令和元年度　業務実績等報告書

令和２年６月

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

MPAT

目　　次

第１章　研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 ---------- １
１．分野横断的な研究の推進等 ---------- ２
（１）分野横断的な研究の推進 ---------- ２
（２）研究マネジメントの充実 ---------- ７
２．船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等 ---------- １１
（１）海上輸送の安全の確保 ---------- １６
（２）海洋環境の保全 ---------- ５０
（３）海洋の開発 ---------- ８１
（４）海上輸送を支える基盤的な技術開発 ---------- １０１
３．港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等 ---------- １２５
（１）沿岸域における災害の軽減と復旧 ---------- １２７
（２）産業と国民生活を支えるストックの形成 ---------- １４２
（３）海洋権益の保全と海洋の利活用 ---------- １５６
（４）海域環境の形成と活用 ---------- １６２
４．電子航法に関する研究開発等 ---------- １７１
（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化 ---------- １７６
（２）空港運用の高度化 ---------- １９３
（３）機上情報の活用による航空交通の最適化 ---------- ２１１
（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化 ---------- ２２２
５．研究開発成果の社会への還元 ---------- ２２９
（１）技術的政策課題の解決に向けた対応 ---------- ２２９
（２）災害及び事故への対応 ---------- ２３４
（３）橋渡し機能の強化 ---------- ２３８
（４）知的財産権の普及活用 ---------- ２５１
（５）情報発信や広報の充実 ---------- ２５６
６．戦略的な国際活動の推進 ---------- ２６９
（１）国際基準化、国際標準化への貢献 ---------- ２６９
（２）海外機関等との連携強化 ---------- ２７９

第２章　業務運営の効率化に関する目標を達成するためにとるべき措置 ----- ２８５
１．統合に伴う業務運営の効率化 ---------- ２８８
２．業務の電子化 ---------- ２８９
３．業務運営の効率化による経費削減等 ---------- ２８９

第３章　財務内容の改善に関する目標を達成するためにとるべき措置 ------- ２９１
１．運営費交付金を充当して行う事業 ---------- ２９６
２．運営費交付金以外の収入の確保 ---------- ２９８
３．短期借入金の限度額 ---------- ２９８
４．不要財産の処分に関する計画 ---------- ２９８
５．財産の譲渡又は担保に関する計画 ---------- ２９８
６．剰余金の使途 ---------- ２９８

第４章　その他業務運営に関する重要事項 ---------- ２９９
１．内部統制に関する事項 ---------- ３０２
２．人事に関する事項 ---------- ３０３
３．外部有識者による評価の実施・反映に関する事項 ---------- ３０３
４．情報公開の促進に関する事項 ---------- ３０４
５．施設・設備の整備及び管理等に関する事項 ---------- ３０４

第１章　研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置

1．分野横断的な研究の推進等

【中長期目標】

1．分野横断的な研究の推進等

研究所は、海洋の利用推進や運輸産業の国際競争力の強化等の政策について、今回の統合を機に、分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施し、その実現に大きく貢献していくことが期待されている。

また、分野横断的な研究をはじめとする研究開発を効率的かつ効果的に実施していくためには、戦略的な研究の企画立案や各研究部門の連携や調整といった研究マネジメントの充実が不可欠であり、研究所は、そのための体制を構築する必要がある。

【重要度：高】 統合を機に新たに構築する体制の下、分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施し、国土交通省の政策実現に大きく貢献していくことが期待されているため。

【中長期計画】

1．分野横断的な研究の推進等

海洋の利用推進、我が国産業の国際競争力強化といったテーマは、旧海上技術安全研究所、旧港湾空港技術研究所及び旧電子航法研究所の旧3研究所が保有する技術と知見を効果的にかつ最大限に活用して取り組むべき政策課題である。このため、旧3研究所の研究領域にまたがる分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施し、その政策の実現に貢献する。

また、新たに経営戦略室を設置する等、分野横断的な研究をはじめとする研究開発を効率的かつ効果的に実施するため、戦略的な研究計画の企画立案や各研究部門の連携・調整を行う研究マネジメント体制を構築する。

【年度計画】

1．分野横断的な研究の推進等

海洋の利用推進、我が国産業の国際競争力強化といったテーマは、旧海上技術安全研究所、旧港湾空港技術研究所及び旧電子航法研究所の旧3研究所が保有する技術と知見を効果的にかつ最大限に活用して取り組むべき政策課題である。このため、旧3研究所の研究領域にまたがる分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施し、その政策の実現に貢献する。

また、経営戦略室が中心となって分野横断的な研究をはじめとする研究開発を効率的かつ効果的に実施するため、戦略的な研究計画の企画立案や各研究部門の連携・調整を行う。

（1）分野横断的な研究の推進

【中長期目標】

（1）分野横断的な研究の推進

各分野の技術シーズや専門的な知見を応用し、国土交通省の政策の実現に大きく貢献していくことを目的とした、海中探査技術、海中施工技術、物資・人員輸送技術の連携による次世代海洋資源調査技術に関する研究開発や、航空交通の管理・解析技術と空港施設の維持管理技術の連携による首都圏空港の機能強化に関する研究開発といった分野横断的な研究を推進する。また、これら以外の分野横断的な研究テーマの模索や検討を継続的に行う。

【中長期計画】

（1）分野横断的な研究の推進

研究所は、海洋の利用推進と国際競争力の強化といった課題について、分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施する。

このため、以下の研究開発を進める。

①次世代海洋資源調査技術に関し、海底観測・探査、海中での施工、洋上基地と海底との輸送・通信、陸上から洋上基地への輸送・誘導等に係る研究開発

②我が国における国際交通ネットワークの要である首都圏空港の機能強化に関し、滑走路等空港

インフラの安全性・維持管理の効率性の向上等に係る研究開発

さらに、上記以外の分野横断的な研究テーマについても、模索や検討を継続的に行い、新たな研究テーマの確立を目指す。

【年度計画】

（1）分野横断的な研究の推進

研究所は、海洋の利用推進と国際競争力の強化といった課題について、分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施する。

このため、本年度においては、次世代海洋資源調査技術に関し、資源調査技術・生産技術等と新たな海中施工技術等の研究を引き続き連携して進める。

首都圏空港の機能強化に関しては、空港内の交通流を円滑にする誘導路等の施設配置や運用の改善のため、交通データ等活用技術の研究を引き続き実施するほか、目的達成のための課題、目標、計画等の具体的な研究方法や各種研究計画について、関係する研究者等の間で情報交換、連携し、効率的かつ効果的に研究を進める。

また、29 年度より実施している海洋分野におけるドローン技術の活用に関する研究を進める。

さらに、各分野の共通基盤となる技術を活用した研究の連携を進めるとともに、総合的な政策課題に適切に対応した研究の模索や検討を継続的に行う。

◆年度計画における目標設定の考え方

令和元年度は、分野横断的な研究として、昨年度に引き続き、首都圏空港の機能強化に関して関係する研究者等の間で情報交換、連携し効率的かつ効果的に研究を進める。また、次世代海洋資源調査技術に関する研究は、平成30年度に第１期SIP「次世代海洋資源調査技術（海のジパング計画）」が終了したことから、研究成果の取りまとめを行いつつ、成果の民間移転により社会実装を進める事とした。さらに、広域海底探査のための複数AUVを同時運用する際の隊列制御の研究および、音響画像システムによる施工の生産性向上に向けた研究は各研究所の研究として引き続き実施する。

さらに、平成29年度より、交通運輸技術推進制度を利用して3年計画で実施している「海洋分野の点検におけるドローン技術活用に関する研究」は、令和元年度に終了することから、連携して研究を進め、成果の取りまとめを行う。また、令和元年度より、同じく交通運輸技術推進制度を利用して３年計画で実施する「大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析」の研究も連携して進める。さらに、各分野の共通基盤となる技術を活用した連携を進めるための検討を継続的に行う事とした。

◆当該年度における取組状況

①次世代海洋資源調査技術に関し、海底観測・探査、海中での施工、洋上基地と海底との輸送・通信、陸上から洋上基地への輸送・誘導等に係る研究開発

平成30年度に4機の航行型AUVと1機のホバリング型AUVの計５機同時運用に成功したことを受け、令和元年度はその技術を民間企業に移転することを目的に、国内の海洋調査関連民間企業で構成された協会に海技研AUVシステムの運用技術を移転し、同協会で海技研のAUVを使った事業ベースの海底調査の展開を検討した。また、海技研のホバリング型AUVの運用ノウハウを受け継いだ環境計測コンサルタント会社がホバリング型のAUVを運用する事業を開始した。

複数AUVを同時運用する際の隊列制御アルゴリズムの開発を実施し、非線形モデル予測制御を使ったAUVの隊列制御方法の高度化手法を開発した。これにより駿河湾（1000m深）実海域試験では、ASVをリーダ機、2機航行型AUVをフォロワー機とした動的ウェイポイント航走を実現し、 運用技術の高度化（隊列制御技術の発展）を実施。（海技研の研究成果としても併記）

次世代音響画像システムについて、施工中の進捗管理での使用を目指し、浅海用音響ビデオカ

メラについては取得映像の調整を行い、音響映像呈示システムについては床掘浚渫用、置換工用のアプリケーションを作成し、北九州新門司（Ⅱ期）の各実工事で試用し、濁りのある中での視認サポートについて一定の成果が認められた。本検討は施工中の港湾構造物の音響可視化とともに将来のCIMを活用した施工のICT化への橋渡しをするものであり、施工の生産性向上に向けて着実に前進した。（港空研の研究成果としても併記）

これらの成果を活用し、今後、港湾施設や洋上風力施設等の保守点検等広範囲な適用を可能にする予定（2研連携）

②我が国における国際交通ネットワークの要である首都圏空港の機能強化に関し、滑走路等空港インフラの安全性・維持管理の効率性の向上等に係る研究開発

平成30年度より、空港の基盤施設・航空交通管理の各分野に渡る連携課題として「空港設計および地上走行時間管理に資する交通データ等活用技術の研究」を電子航法研究所にて実施しており、港湾空港技術研究所と連携の上、羽田空港の交通データと緊急補修工事箇所に基づいた路面損傷場所をマップ上で重ね合わせ、交通量等と路面損傷との関連性等について検討を進めた。

本年度は平成30年度に実施した重ね合わせ結果とも比較し、路面損傷箇所の交通量等の特徴を抽出の上、関連性を明らかにした。また、主要な誘導路の地点交通量をパターンとして把握し、実際の交通データを取得できない場合でも、通年日々の交通量を推定できる見通しが得られた。さらに、平成30年度以降、研究結果に基づき、羽田空港の舗装の維持管理を実施する国土交通省東京航空局及び設計・整備を実施する国土交通省関東地方整備局から要望された交通データの提供や意見交換を継続的に実施しており、一定の成果として認められている。

また、港湾空港技術研究所、電子航法研究所及び国土交通省航空局による連携調整会合を平成２９年度から継続してきたが、本年度は新型コロナウイルス感染拡大防止のため集合会議を中止し、メールによる資料配布と意見交換を行った。配布資料では、首都圏空港の機能強化に関連する研究として前述の研究課題の概要と進捗を関係する研究者間及び当局との間で共有した。メールによる意見交換では国土交通省航空局の担当官から有益な助言を得ており、空港機能の強化に寄与する研究課題の整理に向けて、令和2年度以降も引き続きこの会議を運営していくこととしている。

③海洋分野の点検におけるドローン技術活用に関する研究

海洋分野である船舶、洋上風車、港湾施設の点検において、ドローンを効果的に活用し、目視確認の代替又は支援を行うことで、点検作業の負担を軽減させることが可能となることを確認し、コスト低減、安全性向上、作業効率の向上など総合的な観点での維持管理の高度化を目的とした交通運輸技術開発推進制度による研究を平成２９年度より開始した。

令和元年度は、開発したドローンの操縦・運用技術や、ドローンへの搭載センサ技術、収集した画像等データに基づく点検保守技術等を、船舶の船倉内の構造部材の点検(海技研担当)、港湾構造物の異常検出(港空研担当)、洋上風力発電施設でのブレード等風力発電機器の点検に適用した実験を実施してその結果を取りまとめ、その有効性を確認するとともに、ドローンの法制度面の動向調査結果(電子研担当)と組み合わせて、ドローンを利用した海洋分野における点検作業に対するガイドラインを作成し、研究を終了した。これにより、今後のドローン による点検の普及に資すると考えられる。

④大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析

海上・港湾・航空技術研究所は、傘下の3研究所が連携して、大規模災害発生時の救助・救援活動（特に、人命救助において一つのリミットとなる発災後72時間以内）における陸・海・空が連携した

輸送およびその結節点となる空港、港湾における混雑の発生と対応策についての事前検討を可能にするシミュレーションツールの開発を目的とした交通運輸技術開発推進制度による研究を、令和元年度より開始した。なお、本研究の成果が地方自治体の防災計画や災害対策の立案・修正において有効に活用されることを最終目標としている。

令和元年度は、傷病者輸送シミュレーションの前提条件となる各種データを取得するため、津波や地震、台風等による大規模災害が予想される地方公共団体の防災計画等について、連絡会（静岡県、高知県）を設けて実態調査を実施した。さらに、災害時輸送シミュレータ（海技研担当）に、陸と空の結節点の様子を模擬する空港面シミュレータ（電子研担当） 及び港湾施設の利用性を評価するシステム（港空研担当）を組み込み、災害時の傷病者輸送全体を模擬するシミュレーションツール構築のためのフレームワークを設計した。

今後2年間の研究を実施し、地方公共団体の防災計画の策定・変更に適用できる様、当該自治体と協議しながら、災害時の傷病者輸送全体を模擬するシミュレーションツールの開発を行う。

⑤「みちびき」 を利用したデータの利活用

小型船の自動着桟の研究では、海上技術安全研究所が船舶のモデル化および制御技術、電子航法研究所が準天頂衛星「みちびき」による高精度測位技術で連携し、小型船による実船での自動着桟試験を行い、仮の桟橋を対象とした順風環境下での自動着桟に成功した。

今後、内航船を対象とした自動着桟に適応できる様、システムの効率の安全性の向上を目指して開発を進める。

⑥油回収技術に関する研究

令和元年度に海上技術安全研究所および港湾航空技術研究所で共同提案した「高温高圧ジェットによる高粘度物質の微細化及び流動化に関する研究」が科学研究費助成事業（科研費）で採択され、研究を開始した。本研究では、重質油等の高粘度物質を効率よく回収する方法として、重油・界面活性剤・水の3成分の分散混合系のエマルション化による粘度特性の変化に注目し、水に界面活性剤等を加えた混合液を高温高圧ジェットで重質油に加えて高粘度物質の流動化促進を行うシステムの構築を目指す。本年度は、重油・界面活性剤・水の3成分の分散混合系のエマルション化に関する基礎的な実験(港空研担当)を実施するとともに、水に界面活性剤等を加えた混合液を高温高圧ジェットで重質油に加えて高粘度物質の流動化を促進するシステムの試作及び実験(海技研担当)を実施した。この結果を、日本機械学会における両研究所の研究者による共著論文として発表した。

これにより、沈没した船舶の燃料油の抽出や、港湾域の流出油の回収に資する。

⑦その他の分野横断的な研究テーマの確立に向けた取組

令和元年度も引き続き、上述の6つの課題以外の分野横断的な研究テーマの具体化に向け、経営戦略室、研究監を中心とした会議を開催し、共通基盤技術に関する3研連携勉強会の開催、各研究所の研究発表会等での連携、3名の研究監の他の研究所の研究計画・評価委員会への参加による3研究所の研究の理解の促進、連携研究案件の調査・促進等を行った。

令和元年度に開催した3研連携勉強会のリストを表1.1.1に、勉強会の様子を示す写真を、図1.1.1に示す。

第1回は防災・減災技術をテーマとして討議した。防災・減災技術は、地震・津波、高潮、台風、豪雨、豪雪、これらに伴う土砂災害、火山噴火、あるいは油流出のような事故によるものなど、多種多様な災害を対象としている。勉強会では、これら災害の発災後を対象として、「被害把握・通信」と「シミュレーション」について各分野での研究発表を通して、共通点や今後の連携を探った。

第2回は、洋上風力発電施設をテーマとして討議した。洋上風力発電施設については着床式および浮体式があり、設置法、メンテナンス、自然環境影響、電波環境影響、リスク評価等多様な検

討要素がある。勉強会では、これらについての現状を把握し、今後の対応について理解することにより、それぞれの研究の理解を深めるとともに、多分野の研究者による新たな視点で対象を見ることで、共通点や今後の連携を探った。

第3回は、クラウドをテーマとして討議した。海技研ではクラウドの準備が始まったことから、クラウドの特徴と利用法及び今後の予定が報告された。また、港空研と電子研からは、港湾分野、航法分野でのクラウドにつながる取組について報告された。勉強会では、クラウドについての現状や利点及び利用法を把握し、それぞれの研究の理解を深めるとともに、クラウド利用の効果や今後の利用に関する展望を得た。

表 1.1.1　3研勉強会開催実績

No	開催日	勉強会名	参加者数
1	令和元年 5 月 28 日	防災・減災 （令和元年度第 1 回　3 研連携勉強会）	57 名
2	令和元年 9 月 6 日	洋上風力発電施設 （令和元年度第 2 回　3 研連携勉強会）	57 名
3	令和元年 12 月 18 日	クラウド （令和元年度第 3 回　3 研連携勉強会）	47 名

図 1.1.1　第 1 回 3 研連携勉強会の様子（左：海技研会場、右：港空研会場　）

各研究所の研究発表会での連携については、港湾空港技術講演会（11月18日）において、分野横断的研究として海技研及び電子研の研究者が講演を行った。

また、研究連携の状況を把握、管理するために「研究の連携案件調査票」を作成、更新し、研究所内で共有した。

さらに、「AI戦略2019　～人・産業・地域・政府全てにAI～」（令和元年6月11日統合イノベーション戦略推進会議決定）に基づき、人工知能（AI）の研究開発に関する統合的・統一的な情報発信や、AI研究者間の意見交換の推進などを行い、日本のAIの研究開発などの連携の機会を提供する“人工知能研究開発ネットワーク”に海上・港湾・航空技術研究所として参加し、AIを応用した研究に関する情報収集と海上・港湾・航空技術研究所のAIを応用した研究の概要の紹介を行った。

上記を含め、海上・港湾・航空技術研究所の4年間の研究に関する取組の成果は、「うみそら研成果報告会」において、「国の総合的な施策への対応」や「新しい研究課題への総合的な取り組み」「外部研究開発能力・資源の活用について」として、研究監から報告を実施した（「うみそら研成果報告会」の詳細については、「5（5）情報発信や広報の充実」 を参照）。

（2）研究マネジメントの充実

【中長期目標】

（2）研究マネジメントの充実

研究開発成果の最大化を推進するため、研究所全体の統制管理を行う体制を構築し、当該体制の下で、国土交通省の政策を取り巻く環境や最新の技術動向を踏まえた戦略的な研究計画の企画立案や、将来的な研究所の業務量を見据えた経営の在り方についての企画立案を行う。

また、研究の一層の推進を図るため、必要な経費の積極的な確保に努める。さらに、それぞれの研究の実施にあたっては、必要に応じた分野横断的な研究体制の導入やICTを活用した日常的な研究情報の交換、研究施設の有効活用を進め、将来のイノベーション創出に向けた取組の活性化を図る。

【中長期計画】

（2）研究マネジメントの充実

研究開発成果の最大化を推進するため、研究所全体の統制管理を行う経営戦略室を設置し、当室を中心として、国土交通省の政策を取り巻く環境や最新の技術動向を踏まえた戦略的な研究計画の企画立案や、将来的な研究所の業務量を見据えた経営の在り方についての企画立案を行う。また、当室を中心として、研究所全体の研究計画や経営戦略に関する会議を定期的に開催する。

また、研究の一層の推進を図るため、必要な経費の積極的な確保に努める。さらに、それぞれの研究の実施にあたって、ICTを活用した日常的な研究情報の交換、研究施設の有効活用を進め、経営資源の効果的・効率的な活用を図るとともに、研究者相互のコミュニケーションの場、研究所の役員と職員との間での十分な意見交換の場を設ける等、将来のイノベーション創出に向けた取組を活性化する。

【年度計画】

（2）研究マネジメントの充実

研究開発成果の最大化を推進するため、研究所全体の統制管理を行う経営戦略室を中心として、国土交通省の政策を取り巻く環境や最新の技術動向を踏まえた戦略的な研究計画の企画立案や、将来的な研究所の業務量を見据えた経営の在り方について継続して検討を行う。また、当室を中心として、研究所全体の研究計画や経営戦略に関する会議を定期的に開催する。

また、研究の一層の推進を図るため、必要な経費の積極的な確保に努める。さらに、それぞれの研究の実施にあたって、ICT を活用した日常的な研究情報の交換、研究施設の有効活用を進め、経営資源の効果的・効率的な活用を図るとともに、研究者相互のコミュニケーションの場、研究所の役員と職員との間での十分な意見交換の場を設ける等、将来のイノベーション創出に向けた取組を活性化する。

◆年度計画における目標設定の考え方

令和元年度は、昨年度に引き続き当所を取巻く研究環境変化や組織の運営状況を踏まえつつ、中長期目標期間において3研究所の各研究領域にまたがる分野横断な研究を効率的かつ効果的に実施する為、経営のあり方について継続的に検討を行うこととした。

また、研究の一層の推進を図るため、必要な経費の積極的な確保に努める等、経営資源の効果的・効率的な活用を図るとともに、将来のイノベーション創出に向けた取組を進めることとした。

◆当該年度における取組状況

令和元年度は、経営戦略室を中心として、中長期目標期間中の研究開発成果の最大化を推進し、3研究所の研究分野にまたがる分野横断な研究を効率的かつ効果的に実施するため、行政政策や技術動向を踏まえた研究所全体の統制管理を行った。

経営戦略室は各研究所の企画担当者を中心に構成されているが、海上技術安全分野、港湾空港技

術分野、電子航法分野の各分野を専門とする研究監と連携して各研究分野の連携・調整を行うための会議を令和元年度は5回開催した。また、理事長及び全役員と経営戦略室との研究所の経営戦略に関する定期的な意見交換会を令和元年度は34回開催し、統合した研究所としての取り組みを企画した。

具体的な取り組みとして、①長期ビジョンの取組、②研究推進の為の必要経費の積極的な確保、ICTを活用した日常的な研究情報の交換、研究施設の有効活用に向けた取組、③幹部や職員とのコミュニケーション・意見交換の場の設置、④その他研究マネジメントの充実に向けた取組等を行った。

①長期ビジョンの取組

平成29年に策定した長期ビジョンでまとめた「うみそら研の目指す方向」（図1.1.2）、「うみそら研の行動計画」（共通基盤となる技術、基礎的研究を強化した「研究体制の充実」、能力ある人材の採用、研修等を充実した「人づくり」および外部機関との研究・技術交流・連携学術等の「研究交流の促進」の3つの柱で構成、図1.1.3）に沿って、令和元年度も引き続き研究所一体となって取組を実施した。

「研究体制の充実」については、3研連携勉強会を複数回開催し、共通基盤技術の研究に関する今後の連携について情報共有や意見交換等により推進するなど、分野横断的な研究を中心に研究成果の最大化に向けた研究体制の充実を目指す取組を行った。その結果、3研究所が連携して研究課題を立案し、国土交通省の交通運輸技術開発推進制度、科研への応募に結びつけた。

「人づくり」については、内閣官房内閣サイバーセキュリティセンター(NISC)等の外部機関が主催する研修や勉強会に研究所職員を積極的に参加させるとともに、研究倫理研修、知財研修及び安全保障輸出管理研修等の各種研修（所内研修）を積極的に実施した。その際、研究部門のみならず総務・企画部門の職員も受講させることにより、研究所全職員のスキルを向上させ、研究業務をより効率的、効果的に進めるための支援体制の強化につなげた。

「研究交流の促進」については、国内企業や大学等の外部機関との共同研究を引き続き実施したほか、研究員の在外派遣を通じて海外の研究機関との連携を促進することにより、研究所としての研究分野の幅を広げ、将来の海外機関との共同研究等、イノベーション創出に向けた研究開発環境の構築を目指す取組を実施した。

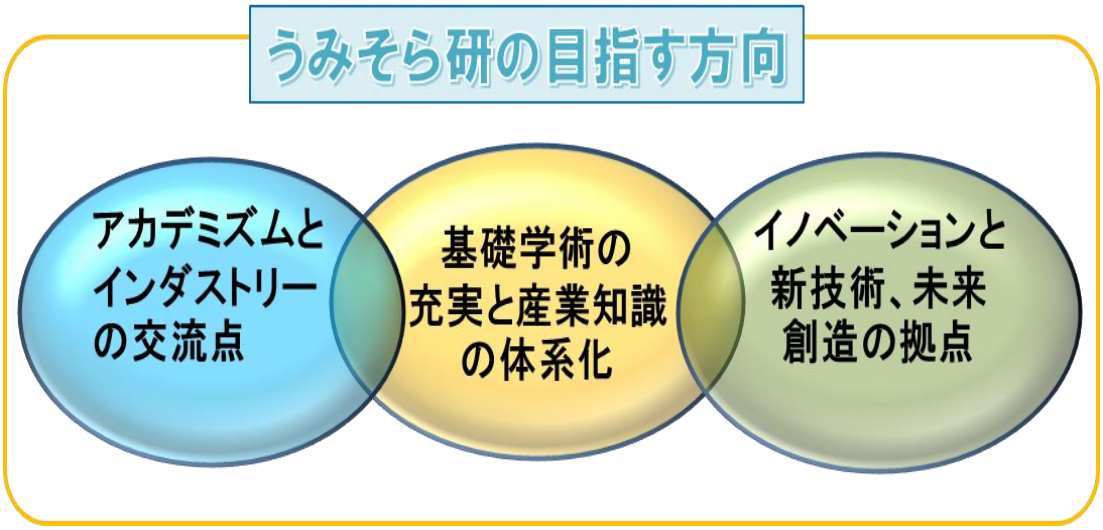


図 1.1.2　海上・港湾・航空技術研究所の目指す方向

図 1.1.3　海上・港湾・航空技術研究所の行動計画

②研究推進の為の必要経費の積極的な確保、ICT を活用した日常的な研究情報の交換、研究施設の有効活用に向けた取組

令和元年度も引き続き必要経費の積極的な確保のため、科研費を含む各種競争的資金の研究への応募及び各種受託業務の契約等により、外部資金獲得の取組を積極的に行った。

また、令和元年度には、（1）③海洋分野の点検におけるドローン技術活用に関する研究及び、（1）④大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析及び、科研費の研究1件を、外部資金による分野横断的な研究として実施している。

表 1.1.2　外部資金による分野横断的研究一覧

No	課題名	参画機関名	備考
1	交通運輸技術開発推進制度「海洋分野の点検におけるドローン技術活用に関する研究」（平成 29 年度より）	海上・港湾・航空技術研究所（海上技術安全研究所・港湾空港技術研究所・電子航法研究所）、日本海事協会、ClassNK コンサルティングサービス、ブルーイノベーション	継続
2	交通運輸技術開発推進制度「大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析」（令和元年度より）	海上・港湾・航空技術研究所（海上技術安全研究所・港湾空港技術研究所・電子航法研究所）	新規
3	科研「高温高圧ジェットによる高粘度物質の微細化及び流動化に関する研究」（令和元年度より）	海上・港湾・航空技術研究所（海上技術安全研究所・港湾空港技術研究所）	新規

ICTを活用した日常的な研究情報の交換については、三鷹・調布地区にある海上技術安全研究所と電子航法研究所及び横須賀地区にある港湾空港技術研究所との間でテレビ会議システムを用いた会議を行った。各種報告や情報交換に加え、各研究分野の連携・調整を行うための会議もテレビ会議で行い、分野横断的な研究の計画立案に役立てた。

研究所の有効活用に向けた取組については、海上技術安全研究所の400m試験水槽、港湾空港技術研究所の海底探査水槽及び電子航法研究所の電波無響室などにおいて、民間企業等の

要望に基づき有償で研究所施設を利用させることにより、研究資金の確保にもつなげた。

③コミュニケーション・意見交換の場の設置

研究者間の相互のコミュニケーションの場としては、それぞれの研究所の研究発表会の他に3研究所の研究者間の情報及び意見交換の場として、3研連携勉強会を計3回開催した。連携勉強会では研究所の施設見学会や意見交換会を併せて開催することで、最新の研究、各研究所施設の紹介等を行い、研究所全体として研究の一層の推進を図った。また、3名の研究監が各研究所の研究計画及び研究評価の委員会に参加し、各研究所の情報収集を互いに行い、海上・港湾・航空技術研究所内の研究の把握と連携研究の提案に活用した。

研究所役員と職員との間については、理事長をはじめとする、役員及び経営戦略室による研究所運営全般に係る会議や、経営戦略室と研究監による分野横断的研究の推進に係る会議を定期的に行うことで、日々、議論の場を設け、研究所の将来の運営方針や各研究職員の研究内容等の相互理解を深めるとともに、将来の運営方針等に役立てるための研究所職員からの意見聴取を行う等を積極的に実施した。令和元年度は、研究所成果報告会開催の一環として、全職員に対して研究所の方針に関するアンケートや事前の成果報告会を開催して職員の意識の調査をするとともに、3研統合を含めた4年間についての意見収集を行い、役員と職員のコミュニケーションの向上にも取り組んだ。

今後もこれらの意見交換会等を活用し、各研究員個別間における具体的なさらなる連携の場の設置等を引き続き促進していく。

④その他研究マネジメントの充実に向けた取組

研究所の情報システムに関して、3研究所のネットワークシステム統合などの整備を実施し、平成31年1月からは3研究所で同一のグループウェアの稼働を開始した。また、3研究所統一の新会計システムの整備を行い、平成31年4月から運用を開始し、今後の管理業務の効率化及び経費の節減につながることが期待される。

特に情報システムの統合については、内閣サイバーセキュリティセンター（NISC）によるセキュリティー監査において、3研究所が連携して「法人として共通のセキュリティー水準を念頭にセキュリティー対策を推進したこと」が「他法人に推奨される良好事例」としてNISCから昨年度評価された。今年度はNISCより委託された独立行政法人 情報処理推進機構（IPA）によるフォローアップを受け、引き続き3研究所が連携してセキュリティー対策を推進した。

今後も引き続き、必要なセキュリティー対策等を講じながら効率的な情報システムの運用を促進していく。

2. 船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等

【中長期目標】

2. 船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等

国土交通省は、より安全かつ効率的で環境負荷の低い海上輸送の実現に向けて、船舶等の安全の確保及び環境負荷の低減を進めるとともに、海洋産業の振興及び国際競争力の強化、海事産業を支える人材の確保・育成などの政策を推進している。研究所は、このような政策における技術的課題への対応や関係機関への技術支援等のために、次の研究開発課題について、重点的に取り組むこととする。さらに、独創的または先進的な発想に基づき、研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究に対しては、先見性と機動性を持って的確に対応する。

【重要度:高】 我が国の海上輸送の安全の確保等における技術的課題の解決は、国土交通省の政策目標実現に不可欠であるため。

(1)海上輸送の安全の確保

海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、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。

(2)海洋環境の保全

船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び
評価手法等に関する研究開発に取り組む。

(3)海洋の開発

海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。

(4)海上輸送を支える基盤的技術開発

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

【中長期計画】

2. 船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち海上輸送の安全確保及び環境負荷の低減や海洋開発の推進、海上輸送を支える基盤的技術開発等に対する適切な成果を創出するため、本中長期目標期間においては、次に記載する研究に重点的に取り組むこととする。

また、これら重点的に取り組む研究開発課題以外のものであっても、本中長期目標期間中の海事行政を取り巻く環境変化により、喫緊の政策課題として対応すべきものがある場合は、重点的に取り組む研究開発課題と同様に取り組むこととする。

さらに、独創的または先進的な発想に基づき、研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究についても、先見性と機動性をもって的確に対応するとともに、研究ポテンシャルの維持・向上、海事分野での新たなシーズの創生を図るための取組を行う。

(1)海上輸送の安全の確保

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

た、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。

このため、以下の研究開発を進める。

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

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

（2）海洋環境の保全

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

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

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

（3）海洋の開発

海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。

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

このため、以下の研究開発を進める。

①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発

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

③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発

海事産業の技術革新の促進、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

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

③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発

【年度計画】

2. 船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち海上輸送の安全確保及び環境負荷の低減や海洋開発の推進、海上輸送を支える基盤的技術開発等に対する適切な成果を創出するため、本中長期目標期

間においては、次に記載する研究に重点的に取り組むこととする。
　また、これら重点的に取り組む研究開発課題以外のものであっても、本中長期目標期間中の海事行政を取り巻く環境変化により、喫緊の政策課題として対応すべきものがある場合は、重点的に取り組む研究開発課題と同様に取り組むこととする。
　さらに、独創的または先進的な発想に基づき、研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究についても、先見性と機動性をもって的確に対応するとともに、研究ポテンシャルの維持・向上、海事分野での新たなシーズの創生を図るための取組を行う。
　我が国海事産業の未来の産業創造と社会変革に向けたイノベーションの創出を目的に、民間・大学等を含めた海事クラスターで共通的・長期的に取り組む課題を実施するための共同研究プロジェクトに重点的に取り組むこととする。

（1）海上輸送の安全の確保
　安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。
　また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。
　さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。
　このため、以下の研究開発を進める。
①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発
－安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重・構造強度評価システムの実用化を加速するため、DLSA-Professional の開発・実用化を行う。特に縦曲げ最終強度評価の機能を体系化された荷重・構造強度評価システムに追加を行う。また、これまでに開発した DLSA-Professional の高度化や損傷後の残余強度評価機能を追加した DLSA-Ultimate の開発を行う。さらに、DLSA の解析結果に基づく海象設定手法のシステム化、データ同化・補完手法を開発する。 等
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
－波漂流力に関する模型実験と荒天下操船運動評価テストプログラムによる船速低下推定精度の把握、水槽試験による低速時の変針及び通常航行時の旋回性能向上装置の有効性検証及び改良、遠隔計測等による船体運動状況分析システムを用いた操船支援方法の検討、貨物船・タンカー等の衝突（単）事故分析に基づく損傷実態の把握と損傷モデルの検討及び損傷船舶の船内区画進展浸水との連成を考慮した波浪中運動推定法の検討を実施する。 等

（2）海洋環境の保全
　IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO_2）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。
　また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。
　このため、以下の研究開発を進める。
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
－テストエンジンを用いた計測データに基づく船舶排出量データの精度検証、PM 及び PM2.5 前駆物質の実船計測を実施する。 等
②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

－実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を継続する。本年度は、標準化した実船モニタリング解析法を用い、経年劣化・生物汚損影響評価を検討する。 等

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

－排ガス規制対応のための計測・分析技術の開発、燃料・排ガス中の環境負荷物質評価手法の確立、SOx スクラバの小型化のための技術開発、SOx・GHG 排出削減規制対策のための排ガス処理技術開発を実施する。 等

（3）海洋の開発

海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。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浮体式風力発電については、3 翼独立制御制御の効果を模型試験等により検証する。浮体式波力発電については、実用化を目指した高効率制御システムの検討を行う。 等

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

－商業化に向けた採鉱システムに係る安全性・稼働性評価、計画支援プログラムの開発、厳海象下で用いられる浮体システムの係留設計法の開発、大型海底機器揚降作業に関する安全性評価技術の検討、海底フローライン中の流動現象モデリングの検討を実施する。 等

③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

－第 2 期 SIP プロジェクト（戦略的イノベーション創造プログラム：革新的深海資源調査技術）を遂行して行く中で、複数 AUV 利用法の拡張に関する研究開発を行う。 等

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発

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

このため、以下の研究開発を進める。

①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発

－造船現場データの高度解析技術、造船作業を支援するインタフェース技術を開発する。

－騒音に影響を及ぼす振動対策を検討し、ニューラルネットワークによる騒音予測の誤差評価を実施する。 等

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

－操船シミュレータ上に組み込んだ自律操船が可能なテストベッドの避航操船機能に対して、安全評価方法を検討し、評価実験を行う。 等

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

－平時輸送については国内貨物及び輸出入貨物を対象に、貨物経路選択手法を高度化して性能向上を図る。また、災害時輸送については地震発生後の被害発生から評価までの輸送シミュレータの機能モデルを完成させる。

－国際海運・造船における経済状況を表す貨物流動データ等と、海運会社や造船会社の活動を表す運航データや船腹・建造データにおけるデータフュージョン（データ融合）技術の検討を実施する。 等

◆年度計画における目標設定の考え方

中長期目標に掲げられた研究開発課題、海上輸送の安全確保及び環境負荷の低減や海洋開発の推進、海上輸送を支える基盤的技術開発等に対する適切な成果を創出するため、重点的に取り組む研究として13の重点研究課題を設定した。

◆当該年度の取組状況

令和元年度においては、以下の4つの分野を重点的に実施した。各研究について、年度計画に記載された措置事項を着実に実施するとともに、政策課題（社会・行政ニーズ）等の研究開発課題を取り巻く環境変化を踏まえた措置内容の見直し等を実施しつつ取り組んだ。

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

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

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

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

研究の背景

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

□新構造基準作成に資する体系化された荷重・構造強度評価システムの開発

□荷重・構造連成を考慮した数値解析手法の高度化及び極限波設定手法の開発

□最先端の疲労強度評価法の開発

□最先端の船体縦曲げ最終強度評価法の開発

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

研究目標

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

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

R1 年度の研究内容

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

R1 年度の実績

□DLSA-Basic（荷重解析－線形構造解析評価システム）を活用した海象条件（設計波）設定法及び強度評価法を提案した。リアルタイム強度評価を開発。
□DLSA- Professional （非線形荷重解析－非線形構造評価解析システム）の構造解析における境界条件（外圧、内圧、拘束）設定法の提案及び検証を行った。これにより全船を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度評価が可能となった。
□海技研 CFD（NAGISA）と FEA 連成計算環境を構築した。
□弾性応答を含む不規則中船体の波浪縦曲げモーメントの低次元モデルを構築し、これを用いた極値予測法の開発及び検証が完了した。
□MSC.Dytran を用いて、二次元のバウフレア断面形状の水面衝突解析を行い、理論値や他のプログラムとの比較

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

R1 年度の研究成果

□DLSA-Basic(荷重解析一線形構造解析評価システム)を活用した海象条件(設計波)設定法及び強度評価法を提案した。リアルタイム強度評価を開発した(図 1.2.1)。従来からの5社(DLSA-Basic:3,NMRIW-II:4)のユーザーに加え、新規に3社(DLSA-Basic:1,NMRIW-II:2, NMRIW-Lite:1)へ販売。他に本システムを適用し新構造設計を行う造船所が1社確定(共同研究)、大学が1校確定(共同研究)。また、船級規則改正に資するデータ構築に必要なツールとしても指定された。
□DLSA- Professional (非線形荷重解析一非線形構造評価解析システム)の構造解析における境界条件(外圧、内圧、拘束)設定法の提案及び検証を行った。これにより全船を対象とした構造の動的応答及び崩壊強度評価が可能となった(図 1.2.2)。
□CFD-FEA 連成計算を低計算コストで再現できる低次元モデルを構築した(図 1.2.3)。これと構造信頼性理論 FORM を使い、縦曲げモーメントの極値予測を行い、実験結果との比較検証を行った(図 1.2.4)。
□海技研 CFD(NAGISA)と FEA 連成計算環境を構築し、既存の連成計算結果及び実験値との比較により有効性を確認した(図 1.2.5)。
□開発した連成プログラムを用い、規則波浪中タンク内スロッシング荷重を考慮した船舶運動に関する数値解析を行った。スロッシング荷重が船舶運動に及ぼす非線形影響を調べた(図 1.2.6)。規則波浪中タンク内スワリング現象を生じることを確認できた(図 1.2.7)。
□二軸重畳載荷条件下における疲労き裂成長評価手法を確立した。
□二軸重畳載荷条件下における疲労き裂伝播試験の試験条件を表 1.2.1 に示す。基本波の周波数は 0.5Hz、重畳波の周波数は 5Hz とする。ここで、Y 方向が疲労き裂進展方向である。取得した疲労き裂伝播曲線を図 1.2.8 に示す。疲労き裂伝播寿命に及ぼす位相差の影響が顕著に表れることを確認した(疲労き裂伝播寿命に及ぼす重畳波の影響については 2020 年度に検討する)。
□昨年度は繰り返し圧縮が最終強度に及ぼす影響を実験及び解析により解明した。今年度は圧縮に加えて引張荷重も生じる繰り返し荷重が最終強度に及ぼす影響を明らかにするために、intact 状態と損傷を模擬した孔有状態のボックスガーダー模型の設計・製作を実施した。ボックスガーダー模型にサギング・ホギングの曲げ変形を与えることで、デッキ部・船底部の防撓パネルに引張及び圧縮の繰返し荷重を負荷することが可能であるため、試験体

としてボックスガーダータイプ（図 1.2.9）を採用した。
□損傷を模擬した傾斜状態の模型船の 6 自由度運動を計測するために、実海域再現水槽にて曳航試験が可能な模型船を開発した。さらに、船体のひずみを計測可能なように、アクリル材を用いた模型船を設計した。NMRIW-3D（グリーン関数法）を用いた荷重計算を使用し、模型船の形状及び寸法等の決定を実施した（図 1.2.10）。
□GFRP、各種心材及びこれらを組み合わせたサンドイッチ板について、3 点曲げ試験及び引張試験、並びに、試験結果を再現する FEM 解析を実施し、サンドイッチ構造小型船舶の強度評価における板厚算入率を検討した。例えば、バルサ材を心材に使用した場合、バルサ材の板厚算入率を 0.4 以下に設定することにより、GFRP 単板と等価な強度性能が得られることが明らかになった（図 1.2.11）。また、各種心材に対して、FEM 解析の際に設定すべき材料特性を明らかにすることができたため、今後、船体全体の解析に応用し、サンドイッチ板製小型船舶の基準改定に資する。
□非線形動的構造解析法を用いて、縦曲げモーメントの作用時間が、大型コンテナ船のハルガーダの動的構造応答に与える影響を明らかにした。同じ荷重でも、荷重周期が短い場合、最終強度に到達しないことが明らかとなった。また、不確実性（uncertainty）の１つである、解析モデルが、構造安全性評価に与える影響を明らかにした。解析モデルが最終強度に与える影響が定量的に明らかとなり、3ホールド等の部分モデルでの評価は危険側であり、安全側評価のためには、極力全船に近いモデルで評価する必要が明らかとなった（図 1.2.12～図 1.2.13）。
□近年開発された流体構造連成解析手法(ICFD：Incompressible Computer Fluid Dynamics)を用いて、世界で初めて ICFD を用いた船体構造のスラミング衝撃解析シミュレーションを実施した。また、球の3次元落下解析を実施し、実験結果及び既存の SPH 手法等と比較することにより、ICFD 手法の有効性・妥当性を検証した。当該手法の適用を通して事故限界状態（1発大波によるスラミング）における船体動的構造応答評価法の高度化を行った。成果を米国機械学会主催の国際学会 OMAE-2020 に投稿し accept された（図 1.2.14、図 1.2.15）。
□ICFD 技術を用いて、日本代表として、国際船体構造会議（ISSC）の国際共同ベンチマーク解析に参加し、当該ベンチマークを通して、防撓版の水面衝撃に関する当該手法の有用性・有効性を確認した。ベンチマークの成果を ISSC Committee 委員長と共に国際共同での英文ジャーナルに執筆中である。今後は、実船体構造への適用、とりわけ、whipping 応答の高精度評価が今後の課題となる。
□日本製鉄との協業により、リスクベース評価手法の一環として、新材料高延性鋼を用いた衝突による船舶のリスク解析を実施し、RCO（リスク・コントロールオプション）によるリスク低減効果及び経済性効果を推定する手法を高度化した。特に、衝突速度モデルの構築、原油価格の推定モデルの構築を新規に行った。衝突による油流出リスク低減のために日本製鉄と協業し高延性鋼を開発し、追加解析や、社会実装、実船適用普及に大きく貢献した。
□当所が日本製鉄等と共同開発した「高延性鋼」が大型船含め実船 24 隻に採用された成果等が認められ、当該研究担当者が他社担当者と共同で「高延性厚鋼板の開発による船舶衝突安全性の向上」として、第 8 回「ものづくり日本大賞（製造・開発技術部門　九州経済産業局長賞）」を受賞（2019 年 12 月）した。
□実海域再現水槽において規則波中、不規則波中での曳航実験を行った。100 点以上の歪計測データを用いて、波浪逆推定等の応力推定手法の精度検証を行なった（図 1.2.16）。また、100 点を超える多点水圧計測により求めた縦曲げモーメントと船体歪ゲージから求めた縦曲げモーメントが概ね一致することを示し（図 1.2.17）、多点水圧計測データを入力とした構造強度評価の有効性を明らかにした。実験は公開実験にて公開した。
□構造設計と運航のリンクを高めた統合型船上モニタリングシステム用ガイドラインの構成案を作成した。
□実船データの統計解析プログラム（2017 年度に登録）を用いて、連続建造の 14,000TEU 型コンテナ船で計測された応力データを解析して疲労被害度を予測し（図 1.2.18）。疲労寿命への影響因子の影響度を明らかにした。その結果から運航履歴に基づいて疲労寿命を推定する簡易推定を提案した。これらの研究成果は国土交通省の i-Shipping の報告書に反映されている。
□AIS データと波浪追算データを用いて、就航船の遭遇海象及び作用荷重の履歴及び統計解析を行うプログラムを開発し、これを用いて操船と波浪との組合せ発現頻度表を作成した。組合せ頻度表を用いて波浪に対する操船の従属性を考慮した最大荷重推定手法を提案し、従属性の影響度を明らかにした（図 1.2.19）。
□AIS データ及び波浪追算データによる荒天中操船状況の可視化プログラムを更新した（図 1.2.20）。今後 AI 等を活用して操船パターンの分析を行い、設計及び安全運航に有効な操船モデルの構築につなげる。
□就航船の実遭遇海象履歴を用いて、北大西洋就航船の横揺れを推定し、IMO で検討されている第 2 世代非損傷時復原性基準の実行可能性を検証した（受託研究）。
□現状の AI 技術では深層学習を用いた画像認識で、ベテランの点検員の認識を超えることは困難であるが、損傷画像を蓄積し、学習を重ねることで、点検員の見落としをなくすことに適用することは可能であることが分かった（図 1.2.21）。

成果の公表

【公開実験・セミナー等】
〇海技研 DLSA セミナー2019 を開催した。造船所、船社、国内外船級、大学等の合計約 50 名の参加があった。
〇公開実験「船体構造デジタルツイン検証のための波浪中模型実験」2019.8

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

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

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

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

(3) 理事長表彰(論文賞)(2019 年 12 月授賞式出席)(A2)

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

□松井貞興:船型パラメータを系統立てて変化させうる数学船型の開発, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 30 号(査読有)

□松井貞興、村上睦尚、林原仁志、笛木隆太郎:船体構造設計のための全船荷重構造解析並びに強度評価システム DLSA-Basic の開発, 海上技術安全研究所報告(研究報告), 第 19 巻第 3 号(査読有)

□松井貞興、他 NK3 名:単胴船に作用する 6 自由度の Froude-Krylov 力の簡易算式の開発, 日本船舶海洋工学会論文集第 31 号(査読有)

□松井貞興、他 NK3 名:DEVELOPMENT OF CLOSED FORMULA OF LOAD BASED UPON LONG-TERM PREDICTION METHOD -1ST REPORT VERTICAL MOTIONS-, Proceedings of 39th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering(本文査読付き会議録)

□松井貞興、他 NK3 名:波浪中船体応答の簡易算式の開発ー第 3 報:Roll 運動ー, 日本船舶海洋工学会令和 2 年春季講演会論文集

□松井貞興、村上睦尚:数学船型を用いた波浪荷重推定に関する研究, 日本船舶海洋工学会令和 2 年春季講演会論文集

□Takami T. et al., Numerical investigation into combined global and local hydroelastic response in a large container ship based on two-way coupled CFD and FEA, Journal of Marine Science and Technology, 2019 (accepted). (査読有)

□Takami T. et al., Efficient FORM-based extreme value prediction of nonlinear ship loads with an application of reduced-order model for coupled CFD and FEA, Journal of Marine Science and Technology, 2019 (accepted). (査読有)

□Takami T. et al., Extreme Value Prediction of Nonlinear Ship Loads by FORM Using Prolate Spheroidal Wave Functions, Marine Structures, 2019 (submitted).(査読有)

□Takami T. et al., On the Assessment of Extreme Wave-induced Bending Moment of a Ship by FORM and Reduced Order Method based on coupled CFD and FEA, PRADS2019, 2019.9. (本文査読付き会議録)

□高見朋希、飯島一博, CFD-FEA 連成解析に基づくホイッピングを含む 縦曲げモーメントの極値予測法の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 28, 2019.6

□C. Ma, T. Ando and M. Oka: Numerical Simulation for Sloshing Behavior of Moss-Type LNG Tank based on Improved SPH Model, International Journal of Offshore and Polar Engineering (2020) (accepted、掲載待ち)(査読有)

□C. Ma and M. Oka: Numerical Investigation on Sloshing Pressure for Moss-Type LNG Tank based on Different SPH Models, ISOPE2020 (submitted) (本文査読付き会議録)

□森下瑞生, 穴井陽祐, 津村秀一, 後藤浩二, 丹羽敏男:位相差を有する面内二軸繰返し応力を受ける疲労表面亀裂の伝播解析, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 30 号, pp.115～121, 令和元年 12 月(査読有)

□田中、小森山、橋爪、櫻井:GFRP サンドイッチ板の強度についてーその 1 材料試験と FEM 解析ー,日本船舶海洋工学会 2020 年度春季講演会

□田中他:最先端の船体縦曲げ最終強度評価法構築にかかる予備的検討 ー大型コンテナ船の安全対策に向けてー海上技術安全研究所報告(総合報告)第 19 巻第 3 号、pp.41-48 (2019.12)

□Yamada, Y, (2019), "Dynamic Collapse Mechanism of Global Hull Girder of Container Ships Subjected to Hogging Moment", Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 141, (2019). (査読有)

□Yamada, Y.: "Approach to Simulate Dynamic Elasto-plastic Whipping Response of Global Hull Girder of a Large Container Ship due to Slamming Load", Proceedings of the 30th International Conference on Ocean and Polar Engineering (ISOPE) (2019). (本文査読付き会議録)

□Yamada, Y 、Ochi., H, Ichikawa, K, "Risk Analysis of Ship-Ship Collision considering Striking Ship Velocity Model - Risk reducing effect of Highly Ductile Steel", Proceedings of International Conference on Collision and Grounding of Ships (ICCGS-2019) (2019). (本文査読付き会議録)

□Yamada, Y, Takamoto, K, Nakanishi, T, Ma, C, Komoriyama, Y, "NUMERICAL STUDY ON THE SLAMMING IMPACT OF STIFFENED FLAT PANEL USING ICFD METHOD - EFFECT OF STRUCTURAL RIGIDITY ON THE SLAMMING IMPACT", Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic

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

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

主な評価軸に基づく自己分析

◎成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値（安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等）の創出に貢献するものであるか。
□DLSA システムの開発により 網羅的な強度評価と作業コスト低減を両立し造船所の設計への適用も可能にした世界的にも例をみない荷重構造一貫解析評価システムであり、日本の造船所の設計力の強化につながる、と共に、国内造船所等に認知されている。
□本研究で開発した極値推定法は短期海象中における最大応答の発生確率を精度良く推定することを可能とし、船体構造デジタルツインで必要な荒天時の操船支援に必要な機能であり、社会的価値の創出に貢献するものである。
□本研究で開発した船舶運動ータンク内流体荷重連成モデルを用い、波浪中船舶運動とタンク内流体荷重の相互影響を考慮でき、LNG 船設計への運用が予想され、社会的価値の創出に貢献するものである。
□国プロジェクト i-Shipping operation に参画し、海技研がこれまで海上保安庁の巡視船やメガフロート等海洋浮体の実機計測で培った技術を活かしてハルモニタリングシステムの開発を実現した。ハルモニタリングシステムの普及促進によって、安全運航に寄与するとともに、実データに基づく設計革新が促進される。これによって社会的価値の創出に貢献できる。

◎成果の科学的意義（新規性、発展性、一般性等）が、十分に大きいか。
□DLSA システムの開発により全船を対象にした荷重解析～構造解析～強度評価を行うので途中の簡易化やギャップが無いので一般性が大きい。
□二重底曲げ荷重を含む複合荷重の極値推定法を高次な計算法（CFD-FEA）を基にして構築したのは世界初であり、新規性が十分に大きい。
□本研究で開発した船舶運動ータンク内流体荷重連成モデルは LNG 船だけではなく、一般的な船舶のバラストタンクにも対応でき、発展性が十分に大きい。
□これまで、船体最終強度は、準静的に評価されてきたが、船体大型化に伴って、荷重周期と船体ハルガーダの

共振影響が指摘されている。本研究により、荷重周期と動的構造応答との関係が明らかとなり、荷重周期が船体折損有無に影響することが明らかとなった。このような荷重周期については、船体構造規則では陽に考慮されていない。一方で、船体固有周期と出会い波周期の共振が船体最終強度に与える影響についてはこれまでの解析では解明されていない。解析条件により、船体折損発生可能性・メカニズム解明への貢献が期待される。日本海事協会でも同様の研究を実施しており、今後、委託研究等により連携して進めていくこととなった。

□14000TEU 型コンテナ船シリーズ船のハルモニタリングデータを解析して、個々の運航状態等に照らし合わせて解析結果を比較することによって、ホイッピングの影響評価を行ったことは今後の安全設計を行なう上で意義がある。

□AIS データを用いて、船の遭遇波浪や作用荷重を明らかにし、そして設計荷重の設定に利用する手法の開発に一早く取り組み提案した。新規の研究分野を開拓しリードしたことの科学的意義は大きい、

◎成果が期待された時期に創出されているか。

□DLSA システムの開発は、国際的（国内含む）にも規則等への対応として全船荷重構造解析へのニーズが高まってきており、それを見越してのシステム開発である。具体的には、現在進行中である船級規則全面改正に資するデータ構築に必要なツールしても指定された。（過去には海外船級への根拠資料作成に適用された実績もあり）

□双方向連成解析法及び極値推定法について、国際会議およびジャーナル論文にて年度内に成果を公表することができ、成果が期待された時期に創出されていると考える。

□船舶運動－タンク内流体荷重連成解析について国際会議に研究成果を発表でき、成果が期待された時期に創出されている。

□船上モニタリングを前提とした新たな設計手法や運航手法を確立することが当面の課題であり、これを早期に実現するため、モニタリングプロジェクトへの参画を通じて、船上モニタリングで得られるビッグデータの分析に携わり実データに基づく強度評価を行った。

□IACS で見直されている波浪発現頻度表は、船舶設計に与える影響が大きく対応が求められているところ、世界に先駆けて AIS データを活用して実遭遇海象を推定する手法を示し、さらに操船状態と組み合わせた評価手法を提案した意義は大きい。

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

□CFD を用いた荷重推定法は近年各国で着目されており、今後のさらなる適用により国際競争力向上につながると考える。

□非線形スワリングが波浪中船舶運動に及ぼす影響に関する研究は世界中でも少なく国際競争力の向上につながる。

□船体の動的最終強度については、世界で初めて動的な評価手法を導入し、系統的かつ定量的な評価を実施することで当該分野に従来の発想とは全く異なる新たな評価手法を提案した。当該論文は、米国機械学会主催の OMAE-2018 で評価され、2018 年の OMAE-SSR（安全・構造・信頼性）部門の最優秀論文賞（Best paper award）を受賞した。OMAE の最優秀論文賞は世界中から投稿された 1200 以上の論文の中から各部門毎に毎年1論文だけが厳正な審査の上選定される。日本人が受賞したことは珍しく、SSR 部門では日本人初の受賞であり、OMAE での受賞は海上技術安全研究所として初である。さらに当該論文は、追記・査読後、英文ジャーナル（Journal of Offshore Mechanics and Engineering）にも Accept され成果が国際的に認められた。

□近年開発された ICFD（Incompressible Computer Fluid Dynamics）手法を用いた流体構造連成解析法を用いて、世界で初めて ICFD を用いた船体構造のスラミング衝撃解析シミュレーションを実施し、国際学会 OMAE-2020 に Review を経て投稿し、国際的に評価された。さらに、ICFD 技術を用いて、国際船体構造会議（ISSC）と協業でのスラミング・ベンチマーク解析に参加しており、国際共同での英文ジャーナルを執筆中である。ISSC と協業することにより、国際的認知度も高まり、ICFD 手法では世界をリードしていると言える。

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

◎萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか。

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

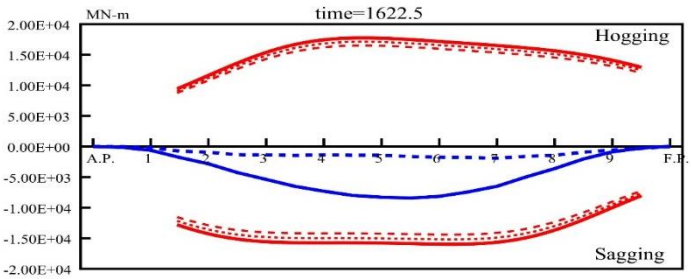


図 1.2.1　縦曲げモーメントリアルタイム強度評価の表示例（赤：船体の強度、青：現在の荷重）

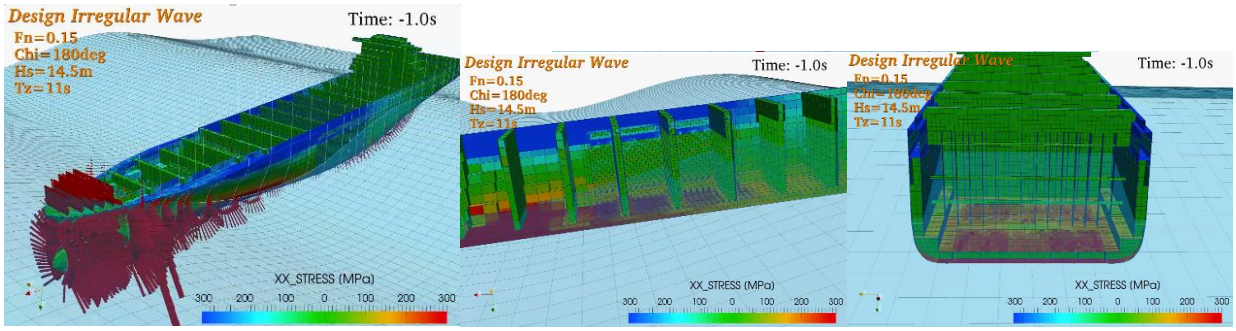


図 1.2.2　DLSA- Professional による全船荷重構造一貫解析の例

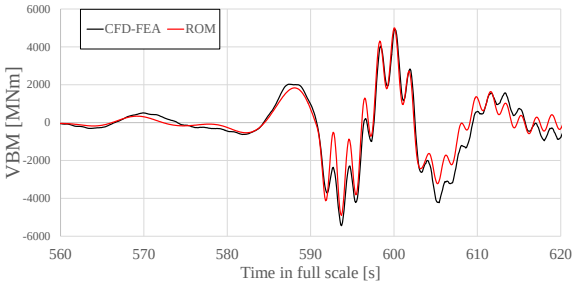


図 1.2.3　低次元モデル（ROM）の検証

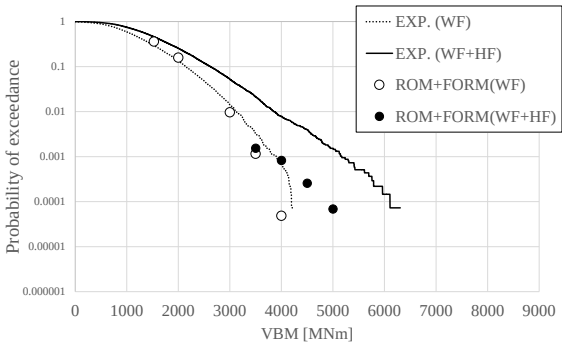


図 1.2.4　極値予測結果の検証

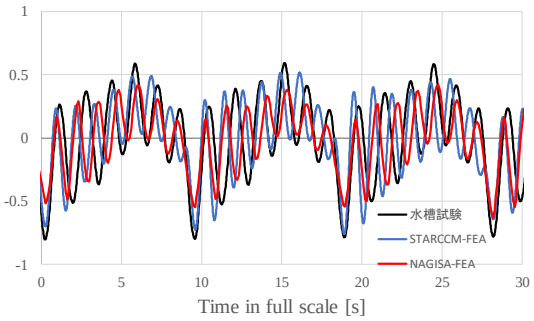
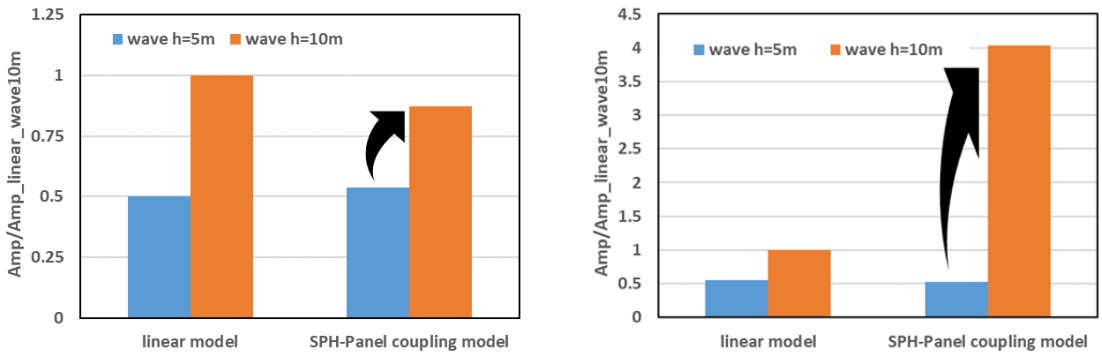


図 1.2.5　NAGISA-FEA の検証



(a) Sway　　(b) Surge

図 1.2.6　Sway 方向の動揺を想定したスロッシング荷重の非線形影響
（Linear：ポテンシャル理論、SPH：粒子法）

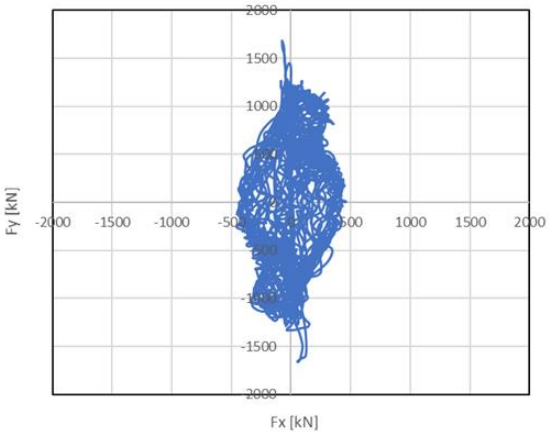


図 1.2.7　スワリングを生じる際のタンク内流体荷重履歴

表 1.2.1　二軸重畳載荷条件下における疲労き裂伝播試験の試験条件

試験片 ID	基本波の応力比 R	基本波 Δσx,y，重畳波 Δσs		位相差 Φ [rad]
		Δσx0，Δσs [MPa]	Δσy0，Δσs [MPa]	
SU−1	0.1	70，7/0.3	70，7/0.3	0
SU−2	0,1	70，7/0.3	70，7/0.3	π

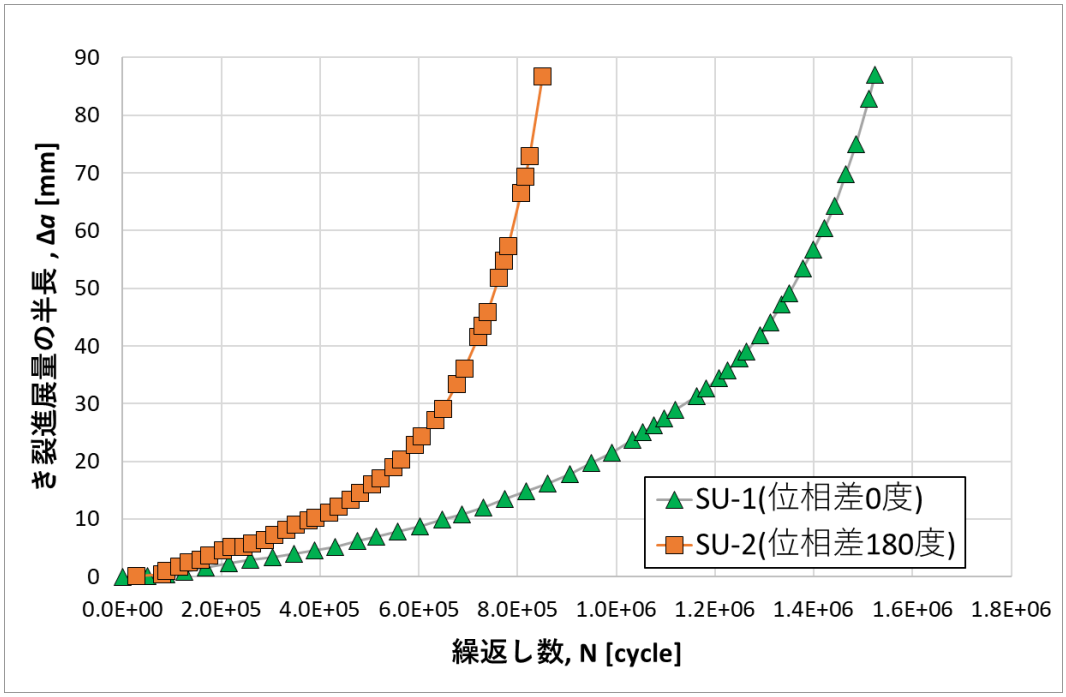
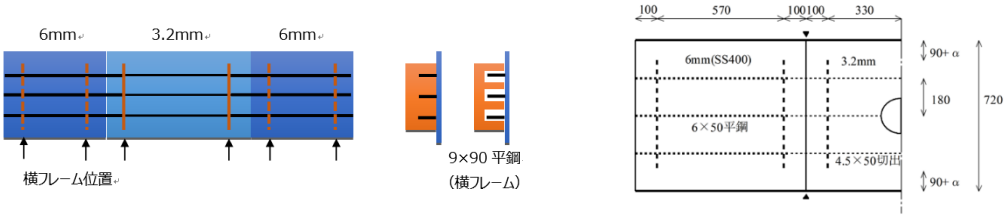
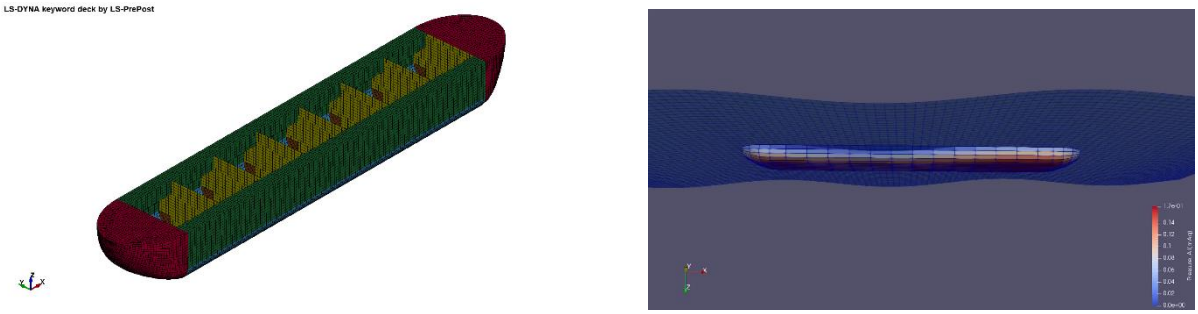


図 1.2.8　二軸重畳載荷条件下における疲労き裂伝播曲線



(a) ボックスガーダー寸法概要　　(b) 孔位置

図 1.2.9 繰り返し荷重載荷試験用ボックスガーダー



(a) アクリル弾性模型船モデル　　(b) NMRIW-3D による荷重計算

図 1.2.10 アクリル製弾性模型船のモデルと荷重計算

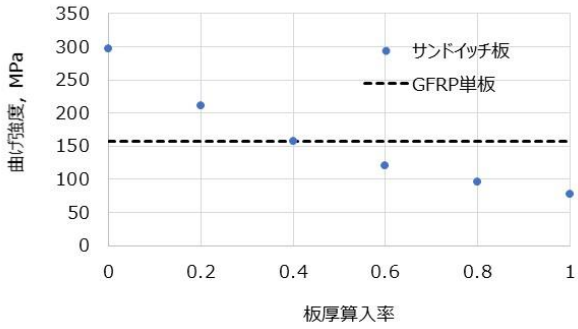


図 1.2.11 バルサ材を心材としたサンドイッチ板の板厚算入率と曲げ強度の関係

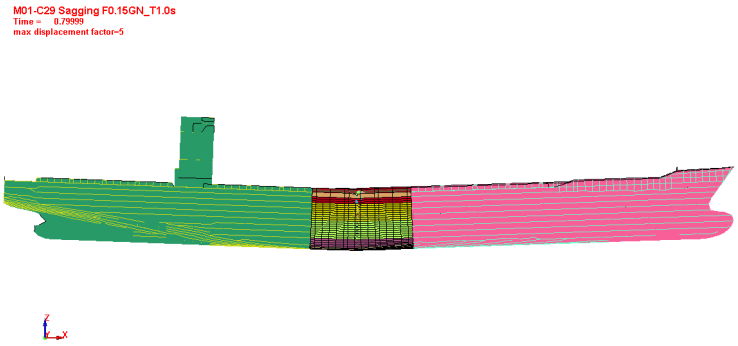


図 1.2.12 流体構造連成を考慮した一発大波による船体折損解析

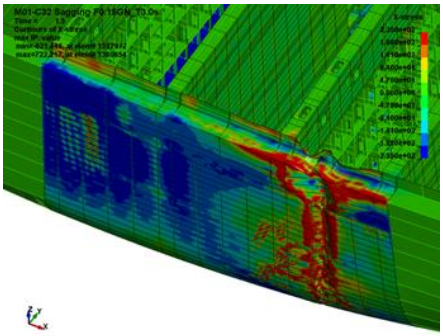


図 1.2.13 左条件におけるハルガーダ崩壊

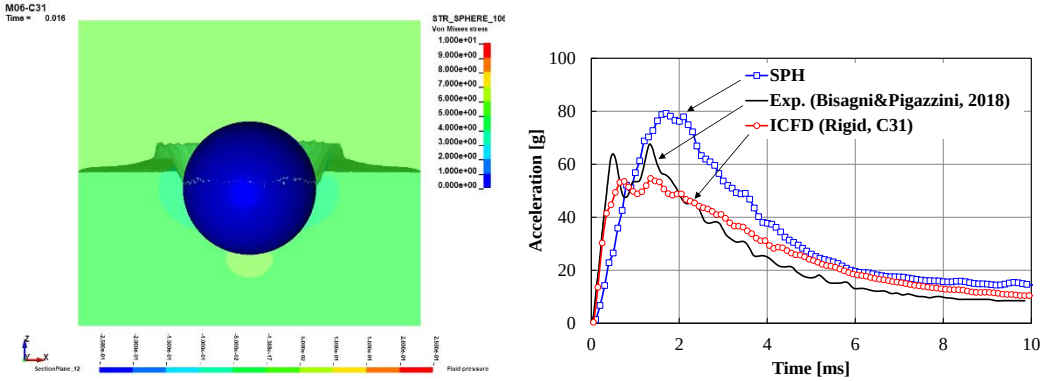


図 1.2.14 流体構造連成解析によるスラミング応答解析結果の実験との比較

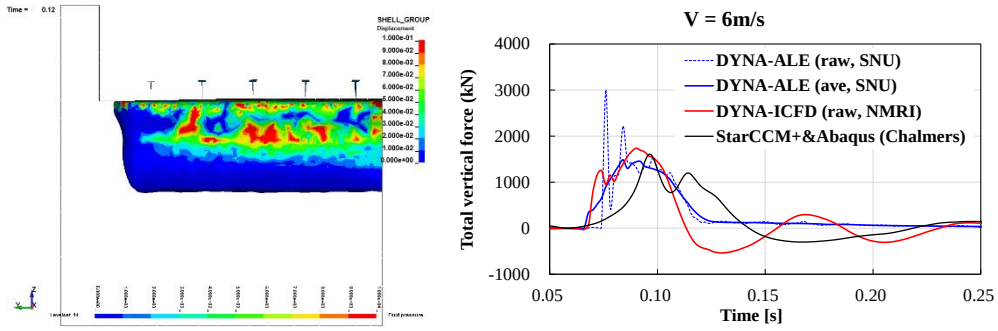


図 1.2.15 流体構造連成解析を用いた事故限界状態（Accidental limit state）時の防撓板の応答解析結果の国際ベンチマーク比較

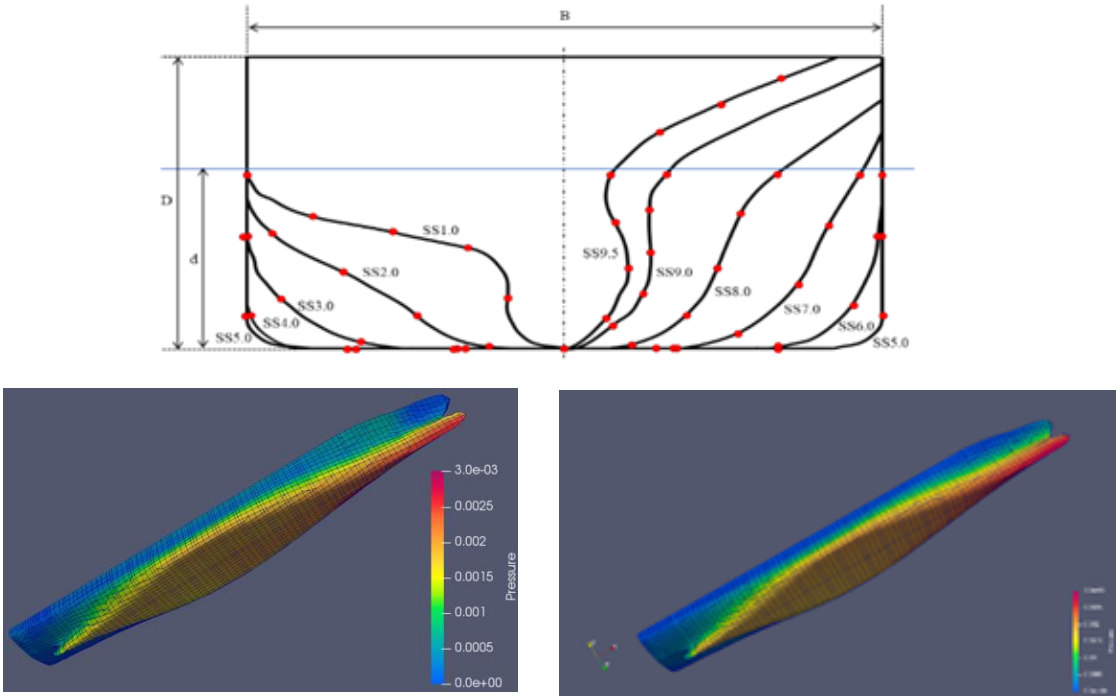


図 1.2.16 光ファイバ（FBG）センサによる多点計測(139 点)による水圧分布（左）と数値計算（右）との比較

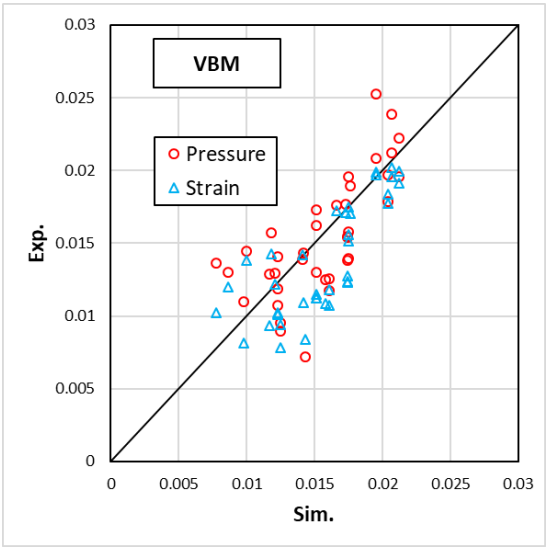


図 1.2.17　模型実験と数値計算との縦曲げモーメントの比較
（Pressure：多点水圧計測、Strain：歪ゲージ(従来手法)）

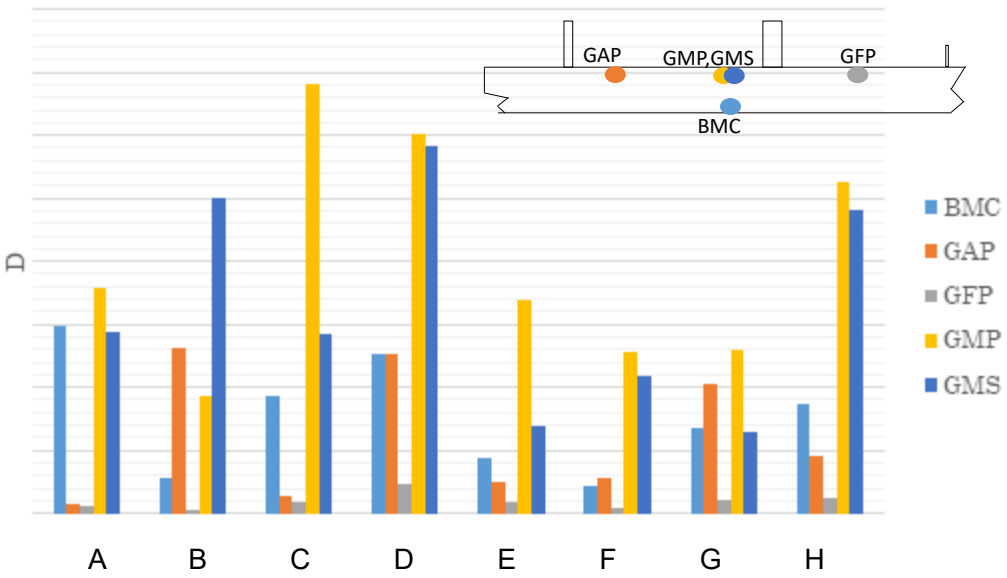


図 1.2.18 ハルモニタリングによるコンテナ船（A 船～H 船）の疲労評価結果
（応力波形をレインフロー解析して求めた累積疲労被害度 D）

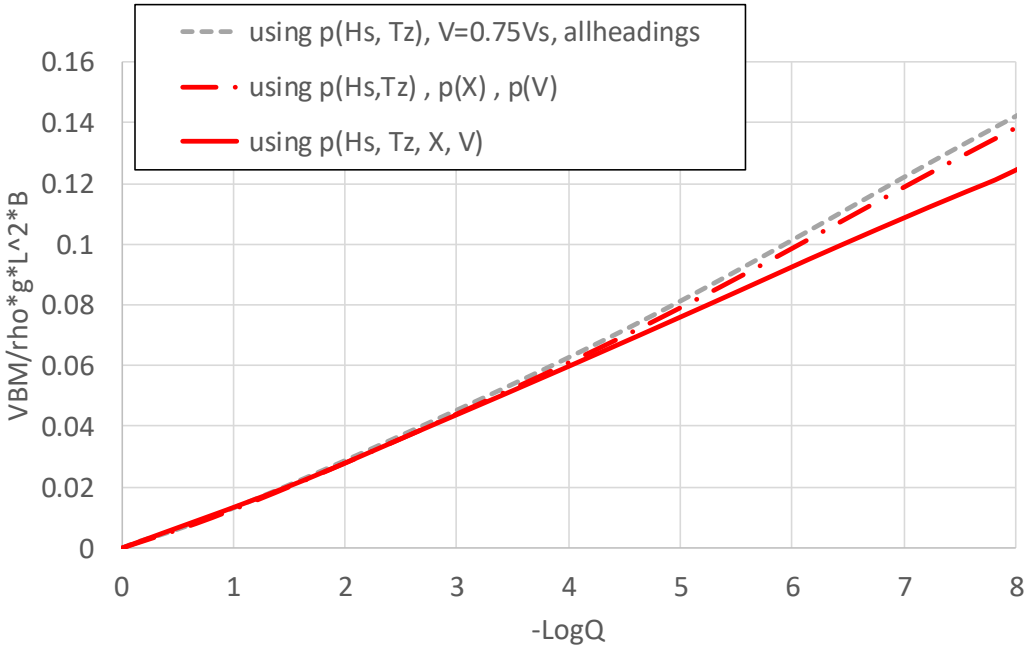


図 1.2.19 操船状態と波浪との同時性を考慮した長期予測結果（実船）と考慮しない場合の結果（1 点鎖線）の比較

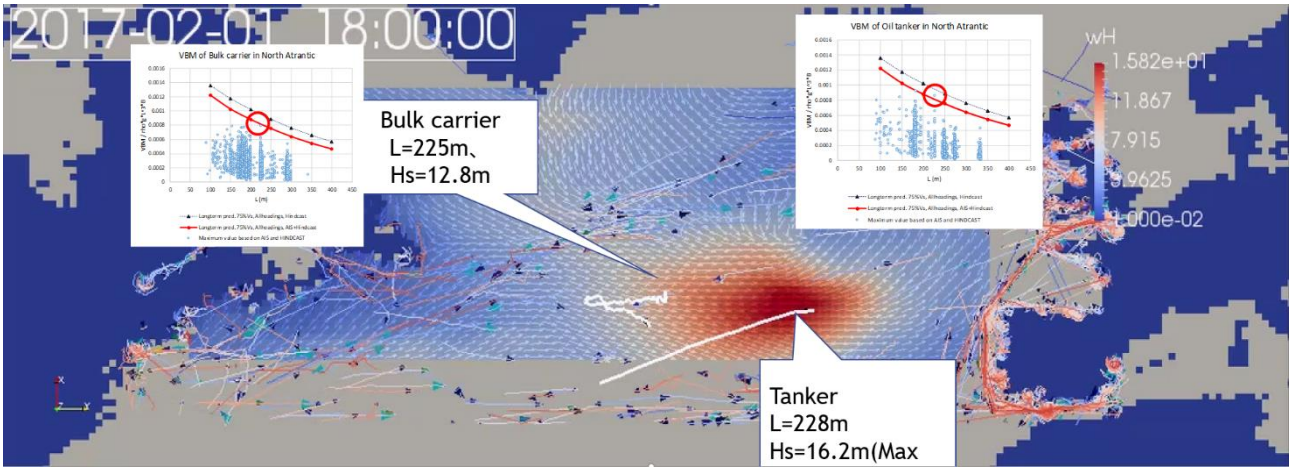


図 1.2.20 北大西洋での荒天時での操船履歴を可視化した例

図 1.2.21 AI による損傷認識一例

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

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

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

		天下操船運動評価テストプログラムによる船速低下推定精度の把握、水槽試験による低速時の変針及び通常航行時の旋回性能向上装置の有効性検証及び改良、遠隔計測等による船体運動状況分析システムを用いた操船支援方法の検討、貨物船・タンカー等の衝突(単)事故分析に基づく損傷実態の把握と損傷モデルの検討及び損傷船舶の船内区画進展浸水との連成を考慮した波浪中運動推定法の検討を実施する。　等

研究の背景

安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築をする。具体的には
□新規コンセプト船等に係るリスク評価手法の開発とリスクに基づく設計、運用基準等の策定に関する研究
□新規燃料、新形式船等に係る船体構造のリスクベース設計・信頼性評価手法の開発
□船舶交通流の制御とリスク評価に関する研究

研究目標

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

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

R1 年度の研究内容

□液化水素運搬船のリスクモデルの開発および社会実装に向けた支援

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

□GHG 問題対応のための船舶に関するリスクモデル構築に関する研究

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

あわせて、液体燃料が漏洩した際に沸騰しながら広がる過程をシミュレートするための数値モデルを開発する。また、GHG 対応燃料を使用する船舶のリスク解析に必要な海難事故統計データを収集し、整理を行う。

□安全基準の合理化のための調査

□火災・爆発による被害度影響評価基盤技術の整備

液化水素運搬船の船体構造に係るリスク評価基準・ガイドラインの詳細調査を行い、液化水素漏洩時の被害度影響評価法の基盤技術を整備する。また、液化水素運搬船の解析モデル作成のため、液化水素漏洩時の船体構造に係るベイジアンネットワークモデルを検討する。

□潮岬沖海域における安全対策による影響評価

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

R1 年度の実績

□液化水素運搬船のリスクモデルの開発および社会実装に向けた支援

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

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

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

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

□液化ガス漏えいに伴う沸騰プール、蒸発ガス拡散評価モデルの開発

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

□GHG 問題対応のための船舶に関する事故統計分析

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

□安全基準の合理化のための調査

液化ガス運搬船を対象とする国際規則に対し、合理性の無い等の事項を聴取した。

□火災・爆発による被害度影響評価基盤技術の整備

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

□潮岬沖海域における安全対策による影響評価

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

R1 年度の研究成果

□液化水素運搬船のリスクモデルの開発および社会実装に向けた支援

構築したベイズ推定モデルを用いて、英国周辺に位置するオフショア施設からの原油等の漏洩データベースである英国安全衛生庁（UK HSE）の Hydrocarbon Release Database（HcRD）及び高圧ガス保安協会の事故事例データベースの水素ステーションにおける事故データの 2 種類のデータを利用することで、これらから求められる漏洩頻度は水素運搬船からの漏洩頻度であると仮定し、機器毎の漏洩頻度をベイズ推定した（図 1.2.22）。また、水素漏洩に伴う影響度の評価については HyRAM コードを用いて、液化水素運搬船で取り扱われる圧力条件のもと、漏洩源の口径を変化させて可燃範囲にあるガス量を算出した結果、図 1.2.23 に示すような口径に対する可燃範囲にあるガス量の傾向が得られた。

原油タンカーを対象に、作成したシミュレーションを用いて、戦略毎の費用対効果評価を実施した。シミュレーション結果より、作成したシミュレーションが定性的には問題ないことを確認した。また、貨物タンクのモジュール化という需要変動に対応する新技術を考え、その新技術は、将来的に低コスト化が実現すれば費用対効果が良い技術になることが分かった（図 1.2.24）。

液化水素運搬船の社会実装の支援については、設計者が作成した代替設計承認のための同等性評価書について助言を行った結果、これに基づいて修正された評価書が主管庁へ提出され、最終的に代替設計が承認された。

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

換気解析の対象の一つである車両区域を例にして、MASCON モデルによる車両のまわりに形成する渦流れの数値シミュレーションを行った。既往の代数モデルの一つである Carpentieri ら(2012) が開発した CAR-BUILD モデルを組み込んだ結果、物体後部に形成する Wake について CFD モデルでは存在しない循環渦が形成しており、その結果を再現しなかった。そこで、既存の代数モデルに修正を加えて MASCON モデルによるシミュレーションを行った結果、車両後部の双子渦を再現することに成功した。（図 1.2.25）

□液化ガス漏えいに伴う沸騰プール、蒸発ガス拡散評価モデルの開発

液化ガスが漏洩して形成する液体プールの広がりを評価する数値シミュレーションコードについて、ダム状にせき止められた水が乾いた地面に向かって崩落する初期値問題等を対象として、既存の HLL スキームと、圧縮性流体に用いられる AUSM 系スキーム、AUSM スキームを改良した SLAU 系スキームの計 6 種類について、解析解との比較による性能評価を行った。図 1.2.26 にダム崩落の様子を示す。その結果、AUSM 系および SLAU 系の数値スキームは、ドライベッド問題と呼ばれる水波の進行方向の水位が 0 の条件であっても、解析解を概ね再現することが分かった。各数値スキームで、再現性のよい初期条件が異なったため、精度の良いシミュレーションを行うためには、与えられた初期値の条件によって数値スキームを切り替える必要があることが分かった。

□GHG 問題対応のための船舶に関する事故統計分析

低引火点燃料船のリスク評価のための事故統計データに関して、LPG 運搬船を対象に海難事故統計の分析から、図 1.2.27 に示すような海難種類別の発生頻度、人命損失リスク、これらに対する信頼区間を明らかにした。

□安全基準の合理化のための調査

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

□火災・爆発による被害度影響評価基盤技術の整備

液化水素運搬船モデルの液化水素タンク回りの高精度化を実施（図 1.2.28-1.2.30）

PBM 法を用いた実船（液化水素運搬船）における被害度影響評価法の試解析成功（図 1.2.31、1.2.32、1.2.33）

ベンダー（JSOL 及び LSTC 社）とも協業し PBM 法を改良し、圧力の時刻歴を出力できるように改良した（図 1.2.34）。当該改良により定量的な圧力比較も実施できるようになった。

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

□潮岬沖海域における安全対策による影響評価

潮岬沖海域の特徴である航路片側の陸岸による制限下を考慮した推薦航路導入後の船舶行動予測手法を考慮した導入による効果予測手法を確立し、当該海域における安全対策の立案に必要な技術の確立を行った。また、昨年度に続き潮岬沖海域の状況の分析を行い、神戸海難防止研究会が実施する潮岬沖における安全対策の構築に関する調査研究委員会への解析資料提供を行うと共に、必要な説明を行った。図 1.2.35、1.2.36 に潮岬沖海域における同航船同士の OZT の発生回数及び遭遇頻度の現状と推定を示す。

また、以前に導入された伊豆大島西岸沖の導入後の船舶行動を分析し、対策後に残る安全阻害要因の分析を行った。伊豆大島西岸沖の推薦航路における導入前後の遵守率の推移を解析した(図 1.2.37)。なお、導入前は推薦航路予定位置に対する航行位置から算出した。また、伊豆大島西岸沖海域における OD（航路群）毎の横断面方向の通航位置分布を作成して、低遵守率の原因を解析した(図 1.2.38)。安全対策の効果の推定として、伊豆大島西岸沖海域における反航船の遭遇頻度の導入前後の変化についても調査を行った(図 1.2.39、1.2.40、1.2.41)。

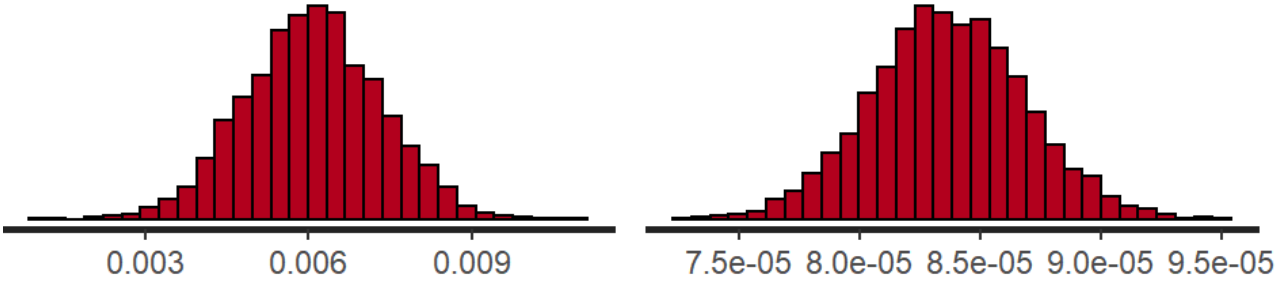


図 1.2.22　機器毎の漏洩頻度のベイズ推定結果の例（左：Pumps，右：Pipes）

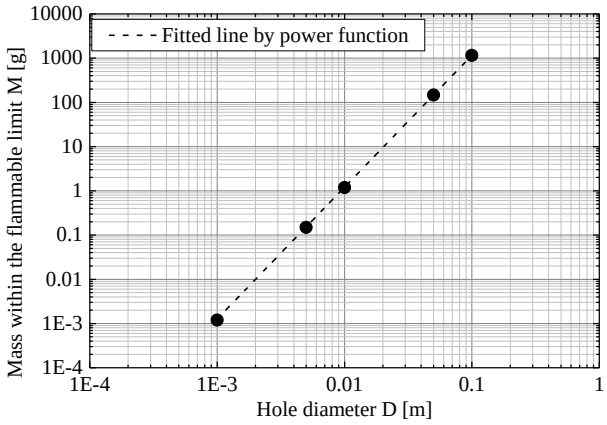


図 1.2.23　水素ガスの漏洩口径に対する可燃範囲ガスの総質量の関係

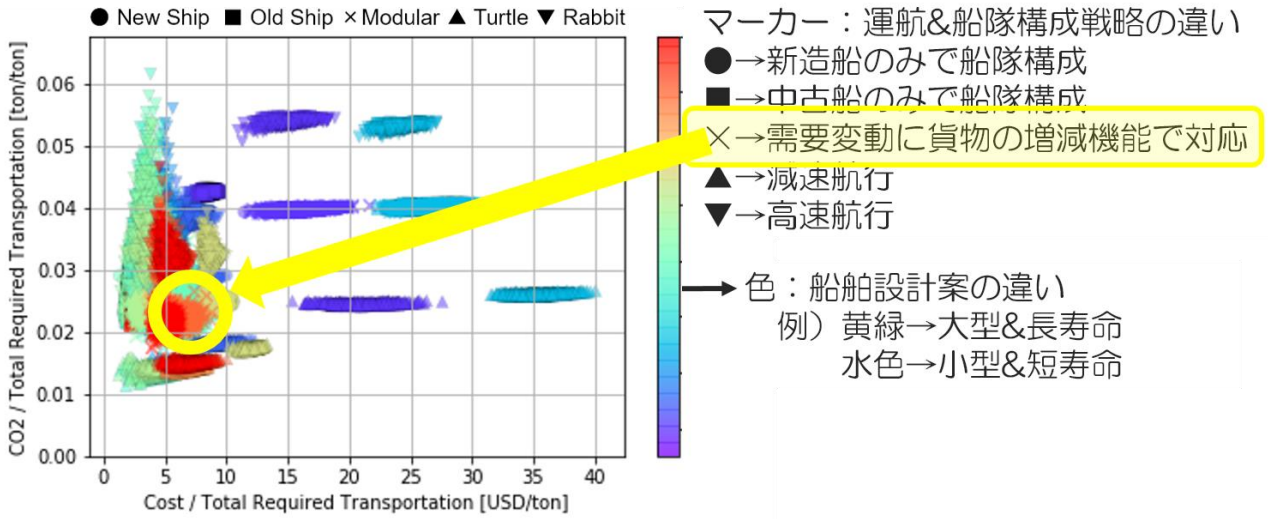
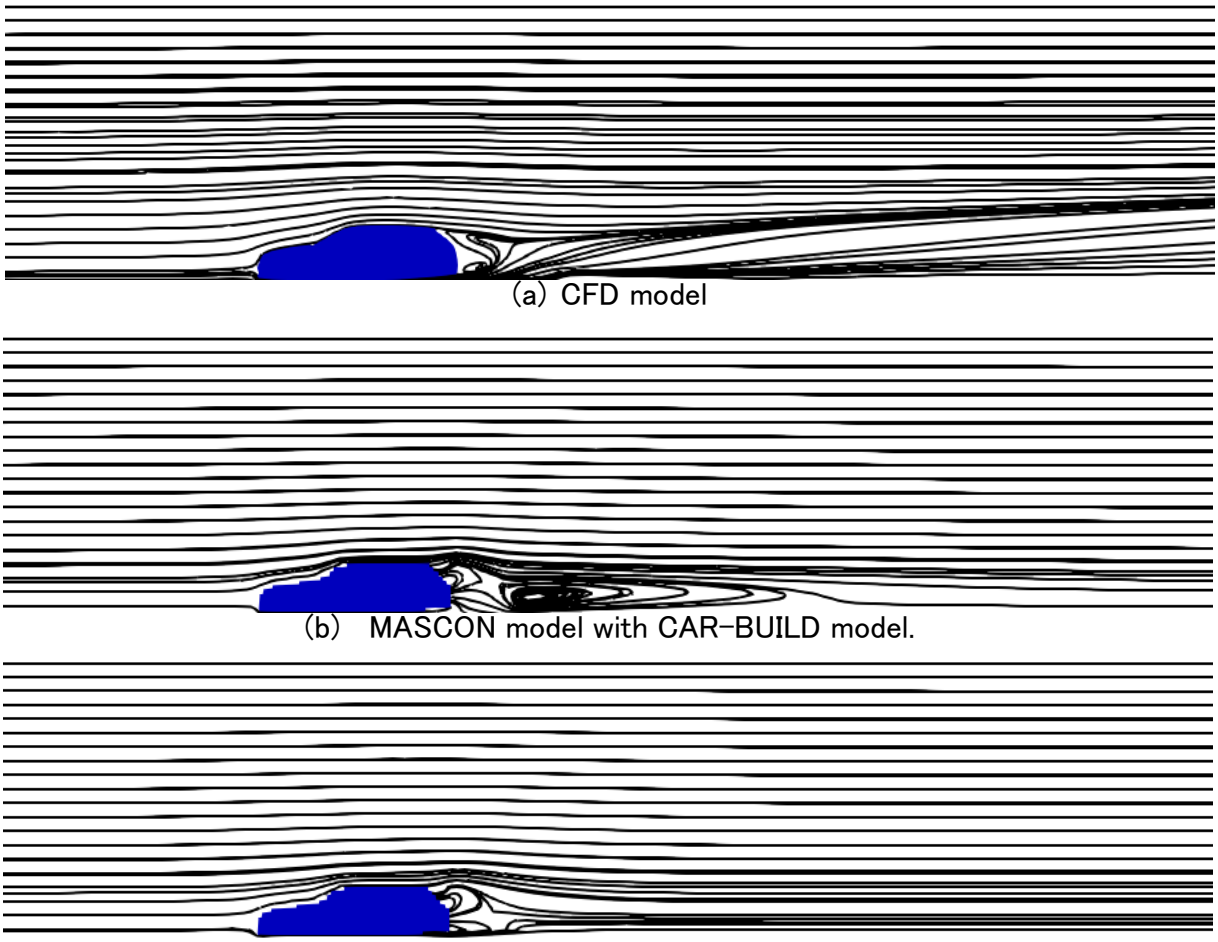


図 1.2.24 戦略毎の費用と CO2 排出量の散布図
（貨物タンクのモジュール化が低コスト化すれば黄色丸部分が左に移動し，費用対効果が良くなる）



(a) CFD model

(b) MASCON model with CAR-BUILD model.

(c) MASCON model with revised parameters.

図 1.2.25 車両の周りに形成する渦流れに関する流線図の比較

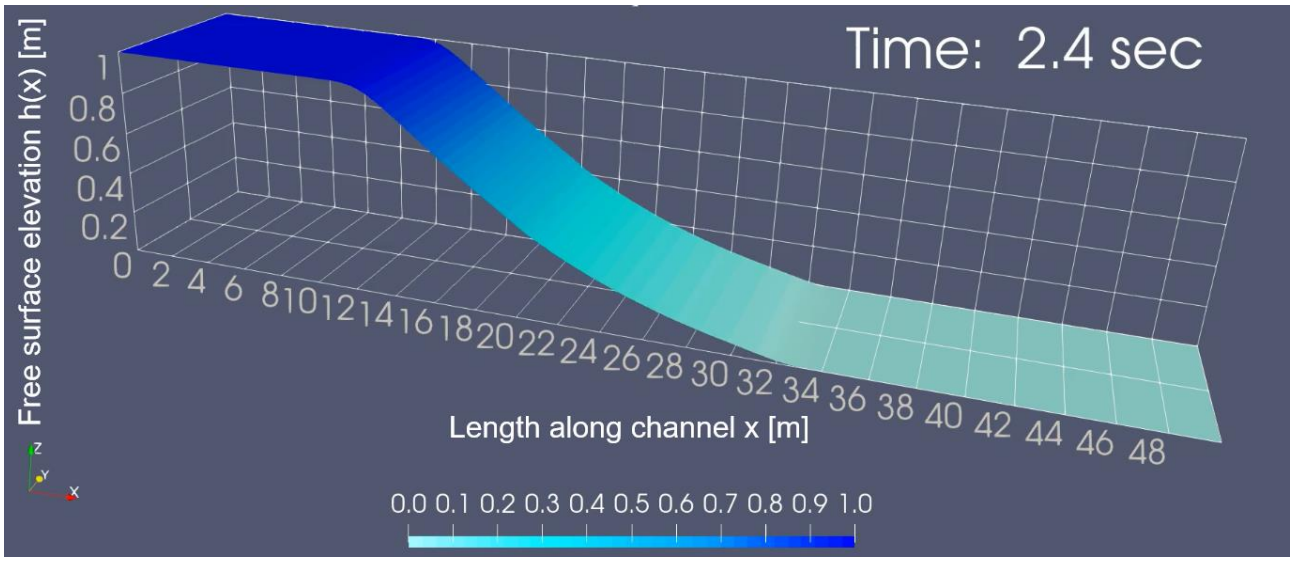


図 1.2.26 数値スキーム検証のためのダム崩落問題計算結果（AUSM スキーム）

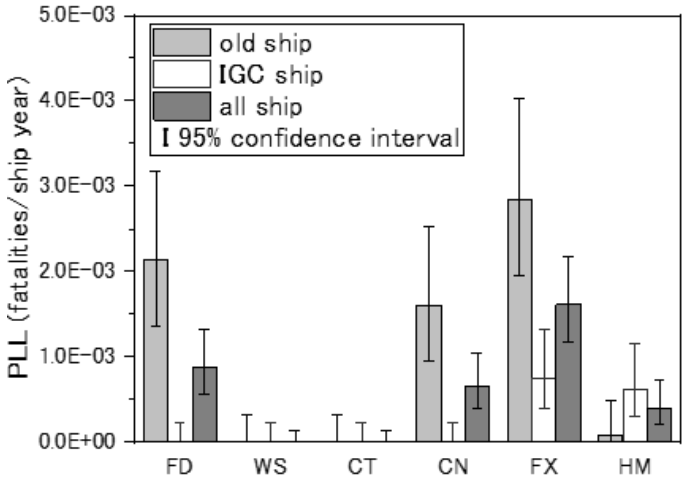


図 1.2.27　LPG 運搬船の海難種類別の人命損失リスクの分析結果

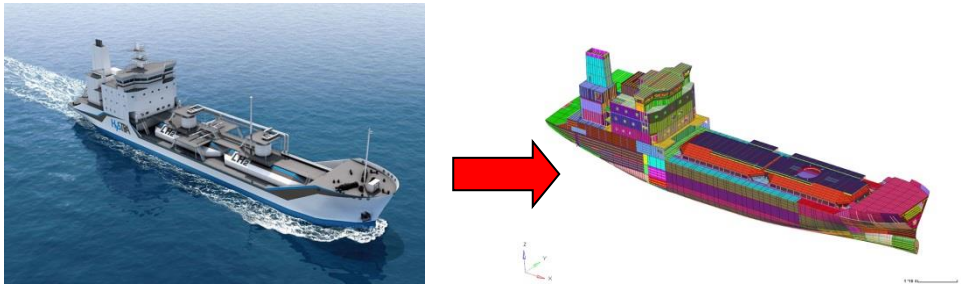


図 1.2.28　液化水素運搬船（2020 年に建造する予定の Pilot 船）の実船モデル
（左図：イメージ図（HySTRA より）、右図：被害度評価用の FEM モデル外観。K 社との連携により H30 年度作製済）

（非公開）

図 1.2.29　2018 年度に整備した液化水素運搬船の部分モデル（K 社より）

（非公開）

図 1.2.30　2019 年度に改良した液化水素運搬船の詳細メッシュモデル（K 社より）

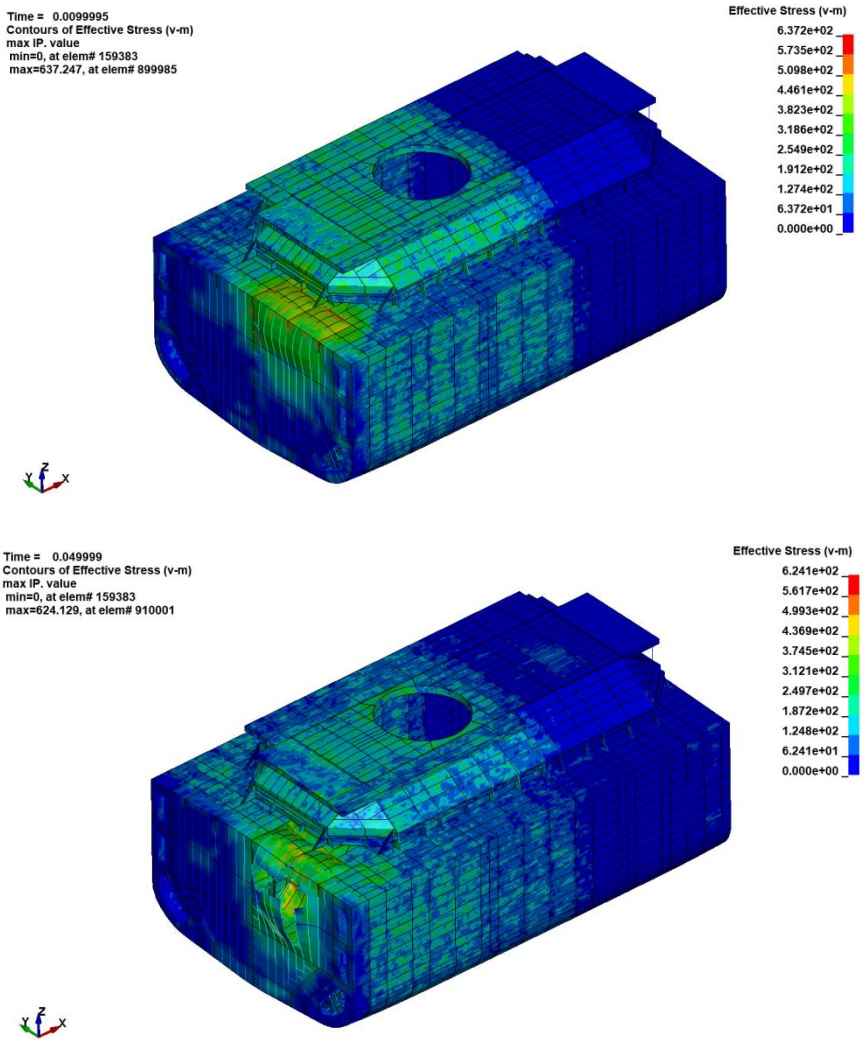


図 1.2.31　液化水素運搬船の部分モデル（No.2 ホールド）を用いた等価水素爆発解析の試解析結果

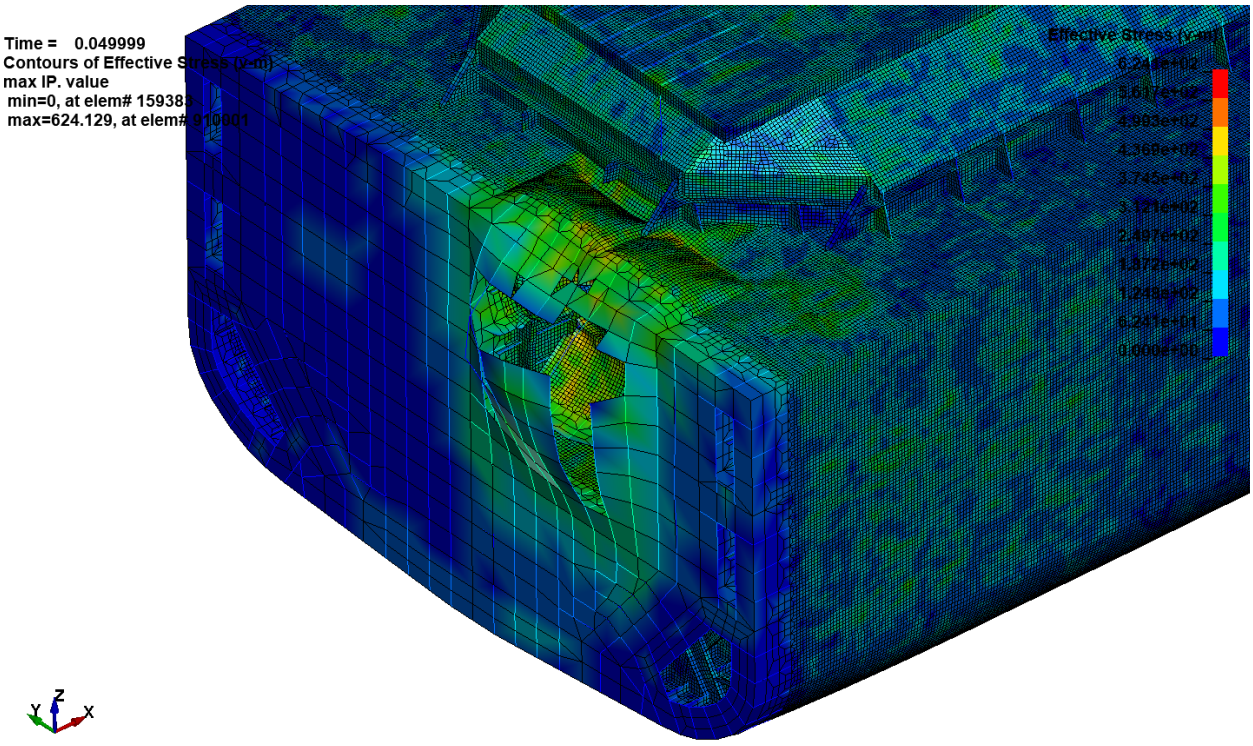


図 1.2.32　液化水素運搬船の部分モデル（No.2 ホールド）を用いた等価水素爆発解析の試解析結果

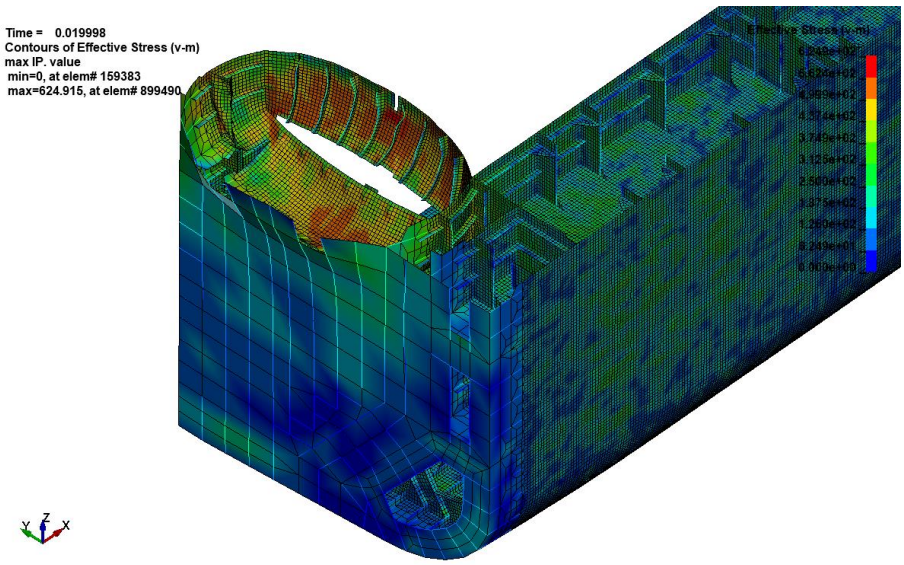


図 1.2.33　液化水素運搬船の部分モデル（No.2 ホールド）を用いた等価水素爆発解析の試解析結果

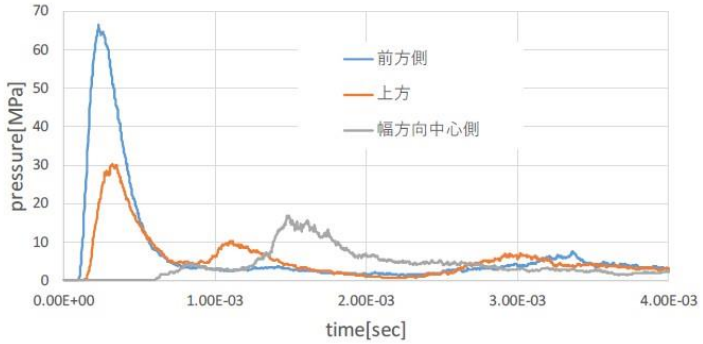


図 1.2.34　爆発時の closed space（閉区画）における圧力の時刻歴の比較

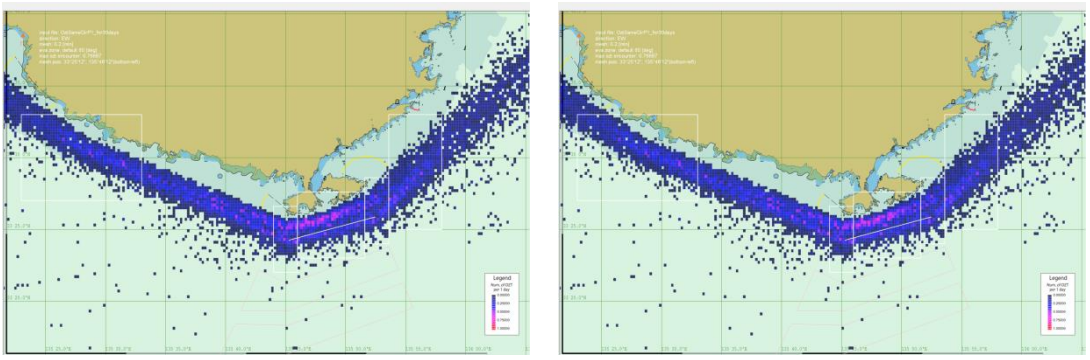


図 1.2.35　潮岬沖海域における同航船同士の OZT 遭遇の現状と推定（左: 現状、右: 2.0 海里案）

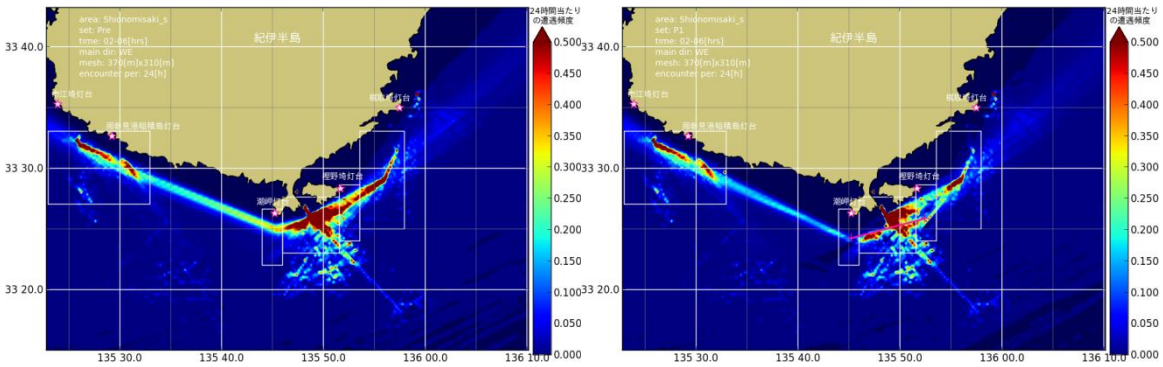


図 1.2.36　潮岬沖海域における同航船同士の遭遇頻度の現状と推定（左: 現状、右: 2.0 海里案）

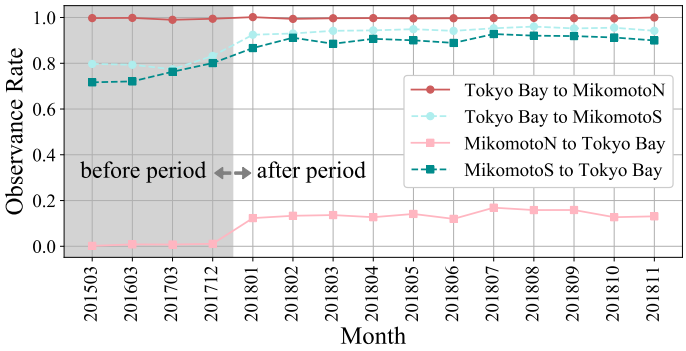


図 1.2.37　伊豆大島西岸沖の推薦航路における導入前後の遵守率の推移
（導入前は推薦航路予定位置に対する航行位置から算出）

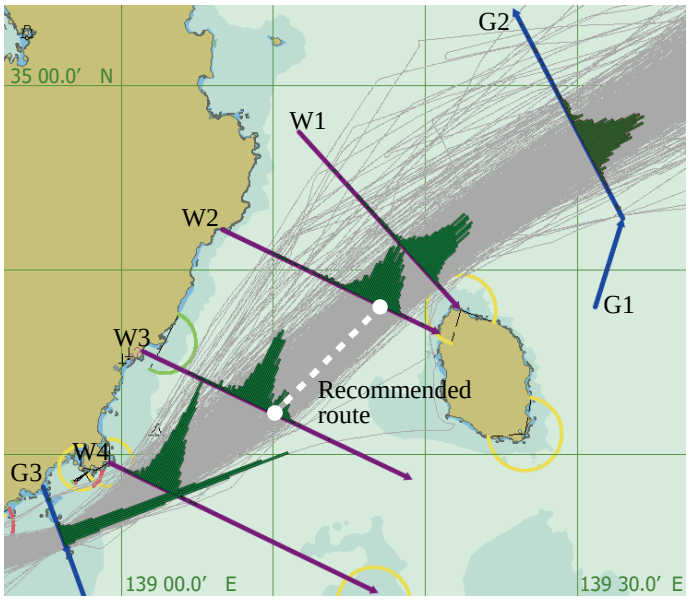


図 1.2.38 伊豆大島西岸沖海域における遵守率の低い OD（航路群）の横断面方向の通航位置分布

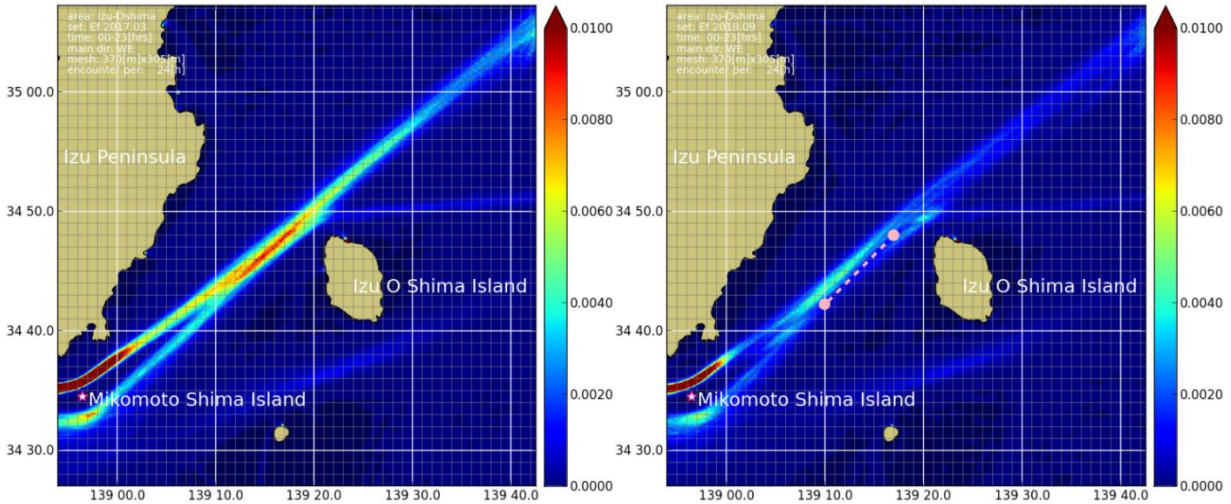


図 1.2.39　伊豆大島西岸沖海域における反航船の遭遇頻度の変化(左: 2017.3(導入前) 右: 2018.9(導入後))

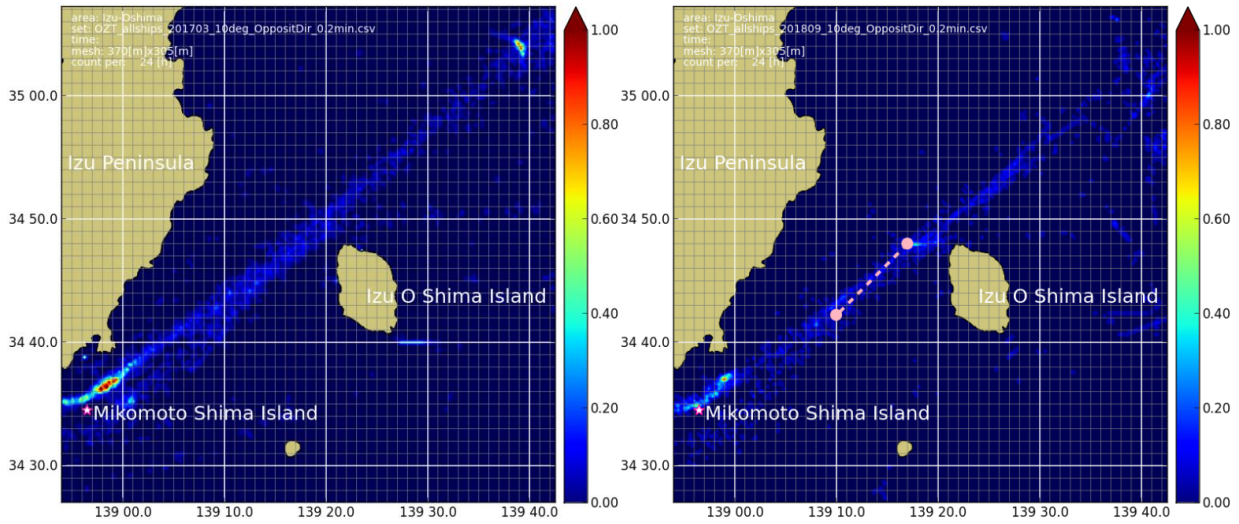


図 1.2.40　伊豆大島西岸沖海域における反航船の OZT 発生数の変化(左: 2017.3(導入前) 右: 2018.9(導入後))

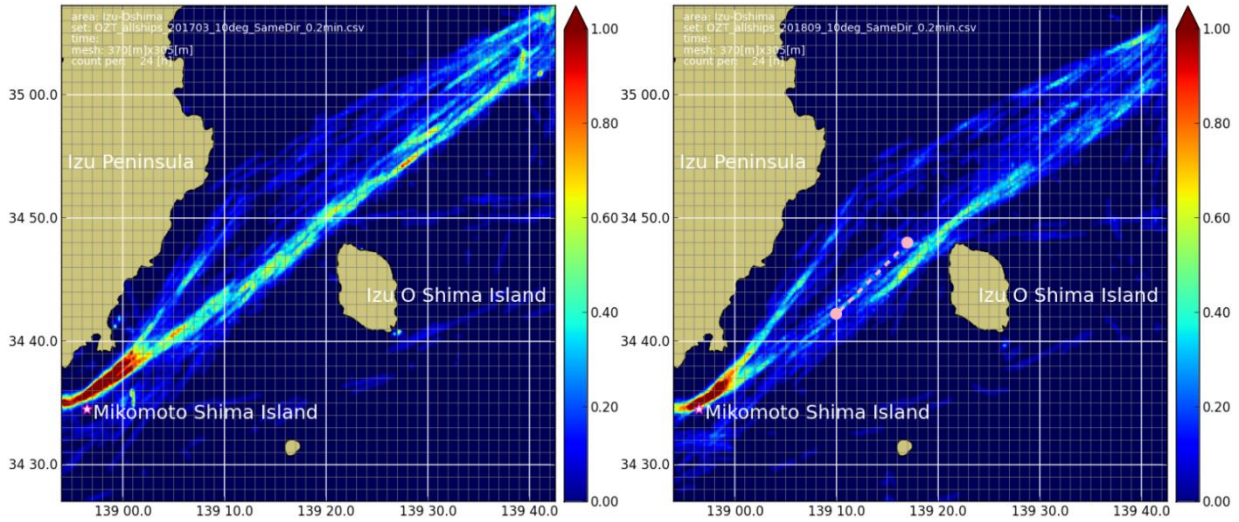


図 1.2.41　伊豆大島西岸沖海域における同航船の OZT 発生数の変化(左: 2017.3(導入前) 右: 2018.9(導入後))

成果の公表

□論文

・査読付き論文誌

(1) 工藤, 柚井: 海難情報を用いた LPG 運搬船の人命損失リスク, 日本マリンエンジニアリング学会誌(掲載決定)

(2) 宋, 伊藤, 川村, 福戸: 海上交通管制業務における管制官の管制過程に関する分析, 日本航海学会論文集, vol.140, 2019.7.

