令和３年度　業務実績等報告書

令和４年６月

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

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 ---------- ４３
（３）海洋の開発 ---------- ８３
（４）海上輸送を支える基盤的な技術開発 ---------- １００
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 ---------- １１９
（１）沿岸域における災害の軽減と復旧 ---------- １２１
（２）産業と国民生活を支えるストックの形成 ---------- １３９
（３）海洋権益の保全と海洋の利活用 ---------- １５３
（４）海域環境の形成と活用 ---------- １６０
４．電子航法に関する研究開発等 ---------- １７０
（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 ---------- １８９
（３）機上情報の活用による航空交通の最適化 ---------- ２０６
（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化 ---------- ２１１
５．研究開発成果の社会への還元 ---------- ２１８
（１）技術的政策課題の解決に向けた対応 ---------- ２１８
（２）災害及び事故への対応 ---------- ２２３
（３）橋渡し機能の強化 ---------- ２２６
（４）知的財産権の普及活用 ---------- ２３８
（５）情報発信や広報の充実 ---------- ２４３
６．戦略的な国際活動の推進 ---------- ２５４
（１）国際基準化、国際標準化への貢献 ---------- ２５４
（２）海外機関等との連携強化 ---------- ２６３

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 ----- ２６７
１．統合に伴う業務運営の効率化 ---------- ２７０
２．業務の電子化 ---------- ２７１
３．業務運営の効率化による経費削減等 ---------- ２７３

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 ------- ２７５
１．運営費交付金を充当して行う事業 ---------- ２８０
２．運営費交付金以外の収入の確保 ---------- ２８２
３．短期借入金の限度額 ---------- ２８２
４．不要財産の処分に関する計画 ---------- ２８２
５．財産の譲渡又は担保に関する計画 ---------- ２８２
６．剰余金の使途 ---------- ２８２

第４章　その他業務運営に関する重要事項 ---------- ２８３
１．内部統制に関する事項 ---------- ２８６
２．人事に関する事項 ---------- ２８７
３．外部有識者による評価の実施・反映に関する事項 ---------- ２８７
４．情報公開の促進に関する事項 ---------- ２８８
５．施設・設備の整備及び管理等に関する事項 ---------- ２８８

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。 また、防災・減災を分野横断的な研究の課題に加え、研究を推進する。このため、本年度において、首都圏空港の機能強化に関し、空港内の交通流を円滑にする運用の改善のため、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。

防災・減災に関しては、令和元年度に 3 年計画で交通運輸技術開発推進制度に採択された「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」を中心に、緊急支援物資輸送システムの開発など、他の課題の模索も含め3研究所が連携して研究を進める。

また、これまで各研究所で取り組んでいた洋上風力発電施設や水中施工に関する技術等に関して、シミュレーション技術や各種モニタリング技術、測位技術等を対象に3研究所で情報交換による相互理解を進め、連携研究を促す。

さらに、各分野の共通基盤となる技術の活用を支援する3研勉強会等の活動を引き続き実施して共通基盤技術を利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。

◆当該年度における取組状況

①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

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継続実施しており、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誘導路の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てきた。

また、本研究では平成30年度以降、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東京空港事務所から要望された交通データの提供や意見交換も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。

本年度は、前年度までの研究をもとに，空港舗装管理に有効な空港面交通量データを整理し，誘導路の補修工事件数との関係を分析した。計測点を設定し，各計測点を通過した航空機の交通量や速度，機体のサイズ（大型機，中型機などの分類）を分類した。この結果、出発機が走行速度を減速する計測点で、交通量と補修件数に相関があることが分かった。

本年度までの研究成果として、本分析を電子情報通信学会誌レターに投稿し、採録決定が通知された（掲載R4年7月号）。

②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

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、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ている。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。

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、文献調査の他、3研により合同で連絡会（静岡県、高知県を含む）を設けて実態調査を実施し（令和元年度）、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を開発した。そのツールを用い、自治体の被災想定を基にシミュレーションを実施することで、輸送の妨げ（ボトルネック）となる課題や問題点を明らかにした。

本年度は、昨年度まで開発したシミュレータをクラウド上に実装し、Webブラウザで動作するプログラムに改良した。シミュレータを活用した分析事例として、通行速度の変化、通行止め箇所の設定、追加機材の投入、病院船の投入など複数のケースについて示した。また域外搬送の拠点となる空港（電子研担当）や港湾（港空研担当）についてもシミュレータおよび評価システムより、どの程度活用可能か検討を行った。対象自治体（静岡県、高知県）と、シミュレータおよび分析結果を共有し、自治体が必要としている機能については、ほぼ網羅できていることが確認できた。さらに、「シミュレーション結果の分析内容から、課題が明確化されるので、何をすればいいか対応方法がよく分かった」、との意見があった。

③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、採択された科学研究費助成事業（科研費）「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」について、研究を継続している。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、令和2年度までに得られた実験結果より、重油移送配管系における重油エマルション効果による、流動性の変化を調べるために、重油移送実験模型を用いて港空研にて両研究所共同で実験を実施した。実験では、水・界面活性剤の混合液を高圧ジェット噴射し、噴射前後の配管内で発生する摩擦損失の計測を実施して高圧ジェットを用いた重質油回収システムの実用化に向けた検討を行った。

重油と水のみの分散混合系では、エネルギー散逸の大きい管路で流動様式が保持できず、これまでに計測・観測したW/Oエマルション（粘度が上昇する Water in Oil 型のエマルション）が形成することで、大きな摩擦損失が発生した。一方で重油に水と添加剤（界面活性剤）の混合液を付加する体系の実験では、O/Wエマルション化（粘度が急低下する Oil in Water 型のエマルション化）によって、安定した摩擦損失の上昇抑制・軽減が見られることなどを確認した。

④「みちびき」 を利用したデータの利活用

「みちびき」を利用したデータの利活用として、小型船を用いた自動着桟の研究では、海技研所有の小型船を用いた自動着桟（海技研担当）において、準天頂衛星「みちびき」による高精度測位技術（電子研担当）を利用した着桟試験を行い昨年度に引き続き成功するとともに、自動化運航システムの各種性能試験（自動着桟・遠隔操船等）を実施した。自動化運航システムに関する技術開発（海技研担当）の本年度の取り組み内容の詳細については、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に記載した。

⑤洋上風力発電に関する研究

洋上風力発電に関する研究として、再生可能エネルギー供給の主力の一つと位置づけられる着床式及び浮体式洋上風力発電施設の設計、施工、保守及び運営を対象に安全性評価などに一体的に取り組む検討を行った。令和2年度には、3研連携勉強会の成果を踏まえた取組として、当研究所実施の研究並びに研究能力を示す論文及び知財のみならず、施設設計や施工、保守、風車

による電波障害評価などの内容をもとに、洋上風力発電に関する研究マップを作成した。

この研究マップに基づき、次に示す「分野横断的推進会議」の一課題として、3研究所で研究を進めることとなり、今後の展開に向けた準備と所内外の意見収集、交換等を実施した。今後は、洋上風力発電施設の連成計算を活用した劣化予測など保守点検に関するデジタルツインの構築、モニタリング技術やシミュレーション技術、さらにはその統合技術に関する研究を推進する予定である。新型コロナウイルス感染拡大防止を踏まえ、オンラインで所内意見交換会である3研連携勉強会を開催した。

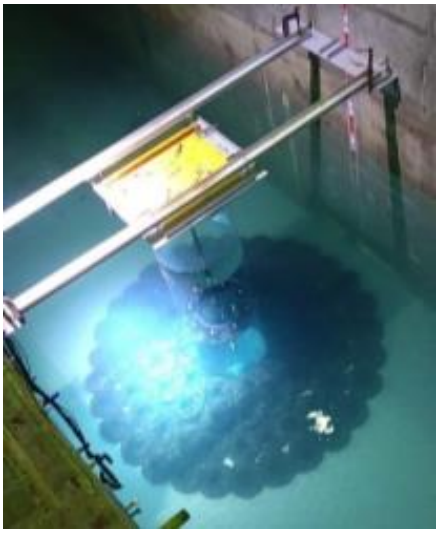


図 1.1.1　着床式洋上風力発電施設の大型洗掘試験

⑥その他の分野横断的な研究テーマの確立に向けた取組

「分野横断的推進会議」を新たに設立して、洋上風力発電に関する研究を新たな分野横断的研究の主要課題と位置づけ、新規連携企画「内部特別予算活用型分野横断的研究課題」を募集した。募集後の審議の結果、令和4年度から洋上風力発電施設の連成計算を活用した劣化予測など、保守点検に関するモニタリング技術やシミュレーション技術、さらにはそれらを統合したデジタルツイン技術に関した研究を開始することにした。

これとは別に3研の研究内容の把握による連携の促進と、連携研究の管理のため、継続的に3研究所で連携勉強会を行うとともに、各研究所の研究発表会における相互発表を実施した。また、研究監が3研究所の研究計画評価委員会に参加し、各研の研究内容を把握した。さらに、連携研究を管理するために「研究の連携案件調査票」を継続的に作成、更新し、研究所内で共有するとともに、連携活動を活発にする方法の一つとして、3研の各研究者情報を共有するための検討をすすめた。この活動を一層推進するため、3研全てに対して、リサーチマップの重要性を説き、かつ推奨を行う活動として、研究者の業績をリサーチマップ情報に掲載し、研究所内外における活用と連携活動の促進を行った。

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、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の参加、及びAIを応用した研究に関する情報収集も継続中である。

今後に向けた対応として、将来的に空港への設置が検討されている滑走路異物検知システム（FOD）について、空港内の利用可能性や価値をより深く検討するため、令和3年7月に、高所から舗装路面上の金属物を検知するための基礎実証実験を三鷹地区で実施し、港空研と電子研で見学会と意見交換会議を実施した。

国土交通省の緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業では、3研究所が連携して、感染症禍

における緊急支援物資輸送プラットフォームの構築を推進し、災害時に国土交通省がプッシュ型支援を行う際の輸送モード・輸送ルート選択に係る意思決定をサポートするため、陸海空の輸送モードが連動した緊急支援物資輸送システムを開発した。本システムをクラウド化し、各種データベースと連携することによって、国・地方公共団体・指定公共機関が同一のデジタルインターフェイスで情報共有できるプラットフォームを構築した。

ISO基準（ISO19901-2 Ed2、海洋構造物の耐震設計）に対する共同提案（現状最終案として協議中）や浮体式洋上風力発電施設安全評価手法（施設保守点検に関するガイドライン検討）に関する国請負への共同参画・対応を実施した。

（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3年度は、令和2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3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3年度は11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3年度は22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3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、競争的資金への応募に結びつけた。

「人づくり」については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、オンライン）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することにより、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、研究員の在外交流、オンライン交流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。

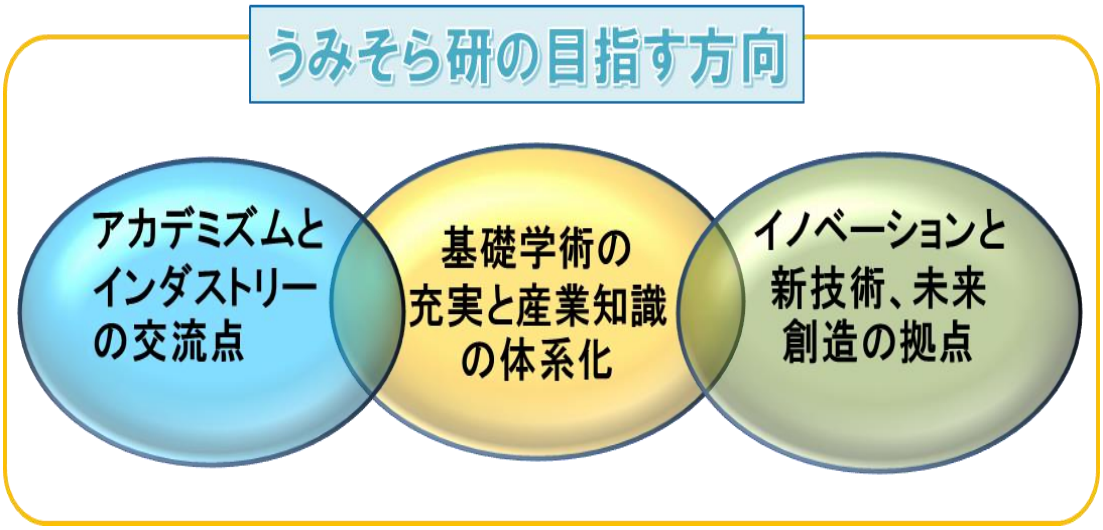


図 1.1.2　海上・港湾・航空技術研究所の目指す方向

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3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3年度には、(1)②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、(1)③油回収技術に関する研究及び(1)⑤洋上風力発電に関する研究及び緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業の4件の研究を、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「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)	継続
2	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)	継続
3	「浮体式洋上風力発電施設の安全評価手法等の確立のための調査研究」(令和 2 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)	継続
4	「緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業」(令和 3 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

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1回開催した。連携勉強会では3研究所の最新の研究の紹介等を行い、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等を実施した。

さらに、分野横断的研究に取り組みやすい環境を整えるため、トップダウンによる、内部特別予算を活用する目的で令和2年度に構築した「分野横断的研究推進会議」により、3研の分野横断研究の発展に寄与した。

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、管理業務の効率化及び経費のさらなる節減に貢献している。さらに、令和3年度からは電子入札システムを導入し、より一層効率化を図っている。

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（CO_2）、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。

このため、以下の研究開発を進める。

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、デジタルツインへの DLSA-Basic の機能の活用・実装を引き続き行うとともに、クラウド化した荷重計算機能の運用・外部利用の検討を行う。また、DLSA-AT のモジュールとしての CFD と構造 FEM 解析機能等の高精度化を図るほか、船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成を行い、さらに、DLSA 連携 HMS プログラム（DLSA/HMS）を組み込んだ船体構造デジタルツインシステム(i-SAS) を実海域試験等で検証する。 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

－安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に対応する技術開発を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、準輻輳海域を対象とした安全対策の立案支援手法と海域リスク評価技術を開発、荒天下操船運動評価プログラムの大波高不規則波中への計算拡張と検証、走錨危険度モニタリング手法の確立及び走錨リスク判定システムへの機能追加を行う。 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

－希薄濃度場でのガス燃料の耐ノック性評価手法の提案・検証及び燃料成分と排ガス成分の相関の解明

を行う。　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
－実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、実海域性能評価法への経年変化影響の組み込み、低速時波浪中推進性能モデルの構築、模型スケールにおける波浪中自由航走状態の CFD 計算手法の開発、及び実海域性能に関する現行のガイドライン等への実海域性能評価手法の組み込みを検討し、国際標準提案の作成を行う。 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
－GHG 削減のための CO2 及びメタンの排出を削減するための後処理技術の検討を行う。
－GI（グリーンイノベーション）を実現するために、水素・アンモニア混焼時にも安全で安定した燃焼技術の開発、強化学習の理論に基づくエンジンシステムシミュレータの構築及び多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価を行う。 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
－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（新浮体形式・制御法及び製造法等を提案）の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、浮体式風力発電の実運用に即対応可能なデータ収録システムの等の改善、作業員輸送船（CTV）と風車タワーの接舷状態における波浪中動揺評価プログラムの開発及び合成繊維索に対する生物付着影響を定量的に評価するため実海域への浸漬試験を行う。 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
－複数管ライザーの渦励振に関する数値解析手法の検討、計画支援プログラム用データベースにコバルトリッチクラストを対象としたデータを組み込む機能拡張、稼働性評価プログラムと計画支援プログラムを統合した開発支援プログラムのための統合フローの検討及び管内流のアスファルテンの付着モデルとガスハイドレートの生成・分解モデルの検討を行う。 等
③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発
－高精度・安価な小型 AUV による広域探査システム・運用技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、フィルタリング手法等を用いた最適高度誘導制御法の開発、シミュレーション計算や試験水槽等による隊列制御アルゴリズム（AUV-AUV 測位等）の開発を行う。 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
－防振部材への火気を伴わない接合方法の利用のための設計指針・施工要領のガイドライン案の策定を行う。
－内業工程における造船作業の一覧および体系的な整理、再現に必要なデータ構造の定義とモデル化を

行う。
－造船作業のモデル化と自律判断を再現するアルゴリズムを検討し、試作システムを構築する。　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
－他船検出機能システムの開発と自動避航システムの構築、自動運航船におけるオーバーライド及び避難における問題点の洗い出し、ファストタイムシミュレーションシステムの構築、小型内航貨物船の模型試験による自動着桟システムの検証及び船−陸通信を含めた遠隔操船システムの構築を行う。 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
－物資輸送に関する輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をするための システムの開発を行う。本年度はコンテナ輸送サービスを対象として、新たなコンテナ流動のデータを用いて多様な条件でのシミュレーションを実行し、アルゴリズムとパラメータを調整することで、経路推定確率の予測精度の向上を図る。
－データ融合技術に基づくコストの算定と世界的な外航貨物需要の推定と予測、バルクキャリアを対象とした造船需要予測モデルと海上物流シミュレータを統合した GHG 削減戦略評価プラットフォームの開発を行う。 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 3 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	R3 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、デジタルツインへのDLSA-Basic の機能の活用・実装を引き続き行うとともに、クラウド化した荷重計算機能の運用・外部利用の検討を行う。また、DLSA-AT のモジュールとしての CFD と構造 FEM 解析機能等の高精度化を図るほか、船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成を行い、さらに、DLSA 連携 HMS プログラム（DLSA/HMS）を組み込んだ船体構造デジタルツインシステム(i-SAS) を実海域試験等で検証する。 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、以下があげられる。

□全船直接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
□ハル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
□船体構造デジタルツインの開発
□データ活用型の強度評価手法の開発

期間全体の研究目標

□全船荷重構造一貫解析システム(DLSA)の開発
・統合プラットフォーム
・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
・ハルモニタリングシステムガイドライン
・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
・船体構造デジタルツインシステム
・データ活用による船体強度評価システム及び設計フィードバック手法

上記成果は、以下があげられる。
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、船舶の折損事故等が防止される。

R3 年度研究目標

□小項目 1 新構造基準作成に資する体系化された全船直接荷重構造強度評価システムの開発
・実装及びクラウド化及び強度評価機能の向上【1-①：DLSA-Basic】
・DLSA-Professional の GUI 改良及び検証【1-①：DLSA-Pro.】
・非線形、極値応答評価のための DLSA-AT 計算環境の構築【1-②：DLSA-AT】
・船体運動－タンク内スロッシング荷重－構造応答の連成解析モデルの検証・構築【1-②：DLSA-AT】
・リスク評価・ALS 評価手法並びに事故解析手法の高度化【1-⑤：DLSA-AT】
・重畳波を含む二軸荷重下の疲労強度評価法の開発【1-③：最先端の要素技術の確立】
・損傷時傾斜を考慮した繰返し荷重を受ける船体崩壊挙動の実験的解明【1-④：最先端の要素技術の確立】
・極限海象下での非線形流体－構造応答の実験技術の確立【1-⑥：最先端の要素技術の確立】

□小項目 9
・船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成
・AI 等による船体健全性予測システムの構築
・船体構造デジタルツインシステムの構築と実船検証
・波浪データと AIS データを利用した確率論に基づく設計荷重設定手法の構築

・R3 年度研究内容

□小項目 1 新構造基準作成に資する体系化された全船直接荷重構造強度評価システムの開発
・線形ストリップ法 NMRIW-Lite 及び 3 次元線形 Green 関数法 NMRIW_3D_Lite の開発の完成【1-①：DLSA-Basic】
・全船強度評価による二軸載荷の疲労寿命に及ぼす影響調査【1-①：DLSA-Basic】
・極限波自動設定プログラムによる機能追加【1-①：DLSA-Pro.】
・GUI の改良及び複合荷重下における最終強度推定手法の高度化【1-①：DLSA-Pro.】
・CFD-FEA 計算を行うインターフェースを構築【1-②：DLSA-AT】
・実験結果との比較によるスロッシング荷重及び構造応答評価に対する粒子法コードの検証【1-②：DLSA-AT】
・極限海象に対する流体構造連成を考慮した実海域船体応答予測手法の開発【1-⑤：DLSA-AT】
・二軸重畳載荷条件下における疲労き裂伝播試験の実施【1-③：最先端の要素技術の確立】
・中央断面が傾斜し、且つ破孔を有する箱桁構造模型の設計・製作及び 4 点曲げ繰返し曲げ崩壊実験の実施【1-④：最先端の要素技術の確立】
・GFRP 材料を用いた全船／局部弾性模型の設計・製作及び船体のたわみ量計測及びたわみ量からの応力推定手法の開発【1-⑥：最先端の要素技術の確立】

□小項目 9 船体構造デジタルツインの開発

1. 船体構造デジタルツインの標準化
2. AI 等を利用した設計・運航・保守支援手法の構築
3. 船体構造デジタルツインシステムの構築
4. データ活用型の船体強度評価手法の開発

R3 年度研究成果

□小項目 1 新構造基準作成に資する体系化された全船直接荷重構造強度評価システムの開発

【1－①:DLSA-Basic 及び Pro.】

・船技協・船体構造 DT のプロトタイプに利用された

・全船有限要素モデルを対象にした腐食予備厚付加及び削減機能を追加した。

・線形ストリップ法および 3 次元 Green 関数法のクラウド利用 Web アプリケーション版 NMRIW-Lite Web を開発し、販売開始した(図 1-①-1)。

・DLSA-Basic の POST 機能に非線形統計予測機能を追加することで降伏強度評価を合理化(図 1-①-2)、応力の多軸度評価および全船モデルへのマッピング機能を追加(図 1-①-3)、船級規則に準拠したホットスポット応力ベースの疲労強度評価機能を追加した(図 1-①-4・図 1-①-5)。

・DLSA-Pro.の最大耐荷力評価用の極限海象波の設定機能及び非線形構造解析用 FE モデル自動作成機能を追加した。

・「海技研 DLSA セミナー2022」(2022/1/25)をオンラインにて開催し、新機能を含む DLSA の最新情報を紹介した。当日は造船所、海運会社、国内外船級協会、大学等より 57 名の参加があった。

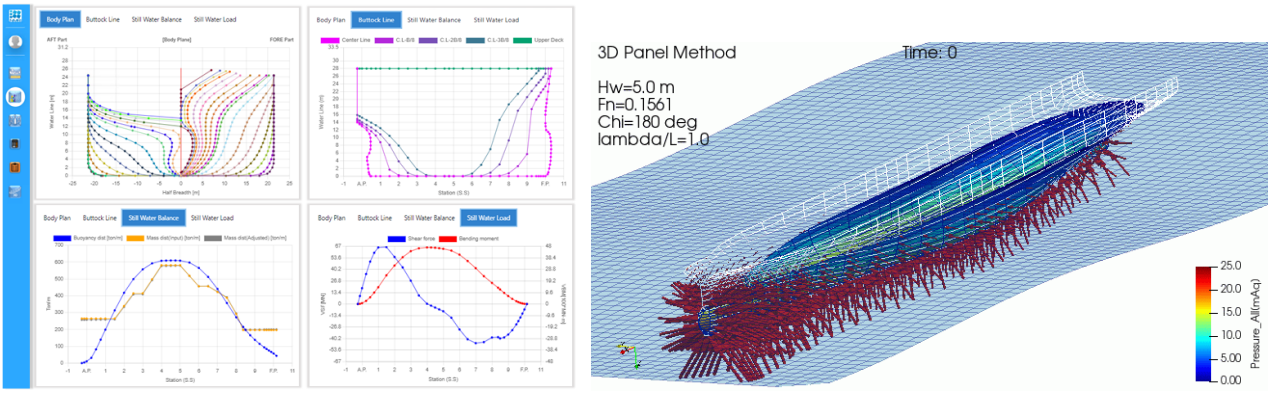


図 1-①-1 NMRIW-Lite Web の web ブラウザ上の操作画面(左)および結果アニメーション(右)

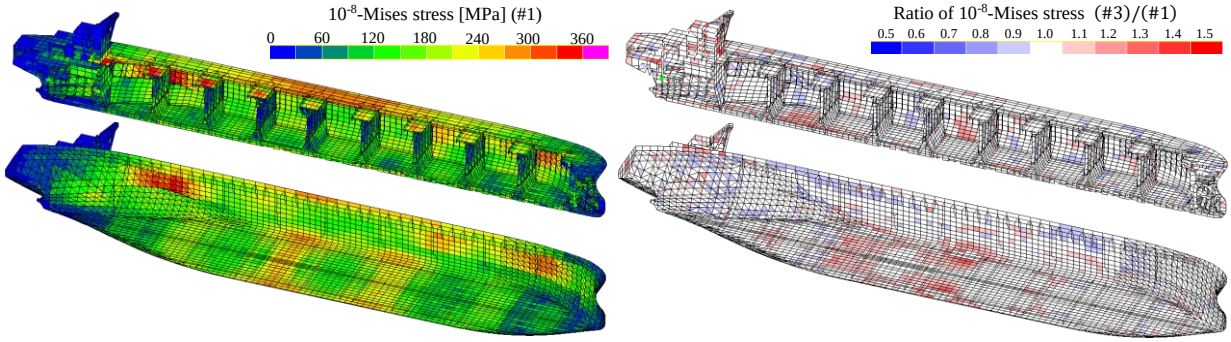


図 1-①-2 DLSA-Basic の新機能による Mises 応力の最大期待値(左)と従来法による結果との比(右)のマッピング

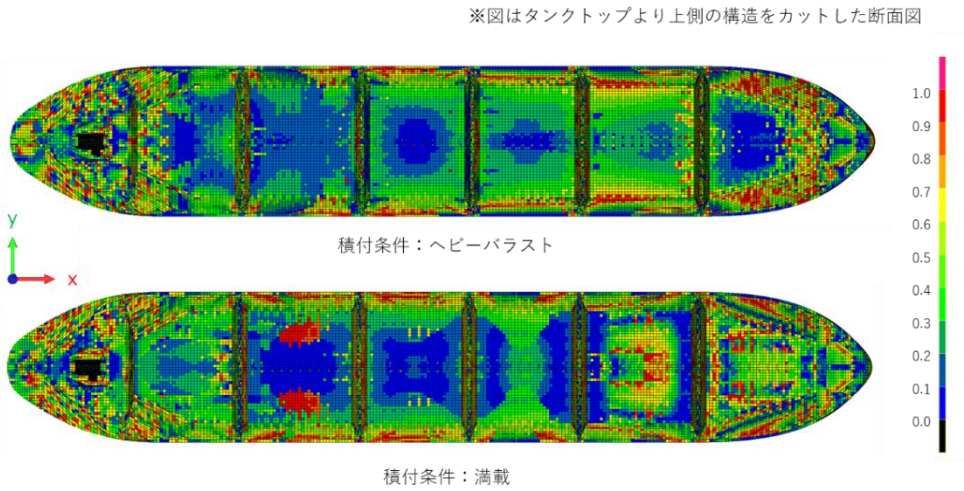


図 1-①-3　x 方向および y 方向応力の振幅比をとった応力の 2 軸指標の全船マッピング結果

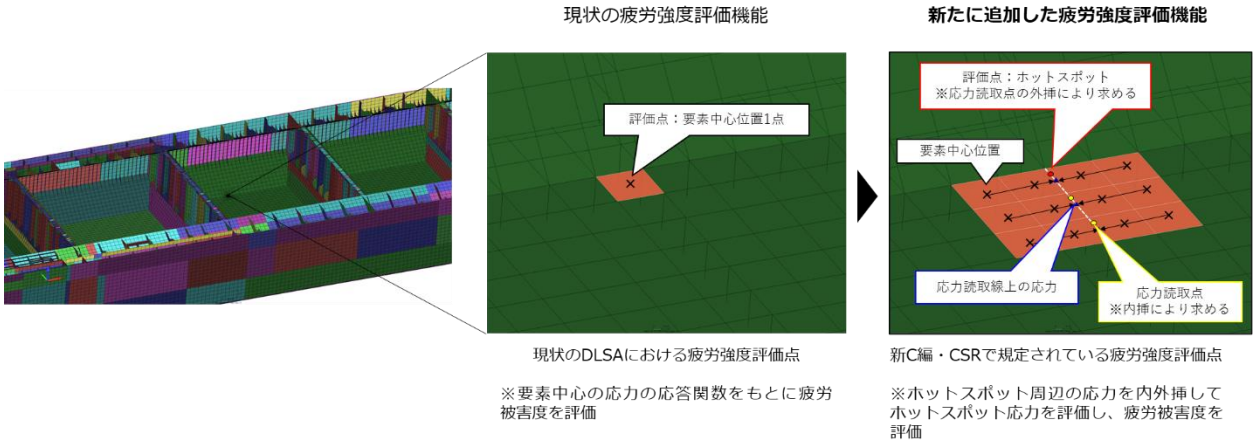


図 1-①-4　DLSA-Basic における疲労強度評価機能の新旧比較

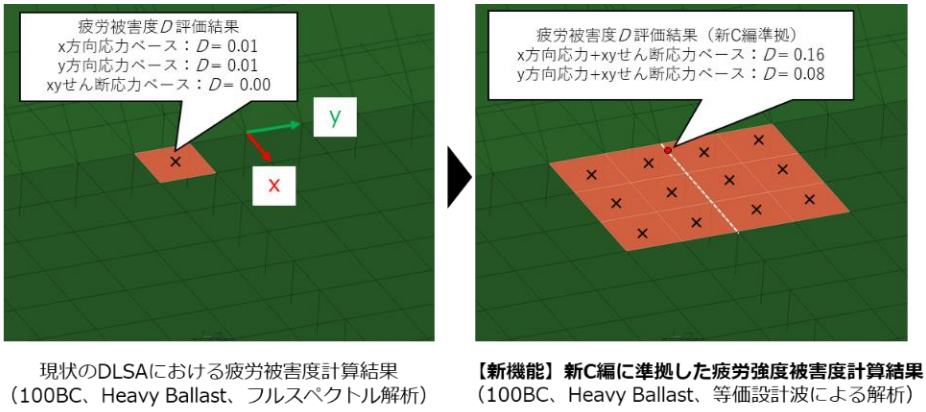


図 1-①-5　DLSA-Basic における疲労被害度の計算例

【1－②⑤：DLSA-AT】
・矩形タンク内のスロッシング荷重の極値評価法と、タンク内構造の弾性応答の簡易評価法を開発した（図 1-②-1）。手法検証用の模型を製作した。
・CFD－FEA 連成解析を用いて船体の衝撃による弾性応答のみならず、共振現象（スプリンギング応答）の評価が可能なことを明らかにした（図 1-②-2）。
・タンク内スロッシング荷重を考慮した LNG 船模型実験を考察した。
・パネル法と粒子法を連成させる両方向連成 Hybrid 解析プログラムを開発した（図 1-②-3）。模型実験に関す Hybrid 連成数値モデルを作成した。非線形影響を検討するため、線形パネル法数値モデルも構築した。

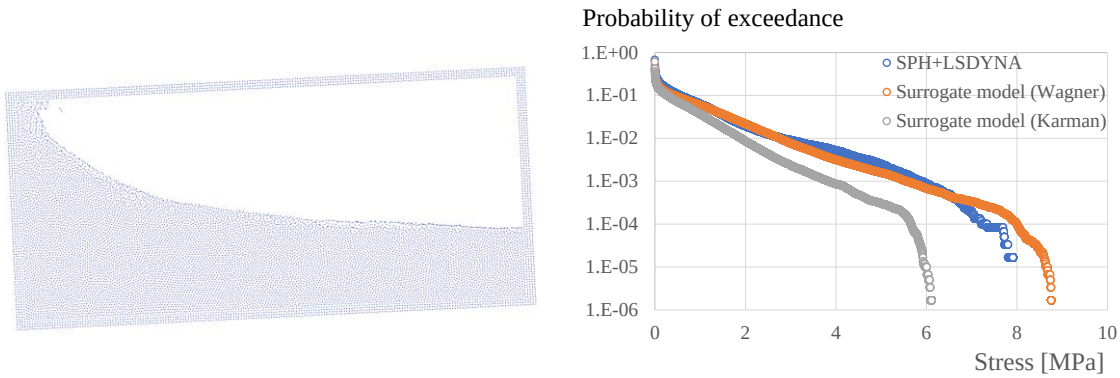


図 1-②-1 SPH モデル（左）と SPH+LSDYNA と簡易評価法による斜板応力の極値評価結果の比較（右）

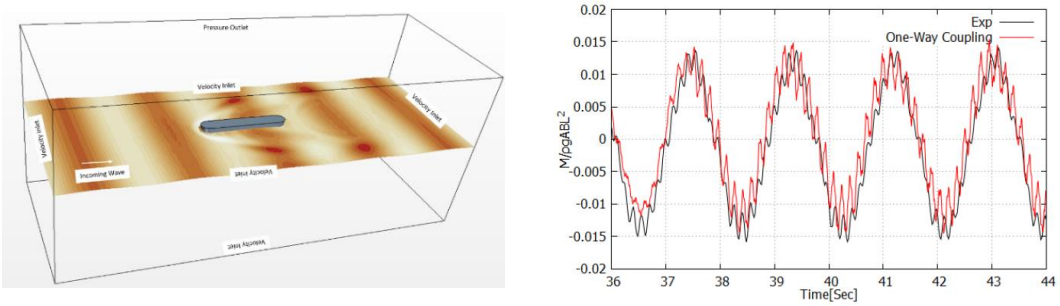


図 1-②-2 船体 CFD モデル（左）と CFD-FEA 連成計算によるスプリンギング評価例（右）

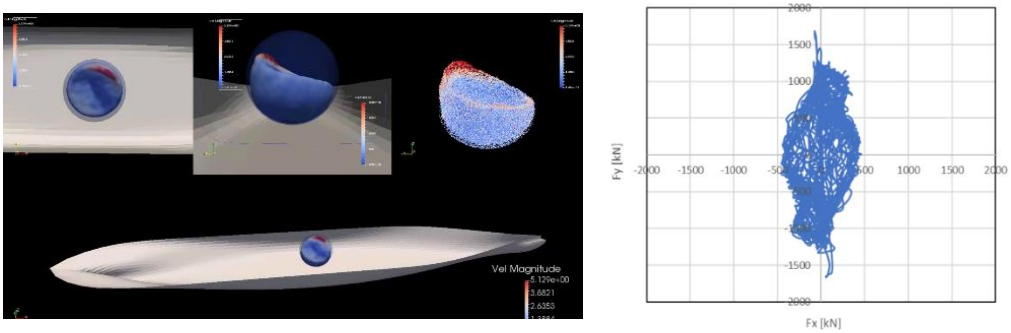


図 1-②-3 パネル法と粒子法を連成モデル（左）と連成計算によるスワリング評価例（右）

【1-③：最先端の要素技術】

・二軸載荷条件下の重畳波の応力振幅影響が表れる条件の明確化を目的とし、疲労亀裂伝播試験を行った。その結果、最大応力と最小応力を包絡波として実施した条件下において、単軸載荷条件下（従来知見）とは異なる傾向を示す条件（図 1-③-1）が確認された。

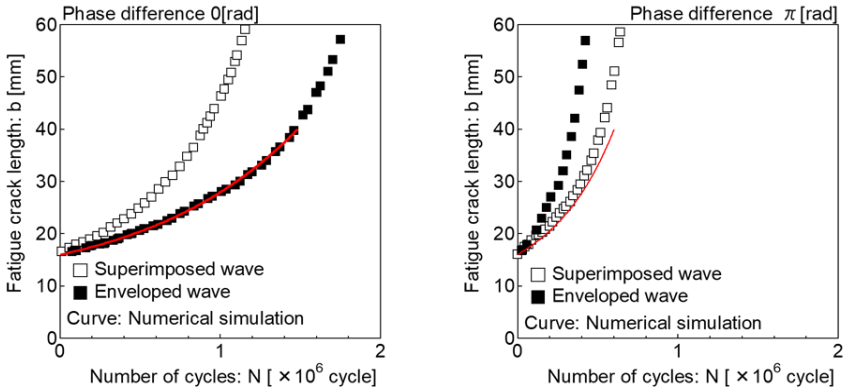
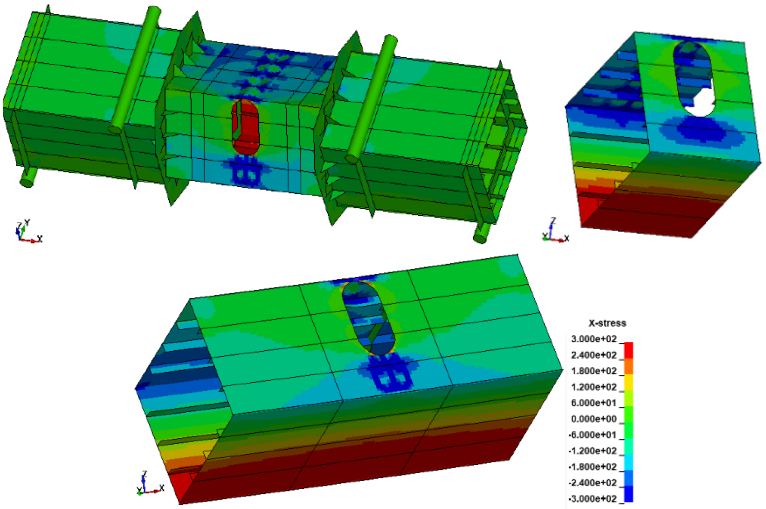


図 1-③-1 重畳波条件と包絡波条件の試験結果及び推定結果（左右では位相差のみ異なる条件）

※赤線：従来の知見基づくシミュレーション

【1－④：最先端の要素技術】
・中央断面を 30deg 傾斜した開口を設けた箱桁構造試験体の設計・製作および実験を実施した（図1−④−1）。
・縦曲げ最終強度に至るまでの崩壊挙動および中立軸の変化を実験的に解明した。また、実験状態を再現した LS−DYNA による有限要素解析(FEA)により中立軸位置の変化も含めた崩壊挙動を精度良く得られた。また、座屈変形や開口部近傍の局所変形を考慮するために 3span モデルが必要であることが分かった（図 1-④-2）。

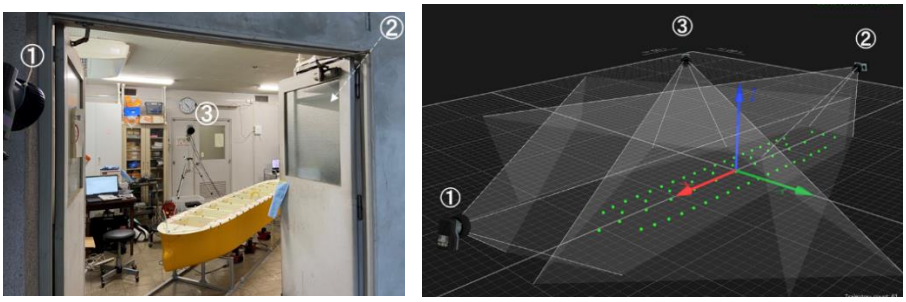
図1−④−1　傾斜した開口有り箱桁構造模型及びその崩壊の様子



実験モデル　　1span mode　　3span model

図 1−④−2　モデルよるの FEA 結果（x 軸応力分布）の比較

【1－⑥：最先端の要素技術】
・モーションキャプチャーを用いた GFRP サンドイッチパネル製弾性模型船の陸上での縦曲げ試験を実施し、計測された模型船たわみと梁理論が良い一致を示すことを確認した（図 1−⑥−1）。（東大協業）
・GFRP サンドイッチパネル製弾性模型船を用いた波浪中曳航試験を実施し、規則波中試験結果を用いて、各応答について DLSA により得られる応答関数の精度検証を実施した（図 1−⑥−2）。
・2 方向の短波頂不規則波中曳航試験を実施し、波浪スペクトル推定手法を用いて、方向波スペクトルの推定が可能であることを示した（図 1−⑥−3）。



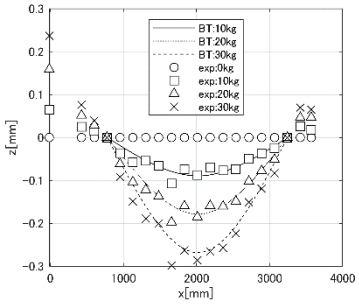
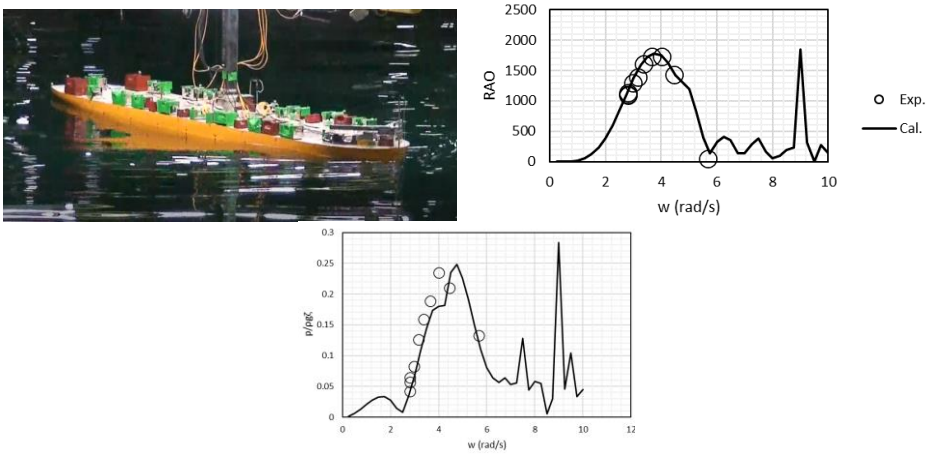
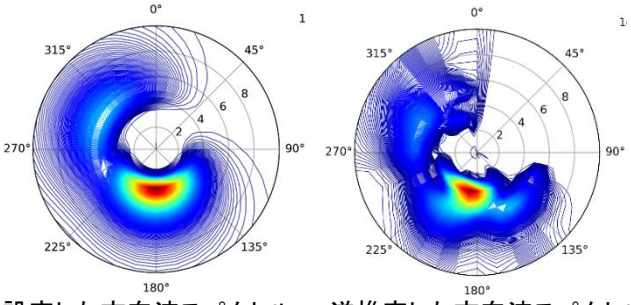


図 1-⑥-1　モーションキャプチャーによるたわみ計測



弾性模型船を用いた波浪中曳航試験　　縦曲げモーメントの応答関数　　船底の水圧の応答関数

図 1-⑥-2　実験値と DLSA(パネル法、FEA)の応答関数の比較



設定した方向波スペクトル　　逆推定した方向波スペクトル

図 1-⑥-3　2 方向短波頂不規則波中試験結果を用いた波浪スペクトル推定手法の検証

□小項目 9　船体構造デジタルツインの開発

- コンテナ船モニタリングの共同研究の一環で、船体構造デジタルツインの認証用ガイドラインのベースとなる「船体構造モニタリングシステムに関するガイドライン」を作成。2021 年 7 月に日本海事協会より発行された。
- ハルモニタリングシステム(NMRI/HMS)を利用した船体疲労健全性予測システムについて、コンテナ船モニタリングのデータで検証した結果をシステムにフィードバックしてブラッシュアップした。
- 舶用品の欠陥認識にあたって，画像認識 AI だけでは不十分な問題に対して，知識処理 AI を活用して，設計知識を踏まえた対応を可能にするための課題を整理した．（共同研究と連携）
- ハルモニタリングシステム(NMRI/HMS)を複数ユーザが遠隔操作可能なデジタルツインクラウドシステムを構築して実海域試験で検証した。(図 9-2)
- NMRI/HMS 及び波浪逆推定手法などのデータ同化技術を組み込んだ船体構造デジタルツイン統合システム(i-SAS)を、大学等との共同研究をプラットフォームとして構築し、水槽試験、実海域試験で検証した(図 9-3)。実船体全域の応力応答をリアルタイムで取得可能であること、及び、波浪逆推定により実海域の波浪スペクトル・波浪荷重を良好な精度で推定できることを確認した。
- 全球海域の AIS データと波浪推算データを用いて、実運航の船舶の遭遇海象を調べた。遭遇海象を設計規則の想定する海象と比較することで、設計荷重の部分安全率における遭遇海象の影響度を示した。(図 9-4)
- AIS データと波浪推算データを用いて、大荷重の発生する可能性の高い海域を特定した。データ解析の結果、コンテナ船及びタンカーは北大西洋が多く，バルクキャリアは相対的にみて北太平洋が多いことなど、船種と海域・

航路、あるいは船サイズと波浪荷重の関係を調べ、設計用の波浪荷重の設定に資する情報を提供した.（図 9-5）

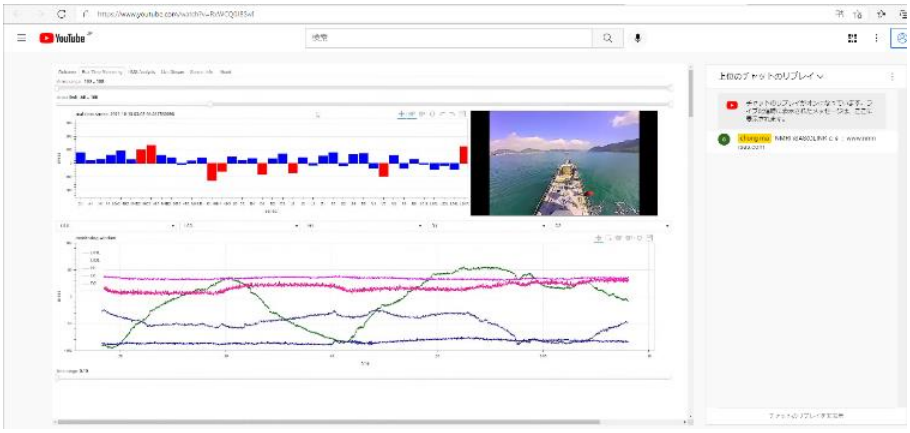


図 9-2　デジタルツインクラウドシステム(Web アプリ)

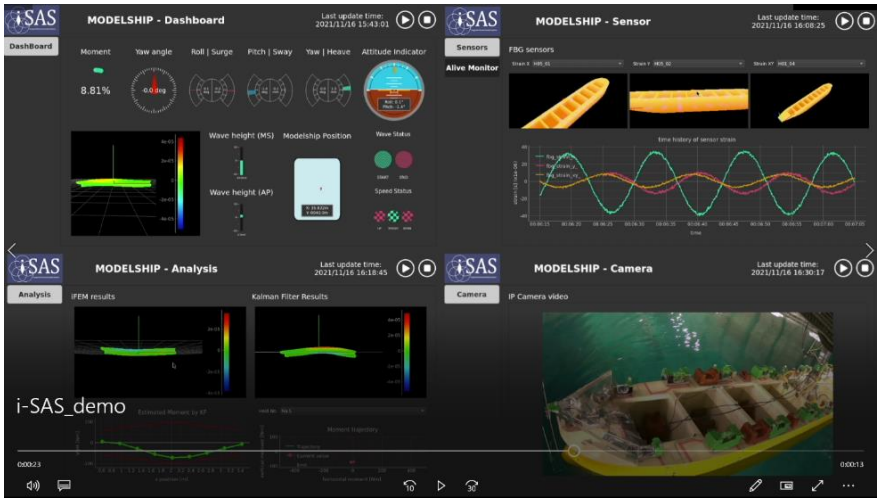


図 9-3　統合型デジタルツインシステム(i-SAS)のプロトタイプ

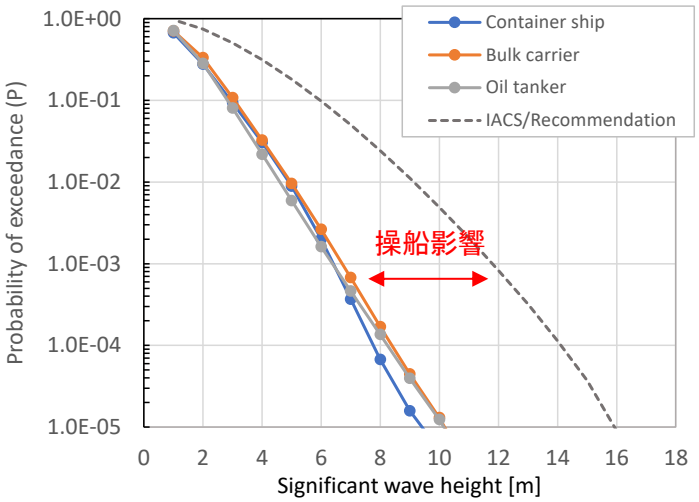


図 9-4　設計規則の想定海象と船舶の遭遇海象の比較（有義波高）

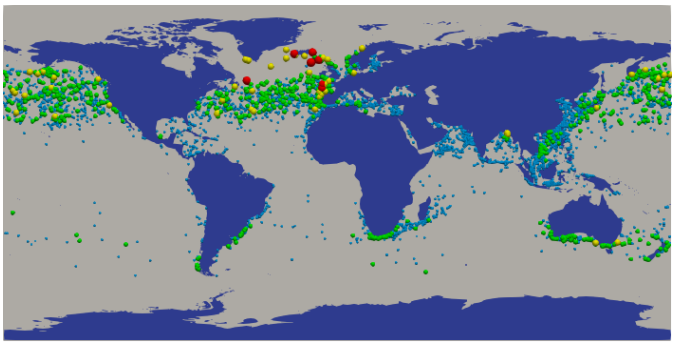


図 9-5　データ活用による最大荷重の発生海域（コンテナ船、4,892 隻；赤が規則荷重を超過した船）

R3 年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：17 件（投稿中：5 件、採択済：5 件、掲載済：7 件）

- 松井貞興，篠本恭平，杉本圭：波浪中船体運動に係る流体力の簡易推定式の開発　―その１：復原力係数―，海上技術安全研究所報告 Vol. 21-3 (2022)（掲載済）
- 松井貞興，篠本恭平，杉本圭：波浪中船体運動に係る流体力の簡易推定式の開発　―その２：Heave と pitch の付加質量，造波減衰力係数および scattering 流体力―，海上技術安全研究所報告 Vol. 21-3 (2022)（掲載済）
- 松井貞興，篠本恭平，杉本圭：波浪中船体運動に係る流体力の簡易推定式の開発　―その３：Roll の付加慣性モーメント―，海上技術安全研究所報告 Vol. 21-3 (2022)（掲載済）
- 松井貞興，篠本恭平，杉本圭：船体運動の応答関数における支配パラメータの抽出と簡易推定式の提案，日本船舶海洋工学会論文集第 34 号（2022)（採択済）
- 松井貞興，篠本恭平，杉本圭：船体構造設計のための波浪中応答長期予測値の簡易算式に関する研究，日本船舶海洋工学会論文集第 35 号（2022)（採択済）
- Sadaoki Matsui: Practical Estimation Method for Extreme Value Distribution of von Mises Stress in Ship Structure, Journal of Marine Science and Technology （投稿中）
- Takami, T, Ma, C: Surrogate Model Approach for Stochastic Prediction of Sloshing Loads Based on SPH and FORM, Ships and Offshore Structures (採択済)
- Takami, T., Ma, C: Extreme Tank Force Prediction by FORM Using Time Domain Numerical Simulation Based on SPH, Proc. of ISOPE2021.(掲載済)
- Pal, SK, Iijima, K, Tatsumi, A, Fujikubo, M, Takami, T: Experimental and Numerical Investigation of High Frequency Vibrations in Segmented Ship Model Using One-Way Coupling of CFD and FEM, MARSTRUCT2021. .(掲載済)
- 安藤孝弘、津村秀一、穴井陽祐、森下瑞生、丹羽敏男、後藤浩二：大型油圧アクチュエータを用いた 2 軸重畳波繰返し加振システムの開発、実験力学 22 巻 1 号、2022.3 (採択済)
- 安藤孝弘，小森山祐輔，橋爪豊，田中義照：繰り返し載荷による防撓パネル座屈変形の変化について，海上技術安全研究所報告，2022.（採択済）
- Yamada、Y. and Ma, C., 2022, “APPROACH TO SIMULATE FLUID-STRUCTURE INTERACTION OF A SHIP IN 3-DIMENSIONAL NUMERICAL TOWING TANK”, OMAE-2022（投稿中）
- 小森山祐輔：水圧計測による波浪中船体構造応答の推定手法－第 1 報 縦曲げモーメントの推定－，日本船舶海洋工学会論文集，2022.（投稿中）
- Yusuke Komoriyama, Kazuhiro Iijima, Masahiko Fujikubo: A Kalman filtering technique for prediction of wave time histories around ship based on response measurements ant its experimental validation, OMAE2022, 2022.（投稿中）
- Tomoki Takami, Ulrik Dam Nielsen, Chen Xi, Jørgen Juncher Jensen, and Masayoshi Oka: Reconstruction of Incident Wave Profiles Based on Short-Time Ship Response Measurements, Applied Ocean Research（投稿中）
- Kubo, H., Okada, T., Chen, X., Kawamura, Y. Mitsuyuki, T: Bayesian updating of sea state parameters based on measured hull stresses given on-board at regular intervals, 34th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2020/21), pp.478-487, 2021. .(掲載済)
- 久保宏美，岡田哲男，陳曦，川村恭己，満行泰河，船体応答に基づく推定波浪情報の時刻歴ベイズ更新に関する研究，日本船舶海洋工学会論文集，pp.1-9，2021. .(掲載済)

口その他発表論文：19 件（投稿中：10 件、掲載済：9 件）

- 松井貞興：船体構造に生じる非線形応力の極値統計予測　－第 1 報：平均ゼロの 2 応力成分から成る Von-Mises 応力および合力応力－，日本船舶海洋工学会講演会論文集第 33 号，pp.275-286 (2021)（掲載済）
- 松井貞興：船体構造に生じる非線形応力の極値統計予測　－第 2 報：平均が非ゼロの 3 応力成分から成る Von-Mises 応力－，日本船舶海洋工学会講演会論文集第 34 号(2022)（投稿中）

・松井貞興：設計規則波を用いた船体の降伏強度評価に関する一考察，日本船舶海洋工学会講演会論文集第 34 号(2022)（投稿中）
・大橋、高見: 船体に働く波浪荷重と流体構造連成解析について、計算工学講演会論文集（Vol. 26）（掲載済）
・小森山祐輔，田中義照：面内圧縮荷重を受ける矩形パネルの動的座屈崩壊挙動に関する研究，海上技術安全研究所報告，第 21 巻，第 1 号（令和 3 年度）総合報告，pp.15-31，2021. .（掲載済）
・小森山祐輔，田中義照，安藤孝弘，橋爪豊，辰巳晃，藤久保昌彦：傾斜した損傷船体構造の崩壊挙動－傾斜した開口有りボックスガーダーを用いた実験および有限要素解析による検討－，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・小森山祐輔，馬冲，岡正義：船体構造デジタルツインに必要な数値シミュレーション手法検証のための水槽試験技術の開発，海上技術安全研究所報告，21，pp.31-36，2021. .（掲載済）
・小森山祐輔，宝谷英貴，沢田博史，岡正義：FBG ひずみセンサを用いた波浪中船体構造応答の計測，日本船舶海洋工学会講演会論文集，33，pp.99-102，2021. .（掲載済）
・宝谷英貴，三上航平，小森山祐輔，陳曦ら：バルクキャリア弾性模型を用いた水槽試験による船体構造デジタルツインのデータ同化手法の検証，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・岡正義、馬沖： AIS データに基づく波浪荷重予測（全球での波浪縦曲げモーメントの最大値と発生海域）、日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，2021. .（掲載済）
・岡正義： 船体構造デジタルツイン構築のためのデータ同化技術、日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・岡正義：船体構造デジタルツイン統合システムの開発、日本船舶技術研究協会「海事産業の DX に向けて」ウェビナー2022.3.（投稿中）
・高見朋希，陳曦，岡正義：短時間船体応答計測に基づく時間領域波浪推定，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，pp449-453，2021. .（掲載済）
・高見朋希，陳曦，小森山祐輔：多方向不規則波中の船体応答計測に基づく波浪及び非計測応答の時間領域推定，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・久保宏美，岡田哲男，陳曦，川村恭己，満行泰河：船体応答に基づく推定波浪情報の時刻歴ベイズ更新に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，pp.293-301，2021. .（掲載済）
・平川真一，吉田智美，岡田哲男，辰巳晃，内田響，陳曦ら：ケープサイズばら積み貨物船の静水中・波浪中応答評価，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・内田響，陳曦，岡田哲男，川村恭己，満行泰河，吉田智美：ケープサイズバルクキャリアの実船応力計測に基づく遭遇波浪推定に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）
・虎谷大地，馬沖，吉田隼基，大西弘益，河邉拓樹，稗方和夫：国際海運における二酸化炭素削減方策検討のためのインタラクティブシミュレーション，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，2021. .（掲載済）
・三上航平，小林真輝人，宮下知也，小森山祐輔，馬沖，辰巳晃，藤公博，見良津黎，平川真一，満行泰河，村山英晶：デジタルツインシステムプラットフォーム i-SAS の開発と水槽試験におけるシステム検証，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，2022.（投稿中）

□特許申請：0 件

□コアプログラム登録： 4 件
・NMRIW-Lite Web（波浪中船体応答計算クラウドアプリケーション）：松井貞興
・有限要素モデルを対象にした腐食予備厚付加及び削減プログラム：村上睦尚
・船体-タンク連成解析プログラム：岡正義他
・デジタルツインクラウドシステム：馬沖他（申請中）

□国際貢献： 2 件
・ISSC Loads Committee ： 岡正義
・ISSC Dynamic Response Committee ： 山田安平

□受賞： 0 件

□公開実験：1 件
・「船体構造デジタルツインシステムの水槽試験による機能検証」 2021.11

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	R3 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、デジタルツインへの DLSA-Basic の機能の活用・実装を引き続き行うとともに、クラウド化した荷重計算機能の運用・外部利用の検討を行う。また、DLSA-AT のモジュールとしての CFD と構造 FEM 解析機能等の高精度化を図るほか、船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成を行い、さらに、DLSA 連携 HMS プログラム(DLSA/HMS)を組み込んだ船体構造デジタルツインシステム(i-SAS)を実海域試験等で検証する。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 －安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に対応する技術開発を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、準輻輳海域を対象とした安全対策の立案支援手法と海域リスク評価技術を開発、荒天下操船運動評価プログラムの大波高不規則波中への計算拡張と検証、走錨危険度モニタリング手法の確立及び走錨リスク判定システムへの機能追加を行う。 等

研究の背景

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

具体的には、以下があげられる。

□GHG 対策のための代替燃料等に係るリスク評価手法の開発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

□無人運航船の安全性評価に関する研究

期間全体の研究目標

□新規貨物・燃料を扱う船舶のリスク評価手法を構築し、以下を含む成果を得る

・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のための評価手法を開発し、以下を含む成果を得る。

・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）

□無人運航船の安全評価に係る以下を成果とする。

・無人運航船の安全評価ガイドライン案

上記成果は、以下があげられる。

□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。

□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る。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十分意義がある。

□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。

□無人運航船の安全確保に寄与し、社会実装を促進する。

R3 年度研究目標

□小項目 1

・新たに導入される低引火点燃料に係るリスクベース設計手法のためのリスク評価技術を開発し、当該燃料を使用する船舶の安全基準、ガイドラインを作成する。

□小項目 2

・液化水素運搬船のリスク評価における影響因子の抽出。リスク評価技術の高度化。

□小項目 3

・新しい海域を対象とした安全対策の立案支援手法と海域リスク評価技術を開発する。海域リスクの低減のためのビッグデータ、AI の海域管理への活用方法を検討する。

□小項目 4

・無人運航船の安全評価ガイドラインに記載すべき事項を抽出する。自動運航船のリスクモデルを構築する。

・R3 年度研究内容

□小項目 1

・新たな低引火点燃料船に係る評価技術開発と新規貨物・燃料等に対応した安全基準の策定

□小項目 2

・液化水素運搬船のリスク評価手法の実験的検討・評価モデル構築

□小項目 3

・交通状況がやや複雑な海域における安全対策構築のための立案支援技術と海域リスク評価技術の開発

□小項目 4

・無人運航船に係るリスク評価技術の構築のための安全性評価の実施

R3 年度研究成果

□小項目 1

・商用の大型の液化水素運搬船を解析の対象として、既存の安全基準（義務要件や暫定勧告）を考慮しつつハザードの抽出を実施することで、液化水素のばら積み運搬の暫定勧告の見直しを要請する新規作業計画の IMO 提案文書における論点の整理に貢献した。

・機関室内における漏えいした燃料ガスの滞留に対する安全対策として換気による迅速な排除が重要となる。複雑な船内の構造を考慮した換気効率の空間分布を評価するため、室内建築物の空調衛生分野で用いられる東大生研の村上らが開発した SVE 指標のうち、空気齢に相当する SVE-3 の適用性の検討を行った。複雑な船体モデルを用いると、計算が不安定となり数値解を得ることが難しかったため、船型は考慮せず単純なビル状の建物内にエンジンと換気ダクトを有する空間を対象として、計算を行った。厳密な空気齢を計算する手法ではなく、初期値にパッシブスカラーとして汚染物質を空間全体に分布させて、換気流によって汚染物質が除去される過程に基づく簡便な手法を採用した結果、図 1-2 のように汚染物質濃度の空間分布を得ることができた。引き続き、船体形状や様々な船内機器を配置したうえで、漏えいガスを発生させて数値シミュレーションを行い、SVE 指標をもちいた滞留性状の評価への適用性を検討していく。

・昨年度請負研究として実施した、「自動車運搬船の火災事故に関する早期探知・延焼防止対策の検討（フェーズ 2）に係る調査研究」の成果は、令和 3 年 6 月 10 日付の国土交通省海事局安全基準室通達（国海安 28 号）「大型自動車運搬船における火災事故発生時の被害低減に向けた改善措置について ～固定式泡消火装置の効果的使用に向けて～」として社会実装された。

・海技研が今期重点研究の期間中に策定に貢献した、2017 年に IMO で採択された液化水素のばら積み運搬の暫定勧告に基づいて建造された「すいそふろんてぃあ」（全長 116m）が、2022 年 2 月に世界初の日豪間長距離海上輸送の実証実験が実施された。

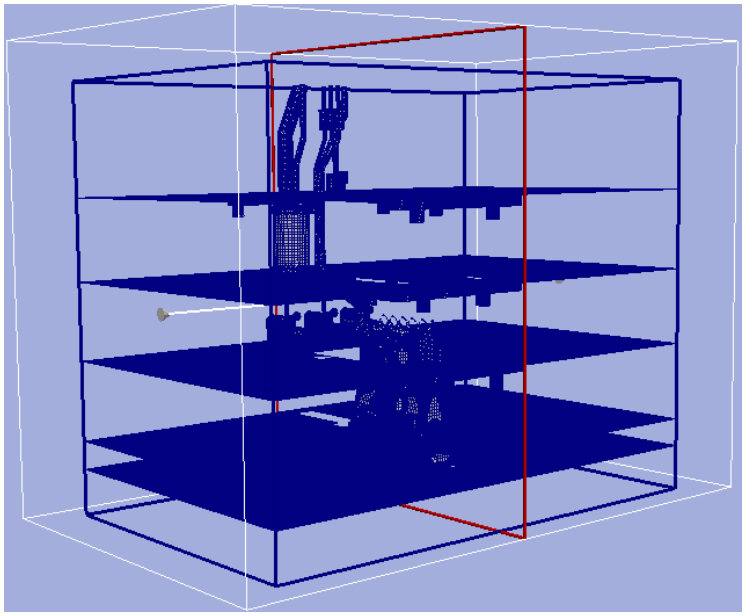


図 1-1　解析モデル

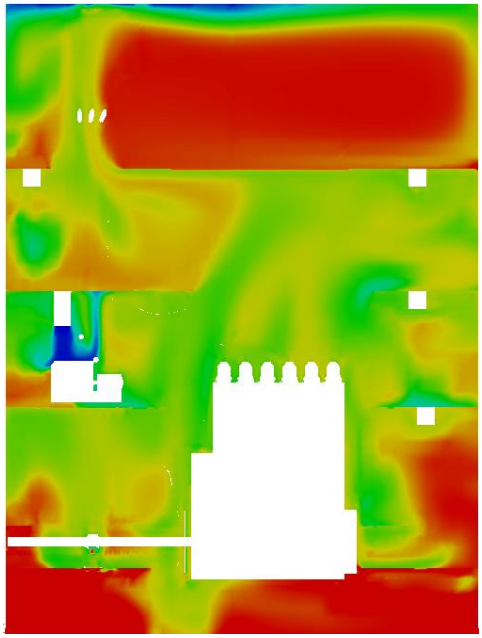


図 1-2　600 秒後の汚染物質の濃度分布
（図 1-1、赤色平面位置。赤：高濃度部、
緑：中濃度部、青：低濃度部）

□小項目 2

・水素爆発（爆轟ばくごう）による鋼板破壊実験を実施し、鋼板変形メカニズム解明並びに数値解析法検証のための実験データを取得した。高速度カメラによる水素爆轟現象の撮影に成功した。

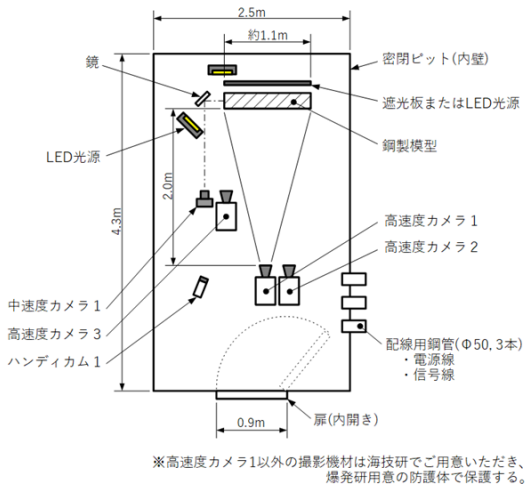


図 2-1　爆発ピット

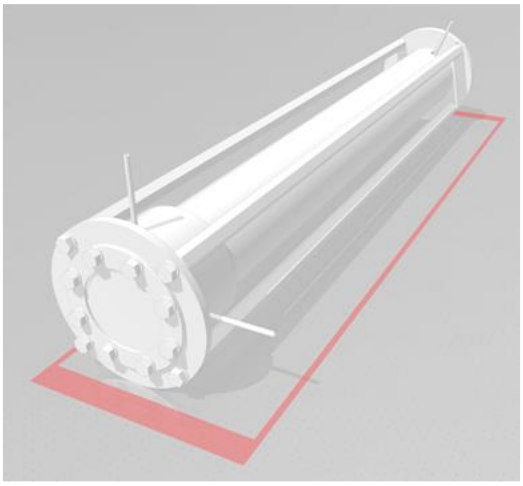


図 2-2　アクリル円筒管

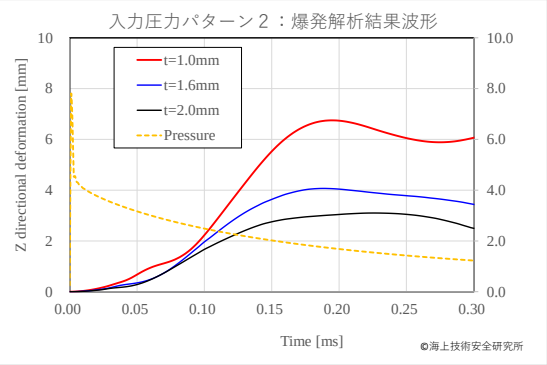


図 2-3　事前解析結果例

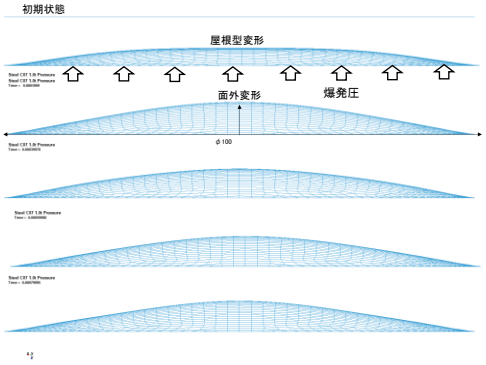


図 2-4　事前解析結果例（鋼板変形）

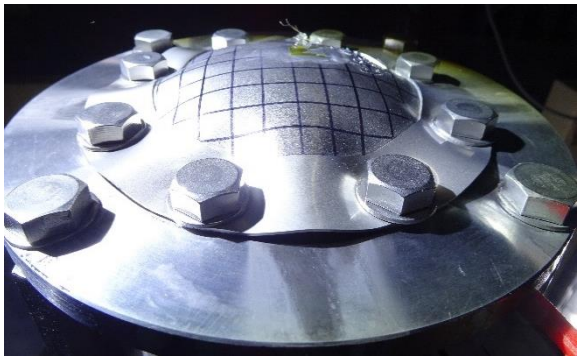


図 2-5 水素爆発（爆轟）による鋼板変形状況

□小項目 3

・新規対象海域における航路案立案支援技術の拡張について、以下を実施した。

・海上保安庁との共同研究の 2018-2019 年度の成果である潮岬沖の推薦航路について、保安庁による IMO NCSR9（2022 年 6 月開催）での審議に向けて、提案文書のフォローアップを実施した。

・伊豆大島西岸沖と潮岬沖に続く安全対策構築の対象海域候補として、海上保安庁から大王埼沖、御前埼沖が挙げられた。次の安全対策海域の候補海域を選定するため、御前埼、大王埼の基礎解析を実施した。御前埼、大王埼ともに交通密度が高く、商船、漁船問わず衝突が多く発生していることを示した（図 3-1）。

・衝突リスクの評価技術に関する研究について、以下を実施した。

・OZT を定量的に表す OZT 閉塞度と、それを用いた衝突事故解析手法を開発した。事故解析に適用するためには、OZT 閉塞度は、対象 OZT は最小安全航過距離を包含する範囲、対象範囲は自船針路を中心に 5 度ずつにて評価することが望ましいことを示した。さらに事故調査報告書の内容と解析結果から、他船認知の妥当性評価、避航遅れの可能性評価への適用性を示した（図 3-2）。

・OZT を用いた決定論的海域の衝突リスク評価手法の開発を最終目的に、その基礎研究として、1 日当たりに実際に発生した危険な OZT 数と、その期待値最大個数の比で表される OZT 遭遇頻度を考案し、海域のリスク評価への適用性と課題を確認した（図 3-3）。

・海域リスクの低減のためのビッグデータ、AI の海域管理への活用方法に関する研究について、以下を実施した。

・AIS データでは得られない AIS 非搭載の情報を得るため、レーダー情報の中から AIS を搭載していない船舶のみを分離するための AIS データとの照合技術を開発し、これを用いて AIS を搭載しない船舶の航跡データを取得した。その結果、東京湾内の 1 か月間で、AIS 搭載船の隻数とほぼ同等の AIS 非搭載船の航跡が得られた（図 3-4）。なお、レーダー情報は、東京海洋大学　先端ナビゲートシステムにて取得したデータを使用した。

・さらに得られた AIS 非搭載船の航跡データと AIS データを用いて衝突事故確率を推定し、既往研究と比較した結果、1980 年～1990 年代の推定結果より大幅に減少（何らかのミス等により衝突に至る可能性が低くなっている）しており、新たな航海計器等の発展が寄与していることが示唆された。

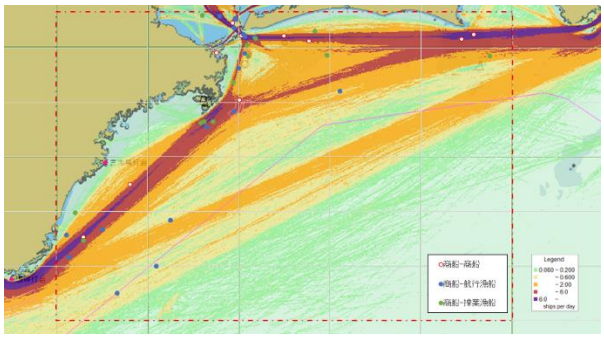


図 3-1　御前埼から大王埼の海域における通航密度分布と 2009 年から 2018 年での衝突発生位置

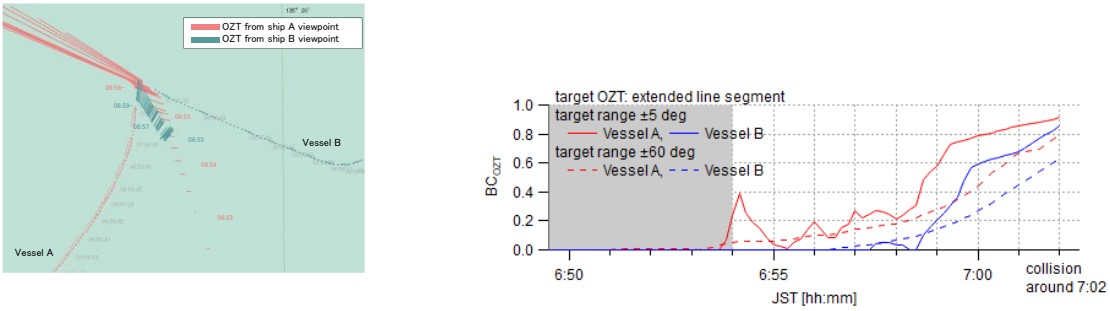


図 3-2　OZT 閉塞度を用いた衝突解析の事例（左：衝突までの航跡と OZT 発生位置、
右：左図の状況下での OZT 閉塞度）

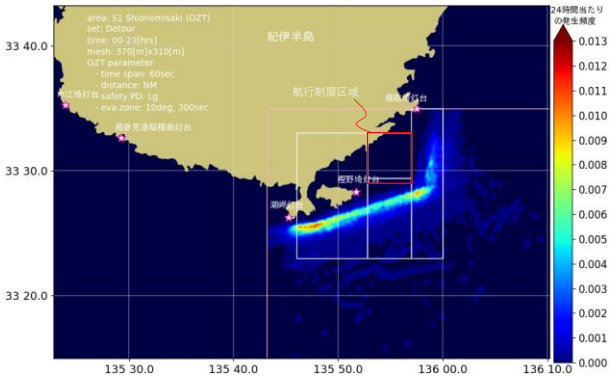


図 3-3　仮想の航行制限区域設定下での
OZT 遭遇頻度分布図の例

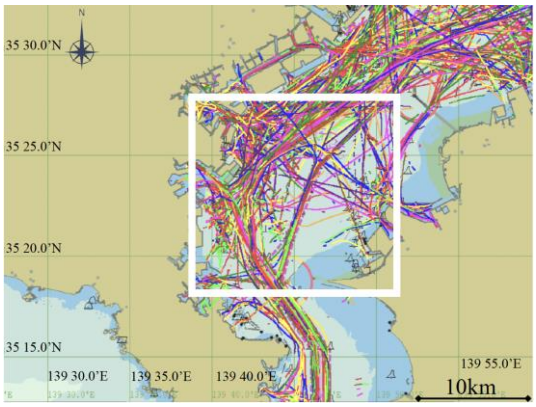


図 3-4　2015/3/4 のレーダー情報より抽出した
AIS 非搭載船舶の航跡の例

□小項目 4

・無人運航船の安全評価ガイドラインに記載すべき事項を抽出するために、以下を行った。

・自動運航船の安全評価ガイドラインにおいて、実証実験を行う様々な自動運航船システムの導入に関連するリスク評価方法を記載するため、自動運航船を構成するシステムのリスク解析用システムモデルの構築を行ってきた。まず、既存の各種機械システム向けのリスク評価手法、ソフトウエアのモデル化手法、システムズ・アプローチ等を用いた安全性解析手法等についての調査結果を行い、導入されるシステムの基本的な機能や相互作用を整理してリスク解析用システムモデルを構築した。

・自動運航を行うシステムを規定している運航設計領域等の条件を整理し、リスク解析を行うための枠組みを構築した。

・上述の自動運航船を構成するシステムのリスク解析用システムモデルとその実証実験における運用フェーズを想定し、ハザード抽出を行った上で、これらのハザードにより波及する効果の影響等を抽出した。

・自動運航船の機能に関連して抽出した上述のハザードとその影響を考慮して、各ハザードから波及する結果

の頻度や影響度等を考慮した半定量評価を実施するための手法を検討した。

・以上の結果は、「自動運航船のリスク解析手順書」として日本船舶技術協会のウェブサイトで公開されるとともに、国土交通省海事局による「自動運航船に関する安全ガイドライン」(2022.2)から、具体的な実施方法についての参考文献例として参照されるに至った。

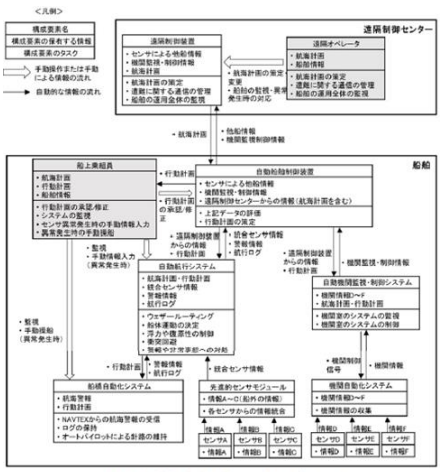


図 A1.1　仮想的な自動運航船に対するモデル化の例

図 4.1 システムモデルの例

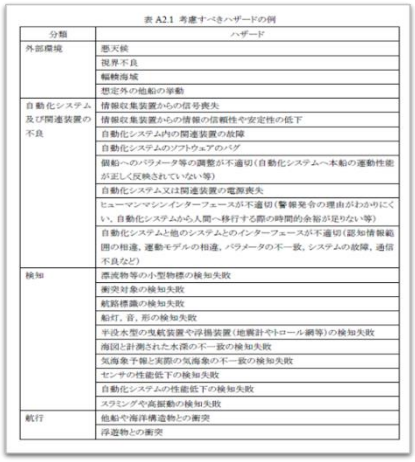


図 4.2 考慮すべきハザードの例

図 4.3 半定量指標の例

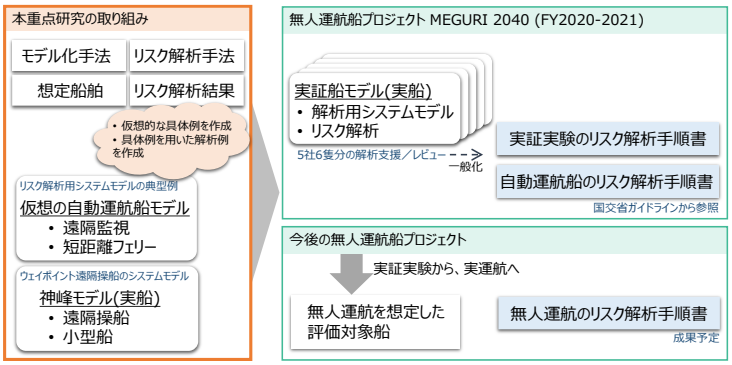


図 4.4 本研究の成果と社会貢献（無人運航船プロジェクト）の関係

R3 年度成果の公表

口査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):13 件(投稿中:10 件、採択済: 件、掲載済: 3 件)

・A. Kimura, R. Suga, H. Oka, Y. Oka, Numerical study on the fire-induced ceiling flow thickness considering the cross-sectional aspect ratio of a compartment, Proceedings of 13th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2021).

