平成 29 年度 第 1 回 海上技術安全研究所
研究計画・評価委員会報告書

平成 28 年度研究業務実績年度評価
平成 28 年度研究開発課題終了時評価

平成 29 年 5 月 31 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 6
(3) 海洋の開発 9
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発 11
参考添付：評価資料（抜粋） 13
「国の研究開発評価に関する大綱的指針」に準じた終了重点研究の「終了時評価」 20
地域海上交通システムの再構築に関する研究 21

参考

【重点】平成 28 年度業務実績報告書

【重点】平成 28 年度終了課題業務実績報告書

１．はじめに

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

(1) 評価の体制

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

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

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

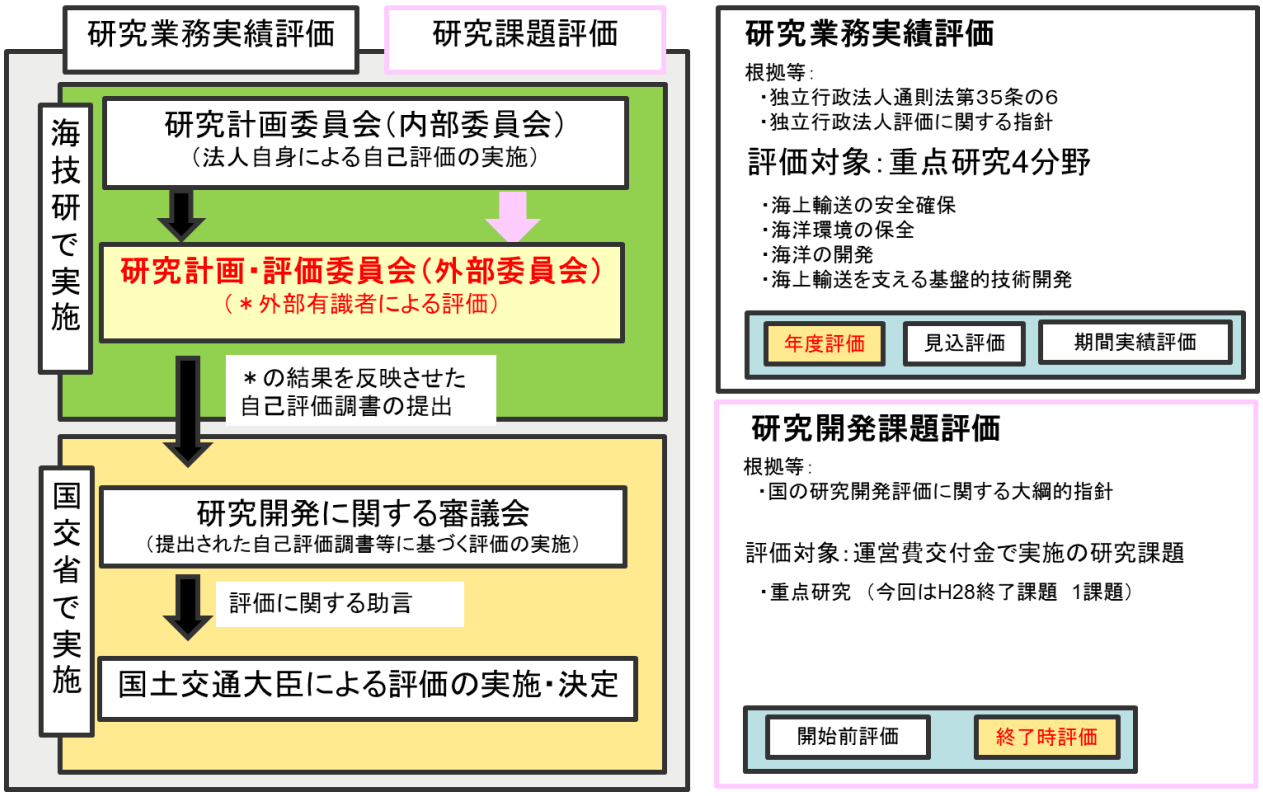
(2) 評価の種類

国立研究開発法人制度では、国の評価委員会（研究開発に関する審議会）が毎年、国立研究開発法人の業務実績を評価するものであり、各年度計画の終了時、中長期計画の終了前年度及び終了時にそれぞれ年度評価、見込評価及び期間実績評価を実施します。

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

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

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



２．評価の概要

(1) 評価の実施日

平成 29 年 5 月 31 日(水)

(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	太田垣　由夫	一般社団法人　日本造船工業会　技術委員会委員長 （ジャパン　マリンユナイテッド株式会社　代表取締役副社長）
委員	大津　正樹	一般社団法人　日本舶用工業会　大形機関部会長 （三井造船株式会社　機械・システム事業本部　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　副委員長 （株式会社　商船三井　執行役員）
委員	小松　亜紀子	大阪経済大学 人間科学部　准教授
委員	後藤　浩二	国立大学法人　九州大学大学院　工学研究院 海洋システム工学部門　教授
委員	塚本　達郎	国立大学法人　東京海洋大学 海洋工学部　教授
委員	濱田　邦裕	国立大学法人　広島大学大学院工学研究科 輸送・環境システム専攻　教授
委員	稗方　和夫	国立大学法人　東京大学大学院　新領域創成科学研究科 准教授
委員	村井　基彦	国立大学法人　横浜国立大学大学院　環境情報研究院 人工環境と情報部門　准教授

(3) 評価の種類及び対象

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

種類：　◆「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた「年度評価」

対象：平成 28 年度に実施した重点研究

◆「国の研究開発評価に関する大綱的指針」に準じた「終了時評価」

対象：平成 28 年度に終了した重点研究

ここで、重点研究は中期計画に記載の重点的に取り組む研究開発課題です。
また、各重点研究は、「海上輸送の安全の確保」、「海洋環境の保全」、「海洋の開発」及び「海上輸送を支える基盤的な技術開発」の重点 4 分野にグループ化され、分野毎に評価が実施されます。

３．評価の結果

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

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

◆「独立行政法人の評価に関する指針」に準じた各分野の「年度評価」

	H28 年度
海上輸送の安全の確保	：S
海洋環境の保全	：S
海洋の開発	：A
海上輸送を支える基盤的な技術開発	：A

平成 28 年度業務実績評価シート（重点研究４分野：安全）

評価者	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 29 年 5 月 31 日
評価対象期間	平成 28 年度		
研究分野	海上輸送の安全の確保		

年度計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化（安全）

以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。

【評点】	■S	□A	□B	□C	□D

評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。
コメント	□荒天下の最低出力暫定指針案の策定とそれに関わる性能評価技術の開発、高揚力舵の開発は、指針案の合理化並びにわが国国際競争力の強化に直接的に資するタイムリー成果であり、特に顕著な成果と認められる。全船荷重・構造一貫強度評価システムは、今後の多様なアプリケーション展開の基盤として顕著な成果である。その他の課題も、予定通りの進捗にある。 □① 最低出力ガイドラインの海象条件の設定のための調査は、環境規制と安全機能の両立を目指す業界ニーズに合致している。 ② 荒天時に大型船舶が沿岸域にないという実証データは新しい。荷重・構造一貫解析システムは今後の利用が期待されるが、それ自体は科学的進歩とは言いがたい。 ③ 最低出力ガイドラインについての調査は IMO の審議に間に合った。 ④ 最低出力ガイドラインのための海象調査は欧州プロジェクトを補完するものである。関連する操縦性・耐航性の要素技術には新規性はあまり見当たらない。 ⑤ 評価対象外 □①-④は成果大 ⑤DLSA-Basic の開発は造船他社の研究成果の応用と考えられる □DLSA と言うシステム、そして IMO の最低出力に関する提案の二つは、上記①～④の評価ポイントに照らして、良い成果を出したものと判断します。 ただ、個々の研究の詳細を見た場合、DLSA は 1 番の研究と思われますが、システムに盛り込んだと思われる周辺の研究に重点を置いて書かれており、肝心の統合したソフトの記述がほとんど見当たりません。また、IMO の最低出力の件は 4 番の研究と思われますが、ここでも肝心の提案の骨子(例えば何%要求値を変えたのか、等)が書かれておらず、何れも臨場感が非常に欠落していると思います。 3 番の研究では、IGF コードのための諸ガイドラインを作成した、と書かれていますが、これも成果にはリストアップされていないのが残念です。 □最低出力暫定指針の見直し：運航実態を踏まえた合理的・実行可能な指針案の策定に大いに貢献した。また、タイトな IMO 審議スケジュールの中、国内関係者や欧州プロジェクトとの連携を図り、タイムリーに成果を創出した。 □必要な工数を大幅に削減できる解析ツールの開発、省エネルギーを可能とする最低出力暫定指針の提案などは海上輸送の安全の確保において重要な研究であり、社会的価値の創出に貢献する成果をあげたものと考える。

	□DLSA-Basic については，従来知見のシステム化に相当すると判断でき，設計工数短縮の効果は非常に大きいが，構造強度分野の学問的知見からの新規性および発展性について「特別な」成果とまでは判断できない. 最低出力暫定指針については，造船分野に限定されず海事産業全体への貢献が非常に大きいが，説明を伺う限りはＳとＡの中間レベル位の印象であった. Ａと評価したが，本当は「A+」と評価したい. □全船荷重・構造一貫強度評価システムの開発、最低出力暫定指針の見直し、船上モニタリングシステムの開発、液体水素運搬船のリスクモデルの構築や被害影響評価など。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。特に全船荷重・構造一貫強度評価システムを開発したことは、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。最低出力暫定指針の見直しについては、これにより合理的かつ実効的な指針が欧州グループとの共同で作成され、IMO に提案されており、科学的意義、国際的な水準に照らした意義が十分にあると考えられる。 □全船荷重・構造一貫強度評価の実現は造船設計における永年の課題であり，世界で初めてその実用化を達成したことは極めて高く評価でき，社会的なインパクトも大きい. また欧州の研究グループが主導した最低出力暫定指針は，要求値が過大になるなど，学術的・技術的な観点から問題であった．この問題点を明確化し，合理的かつ実効可能な指針を提案したことは，日本の造船業の国際競争力の確保という観点から極めて重要な研究成果と判断することができる. 何れも，社会的価値・科学的意義が極めて高く，我が国の国際競争力の強化に大きく資する成果であるためＳ評価と判断する. なお，全船荷重・構造一貫強度評価システムについて，現状では工数面を中心に効果を評価しているが，本システムの最大の効果は設計における PDCA サイクルの高速化に伴う試行錯誤回数の増大と製品性能の向上にある．このような観点からの評価は海技研のみでは困難であるが，今後，造船所における運用を含めた評価が実施されることを期待したい. □DLSAーBasic の技術的卓越性、最低出力暫定指針の改定に当たり国際標準の策定にリーダーシップを発揮している点が評価できる。一方で、欧州のグループによる検討が開始される時点で参入できるような国際的なプレゼンスや協力関係を確立できるとよく、国際会議や論文誌等での情報発信が期待される。 □全体を通して、社会的に意義のある成果が達成されている。 特に、最低出力暫定指針の改定に対する貢献は、国際的にも大きな意義と分野への寄与が認められる。また、船舶強度評価に関する解析ツールの開発については、今後の日本企業の業界における産業基盤力の底上げへの貢献が大きいことは容易に想像される。これらの成果は、数年来に及ぶ継続的な研究成果の結実であると思われる。 これらのことを総合的に勘案し、Ｓとした。
特記事項	□本分野に限らず、テーマごとの年度実績報告書の内容の精粗に大きな差がある。研究テーマ 20 はその最たるものである。報告書として認めがたい。発表文献も、数だけが記されているもの、「投稿」とだけ記載されているものもある。様式を統一して正確に記すこと。

※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」に向けて「**成果の創出**や**将来的な成果の創出の期待等**が認められる場合は「B」、**顕著な**成果の創出等が認められる場合、**「A」**、**特に顕著な**成果の創出や将来的な**特別な**成果の創出の期待等が認められる場合は**「S」**と付けて下さい。

※評価ポイントについて、評価者の判断の視点に該当する項目についてコメントの記載をお願いいたします。

※評点について、中間レベル（B）より低い評価をされた場合、その視点又は理由、改善(変更)すべき点を「特記事項」に記載願います。それ以外の評価をされた場合でも、その理由等を記載頂ければ有り難く存じます。

事務局とりまとめ欄

総合評価 **S**	S:8 A:3 B:0 C:0 D:0	

平成 28 年度業務実績評価シート（重点研究４分野：環境）

評価者	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 29 年 5 月 31 日
評価対象期間	平成 28 年度		
研究分野	海洋環境の保全		

年度計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化（環境）

以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。

【評点】	■S	□A	□B	□C	□D

評価ポイント

①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。

②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きか。

③成果が期待された時期に創出されているか。

④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。

⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。

コメント

□内航船の省エネ化に技術面とその普及で具体的かつ顕著な成果をあげている。全球版気象海象データベースは世界トップレベルの成果であり、今後の技術的波及効果も大である。キャビテーション水槽試験技術の ISO 基準化もわが国の国際競争力の強化に資する成果である。これら多くの顕著な成果が認められる。

□① 内航船の船型改良は GHG 削減を目指す国策にかなうものである。
② 波高・波周期・風速の相関を含めた波浪データベースは世界に類を見ない。
③ 上記波浪データベースはもう少し早い時期に出ていれば IMO 非損傷時復原性基準などにも活用できたであろう。
④ キャビテーション騒音の推定技術などは海外に追いつくものとして評価できる。
⑤ 水中騒音についての生物許容値なども守備範囲を超えて今後は対応すべき。

□①-⑤成果大
特に内航船省エネﾓﾃﾞﾙの開発は国内内航船業界に寄与する開発と思える。
他の研究項目の評価は上記より低位と思う。

□内航船の省エネ船型と気象海象データベースに付いては、①～④の評価ポイントに照らして、有効な成果が得られたと言える。
しかし、両者とも、詳細研究報告のページには該当するものが見当たらず、煙に巻かれた様な感触が残る。この点に付いては、説明会に於いて説明が有ったのを聞き逃したのか?詳細研究報告を見ると、沢山の項目に付いてそれぞれ小さな成果が出ている様子は見てとれる。

□・全球版海気象データベース：実海域性能評価をはじめ、様々な分野で活用可能性の高いデータベースを構築した。今後、この基盤データベースを利用したサービス・事業開発(実海域性能向上、海洋開発事業 FS、他)の発展が期待できる。
・内航船の省エネ船型開発システム・最適伴流設計システム：斬新な発想を加えた効率的な船型設計システムを開発した。中小造船所の船型開発能力の底上げにも寄与するものと考える。今後、より大型の汎用船型への展開が期待される。

□内航海運を省エネルギー化するための船型開発、船舶の省エネルギー性評価に用いることのできる高精度の全球版気象海象データベースの構築、海洋生物を保護するための水中騒音計測システムの構築などは海洋環境の保全において重要な研究であり、社会的価値の創出に貢献する成果をあげたものと考える。

	□省エネ関連技術開発については，中小造船所が単独で取り組むことが困難と思われる技術開発に対し，海技研の強みを活かして積極的に取り組み，有用な成果を創出したと判断できる. 実海域運行性能向上技術については，国研であることを考慮し，気象海象データベースを国内関係者に無償公開し，使ってもらいながら利便性の判断をしてもらうことが望ましい.（すでに実施済みかもしれませんが.） 生態系影響評価技術については，まだ検討の余地が残っていると思われる. A と評価したが，本当は「A+」と評価したい. □内航船の省エネ船型の開発、実海域性能向上技術の開発に不可欠な高精度の全球版気象海象データベースの開発、水中騒音の計測システム開発、水素ガスエンジンの開発、ブラックカーボン計測プロトコルの確立等は、国土交通省が推進している船舶による環境負荷低減に資するものであり、海事産業の競争力強化にも貢献するものであるとともに、いずれも科学的意義も大きく、国際標準に照らしても大きな意義のあるものである。 いずれの研究も、世界最高精度の気象海象データベース構築、約 500 隻もの船型－伴流データベースを活用した船型ブレンディングの実施、ワイヤーメッシュ法の ISO 基準化など国際的な水準に照らして十分に大きな意 義を有しており、国際競争力の向上につながるものである。 内航船の省エネ船型開発は、プロペラ周りの伴流分布から逆問題として、理想的な省エネ船型を導き出す伴流設計手法など新規性があり、目標値を大きく上回る省エネ率を達成しており、高く評価できる。 水素ガスエンジンについては、アンモニア燃焼と合わせて、将来の水素社会を見越した開発が望まれる。 □内航船の省エネ船型の開発では，従来船型より大幅な燃費改善が可能な数多くの船型群を開発している．同時に開発された新しい船舶設計手法も，最新の技術と造船所の現状の双方を考慮した実現性の高いものである．これらの成果を短期間で達成したことは極めて高く評価することができ，社会へのインパクトも大きい. また，データの重要性が益々増加する現在において，世界一の精度を有する全球版気象海象データベースを我が国が有していることは，造船・海運の双方において戦略的に極めて重要な意味を持つ．今後も世界一の気象海象データベースを我が国が維持できるよう，継続的な研究を期待したい. 何れも，特筆すべき成果であり，S 評価が妥当と判断する. □内航船の省エネ船型と水中騒音推定手法の開発では、CFD など優れた技術シーズを活用した優れた研究活動である。省エネ船型の開発では伴流分布から船型を導くという新しい着想を組み合わせている点、短期間に非常に多くの成果を得たことも評価できる。世界一の精度を有する全球版気象海象データベースについては、その精度を十分に生かす具体的な活用シナリオの開発が期待される。 □ローカルとグローバルな問題が混在する海洋環境の保全の実施において、海洋に関する幅広い視点からの情報の取得、その情報の共有・発信、そして標準化が必須である。その観点で、情報の可視化を含めた提示手法の整理は、この分野において基盤的で必須な部分に貢献するところが極めて大きい。特に、内航海運における省エネ対策に関する取り組みは、情報の可視化が研究の深化と進化に極めて大きな寄与を与えており、研究成果として正攻法の成果と評価出来る。また、海洋データのデータベースの整備は、世界での種々の船舶・海洋構造物などの評価軸の標準化には必須のもので、その貢献は大きいと認められる。また、水中騒音問題については、これからの大きな課題の一つで有り、具体的な提案がなされ、国際的に評価・採用されていることは、今後のこの分野に国際的に貢献するところが大きい。 これらを総合的に勘案し、S と評価した。
特記事項	

※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」に向けて「**成果の創出や将来的な成果の創出の期待等**が認められる場合は「B」、**顕著な**成果の創出等が認められる場合、**「A」**、**特に顕著な**成果の創出や将来的な**特別な**成果の創出の期待等が認められる場合は**「S」**と付けて下さい。
※評価ポイントについて、評価者の判断の視点に該当する項目についてコメントの記載をお願いいたします。

※評点について、中間レベル（B）より低い評価をされた場合、その視点又は理由、改善(変更)すべき点を「特記事項」に記載願います。それ以外の評価をされた場合でも、その理由等を記載頂ければ有り難く存じます。

事務局とりまとめ欄

総合評価 **S**	S:7 A:4 B:0 C:0 D:0	

平成 28 年度業務実績評価シート（重点研究４分野：海洋）

評価者	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 29 年 5 月 31 日
評価対象期間	平成 28 年度		
研究分野	海洋の開発		

年度計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化（海洋）

以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。

【評点】	□S	■A	□B	□C	□D

評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。
コメント	□熱水鉱床開発など資源開発関係は、商用化・実用化に向けた新規的な顕著な成果が認められる。複数 AUV 制御など広域探査関係も成果が認められる。その実用有効性に関しては、今後の試用・評価に期待する。 □① 国のプロジェクトの一部を担当している。 ② AUV の複数運用は新しいが、そこで解決した技術的障害が良く説明されなかった。 ③ AUV による広域探査や熱水鉱床とも今後の技術であり、時期的に遅くはない。 ④ 国際学術誌などへの発表状況が不明であった。 ⑤ 評価対象外 □研究者評価と同じ □AUV の開発、熱水鉱床からの鉱物採取技術開発の何れも、評価ポイント①～⑤を照らして、それぞれ成果を出したと言える。ただ、その成果が目覚ましいものとまでは言い難い点で A 評価とする。これらの研究は民間ではなかなか手が付けられないと思われる研究であり、一層努力を求めたいが、民間と同じ様な成果意識を掲げて推進して欲しい。 □海底広域探査技術(複数 AUV の同時運用)の開発：難易度の高いシステムを開発している。今後の海洋開発における発展性が期待される。 □海底熱水鉱床の商業利用等に向けた広域探査技術の開発や生産システムの概念設計などは海洋の開発において重要な研究であり、社会的価値の創出に貢献する成果をあげたものと考える。 □新規の海底広域探査手法の開発については，世界的に見ても優れた成果を挙げたと判断できる. 海洋試験開発関連の案件は将来課題も多く，今後も民間をリードする先導的な研究を期待したい.（現時点では研究計画に沿った着実な達成のレベルと判断.） □海底熱水鉱床等の広域探査を可能とする小型 AUV の開発、複数 AUV の統括監視をするための洋上中継器の開発、複数 AUV の運用を可能とするオペーレーションシステムの開発が行われており、これらは、資源・エネルギーを確保するために海洋開発を進めていこうとする国の方針、社会のニーズに適合したものであり、社会的価値の創出に貢献するものである。科学的意義も大きく、民間への技術移転も計画されており、国際的競争力の向上にもつながるものである。

	実際の海底熱水鉱床開発においても。JOGMEC が実施している採鉱・揚鉱パイロット試験事業や技術ソリューション事業への参加という形で、揚鉱技術開発、氷況観測技術開発を効率的に行っており、我が国の海洋開発技術発展に大きな寄与をしている。 □複数ＡＵＶの統括監視と高度運用を可能とする支援ツールの開発など，国際的にみて高いレベルの研究成果を得ている．また，海底熱水鉱床の開発や氷況観測技術の開発などにおいても，関係研究機関と連携しつつ着実な成果を挙げており，総合的に見てＡ評価と判断する. ところで，海洋関連は現時点では国内に産業が育っておらず，今後の発展が強く期待される分野である．このために，他の分野のように研究成果がすぐに産業に貢献・実用化される訳ではなく，長期的な視野・戦略を考慮した研究開発が非常に重要である．このような分野の特徴を考慮し，国家戦略や民間における試用・実用化などを踏まえた開発技術の発展シナリオを明示していただけるとありがたい. □世界初の探査手法の確立など、海底資源開発の分野で顕著な成果を上げていることが評価できる。技術サブシステムに基づいた海洋開発の経済性などに関する研究テーマなども期待したい。 □海洋産業は船舶産業に比して、まだまだ発展途上の産業で有り、確かなニーズやシーズに基づくことで、社会的に従来の想像を超えた成長の余地がある分野である。 その点を鑑み、特に AUV の開発は、明確な産業化が視野に入りつつあることが伺え、ニーズとシーズの両輪が機能しつつあることが高く評価出来る。また、海底資源に関する採鉱・揚鉱に関する研究成果については、将来の国際的に確かなニーズに基づいた、不可欠なシーズの開発的研究として高く評価することが出来る。これらの研究も含め、非常に活発で挑戦的な研究成果が上がっていることが認められるが、今後の産業化への具体的な研究成果ののびしろは、まだ大いにある。 それらを総合的に勘案し、Ａと評価する。
特記事項	

※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」に向けて「**成果の創出**や**将来的な成果の創出の期待等**が認められる場合は「B」、**顕著な**成果の創出等が認められる場合、**「A」**、**特に顕著な**成果の創出や将来的な**特別な**成果の創出の期待等が認められる場合は**「S」**と付けて下さい。

※評価ポイントについて、評価者の判断の視点に該当する項目についてコメントの記載をお願いいたします。

※評点について、中間レベル（B）より低い評価をされた場合、その視点又は理由、改善(変更)すべき点を「特記事項」に記載願います。それ以外の評価をされた場合でも、その理由等を記載頂ければ有り難く存じます。

事務局とりまとめ欄

総合評価 **A**	S:2 A:9 B:0 C:0 D:0	

平成 28 年度業務実績評価シート（重点研究 4 分野：基盤的技術）

評価者	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 29 年 5 月 31 日
評価対象期間	平成 28 年度		
研究分野	海上輸送を支える基盤的技術開発		

年度計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化（基盤的技術）

以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。

【評点】	□S	■A	□B	□C	□D

評価ポイント	①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。 ②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きか。 ③成果が期待された時期に創出されているか。 ④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。 ⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。
コメント	□AI 利用による船舶の検出・追尾システム、アンモニアの直接燃焼システムなど萌芽的な研究が進行中であり、今後が期待される。 □① 船舶の画像解析は、海上交通の安全上必要な技術である。 ② ただしその技術的難度については十分に説明されていないように思われた。 ③ 画像解析は必要な時期に成果が出ている。 ④ 主機を考慮した船舶の波浪中性能評価は国際的にも新しい方向である。 ⑤ アンモニアの直接燃焼は GHG 削減に向けた先見性のある試みと評価できる □アンモニアの直接燃焼開発は①-⑤全てに成果大 他の研究はテーマが世界レベルではない。 □AIS の活用に関しては、評価ポイント①～④に照らして、この時期に必要な成果を出していると考えられる。アンモニア燃焼に関しては、⑤の評価ポイントに対応したものと考えられるが、未だ成果が出たとは言い難い。波浪中の主機応答の研究は、詳細報告 9 番に該当するものと思われるが、主機のモデルがどこまで完成したものなのか、知りたいものではある。 アンモニア燃焼に対応する詳細報告が無いが、それは討議の場で説明があった。ただ、この研究題目に関して期待は大きいものの、当面の成果を見ると、前途多難を思わせるものがある。ただ、この様な研究は民間では難しいかも知れず、上手に前進させていただきたい。 □AI 技術を用いた画像処理による船舶検出技術、舶用ディーゼルエンジンでのアンモニア直接燃焼：新規性の高い、先進的な研究取組みである。今後の展開・応用が期待される。 □波浪中の主機応答特性が検証できる水槽試験法の開発、安全性の向上および運航の省力化につながる人工知能を用いた画像処理による AIS 非搭載船検出システムの開発、温室効果ガスの排出削減につながるアンモニアの直接燃焼システムの開発などは海上輸送を支える基盤的技術開発において重要な研究であり、社会的価値の創出に貢献する成果をあげたものと考える。 □AI・画像処理による船舶検出・追尾システムについては，他分野の状況を勘案すれば，適切な進捗というレベルであると判断する．アンモニア直接燃焼システムについては，今後の発展が期待できる．水槽模型試験と主機設計の研究については，海技研の強みを十分に発揮した研究と判断する．

	□画像処理による船舶の検出は、海上交通における安全・安心の確保に貢献するものであり、新規性もある。海上保安庁が掲げる「第３次交通ビジョン」にあるＡＩＳ非搭載船の動静把握システムに係るものであり、期待された時期に成果を創出している。今後、この技術により得られた船舶情報をどのように活用して、安全に結び付けるかを占めしてもらいたい。 水素エネルギーキャリアとしての利用が注目されているアンモニアを直接燃焼させる技術は、環境負荷の低減に貢献するものであり、船舶用では例を見ない取り組みで、新規性は高い。国際的にも先進的な研究であり、我が国の国際競争力の向上につながると考えられる。水素社会の実現に向けて、エネルギーキャリアとしてのアンモニアに着目した研究であり、テーマとしては先見性があり、SIP の活用という機動性もある。ただ、水素に変換して使うのではなく、アンモニアの直接燃焼というのであれば、最終的には、空気に少量混ぜるのではなく、軽油を着火源として、アンモニアを主燃料とするような試験を試みてもらいたい。 □AI を用いた AIS 非搭載船の検出システム，アンモニアの直接燃焼システム，水槽試験結果に基づく主機設計の検証方法の提案など，社会的要求が高く今後の発展が期待される研究領域において，萌芽的な研究も含めつつ，顕著な成果を挙げている． 特に AIS 非搭載船の検出システムに関する研究で利用した画像処理＋ディープラーニングという手法は，運航・建造など様々な分野における応用・発展が期待される．このような新たな研究分野における研究が益々加速されることが期待される． □AI 適用やアンモニアの直接燃焼システムなど、船舶分野での先端的取り組みが評価できる。また、実海域性能評価手法もすぐれた成果である。萌芽的研究であるアンモニアの直接燃焼システムについては今後の発展が期待される。AI 適用では他の産業分野と比較しての困難性や卓越性を明らかにしていただきたい。 □我が国のあらゆる文明的な生活を支えているのは、海上物流であるといって過言では無い。その海上物流・海上輸送のあらゆる面での高度化は、広く社会的に還元される極めて重要な分野である。 特に、安全な海上輸送の基盤となる交通流の把握と高度化は、近い将来に実現が期待される自動運転などには欠かす事の出来ない基盤・基幹的に評価出来る研究成果である。 また、海上物流の省エネ化は、国内全産業の国際競争力の強化に直結する研究課題であり、主機やそのシステムに関して斬新な視点に基づく研究開発の実践とその成果は、研究機関の研究として高く評価することが出来る。ただし、地球温暖化などの視点からは一層の温室効果ガスの排出量の抑制が産業界的にも鍵となっており、今後においてなお一層の成果の飛躍が期待される。 それらのことを総合的に勘案し、Ａと評価する。
特記事項	

※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」に向けて「**成果の創出や将来的な成果の創出の期待等**が認められる場合は「B」、**顕著な**成果の創出等が認められる場合、**「A」**、**特に顕著な**成果の創出や将来的な**特別な**成果の創出の期待等が認められる場合は**「S」**と付けて下さい。

※評価ポイントについて、評価者の判断の視点に該当する項目についてコメントの記載をお願いいたします。

※評点について、中間レベル（B）より低い評価をされた場合、その視点又は理由、改善(変更)すべき点を「特記事項」に記載願います。それ以外の評価をされた場合でも、その理由等を記載頂ければ有り難く存じます。

事務局とりまとめ欄

総合評価 **A**	S:0 A:11 B:0 C:0 D:0	

参考添付：評価資料（抜粋）

①海上輸送の安全の確保

年度実績

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

全船荷重・構造一貫強度評価システム（DLSA-Basic）

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

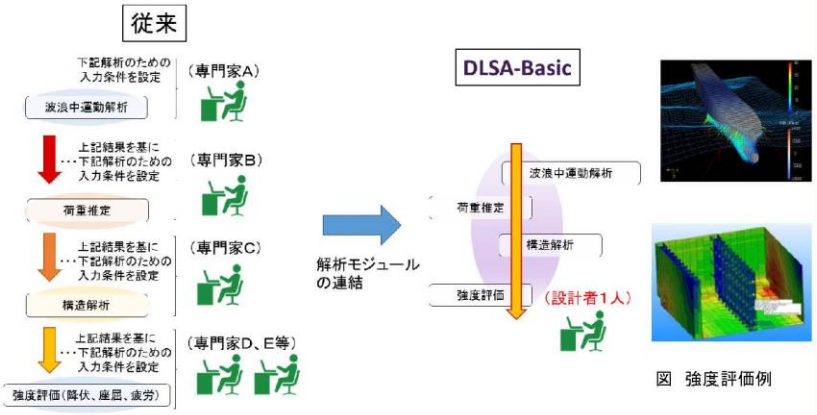


図　強度評価例

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

DLSA-Basicへの組み込み可能な開発・改良中のオプション群

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

【自己評価】S　船舶設計の飛躍的な生産性向上に貢献する成果を創出した。

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。

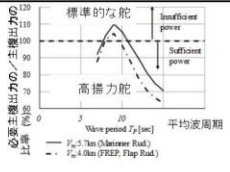
○合理的かつ実効可能な指針案の策定に貢献

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。

主な評価軸に基づく分析（安全）

◎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。
⇒
・全船荷重・構造一貫強度評価システム（DLSA-Basic）の開発は、船舶設計の飛躍的な短縮化に資するもので海事産業の競争力強化に貢献するものである。
・最低出力暫定指針の見直しについては、安全を確保するための合理的な指針の策定に貢献するものである。

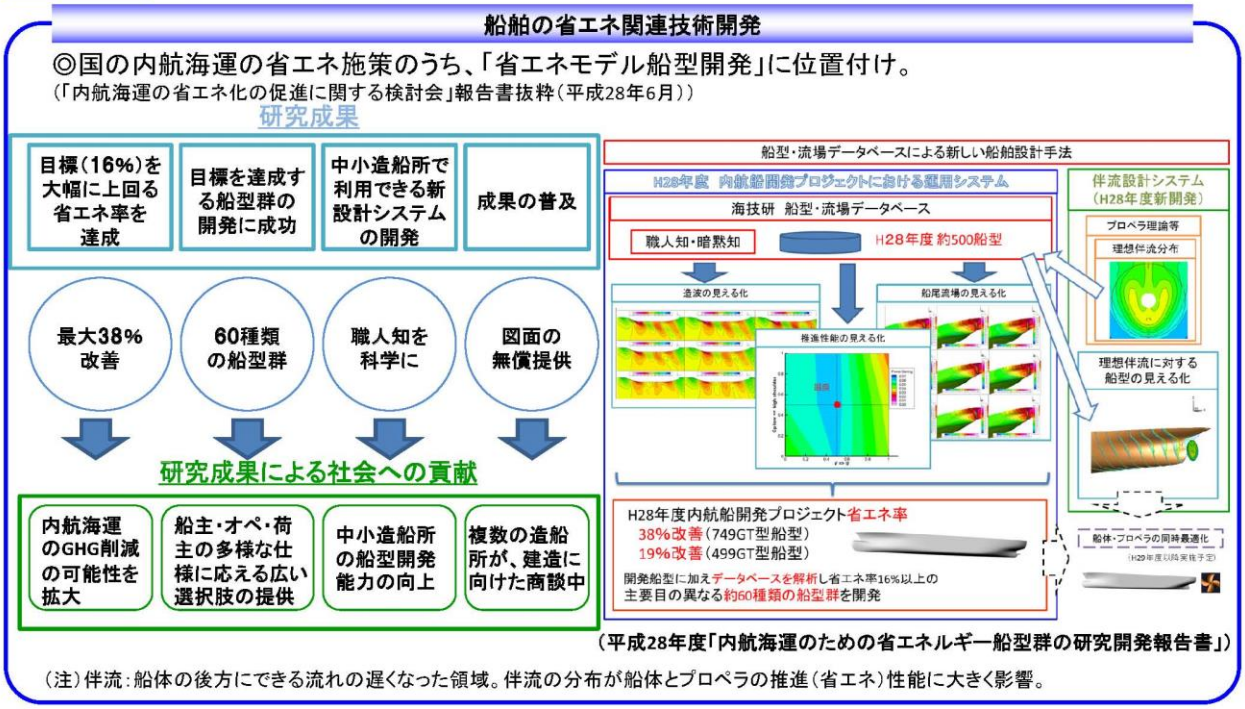
◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
⇒DLSA-Basicのように運動・荷重推定から強度評価まで一貫して行うシステムで業界で市販されたものはない。

◎ 成果が期待された時期に創出されているか。
⇒最低出力暫定指針の見直しについては、IMOでの検討に合わせて、欧州との共同プロジェクトにより実施したものであり、成果が期待された時期に創出されている。

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
⇒
・DLSA-Basicの開発は、船舶設計の飛躍的な短縮化に資するもので我が国の海事産業の国際競争力の向上に貢献するものである。
・最低出力暫定指針の見直しは、我が国造船所の技術水準に最適化したものであり、国際競争力の向上に貢献するものである。

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。



（平成28年度「内航海運のための省エネルギー船型群の研究開発報告書」）

（注）伴流：船体の後方にできる流れの遅くなった領域。伴流の分布が船体とプロペラの推進（省エネ）性能に大きく影響。

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

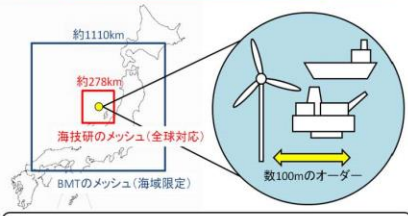
②海洋環境の保全

年度実績

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

実海域運航性能向上技術に関する研究

海技研は、気象庁波浪推算データ（波・風の約**150**億(注1)を超える膨大な基礎データ）を統計処理して、世界で最も精度が高く、かつ、全球を網羅する気象海象データベース(注2)を構築。

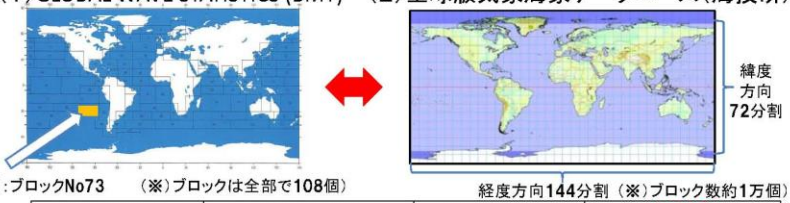


精度の高いデータがあることで、船舶や構造物の合理的な性能・稼動性評価が可能になる。（既存データ（BMT）のメッシュサイズでは信頼度が低すぎる）

このような高精度な気象海象データベースを用いると、国際航路上の燃費の標準値が高精度に計算可能となり、船舶設計時に実海域運航性能を評価することが可能となる。

○これまで世界で標準的に利用されているデータベースとの比較

（1）GLOBAL WAVE STATISTICS (BMT)　（2）全球版気象海象データベース（海技研）



例：ブロックNo73　（※）ブロックは全部で108個）　経度方向144分割（※）ブロック数約1万個）

比較のポイント	（1）BMT（左）	（2）海技研（右）	改善点
ブロックの数	108	10368	約100倍
メッシュ（赤道の場合）	最小で10°（約1110km）	2.5°（約278km）	解像度16倍以上
発現頻度表	波高－波周期 風速－風向	左に加え 波高－波向 波高－風速など 2相関に加え、3相関も提供（12種類）	初めて3相関（波高－波周期－風速）の発現頻度表を提供 （2次元から3次元での検討が可能）

○世界の様々な分野で活用可能な高い汎用性

（他の用途例）・海洋資源開発事業（リグ・生産用浮体等の稼働率推定）
・風力・波力等海洋エネルギーの資源ポテンシャル分析（風況マップ等）
・海底機器等の敷設工事（施工計画の立案）、等
（ユーザー例）造船事業者、海洋資源開発事業者、自然エネルギー開発事業者、海底機器等の敷設事業者、国、大学等の研究者等

（日本船舶海洋工学会講演会論文集 第24号
「全球の気象海象統計データベースの開発」）

（注1）メッシュ数[（経度方向360°/0.5°）*(緯度方向150°/0.5°)]
×10年分×365日×4回/日×5つのデータ（風速、波高等）＝約150億
（注2）地図上のブロック毎に波と風の統計データを整理した数表

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

③海洋環境の保全

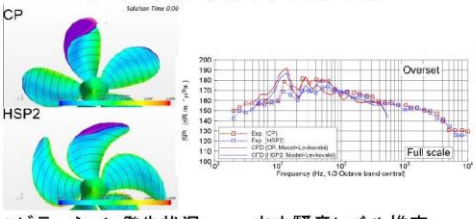
年度実績

●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ーメッシュ法（注2）を採用させた。また、CBD/SBSTTAから勧告された、水中騒音推定ツールキット整備に対応した。

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。

主な評価軸に基づく分析（環境）

◎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。
⇒内航船の省エネ船型の開発、実海域性能向上技術の開発、水中騒音の計測システム等は、国土交通省が推進している船舶による環境負荷低減に資するものであり、海事産業の競争力強化にも貢献するものである。

◎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。
⇒実海域性能向上技術の開発に不可欠な高精度の全球版気象海象データベースは、現時点で世界一の精度を有するものであり、非常に高い汎用性を有する基盤的なデータベースであるため、成果の科学的意義が大きい。
⇒最適な省エネ船型を開発するための新しい設計システムは、これまで職人芸でしかできなかった船型設計を新しい発想で効率的に実施可能とするものであり、革新的な技術である。また、今後より大きい船舶への適用について発展が期待できる。

◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
⇒いずれの研究も、世界最高精度の気象海象データベース構築、約500隻もの船型－伴流データベースを活用した船型ブレンディングの実施、ワイヤーメッシュ法のISO基準化など国際的な水準に照らして十分に大きな意義を有しており、国際競争力の向上につながるものである。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。
⇒プロペラ周りの伴流分布から逆問題として、理想的な省エネ船型を導き出す伴流設計手法は斬新であり、チャレンジングであったが、有効な手法として今後のさらなる発展が期待される。

①海洋の開発

年度実績

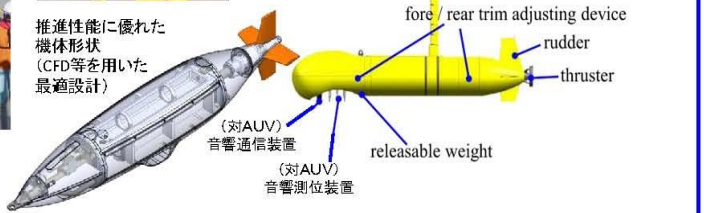
●高性能航行型AUV3号機及び洋上中継器を製作し、高難易度の実海域連接試験を実施した。
●水中局域測位システム等の要素技術の開発を行った。

海底鉱物資源開発等に係る基盤技術の構築に関する研究

＜海底熱水鉱床等広域探査技術の開発に貢献＞

国の科学技術イノベーション総合戦略にもとづくSIP（戦略的イノベーションプログラム）に参加し、
○海底熱水鉱床等の更なる広域探査を可能とする小型AUV【航行型3号機】及び複数AUVの統括監視（位置補正、非常時指令等）をするための【洋上中継器】を開発。
（Autonomous Underwater Vehicle：自律型無人潜水機）
○世界レベルで難易度の高い複数AUVの運用を可能とするオペレーション・システムを開発。
（3機のAUVと洋上中継器の同時運用による熱水地帯での全自動海底調査に世界初成功）

同時運用による海底調査への出動状況



新たに開発した3号機（左）および洋上中継器（右）

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

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

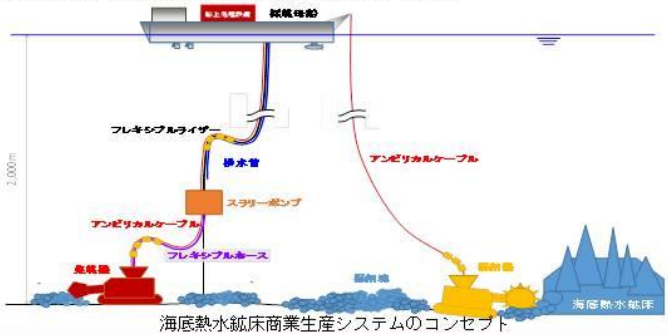
②海洋の開発

年度実績

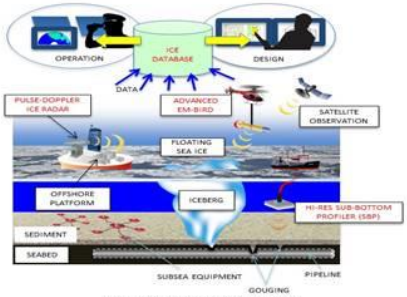
●採鉱・揚鉱パイロット試験事業における実海域試験（今年度予定）の安全性・稼働性評価を実施
●海底熱水鉱床の商業生産システムのコンセプトを検討するとともに、スラリー輸送管の寿命延伸方法等を考案し、関連特許5件を出願した。
●フロンティア海域（氷海域）における資源開発支援のための氷況観測技術の開発を実施した。

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、開発した技術が実用化直前の段階にあるとの高い評価を受けた（出典：JOGMEC、技術ソリューション事業（技術開発）平成28年度事後評価報告書、2017）。



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
（出典：S. Uto *et al.*、第32回 北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」、2017）

【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。

主な評価軸に基づく分析

◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
⇒海底熱水鉱床生産技術や海底探査技術の開発は、わが国の資源・エネルギーを確保する上で重要な課題であり、当該課題解決のためのSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）やJOGMECプロジェクト等への参画を通じて、当研究所は十分な成果を上げており、社会的価値を創出している。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
⇒上記研究開発は、いずれも我が国の海洋開発技術上、先端的な分野・位置づけであり、成果の一部で特許出願もなされており、今後の更なる発展が十分に期待され、科学的意義は大きい。

◎成果が期待された時期に創出されているか。
⇒海底熱水鉱床関係は、今年度実施が予定されている実海域における採鉱・揚鉱パイロット試験の計画策定等に十分貢献する成果、海底探査技術は、世界をリードする成果で、ともにタイムリーに成果を発信している。

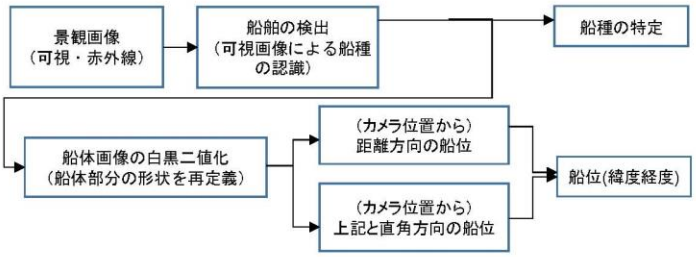
◎成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。
⇒海底熱水鉱床開発に向けた取り組み及び更なる他の海底資源開発ツールの開発など、国際的にはトップクラスの水準の技術を誇っており、このため、我が国の関係分野での国際競争力の強化に十分な貢献が為されている。

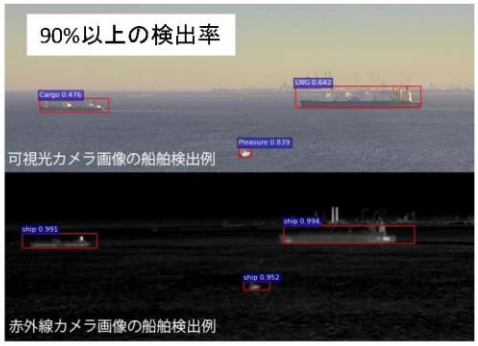
①海上輸送を支える基盤的技術開発

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

画像処理によるAIS非搭載船検出システムの開発

○レーダー及びAISでは検出できない船舶があることから、AI技術の一つである機械学習機能（Deep Learning）を用いて、陸上に設置した可視カメラ及び遠赤外線カメラの画像を処理することにより、船舶の検出、船種の特定、及び追尾を可能とするシステムを開発。
○Deep Leaningに必要な画像のデータベースと画像抽出システムを構築（可視：4,270枚、赤外:2,813枚）。





船舶検出結果画像
（海上保安庁からの請負研究）

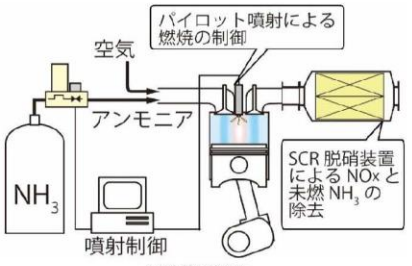
（平成28年度　AIS非搭載船の動静把握に関する技術開発報告書）

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

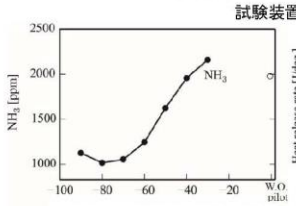
②海上輸送を支える基盤的技術開発

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

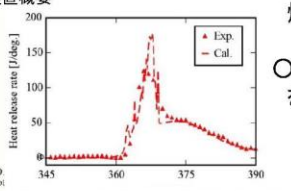
アンモニアの直接燃焼システムの開発



試験装置概要



パイロット噴射による未燃アンモニアの削減効果



シミュレーションと実験結果の比較（アンモニア混合吸気時）

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

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

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

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

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

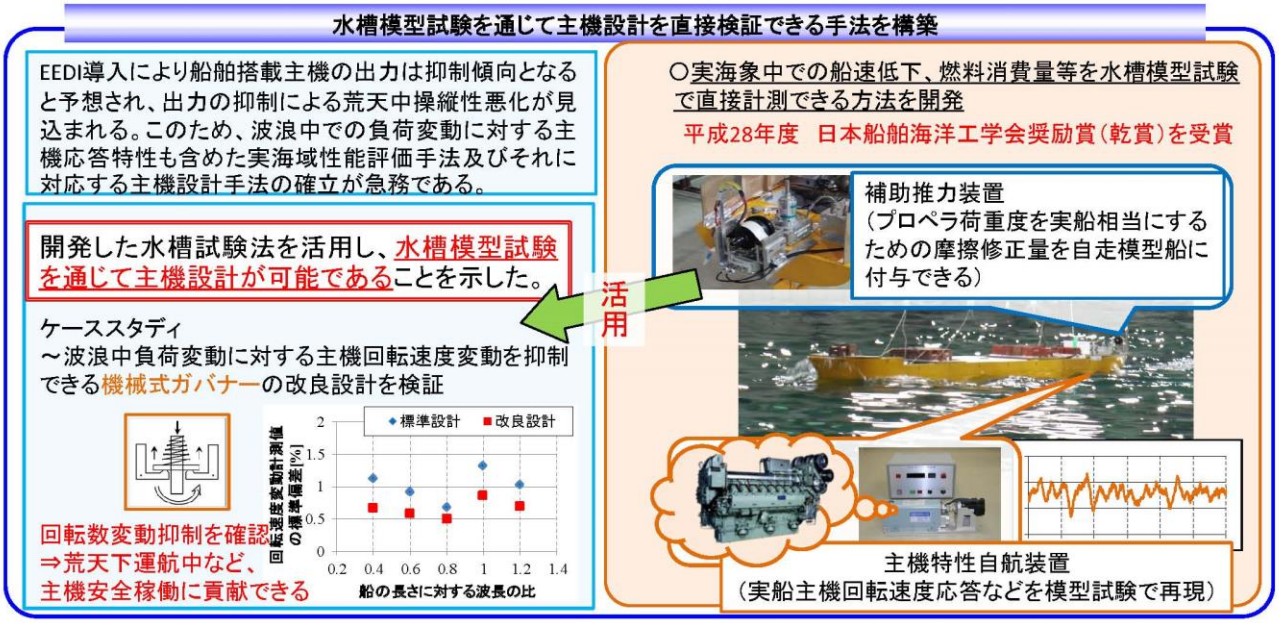
（科学研究費助成事業実施状況報告書（平成28年度））

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

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。



【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。

主な評価軸に基づく分析（基盤）

◎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技術を用いた画像処理による船舶検出技術は、海上交通における安全・安心の確保に貢献するものであり、社会的価値が大きい。