(3) 三宅, 伊藤, 山本, 牧野: コンテナ船衝突事故に係る状況認識の評価, 日本航海学会論文集, vol.140, 2019.7.

(4) 伊藤, 南, 山本, 牧野: コンテナ船衝突事故に係る認知行動分析, 日本航海学会論文集, vol.140, 2019.7.

(5) Oka, Y. and Oka, H.: Temperature and velocity distributions of a ceiling-jet along a flat-ceilinged tunnel with natural ventilation, Fire Safety Journal 112 (2020) 102969.

・本文査読付き会議録

(1) 伊藤, 三宅: Research on Change of Traffic Safety Accompanying the Implementation of a New Recommended Route, Proc. of 8th International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore (ICCGS 2019), 2019.10.

(2) 河島, 伊藤: Assessment of Ship Encounter and Collision in Congested Sea Areas, Proc. of 8th International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore (ICCGS 2019), 2019.10.

(3) Oka, Y. and Oka, H.: Temperature and velocity distributions within a ceiling-jet along a flat-ceilinged horizontal

tunnel with natural ventilation, The 9th International Seminar on Fire and Explosion Hazards (9th ISFEH), 2019.4.

(4) Tanno, A., Oka, H. and Oka, Y.: Simple Prediction Model for Temperature Attenuation of Fire-Induced Ceiling Flow in Consideration of the Side Wall Effects along a Flat-ceilinged Tunnel, The 12th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2019), 2019.7.

・その他（査読なし概要集等）

(1) 工藤, 柚井: 海難情報を用いた IGC コード適否による LPG 運搬船の海難種類別発生頻度, 日本航海学会講演予稿集, vol. 7, No.1, 2019.5.

(2) 工藤, 柚井: 海難データを用いた液化ガス運搬船の事故発生頻度の分析, 第 13 回海上技術安全研究所研究発表会講演集, 2019.6

(3) Kimura, A., Oka, H. and Oka, Y.: Performance Evaluation of AUSM type schemes for the Numerical Simulations of Dam-Break Problems, Proc. of Asia Pacific Symposium on Safety 2019 (APSS2019), 2019.9.

(4) 柚井他: システムズアプローチによる海事産業の意思決定支援に向けて, 令和元年度（第 19 回）海上技術安全研究所講演会講演集, pp.47-64, 2019.11.

(5) 柚井他: ライフサイクルでのコストと CO2 排出量を考慮した船団構成と運航戦略のトレードスペース分析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 29 号, pp.127-132, 2019.11.

(6) 木村, 岡(秀), 岡(泰): 質量保存流速場モデルを用いた閉囲空間における複雑気流場の簡易予測手法の開発, 第 52 回安全工学研究発表会, 2019.11.

(7) 木村:「リスクベースマネジメントにおける影響度評価」, 第 4 章 シミュレータを用いた影響度評価（書籍の分担執筆), 2020.3.(予定)

(8) 宋, 伊藤, 川村: 海上交通管制業務における運用管制官の新人教育のための 海上交通ルーティンの開発, 日本航海学会講演予稿集, vol.7, No.2, 2019.10.

(9) 須賀, 岡(泰), 岡(秀): 数値計算に基づく水平方向に細長い空間内の火災熱気流挙動, 2019 年度日本火災学会研究発表会概要集, 2019.5.

(10) 丹野, 岡(秀), 岡(泰): 矩形通路の断面形状を考慮した天井流の温度減衰簡易予測式の提案, 2019 年度日本火災学会研究発表会概要集, 2019.5.

□講演のみ

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

□その他

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

□受賞

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

□国際貢献

□プログラム登録

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

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

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

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

		動状況分析システムを用いた操船支援方法の検討、貨物船・タンカー等の衝突(単)事故分析に基づく損傷実態の把握と損傷モデルの検討及び損傷船舶の船内区画進展浸水との連成を考慮した波浪中運動推定法の検討を実施する。　等

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

研究目標

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

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

R1 年度の研究内容

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

R1 年度の実績

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

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

R1 年度の研究成果

□一般的に停止性能を推定する場合には、プロペラ回転が正転から逆転に至るまでの回転数を時系列データとして入力していた。曳航試験で得られた船体に働く不平衡流体力とプロペラ回転数の時系列データを与えると時系列データとして与えると水槽実験で行った停止試験結果を実用的に推定することが可能であることを確認した。また、船舶の停止距離は初期船速に大きく依存するが、プロペラ回転数を時系列データとして与えることで船速を変化させても推定可能であることを確認した。しかし、停船動作中の実船のプロペラ回転数は船速と主機の特性で決まる値であり、事前に時系列データを用意することは困難である。調査したところ、昭和 50 年前後にこの問題を考慮したモデルが提案されていることが確認された。しかし、このモデルを使用するためにはクラッシュ・アスターンにおけるエア投入のタイミングを与える必要があることが判明し、現在はその調査を行っている。
□本年度拡張した荒天下操縦運動評価テストプログラムによって、規則波中保針航行時の船の平均的な船速低下・斜航角・当舵量・6 自由度船体動揺を大略推定可能であることを明らかにした。また、本計算法は肥大船と痩せ形船のような大きく異なる船型に対して幅広く適用可能であることを明らかにした(図 1.2.42)。
□既存の短波長域を対象とした斜航時の波漂流力推定法(上野, 2000)では、回頭モーメントの船速影響・斜航影響の推定精度が必ずしも十分ではないことが明らかになった(図 1.2.43)。具体的な改善については R2 年度に実施予定。
□既存の港湾基準は 2007 年 9 月に「次世代の航路計画基準（2007）」が日本航海学会、運航者、造船・航海・港湾研究者により策定された。本基準は大きく分けて「航路水深」と「航路幅員」の2つの項目から構成されている。このうち、荒天下で影響を受けると考えられる項目としては、縦揺れと上下揺れによる沈下量や横揺れと上下揺れの沈下量、風影響による漂流角、ヨーイングの蛇行量による漂流幅などが考えられる。このうち、風影響による漂流角やヨーイングの蛇行量による漂流幅に及ぼす影響は大きいと考えられる。これらの項目にどのような影響が及ぶか検討中である。
□船舶が衝突や座礁を回避する手法としては停船か操舵による変針が考えられる。操舵により変針をすると船体は旋回運動を行う。旋回運動中は船体が斜航することで生じる向心力と船体に働く遠心力が釣り合った状態となる。操舵により変針する場合、船体は旋回運動を行う。旋回運動とは船体が斜航することで生じる向心力と船体に働く遠心力が釣り合った状態のときに成り立つ。斜航角が増加することで旋回径は小さくなり旋回性能は向上すると考えられるが、追従性能という観点からすると斜航角の増加は望ましくない。例えば、輻輳海域などで衝突を回避した場合には追従性能が劣ると他の船舶と衝突する危険性が生じる。そこで、本研究では旋回性能を向上させつつ、追従性能には影響を及ぼさないような操船方法について検討を行った。さらに幾つかの状態について水槽実験を行い、旋回性能と追従性能について確認を行った。タンカー船型の模型を用いて水槽実験を行った状態は 4 つで、①通常の舵のみ、②船体の後方に左右舷方向に外力を発生させ高揚力舵と模擬したもの、③通常の舵と船首付近に左右舷方向に外力を発生させたもの、④通常の舵と船首付近で左右舷方向だけではなく船首方向にも外力を発生させたものである。これらを用いて 12kt 相当の船速で Z 操舵試験を行った。図 1.2.44 に計測された航跡（(a)）と斜航角（(b)）、船首方位角（(c)）、船速低下（(d)）の一例を示す。図中の線は①が青線、②が黄色線、③がグレーの破線、④が赤の破線である。②・③・④で与えた外力の大きさは同じである。また外力は操舵開始から初めの転舵までの 8 秒程度のみ与えている。航跡と船首方位角の比較から、外力を与えたものは①よりも早い段階で変針を始めていることが確認された。しかし、②は転舵後に航跡と船首方位角ともに一番外側まで膨らんでいることがわかる。これは斜航角が他のものよりも大きく発達しているためで、転舵により方向転換を試みても増加した斜航角を減少させるのに時間を要するためと考えられる。また、船速低下を比較すると②と④がほぼ同じに減速していることが確認された。衝突時の被害を抑えるためには減速することも重要であり、総合的に判断すると④が望ましい操船方法と考える。④とは左右舷方向だけではなく船首方向にも外力を発生させており、例えばバウスラスターの噴流の向きを調整するルーバーのようなものを装備することで実現できる可能性はあると考える。
□緊急自動衝突回避システムについて、操船シミュレータの他船運動にも相手船との異常接近時に大角度変針を行う機能を組み込んだ。操船シミュレータを用いて、自船と他船が異常接近した際に両船で同方向に避航する緊急自動衝突回避システムを稼働させ、浅瀬等により同方向に避航せざるを得ない状況で、稼働開始時期の調整により衝突に至る場合と、衝突を回避できる場合の検証を行った（図 1.2.45）。

□不規則波中での横加速度の長期発生確率を用いた危険度評価法を用いて，操船要素である船速，波向，波周期を考慮した操船支援法をコンテナ船を対象に示した（図 1.2.46）。図 1.2.46 は船速 16kts，有義波高 7.5m で閾値を超える波向と波周期の組み合わせを×印で示している。

□短波頂不規則波中傾斜時の時間領域船体運動計算の結果は直立時，傾斜時とも実験結果とよく一致しており（図 1.2.47）、危険度評価に用いる計算法として有効であることを示した。
□500GT 以上の貨物船の航行中の衝突（単）事故（48 隻）の衝突時の速力と損傷程度の相関を分析して関係を明らかにした（図 1.2.48）。
□粒子法の一つである MPS 法を用いて、LNG タンクのスロッシング、スワーリング現象の数値シミュレーションを行い吉田らによって実施された模型試験結果との比較を行った。その結果、タンク壁圧力の時刻歴は、タンク上部の計測点に関しては過大評価であったが、タンク下図の計測点についてはおおよその一致していることを確認した。また、シミュレーションにおいても模型試験にて発生したスワーリング現象が確認されタンクにかかる流体力の変化も模型試験結果とおおよその一致を確認した（図 1.2.49）。

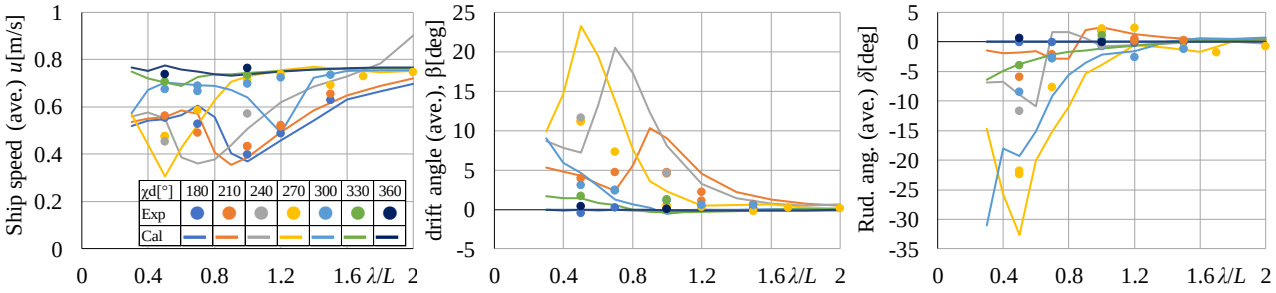
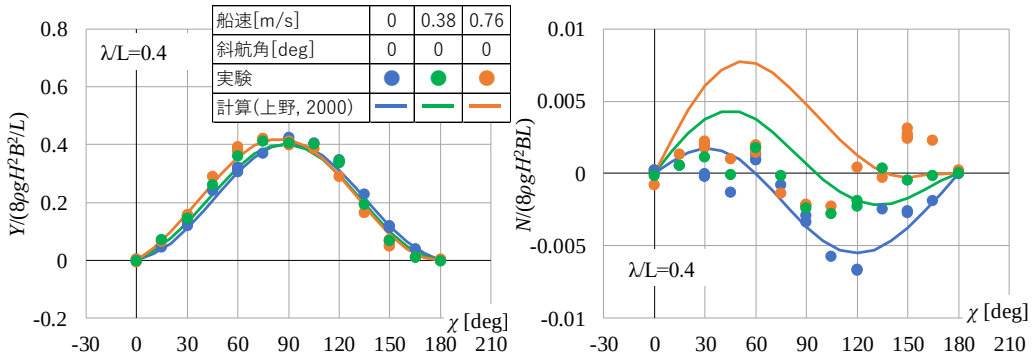
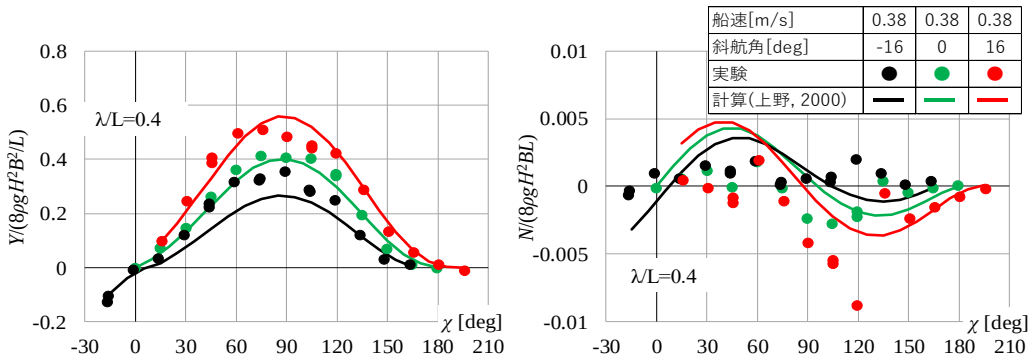


図 1.2.42 タンカー模型の規則波(波高船長比 1/50)中保針航行時の船体運動の比較

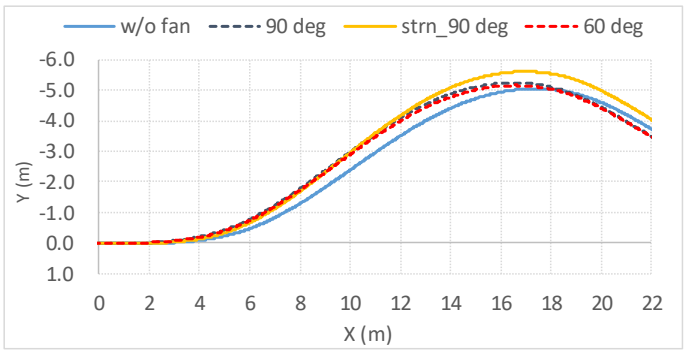


(a) 直進曳航時

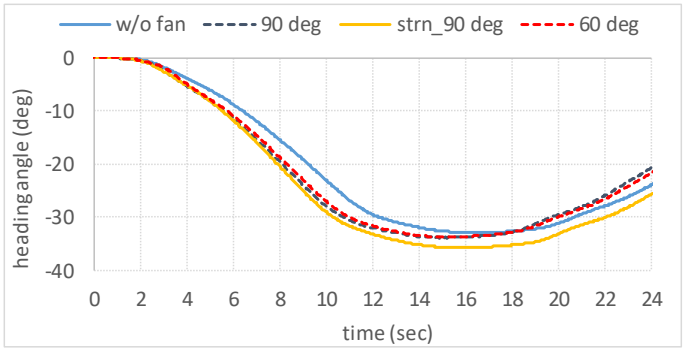


(b) 斜航曳航時

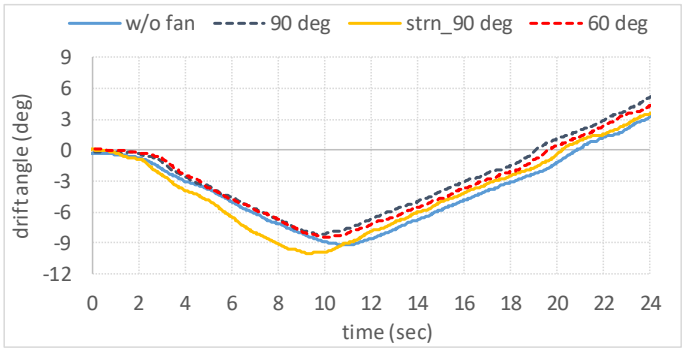
図 1.2.43 波漂流力の船速影響、斜航影響と既存の推定法(上野, 2000)の検証



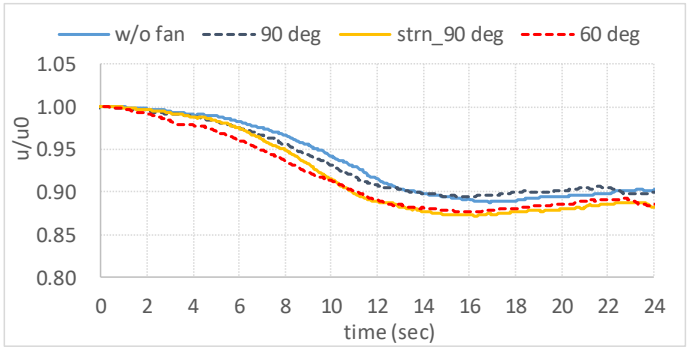
(a) 航跡の比較



(b) 船首方位角の比較



(c) 斜航角の比較



(d) 船速低下の比較

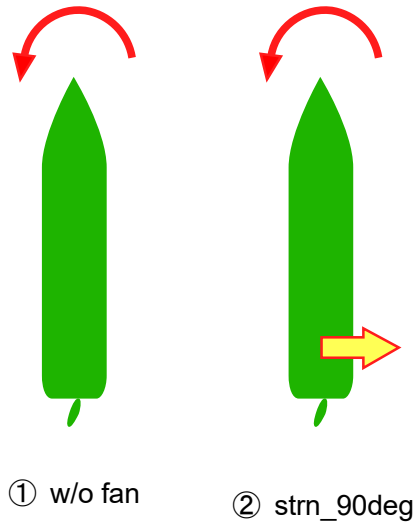


図 1.2.44 効率的な変針による衝突回避装置の水槽実験による検証(20 度 Z 試験:タンカー船型)

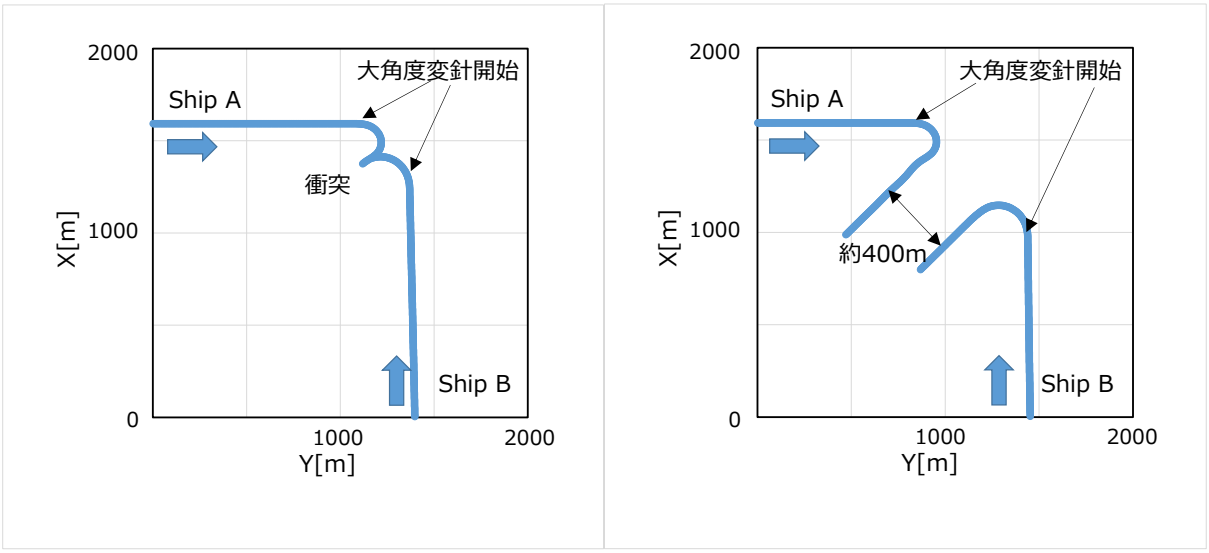


図 1.2.45 緊急自動衝突回避システムによる航跡
（左図：システム稼働時期が遅く衝突に至った例，右図：適切なシステム稼働により衝突を回避した例）

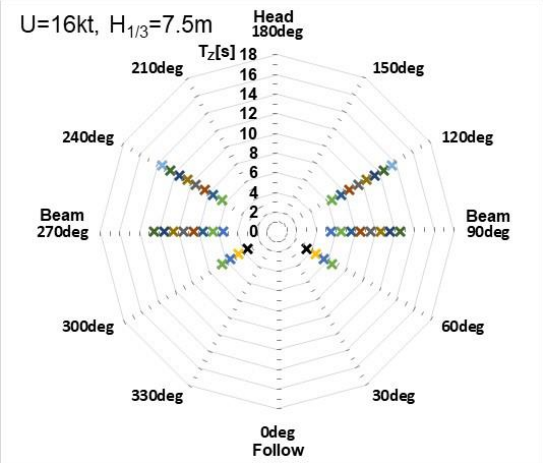


図 1.2.46 コンテナ船の過大加速度の危険度評価法による操船支援

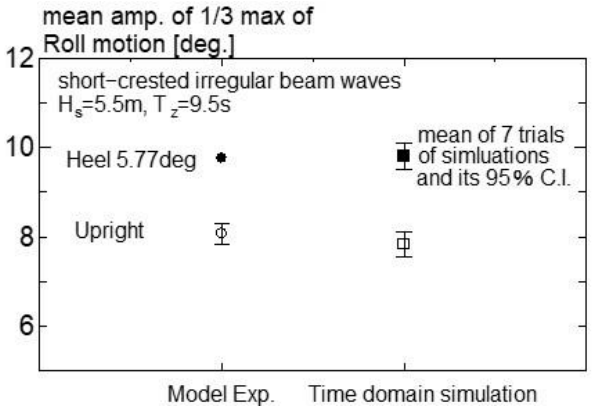


図 1.2.47 短波頂不規則波中傾斜時の時間領域船体運動計算結果と模型実験との比較

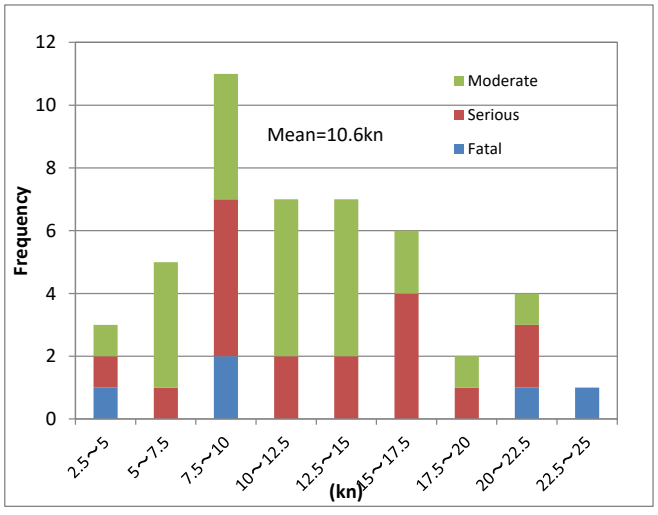


図 1.2.48 ：衝突（単）事故時の速力と損傷程度の関係（Moderate:外板亀裂・凹損、Serious:外板破口、Fatal;船内区画浸水及び転覆・沈没）

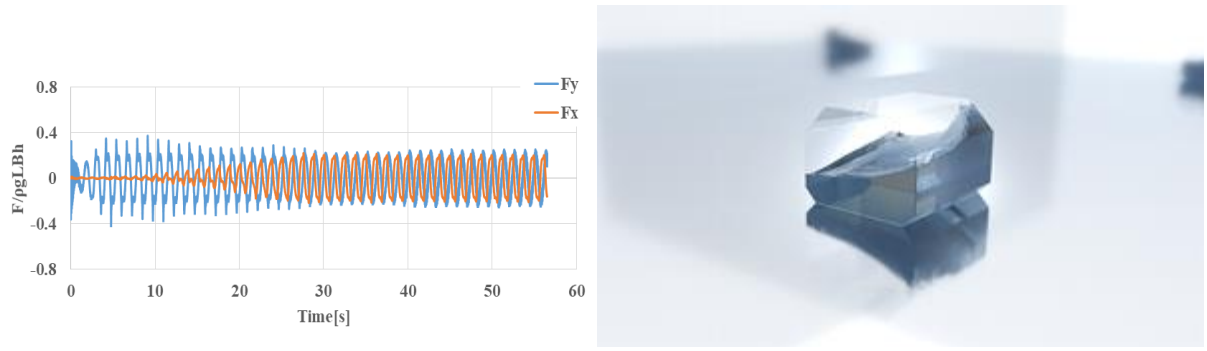


図 1.2.49 スワーリング現象の数値シミュレーション
（左図：タンクに作用する流体力、右図：可視化した自由表面）

成果の公表

□発表論文

・査読論文誌

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

・その他

(1) 鈴木良介ほか，操縦性と耐航性の数学モデルを統合した運動方程式による波浪中旋回時の船体運動推定，海上技術安全研究所報告 第 19 巻 別紙 第 19 回研究発表会講演集，2019.7.，pp.94-95.

(2) Suzuki R. et al., Free-running model test using rudder effectiveness and speed response correction, and wind loads simulator, Proceedings of AMT'19, 2019.10.

(3) Suzuki R. et al., Development and utilization of FMT method for direct evaluation of full-scale ship manoeuvring limit in adverse weather conditions, Seminar at the Institute of Marine Engineering of the National Research Council of Italy (CNR-INM), 2019.10., (非公開資料).

(4) Suzuki R. et al., Prediction of manoeuvring motion in waves for KCS using a unified method, Proceedings of SIMMAN2020, 2020.6. (予定).

(5) 鈴木良介ほか，規則波中保針航行時の 6 自由度船体運動計算，日本船舶海洋工学会講演論文集，30，2020.5.(予定).

(6) 河村昂軌，GPU クラスタを用いた粒子法による LNG タンクのスロッシングとスワーリング計算，日本船舶海洋工学会講演論文集，30，2020.5.(予定).

□出願特許

(1) 初期旋回性能向上装置（予定）

□IMO 資料

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

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

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

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

研究の背景

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

具体的には、

□排ガス規制対応のための計測・分析技術の高度化

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

研究目標

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

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

R1 年度の研究内容

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

R1 年度の実績

□昨年度に続き、2020 年以降に提供される適合油（LSC）の性状動向の調査及びその性状変化が船舶での使用条件に与える影響（着火・燃焼性、低粘度化と高流動点化、安定性など）について検討した。今年度は、ラボ試験だけでなく、実船トライアルも実施し、船舶で使用するにあたって必要となる対策や留意事項について確認した。
□内航船舶に SOx スクラバを搭載することを想定して並行流ジェット式の小型スクラバを製作し、規制に対応できる脱硫性能を達成する条件を調査した（図 1.2.52）。
□ブラックカーボン等の削減技術が、他の排ガス成分または環境負荷物質の排出に与える影響を考慮して、各削減技術のメリット・デメリット、実現性、入手性等について調査をおこなった。
□日本周辺における PM 濃度及びその船舶寄与度などを評価するため、日本周辺海域における船舶起源の大気汚染物質の排出濃度の分布を図示するシステムを構築した。
□想定される低硫黄燃料に対して、着火性を評価するための基礎的研究として、燃料噴霧内外の温度推定手法を確立した。また、着火性の異なる燃料の燃焼性評価をおこなった。

R1 年度の研究成果

□2020 年以降に提供される適合油（LSC）の性状動向の調査及びその性状が船舶での使用条件に与える影響（着火・燃焼性、低粘度化と高流動点化、安定性など）について検討した。今年度は、ラボ試験（図 1.2.50）だけでなく、実船トライアル（図 1.2.51）も実施し、HSC を提供しているバンカリング船における LSC 補油についての課題調査や、船舶で使用するにあたって必要となる対策や留意事項について確認した。
□内航船舶に SOx スクラバを搭載することを想定して小型並行流ジェット式スクラバを製作し、種々の噴射ノズルを組み合わせて、規制に対応できる脱硫性能を達成する条件を調査した（図 1.2.52）。その結果、機関の負荷率が高く、排ガス流量が多い場合でも、噴射ノズルを組み合わせることで十分な脱硫性能が確認された。
□日本周辺海域における船舶起源の大気汚染物質の排出濃度分布を図示するシステムを構築した。輻輳海域等の航跡の密集する海域での空間指定・経時変化を把握するための期間指定、あるいは船型別濃淡を把握するための船型指定ができるプログラムとした。図示する排出量データは時々刻々の航跡データを記述する AIS の出力に基づくため容量が膨大となるため、月毎リレーショナルデータモデルで出力・整理するシステムとした（図 1.2.53）。
□燃料噴霧内外の温度推定手法を確立し，特別な計測手法や仮定を用いることなく解析的に火炎温度を推定できるようにした。これまでは，気体の状態方程式から求められる平均的な温度のみだったが，より詳細な解析が可能になった。火炎温度は 2000K 程度（図 1.2.54(a)中央部）となり，既往研究の結果とほぼ一致した結果が得られた。また，図 1.2.54(b)に示すように壁面温度からの熱流束解析を実施し，噴射圧力ごとの壁面への移動熱量の評価も行えるようにした。また、同一セタン指数（現在、留出油の着火性指標として使用されている）の 4 種類の燃料を対象に実験をおこなった。着火性評価の他に全量の排気からフィルタによって捕集されたすすの排出を評価したところ，図 1.2.54(c)に示すように，同一セタン指数でもすすの排出には大きな違いが現れることが明らかになった。すなわち、セタン指数のみでは排出量予測はできないので、燃焼試験が必要であることを示唆している。

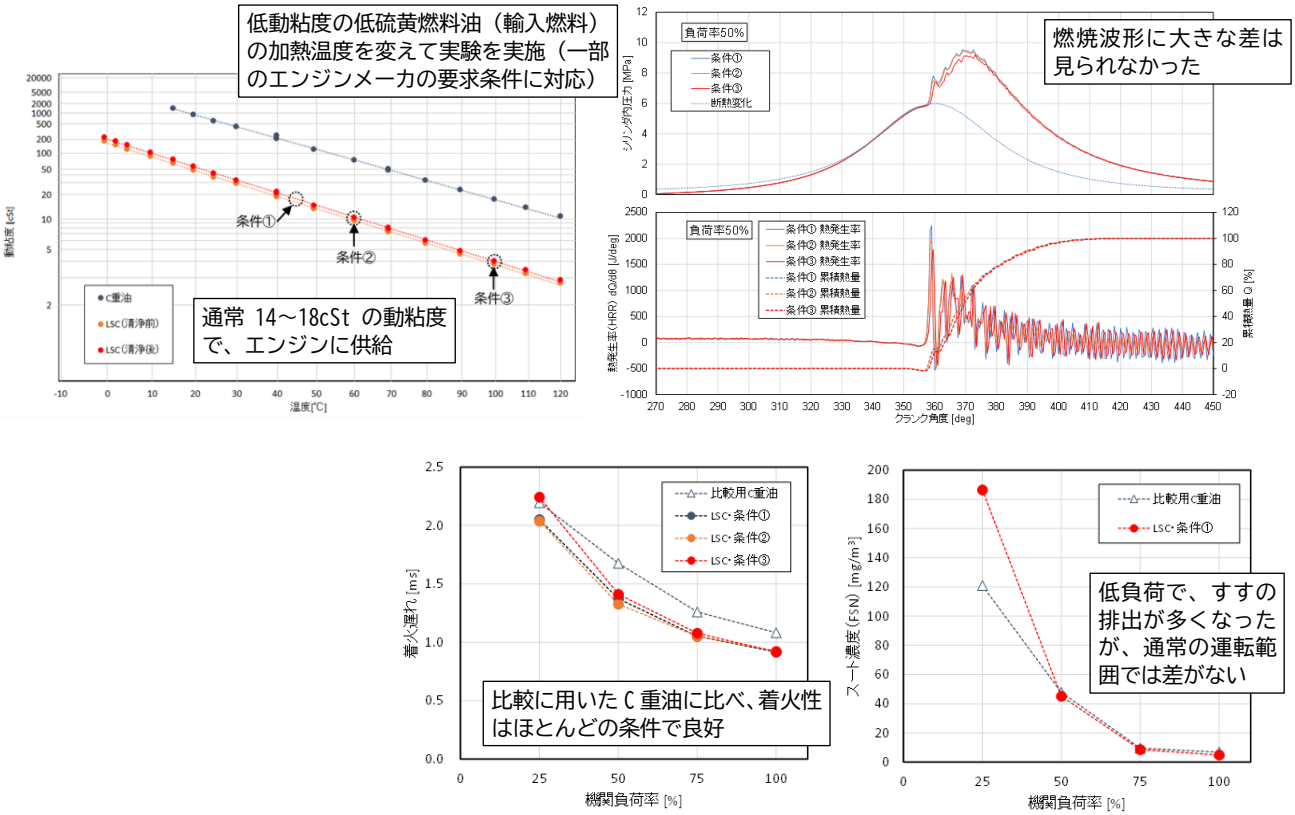


図 1.2.50　適合油の陸上試験結果の一例（輸入燃料の利用可能性の検討）

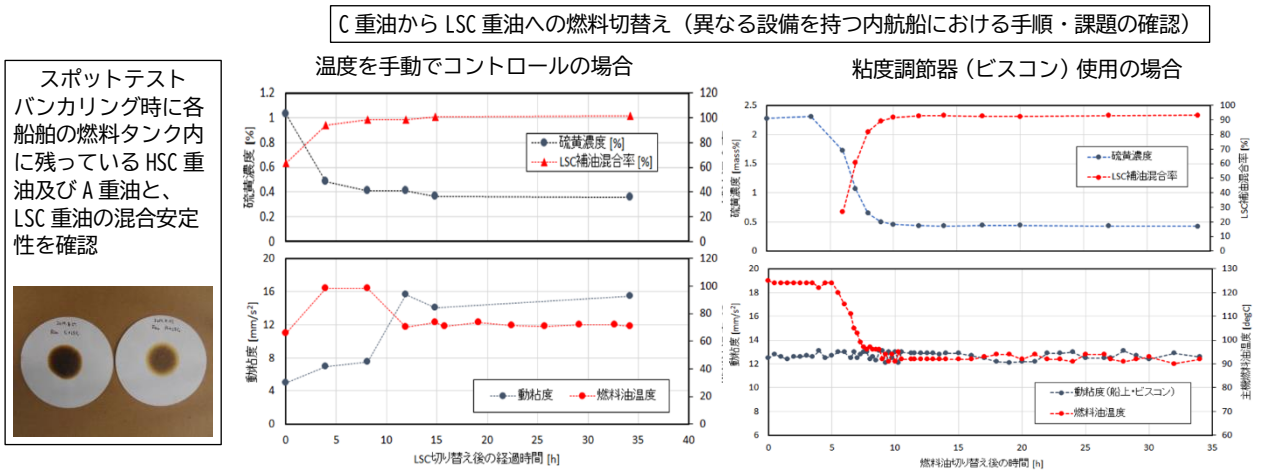


図 1.2.51　適合油の実船トライアル（499GT 小型貨物船～14,000GT 級 RoRo 船など 12 隻で実施）

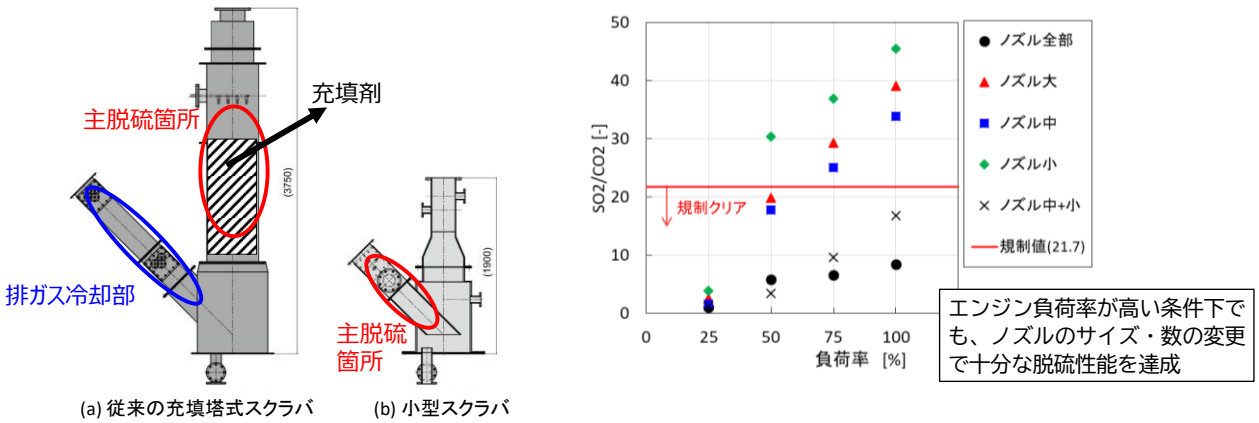


図 1.2.52　小型スクラバの開発

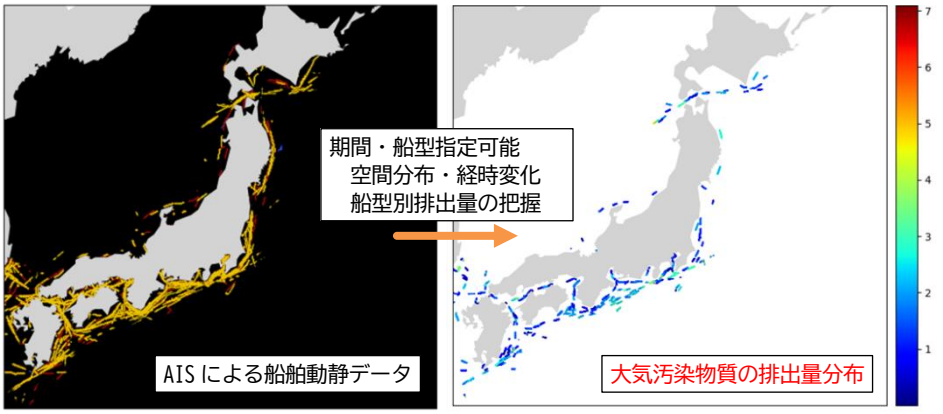
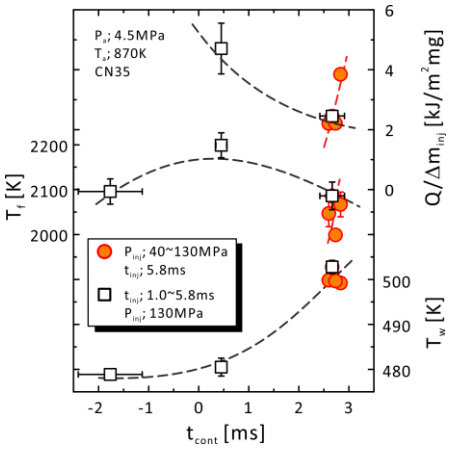
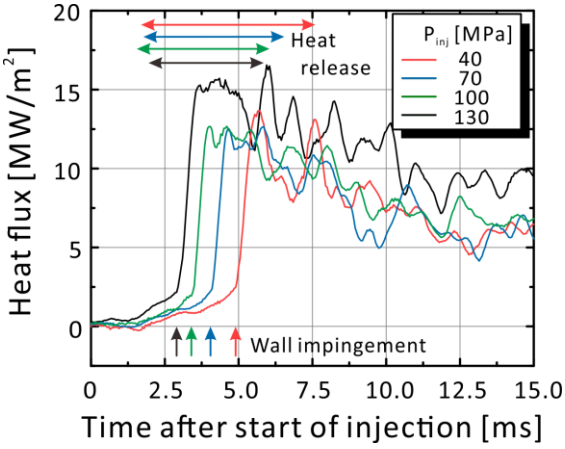


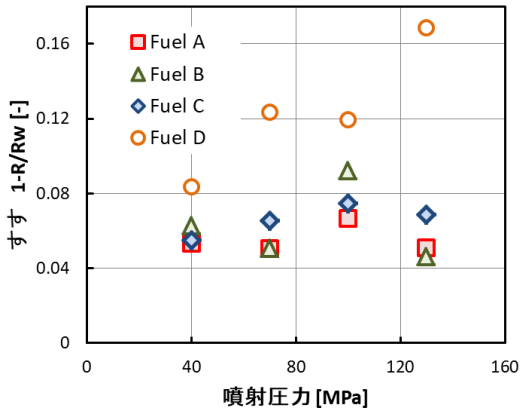
図 1.2.53　日本周辺海域における船舶起源の大気汚染物質の排出量分布



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



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



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

図 1.2.54　燃料の燃焼性評価手法の検討

成果の公表

□発表論文

・査読論文誌

(1)　大橋厚人，中村真由子，PM 計測における排気採取位置の影響，日本マリンエンジニアリング学会誌 第 54 巻 第 4 号(2019)，644-649.

(2)　高木正英，今井康雄，川内智詞，林利昭，長谷川貴将，渡邊学，分解軽油の混合がディーゼル噴霧の着火，燃焼特性に及ぼす影響，日本マリンエンジニアリング学会誌，掲載決定

(3)　高木正英，川内智詞，今井康雄，橋本望，内藤雄心，渡邊学，長谷川貴将，林利昭，市場燃料に適用できる液滴蒸発モデルによるセタン指数と蒸発性に関する数値解析，自動車技術会 3 月中投稿

・その他

(1)　高橋千織，益田晶子，中村真由子：大気環境規制の動向と燃料多様化が規制対策に及ぼす影響，マリンエンジニアリング，54 巻 3 号，pp.328-333，2019 年 5 月

(2)　益田晶子，舶用機関から排出される PM・ブラックカーボンの計測と削減方法について，自動車技術会，2019 年

5 月

(3) 高橋千織, IMO 排ガス規制動向と排ガス低減技術の紹介, Horiba Technical Report Readout, 52 号, pp.12-19, 2019 年 6 月

(4) 平田宏一, 市川泰久, 高橋千織, 益田晶子, 中村真由子, 馬驍, SOx スクラバの小型化に関する研究, 海上技術安全研究所報告(海技研研究発表会講演集)第 19 巻別冊, pp.112-113, 2019 年 7 月.

(5) 平田宏一, 低硫黄燃料油の実船トライアルについて, 日本舶用工業会第 27 回舶用技術フォーラム(講演), 2019 年 9 月.

(6) 高橋千織, 益田晶子, 安藤裕友, 松本怜大:排ガス洗浄装置に係る国際規格化への取り組み(総合報告), 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻, 第 2 号, pp.331-338, 2019 年 9 月

(7) 馬驍, 益田晶子, 舶用ジェット式スクラバによる BC 粒子除去メカニズム解明に向けた数値計算, 第 60 回大気環境学会年会講演要旨集, 2019 年 9 月

(8) 中村真由子, 大橋厚人, 益田晶子, 高橋千織, サーマルオプティカル法による舶用ディーゼル機関排ガス中の炭素成分分析に関する検討(第 4 報:昇温設定の検討), 第 60 回大気環境学会年会講演要旨集, 2019 年 9 月

(9) 中村真由子, 大橋厚人, 益田晶子, 高橋千織, サーマルオプティカル法による舶用ディーゼル機関排ガス中の炭素成分分析に関する検討(第 5 報:舶用機関排ガス用プロトコルの提案) , 第 60 回大気環境学会年会講演要旨集, 2019 年 9 月

(10) 安達雅樹、脱硫スクラバー船と LNG 燃料船に関する統計分析、第 89 回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会講演集、OS2-6, pp.169-170, 2019 年 9 月

(11) 益田晶子, 国際海運における環境規制動向, 第 60 回大気環境学会年会, 2019 年 9 月

(12) 高木正英, 今井康雄, 川内智詞, ディーゼル燃焼における壁面熱伝達とすすの関係, 第 89 回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.303-304, 2019 年 10 月

(13) 馬驍, 益田, 小型化に向けた舶用ジェット式スクラバによる SOx 除去に関する数値計算 第 89 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, 2019 年 10 月

(14) 高橋千織, 中村真由子, 2020 年適合油における着火・燃焼性評価法の検討, 第 89 回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.147-148, 2019 年 10 月

(15) 高崎講二, 竹田充志, 高橋千織, 岡崎航介, 2020 年適合油に対する CCAI の有効性, 第 89 回(令和元年)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.149-150, 2019 年 10 月

(16) 平田宏一, 低硫黄燃料油の実船トライアルについて, 第 19 回海上技術安全研究所講演会ランチョンセミナー(講演), 2019 年 11 月.

(17) 高橋千織, 林利昭, 低硫黄燃料油の供給とその燃料性状, 日本船舶海洋工学会誌 KANRIN, 第 78 号, 2019 年 11 月

(18) 高橋千織, 船舶用燃料油の組成と着火・燃焼性, 石油学会 2019 石油製品討論会予稿集(CD 配布), 2019 年 12 月

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

研究テーマ	重点☆5　実海域実船性能評価に関する研究

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（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（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を継続する。本年度は、標準化した実船モニタリング解析法を用い、経年劣化・生物汚損影響評価を検討する。　等

研究の背景

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

□次世代 EEDI,EEOI の開発及び実海域運航性能向上技術に関する研究
□水槽試験を活用した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
□船体表面流の制御による船舶の省エネルギー技術開発に関する研究

研究目標

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

上記成果は、以下の事が期待される。

①極めて省エネ効果の高い船型・省エネデバイス開発が可能となり、省エネルギーが強化され、海洋環境が保護される。合理的な燃費報告規制により、実海域での省エネ運航が可能となり、GHG の削減が図られる。また、推進プラントの実海域性能向上により更なる省エネが実現される。さらに、海事クラスター共同研究での人材育成を通じ我が国海事産業（クラスター）競争力強化に資する。

②国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。また、革新的省エネ技術の実現により、我が国造船業の国際競争力が強化されるとともに、最適(エコ)運航システムの実現により、

我が国海運のコスト低減が達成される。実海域での実船性能を直接水槽試験で評価可能となり新たな推進プラントの開発が促進され、我が国海洋産業の国際競争力が強化される。
③船舶の省エネ化、推進プラントの実海域性能向上により、国際海運の排出する温室効果ガスが削減され、地球環境が保全される。また、運航技量評価方法等により、燃費報告規制の的確な実施が図られ、IMO 等の期待に応えられる。さらに、北極海航路の性能推定技術により、ポーラーコード等の技術的要請に応えられる。

R1 年度の研究内容

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

R1 年度の実績

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

□伴流設計技術の高度化を目的とし、伴流設計に AI 技術を適用するための船型表現手法と高速伴流推定システムの開発を行った。
□伴流設計技術の知見を応用し、従来開発済みの省エネ付加物（WAD/USTD）の省エネ効果をさらに高めるダクト/フィン型の省エネ付加物の検討を行った。
□伴流設計システムの実用化（外部提供）の手法についてクラウド環境による外部提供手法を検討した。
□ダクト型省エネ付加物の喫水影響を把握するため、FBG 圧力センサを用いた船尾圧力分布計測およびピト一管を用いた伴流分布計測の解析を実施した。
□曳航水槽における流場計測技術の高度化を目的とし、長手方向に複数断面の 2 次元 3 成分（2D3C）PIV 計測を行い実験データから 3 次元渦構造を再構築、CFD 計算結果と比較を行った。
□400m 水槽における 2D3C PIV 計測の実現のために、マイクロバブルをトレーサとした PIV 計測を実施し、課題等の抽出を行った。
□キャビテーション水槽における流場計測技術の構築を目的として、PIV 計測システムの構築及び試計測を行い、課題等の抽出を行った。
□肥大船を対象に，低速航走時の直進および斜行状態の推進性能を水槽試験にて把握した。
□36m 長尺模型を用いた気泡吹出周波数制御による摩擦抵抗低減効果を計測した。
□弾性表面波デバイスの試作品の改良および特性試験を実施した。
□練習船を対象に実船及び模型船の水中騒音データを取得した。

R1 年度の研究成果

□実船モニタリングデータ解析における平水中性能評価の高度化のため、見掛けスリップ比によるデータフィルタリング法を開発し、その有効性を示した。また、外乱の推定精度が良好でない場合にも一定の精度を確保できるよう、抵抗増加率に着目したフィルタリング手法として RCM(Resistance Criteria Method)を開発した（図 1.2.55）。
□汚損・経年影響が推進性能に及ぼす影響を評価するためのシミュレーションツールを作成した（図 1.2.56）。
□実船モニタリングにおける多層型対水流速計の利用可能性について、一般商船で実施される往復航行試験を実施し、検証データを取得した（図 1.2.57）（OCTARVIA Project と連携）。
□実船の運航状態（縦慣動半径、横慣動半径、横揺固有周期）について、要目ベースで推定する簡易式を作成した。
□CFD により全方位波中の抵抗増加計算を実施し（図 1.2.58）、波浪中 CFD 計算法を作成した（OCTARVIA Project と連携）。
□CFD により風圧力計算を実施し、風圧力計算法を作成した（OCTARVIA Project と連携）。また、同計算法を ITTC ガイドライン案に反映した（図 1.2.59）。
□波浪中試験、風洞試験の推奨実施・解析法を作成した（OCTARVIA Project と連携）。波浪中試験法については海外での比較試験結果を用いてその妥当性を確認した（OCTARVIA Project と連携）。
□ライフサイクルの実海域実船性能を評価する標準航路・海象の設定を検討し、気象海象の長期統計（GLOBUS）を利用した海象影響の評価を実施した（図 1.2.60）。

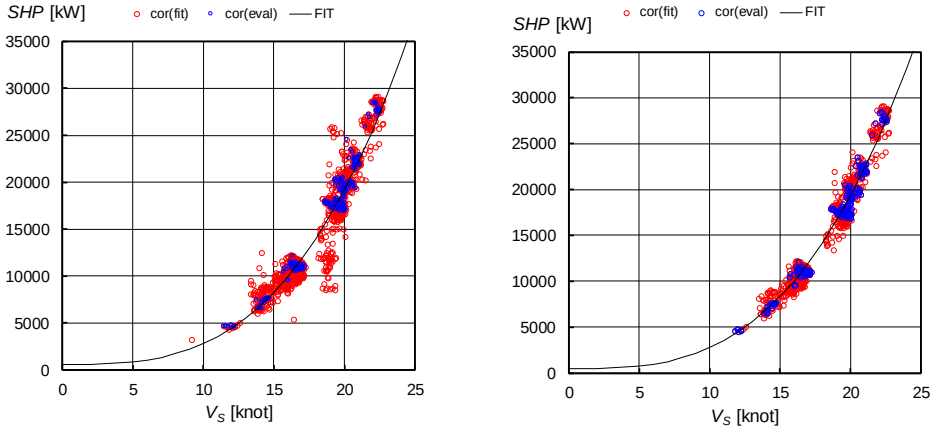


図 1.2.55 RCM による抽出した平水中性能の精度向上の例
（左： RCM なし、右：RCM あり）

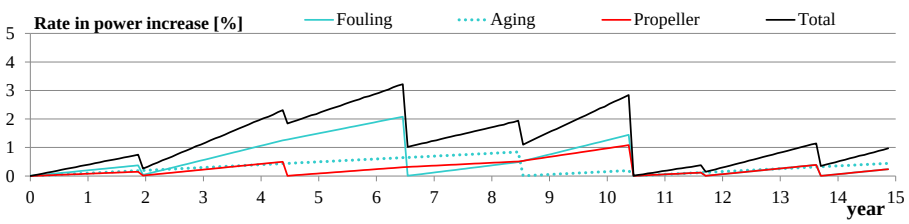


図 1.2.56 汚損・経年影響による馬力増加率の時系列の例

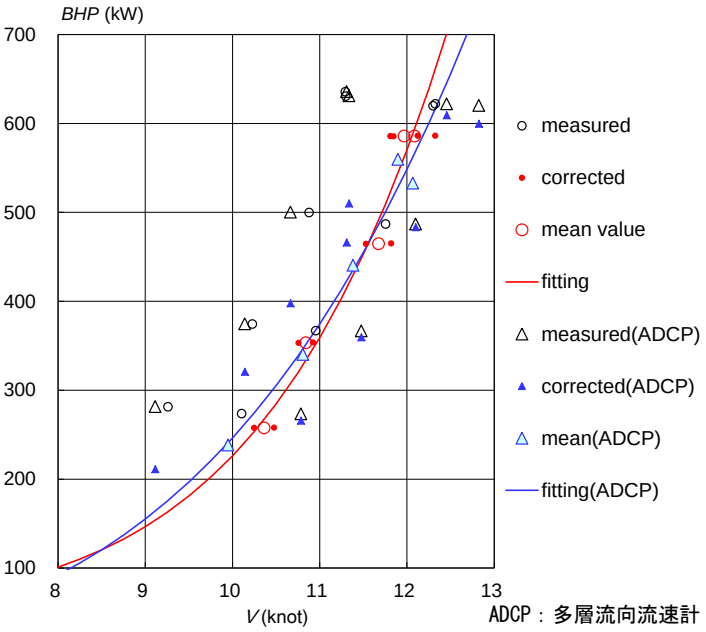


図 1.2.57　ADCP 計測と往復航行試験による検証データ取得
（OCTARVIA Project との協業）

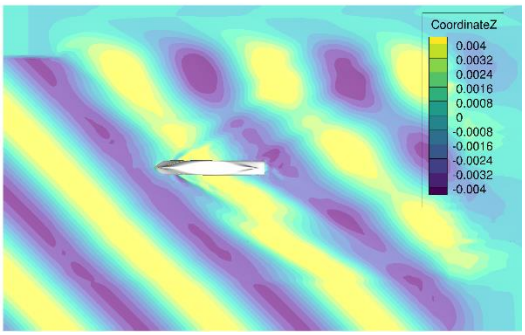
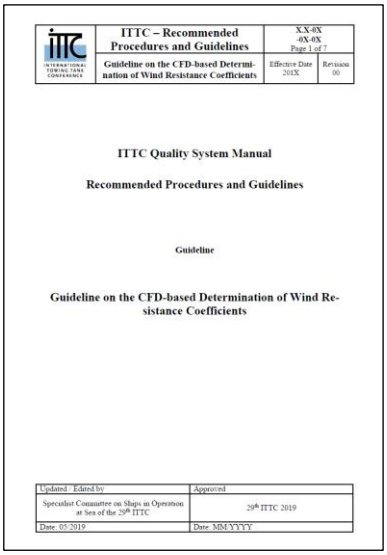


図 1.2.58　CFD による斜波中の抵抗増加計算例
（OCTARVIA Project との協業）


ITTC – Recommended Procedures and Guidelines

Guideline on the CFD-based Determination of Wind Resistance Coefficients

ITTC Quality System Manual

Recommended Procedures and Guidelines

Guideline

Guideline on the CFD-based Determination of Wind Resistance Coefficients

図 1.2.59　成果が反映された ITTC の風 CFD 計算ガイドライン（案）

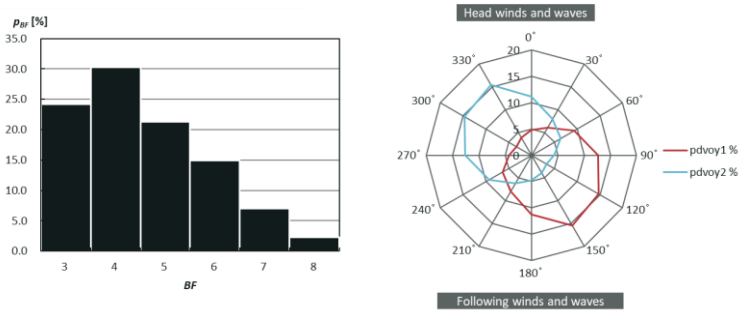


図 1.2.60　長期統計（GLOBUS）を利用して調査した海象影響（北太平洋航路）

□2018 年の EU-MRV データの分析によりアイスクラス船 28 隻の年間燃料消費量を抽出し、元データから欠落している年間総航路長を海氷密接度ごとに解析して補い、北極海航路を通航した船舶の運航性能実態を明らかにした（図 1.2.61）。

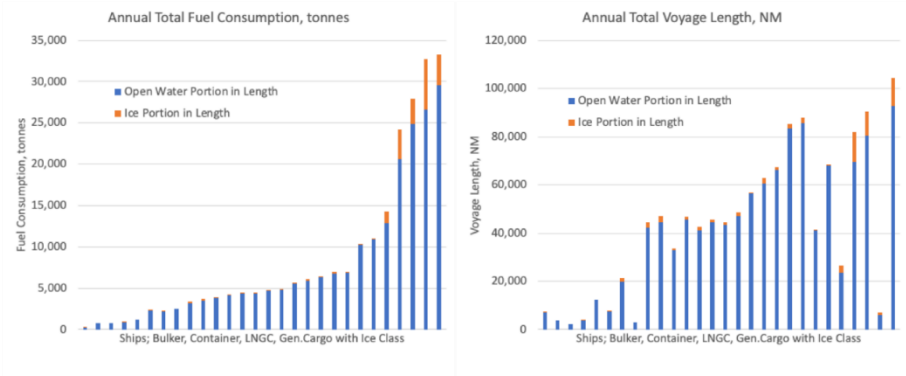


図 1.2.61　アイスクラス船に関する年間燃料消費量（左）及び年間総航路長（右）
青色は開水中、橙色は海氷密接度 15%以上の氷中を表す。

□“船体抵抗＋プロペラ＋主機特性の連成計算プログラム”の開発により、波浪中主機負荷変動の時系列評価とガバナーゲイン設定による影響評価が可能となった（計算例：図 1.2.62）
□主機電子ガバナーゲインの自動調整アルゴリズム設計について基本方針を定めた
□曳航方式に展開した主機特性自航装置を用いる水槽試験法は自由航走方式と同等の計測が可能であることを実験結果から示した。

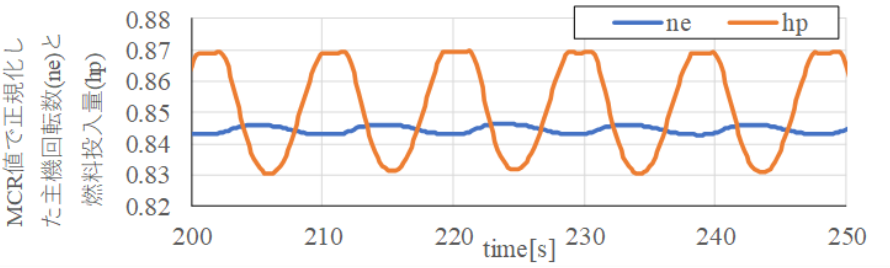


図 1.2.62　開発プログラムによる規則波中（斜め向波）の波浪中主機負荷変動計算例

□主機モデルのパラメータを同定するアルゴリズムについて基本設計を定めた（図 1.2.63 は計算例）。
□主機シミュレーションプログラムに異常模擬モデルを追加し、主機の実機試験により有効性を検証した。異常状態を検知するアルゴリズムの評価が可能となった（図 1.2.64 は検証例）

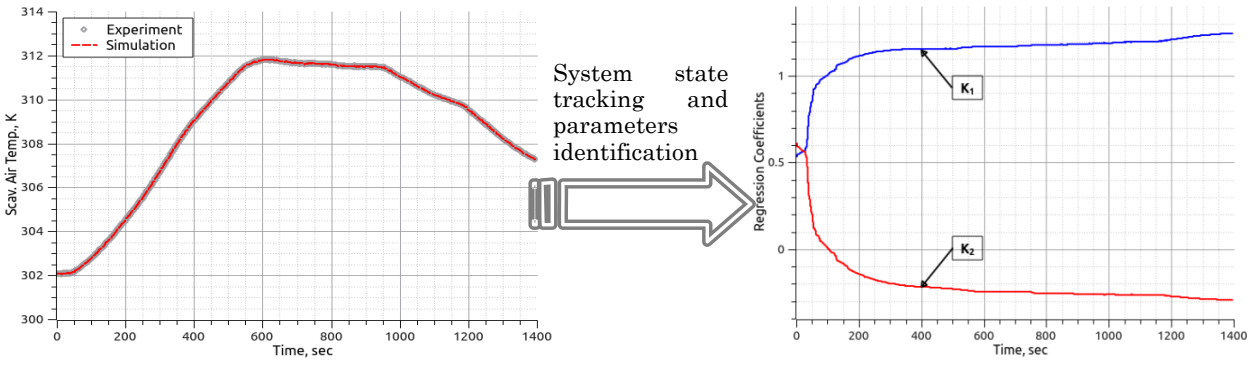


図 1.2.63　主機モデルのパラメータ同定によるガバナー時定数の計算例

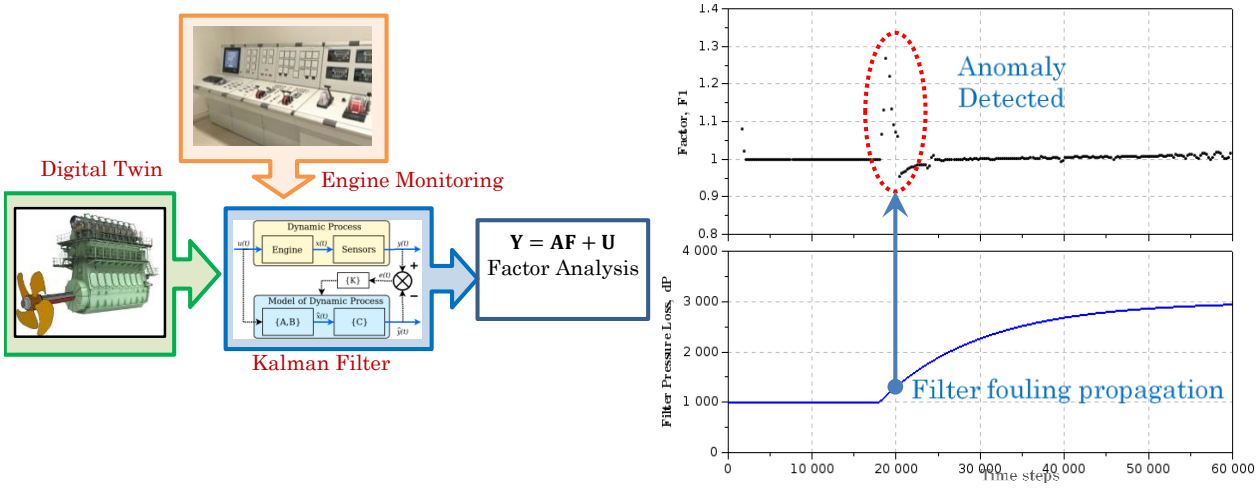


図 1.2.64　主機シミュレーションプログラムによる異常検出の検証例

□AI 技術を船型設計に応用するための鍵となる船体表現手法（IHR: Imaged-based Hull Form Representation）を開発した。
□開発した船体表現手法（IHR）と AI 技術のひとつである CNN（Convolutional Neural Network）を組み合わせ、従来手法（CFD 計算）よりも数万倍高速に船尾伴流場を推定することが出来る高速伴流推定システムを開発した（図 1.2.65）。
□内航船データベースを用いて高速伴流推定システムの推定精度の評価を行い、実用的な精度で伴流分布が推定できることを確認した。
□伴流設計技術の知見を応用し、従来開発済みの省エネ付加物（WAD/USTD）の省エネ効果をさらに高めるダクト/フィン型の省エネ付加物の検討を行った。
□伴流設計システムの実用化（外部提供）の手法についてクラウド環境による外部提供手法を検討した。クラウド準備 WG と連携し、設計ツールのクラウド環境による外部提供の実現上の課題等をリスト化した。
□FBG センサによる船尾圧力分布と PIV による長手方向複数断面の流場計測により、船尾ビルジ渦の発達過程を圧力と流場の両面から実験的に評価することが可能となった（図 1.2.66）。
□大型キャビテーション水槽第 2 計測胴における模型船船尾まわりの PIV 計測システムの構築を行い、試計測を実施した（図 1.2.67）。その結果構築したシステムにより省エネデバイスの有無による流場への影響を評価可能なことを確認した。一方、精度向上のためにはキャリブレーションの高度化等が必要なことが明らかになった。
□ダクト型省エネ付加物の喫水影響を調査し、本対象船では満載状態よりバラスト状態のダクトによる自航要素の改善および馬力削減効果が大きいことを確認した。これは、船尾縦渦の中心高さが低くなることにより、伴流分布のダクト前縁の一部面内流速の向きがプロペラ中心方向に向かうことでダクトに流入する流入速度および流入角が改善し、推力減少係数が改善していることを、水槽試験結果と CFD 結果を比較することによって明らかにした（図 1.2.68）。
□実船 PIV 試験結果の解析を行い、実船伴流においても船尾ダクトによる流場への影響を確認することが出来た。またプロペラ位相角によってプロペラ前方流場が変化することを確認した。

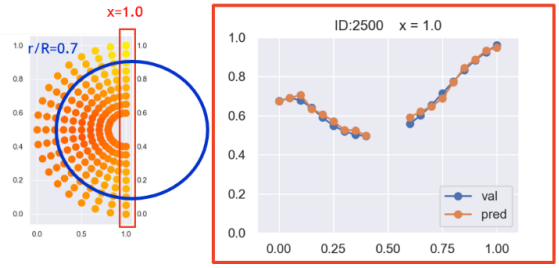


図 1.2.65　CNN による流場推定結果（青：CFD、橙：推定値）

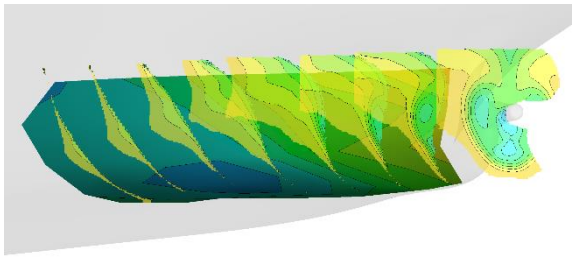


図 1.2.66　FBG センサによる船尾圧力分布と PIV による流場計測結果

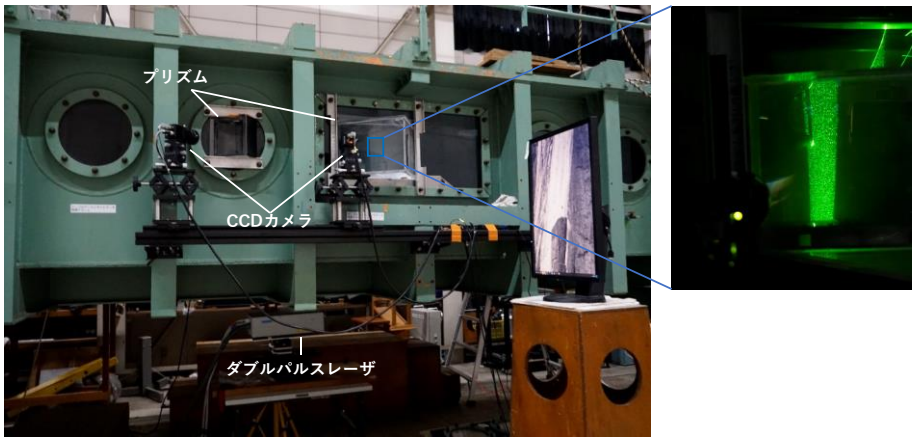


図 1.2.67　大型キャビテーション水槽 PIV 計測システム

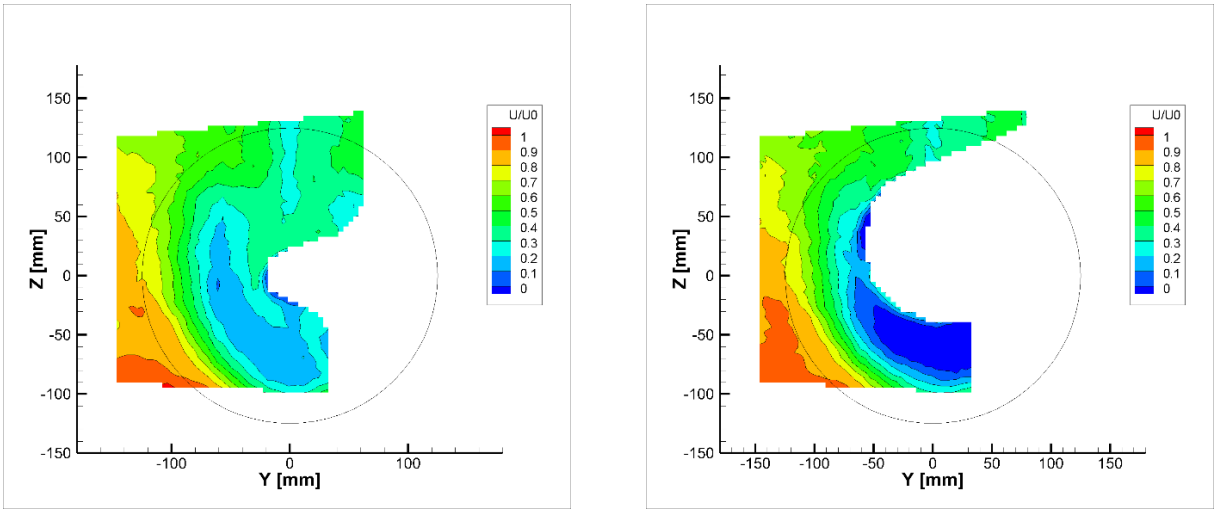


図 1.2.68　船尾付加物後方の流場（左：裸殻、右：船尾ダクト付）

□超低速肥大船開発の一環として船速約 5～16knot における抵抗・自航試験を実施し、斜航時を含めた推進性能を把握した（図 1.2.69）。10knot 相当以下の低速では計測値が小さく、かつ模型の乱流遷移が不十分と思われるため、現在の自航動力計等の計測装置では計測値のバラツキが大きくなる問題が明らかとなった。問題解決のためには、模型船を大きくするか自航動力計の更新が必要と考えられる。

□船速 12～16knot において、連続気泡吹出（吹出周波数 0Hz）に比べ、摩擦抵抗低減効果が約 5%向上する有効な気泡吹出方法（間欠空気潤滑法：吹出周波数 0.5Hz）を見出した（図 1.2.70）（北海道大学と連携）。

□弾性表面波試作デバイスの計測結果を基に、圧電材料の物性と厚み、圧電材料を貼り付ける基材の物性、回路の周波数から決まる音響流放射角について推定ツールを改良した。旧試作デバイスで生じた問題を解決する改良を行った新試作デバイス（図 1.2.71）の特性試験の結果、縦波伝搬速度が推定式と一致した。

□船速の低下（プロペラ回転数の低下）とともに，プロペラに発生するキャビテーションが減少し，水中騒音が低下する現象を定量的に把握し（図 1.2.72）、実船-模型の相関データを取得した。

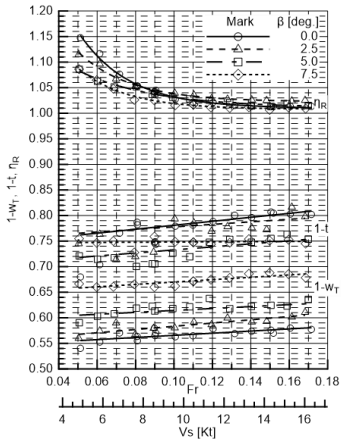


図 1.2.69　船速約 5～16knot における斜航角（β）による自航要素の変化

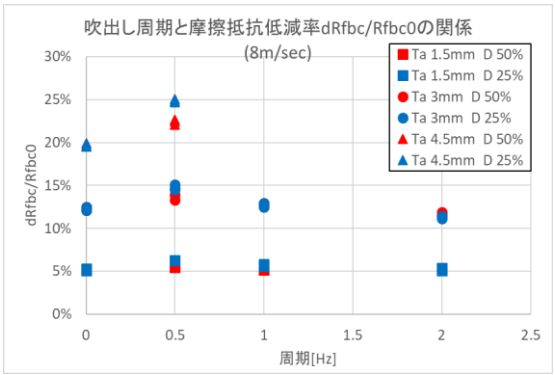


図 1.2.70　気泡吹出周波数の変化による摩擦抵抗低減効果（間欠空気潤滑法）

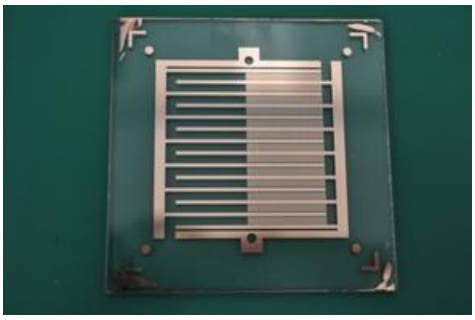


図 1.2.71　弾性表面波新試作デバイス

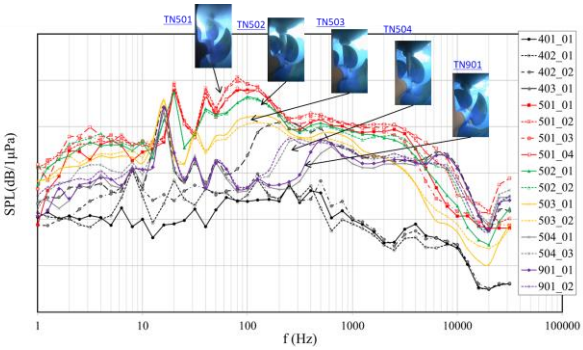


図 1.2.72　実船水中騒音計測結果（近接音場）

成果の公表

□表彰：3件

(1) 日本船舶海洋工学会賞（論文賞）・日本海事協会賞・日本造船工業会賞（A1）

(2) 日本船舶海洋工学会英文論文集優秀論文賞（A1）

（A1）H. Orihara and M. Tsujimoto: Performance prediction of full-scale ship and analysis by means of on-board monitoring. Part 2: Validation of full-scale performance predictions in actual seas, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 23, Issue 4 (2018).

(3) 理事長表彰（A2）

（A2）VESTA-ST を開発し海上試運転での合理的な波浪修正法の国際実施に貢献した功績

□発表論文

・査読論文誌：22件

(1) K. Kume, H. Ohba, H. Orihara and S. Mizokami: Wind Velocity Profile and Representative Wind Velocity for Wind Resistance Measurement of Ship Models, Journal of JASNAOE, Vol.30, pp.1-13 (2019)

(2) H. Yasukawa, M. Tsujimoto: Impact of Bow Shape on Added Resistance of a Full Hull Ship in Head Waves, Ship Technology Research（投稿中）

(3) M. Tsujimoto, H. Yasukawa, K. Yamamoto, T. Lee: Validation of Added Resistance in Waves by Tank Tests and Sea Trial Data, Ship Technology Research（投稿中）

(4) K. Kume et al.: Validation of dimensionless method using height average wind velocities for wind forces、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）

(5) N. Sogihara et al.: Uncertainty Analysis for Measurement of Added Resistance in Short Regular Waves －Its Application and Evaluation－, Ocean Engineering（投稿中）

(6) 大場弘樹他：マイクロバブルをトレーサに用いた PIV 計測法の開発－模型船周りの流場計測と波高影響調査－、海上技術安全研究所報告（投稿中）.

(7) 大場弘樹他：マイクロバブルをトレーサに用いた PIV 計測法の開発－船舶試験水槽での適用と検証－、海上技術安全研究所報告、第 19 巻第 1 号、pp. 91-100 (2019).

(8) UNITAS: A tool for supporting evaluation on ship performance in actual seas、海上技術安全研究所報告、第 19 巻第 1 号、pp. 101-122 (2019).

(9) 複数台の波高計による簡便な波向推定法とその検証、海上技術安全研究所報告第 19 巻第 3 号, pp. 23-40

(2019)
(10) M. Kuroda, M. Tsujimoto, H. Ohba, K. Hoshino: Automated Measurement System for Actual Sea Model Basin、海上技術安全研究所報告(投稿中).
(11) Y. Kitagawa et al., An experimental method to identify a component of wave orbital motion in propeller effective inflow velocity and its effects on load fluctuations of a ship main engine in waves, Applied Ocean Reseach, 92, 2019.11, Article 101922.
(12) Bondarenko O., et al., Development of a diesel engine's digital twin for predicting propulsion system dynamics, Energy, Vol.196, 2020 (doi: 10.1016/j.energy.2020.117126)
(13) Bondarenko O., Y. Kitagawa: Application of the Kalman Filtering Technique for Nonlinear State Estimation in Propulsion System, Journal of Marine Science and Technology(投稿中)
(14) Y. Ichinose and Y. Tahara: A Wake Field Design System utilizing a Database Analysis to Enhance the Performance of Energy Saving Devices and Propeller, Journal of Marine Science and Technology, No.24, pp.1119-1133 (2019). https://doi.org/10.1007/s00773-018-0611-x
(15) 濱田達也他:ダクト型省エネ付加物の喫水影響に関する研究、日本船舶海洋工学会論文集(投稿中)

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

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

・その他: 44件
(1) 辻本勝:流体分野の GHG 削減ー今後の対応と技術ー、海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊、pp. 9-14 (2019)
(2) 枌原直人、黒田麻利子、櫻田顕子、横田早織、辻本勝:実船モニタリングデータ解析のための船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE の開発、海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊、pp. 82-83 (2019)
(3) 櫻田顕子、横田早織:実船搭載を想定した波高計による波向計算プログラムの開発、海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊、pp. 86-87 (2019)
(4) 辻本勝:実海域推進性能と実海域船型学ー国際海運からの GHG 排出規制と海上技術安全研究所における取り組みー、令和元年度船舶海洋工学研修 推進性能応用 (2019)
(5) 辻本勝:EEDI 規制と船舶性能、関西海事教育アライアンス (2019)
(6) 辻本勝:船舶の抵抗・推進(1)実海域船型学(2)実海域推進性能ー規制の国際動向ー(3)実海域推進性能ー設計・運航への利用ー、東京大学大学院新領域創成科学研究科船舶抵抗・推進論 (2019)
(7) 辻本勝:流体分野の GHG 削減、第 78 回実海域推進性能研究会 (2019)
(8) 久米健一:GHG 削減へ向けた IMO/MEPC および ITTC/SOS の動向、第 78 回実海域推進性能研究会 (2019)
(9) 辻本勝、Oleksiy Bondarenko、福田哲吾、北川泰士:主機軸系慣性モーメントの簡易推定、第 79 回実海域推進性能研究会 (2020)
(10) 横田早織、黒田麻利子、深澤良平、大場弘樹、辻本勝:大型船舶で顕著となる極短波長における向波中抵抗増

加と試験の精度、第 79 回実海域推進性能研究会 (2020)
(11) 黒田麻利子:実船からの温室効果ガス削減のための海技研の研究開発、バリシップ 2019 (2019)
(12) 久米健一:ハード面からの温室効果ガス削減への取組み －内航船型及び省エネ装置の事例－、バリシップ 2019 (2019)
(13) 黒田麻利子、辻本勝、櫻田顕子:実海域省エネ船首 COVE、バリシップ 2019 (2019)
(14) 松沢孝俊, 北極海航路における運航支援システムについて, 第 9 回北極海航路に係る産官学連携協議会 (2019)
(15) 辻本勝:船舶分野の地球温暖化ガス排出規制と海洋情報の利用、第 4 回海洋・宇宙産業連携推進検討会 (2020)
(16) 北川泰士, 塚田吉昭, 上野道雄, 鈴木良介:主機特性及び操縦性能の相似則を考慮した自由航走模型試験法, KFR 第 345 回例会「新しい水槽試験技術」(2019)
(17) 北川泰士, 他, デジタルツイン技術を活用した船舶主機モニタリングシステム及び実海域下船速・主機状態予測システムの開発, 海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊, pp. 92-93 (2019)
(18) 北川泰士, 船舶の主機負荷変動推定のための波浪中プロペラ有効流入速度モデルに関する研究, 大阪大学博士学位論文 (2020)
(19) 北川泰士、蓮池伸宏:不規則波中の船舶性能を再現する規則波条件を決定するための一手法、第 79 回実海域推進性能研究会 (2020)
(20) 北川泰士, 蓮池伸宏, 実海象中の船舶性能を再現する規則波条件を決定するための一手法, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 30 号 (2020)(投稿中)
(21) Bondarenko O., et al.: Development of a Diesel engine's Digital Twin for the prediction of propulsion system dynamics. In Proc.: The 2nd International Conference on Modeling and Optimization of Ship Energy Systems (MOSES), pp.19-27 (2019)
(22) ボンダレンコオレクシー、福田哲吾、北川泰士:船舶推進プラントとして主機デジタルツインの開発, 海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊, pp.39-46 (2019)
(23) 拾井隆道、Winden Bjorn、藤沢純一、上入佐光:外航ばら積み船における実船流場計測及び水中騒音、船尾変動圧力計測, 海上技術安全研究所報告第 19 巻別冊, pp. 84-85 (2019)
(24) T. Hiroi, B. Windén, A. Kleinwächter, E. Ebert, J. Fujisawa, H. Kamiirisa, N. Damaschke, C. Kawakita : Full-scale on-board measurements of wake velocity profiles, underwater noise and propeller induced pressure fluctuations, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 29 号, pp.193-198 (2019).
(25) 一ノ瀬康雄: デジタル化にともなう船舶性能解析技術の将来展望, 第 19 回海上技術安全研究所講演会講演集, pp. 33-46 (2019).
(26) 一ノ瀬康雄、谷口智之: Convolutional Neural Network による高速流場推定手法の提案, 第 14 回推進・運動性能研究会 (2019)
(27) 一ノ瀬康雄: 船舶設計における AI/クラウド技術の活用, 西部造船会技術研究会構造部会第 37 回若手勉強会 (2019)
(28) 一ノ瀬康雄: デジタル技術による船舶省エネ化の将来展望, 海と産業革新コンベンション(うみコン 2020)(2020)
(29) 濱田達也, 一ノ瀬康雄, 新川大治朗, 藤沢純一:FBG 圧力センサとピトー管を用いた圧力・流場計測によるダクト型省エネ付加物の喫水影響に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 29 号, pp. 187-192 (2019)
(30) 拾井隆道、濱田達也、澤田祐希、牧野雅彦:海技研高速チャネルにおける気液二相流中 PIV 計測技術と大型キャビテーション水槽における PIV の利用、回流水槽における PIV 技術に関するミニシンポジウム (2019)
(31) 田中泰爾, 朴炫珍, 田坂祐司, 村井祐一, 川北千春:ボイド波生成による高速チャネル乱流の摩擦抵抗低減率向上, 日本機械学会 第 24 回動力・エネルギーシンポジウム (2019)
(32) 中村隼人, 大石義彦, 河合秀樹, 村井祐一, 川北千春, 濱田達也:水平チャネル気泡流における乱流せん断応力とボイド率の変動値の 4 象限解析, 日本機械学会 第 97 期流体工学部門講演会講演論文集 (2019)
(33) 佐藤弘康, 川北千春, 大石義彦, 村井祐一, 熊谷一郎, 藤原佳祐, 内本翔希:翼型気泡発生装置を用いた 36m 長尺模型船の摩擦抵抗低減実験, 日本機械学会・関東学生会第 59 回学生員卒業研究発表講演会(2020)
(34) 川北千春:船舶における推進装置に関する評価研究, 化学工学誌 83 巻 6 号(2019)
(35) 川北千春, 藤沢純一, 澤田祐希, 拾井隆通, 木村校優:プロペラ前方ダクトによる水中騒音低減効果, 日本船舶海工学会 第 13 回推進・運動性能研究会 (2019)
(36) 木村校優, 岸本隆, 松田識史, 川北千春:実船のプロペラ放射雑音計測に関する考察, ターボ機械協会 第 82 回ターボ機械協会講演会論文集 (2019)
(37) 川北千春, 川並康剛, 山磨敏夫:舶用弾性変形プロペラのスキュー角影響, ターボ機械協会 第 82 回ターボ機械協会講演会論文集 (2019)
(38) 峰島大誠, 中居俊介, 向居善郁, 宮川和芳, 川北千春:水中翼のフラッタ特性把握及びキャビテーションによる影響評価, 第 82 回ターボ機械協会講演会論文集 (2019)
(39) 若生大輔, 濱田達也, 川北千春:長尺模型を使用した空気潤滑試験-全抵抗および局所摩擦抵抗, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020)(投稿中)
(40) 濱田達也, 若生大輔, 川北千春:20m 長尺模型を用いた空気潤滑法によるボイド率分布と局所せん断力の低減に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020)(投稿中)
(41) 松田識史, 岸本隆, 木村校優, 川北千春:SPIV による深江丸実船流場計測実施について, 日本船舶海洋工学

会講演会論文集 (2020)(投稿中)
(42) 川島英幹他:空気潤滑における速度とボイド率の抵抗低減効果への影響, 日本船舶海洋工学会講演会論文集(2020)(投稿中)
(43) 新郷将司, 金井健, 川北千春:超低速肥大船の主要目の検討(第1報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集(2020)(投稿中)
(44) 一ノ瀬康雄他:システムズアプローチによる海上ゼロエミッションデータセンターのコンセプト評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2020)(投稿中)

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

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

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

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

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

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（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（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を継続する。本年度は、標準化した実船モニタリング解析法を用い、経年劣化・生物汚損影響評価を検討する。　等

研究の背景

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

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

研究目標

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

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

R1 年度の研究内容

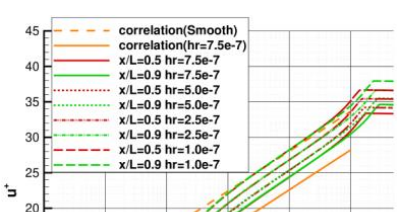
□平水中での性能計算手法の高機能化・高速化
動的重合格子とプロペラ形状を忠実に再現した計算格子を使用した実形状プロペラ計算手法における計算負荷の低減を目的として、重合格子の格子ごとに時間ステップを定義するマルチタイムステップ法を導入する。また、実船馬力の直接推定を可能にするため、数理モデルの選定や格子分割数等のパラメータ影響を調査し、実用に資する計算手法を構築する。
□実プロペラモデルを用いたハイブリッド型省エネデバイスの性能計算手法の開発および二相流への拡張
重合情報生成システム UP_GRID を機能拡張し、付加物取り付けの際の境界面処理を改良するとともに O 型トポロジーで部分接合する手法を開発し、対応可能な省エネデバイス等を拡充する。さらに開口部を有する形状を扱えるよう機能拡張を行う。界面捕獲法の精度向上と重合格子化を検討する。
□実船馬力推定における風圧抵抗評価手法の確立およびガイドライン策定
複数の船種について風向・風速を変化させたシリーズ計算を行い、実験結果との比較・検証を実施するとともに、計算ガイドラインを構築する。
□付加物を含む波浪中での計算手法の確立
向波以外の波向での波浪中抵抗計算を行い、実験結果との比較による検証を行う。また、船首水面上形状が異なる船型での波浪中計算を実施し、実験結果と比較することにより計算精度を検証する。

R1 年度の実績

□動的重合格子を用いる、プロペラ形状を忠実に再現した計算格子を使用した実形状プロペラ計算法において、マルチタイムステップ法を導入し、格子ごとに時間ステップを定義できるよう拡張した。動的重合格子の重合情報更新のインターバルを設定する手法とも組み合わせて、動的重合格子のオーバーヘッドを小さくでき、計算時間を短縮できる新たな手法を開発した。実船スケール計算において粗度を考慮できる壁関数モデルを開発し、実船流場との比較検証を行った。省エネ付加物付きの実船 SPIV 計測データに基づく、詳細な比較検証を行った。さらに練習船における実船スケール計算を行い、実船 SPIV 及びスラスト・トルク計測結果との比較検証から、実船スケール計算法のガイドラインを構築した。自由表面付き自由航走状態の計算法を構築し、実験結果との比較から、その有効性を示した。浅水状態での計算法を検討し、浅水時の底面の境界条件により違いを明らかにし、実験結果との比較検証を行った。
□付加物取り付けの際の境界面処理の改良として、複数の境界面が他物体表面に接合しているケースや開口部付近の特定の部位だけが接合するケースなど、接合状態が複雑な場合でも接合処理を可能とする手法を開発した。物体に部分接合する省エネデバイスに対して新しく O 型トポロジーによる手法を開発し、計算の安定性が向上した。
□多次元 THINC 法を用いたセル積分ベースの界面捕獲アルゴリズムについて、時間積分法等の見直しにより、体積保存率が向上した。また、計算過程に使用するパラメータの計算法等を改良することで、並列化無しでも、計算時間を従来の約 1/3 に短縮した。開発した界面捕獲アルゴリズムを重合格子に対応させ、単一格子状態と比べ、体積保存率がほぼ同一になることを確認したが、格子の重合状態によってはアルゴリズムの改良が必要であることも明らかになった。
□重合格子法を用いて、PCC 船型（デッキライン上に多数の小構造物が配置）、ケミカルタンカー船型（上甲板上トランスバルクヘッド付き）、バルクキャリ船型（クレーンやブリッジのバルコニー付き）等様々な上部構造物形状への CFD 計算手法を開発した。検証については実海域実船性能評価プロジェクトにて行い、風圧力抵抗等に関して風洞試験と概ね良い一致が得られた。計算結果に基づき、計算格子、数理モデルの選択、境界層の取扱、境界条件、解析方法等に関して計算ガイドラインとしてまとめた。（実海域実船性能評価プロジェクトと連携）
□水面上形状が異なる船型差等を含めて定量的に推定できる波浪中計算手法を開発し、実海域実船性能評価プロジェクトにて向波中の標準計算法を構築した。波向きを変更した規則波中の計算を複数船型で行い、実験結果との検証から、精度良く推定できることを示した。（一部は実海域実船性能評価プロジェクトにて実施）

R1 年度の研究成果

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



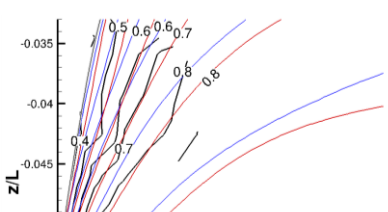


図 1.2.73　実船相当平板での粗度による無次元速度分布の変化

図 1.2.74　実船流場データとの比較
（赤線：粗度モデル）

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

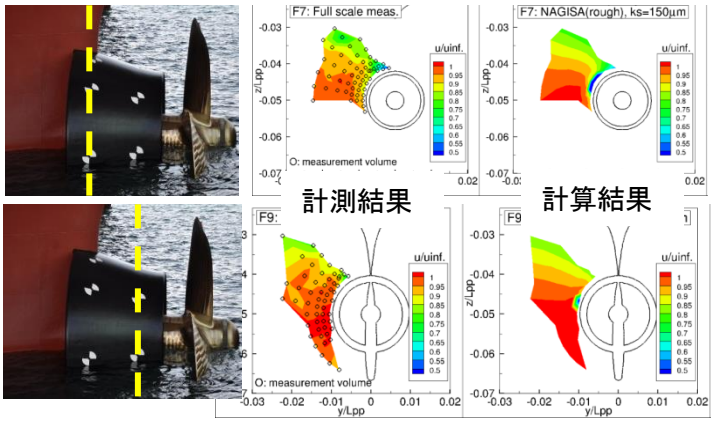


図 1.2.75　付加物付き実船 SPIV 計測結果と計算結果の比較

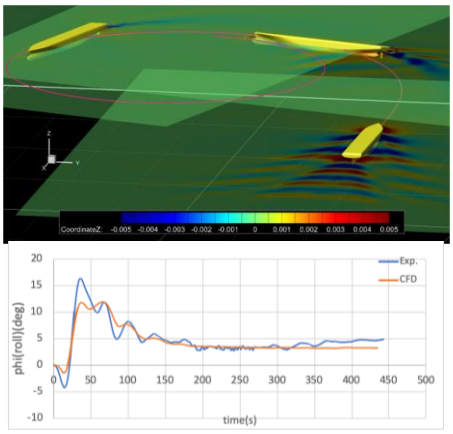


図 1.2.76　自由表面付き自由航走計算結果
上図：航走時可視化、下図：ロール角時刻歴の比較

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

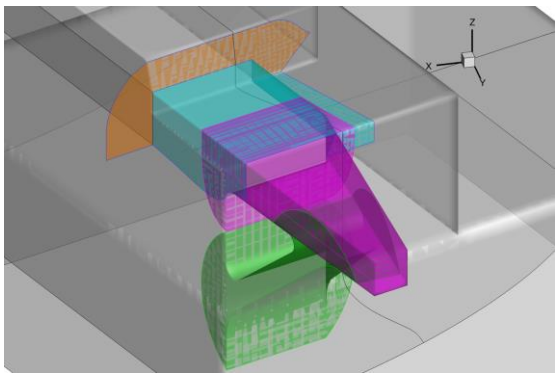


図 1.2.77　上部構造物のブリッジへのウィング接合状態

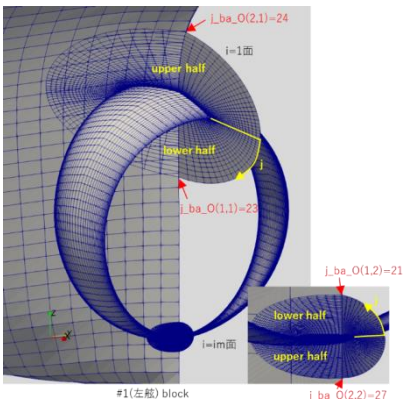


図 1.2.78　船尾に部分貫入するダクト

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

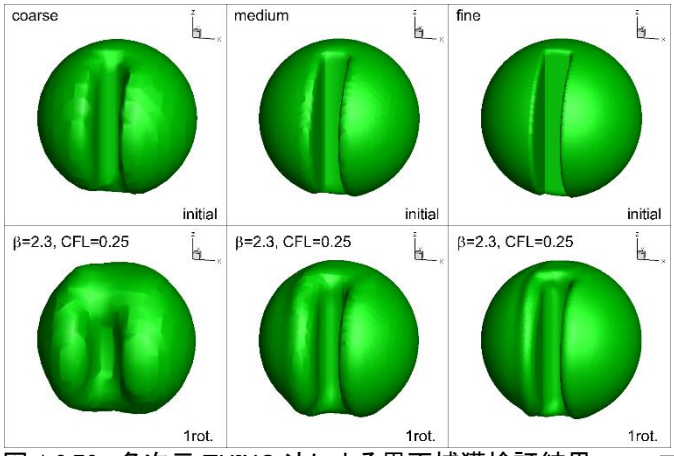


図 1.2.79　多次元 THINC 法による界面捕獲検証結果
（上段：初期状態、下段：移流計算後）

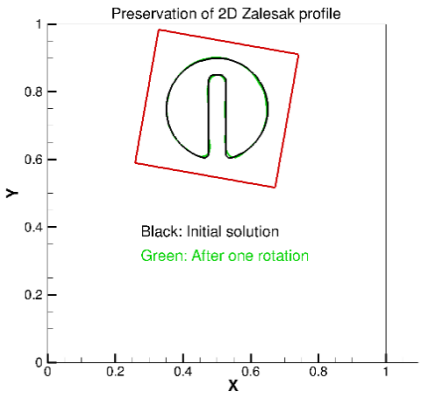


図 1.2.80　重合格子対応 THINC 法による界面捕獲計算結果

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

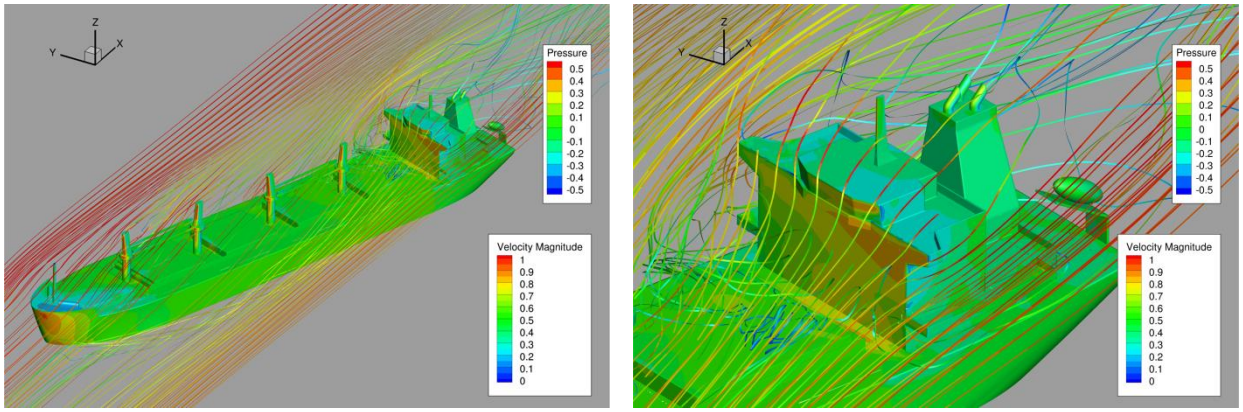


図 1.2.81　風向角 20 度でのバルクキャリアの上部構造物周りの流場計算例(左：船体全体，右：ブリッジ部分)

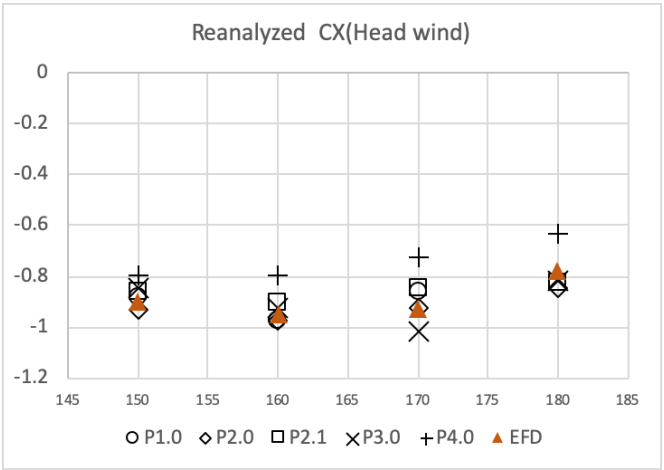


図 1.2.82　複数研究機関による風圧力計算結果と計測結果との比較(P3.0 が本計算結果)

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

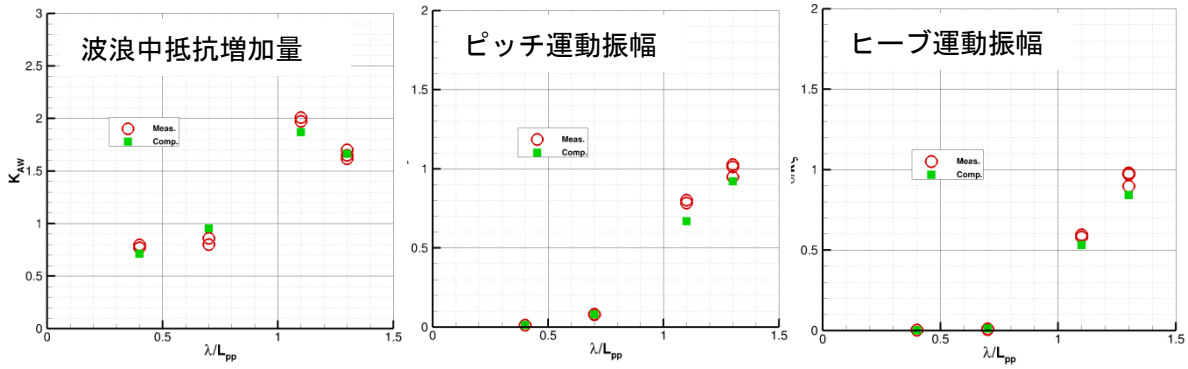


図 1.2.83　バルクキャリア船型における向波中計算結果

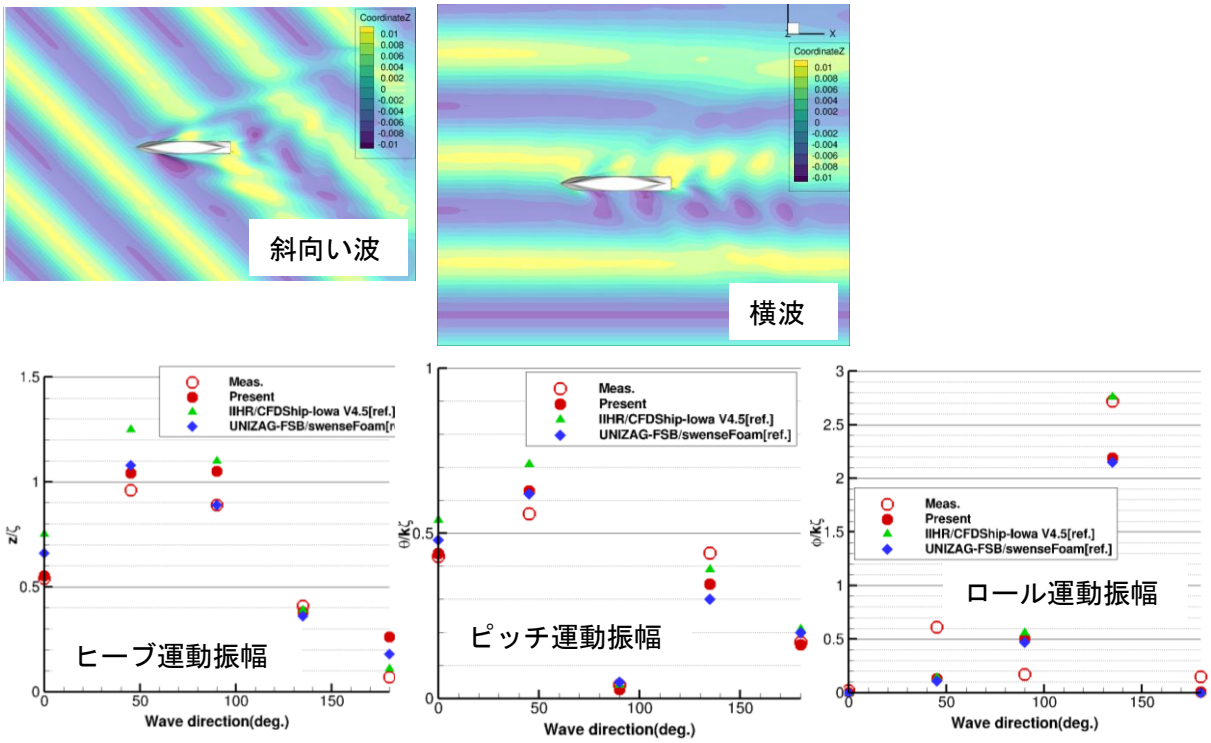


図 1.2.84　コンテナ船型における波向き変更計算結果

□新バージョンのリリースと普及のためのセミナー開催各 1 回

成果の公表

□プログラム登録 2 件

1. 重合格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(NAGISA) Ver3.33
2. 複雑形状物体まわり流場計算のための重合格子処理プログラム（UP_GRID）Ver2.1R2

