧位置までの経路を生成するアルゴリズムを開発した。
- Pure pursuitとAutopilotによる船舶の経路追従アルゴリズムの評価として、仮想的に設定した円周経路を追従するトレース試験をシミュレーションおよび神峰を用いた実海域で行い、手動操船および定舵角による操船と比較して評価を行った。
- Pure pursuitとAutopilotによる自動着棧アルゴリズムを開発し、仮想棧橋および実棧橋において着棧実験を行った。(運動性能研究グループも協力)また、神峰のPLC制御システムと連携し自動着棧時の情報を音声で案内する機能を実装した。
- 神峰を対象として、音声情報を活用した着棧操船支援システムを開発した。支援システムからは、変針と減速の指示、風向・風速の情報といった音声ガイダンスが出力される。また、小型実験船による実証から、音声を用いた着棧操船支援システムは概ね意図したとおりに機能することを確認するとともに、システムの課題等を明らかにした。さらに、操船シミュレータを用いて、操船経験がない、または、少ない被験者15名を対象に、システムの支援による操船者の精神的作業負担の軽減とユーザビリティに関して、定量的な評価指標を用いて評価を行うとともに、被験者へのヒアリングから音声を用いた着棧操船支援システムの課題を整理した。評価結果から、音声情報を用いることで、精神的作業負担が軽減されることを確認した。ユーザビリティは、評価結果から、受容されるという結果が得られた。課題としては、本支援システムに舵を戻すタイミングや操作量を指示する機能を追加することで、さらに操船者への支援に役立つと考える。

## R1年度の研究成果

- 自動避航アルゴリズムについて、ファストタイムシミュレーションによる結果(図1)に対して、最接近距離や海上衝突予防法に従った方法か等の解析を行い、避航操船における困難度が高いと思われる見合い関係の抽出の検討を行った。今後、この結果を活用して、操船シミュレータで評価する際のシナリオの参考とする。
- 東京湾を航行中の汐路丸で稼働中の避航操船支援システムのタブレット画面(図2)をLTE回線を利用して陸上でモニタリングを行い、通信速度との関係を調査した。船から陸上へのアップリンク速度が1~2Mbpsを下回ると、タブレットのカメラ映像の伝送には、不十分であることを確認した。
- 立体視による他船検出システムについて、深層学習のフレームワーク選択と入力画像の拡大処理により、検出率が改善した(図3)。灯浮標を対象に検出を行ったところ、高さ4.6mの灯浮標を約2km先から安定的に検出できた。反航船、灯浮標を対象に位置推定を行ったところ、系統誤差を除きおよそ±2%程度の推定誤差範囲内で相対距離を推定できた(図4)。GUIへの出力を行い(図5、6)、公開実験を行った。
- MMGモデルを対象としたIPOP-CMA-ESを用いた非線形最適化計算を行った。計算時間短縮のため、計3ステップの削減、制御回数制限による解空間の次元削減、並列計算の実装を行ったが、計算時間が実用的な範囲には収まらなかった。併せて、目的関数評価の際に状態量の標準化を行うことで精度を改善したが、最終位置が模型船スケールで1m程度の誤差を生じたため実用精度に達しない可能性があることが確認された。図7に最適化計算により得られた解の一例を示す。IPOP-CMA-ESの計算には、Pythonによる実装のpycmaを用いた。

□Hullの流体力計算において標準的なMMGモデルと比較して必要な係数が少ない芳村のCross flow dragモデルを採用した。このモデルは着棧操船時の斜航状態の運動予測に適したモデルであり、さらに北川らのプロペラ逆転時の計算モデルを用いることでクラッチ動作を含む風の影響を受ける着棧操船時の運動状態を精度良く予測する低速域操縦運動数学モデルを構築した。

□神峰(図8)を用いた操縦性試験を運動性能研究グループと共同で因島周辺海域で実施し、低速域操縦運動数学モデルに対応した神峰の操縦流体力同定を行った。操縦試験ではZ試験においてPCから制御で行い、安定した試験を実施した。潮流や風等の外乱影響下で計測した異なるエンジン回転数およびクラッチ操作を行った航行データから、離着棧操船アルゴリズム開発に必要な精度を有するシミュレーション環境を構築した。

□自動着棧プログラムの開発速度と品質の向上を目的として、神峰に搭載されたPLC制御システムの通信エミュレータを開発した。通信エミュレータは操縦運動のシミュレーション機能を有し、シミュレーション計算には野本の一次系近似モデル、標準的なMMGモデル、芳村の低速域モデルおよび新たに開発した低速域操縦運動数学モデルから選択することができる。また、風外乱の影響を評価するため、ワイブル分布と正規分布を用いた風向風圧シミュレーション機能を有する(図9にシミュレーションと実際に計測値を基にした風配図を示す)。さらにエミュレータはシミュレーション中にリアルタイムに船舶の運動状態を可視化する機能とロギング機能を有する。このエミュレータにより、陸上で操縦運動シミュレーションを用いて開発されたソフトウェアをそのまま変更なしに実船のシステムにつないで制御することが可能となり、自動着棧プログラムの開発工数と不具合の発生頻度を大幅に削減した。

□IPOP-CMA-ESによる非線形最適化計算の結果を受け、代替案として経路追従をベースとした実時間制御アルゴリズムの検討を行った。経路追従にはPure Pursuitアルゴリズムを採用し、船首方位や計画経路との誤差を用いたPDおよびPIDのオートパイロットにより船首方位を制御することで風や潮流下において安定した経路追従を行うことができる。特徴として制御パラメータの少なさと安定した経路追従性能が挙げられる。Pure pursuit + Autopilotによる経路追従の性能を確認するためシミュレーションおよび実海域で神峰を用いて試験を行い、制御性能を検証した。図10に実海域試験での航跡を示す。

□経路を4つの区間に分け制御モードを切り替えるPure pursuit + Autopilotによる自動着棧プログラムを開発した(図11左)。着棧操船時の経路設定にはベジェ曲線を採用することで制御開始時の姿勢によらず、設定された着棧位置までの滑らかな経路を自動で生成することができる(図11中央および右)。

□Pure pursuit + Autopilotによる自動着棧操船をシミュレーションおよび実海域で検証した。(実証実験は運動性能研究グループも協力)実海域における仮想棧橋に着棧例を図12に実棧橋の着棧例を図13に示す。どちらも計画航路に対してのズレは一定の幅で収まっており、特に平均風速が2m/sの仮想棧橋の着棧例(図12)ではほとんど経路との追従誤差は見られない。一方で平均風速が3.9m/sとなった図13の実棧橋の着棧例ではニュートラル走行時でも経路誤差を一定以下に抑さえ目標位置に着棧制御できることが確認できた。特に風速が遅い場合には、複数回の試験を行っても安定して経路誤差を抑えて目標位置に着棧制御できることを確認した。

□神峰を対象として、音声情報を活用した着棧操船支援システムを開発した。図14に、支援システムのモニター画面を示す。図15に、音声ガイダンスの例を示す。音声ガイダンスにより位置S→位置P、位置P→位置T、位置T→位置Oでの変針指示、位置Tで設定船速にするための減速指示、風向と風速の情報提供、位置T、位置Oまでの距離のアナウンスが行われる。図16に、実船実験で得られた航跡の一例を示す。実験において、目標航路に近い航跡が得られており、音声ガイダンスは概ね適切なタイミングで出力されていることが分かった。一方、着棧位置近くにおける支援方法や目標航路とのずれに対する補正等の課題が挙げられる。図17に、操船シミュレータ実験による評価実験から得られた航跡の一例を示す。音声ガイダンスを活用した着棧操船支援システムを使用した場合、図16に示した実船実験結果と概ね同様の結果が得られた。着棧目標位置における船速と進入角度を音声により誘導する着棧操船支援システムは、操船経験のない、または、少ない操船者15人のNASA-TLXスコアの平均値の結果から、精神的作業負担を低減することを確認した。ユーザビリティの評価においても、同じ被験者のSUSスコアの平均値の結果から、支援システムが受容される評価であることを確認した。しかし、この支援システムは実験段階のシステムであり、事前設定等の汎用性・操作性を高める必要がある。課題としては、舵を戻すタイミングや着棧直前の舵の操作が習熟訓練での把握結果をもとに感覚で操作した被験者が多かったことから、本支援システムにこれらのタイミングや操作量を指示する機能を追加することで、さらに操船者への支援に役立つと考える。