・A. Kimura, Y. Oka, H. Oka, S. Ota, Experimental study on smoke flow behaviour under ships' deck structures in early stages of fire, Proceedings of The International Maritime and Port Technology and Development Conference (MTEC) and The 4th International Conference on Maritime Autonomous Surface Ships (ICMASS) (MTEC-ICMASS 2022) (2022) (投稿中)

・Oka, H., Tanno, A., Kamiya, K., Oka, Y.: Simple Theoretical Model for Ceiling-Jet Temperature in Corridor Fire, Fire Safety Journal (投稿中)

・F. Kaneko & T. Yuzui, A New Method for Reducing the Number of Detailed Risk Analysis, Reliability Engineering and System Safety (2022)（投稿中）
・F. Kaneko, A Method for Estimating the Number of Collision Candidates of Ships Based on the Probabilistic Distribution of Sailing Conditions on a Ship Occurrence Line, Proceedings of ANC2021 (2021)
・F. Kaneko, A Method for Estimating the Number of Collision Candidates of Ships Based on Their Occurrence on Lines, Transactions of Navigation（投稿中）
・三宅里奈：衝突危険度評価を活用した衝突事故解析手法の確立－OZT 定量化手法の構築－，日本船舶海洋工学会論文集，第 34 巻，pp.159-169 （2021）
・Miyake, R., Itoh, H.,：Method of Design and Safety Assessment for Establishing a Ships' Routing, Journal of Marin Science and Engineering (MDPI)（投稿中）
・Miyake, R., Kudo, J., Ishimura, E., Shiokari M., Itoh, H., Yuzui, T., Kawashima S., Hirata, K., Niki, Y., Inaba S., Kobayashi, M., Sawada, R.: Application of Dynamic-Task-Based Hazard Identification Method to Remote operation of Experimental Ship Shinpo, Proc. of MTEC/ICMASS 2022 (2022)（投稿中）
・Yamada, T., Sato M., Kuranobu, R., Watanabe R., Itoh, H., Shiokari M., Yuzuzi T.: Evaluation of effectiveness of the STAMP / STPA in risk analysis of autonomous ship systems, Proc. of MTEC/ICMASS 2022 (2022)（投稿中）
・Shiokari, M., Kudo J., Miyake R., Yuzui T., Itoh H., Ishimura E., Kawashima S., Hirata K., Kobayashi M., Sawada R.: Application of Risk Analysis Method with System Modeling to Remote Operation of Experimental Ship, Shinpo, Proc. of Autonomous Ships 2022 (2022)（投稿中）
・石村惠以子，高野慧，笛木隆太郎，塩苅恵，伊藤博子，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一(仮): 仮想の自動運航船を対象としたタスクベースのハザード抽出について，日本マリンエンジニアリング学会誌 （投稿中）

□その他発表論文： 18 件（投稿中： 6 件、掲載済： 12 件）

・柚井智洋: FSA における費用対効果評価の閾値設定手法の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号 (2021).
・柚井智洋: 国際規則の観点からの船舶の安全確保の取り組み，日本信頼性学会誌「信頼性」，第 43 巻，第 6 号 (2021).
・金湖富士夫: 線上での船舶発生と航行要素の確率分布に基く衝突危険発生数推定方法，日本航海学会誌，219 巻，pp.18-19 (2022).
・Shio, Y., Itoh, H., Kawamura, Y,. and Kawashima, S.：Development of Ship Behavior Prediction Model for Supporting VTS Operations by Using Recurrent Neural Network, Proc. 34th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2020/21) (2021)
・三宅里奈　ほか：事故解析における衝突危険度指標を用いた状況認識評価　－定量的な衝突危険度指標－，日本航海学会講演予稿集，第 9 巻，第 2 号，pp.63-66 (2021)
・須山雄介，河島園子，伊藤博子，川村恭己：東京湾における AIS 非搭載船舶の動静解析と衝突原因確率の推定（仮題），日本航海学会講演予稿集，第 10 巻，第 1 号 (2022)（投稿中）
・志尾嘉洋，伊藤博子，川村恭己，河島園子：オートエンコーダを用いた航路逸脱検知モデルの開発，日本航海学会講演予稿集，第 10 巻，第 1 号 (2022)（投稿中）
・三宅里奈　ほか：事故解析における衝突危険度指標を用いた状況認識評価　－OZT（Obstacle Zone by Target）-，日本航海学会講演予稿集，第 10 巻，第 1 号 (2022)（投稿中）
・石村惠以子，伊藤博子，塩苅恵，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一，河島園子: 仮想の自動運航船を対象とした安全性評価，海技研研究発表会 (2021)
・塩苅恵，伊藤博子，石村惠以子，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一，平田宏一，仁木洋一：小型実験船「神峰」の遠隔操船システムのモデル化，第 91 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.167-168 (2021)
・石村惠以子，高野慧，笛木隆太郎，塩苅恵，伊藤博子，柚井智洋，三宅里奈，工藤潤一：仮想の自動運航船を対象としたタスクベースのハザード抽出について，第 91 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.169-170 (2021)
・三宅里奈，稲葉祥梧，塩苅恵，石村惠以子，伊藤博子，柚井智洋，工藤潤一，平田宏一，仁木洋一：小型実験船「神峰」の遠隔操船実験に基づくタスク分析，第 91 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.171-172 (2021)
・工藤潤一，柚井智洋，伊藤博子，石村惠以子，三宅里奈，塩苅恵，平田宏一，仁木洋一：小型実験船「神峰」に

よる遠隔操船実験におけるハザード抽出，第 91 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.173-174 (2021)

・伊藤博子，柚井智洋，塩苅恵，石村惠以子，三宅里奈，工藤潤一：自動運航システムのリスク評価，ClassNK 技報 No.4 pp.9-18 (2021)

・Itoh, H., Yuzui, T., Shiokari, M., Ishimura, E., Miyake R., Kudo J.: Risk Assessment of Autonomous Ship Systems, ClassNK Technical Report No. 4 pp.11-23 (2021)

・柚井智洋，伊藤博子，塩苅恵，河島園子，工藤潤一，石村惠以子，三宅里奈：自動運航船のリスク解析手順書の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集 Vol. 34 (2022)（投稿中）

・石村惠以子，高野慧，笛木隆太郎，塩苅恵，伊藤博子： 短距離小型旅客船の無人運航実証実験のリスク解析，日本船舶海洋工学会講演会論文集 Vol. 34 (2022)（投稿中）

・山田智章，佐藤誠，倉信力也，渡邊遼，伊藤博子，塩苅恵，柚井智洋: 自動運航システムのリスク解析手法に対する認証的視点からの考察，日本船舶海洋工学会講演会論文集 Vol. 34 (2022)（投稿中）

□特許申請： 1 件

・自動運航船の運航方法、リスク解析方法、運航システム、及びリスク解析システム

□コアプログラム登録： 0件

□国際貢献： 0件

□受賞： 0件

□公開実験： 0件

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	R3 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、デジタルツインへの DLSA-Basic の機能の活用・実装を引き続き行うとともに、クラウド化した荷重計算機能の運用・外部利用の検討を行う。また、DLSA-AT のモジュールとしての CFD と構造 FEM 解析機能等の高精度化を図るほか、船体構造デジタルツインの認証用ガイドライン草案の作成を行い、さらに、DLSA 連携 HMS プログラム（DLSA/HMS）を組み込んだ船体構造デジタルツインシステム（i-SAS）を実海域試験等で検証する。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 －安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に対応する技術開発を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、準輻輳海域を対象とした安全対策の立案支援手法と海域リスク評価技術を開発、荒天下操船運動評価プログラムの大波高不規則波中への計算拡張と検証、走錨危険度モニタリング手法の確立及び走錨リスク判定システムへの機能追加を行う。 等

研究の背景

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

具体的には、以下があげられる。

□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
□損傷時安全性評価に関する研究

期間全体の研究目標

□衝突事故を防ぐための船舶の操縦性能要件のとりまとめ
□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試設計
□小型船の航行支援に資するスマートフォンアプリの開発ガイドライン案
□遠隔計測により運航状況の危険性を把握する船体運動状況分析技術の開発
□損傷時船舶の安全性を確保するための要件と評価手法の合理的な体系化

上記成果は、以下があげられる。

□衝突・乗揚げ予防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。
□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る。
□合理的な基準体系の確立等により海難事故の防止が図られ、IMO 等の期待に応えられる。

R3 年度研究目標

□小項目 4

・荒天下操船運動評価プログラム

□小項目 14

・損傷時の復原性と船体構造強度の安全性評価にむけた要素抽出

□小項目 15

・開発した操縦運動モデル同定手法の有効性実証と実船相当の舵力・プロペラ力を模擬した上での自動離着桟実験環境の整備

□小項目 16

・走錨危険度モニタリング手法の確立
・走錨危険度推定プログラムの機能追加

・R3 年度研究内容

□小項目 4

・荒天下操船運動評価プログラムの不規則波中ならびに低速航行状態の計算への拡張

□小項目 14

・複数区画が損傷した状態について，CFD により波浪中の船体運動計算を行い，船体の運動等について妥当な結果が得られるかどうか確認する。
・アクリル製弾性模型船における傾斜状態の曳航試験結果に基づき，傾斜状態での船体の構造応答を解析する。FBG ひずみセンサにより得られたひずみから，縦曲げモーメント等を算出し，傾斜状態で考慮すべき荷重を抽出する。CFD 計算により得られた波浪荷重を FEM の荷重として与える検討を行う。

□小項目 15

・開発した低速時操縦運動モデル同定手法の模型試験による実証及び強風下の自動着桟に関する水槽実験実施

□小項目 16

・走錨危険度モニタリング手法の開発
・プロペラ推力を利用した走錨危険度軽減手法に関する検討

R3 年度研究成果

口小項目 4

・タンカー模型を用いた水槽試験を実施することで，既存の規則波の波力成分等の線形重ね合わせに基づいて前年度に拡張した不規則波中操縦運動時の 6 自由度船体運動計算法について， その推定精度の検証を行った。また，船体運動による流体反力に過去の運動履歴影響を考慮する等によって改良を行い，ビューフォート風力階級 9 程度の大波高の不規則波中まで 35 度旋回時の船体運動を概ね推定可能とした．(図 1)

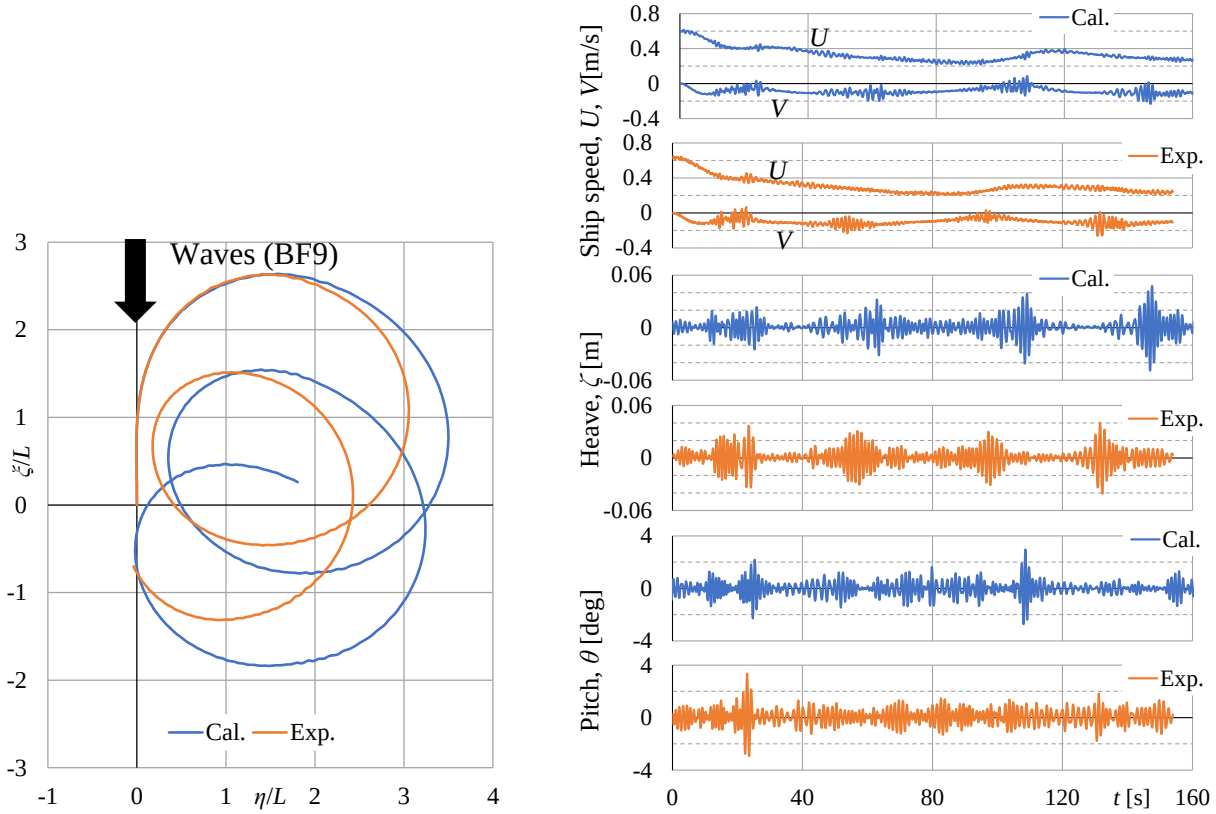


図 1　タンカー模型に対する一方向不規則波(ビューフォート風力階級 9)中 35 度旋回時の船体運動の推定結果と実験値の比較

・上記の操船時の 6 自由度船体運動計算法について，既存の方法を基に船体に働く流体力(芳村康男ほか，2020)や舵力のモデル(北川泰士ほか，2015)を切り替えることで，着桟航行やプロペラ逆転停止航行のような低速時・大斜航時の平水中操縦運動計算への拡張を行い，内航コンテナ船を対象とした模型試験との比較からその精度を検証した。(請負研究の対象船であり，守秘義務につき図は割愛)

(追加成果)

・既存の斜航時の定常波力推定法として上野らの方法(2000)に着目したうえで，その計算法で用いられる船体遠方域と近傍域の波高の関係式における不合理な点を修正し，更に船体近傍流れを高精度化するために粘性を考慮した CFD 計算による推定値を活用することで，短波長における直進時ならびに斜航時の定常波力の推定精度を改善した。(図 2)

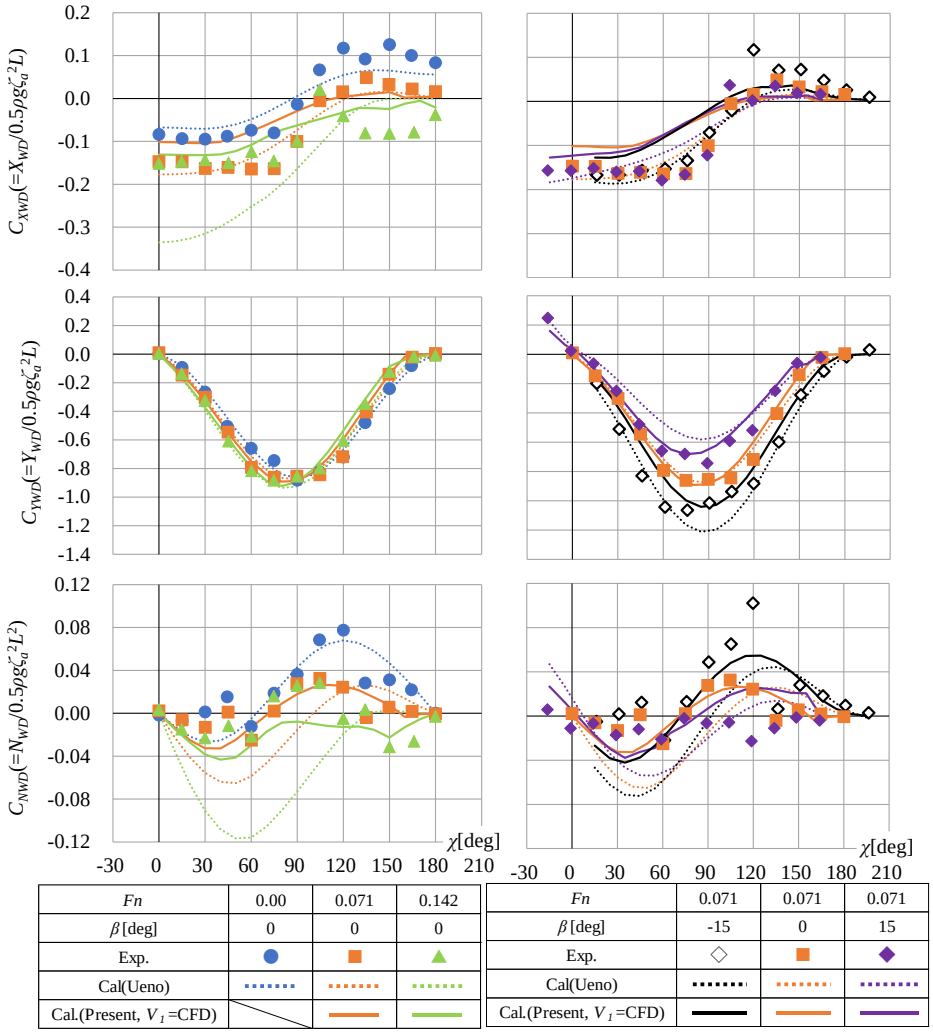


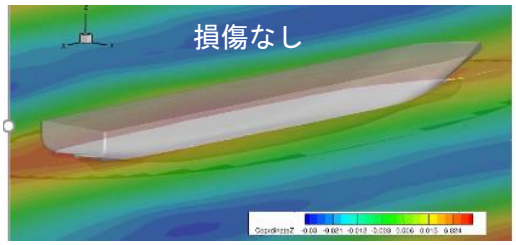
図 2　直進時(左図)および斜航時(右図)のタンカーに働く規則波中定常波力(波長船長比 0.4)の計算法改良前後における推定結果と実験値の比較

□小項目 14

・損傷時復原性に係る文献等に基づく現状調査を行い，安全性評価要素を整理した。

・複数区画が損傷した状態を選定し，CFD により波浪中の船体運動計算を行い，船体運動等の計算結果の妥当性について確認した。損傷有無について横波(波長船長比=1.17)を受ける状態で，船体横揺れ運動の応答関数等の比較を行うとともに，損傷による複数区画内及び船体周りの水面の時系列変化について確認した(図 3)。さらに，計算結果から船体構造応答計算用の波浪荷重を導出した。

・アクリル製弾性模型船における傾斜状態の曳航試験結果に基づき，傾斜状態での船体の構造応答を解析し，傾斜影響について確認した。区画損傷時の CFD 計算により得られた波浪荷重と FEM との連成解析手法を構築し，船体の構造応答について確認した(図4)。



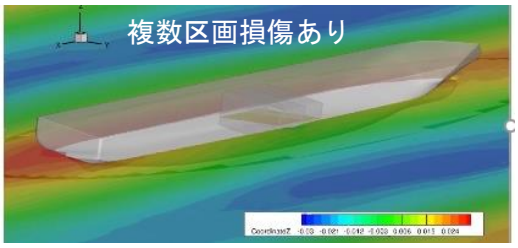
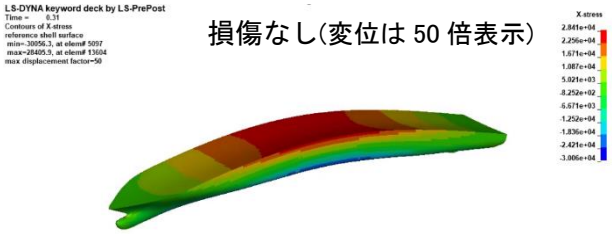


図 3 横波(波長船長比=1.17)における損傷有無での船体周り及び内部の水面(波高の等値面)の可視化図



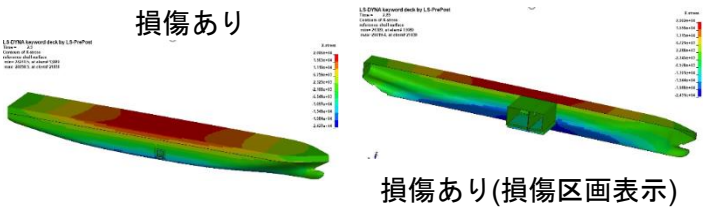


図 4 抽出した波浪荷重に基づく主船体の x 軸方向応力分布と変位

□小項目 15

・本小項目では低速時の港内操縦運動を表現できる操縦運動数学モデルのモデル内係数を自由航走データから求めるための手法の開発が目的の一つであり，R2 年度には同定手法の文献調査や検証用データのための模型試験を実施した。R3 年度は前年度の手法調査結果を基に機械学習手法の 1 種である強化学習を適用したモデル同定システムを設計した。システムフローの概念図を図 5 に示す。自由航走データそのものでなく，比較的容易に取得できる操縦性試験データに基づき，それから解析される操縦性指標の利用を前提としたシステムである。そして，このシステムを構築するための Matlab 系ソフトウェアの調達を含めシステム実証のため環境整備を行った。加えて操縦性自由航走試験も実施し，R2 年度実施の模型試験で不足のあった港内速力相当での Zigzag 試験のデータを整備した。また，本研究内容をベースとして科研費課題の新規申請を行った。一方，実計測データを用いたモデル同定の実証までは進捗が及ばず，これは次年度以降の課題とする。

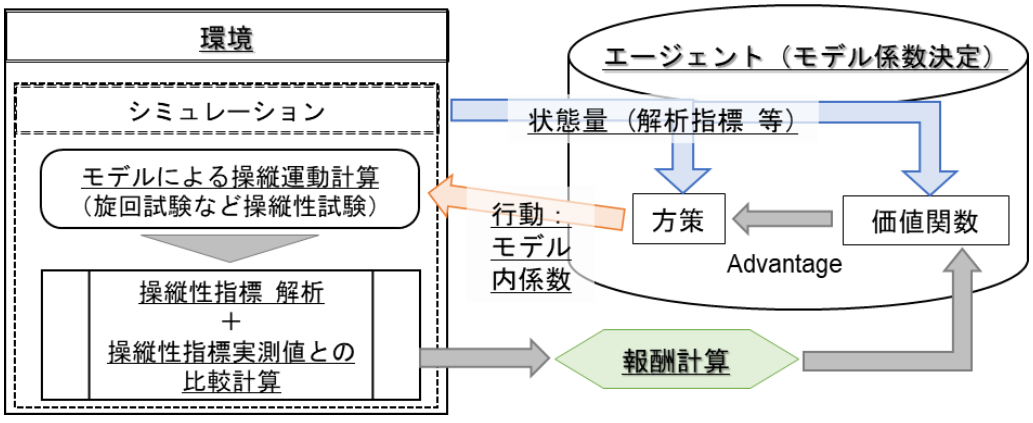


図 5 強化学習手法を適用した操縦運動数学モデル同定システムのフロー図

・R2 年度は自動離着桟アルゴリズムを実船スケールに即して検証できる自由航走模型試験法を開発し，実船に作用する風圧力を再現できる風荷重模擬装置を併用することで風外乱下の実船の離着桟操縦運動を再現できる模型試験システムを整備し，重点☆12 で開発された自動着桟アルゴリズムを適用して開発した模型試験法の検証実験を行った。R3 年度はこの発展研究として，重点☆12 で開発された風外乱補償制御アルゴリズムを導入した自動着桟アルゴリズムを対象に，強風下を想定した風外乱下に於ける自動着桟の模型実験を行った(図 6)。結果として，模型システムの制御上の課題から強風下自動着桟の成功には至らなかったが，課題を抽出できたことから R4 年度にはこの点を改善した模型実験を改めて実施する計画とする。

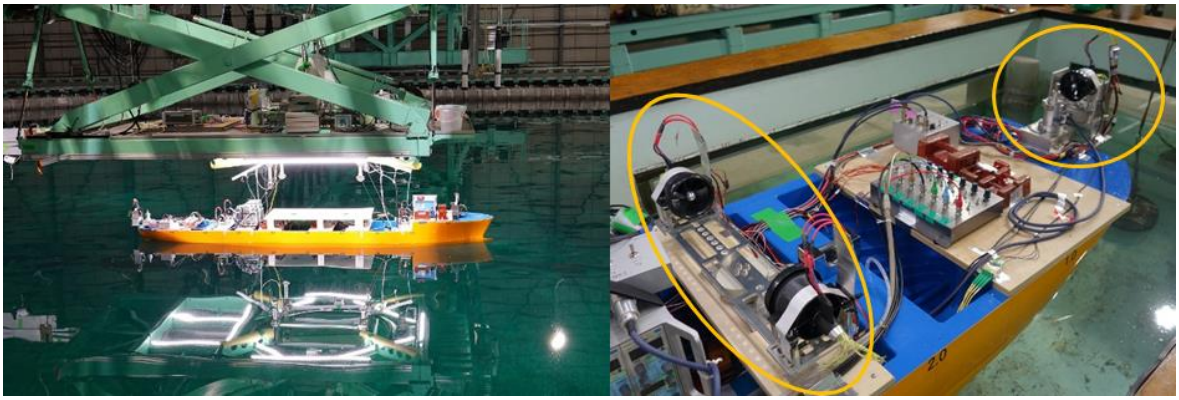


図 6 開発した模型試験法による自動着桟アルゴリズム検証実験（左：自走する模型船，右：風荷重模擬装置）

・流体性能評価系の北川が代表となり，日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着桟操船時の操縦流体力特性の簡易推定手法に関する調査研究委員会」を申請した。これは，自動離着桟技術に関する国内外の研究開発の機運の高まりがある中，離着桟操縦運動を再現する操縦運動数学モデルの構築が複雑で高コストであることを受け，これらモデルを簡易に構築する手法の開発を目的とするものである。メンバーは国内の大学および造船所の操縦性研究関係者であり，設置期間は 2022 年 4 月から 2023 年 3 月までの予定である。

□小項目 16

・昨年度作成した走錨危険度推定プログラムに錨泊時のプロペラ推力簡易推定手法を組み込み，走錨危険度軽減のためにプロペラを作動させた場合のリスク判定を行う機能を追加した PC 版及び Web アプリ版の「走錨リスク判定システム」（図 7）を開発し，令和 3 年 7 月 1 日に一般にリリースした。

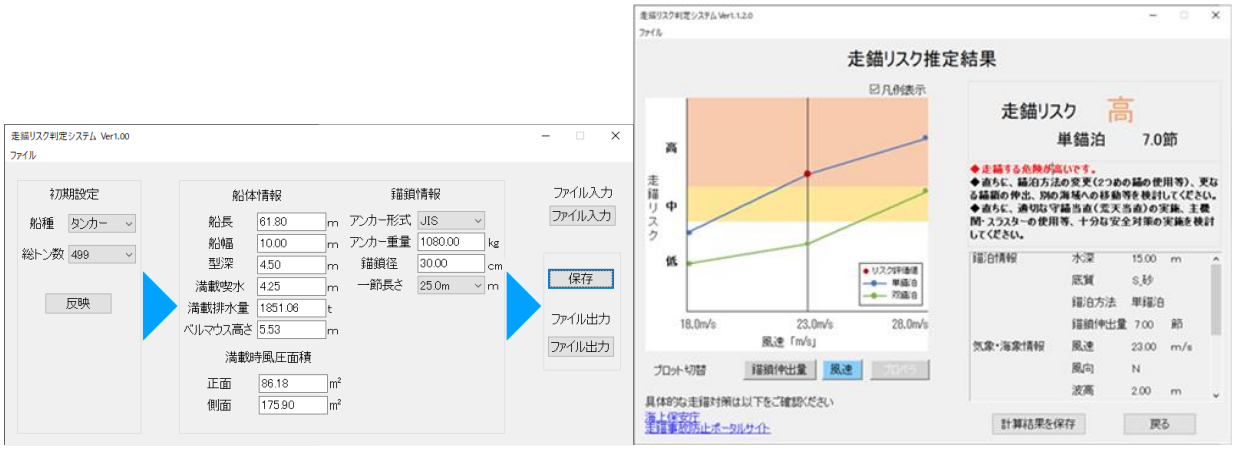


図 7 PC 版走錨リスク判定システム（左図：入力画面，右図：計算結果表示画面）

・走錨危険度モニタリング手法として，錨泊中の船舶の錨鎖と水平面とのなす角度を計測することで，船体に働く錨鎖張力が推定できることを確認した（図 8）。これにより船上で錨鎖の角度を計測することで，走錨リスクを評価することが可能となる。

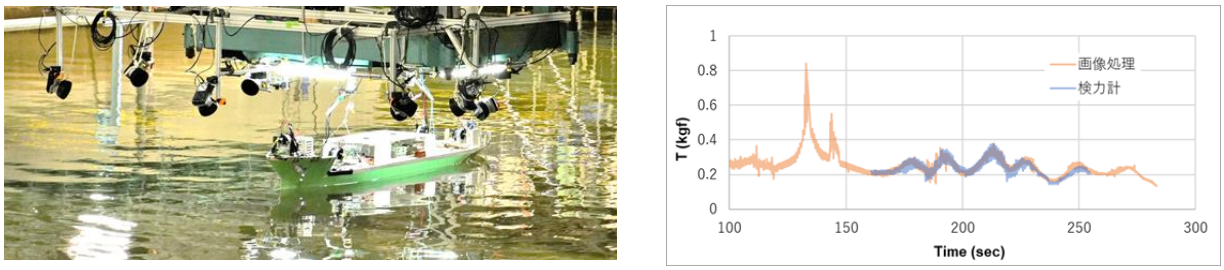


図 8 錨鎖の角度から推定した錨鎖張力と検力計で計測した錨鎖張力の比較

・錨泊中の船舶の振れ回り運動を再現した水槽実験を行い，錨泊方法の違いにより同一外乱下でも振れ回り運動が異なることを確認した。特に双錨泊に関しては開き角や錨鎖の長さ，投錨時の向きを適切に選択しないと，双錨泊の効果が十分に得られないことを確認した（図 9）。

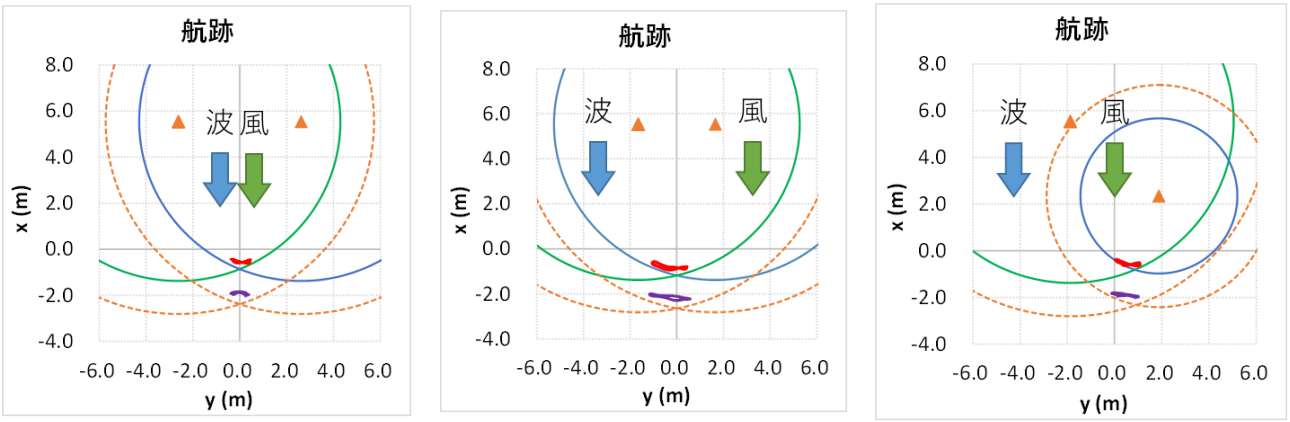
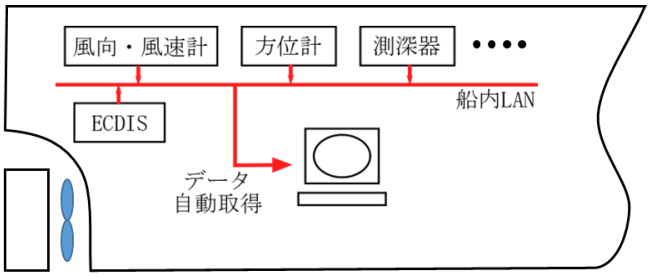


図 9 双錨泊時の開き角や左右舷の錨鎖長の違いによる振れ回り運動の比較

・走錨リスク判定システム(錨 ing)に，船舶の航海機器で計測された情報をネットワーク経由で自動取得できる機能を追加した(図 10)。これにより船員の入力作業の省力化が図れ，また船上で計測されたデータを気象・海象情報として利用することで走錨リスクの判定精度の向上が期待できる。さらに，自動取得した情報を用いて走錨リスク判定システムの連続計算を行うことで走錨リスクの時系列変化を確認すること(走錨危険度モニタリング)が可能となった。



✓ 計測データ反映による走錨リスクの判定の精度向上
✓ 「錨ing」の連続計算による走錨リスクのモニタリング

図 10 船上における走錨リスク判定システム(錨 ing)入力データの自動取得(概念図)

R3 年度成果の公表

口査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):3 件(投稿中:1件、採択済: 件、掲載済:2 件)

・鈴木良介:波風併存中の実船の操縦運動推定に関する研究，横浜国立大学大学院 理工学府 博士論文(2021)， pp.1-147，DOI:http://doi.org/10.18880/00014166.
・Waskito, T. K., Sasa, K., Chen, C., Kitagawa, Y., Lee, S.: Comparative study of realistic ship motions simulation for optimal ship routing of a bulk carrier in rough seas, Ocean Engineering. (投稿中)
・Eiko SAITO, Accuracy of DCPA and TCPA Estimated Based on Population Parameters of Information Obtained by Smartphones, Transactions of Navigation, Volume 6, Issue 2, pp.109-120 (2021)

口その他発表論文:6 件(投稿中:1 件、掲載済:5 件)

・Ryosuke Suzuki, Michio Ueno, and Yoshiaki Tsukada : A study on numerical simulation of 6-degrees-of-freedom motions for a manoeuvring ship in regular waves, Joint meeting on naval hydrodynamics (2021), (刊行物なし).
・北川泰士他:実船の港内操縦運動を再現する自由航走模型試験法の開発と自動着桟アルゴリズム検証への適用実験，令和 3 年度 第 1 回推進・運動性能研究会において講演 (2021).
・北川泰士他:低速時の舵効き修正を考慮した自由航走模型試験法と自動着桟アルゴリズム検証への適用実験，海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp.109-110 (2021).
・宮崎英樹他:走錨リスク判定システムの開発，海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp.19-24 (2021).
・黒田貴子:第二世代非損傷時復原性基準の過大加速度モードに関する研究，海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp.25-30 (2021).
・Eiko Saito: Accuracy of Information Obtained by Smartphones Required for Collision Alerts' Support of Small Crafts, Proceedings of International Technical Meeting (ITM 2022) (2022)

□特許申請：0件

□コアプログラム登録：4件
・走錨リスク判定システム(錨 ing)　河村昂軌，宮崎英樹，田口晴邦
・走錨リスクを判定するための船体運動推定プログラム　宮崎英樹他
・内航船の錨鎖を含めた船体詳細情報推定プログラム　河村昂軌，宮崎英樹
・過大加速度直接復原性評価計算プログラム　黒田貴子

□国際貢献：0件

□受賞：1 件
・令和 3 年度理事長表彰（研究チーム表彰）：宮崎英樹，河村昂軌（走錨リスク判定システム（錨 ing）の開発に貢献した功績）

□公開実験：0件

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	R3 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 －希薄濃度場でのガス燃料の耐ノック性評価手法の提案・検証及び燃料成分と排ガス成分の相関の解明を行う。　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 －GHG削減のためのCO2及びメタンの排出を削減するための後処理技術の検討を行う。 －GI（グリーンイノベーション）を実現するために、水素・アンモニア混焼時にも安全で安定した燃焼技術の開発、強化学習の理論に基づくエンジンシステムシミュレータの構築及び多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価を行う。　等

研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO2)、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(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、以下があげられる。
□GHG・環境影響物質削減のための計測・分析技術の確立
□GHG・環境影響物質削減のための排ガス処理技術に関する研究
□次世代燃料の燃焼性評価手法の確立

期間全体の研究目標

□低硫黄燃料、次世代燃料の燃焼生成物の計測・分析技術の確立
□SOx、GHG 対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術の確立
□GHG 削減のための後処理技術の確立

上記成果は、以下があげられる。
□燃料の硫黄分規制や GHG 削減戦略に対応して、行政、業界の要望に応える形での燃焼生成物の分析・計測システムや燃焼改善技術などの開発を行う。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。
□先駆的な技術開発により我が国海洋産業の国際競争力が強化される

R3 年度研究目標

□小項目 4
・SOx 規制対応燃料の着火性詳細分析とその時の GHG への対応
・希薄濃度場でのガス燃料の耐ノック性評価手法の提案、検証
□小項目 5
・次世代燃料の燃焼時に発生する燃焼生成物について燃焼試験装置および実エンジンで計測・分析
・燃料成分と排ガスの成分の相関の解明およびスクラバによる環境負荷の検証
□小項目 6
・スクラバおよび分離膜による CO2 回収技術の検討
・触媒等の後処理技術によるメタンスリップ削減方法の研究

・R3 年度研究内容

□小項目 4
・SOx, GHG 対応燃料の燃焼改善技術の開発

□小項目 5
・次世代燃料の燃焼生成物に関する調査
・スクラバの環境負荷の検証
□小項目 6
・GHG 削減のための後処理技術・削減技術の検討

R3 年度研究成果

□小項目 4
・舶用燃料の着火性，燃焼性評価に広く用いられている定容燃焼装置（FCA）は評価方法が規格化されているが，昨年度までに FCA のポテンシャルを評価し，着火に至る燃料と空気の混合状況についてモデルにより解析した。舶用燃料は多種の炭化水素が混合している物質であるので，まず単成分（直鎖アルカン，芳香族）炭化水素での着火性，それらを混合した二成分炭化水素において，FCA により実測された燃料着火性（CN）と規格化された密度と動粘度から計算された指標（CCAI）との関係を調べた結果が図 1 である。ここで，CCAI と CN の関係は線形であり，着火性は単成分の混合比で決まることが明らかになった。そのため，次に実際の舶用燃料を構成する燃料基材（原油から蒸留等によって，おおまかに分割された市場供給燃料の基；多種炭化水素が含まれている）の混合比を変更して，着火性を評価した。結果が図 2 であり，多種の炭化水素が含まれる基材同士の混合でも，混合前の燃料の着火性がわかれば，混合物の着火性も予測できることが明らかになった。
その後，これまで計測されている舶用燃料データを用いて，舶用燃料を二成分燃料でモデル化し，ベースとし二成分燃料の範囲内に着火性が収まる結果は得られたが，誤差も大きく，次年度に改良を加えた修正着火性指標を提案できるよう，図 3 に例示する舶用燃料の炭化水素推定手法の構築，準備を行った。
2020 年からの舶用燃料の低硫黄燃料化によって，本小項目にて検討している着火性は，悪くなったという報告はないが，これまでの規制前の燃料を前提として使われてきた指標と実際の着火性との一致度は下がることが想定される。現在検討しているモデルによる着火性予測手法の構築および公表・公知化により，使用者側，製造者側に問題点および現状を認識させることができると考える。

・昨年度までに実施してきた研究では，天然ガス/空気予混合気中に噴射された液体燃料の着火遅れを実験的に調べた。そこでは，雰囲気中の気体燃料と液体燃料，両者の着火性の相互作用に着目し，実験を実施，評価した．前年度はガス燃料のみの着火性（耐ノック性）に着目し，研究を実施した。天然ガスは常温で気体状態にある炭化水素（主に C1-C5）の混合物であり，成分比をパラメータにすると，混合比の組み合わせが膨大となるため試験の実施が困難となる。そのため，素反応解析と呼ばれる化学反応計算によって，ガス燃料の着火性を求めることにした。文献調査を実施し，天然ガスの成分である C1 から C5 までの炭化水素で構成されるガス/空気予混合

気の着火遅れを計算するための反応機構を選定した。本詳細反応機構は，エンジン条件（600K–1200K，1MPa–3MPa）を対象に検証されており，高精度に予混合気の着火遅れが予測できる。図 4 は，計算で求めた着火遅れ時間とメタン価の関係を示したものである。ガス燃料の耐ノック性（メタン価）と着火遅れ時間には相関性があり，この条件ではメタン価によって燃料の耐ノック性を評価できる。しかし，雰囲気温度を 850 K としたときの結果を図 5 に示すが，メタン価と着火遅れ時間の相関性は低下していることがわかる。これは，エンジンの運転条件によっては，メタン価によって燃料の耐ノック性を適切に評価できないことを示している。これらの結果から，希薄ガスエンジンの運転条件に対して追従可能となる，ガス燃料の耐ノック性評価手法が必要になることを明らかにした。

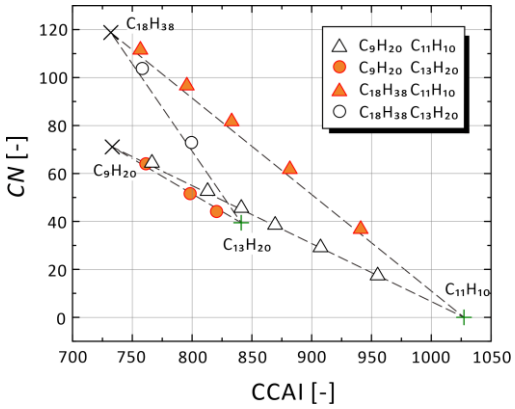


図 1 単成分炭化水素とその二成分混合燃料の着火性に関する線形性
（図中の×および＋は単成分の着火性指標を示す。凡例に示すのはそれぞれの混合物。）

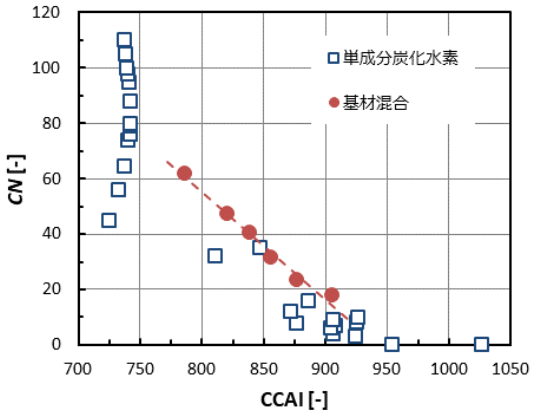


図 2 燃料基材の混合時の着火性に関する線形性。

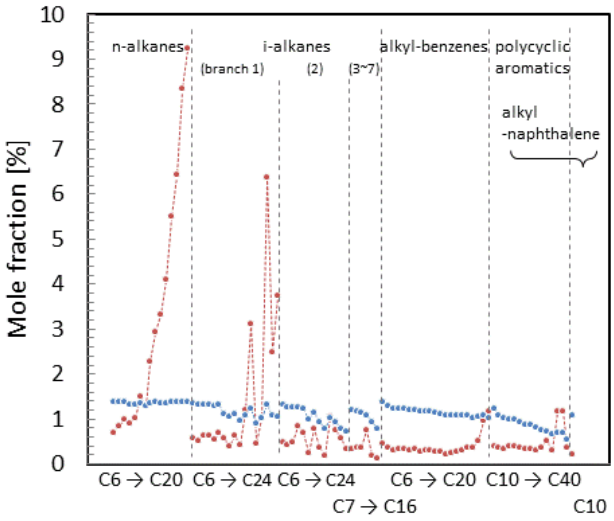


図 3 同一 CCAI での燃料成分予測例
(青線；CN10，赤線；CN32)

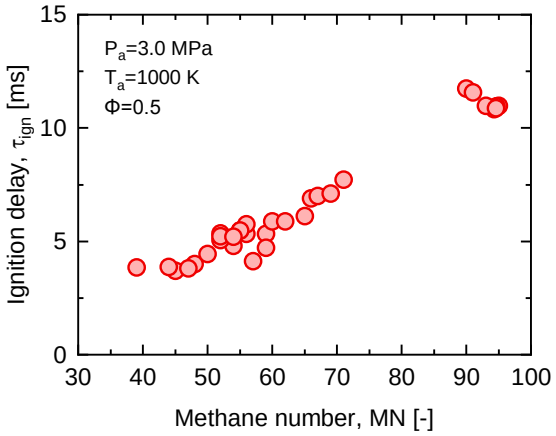


図 4　メタン価と着火遅れの関係（雰囲気温度 1000 K）

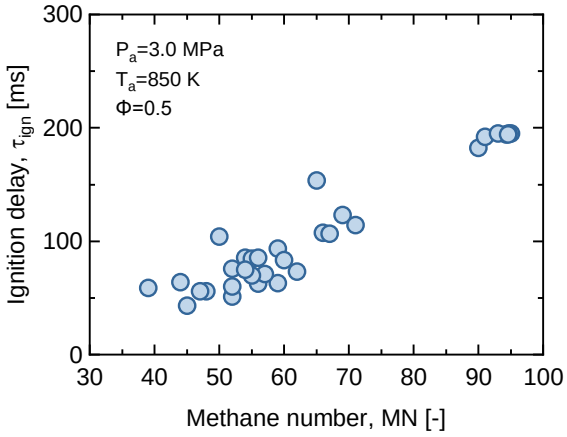


図 5　メタン価と着火遅れの関係（雰囲気温度 850 K）

□小項目 5

・次世代燃料(水素・アンモニア)使用時の排ガス計測およびブローバイガス計測を行って、環境影響物質の特定と定量を行った。天然ガス（主成分メタン）を燃料とするリーンバーンガス機関は、ディーゼル機関と比較し、大気汚染物質である窒素酸化物(NOx)や硫黄酸化物(SOx)、温室効果ガスである二酸化炭素の排出が少ないが、予混合燃焼方式を採用しているため未燃メタンの排出が課題となっている。メタンは排ガスだけでなく，クランクケースから排出されるブローバイガスにも含まれており、ガス機関からの GHG 排出の一因になっていると考えられる。舶用機関からのメタン排出の実態を明らかにするため、排ガスおよびブローバイガスの組成分析を行った。その結果、排ガス中のメタン濃度は 0.2–0.3%だったが、ブローバイ中は 2.4–2.6%と高かった。また、燃料である都市ガスとブローバイガスの組成を微量成分まで含めて分析したところ、ほぼその組成は一致し、未燃の都市ガス成分が、そのままの組成でブローバイガスとなっていることがわかった。（水素混焼時のクランクケース内の可燃性評価については重点☆7で報告予定）

・多環芳香族炭化水素（PAH）の排出と燃料、エンジンの運転条件との相関を調査した。PAH は芳香族環がいくつかつながった構造をしており、その環の数が多いほど、発がん性などの人体毒性も大きいと言われている。粒子状物質（PM）の場合、フィルタで捕集を行うが、PAH の場合、排ガス中でガス状の成分もあると考えられたことから、フィルタ捕集の後ろで、さらにガス状成分をトラップできる樹脂を配置した、2 段階捕集装置を作製した。図1は、燃料およびエンジンの負荷率を変えて捕集を行ったときの、PAH の環数の比率を示したものである。いずれの燃料でも、エンジン負荷率では、あまり大きく比率は変わらなかったが、留出油 MDO と残渣油 HFO では、その組成は大きくことなり、HFO の方がより環数の多い PAH が排出されることがわかった。また、樹脂およびフィルタに捕集された PAH の環数の分布は非常に特徴的で、2 環、3 環の比較的小さな PAH は樹脂に多く捕集され、フィルタには 4 環以上の大きな PAH が捕集された（図 2）。これにより、2，3環の PAH は排ガス中にガス状で存在し、4 環以上のものは PM や BC に吸着していることがわかった。
現在、排ガス中の硫黄酸化物を除去するスクラバの排水の常時監視項目として PAH があるが、PAH の中でもフェナントレンという 3 環の PAH を対象としている。そこでフィルタおよび樹脂に捕集されたフェナントレンの全量がスクラバ排水に溶解すると仮定して、スクラバ排水中の濃度を試算したが、規制値の 1/10 程度であり、環境影響は小さいことがわかった。

・粒子状物質（PM）を捕集し、フィルタ重量法により PM を定量するとともに、その炭素成分である元素状炭素（EC）と有機炭素（OC）をサーマルオプティカル法により定量した。得られた排出率を、MDO 使用時(図3)と HFO 使用時(図4)に分けて示した。縦軸は HFO の方が 10 倍大きいことに注意されたい。PM の排出率は全負荷率で、HFO の方が、MDO より多かった。HFO の場合、EC、OC 以外の「その他」成分も多いが、この主な成分はサルフェートとその結合水、わずかに灰分である。HFO は硫黄分が 2.2%と MDO（0.1%未満）に比べ非常に高く、それがサルフェートが多くなる原因となっている。また EC はブラックカーボン、いわゆるススであり、燃料の不完全燃焼により生じる炭素成分である。高負荷率の 75%、100%では HFO でも MDO でも EC の排出率は 0.1g/kWh 以下、一方、低負荷率、特に HFO を用いたときの 25%負荷率の EC の排出率排出率は 1.56g/kWh となっており、高負荷率では燃料によらず十分な燃焼が行われている一方、低負荷率では燃焼状態が良くないことがわかった。

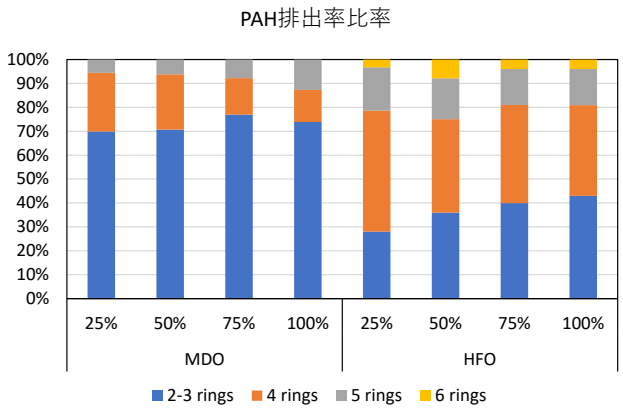


図 1　排ガス中 PAH の環数比率
留出油（MDO）では2－3環の PAH の比率が高く、残渣油（HFO）では4環以上の比較的大きな PAH の比率が多かった。

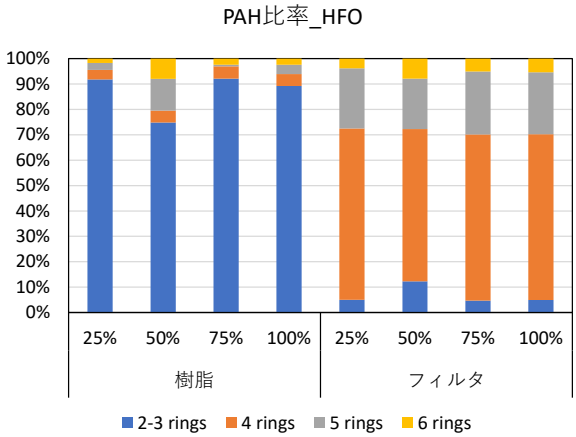


図 2　樹脂およびフィルタに捕集された PAH の環数比率（HFO 使用時）
樹脂には2－3環の PAH が主に捕集され、フィルタには4環以上の比較的大きな PAH が捕集された。

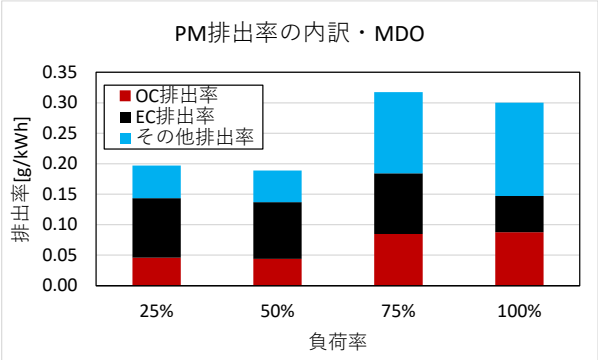


図 3　PM 排出率とその内訳（MDO）

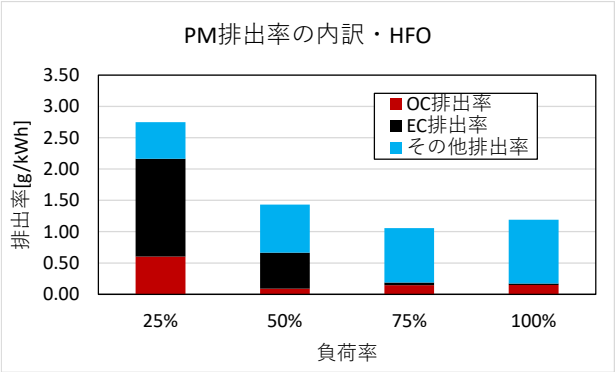


図 4　PM 排出率とその内訳（HFO）

□小項目 6

・CO_2 分離膜を利用した GHG 削減に関する研究をおこなった。小型ディーゼル発電機の排ガスを分流し、分離膜への流量を系統的に変化させ、CO_2 削減率を調査した。その結果、分離膜入口側のガス流量が低いほど、CO_2 削減率が高くなることがわかった(図 1)。また模擬 EGR によって、分離膜の入口の CO_2 濃度を増加させると削減率も高くなった。また分離ガス流量を一定にして分離膜の圧力を変えたところ、分離膜の圧力が高くなるほど、CO_2 削減率が高くなり、分離側ガス中の CO_2 濃度は最大 70vol%程度まで高まった。このように、分離側の CO_2 は高濃度でドライであることから、冷却するだけで容易に CO_2 を回収することができた。船舶に搭載する際の課題としては、排ガスの圧力を高める手段、分離膜の性能を阻害する排ガス中の水分の除去手段の検討がある。（海技研、日本ガイシ、第一中央汽船、新来島どっくによる共同研究）

・後処理装置（酸化触媒）によるメタンスリップ低減効果を確認するため、ガスエンジンの実排気における触媒の性能を、実験的に評価した。海技研保有のガスエンジンは発電機運転を前提としていることから、舶用運転の低負荷率では、未燃メタンすなわちメタンスリップが多く発生する（図2中段）。また低負荷率では排ガス温度も低く（図2上段）、触媒反応にとっては不利である。それにもかかわらず、触媒によるメタン転換率（図2下段）は 100%で、完全にメタンが削減されることがわかった。逆に比較的排ガス温度が高く、触媒性能が発揮されると予想された 75%や 100%の高負荷率では、メタン削減率は 5 割程度だった。その理由を調べるため、模擬排ガスを使いマイクロリアクタという反応容器で触媒反応をおこなったところ、低負荷率を模擬した条件では、触媒出口での温度上昇が大きく、逆に高負荷率を模擬した条件では温度上昇が小さいことがわかった（図3）。これにより、低負荷率で温度が低い不利な条件であっても、メタン濃度が高い場合は触媒反応にともなう発熱が生じ、酸化反応が促進されることが示唆された。

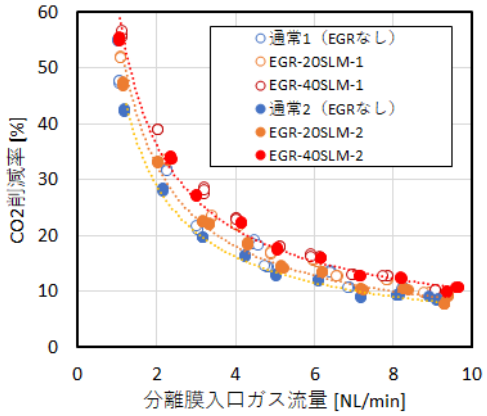


図 1　CO_2 削減率の分離膜入口ガス流量依存性
通常：EGR なし、EGR-20SLM：EGR ガスを 20SLM で導入、EGR-40SLM：EGR ガスを 40SLM で導入（SLM：20℃1 気圧での流量[L/min]）

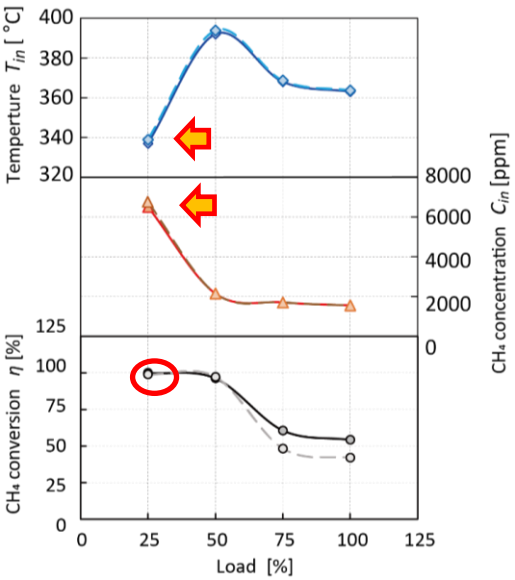


図 2　実排気による触媒性能測定結果
上段：触媒入口の排ガス温度、中段：触媒入口のメタン濃度、下段：触媒によるメタン変換率。実線、破線は 2 回の実験結果をそれぞれ示す。

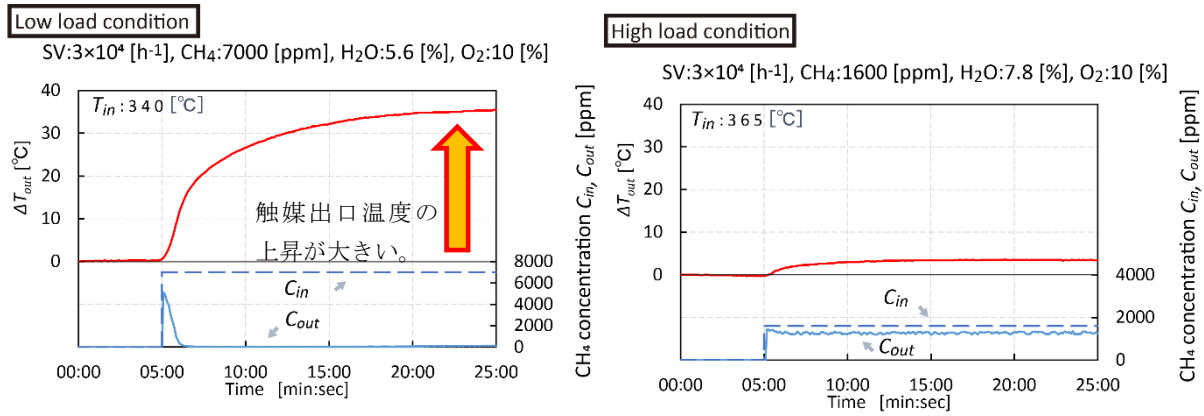


図 3　模擬排ガスによるシミュレート実験
赤線：触媒出口温度の温度上昇度、青線：触媒入口（C_{in}）および出口（C_{out}）におけるメタン濃度、
左：エンジンの低負荷率運転を模擬，右：エンジンの高負荷率運転を模擬。

R3 年度成果の公表

□査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：2 件（投稿中：1 件、採択済：1 件、掲載済：1 件）

- Yoshifuru Nitta, Yasuhisa Ichikawa, Yoichi Niki, Akiko Masuda and Koichi Hirata、Performance Evaluation of Methane Oxidation Catalyst for Marine Gas-Engine in Actual Exhaust and Simulated Gas, COMODIA 2022（採択済）
- 高木正英、今井康雄、川内智詞、ディーゼル噴霧・燃焼における壁面熱伝達の現象解析，海技研報告（研究報告）、第 21 巻、3 号（掲載済）
- Päivi T. Aakko-Saksa, Kati Lehtoranta, Niina Kuittinen, Anssi Järvinen, Jukka-Pekka Jalkanen, Kent Johnson, Heejung Jung, Leonidas Ntziachristos, Stéphanie Gagné, Chiori Takahashi, Panu Karjalainen, Topi Rönkkö, and Hilkka Timonen, Climate and health benefits with optimised ship emission control choices, Progress in Energy and Combustion Science, under review（投稿中）

□その他発表論文：2 件（投稿中：0 件、掲載済：2 件）

- 高木正英，舶用低硫黄燃料の着火性指標，海技研報告第 21 巻別冊，pp.73-78.，および海技研発表会資料 https://www.nmri.go.jp/event/presentation/R3/lecture_14.pdf.

・高木正英, 舶用重質油の着火性指標に関する検討, 91 回マリンエンジニアリング学術講演会, pp.293-294.

□特許申請:0 件

□コアプログラム登録:1 件
・2 サイクル排気タービン過給機関性能解析プログラム（発明者:川内智詞）

□国際貢献:0 件

□受賞:0 件

□公開実験:0 件

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	R3 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 ー実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、実海域性能評価法への経年変化影響の組み込み、低速時波浪中推進性能モデルの構築、模型スケールにおける波浪中自由航走状態の CFD 計算手法の開発、及び実海域性能に関する現行のガイドライン等への実海域性能評価手法の組み込みを検討し、国際標準提案の作成を行う。 等

研究の背景

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

□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

期間全体の研究目標

□最適(エコ)運航システム
□実海域実船性能評価技術の開発
□多様化する推進プラントの船舶での実海域性能を踏まえた最適設計パラメータを決める推進プラントのシステム設計技術の開発
□運航状況に応じた舶用推進プラントの実海域自動適応によるスマートパワー制御技術の開発
□デジタルツイン技術を用いた主機状態監視システムの開発
□船尾流場制御

□摩擦抵抗低減
□GHG 削減のための革新的省エネ技術開発

上記成果は、以下があげられる。
【社会的観点】
・実海域性能の水槽試験・数値計算技術による高精度推定が可能となるとともに、極めて省エネ効果の高い船型・省エネデバイス開発が可能となり、省エネルギーが強化され、海洋環境が保護される。合理的な燃費報告規制により、実海域での省エネ運航が可能となり、GHGの削減が図られる。また、推進プラントの実海域性能向上により更なる省エネが実現される。
・海事クラスター共同研究での人材育成を通じ我が国海事産業（クラスター）競争力強化に資する。
【経済的観点】
・国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。
・革新的省エネ技術の実現により、我が国造船業の国際競争力が強化されるとともに、最適(エコ)運航システムの実現により、我が国海運のコスト低減が達成される。実海域での実船性能を直接水槽試験で評価可能となり新たな推進プラントの開発が促進され、我が国海洋産業の国際競争力が強化される。
【国際的観点】
・船舶の省エネ化、推進プラントの実海域性能向上により、国際海運の排出する温室効果ガスが削減され、地球環境が保全される。
・環境性能に優れた先進的超省エネ船の実現、運航技量評価方法等により、GHG 排出規制の的確な実施が図られ、IMO 等の期待に応えられる。
・北極海航路の性能推定技術により、ポーラーコード等の技術的要請に応えられる。

R3 年度研究目標

□小項目 5
・実海域性能評価法への経年変化評価法の組み込みと評価。
・経年劣化・生物汚損影響評価法の国際提案。
・入力データのレベルに応じた実海域性能診断の試行。
・低速時波浪中推進性能モデルの構築。
・造船各社との請負等による実海域性能船舶の設計・開発。
・風力推進船の運航性能評価と VESTA への組み込み。

□小項目 6
・実運航性能の推定に基づく最適運航の検討
・最適運航システムの検証

□小項目 17
・ AI を活用した主機異常診断システムと主機自動調整システムの統合システムの設計
・ 主機エンジンの劣化を予測するモデルの開発

□小項目 18
・船型・流場データベースによる設計システムの試運用とその改良
・曳航水槽及びキャビテーション水槽における PIV 等の流場計測技術の高度化及びデータ同化手法との連携

□小項目 19
・超低速肥大船の水槽試験による推進性能評価
・新型空気潤滑システムの回流水槽での抵抗低減評価
・弾性表面波デバイスの回流水槽での抵抗低減評価
・水中騒音低減に効果的な空気吹き出しパターンの実験評価

・R3 年度研究内容

□小項目 5
・経年劣化・生物汚損影響評価法の標準化を検討する。
・経年劣化・生物汚損評価法の実海域性能評価法への反映。
・実海域性能診断技術の実用可能性を検討する。
・低速時波浪中推進性能モデルの構築と検証を実施する。
・省エネ技術による実海域性能影響評価法を開発する。
・造船各社と実海域性能船舶の設計・開発を行う。
・実海域再現水槽に自動解析システムを構築する。

□小項目 6

・航路最適化プログラム、海象データベース GLOBUS のインターフェースの利便性向上を図る。
・モデルケースの AIS データや排ガス規制データの分析により、最適運航を導出する。

□小項目 17

・図1の船舶機関長支援システムの開発を念頭において，主機の異常診断システムと最適制御システムの統合システムアーキテクチャーを設計し、シミュレーションベースで統合システムの検討を行う。
・就航船の長期データ解析と劣化対象に応じた主機デジタルツイン技術を用いて経年劣化の予測モデルを開発。

□小項目 18

・船型・流場データベースの拡張
・船型・流場データベースを用いた設計システムのブラッシュアップ
・トリムチャートの自動作成プログラムと水槽試験とのデータ同化システムの構築
・400m 水槽においてデータ同化システムの構築のためトリム変更試験を実施
・大型キャビテーション水槽において高速度カメラ・変動圧力・水中騒音の同時計測を実施
・PIV による流場計測結果と同時計測データセットを比較することによって、船尾流場の変化がキャビテーションに与える影響を調査

□小項目 19

・GHG ゼロエミッションを想定した NMRI コンセプト船の開発（低速幅広肥大船型）
・Active 制御型省エネデバイスに関する研究（気泡による摩擦抵抗変化の速度影響調査。弾性表面波デバイスの開発）
・水中騒音低減に関する研究（プロペラ水中騒音の実船と模型船の相関把握，気泡流による船舶からの水中騒音低減手法の高度化）

R3 年度研究成果

□小項目 5

・経年劣化・生物汚損影響評価法の標準化の検討について、船社との共同研究を通じて長期間の実船モニタリングデータを取得した。また、既存規格である ISO19030 における解析結果との比較を実施し、標準手法の改善点の抽出に取り組んだ。
・経年劣化・生物汚損評価法の実海域性能評価法への反映に関して、計算プログラムのクラウド化に着手し、実船モニタリングデータ解析及びその結果を踏まえた実海域性能評価をクラウド上で計算できる体制を整備するとともに、本クラウドについてはプログラム登録を実施した（図 1、図 2）。

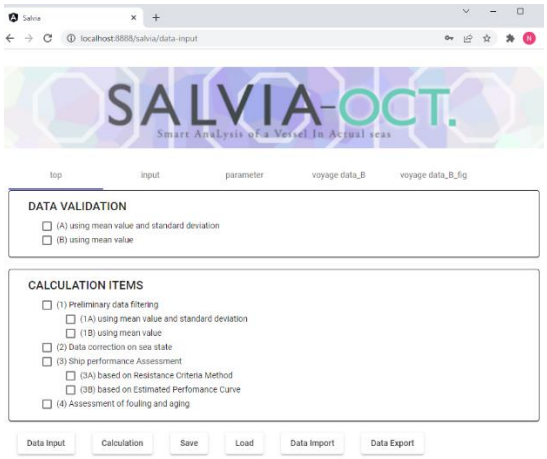


図 1 SALVIA-OCT. トップ画面

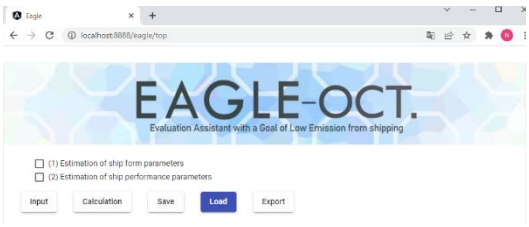


図 2 EAGLE-OCT. トップ画面

・実海域性能診断技術の実用可能性の検討について、前年度までに構築した抵抗増加率に基づくデータ抽出による性能評価手法（RCM、Resistance Criteria Method）の適用範囲を平水中から波風中に拡張し、その有効性について検討を行った（図 3）。また、実船モニタリング解析における高精度化のためのデータ同化手法を検討し、その内容について特許出願した。

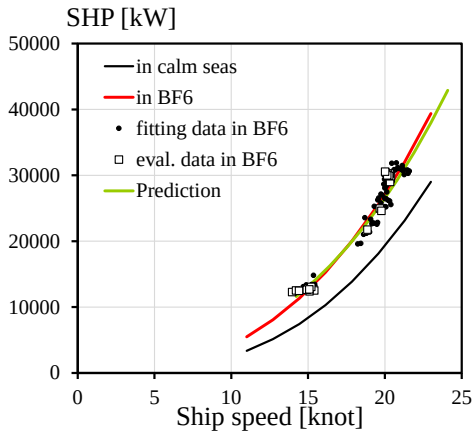


図 3 ビューフォート風力階級6相当の海象における実船モニタリング解析

・省エネ技術による実海域性能影響評価法の開発について、請負研究や技術コンサルと関連して帆やローターを搭載した船舶の省エネ効果の推定を行った（図 4、図 5）。

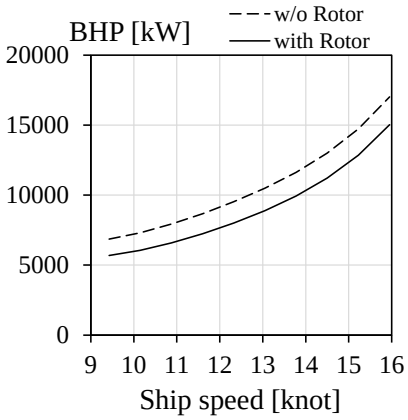


図 4 ローターによる馬力削減効果
（真風速 15.7m/s、真風向 90 度）

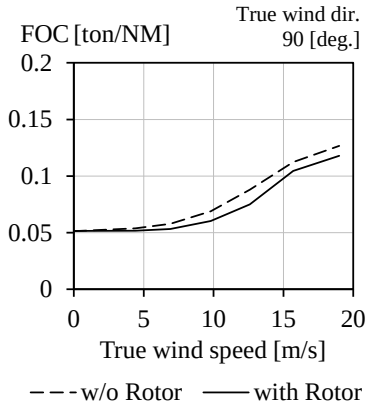


図 5 ローターによる省エネ効果
（1 海里当たりの燃料消費量）

・低速時波浪中推進モデル構築のため、低速時に寄与が大きくなる斜航流体力について、水槽試験により調査を行い、結果を実海域性能推定法に組み込み、感度調査を行った（図 6）。
・実海域再現水槽の水槽制御システムに自動計測・解析機能を組み込み、2 次解析のアルゴリズムについて検討した。
・実運航性能シミュレータ VESTA に、風力推進船の評価機能及び耐航性能評価機能を組み込んだ（図 7）。

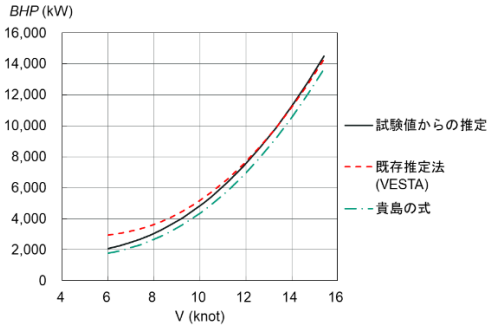


図 6 斜航抵抗の主機出力に対する影響
（ケープサイズバルカー　バラスト状態）

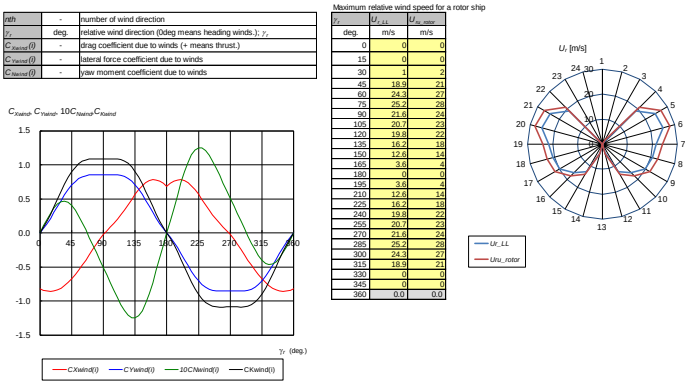


図 7 VESTA の風力推進船（ローター船）入力画面

・GHG 排出規制の対応を進めていく必要があり、これらの技術検討を基に、当所が中心となり海事クラスター共同研究　実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクトフェーズ2（23 者参加）を開始。

□小項目 6

・航路探索プログラムのインターフェースを改良し（図 8）、AIS データと要目データの表示が可能になった。これにより、実績データに基づく最適航路の検証が容易になった。また、全球の波と風データベース（GLOBUS）のインターフェース改良を行い、多数の海域を解析する場合の処理の効率化を可能とした。

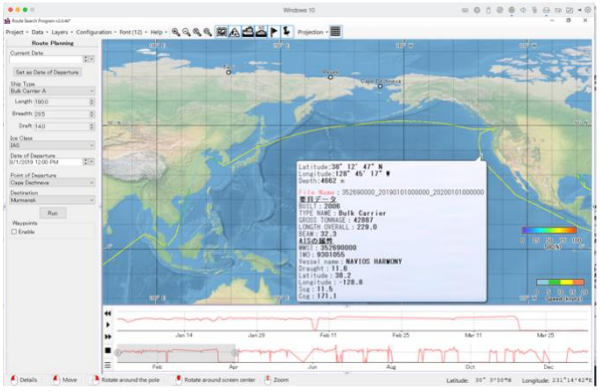
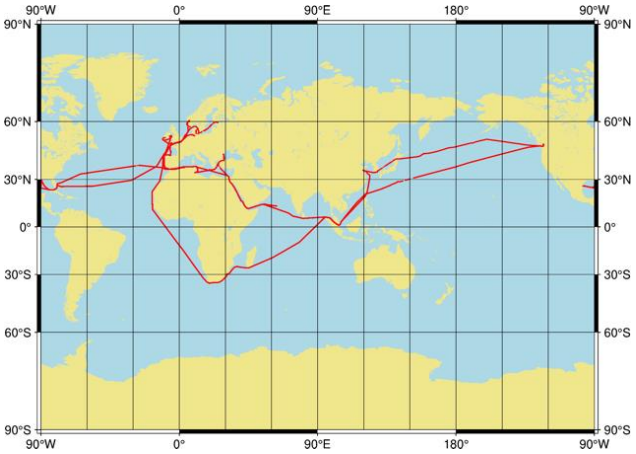
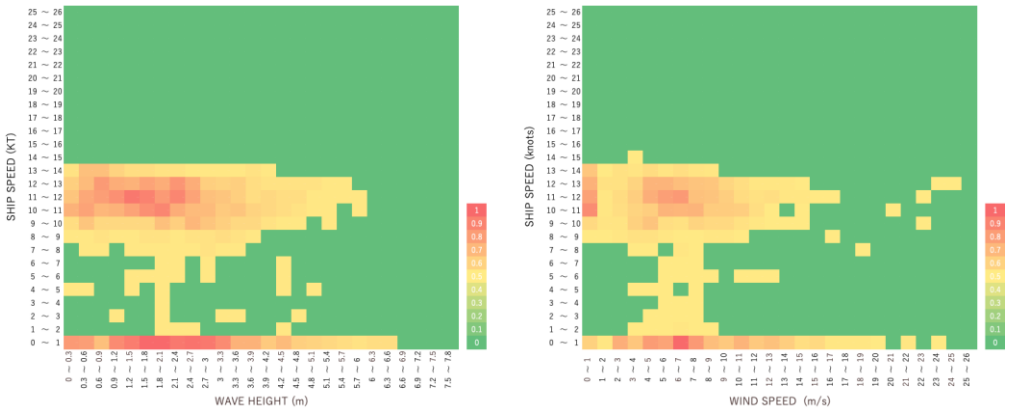


図 8 航路探索プログラムの改良後インターフェース

・EUMRV データを参照して抽出した要目の異なる複数船舶について、衛星 AIS データに基づく実際の航路（図 9a）に沿った運航分析を行なった。GPV データから風及び波のデータを取得し、また AMSR2 衛星データから海氷密接度のデータを取得することで、船速と環境要因（風、波、海氷）の相関を比較した（図 9b）。これにより、実績としてどのような航路選択がおこなわれていたか、環境要因ごとの詳細が明らかになった。



(a) 2020 年における航跡



(b) 風速ー船速（左）及び波高ー船速（右）の頻度確率分布

図 9 衛星 AIS データと GPV データによる 25,000GT バルクキャリアの運航分析例

□小項目 17

・昨年度より開発を進めている“強化学習手法を適用した主機運転状態を最適にする主機制御パラメータ自動調整アルゴリズム”について、本年度は並列計算技術を適用すると共に 1 エピソード-1 ステップ間の計算仕様の確

定など、計算パフォーマンスを改良させた（図 10）。
・昨年度より開発を進めている”主機デジタルツイン技術”を本年度は就航船データの解析アルゴリズムに組み込み、主機の経年劣化の予測アルゴリズムを完成させた。具体的には、（1）主機性能計算用の入力パラメータを決定し、カルマンフィルタの適用法確立、（2）劣化無し状態の推定を目的とした主機イニシャルモデルの設計、（3）同じ状態において就航船データと主機デジタルツインの性能差を計算し、信頼性関数を適用させる。図 11 にそのフローチャートを示す。そして、信頼性関数を用いて劣化の予測アルゴリズムを就航船データに適用して劣化傾向を実際に分析し、提案手法が問題無く計算できていることを確認した。
・本小項目に統合された小項目 16 の研究成果である“船体−プロペラ−主機応答連成計算プログラム”を活用して実施した共同研究が終了し、その成果として論文 3 件（内、査読付き 1 件）を投稿した。

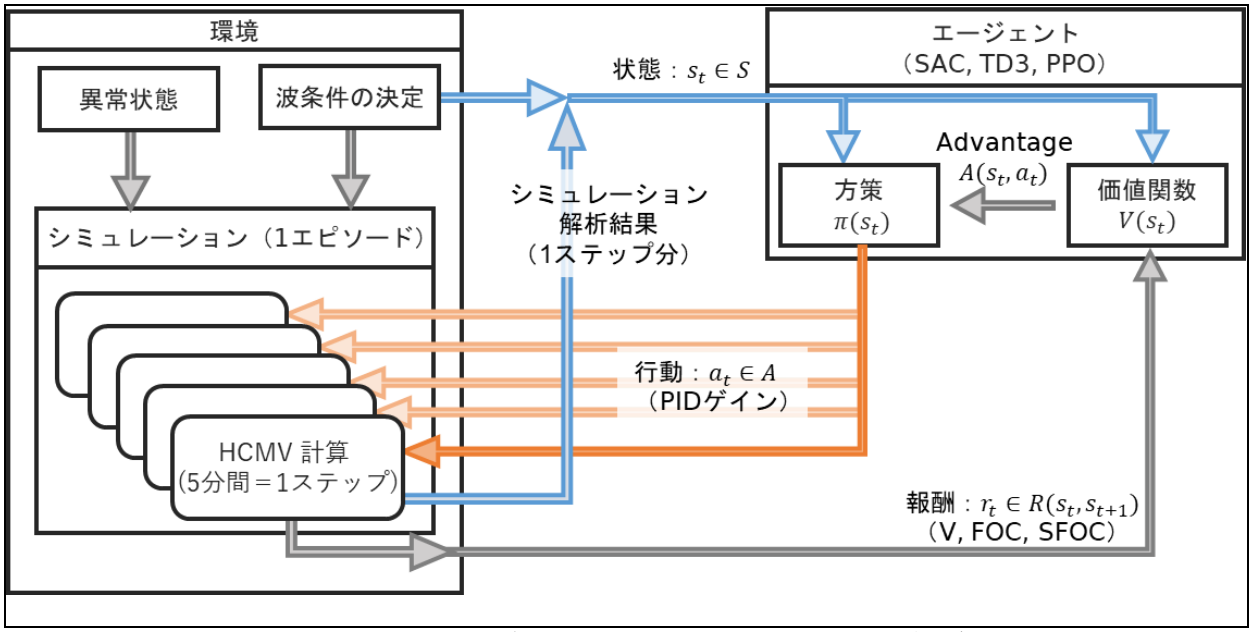


図 10 強化学習手法による主機ガバナーPID ゲインの最適調整アルゴリズムのフロー図

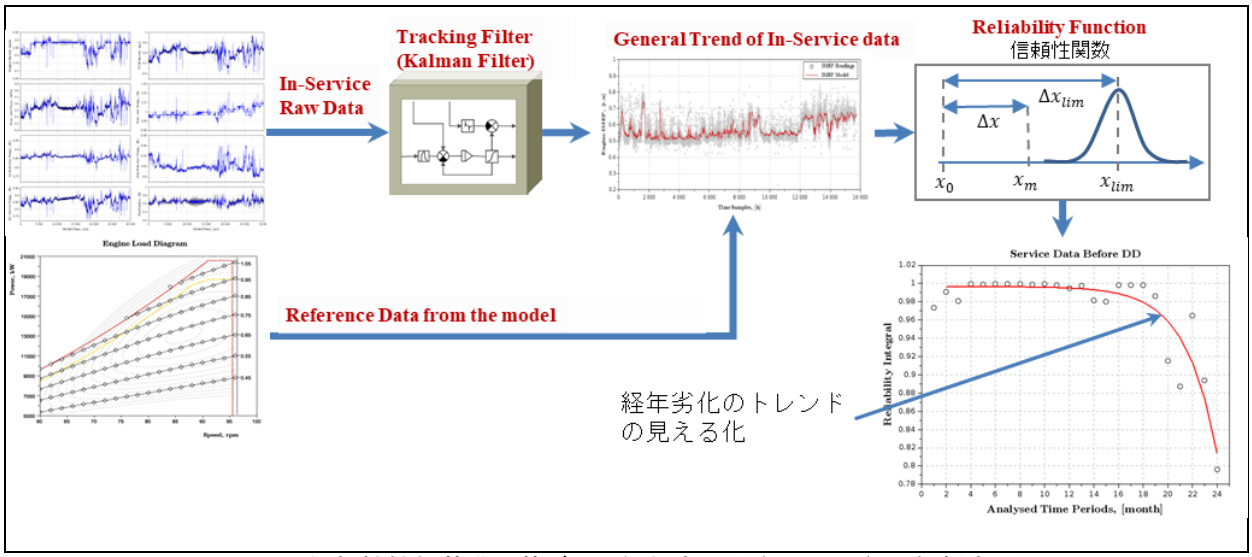


図 11 信頼性機能基準に基づいた経年劣化動向（トレンド）の解析方法

□小項目 18

（1）船型・流場データベースによる設計システムの試運用とその改良

船型・流場データベースによる設計システムを造船所で試用し、新しい設計手法を現場で採用するために必要な補間データや表示すべき項目などの改善点を抽出し、これらの改善点の内、データベースからの推進性能補間推定機能など造船所ニーズの高い機能を実装し、一般に利用可能なシステムに改良した（図 12）。また、データベースの発展としてトリムチャートの自動作成プログラムと、水槽試験とのデータ同化システムのプロトタイプを開発し、400m 水槽においてシステム評価とデータ同化手法の検討のためのデータを取得した。来年度は開発した設計システムを海技研クラウド上で公開（図 13）するとともに、当所で構築している船型データベースの充実とブラッシュアップを図る。