□査読付き論文 4 件

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

□本文査読付き会議録 3 件

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

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

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

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

研究テーマ	重点☆7　多様なエネルギー源等を用いた新たな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（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（BC）等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －実船の実海域性能を高度化する研究プロジェクトにおける研究を継続する。本年度は、標準化した実船モニタリング解析法を用い、経年劣化・生物汚損影響評価を検討する。　等

研究の背景

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

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

研究目標

□水素エネルギーを利用した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
□各種動力システムの安全性評価手法

上記成果は、多様なエネルギー源を船舶で活用する技術により、水素社会、環境にやさしい社会が実現されること、および、先駆的な技術開発により我が国海洋産業の国際競争力強化へとなり得る。

R1 年度の研究内容

□水素混焼ガスエンジンの排気再循環（EGR）技術による燃焼抑制技術を開発する。
□水素混焼ガスエンジンのクランクケース内の燃料成分濃度を計測し、安全性の評価し、対策を検討する。
□水素混焼ガスエンジンの水素脆性に関する文献調査を行う。
□アンモニア混焼エンジンに関連して、アンモニア燃焼の反応計算を利用して、未燃 NH_3 および N_2O の効果的な排

出量削減手法を検討する。
□アンモニア混焼エンジンのアンモニア混焼率増加のため、実験用エンジンへのアンモニア取り入れ部を改造する。
□未燃 NH_3 対策として用いる酸化触媒の種類、排ガス組成および温度が N_2O や NO_x の発生挙動に与える影響の実験的に調査する。
□舶用大型エンジンへの適用を想定して、水素・アンモニア燃焼技術を研究・開発するための燃焼試験装置を設計する。
□実現性が高い GHG 削減船の調査を実施する。
□水素燃料電池システム等を搭載する船舶の試設計を発展させ、安全対策等について詳細に検討する。

R1 年度の実績

□昨年度までの実験から、ガスエンジンに水素混焼した場合、燃焼期間の短縮によって筒内圧力が上昇することがわかった。R1 年度は筒内圧力の上昇を抑制するために、排気再循環技術(EGR)を用いた燃焼抑制手法について実験を行い、有効性を検討した。
□水素混焼時のクランクケース内の燃料成分(水素とメタン、エタン、プロパン、ブタン等)の濃度を分析し、可燃下限界を推定することによってクランクケース内の安全性を評価した。
□舶用機関材料として広く使用されている鋳鉄に関して、水素脆性の研究例が少ないこと、シリンダ内のような圧力・温度変動がある場合についても十分な研究が行われていないことがわかった。
□アンモニア混焼エンジンにおける未燃 NH_3 および N_2O の削減手法の検討として、化学反応機構を用いた数値計算モデルを構築し、アンモニア・ヘプタン(軽油相当燃料)・空気の予混合気の燃焼反応の数値解析を実施した。
□アンモニア混焼率を増加させる手段として、液化アンモニアの噴霧試験装置を試作し、予備試験を実施した。
□触媒要素試験装置を用いて、Pt 系酸化触媒のアンモニア分解時の反応生成物を測定した。
□舶用大型エンジンの燃焼を模擬できる燃焼試験装置を設計した。
□GHG 削減技術およびその効果について調査し、GHG 削減船への適用性について取りまとめた。
□水素燃料電池システムおよび水素混焼エンジンを搭載する小型船舶を主対象として、その適用性並びに安全性を調べた。

R1 年度の研究成果

□水素混焼ガスエンジンの陸上実験より、EGR の適用および点火時期の調整が水素の急激な燃焼を効果的に抑制するとともに、メタンスリップを大幅に低減できる優れた手法であることを実証した(図 1.2.85)。
□水素混焼ガスエンジンにおけるクランクケース内の燃料成分濃度は、水素熱量混焼率 25%において、可燃下限界(着火によって爆発を起こす最低濃度)を超えることがわかった(図 1.2.86)。対策としてクランクケース内を空気で希釈するシステムを構築し、その効果を検証した。
□アンモニア混焼エンジンにおける化学反応機構を用いた数値計算モデルにより、ヘプタン(軽油相当燃料)とアンモニアの予混合気の燃焼計算を実施した結果、ヘプタンの混合によりアンモニアの分解(燃焼)が早く進むことが明らかになった(図 1.2.87)。
□試作した液化アンモニア噴射装置の予備試験を実施し、その噴霧状況並びに基本性能を確認した(図 1.2.88)。
□触媒要素試験装置を用いて、Pt 系貴金属を用いた酸化触媒のアンモニア酸化性能および反応生成物を測定した。この結果、Pd 触媒を用いた場合に Pt 触媒よりも、低い温度におけるアンモニアの酸化反応が進み、さらに N_2O および NO_x の生成を抑える効果が得られることが明らかになった(図 1.2.89)。
□今後活用の拡大する可能性のある代替燃料並びに GHG 削減技術について、上記研究成果を含めて、開発状況を調査し、実現可能性を検討した(表 1.2.2)。さらに、将来の代替燃料並びに GHG 削減技術による GHG 削減シナリオを検討するための計算ツールを作成した(図 1.2.90)。

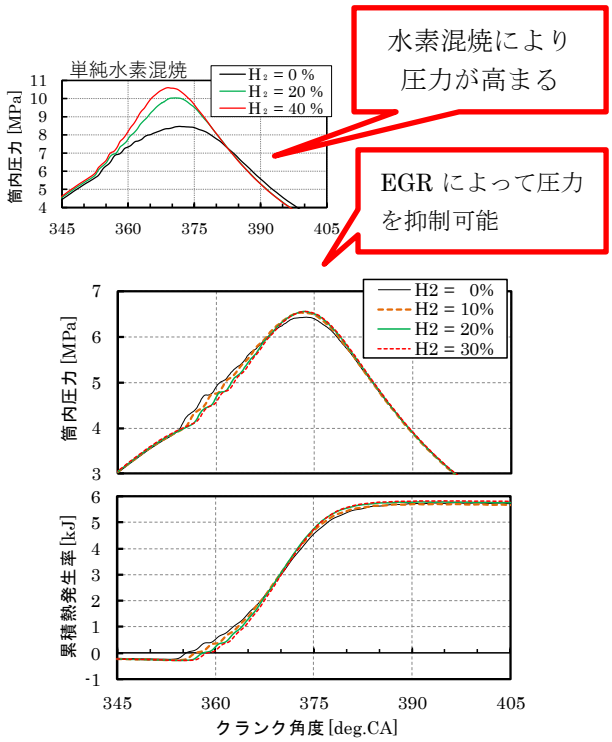


図 1.2.85 EGR 技術の適用による筒内圧力上昇の抑制

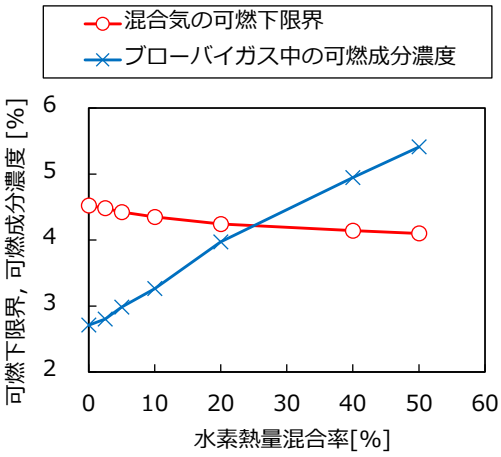


図 1.2.86 クランクケース内の燃料濃度と可燃下限界

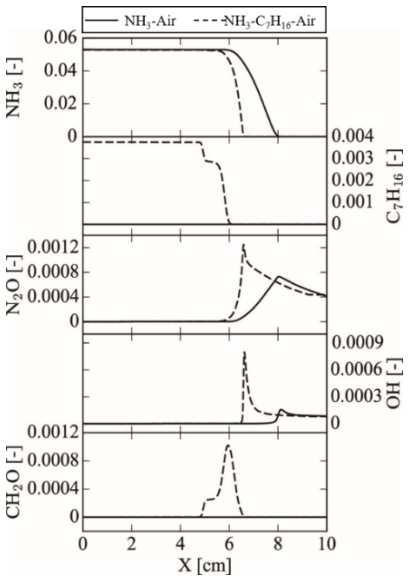


図 1.2.87 アンモニア燃焼反応計算結果

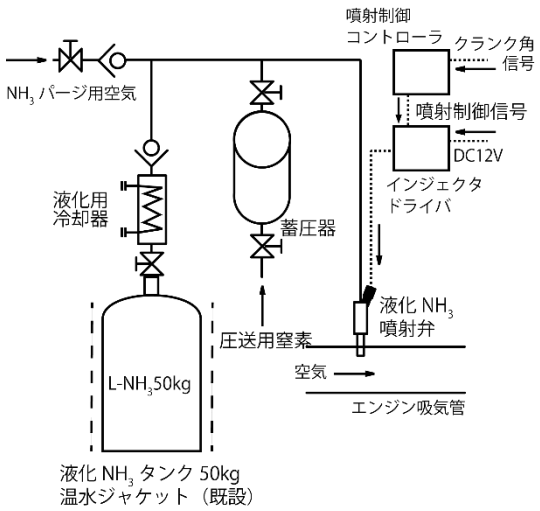
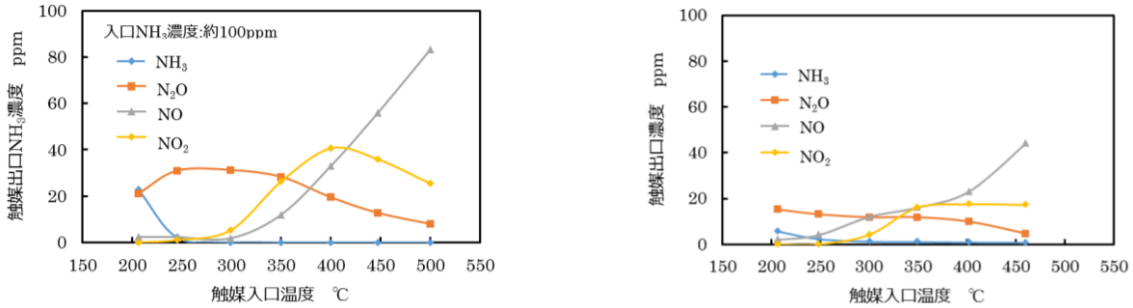


図 1.2.88 液化アンモニア供給装置の概要



(a) Pt 0.5%触媒　　(b) Pd 0.5%触媒

図 1.2.89 Pt 系触媒および Pd 系触媒による NH_3 酸化性能試験と反応生成物の挙動

表 1.2.2　代替燃料の主な物性と特徴

	熱量あたり CO_2 排出量 ※1	熱量あたり燃料体積 ※1	利点	課題
水素(H_2)（燃料電池含む）	0	4.46	・船上 CO_2 排出ゼロ ・小型の水素燃料混焼船・燃料電池船は実績あり ・陸上ボイラー・ガスタービンの実績あり	・燃料体積（C 重油の約 4.5 倍） ・貯蔵安定性の技術課題（液体時-253℃） ・供給インフラ未整備 ・バンカリング技術未成熟 ・燃焼制御等の技術課題
アンモニア	0 N_2O 未考慮	2.72	・船上 CO_2 排出ゼロ ・ガスタービン燃焼の実績あり	・燃料体積（C 重油の約 2.7 倍） ・NO_X 発生 ・N_2O 発生（温室効果は CO_2 の約 300 倍と言われている） ・毒性あり ・専焼での燃焼性、大出力化等の技術課題
LNG	0.74 メタンスリップ未考慮	1.65	・実用化済 ・（水素等に比べ）エネルギー体積密度が高い ・合成／バイオメタン用にインフラ転用可能 ・現行 IGF コードで規則整備済	・CO_2 削減効果限定的 ・メタンスリップ [・化石燃料使用に対する国際的な逆風？]
メタン（CH_4）	0.71 [0※2] メタンスリップ未考慮	1.80	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボンニュートラル扱い ・実用化済の LNG と技術的に同等に使用可能 ・LNG のインフラ転用可能	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボンリサイクルメタンをカーボンニュートラルとする明示的な記載は無い
バイオディーゼル	[0]	（～1.2）	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボンニュートラル扱い ・陸上において混焼は商業レベル	・貯蔵安定性の技術課題 [・他セクター消費のため、海運への供給不足？]
メタノール（CH_3OH）	0.90 [0※2]	2.39	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボンニュートラル扱い ・メタノール燃料船は建造実績あり ・取扱い容易	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボンリサイクルメタンをカーボンニュートラルとする明示的な記載は無い ・燃料体積（C 重油の約 2.4 倍） ・着火性、大出力化の技術課題
エタノール（C_2H_5OH）	0.93 [0※2]	1.79	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボンニュートラル扱い ・バイオエタノールの生産は商業レベル ・取扱い容易	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボンリサイクルメタンをカーボンニュートラルとする明示的な記載は無い ・着火性、大出力化の技術課題

※1　熱量あたりの CO_2 排出量及び燃料体積（液化時）は、低位発熱量 40.4 MJ/kg、CO2 排出係数 Cf=3.114 t-CO2/t-Fuel, 比重 0.94 の舶用重油（C 重油）を基準としている。熱量あたりの CO_2 排出量は IPCC ガイドライン 及び EEDI 計算ガイドライン の低位発熱量を基に算出している。
※2　カーボンリサイクル燃料（CO_2 を分離・回収して再利用する技術によって人工的に製造される燃料）やバイオ燃料の場合 0 となる。

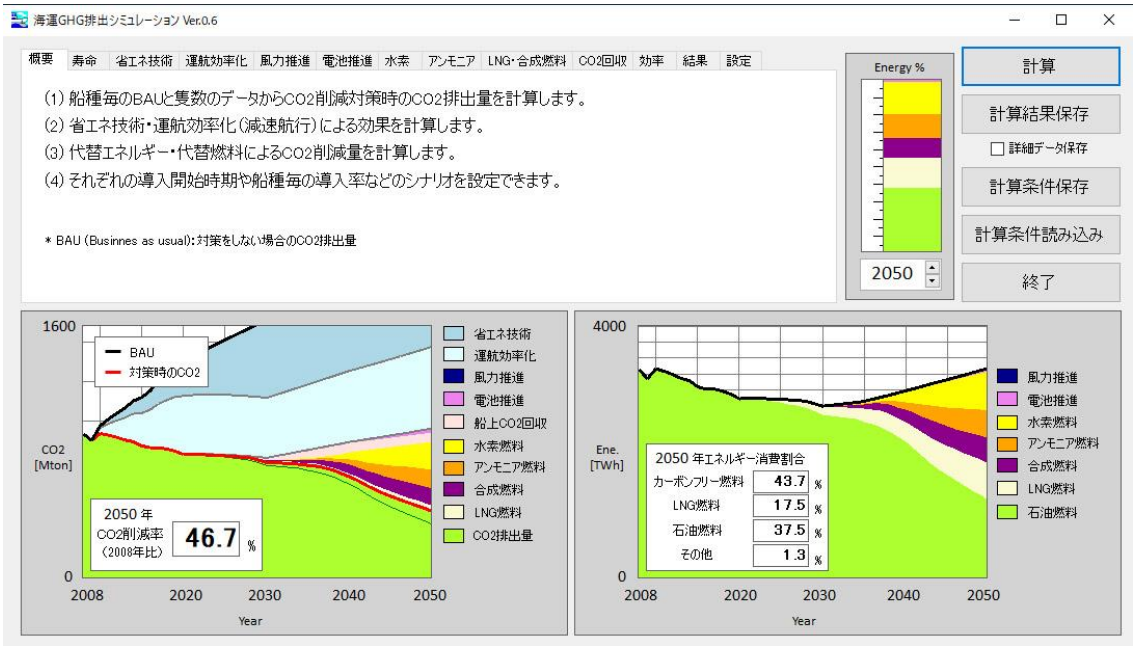


図 1.2.90　GHG 削減シナリオ検討ツールによる計算例

成果の公表

□査読付き論文
なし
□本文査読付き会議録
なし
□その他の発表論文
(1) Y. niki, K. Hirata, Y, Ichikawa, C, Takahashi, Utilization of H_2 and ammonia as marine fuel, The International Council on Clean Transportation, Technical Workshop on Zero Emission Vessel Technology, (2019).
(2) 市川ほか、排気再循環技術による水素混焼リーンバーンガス機関の燃焼抑制に関する研究，日本マリンエンジニアリング学会，第 89 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，2019.10.
(3) 中村ほか、水素混焼リーンバーンガス機関のブローバイガス計測，日本マリンエンジニアリング学会，第 89 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，2019.10.
(4) 平田，低・脱炭素燃料に対応する舶用動力システムに関する研究，海上技術安全研究所報告（海技研研究発表会講演集）第 19 巻別冊，p.3-7，2019 年 7 月.
(5) 平田，船舶分野における地球温室効果ガス（GHG）排出削減技術，バリシップ 2019，海上技術安全研究所セミナー，2019 年 5 月.
(6) 平田，水素燃料電池システムの船舶分野への適用と研究開発事例，エネルギー総合工学研究所，季報「エネルギー総合工学」，2019 年 4 月.

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

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

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

研究の背景

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

□流出油の回収・処理の高効率化に関する研究
□油・放射性物質等が環境放出した際の環境影響評価システムの高度化
・モニタリングによる海底堆積物中の放射性物質濃度分布の分析
・数値解析による海底堆積物中における放射性物質高濃度領域の形成過程の解明
・環境影響評価システムの高度化・検証
□船体付着生物の問題に関する研究
□海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化

研究目標

□厳しい海象条件でも滞油性能の高いオイルフェンス(あるいは新規の漏油防止装置)の提案。
□一部の海底堆積物への放射性物質の集中あるいは希釈状況の把握が可能となることによる、原発事故による漁業や水産物への将来にわたる環境影響及び対策の検討への寄与。
□放射性物質輸送容器が海没した際の、放射性物質海洋放出による環境影響評価手法の提示。

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

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

R1 年度の研究内容

【海難事故時における油回収・処理効率向上技術の開発】
□油処理剤の微細化促進効果が得られる処理剤混合方法及び混合条件を実験的に明らかにし、これまでに当所で実施した油回収・処理効率向上技術に関するとりまとめを行う。
【海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発】
□油等有害物質拡散モデル及び放射性物質拡散モデルを一つの環境影響評価システムに統合し、日本周辺海域の任意の海域で流出した油の流動計算ができるようにする。
【船体付着生物の問題に関する研究】
□日本提案の ISO 原案の発効を目指し、ソウ類を用いた防汚塗料の防汚効果評価試験方法のドラフトを作成する。
【海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化】
□油等有害物質及び放射性物質以外の船舶起源海洋汚染物質について IMO 提案書及び文献の調査を行い、これまで構築してきた海洋放出時環境影響評価システムへの適用可能性を調べる。

R1 年度の実績

【海難事故時における油回収・処理効率向上技術の開発】
□座礁船の燃料タンクからの重質油回収作業を容易にするため、重質油に水及び添加剤（界面活性剤など）を加えて重質油の流動性を能動的に制御する手法について、実験的に検討した。
【海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発】
□曳航式放射線検出器を用いた海底堆積物中の放射性物質 ^{137}Cs 濃度分布の経時変化に基づき、国のモニタリング計画へどのように反映すべきか、その提言をまとめた。
□油流出を対象とした海洋拡散評価に対して、質量保存流速場モデルに基づく海流予測値を使用できるようにし、油流出事故直後に迅速に海洋拡散評価ができるようにシステムを改良した。
【船体付着生物の問題に関する研究】
□ソウ類を対象とした防汚塗料性能評価試験法の骨子を作成し、主要な汚損生物であるシオミドロを用いたラボ試験を行って、温度・流速等の基本的な試験条件を設定した。さらに、実海域試験を行って得られた結果をラボ試験結果と比較することで、当該試験法の妥当性を検証した。
【海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化】
□船舶起源海洋汚染物質のうち、船底防汚塗料由来の銅化合物及び排ガス洗浄水中に含まれる重金属について、構築済みの海洋放出時環境影響評価システムへの適用可能性を調べた。

R1 年度の研究成果

【海難事故時における油回収・処理効率向上技術の開発】
□重質油に加える水添加率及び界面活性剤種類／添加率を変化させた場合の粘度変化を計測した結果、適量の界面活性剤を加えることで重質油の粘度が（1000 分の 1 程度まで）急激に低下することが分かった（図 1.2.91）。また、顕微鏡観察の結果より、重質油－水－界面活性剤の 3 成分分散混合系が、水添加率を増やすと、不安定な W/O エマルションから安定した O/W エマルションへと転移することを確認した（図 1.2.92）。以上の試験結果は、重質油に界面活性剤を添加して加水することで、重質油の粘度特性を飛躍的に改善できる可能性を示唆するものである。

【海洋への放射性物質流出時における環境影響評価技術の開発】
□現在、本研究による海底堆積物中放射性物質濃度のモニタリング結果に基づく提言を、国によるモニタリング計画

に反映させる取り組みが進められている。これにより、本研究成果は、国による放射性物質の分布状況の中長期予測に活用される。

□油流出を対象とした海洋拡散評価に対して、質量保存流速場モデルに基づく海流予測値を使用できるようにし、油流出事故直後に迅速に海洋拡散評価ができるようにシステムを改良した（図 1.2.93）。

【船体付着生物の問題に関する研究】

□昨年度までに構築したフジツボ及びムラサキイガイを用いた防汚塗料性能評価試験法に関する ISO 21716 Part-1~3 について、試験法案の追加修正及び各国コメントを反映し、委員会原案（CD）投票の通過、及び国際規格案（DIS）の作成を経て、DIS 投票の段階まで進展させた。

□ソウ類を対象とした防汚塗料性能評価試験法の骨子を作成した。シオミドロ（*Ectocarpus siliculosus*）を用いてラボ実験を行い、当該試験法を用いて防汚塗料の性能が評価できることを示した（図 1.2.94）。さらに、広島及び岡山の 2 か所で実海域試験を行って得られた亜酸化銅濃度と汚損との関係をラボ試験結果と比較したところ、両者の結果がおおむね一致しており、当該試験法の妥当性を確認することができた（図 1.2.95）。以上のように、実海域浸漬試験を実施して妥当性が検証された防汚塗料性能評価試験法は、世界的にも例を見ないものである。

□ソウ類を用いた防汚塗料性能評価試験法に関する成果を、ISO/TC8/SC2/WG5 中間会合にて報告した。新規追加提案に備えて、ISO 21716-4（藻類を用いた生物試験法）の原案（NWP）を作成した。

【海洋環境影響評価システムの対象物質拡張及び高度化】

□流出油・放射性物質以外の船舶由来海洋汚染物質について、海洋放出時環境影響評価システムへの適用可能性を調べた。例えば船底防汚塗料由来の銅化合物については、従来行われている閉鎖湾内での影響評価手法で局所的高濃度生成領域の評価ができないため、海洋中微粒子に吸着・移流しつつ海底へ沈降してゆく運命モデルの開発が必要となる、等の結果を得た。

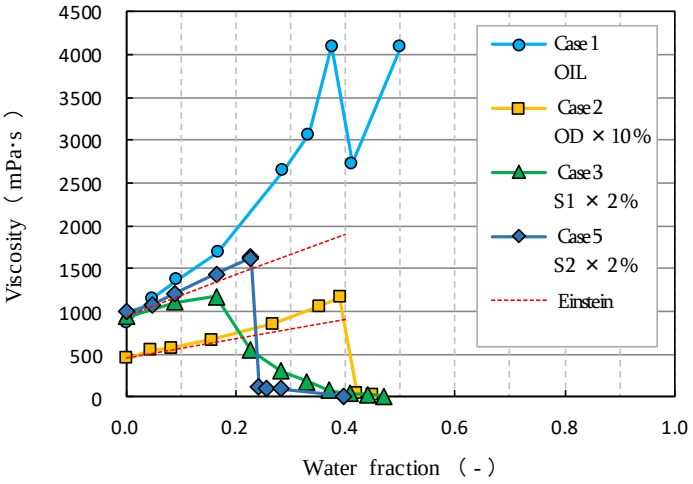


図 1.2.91　水添加比率に対する重質油粘度特性

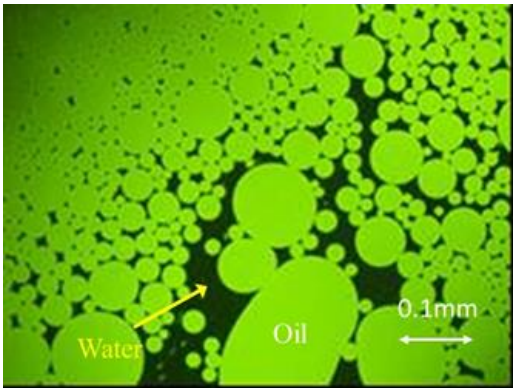


図 1.2.92　図 1.2.91 の Case2 で O/W エマルションが安定形成されている状態

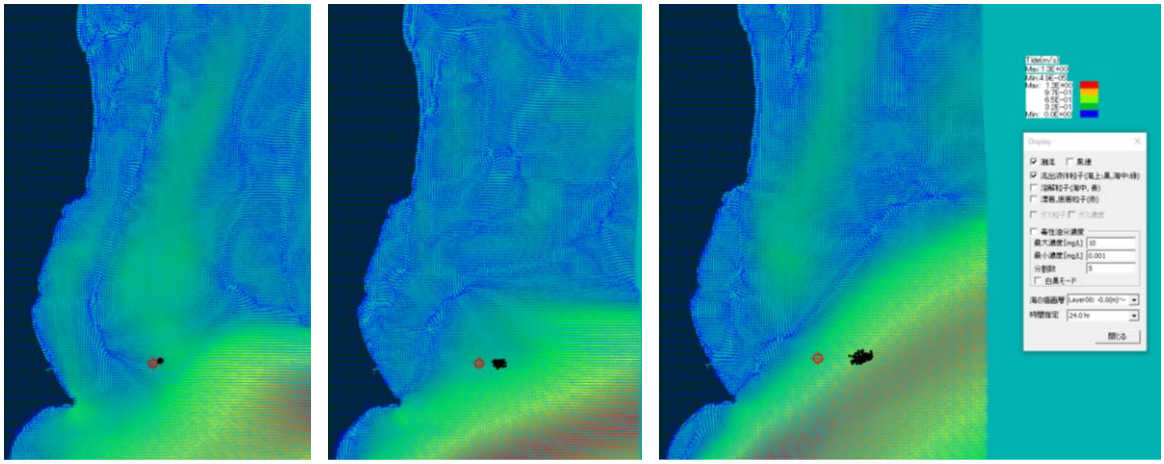


図 1.2.93　質量保存流速場モデルに基づく油流出時海洋拡散計算例

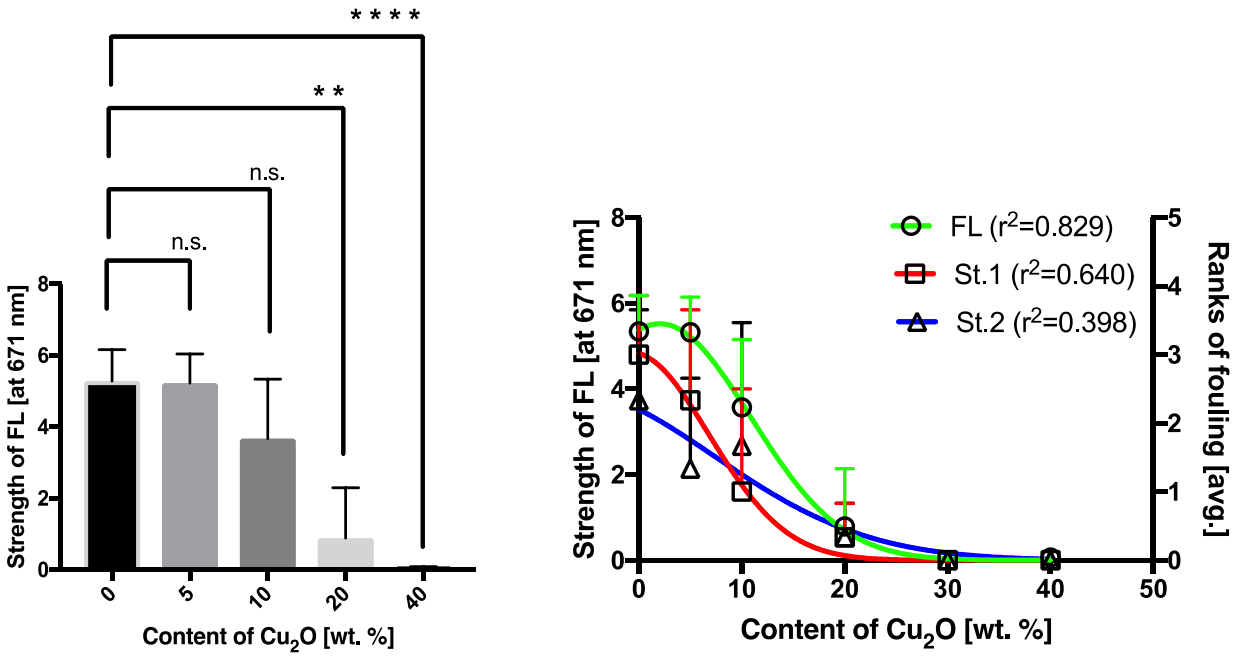


図 1.2.94、図 1.2.95　シオミドロを用いた防汚塗料の性能評価試験結果
[左図]：ラボ生物試験における亜酸化銅配合量に対する、ソウ類から抽出した色素の蛍光強度値における有意差検定結果。**は亜酸化銅配合量 0wt.%に対して有意な差を、****は非常に顕著な有意差を示している。
[右図]：亜酸化銅配合量に対する実海域浸漬試験とラボ生物試験との比較。FL（緑）：ラボ実験における蛍光強度値、St.1（赤）及び St.2（岡山）：広島及び岡山での実海域試験における汚損指数。両者とも亜酸化銅配合量の増加に伴い汚損が減少する傾向を示している。

成果の公表

・講演発表（査読あり）

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

・口頭発表（査読なし）

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

・ISO 資料

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

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

研究テーマ	重点☆9　海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究

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

研究の背景

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

□海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究

・低コスト・高効率発電デバイスの開発

・認証及びステージゲート判定のための安全性・性能評価手法の構築

・産業化に向けた要素技術の開発

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

研究目標

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

上記成果は、以下があげられる。
①開発した技術を活用し、ナショナルプロジェクト等に参画することにより、海洋における再生可能エネルギーの開発が促進されるとともに、我が国海洋産業の競争力が強化される。エネルギーモード（例えば、波力）によっては、位置的偏在が比較的少ないため全国で取り組み可能であるのに加え、小規模からの導入が可能で製造・保守管理に必要な資本も少ないため地域密着型の事業展開が可能であり、地方創生にも資する。
②商業化を目指した海底熱水鉱床開発用海中システムや全体システムの計画支援を行うことにより、技術的・経済的にフィージブルなシステム開発を可能とし、世界初となる海底熱水鉱床開発事業の実現につながる。さらには、研究成果を他の海底鉱物資源開発事業に展開する。また、我が国民間企業の海洋産業への進出を技術的に支援することにより、我が国の海洋産業の育成やエネルギー・鉱物資源の安定供給確保に貢献することができる。
③海洋開発分野のオペレーション安全ガイドラインの策定により、海洋資源開発プロジェクトへの我が国事業者の参入及び国内での海洋構造物の導入が促進される。リスクを把握及び予測した導入計画が立てられ安全を配慮した海洋開発が実現可能で、当該分野の安全技術の進歩も期待できる。

R1 年度の研究内容

□海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究
・海洋再生可能エネルギー浮体式風力発電施設の新たなガイドラインに対する検討課題を抽出する。
・浮体式風力発電施設のブレードピッチ制御手法を数値シミュレーション及び実験法の観点から検討する。
・海洋再生可能エネルギー波力発電について、強化学習を用いた新形式制御法及び陸上試験システムを用いた実時間制御・発電電力評価技術の構築に向けた検討を行う。

□海洋資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究
・採掘ユニットから揚鉱ユニットまでの鉱石移送時の移送管の挙動及び摩耗低減手法の検討に資するデータを試験により取得するとともに、平成 30 年度に開発した採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船を一体とした解析プログラムの改良を図るための検討を行う。さらに、海底鉱石の選別に係る検討を行う。
・海底熱水鉱床開発等に用いられる全体システムの計画支援プログラムを開発する。
・マネージドアイス中の浮体動揺シミュレーションの検証データを得るために、氷海水槽での係留試験データの解析及び、最新の社会情勢を反映させた個別要素法の利用に向けて氷海工学関連分野の調査を行う。
平成 30 年度に実施した文献調査等からの実験データとの比較結果に基づき氷の材料モデルの改良を行う。さらに構造応答解析を実施し、氷の破壊挙動の構造安全性に対する影響を検討する。
・海中機器を対象とした吊荷と多目的作業船の波浪中連成運動についての数値解析を行うとともに、揚降物に作用する水面衝撃圧の数値シミュレーションに関する数値計算手法の調査及び水槽実験について検討する。さらに、フローアシュアランスの解析で使用する非定常解析プログラムを開発する。

□海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究
・海洋開発の事故リスク評価手法の整備のため、津波襲来時に想定される一点係留の FSRU と漂流船舶との衝突事故を対象として、考えられるハザードを抽出し、事故シナリオを作成する。これらを基に、FSRU と漂流船舶の挙動シミュレーションを行い、漂流及び衝突の発生状況を解析する。
・50m 規模の浅海で使用されるようになった合成繊維ロープを対象に、終局限界状態における係留系の挙動を把握するため、数値シミュレーションにより最大張力に対する軸剛性の非線形性が及ぼす影響の検討を行う。
・厳海象条件下でバースに係留された船舶に対する挙動評価技術の構築のため、前年度に製作した、係船された船舶の挙動計算モデルに対し水槽試験（曳航試験、自由動揺試験、波浪中動揺試験）を実施し、シミュレーション計

算に必要となるデータの取得及び計算モデルの精度検証を行う。

R1 年度の実績

□海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究

・海洋再生可能エネルギー浮体式風力発電については、平成 30 年度の研究成果（損傷時復原性の確保に関する国内への適用に必要な条件の明確化）が浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン（令和 2 年 3 月改正）に反映されるとともに、国海事行政の要請に基づき新たなガイドラインに対する検討課題を抽出して、その課題に対する解決方法を示した。

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

・海洋再生可能エネルギー波力発電については、水槽模型に搭載可能な小型 PTO 模型を設計し、数値計算にて実時間制御器の発電性能を把握した。

□海洋資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

□海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究

・一点係留の FSRU と漂流船舶との衝突に関するハザード及びシナリオに基づき、津波中の外力特性を含めた船舶の漂流挙動シミュレーションを行い、漂流挙動と衝突発生時の状態は、船舶への津波襲来時の入射角が影響することを明らかにした。

・シミュレーション対象を洋上風力発電施設とした。非線形軸剛性の影響検討の準備として浮体・係留・風車の一体シミュレーションモデルを構築し、線形軸剛性ライン係留での他機関の計算結果との比較計算を行った。また、他機関が行った非線形軸剛性ライン係留の実験（非公開）との比較計算を準備中である。

・バルクキャリア船型を対象とした曳航試験により、船体に作用する浅水域での潮流力荷重係数を取得した。また、バースに係留された船舶に対する波浪中動揺試験を実施し、前年度に製作した係留動揺シミュレーションモデルの精度を検証し、良好な結果が得られた。

R1 年度の研究成果

□海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究

・海洋再生可能エネルギー浮体式風力発電については、国海事行政の要請に基づき新たなガイドラインに対する検討課題を抽出するとともに、その課題に対する解決方法を示した（図 1.2.96）。

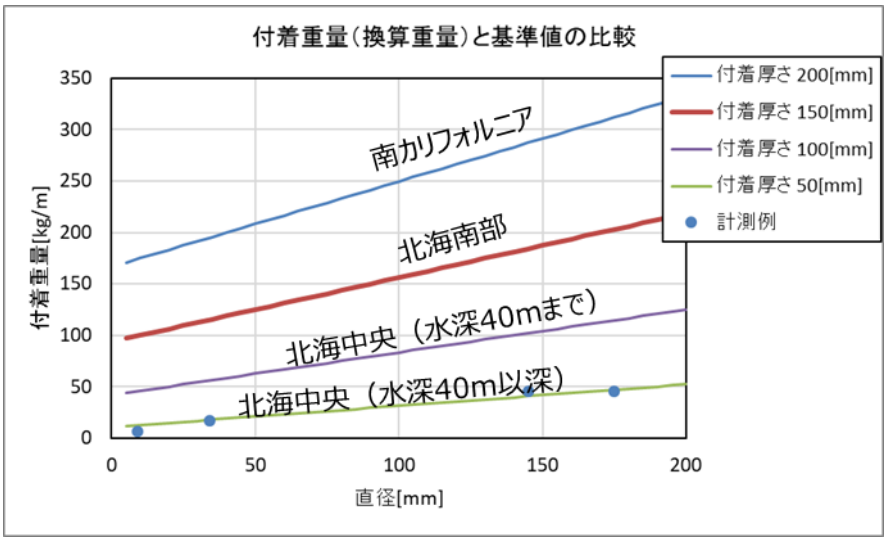


図 1.2.96　合成繊維索直径と生物付着（青丸）及び ISO 評価値の関係（年評価値）

・さらに、安全性及び経済性を両立させる風力発電施設運用を目指して、ブレードピッチ制御を風洞施設内で実現できる模型製作を行うとともに、風力発電施設の後流状況の把握、浮体動揺やブレードピッチ制御による風車後流への影響を把握した（図 1.2.97）。

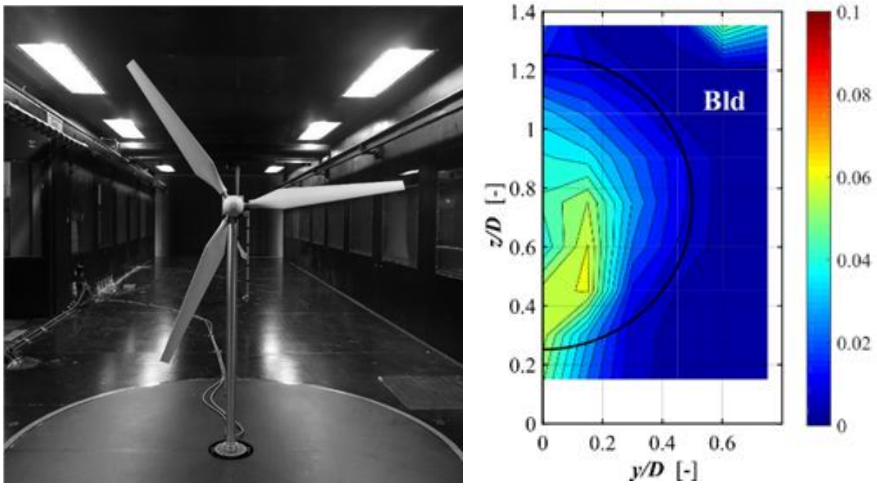


図 1.2.97　ブレードピッチ制御可能な風洞模型と後流影響評価

・海洋再生可能エネルギー波力発電については、試設計に適用可能な短期予測に基づく変位制約条件を考慮した発電量最大化制御法を提案した（図 1.2.98）。

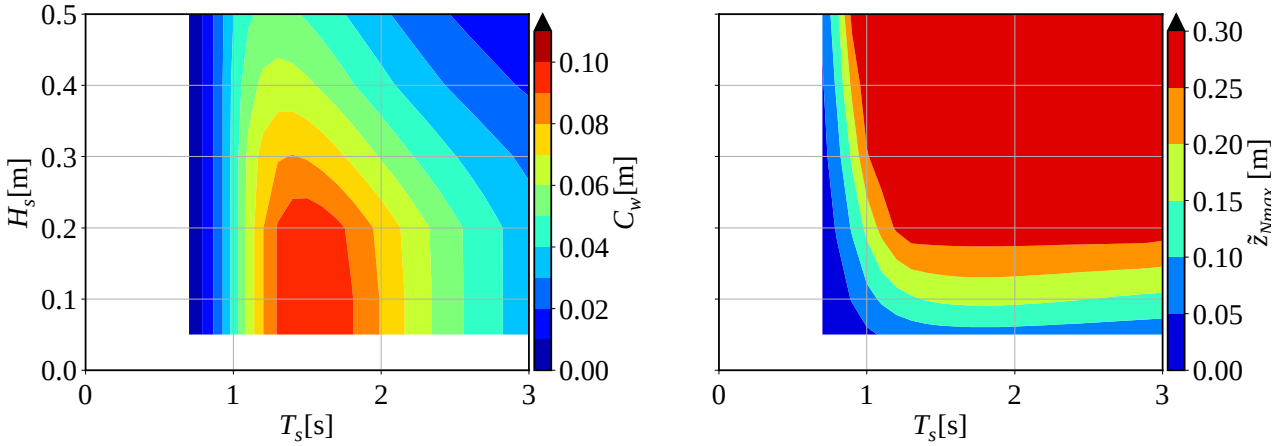


図 1.2.98　有義波高及び有義波周期に対するエネルギー吸収幅（左）と最大変位（右）

□海洋資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究

・採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船を一体とした挙動解析プログラムの開発では、これまでの水中線状構造物挙動解析プログラムの動的解析において考慮されていなかった管内の局所的な内圧変動やスラリー流の濃度変動の影響を含めた解析が可能なプログラム開発を進めている。平成 30 年度に取得した内部流れ（水単相流）の影響に係る移送管模型試験データと計算結果との比較（図 1.2.99）を通じて、内圧変動を考慮したプログラムを作成するために必要な項目を抽出した。さらに、スラリー移送を想定した模型試験（公開実験も実施）を行い、次年度に実施するプログラム検証のためのデータを取得した（図 1.2.100）。

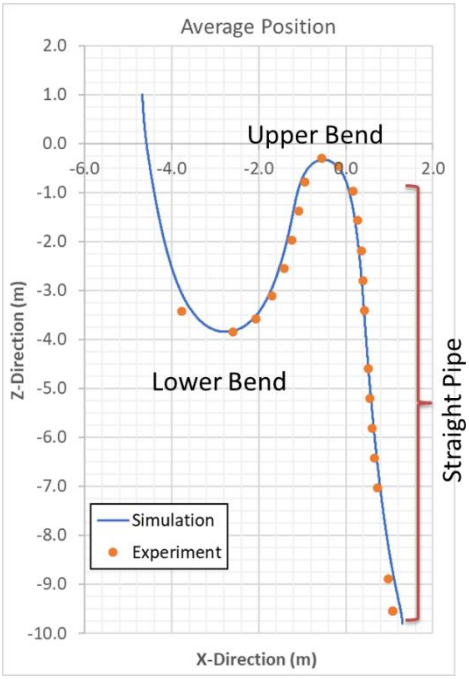


図 1.2.99　移送管挙動の実験値と計算値の比較例
（内部流：水単相）

図 1.2.100　スラリー移送を想定した模型試験の様子
（公開実験時）

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

海底鉱石選別ユニットの検討として、気泡による鉱石粒子の選別ならびに固液混合物の管路輸送における圧力損失評価の研究を実施した（本研究は、横浜国立大学連携講座における研究指導の一環として実施）。気泡による鉱石粒子の選別では、気泡のサイズ計測を行うため、画像処理ライブラリ（OpenCV）を用いた気泡径計測プログラムを開発した。プログラムにより計測された気泡径を手動で計測した気泡径と比較し、比較的良好な精度で計測が可能であることを確認した（図 1.2.101）。また、鉱石粒子の選別に適した微細な気泡を発生させる新たな手法として、超音波を用いた手法の原理を確認する実験を行い、海底選別への適用可能性を検討した。実験では、超音波の照射による気泡発生を確認するとともに、超音波の周波数及び出力、水温等の条件が気泡発生や粒子選別に及ぼす影響について調査した（図 1.2.102）。さらに、固液混合物の管路輸送における圧力損失評価では、従来水平管の圧力損失評価に用いられている Durand 式の鉛直管及び曲げ管への適用可能範囲の検討を行った。数種類の固体粒子群を用いて、固液混合物を、閉ループ式の管路模型（内径 25mmΦ）内を異なる流量条件で流動させる実験を行って、管内流速がおおむね 1.5m/s 以上となる条件では、圧力損失の実験値と計算値が±20%の範囲で一致することが示された。

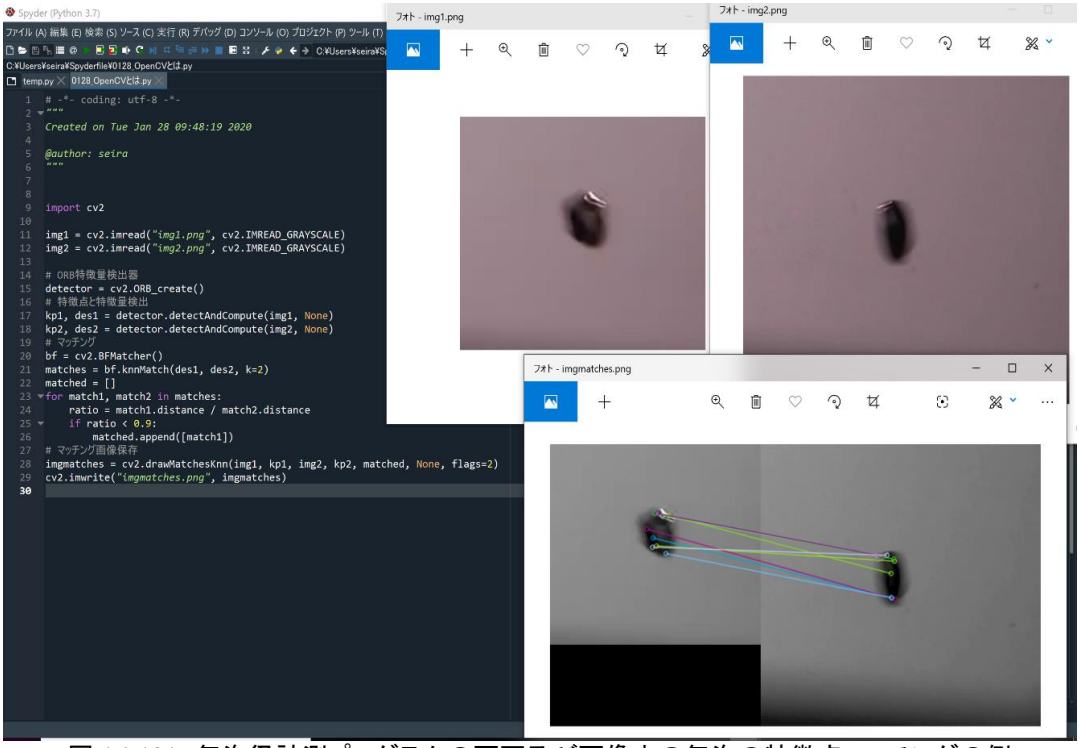


図 1.2.101　気泡径計測プログラムの画面及び画像中の気泡の特徴点マッチングの例

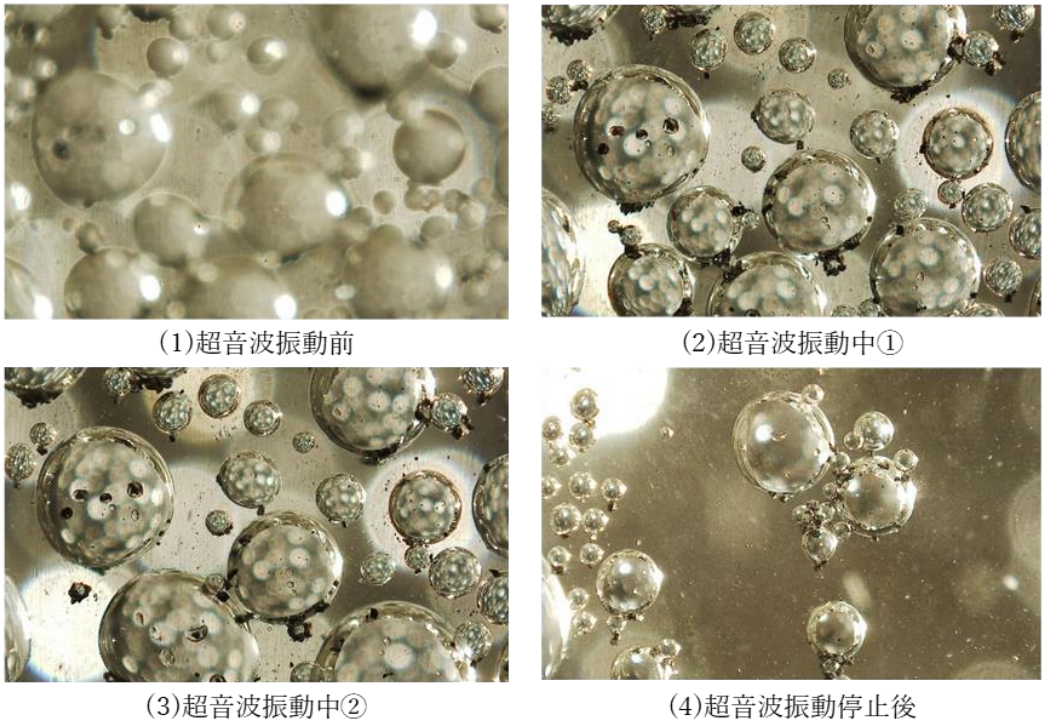


図 1.2.102　超音波照射による微細気泡周辺の鉱物粒子の挙動（マイクロスコープによる観察）

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

・平成 30 年度に抽出した課題を踏まえて計画支援プログラムの修正を行い、プログラムを完成させた（図 1.2.103）。さらに、揚鉱から陸上での荷役までを考慮した全体システムの稼働性評価プログラムを開発した（図 1.2.104）。

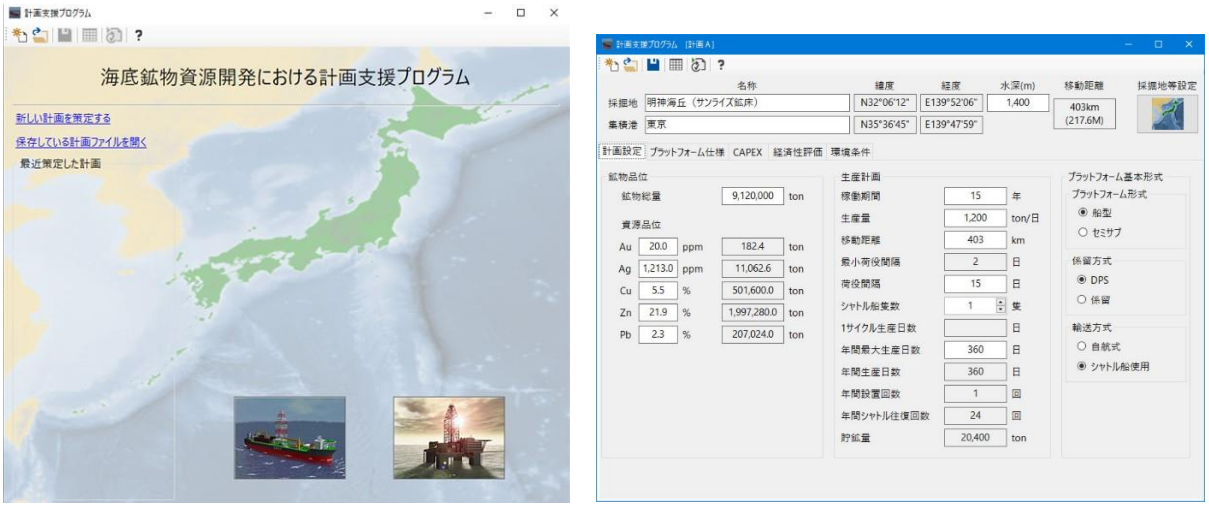


図 1.2.103　計画支援プログラムのインターフェース
（左：表紙、右：データ出力画面のイメージ）

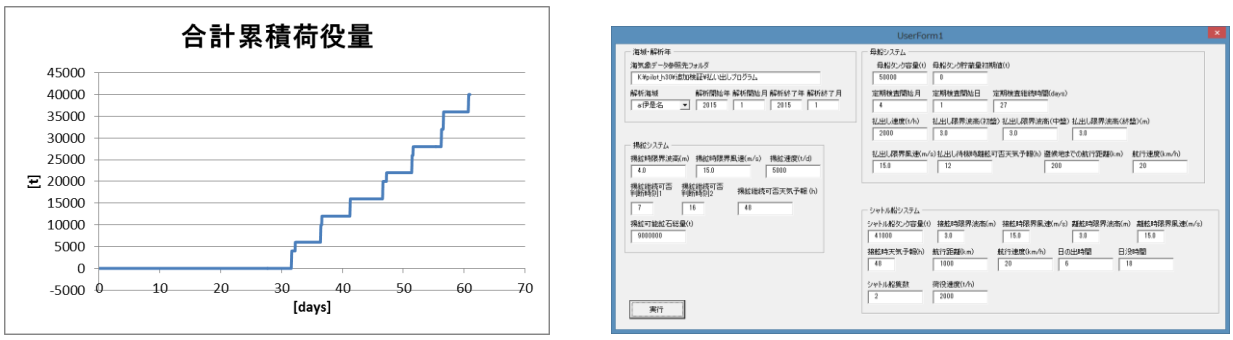


図 1.2.104　全体システム稼働率計算プログラム
（左：合計累積荷役量の例、右：入力用インターフェース）

・係留浮体が氷盤サイズと漂流速度から得られる代表時間ならびに氷盤の破壊サイズ（特性長）と漂流速度から得られる代表時間に起因すると思われる振動成分を明らかにした（図　1.2.105）。氷山から海底機器を保護するためのシステムやリッジ、リッジキールと海底との干渉等に関する海外機関の現在の取組みや今後の計画ならびにデータを共有し、個別要素法を利用した新たな研究計画を立案した。

氷塊－鉄球衝突の実験データと同条件の非線形衝突シミュレーション結果を衝突時の荷重時刻歴に関して比較し、前年度までに作成した氷の材料モデルによって合理的に荷重を推定できることが分かった（図　1.2.106）。また、氷の材料モデルはモデルスケールに依存し、その影響を適切に考慮するには氷の破砕挙動を表現する必要があるが、当該挙動はモデルのメッシュサイズに大きく依存するため、P-A（Pressure-Area）カーブと等価になるように応力-歪関係を設定するのが計算上好ましいことがわかった。

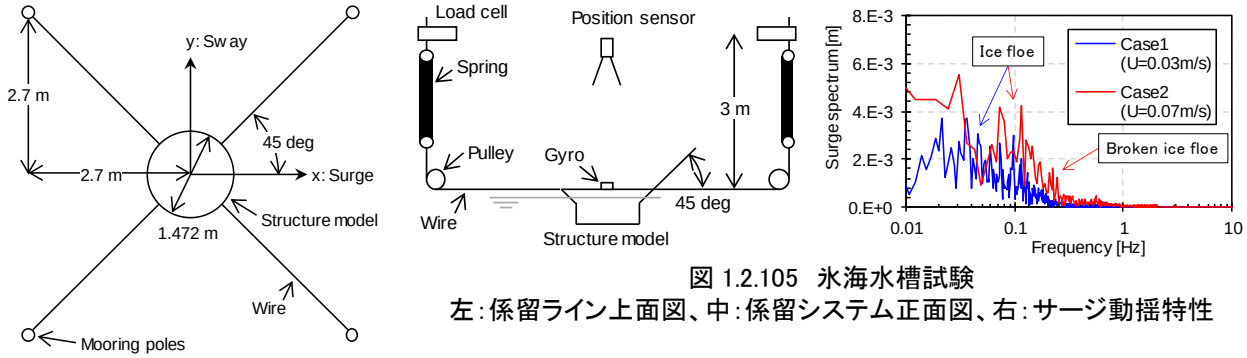


図 1.2.105　氷海水槽試験
左：係留ライン上面図、中：係留システム正面図、右：サージ動揺特性

図 1.2.106-1 氷塊ー鉄球衝突実験

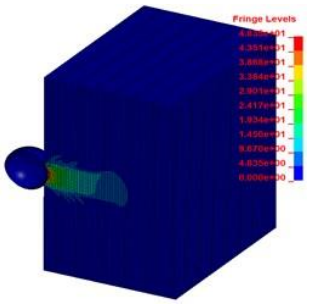


図 1.2.106-2 衝突シミュレーション

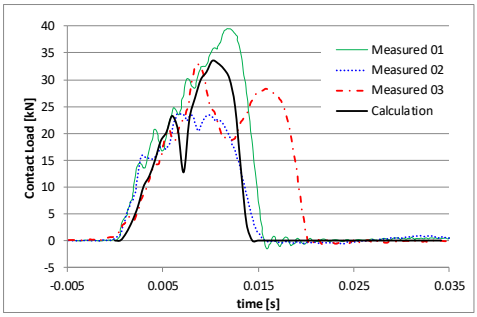


図 1.2.106-3 荷重時系列の比較

・多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動について詳細に分析した。吊荷が作業船の排水量に対して高々1%程度であっても吊点次第では連成挙動に大きな影響を与えることを明らかにした（図 1.2.107）。

本研究所で開発された構造格子用 CFD ソルバーNAGISA の RANS（レイノルズ平均モデル）を用いて 2 次元円柱の水面衝突シミュレーションを単相にて解析して、その解析性能について把握した（図 1.2.108）。また、格子ボルツマン法の解析有意性について調査し、気液二相計算のための計算プログラムの開発に着手した。

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

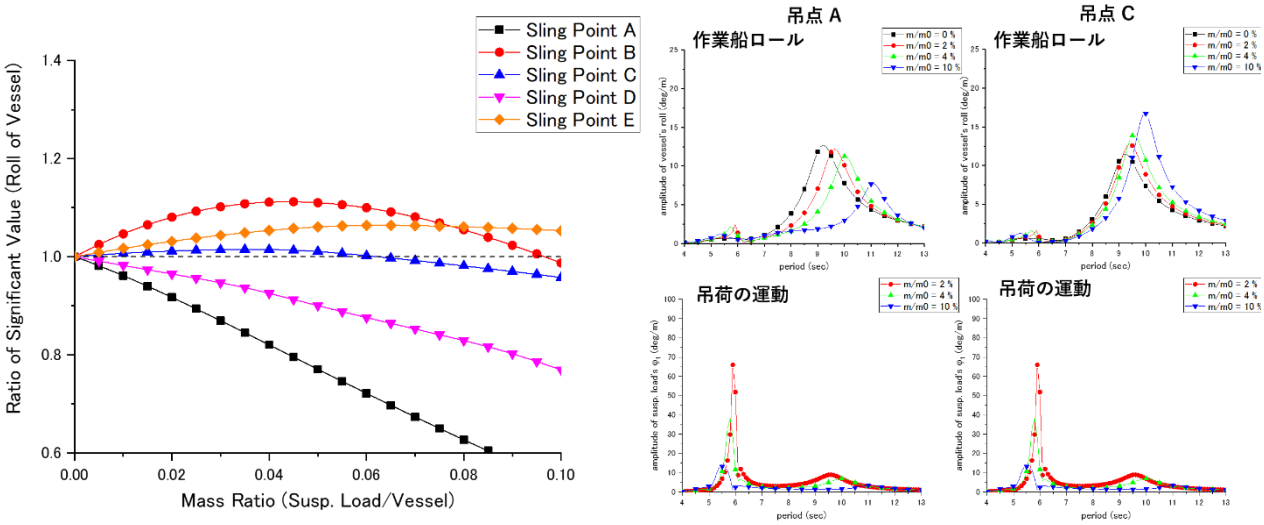


図 1.2.107 吊荷と多目的作業船の連成運動評価結果
（左：不規則波中での連成影響評価、右：吊荷の質量が応答関数へ与える影響の変化）

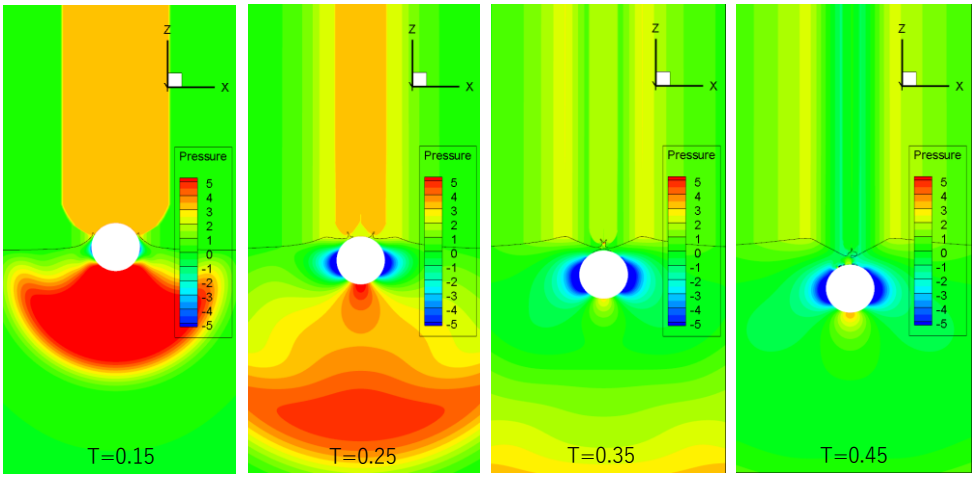


図 1.2.108 NAGISA による 2 次元円柱の水面衝突シミュレーション
（直径 1m、衝突速度 3m/s、実線は水面、コンターは圧力を表す）

□海洋資源開発に係るプロジェクト認証支援技術の開発に関する研究

・漂流や衝突に関する過去の事故事例や論文等を調査し、津波襲来時に一点係留の FSRU と船舶の漂流及び衝突に関する考えられるハザードの抽出及び事故シナリオの作成を実施した。このハザードやシナリオに基づき、昨年度構築した津波波力と潮流力の特性を考慮した漂流運動をするシミュレーションモデルを用いて、ある津波条件下の FSRU と船舶の漂流挙動を解析したところ、初期状態の FSRU と船舶のへの津波襲来時の入射角が、漂流挙動に大きく影響を及ぼすことが分かった（図 1.2.109）。津波の流向の変化後は、当初の津波の入射角によらずに船首方位がほぼ一定となるため（図 1.2.110）、FSRU と漂流船舶の衝突の向きや速度等の衝突パターンを大別することができた。

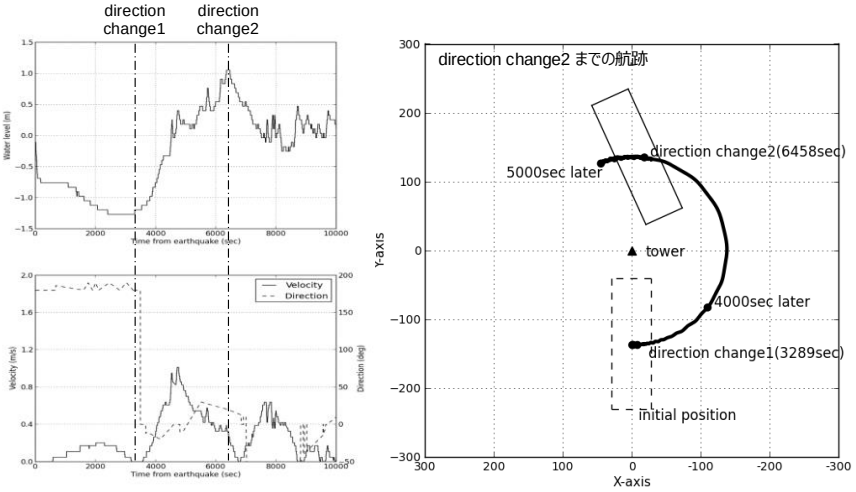


図 1.2.109　津波襲来時の FSRU の漂流航跡

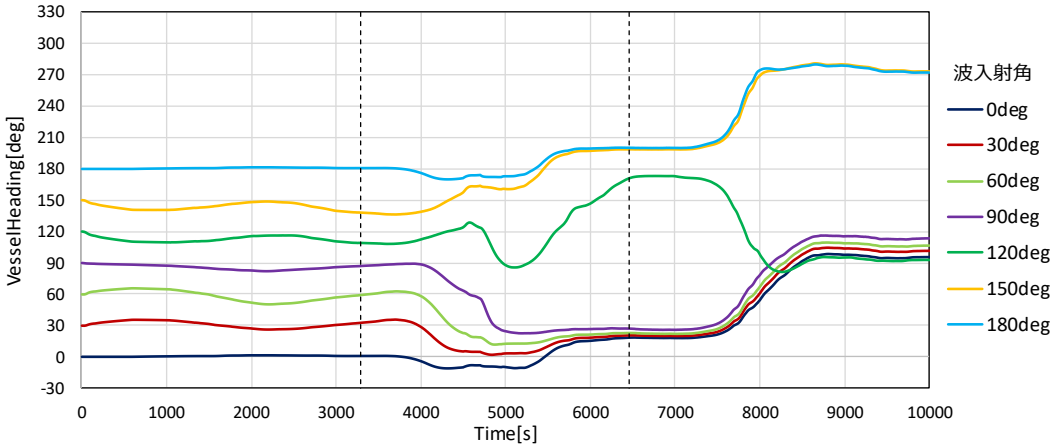


図 1.2.110　漂流中の船舶の船首方位の変化

・洋上風力発電施設を対象とした浮体・係留・風車の一体シミュレーションモデルを構築し、他機関の計算結果との比較を行って、異なる風乱流モデル（当研究所：1 軸、他機関：3 軸）を用いても係留ライン張力に差異はほとんど見られないことを確認した（図 1.2.111）。さらに、合成繊維索を用いた係留系の安全性評価手法に関する検討を行って、現行の浮体式洋上風力発電施設の安全ガイドラインにおける留意点を抽出した。具体的には、現行の安全ガイドラインでは『① 現状では一体解析技術は確立されているとは言えない、② 合成繊維索の非線形軸剛性は線形化して扱う』となっているが、検討の結果、① 一体解析技術による安全性評価が許容可能であることを示唆する結果が得られた、② ナイロン等の非線形性の強い素材では、非線形性について留意するよう注意喚起が必要であることを示した（図 1.2.112）。

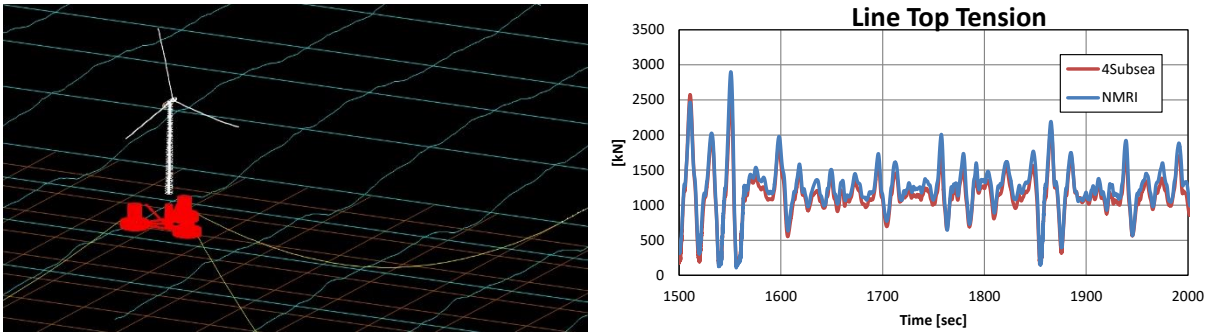


図 1.2.111　50 年再現暴風中のライン張力の計算結果の比較

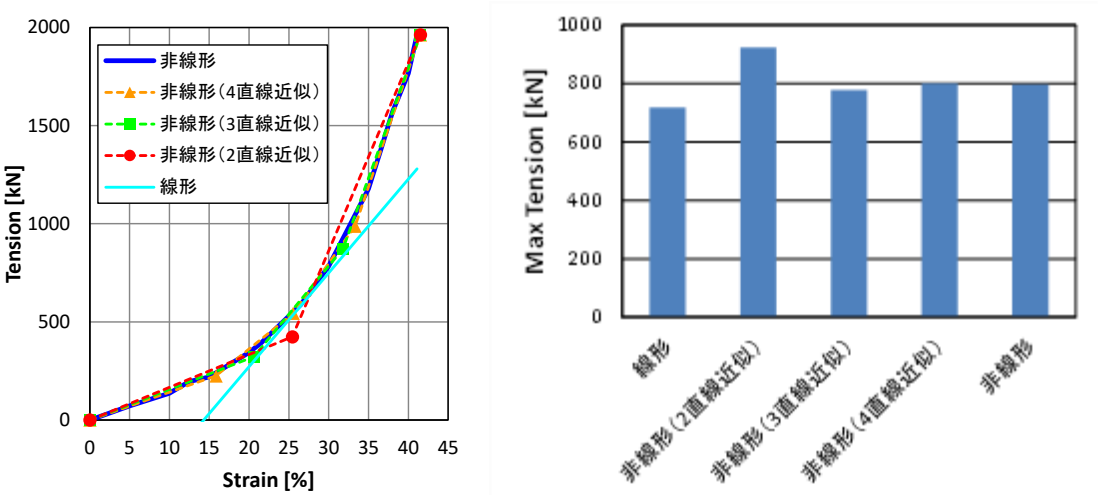


図 1.2.112　合成繊維索の非線形軸剛性モデルの違いによるライン最大張力の変化
（左：各モデルのライン特性、右：50 年再現暴風中のライン最大張力）
※ 本事例では、4 直線以上での近似により非線形特性を考慮しないと正しい評価ができないことが示唆された。

・係留船舶としてバルクキャリア船型を対象とした、浅水域（水深喫水比 H/d=1.2）での曳航試験を実施し、船体に作用する潮流荷重係数を取得することで、流体力 DB を拡充した。昨年度に取得した深水域での結果と比較を行い、潮流荷重係数に及ぼす水深影響を把握した（図 1.2.113）。また、波浪中における係留動揺試験を実施した（図 1.2.114）。風波に加えて、うねりのような長周期波の有無や係留破断を模擬した実験も行い、破断後の浮体動揺と索張力の過渡応答についても、データを取得することができた。また、実験結果を用いて平成 30 年度に製作した数値シミュレーションモデルの推定精度の検証を行い、良好な結果を得ることができた（図 1.2.115）。

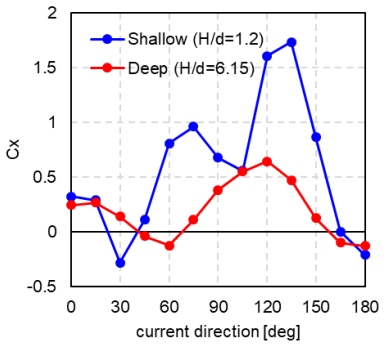


図 1.2.113　バルクキャリア船型に作用する潮流荷重係数（前後力）

図 1.2.114　バースに係留された船舶の波浪中動揺試験

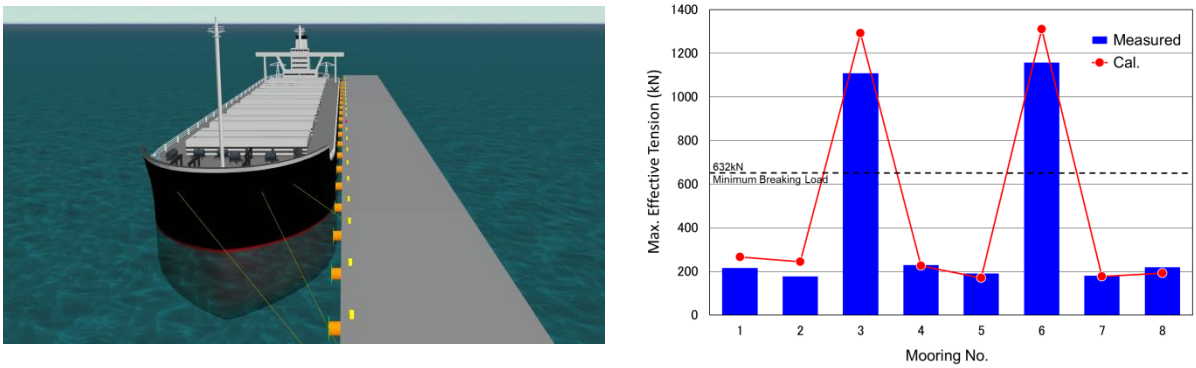


図 1.2.115　数値シミュレーションモデルの推定精度の検証例

成果の公表

□特許：1 件
・配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システム　高橋一比古ほか

□コアプログラム登録：4 件
・傾斜管内固液二相流圧力損失推定プログラム　正信聡太郎、荒木元輝
・海底鉱物資源開発における計画支援プログラム　中島康晴
・全体システム稼働率計算プログラム ver.2　渡邊充史
・2 流体モデルを使った気液二相流の非定常解析プログラム　大坪和久

□発表論文等：45 件
【ジャーナル、本文査読付プロシーディングス、海技研報告の研究報告】33 件（投稿中：17 件、採択済：3 件）
・大坪和久　ほか: 海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験の稼働性評価，日本船舶海洋工学会論文集，第 29 号，pp.147-162（2019）
・谷口友基　ほか: モデル予測制御による波力発電装置の高効率化，日本船舶海洋工学会論文集，第 29 号，pp.171-179（2019）
・湯川和浩　ほか: セミサブリグに働く粘性波漂流力と係留力の異常値予測，日本船舶海洋工学会論文集，第 30 号，pp.59-69（2019）
・大坪和久　ほか: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価，日本船舶海洋工学会論文集，第 30 号，pp.187-200（2019）
・Chujo, T., *et al.*: Consideration of New Damage Stability Criteria for Floating Offshore Wind Turbines, Journal of Marine Science and Technology (JMST)（投稿中）
・Okada, Y., Haneda, K., *et al.*: Parameter-varying Modeling and Nonlinear Model Predictive Control with Disturbance Prediction for Floating Offshore Wind Turbines, Journal of Marine Science and Technology (JMST)（投稿中）
・羽田絢　ほか: 浮体式洋上風力発電施設の加振が後流に及ぼす影響に関する実験的研究，風力エネルギー学会論文集（投稿中）
・中條俊樹　ほか: 浮体式洋上風力発電における IEC の新たな損傷時復原性規定の運用について，日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・羽田絢　ほか: 浮体式洋上風力発電施設と船舶の衝突挙動に関する実験的研究，日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・中條俊樹　ほか: 浮遊式水平軸型海流・潮流発電の安全性照査に係る水槽模型試験による検討，日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・梅田隼　ほか: リニア式波力発電装置の発電電力の短期予測と制約条件付き最適制御法，日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・Fujiwara, T., *et al.*: Experimental Study on Two Vertical Risers in Steady Flow, Journal of Marine Science and Technology (JMST)（投稿中）
・高野慧　ほか: 海底熱水鉱床開発におけるスラリー移送による大規模配管摩耗実験と縮尺影響に関する検討，土木学会論文集 B3（海洋開発）（投稿中）
・中島康晴　ほか: 海底選鉱への適用を目的とした画像解析による気泡計測手法の開発，可視化情報学会論文集（投稿中）
・Hasegawa, K., *et al.*: The effect of ice failure and an elastic modulus of ice floes in a non-smooth DEM simulation for a conical structure under managed ice condition, Cold Regions Science and Technology（投稿中）
・石村恵以子　ほか: 海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験の安全性評価，日本マリンエンジニアリング学会学会誌（投稿中）
・湯川和浩　ほか: Ship-to-Ship 方式による出荷時の 2 船間 Gap Resonance 評価，日本船舶海洋工学会論文集（投

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

【その他】12 件
・ Fujiwara, T.: Research and development activities on ocean renewable energy in NMRI, World NAOE Forum 2019, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers（2019）
・Hasegawa, K., *et al.*: Ice tank test of Moored Conical Structure Model in Managed Ice, Proc. 35th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans（2020）〔青田昌秋賞〕
・Hasegawa, K., *et al.*: Estimation of Global Ice Load exerted on Offshore Structure used for Arctic Resource Development, Sixth International Symposium on Arctic Research (Poster)（2020）
・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電施設と船舶の衝突に係る損傷時復原性の検討，JCOSSAR2019（2019）
・Schnepf, A., Haneda, K., *et al.*: Wave and wind basin testing of a very light floating offshore wind turbine with guy wires，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 29 号（2019）
・梅田隼 ほか: リニア式波力発電装置の PTO 相似比の取り扱い，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 29 号（2019）
・橋本和樹，羽田絢 ほか: 一点係留された新形式浮体洋上風車 ‘Optiflow’ の風追従性に関する研究，第 28 回海洋工学シンポジウム論文集，日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会（2020）
・谷口友基 ほか: 並進動揺型波力発電装置の陸上試験装置の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 30 号（2020）
・石原祐希，加藤俊司 ほか: External タレットに働くスラム力の基礎研究—Deadrise angle による影響—，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 28 号（2019）
・石原祐希，加藤俊司 ほか: External タレットに作用するスラム力に及ぼす Deadrise Angle の影響に関する研究，海技研報告第 19 巻別冊（2019）
・湯川和浩: 洋上 LNG 移送の稼働性・安全性評価，東京海洋大学 海洋開発環境エネルギー概論資料（2019）
・石原祐希，加藤俊司 ほか: External タレットに作用するスラム力に及ぼす Deadrise Angle の影響に関する研究，第

62 回海洋教育フォーラム（2019）

□公開実験：1 件
・海底鉱物資源開発に係る解析手法検証のための模型実験, 2019.10.28

□受賞：4 件
・エンジニアリング協会, 令和元年度エンジニアリング奨励特別賞：海底熱水鉱床採鉱・揚鉱パイロット試験プロジェクトチーム（(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、三菱造船(株)、日鉄エンジニアリング(株)、(国研)海上・港湾・航空技術研究所、清水建設(株)、住友金属鉱山(株)、深田サルベージ建設(株)、(株)三井三池製作所、三菱重工業(株)）
・令和 2 年度日本船舶海洋工学会論文賞：大坪和久ほか（海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験のための稼働性評価）
・第 35 回 北極圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」2020, 青田昌秋賞 2020：Hasegawa, K., *et al.*（Ice tank test of Moored Conical Structure Model in Managed Ice）
・ASME OOAE Awards Committee, OMAE 2018 Best Paper of Ocean Engineering Symposium : Fujiwara, T.（OMAE2018-77238 "Semi-Submersible Floater's VIM Simulation Method for Mooring Line Safety Assessment"）

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

研究開発課題	(8)海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

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

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

研究の背景

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

□高効率小型 AUV システムの研究開発
□AUV 要素技術の研究開発及び支援
□複数 AUV の同時運用システムの研究開発
□AUV 研究開発成果の社会実装・民間活用・国際規格化

研究目標

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

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

R1 年度の研究内容

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

R1 年度の実績

□ROS を用いた超小型 AUV の開発

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

□最適高度誘導制御法の開発

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

□隊列制御アルゴリズムのプロトタイプ完成と実海域による検証

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

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

□AUV の活用方策の推進

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

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

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

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

R1 年度の研究成果

□ROS を用いた超小型 AUV の開発

実海域でも使用でき、また、アルゴリズム開発が当所内で容易に行えるよう 2m クラスの航行型 AUV（mini-AUV）（図 1.2.116）を昨年度製作したが、その AUV に使用可能な ROS（Robot Operating System）環境下での航行型 AUV 用制御アルゴリズムを完成させた。固定ウェイポイント（静的方式）による当所の実海域再現水槽内での航走、時々刻々発行される指定ウェイポイントを目指して航走する動的ウェイポイント航走を可能にした（図 1.2.117）。このことにより、実海域で現状運営を行っている航行型 AUV（3, 4 号機）等と同じシステムが完成し、今後制御アルゴリズムを開発する上での基盤技術を確立した。

図 1.2.116 海技研で内部プログラムを独自開発した mini-AUV

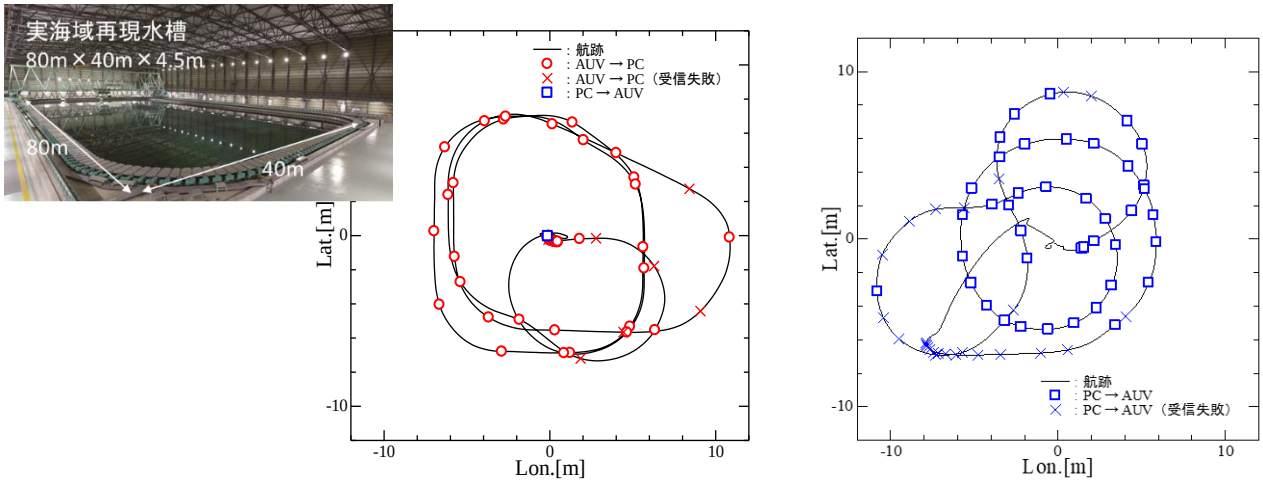


図 1.2.117 海技研内実海域再現水槽での mini-AUV 航走試験（固定ウェイポイントを目指しながら、適宜仮想 AUV と通信している状況、動的ウェイポイント指示により水槽内を航走）

□最適高度誘導制御法の開発

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

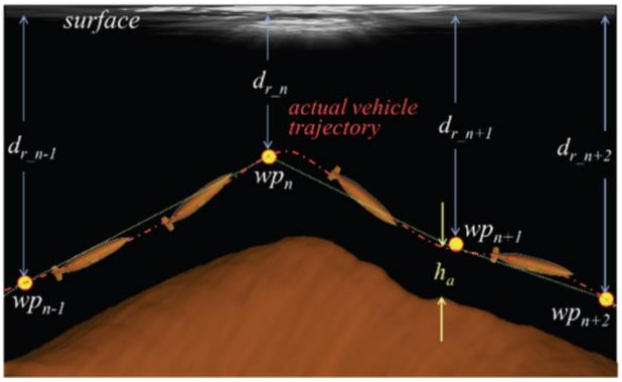


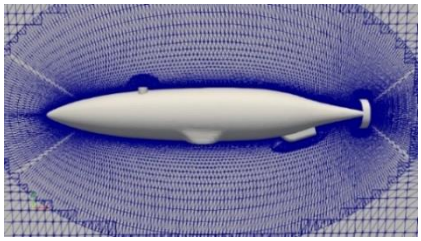
図 1.2.118　最適深度誘導航行のイメージ

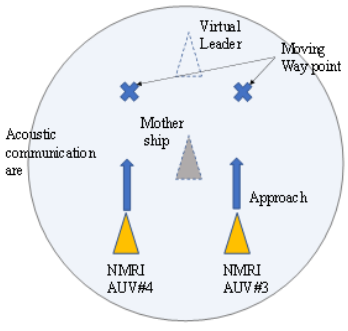
□隊列制御アルゴリズムのプロトタイプ完成と実海域による検証

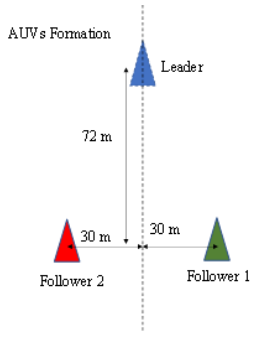
・AUV 隊列制御アルゴリズム開発

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

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







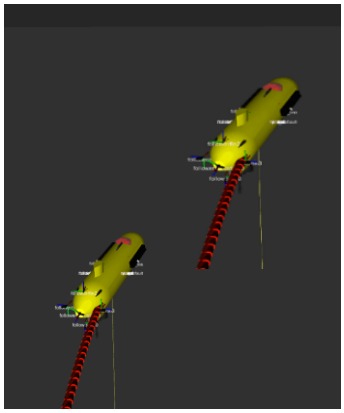


図 1.2.119　対象とした航行型 AUV#3,4 号機と CFD モデリングの様子（上段）、実海域隊列制御試験実施状況とシミュレーション状況（下段）

・実海域による検証

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

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

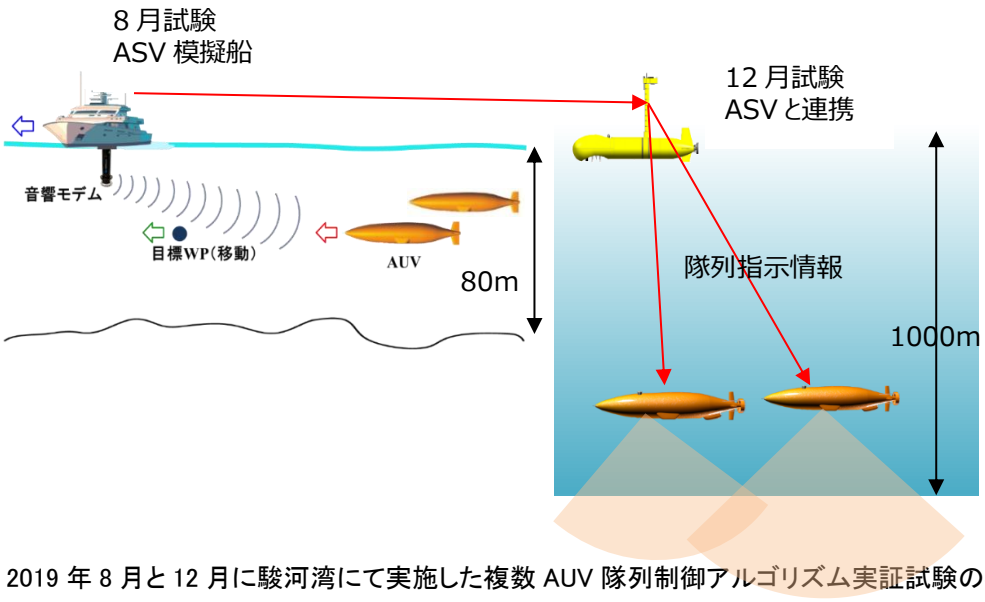


図 1.2.120　2019 年 8 月と 12 月に駿河湾にて実施した複数 AUV 隊列制御アルゴリズム実証試験の様子

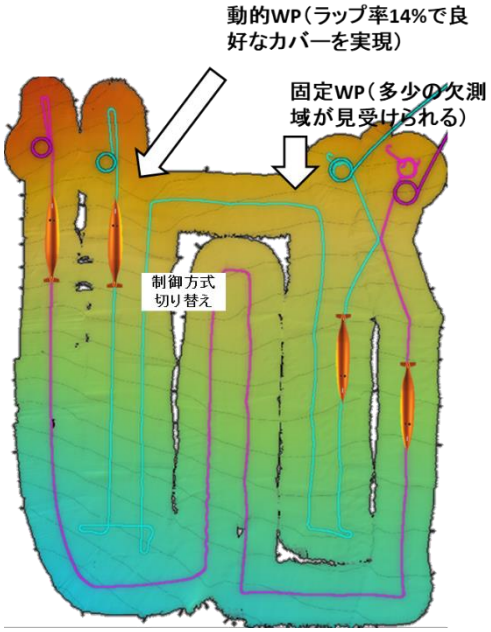


図 1.2.121　複数 AUV 隊列制御アルゴリズム実証試験の海底地形観測結果

□AUV の活用方策の推進

東京電力と共同で、昨年度にひきつづき銚子沖風力発電施設の基部点検作業の試行試験をほばりんが実施(図 1.2.122)。その後の検討として、小型で逐次データ転送型の小型 AUV の開発を共同研究として着手開始。

さらに、AUV の長期間水中運用を目指し、AUV 充電ドッキング技術開発を岡山大学と共同で実施(図 1.2.123)。複眼空間認識方法による AUV ドッキングの施行を海技研内水槽で実施し、成功した。

Shell Ocean Discovery XPRIZE に参画し、超広域高速海底マッピングにチャレンジした(図 1.2.124、水深 4,000m 実海域試験で、24 時間以内に 250km2 以上の海底地図作成)。その中でも運用する AUV・ASV のノイズ解析および利用音響帯域の整備に研究実績を応用した。これまで培ってきた ASV による AUV 管制技術のノウハウが生かされた。結果発表として準優勝(32 チーム参加)を獲得。

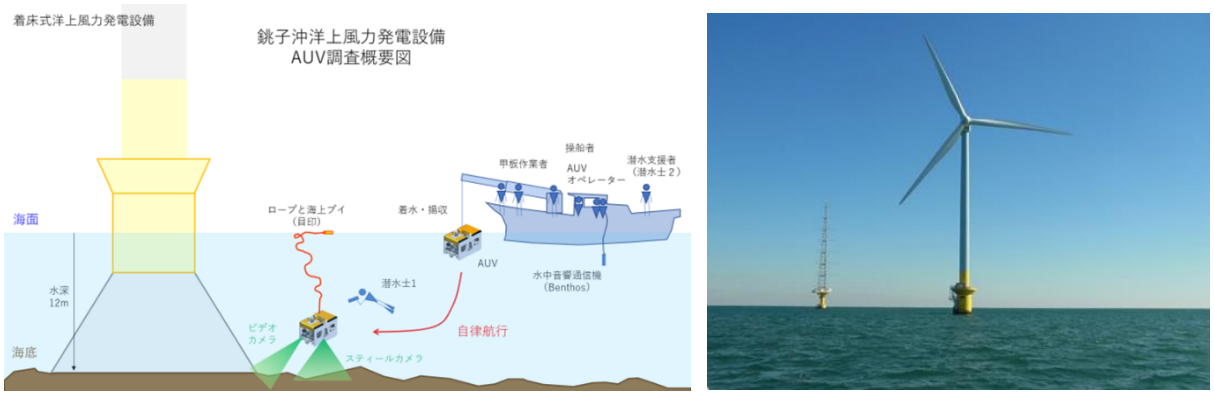


図 1.2.122　AUV ほばりんによる銚子沖風力発電施設の基部点検作業試行

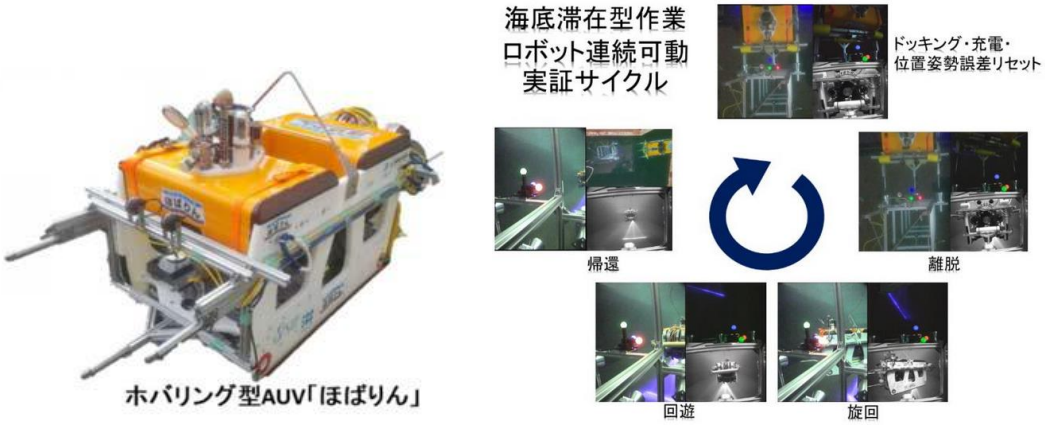


図 1.2.123　AUV ドッキング試験状況

図 1.2.124　曳航試験中の AUV2 機と ASV（ギリシャ、カラマタにて）

成果の公表

口発表論文

・査読論文誌（計 8 件）

(1) 今里、金、佐藤、大藪、伊藤、深海調査に向けた小型軽量航行型 AUV の開発、マリンエンジニアリング学会誌、2019（投稿中）

(2) 稲葉、篠野、須藤、浦、ASV による複数 AUV の管制、海洋音響学会誌（投稿中）

(3) 梅田、金、佐藤、稲葉、藤原、NUMERICAL SIMULATIONS AND SEA TRIAL FOR LEADER FOLLOWER FORMATION CONTROL OF CRUISING-TYPE AUVS、OMAE2020-18253、2020

(4) 谷口、梅田、藤原、金、佐藤、稲葉、Path Following Control of Autonomous Underwater Vehicle Using Nonlinear Model Predictive Control、OMAE2020-18241、2020

(5) 金、Reconfigurable minimum-time autonomous marine vehicle guidance in variable sea currents、Automation and Control、IntechOpen（投稿中）

(6) 佐藤、金、今里、松田：海底熱水鉱床調査用航行型 AUV4 号機の実海域性能評価、海洋調査技術学会、2020

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

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

プログラム登録（計 3 件）
・ 金 岡秀：複数 AUV 隊列制御シミュレーションプログラム
・ 岡本章裕：MiniAUV 制御用メインプログラム
・ 岡本章裕：MiniAUV 運用ツールプログラム

特許（計 1 件）
・ 篠野雅彦：水中航走体の自己位置推定誤差補正方法及び水中航走体の自己位置推定誤差補正システム

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新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 －造船現場データの高度解析技術、造船作業を支援するインタフェース技術を開発する。 －騒音に影響を及ぼす振動対策を検討し、ニューラルネットワークによる騒音予測の誤差評価を実施する。　等

研究の背景

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

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

研究目標

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

上記成果は、未来の造船工場（新技術の導入、新しい働き方の提案）や生産現場の改善計画の普及により、労働者不足の改善及び地方都市の活性化等地方創生に資するとともに、我が国造船業の国際競争力が強化される。また、船内騒音対策・軽量化・設計自由度の向上などを通じて船内労働環境の改善に資するとともに、造船産業の国際競争力の強化を図り造船業の活性化（地方創生）および造船設計・生産性向上に資する。さらに、設計フロントローディングによる戻り工事の低減及び建造コスト管理の高精度化により、我が国造船業の国際競争力の強化が期待

される。

R1 年度の研究内容

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

R1 年度の実績

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

R1 年度の研究成果

□基本クラス（抽象化されたクラス）として臨機応変の発生する要素を網羅的に表現し、派生クラスとして具体的な造船工程を表現した船殻の小組工程に関する職場モデル設計書（データ構造）を整理した。
□フィードバック型現場曲げ加工支援システムを実際の造船所 1 社に導入した。このシステムの支援により、曲げ加工において熟練作業者と同等程度の工数で、曲げ型レスで曲げ加工が完結することを実証実験で確認した。今後、他の造船所等に販売ができるように開発したシステムをパッケージ化した（図 1.2.125 参照）。

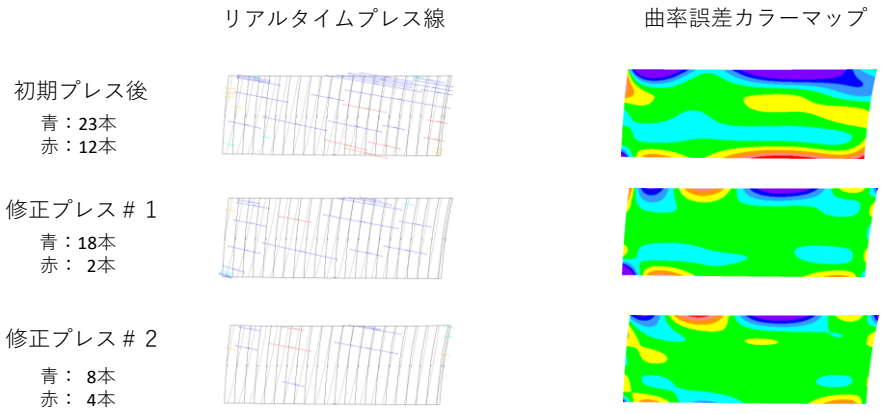


図 1.2.125　フィードバック型現場曲げ加工支援システムによるプレス作業の推移
（プレス作業の経過とともにプレス線が減り、目的形状に向かっていることが確認できる）

□AI ワークサンプリングシステムのプロトタイプを開発した。作業の画像データから主作業／付随作業／無付加価値行為等を自動分類し、リアルタイムにその比率を表示するシステムを開発した。作業内容の学習を行えば、小組工程等、作業の様子を画像で捉えやすい工程に対して汎用的かつ簡便に展開できるシステムである（図 1.2.126 参照）。

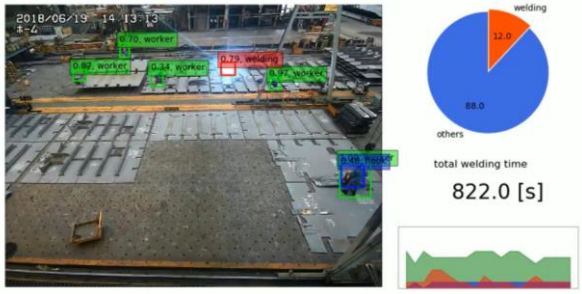


図 1.2.126　AI ワークサンプリングシステム

□曲げ加工支援 AR アプリケーションを実際の造船所 1 社に導入した。今年度は、AR 表示を鋼板上でも安定的に行えるようにシステムの改良を行った。また、表示デバイスに関して HMD（ヘッドマウントディスプレイ）対応の AR アプリケーションを開発し、造船所での実証実験で実用上十分に使えることを確認した（図 1.2.127 参照）。

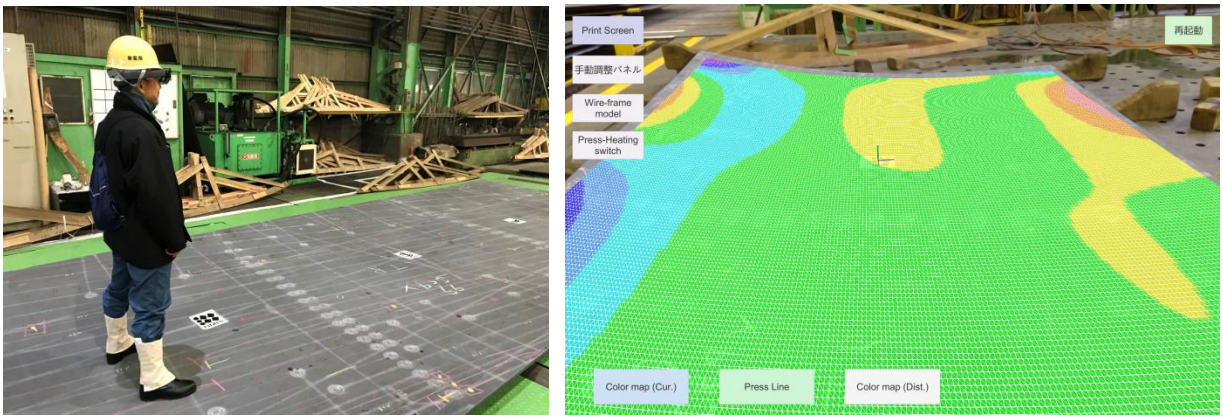


図 1.2.127　曲げ加工支援 AR アプリケーション

□レーザースキャナ等による外板の 3 次元計測結果を作業者に効果的に伝達するため、バーチャルな環境内で現在形状に対して目的形状を 3 次元的に転がし、その様子を可視化する 3 次元バーチャル曲げ型を考案した。目的形状との当たり（接触）の様子をインタラクティブに確認することができ、画面内で、距離誤差のみならず、横曲がり、縦曲がり、ねじれ等、板全体のマクロな形状の様子を把握できるシステムを開発した。
□塗装作業支援 AR システム等から取得できるスプレーガン位置やトリガの on/off 検知センサ等の各種データを利用して、塗装作業の進捗や良否（修正すべき点）を算出する手法を開発した。本手法で塗料の使用量（原単位）や塗装品質等の簡易的評価が行える（図 1.2.128 参照）。

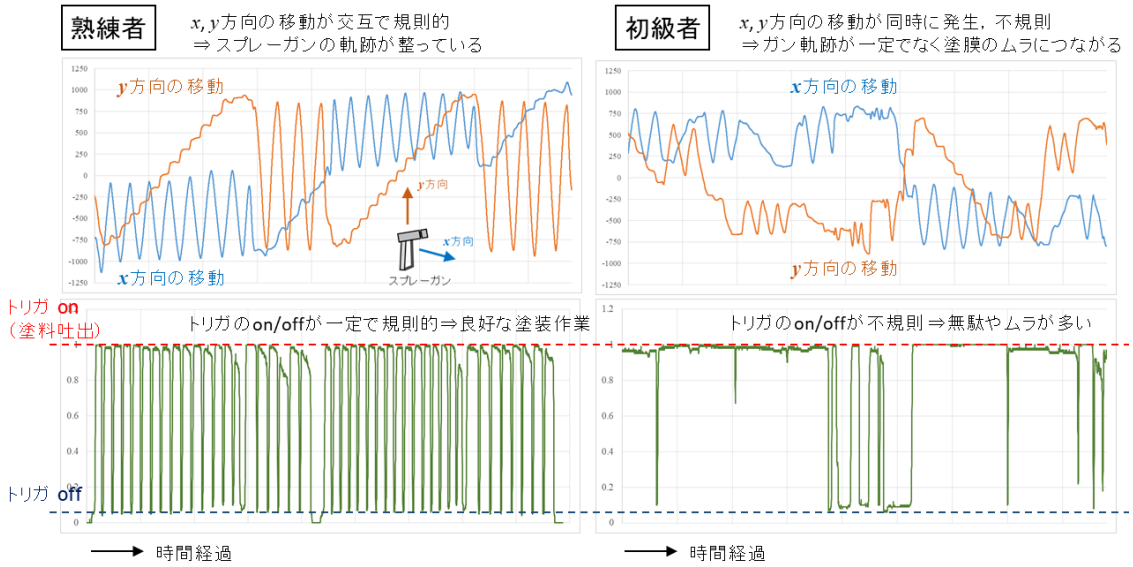


図 1.2.128　塗装作業データの抽出とデータからの技量の判定

□工場内の自走式の道具運搬ロボット（AGV）を対象として、その最適な動作データを出力する人工知能を開発した。道具運搬のスケジュール（必要な道具と目的地、時間）を与えると、定盤レイアウトやブロック配置に応じて、複数台の AGV が衝突することなく、最適な運搬経路を出力する強化学習の AI のプロトタイプを開発した。
□プロペラ翼の平面展開、曲率線配向の炭素繊維配置、炭素繊維トウを一筆書きで編み込むツールパスの出力を行うシステムを開発し、これに基づき、曲率線配向の CFRP 舶用プロペラ(縮小モデル)を製作した。
□曲率線情報の高度利用として、3 次元曲面へのフィルムの最適貼付技術について検討した。無理な引張やシワが発生しないフィルムの最適配置と展開図の出力手法を考案した。この研究は将来の船体への塗装代替技術として想定したもの（図 1.2.129 参照）。

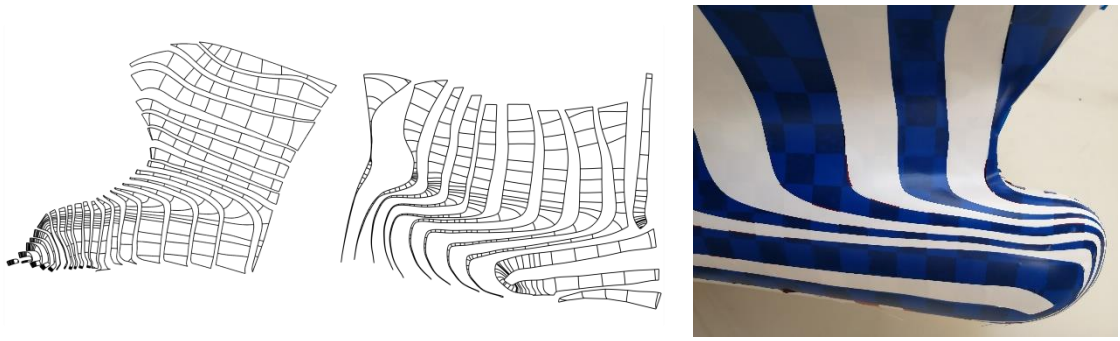


図 1.2.129　船体（模型船）へのフィルムの添付の例（左：フィルムの展開図、右：貼付の例）

□炭素繊維の材質、繊維配向を調整することで、ある荷重条件下にて目的形状に弾性変形させる CFRP プロペラについて検討し、目的形状に応じてその変形を実現するためのプロペラの各位置における材料特性（ヤング率、ポアソン比、異方性）を逆計算で求める手法を考案した。
□バーチャル上のブロック定盤に、ドローン等からの観測情報を取り込み、ブロック定盤の計画と実績を管理するブロック定盤管理システムを開発した。このシステムをプラットフォームとして、定盤計画、作業進捗の管理、遅延などの警告・対応策の提示、AGV データの作成等の生産管理に関するアプリケーション開発を行うことができる。

□構造接着については、FTP Code Part2(煙・毒性試験)、FTP Code Part5(表面燃焼性試験)、ISO1716(発熱量試験)、並びに、鋼船規則 R 編の規定による防火構造材料（難燃性上張り材(不燃性・難燃性基材用、不燃性基材用、難燃性基材用)、難燃性表面床張り材、一次甲板床張り材）認定の対応を行った。また、居住区における部位別の防火規則適合要件を調査し、防火関連認定未取得の接着剤の適用範囲を明らかにした。
□VaRTM（the vacuum- assisted resin transfer molding：真空含浸）工法については、施工条件の評価・選定を行った。被着面の前処理の有無など施工性も含めた接合条件パラメータの組合せが接合強度に及ぼす影響を評価し、造船部材要件として適切な接合条件を明らかにした（表 1.2.3）。なお、可搬性や作業性が溶接に及ばない、レーザーなどの可搬に適さない装置を必要とする手法、可搬式でない装置による薬品処理を必要とする手法、ボルトなどの機械的締結については、対象外とした。
□造船所・艤装品の設計・調達担当者などを対象とした鋼船対応構造用接着剤セミナーにおいて、昨年度構築した環境劣化を考慮した長期信頼性の評価手法について劣化係数などの解説を行い、造船分野での構造接着手法の普

及促進を図った。
□湿潤後乾燥回復試験など環境劣化促進試験については、当初計画通り年度をまたいで実施中。

表 1.2.3 造船部材要件として適切な異種材接合条件

		構造用接着剤	VaRTM成型
接着部		第二世代アクリル樹脂系接着剤(SGA)	鋼材接触面は複合材樹脂リッチ層（接着接合）
消防法危険物 （製品で異なる）		第2類引火性固体，第4類第1石油類	硬化剤：第5類自己反応性物質有機過酸化物
被着体接合面前処理		プライマー不要	プライマー不要
		サンディング要	サンディング不要
充填可能被着材間隔		3mm程度	制約無(複合材被着材を後工程で積層)
作業可能時間	冬季	速乾型硬化剤（23℃で5分）	ヒーターでの樹脂加温により標準と同程度
	標準	標準硬化剤（23℃で15分）	(23±5)℃で30分
	夏季	遅硬化型硬化剤（35℃で15分）	35℃で15分
固着時間		作業可能時間の4倍程度の圧締時間が必要	3時間で脱型(包材撤去)可能
硬化剤混合比感受性		鈍感（±20%許容）	鈍感（±20%許容）
副資材		不要（混合ガンの使用で施工速度向上）	要（真空脱気用包材、真空ポンプなど）
異材接合部劣化前 引張せん断強度 （複合材樹脂により異なる）		9～12 MPa（接着層厚3mmの場合）	10～15 MPa

□海上公試時の居室の騒音計測スペクトルから、当該居室の騒音にエアコンの影響があるか否かを判定する機械学習モデルを構築した。この判定モデルの精度を表 1.2.4 に示す。表 1.2.4 は学習に使用していないテストデータにおける判定結果であり、この判定モデルでは実際にエアコン騒音の影響があった 89 部屋の居室の内、約 97%に当たる 86 部屋を影響があると正常に予測した。また，エアコンの影響がなかった 589 部屋の内、誤って支配的と予測したものは約 0.17%に当たる 1 部屋のみであり、発見率のみならず精度も極めて高い判定モデルとなった。

表 1.2.4 テストデータでの判定結果

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

□深層強化学習をネスティング問題に応用し、自己学習と人手による配置データから学習する 2 つの学習を構築することにより、人手の手直しが不必要なレベルの結果を得ることができた（図 1.2.130）。左図は、自己学習の結果を利用して鋼材を配置した図である。右図は、ベテランの配置を模倣学習した結果を利用して配置した図である。

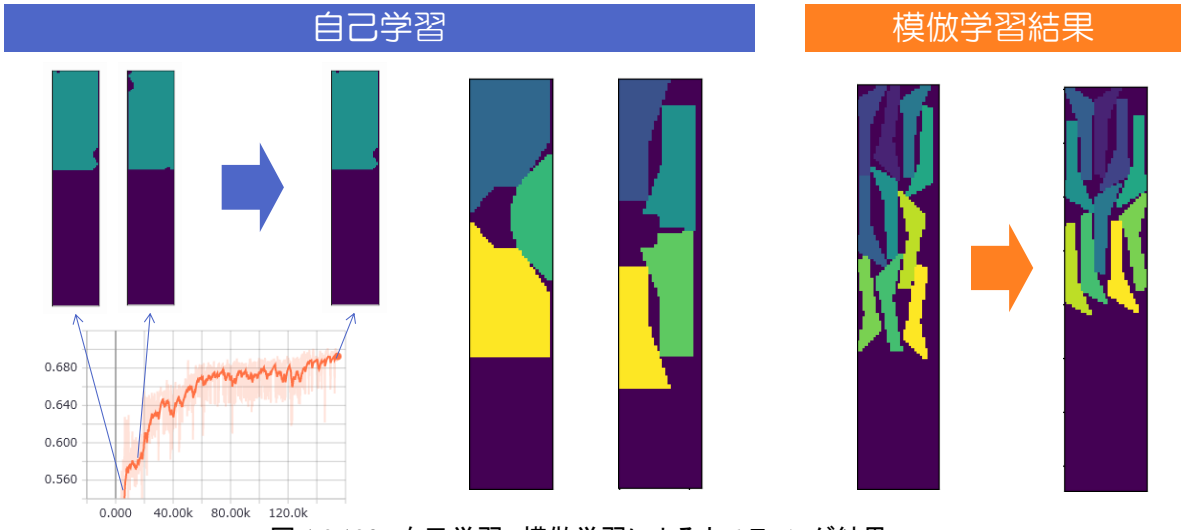


図 1.2.130 自己学習，模倣学習によるネスティング結果

□海技研 CFD と造船用 3D CAD のデファクトスタンダードである NAPA と組み合わせ、主機の構造部材の配置を自動概略設計し、推進性能と載貨容積とを多目的最適化する設計システムを開発し、載貨重量 6 万トンのバルクキャリアに対して試設計を行い、設計コストの低減、顧客への船型提案手法の改善等の有効性を確認した。（図 1.2.131）

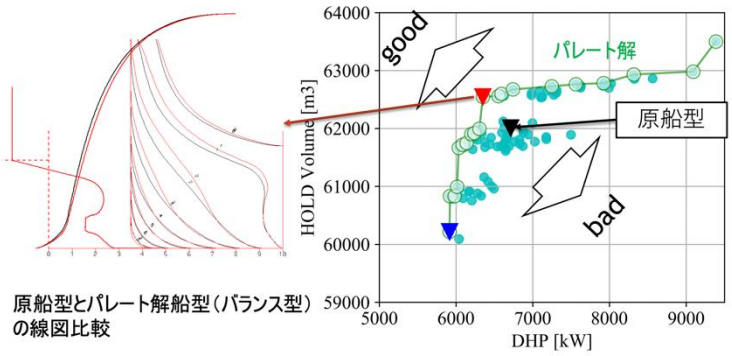


図 1.2.131　推進性能と載貨重量の多目的最適化の結果と最適船型の一例

□開発した上流設計システム上で生産性の初期評価を実現するため、設計システムに海技研の曲率線展開プログラムを組み込み、造船所・CAD メーカーと共に開発プロトタイプの初期評価を行い、有効性および改善点の抽出を行った。（図 1.2.132）

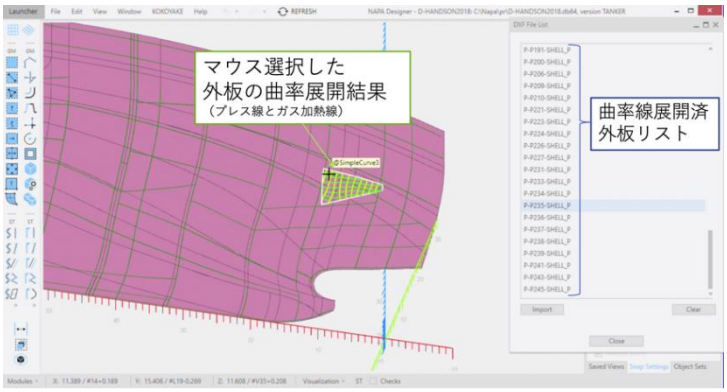


図 1.2.132　開発設計システムと連携した海技研の曲率線展開の結果の一例

□次世代造船設計システム（インテリジェント CAD）のコアとなる技術要素を検討し、造船を含む建築など受注産業全体で大きな課題となっている現場不具合を、IoT による作業者のモニタリング、CAD の作業ログ、会話データのモニタリング等で収集したデータベースを機械学習することで不具合の発生を予測し、CAD システム等で事前に注意を促すシステムを概念設計し、この技術の特許を出願した。（図 1.2.133）

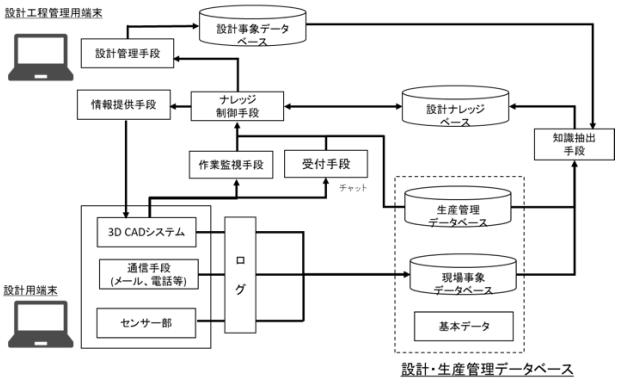


図 1.2.133　インテリジェント CAD の概念図

成果の公表

出願特許：4 件

□「平板プレス加工の作業支援方法、作業支援プログラム、及び作業」（出願日 2019/9/4）

□「曲面貼付フィルム作成プログラム、曲面貼付フィルム作成システム、曲面貼付フィルムを貼付した船体」（出願日 2019/9/4）

□（大島造船所と共同で申請中）：「部材配置システム及び部材配置プログラム」（出願日 2019/6/14）

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

ジャーナル、本文査読付きプロシーディングス、海技研報告の研究報告：1 件

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

その他発表：11 件

□Matsuo, K., Takezawa, M.: Development of work support system of press work for sheet metal forming, The 19th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS2019), Rotterdam, (2019), Vol.3, pp.89-96.