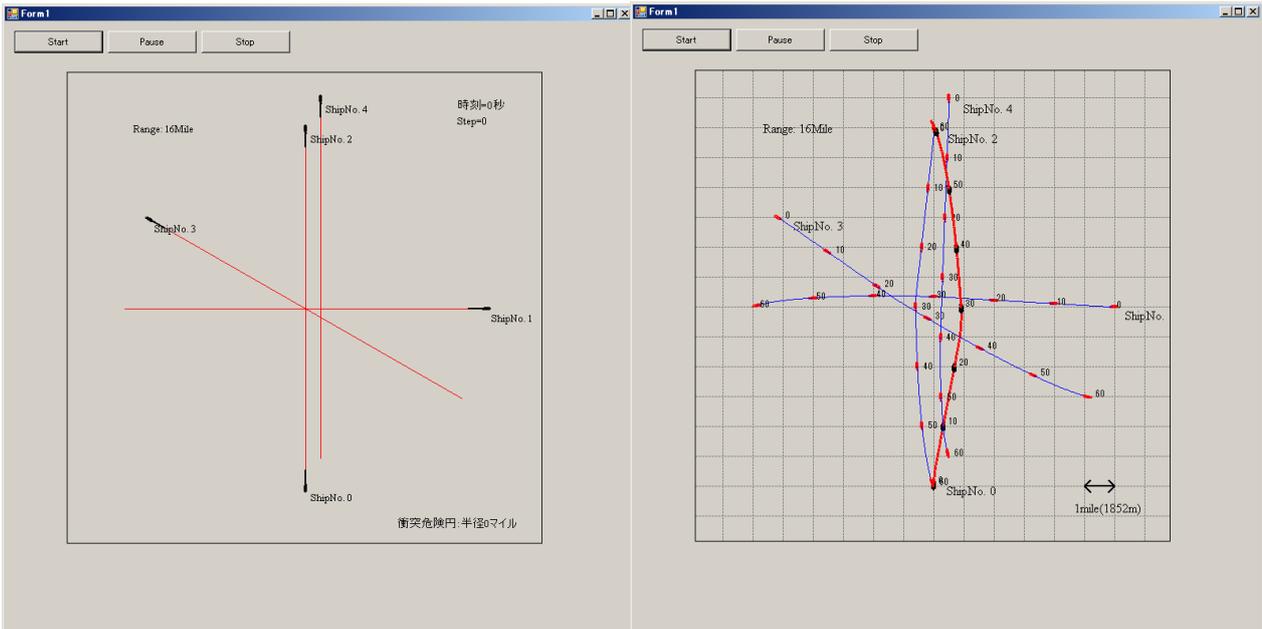


図1 ファストタイムシミュレーション画面



図2 汐路丸に搭載した避航操船支援システムのタブレット画面

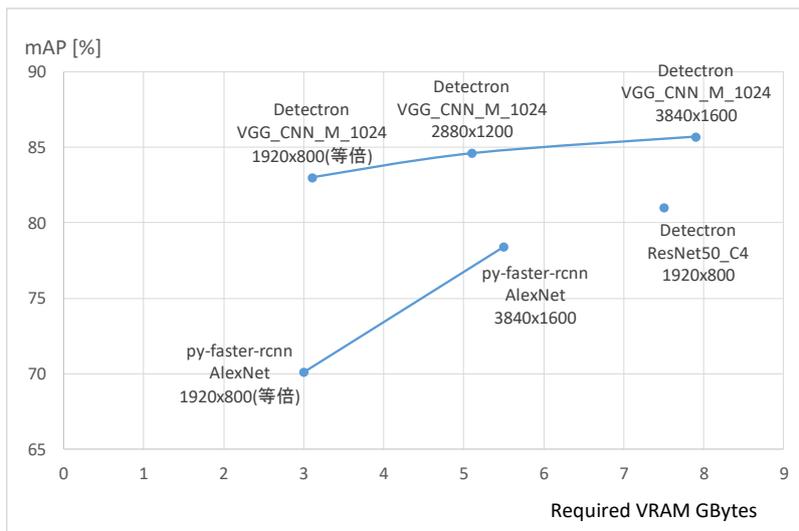


図3 深層学習フレームワークと検出率

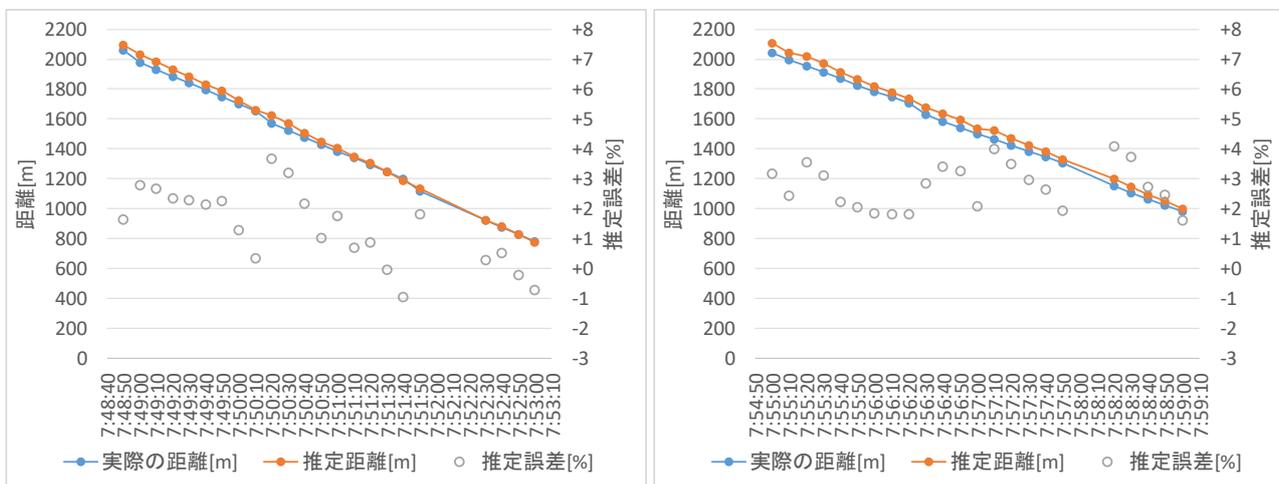


図4 灯浮標の相対距離推定例



図5 景観画像からの船影検出例

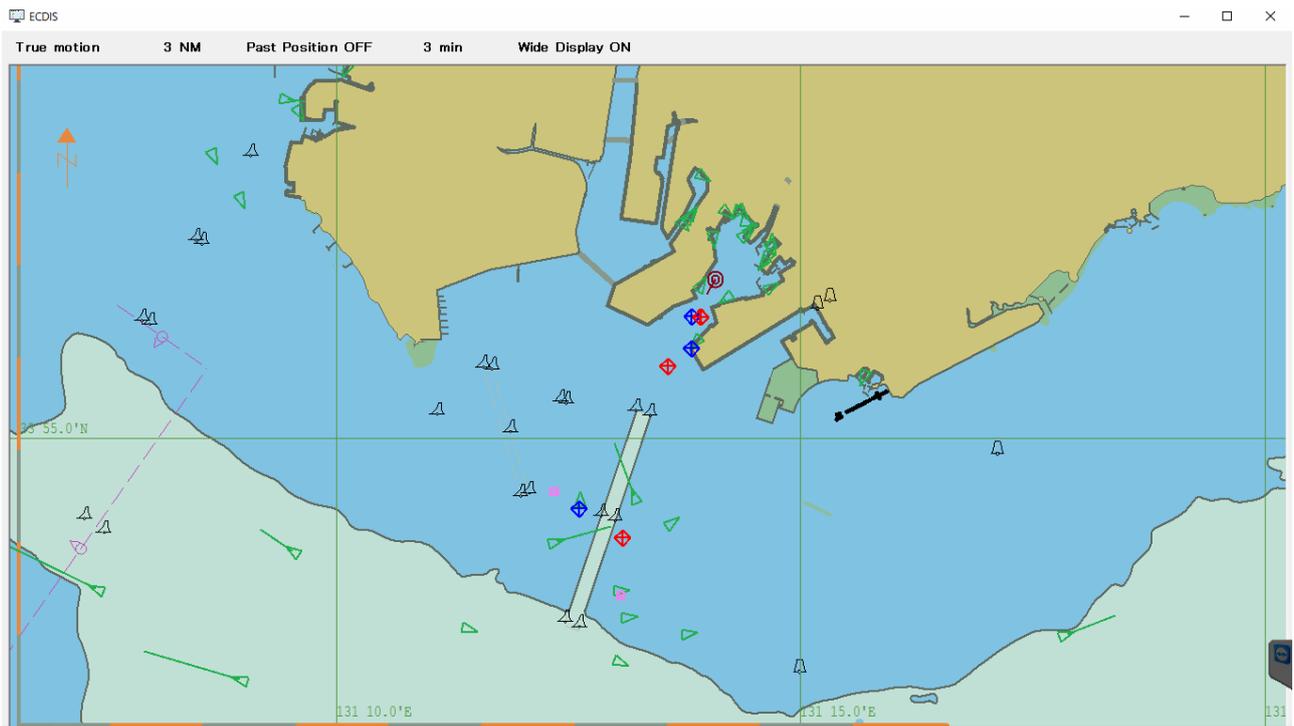


図6 推定船位の GUI 描画例

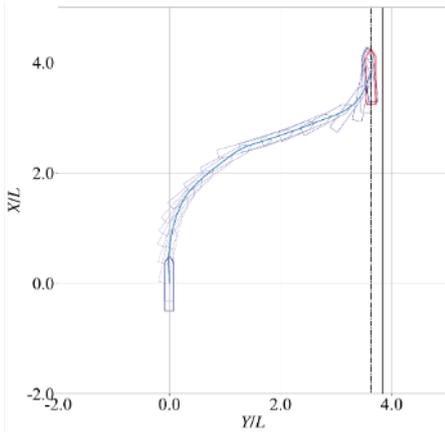


図7 ESSO OSAKA 3m 模型の MMG モデルを用いた IPOP-CMA-ES による着棧操船の解の一例



図8 神峰の外観と操縦席

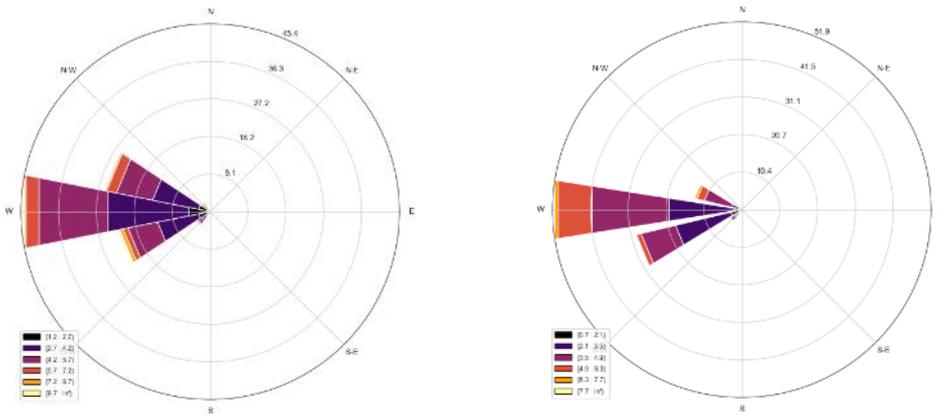


図9 ワイブル分布と正規分布による風速と風向のシミュレーション  
(左: シミュレーション、右: 計測値)

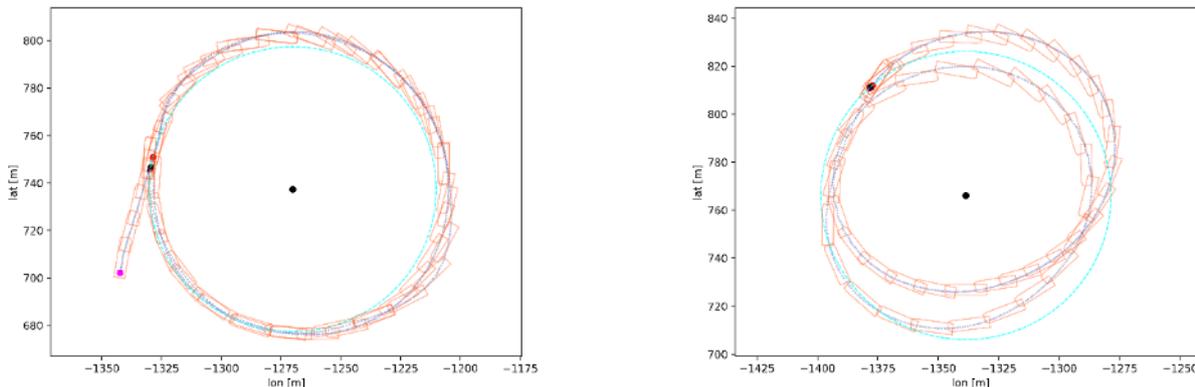


図 10 神峰を用いた実海域トレース試験（追従円周経路半径 60[m]、  
 左：PurePursuit+Autopilot、平均主機回転数：757.0 [rps]、平均真風速 6.0 [m/s]、平均風向 272 [deg]  
 右：舵角+15度一定、平均主機回転数：756.5 [rps]、平均真風速 6.29 [m/s]、平均真風向 301 [deg]

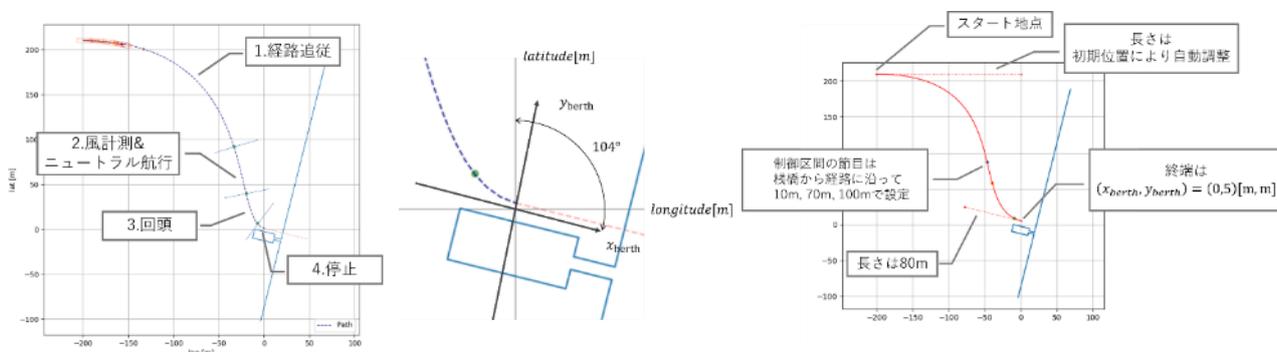


図 11 Pure pursuit + Autopilot による着棧操船の概要。左図の青の点線は着棧の計画経路。  
 中央は自動着棧の計算に用いる座標系。右図はベジェ曲線による着棧経路計算の概要。

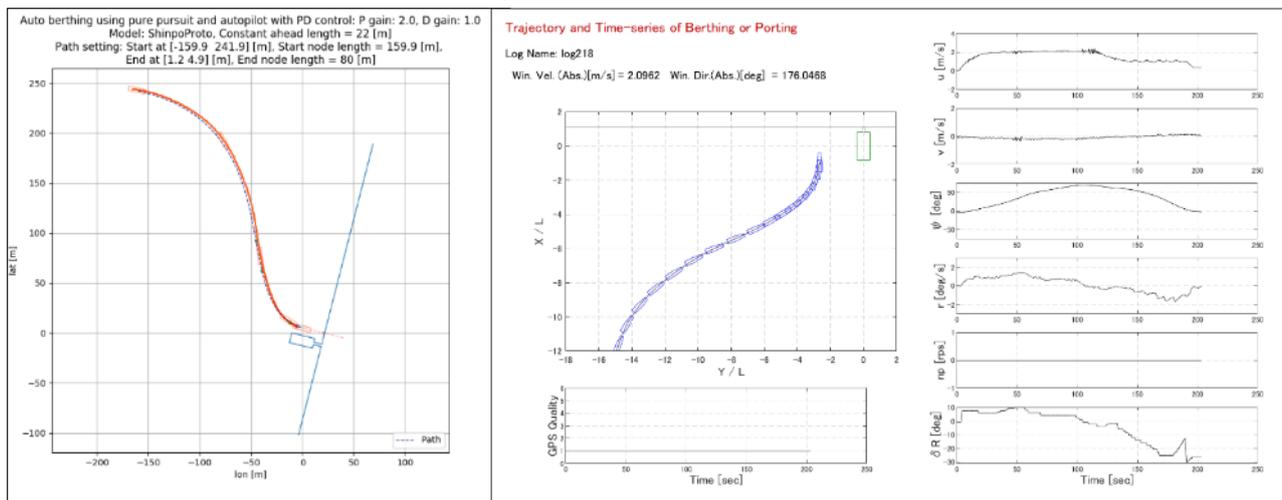


図 12 Pure pursuit + Autopilot による神峰を用いた自動着棧操船結果の一例  
 (仮想棧橋に対する着棧、右図は想定した仮想棧橋の位置を示し、左図の棧橋の位置は実棧橋を示す。  
 右図中の青点線は計画経路、赤点は航跡)

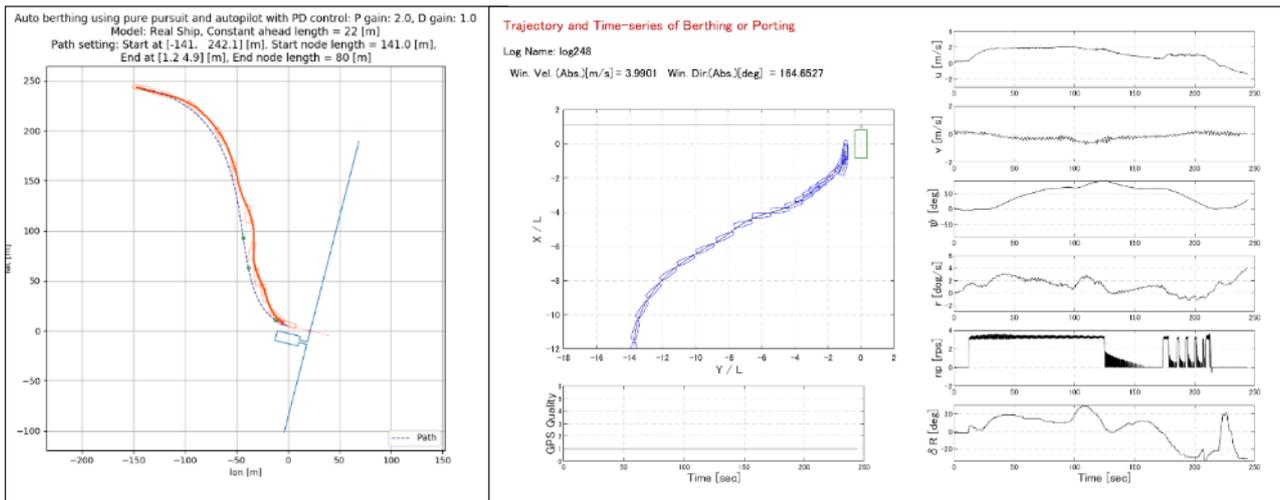


図 13 Pure pursuit + Autopilot による神峰を用いた自動着棧操船結果の一例  
 (実棧橋に対する着棧、右图中の青点線は計画経路、赤点は航跡)