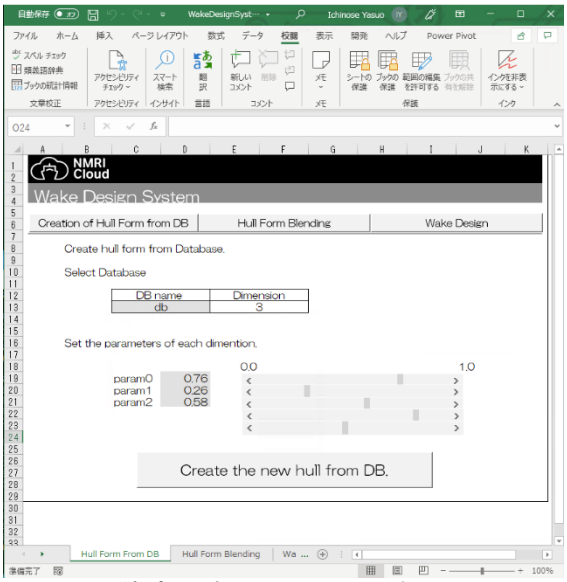


図 12 伴流設計システム Excel 版の画面

図 13 海技研クラウド上の伴流設計システム web サイトのイメージ図

(2)曳航水槽及びキャビテーション水槽における PIV 等の流場計測技術の高度化

実船流場計測と同状態での抵抗自航試験を行い、模型スケールでの実船試験状態での推進性能や省エネ付加物の効果について、検証データを取得した。

キャビテーション水槽第 2 計測胴において、当所で開発した船尾省エネ付加物 WAD と USTD を用いたキャビテーション試験を実施した。その結果、開発した付加物によって変動圧力の翼周波数第 1 成分が付加物無の状態に比べ 40%減少することを確認した(図 14)。また、水中騒音についても最大 6dB 低減することを確認した(図 15)。また、キャビテーション水槽でのステレオ PIV 計測において、立体校正板や新型のプリズムを導入し、計測効率や計測精度の向上を図った。省エネ付加物による変動圧力と水流騒音の低減効果について、計測した流場から伴流ピークの緩和によってキャビテーションが低減することが要因であることを確認した(図 16)。

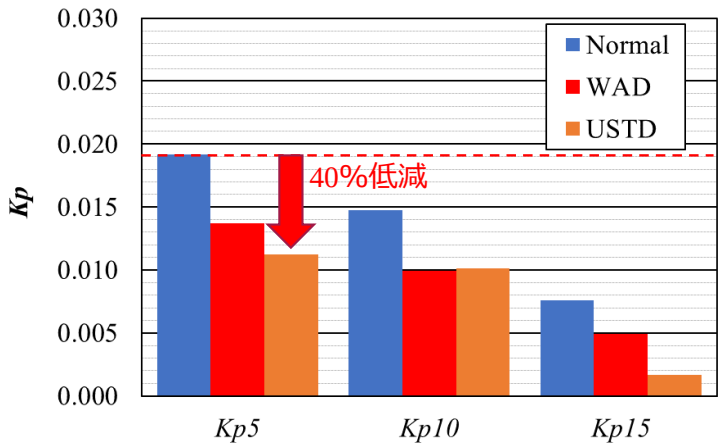


図 14 付加物無(Normal)、WAD、USTD の変動圧計測結果の比較(条件:KT=0.224, σn=1.95)

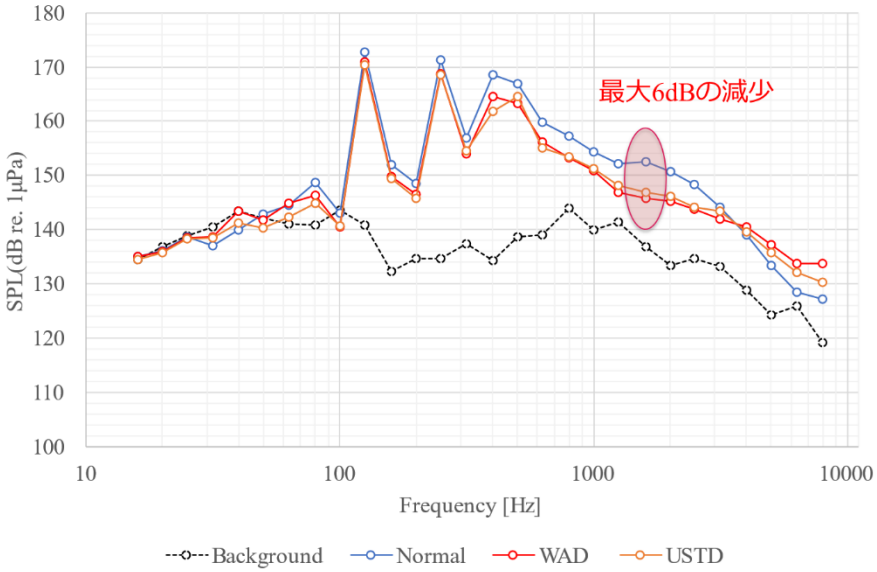


図 15 付加物無(Normal)、WAD、USTD の水中騒音計測結果の比較(条件:KT=0.224, σn=1.95)

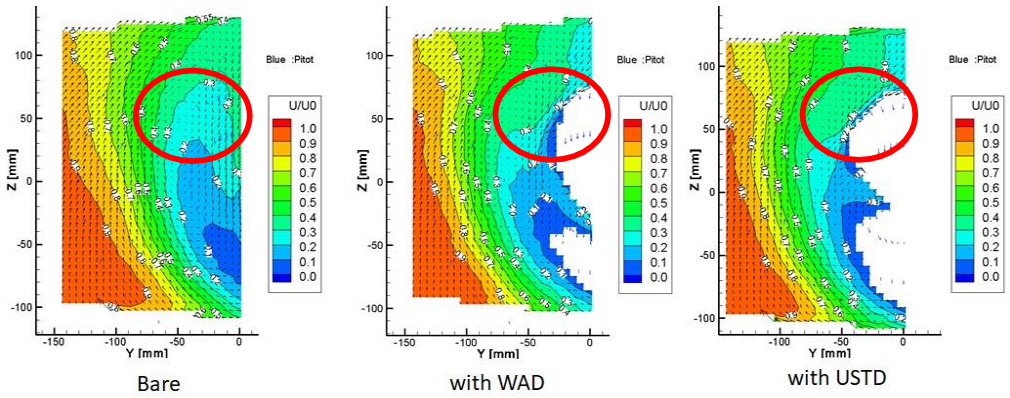


図 16 プロペラ面前方の断面の PIV 計測結果。裸殻、付加物(WAD,USTD)有り無しでの比較

□小項目 19

GHG ゼロエミッションを想定した NMRI コンセプト船

- ケープサイズバルクキャリアを対象に本研究で開発した低速幅広肥大船型(M916)は、従来船である JBC 船型に対して、GHG で 55%減、CII(Carbon Intensity Indicator)で 35%減となり、GHG の大幅削減が可能な船型であることが水槽試験で明らかとなった(表 1, 図 17)。
- 燃料を液化水素(LH)および液化アンモニア(LA)とした場合、燃料タンク容積は重油(HFO)の場合と比べ、それぞれ 5.7 倍、2.7 倍となり、このタンク大型化の影響は防熱等の付帯設備を考慮し、エネルギー効率でそれぞれ 5%と 3%の悪化となる(表 2)。

表 1 低速幅広肥大船型(M916)の主要目

		M916	JBC
Lpp	m	286.00	280.00
B	m	73.12	45.00
d	m	16.50	16.50
L／B	-	3.91	6.22
B／d	-	4.43	2.73
C_B	-	0.8323	0.8580
Displacement Δ	ton	294,447	179,092
Design Speed	knot	10.0	14.5
Δ/Δ_JBC	-	1.64	1.00

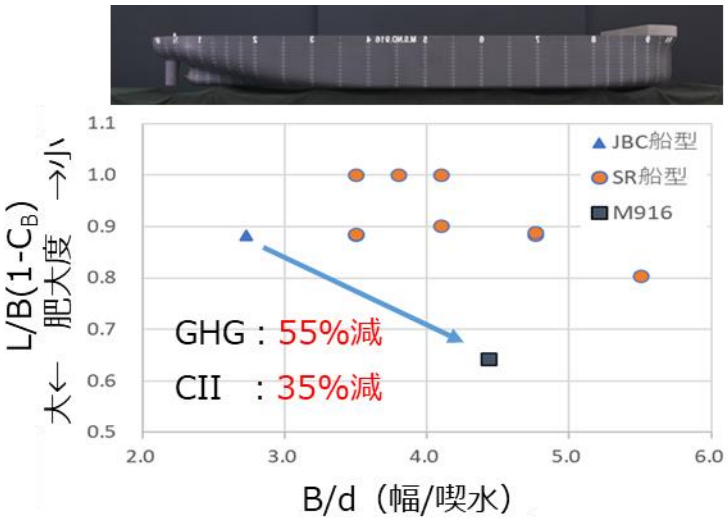


図 17 気泡による摩擦抵抗変化の速度影響

表 2 代替燃料使用時のタンク容量，エネルギー効率の比較

		JBC	M916	M916H	M916A
Fuel		HFO	HFO	LH	LA
Service speed, Vs	knot	14.5	10.0	10.0	10.0
Deadweight, DW	ton	158,000	254,000	228,124	244,641
DW/DW(M916)	-	-	1.00	0.90	0.96
Fuel tank volume ratio	-	-	1.0	5.7	2.7
Fuel tank capacity	ton	3,813	5,505	31,381	14,865
BHP	kW	12,585	6,256	6,256	6,256
EEC/EEC(JBC)	-	1.00	0.45	0.50	0.47
GHG/GHG(JBC)	-	1.00	0.45	0.00	0.00
CII/CII(JBC)	-	1.00	0.65	0.00	0.00

LH：Liquid Hydrogen,　LA：Liquid Ammonia,　EEC：エネルギー効率

Active 制御型省エネデバイスに関する研究（気泡による摩擦抵抗変化の速度影響調査）

・ 水平チャネルにおける気泡流中のせん断応力の計測から、速度により抵抗低減効果は変化し、断面内平均流速 U_m = 1 ～ 2.5 [m/s]においては気泡により摩擦抵抗が増加することなどが確認された。また、これまでに実施した PTV 計測やボイド率計測結果から、速度による気泡径および気泡位置の変化により、摩擦抵抗の速度影響は(I)Drag increase region、(II)Transition region、(III)Drag decrease region に分類して説明できることを示した（図 18）。

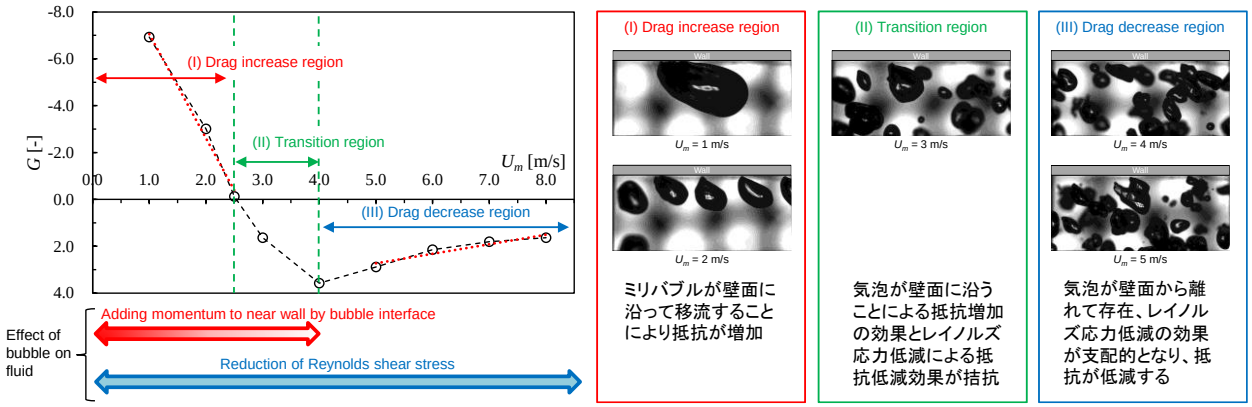


図 18 気泡による摩擦抵抗変化の速度影響

Active 制御型省エネデバイスに関する研究（弾性表面波デバイスの開発）

・ 表面波音速が水に近い圧電材料である BGO を用いた弾性表面波デバイスを製作し、音響流の放射角を約 30 度にすることに成功した。図 19 に PIV による流場計測結果を示す。従来型のニオブ酸リチウム弾性表面波デバイスの音響流の放射角は、約 70 度（図 20）であり、流体制御デバイスとして使用する場合、主流方向成分より垂直方向成分が大きく、流場制御に使用するのは困難であった。新開発のデバイスは、主流方向成分が、垂直方向成分に卓越するため、有効な流場制御デバイスとして期待できる。音響流の放射される速さは、入力電力電圧 40V で約 32mm/s、20V で約 18mm/s と入力する電圧に概ね比例し、流場制御デバイスとして有効な特徴を持つことを確認した。

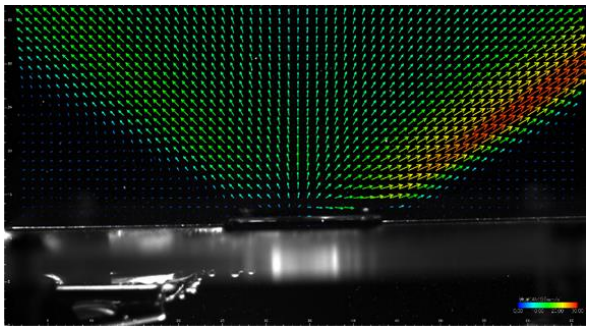


図 19 新開発の BGO 弾性表面波デバイスから放射される音響流
（放射角約 30 度）

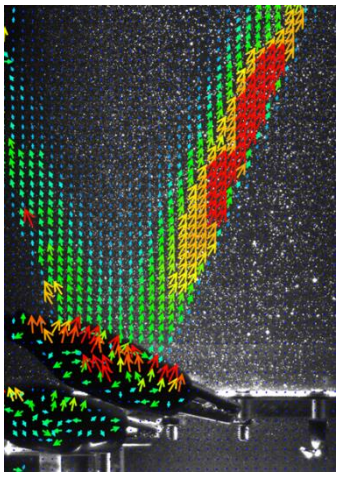


図 20 従来型のニオブ酸リチウム弾性表面波デバイスから放射される音響流
（放射角約 70 度）

Active 制御型省エネデバイスに関する研究（水中騒音低減）

・ 前年度開発した TSP（Time Stretched Pulse）信号を用いた伝達関数計測法を用いて、大型キャビテーション水槽第 1 計測胴の伝達関数を計測（図 21）し、計測胴のサイズ及び試験状態が異なる場合でも有効な伝達関数が得られることを確認した。また、青雲丸 I 世 HSP の模型プロペラ対象に水中騒音計測を行い、その計測結果を伝達関数によって補正し、ITTC の方法を用いて実船換算を行った結果が実船計測結果と良好に一致することを確認した（図 22）。

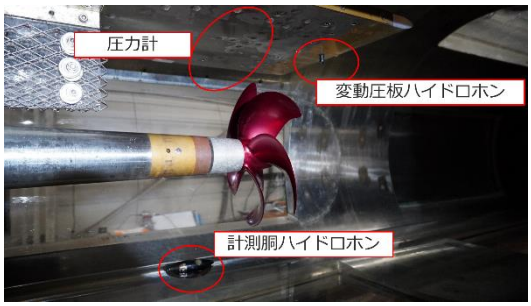


図 21 水中騒音計測風景

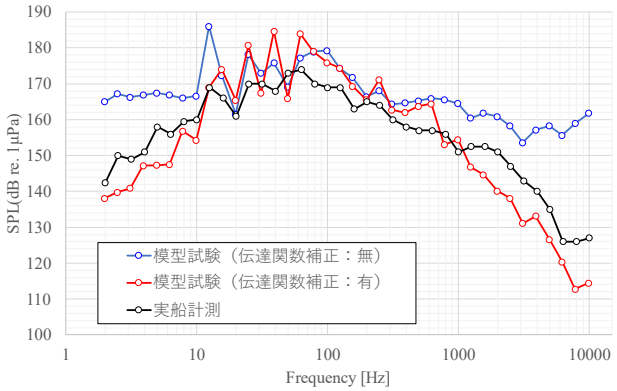


図 22 実船と模型試験の水中騒音の比較結果

- 空気吹き出しによる水中騒音低減効果の検証のため、空気吹き出し位置と空気吹き出し量を変更可能な空気吹き出しシステムを構築した（図 23）。大型キャビテーション水槽第 2 計測胴において、JBC 改良船型の模型船を用いたキャビテーション試験を行い、水中騒音低減に効果的な空気吹き出しパターン（吹き出し位置、吹き出し量）の調査を行った。その結果、最適な空気吹き出しによって水中騒音が 8dB 減少することを確認した（図 24）。

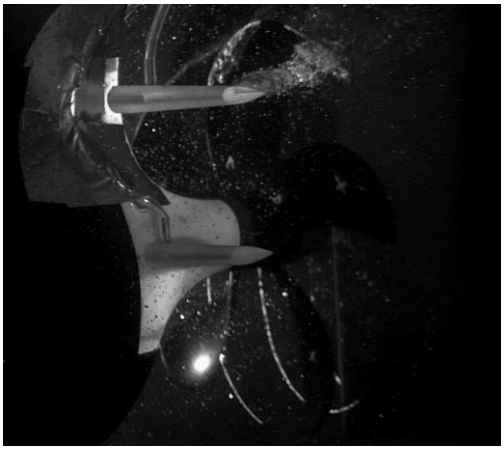


図 23 空気吹き出し有り（上左舷）

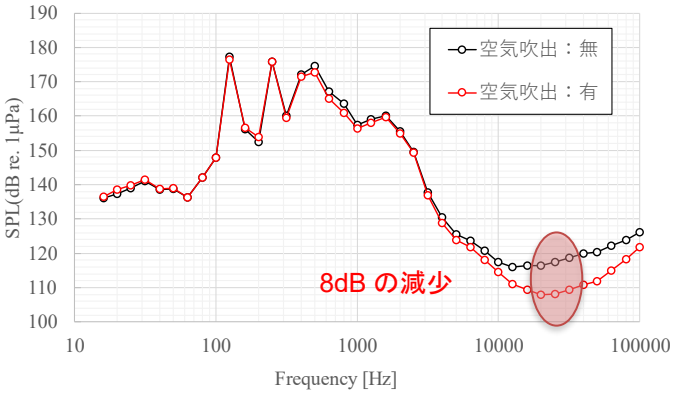


図 24 空気吹出による水中騒音低減効果

R3 年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：26 件（投稿中：18 件、採択済： 件、掲載済：8 件）

- S. Yokota et al.：A Practical Correction Method for Added Resistance in Oblique Waves Considering the Influence of Roll Motion, Journal of JASNAOE, Vol.34, pp. 1-10, 2021.
- M. Kuroda et al.：Development of the Evaluation Method for Life Cycle Ship Performance, Journal of JASNAOE, Vol.34, pp. 19-27, 2021.
- J. Wang et al.: Validation study on a new semi-empirical method for the prediction of added resistance in waves of arbitrary heading in analyzing ship speed trial results, Ocean Engineering, Vol. 240, 2021
- Bondarenko O., et.al.: The Outlook for Machine Learning Application in the Problem of Propulsion Engine Monitoring and Diagnostics, In Proc.: COMODIA Conference, 2022
- T. Tanaka, et al.: Repetitive bubble injection promoting frictional drag reduction in high-speed horizontal turbulent channel flows, Ocean Engineering, Vol. 239, 2021
- 田中泰爾ほか：乱流境界層への気泡注入による摩擦抵抗低減効果：長尺模型船実験と実スケール性能の推定、日本機械学会論文集、2022
- 粉原直人ほか：実海域におけるローター船の省エネ効果の評価、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
- K. Kume et al.: Evaluation of Aerodynamic Characteristics of a Ship with Flettner Rotors by Wind Tunnel Tests and RANS-Based CFD, Ocean Engineering（投稿中）
- M. Kuroda et al.：Evaluation of Ship Performance in terms of Shipping Route and Weather Condition, Ocean Engineering（投稿中）

・M. Kuroda et al.: Assessment of Energy Saving Technologies using the Evaluation Method of Life Cycle Ship Performance –Application of OCTARVIA INDEX for the Evaluation–, Journal of JASNAOE（投稿中）
・M. Kuroda et al.: Effect of Hydrodynamic Forces due to Drift Motion on Ship Performance in Actual Seas at Low Speed, Proc. of PRADS2022.（投稿中）
・M. Tsujimoto et al.: Research and Development of OCTARVIA Project –Evaluation of Ship Performance in Actual Seas–, JMST（投稿中）
・深澤良平：ハマパッチを用いた乱流促進による馬力推定とその評価、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・北川泰士ほか：CFRP プロペラ搭載船の波浪中燃料消費性能に関する基礎的研究、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・Y. Ichinose et al.: A Manipulation and Analysis Method for Hull Surface that Organize and Visualize Propulsive Performance, Ocean Engineering（投稿中）
・K. Shiraishi et al, Verification Based on Pressure Fluctuation Induced by Cavitating Propellers for Cavity Shape Measurement Using Combination-Line CCD Camera Measurement Method, Ocean Engineering（投稿中）
・白石耕一郎ほか：差分進化法を用いた舶用プロペラ翼形状の多目的最適化、ターボ機械協会誌（投稿中）
・澤田祐希ほか：ダクト型省エネ付加物によるプロペラキャビテーションへの影響、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・K. Shiraishi et al.: Deformed Shape Estimation for Flexible Composite Marine Propellers by Image Registration, JMST（投稿中）
・T. Tanaka, et al.: Frictional drag reduction by bubble injection in turbulent boundary layers beneath a 36-m-long flat-bottom model ship, Ocean Engineering（投稿中）
・T. Tanaka, et al.: Downstream persistence of frictional drag reduction with repetitive bubble injection, Ocean Engineering（投稿中）
・H. Kawashima et al.: Effect of Roughness Shape Parameters on Turbulent Frictional Resistance on Two-Dimensional Quasi-Wavy Rough Surf, JMST（投稿中）
・H. Kawashima et al.: Estimation Method of Drag Reduction Effect in Actual Vessels by Air Lubrication Using Tank Test Results on Long Flat Plates, JMST（投稿中）
・D. Arakawa et al.: Numerical Study on Influence of Air Bubbles around Ship Hull on Propulsive Efficiency, Journal of JASNAOE（投稿中）
・粉原直人：実海域性能推定の高精度化に関する研究, 大阪大学博士論文、2021 年 9 月
・拾井隆道：乱流境界層中の気泡による摩擦抵抗変化に関する研究、横浜国立大学博士論文、2022 年 3 月

□その他発表論文：38 件（投稿中：8 件、掲載済：30 件）

・M. Tsujimoto：OCTARVIA Project –Evaluation of ship performance in actual seas–、台湾船社向けセミナーIoS-OP セミナー What's IoS-OP? Data utilization & Cyber Security （2021）
・辻本勝：OCTARVIAI の成果と OCTARVIAII の計画、海上技術安全研究所報告第 21 巻別冊, pp.59-64
・辻本勝ほか：OCTARVIA の成果と OCTARVIA フェーズ 2 の計画、第 81 回実海域推進性能研究会（2021）
・辻本勝ほか：ITTC 総会報告、第 81 回実海域推進性能研究会（2021）
・辻本勝ほか：OCTARVIA プロジェクトの概要, 海上技術安全研究所報告（総合報告）, 第 21 巻, 第 2 号, pp. 1-9.
・辻本勝：OCTARVIA プロジェクト（実海域実船性能評価プロジェクト）フェーズ 2 の開始、第 82 回実海域推進性能研究会（2022）
・辻本勝：OCTARVIA Project の web アプリとその活用、IoS-OP 国内船社向けセミナー（2021）
・宇都正太郎ほか：国際試験水槽委員会（ITTC）第 29 期活動報告、KANRIN（2021）
・久米健一：GHG 削減短期対策（EEXI,CII）の現状と見通し -IMO/MEPC での議論-、第 81 回実海域推進性能研究会（2021）
・粉原直人ほか：実船モニタリングによる実船性能評価法の構築, 海上技術安全研究所報告（総合報告）, 第 21 巻, 第 2 号, pp. 11-25.
・粉原直人：海技研における実船モニタリングに関する研究、KFR・KSSG 共催シンポジウム 実船モニタリングの最前線（2022）
・久米健一ほか：設計段階での実船性能推定法の構築, 海上技術安全研究所報告（総合報告）, 第 21 巻, 第 2 号, pp. 27-38.
・久米健一：内航海運のための省エネルギー標準船型の開発、マリンエンジニアリング 57(1), pp. 60-64, 2022
・黒田麻利子ほか：実海域実船性能評価指標 —ライフサイクル主機燃費—, 海上技術安全研究所報告（総合報告）, 第 21 巻, 第 2 号, pp. 39-49.
・N. Sogihara：Evaluation of Ship Performance in Actual Seas Using Onboard Monitoring Data, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 32 号
・辻本勝：EEDI 規制と船舶性能、関西海事教育アライアンス （2021）
・辻本勝：船舶抵抗・推進論 (1)実海域船型学、(2)実海域推進性能－規制の国際動向－、(3)実海域推進性能－設計への利用－、(4)実海域推進性能－運航への利用－, 東京大学大学院新領域創成科学科 （2021）
・辻本勝：OCTARVIA プロジェクトでの技術開発、九州大学大学院工学研究院 （2021）
・松沢孝俊：VESTA-ICE による北極海航路のルーティングシステムの開発, 海技研 2021 年度研究発表会（2021）

・金子杏実ほか：瀬戸内海及び付近における平水区域の解析、第 81 回実海域推進性能研究会（2021）
・金子杏実ほか：平水区域の波と風の統計的性質－海域比較－，日本航海学会 2021 年秋季講演予稿集，Vol. 9, No.2，pp.71-74 (2021)
・ボンダレンコ オレクシーほか：実運航データによる主機デジタルツインの同定及び同化の問題について，日本マリンエンジニアリング学会第 91 回学術講演会.
・一ノ瀬康雄，海技研水槽の自動化とオンラインモニタリングシステム，第 82 回実海域推進性能研究会，2022 年 1 月，オンライン開催 (2021)
・一ノ瀬康雄ほか：機械学習を活用した船尾流場推定手法と伴流設計システム，海上技術安全研究所，令和3年度研究発表会 (2021)
・田中泰爾ほか：乱流境界層への気泡注入による摩擦抵抗低減効果の下流持続性(第 25 回 動力・エネルギー技術シンポジウム)日本機械学会
・林拓矢ほか：光ヘテロダイン式デュアルビーム法を用いた気泡流の乱流せん断応力測定（日本混相流学会 混相流シンポジウム 2021）
・藤井夏海ほか：長尺模型船における人工ボイド波の液相支配領域での局所剪断応力分布の評価（日本混相流学会 混相流シンポジウム 2021）
・佐藤弘康ほか：36m長尺模型船を用いた翼型気泡発生装置による空気導入性能と正味抵抗低減について（日本機械学会 2021 年度 年次大会）
・川北千春ほか：プロペラに生じるキャビテーション励振力の予測精度（キャビテーションに関するシンポジウム）
・白石耕一郎ほか: キャビテーション水槽における伝達関数計測法，ターボ機械協会プロペラ分科会，2021 年 12 月
・金子杏実ほか：平水区域の波と風の統計的性質－日本海・三陸海岸－，日本航海学会 2022 年春季講演予稿集，Vol. 10 (2022)（投稿中）
・北川泰士ほか：自由航走模型試験と理論計算による CFRP プロペラ搭載船の波浪中推進性能評価に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，(2022)（投稿中）
・北川泰士ほか：CFRP プロペラ搭載船の波浪中燃料消費性能の評価に関する基礎的研究 日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，(2022)（投稿中）
・一ノ瀬康雄: 推進性能を向上するための船体形状の設計技術，日本トライボロジー学会学会誌トライボロジスト（投稿中）
・Y. Ichinose et al., A hull form design system suitable for machine learning that integrates deformation, data structure, and analysis, Proceedings of 21th Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries（投稿中）
・川北千春ほか：低速幅広肥大船型による GHG 削減への取り組み，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 34 号，(2022)（投稿中）
・T. Tanaka et al.: Bubbly Drag Reduction Promoted by Generating Void Waves in High-Speed Turbulent Channel Flows, Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics, 2022（投稿中）
・Y. Oishi et al.: Application of Variable Interval Time Averaging Method to Waveform of Wall Shear Stress in Bubbly Flow, Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics, 2022（投稿中）

□特許申請：5 件
・船舶の実船モニタリング解析による性能評価方法、性能評価プログラム、及び性能評価システム
・船舶の横揺抵抗増加低減方法、横揺抵抗増加低減システム、及び船舶
・エンジンのモデルパラメータ同定方法、モデルパラメータ同定プログラム、及びエンジンのデジタルツイン管理システム
・燃焼ガスの分析システム及び燃焼ガスの分析方法
・自動負荷配分装置を備えた船体摩擦抵抗低減装置

□コアプログラム登録：5 件
・プログラム VESTA（実運航性能シミュレータ）V5 版
・ライフサイクル主機燃費指標計算プログラムクラウド版（OCTARVIA-app V1 版）
・船体形状・船体性能推定プログラムクラウド版（EAGLE-OCT-app V1 版）
・実船モニタリングデータ解析プログラムクラウド版（SALVIA-OCT-app V1 版）
・GLOBUS -Global Winds and Waves-表示プログラム Ver.2

□国際貢献：9 件
・Draft amendments to MEPC.1/Circ.815 for verification of the wind propulsion system, MEPC 76/6/2, 2021
・Final Report and Recommendations to the 29th ITTC from SC SOS, Proc. of 29th ITTC, 2021
・Preliminary consideration of amendments to the S/P trials guideline for WAPS-equipped ships – Work plan for ToR 8 – (ITTC/wind), 2022
・Preliminary consideration of amendments to the S/P trials guideline for WAPS-equipped ships – Work plan for ToR 9 – (ITTC/wind), 2022

・ITTC FSSPC Action plan for ToR 5(2)C （ITTC/FSSP), 2022
・ITTC FSSPC Action plan for ToR 3E （ITTC/FSSP), 2022
・ITTC FSSPC Action plan for ToR 8A （ITTC/FSSP), 2022
・Wave correction methods (ISO15016 WG17), 2022
・Consideration and proposal for wind limitation (ISO15016 WG17), 2022

□受賞：0件

□公開実験：1 件
・オンライン立会システムを使用した 400m 水槽の自動計測システム，令和 4 年 1 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☆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	R3 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 ー実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、実海域性能評価法への経年変化影響の組み込み、低速時波浪中推進性能モデルの構築、模型スケールにおける波浪中自由航走状態の CFD 計算手法の開発、及び実海域性能に関する現行のガイドライン等への実海域性能評価手法の組み込みを検討し、国際標準提案の作成を行う。 等

研究の背景

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

□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
□ハイブリッド RANS/LES/LBM 法による新規計算手法の開発

期間全体の研究目標

□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, ITTC への提案)
□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)
□荒天時における区画損傷時船舶の船体運動及び船体構造強度のシミュレーションが可能
□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
□大規模計算にも適した新たな RANS/LES/LBM ハイブリッド計算手法により高速な計算手法を開発

上記成果は、以下があげられる。

□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する。
□大波高時の区画傷時の船体運動計算が可能になり、船体構造強度を含めた計算手法を確立する。
□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が強化される。

R3 年度研究目標

□小項目 2

・二相流れに対応した NAGISA の開発を継続し、2 次元翼におけるキャビテーションモデルの基礎検証を行うと共に、3 次元非一様流中におけるプロペラキャビテーション計算を可能にするための、伴流再現法・キャビテーション計算安定化手法を開発する。

□小項目 4

・模型スケールにおける波浪中自由航走状態の計算手法を開発する。

□小項目 5

・損傷時復原性の検討における様々な損傷パターンに対応すべく、主船体内部の複数区画の損傷部分を扱えるよう、重合格子手法を拡張する。損傷し浸水した状態について波向きを変更し、手法の検証を行う。

□小項目 7

・格子ボルツマン法を主体としたハイブリッド計算手法の開発を継続する。基礎的なテストケースを設定し、検証計算を行う。

・R3 年度研究内容

□小項目 2

・前年度開発した二相流れ対応 NAGISA による二次元キャビテーション問題に対する基礎検証を継続するとともに、プロペラキャビテーション計算を可能とするための、船尾伴流再現法・キャビテーション計算を安定化させる手法を開発する。

□小項目 4

・動的重合格子手法による模型スケールでの向波中での直進状態及び波浪中旋回状態の計算手法を開発し、検証を行う。

□小項目 5

・主船体内部の複数の区画が浸水した状態について、区画間の孔と区画を重合格子手法で取り扱えるよう手法を拡張する。開発する手法に基づき、自由表面の挙動を含む流場の変動や船体の運動について妥当な結果が得られるかどうか検証する。

□小項目 7

・ハイブリッド計算手法の開発を継続し、基礎的なテストケースにおける流場変数等に関する検証を行う。

R3 年度研究成果

□小項目 2

・VOF 法による二相流れに対応し、二次元翼周りのキャビテーション計算の精度検証を行った。

・非一様流中におけるキャビテーション計算を比較的短時間で可能とするため、船尾流れを境界条件として与え、流場を再現する方法を開発した。再現した船尾伴流中でプロペラキャビテーション計算を行い、キャビテーションの発生範囲の計測結果との比較等を行った。
・付加物付きのタンカー船型の実船性能推定に関する国際的な(13 機関が参加)ベンチマーク計算に参加し、既公表の実船スケール CFD 計算ガイドラインを活用して、手法の有効性を示した。結果は他参加機関の結果とあわせて国際ジャーナル論文(投稿中)にまとめられた。

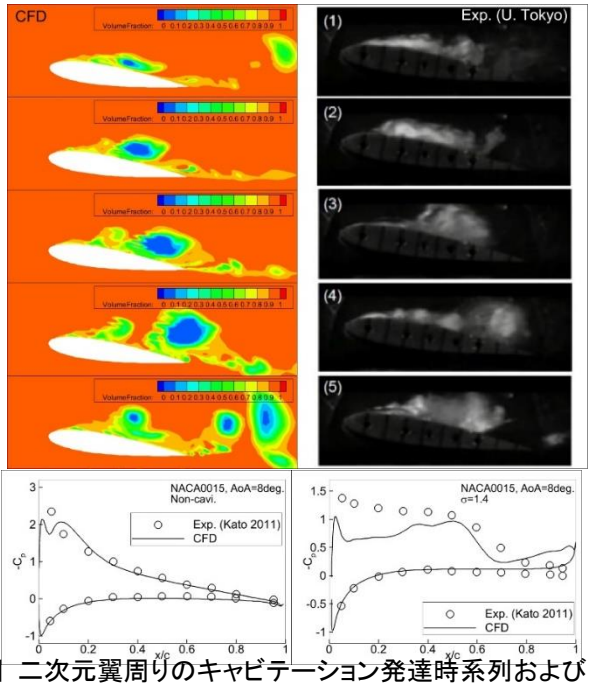


図 二次元翼周りのキャビテーション発達時系列および翼面上圧力分布の検証

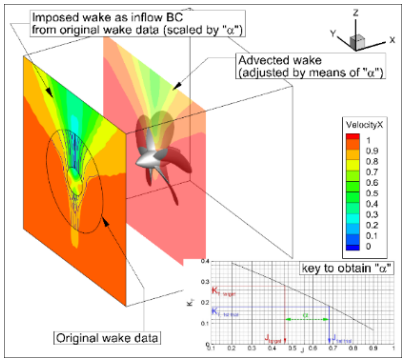


図 キャビテーション計算領域中への船尾流れの再現

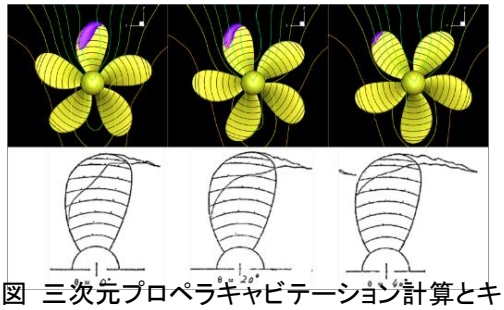


図 三次元プロペラキャビテーション計算とキャビテーション発生範囲の計測結果との比較

□小項目 4

・通常舵、特殊舵について自由航走状態での 35 度旋回の計算を行い、旋回径や舵力等の違いについて明らかにした。
・模型スケールにおける波浪中での航走計算手法を開発し、向波中の直進状態の計算及び波浪中旋回計算等を行った。水槽試験を模擬し、造波とともに計算領域全体をまかなう格子、自走する船体と舵等を動的重合格子手法に基づき組み合わせ、波浪中での自由航走と 35 度旋回計算を実現した。
・外部機関独自による実用化がなされ、肥大船の PMM 操縦運動シミュレーションにより、流体力等を精度良く推定できることが示されている。また、自律船に関係する請負研究において、深水及び浅水域におけるフラップ舵付きの CMT での操縦流体力を精度良く推定できること等を示した。

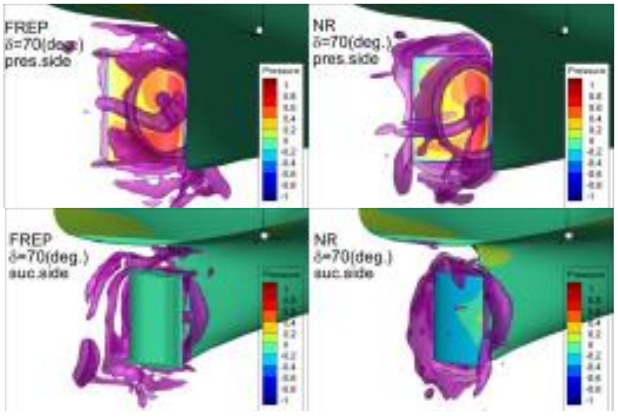


図 舵形状による圧力及び渦構造の変化

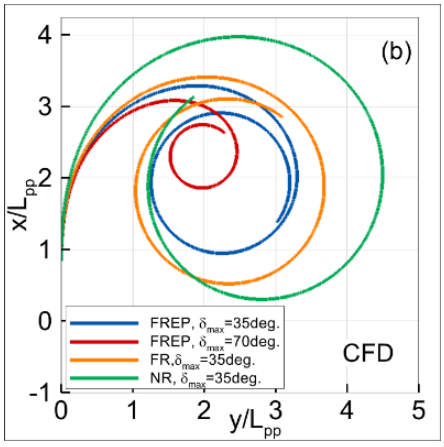
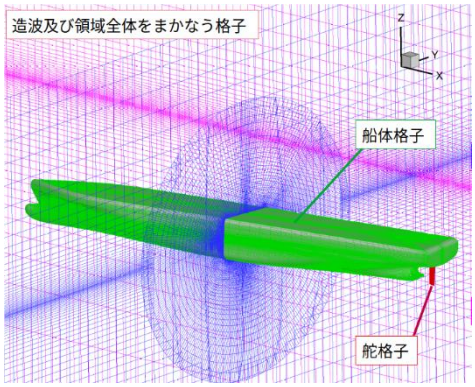
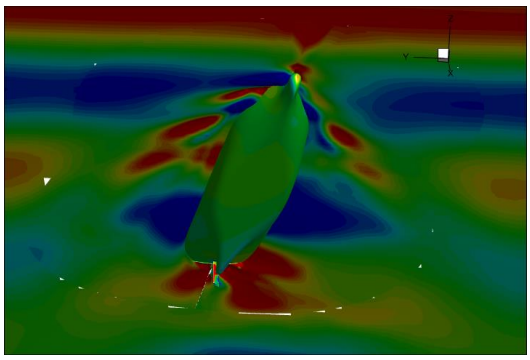


図 舵形状による旋回径の違い





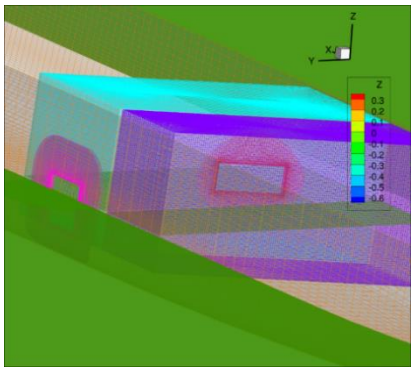
動的重合格子手法に基づく波浪中旋回計算用格子　　波浪中 35 度旋回における船体周り自由表面の可視化

図　動的重合格子による波浪中自由航走状態及び 35 度旋回の計算

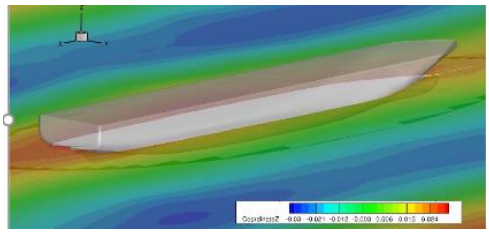
□小項目 5

・重点☆03 と連携し、複数の区画及び損傷孔に対応した重合格子生成手法を開発し、検証ケースとして選定した複数区画損傷状態へ適用した。複数区画が浸水し、横波(波長船長比 1.17)を受ける状態で、船体運動や区画内の水面の変動等から、計算手法の妥当性を確認した。

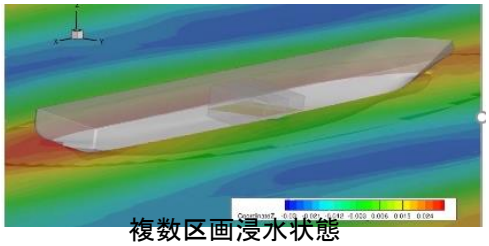
・複数区画が浸水した状態における波浪荷重を求め、FEM による船体構造応答との連成計算について検討を行った。



複数区画浸水状態の重合格子

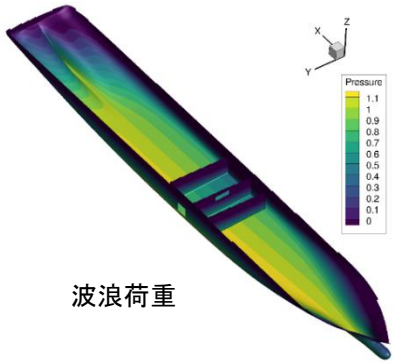


損傷なし

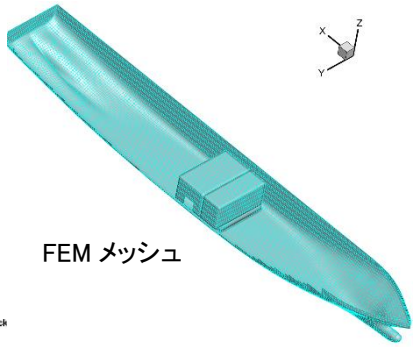


複数区画浸水状態

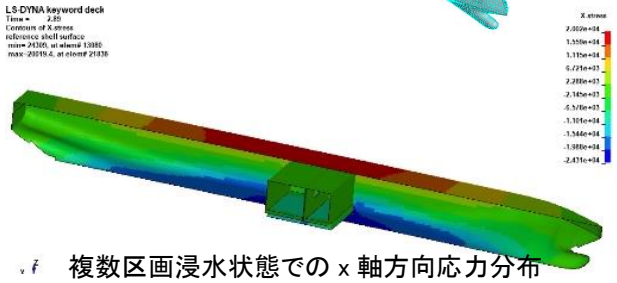
図　複数区画浸水状態の重合格子と自由表面可視化



波浪荷重



FEM メッシュ



複数区画浸水状態での x 軸方向応力分布

図　波浪荷重と船体構造応答計算

□小項目 7

・重合格子による有限体積法(FVM)と格子ボルツマン法(LBM)のハイブリッド化の基礎検討を行った。平行平板間流れ等における格子ボルツマン法の基礎検証とともに円柱周り流れにおいて重合格子による FVM/LBM ハイブリッド計算手法の妥当性について確認を行った。

・重合格子によるハイブリッド計算手法に適した並列化手法として、領域分割と Message Passing Interface(MPI)による分散メモリ型と OpenMP による共有メモリ型を組み合わせた並列計算手法を開発。分割法の調査により MPI または OpenMP のみの計算時間と比較して 4-13 倍の高速化を見込める。

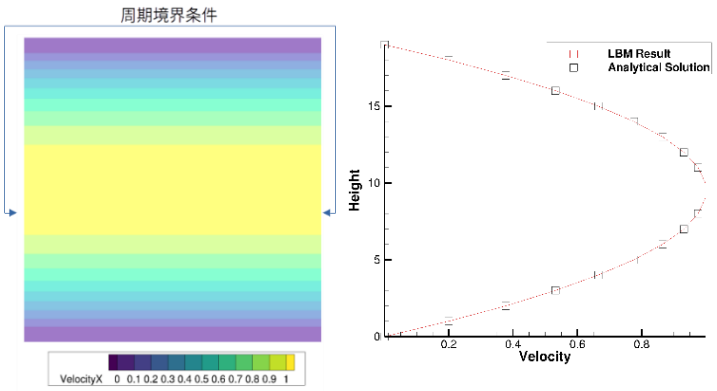


図　格子ボルツマン手法の基礎検証(平行平板間流れ)

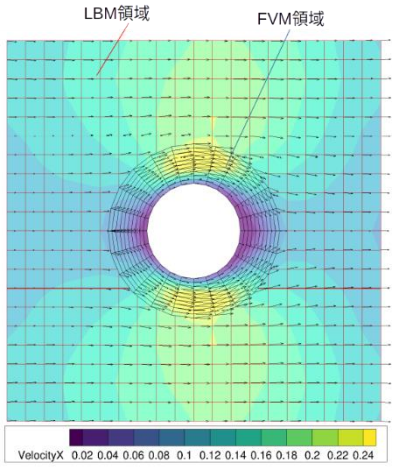


図　FVM/LBM ハイブリッド計算手法による円柱周り流れの計算結果

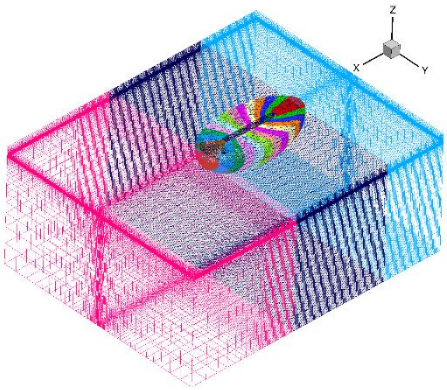


図　重合格子に適した領域分割手法の開発

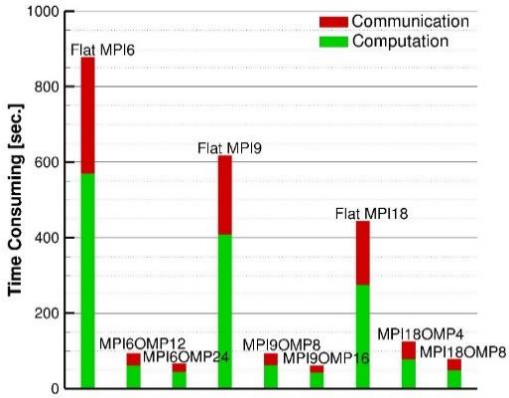


図　並列手法による計算時間の比較

R3 年度成果の公表

口査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):2 件(投稿中:2 件、採択済:0 件、掲載済:0 件)

・Sakamoto, N. et al. :Overset RaNS Simulations and Validations for the Effect of False Bottom to the KCS under Static 2 Drift and Static Rudder in Shallow Water, JMST(投稿中)
・Andersson, J. et al. : Ship-Scale CFD Benchmark Study of a Pre-Swirl Duct on KVLCC2, Applied Ocean Research(投稿中)

口その他発表論文:6 件(投稿中: 件、掲載済:6 件)

・大橋訓英:船体に働く波浪荷重と流体構造連成解析について, 第 26 回 計算工学講演会
・Ohashi, K. : Numerical Simulation of Strongly Coupled Liquid Fluids in Tanks inside of Floating Body and its Motions with Incoming Lateral Regular Waves, ECCOMAS MARINE 2021
・坂本信晶他:海技研 CFD"NAGISA"を用いた自由航走計算による一般商船の操縦性能推定, 海技研発表会
・Sakamoto, N. et al. : Fundamental Validation of Cavitation and Interface Capturing Models implemented on NAGISA, 混相流シンポジウム 2021
・大橋訓英:船体周り流れの重合格子における領域分割とハイブリッド並列計算手法の開発, 日本流体力学会年会 2021
・Sakamoto, N. et al. : Effect of False Bottom to the KCS under Pure Yawing Motion in Shallow Water (H/T=1.2) -Preliminary study by means of viscous CFD-, 日本船舶海洋工学会秋季講演会

口特許申請:0 件

□コアプログラム登録：5 件

・重合格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(NAGISA) Ver3.35
・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）Ver2.1R4
・AutoDes Ver.2.2
・CFD ポスト解析システム Ver.1.0
・非構造格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム（SURF） Ver6.46

□国際貢献：0 件

□受賞：0 件

□公開実験：0 件

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	R3 年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発	IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素（CO2）、窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。 また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発 －実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、実海域性能評価法への経年変化影響の組み込み、低速時波浪中推進性能モデルの構築、模型スケールにおける波浪中自由航走状態の CFD 計算手法の開発、及び実海域性能に関する現行のガイドライン等への実海域性能評価手法の組み込みを検討し、国際標準提案の作成を行う。 等

研究の背景

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

□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

期間全体の研究目標

□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、以下があげられる。
□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。
□先駆的な技術開発により我が国海事産業の国際競争力が強化される。

R3 年度研究目標

□小項目 3
・水素エンジン等の安全性評価及び燃焼技術に関する研究
□小項目 4
・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
□小項目 5
・多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価

・R3 年度研究内容

□小項目 3
・水素エンジンの燃焼技術とクランクケース安全性について、400kW ガスエンジン発電機を用いて評価。
・舶用 2 ストロークエンジン内の燃焼を模擬できる大型の定容燃焼試験装置による実験から水素・アンモニア燃焼技術を開発。
・強化学習の理論に基づき水素混焼ガスエンジンシステムシミュレータを構築。
□小項目 4
・液化アンモニア供給装置を用いて、アンモニア混焼試験を実施する。
・軽油早期噴射の 2 段化による、大気汚染物質の低減効果を実験により確認する。
□小項目 5
・多様なエネルギー源を用いた動力システムのエネルギー的な評価を実施する。

R3 年度研究成果

□小項目 3
・水素混焼ガスエンジンの実験を実施し、50%負荷率、水素熱量混焼率 96%において安定した燃焼を実現し、GHG 排出率削減率 96%を実証した。
・水素混焼時の燃焼制御のため希薄燃焼と排気再循環（EGR）を実施し、希薄燃焼によって高混焼率においても、燃焼速度の抑制と低い NOx 排出率が実現できることを確認した。（図 1、図 2）
・昨年度製作した可視化定容燃焼試験装置（図 3）を用いて、アンモニア－補助燃料の層状噴射燃焼の基礎実験を実施した。層状噴射によって着火・燃焼が成立すること、N2O 排出低減に有効であることが明らかになった。（図 4）
・水素混焼時のクランクケース内の可燃性評価について論文（海技研報告）にとりまとめた。
・開発を進めている “ガスエンジンシミュレータ”に、すべての負荷率において燃焼特性を詳細に評価することのできる“Hybrid-CMV モデル”を実装した。この改良したガスエンジンシミュレータを用いて最適制御を検討するための強化学習計算環境を構築し、ガスエンジンの応答性の検討を開始した。（図 5）
□小項目 4
・アンモニアエンジンの実験を行い、軽油早期噴射による未燃 NH3 と N2O の低減効果（前年度報告）を維持したまま、軽油早期噴射の 2 段化によって、増加していた CO と THC の排出量の低減に効果があることを確認した。成果は国際学会（査読付きプロシーディング）にて発表した(図 6)。
・液化 NH3 供給装置を新規に構築し、エンジンの吸気への液化 NH3 供給による NH3 混焼実験を実施した（高い混焼率でも安定して試験が可能）。その結果、NH3 の気化熱による吸気温度の低下が原因と見られる N2O 排出量の増加(図 6)が確認された。吸気加熱装置による対策を実施した（図 7）。
□小項目 5
・水素やアンモニアなどの石油代替燃料を用いた舶用エネルギーシステムの特性を調査し、各技術・代替燃料のカーボンフリー船への導入に向けた技術課題、船舶への適用性や将来性について整理した。
・内航船の GHG 削減については、様々な省エネ技術を組み合わせた“連携型省エネ船”を検討するなど、国交省の内航カーボンニュートラル推進方針の策定に貢献した（図 8）。
・外航船の GHG 削減については、2050 年ネットカーボンニュートラルに向けた検討を行い、バックキャストによる目標設定や課題対策の整理など、国交省・船技協の国際海運 GHG 削減ロードマップの改定に貢献した。

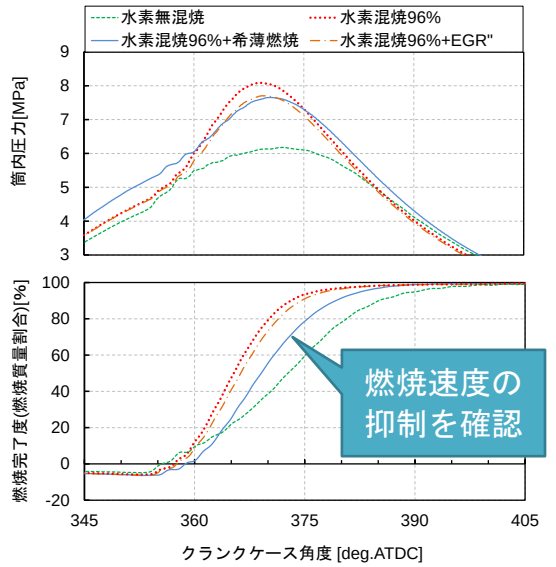


図 1　水素混焼時の燃焼特性

下図：燃焼完了度[%]はシリンダ内の熱発生量に基づく燃焼の完了度合であり、燃焼完了時の熱発生量を100%として、燃焼に伴う熱発生過程を示す。

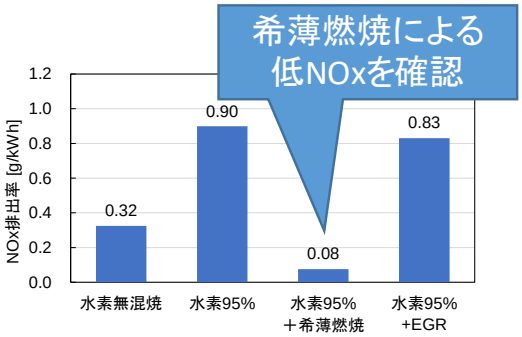


図 2　水素混焼時の NOx 排出率

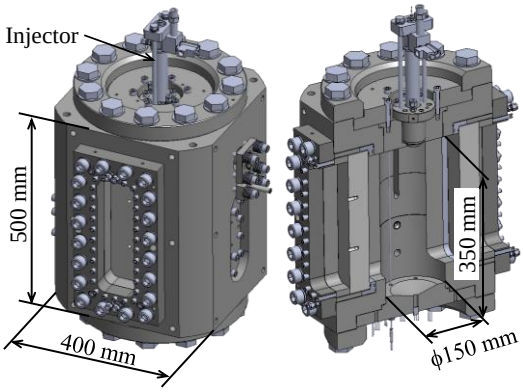


図 3　可視化定容燃焼試験装置

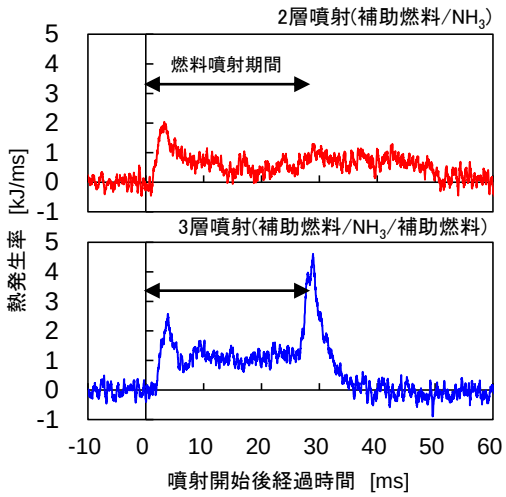


図 4　アンモニア層状噴射燃焼の特性

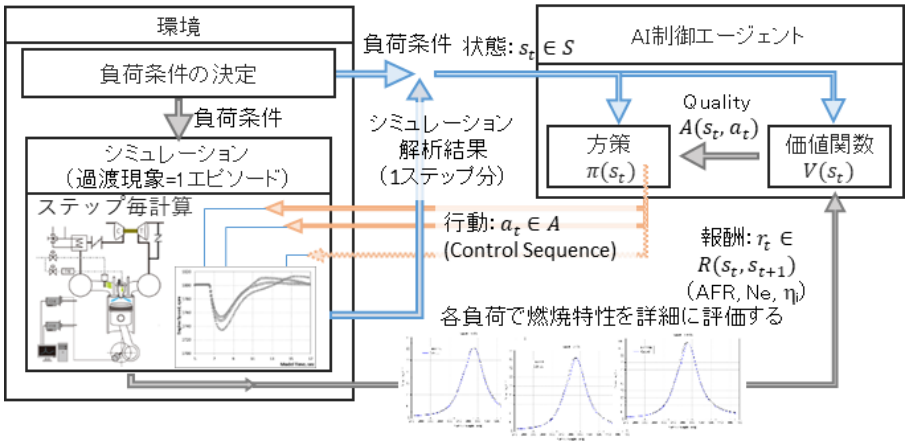


図 5　強化学習計算環境

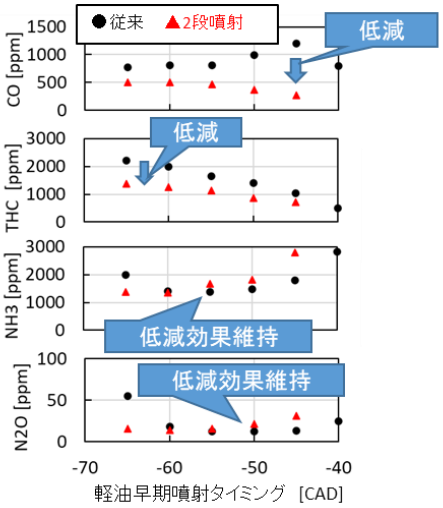


図 6　軽油早期噴射の 2 段化による CO と THC の低減効果

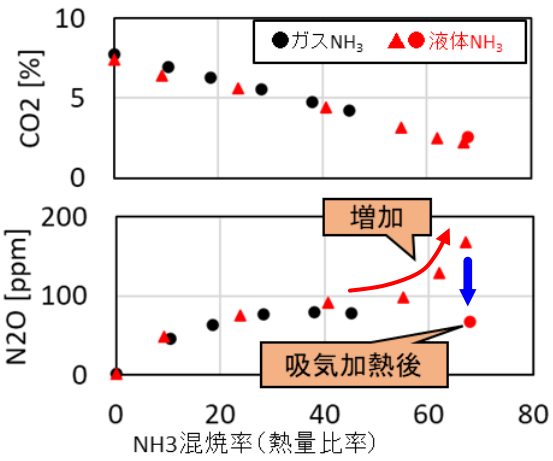


図 7　液化 NH3 供給による N2O の増加と吸気加熱の効果

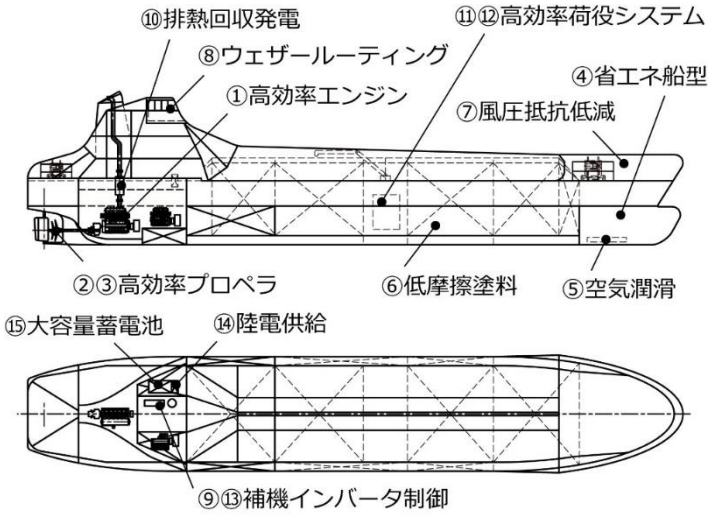


図 8 各種省エネ技術を導入した“連携型省エネ船”のイメージ

R3 年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 3 件(投稿中: 1 件、採択済: 0 件、掲載済: 2 件)

・Yasuhisa Ichikawa, NH3 combustion using three-layer stratified fuel injection for a large two-stroke marine engine: experimental verification of the concept, Applications in Energy and Combustion Science, Vol.10, 2022 (HP にて掲載済)
・中村ほか、リーンバーンガス機関におけるブローバイガスの成分分析および水素混焼時のクランクケース内ガス可燃性評価、海技研報告 (投稿中)
・Yoichi Niki, Experimental investigation of effects of split diesel-pilot injection on emissions from ammonia-diesel dual fuel engine, ASME, ICEF2021.(本文査読付プロシーディングス)

□その他発表論文: 10 件(投稿中: 1 件、掲載済: 9 件)

・市川泰久ほか:層状噴射によるアンモニアのディーゼル噴霧燃焼改善のための基礎研究、日本マリンエンジニアリング学会第 91 会学術講演会(2021.9).
・市川泰久ほか:層状噴射によるアンモニアディーゼル燃焼コンセプトの提案、第 59 回燃焼シンポジウム(2021.11).
・仁木洋一、市川泰久、新田好古、平田宏一、アンモニア混焼ディーゼル機関に関する研究開発の現状、海上技術安全研究所研究発表会講演集
・仁木洋一、市川泰久、平田宏一、数値計算を用いたアンモニアの燃焼解析、日本マリンエンジニアリング学会、第 91 回学術講演会
・仁木洋一、アンモニア混焼による舶用ディーゼル機関からの GHG 削減 (講演のみ) 、第 21 回海上技術安全研究所講演会
・仁木洋一、アンモニア/軽油混焼ディーゼルエンジンの現状と課題 (講演のみ) 、公益財団法人原総合知的通信システム基金、ゼロエミッション海運、船舶用燃料アンモニアの最新動向
・仁木洋一、アンモニア混焼に関する研究 (講演のみ)、日本マリンエンジニアリング学会 冷凍空調・環境調和技術研究委員会公開研究委員会
・平田宏一、GHG 削減船の実現に向けた検討、海上技術安全研究所報告第 21 巻別冊(令和 3 年度), 第 21 回研究発表会講演集
・平田宏一、内航船舶の GHG 排出の現状と GHG 削減対策、日本海難防止協会, 情報誌「海と安全」(解説記事)
・平田宏一、船舶用代替燃料に関する取り組みと展望、トライボロジー学会誌「トライボロジスト」、(解説記事、投稿中)

□特許申請: 1 件

・「燃料噴射量評価方法、および燃料噴射量評価装置」(市川、仁木)

□コアプログラム登録: 0 件

・

□国際貢献: 0 件

・

□受賞：０件

・

□公開実験：０件

・

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	R3 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 －GHG 削減のための CO2 及びメタンの排出を削減するための後処理技術の検討を行う。 －GI(グリーンイノベーション)を実現するために、水素・アンモニア混焼時にも安全で安定した燃焼技術の開発、強化学習の理論に基づくエンジンシステムシミュレータの構築及び多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価を行う。 等

研究の背景

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

□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
□船舶に起因する大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術の高度化
□防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発

期間全体の研究目標

□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、以下があげられる。

□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。
□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。
□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。
□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。

R3 年度研究目標

□小項目 4

・油運命モデル導入等による油漂流予測性能について、全油分の海中連行量／毒性成分溶出量等の観点から検証する。また、予測性能向上のための感度解析に基づき、流出油運命モデルの構成パラメータの修正、最新知見に基づく構成モデルの更新を行う。
・港空研で新規構築予定の情報発信プラットフォーム上に海技研提供コンテンツ（検証済みシステム／関連研究資源）を搭載するための準備（インターフェイス構築など）を行う。

□小項目 5

・色彩色度パラメータを利用した、藻類の付着を対象とした汚損評価手法を構築する。ラボ試験の実施により、実船計測適用のための要素技術を確立する。
・超音波を利用した防汚塗膜厚さの評価手法及びフジツボ幼生による汚損モニタリング手法を構築する。

・R3 年度研究内容

□小項目 4

・油運命モデル導入による油漂流予測性能の検証
・情報発信プラットフォームからコンテンツを発信するための準備（港空研と共同で実施）

□小項目 5

・分光計測技術による藻類汚損モニタリング技術の確立
・音響計測技術による塗膜管理手法の確立

R3 年度研究成果

□小項目 4

(1) 油運命モデル導入による油漂流予測性能の検証

(a) 油漂流予測シミュレーションシステム（以下、予測システム）の改善

［油運命モデル］ 海表面の油が海上風及び波浪に晒されることによる海水中への【分散過程】、分散された【油滴の形状分布】、海上風による油の【水平方向への輸送】、渦拡散係数に基づく拡散係数による【鉛直方向への輸送】、及び【油の風化】(揮発、乳化、分散)に関するパラメータを、最新の要素試験結果に基づくものに更新した。

［油移動の駆動力］ 油運命モデルを海洋モデルに基づく海流で計算できるようにし、従来特定の港湾内のみに限定されていた評価範囲を拡張した。また、計算速度を上げるために、流出油の移動計算手法を変更した。

(b) 油漂流予測性能の検証

(a)の改善を経た予測システムが、複雑な海洋環境での実現象を適切に再現・予測できることを検証した。

［油運命モデル］ 岩手県の八戸沖で昨年 8 月に発生した貨物船の座礁事故に伴う燃料油の海洋環境への流出事象を対象として、流出油の漂流状況を予測した(図 1)。予測システムによる評価結果を航空機及び海上保安庁による漂着位置の観測結果と比較し、漂着位置の観測結果を再現していることを確認した。モデルの感度評価を行った結果、今年度改善したモデルのうち、【分散過程】【水平方向への輸送】【鉛直方向への輸送】【油の風化】が予測に大きく影響することを確認した。これらの過程を考慮することで、観測結果（下北半島上部に至る漂着）を再現することが可能となった。本事象に対する予測計算は、他に類例がない。

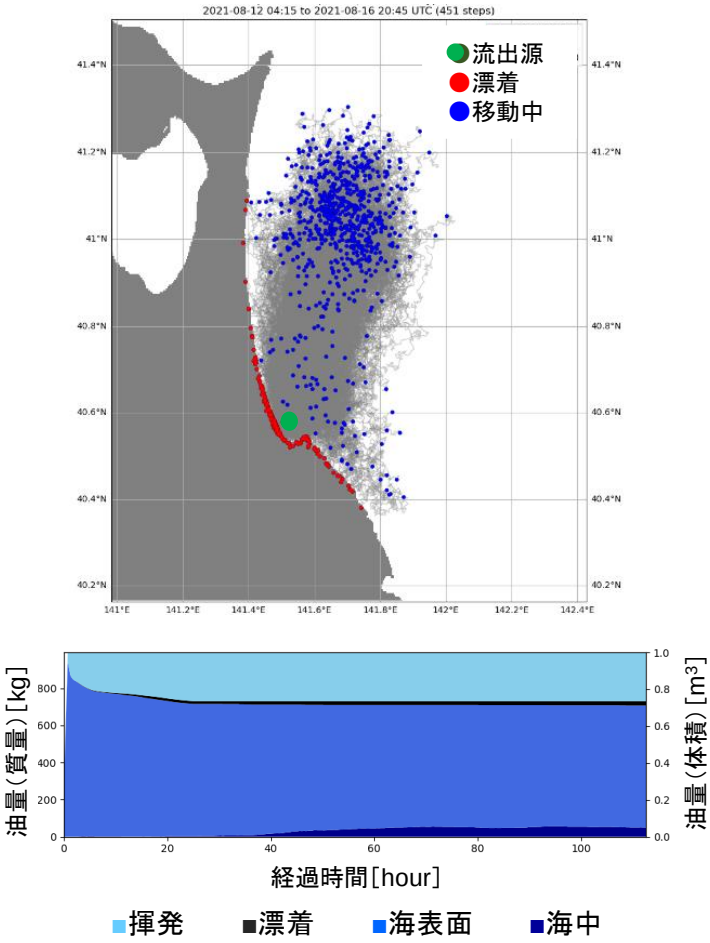


図 1　事故発生から 52 時間経過後の流出油分布（上）及び流出油の状態の経時変化（下）

[油移動の駆動力]　小笠原諸島で昨年 8 月に噴火した海底火山から放出された砕屑物漂流を対象に、海流及び計算手法の検証を実施した（図 2）。予測システムによる評価結果が、海上保安庁及び台湾海洋委員会による噴火から 3 か月経過後の観測結果を再現していることを確認した。本事象に対する予測計算では、簡易な入力条件で短い計算時間で定性的な空間分布が予測できる手法を用いており、他に類例がない。

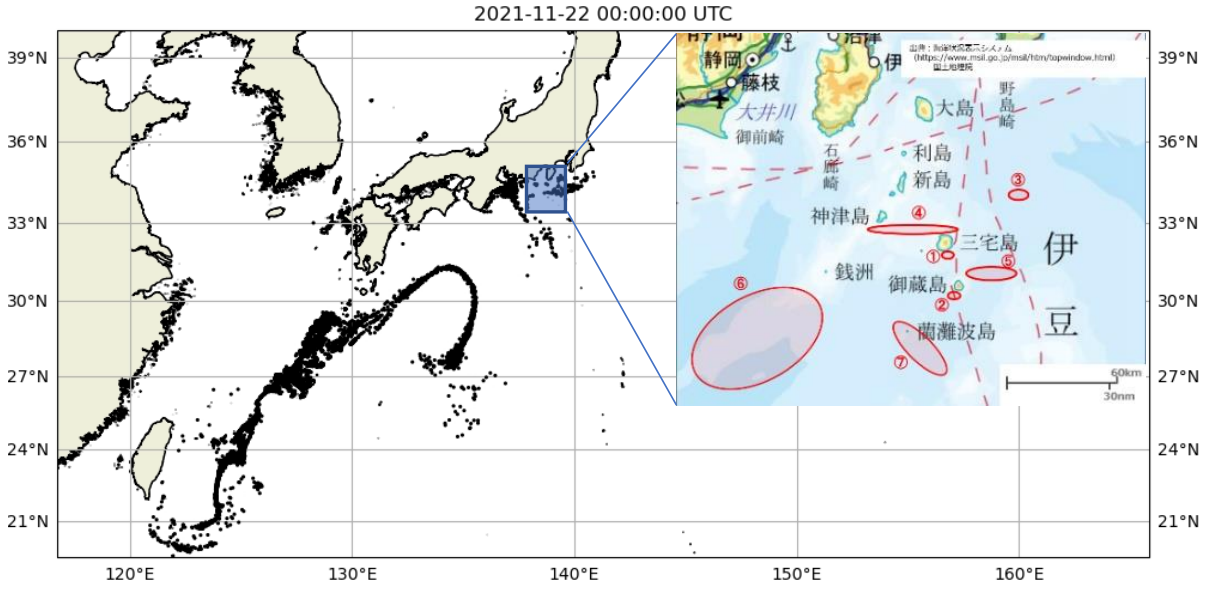


図 2　噴火発生から 3 か月経過後の軽石漂流分布　（左：予測結果、右上：海上保安庁の情報）

(2) 情報発信プラットフォームからコンテンツを発信するための準備(港空研と共同で実施)

油運命モデルによる油流出シミュレーションに必要なデータ及び油を移動させる駆動力として整備すべき海流データを確認するとともに、プラットフォームで公表する際の留意点を整理した。

□小項目 5

(1) 生物汚損の早期検知を目的とする簡易検出技術の構築

(a) 分光計測技術による藻類汚損の簡易検出技術の確立

防汚塗料中の亜酸化銅による褐藻への影響を、色空間パラメータ(一例として L*を記載)及び細胞生存率との相関により評価し、褐藻汚損を簡易的に検出するための指標として色空間パラメータが利用できることを確認した。

検討ではまず、亜酸化銅の配合量を 0～40 重量%の範囲で変えた防汚塗料試験片に対して、48 時間の褐藻付着暴露試験を行い、その外観変化を調べた(図 3)。続いて、暴露試験で得られた外観の色空間パラメータ(L*、a*、b*)と亜酸化銅配合量及び藻類細胞生存率との相関関係を評価した(図 4、ただし L*との相関のみを示す)。図 4 の結果は、色空間パラメータと亜酸化銅配合量(藻類細胞生存率)との間には明確な相関関係があり、褐藻付着状況の数値による定量的評価が可能であることを示すものである。

さらに、試験条件(試験水温、試験水置換率、光量)、試験片調製法及び色度計測条件を最適化し、当該試験法を最終化した。

以上により、本試験法を新規の簡易試験法として ISO 21716-4(藻類を対象とする船底防汚塗料性能評価試験法)に組み込んで提案するための準備が完了した。

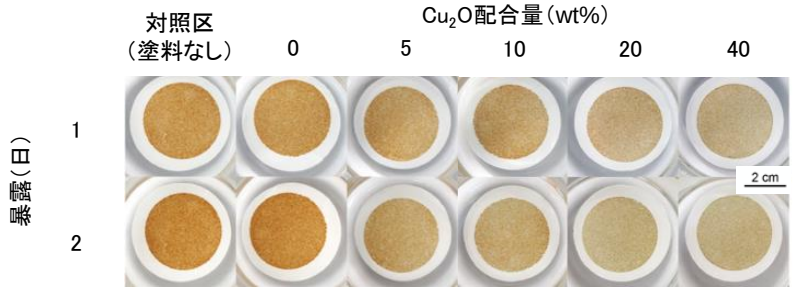
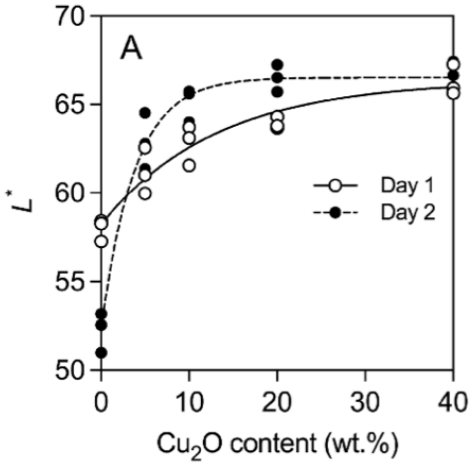


図 3　藻類(褐藻)付着による外観変化(上：暴露後 1 日経過、下：2 日経過)



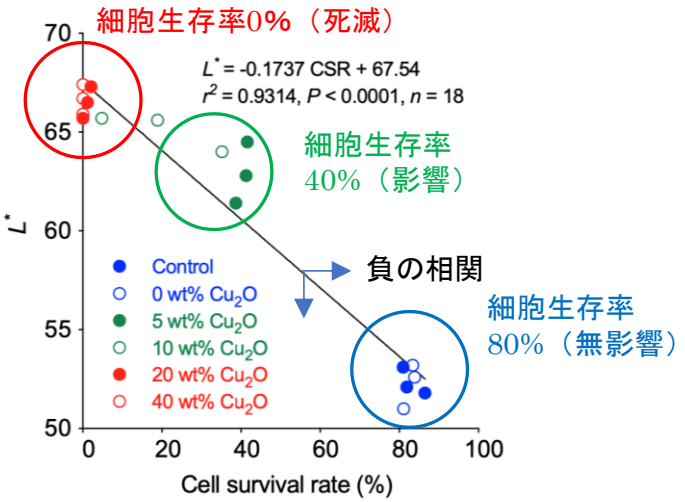


図 4　色空間パラメータと亜酸化銅配合量（左）、藻類細胞生存率（右）との相関関係

(b) 音響計測技術によるフジツボ汚損の簡易検出技術の確立

従来、フジツボの付着検知は、一本のプローブで超音波を船体垂直方向に入射・反射させる方式（一探法）によっていたが、その場合には計測対象範囲がプローブ径と同程度に限られていた。そこで本検討では、二本のプローブで超音波を斜めに入射・反射させる射角探傷の方法（二探法）を利用して、これまで計測対象外であったフジツボ幼生の付着検出が可能かどうかを、ラボ試験によって検討した（図 5）。

ラボ試験の結果、(1) 発信子から斜め方向に入射した超音波がフジツボ付着・成長により散乱・減衰され、受信子で検出されるエコーが低下することを確認し、(2) 取得した超音波データの解析に基づき、フジツボ幼生の成長段階が本手法を用いてどの程度まで検出可能かを明らかにした。

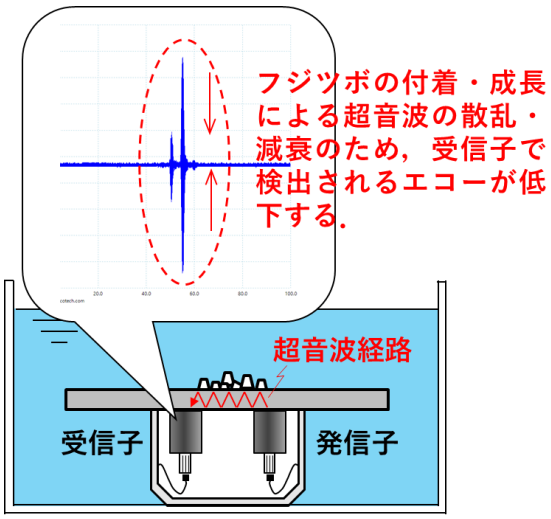


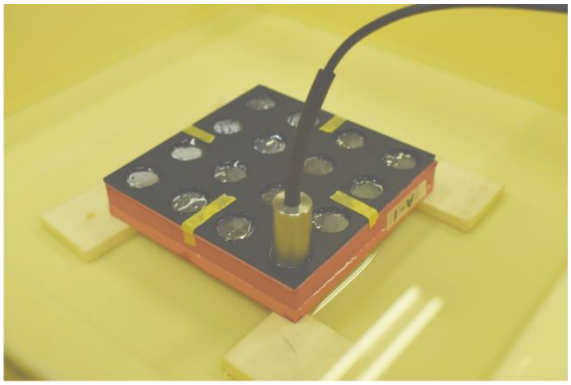
図 5　二探法によるフジツボ付着検出判定の概念図

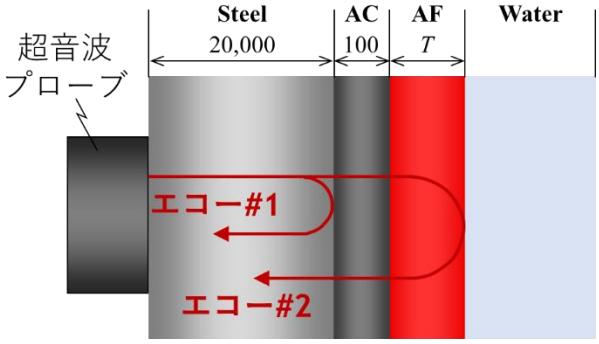
(2) 音響計測技術による塗膜厚管理手法の検討

船体外板のように厚い鋼板の上に薄い塗膜層が重なる系に対して超音波を入射した際に観測されるエコー（反射波）は、それらの複数の層界面からの反射・透過がすべて重なった波形として現れる。

本検討では、この波形から防汚塗膜厚さの情報を簡易的に得ることを目的に、ラボ計測試験を実施し（図 6）、エコーから塗膜表面で反射されるエコーを直接分離・抽出する手法が有効であることを確認した。続いて、防汚塗膜厚さの異なる複数の試験片について超音波計測を行ったデータに基づき、超音波計測から塗膜厚さを算出するためのアルゴリズムを開発した。これにより、超音波の伝播時間の大小から防汚塗膜厚さを推定することが可能となった（図 7）。

本手法は、従来手法（エコーのスペクトル変化観察）と比べて、現場で簡易に塗膜厚が推定できる有力な手法であり、現在見直し中の IMO 船体付着生物管理ガイドラインに提案・反映することが期待できる。





テンプレートを使い等間隔に16点計測.