・水素エネルギーキャリアであると共にCO_2無排出燃料であるアンモニアを直接燃焼させる技術は、環境負荷の低減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。

⇒・AI技術を用いた画像処理による船舶検出技術は、船舶用では例を見ない取り組みであり、新規性が高い。

・アンモニア燃焼システムは、船舶用では例を見ない取り組みであり、本研究成果に基づき、29年度のSIP採用が決定している。

・波浪中のエンジンの応答まで考慮した推進性能に関する水槽試験技術の開発は、世界でも例を見ない取り組みであるが、今後の船舶実海域性能評価手法のさらなる発展につながるものであり、新規性、発展性が高い。

◎ 成果が期待された時期に創出されているか。

⇒AI技術を用いた画像処理による船舶検出技術については、海上保安庁「第3次交通ビジョン」（平成25年10月に答申された概ね5年間の施策）中のAIS非搭載船の動静把握システムに係る技術に関して、期待された時期に成果を創出している。

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

⇒・AI技術を用いた画像処理による船舶検出技術は、船舶用では例を見ない取り組みであり、国際的に見ても高い水準にある。

・舶用ディーゼルエンジンでのアンモニア直接燃焼は、国際的にも先進的な研究であり、我が国の国際競争力の向上につながるものである。

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

⇒水素社会の実現に向けて、エネルギーキャリアとしてのアンモニアに着目した先見性のある研究であり、更に研究を発展させるために5か年計画の年度途中からSIPを活用して研究を実施することとしている。

◆「国の研究開発評価に関する大綱的指針」に準じた終了重点研究の「終了時評価」

H28 年度

地域海上交通システムの再構築に関する研究　　：B

平成 28 年度終了課題評価シート（重点研究　課題別）

評価者	海技研研究計画・評価委員	日付	平成 29 年 5 月 31 日
評価対象期間	平成 28 年度		
課題名	**【24】地域海上交通システムの再構築に関する研究**		

第 1 期中長期計画記載の実施事項の達成度と研究開発成果の最大化

成果目標の達成度、および以下の評価ポイントを踏まえ、評点の記載をお願いいたします。

【評点】	□S	□A	■B	□C	□D

評価ポイント

①成果・取組が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。

②成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が十分に大きか。

③成果が期待された時期に創出されているか。

④成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか。

⑤萌芽的研究について、先見性と機動性をもって対応しているか。
（本研究課題は、社会的ニーズに対応し、社会的価値を生み出すことを主眼とした研究なので本項目は該当しない。）

コメント

□当初目標である各種評価手法・評価指標の開発とそれに基づく分析方法の提示は達成されている。ただし、分析までに終わっており、地域海上交通の再構築に具体的につながるような可能性が示されると、より成果の意義があったと考えられる。
□① 離島居住者の確保は我が国の領土保全上も重要な政策課題であり、それに貢献している。今後は、外海型の離島にも相当する検討が求められよう。
② 乗り換えの心理的負担を定量化しようとしたことは新規性があろう。
③ 時期に遅れず成果がでたと思われる。
④ 海外でシームレス運航の例もあると思われるので、成果を国際誌等に発表して評価を受ける必要もあろう。
⑤ 評価の対象外。
□①③は A
②④⑤は B-C の中間
本研究を終え、次は海技研にしかできないﾃｰﾏ構築を期待する。
□この研究は評価ポイント①に照らすと、研究の意味は大きかったかと思われる。ただ、②や③の成果が、分り難いものになってしまった感が有る。
報告にもあるが、観光客を対象にしたいのか、通勤・通学が対象なのか、完全な離島を対象にするのか、により方向も違うのかと理解する。最近、瀬戸内芸術祭で多数の外国人観光客を見かける様になり、その様なニーズのある所には、もっと革新的な交通手段の提供が待たれていると感じる。
□乗換負担評価指標の開発：離島地域全般に適用可能な評価手法を開発した。
□国土交通省「交通政策基本政策」における国の方針に合致し、人口減や高齢化に対応した地域交通の維持といった社会ニーズに対応した地域海上交通システムの再構築に資する研究成果を挙げたものと評価できる。
□当初設定の課題を確実に遂行していた.
研究成果の実社会に対する展開について検討し，次の課題立案に結び付けてほしい.
□平成 29 年度に予定していた課題まで前倒しで終了しており、成果の目標は達成されて

	いる。離島地域の海上交通の維持・発展を目指した研究であり、またバリアフリー技術基準は、交通エコロジ・モビティ財団の旅客船バリアフリーに関する委員会等の審議にも貢献しており、国の方針や社会のニーズに適合していると考えられる。シームレス運行システムやオンデマンド海上交通、海上タクシーの導入効果指標の開発は、科学的な意義があり、また成果は期待された時期に創出されている。 □陸海連携したシームレス運航システムの乗換負担評価指標の開発，および離島地域の観光魅力度の評価指標の開発を実施し，内海・本土近接型離島に適用することでその効果を確認している．また，提案手法が特定の地域のみではなく我が国の離島地域全体に適用できることも確認している． これらの成果は当初の目標と合致するものであり，期待通りの効果が得られたものと評価する． □当初計画に対して確実な成果を上げており、また、旅客船のオンデマンド交通の効果については前倒しで完了したことが評価できる。 □高齢化社会や地域過疎化への対策として、安全で安心な交通流の整備は不可欠である。 本研究課題では、具体的な対策としての、シームレス交通を提案するだけで無く、実践的に研究・開発を展開し、バスフロートなどの開発を実証している。また、研究においては、単なる製品開発だけに留まらず、その交通システムとしての評価軸についても具体的な提案がなされており、それらの点について大いに評価出来る。また、これらの研究計画を前倒して実施し、当該予定の研究期間を短縮してその成果を結実させていることは、総合的に見て、高い評価に値する。 これらを総合的に勘案して、Ａと評価する。
特記事項	

※評点の付け方として、国立研究開発法人の目的、業務、中長期目標等に照らし、法人の活動による成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」に向けて「**成果の創出**や**将来的な成果の創出の期待等**が認められる場合は「B」、**顕著な**成果の創出等が認められる場合、**「A」**、**特に顕著な**成果の創出や将来的な**特別な**成果の創出の期待等が認められる場合は**「S」**と付けて下さい。
※評価ポイントについて、評価者の判断の視点に該当する項目についてコメントの記載をお願いいたします。
※評点について、中間レベル（B）より低い評価をされた場合、その視点又は理由、改善(変更)すべき点を「特記事項」に記載願います。それ以外の評価をされた場合でも、その理由等を記載頂ければ有り難く存じます。

事務局とりまとめ欄

総合評価 **B**	S:0 A:2 B:9 C:0 D:0	

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（ＩＭＯ）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －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および船体構造モニタリングシステムプロトタイプのモックアップ版を作成する。 －液体水素等の新規貨物・燃料を扱う船舶導入や海上輸送形態の変化によるリスクを評価するためのリスクモデル、運搬時の事故シナリオ、荷役オペレーションを中心とした安全ガイドライン等の作成を行う。　等

研究の背景

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

□構造基準作成に資する体系化された荷重・構造強度評価システムの開発
□荷重・構造一貫解析システムの高度化、及び、設計海象設定手法の開発
□最先端の疲労強度評価法の開発
□最先端の船体縦曲げ最終強度評価法の開発
□リスク及び Reliability ベースの ALS（Accidental Limit State）設計手法の開発

研究目標

□荷重・構造強度評価（以下に開発する評価法等を含む）の統合プラットフォームの開発及び新構造基準案の作成
□強非線形荷重評価システム、及び、最悪海象・極限海象設定法の開発
□二軸載荷条件下の疲労き裂成長評価技術、及び、き裂成長則の知見を統合した疲労強度評価法の開発

□極限海象下での船体弾性応答計測技術、CFD や粒子法による流体・構造連成を考慮した波浪衝撃荷重推定法及び最終強度・残余強度評価法の開発
□ALS（Accidental Limit State）設計手法、船体最終強度信頼性評価システム、Multi-physics 非線形解析システムの開発
上記成果は、先進的な評価システム等の実用化及び新構造基準により、合理的な船体設計、高度な海難事故解析等が可能となり、船舶の折損事故等を防止することが期待される。また国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

(1 全体システム関係)
□トータルシステムの基本設計の骨子として、既に海技研で有している荷重推定法、荷重-構造一貫解析手法、及び、強度評価手法を技術モジュールとして適用し、全船荷重-構造一貫強度評価システム DLSA (Direct Load and Strength Analysis)-Basic の開発に着手し、凡そ完成した。
(2 荷重関係)
□上記小分類（1 全体システム関係）にて開発中である DLSA-Basic の線形ストリップ法ベースの運動・荷重計算モジュールとして NMRIW-Lite、並びに、非線形ストリップ法ベースの運動・荷重計算モジュールとして NMRIW-Ver2 の開発を完了した。
(3 疲労強度関係)
(3-1)
□位相差を有する 2 軸載荷条件下において、平板中（応力集中度 Kt = 1）の初期欠陥から発生・伝播し、初期に均衡成長、並びに、非均衡成長する表面き裂の疲労き裂成長履歴を検討した。
(3-2)
□マイナー則に基づく疲労被害度評価とき裂成長則との併用によって、より信頼性の高い疲労寿命評価ができるシステムの開発に向け、嵐モデルによって荷重履歴を考慮した疲労寿命評価を行うためのシステムを構築した。また、疲労設計の高度化を図るため、当該システムにより操船影響を考慮した疲労寿命推定を実施した。
(4 最終強度関係)
(4-1)
□斜波中を含む極限海象下での非線形流体-構造応答を解明するため、船体の縦曲げ剛性、捩り剛性、重量、慣性モーメント等の船長方向分布をできる限り実船相似にした弾性模型船の製作方法を検討した。
(4-2)
□流体構造連成解析を用いて、スラミングに続いて起こるホイッピング予測し、これを設計荷重として見積もるべき最大荷重を明らかにした。予測したホイッピング応答は、バックボーンコンテナ船模型実験結果と比較した。これまで、2 次元モデルに対して実績のある流体-構造連成解析を 3 次元モデルに拡張して、スラミング衝撃荷重とホイッピングを含む縦曲げ、水平曲げ、捩りモーメントの構造応答との連成解析を行う評価システムを構築した。
(4-3)
□船長方向に 1 軸圧縮を受ける防撓パネルの繰り返し座屈試験を実施し、防撓パネルに面外変形が蓄積されるかどうかを検証するとともに、動的陽解法 FEM 解析によるシミュレーションを実施した。
(5 リスク関係)
□ALS（Accidental Limit State）設計手法、船体最終強度信頼性評価システム、Multi-physics 非線形解析システムの開発

平成 28 年度の研究成果

(1 全体システム関係)
□全船荷重-構造一貫強度評価システム DLSA (Direct Load and Strength Analysis)-Basic の開発は、各種船型を対象とした検証の段階であり、今後は DLSA-Basic を基にトータルシステムの概念設計を行うことができる。
(2 荷重関係)
□上記小分類（1 全体システム関係）にて開発中である DLSA-Basic の線形ストリップ法ベースの運動-荷重計算モジュール NMRIW-Lite、並びに、非線形ストリップ法ベースの運動-荷重計算モジュール NMRIW-Ver2 の開発が完了し、それぞれプログラム登録を行った。これらのモジュールを用いて ISSC の研究委員会 II.2 のベンチマーク（実船の運動-構造応答解析）に参加した。今後は、最悪海象・極限海象設定法の開発を行う。

(3 疲労強度関係)
(3-1)
□図 3-1 に示すように、2 軸載荷条件下においても、初期に均衡成長する表面き裂は、単軸載荷条件下と同様な形状変化となることが期待される（非均衡成長する表面き裂については、疲労き裂伝播試験は終了し、現

在解析中である）。
□前年度実施した面外ガセット溶接継手を有する十字型試験片を用いた 2 軸載荷条件下における疲労き裂伝播試験については、外力及び残留応力による K 値、等価分布応力を用いた豊貞らの提案した疲労き裂推定手法により、精度良く疲労き裂伝播曲線を推定できることを示し、成果を公表した。
(3-2)
□疲労き裂成長則に基いて疲労寿命推定を行うため、全船 FEM 解析で得られた波浪中応力応答データから嵐荷重履歴を作成するプログラム、及び、ランダム荷重履歴でのき裂成長の遅延現象を再現可能なき裂成長プログラムを開発した。
□疲労設計の高度化を目標として、波浪中船速低下等の操船影響、及び、船体弾性振動の影響をマイナー則ベースで評価するシステムを構築し、これらの定量的評価を行った。
(4 最終強度関係)
(4-1)
□弾性模型船について、船型を発泡ウレタンで形成し、その内側に樹脂を貼り合わせて製作するという方法を検討した。弾性模型製作の予備段階として、発泡ウレタンと樹脂の複合材による弾性箱船を製作しており、この弾性箱船の曲げ試験、振り試験を実施している。
□一方向変調不安定波／フリーク波中の弾性模型船の曳航実験結果の解析を行い、コンテナ船に発生する縦曲げ荷重は、フリーク波の後方で定義される波高だけでなく、船体運動の位相や、フリーク波前後を含む波の形状やダイナミクスに影響を受けることを明らかにした。
(4-2)
□CFD と FEM の片方向連成システムを構築した。また、衝撃荷重及びホイッピング応答の再現性について、ストリップ法と 3D パネル法との比較によるベンチマークを行った。
(4-3)
□平成 28 年度は、1 軸圧縮用防撓パネル試験体を 4 体製作し、うち 1 体を単調載荷による座屈崩壊試験に、他の 1 体を繰り返し載荷試験（ただし、座屈変形累積後に単調載荷による座屈崩壊試験実施）に供した。マクロ弾性領域においても、繰り返し圧縮荷重を負荷することにより、防撓パネルに永久変形が累積されるプロセスを実験及び FEM 解析により検証した。また、繰り返し載荷による永久変形が生じた防撓パネルの最終強度は、単調載荷のみによる最終強度から大きく低下することはないことが明らかになった（図 4-3-3 参照）。
(5 リスク関係)
□荷重等の不確実性を考慮した評価手法構築のため、MATLAB を用いて、構造信頼性システムのベースを構築した。
□最終強度について、これまでは、静的な強度のみしか評価されてこなかったが、大型コンテナ船の折損事故を受け、スラミング荷重とホイッピングとの船体振動の関係を明らかにする必要があった。そこで、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開発した。従来の手法では、静的評価のみであり、動的影響については、考慮されていなかった。また、静的評価のみであったこともあり、荷重推定（荷重推定ツール）と強度評価（Smith 法）は独立であり、全く連成していなかった。このような評価方法では、荷重と応答の連成・同調を考慮した最終強度評価を実施することはできない。開発したモデルでは、スラミングの荷重周期を考慮するとともに、材料非線形（降伏後も正確に評価）、加工硬化（歪速度依存性）、慣性力影響、流体-構造連成影響を考慮できるモデルとした。固定端モデル、支持端モデル、Inertia Relief モデル、Spring モデルを検討したが、検討の結果、Spring モデルが最も合理的であることが分かった。
□当該モデルを用いた解析を実施し、スラミングの荷重周期と構造応答の関係を明らかにした。その結果、（今後、実船モデルにより妥当性検証が必要であるが）荷重周期が短い場合には、構造応答が小さくなりより大きな荷重まで耐えられること、同調周期では、構造応答が荷重より増加する可能性があることが確認できた（図 5-2）。これらの結果より、強度を上回る荷重が作用したとしても、作用時間が固有周期よりも短ければ、構造はより大きな荷重に耐えられる可能性があることが確認できた。逆に、強度より低い荷重が作用した場合に構造が崩壊するかどうかは今後の検討課題であるが、開発したモデルの拡張により確認できると考えられる。
□妥当性検証のためのコンテナ船モデルを整備した。平成 29 年度は、当該モデルで上記と同様の解析を行い、開発したビームモデルの妥当性を検証する。
□ビームモデルによる解析では、短時間で、様々な海象に対する構造応答評価を実施することが可能であり、海象のばらつき等を考慮した確率論的評価が可能となる。構造信頼性評価手法により破壊確率を推定することにより、将来的には、リスクベース設計へとつなげることが可能となる。

成果の公表

□出願特許：0 件

□プログラム登録：2 件

(2 荷重関係)

1) 花岡，村上，松井：NMRIW-Lite（プログラム登録），平成 29 年 3 月（登録決定）

2) 松井，村上，有馬，花岡：NMRIW_ver.2（プログラム登録），平成 29 年 3 月（登録決定予定）

□発表論文：17 件

(3 疲労強度関係)

(3-1)

1) K. Shimizu, K. Gotoh, Y. Anai, T. Niwa: Numerical simulation of fatigue crack propagation in an out-of-plane gusset welded joints under biaxial tensile loadings with different phases, (TEAM2016), Mokpo, Korea, OS211-2，平成 28 年 10 月（査読無）.

2) 清水啓司，後藤浩二，穴井陽祐，丹羽敏男：位相差を有する二軸載荷条件を受ける面外ガセット溶接継手の疲労亀裂伝播解析，平成 28 年度日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集，第 23 号，平成 28 年 11 月（査読無）.

(3-2)

3) 岡正義，丹羽敏男，髙木健：構造信頼性解析からみた疲労寿命評価に関する研究，平成 28 年度日本船舶海洋工学会春季講演会論文集，第 22 号，平成 28 年 5 月（査読無）.

4) 岡正義，田中義照：波浪中船速低下を考慮した疲労寿命推定に関する研究，平成 28 年度日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集，第 23 号，平成 28 年 11 月（査読無）.

(4 最終強度関係)

(4-1)

5) 宝谷英貴，谷澤克治，沢田博，早稲田卓爾：波群中のフリーク波とコンテナ船の縦曲げ荷重，平成 28 年度日本船舶海洋工学会春季講演会論文集，第 22 号，平成 28 年 5 月（査読無）.

6) 宝谷英貴，谷澤克治，沢田博，早稲田卓爾：波群中のフリーク波とコンテナ船の縦曲げ荷重（第 2 報）：平成 28 年度日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集，第 23 号，平成 28 年 11 月（査読無）.

7) H. Houtani, et. al.: Kinematics of freak waves in the ocean and ship response: 5th DNVA-RSE Norway-Scotland Wave Symposium（査読無）.

(4-2)

8) T. Takami, M. Oka, K. Iijima: STUDY ON APPLICATION OF CFD AND FEM COUPLING METHOD TO EVALUATE DYNAMIC RESPONSE OF SHIP UNDER SEVERE WAVE CONDITION, OMAE2017（査読あり）.

9) 高見：NAPA Steel を活用した船首スラミング問題に関する取組み、NAPA ユーザセミナー2016（査読無）.

10) C. Ma, M. Oka and K. Iijima: A numerical simulation for coupling behavior between Smoothed Particle Hydrodynamics and Structural Finite Element Method, MARSTRUCT2017（査読あり）.

11) 馬：粒子法ユーザカンファレンス（査読無）.

12) 高見：平成 28 年度 JASNAOE 秋季講演会（帆船）（査読無）.

(4-3)

13) Y. Tanaka, T. Ando, Y. Hashizume, A. Tatsumi and M. Fujikubo: Experimental study on cumulative buckling deformation of stiffened panel subjected to cyclic loading、MARSTRUCT2017（査読あり）.

14) 田中，安藤，橋爪，室，森下，辰巳，藤久保：繰り返し圧縮荷重を受ける防撓パネルの座屈変形累積について、平成 29 年度日本船舶海洋工学会春季講演会論文集，第 24 号，平成 28 年 5 月（査読無）.

(5 リスク関係)

15) 小沢，亀谷，山田：損傷を有したコンテナ船縮尺模型の船体縦曲げ最終強度に関する検討，平成 28 年度日本船舶海洋工学会春季講演会論文集，第 22 号，平成 28 年 5 月（査読無）.

16) 山田，亀谷，小沢：コンテナ船のハルガータ動的応答に関する基礎的検討平成 28 年度日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集，第 23 号，平成 28 年 11 月（査読無）.

17) Y. Yamada and Kameya: A Fundamental study on the Dynamic Response of Hull Girder of Container Ships due to Whipping, OMAE2017（査読あり）.

□受賞：0 件

参考図

(1 トータルシステム関係)

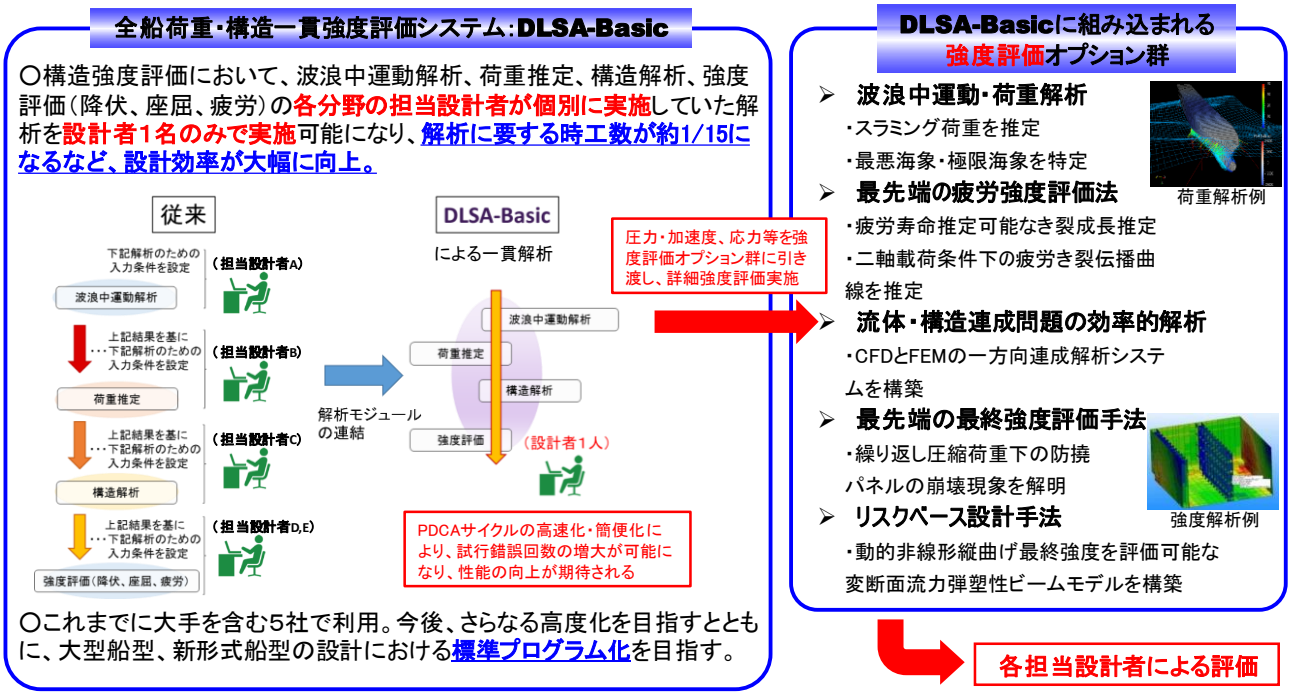


図 1-1　全船荷重・構造一貫強度評価システム（DLSA-Basic）の概念図

(2 荷重関係)

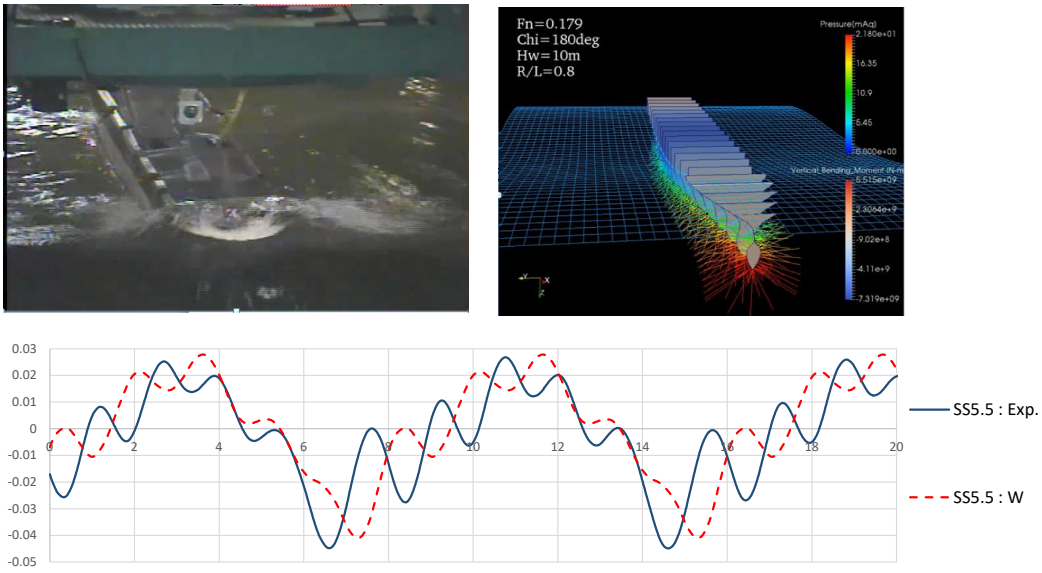


図 2-1　波浪中応答実験との検証比較（上：運動及び水圧、下：縦曲げモーメント）

(3 疲労強度関係)

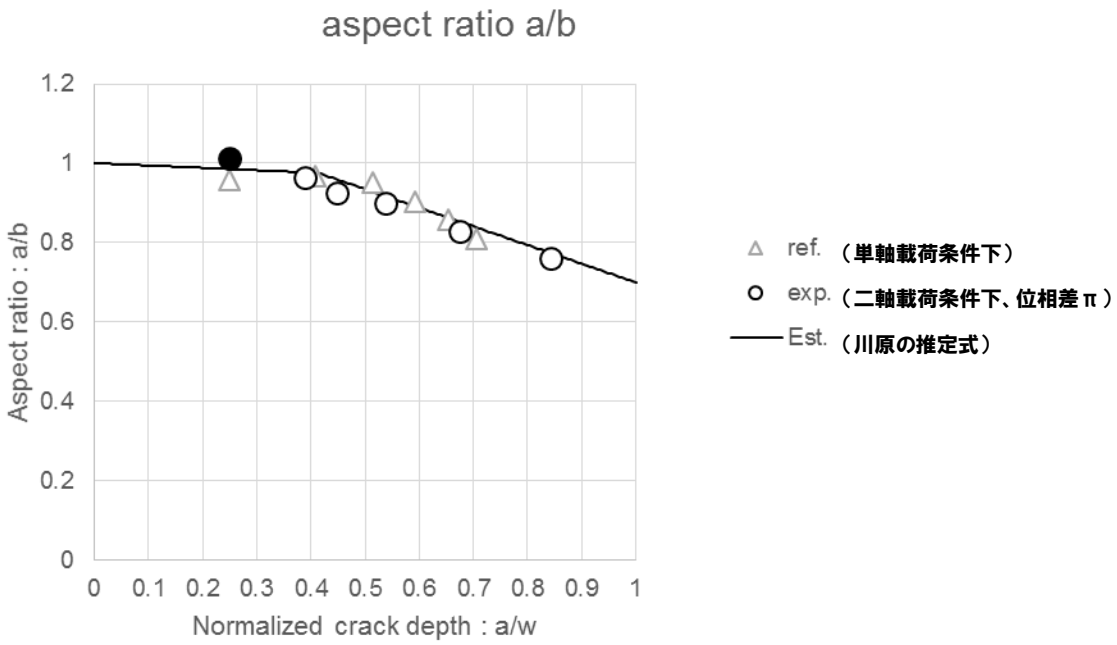


図 3-1　2 軸載荷条件下における疲労表面き裂の形状変化（平板、Kt = 1）

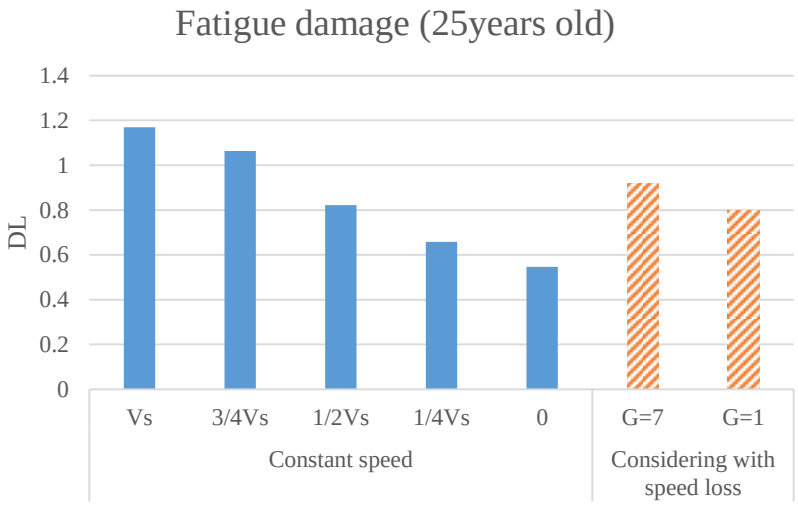


図 3-2　長期の疲労被害度に対する船速低下の影響

(4 最終強度関係)
(4-1)

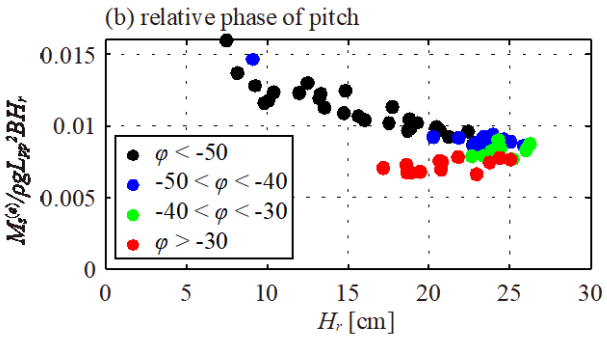


図 4-1　出会い波高に対する無次元縦曲げモーメント（出会い波成分）
（出会い波に対する縦揺れの相対位相で色分け）

(4-2)

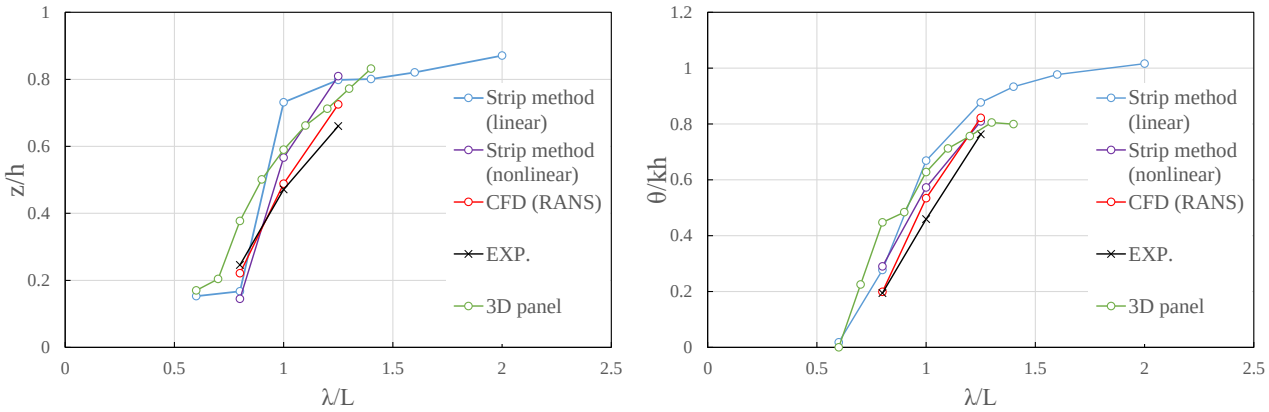


図 4--2　船体運動のベンチマーク結果例

(4-3)

図 4-3-1　防撓パネル試験体の繰り返し圧縮試験

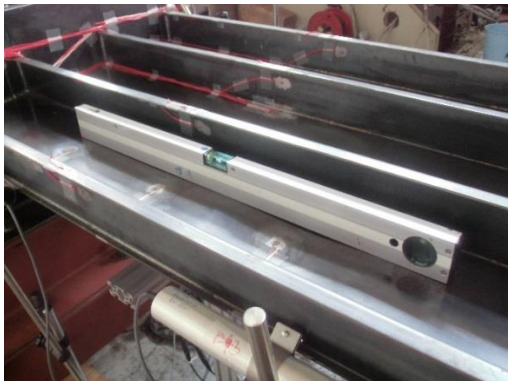


図 4-3-2　蓄積されたパネル面外撓み

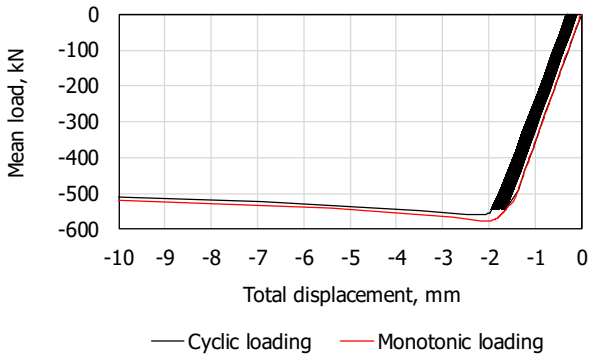


図 4-3-3　繰り返し試験による荷重ー圧縮変位関係（FEM）

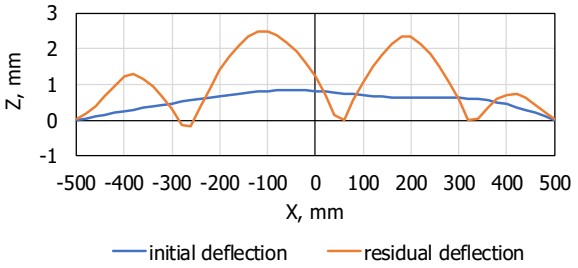


図 4-3-4　蓄積されたパネル面外撓み（FEM）

(5 リスク関係)

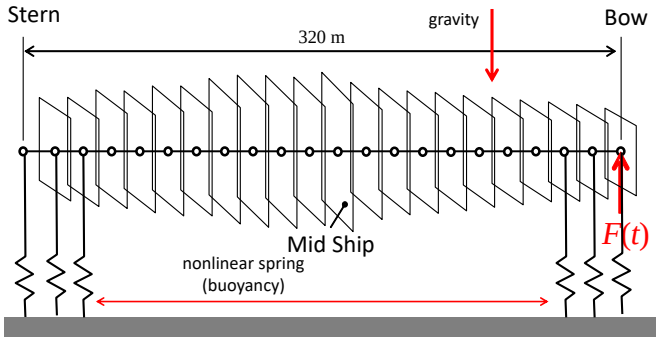


図 5-1　構造信頼性に動的縦曲げ最終強度評価に係る適用可能な変断面流力弾塑性ビームモデル

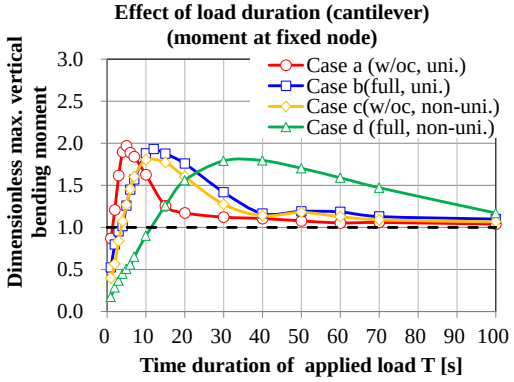


図 5-2　スラミング荷重周期と構造応答（動的応答係数 DAF）の関係（解析例）

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（ＩＭＯ）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －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および船体構造モニタリングシステムプロトタイプのモックアップ版を作成する。 －液体水素等の新規貨物・燃料を扱う船舶導入や海上輸送形態の変化によるリスクを評価するためのリスクモデル、運搬時の事故シナリオ、荷役オペレーションを中心とした安全ガイドライン等の作成を行う。　等

研究の背景

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

□船上モニタリングシステムの開発

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

研究目標

□構造設計と運航のリンクを高めた船体構造モニタリングシステムの開発及び操船支援用の評価基準確立および船体構造モニタリングシステムのガイドラインの作成

□モニタリングシステムにより蓄積されたデータを活用した構造強度評価等へのフィードバック手法の開発

上記成果は、モニタリングシステム等の実用化、ガイドラインの国際標準化により、合理的な船体設計、船舶の運航が可能となり、船舶の折損事故等を防止されることが期待される。また国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

□IMO の操船ガイドラインや ISO 規格等を参考として統合型船上モニタリングシステム用ガイドラインの目次案を構築した。
□運航モニタリングの情報や波浪中構造応答特性のデータを統合した統合型船上モニタリングシステムの概念設計を行い、システムのプロトタイプの開発に着手した。
□荒天下および荒天回避の際の操船支援用のモニタリング項目と閾値の開発に向け、船長等の経験者への聞き取り調査を実施し、航海系や機関系を含めて幅広く情報収集した。

平成 28 年度の研究成果

□船上モニタリングデータに基づく合理的な基準策定に関して IMO 文書を作成し MSC97 へ提出した。
□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。
□水槽実験のバックボーンモデル及び各種センサー及びデータ処理システム等が組み込める船体構造モニタリングシステムのプロトタイプのモックアップ版を作成した。
□船社、造船所、大学、船級協会で構成される大型コンテナ船シリーズ船の応力モニタリングプロジェクトに参画し、ユーザ視点に立った船体構造モニタリングシステムの実現に向けた調査研究を行った。
□応力モニタリングで得られたデータを統計解析して長期予測値及び累積疲労被害度を計算するプログラムを作成した。（図１）
□荷重構造一貫解析システムで計算される波浪中応力応答データから、設計波浪テーブルあるいは実航路データを用いて応力の短期予測、長期予測による最大応力及び疲労被害度を計算するプログラムを作成した。（図２）
□耐久性のある加速度センサのデータから船体応力を予測するため、MEMS 加速度計の信頼性の確認試験に着手した（F 社との共同研究）。
□船長協会への聞き取り調査を実施（２回）し、船が遭遇している波浪の実態や荒天下での操船方法、操船判断時の閾値（主に風・波浪等の外部条件）についての情報収集を行った。聞き取り調査結果を基に、アンケートを作成した。
□船社、造船所、船級及び大学に対し、上記アンケート内容に関する意見照会を実施し、アンケート内容・様式のブラッシュアップを行った。

成果の公表

□国際貢献 IMO 会議資料：
Integrated onboard monitoring system for safe and efficient ship operation(IMO/MSC97/inf)
□論文：
・岡正義　穴井陽祐、高見朋希、有馬俊朗：船体強度評価からみた荒天航行に関する予備的調査研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集第 24 号、平成２９年５月
・岡田哲男　川村恭己　豊田昌信　山内暁彦　加藤淳　安藤英幸　米澤挙志　木村文陽　有馬俊朗　岡正義　松本俊之　碇崎裕晃：14,000TEU 大型コンテナ船における船体構造ヘルスモニタリングに関する研究開発の概要、日本船舶海洋工学会講演会論文集第 24 号、平成２９年５月
・岡正義他：ホイッピングを考慮した疲労寿命推定と船上モニタリング，平成 28 年度（第 16 回）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研究発表会講演集，　2016.
□講演、その他
・有馬俊朗：「海技情報」船舶の構造安全評価について（その１～その５）、船長協会会誌「Captain」433 号～437 号
・Akira Ishihara（国交省海事局）：Evolution of Ship Safety and Technology、International Safety @sea conference 2016

参考図

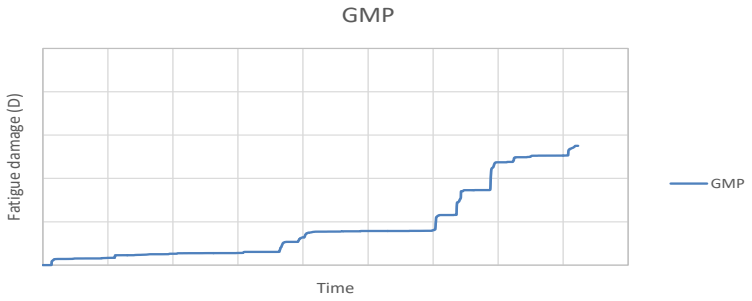


図１　大型コンテナ船で計測された応力を解析して得られた疲労被害度の進展曲線

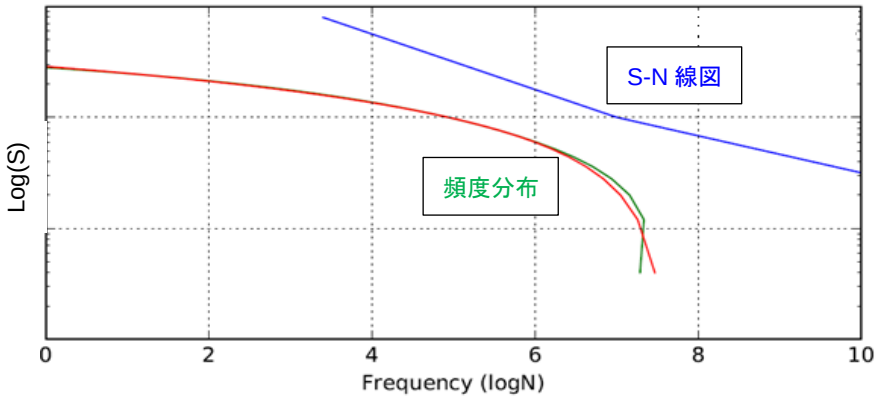


図２ 疲労被害度解析の例 S：応力範囲、N：応力サイクル数
（青線：S-N 線図、緑線：応力範囲の頻度分布、赤線：頻度分布のワイブル近似）

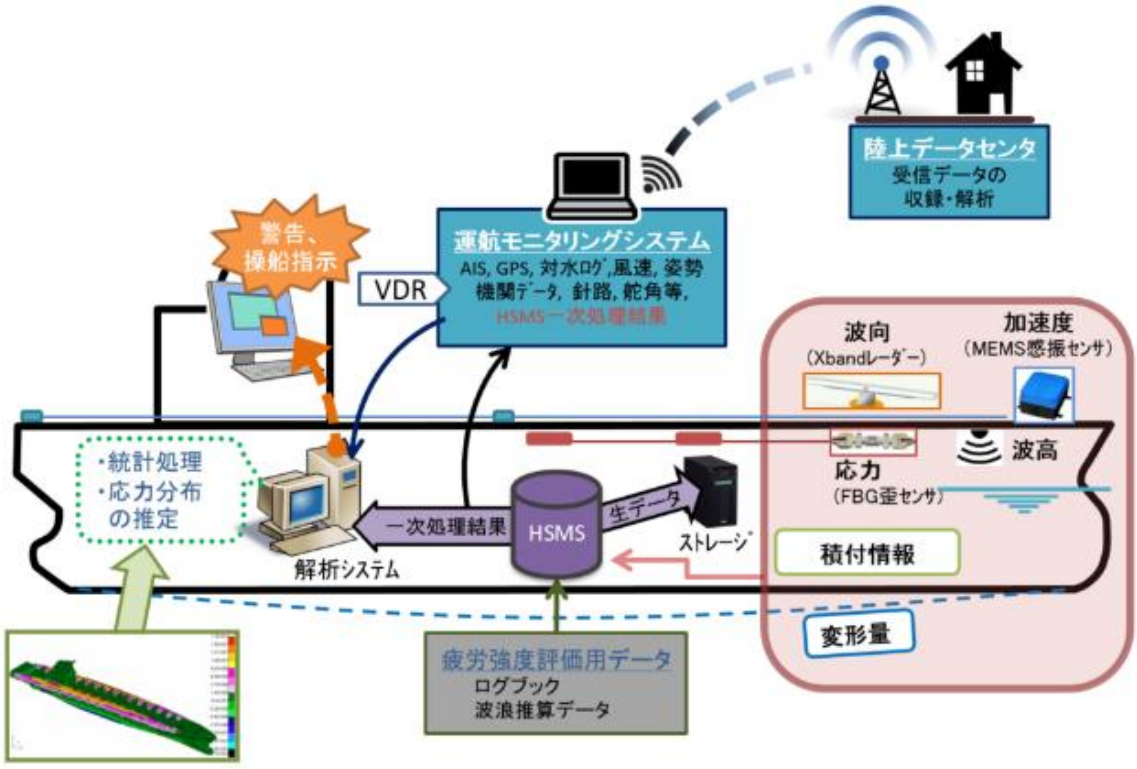


図３　統合型船上モニタリングシステムの概念図

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

研究テーマ	3. 液化水素運搬船及び低引火点燃料船等の設計のためのリスク評価手法の開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（ＩＭＯ）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －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および船体構造モニタリングシステムプロトタイプのモックアップ版を作成する。 －液体水素等の新規貨物・燃料を扱う船舶導入や海上輸送形態の変化によるリスクを評価するためのリスクモデル、運搬時の事故シナリオ、荷役オペレーションを中心とした安全ガイドライン等の作成を行う。　等

研究の背景

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

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

研究目標

□新規貨物・燃料を扱う船舶と海上交通上のリスク評価手法（以下を含む）を開発
・新規貨物・燃料に係るハザードと対策の明確化
・可燃性ガス等の漏洩の際の拡散状況と被害の予測手法
・安全対策の実施に係わる費用対効果の評価手法　など
□ 新規貨物・燃料を扱う船舶に関する安全基準案、リスクベース船舶設計ガイドライン案を作成

上記成果は、リスクベース船舶設計ガイドライン等の実用化、安全基準による新燃料輸送船等の安全が確保され、水素社会等の実現に向けた輸送体系が確立することが期待される。また国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

□ 液化水素運搬船等に対応したリスクモデルの構築
液化水素に関連する陸上等の事故事例、リスクモデルや LNG との物性の相違等について情報収集し、液化水素運搬船のリスクモデルを構築する。
□ 液化水素運搬船等に対応した被害影響評価手法の開発
船舶における液化水素運搬時の事故シナリオを作成し、被害影響評価に必要な条件等をとりまとめる。
□ 液化水素漏洩時の熱ー構造連成を考慮した、構造安全性評価手法ベース構築
□ 液化水素漏洩時の船体構造の事故限界状態設定手法の構築。
□ 液化水素運搬船の安全基準、ガイドライン等を策定する。

平成 28 年度の研究成果

□ 液化水素運搬船等に対応したリスクモデルの構築
陸上の水素貯蔵・補給施設については、米国 Sandia 国立研究所が開発した定量的リスク評価ツール (通称 HyRAM) について調査を行った。LNG 等の炭化水素に関連する情報として、英国 HSE が公開している漏えいデータ (通称 HCRD) および、Offshore Technology Report OTO 97 950 に基づいて整理された荷役設備等に関する事故統計データについて調査し、船舶における荷役設備、配管等からの漏えいに関するリスクモデルへの適用可能性が見出された。
□ 液化水素運搬船等に対応した被害影響評価手法の開発
米国 Sandia 国立研究所が開発した定量的リスク評価ツール (通称 HyRAM) に搭載されている水素ジェットの拡散モデルについて調査を行った。Sandia レポートに記載されている基礎方程式に基づいて、常温水素ジェットに関する拡散コードを作成し試計算を行った結果、既存の水素ジェットに関する実験を良好に予測することが確認できた (図 1)。
□ 液化水素運搬船からの液化水素漏洩による構造破壊リスクについて、脆性破壊の専門家を交えてヒアリング等を行った。
□ ベイジアンネットワークを用いて、液化水素運搬船の構造破壊リスクモデルの Coarse Risk モデルを構築した(図 2)。
□ 液化水素の漏洩リスクについて、構造リスクの観点から、文献調査を行った。
□ IMO の液化水素運搬船の安全基準に関する暫定勧告が策定された。
□ IGF コードで要求されるリスク評価の標準方法として、天然ガス燃料船のリスク評価ガイドライン、FMEA の実施に関するガイドライン、代替設計及び配置の認証のためのガイドラインの作成を行った。
□ 船級検査で要求される衝突・接触リスク評価の標準評価法として、衝突・接触の定量評価方法 (QRA) の作成を行った。
□ IGF コードで要求される LNG 漏洩頻度等の標準解析法として、LNG 配管からの漏えいに関する調査を行った。
□ IGF コードで要求される LNG 漏洩時の必要通風量の標準解析法作成のため、タンクコネクションスペース内の LNG 流出時における圧力上昇の解析方法に関する調査、閉鎖場所または半閉鎖場所で LNG 流出時における必要通風量の解析に関する調査を行った。
□ IGF コードで要求されるリスク評価の標準信頼性データの作成のため、船舶関連機器の故障発生確率に関する調査、LNG 燃料関連装置等の船舶関連機器の取扱いに係る人的過誤確率に関する調査、船舶の海難事故発生頻度及び被害度の推定に関する調査、船舶の火災・爆発事故の発生頻度及び被害度の推定に関する調査を行った。
□ 改正 IGC コードで要求されるリスク評価の標準評価法作成のため、貨物関連制御装置の故障発生時の影響の推定方法に関する調査を行った。
□ 液化水素運搬船のリスク評価として、液化水素運搬船の HAZID, HAZOP 分析を行った。

成果の公表

□発表論文：
1) 木村，岡(秀)，岡(泰)：低密度ガスプルームの発達過程における空気連行に関する数値解析，安全工学シンポジウム 2016 講演予稿集
2) 木村，岡(秀)，岡(泰)：低密度ガスプルームの発達過程に関する数値解析，第 49 回安全工学研究発表会講演予稿集

□船級協会ガイドライン資料 (いずれも今後発行予定)：
1) 天然ガス燃料船のリスク評価ガイドライン IGF コード関係)
2) FMEA の実施に関するガイドライン (IGC コード関係)
3) 代替設計及び配置の認証のためのリスク評価ガイドライン (Circ.1455, Circ.1002 及び Circ.1212 関係)
4) 技術附属書　衝突・接触の定量評価方法 (QRA)