図 14 支援システムのモニター画面



図 15 音声ガイダンスの例

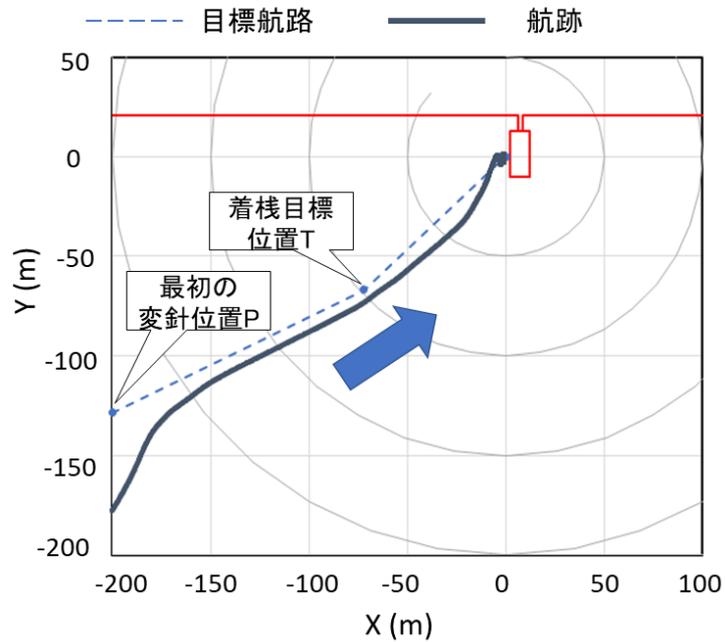
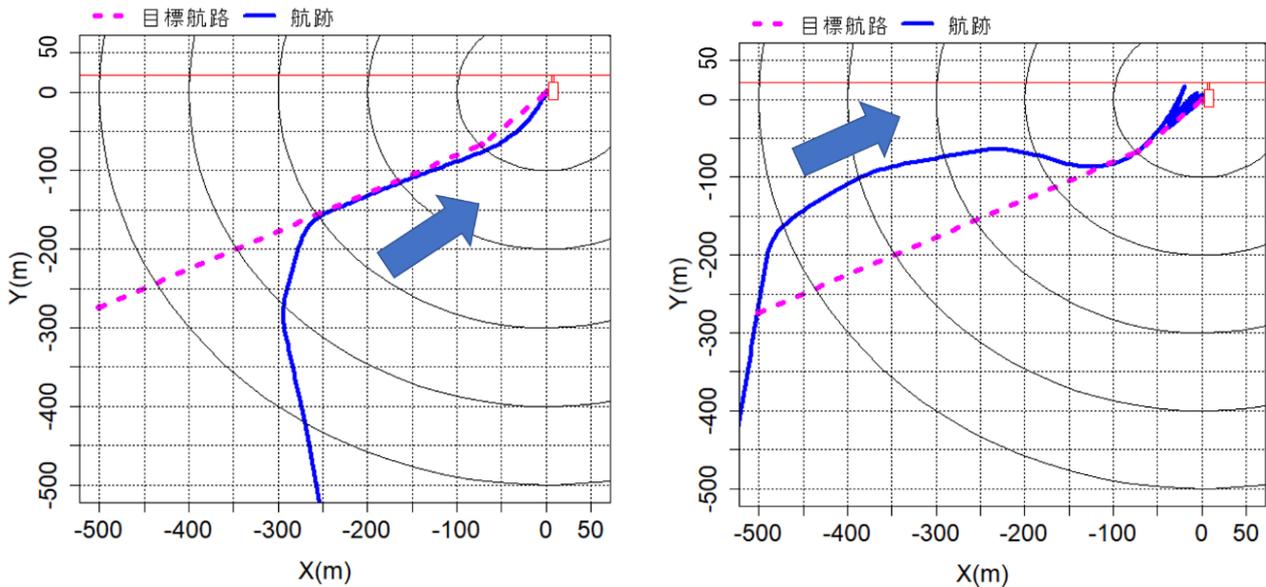


図 16 実船実験で得られた航跡の一例



音声による着棧支援あり (被験者 1)

音声による着棧支援なし (被験者 1)

図 17 操船シミュレータ実験による評価実験から得られた航跡の一例

**成果の公表**

**本文査読付き会議録**

- Keiji SATO: A Navigational Information Display System for Supporting Decision Making for Collision Avoidance -Utilizing Obstacle Zone by Target (OZT)-, 2019 e-Navigation Underway Conference North America, 2019.
- Takahiro MAJIMA: Smoother Sailing with the Internet of Things -Leveraging AI Technology for Safe & Efficient Navigation and Operations at Sea-, Smart Maritime Network Tokyo Conference, 2019.
- Ryohei SAWADA: Automatic Collision Avoidance Using Deep Reinforcement Learning with Grid Sensor, Proceedings of the 23rd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems, pp.17-32, 2020.
- Eiko SAITO, Masayoshi NUMANO, Keiko MIYAZAKI, Koichi HIRATA: Maneuvering Motion Simulation to Support Berthing Operation of Small Crafts, The 2nd International Conference on Maritime Autonomous Surface Ship - ICMAS, 2019.
- 澤田涼平: 連続行動空間における深層強化学習を用いた自動避航操船, 日本船舶海洋工学会 2019 年秋季講演会論文集, 第 29 号, pp.263-272, 2019.
- 澤田涼平, 平田宏一, 北川泰士, 齊藤詠子, 上野道雄, 宮崎恵子, 谷澤克治, 福戸淳司: 経路追従制御による自動着棧操船システムの開発, 日本船舶海洋工学会 2020 年春季講演会論文集, 第 30 号, 2020 (投稿中).
- 南真紀子, 丹羽康之, 庄司りる: 事故事例を参考にした自動運航船安全評価シナリオの作成に関する検討, 日本航海学会講演予稿集, Vol.7, No.2, pp.106-109, 2019.
- 小林充, 佐藤圭二, 齊藤詠子, 丹羽康之, 福戸淳司, 岩崎一晴: 立体視による他船検出・位置推定システムの研究, 日本航海学会講演予稿集, Vol.7, No.2, pp.142-145, 2019.
- 佐藤圭二, 澤田涼平, 福戸淳司: 航行妨害ゾーン (OZT) 可視化による避航判断支援システムの開発, 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻別冊, pp.67-71, 2019.
- 間島隆博, 南真紀子, 澤田涼平, 福戸淳司: 自動避航操船の計算アルゴリズムの開発, 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻別冊, pp.73-76, 2019.
- 丹羽康之: 操船シミュレータによる自動航行プラットフォームの構築, 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻別冊, pp.77-80, 2019.
- 小林充, 丹羽康之, 佐藤圭二, 齊藤詠子: 深層学習を用いたカメラ画像からの船舶検出と位置推定に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻別冊, pp.116-117, 2019.
- 佐藤圭二: 自律避航アルゴリズムの開発, 日本船舶海洋工学会東部支部ワークショップ「自律化船の実現に向けて」, 2019.

**その他**

- 丹羽康之, 宮崎恵子: 自動運航船の国内外の概要と避航機能について, 電子情報通信学会信学技報, SSS2019-8, pp.5-8, 2019.
- 丹羽康之: 自律運航船技術の国内外の開発進展状況について, 山縣記念財団海事交通研究, 第 68 集, pp.65-75, 2019.
- 丹羽康之: 避航操船を中心とした自律船技術について, 日本内燃機関連合会講演会「自動運航, 自律運航の

開発動向と最新情報」, 2019.

□間島隆博: 海事産業のビッグデータと AI の応用, 全国水産高等学校長協会・全国水産高等学校実習船運営協会・全国高等学校水産教育研究会総会, 2019.

□間島隆博: 船舶の自律化について, 日本海運経済学会年次大会, 第 53 回大会, 2019.

□間島隆博: 海事産業に係る自動化技術, 鉄道・運輸機構・内航船舶技術支援セミナー, 2019.

□間島隆博: 自律船の研究開発, 自動車技術会 2019 年度第 11 回見学会海上技術安全研究所, 2020.

### 公開実験

□深層学習による他船船影検出・位置推定システムの公開実験, 2019 年 11 月 6 日.

### 特許

□特願 2019-132152・NNRI-562, 周辺状態表現方法、避航動作学習プログラム、避航動作学習システム、及び船舶, 出願日: 2019 年 7 月 17 日.

□特願 2019-205086・NMRI-567, 船舶の着棧支援プログラム、船舶の着棧支援システム、及び船舶の着棧支援システムを搭載した船舶, 出願日: 2019 年 11 月 12 日.

### 主な評価軸に基づく自己分析

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

□国土交通省の交通運輸技術開発推進制度「自律型海上輸送システムの技術コンセプトの開発」に参画し、自律システムの安全性評価及び認証についての検討を担当し、貢献している。

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

□自動着棧操船は、特に多くの船員を必要とする作業であり、特に小型船舶の場合は風や潮流の影響を受けやすいため船員にかかる負担が大きい。そのため、着棧操船の自動化は作業の省力化につながる技術として期待される

○成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□現在までに、避航操船の自動化技術は確立されておらず、従来からの衝突の危険性についての指標のみではなく、深層学習の利用など AI 技術を利用した避航操船アルゴリズムの構築する試みは意義がある。

□機械学習を用いた船舶検出は革新性がある。また立体視による位置精度向上は、他が取り組んでいないものである。画像からの検出技術は一般性が高く、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）。

□本研究で開発した自動着棧アルゴリズムは、設定するパラメータが少なくまた船舶に要求するアクチュエータは舵とプロペラのみであり必要要件が最小限であるため多くの船に適用が可能である点で一般性を有する。外乱に対する基本的な制御性能も十分に高く、発展性も認められる。Pure pursuit を船舶の着棧操船に適用し、実船試験による外乱影響下における検証データと自動着棧の実績を得られたことは新規性を有する。

○成果が期待された時期に創出されているか。

□現在、国を挙げて自律船の研究開発を進めている段階であり、その要素技術である避航操船アルゴリズムの開発、実用化に不可欠な自動避航アルゴリズムを対象とした安全評価や認証方法の確立、ならびに、レーダー、AIS 以外による捕捉としての画像処理と立体視による他船検出システムの開発は、計画どおり期待された時期に成果が出ている。また、今年度より開始した自動離着棧の研究では、自律航行で必要となる船舶の制御アルゴリズムとして Pure pursuit を用いたアルゴリズムは高い性能を有しており本研究成果の価値は高い。

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

□近年研究が進められている自律船の開発に必要な要素技術であり、我が国海運の国際競争力の強化に資する。

□立体視による他船検出システムについて、小項目研究主任が（一財）日本船舶技術研究協会「海事におけるデジタルライゼーション推進のための画像認識システムの構築等に係る研究開発」研究委員会委員および WG 委員に就任し、先行事例として発表することで我が国における今後の海事画像認識研究の方向づけを行った。

□現在、国内外で発表されている自動着棧システムはスラストやポッド推進等の高度な操縦機構を備えた一部の専用船に適用できるものであり、一方で本研究のシステムは一軸一舵の船であれば広く適用できる。また、本研究のシステムと自動着棧操船実験の結果は自律運航船のシステム要件の検討や安全評価にも利用することができる。

○萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

□実船試験をしなくてもある程度開発を進められるようシミュレーション機能を有する実機の通信エミュレータを開発するなど、研究の機動性の確保に努めた。

## H28年度からR1年度の実績およびR4年度までの計画

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1年度)	<b>A</b>

## 【年度評価に関するコメント】

□自律船に関する研究として、避航操船アルゴリズムの開発、操船シミュレータに対して自律船の考えに基づくプラットフォームの構築と安全評価や認証への活用、自律航行に必要な他船検出のAIによる対応、離着棧の自動化等適切に研究が進められ、先端の技術開発がなされている。特に、今年度から開始した自動離着棧の研究では、所内複数の系が連携した体制で実施し、顕著な成果が出ている。

## 【中間評価に関するコメント】

□研究開始時は、自動避航アルゴリズム、認証に向けた操船シミュレータの活用、画像による他船検出、自律船実現に向けた規則の調査を行っていたが、3年目に実施した海技研の将来ビジョンに合わせて、自動離着棧の研究を追加した。これにより、自律船の一連の航海（一航海）に必要な要素技術の研究となり、それぞれ顕著な成果が出ている。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1年度)	<b>A</b>
中間評価 (H28~R1年度)	<b>A</b>

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

<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆13 AI等による輸送の効率化・最適化・予測等に関する研究</b>
--------------	---

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発</p> <p>ー平時輸送については国内貨物及び輸出入貨物を対象に、貨物経路選択手法を高度化して性能向上を図る。また、災害時輸送については地震発生後の被害発生から評価までの輸送シミュレータの機能モデルを完成させる。</p> <p>ー国際海運・造船における経済状況を表す貨物流動データ等と、海運会社や造船会社の活動を表す運航データや船腹・建造データにおけるデータフュージョン（データ融合）技術の検討を実施する。 等</p>

**研究の背景**

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

- AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
  - ・平時及び震災時における複合一貫輸送評価手法の研究
  - ・船舶の運航情報提供システムの開発
- AI等を用いた国際海運・造船予測の研究
  - ・データフュージョン技術の開発と海上貨物・造船需要等の評価・予測手法
  - ・海事産業の構造変化の影響評価手法の研究
- 船隊運航管理システムの高度化
  - ・航海計画アルゴリズムを改良し、アルゴリズムの頑強性、高速性、推定精度を高度化する
  - ・航海評価アルゴリズムを改良し、アルゴリズムの頑強性、推定精度を高度化する
  - ・情報基盤システムのユーザビリティを高度化するとともにビッグデータの取扱ができるデータベースシステムへの移行を踏まえた設計を行う

**研究目標**

- 平時及び震災時における複合一貫輸送評価手法及びシステム
- 船舶の運航情報提供システム
- 海上貨物・造船需要等の評価・予測手法
- 海事産業の構造変化評価手法及びシステム
- 高度化された船体運航管理システム

上記成果は、システムの実用化、普及により、効率的な輸送が実現し、環境保全、わが国の輸送システムの国際競争力強化へととなり得る。

## R1年度の研究内容

- AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
  - ・災害時等における総合的な輸送性能を評価可能な輸送シミュレータの検討
  - ・貨物経路推定手法を開発
  - ・船舶の運航定時性評価システムの作成
- AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究
  - ・国際海運・造船における経済状況を表す貨物流動データ等と、海運会社や造船会社の活動を表す運航データや船腹・建造データにおけるデータフュージョン（データ融合）技術の検討
  - ・海事産業の産業構造に与える影響を、シミュレーションにより検討

## R1年度の実績

- AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
  - ・災害時の傷病者輸送について、輸送の実態調査・関係者へのヒアリング調査を中心に実施し、マルチエージェントモデルを用いたシミュレータのフレームワークを検討した。また、拠点病院、救護病院、道路ネットワークデータ等の基盤データの整備を行った。（競争的資金である交通運輸技術開発推進制度を獲得 2019年度～2021年度）（学会講演会等で発表）
  - ・荷主の港湾選択行動をディープラーニングによりモデル化し、海上輸送費用、荷役費用、港湾機能といった説明変数の変化に対して港湾貨物量の増減予測を行い、約8割程度の精度を確認した。
  - ・広域震災時の災害支援物資輸送における冗長手段としての海上輸送の必要性を提示（学会講演会に投稿）
  - ・到着予測モデルの検討結果をもとに到着予定を遅延実態から予測する手法を開発（学会講演会に投稿）
- AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究
  - ・IPCCの社会・経済シナリオに基づく、海上荷動き量、船種・サイズ別船舶数、CO2排出量の予測を実施。船舶の燃料消費量に大きな影響を与える減速航行について、Lloyd's List Intelligence社の船舶動静データと機械学習の異常値検知に基づき、船種・サイズ別の平均航行速度を算出する方法を作成（民間請負1件実施）
  - ・鉄鉱石の国際輸送を対象にして、INFINITモデルを用いた輸送シミュレーションを試作（学会講演会に投稿）（共同研究1件実施）