□Takezawa, M., Matsuo, K.: Application of Freeform Surface Unfolding Method Based on Lines of Curvature, The 19th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS2019), Rotterdam, (2019), Vol.1, pp.1-6.

□松尾宏平，竹澤正仁：造船のぎょう鉄作業を支援する AR システムの開発，職業能力開発総合大学校 PTU フォーラム，東京，(2019)，ページ無.

□谷川文章，松尾宏平：未活用労働力による新たな造船工程管理手法の開発，海上技術安全研究所報告，第 19 巻第 3 号，(2019)，pp.49-76.

□岩田知明：構造用接着剤のこれまでの経緯と今後の展開，Scott Bader 主催構造用接着剤セミナー，福岡，(2019)，ページ無.

□谷口智之，平方勝，藤本修平，山根健次，馬沖：最新の人工知能技術の活用－ネスティング AI と画像認識による点検－，海上技術安全研究所報告，第 19 巻別冊，(2019)，pp.51-55.

□平方勝，谷口智之，馬沖：知能構築にあたっての学習・発達に関する一考察，第 12 回人工知能学会汎用人工知能研究会(SIG-AGI)，東京，(2019)，ページ無.

□平方勝：海事分野への AI の適用，日本造船技術センター，東京，(2019)，ページ無.

□藤本修平，谷口智之：拡張現実（AR）を利用した塗装作業支援システムのプロトタイプ開発，日本塗装技術協会第 35 回塗料・塗装研究発表会，東京，(2019)，ページ未定.

□一ノ瀬康雄，藤原亮二，益井 崇好：初期設計における流体・生産一貫解析システムの開発について，NAPA User Seminar Japan 2019，神戸，(2019)，ページ無.

□一ノ瀬康雄，藤本修平，松尾宏平，高見朋希，金子杏実：船型設計のフロントローディングによる全体最適設計，海上技術安全研究所報告，第 19 巻第 4 号，(2020)，ページ未定.

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

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新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 －操船シミュレータ上に組み込んだ自律操船が可能なテストベッドの避航操船機能に対して、安全評価方法を検討し、評価実験を行う。　等

研究の背景

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

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

研究目標

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

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

R1 年度の研究内容

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

R1 年度の実績

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

R1 年度の研究成果

□自動避航アルゴリズムについて、ファストタイムシミュレーションによる結果（図 1.2.134）に対して、最接近距離や海上衝突予防法に従った方法か等の解析を行い、避航操船における困難度が高いと思われる見合い関係の抽出の検討を行った。今後、この結果を活用して、操船シミュレータで評価する際のシナリオの参考とする。
□東京湾を航行中の汐路丸で稼働中の避航操船支援システムのタブレット画面（図 1.2.135）を LTE 回線を利用して陸上でモニタリングを行い、通信速度との関係を調査した。船から陸上へのアップリンク速度が 1～2Mbps を下回ると、タブレットのカメラ映像の伝送には、不十分であることを確認した。
□立体視による他船検出システムについて、深層学習のフレームワーク選択と入力画像の拡大処理により、検出率が改善した（図 1.2.136）。灯浮標を対象に検出を行ったところ、高さ 4.6m の灯浮標を約 2km 先から安定的に検出できた。反航船、灯浮標を対象に位置推定を行ったところ、系統誤差を除きおよそ±2%程度の推定誤差範囲内で相対距離を推定できた（図 1.2.137）。GUI への出力を行い（図 1.2.138、1.2.139）、公開実験を行った。
□MMG モデルを対象とした IPOP-CMA-ES を用いた非線形最適化計算を行った。計算時間短縮のため、計 3 ステップの削減、制御回数制限による解空間の次元削減、並列計算の実装を行ったが、計算時間が実用的な範囲には収まらなかった。併せて、目的関数評価の際に状態量の標準化を行うことで精度を改善したが、最終位置が模型船スケールで 1m 程度の誤差を生じたため実用精度に達しない可能性があることが確認された。図 1.2.140 に最適化計算により得られた解の一例を示す。IPOP-CMA-ES の計算には、Python による実装の pycma を用いた。

□Hull の流体力計算において標準的な MMG モデルと比較して必要な係数が少ない芳村の Cross flow drag モデル

を採用した。このモデルは着桟操船時の斜航状態の運動予測に適したモデルであり、さらに北川らのプロペラ逆転時の計算モデルを用いることでクラッチ動作を含む風の影響を受ける着桟操船時の運動状態を精度良く予測する低速域操縦運動数学モデルを構築した。

□神峰（図 1.2.141）を用いた操縦性試験を運動性能研究グループと共同で因島周辺海域で実施し、低速域操縦運動数学モデルに対応した神峰の操縦流体力同定を行った。操縦試験では Z 試験において PC から制御で行い、安定した試験を実施した。潮流や風等の外乱影響下で計測した異なるエンジン回転数およびクラッチ操作を行った航行データから、離着桟操船アルゴリズム開発に必要な精度を有するシミュレーション環境を構築した。

□自動着桟プログラムの開発速度と品質の向上を目的として、神峰に搭載された PLC 制御システムの通信エミュレータを開発した。通信エミュレータは操縦運動のシミュレーション機能を有し、シミュレーション計算には野本の一次系近似モデル、標準的な MMG モデル、芳村の低速域モデルおよび新たに開発した低速域操縦運動数学モデルから選択することができる。また、風外乱の影響を評価するため、ワイブル分布と正規分布を用いた風向風圧シミュレーション機能を有する（図 1.2.142 にシミュレーションと実際に計測値を基にした風配図を示す）。さらにエミュレータはシミュレーション中にリアルタイムに船舶の運動状態を可視化する機能とロギング機能を有する。このエミュレータにより、陸上で操縦運動シミュレーションを用いて開発されたソフトウェアをそのまま変更なしに実船のシステムにつないで制御することが可能となり、自動着桟プログラムの開発工数と不具合の発生頻度を大幅に削減した。

□IPOP-CMA-ES による非線形最適化計算の結果を受け、代替案として経路追従をベースとした実時間制御アルゴリズムの検討を行った。経路追従には Pure Pursuit アルゴリズムを採用し、船首方位や計画経路との誤差を用いた PD および PID のオートパイロットにより船首方位を制御することで風や潮流下において安定した経路追従を行うことができる。特徴として制御パラメータの少なさと安定した経路追従性能が挙げられる。Pure pursuit + Autopilot による経路追従の性能を確認するためシミュレーションおよび実海域で神峰を用いて試験を行い、制御性能を検証した。図 1.2.143 に実海域試験での航跡を示す。

□経路を 4 つの区間に分け制御モードを切り替える Pure pursuit + Autopilot による自動着桟プログラムを開発した（図 1.2.144 左）。着桟操船時の経路設定にはベジェ曲線を採用することで制御開始時の姿勢によらず、設定された着桟位置までの滑らかな経路を自動で生成することができる（図 1.2.144 中央および右）。

□Pure pursuit + Autopilot による自動着桟操船をシミュレーションおよび実海域で検証した。（実証実験は運動性能研究グループも協力）実海域における仮想桟橋に着桟例を図 1.2.145 に実桟橋の着桟例を図 1.2.146 に示す。どちらも計画航路に対してのズレは一定の幅で収まっており、特に平均風速が 2m/s の仮想桟橋の着桟例（図 1.2.145）ではほとんど経路との追従誤差は見られない。一方で平均風速が 3.9m/s となった図 1.2.146 の実桟橋の着桟例ではニュートラル走行時でも経路誤差を一定以下に押さえ目標位置に着桟制御できることが確認できた。特に風速が遅い場合には、複数回の試験を行っても安定して経路誤差を抑えて目標位置に着桟制御できることを確認した。

□神峰を対象として、音声情報を活用した着桟操船支援システムを開発した。図 1.2.147 に、支援システムのモニター画面を示す。図 1.2.148 に、音声ガイダンスの例を示す。音声ガイダンスにより位置 S→位置 P、位置 P→位置 T、位置 T→位置 O での変針指示、位置 T で設定船速にするための減速指示、風向と風速の情報提供、位置 T、位置 O までの距離のアナウンスが行われる。図 1.2.149 に、実船実験で得られた航跡の一例を示す。実験において、目標航路に近い航跡が得られており、音声ガイダンスは概ね適切なタイミングで出力されていることが分かった。一方、着桟位置近くにおける支援方法や目標航路とのずれに対する補正等の課題が挙げられる。図 1.2.150 に、操船シミュレータ実験による評価実験から得られた航跡の一例を示す。音声ガイダンスを活用した着桟操船支援システムを使用した場合、図 1.2.149 に示した実船実験結果と概ね同様の結果が得られた。着桟目標位置における船速と進入角度を音声により誘導する着桟操船支援システムは、操船経験のない、または、少ない操船者 15 人の NASA-TLX スコアの平均値の結果から、精神的作業負担を低減することを確認した。ユーザビリティの評価においても、同じ被験者の SUS スコアの平均値の結果から、支援システムが受容される評価であることを確認した。しかし、この支援システムは実験段階のシステムであり、事前設定等の汎用性・操作性を高める必要がある。課題としては、舵を戻すタイミングや着桟直前の舵の操作が習熟訓練での把握結果をもとに感覚で操作した被験者が多かったことから、本支援システムにこれらのタイミングや操作量を指示する機能を追加することで、さらに操船者への支援に役立つと考える。

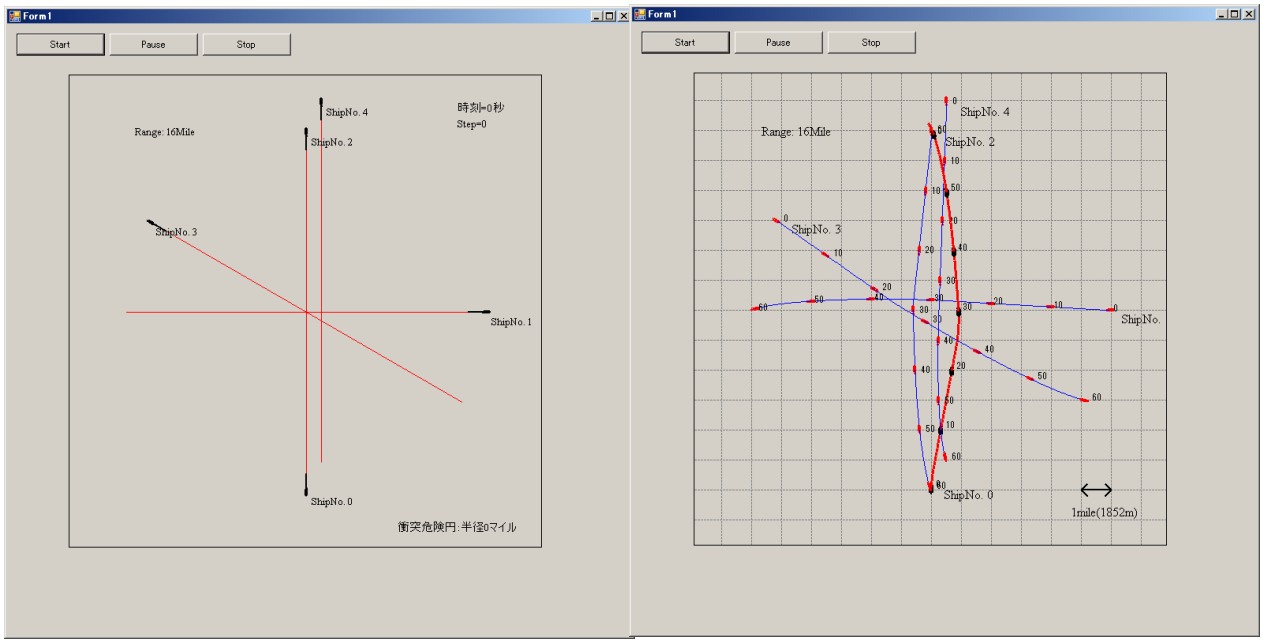


図 1.2.134　ファストタイムシミュレーション画面

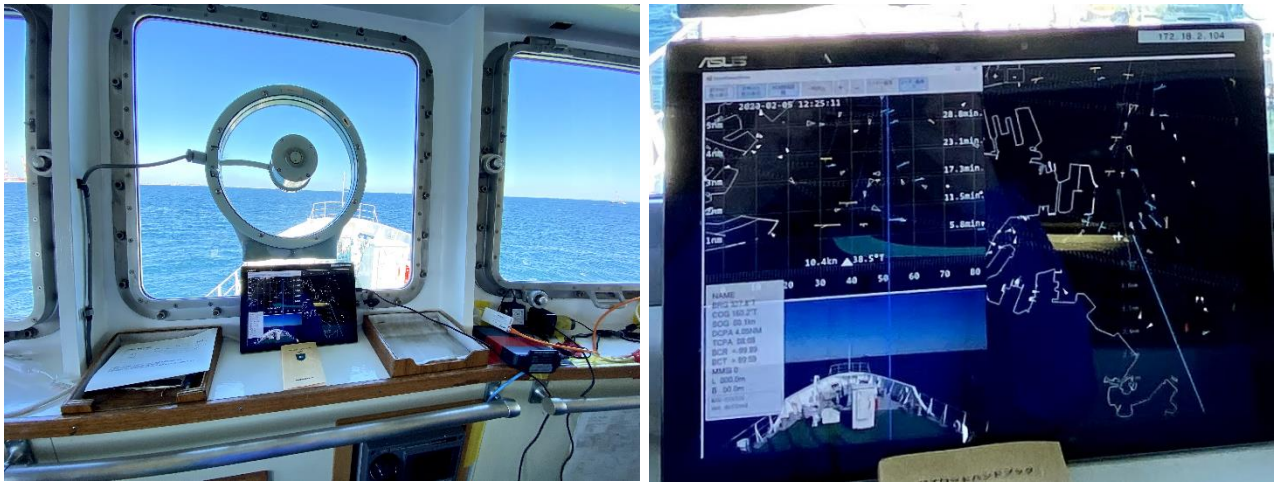


図 1.2.135　汐路丸に搭載した避航操船支援システムのタブレット画面

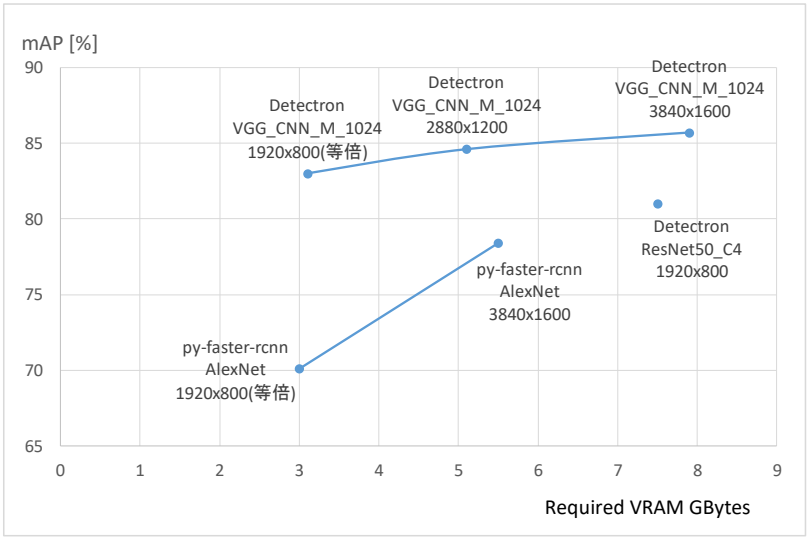


図 1.2.136　深層学習フレームワークと検出率

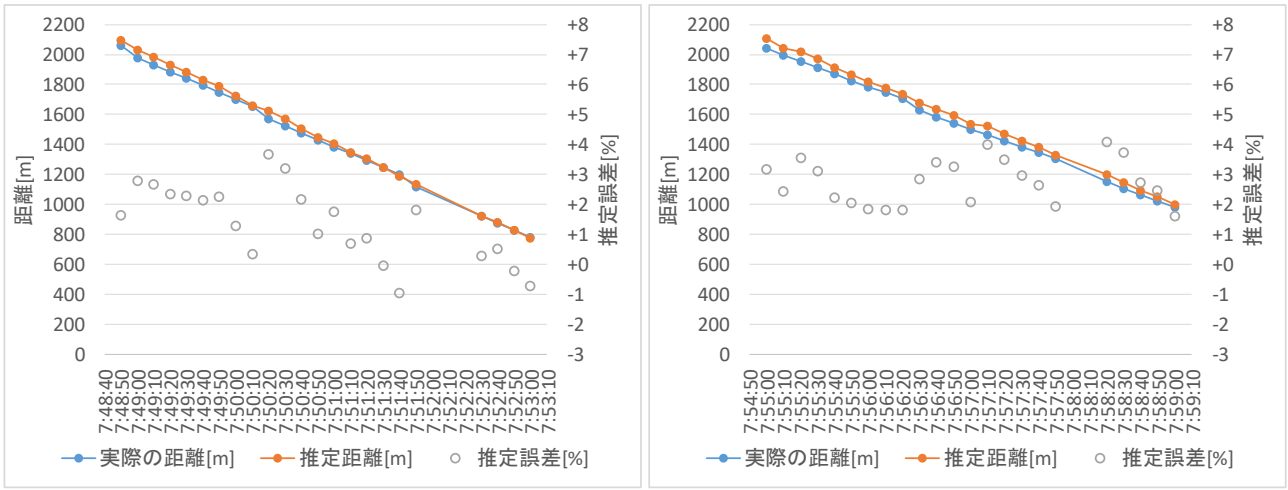


図 1.2.137　灯浮標の相対距離推定例

図 1.2.138　景観画像からの船影検出例

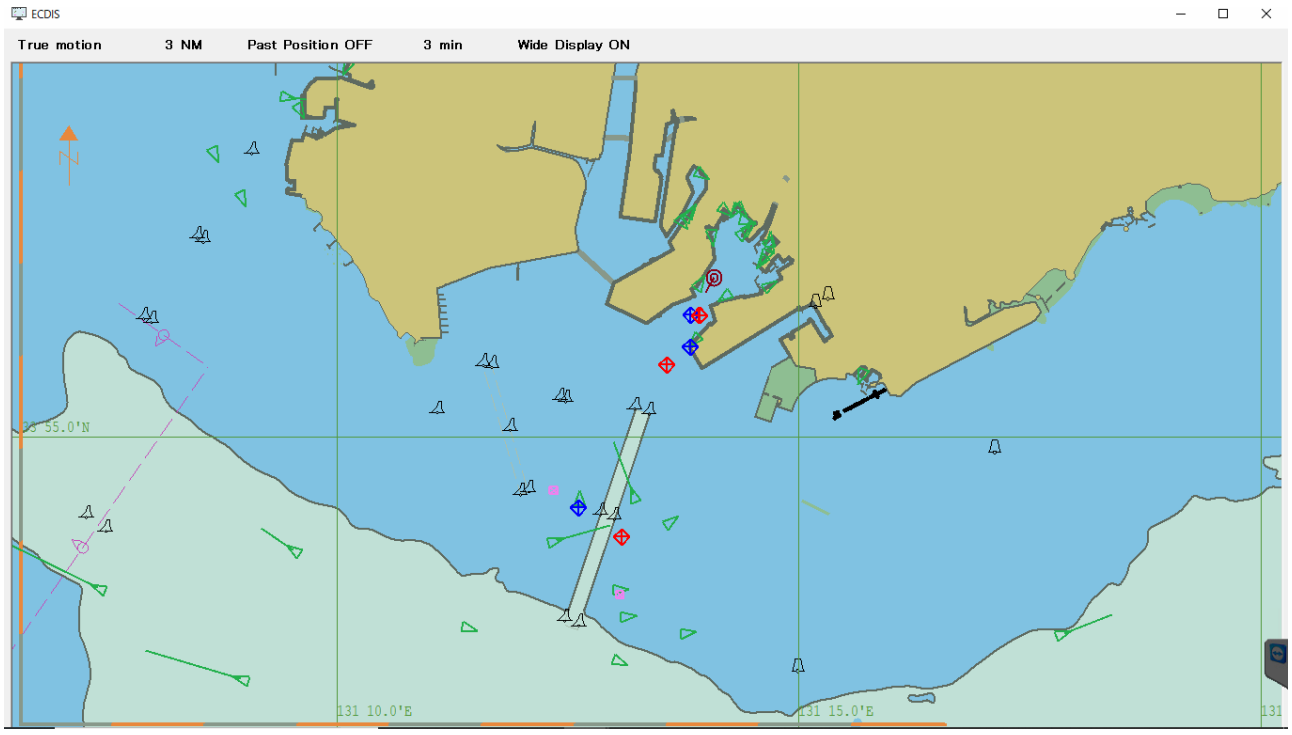


図 1.2.139　推定船位の GUI 描画例

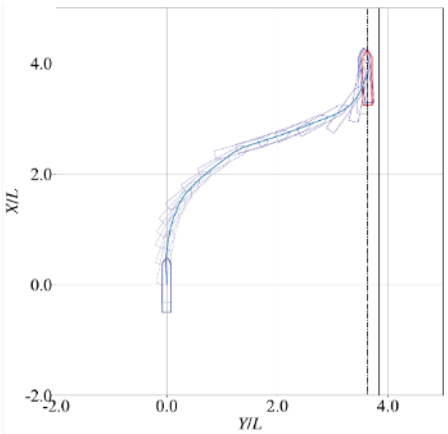


図 1.2.140　ESSO OSAKA 3m 模型の MMG モデルを用いた IPOP-CMA-ES による着桟操船の解の一例

図 1.2.141　神峰の外観と操縦席

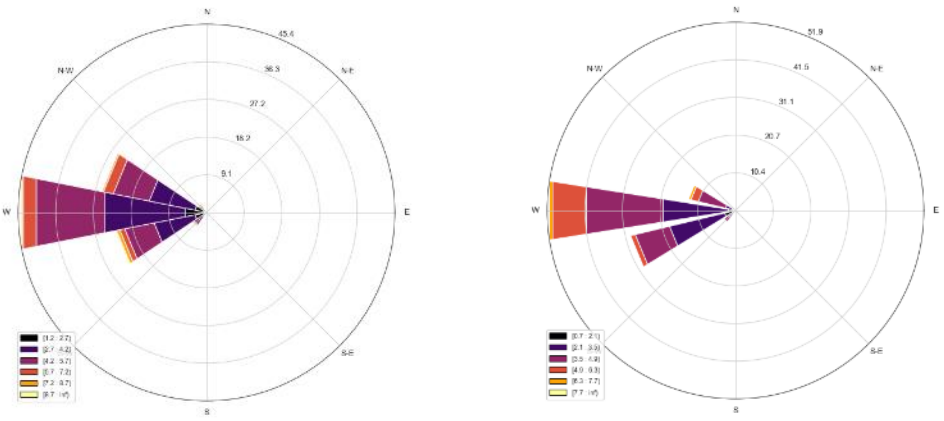


図 1.2.142　ワイブル分布と正規分布による風速と風向のシミュレーション
（左：シミュレーション、右：計測値）

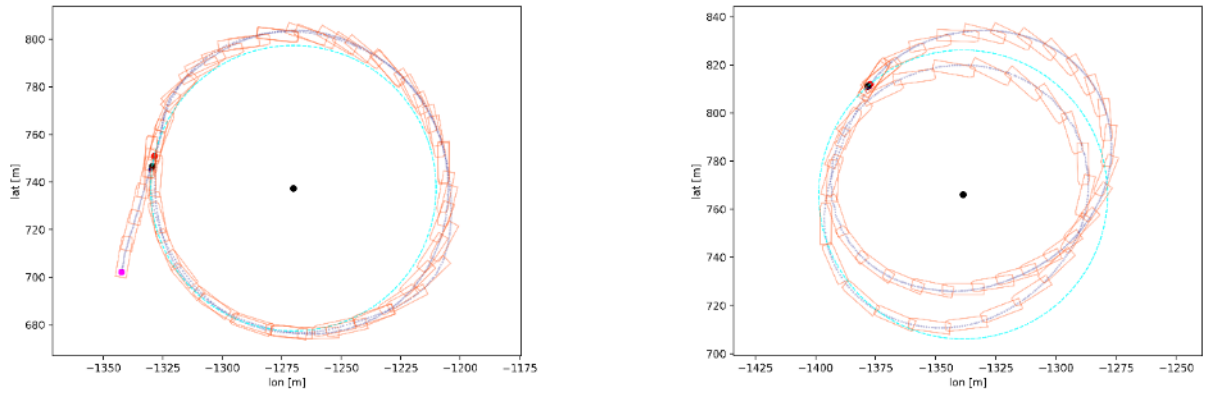


図 1.2.143　神峰を用いた実海域トレース試験（追従円周経路半径 60[m]、
左：PurePuresuit＋Autopilot、平均主機回転数：757.0 [rps]、平均真風速 6.0 [m/s]、平均風向 272 [deg]
右：舵角+15 度一定、平均主機回転数：756.5 [rps]、平均真風速 6.29 [m/s]、平均真風向 301 [deg]）

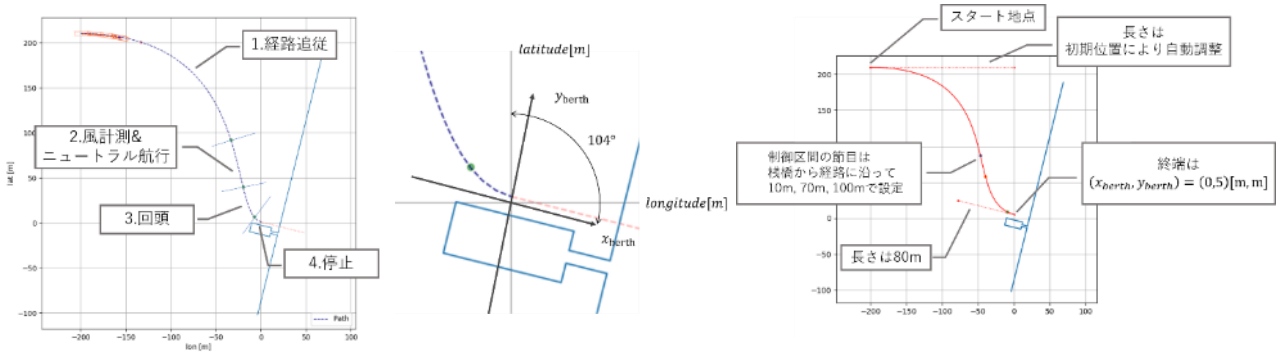


図 1.2.144　Pure pursuit + Autopilot による着桟操船の概要。左図の青の点線は着桟の計画経路。
中央は自動着桟の計算に用いる座標系。右図はベジェ曲線による着桟経路計算の概要。

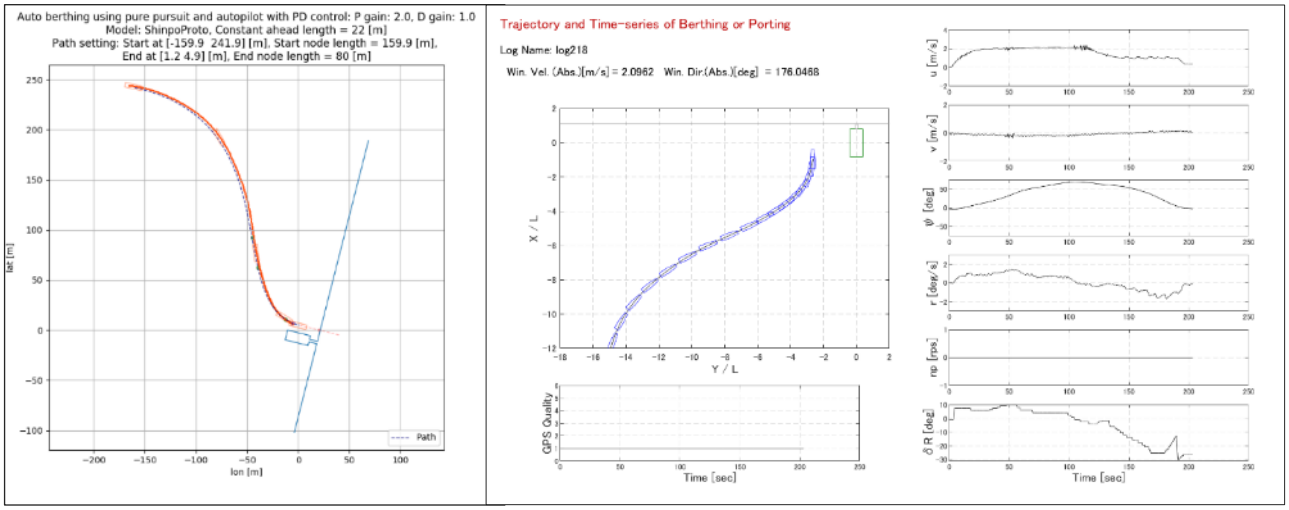


図 1.2.145　Pure pursuit + Autopilot による神峰を用いた自動着桟操船結果の一例
（仮想桟橋に対する着桟、右図は想定した仮想桟橋の位置を示し、左図の桟橋の位置は実桟橋を示す。
右図中の青点線は計画経路、赤点は航跡）

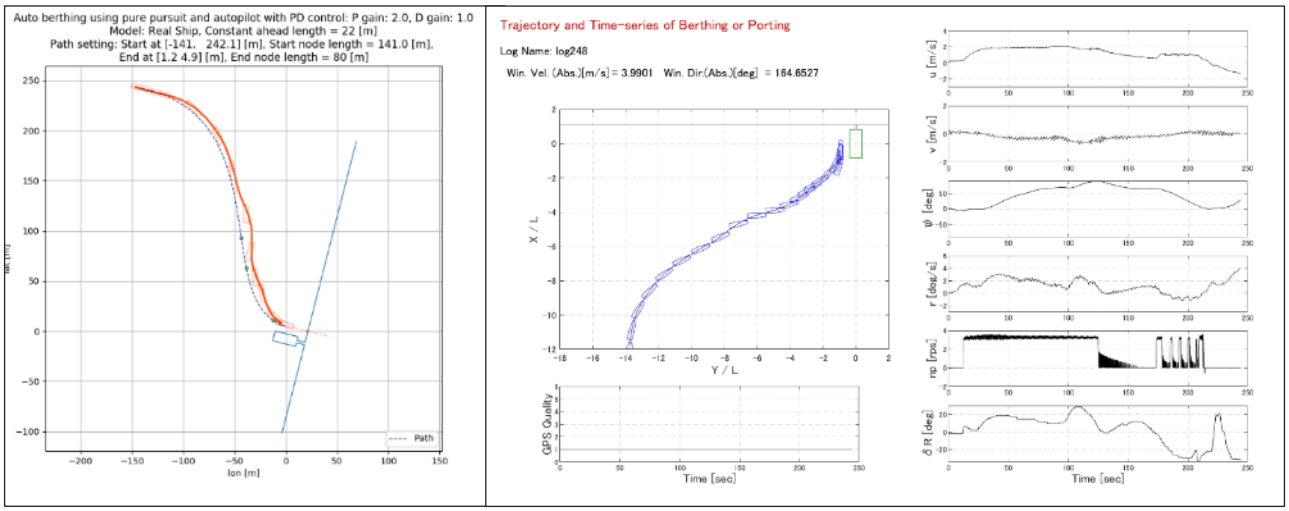


図 1.2.146　Pure pursuit + Autopilot による神峰を用いた自動着桟操船結果の一例
（実桟橋に対する着桟、右図中の青点線は計画経路、赤点は航跡）

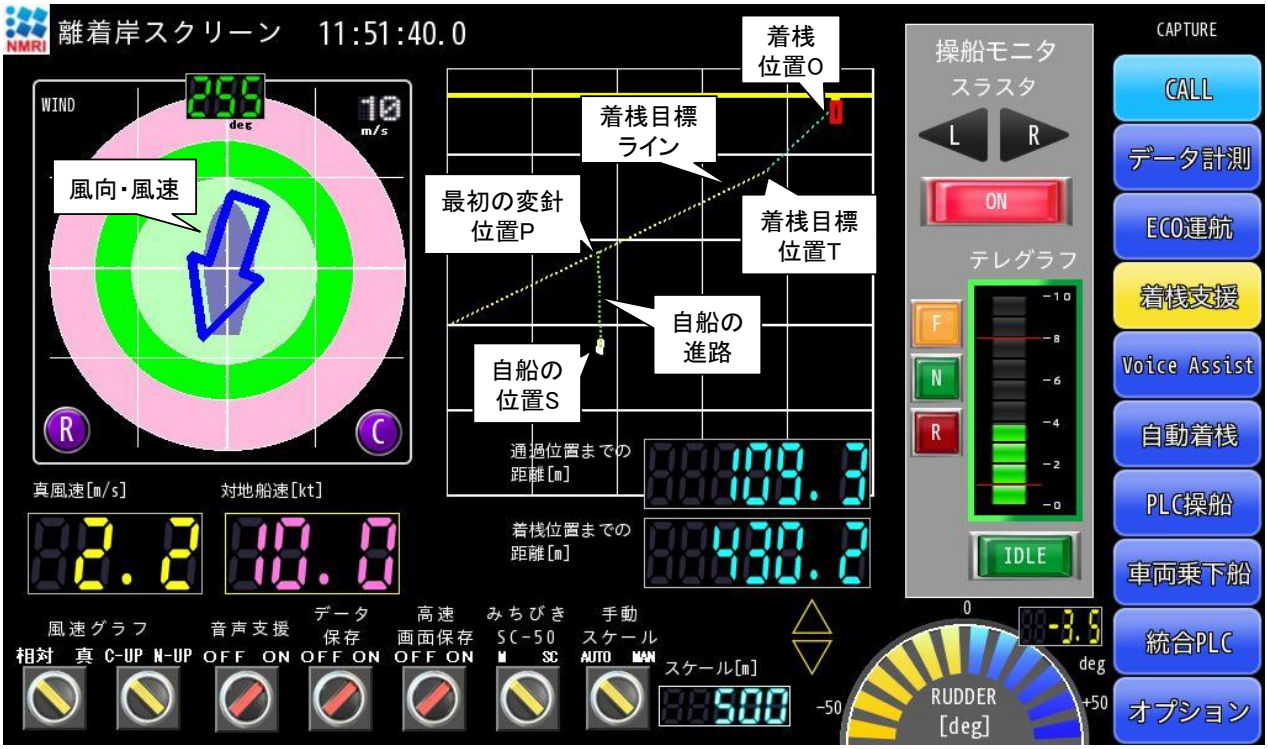


図 1.2.147　支援システムのモニター画面

図 1.2.148　音声ガイダンスの例

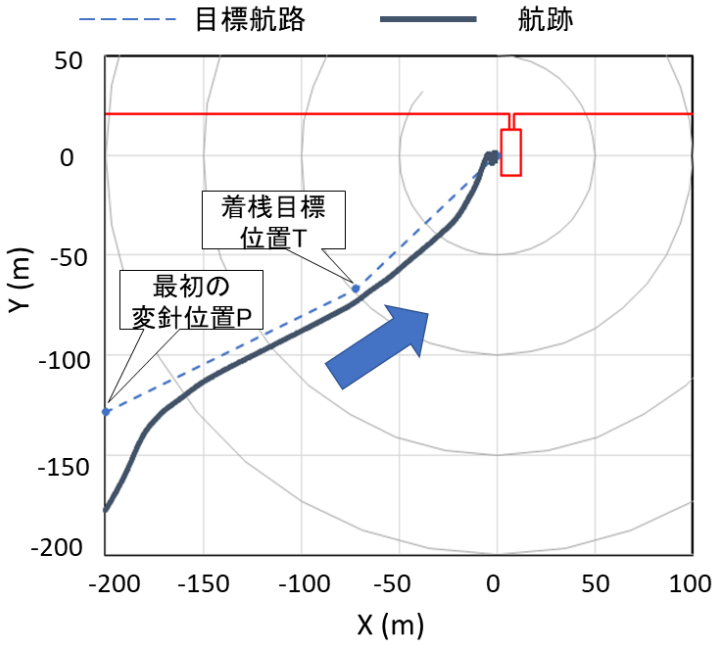
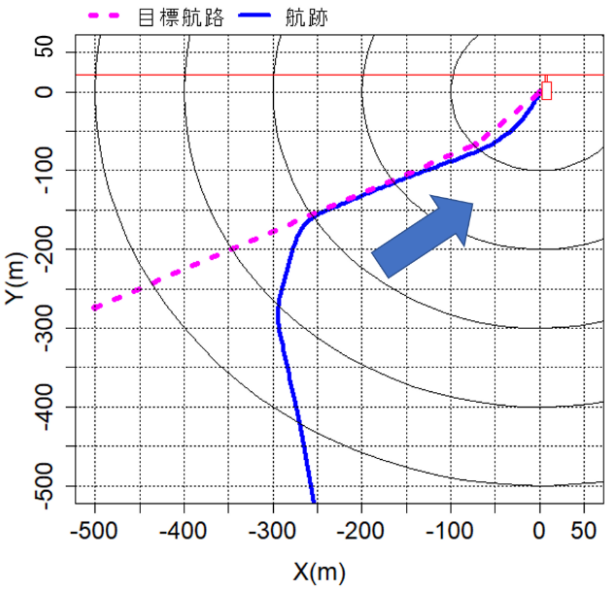
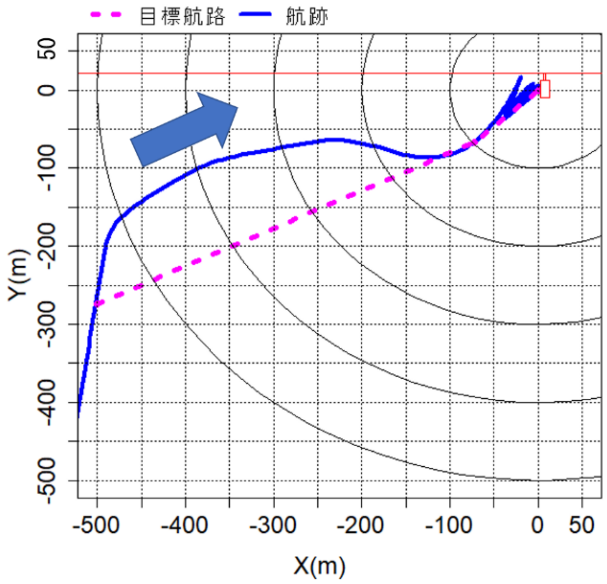


図 1.2.149　実船実験で得られた航跡の一例



音声による着桟支援あり（被験者 1）



音声による着桟支援なし（被験者 1）

図 1.2.150　操船シミュレータ実験による評価実験から得られた航跡の一例

成果の公表

本文査読付き会議録

□Keiji SATO: A Navigational Information Display System for Supporting Decision Making for Collision Avoidance –Utilizing Obstacle Zone by Target (OZT)–, 2019 e-Navigation Underway Conference North America, 2019.

□Takahiro MAJIMA: Smoother Sailing with the Internet of Things –Leveraging AI Technology for Safe & Efficient Navigation and Operations at Sea–, Smart Maritime Network Tokyo Conference, 2019.

□Ryohei SAWADA: Automatic Collision Avoidance Using Deep Reinforcement Learning with Grid Sensor, Proceedings of the 23rd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems, pp.17–32, 2020.

□Eiko SAITO, Masayoshi NUMANO, Keiko MIYAZAKI, Koichi HIRATA: Maneuvering Motion Simulation to Support Berthing Operation of Small Crafts, The 2nd International Conference on Maritime Autonomous Surface Ship –ICMASS, 2019.

□澤田涼平：連続行動空間における深層強化学習を用いた自動避航操船，日本船舶海洋工学会 2019 年秋季講演会論文集，第 29 号，pp.263–272，2019.

□澤田涼平，平田宏一，北川泰士，齊藤詠子，上野道雄，宮崎恵子，谷澤克治，福戸淳司：経路追従制御による自動着桟操船システムの開発，日本船舶海洋工学会 2020 年春季講演会論文集，第 30 号，2020（投稿中）.

□南真紀子，丹羽康之，庄司るり：事故事例を参考にした自動運航船安全評価シナリオの作成に関する検討，日本航海学会講演予稿集，Vol.7，No.2，pp.106–109，2019.

□小林充，佐藤圭二，齊藤詠子，丹羽康之，福戸淳司，岩崎一晴：立体視による他船検出・位置推定システムの研究，日本航海学会講演予稿集，Vol.7，No.2，pp.142–145，2019.

□佐藤圭二，澤田涼平，福戸淳司：航行妨害ゾーン（OZT）可視化による避航判断支援システムの開発，海上技術安全研究所報告，第 19 巻別冊，pp.67–71，2019.

□間島隆博，南真紀子，澤田涼平，福戸淳司：自動避航操船の計算アルゴリズムの開発，海上技術安全研究所報告，第 19 巻別冊，pp.73–76，2019.

□丹羽康之：操船シミュレータによる自動航行プラットフォームの構築，海上技術安全研究所報告，第 19 巻別冊，pp.77–80，2019.

□小林充，丹羽康之，佐藤圭二，齊藤詠子：深層学習を用いたカメラ画像からの船舶検出と位置推定に関する研究，海上技術安全研究所報告，第 19 巻別冊，pp.116–117，2019.

□佐藤圭二：自律避航アルゴリズムの開発，日本船舶海洋工学会東部支部ワークショップ「自律化船の実現に向けて」，2019.

その他

□丹羽康之，宮崎恵子：自動運航船の国内外の概要と避航機能について，電子情報通信学会信学技報，SSS2019–8，pp.5–8，2019.

□丹羽康之：自律運航船技術の国内外の開発進展状況について，山縣記念財団海事交通研究，第 68 集，pp.65–75，2019.

□丹羽康之：避航操船を中心とした自律船技術について，日本内燃機関連合会講演会「自動運航，自律運航の開発動向と最新情報」，2019.

□間島隆博:海事産業のビッグデータと AI の応用, 全国水産高等学校長協会・全国水産高等学校実習船運営協会・全国高等学校水産教育研究会総会, 2019.
□間島隆博:船舶の自律化について, 日本海運経済学会年次大会, 第 53 回大会, 2019.
□間島隆博:海事産業に係る自動化技術, 鉄道・運輸機構、内航船舶技術支援セミナー, 2019.
□間島隆博:自律船の研究開発, 自動車技術会 2019 年度第 11 回見学会海上技術安全研究所, 2020.

公開実験

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

特許

□特願 2019-132152・NNRI-562, 周辺状態表現方法、避航動作学習プログラム、避航動作学習システム、及び船舶, 出願日:2019 年 7 月 17 日.
□特願 2019-205086・NMRI-567, 船舶の着桟支援プログラム、船舶の着桟支援システム、及び船舶の着桟支援システムを搭載した船舶, 出願日:2019 年 11 月 12 日.

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

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

中長期目標	中長期計画	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 －平時輸送については国内貨物及び輸出入貨物を対象に、貨物経路選択手法を高度化して性能向上を図る。また、災害時輸送については地震発生後の被害発生から評価までの輸送シミュレータの機能モデルを完成させる。 －国際海運・造船における経済状況を表す貨物流動データ等と、海運会社や造船会社の活動を表す運航データや船腹・建造データにおけるデータフュージョン（データ融合）技術の検討を実施する。 等

研究の背景

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

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

研究目標

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

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

R1 年度の研究内容

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

R1 年度の実績

□AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
・災害時の傷病者輸送について、輸送の実態調査・関係者へのヒアリング調査を中心に実施し、マルチエージェントモデルを用いたシミュレータのフレームワークを検討した。また、拠点病院、救護病院、道路ネットワークデータ等の基盤データの整備を行った。（競争的資金である交通運輸技術開発推進制度を獲得 2019 年度～2021 年度）（学会講演会等で発表）
・荷主の港湾選択行動をディープラーニングによりモデル化し、海上輸送費用、荷役費用、港湾機能といった説明変数の変化に対して港湾貨物量の増減予測を行い、約 8 割程度の精度を確認した。
・広域震災時の災害支援物資輸送における冗長手段としての海上輸送の必要性を提示（学会講演会に投稿）
・到着予測モデルの検討結果をもとに到着予定を遅延実態から予測する手法を開発（学会講演会に投稿）

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究
・IPCC の社会・経済シナリオに基づく、海上荷動き量、船種・サイズ別船舶数、CO2 排出量の予測を実施。
船舶の燃料消費量に大きな影響を与える減速航行について、Lloyd's List Intelligence 社の船舶動静データと機械学習の異常値検知に基づき、船種・サイズ別の平均航行速度を算出する方法を作成（民間請負 1 件実施）
・鉄鉱石の国際輸送を対象にして、INFINIT モデルを用いた輸送シミュレーションを試作（学会講演会に投稿）（共同研究 1 件実施）

R1 年度の研究成果

□AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
・大規模災害時における、緊急消防援助隊ブロック訓練や自治体主催の大規模図上訓練等の参観によって傷病者輸送の一連の流れ（図 1.2.151、図 1.2.152）を確認し、情報の流れ、応援部隊配置の考え方などについてシミュレータの基盤となる動きに落とし込めるようフレームワークの検討を行った。
・静岡県及び高知県を対象に救護所や病院、道路ネットワークデータ等の基盤データ整備（図 1.2.153）を実施中である。
・令和元年度交通運輸技術開発推進制度に採択され、本年度の年度末評価において、シミュレーションにより適切なインフラ強化につながることを期待されていることや良いものが完成すれば期待できるとの評価をもらっている。
・災害時の支援物資輸送について、地震発生後の被害発生から評価までの輸送シミュレータについて遺伝的アルゴリズムを用いた自動配船機能を含む機能モデルを構築した。
・わが国の輸出入貨物を対象に荷主の港湾選択行動をディープラーニングによりモデル化を実施。候補航路が数百以上の組み合わせがなるところから、実際に使われそうな航路を予測し、海上輸送費用、荷役費用、港湾機能といった説明変数の変化に対して港湾貨物量の増減予測を行い、約 8 割程度の精度を確認した（図 1.2.154、図 1.2.155、図 1.2.156）。
・船舶の運航情報提供システムでは、季節変動等の要因による遅延や運休・欠航が発生しているのかを明らかにするために、常時データ収集している貨物鉄道とフェリーにおける遅延実態に関するデータについて月別の遅延実態の分析を実施。その結果長距離フェリーは、夏期の遅れは少ないが冬期に多くなる傾向が見られ、貨物鉄道は平均的に遅れが多い傾向が見られた（図 1.2.157）。
・昨年度作成した到着予定を遅延実態から予測させるモデルを用いた、運航定時性評価システムを作成した（図 1.2.158）。

図 1.2.151 大規模訓練の様子及び応援部隊配置の考え方

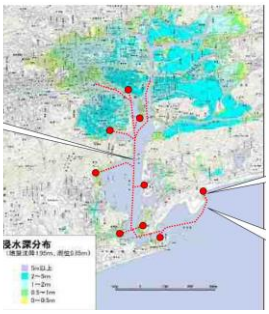


図 1.2.152 緊急時の海上輸送航路

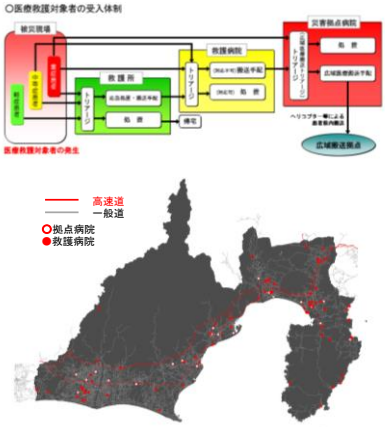


図 1.2.153 ネットワークデータ等の基盤データの整備

図 1.2.154 ロス発仙台着の貨物の輸送経路例

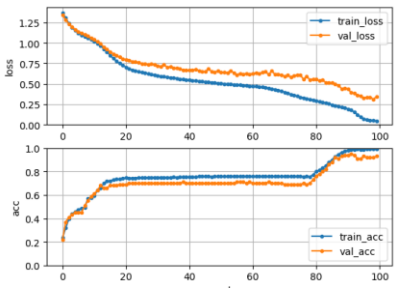


図 1.2.155 輸送経路 4 本から 1 本を選択する学習

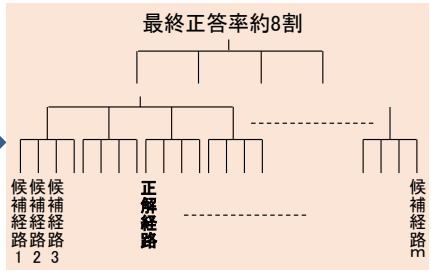


図 1.2.156 トーナメント方式により最終解を 1 本選択

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

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

図 1.2.157 月別の貨物鉄道及び定期フェリーの運航実態
（上段:フェリー、下段:貨物鉄道）

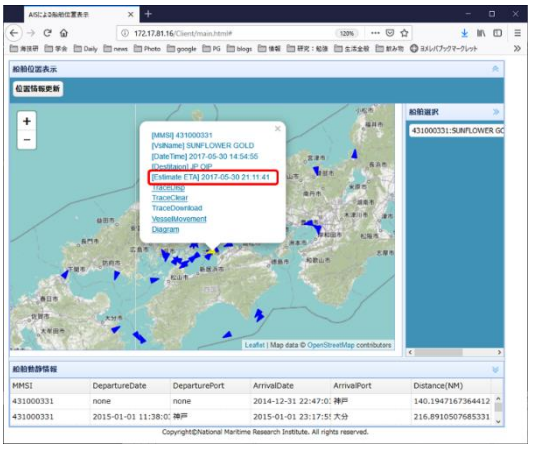


図 1.2.158 フェリー到着予測システム

□AI 等を用いた国際海運・造船需要予測の研究

・IMO GHG Study の GHG 排出予測における船舶の減速航行等を評価するため、AIS データ等の各種運航データを融合した解析技術を構築した。海運・造船予測のシミュレーションにより、IMO の GHG 削減戦略における燃費効率目標の達成方法を算定した（図 1.2.159、図 1.2.160）。

・船舶の燃料消費量に大きな影響を与える減速航行について、Lloyd's List Intelligence 社の船舶動静データと機械学習の異常値検知に基づき、船種・サイズ別の平均航行速度を算出する方法を作成した。

・鉄鉱石の国際輸送を対象にして、INFINIT モデルを用いた輸送シミュレーションを試作し、シミュレータの妥当性の検討として、実データとの比較を行った。（図 1.2.161、図 1.2.162）。

・他船種への拡張と減速航行や代替燃料といったオプションの評価を中心に準備中。

・令和元年度に東京大学との共同研究を締結し、海事産業が産業構造に与える影響に関する意思決定支援ツールとしての提供を目指す。

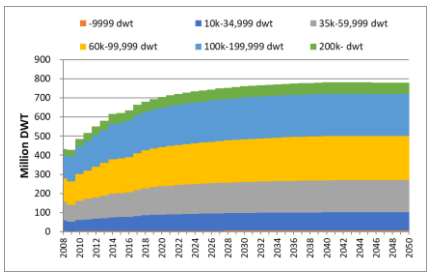


図 1.2.159 船腹量のシミュレーション結果

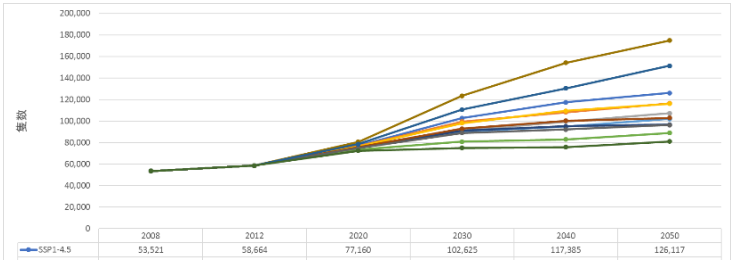


図 1.2.160 船隻数の将来予測シミュレーション

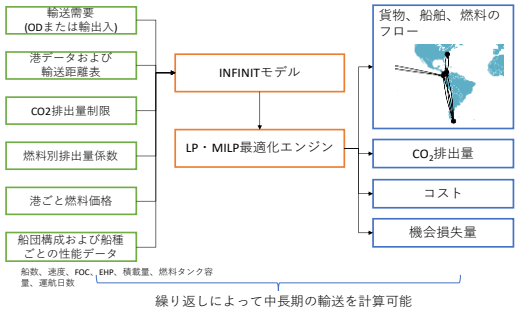


図 1.2.161 シミュレータの妥当性の検討
実データとの比較

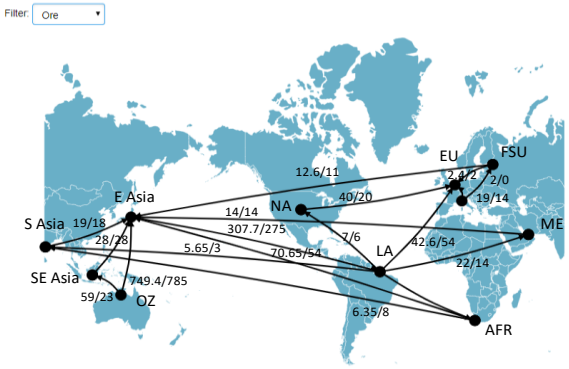


図 1.2.162 シミュレータの妥当性の検討
実データとの比較

成果の公表

□論文

(1)査読付きジャーナル

・Kazuo Hiekata, Shinnosuke Wanaka, Taiga Mitsuyuki, Ryuji Ueno, Ryota Wada, Bryan R. Moser: Decision Support Methodology to Evaluate IoT Technologies Deployment in Maritime Industry Using Systems Approach, Journal of Marine Science and Technology, 2019.（投稿中）

・Takahiro Majima, Keiki Takadama, Daisuke Watanabe, Taro Aratani, Keiji Sato: Analysis and Avoidance of Bottlenecks for Logistics System toward Equal Distribution of Relief Supplies in Disasters, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 2019.

・Shinnosuke Wanaka, Kazuo Hiekata: Development of Collaborative Workshop Environment for Engineering Systems Design, Computers in Industry, 2020.（投稿中）

・松倉 洋史, Deep Learning 手法による輸出入海上コンテナ貨物の輸送経路推定, 日本船舶海洋工学会論文集, vol.31, 2020（投稿中）

(2)本文査読付きプロシーディングス

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

(3)講演予稿集等(本文査読無し)

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

(4)出願特許、プログラム登録

なし

3. 港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等

【中長期目標】

国土交通省では、港湾・空港施設等の防災及び減災対策、既存構造物の老朽化対策、国際コンテナ戦略港湾や首都圏空港の機能強化、海洋開発の拠点整備等の緊急的な課題への対応のための政策を推進している。

研究所は、上記政策における技術的課題への対応や関係機関への支援のため、構造物の力学的挙動等のメカニズムの解明や要素技術の開発など港湾・空港整備等に関する基礎的な研究開発等を実施するとともに、港湾・空港整備等における事業の実施に係る研究開発を実施する。

さらに、独創的または先進的な発想に基づき、研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究に対しては、先見性と機動性を持って的確に対応する。

なお、研究所による基礎的な研究開発等の成果は、国土技術政策総合研究所において、技術基準の策定など政策の企画立案に関する研究等に活用されている。このことから、研究所は引き続き国土技術政策総合研究所との密な連携を図る。

【中長期計画】

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち東日本大震災を教訓とした地震や津波の防災及び減災対策、港湾・空港 等施設における既存構造物の老朽化対策、産業の国際競争力強化のための国際コンテナ戦略港湾や首都圏空港の機能強化、海洋開発の拠点整備など、国土交通省が推進する政策における技術的課題への対応や関係機関への技術支援に対する適切な成果を創出するため、本中長期目標期間においては、次に記載する研究に重点的に取り組むこととする。

基礎的な研究開発等のうち、波浪、海浜、地盤、地震、環境、計測等に関する研究は、研究所が取り組む港湾・空港等分野のあらゆる研究等の基盤であることから、中長期目標期間中を通じてこれらを推進し、波浪や海浜変形等に係るメカニズムや地盤及び構造物の力学的挙動等の原理や現象の解明に向けて積極的に取り組む。また、個別の港湾・空港等の整備を技術的に支援するための研究開発についても積極的に取り組む。

これら重点的に取り組む研究開発課題以外のものであっても、本中長期目標期間中の港湾行政を取り巻く環境変化により、喫緊の政策課題として対応すべきものがある場合は、重点的に取り組む研究開発課題と同様に取り組むこととする。

さらに、独創的または先進的な発想に基づき、研究所の新たな研究成果を創出する可能性のある萌芽的研究に対しても、先見性と機動性を持って的確に対応する。

なお、港湾・空港分野に関する研究開発については、 同分野において政策の企画立案に関する研究等を実施する国土技術政策総合研究所との一体的な協力体制を、引き続き維持する。

【年度計画】

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち東日本大震災を教訓とした地震や津波の防災及び減災対策、港湾・空港等施設における既存構造物の老朽化対策、産業の国際競争力強化のための国際コンテナ戦略港湾や首都圏空港の機能強化、海洋開発の拠点整備など、国土交通省が推進する政策における技術的課題への対応や関係機関への技術支援に対する適切な成果を創出するため、本中長期目標期間においては、次に記載する研究に重点的に取り組むこととする。

基礎的な研究開発等のうち、波浪、海浜、地盤、地震、環境、計測等に関する研究は、研究所が取り組む港湾・空港等分野のあらゆる研究等の基盤であることから、中長期目標期間中を通じてこれらを推進し、波浪や海浜変形等に係るメカニズムや地盤及び構造物の力学的挙動等の原理や現象の解明に向けて積極的に取り組む。また、個別の港湾・空港等の整備を技術的に支援するための研究開発についても積極的に取り組む。

これら重点的に取り組む研究開発課題以外のものであっても、本中長期目標期間中の港湾行政を取り巻く環境変化により、喫緊の政策課題として対応すべきものがある場合は、重点的に取り組む研究開発課題と同様に取り組むこととする。

また、独創的または先進的な発想に基づき、研究所の新たな研究成果を創出する可能性のある萌芽的研究のうち、特に重点的に予算配分するものを特定萌芽的研究と位置づけて実施するとともに、年度途中においても、必要に応じ新たな特定萌芽的研究を追加し、実施する。

なお、港湾・空港分野に関する研究開発については、同分野において政策の企画立案に関する研究等を実施する国土技術政策総合研究所との一体的な協力体制を、引き続き維持する。

◆年度計画における目標設定の考え方

中長期目標に示された研究分野の研究を的確に実施するため、研究分野のそれぞれについて社会・行政ニーズ及び重要性・緊急性を踏まえ、9 の研究テーマを設定し、具体的に取り組むべき研究実施項目を設定した。研究実施項目の設定に当たっては、研究所の内部評価及び外部有識者による外部評価において、研究目標、研究内容、アウトプット、アウトカム、研究期間、研究体制、研究実施項目の構成などに関する検討を行っている。

このうち、基礎研究について、科学技術基本計画は、「国の政策的な戦略・要請に基づく基礎研究は、学術研究と共に、イノベーションの源泉として重要である。このため、国は、政策的な戦略・要請に基づく基礎研究の充実強化を図る。」と規定し、基礎研究を重視している。これを踏まえ、中長期目標は、波浪・海浜・地盤・地震・環境等に関する原理・現象の解明に向けた基礎研究に積極的に取り組むことを求めており、令和元年度計画においても、基礎研究に積極的に取り組むこととした。

また、中長期目標、中長期計画を受けて、令和元年度計画においても、将来の発展の可能性があると想定される萌芽的研究については、適切な評価とこれに基づく予算配分を行い、先見性と機動性をもって推進することとした。

◆当該年度における取組状況

（1）基礎研究への取組

令和元年度も基礎研究を重視し、波浪・海浜・地盤・地震・環境等に関する原理・現象の解明に向けた研究を実施した。令和元年度においては、51 の研究実施項目のうち、24 項目を基礎研究として位置付けた。また、基礎研究以外の応用研究・開発研究と位置づけた研究実施項目においても、基礎研究的な要素・成果を含む研究が存在する。

（2）特定萌芽的研究の推進

特定萌芽的研究制度は、独創的、先進的な発想に基づく萌芽期の研究であって、かつ将来の研究所の新たな研究分野を切り開く可能性を有する研究に、先行的に取り組みその推進を図ることを目的として、

①アイデアの段階、予備的な机上の検討段階、あるいは試行的な調査や実験・計算、試作の段階など萌芽期の研究であって、将来の研究所の新たな研究分野を切り開く可能性を有する研究であること。

②将来、研究所が他の研究機関との競争において十分な競争力を有する可能性がある研究分野であること。

③独創的・先進的な研究テーマであるか、研究手法が独創的・先進的であること。

の条件を満たすものを特定萌芽的研究とし、研究者から応募のあった研究課題の中から採択し、研究費を競争的に配分する制度である。特定萌芽的研究の予算充当期間は1年間で、予算額は一課題当たり 300 万円程度を限度とするが、必要と認められる場合には、研究所の財政事情等を勘案の上、予算の積み増しを検討する。

なお、特許につながる可能性が高いなど研究内容の秘密を保持する必要があるものについては、特定萌芽的研究 B として研究責任者からの申し出によって設定し、その研究の具体的な内容については、研究終了から原則として1年間は対外的に秘密を保持することとしている。応募のあった特定萌芽的研究の採択に当たっては、研究所において、主に学術的な視点から審議するテーマ内評価会は行わず、研究所幹部で構成する内部評価委員会で審議のうえ採否を決定することとしている。これは、テーマ内評価会の評価が専門的な見地からなされたことにより、新たな着想による研究の芽をつみ取らないための配慮であり、将来の発展性が未知の課題に対する採択の可否は研究所全体で行うべきと判断したことによる。また、特定萌芽的研究についても外部評価委員会において研究評価を行っているが、その際は、選定した案件に関し研究の進め方等についての提言を受けることを主眼としている。

研究開発課題	（1）沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ	地震災害の軽減や復旧に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害の発生リスクが高まっているなか、国民の生命や財産を守るために、防災及び減災対策を通じた国土強靱化の推進が必要である。研究所は、東日本大震災をはじめとした既往の災害で顕在化した課題への対応を引き続き推進するとともに、新たな災害が発生した場合には迅速に対応しつつ、港湾・空港等における地震、津波及び高潮・高波災害の軽減及び復旧に関する研究開発等に取り組む。	南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。 このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。 ①地震災害の軽減や復旧に関する研究開発	南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。 このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。 ①地震災害の軽減や復旧に関する研究開発 －地震動の連成作用下の液状化地盤の挙動評価・分析と対策に関して、液状化地盤の挙動をふまえた有効な地盤対策技術および液状化被害抑止技術を開発・提示する。 －地盤工学的観点からの高波に対する海岸施設の安定性評価手法に関して、系統的な遠心模型実験・数値解析と安定性評価手法の検討を行う。 －震源近傍強震動の予測手法の開発及び沿岸域施設の耐震性能早期発現のための対策技術開発を開始する。 等

研究の背景

南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害に対して、地震後の早い段階からの所要の幹線貨物輸送機能の確保、また、復旧復興の拠点としての必要最小限の緊急物資輸送機能の早期確保が必要とされている、さらには地震・津波・高波と地盤の相互作用による沿岸災害が懸念され、その軽減が必要とされている。

研究目標

最大級かつ継続時間が長い地震動に関して、地震動の予測技術、構造物の被害予測技術を確立する。さらに、既存構造物の耐震補強技術、現地被害調査における被害の評価技術や応急対策技術を開発する。また、海底地滑りによる津波現象、津波、高波、流れに対する地盤性能や対策法を解明する。

令和元年度の研究内容

（1）最大級の地震による波形予測と被害予測に関する研究

最大級の地震による波形予測と被害予測に関して、港湾地域および空港における強震観測と記録の整理解析、地震災害および被災要因調査、震源近傍強震動の予測手法の開発、地震動の連成作用下の液状化地盤の挙動評価・分析と対策について検討を行った。地震動の連成作用下の液状化地盤の挙動評価・分析と対策に関しては、人工排水材を用いた液状化伝播・ボイリング被害抑止工法の開発・提示を行った。この工法は、最大級の地震発生時に港湾等に立地する道路面の変状を抑えるコスト面で有利な対策方法として大いに期待される。これに加え、2018 年に発生したインドネシア・スラウェシ地震津波災害を対象とし、地震液状化に伴う海岸・海底地すべりによる津波の発生機構、特に地震液状化・地すべり・津波の連鎖機構を世界に先駆けて明らかにした。

（2）最大級の地震に対する被害軽減技術に関する研究

最大級の地震に対する被害軽減技術に関して、最大級の地震に対する洋上風力発電設備・沿岸域構造物の

耐震性能照査の技術開発、沿岸域施設の耐震性能早期発現のための対策技術開発について検討を行った。洋上風力発電施設を対象とした地震応答解析プログラムの開発に着手し、モノパイル基礎を対象とした基礎構造のモデル化方法を検討した。既設構造を活用したストラット追設と増杭による桟橋式係留施設の耐震改良工法についても検討した。

（3）地震・津波・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関する研究

地震・津波・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関して、沿岸構造物の吸い出し・陥没等安定性評価と対策技術の開発、地盤工学的観点からの高波に対する海岸施設の安定性評価手法について検討を行った。

令和元年度の研究成果

（1）最大級の地震による波形予測と被害予測に関する研究

①港湾地域および空港における強震観測と記録の整理解析

強震観測データは、地震時の行政機関による対応、被災原因の究明、施設整備の際の設計地震動の設定などに必要不可欠であるほか、被害予測技術や耐震補強技術の検証など、研究面でも欠かすことのできないものである。港湾地域強震観測は昭和 37 年から継続的に実施されており、再来大地震による同一地点での強震記録を取得するなど、蓄積されているデータは国際的にも類を見ないものである。令和元年末現在では、図 1.3.1 に示すように 61 港湾の 160 箇所で観測を行っており、平成 31 年 1 月～令和元年 12 月の期間で 1,900 個の強震記録が取得されている。東北地方太平洋沖地震の発生以降、2013 年～2018 年までは毎年 2,000 個以上の強震記録が得られており、それと比べるとやや少ないが、東北地方太平洋沖地震の発生以前は強震記録の数が年間 300～500 個程度であったことを考えるとかなり多いと言える。この間に得られた記録の中で最も最大加速度の大きかった記録は、8 月 4 日に発生した福島県沖の地震(M6.4)による相馬港の記録であり、最大加速度は 159Gal であった。地震発生時には地震動情報即時伝達システムを介して港湾における加速度等の情報を行政機関等に即時配信し、行政機関に活用された。記録を整理・解析した結果については、最終的に港湾空港技術研究所資料として刊行する予定である。今後は、引き続き行政機関と連携して観測網の維持管理を適切に行っていくとともに、観測記録の整理解析を進め、地震時の行政機関による対応の支援、地震災害の軽減や復旧に関する研究に活用していく。

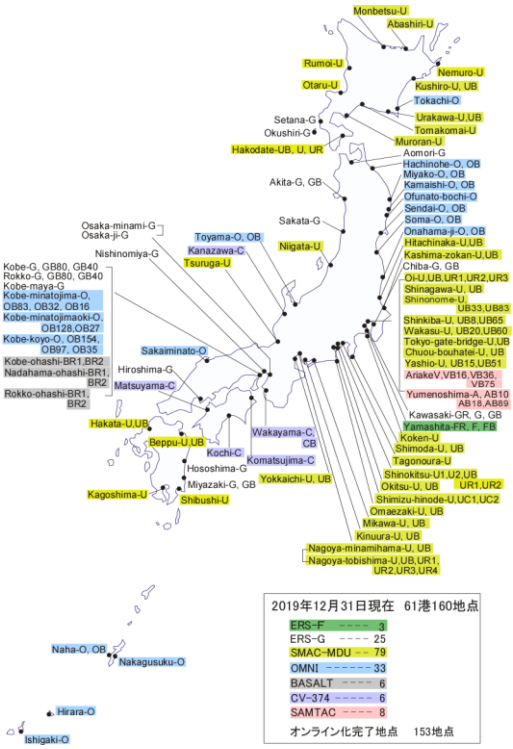


図 1.3.1 港湾地域強震観測網

②地震災害および被災要因調査

令和元年度には、現地調査を要する被害地震は発生しなかった。

地震後の復旧復興の拠点としての港湾の役割の重要性を踏まえ、地震後の係留施設の利用可否判断を迅速かつ適切に行うことがますます重要な課題となってきている。当所では、本省や地方整備局等関係機関と連携し、RTK-GNSS を用いた岸壁使用可否判断支援システム（名称：Berth Surveyor）の開発を行ってきている（スマートフォンアプリ、PC ソフトウェアを含む；図 1.3.2）。これは地震時の岸壁法線の変位を数 cm の誤差で計測できるものであり、部材の損傷程度の正確な把握を可能とするものである。令和元年度は本システムの表示機能の強化を行うとともに（図 1.3.3）、その活用方策について本省・地方整備局とともに議論を深めた。複数の港湾に本システムを適用し、システムの稼働に必要な基準点を選定し、施設変形量測定および施設の供用可否判断（損傷判断）が可能であること、地震後の供用可否判断に資するものであることを確認した。

図 1.3.2 「Berth Surveyor」の外観

今後は引き続き RTK-GNSS ツールの現地試験導入、施設の供用可否判断の検討を行う。また、被害を伴う

ような地震が発生した場合に現地調査を実施して被害状況を整理分析し、施設被災メカニズム解明の検討を行う。

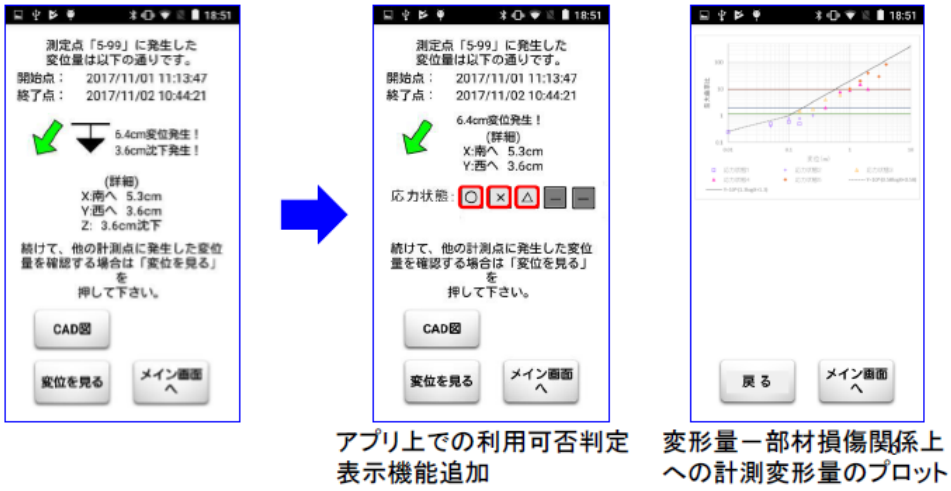


図 1.3.3 岸壁使用可否判断支援システム「Berth Surveyor」における表示機能の強化

③震源近傍強震動の予測手法の開発

規模の大きい内陸地殻内地震において、地表面付近まで大きなすべりが生じる場合や、地表地震断層が現れる場合は、その近傍において永久変位成分を含む地震動が生じる。このような永久変位成分を含む地震動は、フリングステップと呼ばれることが多い。1995 年兵庫県南部地震の際の神戸市内の地震動には顕著なフリングステップは含まれていなかったが、2016 年熊本地震本震の際には、地表まで破壊が進展したことに伴い、断層近傍の西原村小森などで顕著なフリングステップが観測された。2016 年熊本地震本震の際に観測されたフリングステップは立ち上がり時間が 2s 程度と短く、構造物に対して顕著な応答をもたらしうるものであった（図 1.3.4）。本研究では、従来から設計において考慮されている断層深部のアスペリティの破壊に伴う強震動に加え、断層浅部のすべりによるフリングステップも考慮できる包括的な強震動予測手法の開発を目標とする。その際、工学的な応用を考慮し、できるだけ簡便で利用しやすくかつ計算精度も確保できる震源モデルとすることを念頭におく。令和元年度は、強震動シミュレーション手法について、精度の良い計算を行うために必要となる断層面の離散化の方法などについて、基礎的な検討を開始した。今後は実際の地震を対象として、精度向上などの課題に取り組んでいく。

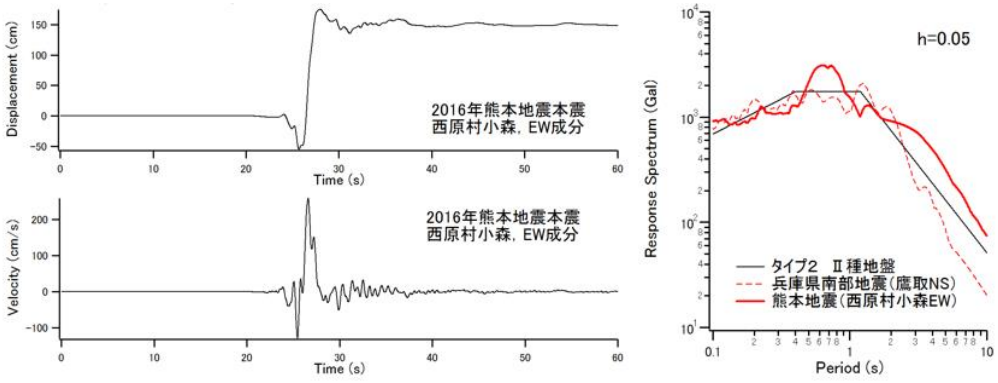


図 1.3.4 熊本地震本震による西原村での変位波形（左上）、速度波形（左下）と応答スペクトル（右）

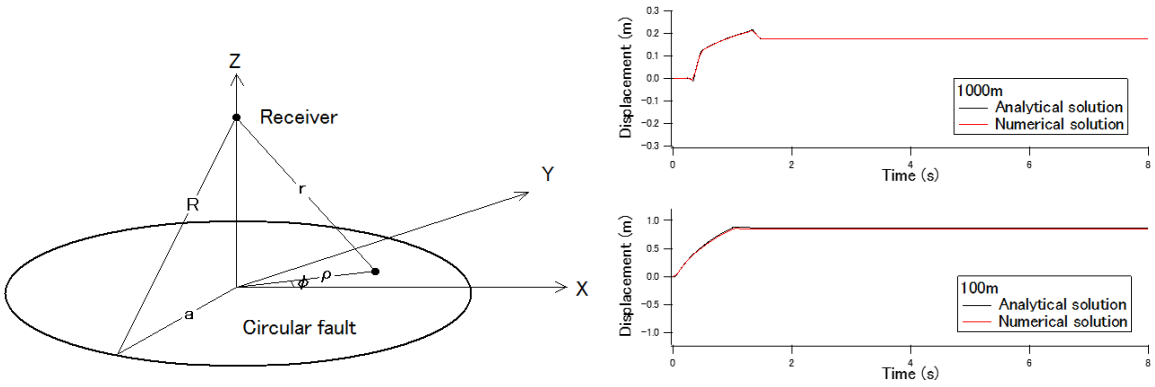


図 1.3.5　断層面の離散化の検討に用いた半径 1,000m の円形断層（左）と検討結果（右）
（断層からの距離が 1,000m と 100m の場合の変位波形の比較。黒が理論解、赤が数値解）

④地震動の連成作用下の液状化地盤の挙動評価・分析と対策

南海トラフ地震、首都直下地震等、地震動の連成作用や細粒分を含有する地盤を対象として液状化挙動の評価・分析を行い、液状化域の進展・伝播に伴う地盤内流動特性・機構を明らかにし、これを踏まえ、新たな地盤対策技術および液状化被害抑止技術の開発・提示を行った。液状化に伴う臨港道路等表面の大きな変状は、液状化した地層から地表に向けて水圧が伝播し、ボイリングによって顕著な変状がもたらされる場合が多い。本研究ではこのことに着目し、表面付近に人工排水材を導入することで、液状化の発生を許容しつつも、液状化域の伝播を抑制することによって地盤内の流動を防ぎ、それにより液状化に伴う噴砂・ボイリングと地表面付近の変状を抑制する新たな技術の開発を行った（図 1.3.6）。この技術について、1G 場の模型実験及び遠心力場実験を通じて有効性を明らかにした。この工法は、最大級の地震発生時に港湾等に立地する道路面の変状を抑えるコスト面で有利な対策方法として大いに期待される。これに加え、2018 年に発生したインドネシア・スラウェシ地震津波災害を対象とし、地震液状化に伴う海岸・海底地すべりによる津波の発生機構、特に地震液状化・地すべり・津波の連鎖機構を世界に先駆けて明らかにした。

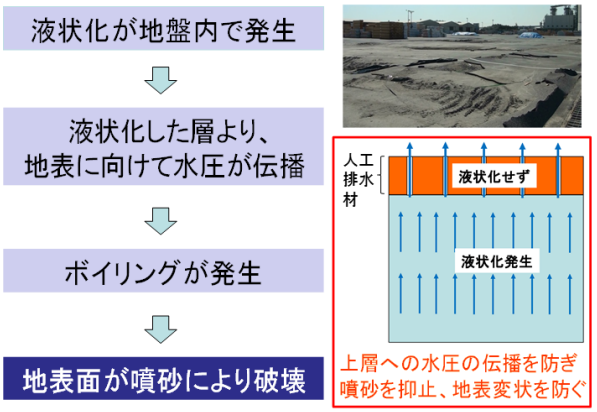


図 1.3.6　人工排水材を用いた液状化伝播・ボイリング被害抑止工法：概念図

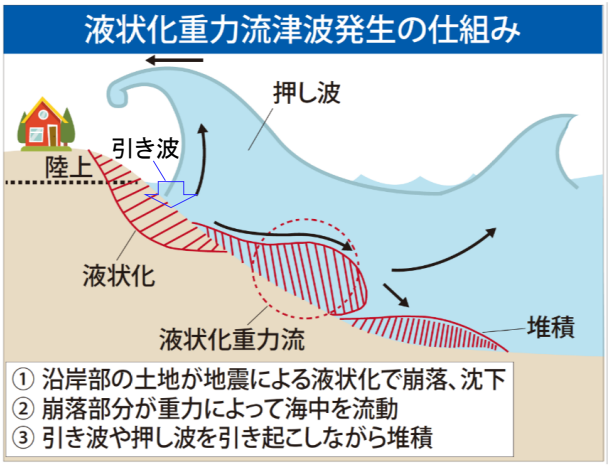


図 1.3.7　インドネシア・スラウェシ地震津波災害における液状化・地すべり・津波の連鎖機構

（2）最大級の地震に対する被害軽減技術に関する研究

①最大級の地震に対する洋上風力発電設備・沿岸域構造物の耐震性能照査の技術開発

最大級の地震に対して港湾・空港施設の被害を的確に予測し、また対策工法の効果を評価していくためには、数値解析手法の信頼性の向上が欠かせないが、近年では対象施設も多様化してきており、また、予測される被害形態も様々である。本研究では、これまでに蓄積された沿岸域構造物の地震時挙動に関する知見を活かし、耐震性能照査手法の一層の信頼性向上を目指すものである。

令和元年度は、大ひずみ領域を含む地盤の繰返しせん断特性の推定式を開発し、地震応答解析および液状化判定等の設計実務での影響を検討した。また、洋上風力発電施設を対象とした地震応答解析プログラムの開発に着手し（図 1.3.8）、モノパイル基礎を対象とした基礎構造のモデル化方法を検討した。

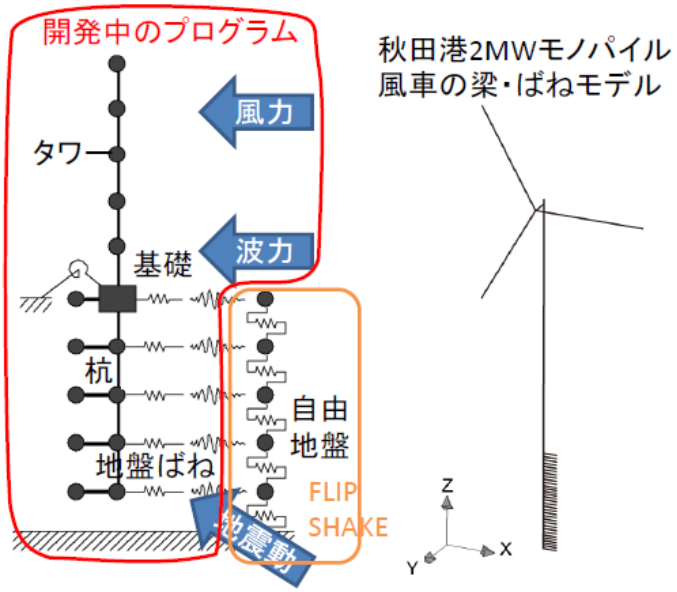


図 1.3.8　開発中のプログラムと解析モデルの例

②沿岸域施設の耐震性能早期発現のための対策技術開発

沿岸域施設の耐震性向上のための改良においては、これまで、地盤改良による方法が多く用いられてきたが、供用しながらの改良において制約が大きいものも多く、また、条件によっては改良範囲が大きくなり高コストとなる場合もある。そこで、本研究では、構造的対策を含めた新たな耐震対策技術について検討する。その際、従来のように単に地震に強い構造を検討するだけでなく、万が一被災した場合においても、一部の部材の交換等により早期の供用を可能とする構造についても検討する。制振材の適用についても検討する。

令和元年度は、既設構造を活用したストラット追設と増杭による桟橋式係留施設の耐震改良工法（図 1.3.9）について、水中振動台による模型振動実験により検討した。本構造では、地震時に水平材が先に破損することでエネルギーを消費し、地震後に取り替えて早期供用を可能とすることを念頭に置いている。

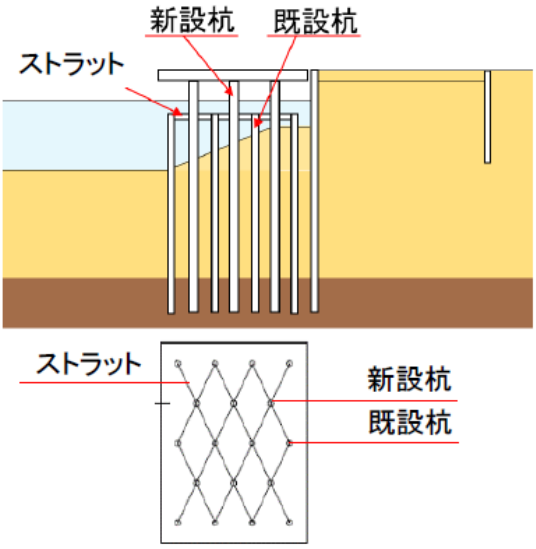


図 1.3.9　ストラット追設と増杭による耐震改良工法

（3）地震・津波・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関する研究

①沿岸構造物の吸い出し・陥没等安定性評価と対策技術の開発

地震・波・流れによる多様な動的外力作用下の吸い出し・陥没等安定性評価と分析を行い、当該特性・メカニズムを明らかにするとともに、吸い出し・陥没抑止に有効な新たな対策技術を提示した。様々な水理外力下における地盤内の空洞形成・陥没の進行過程について、大型水理模型実験により検討した。水理外力の繰り返し作用により、地盤内で空洞が徐々に拡大し、陥没に至る吸い出しの一連の進行過程に水理外力の作用方向が大きく影響することを明らかにするとともに、均等係数 3.0 以上のフィルター材を中央粒径比 20 以下で設置した場合、強い水理外力下においても十分な吸い出し抑止効果を発揮することを実証した（図 1.3.10）。護岸・岸壁の吸

い出し・陥没リスク抑制に向けて新たに考案・構築した緩衝材によるケーソン目地透過波低減法について、設置直後及び設置後1年間の追跡調査を行った結果、高波浪の影響や目地間の形状変更などの通年の周囲環境の変化後も、90%以上のきわめて高い波力低減効果が保持されること、ならびに、陥没サイクルが事前に把握されている複数の現場で陥没抑止効果を実証した（図 1.3.11）。さらに、洋上風力発電施設基礎モノパイルやパイプラインなどの沿岸構造物の安定性評価と対策技術の研究を実施し、高波作用時の地盤液状化に伴うモノパイルの安定性やパイプ挙動ならびに効果的な対策法に関する知見を得た。

図 1.3.10 吸い出し防止対策としての二層構造のフィルター層の概念図(左)とフィルター層の設計指針に関する検討(右)

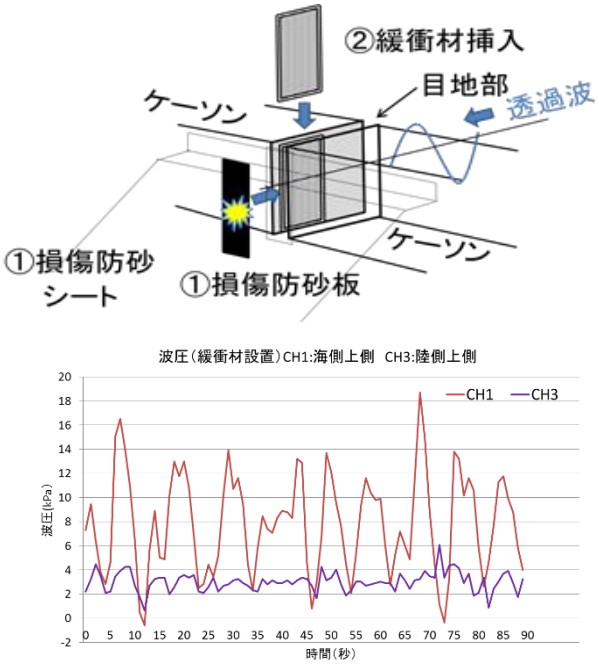


図 1.3.11 ケーソン目地透過波低減法(左)とその効果(右)（赤線と青線の違いが低減効果を示す）

②地盤工学的観点からの高波に対する海岸施設の安定性評価手法の検討

今後大型化が想定される台風や低気圧に伴う高波に対して、地盤を含んだ、海岸保全施設の安定性評価手法を構築することを目的とした研究である。

この目的に向け、実験手法と数値解析手法の検討を進めた。具体的には、負圧の計測や地盤の微小変位を計測するための画像解析手法の検討、高波の影響を受ける地盤の安定性を調べる遠心模型実験手法の検討、遠心力場での波の流体解析による再現性に関する検討、波・流れ再現装置での不規則波の発生方法の検討等を行った。

本研究では、遠心力場で波と流れを同時に再現できる装置を世界で初めて製作した。この装置を利用し、海岸保全施設の安定性を確認する実験を種々の断面において実施した。その結果、護岸が地盤とともに破壊する破壊様式が確認された。また、越波により背後地盤内の水圧が高まり、それにより破壊が誘発されることを確認した。

今後は、本研究を受けて新たに開始される研究実施項目である「波・流れに対する沿岸地盤構造物の変形・破壊特性評価と補強技術の開発」において、安定性評価手法についてさらに検討をすすめるとともに、効果的な対策についても検討していく予定である（図 1.3.12）。

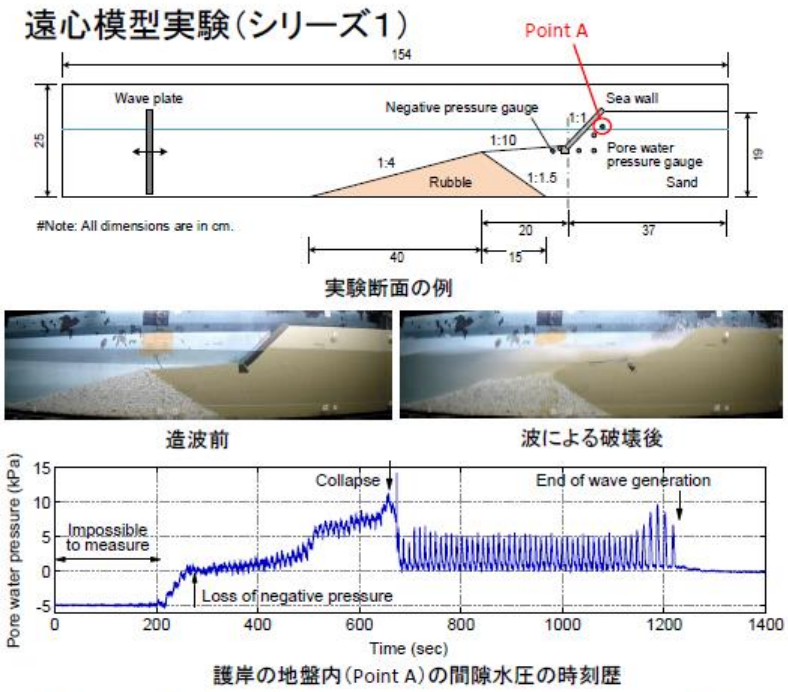


図 1.3.12　高波による海岸施設の破壊特性を地盤工学の観点から解明するために実施した遠心模型実験

成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：5編

・長坂陽介，野津厚（2019）：港湾地域強震観測年報（2017），港湾空港技術研究所資料，No.1356.
・大矢陽介，小濱英司（2020）：現地試験による係留施設を対象とした地震時の残留変位計測手法の精度検証，港湾空港技術研究所資料，No.1365.
・伊藤広高・小濱英司（2020）：RTK-GNSSを用いた地震後の係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発，港湾空港技術研究所資料，No.1370.
・佐々真志，山﨑浩之，小西武，足立雅樹，新坂孝志，竹之内寛至，諸橋弘樹，斎藤英徳，岡田宙，高田圭太，渡邉慎吾，金子誓，高橋但（2019）：隆起抑制型 CPG 工法の開発，港湾空港技術研究所資料，No.1354.
・近藤明彦，小濱英司，高橋康弘，吉田秀樹，渡辺健二，国生隼人，天野俊，小山萌弥，永瀬翔平，藤澤孝夫，岡島伸行，阿部哲志，井上真志，吉原到，佃陸郎，植田智幸，原田典佳，永尾直也，及川森（2020）：桟橋式係留施設の既設杭を活用した耐震改良工法に関する研究，港空研報告，Vol.58，No.2，pp.21-58.

□発表論文（英文）：8編

・Nozu, A. (2019): Simulation of strong ground motions based on pseudo point-source model – Application to crustal earthquakes, Proceedings of the 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, pp.4135-4143, 2019.
・Takenouchi, K. and Sassa, S.(2020): The new compaction grouting method with improved upheaval control, Lecture Notes in Civil Engineering: Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development, pp.611-618.
・Ohya, Y. and Kohama, E. (2019): Experiment evaluation of ground surface subsidence caused by interaction between underground structures and liquefied ground, Proceedings of the 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, pp.4202-4209, 2019.
・Itoh, H., Kohama, H., Sugano, T., Terada, R. Nishi, H., Kawamata, Y., Tsurugasaki, K., Miyamoto, J. and Kokusho, H. (2019): Large-scale shake table test and numerical analysis of seawall seismic counter measures for coastal reclaimed areas and peripheral facilities, Proceedings of the 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, pp.3078-3085, 2019.
・Miyamoto, J., Sassa, S., Tsurugasaki, K. and Sumida, H. (2019): Wave-induced liquefaction and floatation of a pipeline in a drum centrifuge, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.142, No.2, pp.1-12.

04019039.
・Takahashi, H. (2019): Subgrade reaction force of composite-type breakwater reinforced by embankment, Proceedings of the 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
・Takahashi, H., Morikawa, Y. and Kashima, H. (2019): Centrifuge modelling of breaking waves and seashore ground, International Journal of Physical Modelling in Geotechnics.
・Takahashi, H., Morikawa, Y., Mori, N. and Yasuda, T. (2019): Collapse of concrete-covered levee due to composite effects of overflow and seepage, Soils and Foundations.

□発表論文(和文):8編
・野津厚(2020):断層近傍地震動の解析解を用いた離散化波数法の検証, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学)(印刷中).
・工代健太, 佐々真志, 後藤翔矢, 花沢大輔, 大塚悟(2019):母材の均等係数と細粒分の塑性が混合砂質土の N 値と液状化強度の相関に及ぼす影響の検討, 土木学会論文集 B3, Vol.75, No.2, pp.241-246.
・グエンビン, 佐々真志, 山﨑浩之, 上野一彦(2019):人工排水材による液状化時のボイリング被害抑止工法の解析と実験, 土木学会論文集 B3, Vol.75, No.2, pp.235-240.
・石坂修, 佐々真志(2019):ケーソン目地透過波低減法の波力低減効果の継続性と陥没抑止効果の実証, 土木学会論文集 B3, Vol.75, No.2, pp.421-425.
・宮本順司, 佐々真志, 鶴ヶ崎和博, 角田紘子(2019):波による洋上モノパイル周辺地盤の液状化特性と対策に関するドラム遠心実験, 土木学会論文集 B3, Vol.75, No.2, pp.456-461.
・工代健太, 佐々真志, 梁順普, 後藤翔矢(2019):様々な水理外力下における地盤内の空洞形成, 陥没の進行過程および吸い出し抑止法の研究, 土木学会論文集 B2, Vol.75, No.2, pp.937-942.
・宮本順司, 佐々真志, 鶴ヶ崎和博, 角田紘子(2019):波による液状化とパイプの沈込み挙動, 土木学会論文集 B2, Vol.75, No.2, pp.967-972.
・高橋英紀, 神原　晋, 福尾原悟, 山谷早苗(2019):腹付工による混成堤ケーソンの端趾圧低減効果, 土木学会論文集 B3(海洋開発), 2019.

研究開発課題	（1）沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ	津波災害の軽減や復旧に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害の発生リスクが高まっているなか、国民の生命や財産を守るために、防災及び減災対策を通じた国土強靱化の推進が必要である。研究所は、東日本大震災をはじめとした既往の災害で顕在化した課題への対応を引き続き推進するとともに、新たな災害が発生した場合には迅速に対応しつつ、港湾・空港等における地震、津波及び高潮・高波災害の軽減及び復旧に関する研究開発等に取り組む。	南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。 このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。 ②津波災害の軽減や復旧に関する研究開発	南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。 このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。 ②津波災害の軽減や復旧に関する研究開発 －津波漂流物シミュレーションの研究では、三次元の流体モデルと三次元の漂流物挙動モデルとを連成させる。 -複合観測情報による津波予測の研究では、実際の海底地形、GPS 波浪計と海洋レーダの観測ノイズを用いた数値実験を行って、予測手法の有効性を検証する。 －粒子法の港湾構造物の変形への適用に関する研究では、洗掘、ポーラス、剛体挙動等の各モデルの接続を検討する。 等

研究の背景

2011 年の東日本大震災以降、越波を伴う津波に対しても安定な構造物の開発や、構造物が破壊されて生ずるガレキの漂流などを予測する数値シミュレーションモデルの開発等を行ってきた。しかし、陸上部を遡上する複雑な津波の挙動やそれに伴う被害は十分には明らかにされておらず、その推定方法も未開発である。また、避難等に活用が期待される浸水リアルタイム予測技術に関しても、利用しているデータは GPS 波浪計のデータのみであり、他の貴重なデータは活用しきれていない。そこで，防災・減災対策を被害先行型から対策先行型へ切り替えていくため、最大級の津波に対しても強靭な（レジリアントな）沿岸域の構築、すなわち、最大級の津波に対しても人命を守り、社会経済に対して壊滅的な被害を発生させず、早期復旧復興を可能とするための研究を行う。

研究目標

津波発生時に水門閉鎖等の作業や沿岸で働く人達の避難が的確に行われるようにするため、情報通信技術（ICT）を活用した意思決定支援システムを開発する。また、最大級の津波に対しても粘り強く防災機能を発揮する「耐津波強化港湾」の形成を目指し、その計画手法や施設設計手法（施設の破壊プロセスを考慮した性能設計）を開発する。

令和元年度の研究内容

（1）三次元漂流物シミュレーションの検証データを取得するために、港湾を含む沿岸地形を再現した実験で、様々な形状をした漂流物の模型に加速度センサーを内蔵して三次元の挙動を計測し、上方から撮影した映像からも平面的な挙動を分析した。シミュレータの流体モデルと漂流物モデルの連成手法も検討した。

（2）津波の波源の解析手法として、時間逆転イメージングによるデータ駆動型基底を用いたインバージョン手法、相反原理に基づいて計算コストを削減する技術を開発した。

（3）防波堤の堤頭部の局所洗掘の過程を詳しく調べるために、大縮尺の水理模型実験と STOC による数値計算を行い、その過程として堤頭部の周囲で生じる大規模渦に着目した。防波堤の堤体の越流によって背後に洗掘が生じる過程についても実験を行った。

（4）粒子法モデルによるシミュレーションにおいて、マウンド、ブロック、ケーソン等の剛体物の挙動を一括して取り扱えるように、各構造物連成モデル（個別要素法やポーラスモデル等）を統合した。波高のみを境界条件とし、2次元平面計算モデル等とも容易に接続可能な、新しい造波モデルも開発した。

令和元年度の研究成果

（1）港湾と市街地の地形模型を用いた実験によって船舶スケールの漂流挙動の複雑さを把握した。図 1.3.13 は船舶スケールの漂流軌跡を示した結果であり、海底面や構造物との接触が漂流挙動に大きな影響を与えるものの、軌跡が少数のパターンに分かれることが分かった。今後は、三次元モデルの精度検証と二次元モデルの補正方法について検討する。

（2）5 地点で観測した津波波形から波源を逆推定したところ、新手法は図 1.3.14 に示すように推定精度を 14%（相関性スコアが 0.52 から 0.66 に）改善し、グリーン関数の計算コストを約 100 分の 1 に削減した。今後は、実地形を用いた検証を行うとともに、港湾における緊急時の意思決定支援に活用する方法を検討する。

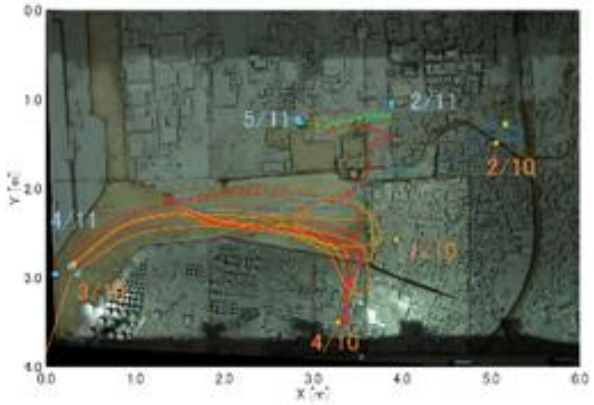


図 1.3.13 船舶スケールの漂流物の挙動の実験

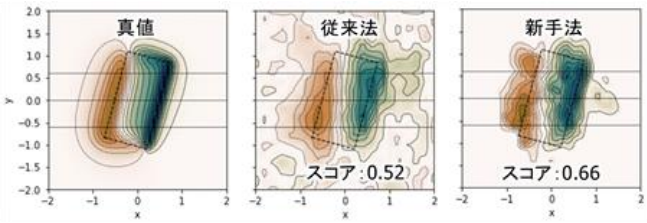


図 1.3.14 断層波源の逆推定

（3）防波堤の堤頭部の周りの流況と堤体に作用する波力を模型実験で測定した（図 1.3.15）。津波高潮シミュレータ STOC の比較計算によって、防波堤を線境界とする従来の手法では流速と洗掘量を過小評価する場合があることが明らかになった。今後も模型実験と数値計算を継続する。

（4）粒子法モデルによって防波堤周辺の流れを二次元と三次元で計算できるようになった。図 1.3.16(a)は、津波が堤体を越流する状況であり、消波ブロックや被覆ブロックの移動も考慮できる。(b)は、堤頭部を背後に回り込む様子であり、地盤の洗掘も考慮できる。今後は、複数の構造物に対して適用する。

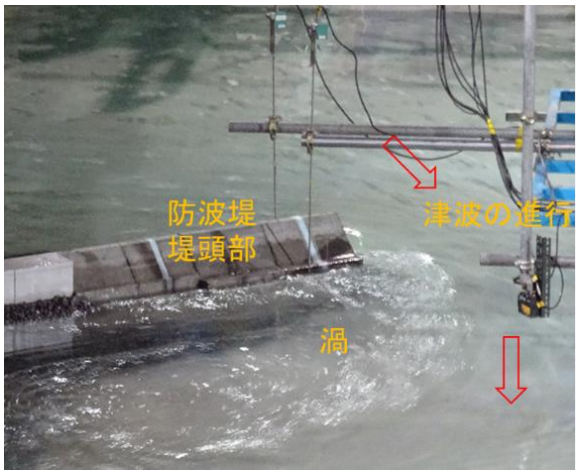
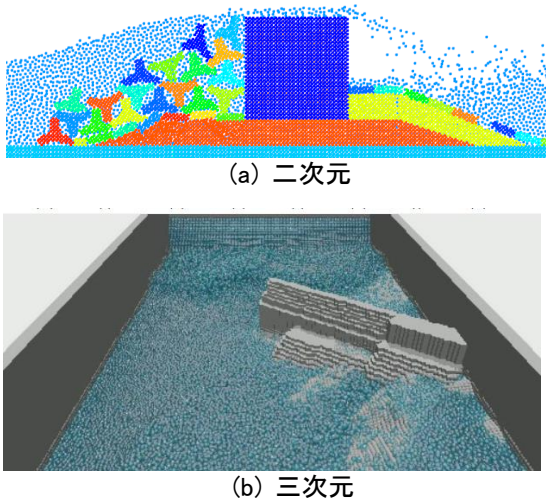


図 1.3.15 防波堤の堤頭部の周りの実験



(a) 二次元

(b) 三次元

図 1.3.16 粒子法モデルによる防波堤の周辺の流れの解析

成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：0 編

□発表論文（和文）：5 編

・池内正俊・細山田得三・鈴木高二朗・鶴田修己（2019）：防波堤被覆工の被害軽減を図る水塊落水位置調整機構の提案と応用，土木学会論文集 B2（海岸工学），75 巻，2 号，pp. I_901–I_906.

・熊谷兼太郎・千田 優・江本翔一（2019）：2018 年台風第 21 号の高潮によるコンテナ流出被害の調査，土木学会論文集 B2（海岸工学），75 巻，2 号，p. I_313–I_318.

・千田 優・髙川智博（2019）：津波による建物の非破壊漂流・断片化漂流ががれきの分布特性に与える影響に関する数値的な検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），75 巻，2 号，p. I_445–I_450.

・鶴田修己（2019）：港湾設計のための粒子法型数値波動水槽の開発，Proceedings of PSC&GPU2019，東京 2019（招待講演）.

・富田孝史・蜂須賀大智・千田 優（2019）：津波漂流物群の挙動に関する模型実験と数値解析，土木学会論文集

B3(海洋開発), 75 巻, 2 号, p. I_761-I_766.

□発表論文(英文):6 編

・Khayyer, A., Tsuruta, N., Shimizu, Y. and Gotoh, H. (2019): Multi-resolution MPS for incompressible fluid-elastic structure interactions in ocean engineering, Applied Ocean Research, Vol.82, pp.397-414.

・Takagawa, T. and Cummins, P. (2019): TRI-based tsunami source inversion, The 23rd International Congress on Modelling and Simulation, Canberra, Australia.

・Tsuruta, N., Gotoh, H., Suzuki, K., Ikari, H. and Shimosako, K. (2019): Development of parisphere as the particle-based numerical wave flume for coastal engineering problems, Coastal Engineering Journal.

・Tsuruta, N., Khayyer, A. and Gotoh, H. (2019): Development of new particle-based wave boundary model, 14th SPHERIC International Workshop.

・Tsuruta, N., Suzuki,K., Asahi, S., Tatewaki, K. and Okada, K. (2019): Experimental study on backwash of tsunami acting on caisson-type quay wall, Coastal Structures.

・Tsuruta, N., Suzuki, K., Tatewaki, K., Okada, K. and Asahi, S. (2019):Study on the durability of quay with soil solidifier against tsunamis, ISOPE-I-19-714.