図 6　超音波による防汚塗膜厚さのラボ計測試験
（Steel：鋼板（船体外板を想定）、AC：防食塗料、AF：防汚塗料）

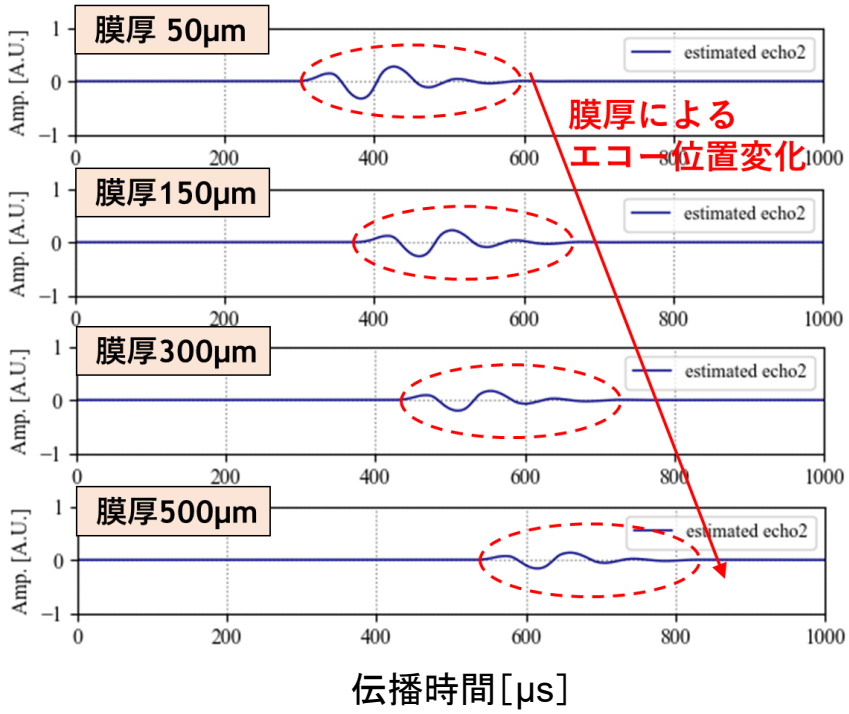


図 7　防汚塗膜厚さの違いによる超音波伝播時間

R3 年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):0 件(投稿中:0 件、採択済:0 件、掲載済:0 件)

□その他発表論文:1 件(投稿中:0 件、掲載済:1 件)

・小島隆志、船底防汚塗料をスクリーニングするラボ生物試験法の開発、オンラインシンポジウム研究講演会（火力原子力発電技術協会海生生物対策研究会)、2021 年 7 月

□特許申請:0 件

□コアプログラム登録:1 件

・船舶排出物量推計プログラム

□国際貢献:1 件

・国際標準化機構(ISO)-TC8(船舶海洋技術)-SC2(海洋環境保護委員会)にて、藻類を用いた船底防汚塗料の性能評価手法の研究進捗状況について講演: Progress report of bioassay method using brown algae, ISO/TC8/SC2 プレナリー、2021 年 12 月

□受賞:0 件

□公開実験:0 件

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	R3 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 －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（新浮体形式・制御法及び製造法等を提案）の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、浮体式風力発電の実運用に即対応可能なデータ収録システムの等の改善、作業員輸送船（CTV）と風車タワーの接舷状態における波浪中動揺評価プログラムの開発及び合成繊維索に対する生物付着影響を定量的に評価するため実海域への浸漬試験を行う。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 －複数管ライザーの渦励振に関する数値解析手法の検討、計画支援プログラム用データベースにコバルトリッチクラストを対象としたデータを組み込む機能拡張、稼働性評価プログラムと計画支援プログラムを統合した開発支援プログラムのための統合フローの検討及び管内流のアスファルテンの付着モデルとガスハイドレートの生成・分解モデルの検討を行う。 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を行う。

具体的には、以下があげられる。

□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

・浮体・係留、製造・洋上連続施工等に関連した低コスト・高効率発電デバイス、方策の開発（初期投資コスト削減技術開発（浮体式風力・波力））

・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（新たなガイドライン研究による基準内容の検討・新提案（浮体式風力））

・保守・モニタリング技術等に関連したライフサイクル運用コスト削減技術の開発（浮体式風力）

□海洋エネルギー・鉱物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（採鉱・揚鉱安全性評価技術、浮体システム安全性評価技術、全体システム稼働性評価及び計画支援技術の開発）

・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（SURF システムにおける管内流の健全性評価技術の開発）

期間全体の研究目標

□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（新浮体形式・制御法及び製造法等を提案）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、設置・保守オペレーションで使用される作業船に対する安全性・稼働性評価技術を確立する。

□商業化を目指した海底熱水鉱床開発用全体システムに関する安全性・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。

上記成果は、以下があげられる。

□ガイドライン化及び開発したコスト低減技術、設置・保守関連技術の民間企業による採用により、我が国の海洋再生エネルギー産業の競争力が強化され、海洋における再生可能エネルギーの開発が促進され、大気中への二酸化炭素排出削減、ひいては地球の温暖化防止に資する。

□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だけでなく環境保全にも貢献することができる。

R3 年度研究目標

□小項目 1

・浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術（改善）

・係留合成繊維索の生物付着に関する評価法（改良）

・計測・収録・配信システムの構築（収録システム完成）

・Crew Transfer Vessel（CTV）と風車タワーの接舷状態における波浪中動揺評価プログラム

・浮体式波力発電実時間制御・発電電力評価技術の水槽試験・評価法

□小項目 2

・安全性・稼働性評価技術の高度化（他の鉱物資源等）

・複数管ライザーの渦励振解析技術

・稼働性評価プログラム（拡張）

・計画支援プログラムの拡張（コバルトリッチクラスト開発）

・開発支援プログラム開発に向けた統合フロー

・アスファルテン付着予測解析プログラム（β 版）改造

・R3 年度研究内容

□小項目 1

・浮体式風力発電に関する研究

・風車設置作業等における波浪中動揺評価に関する研究

・浮体式波力発電に関する研究

□小項目 2

・開発技術の採鉱・揚鉱総合実証システム設計への適用

・複数管ライザーの渦励振に関する解析手法の開発

・鉱物資源に係る開発支援プログラムの開発

・アスファルテン付着モデルに関する検討

・ハイドレート分解・生成モデルに関する研究

R3 年度研究成果

□小項目 1

・セミサブ型の浮体、スパー型の浮体について、前年度より大型の風車を搭載した場合の概略寸法の算出と賦存量の評価を実施して、搭載風車と浮体形式に応じた導入ポテンシャルを明らかにした。また、15MW 風車を搭載したセミサブ型浮体に対し、風車・係留系との連成影響を含む波浪中応答特性を求めるとともに、試設計結果に基づく強度評価を実施した。その結果、波浪中応答解析と強度評価を連成して評価可能な数値解析手法を構築した（図 1）。

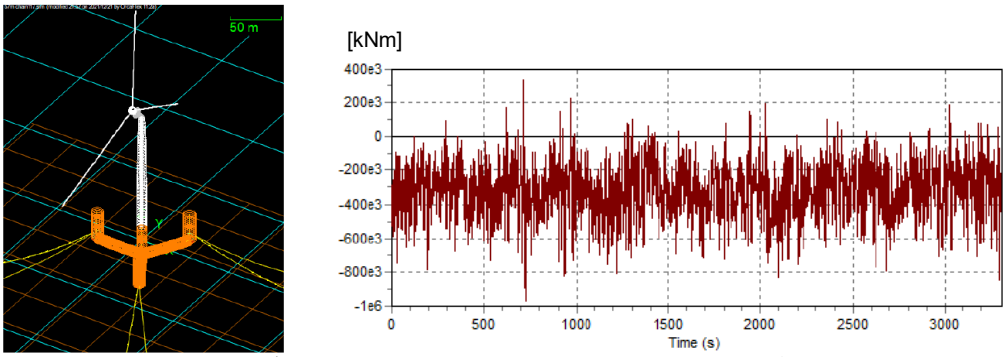


図 1　セミサブ型浮体の強度評価例（中央コラム底部の曲げモーメント）

・ウィンドファームに適した合成繊維索を用いた係留系の設計手法を確立し、複数の試設計を実施した（図 2）。

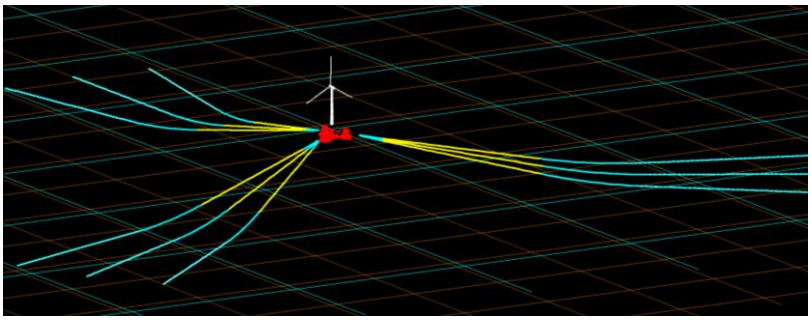


図 2　合成繊維索係留の試設計例

・合成繊維索の試験体を実海域に浸漬し、付着量を計測するとともに、一部試験体については強度評価を実施し、生物付着が繊維索の強度に与える影響を評価した（図 2）。結果は安全ガイドライン改訂案の一部となる予定である。

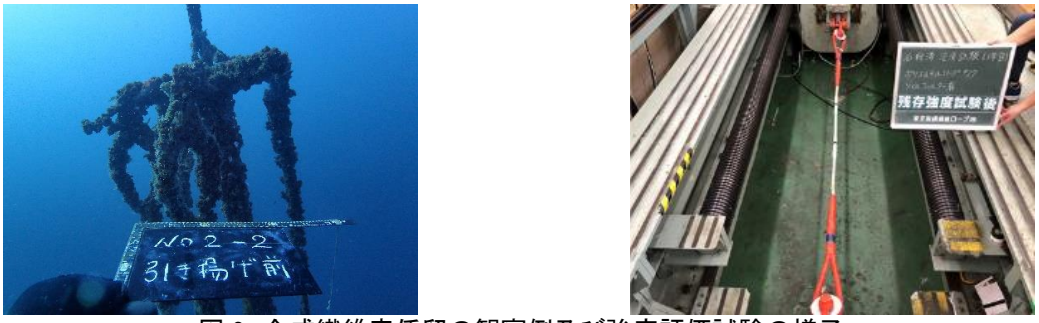


図 2　合成繊維索係留の観察例及び強度評価試験の様子

・NEDO による実海域実証試験に用いる観測・収録・配信システムの基幹部分を改良し、収録周波数や収録モードの変更、風車の状態監視システムへのデータ出力機能を追加した。

さらに、

・風力発電施設設計等への影響が考えられる ISO19901-2 Ed2（海洋構造物の耐震設計）の更新に対し、港湾空港技術研究所と共同して我が国沿岸域に適応した耐震設計法を提示したところ、FDIS 案として採用された。

・国際電気標準会議（IEC）では、現在改訂作業中のドラフトにおいて、無人かつ損傷時に環境影響の少ない浮体については一定条件下で損傷時復原性を要求しないという規定になっている。この一定条件について、航行船舶との衝突確率に基づき明確にするとともに、Annex として提案を行った。提案は各国投票にかけられている段階である。

・国際試験水槽委員会（ITTC）では、再生可能エネルギー関連施設を含めた海洋構造物の水槽試験を行うために、

試験環境の波、風、流れに関するガイドラインの作成を行ってきた。当該年度、当研究所担当員が参加しながら、とりまとめを行い、ITTC Recommended Procedures and Guidelines として Laboratory Modelling of Waves、Laboratory Modelling of Wind、Laboratory Modelling of Current を最終化させた。

・吊荷と多目的作業船の波浪中連成運動解析プログラムをベースに、排水量の異なる 2 浮体によるマルチリフトオペレーションの波浪中運動解析プログラムを開発した。また、2020 年度末に実施した模型試験の結果を解析し（図 3）、計算結果との比較検証を行った。

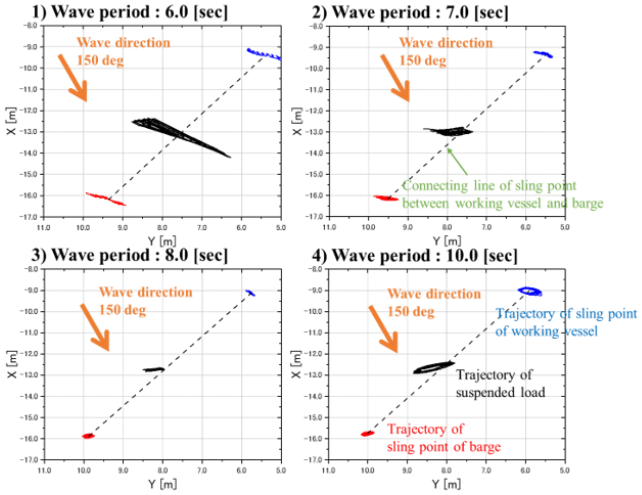


図 3　マルチリフトオペレーションにおける各船の吊点と吊荷の航跡

・CTV が風車タワーに接舷した状態における運動解析プログラム（β 版）を開発し、船首部押し付けによって生じる動摩擦力が船体運動へ与える影響について評価した。
・SEP 船の脚部が風荷重に与える影響を評価するための風洞試験に向けた準備を行った。

・運動拘束を有する系の定式化に有用な Kane 型運動方程式を用いて、浮体式ポイントアブソーバー型波力発電（以下、FPAWEC）の定式化を行い、数値計算と水槽試験にてモデル化の妥当性を検証した（図 4、図 5）。また、Kane 型運動方程式で定式化した FPAWEC を対象とした非線形モデル予測制御（NMPC）器を開発し、水槽試験にて実時間制御（制御周期 50 ms）が可能であることを検証した。FPAWEC を対象に様々な制御方法での発電電力評価を行う数値シミュレータを開発した。

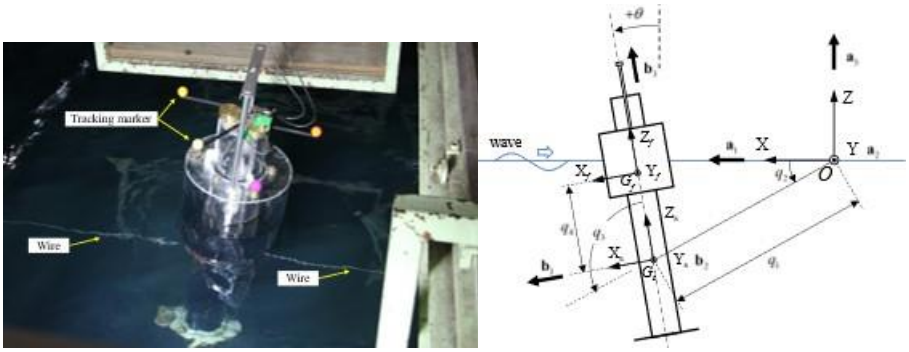


図 4　FPAWEC の制御状態における波浪中運動計測の様子と定式化における座標系

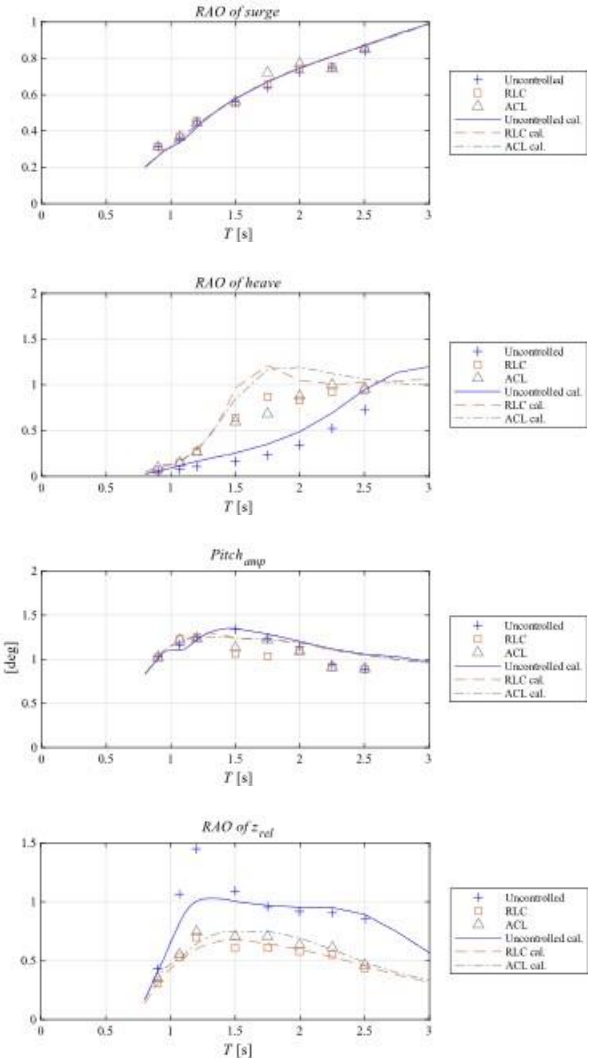


図 5　水槽試験模型による FPAWEC の運動評価（規則波）

口小項目 2

・海底で集鉱された鉱石をスラリーポンプで揚収するシステムについて、海底で採掘する採鉱システムとスラリーポンプをつなぐ柔軟な移送管の形状が管内圧力損失に及ぼす影響を評価するとともに、妥当な運転流速に関して考察した。また、海洋資源の揚収手法について有望な手法の一つと考えられているエアリフト揚収システムを対象として、固気液三相流移送における固気液各相の体積率と摩擦損失評価手法を構築し、模型試験を通じて、その妥当性を検証した（図 6）。

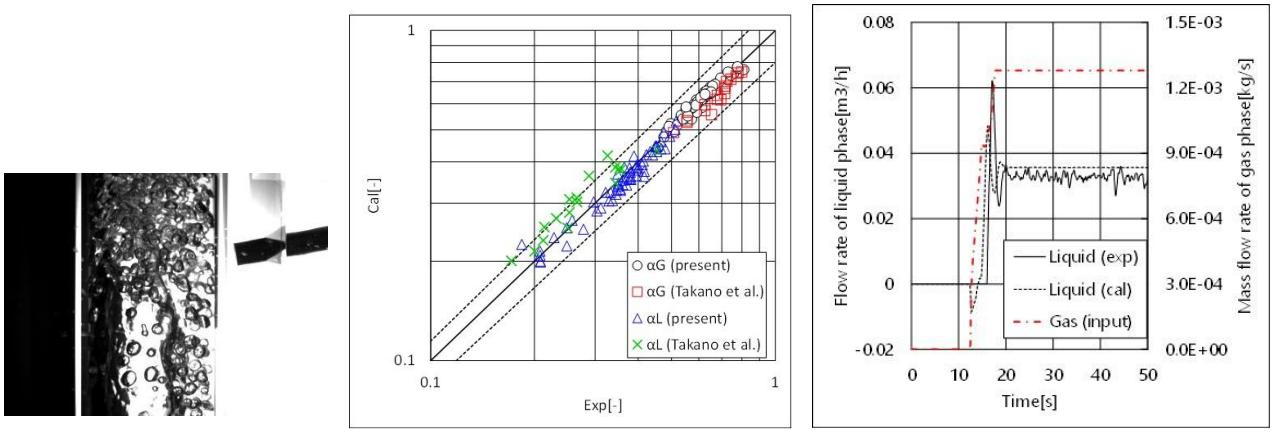


図 6　固気液三相流の移送状況及び試験結果と計算結果の比較例

・CFD を用いた複数管ライザーの渦励振に関する数値解析手法の検討を行うとともに、時間領域解析プログラムを用いて複数管ライザーの挙動評価を行った（図 7、図 8）。さらに、複数管ライザーの渦励振低減法を新たに開発

し、特許申請した。

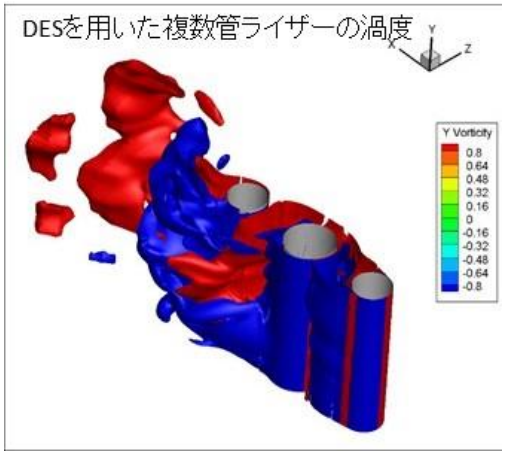


図 7　複数管ライザーの CFD 解析事例

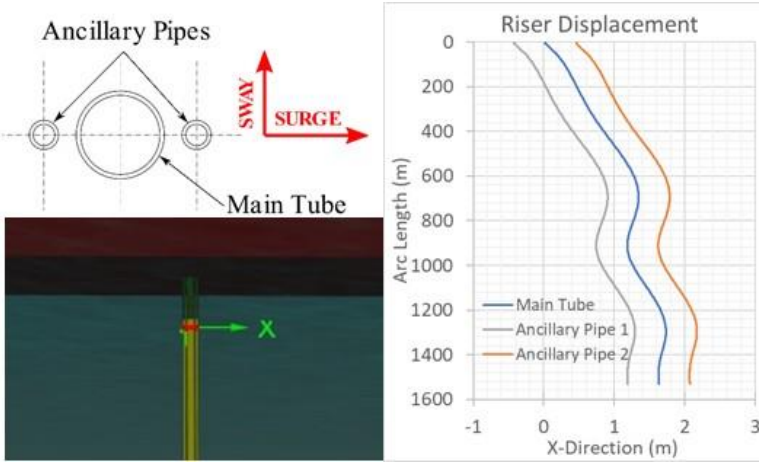
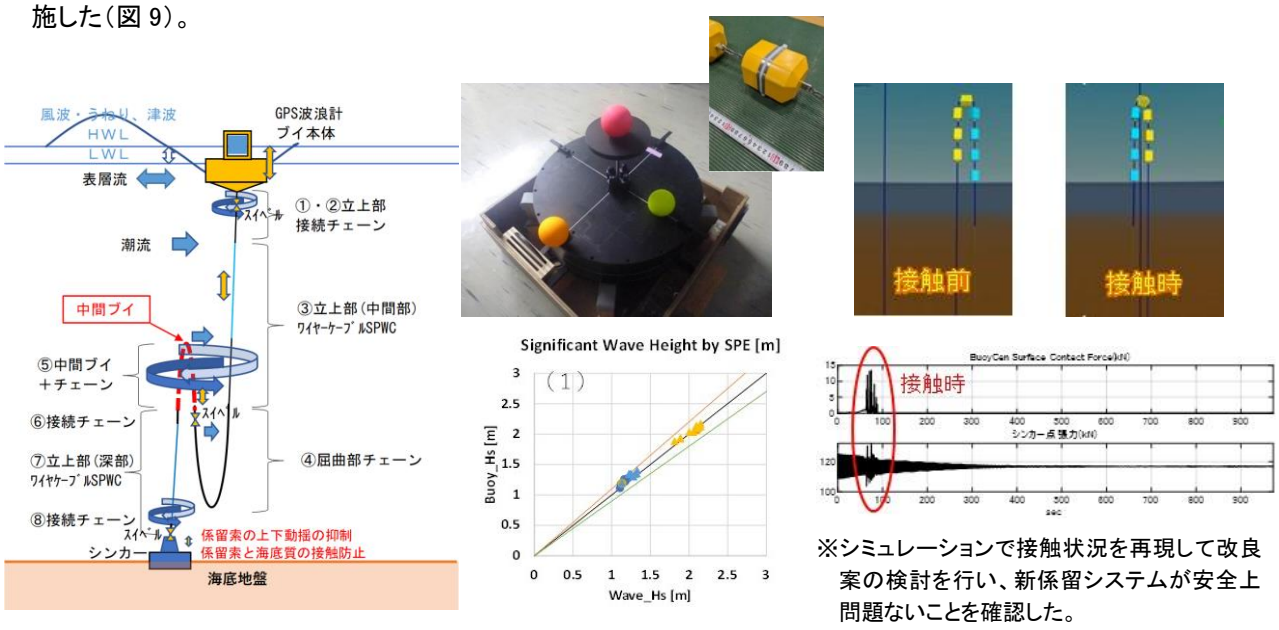


図 8　複数管ライザーの挙動解析事例

さらに、

・国土交通省では、GPS 波浪計について既存の係留索の維持管理方法の検討を行うとともに、海域特性に対応した、新たな係留方式の検討を行っている。当研究所はその一部の検討として、新たに提案された GPS 波浪計の新係留システムの諸元に基づいた係留システムの適用性検証のための数値シミュレーション及び模型試験を実施した（図 9）。



※シミュレーションで接触状況を再現して改良案の検討を行い、新係留システムが安全上問題ないことを確認した。

図 9　GPS 波浪計の新係留システム
（左：イメージ図、中：模型試験、右：クラッシングシミュレーション

・計画支援技術については、海底熱水鉱床に加えて、コバルトリッチクラストの資源データを内蔵した計画支援プログラムを開発した（図 10）。

・また、過年度に開発した、海底での揚鉱から陸上における荷役までの鉱物量をシームレスに評価可能なプログラムを拡張し、海底での採鉱から陸上における荷役までの鉱物量をシームレスに評価可能なプログラムとした。採鉱作業時の限界波高等を変化させたパラメータスタディを実施するとともに、各オペレーションの時間占有率を求め、全体システム最適化に向け、ボトルネックとなるオペレーションを抽出した（図 11、図 12）。さらに、本研究の成果を特許申請した。

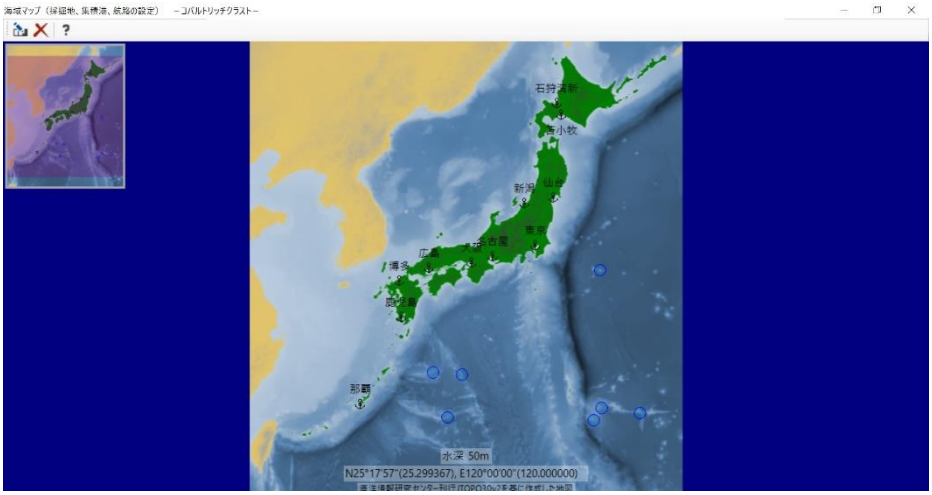


図 10　計画支援プログラムでのコバルトリッチクラストの資源マップ
（青丸はコバルトリッチクラストの賦存海域を示す）

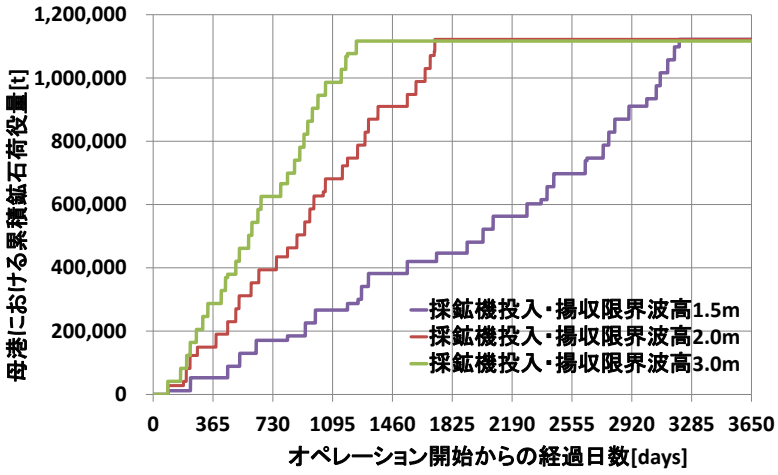


図 11　採鉱機投入・揚収限界波高を変化させた時の母港における累積荷役量の変化

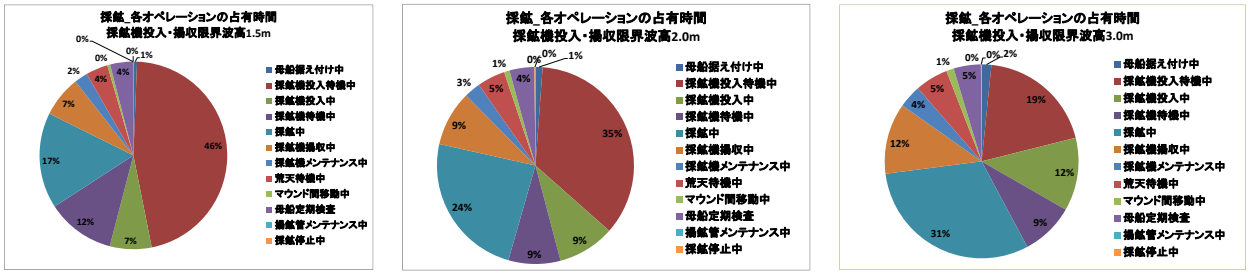


図 12　採鉱機投入・揚収限界波高を変化させた時の採鉱システムの詳細オペレーション時間占有率

・クローラ付き移動体を対象とした拘束曳航試験により、移動体に作用する流体力や追い波中の波浪荷重を取得した。CFD 解析による推定結果と試験結果を比較し、良好な一致を示した。また、風洞試験により、移動体の姿勢の違いが風荷重に及ぼす影響を検討した。それらの試験で取得した荷重データは国内関係研究所が構築中の大型シミュレータに活用された。また、追い波中での自由航走試験により、航走時に大きな動揺が生じる危険な波浪条件を把握し、一般船舶との違いについて検討を行った。今後、移動体の運用に対する活用が期待できる。

・アスファルテン付着予測を行うための定常解析プログラム（β 版）を開発した。
・耐圧容器に封入した重質油試料を所定の温度・圧力条件におき、アスファルテン付着量の時間変化を把握した。（図 13）
・温度や塩分等の条件がハイドレートの生成・分解過程に与える影響を解明するため、ハイドレート相変化過程の観察及び温度・圧力データを取得した。（図 14）

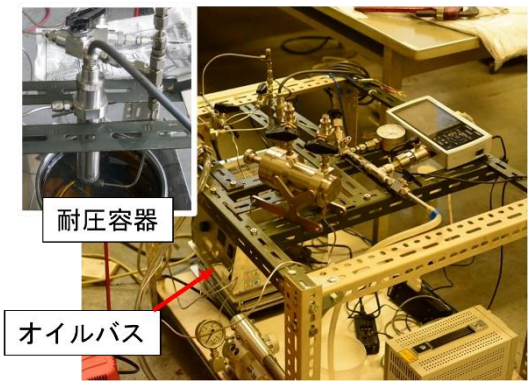


図 13　アスファルテン付着試験装置全体

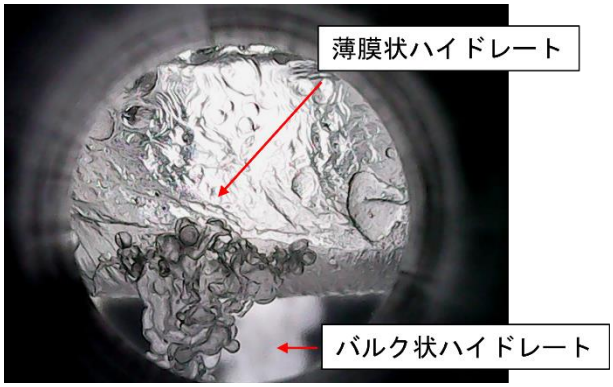


図 14　ハイドレート生成の様子（人工海水使用）

R3 年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：21 件（投稿中：8 件、採択済：11 件、掲載済：2 件）

- Srinivasamurthy, S., Chujo, T., Haneda, K., *et al.*: Study of slow-drift damping on wind tracking performance of a new-type FOWT 'Optiflow' with single-point mooring, Ocean Engineering, Vol.242, 110131 (2021).
- Umeda, J., *et al.*: A Combined Model-based and Model-free Reactive-control Scheme – Considering Copper Loss and Movable-floater displacement Constraint – for a Wave Energy Converter, Journal of Marine Science and Technology (JMST). （投稿中）
- Murai, Y., Takano, S., *et al.*: Ultrasound Doppler measurement of air-lift two-phase and particulate three-phase pipe flows, Experiments in Fluids. （投稿中）
- 中條俊樹: 超大型風車を搭載した浮体式洋上風力発電の日本近海における導入ポテンシャル評価，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
- 羽田絢 ほか: 機構解析による新型式 FOWT 浮体の波浪中動揺及び弾性体応答の評価に関する研究，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
- 齊藤昌勝 ほか: グループ波中で係留ラインの最大張力を 極大化するメカニズムに関する考察，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
- 谷口友基 ほか: Kane 型運動方程式を用いた浮体式ポイントアブソーバー型波力発電装置の定式化と波浪中運動評価，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
- 片山徹，梅田隼ほか: CFD による柱状滑走体周りの流れの縮尺影響の調査，日本船舶海洋工学会論文集. （投稿中）
- 湯川和浩 ほか: 高速滑走艇の運動性能評価（第1報），日本船舶海洋工学会論文集 （投稿中）
- Chujo, T.: Installation Potential of Very Large Floating Offshore Wind Turbines in Japan, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
- Saito, M., *et al.*: Consideration on DLC Used for Mooring System Design of Floating Wind Turbine, Proc. 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference (2022). (採択済)
- Otsubo, K.: On wave-induced coupled motion during cooperative multi-crane lifting operation with two vessels, Proc. 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference (2022). (採択済)
- Hirao, C. S., *et al.*: Model Test and Numerical Simulation for Floating Oscillating Water Column Type Wave Energy Converter with Backward Bend Duct, Proceedings of the 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference, (2022). （採択済）
- Araki, M., *et al.*: Model Experiments and Numerical Simulation on GPS Buoy with Steep Wave Mooring, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
- Yamamoto, M., *et al.*: Simulation of a Vertical Riser System Composed of Two Pipes for Deep Sea Mining, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
- Masanobu, S., *et al.*: Study on Large Particle Slurry Transport in Jumper for Subsea Mining, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
- Takano, S., *et al.*: Flow Assurance for Gas-Liquid-Solid Three-Phase Flow at High Void Fraction of Gas Phase for Methane Hydrate Transport, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). （採択済）
- Watanabe, M.: A Fundamental Study of Active Method for Experiment of Mooring Line Included Model, Proc. 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference (2022). (採択済)
- Hasegawa, K., *et al.*: Kinetic Characteristics and Hydrodynamic Forces on Semi-Planing Typed High-Speed Vehicle

by Model Test and RANS Simulation, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). (採択済)
・Nakajima, Y., *et al.*: Observation of gas hydrate formation at gas-liquid interface, Proc. the International Conference on Power Engineering (ICOPE-2021) (2021).
・Yamamoto, J., *et al.*: Preliminary experiments for construction of an evaluation model for methane hydrate transportation, Proc. 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2022). (採択済)

□その他発表論文:21 件(掲載済:21 件)
・羽田絢: 3 翼独立制御式風車模型を用いた風洞試験, 横浜国立大学最先端科学高等研究院 (2021).
・Chujo, T., Haneda, K.: Parametric study for concept design of floating offshore wind turbines, Wind Energy Science Conference (2021).
・藤原敏文: 日本における浮体式風力発電施設の開発・量産・普及, 海洋技術フォーラムシンポジウム (2021).
・中條俊樹: タレットを用いた一点係留方式の浮体式洋上風力発電について, 佐賀大学海洋エネルギーセンター海洋エネルギーシンポジウム 2021 (2021).
・藤原敏文: うみそら研の洋上風力発電関連研究の取り組みについて, Web, 洋上風力発電に関するうみそら研発表会 (2021).
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の合成繊維索を用いた係留系の設計について, Web, 洋上風力発電に関するうみそら研発表会 (2021).
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の水槽模型試験における計測技術について, Web, 一般社団法人センサイト協議会 (2021).
・鈴木英之, 中條俊樹: 浮体式洋上風力発電施設の安全評価手法等の確立のための調査研究, 日本風力エネルギー学会誌, 第 140 号 (2021).
・黒岩隆夫: 15MW 風車用の風力発電施設浮体試設計, うみそら研研究会 (2021).
・黒岩隆夫 ほか: 15MW 風車用スパー型浮体の予備検討, 第 43 回風力エネルギー利用シンポジウム講演集 (2021).
・大坪和久: 洋上・海底施設作業船と吊荷の波浪中連成運動評価, 海上技術安全研究所報告(別冊), 第 21 巻 (2021).
・藤原敏文: 国際試験水槽委員会(ITTC)第 29 期活動報告 Modelling of Environmental Conditions, 日本船舶海洋工学会学会誌 KANRIN, (2021).
・藤原敏文: 海洋工学のキャリアデザイン, 大阪府立大学工学域, (2021).
・藤原敏文: 波力発電の可能性, 月刊誌電気計算, (2021).
・梅田隼: 並進動揺型波力発電装置のベイズ最適化を用いたインピーダンス制御, 海上技術安全研究所(第 21 回)研究発表会 講演集, pp.105-106 (2021).
・高野慧 ほか: 海底熱水鉱床開発におけるライザー管のスラリーエロージョン, トライボロジスト, Vol.66, No.12, pp.906-911 (2021).
・高野慧 ほか: 固気液三相流移送における各相の体積率と摩擦損失評価手法, 海上技術安全研究所(第 21 回)研究発表会 講演集, pp.103-104 (2021).
・高野慧 ほか: 海洋鉱物資源開発におけるエアリフトポンプの非定常シミュレーション, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 33 号, pp.315-319 (2021).
・Yamamoto, M., *et al.*: Study on Riser System in Hang-Off Configuration for Deep-Sea Mining, Proc. Offshore Technology Conference Asia 2022 (2022).
・渡邊充史 ほか: タンデムオフローディング時のシャトルタンカーの振れ回り挙動推定, 海上技術安全研究所(第 21 回)研究発表会 講演集, pp.101-102 (2021).
・長谷川賢太 ほか: 高速滑走艇の水槽試験と CFD 解析, 海上技術安全研究所(第 21 回)研究発表会 講演集, pp.133-134 (2021).

□特許申請:3 件
・複数管ライザーの渦励振の低減方法に関する特許 山本マルシオほか
・液体中に存在する微粒子の分離装置及び分離方法(国内優先権主張出願) 中島康晴
・資源開発向けトータルオペレーション解析手法 渡邊充史

□コアプログラム登録:2 件
・浮体式洋上風車用リアルタイムハイブリッドシミュレーション用通信プログラム 渡邊充史
・風車タワーに接舷した Crew Transfer Vessel の波浪中運動評価プログラム 大坪和久

□国際貢献:7 件
・ISO19901-2 Ed2 への我が国沿岸域に適応した海洋構造物の耐震設計法の提案
・Chujo, T., Haneda, K., Fujiwara, T., *et al.*: (Draft) Annex_Application of damage stability criteria, International Electrotechnical Commission (2021).
・Chujo, T.: Summary of Draft of Annex X -Application of damage stability criteria-, International Electrotechnical

Commission (2021).
・Fujiwara, T., *et al.*: Guideline on Laboratory Modelling of Waves, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021).
・Fujiwara, T., *et al.*: Guideline on Laboratory Modelling of Wind, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021).
・Fujiwara, T., *et al.*: Guideline on Laboratory Modelling of Currents, ITTC Recommended Procedures and Guidelines (2021).
・Iafrati, A., Fujiwara, T., *et al.*: The Specialist Committee on Modelling of Environmental Conditions Final Report and Recommendations to the 29th ITTC, ITTC Report (2021).

□受賞：2 件
・ASME OMAE Awards Committee, OMAE Conference Appreciation Award: Masanobu, S.
・理事長表彰（個人表彰）：大坪和久（ISO/TC67/SC7 への取り組みと研究成果の普及に貢献した功績）

□公開実験：1 件
・バンカリング時における 2 船体まわりの風場計測試験（R3.3.25）

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	R3 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・運用技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、複数 AUV を用いた AUV-AUV 通信・測位アルゴリズムの有効性の検証及びシミュレーション等による航行型 AUV 最適誘導制御法の有効性の検証を行う。 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を推進すること、また、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を行う。

具体的には、以下があげられる。

□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
□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

期間全体の研究目標

□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完成
□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)完成
□民間移転実施
□広域探査システムの企画・転用技術

上記成果は、以下があげられる。

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

R3 年度研究目標

□小項目 5

・JAMSTEC 所有 AUV との連携も実施しながら隊列制御有効性を検証、複数 AUV を用いて AUV-AUV 通信・測位アルゴリズムの有効性検証・改善

□小項目 6

・最適高度誘導制御法等の実海域試験による検証

□小項目 7

・深海底探査等に資する複数 AUV の活用方策に関する研究開発

・R3 年度研究内容

□小項目 5

・基本隊列制御システムの実海域試験に向けた調整実施・完了
・AUV-AUV 通信・測位システムの開発・実海域試験実施・システム完成

□小項目 6

・AUV 実機ダイナミクスに基づいたシミュレータの開発
・実海域・実機モデルを用いた最適深度制御法のシミュレーション検証
・地形照合自機位置推定法に関する研究

□小項目 7

・洋上風力発電等に資する複数 AUV の活用方策に関する AUV 試作（AUV-ASV 連結システムの開発）

R3 年度研究成果

□小項目 5

・SIP2 事業に参画し、令和4年度に実施する基本隊列制御システムの実海域実証試験に向けた各種調整を行った（図 1）。
・次年度の試験を念頭に置き、JAMSTEC の保有する ASV と通信し、複数機 AUV を用いた隊列制御システムを構築するためには、ハードウェア・ソフトウェアの両方において必要部分を共通化させる必要がある。隊列制御へ参加する AUV は、海技研の航行型 2、3、4 号機の 3 機と JAMSTEC ゆめいるかの 1 機、IHI の AU-3、1 機の計 5 機であり、それぞれに JAMSTEC の開発した音響測位装置が追加搭載された。また、支援母船上での各運用チームの機器接続仕様および隊列制御コマンド・航行ステータス配信のための音響メッセージ仕様について詳細設計を行った。

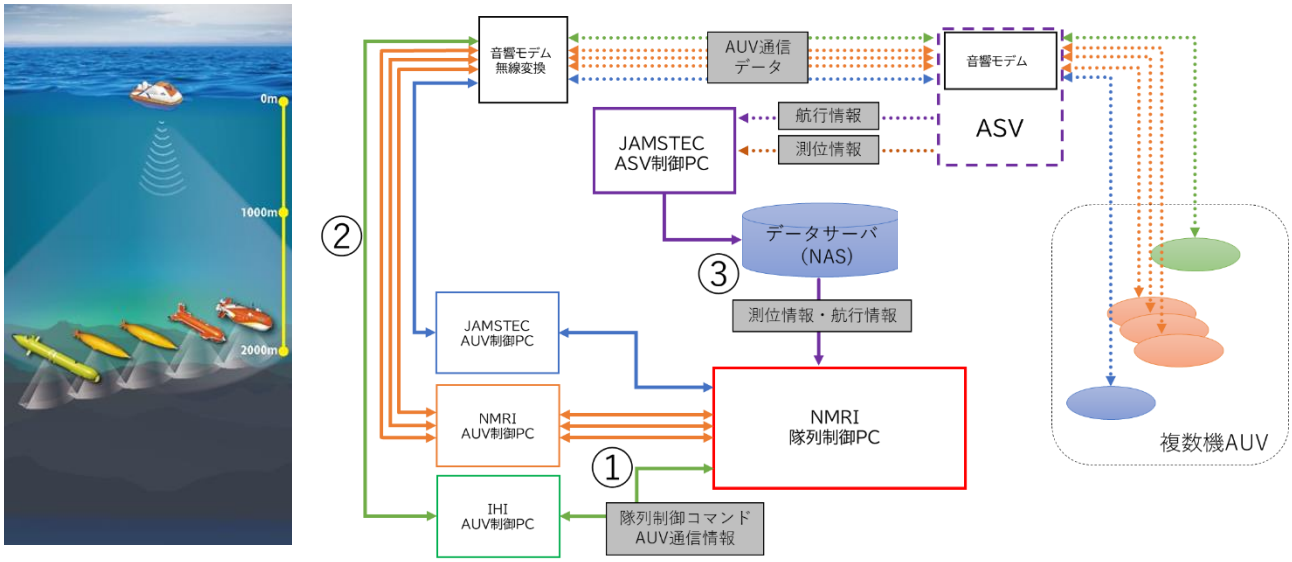
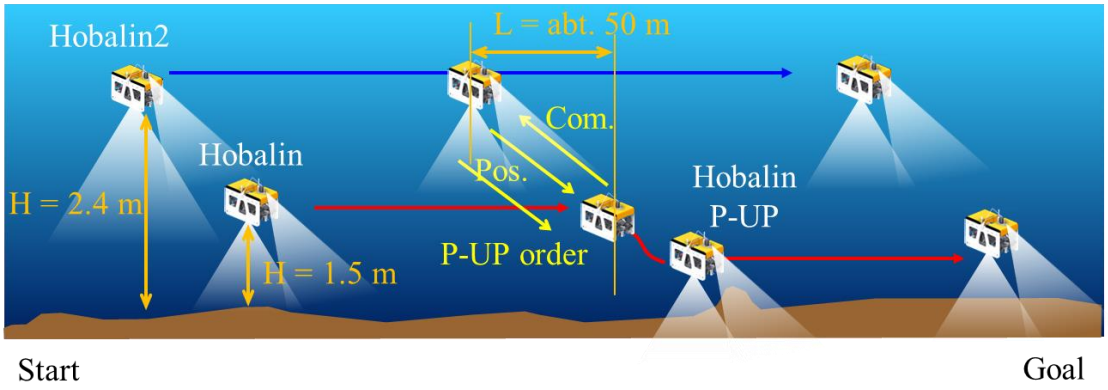


図 1 基本隊列制御システムの実海域試験に向けた調整
（ASV と 5 機 AUV の想定試験概念図（左）、機器間接続・通信経路設計（右））

・令和 2 年度に開発した AUV−AUV 通信・測位システムのプロトタイプを発展、当所実海域再現水槽・動揺水槽にてシステムの有効性を確認し、駿河湾で実証試験を実施した（図 2）。使用した AUV は SIP 第 1 期、第 2 期でそれぞれ製作した「ほばりん」および「ほばりん2」で、これらは海技研で独自に製作したソフトウェアで制御されており、拡張性の高さを特徴としている。本開発において新たな通信メッセージ定義および行動アルゴリズムが追加された。

・AUV−AUV 通信・測位は AUV の位置誤差補正が困難な水深数千メートルの海底において誤差の少ない観測を実現する技術である。図 2 に試験結果を示す。双方向に通信を行い、お互いの状態を把握（タイミング同期ウェイポイント航走）する。さらに、ほばりん2がほばりんを測位し、ほばりん2の把握する位置関係と等しくなるようポジションアップデート指示を送信した。その結果、ほばりんは自身の位置の誤りを訂正するため移動し、AUV−AUV 通信・測位とポジションアップデートが達成された。



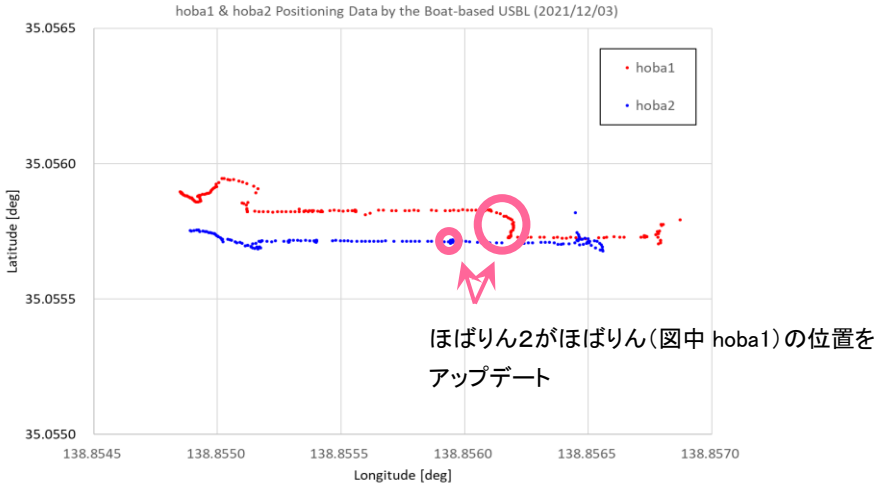


図 2 駿河湾における AUV−AUV 通信・測位システム試験
（上図：投入を待つほばりん・ほばりん2、中図：AUV−AUV 通信・測位の概念図、下図：試験結果）

口小項目 6

・海技研の航行型 AUV 主力機である NMRI 航行型 AUV3(4)号機のダイナミック・モデルを実装したシミュレータを開発した。自動制御で動作する移動体であるが故、シミュレータには機体の動力学モデルのみならず、PID 補償を基本とするフィードバック制御系が組み込まれた閉ループダイナミック・モデルを実装した。

・実海域試験を通じて確認した実機の挙動から、シミュレータが実機性能の予測に十分な精度を提供することを確認した（図 3）。

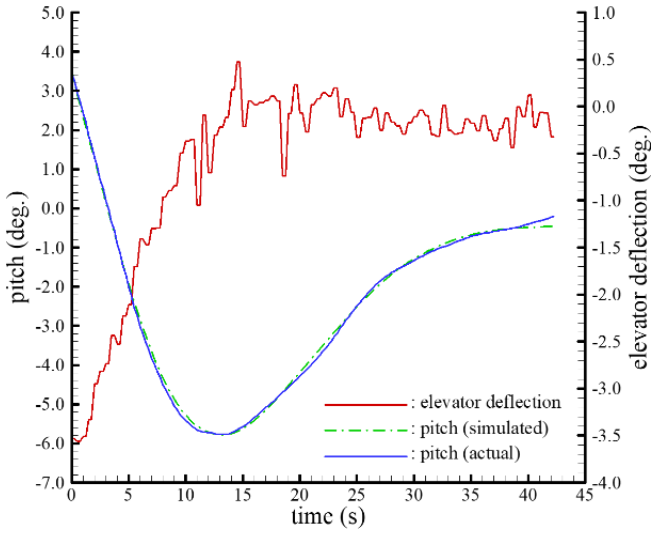


図 3　NMRI 航行型 AUV3 号機のピッチ応答（シミュレーションと実機挙動）

・NMRI 航行型 AUV3(4)号機のダイナミック・モデルを実装したシミュレータを用い、最適深度制御法の有効性を検証した（図 4）。

・シミュレーションからは最適目標深度誘導により、劣駆動の航行型 AUV が海底精査に対応できる距離まで高度を下げながらも、海底衝突を防ぐ安全な航行を実現しており、提案する最適深度制御法の有効性を確認した。また、R3 年度には最適誘導のみならず下位制御に対する最適化も行った。これは、翼制御を基本とすることから、低速航行時に制御性が著しく低下する航行型 AUV ならではの脆弱性に対応するもので、システム同定の手法で求めた NMRI 航行型 AUV3(4)号機のダイナミック・モデルを用い、下位制御系としての PID コントローラを最適チューニングした。

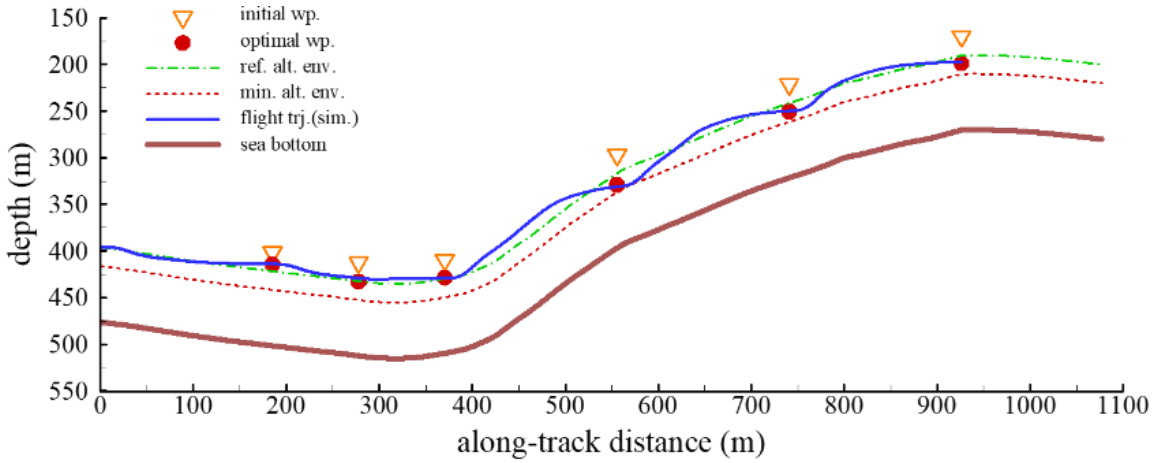


図 4　最適目標深度誘導による NMRI 航行型 AUV3(4)号機の急斜面航行シミュレーション

・オブザーバー情報に基づいた高度フィルタリング手法の一方法論として、地形照合自機位置推定法(TERCOM)を採用し、シミュレーションを中心に研究・開発を行った(図 5)。
・既知の低解像度海底地形情報を利用する本手法では、航行軌道に沿った 1D の海底断面を求め、逆問題を解くことで AUV の現在位置を推定する。推定した AUV 位置と既知の低解像度地形との照合により機体高度の参照値が得られ、実時間高度推定におけるカットオフ(cut-off)フィルターが設けられる。また、この参照値は欠測や誤計測が続く場合の高度推定プロセスにて、基準値として用いることができる。

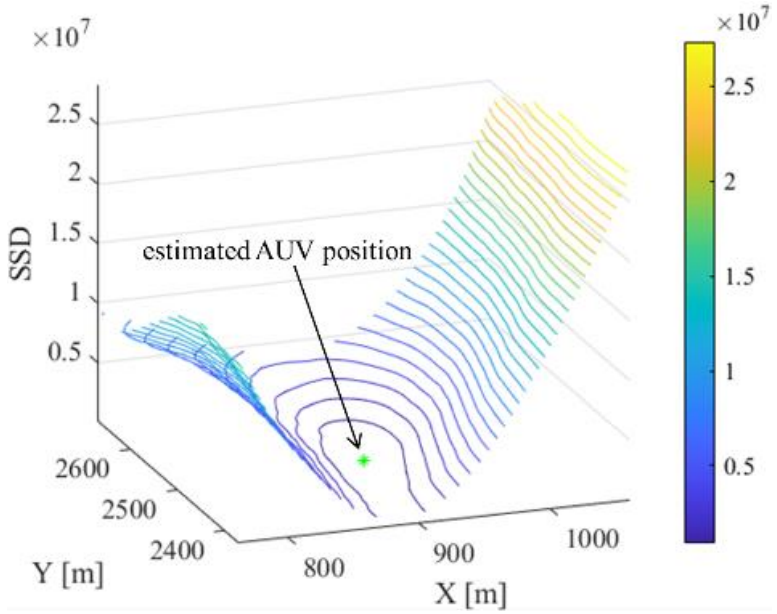
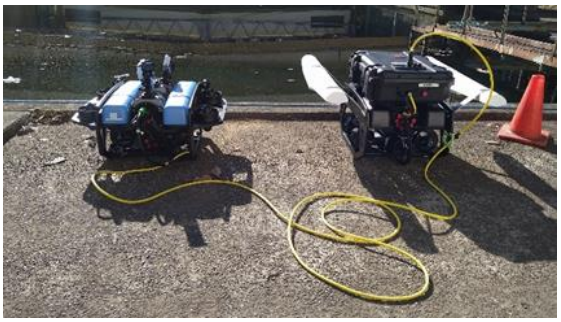


図 5　TERCOM による AUV 自機位置推定の結果

口小項目 7

・T 電力との共同研究(H30～R1)を踏まえ、小型でリアルタイム海底映像転送可能な「AUV-ASV 連結システム」一式を開発した(図 6)。また、試験水槽において動作確認試験を行った。
・銚子沖洋上風力発電設備において、水深 12m の海底部点検を実施し、リアルタイム点検技術の性能を実証した(図 7, 8)。



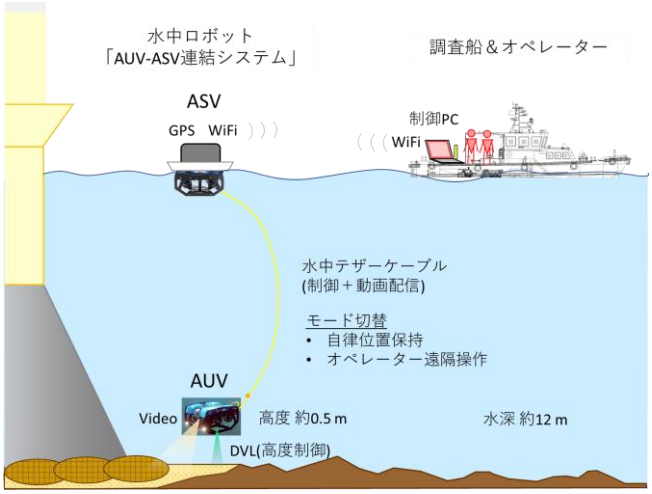


図 6　AUV-ASV 連結システム一式の外観(左)とシステム概要(右)

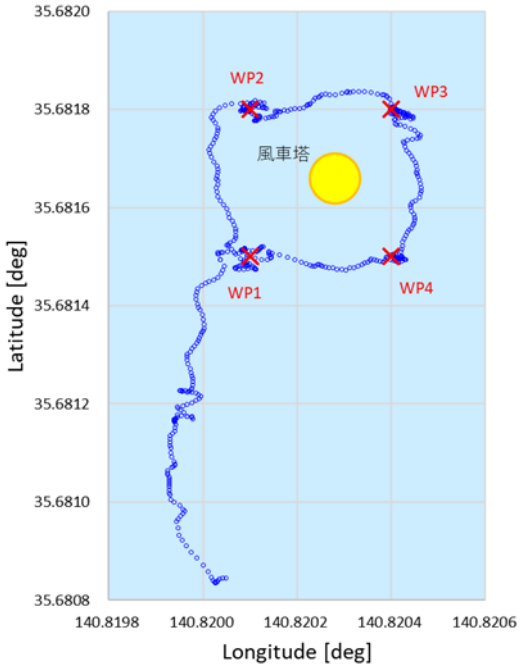


図 7　銚子沖洋上風力発電設備での「AUV-ASV 連結システム」による点検技術試験
ASV 単体による風車塔の自律周回航行の経路（左）とその時の様子（右）

図 8　銚子沖洋上風力発電設備での「AUV-ASV 連結システム」による海底撮影映像の例

R3 年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）7 件（投稿中：2 件、採択済：2 件、掲載済：3 件）

- Horng, H., Sasano, M., Okamoto, A., Inaba, S., et al.: Stereo-vision-based AUV navigation system for resetting the Inertial Navigation System error, Journal of Artificial Life and Robotics（2021）
- Fujiwara, T., Umeda, J., Sato, T., Kim, K., and Sasano, M.: NAVIGATIONAL SIMULATION OF CRUISING AUVS, Proceedings of the ASME 2022 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering（2021）
- Fujiwara, T., Kim, K., Sasano, M., Sato, T., Inaba, S., Okamoto, A., Imasato, M., and Osawa, H.: SEA TRIALS SUMMARIZATION ON FUNDAMENTAL FORMATION CONTROL OF MULTIPLE CRUISING AUVS -2ND REPORT: 3 CRUISING AUVS WITH 1 ASV TRIAL, AND HOVERING AUVS' AUV-AUV POSITIONING AND COMMUNICATION-, Proceedings of the ASME 2022 41st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering（2021）
- Kim, K.: Optimal Maneuver-Based Navigation for Cruising AUVs, Papers of National Maritime Research Institute, 21-4（2022）
- Umeda, J., Fujiwara, T.: Prediction Model Using Multiple Regression Analysis for Self-propulsion Points of Cruising AUV in Actual Seas, Papers of National Maritime Research Institute, 21-4（2022）

・佐藤匠、金岡秀：潜航前複雑地形選別による汎用的自己位置推定手法、日本マリンエンジニアリング学会論文集（投稿中）
・Kim, K., Sato, T., and Fujiwara, T.: System Identification Approach for High-Maneuverability AUV Control Synthesis, Journal of Robotics and Mechatronics （投稿中）

□その他発表論文：13 件（投稿中：0 件、掲載済：13 件）
・藤原敏文、金岡秀、篠野雅彦、佐藤匠、稲葉祥梧、岡本章裕、今里元信、瀧本忠教：海技研 AUV 開発最新状況、海上技術安全研究所研究発表会論文集、第 21 巻別冊（通巻 93 号）（2021）
・岡本章裕、谷口友基、佐藤匠、平尾春華、稲葉祥梧、梅田隼: 高性能航行型 AUV の開発、日本水路協会機関紙季刊水路 198、Vol.50、No.2（2021）
・藤原敏文：SIP2 AUV/ASV Development、台灣海洋科技研究中心(Taiwan Ocean Research Institute, TORI)との情報交換会（2021）
・赤松友成、今里元信ほか：海中音の計測手法・評価手法のガイダンス発行、海洋音響学会誌、Vol.48 No.3、2021
・大澤弘敬、 藤原敏文：SIP「革新的深海資源調査技術」の動向、日本船舶海洋工学会学会誌 KANRIN、第 99 号（2021）
・佐藤匠：国際舞台で輝け！海事・海洋技術開発のエキスパートに、東京大学新領域創成科学研究科 Web ページ（2021）
・金岡秀、篠野雅彦、藤原敏文、今里元信、岡本章裕、佐藤匠、稲葉祥梧：SIP 第 1 期「次世代海洋資源調査技術」での成果、海上技術安全研究所報告、第 21 巻第 4 号（2022）
・藤原敏文、金岡秀、篠野雅彦、関口秀紀、今里元信、岡本章裕、佐藤匠、稲葉祥梧、谷口友基、平尾春華、梅田隼、瀧本忠教：SIP 第 2 期「革新的深海資源調査技術」での成果、海上技術安全研究所報告、第 21 巻第 4 号（2022）
・金岡秀、藤原敏文、篠野雅彦、今里元信、岡本章裕、佐藤匠、稲葉祥梧：複数 AUV 隊列制御による海底調査の新戦略、海上技術安全研究所報告、第 21 巻第 4 号（2022）
・篠野雅彦、今里元信、岡本章裕、稲葉祥梧、藤原敏文：AUV 研究の社会実装への展開、海上技術安全研究所報告、第 21 巻第 4 号（2022）
・Taniguchi, T., Umeda, J., Fujiwara, T., Kim, K., Sato, T., and Inaba, S.: Path Following Control of Autonomous Underwater Vehicle Using Nonlinear Model Predictive Control, Papers of National Maritime Research Institute, 21-4（2022）
・Okamoto, A., Imasato, M., Hirao, S., Sekiguchi, H., Seta, T., Sasano, M., and Fujiwara, T.: Development of Testbed AUV for Formation Control and its Fundamental Experiment in Actual Sea Model Basin, Papers of National Maritime Research Institute, 21-4（2022）
・金岡秀、藤原敏文、篠野雅彦、今里元信、岡本章裕、佐藤匠、稲葉祥梧、瀧本忠教：海技研の AUV 複数機同時運用への取り組み、日本船舶海洋工学会海洋環境研究会（2022）

□特許申請：5 件
・稲葉：水中航走体の音響測位処理方法、音響測位処理プログラム、及び音響測位処理 システム（出願日 2021/8/31）
・稲葉：水中航走体の監視方法、監視プログラム、及び監視システム（出願日 2021/10/30）
・金：複数の水中航走体の運用方法及び複数の水中航走体の運用システム（分割出願日 2021/12/24）
・篠野：水槽中での音響通信試験又は音響測位試験における音響反射影響の軽減方法、評価方法、及び音響反射影響軽減システム（出願日 2022/3/24）
・篠野：AUV-ASV 連結 MCS システム（出願中）

□コアプログラム登録：1 件
・岡本、AUV 基本隊列制御プログラム

□国際貢献：0 件

□受賞：1 件
・日本マリンエンジニアリング学会賞（技術賞）、「深海調査に向けた小型軽量航行型 AUV の開発」

□公開実験：0 件

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	R3 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 －防振部材への火気を伴わない接合方法の利用のための設計指針・施工要領のガイドライン案の策定を行う。 －内業工程における造船作業の一覧および体系的な整理、再現に必要なデータ構造の定義とモデル化を行う。 －造船作業のモデル化と自律判断を再現するアルゴリズムを検討し、試作システムを構築する。 等

研究の背景

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

具体的には、以下があげられる。

□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
□防振部材への火気を伴わない接合方法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
□造船の協業体制に向けた研究
□生産計画におけるモデルベース開発に向けた研究

期間全体の研究目標

□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
□騒音低減のための防振部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、防振部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
□設計・製造プロセスにおけるデータの仕様、標準化を策定する。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する。推進性能と生産性（ぎょう鉄難易度と溶接長等）

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する。
□内業工程を再現するシミュレーションシステムのプロトタイプを開発し、船殻ブロックに対するリユースシステムのプロトタイプを開発する。

上記成果は、以下があげられる。
□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。
□船内騒音対策・軽量化・設計自由度の向上などを通じて船内労働環境の改善に資するとともに、造船産業の国際競争力の強化を図り造船業の活性化（地方創生）に資する。造船設計・生産性向上に資する。
□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が強化される。（⑧に統合して実施）
□造船設計及び製造の生産性向上とともに、企業間を超えた協業体制等の新しい造船ビジネスモデルの構築に関して技術面で支援する。
□シミュレーションシステムおよびリユースシステムの開発を通じて、造船所の生産設計の効率化および安定的な生産に資する。

R3 年度研究目標

□小項目 4
・設計指針・施工要領のガイドライン案

□小項目 8
・設計・製造プロセスにおけるデータの仕様案、標準化案
・インテリジェント CAD システムのプロトタイプの効果検証
・設計作業のコミュニケーションモニタリングシステムのプロトタイプ案

□小項目 9
・内業工程における造船作業の一覧および体系的な整理
・再現に必要なデータ構造の定義とモデル化
・シミュレーションシステムの一部の試作および妥当性検証
・過去番船モデルの一部データベース化
・類似検索システムのプロトタイプ

・R3 年度研究内容

□小項目 4
・設計指針・施工要領の策定、規則基準への提言
・実船試験による効果の検証

□小項目 8
・造船の標準化に関する研究
・インテリジェント CAD システムに関する研究

□小項目 9
・仮想的な工場を再現するシミュレータに関する研究
・過去番船モデルのリユースに関する研究

R3 年度研究成果

□小項目 4
・船殻構造の起振応答量解析は難しく、設計時に推定していた固有振動数とは異なり、実際には、損傷報告後に判明した振動モードの固有振動数が起振周波数域に存在し、共振を起こしていた事例が確認されている。現状、課題が生じている部位は、燃料タンク壁や清水タンク壁で、エンジンやプロペラを起振源として、壁が共振した場合は 10Hz 程度の振動が発生することがあり、試運転後や就航後に振動が確認され対策が必要な事例が生じている。試運転後や就航後は、接合部裏面（飲料水である清水タンク内面には特別な塗装がされている）も含む塗装の焼けが発生すると更なる追加工事が発生するため、溶接などの火気工事を伴う補強部材の追加は可能な限り回避することが望ましい。そこで、評価対象部材として共振防止カーリング（板材補強小型骨材）を選定した。現状では、亜鉛ショッププライマー船級鋼板（KA）による幅 200mm×厚さ 12mm のフラットバーが溶接により接合されている。単位長さ 1m 当たりの重量は 18.84kg/m である。
・造船分野での使用に適した構造用接着剤の材料としての認定要件である ClassNK「構造用接着剤使用のためのガイドライン」では、「安全率については当面 40 倍とする。ただし詳細設計により減じることができる。」とされてい

る。現在、NK ガイドラインに基づく認定を継続している構造用接着剤は、すべて接着層厚が厚い場合に適した第二世代アクリル樹脂(SGA)系接着剤である。SGA の引張剪断強度は引張強度の 6 割程度であり、強度の低い引張剪断強度を用いて強度評価が行われる。200×12FB の自重が剪断力として作用する場合の引張剪断強度は 0.016MPa である。40 倍の安全率で必要な引張剪断強度は 0.64MPa 以上である。

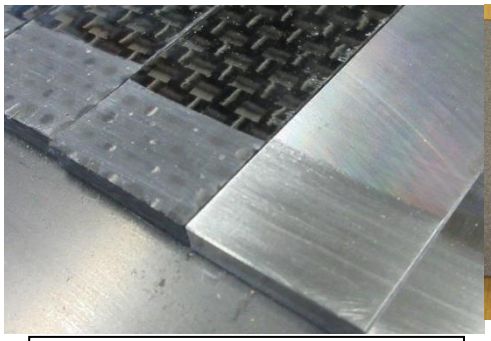
・本研究で評価対象として選定した SGA の引張剪断強度のカタログ値は、接着剤メーカーが推奨する「#120 ペーパーで完全研磨(24 往復)した場合」の冷間圧延鋼板では 21-25MPa である。また、自動車分野の主要材料の一つである溶融亜鉛メッキ鋼板に対応した接着剤であり、引張剪断強度のカタログ値は、「脱脂処理のみで研磨無しの場合」の溶融亜鉛メッキ鋼板では 13-18MPa である。上述の通り、評価対象 SGA の引張剪断強度は 200×12FB の自重に対して 40 倍の強度安全率を踏まえた場合に対してもなお数倍以上の余裕があり、必要接着面積など要件は十分確保されている。また、溶融亜鉛メッキ鋼板では、脱脂処理のみの研磨無しで接着可能とされていることから、まずは、評価対象部材であるフラットバー(300mm 長による予備試験)接着部被着面の前処理として、研磨せずに接着したところ自重によるずれは確認されなかった。

・火気を伴わない接合方法として、構造接着は適しているものの、1m 超部材で実用化するためには、造船所からは、被着面前処理の要件緩和による作業工数削減が期待されている。そこで、本研究終了後は民間資金のみで、引き続き、火気を伴わない接合方法の一つである構造接着の実用化を促進させるため、より多くの造船所が新たなアプリケーションとして構造接着を利用する際の障害を低減させる狙いで、作業が簡便となるよう被着面前処理の要件を見直すこととした。まず初めに亜鉛ショッププライマーの密着力を、JIS K 5600-5-7:2014「塗料一般試験方法—第 5 部:塗膜の機械的性質— 第 7 節:付着性(プルオフ法)」(ISO 4624:2002, Paints and varnishes—Pull-off test for adhesion(MOD))に準拠して計測した。被着面前処理は、JIS K 5600-1-4:2004「塗料一般試験方法—第 1 部」(ISO/DIS 1514:2002, Paints and varnishes—Standard panels for testing (MOD))に規定する前処理として、粒度#80 のアルミナ質研削材による研磨紙を用いて 10 往復研磨した。その結果、亜鉛ショッププライマーの密着力は 15-21MPa で十分であり(図 1 参照)、被着面前処理としての研磨の度合いの方が構造用接着剤の強度に及ぼす影響が大きいことを確認した。

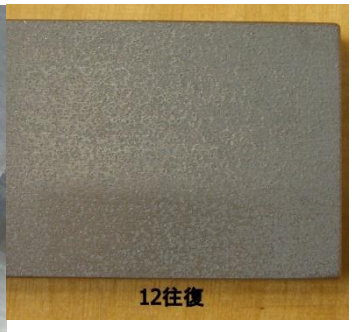
・溶融亜鉛メッキ鋼板とは異なり、亜鉛ショッププライマーに対しては接着剤メーカーがデータを有していないことから、連携造船所と協議の上、本研究では、研磨無しは除外し、#120 ペーパーで完全研磨(24 往復)した場合と、その半分の研磨工数となる#120 ペーパーで 12 往復研磨した削りむらの残る不完全サンディング状態の場合(図 2 参照)とで、引張剪断試験・圧縮剪断試験により剪断強度にどの程度違いが生じるか評価し(進行中)、令和 4 年度に実証部材を用いて実用に適するか効果を検証する。この結果を踏まえて、被着面前処理などの接着作業詳細の要件を定める。

亜鉛ショッププライマーの密着力:15-21MPa
JIS K 5600-5-7:2014(試験法)
JIS K 5600-1-4:2004(被着面前処理)
#80 ペーパーによる 10 往復研磨

図 1 亜鉛ショッププライマーの密着力



SM490A:21-25MPa
CFRP:8-12MPa
#120 ペーパーによる 24 往復研磨



亜鉛ショッププライマーKA
#120 ペーパーによる 12 往復研磨

図 2 被着面前処理状態

口小項目 8

・造船の標準化及び造船用 PLM システムの開発については、PLM システムを造船における統一データプラットフォームとして、基本設計、詳細設計、生産設計の設計プロセスを検討している。2021 年度では、実際の船舶を想定して、工程設計までの製品データをモデリングした。製品データ、工程データは BOM、BOP(Bill of process) の形式で表現されるが、特に「建造シミュレーション」への接続を想定してデータ構造を策定した(図 3 参照)。また、PLM 内で生成した製品データを、手作業によるデータ補填処理を介すが、建造シミュレーションに接続し、実際の造船所の小組工程を対象に建造シミュレーションが実施できることを確認した。また、異種間の造船設計システムで生成されたデータについて、提案する BOM、BOP のデータ構造にデータ交換できるかを検討した。具体的には、国内造船業で最も使用されている造船設計用 CAD でモデリングされた船殻データについて、PLM システム内の BOM、BOP へのデータ交換について検討し、データ交換に際する仕様等を整理した(図 4 参照)。

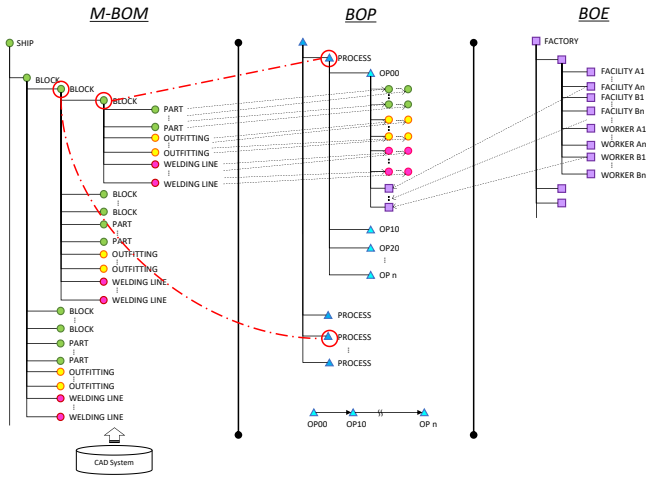


図 3　提案する製品情報及び工程情報のデータ構造

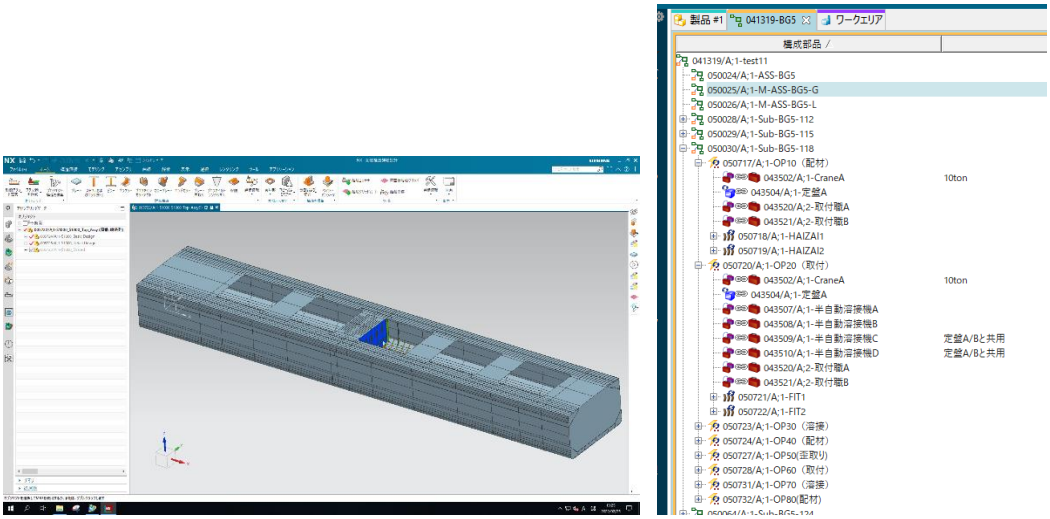


図 4　実際の船舶を想定したモデリング（左）と PLM システム内の BOP のイメージ（右）

・造船における協業体制に関する検討として、上記の BOM、BOP を基盤として、製品データ及び工程データをたちどころに生成するための設計プロセスについて検討した。具体的には、ベース船型から各ヤードを想定した派生船型を生成する設計プロセスを整理し、実際の船舶を想定してベース船型から派生船型生成の一連の流れのデモを作成した。
・インテリジェント CAD システムの研究開発については、推進性能に係る船型初期設計の段階で生産性を考慮するシステムとして、CAD システム上に海技研の CFD（推進性能評価）と曲率線展開プログラム（生産性評価）を連携するプロトタイプシステムを開発し、設計プロセスにおけるフロントローディングの有効性を検証した（図 5 参照）。また、設計作業におけるコミュニケーションモニタリング手法、不具合データや未建造の船型データ等から機械学習の活用により新たな価値を持つデータによる設計プロセスの応用、データ取引等について検討した（図 6 参照）。

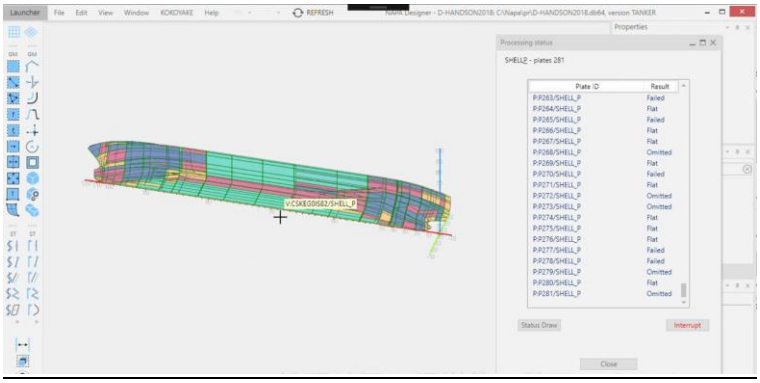


図 5　フロントローディングシステムのプロトタイプ

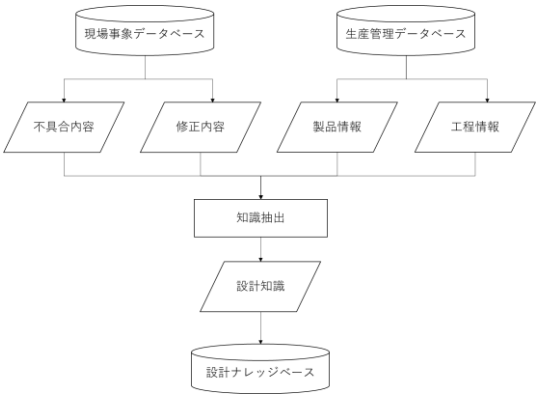


図 6　設計ナレッジベースの概念図

□小項目 9

・建造工程の仮想空間上での詳細な再現を目指し、マルチエージェントシステム(MAS)に基づく造船用高精度建造シミュレーション手法を新たに考案した。3D 仮想空間上に造船工場内の作業者を想定したマルチエージェントを配置し、各エージェントがルールベース AI に基づきタスクの選択と実行を行うことで、建造工程を再現する。タスクの表現として、カスタムタスクとベーシックタスクという概念を導入し、道具の取得や歩行といった付随作業まで詳細に再現する手法を新たに提案した（図 7 参照）。