## R1年度の研究成果

- AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
  - ・大規模災害時における、緊急消防援助隊ブロック訓練や自治体主催の大規模図上訓練等の参観によって傷病者輸送の一連の流れ（図1、図2）を確認し、情報の流れ、応援部隊配置の考え方などについてシミュレータの基盤となる動きに落とし込めるようフレームワークの検討を行った。
  - ・静岡県及び高知県を対象に救護所や病院、道路ネットワークデータ等の基盤データ整備（図3）を実施中である。
  - ・令和元年度交通運輸技術開発推進制度に採択され、本年度の年度末評価において、シミュレーションにより適切なインフラ強化につながることを期待されていることや良いものが完成すれば期待できるとの評価をもらっている。
  - ・災害時の支援物資輸送について、地震発生後の被害発生から評価までの輸送シミュレータについて遺伝的アルゴリズムを用いた自動配船機能を含む機能モデルを構築した。
  - ・わが国の輸出入貨物を対象に荷主の港湾選択行動をディープラーニングによりモデル化を実施。候補航路が数百以上の組み合わせがなるところから、実際に使われそうな航路を予測し、海上輸送費用、荷役費用、港湾機能といった説明変数の変化に対して港湾貨物量の増減予測を行い、約8割程度の精度を確認した（図4、図5、図6）。
  - ・船舶の運航情報提供システムでは、季節変動等の要因による遅延や運休・欠航が発生しているのかを明らかにするために、常時データ収集している貨物鉄道とフェリーにおける遅延実態に関するデータについて月別の遅延実態の分析を実施。その結果長距離フェリーは、夏期の遅れは少ないが冬期に多くなる傾向が見られ、貨物鉄道は平均的に遅れが多い傾向が見られた（図7）。
  - ・昨年度作成した到着予定を遅延実態から予測させるモデルを用いた、運航定時性評価システムを作成した（図8）。



図 1: 大規模訓練の様子及び  
応援部隊配置の考え方



図 2: 緊急時の海上輸送航路  
(高知港)

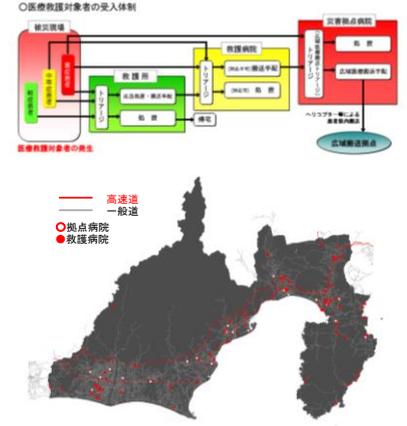


図 3: ネットワークデータ等  
の基盤データの整備



図 4: ロス発仙台着の貨物の  
輸送経路例

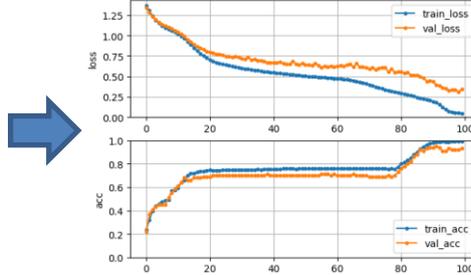


図 5: 輸送経路 4 本から 1 本  
を選択する学習

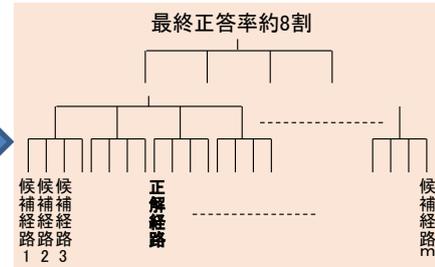


図 6: トーナメント方式により  
最終解を 1 本選択

	Jan. 2017	Feb. 2017	Mar. 2017	Apr. 2017	May. 2017	Jun. 2017	Jul. 2017	Aug. 2017	Sep. 2017	Oct. 2017	Nov. 2017	Dec. 2017
# of operations (schedule base)	906	830	1,050	1,037	1,051	1,014	1,075	1,121	1,056	1,055	1,021	1,057
# of operations (AIS data)	878	813	1,047	1,022	1,045	1,012	1,074	1,071	986	986	1,002	964
# of cancellation	28	17	3	11	4	2	1	50	70	65	19	62
# of operations of the delay occurrence	105	111	63	102	30	38	28	34	52	101	105	103
# of routes of the delay occurrence	19	22	22	30	9	15	11	12	15	28	21	22
Maximum of delay occurrence days	16	19	15	14	15	12	15	8	9	16	15	15
Maximum time of delay	1,149	479	580	922	91	340	155	225	963	603	510	1,075
Average time of delay	151	126	57	137	32	70	41	55	97	90	66	137
Average of delay occurrence days	2.9	3.3	1.8	2.8	0.8	1.1	0.8	0.9	1.4	2.8	2.9	2.9

	Jan. 2017	Feb. 2017	Mar. 2017	Apr. 2017	May. 2017	Jun. 2017	Jul. 2017	Aug. 2017	Sep. 2017	Oct. 2017	Nov. 2017	Dec. 2017
# of operations (schedule base) [train]	8897	8036	8897	8610	8610	8610	8610	8610	8610	8610	8610	8610
# of operations of the delay occurrence [train]	904	722	560	515	378	519	713	582	539	702	555	775
Maximum of delay occurrence days in one train [day]	21	14	11	12	11	14	15	12	14	13	18	20
Maximum time of delay [min]	2,123	2,586	1,955	1,483	1,082	1,259	3,311	1,980	3,181	4,546	1,108	3,082
Average time of delay [min]	291	254	229	270	219	257	340	283	231	329	221	310
Average of delay occurrence in one train [day]	5.6	4.2	3.6	3.4	3.1	3.6	4.7	3.8	3.7	4.6	3.9	5.1

図 7: 月別の貨物鉄道及び定期フェリーの運航実態  
(上段: フェリー、下段: 貨物鉄道)

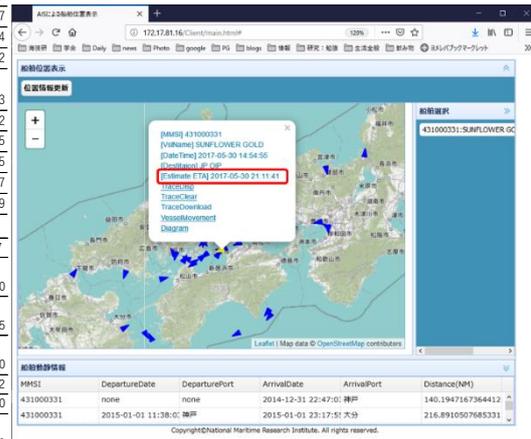


図 8: フェリー到着予測システム

□AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・IMO GHG StudyのGHG排出予測における船舶の減速航行等を評価するため、AISデータ等の各種運航データを融合した解析技術を構築した。海運・造船予測のシミュレーションにより、IMOのGHG削減戦略における燃費効率目標の達成方法を算定した(図9、図10)。
- ・船舶の燃料消費量に大きな影響を与える減速航行について、Lloyd's List Intelligence社の船舶動静データと機械学習の異常値検知に基づき、船種・サイズ別の平均航行速度を算出する方法を作成した。
- ・鉄鉱石の国際輸送を対象にして、INFINITモデルを用いた輸送シミュレーションを試作し、シミュレータの妥当性の検討として、実データとの比較を行った。(図11、図12)。
- ・他船種への拡張と減速航行や代替燃料といったオプションの評価を中心に準備中。
- ・令和元年度に東京大学との共同研究を締結し、海事産業が産業構造に与える影響に関する意思決定支援ツールとしての提供を目指す。

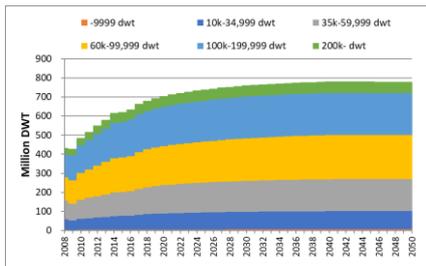


図9: 船腹量のシミュレーション結果

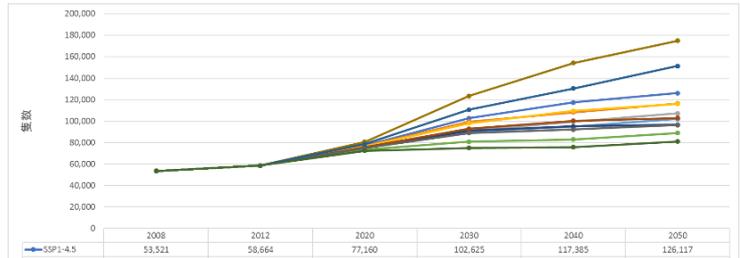


図10: 船隻数の将来予測シミュレーション

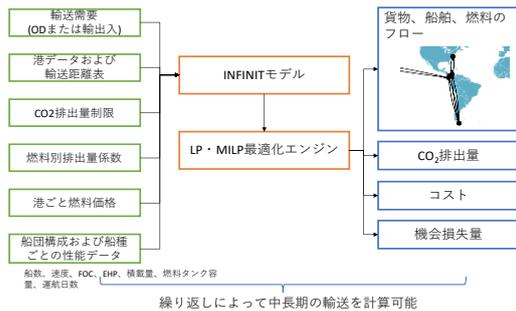


図11: シミュレータの妥当性の検討  
実データとの比較

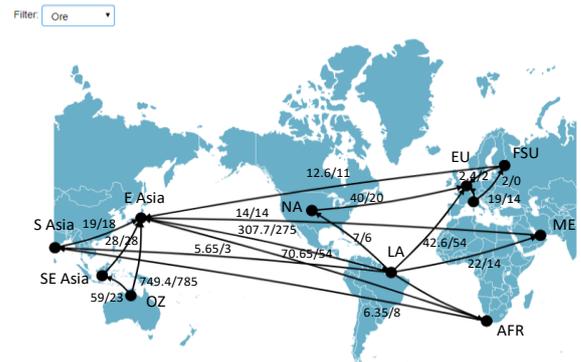


図12: シミュレータの妥当性の検討  
実データとの比較

成果の公表

□論文

(1)査読付きジャーナル

- ・ Kazuo Hiekata, Shinnosuke Wanaka, Taiga Mitsuyuki, Ryuji Ueno, Ryota Wada, Bryan R. Moser: Decision Support Methodology to Evaluate IoT Technologies Deployment in Maritime Industry Using Systems Approach, Journal of Marine Science and Technology, 2019. (投稿中)
- ・ Takahiro Majima, Keiki Takadama, Daisuke Watanabe, Taro Aratani, Keiji Sato: Analysis and Avoidance of Bottlenecks for Logistics System toward Equal Distribution of Relief Supplies in Disasters, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 2019.
- ・ Shinnosuke Wanaka, Kazuo Hiekata: Development of Collaborative Workshop Environment for Engineering Systems Design, Computers in Industry, 2020. (投稿中)
- ・ 松倉 洋史, Deep Learning 手法による輸出入海上コンテナ貨物の輸送経路推定, 日本船舶海洋工学会論文集, vol.31, 2020 (投稿中)

(2)本文査読付きプロシーディングス

- ・ Shinnosuke Wanaka, Kazuo Hiekata, Bryan R. Moser: Development of Workshop Environment for Supporting Collaborative Problem Framing, Proc. of the 26th ISTE International Conference on Transdisciplinary Engineering, 2019.
- ・ Sho Kajihara, Ryota Kobayashi, Akinori Murata, Ryo Takano, Keiki Takadama, Taro Aratani, Takahiro Majima: Towards Adaptation to Environmental Change without Network Revision in Urban Transit Network Design Problem, The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, 2019.
- ・ Ira Winder, Dylan Delaporte, Shinnosuke Wanaka, Kazuo Hiekata: Sensing Teamwork During Multi-objective Optimization, IEEE World Forum on Internet of Things, 2020.

(3)講演予稿集等(本文査読無し)

- ・ 小坂浩之、手塚峻典：機械学習による国際輸送の複合データを用いた港湾間貨物量の推定、日本物流学会全国大会研究報告集、2019.
- ・ Taro ARATANI, Keiji Sato: Estimation of Potential Maritime Transport Share Considering Geographical Conditions, Asia Navigation Conference 2019, 2019.
- ・ 和中真之介、稗方和夫、堀井悠司：海上輸送における GHG 削減に向けたモデルベース意思決定支援システムの開発、令和元年 日本船舶海洋工学会 秋季講演会講演論文集、2019.
- ・ 荒谷太郎、山田泉、青山久枝、間島隆博：大規模災害時における空港面交通シミュレータの活用に向けた検討、土木計画学研究・講演集 Vol.60、2019.
- ・ 荒谷太郎、佐藤圭二：地理的条件を考慮した潜在的な海上輸送分担率の推定、日本航海学会誌 Navigation211 号、2020.
- ・ 間島隆博：大規模災害時における輸送体制の評価システム、第4回交通運輸技術フォーラム講演資料集、2020.
- ・ 松倉 洋史、Deep Learning 手法を用いた輸出入海上コンテナ貨物の輸送経路推定手法の開発、日本船舶海洋工学会春季講演会論文集、2020（投稿中）

(4)出願特許、プログラム登録

・

主な評価軸に基づく自己分析

- 成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
- AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
  - ・大規模災害時における輸送については、わが国において自然災害の頻発しているなか、防災・減災対策が重要な政策課題となっている。国としても総力戦で防災・減災対策を講じているところであり、自治体においても、県内の複数の組織がそれぞれ防災、減災対策を行っている中、それらを束ねて総合的に評価する視点が重要となっている。
  - ・輸出入貨物の輸送経路推定が可能となれば、海上輸送費用、荷役費用、港湾機能といったサービスの変化に対して、どの程度貨物量が増減するかが見通すことができ、港湾振興及びモーダルシフトの有力な支援ツールとなる。
  - ・荷主・物流事業者は、海上輸送は遅れやすいという認識がある。実データに基づいた分析及び、運航定時性評価システムの構築が可能となれば、荷主・物流事業者が物流計画を検討する上で参考となり、トラックドライバー不足等においてモーダルシフト進展が必要な状況において有力な支援ツールとなる。
- AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究
  - ・IMO GHG 削減目標におけるシナリオ作成や政策立案は、船技協の運航タスクフォースや民間企業に活用されているため、国や社会のニーズに適合し、社会的価値の創出に貢献している。
  - ・海運市況は様々な市場や社会的な情勢、時には市場心理の影響も受けて大きく変動するため、予測が困難な経済的指標の一つ。より精度、透明性の高い判断が業務上求められている
  - GHG 削減技術、海運市況が将来の輸送ネットワークに与える影響は、船級、造船所、船社のニーズに合致している。