□その他:0 編

研究開発課題	（1）沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ	高潮・高波災害の軽減や復旧に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害の発生リスクが高まっているなか、国民の生命や財産を守るために、防災及び減災対策を通じた国土強靱化の推進が必要である。研究所は、東日本大震災をはじめとした既往の災害で顕在化した課題への対応を引き続き推進するとともに、新たな災害が発生した場合には迅速に対応しつつ、港湾・空港等における地震、津波及び高潮・高波災害の軽減及び復旧に関する研究開発等に取り組む。	南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。 このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。 ③高潮・高波災害の軽減や復旧に関する研究開発	南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。 このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。 ③高潮・高波災害の軽減や復旧に関する研究開発 －海象観測データによる海象特性の解明に関する研究では、波浪観測データの処理・解析（速報及び確定処理、波浪統計解析）を継続して実施する。 －うねり性波浪の季節・海域特性とその出現機構の研究では、波浪スペクトルで風波やうねりを分類する手法を日本沿岸に適用し、うねりの出現特性を解析する。 －港内発生波や被災構造物による波浪変形の研究では、静穏度解析を行い、構造物の被災状態が荷役稼働率に及ぼす影響を試算する。 －最大級の高潮ハザードの研究では、非常に強い台風による波浪・高潮の推算精度を検証するとともに、最大級の台風の設定方法を検討する。 －高潮高波・津波時の外郭施設の構造部材の安定性の研究では、昨年度に続き防砂シート等の実験を行うとともに、ANN を用いた直立壁の波圧評価式を提案する。 等

研究の背景

我が国では、1959 年 9 月の伊勢湾台風以降、高潮・高波による甚大な被害は受けていないが、アメリカでは 2005 年 9 月のハリケーンカトリーナ、フィリピンでは 2013 年 11 月の台風ハイヤンなどで大きな被害が発生している。今後は、地球温暖化の影響により、我が国でもこれまでの想定を超える高潮・高波の発生が懸念される。そこで、防災・減災対策を被害先行型から対策先行型へ切り替えていくため、最大級の高潮・高波に対する被害をいかに軽減し、そこから迅速な復旧・復興を図るかということに重点をおいて、ハード・ソフトの対策につながる研究を行う。

研究目標

最大級の高潮・高波に対する被害の軽減および迅速な復旧・復興のための予測技術の開発を行う。また、最大級の高潮・高波に耐する被害を最小限にするため、設計を上回る外力にたいしても粘り強く抵抗し、早期復旧しやすい防波堤や護岸を開発する。

令和元年度の研究内容

（1）日本沿岸の海象特性を調べるため、2018 年に全国港湾海洋波浪情報網で観測されたデータを波浪観測年報にとりまとめた。また、東京湾を縦断した台風 1915 号による高波について、第二海堡の観測データを解析すると

ともに波浪推算による再現を試みた。
（2）日本沿岸のうねり性波浪の出現特性を調べるため、日本海と太平洋の代表地点における観測値や第三世代波浪推算モデルによる推算値を用いて、波浪の方向スペクトルの多峰性と風波・うねりの出現特性を整理した。
（3）航走波を考慮した港内静穏度解析法を新たに提案し、それを考慮しない従来の方法と荷役稼働率を比較した。また、風洞水路実験結果を分析し、強風下での港内波の発達過程について考察した。
（4）津波や高波によって被災した防波堤に残存する性能を評価する技術の開発を目指し、没水堤の背後の波浪場を平面模型実験で計測して、ブシネスクモデル NOWT- PARI による計算精度を検証した。そして、モデル港湾で防波堤の一部が水没したり潜堤を新たに設けたりしたときの港内静穏度の変化を試算した。
（5）日本の主要な海域で海洋モデル ROMS による高潮の再現性を検討した上で、一つの港を例に、ROMS と SWAN の双方向結合モデルを用いて wave setup を考慮した高潮とそれによる浸水を試算した。また、Emanuel の MPI 理論を用いて台風の成長限界強度を算出し、最大クラス台風の設定方法も検討した。
（6）複雑な構造断面をもつ護岸の衝撃波力を水理模型実験で計測するとともに、そのデータに ANN を適用して最大波力および時系列波力推定法を検討した。護岸背後の防砂シートの浮き上がり防止対策工の効果も大型実験で確認した。

令和元年度の研究成果

（1）2018 年の波浪観測年報をとりまとめた。図 1.3.17 に示すように、台風 1915 号では第二海堡で既往最大の有義波高 3.27m を記録し、その波浪を第三世代波浪推算モデルで概ね再現できた。今後も引き続き、年報を発刊し、顕著な高波が発生すれば、その解析も行っていく予定である。
（2）図 1.3.18 に示すように、風波とうねりの出現頻度を整理したところ、日本海沿岸と太平洋沿岸で異なる傾向を示すことがわかった。日本海沿岸では風波の寄与が比較的高く、一方で太平洋沿岸ではうねりの寄与やスペクトルが多峰性を示す割合が高かった。今後は多峰性が海象外力に与える影響を検討する予定である。

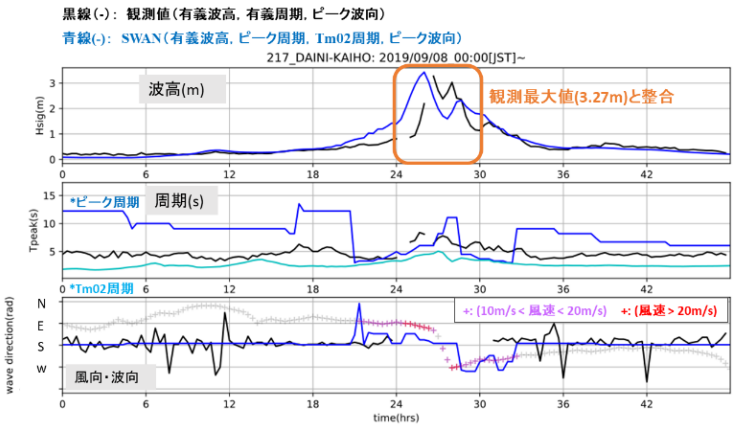


図 1.3.17 第二海堡における波浪の観測値と推算値

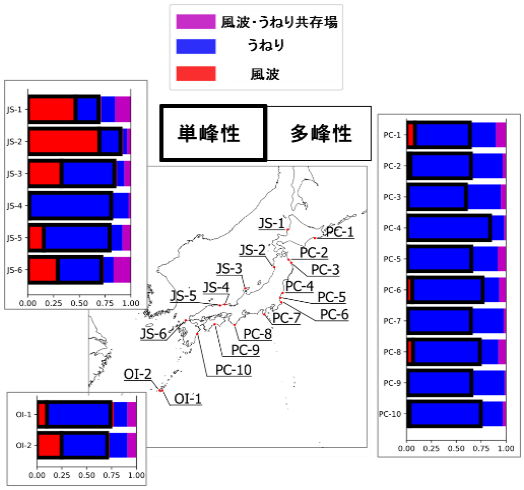


図 1.3.18 風波とうねり，単峰と多峰の割合

（3）1 年間の AIS データから選定した代表 19 船舶諸元がそれぞれ入出港時に造波する航走波とその港内伝播を図 1.3.19 のように計算し、港口から侵入した波浪に対する荷役稼働率を有意に低下させることを確認した。また、風洞実験結果から、風速による水面摩擦速度の変化が初期水面の状態により異なる可能性を示した。
（4）没水堤の背後の波浪場を NOWT-PARI で十分に再現できることを確認した。図 1.3.20 は、防波堤の一部が水没した港湾に周期 12s の波浪が来襲したとき、没水堤の背後の比較的広い水域で周期が 0.8 倍程度に短くなる様子を例示したものであり、このような短周期化は係留船舶の動揺低減にとって有利となる。
（5）図 1.3.21 に示すように、気象庁の気象 GPV（2008 年以降）を用いれば，wave setup の影響が顕著でない限り高潮を概ね再現でき、長期気象再解析データセット（2007 年以前）では過小評価しやすいことが分かった。台風の成長限界強度の緯度に応じた変化は，既往の最低中心気圧の変化に概ね対応していた。今後は、高潮推算に用いる超強風下の海面抵抗係数を検討する。
（6）台風 1915 号の高波による衝撃波力で護岸パラペットが倒壊するプロセスを、模型実験や CADMAS-SURF による計算で明らかにした。また、衝撃波力の最大値や経時変化を ANN で推定するモデルを構築した。今後は、構造部材や地盤の挙動の推定法を検討する。

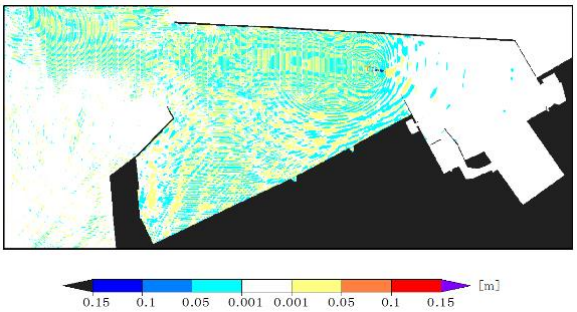


図 1.3.19　貨物船による航走波の造波・伝播計算

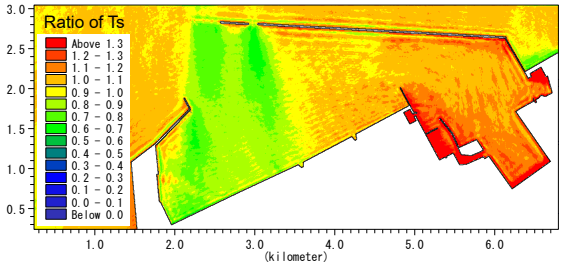


図 1.3.20　没水防波堤によるうねりの短周期化

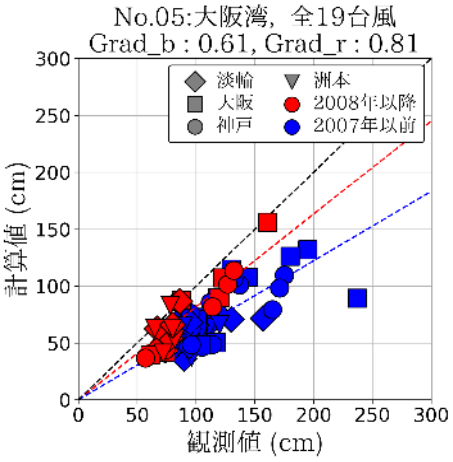


図 1.3.21　高潮の推算精度

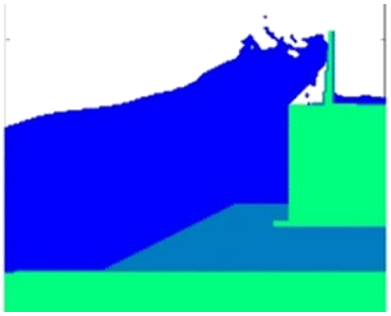


図 1.3.22　護岸パラペットの倒壊と衝撃波力の再現計算

成果の公表

口港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：2 編

・川口浩二・末廣文一・藤木　峻・田村　仁（2019）：全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS2017)，港湾空港技術研究所資料，No.1357.

・川口真吾・鈴木高二朗・鶴田修己・朝比翔太（2019）：UAV による沿岸域の写真測量の精度の検証，港空研資料，No.1360.

口発表論文（和文）：14 編

・安藤　圭・森　信人・鈴木高二朗（2019）：孤立波を対象とした耐衝撃波圧の部材設計に関する一考察，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.75，No.2，pp.I_811-I_816.

・岡田清宏・鈴木高二朗・神原晋・福尾原悟・山谷早苗（2019）：消波ブロック被覆堤の消波工端部での衝撃砕波と斜め入射波の影響について，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.75，No.2，pp.I_883-I_888.

・岡田清宏・鈴木高二朗・鶴田修己（2019）：設計値を超える潮位・高波作用時の護岸における越波越流とマウンド透過波に関する研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.75，No.2，pp. I_745-I_750.

・川口浩二（2019）：全国港湾海洋波浪情報網「ナウファス」の概要，情報誌「港湾」，pp.10-11.

・川口真吾・鈴木高二朗・鶴田修己（2019）：RTK-GNSS 受信機を登載した UAV による浸水データの測量に関する研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.75，No.2，p. I_1297-I_1302.

・川口真吾・鶴田修己・髙阪雄一・岡崎　裕・朝比翔太・酒井和也・鈴木高二朗（2019）：UAV を用いた港湾構造物の計測技術に関する検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.75，No.2，p. I_121-I_126.

・田中　敦・鈴木高二朗（2019）：波浪及び防波堤を越流する津波に対する仮設被覆材の安定性に関する一実験，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.75，No.2，p. I_817-I_822.

・田村　仁・川口浩二・藤木　峻（2019）：富山湾における寄り周り波の物理機構，日本海洋学会 2019 年度秋季大会.

・仲井圭二・額田恭史・橋本典明・川口浩二（2019）：全国沿岸における波浪の特異日，第 38 回日本自然災害学会学術講演会.

・永井紀彦・川口浩二・仲井圭二（2019）：港湾海象観測網による沿岸防災や海洋状況把握への貢献，日本海洋政策学会誌 第 9 号，pp.145-156.

・平山克也・長沼淳也・濱野有貴（2019）：高潮位時における岸壁上の越波遡上実験とその再現計算，土木学会全国大会，第 74 回年次学術講演会，II-67.

・平山克也・濱野有貴（2019）：水深が急変する浅海地形上の波浪変形計算に用いる境界処理法の提案，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.75，No.2，pp.I_271-I_276.

・平山克也・濱野有貴・長沼淳也（2019）：没水堤周辺での不規則波の分裂・屈折変形に関する平面模型実験とその再現計算，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.75，No.2，pp.I_763-I_768.

・藤木　峻・森　信人・川口浩二（2019）：現地観測に基づく沿岸波浪方向スペクトルの多峰性の季節・海域特性，土

木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 75, No. 2, pp.I_91-I_96.

□発表論文(英文):9 編

・Chang, C.W., Mori, N., Tsuruta, N. and Suzuki, K. (2019): Estimation of wave force coefficients on mangrove models, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No.2.

・Fujiki, T., Kawaguchi, K. and Kawai, H. (2019): Current Status and Challenges of Wave Observation for Ports and Harbours in Japan, 8th CECAR, Tokyo.

・Fujiki, T., Mori, N. and Kawaguchi, K. (2019): Analysis of the multi-modality on the directional wave spectrum, 2nd International Workshop on Waves, Storm Surges and Coastal Hazards(ポスター発表).

・Horii, K., Suzuki, K., Takebe, Y. and Nishino, Y. (2019): Design method of joint plates installed in a caisson type seawall, ISOPE-I-19-301.

・Kawai, H. (2019): Lessons learned from storm surge disasters and technical issues on countermeasures in Japan, Proceedings of 29th International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE-2019), Vol. 3.

・Nakamura, R., Shibayama, T., Esteban, M., Iwamoto, T. and Nishizaki, S. (2020): Simulations of future typhoons and storm surges around Tokyo Bay using IPCC AR5 RCP 8.5 Scenario in multi global climate models, Coastal Engineering Journal.

・Shimosako, K., Suzuki, K., Tsuruta, N. and Tanaka, A. (2019): Impulsive breaking wave pressure acting on seawall installed on steep slope seabed and the measures, Coastal Structures.

・Suzuki, K. and Okada, K. (2019): Wave overtopping and water inflow through rubble mound of a gravity seawall, ISOPE-I-19-490.

・Tanaka, T., Kawaguchi, S. and Suzuki, K. (2019): An experimental study on the stability of temporary armor unit for revetment against, Coastal structures.

□その他:0 編

研究開発課題	（2）産業と国民生活を支えるストックの形成

研究テーマ	国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組む。また、既存構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新等において限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策に資するため、インフラのライフサイクルマネジメント及び有効活用に関する研究開発等に取り組む。	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する研究開発	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する研究開発 －国際コンテナ戦略港湾を対象として、我が国に特有の櫛形などの形状のコンテナバースへの ICT 等の技術導入評価手法を提案し、生産性の向上を進めるため、ゲート、蔵置場所、遠隔操作式 RTG、新しいオペレーション方法のシミュレーションによる定量的な評価の研究を進める。 等

研究の背景

我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組むこととしている。当研究テーマの研究内容は、国際戦略港湾政策、首都圏空港機能強化（羽田空港整備）、インフラ輸出力など、下記研究目標に掲げる国際競争力に関連するサブテーマで構成し、研究所全体で包括的に研究開発を進めることとしている。

研究目標

国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する下記の研究開発を進める。

（1） 港湾・空港のオペレーション機能の強化に関する研究開発

港湾・空港の能力向上や機能強化に資する技術の研究開発、港湾・空港のオペレーションを支える（運用に支障しない）点検・計測・施工技術に関する研究開発など、国際競争力に関連する特定の技術開発

（2） 港湾・空港の効率的・効果的な整備に資する技術開発

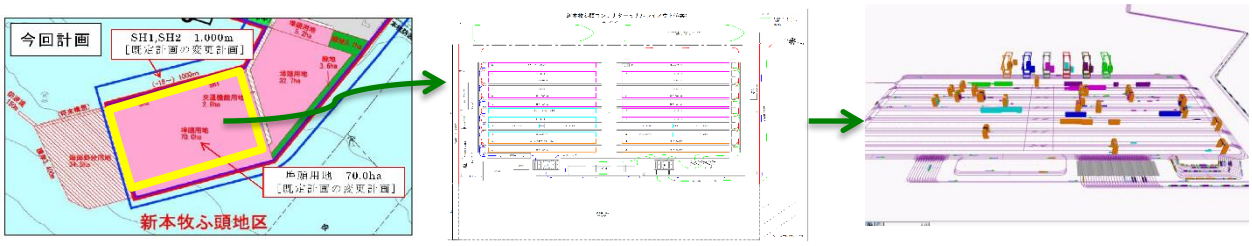
港湾・空港の運用が長期間停止しないようにするための耐震性や耐久性に資する研究開発など、港湾・空港施設の整備において、大規模施設の整備、施設の耐震性向上、施設建設後の維持管理、既存施設の改良などを効率的・効果的に行う技術を開発。

なお、コンテナターミナルの荷役の高度化に関連する研究以外は、それぞれ他の研究テーマと重複して実施しており、ここでは内容の記述はしない。

令和元年度の研究内容

（1）コンテナターミナルシステムへの AI,ICT 等新手法導入効果の評価手法の提案
横浜港新本牧埠頭を対象として、ゲート、蔵置場、運用横浜港南本牧埠頭MC −1、2、3、4を参考にGC、RTG、ゲートレーン数を設定、計画取扱量を上回る 100 万 TEU/年、及び 150 万 TEU/年として、AutoMod によりシミュレーションした。

主な内容
i） 港湾計画及びその他資料からコンテナターミナル規模、年間取扱目標の確認
ii） MC−1～2の実績からシミュレーション上の条件と施設配置の想定
iii） CONPAS の予約システム・事前クラークシステムのモデル化
iv） 遠隔 RTG のモデル化
v） オンドックのモデル化
vi） AutoMod によるシミュレーション
vii） 考察



① ② ③

図 1.3.23 シミュレーションによるモデルイメージ

港湾計画図①および各種資料から規模、計画取扱量等を抽出し、横浜港南本牧埠頭 MC−1～4の実績等から施設配置図②（蔵置図、ゲート、構内駐機場、車両走行経路等）を想定し、AutoMod モデル③では荷役機械の規格、数、作業・走行経路、ロジック、及び各種導入技術として CONPAS、遠隔 RTG、オンドックシステム等についてモデル化してシミュレーションする。

令和元年度の研究成果

150 万 TEU/年の取扱量では、構内のトラックの待ちが多く、MC-3、4 に倣った RTG の基数では全く不足であると考えられる。100 万 TEU/年の取扱量でも、長い渋滞列が発生する。ただし、RTG とトラックがお互いに待ち時間を発生しており、荷役機械相互のマッチングをより適切にプログラムできる手法があれば改善される可能性がある（図 1.3.24）。ただし、単純に夜間荷役を積極的に実施できるオンドックを用いることで、これらは大きく改善する。なお、CONPAS による効果はゲート通過量の増加で確認できた。また、遠隔 RTG に関しては、繁忙期には一人で4基担当すると RTG 側に待ちが生じてしまうことが確認された（図 1.3.25）。

大量のコンテナを取り扱う場合には、ゲートよりも構内荷役がクリティカルになっているため、蔵置と荷役機械の効率的なオペレーションプログラムを可能とする AI ターミナルシステム導入には上記問題を緩和する可能性があるとわかった。

荷役機械相互の待ち時間の図によれば、RTG とトラック（TRK）が互いに待ち合っていることがわかる。（CONPAS、オンドック、遠隔 RTG 使用、150 万 TEU/年のある週のデータ想定）。このため、AI による適切な蔵置計画と荷役機械の配置のシステムによる効果が期待できる。

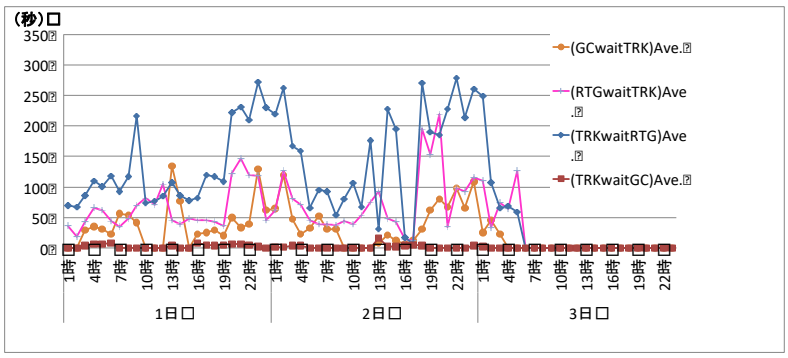


図 1.3.24 荷役機械相互の待ち時間

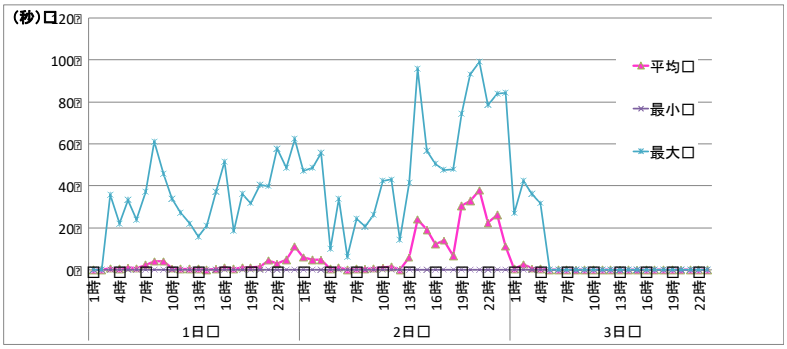


図 1.3.25　遠隔 RTG がオペレーションを待つ時間

遠隔 RTG のオペレータは一人で4基を担当するため、RTG のタイミングが重なると、RTG が操作を待たされる。図 1.3.25 は、RTG が操作を待っている時間を示す。

研究開発課題	（2）産業と国民生活を支えるストックの形成

研究テーマ	施設の長寿命化や新たな点検診断システムの開発などインフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組む。また、既存構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新等において限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策に資するため、インフラのライフサイクルマネジメント及び有効活用に関する研究開発等に取り組む。	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②施設の長寿命化や新たな点検診断システムの開発などインフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②施設の長寿命化や新たな点検診断システムの開発などインフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発 －海洋コンクリート構造物の補修・補強技術の体系化に関して、保有性能と維持管理レベルを考慮した補修・補強設計の考え方を提示する。 －港湾施設群の LCC 最適化のための維持管理計画策定手法に関して、『（仮称）港湾施設群マネジメント計画』についての技術資料を作成する。 －海洋環境下におけるサステナブルマテリアルの適用性評価の検討を開始する。 等

研究の背景

長期間供用された港湾・空港・海岸インフラが増加するなか、施設の維持管理を行うための財源および技術者数は限られていることから、今後、維持すべき港湾・空港・海岸インフラの機能の維持を図るとともに、戦略的な維持管理・更新等を行っていくことが強く求められている。

研究目標

施設のライフサイクルコスト、点検業務コストが削減され、技術者不足が解消され、維持すべき施設が明確化され、効果的・効率的な維持管理を可能とする。

令和元年度の研究内容

（1）インフラの長寿命化技術に関する研究

海洋鋼構造物の被覆防食工法の耐久性に関して、劣化メカニズムが不明なペトロラタム被覆の劣化メカニズムの検討を暴露試験等で行うとともに、重防食被覆されたハット矢板において将来の劣化予測方法の検証を行った。暴露試験によるコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性評価、海洋構造物の被覆防食工法における性能評価手法の開発、過酷環境下における各種材料の耐久性評価、空港アスファルト舗装の長寿命化に資する舗装材料の改良の提案、海洋コンクリート構造物の補修・補強技術の体系化について検討を行った。

（2）インフラの点検診断システムに関する研究

港湾構造物の点検診断における新技術の活用に関して、IoT を活用した点検診断システムによるモニタリングについて実証試験を行うとともに、水中ドローンによる点検の適用可能性と運用方法について検討した。また、桟橋上部工点検のための ROV に関して、作業外乱への対応技術の研究開発に着手し、杭の相対位置計測を利用した測位に対する波浪等外乱の影響を実験的に確認するとともに、波浪等の現場条件を考慮して、

実港湾において桟橋上部工下面の現地調査を実施した。

（3）インフラのマネジメントシステムに関する研究

インフラのマネジメントシステムに関して、LCC と NPV、$LCCO_2$ を評価指標とした維持管理計画策定手法について検討を行った。

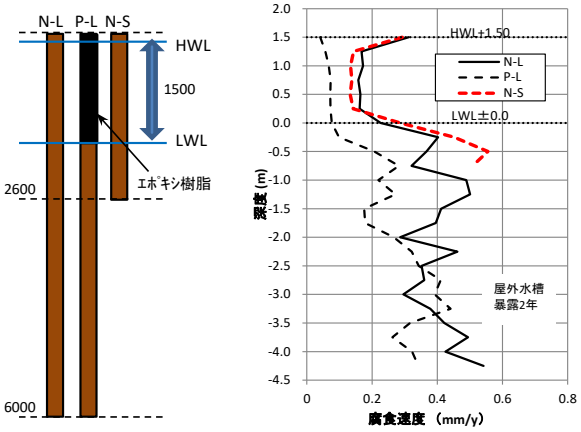
令和元年度の研究成果

（1）インフラの長寿命化技術に関する研究

①暴露試験によるコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性評価

長期暴露施設を用いて、コンクリートの塩害劣化予測手法、コンクリート中鉄筋の電気防食特性および鋼材の集中腐食メカニズム（図 1.3.26）について検討した。また、各種木質材料の耐久性（図 1.3.27）に関するデータを取得した。

長期暴露施設は昭和 41 年から稼働している施設で、港湾・空港施設で用いられる材料についての耐久性について国内外に貴重なデータを提供してきている。今後も新たな材料を含め、材料の耐久性に関するデータの取得、整理、解析を進め、事業に反映させていく。



干満帯に被覆防食がなく，海中部の長さが短い場合に，LWL（水槽最低水位）直下付近の腐食速度が増加

図 1.3.26 集中腐食メカニズム検証のための暴露試験結果

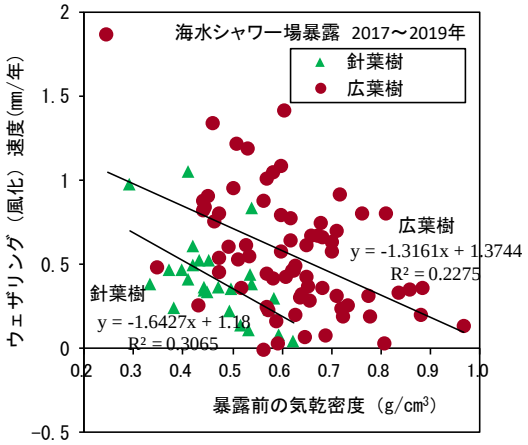


図 1.3.27 約 100 種の無処理木材の海水シャワー場暴露によるウェザリング（風化）速度

②海洋構造物の被覆防食工法における性能評価手法の開発

被覆防食工法の劣化予測手法の確立を目的として、波崎海洋研究施設での鋼管杭の被覆防食工法に関する暴露試験（35 年経過）、長期間供用された実鋼構造物のモルタル被覆に対する実態調査（34 年経過．図 1.3.28）を継続実施した。また、促進劣化試験および暴露試験（H30d 開始）により、ペトロラタム被覆工法の劣化メカニズムの解明を進めた（図 1.3.29）。

今後も継続的に各被覆防食の性能について調査を進める。特にペトロラタム被覆工法の劣化メカニズムの解明、性能評価手法の確立は注目されるところであり、重点的に検討を行う。

鋼材表面Clは高濃度だが，腐食は軽微

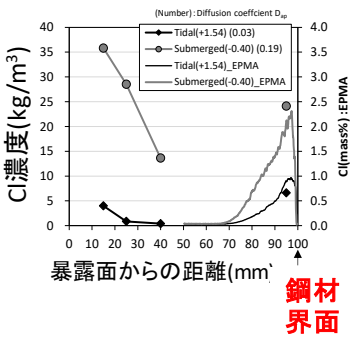
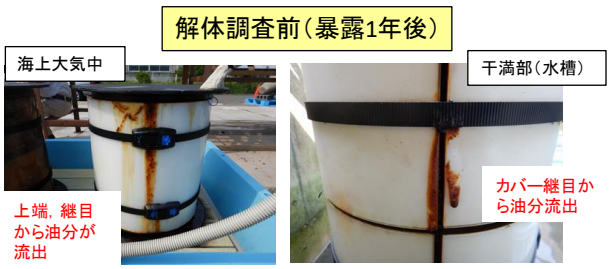


図 1.3.28 モルタル被覆の実態調査（34 年経過）



屋外暴露 1 年後

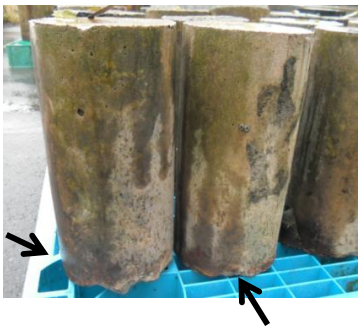
*劣化しやすい状態に設定

図 1.3.29 ペトロラタム被覆工法の暴露試験

③過酷環境下における各種材料の耐久性評価

低品質骨材（サンゴ質）を用いたコンクリートの耐久性の評価を行い（図 1.3.30）、また海水によるコンクリート養生技術開発のための暴露試験を実施した。また、高耐久性鉄筋（ステンレス鉄筋、エポキシ樹脂鉄筋（図

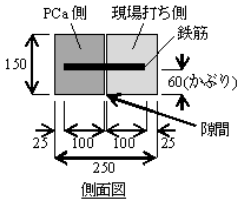
1.3.31）等）や表面被覆材の耐久性の評価を、暴露試験体の調査により行った。 今後もこれらの試験を継続し、過酷環境下における各種材料の耐久性評価を明らかにする。得られる成果は、遠隔離島や高温環境で活用されるため、国内だけでなく海外での技術展開が期待される。



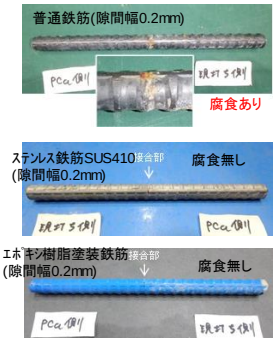
沖縄産骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄ
（材齢44年）
※一部角欠け

低品質な骨材（吸水率大）の場合でも圧縮強度の低下なし
（※端部を除去した場合）

図 1.3.30　沖縄産骨材を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの暴露試験



海水シャワー暴露場
に設置(0.5年)



ステンレス鉄筋，エポキシ樹脂塗装鉄筋では腐食無し

図 1.3.31　打継部での高耐久性鉄筋の腐食状況

④空港コンクリート舗装設計施工面における効果に関する検討

空港コンクリート舗装には、ひび割れ発生後にその進展を防止することにより、骨材のかみ合わせ確保や異物のひび割れからの侵入防止のため鉄網が設置されているが、この設計施工面の効果が必ずしも明確でないため検討を開始した。文献調査により鉄網に関連する設計、施工規程等を調査するとともに、小型の室内試験体を作成し、鉄網の有無によるひび割れ発生状況の相違について検討を行ったが、この試験結果の範囲では、有意な差はなかった。また、数値シミュレーションにより、コンクリート舗装打設後の気温変化等によるひび割れの発生状況について検討を実施した。

図 1.3.32　試験状況

⑤海洋コンクリート構造物の補修・補強技術の体系化

海洋コンクリート構造物の長寿命化を目指すための補修・補強技術の体系化に向けて、既存ケーソンの補強のための中詰固化工法の設計・施工に関する資料をとりまとめ、補強の目的及び現場条件を踏まえた補強設計について検討した。また、中詰固化によるケーソン部材の補強設計手法の構築に向けて、改良強度や改良範囲が側壁の耐荷性に及ぼす影響について、実験および解析により検討した（図 1.3.33）。さらに、塩害を受けるプレストレストコンクリート（PC）部材の補修技術の高度化に向けて、塩害による PC 桁の耐力低下について実験および解析により検討し、これを踏まえて PC 桟橋上部工の補修設計フローを提案した。さらに、エトリンガイトの遅延生成（DEF）による膨張に対して、鋼材による膨張拘束に伴う補強効果を実験的に検討するとともに（図 1.3.34）、表面被覆による補修に対するモデルを構築し、膨張抑制効果を実験・解析で評価した。

これらの成果を活用することにより、インフラの長寿命化に向け、コンクリート構造物における維持管理の効率が図られ、生産性向上が図られるものと考えられる。今後もコンクリートの劣化に対する適切な補修シナリオの策定や補修・補強後のコンクリート部材の性能の経時変化の把握等について検討を進める。

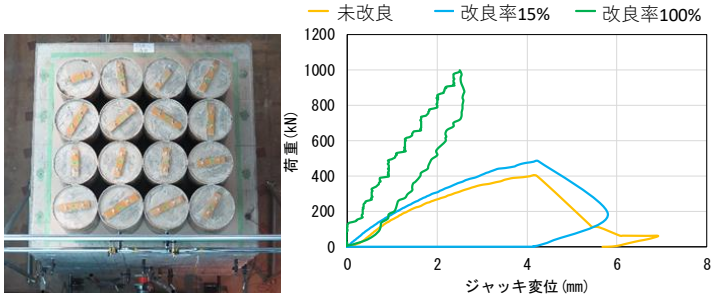


図 1.3.33　中詰固化範囲が側壁の耐力向上に及ぼす影響

図 1.3.34　拘束による DEF 膨張抑制効果の実験状況

⑥海洋環境下におけるサステナブルマテリアルの適用性評価

サステナブルな社会を形成するためには、構造物（主にコンクリート構造物を想定）の建設時において、天然資源の使用量およびCO_2排出量を削減することが望まれている。また、構造物を高性能化・長寿命化させ、経年劣化や自然災害に対して安全性に余裕を持たせることも望まれている。

上記に対する 1 つのアクションとして、リサイクル材料（各種スラグ骨材、高炉スラグ微粉末、フライアッシュなど）の活用は明快かつ有効な手段である。しかし、実際に使われる例は少ない。この理由として、特に「無筋コンクリート構造物（ブロック類、防波堤上部工等）に要求される性能が不明確なこと、長期の耐久性を評価する方法が確立されていないこと等が考えられる。

また、環境負荷低減の観点から、環境への調和性の高い建設材料の使用が今後望まれる。しかし、各種材料の環境調和性に関して、これまで研究された事例はほとんどない。

上述の課題を解決するため、既往研究の統合にあわせて、改めて着手した。リサイクル材料を用いたコンクリートの諸性能（施工性、耐久性等）の評価、港湾コンクリート構造物（主に無筋）の要求性能の整理および長期耐久性の評価方法の整理、環境調和性の高い材料（特にリサイクル材料）の適用性の評価　（これまでは「耐久性」の評価が中心であったが、それに加え、「環境負荷（CO_2 排出量等）」も含めて、総合的に検討）等に取り組む。

ｹｰｿﾝ（RC）

ﾊﾟﾗﾍﾟｯﾄ（無筋）を模擬

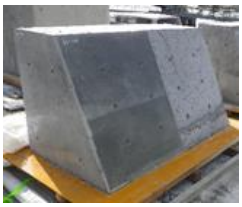
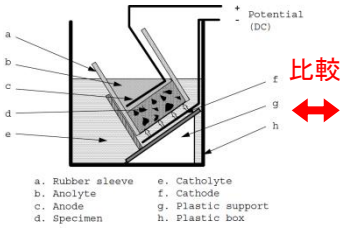


図 1.3.35 高密度ﾘｻｲｸﾙ骨材（銅ｽﾗｸﾞ細骨材）を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの施工実験
（実機ﾌﾟﾗﾝﾄで製造しﾎﾟﾝﾌﾟ圧送で打設）

室内試験



比較

実海洋暴露試験

図 1.3.36 高炉ｽﾗｸﾞ微粉末を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの遮塩性の迅速評価（室内試験と実海洋環境暴露の比較）

（2）インフラの点検診断システムに関する研究

①海洋構造物の性能評価の高度化に向けた点検診断技術の導入・運用に関する検討

IoT を活用した点検診断システムによるモニタリングについて、荷役機械等が頻繁に稼働するコンテナターミナルにおいて、無線通信によるモニタリングの適用性を検証した（図 1.3.37）。その結果、無線通信によるセンサモニタリングは適用可能であるが、その運用にあたっては安定的な電力供給やモニタリングデータの管理方法に課題があることが明らかとなった。また、水中ドローンを活用した点検手法について、係留施設を対象とした実証試験により、実海域における画像取得能力や動作能力等を検証した（図 1.3.38）。実証試験より得られた課題を踏まえて、実務での運用マニュアルをとりまとめた。

これらの検討より得られた成果は、港湾構造物の点検・診断の効率化に大きく寄与する。今後も上記の各検討を継続し、港湾構造物の点検診断の安全かつ効率的な実施を可能とする新技術の活用を進め、効率的な維持管理、Society5.0 の実現や生産性向上に寄与していく。

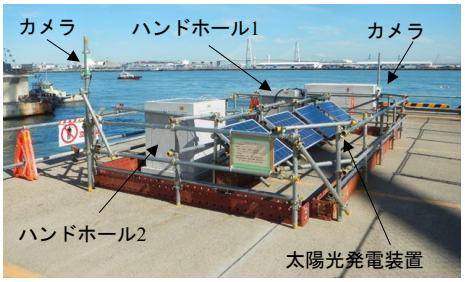


図 1.3.37　無線通信モニタリング実験

図 1.3.38　水中ドローンの適用性検証

②点検装置の作業外乱への対応技術の研究開発

桟橋上部工点検用 ROV について、杭の相対位置計測を利用した測位に対する波浪等外乱の影響を実験的に確認した（図 1.3.39）。また、波浪等の現場条件を考慮して、八幡浜港、舞鶴港、尼崎地区にて当該 ROV による桟橋上部工下面の現地調査を実施した。特に、桟橋下のクリアランスが 0.5m 以下となり測位に要する杭の視認ができない舞鶴港においては、ROV を低頭仕様に改変し、波浪や潮位条件に留意して狭隘な桟橋下への進入を実現するとともに、ROV が視認可能な模擬杭の仮設により測位を伴った写真撮影を実現した（図 1.3.40）。

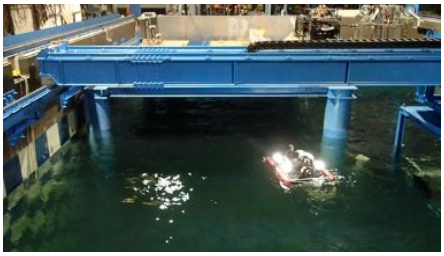


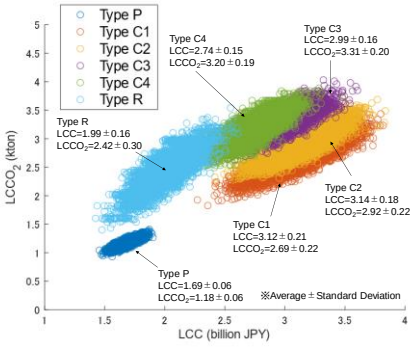
図 1.3.39　波浪等の外乱下における模擬作業実験

図 1.3.40　模擬杭を用いて測位を行いながら桟橋下面の撮影を行う点検用 ROV（舞鶴港）

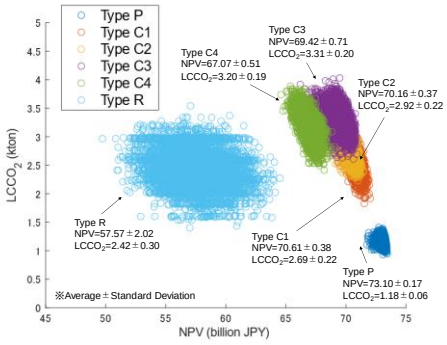
（3）インフラのマネジメントシステムに関する研究

①港湾施設群の LCC 最適化のための維持管理計画策定手法の検討

事後保全的な維持管理が実施されているモデル桟橋群を想定して、個々の桟橋をすべて予防保全型に移行するための補修シナリオ（補修工法および実施時期の選定）について、ライフサイクルコスト（LCC）に加えて、便益を考慮した純現在価値（NPV）、さらに維持管理における CO_2 排出量（$LCCO_2$）を評価指標としたケーススタディを実施した（図 1.3.41）。その結果、NPV を最大化しながら LCC と環境負荷を可能な限り最小化するためには、予防保全型の維持管理を実施することが有効であることが示唆された。また、事後保全的な維持管理を適用した場合、劣化のばらつきがこれらの評価指標のばらつきに与える影響が大きくなり、意思決定の不確実性が高くなることがわかった。



LCC vs. $LCCO_2$



NPV vs. $LCCO_2$

図 1.3.41　各補修シナリオにおける LCC と NPV、$LCCO_2$

成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：2編

・山路徹，金城信之（沖縄総合事務局),富山潤（琉球大):那覇港臨港道路橋における表面被覆材およびエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたコンクリートの長期暴露試験，港空研資料 No.1362, 2019.11.

・川端雄一郎，池野勝哉，加藤絵万，岩波光保：桟橋上部工のプレキャスト化における杭頭接合方法の提案，港空研資料 No.1359, 2019

□発表論文（和文）：32 編

・田中豊，黒木賢一，川端雄一郎，加藤絵万，染谷望：中詰材の固化による既設ケーソンの補強に関する実験的検討，土木学会論文集 B3（海洋開発）Vol.75, No.2, p. I_833-I_838, 2019

・田中豊，黒木賢一，川端雄一郎，加藤絵万：中詰材の固化によるケーソン側壁の耐衝撃性向上に関する実験的検討，土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集，V-398，2019

・黒木賢一，田中豊，川端雄一郎，加藤絵万：中詰材の固化によるケーソン側壁の耐衝撃性向上に関する実験的検討，土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集，V-399，2019

・池野勝哉，岩波光保，川端雄一郎，加藤絵万：ダブルスクエア継手を有する PCa 梁の曲げ耐荷特性に関する基礎的研究，構造工学論文集，pp.40-51，2019

・ 池野勝哉，白可，岩波光保，川端雄一郎，加藤絵万：斜杭式桟橋上部工のプレキャスト化に関する杭頭接合方法の提案，土木学会論文集 B3（海洋開発）Vol.75, No.2, p. I_557-I_562, 2019

・染谷望，川端雄一郎，加藤絵万，村上裕幸：PC 桟橋上部工の破壊過程に関する載荷実験，プレストレストコンクリート，Vol.61，No.5，pp.61-65，2019.9

・染谷望，片山英樹，加藤絵万：コンクリート中の鋼材腐食を対象としたセンサの開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，2019.7

・山本大介，田城亨，濱田秀則，佐川康貴，川端雄一郎：一軸持続圧縮応力が作用するコンクリートの ASR 膨張挙動，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文集，Vol.19，pp.37-42，2019

・川上隆，川端雄一郎，山田一夫，佐川康貴，俵積田新也：促進試験結果を基にした実環境下のコンクリートの ASR 膨張挙動に関する数値解析，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文集，Vol.19，pp.587-592，2019

・渡邊禎之，三柴健太郎，小川彰一，高橋晴香，柴田真仁，藏永萌，川端雄一郎：固体 NMR 分析による DEF 抑制メカニズムの検討，「DEF のリスクを考える」に関するシンポジウム論文集，pp.231-234，2019

・川端雄一郎，小川彰一，高橋晴香，渡邊貞之：DEF 膨張に対する高炉スラグ微粉末の長期抑制効果，第 73 回セメント技術大会講演要旨 2019，pp.262-263，2019

・小川彰一，蔵永萌，渡邊貞之，川端雄一郎：各種混合材置換したペースト試験体を用いた DEF 抑制効果の検討，第 73 回セメント技術大会講演要旨 2019，pp.266-267，2019

・山路徹，宮坂松甫，HUSAIN Adel（KISR）：海水練りコンクリート中における鉄筋の腐食，材料と環境，Vol.68, No.10, pp.284-287, 2019.10.

・新村亮，野島省吾，山路徹，大即信明:海水練り鉄筋コンクリートの遠隔離島における暴露試験，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.74th, V-189, 2019.08.

・田中亮一，与那嶺一秀，谷口修，竹中寛，清宮理：海水練り自己充填型コンクリート中の鋼材腐食と鋼材配置方向による影響，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.74th, V-190, 2019.8.

・網野貴彦，田中亮一，羽渕貴士，山路徹:遠隔離島における繊維補強セメント系材料被覆による鋼材防食効果，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.74th, V-191, 2019.8.

・田中、加藤、野上：遠隔操作支援機能を実装した桟橋上部工点検用 ROV の現場実証試験,第 19 回建設ロボットシンポジウム,2019

・田土弘人，山路徹，小林厚史，川瀬義行，吉田倫夫，浜田秀則：テストピース調査結果に基づく港湾鋼構造物における電気防食効果の評価指標に関する検討，材料と環境，Vol.68，No.8，Page.220-226，2019.08.15.

・田土弘人・山路 徹，小林浩之，濵田秀則：桟橋を模した長尺試験体を用いた干満帯における電気防食管理方法に関する検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集 第19巻，2019.10

・与那嶺一秀、川端雄一郎、高野大樹、小川彰一・柴田真仁：エトリンガイトの遅延生成（DEF）によるコンクリートの膨張およびひび割れ挙動に関する基礎的研究、コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集 第19巻、pp.53-58、2019.10

・山路 徹・宮田正史・熊谷健蔵・岩波光保・高山知司・久田成昭：消波ブロックに用いられたコンクリートの耐久性に関する実態調査と海外適用における課題，土木学会論文集B3（海洋開発），75 巻 2 号， I_869-I_874，2019.10

・山路徹，与那嶺一秀：非定常法電気泳動試験および実環境での長期暴露試験により得られた塩化物イオン拡散係数の比較，セメント技術大会講演要旨，Vol.73，2019.04.30

・与那嶺一秀, 川端雄一郎, 小川彰一, 柴田真仁：DEF の生じたコンクリートに対する残存膨張性の評価方法の検討，セメント技術大会講演要旨, Vol.73, 2019.04.30
・山路徹：コンクリート構造物の長寿命化～長持ちさせる取組み～/2.構造物毎の取組み 港湾コンクリート構造物の耐久性向上方策，コンクリート工学，Vol.57, No.5, pp.335-339. 2019.05.01.
・山路徹, 田土弘人, 川瀬義行, 小林厚史, 吉田倫夫：海洋鋼構造物における流電陽極の推定残存寿命と電位の関係，防錆管理，Vol.63, No.8, Page.301-307, 2019.08.01.
・与那嶺一秀、川端雄一郎、高野大樹、小川彰一・柴田真仁： DEF によるコンクリートの膨張及びひび割れ挙動に関する検討、「DEF のリスクを考える」に関するシンポジウム、JCI-C098 委員会報告書・論文集、pp.269-276、2019.9.26
・田土弘人・山路 徹：干満帯における鋼材の電気防食特性と防食効果の検討, 第 66 回材料と環境討論会, 2019.10.
・山田昌郎, 森満範：海虫害を受けたスギ試験体の曲げ載荷実験, 木材利用研究発表会講演概要集 18, pp.129-133, 2019.8.
・田中亮一, 与那嶺一秀, 谷口修, 竹中寛, 清宮理：海水練り自己充填型コンクリート中の鋼材腐食と鋼材配置方向による影響, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.74th, V-190, 2019.8.
・網野貴彦, 田中亮一, 羽渕貴士, 山路徹:遠隔離島における繊維補強セメント系材料被覆による鋼材防食効果, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.74th, V-191, 2019.8.
・山路徹, 宮坂松甫, HUSAIN Adel：海水練りコンクリート中における鉄筋の腐食，材料と環境，Vol.68, No.10, pp.284-287, 2019.10.
・山路 徹・守分敦郎・増田和広・佐藤弘隆・湯地 輝・羽渕貴士：実海洋鋼構造物に長期間適用されたモルタル被覆防食における鋼材界面の状況, 第66回材料と環境討論会, 2019.10.

□発表論文（英文）：10 編

・Tanaka, Y., Kuroki, K., Kawabata, Y. and Kato E.: Experimental Study on Reinforcement of RC Caisson Wall by Solidification of Filling Materials, The 3rd ACF Symposium “Assessment and Intervention of Existing Structures”, Sapporo, Japan, September 2019, S2-3-1.
・E. Kato, S. Nogami, Y. Kawabata and T. Tanaka: Demonstration test for improvement of inspection and diagnosis of concrete pier superstructure by remotely operated vehicle, Proceedings of the 3rd ACF Symposium “Assessment and Intervention of Existing Structures”, Sapporo, Japan, September 2019, S5-3-1.
・K. Minowa, T. Shimomura and Y. Kawabata: Experimental Investigation and Modeling of the Influence of Environmental Actions on Shrinkage behavior of Concrete, The 3rd ACF Symposium “Assessment and Intervention of Existing Structures”, Sapporo, Japan, September 2019, S2-2-6.
・Y. Kawabata & L. A. Naylor: Greening for improving the resilience of grey infrastructure assets, Hydrolink, Vol. 4, pp. 103-105, 2019
・K. Yamada, Y. Kawabata, G. Igarashi and Y. Sagawa: Importance of the “pH of concrete” in various aspects of concrete durability and performance Proceedings of 15th International Congress on Chemistry of Cement, 2019
・Y. Kawabata, C. Dunant, K. Yamada & K. Scrivever: Impact of temperature on expansive behavior of concrete with a highly reactive andesite due to the alkali-silica reaction, Cement and Concrete Research, Vol. 125, 105888, 2019
・Y. Kawabata, E. Kato, H. Yokota & M. Iwanami: Net present value as an effective indicator leading to preventive maintenance of port mooring facilities, Structure and Infrastructure Engineering, Vol.16, No.9, pp. 714-725, 2019
・Tanaka, Y., Kawabata, Y. and Kato, E.: Statistical Analysis of Deterioration Progress in RC Superstructure of Open-type Wharf, 4th International Symposium on Concrete and Structure for Next Generation, 2019
・ Ema KATO, Masahiko Hoshino, Hiroto Tado and Toru Yamaji: Development of an Evaluation Method for Corrosion Prevention Effect in Petrolatum Lining System, Proceedings of EUROCORR 2019, Seville, Spain, September 2019.
・Yamaji, T., Akira, Y. and Abe, M.: Studies on the estimation of durability of protective coating methods for steel pipe pile based on the long term marine exposure test for 30 years, NACE, East Asia&Pacific Area Conference, 2019.

研究開発課題	（2）産業と国民生活を支えるストックの形成

研究テーマ	施設の効率的な更新、建設発生土の有効利用、海面廃棄物処分場の有効活用などインフラの有効活用に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組む。また、既存構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新等において限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策に資するため、インフラのライフサイクルマネジメント及び有効活用に関する研究開発等に取り組む。	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③施設の効率的な更新、建設発生土の有効利用、海面廃棄物処分場の有効活用などインフラの有効活用に関する研究開発	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③施設の効率的な更新、建設発生土の有効利用、海面廃棄物処分場の有効活用などインフラの有効活用に関する研究開発 －微視構造を考慮した複合地盤材料の力学特性評価の高精度化に関して、デジタルサンプリング装置の開発とそれにより得られた供試体による擬似的力学試験等のとりまとめを行う。 －浚渫土砂処分場の高容量化に関する技術開発に関して、護岸直背後の嵩上げ設定についての解析を行い、仮仕切り堤の構造を検討する。 －物理探査を用いた改良地盤の品質評価方法の開発を開始する。 等

研究の背景

物流量の増大や船舶の大型化への対応、空港機能の拡張、また外力増大などによる既存不適格施設への対応など、既存インフラを機能向上させて積極的に有効活用する要請が強くなっている。また、産業廃棄物や一般廃棄物を受け入れる海面廃棄物処分場などについて、高度有効利用を図ることが社会要請となっている。一方、航路浚渫土砂を受け入れる土砂処分場の用地確保が困難になっており、土砂処分場の長寿命化が求められている。

研究目標

既存インフラの機能向上、更新や用途変更を効率的に実施できる技術、建設発生土などを減容化や有効利用できる技術、海面廃棄物処分場を有効活用できる技術を開発する。

令和元年度の研究内容

（1）既存施設の改良・更新技術に関する研究

桟橋の性能規定の高精細化のための桟橋構造の破壊過程の解明に向けて、過去の被災事例の再整理を行うとともに、鋼管杭の塑性化後の挙動及び鋼管杭の地中部での曲げ挙動についての模型実験を行った。また、既存施設の改良・更新技術に関して、地盤改良工法や埋立材料の違いを考慮した空港埋立地盤の性能評価に関して、埋立地盤の内部構造と地表面沈下の関連等について検討するとともに、不均質地盤に対する地盤改良仕様、港湾・空港施設更新・改良のための杭の支持力評価手法について検討を行った。

（2）建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

建設副産物等の有効活用・処理技術に関して、微視構造を考慮した複合地盤材料の力学特性評価についての検討、浚渫土砂処分場の高容量化に関する技術開発を行った。

（3）海面廃棄物処分場の管理と利用に関する研究

海面廃棄物処分場の管理と利用に関して、その高度土地利用のための構造物基礎について、処分場の土地利用を実現するための基礎構造に係る施工法や遮水特性のとりまとめを行った。

令和元年度の研究成果

（1）既存施設の改良・更新技術に関する研究

①物理探査を用いた改良地盤の品質評価方法の開発

薬液注入工法を用いて不均質地盤へ液状化対策を実施した場合における、地盤内の改良体の形成状況を 3 次元的に確認する有効な手法がないため、物理探査による改良地盤の品質評価方法、施工管理方法の確立に向けての検討に着手した。本手法の確立により、施工後、施工中の高度な品質管理や i-construcition の推進に資することが期待される。室内実験、現地実験と数値計算を組み合わせて、改良地盤の物理特性と物理探査計測結果の関連性について検討を行った。

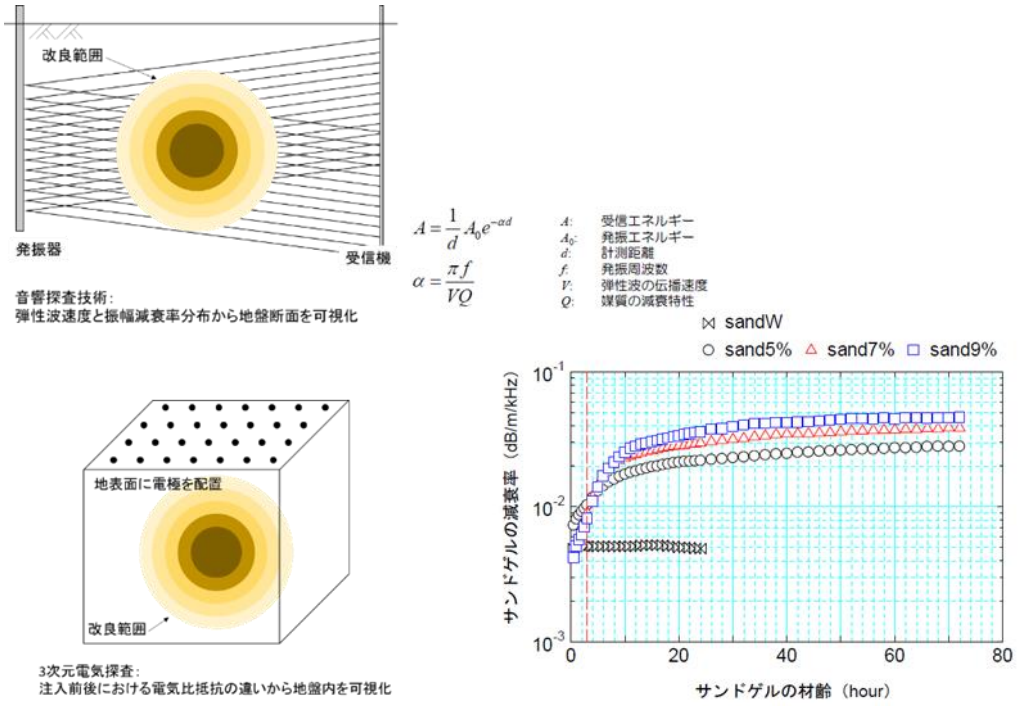
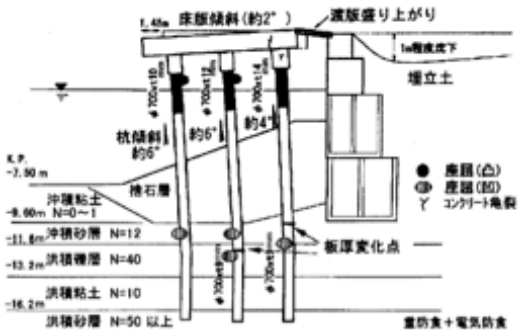


図 1.3.42 物理探査による改良地盤の品質確認のイメージ　図 1.3.43 弾性波の有効性の検討（弾性波減衰率と材齢，薬液濃度の関係）

②桟橋の性能規定の高精細化のための桟橋構造の破壊過程の解明

桟橋の要求性能は、使用性・修復性・安全性にカテゴライズされるが、現状では残留変位量や塑性ヒンジの発生箇所・個数といった性能規定が採用されており、実際的な使用可否・修復可否に基づく規定となっていない。桟橋の実際的な使用可否・修復可否を検討するためには、桟橋の構成部材の降伏後、塑性化後の挙動を含む桟橋構造全体の破壊過程を詳細に把握する必要がある。そのため、過去の被災事例の再整理、鋼管杭の塑性化後の挙動及び鋼管杭の地中部での曲げ挙動に関する模型実験を実施した。今後、模型実験の結果を基に数値解析によるシミュレーション等に取り組むとともに、桟橋上部工と鋼管杭の接合部の損傷過程を確認するための模型実験を行って、桟橋全体の破壊過程の検討を進めていく予定である。



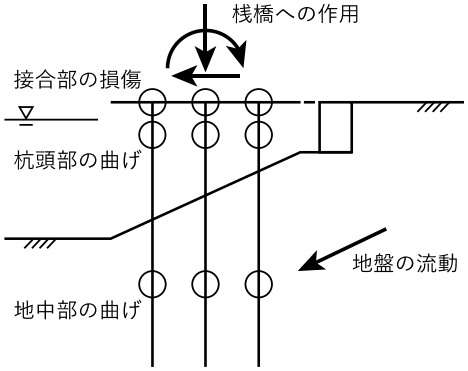


図 1.3.44 兵庫県南部地震による高浜桟橋の被災　　図 1.3.45 想定される桟橋の破壊モード

図 1.3.46　地中部での曲げ挙動に関する実験の様子

図 1.3.47　曲げにより生じた局部座屈

（2）建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

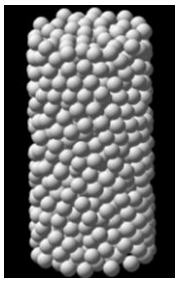
（2）建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

①微視構造を考慮した複合地盤材料の力学特性評価の高精度化

粒度分布や粒子形状といった微視構造の異なる地盤材料は、その微視構造の違いに起因して多様な力学特性を示す。そのため、微視構造の影響を評価することは、地盤の力学特性評価の高度化につながるものと考えられる。原位置で地盤を X 線 CT スキャンし、CT 画像からコアの多様な工学特性を評価することができれば、従来の地盤調査の概念を覆す大きなブレークスルーとなる。

本年度には、粒子とその堆積構造を 3D プリントした擬似供試体について一軸圧縮試験や三軸圧縮試験を実施し、地盤のような粒状体地盤の挙動を示すことを確認した。また、疑似供試体の元データ（各粒子の形状や位置情報）を数値解析モデルとして利用し、圧縮挙動の再現解析を試みた。（図 1.3.48）

さらに、原位置地盤の微視構造を可視化することを目的として、原位置地盤内で撮影可能な小型 X 線 CT スキャナおよび掘削マシンを開発、製作した。（図 1.3.49）

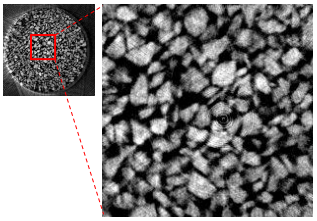


a) DEM モデル

b) 疑似供試体

図 1.3.48　圧縮用供試体の解析モデルと疑似供試体

a) 全体写真



b)礫（2－5mm）の CT 画像例

図 1.3.49　原位置用 X 線 CT スキャナ

②浚渫土砂処分場の高容量化に関する技術開発

モデル断面を対象に、浚渫土の嵩上げ高さ、嵩上部の仮仕切り堤の護岸からの離隔、嵩上部の仮仕切り堤の構造および力学特性、護岸本体に対する対策などをパラメータとして、嵩上による既設の堤体の変状に関する数値解析的検討を行った。その結果、第 1 堤体の水平変位を押さえるという観点からは、第 2 堤体と第 1 堤体の離隔を小さくするよりも第 2 堤体の高さを大きくした方が効率的との結果が得られた. 本年度は、2 つの築堤の離隔を変えて遠心模型実験を実施し、この数値解析結果の検証を行った.

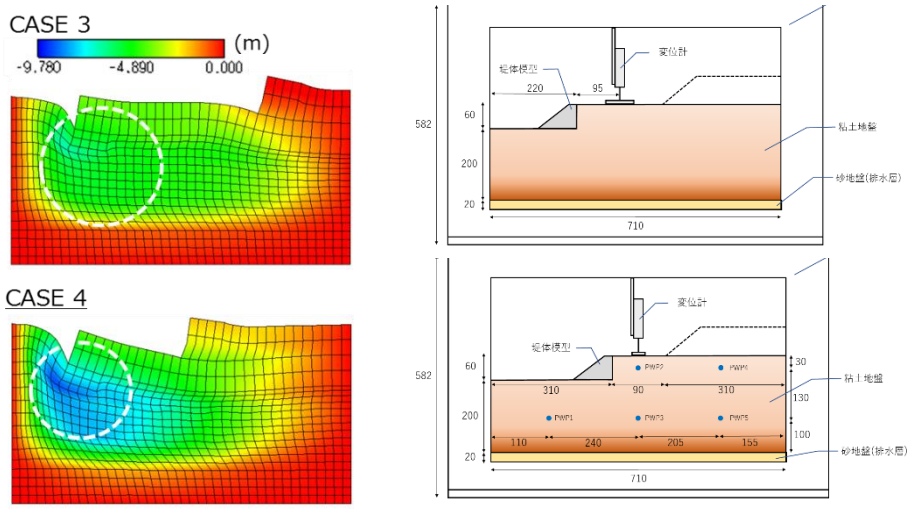


図 1.3.50 嵩上時の安定に関する数値解析と遠心模型実験の断面

成果の公表

港空研資料 1 編

・水谷崇亮, 兒島正明, 村上和之, 右田宏文, 丸山晴広, 橋本洋之, 石田毅史. 二軸同軸式アースオーガーで岩に根入れしセメントミルク注入を行った鋼管杭の軸方向抵抗特性. 港湾空港技術研究所資料, No.1363, 2019.

口発表論文(和文):2 編

・北浦直子, 水谷崇亮, 坂本貴光, 土田孝. 徳山下松港における原位置載荷試験を活用した杭の設計. 地盤と建設(地盤工学会中国支部論文報告集), Vol.37, No.1, pp.179-186, 2019.

・森川嘉之, 高橋英紀, 竹信正寛, 宮田正史, 川俣秀樹, 今井優輝, 高田英典, 徳永幸彦:基礎地盤を改良した港湾構造物の安定性に関する信頼性解析, 土木学会論文集 B3, Vol.75, No.2, pp. I_391-I_396, 2019.

研究開発課題	（3）海洋権益の保全と海洋の利活用

研究テーマ	遠隔離島での港湾整備や海洋における効果的なエネルギー確保など海洋の開発と利用に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋権益の保全のためには、本土から遠く離れた特定離島（南鳥島、沖ノ鳥島）における、排他的経済水域（EEZ）及び大陸棚の保全や利用を支える活動拠点の整備が必要である。研究所は、これら活動拠点の整備や、この海域も含めた我が国のEEZ等における海洋再生エネルギー開発及び海洋の利用促進のため、港湾整備に係る技術を活用して海洋の開発と利用に関する研究開発等に取り組む。	海洋権益の保全と海洋の利活用のためには、本土から遠く離れた遠隔離島等における活動拠点の整備が必要であり、また海中を含む海洋での様々なインフラ整備技術が不可欠であることを踏まえ、海洋開発の拠点形成のための港湾をはじめとするインフラ整備や地形保全、海洋資源や海洋再生エネルギーの調査・開発に重点を置いた取組が求められている。 このため、これまで研究所が蓄積してきた波浪や海底地盤、港湾構造物等に関する知見を総合的かつ最大限に活用して、遠隔離島での港湾整備や海洋における効果的なエネルギー確保など海洋の開発と利用に関する研究開発を進める。	海洋権益の保全と海洋の利活用のためには、本土から遠く離れた遠隔離島等における活動拠点の整備が必要であり、また海中を含む海洋での様々なインフラ整備技術が不可欠であることを踏まえ、海洋開発の拠点形成のための港湾をはじめとするインフラ整備や地形保全、海洋資源や海洋再生エネルギーの調査・開発に重点を置いた取組が求められている。 このため、これまで研究所が蓄積してきた波浪や海底地盤、港湾構造物等に関する知見を総合的かつ最大限に活用して、遠隔離島での港湾整備や海洋における効果的なエネルギー確保など海洋の開発と利用に関する研究開発を進める。 －港湾内における船舶の新型係留装置の開発に関する研究では、防舷材の機能を高度化させた新型船舶係留装置について概念検討を行う。 －水中音響カメラに関する研究では、開発した音響ビデオカメラ及び映像呈示ソフトについて、港湾施工への展開を目指し、海上試験を実施するとともに、運用方法の検討を行う。 －水中機械化施工におけるマシンガイダンス技術の研究では、水中施工機械の遠隔操作化への取組みとして、マシンガイダンス・音響外界計測センサ・均し作業用アタッチメントを統合し、実用化に関する検討を実施する。 －洋上風力発電に関する研究では、日本沿岸地域での洋上風力発電施設の杭基礎に作用する変動荷重特性の把握・整理を行うとともに、それを再現可能な実験および解析手法の検討を行う。 －炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発では、離島特有の制約条件（物資、人力）を考慮し、低潮線や港湾施設の保全や維持管理に資する、広域・長期・省力の解析手法の開発を行う。 等

研究の背景

海洋の利用や開発については、1960 年代からその重要性が指摘され、様々な取り組みが行われてきたが、その進展は必ずしも十分ではない。その原因の 1 つは、海洋には拠点となるインフラがほとんどないことである。そのため、南鳥島や沖ノ鳥島等の遠隔離島に海洋拠点港湾を整備し、海洋の利用・開発を促進する必要がある。これらの離島は通常の港湾とは異なる厳しい波浪環境や施工環境にあり、船の接岸や荷役、施工を円滑に行うにはさらなる技術開発が必要になる。

そこで、これまでに蓄積してきた波浪、海底地盤、港湾構造物や港湾工事等に関する知見を最大限に活用し、遠隔離島の港湾整備を推進するとともに、海洋の利用・開発を促進する。具体的には、孤立リーフ海域の波浪場を解明するとともに、新たな係留システムを開発する。また、音響ビデオカメラの小型軽量化、海洋の利用開発に関する技術開発を行う。

研究目標

厳しい波浪条件や複雑な地形を有する離島でも適用可能な、港湾建設のための新たな技術開発を行う。また、港湾分野で蓄積された技術を活用して、海洋インフラ整備を支援し、海洋の利用・開発を促進する。

令和元年度の研究内容

（1）孤立リーフ海域に適用可能な波浪制御技術に関して、複数の周期・波向毎に段階的に異なる波高を造波した平面模型実験を行い、潮位の違いや施設の有無による影響も含めて孤立リーフ上での平常時の波浪変形特性を把握するとともに、高解像度のブシネスク計算を実施してその再現性を検証した。

（2）港湾内の船舶の新型係留装置に関して、離島を対象とした新型係留装置について現地に適用するための技術的課題に対する対応策を提案するとともに、これまでの研究成果を取りまとめた。

（3）炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発に関して、GNSS 測量、RTK 搭載ドローンによる写真測量、マルチビームによる深浅測量、可視光＋NDVI カメラによる空撮、グリーンレーザードローンによる海底地形調査、そしてサンゴ幼生調査を実施するなど、地形変化要因の解析と予測手法の開発を実施した。また、深層学習による造礁生物の分布や活性の自動判別手法の開発を実施した。

（4）次世代音響画像システムの開発に関し、施工中の進捗管理での使用を目指し、浅海用音響ビデオカメラについては取得映像の調整を行い、音響映像呈示システムについては床掘浚渫用、置換工用のアプリケーションを作成し、新門司（Ⅱ期）の各実工事で試用し、濁りのある中での視認サポートについて一定の成果が認められた。本検討は施工中の音響可視化とともに将来の CIM を活用した施工の ICT 化への橋渡しをするものであり、施工の生産性向上に向けて着実に前進している。

（5）水中機械化施工におけるマシンガイダンス技術に関して、設計断面などの情報を水中の運転席に表示する水中 MG（マシンガイダンス）に関し、その表示方法、機体座標計測方法、外界計測方法の検討を行い、沖縄県宮古島における運用試験を実施した。さらに遠隔操作化に向けた取り組みとして、プロファイルソナーによる外界計測と本均し作業を支援するアタッチメントを加え、遠隔操作支援システムとして構築し、遠隔操作に関する予備試験を実施した。本研究は、港湾の整備・維持管理や海洋開発等において、潜水士の高齢化等に対応するとともに、濁り海域や大水深海域での作業の生産性の大幅な向上を図るため、ICT を活用した水中施工機械（バックホウ）を開発するものである。

（6）波力発電機能付き浮消波堤に関して、浮消波堤に組み込まれる波力発電装置の構成等について概念検討を行うとともに、波力発電装置による消波性能を考慮した浮消波堤の最適形状等について数値計算により検討した。

（7）洋上風力発電施設に働く波力算定法に関する研究に関して、数値計算検証用の模型を製作した。2020 年度より実験を予定している。

（8）杭基礎における洋上風力発電施設設計の現状把握を行うとともに、2020 年度実施予定の大型土槽実験用装置と要素試験装置の製作を行なった。また、大型土槽を用いた飽和砂地盤と現地飽和粘度地盤において、杭の繰り返し水平載荷試験を実施するとともに、杭の貫入過程（施工過程）を表現可能な数値解析コードの開発を行なった。

令和元年度の研究成果

（1）孤立リーフ海域に適用可能な波浪制御技術に関して、以下の成果を得た。

・リーフ上施設の有無が平常時の波・流れ場に与える影響は限定的であり、一部で有意な差が生じた平均水位でもその違いは潮位 H.W.L.のとき現地量で 5cm 程度であった。

・リーフ上の各水深で離散的に計測された実験結果を用いて、面的に算定された計算結果を必要に応じて補正する方法（図 1.3.51）を提案し、平常時における様々な波浪・潮位条件での孤立リーフ上の波・流れ場の空間分布を推定・表示できるツールを作成した。

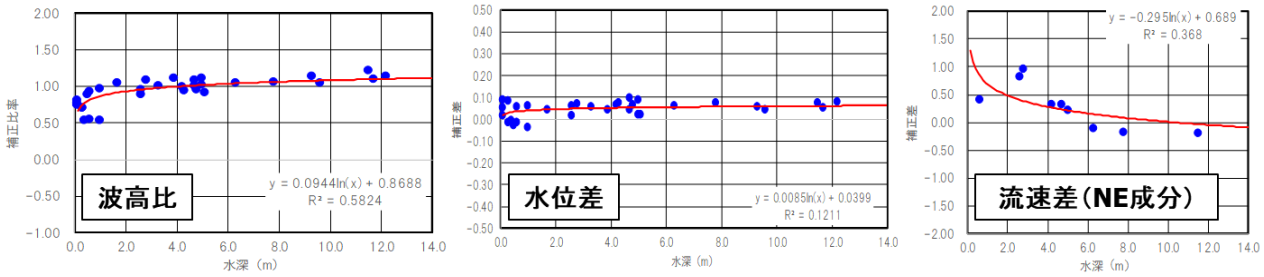


図 1.3.51　水深依存の補正係数（比，差）（例：L.W.L.，$H_{1/3}$=4.0m，$T_{1/3}$=10.0s，波向 NW，S_{max}=10）

（2）港湾内の船舶の新型係留装置に関して、以下の成果を得た。
・離島の係留施設における貨客船の荷役係留時を対象に考案した、高強度ワイヤを用いた新型係留装置について、現地に実際に適用する場合の施工時および維持管理時における技術的課題について検討し、その対応策について提案した。
・現状の船舶の係留技術の離島のような厳しい海象条件下への適用性の評価、離島を対象とした船舶の新型係留装置の考案、高強度ワイヤを用いた新型係留装置の基礎的な模型実験による効果の確認、高強度ワイヤを用いた新型係留装置の船体動揺計算による有効性の検証、新型係留装置の現地適用のための技術的課題と対応策の提案といったこれまでの研究成果を取りまとめた。

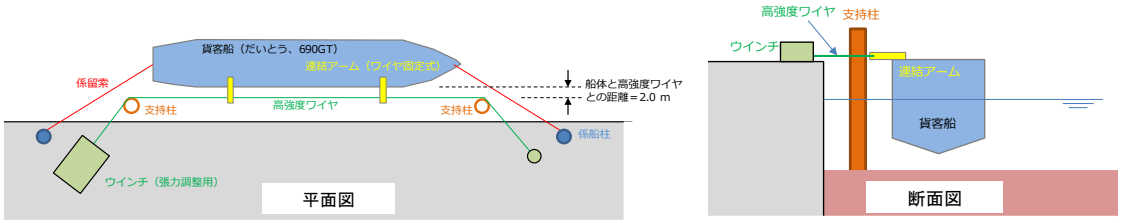


図 1.3.52　高強度ワイヤを用いた新型係留装置の構成図

表−1.3.1　現地適用における技術的課題と対応策

構成部分	技術的課題	対応策
システム全体	定期的な検査や維持管理の方法	維持管理計画の策定と定期的な点検診断・維持補修
高強度ワイヤ	摩耗劣化に対する取替えの判断手法	日常的な目視点検と劣化判定技術の確立
ウインチ	高波浪時における岸壁後方への移設手段	軌道式移動方法とアンカーによる固定技術の適用
支持柱	岩盤などの強固な海底地盤に対する施工法	オールケーシング工法の適用等
連結アーム	船舶の部分的改造の方法と船舶側との調整	新造船の建造に合わせた船舶構造の改造

（3）炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発に関して、以下の成果を得た。
・南鳥島の過去の地形変化解析と種々の測量手法を適用した。
・真の島全体の土砂収支を求めるためには、汀線近傍のみではなく、リーフエッジやリーフ内の地形変化を捉える必要がある。その手法として、マルチビーム測量、グリーンレーザー測量の適用性を検討した。
・水中でも測量可能なグリーンレーザースキャナのドローンへの搭載が可能となったため、グリーンレーザー搭載ドローンを適用した結果、ボアにより測量不可能だった砕波帯も砕波の切れ間から測深可能であることが判明した。
・すなわち、離島研究だけでなく、沿岸域地形変化に関する研究のブレイクスルーになり得ることを確認した。
・AI を用いた機械学習によるサンゴ自動検出について、南鳥島の空撮画像を例として試行した。

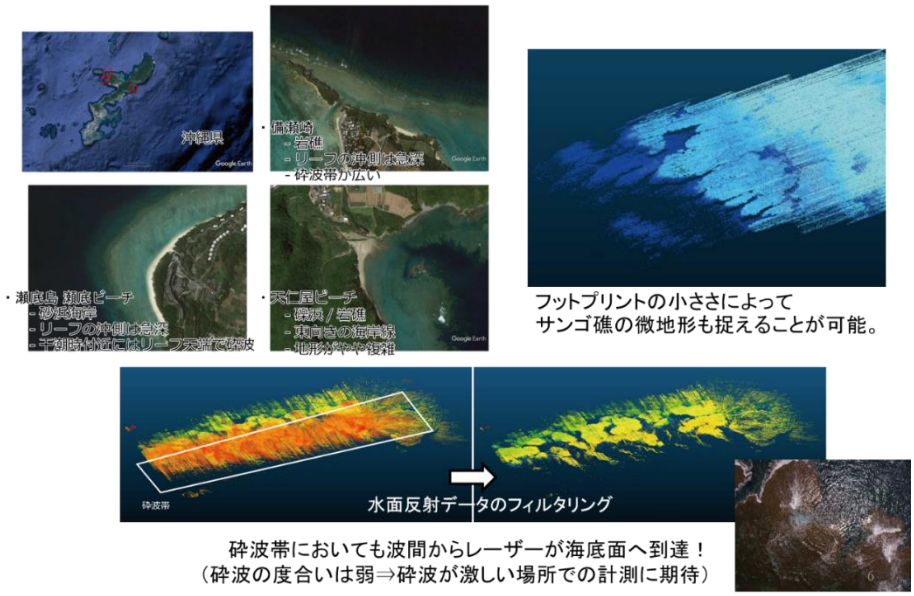
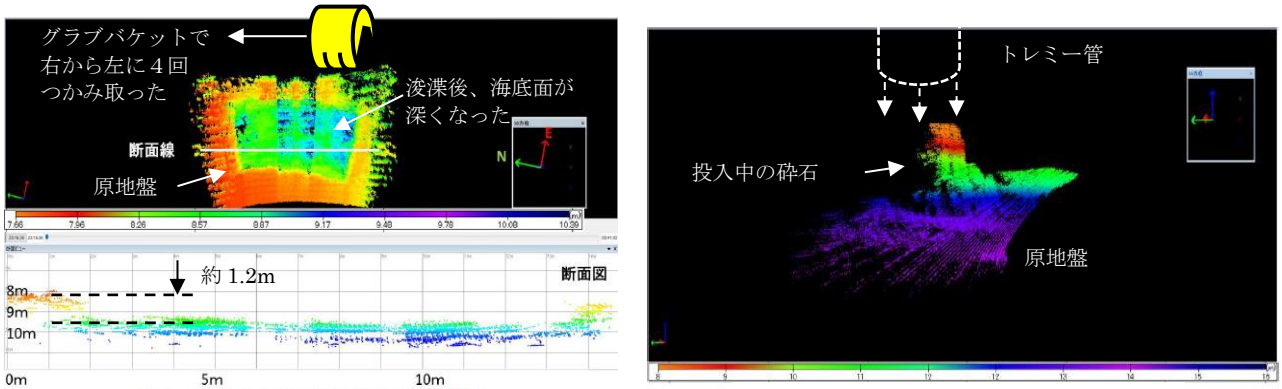


図 1.3.53　UAV 搭載型グリーンレーザーによる計測

（4）次世代音響画像システムの開発に関して、以下の成果を得た。
・浅海用音響ビデオカメラについて、機器調整を行い、不要応答の低減を図った。
・音響映像呈示システムについて、床掘浚渫工、置換工をターゲットとした施工モニタ用のアプリケーションの改良を行った。
・新門司（Ⅱ期）工事において、床掘浚渫工、置換工の施工管理システムとして試用した。



(a) 床掘浚渫工、浚渫後の海底状況　　(b) 置換工、投入中の砕石

図 1.3.54　床堀浚渫工、置換工の施工管理システムの表示例

（5）水中機械化施工におけるマシンガイダンス技術に関して、以下の成果を得た。
・マウンド本均し作業を遠隔操作で行うための支援機構として、油圧ブレーカを用いた叩き均しアタッチメントの実験機を製作し、沖縄県宮古島平良港において水中での性能確認試験を実施した.（図 1.3.55）
・共同研究者が所有する水中バックホウに水中 MG システム、叩き均しアタッチメント、音響プロファイラによる外界計測センサを統合し、遠隔操作支援システムを構築した.
・沖縄県宮古島のケーソン仮置きマウンドを対象に遠隔操作化に向けた予備試験を実施し、実用化に向けた課題点を抽出した。

図 1.3.55　宮古島平良港における試験の様子

（6）波力発電機能付き浮消波堤に関して、以下の成果を得た。
・波力発電機能付き浮消波堤の基本コンセプトを基にして、浮消波堤の外部形状・内部空気室・上部発電装置の構成構造について概略的な検討を行った。
・波力発電による波エネルギー吸収を浮消波堤の減衰性能として簡易的に導入し、浮消波堤の外部形状の幅喫水比、浮消波堤の減衰特性などをパラメトリックに変化させることにより、波力発電装置による消波性能を考慮した浮消波堤の最適形状等について数値計算により検討した。

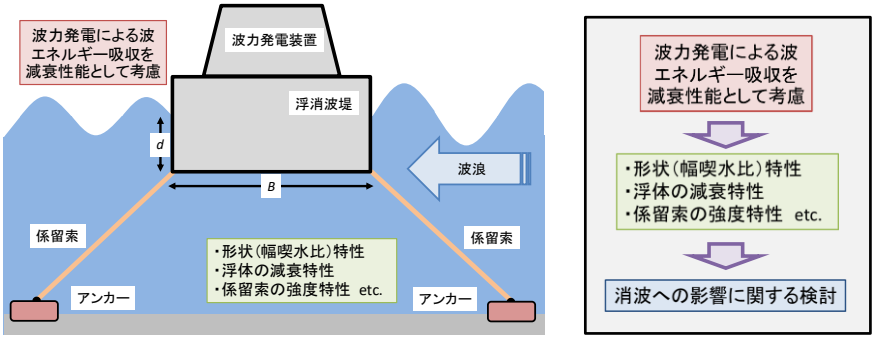


図 1.3.56　波エネルギー吸収による波消性能を考慮した浮体形状の検討

（7）洋上風力発電施設に働く波力算定法に関する研究に関して、図 1.3.57 に示すような模型を製作した。模型は高さ方向 10cm 毎に区切られており、高さ毎の波力を測定して数値計算の検証を実施予定である。

図 1.3.57　数値計算検証のための波力実験に用いる実験模型

（8）多様な変動荷重を受ける洋上風力発電施設の杭基礎の水平抵抗特性に関して、以下の成果を得た。
・欧州で実施されている洋上風力プロジェクト（PISA プロジェクト）等について、情報収集を行い、現状の洋上風力発電施設設計について整理した。
・現地地盤により近い飽和地盤条件での貴重な水平繰り返し載荷試験データが得られた。
・杭の貫入過程を表現可能な数値解析コードの開発を行い、杭の支持力発揮メカニズムに重要な杭と地盤との摩擦特性について検討を行った（図 1.3.58）。

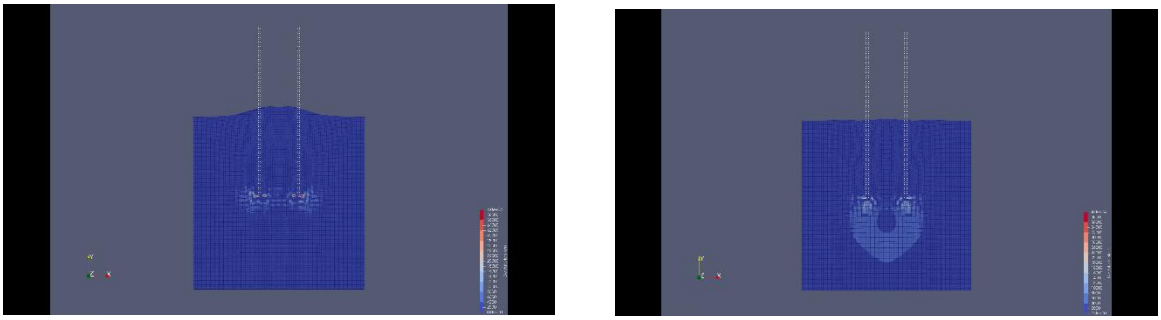


図 1.3.58　開端杭の貫入解析におけるせん断応力分布（左：摩擦係数 0.0，右：摩擦係数 0.2）

成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：1編

中村圭太・元水佑介・松村聡・水谷崇亮・新谷聡・大下英治・末政直晃（2019）：開端杭の引抜き抵抗力に及ぼす施工過程と杭形状の影響に関する模型実験，港湾空港技術研究所資料，No.1364.

□発表論文（和文）：4編

・棚谷灯子・金城信之・岩村俊平・青山宗平・長谷川巌・鈴木高二朗・桑江朝比呂（2019）：防波堤におけるサンゴの着生に対するケーソン目地部の効果．土木学会論文集 B2-75（海岸工学）：I_1147―I_115.

・平林丈嗣・喜夛司・吉江宗生・他 5 名(2019)：水中バックホウの遠隔操作化に向けた取り組み－1 ～外界計測の高度化，第 19 回　建設ロボットシンポジウム.

・喜夛司・平林丈嗣・吉江宗生・他 5 名(2019)：水中バックホウの遠隔操作化に向けた取り組み－2 ～捨石マウンド本均しを想定した支援機構～，第 19 回　建設ロボットシンポジウム.

・金山佳広（琉大）・平林丈嗣・喜夛司・他 3 名(2019)：海底石均し装置のシミュレーション，第 19 回　建設ロボットシンポジウム.

□発表論文（英文）：1編

・Nakamura, K. and M. Kikumoto(2019) : A rotational hardening model applicable to finite strain analysis based on multiplicative decomposition of plastic deformation gradient tensor, Proc. of the 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (16ARC), Taipei, Taiwan.

研究開発課題	（4）海域環境の形成と活用

研究テーマ	沿岸生態系の保全や活用に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
海域環境の保全・再生・創出や海洋汚染の防除により豊かな海域環境を次世代へ継承するとともに、地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が必要である。研究所は、沿岸域等における、生態系の保全や活用、地形の形成や維持に関する研究開発等に取り組む。	地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が益々重要となっていること、また沿岸域が多様な生態系が広がる環境上重要な空間であることを踏まえ、この環境や地形を人間の営む経済活動や気候変動の中でいかに保全するか、また気候変動の緩和策としていかに活用できるかということに重点をおいた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①沿岸生態系の保全や活用に関する研究開発	地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が益々重要となっていること、また沿岸域が多様な生態系が広がる環境上重要な空間であることを踏まえ、この環境や地形を人間の営む経済活動や気候変動の中でいかに保全するか、また気候変動の緩和策としていかに活用できるかということに重点をおいた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①沿岸生態系の保全や活用に関する研究開発 －浅海域における二酸化炭素吸収速度と浸水抑制効果を予測する全球動態モデルの検証の研究では、サブモデル（波浪モデル・地形底質モデル・生態系モデル）の結合と改良を引き続き行う。 －減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成では、リサイクル地盤環境を含めた耐侵食・生物生息機能の解明を行う。 －大気・海洋に関する湾口横断観測と解析の研究では、かなや丸における長期大気観測手法の検討および東京湾口の PH 横断分布の解明を行う。 －沿岸生態系シミュレーションにおけるマクロ生物の動態解析の研究では、沿岸環境の総合的な理解のため、これまで開発してきた低次生態系モデルに、魚類等を含む高次の生態系モデルを付加する。 －油濁対策技術に関する研究開発では、リアルタイム油漂流予測システムの高度化のための新たな機能を追加するとともに、次世代油回収船に向けた新たな集油と回収方法を検討する。また、バブルカーテンによる流出油制御、津波火災等延焼流出油への対応、沈船からの油抜き取り技術など油濁対応関連技術の検討を進める。

研究の背景

干潟やアマモ場、サンゴ礁に代表される沿岸域には、豊かな生態系が形成されており、沿岸域は地球環境にとって貴重な場となっている。しなしながら、高度経済成長期には、活発な経済社会活動に伴い、沿岸域の特に閉鎖性内湾において水質が悪化し、生態系が劣化した。その後の対策により、水質が徐々に改善している沿岸域があるものの、生態系を含めた沿岸域環境の修復は依然として大きな課題である。一方、新たな課題として、沿岸域の機能を気候変動の緩和に役立てることが求められるとともに、臨海コンビナートなどからの大規模油流出に対する対応も必要となってきている。

研究目標

本研究では、沿岸域環境のさらなる修復と気候変動の緩和への活用、及び大規模油流出への対応技術の確立を目標とする。沿岸生態系の温室効果ガス吸収効果(ブルーカーボン)を解明するとともに、その機能の有効活用方策を提案する。また東京湾や伊勢湾等において、赤潮や青潮の発生等の水環境をリアルタイムで予測するシステムを開発する。さらに国土交通省保有の油回収船団の次世代油回収装置、地震や津波に伴う臨海コンビナート等からの油流出への対応技術を開発する。

令和元年度の研究内容

(1)浅海域における二酸化炭素吸収速度と浸水抑制効果を予測する全球動態モデルの検証に関し、全球における炭素循環・生態系モデルならびに波浪・地形モデルの開発と検証をすすめるとともに、地形・生態系データの収集と GIS 解析を実施した。また、大型海藻場の炭素動態に関する現地調査や現地実験と数値モデル解析、干潟水槽・メソコスム水槽における eDNA に関する実験を実施した。さらに、大型海藻に関する国際 WS を主催するための準備を実施した。

(2)減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成に関して、沿岸底生生態ー地盤環境動態の統合評価予測技術を発展させると共に、地震液状化や暴風波浪が潮間帯および潮下帯の多種多様な底生生物(23生物種)の輸送・浮上・埋没及び致死率に及ぼす影響を明らかにし、リサイクル地盤環境を含めた耐侵食・生物生息機能の評価・分析を行った。

(3)大気・海洋に関する湾口横断観測と解析に関して、「かなや丸」を利用した海洋観測を継続し、大気に関しては風向風速観測結果のウェブ上配信を開始し、海技研及び JAMSTEC と共同研究体制を維持しつつ、測定する物質について検討した。

(4)沿岸生態系シミュレーションにおけるマクロ生物の動態解析に関して、前年度に行ったマクロ生物のモデル化の結果をもとに、現地データを参照してパラメーターチューニングを行った。

(5)アマモ場生態系の機能向上技術の開発に関して、瀬戸内海のアマモ場の遺伝的多様性を解明し、さらに、アマモ場の餌場としての評価のための現地実験を行った。

(6)データ同化による沿岸域の流動及び水質環境の解明に関して、矩形のモデル海域を対象とした数値実験を実施し、データ同化の計算条件の検討を行った。また、数値実験で得られた知見を基に伊勢湾と東京湾を対象とし、実観測値を用いたデータ同化を実施した。

(7)自然災害等を含む多様な流出油防除に向けた新技術の研究開発に関して、次世代型油回収機に適した油回収方法について、模型実験を行った。また、海上流出油の漂流予測について、ネットワーク対応型漂流予測システムのバージョンアップを実施した。さらに、自己展開型バブルカーテンによる漂流油の制御について検討を行った。

令和元年度の研究成果

(1)浅海域における二酸化炭素吸収速度と浸水抑制効果を予測する全球動態モデルの検証に関して、以下の成果を得た。

・熱帯域の生態系を新たに導入し全球の沿岸域に適用可能なモデルを開発し、将来、水温が上昇するにつれ吸収速度が顕著に低下する予測を得た。

・沿岸生態系分布範囲を特定するために、全球の生態系の分布を GIS 上で整理し、代表的な海岸線毎に平均岸沖地形断面を作成し、浅海生態系面積の将来予測を実施した。

・RCP8.5 のシナリオで予測される波浪に対して、生態系による波浪減衰効果を算定した。

・藻食魚による食害が CO_2 吸収に与える影響を調べるため、山口県の平郡島の自然藻場や北九州の人工護岸等において、大型海藻場における炭素動態を調査した。

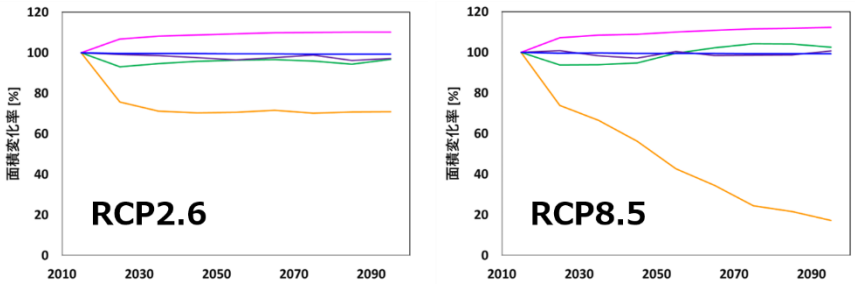


図 1.3.59 開発中のモデル計算によって得られた全球における浅海域生態系面積の将来予測

(2)減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成に関して、以下の成果を得た。

・沿岸底生生態ー地盤環境動態の統合評価予測技術を発展させると共に、地震液状化や暴風波浪が潮間帯および潮下帯の多種多様な底生生物(23生物種)の輸送・浮上・埋没及び致死率に及ぼす影響を明らかにした。

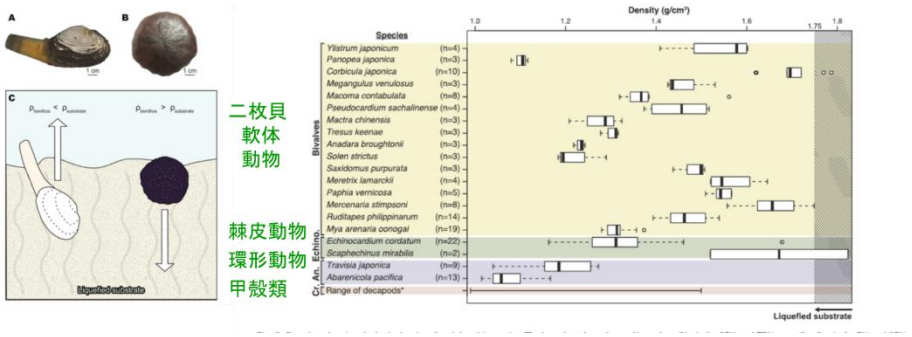


図 1.3.60 （左)地震液状化による底生生物の浮上・埋没の模式図、(右)多種多様な底生生物種の体密度と液状化土の関係

(3)大気・海洋に関する湾口横断観測と解析に関して、以下の成果を得た。
・大気観測に関して、風向風速観測結果のウェブ上配信を開始した。
・海洋観測に関して、これまでの観測体制を維持しつつ、pH 観測を開始した。

(4)沿岸生態系シミュレーションにおけるマクロ生物の動態解析に関して、既存のモデルに新たに魚類を想定したモデル化を行い、パラメーターチューニングを行った。その結果、魚種によって実測値の再現性が異なるが、漁獲量等について概ね良い再現性が示された。

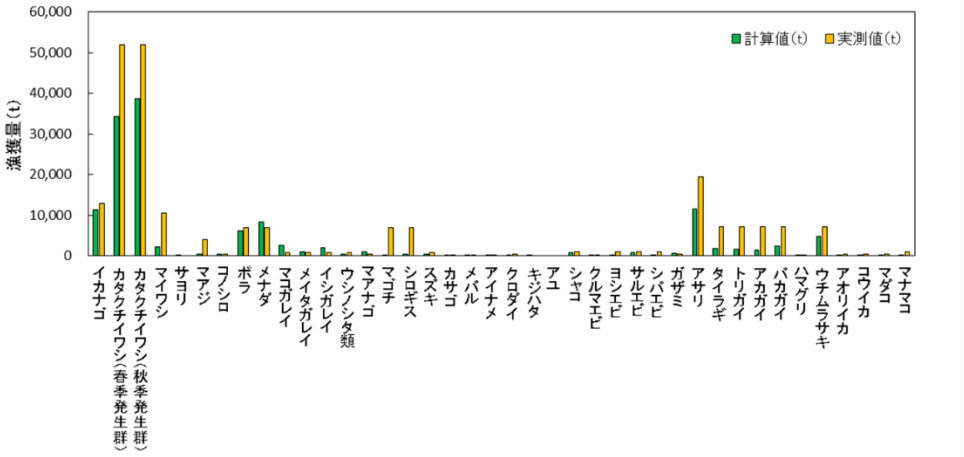


図 1.3.61 統計量（漁獲量）と計算結果との比較

(5)アマモ場生態系の機能向上技術の開発に関して、瀬戸内海のアマモ場の遺伝的多様性を解明しさまざまな解析法の特徴を整理し、さらに、アマモ場の餌場としての評価のための現地実験を行った。

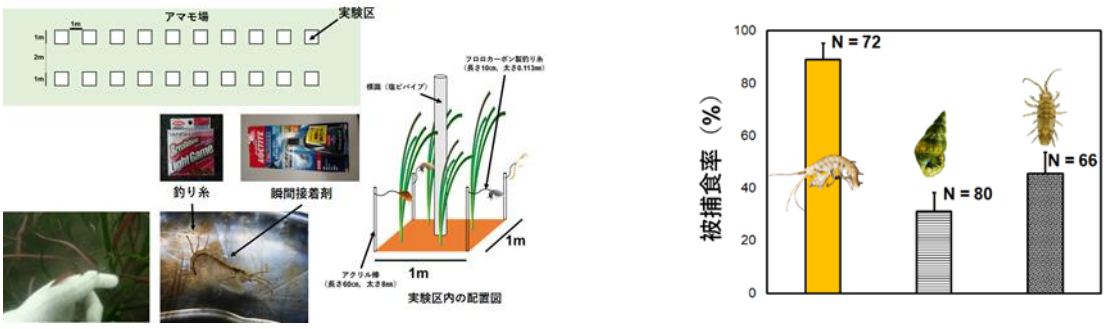


図 1.3.62 アマモ場の餌場としての評価実験の様子と結果

(6)データ同化による沿岸域の流動及び水質環境の解明に関して、数値実験を実施し、境界条件にシステムノイズを与えてアンサンブルを作成する方法でデータ同化が実施可能であることを確認した。また、伊勢湾と東京湾を対象としたデータ同化を実施し、境界条件にシステムノイズを与えてアンサンブルを作成する方法が有用であることが実観測値を用いたデータ同化において示された。

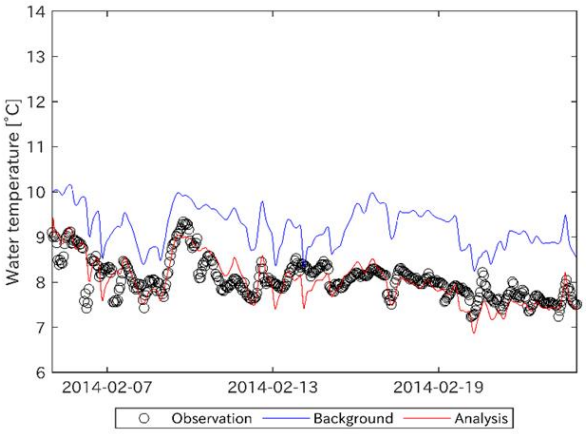


図 1.3.63　伊勢湾湾奥の水質定点観測における水温の時系列図（水深−1.0 m）.

（7）自然災害等を含む多様な流出油防除に向けた新技術の研究開発に関して、以下の成果を得た。
・次世代型油回収機に適した油回収方法に関する原理検討について、高圧化水ジェットサクションと、余水リサイクルシステムを導入した模型実験を実施し、実用的な運転条件における動作の確認を行った。
・ネットワーク対応型漂流予測システムについて、乱流拡散モデルを取り込めるようにバックエンドプログラムを修正するとともに、フロントエンドの更新等のバージョンアップを実施した。
・沈船からの油の抜き取りについて、油、水、界面活性剤の 3 相系におけるエマルション生成に関するレオロジー計測実験を実施し、W/O から O/W に逆転する条件と粘性の関係を把握した。

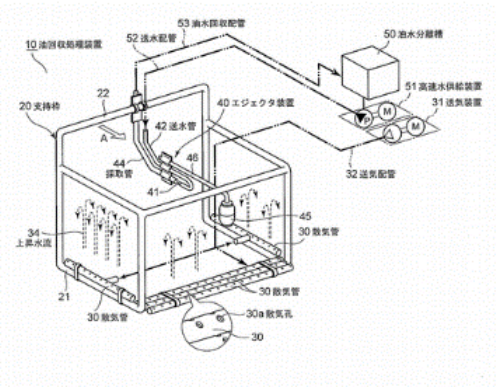


図 1.3.64　次世代型油回収機

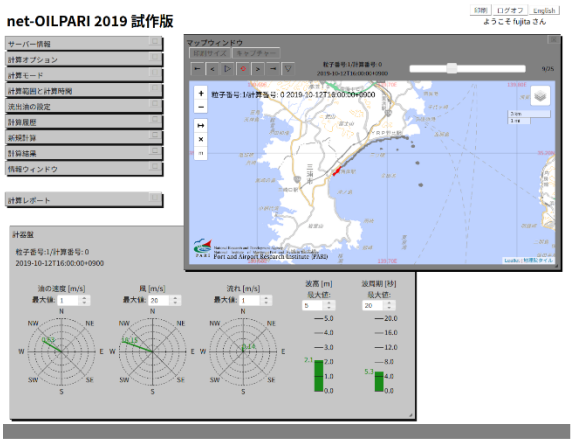


図 1.3.65　クラウド型油漂流予測システム

成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：2編
・細川真也・百田恭輔(2019)：港湾における小型無脊椎動物の種の多様性指数－2つのサンプリングエフォートの考え方の比較－，港湾空港技術研究所資料，No.1361
・松崎義孝・井上徹教(2020)：アンサンブルカルマンフィルターによる閉鎖性水域の流動解析に向けたデータ同化の計算条件の検討，港湾空港技術研究所資料，No.1367

□発表論文（和文）：10 編
・桑江朝比呂・吉田吾郎・堀正和・渡辺謙太・棚谷灯子・岡田知也・梅澤有・佐々木淳（2019）：浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計．土木学会論文集 B2（海岸工学），75: 10−20
・赤塚真依子・高山百合子・伊藤一教・渡辺謙太・桑江朝比呂・大澤　亮介・森本哲平・源　利文（2019）海草場を対象とした環境 DNA の季節変化・日変化・形態変化に関する基礎研究．土土木学会論文集 B2−75（海岸工学）：I_1075—I_1080
・梁順普・佐々真志・高田宜武（2019）砂浜地形変化による底生生物の岸沖分布変化に果たす地盤環境適合場の役割．土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 75, No. 2、pp.I_545− I_550.
・石橋さくら・宮武誠・越智聖志・佐々真志（2019）粗粒底質における前浜浸透，滲出流を考慮した波打ち帯の漂砂輸送解析．土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 75, No. 2, pp.I_325− I_330.
・梁順普・佐々真志（2019）沿岸底生生態—地盤環境動態統合評価予測プラットフォームの構築と適用．土木学

会論文集 B2(海岸工学), Vol. 75, No. 2, pp.I_1081- I_1086.
・越智聖志・和田京果・宮武誠・佐々真志 (2019) 混合粒径底質の粒度に伴う波打ち帯の漂砂移動特性. 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 75, No. 2, pp.I_463- I_468.
・梶原直人・佐々真志 (2019) 多様な湿潤密度を有する礫質土砂環境の硬度評価の研究. 海の研究, 日本海洋学会, Vol. 28, No. 3, 41-50.
・梶原直人・佐々真志 (2020) 円形度と摩擦係数に基づく礫質土砂環境の硬度評価の研究. 水産工学, 日本水産工学会, Vol. 56, No. 3, 165-172.
・梶原直人・佐々真志 (2020) 生物潜砂指標としての礫質土砂のベーンせん断抵抗自動測定化の試み. 水産工学, 日本水産工学会, Vol. 56, No. 3, 193-199.
・小野 正夫・藤田 勇・馬 驍・城田 英之・亀山 道弘(2019):エマルション化による高粘度重質油の流動性向上に関する検討, 日本機械学会関東支部 第 26 期総会・講演会 講演論文集.

□発表論文(英文):14 編
・Macreadie, P. I., .. T. Kuwae, .. K. Watanabe, .. (2019): The future of Blue Carbon science. *Nature Communications*, 10, 3998
・Sassa, S. and Yang, S. (2019): Role of geoenvironmental dynamics in the biodiversity of sandy beaches and sandflats: The ecohabitat chart and its ecological implications. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 219, 278-290. Invited. doi:10.1016/j.ecss.2019.02.002.
・Sassa, S. and Yang, S. (2019): Suction-induced habitat selection in sand bubbler crabs. Royal Society Open Science 6: 190088. doi/10.1098/rsos.190088.
・Seike, K., Sassa, S., Kubota, K. and Shirai, K. (2019): Fate of benthic invertebrates during seabed liquefaction: quantitative comparison of living organism body density with liquefied substrate density. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 223, 1-5. doi:10.1016/j.ecss.2019.04.025.
・Yang, S., Sassa, S. and Takada, Y. (2019): Universality of the linkage between geoenvironment and the distributions of three Haustorioides amphipods: *H. japonicus, H. munsterhjelmi*, and *H. koreanus*. Plankton and Benthos Research, Vol. 14, No. 3, 170-179. doi:10.3800/pbr.14.170.
・Takada, Y., Kajihara, N., Suzuki, Y., Yamahira, K., Yang, S. and Sassa, S. (2019): Estimates of mortality in sandy beach populations of Haustorioides japonicus (Amphipoda: Crustacea) and Excirolana chiltoni (Isopoda: Crustacea) during winter storm seasons. Plankton and Benthos Research, Vol. 14, No. 3, 180-188. doi:10.3800/pbr.14.180.
・Hosokawa, S., T. Hara, M. Nozu (2019) : Advanced engineering techniques and environmental measures for beneficial sediment use in Japan, Australasian Coasts & Ports 2019 Conference, 611-616.
・Namba, M., M. Hashimoto, M. Ito, K. Momota, C. Smith, T. Yorisue, M. Nakaoka (2020) The effect of environmental gradient steepness on biodiversity and community structure of epifauna and infauna in eelgrass (Zostera marina) beds. Ecological Research, 35, 61-75.
・Hafeez, M.A., Y. Nakamura, T. Inoue, S. Hosokawa, Y. Matsuzaki (2019) : Quantification of bottom water age by using temperature based age index model and its relationship with bottom water dissolved oxygen concentration in Ise Bay, Japan, Doboku-gakkai ronbunshu B2, 75, I_1003-I_1008.
・Hafeez, M.A., Y. Nakamura, T. Inoue, S. Hosokawa, Y. Matsuzaki (2019) Seasonal variation intrusion frequency of oceanic water from middle and lower layers and its significance in bottom water hypoxia in Ise Bay, Japan, Proceedings of the 10th International conference on Asian and Pacific coasts, Hanoi, Vietnam, September, 25-28.
・Hosokawa, S., R. Naito, Y. Nakamura (2020) : Spatial patterns of concentrations of Cu, Zn, Cd, and Pb in marine sediments from Japanese port areas, Regional Studies in Marine Science, 35, 101135.
・Ahmad Seiar, Y., Y. Nakamura, T. Miyatuji, Y. Hagino, T. Kobayashi, Y. Shigeoka and T. Inoue (2019) :Remediation of Coastal Marine Sediment Using Iron. In 5th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM2019).
・Ajima, D., T. Nakamura, T. Araki, T. Inoue and A. Kurisu (2019) :Development of a Coupled Human Fluid Numerical Model for the Evaluation of Tsunami Drowning Hazards. Journal of Biomechanical Science and Engineering, 14: 18-321.
・I.FUJITA(2019):A Short Note on Meshfree PDE-constrained Optimization using Moving Least Squares, Oceans 2019 Seattle.

研究開発課題	（4）海域環境の形成と活用

研究テーマ	沿岸地形の形成や維持に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
海域環境の保全・再生・創出や海洋汚染の防除により豊かな海域環境を次世代へ継承するとともに、地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が必要である。研究所は、沿岸域等における、生態系の保全や活用、地形の形成や維持に関する研究開発等に取り組む。	地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が益々重要となっていること、また沿岸域が多様な生態系が広がる環境上重要な空間であることを踏まえ、この環境や地形を人間の営む経済活動や気候変動の中でいかに保全するか、また気候変動の緩和策としていかに活用できるかということに重点をおいた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②沿岸地形の形成や維持に関する研究開発	地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が益々重要となっていること、また沿岸域が多様な生態系が広がる環境上重要な空間であることを踏まえ、この環境や地形を人間の営む経済活動や気候変動の中でいかに保全するか、また気候変動の緩和策としていかに活用できるかということに重点をおいた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②沿岸地形の形成や維持に関する研究開発 －気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発では、波崎海岸の地形変化観測データに基づき開発された汀線地形変化予測モデルを汎用化し、全球的に多様な海浜における適用と100年スケールの将来予測を行う。 －波崎海洋研究施設における観測と航路・泊地・海岸地形変化予測モデルの開発では、地球温暖化が沿岸地形に与える影響に関する現地データを継続して取得するとともに、港湾及び海岸構造物の漂砂制御機能低下を評価する地形変化予測モデルの開発を行う。 －河口域周辺での土砂輸送及び航路・泊地への集積機構の解明では、現地観測データの解析に基づく細粒泥動態の特性の把握および河口域での泥土輸送モデルの実海域への適用を行う。 等

研究の背景

港空研における漂砂研究は航路埋没を防ぐための移動限界水深の研究から始まり、現在では、砂のみならずシルトを対象とした航路埋没対策工法が示されている。しかし、国内においては、依然として埋没の進行している港湾があり、また、海外においては、日本に比べてはるかに多くの量の土砂の堆積が想定されている港湾があり、これら航路・泊地の埋没に対応する技術は十分とはいえない。一方、貴重な砂浜は、高度経済成長期に多く失われ、現在でも砂浜の消失は続いている。砂浜のもつ防護、環境、利用の機能が見直され、海岸の侵食対策が実施され、砂浜が回復している海岸があるものの、地球温暖化によって将来的には海岸侵食が生じることも想定されている。また、遠隔離島や海外に目を向けた場合、砂浜だけではなく、サンゴ礁海岸などの保全も重要になってきている。

研究目標

本研究テーマでは砂浜、マングローブ海岸、サンゴ礁海岸などの自然な沿岸地形や物流を支える航路・泊地などの人工の沿岸地形を今後の気候変動のもとにおいても維持することを目標とする。また、地球温暖化が進行した場合の海岸侵食現象の変化、航路や泊地の埋没現象の変化を予想し、その対策を提案する。さらに、アジアの大河川河口部、マングローブ、干潟等における埋没現象の解明とその対策を提案する。

令和元年度の研究内容

（1）河口域周辺での土砂輸送および航路・泊地への集積機構の解明に関して、新潟西港内において水深急変部における地形変化および堆積物特性に関する現地調査を実施した。特にナローマルチビーム測量を新たに導入することにより、浚渫域への流入土砂による地形変化（埋没）への影響について詳細な把握を試みた。また、

水槽実験により、港内浚渫域に流入する濁水挙動の把握実験ならびに、乱れ制御による埋没抑制効果の検討を前年度に引き続き実施した。さらに、河口沿岸域の底質や作用外力の特徴を反映した数値モデルの開発をすすめ、国内外の現地海岸へ適用し検証を行った。

（2）海域における沿岸地形モニタリングへの航空深浅測量の適用性に関して、波崎海洋研究施設および周辺海岸で 2 度実施したグリーンレーザーを用いた航空測量（2017.11 と 2018.8）の反射強度の鉛直分布データを用いて、海水中の濁度の鉛直分布との関係を解析した。また、潮位の異なる時間に測量した航空測量反射点データを用いて、砕波白泡の影響による欠測を少なくする解析方法を検討した。

（3）平均海面上昇等に伴う海岸地形変化の実測と漂砂制御機能の評価に関して、波崎海洋研究施設において継続的に風・波・流れ・地形変化の現地観測を行った。また、急激な砕波現象によって波・流れの場が複雑に変化する潜堤周辺での地形変化を予測するための計算モデルの改良を行った。

（4）気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発に関して、波崎海岸の観測データをもとに開発された汀線変動モデルを表浜海岸，オーシャン・ビーチにおいて適用し，適用性を検証した。フランスの海岸の地形変化データの整理にも着手し，フランス研究者と共同で将来予測計算用の将来シナリオデータを整備した。

令和元年度の研究成果

（1）河口域周辺での土砂輸送および航路・泊地への集積機構の解明に関して、以下の成果を得た。

・新潟西港内の水深急変部（浚渫域縁辺部）において、斜面部で生じる地形変化の詳細を捉えることに成功した（図 1.3.66）。

・河口域周辺の地形や底質分布の変化を予測するための数値モデルの検証を行い、国内外の現地海岸に適用可能な数値シミュレーション・システムの構築を行った（図 1.3.67）。

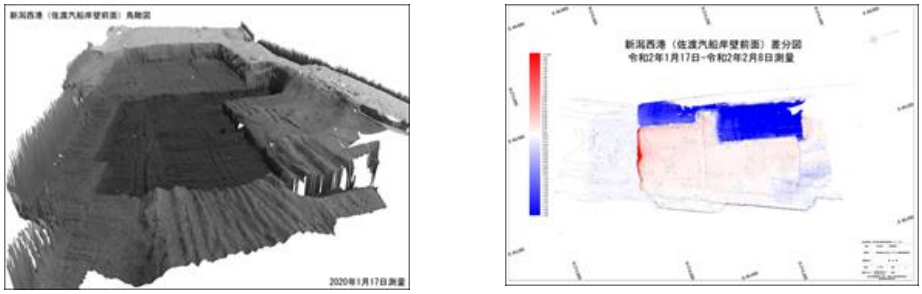


図 1.3.66　ナローマルチビーム測量による詳細地形調査（左）と浚渫域内での地形変化の把握（右）

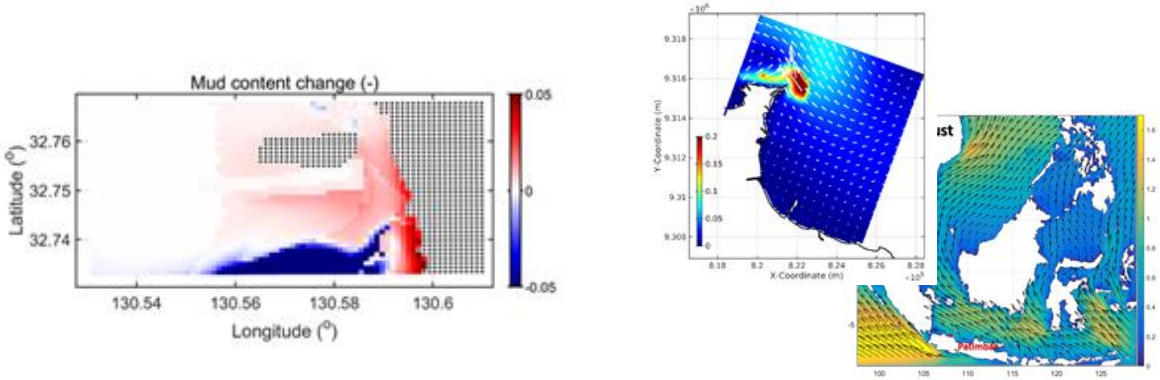


図 1.3.67　熊本港周辺での底質（含泥率）変化予測シミュレーションの計算例（左）とインドネシア・パティンバン海岸を対象とした底質移動外力評価のための潮流・波浪シミュレーション（右）

（2）海域における沿岸地形モニタリングへの航空深浅測量の適用性に関して、以下の成果を得た。

・海水中の濁りが多い条件でのグリーンレーザーを用いた航空測量（図 1.3.68 左）を行い、濁りによる測量限界水深について解析を行っている。また、海岸構造物周辺の詳細な海底地形の計測を行った。

・潮位の異なる時間に航空測量（図 1.3.68 右）を行い、波の砕波白泡による海底地盤計測の欠測域を少なくする解析手法の開発を行っている。

・航空測量の精度は高く、これまで困難であった砕波帯内の高精度な地盤高測量が広範囲に高密度で行える有効な手段と考えられる。砕波帯の面的測量を大幅に省力化できるものである。また、これまで実施困難であった海岸保全施設（ヘッドランド、離岸堤）周辺の地形測量が可能となり、適切な漂砂対策（海岸保全施設の計画、設計等）や維持管理が図られるものと考えられる。

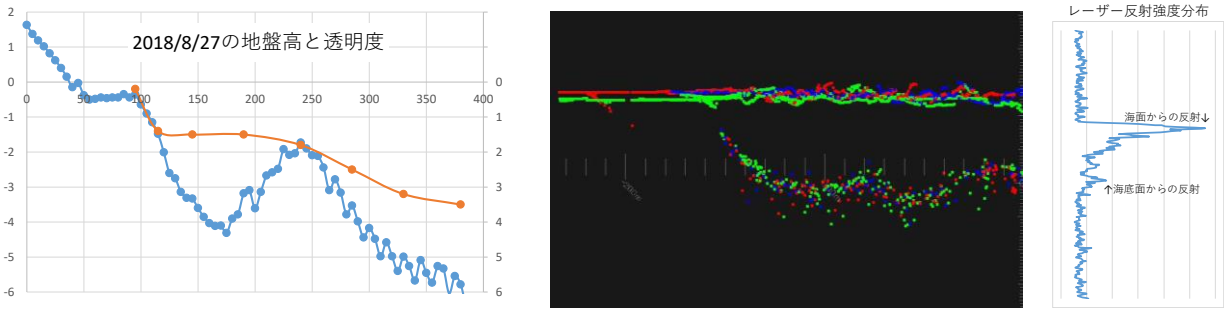


図 1.3.68　航空レーザー測量結果と海底断面地形との比較　潮位の異なる測量結果　反射強度の鉛直分布

(3)平均海面上昇等に伴う海岸地形変化の実測と漂砂制御機能の評価に関して、以下の成果を得た。
・観測桟橋先端およびブイによる洋上高層風の観測(科研費共同研究)を行った。観測結果は風況予測モデルの検証に用いられた(図 1.3.69 左)。
・斜め入射波が潜堤上で砕波する場合の平均水面低下と海浜流の計算を行い、潜堤有り無しの場合の地形変化の比較を行った(図 1.3.69 右)。

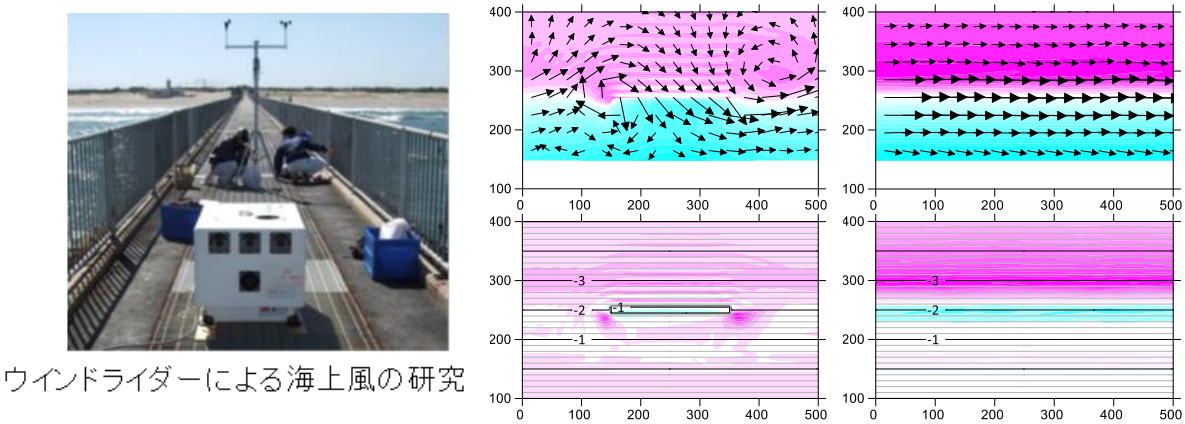


図 1.3.69　高層風の観測(科研費共同研究)(左)　潜堤の有無による平均水面と流れ、地形変化(右)

(4)気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発に関して、以下の成果を得た。
・波崎海岸，表浜海岸，オーシャン・ビーチの地形変化は汀線変動モデルによって高精度に再現できた(図 1.3.70 左)。一方で，モデルのパラメータは Site Specific なままであることから物理指標との関連付けが必要である。
・北太平洋上の気圧配置の年々変動が地形変化へ与える影響を統計的に説明した(図 1.3.70 右)。

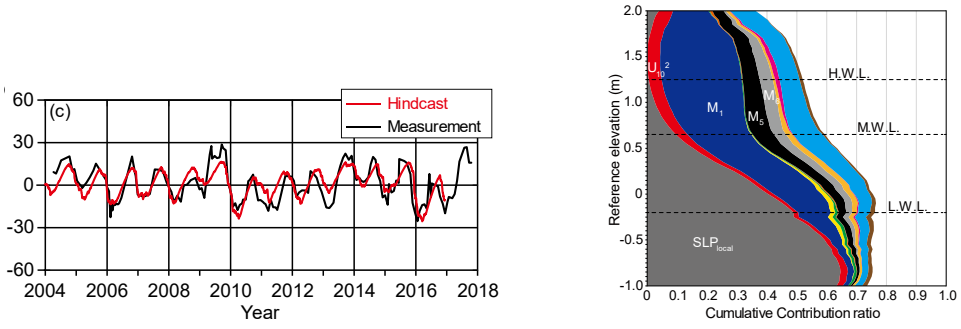


図 1.3.70　汀線変動の過去再現計算：Ocean Beach(左)　種々の変数が地形変化へ与える影響(右)

成果の公表

口発表論文(和文)：1編
・伴野雅之・森信人・栗山善昭(2019)：北太平洋海面気圧の変動と海浜地形変化の関係，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 75 (2)，pp.I_607-I_612.