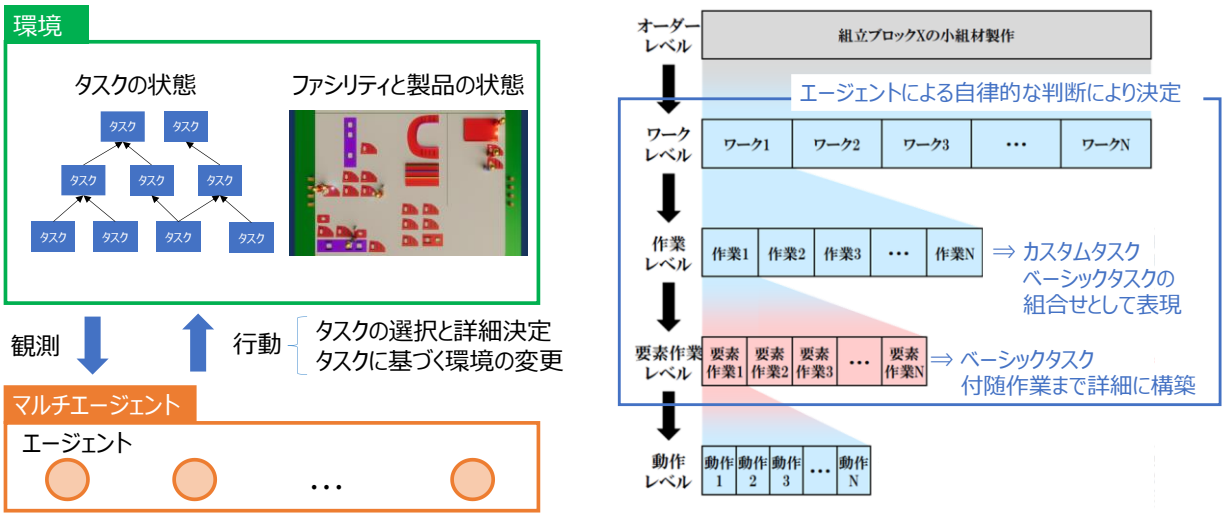


図 7　マルチエージェントシステム（MAS）に基づく造船用高精度建造シミュレーションの概要

・造船所の実際の小組立工程および中組立本溶接工程を対象に、本シミュレータによる再現を実施した（図 8 参照）。また、実際の作業のビデオ撮影から、作業要素単位での比較を実施し、妥当な近似精度であることを確認した（図 9 参照）。中組本溶接工程においては、簡易自動台車の台数による影響を検討し、非線形な傾向を示すことを明らかにした。この結果は連携した造船所の独自調査結果とも一致する傾向であった（図 10 参照）。また、本シミュレータの設計や計画段階での利用や現場の作業効率向上といった活用方法も検討中である。

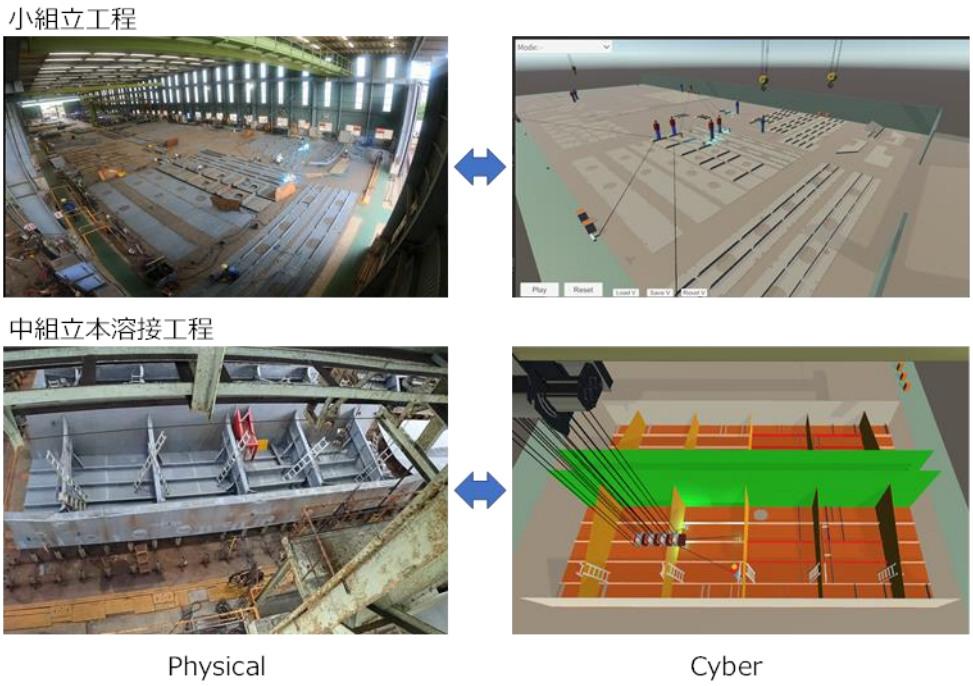


図 8　小組立および中組立本溶接工程の再現

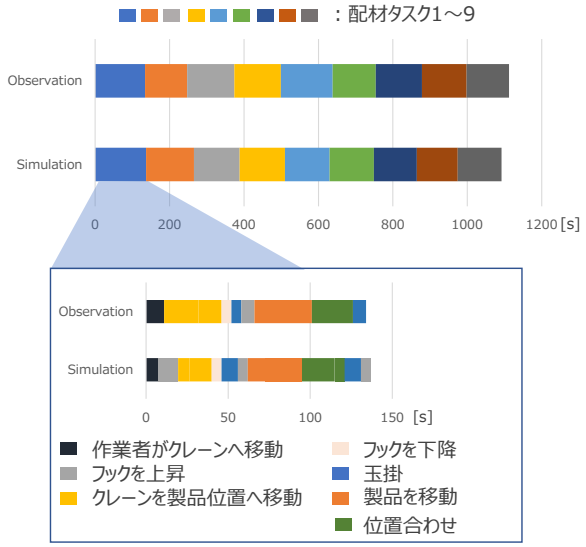


図 9　小組立工程における配材タスクの実工程との比較

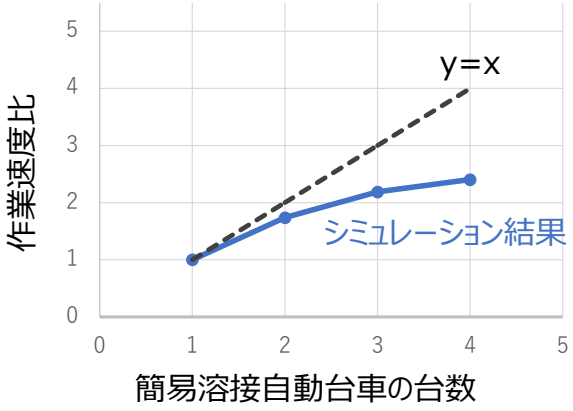


図 10　中組立本溶接工程における簡易自動台車の台数影響のシミュレーション結果

・上記シミュレータを実行するにあたって、入力データを準備する作業は大きな労力を伴う。シミュレーションを気軽に実行できるようにするため、これら入力データ準備の省力化を検討し、本小組立工程に限定的ではあるものの、自動生成システムのプロトタイプを構築した。製品の形状と溶接線の情報を利用して、Rhinoceros7 とGrasshopperおよび python を活用したデータの自動処理により、タスク情報を自動で構築するシステムのプロトタイプを実装した。今回対象とした小組立工程に限定的ではあるが、タスク情報の自動構築が可能であることを確認した（図 11 参照）。

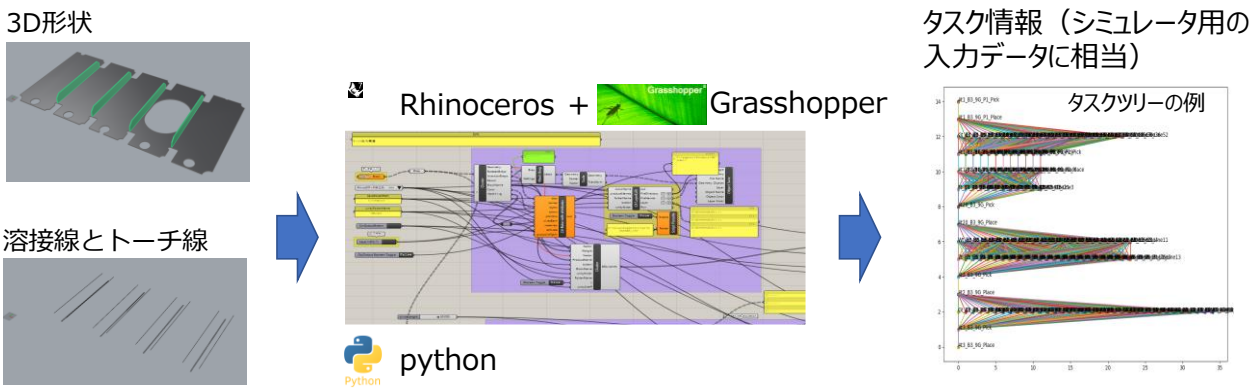


図 11　入力データの自動構築システムのプロトタイプ

R3 年度成果の公表

□査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：1 件（投稿中：1 件、採択済：0 件、掲載済：0 件）

・谷口智之，竹澤正仁，松尾宏平：マルチエージェントシステムに基づく造船用高精度シミュレータの開発、日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）

□その他発表論文：　2 件（投稿中：1 件、掲載済：1 件）

・松尾宏平、森下瑞生、比翼謙太郎、末岡雅喜、谷口智之、竹澤正仁：造船用 PLM システムに関する基礎的検討、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 34 号、2022

・谷口智之、竹澤正仁：マルチエージェントシステムに基づく造船用高精度建造シミュレーションに関する基礎的研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 33 号、2021

□特許申請：2 件

・船舶の建造シミュレーション方法、建造シミュレーションプログラム、及び建造シミュレーションシステム、谷口智之ほか（国際出願：PCT/JP2021/034408）

・統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーション方法、建造シミュレーションプログラム、及び建造シミュレーションシステム、並びに船舶の品質データベースの構築方法（国際出願：PCT/番号確認中）

□コアプログラム登録：0 件

□国際貢献：0 件

□受賞：0 件

□公開実験：0 件

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	R3 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 －他船検出機能システムの開発と自動避航システムの構築、自動運航船におけるオーバーライド及び避難における問題点の洗い出し、ファストタイムシミュレーションシステムの構築、小型内航貨物船の模型試験による自動着桟システムの検証及び船-陸通信を含めた遠隔操船システムの構築を行う。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。

具体的には、以下があげられる。
□自動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
□自動航行船の安全基準の研究
□自動離着桟機能の開発
□シミュレーションシステムによる検証技術の研究

期間全体の研究目標

□自動運航システムのコンセプトの構築
□大洋航行における計画航路に基づいた自動運航システム及び、自動避航システムの開発
□複数のセンサ及びデータに基づく航行障害物情報の統合センシング技術の開発
□自動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
□シミュレーションシステムによる無人運航船（自動運航船）の検証技術の開発

上記成果は、以下があげられる。
自動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。

R3 年度研究目標

□小項目 1
・他船検知システムと避航アルゴリズムとの連携
・小型実験船による、試行の実施

□小項目 6
・自動運航船におけるオーバーライド及び避難における問題点の洗い出し。ファストタイムシミュレーションシステムの構築

□小項目 7

・数百総トン程度の小型内航貨物船の模型試験による自動着桟システムの検証
・船−陸通信を含めた遠隔操船システムの構築

・R3 年度研究内容

□小項目 1

・自動避航システムに、他船検出機能を導入する。
・自動避航操船システムの開発と試行を実施する

□小項目 6

・自動運航船のモックアップ実験及び総合シミュレーションシステムの構築を実施する

□小項目 7

・自動着桟システムの適用範囲を拡大する。
・小型実験船により遠隔操船システムの実証試験を行う。

R3 年度研究成果

□小項目 1

・小型実験船「神峰」でカメラ他船監視システムを構築。魚眼カメラから全方位景観画像を構成、船影検出・動きを検知し自動避航システムに送信する機能をもたせた。また、遠隔操船用として検知結果を画面表示・音声で報告、ズームカメラと連動、陸上に映像を送信・カメラ制御を受信する機能をもたせた（図 1）。これを使った遠隔操船実験を行った（図 7）。

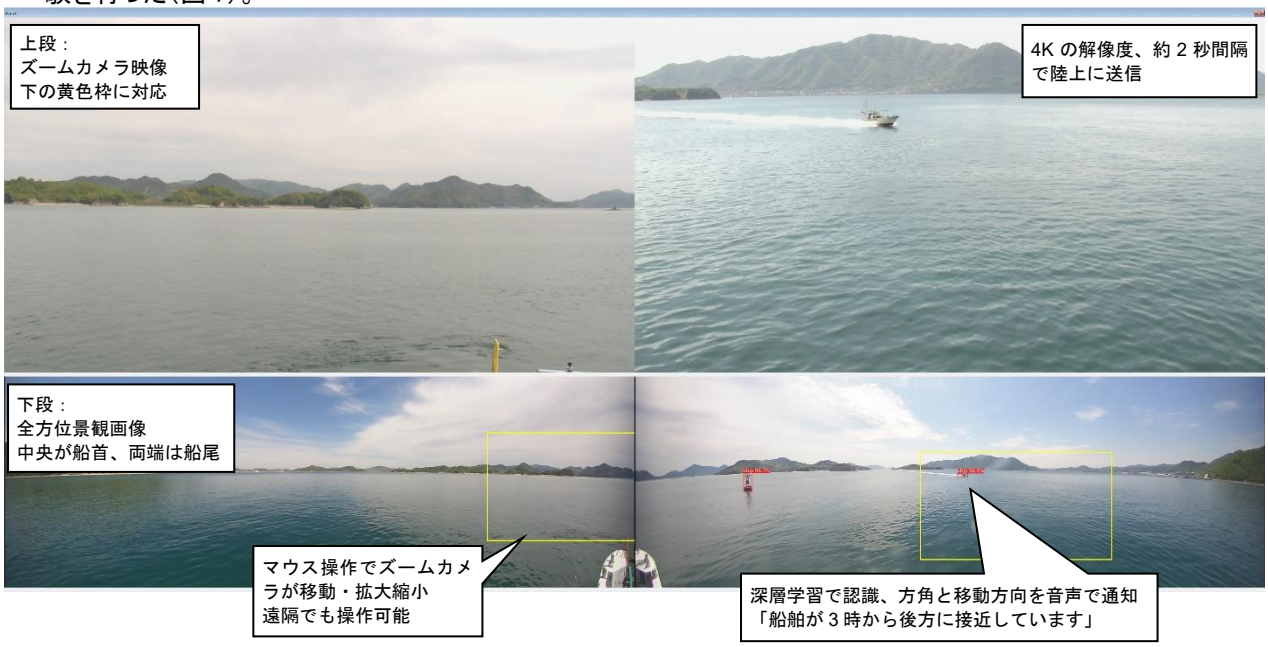


図 1 カメラ他船監視システム

・小型実験船「神峰」に、自動避航システムと他船検知機能との連携機能を導入した（図2）。他船検知システムで船影を検出し、その船影位置を時間的に前後で比較を行うことで本船に接近しているか、または離れているかを算出し、相手船の方位と、その相手船が接近しているかどうかをもとめ、結果を UDP で船内 LAN に文字列形式で送信する。自動避航システム側では UDP で受信した文字列を解析し、カメラで取得した相手船方位を描画する仕組みを構築した。

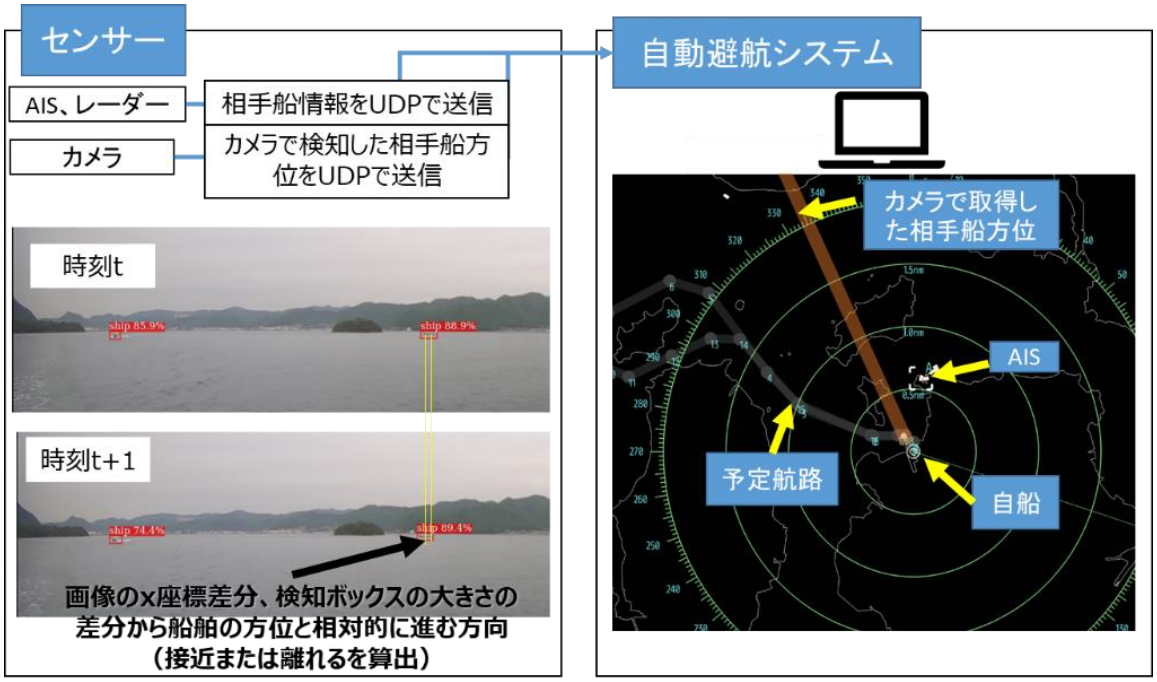


図 2　他船検知システムと自動避航システム連携図

・小型実験船「神峰」に設置した AIS 情報と、レーダーで捕捉した TT（Target Track）情報から避航航路の計算を行い、相手船を回避するルートが生成されることを確認した(図3)。

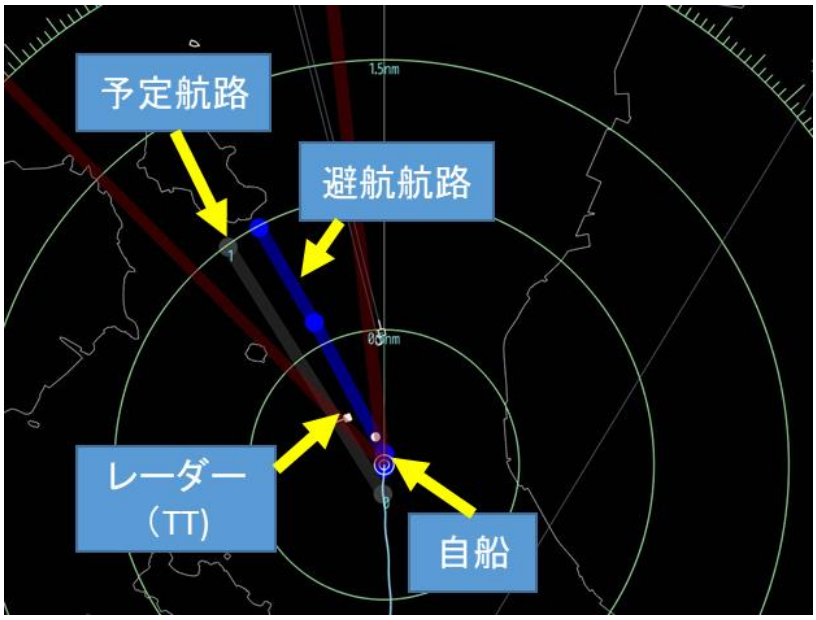


図 3　因島付近での避航経路計算結果

□小項目 6

・GBS ガイドラインに則った自動運航船の安全ガイドラインの骨子を、自動運転車のガイドライン及び IGF code 等を参考に、船技協と検討し、IMO へ提案した日本案作成に貢献した。

・GBS ガイドラインでは、まず、目的を定義し、その目的を満足するための機能要件を定義し、その機能要件に対するハザードをリスク解析から洗い出す。次に機能要件を満足するための各システムの一般要件を定義し、ハザードが生じた場合のリスクの増加を、各ハザードに対応したシナリオを作成して確認する。具体的には、ハザードによって誘起される事象の評価方法（評価指標）及び閾値を決め、対応して増大するリスクを求め、増大したリスクが許容されれば安全と見做す。

・参考とした ISO 34502 では、自動車の運転者もしくは自動運転車の AI の行動を、認知、判断、実行の 3 フェーズに分け、各フェーズで生じるハザードである外乱を、物理原理で区分して、それぞれのリスクの増大を考慮している。
・また、ISO 26262 では、ハザードとして故障を考え、フェールセーフ、つまり、冗長性を持たせる事により、リスクの増大を抑えることとしている。
・また、ISO 21448 (SOTIF)では、ハザードとして人間のミスユースや、仕様の曖昧さによる機能不全を考え、HAZID 等により未知なハザードを減らすと共に、設計にフィードバックして仕様を明確にする等により、増大するリスクを低減することとしている。
・無人運航船に対する、これらのハザードに対応したシナリオ、もしくは、これらのハザードの組合せに対応したシナリオは、まとめて図 4 のように表せられる。

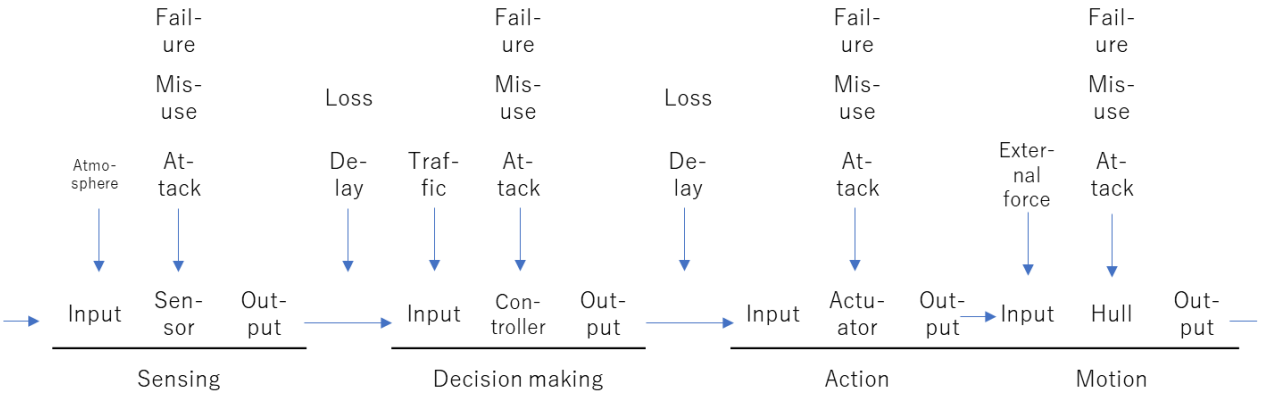


図 4 Scenario architecture

・Atmosphere が認知に対する外乱、Traffic が判断に対する外乱、External force が実行に対する外乱を表し、ISO34502 を、センサ、コントローラ、アクチュエータ、ハルに対する Failure という状態が ISO26262 を、センサ、コントローラ、アクチュエータ、ハルに対する Misuse が SOTIF を表している。また、図 4 にはサイバーや海賊による Attack を加えた。これにより、通常の避航操船、離着桟操船で考え得るシナリオを一通り網羅した。また、認知と判断間及び判断と実行間に情報の Loss 及び Delay を加えて、遠隔からの避航操船、離着桟操船で考え得るシナリオも一通り網羅した。
・避航操船におけるハザード(輻輳度、見合い関係等)によって誘起される事象の評価方法(評価指標)及び閾値は今年度、離着桟操船における評価方法(評価指標)及び閾値は来年度、東京海洋大学及び JMETS から提出される。
・各ハザードにより誘起される事象を上記の評価指標で評価し、対応して増大するリスクを求め、増大したリスクが許容されれば安全と見做されるので、来年度は、各ハザードにより誘起される事象の具体的な評価方法及び、対応して増大するリスクの具体的な求め方を検討し、安全ガイドラインに反映させる。
・また、上記の評価は試験結果から判断されるが、通常の避航操船及び離着桟操船の試験は、ファスト・タイム・シップ・シミュレータ(FTSS)(図 5)及び操船シミュレータ(SHS)(図 6)で実施する。また、遠隔による避航操船及び離着桟操船の試験は、各社のリモート・コントロール・センターと操船シミュレータ(図 6)を繋いで実施できるようにする。

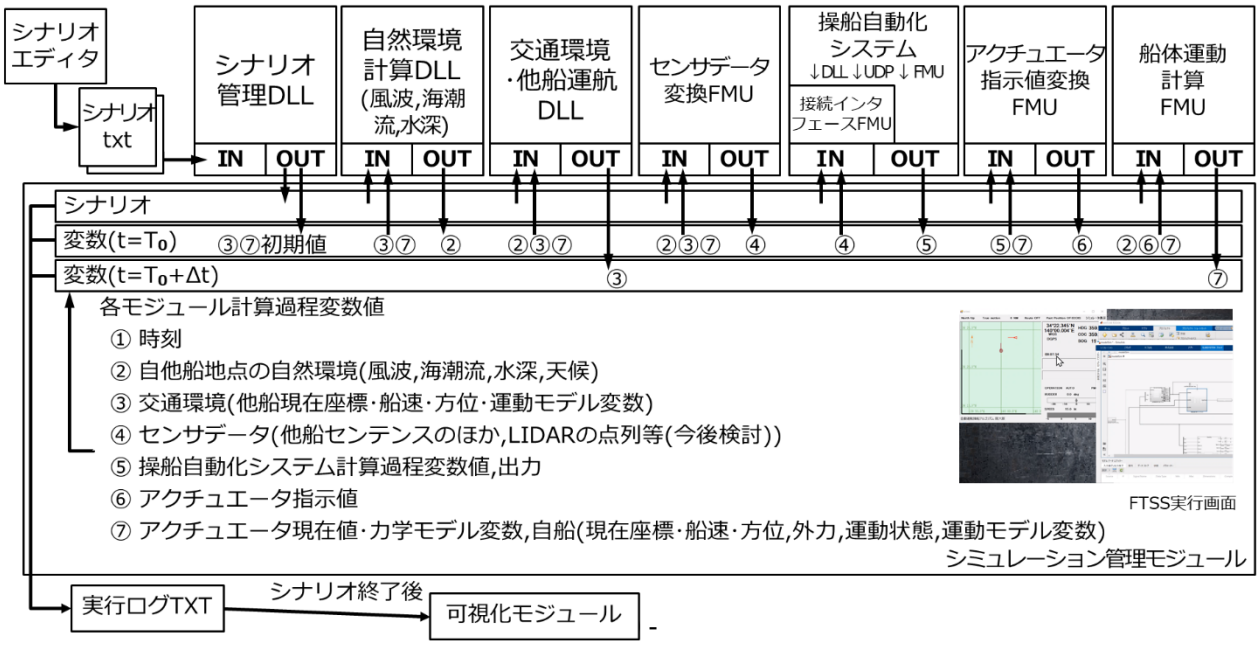


図 5　FTSS

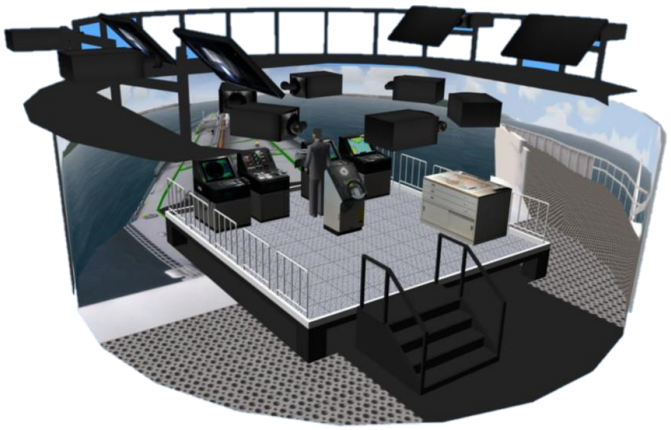


図 6 SHS イメージ

・今年度は、FTSS を構築し、外部への配布を想定した実行ファイル及びドキュメントを作成した。また、SHS のハードウェアの詳細仕様を決定した。
・また、無人運航における他船検知センサシステムの検証手法に関しては、検証ガイドラインを作成し実海域で検証する方向で、引き続き検討することとした。
・また、オーバーライド実験から、オーバーライドにおける評価指標として、判断までの時間が適当である事を確認した。
・また、遠隔操船を模擬するための情報伝達時の欠損及び時間遅れの疑似発生システムを構築した。
・また、「神峰」を用いて機関遠隔監視システムの要件を洗い出した（表 1）。

表 1 無人運航船のための機関遠隔監視システムに必要な要件（案）

	システム	必要な要件
第1段階	遠隔状態監視	● 警報発令時、遠隔地において原因究明が可能な情報提示がされる。
第2段階	遠隔制御	● 関連機器の健全性が保たれていることを確認できる機能を有する。 ● 船内において操作する場合と同等の状態監視・確認をした後、各種機器の操作を行う。その詳細は対象とする機器によって異なる。
第3段階	不具合時対応	● 遠隔地に送られてくるデータだけからトラブルの度合いを判断する手順を有している。 ● 不具合発生時の手順を記したマニュアルを作成されている。 ● 機器破損や運航不能等の重大な状態に至らせないための対策が講じられている。
第4段階	機器破損・運航不能時対応	● 人的・物的被害を最小とするための対策が講じられている。

・また、船員が減少した客船における乗客避難を現行法で対応する場合の条件を次のように洗い出した。
・退船の判断を行う船長に対し必要な情報が伝達されること
・船員法第 14 条の 3 の「非常の場合における海員の作業」の操練（例：機関室の構造、各種メータ類の配置の理解など）が十分に行われること

□小項目 7
・小型実験船「神峰」により、船−陸通信を含めたそれぞれの自動化システムについての安全要件（開発目標）を整理し、機能確認試験を実施した。
・昨年度より構築してきた小型実験船「神峰」の遠隔操船システムを用いた実船試験を行い、通信遅れの把握や通信遅れが生じたときの対応、さらに各種センサの健全性の確認方法等が重要であることを確認した（図 7～10）。
・昨年度より構築してきた自動着桟制御の機能を PLC に実装し、実験船に搭載されている PLC の制御システムと接続、動作確認を実施した。また、3D LiDAR によるマリーナ周辺の海岸線に沿った点群計測を行い、海上にお

ける SLAM（自己位置推定と地図作成の同時実行）を行った。
・自動着桟システムの適用範囲を拡大するため、199GT 内航船の離着桟操船時の詳細データを取得した。また、昨年度までに開発を進めてきた模型船の自動化システムを見直し、簡易的な試験を行った。

図 7　遠隔操船試験の様子

図 8　通信遅れ時間の確認画面

図 9 遠隔操船試験の計画経路

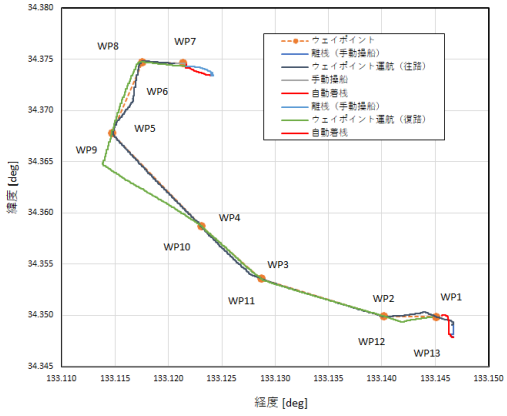


図 10　遠隔操船試験の航跡

R3 年度成果の公表

□査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）：3 件（投稿中： 1 件、採択済： 1 件、掲載済： 1件）

・A. Maki, Y. Maruyama, L. Dostal, Masahiro Sakai, R. Sawada, N. Umeda, K. Sasa, Practical methodology of wind process generation for examining autonomous operating system of ships, Journal of Marine Science Technology, 2021 (投稿中)
・Y. Miyauchi, R. Sawada, Y. Akimoto, N. Umeda, A. Maki, Optimization on planning of trajectory and control of autonomous berthing and unberthing for the realistic port geometry, Ocean Engineering, vol. 245, 2022
・M. Minami, M. Kobayashi, K. Hikida, K. Kokubun: Development of the Comprehensive Simulation System for Autonomous Ships, Proceedings of MTEC2022 and ICMASS2022(採択済)

□その他発表論文： 11 件（投稿中： 2 件、掲載済： 9 件）

・平田宏一，澤田涼平，小林充，齊藤詠子，佐藤圭二，宮崎恵子，南真紀子，國分健太郎，福戸淳司，小型実験船「神峰」による自動化システムの機能確認試験，第 91 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集，p. 165-166（2021 年 9 月）.
・澤田涼平，平田宏一，自動着桟における曲線経路追従制御，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，pp.9-15（2021 年 11 月）
・牧敦生，丸山湧生，Leo Dostal，酒井政宏，澤田涼平，笹健児，梅田直哉，自動運航性能評価のための不規則風外乱の高速計算アルゴリズムの開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 33 号，pp. 65-75（2021 年 11 月）
・澤田涼平，平田宏一，自動運航船に向けた操船自動化システムの検証，第 30 回 交通・物流部門大会（TRANSLOG2021）講演会論文集（2021 年 12 月）
・澤田涼平，「自動運航船の研究紹介」と「研究活動と英語」，弓削商船高等専門学校産学連携フォーラム2021・専攻科特別研究中間発表会講演論文集（2021 年 12 月）
・澤田涼平，平田宏一，自動着桟のための点群地図作成と自己位置推定，日本船舶海洋工学会講演会論文集（投稿中）
・牧敦生，丸山湧生，Leo Dostal，笹健児，澤田涼平，脇田康希，酒井政宏，梅田直哉，自動運航性能評価のための不規則風外乱の高速計算アルゴリズムの開発（第2報），日本船舶海洋工学会講演会論文集（投稿中）

・國分健太郎、自動運航船開発の現状と課題、第 12 回横幹連合コンファレンス前刷り集、2021.12
・國分健太郎、自動運航船の実用化に向けた海上技術安全研究所の取組み（第二報）、日本人間工学会関東支部第 51 回大会前刷り集、2021.12
・南真紀子、シミュレーションによる自動/無人運航船の安全性評価法の検討、日本人間工学会関東支部第 51 回大会前刷り集、2021.12
・南真紀子、國分健太郎、小林充、疋田賢次郎、吉村健志、佐藤圭二、齊藤詠子:ClassNK 技報　2021 年第 4 号

□特許申請：１件
・（国内優先権）「船舶の自動誘導方法、船舶の自動誘導プログラム、船舶の自動誘導システム、及び船舶」

□コアプログラム登録：０件

□国際貢献：１件
・「The 5th International Conference of Naval Architecture and Marine Engineering – (ICNAME 2021) The 1st International High-level Forum on Smart and Autonomous Navigation Technology of Ship」講演、題目「"Introduction of Research on Autonomous Ships in NMRI"」

□受賞：０件

□公開実験：０件

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	R3 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 －物資輸送に関する輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をするためのシステムの開発を行う。本年度はコンテナ輸送サービスを対象として、新たな コンテナ流動のデータを用いて多様な条件でのシミュレーションを実行し、アルゴリズムとパラメータを調整することで、経路推定確率の予測精度の向上を図る。 －データ融合技術に基づくコストの算定と世界的な外航貨物需要の推定と予測、バルクキャリアを対象とした造船需要予測モデルと海上物流シミュレータを統合したGHG 削減戦略評価プラットフォームの開発を行う。 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。

具体的には、以下があげられる。

□AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究
- ・平時及び災害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
- ・システムオブシステムズ手法による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

期間全体の研究目標

□港湾振興組織等を対象とした輸出入貨物輸送経路推定プログラム。自治体・国を対象とした災害時における傷病者及び支援物資輸送評価手法及びシステム
□船社等を対象とした船舶の運航情報提供システム
□国、造船会社等を対象とした海上貨物・造船需要等の評価・予測手法
□海運・造船会社、船級を対象とした海上ゼロエミッション輸送を評価するシミュレータ・ワークショップシステム
□内航船社を対象とした高度化された船体運航管理システム

上記成果は、以下があげられる。

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

R3 年度研究目標

□小項目 4

・災害時の支援物資輸送については、物資充足率等を複数のシナリオを対象にして評価する。
・輸出入貨物輸送経路予測については、最新データを利用可能とすると共に、推定性能向上に取り組む。

□小項目 5

・データ融合技術に基づくコストの算定と、世界的な外航貨物需要の推定と予測を行う。
・バルクキャリアを対象に、造船需要予測モデルと海上物流シミュレータを統合した GHG 削減戦略評価プラットフォームを開発する。外部と連携し(民請)、シミュレータの精度、機能を拡充する。

・R3 年度研究内容

□小項目 4

・災害時の支援物資輸送に関する研究
・輸出入貨物輸送経路予測に関する研究

□小項目 5

・AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

R3 年度研究成果

□小項目 4

・昨年度まで開発した傷病者輸送シミュレータをクラウド上に実装を行い、Web ブラウザ上で動くモノに改良を実施した。(図 1)
・開発したシミュレータを活用し、静岡県及び高知県を対象に自治体の保有する被災想定をもとに分析を実施し、利用頻度の高い道路の可視化(図 2)や、救助率の時系列変化等を複数の分析事例を定量的に示した(図 3)。
・令和元年度に交通運輸技術開発推進制度に採択され、最終年度における年度末評価委員会において、複数の委員の先生方から「非常に意義の大きい成果を得られている」「素晴らしいシステムができている」と評価を受けた。
・本年度より実施している緊急支援物資のデジタル化等推進事業において、大規模災害時における輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をサポートするためのシステムを開発した。開発したシステムは、国、自治体、指定公共機関が参加した机上演習、現場実証において活用された(図 4)。
・災害時の支援物資輸送については、南海トラフ地震の多様な発生形態を考慮するため、全割れ、東/西からの半割れ等のシナリオを対象とした評価を実施した。その結果、それらシナリオにおいても日本海側を中心としたフェリー/RORO 船隊を用いた輸送を陸路のみによる輸送と併用することで、概ね目標とする時間内に輸送を遂行でき、またトラック総走行距離を 3～5 割程度削減できるなどトラック輸送関連資源の節減に大きく貢献できることを示し、更に、その実施にあたって重点的に整備することが効果的な、航路及び施設を抽出することができた(図 5)。
・輸出入貨物輸送経路予測については、最新版の詳細なデータを入手したところ、採用されているデータ項目/用語等が旧データと異なっていたため、入力データ編集プログラムを改修し入力データを新たに作成し直した。また、大量の計算を高速で行う必要があるため、ディープラーニング用に最適化した分散計算環境(ハードウェア、バッチ計算システム、集計処理システム)を構築した。以上を用い、ハイパーパラメータ及び他パラメータの組合せ最適化計算、特徴量エンジニアリング等を行った結果、全ての年度の輸出入貨物について 8～9 割の正答率を確保することができた(図6)。

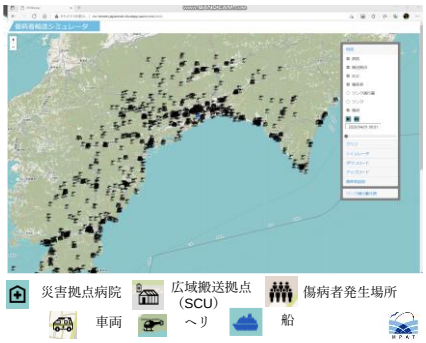


図 1:シミュレータ可視化画面
（緑・水色：輸送機材、青：病院）

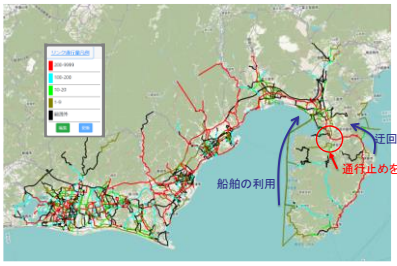


図 2: 利用頻度の高い道路の可視化

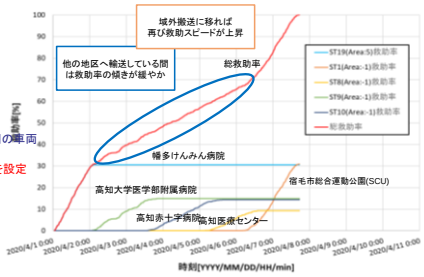


図 3: 救助率の時系列変化

図 4:算出された輸送ルート及び実際にトラック、船の位置が表示された画面

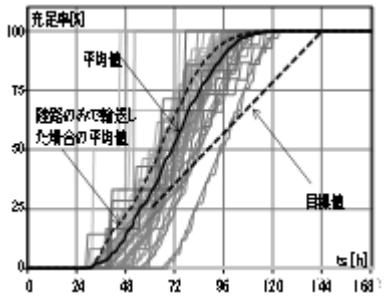


図 5: 南海トラフ地震半割れシナリオ時の支援物資充足率推移

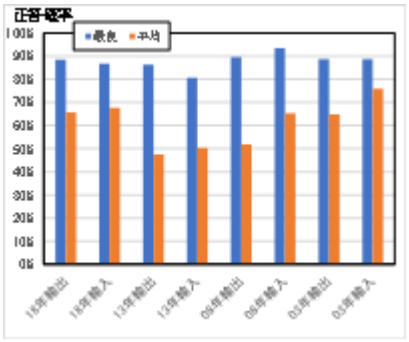


図 6: 各年の経路予測正答確率（最良のモデルを採用する）

□小項目 5

・海運造船業界の需要予測作業に参加し、国際海運の燃料需要シナリオの作成、国際海上コンテナ輸送を対象にして、国際コンテナ貨物需要の予測とコンテナ船の船腹量予測や建造需要予測を行った（図 7）。
・国際機関や海事コンサルタントによる国際海運の燃料需要シナリオに基づき、データの加工技術を使用して項目の統一化を行い、在来燃料やゼロエミ燃料の需要シナリオを作成した（図 8）。
・世界の外航貨物需要を捉える貿易統計において、鉄鉱石、石炭、穀物等のバルク品目を対象にし、データの修正技術と輸送コストの推計技術を検討した（図 9、図 10）。
・バルクキャリアを対象とし、輸送需要予測、CII(Carbon Intensity Indicator)による規制シナリオ、炭素課金に基づく代替燃料導入の予測を行った(図 11)。シナリオを変化させ、感度解析を行い、今後の海運ゼロエミッション化において有用と思われる技術コンセプトの検討を行った。

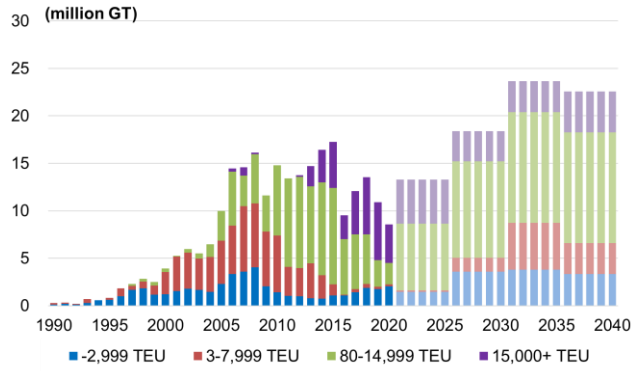


図 7: コンテナ船建造需要量の推計例

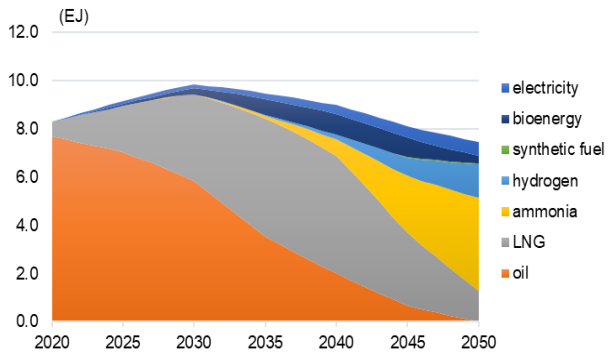


図 8: 国際海運の燃料需要シナリオの作成例

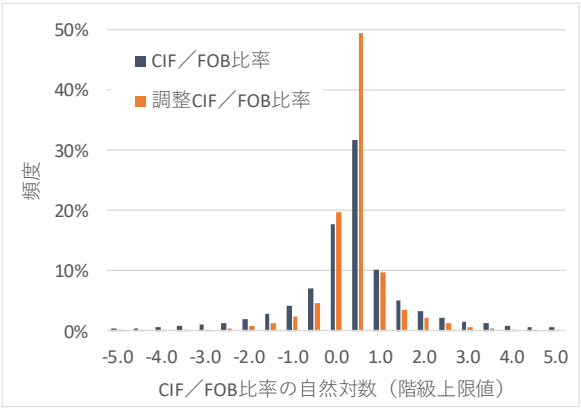


図 9: 貿易統計の修正結果（バルク品目）

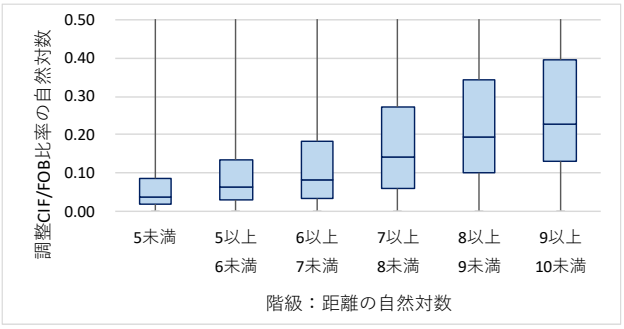


図 10: 輸送コストの解析例（バルク品目）

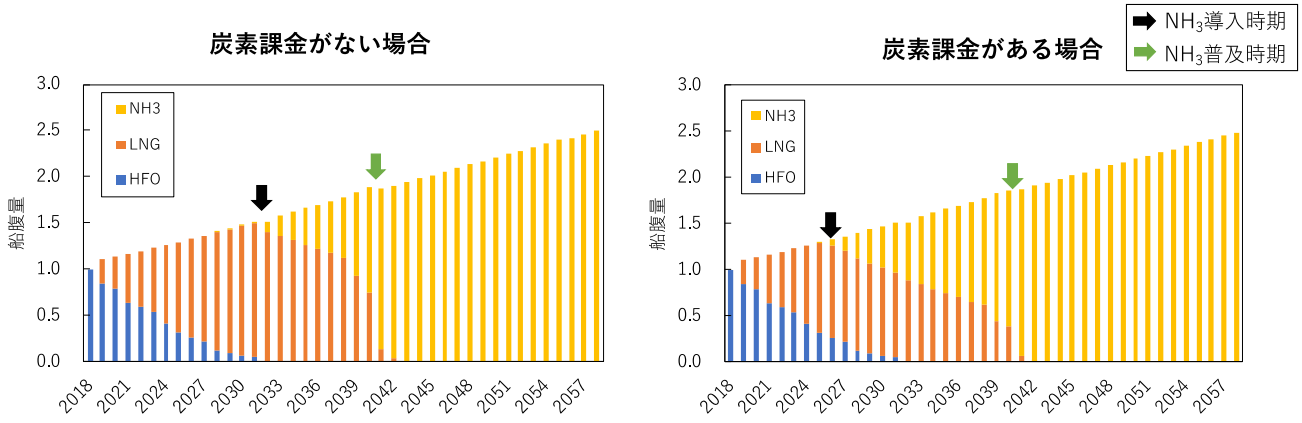


図 11: バルクキャリアを対象とした代替燃料導入予測

R3 年度成果の公表

口査読論文（ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告（研究報告）等）： 6 件（投稿中：2 件、採択済：4 件、掲載済：0 件）

- 松倉洋史，荒谷太郎，間島隆博：南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用－プッシュ型輸送期間の日本海側フェリー/RORO 船隊輸送－，日本船舶海洋工学会論文集，vol.34，2021.（採択済）
- Hiroyuki KOSAKA, Takenori TEZUKA and Taro ARATANI: Development of an Estimation Method for Maritime Shipment Size in Iron Ore Trade, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.14 (2022)（採択済）
- Taro ARATANI, Keiji SATO and Takahiro MAJIMA: Comparison of Delay Characteristics for Freight Trains and Long-Distance Ferries, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.14 (2022)（採択済）
- Shinnosuke Wanaka, Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Chiharu Kawakita, Kunihiro Hamada, An Integrated Simulation of Shipping Market and Ship Operation Model to Study Future Strategy of GHG Zero Emission Vessels, International Association of Maritime Economics 2021.（採択済）

・小坂浩之：貿易統計データの調整に向けた CIF／FOB 比率の検討，日本ロジスティクスシステム学会誌，vol.18，2022.（投稿中）
・中山恵介，荒谷太郎，間島隆博：高知県におけるシミュレータを用いた傷病者の輸送計画に関する検討，土木計画学：政策と実践，2022.（投稿中）

□その他発表論文： 10 件（投稿中：1 件、掲載済：9 件）
・荒谷太郎：傷病者輸送シミュレータを用いた国土強靭化対策の検討，SCI-Japan ウェビナー，2022.（投稿中）
・荒谷太郎，小濱英司，大矢陽介，間島隆博：大規模災害時における 海上輸送の可能性に関する検討，日本航海学会誌 Navigation219 号，2022.（掲載済）
・荒谷太郎：緊急支援物資輸送システムの開発について，ぼうさいこくたい in 釜石，2021.（掲載済）
・青山久枝，荒谷太郎，間島隆博，山田泉，今込毅：大規模災害時における 空港面運用に関するシミュレータを用いた検討，土木計画学研究発表会・講演集 Vol.64，CD-ROM，2021.（掲載済）
・Taro ARATANI, Eiji KOHAMA, Yousuke OHYA, Takahiro MAJIMA: Possibility of Maritime Transport in Large-scale Natural Disasters in Japan, Asia Navigation Conference 2021.（掲載済）
・荒谷太郎，間島隆博，小濱英司，山田泉，大矢陽介，青山久枝，松倉洋史：災害時輸送におけるシミュレータ活用，海上技術安全研究所報告第 21 巻，pp.53-57.2021.（掲載済）
・松倉洋史：AI 貨物輸送経路推定システム(CRAS-AI)を用いた海上輸出入コンテナ貨物取扱港の支援，海上技術安全研究所研究発表会予稿集，2021.（掲載済）
・Hiroshi Matsukura, Taro Aratani and Takahiro Majima: Ship Utilization for Transporting Relief Supplies after the Nankai Trough Earthquake－Ferry/RORO Fleet Transportation in Japan Sea during Push-type Transportation Term－, Proceedings of Autumn Conference of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, November 2021.（掲載済）
・Hiroyuki KOSAKA and Taro ARATANI: Missing Data Imputation for Estimating Shipment Size of Container Ships, Asia Navigation Conference 2021.（掲載済）
・和中真之介，稗方和夫，大和裕幸，国際海運ゼロエミッション達成のための環境・技術・経済のシミュレータによる評価，日本海洋政策学会第 13 回年次大会，2021.（掲載済）

□特許申請：0件

□コアプログラム登録：2 件
・間島隆博：災害時傷病者輸送シミュレーションプログラム，2021-NMRI-NLED- MAJIMA-01
・和中真之介: 運航・市場モデルによるゼロエミッション船コンセプト評価システム，2021-NMRI-NLED-S.WANAKA-01

□国際貢献：0件

□受賞：1 件
・日本船舶海洋工学会 乾賞: 和中真之介（ネットワーク最適化モデルを用いた国際海上輸送における GHG 排出量削減効果の評価，日本船舶海洋工学会論文集，第 31 巻，pp 205-212，2020）

□公開実験：0件

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3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3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3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3年度においては、54 の研究実施項目のうち、23 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。

令和3年度に実施した研究の具体例としては、医療用マイクロカプセルから萌芽的なアイデアを得て、「シラス発泡体を用いたコンクリート用高機能マイクロカプセルの開発」を行い、ナットウ菌を用いた高機能自己治癒コンクリートの開発により、深刻な劣化の発生リスクを低減し得る独創的な技術を提案した。また、鉄筋コンクリート構造物の予防保全的維持管理を追究した萌芽的研究「触診感覚で評価可能なコンクリート中鉄筋の腐食探査手法の開発」を行い、従来は導通で行っていたコンクリート中鉄筋の腐食測定に対し、電極配置の工夫により、非導通の腐食測定を実現する先駆的かつ利便性の高い技術を開発した。これらをはじめ、萌芽的なアイデアを重視し、将来的なイノベーション創出が期待される8件の研究を実施した。

（3）国土技術政策総合研究所との連携

国土技術政策総合研究所とは「港湾の施設の技術上の基準」、「港湾の施設の点検診断ガイドライン」等への研究成果の反映に向けた検討体制が確立されている。また、国、民間事業者等からの問い合わせに迅速に応えられるよう、共同でワンストップ相談窓口「久里浜 LCM（ライフサイクルマネジメント）支援総合窓口」を運営している。令和3年度においても、国土技術政策総合研究所との共催により、国、民間事業者等に向けた講演会を多く開催してきており、共同で研究活動や成果を発信することにより、社会的要請を踏まえた研究ニーズ等を両研究所が効率的かつ効果的に把握し、研究活動の実施に役立っている。更に、両研究所と各地方整備局等とで双方幹部による継続的な“技術対話”を国土技術政策総合研究所と共同で開催し、それぞれの技術的強みを活かしながら、現場技術力の維持・向上を図るべく、連携を推進している。

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 －震源近傍の強震動に関して、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影響も考慮できる震源モデルの開発と検証を進める。 －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ためのシステムについて、 本省・地方整備局とともに活用方策の議論を深めるとともに、現地への試験的な導入を行う。 －多様な動的外力下の沿岸構造物の吸い出し・陥没等抑止に有効な設計・対策技術に ついて、一層の汎用化を目指した検討を行う。 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３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、液状化による沈下・流動の新たな予測手法の開発を進めた。

震源近傍強震動の予測手法の開発について、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影響も考慮できる震源モデルの開発と検証を進めた。

地震災害および被災要因調査について、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ためのシステムについて、本省・地方整備局とともに活用方策の議論を深めるとともに、現地への試験的な導入を行った。

（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、地震動作用後を対象とした沿岸域施設の変形予測手法の検討、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進めた。

（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、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を進めた。

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について、多様な動的外力下の沿岸構造物の吸い出し・陥没等抑止に有効な設計・対策技術について、一層の汎用化を目指した検討を行った。

令和３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3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、令和3年 1 月～12 月の期間で 3,072 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、平成 25 年～令和2年までは毎年 2,000 個以上の強震記録が得られていたが、それと比較しても、令和3年に取得された記録の数は多かったと言える。これは、令和3年に入ってから 2 月 13 日と 3 月 20 日の 2 回にわたり福島県沖と宮城県沖で規模の大きな地震が発生し、それに伴う余震活動が活発化したためと考えられる。この地震では北海道から近畿まで 30 港湾で強震記録が得られた。

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。

令和3年度は、この地震の際、相馬港の地表面（相馬-O）で観測された地震動について、工学基盤 2E 波に換算し、そのフーリエスペクトル、速度 PSI 値について（図 1.3.2）、平成 23 年東北地方太平洋沖地震での相馬港での地震動および相馬港レベル 1 地震動との比較を行った。

その結果、相馬港では、ほとんどの周波数成分において、今回の地震動は通常の施設の耐震設計で考慮されるレベル 1 地震動を上回っていた。一方、平成 23 年東北地方太平洋沖地震の際の地震動との比較では、今回の地震動の方が小さかった。これらの情報は直ちに行政機関に伝達され活用された。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予定である。

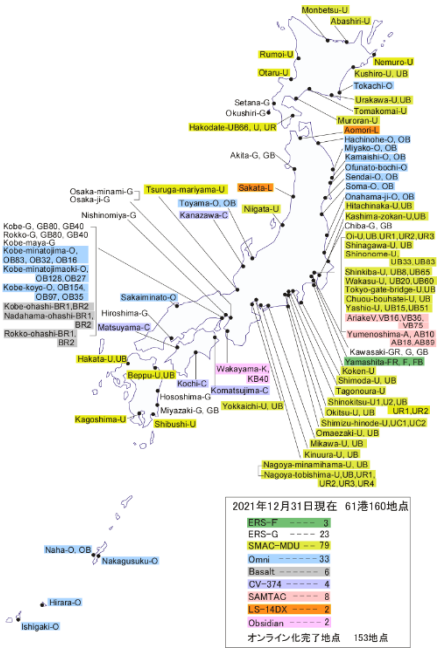


図 1.3.1 港湾地域強震観測網

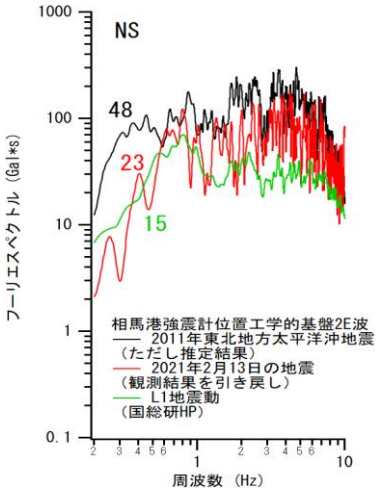


図 1.3.2 相馬港の強震計計位置での揺れの比較

②地震災害および被災要因調査

令和4年3月16日に福島県沖を震源とする M7.4 の地震が発生し、港湾施設に被害が発生した。この地震を受け、当所では国土技術政策総合研究所と合同で二回にわたり調査団を派遣し、相馬港および仙台塩釜港石巻港区において調査を行った。現在は調査で得られた成果等に基づき、早期本格復旧に向けた支援を実施中である。

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 1.3.3）。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3年度は本システム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。供用可否判断の閾値は有限要素法プログラム FLIP を活用して定めている。

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。

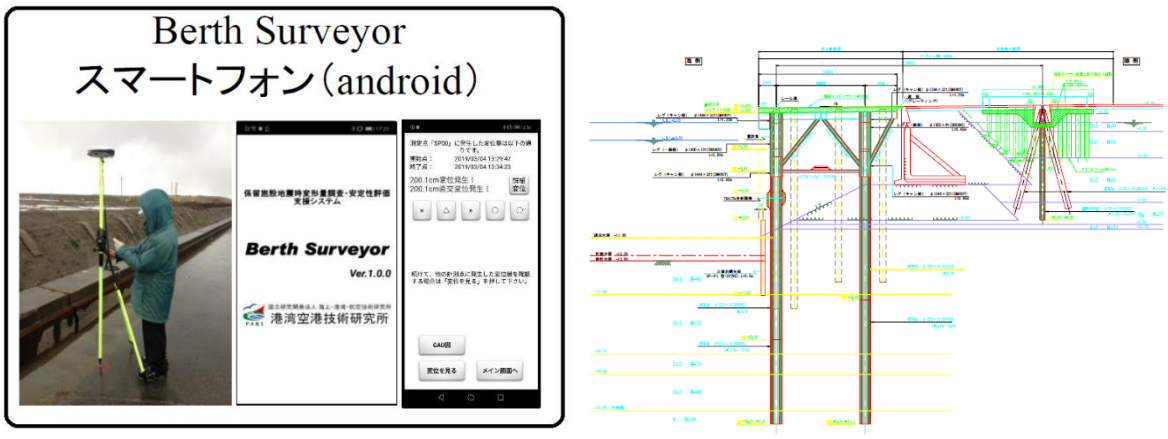


図 1.3.3 岸壁使用可否判断支援システム「Berth Surveyor」（左）と
令和3年度の対象施設の一例（右）

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。

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した。

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いた。

令和3年度は、これまでに行ってきた数値計算法の適用条件に関する検討（図 1.3.4）の結果を踏まえ，実地震である熊本地震本震を対象にして、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影響も考慮できる複合型の震源モデルを構築し、強震動シミュレーション結果と強震記録を比較することにより手法の妥当性を検証し（図 1.3.5）、成果のとりまとめを行った。

今後はさらに海外の地震なども対象とすることで、提案手法の汎用性をさらに確認することなど、研究の完成度をさらに高める余地は残されており、令和4年度から始まる新たな実施項目の中で引き続き取り組んで行く予定である。

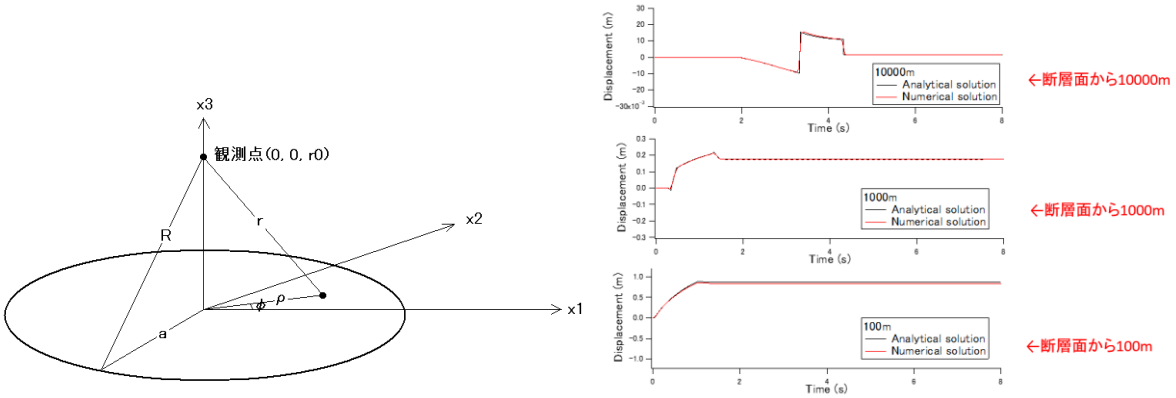


図 1.3.4 数値計算法の適用条件に関する検討を行った際の
観測点配置（左）と検討結果（右）

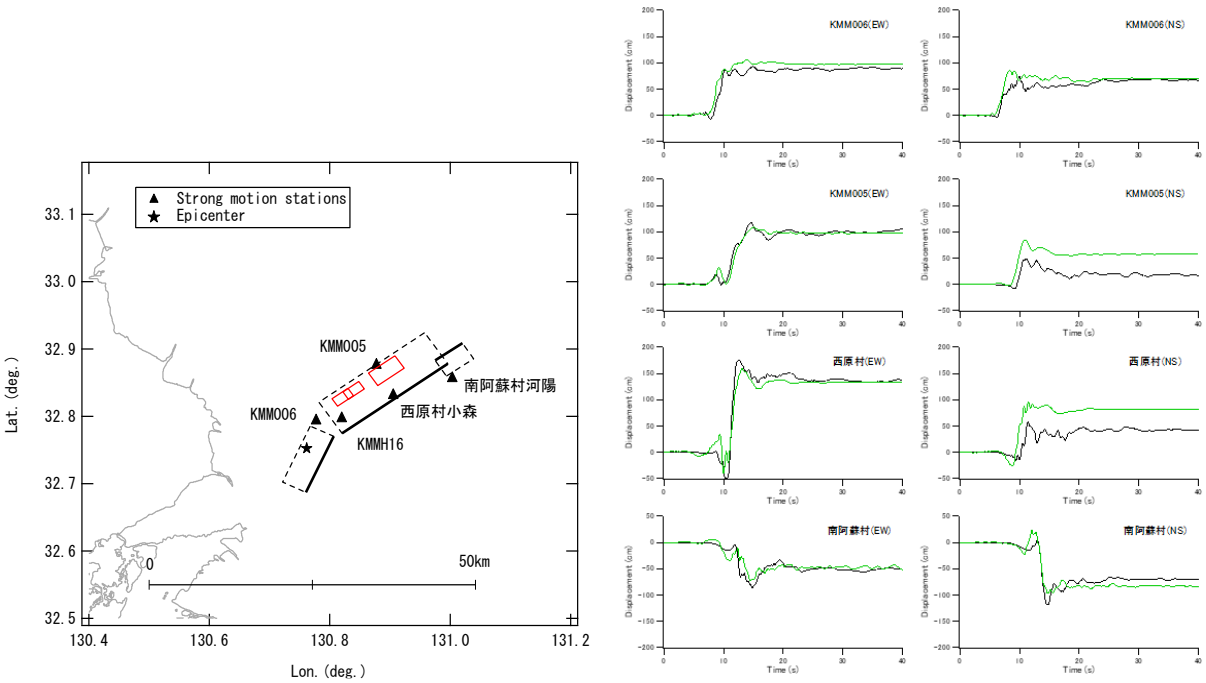


図 1.3.5　実地震を対象とした複合型震源モデル（左）と
それによる強震動シミュレーション結果（右）

④液状化による沈下・流動の新たな予測手法の開発

2018 年北海道胆振東部地震やインドネシア・スラウェシ地震では、シルト・粘土等の細粒分混じり土の大規模な液状化に伴う沈下・流動災害が顕在化した（図 1.3.6）。

これまで当研究所では地震外力作用の不規則性や継続時間を考慮した実用的な液状化予測判定法について研究を重ねてきているが、上述のような粒度や塑性が大きく異なる地盤の液状化による沈下・流動の予測法は確立されていない。

このような背景から、様々な継続時間・不規則性を有する地震動や連続して作用する地震動の下での幅広い粒度・塑性を有する地盤の液状化に伴う沈下・流動機構を明らかにすること、液状化による沈下・流動の新たな予測手法を開発・提示することを目標とし、令和2年度より本研究を開始した。

令和3年度は、幅広い粒度・塑性を有する地盤の液状化特性評価について、細粒分の物性・塑性が液状化予測判定に及ぼす影響の知見を得るとともに、液状化流動の新たな予測手法について検討を行った（図 1.3.7）。

今後は沈下・流動機構の解明をさらに進め、新たな予測手法を開発・提示する予定である。

図 1.3.6　液状化による噴砂に伴うシルト・粘土分の堆積状況
（左）スラウェシ地震、（右）2018 年北海道胆振東部地震

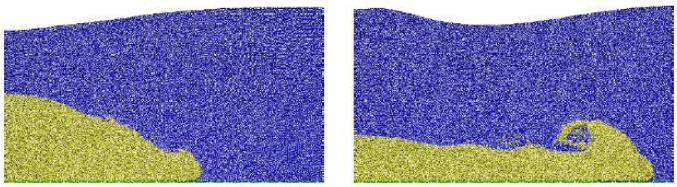


図 1.3.7　MPS による液状化流動のシミュレーション事例

（2）最大級の地震に対する被害軽減技術に関する研究

①地震動作用後を対象とした沿岸域施設の変形予測手法の検討

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、最大級の地震動作用後の施設の利用を想定し、地震動作用後にさらに上載荷重や船舶による接岸力・牽引力が作用する場合の構造物の挙動を予測することが求められるようになってきており、これに対応するため、数値解析手法の一層の高度化が求められている。

そこで、これまでに蓄積されている沿岸域施設の地震時挙動の数値解析技術に関する知見を踏まえた上で、地震動作用後のさらなる作用に対する沿岸域施設の挙動を予測するための数値モデル化手法の開発を行うことを目標とし、令和3年度より本研究を開始した。

令和3年度は、沿岸域の空港土木施設を対象とし、地震動作用中に発生する過剰間隙水圧のみならず地盤の累積損傷も考慮した地震後の空港土木施設の変形予測について検討した。

その際、不同沈下の評価については、従来の等価線形解析に基づく簡易な評価手法に代えて、液状化解析に基づく精緻な評価を行うことを試みた（図 1.3.8）。

今後は液状化地盤の累積損傷を考慮した体積変化特性の数値モデル化の検討、施設の利用可否判断における鋼管部材のモデル化の検討などを行う予定である。

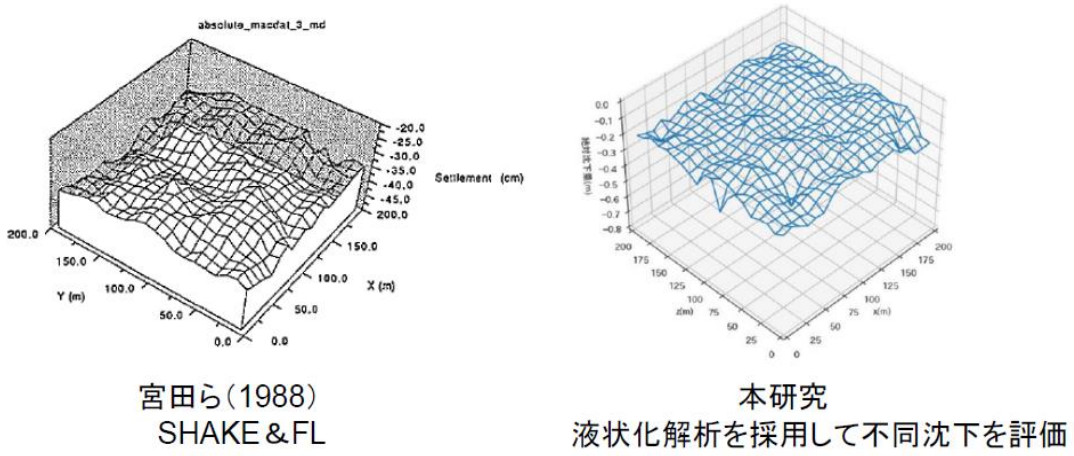


図 1.3.8　MPS による液状化流動のシミュレーション事例

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。

令和3年度は、直杭式桟橋に座屈拘束ブレースを追設した構造（図 1.3.9 左）について、さらに検討を進めた。

本構造では、追設部材の地震時の損傷を許容することで、構造全体としての損傷・変形を低減することに加え、地震後に追設部材だけを取り替えて早期に復旧を完了することを意図している。

過年度には追設部材を防振ゴム等により模擬した模型振動実験を行っており（図 1.3.9 右）、設置角度が部材追設の効果に影響を及ぼすこと、基礎杭の損傷の観点から適切な部材特性の選定が望まれること等の知見を得ており、令和3年度は、これらの結果を踏まえ、追設部材の構造の検討、全体系減衰への影響の検討、試設計の検討を行った。今後は対策断面の耐震性能照査手法の取りまとめを行う予定である。

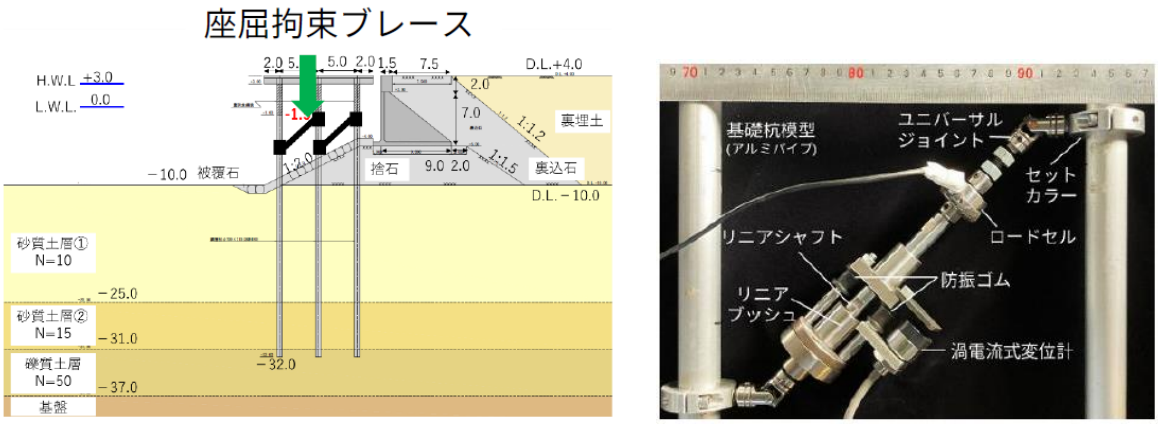


図 1.3.9　直杭式桟橋に座屈拘束ブレースを追設した構造（左）と
追設部材の再現実験に用いた防振ゴム等（右）

（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。

二層構造のフィルター層による吸い出し防止対策（図 1.3.10 左）について、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。

本対策法は那覇空港滑走路増設護岸、那覇港クルーズバース岸壁において実用化された。

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（図 1.3.10 右）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）。

本対策法は鹿島港、相馬港、横浜港、高知港において実用化された。

令和3年度はこれら 2 つの開発技術についてより広範な土質・外力・構造条件での検討を進めた。

本研究については既に多くの成果が得られているが、今後はより広範な土質・外力・構造条件での検討と適用範囲の検証を進めることによって、より発展・充実した大きな成果としてまとめる予定である。

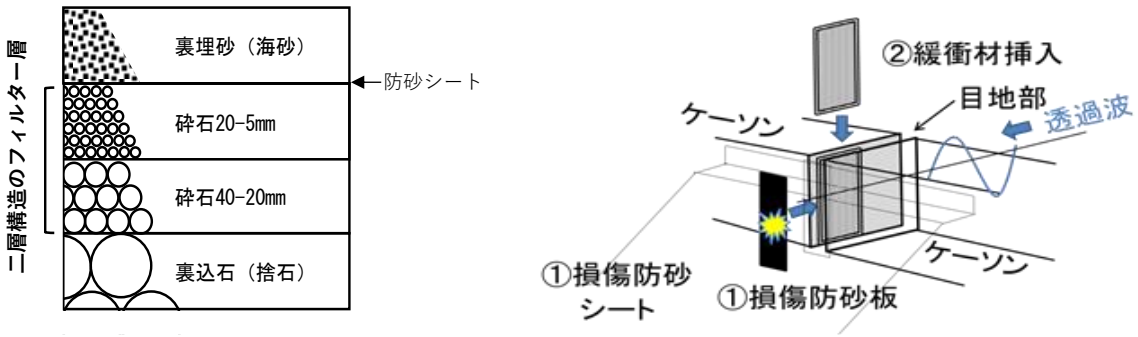


図 1.3.10　吸い出し防止対策としての二層構造の
フィルター層の概念図(左)と、ケーソン目地透過波低減法(右)

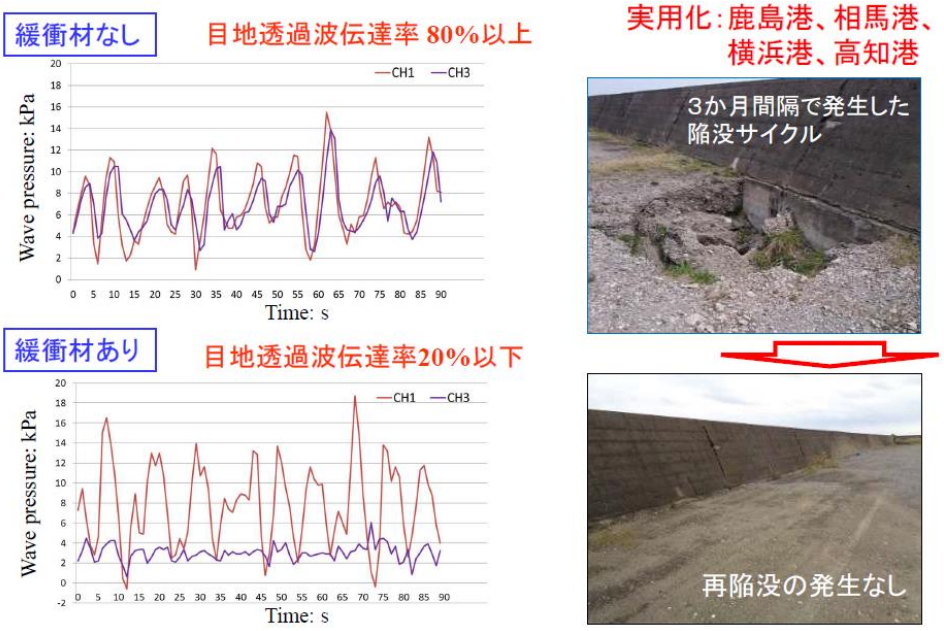


図 1.3.11　ケーソン目地透過波低減法による波力低減効果と陥没抑止効果

②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

地震によって発生した津波や台風や低気圧によって発生した高波によって、護岸や堤防などの多くの沿岸地盤構造物が被災してきた。地盤を含んだ被災も多く発生している。

一方で、津波や高波に対する沿岸構造物の設計においては、被覆工や上部工など構造部材の安定性に着目されることが多く、地盤を考慮した安定性については評価が不十分なことも多かった。

このような背景から、波・流れによる沿岸地盤構造物の変形・破壊特性を把握し、その安定性を評価するとともに、安定性を保てない場合の対策方法を検討することを目標とし、令和2年度より本研究を開始した。

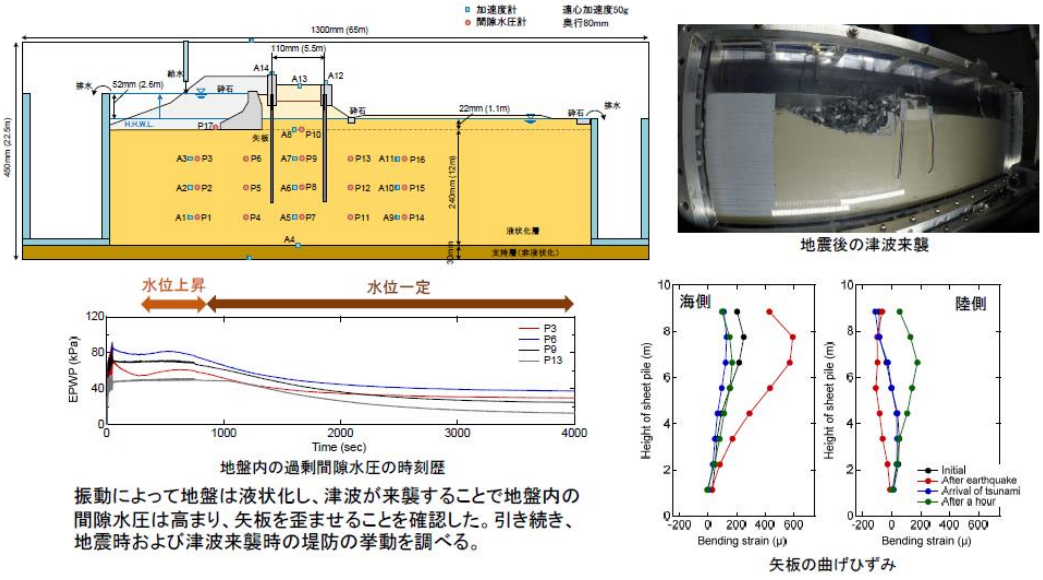
この研究では、実物スケールでの流体と地盤の挙動を同時に再現できる遠心模型実験手法を適用する。

その際、遠心模型実験装置用波・流れ再現装置を利用し、波と流れに対する沿岸地盤構造物の変形・破壊過程を観察する。

また、数値解析も実施し、より詳細に変形・破壊メカニズムを検討する。

令和3年度は、海岸堤防の地震後の液状化状態での津波来襲実験を行い（図 1.3.12）、堤防の変形・破壊挙動を調べた。振動により地盤が液状化し、津波が来襲することで地盤内の間隙水圧が高まり、矢板を歪ませることを確認した。

今後は引き続き地震時および津波来襲時の堤防の挙動を調べる予定である。



振動によって地盤は液状化し、津波が来襲することで地盤内の間隙水圧は高まり、矢板を歪ませることを確認した。引き続き、地震時および津波来襲時の堤防の挙動を調べる。

図 1.3.12　海岸堤防の地震後の液状化状態での津波来襲実験

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：4編

・長坂陽介，野津厚(2021)：港湾地域強震観測年報（2018），港湾空港技術研究所資料，No.1386.

・長坂陽介，野津厚(2021)：港湾地域強震観測年報（2019），港湾空港技術研究所資料，No.1394.

・野津厚，呉双蘭，長坂陽介(2022)：フリングステップを考慮できる複合型震源モデルの提案，港湾空港技術研究所資料，No.1401

・佐々真志，石坂修（2021）：吸い出し・陥没抑止に向けたケーソン目地透過波低減法，港湾空港技術研究所資料，No.1393.