参考図

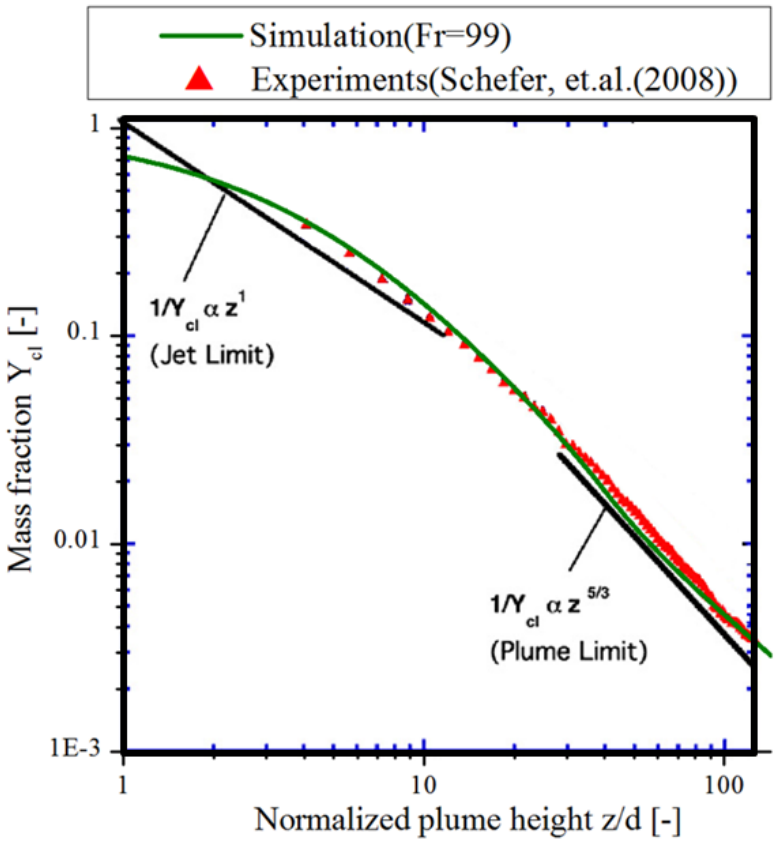


図１　水素ガス噴流の主軸上濃度の実験値との比較

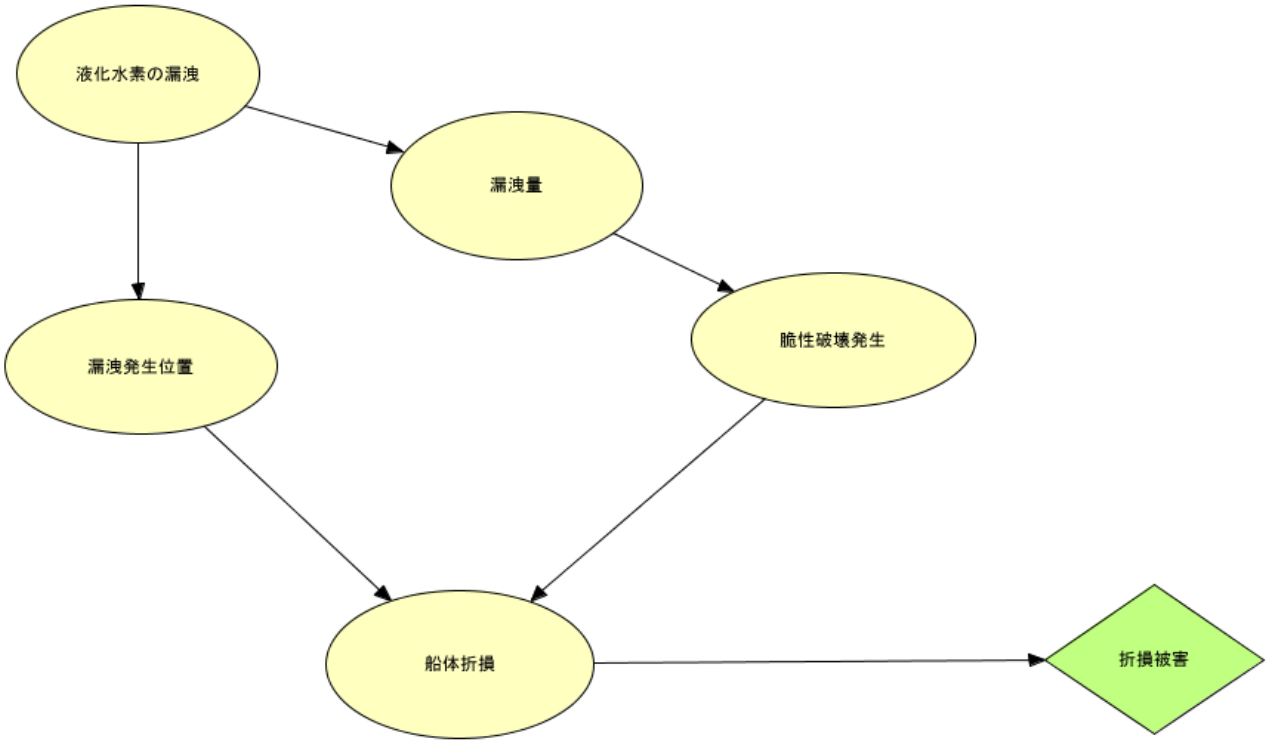


図２　ベイジアンネットワークによる液化水素漏洩リスクモデル

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

研究テーマ	4. 安全運航に必要な操船性評価手法の開発及び基準化に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（ＩＭＯ）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －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および船体構造モニタリングシステムプロトタイプのモックアップ版を作成する。 －液体水素等の新規貨物・燃料を扱う船舶導入や海上輸送形態の変化によるリスクを評価するためのリスクモデル、運搬時の事故シナリオ、荷役オペレーションを中心とした安全ガイドライン等の作成を行う。　等

研究の背景

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

□衝突回避能要件の研究

□荒天下の操船安全性に関する研究

研究目標

□衝突事故を防ぐための船舶の操縦性能要件と基準案を作成

□荒天下の操船性能評価手法を確立し、合理的な最低出力と操船安全性に関する基準案を作成

上記成果は、合理的な操縦性能基準等により、衝突事故が軽減されるとともに、荒天下での安全性の向上が図られことが期待される。また国際ルール形成への戦略的な関与により、我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

□最低出力暫定指針のレベル２手法を既存船に適用し、EEDI 規制との関係から生じる問題点を抽出し、高揚力舵の適用方法等の技術要素の検討を行う。EU プロジェクト SHOPERA、オランダ海事局との連携を図り IMO/MEPC で 2017 年に改訂される予定の最低出力指針の動向を調査する。

□荒天下の操船性能評価のための計算手法で用いるべき座標系の選択と運動方程式の定式化し､各種流体力と船体動揺の実用的計算手法の基礎を構築する。荒天中の船体動揺を推定し得る計算手法の基本方針の立案のために、実海域再現水槽で波浪中の模型試験を実施し、船体動揺に関する基礎データを取得する。

平成 28 年度の研究成果

□最低出力暫定指針のレベル２手法に対する高揚力舵の適合性評価を行った(図 1,2)。SHOPERA ワークショップ及び個別会合、日本－ギリシャとの会合に参加し、日本のプロジェクト実施内容の説明を行い、関係者との意見交換を行った。その結果、日本のプロジェクトの情報提供を IMO に行い、2017 年に改訂提案する最低出力指針の日本提案に反映した。なお、当初、気象・海象は船の長さにかかわらず BF8 かつ有義波高 5.5m と一律にしていたが､本提案では小型船に対して想定有義波高を段階的に下げることにより､現実的な基準となった。

□荒天下操船性能の計算法を定式化して波浪中の 6 自由度操縦運動・船体動揺推定プログラムの基礎を構築した。波浪中自由航走模型実験を実施して本プログラムの基本的妥当性を確認した(図 3,4,5)。自由航走模型実験で実船の操縦性能を直接評価する舵効き船速修正に主機の作動制限を考慮する方法を提案するとともに波風中の模型実験に適用して主機制限が波風中の船速応答等に与える影響を実験的に明らかにした(図 6)。

成果の公表

□プログラム登録：1 件

操縦性能試験オンライン解析プログラム, P 第 10627 号-1(2016.5.20.), 鈴木良介, 北川泰士, 上野道雄

□発表論文数：10 件(うち査読論文 2, 国際研究集会 1)

鈴木良介, 塚田吉昭, 上野道雄, 舵効き船速修正法の実験的検証, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, 16, 2016

上野道雄, 塚田吉昭,補助推力装置付き自走模型船を使った停止試験の方法, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 22, 2016

UENO, Michio, TSUKADA, Yoshiaki, Stopping Test Method for Free-running Model Ship Equipped with Auxiliary Thruster, OMAE2016, 2016.

UENO, Michio, TSUKADA, Yoshiaki, Estimation of full-scale propeller torque and thrust using free-running model ship in waves, Ocean Engineering, 120, 2016

UENO, Michio, SUZUKI, Ryosuke, TSUKADA, Yoshiaki , Estimation of stopping ability of full-scale ship using free-running model, Ocean Engineering, 130, 2017

UENO, Michio, TSKADA, Yoshiaki, SUZUKI, Ryosuke, Free-running model ship test for estimating full-scale performance at actual seas, Conference Proceedings, 23 JASNAOE, 2016

UENO, Michio, OHMATSU, Shigeo, CHIAKI, Sadayosi, Estimation program for steady wave loads on ships at zero forward speed using database, Papers of NMRI, 16-3, 2017

上野道雄, 鈴木良介, 塚田吉昭, 舵効き船速修正と風荷重模擬装置を使った自走模型船による実船の実海域性能評価, 実海域推進性能研究会, 2016.4.

鈴木良介, 上野道雄, 自由航走模型試験のための風荷重模擬装置の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 23, 2016

鈴木良介, 塚田吉昭, 上野道雄, 自由航走模型試験における舵効きと船速の修正について(続報)-模型実験-, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 23, 2016

□IMO 文書： 1 件

Report of JASNAOE research project for determining minimum propulsion power, Submitted by Japan, MEPC 70/INF.35, 19 August 2016

参考図

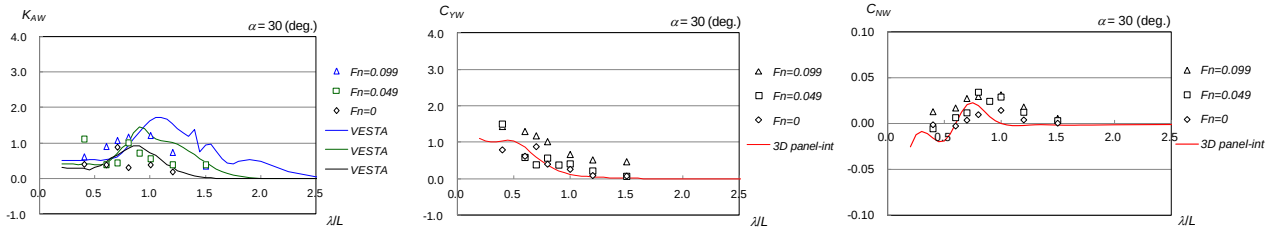


図 1 波浪定常力の水槽試験結果と計算の比較

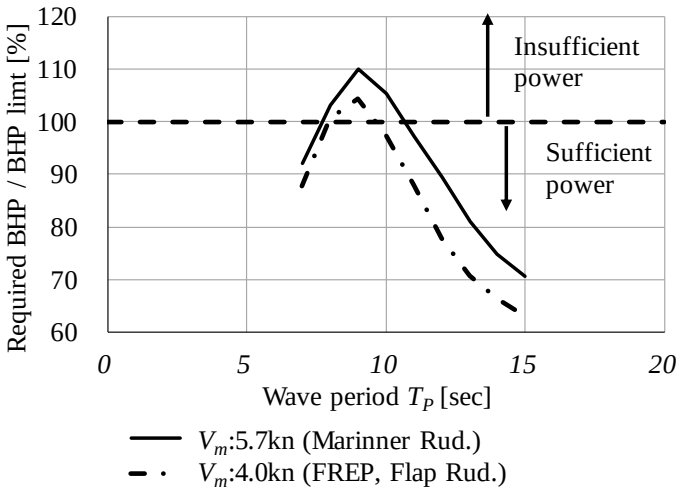


図 2 高揚力舵（Flap 舵）の最低出力暫定指針のレベル２評価

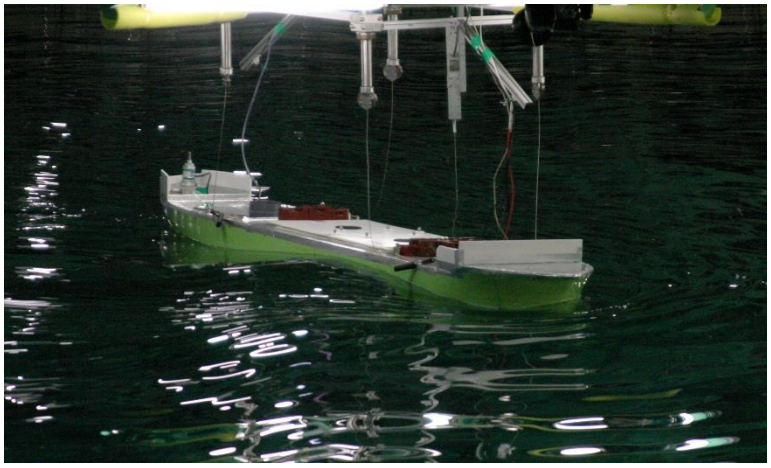


図 3 規則波中の操縦性能模型試験の様子(KVLCC1，右 35 度旋回試験、波高船長比 1/50，波長船長比 1.0)

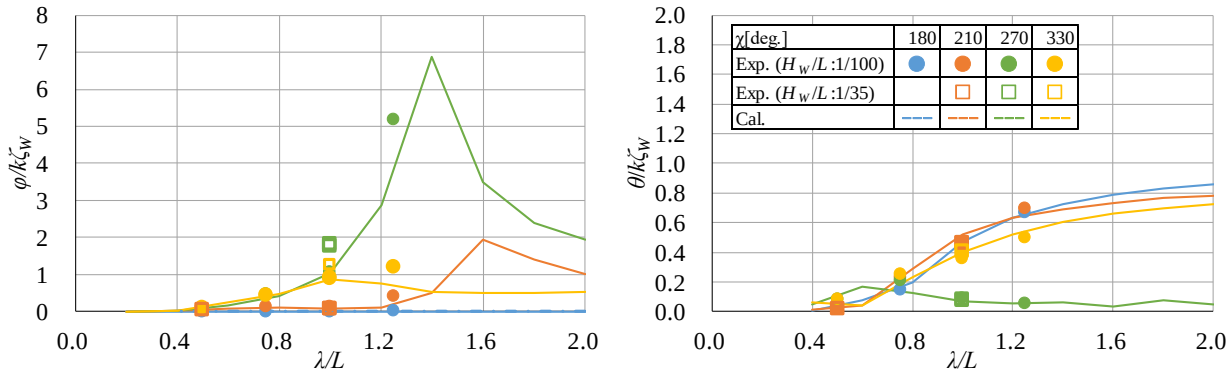


図 4 タンカー船型 KVLCC1 の正面規則波中横・縦揺応答関数の比較(左図：横揺れ、右図：縦揺れ)

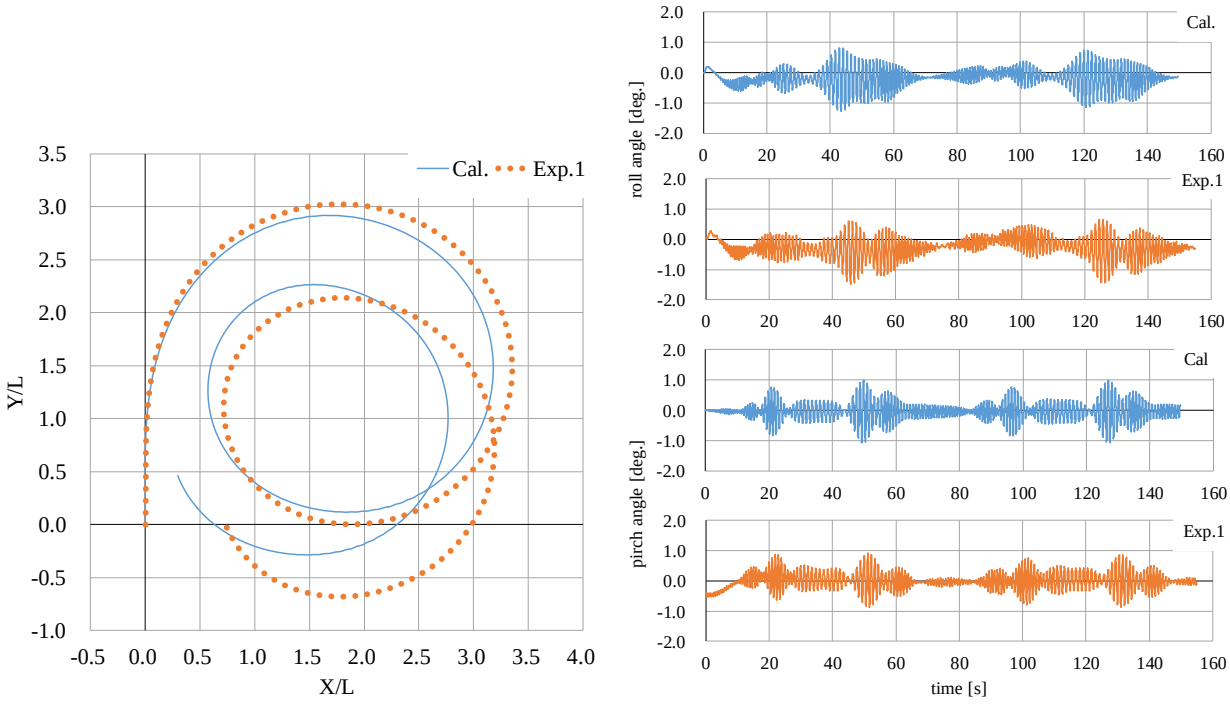


図 5 タンカー船型 KVLCC1 の規則波中右 35 度旋回試験の航跡と横・縦揺れの比較(操舵開始時正面向波、波高船長比 1/100，波長船長比 0.5)

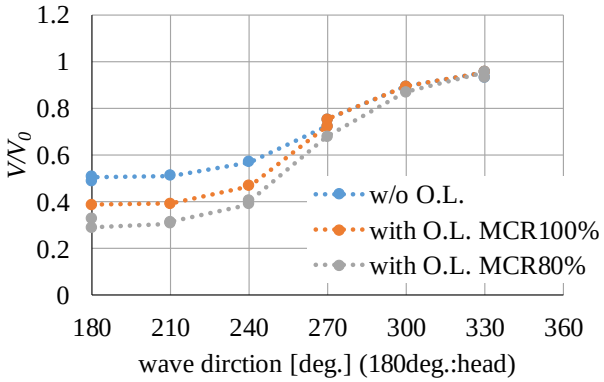


図 6 舵効き船速修正に主機の作動制限を考慮する方法を適用した波風中の船速低下(一方向不規則波、有義波高 7m，平均波周期 10.2s，一様風、風速 22.7m/s)
(青点，主機作動制限を考慮していない実験値；橙色・灰色，同制限を考慮した実験値：主機作動制限，連続最大出力 MCR をもとに推定，主機の作動制限を考慮することで向波での船速低下が大きくなる)

研究開発課題	(2) 海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（ＩＭＯ）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（ＩＭＯ）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 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 －輻輳海域及び準輻輳海域における航行困難の要因調査により進路交差部等交通流の配置に起因する安全航行上の問題点を抽出する。　等

研究の背景

輻輳水域における航路閉塞や多数の死傷者が発生するなどの社会的影響が著しい大規模海難の発生防止等船舶の安全性向上及び船舶運航の安全確保や小型船舶の安全対策の推進が必要とされている。このため、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発する。具体的には、

□衝突事故及び乗揚げ事故等の回避・予防技術の開発に関する研究
□遠隔計測による運航状況分析技術の開発に関する研究
□損傷時安全基準に関する研究

研究目標

□制動能力や旋回性能を向上させるための回避行動促進装置、緊急時自動衝突回避システムの開発
□小型船の航行支援技術の開発
□遠隔計測により運航状況の危険性を把握する船体運動状況分析技術の開発
□損傷時船舶の安全性を確保するための基準体系の確立

上記成果は、緊急時自動衝突回避システム等の実用化、損傷時船舶の安全性を確保するための基準体系の確立等により、海難事故及び事故に伴う被害の減少が図られることが期待される。また国際ルール形成への戦略的な関与により、我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

□海難審判庁の裁決録から貨物船が関係した衝突事故を 50 件抽出し、事故時の詳細について調査を行い、衝突事故の発生状況を分析した。次に、分析結果に基づき、衝突を回避するための適切な操船を行う衝突回避装置の検討を行った。
□船社、航海機器メーカーへのヒアリング調査を踏まえて、何らかの理由（無人船橋等）で、相手船との異常接近となった場合に、自動的に避航を行う緊急時自動衝突回避システムのコンセプトを作成した。
□スマートフォンを活用した小型船の衝突乗揚げ防止支援方策を検討し、小型船の衝突乗揚げの防止支援を行

うアプリ開発のためのガイドラインに反映させた（海事局請負研究で実施）。具体的には、アプリ開発に必要な、他船の近接警告及び危険海域への近接警告、通信頻度等に必要な要素を検討し、各種指標案等を策定した。これら指標案等を評価するためのシナリオに基づき、シミュレータ及び海上実験（図 1 参照）を行い、各種指標案の具体的な数値等の評価と確認を行った（図 2 参照）。また、アプリ開発上の注意点の抽出、警告等の発報条件の策定等を行った。

□運輸安全委員会の船舶事故調査報告書及び海難審判裁決録に記載された、波浪中の転覆、沈没、船体傾斜事故を分析し、事故関連要因の抽出・類型化を行った。

□旅客船損傷時のハザード及び安全対策を抽出し、リスク評価モデルを作成した。

□損傷船舶の波浪中運動推定法の検討と試計算を行った。

平成 28 年度の研究成果

□貨物船が関係した衝突事故を 50 件の事故時の詳細について調査・分析した結果、①衝突事故で危険を認知してから衝突に至るまでの時間は 2 船間で異なり、そのうち短い方の時間が 1 分を下回るものが 9 割程度であること、②船首が相手船の船首・船尾付近に衝突する事故の割合が多く 7 割程度あることが分かった。これらの事故を回避するためには、減速しつつ操舵が可能な衝突回避装置が適切と考え、プロペラへの流入速度を増速し、通常時とほぼ同様に操舵が可能な装置の検討を行った。その結果、シミュレーション計算では減速の程度は小さいものの比較的早い段階から効果があることが確認された。

□異常接近時の相手船を船舶自動識別装置、レーダー、及び、画像処理により検出・動静把握を行い、衝突直前時に大角度変針や急減速を自動的に制御する緊急時自動衝突回避システムのコンセプトを作成した。また、このシステムでは、電子海図も活用し、同時に乗り揚げ防止も考慮したコンセプトとした。

□小型船の衝突乗揚げの防止等の支援を行うスマートフォンアプリ開発に必要な、他船回避警告、危険海域回避警告等の各種指標案等を求め、国土交通省が作成するアプリ開発のためのガイドラインに反映させた。国土交通省は「船舶事故防止スマホアプリの安全ガイドライン」を平成 29 年 3 月 16 日に公表した。

□波浪中の転覆、沈没、船体傾斜事故要因分析用チェックリスト（表 1）を作成・適用することで、波浪中の海難事故要因を類型化するとともに、転覆事故の類型化要因毎に対策を系統的にまとめた（図 3）。

□旅客船損傷時のハザードとして衝突事故、安全対策として要求区画指数 R の変更を考慮したリスクモデルを Event Tree により構築し、初期事象の発生頻度や各ヘディングの分岐確率を乱数として与えるモンテカルロシミュレーションプログラムを開発した。

上記プログラムを用いて、要求区画指数 R が現行規則の場合及び変更した場合の人命損失リスク（PLL, Potential Loss of Life）及びコストをそれぞれ計算し（図 4）、そこから規則変更によるリスク減少量（⊿PLL）とコスト増加量（⊿Cost）、IMO における規則制定手法 FSA の費用対効果評価指標 GCAF（⊿Cost／⊿PLL）を求め、要求区画指数 R 見直しに関する費用対効果の検証を実施した。

□損傷船舶の波浪中運動推定法を行うには損傷口の大きさ、場所、形状、内部区画の再現性などを考慮する必要があることから、流体の分裂合体に強いメッシュフリーの粒子法（MPS 法）を用いた検討を行い、粒子法とストリップ法を用いた損傷船舶の浸水時動揺推定計算法（図 5）を開発し、模型実験結果と比較することで流体力も含めて精度良い推定が可能であることを確認した（図 6、図 7）。更に、シミュレーション計算で波浪場を再現するための造波境界と透過境界を開発し、その有効性を確認した（図 8）。

成果の公表

□柳、田口:「小型船舶の波浪中転覆事故要因の類型化に関する研究」日本航海学会講演予稿集 4 巻 2 号, 2016.

柳、田口：「小型船舶の波浪中転覆事故要因の類型化に関する研究」日本航海学会論文集第 136 巻, 2017.（投稿中）

柳、田口：「類型化要因による波浪中事故の分析」日本航海学会講演予稿集 5 巻 1 号, 2017.（発表予定）

□T. Yuzui, F. Kaneko.: Risk Analysis in terms of damage stability of Passenger/Cruise Ship based on Event Tree Analysis, Proceedings of TEAM 2016, 2016.

柚井、金湖：「旅客船の要求区画指数見直しに関する予備的 FSA」日本船舶海洋工学会講演会論文集第 23 号, 2016.

□Hirotada Hashimoto, Kouki Kawamura, Makoto Sueyoshi: A numerical simulation method for transient behavior of damaged ships associated with flooding, Marine CFD, 2017. (投稿中)

河村昂軌, 橋本博公,小野寺直幸：「損傷浸水した車両区画の強制動揺シミュレーション」日本船舶海洋工学会春季講演会, 2017. (投稿中)

河村昂軌,小野寺直幸, 橋本博公, 松田秋彦：「GPU クラスタを用いた MPS 法の海水打ち込みを伴う船体動揺シミュレーションの開発」 , 2017. (投稿中)

参考図

図 1 小型船の他船回避警告の海上模擬実験の様子

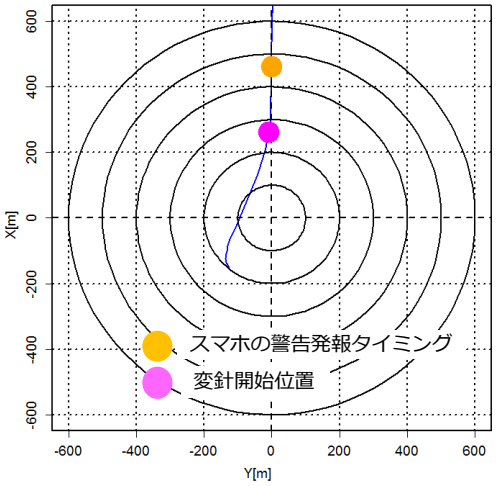
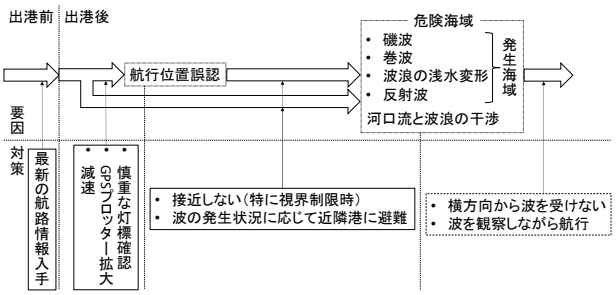


図 2 他船回避警告発報距離の妥当性確認海上実験の結果例
相手船を中心とした自船相対航跡

表 1 波浪中の海難事故分析チェックリスト

要因	関与	順序	詳細要因
悪天候での出港/航行継続	有・無		
危険区域航行/停船	有・無		
変針/発進不能 ・ 不適切な操船/制御不能	有・無		
人、物の搭載/移動	有・無		
暴露甲板への打ち込み/流入 ・ 船内浸水	有・無		
風圧による過度な傾斜	有・無		

図 3 「危険区域航行/停船」要因に対する対策



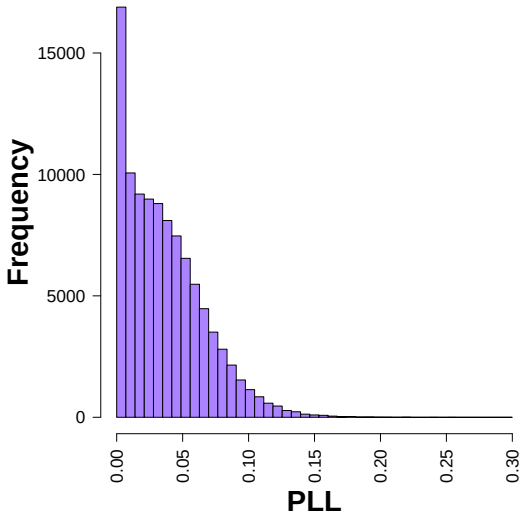


図 4 PLL のヒストグラム

図５　粒子法とストリップ法を用いた損傷船舶の浸水時動揺推定法の開発

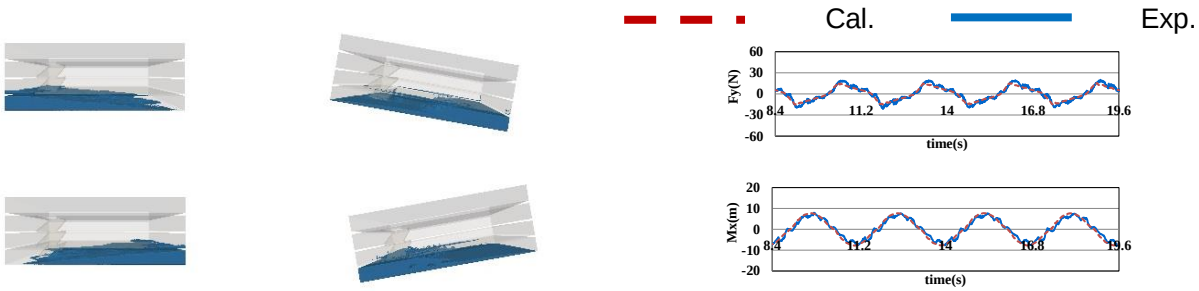


図６　水が滞留した車両区画模型の強制動揺シミュレーション結果（横揺れ振幅 10 度）
滞留水が車両移動用のスロープを上って上の区画に移動することが再現されているほか（左図）、区画模型に作用する流体力が高精度に推定されている（右図）。

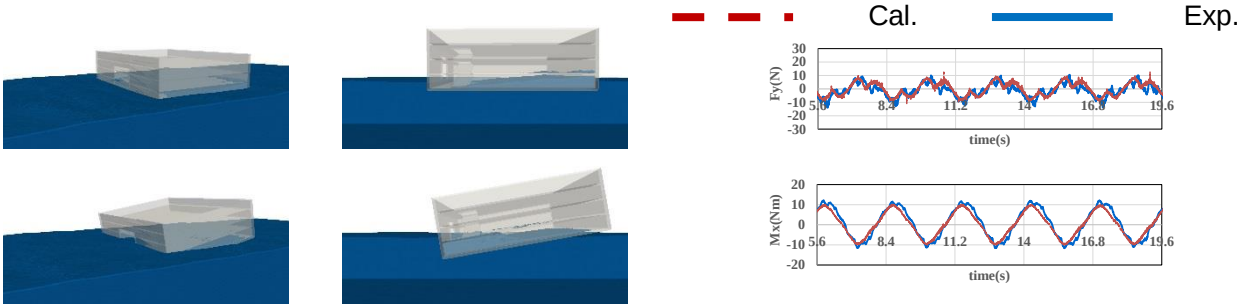


図７　損傷口からの流入流出を伴う車両区画模型の強制動揺シミュレーション（横揺れ振幅 10 度）
損傷破口からの流入、流出が再現されているほか（左図）、区画模型に作用する流体力が高精度に推定されている（右図）。

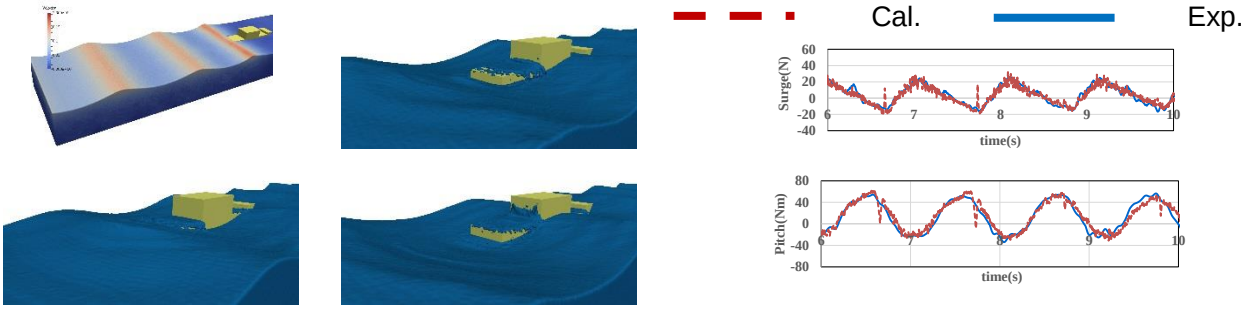


図８　漁船区画模型への海水打ち込みシミュレーション
船尾からの海水打ち込みが再現されているほか、漁船模型にかかる流体力が高精度に推定されている（右図）。

研究開発課題	(2) 海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（ＩＭＯ）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（ＩＭＯ）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 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 －輻輳海域及び準輻輳海域における航行困難の要因調査により進路交差部等交通流の配置に起因する安全航行上の問題点を抽出する。　等

研究の背景

海上保安庁においては､輻輳海域や準輻輳海域として交通量が多く複雑な進路交差が生じている海域に力点をおいて安全対策等を推進していくこととしており、具体的な対応が求められている。このため、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発する。具体的には、

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

研究目標

□現在の交通に対する問題点の特定と安全目標の立案に必要なツール群
□準ふくそう海域等における交通流制御規則の設計手法
□交通流制御規則適用時の交通の予測とその際の安全性評価指標
□実際の海域における新たな交通流制御規則

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

平成 28 年度の研究内容

□海上保安庁における第３次交通ビジョンの一環として、推薦航路を設定する次の候補海域の選定し、交通流シミュレーションによる安全性評価のための基礎調査を行う。
□衝突海難の発生に影響する外的要因として、交通流に起因する操船困難があると考えられる海域の特徴と、それぞれを緩和する安全対策の設定するための基礎情報を整理する。

平成 28 年度の研究成果

□運輸安全委員会による船舶事故調査報告書のうち、近年の情報をデータベース化した上で、検討に必要な情報の提供方法の検討を行った。具体的には、運輸安全委員会より提供された直近のデータのうち、約 3000 件につき、データの構造化処理を行った。

□AIS データより、最近の全国の通航量を解析し、運輸安全委員会ホームページにて提供されている船舶事故ハザードマップのハザード情報の更新データ (全国 1 分メッシュ、遠州灘及び瀬戸内海各 0.2 分メッシュ通航量データ) を同委員会事務局に提供した(図 1) (年度内に同ホームページ上で新データに更新予定)。

□運輸安全委員会、海上保安庁との共同研究等への使用のため、AIS データベースを増設し、直近のデータを追加すると共に、解析ツール AIS Analyzer の整備を行った。

□対象海域における船舶の交通状況を分析するための AIS データを活用した船舶交通状況分析ツール（TrafficStateAnalysisTool）の整備を行った。このツールでは、OD（Origin and Destination）調査を行い交通流シミュレーションの基礎データとなる船舶の時間帯別通航隻数や通行位置分布・航行速力などの分析に加え，論文で公表されている数種類の衝突危険度の評価指標により船舶の衝突危険度を算出し、その結果を地図上に可視化を行うことができる。図 2 は、OD 調査結果の一例として、友ヶ島水道と御前崎沖を航行する船舶の航跡と通航位置分布を示したものである。

□海上保安庁との共同研究として、AIS データ解析ツール（AIS Analyzer）や TrafficStateAnalysisTool を用いて、潮岬沖～大王埼沖に至る海域での交通状況の事前解析および衝突事故の分析を行った。図 3 は、1/60 度（1 分）長さのゲートを設定し、1 日当たりに通過する船舶数を計測した通航密度分布図である。分析結果から大王埼沖よりも潮岬沖の方が船舶の通行位置が集束しており衝突発生回数も多いことがわかった。その結果から、大きい一つの集束している交通流を整流することに推薦航路設置の条件が限定されること、推薦航路によってより高い事故の抑制効果が期待できることを考慮して潮岬沖を推薦航路の設置候補として選定した。本年度の検討をもとに、次年度に当該海域での推薦航路設定に向けた安全性評価を行う。

□船舶交通が極めて多い東京湾を対象として、任意の船舶がその周囲の船舶によって妨害される範囲を表す OZT（Obstacle Zone by Target）の評価手法により、衝突危険の蓋然性が高い場所の特定とその安全対策の検討を行った。東京湾を航行する船舶が多い 3 月の 1 ヶ月間の AIS データを用いて、OD 解析によって湾内の港間および湾内から湾外へ移動する船舶を抽出し、それを対象として OZT 評価を行った。

- OZT が発生しやすい場所を把握するため、1 日当たりの OZT 遭遇頻度の分布を解析した（図 4)。その結果、各港内、浦賀水道航路、中ノ瀬航路および中ノ瀬西方海域において OZT に遭遇する頻度が高く、船舶交通が集束し過密になる場所と同じ地点で OZT 遭遇しやすいことがわかった。
- OZT が発生しやすい場所別の特徴を把握するため、一度に OZT 遭遇した隻数別での自船位置を解析した（図 5)。東京湾内で 6 箇所の海域に分類して、それぞれの海域での OZT 遭遇の特徴を解析した結果、ほとんどの場所で同航船との同航および交差、同航船と反航船の反航および交差など、複雑な交通状況が OZT 遭遇の原因と考えられることがわかった。
- OZT が発生しやすい時間帯を把握するため、1 時間ごとの OZT の遭遇回数を解析した（図 6)。その結果、上述の 6 箇所の海域のほぼ全てが、北航船は朝方、南航船は夕方に OZT 遭遇回数が多いことがわかり、船舶の通航量と比例することがわかった。
- 航行中に OZT に遭遇しやすい場所を把握するため、ラッシュ時刻に東京港、横浜港、千葉港に入出港した船舶が一航海当たりに遭遇した OZT を解析した（図 7)。その結果、北航時および南航時問わず、浦賀水道航路の南端よりも南側から東京湾アクアラインの西側の海域まで常時 OZT に遭遇する状況であり、とくに浦賀水道航路、中ノ瀬航路および中ノ瀬西方海域では複数の他船との OZT に遭遇し、操船の自由度がほとんどない状況であることがわかった。
- 東京湾を航行する船舶の操船困難度を OZT 手法により評価し、特に操船が困難な 6 海域を特定した。さらに、それらの海域で OZT 発生の特徴を考慮して、OZT 発生を抑制するために有効と思われる安全対策を検討した。

成果の公表

□国際貢献 IMO 会議資料：

・IMO NCSR 4-3 - Establishment of a recommended route off the western coast of Izu O Shima Island

□論文：

・海上交通流シミュレーションシステムによる新しい航路指定の評価法の確立（海上技術安全研究所報告 第 16 巻第 3 号）

□講演：

・海上交通における交通の分析と安全への取り組み（第 53 回土木計画学研究発表会，2016.5）

・伊豆大島西方海域における推薦航路設定のためのシミュレーションを用いた検討（第 16 回研究発表会，2016.6）

・Method of safety assessment for establishing ship routing system with marine traffic simulation（7th International Conference Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS2016), 2016）

・伊豆大島西方海域における推薦航路設計に関する安全性評価（越中島 OZT 研究会セミナー（第 1 回）「航行妨害ゾーン（OZT）の利用と展望」，2017.2）

参考図

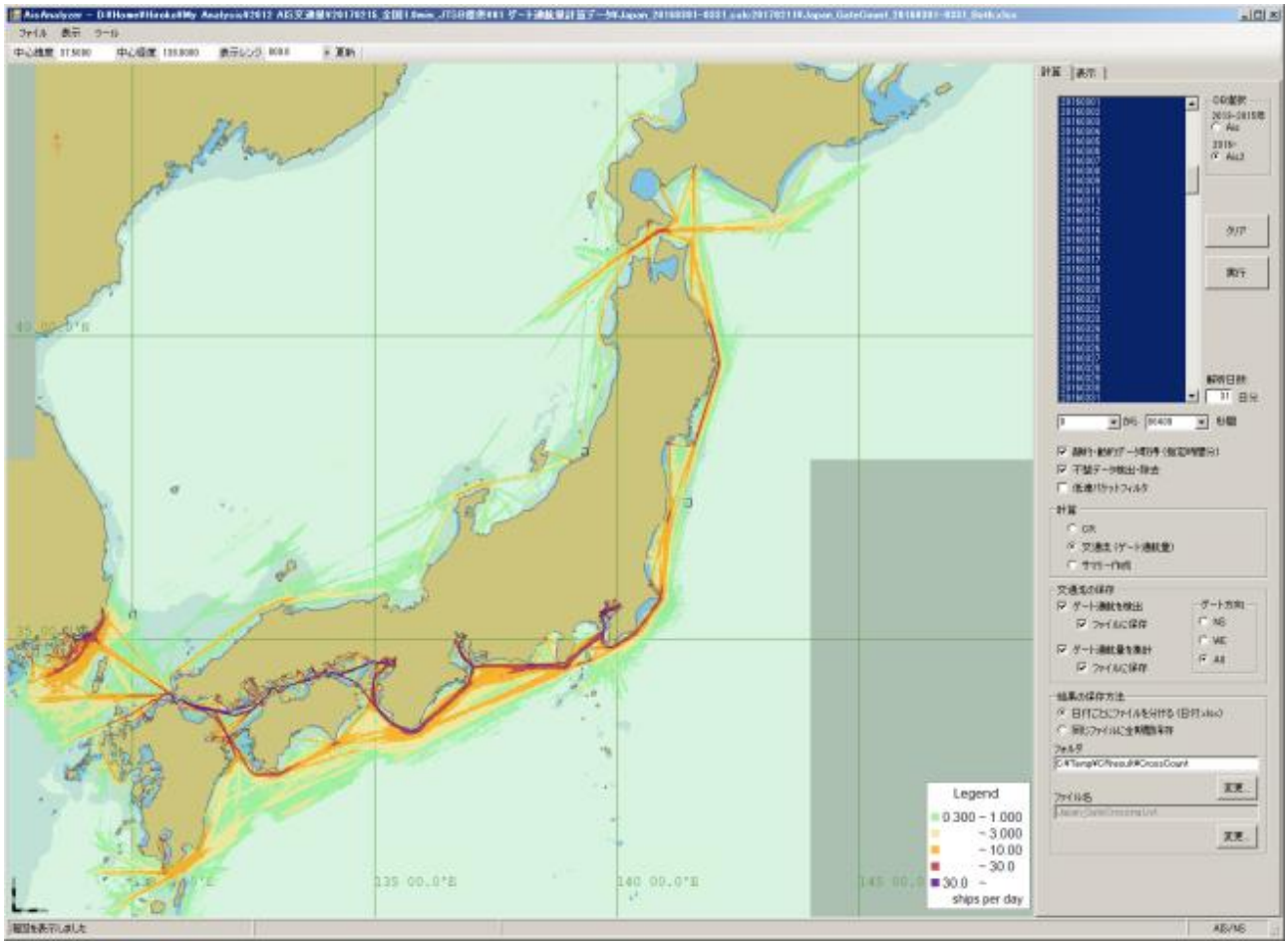


図 1　AIS Analyzer により表示した全国 1 分メッシュの通航量データ

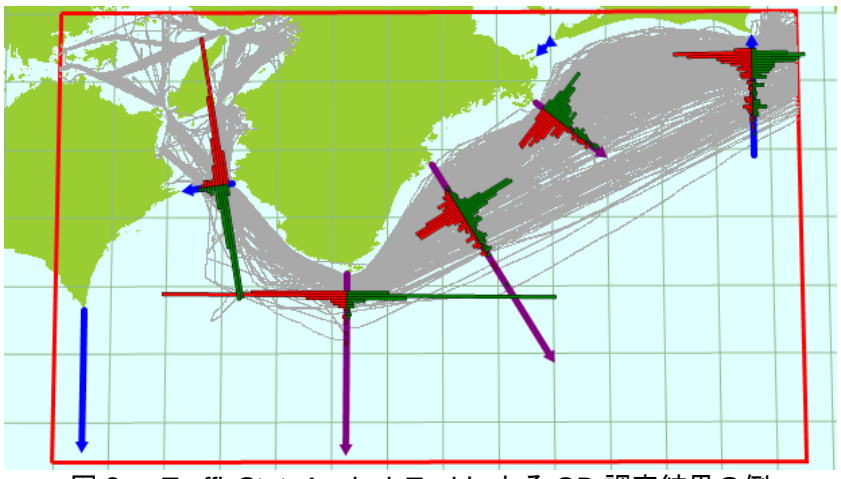


図 2　　TrafficStateAnalysisTool による OD 調査結果の例

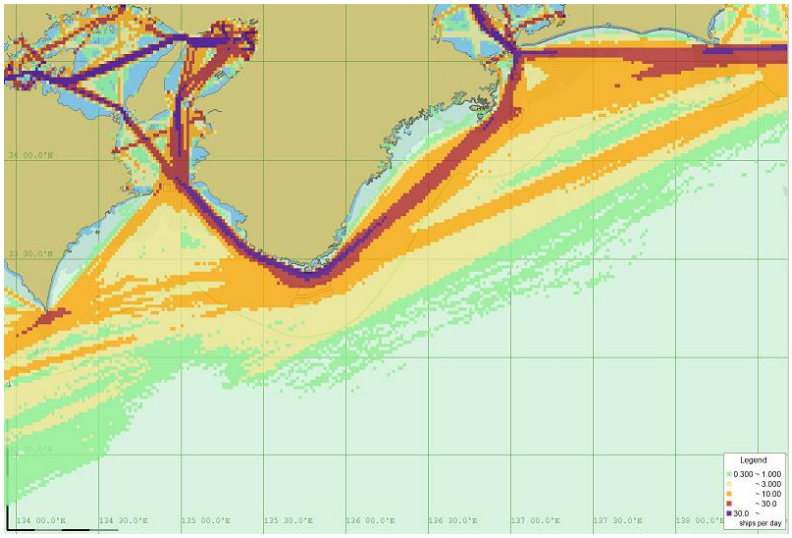


図 3　潮岬沖～大王埼沖に至る海域での通航密度分布（2016 年 3 月）

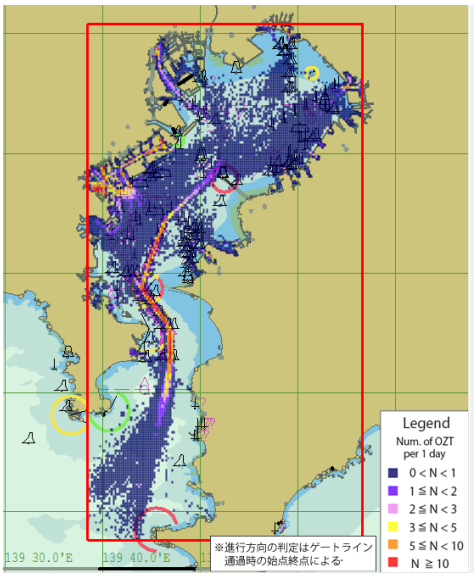


図 4　OZT の発生状況の概要（北航船）

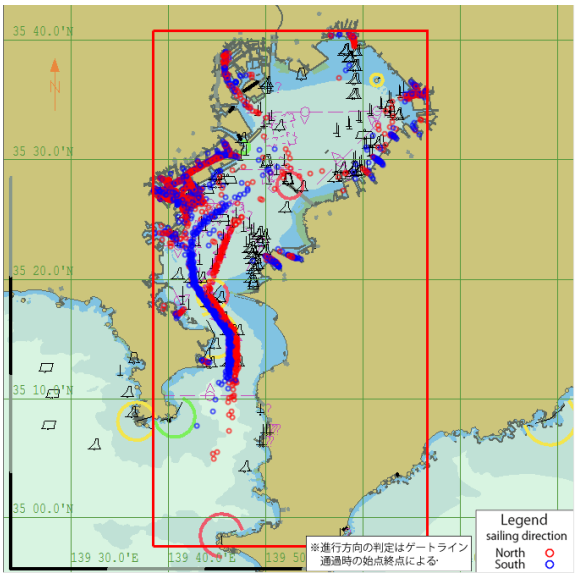


図 5　4 隻の船舶と同時に OZT 遭遇したときの自船位置

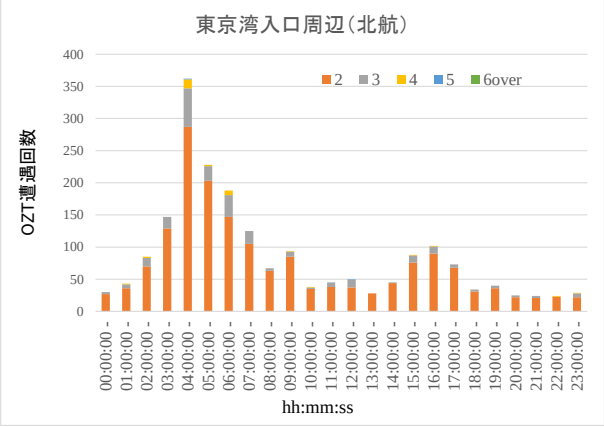


図 6　東京湾入口周辺での時間帯別 OZT 遭遇回数（北航船）

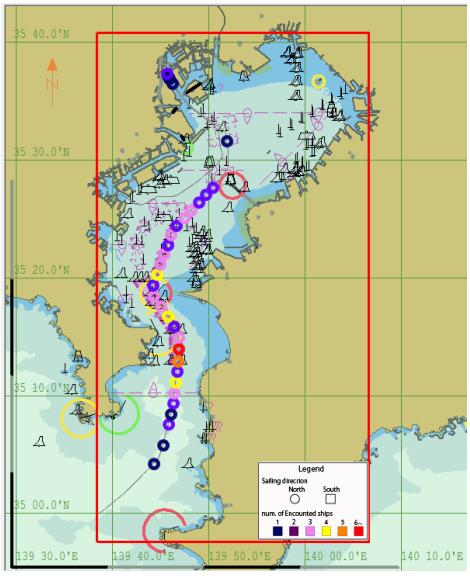


図 7　東京港に入港するときの OZT 遭遇状況

研究開発課題	(3) 環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発

研究テーマ	7. 船舶に起因する大気等規制の概念設計と規制手法の開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 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	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 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 －世界の規制動向を踏まえた将来シナリオに基づき、船舶による全世界での燃料消費量を推算し、グローバル S 分規制導入の船舶への影響を把握する。 等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO2）、窒素酸化物（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上で社会合理性のある適切な規制を構築する。具体的な内容は以下の通りである。

□グローバル S 分規制の導入効果に関する評価
□船舶由来の PM 等に係る排出量データの精緻化・大気質シミュレーション技術の向上
□将来の規制導入に資する新たな大気規制指標の開発研究

研究目標

□グローバル S 分規制の効果に関する評価等、科学的根拠に基づく合理的なデータ・資料等を作成する。
□実船舶の PM 排出データの利用により、実船舶の PM 排出特性を反映した PM 排出係数及び PM 組成プロファイルを開発する。船舶輻輳海域を対象とする 3 次メッシュ大気質シミュレーション計算の結果に基づき、BC・PM 濃度における船舶寄与率が低くなるような燃料・運航条件を提示する。
□MRV の合理的な GHG 規制指標を開発する。

上記の成果に基づき、PM 等の合理的な環境基準が設定されることで、海洋環境が保護されることが期待される。また国際ルール形成に戦略的に関与することにより、我が国海洋産業の国際競争力強化へとつながる。

平成 28 年度の研究内容

(1) SOx、PM 等の大気規制導入に関する検討

世界の規制動向等を踏まえた将来シナリオに基づき、船舶による全世界での燃料消費量を推算し、グローバル S 分規制導入の船舶への影響を把握する。上記将来シナリオに基づき、大気質シミュレーション計算用の

最新将来船舶排出量データを作成する。実船舶運航状況を考慮した PM 排出モデル構築の一環として、航行中船舶の船種別機関負荷変動を設定し、文献調査等により貨物積載率の設定方法を決定する。環境省委員会による検討状況や大気環境学会等における研究の状況をフォローアップし、二次生成物質の研究動向について把握する。

(2) 将来の規制導入に資する新たな大気規制指標の開発

MRV の実施に不可欠な船舶の実運航時における燃料消費量の計測・把握手法について、best practice を提案する。日本、米国、欧州海上保安機関（EMSA）、ドイツからそれぞれ IMO に提案された 4 種類の実燃費指標案について実運航データを用いた解析を行い、各指標案の性能を評価する。

平成 28 年度の研究成果

(1) SOx、PM 等の大気規制導入に関する検討

□複数の所内ラボ舶用 4 サイクルディーゼル機関、東京海洋大学所有のラボ舶用 2 サイクルディーゼル機関を使用して PM 捕集実験を行い、PM 組成分析事例を蓄積した（図 1, 2 参照）。

□上記 PM 組成分析結果を、大気質シミュレーション計算で使用する船舶排出量データの作成に適用するための検討・考察を行い、その内容をとりまとめて論文として投稿した（現在査読中）。

□グローバル S 分規制の開始時期検討のために、2020 年における舶用低硫黄燃料油の供給可能性について文献・ヒアリング調査等を実施し、その調査結果を IMO/MEPC70（2016.10.）に報告した。

(2) 将来の規制導入に資する新たな大気規制指標の開発

□GHG 規制導入に係る IMO での議論を継続的にフォローアップし、その技術的課題（船舶実運航時における燃料消費量の計測・把握手法等）について検討した。検討結果に基づき妥当と考えられるエネルギー効率指標、将来課題等について国土交通省と協力してとりまとめを行い、IMO/MEPC70（2016.10.）に提案した。

□IMO/MEPC70 において採択された DCS（Data Collection System、旧名称 MRV）に対応する機能として、5000GT 以上の個船から報告された燃料消費量、航海距離、航海時間、エネルギー効率設計指標（EEDI）、純トン数（NT）、載荷重量トン数（DWT）、主機・補機の出力等に関する年間データを保管し、各種の燃費エネルギー指標の算出及び統計解析等を有するプログラムを作成した（図 3, 4 参照）。DCS データベースの施策について IMO 本部でプレゼンテーションを行い、各国から支持を得た。

成果の公表

□特許 0 件

□プログラム登録 1 件（名称： 燃費消費実績報告制度データベースシステム、2017.3.）

□発表論文 3 件（うち査読付き英文論文 1 件、査読付き日本語論文 1 件）

・T. Yokoi and H. Shirota, Emission Estimation of Air Pollutants from Ships in Japan Regions, Proc. 7th Pan Asian Assoc. Maritime Eng. Soc. and the Advanced Eng. Conf. 2016、2016.9.