○成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。

□AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・輸出入海上コンテナ貨物を対象とし、貨物の輸送経路推定モデルに従来の拡張犠牲量モデルに代えて Deep Learning 手法を適用した。これにより多数の変数を考慮可能となった。他にはない新しい取り組みである。
- ・災害時の支援物資輸送では、国が担当する広域物資輸送拠点までの一時輸送を主な対象として課題を整理しており、また確率論的安全評価の手法を取り入れて総合評価を行う点に新規性がある。
- ・これまでの到着時刻予測は、出航後のスケジュールから予測するものが多いが、本件では、荷主や物流事業者がフェリーにトラックを乗せる前（出航前）に判断可能なシステムを目指しており、これらは今までにない予測システムと考える。

□AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・AI技術や衛星 AIS データを用いて海運市況・航路別の海上運賃を予測する研究は例が少なく、新規性は十分確保できている。
- ・造船需要予測に関する研究は、近年の最新データを用いて System Dynamics の枠組みによりモデルを構築した研究は例がなく、新規性を十分に確保できている。また代替燃料など GHG 削減に向けたオプションの評価を行う海上輸送シミュレータについてもネットワーク最適化モデルである INFINIT を拡張した新しいモデルを適用しており新規性は十分である。今後は両者を連携させたシステムオブシステムズのシミュレータとしてさらなる発展が期待される。
- ・燃費効率を評価した海運・造船のシミュレーションは、IMO GHG Study の方法に準拠させていることから一般性が高い。

○成果が期待された時期に創出されているか。

□AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・わが国において自然災害の頻発しているなか、地震による災害以外にも、台風による水害などの被害が相次いでいる。そのため、防災・減災対策は喫緊の課題となっている。
- ・物流分野における労働力不足が顕在化している現在において、特に幹線輸送のドライバー不足が深刻である。そのため、フェリー等を用いたモーダルシフトを進展させるためのツールの開発を進める必要がある。

□AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

- ・船舶の燃費効率の解析や GHG 削減等は、2020 年度に IMO 4th GHG Study の結果が公表され、それに伴った国や業界の対応が必要になってくる。その際、シナリオ分析や政策立案等において開発した技術や解析結果等を提供が望まれている。
- ・船舶の積載貨物の推定は、現在の各種データの利用方法において民間企業の関心も高いことから適時である。
- ・AI・ビッグデータ解析技術を用いた海運市況予測は、商社、船社、大学との共同研究を締結し、各社ともにニーズの高い研究を先行して行った点で時宜を得た適切な時期に成果を得られていると考えている。

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

□AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・災害時の対応やそれに関する計画は、災害大国であるわが国がリードしていると言える。
- ・荷主の港湾選択行動をモデル化し、輸出入貨物量を推定することは、日本の港湾のグローバル競争を考えた場合に日本の港湾競争力を強化する点で重要であると考えられる。

□AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

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

○萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

□AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・災害時輸送については、マルチエージェントモデルを用いて、災害時の輸送機材の動きを模擬できるように試みている。
- ・貨物経路推定手法では最新の AI 技術である Deep Learning の応用を活用している。

□AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

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

## H28年度からR1年度の実績およびR4年度までの計画

(別紙を作成)

研究主任者による自己評価	
年度評価 (R1年度)	A
中間評価 (H28～R1年度)	A

## 【年度評価に関するコメント】

□AI等の技術を活用しつつ国の方針や社会のニーズに適合した研究を実施していると考えている。災害時輸送に関しては、競争的資金である交通運輸技術開発推進制度を獲得し、外部からも高い期待がされている。国際海運・造船需要予測においても、IMO GHG Studyをベースに、国や業界において対応が必要となっている部分において、技術や解析結果等を提供しており、社会実装に向けた研究を実施していると考ええる。

## 【中間評価に関するコメント】

□AI等、様々な技術を活用しつつ輸送の高度化に資する研究を行っており、船隊運航管理システムでは、現在、NPO法人において、eE-NaviPlanとして運用中であり、数十隻程度の内航船の航海支援、モニタリング情報の管理、可視化サービスを展開中である。その他、災害時輸送やIMO GHG Study、海運市況予測など、社会実装を見据えた共同研究や請負研究を実施中であり、社会のニーズに適合した社会的価値を創出していると考ええる。

研究計画委員会による評価	
年度評価 (R1年度)	A
中間評価 (H28～R1年度)	A

# 中長期期間の計画と実績(中間評価) 【補足資料】

H28年度

## ①海上輸送の安全の確保

**年度実績** ●船舶の構造強度評価における各種解析モジュールを連結するプラットフォームとなる解析ツール（全船荷重・構造一貫強度評価システム(DLSA-Basic)）を開発した。

### 全船荷重・構造一貫強度評価システム(DLSA-Basic)

○構造強度評価において、波浪中運動解析、荷重推定、構造解析、強度評価(降伏、座屈、疲労)の各分野の専門家が実施していた解析を1人の設計者で実施可能になり、**工数が約1/15になるなど効率が大幅に向上。**

**従来**

解析モジュールの連結

**DLSA-Basic**

図 強度評価例

### DLSA-Basicへの組み込み可能な開発・改良中のオプション群

- **波浪中運動・荷重**
  - ・スラミング荷重を推定
  - ・最悪海象・極限海象を特定
- **最先端の疲労強度評価法**
  - ・疲労寿命推定可能なき裂成長推定
  - ・二軸載荷条件下の疲労き裂伝播曲線を推定
- **流体・構造連成問題の効率的解析**
  - ・CFDとFEMの一方方向連成解析システムを構築
- **最先端の最終強度評価手法**
  - ・繰り返し圧縮荷重下の連続防撓パネルの崩壊現象を解明
- **リスクベース設計手法**
  - ・動的非線形縦曲げ最終強度を評価可能な変断面流力弾塑性ビームモデルを構築

○船体に働く衝撃圧力の推定精度を向上させた荷重推定ソフト(NMRIWのバージョンアップ)を開発。

**【自己評価】S** 船舶設計の飛躍的な生産性向上に貢献する成果を創出した。

H28年度P.1

## ②海上輸送の安全の確保

**年度実績** ●荒天下で操船を維持するために最低限必要な推進出力を定めた最低出力暫定指針の改訂に向けて、欧州の研究グループと連携しつつ、我が国造船所の技術水準を考慮した合理的かつ実行可能な指針案の策定に貢献。

●改訂指針を容易に満足できる高揚力舵の性能を確認する手法を確立。

### 最低出力暫定指針の改訂

○最低出力暫定指針には、学術的に検討不十分な点も多く含まれていることから、理論的・学術的な検討を行った指針に改訂する必要があった。

○当初、検討を主導していた欧州の研究グループは、運航実態等を十分に考慮していなかったため、要求値が過大になる等、我が国海運・造船業等海事産業に深刻な影響を及ぼす懸念があった。

○合理的かつ実効可能な指針案の策定に貢献

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

➡ 欧州研究グループと共同で作成した指針案を日本及びドイツ・デンマーク等欧州関係国によりIMOに提案(本年7月に審議予定)(文書番号MEPC71/5/13, INF28, INF 29)

○指針を容易に満足できる省エネ技術を実証

我が国造船所が指針に適合する船舶を建造できるよう支援。指針を容易に満足することができる高揚力舵の実効性を証明する手法を確立。

➡ 高揚力舵はその高い保針力をもって、標準的な舵に比べ、必要出力を約2割低減可能であることを実証

(日本船舶海洋工学会講演会論文集 第21号 “An Experimental Study on the Performance of High Lift Rudders under High Propeller Loads”)

**【自己評定】S** 暫定指針の改訂作業において我が国海事産業の実態を反映するなど、我が国の国際競争力の強化に貢献した。

H28年度P.2

### ③海上輸送を支える基盤的技術開発

#### 年度実績

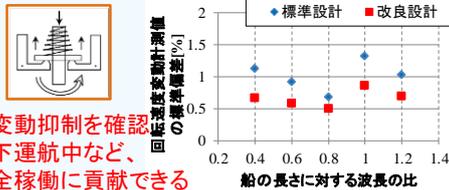
●波浪中での負荷変動に対する主機応答特性(回転数、燃費等の変動)を考慮できる水槽試験法を開発し、水槽模型試験により主機設計が可能であることを示し、実海域性能評価の高度化に貢献した。

#### 水槽模型試験を通じて主機設計を直接検証できる手法を構築

EEDI導入により船舶搭載主機の出力は抑制傾向となると予想され、出力の抑制による荒天中操縦性悪化が見込まれる。このため、波浪中での負荷変動に対する主機応答特性も含めた実海域性能評価手法及びそれに対応する主機設計手法の確立が急務である。

開発した水槽試験法を活用し、**水槽模型試験を通じて主機設計が可能である**ことを示した。

ケーススタディ  
～波浪中負荷変動に対する主機回転速度変動を抑制できる**機械式ガバナー**の改良設計を検証



回転数変動抑制を確認  
⇒荒天下運航中など、主機安全稼働に貢献できる

○実海象中での船速低下、燃料消費量等を水槽模型試験で直接計測できる方法を開発

平成28年度 日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞)を受賞

補助推力装置  
(プロペラ荷重度を実船相当にするための摩擦修正量を自走模型船に付与できる)

主機特性自航装置  
(実船主機回転速度応答などを模型試験で再現)

活用

【自己評定】A 波浪中のエンジン応答も考慮できる船舶実海域性能の評価技術を開発し、主機設計にも応用できることを示して船舶性能の総合的な評価技術の高度化に貢献した。

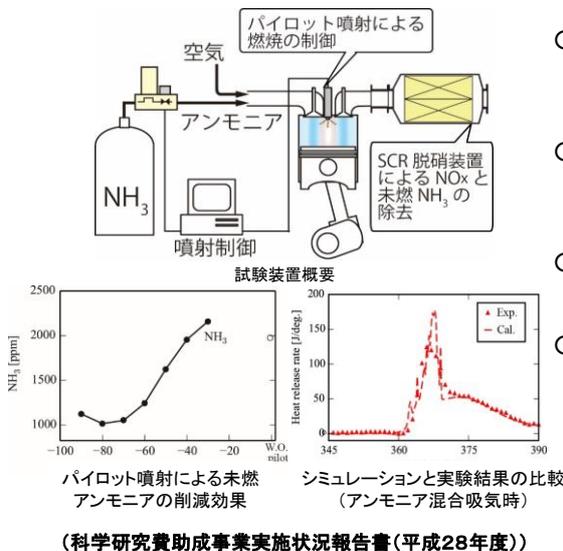
H28年度P.3

### ②海上輸送を支える基盤的技術開発

#### 年度実績

●水素社会の実現に向けて、エネルギーキャリアとして有望視されているアンモニアの直接燃焼システムを開発した。

#### アンモニアの直接燃焼システムの開発



○軽油を燃料とした船用ディーゼルエンジンの吸気にアンモニアを混合したアンモニア直接燃焼システム(軽油消費量を低減化するもの)について、その実用化のため基礎研究に着手。

○吸気へのアンモニア混合の影響、パイロット噴射(メイン噴射前に行う噴射)の効果等を把握し、**多段噴射による未燃アンモニアの低減効果を確認。**

○吸気にアンモニアを混合した場合について、いくつかの事例で燃焼状況を予測する**燃焼解析シミュレーションを実施。**

○当該成果を基にして、実用化に向けた更なる効率向上等の研究をSIP※の研究課題「エネルギーキャリア」にて、29年度より開始。

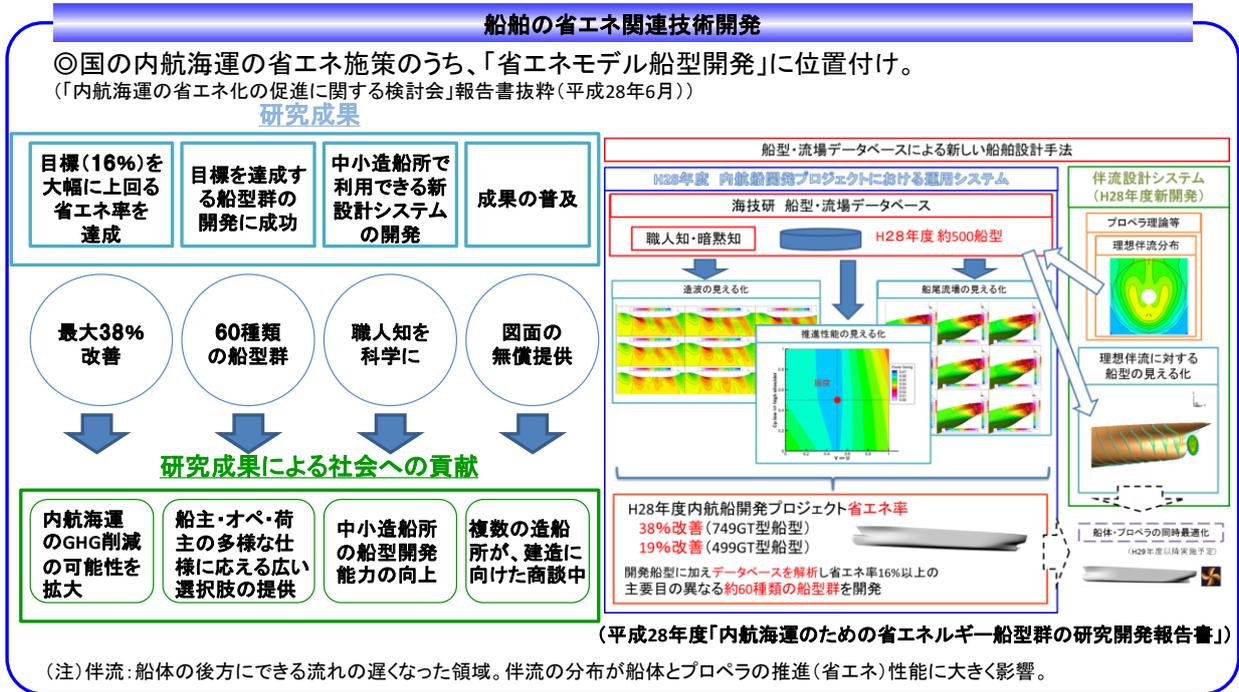
※ 戦略的イノベーション創造プログラム: 科学技術イノベーション実現のための国家プロジェクト(内閣府)