□発表論文（和文）：9編

・工代健太，佐々真志，梁順普，高田康平，大下倭駆，大塚悟（2021）：細粒分の物性及び含有率が混合砂質土の補正 N 値と液状化強度との相関に及ぼす影響の研究，土木学会論文集 B3，Vol.77，No.2，pp.505-510.

・竹之内寛至，佐々真志，足立雅樹，岩城徹也，岡田宙，金子誓（2021）：新たな CPG 工法の等価改良率の実験的検証，土木学会論文集 B3，Vol.77，No.2，pp.409-414.

・工代健太，佐々真志，梁順普，高田康平(2021)：マウンド透過波による吸い出しの機序・影響範囲及びフィルター材を用いた抑止法の研究,，土木学会論文集 B2，Vol. 77，No.2，pp.781-786.

・伊藤輝，宮本順司，佐々真志，角田紘子(2021)：波による地盤の液状化と水中礫マウンドの沈込みに関するドラム遠心実験，土木学会論文集 B3，Vol. 77，No.2，pp.511-516.

・坪川良太，六浦和明，飯田泰成，牛渡裕二，松田達也，越智聖志，宮武誠，佐々真志(2021)：海岸道路における高波による道路法面の被災再現実験，土木学会論文集 B3，Vol. 77，No.2，pp.241-246.

・松田達也，内藤直人，伊藤志龍，坪川良太，佐々真志，宮武誠，越智聖志，牛渡裕二，飯田泰成(2021)：海浜堆砂厚および後浜地下水位の影響を考慮した高波による護岸背後土砂の流出現象に関する解析的検討，土木学会論文集 B2，Vol. 77，No.2，pp.787-792.

・辻廣咲希，越智聖志，宮武誠，佐々真志，松田達也，坪川良太，牛渡裕二，飯田泰成(2021)：高波による護岸擁壁背後法面における被災形態の特徴化:，土木学会論文集 B2，Vol. 77，No.2，pp.547-552.

・高橋英紀（2021）：深層混合処理工法で補強した海岸堤防の越流実験，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 77，No. 2，pp. I_859-I_864.

・栗原大，高橋英紀（2021）：腹付工を有する混成堤の津波越流による破壊過程に関する遠心模型実験，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 77，No. 2，pp. I_955-I_960.

□発表論文（英文）：10編

・Fernandez, C., Nozu, A., Crempien, J. and de la Llera, C. (2021): Simulation of pulse-like ground motions during the 2015 Mw8.3 Illapel earthquake with a new source model using corrected empirical Green's functions, Seismological Research Letters, https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/srl/article-abstract/93/1/76/607806/Simulation-of-Pulse-Like-Ground-Motions-during-the

・Murata, K., Sassa, S., Takagawa, T., Ebisuzaki, S. and Maruyama, S. (2021): Pre- and post-tsunami depth changes of submarine topography for the analysis of submarine landslide-induced tsunami -proposal of digitization method and application to the case of the 1923 Great Kanto Earthquake Tsunamis -, Proc. 40th Int. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Eng.

・Sassa, S., Grilli, S.T., Tappin, D.R., Sassa, K., Karnawati, D., Gusiakov, V.K. and Løvholt, F. (2021): Understanding and reducing the disaster risk of landslide-induced tsunamis: a short summary of the panel discussion in the World Tsunami Awareness Day Special Event of the Fifth World Landslide Forum, Landslides (in press).

・Kudai, K., Sassa, S., Yang, S. and Takada, K. (2021): Influence of soil and hydraulic conditions on the processes of internal erosion, cavity formation and collapse behind coastal structures, Coastal Engineering, 170, 104013. doi:10.1016/j.coastaleng.2021.104013.

・Sassa, S. (2021): Mechanics and countermeasures of scour and internal erosion: wave/tsunami-seabed-structure interaction from geotechnical and hydrodynamic perspectives, Proceedings of 10th International Conference on Scour and Erosion (ICSE-10).

・Sassa, S. and Ishizaka, O. (2021): Net buffer method for suppressing internal erosion and collapse behind seawalls and quaywalls through caisson joint wave reduction, Coastal Engineering, 172, 104061. doi:10.1016/j.coastaleng.2021.104061.

・Takahashi, H., Morikawa, Y., and Uemura, T. (2021): Trial tests to promote degradation of cement treated soil by percolation technique, Deep Mixing 2021, pp. 1041-1049.

・Kurihara, O. and Takahashi, H. (2021): Centrifuge model tests to investigate shear deformation of grid-type deep-mixing improvement, Deep Mixing 2021, pp. 762-770.
・Kitazume, M., Takahashi, H., Lindh, P., Holmén, M., Rogbeck, Y., Correia, A.A.S., Oliveira, P.J.V., Ortega, J.A.V., and Marzano, I.P. (2021) International collaborative study on the effect of cement and soil types on stabilized soil strength, Deep Mixing 2021, pp. 950-957.
・Takahashi, H., Omori, S., Asada, H., Fukawa, H., Gotoh, Y., and Morikawa, Y. (2021): Mechanical properties of cement-treated soil mixed with cellulose nanofibre, Applied Sciences, Vol. 11, No. 14, 20p.

口特許（出願、登録）：3件
・出願　圧送方法および圧送システム
・出願　二酸化炭素の土中貯留方法
・登録　ケーソン堤体構造物の防砂構造および防砂方法

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津波被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、三次元性を考慮するための実験式を二次元モデルに実装する。 －浸水被害推計技術の研究では、沿岸の観測情報を活用する手法を開発する。 －大規模数値波動水槽の研究では、造波境界モデルを開発する。 －マングローブに働く津波波力の研究では、前年度の予備実験で得たデータの解析を行う。 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。

研究目標

最大級の津波に対しても、強靭な（レジリアントな）沿岸域の構築を目標とする。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ことを目標とする。

令和３年度の研究内容

（1）三次元漂流物シミュレーションモデルの開発と平面二次元モデルへの適用手法の検討

令和 2 年度に開発した三次元漂流物モデルの相互作用モデルを改良した。

また、実験データの解析を行い、三次元漂流物モデルによる計算結果と比較した。

さらに、開発した三次元漂流物モデルを活用して、漂流物の三次元性を簡便に平面二次元漂流物モデル（STOC-DM)に導入するための手法について基礎的な検討を行った。

（2）広域地殻変動を伴う巨大津波災害に対応した早期浸水被害推計技術の開発

断層推定に基づく地殻変動推定を早期の被害推計に活用可能なレベルにまで効率化する新しい計算手法（アジョイント波形合成法）の開発に取り組み、津波波形の予測精度を調べた。

また、WEB サーバにて、浸水高分布等の推定結果を表示する方法について検討した。

（3）外郭施設群を対象とする大規模数値波動水槽の開発

新たな圧力モデルと水表面境界条件モデルの開発に取り組んだ。

また、新しい造波境界モデルのソフトウェアへの実装に取り組んだ。

さらにプリプロセッサへの三次元の複雑地形データを読み込み・再現するための機能の実装と、大量に計算を回すための自動連続計算機能のソフトウェアへの実装に取り組んだ。

（4）マングローブに働く津波波力とその変形に関する研究

過年度までに大規模波動地盤総合実施した水理模型実験の解析、およびマングローブの根と生息する地盤に関する現地調査と文献調査を行った。

令和３年度の研究成果

（1）三次元漂流物シミュレーションモデルの開発と平面二次元モデルへの適用手法の検討

モデルの改良により三次元漂流物モデルが安定化した。さらに段積みコンテナの倒壊計算等従来の漂流物モデルでは考慮できない計算が可能になった（図 1.3.13）。

今後は新たな実施項目で、より複雑な条件（例えばコンテナの固縛条件等）での数値実験を行えるようモデル開発を継続すると共に、波源や漂流物の不確実性を考慮した漂流物シミュレーション手法の構築及び適用を行う。

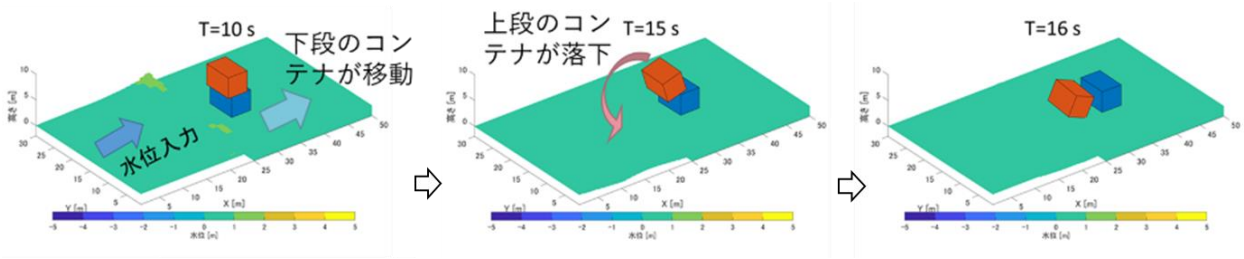


図 1.3.13　段積みコンテナの倒壊計算

（2）日本沿岸域を対象とした波浪推算手法の課題整理と高度化

断層推定に基づく地殻変動推定を早期の被害推計に活用可能なレベルにまで効率化する新しい計算手法（アジョイント波形合成法）を開発し、津波波形の予測精度向上を確認した（図 1.3.14）。

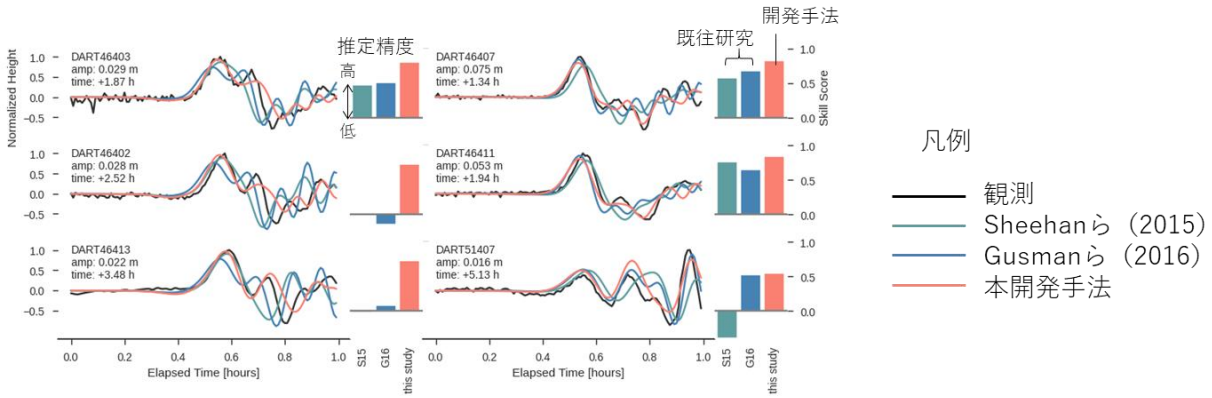


図 1.3.14　2012 年 Haida Gwaii 地震津波の観測波形（DART）と各種法による予測波形とその推定精度

（3）外郭施設群を対象とする大規模数値波動水槽の開発

新たな圧力モデルと水表面境界条件モデルの開発により衝撃圧再現時の数値ノイズが改善した（図 1.3.15、図 1.3.16）。

また、開発中のソフトウェアに令和 2 年度に開発した造波境界モデルと複雑地形に対応したユーザーインターフェースを実装した。

さらに、大量に計算を回すための自動連続計算機能をソフトウェアに実装した。

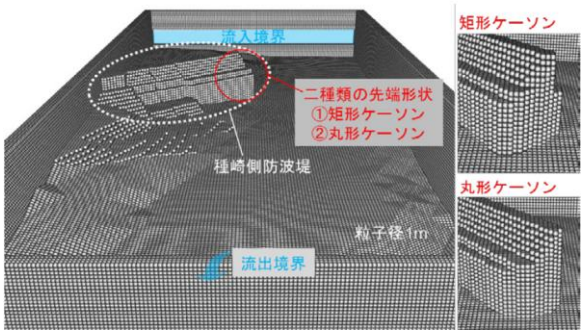


図 1.3.15　複雑地形に対応した UI の開発

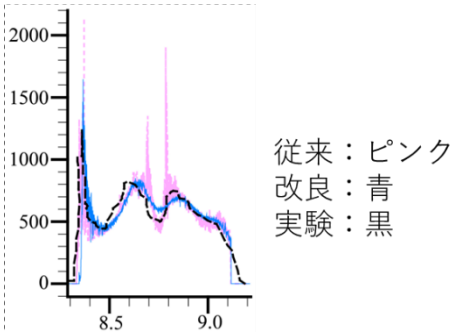


図 1.3.16　数値ノイズの改善（壁面波圧の時系列）

（4）マングローブに働く津波波力とその変形に関する研究

マングローブが生息する場所でのおおよその地盤特性を明らかにした。

また、グリーン・グレイインフラのライフサイクルコストについて論文発表を行った。

令和 4 年度にはその結果をもとに、移動床の水理模型実験を実施し、マングローブの津波や波に対する安定性を調べる予定である。

成　果　の　公　表

□発表論文（英文）：4編

・Fukui, N., Chida, Y., Zhang, Z., Yasuda, T., Ho, T. C., Kennedy, A., & Mori, N. (2021): Variations in Building-Resolving Simulations of Tsunami Inundation in a Coastal Urban Area, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 148(1), 04021044.

・Shigihara, Y., K. Imai, H. Iwase, K. Kawasaki, M. Nemoto, T. Baba, N.Y. Chikasada, Y. Chida & T. Arikawa (2021) : Variation analysis of multiple tsunami inundation models, Coastal Engineering Journal, DOI: 10.1080/21664250.2021.1991730.

・Tsuruta, N., Khayyer A. and Gotoh, H. (2021): Development of an improved free-surface boundary model for ISPH simulation, Proceedings of the 15th SPHERIC International Workshop, Online.

・Mitsui, J., Kawasaki, K., Kubota, H. and Suzuki, K. (2021): Blind-Test Numerical Simulation of Tsunami Wave Pressure Acting on a Land Structure, Journal of Disaster Research, Vol.16, No.7, DOI. 10.20965, pp.1005-1014.

□発表論文（和文）：5編

・千田優，福井信気，森信人，安田誠宏(2021)：実地形を対象とした流体場の時空間計算精度と漂流物の計算条件の違いが漂流物の計算精度に与える影響に関する検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.77，No. 2，pp.I_331-I_336.

・福井信気，千田優，森信人，安田誠宏(2021)：都市地形を対象とした津波浸水時の陸域の流速場の比較検討，土木学会論文集 B2（海岸工学）特集号，Vol.77，No.2，pp.I_211-I_216.

・鶴田修己，鈴木高二朗，柳澤英明，森信人(2021)：海岸保全施設としてのグリーンインフラのライフサイクルコストの検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 77，No.2，pp.I_181-I_186.

・鈴木高二朗，鶴田修己，中村康大，朝比翔太，久保田博貴(2021)：津波由来の渦による人体の巻き込みと回転による遠心力について，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 77，No.2.，pp.I_133-I_138.

・鈴木高二朗，池田直太，鶴田修己，朝比翔太，久保田博貴，伊藤春樹(2021)：浦戸湾湾口における津波防波堤堤頭部の津波による洗掘について，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 77，No.2.，pp.I_139-I_144.

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。 －港内波浪による浸水シミュレーションの研究では、平面模型実験によって岸壁の浸水過程を調べる。 －波浪推算手法の研究では、モデルの問題点を踏まえた改良を行う。 －護岸の越波と波力に関する研究では、近年に提案された形式の護岸について模型実験を行う。 －フィルター材の耐波安定性の研究では、フィルター材の施工時の安定性について模型実験を行う。 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・高波に対する被害を最小限にするため、設計を上回る外力に対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３年度の研究内容

（1）海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明

全国港湾海洋波浪情報網ナウファスで取得した波浪観測データを処理・解析し、2020 年の 1 年間の各港における各種の波浪統計量をまとめた。また、2020 年に高波を発生した気象擾乱を抽出するとともに、2020 年の年平均有義波を直近 10 年の平均値と比較した。

（2）日本沿岸域を対象とした波浪推算手法の課題整理と高度化

台風 1915 号による横浜港の災害を踏まえ、スペクトルモデル（WW3）による波浪の再現計算や条件を変えた比較計算を行うとともに、物理モデル（SWASH）によって鉛直壁の波圧特性を検討した。

（3）岸壁の越波・排水を考慮した埠頭の浸水シミュレーション手法の開発

過年度に実施した高潮・高波時の越波浸水計算の妥当性を検証するため、また、痕跡調査では捉えられなかった岸壁背後の浸水深及び流速の時空間分布も明らかにするため、コンテナ岸壁を対象とした越波浸水の平面実験とその再現計算を行い、岸壁の法線に沿った流入・流出流量や面的な浸水過程を把握した。

（4）高潮・波浪結合モデルを用いた最大級の高潮ハザードに関する研究

台風 1915 号の時に夏季成層をなす東京湾で発生した高潮を海洋モデル ROMS によって推算し、密度場の鉛直分布や時間変化が潮位偏差に与える影響を検討した。また、傾度風の関係に基づく気象場の新たな補正方法も開発した。

（5）複合型越波対策工法の越波と波力に関する研究

直立型、越波透水型、ダブルパラペット型、フレア型の護岸の越波量を断面実験によって測定し、直立型に対するその他の形式の換算天端高係数を求めた。また、その実験データを数値計算モデルを検証するために整理した。

（6）吸出し防止用のフィルター材の耐波安定性に関する研究

護岸や岸壁の裏込石と埋立砂の間に捨石フィルターを設置して埋立砂の吸出しを防ぐ工法がある。しかし、捨石フィルターはその粒径が小さく、施工時に小さな波でも散乱する可能性がある。そこで、実スケールで製作した裏込石と捨石フィルターに波を入射させ、捨石フィルターの安定性を調べた。

令和３年度の研究成果

（1）海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明

2020 年の観測データに統計解析を行って年報にとりまとめた（2022 年 6 月刊行予定）。そこには、能代の沿岸波浪計と宮崎日向沖の GPS 波浪計の 2 か所のみで既往最大有義波高を更新したことも記した。また、図 1.3.17 に示すように、2020 年の年平均有義波高は直近 10 年の平均値に比べて、四国太平洋岸では小さかった。次年度以降も統計解析を継続する。

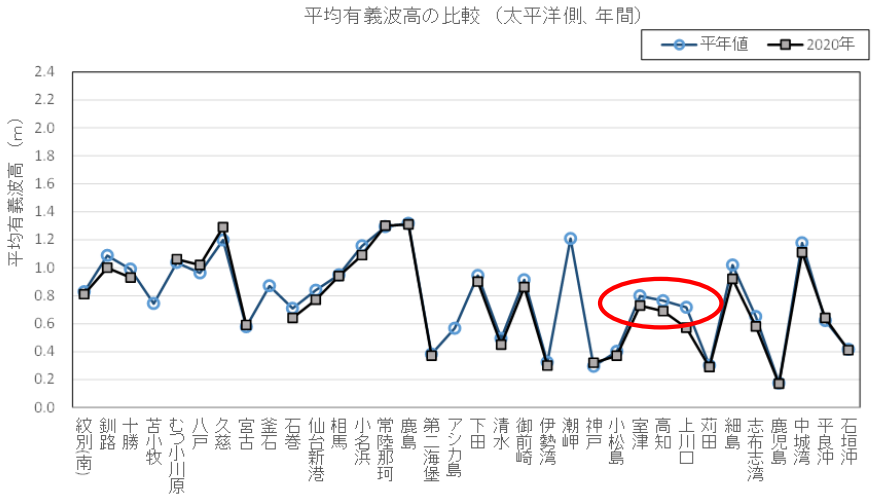


図 1.3.17　2020 年と直近 10 年の平均有義波高の比較

（2）日本沿岸域を対象とした波浪推算手法の課題整理と高度化

東京湾で波高と波長から求められる波の強度指標の分布を調べ、図 1.3.18 に示すように、横浜港の周辺が特異な波浪の来襲する海域であることを示した。また、図 1.3.19 に示すように、砕波帯相似パラメータ Iribarren Number が波浪の直立壁の最大遡上高（波圧強度）を代表する指標である。これらのことから、横浜港の被害は「うねり性波浪」に起因する可能性が高いことを示した。更に、従来の手法では再現できなかった富山湾に

襲来する寄り回り波について、位相の分解に着目した物理モデルにより、精度よく再現することに初めて成功した。

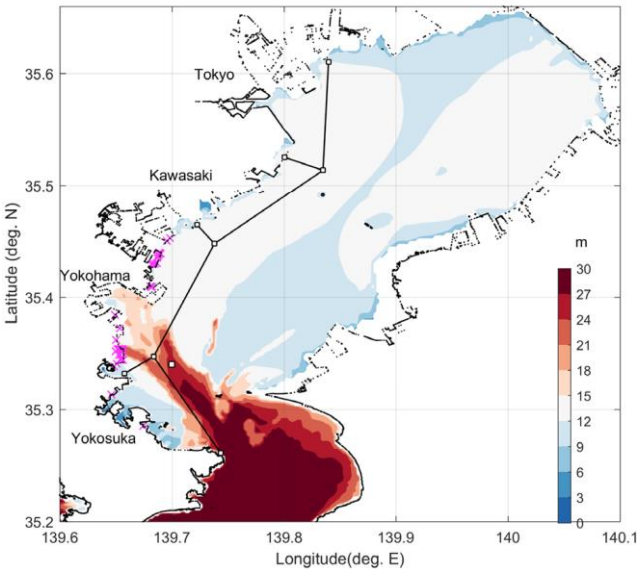


図 1.3.18　台風 1915 号の襲来時に湾外からのうねりが横浜港周辺に集中したことを示す波の強度指標※分布
※波高と波長の積の平方根で算定した物理量

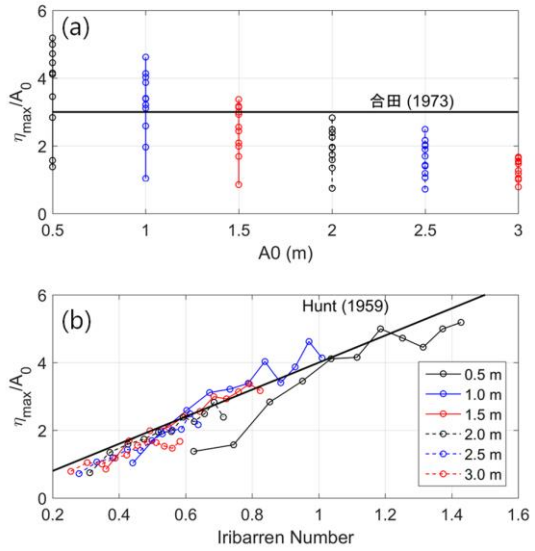


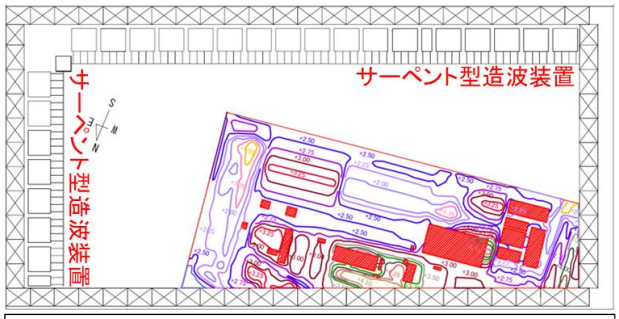
図 1.3.19　砕波帯相似パラメータと遡上高の関係

（3）岸壁の越波・排水を考慮した埠頭の浸水シミュレーション手法の開発

図 1.3.20 に示すレイアウトで越波による浸水の実験を行い、その再現計算も行って計測データを補完することで、岸壁上の越波・排水流量と背後の浸水状況との関係を初めて明らかにした。次年度は、数値計算モデルを用いて、作用波の低減、天端高の嵩上げ、排水施設の整備等による対策の効果を検討する予定である。

（4）高潮・波浪結合モデルを用いた最大級の高潮ハザードに関する研究

気象場の補正と密度場の時間変化を考慮することで、図 1.3.21 に示すように、台風通過後に現れた潮位偏差ピークの再現性を向上できた。また、密度場の鉛直勾配に応じて潮位偏差が増加し、副振動に対する影響も顕著になることも分かった。次年度は、新規の実施項目において海水密度等が高潮の確率評価に与える影響を検討する予定である。



防波堤開口部から入射する回折波は，方向スペクトルの沿岸分布を考慮してサーペント型造波装置（H26d改良）により直接造波した

図 1.3.20　岸壁の越波による浸水の平面実験

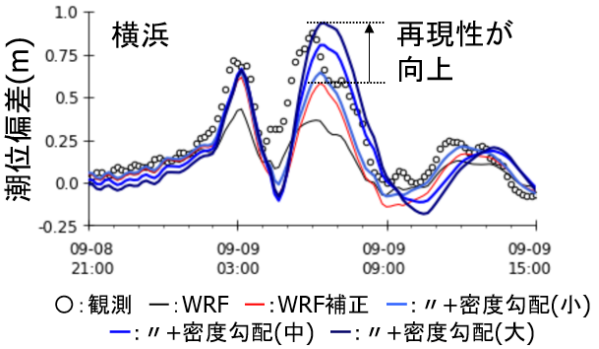


図 1.3.21　様々な条件で計算した潮位偏差の比較

（5）複合型越波対策工法の越波と波力に関する研究

図 1.3.22 に示すような実験によって様々な形式の護岸の越波特性を調べ、越波した水塊を護岸背後の捨石透水層を通じて海に戻す構造で越波量を大きく低減できることを明らかにした。また、緩傾斜護岸では、捨石の粒径によってマウンド内部の水位が上昇することがあり、CADMAS-SURF による計算ではその粒径の適切な設定が必要であることも分かった。

図 1.3.22　ダブルパラペット＋消波ブロックの越波実験

（6）吸出し防止用のフィルター材の耐波安定性に関する研究

図 1.3.23 に示す実験を通じて、高さ数十 cm の波でも捨石フィルターが散乱し、その安定性はハドソン式で説明できることを明らかにした。次年度は、捨石フィルターに衝撃波圧が作用した場合の埋立砂の吸出し防止効果を調べる予定である。

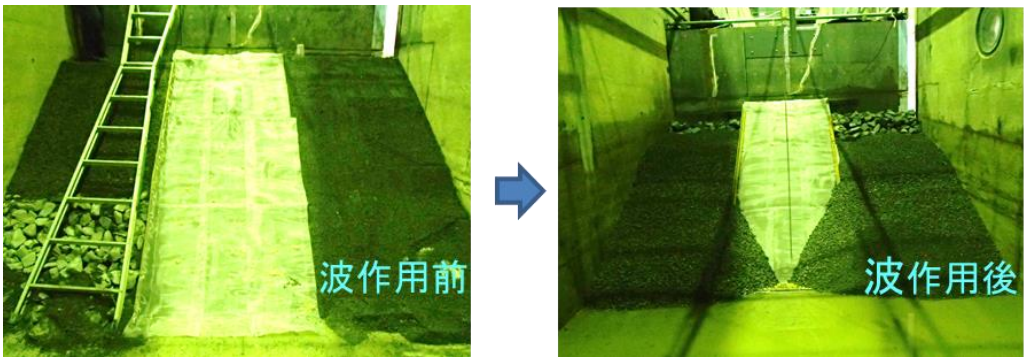


図 1.3.23　波による捨石フィルターの散乱状況

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

・田村　仁・川口浩二・岩本匠夢・　藤木　峻（2021）：2019 年台風 15 号による横浜港に襲来したうねり性の波浪，港湾空港技術研究所，60-1-2.

・田村　仁・川口浩二・　藤木　峻（2021）：富山湾・寄り回り波の力学機構，　港湾空港技術研究所報告，60-1-3.

□発表論文（和文）：10編

・田中陽二・樋口直人・川口浩二・平山克也・田所篤博・山部道・伊藤裕裁・佐々木誠(2021)：東北地方を事例とした波浪推算による確率沖波算定手法の高度化および高波浪の経年変化の検討，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.77 No. 2, pp.I_739-I_744.

・藤木　峻・森　信人・川口浩二(2021)：日本沿岸のうねりの方向スペクトルの標準形に関する検討，土木学会論文集　B2(海岸工学)，Vol.77，No.2，pp.I_49-I_54.

・吉野日和吏・橋本典明・井手喜彦・川口浩二・三井正雄(2021)：バイスペクトルとニューラルネットワークを用いた表面波から水面波への換算法の開発，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.77，No.2，pp.I_55-I_60.

・田村　仁・川口浩二・加島寛章(2021)：2019 年台風 15 号による横浜港での波浪外力，土木学会論文集 B2（海岸工学)，Vol. 77，No.2，pp. I_271-I_276.（海岸工学論文賞受賞）

・平山克也・川口浩二・田中陽二・樋口直人・田所篤博・金子大介・伊藤裕裁・佐々木　誠（2021）：浅海域で設定する新しい沖波（準沖波）の提案，土木学会論文集 B3（海洋開発）特集号，Vol.77，No.2，pp.I_727-I_732.

・平山克也・藤木　峻（2021）：方向スペクトルの多峰性を考慮した護岸越波浸水計算の精度向上に関する一考察，土木学会論文集 B2（海岸工学）特集号，Vol.77，No.2，pp.I_37-I_42.

・濱野有貴・平山克也（2021）：時間変化する波浪・潮位に対するブシネスクモデルによる埠頭越波浸水計算，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.77，No.2，pp.I_25-I_30.

・平山克也・山田宗拓・濱野有貴（2021）：透過型防波堤周辺の波・流れ特性に関する実験的検討，土木学会論文集 B2（海岸工学）特集号，Vol.77，No.2，pp.I_697-I_702.

・山田貴裕・大竹剛史・大崎佑也・堀池昌夫・三崎隆央・竹田裕亮・桐山友香理・富田孝史・平山克也(2021):清水港における高潮高波の減災対策について, 土木学会論文集 B2(海岸工学)特集号, Vol.77, No.2, pp.I_103-I_108.
・岩本匠夢・髙川智博・藤木 峻(2021):台風の移動速度が外洋に面した港湾での最大潮位偏差に与える影響について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.77, No.2, I_115-I_120.

□発表論文(英文):1編
・Hirayama, K. (2021): A Simple Estimation of Wave Overtopping Rate on Revetment Taking the Varieties of Height and Setback Distance of Parapet into Account, ISOPE-2021, pp.2278-2283.

□その他:1編
・中村康大・鈴木高二朗・鶴田修己(2021):小型模型でのケーソン目地部衝撃波圧による土砂吸出しの再現実験, 土木学会年次講演会.

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 －デジタル化によるコンテナターミナルの国際競争力の確保のため、ICT 等の導入や港湾関連データ連携基盤の活用による生産性の向上を数値シミュレーションにより評価する手法の拡張、ターミナル計画の国際的手法の導入（PIANC WG208 レポー ト）、デジタルツイン化に向けたシンガポール大学と連携した取り組みを進める。　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および構成し、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３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、GC、RTG、ゲートレーン数を設定、計画取扱量を上回る 150 万 TEU/年として、AutoMod によりシミュレーションし平行配置と垂直配置の比較をした。

主な内容

ⅰ） 平行配置(横型)と垂直配置(縦型)の蔵置パターンの能力の比較（図 1.3.24）

ⅱ） CONPAS の予約システム・事前クラークシステムの評価および位置データの活用の評価（図 1.3.25）

ⅲ） コンテナダメージチェックシステムのモデルと配置の見直し(ダメージチェックレーンの別置き)

ⅳ） AutoMod によるシミュレーション

ⅴ） 考察

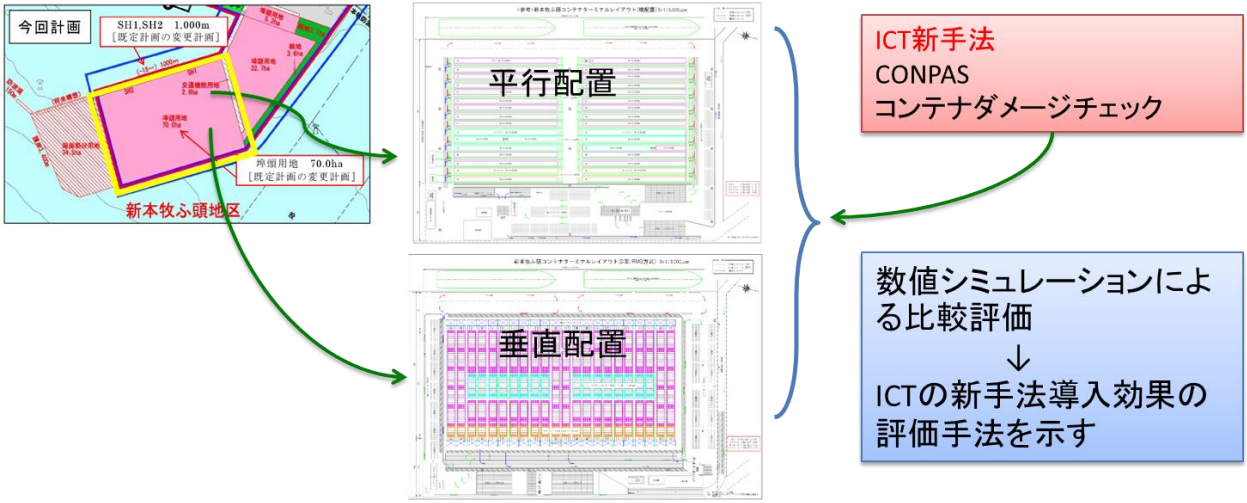
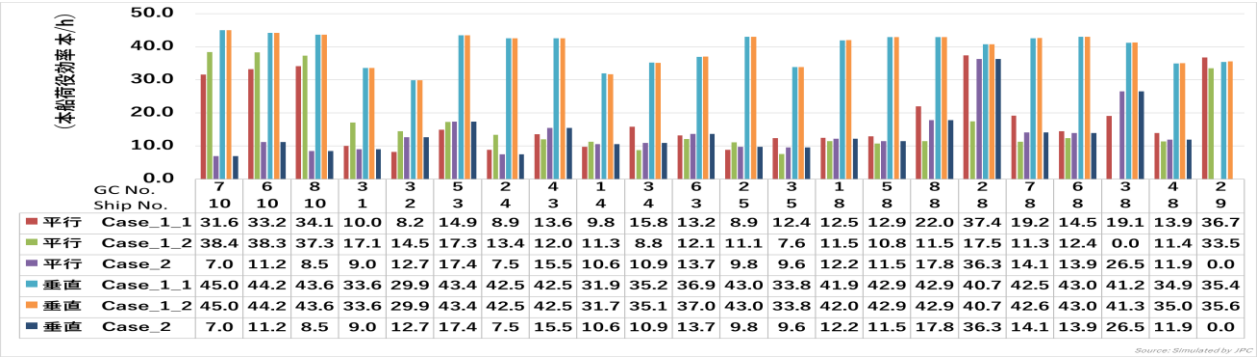


図 1.3.24　平行配置(横型)と垂直配置(縦型)の蔵置パターンの能力の比較



		GC No.	7	6	8	3	3	5	2	4	1	3	6	2	3	1	5	8	2	7	6	3	4	2
		Ship No.	10	10	10	1	2	3	4	3	4	4	3	5	5	8	8	8	8	8	8	8	8	9
平行	Case_1_1		31.6	33.2	34.1	10.0	8.2	14.9	8.9	13.6	9.8	15.8	13.2	8.9	12.4	12.5	12.9	22.0	37.4	19.2	14.5	19.1	13.9	36.7
平行	Case_1_2		38.4	38.3	37.3	17.1	14.5	17.3	13.4	12.0	11.3	8.8	12.1	11.1	7.6	11.5	10.8	11.5	17.5	11.3	12.4	0.0	11.4	33.5
平行	Case_2		7.0	11.2	8.5	9.0	12.7	17.4	7.5	15.5	10.6	10.9	13.7	9.8	9.6	12.2	11.5	17.8	36.3	14.1	13.9	26.5	11.9	0.0
垂直	Case_1_1		45.0	44.2	43.6	33.6	29.9	43.4	42.5	42.5	31.9	35.2	36.9	43.0	33.8	41.9	42.9	42.9	40.7	42.5	43.0	41.2	34.9	35.4
垂直	Case_1_2		45.0	44.2	43.6	33.6	29.9	43.4	42.5	42.5	31.7	35.1	37.0	43.0	33.8	42.0	42.9	42.9	40.7	42.6	43.0	41.3	35.0	35.6
垂直	Case_2		7.0	11.2	8.5	9.0	12.7	17.4	7.5	15.5	10.6	10.9	13.7	9.8	9.6	12.2	11.5	17.8	36.3	14.1	13.9	26.5	11.9	0.0

図 1.3.25　本船荷役（GC）の効率

平行配置(横型)はヤード内荷役に工夫がないと本船荷役に大きく影響するが、垂直配置(縦型)は十分な能力を示した。

また、予約率が 100%と 50%（Case_1_1 と Case_1_2）では大きな差はないが、Case_2 のように位置データを利用して先に蔵置場のクレーンを準備させる場合はより工夫が必要である。

なお、コンテナダメージチェックシステムはゲートの 1 レーン幅に収まらないので、別の位置にアクセス路の車線数を考慮して最小限の設置とした。

和３年度の研究成果

（2）定量的シミュレーションによる新型コンテナターミナル計画技術の提案

PIANCのWG208 “Planning for Automation of Container Terminals”がまとまり、令和3年に出版されたことを受け、これの邦訳について外部団体のプロジェクトに参加し、邦訳版を完成した（図1.3.26）。

また、日ASEAN　WSでの基調講演など、コンテナターミナルのデジタルツインやエミュレーションとシミュレーションについて情報発信を行った。

（3）コンテナターミナルの運用支援技術の提案

内閣府官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)を活用して、画像処理とレーザー計測の双方のデータで判定するシステムを実用化することを目標とし、令和2年度までに基本システムが完了したため、令和3年度は国土交通省の現地実証試験を支援した（図1.3.27）。

図1.3.26 Planning for Automation of Container Terminals

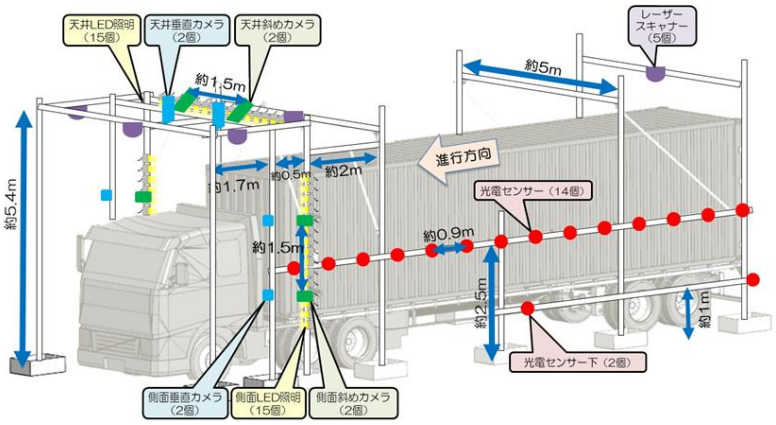


図1.3.27　コンテナダメージチェックシステムのイメージ(横浜港設置プロトタイプ)

成　果　の　公　表

口特許（出願、登録）：1件

・登録　情報通信技術を活用したコンテナ荷役方法およびコンテナ荷役システム

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	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 －港湾構造物の点検診断技術に関して、点検装置等の検討を行う。 －暴露試験によりコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性等の検討や評価を行う。　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３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

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、海洋環境下におけるスラグ等のサステナブルマテリアルの適用性評価、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、港湾構造物におけるコンクリート工の生産性向上、空港コンクリート舗装鉄網の効果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とその情報を利用したシミュレーションや構造解析を可能とするための技術の開発等を行った。

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一つとして昨年度実装した定点保持技術の改良を行い実港湾において効果を確認した。

令和３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

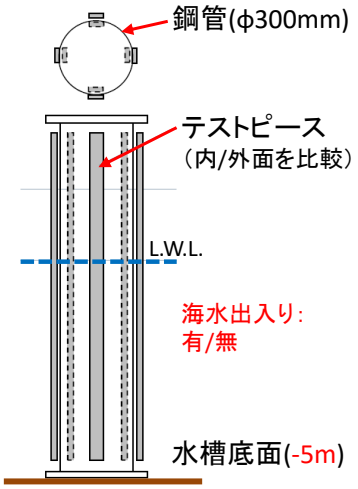
①暴露試験によるコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性評価

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 1.3.28），LWL 付近の電気防食特性等について検討した。

また、各種木質材料の耐久性（図 1.3.29）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。



モノパイル内面を模した暴露試験を R3d に開始（※東京湾内での暴露試験，背面土中部を模した暴露試験も継続実施中）

図 1.3.28　集中腐食メカニズム検証のための暴露試験

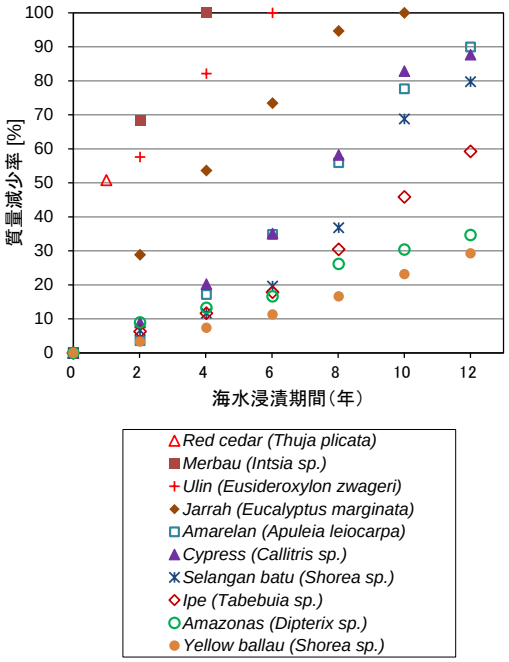


図 1.3.29　ウッドデッキ材として使用されている輸入材 10 樹種の海中浸漬試験結果

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

鋼構造物の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（2021d で 37 年経過）を継続実施した。

また、促進劣化試験・所内暴露試験の結果と、波崎海洋研究施設での暴露試験結果を基に、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 1.3.30）。

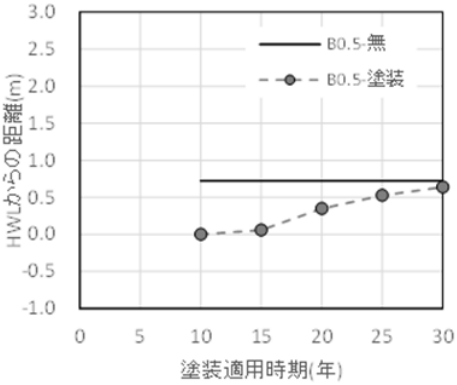
港湾コンクリート構造物への被覆防食（表面被覆工法）の適用性について、R2d の調査結果（表面被覆材が適用され 18 年が経過した桟橋上部工）を基にとりまとめを行った（図 1.3.31）。

波崎観測桟橋

暴露試験（干満帯）

・目視観察時の重点点検箇所，詳細点検時の劣化指標（絶縁抵抗等）を提案

図 1.3.30　ペトロラタム被覆工法の暴露試験（波崎海洋研究施設，港空研暴露施設）



・適用時期が遅いと効果が発揮されにくい

図 1.3.31　表面被覆の効果が表れる条件の試算結果

③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。

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（図 1.3.32）、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（図 1.3.33）。

ケーソン（RC）を模擬

図 1.3.32　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暴露試験（R4.1 に暴露 1 年の調査）
*実機ﾌﾟﾗﾝﾄで製造しﾎﾟﾝﾌﾟ圧送で打設

再生微粉
（島しょ部で製造）

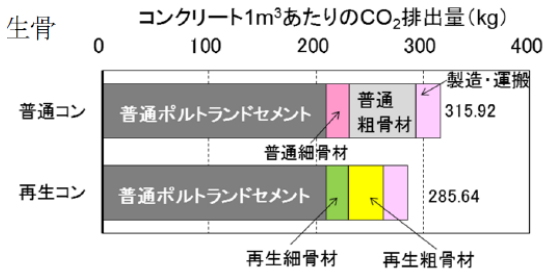


図 1.3.33　島しょ部で副産された再生微粉を用いたコンクリートにおける CO2 排出量

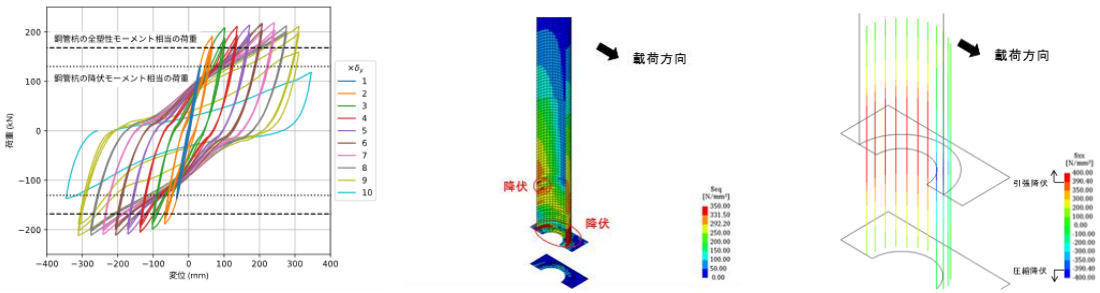
④港湾構造物におけるコンクリート工の生産性向上に関する検討

桟橋の杭頭接合部のプレキャスト化に向けて、1/2 縮尺の鋼管杭－RC 梁接合試験体の載荷実験および数値解析を実施した。

杭頭接合方法は、道路橋杭基礎－フーチング接合方法として一般的に用いられている杭頭接合方法（B 法）を採用した。

実験の結果、過年度実施した A 法による接合方法と比較して、変位の増加に対する耐荷性の保持に優れる構造であることが確認された（図 1.3.34）。

ただし、圧縮側は鋼管杭が、引張側は中詰補強鉄筋が主に負担する耐荷機構であることから、杭頭接合部および中詰コンクリートが損傷し中詰補強鉄筋との付着が低下することで、杭頭固定度が A 法よりも低下しやすいことが分かった。



荷重−変位関係（実験）　　鋼管杭の応力分布（数値解析）　　中詰補強鉄筋の応力分布（数値解析）

図 1.3.34　接合部模擬試験体の載荷実験および数値解析

⑤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行った。

過年度構築した試験舗装に対して、ダンプによる載荷走行を行い、ひび割れ発生状況の相違や発生応力等の違いについて比較検討を行ったが、この試験結果の範囲では、有意な差はなかった（図 1.3.35）。

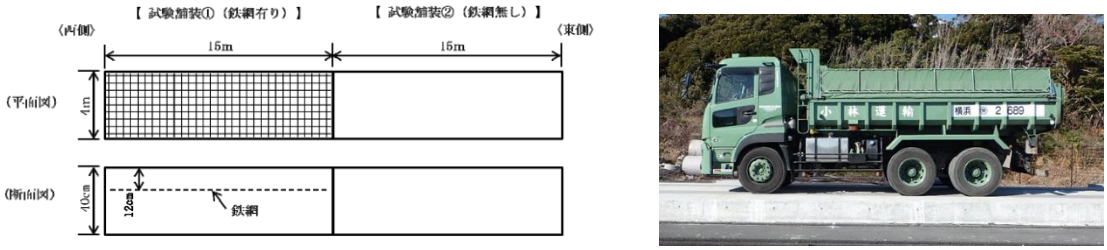


図 1.3.35　試験舗装の概要と載荷状況

（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

目視による点検が困難な部位があり、コンクリートの劣化進行過程やそれに対する対策の効果を評価・予測するためには、センサ等を活用したモニタリングが不可欠となる。

一方、センサによるモニタリングは局所的な情報であり、モニタリングで得た情報から部材または構造物全体の性能評価や劣化進行の予測ができることが望ましい。

本検討では、数値解析とモニタリングの併用により部材全体の性能を評価・予測する技術の開発を行った。具体的には、アルカリシリカ反応（ASR）による膨張劣化に着目し、有限要素解析での ASR による膨張劣化シミュレーションを可能にするとともに、劣化状態を反映して部材の構造解析まで可能な解析プラットフォームを構築した（図 1.3.36）。また，実構造物での現地モニタリングを開始した（図 1.3.37）。

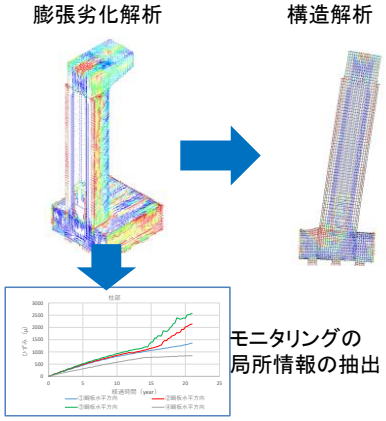


図 1.3.36　解析プラットフォームの構築

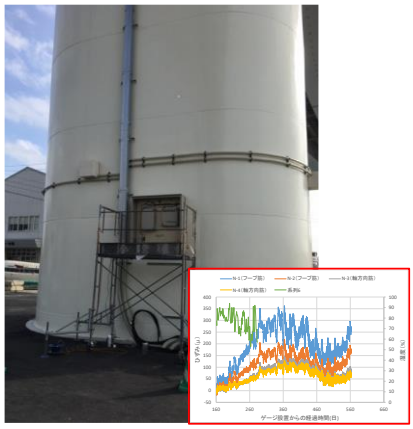


図 1.3.37　構造物での現地モニタリングの実装

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、外乱への対応技術を統合するとともに、昨年度実装した定点保持機能（推力調整、当て舵等）の当て舵機能の改良を実施した。

ここでは桟橋上部工点検用 ROV を用いて、3港（うち1港は夜間）にて桟橋の上部工下面調査を実施し、目視の利かない桟橋下において改良を加えた当該定点保持機能を活用してその効果を確認した（図 1.3.38、図 1.3.39）。

また、斜杭やジャケット式等様々な形式の桟橋を調査対象とすることで、開発技術の現場への適用性を確認した。

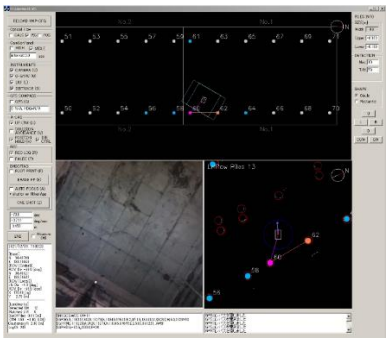


図 1.3.38 桟橋下での定点保持機能の活用状況

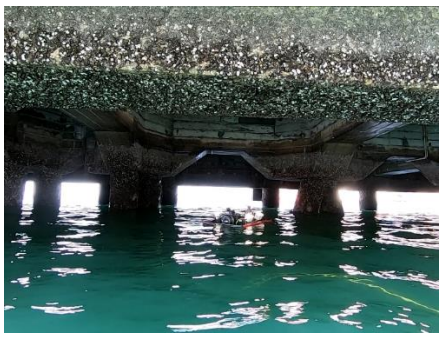


図 1.3.39 改良した定点保持機能を実装した点検用 ROV による桟橋下面調査の実施

成　果　の　公　表

□湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：4編

・山路　徹・原将之・能登谷健一・山廼邉伸充・高橋康弘・小林茂則・渡部昌治：海洋鋼構造物に適用された電気防食の維持管理に関する検討，港湾空港技術研究所資料，No.1392，2021.12.

・西田孝弘・山路徹・橋本永手・川瀬義行・志鶴真介・一瀬拓也，今井篤実，小林厚史，吉田　倫夫：ペトロラタム被覆防食工の耐久性に関する検討，港湾空港技術研究所資料，No.1402，2022.3.

・田中豊，川端雄一郎，加藤絵万，鈴鹿良和，河邊修作，中嶋道雄，石井豪，立神久雄，小笠原哲也：劣化したPC 桟橋上部工の構造性能に関する解析的検討，港湾空港技術研究所報告，第 60 巻第 3 号，pp.3−67，2021

・加藤絵万，田中豊，川端雄一郎，小笠原哲也，渡瀬博，石井豪，河邊修作，宮沢明良，中山良直，中嶋道雄，立神久雄，米倉宣行，雨宮美子，鈴鹿良和，藤村立行：実務者のための PC 桟橋上部工の維持管理の手引き（案），港湾空港技術研究所資料 No.1400，2022.3

□発表論文（和文）：25編

・山路徹，山本真史：桟橋上部工コンクリートに長期間適用された有機系被覆の遮塩性，材料と環境講演集 Vol.2021 Page.161−164，2021.04.

・松永正弘，山田昌郎，石川敦子，小林正彦，神林徹：6 ヶ月間の海洋環境暴露による化学改質木材の強度変化，日本木材保存協会第 37 回年次大会研究発表論文集，pp.12−13，2021 年 5 月

・瀧波勇人，山路徹，与那嶺一秀，石田征男：海中部に44年間暴露されたコンクリートの諸特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，2021.6.

・田中基，橋本永手,金子泰明，加藤佳孝：コンクリート中鉄筋との導通を要しない腐食状態推定手法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，2021.6.

・橋本永手,田中基,金子泰明,加藤佳孝：コンクリート中鉄筋との導通を要しないインピーダンススペクトルの把握手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，2021.6.

・西田孝弘，山路徹：54 年間供用された土中鋼構造物の腐食性状の調査，第 41 回防錆防食技術発表大会講演予稿集，Vol.41，pp.151−152，2021.07.

・山路徹：港湾・空港行政を支える研究開発　海洋構造物の維持管理～研究開発,維持管理制度の現状～，港湾，Vol.98 No.7 Page.38−41，2021.7.

・正木徹，谷口修，川田俊輔，山路徹，与那嶺一秀：東京都島しょ部における再生骨材コンクリート適用に向けた基礎検討　土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.76，2021.9.

・秋山哲治，勝畑敏幸，山路徹，与那嶺一秀：海上大気中での暴露15 年試験による銅スラグ細骨材を大量混入したコンクリートの長期耐久性　土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.76，2021.9.

・西田孝弘，山路徹，加藤絵万，佐々木秀郎：約 25 年供用された鋼管杭の重防食端部における腐食性状の調査、土木学会念学術講演会概要集，Vol.76，V-77，2021.09
・小林茂則・渡部昌治（横浜技調），廣瀬好明（特定離島港湾），山路徹（材料 G）：亜熱帯かつ高波浪海域での鋼材の腐食特性に関する検討，第 76 回土木学会年次講演会， 土木学会，2021.9.
・西田孝弘，河合慶有，齋藤淳，大即信明：鋼材腐食抑制のための酸素低減型混和材の開発，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，Vol.21，pp.41-46，2021.10.
・山路徹，今井亮：海洋環境下に20年間暴露されたコンクリートのひび割れ部におけるステンレス鉄筋の腐食性状，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21巻，2121.10.
・山路徹，原将之，高橋 康弘，小林 茂則,渡部 昌治：電気防食が適用された鋼管杭式桟橋の点検診断に関する一考察，第 68 回材料と環境討論会，2021.10
・小林雄一・網野貴彦， 山路徹・与那嶺一秀・西田孝弘，北尾進：高密度スラグ骨材を大量混合したコンクリートの各種硬化特性，セメント・コンクリート，第 897 号，2021.11.
・永尾直也，山路徹:波崎海洋観測桟橋での重防食鋼管杭の長期暴露試験(36 年経過の報告)，防錆管理 ，Vol.65 No.11 Page.405-411,2021.11.
・蓑輪圭祐，下村匠，川端雄一郎，藤井隆史，富山潤：屋外における環境作用がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する共通暴露試験と数値解析による検討，土木学会論文集 E2（材料・コンクリート構造），Vol.77，No.4，pp.134-149，2021
・松本歩，Nirmal Raj Joshi，浅本晋吾，川端雄一郎：DEF 膨張が生じたコンクリートの圧縮応力下での内部損傷進行の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，No.1，pp.227-232，2021
・宮本慎太郎，安藤陽子，川端雄一郎，関友則，吉田夏樹：骨材に含まれる硫化鉄がコンクリートの内部膨張に及ぼす影響，コンクリート工学，Vol.59，No.10，pp.894-900，2021.10
・川端雄一郎：セメントコンクリートを「科学」する―遅延エトリンガイト生成（DEF）―，セメント・コンクリート，No.892，pp.44-48，2021.6
・田中豊：桟橋上部工下面における付着塩分濃度の空間分布に関する現地調査，土木学会 令和3年度全国大会 第 76 回年次学術講演会，2021
・石塚新太，天谷公彦，加藤絵万，岩波光保：オール工場製作による組立式 Pca 桟橋の提案－PC 圧着構造の耐荷性能に関する検討－，プレストレストコンクリート，Vol.64，No.1，pp.37-44，2022
・江俊頡，加藤佳孝，加藤絵万：乾燥・吸湿過程のモルタルの内部相対湿度と飽水度に関する実験的検討，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 21 巻，pp. pp.121-124，2021
・石塚新太，池野勝哉，天谷公彦，前嘉昭，川端雄一郎，加藤絵万，岩波光保：プレストレスにより圧着した桟橋プレキャスト接合部のせん断耐力評価，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.77，No.2， p. I_385-I_390，2021
・池野勝哉，石塚新太，天谷公彦，前嘉昭，川端雄一郎，加藤絵万，岩波光保：PC 圧着した桟橋杭頭接合部の力学的挙動に関する実験および解析的検討，構造工学論文集 A，第 67 巻，pp.605-618，2021

□発表論文（英文）：8編
・Hiroto Tado, Toru Yamaji1, Atsushi Kobayashi, Yoshiyuki Kawase, Michio Yoshida and Hidenori Hamada：A Study on Evaluation Index of Cathodic Protection Effect in Port Steel Structure Based on Test Piece Survey Result，Materials Transaction, Vol.62, No.6，pp.774-780，2021.6
・Mary Grace Ventanilla, Jason Ongpeng, Takahiro Nishida, Keiyu Kawaai: Reduction of Dissolved Oxygen in Minimixzing Corrosion, fig CCS20, 2021.9.
・Yamada, M.: Marine borer resistance of various wood materials in Japan, Proceedings IRG Annual Meeting, IRG/WP 21-10983, 17p. 2021.11.
・K. Yamada, Y. Kawabata, M.R. de Rooij, B.M. Pedersen, R. Brueckner, J.H.Ideker: Recommendation of RILEM TC 258-AAA: RILEM AAR-13: Application of Alkali-Wrapping for Concrete Prism Testing to Assess the Expansion Potential of Alkali-Silica Reaction, Materials and Structures, Vol.54, Article No.201, p.11, 2021
・Y. Kawabata, H. Takahashi, S. Watanabe: The long-term suppression effects of fly ash and slag on the expansion of heat-cured mortar due to delayed ettringite formation, Construction and Building Materials, Vol.310, 125235, 2021
・Y. Kawabata, M. Yahata and S. Hirono: Petrological assessment of drying shrinkage of sedimentary rock used as aggregates for concrete, Materials & Design, Vol. 209, 109922, 2021
・Y. Kawabata, N. Ueda, T. Miura and S. Multon: The influence of restraint on the expansion of concrete due to delayed ettringite formation, Cement and Concrete Composites, Vol. 121, 104062, 2021

・K. Yamada, T. Yamamoto, Y. Kawabata, Y. Sagawa, N. Ueda, Y. Kubo and S. Ogawa: Performance based design and maintenance strategy with controlling ASR, In: Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations -Yokota & Frangopol (eds), pp. 2579-2587, 2021

□特許（出願、登録）：3件
・登録　鋼材の防食工法
・登録　ランドマークを用いた測位方法
・登録　高耐粉状化性の裏込めグラウトとその裏込めグラウト材

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	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 －コアレス地盤調査法の開発に向けて基礎的な研究を行う。 －物理探査を用いた改良地盤の品質評価方法の検討を行う。　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３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、将来的な桟橋の性能設計のコンセプト検討及び性能照査方法の課題抽出を行った。

また、物理探査を用いた改良地盤の品質評価方法の開発について、室内実験等により適用性の検討を行った。

(2)建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

コアレス地盤調査法の開発に向けてX線CTスキャナ内蔵型掘削装置の改良を行い、掘削実験を実施し機能の確認を実施した。

また、固化改良体の不良個所が改良地盤全体の強度に及ぼす影響の評価に関する検討を実施した。

(3)海面廃棄物処分場の管理と利用に関する研究

現時点で跡地利用やそれに関する課題解決に関するニーズがないため新たな研究の開始を延期したが、ニーズを見極めるために、継続的に情報収集を実施することとした。

令和３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、地盤サンプルの採取が不要な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を行った。

室内模型実験より、薬液注入中の地盤の変状をリアルタイムでモニタリングできる物理探査手法について適用性の検討を行った（図 1.3.40）。

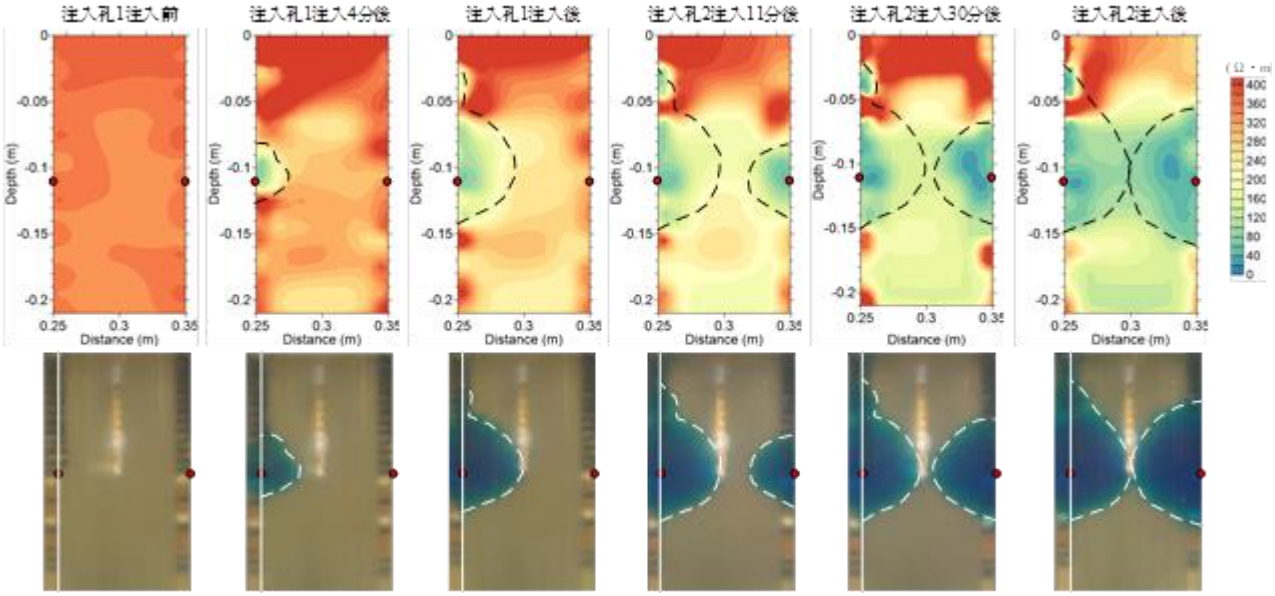


図 1.3.40 リアルタイム計測の結果（上段：物理探査，下段：実際の地盤状況）

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（図 1.3.41、図 1.3.42）。

今年度は将来的な桟橋の性能設計のコンセプト検討及び性能照査方法の課題抽出を行った。

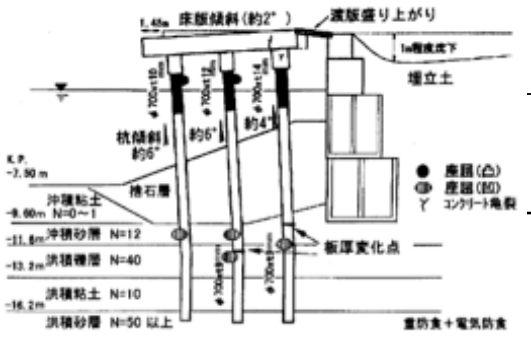


図 1.3.41 兵庫県南部地震による高浜桟橋の被災

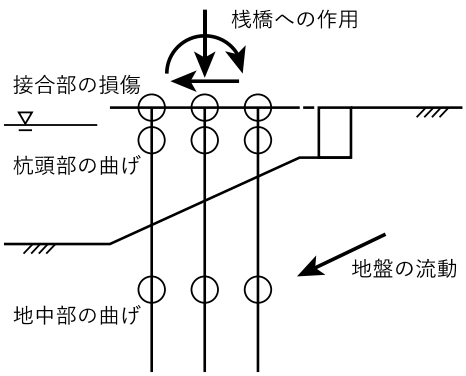


図 1.3.42 想定される桟橋の破壊モード

具体的には、非耐震施設の偶発状態に対する要求性能や耐震強化施設の性能規定の考え方、それぞれの性能照査方法に関する課題の抽出・整理を実施した。

非耐震施設の偶発状態に対する要求性能については、基本的に安全性を軸とした規定を考えていく必要があること、その照査方法に関しては施設の状況に促したものを準備していく必要があることを確認した。耐震強化施設の性能規定については、レベル2地震後に求められている性能を維持できているかどうか直接的に照査できるような体系の整理が必要であると整理された。

これにより、従来よりも効率的な構造断面が得られる可能性がある。またその性能照査方法に関しては、レベル2地震後の性能照査(ポスト L2 照査)方法を念頭に、鋼管の限界曲率発生以降のモデル化の方法や一般的に用いられる微小変形理論に基づく数値解析では考慮できない付加曲げモーメントを考慮する方法等を検討していく必要があると考えられる。

今後は今年度抽出した課題の解決に向けて、数値解析手法の検討等に取り組む予定である。

(2)建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

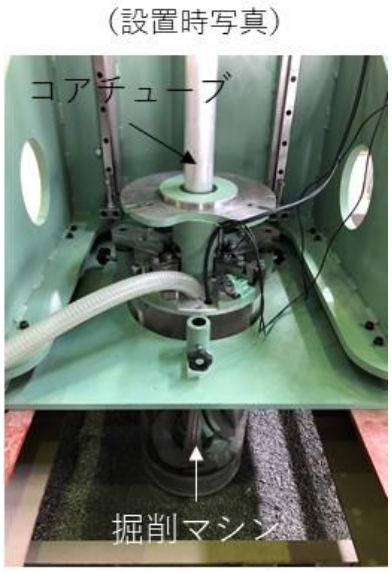
①コアレス地盤調査法の開発とデジタル地盤工学の確立に向けた基礎的研究

粘着性の低い砂礫地盤など地盤によっては依然として乱れの少ない地盤サンプル(以下、コア)の採取が技術的に難しいことや、特殊な地盤環境ではコアを持ち帰ること自体に問題が生じる。

他方、砂礫地盤のように大粒径の粒子を多く含む地盤では、コアが不均質であることも多く、構成粒子の形状や堆積構造といった地盤の微視構造特性が地盤全体の力学特性やそのばらつきに有意な影響を与える。このような課題の解決に資する地盤調査技術の開発や地盤評価法の高度化が求められる。

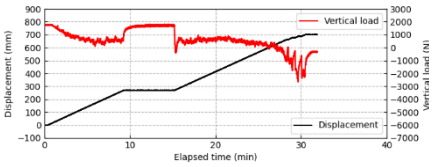
本研究では、原位置地盤内でコアを X 線 CT スキャンする「原位置デジタルサンプリング法」の開発と、得られた CT 画像をもとに地盤の工学特性を評価する一連の試験、解析技術の開発を行い、CT 画像をはじめとするデジタルデータを活用した地盤評価法の高度化、新たな地盤調査法の確立をめざす。

本年度には、昨年度実施した模型実験の結果をもとに、X 線 CT スキャナ内蔵型掘削装置の改良を行い、再度掘削実験を行った(図 1.3.43)。その結果、掘削装置を所定の必要深さまで貫入し、地中でコアのスキャンをすることができた。得られた画像では内部の礫粒子が確認できる(図 1.3.43 d)。

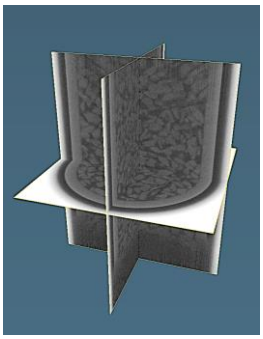


a) 掘削実験(セットアップ)

b) 掘削実験(掘削中)



c) 掘削中の各種計測結果(掘削時の推進力および掘削長の時系列変化)



d) 掘削後地中で撮影した CT 画像

図 1.3.43 掘削実験の状況および結果

②固化改良体の不良個所が改良地盤全体の強度に及ぼす影響の評価

健全部の強度と弱部の強度の比、弱部の大きさ、弱部の供試体内の位置をパラメータとして、弱部が一軸圧縮試験時の応力ひずみ関係に及ぼす影響を数値解析的に検討した。解析の結果、固化改良体が未改良部を弱部として含む場合、破壊ひずみはあまり増加せず、強度のみ低下するクラック型の乱れと同じ影響を示すことが分かった。

施工管理で強度確認のための一軸圧縮試験を行った場合、他に比べて破壊ひずみが変化せず、強度が小さい供試体が見られる場合は、その程度に応じた未改良部を想定し、改良地盤全体として性能を評価するなどの対応が考えられる。

併せて、液果窒素で冷凍した粘土スラリーをモールド内に設置し、そこにスラリー状のセメント改良土を流し込んで養生することで未改良部を含む供試体を作成し、一軸試験を行った（図 1.3.44）。弱部の存在割合及び存在位置を様々に変えた一軸試験結果から、弱部が分散して存在する方が一軸強度低下に及ぼす影響が小さくなることが分かった（図 1.3.45）。

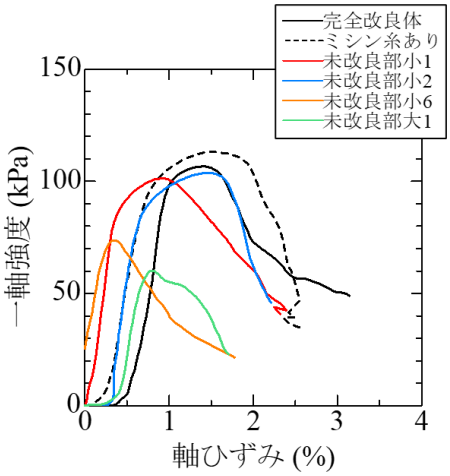


図 1.3.44　一軸圧縮時の応力ひずみ関係

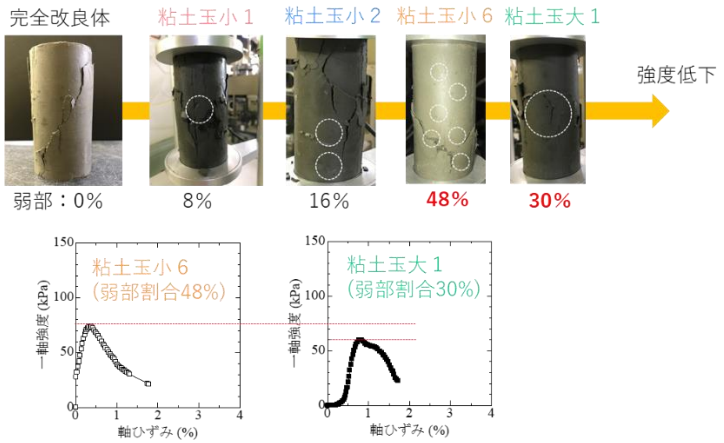


図 1.3.45　弱部割合とピーク強度の比較

成　果　の　公　表

□港空研報告・資料：1編

・水谷崇亮，松村聡，藤田亨，竹内泰弘，可児昌也，三枝弘幸，岸靖．名古屋港飛島地区における鋼管杭の打込み記録の分析と施工管理手法に関する一考察．港湾空港技術研究所資料，No. 1388，2021.

□発表論文（和文）：4編

・中村駿太，大矢陽介，川端雄一郎，水谷崇亮，松村聡，森川嘉之．高軸力でのスパイラル鋼管の曲げ挙動に関する載荷試験（その 1）．土木学会第 76 回年次学術講演会講演概要集，論文番号 I-149，online，2021.

・大矢陽介，川端雄一郎，中村駿太，水谷崇亮，松村聡，森川嘉之．高軸力でのスパイラル鋼管の曲げ挙動に関する載荷試験（その 2）．土木学会第 76 回年次学術講演会講演概要集，論文番号 I-150，online，2021.

・杉村，篠崎，赤司，松村，水谷，森川：製鋼スラグと浚渫土を混合した粘り強い地盤材料の開発，土木学会論文集（海洋開発シンポジウム），2021.

・杉村，松村，水谷，森川，篠崎，赤司：製鋼スラグを用いた粘り強い地盤材料で裏込めを構成した矢板式岸壁の模型振動実験，土木学会論文集（海洋開発），2021.

□発表論文（英文）：2編

・Lalit Kandpal, Anurag Gautam, Nimisha Roy, Satoshi Matsumura, Prashanth Vangla, J. David Frost: Microstructural Evolution of Sand Assembly in Direct Shear Test: An Experimental Study using X-Ray Tomography, Poster presentation, InterPore2021, 2021.

・Lalit Kandpal, Prashanth Vangla, Satoshi Matsumura: Effect of Particle Size to Specimen Size Ratio on Direct Shear Response: A 3D X-Ray CT Point of View, Proceedings of Eighth Indian Young Geotechnical Engineers Conference 2021, 2021.