・中村真由子ほか、舶用ディーゼル機関排ガスのサーマルオプティカル分析プロトコルの検討、第 86 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集、日本マリンエンジニアリング学会、2016.10.

・大橋厚人ほか、舶用ディーゼル機関から排出される PM の分析事例－大気質シミュレーションへの適用、日本マリンエンジニアリング学会誌（投稿中）

□受賞 0 件

□国際貢献 IMO 提案文書 4 件

・村岡英一、Air Pollution and Energy Efficiency -Assessment of Fuel Oil Availability -Final Report-、IMO/MEPC70、2016.10.

・村岡英一、Air Pollution and Energy Efficiency -Assessment of Fuel Oil Availability -Exective Summary-、IMO/MEPC70、2016.10.

・横井威ほか、Reduction of GHG Emissions from Ships -GHG Emissions Reduction Target of International Shipping Based on Energy Efficiency-、IMO/MEPC70、2016.10.

・横井威ほか、Further Technical and Operational Measures for Enhancing Energy Efficiency of International Shipping -Report of the Correspondence Group on the Data Collection System for Fuel Consumption-、IMO/MEPC70、2016.10.

□その他 3 件（学協会寄稿 1 件、海技研研究発表会 2 件）

・横井威ほか、中国における船舶起源の海洋・大気環境汚染問題への対策法規、KANRIN（日本船舶海洋工学会誌）第 66 号、日本船舶海洋工学会、2016.4.

・城田英之ほか、AIS 情報等に基づく船舶由来排出インベントリ解析システムの開発、第 16 回海上技術安全研究所研究発表会、2016.7.

・中村真由子ほか、舶用ディーゼル実験機関から排出される元素状炭素（EC）の計測プロトコルの検討、第 16 回海上技術安全研究所研究発表会、2016.7.

参考図

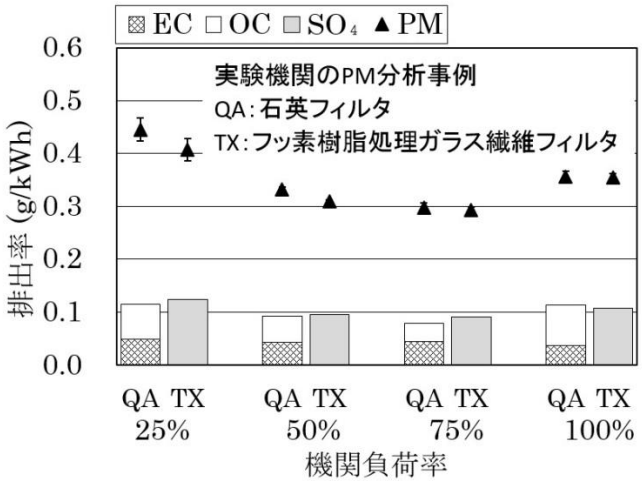


図 1 ラボディーゼル機関（松井鐵工所製、舶用特性、A 重油（硫黄含有率 0.61%）使用）における PM 分析例

図 2 ラボディーゼル機関の排気管に取り付けた装置で PM を捕集する様子

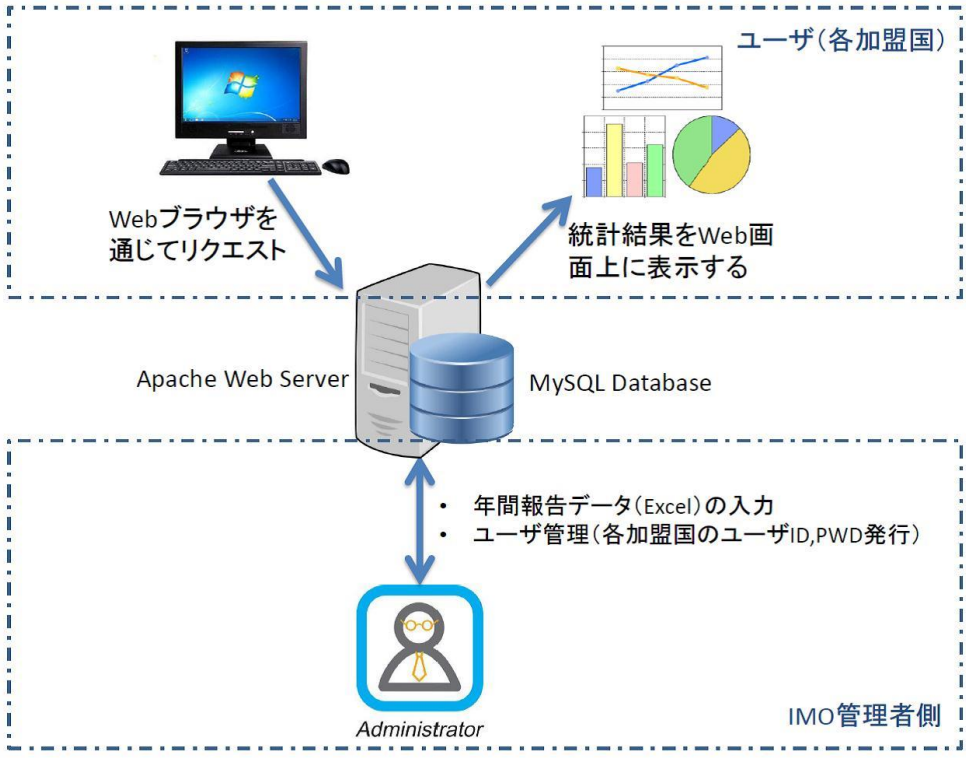


図 3 IMO 船舶燃料消費データベースにおける燃料消費実績報告のシステム構成

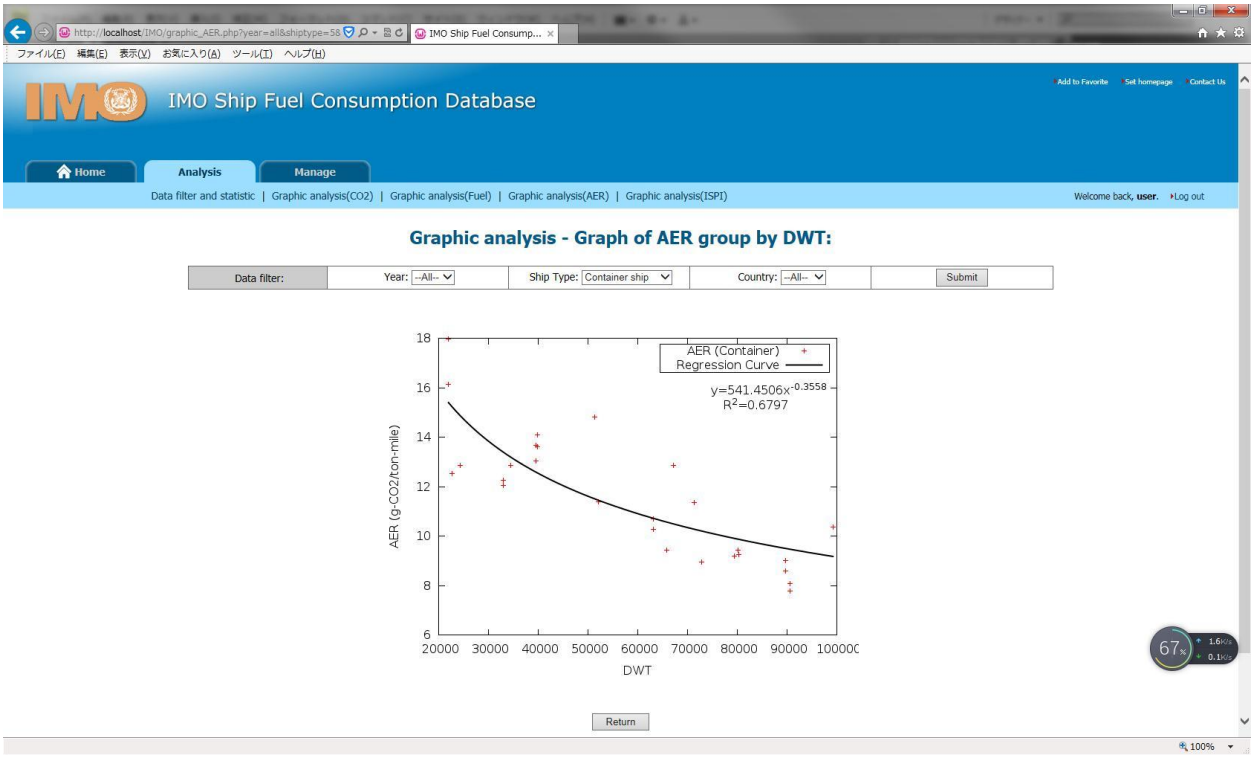


図 4 作成した燃費消費実績報告制度データベースシステムにおける機能の画面表示例
［コンテナ船におけるエネルギー指標（AER）と載荷重量トン数（DWT）の関係］

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

研究テーマ	8. 次世代 EEDI,EEOI の開発及び実海域運航性能向上技術に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －波浪中プロペラ負荷変動を精度よく推定するためのプロペラトルク変動モデルを開発する。 －重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISA において、直交格子等を用いた流場計算手法の高速化、計算格子の局所細分化手法を開発する。 等

研究の背景

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

□最適(エコ)運航システム開発

□実燃費評価技術の開発

研究目標

□波浪影響をより合理的なものとする計算法を確立

□高度化した海象適用航法（WAN)のシミュレーションツールを開発

□実運航の燃費評価、運航技量評価方法を確立

□実燃費を低減させる技術を運航・設計に活用する手法を構築

上記成果は、合理的なＭＲＶ規制により、より省エネ運航が可能となり、ＧＨＧの削減が図られることが期待される。また国際ルール形成への戦略的な関与により、我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

□最適運航システムの全体仕様を策定し、計測方向スペクトラムを利用した最適運航手法の開発を行う。
□気象海象の長期データベースの開発を行う。
□計測方向スペクトラムを利用した合理的な波浪影響評価方法を検討し、ITTC 等に提案する。
□経年劣化・生物汚損影響評価法開発のためのプロトタイプのプログラムを製作する。
□機関応答モデル拡張のため、対象推進システムを選別する。
□実海域性能向上設計方針の策定。
□氷中抵抗モデル及び氷況取得手法の検討。
□北極海航路における諸データを収集し、氷中抵抗モデルを検討する。
□模型試験により、氷中抵抗モデルの妥当性を検証する。

平成 28 年度の研究成果

□計測方向スペクトラムを利用した最適運航手法の開発を外部連携にて進めた。
□全球版気象海象データベースを開発。
□合理的な波浪影響評価方法を ITTC に提案し、委員会合意を得た。
□経年劣化・生物汚損評価のベースとなる平水中性能カーブの評価モデルを構築。
□主機関応答モデルに、船速一定モードを加え、実運航性能シミュレータ VESTA を更新。
□内方傾斜船首部形状 COVE について、傾斜深さ・傾斜角等を変更した波浪中抵抗増加試験を実施し、波条件と効果の関係を調査。
□CFD による波浪中計算結果の検証のため、船首部水面上に働く圧力を計測。
□船尾省エネ付加物による波浪中船尾流場の変化をマイクロバブル PIV 計測システムにより確認。
□氷況取得手法としてレーダを検討し、研究者及びメーカーへのヒアリング等を通じて、既存技術をレビューした。
□2013 年夏季に NSR を通航した船舶の AIS データを分類・抽出し、衛星氷況データと合わせて、耐氷貨物船における船速低下を分析した。
□氷海水槽試験によりバルクキャリア模型の砕け氷中抵抗を計測し、氷中抵抗モデルにおけるパラメータの検証データを取得した。

成果の公表

特許出願：２
プログラム登録：２
発表論文：１８
受賞：1（「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰）

発表論文
論文（査読有り）

1	Development of COVE Bow -Energy Saving Bow Shape in Actual Seas-	Proc. of PRADS2016
2	浅水試験による抵抗・自航性能評価と馬力推定	日本船舶海洋工学会講演会
3	実運航性能シミュレータの開発に関する研究	海技研報告
4	実運航シミュレーションによる実船データ解析－排水量修正と波風修正の適用－	日本船舶海洋工学会論文集
5	実運航性能評価における速力-回転数-主機出力関係のモデル化	日本船舶海洋工学会論文集
6	全球の気象海象統計データベースの開発	日本船舶海洋工学会講演会
7	Validation Study on Wave Correction for speed/power trial of ships	日本船舶海洋工学会講演会

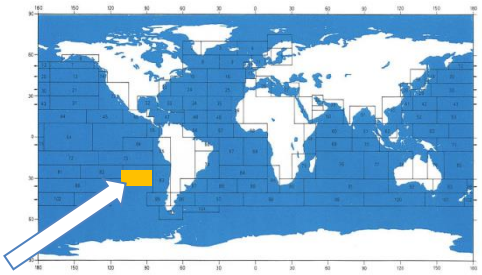
寄稿その他（査読無し）

1	Issues of load variation test in waves and performance of ships in service	ITTC/PSS
2	Monitor and Review EEDI, EEOI Prediction and Determination	ITTC/PSS
3	外航海運のＧＨＧ規制と技術的検討	阪大
4	大阪大学との連携推進	阪大
5	今後の船	日本船舶海洋工学会
6	海上試運転解析法の浅水修正の検討	実海域推進性能研究会
7	北極海航路における推進性能	実海域推進性能研究会
8	Investigation on shallow water correction on speed/power trials	ITTC/PSS
9	Monitor and Review EEDI, EEOI Prediction and Determination	ITTC/PSS

10　氷海シミュレーション　　KANRIN
11　導電性材料センサを使った船側波高計測システム　　東大・海技研研究会

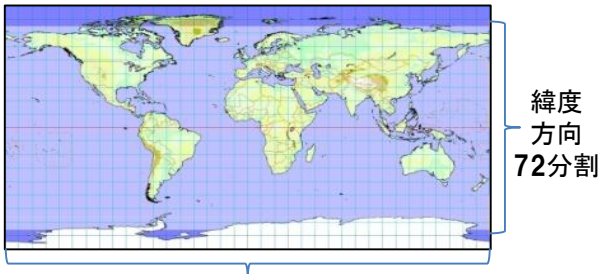
参考図

(1)Global Wave Statistics(BMT)



例：ブロックNo73　（※）ブロックは全部で108個）

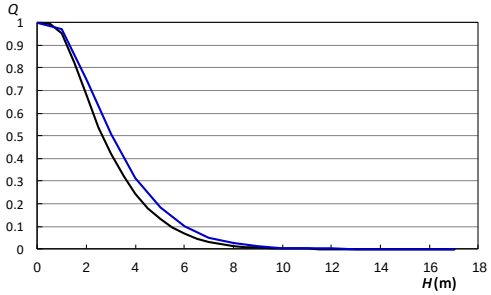
(2)全球版波と風データベース(NMRI)

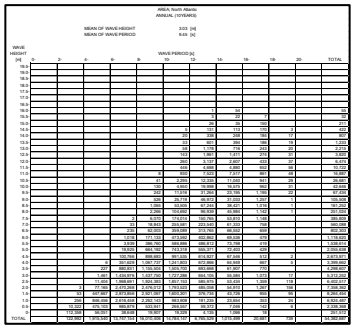


経度方向144分割（※）ブロック数約1万個）

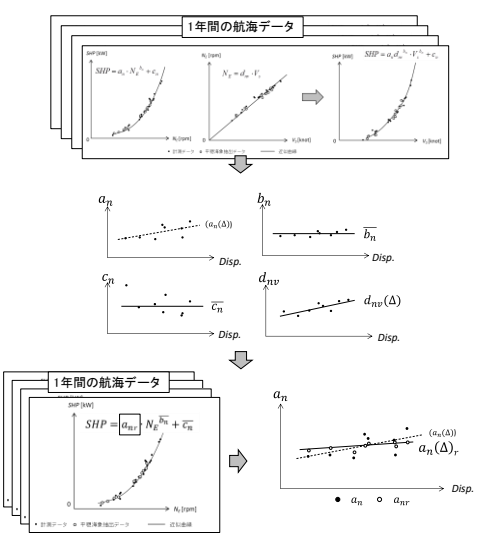
これまで世界で標準的に利用されているデータベースとの比較

比較のポイント	（1）BMT（左）	（2）海技研（右）	改善点
ブロックの数	108	10,368	約 100 倍
メッシュ（赤道の場合）	最小で 10°（約 1110km）	2.5°（約 278km）	解像度 16 倍以上
発現頻度表	波高－波周期 風速－風向	左に加え 波高－波向 波高－風速など 2 相関に加え、3 相関も提供 （12種類）	初めて3相関（波高－波周期－風速）の発現頻度表を提供 （2次元から 3 次元での検討が可能）

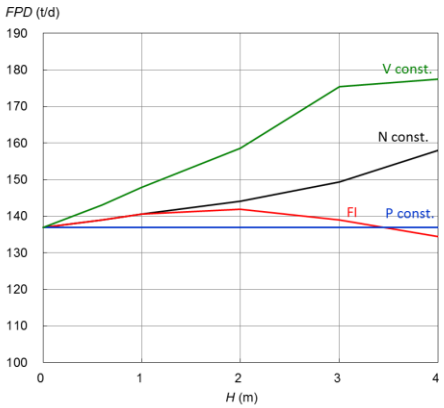




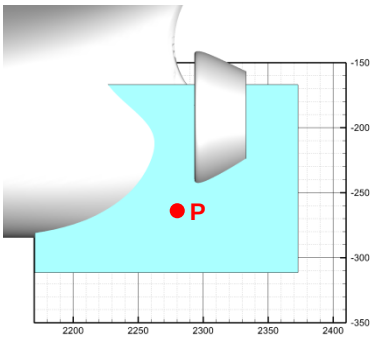
全球版波と風データベースと北大西洋海域の有義波高(*H*)の超過確率(*Q*)評価



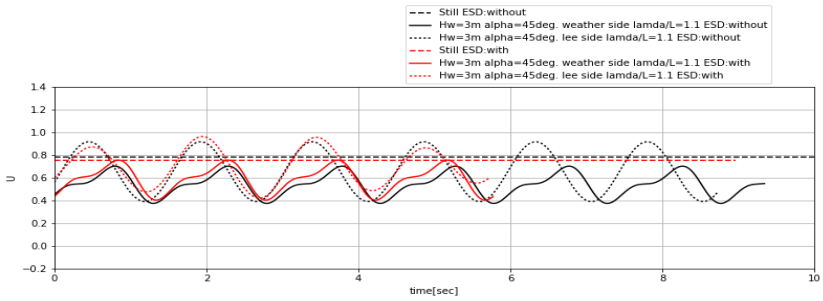
平水中性能曲線の数式表現と排水量修正モデル



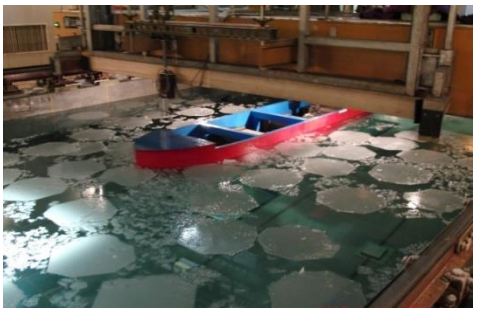
低速ディーゼル機関についての主機作動モードに応じた実運航燃費の推定
（N const.：回転数一定、FI：フューエルインデックス制御、P const.：出力一定、V const.： 船速一定）



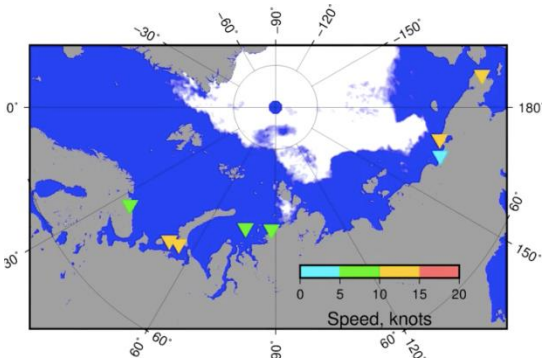
船尾流場計測断面（静止時）



点Ｐの主流方向速度（斜向波、波長船長比 1.1）
（赤線：省エネダクト有り、黒線：省エネダクト無し）
（実線：波上側、点線：波下側、破線：平水中）



バルクキャリア模型の氷海水槽試験



NSR 通航 AIS データと衛星による氷密接度
（2013 年夏季）

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

研究テーマ	9. 水槽試験を活用した舶用推進プラントの実海域自動適応制御技術開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －波浪中プロペラ負荷変動を精度よく推定するためのプロペラトルク変動モデルを開発する。 －重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISA において、直交格子等を用いた流場計算手法の高速化、計算格子の局所細分化手法を開発する。 等

研究の背景

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

□多様化する推進プラントの船舶での実海域性能を踏まえた最適設計パラメータを決める推進プラントのシステム設計技術の開発

□運航状況に応じた推進プラントパラメータの実海域自動適応によるスマートパワー制御技術の開発

研究目標

□最小限のパラメータで推進プラントの特性を忠実に表現可能な汎用数学モデルの開発

□実海域環境下を運航する船舶の推進プラント応答計算法の開発

□推進プラントの数学モデルと実船計測による推進プラントのパラメータ同定技術の開発

□推進プラントの基本設計ツールの開発

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

上記成果は、推進プラントの実海域性能向上により省エネが実現され、ＧＨＧの削減、EEDI 規制の着実な実施が期待される。また実海域での性能を水槽試験で評価可能となり新たな推進プラントの開発が促進され、我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

（小項目 1）実機に忠実な推進プラントの数学モデルの研究開発（平成 28 年度～30 年度）

主機特性模擬自航装置に用いているエンジンモデル（第３期に開発したサイクル平均（CMV）モデル、以下では標準モデルと書く）を、さらに実機に忠実なモデルに改良することと、革新的なエンジン制御を組み入れて、実海域におけるエネルギー効率を高めるケーススタディーが出来るようにする。具体的には以下の 3 点を目標に実施する。

□EEDI を改善するエンジンダウンサイジング手法を、標準モデルを利用して開発する。標準モデルはエンジンと過給機の特性を組み込み、スピードガバナーで制御するモデルであり、この標準モデルにトルクリミッター機能を追加し、新しい主機コンセプトのダウンサイジングモデルを開発する。

□定常負荷における燃費推定に加えて、実海域における負荷変動の過給機応答を考慮して、燃費推定がより精度よく出来るように標準モデルを改良する。実機実験機において排気弁閉タイミングを変更し、掃気効率と燃費の関係を実測し、関係式を決め燃費推定がより精度よくできるようにする。

□モデルベース状態監視と出力フィードバック/フィードフォーワード制御を組み入れた革新的なエンジン制御システムを検討する。エンジン制御システムを検討するために、Hardware in the Loop System を構築して革新的な制御を検討する。

（小項目 2）波浪中を航走する船舶の推進プラント応答計算法の開発（平成 28 年度～30 年度）

□波浪中の推進プラント応答計算のため､従来考慮されていなかった船体の横運動影響を考慮できるよう波浪中プロペラ推力・トルク推定手法の高度化を行い、小項目 1 で開発予定の推進プラント特性汎用数学モデルを組み込んだ推進プラント応答計算コードの試作を行う。

□小項目 1 で開発される推進プラント汎用数学モデルを内装した主機特性自航装置を整備し、前期関連重点研究で開発した「実船の船速および主機応答を直接計測できる水槽試験法（船速相似法）」を用いた波浪中速力試験を実施し、波浪中船速および主機応答を計測する。

平成 28 年度の研究成果

（小項目 1）実機に忠実な推進プラントの数学モデルの研究開発（平成 28 年度～30 年度）

□主機モデルの部分的拡充ができた。（ダウンサイズ手法）標準モデルからダウンサイズモデルへの容易な開発プロセスを確立した。（図１参照）エンジンのシリンダー数を増減させる場合は過給機ユニットのみ代えればよいようにした。

□主機モデルの部分的拡充ができた。（燃費推定がより精度よく出来るよう）開発したエンジンモデルは負荷変動時の過給機応答遅れによる燃費悪化の予測精度が不十分である。そこで、過給機動特性からくる掃気圧変化と燃費変化の関係式を組み入れることで、モデルの精度を向上させた。掃気圧の変化と燃費変化の関係式を実証するために大型低速２スト機関での追加テストを行い確認した。（図２参照）

□革新的なエンジン制御システムについては、Hardware in the Loop System を構築してエンジン制御システムを検討した。（図３参照）

（小項目 2）波浪中を航走する船舶の推進プラント応答計算法の開発（平成 28 年度～30 年度）

□波浪中プロペラ推力およびトルク推定モデルの高度化のため､コンテナ船模型とバルクキャリア船模型を対象に規則波中曳航試験を実施してプロペラ推力・トルク変動の計測を行った。その分析の結果、波浪中プロペラ有効流入速度の構成要素である波粒子運動影響(図 4)が詳細に得られた。そして、それらを基にプロペラ推力・トルクモデルの高度化を行い、過去の研究で開発した波浪中主機負荷変動計算コードへ組み込んで開発目標である推進プラント応答計算コードの試作を行った。

なお、船体の横運動がプロペラ推力・トルクに及ぼす影響を実験的に調査する予定であったが、主に実験用曳航治具の剛性の低さを理由として、十分な精度で検証を行うことが叶わなかった。次年度は曳航治具の剛性改良等を行いつつ、水槽実験による更なる検証を行う予定である。

□小項目 1 にて開発されたトルクリミット機構モデル付きの主機特性モデル(CMV モデル)を内装した主機特性自航装置を用いて船速相似法に則った規則波中・多方向不規則波中の速力試験を実施して波浪中船速および主機応答の計測を行った。なお、模型船を製作予定であったが本研究の出口戦略の検討に伴い対象船の選定が先送りとなったため、前期関連重点課題で製作したバルクキャリア模型を使用している。試験ではディーゼル主機のガバナー設計の違いにより波浪中の回転数変動が抑制できることを実験的に確認し(図 5)､本水槽試験法を主機設計に活用できることを示すことができた。一方、おそらくトルクリミット機構が考慮された効果により、波浪中で到達する船の速力に幅が生じる可能性が確認された(図 6)。これが事実の場合、実海域性能を予測する上で非常に重要な要素となるため、次年度は数値計算によるこれら現象の追認を行うこととする。

（その他）

□本重点課題の出口戦略を再検討すべく､船社や主機メーカーを訪問して本研究テーマに関するヒヤリングおよび情報交換を実施した。結果、次年度での共同研究・請負研究の提案内容の検討、需要を考慮した研究計画の方向性の見直しを行った。

成果の公表

口発表論文数：4 件

北川泰士，原口富博，塚田吉昭，谷澤克治，波浪中プロペラトルクおよび回転数変動の計算方法に関する基礎的研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集 22，2016

谷澤克治，北川泰士，塚田吉昭，上野道雄，Oleksiy Bondarenko，福田哲吾，実海域性能評価のための新しい水槽試験法の開発，海上技術安全研究所研究発表会講演集，16，2016

谷澤克治，北川泰士，塚田吉昭，オレクシー ボンダレンコ，福田哲吾，上野道雄，平田宏一，春海一佳，実船の実海域推進性能を直接計測する革新的水槽試験法の開発，海上技術安全研究所報告 16-1，2016.

北川泰士，ボンダレンコ　オレクシー，塚田吉昭，福田哲吾，谷澤克治，水槽試験による実船の短波頂波中主機要求出力の直接計測，日本船舶海洋工学会講演会論文集 23，2016

口受賞：1 件

北川泰士，日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞)

参考図

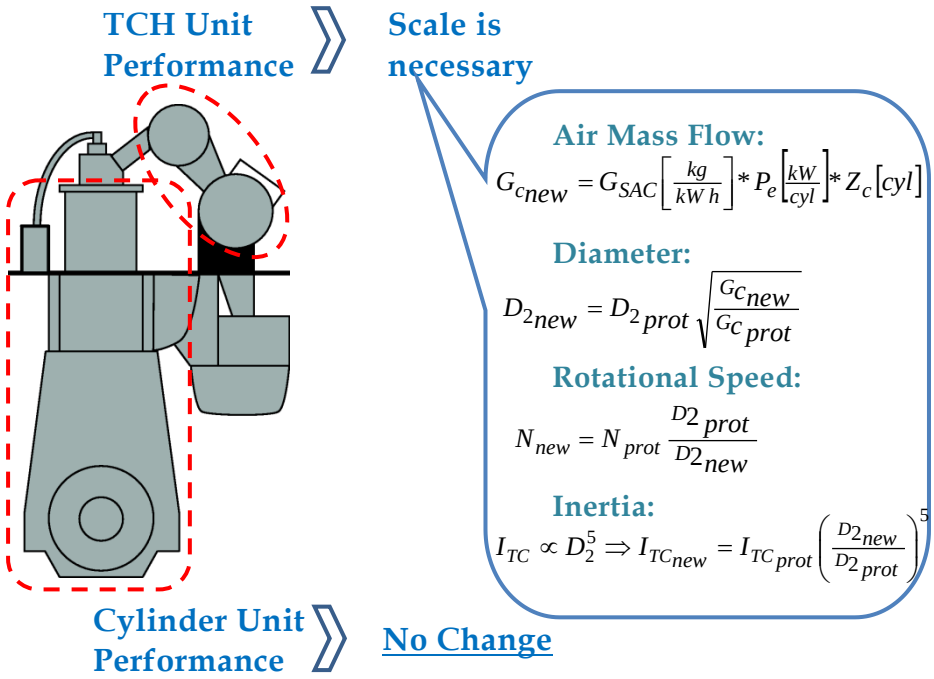


図 1　Engine Upsizing/Downsizing Scale

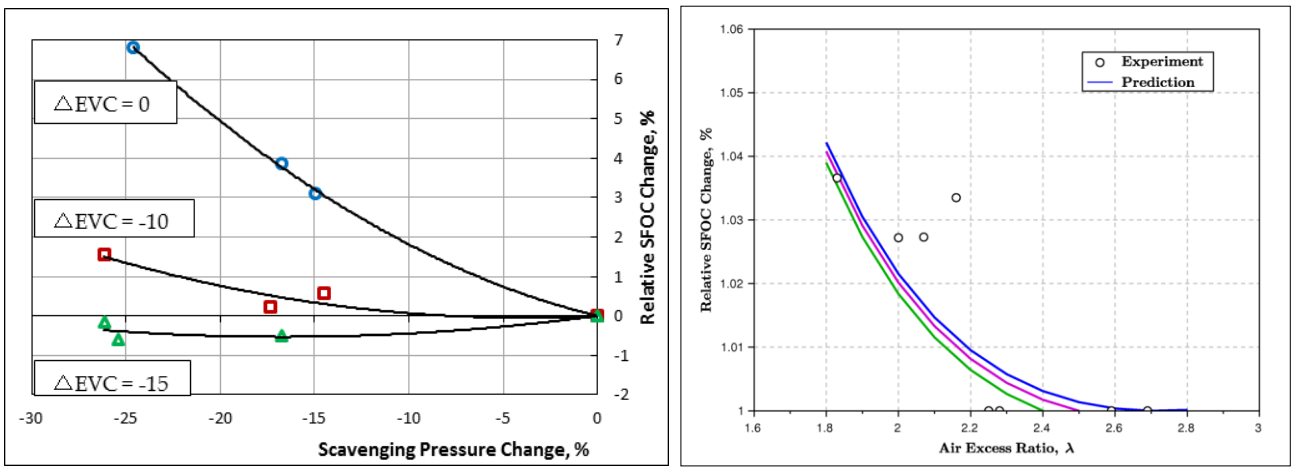


図 2　Effect of Exhaust Valve Close (EVC) Timing and Air Excess Ratio (λ)

on Fuel Consumption of Marine Engine.

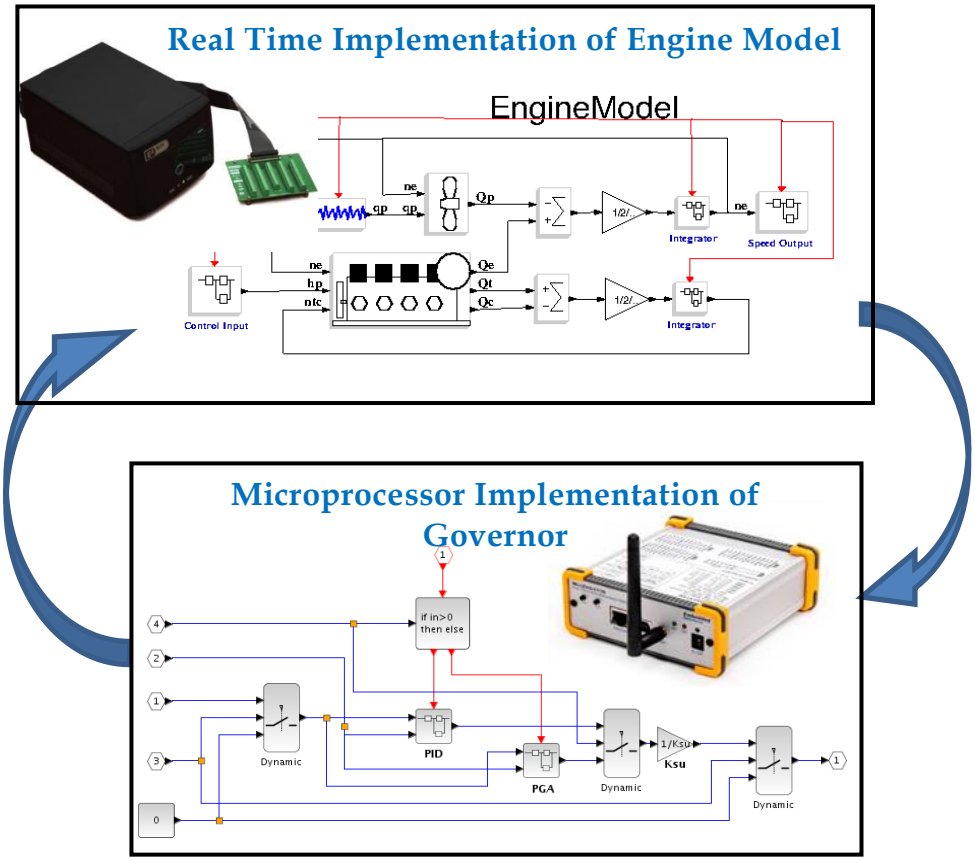


図 3　Test Bench for Engine Control System

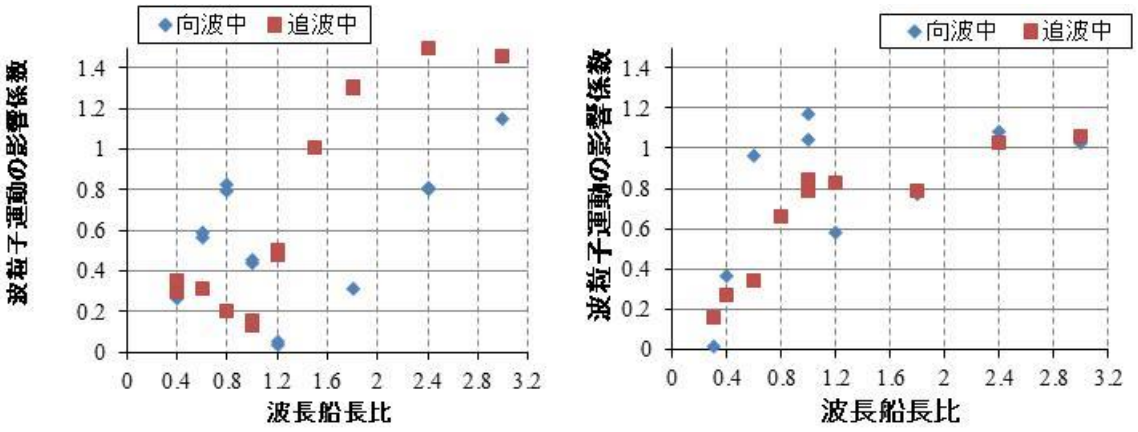


図 4 規則波中曳航試験による波浪中プロペラ有効流入速度モデル中の波粒子運動影響係数解析値
（左：コンテナ模型、右：バルクキャリア模型）

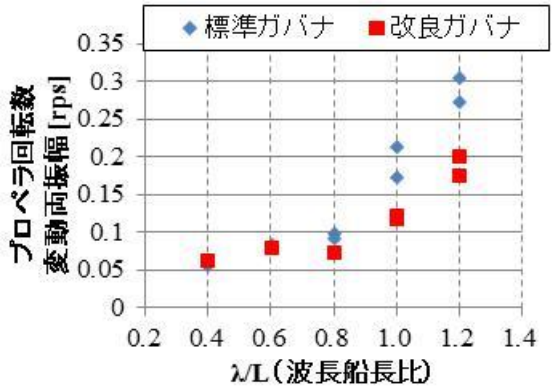


図 5 ガバナ設計の違いによるプロペラ回転数変動振幅の抑制
（規則波追波中速力試験(波高:6cm)より、“改良ガバナ”は“標準ガバナ”より回転数変動を抑えるように設計されている）

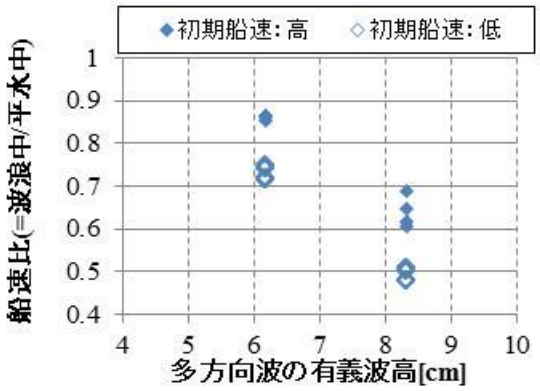


図 6 多方向不規則波中速力試験による定常船速の計測値

（波の主方向に向かって航走。有義波高 6cm 付近は Beaufort Scale6 等級、8cm 付近は 7 等級に相当。定常航走状態における船速をプロット。プロペラ回転数は主機特性自航装置により平水中で設計速力を満足する回転数になるよう調速される。トルクリミット機構のモデルを追加した場合の計測では、船速の初期値によって定常航走時の船速の計測値が異なるという結果が得られた。）

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

研究テーマ	10. 船舶の総合性能評価のための次世代 CFD 技術の高度化に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －波浪中プロペラ負荷変動を精度よく推定するためのプロペラトルク変動モデルを開発する。 －重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISA において、直交格子等を用いた流場計算手法の高速化、計算格子の局所細分化手法を開発する。 等

研究の背景

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

□省エネ船の開発のベースとなる平水中での抵抗・推進・操縦性能計算手法の開発および形状最適化システムの構築

□実プロペラモデルを用いたハイブリッド型省エネデバイスの性能シミュレーションへの CFD コードの拡張

□波浪中での諸問題に対する CFD コードの拡張

研究目標

□以下の特徴を有するソフトウェアの開発

1.平水中における抵抗・推進・操縦性能計算が可能

2.CAD、CFD、最適化手法を組み合わせて、船体や省エネ付加物等の形状最適化が可能

3.実プロペラモデルと組合せ、実用的な形状を有するハイブリッド ESD に対する性能推定が可能

4.波浪中の抵抗・推進・操縦運動性能解析が可能

5.大波高時の転覆やブローチングなどの船体運動シミュレーションが可能

上記成果は、抵抗・推進から耐航・操縦運動性能を推定できる高精度な CFD システムを産業界に提供することにより、大きな省エネにつながる高度な船型開発を効率的に行うことが可能になり、GHG が削減される。

また大波高時の転覆やブローチング等のシミュレーションも可能になることで、海難事故を減少させ、安全・安心な社会の実現に貢献することが期待される。さらに効率的な省エネデバイスの開発により、我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

1. 平水中での抵抗・推進・操縦性能計算手法の開発およびその精度向上・高速化
　重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISA において、直交格子による流場計算の高速化手法、線形化した連立方程式の高速解法を開発するとともに格子ごとに時間ステップを定めるマルチタイムステップ手法の初期検討を行う。また、領域分割による分散メモリ型の並列計算手法を開発する。

2. 船舶まわりのマルチスケール流れに対する計算手法の開発
　流れの変化の激しい領域に対してのみ格子を細分化することにより、低い計算コストで高解像なシミュレーションが可能な局所細分化手法を検討するとともにその有効性を検証する。

3. 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
　重合情報生成ソフト UP_GRID 及び動的重合格子法に対応した構造格子ベースのソルバーNAGISA をベースにし、動的重合格子法の計算時間短縮化による実用性向上のため、より効率的に重合情報の更新を行う手法の開発等を実施する。

4. 波浪中での抵抗・推進・操縦性能計算手法の開発
　ソルバーNAGISA において、動的重合格子手法も使用した波浪中を含む船体運動計算手法を開発し、各種方向からの規則波中で複数自由度の運動計算等を行い、計算パラメータの調査等を行う。

平成 28 年度の研究成果

□直交格子手法を開発し、CPU のキャッシュメモリ上のデータヒット率の向上、キャッシュメモリ上のデータの有効活用により従来に比べて 2 倍以上の高速化を実現した。連立方程式の高速解法について調査し、速度・圧力のカップリング計算手法が安定的に計算できることを確認し、上述の直交格子手法の開発に活用した。マルチタイムステップ手法に対応できる、分散メモリ型の並列計算手法の関数型ループ構造を検討し、初期導入を行った。

□付加物端部周りを解像する直交格子を適用することで、計算コストが低く高解像なシミュレーションが可能であることを確認した。

□移動格子法を伴う重合格子法を適用した計算においても、粗い格子から細かい格子まで異なる解像度の格子を段階的に使用する Full Multigrid 法を新たに利用可能とし、船尾で回転するプロペラ周りの流場について CFD 計算を行った。粗い段階の格子においても重合格子法を適用した計算が可能であり，より効率的な計算が可能であることが示された。

□動的重合格子により自由航走状態のシミュレーションが可能となり、既存の実験データを比較検証し、妥当な結果を得た。ビルジキール等の付加物のある肥大船(JBC 船型)において、波浪中推進状態を含むシミュレーションを行うとともに、静止水面より上方の船体表面圧力計測結果等の比較検証を行った。各種方向からの規則波中での多自由度の運動計算を行い、適した格子分割数等の計算パラメータを明らかにした。

□以上の成果について、毎年開催している当所の CFD システムのセミナーを 3 月に開催し、該当セミナーにおいて CFD システムを活用いただいている造船所等に新バージョンとして提供した。

成果の公表

□プログラム登録：4 件

重合格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(NAGISA) ver3.20 , P 第 10706 号-1(2017.3.13.), 大橋訓英, 小林寛, 平田信行, 小野寺直幸, 坂本信晶, 日野孝則

非構造格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(SURF) ver6.45 , P 第 10707 号-1(2017.3.13.), 大橋訓英, 小林寛, 平田信行,日野孝則

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) ver2.0 R4 , P 第 10708 号-1(2017.3.13.), 小林 寛, 大橋訓英, 小野寺直幸, 平田信行,児玉良明

□発表論文数：5 件

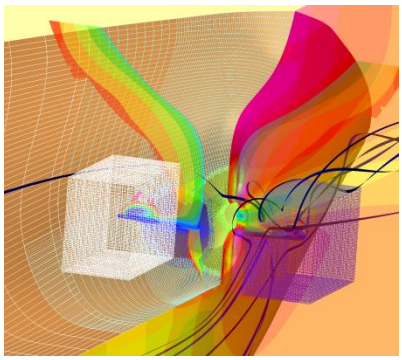
平田信行, 最新の CFD を利用した船舶の性能評価技術の状況, H28 SRC 技術セミナー講演集, 2016

平田信行, 田原裕介, 大橋訓英, 小林 寛,小野寺直幸, 次世代 CFD ソフトウェアの開発現状, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, 16, 2016

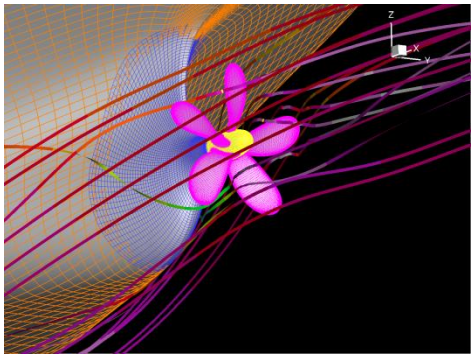
Ohashi Norihide, Kobayashi Hiroshi, Performance Improvement of Flow Computations with an Overset-Grid

Method including Body Motions using a Full Multigrid Method, Proc. ECCOMAS Congress 2016, 2016.
小林 寛, 平田信行, 大橋訓英, 田原裕介, 小野寺直幸, CFD ワークショップ Tokyo2015 の総括, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, 16, 2016
Onodera Naoyuki, Ohashi Kunihide, Large-Scale Free-Surface Flow Simulation using Lattice Boltzmann Method on Multi-GPU Cluster, Proc. ECCOMAS Congress 2016, 2016.