【自己評定】A アンモニアの直接燃焼システムの研究開発は、船舶用では例を見ない取り組みであり、29年度のSIPに採用された先見性のある萌芽的研究である。

H28年度P.4

## ①海洋環境の保全

**年度実績** ●内航海運の省エネルギー化を促進するための、省エネ船型の開発等を実施した。

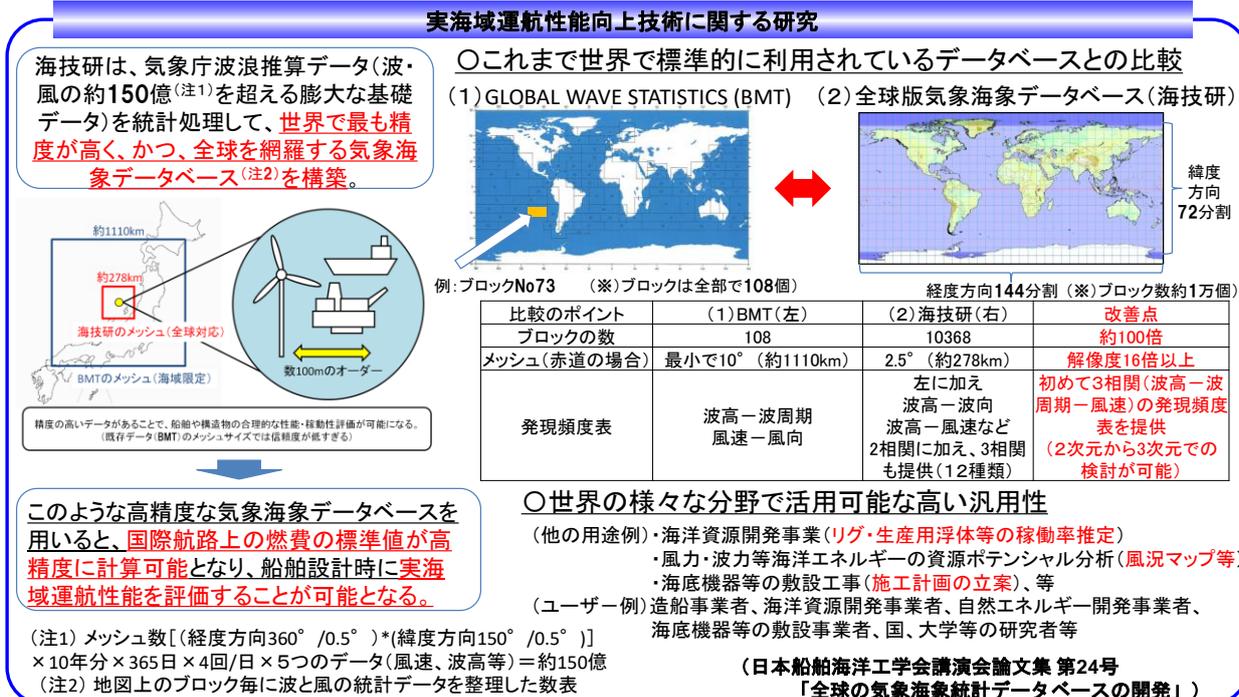


【自己評定】S 内航船について大幅な省エネ性能を実現した船型の設計手法を短期に確立。

H28年度P.5

## ②海洋環境の保全

**年度実績** ●世界一の精度を有する「全球版気象海象データベース」を構築し、実海域運航性能を評価するための基盤を確立した。



【自己評定】A 客観的な省エネ船の評価につながる世界で最も高精度な全球版気象海象データベースの開発に成功。 H28年度P.6

### ③海洋環境の保全

#### 年度実績

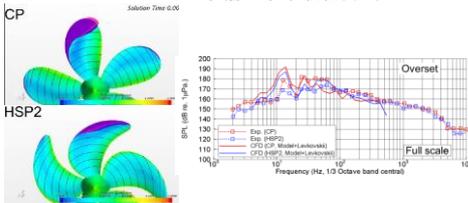
- 水中騒音の計測システム・騒音推定方法の構築及び我が国のキャビテーション水槽試験技術のISO基準化を実現した。

#### 船舶に起因する生態系影響の評価技術の構築に関する研究

##### 研究実施内容



##### ① キャビテーション水槽の水中騒音計測



キャビテーション発生状況 水中騒音レベル推定

##### ② CFDによる騒音発生状況のシミュレーション

水中騒音の水槽試験・CFD等による計測法・推定法構築、精度検証

##### 国際動向を踏まえ必要な技術を開発

- 2008年 欧州(EU): 2020年までにクジラ類等海洋生物保護を目的とした水中騒音の規制導入を加盟国に義務化
- 2014年 国際海事機関(IMO): 「商船からの水中騒音低減のためのガイドライン」を承認
- 2016年 生物多様性条約(CBD): 「海洋及び沿岸の生物多様性における人為的水中騒音の影響」を決議

##### 平成28年度の成果

- ①キャビテーション水槽におけるプロペラ水中騒音計測システムを構築就航船2隻のプロペラ水中騒音計測を実施し、精度を検証
- ②CFDによる水中騒音推定方法を開発  
CFDを援用した水中騒音推定法を開発。計算結果を、水槽試験結果および実船計測結果と比較し、開発した手法の妥当性を確認。
- ③ISO基準・CBD/SBSTTA(科学技術助言補助機関会合)勧告への対応  
①②の成果を活用し、キャビテーション水槽試験法のISO基準(注1)に、中韓・欧州標準である模型船を使用したキャビテーション水槽試験法だけでなく、我が国がノウハウを有するワイヤメッシュ法(注2)を採用させた。また、CBD/SBSTTAから勧告された、水中騒音推定ツールキット整備に対応した。

日本方式試験法の維持・ツール整備といった業界要望を実現。

(注1)ISO20233/DIS:「プロペラキャビテーションノイズの評価のモデル試験方法」

(注2)キャビテーション水槽試験において、プロペラの前に金属の網状のものを設置して、船舶の伴流(流速の遅い領域)を再現する方法。

【自己評定】A 水中騒音計測システムやCFDによる水中騒音推定法の構築を行うとともに、我が国の技術をISO基準等に反映させることにより、国際競争力の維持・強化に貢献。

H28年度P.7

### ②海洋の開発

#### 年度実績

- 採鉱・揚鉱パイロット試験事業における実海域試験(今年度予定)の安全性・稼働性評価を実施
- 海底熱水鉱床の商業生産システムのコンセプトを検討するとともに、スラリー輸送管の寿命延伸方法等を考案し、関連特許5件を出願した。
- フロンティア海域(北極海)における資源開発支援のための氷況観測技術の開発を実施した。

#### 海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立

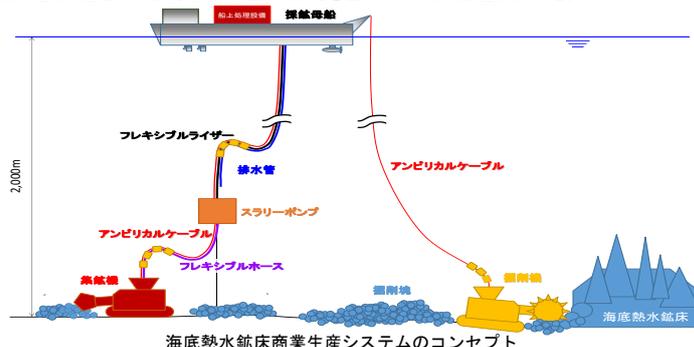
##### <海底熱水鉱床開発>

○経済産業省委託事業で(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が実施している採鉱・揚鉱パイロット試験事業に、民間企業と共に参加。安全性・稼働性評価等の技術的検討を行い、平成29年度実施予定の実海域試験の計画策定につなげた。

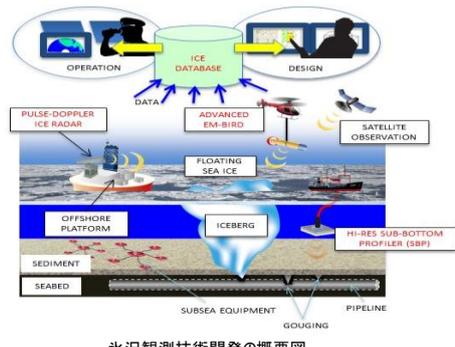
○将来の商業化のための、我が国の海底熱水鉱床生産システムのコンセプトを検討し、同システムの基本計画支援のためのプログラム構成図を作成した。また、スラリー輸送管の寿命延伸方法等を考案し、関連特許5件を出願した。

##### <フロンティア海域開発>

○JOGMEC技術ソリューション事業に大学、民間企業とともに参加。氷海域における資源開発に不可欠な氷況観測技術の開発を実施し、「ほぼ実用化の段階」との高い評価を受けた。



海底熱水鉱床商業生産システムのコンセプト



氷況観測技術開発の概要図

【自己評定】A 海底熱水鉱床等の海洋資源開発プロジェクト実現に十分寄与する成果を上げた。

H28年度P.8

## ①海洋の開発

### 年度実績

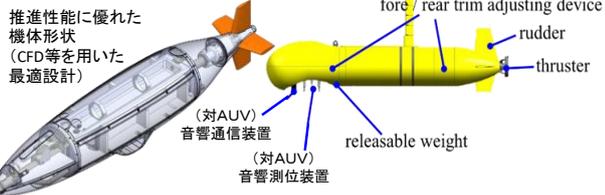
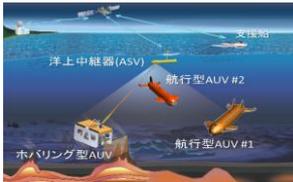
- 高性能航行型AUV3号機及び洋上中継器を製作し、高難易度の実海域接続試験を実施した。
- 水中局域測位システム等の要素技術の開発を行った。

#### 海底鉱物資源開発等に係る基盤技術の構築に関する研究

#### <海底熱水鉱床等広域探査技術の開発に貢献>

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

- 海底熱水鉱床等の更なる広域探査を可能とする小型AUV【航行型3号機】及び複数AUVの統括監視(位置補正、非常時指令等)をするための【洋上中継器】を開発。  
(Autonomous Underwater Vehicle: 自律型無人潜水機)
- 世界レベルで難易度の高い複数AUVの運用を可能とするオペレーション・システムを開発。  
(3機のAUVと洋上中継器の同時運用による熱水地帯での全自動海底調査に世界初成功)



同時運用による海底調査への出動状況

新たに開発した3号機(左)および洋上中継器(右)

(次世代海洋資源調査技術シンポジウム(2016.12.19)「無人探査機(AUV)の複数同時運用による海洋調査の新たなパラダイム」)

【自己評定】S 世界初となる海底広域探査手法など、海底資源開発に有効な支援ツールの開発において顕著な成果を上げた。

H28年度P.9

## ①海上輸送を支える基盤的技術開発

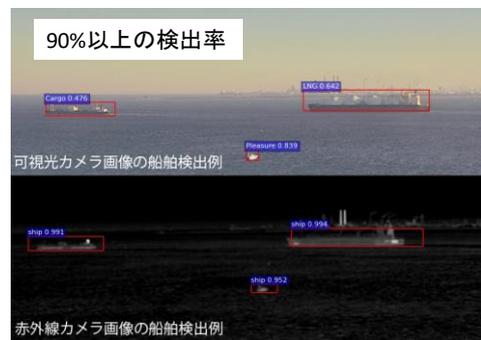
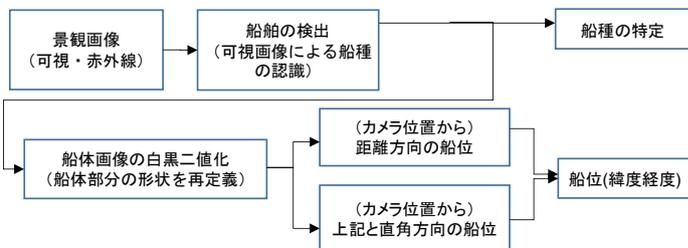
### 年度実績

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

#### 画像処理によるAIS非搭載船検出システムの開発

○レーダー及びAISでは検出できない船舶があることから、AI技術の一つである機械学習機能(Deep Learning)を用いて、陸上に設置した可視カメラ及び遠赤外線カメラの画像を処理することにより、船舶の検出、船種の特定、及び追尾を可能とするシステムを開発。

○Deep Learningに必要な画像のデータベースと画像抽出システムを構築(可視:4,270枚、赤外:2,813枚)。



(海上保安庁からの請負研究)

(平成28年度 AIS非搭載船の動静把握に関する技術開発報告書)

【自己評定】A AI技術を用いた船舶分野では例を見ない取り組みであり、衝突事故防止等、海上交通の安全性に大きく貢献できる研究である。

H28年度P.10

# H29年度

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

### 年度実績

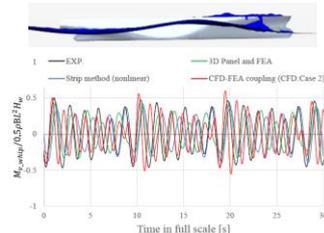
船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な船体構造基準体系の確立を目指し、荷重・構造応答一貫解析強度評価システムの開発を行った。また、国土交通省が掲げる海事生産性革命(i-shipping (operation))の一環として、世界初となるシリーズ船の船体構造モニタリングを実施し、得られたデータを解析して疲労寿命の評価を行った。

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

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



検証用のコンテナ弾塑性模型(上)と弾性模型のモード解析(下)

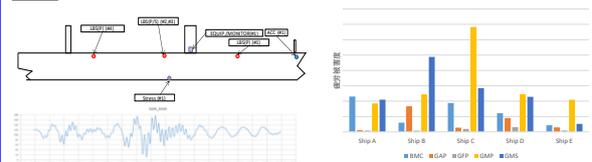


CFD連成シミュレーションによるホイッピング応答の解析例

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

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

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



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

シリーズ船の疲労被害度推定値の比較

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

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

**年度実績**

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

**安全運航に必要な操縦性評価手法の開発及び基準化に関する研究(重点研究4)**

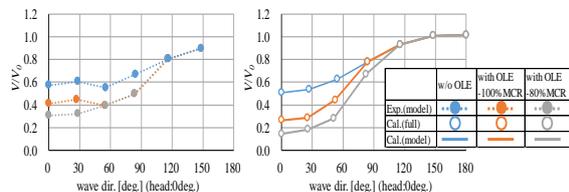
模型試験による、波風が併存する実海域環境下での操縦性能推定は極めて困難

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



補助推力装置

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



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

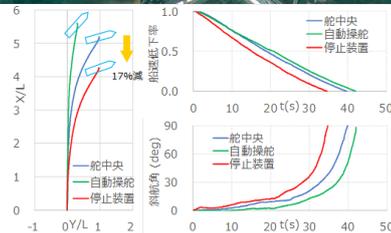
塚田吉昭, 鈴木良介, 上野道雄: 風荷重模擬装置の開発と実海域環境下の自由航行模型試験, 海上技術安全研究所報告(研究報告), 17巻3号(2018), pp. 167-186.