□特許（出願、登録）：1件

・登録　地盤試料のスキャン方法、地盤試料の供試体の生産方法、地盤試料の土質試験方法及び地盤試料のスキャン装置

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	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。 ー船舶の自動離着岸のための防舷材システムの開発では、防舷材システムの吸着機構について、スケールモデルを使用した要素実験によりその吸着効果を含めた構造安定性を検証する。 ーマシンガイダンス技術を用いた水中施工機械の多機能化に関する研究では、作業情報呈示システムの他工種適応にむけた基本設計、本均しアタッチメントの実現場適応、音響即位装置の精度検証試験を行う。 ー音響画像システムに関する研究では、前年度までの床堀浚渫工および置換工での実海域実験の成果をもとに、浚渫工 ICT 化プロジェクトの音響機器として導入検討を行う。 ー洋上風力発電施設に働く波力と洗掘に関する研究では、前年度の波力実験データと数値シミュレーション(CADMAS-SURF)による波力算定結果の比較検証、円柱周りの洗堀防止工に関する大規模実験を行う。 ー洋上風力発電施設の杭基礎の水平抵抗特性に関する研究では、造波装置を用いた遠心模型実験や多方向載荷など、より実現象に

		近い条件下での繰り返し水平載荷実験を行う。 －深海におけるインフラ材料の力学特性と耐久性に関する研究では、高水圧負荷時のコンクリートの物性に関する実験を行うとともに、前年度に南海トラフ（水深約3515m）に暴露した試験体を回収し、深海での試験体中の圧力・ひずみデータや劣化状況の分析を行う。 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，国土の保全および利用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３年度の研究内容

（1）離島港湾の静穏度向上策に関する研究

波浪中の係留浮体動揺に関する実験結果等を活用して CADMAS － SURF/3D に基づく浮体動揺解析モデルの高精度化を図り、風波に対する荷役稼働率の算定に適用した。

（2）船舶の自動離着岸のための防舷材システムの開発

スケールモデルを使用した要素実験により防舷材システムの吸着機構の構造安定性を検証し、船体動揺シミュレーションを用いた数値計算により荷役係留時の防舷材システムによる係留力などの有効性を評価した。

（3）グリーングレーハイブリッドインフラ適用のためのグレー部材への海生生物着生手法の実験的検討

表面形状等を変化させた数種類の試験体を護岸に設置して、経時的な海生生物の付着状況のモニタリングを開始した。また、サンゴのリスキニング技術確立のための基板素材について検討した。さらに、これまでの国内外のグリーングレーハイブリッドインフラ（IGGI）の事例を分析し、土地空間利用と要素構造物（群）の観点でのハイブリッドインフラのあり方を整理した。

（4）マシンガイダンス技術を用いた水中施工機械の多機能化に関する研究

作業情報呈示システムの他工種適応に向けた機能の検討や水中マシンガイダンス・遠隔操作支援システムの実現場適応の検証、さらには CIM データの応用に関する検討も行った。

（5）ICT 施工への音響画像システムの適用に関する検討

音響ビデオカメラを用いて、浚渫船の自動運転を目指して作業中の水中可視化実験を行った。また、マルチビームデータクラウド（AIMS）の構築と海上通信を伴う測量試験（4G など）を実施した。ICT 潜水では、基礎捨石マウンド天端面での計測精度の確認や水中・船上作業の可視化ツールなどの開発を行った。

（6）洋上風力発電施設に働く波力と洗掘に関する研究

着床式洋上風力発電施設の基礎周りにおける袋型根固め材を用いた洗掘防止工について、沿岸技術研究センター、袋型根固め材メーカーとの共同研究として、その洗掘対策としての有効性に関する大型模型実験を大規模波動地盤総合水路にて実施した。

（7）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の解明

杭径の大きな模型杭に対する大型土槽を用いた杭の貫入・水平載荷実験を行い、杭径が水平抵抗特性に与える影響について検証した。また、杭の水平抵抗特性に及ぼす貫入過程の影響について解析的検討を行った。

（8）波と風の同時作用下における洋上風力発電施設の荷重設定手法に関する研究

過年度に収集した着床式洋上風力発電施設にかかる気象・海象・構造諸元のデータを利用して、波や風に対する複数の実機相当洋上風車の動的応答特性について、FAST を用いた荷重連成解析により検討した。

（9）深海におけるインフラ材料の力学特性と耐久性の評価

深海におけるインフラ材料の載荷実験を実施して、水圧下でのコンクリートの力学特性に関する基礎データと、低温海水水槽による暴露試験を実施して、各種セメント系材料の劣化速度に関する基礎データを取得した。また、南海トラフに暴露していた円柱試験体等を回収・分析し、新たに鉄筋コンクリートはり試験体の暴露を開始した。

令和３年度の研究成果

（1）離島港湾の静穏度向上策に関する研究

波の多重反射のために複雑な波浪場が形成される岸壁を対象として NOWT-PARI による港内波浪変形計算を行うとともに、これを一方向波とみなし周波数スペクトルを与えて算定される従来法による係留船舶の動揺量と、この水面波形を CADMAS-SURF/3D に入力して得られる新たな浮体動揺解析モデルによる算定結果とを比較し、両者の違いについて考察した（図 1.3.46、図 1.3.47）。

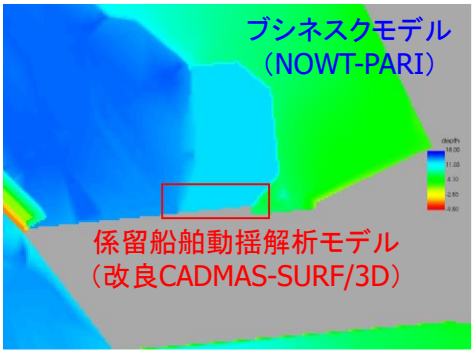


図 1.3.46　接続計算に用いた計算領域

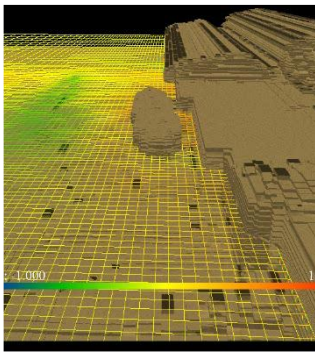


図 1.3.47　多方向波を考慮した係留船舶動揺解析

（2）船舶の自動離着岸のための防舷材システムの開発

防舷材システムの吸着機構について、スケールモデルを使用した要素実験によりその吸着効果を含めた構造安定性を確認した（図 1.3.48）。

また、係留船舶動揺シミュレーションを用いた数値計算の結果に基づいて、船舶の荷役係留時における防舷材システムによる係留力などの有効性について検討した。

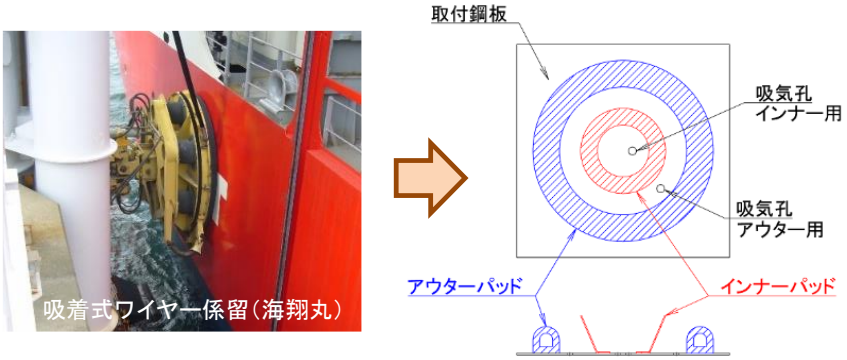


図 1.3.48　吸着盤の構造イメージ

（3）グリーングレーハイブリッドインフラ適用のためのグレー部材への海生生物着生手法の実験的検討

表面形状等を変化させた数種類の試験体を北九州の護岸に設置して、経時的な海生生物の付着状況についてモニタリングを開始した（図 1.3.49）。

また、サンゴのリスキニング技術確立のための基板素材（鋼材，SUS，アクリル）を検討し、今後、サンゴの被覆メカニズムを解明するため分析等を実施する（図 1.3.50）。

さらに、現在までの国内外の IGGI の事例を分析し、土地空間利用と要素構造物（群）の観点におけるハイブリッドインフラのあり方を整理した。

図 1.3.49　藻類着生へのグレー基板の検討

図 1.3.50　サンゴ着生に適したグレー基板の探索

（4）マシンガイダンス技術を用いた水中施工機械の多機能化に関する研究

作業情報呈示システムを他工種に適応させるための機能について検討を行った。

また、水中マシンガイダンスおよび遠隔操作支援システムの実現場への適応について那覇港、石垣港で検証し、運用面における課題を抽出した（図 1.3.51）。

図 1.3.51　運用面における課題の抽出（那覇港）

（5）ICT 施工への音響画像システムの適用に関する検討

浚渫船の自動運転を目指して、音響ビデオカメラを用いた施工中のリアルタイムな状況把握をするための水中可視化実験を実施した。

また、マルチビームデータクラウド（AIMS）を構築するとともに、海上での通信を伴う測量試験（4G、ローカル Wi-Fi）を行った（図 1.3.52）。

ICT 潜水では、基礎捨石マウンドの天端面における計測と設計断面との比較などの計測精度の確認や、水中・船上作業の双方の可視化ツールなどの開発を行った。

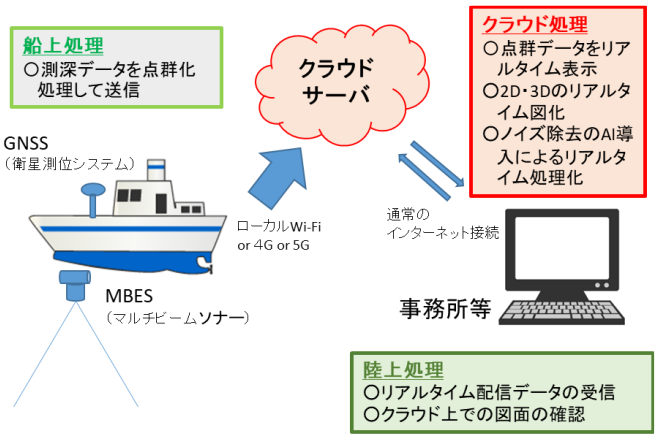


図 1.3.52　マルチビームデータクラウド（AIMS）の概要

（6）洋上風力発電施設に働く波力と洗掘に関する研究

着床式洋上風力発電施設の円柱基礎周りにおける袋型根固め材を用いた洗掘防止工について、その洗掘対策としての有効性に関する大型模型実験を大規模波動地盤総合水路にて実施した（図 1.3.53、図 1.3.54））。

また、袋型根固め材の耐波安定性および洗掘防止効果の観点から、洋上風力発電施設の洗掘防止工としての適用性を検証した。

図 1.3.53　洗掘防止工に関する大型模型実験

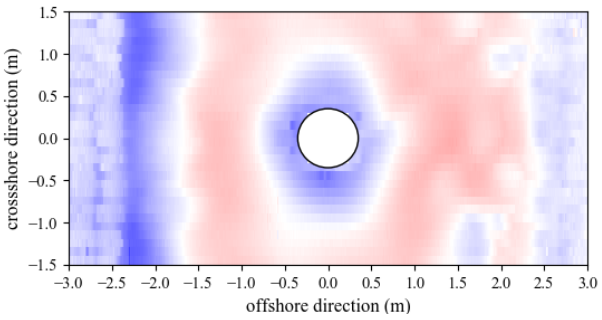


図 1.3.54　レーザー測量による洗掘状況

（7）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の解明

過年度と比較して杭径の大きな模型杭を用いて、大型土槽にて杭の貫入および水平載荷実験を行い、杭径が杭の水平抵抗特性に与える影響について検証を行った（図 1.3.55）。

また、杭の水平抵抗特性に及ぼす貫入過程の影響について、杭が地盤に貫入する様子をシミュレートできる数値解析手法を用いて検討した（図 1.3.56）。

図 1.3.55　大口径杭の水平載荷実験

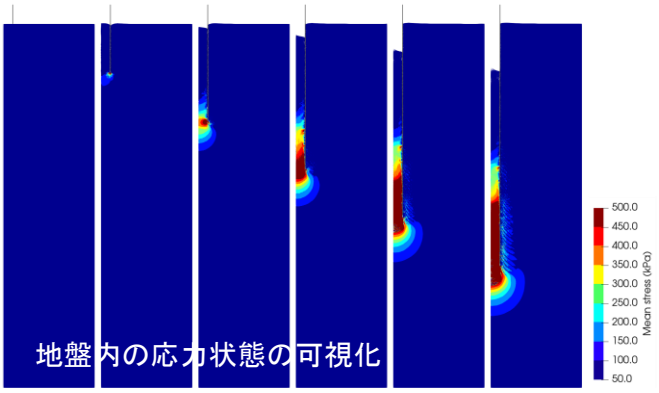


図 1.3.56　杭の貫入過程の数値解析

（8）波と風の同時作用下における洋上風力発電施設の荷重設定手法に関する研究

過年度に収集した着床式洋上風力発電施設にかかる気象・海象・構造諸元のデータを利用して、FAST を用いた荷重連成解析により、波や風に対する 5MW、10MW および 15MW の実機相当洋上風車の動的応答特性の特徴について解明した（図 1.3.57、図 1.3.58）。

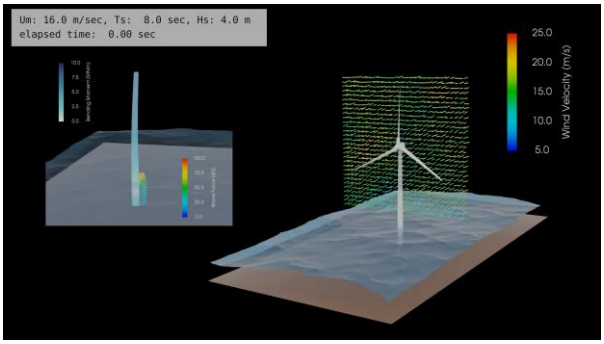


図 1.3.57　風・波に対する荷重連成解析結果の動画表示

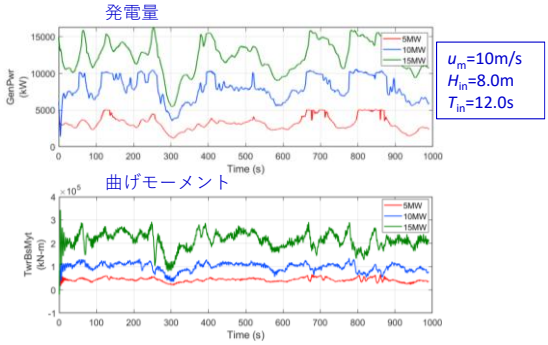


図 1.3.58　風車規模が風車応答に及ぼす影響

（9）深海におけるインフラ材料の力学特性と耐久性の評価

深海におけるインフラ材料の載荷実験を実施して水圧下でのコンクリートの力学特性に関する基礎データを取得した（図 1.3.59）。

また、低温海水によるコンクリートの耐久性を解明するために低温海水水槽を作成し、暴露試験を実施して各種セメント系材料の劣化速度に関する基礎データを取得した（図 1.3.60）。

加えて、前年から南海トラフに暴露していた円柱試験体等を回収し分析するとともに、新たに鉄筋コンクリートはり試験体の暴露を実施中である。

図 1.3.59 高水圧下における力学試験

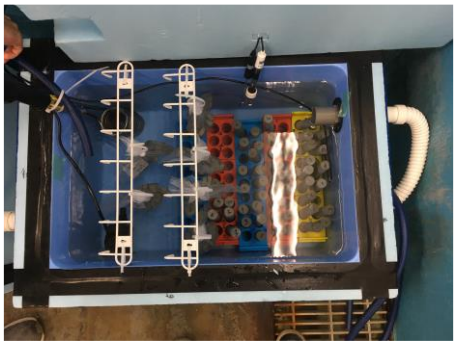


図 1.3.60 低温海水暴露試験

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：6編

・米山治男・加島寛章（2021）：船舶の平行舷長さおよび受風面積に関する統計解析，港湾空港技術研究所資料，No.1395.

・喜多司・平林丈嗣・髙尾俊輔・吉江宗生（2021）：水中バックホウを対象としたマシンガイダンスシステムの構築と精度検証，港湾空港技術研究所資料，No.1390.

・喜多司・平林丈嗣・髙尾俊輔・金城寛・大城尚紀・上山淳（2021）：水中バックホウによる捨石マウンド均し作業の遠隔操作化に向けたアタッチメントの提案と性能試験，港湾空港技術研究所資料，No.1396.

・中村圭太・松村聡・水谷崇亮（2021）：MPM-剛体シミュレーションのための最小二乗法を用いた摩擦接触アルゴリズムの開発と開端杭の地盤への貫入挙動への適用，港湾空港技術研究所報告，Vol.60，No.1-7.

・中村圭太・松村聡・水谷崇亮（2021）：MPM を用いた開端ストレート・テーパー杭の支持力特性に関する解析的研究，港湾空港技術研究所報告，Vol.60，No.3-2.

・中村圭太・元水佑介・松村聡・水谷崇亮・大下英治・新谷聡・坂本易隆・末政直晃（2021）：開端ストレート・テーパー杭の支持力特性に関する大型模型実験，港湾空港技術研究所資料，No.1391.

□発表論文（英文）：4編

・Kuwae, T., and S. Crooks (2021): Linking climate change mitigation and adaptation through coastal green–gray infrastructure: a perspective, Coastal Engineering Journal.

・Tanaya, T., Tokoro, T., Yamano, H., Watabe, Y., Kinjo, N., and T. Kuwae (2021): Carbonate production rate estimated based on biological calcification and alkalinity anomaly in a natural reef and artificial tide pools, 14th International Coral Reef Symposium.

・Lyu, Z., Mori, N., and H. Kashima (2021): Freak Wave in High-Order Weakly Nonlinear Wave Evolution with Bottom Topography Change, Coastal Engineering, Elsevier, Volume 167, 103918.

・Takahashi, K., Kobayashi, M., and Y. Kawabata (2021): Applicability of ternary blended calcium aluminate cement-based mortar in deep sea conditions, Proc. of Int. Conf. on Calcium Aluminates.

□発表論文（和文）：3編

・米山治男・加島寛章（2021）：係船柱に作用する係留船舶の牽引力への船種の影響について，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.77，No.2，p.I_217-I_222.

・加島寛章・米山治男（2021）：発電中の着床式洋上風車の波荷重に対する応答特性，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.77，No.2.

・Lyu, Z., Mori, N., and H. Kashima (2021): Evolution of Non-linear Directional Random Wave Train from Deep to Shallow Water, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.77, No.2.

□特許(出願、登録):5件
・出願　洗掘抑制体および洗掘抑制方法
・登録　洗堀防止ユニット及び洗堀防止構造
・登録　超音波送受波装置
・登録　超音波3次元計測装置
・登録　海底地盤の根固め構造および根固め方法

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、各要素のサブモデル（波浪モデル・地形底質モデル・生態系モデル）の結合と改良をふまえ、現地調査に基づく炭素動態データ等との比較を通じたモデル検証を行う。 －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、これまでに得られた知見を統合し、沿岸域における多様な動的外力作用に対する減災効果を有しつつ多様な生物生息を実現しうる減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインを創生・提示する。 －アマモ場生態系の機能向上技術に関する研究では、瀬戸内海等のモデルケースの事例を参考とし，アマモ場の維持および再生のための手法の検討を進めるとともに、アマモ葉上動物の捕食実験等を通じたアマモ場の餌場としての機能評価を行う。 －油濁対策技術に関する研究開発では、ネットワーク対応型の油漂流予測システムの改良を行うとともに、バブルカーテンの集油特性等の機能向上に関する実験、環境整備船へのバブルカーテンの

		実装検討、沈船からの油抜き取り技術の検討を進める。 等

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３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

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、地形・生態系データの収集と GIS 解析を継続して実施した。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を実施し、これら現地調査結果および数値計算結果をとりまとめた。さらに、技術研究組合(JBE)と国土交通省との連携による、オフセットクレジット(J ブルークレジット)の試行準備と手引書を作成した。

(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

これまでに得られた知見を統合し、沿岸域における多様な動的外力作用に対する減災効果を有しつつ多様な生物生息を実現しうる減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインを創生・提示した.

(3)湾口における大気・海洋環境モニタリングと解析

大気モニタリングでは海洋研究開発機構が開発した小型センサーによる CO、PM 等の常時観測の導入を検討し、一方、海洋モニタリングでは流動と水質のモニタリングを継続し、さらに、これまでに蓄積されたデータの解析による東京湾湾口の複雑な3次元流動・水質構造について検討した.

(4)環境変動に対する水圏生態系の応答に関する数値的検証

過年度までに開発された数値シミュレーションモデルにより、地形や流入負荷の変化と水質変化への影響を評価するため、過去の伊勢湾・三河湾を対象とした再解析を行った。

(5)アマモ場生態系の機能向上技術の開発

瀬戸内海等をモデルケースとし、環境条件と種子の加入のしやすさを整理し、より有効な再生手法(環境改善あるいは移植)の評価を行い、維持および再生のための手法を整理した。さらに、アマモ場の餌場としての機能の評価手法の開発として、葉上動物の捕食実験および餌としての評価や、葉上動物の環境条件の整理および餌場としての機能を有するアマモ場となるための条件の整理を行った。

(6)データ同化による沿岸域の流動及び水質環境の解明

伊勢湾を対象とした水温と塩分の実観測値を用いた通年のデータ同化結果の解析及び、同化の手法の違いによる同化結果の違いについて検証を行った。

(7)主要内湾の沿岸情報の収集・発信基盤強化

4K 高解像画像による波浪モニタリング、生物多様性データベースなどデータベース基盤の構築をすすめ、また沿岸浸水マップ、東京湾統計情報、フェリー観測データなどのアウトプットプラットホームの構築を開始した。

(8)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

WEB アプリケーション型海上流出油漂流予測シミュレータの構築し、また油回収の研究開発においては、従来型油回収装置の持つ多くの問題点を根本的に解決することを目標に、油回収船を対象とした次世代型油回収装置の開発をすすめた。

令和３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

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、地形・生態系データの収集と GIS 解析を継続して実施した（図 1.3.61）。

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を実施し、これら現地調査結果および数値計算結果をとりまとめた（図 1.3.62）。

さらに、技術研究組合（JBE）と国土交通省との連携による、オフセットクレジット（J ブルークレジット）の試行準備と手引書を作成した（図 1.3.63）。

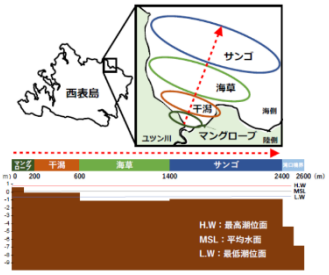


図 1.3.61　モデルサイトの生態系分布と断面地形

図 1.3.62 潮間帯藻場のマッピング（空中ドローン）

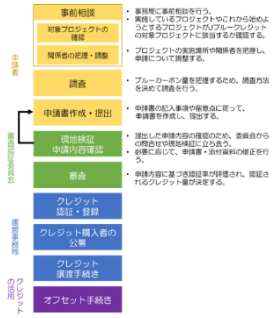


図 1.3.63 ブルークレジット申請手引書の作成

（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

これまでに得られた知見を統合し、沿岸域における多様な動的外力作用に対する減災効果を有しつつ多様な生物生息を実現しうる減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインを創生・提示した（図 1.3.64）。

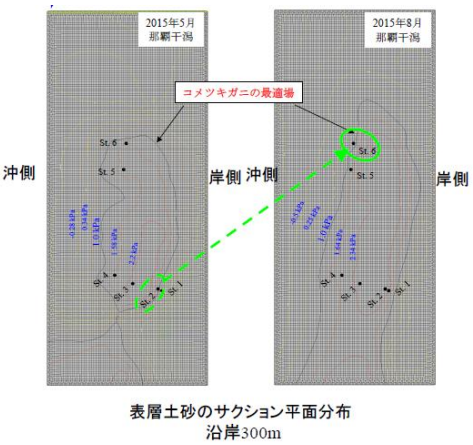


図 1.3.64　気象擾乱による沿岸地形・地盤環境の大変化と底生生物生態変化に対する沿岸底生生態―地盤環境動態の統合評価予測モデルの検証

（3）湾口における大気・海洋環境モニタリングと解析

大気モニタリングでは海洋研究開発機構が開発した小型センサーによる大気計測の常時観測を開始し、一方、海洋モニタリングでは流動と水質のモニタリングを継続し、さらに、これまでに蓄積された膨大なデータの解析による東京湾湾口の複雑な3次元流動・水質構造について検討した（図 1.3.65）。

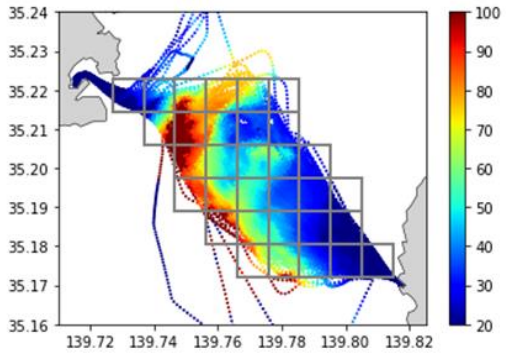


図 1.3.65　東京湾口データの解析

（4）環境変動に対する水圏生態系の応答に関する数値的検証

過年度までに開発された数値シミュレーションモデルにより、地形や流入負荷の変化と水質変化への影響を評価するため、過去の伊勢湾・三河湾を対象とした再解析を行った（図 1.3.66）。

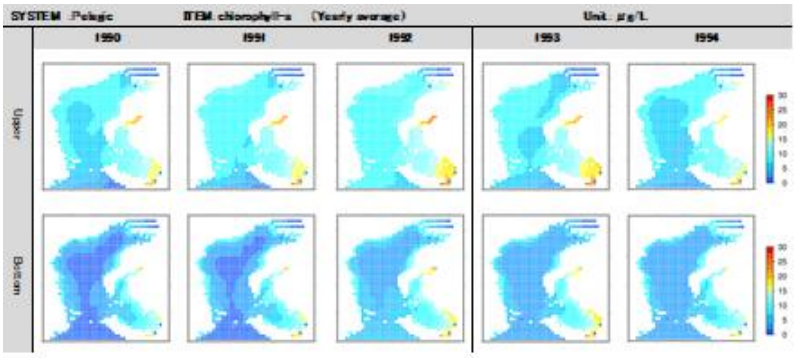


図 1.3.66　伊勢湾・三河湾の流動と水質を対象とした再解析結果の例

（5）アマモ場生態系の機能向上技術の開発

瀬戸内海等をモデルケースとし、アマモ場の環境条件と種子の加入のしやすさを整理し、より有効な再生手法（環境改善あるいは移植）の評価を行った（図 1.3.67）。

さらに、アマモ場の餌場としての機能の評価手法の開発として、環境 DNA の手法を導入した調査を通じて、葉上動物の捕食実験および餌場としての評価を行った（図 1.3.68）。

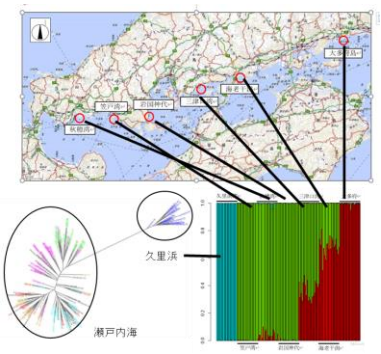


図 1.3.67　瀬戸内海を対象とした
アマモの遺伝的多様性の検討

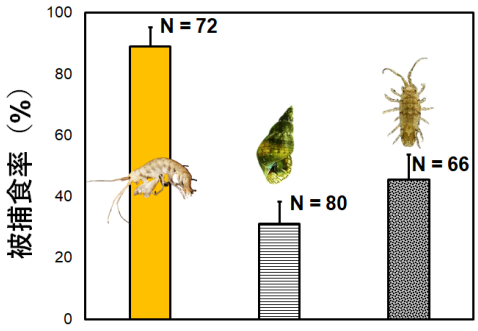


図 1.3.68　アマモ場の餌場としての機能評価

（6）データ同化による沿岸域の流動及び水質環境の解明

伊勢湾を対象とした水温と塩分の実観測値を用いた通年のデータ同化結果の解析及び、同化の手法の違いによる同化結果の違いについて検証を行った（図 1.3.69）。

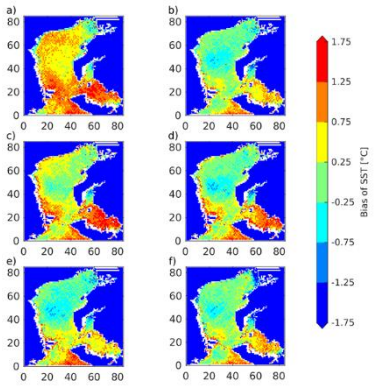


図 1.3.69　伊勢湾を対象としたデータ同化方法の違いによる
表面水温に関する観測結果と計算結果の比較

（7）主要内湾の沿岸情報の収集・発信基盤強化

4K 高解像度画像による波浪モニタリングを東京湾口で開始し（図 1.3.70）、また生物多様性データベース、沿岸浸水マップ、東京湾統計情報、フェリー観測データの配信に向けたアウトプットプラットホームの構築を開始した（図 1.3.71）。

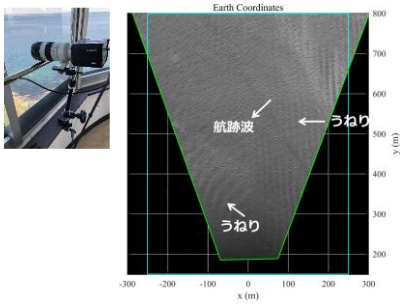


図 1.3.70　4K 高解像度カメラによる
波浪モニタリングシステム

図 1.3.71　沿岸浸水マップの即時
アウトプットツールの開発

（8）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

WEB アプリケーション型とすることで、ネット接続された任意の端末によりブラウザを介して油漂流予測が行えるシステムを構築した（図 1.3.72）。

一方、新しい油回収装置の開発においては、水中バブルカーテンと油の吸引に先端エジェクタを採用した集油ブームレス、回収ポンプレス型の油回収装置の開発を進めている。

ただし、令和 3 年度においては、これまでの成果をプレプリント・サーバーへの投稿とともに特許により権利化した．また軽石漂着問題に急遽対応するため、油回収機の要素技術（先端エジェクタ）を用いた軽石回収装置を検討した（図 1.3.73）。

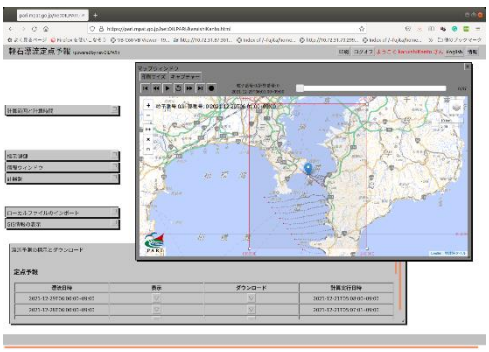


図 1.3.72　Web アプリケーションによる漂流物予測システム

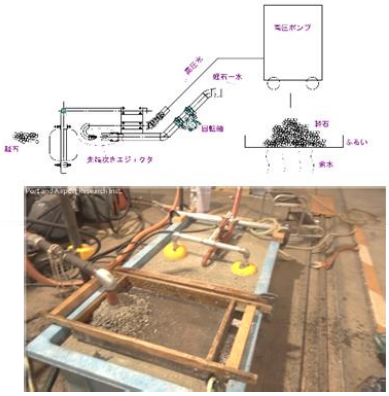


図 1.3.73　油回収装置の軽石回収装置への応用

成　果　の　公　表

□発表論文（英文）：16編

・Watanabe, K., and T. Kuwae (2021.11): An unintended ecological benefit from human intervention: The enhancement of carbon storage in seagrass meadows, Journal of Applied Ecology, 58, 2441–2452

・Kuwae T., Elner, R. W., Amano, T., and Drever, M.C. (2021.12) Seven ecological and technical attributes for biofilm–based recovery of shorebird populations in intertidal flat ecosystems. Ecological Solutions and Evidence, doi.org/10.1002/2688–8319.12114

・Akhand, A., A. Chanda, K. Watanabe, S. Das, T. Tokoro, S. Hazra, T. Kuwae (2021.5) Reduction in riverine freshwater supply changes inorganic and organic carbon dynamics, and air–water CO2 fluxes in a tropical mangrove dominated estuary, Journal of Geophysical Research Biogeosciences, 126, e2020JG006144.

・Laurie A. Hall, Susan E. W. De La Cruz, Isa Woo, T. Kuwae, John Y. Takekawa (2021.10): Small shorebirds feast on green slime to fuel their long migration. Frontiers for Young Minds, 9:611826. doi: 10.3389/frym.2021.611826

・Okada, T., Y. Mito, Y. B. Akiyama, K. Tokunaga, H. Sugino, T. Kubo, T. Endo, S. Otani, S. Yamochi, T. Kozuki, T. Kusakabe, K. Otsuka, R. Yamanaka, T. Shigematsu, and T. Kuwae (2021.10) A comparative method for evaluating ecosystem services from the viewpoint of public works, Ocean and Coastal Management, doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105848

・Tokoro, T., S. Nakaoka, S. Takao, T. Kuwae, A. Kubo,, T. Endo, and Y. Nojiri (2021.5) Contribution of biological effects to carbonate–system variations and the air–water CO2 flux in urbanized bays in Japan, Journal of Geophysical Research Ocean, 126, e2020JC016974.

・Van Dam, B., P. Polsenaere, A. Barreras–Apodaca, C. Lopes, Z. Sanchez–Mejia, T. Tokoro, T. Kuwae, L. G. Loza, A. Rutgersson, J. Fourqurean, and H. Thomas (2021.4) Global trends in air–water CO2 exchange over seagrass meadows revealed by atmospheric Eddy Covariance, Global Biogeochemical Cycles, 10.1029/2020GB006848

・Okada T, Y. Mito, Y. B. Akiyama, K. Tokunaga, H. Sugino, T. Kubo, T. Endo, S. Otani, S. Yamochi, Y. Kozuki, T. Kusakabe, K. Otsuka, R. Yamanaka, T. Shigematsu, T. Kuwae (2021.4). Green port structures and their ecosystem services in highly urbanized Japanese bays. Coastal Engineering Journal , 63:310–322.

・Nakakuni, M., K. Watanabe, K. Kaminaka, Y. Mizuno, K. Takehara, T. Kuwae, S. Yamamoto. (2021.11) Seagrass contributes substantially to the sedimentary lignin pool in an estuarine seagrass meadow. Science of the Total Environment, 793: 148488

・Hafeez, M. A., & Inoue, T. (2021). Determination of Flow Characteristics of Ohashi River through 3–D Hydrodynamic Model under Simplified and Detailed Bathymetric Conditions. Water, 13, 3076. https://doi.org/10.3390/w13213076

・Inoue, T., Oguri, K., Suga, H., Suzuki, K., Prochazka, Z., Nakamura, T., & Kurisu, A. (2021). Large–scale experiment to assess the collision impact force from a tsunami wave on a drifting castaway. PLoS One, 16(2), e0247436.

・Inoue, T., & Hagino, Y. (2021). Effects of three iron material treatments on hydrogen sulfide release from anoxic sediments. Water Science and Technology.

・Hosokawa, S., K. Momota, A. A. Chariton, R. Naito, Y. Nakamura (2021) The use of diversity indices for the local assessment of marine sediment quality, Scientific Reports, 11: 14991.

・Matsuzaki,Y, T., Inoue, (2022) Perturbation of Boundary Conditions to Create Appropriate Ensembles for Regional Data Assimilation in Coastal Estuary Modeling, Journal of Geophysical Research: Oceans

・I. Fujita, Xiao Ma, M. Ono, H. Shirota, Experiments and model on viscosity characteristic of emulsion of heavy fuel oil and water for fluidity improvement, DOI:10.31224/osf.io/yvskc, 2021–06–02.

・I. Fujita, Novel oil skimmer using bubble barrier and water jet suction —Prototype design and its tank test, DOI:10.31224/osf.io/j2qd8, 2021–11–29.

□発表論文（和文）：5編

・杉村・桑江ほか（2021.5） 土木学会論文集 G（環境）通常号 77: 31–48 B2

・大門・渡辺・桑江ほか（2021.5）日本鳥学会誌 70 (1): 37–52

・赤塚・渡辺・桑江ほか（2021.11）土木学会論文集 B2 (海岸工学) 77: I_895–I_900

・梁順普，佐々真志(2021)台風イベントによる干潟地形変化に伴う地盤環境ー底生生物分布域の移動予測と検証，土木学会論文集 B2, Vol. 77, No. 2, 577–582..

・持田史佳，中村由行，井上徹教，比嘉紘士，鈴木崇之．(2021). 鉄資材添加による内湾堆積物からの硫化物溶出抑制効果：硫化物動態モデルによる再現．土木学会論文集 G（環境）.

□書籍：1編

・Kuwae, T., Yoshihara, S., Suehiro F., and Sugimura, Y. (2022.1) Chapter 22. Implementation of Japanese Blue Carbon Offset Crediting Projects, pp.353–377, In Nakamura F. (ed) Green Infrastructure and Climate Change Adaptation, Springer Japan

□特許（出願、登録）：3件
・出願　鉄イオン溶出体、および鉄イオン供給装置
・登録　浮遊油の回収処理装置特願 2020-179558
・登録　気泡式水質汚濁防止フェンス

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、これまでに構築したモデルを一般化し、将来の気候予測シナリオを用いた各地海岸での汀線変化の予測に応用する。また、ディープラーニング型断面地形変化モデルの改良および適用性の検討を進める。 －波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発では、波崎海洋研究施設での現地観測を継続するとともに、現地港湾および周辺海岸の地形変化予測・対策工の検討を行う。 －航路・泊地埋没の軽減化のための底質移動制御手法の開発では、これまでに構築した砂泥混合底質モデルの実海域への応用をすすめ、検討対象となる海域ごとの土砂動態特性を反映したシミュレーション・システムの構築と、埋没量軽減策に関する検討を行う。 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３年度の研究内容

（1）気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発

ディープラーニングによる海浜地形断面変化モデルを構築し、断面地形の時間的変化と断面地形の REOF 解析データの再現計算を実施した。

（2）波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発

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。さらに波向き観測のための画像処理解析法ならびに、砕波による地形変化を考慮した海岸地形変化予測モデルの開発を行った。

（3）航路・泊地の軽減化のための底質輸送制御手法の開発

ジャワ海における波浪場の季節変動性を考慮した底質輸送解析を行うとともに、港湾の外郭施設等の詳細地形を取り込んだ、土砂輸送解析ツールの構築を進めた。さらに、塩淡境界を有する河口密度流場でのフロック沈降に注目した、河口港湾内での土砂堆積機構のメカニズム解明のための水槽実験を実施した。

令和３年度の研究成果

（1）気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発

ディープラーニングによる海浜地形断面変化モデルを構築し、断面地形の時間的変化と断面地形の REOF 解析データの再現計算を実施した（図 1.3.74）。

（このモデルは後継の研究実施項目に引き継がれ、汀線変化モデルのモデルパラメータの一般化に向けて引き続き検討する予定である。）

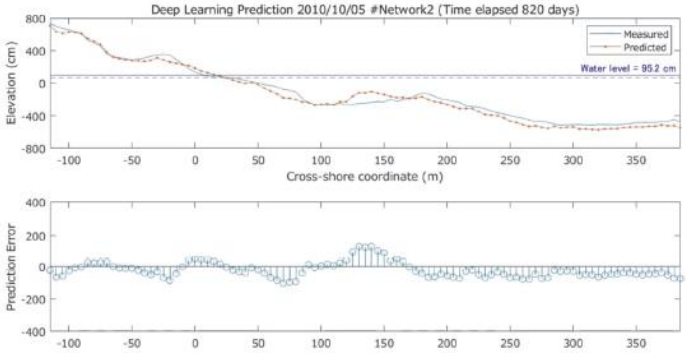


図 1.3.74　波崎海岸の観測地形データを用いたディープラーニングによる断面地形変化予測

（2）波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発

海象観測カメラの画像データを活用した波向き観測手法を開発し（図 1.3.75）、また砕波による地形変化を考慮した海岸地形変化予測モデルについて検討を行った。

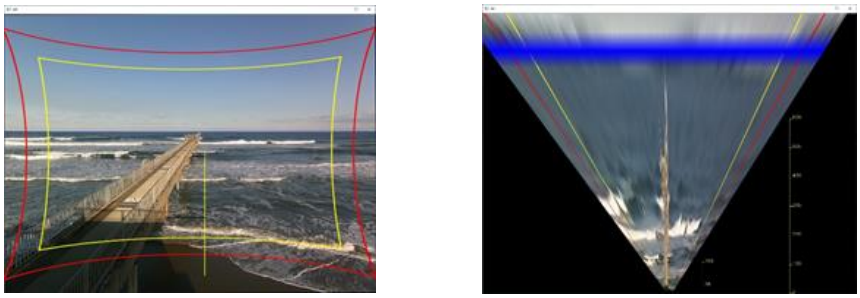


図 1.3.75　カメラ画像による波向き観測手法の開発

（3）航路・泊地の軽減化のための底質輸送制御手法の開発

インドネシア・パティンバン海岸を対象として、ジャワ海特有の風場の変化（モンスーン風、海陸風）による波浪外力の変動を考慮した底質輸送ツールを確立し（図 1.3.76）、さらに港湾施設（航路浚渫地形、外郭施設等）の詳細形状を考慮可能な数値計算ツールへの改良を進めた（図 1.3.77）。

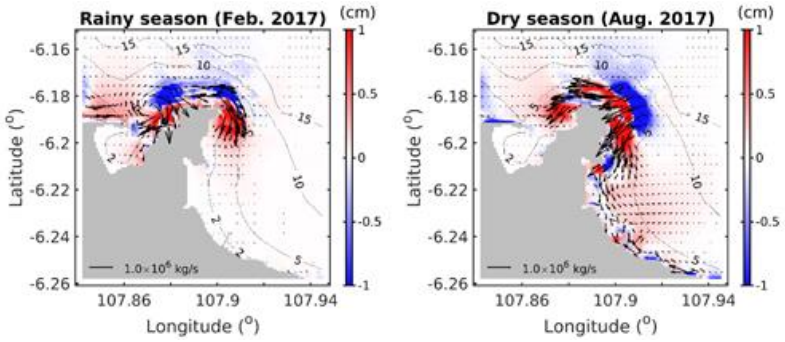


図 1.3.76　熱帯域での風場の変動特性を考慮した底質輸送シミュレーション

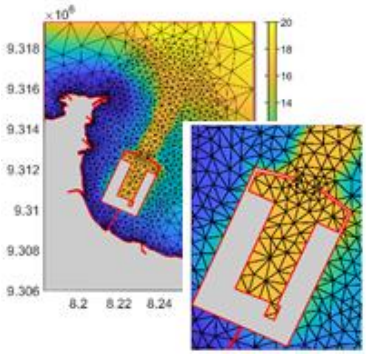


図 1.3.77　非構造格子を導入した航路周辺での底質輸送シミュレーションへのモデル改良

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

・伴野雅之，栗山善昭：波の遡上域における海浜地形変化に及ぼす潮汐変動の影響に関する検討，港空研報告，Vol. 60 （1), 2021.

・中川康之，伴野雅之，小俗大地，田村仁，A.Bagyo Widagdo, Dinar C. Istiyanto (2021): インドネシア・Patimban 海岸周辺海域での季節変動を考慮した土砂移動に関する現地調査，港空研資料 No.1389

□発表論文（和文）：2編

・小俗大地，田村　仁，A. Bagyo Widagdo, D. Catur Istiyanto，中川康之（2021）：海陸風に伴う波浪変動がジャワ島北東部沿岸域の底質移動に及ぼす影響，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 77, N0. 2

・坂田憲治，中川康之，岩波光保，井山繁（2022）：浮泥堆積域における船舶が航行可能な水深の効率的な推計手法の提案，土木学会論文集 B3（海洋開発）通常号，（2022 年 3 月 3 日受理）

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、気象（悪天）現象が航空機の運航、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、航空交通流管理および航空機の運航管理の高度化を図る。本年度は、気象情報から飛行制約条件への変換に関して、航空用MSMの利用を検討するとともに、飛行計画軌道やセクタの悪天域との重なりおよびデビエーション割合を過去のデータより統計的に求める。また、評価システムの使い勝手を向上させる他、予報データを取り扱えるようにプログラム改良を図る。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

－国際交通流の円滑化に関する研究では、フリールート空域（FRA）運用による交通流の変化と便益を明確にするとともに、FRA運用への移行の課題を洗い出し、対策を検討・提案する。また、日本と隣接する飛行情報区（FIR）の間で共有すべき情報や共有方法について検討し提案する。本年度は福岡FIRと仁川FIRの初期FRA運用概念に基づいた空域モデル、交通モデルを作成するとともに、フリールーティングの効果を評価するための評価指標の検討に着手する。また、国際交通流管理のために共有すべき情報項目と共有するタイミングを検討する。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

－新しいGNSS環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究では、GPS以外のコアシステムを含めた新しいGNSS（衛星航法）環境を活用して、GNSSによる進入着陸誘導システムの高度化を図り、電離圏活動の影響を受けにくく、耐妨害性に優れたものとするための研究を行う。本年度は、GNSSによる精密進入着陸システムであるGBAS（地上直接送信型衛星航法補強システム）について新しいGNSS環境に適合させるための方式提案を行い、GNSS信号認証技術の検証のためのプロトタイプシステムを開発するとともに、SBAS（衛星経由送信型衛星航法補強システム）相互運用性検証実験を行う。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、国内のモデル空港に対して設計した新進入方式について、フルフライトシミュレータによる検証に加え実験用航空機を用いた飛行実証を実施する。また、引き続き、衝突危険度モデルを改善する計算アルゴリズムの妥当性を民間航空機の運航データを活用して検証する。等

－航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究では、混雑空港周辺における全体効率を高めるため、機上及び地上それぞれの視点から、交通量の多い環境下でも実施可能な継続降下運航（CDO、Continuous Descent Operations）の開発を目指す。本年度は、CDOの一環として提案する固定飛行経路角降下（Fixed-FPA）において、パイロットへの情報（降下経路の位置データ・実施に係る性能データ等）提供手法に関する研究開発に着手する。また、GI（グリーンイノベーション）につながるFixed-FPA運用における環境負荷を定量的に評価し、運航性能とのトレードオフを明らかにすることにより、地上支援機能を開発する。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

－AMAN/DMAN/SMAN統合運用による空港運用の効率化に関する研究では、航空交通が輻輳する大規模空港において、滑走路の最大活用のために、到着・出発・空港面の航空交通流を統合して管理する必要があるので、データサイエンス手法、数理モデル、シミュレーション実験を組み合わせて、運用手法を提案し有効性を評価する（AMAN：到着管理、DMAN：出発管理、SMAN：空港面管理）。本年度は、首都圏空港の空港面および到着・出発の航空交通流について、運航デ

ータやスポットアサインメント等のデータを収集して現状分析し、データ駆動型の待ち行列モデルを応用して、到着・出発、到着・空港面、空港面・出発交通の管理機能の統合について初期検討を行う。さらに、提案手法を評価できるよう、シミュレーション環境を構築する。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、令和元、2年度に実施した低RCS（レーダー反射断面積）対象物探知技術の評価試験結果、異物回収端末ユーザインターフェースの評価結果、評価システム構築および試験実施結果の取りまとめを行う。また、得られた結果を踏まえ、FOD監視システムのさらなる性能改善検討提案および評価用FOD監視システムを用いた空港環境評価試験を実施する。等

－デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究では、リモートタワー・デジタルタワー（RT/DT）として、映像や監視センサからのデジタル情報を活用した業務支援のための機能の研究開発を行う。本年度は、映像系システムはAI等の機械学習を用いた物体識別機能と追尾機能の連携したシステムの構築を行う。監視センサは小型の構成でRT/DTの映像システムデータとの整合性や精度についての評価、検証を行う。また、DXにつながるべく、システムとしての機能や性能が最適化されるように、システムインテグレーションに必要なソフトウェア技術を開発し性能評価を実施する。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

－高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究では、高密度運航に求められる高精度な位置情報といった機上情報を迅速に取得するために、放送型自動位置情報（ADS-B）を受信・検証する機能および機上情報（DAPs）に対する質問送信機能を持つ高機能空中線に向けた研究開発を行う。本年度は、素子および指向性制御方式の開発、高機能空中線による監視機能の開発、導入効果の検討を行う。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

－本項目については中長期計画を達成したため終了とする。

（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

－航空分野でのDXを実現するため、情報共有基盤となるSWIMの導入が不可欠である。これに対応するため、SWIMによる協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究として、異なる運用要件に適応できる広域SWIMサービス基盤構築技術と情報の信頼性や運航の安全性を保証できるアシュアランス技術の提案、実用可能なサービスを用いた国際連携評価を行う。本年度は、現行の運航管理業務の分析による運用プロセスのサービスモデルを検討しながら、各種情報に対して広域情報品質管理モデルを開発する。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

－航空通信基盤の高度化に関する研究では、複数の通信システムおよび通信経路を用いた際の接続率向上技術の評価開発、通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証、新しいネットワークに対応した各種規格の標準化活動を行う。本年度は、実験室規模で複数の通信システムおよび通信経路を模擬した検証システムの開発を始めるとともに、通信の秘匿・優先度選択技術の基礎調査を行う。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３年度における取組状況

令和３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。

萌芽的研究の一例として、近年普及が進んでいる小型無人航空機（ドローン）と、既存の有人航空機が協調的に運用可能な環境構築に関する研究を実施している。ドローンは低い高度を飛行するため、有人機の中では比較的低高度を飛行する有視界飛行方式（Visual Flight Rules: VFR）のヘリコプターとの衝突が懸念されている。本研究ではドローンの利活用を妨げることなく、VFR ヘリコプターと共存することができるような安全性が確保できる飛行環境を構築するにあたり必要となる要素技術の検討、及び開発を目標としている。

本年度は主に、VFR 飛行計画の解析と利用可能性検討を実施した。計器飛行方式（Instrument Flight Rules: IFR）で飛行する一般の旅客機においては、飛行計画からその飛行を予測し、衝突の防止に役立てられているが、VFR においては行われておらず、そのため飛行計画の形式も飛行予測に適したものではない。そこで VFR 飛行計画を活用し実際の航跡を予測する方法を開発し（図 1.4.1）、ドローンと飛行前の情報共有を行う方策を検討した（図 1.4.2）。実運用への実装の容易さと軌道予測精度のトレードオフを考慮し、3 パターンの予測方式を開発した。3 パターンの方式それぞれについて、実運用におけるドローンと VFR ヘリコプター間の具体的な情報共有方法を検討し、各パターンを採用した際の実装の容易さと予測精度のトレードオフについて定性的、及び定量的な比較を示した。

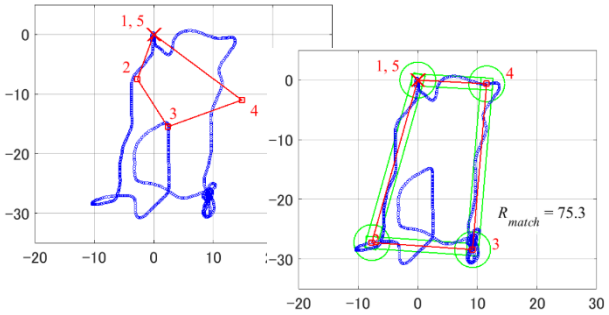


図 1.4.1　飛行計画から実航跡の推定の例（左図：実装が容易な方式、右図：精度がよい方式、青：実航跡、赤：予測経路、緑：一致判定範囲）

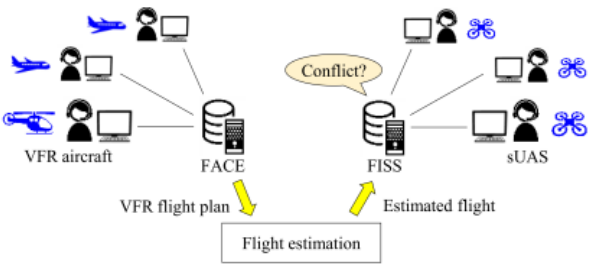


図 1.4.2　実運用における VFR 機とドローン間の情報共有方法の検討例

成果の公表

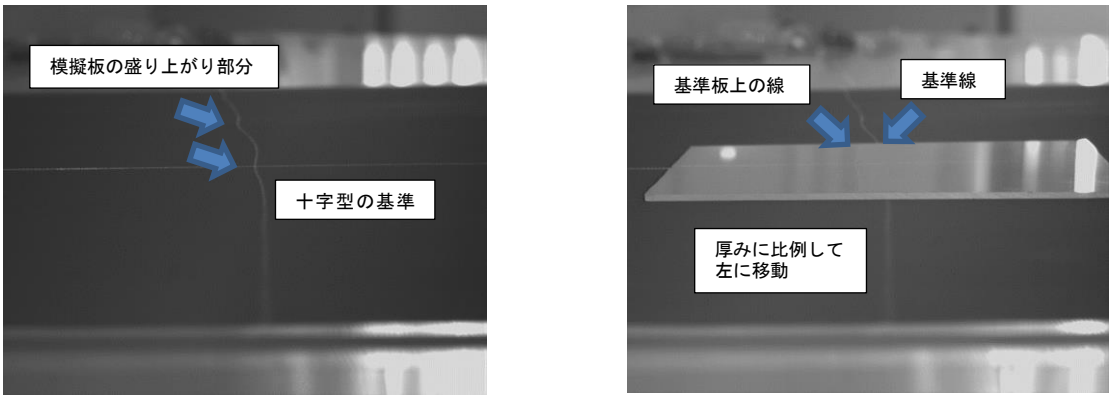
口学会発表論文：１編

虎谷大地，小手川達也，“無操縦者航空機の導入に向けた運用環境定義の検討，”飛行機シンポジウム，　令和 3 年 11 月.

またもう一つの萌芽的研究の例として、冬季の爆弾低気圧等の影響により発生する急激な積雪をリアルタイムに観測するため、新しい滑走路面の堆積物計測技術に関する研究を実施している。滑走路上に

堆積した水、雪等は航空機着陸時の摩擦係数の低下を引き起こすため、着陸前のパイロットに滑走路状態を連絡している。現在は定期的に人間が観察、計測して記録しているが、この作業を自動化、リアルタイム化するため、滑走路脇から堆積物を計測する技術を開発している。

本年度は、赤外線カメラと直交する向きから照射されたラインレーザー線を用いて、mm 単位で厚さが増加する堆積物の厚さの分布を計測する手法を開発した。滑走路を模擬したゴム板を 1 m 離れた赤外線カメラで撮影する。ゴム板から見てカメラと見通し角が 90 度の位置となる左側からレーザーで水平な線をゴム板上に描画するとき、カメラでは垂直の線として観測される。この垂直線は、基準板が平板であれば直線となるが、ゴム板の微小な凹凸に応じて、高さが高い部分の線が横方向に大きく移動することが確認された。また高さとの関係を調べるため、1〜3 mm の厚さの基準板を配置して、レーザー線の移動量を観測した。その結果、厚さに比例して照射位置の方向に線が水平移動することを観測した。



(a)滑走路模擬板上のレーザー線　　(b) 3 mm 基準板を配置した場合

図 1.4.3　赤外線レーザーによる滑走路模擬板の計測例

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、気象（悪天）現象が航空機の運航、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、航空交通流管理および航空機の運航管理の高度化を図る。本年度は、気象情報から飛行制約条件への変換に関して、航空用 MSM の利用を検討するとともに、飛行計画軌道やセクタの悪天域との重なりおよびデビエーション割合を過去のデータより統計的に求める。また、評価システムの使い勝手を向上させる他、予報データを取り扱えるようにプログラム改良を図る。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研究

研究の背景

協調的な運航前の軌道調整を実現するにあたっては、天気図等から悪天域を読み取り、航空機運航や航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約を判断する高度な能力が要求される。これを支援するために、現状では航空交通気象センターから悪天に係る一般的な気象情報とともに航空交通気

象時系列予報（ATMet 時系列）が提供されているが、それでもまだ航空機運航や航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約を直感的かつ定量的に把握することは容易ではない。ATMet 時系列等の気象情報に対して航跡データや航空交通流制御実績データ等から求めた航空機運航や航空交通に及ぼす影響との相関を調べる等、飛行経路の選択や航空交通流制御の実施判断に資する気象情報の意味付けを行う研究開発が必要とされている。

研究目標

□悪天の発生傾向や管制空域および飛行経路との関係性、回避状況などを分析し、回避条件やバッファの推定、回避方法のモデル化を行う。

□米国等の取り組みを参考にしつつ、現状比較等により我が国に適した運用判断指標を検討することで、悪天による航空交通流管理への影響度を定量化する。

□上記の分析および評価の実施を容易にするための研究用評価システムを開発し、研究成果を可視化する。

令和３年度の研究内容

□航空用 MSM の利用検討および悪天回避経路生成の改良

□セクタにおける悪天率およびデビエーション割合の算出

□研究用評価システムの機能向上（予報データへの対応）

令和３年度の研究成果

□航空用 MSM の利用検討および悪天回避経路生成の改良

気象予報データの航空悪天 GPV（航空用 MSM）を収集し、データに含まれる要素の活用方法等を検討した。悪天回避等の実態解析は通常気象観測値等を用いて行うが、運航前の飛行経路選択にあたって活用できるのは主に予報値であるため、気象予報データである航空悪天 GPV の特性を把握することが肝要である。航空悪天 GPV の特徴の 1 つとして、観測値の要素に相当する予報値として総降水量および積乱雲頂高度が含まれている他、乱気流指数や鉛直速度シアーなどの他の様々な要素が含まれていることが挙げられる。また、水平面の解像度や時間解像度は観測値に比べてやや劣るものの、高度方向に関しては高解像度であるため、航空悪天 GPV を用いることでより回避すべき領域の特定や垂直方向の悪天回避を検討することが可能と考えられる。

また、研究目標の 1 つである悪天回避経路の生成に関して、悪天域の単純回避だけでなく一部通過の経路生成が可能な、ユーザの嗜好性を反映できるより現実的な悪天回避モデルを開発した。以前開発した悪天回避モデルは悪天の強度に応じて絶対に回避する領域と飛行可能な領域に分けた上で経路を生成するものであった。しかしながら、実際の悪天回避の状況を分析した結果、領域を二分する悪天の強度はその時々の状況に応じて異なることがわかった。また、前述の悪天域を単純に回避するモデルでは、飛行中のように使用可能な気象情報が限定的な場合に経路を生成できないことがあるとわかった。そこで、悪天域を単純に回避するかどうかではなく、悪天の強度と当該領域の通過時間および燃料消費量（悪天回避に伴う飛行距離や飛行時間の増加にほぼ比例）によって悪天域を一部通過する経路も生成可能なモデルを開発した。また、悪天回避の判断は最終的に運航者の状況判断に委ねられるため、悪天の強度および通過時間と燃料消費量に関するトレードオフ関係を経路生成に反映できるモデルとした。図 1.4.4 に開発した悪天回避モデルによる経路生成例を示す。時々刻々と変化する悪天域に対し（図の悪天域は初期状態）、最小の燃料消費となる経路や悪天域を極力迂回する経路など、ユーザの嗜好性に応じた様々な経路を生成できることがわかる。実際の航跡に近い経路も生成できることから、以前の悪天回避モデルと比較してより現実的なモデルを開発できたと言える。

次年度は、航空悪天 GPV を用いた悪天回避経路生成について検討する。

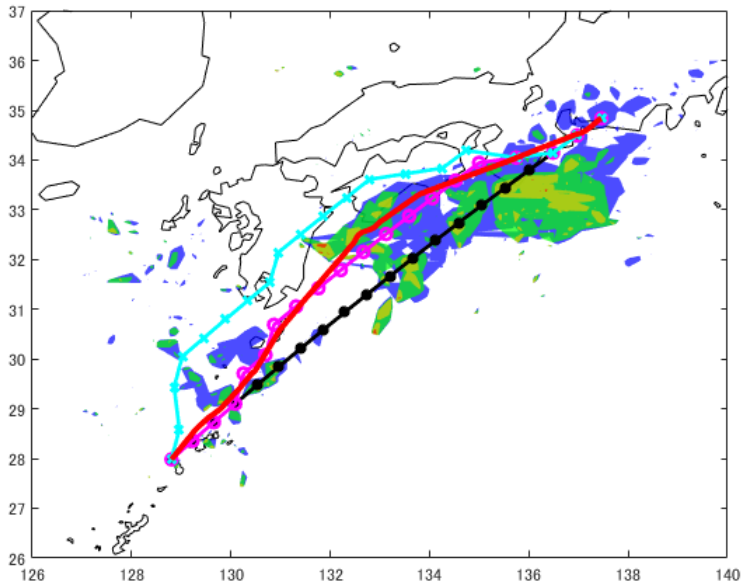


図 1.4.4　悪天域（強度：黄＞緑＞青）に対する経路生成例（黒の実線：最小の燃料消費となる経路、桃色の実線：実際の航跡（赤の実線）に近い経路、水色の実線：悪天域を極力迂回する経路）

□セクタにおける悪天率およびデビエーション割合の算出

気象観測データである全国合成レーダーエコーGPV を用いて、軌道に沿ったエコー強度の値や空域に占める悪天域の割合を求めた。一例として、図 1.4.5 に 2018 年 7 月のある 1 日における首都圏北部の空域に対する悪天率を示す。青線が関東北セクタ（T03、画像中の左の空域）、赤線が常州セクタ（T07、画像中の右の空域）における悪天率の時系列を表す。悪天率の算出にあたっては高度方向も含めた体積で比較しており、空域の上限が定められていない場合は FL450 として求めた。また、エコー強度については 10 mm/h 以上を有効とした（画像中のおおよそ緑～赤の領域）。画像の気象状況と悪天率は直観的に対応していることがわかる。

また、TEPS（航空路管制処理システム）の管制官運転情報より、空域容量に影響する悪天起因のデビエーションに関する管制指示を抽出した。図 1.4.6 に 2021 年 5 月～2022 年 1 月の日中時間帯における関東西セクタ（T12）および武蔵セクタ（T13）の取り扱い機数に対するデビエーション割合を示す。ここで、デビエーション割合は T12 および T13 の取り扱い機数（両セクタ統合運用時を含む）に対して内容は問わずに悪天事由で何等かの管制指示を受けた航空機数の割合と定義した。左軸の棒グラフが機数を表し、積み上げ量の取り扱い機数に対して悪天事由の管制指示を受けた航空機数は赤色の部分である。また、デビエーション割合を右軸の黒の折れ線グラフで示した。図 1.4.6 より、T12+T13 では夏季にデビエーション割合が高い傾向にあるとわかる。また、日によっては T12+T13 を飛行する航空機の約 6 割が悪天の影響を受けていたこともわかる。対象期間における日数 246 日に対し、1 日の取り扱い機数の平均は 398.9 機、悪天事由の管制指示を受けた航空機数の平均は 26.2 機であった。したがって、デビエーション割合の日平均は 6.6 %（最大値は 59.6 %＝215 機／361 機×100）であった。今後、対象日の増加や平均を求める範囲の精査などを行い、統計量の向上を図ることが重要である。

次年度は、セクタにおける悪天率と取り扱い航空機数やデビエーション割合との関係性を分析する。

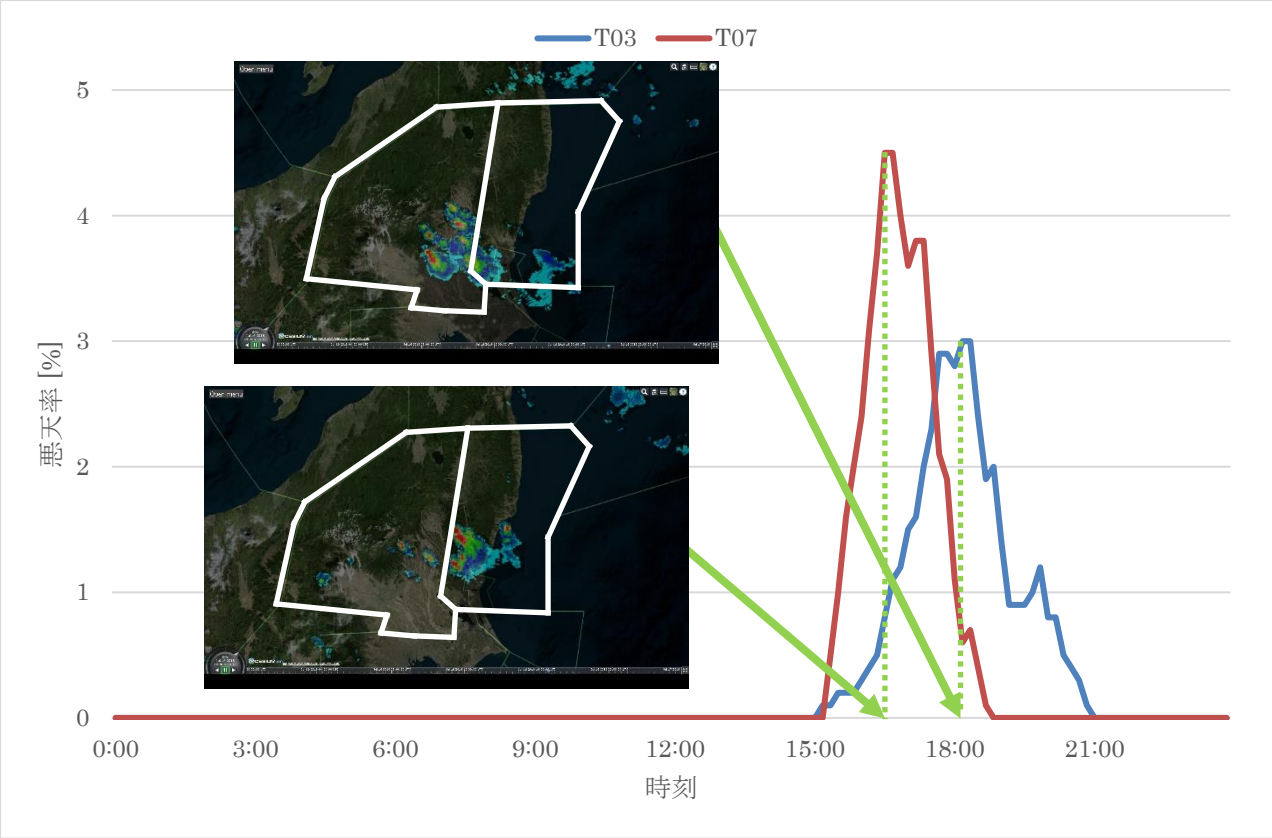


図 1.4.5　空域（左：T03、右：T07）に対する悪天率の算出例

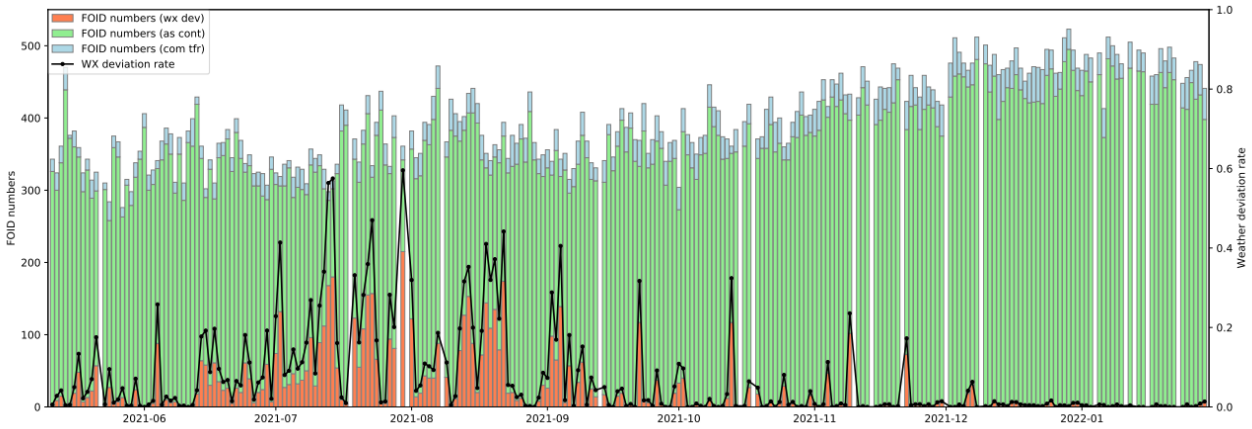


図 1.4.6　2021 年 5 月～2022 年 1 月の日中時間帯における関東西セクタおよび武蔵セクタの取り扱い機数（両セクタ統合運用時を含む）に対するデビエーション割合

□研究用評価システムの機能向上（予報データへの対応）

研究用評価システムで気象データとして航空悪天 GPV も取り扱えるように機能向上を実施した。

また、セクタの通過判定機能や航跡差の算出機能など、これまでに開発してきたシステムの表示系の高度化および初期的なデータ解析機能の追加によりシステム全体の性能を向上させるための各種プログラム改良を合わせて実施した。

次年度は、検討・分析結果を関係者から評価していただくための仕組みを開発する。

□研究用データの外部機関への提供

当所では、多数の飛行を対象として針路・姿勢・速度など時間とともに変化する航空機状態の情報について詳細かつ長期間の連続した取得が可能なデータ収集施設（SSR Mode S レーダ）を独自に開発し、取得したデータを各研究で使用している。一方、外部機関にとっては航空機が実際に飛行した軌道である航跡データの入手が極めて難しい状況であったため、本研究では以前から取得データを共同研究先に提供してきた。この活動を含む当所の研究用データの収集・整備・提供が外部機関の研究促

進や航空交通管理の分野の研究開発のコミュニティの大幅な拡大に貢献したとして、日本航空宇宙学会より技術賞を受賞した。

成果の公表

口査読付論文：１編

・中村，瀬之口：“Modeling of Aircraft Routes under Severe Weather Conditions”，2022 AIAA SciTech Forum，2022 年 1 月.

口その他：学会論文・発表：４編

・中村，瀬之口：“航空機運航における気象要因の定量化に向けた研究”，第 144 回日本航海学会春季講演会，2021 年 5 月.

・瀬之口，平林，中村：“CARATS 施策 MET-4 および TBO-2（旧 ID：EN-6 および OI-15）関連の ENRI 研究開発の進捗報告”，CARATS 第 45 回 ATM 検討 WG／第 46 回航空気象検討 WG 合同 WG，2021 年 9 月.

・中村，瀬之口：“レーダーエコーに基づく航空機の悪天における回避経路の生成”，第 59 回飛行機シンポジウム，2021 年 11 月.

・岡，古賀，瀬之口：“航空交通データの収集・整備・提供”，日本航空宇宙学会誌 69 巻 12 号，2021 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 －国際交通流の円滑化に関する研究では、フリールート空域（FRA）運用による交通流の変化と便益を明確にするとともに、FRA 運用への移行の課題を洗い出し、対策を検討・提案する。また、日本と隣接する飛行情報区(FIR)の間で共有すべき情報や共有方法について検討し提案する。本年度は福岡 FI と仁川 FIR の初期 FRA 運用概念に基づいた空域モデル、交通モデルを作成するとともに、フリールーティングの効果を評価するための評価指標の検討に着手する。また、国際交通流管理のために共有すべき情報項目と共有するタイミングを検討する。等

○国際交通流の円滑化に関する研究

研究の背景

福岡飛行情報区（FIR: Flight Information Region）、仁川 FIR 及び上海 FIR 間の航空交通流、並びに福岡 FIR を通過するアジア・北米間の交通量は長期にわたり増加傾向である。航空交通流の効率化のため、ICAO アジア太平洋地域のシームレス航空航法サービス計画はフリールート空域（FRA: Free Route Airspace）の導入を推奨している。航空交通流の効率化は FIR 毎に単独で行うと得られる便益に限界があるため「シームレス・スカイ」（円滑化）の実現は極めて重要であると考えられる。

一方、上記 FIR におけるシームレス・スカイ上での FRA の実装手法は学術レベルを含めて、現在

までに検討されておらず、フリールートや空域構成の算出や便益推定および FIR 間での情報共有の具体的な手法の決定が必要とされる。

研究目標

□フリールーティングに関する先行研究の成果を活用し、福岡 FIR と隣接 FIR の FRA 運用概念を導入し運航手順を具体化する。

□FRA 導入時の運航者並びに航空管制の両側面における便益の定量化、課題洗い出し、及びその解決方法を提案する。

令和３年度の研究内容

□FRA 運用モデルの構築

□フリールーティング算出機能の実装

□フリールーティングの便益指標の調査

□国際 ATFM 方策の調査

令和３年度の研究成果

□FRA 運用モデルの構築

前の重点研究で提案した FRA 概念に基づき、国内便の上位 10 路線、及び仁川 FIR またはハバロフスク FIR と NOPAC 間の上空通過便の交通流を解析し、FRA 空域の設計を提案した。また、NOPAC 空域の FRA 化の空域設計を提案した。（図 1.4.7）。

また、NOPAC 空域再編の長期フェーズとして、ATS 固定経路を排除した FRA 化を提案した（図 1.4.8、図 1.4.9）。FRA を拡大することでより効率的な飛行経路生成が可能となり消費燃料も削減できる。図 1.4.9 には 2,000kg 以上の削減となった便と FRA 拡大前の空域での経路を表示した。これら、便益推定の論文は航空交通管理に関する国際学会（ＡＴＭセミナー）で優秀論文賞を受賞した。また、これらの結果は北太平洋（NOPAC）空域内のフリールート空域（FRA）の拡大につながり、シームレスな管制運用の実現に寄与した。

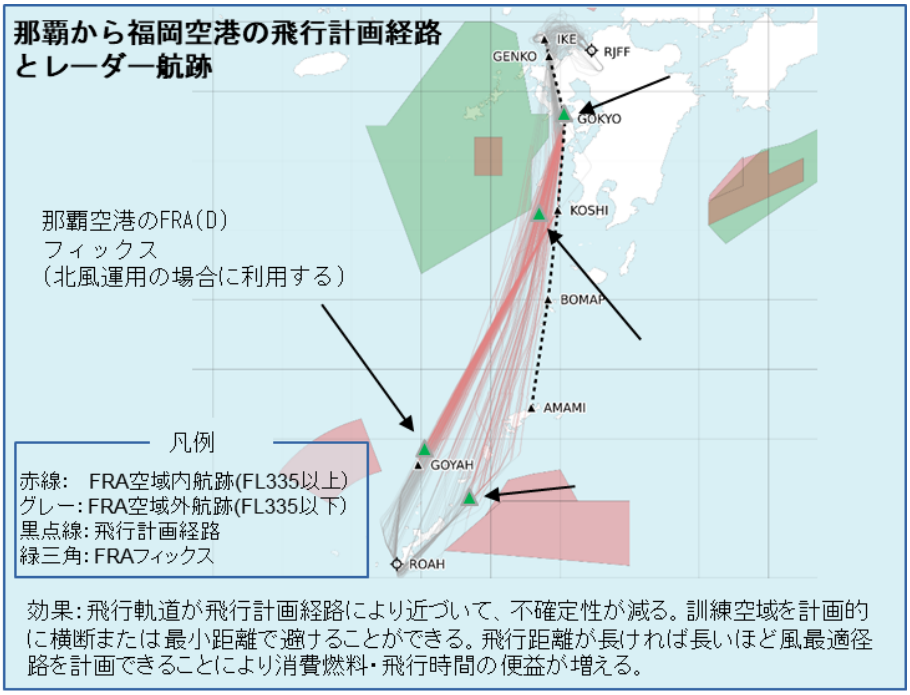


図 1.4.7　上位 10 シティーペア間の飛行計画経路とレーダー航跡を比較し、FRA を実現するための空域設計
（FRA 垂直入域フィックス(D)・出域フィックス(A)・中間フィックス（I））を提案し、課題を洗い出した。

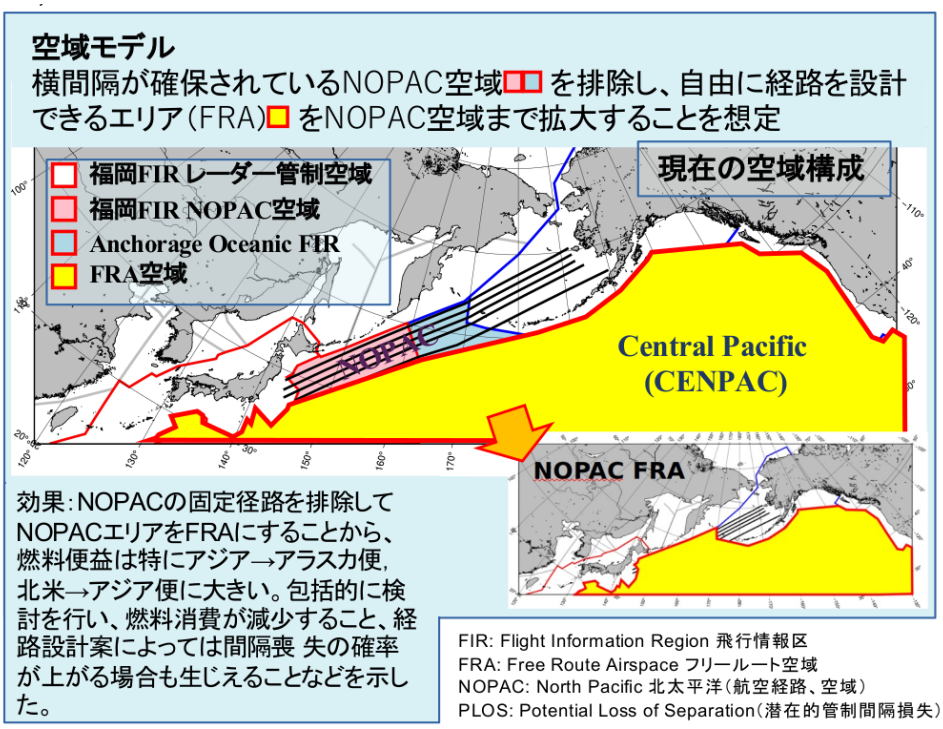


図 1.4.8　NOPAC 空域再編の長期案として FRA 空域を提案して、燃料消費と PLOS の便益を明らかにした。

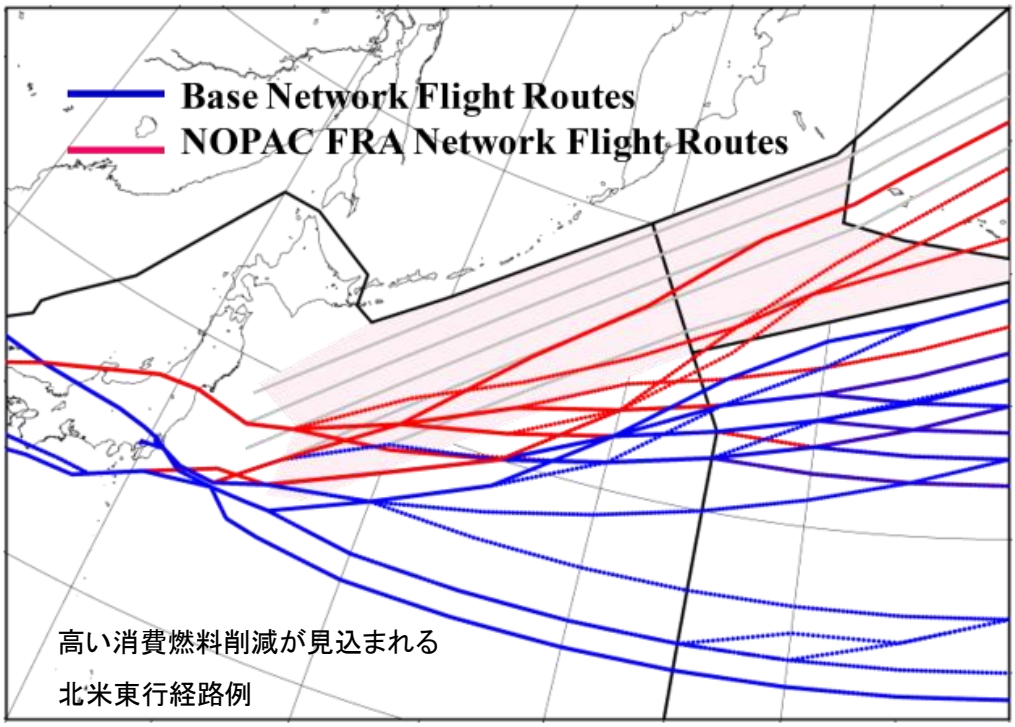


図 1.4.9　現状空域での経路（青）と FRA 拡大時の経路（赤）
・北米大陸便（アラスカを除く）東行き飛行経路のうち、FRA 拡大時は 2,000kg 以上の消費燃料削減となった経路（拡大時と現行空域）の例

□フリールーティング算出機能の実装

より正確な軌道を計算するため、軌道最適化ツールに上昇フェーズ計算機能の機能向上をし、ルートチャージ計算機能を改良した。NOPAC FRA モデルなどの便益算出に適用した。

□フリールーティングの便益指標の調査

空域設計を提案した NOPAC FRA 空域において、季節変更によるジェット気流の影響を考慮した総合的なオペレータ便益調査（消費燃料の削減・飛行時間の短縮）と航空交通管理への影響をファス

トタイムシミュレーションで実施した（図 1.4.8）。

□国際 ATFM 方策の調査

国際 ATFM のために共有すべき情報項目と共有するタイミングの検討について、韓国航空大学（KAU）、南京航空航天大学（NUAA）、韓国航空研究宇宙研究院（KARI）と共同研究契約を締結し、南東アジア地域の Multi-Nodal ATFM と韓国・中国・日本の３カ国が参加する NARAHG ATFM に関して、国際間で共有する情報や制約、航空管制への影響について情報共有をし、意見交換を行った。

また、福岡 FIR における国際 ATFM に関するデータの処理、連携システム間のやり取りを解析するため、航空局のシステム記録（ICAP）から航空機の軌道データなどの情報を抽出して、解析に着手した。

また、ICAO の ATMRPP（ATM Requirements and Performance Panel）及び米国 FAA、日本の航空局、カナダの NavCanada 等が参加する MR-TBO（Multi-Regional TBO）の会議での議論に参加した。

□洋上管制間隔短縮の運用開始

洋上において希望高度での飛行は距離が長いこともあり、燃料削減に大きく寄与する。従来では安全間隔が確保できないとして、高度を変更できなかった状況でも、高度変更時の洋上管制間隔を短縮できる上昇降下方式（ADS-C CDP）により一時的に間隔が欠如しても安全な高度変更が可能となる。この便益推定を報告していたが、令和３年 9 月より福岡 FIR で試行運用が始まり、研究成果が低燃費な飛行高度の実現に寄与し環境負荷の低減に大いに貢献した。

成果の公表

□査読付論文：２編

・H. Hirabayashi, M. Brown, N. Takeichi, “Feasibility Study of Free routing Airspace Operation over the North Pacific Airspace”, ATM Seminar 2021. （優秀論文賞）

・M. Brown, H. Hirabayashi, K. Lee, “An Analysis of Flight Routes and Considerations for Free Route Airspace Implementation in Fukuoka FIR”, APISAT2021, 2021 年 11 月.

□その他: 学会論文・発表：２編

・水津晴隆，平林博子，ブラウンマーク，武市昇，“洋上経路を飛行する航空機の上昇位置の分析”，第５９回飛行機シンポジウム，2021 年 11 月～12 月

・CAB 報告会 1 件（2021 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	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 －新しいGNSS環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究では、GPS以外のコアシステムを含めた新しいGNSS（衛星航法）環境を活用して、GNSSによる進入着陸誘導システムの高度化を図り、電離圏活動の影響を受けにくく、耐妨害性に優れたものとするための研究を行う。本年度は、GNSSによる精密進入着陸システムであるGBAS（地上直接送信型衛星航法補強システム）について新しいGNSS環境に適合させるための方式提案を行い、GNSS信号認証技術の検証のためのプロトタイプシステムを開発するとともに、SBAS（衛星経由送信型衛星航法補強システム）相互運用性検証実験を行う。等

○新しいGNSS環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究

研究の背景

航空機の航法には衛星航法システムGNSSの導入が進められており、日本では平成19年度から運用されているMSAS（SBAS）に加えて、令和元年度に一部空港でGBASが整備され、試行運用を実施している。これら現行のSBAS及びGBAS規格はGPSのみしか対応していないが、いずれも次世

代規格の策定が進められており、GPS 以外のコアシステムに対応するとともに複数の周波数を使用可能となる。これら次世代規格に対応した次世代 GNSS 補強システムによれば電離圏活動の影響を受けにくいロバストな航法が可能となり、低磁気緯度地域にあり電離圏活動の影響を受けやすい我が国においてはメリットが大きい。一方、今後は次世代 GNSS 補強システムが各国において実装されることとなるが、それらについては相互運用性の確保がきわめて重要な課題となっている。

電離圏に関する環境が欧米と異なる我が国は、GNSS の国際標準化作業に積極的に参画し、磁気低緯度地域で導入可能な次世代 GNSS 対応補強システムの開発に貢献する必要がある。当所ではこれまでにも次世代 GNSS 補強システムのプロトタイプを開発してきており、引き続き国際標準策定作業を継続するとともに、相互運用性を確保するための活動を先導することが求められている。

※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。

※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

□新しい GNSS 環境に対応した進入着陸誘導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。

□欧米の研究開発機関と協調して、新しい GNSS 環境に対応した進入着陸誘導システムの相互運用性検証実験を実施し、相互運用性を確実にする。

□GNSS におけるセキュリティ対策技術を開発し、安全・安心な航法を実現する。

令和３年度の研究内容

□次世代 GBAS 規格の方式提案

次世代 GBAS で予想される性能を踏まえて、仕様策定の前提となる運用コンセプトを開発する。運用コンセプトに基づいて規格化のための方式提案を行う。

□次世代 GBAS/SBAS 飛行実験

最新の GNSS 環境に対応した飛行実験を行い、次世代 GBAS の方式提案及び次世代 SBAS の相互運用性検証に必要な実験データを収集する。

□SBAS 相互運用性検証実験（地上実験）

SBAS の相互運用性を検証するため、固定受信機や車両等による地上実験を実施する。

□セキュリティ対策技術のプロトタイプ開発

GNSS におけるセキュリティ対策技術の実用化を目指し、次世代 SBAS での規格化を想定してプロトタイプを開発する。

令和３年度の研究成果

□次世代 GBAS 規格の方式提案

ICAO における次世代 GBAS/SBAS の基本的検討に引き続き参画している。特に次世代 GBAS についてアドホック会合にて運用コンセプト及び基本的事項の検討が進んでおり、国際標準化関連会議に 7 件の資料を提出するとともに、電離圏モニタ方式の検討などを積極的に進めて具体的な方式案を欧米と共同提案した。

アジア太平洋地域における GBAS/SBAS の導入を目指す ICAO タスクフォースの座長 1 名及び技術リーダー2 名を務めている。

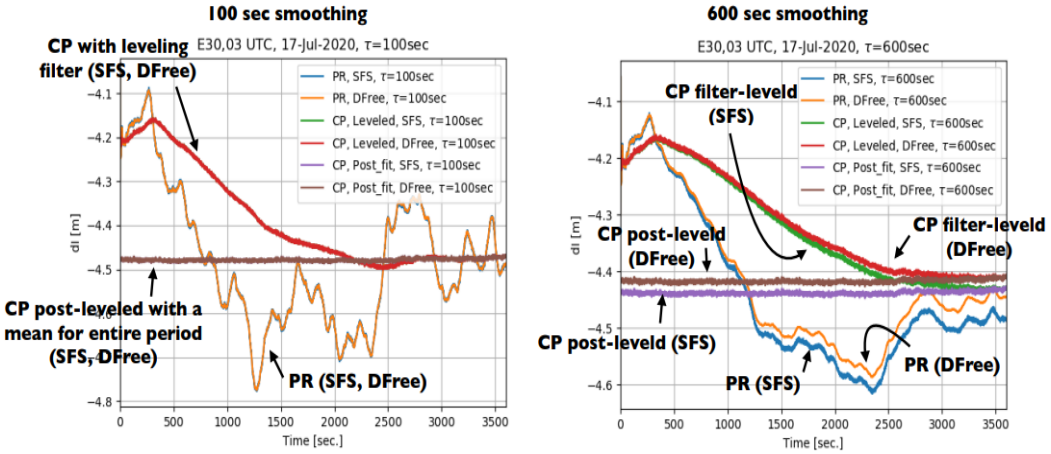


図 1.4.10　電離圏モニタの方式を比較した例

□次世代 GBAS/SBAS 飛行実験

第１回目の飛行実験を 10 月に石垣島にて計画したが、台風の影響により目的地を宮崎に変更して実施し、航空路上における実験データを収集した。第２回目の飛行実験を 3 月に石垣島にて実施し、プラズマバブルが発生しやすい夜間におけるフライトを含む実験データを計画通りに収集した。

図 1. 4. 11　実験機内の様子（次世代 SBAS 飛行実験）

□SBAS 相互運用性検証実験（地上実験）

障害物の多い環境下における SBAS の受信特性を調べるため、2 月に仙台空港にて地上実験を実施して実験データを収集した。

□セキュリティ対策技術のプロトタイプ開発

ディジタル認証技術による方式のプロトタイプを試作し、性能指標のいくつかを試算した。

成果の公表

□査読付論文：７編

・Nicholas Ssessanga，山本衛，齋藤享，齊藤昭則，西岡未知（April 2021），“Complementing regional ground GNSS-STEC computerized ionospheric tomography (CIT) with ionosonde data assimilation,” GPS Solutions, Vol.25.
・Tim Murphy，Mat Harris，Gary McGraw，Joel Wichgers，Linda Lavik，Morten Topland，Mutaz Tuffaha，齋藤享（Sept. 2022），“Alternative Architecture for Dual Frequency Multi-Constellation GBAS, ” Proc. ION GNSS+ 2021, pp.1334-1374.
・齋藤享，細川敬祐，坂井純，冨澤一郎（Nov. 2021），“Study of structures of the sporadic E layer by using dense GNSS network observations, ” NAVIGATION, Vol.68, No.4, pp.751-758.
・小林海斗，久保信明，坂井丈泰（Dec. 2021），“マルチパスモニタリングによる GNSS スプーフィング検知の研究，”日本航空宇宙学会論文集，Vol.69，No.6，pp.247-256.
・坂井丈泰，北村光教（Dec. 2021），“MSAS 信号による測距精度の評価，”測位航法学会論文誌，Vol.12，No.1，pp.1-7.
・高橋透，齋藤享，北村光教，坂井丈泰（Jan. 2022），“Performance of DFMC SBAS broadcasted from Japanese QZSS in Oslo, Norway, ” ION International Technical Meeting (ITM) 2022, pp.401-406.
・Tim Murphy，Matt Harris，Glaucia Balvedi，Gary McGraw，Joel Wichgers，Linda Lavik，Morten Topland，Mutaz Tuffaha，齋藤享（Jan. 2022），“Ionospheric Gradient Monitoring for Dual Frequency Multi-Constellation GBAS, ” ION International Technical Meeting (ITM) 2022, pp.1075-1097.