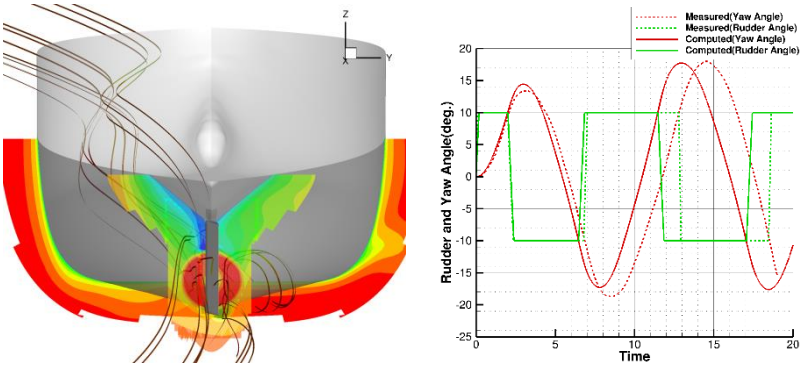
参考図



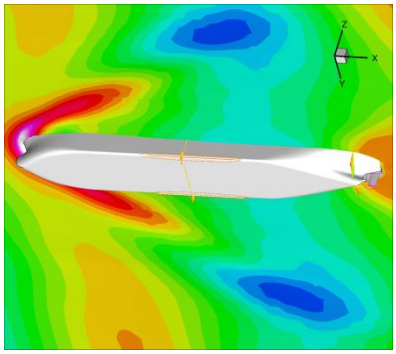
フィン端部解像の直交格子による計算例



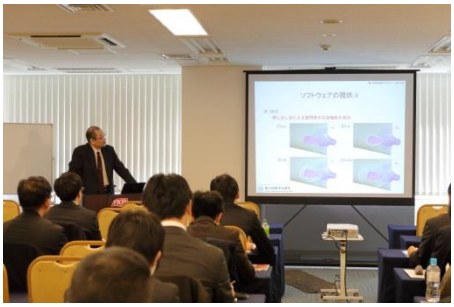
実プロペラモデルによる計算例



動的重合格子による Zig-Zag 操舵の計算例(左:可視図、右:軌跡の比較)



付加物付き肥大船の波浪中計算例



第 11 回 CFD セミナーの様子

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

研究テーマ	11. 船体表面流の制御による船舶の省エネルギー技術開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －波浪中プロペラ負荷変動を精度よく推定するためのプロペラトルク変動モデルを開発する。 －重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISA において、直交格子等を用いた流場計算手法の高速化、計算格子の局所細分化手法を開発する。 等

研究の背景

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

□船尾流場制御の開発
□摩擦抵抗低減の開発
□上記技術のシナジー効果による高度な省エネ効果が得られる技術開発

研究目標

□船尾形状の変更、適切な付加物、境界層吸い込み・吐き出し等の技術を統合した最適伴流設計システムの開発
□旋回流とプロペラの干渉効果にもとづくプロペラ配置・プロペラ形状等の設計法、推進器上流側の船体・pre-swirl 型省エネデバイスの設計法、推進器が造り出した旋回流を回収するための post-swirl 型省エネデバイスおよび舵の設計法の開発
□空気潤滑法における気泡のプロペラ面への流入を防ぐ流力デバイスの開発及び空気吹き出し位置、付加物、船尾形状のベストミックス化
□乱流制御技術を活用して空気投入のエネルギーロスを減ずる技術の開発
□乱流境界層の動的および静的制御技術を用いた船体表面創製による摩擦抵抗低減技術の開発

上記成果は、船尾流場制御および摩擦抵抗低減技術等の実用化により極めて省エネ効果の高い船型・省エネデバイス開発が可能となり、省エネルギーの強化及び船舶の省エネ化により、国際的海運の排出する温室効果ガスが削減され、地球環境が保全されることが期待される。また、海運のコスト低減が達成されることで、我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

平成 28 年度の研究内容

1. 船尾流場制御
   (1) 伴流設計技術
   - 目標の船尾伴流分布となる船型を見出す逆問題を解くために必要な、船尾伴流設計データベースの作成と設計システムの試設計
   - 流場制御に効果の高い船尾ダクト形状の決定
   - 伴流分布を考慮したプロペラ設計法の構築
   - 船型流場データベースの構築に有効なシステムの整備とシステムの内航船開発への適用

   (2) 旋回流とプロペラの干渉制御技術
   - 組合ライン CCD 法を用いた模型プロペラの翼変形量計測技術の構築
   - 複合材プロペラの設計を目的とした流体-構造連成計算法の検討
   - 旋回流回収型省エネデバイス（反動舵+舵バルブ）周りの流場計算法の構築。既存ベンチマーク船型に対する旋回流回収型省エネデバイスの省エネ効果の評価および試設計

2. 摩擦抵抗低減
   (1) 空気潤滑の効率向上技術
   - 空気潤滑搭載船の平水中省エネ効果を推定するための、CFD を用いた平水中摩擦抵抗低減効果推定法の構築
   - 波浪中における空気潤滑搭載船の省エネ効果を向上させるアイデア創出のための、規則波中で動揺する船体周りを流れるポテンシャルベースの気泡挙動予測手法の構築
   - 空気潤滑搭載船の実運航モニタリングデータ解析、縮尺模型を用いた平水中及び規則波中における船底気泡流挙動観察実験を実施

   (2) 表面創製による摩擦低減技術
   - 乱流境界層の動的制御技術として、船底の表面層を動的に制御して、乱流境界層の流れの構造を変化させ摩擦抵抗を低減する方法を開発するため、物体表面層に任意のパラメータの弾性表面波（進行波）を発生させ流場を制御する技術の検討

平成 28 年度の研究成果

1. 船尾流場制御
   (1) 伴流設計技術
   - 内航船型の船型流場データベースを構築し、伴流分布を入力として船型を出力する伴流設計システムを試作。有効性の確認として一個抜き交差検証を実施し、本システムにより定性的に有効な船型が得られることを確認（図 1-1）。
   - 船型流場データベースの効果的な構築に有効な系統的な変形システム（船型ブレンディング、FFD 使用）を整備し、内航船の船型開発に適用。従来開発手法との融合により、１９９０年代の比較対象船からの省エネ率 38.1%（749GT 型船型）、19.4%（499GT 型船型）の船型開発並びに省エネ率 16%以上の約 60 のバリエーション船型の開発に成功（図 1-2）。
   - 船尾ダクト表面の圧力分布を水槽試験にて計測し CFD と比較。高荷重度状態も含めた実運航状態における圧力分布の CFD 推定精度は高く、流場制御に効果的な船尾ダクト設計に CFD を利用することの妥当性を確認（図 1-3）。
   - 揚力面計算法 QCM（Quasi-Continuous Method）をベースとした船尾伴流分布を考慮したプロペラ設計法を構築。本設計法を用いて、上記内航船を対象に高効率かつキャビテーション性能に優れた 4 種類のプロペラを設計し、水槽試験で効率・キャビテーション性能ともに計画通り優れた性能であることを確認。

   (2) 旋回流とプロペラの干渉制御技術
   - 等方性複合材模型プロペラに、組合ライン CCD 法を用いた三次元形状計測技術を応用し、翼変形量を計測するための計測方法を構築。等方性複合材模型プロペラ（樹脂製プロペラ）の変形量計測を実施し、開発した計測技術の有効性を確認（図 2-1）。
   - QCM と FEM プログラムと組み合わせた流体-構造連成計算法のプロトタイプを開発（図 2-2）。
   - 旋回流回収型省エネデバイス（反動舵+舵バルブ）を装備したコンテナ船型について、CFD による性能推定法を構築し、自航要素が水槽試験結果と良く一致することを確認（図 2-3）。省エネデバイスが流場に与える影響を考慮した省エネ率の推定が可能となる流場の運動エネルギーを用いた推定方法を考案。（図 2-4）。

2. 摩擦抵抗低減

(1) 空気潤滑の効率向上技術

- 商用 CFD コードに気泡流モデルおよび摩擦抵抗低減モデルを組み込み、平水中における空気潤滑搭載船の摩擦抵抗低減効果を予測する手法を開発（図 3-1，3-2）。
- 規則波中で動揺する船体周りを流れるポテンシャルベースの気泡挙動シミュレータを開発。シミュレータの結果と実船モニタリングデータや水槽実験による船底気泡挙動観察結果を比較し、シミュレータの妥当性を確認（図 3-3）。
- 波浪中において、船底からの気泡漏れが少なく摩擦抵抗低減効果を約 2%向上させる空気吹出方法を考案。

(2) 表面創製による摩擦低減技術

- 弾性表面波デバイス（SAW(Surface Acoustic Wave)により、物体表面に任意の弾性表面波を発生させ壁面近傍流を制御する方法について調査し、次年度実施する弾性表面波デバイスにより音響流を発生させ、乱流摩擦抵抗の低減を図る水槽試験法案を策定（図 4-1）。

成果の公表

□出願特許　（2 件）

- 「多段ラダーバルブ、多段ラダーバルブの設計方法、及び船舶」
- 「ハブ渦制御装置、ハブ渦制御舵、及び船舶」

□プログラム登録　（1 件）

- 「空気潤滑船における吹き出し制御を考慮した気泡挙動推定プログラム」

□発表論文　（10 件）

- 「A Development and analysis of the new Energy Saving Device"USTD"」: 19th Numerical Towing Tank Symposium
- 「上部に平行部を持つ半円状ダクト型省エネ付加物の開発」: 日本船舶海洋工学会講演会
- 「プロペラ荷重度と船尾ダクト表面圧力の関係および CFD の検証」: 日本船舶海洋工学会講演会
- 「荷重度に対する船尾ダクトの特性変化について」: 推進・運動性能研究会
- 「内航船用固定ピッチプロペラの開発」: 日本船舶海洋工学会講演会
- 「舶用弾性変形プロペラの流力性能に関する実験的研究」: 日本船舶海洋工学会講演会
- 「舶用弾性変形プロペラの流力性能の特徴」: 第 18 回キャビテーションに関するシンポジウム
- 「組合ライン CCD 法を用いた模型プロペラの変形量計測に関する研究」: 日本船舶海洋工学会講演会
- 「複合材プロペラの流体ー構造連成解析に関する研究」: 日本船舶海洋工学会講演会
- 「Quantification of energy-saving rate obtained by post-swirl ESDs on DTC container ship」: 日本船舶海洋工学会講演会

参考図

1. 船尾流場制御
   (1) 伴流設計技術

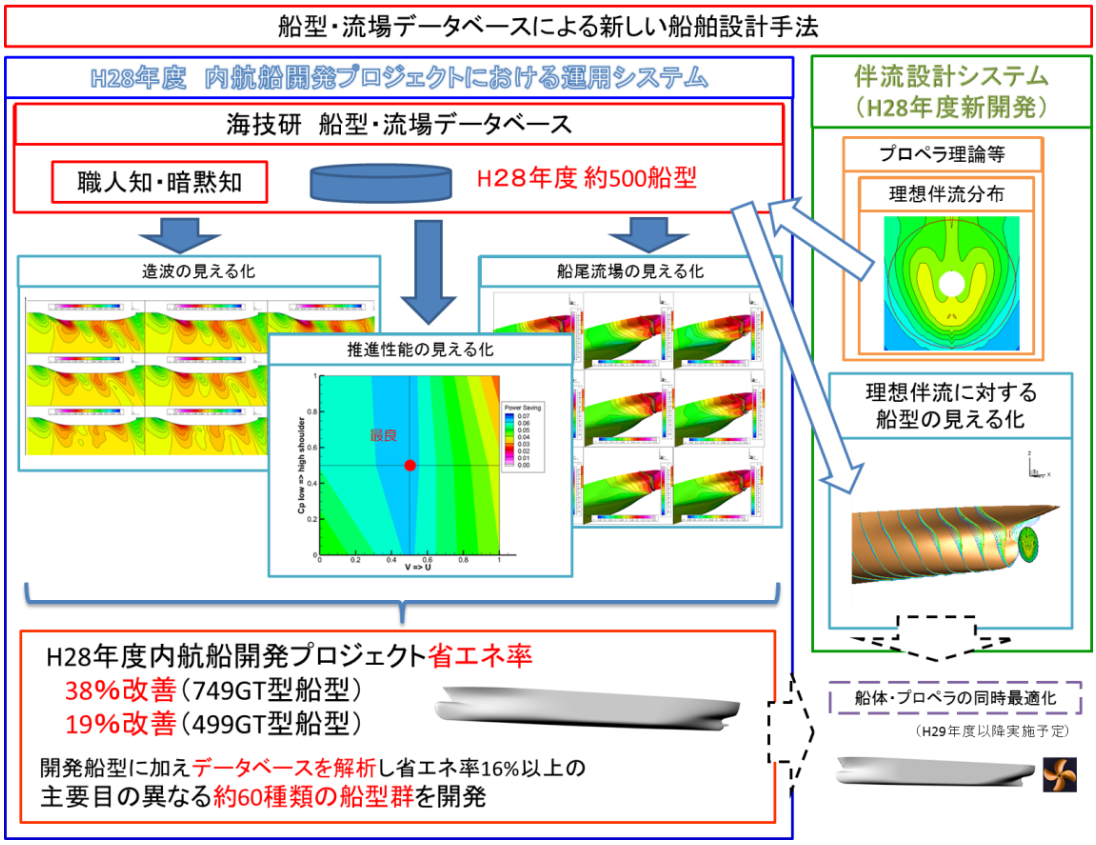


図 1-1　伴流設計システムを用いた船型・流場データベースによる新しい船舶設計手法の概要図

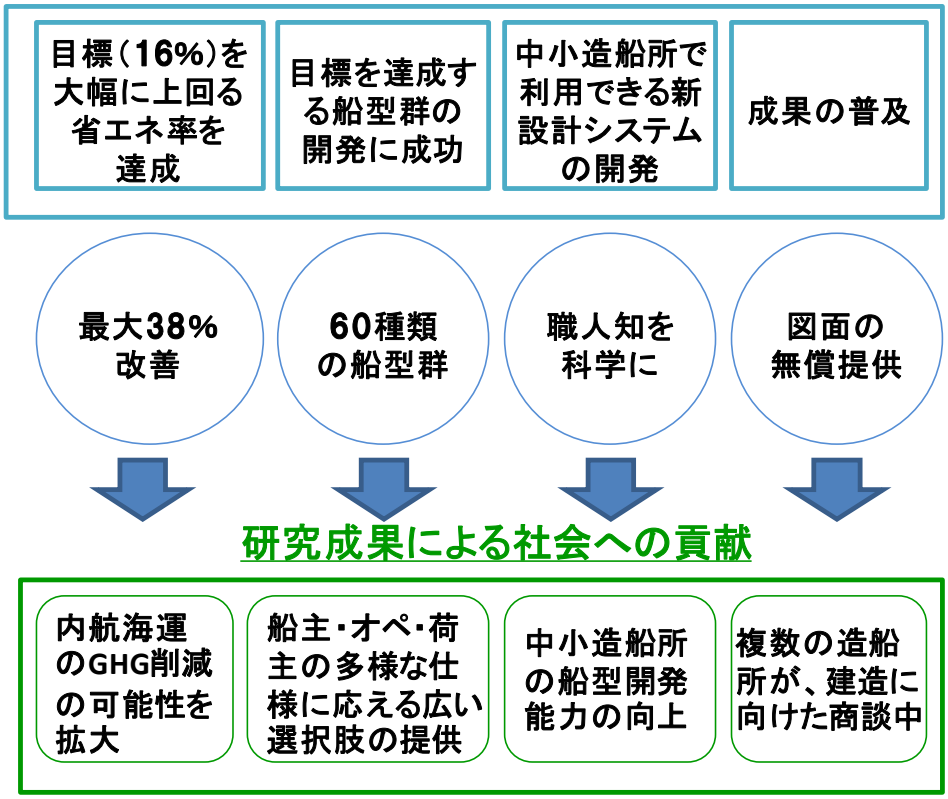


図 1-2　伴流設計システムを適用した内航船開発の成果

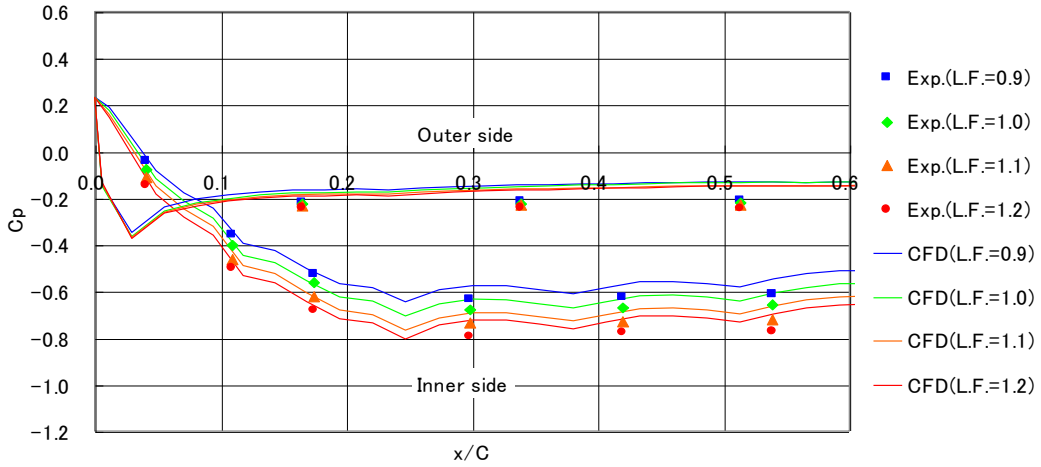


図 1-3　船尾ダクト表面圧力分布の比較（実験と CFD の比較）

(2) 旋回流とプロペラの干渉制御技術

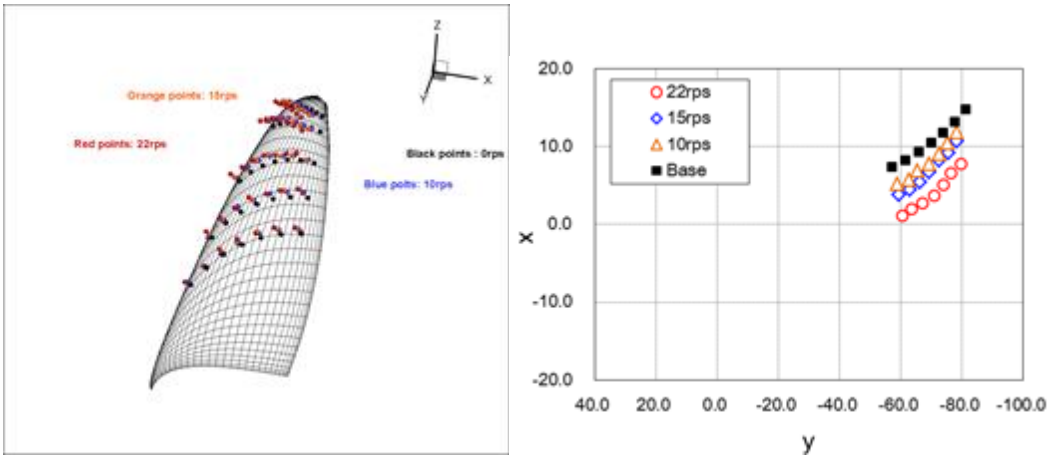


図 2-1　組合ライン CCD 法を用いた回転数変更時の翼変形量計測結果
（左：3 次元プロット、右：0.95R-xy 平面変形後翼断面比較）

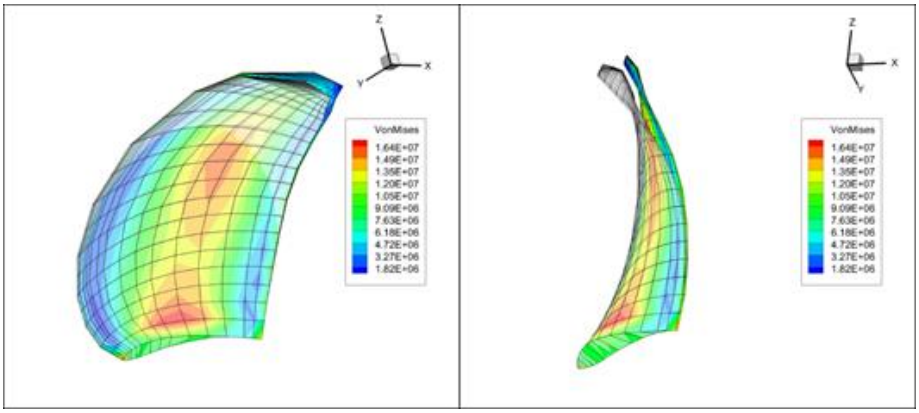
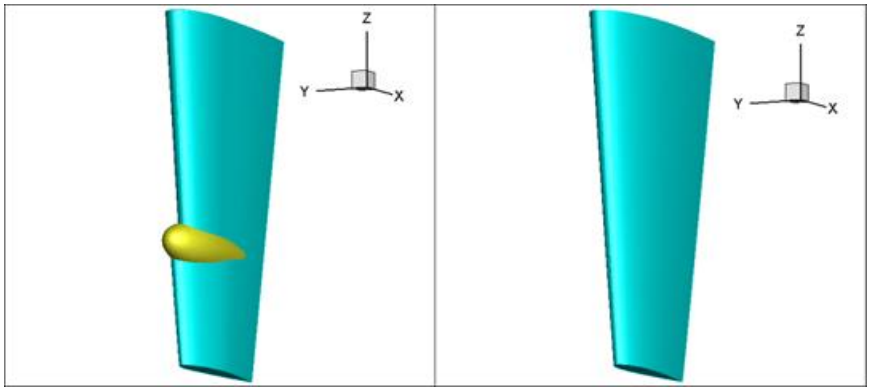


図 2-2　QCM と FEM を用いたプロペラ翼変形量及び構造解析結果



【反動舵＋舵バルブ】　　【普通舵】

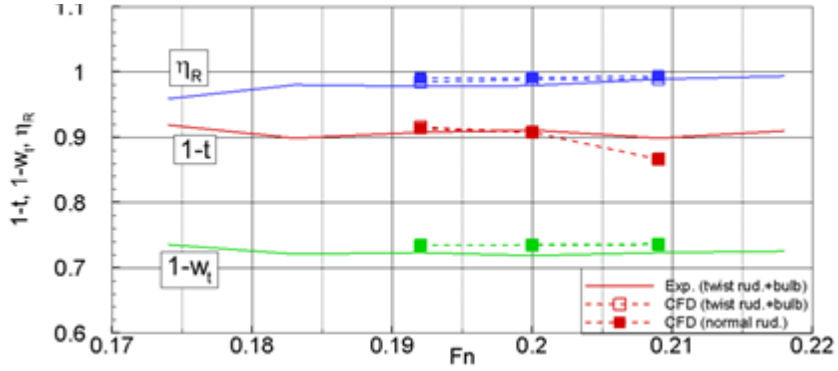


図 2-3　反動舵+舵バルブおよび普通舵装備コンテナ船型の自航要素推定結果

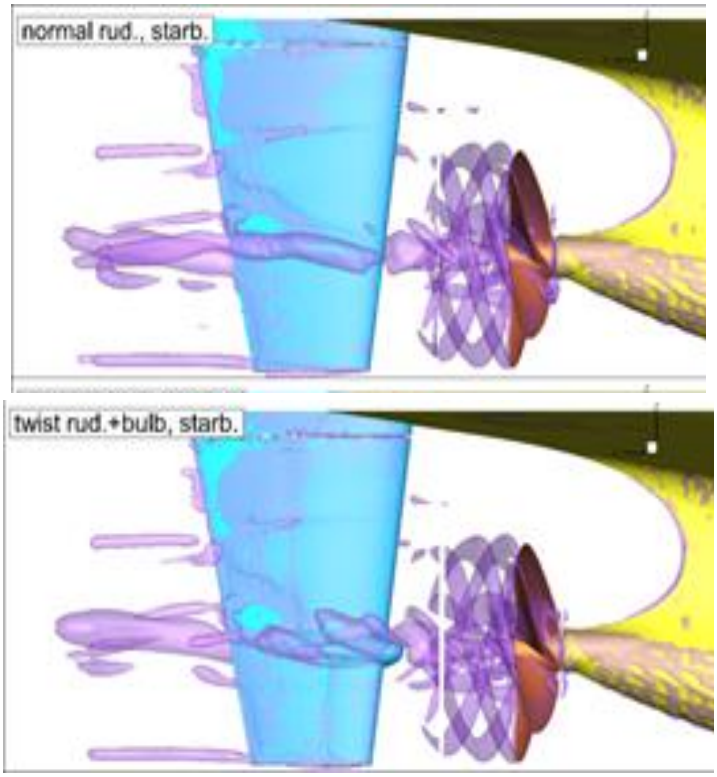


図 2-4　反動舵+舵バルブによるプロペラ後方流場の変化
(上：普通舵、下：反動舵+舵バルブ)

2. 摩擦抵抗低減

(1) 空気潤滑の効率向上技術

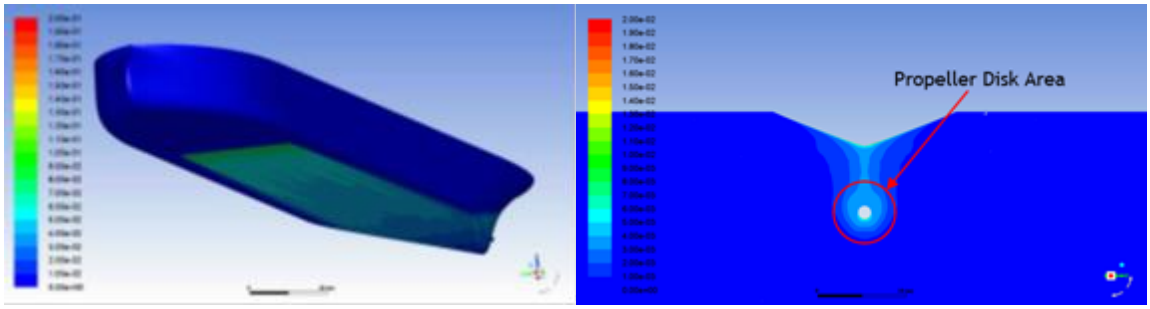


図 3-1　JBC 船型を対象とした CFD を用いた船体周りのボイド率分布の推定
（左：船底気泡被覆状況、右：プロペラ位置のボイド率分布）

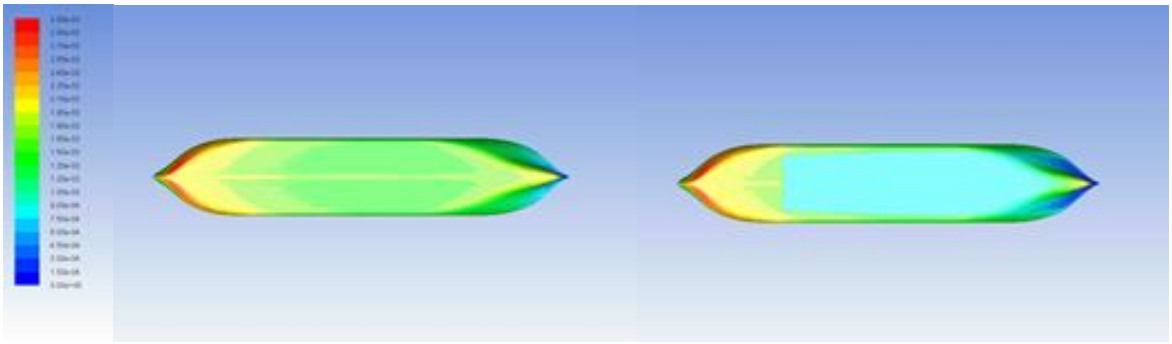


図 3-2　気泡有無における船底部の摩擦抵抗係数の CFD 推定
（左：気泡無（単相流）、右：気泡有（気液二相流））

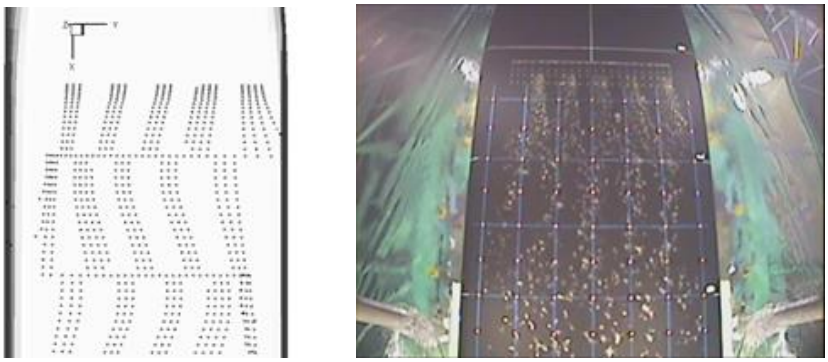


図 3-3　横揺れ中船底気泡挙動の気泡挙動シミュレータによる予測と実験の比較
（左：シミュレータ、右：実験、条件：横揺れ振幅 4deg）

(2) 表面創製による摩擦低減技術

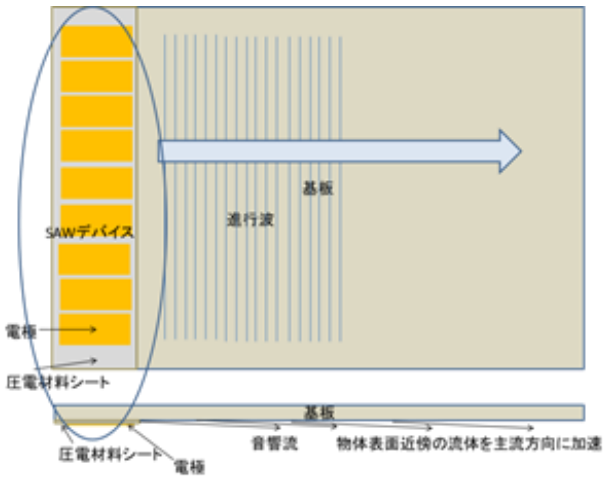


図 4-1　弾性表面波デバイスによる物体表面流制御デバイス概要図

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

研究テーマ	12. 多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －波浪中プロペラ負荷変動を精度よく推定するためのプロペラトルク変動モデルを開発する。 －重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISA において、直交格子等を用いた流場計算手法の高速化、計算格子の局所細分化手法を開発する。 等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、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。具体的には、

□多様なエネルギー源を用いた舶用動力システム技術の開発・検討

□各種動力システムの安全性評価

研究目標

□水素エネルギー利用を利用した舶用動力システムおよび多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価手法の開発

□各種動力システムの安全性評価手法の開発

上記成果は、多様なエネルギー源を船舶で活用する技術により、水素社会、環境にやさしい社会が実現されることが期待される。

平成 28 年度の研究内容

1. 多様なエネルギー源を用いた舶用動力システム技術

高圧水素をシリンダ内に噴射する水素直噴エンジンの開発を目指して，水素対応高圧ガスインジェクタの要素開発を行う。

また，天然ガス改質または水素を利用した舶用燃料電池システムを開発するとともに，塩分等による性能劣化や負荷変動対応技術等の技術課題についても検討する。これらの成果を踏まえて，水素燃料電池システムの実証試験を行う。

2. 各種動力システムの安全性評価

多様化する動力システムに対応して，それらの安全性を評価する。例えば水素エンジンでは異常燃焼や未着火による水素リークへの懸念が存在するため，燃料供給から動力生成およびそれ以降の排気行程に至る全行程における安全性を評価する。

さらに，水素エネルギー利用を対象として，水素燃料を船舶に搭載する際の課題を明確にし，船内燃料貯蔵・補給システムの安全性を評価する。

平成 28 年度の研究成果

□水素対応ガスインジェクタの動作試験を実施し，各部の材質や耐久性能に関する知見を得た。
□水素燃料電池システムの開発に関連して，配管部分や使用機器の水素漏洩試験や通風装置の換気試験等を実施し，船舶搭載時の安全性を評価した。
□外部関係者とともに水素燃料電池システム，リチウムイオン電池システム及び電気推進システムを小型実験船に搭載し，実船試験を実施した。その結果，水素使用時の安全性並びに電気機器の制御性を検証できた。
□ガスエンジンの燃料に水素や二酸化炭素を混合した試験やディーゼルエンジンの燃料にメタンガスを混焼させた試験を行い，エンジンの性能安定性等の評価を行った。
□軽油を燃料とした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について基礎研究に着手した。

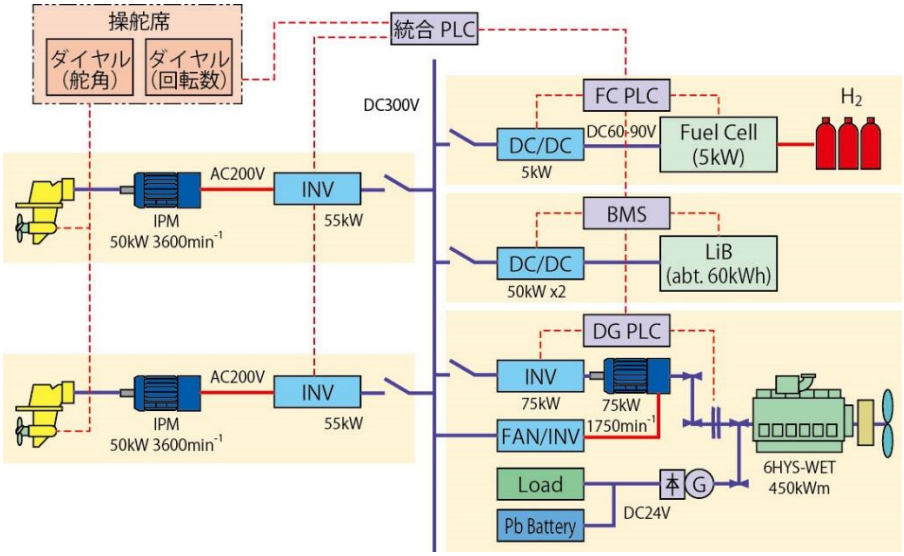
成果の公表

□特許：0 件
□発表論文（国内・査読付き）：1 件
・市川，他：燃料ガス組成がリーンバーンガス機関の燃焼特性および排ガス特性に与える影響，日本マリンエンジニアリング学会，マリンエンジニアリング Vol.52，No.2，2017 年 3 月.
□発表論文（国外・査読付き）：3 件
・仁木，他：Effects of ammonia gas mixed into intake air on combustion and emissions characteristics in diesel engine，The American Society of Mechanical Engineers，Proceedings of the ASME2016 Internal Combustion Fall Technical Conference，Oct. 2016.
・市川，他：EFFECTS OF GAS COMPOSITION ON COMBUSTION, EMISSION AND KNOCKING CHARACTERISTICS OF MARINE LEAN BURN GAS ENGINE，Proceedings of the ASME2016 Internal Combustion Fall Technical Conference，Oct. 2016.
・新田，他：Evaluation of Emissions Characteristics by Charging Exhaust Gas from Lean Burn Gas Engine into Marine Diesel Engine, Proceedings of the ASME2016 Internal Combustion Fall Technical Conference，Oct. 2016.
□発表論文（国内・査読なし）：2 件
・仁木，他：アンモニアを用いたディーゼル機関の混焼運転，日本マリンエンジニアリング学会，第 86 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集，2016 年 10 月.
・新田，他：未燃メタンを含むガスエンジン排ガスを吸入した舶用ディーゼルエンジンの排気特性（排ガス組成及びその供給タイミングの影響），第 27 回内燃機関シンポジウム講演論文集，講演番号 65，2016.
□その他（口頭発表，PS など）：5 件
・仁木，他：アンモニアを用いたディーゼル機関の混焼運転，平成 28 年度海上技術安全研究所発表会講演集，2016 年 6 月.
・市川，他：舶用リーンバーンガス機関における燃料ガス組成の相違が燃焼特性および排ガス特性、ノッキング発生特性に与える影響，平成 28 年度海上技術安全研究所発表会講演集，2016 年 6 月.
・新田，他：舶用ディーゼルエンジンとガスエンジンを組み合わせた C-EGR システムの排出特性，平成 28 年度海上技術安全研究所発表会講演集，2016 年 6 月.
・平田：マリンハイブリッドシステムの開発に関する研究，平成 28 年度海上技術安全研究所発表会講演集，2016 年 6 月.
・平田：船舶分野における燃料電池システムの展開と期待，KRI ワークショップ燃料電池の新たな展開～2020 年に向けて～配付資料，2016 年 10 月.

※上記の発表論文には，平成 27 年度までに実施した研究成果や本重点研究以外の研究課題（基盤研究，先導研究，科研費）の一部を含むものがある。

参考図

付図１　水素燃料電池システムを搭載した実験船



付図２　システム構成

研究開発課題	(5) 船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

研究テーマ	13. 船舶から排出される NOx、SOx 低減技術の高度化に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（ＰＭ）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発 －各ブラックカーボン（BC）計測法の評価を行い、BC 計測のプロトコルを確立するとともに、PM の実船サンプリングシステムの設計・製作、BC・PM 削減のための排ガス処理システムの設計を行う。等

研究の背景

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

□排ガス処理要素技術の高度化・高信頼化の検討
□次世代燃料の燃焼性評価手法の確立
□統合型排ガス処理システムの開発・実証
□次世代機関室の検討

研究目標

□排ガス・排水等、トータルでの環境負荷低減を目指した排ガス処理システムの開発
□SOx 規制対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術の開発
□インテグレートシステムの設計ツールの開発
□次世代機関室のあり方の提案

上記成果は、インテグレートシステムの開発により、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ことが期待される。また先駆的な技術開発による我が国海洋産業の国際競争力強化、さらに本研究で得られたデータ・知見は学術的根拠としてなり得る。

平成 28 年度の研究内容

(1) 排ガス処理要素技術の高度化・高信頼化：脱硫システム（湿式スクラバ）の実用化・普及に伴う技術課題について調査する。また、スートフィルタ、SCR 脱硝システム及び湿式スクラバを組み合わせた試験設備を用いて要素毎の特性を詳細に評価するとともに、船舶搭載時の課題を解決のための新たな要素技術開発を行う。さらに，次年度以降に開始する統合型排ガス処理システムの実用技術開発に向けて，排ガスモニタリングシステムの試設計を行う。

(2) 次世代燃料の燃焼性評価手法の確立：SOx 規制対応燃料の燃料中の成分変化に対する燃焼性評価を行うため、試験に必要とされる仕様について検討し、その結果に基づき燃焼性評価装置の改良・整備を行う。また、異なる LCO に対して混合燃料を作成し、同一着火性指標の燃料に対して燃焼性評価試験、数値モデルによる評価を実施する。

(3) 次世代機関室の検討：排ガス処理システムの実船への導入に伴う機関室の機器配置、及び一般配置の見直しについて、代表的な船種を選んで文献調査・実地調査を行い、課題や考慮すべき項目について検討する。

平成 28 年度の研究成果

(1) 排ガス処理要素技術の高度化・高信頼化：SOx スクラバから排出される低 pH 排水が船底塗料に与える影響を調査したほか、酸性排水が海水中でどのように中和されるか実験を行った。低 pH のスクラバ排水は、船底塗料からの防汚剤溶出速度などに影響し、特に pH 5.0 以下では塗膜表面の損壊が顕著であった。また、pH4.0 の酸性排水を海水中に排出する小規模実験を行い pH 分布の可視化を行った（図１）。その結果、十分に排出口径が小さければ、IMO で規定されている「排出口から 4m 先で pH6.5 以上」という条件を満たすことが示された。この結果は中和反応と流体運動を加味した計算結果とも一致した。ただし、前述の船底塗料への影響から、低 pH での排水排出には総合的な判断が必要である。さらに、スクラバ、SCR、電気集塵機など個々の排ガス後処理システム前後で計測した結果を統合し、1 か所で監視、性能確認ができるようなモニタリングシステムを開発した。

(2) 次世代燃料の燃焼性評価手法の確立：舶用燃料における着火性は、その規格において燃料の蒸発と密度によって評価される。従って、燃料の蒸発性を検討することで着火性との関係を明確にすることができると考えられる。今回対象とした同一着火性燃料において、実用燃料に対応できる蒸発モデルの開発・改良を行い、単一液滴の蒸発実験結果と一致する結果が得られた。また、実験結果において着火性の低い燃料の蒸発性が高いことが示された。これは蒸留特性との相関があることも明らかになった。

(3) 次世代機関室の検討：燃料内硫黄分規制に関するグローバルキャップの 2020 年開始確定を受けて、スクラバーを含む環境規制対応策導入の機関室設計や機器配置への影響に関する造船企業への聞き取り調査を行い、その結果を取りまとめ課題を抽出した（結果は協力してくれた各企業へも報告）。併せて代表船舶への環境規制対応機器への導入に関する検討、船舶データベースを使った 2015～2016 年の環境規制対応策の導入状況の調査も行った。

成果の公表

□プログラム登録：脱硝反応計算プログラム（NOx 削減技術である SCR 脱硝装置に関するこれまでの知見を利用して、SCR 脱硝装置の性能予測プログラムを作成し登録した。）

□発表論文件数　4（国内 3、海外 1）

・安達, ‘Economic Analysis of Exhaust Gas Heat Recovery System from Marine Diesel Engine’, 7th PAAMES & AMEC（2016/10）

・安達他 3 名，BASS モデルを使った舶用排ガス後処理システムの普及予測，第 86 回マリンエンジニアリング学会学術講演会論文集（H29/10)

・高木他 11 名，分解軽油（LCO）液滴の蒸発特性に関する研究，日本機械学会北海道支部学生会

・今井他 4 名，分解軽油（LCO）の着火特性に関する考察，ENEOS TECHNICAL REVIEW

参考図

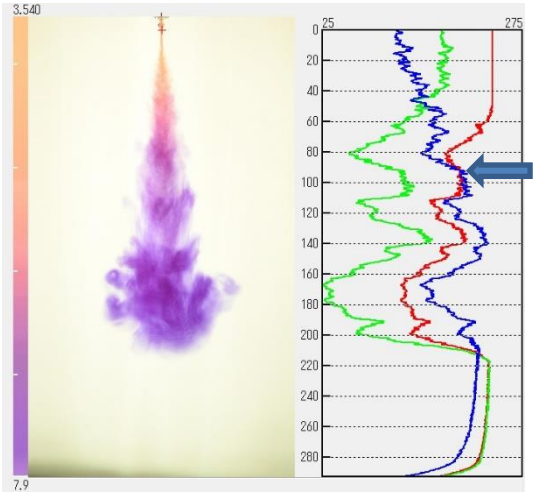


図.1 模擬スクラバ排水の pH 分布解析
既知の pH 溶液を用いて RGB 検量線を作成し、実験の噴流画像の RGB 分布から pH を算出した。

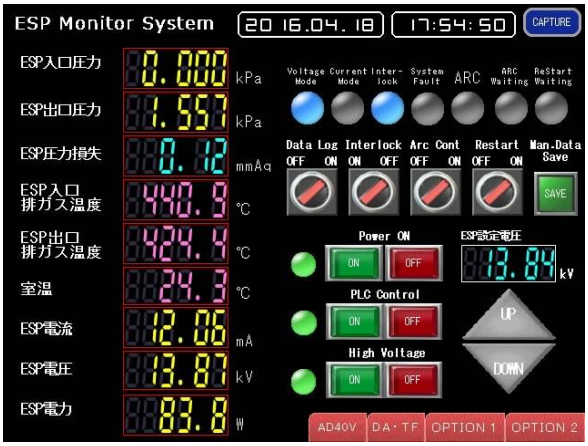


図 2 排ガスモニタリングシステムのプロトタイプ
個々の排ガス後処理システム前後で計測した結果を統合し、性能確認できるようモニタリングシステムを開発。上図は電気集塵機用画面の試作。

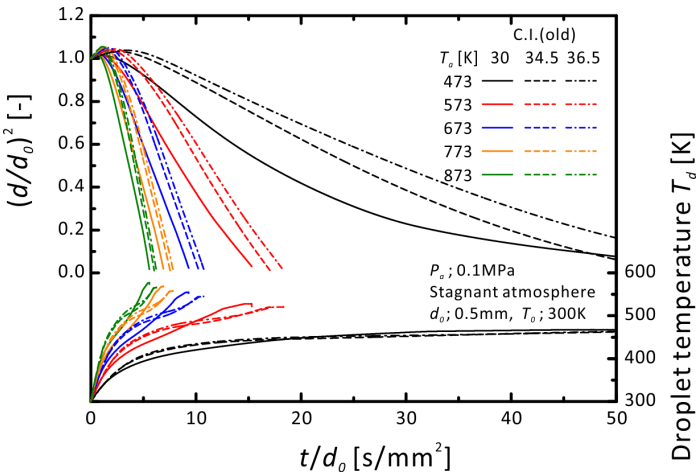


図 3 同一着火性燃料における蒸発特性（液滴径と温度の時間変化）
3 種類の同一着火性指標をもつ燃料の周囲温度変更時の結果
CI(old)30→34.5→36.5 の順に実験による着火遅れは長くなる

研究開発課題	(5) 船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

研究テーマ	14. 船舶から排出される BC 及び PM の計測・除去技術の開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（ＰＭ）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発 －各ブラックカーボン（BC）計測法の評価を行い、BC 計測のプロトコルを確立するとともに、PM の実船サンプリングシステムの設計・製作、BC・PM 削減のための排ガス処理システムの設計を行う。等

研究の背景

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

□BC 及び PM の計測技術の高度化と排出実態の調査

□BC 及び PM の低減技術実用化のための技術課題の解決とその評価

研究目標

□BC、PM 及び PM2.5 前駆物質の計測法及び船舶からの排出量データの作成と計測プロトコルの提案

□燃料や動力システムの多様化に対応した PM・BC（ブラックカーボン）の除去システムと性能評価・設計ツールの開発

上記成果は、除去システムの実用化、合理的な規制等により海洋環境が保護されることが期待される。また国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力強化、さらに本研究で得られたデータ・知見は学術的根拠としてなり得る。

平成 28 年度の研究内容

□BC 計測事例を積み重ねるとともに、計測のプロトコルを確立する。
□PM 捕集装置の設計・製作
□BC および PM 削減技術について、エンジン側での制御や後処理装置単体の効果、組み合わせ効果の調査を行い BC・PM 除去システムの設計基礎データを得る。スクラバ洗浄水の性状や硫酸ミストの排出実態計測を行う。

平成 28 年度の研究成果

□BC の計測スタディを継続し（複数の計測法を用いた 2 ストと 4 ストのラボ実験および実船実験）、その結果をもとに IMO での BC プロトコルの議論に参加した(PPR4 への提案文書、CG への意見提出など)。PM から分離分析した EC と光音響法とフィルタスモークメータによる BC 計測結果は､4 ストロークエンジンで A 重油などの留出油を使用した場合は非常に相関が高かった。一方、残さ油を使用した場合や 2 ストロークエンジンでの計測値は相関性が低くなった。このことは、各計測法による計測値（音や反射率など）から BC 濃度へ換算する場合の変換係数が、計測条件によって変わる可能性を示唆しており、さらに研究が必要と考えられた。海外研究者との意見交換も継続的に行っている。
□可搬式 PM 捕集装置を製作し、実験機関において、元の装置との比較実験を実施した。（図 1）
□エンジン排ガスから捕集した PM の成分分析法であるサーマルオプティカル法について､舶用エンジンに最適な計測条件を明らかにした。（図 2）
□BC および PM 削減技術について、燃料噴射圧、スクラバ、電気集塵機（ESP）の影響について検討を行った。低負荷域では燃料噴射圧を上げることにより、BC 濃度は最大 90%削減された（図 3）。スクラバでは負荷に関係なく 60%程度、ESP では 25%負荷で最大 70%程度の削減が可能であったが、排ガス温度と流速などの影響について課題が残った。

成果の公表

□プログラム登録 1 件（名称：ブラックカーボン計測プログラム）
□発表論文 2 件
高橋千織ほか、舶用燃料油の動向とブラックカーボン・PM 排出に与える影響、第 86 回マリンエンジニアリング学会学術講演会論文集（H29/10)
益田晶子ほか、舶用ディーゼル機関から排出されるブラックカーボンの濃度と粒径分布計測第 86 回マリンエンジニアリング学会学術講演会論文集（H29/10)
□国際貢献 IMO 提案文書 2 件
”Further consideration for measurement studies of Black Carbon”, IMO PPR4 提案文書（H29/1/16）
“Report of further research on measurement of Black Carbon in exhaust gas from marine diesel engines”, IMO PPR4 INF 文書（H29/1/16）
□その他 5 件（学協会講演会 2 件、学協会寄稿 1 件、海技研研究発表会 2 件）
高橋千織、SOx 規制開始に向けた課題－海技研における取り組み、日本船舶技術研究協会 船舶基準セミナー(H29/12/15)
益田晶子、IMO におけるブラックカーボン規制の動向と計測の実際、第 61 回 JIME 特別基金講演会(H29/3/3)
高橋千織、国際海事機関におけるブラックカーボン規制に関する議論の動向、日本船舶海洋工学会 日本船舶海洋工学会誌「KANRIN」66 号（H29/5）
高橋千織ほか、国際海事機関におけるブラックカーボン規制に関する議論の進捗状況、第 16 回海上技術安全研究所研究発表会(H29/6/24)
益田晶子ほか、舶用ディーゼル機関からのブラックカーボン排出と計測法比較、第 16 回海上技術安全研究所研究発表会(H29/6/24)
□公開実験 2 件
PM 計測に関する公開実験（H29/3/13）
BC 計測に関する公開実験（H29/3/13）