口発表論文(英文)：3編
・KURIYAMA, Y., YANAGISHIMA, S. and BANNO, M. (2019): Medium-term Morphological Change in the Backshore, Proceedings of the 9th International Conference Coastal Sediments, pp.1308-1318.
・Nakagawa, Y., A. Bagyo Widagdo, M. Banno, Gugum A. Gumbira, T. Kosako, H. Tamura, and D. Istiyanto (2019):

Seasonal variation of fluid mud thickness around river mouth in north western Java island, Indonesia, INTERCOH2019, Istanbul.

・Seike, K., M. Banno, K. Watanabe, T. Kuwae, M. Arai and H. Sato: Benthic Filtering Reduces the Abundance of Primary Producers in the Bottom Water of an Open Sandy Beach System (Kashimanada Coast, Japan), Geophysical Research Letters, e2019GL085338, 2020.

４．電子航法に関する研究開発等

【中長期目標】

国土交通省は、航空交通の安全の確保とその円滑化を図るため、航空管制等の航空保安業務を実施するとともに、我が国の国際競争力の強化に資するため、首都圏空港の機能強化、航空交通容量の拡大等に係る施策を推進している。

このため研究所は、航空交通の安全性向上、航空交通容量の拡大、航空交通の利便性向上、航空機運航の効率性向上及び航空機による環境影響の軽減を目標にして航空交通システムの高度化を図るため、次の研究開発課題に重点的に取り組み、航空行政の推進を技術面から支援することとする。

さらに、独創的または先進的な発想に基づき、研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究に対しては、先見性と機動性を持って的確に対応する。

【重要度：高】 我が国の航空交通システム等における技術的課題の解決は、国土交通省の政策目標実現に不可欠であるため。

（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術に関する研究開発等に取り組む。

（２）空港運用の高度化

到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。

（３）機上情報の活用による航空交通の最適化

航空機が保持する運航や気象等に関する情報を地上へ伝送し活用する技術、航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する技術に関する研究開発等に取り組む。

（４）情報共有及び通信の高度化

多数の関係者が航空機運航の状況認識・判断を行えるようにする情報共有基盤の構築及び航空機と地上の間で航空管制、運航、気象等に関する情報を高速伝送する地対空通信システムの開発並びにそのセキュリティの確保に関する研究開発等に取り組む。

【中長期計画】

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち航空交通の安全性向上を図りつつ、航空交通容量の拡大、航空交通の利便性向上、航空機運航の効率性向上及び航空機による環境影響の軽減に寄与する観点から、適切な成果を創出するため、本中長期目標期間においては、次に記載する研究に重点的に取り組むこととする。

また、これら重点的に取り組む研究開発課題以外のものであっても、本中長期目標期間中の航空行政を取り巻く環境変化により、喫緊の政策課題として対応すべきものがある場合は、重点的に取り組む研究開発課題と同様に取り組むこととする。

さらに、独創的または先進的な発想により研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究については、電子航法に関する国際的な技術動向を踏まえつつ先見性と機動性を持って長期的な視点から取り組むとともに、プロジェクト型の研究開発に成果を移転するための基盤技術に関する研究にも経常的に取り組む。

（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。

また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

①運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理

手法に関する研究開発
②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発
③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発

（２）空港運用の高度化

燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。
①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発
②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発
③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発

（３）機上情報の活用による航空交通の最適化

航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。
①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発
②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発

（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化

航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。
①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発
②航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全性の保証された次世代航空通信に関する研究開発

【年度計画】

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち航空交通の安全性向上を図りつつ、航空交通容量の拡大、航空交通の利便性向上、航空機運航の効率性向上及び航空機による環境影響の軽減に寄与する観点から、適切な成果を創出するため、本中長期目標期間においては、次に記載する研究に重点的に取り組むこととする。

独創的または先進的な発想により研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究については、電子航法に関する国際的な技術動向を踏まえつつ先見性と機動性を持って長期的な視点から取り組むとともに、プロジェクト型の研究開発に成果を移転するための基盤技術に関する研究にも経常的に取り組む。

（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。

また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理（ATM）のためのシステムの開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。
①運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発

－気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究では、交通流および運航管理の高度化を図るため、影響を受ける管制空域に対して事前検証・調整された、シビアな悪天を回避するための飛行計画経路集を作成し、提案する。本年度は、その初期的研究として、各種データ収集と初期解析、実験用評価システムの仕様検討、評価指標等についての動向調査を行う。等

②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発

－フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究では、運航者が最大便益を得るためのフリールーティングと空域などを効率よく割り振るため協調的意思決定（CDM）を取り入れた軌道ベース運用に基づいた軌道管理方式のコンセプトを提案する。本年度は、日本とその周辺の空域の特性に基づいた運用コンセプトの検討と、ATM パフォーマンス指標の検討を行うとともに、軌道最適化アルゴリズムの改善や性能向上に取り組む。等

③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発

－空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究では、トランスポンダに依存せず空港面及び空港近傍における移動体を検出するために、パッシブPSR だけでなく航空用途以外の電波も利用した監視プロトタイプシステムの開発を行う。本年度は、引き続き空港面での移動体検出技術の開発を行うとともに、実験用リアルタイムパッシブ監視システムを構築し、検出性能検証を行う。

－次世代 GNSS に対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究では、安全で効率的な運航を実現する GNSS ベース航法の実用に不可欠なGNSS 補強システムのアベイラビリティ（利用可能な時間割合）改善を図るものである。このための方策として次世代GNSS の利用や宇宙天気情報の活用による効果について評価すると共にこれらの利用に必要な技術開発を行い、国際標準規格案に反映する。本年度は、次世代SBAS 及び次世代GBAS のプロトタイプシステムを使用して飛行実験を実施するとともに、準天頂衛星システム対応のための性能評価を行う。等

（２）空港運用の高度化

燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発

－PBN とGBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究では、性能準拠型航法（PBN）概念によるRNP 航法と衛星航法（GNSS）による精密進入着陸システムである GBASを組み合わせた曲線進入等の高度運用方式を実現するために、空港周辺の山岳地形などの制約を調査し、設計条件や導入効果を明らかにする。また、衝突危険度モデルを改善する衝突確率計算アルゴリズムを提案して計器飛行方式設定基準の策定に貢献する。本年度は、国内のモデル空港へ新進入方式を概念設計し、効果や制約を調査する、かつ、衝突危険度モデルを改善する計算アルゴリズムを提案する。

－大規模空港における継続降下運航の運用拡大に関する研究では、継続降下運航（CDO）を交通量の多い時間帯に運用を拡大するために、CDO 実施判断支援ツールを製作する。本年度は、CDO 実施判断支援ツールの評価実験を行い、取りまとめを実施する。等

②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発

－空港設計および地上走行時間管理に資する交通データ等活用技術の研究では、空港施設設計において、空港面交通データと空港面交通シミュレーションをもとに、空港内の地上交通量と出発・到着便数との相関、空港施設の適切なサイズ及び配置等について体系的な知識の獲得に取り組む。また、空港面の混雑に応じた航空機の地上走行時間の管理においては、地上走行時間の不確かさを最小化するための、交通管理手法の精度向上について検討する。本年度は、空港施設整備の根拠資料となりうる年間交通量等の情報抽出、および、地上走行の時間管理の精度向上に資する情報抽出を目指した交通データおよびシミュレーションの活用技術を検討する。等

③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発

－滑走路異物（FOD）監視システムの高度化に関する研究では、FOD 探知システムの実用化に向けた未

検知率の低減、探知困難形状FOD への対応、悪天候時の対策等のための研究開発を行う。本年度は、非金属物体等のレーダ反射断面積の小さい対象物を探知するための技術提案を行う。また、FOD 探知システムの空港環境および悪天候時の性能評価を実施する。

ー遠隔型空港業務支援システムの実用化研究では、小規模空港や離島空港でリモート運用を可能とするために必要な技術を開発し、我が国の運用環境に適したリモートタワーシステムを提案する。本年度は、映像処理系システムのアップデートとAIによる映像識別機能の処理速度向上とシステムへの導入によるトラッキング性能を検証する。また、PTZ システムの性能向上、運用向けハウジングシステムの製作と性能評価、監視センサーとの統合表示情報の性能検証と課題整理、簡易型センサーの性能評価を行う。また、EUROCAE において、リモートタワーの技術規格の策定に参加するとともに、併せて海外動向調査を行う。等

（３）機上情報の活用による航空交通の最適化

航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発

ー従属監視補完技術に関する研究では、従属監視方式である、放送型自動位置情報伝送・監視（ADS-B）を導入する際に必要となる、位置情報源障害発生時の補完や脆弱性対策を実現する技術を開発・評価する。本年度は、前年度に付加した実験装置の機能に関して性能試験を行うとともに、試験結果を踏まえて、実験装置の改修を実施する。等

②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発

ー航空機の拡張型到着管理システムの研究では、ターミナル空域からエンルート空域にかけて、到着機の順序付けとスケジューリングを行うために、拡張型到着管理システムの運用プロトコルと到着スケジューリング手法を提案する。さらに、拡張型到着管理システムと協働する新しい運航を提案し、シミュレーション検証を行う。本年度は、拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計の継続、航空機間の間隔付けに関する新運航の検証、並びに航空機監視応用システムのシミュレーション評価環境構築のため、既存のインフラやシミュレーション調査を行う。等

（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化

航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

① 異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発

ーSWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価に関する研究では、航空交通管理における、異なる SWIM 情報システム間の融合と協調を実現するため、シームレスな情報交換とサービス連携に関する技術の提案と評価テストベッドの開発を行う。本年度は、引き続き国際連携により地上や空地統合SWIM の検証実験を実施するとともに、SWIM に基づく新たな運航方式を評価できる手法や実験システムの開発を行う。等

② 航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全な次世代航空通信に関する研究開発

ー空地通信技術の高度化に関する研究では 、AeroMACS プロトタイプを活用して、AeroMACS の利用技術を開発し、AeroMACS 技術の適用範囲拡大の可能性について性能評価する。本年度は、AeroMACS 利用技術及び空地通信技術適用範囲拡大の性能評価を行う。等

◆年度計画における目標設定の考え方

航空機運航の安全性及び効率性の向上、航空交通量増大への対応、航空利用者の利便性向上、航空機運航の効率性向上及び環境負荷低減などの達成に向けた重点研究分野を設定し重点的かつ戦略的に実施することを目標として設定している。

◆令和元年度における取組状況

令和元年度においては、以下の分野を重点的に実施している。

（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化
（２）空港運用の高度化
（３）機上情報の活用による航空交通の最適化
（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化

上記４分野以外においても、萌芽的研究として、AI やドローン等の急激に変化する分野を予測し、先見性と機動性を持って国内外の情勢および技術動向を踏まえつつ基盤技術に関する研究を実施している。

萌芽的研究として、近年急速に発展している機械学習の技術を航空交通データへ適用することで、新たな改善策につながる可能性があることから、航空交通データの分析への機械学習の適用に関する基礎研究を実施している。これは、レーダーデータなどの航空交通データを使用し、当該航空交通データ分析へ機械学習を適用することにより、課題整理から改善案の策定までの一連の流れを解析する手法の開発を目標にしている。本年度は、日本が担当する空域である福岡 FIR 外から羽田空港へ着陸する便を対象に、特定の通過ポイントの通過時刻予測に影響を与える FIR 入域時刻誤差について洋上の航空交通データから誤差分布と福岡 FIR 外から入域する便について、入域の一定時間前に入域予定時刻が通報される時刻分布を分析し機械学習モデルの検討を進めた。また、羽田空港に導入されたポイントマージシステムを模擬する到着交通流シミュレータと出発制御時刻を割り当てる航空交通流管理シミュレータ環境を構築している。初期的な接続シミュレーションを行い、出発時刻等のばらつきの特性による滞留時間発生状況の確認を行った。

福岡 FIR の南西方面から入域する便を対象に分析を行ったところ、入域予定時刻と実際の入域時刻の差は、入域点が異なっても最頻値に大きな違いは見られなかった。一方で入域予定時刻が通報される時刻と実際の入域時刻の差は入域点により大きく異なり、入域点によってはばらつきが少なく実入域時刻の 30 分前にほとんどの便で通報されるという点もあることがわかった。飛行中の通過予定時刻の誤差については、予測を行うシステムに依存するが、分析を行ったデータでは、出発時刻の誤差に対して小さく、飛行時間に対して約 4%の誤差があることがわかった。これらの実状を踏まえ、特性を反映したモデルを今後構築する予定である。

また、シミュレーション環境の構築では、交通流管理の制御実施下における、出発時刻の誤差、空港周辺での滞留、空港周辺空域に至る手前の空域での時間調整量が、相互に影響し合う様子を模擬できていることが確認できた。

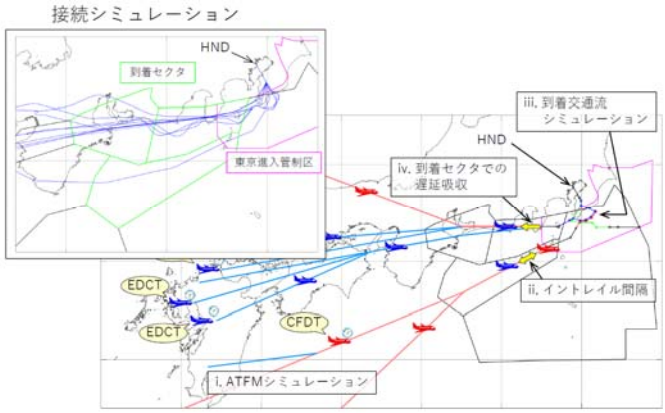


図 1.4.1　シミュレーション環境

研究開発課題	（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

研究テーマ	①運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理（ATM）のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発 －気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究では、交通流および運航管理の高度化を図るため、影響を受ける管制空域に対して事前検証・調整された、シビアな悪天を回避するための飛行計画経路集を作成し、提案する。本年度は、その初期的研究として、各種データ収集と初期解析、実験用評価システムの仕様検討、評価指標等についての動向調査を行う。等

○気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する初期的研究

研究の背景

CARATS 施策 EN-6「気象情報から運航情報、容量への変換」に係る研究開発が求められている。また、その研究開発の成果は OI-15「協調的な運航前の軌道調整」に必要とされている。具体的には、気象（悪天）現象が航空機運航、航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約について可視化・定量化し、航空交通流および運航管理の高度化を図るための研究開発が望まれている。

研究目標

□航空交通流、航空交通流制御関連および悪天気象の関係性を明らかにする。
□悪天回避等をモデル化した事例を検証するための実行環境を整える。
□我が国に適した評価指標を検討するための基礎的な部分を把握する。

令和元年度の研究内容

□各種データ収集と初期解析

□実験用評価システムの仕様検討

□評価指標等についての動向調査

令和元年度の研究成果

□各種データ収集と初期解析

本研究は、令和 2 年度より開始する重点研究のための基礎研究の位置付けである。そのため、前述の研究開発にあたって必要となる航跡データ、航空交通流制御関連データおよび気象データの収集と初期解析を実施した。

初期解析は、悪天の及ぼす影響について、航空機運航と航空交通流管理の 2 つの観点から実施した。すなわち、単体軌道に対する悪天の部分的な影響および複数軌道に対する悪天の全体的な影響をそれぞれ求めた。両者の関連性を把握することは、最適制御問題である軌道調整を検討する上で非常に重要である。

前者に関して、航空機の悪天回避条件や回避領域の推定、回避方法のモデル化を検討するため、航空機軌道と気象レーダーエコーとの関係性を分析した（図 1.4.2）。悪天の気象データとして気象庁が提供している全国合成レーダーGPV 計 144 日分、航空機軌道の航跡データとして CARATS オープンデータを用いて分析を行った。軌道については、特に羽田空港から福岡空港へ飛行する航空機、計 1,423 便に着目した。その結果、出発・到着フェーズではエコー領域を飛行する場合があるものの、弱いエコー強度でも回避されており、総じて航空機はエコーの観測された領域を回避することがわかった。また、その回避基準や回避領域は大きくばらついていた。悪天の航空機運航への影響の定量的な把握に向けては、新たな気象データの活用やエコーに関する評価方法の検討（時間や強度の観点）、より多くの事例の取り扱いと詳細な場合分け（航空機型式、セクタ、他の交通流との関連性）等、さらなる解析が必要である。

後者に関して、悪天による航空交通流管理への影響度の定量化を検討するため、悪天による経路逸脱機を航跡データから抽出し、分析した（図 1.4.3）。北関東地域における夏場の悪天に着目し、2018 年の 5 月、7 月、9 月、11 月の計 28 日間における北関東地域を管轄するセクタ（羽田空港および成田空港の上昇機／下降機の取り扱いが多い）を対象として、悪天による経路逸脱機を航跡データから抽出した。多い日では午後の 3 時間程度の間に 100 機以上の経路逸脱機が発生しており、その多くは上昇／降下中に悪天域を避ける経路逸脱であった。例えば、分析対象セクタにおける通常の夕刻時は羽田空港への降下機が多く、取扱機数も多いが、図 1.4.3 の事例では 18 時頃の取扱機数は比較的少ない一方、悪天による経路逸脱機の割合は高かった。特に降下機は安全な着陸のために縦間隔を設定する必要もあるため、悪天域と航空交通流全体の両要素を考慮した交通流の組み立てが有効であるとわかった。

今後は、航跡データと気象データを用いた解析について、事例を蓄積するとともに、他の気象データへの応用や航空交通流制御関連データを用いた解析への拡張を行う。

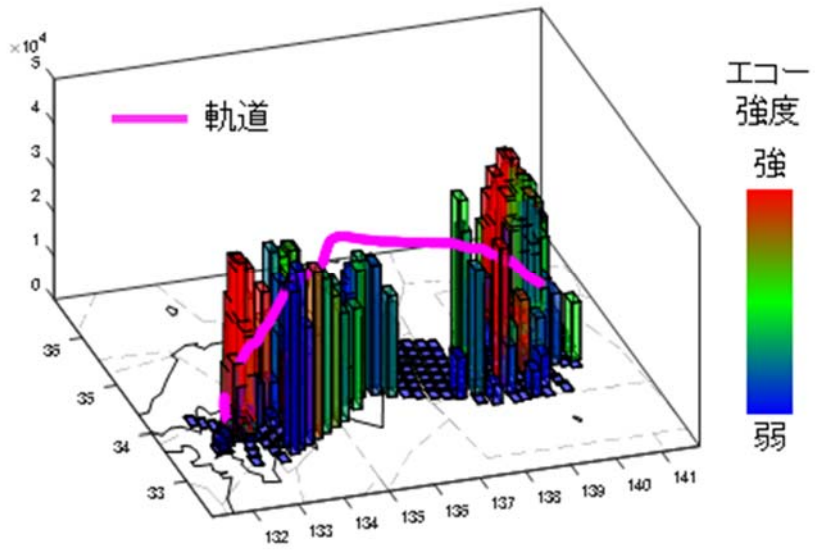


図 1.4.2　軌道およびエコー強度の表示例

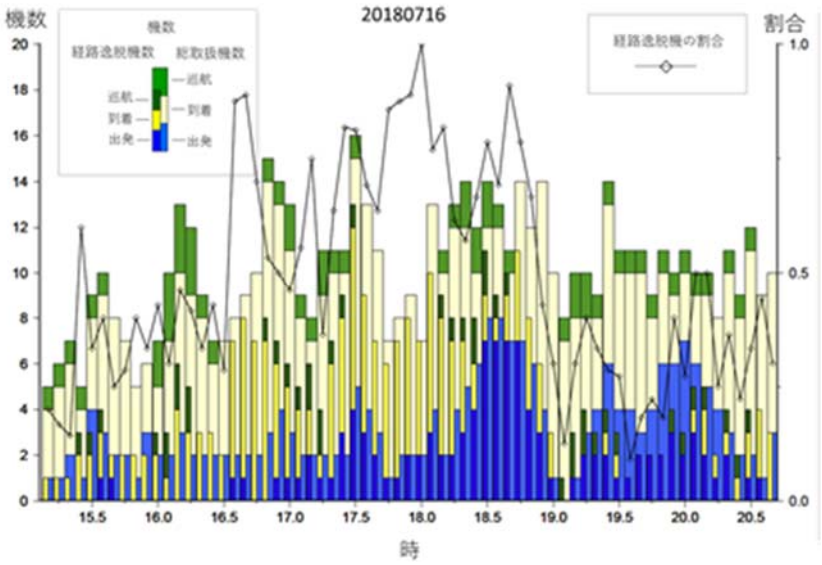


図 1.4.3　悪天による経路逸脱機が特に多かった日（2018 年 7 月 16 日）の時系列分析例
（横軸：時刻、左縦軸（棒グラフ）：分析対象セクタにおける 5 分間の取扱機数、右縦軸（折れ線グラフ）：
取扱機数に対する経路逸脱機数の割合）

□実験用評価システムの仕様検討

航跡データから航空交通流の特徴量（セクタ毎の処理機数や航空機毎のセクタ内飛行時間など）を抽出する機能、航空交通流制御を再現する機能および各種データの相関をわかりやすく可視化する機能を備えた実験用評価システムの仕様検討を目的として、航跡データと気象レーダーエコーを同一画面上で 3.5 次元的にアニメーション表示可能な実験用評価システムの一部機能を先行して開発した（図 1.4.4）。今後は、引き続き実験用評価システムの開発を進めるとともに、実験用評価システムを用いた具体的な解析手法等を検討する。

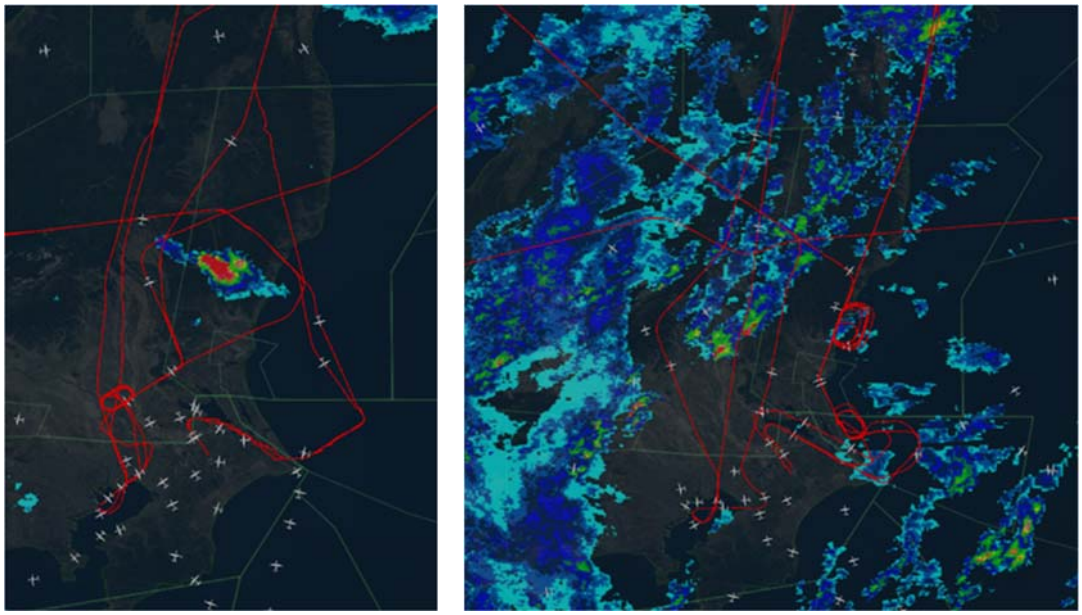


図 1.4.4　実験用評価システムの表示例
（左図：2018 年 7 月 16 日 15:50 頃、右図：2018 年 9 月 10 日 14:30 頃）
（白シンボル：航空機、赤線：一部航跡、カラースケール領域：エコー強度）

□評価指標等についての動向調査

気象と航空交通管理の情報を連接する評価指標等についての動向調査を目的として、米国の Strategic Traffic Flow Management（戦略的な航空交通流管理）について文献調査するとともに、航空局経由で米

国連邦航空局と質疑応答を行った。また、我が国の航空交通流管理で使用されている航空交通気象時系列予想について、気象庁関係者等と意見交換を行った。今後は、引き続き国内外の動向調査を行うとともに、諸外国で用いられている運用判断指標候補（文献調査したPermeability（透過率：空域の運航許容度）について）を我が国の条件下で実際に求め、空域容量に対する制約との相関を調べる。

成果の公表

□瀬之口敦：“気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究”，航空交通気象センター首都圏班合同勉強会，2019年6月.
□瀬之口敦，吉原貴之：“EN-6「気象情報から運航情報、容量への変換」に関する研究進捗報告”，CARATS第38回ATM検討WG／第37回航空気象検討WG合同会合，2019年10月.
□平林博子，江口昌広，瀬之口敦，中村陽一：“航跡データを用いた悪天の影響を受ける交通流に関する分析”，第57回飛行機シンポジウム，2019年10月.
□中村陽一，瀬之口敦，岡恵，福田豊：“A study on factors affecting weather avoidance using actual track data”，EIWAC2019，2019年10月.
□中村陽一，瀬之口敦：“航跡データとレーダーエコーデータを用いた悪天回避の解析結果”，航空交通気象センター首都圏班合同勉強会，2019年12月.

研究開発課題	（1）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

研究テーマ	②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理（ATM）のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発 －フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究では、運航者が最大便益を得るためのフリールーティングと空域などを効率よく割り振るため協調的意思決定（CDM）を取り入れた軌道ベース運用に基づいた軌道管理方式のコンセプトを提案する。本年度は、日本とその周辺の空域の特性に基づいた運用コンセプトの検討と、ATM パフォーマンス指標の検討を行うとともに、軌道最適化アルゴリズムの改善や性能向上に取り組む。等

○フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究

研究の背景

福岡飛行情報区（FIR:Flight Information region）において、国際航空交通量は 2013 年から 2030 年までの間に約 8 割増加する見込みである。運航効率と空域の容量を拡大させるため、ATM の方式は軌道ベース運用（TBO:Trajectory-Based Operations）に基づくこととなる。各フライトの最大便益を得るため、運航者が希望する軌道をなるべく抑制しない、いわゆる「フリールーティング」が必要であり、需要が高い時に空域や空港の資源を効率よく割り当てるために「協調的意思決定」（CDM:Collaborative Decision Making）が必要不可欠である。今後、フリールーティングと CDM を取り入れた TBO に基づいた軌道管理方式を高高度空域に提供するコンセプトが望ましい。

CDM では、複数の関係者の間で軌道管理を行う。空域混雑や軌道間の干渉を解決するために軌道変更が必要な場合、各関係者への影響を客観的に評価するためのパフォーマンス指標が必要である。また、

意思決定を支援するため、各関係者への利益、不利益を公平にバランスする必要がある。

研究目標

□運用コンセプトの提案
□軌道の ATM パフォーマンス指標の提案
□軌道最適化アルゴリズムの改善
□便益バランシング方式の提案

令和元年度の研究内容

□運用コンセプト提案のための検討、調査
□軌道最適化アルゴリズム
□軌道の ATM パフォーマンス指標
□便益バランシング方式の提案

令和元年度の研究成果

□運用コンセプト提案のための検討、調査

福岡 FIR の上空通過機の効率的な運航のためには、フリールーティングによる FIR 間の交通流の円滑化が重要である。福岡 FIR 上空通過機の多くは、西側に隣接する仁川 FIR と東側に隣接するアンカレッジ FIR、オークランド FIR の間を飛行する。韓国航空大学との共同研究で、仁川 FIR～福岡 FIR 間の交通流分析を行い、FIR 間のフリールーティングに関する課題洗い出しに着手した。

図 1.4.5 は 2019 年 5 月のある一週間から抽出した仁川国際空港～北米間の交通を示す。太い線は飛行計画経路、細い線は福岡 FIR 内のレーダー航跡を示す。異なるシティーペアを別の色で表す。また、紫色で示すエリアは福岡 FIR 内の訓練空域を表す。

レーダー航跡と飛行計画経路を比較すると、航空管制の指示によると思われる飛行軌道短縮（ショートカット）の傾向が明確である。これは、仁川 FIR との境界線と洋上空域の間のフリールーティングの可能性を示す。

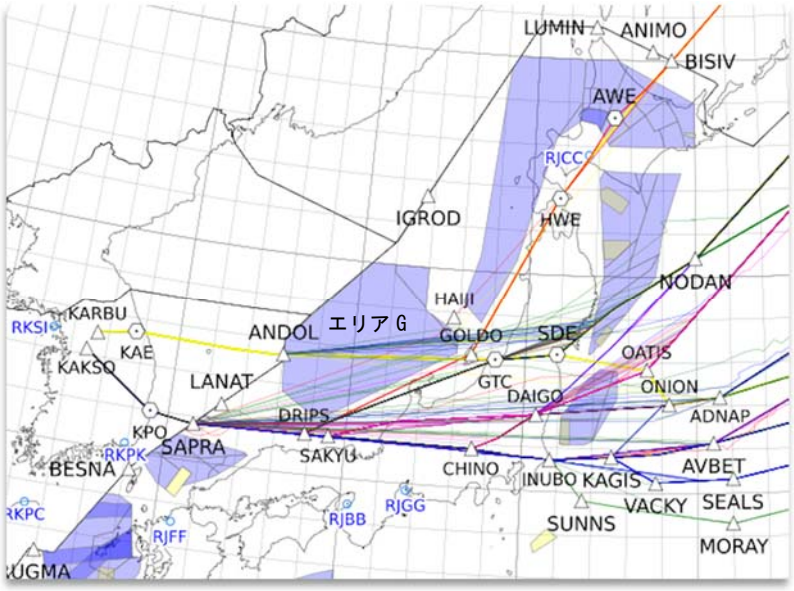


図 1.4.5　仁川空港～北米間の便の飛行計画経路（太い線）
と福岡 FIR 内のレーダー航跡（細い線）。
線の色は異なるシティーペア、紫色のエリアは福岡 FIR の訓練空域を表す。

共同研究の調査により、隣接 FIR からの予定入域時刻の不確定性が両側の航空管制の共通課題であることが分かった。この不確定性の一つの原因は、実際に運航した軌道と飛行計画経路の差で発生すると考えられる。フリールーティングと軌道ベース運用が実現すれば、不確定性が少なくなる。

図に示すエリア G は、訓練に利用されない夜間は、旅客機が計画可能な調整経路が設定され飛行計画距離の短縮になる。しかし、昼間、エリア G が訓練利用予定とされている時間は飛行計画経路として計画できない。実際は、例えば早めに訓練等が終了し旅客機のエリア通過が可能な場合は、管制機関が当

該エリアの管理者と調整のうえ、エリアを通過することが可能となる場合がある。その結果の表れが、飛行計画経路と実際に飛行した経路の間に発生したギャップであり、予測軌道の不確定性が増えることとなる。フリールーティングの概念において、FUA（Flexible Use of Airspace）でより効率的な訓練空域の利用が必要である。また、フリールーティングの導入はまず夜間より開始するべきである。

今後、このような交通分析調査で明確になった要素を検討しフリールーティング概念作成に反映する。

□軌道最適化アルゴリズム

フリールーティング空域の空域設計を評価するため、合理的な飛行計画経路を作成する必要がある。そのため、最短経路探索アルゴリズムに基づいた最適飛行経路を探索するツールを開発した。平成３０年度に開発したツールは、風の影響を考慮した最小消費燃料または最小飛行時間の経路を探索する。しかし、福岡 FIR～北米間の便の飛行計画は各 FIR の航空航行援助施設利用料（Air Navigation Service Charges）も考慮する必要があると考え、令和元年度は航空航行援助施設利用料を含む運航コストの最適化を検討した。令和２年度に実装する予定である。

□軌道の ATM パフォーマンス指標

フリールーティングの運用環境において交通流が変わるため、航空管制の業務も変わる。飛行計画が ATS 経路に基づいている場合、航空管制官が管制する空域（セクター）に特徴的な交通パターンがあり、コンフリクト（管制間隔欠如）の可能性が高い「ホットスポット」が ATS 経路の交差点に集中する。一方、フリールーティング環境において、交通は空域に分散され、航空管制官の「ホットスポット」予測が困難になり業務負担が増える可能性がある。軌道ベース運用の環境において、航空機はできる限り飛行計画経路に沿って飛行することとなる。また、航空管制業務は瞬時の状況判断に基づいた反動的な航空機管制から、より計画的な軌道管理に移行する。従って、フリールーティングを実現するために新しい航空管制支援ツールが必要となる。

本研究では、先行研究で提案したレーダーや飛行計画の情報等を基に航空管制の難度を表す指標に基づいた管制官支援ツールを検討している。ここで、難度は、将来起こり得る「ホットスポット」に事前に対処する必要性の（時々刻々の）尺度である。図 1.4.6 は管制官支援ツールの概念図を示す。対象セクターを飛行する航空機の飛行計画情報と監視情報（レーダー航跡）から軌道を予測し、「空域難度」のホットスポットを明らかにする。ホットスポットやコンフリクトが検出された場合、軌道変更の候補を航空管制官に提案する。なお、軌道変更案を空対地データリンクにより直接航空機に通信することもでき、航空管制官とパイロットの共通状況認識が高くなる。また、経路変更の軌道は予測が難しいレーダー誘導等（開ループ）ではなく、決められた（閉鎖）経路になるため、軌道の予測性を維持する。

計画軌道情報を利用する難度のホットスポット検出計算は、複数の潜在的コンフリクトを同時に難度で評価し、事前回避のための戦略的な軌道変更が可能となる情報を提供する。脅威となる航空機対への対処の優先度の表示等が可能となる。これによりコンフリクト等を軽減できると考える。

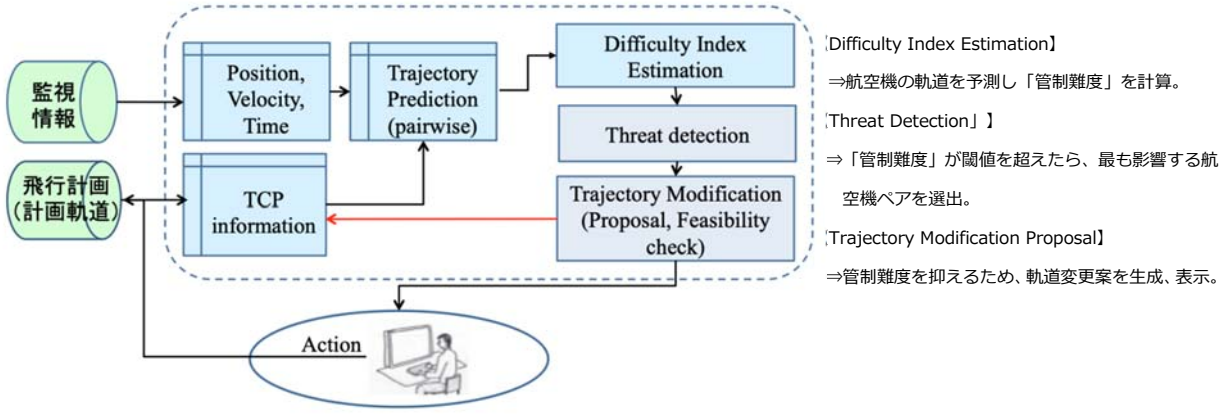


図 1.4.6　管制支援ツールの概念図

□便益バランシング方式の提案

電気通信大学との共同研究で、洋上空域に入域する上空通過便と日本出発便の巡航高度と入域時刻の組み合わせによる運航者の便益を平等化（バランシング）が可能か検討した。

日本からの北米に向けた国際便は積載している燃料が日本周辺ではそれほど減少していないため、予定している巡航高度に到達するまで時間がかかる。仮に中国や韓国などのアジア地域から北米に向けて巡行する航空機が、北米方面の洋上空域において、日本出発便と同じ高度で巡行する場合にはコンフリクトに陥る可能性がある。この場合に、日本出発便が出発時刻の調整か巡航高度を変更することで対応するため、日本出発便が燃料消費量の増加に伴う不利益を受ける可能性がある。

今後の TBO の導入により、航空機の運用の不確定性が減り、より戦略的に行い、便益をよりバランスよくできると考えられる。本年度は便益を算出するためのシミュレーションモデルの構築と、平等化のためのアルゴリズム開発を実施した。本研究では、柔軟なモデル化が可能で、計算コストが低い遺伝的アルゴリズムによりバランシングを行った。

このアルゴリズムを北米方面の洋上経路である NOPAC(North Pacific route system)の交通流に適用した結果以下の知見が得られた。一つ目は、高度調整のみを実施することにより、コンフリクトのない実行可能な交通流が獲得可能であることを明らかにした。ただし、確率的な方法論であるため、いくつかのケースでは実行不可能な交通流となる場合があり、今後はアルゴリズムの改良を行う。二つ目は日本出発便の遅延を許容した場合、交通流全体として遅延を許容しない場合と比較して、全体の燃料消費量を削減可能なことが明らかにした。ただし、全体の燃料消費量を削減しても、個々の航空機に着目すると、日本出発便に時間の観点で不利益が生じる場合や、一つの航空機の燃料消費量が著しく増加する場合があり、平等化の観点で評価方法を改善する必要がある。

今後は便益バランシングのため、運航者の希望をトレードオフに反映する方法を検討する。

成果の公表

- ☐ Wickramasinghe, N. K., Nakamura, Y., Hirabayashi, H., Brown, M.: “A Quantitative Evaluation on potential Benefits Assessment of Dynamic Airborne Reroute Procedures (DARP)”, AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition 2019, June 2019.
- ☐ Nagaoka, S., Brown, M., Delahaye, D.: “Analyses on Error Propagation Characteristics of a Mathematical Model for Estimating Air Traffic Control Difficulty”, EURO2019, Dublin, Ireland, Jun. 2019.
- ☐ Brown, M., Hirabayashi, H., Wickramasinghe, N. K., Toratani, D. : “グラフ探索理論に基づいた軌道最適化について”, ENRI 研究発表会 2019, June 2019.
- ☐ Murata, A., Takadama, K, Brown, M.,Toratani, D., Hirabayashi, H. : “北米便に対する上空通過機と日本出発機のモデリング”, ENRI 研究発表会 2019, June 2019.
- ☐ Nagaoka, S., Brown, M.: “モデルパラメータの感度解析と入力誤差の影響　ー航空管制の難度指標による例ー” 日本航海学会 AUNAR 研究会, June, 2019.
- ☐ Nagaoka, S., Hirabayashi, H., Brown, M.: “Towards Automatic Suggestions of Aircraft Trajectory Change for Mitigating High Traffic Complexity based on an Air Traffic Control Difficulty Index”, EURO2018, July 2018.
- ☐ Brown, M., Hirabayashi, H.: “A Simulation Study of Alternative Route Structures for NOPAC Airspace Reconfiguration”,APISAT 2019, Gold Coast, Australia, December 2019.
- ☐ Nagaoka, S., Hirabayashi, H., Brown, M.: ″Towards Automatic Trajectory Modification for Reducing Air Traffic Complexity Using an ATC Difficulty Index″, EIWAC2019, October 2019.
- ☐ Nagaoka, S., Brown, M.: “管制難度値の推定のための航空機軌道と飛行計画情報の関連付の方法の一考察”, 電子情報通信学会　技術研究報告　SANE2019-94, Jan. 2020.

研究開発課題	（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

研究テーマ	③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理（ATM）のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発 －空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究では、トランスポンダに依存せず空港面及び空港近傍における移動体を検出するために、パッシブ PSR だけでなく航空用途以外の電波も利用した監視プロトタイプシステムの開発を行う。本年度は、引き続き空港面での移動体検出技術の開発を行うとともに、実験用リアルタイムパッシブ監視システムを構築し、検出性能検証を行う。

○空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究

研究の背景

空港面及び空港近傍の航空機監視に利用される SSR や MLAT 等は、高精度、高検出率かつ高更新率を備えた監視システムである。しかし、監視対象にトランスポンダを必要とし、トランスポンダが搭載されていない、もしくは正常に動作していない場合の監視はできない。そのため、トランスポンダに依存しない一次監視レーダ PSR(ASR、ASDE 等)は、監視対象空域における航空交通の安全性を担保する上で重要な役割を果たす。しかし、PSR 等は、大型の回転型空中線及び高出力送信機を必要とするため、整備及び維持の面で課題を有する。このような観点から PSR の代替もしくは覆域拡張のため、新しい監視システムの導入が期待されているが、新たな周波数帯の割り当ては困難であるため、既存の周波数資源を有効活用した新しい監視システムが求められている。

研究目標

□空港面及び空港近傍の航空機及び車両を検知する MSPSR の開発

□航空用電波以外の他目的電波も利用した監視システムの監視性能を導出する

※MSPSR(Multi Static Primary Surveillance Radar)：航空機からの反射波を複数点で受信して航空機の位置を算出する次世代型 PSR

令和元年度の研究内容

□検出性能導出のための基礎研究

□リアルタイムパッシブ監視システムの実装

令和元年度の研究成果

□検出性能導出のための基礎研究

パッシブレーダでは、微弱な反射信号を使って目標を検出するため、受信位置やその配置が重要な問題となる。これらを検討するためにはバイスタティック構成となるレーダ散乱断面積(RCS)から任意の地点での推定受信強度を求め、最適な配置を得る必要がある。しかしながら地上デジタルテレビジョン放送で使用される電波の波長と航空機のサイズの関係性を考えると、数値解析には計算リソースや計算精度等に多くの課題があることが知られている。これらの問題を解決するために理論的な解釈に必要なバイスタティック RCS(BRCS)について大学との共同研究を実施し、縮小モデルによる BRCS の評価を開始した。基本となる円柱に対して 75GHz 帯での BRCS の計算と測定を行い、両者の傾向はよく合うことが確認できた。

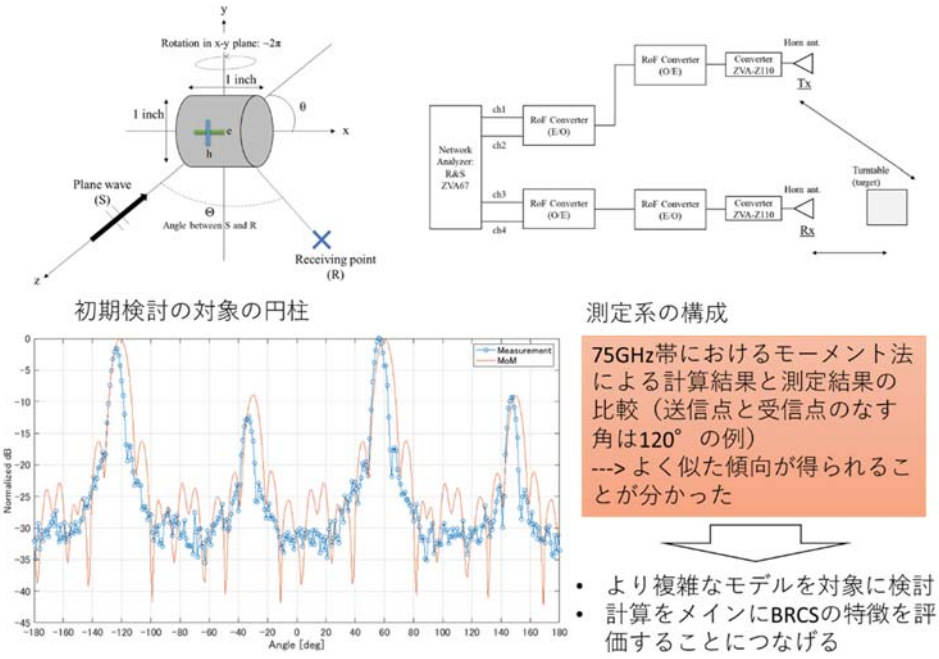


図 1.4.7　バイスタティック RCS の測定とシミュレーションによる評価

□リアルタイムパッシブ監視システムの実装

これまでに評価検証を行ってきた実験システムは、信号処理手法や機材構成の確認を主目的として開発を行ったため、システムの自由度はあるものの信号処理等の時間が非常に長く運用に用いることはできないシステムとなっていた。運用を見据えたレーダシステムとして評価できるよう、システム構成の自由度を減らし、信号処理がリアルタイムで実現可能な評価用パッシブ監視システムを低コストで実装可能な SDR（Software Defined Radio:ソフトウェア無線機）を使って構築した。開発には実環境でのデータだけでなく、既存の実験システムで得られた信号データを再生してそのデータ処理を行い、同等の性能が得られるようにしてこれまでの検証結果が十分生かせるような工夫を行った。

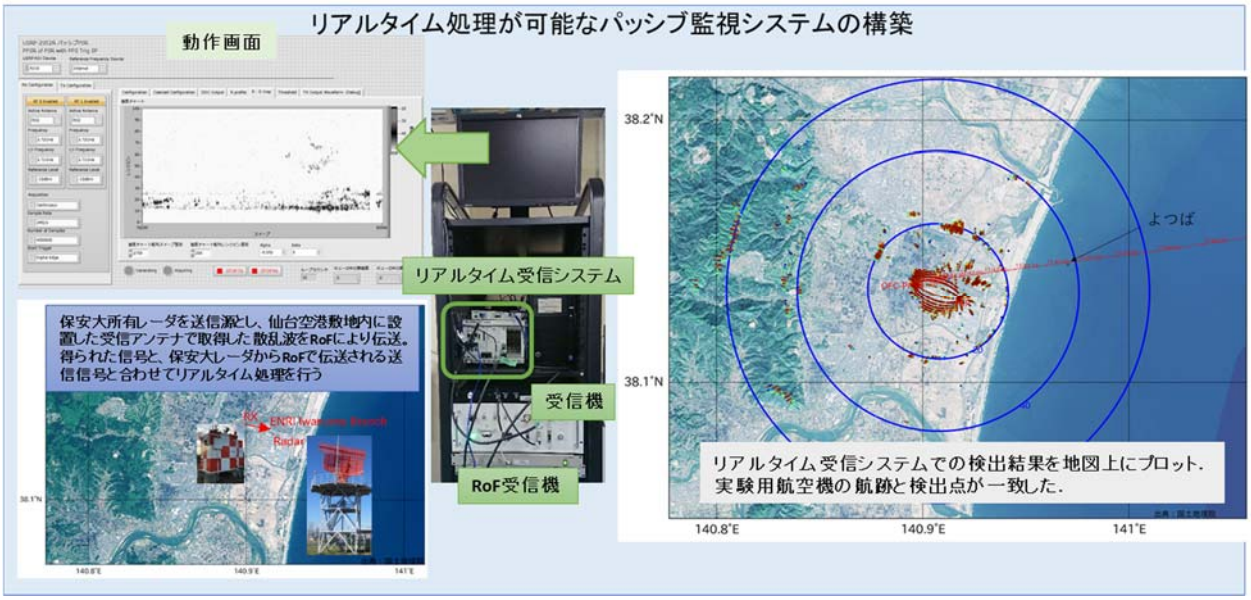


図 1.4.8　リアルタイム処理が可能なパッシブ監視システム

成果の公表

□査読付論文誌論文

・渡邊優人，本田純一，大津山卓哉，“OFC-PPSR におけるバイスタティッククラッタに関する一検討”，電子情報通信学会論文誌 B，Vol. J102-B，No. 8，pp. 627-630，2019 年 8 月

□国内学会発表

・渡邊優人，本田純一，大津山卓哉，“OFC-PPSR を用いた空港近傍監視に関する実験的検討～一次監視レーダとのレンジプロファイル比較～”，信学技報，vol. 119，no. 174，SANE2019-35，pp. 1-6，2019 年 8 月

・渡邊優人，本田純一，大津山卓哉，“空港近傍および空港面監視型 OFC-PPSR 実験システム”，電子情報通信学会　ソサイエティ大会，9 月

・大津山卓哉，渡邊優人，本田純一，“地デジ信号を使ったパッシブレーダによる移動体検出”，電子情報通信学会　総合大会，3 月

□ICAO 等技術資料

・J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, “Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture,” ICAO SP-ASWG/TSG/9, June 2019

・J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, “Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture,” ICAO SP-ASWG/TSG/10, Sep. 2019

・J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, “Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture,” ICAO SP-ASWG/TSG/10, Feb. 2020

研究開発課題	（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

研究テーマ	③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理（ATM）のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発 －次世代 GNSS に対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究では、安全で効率的な運航を実現する GNSS ベース航法の実用に不可欠な GNSS 補強システムのアベイラビリティ（利用可能な時間割合）改善を図るものである。このための方策として次世代 GNSS の利用や宇宙天気情報の活用による効果について評価すると共にこれらの利用に必要な技術開発を行い、国際標準規格案に反映する。本年度は、次世代 SBAS 及び次世代 GBAS のプロトタイプシステムを使用して飛行実験を実施するとともに、準天頂衛星システム対応のための性能評価を行う。等

○次世代 GNSS に対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究

研究の背景

衛星航法システム(GNSS)は一般にインテグリティ(完全性)について十分な保証がなされておらず、そのままでは航空機の航法に利用するには安全上の問題がある。衛星航法システムのインテグリティを保証し、かつ位置精度を改善することで航空機の航法に利用可能とするのが補強システムであり、航空機ユーザは衛星航法システムと補強システムを併用することで所要のインテグリティによる航法を行う。補強システムには SBAS 及び GBAS があり、前者は静止衛星を使用するもの、後者は地上からの無線信号

により補強情報を放送するものである。
GNSS におけるインテグリティ確保のうえで主要な脅威は上空にある電離圏の擾乱現象であり、我が国を含む低緯度地域ではその影響が大きいことが知られている。従前の補強システムでは電離圏擾乱の発生時に GNSS を利用できなくなることがあるなど、必ずしも十分なアベイラビリティが得られなかった。本研究は、このような GNSS の利用促進上の課題に対応するために実施することとしたものである。

※GNSS（Global Navigation Satellite System）：人工衛星による航法システム。米国による GPS のほか、ロシアによる GLONASS 等がある。
※アベイラビリティ（Availability）：システムを利用可能な時間的割合
※インテグリティ（Integrity）：位置情報が正しいことを保証する機能
※SBAS（Satellite-Based Augmentation System）：情報伝送に人工衛星を用いる補強システム
※GBAS（Ground-Based Augmentation System）：情報伝送に VHF 無線を用いる補強システム

研究目標

□次世代 GNSS 環境に対応した次世代 GNSS 補強システムについて要素技術を開発し、技術的要件を明確化するとともに国際標準案に反映する。
□宇宙天気情報の活用や SBAS－GBAS 間の連携によるアベイラビリティ向上方式を開発する。
□我が国を含む低緯度地域における、GNSS 補強システムのアベイラビリティ向上の効果を確認する。

※次世代 GNSS 環境：複数の周波数及び複数の GNSS を利用できる環境
※宇宙天気情報：太陽活動や地球磁場の様相を観測し、電離圏を含む超高層大気への影響を予測・提供するもの

令和元年度の研究内容

□飛行実験による性能評価
□準天頂衛星システム対応システムの性能評価
□宇宙天気情報利用の運用コンセプト取りまとめ

令和元年度の研究成果

□飛行実験による性能評価
次世代 GNSS 対応の SBAS プロトタイプを使用して、八丈島にて飛行実験を実施した。車両を使用した本地上実験について、図 1.4.9 は実験機の軌跡であり、計画通り八丈島を周回している様子を確認できる。図 1.4.10 は右翼側における GNSS 衛星の見え方を示しており、グレーで表示した実験機機体が旋回時には障害物となり得ることがわかった。
次世代 GBAS プロトタイプによる飛行実験は、石垣島にて実施した。図 1.4.11 は実験中の GBAS プロトタイプ表示画面の例であって、正常な処理が行われていることを確認した。

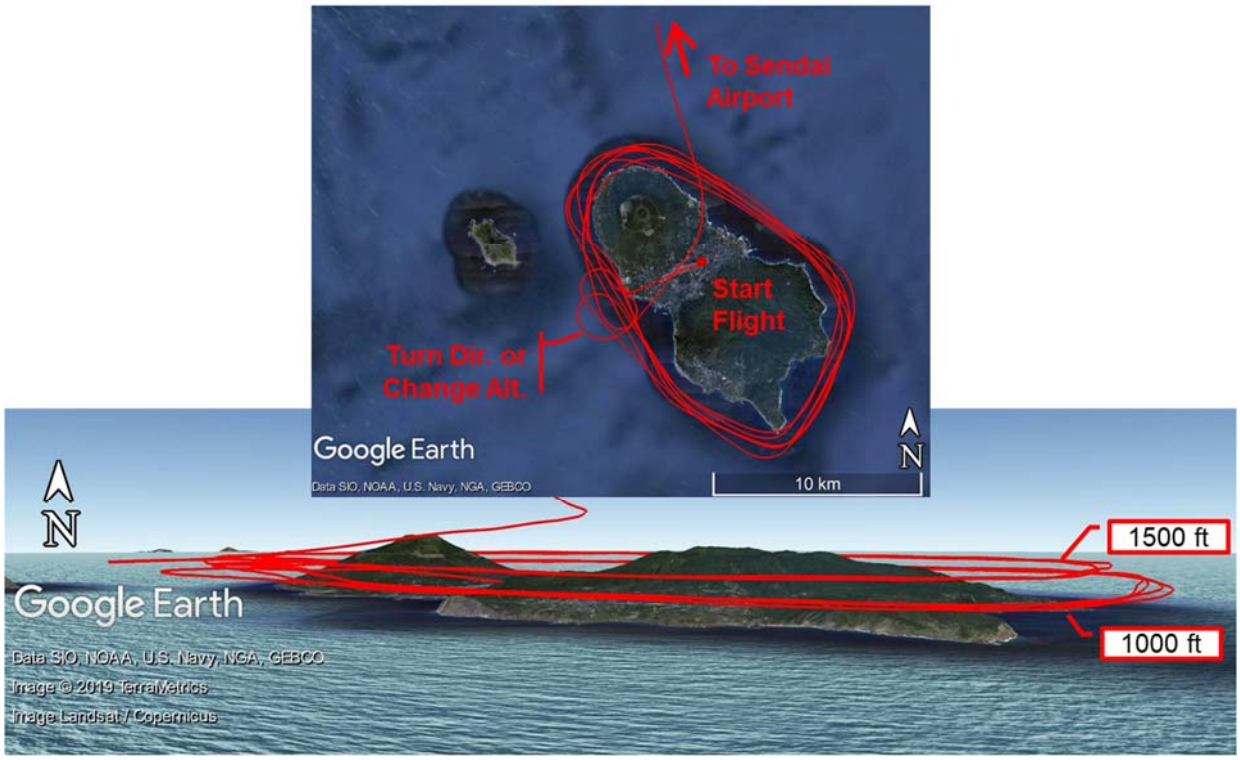


図 1.4.9　八丈島における飛行実験（１）

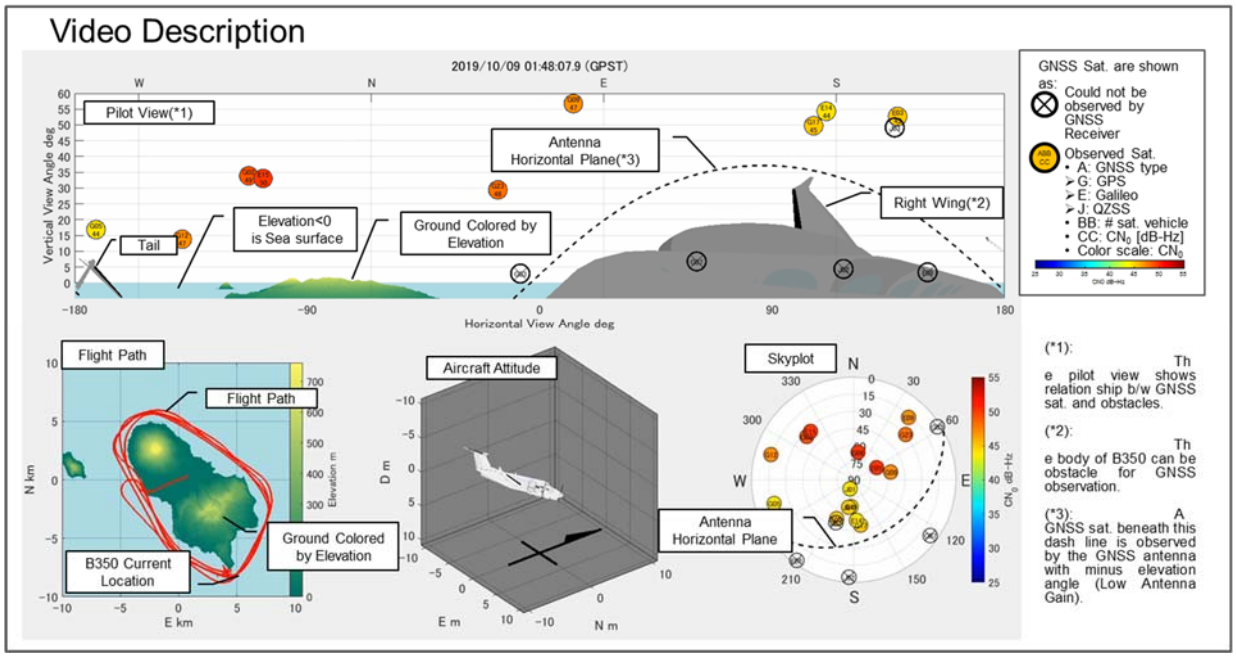


図 1.4.10　八丈島における飛行実験（２）

□準天頂衛星システム対応システムの性能評価

次世代 GNSS 対応 SBAS のプロトタイプを使用して、2023 年度に打上げが予定されている準天頂衛星 7 号機の利用を想定して性能評価を行った。7 号機は軌道傾斜角を有するためドップラシフトが過大となる懸念があったが、運用期間中は規定内に収まる見通しを得た。また、精密進入モードのアベイラビリティを試算したところ、図 1.4.12 で示すとおり我が国の全域で 100%を達成できることを確認した。

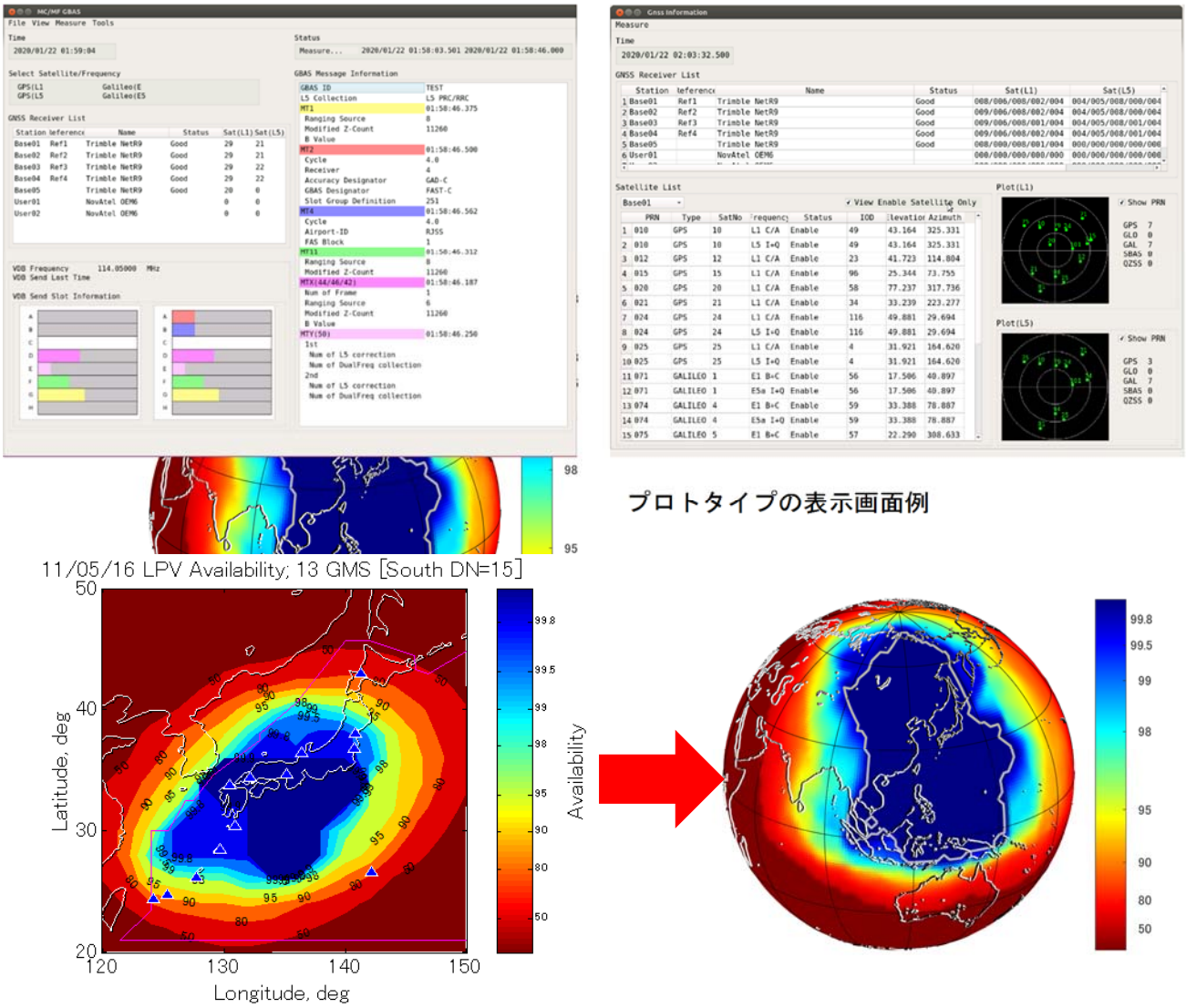


図 1.4.12　次世代 SBAS のアベイラビリティ試算例

（左）現行システムに対して性能向上を実施した場合のアベイラビリティ
（右）次世代 SBAS によるアベイラビリティ

□宇宙天気情報利用の運用コンセプト取りまとめ
　宇宙天気情報テストベッドの具体的コンセプトとして VHF レーダーによる構成を想定し、シミュレーションによりその効果を試算した。この結果、VHF レーダー1 式によるプラズマバブルの監視により、広い範囲で GBAS の位置誤差を低減し、アベイラビリティを改善できることを示した。

成果の公表

○ICAO NSP　3 件
□齋藤享・吉原貴之, "Update on MC/MF GBAS development in Japan", ICAO NSP JWGs/3, 平成 31 年 4 月
□齋藤享・吉原貴之・中村真帆, "Update on GBAS research and development in Japan", ICAO NSP JWGs/5, 令和元年 10 月
□齋藤享, "Considerations on space weather information service for GNSS", ICAO NSP JWGs/5, 令和元年 10 月

○ICAO APAC GBAS/SBAS implementation workshop　3 件
□齋藤享, "GBAS/SBAS Implementation Perspective -Japan", ICAO APAC GBAS/SBAS implementation workshop, 令和元年 6 月
□齋藤享, "MSAS System Development", ICAO APAC GBAS/SBAS implementation workshop, 令和元年 6 月

□齋藤享, "System Certification and Implementation - Japan", ICAO APAC GBAS/SBAS implementation workshop, 令和元年 6 月

○ICAO APANPIRG 2 件
□齋藤享・中村真帆・吉原貴之, "Update on the GBAS ionosphere threat model improvement in Japan", ICAO APANPIRG CNS-SG/23, 令和元年 9 月
□齋藤享・細川敬祐(電通大)・坂井純(電通大)・冨澤一郎(電通大), "Anomalous propagation of VOR/ILS LOC by sporadic E layer", ICAO APANPIRG CNS-SG/23, 令和元年 9 月

○GBAS IGWG 2 件
□齋藤享・吉原貴之, "Impacts of ionospheric scintillation on GAST-D integrity monitors", IGWG/20, 令和元年 6 月
□齋藤享・吉原貴之, "Update on MC/MF GBAS development by ENRI", IGWG/20, 令和元年 6 月

○政府間会合 1 件
□坂井丈泰, "Status of DFMC SBAS Experiments with the QZSS Constellation", DFMC SBAS JWT, 令和元年 6 月

○米国航法学会 5 件
□北村光教・坂井丈泰, "DFMC SBAS Prototype System Performance Using Global Monitoring Stations of QZSS", ION Pacific PNT 2019, 平成 31 年 4 月
□坂井丈泰・北村光教・麻生貴広, "Enhancement of Augmentation Signal Availability by SBAS Implementation with the QZSS Constellation", ION Pacific PNT 2019, 平成 31 年 4 月
□吉原貴之・齋藤享・毛塚敦・齊藤真二, "Revaluation of spatial decorrelation parameters of atmospheric delay for GBAS (Ground-based Augmentation System) safety design", ION Pacific PNT 2019, 平成 31 年 4 月
□坂井丈泰・小暮聡(内閣府), "The latest status of Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) and its future expansion", ION GNSS+ 2019, 令和元年 9 月
□齋藤享・吉原貴之, "Evaluation of impacts of ionospheric scintillation noises on GAST-D integrity monitors", ION GNSS+ 2019, 令和元年 9 月

○その他国際学会 4 件
□坂井丈泰, "GNSS and Satellite-Based Augmentation Systems", 17th BroadSky Workshop, 令和元年 9 月
□坂井丈泰, "MSAS: Satellite-Based Augmentation System (SBAS) by QZSS", 37th ICSSC, 令和元年 10 月
□吉原貴之・齋藤享・毛塚敦, "Development of MC/MF GBAS testbed in Japan and initial experiments for evaluating its performances", The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS, 令和元年 10 月
□齋藤享・S.Supriadi・津川卓也・K.Hozumi・石井守・P.Jamjareegulgarn・P.Supniti・大塚雄一, "Monitoring of plasma bubbles by VHF radar for GBAS", The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS, 令和元年 10 月

○航空宇宙学会 4 件
□坂井丈泰・北村光教・渡邊浩志, "SBAS による GNSS 信号認証の規格化動向", 日本航空宇宙学会第 63 回宇宙科学技術連合講演会, 令和元年 11 月
□坂井丈泰・北村光教・渡邊浩志, "DFMC SBAS 規格の概要", 日本航空宇宙学会第 63 回宇宙科学技術連合講演会, 令和元年 11 月
□北村光教・吉原貴之・坂井丈泰, "衛星型衛星航法補強システムによる鉄道環境下における衛星測位の補強", 日本航空宇宙学会第 63 回宇宙科学技術連合講演会, 令和元年 11 月
□吉原貴之・北村光教・坂井丈泰, "衛星型衛星航法補強システムの鉄道利用に向けた GNSS 観測データの誤差特性の評価", 日本航空宇宙学会第 63 回宇宙科学技術連合講演会, 令和元年 11 月

○電子情報通信学会 3 件
□坂井丈泰, "GPS におけるスプーフィングの検出方式", 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 令和元年 11 月
□北村光教・渡邊浩志・坂井丈泰, "八丈島周辺フライトにおける測位衛星の可視性に関する調査", 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 令和 2 年 2 月
□北村光教・大八木菜々子・渡邊浩志・坂井丈泰, "準天頂衛星 7 号機の地上における可視性に関する調査", 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 令和 2 年 2 月

○その他国内学会等 5 件

□吉原貴之・齋藤享・毛塚敦・齊藤真二, "Study on tropospheric delay variations extracted from a short baseline analysis and their application to meteorological observation", 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 令和元年 5 月
□吉原貴之・本吉弘岐（防災科学技術研究所）・齋藤享・毛塚敦・山口悟（防災科学技術研究所), "GNSS 測位における着雪、積雪の影響と積雪センサとしての利用", 測位技術振興会第 1 回研究講演会, 令和元年 11 月
□齋藤享・Suzelle Meyer, "電離圏 3 次元トモグラフィーの衛星測位補正への応用について", 第 13 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 令和元年 9 月
□坂井丈泰, "衛星測位のセキュリティ", 第 14 回測位技術懇話会, 令和元年 11 月
□坂井丈泰, "2 周波 SBAS の最新動向", 高精度衛星測位サービス利用促進協議会 (QBIC), 令和 2 年 2 月

○行政等委員会　2 件
□坂井丈泰, "航空分野における GNSS のセキュリティ", 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会列車制御・保安分野検討 WG, 令和元年 7 月
□坂井丈泰, "航空分野における GNSS の安全性設計", 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会列車制御・保安分野検討 WG, 平成 31 年 4 月

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	① 混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発 －PBNとGBASを活用した高度な計器進入方式に関する研究では、性能準拠型航法（PBN）概念によるRNP航法と衛星航法（GNSS）による精密進入着陸システムである GBASを組み合わせた曲線進入等の高度運用方式を実現するために、空港周辺の山岳地形などの制約を調査し、設計条件や導入効果を明らかにする。また、衝突危険度モデルを改善する衝突確率計算アルゴリズムを提案して計器飛行方式設定基準の策定に貢献する。本年度は、国内のモデル空港へ新進入方式を概念設計し、効果や制約を調査する、かつ、衝突危険度モデルを改善する計算アルゴリズムを提案する。

○PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究

研究の背景

ICAO（国際民間航空機間）は、PBN（性能準拠型航法）概念による航法を促進し、GBAS（地上型衛星航法補強システム）等の導入により安全で効率的な進入方式により運航の最適化を図る計画である。近年、我が国においても PBN による RNAV/RNP 進入方式が多数の空港に展開されており、将来はさらに高度な計器進入方式の導入により、運航効率と滑走路アクセス性の向上が期待されている。

この実現のため、現在 RNP の RF レグ（円弧旋回）と GLS（GBAS Landing System）等による最終進入経路を組み合わせた新しい進入方式が検討されており、我が国の空港環境をふまえた実現可能性と将来

の便益の明確化が要望されている。また、GLS 等の衝突危険度モデルによる障害物評価表面の緩和が期待されている

研究目標

□RNP の RF レグと GLS 等による最終進入経路を組み合わせた新進入方式について、空港環境における制約を調査し、設計条件を定めて実証し、導入効果を定量化する。
□従来の衝突危険度モデルを改善する衝突確率計算アルゴリズムを提案し、民間航空機の運航データを活用して、その妥当性を検証する。

令和元年度の研究内容

□PBN 空港・モデル空港の経路設計基礎調査
□飛行実証準備（可搬型プロトタイプ）
□衝突危険度モデルの基礎検討

令和元年度の研究成果

□PBN 空港・モデル空港の経路設計基礎調査

ICAO 飛行方式設計パネル（IFPP）において、RF レグと ILS または GLS を組み合わせた RNP to xLS 進入方式の ICAO 設計基準が 2020 年に策定される見込みとなった。これを受け、航空局 CARATS 会議では、RNP to ILS 進入を 2021 年度以降、RNP to GLS 進入を 2023 年以降に導入することを決定した。当所では、これまで RNP to xLS の飛行方式設計手法を検討し、気温による気圧高度の変動の影響により、ローカライザーよりグライドスロープが先にキャプチャして、コース外で降下する事象を避けるように経路を設計する手法を提案している。さらに、乗員訓練に使われる忠実度の高いフルフライトシミュレータにより本手法を検証し、ボーイング 787 など GLS を標準装備する機材で GLS/ILS 共に十分実現可能であることを実証した。

本年度は、昨年度に基本設計した国内 3 モデル空港の RNP to xLS 進入方式に基づき、現地管制官と意見交換し、出発機との交差など制約を調査したうえで、経路短縮効果の高い方式を再設計した。この方式の航法データベースを設計し忠実度の高い航空会社所有の操縦士訓練用シミュレータを用いて、フライアビリティなどの検証を開始した。

さらに、最終進入経路付近に山岳などの障害物件が存在する飛行方式を検討するため、ICAO（国際民間航空機関）が標準とする OAS（障害物評価表面）を生成するソフトウェアを内製で開発した。OAS は障害物件を含まない進入経路周囲の空域を形成する複数の表面である。ICAO は OAS の計算法をソフトウェア（PANS-OPS Software）で定義し、国際標準に附属するツールとして配布している。しかし、ソフトウェアのプログラムコードと詳細な計算法が残存しておらず、この継続は IFPP における長年の課題であった。今回開発したソフトウェアを IFPP で発表したところ高く評価され、国際標準の附属ツールとして採用される方向で進んでいる。

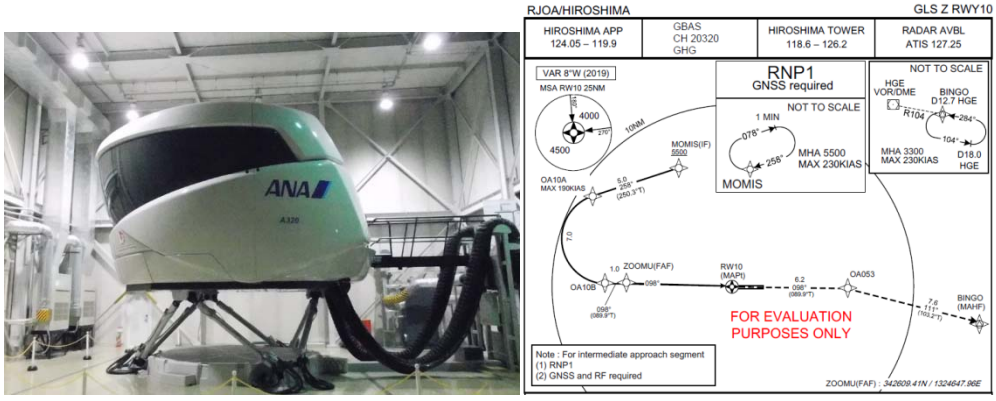


図 1.4.13：フライトシミュレータによる検証実験（左）、研究用 RNP to xLS 進入の飛行方式の例（右）

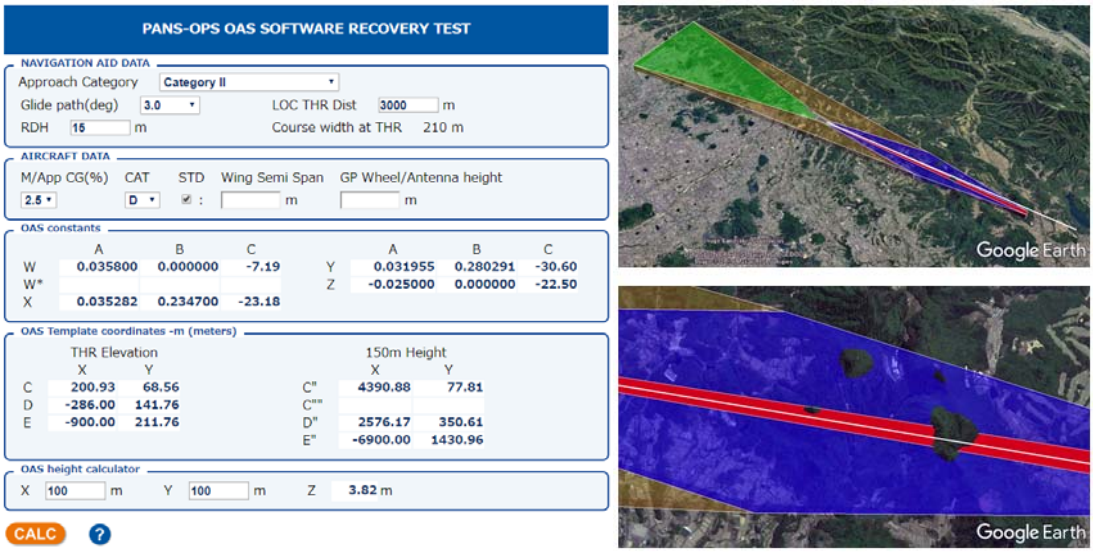


図 1.4.14：OAS 生成ソフトウェア（左）、OAS 可視化ソフトウェア［山岳と交差する例］（右）

□飛行実証準備（可搬型プロトタイプ）

本研究では、選定したモデル空港において RNP to xLS 飛行方式の飛行実証実験を行い技術的な実現性や課題を検証する計画である。この実現のため、技術成熟度レベル（TRL：Technology readiness levels）が高く、実用型 GBAS 装置と等価な機能を有する（冗長系を除く）可搬型プロトタイプの開発に着手した。プロトタイプは、遠隔地の複数の国内空港において短い準備期間で飛行実験を実現するため、実験用車両内に機材を搭載した可搬型とする。実験用車両を空港内等に移動し、GNSS アンテナなどを展開すれば、VHF アップリンク（VDB）により GBAS による最終進入経路（FAS：Final Approach Segment）の生成が実現可能となる。

本年度は、昨年度実施した可搬型プロトタイプ装置の基本システム設計に基づきソフトウェア部の詳細設計を行い、ソフトウェアの要素毎の動作確認を実施した。また、ハードウェア部についても、詳細設計に基づき構築を行った。今後、システムインテグレーションを実施し、RNP to xLS の飛行実証に用いる計画である。さらに、飛行実証を実施する 2 箇所のモデル空港において現地調査を行い、可搬型プロトタイプ装置を設置可能な候補地を選定した。

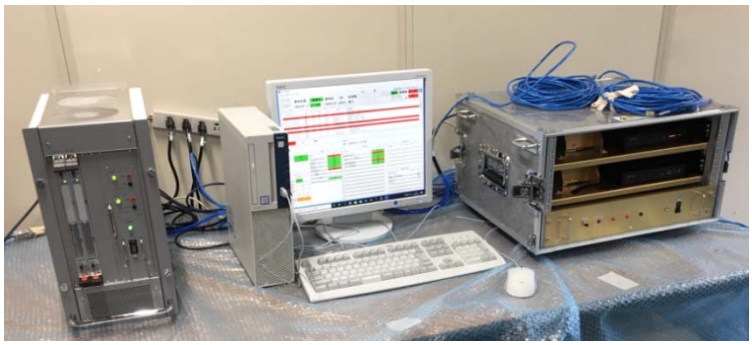


図 1.4.15：可搬型プロトタイプのハードウェア（一部）

□衝突危険度モデルの基礎検討

衝突危険度モデルは、GLS/ILS の進入時に、地上障害物への衝突確率を計算する数学モデルである。衝突確率は ICAO の世界基準により、1 進入あたり 10^{-7} 以下であることが求められている。この衝突危険度モデルは 1970 年代に開発され、その当時のモデルがそのまま 40 年程度にわたって同一のものが使用されているのが現状である。その一方で、近年航空機や地上航法装置の航法精度は向上しており、過去と比較して航空機がノミナルの飛行経路から逸脱して地上障害物に衝突する確率は相対的に低くなっているものと想定される。これは、地上障害物の設置基準の緩和の可能性を意味しており、衝突危険度モデルの更新によって実現できると期待されている。

本研究においては、衝突危険度モデルの構成要素のうち、数学モデルを改善することにより、現状に

比べてより精度の高い衝突確率を求めることができるモデルの開発に取り組む。本年度は、昨年度に定式化した衝突確率計算手法のプログラムを内製し、既存モデルとの比較を行った。その結果、提案手法は既存モデルと比較してはるかに高精度で計算できることが確認され、その内容について学会にて発表を行った。

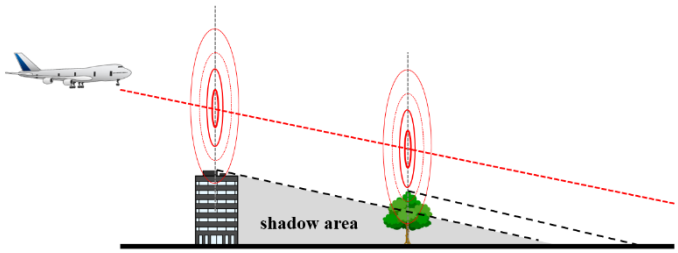


図 1.4.16：衝突危険度モデルの等確率コンターと近接する障害物件

成果の公表

□S.Fukushima, et al, “ENRI Status Report”, 19th International GBAS working group(I-GWG19), May 2018.

□S.Fukushima, R.Mori, S.Saitoh, “A Feasibility Studyof Short Final RNP to xLS Procedure”, 19th International GBAS working group(I-GWG19), May 2018.

□福島荘之介,森亮太,齊藤真二,「浅い降下角を伴う RNP to xLS 進入方式の設計条件」,平成 30 年（第 18 回）電子航法研究所発表会,2018 年 6 月.

□福島荘之介,「第 19 回国際 GBAS WG 会議の概要」,航空輸送研究センター（ATEC）新進入・出発に関する WG 会議,平成 30 年 6 月.

□福島荘之介,「A320 シミュレータによる RNP to xLS 進入方式の検討」,航空輸送研究センター（ATEC）新進入・出発に関する WG 会議,平成 30 年 11 月.

□S.Fukushima, et al, “Lessons Learned from A320 RNP to xLS Flight Sim Experiments”, 20th International GBAS working group(I-GWG20), June 2019.

□福島荘之介,森亮太,齊藤真二,「円弧旋回を伴う精密進入方式の設計法」,第 57 回飛行機シンポジウム,2019 年 10 月.

□R. Mori, M. Fujita, “Calculation of Ground Obstacles Collision Probability under ILS Approach,” EIWAC 2019, November 2019.

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発 －大規模空港における継続降下運航の運用拡大に関する研究では、継続降下運航（CDO）を交通量の多い時間帯に運用を拡大するために、CDO 実施判断支援ツールを製作する。本年度は、CDO 実施判断支援ツールの評価実験を行い、取りまとめを実施する。等

○大規模空港における継続降下運航の運用拡大に関する研究

研究の背景

継続降下運航（CDO: Continuous Descent Operations）は燃料や騒音を低減できる運航方式であり世界的に CDO 実施空港は増加している。国内でも交通量の少ない時間帯ではあるが CDO 運用空港は増加しており、関西国際空港等の発着回数の多い混雑空港を含め CDO を実施する空港の増加や運用時間帯の拡大が航空局や航空会社から求められている。

研究目標

□関西空港において時間帯ではなく交通量に応じて CDO 実施の可否判断を支援する CDO 実施判断支援ツールを提案する。
□支援ツールを使用することで、CDO 実施を拡大させ CDO の中止を減少させる。
□交通量の多い時間帯で CDO を実施できるような条件を提案する。

令和元年度の研究内容

□CDO の現状分析・調査
□CDO 実施判断支援ツールの機能拡張（改修）
□支援ツールを使用した評価実験
□技術資料作成

令和元年度の研究成果

□CDO の現状分析・調査

CDO の実施実績及び対象空港の交通量、軌道に関する分析を継続的に実施してきている。CDO 運用を最

初に導入した関西国際空港においては、CDO 要求数及び実施率に関してここ数年一定レベルを維持しており、CDO の需要が継続していることが確認された。一方で CDO の運用時間外の交通量は、特に国際線において増加傾向であり、CDO 拡大のためには管制支援機能の拡充が必要である。

□CDO 実施判断支援ツールの機能拡張（改修）

前年度に実施したツールの評価実験において抽出された改善すべき項目に対応すべく機能拡張を実施した。機能拡張はより現実的な管制指示の反映を可能とすることを目的に実施した。具体的には、高度変更、速度指示等複数の管制指示を同時に発出可能とすること及びそれらの指示に対応した航空機の挙動を模擬することである。この機能拡張により、評価実験においてより現実的な管制指示発出が可能となった。

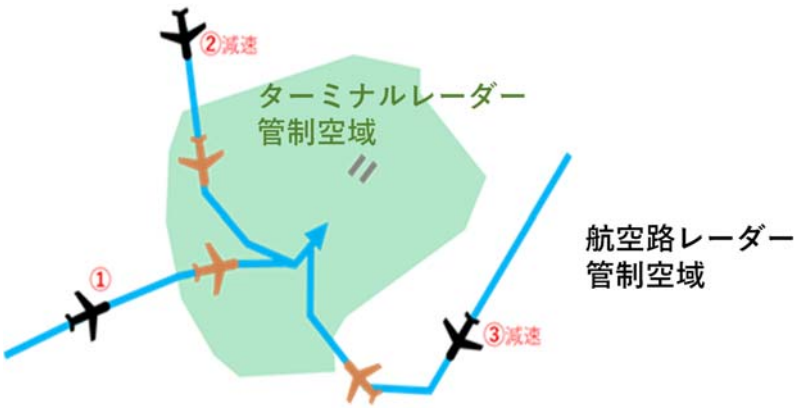
□支援ツールを使用した評価実験

CDO 実施機を増加させるために、管制官の CDO 実施判断の支援及び管制運用の工夫が有効と考え、CDO 実施判断支援ツールの開発及び支援ツールを使用した評価実験を実施した。令和元年度は、CDO 実施判断支援ツールにおいてより現実的な航空機挙動となるよう管制指示コマンド機能の改修を実施し、その後、管制経験者によるヒューマンインザループシミュレーション実験を実施した。評価実験は 3 名の管制経験者を迎えて計 5 日間実施した（図 1.4.17）。関西国際空港到着機の交通流について、使用滑走路を変える、時間帯を変える、増便する等 7 つのシナリオを用意した。実験の前提として、到着機はすべて CDO を要求するものとし、管制官役はコマンド入力により管制指示を発出することで、できるだけ CDO 降下が可能となるよう他機との間隔設定を行った。

令和元年度に実施した評価実験は、管制運用手法の評価が目的である。管制官役は、到着機に対してできる限り変針することなく連続的な降下が可能となるよう速度調整を実施した。通常では実施することのない、異なる地点からの到着機間の縦間隔を考慮する遠方からの速度調整を実施し、交通流を均一にすることで、ある程度の交通量においてもスムーズな降下が可能となることが示された（図 1.4.18）。また、増便シナリオの検討から、遠方からの速度調整が有効な条件として、到着機交通量は 10 分値 3 機、30 分値 7 機程度が上限値であることが示された。

CDO は航空路管制及びそれに引き続くターミナルレーダー管制に跨る運用である。
実験にはそれぞれの管制官役 2 名に加え、全体の交通流を管理する管制官役 1 名を配置した。

図 1.4.17　ヒューマンインザループシミュレーション実験



通常運用では異なる到着経路からの航空機間には縦間隔は設定されない。
評価実験では、異なる到着経路からの航空機間の縦間隔を考慮した遠方からの速度調整により早い段階で交通流を均一にすることを実施した。

図 1.4.18　遠方からの速度調整

□技術資料作成

令和元年度は本研究の最終年度であり、今までの成果をとりまとめ積極的に公表した。また、4 年分の成果をまとめた電子航法研究所技術資料を執筆中である。本研究においては、大規模空港において、CDO を含む運航効率のよい降下方式を拡大するための方策を検討してきたが、今後の課題として「降下軌道数値シミュレーション」及び「管制支援情報を有効な活用」に関する更なる研究が必要であるとの認識に至った。これらを目的とした継続研究を実施する計画である。

成果の公表

□ 平林博子, ビクラマシンハ ナヴィンダ, 虎谷大地：“管制経験者による CDO 運用拡大に必要な要件の検討,” 第 19 回電子航法研究所研究発表会講演集, pp.63-69, 2019 年 6 月.

□ ビクラマシンハ ナヴィンダ, 虎谷大地：“実験的アプローチによる固定飛行経路角降下の一検討,” 第 19 回電子航法研究所研究発表会講演集, pp.71-78, 2019 年 6 月.

□ 上野誠也, 平林博子, 虎谷大地：“安全間隔を考慮した CCO（継続上昇運航),” 第 19 回電子航法研究所研究発表会講演集, pp.79-82, 2019 年 6 月.

□ 平林博子, ビクラマシンハ ナヴィンダ, 虎谷大地：“航空管制官の管制指示判断を支援するための情報提画面,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2019, 5A2-1, 2019 年 9 月.

□ 川岡瑠奈, 齊藤有紀, 井上正樹, 虎谷大地, 平林博子：“継続降下運航のもとでの航空機の到着時間予測,” 第 62 回自動制御連合講演会, 2D1-05, 2019 年 11 月.

□ H. Hirabayashi, N. Wickramasinghe, D. Toratani: “A Human-in-the-Loop Simulation Study on the Requirements of Air Traffic Control Operations for expanding Continuous Descent Operations,” The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), EN-A-14, November 2019.

□ N. Wickramasinghe, D. Toratani, J. Westphal, T. Feuerle: “A Simulation Based Study for Performance Evaluation of Fixed Flight-Path Angle Descent,” The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), EN-A-66, November 2019.

□ M. Hasebe, D. Toratani, H. Hirabayashi, S. Ueno: “Study on Flight Time Variation of Continuous Descent Operation with Numerical Weather Prediction Wind Data,” Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT2019), December 2019.

□ 虎谷大地, ビクラマシンハ ナヴィンダ, 平林博子:“固定降下角運用を用いた到着航空機の速度制御,” 第 7 回 制御部門マルチシンポジウム, 2D1-2, 2020 年 3 月.

□ 川岡瑠奈, 齊藤有紀, 原啓太, 井上正樹, 虎谷大地, 平林博子：“機械学習による CDO 機の到着時間予測, ” 第 7 回制御部門マルチシンポジウム, PS1-18, 2020 年 3 月.

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発便と到着便の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発 －空港設計および地上走行時間管理に資する交通データ等活用技術の研究では、空港施設設計において、空港面交通データと空港面交通シミュレーションをもとに、空港内の地上交通量と出発・到着便数との相関、空港施設の適切なサイズ及び配置等について体系的な知識の獲得に取り組む。また、空港面の混雑に応じた航空機の地上走行時間の管理においては、地上走行時間の不確かさを最小化するための、交通管理手法の精度向上について検討する。本年度は、空港施設整備の根拠資料となりうる年間交通量等の情報抽出、および、地上走行の時間管理の精度向上に資する情報抽出を目指した交通データおよびシミュレーションの活用技術を検討する。等

○空港設計および地上走行時間管理に資する交通データ等活用技術の研究

研究の背景

空港における円滑な地上走行のためには、それを支える空港舗装などの施設の整備について、さらなる効率化が必要となっている。すなわち、近年の航空交通量増加により、航空機地上走行が空港施設に与える負荷が増していることから、空港施設の整備においては、交通の実態把握を踏まえた設計と維持管理が行われる必要が増している。このため、空港面の交通データ（MLAT の位置情報等）およびそれに基づくシミュレーションは、より的確な設計および維持管理のための一助として活用が期待される。

また、航空交通の時間管理においては、交通流の起点となる空港面地上走行の時間管理は重要な要素である。出発便の混雑に起因する地上走行の遅延を抑制するためには、滑走路の捌け方に応じたスポット出発の間隔付けが有効である。しかしながら、滑走路の捌け方は日ごと、時間帯ごとに異なるため、この違いに起因する間隔付けのパラメータの不確かさへの対処が求められる。

研究目標

□空港レイアウトおよび交通量に起因する地上走行のボトルネックに関する構造的理解
□地上走行のボトルネック解消のために必要な空港施設のサイズおよび配置に関する知見のとりまとめ
□地上走行時間の不確かさについて、その特性および空港の運用条件に応じた低減策の検討

令和元年度の研究内容

□交通状況の理解に適したデータ構造の検討
□地上走行のボトルネック解消に必要なレイアウト要件の検討
□地上走行時間の不確かさの管理技術の検討
□とりまとめ

令和元年度の研究成果

□交通状況の理解に適したデータ構造の検討

本研究では、航空局などから提供を受けている航空機の地上走行に関するデータおよびスポットの運用実績データ等から、空港面の指定地点（誘導路の交差点等）における交通量を計測し、マップ上にプロットして誘導路による交通量の差や滞留地点等が判別し易く表記した交通量データを作成している。今年度は、誘導路交通量データにおいて前年度行ったデータ構造の整理の結果を活用して、誘導路交通量のパターン分析を行った。データ構造の整理において、各地点の通過記録に使用滑走路および使用スポットの情報を付加したことにより、各地点の交通量について、使用滑走路および出発／到着エプロンによる仕分けが可能となった。羽田空港における北風運用（交通データ取得日 31 日分）の出発便を例に、各地点の交通量と、離陸滑走路および出発エプロンごとの仕分けの例を図 1.4.19 に示す。図 1.4.19 左図から、使用滑走路ごとに走行経路に主要な動線があることが示され、また、図 1.4.19 左図と図 1.4.19 右図を対照することにより、動線ごとの交通量、および、出発エプロン別の内訳を知ることができる。

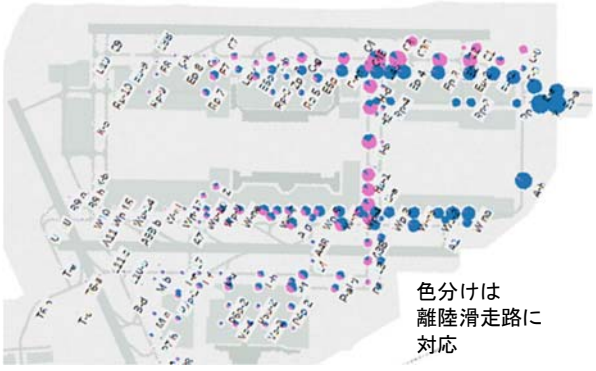


図 1.4.19（左図）

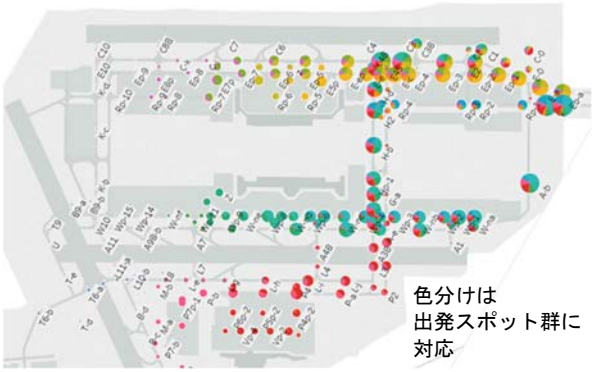


図 1.4.19（右図）

図 1.4.19　羽田空港の誘導路交通量パターンの例：北風運用の出発便における誘導路交通量（パイグラフの円の大きさ）と、離陸滑走路（左図）および出発エプロン（右図）ごとの内訳（パイグラフの扇形の大きさ）

各地点について滑走路運用方向ごとに交通データ取得期間の各日の交通量を集計したところ、主要な動線となる地点（図 1.4.19 において円の大きい箇所）については、交通量の日ごとのバラツキが小さく（1σ＝数機程度）、ほぼ一定の交通量となることが示された。このため、滑走路運用方向ごとに集計した交通量の日ごとの平均値をもとに、主要な動線の各地点における 1 日あたりの交通量のパターンが得られる可能性が示された。このパターンをもとに、交通データ取得期間（隔月 1 週間）以外の日についても、滑走路運用方向の情報を用いることにより、通年毎日の誘導路交通量が推定できると考えられる。この知見は、日々の交通量をもとにした空港舗装の点検・補修の優先順位付けに資するものと期待される。

□地上走行のボトルネック解消に必要なレイアウト要件の検討

本研究では、空港レイアウトに起因する局所的な混雑の代表的な事例として、エプロンにおける混雑を評価するための指標を開発した。エプロンにおいては、出発便がプッシュバックのため誘導路を長時間にわたって占有することから、当該エプロンを出発する出発便と、その他の航空機（到着便、通過するだけの出発便）とに異なる重みづけをして当該エプロンに滞在した機数を足し合わせることで混雑を定量的に評価するものである。本指標を関西空港の各エプロンを対象とした混雑の評価に適用した結果、出発便のプッシュバックがエプロンの混雑の引き金となることを表現できる可能性が示された。今後は、所与の空港レイアウトにおいて許容されるエプロン等の局所的な交通量について検討することとしたい。

□地上走行時間の不確かさの管理技術の検討

出発便の混雑緩和のために行うスポットの出発における間隔付けのパラメータ（スポット出発時刻間の間隔）は、理想的には、離陸滑走路の捌け方（当日当時間帯の平均的な離陸間隔）と一致するときに、単位時間あたりにスポットを出発する機数が離陸する機数と一致するため、滑走路端の待ち行列の長さが一定となる。しかしながら、滑走路の捌け方は気象条件等の影響を受けるため、間隔付けを行う当日当時間帯における理想的なパラメータを事前に知ることは難しい。そこで、パラメータが誤差を含むことを考慮して、間隔付けを行っている間の走行機数の増加あるいは減少のトレンドからパラメータの誤差を把握し、誤差に起因する走行機数の増加分あるいは減少分に対応するだけの間隔付けを随時に追加で施す（増加分に対しては、増加分に対応する時間間隔を付加し、減少分に対しては、減少分に対応する機数を前倒しで同時に出発させる）ことにより誤差を補償する手法を考案した。成田空港の出発便を対象として、間隔付けパラメータが誤差を含んでいる場合について、本補償手法を適用しない場合と、適用した場合のシミュレーション結果の比較を図 1.4.20 に示す。図 1.4.20 左図においては、スポットにおける間隔付けが過大となる誤差を含んだパラメータ設定のために、スポットにおける待機が増していく一方で滑走路端の待ち行列が枯渇する状況（滑走路に無駄な空きが生じる状況）に近づいていくのに対し、図 1.4.20 右図においては、同じパラメータ設定であっても、本補償手法により、滑走路端の離陸待ち機数（図中、マジェンタの線）は一定値付近に安定させることができ、滑走路端の待ち時間を平準化することにより出発便の地上走行時間の不確かさを低減できる可能性が示された。今後は、このような補償手法が実地に適用可能となるための要件について考察することとしたい。

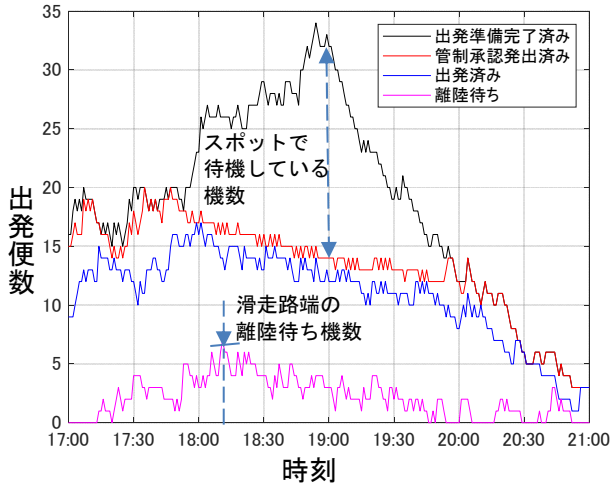


図 1.4.20（左図）

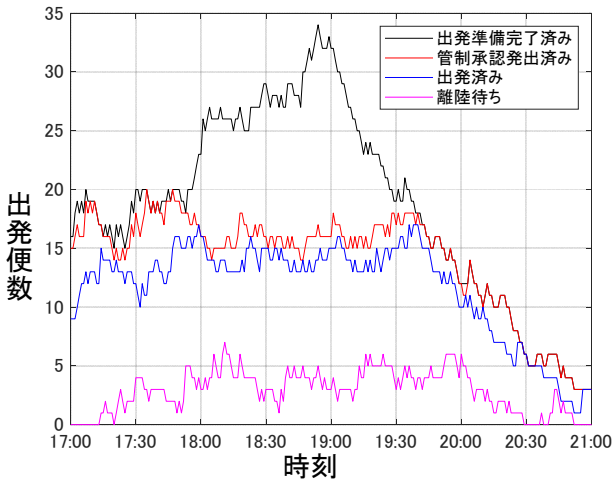


図 1.4.20（右図）

図 1.4.20　成田空港における出発便の間隔付けにおいて、間隔パラメータが誤差を含んでいる場合（左）と、誤差補償手法を導入した場合（右）のシミュレーションにおける、1 分ごとの機数の推移

結果の公表

□山田泉,「成田空港のスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察」, 第 19 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 37-42, 2019 年 6 月.
□西澤優里, 青山久枝, 鳥居塚崇, 「非定常時における適切な空港運用を導くための方法論に関する研究」, 日本人間工学会第 60 回大会講演集, 2C2-1, 2019 年 6 月.
□山田泉, "Japan's Effort to A-SMGCS: Data-Driven and Simulation-Based Research Activities on Airport Surface Traffic Flow," ICAO DGCA/56 IP04-09, 2019 年 8 月.
□西澤優里, 青山久枝, 山田泉, 鳥居塚崇, 「空港面混雑量評価の方法論に関する検討」, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2019 予稿集, 3C2-4, 2019 年 9 月.
□山田泉,「成田空港のスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察」, 航空無線, 101 号, pp. 22-28, 2019 年 9 月.
□山田泉,「空港面交通データの活用について」, CARATS オープンデータ活用促進説明会, 2019 年 9 月.
□青山久枝,「航空機の地上走行情報の活用」, 第 12 回港湾空港技術講演会 in 横浜 2019, 2019 年 11 月.
□西澤優里, 鳥居塚崇, 青山久枝,「交通管理のための空港面混雑量評価の検討」, 日本人間工学会関西支部大会, 2019 年 12 月.

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発 －滑走路異物（FOD）監視システムの高度化に関する研究では、FOD 探知システムの実用化に向けた未検知率の低減、探知困難形状FOD への対応、悪天候時の対策等のための研究開発を行う。本年度は、非金属物体等のレーダ反射断面積の小さい対象物を探知するための技術提案を行う。また、FOD 探知システムの空港環境および悪天候時の性能評価を実施する。

○滑走路異物監視システムの高度化に関する研究

研究の背景

FOD 探知システムの R2 年度以降の導入に向けて、実運用に向けた未検知率の低減、探知困難形状 FOD への対応、悪天候時の対策等のための研究開発を行う。非金属物体等の低 RCS 対象物および探知困難形状対象物について、反射特性の評価およびこれまでに実証試験を実施しているリニアセル方式レーダシステムに実装する検出技術を提案・開発する。また、FOD 探知システムの運用基準策定に向けた空港環境における探知状況の評価および悪天候時の性能変化評価を実施し、環境が理想的でない条件においても探知能力を確保可能な技術の開発・システム実装を行う。

研究目標

□FOD 探知システムの導入に向けた FOD 探知率向上および確実性に対する課題を踏まえた実用化・システム高度化を実現する。
□低 RCS 対象物探知技術、空港環境および悪天候時対応技術を実現し、システム実装を行う。
□空港環境および悪天候状況における性能評価を行い、運用要件策定に寄与する。

令和元年度の研究内容

□低 RCS 対象物探知技術の提案、基本原理確認および実験系構築
□空港環境および悪天候時の性能評価（空港・雨天等測定）

□実空港への配置計画・システム設計
□EUROCAE 等の国際基準策定会議、国際展開、行政会議等での発表・提案

令和元年度の研究成果

□低 RCS 対象物探知技術の提案、基本原理確認および実験系構築

滑走路上の様々な異物の中には、電波反射率が低い材質で構成される異物、また、電磁波散乱特性について主たる反射方向が入射波と異なる異物等が存在し、現状の FOD 探知システムの性能では探知不可能な場合がある。これらの探知が困難な異物を探知するための技術として、感度を 20 dB 以上改善するための信号処理技術（リニアセル方式レーダシステムに適用可能な位相・振幅積分法）を提案し、要素技術確認試験を実施した。中央局と各アンテナ局間にはレーダ送受信信号の伝送のために 2 本のシングルモード光ファイバを用いるが、提案方式では、波長分割多重技術（Wavelength Division Multiplexing）を用いて、送受信信号に加えて信号積分のための時刻同期信号を重畳して伝送する。図 1.4.21 および図 1.4.22 に、それぞれ電波暗室内における試験状況および感度改善状況（1 次元スペクトラム）を示す。図 1.4.22 では、20 m の位置に高さ 1 インチ、直径 1 インチの金属円柱（レーダ反射断面積：96 GHz において約-20 dBsm）を設置している。位相積分回数を 2 回、16 回、64 回に変化させた場合、ノイズフロア低下量（感度改善量）は、それぞれ 3 dB、12 dB、18 dB と理論値通りの改善量が得られている。これは提案法により正確な時刻同期が実現できているためであり、本提案方式の有効性を示している。これらの位相・振幅積分は来年度構築予定の FOD 探知システムに搭載される予定である。

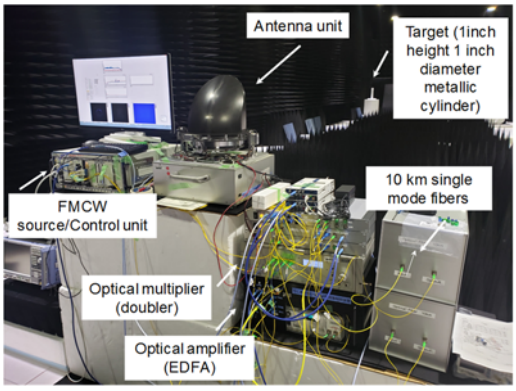


図 1.4.21 電波暗室内における要素技術確認試験状況

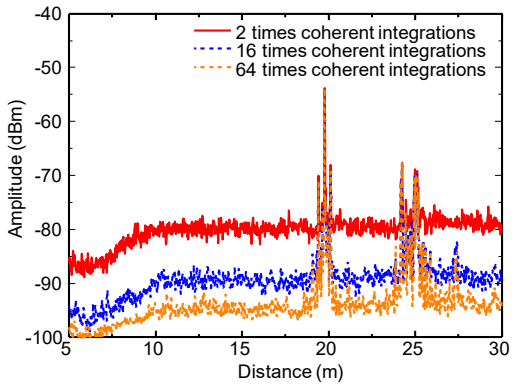


図 1.4.22 電波暗室内における感度改善状況

□空港環境および悪天候時の性能評価（空港・雨天等測定）

空港環境での性能評価に先立ち、FOD 探知システムによる異物検出時に、空港運用者（異物回収者）が広大な滑走路上において探知異物を効率よく回収可能となる仕組みとして、異物回収端末ユーザインターフェース（UI）を新たに設計・構築した。本異物回収端末 UI は、異物回収者が主として用いるものであり、FOD 探知装置で検出した異物の位置・画像等の情報を、携帯型のタブレット端末に無線通信回線で送信し、回収者から FOD までの距離・方角等を地図上に表示および音声通知し、迅速な FOD 回収を行うためのツールである。図 1.4.23 および図 1.4.24 に、それぞれ構築した異物回収端末 UI の概観およびブロック図を示す。タブレット端末は通信モデム、GPS 受信機およびジャイロセンサを内蔵し、地図上の探知異物まで正確なナビゲーションが可能である。中央局とタブレット端末は通信回線により、クラウドサーバを介して FOD 情報の伝送を行うことで、検出から数秒以内にタブレット端末への FOD 情報転送を実現する。

図 1.4.23 構築した異物回収端末 UI

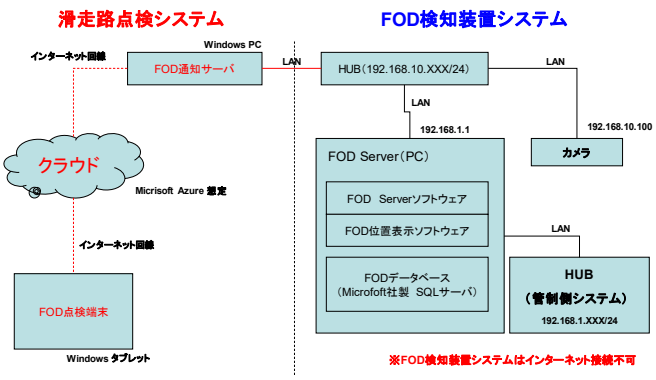


図 1.4.24 異物回収端末 UI のブロック図

成田国際空港に設置している評価用FOD探知システムを用いた空港環境試験およびデータ収集を2019年12月および2020年1月に実施した。図1.4.25および図1.4.26に、それぞれ試験用異物サンプルの概観およびアンテナ局の概観を示す。EUROCAEおよびFAA Advisery Circularに記載されている基準対象物および国内空港における代表的なFODを用い、距離別にFOD探知装置での探知可否を評価した。また、空港運用者が、異物回収端末を用いてFOD回収を実施するシナリオ評価を行い、異物回収端末を用いることで従来よりも大幅な回収効率の改善に寄与することを確認した。さらに、今後のFOD探知装置の性能要件の検討のため、FODの反射電力および反射角度依存性等の定量的データの取得を実施した。なお、2回の試験時には両方とも雨天であり、降雨の有無および強弱等による雨天時の滑走路クラッタ変化（～20 dB）を確認した。これらの評価については、次年度構築予定の新たな評価用FOD探知システムを用いて継続して実施予定である。

図1.4.25 試験用異物サンプルの概観

図1.4.26 成田空港設置アンテナ局の概観

□実空港への配置計画・システム設計

感度改善や異物回収端末UI等の機能追加を実施した最新の評価用FOD探知システムの設置空港を検討した。ここで、設置予定のFOD探知システムは中央局+アンテナ局1局の基本システムであり、実際の空港環境において継続してデータを取得する予定である。前述したFOD探知感度向上機能を実装し、異物回収端末UIにより、リアルタイムで覆域内のFOD探知情報表示および異物回収が可能なシステムとする。

□EUROCAE等の国際基準策定会議、国際展開、行政会議等での発表・提案

電子航法研究所はEUROCAE WG-83のメンバーとして滑走路異物探知システムの国際標準化活動を実施している。今年度会合は実施されなかったが、次年度以降も継続して参加していく予定である。

航空局運用課が主催し、航空局管制技術課、東京航空局保安部、東京空港事務所管制保安部、成田国際空港株式会社、総務省、ATEC、FOD探知装置メーカ等から構成されるFOD検知装置勉強会へ参加し、FOD探知装置の研究開発状況、性能要件、実証試験内容について計6回の会合を行った。本勉強会では、成田国際空港に設定している試験用FOD探知システムを用いた実証実験の内容および結果について議論を実施し、CARATS情報管理検討WGへの報告内容の整理を実施した。

総務省技術試験事務「空港滑走路における90GHz帯FODレーダの導入に向けた周波数利用に関する調査検討会」に参加し、実導入に向けた開発・実証が進む90GHz帯FODレーダに関する他業務との共用検討を実施し、当所の実験用ミリ波レーダシステムおよび測定機器を用いて基礎データを取得した。

総務省が実施している電波利用システムの海外展開事業において、日本側コンソーシアムの一員として滑走路異物探知システムの国際展開に協力した。今年度はマレーシアのクアラルンプール国際空港におけるFOD探知システムの導入のための活動を実施した。2020月3月に、クアラルンプール国際空港で日本とマレーシアから参加者を募ったワークショップの実施を予定していた。(新型コロナウィルスの影響により延期。)

成果の公表

□ 二ッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 柴垣 信彦, 加島 謙一, “滑走路異物探知システムの研究開発,”電子航法研究所研究発表会, 2019年6月

□ S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, and N. Yonemoto, “Long-Distance Coherent Signal Transmission and Reception Of Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System For Runway Foreign Object Debris Detection”, Proceedings of the 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2019), We-Po3-49, pp.1-2, Sep. 2019.