**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。



抵抗体



新たな制動手法と操舵の効果に関する模型実験結果

H29年度P.2

**(2)海洋環境の保全**

**-②船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究、多様なエネルギー源等を用いた新たな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わる環境対策技術に関する研究(重点研究7)**

○可搬式PM捕集装置を用いて4機の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



可搬式PM捕集装置

所外のディーゼル機関に設置してPM計測の様子

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

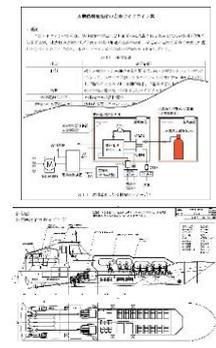
※大橋ほか、船用ディーゼル機関から排出されるPMの分析事例—大気質シミュレーションへの適用、日本マリンエンジニアリング学会誌第52巻、第6号、pp778-787, 2017

**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)



水素燃料電池システム及びリチウムイオン電池を搭載した小型実験船(上)と監視画面(下)



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

H29年度P.3

## (2) 海洋環境の保全

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

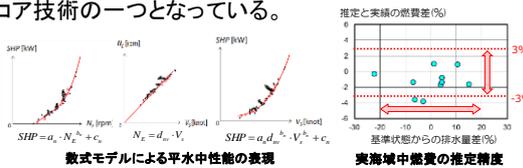
#### 年度実績

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

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

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

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



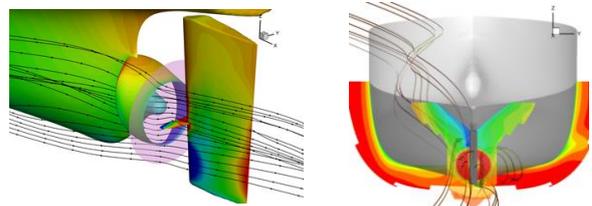
櫻田ほか:実運航性能評価における船速-回転数-主機出力関係のモデル化, 日本船舶海洋工学会論文集第25号(2017), pp.39-46

#### 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舶の自航流れ計算

肥大船舶の操縦性能試験計算 (Z試験)

H29年度 P.4

## (3) 海洋の開発

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

#### 年度実績

並進動揺型波力発電装置の不規則波中での発電性能評価及び性能最適化を行った。また、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)に参加し、航行型AUV3機、ホバリング型AUV1機及び洋上中継器の同時運用オペレーションを実施するとともに、**AUVの民間への技術移転を推進した。**

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

○並進動揺型波力発電装置が不規則波に遭遇した際の制御最適化に関する研究を行い、概ね規則波中と同レベルの発電性能が確保できる制御手法を確立した。

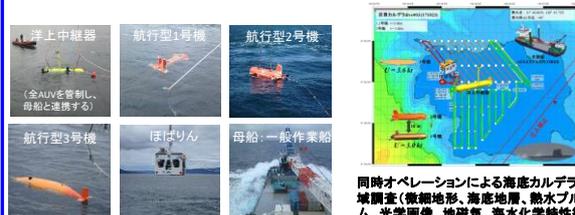
(岩手県及び釜石市と連携し、総合海洋政策本部が選定した釜石湾実証フィールド設置を想定した検討を実施。)

○並進動揺型波力発電装置の性能最適化(出力最大化のためのアクティブ制御)で重要になる粘性減衰力の把握のため、実用的なCFD計算手法の検討を行った。



#### 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)



○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「ほぼりん」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



北日本海域で、カニ・底魚等の資源量を光学画像で実施  
⇒従来の漁網での捕獲による調査の代替法として期待



H29年度 P.5

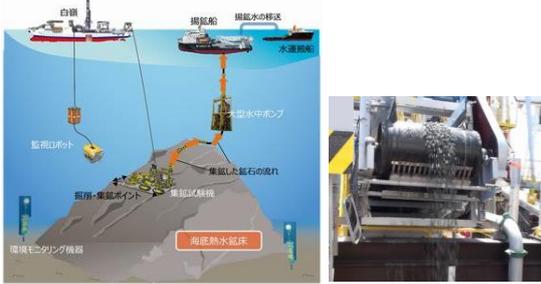
**(3) 海洋の開発 - ① 海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究**

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

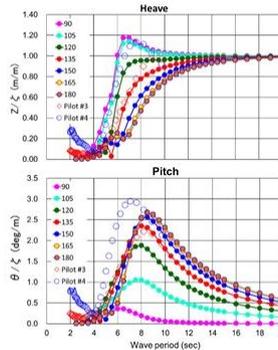
**海洋資源・エネルギー開発統合システム等の総合安全性評価技術の開発に関する研究(重点研究18)**

**<海底熱水鉱床開発>**

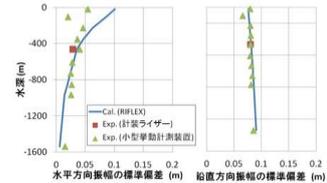
- 採鉱・揚鉱パイロット試験事業に民間企業と共に参加し、採鉱・揚鉱パイロット試験の稼働性評価、安全性評価等を実施。また、当所がこれまでに実施してきた揚鉱に関する研究成果を参加企業による機器設計・製作やオペレーション検討に活用。世界初となる水深約1,600mの海底熱水鉱床の連続揚鉱試験の成功に貢献するとともに、揚鉱母船の稼働性、揚鉱管挙動等に関して実海域試験で取得した各種データとの比較を通じて、それらの評価手法を構築した。
- 配管の摩耗損傷箇所を把握し、配管等の寿命を延ばす方法を検討し、特許を4件出願した。



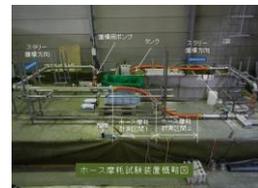
採鉱・揚鉱パイロット試験概念図(左)及び洋上に揚がった鉱石(右)  
(経済産業省ホームページより)



揚鉱母船の稼働性評価



揚鉱管の挙動評価



摩耗試験状況

H29年度P.6

**(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発**

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

**年度実績** これまでに開発した生産管理システム等を中小造船所に導入し、**中小造船業全体で5%以上の技能職工数削減効果及び技能職余力創出効果を確認した。**また、ICT技術を応用した造船現場の生産支援のため、**造船曲げ加工作業支援システム等を開発した。**

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

○これまでに開発した生産管理システム及び未活用労働力を活用した造船工程管理手法を中小造船所2社に導入  
⇒一般的な中小造船業全体の造船工程全体で  
・5%以上の技能職工数削減効果  
・5%以上の技能職余力創出効果  
を確認した。

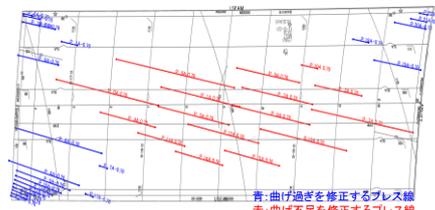
○造船曲げ加工作業者に鋼板のプレス作業要領を随時情報提供する「リアルタイムプレス線出力システム」を開発し、造船所での実証実験で有効性を確認するとともに、既開発の「曲げ加工支援ARアプリケーション」に接続した。

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

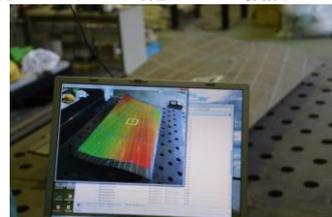
技能職余力創出効果(実証実験のサンプル)	
A造船所(管製作)	約15%
B造船所(船殻組立溶接)	約11%

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

(平成29年度日本財団助成事業「中小造船業への新しい生産管理手法の導入による人材活用」(日本中小型造船工業会)報告書)



開発したシステムによる追加のプレス線指示



曲げ加工支援ARアプリケーション

H29年度P.7

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

**年度実績**

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

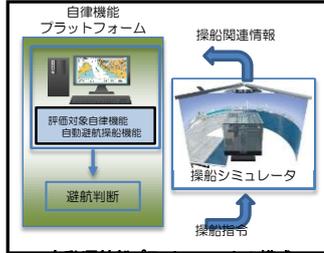
**船舶のICT(情報通信技術)を利用した大陸間自律運航、メンテナンスフリー等に係るモニタリングシステム等の支援技術に関する研究 (重点研究23)**

**①自律機能組み込みのフレームワークの構築**

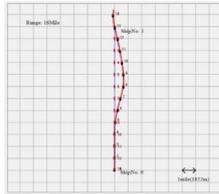
操船シミュレータに自律機能組み込みフレームワークを構築し、自動運航を体験できる環境を構築した。



自動運航船プラットフォームでの操船の様子



自動運航船プラットフォームの構成



モジュール化された避航操船機能による操船シミュレータ上の避航操船結果

**② 自動運航船に必要な要素機能の開発を実施**

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



両舷カメラと他船検出結果

**③ 自動運航船の運航に必要な規則の整理**

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

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

\*Studies conducted in Japan on mandatory regulations relating to Maritime Autonomous Surface Ships – SOLAS, STCW and COLREGs (IMO MSC 99/INF.14)

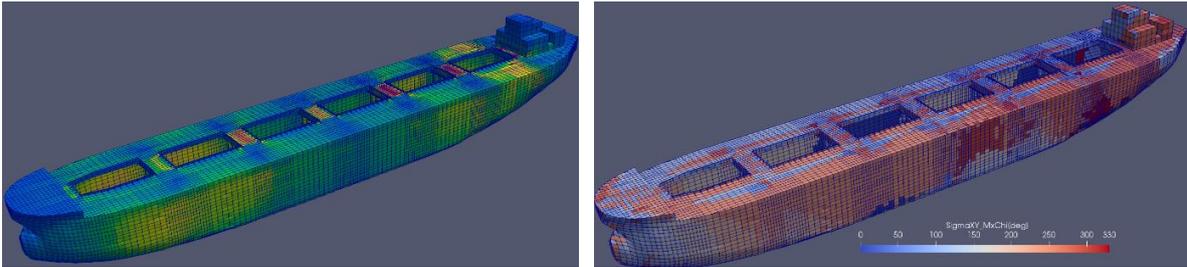
**H30年度**

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

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

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

極限海象に対応した荷重・構造応答一貫解析を最終目標として、前年度に開発した荷重解析一線形構造解析評価システム(DLSA-Basic)の、強度評価及び海象条件設定をモジュールとして出力できるソフト(DLSA-Basic-Projection)を開発することにより、**船体の全体を通じた疲労被害度等の評価を可能とした。**



強度評価マッピング

(左:超過確率 $10^{-8}$ レベルの応力の最大期待値 右:応力が最大となる波向きの分布)  
DLSAシステムの開発により **網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立**し造船所の設計への適用も可能とした**世界的にも例をみない**荷重構造一貫解析評価システムであり、日本の造船所の設計力の強化につながる。

H30年度P.1

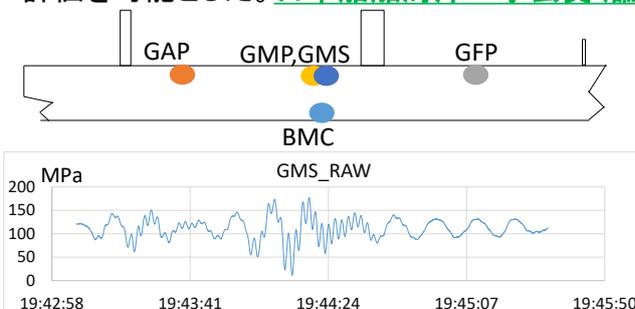
(1) 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

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

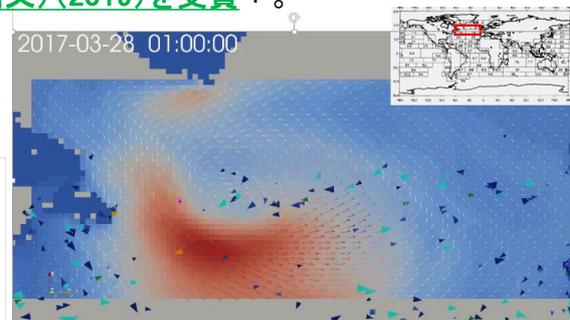
船舶の新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価及び船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究 (重点研究☆1)

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

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



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



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

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

H30年度P.2

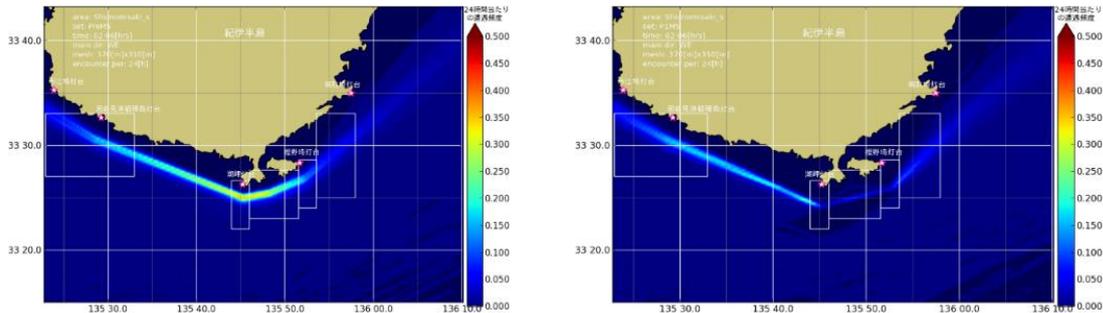
(1) 海上輸送の安全の確保 - ①先進的な船舶の安全性評価手法及び合理的な安全規制の体系化に関する研究開発