参考図

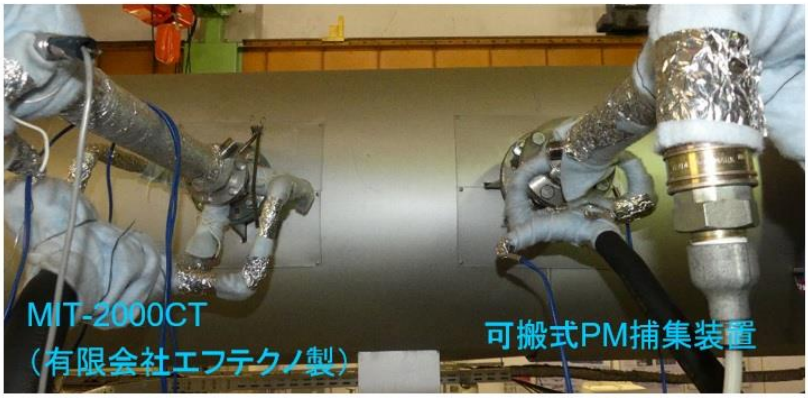


図 1　既存の PM 捕集措置と試作の可搬式 PM 捕集装置の比較実験
排気管への設置状況

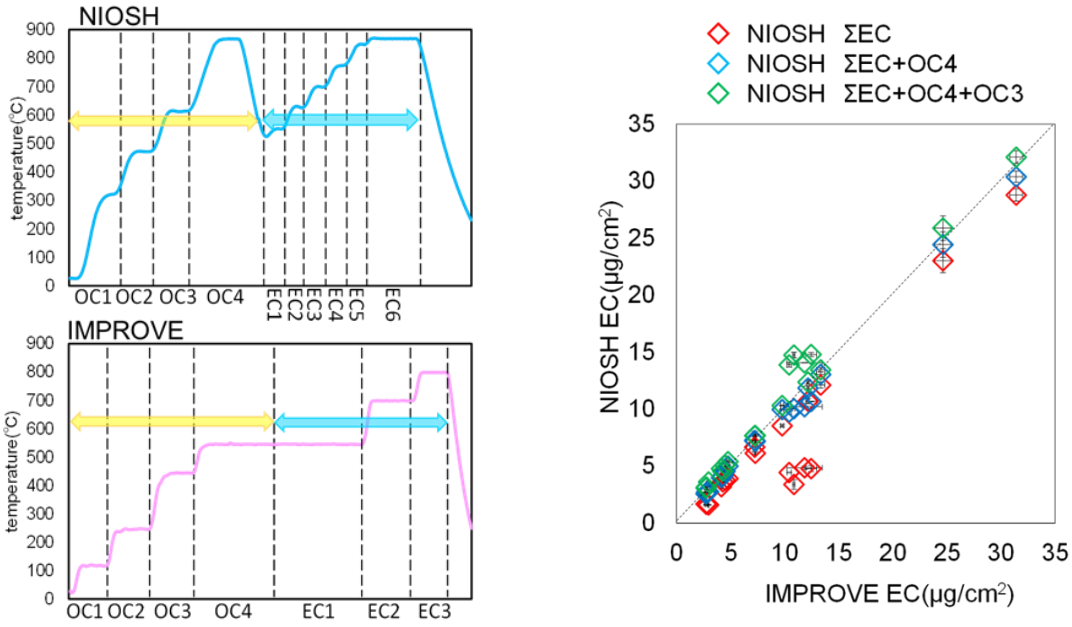
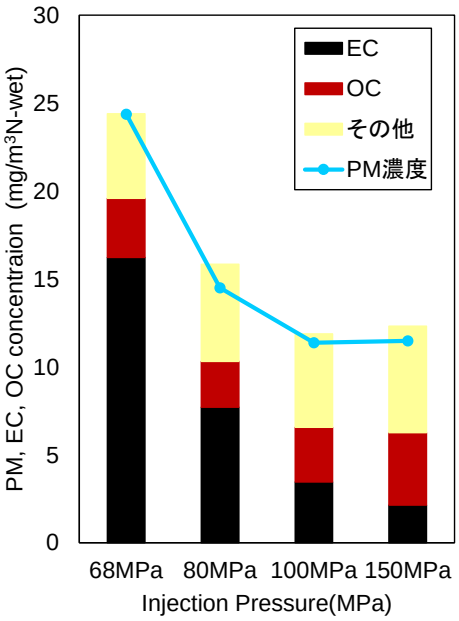


図 2　サーマルオプティカル法のプロトコル比較
左図：NIOSH と IMPROVE の昇温図、黄色矢印は He 雰囲気、青矢印は He+2%O_2 雰囲気を示す
右図：NIOSH と IMPROVE の計測値比較図
NIOSH は EC を過小評価しており、OC フラクションを足す操作をしないと IMPROVE の計測値と一致しないことがわかり、計測に適していないとわかった。



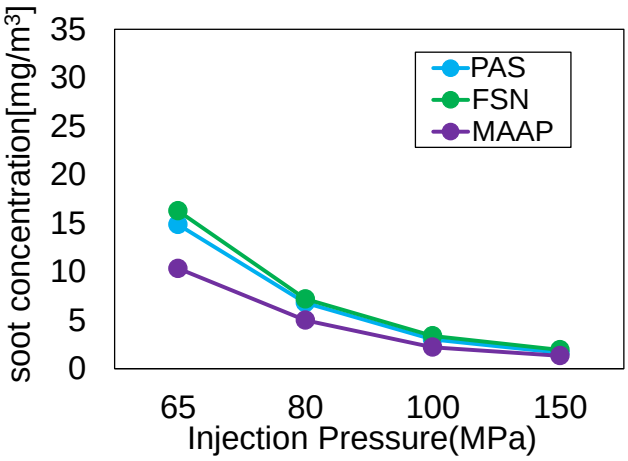


図３　燃料噴射圧の変更による PM 組成、BC 排出への影響
（新潟エンジン、A 重油使用、25%負荷時）
左図：PM 中の排ガス成分の燃料噴射圧依存性(平均値)
右図：各 BC 計測法による BC 濃度の燃料噴射圧依存性(平均値)

研究開発課題	(5) 船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

研究テーマ	15. 船舶に起因する生態系影響の評価技術の構築に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（ＰＭ）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（ＣＯ２）、窒素酸化物（ＮＯｘ）、硫黄酸化物（ＳＯｘ）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発 －各ブラックカーボン（BC）計測法の評価を行い、BC 計測のプロトコルを確立するとともに、PM の実船サンプリングシステムの設計・製作、BC・PM 削減のための排ガス処理システムの設計を行う。等

研究の背景

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

□防汚塗料の防汚効果評価方法等の提案
□シーチェスト等のニッチエリアに対する防汚技術を評価する方法の確立
□船舶起因の水中騒音の予測技術の確立

研究目標

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

平成 28 年度の研究内容

- **船舶ニッチエリアの汚損発生メカニズムを解明するために，ニッチエリアの生物付着状況を把握．また，現状の対策技術を整理するために，現状対策技術の限界性能を把握．**
- 船舶起因の水中騒音の主音源であるプロペラキャビテーションノイズのメカニズムを解明するために，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する．
- 水中騒音予測システムを構築するために必要な，各種計算手法を構築する．

平成 28 年度の研究成果

□外航船 6 隻，内航船 19 隻の合計 26 隻についてニッチエリア毎のスライム，藻類及び動物種の汚損を撮影した写真より生物付着状況を評価した。その結果、対策案として①複雑形状な所は十分な塗装膜厚が得られるように塗料改良（高粘度化）／塗装管理、②水流に応じた塗料を選定（正し，シーチェスト内部など不定な水流への対応は困難)、③不定な水流である等塗料のみでは対応困難な所は，塗装以外のシステムの導入が必要であることが明らかになった。

□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した。構築したシステムを用いて、コンテナ船型のプロペラ水中騒音計測を実施したところ、過去の計測結果を良く再現すると共に、現在の海技研キャビテーション水槽の背景雑音レベルが、30 年前に比べ大幅に大きくなっていることが明らかになった。

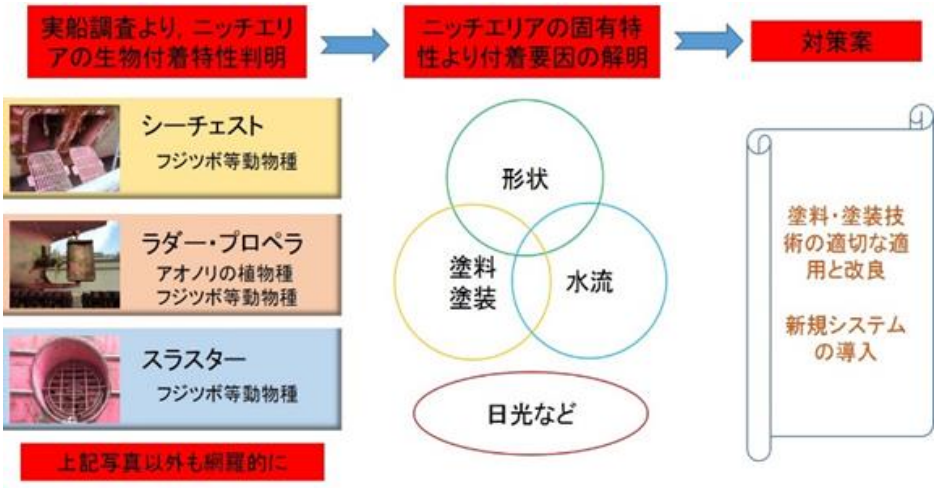
□CFD を援用した音響アナロジーに基づく手法によるプロペラキャビテーション騒音推定法検討を行った。その結果、閉空間内におけるプロペラキャビテーション騒音は、音響アナロジーを用いず、CFD による直接推定の方が、水槽試験結果との一致が良いことが明らかになった。

◆水中騒音基準に関する成果としては、ISO/TC8/SC8/WG14 で審議されている、キャビテーション水槽を用いたプロペラ水中騒音計測・音源探査の各基準審議を担当した。前者については、日本意見(ワイヤーメッシュ法が伴流再現法として有効であること、広帯域音推定法として、Brown 式、CFD の援用が有効であること等)を全て基準文書内に反映させた。後者についても、基準文書が日本にとって不利益なものとならないよう、国内造船所・プロペラメーカーと意見調整の上、審議を継続している。

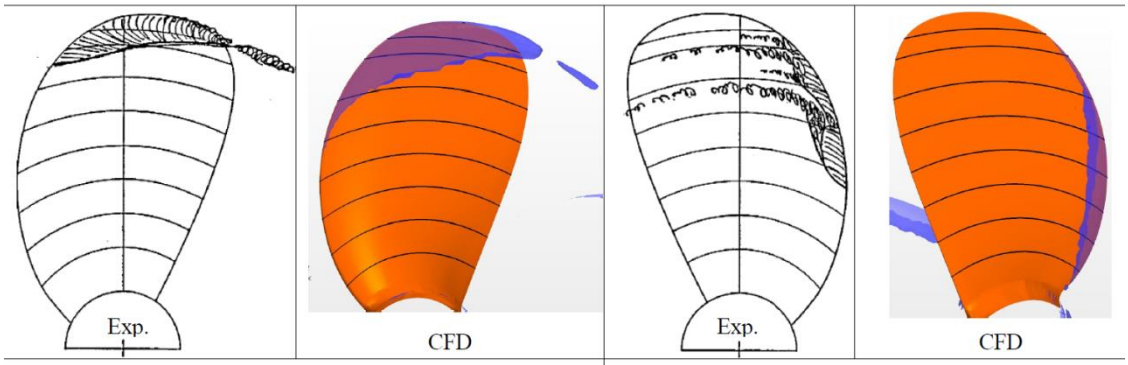
成果の公表

・投稿論文「A Method for Evaluating the Efficacy of Antifouling Paints using Mytilus galloprovincialis in the Laboratory in a Flow-through System」：PLOS ONE
・発表講演「ラボ生物付着試験による防汚塗料の防汚効果評価法の研究」：第 86 回マリンエンジニアリング学術講演会
・発表論文「Verification of FW-H method for estimations of pressure fluctuation induced by cavitating marine propeller」：キャビテーションに関するシンポジウム（第 18 回）
・発表講演「NMRI plan of HTF round robin tests for propeller cavitation noise measurement」：Hydro-Testing Forum CoP “Noise”

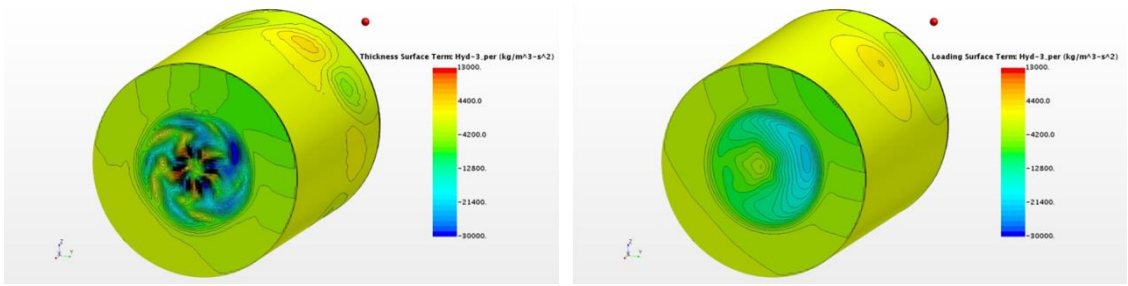
参考図



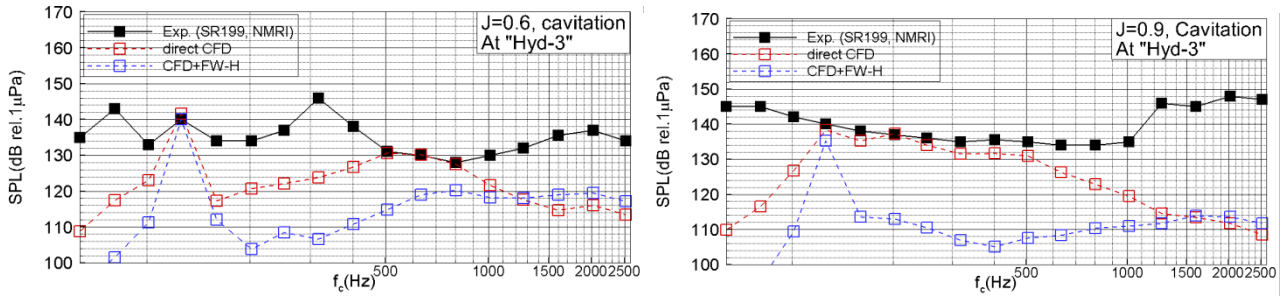
ニッチエリアの評価の概要



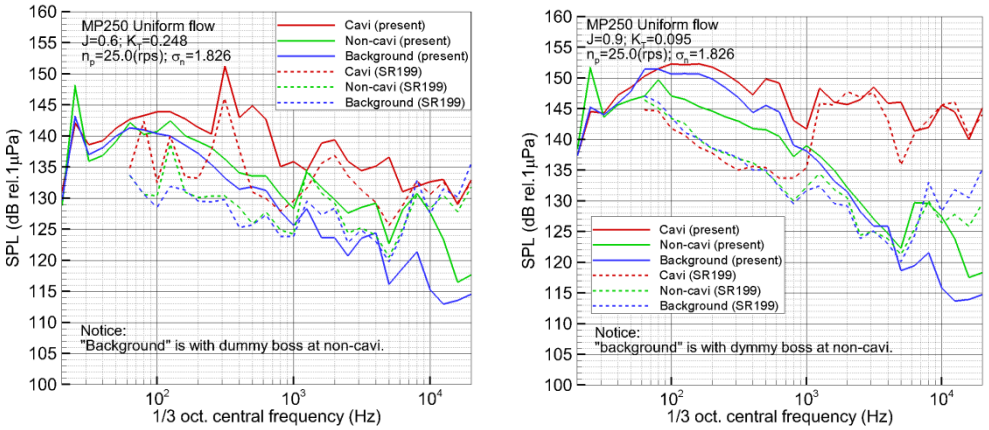
コンテナ船型のプロペラキャビテーションパターン



コンテナ船型のプロペラキャビテーション音源モデル（左：単極項、右：二重極項）



コンテナ船型のプロペラキャビテーション騒音推定結果（CFD 直接推定 vs CFD+音響アナロジー法）



海技研キャビタンにおけるコンテナ船型のプロペラキャビテーション騒音計測結果

研究開発課題	(5) 船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

研究テーマ	16. 船舶からの油及び有害物質の流出等の対策に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発 －各ブラックカーボン（BC）計測法の評価を行い、BC 計測のプロトコルを確立するとともに、PM の実船サンプリングシステムの設計・製作、BC・PM 削減のための排ガス処理システムの設計を行う。等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン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上で社会合理性のある適切な規制を構築する。具体的な内容は以下の通りである。

□流出油の回収・処理の高効率化に関する研究
□モニタリングによる海底堆積物中の放射性物質濃度分布の分析
□油・放射性物質等が環境放出した際の環境影響評価システムの高度化

研究目標

□厳しい海象条件でも滞油性能の高いオイルフェンス（あるいは新規の漏油防止装置）を提案する。
□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で、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に寄与する。
□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を提示する。
□広範囲な物質（油・有害化学物質・放射性物質等）を対象とした、閉鎖湾内・外洋のいずれの場合にも適用可能な海洋拡散シミュレーション計算基盤を構築する。

上記の成果が得られることで、以下の事が期待される。

①新しい油回収・処理効率向上技術が開発されれば、油除去作業に伴う困難さが軽減され、かつ海難事故に起

因する油流出による甚大な環境汚染を低減することが可能となる。
②環境影響評価支援システムにより、事故対応措置のみならず、事故による漁業や水産物に与える影響を将来にわたって把握するために有用な情報の提供が可能となり、科学的根拠に基づく食品等の国内基準や行動規範の策定、衛生管理レベルの向上につながる。
③高度化される海洋拡散シミュレーション技術により、広範囲な物質（油・有害化学物質・放射性物質等）及び広い海域（閉鎖湾内と外洋）を対象とした海洋拡散シミュレーション計算が可能となり、化学物質の安全性評価に係る基礎データとして活用される。

平成 28 年度の研究内容

(1) 海難事故時における油流出・処理効率向上技術の開発（港湾空港技術研究所 油濁対策研究チームと共同で実施）

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）の開発準備として、オイルフェンスの現状における問題点等を文献調査により把握する。座礁船内に残存する高粘度燃料油の回収効率向上を目的として、水蒸気爆発の圧力波を利用して油を微細化することで流動性を高める新技術に着目し、水蒸気爆発の発生促進に関する文献調査及び蒸気爆発発生条件を確認するための予備実験を通じて、沸騰水による気泡破壊を高粘度燃料油の回収に対してより効果的に適用できる装置構成について検討・提案する。

(2) 海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発

海上風による海面せん断応力及び潮汐の影響を考慮した海流場のデータベースを構築するとともに、現状の影響評価システムに組み込むためのプログラム群を整備する。また、すでに開発済みの物質拡散モデルを、放射性物質の吸脱着反応に大きく影響する海水中微小粒子の濃度が移流拡散方程式に従うモデルへと拡張する。

平成 28 年度の研究成果

(1) 海難事故時における油流出・処理効率向上技術の開発

□オイルフェンスの開発に関する調査研究により、気泡群放出に伴う水平流発生効果による油膜厚さの増加を利用する防火オイルフェンスへの適用が有効であることが分かった。
□水蒸気爆発現象の確認を主目的とした小規模水蒸気爆発発生装置を設計・製作し、当該装置を使って高温に加熱された軽質油に常温の水を注入した場合に、水蒸気爆発が発生することを確認した（図 1, 2 参照）。さらに、軽質油温度・水噴射圧力等をパラメータとした水蒸気爆発実験を行い、パラメータ条件に応じて発生する爆発的な体積膨張が油の流動性を高める効果があることを確認した。

(2) 海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発

□海上風を考慮した海流データに潮汐影響を追加するプログラムを開発し、海流データの高度化を図った（図 3 参照）。
□現状の影響評価システムのうち海洋拡散解析機能を高度化し、対応するユーザーインターフェースのプログラム群を整備した（図 4 参照）。
□物質拡散モデルを、放射性物質の吸脱着反応に大きく影響する海水中微小粒子の濃度が移流拡散方程式に従うモデルへと拡張した。

成果の公表

□特許 1 件（名称：高粘度物質の処理方法及び処理システム：特願 2016-062245）
□プログラム登録 0 件
□発表論文 1 件（うち査読付き英文論文 0 件、査読付き日本語論文 0 件）

・M. Asami, H. Oka and N. Odano, "Modelling dispersion processes of radioactive Materials in a maritime environ-ment for emergency response to maritime transport accidents involving radio-active material pack-ages", The 18th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials（PATRAM2016）, Kobe, Japan, September, 2016.

□受賞 0 件
□その他 1 件（協会誌寄稿 1 件）

・原正一ほか、油処理剤の水中散布による分散化油粒の浮上速度に与える影響、海上防災 7 月号、海上防災事業者協会

参考図

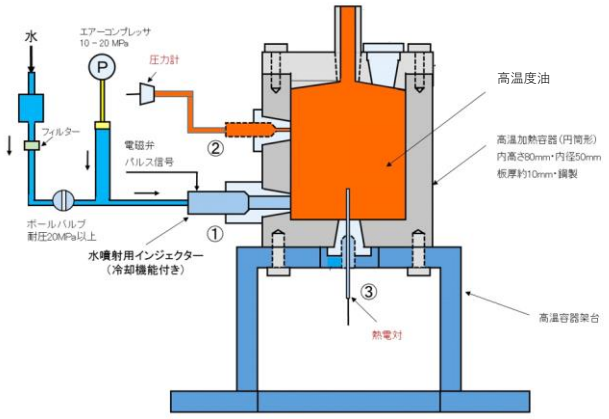


図 1 小規模水蒸気爆発発生装置の概略図

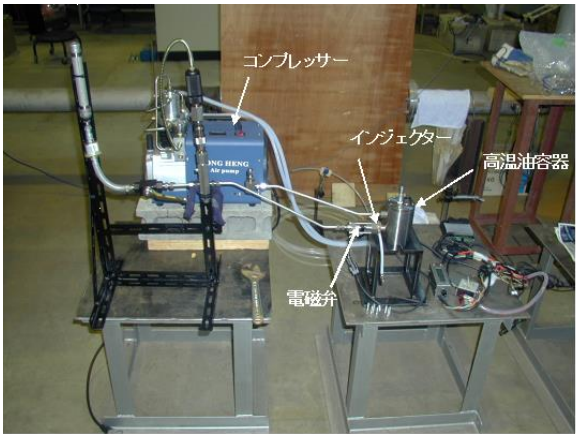


図 2 製作した小規模水蒸気爆発発生装置（全体図）

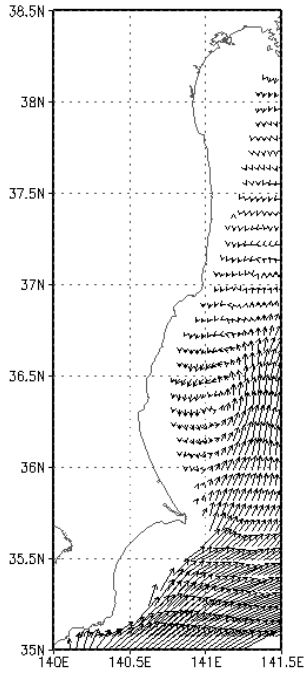


図 3 潮汐影響を加えて高度化した海流場の計算例（福島沖水深 10 m における速度ベクトル図）

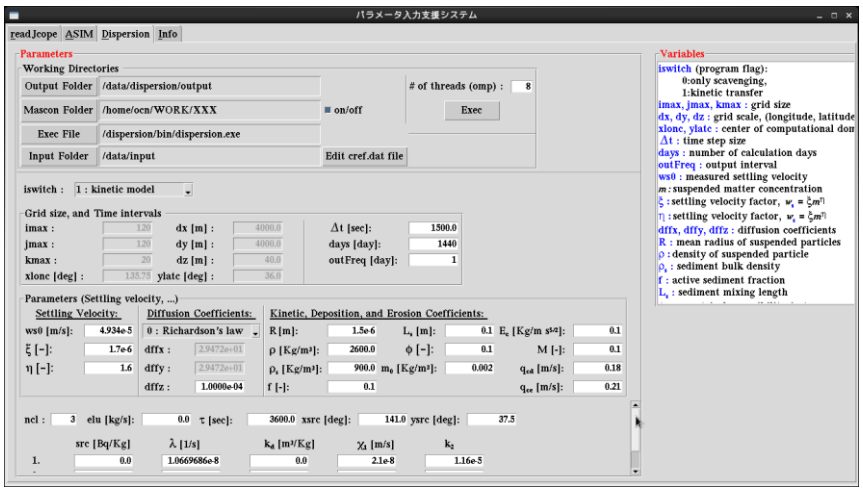


図 4 放射性物質の海洋拡散計算を行う際の計算パラメータを設定するために整備したグラフィカル・ユーザー・インターフェース

研究開発課題	(6) 海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発

研究テーマ	17. 海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術の開発及び安全性評価手法の開発並びに開発の加速に係る技術の開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 －海洋再生可能エネルギー発電について、発電効率や電力品位の向上を図るための制御ロジックの検討、開発を行う。 等

研究の背景

船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援。具体的には、
□海洋再生可能エネルギーの実用的な発電デバイスの開発
□認証およびステージゲート判定のための安全性・性能評価手法の研究
□有効な技術開発を進めるための要素技術開発

研究目標

□安全性および性能の最大化を追求した発電デバイスを開発
□認証およびステージゲート判定のための技術ツールを開発
□実証フィールドで使用する技術ツール群を開発
□マージンを適正化した必要十分な安全性確保に資する風車・浮体連成荷重評価ツールを開発
□安全性と発電量・発電品質の両立に資する浮体式用ブレードピッチ制御法を開発
□安全性の検証および点検・メンテナンスコストの削減に資する浮体構造モニタリングの実用的手法を開発
□安全性と発電量・発電品質の両立に資するウインドファーム配置最適化の検討ツールを開発
上記成果は、開発した技術を活用し、国等のプロジェクトに参画することにより海洋における再生可能エネルギーの開発が促進されるとともに、我が国海洋産業の競争力が強化され、またエネルギーモード（例えば、波力等）によっては、位置的偏在が比較的に少ないので全国で取り組み可能であるのに加え、小規模からの導入が可能で製造・保守管理に必要な資本も少ないので、地域密着型の事業展開が可能であり、地方創生にも資することが期待される。

平成 28 年度の研究内容

□浮体式波力発電の高性能デバイス開発に向けた基礎検討に着手。対象とする形式は、並進動揺型とし、不規則波中での最適制御のロジックを開発。
□浮体式風力発電の安全ガイドラインにおいて、ガイドラインの改定案を策定。海洋エネルギーについては、すでに検討された波力発電および潮流・海流発電の安全ガイドラインの最終化を検討。
□浮体式風力発電のブレードピッチ制御への現代制御理論の適用のための基礎検討として、システムが適切な精度と簡易度で記述された線形システムモデルを作成。モデルの有用性を、現代制御理論を活用した試解析によって確認。
□複数基配置に関連する技術課題の基礎検討のため、風力発電については、風車後流の数値シミュレーション技術を検討、並進動揺型波力発電においては、複数基（アレイ）配置におけるディフラクション・ラディエイション問題における相互干渉効果を評価する理論の整理を行う。
□荷重・応力モニタリング手法について、最も複雑な形式の一つであるセミサブ型の浮体を対象として検討を実施し、浮体形式によらない汎用化を検討。
□風力発電と波力発電または潮流・海流発電と施設の複合化を図るコンセプトについて検討。

平成 28 年度の研究成果

□浮体式波力発電・並進動揺型を対象として、不規則波中での最適制御の水槽実験を実施、基本的な効果を確認。（NEDO 受託の一部として実施）
具体的には、先ず発電装置浮体の流体力学的基本特性を把握するために行った自由減衰試験および強制動揺試験等を行い、さらに発電性能評価試験を実施した。
流体力計測試験結果は、数値計算手法の妥当性検証に活用した。発電性能評価試験では、規則波に遭遇した際の波予測、制御最適化の実験的検証を行った。開発した制御技術の規則波中における発電性能向上では一定の成果を得た。不規則波中での制御最適化等は、引き続きの課題とした。
□浮体式風力発電の安全ガイドラインにおいて、IEC の最新動向を踏まえてガイドラインの改定案を策定。
海洋エネルギーについて、潮流・海流発電の安全ガイドラインの最終化、および海洋温度差発電の安全ガイドラインを検討。（国交省受託の一部として実施）
具体的には、実用化段階に近い方式を一般化して、海洋温度差発電施設としてはスパー型を、また、潮流・海流発電施設としては昨年の水平軸型に加え、垂直軸型を取り上げた。
技術的課題の検討では、まず、国際基準・標準、および欧米の認証機関における型式認証や事業認証等の状況や具体的要件について整理した。続いて、外部環境条件の検討として、気象・海象を設定する際に検討すべき事項を整理し、我が国で必要となる極値条件および発現頻度等の気象・海象の設定法、ならびに現地観測方法の標準化等について検討した。
安全対策の検討として、既往の基準の準用の妥当性を検討し、適切な要件を設定すると共に海洋温度差発電施設では安全性照査の考え方について、潮流・海流発電施設では設計荷重ケースについて検討した。
また、縮尺模型を用いた水槽試験および機構解析等による分析を行い、稼働条件ごとの荷重特性の整理等について検討した。加えて、環境対策の検討として、浮体式海洋エネルギー発電施設の環境影響について、「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」の観点から技術的留意点を整理した。
これらの検討結果を踏まえて、ガイドライン（求められる概念的な安全・環境要件および要件を満たすための技術的課題の解決法や要件の検討手法等）を作成した。ガイドラインには、海洋温度差発電施設および潮流・海流発電施設の安全・環境対策のために必要な事項について網羅的に記載した。
□浮体式風力発電のブレードピッチ制御のための線形システムモデルの同定を変動風水洞実験により実施。モデルの有用性を、現代制御理論を活用した実験によって確認。現代制御の有用可能性を確認すると共に、今後の研究計画を立案。
□風力発電について、風車後流の数値シミュレーション技術を実施。並進動揺型波力発電においては、複数基（アレイ）配置におけるディフラクション・ラディエイション問題における相互干渉効果を評価する理論の整理を実施。今後の研究計画を立案。
□荷重・応力モニタリング手法について、最も複雑な形式の一つであるセミサブ型の浮体を対象として検討を実施。弾性応答を考慮した解析モデルを作成。
□風力発電と波力発電または潮流・海流発電と施設の複合化を図るコンセプトについて作成。

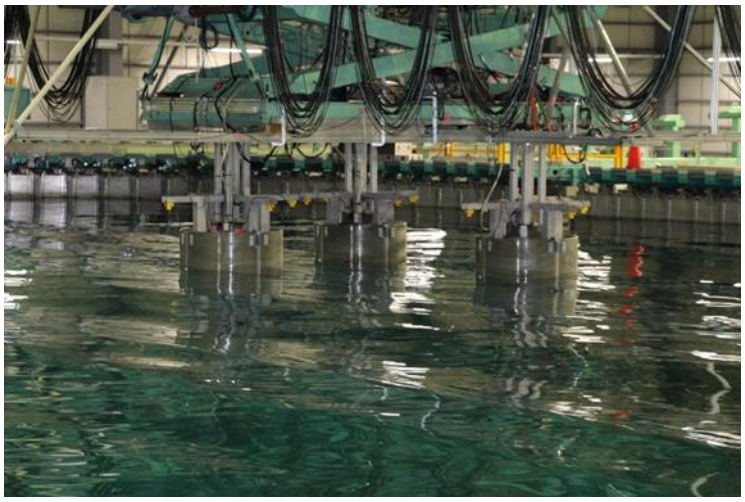
成果の公表

□特許：2 件出願準備中
□発表論文：和文 1 件

井上：浮体式洋上風力発電施設の復原性に関する論点について、第 38 回風力エネルギー利用シンポジウム

参考図

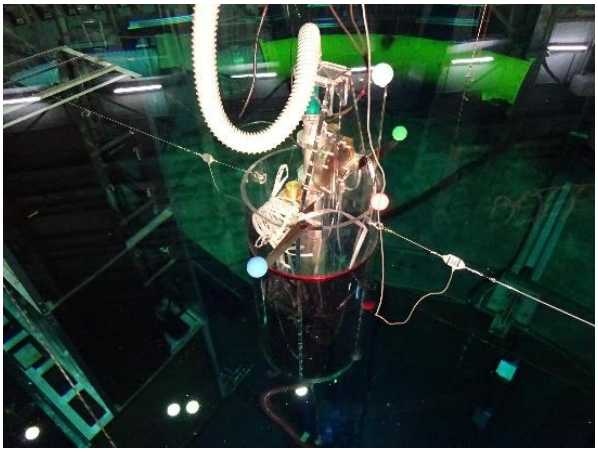
□浮体式波力発電・並進動揺型の最適制御の水槽実験
（NEDO 受託の一部として実施）



□潮流・海流発電の安全ガイドラインおよび海洋温度差発電の安全ガイドラインに係る水槽実験
（国交省受託の一部として実施）

垂直軸型潮流発電の水槽実験

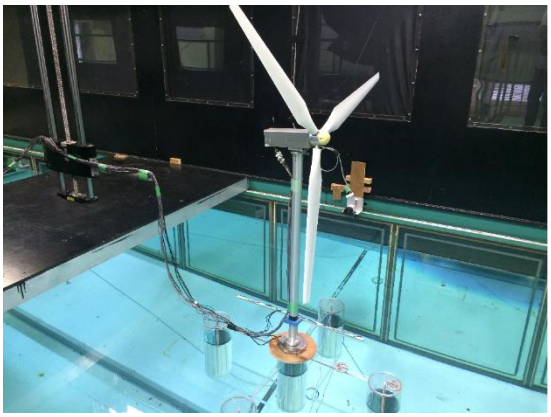
同・模型

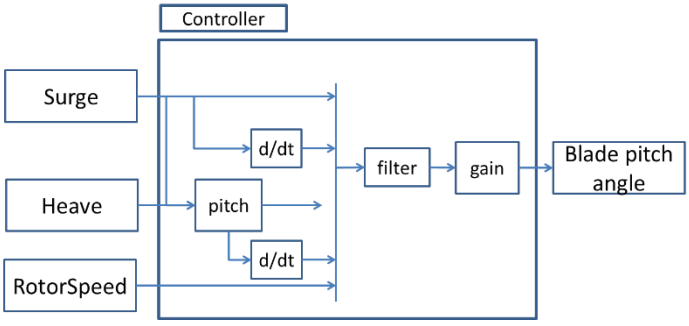


海洋温度差発電の水槽実験

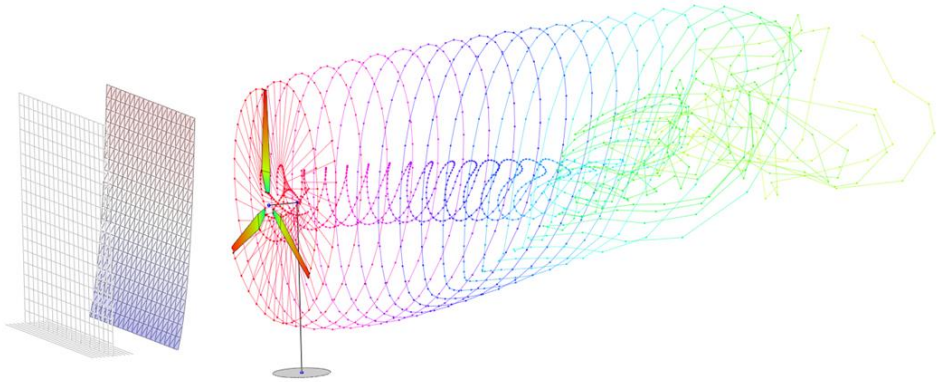
同・取水管模型

□浮体式風力発電のブレードピッチ制御のための変動風水洞実験

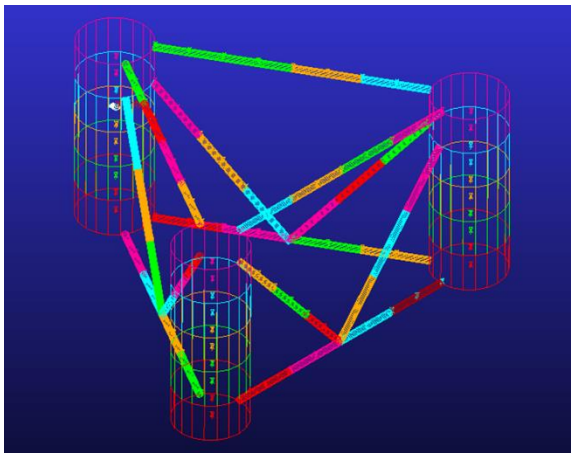




□風車後流の数値シミュレーション



□荷重・応力モニタリング手法の検討のための弾性応答解析モデル（セミサブ浮体）



研究開発課題	(7) 海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 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	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 －海底熱水鉱床商業生産システムの概念検討、計画支援プログラムの構成図の作成を行う。 －厳海象下で使用される浮体に対して係留安全性向上を目的とした動揺評価法、係留設計法の開発及び安全ガイドラインの構築等を行う。 等

研究の背景

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

□海底熱水鉱床開発等のナショナルプロジェクトの技術支援

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

研究目標

□商業化を目指した海底熱水鉱床開発用全体システムのマリンオペレーションに関する安全性･稼働性評価手法を構築するとともに、オペレーションガイドラインを作成

□商業化を目指した海底熱水鉱床開発用海中システムや全体システムの計画支援プログラムを開発

□厳環境下で使用される係留・ライザーシステムの設計技術及び安全性評価技術を開発

□Surf システムの installation 技術等の安全性健全性評価技術を開発

□厳環境下で使用される海底エネルギー開発統合システムの総合安全性、稼働性評価技術を開発するとともに、船級協会等に安全性に関わる技術指針を作成

□Disconnectable Turret/Riser システム等を用いた厳環境下で使用される FPSO システムを開発

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

平成 28 年度の研究内容

□海底熱水鉱床商業生産システムの概念検討を行うとともに、本システムの設計に必要となる要素技術に関する検討を行う。また、海洋石油開発等の安全ガイドラインを調査して、採鉱オペレーションにおいて考慮すべき事項を抽出する。
□海底熱水鉱床商業生産システムの計画支援プログラムの構成図を作成する。
□係船オペレーション中における 2 船間の索張力の変動を抑制するウインチ制御に関するアルゴリズムの開発し、時間領域計算と水槽試験結果との比較に基づく検証を行う。また、大水深用係留索の動的張力を浅い水槽で模擬する模型設計法を開発する。さらに、浮体システムに作用する氷荷重推定技術を開発する。
□海底生産システム技術に関する動向を把握するため、関連機関等を訪問して、その最新の技術動向に関してのヒアリング調査等を行うとともに、本分野で先導的に研究を実施している学術研究機関との協力関係を構築する。

平成 28 年度の研究成果

□Nautilus Minerals 社が検討している海底熱水鉱床開発システム等、過去に検討された開発システムを調査するとともに、欧州における技術動向調査を行って、我が国における海底熱水鉱床商業生産システムのコンセプトを検討した（図 1）。
採掘ユニット及び揚鉱ユニットを含めた一体システムの挙動を解析するためのツール整備を行った（図 2）。
2 本円柱の VIV 挙動推定プログラムの検証用データを取得するために、模型試験を行った。また、動揺管内スラリー移送試験を行って、管の動揺が圧力損失に及ぼす影響を評価した。
集鉱用フレキシブルホースに関する循環式摩耗試験を行い、鉱石の摩耗度とスラリー中の相対速度に関するデータを取りまとめ、特許出願（国内優先権主張出願）した（図 3）。さらに、摩耗検知機能を有する輸送管と輸送管の寿命延伸方法、並びに新たな疲労亀裂補修方法を考案し、特許出願（4 件）した。
海底鉱石選別ユニットの検討では、鉱石粒子に作用する遠心力の差を利用する Knelson 型と呼ばれる選別機の適用可能性を検討した。予備的検討として、模擬鉱石を粉砕して粒度の異なるグループに分け、粒度グループ毎に単体分離性の検討を実施するとともに、高圧条件下での粒子の性状を観察するための試験装置を製作し、試験を実施した（図 4）。
採鉱オペレーション安全ガイドラインに関する調査として、既存の安全ガイドラインの調査を行った。具体的には、DP（Dynamic Positioning）やその他のオペレーションに関連する規格として、IMCA 等の国際団体、DNV、ABS 等の船級協会、ISO、IEC 等の規格類の収集、調査を実施した。また、DP に関連する事故分析情報等、安全ガイドラインに必要な項目に関する資料を調査した。
経済産業省の委託を受けて(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が実施している採鉱・揚鉱パイロット試験事業に民間企業とともに参加して、平成 29 年度に実施が計画されている実海域試験に向けた検討を行った。具体的には、事前海域試験で取得した船体動揺やムーンプール内水位変動等に関するデータと数値シミュレーション結果との比較・検証を通じて稼働性評価を行うとともに、システム内のスラリー流に伴う安全性を対象とした HAZOP 分析、揚鉱管挙動を計測するための小型挙動計測装置の開発等を行った。
□将来の商業化を念頭に置き、海底熱水鉱床開発用全体システムの計画支援プログラムを開発するために、既存の計画支援プログラムの構成等を見直し、プログラム改良のためのプログラム構成図を作成した（図 5）。また、プログラム用データベースのバージョンアップを行うため、関連する情報等の調査を行った。
□係船オペレーション中における 2 船間の索張力の変動を抑制するウインチ制御に関するアルゴリズムを開発し、既存の時間領域計算ソフトウェアに組み込んで計算モデルを構築した（図 6）。
深海係留模擬模型の設計法に関し、水深に対する動的張力特性に関するシミュレーションを実施し、基礎データの蓄積を図った（図 7）。
浮体式構造物及び船舶に作用する全体氷荷重の数値シミュレーション法の現状をレビューするとともに、Aalto 大学、Statoil、NTNU へ訪問し、調査を実施した。また、オープンソースのソフトウェアを用いたプログラムの開発を進める（図 8）とともに、簡易法による氷荷重推定法を検討した。さらに、これらの精度検証を目的とした氷海水槽試験を実施した。
氷荷重の簡易推定法の高度化を図るとともに、氷塊材料構成則の検討・開発を行い、開発した氷塊モデルを用いた実船体構造と氷荷重の連成解析を用いた構造安全性評価手法の検討・開発を行った（図 9）。
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して、フロンティア海域（氷海域）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（図 10）。開発した技術は、実用化直前の段階にあるとの高い評価を受けた（出典：JOGMEC、技術ソリューション事業（技術開発） 平成 28 年度事後評価報告書、2017）。
□以下の調査に基づく技術調査報告書を作成し、次年度以降に当所で実施すべき技術課題を抽出した。
(1) ノルウェー科学技術大学に滞在し、ノルウェーにおける海底生産システム技術を中心とした技術研究動向等に関する調査（長期在外派遣制度を利用）
(2) 文献調査に加え、国内及び海外の洋上オペレーション専業会社、大学等を訪問し、サブシー機器の設置オペレーションに関する技術課題に関するヒアリング調査
(3) 海外で開催されたオフショア技術に関する国際シンポジウム（Ocean Week 2016、OSRC2017、

MOSS2016）における技術動向に関する調査
また、各種数値解析に関する研究動向を調査し、上記報告書で抽出した技術課題に対し、次年度からの具体的研究実施に向けて基盤研究を提案した。

成果の公表

□特許：5 件

□プログラム登録：1 件
・ウインチ制御プログラム（2 船間をつなぐ 2 本のホーサーを巻き取る際に、2 船間の相対方位角制御もしくはホーサーの張力変動制御によりモーターへの最適な指令電圧を出力するプログラム。適用可能な事例：FPSO 等のタンデムオフローディング時のホーサー張力コントロール及びシャトル船振れ回りコントロール、岸壁係船時の船体運動に対する係留索張力コントロール等）

□発表論文：12 件
・Masanobu, S., *et al.*：Study on Hydraulic Transport of Large Solid Particles in Inclined Pipes for Subsea Mining, J. Offshore Mech. Arct. Eng., Vol. 139, No.5, 2017
・Uto, S., *et al.*：Development of Accurate Ice Observation Technologies and Ice Database for Oil & Gas Development in Arctic Region: 2nd Report Summary of the R&D results、第 32 回 北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」、2017
・Nakajima, Y., *et al.*：Development of Seafloor Mineral Processing for Seafloor Massive Sulfides, Techno-Ocean 2016, 2016
・Maeda, K., *et al.*：Feasibility Study on the Passenger Transportation Hub，Proc. 3rd Marine Operations Specialty Symposium, 2016
・Hasegawa, K., *et al.*：Development of Optical Flow Computation Method for Ice Movement in the Arctic Ocean，Proc. 32nd International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, 2017
・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配管摩耗（ポスター）、Techno-Ocean 2016、2016
・大坪和久ほか：セミサブ型浮体に発生する Thruster Induced Motion について（第 2 報）、日本船舶海洋工学会春季講演会論文集、2016
・高野慧ほか：動揺管内における大粒径粒子のスラリー移送評価、日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集、2016
・渡邊充史ほか：タンデムオフローディング時における船体振れ回り運動に関する模型試験とシミュレーション、日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集、2016
・港湾空港技術研究所、海上技術安全研究所、沿岸技術研究センター：海洋鉱物資源開発における交通運輸分野の技術開発に関する研究、第 1 回交通運輸技術フォーラム、2016
・藤原智ほか：深海水槽及び高圧タンクによる海洋開発分野の研究開発、日本フルードパワーシステム学会誌、2016
・尾崎雅彦監訳、正信聡太郎ほか共訳：サブシー工学ハンドブック、海文堂出版、2016

□ 発表予定論文：5 件
・高野慧ほか：海底熱水鉱床のスラリー移送による揚鉱管の摩耗量評価、機械学会論文集（投稿中）
・Takano, S., *et al.*：EXPERIMENTAL STUDIES OF PRESSURE LOSS FOR LARGE PARTICLE SLURRY TRANSPORT IN OSCILLATED PIPE FOR SUBSEA MINING, OMAE2017, 2017
・Uto, S., *et al.*：Development of Accurate Ice Observation Technologies for Arctic Oil & Gas Development and Verification by Field Campaigns, Proc. International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 2017
・Matsui, S.*et al.*：Numerical Study on the Structural Response of Energy-Saving Device of Ice-Class Vessel due to Impact of Ice block, Proc. International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 2017
・Araki, M., *et al.*：Experimental Study on Riser Pipe Motion and Pressure Loss during Hydraulic Transport of Large Particles in Oscillating Pipe、日本船舶海洋工学会春季講演会論文集、2017

□受賞：1 件（第 31 回北方圏国際シンポジウムにおいて若手最優秀論文賞）

□その他：日本海事協会より、省エネ付加物と氷塊の接触による構造強度評価に関する鑑定書を取得

参考図

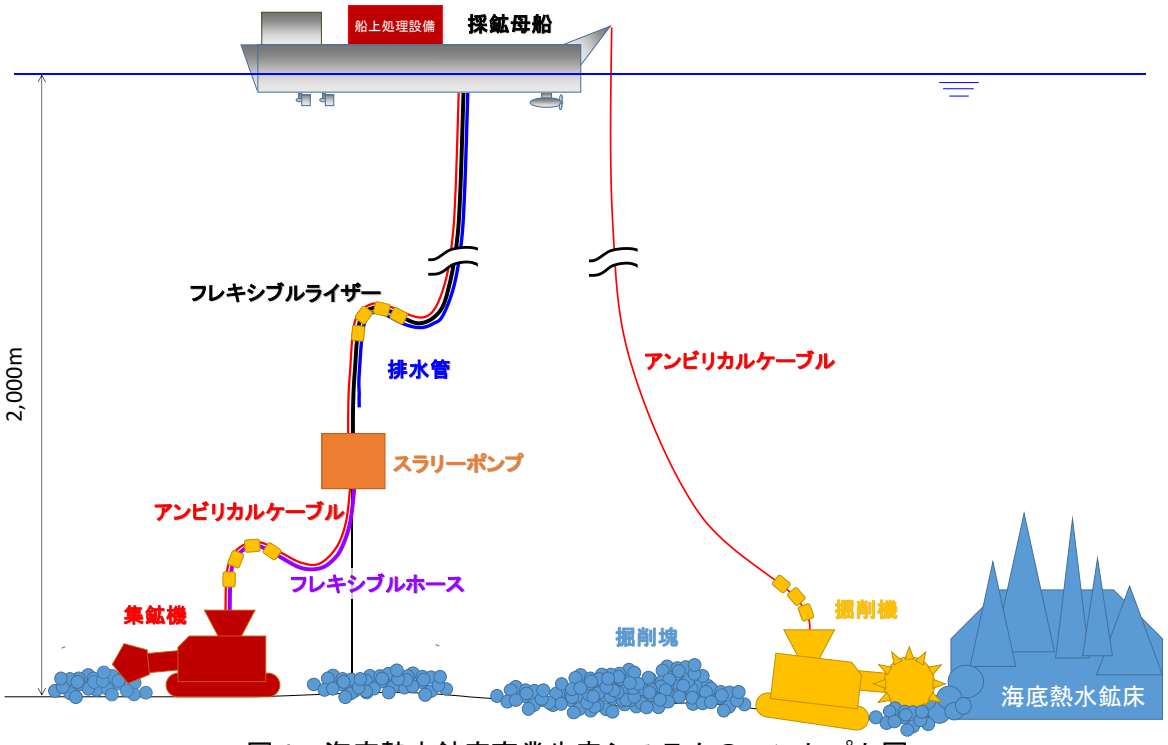


図１　海底熱水鉱床商業生産システムのコンセプト図

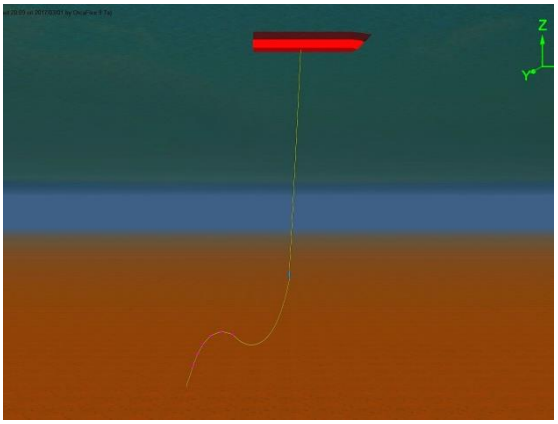


図２　海底熱水鉱床商業生産システムの挙動シミュレーションのイメージ

図３　循環式摩耗試験設備

図４　粒子性状観察用試験装置の外観

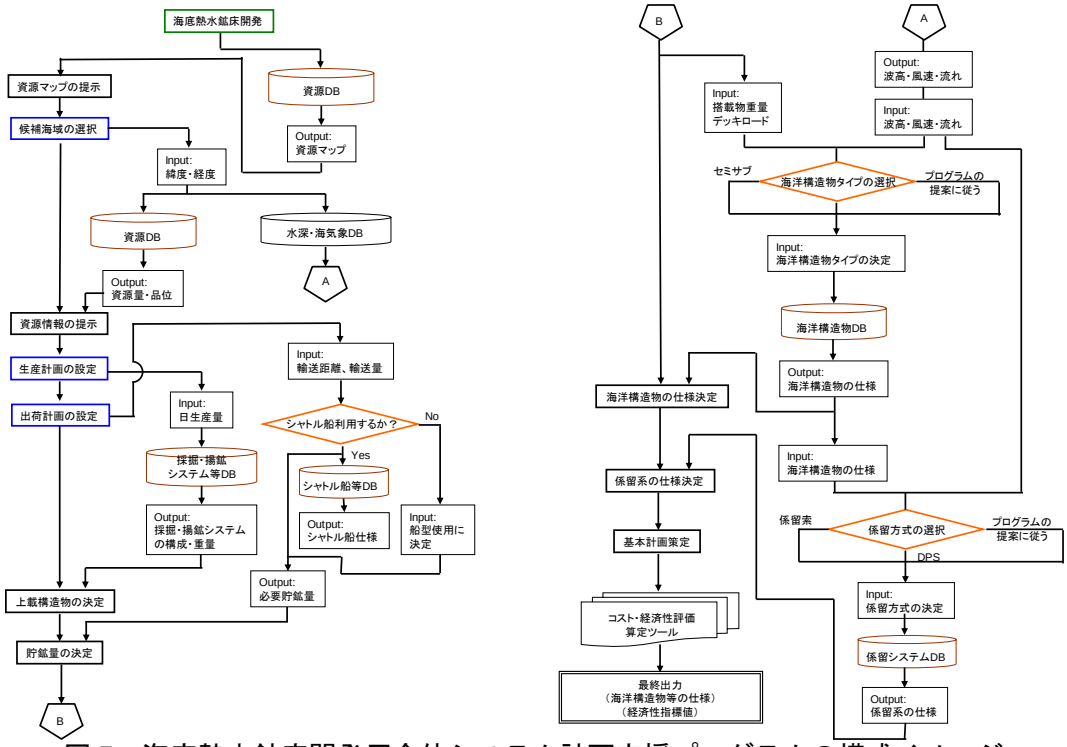
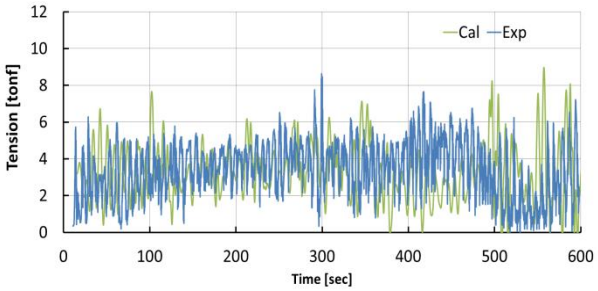