□ S. Futatsumori, N. Yonemoto, A. Kohmura, K. Morioka, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Research and Development of Airport Surface Foreign Object Debris Detection System”, Proceedings of the 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), EN-E-2, pp.1, Oct. 2019.

□　ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 柴垣 信彦, 加島 謙一, “滑走路異物探知システム,” 2019 Microwave Workshop & Exhibition (2019), 2019 年 11 月

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発 －遠隔型空港業務支援システムの実用化研究では、小規模空港や離島空港でリモート運用を可能とするために必要な技術を開発し、我が国の運用環境に適したリモートタワーシステムを提案する。本年度は、映像処理系システムのアップデートとAIによる映像識別機能の処理速度向上とシステムへの導入によるトラッキング性能を検証する。また、PTZ システムの性能向上、運用向けハウジングシステムの製作と性能評価、監視センサーとの統合表示情報の性能検証と課題整理、簡易型センサーの性能評価を行う。また、EUROCAE において、リモートタワーの技術規格の策定に参加するとともに、併せて海外動向調査を行う。等

○遠隔型空港業務支援システムの実用化研究

研究の背景

遠隔型空港業務支援システムであるリモートタワーのコンセプトの実現に向けて世界では研究が進められており、リモートタワーの実用化に向けた要望が高まっている。

我が国では空港の管制や運用支援を遠隔的に行うことを目指すニーズがあり、本研究所は平成 28 年度までも RAG 高度化、ITV システムの機能向上、リモートレディオに活用することができる基盤システムの技術開発を行ってきたところである。

リモートタワーのシステムでは、実際に飛行場（タワー）にいる場合と同様に、オペレータは空港面の安全状況の監視、確認を行うため通常のタワー管制業務と同様にネットワークを通じて提供される空

港からの映像情報が重要になる。タワー環境は気象や時間帯で変化するが、映像技術や監視センサ技術を用いて、運用に最適なシステムを検討する必要がある。また、拡張現実技術を用い、デジタル処理した画像データに様々な支援情報やコンピュータ合成映像等を必要に合わせて提供することができる。このような映像やセンサ、ネットワーク等の IoT 技術を活用し、視覚的な情報を補うことで、遠隔業務でも安全性や効率性を今まで以上に高いレベルで実現することが期待されている。

そこで、将来システムについて設計検討に向けて、システム、技術仕様の策定、技術指針の実証が必要である。

研究目標

□管制業務を見据えたシステム設計、テストシステムの構築と評価
□岩沼分室と調布を結んだ、遠隔運用を想定したシステムの性能検証
□監視センサ情報を活用した、トラッキング情報の拡張現実表示の精度向上
□管制業務に適した、人間工学分析に基づく業務用機器の HMI 設計

※HMI:ヒューマンマシンインターフェース

令和元年度の研究内容

□システムの信頼性向上（改修）及び評価試験
（映像系システム構成のアップデート、管制業務向けコンセプト HMI の設計、リモートタワー用 PTZ カメラ同期型 LED ライトガンユニットの製作）
□コンパクトな監視センサに向けた事前評価試験
□EUROCAE WG-100 活動参加、規格策定

令和元年度の研究成果

□システムの信頼性向上（改修）及び評価

＜映像系システム構成のアップデート＞

遠隔型の空港業務支援システム（以下、リモートタワー）では中小規模の空港から導入されることが想定されるが、小規模向けであってもコストバランスを保ちながら、システムの特徴である視覚的に業務を補助、支援するための機能を搭載し安全性に寄与できるような性能を持ち合わせている必要がある。そこでコンパクトであっても十分な性能を満たすために、ソフトウェアアルゴリズムの見直しおよび効率化を行うと同時に、今までのマルチなハードウェア構成から集約型の小型ハードウェア構成へと構成を変更、アップデートを行った。今回のアップデートにより、複数のカメラからの映像情報を一枚映像として合成し、処理できるようになったため、シームレスな情報表示やカメラ台数に依存しない表示画面に対応できるようになった。また、合わせて PTZ の映像も手元の操作画面だけでなく必要に応じてパノラマ画面上に任意の大きさで拡大表示が可能となった。ハードウェアは 180° の視野角で 6 台のカメラの映像を 1 台で処理するようにしているが、ハードウェアはワークステーション 1 台とコンパクトでありながら表示フレームレートやカメラ映像同期等性能はアップデート前と同じ性能を維持している。

□管制業務向けコンセプト HMI の設計

管制業務に対応したリモートタワーとするためには、業務運用に最適化された操作系 HMI を検討する必要がある。本研究ではユーザ中心の設計（デザイン）手法を取り入れながら、ユーザである管制官の業務に必要な機能を有するよう業務分析とリモートタワー専用の機能コンセプトを基に、高ユーザビリティで使いやすさを重視した系統立てたデザインを検討した。また、ユーザビリティの追及により、オペレータの的確で無駄のない操作を実現することで操作ミス等のエラー発生の減少や安全性の向上といったことにも配慮し、GUI などの操作系 HMI と合わせて管制卓の形状や配置についても検討を行い、包括的なデザインプロトタイプを製作した。GUI の操作画面は以前の 2 画面構成から、大型の 1 枚タッチディスプレイとし、必要な機能はすべて 1 つの画面に集約しタイプのコックピットインタフェース型としていることも特徴である。HMI の設計に関して意匠権を 3 件取得した。

図 1.4.27　アップデートしたシステムの表示系と HMI

□リモートタワー用 PTZ カメラ同期型 LED ライトガンユニットの製作
　リモートタワーでは空港から離れた場所で運用を行うため、現在、管制塔の内部に設置されている手動操作のライトガンは使用できない。無線通信ができない緊急時においても遠隔地から操作できるライトガンが必要となるため、専用の LED ライトガンユニットを PTZ カメラに搭載し、PTZ カメラを操作することで、連動してライトガンを航空機に向けることができるよう軽量な LED ライトガンユニット付きの PTZ カメラを制作した。性能評価については次年度に岩沼分室に設置し、機能評価試験を行う計画である。

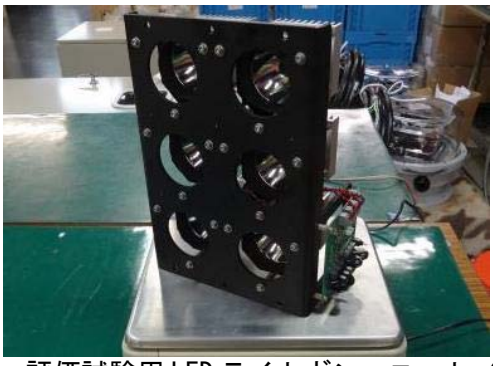


図 1.4.28　評価試験用 LED ライトガンユニット（ハードウェア単体）

□コンパクトな監視センサに向けた事前評価試験
　監視センサの情報はターゲット検知や追尾を行う際に、映像情報だけでは不十分な場合の精度の向上に非常に有効である。ただし、センサ情報の更新頻度の問題からセンサからの直値情報を表示するだけだと画面上では動きにブレが生じたり、ノイズにより不安定に見えて情報が見づらいものとなることがあるため、安定的に表示するためのフィルタリングや予測制御の処理を行うことが見易さには重要である。特に監視センサ情報の統合では映像情報とのシンクロは重要で、映像上のターゲットと監視センサ情報を違和感なくマッピングさせるために、キャリブレーションや動作の平滑化の処理を検討し、改良を実施している。また映像上ではターゲット検出が難しい距離においても、PTZ カメラを正確に追尾、追跡することが可能で、これらをスムーズに機能させるために予測処理等の精度向上を図っている。
　また、遠隔装置の導入に向けては監視センサの活用のニーズは高く、今年度は山形空港でコンパクトな監視センサの評価を実施した。コンパクト型の監視センサはリモート型のシステムの普及に向けて大きな可能性を持っており、今後も評価を継続していく予定である。

□EUROCAE WG-100 参加、規格策定（MASPS ED-240B に向けて）
　EUROCAE の WG-100 ではリモートタワーのために必要なシステム技術の要件の議論を引き続き行っており、現在は、光学センサ以外の監視センサ技術の活用のための技術要件を ED-240B として発行するため、議論を行っている。電子航法研究所はこの WG-100 の Core Team Member として議論に参加、情報提供等を行っており、今年度も WG の活動に貢献している。

□航空局への協力
　航空局のリモート関連の検討へ随時協力をしており、高機能 RAG のデザインについての原案の情報提供など、技術的条件等の情報提供を行った。

成果の公表

□Satoru Inoue, Kazuhiko Yamazaki & Taro Kanno, “User Interfacce Design for Remote Small Airport Operation” Proceedings of the 1st International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies (IHIET 2019), pp.124-129, Nice, France,August 22-24, 2019.

研究開発課題	（３）機上情報の活用による航空交通の最適化

研究テーマ	①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空機が保持する運航や気象等に関する情報を地上へ伝送し活用する技術、航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する技術に関する研究開発等に取り組む。	航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発	航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発 －従属監視補完技術に関する研究では、従属監視方式である放送型自動位置情報伝送監視システム（ADS-B）を導入する際に必要となる誤位置・不正位置といった脆弱性への対策技術や、ADS-B運用下における補完用広域マルチラテレーション（WAM）に求められる技術（補完用WAM技術）を開発・評価する。本年度は、前年度の実験装置機能付加を踏まえて、試験・検証試験とさらなる実験装置の改修を実施する。

○従属監視補完技術に関する研究

研究の背景

我が国の航空交通システムの長期ビジョン（CARATS）では、航空交通需要の増大に対応するために、航空交通管理（ATM）運用概念や通信・航法・監視（CNS）基盤技術に関する変革の方向性が示されている。このうち、監視技術については、地上・機上での状況認識能力の向上が挙げられている。このため現在、広域マルチラテレーション（WAM）の導入が進められており、今後は衛星航法システム（GNSS）をベースとした放送型自動位置情報伝送・監視（ADS-B）への移行が検討されている。この ADS-B は、航法システムを位置情報源とする従属監視方式であるため、意図的な偽位置情報や非意図的な誤位置情報発生への脆弱性対策が必要である。また、航法システムの障害や機上航法装置の不具合が発生した場合の補完監視センサも必要であり、ADS-B 用信号に基づく測位も可能な WAM が候補システムとして位置づけられている。補完センサとしての WAM に対しては、GNSS 障害発生時の時刻同期や、受信局数の削減を可能とする技術開発が求められている。これら脆弱性対策等を実現する技術は、欧米において開発・評価が進められている情報はあるが、検証結果等が示された文献は見受けられない状況である。

研究目標

□ADS-B 脆弱性対策技術の開発・検証

費用対効果を考慮した最適方式の提案と ICAO 技術マニュアルへの反映

□補完用 WAM 技術の開発・検証

GNSS を利用しない時刻同期技術の確立、性能維持を前提とした受信局数の削減

令和元年度の研究内容

□監視システムに関する動向調査
□ADS-B 脆弱性対策技術の機能・検証試験と実験装置改修
□補完用 WAM 技術の機能・検証試験と実験装置改修

令和元年度の研究成果

□監視システムに関する動向調査

研究を手戻りなく効率的に進めるためには、監視システムの技術動向（国際動向）を把握することが必要不可欠である。今年度は、国内学会（3 件）、国際学会（2 件）、ICAO 会議（4 件）に参加し、調査を進めるとともに、研究成果を発表して専門家からの知見を得た。また、ICAO 会議において WAM および ADS-B の誤差に関する飛行実験データを提供するなどの貢献をおこなった。

□ADS-B 脆弱性対策技術の機能・検証試験と実験装置改修

従属監視方式である ADS-B は地上側設備をシンプルに構成できる一方で、位置情報を航空機からの自己申告に頼っていることから、機上装置不具合による誤位置情報、偽位置情報（成りすまし）、妨害電波（ジャミング）に弱いとの課題がある。我が国では、現在導入の進んでいる WAM システムに ADS-B 機能を持たせ、将来的に航空機の ADS-B 対応状況を踏まえて ADS-B に移行する計画を取っている。この計画では、ADS-B 受信局が WAM 受信局として冗長的に配置されることとなる。この計画に基づいて費用対効果を踏まえた脆弱性対策を考えると、誤位置・偽位置には信号到達時刻差（TDOA）による位置検証技術、妨害電波には受信局冗長配置やセクタ化による対策が最適方式として挙げられる。今年度はこれら対策技術の機能・検証試験ならびに実験装置改修を進めた。

(1) 信号到達時刻差（TDOA）による ADS-B 位置検証

航空機から送信される ADS-B 信号を地上に配置された複数の ADS-B 受信局で検出できる場合、受信局が検出した信号到達時刻差（TDOA）を ADS-B 信号に含まれる航空機位置から計算した TDOA と比較することで、ADS-B 位置の正当性を検証できる。今年度は ADS-B/WAM 実験装置の改修により、図 1.4.29 に示す試験環境を構築し、機能試験と検証試験を実施した。これら試験では、成りすましを模擬した信号源を用意し、在空機の ADS-B 信号と不正信号を実験システムに入力した。ターゲット処理装置において、TDOA による位置検証技術を適用することで不正な信号を除去した。機能試験として、リアルタイムに正常な航跡のみ表示できることを確認した。また、検証試験として 28 時間分のデータを用いた性能評価を行った。図 1.4.30 にはその結果を示す。図中では不正信号による位置（主に茶色のプロット）に在空機信号（主に青色のプロット）が重畳しており、色は検定量（不正位置の判定指標）を示している。不正信号のみが高い値を持っており、しきい値処理により不正位置を検出することができた。今回の評価条件では検出率 99.8%、誤検出率 5%（事前設定値）を達成した。

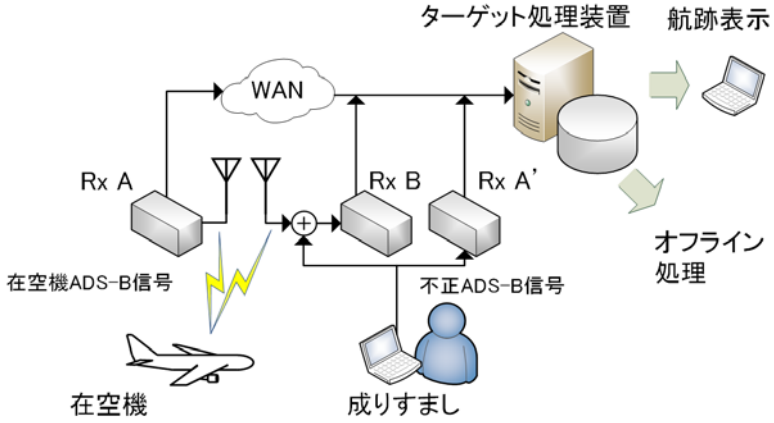


図 1.4.29　TDOA 手法による ADS-B 位置検証の試験環境

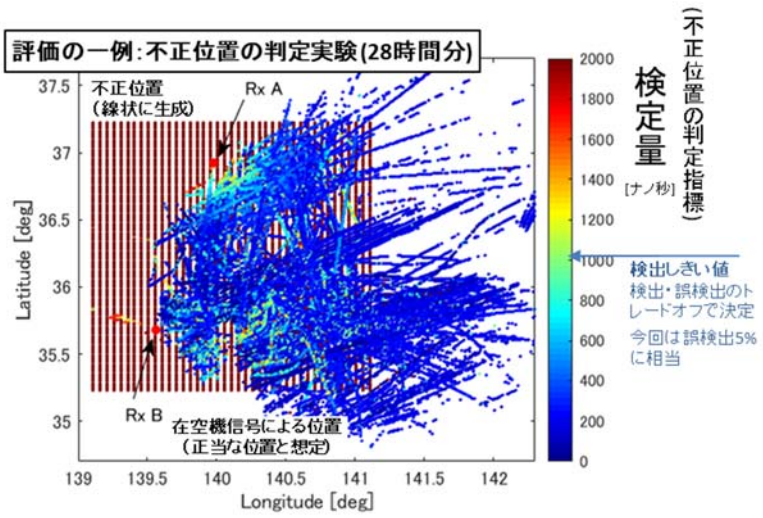


図 1.4.30　TDOA 手法の検証試験結果

(2) 受信局冗長配置やセクタ化によるジャミング対策

ADS-B 受信局に妨害電波が照射され、航空機からの ADS-B 信号が受信できない状況となった場合でも、冗長的に配置された他の受信局があれば受信を継続することができる。あるいは、受信範囲を分割するセクタ化により妨害電波の影響を低減できる。これら対策の検証試験では効果を定量的に評価することが目的となる。これに向け、本年度は図 1.4.31 に示す検証試験環境を構築し、ジャミングを受けた場合の信号検出率を実験的に測定した。実験では ADS-B 信号とジャミング信号を合成して受信機に入力し、信号受信結果を記録・分析した。条件を変えながら実験することで、様々な ADS-B 信号電力とジャミング信号電力の条件下における信号検出率を取得した。今後、得られたデータを用いることで、冗長配置やセクタ化の効果を評価する予定である。

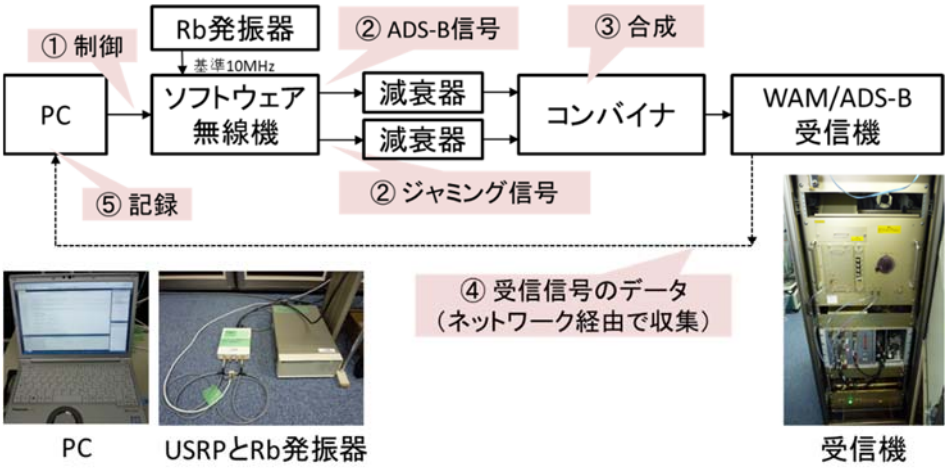


図 1.4.31　ジャミング対策の検証試験環境

□補完用 WAM 技術の機能・検証試験と実験装置改修

WAM では、航空機が送信する信号を複数の受信局で検出し、受信局間の検出時刻差から航空機の位置を推定する。このため、受信局間で精密な時刻同期を得ることが必要不可欠であり、GPS による時刻同期方式が一般的に利用されている。しかしながら、本方式では GPS 障害が発生した場合、WAM にも障害が発生することを意味する。このため、GPS 障害時に時刻同期を継続する仕組みとして、ルビジウム (Rb) 発振器が有効である。今年度は、ADS-B/WAM 実験装置を改修して、提案方式の機能・検証試験を進めた。図 1.4.32 には機能・検証試験の手順を示す。具体的には、まず受信局を対象に GPS 障害中の時刻同期維持性能を評価し、同期誤差モデルを得る。それを基にシステム全体の測位機能・性能の評価を行う。図 1.4.33 には受信局評価の結果の一例を示す。模擬的な GPS 障害発生からの経過時間に対する同期誤差の増加を示している。右側の図 (Rb 発振器がある場合) はスケールが 1/100 となっていることに注意されたい。Rb 発振器を用いることで同期誤差を 1/100 以下まで抑制することができた。さらに、システム全体の評価にも着手した。

補完用 WAM 技術としては、上記の GPS 障害対策に加えて、性能維持を前提とした受信局数削減技術も求められる。WAM は監視覆域によっては多数の受信局数が必要になるが、受信局数は設置・メンテナンスのコストと密接に関連するためである。これに向け、本研究では信号到来角を利用するなどの測位アルゴリズムの高性能化を検討している。本年度は信号到来角をより高精度に測定するため、実験システムのセクタ型アンテナを改修した。また、数値シミュレーションにより信号到来角と信号到達時間差を

併用したアルゴリズムにより位置推定が可能であることを確認した。

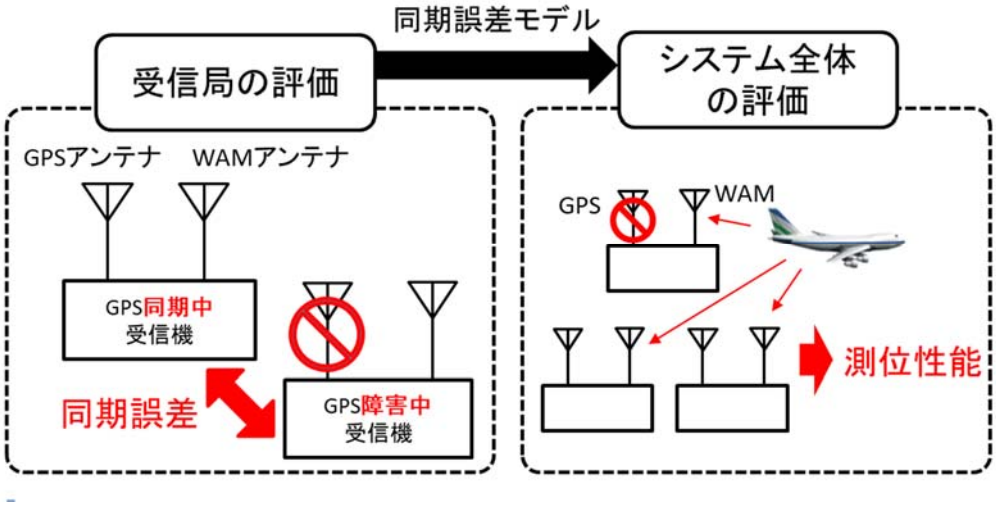


図 1.4.32　Rb 発振器による GPS 障害対策技術の機能・検証試験手順

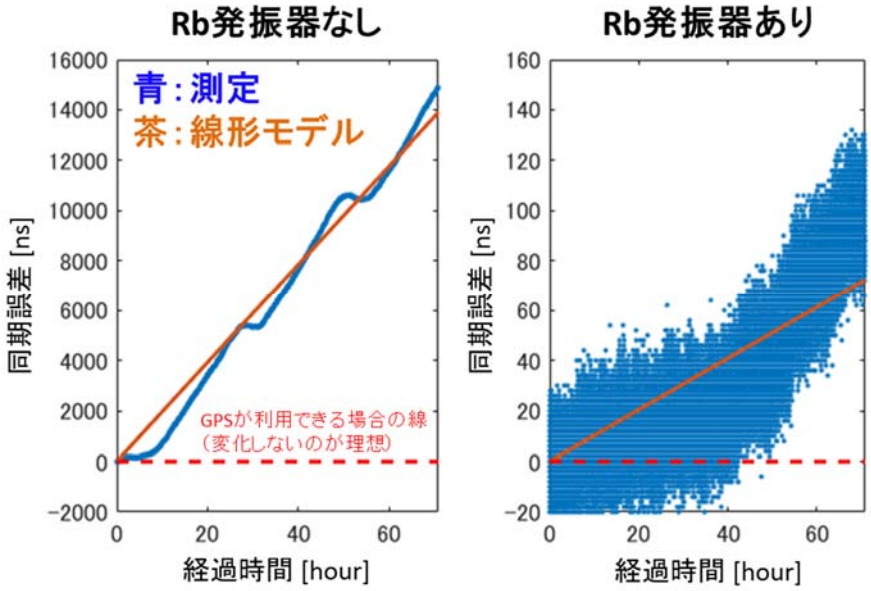


図 1.4.33　同期維持性能評価の結果例

□ブータン王国における技術移転

ヒマラヤの山岳地帯に位置するブータン王国は同国初の監視システムとして ADS-B 導入を検討している。しかしながら、同国の技術課題として、山岳の電波遮蔽により ADS-B 信号の不感地帯が生まれる懸念があった。そのため、対策技術の 1 つである受信局配置設計法の技術移転を行ってきた。昨年度までに主にシミュレーション方法などの技術移転を行い、その成果として受信局を設置する候補地点が選定できた。それを踏まえ、本年度はブータン航空局職員による現地調査が実施され、当所から研究員 2 名が参加した。

現地調査では受信装置を仮設して実際の航空機の ADS-B 信号を測定した。それに関する技術移転としては、受信装置やその校正に必要な装置（信号発生器・スペクトラムアナライザ）の利用技術の指導、仮設位置選びに関する助言（既存設備との干渉等）、データ処理方法の指導を行った。これら技術移転内容のうち、特に各装置の利用技術について、動作原理から丁寧に説明したことが好評であった。原理を理解していれば、今後、他の航空監視システム等にも応用ができると期待される。図 1.4.34 には現地作業の写真を示す。また、受信した航跡例を図 1.4.35 に示す。これはパロ空港に受信装置を配置し、着陸便を観測した結果である。パロ空港は急峻な山岳に囲まれた盆地に位置しており、受信エリアは盆地に限定された。同様の測定を近隣の山頂でも行い、その場合はより広範囲の信号受信を確認できた。今後、その他の候補地点でも同様の調査を行う計画である。ブータンはこれまでに航空監視システムを整備した経験が無く、上記のような配置設計や実験を単独で行うことは極めて困難であったが、今回の技術移転により短期間で実現することができた。引き続き受信局配置設計に関する支援を継続する。

図 1.4.34　現地作業の様子（受信装置の校正）

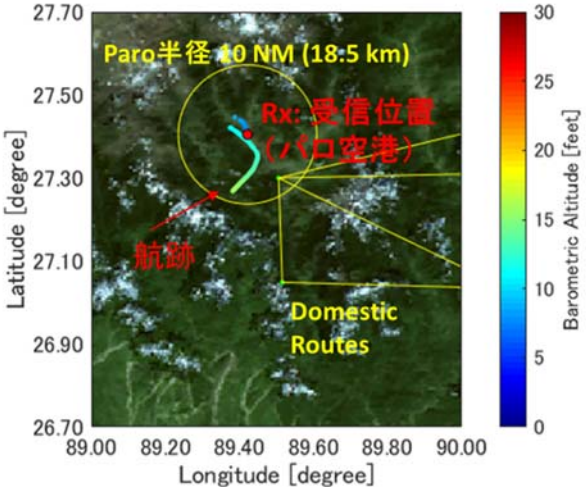


図 1.4.35　パロ空港で受信した航跡の例

成果の公表

◎査読付き論文誌

□ 宮崎裕己，小菅義夫，田中俊幸，“目標距離観測値を使用した TDOA 測位精度の改善，” 電子情報通信学会論文誌 B，March 2020. DOI:10.14923/transcomj.2019JBP3032

◎国際会議（フルペーパー査読）

□ 長縄潤一，宮崎裕己，“Experimental Evaluation on TDOA-based Aircraft Position Verification”，in Proc. 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2020)，Copenhagen，Denmark，March 2020.

◎国際会議（アブストラクト査読）

□ 長縄潤一，宮崎裕己，田嶋裕久，“A Research Activity on ADS-B Vulnerability Countermeasures，” ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC 2019)，Tokyo，Japan，Oct. 2019.

◎国内学会

□ 長縄潤一，Karma Wangchuk，Sangay，宮崎裕己，“在空機を利用した覆域シミュレータ検証法の基礎検討”，電子情報通信学会 技術研究報告，SANE2019-36，pp. 7-12，2019 年 8 月.

□ 長縄潤一，宮崎裕己，“TDOA を用いた航空機位置検証法の実験的評価，” 電子情報通信学会 技術研究報告，SANE2019-75，pp. 29-34，2019 年 11 月.

□ 宮崎裕己，小菅義夫，田中俊幸，“目標距離観測値の使用による TDOA 測位誤差の改善，” 電子情報通信学会 技術研究報告，SANE2019-88，pp. 21-26，2020 年 1 月.

◎ICAO 関連会議

□ 宮崎裕己，“Performance of Surveillance System Depending on the Signal Environment”，ICAO APANPIRG 4th Surveillance Implementation and Coordination Group，2019 年 4 月.

□ 宮崎裕己, Ori Shloosh, “Update of Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual”, ICAO 監視パネル(SP)第 9 回 TSG 会議, 2019 年 6 月.
□ 宮崎裕己, Ori Shloosh, “Update of Surveillance Manual in Doc 9830 A-SMGCS Manual”, ICAO 監視パネル(SP)第 10 回 ASWG 会議, 2019 年 9 月.
□ 宮崎裕己, Ori Shloosh, “Update of Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual”, ICAO 監視パネル(SP)第 10 回 TSG 会議, 2020 年 2 月.
□ 長縄潤一, 宮崎裕己, 大津山卓哉, “Example of Position Error for WAM and ADS-B”, ICAO 監視パネル(SP)第 10 回 TSG 会議, 2020 年 2 月.

◎その他
□ 長縄潤一, 宮崎裕己, “ADS-B 位置検証の技術”, 航空無線, 第 101 号, pp.18-21, 令和元年 9 月 25 日.
□ 宮崎裕己, “Update Status of SMGCS Standards”, ベトナム国との MLAT 連携会議, 2019 年 7 月.

研究開発課題	（３）機上情報の活用による航空交通の最適化

研究テーマ	②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空機が保持する運航や気象等に関する情報を地上へ伝送し活用する技術、航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する技術に関する研究開発等に取り組む。	航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発	航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発 －航空機の拡張型到着管理システムの研究では、ターミナル空域からエンルート空域にかけて、到着機の順序付けとスケジューリングを行うために、拡張型到着管理システムの運用プロトコルと到着スケジューリング手法を提案する。さらに、拡張型到着管理システムと協働する新しい運航を提案し、シミュレーション検証を行う。本年度は、拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計の継続、航空機間の間隔付けに関する新運航の検証、並びにヒューマンインザループシミュレーション環境の構築、およびSMAN/DMANと連携するAMAN設計を検討する。等

※AMAN(ArrivalManagement):到着管理
※SMAN(SurfaceManagement):空港面管理
※DMAN(DepartureManagement):出発管理

○航空機の拡張型到着管理システムの研究

研究の背景

米国連邦航空局によれば、米国内空港の混雑およびフライトの遅延による国全体の損失は、2020 年には 340 億ドルまでに上昇すると試算されている。フライト数でスケールすると、日本の航空輸送に関する経済損失は年間数千億円を超えると想定される。特に航空輸送のさらなる増加が予想される首都圏空港において、経済的効果の向上が必要である。

このような世界規模の航空需要の増加に対応するために、米国の NextGen では最も航空交通が混雑する主要空港のターミナル空域から広範囲なエンルート空域にかけて、到着機の順序づけと到着時刻のスケジューリングを自動化する到着管理システム（TBFM）を導入し、航空機監視応用システムなどの新しい運航と協働させる高度化のために研究開発を進めている。欧州ではヒースロー空港において、エンルート空域から到着スケジューリングを行う支援ツールの導入が検討されている。日本では、CARATS において統合システムを活用した到着管理の高度化が施策にあげられており、2025 年の政策判断に向けて、段

階的に研究を進める必要がある。

研究目標

□将来の羽田空港周辺の到着航空交通を管理する拡張型到着管理システムの運用プロトコルと到着スケジューリング手法を提案する。

□提案する拡張型到着管理システムについて、シミュレーション実験により、遅延時間や燃料効率などを検証する。

□拡張型到着管理システムの運用プロトコルと協働する航空機監視応用システムや四次元軌道運用などの新しい運航を提案し、シミュレーション実験により検証する。

令和元年度の研究内容

□拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計

□シミュレーター実験による検証

□新運航の検証

令和元年度の研究成果

令和元年度は、2 年分の航跡データおよびフライトプランを利用して、ドイツ航空宇宙研究所（DLR）およびデルフト工科大学と共同で、東京国際空港に到着する航空交通流のデータ駆動型分析と待ち行列理論に基づく定量的な到着遅延予測を実現するとともに、到着遅延時間を最小にする拡張型到着管理の戦略およびシステムの設計要件を提案した。また、ADS-B を利用する新たな運用として航空機の自律飛行である FIM(Flight-deck Interval Management)について、ブランシュバイク工科大学と共同でフライトシミュレータ実験を実施し、有効性を評価した。これらの研究成果を複数の学術論文や解説記事として発表するとともに、ICAO や航空局に提供し、国際規格や CARATS 施策決定に貢献した。

□拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計

東京国際空港に到着する航空交通流の 2 年分のデータを利用して、データ駆動型分析と待ち行列理論を発展させ、現実の管制運用に即した到着管理戦略および拡張型到着管理システムの設計要件を具体的に提案した。さらに、SMAN /DMAN と連携できるよう、設計を検討した。成果の一部を図 1.4.36 に示す。

図 1.4.36 のように、東京国際空港を中心とした半径 20NM から 300NM の等深淵を 10NM 毎に描き、内側の円と外側の円に囲まれたドーナツ状の空域において、南西方面から到着する航空交通流の到着遅延を待ち行列理論を用いて予測した。現状（1 時間毎に 30 機が到着）では、東京国際空港から 30NM から 40NM、40NM から 50NM の間の空域において 20 秒程度の遅延が発生している。将来的な航空交通の増加を仮定（1 時間あたり 36 機が到着）した場合では遅延時間が 110 秒以上に増加し、1 時間あたり 40 機を仮定すると航空交通流を安定に運用できないことがわかった。これを解決するためには、到着間隔を小さくして空域容量を増加することが有効であり、70NM 付近において現状よりも航空機間隔を小さくする RECAT に基づいた到着間隔づけを達成することが有効であることがわかった。図 1.4.37 に示すように、50NM 以内での航空機容量を 20%増加すると遅延時間を削減することが可能であり、例えば 7NM の間隔をつけてターミナル空域に移管した引用を 6NM に短縮するだけでも効果的である。6NM の間隔での移管は現実的であると、管制経験者からコメントを受けた。図 1.4.38 に示すように、東京国際空港周辺の到着遅延時間を 150NM 以遠の空域で吸収できた場合の全体の到着遅延時間を分析したところ、空港周辺において120%程度の容量増加の方が効果的であることがわかった。これは、空港から離れた空域において到着間隔のばらつきが大きいため、到着時間管理を行っても遅延削減効果が小さいことを意味しており、改善するためには遠方におけるメタリングを実施することでばらつきを削減する必要があることを示している。

これらの研究成果を、国際ジャーナル論文 4 本（1 本掲載済み、2 本掲載決定、1 本査読中）、複数の国内外学会、招待講演、解説記事にまとめ、広く社会還元するとともに、航空局や航空管制セミナーでの講演を行い、CARATS 策定に知見を反映した。ICAO AIRB ワーキンググループにも成果を発表・資料提供し、国際規格策定に貢献した。

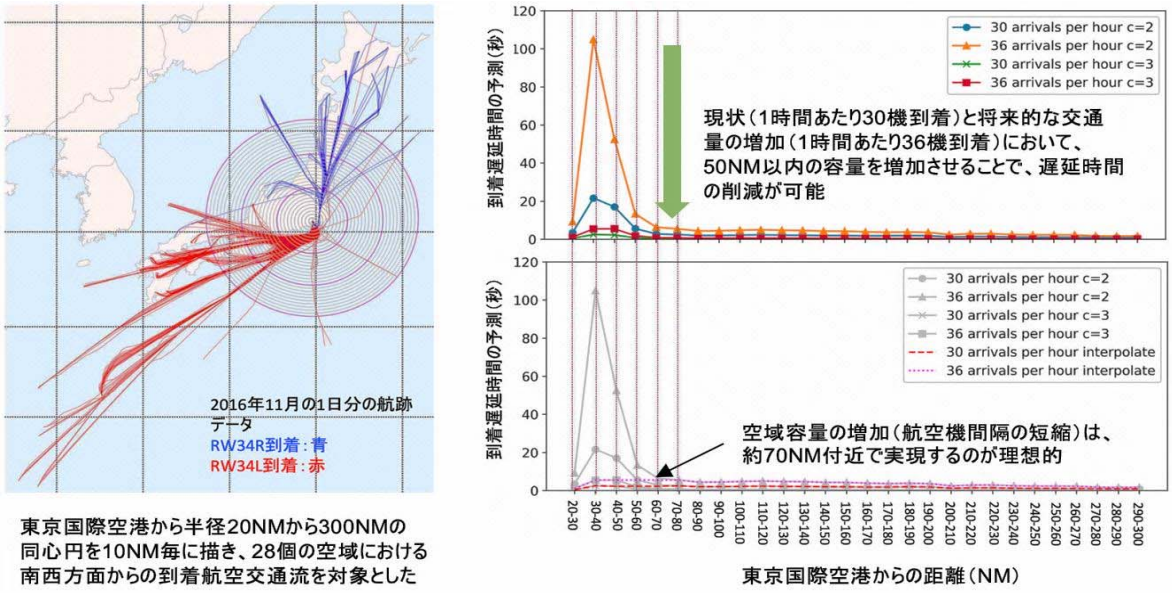


図 1.4.36 ターミナル空域における遅延予測と削減対策

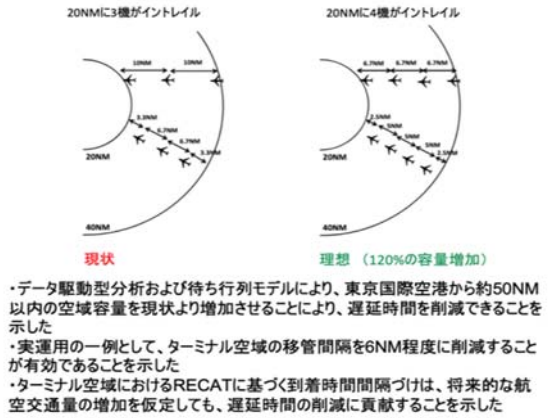
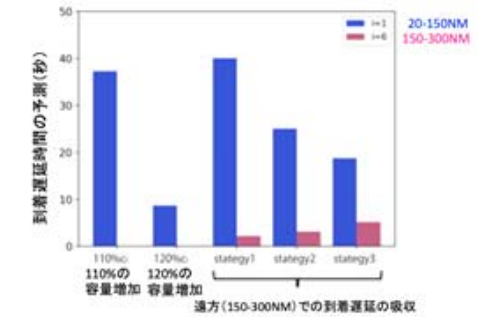


図 1.4.37 管制運用における提案図



Airspace i	1 (20-150NM)	6 (150-300NM)	
Strategy 1	$E[B_1]-100$sec	$E[B_6]+100$sec	150-300NMで100秒の遅延を吸収
Strategy 2	$E[B_1]-150$sec	$E[B_6]+150$sec	150-300NMで150秒の遅延を吸収
Strategy 3	$E[B_1]-180$sec	$E[B_6]+180$sec	150-300NMで300秒の遅延を吸収

図 1.4.38 エンルート空域における遅延削減対策

□シミュレータ実験による検証

ユーロコントロール実験研究所、東京理科大学、東京大学と連携し、レーダー管制を模擬するヒューマンインザループシミュレータ・ESCAPE Light（図 1.4.39 参照）のモバイルワーキングステーションを電子航法研究所に構築した（図 1.4.40）東京国際空港の到着航空交通を模擬したシミュレーション環境の構築を目指す。また、ブランシュバイク工科大学と共同で、フライトシミュレータ実験による新運航の実証実験を実施し、研究成果を査読付き論文 2 本にまとめた（1 本掲載決定、1 本査読中）。

図 1.4.39 ヒューマンインザループシミュレータ（ユーロコントロール実験研究所提供）

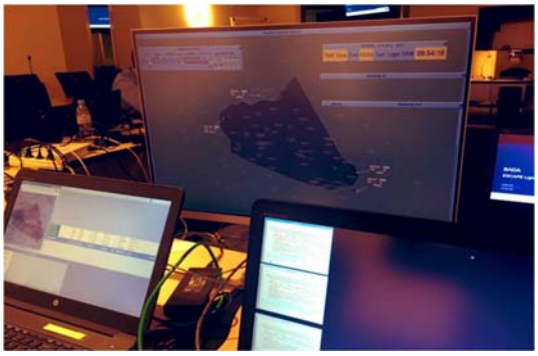


図 1.4.40 ESCAPE Light モバイルワーキングステーション

□新運航の検証

これまでに提案された FIM 速度制御則は、速度変更の指示が多くなることより、管制官やパイロットのワークロードが増加すると指摘されていた。そこで、この脆弱性を補完する新しい速度制御則を A*アルゴリズムを適用して提案し、ファストタイムシミュレーションによる評価およびブランシュバイク工科大学のフライトシミュレータにアビオニクスを模擬して搭載した検証を実施した。これらの研究成果を査読付き論文３本にまとめた（2 本掲載済み、1 本査読中）。

RNAV-RTA を利用した到着管理手法を提案し、データ分析・数値シミュレーションにより、有効性および社会実装への課題を検討した。

図 1.4.41 ブランシュバイク工科大学の FIM フライトシミュレータ実験の様子

成果の公表

査読付き論文 7 件

□Eri Itoh and Mihaela Mitici, “Queue-based Modeling of the aircraft arrival process at a single airport”, Aerospace, Topical Collection: Air Transpotyayion-Operations and Management, 6(10), 103, 2019; https://doi.org/10.3390/aerospace6100103.

□Timo Riedel, Masaki Takahashi and Eri Itoh, “Reducing Speed Commands in Interval Management with Speed Planning”, The Aeronautical Journal, Volume 124, Issue 1272, pp.189-215, 2020.

□Timo Riedel, Masaki Takahashi, Tomoaki Tatsukawa and Eri Itoh, “Evaluating Applied Flight-deck Interval Management using Monte Carlo Simulations on the K-Supercomputer”, Transactions of JSASS, Volume 62, Issue 6, pp. 299-309, 2019.

□Ichi kanaya and Eri Itoh, “Design of Ad-Hoc Mesh Network for Aircrafts; Wireless Mesh Networks – Security, Architectures and Protocols”, IntechOpen, UL, May 23rd 2019 (Online first), DOI: 10.5772/intechopen.86510.

□Eri Itoh and Mihaela Mitici, “Evaluating the Impact of New Aircraft Separation Minima on Available Airspace Capacity and Arrival Time Delay” The Aeronautical Journal (Accepted).

□E. Itoh, Y. Miyazawa, M. Finke, and J. Rataj, “Macroscopic Analysis to Identify Stage Boundaries in Multi-Stage Arrival Management”, Air Traffic Management and Systems IV, Springer nature (Accepted).

□T. Riedel, E. Itoh, M. Takahashi, T. Feuerle, and P. Frost, “Evaluating Speed Logics for Flight-deck Interval Management”, Air Traffic Management and Systems IV, Springer nature (Accepted).

学会発表論文 4 本

□宮沢与和, 伊藤恵理, “東京国際空港における到着便の高密度な交通流制御に関する一考察”, 第 57 回飛行機シンポジウム講演集, 2019 年 10 月.

□伊藤恵理, ミハエラ ミティシ, “データ駆動型の待ち行列モデルを適用した東京国際空港における到着遅延予測”, 第 57 回飛行機シンポジウム講演集, 2019 年 10 月.

□T. Riedel, E. Itoh, M. Takahashi, T. Feuerle, and P. Frost, “Evaluating Speed Logics for Flight-deck Interval Management”, Proceedings of EIWAC 2019, November 2019.

□E. Itoh, Y. Miyazawa, M. Finke, and J. Rataj, “Macroscopic Analysis to Identify Stage Boundaries in Multi-Stage Arrival Management”, Proceedings of EIWAC 2019, November 2019.

招待講演

□伊藤恵理, “羽田空港の遅延削減を目指した拡張型到着管理システムの研究開発”, 航空管制セミナー, 2019 年 10 月 24 日.

□伊藤恵理, “航空機の拡張型到着管理システムと AMAN/DMAN/SMAN に関する検討状況”, 航空局, 2020 年 2 月 10 日.

解説記事

□伊藤恵理, “羽田空港の遅延削減を目指した拡張型到着管理システムの研究開発”, 航空管制, 2020 年 3 月.

□伊藤恵理, “航空交通管理とデジタル変革”, 航空機国際共同開発促進基金（IADF）ウェブサイト , 2020 年 3 月.

標準化会議（ICAO）3 件

□Eri Itoh and Takuya Otsuyama, “Designing Ground-based Interval Management (GIM) for aircraft arrival traffic at Tokyo International Airport”, International Civil Aviation Organization (ICAO) Information Paper, SP-AIRB8-IP/05, September 2019.

□Eri Itoh and Takuya Otsuyama, “International Civil Aviation Organization ICAO, “Manual on Airborne Surveillance Applications”, Doc 9994, Chapter 3 Interval Management, 2020 in print.

□Eri Itoh, “Status of IM Activities in Japan”, ICAO SP-AIRB WG/9, March 2020 (submitted) .

研究開発課題	（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化

研究テーマ	①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
多数の関係者が航空機運航の状況認識・判断を行えるようにする情報共有基盤の構築及び航空機と地上の間で航空管制、運航、気象等に関する情報を高速伝送する地対空通信システムの開発並びにそのセキュリティの確保に関する研究開発等に取り組む。	航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発	航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発 －SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価に関する研究では、航空交通管理における、異なる SWIM 情報システム間の融合と協調を実現するため、シームレスな情報交換とサービス連携に関する技術の提案と評価テストベッドの開発を行う。本年度は、引き続き国際連携により地上や空地統合SWIM の検証実験を実施するとともに、SWIM に基づく新たな運航方式を評価できる手法や実験システムの開発を行う。等

○SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価に関する研究

研究の背景

運航の安全性と効率性を向上するため、ICAO では、監視・気象・空港・フライトなど様々な情報を管理できる SWIM（System Wide Information Management）という次世代の航空交通情報システムの概念が推進されている。米国の NextGen と欧州の SESAR を中心として、情報の標準化、国際実証実験などの研究開発活動が世界的に進められている。また、日本でも CARATS のロードマップにおいて、情報共有基盤の導入は重要なミッションとしてあげられている。

2013 年からは、航空局と電子航法研究所を中核として、FAA が主導した SWIM Mini-Global Demonstration に参加し、技術情報を交換しつつ実験用システムを開発した。この実験用システムを利用したシナリオデータ及びセミライブデータの配信により実証試験の有効性を高め、運用上の課題点について実証した。また、2014 年から、電子航法研究所では EUROCONTROL が主導した SWIM Master Class に参加し、Web サービスに基づいた SWIM 実験用システムを構築している。これらの研究成果は、CARATS における情報共有基盤 SWIM の早期導入の意思決定につながっている。

しかし、運用する環境によって、各 SWIM システムの構造と採用された技術の仕様が必ずしも同じとは限らないため、今後、各 SWIM 間の情報交換とサービス連携などの課題について解決していく必要がある。

研究目標

□航空交通情報共有基盤において、統一情報環境を構築するため、データ変換モデル、情報メッセージモデルとサービス連携モデルを開発する。

□運用上の基本機能と技術面の性能要件を明らかにする上で、異種 SWIM システムとの融合に関する情報交換技術とサービス連携技術を提案する。

□これに基づいて、効率性・信頼性・安全性・環境などの観点から、サービス要件に応じたパフォーマ

ンスについて評価できるテストベッドを開発する。

令和元年度の研究内容

□評価技術の提案
□総合評価用テストベッドの開発
□他国との実証実験、国際標準化への取り組み
□SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査

令和元年度の研究成果

□評価技術の提案

現在、ICAO では、SWIM を利用して、様々な情報の共有により運航効率を向上する FF-ICE 運用方式（Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment）の導入を推進している。4 次元軌道情報（4DT：4 Dimension Trajectory）を中心とした FF-ICE の運航管理を実現するため、運航前の協調的な軌道調整だけではなく、離陸後の高精度な軌道管理も求められている。このため SWIM に基づいた FF-ICE 運用方式の評価に対して、従来の安全性、効率性、定時性や予測精度の向上などの事後評価に加え、離陸後の段階において高精度な飛行軌道を維持するため、リアルタイムに飛行軌道を評価することも必要となる（図 1.4.42）。

令和元年度は、空地統合 SWIM に基づく離陸後の運用に対して、新たな FF-ICE 運航管理を実現できる SWIM サービスと既存の航空管制・交通流管理システムや機上飛行管理システムなどとの連携手法を検討し、空地 4 次元軌道同期方法を提案した。また、開発した機上 SWIM 用情報端末を用いて、動的な変化に対応できる継続的なモニタリングサービスを開発し、飛行軌道の精度を定量的に計算できるオンライン評価技術も提案した。令和 2 年度においては、米国連邦航空局（FAA）との連携検証実験により、提案技術を用いて具体的な評価を実施する予定である。これらの研究開発により、CARATS の情報管理検討 WG における新施策の策定に貢献した。

※FF-ICE：将来、航空機の出発から到着までの飛行軌道（通過ポイントと通過時刻）を調整・管理するための、飛行情報、航空情報等を共有する環境

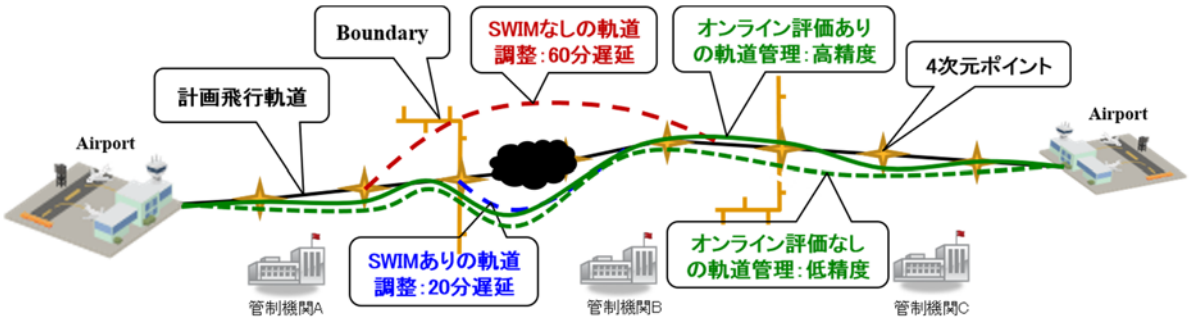


図 1.4.42　SWIM による飛行軌道調整・管理のイメージ

□総合評価用テストベッドの開発

SWIM に基づく運用の実現技術を評価するため、離陸前の地対地情報共有を含め、離陸後の空対地情報交換にも対応できる空地統合 SWIM 実験システムを今まで提案した技術を組み込んで開発し、仙台空港において AeroMACS を用いた世界初の FF-ICE に基づいた飛行実証実験を実施した。図 1.4.43 に飛行実証実験システムの概要を示す。実験では、機上 SWIM 用情報端末を用いて、飛行中の実験用航空機と地上 SWIM 実験システム間で様々な情報交換を行い、監視、通信、情報システムの連携による総合評価用テストベッドの機能を検証した。これにより、異種サービス間での連携、及びリアルタイムでの情報共有が実現できることを確認した。

図 1.4.43　飛行実証実験システムの概要

□他国との実証実験、国際標準化への取り組み

航空交通の増加が見込まれる ASEAN 地域における SWIM の有効性と運用の効果を示すため、2019 年 11 月に ASEAN SWIM Demo が実施された。当所はタイとシンガポール航空局からの支援要請を受け、CARATS 体制の下で日本側の実験システムを開発し、中国香港と米国連邦航空局と連携して、バンコクとシンガポールそれぞれで二つのシナリオを実演した（図 1.4.44）。これにより、地域 SWIM 導入の技術基準の策定、及び地域 SWIM 基盤の連携によるシームレススカイの実現に貢献した。

図 1.4.44　ASEAN SWIM Demo の様子

また、総合評価用テストベッドを通して、運航前の協調的な軌道調整（FF-ICE/R1）を実現するメッセージングインフラの構築技術、標準情報交換モデルでのメッセージ解析方法やサービス間の連携モデルを検証し、CARATS の意思決定に貢献した。

□SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査

前年度に引き続き、ICAO APAC SWIM Task Force のタスクリーダとして、第３回 SWIM Task Force 会議で担当しているタスクの進捗状況について報告した。また、定期的に行われるタスクリーダ間の連携推進会議や ASEAN SWIM Demo などに参加した。さらに、在外研究において米国の研究者と検討した新旧システム共存段階と Full SWIM 段階に対して地上と空地システムの間にセキュアで高信頼の情報交換を保証できるアシュアランス技術については、今後、本研究で行う予定の FF-ICE の実現に向けて米国大学との技術連携や米国連邦航空局との検証実験などを継続的に行う基盤となった。

成果の公表

□ X.D Lu, K. Morioka, T. Koga and Y. Sumiya, “Collaborative Flight and Flow Information Exchange to Achieve Seamless Air Traffic Management Operation”, IEEE ISADS2019, April 2019.
□ X.D. Lu, “Asia/Pacific Regional SWIM Implementation Options”, ICAO APAC SWIM Task Force/3, May 2019.
□ X.D. Lu, “Report of Status and Activities for Task 2-1-3”, ICAO APAC SWIM Task Force/3, May 2019.
□ 呂暁東, 森岡和行, 住谷泰人, 長縄潤一, 米本成人, “空地統合 SWIM に関する研究開発”, 電子研発表会, 令和元年 6 月。
□ 江上周作, 呂暁東, 古賀禎, 住谷泰人, “オントロジー技術を用いた航空交通情報共有の高度化”, 人工知能学会 第 48 回セマンティックウェブとオントロジー(SWO)研究会, 令和元年 8 月.
□ 江上周作, 呂暁東, 古賀禎, 住谷泰人, “航空交通情報共有の高度化に向けたオントロジーの構築

と応用”, JAWS2019, 令和元年 9 月.(※JAWS2019 優秀ポスター発表賞授賞)

- ☐ S. Egami, X.D Lu, T. Koga and Y. Sumiya, “Enriching Geospatial Representation for Ontology-based Aviation Information Exchange”, IEEE GCCE2019, October 2019.
- ☐ X.D. Lu, K. Morioka, S. Egami, T. Koga, Y. Sumiya, J. Naganawa, and N. Yonemoto, “JAir/Ground SWIM Integration to Achieve Information Collaborative Environment”, EIWAC2019, October 2019.
- ☐ X.D Lu, “Development Overview and Discussion for FF-ICE/Execution”, FF-ICE/X Tabletop Meeting, January 2020.
- ☐ S. Egami, X.D Lu, T. Koga and Y. Sumiya, “Ontology-Based Data Integration for Semantic Interoperability in Air Traffic Management”, IEEE ICSC2020, Febuary 2020.

研究開発課題	（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化

研究テーマ	②航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全な次世代航空通信に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
多数の関係者が航空機運航の状況認識・判断を行えるようにする情報共有基盤の構築及び航空機と地上の間で航空管制、運航、気象等に関する情報を高速伝送する地対空通信システムの開発並びにそのセキュリティの確保に関する研究開発等に取り組む。	航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全性の保証された次世代航空通信に関する研究開発	航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全な次世代航空通信に関する研究開発 －空地通信技術の高度化に関する研究では 、AeroMACS プロトタイプを活用して、AeroMACS の利用技術を開発し、AeroMACS 技術の適用範囲拡大の可能性について性能評価する。本年度は、AeroMACS 利用技術及び空地通信技術適用範囲拡大の性能評価を行う。等

○空地通信技術の高度化に関する研究

研究の背景

近年、航空システムから取得した様々な情報を関係者間で共有し、より安全かつ効率的な運用改善が検討されている。また、航空交通量の増加やより綿密な航空機運航のニーズに伴い、特に航空機密度の高い空港周辺を中心に航空通信量の増加が懸念されている。これらに対応するため、ICAO 等は、既存の航空通信システムと併用可能な次世代の航空通信システムとして、汎用高速通信のモバイル WiMAX（IEEE 802.16e）技術に基づく航空専用標準規格 AeroMACS（Aeronautical Mobile Airport Communications System）の策定作業と研究開発を行ってきた。今後、これらのニーズや進捗する策定作業および関連する規格策定活動に対応するため、AeroMACS 技術の適用範囲拡大の可能性と共に、AeroMACS に代表される次世代空地通信システムの利用技術を開発し、監視や航法など他のシステムから得た情報を共有できる航空用高速通信ネットワークのプロトタイプを構築の上、航空機や車両等と連接実験し、性能評価する必要がある。

本研究は、AeroMACS をはじめとする航空通信、電波伝搬および航空用ネットワーク技術に関する知見が必須である。それら知見を有する各分野の実務家、専門家と協力の上、保有する AeroMACS のプロトタイプを用い、将来の航空通信システムの研究調査結果および航空機搭載アンテナや機体の影響を含めた電波伝搬特性、航空用ネットワーク技術により効果的に性能評価し、研究を実施する。

研究目標

□既存の AeroMACS プロトタイプを活用して、航空機、車両、地上間で連接可能な航空用高速通信ネットワークのプロトタイプを開発する

□AeroMACS 利用技術の開発や AeroMACS 技術の適用範囲拡大の可能性について、開発したプロトタイプを用いて実環境下で評価し、技術指針を構築する

□関連技術の標準規格化活動に参画し、性能評価結果の提案に基づき、貢献を図る。

令和元年度の研究内容

□AeroMACS 等航空通信システムの規格策定活動参画
□AeroMACS 利用技術及び空地通信技術適用範囲拡大の最終性能評価
□空地通信技術の適用範囲拡大評価、改修
□とりまとめ

令和元年度の研究成果

□AeroMACS 利用技術及び空地通信技術適用範囲拡大の最終性能評価

□空地通信技術の適用範囲拡大評価、改修

今年度は、AeroMACS 技術の利用を目指してこれまで個別に開発してきた技術を統合し、実験用航空機の飛行を伴う実用に近い形での実験評価を実施した。図 1.4.45 に仙台空港で実施した実験の概要を示す。本実験では、AeroMACS の地上基地局 2 局と航空機局の間の通信を通して、覆域の限界を見極める適用範囲の拡大と SWIM 連接による利用技術の評価を行った。

AeroMACS 技術は通信を行うための土台であり、本研究ではその利用技術として航空情報共有基盤である SWIM との連接を検討してきた。そのため、東京の SWIM サーバーと飛行中の航空機局の間の通信を適切に行うことを目標とし評価を実施した。本実験では、当初 AeroMACS 標準において想定した空港面の移動だけでなく飛行中の航空機上における AeroMACS 技術の利用を見据え、基地局-航空機局間の通信適用範囲拡大に関しても検討を行った。つまり、空港内設置の無指向アンテナのほかに、電波法上限られた出力のなかで最大限の覆域拡大を試み、高利得な指向性アンテナを基地局に設置し、利得の代償として狭まった指向性を補うため ADS-B 情報をもとに航空機局を追尾するシステムの併用も試みた。空港敷地内高さ 30m に設置した無指向アンテナでは、空港面において Taxing 中は常に接続可能であること、また飛行中は海側から空港滑走路へ進入する際空港の 2.3 km手前から接続可能となることがわかった。指向性アンテナを用いた実験では、仙台と福島の各基地局から 16 kmの地点まで通信できることを明らかにした。さらに、図 1.4.45 が示すように、覆域補完のための基地局（図中基地局＃２）は、主となる基地局（＃１）と VPN により無線接続され、地上ネットワークが存在しない場所にも簡易に基地局が設置できることを確認した。飛行中は常に SWIM サーバーとの接続を試み、機内のパイロットが利用する EFB(Electronic Flight Bag)を模擬した有線接続のタブレット端末上に SWIM 情報が表示され、空港の気象や設備等の情報を双方向にやり取りできることも実証した。

本年度末には、実験用航空機内に EFB（タブレット端末）を無線利用するための機内 WiFi を設置する修理改造を実施した。しかし、COVID-19 感染拡大予防のための出張禁止措置により、予定していた SWIM 情報を機内で無線接続した模擬 EFB 端末に表示する確認実験は実施できなかった。

図 1.4.45　AeroMACS－SWIM 連接飛行実験の概要

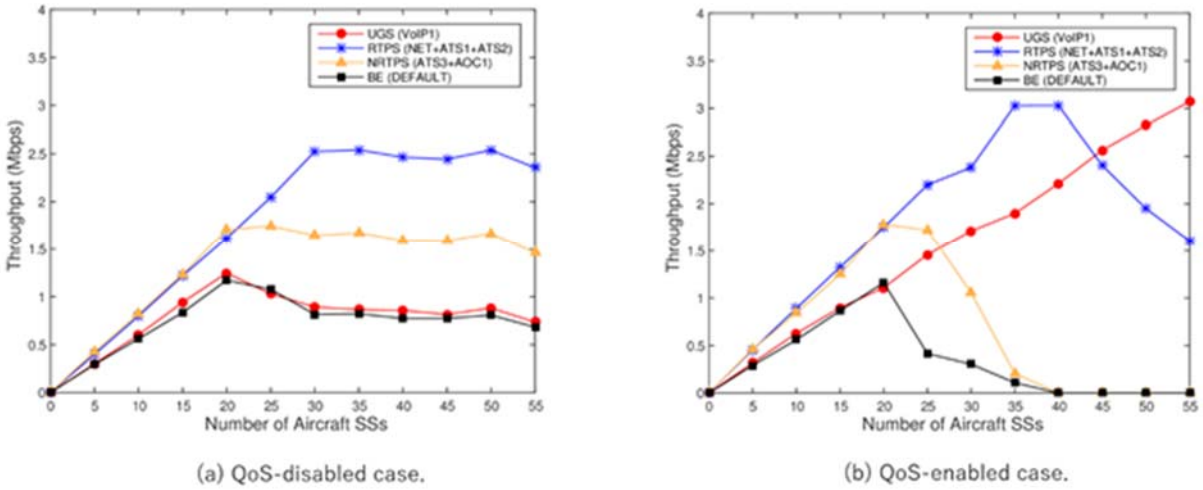


図 1.4.46　AeroMACS 上に QoS 機能を実装した場合の実験結果

AeroMACS を航空通信に用いた場合、技術的に QoS(Quality of Service：優先制御)機能を実装できる。例えば、サービスクラスを VoIP（音声管制通信）、ATS（データ管制通信）、AOC（運航用通信）、DEFAULT(その他)と設定すると、パイロット-管制機関間の通信である VoIP、ATS は特に優先度が高く、地上作業員が用いる DEFAULT は比較的優先度は高くない。このような、AeroMACS における航空サービス間の優先度の傾斜配分法を提案し、効果をネットワークシミュレーションによって評価した。図 1.4.46(a)に示す QoS 非実装状態では同じ通信を共有する機数が増えるとすべてのサービスの通信速度が低下するのに対し、図 1.4.46(b)では QoS の実装により機数が増えても VoIP と ATS の通信速度は他のサービスに比べ低下しないことが確認できた。よって航空安全上の重要な通信に関して優先権を与えることで、信頼性の高い通信を行えることが明らかになった。

□AeroMACS 等航空通信システムの規格策定活動参画

AeroMACS 等の航空通信システムの国際標準規格策定会議である ICAO CP（通信パネル）や FSMP（周波数管理パネル）、RPASP（遠隔操縦航空機システムパネル）の技術作業部会に参画し、AeroMACS に対する衛星からの RPAS 制御用無線信号との干渉に関する解析結果を報告し干渉許容基準値策定に貢献すると共に、様々な航空通信システムについての技術及び運用上の課題や現状について議論した。

成果の公表

□ 森岡 和行他, “QoS Validation tests for Aircraft Access to SWIM by Ground Taxiing Experiments,” The Third International Workshop on Service Assurance in System Wide Information Manegement, 2019 年 4 月.
□ 住谷　泰人,“安全にかかわる航空通信システムの動向,”日本信頼学会学会誌「信頼性」, Vol.41 No.3 2019.5 月号, 2019 年 5 月.
□ N. Yonemoto, “Consideration of AeroMACS in terference from satellite C2 link,” ICAO RPASP WG2 Working Papaer, June 2019.
□ K. Moarioka et al., “Demonstration results of Aircraft acces to SWIM by experimental Aircraft,” International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2019, November 2019.
□ X. Lu et al., “Air/Ground SWIM Integration to Achieve Information Collaborative Environment,” EIWAC 2019, September 2019.
□ K.Morioka, et.al, “Service assurance packet-scheduling algorithm for a future aeronautical mobile communication system,” Elsevier, Simulation Modelling Practice and Theory, March 2020.

5. 研究開発成果の社会への還元

【中長期目標】

5. 研究開発成果の社会への還元

研究所は、上記1. ～4. における研究開発成果を活用し、行政への技術的支援、他機関との連携及び協力等を通じて我が国全体としての研究成果を最大化するため、次の事項に取り組む。

【重要度:高】 行政への支援や他機関との連携及び協力等による研究所の研究開発成果の社会への還元は、国土交通省の政策目標の実現に不可欠であるため。

【中長期計画】

5. 研究開発成果の社会への還元

【年度計画】

5. 研究開発成果の社会への還元

（1）技術的政策課題の解決に向けた対応

【中長期目標】

（1）技術的政策課題の解決に向けた対応

上記1～4. における研究開発成果を、国が進めるプロジェクト等への支援、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や港湾の施設に係る技術基準及びガイドライン、航空交通の安全等に係る基準等の策定などに反映することにより、技術的政策課題の解決を支援する。このため、技術的政策課題や研究開発ニーズの把握に向けて、行政機関等との密な意思疎通を図るとともに、社会情勢の変化等に伴う幅広い技術的政策課題や突発的な研究開発ニーズに、的確かつ機動的に対応する。

【中長期計画】

（1）技術的政策課題の解決に向けた対応

①国が進めるプロジェクト等への支援

国等がかかえる技術課題について受託研究等を実施するとともに、国等が設置する技術委員会へ研究者を派遣する等、技術的政策課題の解決に的確に対応するとともに、国が進めるプロジェクトや計画等の実施に貢献する。さらに、国や公益法人等が実施する新技術の評価業務等を支援する。

②基準・ガイドライン等の策定

研究所の研究開発成果を活用し、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や港湾の施設に係る技術基準・ガイドライン、航空交通の安全等に係る基準等の策定や改定を技術的観点から支援する。

③行政機関等との密な意思疎通

研究計画の策定にあたっては、ニーズの把握のため行政機関等と密な意思疎通を図り、研究の具体的な内容を検討するとともに、実用化が可能な成果を目指す。

国、地方公共団体等の技術者を対象とした講演の実施、研修等の講師としての研究者の派遣や受け入れにより、技術情報の提供及び技術指導を行い、行政機関等への研究成果の還元を積極的に推進する。

その他、社会情勢の変化等に伴う幅広い技術的政策課題や突発的な研究開発ニーズに、的確かつ機動的に対応する。

【年度計画】

（1）技術的政策課題の解決に向けた対応

①国が進めるプロジェクト等への支援

国等がかかえる技術課題について受託研究等を実施するとともに、国等が設置する技術委員会へ研究者を派遣する等、技術的政策課題の解決に的確に対応するとともに、国が進めるプロジェクトや計画等の実施に貢献する。さらに、国や公益法人等が実施する新技術の評価業務等を支援する。

②基準・ガイドライン等の策定

研究所の研究開発成果を活用し、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や港湾の施設に係る技術基準・ガイドライン、航空交通の安全等に係る基準等の策定や改定を技術的観点から支援する。

③行政機関等との密な意思疎通

研究計画の策定にあたっては、ニーズの把握のため行政機関等と密な意思疎通を図り、研究の具体的な内容を検討するとともに、実用化が可能な成果を目指す。

国、地方公共団体等の技術者を対象とした講演の実施、研修等の講師としての研究者の派遣や受け入れにより、技術情報の提供及び技術指導を行い、行政機関等への研究成果の還元を積極的に推進する。

その他、社会情勢の変化等に伴う幅広い技術的政策課題や突発的な研究開発ニーズに、的確かつ機動的に対応する。

◆年度計画における目標設定の考え方

中長期目標及び中長期計画を受けて、年度計画においては、国等からの受託研究の実施、技術委員会や研修等への研究者の派遣等により、現場の技術的課題の解決へ対応するとともに、技術基準の策定や新技術の評価等の国の技術政策を支援することとした。

◆当該年度における取組状況

（1）国が進めるプロジェクト等への支援

①国等が抱える技術課題についての受託研究等の実施

当該年度においては、海上輸送の安全確保等の海事行政や、港湾、航路、海岸及び飛行場等の整備事業等の実施に関する技術課題に関し、国土交通省、同地方整備局、地方自治体等から 75 項目の受託研究をそれぞれの要請に基づき実施した。研究所が実施する受託研究は、国等が抱える技術課題の中でも、プロジェクトの成否を左右する重要なものが多く、既存の技術では十分な対応が期待できない研究開発等を伴うことに加え、公平性及び中立性も必要となるため、受託研究の成果が国や地域の発展、安全性の確保に果たしている役割は非常に大きい。

令和元年度に実施した受託研究の成果は、委託者である国等が実施する事業等に対し、設計条件の設定、解析手法・性能照査手法の改良・設定、事業計画や対策の検討における基礎資料、政策立

案・実施等に用いられるなど、様々な形で活用された。

②国等が設置する技術委員会への研究者の派遣等

技術課題を解決するために国等によって設置された各種技術委員会等の委員として、研究所の研究者のべ 214 名を派遣し、国等が抱える技術課題解決のために精力的に対応した。

表 1.5.1　行政等が設置する技術委員会への参加件数

研究所合計	214名
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	11名
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	131名
うち電子航法に関する研究開発等	72名

③国や公益法人等が実施する新技術の評価業務等の支援

研究所では、国土交通省（地方整備局等を含む）の要請に応じて、有用な新技術の活用促進を図るために「公共工事等における新技術活用システム（通称「NETIS」）」に登録する技術の現場への適用性等を評価することを目的として各機関が設置している、「新技術活用評価会議」に研究者を派遣し、技術支援を実施した。

一方、海事行政においては、我が国造船・舶用工業が日本に欠かせない産業として、地域貢献を含む経済成長や安全保障に貢献し続けるための方策について、総合的に検討するため設置された「海事産業将来像検討会」に研究者を派遣し、海事産業の将来像と、それを実現するために必要な施策について検討を行った。また、省エネ・脱炭素分野等における世界の将来動向を見極めつつ、我が国の競争優位性を一層高めるために必要な技術開発課題、市場への影響を踏まえた国際基準やインセンティブ制度の在り方等を包括的に検討し、それらを戦略的に推進するための「国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト」に参画し、国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップの策定に貢献した。さらに、国土交通省が海事生産性革命（i-Shipping）の一環として、IoT やビッグデータ等の先進的な技術を活用した研究開発事業に対して支援しており、その技術開発の審査を行う「先進船舶技術開発評価委員会」に研究者を派遣し、先進船舶技術に係る技術開発評価を支援した。

（2）基準・ガイドライン等の策定や改定への支援

研究所が有する最新かつ先導的な研究成果や技術的知見等について、国土交通省等の行政機関が策定及び改定を行う基準やガイドラインに反映させるため、基準等の策定及び改定作業に積極的に参画し、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や港湾の施設に係る技術基準・ガイドライン、航空交通の安全等に係る基準等の策定及び改定に貢献した。また、学会や関係機関が開催する講習会等において研究者が講師を務め、基準等の普及に協力するとともに、国土交通省等の関係機関に対して、基準・ガイドライン等に係る技術指導等を積極的に行った。

令和 2 年 3 月には、海上技術安全研究所研究員 4 名が、日本原子力学会から「放射線遮蔽ハンドブック」などのガイドライン発行にあたる長年の功績が評価され、日本原子力学会賞・貢献賞を受賞した。

表 1.5.2 基準・ガイドライン等への研究成果の反映

名　称	発行機関等	発行(改定)年月
2020 年 SOx規制適合舶用燃料油使用手引書（第 2 版）	国土交通省 海事局	令和元年 9 月
浮体式洋上風力発電施設技術基準改正	国土交通省 海事局	令和 2 年 3 月
浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン	国土交通省 海事局	令和 2 年 3 月
港湾の施設の点検診断ガイドライン	国土交通省 港湾局	令和 2 年 3 月
将来の航空交通システムに関する長期ビジョン	国土交通省 航空局	毎年ロードマップ改訂中

（3）行政機関等との密な意思疎通

①国、地方公共団体等の技術者を対象とした講演の実施

地方整備局等において、6 回の港湾空港技術特別講演会を国土技術政策総合研究所と共催し、研究者が研究所の最新の研究成果を報告することで、研究所が実施している港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究活動や成果についての情報を幅広く提供するとともに、研究ニーズなど、各地域における情報を収集した。当該講演会は一般にも公開し、合計で 750 名の参加者を得た。また、地方整備局等と連携して、研究成果の中からそれぞれの地方整備局等の管内で関心が高いテーマを選び、小規模な報告会を機動的に開催することで意思疎通を図っており、研究者が地方整備局等へ出張した機会などを利用して、研究成果の報告会を実施した。また、航空局等に対して、新しい航空通信技術の動向についての勉強会、航空交通のシミュレーション手法についての勉強会、GBAS・SBAS 勉強会を行い技術情報の提供等、研究成果の還元を積極的に実施し、技術の普及に努めた。

②研修等の講師としての研究者の派遣や受け入れ

港湾空港技術研究所に隣接する国土技術政策総合研究所において実施された国等の技術者に対する研修に、研修計画の企画段階から積極的に参画し、研究者のべ 34 名を 15 の研修コースに講師として派遣した。研修には合計で 383 名の参加者があった。また、航空保安大学校が実施している研修に講師派遣を行い、航空情報科、航空電子科を対象とし研修生 51 名に、技術開発と評価試験に関する講義を実施した。

（4）その他、技術的政策課題や研究開発ニーズへの対応

①放射性物質等海上輸送技術顧問会の技術顧問

国土交通省海事局に設置されて、放射性物質運搬船の技術基準の検討や建造される運搬船の技術基準適合審査や輸送容器の設計承認を実施している放射性物質等海上輸送技術顧問会に、研究所職員が技術顧問として参加し、審査に貢献した。

②航空局との連携推進会議

航空局における各種重要施策に関する研究開発について、研究開発の進捗状況の報告や新規研究テーマの提案、研究成果の活用状況等に関して報告・討議を行い、航空行政の計画やニーズの把握に努め、航空行政との連携を強化することが出来た。

③将来の航空交通システムに関する長期ビジョン（CARATS）における各種会議

将来の航空交通システムを計画的に構築するため CARATS 推進協議会及びその傘下に具体的施策等を検討する WG が設置されており、これら会議において、航空局を主体として航空会社、航空関係の機器製造企業、大学等が参加し、ロードマップの作成・検討等が進められている。当該会議にメンバーとして参加し、CARATS の実現に向けた支援をするするとともに航空ニーズの把握に努めた。

5. 研究開発成果の社会への還元

【中長期目標】

(2)災害及び事故への対応

沿岸域の災害における調査や、災害の発生に伴い緊急的に求められる技術的な対応を迅速に実施し、被災地の復旧を支援するとともに防災に関する知見やノウハウの蓄積を図り、今後の防災対策のための技術の向上に努める。また、沿岸自治体の防災活動の支援や沿岸住民への啓発活動など、ソフト面の事前対策強化も支援する。

さらに、海難事故等の分析及び適切な対策立案を支援する。

これらに加えて、突発的な災害や事故の発生時には、必要に応じて予算や人員等の研究資源の配分を適切に行い、機動的かつ的確に対応する。

【中長期計画】

(2)災害及び事故への対応

沿岸域の災害における調査や復旧支援を実施するとともに、防災に関する技術の向上や知見･ノウハウの向上を図り、災害対応マニュアルの改善等の取組を支援する。また、沿岸自治体の防災活動の支援や沿岸住民への啓発活動など、ソフト面の事前対策強化を支援する。

具体的には、国内で発生した災害時において、国土交通大臣からの指示があった場合、または研究所が必要と認めた場合に、被災地に研究者を派遣することにより、被災状況の把握、復旧等に必要な技術指導等を迅速かつ適切に行う。また、研究所で作成した災害対応マニュアルに沿った訓練を行うとともに、その結果に基づいて当該マニュアルの改善を行う等、緊急時の技術支援に万全を期する。

また、重大な海難事故等が発生した際には、研究所の持つ豊富な専門的知見を活用して事故情報を解析し、その結果を迅速に情報発信するとともに、詳細解析が必要な場合には、事故再現や各種状況のシミュレーションを行うことにより、国等における再発防止対策の立案等への支援を行う。

【年度計画】

(2)災害及び事故への対応

沿岸域の災害における調査や復旧支援を実施するとともに、防災に関する技術の向上や知見･ノウハウの向上を図り、災害対応マニュアルの改善等の取組を支援する。また、沿岸自治体の防災活動の支援や沿岸住民への啓発活動など、ソフト面の事前対策強化を支援する。

具体的には、国内で発生した災害時において、国土交通大臣からの指示があった場合、または研究所が必要と認めた場合に、被災地に研究者を派遣することにより、被災状況の把握、復旧等に必要な技術指導等を迅速かつ適切に行う。また、研究所で作成した災害対応マニュアルに沿った訓練を行うとともに、その結果に基づいて当該マニュアルの改善を行う等、緊急時の技術支援に万全を期する。

また、重大な海難事故等が発生した際には、研究所の持つ豊富な専門的知見を活用して事故情報を解析し、その結果を迅速に情報発信するとともに、詳細解析が必要な場合には、事故再現や各種状況のシミュレーションを行うことにより、国等における再発防止対策の立案等への支援を行う。

◆年度計画における目標設定の考え方

中長期目標及び中長期計画を受けて、国土交通大臣からの指示があった場合、または研究所が必要と認めた場合に、被災地に研究者を派遣して被災状況の把握や技術指導等を迅速かつ適切に行い、災害対策マニュアル等に基づく訓練を実施しつつ、重大な海難事故等が発生した際には、研究所の持つ豊富な専門的知見を活用して事故情報を解析し、結果の迅速な情報発信や事故再現及び各種状況のシミュレーションの実施により、国等における再発防止対策の立案等への支援を行うことで、自然災害及び事故への対応に万全を期するとともに、研究所の対応能力の向上を図ることとした。

◆当該年度における取組状況

（1）災害対応に係る体制

当研究所は、災害対策基本法（昭和 36 年法律第 223 号）に基づく指定公共機関としての指定を受けていることから、同法に基づく「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所防災業務計画」を策定し、理事長の判断によって災害総合対策本部を設置し、研究所長によって設置される災害対策本部が実施する災害応急対策及び災害復旧の支援等の業務を、災害総合対策本部が総括することで、研究所内の情報の共有化等を図る体制を整えるとともに、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所法（平成 11 年法律第 208 号）第 13 条に基づく国土交通大臣の指示への対応や、災害調査団の組織及び派遣など、当研究所が防災のためにとるべき措置を定めている。

また、同計画を補完するため、「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所業務継続基本計画」を策定し、都心南部直下地震（M7.3、東京 23 区の最大震度 7）を想定災害として、非常時優先業務や業務継続のための執行体制等、災害発生時における初動対処を定めている。

（2）被災地への研究者の派遣

①8月からの前線に伴う大雨による下関港海岸被災調査

令和元年 8 月に前線と湿った空気の影響により九州北部地方を中心に記録的な大雨となった。8 月 29 日、下関港海岸山陽地区のボートレース場護岸が被災し、レース場内の水位が低下していたためボートレース競技が中止となる被害が発生したとの情報により、国の要請を受けた港湾空港技術研究所は地盤研究領域の森川嘉之領域長と動土質研究グループ工代健太研究官の 2 名を 8 月 30 日に現地に派遣し、高度な技術力で被災現場を調査し結果を早々に国へ報告した。森川領域長は、国が設置した「原因究明等委員会」の委員として引き続き被災原因究明等に尽力した。

図 1.5.1　下関港海岸被災調査の様子

②台風第 15 号

令和元年台風第 15 号は、9 月 9 日に三浦半島付近を通過して東京湾を進み、強い勢力で千葉市付近に上陸した。台風の接近・通過に伴い、伊豆諸島や関東地方南部を中心に猛烈な風、猛烈な雨となった。9 月 10 日、国土交通本省から港湾空港技術研究所に対し、横浜港南本牧はま道路の橋梁に船舶が衝突し、橋梁上部工が破損したとの情報が入り、さらに、関東地方整備局から高潮により横浜港南本牧ふ頭の護岸が被災したとの情報が入り、港湾空港技術研究所は 9 月 10 日と 14 日に緊急災害対策派遣隊のべ 11 名を現地に派遣した。派遣隊員は、横浜港南本牧はま道路について、高度な技術力をもって被災現場を調査した。また、横浜港南本牧ふ頭の護岸及び背後地についても、ドローンの空撮により浸水範囲を、また現地踏査により浸水高さの状況等を派遣隊員の高度な技術力をもって調査し、横浜港南本牧はま道路の結果と併せて、調査結果を早々に国土交通本省及び関東地方整備局へ報告した。その後は国が設置した「横浜港南本牧はま道路復旧工法技術検討委員会」、「東京湾における高波対策検討委員会」、「横浜港護岸復旧工法検討会」の各委員として職員を派遣し、引き続き被災原因究明及び復旧等に尽力した。

図 1.5.2　台風第 15 号被災調査の様子

③台風第 19 号

令和元年台風第 19 号は、10 月 12 日に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した後、台風本体の発達した雨雲や台風周辺の湿った空気の影響で、静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。10 月 12 日、関東地方整備局から港湾空港技術研究所に対し、高潮により横浜港金沢地区の護岸が被災したとの情報が入り、港湾空港技術研究所は、10 月 13 日に緊急災害対策派遣隊4名を現地に派遣した。派遣隊員は、ドローンの空撮による被災現場の浸水範囲、また現地踏査により浸水高さの状況等を高度な技術力をもって調査し、調査結果を早々に国土交通本省、関東地方整備局及び横浜市へ報告した。また、被災した護岸の施設管理者である横浜市に対して、復旧等に当たっての高度な技術指導を実施するなど、被災地の早期復旧に大きく貢献した。

図 1.5.3　台風第 19 号被災調査の様子

（3）訓練の実施

我が国においては 11 月 5 日が「津波防災の日」として定められており、平成 27 年 12 月には国連総会において、11 月 5 日が「世界津波の日」として採択され、全国で「津波防災の日」周辺での地震・津波防災訓練等が実施されている。港湾空港技術研究所においては、大規模地震を想定して平成 31 年 4 月 26 日及び令和元年 10 月 3 日に地震発生時対応としての安否確認訓練、11 月 26 日に津波避難訓練を実施した。

図 1.5.4　津波避難訓練の様子

（4）重大な海難事故等への対応

我が国周辺海域では、船舶の衝突や座礁などの重大な海難事故が、依然として多数発生している。その原因を究明し、事故を未然に防止する対策を検討することは、安全・安心な社会の実現のための社会的要請となっており、政府においても平成 20 年 10 月に運輸安全委員会を設置して体制を強化した。こうした国の方針を踏まえ、研究所として重大海難事故発生時の即応体制を整えるべく、平成 20 年 9 月 1 日に海上技術安全研究所に「海難事故解析センター」を設置し、事故の分析と社会への発信を行うとともに、水槽試験やシミュレーションによる事故再現技術等を活用し、事故原因の解析を行っており、最近ではセンターの活動が報道機関に認知され、重大な海難事故発生とともに、新聞、テレビ等からの問い合わせ、取材が行われるようになった。

海難事故解析センターは、令和元年度、運輸安全委員会より旅客船衝突事故に係る実船計測及び解析、漁船転覆事項解析調査等 6 件を請負い、解析結果は同委員会の報告に活用され、事故原因究明に貢献した。

また、平成 28 年度から引き続き、運輸安全委員会の海難事故調査資料を用いてデータベースを作成し、ここから事故に寄与している要因を整理・体系化することにより、事故低減策効果を推定する共同研究を運輸安全委員会とともに実施した。

（3）橋渡し機能の強化

【中長期目標】

（3）橋渡し機能の強化

研究所の優れた技術シーズを社会に還元するために、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究、受託研究や人事交流、研究所からの研究者派遣等の取組を推進する。

また、研究所の大型試験設備、人材、蓄積された基盤技術を核として、外部との連携を促進する研究プラットフォームとしての機能強化を図る。

【中長期計画】

（3）橋渡し機能の強化

研究所の成果を社会に還元するため、研究所の有する優れた技術シーズを迅速に産学官で共有し、 企業等への技術移転に積極的に取り組む。また、大学等の有する学術的シーズを活かし、研究所単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出と活用拡大に努めるとともに、関連研究に取り組む研究機関の裾野の拡大を図る。

具体的には、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究、受託研究、公募型研究、政府出資金を活用した委託研究、研究者・技術者等との情報交換・意見交換、人事交流、研究所からの研究者派遣等の取り組みを行い、産学官における研究成果の活用を推進する。

また、研究所の大型試験設備、人材、蓄積された基盤技術等を核として、外部との連携を促進する研究プラットフォームとしての機能を強化する。

さらに、出資を活用し、民間の知見等を生かした研究開発成果の普及を推進する体制を構築する。

【年度計画】

（3）橋渡し機能の強化

研究所の成果を社会に還元するため、研究所の有する優れた技術シーズを迅速に産学官で共有し、 企業等への技術移転に積極的に取り組む。また、大学等の有する学術的シーズを活かし、研究所単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出と活用拡大に努めるとともに、関連研究に取り組む研究機関の裾野の拡大を図る。

具体的には、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究、受託研究や公募型研究、政府出資金を活用した委託研究、研究者・技術者等との情報交換・意見交換、人事交流、研究所からの研究者派遣等の取り組みを行い、産学官における研究成果の活用を推進する。

また、研究所の大型試験設備、人材、蓄積された基盤技術等を核として、外部との連携を促進する研究プラットフォームとしての機能を強化する。

◆年度計画における目標設定の考え方

中長期計画を踏まえ、研究所の成果を社会に還元するため、研究所の有する優れた技術シーズを迅速に産学官で共有し、企業等への技術移転に積極的に取り組むこととした。

◆当該年度における取組状況

革新的技術シーズから事業化へと繋ぐ取り組みとして、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究、受託研究や公募型研究、研究者・技術者等との情報交換・意見交換、人事交流、研究所からの研究者派遣等の取り組みを行い、産学官における研究成果の活用を推進した。また、研究所の大型試験設備、人材、蓄積された基盤技術等を核として、外部との連携を促進する研究プラットフォームとしての機能を強化した。

（1）橋渡し機能の整備・強化

研究所の有する優れた技術シーズを産学官で共有し、企業等への技術移転に積極的に取り組み、大学等の有する学術的シーズを活用して研究所の研究開発成果を社会に還元するため、以下の規程等を適切に運用した。

・国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所知的財産ポリシー
・国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所受託等業務取扱規程
・国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所共同研究取扱規程

（2）産業界・学界との共同研究等

研究所単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出と活用拡大を目指し、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究を実施した。

これらにより、産業界・学界における研究成果の活用促進を図るとともに、研究所が有さない技術を補完し、研究成果の質の向上、実用化を加速している。具体的な獲得件数は表 1.5.3 のとおりとなっている。

表 1.5.3　産業界・学界との共同研究等の実施件数

研究所合計	170件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	58件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	70件
うち電子航法に関する研究開発等	42件

船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等において、我が国の海事産業の持続的発展に不可欠な産学官の人材の糾合と技術の統合を推進し、戦略的アプローチに基づくクラスターの結集が不可欠な共通的・基盤的な研究課題に取り組み、研究成果の最大化を目指しているが、そのパイロットプロジェクトとして発足した「実海域実船性能評価プロジェクト」（※）の活動として令和元年度は、10 月 16 日に第 5 回運営会議を当所において開催した。

※「実海域実船性能評価プロジェクト」（OCTARVIA Project）とは、船舶が実際に運航する波や風のある海域の中での速力、燃料消費量等の性能（実海域性能）を正確に評価する方法を開発する共同研究プロジェクトであり、世界の海上輸送の高度化に貢献しつつ、我が国の海事クラスターの国際競争力を強化する基盤となる技術をより高めることを目的とする。

図 1.5.5　実海域実船性能評価プロジェクトの概要

図 1.5.6　実海域実船性能評価プロジェクト第5回運営会議

港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等において、港湾空港技術研究所は、海洋・港湾構造物の設計に関する専門知識向上、技術の発展・普及並びに「港湾の施設の技術上の基準」の円滑な運用に寄与することを目的として、国土交通省　国土技術施策総合研究所、一般財団法人沿岸技術研究センター及び海洋・港湾構造物設計士会と四者で「連携・協力」に関する協定書を平成 30 年 12 月 7 日に締結している。この協定に定める「連携・協力事項」に基づき、令和元年 12 月 16 日に専門知識や設計技術の向上を目的として、勉強会を開催した。

図 1.5.7　勉強会の様子

電子航法に関する研究開発等において、日立国際電気株式会社等との総務省競争的資金を用いた共同研究「90GHz 帯協調制御型リニアセルレーダーシステムの研究開発」は、滑走路等上の異物（FOD）は空港安全の課題の一つであり、ミリ波レーダーを用いた滑走路監視システムの開発を行っている。特に、大規模空港等の複数滑走路に対応できる干渉波除去、周波数共用システム開発を実現するため、電子航法研究所では複数のアンテナ情報を用いた 2 次元位置推定技術に関して担当し、FOD の未検知率低減のための新しい計測手法を開発した。また、これらの成果は海外に輸出できる国産の技術として、マレーシア国クアラルンプール空港に実証試験機を配置し、第 2 滑走路を用いて運用評価を行っている。

また、アルウェットテクノロジー株式会社等との総務省競争的資金を用いた共同研究「セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発」は、近年、世界各地で喫緊の課題となっている、ソフトターゲットを標的としたテロ等のセキュリティ対策のシステムの研究開発である。従来のセキュリティ検査機の速度を向上し、歩行者を直接検査できる新しい検査システムを開発するため、検知距離 2～5m を目標に、人が所持する不審物を衣服の上からイメージング画像を取得するイメージャ及び、検知距離 15m を目標に不審物を所持する人からの反射特性情報を取得するレーダーを開発し、ミリ波を用いた不審物センシング・イメージング技術を確立する。電子航法研究所では 2 周波対応アクティブ型イメージャの研究開発に関して担当し、研究開発を進めるとともに、メーカーと緊密に連携し、迅速なシステム開発の推進が期待されている。

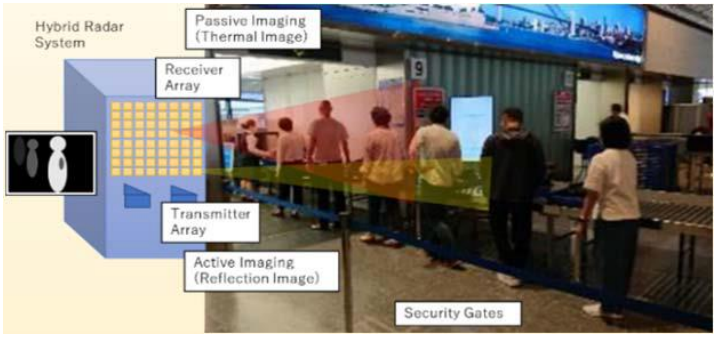


図 1.5.8　システム概念図

（3）産業界からの受託研究

研究所の有する優れた技術シーズを活用するため、令和元年度は表 1.5.4 のとおり受託研究を獲得した。獲得した受託研究を着実に実施し、確実に民間企業等の産業的なニーズに応えることで、研究所の成果を社会へ還元できた。

また、関連研究に取り組む研究機関の裾野の拡大を図るため、研究所では公募型研究への取り組みも行っている。さらに、各研究所のホームページにおいても受託研究等の案内を実施しており、積極的に成果の普及に取り組んでいる。

表 1.5.4　産業界からの受託研究の獲得件数

研究所合計	140 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	111 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	0 件
うち電子航法に関する研究開発等	29 件

（4）学界との公募型研究

大学等の有する学術的シーズを活かし、研究所単独ではなし得ない優れた研究開発成果を創出すること、および関連研究に取り組む研究機関の裾野の拡大を図るため、研究所では公募型研究の取り組みを行っている。令和元年度は電子航法研究所において表 1.5.5 のとおり 1 件の研究課題提案を募集し、所内外の委員で構成される公募型研究等評価委員会にて採択を行った。実施した公募型研究の成果は電子航法研究所研究発表会等を通じて普及することとしており、令和元年 6 月開催の研究発表会にて、平成 30 年度に実施した案件に関する発表 2 件が行われた。令和元年度に実施した 2 件についても来年度の講演・発表を予定している。

また、さらなる裾野拡大を図るべく、令和 2 年度も公募型研究の取り組みを継続する予定である。そのための準備として、公募する研究課題を所内から募り、所内ヒアリングと並行して所内委員による内部評価を実施した。所内からの 1 件の研究課題提案があり、研究の有効性が認められたため、公募を実施予定である。

表 1.5.5　公募型研究一覧

件名	相手方
UPR 環境下における空域編成への数理最適化の適用に関する研究	筑波大学

（5）研究者・技術者との情報交換・意見交換

大学の有する学術的なシーズや民間企業の有する産業的なニーズを把握し、積極的な情報共有を図るため、国内外の研究者や技術者等との意見交換会を実施したほか、各研究所の発表会、講演会、出前講座、ワークショップなどの実施を通じて、研究開発等に関する広範な意見交換を行い、研究ニーズや国際的な最新動向の把握等を図った。研究ニーズや国際的な最新動向の把握、研究連携等は非常

に重要であり、ここで得られた知見などは、今後、研究所がハブとなって関係者へ還元されることが考えられる。

（6）人事交流

研究所の有する優れた技術シーズを産学官で共有するための促進策の一環として、行政機関、大学、独立行政法人、民間企業などと人事交流を行っており、強力な技術交流が育まれた。令和元年度は表 1.5.6 のとおり実施した。

表 1.5.6　人事交流実績件数

研究所合計	88 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	16 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	49 件
うち電子航法に関する研究開発等	23 件

具体的には、各研究所の特性を活かした人事交流を進めており、国 38 名、民間企業等 19 名との人事交流を行った。特に、研究者が、研究所と外部機関等の間で、それぞれ雇用契約関係を結び、各機関の責任の下で業務を行うことが可能となる仕組みである「クロスアポイントメント制度」を導入した。令和元年度においては、研究者 3 名をクロスアポイントメント対象者とし、研究者が組織の壁を越えて活躍することを通じて、研究所の技術シーズが円滑に外部機関等に橋渡しされ、新たなイノベーションが創出されることが期待される。

さらに、客員教授、非常勤講師等として延べ 31 名の研究者を 17 大学に派遣し、高等教育機関における人材育成に貢献した。このうち、13 大学へ派遣した 18 名は、研究所と大学院が協定を締結した上で、研究所の研究者が大学院の客員教授・准教授等に就任し、研究所内等で大学院生の指導を行う「連携大学院制度」に基づいている。

この他に、国内からの研修生・インターン生 87 名の受け入れを実施した。これは各研究所の存在感の向上のみならず、若手育成の一環として関連業界の技術力の底上げに資するものである。また、研修生・インターン生はもとより、任期付研究員等に対してもその能力開発の機会を提供し、関係分野の人材育成に貢献した。当研究所は、国土交通省地方整備局等と密接に連携しており、社会資本整備や災害対応等の現場に赴き、その具体的な課題解決の任にあたることも多く、現場に根ざした研究の機会に恵まれていることから、任期付研究員等についても正職員と同様、大学等の研究室のみでは得難い現場における研究の機会を与え、その能力の開発に努めた。

（7）外部委員会への参画（研究者派遣）

研究成果の活用の推進を図るため、研究所として外部委員会への委員、講師等委嘱の受け入れ、研究者の派遣を行っており、令和元年度は表 1.5.7 及び表 1.5.8 のとおり実施した。このような継続的な取り組みにより、当研究所は産学官の間に立って橋渡しを行うことができる国立研究開発法人となっている。

表 1.5.7 外部委員会への参画件数（行政設置の委員会は除く）

研究所合計	396 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	161 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	185 件
うち電子航法に関する研究開発等	50 件

表 1.5.8 研究者派遣の実施件数

研究所合計	101 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	4 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	95 件
うち電子航法に関する研究開発等	2 件

特に、電子航法に関する研究開発等においては、将来の航空交通システムに関する長期ビジョン（CARATS）を推進する協議会および傘下の会議体へ参加し、CARATS の実現に向けた検討・議論を積極的に実施した。会議体の一つである研究開発推進分科会では当研究所の職員がリーダーを務めており、航空交通分野における研究開発の推進に大きく貢献している。

また、昨今大きな期待が高まっている無人航空機（UAV；Unmanned Aerial Vehicle、いわゆるドローンを含む）の安全運航と社会実装推進に必要な技術開発と環境整備の実現を目的に活動する JUTM（Japan UTM Consortium、日本無人機運行管理コンソーシアム）の幹事を務めており、産官学の連携による日本の航空業界の推進に重要な役割を果たしている。各種学会の委員活動も活発に対応しており、電子情報通信学会では通信ソサイエティの宇宙・航行エレクトロニクス研究会、マイクロ波フォトニクス研究会、エレクトロニクスシミュレーション研究会の委員長、幹事、幹事補佐、専門委員、顧問を務めた。特に、2019 年 8 月に所内で開催された電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会では各セッションで座長を行い主導的な役割を果たすという、特筆すべき貢献を行った。また、日本航空宇宙学会の機器電子情報システム部門及び航空交通管理部門の委員長、委員を務め、第 57 回飛行機シンポジウムおよび年会講演会等の企画を実施した。

さらに、上記の他、表 1.5.9 に示すとおり、船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術及び港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する各種規格・基準の策定作業に研究者が委員として参画し、研究成果の活用・普及に努めた。

表 1.5.9 各種規格・基準の策定への参画事例

規格・基準等に係る委員会等の名称	発行機関等
・船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する事例	
危険物等海上運送国際基準検討委員会 同委員ー特殊貨物部会(部会長)	(一社)日本海事検定協会
危険物等海上運送国際基準検討委員会 危険物 UN 対応部会 危険物等海上運送国際基準検討委員会 危険物運送要件部会	(一社)日本海事検定協会
危険物等海上運送国際基準検討委員会 ばら積み液体危険物部会	(一社)日本海事検定協会
「防火検討会」委員 「防火検討会/RORO 旅客船火災安全 WG 会議」委員 「防火検討会及び電気設備分科会/陸電装置に関する基準検討 WG 会議」委員 「救命及び防火分科会(防火関係)」委員	(一財)日本船舶技術研究協会
船舶の合理的な基準策定のためのデータ活用に関する調査研究(グローバルストラテジープロジェクト)委員	(一財)日本船舶技術研究協会
原子力規格委員会 放射線管理分科会	(一社)日本電気協会
真空形成法及びサンドイッチ構造の基準見直しに関する検討委員会	日本小型船舶検査機構
目標指向型復原性基準に関する調査研究(目標指向型復原性プロジェクト)委員	(一財)日本船舶技術研究協会
真空形成法及びサンドイッチ構造の基準見直しに関する検討委員会	日本小型船舶検査機構
防火検討会及び電気設備分科会/陸電装置に係る基準検討 WG 会議	(一財)日本船舶技術研究協会
危険物等海上運送国際基準検討委員会 特殊貨物運送部会	(一社)日本海事検定協会
船舶の省エネ性能向上のための技術基準の検討に関する調査研究(省エネ性能向上技術基準検討プロジェクト)	(一財)日本船舶技術研究協会
航海設備近代化に伴う関連基準に関する調査研究委員会	(一財)日本船舶技術研究協会
甲板機器及びぎ装分科会/小型高速艇アルミニウム艤装品設計基準規格原案作成 WG 委員	(一財)日本船舶技術研究協会
ガス燃料船・新液化ガス運搬船基準の策定プロジェクト	(一財)日本船舶技術研究協会
危険物等海上運送基準検討会 ばら積み液体危険物運送要件検討ワーキンググループ	(行政)国土交通省 海事局 検査測度課
・港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する事例	

海岸保全施設維持管理マニュアル改訂検討委員会	農林水産省農村振興局、農林水産省水産庁、国土交通省水管理・国土保全局、国土交通省港湾局
海岸保全施設維持管理マニュアル改訂作業部会（研究会）	（株）建設技術研究所
2019 年度 ISO/TC156/nWG10 委員会	ステンレス協会
TC138/SC3/WG8 委員会	日本プラスチック工業連盟・高耐圧ポリエチレン管協会
調査研究部門/コンクリート委員会/＜委託＞258 電気化学的防食工法　設計施工指針改訂小委員会	（公社）土木学会
調査研究部門/コンクリート委員会/＜委託＞261 石炭灰混合材料の利用拡大に向けた設計施工指針小委員会	（公社）土木学会
調査研究部門　コンクリート委員会　102 規準関連小委員会	（公社）土木学会
コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針普及委員会	（公社）日本コンクリート工学会
プラスチック管材の長期内圧強度に関する JIS 原案作成委員会	日本プラスチック工業連盟
コンクリート用高炉スラグ微粉末 JIS A 6206 改正原案作成委員会	鐵鋼スラグ協会
地盤改良マニュアル改訂編集委員会	（一社）セメント協会
地盤設計・施工基準委員会　WG6　杭の鉛直載荷試験基準改訂 WG	（公社）地盤工学会
石積護岸の維持管理マニュアル（案）検討ワーキンググループ	（一社）海洋調査協会
事前混合処理工法技術マニュアルの改訂	（一財）沿岸技術研究センター
直営向け港湾の施設の点検診断および維持管理計画策定ガイドライン検討委員会	（一財）沿岸技術研究センター
「沿岸技術ライブラリーNo.27「港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル」の改訂」	（一財）沿岸技術研究センター
洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説の見直しに関する設計技術ワーキンググループ	（一財）沿岸技術研究センター
ゴム防舷材耐久性運営・審査基準作成委員会	（一財）港湾空港総合技術センター

（8）外部連携機能促進としての研究プラットフォームの機能強化

研究所の保有する大型試験設備、人材、蓄積された技術等をベースとして、前述の（1）～（7）を通じて外部との連携を促進するとともに、各研究所の特性に応じた取り組み行うことにより、研究所との関係

が深く、様々な連携が見込める国内及び海外の大学や研究機関等に対して複数の共同研究を締結すること等が実施しやすくなり、研究プラットフォームとしての機能強化を図った。

具体的な取り組みとしては、海上技術安全研究所においては、三鷹オープンイノベーションリサーチパーク構想として、様々な人・情報・資金が集積する国際的な研究所（未来創造の拠点）を目指し、企業、大学、国立研究開発法人、国、海外諸機関などとの研究・技術に関する交流や連携の促進により、学術と産業双方に関する情報が得られる環境を整備し、さらなる交流や連携促進を図った。

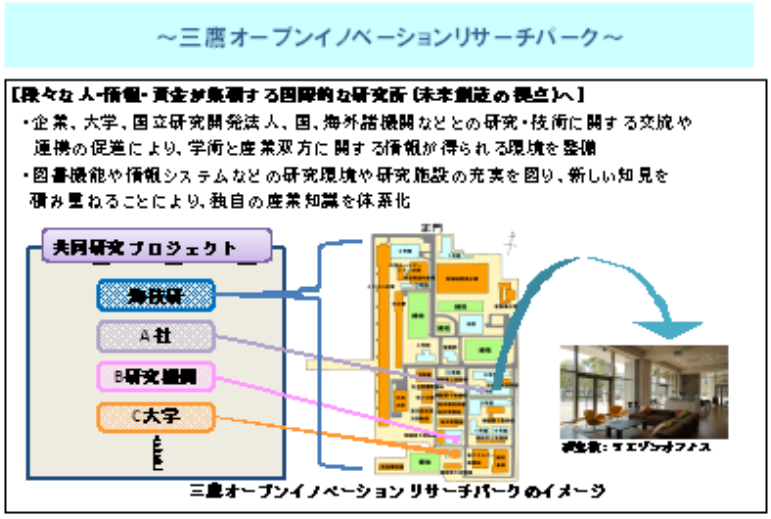


図 1.5.9　三鷹オープンイノベーションリサーチパーク

令和元年度は、我が国造船業の国際競争力強化に向けて、当所が事務局となり、民間企業や大学等21 機関で構成される「次世代造船設計システム研究会」を設置した。研究会は計 4 回開催され、以下の通り、今後の取り組みについて提言をまとめ、各種イベントにて発出した。

1.設計の長期化、設計コストアップを抑えるため、新船型船の図面共有に向けて、図面に記載される名称等種々の標準化（JIS 化）

2.アライアンスを組む際に、標準化を踏まえた情報連携基盤（データの相互連携）、調達・部品管理を円滑に行うための BOM 等の構築

3.手戻りを低減して追加のコストを抑え、生産効率・品質の向上のために、PDCA サイクルの管理を確実にする。そこで、初期段階における精緻、最適な生産計画、コスト算出及びモニタリングによる予算管理、分析・評価を踏まえた改善を行う工場デジタルツインの構築

図 1.5.10　次世代の設計造船システム構想

また、国土交通省が目標と定める 2025 年までの自動運航船の実用化に向けた取組みとして、民間 16 社で構成されている共同事業「操船支援機能と遠隔からの操船等を活用した船舶の実証事業」において、タグボートを使用した遠隔操船実船試験の実証機器に対するリスク評価と実船試験結果の評価を実施した。

本事業は、今後、本試験で明らかになった船陸間通信における課題等を克服してシステムの改良を進め、内航船での実証試験の開始を目指し、将来的には、大型船への技術展開が期待される。

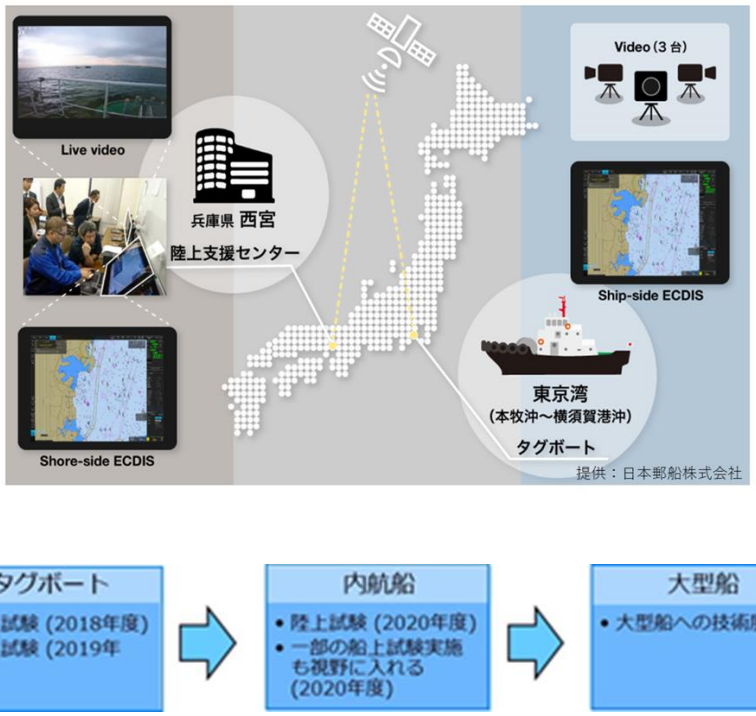


図 1.5.11　遠隔操船実船試験の概要

さらに、平成元年度においては、産官学の有識者をメンバーとする「海上技術安全研究所経営協議会」を開催し、研究所の現状と今後の進むべき道についての議論を行った。

これにより、「最先端の研究で未来の産業に貢献する」という理念を設定し、これを具現化するため、「オープンプラットフォーム化」及び「最先端研究の追求」という2本の大きな柱を掲げ、今後の進むべき道を提言した。

さらに、海事産業界への人材育成として、大学における造船専門教育カリキュラムの減少や造船系大学卒の就業者が減少をしている現状を踏まえ、若手研究員及び若手技術者が船舶海洋工学の基礎知識を短期集中で取得することを目的とした「船舶海洋工学研修」を令和元年 6 月に実施した。研修は海上技術安全研究所の所在する東京都三鷹市のほか、サテライト会場を全国 6 か所（横浜市、相生市、尾道市、今治市、佐伯市、長崎市）で、テレビ会議システムの利用により同時受講し、あわせて 64 名の外部の方が参加した。

その他、海洋基本計画（平成 30 年 5 月 15 日閣議決定）等において、海洋立国を支える専門人材の育成が求められており、このような状況を踏まえ、積極的に海洋開発の人材育成に貢献するため、海洋開発に関連する基礎知識を習得することを目的とした、「海洋開発研修」を昨年に引き続き令和元年 12 月に実施した。海洋開発分野は、AUV や DP（Dynamic Positioning ：動的位置保持）船の利活用が拡大しつつある転換期を迎えており、このような新たな分野への挑戦は我が国の海事産業に高い波及効果をもたらすものと期待されている中、あわせて、14 名の外部の方が参加した。

図 1.5.12　海洋開発研修風景

また、令和元年 8 月には、横浜・みなとみらい博物館で開催された「海のプロフェッショナルのミニトーク」に当所研究員が講演を行い、「Shell　Ocean　Discovery　Xprize」に出場し、見事準優勝に輝いた苦労話などを紹介した。

NPO 法人三鷹ネットワーク大学推進機構主催の「みたかサマーラボ」においては、将来科学者を目指す小中学生を対象にした講座を開催した。

図 1.5.13　みたかサマーラボ風景

（4）知的財産権の普及活用

【中長期目標】

（4）知的財産権の普及活用

知的財産権については、有用性、保有の必要性等を検討し、コストを意識した管理を行いつつ、産業界への普及、活用の促進に努めるとともに、技術のグローバル化に向けた国際特許の取得も視野に入れた戦略的な取組を推進する。