年度実績

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

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

- 整流化案を導入した場合の予測交通下でのシミュレーションを実施し、安全性および経済性の両面から整流化案の効果の検証を行い最適案を選定した。遭遇頻度およびOZTIによる安全性評価では、整流化案により現状よりも危険な状況が緩和されることが確認できた。
- 伊豆大島西岸沖海域の推薦航路の策定に対して**日本航海学会航海功労賞を受賞した\***。



(a)遭遇頻度分布 [現状・漁船なし]

(b)遭遇頻度分布 [最適案・漁船なし]

遭遇頻度による整流策の効果の検証

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

H30年度P.3

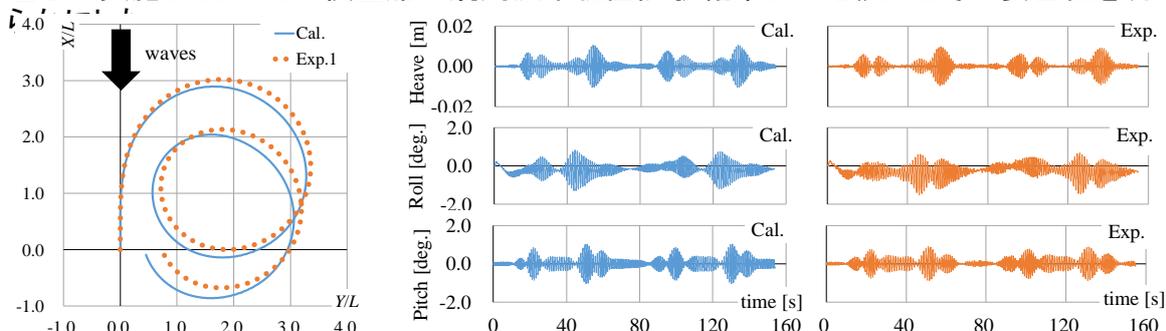
(1) 海上輸送の安全の確保 - ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術の開発及び適切な対策の立案のための研究

年度実績

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

安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に関する研究(重点研究☆3)

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



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

H30年度P.4

(2) 海洋環境の保全

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

年度実績

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

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

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

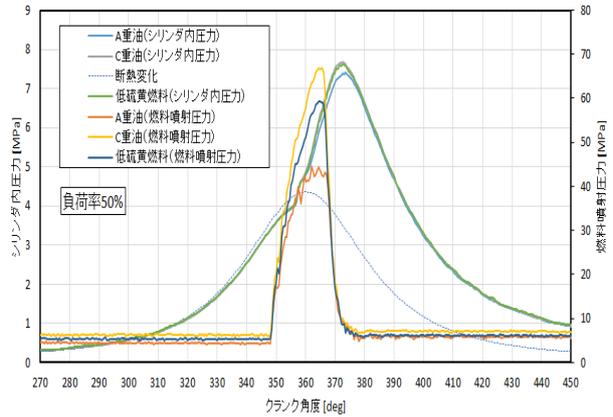


日経新聞(2019/5/13) 燃焼試験に用いた船用エンジン

燃焼試験に用いた各種燃料油の性状

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

※青字は着火性良好なもの



実験用ディーゼルエンジンおよび燃焼試験結果(燃焼波形)の一例

H30年度P.5

(2) 海洋環境の保全

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

年度実績

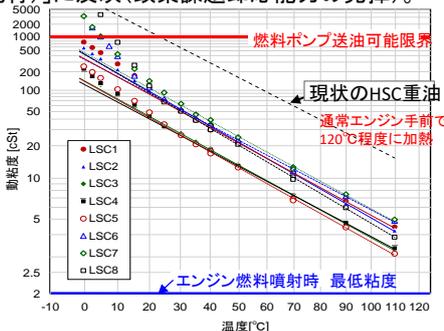
- SOx規制強化に伴う、船舶における低硫黄燃料(LSC)の利用について、船上での燃料物性変化に対する要素試験等を実施した。
- 同規制強化に対応できる小型の洗浄装置(スクラバー)を開発した。

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

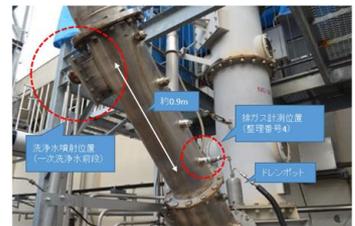
- 通常の加熱範囲内で低硫黄燃料油(LSC)の動粘度が適正な範囲内に収まるかどうかを内航海運業界が懸念。
- 海技研は、石油各社から集められた各種LSCと現状の高硫黄重油について、温度に対する動粘度の変化を計測。各種LSC(15~25cSt at 50°C)に対して、現行と同様の加熱(110~120°C)をした場合でも、エンジン要求仕様の2cStを下回ることなく安全に使用可能であること、また、船内燃料管理に不可欠な「動粘度-温度関係」が、現行のC重油とほぼ同じ傾きであることを示した。(下右図)
- 寒冷地での加熱停止時のタンク内燃料油温度変化も計測。⇒これら成果は「2020年SOx規制適合船用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



実船計測(冬季北海道)



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



小型ジェット式スクラバ

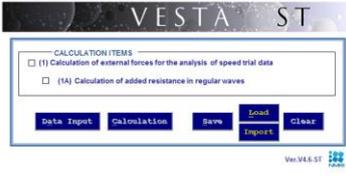
H30年度P.6

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

**年度実績** □ 海上試運転(速力試験)における波浪中抵抗増加の算定手法であるNMRI法をプログラム化し、公開した。

**実海域実船性能評価に関する研究(重点研究☆5)**

海上試運転実施解析法(ITTC7.5-04-01-01.1, 2017)に記載された**NMRI法(波浪中抵抗増加計算)**による**波浪修正の高精度化**のため、当計算プログラムについて日本海事協会からプログラム認証を取得し、海上試運転での波浪修正がより適切に行われるようプログラムを**国際的に公開**した。  
**※国内外から8社がプログラム使用申請済。**



プログラムVESTA-ST



波浪中自航試験



NMRI法のプログラム認証取得

○内閣府第1回日本オープンイノベーション大賞優良事例  
 ○日本船舶海洋工学会賞(論文賞)

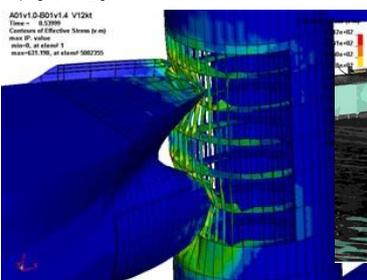
H30年度P.7

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

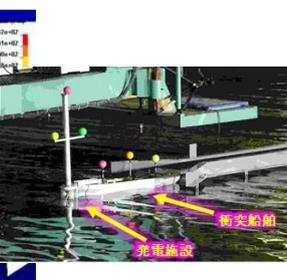
**年度実績** □ 浮体式風力発電について、新たに発行されるIEC規格の国内運用を機に、業界における合理的な設計改良を支援するため、損傷時復原性規則に関するガイドライン案を作成。  
 □ 並進動揺型の波力発電装置のモデル予測制御アルゴリズムを開発。日本沿岸域に設置した場合を想定すると発電量が約40%増となることを確認。

**海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究(重点研究☆9)**

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

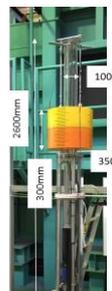


航行船舶との衝突シミュレーション

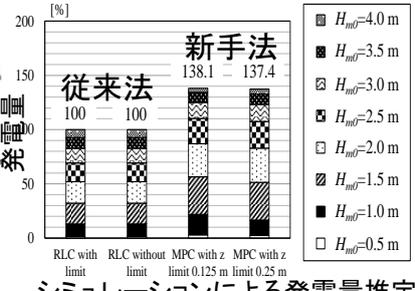


衝突模型試験

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



想定装置のイメージ



シミュレーションによる発電量推定

波高 (H <sub>mf</sub> )	従来法 (従来)	新手法
4.0 m	100	138.1
3.5 m	100	137.4
3.0 m	100	-
2.5 m	100	-
2.0 m	100	-
1.5 m	100	-
1.0 m	100	-
0.5 m	100	-

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

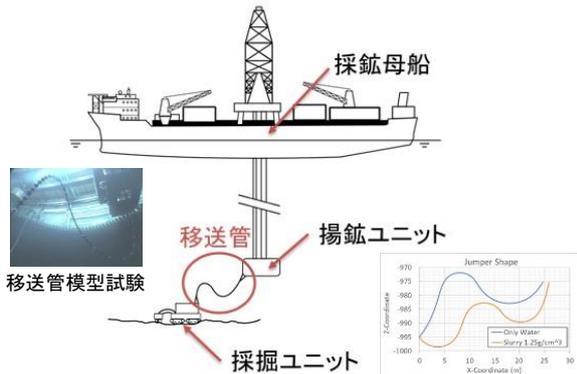
H30年度P.8

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

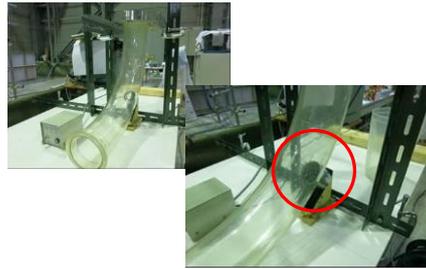
**年度実績** □ 海底熱水鉱床開発に用いられる揚鉱管下端部の水中ポンプユニットから採掘ユニットまでを接続する移送管の挙動を同時に解析できるプログラムの開発を行なうなど、実用化に向けた課題解決に資する研究成果を創出した。

海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究(重点研究☆9)

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



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



磁性ビーズ吸着の様子

輸送管の耐摩耗性向上方法、磁性ビーズ、及び磁力発生装置

H30年度P.9

(3) 海洋の開発 - ③海洋の利用に関連する技術開発に関する研究

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

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

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

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

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

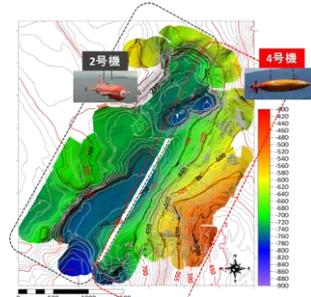
○我が国EEZにおける将来の広範なAUV活用を見据えて、海底資源開発以外にも、多岐に亘る調査対象を開拓



海技研が保有するAUV (SIP「海のジバング計画」により製作)



【洋上風力発電施設の点検作業】 (東京電力プレス資料より抜粋)



運動性能に優れたAUVによって、海底カルデラの急峻地形のマッピングに成功

H30年度P.10

#### (4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

##### -① 海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術開発に関する研究

###### 年度実績

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

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

##### 新生産管理手法 実展開結果

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

##### ハイロウミックス 実展開結果と効果推定

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

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

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



実際の造船所における「曲げ加工支援ARシステム」の検証

この他に塗装作業支援ARシステムについてプロタイプ機の開発を実施

H30年度P.11

#### (4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

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

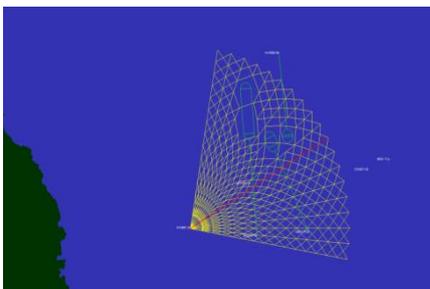
###### 年度実績

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

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

##### ○ 避航操船アルゴリズムの開発

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



避航操船アルゴリズムのシミュレーションテストの画面

##### ○ OZTの見える化による避航操船判断支援システムの開発

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



OZTを用いた避航操船判断支援システムの画面

H30年度P.12

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

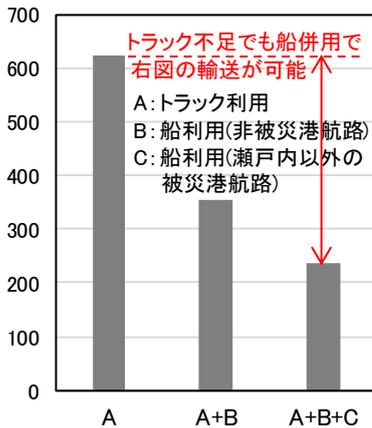
年度実績 □ 広域震災発生後の輸送計画作成・評価を行う**複合一貫輸送シミュレータを開発**。

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究(重点研究☆13)

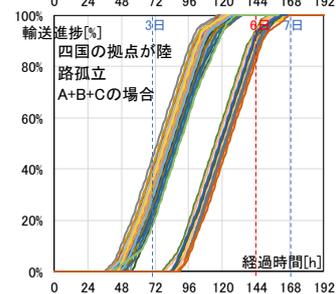
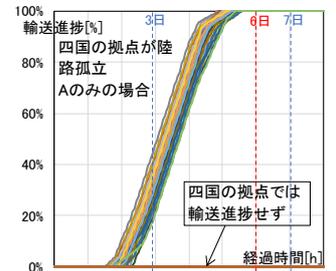
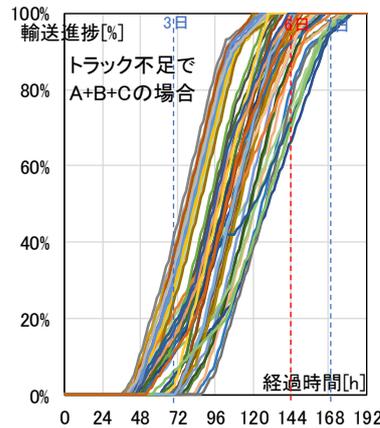
○AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

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

必要トラック量[万台km]



トラック不足でも船併用で右図の輸送が可能



<トラック不足の場合>

南海トラフ地震を想定した4~7日目の災害支援物資輸送の評価例

<陸路孤立の場合>

H30年度P.13

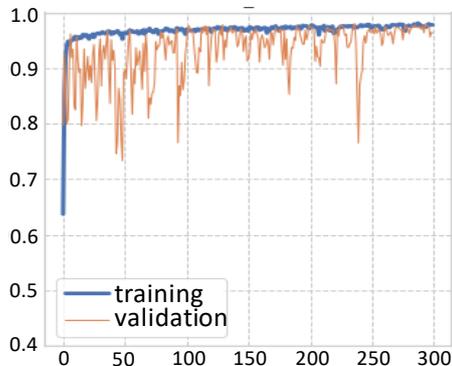
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発 -③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術の開発に関する研究

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

AI等による海上物流の効率化・最適化・予測等に関する研究(重点研究☆13)

○AI等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

全国輸出入コンテナ貨物流動調査の非集計データを用い、貨物の輸送経路を評価



輸出入貨物経路推定の学習経過例

○AI等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

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



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

豪州-中国間の海上運賃の予測結果

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

H30年度P.14