図５　海底熱水鉱床開発用全体システム計画支援プログラムの構成イメージ



(a) 張力時系列の比較（緑：計算結果、青：試験結果）

Tension R	平均値 [tonf]	標準偏差 [tonf]	Tension L	平均値 [tonf]	標準偏差 [tonf]
Exp	3.3	1.8	Exp	3.5	1.5
Cal	3.3	1.7	Cal	3.3	1.6
Cal/Exp	1.0	0.9	Cal/Exp	0.9	1.1

(b) 張力平均値・標準偏差の比較

図６　ウインチ制御アルゴリズムの開発

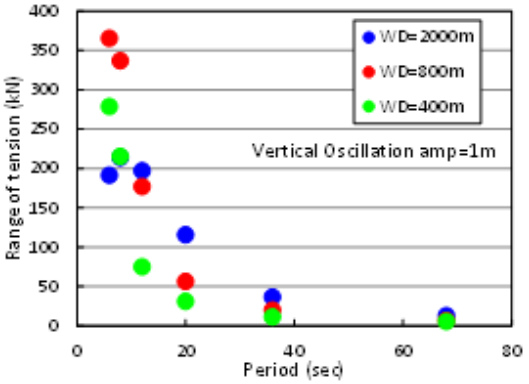


図７　係留点－アンカー点距離とライン長さを一定としたときの張力特性の変化

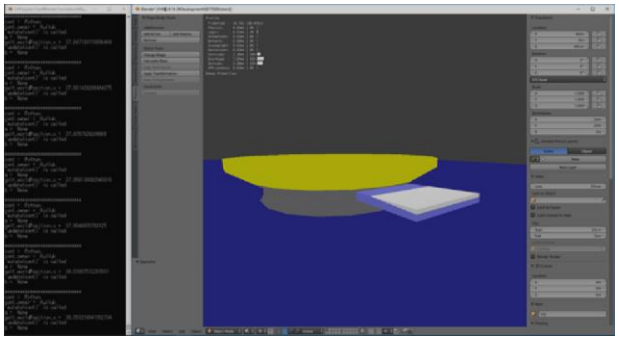


図８　氷荷重数値シミュレーション

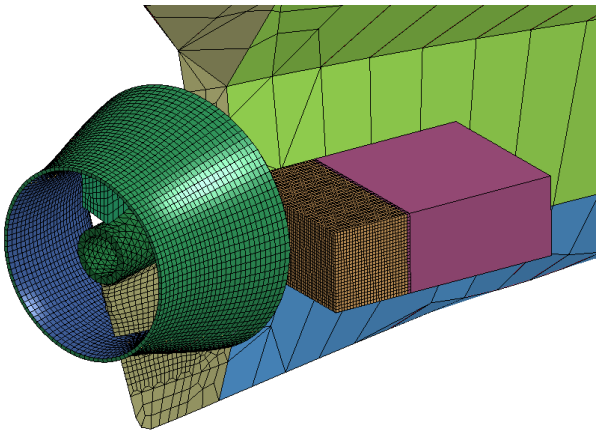


図 9　氷塊モデルを用いた実船体構造と氷荷重の連成解析

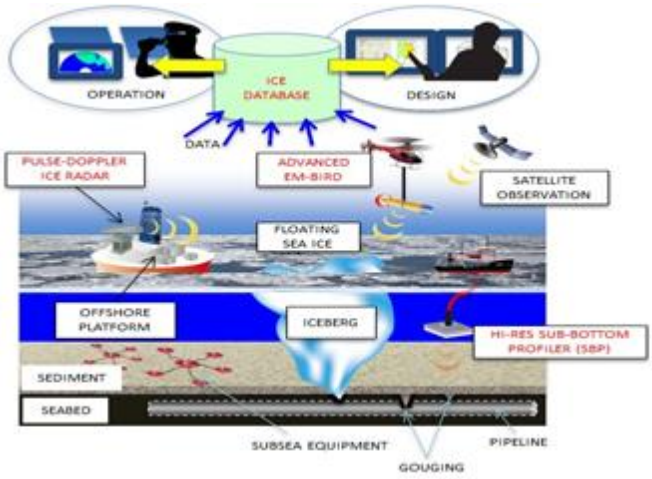


図 10　氷況観測技術開発の概要図

（出典 : S. Uto *et al.* : Development of Accurate Ice Observation Technologies and Ice Database for Oil & Gas Development in Arctic Region: 2nd Report Summary of the R&D results、
第 32 回 北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」、2017）

研究開発課題	(7) 海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発

研究テーマ	19. 海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 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	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 －海底熱水鉱床商業生産システムの概念検討、計画支援プログラムの構成図の作成を行う。 －厳海象下で使用される浮体に対して係留安全性向上を目的とした動揺評価法、係留設計法の開発及び安全ガイドラインの構築等を行う。 等

研究の背景

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

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

研究目標

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

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

平成 28 年度の研究内容

・RAM 解析のための基盤技術として、沖合の波に関する情報（有義波高や周期、波スペクトル）に基づき、水深や海底地形、周囲に存在する防波堤防の影響を考慮した屈折や回折、反射、浅水変形等の波浪変形の推算とそれを考慮した係留浮体の動揺評価を行う。波浪変形を考慮し、岸壁など港湾内に係留される浮体位置での入射波を推定するとともに、岸壁と船体間の干渉影響を考慮することで、精度の高い係留浮体の動揺評価法を構築する。（小項目 19-1）

・海洋構造物試験水槽における効果的な津波発生法を検討する。FSRU を係留するタワーYoke システムの設計ならびに模型製作を行い、海洋構造物試験水槽においてタワーYoke システムに係留された FSRU を対象として津波来襲時の浮体および Yoke の挙動、荷重等の計測を行う。また、津波による影響を考慮することが可能な時間領域シミュレーション法を確立し、水槽試験結果との比較検証を行い、FSRU 浮体の津波襲来時における係留・係船安全性評価法を開発する。（小項目 19-1）

・水槽試験に基づき、係留されたセミサブ型浮体に働く波漂流力を計測し、数値計算との比較により粘性波漂流力が係留索張力に及ぼす影響を評価する。また、関連技術として異常波の発生解析を行い、水槽施設での造波方法について研究を行う。（小項目 19-1）

・オペレーションのための標準的リスク評価手法の整備においては、海洋開発に特有の事故を把握する必要があるため、実際に発生している事故情報等の収集、分析を行う。現在までの事故情報の蓄積状況を考慮して、今後継続的に状況把握できるよう、データベース化等の方策を検討する。また、海洋構造物の種類、設置環境、構造物のシステム構成、実際に行われる作業の種類や手順の構成について調査を行い、リスクモデルの構築方針を定める。（小項目 19-2）

・オペレーションのための標準的リスク評価手法の整備においては、海洋開発に特有の認証体系を把握する必要があるため、実際に使用されている基準等に関する情報収集、分析を行う。また、国内 FSRU について、津波対策の安全評価等を勘案して安全ガイドラインを構築する。（小項目 19-4）

平成 28 年度の研究成果

□ 沖合の波に関する情報（有義波高や周期、波スペクトル）を入力として、水深の影響や沖合防波堤による入射波の屈折や回折、反射、浅水変形を考慮した波浪推算が可能なツールを整備した。（図 1）また、港湾内の波高や周期の分布を解析し、実計測データとの比較から良好な一致を得た。

□ 上記波浪推算に基づく入射波と風、流れの複合外力下において、岸壁係船された 2 船間あるいは船体と岸壁との相互干渉影響に加えて、LNG 移送ホースと 2 船のホースサドルをモデル化し、ホースサドルと LNG 移送ホースとの摩擦、LNG 移送ホースと 2 船体舷側との接触が考慮できる動的な一体挙動解析プログラムを開発し、岸壁、桟橋係船時の LNG 移送オペレーションに対する稼働性・安全性評価に活用できるプログラムとして計算精度と機能性が向上した。また、本プログラムは民間企業への販売に繋がった。（図 2）

□ タワーヨーク係留システムの設計手順を明確化し、実際に設計した係留システムに対し数値シミュレーションによる安全性評価を行い、設計法の妥当性を示した。（表 1）また、感度解析によりタワーYoke 係留システムの安全性に影響を及ぼす設計値を示した。（図 3）

□ 海洋構造物試験水槽においてタワーYoke 係留システムに繋がれた FSRU 単船あるいは FSRU と横づけ係船された LNG 船を対象とした津波来襲時の模型試験を実施し、浮体および Yoke の挙動、タワーYoke システムに働く荷重を把握した。（図 4）

□ タワーYoke 係留システムに繋がれた FSRU 単船あるいは FSRU と横付け係船された LNG 船を対象として津波来襲時の浮体および Yoke の挙動、タワーYoke 係留システムに働く荷重評価が可能な時間領域シミュレーションプログラムを開発した。（図 5）水槽試験結果との比較検証で良好な一致が得られ、FSRU の津波襲来時における係留・係船安全性評価への適用が可能となった。（図 6）

□ 異常波の発生解析を行い、海洋構造物試験水槽における異常波の造波を実現した。（図 7）また、係留したセミサブ型浮体を対象とした異常波中における動揺計測試験を行い、ポテンシャル波漂流力がほぼゼロとなる低周波数帯において粘性波漂流力が働くことを示した。異常波と粘性波漂流力の組み合わせが、セミサブ型浮体の係留索張力の急激な増加現象に繋がる可能性を明らかにし、セミサブ型浮体の係留設計に対し粘性漂流力を考慮することの必要性を示した。（図 8、図 9）

□ セミサブ型浮体のコラム部飛沫帯（波によって空気と海水の両方に晒される領域）に働く粘性波漂流力の推定法を検証し、ポテンシャル波漂流力に加えて粘性波漂流力を考慮した数値シミュレーションが可能となった。上記模型試験と数値シミュレーションとの比較で良好な一致が得られ、粘性影響を考慮した波漂流力や係留索張力へ及ぼす影響評価、セミサブ型浮体の係留設計への適用が可能となった。（図 10、表 2）

□ 海外当局が公開する事故報告等のオフショア関係の事故データと海技研が保有する船舶データをリンクさせることで、リスクデータベースの作業に着手した。具体的には、英国 HSE、米国 BSEE、ノルウェー PSA データを収集、整理し、IHS フェアプレイの船舶データと照合を行った。また、これらの照合を行うためのデータ収集、整理の方法についてまとめた。

□ 国内 FSRU について、津波対策等を検討し、対応指針のうち、ソフト面の対策を整理して指針案を作成した。具体的には、FSRU の導入から運用時における津波防災対策に関する基本的な考え方を整理し、ハー

ド面の対策状況や津波来襲時のタイムライン等、必要とされる事前の分析とこれに対する意思決定のあり方についてまとめた。（図 11）また、津波来襲時の FSRU と漂流物との衝突影響を考慮するため、FSRU と漂流物の衝突評価手法の検討を行い、衝突評価シミュレーションのプログラムを作成・登録した。（図 12）

成果の公表

☐ 発表論文：3 件

・福島 涼、加藤俊司、湯川和浩、前田克弥：セミサブ型浮体式洋上設備のタレット係留システムに対するコラム形最適化、日本船舶海洋工学会 平成 28 年春季講演会論文集.

・齊藤昌勝、佐藤 宏、石田 圭、浅沼貴之、山本譲司：セミサブリグの係留ライン破断事故再現試験、第 26 回海洋工学シンポジウム、2016 年.

・前田克弥、湯川和浩：Experimental study on side by side operation -gap resonance & sloshing-, Research workshop on side by side operation, 2016.

☐ 発表予定論文：1 件

・「不規則波中におけるセミサブ型浮体にはたらく粘性漂流力について」日本船舶海洋工学会 平成 29 年春季講演会（申請済み）

☐ プログラム登録：2 件

・岸壁係船された 2 浮体と係船索、フェンダー、船体に設置されたホースサドルと 2 船間をつなぐ LNG 移送ホースの一体動的挙動解析とその結果の可視化が可能となるプログラムを作成し、登録。

・FSRU 津波対策の安全評価のため、係留浮体と漂流物の衝突シミュレーションを実施するプログラムを作成し、登録。

☐ プログラム販売：1 件

・「2 船体運動計算のための条件設定プログラム ver.2」

☐ 修士論文および卒業論文：3 件

横浜国立大学連携講座の学生を指導し、修士論文 1 件と卒業論文 2 件を発表。

・「セミサブ飛沫帯にはたらく粘性漂流力について」（修士論文）

・「タワーヨーク係留システムの設計に関する研究」（卒業論文）

・「Shear7 を用いた鉛直ライザーに対する VIV の比較検討」（卒業論文）

参考図

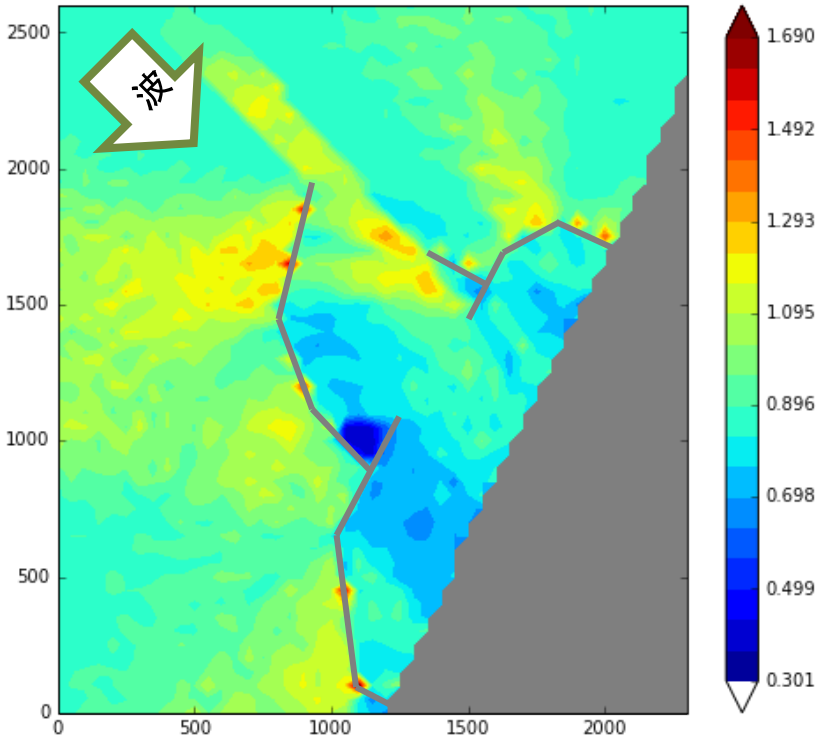


図 1　沖波情報に基づく港湾内の波高比分布の解析例

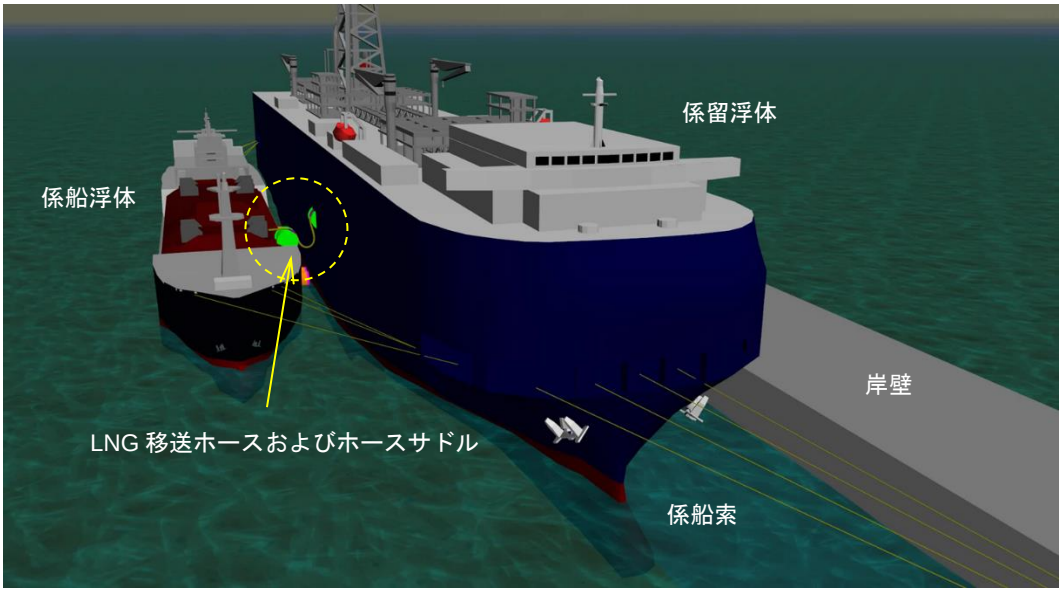


図 2　岸壁係船された 2 船体の動的な一体挙動解析シミュレーション

表 1　タワーYoke 係留システムに繋がれた FSRU に対する最大動揺量の評価結果

	波向 (deg)	風向 (deg)	流向 (deg)	波高 (m)	並進運動 (m)			回転運動 (deg)		
					Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Case1	180	180	180	9.41	5.17	0.00	1.11	0.00	1.14	0.00
Case2	180	210	210	9.54	15.94	34.66	1.21	1.75	1.20	13.37
Case3	240	270	270	9.38	44.84	9.99	1.16	1.63	1.50	16.38
Case4	180	210	270	9.43	18.94	29.93	1.20	1.88	1.32	12.68
Case5	240	270	330	8.97	31.87	6.24	1.15	1.68	1.64	12.57
Case6	180	210	225	9.46	13.91	25.99	1.19	1.56	1.19	11.11
Case7	240	270	285	9.43	40.78	7.99	1.18	1.70	1.58	14.75

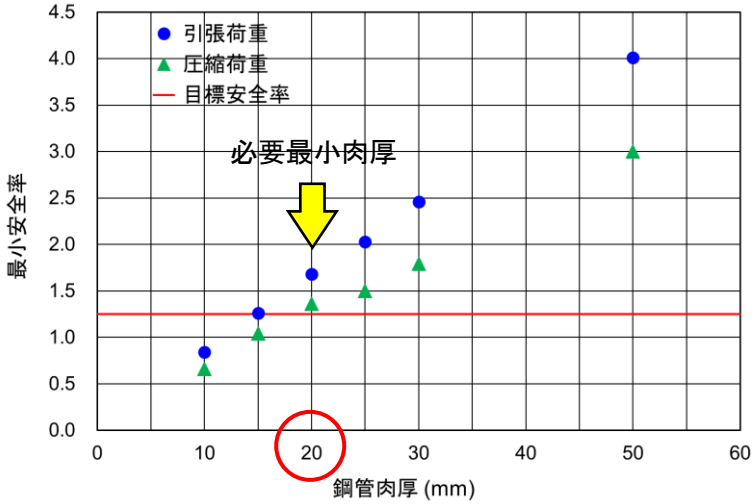


図 3　タワーYoke 係留システムを構成する部材に働く荷重の安全率と鋼管肉厚の関係

図 4　タワーYoke 係留システムに繋がれた FSRU を対象とした津波来襲時の挙動計測試験

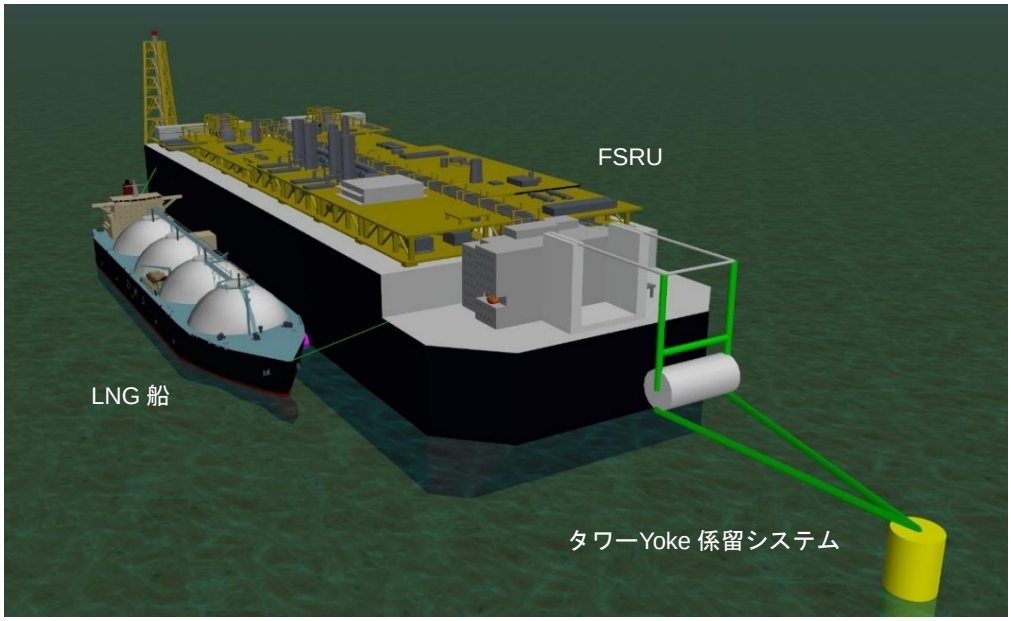


図 5　タワーYoke 係留システムに繋がれた FSRU を対象とした津波来襲時の一体挙動解析シミュレーション

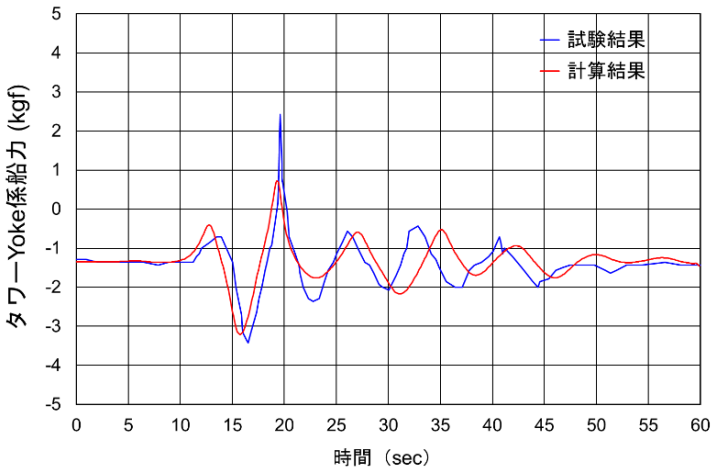


図 6　タワーYoke 係留システムに働く係船力の比較（模型スケール、FSRU 単船時）

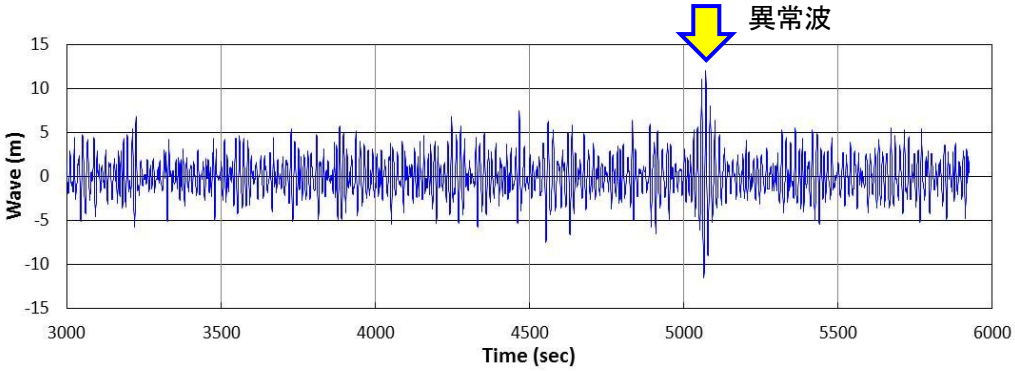


図 7　水槽で発生させた異常波を含む不規則波時系列

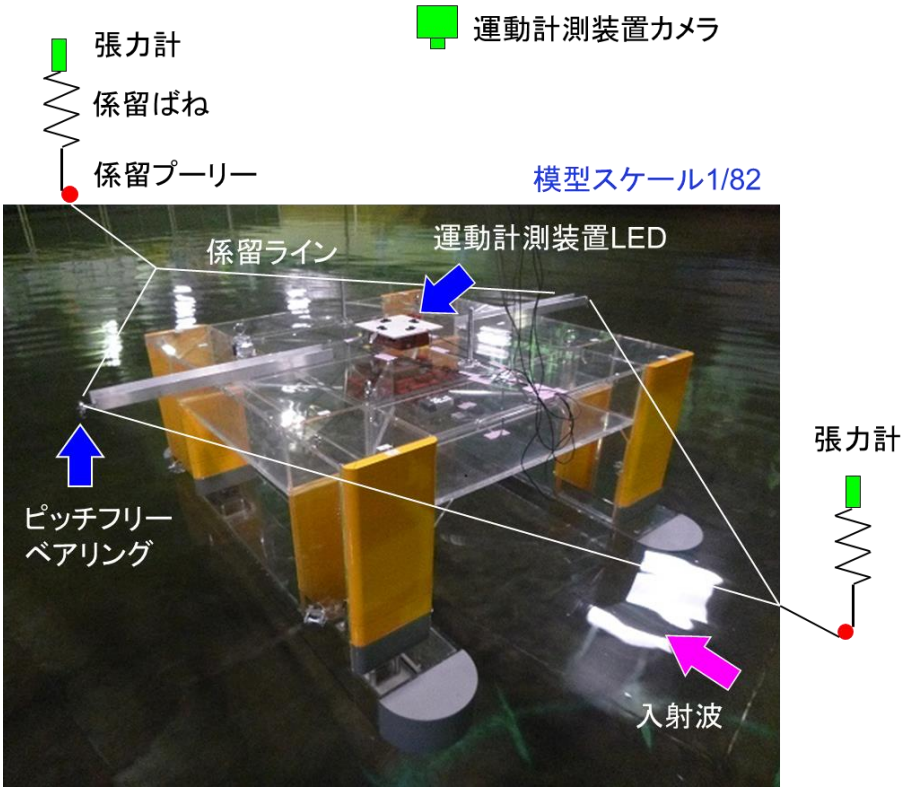


図 8　異常波中におけるセミサブ型浮体に働く波漂流力計測試験

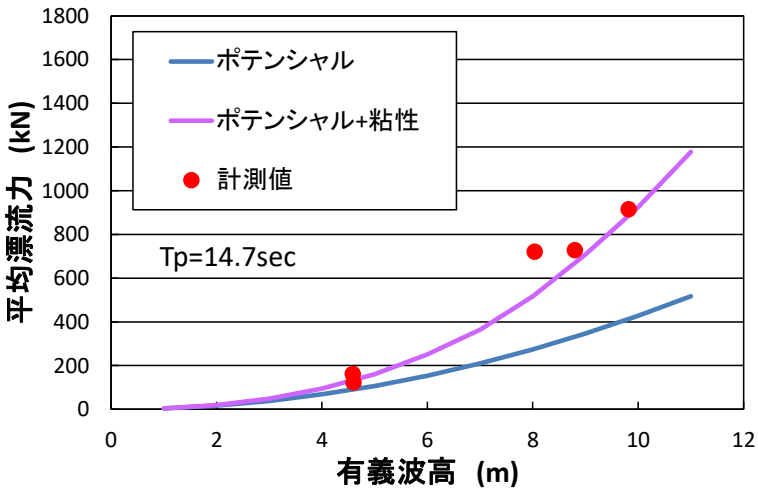


図 9　不規則波中におけるセミサブ型浮体に働く波漂流力の計測結果と計算結果の比較

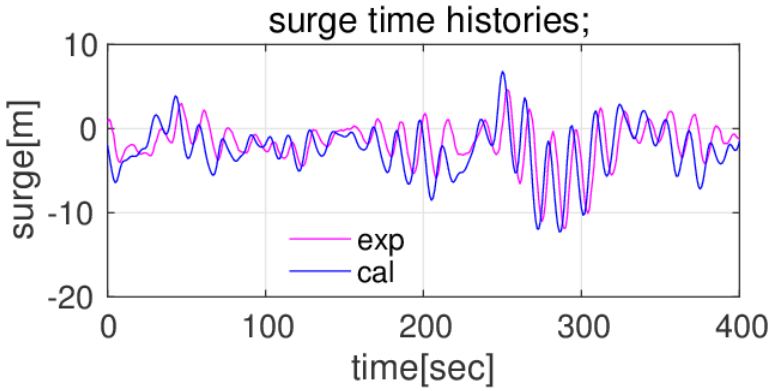


図 10　粘性波漂流力を考慮したセミサブ型浮体の Surge 運動に関する解析

表 2　セミサブ型浮体を対象とした粘性波漂流力の影響評価

	ポテンシャル漂流力のみ	ポテンシャル波漂流力＋粘性波漂流力	増加率
平均変位(m)	6.2	6.7	7%
最大変位 (m)	13.3	15.3	15%
最大張力 (kN)	4467.8	5472.1	22%
最大張力 安全率	2.0	1.6	

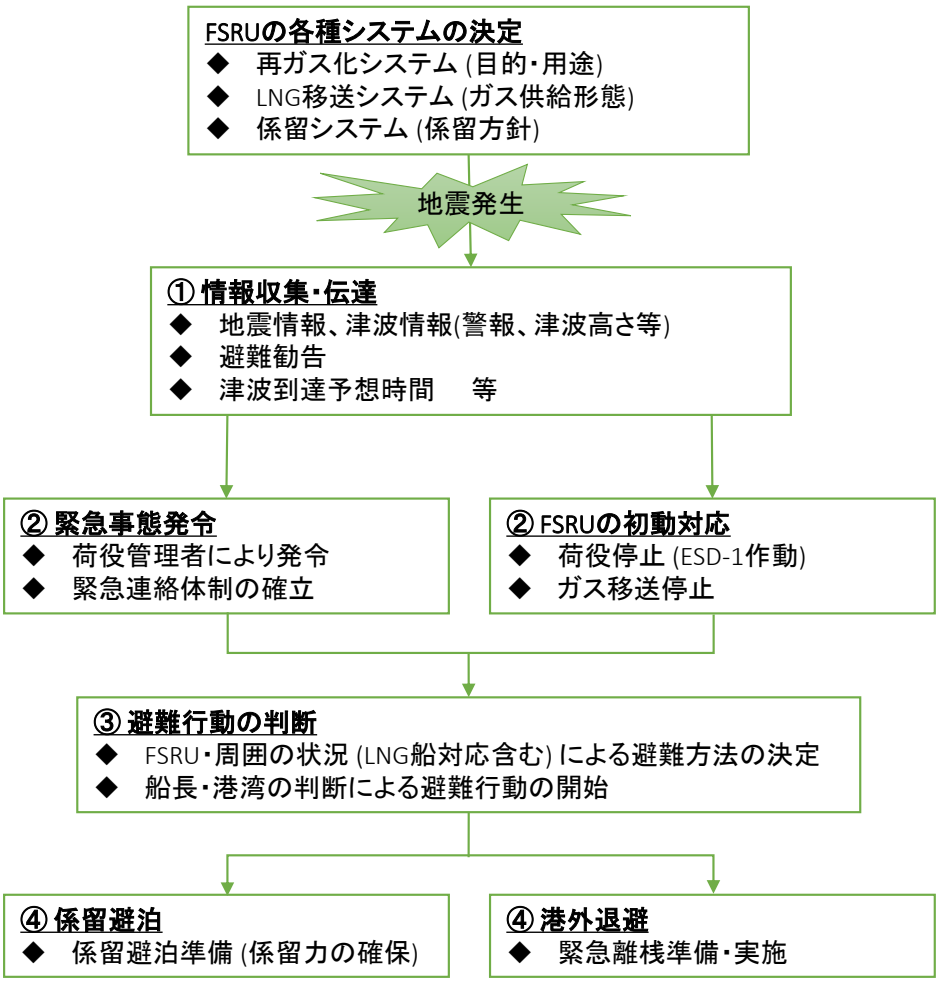


図 11　FSRU 避難行動フロー案

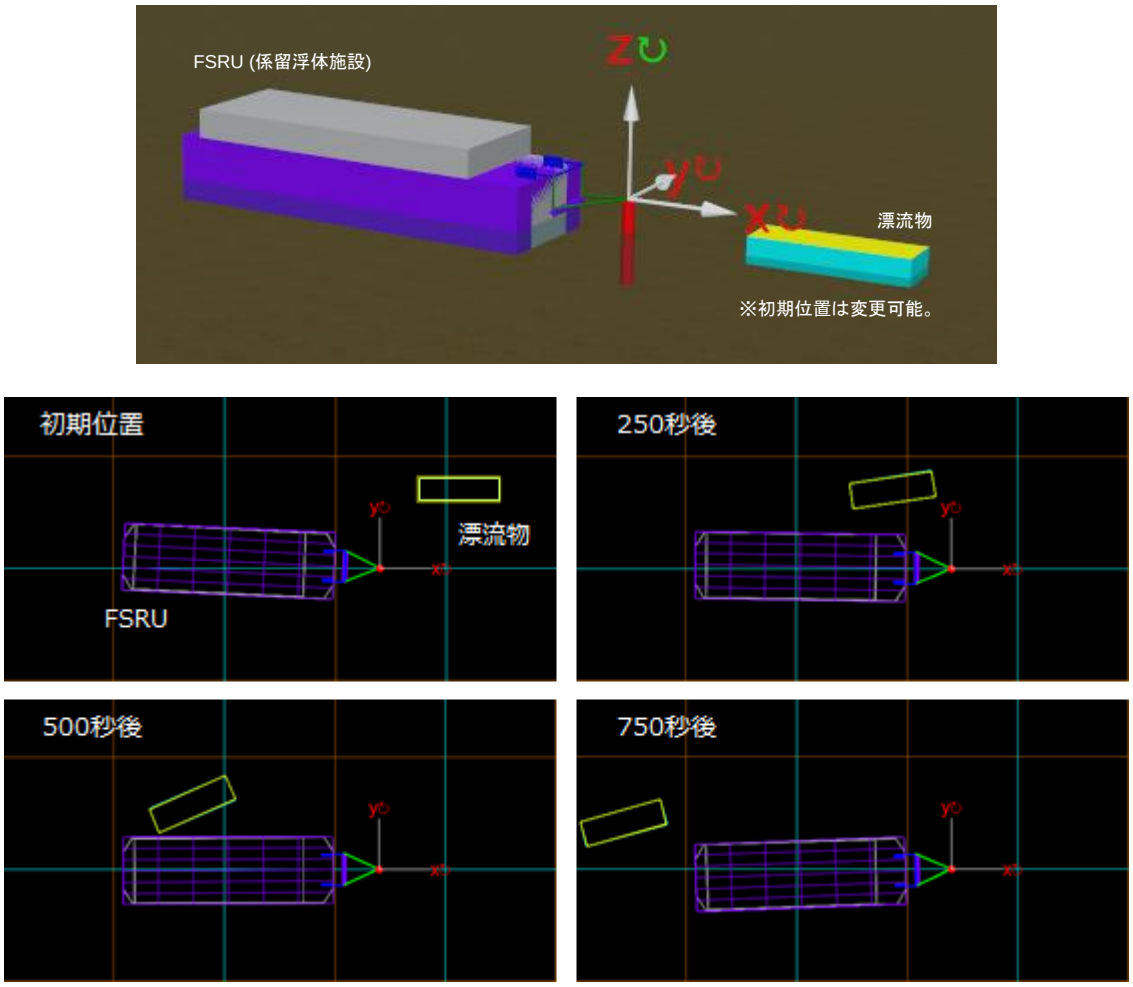


図 12　衝突評価シミュレーションのプログラム

研究開発課題	(8) 海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発	海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。 したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発 －海洋資源の広域探査用に AUV 及び洋上中継器をそれぞれ開発し、実海域試験を行い、探査システムの基礎を構築する。 等

研究の背景

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

□高効率小型 AUV システムの研究開発
□AUV 要素技術の研究開発及び支援
□複数 AUV の同時運用システムの研究開発
□AUV の国際規格化
□AUV 研究開発の水平展開

研究目標

□複数機の小型 AUV の同時運用による広域探査システムのプロトタイプ（航行型の小型 AUV、ホバリング型の小型 AUV、洋上中継器、投入揚収装置）の開発
□広域探査システムの運用技術の開発
□広域探査システムの企画・仕様設定技術の開発

上記成果は、高精度・安価な小型 AUV による広域探査システム・運用技術の開発により、海洋資源開発が促進されるとともに、民間企業への技術移転等により、我が国の海洋産業の競争力が強化されることが期待される。

平成 28 年度の研究内容

□AUV、洋上中継器をそれぞれ開発し、実海域で連接試験を行ない、探査システムの基礎を構築し、平成 29 年度以降の複数機 AUV での同時運用システムの構築に繋げる。
□複数 AUV の同時運用システムの構築に向け、準備を行なう。
□AUV の低コスト化等を目的にした要素技術の開発を着実に進める。

平成 28 年度の研究成果

□航行型 AUV 3 号機の設計および製作を実施し、完成した。数値流体力学を用い、抵抗の少ない艇体形状を導出し、その形状を損なわない構造を検討し、3 号機に採用した。3 号機へ搭載する機器については、AUV システムに必要な航行装置および非常用装置等を選定し、複数 AUV 運用システムに必要な通信装置を搭載した。

□洋上中継器（没水型複数管理用）は、調査母船と複数 AUV との間を中継する小型 ASV として、H26 年度から製作を開始し、H28 年 9 月に艇体が完成した。その後、浅海域単体性能試験を実施し、基本性能を確認した。実施した試験項目は、航行性能（浮力調整を含む）、調査母船との電波通信性能（Wi-Fi 通信、イリジウム通信）、および AUV との水中音響測位・通信性能である。

□AUV と洋上中継器の実海域での連接試験を行った。実海域調査技術の確保や、海底熱水地帯における潜航調査に向け搭載観測機器類の実作動環境における最適調整のためを目的とし、駿河湾にて行った。
AUV 各機（航行型 1, 2 号機、ほばりん）と洋上中継器を展開し、音響測位と通信、洋上中継器による AUV 追尾管制が正常に行われることを確認した。

□AUV と洋上中継器(ASV)による実海域調査技術の確保を目指し、洋上中継器と 3 機の AUV（航行型 2 機、ホバリング型 1 機）で構成する海底調査ユニットを、伊豆大島南東沖合の海底火山大室ダシ頂上付近に位置する熱水地帯大室海穴に展開し、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成功し、複数 AUV の同時運用により、運用効率の飛躍的に向上することを示した。また、開発した海底調査ユニットを非専用船で運用することに成功した。これにより、開発したシステムが特定の船に縛られず稼働率の向上を実現できることを示した。

□ブイに装備した GPS と音響測位装置を組み合わせて高精度の位置計測を実現する水中局域音響システム等の要素技術の開発を行った。

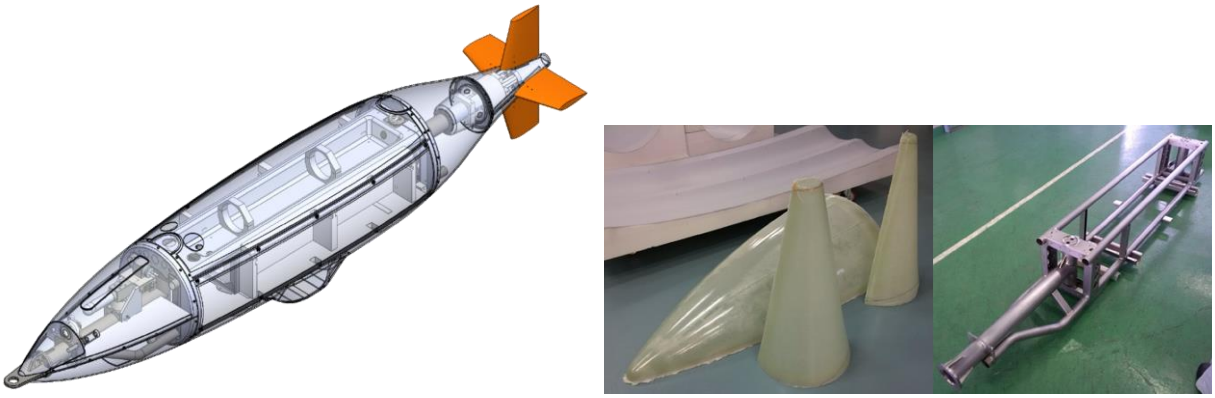
成果の公表

□特許 1 件出願、4 件出願準備中
□発表論文：和文 3 件、英文 7 件

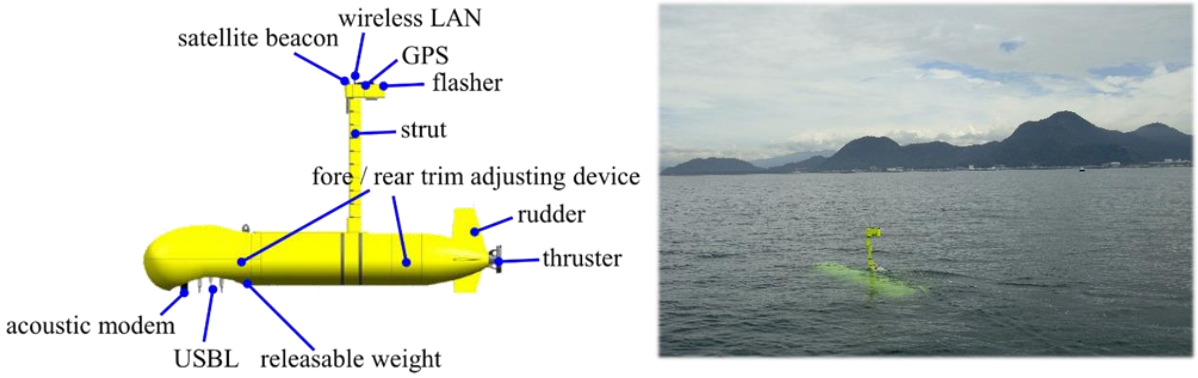
1) 平戸、篠野雅彦：AUV 用海底地形スキャニングレーザー計測技術の開発、第 34 回レーザセンシングシンポジウム(2016)
2) Okamoto, A. et al. : Development of Hovering-type AUV "HOBALIN" for Exploring Seafloor Hydrothermal Deposits , 講演会名：OCEANS 2016
3) Okamoto, A. et al. : Obstacle Avoidance Method Appropriate for the Steep Terrain of the Deep Seafloor, Techno-Ocean 2016
4) 瀬田：A Data Compression Method by Dropping Most Significant Bits and its Application to Transmission of Position Data , Techno-Ocean 2016
5) Sasano, M. et al. : Development of a Semi-Submersible Autonomous Surface Vehicle for Control of Multiple Autonomous Underwater Vehicles , Techno-Ocean 2016
6) Sasano, M. et al. : : Development of a Regional Underwater Positioning and Communication System for Control of Multiple Autonomous Underwater Vehicles , AUV 2016
7) Yokota, : Development and sea trial of an Autonomous Underwater Vehicle equipped with a Sub-Bottom Profiler for surveying mineral resources , AUV 2016
8) 篠野：ホバリング型 AUV「ほばりん」の深海底潜航調査法について、日本航海学会 自動航法研究会(2017)
9) Inaba, S. : Tracking experiment of multiple AUVs by a semi-submersible ASV , UT 2016
10) Sawada, K. et al. : Development and sea trial of the compact cruising type AUV system , UT 2016

参考図

□AUV、洋上中継器の開発



航行型 AUV３号機の製作



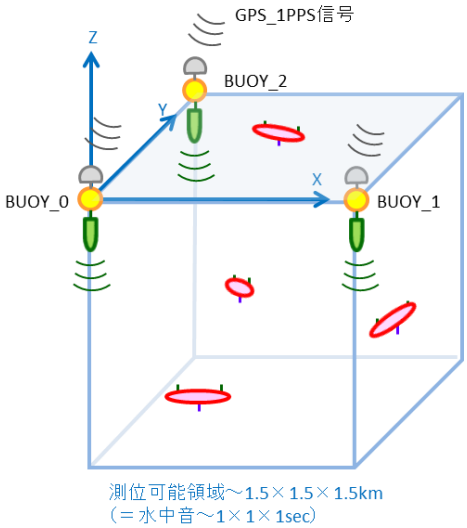
洋上中継機の製作

□複数 AUV の同時運用システムの構築に向けた準備（実海域での試行）

3 機の複数 AUV と洋上中継器の同時運用による熱水地帯での全自動海底調査
同時運用のタイムスケジュール（平成 28 年 12 月 3 日実績）

機 体	時 刻
洋上中継器	6:56 着水 定点保持 8:30 追尾 14:00 揚収
航行型AUV 1号機（SIPAUV #1）	7:48 着水 潜航、待機 観測 12:06 海底待機 12:36 浮上 12:49 揚収
航行型AUV 2号機（SIPAUV #2）	7:55 着水 潜航、待機 観測 12:05 浮上 12:17 揚収
ホバリング型AUV「ほばりん」	7:17 着水 潜航→観測 13:43 浮上 13:50 揚収

□AUV の低コスト化等を目的にした要素技術の開発



水中局域音響システムの概念

同・水槽実験

研究開発課題	(9) 海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発 －地域の未活用人材を造船現場で活用し、造船業の人材不足等に対応する新しい造船工程に関する仕様の作成等を行う。 －現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルによるパターン学習機能を導入し改良を行う。 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、
□建造モニタリングシステムの開発
□生産性向上に資する機器の開発
□新しい造船生産工程管理の提案

研究目標

□建造モニタリングシステムの開発（造船 IoT 体制の構築）
□生産現場の改善により生産性の２０%向上（リードタイムの短縮、実トーチ時間など）
□ウェアラブル等を用いた新造船インタフェースの開発
□造船用パワーアシストスーツの開発、工作ロボットの開発
□非熟練及び短時間労働者を新たに取り入れた新しい概念の造船工程の提案
□造船所でのモデル事業の実施
□未活用労働者向けの技能研修プログラムの開発
上記成果は、未来の造船工場（新技術の導入、新しい働き方の提案）や生産現場の改善計画の普及により、労働者不足の改善及び地方都市の活性化等地方創生に資するとともに、我が国造船業の国際競争力が強化されることが期待される。

平成 28 年度の研究内容

「建造モニタリングシステムとモニタリング情報の高度解析技術の開発」では、建造モニタリングシステムについて、造船現場の生産実績情報をどのようなツールや手法で補足するかについて検討し、建造モニタリングシステムの仕様書を作成する。また、建造モニタリングシステムに将来的に接続する溶接作業支援 AR アプリケーションを開発する。

「造船用ロボットの開発」では、重量物の運搬をサポートするスーツ、しゃがみこみ・中腰作業をサポートするスーツについて仕様の策定を行う。また、組立工程における溶接作業や線状加熱作業を行う多関節型ロボットについて仕様の策定を行う。

「未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発」では、モデル造船所の生産工程について、生産管理の実力把握・診断、現場作業の熟練・未熟練作業の抽出・切り分けに関する実態調査を行い、抽出し切り分けたスキルレベルに応じた新しい造船作業工程の設計を行う。加えて、新しい造船作業工程における生産管理手法、未熟練工（パート従業員）の管理、サポート手法や、新しい造船作業工程（ハイロウミックス工程）に適した設計指針に基づいて、船体ブロックを試設計する。

平成 28 年度の研究成果

「建造モニタリングシステムとモニタリング情報の高度解析技術の開発」では、建造モニタリングシステムのプラットフォームとなる生産管理システムのプロトタイプ版の開発を行った。このシステムは、造船工程の生産計画の立案、作業の進捗管理を行うもので、工場の出勤日カレンダー、工場リソース（工数能力、設備能力、スペース能力）、オーダー（番船、ブロック、区画、ステージ、作業ロット、職種、最小所要日数、工数負荷、設備負荷、開始可能日、最遅完了期限等）を入力すれば、仮日程計画の作成から工数の負荷平準化等を行い、最適な中日程計画の立案を支援するシステムである。併せて、本システムは工数日報等を入力することで、計画に対する作業管理（工数消化率、作業進捗率等の出力）を行うことができる。このシステムは、建造モニタリングシステムの中核をなすもので、これを発展させて、最適な日程計画の基、造船工場のリアルタイムな作業管理体制、造船 IoT 体制に繋げることができる。リアルタイムな作業管理体制を補完するため AR 技術に注目しており、本年度では、溶接作業支援 AR アプリケーションのプロトタイプを開発した。これは現場にて図面を見ずに、溶接条件（脚長等）を参照することができると同時に、溶接作業の作業進捗をリアルタイムに入力することができる。次年度以降、これらを接続し、総合的な建造モニタリングシステムの完成を目指す。