【中長期計画】

（4）知的財産権の普及活用

知的財産権については、有用性、保有の必要性等を検討し、コストを意識した管理を行いつつ、出資の活用も含めて普及活動に取り組み知的財産の活用促進を図る。また、技術のグローバル化に向けた国際特許の取得も視野に入れた戦略的な取組を推進する。

具体的には、特許権を保有する目的や申請にかかる費用等を十分に吟味する等、特許を含む知的財産全般についてのあり方を検討しつつ、適切な管理を行う。また、研究所のホームページの活用等により保有特許の利用促進を図る。

【年度計画】

（4）知的財産権の普及活用

知的財産権については、有用性、保有の必要性等を検討し、コストを意識した管理を行いつつ、産業界への普及や活用の促進を図る。また、技術のグローバル化に向けた国際特許の取得も視野に入れた戦略的な取組を推進する。

具体的には、特許権を保有する目的や申請にかかる費用等を十分に吟味する等、特許を含む知的財産全般についてのあり方を検討しつつ、適切な管理を行う。また、研究所のホームページの活用等により保有特許の利用促進を図る。

◆年度計画における目標設定の考え方

知的財産権について、グローバル化を踏まえ戦略的に取得するとともに、維持コストを意識した管理、普及及び活用に努めることとした。

◆当該年度における取組状況

（1）特許出願等の取り組み

特許の出願・取得については、褒賞金の支払い等による出願のインセンティブ付与や、ホームページでの特許情報の公表など、知的財産に関する取り組みを進め、全所的に特許出願のための環境整備に努めた。一方で、特許申請に係る費用等について十分に吟味したうえで、知的財産管理活用委員会等において、事業性（特許が活用され、特許収入が期待できる）と特許性（新規性、発明の困難性などの特許が認められる一般的条件）を主な判断要素として出願等について審議し、事業等への活用可能性についても厳しく検討するなど、厳格な手続きを経て特許の出願等を行った。この結果、令和元年度における特許の出願件数は 39 件であった。

表 1.5.10 特許取得等の状況（令和元年度）

出願	審査請求	特許取得
39 件	34 件	38 件

（2）特許の適切な管理・活用の取り組み

①知的財産の活用

令和元年度に活用された知的財産のうち、有償活用件数については、特許実施が 13 件、著作権（プログラム）の使用許諾に関する実施が 56 件であった。詳細は表1．５．１１のとおりである。収入については、特許料収入は 57 百万円、著作権収入は 50 百万円の収入があった。

表 1.5.11 令和元年度に活用された当研究所が保有する知的財産

No	件名（知的財産の種類）	登録日	登録番号等
	・船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等		
1	外板展開方法、外板製造方法、これらの方法の指導用コンピュータプログラム及びこれらの方法の指導用画像記録媒体【特許権】	H21.1.23	4247787
2	外板展開方法及び外板製造方法【特許権】	H22.10.1	4596394
3	波浪中抵抗増加低減ステップを備えた船体構造【特許権】	H24.10.12	5103687
4	波浪中抵抗増加低減ステップを備えた船体構造【特許権】	H24.10.12	5103689
5	小型ダクト付きプロペラ及び船舶【特許権】	H25.3.29	5230852
6	耐衝突性に優れた船体構造及び船体構造の設計方法【特許権】	H28.3.4	5893231
7	船舶まわりの定常粘性造波流場計算プログラム（NEPTUNE）【著作権】	―	―
8	非構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）【著作権】	―	―
9	GUIを用いた船体周り構造格子生成プログラム（HullDes）【著作権】	―	―
10	格子性能機能を備えた最適化プログラム(AutoDes)【著作権】	―	―
11	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）【著作権】	―	―
12	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）【著作権】	―	―
13	波浪中での非線形船体運動及び波浪荷重推定プログラム（NMRI-WⅡ）【著作権】		

14	要目最適化プログラム(HOPE Light)【著作権】	―	―
15	日本近海の波と風データベース表示プログラム【著作権】	―	―
16	DLSA-Basic【著作権】	―	―
17	波浪中での非線形船体運動及び波浪荷重推定プログラム(NMRI-W Lite)著作権】	―	―
18	船体パラメータ及び船体性能推定プログラム(UNITAS)【著作権】	―	―
19	衝突危険度評価プログラム(CollisionRiskCalc)【著作権】	―	―
20	日本近海の波と風データベース表示プログラム	―	―
21	Global winds and waves 表示プログラム(GLOBUS)【著作権】	―	―
22	汎用披露解析プログラム(FATRUN/SPECTRUN)【著作権】	―	―
23	Jupiter-DLSA-Basic【著作権】	―	―
24	蓋板切り直し、曲げ型作成プログラム曲率線展開プログラム	―	―
	・港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等		
1	浸透固化処理工法【特許権】	H17.3.11 H17.5.27 H22.1.22 H23.1.14 H29.6.30 H30.8.17	3653551 3681163 4441613 4662116 6165194 6385018
2	コンクリート舗装版裏込めグラウト材	H25.7.12	5311584
3	安心マンホール	H23.12.16 H25.3.22	4885605 5223079
4	RSプラス工法【特許権】	H25.1.25 H29.2.24	5181239 6093923
5	静的圧入締固め工法【特許権】	H17.8.19 H19.6.1 H21.5.1 H21.9.4 H24.11.2 H25.6.7 H25.6.28 H26.8.22	3709420 3963883 4300367 4368884 5119381 5283287 5300094 5598999
6	クレーン【特許権】	H23.3.18 H26.5.23	4705224 5548627
7	FLIPver. 7【著作権】	―	―

	・電子航法に関する研究開発		
1	電波装置【特許権】	H18.8.25	3845426
2	受動型SSR装置【特許権】	H14.2.15	3277194
3	補正情報生成プログラム等一式【著作権】	―	―
4	GIPTA 向けソフトウェア【著作権】	―	―
5	洋上空域における衝突危険度推定ソフトウェア【著作権】	―	―
6	マルチラテレーション目標追尾平滑処理ソフトウェア【著作権】	―	―
7	経路損失測定ソフトウェア【著作権】	―	―

※1 つの著作権及び特許権で、複数の相手方に実施している場合があるため、著作権等の実施件数と表 1.5.11 に記載された著作権等の項目数は一致しない。

②特許出願の奨励

研究者に特許出願のインセンティブを付与するため、令和元年度分の褒賞金及び実施補償金として 18,901 千円を支払い、特許等出願の意欲の向上を図った。

③知財研修の実施

本研修は、研究開発の初期段階から知財戦略を構築して計画的な出願を行い、強く役に立つ特許を創出し、円滑に知財サイクルを回して行くことを目的として毎年実施しており、平成 29 年度より研究所全体の研修として実施している。令和元年度においては、三鷹地区及び久里浜地区で 2 回に渡り実施した。研修は 2 部構成であり、第1部は広く知財の基礎的事項の解説を行いつつ、各研究所における知的財産に関する基本戦略や取り組み状況、諸外国と日本の比較等を含め紹介を行った。第2部では、社会実装へ繋がる取り組みをテーマに、国内の他の研究機関や、うみそら研における社会実装への取り組みや、実海域実船性能評価プロジェクトにおける知財分析と戦略検討に関する取り組みなどについて紹介した。多くの参加者で活発な質疑応答が行われた。

上記の研修を通じて、特許創出を意識した研究の実施について、更なる意識の向上を図った。

図 1.5.14　知財研修の受講状況

④保有特許の利用促進

令和元年度は、研究発表会や出前講座などを利用した展示、広報活動を行った。当研究所の研究開発分野に関連する専門的な企業等へ積極的にアピールすべく、研究成果を研究所の研究発表会・講演会や、マイクロウェーブ展2019などの外部の展示会等へ出展するとともに、研究所で取得している特許をホームページや独立行政法人工業所有権情報・研修館の開放特許情報データベースに公開するなど、当研究所の知財の普及に努めた。その結果、官庁及び民間から多数の問い合わせを受けた。

更に、研究成果の製品化を目的とした共同研究・開発の枠組みを継続し、積極的な知財の普及に努めた。

図1.5.15　マイクロウェーブ展2019における電子航法研究所展示ブースの様子
（令和元年11月27日～11月29日）

また、有償・無償を問わず、公開を実施あるいは想定している技術計算プログラムについては、紛争への備えとして著作物登録を進めており、平成19年度に「液状化による構造物被害予測プログラム(FLIP改良版)」及び「高潮津波シミュレータ(STOC改良版)」の登録を行った。「液状化による構造物被害予測プログラム(FLIP改良版)」は、平成19年度より販売を開始して平成28年4月から最新版「FLIP ROSE ver.7シリーズ」が販売されている。また、「高潮津波シミュレータ(STOC改良版)」は研究所が単独で開発したものであるが、公益に資するため、津波に関する部分を「津波シミュレータT-STOC」としてソースプログラム及び入出力データを平成28年7月から引き続きホームページにおいて公開した。

（5）情報発信や広報の充実

【中長期目標】

（5）情報発信や広報の充実

研究発表会、講演会、広報誌やパンフレット等の発行、研究所の一般公開や施設見学の実施、ホームページ掲載等の多様なツールを活用し、研究開発成果の迅速な社会還元や共同研究の促進のための行政等に向けた情報発信や、研究活動の理解促進のための一般国民に向けた広報を積極的に行う。

【中長期計画】

（5）情報発信や広報の充実

研究発表会、講演会、出前講座、研究所報告等の発行等により、研究業務を通じて得られた技術情報や研究開発の実施過程に関する様々な情報を、主に行政等の利活用が想定される対象に向けて積極的に発信し、研究成果の普及、活用に努める。

また、研究成果を分かりやすく説明・紹介する広報誌やパンフレット等の発行、研究所の一般公開、施設見学の実施、ホームページ掲載等の多様なツールを通じた広報周知活動を、主に一般国民に向けて効率的かつ積極的に行い、研究所の取組に対する理解の促進に努めるとともに、科学技術の普及啓発及び人材育成の促進に寄与する。

【年度計画】

（5）情報発信や広報の充実

研究発表会、講演会、出前講座、研究所報告等の発行等により、研究業務を通じて得られた技術情報や研究開発の実施過程に関する様々な情報を、主に行政等の利活用が想定される対象に向けて積極的に発信し、研究成果の普及、活用に努める。

また、研究成果を分かりやすく説明・紹介する広報誌やパンフレット等の発行、研究所の一般公開、施設見学の実施、ホームページ掲載等の多様なツールを通じた広報周知活動を、主に一般国民に向けて効率的かつ積極的に行い、研究所の取組に対する理解の促進に努めるとともに、科学技術の普及啓発及び人材育成の促進に寄与する。

本年度期間中に研究発表会を8回以上、一般公開及び公開実験を8回以上実施する。

◆年度計画における目標設定の考え方

中長期計画を踏まえ、研究成果の幅広い普及を図り、研究所の取組に対する理解の促進に努めるとともに、科学技術の普及啓発及び人材育成の促進に寄与するため、最新の研究を説明・紹介する発表会や講演会の開催、研究所の施設の一般公開等を計画するとともに、広報紙の発行やホームページの内容の充実を図ることとした。

◆当該年度における取組状況

研究業務を通じて得られた技術情報や研究開発の実施過程に関する様々な情報について、各種研究発表会等を通じて積極的に発信し、研究成果の普及、活用に努めた。

また、研究成果を分かりやすく説明・紹介する広報誌やパンフレット等の発行、研究所の一般公開、施設見学、ホームページ掲載等の多様なツールを通じて広報活動を積極的に行い、研究所の取組に対す

る理解の促進に努め、科学技術の普及啓発及び人材育成の促進に寄与した。

令和元年度中に研究発表会を 10 回、一般公開及び公開実験を 7 回実施し、数値目標を達成した。

（1）研究発表会、講演会、出前講座、研究所報告等

①海上技術安全研究所研究発表会

令和元年 7 月 18 日、東京都三鷹市の海上技術安全研究所において、第 19 回研究発表会を開催し、研究所に対する社会的要請や今後の研究所の取組や海洋開発、安全確保、基盤技術開発及び環境保全など海事関係者に関心の高いテーマを中心に、「GHG 削減」、「海洋開発」、「デジタルツイン」、「AI」、「自律船」の 5 分野から 15 本の研究の成果を紹介した。また、来場者との双方向、対話型の展示プログラムとして、最新の研究を紹介するポスターセッションを開催した。さらには、研究施設公開及びミニトークを実施し、ミニトークにおいては、国際コンペンション「Ocean Discovery Xprize」で準優勝した「Team KUROSHIO」のメンバーであった研究員がチームでの活動や、決勝戦の様子などを披露した。研究発表会には、328 名の聴講者があった。

図 1.5.16 海上技術安全研究所発表会の様子（令和元年 7 月）

②海上技術安全研究所講演会

令和元年 11 月 6 日、東京都三鷹市の海上技術安全研究所講堂において、第 19 回講演会を開催し、第 1 部を特別講演、第 2 部を講演会参加者への主要研究施設の見学、公開実験、第 3 部を研究講演とする構成とし、「海事産業におけるデジタル革命」をテーマに、様々な切り口から海事産業のデジタライゼーションに係る最新の動向について講演を行った。

また、当年度は、初の試みとして、「低硫黄燃料油」をテーマとしたランチョンセミナーを実施し、さらに「深層学習による他船船影検出・位置推定システム」の公開実験を行った。講演会には、212 名の聴講者があった。

図 1.5.17　海上技術安全研究所講演会の様子（令和元年 11 月）

③港湾空港技術講演会

研究所が実施している港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する調査、研究及び技術開発の成果を公表し、その普及に努めることを目的に、令和元年 10 月 11 日に東京都の建築会館ホールにおいて、国土技術政策総合研究所と協力して港湾空港技術講演会を開催した。講演会は、当研究所から 3 研究領域、国土技術政策総合研究所から 2 研究部がそれぞれ研究の課題と展望について報告した。講演会には 150 名の聴講者があった。

図 1.5.18　港湾空港技術講演会の様子（令和元年 10 月）

④港湾空港技術地域特別講演会

港湾空港技術地域特別講演会は、研究所が実施している港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究活動や成果についての情報を幅広く提供するとともに、研究ニーズなど、各地域における情報を収集することを目的として、国土技術政策総合研究所及び地方整備局等との共催で開催している。令和元年度は、全国 5 地域において開催し（沖縄県 8 月 6 日 125 名、北海道 11 月 13 日 150 名、神奈川県 11 月 18 日 117 名、香川県 11 月 19 日 121 名、新潟県 11 月 25 日 87 名）、600 名の聴講者を得た。

図 1.5.19　港湾空港技術地域特別講演会の様子（左から那覇、高松、札幌）

⑤港湾空港研究シンポジウム

令和 2 年 1 月 17 日に横須賀市内において、「港湾空港研究シンポジウム」を国土技術政策総合研究所と共同で開催し、約 100 名の聴講者を得た。シンポジウムは、当研究所から 1 名、国土技術政策総合研究所から 1 名が研究成果を報告し、北海道科学技術大学の白石悟教授から「エネルギーと港湾の役割」と題する特別講演があった。

⑥電子航法に関する研究発表会

令和元年 6 月 6 日から 6 月 7 日にかけて、研究所内の講堂において航空交通管理に関する研究（10 テーマ）、航法システムに関する研究（4 テーマ）、監視通信システムに関する研究（8 テーマ）について発表を行った。今回は、公募型研究の成果発表として外部の大学から 3 件のポスター展示が行われた。また、うみそら研の分野横断的な研究について、海技研・港空研から発表を行った。2 日間で延べ 371 名の来場者を得た。

図 1.5.20 電子航法に関する研究発表会の様子（令和元年 6 月）

⑦海上・港湾・航空技術研究所の 4 年間の取組の報告

令和元年度は、今中期計画の中間に当たり、大和理事長（当時）が 4 年の任期を終えることから、中長期計画の前 4 年間の海上・港湾・航空技術研究所の活動の成果を取りまとめ公表するため、令和元年 12 月 10 日に都内 JA 共済ビル カンファレンスホールにおいて成果報告会を開催し、統合後の研究所としてのこれまでの歩みと成果、今後の展望等について報告した。本報告では、3 研究所統合による海上・港湾・航空技術研究所発足後、「世界的な研究成果でイノベーションを駆動する研究所」という共通認識化の徹底といった方針の概要、国の総合的な施策への対応、新しい研究課題への総合的な取り組み、組織及び業務運営、外部研究開発能力・資源の活用についてその活動内容が示された。次に、3 研究所の所長から、各研究所の活動報告と今後の展望について示された。最後に、「うみそら研の今後」と題して研究所のポテンシャルの維持向上、統合後の変化、成長及び成果、うみそら研が今後目指す姿や展開の方向性についてパネルディスカッションを実施し、質疑応答を行った。

これらの報告資料及び、質疑応答内容は、以下の URL に公表している。

https://www.mpat.go.jp/event/event_20191210.html

表 1.5.12 その他の講演会等内訳

	開催日	件名	概要
	H31.4.11	中田 圭一 教授講演会	情報工学、認知システム工学、ソーシャルメディアおよびヒューマンコンピュータインタフェースの分野で有名な科学者である、英国レディング大学中田教授を招いて、前述の分野に関連して同教授と海技研研究者が講演した。
	R1.10.4	メタンハイドレートに関するセミナー	大阪大学菅原 武助教授を招いて、「最近のハイドレート研究について」のセミナーを行い、メタンハイドレートに関する研究についての意見交換を行った。
	R1.6.11	気象庁航空交通気象センター首都圏班勉強会	電子航法研究所における、気象及び運航に関する将来の研究課題の方向性について、意見交換を行った。
	R1.9.19	CARATS オープンデータ活用促進説明会	運航効率を評価するための燃料消費量推定モデルについて講演した。
	R1.11.27	CARATS オープンデータ活用促進フォーラム	航空交通シュミレーションによる到着管理システムの有効性検証について発表した
	R2.2.12	令和元年度航空無線技術交流会	デジタル技術により新しいタワーシステムの開発について講演した。

表 1.5.13 出前講座及び特別講演内訳

	開催日	対象	概要
	R1.8.10	横浜みなと博物館	・海のプロフェッショナルのミニトーク 「私が水中ロボットを仕事にするまで」
	R1.8.20	三鷹ネットワーク大学	・みたかサマーラボでの講演 「海の波と船の揺れ」
	R11.30	日本小型船舶検査機構	・復原性の理論、復原性規則の概要
	R2.2.26	日本航空宇宙工学会	・海洋宇宙産業連携推進検討会での講演 「船舶分野の地球温暖化ガス排出規制と海洋情報の利用」
	R2.1.22	航空保安大学校	・航空機の地上走行情報とその活用・航空機監視システムとマルチラテレーションの高度化

図 1.5.21　航空保安大学校出前講座の様子（令和2年1月）

（2）広報誌、パンフレット、一般公開、施設見学、ホームページ掲載等

①パンフレット

海上・港湾・航空技術研究所のパンフレットを作成し、関係者に配付することで、研究所の体制や役割について積極的な周知に努めた。

②技術情報誌

港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する技術情報誌「PARI」について、「研究活動が国民の暮らしの向上にどのような役割を果たしているのか」を分かり易く説明・紹介するため、毎号ごとに各研究テーマの特集記事を選定し、研究成果が実際に活用されている状況、研究所の実験施設及び現地観測施設などを紹介した。令和元年度においては、第 35 号（平成 31 年 4 月）で「「豊かな海」の回復をめざす海洋環境研究の挑戦」、第 36 号（令和元年 7 月）で「地震の後、港湾施設利用の可否を迅速かつ適切に判断するために」、第 37 号（令和元年 10 月）で「新たな視点も取り入れていまだ山積する津波の課題に挑む!」、第 38 号（令和 2 年 1 月）で「洋上風力発電の促進を技術面から支えるために」について特集した。

また、研究所を訪問・見学される方々にも「PARI」を紹介し、研究所の研究活動に理解を示して頂くことに努めるとともに、「PARI」をホームページへ掲載し、経済的で効果的な情報発信に努めた。

③年次報告

港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する毎年度の研究活動について、より多くの方々に分かり易く紹介するため、2019 年度分の活動内容を簡潔にとりまとめた「年次報告 2019」（日本語版）並びに「PARI Annual Report 2019」（英語版）を作成し、関係機関へ配布するとともにホームページで公開し、航空分野においても、航空に関する研究活動について年報を発行し、ホームページで公開した。

④研究所の一般公開、公開実験

研究所における特定の研究テーマについての研究内容を海事関係の専門家の方に理解いただき、また、来場の研究者との意見交換等を行うため、見学者を公募して行う実験公開を次表のとおり 4 回開催し、合計 192 名の見学者があった。

なお、3 月に予定した公開実験は新型コロナウイルス感染防止のため、延期した。

表 1.5.14　公開実験の実績

	時期	テーマ
1	令和元年 8 月	船体構造デジタルツインの検証のための波浪中模型実験
2	令和元年 10 月	船舶の省エネ技術高度化を目指し、空気潤滑法の低減のための 36m 長尺模型船による高速曳航試験
3	令和元年 10 月	海底鉱物資源開発にかかる解析手法を検証するための模型試験
4	令和元年 11 月	深層学習による他船船影検出・位置推定システムの公開実験

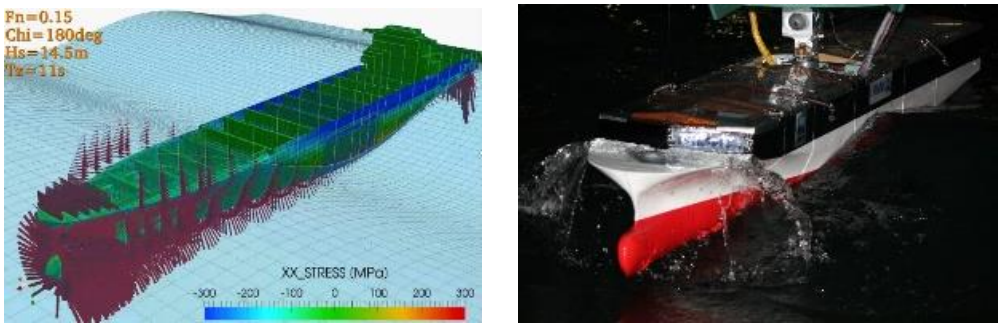


図 1.5.22　船体構造デジタルツインの検証公開実験の様子（令和元年 8 月）

科学技術週間の行事の一環として、東京都三鷹市から調布市にかけて隣接する海上技術安全研究所、電子航法研究所、及び交通安全環境研究所が合同で、研究施設の一般公開を平成 31 年 4 月に開催した。当日は、水槽を使った波のダンスショー、魚ロボット及び燃料電池船の実演やフライトシミュレータで着陸を疑似体験、準天頂衛星・みちびきの電波を受信して絵を描くイベントなど一般の方にもわかりやすい展示や体験などを行った。平成 31 年度の来場者数は、過去最高の 9,080 名を記録、来場者数の増加は一般の方々の当研究所の日頃の研究活動に対する理解や知名度向上の顕れであり、今後も引き続き、広報活動の一環として継続して行く予定である。

図 1.5.23　海上技術安全研究所、電子航法研究所の一般公開の様子（平成 31 年 4 月）

令和元年 7 月に、港湾空港技術研究所において、主に子供や家族連れを対象として、体験しながら研究所について学ぶことができる研究所施設の一般公開を実施した。具体的には、「巨大津波を体験しよう！」「電気を作ろう！」「ドローンシミュレータで学ぼう！」などの体験型の公開実験、「海の生き

物の働きを観察しよう！」「チリメンモンスター探し！」などの各種イベントや、「建設ロボット展示/超音波ってすごいね!」などの展示を実施し、当日は870名の来所があった。研究所の活動の紹介においては、基礎から最先端までの研究活動の成果が国民生活にどのように役立っているか、関わっているかをできるだけ分かり易く説明するように心がけた。この際、海上技術安全研究所及び電子航法研究所の研究についても展示及び担当職員の説明によってPRを行った。

図 1.5.24　港湾空港技術研究所の一般公開の様子（令和元年 7 月）

⑤施設見学

政府、自治体、民間企業、学校や一般の方々等、研究所施設の見学希望者に対応するため、施設見学を積極的に実施した。施設見学については単なる施設の紹介にとどまらず、施設に関連した研究を紹介することを通して、研究所の活動内容や研究者の社会的位置付けを広く理解してもらう絶好の機会と捉え、極力、希望者を受け入れるよう努めた。また、見学者からの質問には、分かり易い解説、説明で答えるなど見学者の理解を深めるように心がけた。この結果、令和元年度における一般公開を除く施設見学者は、99 件（1,412 名）であった。

⑥ホームページ

令和元年度においては、海上・港湾・航空技術研究所のホームページを更新して（http://www.mpat.go.jp/index.html）、組織紹介、取り組み、各種計画や規程等、公開情報の充実を図った。各研究所においても、研究組織、研究成果、研究施設、セミナー・シンポジウム等の開催、各研究所のイベントやニュース、特許情報等の様々な情報を引き続きリアルタイムに提供し、効率的かつ効果的な情報発信を推進した。

⑦キャッチコピー

海上・港湾・航空技術研究所設立から4年となり、これまで、研究分野の異なっている3研究所の統合に取り組んできた。今般、うみそら研のイメージを対外的にわかりやすく示すとともに、3研究所の一体感醸成をより促進できるよう、海上・港湾・航空技術研究所の基本理念を更に訴求力のあるものにするキャッチコピー

『青い海広い空　交通の未来を創る　うみそら研』

を決定した。

（3）その他の情報発信

①図書館の一般開放

研究所内の図書館に所蔵している歴史的または学術研究用の重要で貴重な資料について、広く一般の方にも活用してもらえるように、各種規程類及び一般利用者の研究所内への入退所の手続き等の各種規程類を整備し、図書館の一般開放を引き続き実施した。なお、当該図書館は公文書等の管理に関する法律に基づく歴史資料等保有施設として内閣総理大臣より指定されている。

図 1.5.25　うみそら研図書館の外観

②メールマガジンでの情報発信

研究所の活動内容等をより迅速に紹介するため、メールマガジンとして、海技研メールニュースを配信した。

③小学生の職場体験、課外事業及び校外学習活動への協力

特別教育活動及びキャリア研修の協力の観点から、学生の社会科体験学習を受け入れるなど、積極的に取り組んだ。令和元年度は、近隣の三鷹市の中学生 4 名を対象に施設見学・体験学習を行った。

図 1.5.26　三鷹市中学生による体験学習等の様子（令和元年 6 月）

④三鷹ネットワーク大学の主催のみたかサマーラボ

三鷹ネットワーク大学とは、教育・研究機関の地域への開放と、地域社会における知的ニーズを融合し、民学産公の協働による新しい形の「地域の大学」を目指し設置されたものである。海上技術安全研究所は市民向け講座に講師として研究員を派遣した。

令和元年度は、8 月 20 日に科学者を志す小中学生を対象とした「みたかサマーラボ」に研究者を派遣し、地域貢献と研究活動の理解促進に寄与した。

図 1.5.27　みたかサマーラボの様子（令和元年 8 月）

⑤スーパーサイエンスハイスクール（SSH）事業への協力

文部科学省において、先進的な理数系教育を実施する高等学校等を「スーパーサイエンスハイスクール（SSH）」として指定のうえ支援する事業を実施しており、神奈川県立横須賀高等学校の生徒を対象として、令和元年 5 月に港湾空港技術研究所に来所した同校の教員と生徒に対し、研究課題作成に係る指導や研究所の施設見学等を実施し、生徒の研究所等の関心の向上を図った。

図 1.5.28　横須賀高等学校のスーパーサイエンスハイスクール（令和元年 5 月）

⑥メディアを通じた情報発信

メディアを通じた情報発信のため、テレビやプレス取材に積極的に協力した。令和元年度のテレビ放映については、一般公開、各種水槽、AUV、大型水路を用いた実験等を紹介した番組が放映された。また、研究所の諸活動について新聞や専門紙などに 184 回の記事掲載があった。

⑦港湾及び海洋土木技術者のためのROV等水中機器類技術講習会

本技術講習会は、我が国の最前線にある技術者による国内外の技術動向から今後普及が見込まれる技術についての知識とその実際の運用方法について、港湾空港技術研究所が進めている最新の水中機器類の研究開発状況とあわせて、講演と実際の機器の操作体験を通じた学習をすることを目的として、令和元年 12 月に土木学会建設用ロボット委員会と共同で開催した。平塚新港において、日本海洋株式会社及び株式会社東陽テクニカから「ソナー類の体験講習」、広和株式会社及び株式会社キュー・アイから「小型 ROV の体験講習」を行い、平塚商工会議所会館において、当研究所から

「水中施工への音響プロファイラの適用試験」及び「桟橋上部工点検用 ROV の開発」と題する講義を行った。また、東京大学の横田裕輔講師から「海洋音響工学関連の最新の研究動向」、東京大学の巻俊宏教授から「海中ロボット関連の最新の研究動向」、東京大学の松田 匠未氏から「海中ロボットの活用「AUV のドッキングシステム」」の他、五洋建設(株)、(株)東陽テクニカ、日本海洋(株)、(株)キュー・アイ及び東洋建設工業(株)から講義を行った。

図 1.5.29 平塚新港での体験講習（令和元年 12 月）

⑧電子航法研究所紹介マンガ

電子航法研究所紹介マンガ「知れば知るほどおもしろナットク！ 電子航法研究所ってこういうトコロ」の日本語版・英語版を各種イベントで配布した。

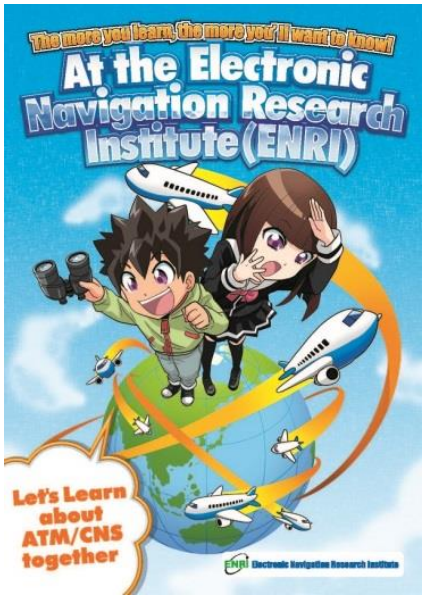


図 1.5.30 電子航法研究所紹介マンガ

⑨空の日イベント

国土交通省の航空普及活動として毎年実施される「空の日」の記念事業について、令和元年 10 月 6 日に開催された空の日仙台空港祭 2019 に参加し、電子航法研究所紹介マンガの配布や、電子航法研究所研究紹介パネルの展示を実施して一般の方々に向けて効率的に情報発信を行った。

図 1.5.31　空の日イベントの様子（令和元年 10 月）

⑩2019 年山縣勝見賞論文賞受賞

令和元年度 7 月に、海事交通文化の研究及び普及・発展への貢献が認められ、永遠の課題である船舶衝突予防の問題を海上での情報通信技術、クラウドサービスなどを駆使して考察した論文が「山縣勝見賞」を受賞した。

⑪その他の展示会等への参加

以下の展示会等に参加し、ブース出展やパネル展示による積極的な情報発信を行い、研究成果の普及に努めた。

	展示会等	実施場所・時期	概要
1	バリシップ 2019	今治市・テクスポート今治 令和元年 5 月	出展社プレゼンテーションで「実船目線で見た温室効果ガス(GHG) 排出量削減」を紹介。「特別セミナー」では、「GHG 削減に向けた海技研の取り組み」を紹介し、ブース展示では、船舶用燃料電池システムの模型や実海域省エネ船首 COVE の模型、また船舶用省エネダクト WAD の模型を展示した。
2	海洋都市横浜うみ博 2019	横浜市・大さん橋ホール 令和元年 7 月	省エネ付加物（COVE・WAD）の模型及び燃料電池運搬船模型の展示、海技研の主な研究の説明（パネル展示）、海技研の紹介（映像）などを出展した。

3	海と産業革新コンベンション　うみコン 2020	横浜市・横浜市開港記念会館 令和 2 年 1 月	「洋上風力発電の取り組み」、「自律型水中ロボット（AUV）の今後の展望」、「デジタル技術による船舶省エネ化の将来展望　」について講演を行った。また、参加者と直接対話する初めての試み「エクスチェンジ・ミーティング」も好評だった。

6. 戦略的な国際活動の推進

【中長期目標】

6. 戦略的な国際活動の推進

研究所は、上記1. ～4. における研究開発成果を活用し、国際基準・国際標準策定への積極的な参画や海外機関との連携を通じて我が国の技術及びシステムの国際的な普及を図る等の戦略的な国際活動を推進するため、次の事項に取り組む。

【重要度:高】 研究所による研究開発の成果を活用して戦略的に国際活動を推進することは、国土交通省の政策目標実現に不可欠であるため。

【中長期計画】

6. 戦略的な国際活動の推進

【年度計画】

6. 戦略的な国際活動の推進

(1)国際基準化、国際標準化への貢献

【中長期目標】

(1)国際基準化、国際標準化への貢献

世界的な交通の発展及び我が国の国際競争力の強化に貢献するため、国際海事機関(IMO)や国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機関(ISO)等における我が国提案の国際基準・国際標準化を視野に入れた、戦略的な取組を進める。具体的には、国土交通省に対する技術的バックグラウンドの提供等の我が国提案の作成に必要な技術的支援や、国際会議の参加等を行うことにより、我が国提案の実現に貢献する。

【中長期計画】

(1)国際基準化、国際標準化への貢献

研究成果の国際基準・国際標準化を目指して研究計画を企画立案するとともに、国際的な技術開発動向を踏まえつつ研究を実施することで、IMO 、国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機構(ISO)等への国際基準案等の我が国の提案作成に積極的に関与する。

また、我が国の提案実現のため、国際会議の審議に参画し、技術的なサポートを実施するとともに、会議の運営にも積極的に関与する。

加えて、主要国関係者に我が国提案への理解醸成を図るため、戦略的な活動を行う。また、我が国が不利益を被ることがないよう、我が国への影響及び適合性について技術的な検討を行うなど、他国の提案についても必要な対応を行う。

【年度計画】

(1)国際基準化、国際標準化への貢献

研究成果の国際基準・国際標準化を目指して研究計画を企画立案するとともに、国際的な技術開発動向を踏まえつつ研究を実施することで、IMO、国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機構(ISO)等への国際基準案等の我が国の提案作成に積極的に関与する。

特に本年度は、海上交通の分野においては、係船装置に関する国際基準策定に貢献する。

また、我が国の提案実現のため、本年度計画期間中に国際基準及び国際標準に関する国際会議にのべ63(人回)以上参画し、技術的なサポートを実施するとともに、会議の運営にも積極的に関与する。

加えて、主要国関係者に我が国提案への理解醸成を図るため、戦略的な活動を行う。また、我が国が不利益を被ることがないよう、我が国への影響及び適合性について技術的な検討を行うなど、他国の提案についても必要な対応を行う。

◆年度計画における目標設定の考え方

世界的な交通の発展が期待されていることに伴い、交通機関の安全性の確保がとりわけ重要視されている。また、我が国運輸産業の国際競争力強化が喫緊の課題とされており、国際社会における主導的立場を維持し

ていくため、我が国提案の国際基準・国際標準化を視野に入れた、戦略的な取組を進める。

上記の国際的な課題を解決するため、研究成果の国際基準及び国際標準化を目指して、国際会議への参加、さらには会議運営に参画することにより、我が国提案への理解醸成を図り、戦略的な活動を行う。また、他国の提案については、我が国が不利益を被ることがないよう、我が国への影響及び適合性について技術的な検討を行うなどの対応を行う。

◆当該年度における取組状況

・研究成果の国際基準・国際標準化

安全、円滑かつ効率的な交通の実現には国際基準・国際標準化作業が不可欠である。当研究所では国際海事機関(IMO: International Maritime Organization)，国際民間航空機関(ICAO: International Civil Aviation Organization)，国際標準化機構(ISO: International Organization for Standardization)，国際電気標準会議(IEC: International Electrotechnical Commission)，国際原子力機関(IAEA: Interational Atomic Energy Agency)，国際航路協会(PIANC)をはじめとする国際基準化、標準化に関わる会議へ積極的に参加している。令和元年度においては、目標である 63 人を上回るのべ 121 人が参加し、国際的な発展に資するとともに、我が国の国益を確保するための活動を行っている。

海上技術安全研究所は、我が国提案の技術的バックボーンを提供し、各国提案に対して技術的観点から意見を提示できる研究機関の地位を確立しており、IMO での会議が開催される度、国内で開催される事前の検討会議、IMO への提案文書作成、IMO での審議への参加等においてほとんどの場面で高い技術的知見の提供により、政府を支援した。提案文書は、単なる提案にとどまらず、会議での議論のベースとしてことごとく将来の条約制定・改正や総会決議に影響するものであるため、科学的根拠に基づく客観的な情報に立脚したものである必要がある。海上技術安全研究所は、我が国では中立的立場で国際的に信頼の高い情報を提供できる唯一の機関として、令和元年度は、各種委員会に対して合計 28 件の我が国提案文書を作成し、あるいは、作成に主たる役割を果たした。

電子航法研究所は、ICAO の技術標準案を検討する専門家会議(パネル会議)にパネルメンバーとして参加する航空局を支援し、研究成果を活用して技術標準作成に必要なデータや試験評価に関する技術資料を提供するとともに、作業部会等の国内開催を支援している。また、ICAO のみならず、RTCA や EUROCAE(米国／欧州の非営利団体。航空に関する技術基準作成や提言等を行う。)における活動に対しても積極的に参加し、国際標準の策定に貢献している。令和元年度は、これらの機関について 35 件の技術資料の発表を行った。

また、航空輸送を支える航空管制システム(通信・航法・監視・航空交通管理)は、国際標準を適用したシステム開発や運用が必要となる。研究成果を活用し産業の発展や社会ニーズに応えるため、電子航法研究所は国際標準化の取り組みをより一層強化することとした。令和元年１２月１日に我が国の電子航法分野の国際標準化活動を促進するため、「国際標準化センター」を設立した。この国際標準化センターでは、下記の運営方針のもと、国際標準化情報の収集、蓄積、提供に組織的に取り組む予定である。

① 航空管制システムの国際標準化活動の推進を支援する。
　・国際標準化情報の収集・蓄積・提供、国際標準化会議の日本開催
　・国際的な要求を共有し研究課題の創出、研究成果の活用
② わが国の航空管制システムの仕様等の国際標準への適合性評価を支援する。
　・国際標準化に関する情報の発信、コンサルティング
③ 航空管制システムの国際標準に関わる人材育成を支援する。
　・標準化活動を通しての人材育成・人材間のネットワークの構築

(ア)IMO における活動

IMO は、海事に関する安全・環境に関わる国際基準を検討する機関であり、種々の専門会議において技術的裏付けに基づき妥当性のある基準を目指して審議が行われている。基本的に政府からの出席者が日本代

表を務め、関係する政府担当者や関係団体、メーカー等の専門的知見をもって日本提案を作成し、その実現に努めている。令和元年度においては、海上技術安全研究所は 28 本の提案文書等の策定に貢献した(参考:我が国提案文書の総数は 58 本)。

また、海上技術安全研究所は、日本提案を実現させるために、該当する専門分野の研究者を積極的に IMO に出席させており、令和元年度は、のべ 22 名を IMO の関係会議(IMO の議題にリンクして他の国際機関で開催された会議を含む。)に出席させた。中でも、継続的に出席している研究者1名は、船舶設備小委員会(SSE)の議長を務めるとともに、貨物運送小委員会(CCC)の IMSBC コード(国際海上固体ばら積み貨物規則)関係作業部会の議長を務めるなど、我が国代表団の中心的存在として我が国意見の国際規則・基準への反映に寄与するとともに、IMO における基準策定全般に大きな貢献を果たした。また、他の研究者1名は、これまでの研究の成果が国際的に評価され、IMO から船級協会が策定する船体構造規則の監査員として指名され、DNV-GL の規則の監査を実施した。今後も、公平かつ合理的な規則策定への貢献が期待されている。

・自動運航船に係る規則の分析に貢献

世界各国において自動運航船(Maritime Autonomous Surface Ships:MASS)の実用化に向けた取り組みが進行中であることを踏まえ、IMO では、2018 年 5 月の第 99 回海上安全委員会(MSC 99)において、現行基準の改正の要否や新たに必要となる基準等についての検討(Regulatory Scoping Exercise:RSE)を開始することになった。2018 年 12 月の第 100 回海上安全委員会(MSC 100)では、RSE のフレームワークが合意され、第一段階では自動運航船の運航を妨げる、若しくは修正・確認が必要になりうる IMO 規則の特定を行い、第二段階では自動運航船の運航を実現するために必要な条約等の改正、新規策定等の具体的な方法を決定するための分析を行うことが合意された。また、海上人命安全(SOLAS)条約については関係するコード等を含めた章毎に、他の条約については条約毎に、計 21 の項目に分けて、規則の分析を有志国で分担して行うこととなり、当所はこのうち 6 項目 について主担当となった。

そして、当所職員は、第一段階の検討結果を 2019 年 9 月に開催された自動運航船に関する会期間作業部会(ISWG/MASS 1)で報告するとともに、第 102 回海上安全委員会(MSC 102)に向けて、第二段階の分析結果をまとめた提案文書案を作成し、規則の分析に貢献した。

・国際海上固体ばら積み貨物コードの普及および改正への貢献

令和元年 9 月に開催された第 6 回貨物運送小委員会(CCC 6)において、当所職員は国際海上固体ばら積み貨物(IMSBC)コードに係る事項に関する起草部会(Drafting group)の議長を務め、モデルコース案の仕上げに貢献した。加えて CCC 6 会期中の 9 月には IMO において、国土交通省海事局及び中国交通運輸部海事局との共催により、モデルコースの普及を目的とした国際ワークショップ(25 の国及び機関から約 60 名が参加)を開催した。その結果、CCC 6 はモデルコースを承認した。

・当所職員が SSE 小委員会議長を任期満了まで務めた

IMO では、委員会・小委員会の議長は原則 5 年までとし、1 年を超える延長は認めないことが合意されている。当所職員は、2014 年 3 月に開催された IMO 船舶設備小委員会(Sub Committee on Ship Systems and Equipment)の第 1 回会合(SSE 1)において 2104 年の議長に選出され、その後 2019 年末まで、6 年間議長を勤め上げた。2019 年 6 月に開催された第 101 回海上安全委員会(MSC 101)では、各国から謝辞が述べられ、報告書にも謝辞が記載された。

表 1.6.1 IMO に係る会議参加数(22 人)

会議名	会議の目的	参加延べ人数
第 5 回温室効果ガス中間作業部会(ISWG-GHG 5))	GHG 削減方法の審議	1
第 74 回海洋環境保護委員会(MEPC 74)	義務要件の採択等、EEDI 関係の審議	2

第 101 回海上安全委員会（MSC 101）	船舶設備小委員会の報告等、GBS 構造基準関係、自動運行船関係の審議	3
第 1 回自動運航船中間作業部会（ISWG/MASS 1）	自動運航船の規則の枠組み整理	2
第 6 回貨物運送小委員会（CCC 6）	固体ばら積み貨物運送基準等、ガス等低引火点燃料船コードの審議	3
第 25 回汚染危険評価作業部会（ESPH 25）	IBC コード改正案の審議	1
第 6 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 6）	GHG 削減方法の審議	1
第 6 回 FSA エキスパートグループ（FSA-EG 6）	Ro-ro 旅客船火災安全関係、研究の評価の審議	1
第 7 回船舶設計・建造小委員会（SDC 7）	非損傷時復原性関係の審議	2
第 7 回汚染防止・対応小委員会（PPR 7）	ブラックカーボン排出規制、EGCS ガイドライン関係、IBC コード改正関係の審議	3
第 7 回船舶設備小委員会（SSE 7）	救命設備関係等、火災安全関係の審議	3

(イ)ISO 及び IEC における活動

令和元年度は ISO の会議にのべ 13 名が出席し、また、ISO の TC 8（船舶及び海洋技術）のプロジェクトリーダーを務めており、小委員会の運営、規格策定作業に貢献した。

・当所職員がプロジェクトリーダーを務めた ISO 規格の制定

当所職員がプロジェクトリーダーを務めてきた ISO 15738:2019「膨脹式救命設備のガス膨脹システム」（Gas inflation systems for inflatable life-saving appliances）が 2019 年 7 月に制定された。

また、当所職員がプロジェクトリーダーを務めてきた ISO 21792:2019「船内通信電話機等の装備指針」（Guidelines for onboard telephone equipment）においても、2019 年 8 月に制定された。

これらは、当所職員が国内関係者との連携を図りながら慎重に対応した結果であり、各方面への利便性向上にも大きく貢献した。

さらに、これまでの実績が、国内製造者の国際競争力強化に貢献したことを評価され、当所職員は「令和元年度産業標準化事業表彰」を受賞した。

ISO 15738:2019 の具体的な改訂内容としては、2002 年版では、ガスシリンダーバルブの低温膨脹試験における膨脹用ガスの放出時間について、炭酸ガス単体と、混合ガス（炭酸及び窒素）とで異なる基準を採用していましたが、日本はこれを統一することを要望していた。膨脹用ガスの構成が異なっていても、異なる基準を設ける合理的な根拠は無いことを主張し、炭酸ガス単体の基準値に統一した改訂を行うことができた。さらに、ガス膨脹システムとしての性能を担保するため、バルブや高圧ホースの耐圧試験、ガスシリンダーやバルブ等の塩水噴霧試験及び膨脹部のバルブの強度試験等について、国内関係者との連携を図りながら、科学的根拠に基づく試験基準となるよう改訂を行い、これまで船内電話設備には統一的な基準がなく、粗悪品や模造品の氾濫、他の船内通信システムとの接続障害等が発生していたことから、一般的な船内電話設備を構築するための網羅的な指針を明確化して、関連機器メーカー、エンジニアリング会社、造船所及び船社等各方面の関係者に対して利便性を提供することを目的として策定された。

ISO 21792:2019 においては、船内の電話設備は、主に「自動交換式電話装置」、「共電式電話装置」及び「無電源式電話装置」の三種類であるが、このうち、自動交換式電話装置は、私たちが普段利用している電話装置とほぼ同じ装置が用いられている。しかし、船舶特有の環境で利用するには、ハウリングやノイズを抑える対策が重要であり、本規格では、こうした船舶特有の環境で生じる阻害要因を除去するとともに、コミュニケーションや接続の品質を担保できるよう、指針を示している。今後この規格は、IP 電話等のデジタル化設備や PHS 等の

無線方式の電話装置といった、船内のコミュニケーションデバイスとして導入されつつある装置にも対応していく予定であり、さらなる利便性向上に寄与している。

図 1.6.1　令和元年度産業標準化事業表彰

国際標準化機構（ISO）の国内委員会に当研究所の研究者が委員として参画し、我が国の技術の国際標準化に積極的に貢献した。

表 1.6.2　ISO、IEC に係る会議参加数（13 人）

会議名	会議目的	参加延べ人数
ISO/TC 8/SC 1	各種設備に関する規格、救命設備関係の審議	2
ISO/TC 8/SC 2	排ガス洗浄装置関係、防汚塗料関係の審議	4
ISO/TC 292 & WGs	サプライチェーン保安関係の審議	1
ISO/TC 67/SC 7 & WG 5	海洋構造物関係の審議	1
ISO/TC 8/SC 1/WG 1	救命設備関係の審議	1
ISO/TC 8/SC 2/WG 5	防汚塗料関係の審議	1
ISO/TC 188/SC 1	個人用救命具関係の審議	1
ISO/TC 8/SC 1/WG 1	救命設備関係の審議	2

(ウ)IAEA における活動

令和元年度は、IAEA の会議にのべ 6 名が出席し、放射性物質安全輸送規則等の審議に貢献した。

表 1.6.3　IAEA に係る会議参加数（6 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
臨界 WG	臨界安全評価手法の審議	1
第 38 回輸送安全基準委員会（TRANSSC 38）	放射性物質輸送に係る安全基準の審議	1
使用済燃料貯蔵国際会議	使用済核燃料の貯蔵と輸送の規制に係る事項の審	2

	議	
第 3 回兼用キャスク試験条件定義手法技術会合	兼用キャスクの一般的試験条件を定義する手法に関する審議	1
第 39 回輸送安全基準委員会（TRANSSC 39）	放射性物質輸送に係る安全基準の審議	1

(エ)国際航路協会（PIANC）及び、建設材料・構造に関わる国際研究機関（RILEM）における活動

国連の経済社会理事会の諮問機関に指定されている国際航路協会（PIANC）は、内陸水路委員会（InCom）、海港委員会（MarCom）、環境委員会（EnviCom）、レクリエーション水路委員会（RecCom）、国際協力委員会（CoCom）、若手技術者委員会（YPCom）の下に、多数のワーキンググループを設置し、港湾・航路等の技術的課題に関するレポートを作成しており、これらは世界の港湾・航路技術者の指針となっている。また、建設材料・構造に関わる国際研究機関（RILEM）は、建設材料・構造および試験方法に関する国際的な調査研究活動を行っている学術団体である。

港湾空港技術研究所は、平成 31 年 4 月に中国で開催された PIANC INCOM Workiong Group 128 に研究者が参加して「植生を利用した河岸浸食防止策に関する指針と事例」に関する記述内容の修正を行った。また、PIANC Mar-Com WG211（6 月中国、10 月英国）及び PIANC Mar-Com WG212（10 月英国、1 月豪国）において、研究者が防舷材や港湾施設に関する日本の技術基準を発表するなど、会議への参加を通じてその活動に貢献した。

RILEM TC AAA 会議においては、研究者がアルカリ骨材反応によるコンクリート膨張を評価する試験法を国際規格とすべく提案（6/12 蘭国）し、最終審査（12/17-18 蘭国）で RILEM Reccomended Test Method: AAR-13 として承認されるなど、戦略的な国際活動の推進に重要な役割を果たした。

表 1.6.4 PIANC、RILEM に係る会議参加数（15 人）

会議名	会議の目的等	参加延べ人数
PIANC INCOM WG128	植生を利用した河岸浸食防止策に関する事例、指針のとりまとめ	2
PIANC YP-Com	若手技術者ネットワーク促進のための若手技術者委員会	2
PIANC Mar-Com WG211	防舷財システムの設計ガイドライン改訂が目的	2
PIANC Mar-Com WG212	係留船舶の動揺基準ガイドライン改訂が目的	2
PIANC WG205	軟弱地盤上の防波堤の設計と建設手法について技術、基準、事例のとりまとめ	1
PIANC Mar-Com WG153B	臨海部石油化学コンビナートの設計と評価の提案のレポート取りまとめ	1
PIANC WG214	土砂の有効利用のレポート取りまとめ	2
PIANC WG208	コンテナターミナル自動化のガイダンス作成	1
RILEM TC AAA 会議	試験規格化を目指しているコンクリートの膨張試験に関する会議	2

(オ)ICAO、RTCA、EUROCAE における活動

ICAO は、国際民間航空条約（通称 シカゴ条約）に基づき設置された国連の専門機関であり、国際航空運送に関する国際標準・勧告方式、ガイドライン、マニュアルの策定等を行っている。シカゴ条約附属書やその他の ICAO 文書で定められる国際標準の改正や新たな標準の策定は「パネル」と呼ばれる専門家会議で議論される。

パネル内の詳細な作業は各パネルに設置される作業部会（WG）で行われる。我が国では航空局職員がパネルメンバーとして登録されているが、国際標準の実質的な骨格を決める高度かつ詳細な技術検討を行うため、パネルや作業部会に、電子航法研究所の研究員がパネルメンバーのアドバイザーとして出席し支援を行っている。また、個別の事項に対応するため結成される各種タスクフォースにおいて、電子航法研究所の研究員がタスクリーダーを務めるなど大きな貢献を行っている。

これに加え、米連邦航空局(FAA)の支援を受ける RTCA,Inc.や非営利団体である欧州民間航空電子装置機構(EUROCAE)が米国や欧州域内の技術基準を定めている。そして FAA 若しくは欧州航空航法安全機構(Eurocontrol)及び欧州航空安全機関(EASA)は、米国内や欧州域内を飛行する航空機の機器と地上設備が RTCA や EUROCAE 規格に準拠することを要求している。近年は RTCA と EUROCAE で協力して技術基準を定めることが多く、欧米の技術基準が事実上の国際標準となっている。

このため電子航法研究所は、国際標準の策定に貢献するために、条約附属書による標準を策定する ICAO だけでなく、戦略的な観点から、事実上の国際標準を決めることとなる RTCA や EUROCAE における活動にも貢献するよう積極的に取り組んでいる。

・欧州民間航空電子装置機構(EUROCAE) President's Award を受賞

EUROCAE President's Award 2019 は小瀬木滋（当時：電子航法研究所長）に授与された。この賞の目的は、EUROCAE の活動と国際標準化への顕著な貢献に対して与えられるものである。今回の表彰に当たっては、航空無線システムの国際標準の作成に関する長年の寄与のみならず、EUROCAE の活動活性化への献身的活動が対象となった。日本の研究者による EUROCAE の活動への参画を促進するのみならず、電子航法研究所主催の ATM/CNS に関する国際ワークショップ(EIWAC)などの機会を通して EUROCAE の活動を日本に紹介したことも評価された。

図 1.6.2 EUROCAE President's Award 表彰式

・SWIM の実用化に関する貢献

航空交通の増加が見込まれる ASEAN 地域における SWIM の有効性と運用の効果を示すため、令和元年 11 月に ASEAN SWIM Demo が実施された。電子航法研究所はタイとシンガポール航空局からの支援要請を受け、CARATS 体制の下で日本側の実験システムを開発し、中国香港と米国航空局と連携して、バンコクとシンガポールそれぞれで二つのシナリオを実演した。これにより、地域 SWIM 導入の技術基準の策定に貢献した。また、前年度に引き続き、ICAO APAC SWIM Task Force のタスクリーダーとして、下記のタスクを推進している。

（1）中国香港やタイと連携して、APAC に適用できる SWIM 構築方法の検討や検証実験を実施

（2）中韓と連携して、地域 SWIM サービスの検証基盤を構築

・ASTM International F38.01 への参画

ASTM International は工業規格を定める国際標準化団体である。米国においては RTCA が有人機に関する国際標準を担っている一方、ドローン関連は主に ASTM が担っている。F38.01 はドローンの耐空性に関するワーキンググループであり、最近は主にドローン向けの DAA システムの標準化に取り組んでいる。電子航法研究所で研究している有人機とドローンの高度規制に関する研究に関して、ドローンと有人機間の衝突回避（DAA）に必要な技術であるとして F38.01 への参加を呼びかけられた。今後は研究成果を活用して、当該技術の標準化への貢献を目指す。

・EUROCAE WG-100 への寄与

EUROCAE WG-100 は、リモート・バーチャルタワーに関する基準を検討する会議である。本会議にて，平成 29 年度までに視覚センサ（カメラ）に相当する「Visual Surveillance Sensor」の最低航空性能基準(Minimum Aviation System Performance Standards, MASPS)として、映像による物体の検知や追尾、また追跡用カメラの反応時間等についての性能基準が ED-240A としてまとめられた。現在は Visual だけでなく Non-optical Sensor も含めた性能基準を ED-240B としてまとめるための議論が行われている。令和元年度は引き続き、ED-240B 発行に向けた活動に参加、議論を重ねるとともに、WG-100 の Core Team Member となり、ドキュメント原案の作成に積極的に関わっており、それらの作業に貢献している。

表 1.6.5 ICAO、RTCA、EUROCAE に係る会議参加数（61 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
監視パネル(ICAO SP)	航空機監視システムの国際標準・技術マニュアル等規定類の取りまとめ	13
通信パネル(ICAO CP)	航空で使用される通信システムの国際標準・技術マニュアル等規定類の取りまとめ	2
航法システムパネル(ICAO NSP)	航空で使用される航法システムの国際標準・技術マニュアル等規定類の取りまとめ	3
管制間隔・空域安全パネル (ICAO SASP)	現行および将来の CNS／ATM システムの安全性評価手法、エンルートとターミナル空域における管制間隔基準の検討を行う会議	1
航空交通管理要求・性能パネル（ATMRPP）	4DTBO、FF-ICE 等、将来の航空交通管理を支援する施策検討を行う会議	2
周波数スペクトラム管理パネル(ICAO FSMP)	航空で使用される無線システムの周波数を他の無線システムからの干渉を防止するための会議	1
遠隔操縦航空機システムパネル(ICAO RPASP)	無人機を民間航空用空域に統合するための運用及び技術に関する検討を行う会議	1
アジア太平洋地域航空計画実施グループ(ICAO APAC APANPIRG)	アジア太平洋地域各国間の航空交通サービス及び航空保安施設等に関する実施計画等を調整するための会議	2
アジア太平洋地域 SWIM タスクフォース (ICAO APAC SWIM Taskforce)	アジア太平洋地域における SWIM 導入に向けた諸課題の解決策の検討を行う会議	1
アジア太平洋地域 GBAS 及び SBAS の実用化に関する会議 (ICAO APAC GBAS/SBAS Workshop)	MSAS の開発、日本における GBAS/SBAS システムの導入計画と認証における課題に関する会議	2
飛行方式パネル(ICAO IFPP)	飛行方式設計に関する検討を行う会議	1
小型 UAS に関するシンポジウム(ICAO Drone Enable 3)	干渉回避と安全間隔管理に関するパネルディスカッションに参加・発表	1

後方乱気流特別作業部会(ICAO WTSWG)	後方乱気流管制方式の見直しに関する会議	2
EUROCAE 総会/シンポジウム	EUROCAE 関係者、国際標準策定関係機関が一同に会する会議	4
RTCA Global Aviation シンポジウム	RTCA 関係者、国際標準策定関係機関が一同に会する会議	1
RTCA SC-159, EUROCAE WG-62	GNSSを利用する航法装置に係るMOPS、MASPSの策定のための作業部会	3
EUROCAE WG-83	滑走路異物検出システムの技術要件等を策定するための作業部会	1
航空機内データ通信に関する作業部会(RTCA SC-236,EUROCAE WG-96)	航空機内データ通信 Wireless Avionics Intra-Communication System (WAIC)に関する検討を行う作業部会	8
リモートタワーに関する作業部会(EUROCAE WG-100)	リモートタワー業務に使われるカメラ等、映像系システムを検討する作業部会	5
EUROCAE WG-107	GNSS 障害が発生した際の DME/DME 測位方式による RNP 運航環境維持に係る検討を行う作業部会	1
EUROCAE WG-114	人工知能を付加する航空機搭載機器の基準を策定する作業部会	1
IEC-TC103 WG6	光ファイバー無線(RoF)の標準化に関する検討を行う作業部会	1
GSWG/DS2WG	GNSS の標準化に関する作業部の会合、及び次世代 SBAS の標準化に関する分科会の会合	3
Technical Interchange on Emerging Aviation Technologies and Standardization	航空技術の変革と国際標準に係る技術交流会	1

(カ)その他国際会議

他にも多国間、二国間での会議が多くあり、当研究所が参加している国際会議には、次のようなものがあり、各種審議等に貢献した。

表 1.6.6 その他国際会議における会議参加数(24 人)

会議名	会議目的	参加延べ人数
International Ship Autonomy and Sustainability Summit	各機関の自動運航船研究開発状況の聴取	1
ICCT Technical Workshop on Zero Emission Vessel Technology	当所の燃料転換に係る研究発表	1
ICCT 6th Workshop on Marine Black Carbon Emissions	船舶から排出される Black Carbon に係る情報交換	1
Regional awareness workshop on the implementation of the IMSBC Code with special focus on cargoes that may liquefy	IMSBC Code 等に係る講義	1
第 26 回将来の航空交通システムの調和に関する会議(FATS/26)	将来の航空交通システムの相互運用性を向上させるための日米間会議	2

第 20 回国際 GBAS 作業グループ会議(I-GWG20)	耐航性試験法・推奨試験法全般・環境条件・実海域性能に係る会議	5
第 45 回日米航空管制調整グループ会議(IPACG/45)	北部・中部太平洋における円滑な交通流の形成のための日米航空管制当局間会議	2
第4回 Performance Benchmarking Working Group	ATM パフォーマンスの計測手法の調査及び空港周辺での滞留時間(ASMA)遅延評価に関する会議	2
次世代 SBAS の開発に関する共同作業チーム(DFMC SBAS JWT)	GNSS に関する日欧連携において，特に次世代 SBAS に関する相互協力に係る会議	1
ベトナム国との MLAT 連携会議	ベトナムにおける先進型地上走行誘導管制システム(A-SMGCS)の導入調査に関する協力	1
運航前の協調的な軌道調整(FF-ICE)机上検証会	運用上の役割と特定の状況への対応について関係者同士の会議	1
バンコク GBAS 実証実験キックオフ会議	タイ・スワンナプーム空港における GBAS 実証実験に関する会議	2

（2）海外機関等との連携強化

【中長期目標】

（2）海外機関等との連携強化

国際会議の主催及び共催や積極的な参加、あるいは海外の関係研究機関との研究協力協定の締結等を通じて、幅広い交流や連携の強化を図る。

港湾分野においては、世界各国の研究機関等との連携を強化するとともに、アジア・太平洋地域をはじめとする各地の現場が抱える技術的課題の解決や、大規模自然災害への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。さらに、海外における被災状況の調査等を通じた情報収集により、我が国の防災及び減災対策に資する知見の蓄積に努める。

また、航空交通分野においては、全世界で航空交通サービス等の均質性と連続性の確保が重要となることから、航空交通システム等に係る技術開発について、国際ワークショップ等を通じた技術交流や協力協定等による国際連携を強化する。特に、我が国と近隣アジア諸国との技術協力等を拡大し、継ぎ目のない航空交通（シームレススカイ）実現を支援する。

【中長期計画】

（2）海外機関等との連携強化

国際会議やワークショップの主催や共催、国際会議への積極的な参加、在外研究の促進等を通じ、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。

また、国外の関係研究機関との研究協力協定や教育・研究連携協定の締結、これに基づく連携の強化を図ることにより、関連する研究分野において研究所が世界の先導的役割を担うことを目指す。

また、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進するとともに、国土交通省が進める海外へのインフラ輸出を念頭に置いた我が国の技術力向上のための支援を行う。

具体的分野として、港湾分野においては、アジア・太平洋地域をはじめとする世界各地の研究機関等との連携を強化するとともに、大規模自然災害や沿岸域の環境問題等への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。また、海外における被災状況、沿岸環境等に係る情報収集を行い、我が国はもちろんのこと世界的規模での防災・減災対策、環境対策に貢献する技術や知見を蓄積する。

航空交通分野においては、航空管制業務等に係る多くの技術や運航方式等について、世界での共用性を考慮する必要があることから、各国の航空関係当局や研究機関及び企業等と積極的に技術交流及び連携を進める。特に、継ぎ目のない航空交通（シームレススカイ）実現を支援するため、我が国と近隣アジア諸国の研究機関との技術協力等を拡大する。

【年度計画】

（2）海外機関等との連携強化

国際会議やワークショップの主催や共催、国際会議への積極的な参加、在外研究の促進等を通じ、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。本年度計画期間中に国際会議において 200 件以上の発表を行うとともに、国際ワークショップ等を3回以上開催する。

また、国外の関係研究機関との研究協力協定や教育・研究連携協定の締結、これに基づく連携の強化を図ることにより、関連する研究分野において研究所が世界の先導的役割を担うことを目指す。

また、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進するとともに、国土交通省が進める海外へのインフラ輸出を念頭に置いた我が国の技術力向上のための支援を行う。

具体的分野として、港湾分野においては、アジア・太平洋地域をはじめとする世界各地の研究機関等との連携を強化するとともに、大規模自然災害や沿岸域の環境問題等への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。また、海外における被災状況、沿岸環境等に係る情報収集を行い、我が国はもちろんのこと世界的規模での防災・減災対策、環境対策に貢献する技術や知見を蓄積する。

航空交通分野においては、航空管制業務等に係る多くの技術や運航方式等について、世界での共用性を考慮する必要があることから、各国の航空関係当局や研究機関及び企業等と積極的に技術交流及び連携を進め

る。特に、継ぎ目のない航空交通（シームレススカイ）実現を支援するため、我が国と近隣アジア諸国の研究機関との技術協力等を拡大する。

◆年度計画における目標設定の考え方

幅広い交流や連携の強化を図るため、国際会議等の主催及び共催を通じて、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。また、国外の関係研究機関等との協定の締結、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進する。

◆当該年度における取組状況

①国際会議、ワークショップ等への積極的な取り組み

令和元年度においては、海外機関との連携強化に向けて国際会議への積極的な活動に取り組んだ。目標である 200 件を上回る 265 件の発表を実施した。

港湾空港技術研究所では、「OCEANS'2019 Seattle」（米国）において、日本から参加した産学官で構成される Japan Pavilion の一員として、港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する最新の研究成果を展示し、海外の研究機関と活発な技術交流を行った。

電子航法研究所では第 6 回となる国際ワークショップ EIWAC2019（ENRI International Workshop on ATM/CNS）を主催した。10 月 29 日～31 日に中野にて開催し、84 件の講演を実施、連日 250 人を超える参加者がみられた。本会議のテーマには Exploring Ideas for World Aviation Challenges（世界の航空問題に対するアイデアを探る）を掲げた。産学官交流維持拡大を目的として、基調講演者には ICAO（国際民間航空機関）の航空技術局（Air Navigation Bureau: ANB）長をはじめとして EUROCAE（欧州民間航空電子装置機関）、FAA（米国連邦航空局）、RTCA（航空技術諮問機関）、DSNA（フランス航空業務局）、国土交通省航空局などから政策立案実施の要人に加えて、ANA（全日本空輸）や JAL（日本航空）といった運航者まで幅広く参加頂いた。特に EIWAC2019 では、global interoperability（国際総合運用性）を目指した航空交通システムの実現に必要で重要な要素の一つである航空業界におけるデジタル化に焦点を当て、SWIM（System Wide Information Management）、Datalink、 UTM (Unmanned aircraft system Traffic Management)を主軸としたパネルディスカッションを行い、デジタル化の適用範囲を広げるために要する専門知識を共有できる場を提供した。

図 1.6.3 EIWAC2019 の開催およびパネルディスカッションの様子

その他、海上技術安全研究所では、米国機械学会（ASME）が主催する海洋・構造物及び極地工学に関する国際会議（OMAE2018）において論文が表彰され、海洋工学部門で OMAE2018 最優秀論文賞を受賞した。

また、本年度は目標の 3 件を上回る 4 件のワークショップ等国際会議を開催した。

海上技術安全研究所においては、国土交通省海事局及び中国交通運輸部海事局とともに、令和元年 9 月

にロンドンの IMO において、固体ばら積み貨物の安全な荷役と運送に係るモデルコースの海事関係者への普及促進を目的とする国際ワークショップを開催した。本国際ワークショップには、25 の国及び機関から約 60 名の参加があった。ワークショップでは、中国大連海事大学よりモデルコースの具体的内容について、ボルチック国際海運協議会（BIMCO）よりIMSBCコード実施上の問題点についての講演があり、当所職員はIMSBCコードの概要と将来議論すべきテーマについて講演し、モデルコースの普及促進の重要性を海事関係者と共有した。

本モデルコースは、CCC 6（ CCC 小委員会の第 6 回会合）において審議され、当所職員を議長とする起草部会（Drafting group）で仕上げがなされた後、承認され大きく貢献した。

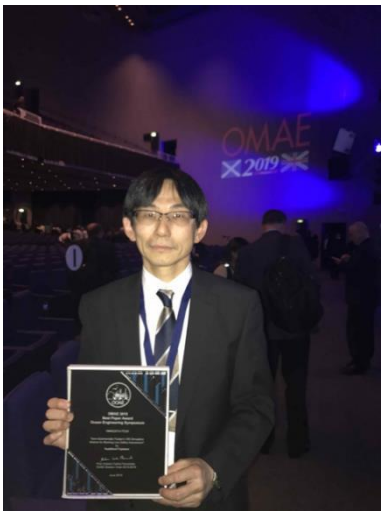


図 1.6.4　国際海洋・極地工学会議（OMAE-2018）の最優秀論文賞受賞式の様子

図 1.6.5　国際海上固体ばら積み貨物コードに係る国際ワークショップの様子

港湾空港技術研究所においては、令和元年 12 月に韓国・釜山において、「第7回　日韓沿岸技術研究ワークショップ」を開催した。

また、平成 27 年 12 月の国連総会で、日本の津波防災の日である 11 月 5 日が「世界津波の日」に制定されたことから、津波防災をはじめとする沿岸防災技術分野で顕著な功績を挙げた方を対象とした「濱口梧陵国際賞（国土交通大臣賞）」を創設した。令和元年 10 月 29 日に、国際津波・沿岸防災技術啓発事業組織委員会が主催し、港湾空港技術研究所が事務局を務める形で、都内において「濱口梧陵国際賞授賞式及び記念講演会」を開催し、柴山　知也　早稲田大学教授／横浜国立大学名誉教授及び Ahmet Cevdet Yalciner　教授　中東工科大学（トルコ）の 2 名が受賞し、受賞者には赤羽　一嘉　国土交通大臣より記念品が授与された。

図 1.6.6 濱口梧陵国際賞授賞式の様子

②協定の締結および技術支援

社会・行政ニーズにタイムリーに応えつつ、質の高い研究成果を上げるためには、研究を効果的・効率的に行うとともに、外部の研究能力を積極的に活用し、単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出を行うことが必要不可欠である。当研究所のポテンシャル及びプレゼンス向上を図るため、令和元年度は海外の大学、研究機関を含む更なる連携の強化を行った。

海上技術安全研究所においては、次に示す海外機関と研究連携促進に向けた覚書を結び、引き続き研究連携の深化を図った。特に、GHG 削減対策の一つであるバイオ燃料油の使用に関する研究協力等のため、インドネシア政府機関及びスラバヤ工科大学と提携した。(機関一覧:オランダ・海事研究所(MARINE)、フランス・海洋汚染研究センター(Cedere)、カナダ・海洋技術研究所(UIOT)、韓国・海事研究所(KMI)、インドネシア・技術評価応用庁(BPPT)、インドネシア・スラバヤ工科大学(ITS)、ブラジル・カンピナス大学、ブラジル・サンパウロ大学)

港湾空港技術研究所では、研究の質の向上と研究の効率的な実施を目指して、国内外の研究機関との連携をより積極的に進めるため、平成 15 年度以降平成 31 年度までに、国内 13 件、海外 27 件、合計 40 件の研究協力協定を締結しており、平成 31 年度は、IFSTTAR (フランス交通・空間計画・開発・ネットワーク科学技術研究所)との研究協力協定を更新した。

電子航法研究所では、インドネシアにおける電離圏及び高層大気観測研究とその衛星航法への活用に関する研究協力を目的として航空宇宙庁(LAPAN)と研究連携協定を締結した。また、軌道ベース運用における研究開発について、電子航法研究所と韓国航空大学(Korea Aerospace University)は長年共同研究を行っており、その一環としての福岡飛行情報区(FIR)と仁川 FIR 間の融合した軌道ベース運用を評価するため研究連携協定付属書を更に締結した。その他、オランダデルフト工科大学(Delft University of Technology)と GE Aviation Systems 社と研究協力における協定を締結した。

電子航法研究所は 2018 年にドイツのブラウンシュヴァイク工科大学(Technische Universitat Braunschweig: TUBS)と締結された包括連携協定の一環として、弊所の研究員1名が平成 31 年 1 月より約 1 年間にわたり TUBS の Institute of Electromagnetic Compatibility にて在外研究を行った。そこで計器着陸装置(Instrument Landing System: ILS)等を始めとした航空分野で利用される無線装置の電波干渉を解析可能とするプログラム

の開発や海外との研究連携に貢献した。その他、在外研究は研究者２名がフランス民間航空学院(ENAC)および米国エンブリー・リドル航空大学(Embry-Riddle Aeronautical University)で共同研究を実施した。これらにより、今後の相互連携強化が期待される。

図 1.6.7 （左）TUBS 実験チームとの集合写真 （右）TUBS で行った在外研究の報告会の様子

国際貢献の推進に向けて海外の研修員の受け入れ、技術支援等にも取り組んだ。

海上技術安全研究所では、国内大学より海外の研修員を受け入れ、船舶の性能評価・海洋開発などに関する研究連携の深化を図った。また、海事技術者の育成を目的として、国立大学法人東京大学が実施する産学連携新領域創成プログラム（※）において研究者１名を MIT(米マサチューセッツ工科大学)に派遣させ、研究連携の推進や国際競争力の高い人材の育成に努めた。

※産学連携新領域創成プログラム 研究者・技術者が東京大学での特設講義・演習を受講した後、MIT の社会人向け修士課程である SDM コース(MIT System Design and Management)に参画し、約３か月間にわたり MIT に滞在して、様々な国籍の学生と共に短期研究を行うことを特徴とする制度。

港湾空港技術研究所では、JICA が開発途上国に対する技術協力の一環として主催する「港湾開発・計画研修（港湾技術者のための）」に、港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する講師として述べ 14 名を派遣したほか、これらの研修が港湾空港技術研究所に隣接する国土交通省国土技術政策総合研究所で実施されたことから、研修の一環として各国研修生を対象とした実験施設の見学を実施し、研修生からの積極的かつ多数の質問に丁寧に回答することで、国際交流の推進に努めた。

電子航法研究所では、平成 30 年度の「開発途上国研究機関交流事業」のフォローアップとして、ブータン王国航空局による山岳地帯における在空機 ADS-B 信号の測定実験に参加した。実験は、事前に選定した将来的な ADS-B 受信局の候補場所において行い、選定に利用したシミュレーション手法や候補場所の妥当性について検討した。本結果から将来の ADS-B 導入検討における基礎的な情報としての活用や、貴重な山岳地帯における測定データを将来的に研究に活用することを目指している。また、ベトナム IGP-VAST との研究協力覚書に基づいて、ベトナムにおける電離圏共同観測・解析を引き続き実施しており、令和２年２月 18～19 日に当所研究員 1 名が IGP-VAST を訪問し、技術指導及び研究成果について議論を行った。さらには、令和元年 9 月 8 日から三日間に渡り米国マンスフィールド財団による研修の一環として、米国連邦航空局から国土交通省航空局に派遣されている研修生を当所で受け入れ、我が国の航空交通管理及び通信・航法・監視システムの研究開発状況等について研修を実施し、国際交流の推進に努めた。

また、電子航法研究所は留学生をインターン研修生としても積極的に受け入れている。本年度はタイ・モンクット王工科大学ラカバン(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang: KMITL)との共同研究の一環として博士課程の学生１名と4者共同研究（電子航法研究所、情報通信研究機構、名古屋大学、京都大学）を機会にフランス国立応用科学院(Institut National des Sciences Appliquées: INSA)から短期研修生を受け入れ、指導を行った。その他、毎年フランス民間航空学院(ENAC)の学生をインターン研修生として受け入れており、令

和2年度の募集手続きを改善した結果、過去最多の11件の応募があり、そのうち2名の受け入れが決定された。

図 1.6.8 （左）ブータン王国航空局レギュレータ部門長 Kinley Wangchuk 氏 （右）ブータン王国航空局プロバイダー部門長 Karma Wangchuk 氏との写真

第２章　業務運営の効率化に関する目標を達成するために
とるべき措置

【中長期目標】

（1）統合に伴う業務運営の効率化

統合により生じる事務の煩雑化等の影響を軽減し、円滑な業務運営の確保に努める。

また、間接部門について、研究開発成果の最大化及び業務効率と質の最大化を図りつつ、効率化する。

さらに、一括調達の導入を進めるとともに、システムの合理化などの統合に伴う適切な環境整備について、業務効率と経費の双方に留意して計画的に実施する。

（2）業務の電子化

テレビ会議やメール会議の更なる活用等、ICT環境の整備等により、業務の電子化を図る。

（3）業務運営の効率化による経費削減等

ア　業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時までに、一般管理費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、初年度予算額の当該経費相当分に7を乗じた額に対し、中長期目標期間中における当該経費総額の 8%程度の抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

イ　業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時までに、業務経費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、初年度予算額の当該経費相当分に7を乗じた額に対し、中長期目標期間中における当該経費総額の 3%程度の抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

ウ　本研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準も十分考慮し、厳しく検証を行った上で、その検証結果や取組状況については公表する。

エ　「独立行政法人における調達等合理化の取組の推進について」（平成 27 年5月 25 日総務大臣決定）等を踏まえ、公正かつ透明な調達手続による、適切で迅速かつ効果的な調達を実現する観点から、毎年度策定する「調達等合理化計画」に基づく取組を着実に実施する。

また、随意契約については「独立行政法人の随意契約に係る事務について」（平成 26 年 10 月1日付け総管査第 284 号総務省行政管理局長通知）に基づき明確化した、随意契約によることができる事由により、公正性・透明性を確保しつつ合理的な調達を実施する。

オ　業務経費に生じる不要な支出の削減を図るため、無駄の削減及び業務の効率化に関する取組を人事評価に反映するなど、自律的な取組のための体制を整備する。

【中長期計画】

1. 統合に伴う業務運営の効率化

統合により生じる事務の煩雑化等の影響を軽減し、円滑な業務運営を図る。

また、間接部門について、研究開発成果の最大化及び業務効率と質の最大化を図りつつ、効率化する。具体的には、管理業務の効率化の状況について定期的な見直しを行い、業務の簡素化、電子化、定型的業務の外部委託等を図ることにより、一層の管理業務の効率化に取り組む。

さらに、一括調達の導入を進めるとともに、システムの合理化などの統合に伴う適切な環境整備について、業務効率と経費の双方に留意して計画的に実施する。

2. 業務の電子化

テレビ会議やメール会議等の更なる活用、ICT環境の整備等により、業務の電子化を図る。

3. 業務運営の効率化による経費削減等

ア　業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時までに、一般管理費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、初年度予算額の当該経費相当分に7を乗じた額に対し、中長期目標期間中における当該経費総額の8%程度

の抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

イ 業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時までに、業務経費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、初年度予算額の当該経費相当分に7を乗じた額に対し、中長期目標期間中における当該経費総額の3%程度の抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

ウ 本研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準も十分考慮し、厳しく検証を行った上で、その検証結果や取組状況については公表する。

エ 「独立行政法人における調達等合理化の取組の推進について」（平成 27 年5月 25 日総務大臣決定）等を踏まえ、公正かつ透明な調達手続による、適切で迅速かつ効果的な調達を実現する観点から、毎年度策定する「調達等合理化計画」に基づく取組を着実に実施する。

また、随意契約については「独立行政法人の随意契約に係る事務について」（平成 26 年 10 月1日付け総管査第 284 号総務省行政管理局長通知）に基づき明確化した、随意契約によることができる事由により、公正性・透明性を確保しつつ合理的な調達を実施する。

更に、外部有識者による「契約監視委員会」において、締結された契約に関する改善状況のフォローアップを行い、その結果を公表することによって、契約事務の透明性、公平性の確保を図る。

オ 業務経費に生じる不要な支出の削減を図るため、無駄の削減及び業務の効率化に関する取組を人事評価に反映するなど、自律的な取組のための体制を整備する。

【年度計画】

（1）統合に伴う業務運営の効率化

統合により生じる事務の煩雑化等の影響を軽減し、円滑な業務運営を図る。

また、間接部門について、研究開発成果の最大化及び業務効率と質の最大化を図りつつ、効率化する。具体的には、管理業務の効率化の状況について定期的な見直しを行い、業務の簡素化、電子化、定型的業務の外部委託等を図ることにより、一層の管理業務の効率化に取り組む。

さらに、一括調達については、コピー用紙をはじめ、複写機賃貸借及び保守契約、機械警備契約など、業務効率と経費の双方に留意して 2 件以上を目標に実施する。一括調達の導入を進めるとともに、システムの合理化などの統合に伴う適切な環境整備について、業務効率と経費の双方に留意して計画的に実施する。

（2）業務の電子化

引き続きテレビ会議やメール会議等の活用、ICT 環境の整備等により、業務の電子化を図る。

（3）業務運営の効率化による経費削減等

ア 業務運営の効率化を図ることにより、一般管理費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

イ 業務運営の効率化を図ることにより、業務経費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

ウ 本研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準も十分考慮し、厳しく検証を行った上で、その検証結果や取組状況については公表する。

エ 「独立行政法人における調達等合理化の取組の推進について」（平成 27 年5月 25 日総務大臣決

定）等を踏まえ、公正かつ透明な調達手続による、適切で迅速かつ効果的な調達を実現する観点から、毎年度策定する「調達等合理化計画」に基づく取組を着実に実施する。

また、随意契約については「独立行政法人の随意契約に係る事務について」（平成 26 年 10 月1日付け総管査第 284 号総務省行政管理局長通知）、で示された随意契約によることができる事由により、公正性・透明性を確保しつつ合理的な調達を実施する。

更に、外部有識者による「契約監視委員会」において、締結された契約に関する改善状況のフォローアップを行い、その結果を公表することによって、契約事務の透明性、公平性の確保を図る。

オ 業務経費に生じる不要な支出の削減を図るため、無駄の削減及び業務の効率化に関する自律的な取組を実施する。

◆年度計画における目標設定の考え方

令和元年度においては、統合により生じる事務の煩雑化等の影響を軽減し、円滑な組織運営を図ることとした。

また、業務運営の効率化は当研究所が取り組むべき重要な課題であり、一層の管理業務の効率化について取り組むこととした。

◆当該年度の取組状況

1. 統合に伴う業務運営の効率化

（1）円滑な業務運営

「経営戦略室」を運営する等統合に発生する事務について分担を図り、府省庁等に対する窓口を同室に一本化することで業務を遂行した。

また、「幹部会」を運営し、研究所に関係する重要情報及び職員に周知徹底すべき情報などを関係者間で共有し、円滑な組織運営の確保を図った。

さらに、統合による規模拡大の効果を業務の効率化に導くため、「業務効率化検討委員会」を運営し、対象業務の抽出、標準化・統一化、外部化を含む効率的な業務処理体制の検討、そのために必要となる情報、課題共有のための体制の検討を実施した。

令和元年度においては、統一した会計システムの運用を開始し、これにより、統合に生じる事務の煩雑化を大幅に軽減することができ、業務効率化及び円滑な業務運営の推進に寄与した。

また、業務の効率化を推進するため、若手職員による業務効率化に係る WG を設置し、旅費 WG においては、各研究所で異なる旅費運用を統一し、将来的にアウトソーシングを目指す取り組みを開始した。

さらに、e-ラーニングを通じて、研究倫理やコンプライアンス、さらに安全保障輸出管理に関する研修を 3 研合同で実施することにより、研修時間等の効率化及び職員への周知徹底を図った。

情報セキュリティマネジメント監査においては、最高情報セキュリティ責任者の主導の下、過年度に実施した情報セキュリティ監査の結果を受け、改善計画に基づき、更なる情報セキュリティ対策の維持・強化に努めた。

（2）一括調達等による取組

令和元年度においても、引き続き3研究所で個別に契約していた定型的業務の外部委託について、一括調達とすることにより、簡素化を図った。

具体的には、業務効率と経費の双方に留意し、令和元年度においては以下の 3 件について一括調達を行った。

引き続き業務効率及び経費を検討の上、必要な案件については一括調達を実施することとする。

・東京都環境確保条例コンサルティング業務

・特定温室効果ガス排出量検証業務

・主変電所保護継電器交換工事

2. 業務の電子化

（1）クラウド導入・整備に向けた検討・開発

研究所が開発したプログラムやデータベースによる解析サービスの提供や外部リソースとの連携による新研究・プロジェクトの創出等を通じて、産官学との連携を促進するとともに、研究所が保有する実験設備やシミュレータのリアルタイムモニタリング等を通じて、所内の業務の効率化を促進するため、クラウドの導入・整備に向け、作業部会（WG）を設置して検討を開始した。今年度は、研究所のインフラを構築・整備するため、3 研究所間での勉強会を実施するとともに、研究所ソフトウェアの船舶性能推定システム（HOPE Light）や波と風データベースを利用したクラウド用ポータルサイトの開発、並びにクラウド上での研究所の 400m 水槽の監視システムの開発を行った。

（2）働き方改革・新型コロナウイルス感染防止に向けたテレワークの推進

働き方改革関連法に基づき、長時間労働の是正や多様で柔軟な働き方の実現、雇用形態に関わらない公正な待遇の確保を目的とした、テレワーク推進のためのシステム基盤整備（外部リモート操作機能の拡充及び機能拡充に伴うセキュリティ強化）を行った。これにより、新型コロナウイルス感染が拡大する以前から、新型コロナウイルス感染症防止対策としてテレワークの試行を行った結果、年度末までの 1 か月余りの間にテレワークを経験した職員は全体の 12.7%に達し、緊急事態宣言後のテレワークの本格実施に繋がった。

（3）ICT 環境の整備等による効率化

セキュリティと利便性を両立させる3研究所の情報ネットワークシステムの統合（研究所間を結ぶ VPN（仮想プライベートネットワーク）の接続）及び3研究所で統一したグループウエアを導入した。これにより、ペーパーレス化を実現し、各研究所間の円滑な情報共有が可能となり、資料準備時間の削減や経費削減等の業務の効率化を図った。また、このグループウエアの導入により、外部発表許可申請を電子決裁化することで、決裁時間の大幅な短縮に貢献した。

（4）テレビ会議による効率化

テレビ会議システムによる幹部会、役員連絡会などを開催し、移動に要する時間と経費を抑制しつつ、コミュニケーションの活性化を進め、業務の効率化を図った。令和元年度は特に所外会議においてもテレビ会議システムを推進し、更なる業務効率化を図った。

（5）メール会議による効率化

上記2.（4）のテレビ会議の他に、担当者間による情報共有や意見交換などを実施する際にメール会議を実施し、管理業務の効率化の状況に関し、随時見直しを行った。

3. 業務運営の効率化による経費削減等

（1）一般管理費、業務経費の抑制

中長期目標及び中長期計画において、業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時までに、一般管理費及び業務経費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、初年度予算額の当該経費相当分に7を乗じた額に対し、中長期目標期間中における当該経費総額を一般管理費は 8%程度、業務経費は 3%程度、それぞれ抑制を図る（ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。）こととされている。

令和元年度においては、中長期計画で定められた目標値を達成するため、以下の取り組みを実施し、業務運営の効率化等に取り組みつつ、着実に経費の抑制を図った。

・契約プロセスの見直し
・予算、収支計画及び資金計画の定期的な点検
・簡易入札の活用等による経費抑制

（2）給与水準の検証状況

職員の給与については、国家公務員に準拠する形で給与規程を整備し、研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準も十分考慮し、厳しく検証を行い、検証結果については各研究所のホームページで公表した。

令和元年度の研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準を 100 として作成したところ、対国家公務員指数（ラスパイレス指数）が、事務・技術職種で 97.0、研究職種で 103.6 となっている。

（3）契約の見直し

「独立行政法人における調達等合理化の取組の推進について」（平成 27 年 5 月 25 日総務大臣決定）に基づき、令和元年度調達等合理化計画を策定し、以下の取り組みを実施した。

・入札参加要件の緩和
・ヒアリング実施（一者応札・応募の改善のため、入札説明書を受け取ったが入札に参加しなかった事業者）
・共同調達等及び複数年契約の推進

「独立行政法人の随意契約に係る事務について」（平成 26 年 10 月1日付け総管査第 284 号総務省行政管理局長通知）に基づく合理的な調達の実施状況としては、当該通知に基づく契約関係規程により、随意契約によることが合理的と判断されたものについて、契約審査委員会に諮った上で随意契約を実施した。

契約監視委員会による契約改善状況のフォローアップ及び結果の公表について、令和元年 6 月に令和元年度第 1 回海上・港湾・航空技術研究所契約監視委員会を開催し、平成 30 年度の各研究所の契約に関する点検等を実施した。結果については研究所のホームページで公表しており、契約事務の透明性、公平性の確保を図った。

また、令和元年度の契約においても契約監視委員会を開催し点検を行った。

（4）無駄の削減等に関する自律的な取組

「業務効率化検討委員会」のほか、各研究所においても業務改善等を目的とした委員会を設置し、調達等の手続きに係る運用の改善や簡素化といった事務手続きの見直しや、電力使用量抑制等の無駄の削減に積極的に取り組んだ。

第3章　財務内容の改善に関する目標を達成するために
とるべき措置

【中長期目標】

（1）中長期計画予算の作成

運営費交付金を充当して行う事業については、「第4　業務運営の効率化に関する事項」で定めた事項について配慮した中長期計画の予算を作成し、当該予算による運営を行う。

（2）運営費交付金以外の収入の確保

知的財産権の活用などにより、適切な水準の自己収入を確保する。

（3）業務達成基準による収益化

独立行政法人会計基準の改訂(平成 12 年2月 16 日独立行政法人会計基準研究会策定、平成 27 年1月 27 日改訂)等により、運営費交付金の会計処理として、業務達成基準による収益化が原則とされたことを踏まえ、収益化単位の業務ごとに予算と実績を管理する体制を構築する。

【中長期計画】

運営費交付金を充当して行う事業については、「第2　業務運営の効率化に関する目標を達成するためにとるべき措置」で定めた事項を踏まえ、以下の項目について計画し、適正にこれらの計画を実施するとともに、経費の抑制に努める。

1．予算、収支計画及び資金計画

（1）予算　　平成28年度～平成34年度予算

（単位：百万円）

区　　別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合　計
収入				
運営費交付金	18,207	8,228	10,054	36,489
施設整備費補助金	3,895	3,299	947	8,142
受託等収入	3,893	7,867	1,214	12,975
政府出資金		1,000		1,000
計	**25,995**	**20,394**	**12,216**	**58,605**
支出				
業務経費	3,519	2,555	5,417	11,490
施設整備費	3,895	3,299	947	8,142
受託等経費	3,325	7,350	1,030	11,704
一般管理費	729	576	292	1,598
人件費	14,528	6,614	4,530	25,672
計	**25,995**	**20,394**	**12,216**	**58,605**

（注）単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

[人件費の見積り]

中長期目標期間中総額 20,616 百万円を支出する。

当該人件費の見積りは、予算表中の人件費の内、役員報酬並びに職員基本給、職員諸手当及び超過勤務手当の費用である。（任期付研究員人件費等を除く。）

[運営費交付金の算定ルール]

（省略）

[注記]

退職手当については、役員退職手当支給規程及び職員退職手当支給規程に基づいて支給することとなるが、その全額について、運営費交付金を財源とするものと想定している。

（2）収支計画　　平成28年度～平成34年度予算収支計画

（単位：百万円）

区　　別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合　計
費用の部	**23,930**	**16,321**	**13,216**	**53,467**
経常費用	23,930	16,321	13,214	53,465
研究業務費	15,100	6,561	8,697	30,358
受託等業務費	3,325	7,350	1,030	11,704
一般管理費	3,676	2,185	1,475	7,336
減価償却費	1,830	226	2,012	4,068
財務費用	0	0	2	2
臨時損失	0	0	0	0
収益の部	**23,930**	**16,321**	**13,216**	**53,467**
運営費交付金収益	18,207	8,228	10,054	36,489
手数料収入	0	0	0	0
受託等収入	3,893	7,867	1,214	12,975
寄付金収益	0	0	0	0
資産見返負債戻入	1,830	226	1,947	4,003
臨時利益	0	0	0	0
純利益	**0**	**0**	**0**	**0**
目的積立金取崩額	**0**	**0**	**0**	**0**
総利益	**0**	**0**	**0**	**0**

（注）単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

（3）資金計画　　平成28年度～平成34年度資金計画

（単位：百万円）

区　　別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合　計
資金支出	**25,995**	**20,394**	**12,216**	**58,605**
業務活動による支出	22,100	17,095	11,204	50,399
投資活動による支出	3,895	3,299	947	8,142
財務活動による支出	0	0	65	65
次期中長期目標の期間への繰越金	0	0	0	0
資金収入	**25,995**	**20,394**	**12,216**	**58,605**
業務活動による収入	22,100	16,095	11,268	49,464
運営費交付金による収入	18,207	8,228	10,054	36,489
受託収入	3,596	7,175	1,189	11,961
その他収入	297	692	25	1,014
投資活動による収入	3,895	3,299	947	8,142
施設整備費補助金による収入	3,895	3,299	947	8,142
その他の収入	0	0	0	0
財務活動による収入	0	1,000	0	1,000
政府出資金の受入による収入	0	1,000	0	1,000
前期中期目標の期間より繰越金	0	0	0	0

（注）単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

2. 運営費交付金以外の収入の確保

知的財産権の活用などにより、適切な自己収入を確保する。

3. 業務達成基準による収益化

独立行政法人会計基準の改訂(平成 12 年2月 16 日独立行政法人会計基準研究会策定、平成 27 年1月 27 日改訂)等により、運営費交付金の会計処理として、業務達成基準による収益化が原則とされたことを踏まえ、収益化単位の業務ごとに予算と実績を管理する体制を構築する。

4. 短期借入金の限度額

予見しがたい事故等の事由に限り、資金不足となる場合における短期借入金の限度額は、13 億円とする。

5. 不要財産の処分に関する計画

特になし

6. 財産の譲渡又は担保に関する計画

特になし

7. 剰余金の使途

・研究費
・研究基盤・研究環境の整備、維持
・研究活動の充実
・業務改善に係る支出のための財源
・職員の資質向上のための研修等の財源
・知的財産管理、技術移転に係る経費
・国際交流事業の実施(招聘、セミナー、国際会議等の開催)
・出資の活用を含めた成果の普及

【年度計画】

(1)予算、収支計画及び資金計画

(1)予算

(単位:百万円)

区　　別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合　計
収入				
運営費交付金	2,580	1,205	1,400	5,185
施設整備費補助金	0	0	34	34
受託等収入	565	1,133	175	1,873
計	**3,144**	**2,339**	**1,609**	**7,092**
支出				
業務経費	462	218	713	1,393
施設整備費	0	0	34	34
受託等経費	483	1,059	148	1,690
一般管理費	92	81	43	216
人件費	2,108	981	671	3,760
計	**3,144**	**2,339**	**1,609**	**7,092**

(注)単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

[人件費の見積り]

中長期目標期間中令和元年度は総額 2,945 百万円を支出する。

当該人件費の見積りは、予算表中の人件費の内、役員報酬並びに職員基本給、職員諸手当及び超過勤務手当の費用である。(任期付研究員人件費等を除く。)

[運営費交付金の算定ルール]

(省略)

[注記]

退職手当については、役員退職手当支給規程及び職員退職手当支給規程に基づいて支給することとなるが、その全額について、運営費交付金を財源とするものと想定している。

(2)収支計画

(単位:百万円)

区　　別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合　計
費用の部	**3,406**	**2,371**	**1,853**	**7,630**
経常費用	3,406	2,371	1,853	7,630
研究業務費	2,156	881	1,199	4,237
受託等業務費	483	1,059	148	1,690
一般管理費	506	398	218	1,122
減価償却費	261	32	287	581
財務費用	0	0	0	0
臨時損失	0	0	0	0
収益の部	**3,406**	**2,371**	**1,853**	**7,630**
運営費交付金収益	2,580	1,205	1,400	5,185
手数料収入	0	0	0	0
受託等収入	565	1,133	175	1,873
寄付金収益	0	0	0	0
資産見返負債戻入	261	32	278	572
臨時利益	0	0	0	0
純利益	**0**	**0**	**0**	**0**
目的積立金取崩額	**0**	**0**	**0**	**0**
総利益	**0**	**0**	**0**	**0**

(注)単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

(3)資金計画

(単位:百万円)

区　　別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合　計
資金支出	**3,144**	**2,339**	**1,609**	**7,092**
業務活動による支出	3,144	2,339	1,575	7,058
投資活動による支出	0	0	34	34
財務活動による支出	0	0	0	0
次期中長期目標の期間への繰越金	0	0	0	0
資金収入	**3,144**	**2,339**	**1,609**	**7,092**
業務活動による収入	3,144	2,339	1,575	7,058
運営費交付金による収入	2,580	1,205	1,400	5,185
受託収入	522	1,034	171	1,728
その他収入	43	99	4	145
投資活動による収入	0	0	34	34
施設整備費補助金による収入	0	0	34	34
その他の収入	0	0	0	0

財務活動による収入	0	0	0	0
前期中期目標の期間より繰越金	0	0	0	0

（注）単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

（2）運営費交付金以外の収入の確保

知的財産権の活用などにより、自己収入を確保する。

（3）短期借入金の限度額

予見しがたい事故等の事由に限り、資金不足となる場合における短期借入金の限度額は、13 億円とする。

（4）不要財産の処分に関する計画

特になし

（5）財産の譲渡又は担保に関する計画

特になし

（6）剰余金の使途

・研究費
・研究基盤・研究環境の整備、維持
・研究活動の充実
・業務改善に係る支出のための財源
・職員の資質向上のための研修等の財源
・知的財産管理、技術移転に係る経費
・国際交流事業の実施（招聘、セミナー、国際会議等の開催） 等

◆年度計画における目標設定の考え方

予算、収支計画及び資金計画については、中長期計画を策定した際の考え方を基本として作成した。

短期借入をすることは想定していないが、緊急に資金を必要とする事案が発生しないとは断定できなかったため、1,300 百万円の限度額を設定した。

財産の譲渡又は担保にすることは想定していない。

剰余金については、中長期計画に従って確実に処理することを想定している。

◆当該年度の取組状況

1. 運営費交付金を充当して行う事業

令和元年度は、運営費交付金を充てるべき支出のうち 183 百万円を自己収入から充当するよう査定を受けた予算になっているが、受託等収入からこの金額を捻出し、年度計画を確実に達成した。

また、純損失は 171 百万円となり、前中期目標期間に取得した受託資産の減価償却費相当額等を前中期目標期間繰越積立金から取り崩した 61 百万円と合わせて総損失は 110 百万円となっている。これは、減価償却費が前年度比 590 百万円減少したことが主な要因である。

（1）予算

表 3.1.1

（単位：百万円）

区　分	年度計画	実績
収入		
運営費交付金	5,185	5,243
施設整備費補助金	34	272
受託等収入	1,873	2,893
計	**7,092**	**8,407**
支出		
業務経費	1,393	1,359
施設整備費	34	272
受託等経費	1,690	2,499
一般管理費	216	448
人件費	3,760	3,738
計	**7,092**	**8,315**

（2）収支計画

表 3.1.2

（単位：百万円）

区　分	年度計画	実績
費用の部	**7,630**	**8,125**
経常費用	7,630	8,124
研究業務費	4,237	4,055
受託等業務費	1,690	2,194
一般管理費	1,122	1,169
減価償却費	581	706
財務費用	0	0
臨時損失	0	1
収益の部	**7,630**	**7,954**
運営費交付金収益	5,185	4,533
手数料収入	0	67
受託等収入	1,873	3,072
寄付金収益	0	0
資産見返負債戻入	572	282
臨時利益	0	0
純損失	**0**	**171**
目的積立金取崩額	**0**	**0**
前中期目標期間繰越積立金取崩額	**0**	**61**
総損失	**0**	**110**

（3）資金計画

表 3.1.3

（単位：百万円）

区　分	年度計画	実績
資金支出	**7,092**	**8,538**
業務活動による支出	7,058	7,858
投資活動による支出	34	666
財務活動による支出	0	14
次期中長期目標の期間への繰越金	**0**	0
資金収入	**7,092**	**8,381**
業務活動による収入	7,058	8,199
運営費交付金による収入	5,185	5,243
受託収入	1,728	2,667
その他収入	145	289
投資活動による収入	34	182
施設整備費補助金による収入	34	182
その他収入	0	0
財務活動による収入	0	0
前期中長期目標の期間よりの繰越金	0	0

2. 運営費交付金以外の収入の確保

運営費交付金以外の収入として、研究成果の普及・広報活動を精力的に展開しつつ、知的財産権の活用などにより、自己収入の確保に努めた。具体的には、受託研究、外部資金受入型の共同研究及び競争的資金など運営費交付金以外の外部資金による研究開発については、受託研究等 212 件、競争的資金 116 件の合計 328 件を実施し、3,032 百万円を獲得した。この他、特許権実施及びソフトウェア使用許諾による収入として、107 百万円を獲得した。

また、海技研では効率的な自己収入確保に向け、受託研究等に係る一般管理費を引き上げ、さらに、技術コンサルタント規程を整備し、研究所が保有する技術の指導を促進することとした。

3. 短期借入金の限度額

特になし。

4. 不要財産の処分に関する計画

特になし。

5. 財産の譲渡又は担保に関する計画

特になし。

6. 剰余金の使途

特になし。

第4章　その他業務運営に関する重要事項

【中長期目標】

（1）内部統制に関する事項

内部統制については、「「独立行政法人の業務の適正を確保するための体制等の整備」について」（平成 26 年 11 月 28 日行政管理局長通知）に基づく事項の運用を確実に図り、研究における不正等が起きないよう、研究員を含む役職員に対しコンプライアンスに係る研修を行うなどの取組を強化するとともに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、法人のミッションや理事長の指示が組織内に徹底される仕組みなどの内部統制システムを整備する。また、研究所が国立研究開発法人として発展していくため、研究所の組織全体としても、個々の研究者としても、研究活動における不正行為の防止、不正行為への対応、倫理の保持、法令遵守等について徹底した対応をとるとともに、研究所としての機能を確実に果たしていく。

さらに、昨今の社会情勢を鑑みれば、個人情報等の保護についても徹底を図っていくことは重要であり、事務室等のセキュリティを確保するとともに、「サイバーセキュリティ戦略」（平成 27 年 9 月 4 日閣議決定）等の政府の方針を踏まえ、適切な情報セキュリティ対策を推進する。

（2）人事に関する事項

職員の専門性を高めるための能力開発の実施等により若手研究者等の育成を進めるとともに、職員の勤務成績を考慮した人事評価の適切な実施等により能力本位の公正で透明性の高い人事システムを確立し、卓越した研究者等の確保を図る。

また、達成すべきミッションと整合的な人材育成及び登用方針を明確化する。

（3）外部有識者による評価の実施、反映に関する事項

研究分野における業務計画、運営、業績については、目標の達成状況を随時把握し、必要に応じ研究開発の継続そのものに関する助言や指導を行う外部有識者から構成される研究評価体制を構築し、評価結果に基づいて研究資源の適時・適切な配分や研究開発業務の重点化を図るなど評価結果を積極的に活用する。

（4）情報公開の促進に関する事項

研究所の適正な運営と国民からの信頼を確保するため、適切かつ積極的に情報の公開を行う。

（5）施設・設備の整備及び管理等に関する事項

業務の確実な遂行のために必要な研究施設の計画的整備、維持、補修に努めるとともに、効率的に運営する。また、保有資産の必要性についても不断に見直しを行う。

（※）上記目標の評価は、別紙に掲げる評価軸等に基づいて実施することとする。

【中長期計画】

1. 内部統制に関する事項

内部統制については、「「独立行政法人の業務の適正を確保するための体制等の整備」について」（平成 26 年 11 月 28 日行政管理局長通知）に基づき、業務方法書に定めた事項の運用を確実に図る。また、研究における不正等が起きないよう関係規程の充実を図るとともに、研究員を含む役職員に対し、内部統制に係る研修を行う。

さらに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、法人のミッションや理事長の指示が組織内に徹底される仕組みとして内部統制推進に関する委員会を設置し、適切に運用する。

研究所が国立研究開発法人として発展していくためには、独立行政法人制度や国の制度等の様々なルールを遵守し適切に行動していく必要がある。研究所の組織全体としても、個々の研究者としても、研究活動における不正行為の防止、不正行為への対応、倫理の保持、法令遵守等について徹底した対応をとる。

個人情報等の保護を徹底するため、事務室等のセキュリティを確保するとともに、「サイバーセキュリティ戦略」（平成 27 年9月4日閣議決定）等の政府の方針を踏まえ、情報セキュリティポリシーを定め、適切な情報セキュリティ対策を実施する。

2. 人事に関する事項

職員の専門性を高めるための能力開発の実施等により若手研究者等の育成を進めるとともに、職員の勤務

成績を考慮した人事評価の適切な実施等により能力本位の公正で透明性の高い人事システムを確立し、卓越した研究者等の確保を図る。
　また、達成すべきミッションと整合的な人材育成及び登用方針を策定する。

3. 外部有識者による評価の実施・反映に関する事項
　研究分野における業務計画、運営、業績については、目標の達成状況を随時把握し、必要に応じ研究開発の継続そのものに関する助言や指導を受けるため、外部有識者から構成される評価委員会等による研究評価体制を構築する。評価結果については、研究資源の適時・適切な配分に反映させ、研究成果の質の向上を図るとともに、研究開発業務の重点化を図る。また評価のプロセス、評価結果等を研究所のホームページへの掲載等を通じて公表し、透明性を確保する。

4. 情報公開の促進に関する事項
　研究所の適正な運営と国民からの信頼を確保するため、情報公開窓口を設置するなど、適切かつ積極的に情報の公開を行う。

5. 施設・設備の整備及び管理等に関する事項
　業務の確実な遂行のため、中長期目標期間中に別表4に掲げる施設を整備・改修する。また、既存の施設・設備を適切に維持管理していくため、必要な経費の確保に努めるとともに、効率的に施設を運営する。また、保有資産の必要性についても不断に見直しを行う。

6. 積立金の処分に関する事項
　旧海上技術安全研究所、旧港湾空港技術研究所及び旧電子航法研究所の前中期目標期間繰越積立金は、前中期目標期間中に自己収入財源で取得し、研究所の当中長期目標期間へ繰り越した有形固定資産の減価償却に要する費用等に充当する。

【年度計画】
（1）内部統制に関する事項
　内部統制については、「独立行政法人の業務の適正を確保するための体制等の整備」について」（平成 26 年 11 月 28 日行政管理局長通知）に基づき、業務方法書に定めた事項の運用を確実に図る。また、研究における不正等が起きないよう関係規程の充実を図るとともに、研究員を含む役職員に対し、コンプライアンス違反防止のための研修を2回以上行う。
　さらに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、法人のミッションや理事長の指示が組織内に徹底される仕組みとして内部統制推進に関する委員会を適切に運用する。
研究所が国立研究開発法人として発展していくためには、独立行政法人制度や国の制度等の様々なルールを遵守し適切に行動していく必要があることから、研究所の組織全体としても、個々の研究者としても、研究活動における不正行為の防止、不正行為への対応、倫理の保持、法令遵守等について徹底を図る。
　個人情報等の保護を徹底するため、事務室等のセキュリティを確保するとともに、「サイバーセキュリティ戦略」（平成 27 年9月4日閣議決定）等の政府の方針を踏まえ、適切な情報セキュリティ対策を実施する。

（2）人事に関する事項
　職員の専門性を高めるための能力開発の実施等により若手研究者等の育成を進めるとともに、職員の勤務成績を考慮した人事評価の適切な実施等により卓越した研究者等の確保を図る。

（3）外部有識者による評価の実施・反映に関する事項
　研究分野における業務計画、運営、業績については、目標の達成状況を随時把握し、必要に応じ研究開発

の継続そのものに関する助言や指導を受けるため、外部有識者から構成される評価委員会等による研究評価を受ける。

評価結果については、研究資源の適時・適切な配分に反映させ、研究成果の質の向上を図るとともに、研究開発業務の重点化を図る。また評価のプロセス、評価結果等を研究所のホームページへの掲載等を通じて公表し、透明性を確保する。

また、本年度計画期間中に3回以上の外部有識者からの研究評価を実施する。

（4）情報公開の促進に関する事項

研究所の適正な運営と国民からの信頼を確保するため、情報公開窓口や、ホームページを活用し、適切かつ積極的に情報の公開を行う。

（5）施設・設備の整備及び管理等に関する事項

業務の確実な遂行のため、別表4に掲げる施設を整備・改修する。また、既存の施設・設備を適切に維持管理していくため、必要な経費の確保に努めるとともに、効率的に施設を運営する。また、保有資産の必要性についても不断に見直しを行う。

（単位：百万円）

施設整備等の内容		予算額	
研究開発の実施に必要な業務管理施設、実験設備の整備・改修及びその他管理施設の整備・改修		34	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 施設整備費補助金
①	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	0	
②	港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	0	
③	電子航法に関する研究開発等	34	

（注）単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

［注記］

施設・設備の内容、予定額については見込みであり、中長期計画を実施するために必要な業務や老朽状況等勘案した施設・設備の改修等の追加等変更することもある。

◆当該年度の取組状況

1．内部統制に関する事項

（1）内部統制の推進

内部統制について、業務方法書に定めた事項の運用を確実に図るとともに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、「内部統制の推進及びリスク管理に関する規程」を整備し、研究所における内部統制及びリスク管理に関する事項の報告、改善策の検討及び各管理責任者間における連絡及び調整を行う組織として、内部統制・リスク管理委員会を引き続き設置し、適切な運用を行った。

令和元年度は、同委員会において、研究所のコンプライアンスマニュアルの見直しを行うとともに、研究所全体の重要リスクについて把握及び分析を行い、適正な業務を確保するために取り組んだ。

（2）コンプライアンス違反防止のための取組

令和元年度においては、コンプライアンス違反防止のための取り組みとして、研究者を含む役職員に対して、以下の研修を計 5 回実施した。

・研究倫理研修
・安全保障輸出管理研修
・コンプライアンス研修
・知的財産研修
・内部統制・コンプライアンス研修

（3）不正防止に関する取組

研究活動における不正行為の防止、不正行為への対応、倫理の保持、法令遵守等について徹底を図るため、「研究活動における不正行為の防止並びに公的研究費等の執行及び管理に関する規程」、「研究活動並びに公的研究費等の執行及び管理における行動規範及び不正防止対策の基本方針」及び「不正防止計画」を整備し、不正を事前に防ぐための体制を整え、適切な運用を行った。平成 30 年度においては、上記研究倫理研修や内部監査を実施するなど不正防止の徹底を図った。

（4）個人情報等保護に関する取組

情報セキュリティポリシーを整備し適切な運用を行った。令和元年度においては、個人情報保護研修及び情報セキュリティに関する教育・訓練を実施するとともに、事務室について施錠を徹底する等、セキュリティの確保による個人情報の保護に取り組んだ。

2. 人事に関する事項

職員の専門性を高めるための能力の開発や若手研究者の育成のための取り組みとして、OJTプログラムや各種研修の実施、若手研究者への論文の積極的投稿の指導を行った。

職員の勤務成績を考慮した適切な人事評価を行うため、国の人事評価制度に準じた制度を導入し、適切な実施に努めるとともに、卓越した研究者を確保するため、独自の研究者評価制度や外部有識者による研究者格付審査委員会により、研究者の評価を実施した。

また、人材活用等に関する方針に基づき、優れた人材の採用及び育成を行い、その能力が発揮できる環境の形成に努めた。

さらに、研究者が、研究所と外部機関等の間で、それぞれ雇用契約関係を結び、各機関の責任の下で業務を行うことが可能となる仕組みである「クロスアポイントメント制度」を導入した。そのほか、研究所内外で開催されている講習会・勉強会や研修への参加を奨励、研究者の博士号取得の奨励、英語力向上のための補助など、関係者の専門性を向上させる取り組みを進め、研究所全体のポテンシャルの向上を図った。

3. 外部有識者による評価の実施・反映に関する事項

研究分野における業務計画、運営、業績については、目標の達成状況を随時把握し、必要に応じ研究開発の継続そのものに関する助言や指導を受けるため、各研究所において外部有識者により構成される評価委員会を設置したうえで評価を実施することとしている。

令和元年度においては、「船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する評価」、「港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する評価」及び「電子航法に関する評価」をそれぞれ実施し、合計 3 回の外部有識者による評価委員会を開催した。特に、海上技術安全研究所では、研究評価以外に今後の研究所の長期ビジョンについても第三者の視点から外部有識者において検討・コメントをいただき、新しい長期ビジョンに反映した。

評価の結果については、研究資源の適時・適切な配分に反映させることで、研究開発業務の重点化等に

活用しており、各研究所のホームページで公表した。

4. 情報公開の促進に関する事項

ホームページにおいて、法令等で公開することとされている各規程・計画等を公表している。同様に、情報公開窓口及び手続きに関して周知しており、適切かつ積極的に情報の公開を行っている。

5. 施設・設備の整備及び管理等に関する事項

施設・設備の整備及び管理等については、施設整備費補助金により実施するとともに、既存の施設・設備の適切な維持管理のため、自己収入による財源の確保に努めている。

また、効率的な施設の運営のための具体的な取り組みとして、円滑な使用・管理・運営のために主要研究施設ごとにWGを設置し、必要なメンテナンス等を行うことにより適切な維持管理を実施するとともに、研究所の研究活動に影響を及ぼさない範囲における外部利用の実施を行った。

さらに、保有資産の必要性の見直しを進めるため、保有施設に関して毎年度使用状況調査を実施し、必要に応じて減損を認識することとした。