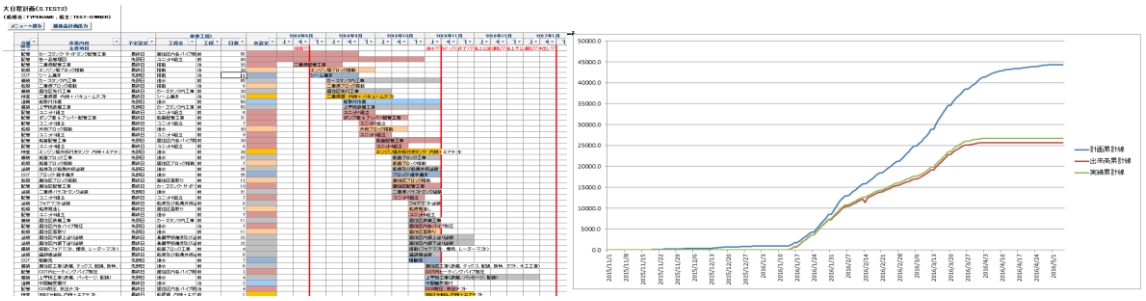
「造船用ロボットの開発」では、日本船舶技術研究協会の研究プラットフォームの基で、「造船上向き作業用アシストスーツ」の開発に貢献した。「造船上向き作業用アシストスーツ」は２種類開発され、今後、造船所での現場導入に向けて商品化が行われる。また、造船用ロボット化として、船舶材料の CFRP 化に注目し、CFRP 用炭素繊維のロボット等による自動積層技術に向けた研究開発に取り組んだ。今年度は特に、曲面幾何学に基づく炭素繊維の最適配置、最適ツールパスに関する検討を行い、実際に提案ツールパスに基づき、舶用プロペラの CFRP 成形を行った。今後、曲面構造物の CFRP 積層物に対する設計 CAD/CAM システムの開発やそれに接続する自動積層ロボット等について検討を行う。

「未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発」では、実際の造船所の実態調査を行い、現場作業においては、鉄艤品製作工程、手で持てる部材の定盤への配材、管製作工程、船殻内業工程等がハイロウミックス工程で言うところのロウ作業の候補として整理できることを明らかにした。また、現場作業のロウ作業に加えて、生産計画立案作業や作業実績収集作業等の管理事務所内における事務作業も、ロウ作業として未熟練就労者にとって対応可能かつ効果の見込みが大きいことを見出した。今後は、これらのロウ作業を各造船所の事情に応じて適切に配置したハイロウミックス工程案を作成し、それを基に実際の造船所にて実証実験を行う予定である。

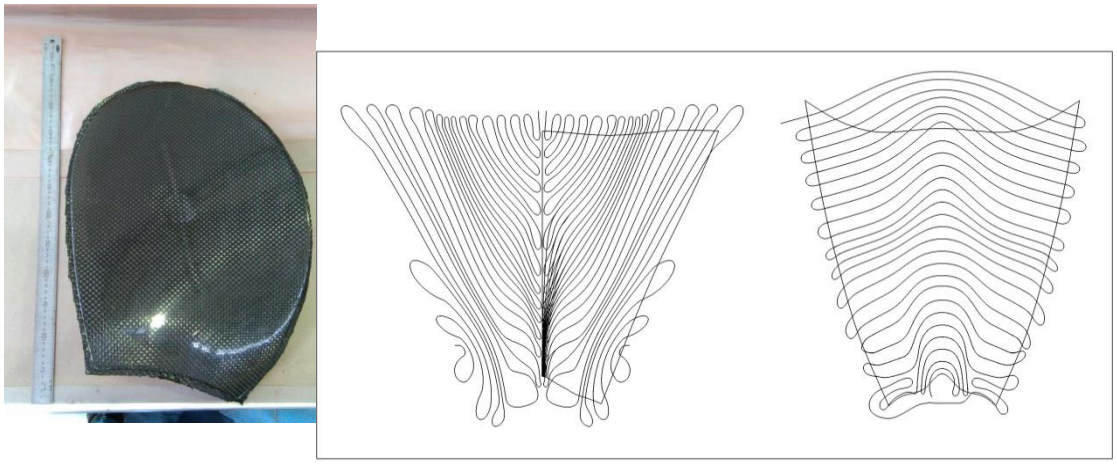
成果の公表

□「生産管理システム」の開発
□「溶接作業支援 AR アプリケーション」の開発
□曲率線展開システムの汎用造船 3 次元 CAD システム MATES との接続システムの開発
□「造船上向き作業用アシストスーツ」の開発（ただし、研究主体は日本船舶技術研究協会）

参考図



生産管理システムの画面（左：日程計画作成、右：作業管理）



海技研で製作した FRP ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ翼（左）と別の曲面の CFRP 炭素繊維の曲率線ツールパス（右）

研究開発課題	(9) 海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発

研究テーマ	22. 船内騒音対策等の新たなニーズに対応した新材料利用技術に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発 －地域の未活用人材を造船現場で活用し、造船業の人材不足等に対応する新しい造船工程に関する仕様の作成等を行う。 －現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルによるパターン学習機能を導入し改良を行う。 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、

□複合材の一般商船での利用に関する研究

□騒音予測プログラムの改良

研究目標

□騒音低減のための複合材構造の新たな構造仕様や施工方法の信頼性の高い設計手法を開発し、複合材導入に関するガイドラインを作成

□現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルの構築等により改良し、多様な船舶に対する騒音予測をより高精度で行う騒音予測技術を開発

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

平成 28 年度の研究内容

□複合材を活用した構造仕様について検討し、居住区の振動・騒音伝播特性の試解析を行うと共に、複合材の適用候補部位や規則要求の適用に関する課題を明確化する。

□現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルによるパターン学習技術を導入し、多様な船舶に対する高精度な騒音予測手法へと改良を行う。そのため、学習用データとなる騒音計測データの整備、騒音予測計算に必要な入出力パターンの検討、ニューラルネットワークモデルの入出力層等の決定を行う。

平成 28 年度の研究成果

□所内の先導研究などで開発中の振動予測システム及び振動解析用全船 FEM モデルを用いて、金属以外の材料（CFRP を想定）を対象とした試解析を行い、解析モデルの改良要件を明らかにし、材料による固有振動数や減衰比の違いが振動値に与える影響を検証可能な解析モデルを検討した。（図 1 参照）

□先行研究事例や他産業の新材料の動向を調査した結果、適切な材料がないためこれまで課題であった震動源側の対策として、減衰特性を変えられる材料を活用した制振特性制御が可能なマルチマテリアル構造が有望であることを確認した。建造量上位五社を対象とした聞き取り調査または紙面アンケート調査の結果、後付で施工可能な振動防止材や歪み防止材のニーズがあることを確認した。震動源側の制振対策に新材料を適用するに際して、必要な性能要件の目安を得るため、主機固定用樹脂材料の各船級の承認要件をとりまとめた。

□多層パーセプトロンタイプのニューラルネットワークを構築し、騒音学習と騒音予測を行う計算モデルを

作成した（図 2、図 3 参照）。騒音学習は騒音実船計測結果を教示データとした。騒音学習結果（重みパラメータ）を利用して自船、同型船その他船舶の騒音予測を行った。自船及び同型船の騒音予測は、騒音計測誤差程度の実用的な予測精度を確認した（図 4 参照）。

□類似船の探索を行う自己組織化プログラム(SOM)タイプのニューラルネットワークを構築した（図 5 参照）。SOM で探索した類似船の騒音予測について、すなわち汎化性能についても確認した。類似度が高いと実用的な騒音予測精度となっていることを確認した（図 6 参照）。

成果の公表

プログラム登録：登録済 1 件、申請中 2 件

□ Janssen 法に基づく居住区船内騒音予測プログラムに関するチューニング作業自動化ソフト

□（申請中）多層パーセプトロンタイプのニューラルネットワークを利用した騒音学習・予測プログラムソフト

□（申請中）データベースにある船舶の類似度に応じたクラスタリング、類似船の探索を行うプログラムソフト

発表：3 件

□「騒音対策指針と新しい船の設計について」、平成 28 年度内航船舶技術支援セミナー

□「内航船の船内騒音解析」、VA User Conference 2016

□「ニューラルネットワークを活用した船内騒音予測について」、人工知能学会第 30 回知識・技術・技能の伝承支援研究会

参考図

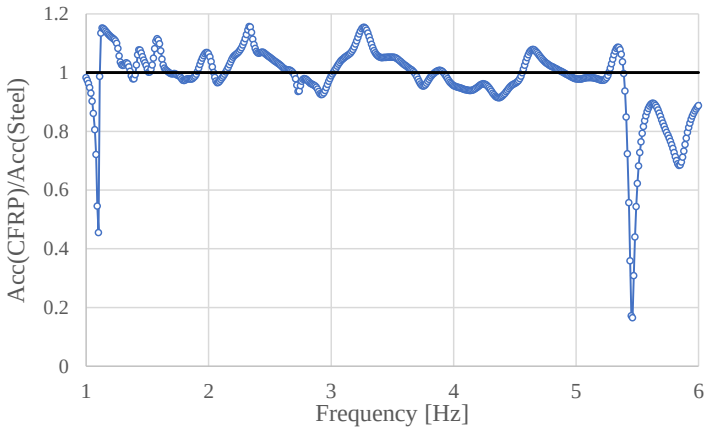


図 1　構造部材への CFRP 減衰係数の適用前後の加速度応答値の比の分布

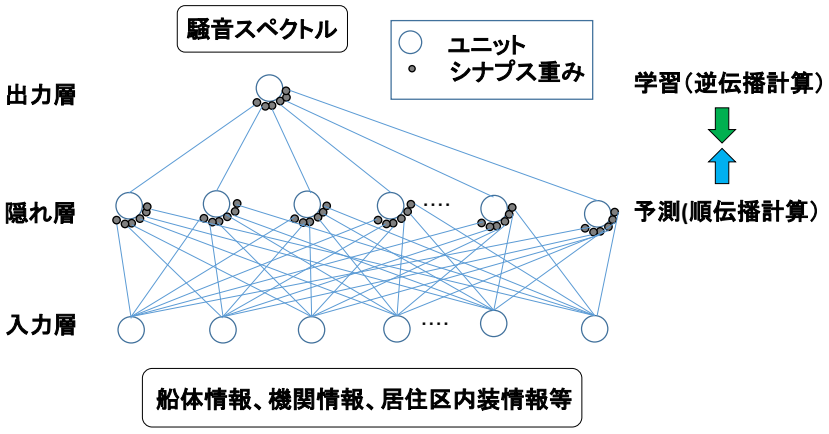


図 2　多層パーセプトロンタイプの騒音学習・予測ニューラルネットワークモデル

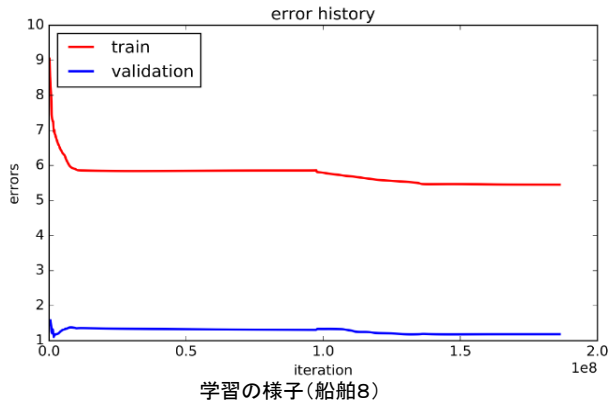


図３　騒音学習の様子

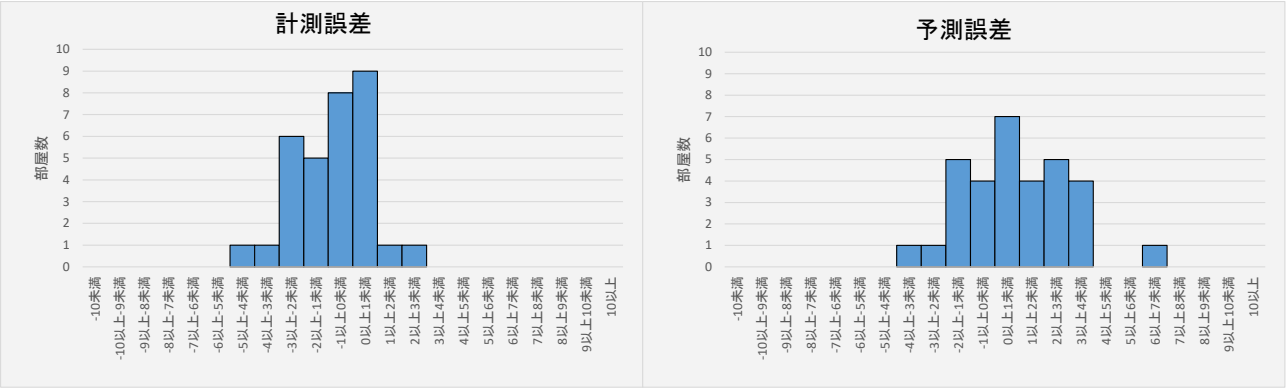


図４　同型船の計測誤差（左）と類似船のニューラルネットワーク騒音予測誤差（右）

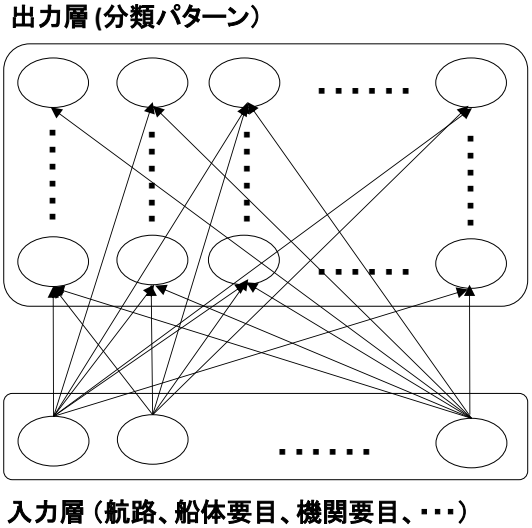


図５　自己組織化マップ（SOM）タイプのニューラルネットワークモデル

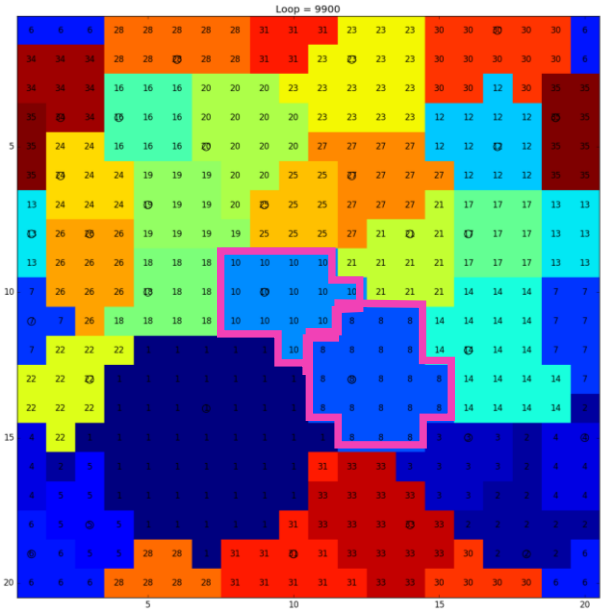


図６　SOM による類似船判定

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

研究テーマ	23. 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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。 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 －海陸連携したシームレス運航システムの導入効果の評価指標の開発をおこなう。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
□推進動力システムの構築
□法制面の検討
□実運航環境におけるデータ蓄積と持続的なシステム改善の仕組みの構築

研究目標

□自律運航システムのコンセプトの構築
□大洋航行における計画航路に基づいた自律運航システム及び、多段階の自動避航システムの開発
□複数のセンサ及びデータに基づく航行障害物情報の統合センシング技術の開発
□メンテナンスフリーに近づける動力システムのコンセプトの開発
□新しいコンセプトによる動力システムを考慮した、メンテナンス管理システムの開発
□陸上からの自律運航モニタリングシステムの開発
□自律運航システム機能を組み込んだシミュレータあるいは実船搭載システムによる有効性評価手法の開発
□実運航下でのデータ蓄積の仕組み及び持続的なシステム改善技術の開発

上記成果は、自律運航機能の普及により、船員不足への対応、ヒューマンエラーによる海難事故の削減の寄与及び先進的な技術開発を行うことで、我が国海事産業の国際競争力の強化が図られることが期待される。

平成 28 年度の研究内容

【自律運航システムの研究】

・自律航行船の運航に必要な機能と自律のレベルについて、国内外の調査を行い取りまとめた。
・自律航行船の基本機能を組み込むフレームワークとして、ECDIS をベースとした自律機能と操船シミュレータを結ぶ通信プログラムを作成した。さらに、計画航路に則った、航行を実現するトラックコントロール機能をこのプログラムに自律機能として組み込んだ。
・航行障害物である船舶を画像処理により検出する機械学習機能の検討と陸上からの運用を行い、船舶検出のフィジビリティーの検討を行った。（海上保安庁からの請負研究）
・AIS データから実際の避航操船の抽出を行い、これを解析することにより、実際の操船における避航開始距離等避航操船アルゴリズムのための各種パラメータの抽出を行った。
・国土交通省の「先進安全船舶技術研究開発支援事業」に基づく「船舶の衝突リスク判断と自律操船に関する研究」に参加し、「衝突リスク判断方式の研究開発」のための操船シミュレータによる避航判断支援情報の検討のための実験(図１)を実施した。

【推進動力システムの構築】

・既存のディーゼル推進船の機関士によるメンテナンス状況を調査し、自律運航船舶への搭載を想定したときのメンテナンスフリーに近づける動力システムの抽出を行った。

・既存の機関部に関連したモニタリングシステムについて調査し，モニタリングシステムがメンテナンス性・信頼性に与える有効性について考察した。

【自律航行船の安全基準の研究】

・自律航行船舶の運用の制限となる国際条約等に関する調査を行うとともに、自動車等自動運転実現に向けた動きの調査を行った。

平成 28 年度の研究成果

□今後、開発・実装が行われる自律船の機能を、操船シミュレータ上で実現するため、電子海図情報表示装置(ECDIS)を模擬するプログラムをベースに、舵とエンジンテレグラフでの手動操船機能と各種自律機能のプログラムと操船シミュレータとを結ぶ通信プログラムを作成した。これに加えて、自律機能として計画航路の設定及び計画航路に沿った操船を実現するトラックコントロール機能(図２)を操船シミュレータに組み込んだ。

□陸上からのビデオ画像を対象に、機械学習による船舶の抽出（図３）と船舶位置の検出の検討を行った。この際、教師画像抽出支援ツール、教師画像データベース、画像抽出システムを構築した。

□AIS データに基づき、避航操船の航跡を抽出し、その解析を行って、一般的な操船者が操船する際の避航開始時期や避航開始距離を、対象船への離隔距離とその方位角変化（図４）で取りまとめた。

□既存のディーゼル推進船の機関士によるメンテナンス状況を調査した結果，自律運航船舶の運用時には，メンテナンスの短期集中化が有効であることを確認した。

□自律船運航に関わる国際規則等を取りまとめた他、自動車等他のモードの自動運転実現への動きを取りまとめた。

成果の公表

特許出願：「船舶の衝突リスク低減方法」

発表論文：５件

□三宅他２名、”AIS データを用いた避航操船の行動分析に基づく衝突危険度評価”，日本航海学会論文集 135 号

□疋田他２名、”教育・実習への適用の為の機関点検支援システムの機能拡張”，第１回海事教育機構研究発表会予稿集

□三宅他２名、”実際の避航操船の行動分析に基づく船々間の衝突危険の定量的評価”，日本船舶海洋工学会論文集　24 号

□三宅他２名、”Evaluation method of Collision Risk Based on Actual Ship Behaviors Extracted from AIS DATA”, TransNav 2017

□三宅、”AIS データを用いた船船間の衝突危険度評価に関する研究”，大阪大学

日本航海学会論文賞 2016 年度　三宅　「AIS 記録データに基づく避航操船手法の解析」

参考図

図１　避航判断支援情報評価実験の様子

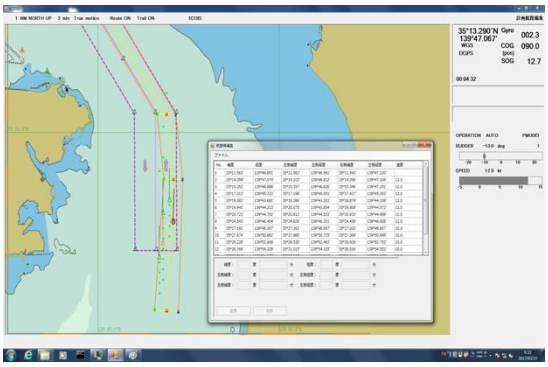


図２　自律船機能接続用通信プログラム
（トラックコントロールの計画航路の設定画面）

図３　船舶検出結果画面

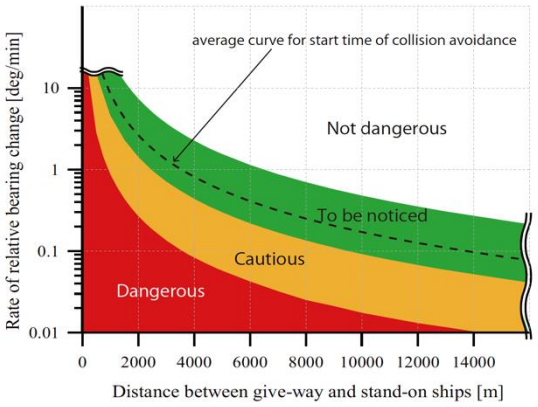


図４　衝突リスクと避航開始時期

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

研究テーマ	24. 地域海上交通システムの再構築に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	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 －海陸連携したシームレス運航システムの導入効果の評価指標の開発をおこなう。等

研究の背景

離島地域の実態を踏まえた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の離島地域海上交通の持続的な維持・発展に資することが求められている。具体的には、
□海上交通ネットワークの維持・向上に資する評価手法の研究
□多様なニーズに応える新たな海上交通サービスの開発・評価に係る研究
□旅客船のバリアフリー技術基準への提言に関する研究

研究目標

□シームレス運航システムの導入効果評価手法の開発
□オンデマンド海上交通、海上タクシー導入の評価手法と評価指標の開発
□旅客船の設備仕様に関して、実現性の高い新たなバリアフリー技術基準案を作成
上記成果は、地域の特性に合った多様な海上交通サービスとして提供することが可能となり、海上交通のネットワークの維持、離島地域等の地方創生に資することが期待される。

平成 28 年度の研究内容

本研究では、従来の定期旅客船と路線バス等からなる交通網の待ち時間を含めた乗り換え負荷低減比較など、海陸連携したシームレス運航システム（バスフロート船※、シームレス小型船システム※※等）による離島地域公共交通等への導入検討時、関係事業者、地方自治体等が導入効果を適切に評価できる指標の開発を行う。また、シームレス運航システムを普及させるために、バスフロート船の実態調査、省力化を目指したシームレス小型船システムのシミュレータ整備を行う。また、H29 年度開始の計画を前倒しして、オンデマンド海上交通システム等の研究を行った。
※バスフロート船：バス等の乗客が航行中も車内にとどまることのできるカーフェリー
※※シームレス小型船システム：小型バスが乗船しそのまま客室となり乗客が乗り換え不要な小型旅客船

平成 28 年度の研究成果

研究目標の「シームレス運航システムの導入効果評価手法の開発」については、乗換負担評価指標として、一般化時間という評価指標を構築した。この指標は、肉体的負担と心理的負担に影響され、現地アンケート調査の結果、肉体的負担については地域差がなかったが、心理的負担については地域の社会性の影響が見られ、地域の社会性を考慮した調整を行うことで、離島航路全般に適用できる評価手法として開発した。さらに、導入時の需要評価に必要となる離島の魅力についても、観光客受け入れ率を提案した。また、シームレス運航システムのひとつであるバスフロート船の現地調査を行い、当該システムの導入と継続的な運航に関して、他の地域への展開の際に参考となる、フェリーとバスの両交通機関及び地方自治体が連携したシームレス運航システムの計画・運用・定期的見直し体制と日常業務に関する示唆を取りまとめた。

研究目標の「デマンド海上交通、海上タクシー導入の評価手法と評価指標の開発」については、H28 年度に前倒しで検討し、評価指標として、定期航路の運休確率を求める式を構築した。また、これを選定した離島航路に対して適用し、オンデマンド運航化の効果を検討し、効果が表れる利用客数の目安を得た。海上タクシーについては課題整理を行い、公共交通機関の一部を担う海上交通を前提とした場合、オンデマンド海上交通と同じ対応で良いことを確認した。

研究目標の「旅客船の設備仕様に関して、実現性の高い新たなバリアフリー技術基準案を作成」については、H28 年度に研究資源の配分を見直し、重点研究ではなく、専門家として外部要請に対応することが適切と判断した。具体的には、交通エコロジー・モビリティ財団と国土交通省の要請に応じて、それぞれ小型旅客船のバリアフリー設備仕様の審議への寄与、海外のバリアフリー技術基準に関する知見の提供を行った。

1）乗換負担低減ほか各種評価に関する研究

乗換負担評価指標開発においては、肉体的な負担と心理的な負担を含めた全ての乗り換え時の行動を水平歩行時間に置き換えて表す一般化時間指標を用い、離島航路に適用できる評価指標として構築した。図 1 に一般化時間の式と説明を示す。広島県江田島市のフェリー航路においてフェリーと陸上交通機関等の乗り換え動向等に関するアンケート調査を実施し、平成 27 年度（第 3 期中期計画最終年度）に実施した大崎上島町の結果と比較を行った。その結果、フェリーと陸上交通機関の乗り換えにおける肉体的な負担は離島による違いがないこと、心理的な負担は離島による差があり、江田島市の心理的負担は、人に尋ねるまでの時間が大崎上島町より長いことがわかった（図 2～図 3）。これは、大崎上島町が地元密着の地域社会であるのに対し、江田島市は広島市が通勤・通学圏であり大都市圏の通勤・通学者の心理に近いことによると考えられる。離島航路地域の海上交通と陸上交通の乗換負担評価を行う際には、本研究で求めた地域の特性に適合した係数を用いることで、一般化時間指標により評価できる。

観光魅力度については、本土から 1 時間圏内であることと欠航率がごく低いことを条件として揃え、内海・本土近接型離島を対象に、「離島統計年報」のデータに基づき、宿泊施設稼働率、宿泊率等を算出した。その結果、離島の人口と受け入れ観光客数の比から算出する観光客受け入れ率が、瀬戸内芸術祭に参加するなど魅力度が高いとされる考えられる犬島や女木島では 30%を超えたのに対し、多くの離島では 10%未満であった（図 4）。この観光客受け入れ率は公表データから簡便に算出でき、10%が他の島との差別化がみられると判断できる基準値になり、観光魅力度の指標の一つとして使用できると考える。

2）シームレス運航システムの普及に関する調査

2-1）バスフロート船の現状調査

第 3 期中期計画の成果として平成 27 年 4 月にカーフェリーの車両甲板にかかる規制が見直され、海上運送法に基づく安全管理規程を設定・変更することによって、バスフロート船（バス等の乗客が航行中も車内にとどまることのできるカーフェリー）の実運航が可能となった。本調査研究では、鹿児島においてバスフロート船を活用しているバス事業者を対象に、バスフロート船の利用の状況や課題について明らかにした。その結果、バスフロート船を活用したバス路線を開設する際は、①フェリーのダイヤに合わせた運航ダイヤ設定、②バスの運行ダイヤの余裕などの道路渋滞等対応策及びフェリー欠航時の対応策の策定と日々の連絡を含む運用体制、③フェリー内で一般旅客（フェリーのみの旅客）と一緒になるため料金収受の仕組みの作成等が必要となることがわかった。また、地域交通計画の策定と施行を担う地方自治体の役割や、運航・運行ダイヤ及びバス停の定期的な見直しによる利便性の維持・向上も重要であった。そのためバスフロート船を活用したバス路線を開設する際は、バス事業者と航路事業者、地方自治体の計画段階から日常の連絡、定期的な見直しを含む運用体制までの連携が不可欠であるといえる。

2-2）操船リスクシミュレータによる運用

第 3 期に建造し各種海上実験に用いたシームレス小型船システムの実験船の運動モデルと小型船用コンソールの操船リスクシミュレータへの組み込みは、既に第 3 期の終了時点で実施した。今年度は、第 3 期の社会実験海域以外での航行シナリオ等でシームレス小型船システムの運航を確認するとともに、拡張機能を持った運航シミュレータとして整備した。

3）オンデマンド海上交通及び海上タクシーに関する研究

オンデマンド海上交通と海上タクシーについては、H29 年度開始計画であったが前倒しで検討した。

第 3 期中期計画の検討結果を踏まえ、第 3 期で開発したシミュレーションシステムのケーススタディ、文献調査、地方運輸局との意見交換等を行い、実態分析として、利用客が著しく少ない離島航路を選定し、オンデマンド運航化の検討を行った。検討では、便数と利用客数の関係（図 5）より現状を把握し、便別の利用客数から運休確率を求める式を構築し、選定した離島航路における乗客が 0 人（運休）となる確率（表 1）を求めた。その結果、選定離島航路では、利用客数が最も少ない 7 便目においても運休確率が 11.1%であり、利用客が少なくても直ちにこの便をデマンド運航化することは難しいことがわかった。コスト削減効果の目安として、1 便あたりの燃料費が半減（運休確率 50%）となるには、1 便当たりの平均利用客数は 0.7 人程度となっている必要があり、現状の利用客数がさらに少なった場合にデマンド運航化の効果が表れると考える。

海上タクシーは、公共交通機関の一部を担う海上交通を前提とした場合、需要が極端に少ない離島において導入されるべき海上交通手段となる。その場合、オンデマンド交通に近い交通形態となるため、経済的には前述したオンデマンド交通と同じ評価となる。なお、実際の導入検討時には、定期便の運休及び海上タクシー化に向けた、離島居住者と自治体等の離島地域としての合意形成が必要になり、各自治体の地域公共交通会議で導入の検討を実施することが適切と考える。

4）旅客船のバリアフリー技術基準への提言に関する研究

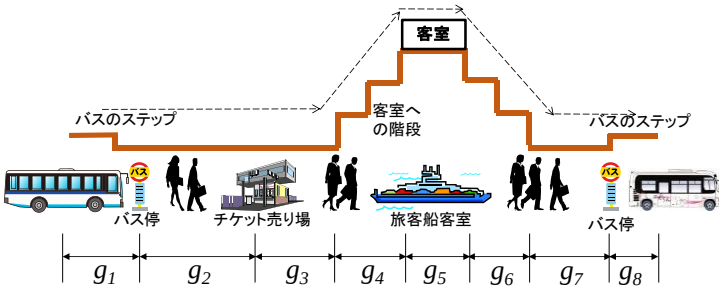
バリアフリー法技術基準については、国土交通省ほか外部の要請があった場合に専門家として参加することが、研究資源の配分上適切であると判断した。今年度は、交通エコロジー・モビリティ財団の旅客船のバリアフリーに関する委員会等で審議に寄与するとともに、国土交通省からの海外のバリアフリー基準に関する問い合わせに対応した。

成果の公表

発表論文：8 件

- □平田宏一，宮崎恵子，疋田賢次郎，荒谷太郎，松倉洋史，吉村健志，西崎ちひろ，三宅里奈，田村兼吉：離島の交通支援のためのシームレス小型船システムの開発，海上技術安全研究所報告，Vol.16，No.4，pp.1-19，2017.
- □荒谷太郎，西崎ちひろ，三宅里奈，吉村健志，宮崎恵子：離島航路におけるシームレス小型船システムの受容性に関する調査，海上技術安全研究所報告，Vol.16，No.4，pp.21-39，2017.
- □荒谷太郎，宮崎恵子：一般化時間を用いたシームレス小型船システム導入時の移動負担感に関する研究，海上技術安全研究所報告，Vol.16，No.4，pp.41-51，2017.
- □松倉洋史，荒谷太郎，宮崎恵子：シームレス小型船システムを用いた移動販売事業の実行可能性検討－中小規模の離島における買い物弱者支援－，海上技術安全研究所報告，Vol.16，No.4，pp.53-79，2017.
- □Taro ARATANI and Keiko MIYAZAKI：Estimation of Mobility Burden to Remote Island Residents by Ferry Based on Generalized Time, Asia Navigation Conference 2016 proceedings, (USB), 2016.
- □荒谷太郎，宮崎恵子：離島航路フェリー利用時の離島居住者の移動負担感に関する研究，日本航海学会誌「NAVIGATION」199 号，2017.
- □荒谷太郎，宮崎恵子：離島航路におけるバスフロート船導入時の移動負担感に関する研究，土木計画学研究・講演集(CD-ROM) Vol.54，2016.
- □荒谷太郎，宮崎恵子：一般化時間による離島居住者の海上交通移動の負担感に関する分析，交通学研究第 59 号，pp.173-180，2016.

参考図



$$G_i(\text{一般化時間}) = \sum g_i = \sum_j (W_{ij} \times T_{ij}) + \sum_k I_{ik}$$

実測時間
等価時間係数
心理的負担時間
肉体的な負担
心理的な負担

図 1　一般化時間の算出式

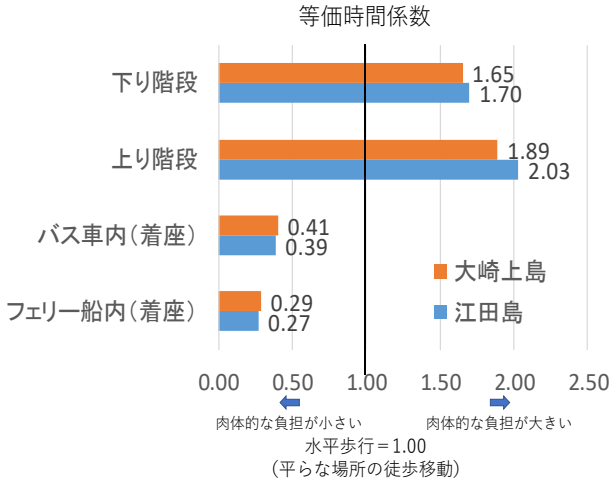


図 2　肉体的な負担に関する比較
（離島居住者）

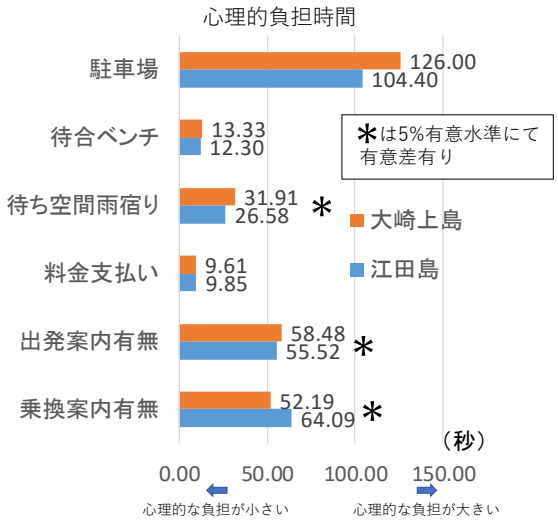


図 3　心理的な負担に関する比較
（離島居住者）

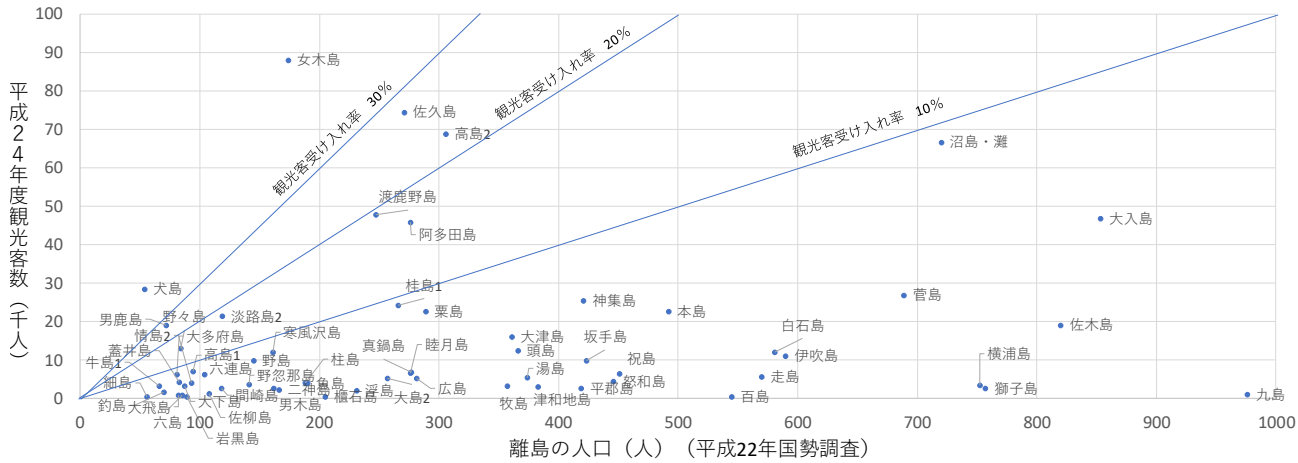


図４　離島の人口と受け入れ観光客数の関係

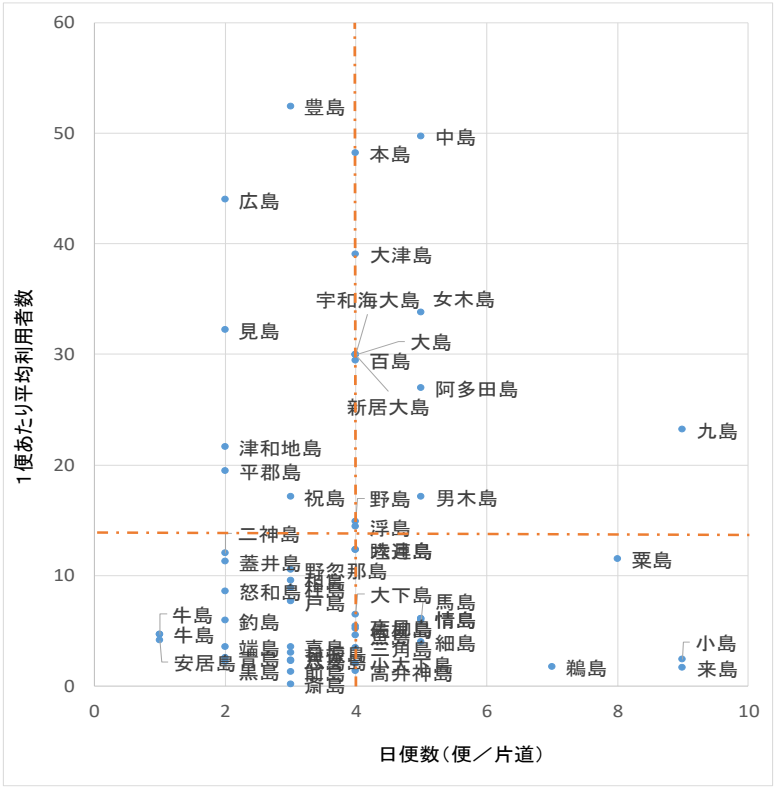


図５　離島航路における利用者数と便数の関係

表１　選定離島航路における乗客が０人（運休）となる確率

	１便あたり（往復）人数	０人運航の確率 P(0)
１便	9.0	0.01%
２便	6.2	0.2%
３便	7.2	0.08%
４便	4.0	1.8%
５便	3.9	2.0%
６便	6.0	0.25%
７便	2.2	11.1%
（参考）	0.7	50.0%

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発 －複合一貫輸送効率評価システムの設計、AIS データから船舶の出入港を検知するシステムの開発等を行う。 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、

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

研究目標

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

上記成果は、システムの実用化、普及により、効率的な物流が実現し、環境保全、我が国物流システムの国際競争力が強化されることが期待される。

平成 28 年度の研究内容

【複合一貫輸送評価システムの研究開発】

・AIS 情報を活用した船舶のリアルタイム運航状況提供システムのため、国内フェリー航路についてモーダルシフトの現状を中心に調査すると共に、AIS データからフェリーの運航データベースを作成した。また、web 上で公開されている運航スケジュールと比較し、遅延率に関する統計データの分析を行った。

・複合一貫輸送評価システムに関し、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した。

【AIS 情報等による海上貨物輸送量の把握と造船需要予測】

・AIS データから船舶動静データへと変換するプログラムの開発、さらに、船舶動静データから貨物流動へと変換するための、調査、分析手法の開発を行った。

【船隊運航管理システムの高度化】

・現在運用中の eE-NaviPlan サーバー上で稼働している、各種解析プログラムに関し、船舶固有（POD 推進機の搭載など）の特性を考慮したアルゴリズムの実装、モニタリングデータのノイズ処理などによる燃料消費削減量の高精度推定、気象データの読み込み処理の高速化を行うとともに、HP 上のグラフ作成機能、レポート機能などを充実させた。

平成 28 年度の研究成果

□国内 AIS データのデータベース化により、日時、緯度経度、MMSI 番号などの条件で抽出する基盤を作成（図 1 参照）
□入港・出港判定アルゴリズムの構築により、船舶の入出港時刻を検知するプログラムを開発し、配船表などとの比較から入出港時刻の妥当性を確認後、遅延率について分析。定時性の低さが船舶へのモーダルシフトの阻害要因とされているが、実際には高い定時性であることを定量的に明示。（図 2 参照）

□複合一貫輸送評価システムの研究開発については、全体システムの設計・開発を実施すると共に、トラックドライバーの労働時間考慮機構等を開発して影響評価を実施。（図 3 参照）
□構築した港湾区域データベースを用い、AIS の位置データから船舶の出入港を検知して動静データへと変換するプログラムを開発し、妥当性を確認（図 4 参照）。併せてユーザーインターフェースを構築（図 5 参照）。
□ばら積み船でも、多港積み、多港揚げが支配的であることが判明したが（図 6）、動静データの発着港情報の信頼性が高ければ、貨物流動量として推算できる可能性を確認。（図 7 参照、プログラム化は課題）
□船隊運航管理システム、eE-NaviPlan に関し、航海計画作成機能の高速化、燃料消費量の算定精度の高度化、HP 上のユーザーインターフェースの充実を図るとともに、実運用上で大きなトラブル無く安定した運用が可能であることを確認。（図 8 参照）

成果の公表

論文、口頭発表 7 件
□”Fundamental Analysis on Operational Conditions of Long Distance Ferry and Freight Train in Japan”, Eastern Asia Society For Transportation Studies (EASTS 2017)に投稿
□” Fundamental Study of Intermodal Freight Transport between Kyushu Area and Kansai Kanto Area in Japan”, Eastern Asia Society For Transportation Studies (EASTS 2017)に投稿
□”Maritime Indicator Analysis of Freight Rate Market by Satellite AIS Data”, 日本船舶海洋工学会に投稿
□”海上輸送による国際コンテナ流動”、人流・物流・金流ネットワークとその周辺研究会で口頭発表、さらに、統計数理研究所共同研究リポート に投稿
□"Estimating International Freight Flows and Transport Costs Based on Trade Statistics", International Association of Maritime Economists (IAME 2017 Conference)に投稿
□”Network Structure Analysis for International Maritime Container Transportation: From the View Point of Complex Networks”, International Association of Maritime Economists (IAME 2017 Conference)に投稿
プログラム登録 1 件
□ 気象海象データを用いた船速計画プログラム（登録番号：P 第 10711 号-1）

参考図

【複合一貫輸送評価システムの研究開発】

図 1　2016 年 AIS データから作成したフェリー航跡図

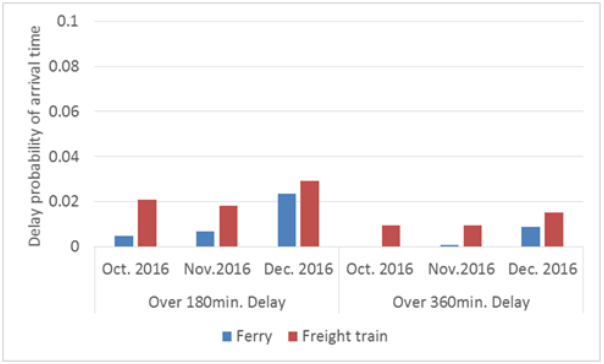


図 2　フェリー・JR 貨物遅延率比較

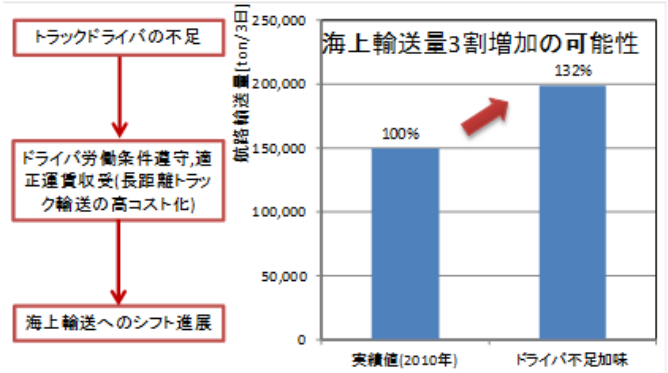


図 3　トラックドライバー不足による海上輸送へのシフト量の推定結果

【AIS 情報等による海上貨物輸送量の把握と造船需要予測】

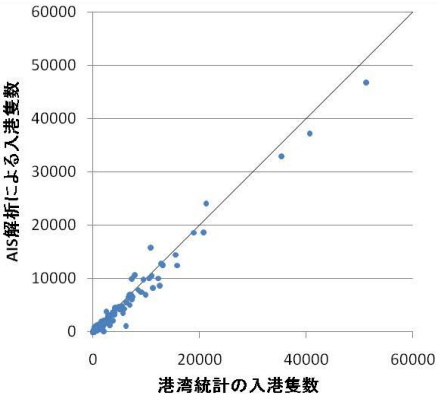


図 4　AIS→船舶動静変換データと
港湾統計データの入港回数の比較

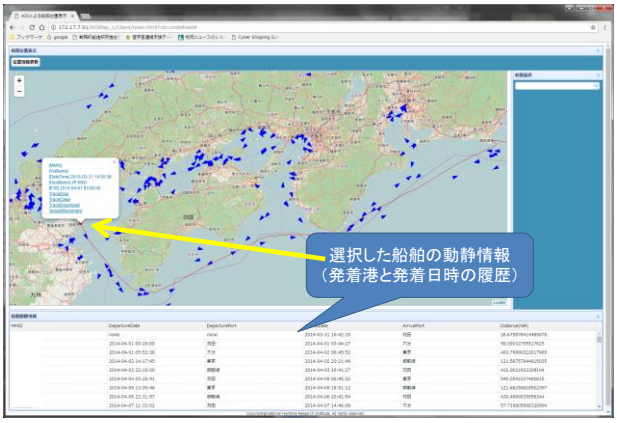


図 5　AIS→船舶動静変換プログラムの
ユーザーインターフェース

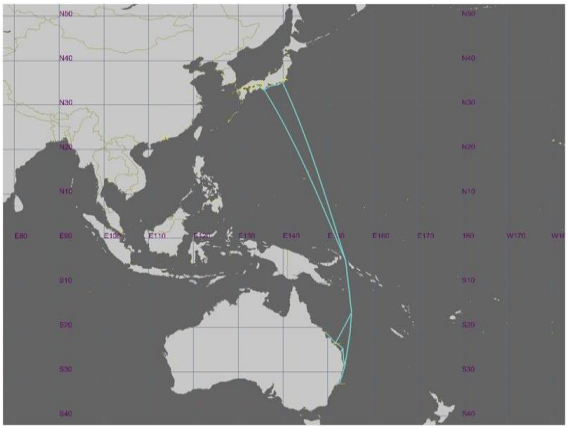


図 6 鉄鉱石運搬船の航跡
（多港積み、多港揚げの例）

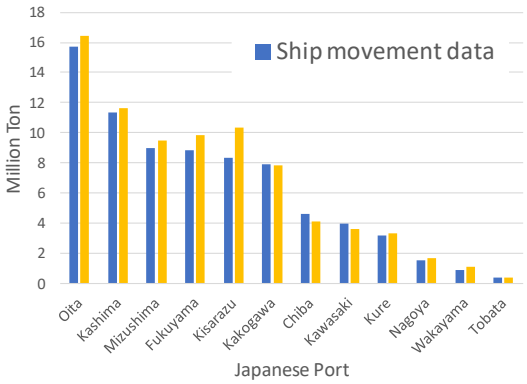


図 7 船舶動静データから変換した鉄鉱石輸入量
と貿易統計データとの比較（日本港別）

【船隊運航管理システムの高度化】

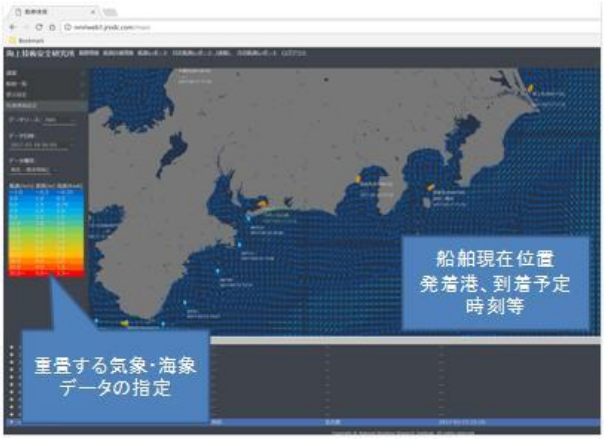


図 8 船隊運行管理システム eE-NaviPlan*のユーザーインターフェース
左図：動静情報と海流データの重畳表示、右図：航海別情報と燃費節約量の表示

（＊:eE-NaviPlan は、特定非営利活動法人マリン・テクノロジストの登録商標、第 5867782 号です。）