□国際標準化会議（ICAO、RTCA、EUROCAE 等）：７編

・松田国幸，岸信隆，井下亨，坂井丈泰，“QZSS standardization follow-up, ” ICAO NSP JWGs/7, April 2021.
・齋藤享，“Coordination with METP on Space Weather, ” ICAO NSP JWGs/7, May 2021.
・齋藤享，吉原貴之，福島荘之介，“Status of GBAS related studies of ENRI, ” LATO/36, Sept. 2021.
・齋藤享，“Progress on Space Weather Job Card, ” ICAO NSP JWGs/8, Nov. 2021.
・Tim Murphy, Matt Harris, Gary McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha，齋藤享，“Updated GAST X Proposal, ” ICAO NSP JWGs/8, Nov. 2021.
・齋藤享，吉原貴之，福島荘之介，松田国幸，“GBAS Status Update in Japan, ” ICAO NSP JWGs/8, Nov. 2021.
・吉原貴之，齋藤享，“Guidance on determination of the tropospheric refractivity, its uncertainty and scale height, ” ICAO NSP JWGs/8, Nov. 2021.

□その他：９編

・北村光教，坂井丈泰，“SLAS 評価結果の報告，”日本航空宇宙学会 GPS/GNSS 研究会，May 2021.
・齋藤享，ナヴィンダ キトマル ビクラマシンハ，佐藤達彦，塩田大幸，“Economic impacts of atmospheric radiation storm on aircraft operations and potential use of space weather information, ” Japan Geoscience Union Meeting, June 2021.
・Tim Murphy, Mat Harris, Gary McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha，齋藤享，“Alternative Architecture for Dual Frequency Multi-Constellation GBAS, ” ION GNSS+, Sept. 2021.

・齋藤享，細川敬祐，坂井純，冨澤一郎，“GNSS 観測網を用いたスポラディック E 層の特性と GNSS への影響の研究，”GPS/GNSS シンポジウム，Oct. 2021.
・坂井丈泰，北村光教，小田浩幸，“L5 SBAS による信号認証機能の基礎検討，”第 65 回宇宙科学技術連合講演会，Nov. 2021.
・吉原貴之，北村光教，小田浩幸，坂井丈泰，“SBAS による鉄道車両測位に向けた GNSS 受信信号の品質監視とマルチパス誤差モデルの構築，”第 65 回宇宙科学技術連合講演会，Nov. 2021.
・北村光教，“SLAS 測位精度向上に関する研究，”第 65 回宇宙科学技術連合講演会，Nov. 2021.
・齋藤享，細川敬祐，坂井純，冨澤一郎，“GEONET ROTI を用いた Es 層の構造・特性の解析，"MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム，Sept. 2021.
・齋藤享，細川敬祐，坂井純，冨澤一郎，“Impacts of VHF anomalous propagation on aeronautical navigation systems and the Es layer structure and dynamics，”第 150 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会，Nov. 2021.

□職務発明：1 件認定

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、国内のモデル空港に対して設計した新進入方式について、フルフライトシミュレータによる検証に加え実験用航空機を用いた飛行実証を実施する。また、引き続き、衝突危険度モデルを改善する計算アルゴリズムの妥当性を民間航空機の運航データを活用して検証する。等

○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）等の導入による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３年度の研究内容

□モデル空港方式設計と FF シミュレータ検証

□飛行実証（RNP to GLS）

□衝突危険度モデルの改良

令和３年度の研究成果

□モデル空港方式設計と FF シミュレータ検証

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、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、山岳により ILS 進入経路が方式設計できないモデル空港を選定し、GLS オフセット経路により精密進入経路を設計した。この経路から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検証し、操縦士のワークロードを中心にフライアビリティを評価した。この結果、設計経路は低視程や横風の程度によって難度が高くなるが、設定した最低気象条件において許容可能なワークロードであり、山岳等による GPWS（対地接近警報装置）の警報動作もなく、飛行可能であるとの所見が得られた。また、安全性を高めるための訓練や情報周知の必要性などの見解が示された。

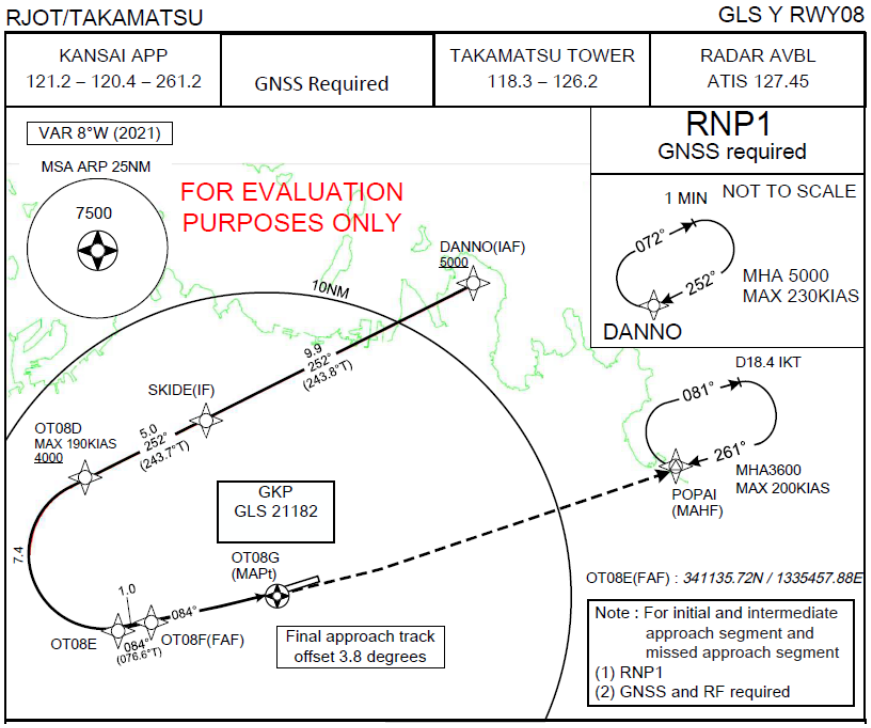


図 1.4.12　研究用 RNP to xLS の進入チャート（高松空港:GLS 滑走路 08）

□飛行実証（RNP to GLS）

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。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を開発した。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した。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）が実現可能となる。

本年度は、昨年度までに開発した可搬型プロトタイプ装置を用いて、2 箇所のモデル空港において飛行実証を実施した。広島空港での飛行実証では、RNP to GLS 経路と現行の ILS 進入経路の比較を行い、燃料消費量の削減と飛行時間の短縮を実証した。高松空港での飛行実証では、ILS が設置不可能な進入に RNP to GLS 進入を設定し、オフセットかつ高降下による障害物回避の経路の実現可能性を実証した。また、パイロットのワークロード等フライアビリティを検証、さらに、管制官・エアライン・方式設計者などの実験参加により関係者間の合意を形成し、新方式における環境負荷低減の有効性を確認した。

この結果により、国内空港への展開が有効であることが示され、国内基準の策定が始まるなど行政施策に反映された。

図 1.4.13　：広島空港での飛行実証の様子

□衝突危険度モデルの改良

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、衝突危険度モデルを構築するあたりに必要となる逸脱量分布を ADS-B データにより得ることができないかの検討を進めた。真値と同等データとして、羽田空港における GLS 進入の逸脱量を航空会社から取得し、ADS-B データをスムージング加工したデータとの比較を行ったところ、よい精度でデータが得られることが示唆された。これは、ADS-B により逸脱量分布のデータを取得できる可能性があることを示している。

本研究で作成した OAS（障害物評価表面）ソフトウェアは ICAO 国際標準文書の附属ソフトウェアとして採用される見込みであり、改良版を随時公開している。

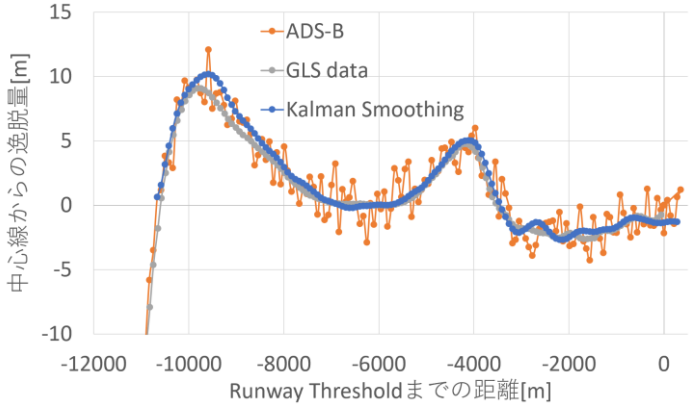


図 1.4.14　ADS-B による逸脱量データの精度の比較

成果の公表

□その他：５件

・Susumu Saitoh, Sonosuke Fukushima, “Status of GBAS related studies of ENRI,”, 35th EUROCONTROL Landing and Take-off Task force, 2021.

・齊藤真二，福島荘之介，“可搬型衛星航法補強装置による RNP to xLS 飛行評価について”，日本航空宇宙学会第 59 回飛行機シンポジウム，2021 年 12 月

・福島荘之介，齊藤真二，“脱炭素化に向けた新しい曲線経路を飛行実証”，プレスリリース，2021 年 12 月

・福島荘之介，“航法システムと航空管制技術の動向と課題”，名古屋大学大学院工学研究科航空機開発 GPL 養成講座（第 13 回）

・福島荘之介，齊藤真二，森亮太，“RNP to xLS 進入方式の研究 フライアビリティと飛行実証”，ATEC 新たな進入・出発方式導入に向けた調査・研究 WG 会議

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 ー航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究では、混雑空港周辺における全体効率を高めるため、機上及び地上それぞれの視点から、交通量の多い環境下でも実施可能な継続降下運航（CDO、Continuous Descent Operations）の開発を目指す。本年度は、CDOの一環として提案する固定飛行経路角降下（Fixed-FPA）において、パイロットへの情報（降下経路の位置データ・実施に係る性能データ等）提供手法に関する研究開発に着手する。また、GI（グリーンイノベーション）につながるFixed-FPA運用における環境負荷を定量的に評価し、運航性能とのトレードオフを明らかにすることにより、地上支援機能を開発する。等

○航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究

研究の背景

近年の航空交通量の増大に伴い、主要な空港の容量拡大が強く望まれており、地上における軌道予測の機能向上が潜在的な対策の一つであるとされている。一方で、従来の段階的に降下する方式は、低高度での燃料消費量増加・騒音発生につながることから、降下開始点から継続的に降下する継続降下運航（CDO, Continuous Descent Operations）の導入が望まれている。しかしながら、CDO の軌道は

個々の航空機の性能に沿った降下経路であるため地上での軌道予測精度を低下させる一因となり、日本での CDO の運用拡大が進まない原因のひとつとなっている。

軌道予測精度と CDO の拡大を両立するために提案されている方式の 1 つが、降下時の飛行経路角を指定する固定飛行経路角（fixed-FPA, fixed flight-path angle）降下方式である。Fixed-FPA 降下方式は完全な CDO ではないものの、飛行経路角の情報を介することで地上の軌道予測精度が向上する（空地連携）ため、CDO の運用拡大につながることが期待されている。しかし、従来の航空管制システムは、地上と機上それぞれが所有する情報が密接に共有できる環境ではないことから、このような方式の導入が困難である。

研究目標

□Fixed-FPA 降下方式の設計方法を確立し、空地連携を達成するために必要とされる機能（速度制御機能、最適な降下角の選定手法等）の要件定義をする。
□機上における fixed-FPA 降下方式を支援するため、スマートサポートシステムの開発及び実証実験を行う。
□Fixed-FPA 降下方式における運用構想（ConOps）を確立する。

令和３年度の研究内容

□環境負荷推定における評価解析
□Fixed-FPA 降下を活用した到着管理アルゴリズム
□Fixed-FPA 降下専用 EFB アプリ初期設計

平成３年度の研究成果

□環境負荷推定における評価解析

（１）航空機の到着管理において、軌道予測誤差が低高度での非効率な運用につながり、環境負荷に大きく影響すると考えられる。その主な要因一つとして、飛行時間の推定に気象予報誤差が直接影響を及ぼすため、令和 3 年度は国内線の運航を想定し、局地モデル（LFM）、メソモデル（MSM）と全球モデル（GSM）三つの数値予報気象モデルの予報精度について定量的評価を行った。そのため、日本空域全体を考慮した三つの国内線を対象に１年間の飛行データを抽出し、各データ点に対して最高の更新頻度（1 時間）と格子間隔（0.05°×0.04°）を持つ LFM モデルの実況値が真値と仮定し、１年間の実況値及び予報値を用いて各気象予報モデルの予報精度を推定した。図 1.4.15(a)、1.4.15(b)と 1.4.15(c)はそれぞれ東西風速、南北風速と外気温の予報誤差の分布を箱ひげ図で表している。NT は実況値、FT は予報値を示す。青枠は分布の約 67%の範囲を示しており、赤点は分布の外れ値を表す。得られた結果から、MSM 実況値（3 時間毎に更新）が最高精度を示しており、LFM 予報値（最大 10 時間先まで予報）が GSM 実況値（6 時間毎に更新）と同程度の予報精度を所有することが確認できた。従来の運用方式では、GSM 予報データを基に出発の数時間前に飛行計画が作成されるが、出発前に LFM 予報値より飛行計画を更新することで飛行時間の予測誤差を改善できることがわかった。

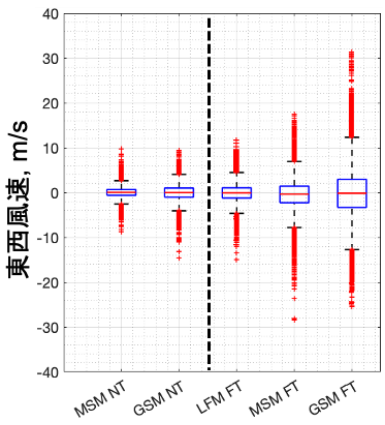


図 1.4.15 (a)

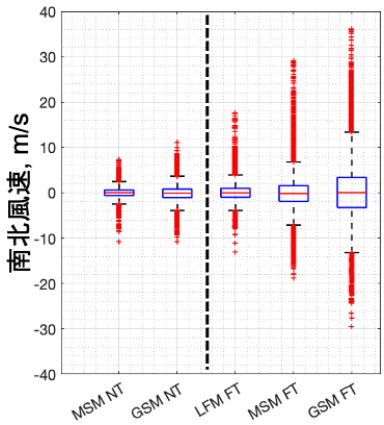


図 1.4.15 (b)

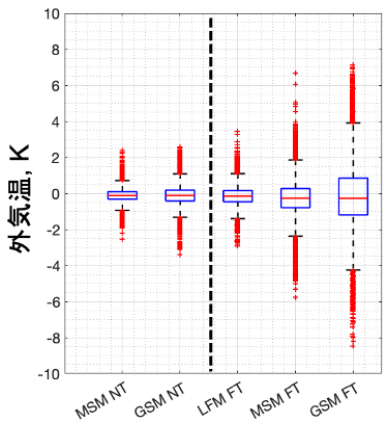


図 1.4.15 (c)

（２）Fixed-FPA 降下における環境負荷を評価するため、Boeing Fuel Flow Method 2(Eurocontrol Modified, BFFM2 ECM)計算手法に基づいて排出ガスの推定モデルを構築した。表 1.4.1 では、CDO と fixed-FPA 降下における時刻調整の有効性を検証するため行ったフルフライトシミュレータ実験における、中型機と大型機の排出ガスの推定結果を示す。ある程度の交通量の空港では、到着間隔を保つために到着時刻調整を行うことが多い。表中の「時刻調整」は、管制が間隔維持のため到着時刻を指示したシナリオを模擬した結果である。CDO(時刻調整)では、従来の運用のように CDO を途中でキャンセルし、ベクタリングを用いて到着時刻を調整しており、fixed-FPA(時刻調整)は速度調整を用いて到着時刻を調整した。得られた結果から、通常の到着方式としては CDO の運航性能が最も有効である一方、管制指示による到着時刻の調整が行われた場合においては CDO（時刻調整）の運航性能が低下したのに対し、fixed-FPA（時刻調整）では降下パスを保ちながら速度調整ができるため、運航性能の変化がわずかであり、運航性能の観点から有効であることが確認できた。従って、環境負荷に支配的な影響を及ぼす CO_2、H_2O 、NOx においても排出が低減可能であることがわかった。

表 1.4.1. CDO と fixed-FPA 降下の運航性能の比較評価

	中型機				大型機			
	CDO	Fixed-FPA	CDO（時刻調整）	Fixed-FPA（時刻調整）	CDO	Fixed-FPA	CDO（時刻調整）	Fixed-FPA（時刻調整）
飛行時間（s）	1,509	1,576	1,647	1,661	1,508	1,606	1,672	1,640
燃料消費量（lbs）	1,185	1,260	1,335	1,218	2,043	2,178	2,402	2,162
NOx（g）	7,317	7,422	8,168	7,095	22,039	20,744	24,705	20,950
CO（g）	1,531	1,432	1,604	1,890	1,658	1,427	1,515	1,624
SOx（g）	753	800	848	774	561	668	692	622
CO_2（kg）	2,815	2,991	3,169	2,894	2,098	2,497	2,586	2,325
H_2O（kg）	1,103	1,172	1,242	1,133	822	978	1,013	911

□Fixed-FPA 降下を活用した到着管理アルゴリズム

Fixed-FPA 降下を活用して到着航空機間の間隔維持を行うアルゴリズムを開発した。提案アルゴリズムは、fixed-FPA 降下への指示である高度・速度指示を生成することで、できるだけ最適な降下に近づけつつ、各航空機の間隔を適切に維持する。ケーススタディでは、二つの到着経路から関西国際空港に向かう６機の航空機に対して本アルゴリズムを適用し、交通量の異なる環境における運航性能を評価した。図 1.4.16(a)は、交通量の少ないシナリオ（ベースラインシナリオ）において得られた航空機の高度プロファイルの結果を示しており、図 1.4.16(b)は、交通量の多いシナリオを模擬した場合得られた高度プロファイルの結果を示している。両図は、fixed-FPA 降下終点までの距離に対して図示しており、IP は間隔維持のため管制が指示する高度指定の地点を表す。ここでは２つのウェイポイント（IP-A・IP-B）において高度制約を付加している。得られた結果から、交通量の少ない環境では全ての航空機が同じ高度プロファイル（運航者希望の fixed-FPA 降下）で降下しており、交通量の多い環境では管制からの速度指示に応じて燃料消費量のトレードオフを考慮しながら、レベルオフを行わない継続的な降下が可能であることが確認された。

本研究で得られた成果が認められ、令和 3 年度計測自動制御学会（SICE）部門マルチシンポジウム賞（技術分野）を受賞した。

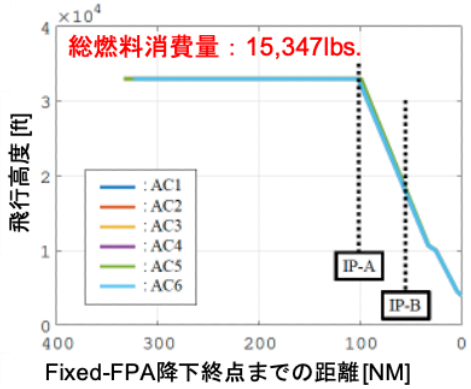


図 1.4.16 (a)

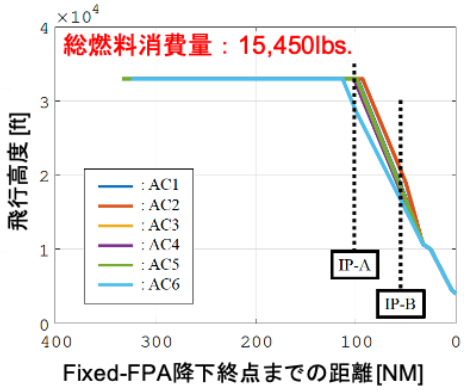


図 1.4.16 (b)

□Fixed-FPA 降下専用 EFB アプリ初期設計

R3 年度は、fixed-FPA 降下を実施するにあたり、機上でパイロットへの情報提供を行う手法として電子フライトバッグ（Electronic Flight Bag, EFB）アプリの初期設計を行った。EFB アプリ開発の専門家である Boeing Global Services 社（元 Jeppesen 社）と現役パイロットへヒアリングを行い、fixed-FPA 降下経路における地図の表示や降下経路の位置データ・実施に係る性能データの算出について得られたフィードバックを初期設計に反映することができた。

成果の公表

□査読付論文：２編

・Wickramasinghe, N.K., Nakamura, Y. and Senoguchi, A., “Evaluating the Influence of Weather Prediction Accuracy on Aircraft Performance Estimation,” APISAT2021, November 2021.

・Wada, S., Inoue, M. and Toratani, D., “Semi-CDO: An arrival separation management algorithm for continuous descent operation,” SICE Annual Conference, September 2021.

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 －AMAN/DMAN/SMAN統合運用による空港運用の効率化に関する研究では、航空交通が輻輳する大規模空港において、滑走路の最大活用のために、到着・出発・空港面の航空交通流を統合して管理する必要があるので、データサイエンス手法、数理モデル、シミュレーション実験を組み合わせて、運用手法を提案し有効性を評価する（AMAN：到着管理、DMAN：出発管理、SMAN：空港面管理）。本年度は、首都圏空港の空港面および到着・出発の航空交通流について、運航データやスポットアサインメント等のデータを収集して現状分析し、データ駆動型の待ち行列モデルを応用して、到着・出発、到着・空港面、空港面・出発交通の管理機能の統合について初期検討を行う。さらに、提案手法を評価できるよう、シミュレーション環境を構築する。等

〇AMAN/DMAN/SMAN 統合運用による空港運用の効率化に関する研究

研究の背景

大規模空港の近傍では、航空交通流の輻湊の解消が大きな課題である。特に、滑走路は航空交通のボトルネックであるため、到着交通の管理（AMAN: Arrival Management）機能は、出発交通の管理（DMAN: Departure Management）機能と統合して効率的に運用する必要がある。さらに、滑走路とスポット間では、航空機が安全かつ円滑に走行できるよう、空港面での交通管理（SMAN: Surface Management）が求められる。これらの交通管理は、定常時において空港を効率的に運用できるよう、また、さまざまな要因で空港での処理容量が低下する非定常時には、迅速に定常状態に回復するよう、レジリエンスな設計がされなければならない。

先行研究の「航空機の拡張型到着管理システムの研究」（指定研究・令和２年度終了）では、羽田空港の到着管理に特化した研究を実施してきた。一方で効率的な空港運用は、到着管理だけでなく、出発・交通流管理と統合して運用する必要がある。「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」（基盤的研究・令和２年度終了）では、SMAN のシミュレーション評価のために、出発機の遅延時間を削減する DMAN との連携について初期検討を行った。

研究目標

□到着・出発・空港面の航空交通流を統合する運用方法を提案する。

□遅延の減少など提案する運用方法の有効性を定量的に評価する。

令和３年度の研究内容

□到着・出発・空港面管理機能の要素分析

□シミュレーション実験の準備

□技術動向調査と運用分析

令和３年度の研究成果

□到着・出発・空港面管理機能の要素分析

AMAN/DMAN/SMAN 各要素の機能を分析して、羽田空港に実装されている DMAN が算出したスポット出発目標時間である TSAT（Target Start Up Approval Time）通りに出発した場合をシミュレーション評価し、現状の DMAN の課題を明らかにするとともに、統合運用を定量的に評価する指標を設計した。さらに、各要素の統合による機能向上をはかるために、機械学習（エラスティックネット・回帰木）・多目的最適化・待ち行列理論を応用した出発・到着時刻の予測手法、理想的なスポットアウト時刻推定手法、滑走路使用率を最大化する出発管理手法を提案し、初期評価を行なった。

図 1.4.17 に、AMAN/DMAN、DMAN/SMAN 統合運用の初期検討結果の一部を掲載する。

図 1.4.17 左図は、羽田空港を模擬したファストタイムシミュレーション実験結果の航跡を表している。シミュレーションの結果、AMAN/DMAN 統合運用により、対象機 1 便あたり 5 分程度の遅延・地上走行時間を削減可能であることを示した。

図 1.4.17 中央図は、時変流体待ち行列理論を適用した、RW05 から離陸する航空機の出発交通流モデルを表している。実際のデータと比較して、モデルの妥当性を確認することができた。このモデルを利用して、図 1.4.17 右図に表すように、出発待機数と待ち時間(滑走路端での出発遅延時間)を予測できるようになった。その結果、DMAN/SMAN 統合運用により滑走路 1 本あたり年間約 1 キロトンの燃料削減が可能であることを明らかにした。

このように、AMAN/DMAN/SMAN 管理機能の要素分析だけでなく、AMAN/DMAN、DMAN/SMAN 統合運用の初期検討も実施し成果の一部を論文にまとめるなど、達成目標以上の達成・進捗状況である。

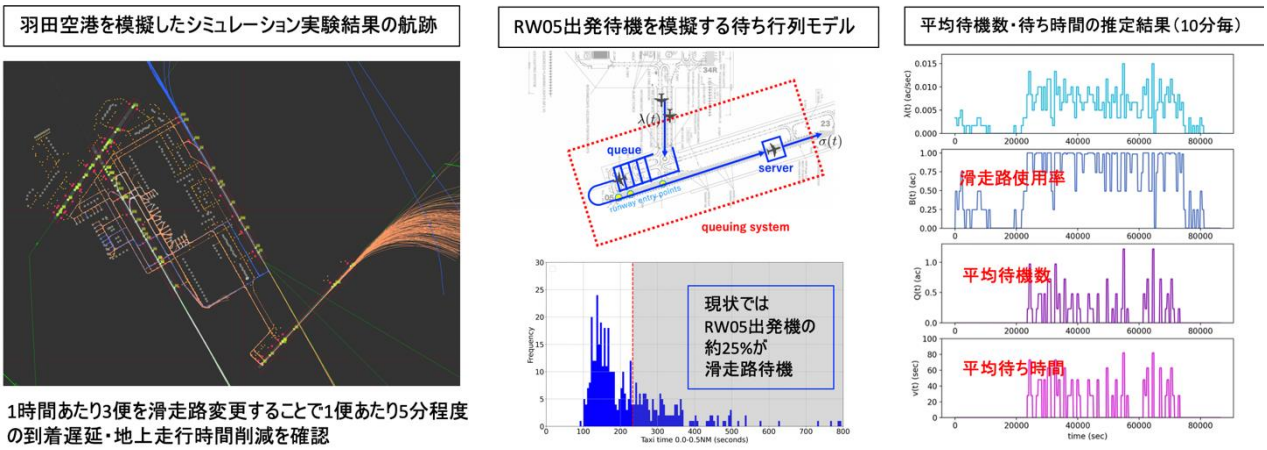


図 1.4.17　AMAN/DMAN、DMAN/SMAN 統合運用の初期検討結果の一部

□シミュレーション実験の準備
AMAN stage3 (エンルート空域での AMAN)と DMAN の統合運用を評価するヒューマンインザループシミュレーション実験環境の準備を継続し、東京管制部の空域と航空交通流を模擬したデモを成功させた。

□技術動向調査と運用分析
ICAO SP AIRB WG に参加し、ICAO PANS-OPS 案の改訂を行なった。2019 年 9 月から 2020 年 2 月までの 36 日分の飛行計画および航跡データから成田空港の到着・出発・空港面データを抽出し、データ分析を開始した。

結果の公表

□査読付論文：５編

・Katsuhiro Sekine,Tomoaki Tatsukawa, Eri Itoh, Kozo Fujii, “Multi-objective takeoff time optimization using cellular automaton-based simulator”, IEEE Access,9 79461-79476 2021.

・Katsuhiro Sekine,Tomoaki Tatsukawa, Eri Itoh, Kozo Fujii, “Data-driven Simulation for Evaluating the Impact of Lower Arrival Aircraft Separation on Available Runway and Airspace Capacity,” Aerospace 8(6) 165, 2021.

・Eri Itoh, Mihaela Mitici, Michael Schultz, “Modeling Aircraft Departure at a Runway using a Time-varying Fluid Queue”, Aerospace 9(3) 119, 2022.

・Michael Schultz, Daniel Lubig, Ehsan Asadi, Judith Rosenow, Eri Itoh, Srinivas Athota, Vu N. Duong “Implementation of a Long-Range Air Traffic Flow Management for the Asia-Pacific Region,” IEEE Access, vol. 9, pp. 124640-124659, 2021.

・Eri Itoh, Furuto Kato, Koki Higasa, Michael Shultz, “DESIGNING AIRCRAFT TRAFFIC FLOWS USING DATA-DRIVEN QUEUING MODELS” ICAS, 2021.

□国際標準化会議（ICAO、RTCA、EUROCAE 等）：１編

・伊藤恵理，大津山卓哉，“Proposals for IM section in the PANS-OPS”, ad-hoc AIRBWG meeting, ICAO, 2021.

□その他：１３編

・立川智章，関根將弘，藤井孝藏，伊藤恵理，都築怜理，柳澤大地，西成活裕，安福健，“全体最適のための新たな航空交通モデルの開発”，計算工学会誌特集記事

・関根將弘，立川智章，藤井孝藏，伊藤恵理“セルオートマトンを用いた航空交通流の多目的巡航速度最適化”，第 20 回進化計算学会研究会講演集，2021.

・日笠航希，伊藤恵理，“Gt/GI/st+GI 待ち行列モデルを用いた航空機の到着交通流の分析および制御“，第 59 回飛行機シンポジウム講演集，2021.

・森川暢明，伊藤恵理，矢入健久，“航空機の到着時刻予測に適した機械学習手法の検討”，第 59 回飛行機シンポジウム講演集，2021.

・加藤古都，伊藤恵理，蔭山康太，伊藤恵理，“機械学習を用いた航空機の地上走行時間予測の検討”，第 59 回飛行機シンポジウム講演集 2021.

・関根將弘，立川智章，蔭山康太，伊藤恵理，“東京国際空港の到着機を対象とした滑走路割り振りのシミュレーション評価“，第 59 回飛行機シンポジウム講演集，2021.
・加地信一朗，高橋正樹，伊藤恵理，“エンルート空域における FIM 速度制御による到着時間間隔の調整”，第 59 回飛行機シンポジウム講演集，2021.
・Eri Itoh, Katsuhiro Sekine, Furuto Kato, Kota Kageyama, “Integrated Arrival, Departure, and Surface Traffic Simulation at Tokyo International Airport”, AirTOP User Conference, 2021.
・Katsuhiro Sekine, Tomoaki Tatsukawa and Kozo Fujii, “Preliminary Study of Multi-objective Air Traffic Optimization for Devising Speed Control Strategy by Using Rule-based Simulator”, Proceedings of AIAA Aviation Forum, 2022.
・関根將弘，立川智章，藤井孝藏，伊藤恵理，“多目的最適化と決定木を用いたエンルート交通流における速度制御戦略の抽出”，進化計算シンポジウム講演集, 2021
・伊藤恵理，“航空交通管理にデジタル変革をもたらす研究開発”，ENRI 国際ワークショップ
・李家賢一，伊藤恵理，“海空宇宙の COVID-19 対応と今後のパンデミック対応に向けて”，学術の動向，日本学術協力財団
・伊藤恵理，“航空交通管理におけるデジタルツイン処理”，日本シミュレーション学会誌

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、令和元、2年度に実施した低RCS(レーダー反射断面積)対象物探知技術の評価試験結果、異物回収端末ユーザインターフェースの評価結果、評価システム構築および試験実施結果の取りまとめを行う。また、得られた結果を踏まえ、FOD監視システムのさらなる性能改善検討提案および評価用FOD監視システムを用いた空港環境評価試験を実施する。等

○滑走路異物（FOD）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 H32 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、（多方向 RCS 評価技術）、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。

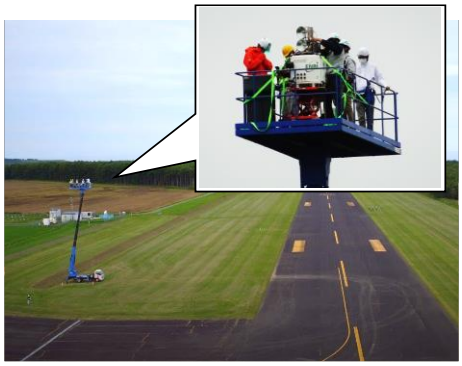
令和３年度の研究内容

□結果取りまとめ（1. 低 RCS 対象物探知技術の評価試験、2. 異物回収端末ユーザインターフェースの改善、3. 空港環境および悪天候時の性能評価（測定・特性定量化））
□評価システム設置および評価試験の実施
□EUROCAE 等の国際基準策定会議での発表・提案低 RCS 対象物探知技術の評価試験

令和３年度の研究成果

□結果取りまとめ（1.低 RCS 対象物探知技術の評価試験、2.異物回収端末ユーザインターフェースの改善、3.空港環境および悪天候時の性能評価（測定・特性定量化））

2021 年 8 月および 11 月にそれぞれ大樹町多目的航空公園滑走路（図 1.4.18）および仙台国際空港で評価試験を実施した。その結果、レーダ送信信号広帯域化による最大 10 dB 以上のクラッタ低下効果を確認した。また、レーダセンサ高を 5 m～20 m まで細かく変化させ、設置高の違いによる滑走路クラッタ変化および FOD 反射電力変化特性を取得し、クラッタを低減しつつ滑走路横断面勾配に対応可能となる最適なレーダセンサ高（滑走路入射角度 2.5 度±1 度）を明らかにした。さらに、仙台国際空港では上記の最適な設置条件において EUROCAE MASPS 評価試験を実施し、6 種の MASPS(Minimum Aviation System Performance Standards)基準対象物について各辺を半分以下の寸法とした対象物の検知率が規格で定められた 95％を超え、世界トップレベルの検知性能を有することを確認した（図 1.4.19）。



対象物	測定数	検知数	検知率(%)
タイヤ片（高さ5 cm×幅5 cm）	117	112	95.7
灯火（直径8.8 cm）	117	117	100
M10ボルト+ナット（長さ4 cm）	135	131	97.0
燃料キャップ（直径4 cm、高さ1.5 cm）	108	107	99.1
コンクリート片（3片5 cm）	117	117	100
金属片（高さ7 cm×幅5 cm）	117	116	99.1

図 1.4.18　滑走路における試験状況　　図 1.4.19 MASPS 準拠対象物（寸法 2 分の 1 以下）検知率試験結果

また、雨天データについては、大樹町多目的航空公園滑走路の試験結果から降水量 4 mm/h 程度では滑走路クラッタ、異物反射電力とも大きな変化が無いことを確認した（図 1.4.20 および図 1.4.21）。さらに、異物回収端末ユーザインターフェースの改善結果について確認を行い、異物位置の認識性および地図の視認性が向上したことを確認した。

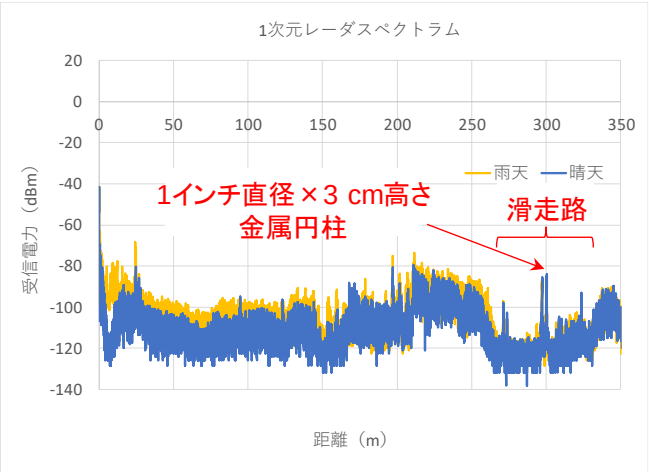


図 1.4.20　雨天時測定状況　　図 1.4.21 雨天時（4 mm/h）における 1 次元ビートスペクトラム

□評価システム設置および評価試験の実施

令和 4 年度における羽田空港への評価用 FOD 監視システムの設置にむけて、C 滑走路の海側部分

の ILS 局舎付近への設置検討を進めた。空港転移表面以下において FOD 監視システムの全覆域が最適な入射角条件となるよう、FOD 監視システムのセンサ高を設計した。また、FOD 監視システム設置用鉄塔の設計および鉄塔基礎の設計を実施した。

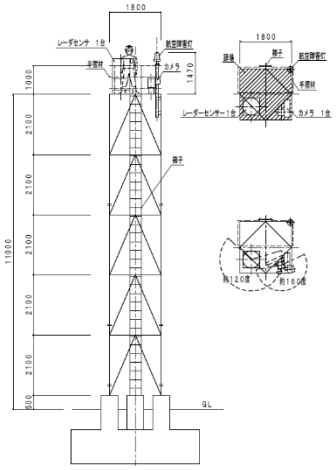


図 1.4.22 評価用 FOD 監視システム鉄塔イメージ　図 1.4.23 羽田空港 C 滑走路における設置検討位置

□EUROCAE 等の国際基準策定会議での発表・提案

EUROCAE WG-83、滑走路面異物検知装置導入検討会、総務省海外展開事業、海外共同研究等に参加・協力した。

特に今年度実施した滑走路面異物検知装置導入検討会では、空港滑走路センサ配置計画、覆域想、性能検討を実施した。当所の大樹町多目的航空公園滑走路および仙台国際空港の実験データに加え、共同研究の一環としてマレーシアのクアラルンプール国際空港における試験結果をマレーシア工科大学および日立国際電気と協力して分析し、FOD 検知率・覆域・誤検知率および雨天影響評価結果等を報告した。

上記は我が国の FOD 監視システム導入・仕様策定のための基礎データとしても社会実装に活用されると同時に、マレーシア工科大学およびマレーシア空港会社を含む関係者と協力し、FOD 監視システムの国際的な導入計画に寄与した。

成果の公表

□査読付き論文：２編

- S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Foreign Object Debris Detection Performance Improvement Evaluation of a 90 GHz Band Millimeter-Wave Radar System in Airport Environments”, Proceedings of the 46th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2021), pp.1-2, Aug.2021
- S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Evaluation of Fundamental Airport Runway Clutter Characteristics Based on 90-GHz Band Millimeter-Wave Foreign Object Debris Detection Radar”, Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (IEEE CAMA2021), pp.1-2, Nov.2021

□その他：７編

- 二ッ森俊一，“空港滑走路異物探知システムに用いる 96 GHz 帯ミリ波レーダによる滑走路上小異物の反射特性測定－反射角度特性および感度改善効果測定－”，電子情報通信学会技術研究報告，AMT2021-03，pp. 26-30，Jun. 2021.
- 二ッ森俊一，“滑走路異物監視システムの研究開発”，航空無線 109 号，Sep. 2021.
- Shunichi Futatsumori, “Development and Field Trial of Airport Runway Foreign Object Debris Detection System”, Airports Authority of India, Aviation Seminar, Nov. 2021.
- 二ッ森俊一，“滑走路異物監視システムの実用化に向けた研究開発”，港湾空港技術特別講演会 in 関東 2021，Nov. 2021.
- 二ッ森俊一，森岡和行，河村暁子，米本成人，“ミリ波レーダを用いた滑走路異物監視システムの研究開発”，Microwave Workshop and Exhibition 2021 展示，Nov. 2021.
- 二ッ森俊一，“ミリ波レーダを用いた滑走路異物監視システムの研究開発”，Microwave Workshop and Exhibition 2021, TH2B-01, Nov. 2021.
- Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Norihiko Miyazaki, Noriaki Hiraga, Naruto Yonemoto, “Research and Development Progress of Foreign Object Debris Detection System Based on 90 GHz Band Millimeter-Wave Radar”，電子情報通信学会技術研究報告，vol. 121，no. 323，SANE2021-96，pp. 72-75，Jan. 2021.
- 米本成人，河村暁子，二ッ森俊一，森岡和行，宮崎則彦，“滑走路異物検出のための光ファイバ接続型マルチスタティックレーダシステム”，電子情報通信学会総合大会講演論文集，Mar. 2022

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 －デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究では、リモートタワー・デジタルタワー（RT/DT）として、映像や監視センサからのデジタル情報を活用した業務支援のための機能の研究開発を行う。本年度は、映像系システムはAI等の機械学習を用いた物体識別機能と追尾機能の連携したシステムの構築を行う。監視センサは小型の構成でRT/DTの映像システムデータとの整合性や精度についての評価、検証を行う。また、DXにつながるべく、システムとしての機能や性能が最適化されるように、システムインテグレーションに必要なソフトウェア技術を開発し性能評価を実施する。等

○デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究

研究の背景

リモート・デジタルタワー（RT/DT）の技術開発は世界的に実用化の段階に来ており、日本においても奄美空港で令和 3 年度からリモートレディオ空港として運用を開始する。国際的にはリモートタワー（RT）は映像や監視センサ技術を用いて、既存の運用を遠隔に行えるシステムとして開発が進められてきており実用化の目途がついてきた。これらのシステムでは、技術動向や運用展開の方向性として、安全性の向上や業務の効率化を目指し、映像やセンサからのデジタル情報をさらに活用した業務支援機能の拡充やシステム機能の高度化によって実現できる新たなタワー運用スタイルの研究・開発の取り組みが、欧州の航空交通管理に関する技術基準、規格検討に関係する機関を中心に議論されて

いる。当所では先行研究として、日本型の RT システムの基本コンセプト構築を目指した研究を昨年度まで日本で唯一実施しており、上記にある業務支援機能のための基礎技術の研究開発にも着目したシステム構築に取り組んできた。これまでの技術基盤や研究プラットフォームを活かすことで、必要とされている運用支援のため拡張機能や技術の導入に向けた開発及び評価に取り組み、日本のタワーシステムの技術革新に貢献していく必要がある。

研究目標

□コンパクトな監視センサと映像システムを組み合わせたコストバランスに優れたデジタルタワーシステムの技術実証と有効性を示す（→航空局へ仕様策定支援）

□タワー業務用システムの高度化

タワー管制業務支援機能の実用化および充実、オペレーターの負担軽減と運用における安全性の向上に寄与

□デジタルタワーシステムの技術実証と有効性を示すとともに低コストなシステム構成の実現とシステムの導入促進

令和３年度の研究内容

□ターゲットトラッキング（TT）の高機能化（AI 画像認識の精度向上）
□監視センサの小型化および高度化(コンパクトセンサの構成等設計)
□タワー向け新映像システム（AR、VR 表示システムの検討）
□国際標準化会議の活動（EUROCAE 等）リモートタワーの技術要件策定

令和３年度の研究成果

□ターゲットトラッキング（TT）の高機能化（AI 画像認識の精度向上）

YOLO(AI ソフトウェア)の学習データベースの構築を開始した。学習テンプレートの違いを評価し、精度が変化することが確認された。PTZ（Pan-Tilt-Zoom）だけでなくパノラマでも YOLO 活用を検討し、ベースとなる学習による認識精度の違いを検証した。

また、検知精度向上のため 3 方式（知識ベース、YOLO ハイブリッド、監視センサミックス）については検討を進め、YOLO ハイブリッドの仕組みも構築中である。PTZ カメラと AI を使用した高速認識と既存検知を組み合わせた方法の評価についても実施し、課題を整理中である。これらの結果、検出精度は向上したが、連続性に課題があることがわかった。

さらに、YOLO 学習と知識処理のハイブリッド方式も試行中である。知識処理モデルは初期評価で効果があり、遠方の航空機でも識別精度が向上した。一方で航空機と同様の大きさや動きをする雲があった場合の誤検知はまだ課題として残されている。このため、実用的なモデルの構築と組み込みについて検討を開始した。

これに加えて、PTZ 追尾の精度向上（遮蔽物での安定化）の検討（複合的な AI アルゴリズムの検討）を開始した。また、深層学習を用いた課題対策も検討中である。

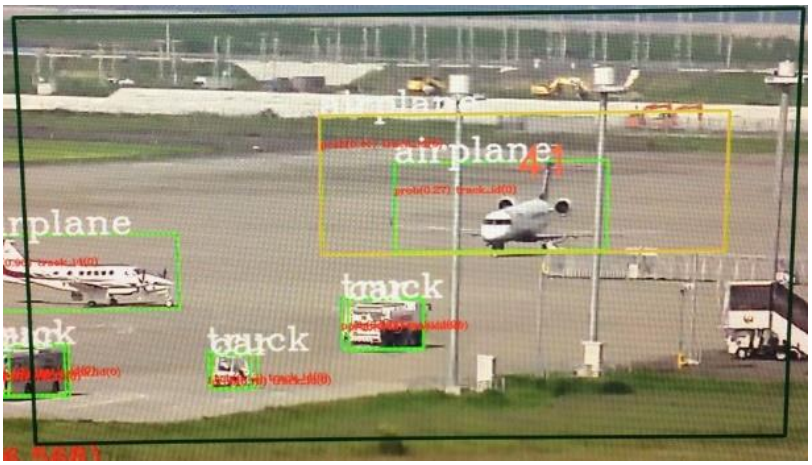


図 1.4.24　YOLO による物体識別の表示例

□タワー向け新映像システム（AR、VR 表示システムの検討）

VR 用表示用機材の調達をすすめている。また、UI 評価用シナリオの検討及び作成を行っている。今後、評価に向けて航空局と調整するところである。

□国際標準化会議の活動（EUROCAE 等）リモートタワーの技術要件策定

リモート・デジタルタワー用の技術要件である EUROCAE WG-100 MASPS ED-240A Ch.1 の策定に、コアチームの主要メンバ及びエディタとして参画し、国際標準化に貢献している。本技術要件は、令和 3 年 11 月に完成し、リリースされた。WG-100 では引き続き ED-240B の議論を開始することとなった。当所からは、非光学センサを用いた映像情報との融合による支援技術の情報を提供しており、国際的な水準に照らして、大きな意義がある研究であり、かつ競争力向上にも寄与している。

□監視センサの小型化および高度化(コンパクトセンサの構成等設計)
　仙台ローカルでの飛行試験による MLAT データと映像の整合性と精度検証を実施した。また、松本空港での実証試験に向けた装置設計および、機器製造等を準備中である

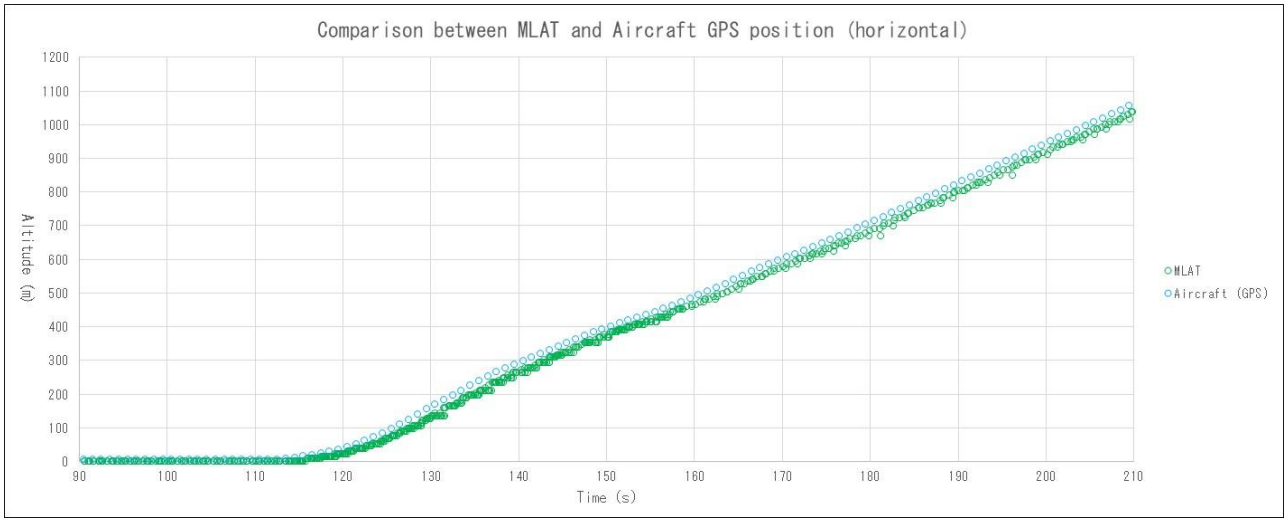


図 1.4.25　MLAT のデータの整合性検証垂直方向の MLAT と実験用航空機 GPS のデータ比較
　　(MLAT の観測データの高度が低い高度を示しており、アビオニクスからの高度情報のダウンリンクに約 1.5 秒の時間遅れがあることが判明した)

成果の公表

□査読付論文：１編
・吉田悠(KDDI 総合研究所)，青山久枝，狩川大輔(東北大学大学院)，井上諭，菅野太郎(東京大学大学院)，吉田一雄(東京大学大学院)，“色の誘目度モデルを用いた航空管制レーダー画面の設計指針の検討”，日本人間工学会　人間工学（論文誌)，Aug. 2021

□国際標準化会議（ICAO、RTCA、EUROCAE 等）：１編
・Inoue, S. & Brown, M., ENRI Remote Tower Latest Technical Developments., EUROCAE WG-100 #26 (Nov. 2021)

□その他：３編
・井上諭，“管制塔のデジタル化に向けて“安全インタフェース最前線，ヒューマンインタフェース学会誌，23 - 2、(2021)
・井上諭　他 4 名，遠隔型タワー（リモート・デジタルタワー）のための映像システムと支援機能の開発，航空管制（航空交通管制協会誌 2021 - No. 4）(2021)
・三橋大地,菅野太郎,浅谷公威,古田一雄（東京大学）,井上諭（電子航法研究所）,狩川大輔（東北大学）,野々瀬晃平（電力中央研究所）記述的情況分析ツールの開発とレジリエンス工学への応用　人間工学会第 62 回大会（2021）

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 －高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究では、高密度運航に求められる高精度な位置情報といった機上情報を迅速に取得するために、放送型自動位置情報を持つ高機能空中線に向けた研究開発を行う。本年度は、素子および指向性制御方式の開発、高機能空中線による監視機能の開発、導入効果の検討を行う。等

○高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究

研究の背景

我が国では、将来の航空交通需要増大へ対応した監視技術の革新として、二次監視レーダー(SSR)、広域マルチラテレーション(WAM)、放送型自動従属監視(ADS-B)といった異種センサを整備し、それらの航跡を統合する航空路マルチセンサーシステムの整備を進めている。現在、航空路 WAM の整備が進んでいるほか、令和 3 年度には CARATS にて ADS-B 導入の意思決定が予定されている。航空路マルチセンサーシステムは各センサの長所を取り入れた監視機能を実現できる一方、異種センサが独立して整備された冗長性の高い構成となっており、それらをより一元的に実現することが、効率化と高性能化の両立に必要である。これに向けては、各センサが持つ異なる送受信要件を集約できる高機能空中線が必須となる。そのため、高機能空中線と高機能空中線による監視機能実現（SSR・WAM 相当の測位、ADS-B の検証）に必要な技術の開発が求められる。国内外の技術開発の動向としては、各センサに関する個別の技術開発は見受けられるが、航空路マルチセンサーシステムの包括的な検討は見当たらない。本研究で必要な技術の開発を行うには、航空路監視用の様々なセンサを対象とした広範囲の専門知識・経験が求められるほか、高機能空中線に関わる専門知識・経験も同時に求められる。加えて、開発した技術を適切に評価するための実験施設も必要である。さらに、本研究の成果普及を効果的に行うには、我が国の航空当局との連携体制と国際標準化の経験も必要となる。したがって、上記の必要な条件を全て具備する当研究所が実施することが適当である。

研究目標

□空中線素子を開発し、評価する

□高機能空中線の指向性制御方式を開発し、評価する

□高機能空中線を活用した監視機能の要素技術を開発し、評価する

□提案方式の導入効果を分析する（ADS-B・WAM・SSR）

□開発した技術の導入に向け、国際標準規格へ情報提供する等の標準化活動を実施する

令和３年度の研究内容

□空中線素子の開発・製作

□高機能空中線の指向性制御方式の検討・開発

□高機能空中線を活用した監視機能の検討・開発

□提案方式の導入効果の検討（ADS-B）

□国際標準化活動

令和３年度の研究成果

□空中線素子の開発・製作

様々な監視センサの要件に対応するためには、電波の送受信方向（指向性）の制御や、電波の到来方向推定（航空機の方向探知）が必要となる。これらの実現に向けた、最も基本的なハードウェアとして、素子の開発と製作を行った。図 1.4.26 には素子の構造を示す。当所における実績を踏まえ、金属パッチ（平面板）と呼ばれるタイプを採用した。従来品との違いとしては、素子ごとに送受信端子が具備されており、後述する制御方式と組み合わせることで、指向性制御や到来方向推定が可能となる。相互結合と呼ばれる性能低下要因を低く抑えているほか、実験用に素子間隔が変更可能な構造とした。

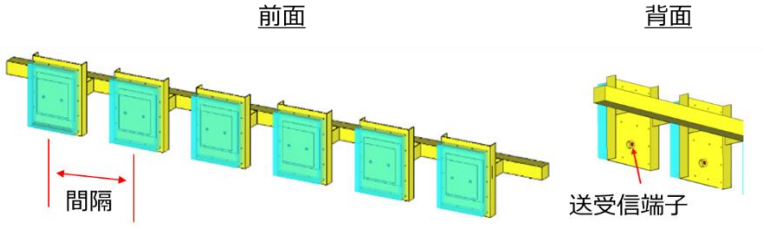


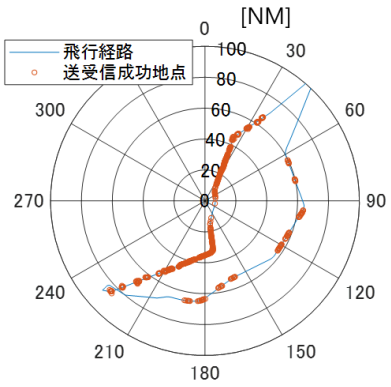
図 1.4.26 開発した空中線素子

□高機能空中線の指向性制御方式の検討・開発

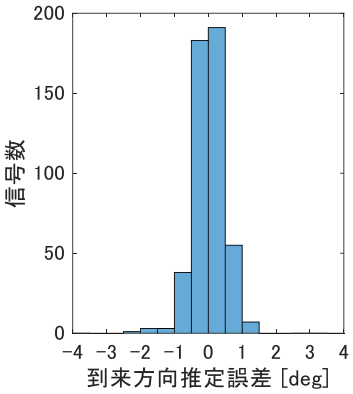
指向性制御や到来方向推定を実現する方式の検討と開発を行った。まず、文献調査等をもとに、本研究ではアクティブフェーズドアレイ方式（以下、アクティブ方式）およびデジタルビームフォーミング方式（以下、デジタル方式）を選定した。アクティブ方式は送受信のための基本方式で、デジタル方式はアクティブ方式と併用して主に受信機能を向上させる位置づけである。なお、このような組み合わせは気象レーダー等での事例が知られているが、今回のような民間航空監視では先進的な検討である。

アクティブ方式については、航空局が所有する実験用機材を活用した飛行実験を実施した。図 1.4.27(a)には実験用機材の写真を示す。本機材にて当所実験用航空機に対する電波の送受信を行い、測定データを取得した。測定データを分析することで、航空路マルチセンサーへの適用に向けた課題を抽出した。その結果、次の 2 つの課題が明らかとなった。1 つ目は覆域の拡大である。図 1.4.27(b)には送受信が成功した位置を示す。装置の近傍（60 NM 以下）では良好に送受信できたものの、遠方では成功していない地点が生じており、既存システム（SSR）相当の 250 NM には到達しなかった。また、２つめの課題は到来方向推定の精度向上である。図 1.4.27(c)には到来方向推定の誤差分布を示す。おおむね±1°の範囲に入っており、到来方向の推定に成功している。しかしながら、精度は誤差の標準偏差で 0.44°となり、既存システム相当（SSR）の 0.06°には到達しなかった。今後、測定データ分析を継続し、デジタル方式との併用を含めて、課題解決策を検討する。

(a) 機材写真



(b) 覆域

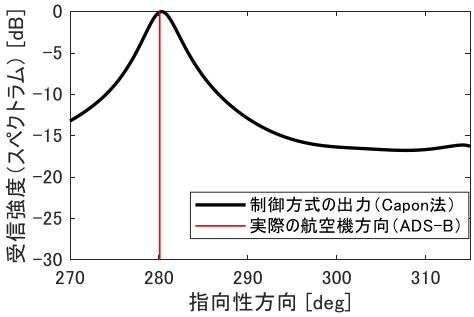


(c) 到来方向推定

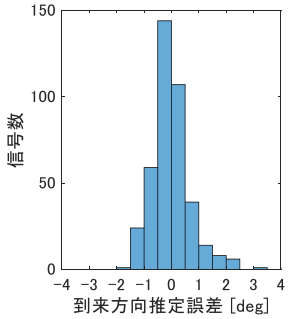
図 1.4.27 アクティブ方式の結果

デジタル方式については、図 1.4.28(a)に示す実験用システムを構築した。まず、指向性制御の基本的な動作確認を実施した。一例を図 1.4.28(b)に示す。これは、指向性を変化させたときの受信強度の変化を観測したものである。受信強度がピークを示した方向に実際に航空機がいることを確認できれば、意図通りの指向性変化と言える。図 1.4.28(b)の例では、実際の航空機の位置を赤線で示しており、黒線の指向性制御方式の出力と一致した。同様の評価を繰り返して実験システムの動作確認を実施できた。また、到来方向推定の動作確認も実施した。図 1.4.28(c)には結果として誤差分布を示す。おおむね±2°の範囲に入っており、到来方向の推定に成功した。誤差の標準偏差は 0.92°であった。なお、この結果をアクティブ方式の結果である図 1.4.27(c)と比較すると誤差が大きい。理由としては、素子に指向性制御を前提としない既製品を用いたためであり、今後、本年度開発した素子を接続することで性能を改善する計画である。

(a) 実験システム写真



(b) 指向性制御の動作確認

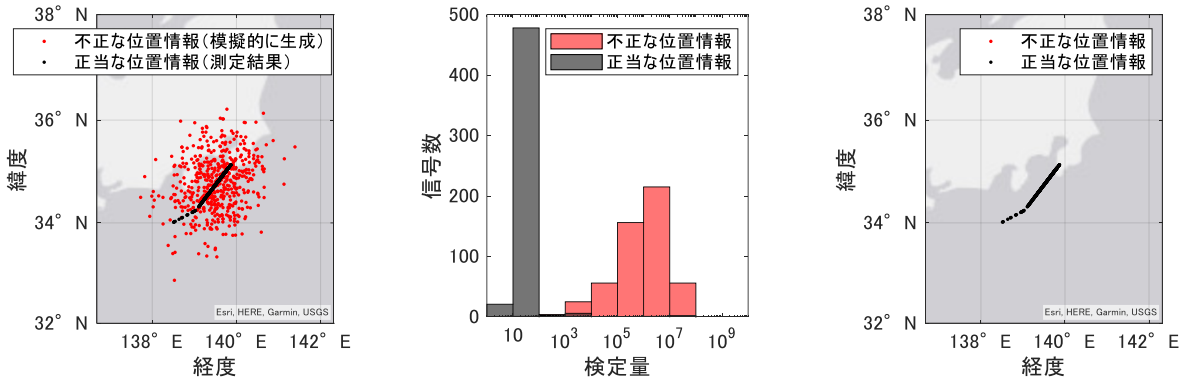


(c) 到来方向推定

図 1.4.28 デジタル方式の結果

□高機能空中線を活用した監視機能の検討・開発

これまで述べたように、高機能空中線の動作は指向性制御と到来方向推定に特徴を有する。これらを活用して航空路マルチセンサーの監視機能である測位および ADS-B を実現する技術を検討･開発した。本年度は、ADS-B が CARATS 意思決定施策であるため、ADS-B を中心に進めた。ADS-B は航空機による位置放送であるため、その位置情報の正当性を地上側で検証する必要がある。そこで、高機能空中線の測定する到来方向を使って ADS-B を検証する技術を開発した。開発は、先行研究の技術（信号到達時間差）を拡張する形で進めた。図 1.4.29 には提案法の実験結果例を示す。まず、図 1.4.29(a)に示すように、ある在空機の ADS-B 信号をもとに、不正な位置情報を模擬的に生成した。次に、到来方向と信号到達時間差の測定データをもとにして判定の基準となる検定量を計算した。この結果は図 1.4.29(b)となり、不正な情報は検定量が高い値に偏り、検知可能であった。図 1.4.29(c)は不正除去後の結果を示しており、正当な情報のみを抽出できた。したがって、結果から提案法の動作を確認できた。なお、実際には位置関係などの様々な条件で見逃しが発生しうるため、後述するように性能概算手順による網羅的な評価も重要となる。

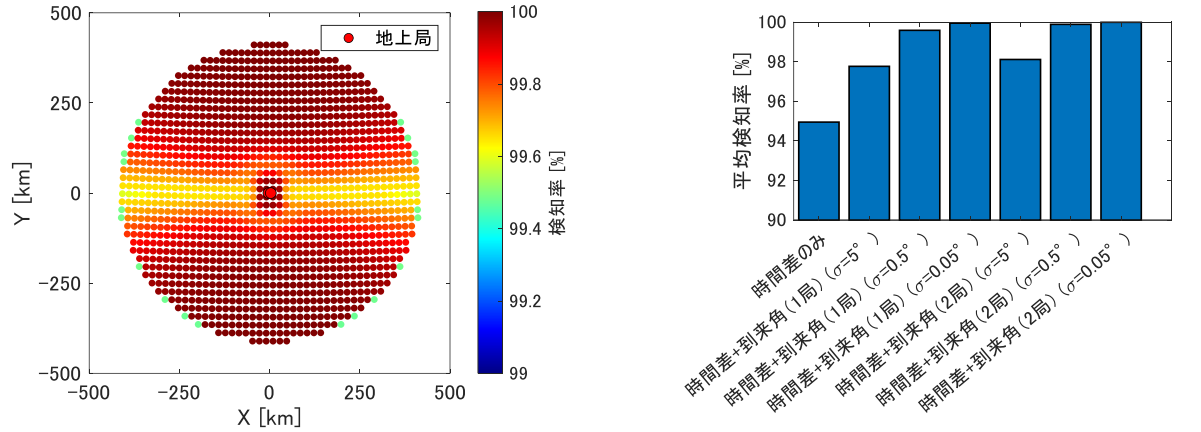


（a） 不正を含む情報（模擬生成）　（b） 検定量の計算　（c） 不正検知後の結果

図 1.4.29 ADS-B 検証機能の実験結果例

□提案方式の導入効果の検討（ADS-B）

ADS-B 検証技術について、提案法の効果を検討した。まず、検討のために性能概算手順を開発した。先行研究において信号到達時間差を使った手順を確立していたため、高機能空中線向けの拡張として到来方向の併用を可能とした。本手順は ADS-B 位置などを網羅的に変えながら、不正検知の可否を計算し、平均的な検知率を計算するものである。計算例を図 1.4.30(a)に示す。このような計算を、条件を変えながら行うことで、提案法の効果を試算した。その結果を図 1.4.30(b)に示す。従来の信号到達時間差のみを使った場合には、受信局配置や測定精度に関する特定の条件下で性能が低下する場合があることが明らかになった。その場合の性能は、図 4.30(b)の「時間差のみ」の値で、95%を下回った。しかしながら、到来方向と併用することで性能を補強できる。補強の度合いは、受信局数と測定精度（図中 σ の値）で異なるが、粗い精度でも一定の効果があり、高い精度であれば 100%に近い検知率となることを確認した。



（a） 性能概算手順の計算例　（b） 高機能空中線による到来方向併用の効果

図 1.4.30 ADS-B 検証性能の効果試算結果

上記の性能概算手順は、国内導入システムの実装に向けたメーカーへの技術移転にも利用した。具体的には、各社の違い（受信機性能など）を踏まえ性能概算できる利点を生かし、システム設計上の助言を行った。これは、共同研究やソフトウェア使用許諾の締結に繋がった。また、ADS-B の航空路への監視センサ導入については、令和３年度の CARATS 通信・航法・監視ワーキンググループにおいて導入の意思決定がなされ、導入判断の際に、当所の研究成果が根拠として利用された。

□国際標準化活動

先行研究から続いて ICAO 監視パネル（SP）やアジア太平洋地域の関連会議に参画している。監視パネル関連会議では、技術マニュアルの改訂を担当している（先進型地上走行誘導管制システムに関するマニュアル: Doc 9830）。アジア太平洋地域では、監視実施調整会議（SURICG）および航空機動態情報ダウンリンク（DAPs: Downlink Aircraft Parameters）会議に参加した。DAPs は高機能空中線の活用策の１つでもあり、参加国から提案のあった受信改善技術に関して、当所の検証結果を提出した。これら会議では成果物として技術文書を取りまとめており、今後研究成果の反映を目指す。

※ 略語一覧
SSR: Secondary Surveillance Radar
WAM: Wide Area Multilateration
ADS-B: Automatic Dependent Surveillanece - Broadcast
SP: Surveillance Panel
SURICG: Surveillanece Implementation and Coordination Group

成果の公表

□査読付き論文：２編

・J. Naganawa, H. Miyazaki, H. Tajima, T. Koga, J. Kitaori, “Numerical Simulation of Aircraft Position Verification using AOA and TDOA for ADS-B,” ISAP 2021, Oct. 2021.
・J. Naganawa, H. Miyazaki, H. Tajima, T. Koga, J. Kitaori, “TDOA and AOA Measurement System for Investigating Aircraft Position Verification,” ICSANE 2021, Nov. 2021.

□国際標準化会議（ICAO）：４編

・H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG TSG/13, ASWG TSG 13-14R1, June 2021.
・H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG TSG/14, ASWG TSG 14-13R2, Jan. 2022.
・China, Japan, Singapore and the Secretariat, “Status on the updates to the SI/II codes assignment criteria in Doc 9924,” ICAO APAC SURICG/6, IP/02, Sep. 2021.
・ENRI, “An Evaluation Example of a Non-Cooperative Method for DAPs Data Recognition,” ICAO APAC DAPs WG/5, IP/11 Mar. 2022.

□その他：３編

・宮崎，長縄，“広域マルチラテレーションの開発，”航空技術誌，第 797 号，pp. 24-27，令和 3 年 8 月.
・長縄，宮崎，古賀，田嶋，角張，“TDOA と AOA を用いた航空機位置検証法のシステム設計に関する検討，”電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会，信学技報，vol. 121，no. 78，SANE2021-14，pp. 29-34，2021 年 6 月.
・長縄，宮崎，田嶋，古賀，北折，“AOA と TDOA を併用した航空機位置検証における誤差の考慮，”電子情報通信学会 ソサイエティ大会，B-2-10，2021 年 9 月.

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 －航空分野でのDXを実現するため、情報共有基盤となるSWIMの導入が不可欠である。これに対応するため、SWIMによる協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究として、異なる運用要件に適応できる広域SWIMサービス基盤構築技術と情報の信頼性や運航の安全性を保証できるアシュアランス技術の提案、実用可能なサービスを用いた国際連携評価を行う。本年度は、現行の運航管理業務の分析による運用プロセスのサービスモデルを検討しながら、各種情報に対して広域情報品質管理モデルを開発する。等

○SWIM による協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究

研究の背景

欧米では、SWIM（System Wide Information Management）により運航に係る様々な情報をシステムや関係者の間で共有し、相互運用性と協調性の実現が進められている。また ICAO では、FF-ICE（Flight and Flow for Information Collaborative Environment）の導入を推進し、離陸前と離陸後の情報共有によりグローバルな協調的意思決定を図り、更に空地統合 SWIM を利用した軌道ベース運用を目指している。これらを実現するためには、標準情報交換モデルを用いたメッセージの交換による各種情報の共有だけではなく、運航の安全性に係わる情報の品質を保証する高度な SWIM 情報サービスも求められている。

当所は我が国で唯一、SWIM に関する研究開発を行い、開発した空地統合 SWIM 実験システムを用いて、運航前と運航後の協調的な軌道調整（FF-ICE）に関する国際検証実験や飛行実証実験を実施している研究機関である。また、アジア太平洋地域（APAC）における SWIM の導入を促進するため、日本、シンガポール、タイとの共同提案により ICAO バンコク事務所に APAC SWIM Task Force が設置され、当所は、タスクリーダとして地域に適用できる SWIM アーキテクチャの検討や地域 SWIM サービス検証基盤の構築などを諸加盟国と連携しながら推進している。本研究を実施するのはこれらの知見が不可欠であり、当所で行う必要がある。

研究目標

□グローバルな協調運用に関する運用面及び技術面の課題を明らかにする上で、運用レベルが異なる飛行情報区の間での協調的意思決定を支援できる広域サービス構築技術を提案する。
□運航の安全性に係わるセーフティクリティカルな情報の信頼性、完全性やセキュリティを保証できるアシュアランス技術を提案する。
□協調運用の有効性を評価できる手法の確立及び検証システムの開発を行い、実用化可能なサービスの検証実験や国際連携実験による総合評価を実施する。

令和３年度の研究内容

□運用面及び技術面の課題分析
□広域情報品質管理モデルの開発
□国際連携実験システムの構築
□SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査

令和３年度の研究成果

□運用面及び技術面の課題分析

現在、ICAO では、軌道ベース運用（TBO）コンセプトに基づき、航空機の全飛行フェーズの軌道を考慮し、他の航空機との影響や危険を管理するとともに最適な航空交通業務の提供及び運航の実現に向けて取り組んでいる。この実現の第一段階として、ICAO は、運航者が時々刻々と変化する気象状態や空域及びその混雑状況等の運航の制約となる情報を考慮した最適な飛行経路を離陸前に管制機関と自動的に調整できる FF-ICE/R1（Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment Release 1）運用方式の導入を検討している。

ICAO や欧米をはじめとする各国の導入の検討状況を踏まえ、CARATS においても、関係者を集めて「FF-ICE/R1 導入検討会」を立ち上げ、令和 2 年から我が国での FF-ICE/R1 の運用要件、システム要件や導入計画等の検討を進めている。SWIM に基づいた FF-ICE の運航管理を実現するため、現在のテキスト形式の飛行計画や運航に関する制約情報をデジタル形式にすることだけではなく、これらのデジタル形式の情報を利用して運航者側と管制機関側の自動調整を実現できるサービスモデルの開発も必要となる。

令和 3 年度は、FF-ICE 導入検討会と連携して運用面と技術面の課題を分析し、具体的な運用要件とシステム要件を検討した。また、これらの要件による協調運用を実現するため、SWIM のサービス指向アーキテクチャコンセプトに基づいて具体的な運航管理業務の分析からサービス仕様の作成までの運用プロセスのサービスモデルの開発手順を提案した。この開発手順を利用して、交通流管理に関する具体的な運用シナリオ、情報の流れとデータ形式の分析を行い、サービスの提供者（Service Provider）と利用者（Service Consumer）の確定、サービス間の交換メッセージの定義と実現できる標準情報交換モデルやプロトコルの決定という具体的なサービス仕様を作成し、実証実験用の交通流管理サービスを開発した（図 1.4.31）。

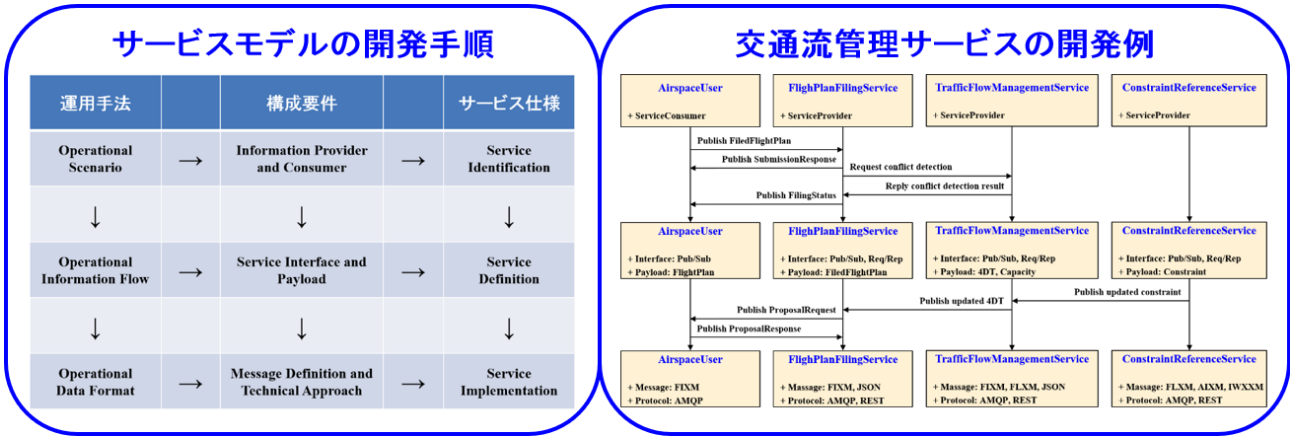


図 1.4.31　運用プロセスのサービスモデルの開発手順に基づく交通流管理サービスの開発

□広域情報品質管理モデルの開発

混在運用環境において、提供できる情報サービスや交換できる情報内容の品質が異なる航空交通管理サービス提供者（ASP：ATM Service Provider）と空域利用者（AU：Airspace User）間の協調的意思決定を実現するため、各種情報の生成(Information Generation)から提供(Information Distribution)、利用(Information Utilization)までのライフサイクル管理に関する構成要件と検証対象を明らかにして、広域情報品質管理モデルを開発した（図 1.4.32）。

また、明確にした構成要件と検証対象に対して、SWIM 技術インフラの基本サービスや標準情報交換モデルの検証機能などとの連携手法を検討し、国際航空信頼基盤のコンセプトに基づいて広域情報品質管理を実現できる技術的アプローチ（スキーマによるデータ検証(Data Validation)、電子署名によるメッセージ検証(Message Validation)とデジタル ID によるサービス検証(Service Validation)）を提案した（図 1.4.32）。

今後、これらのモデルに基づいた実験システムを開発し、国際連携実験により有効性を確認し、

ICAO への提案や技術標準の作成を進めていく予定である。

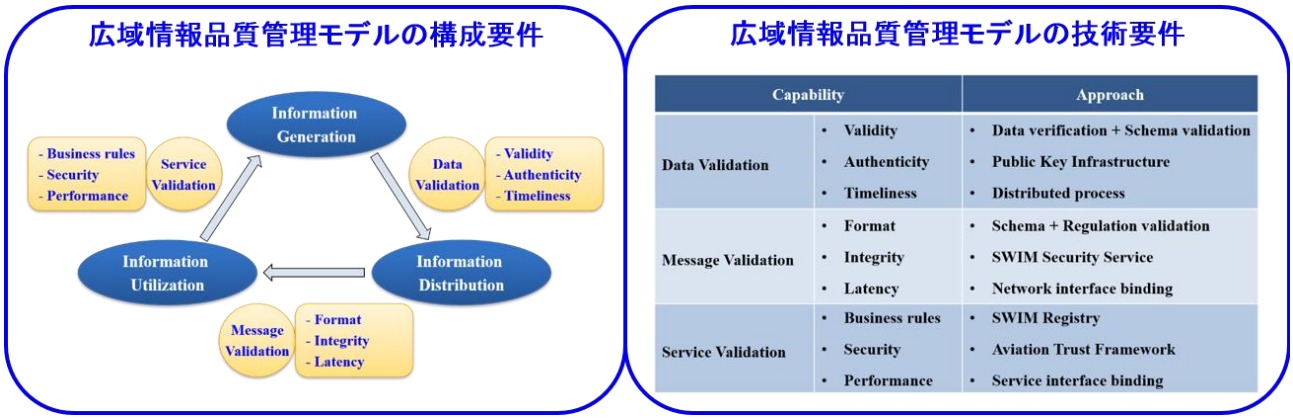


図 1.4.32　航空情報信頼基盤に基づいた広域情報品質管理モデルの開発

□国際連携実験システムの構築

令和 3 年度に提案したモデルと技術的アプローチに基づいた実験システムを開発し、国際連携実験と国内飛行実証実験により性能評価を行った。まず、米国航空局（FAA）と共同で、SWIM や FF-ICE に基づいた軌道ベース運用を実現するため、カナダ、シンガポール、タイと連携して、Multi-Regional TBO Demonstration の初期（Phase 1）実証実験を行った。本実証実験において、提案技術を用いて FF-ICE サービスと連携するとともに FIXM（Flight Information Exchange Model：飛行情報交換モデル）メッセージによる指定 4 次元ポイント（4DP）通過時間の自動調整を支援できる航空交通流管理サービスを開発し、FAA と連携して世界初の TBO コンセプトにより協調運用に関する実証実験を実施した（図 1.4.33）。令和 4 年度においては、4 次元飛行軌道（4DT）に基づいて複数航空機に対応できる交通流管理サービス間の連携に関する実証実験を引き続き計画している。このような国際連携実験の取り組みにより、TBO の導入に向けて運用面と技術面の課題を明らかにでき、ICAO 関連会議で議題に取り上げられ、具体的な運用方法の検討や技術指針の作成を推進することが可能となった。

また、アジア諸国と連携して、SWIM に基づいた情報信頼基盤の基本機能を開発するとともに、提案した広域情報品質管理モデルを組み込んだ実験システムも開発した。令和 3 年度に開催された ICAO APAC SWIM Workshop では、FAA と AEROTHAI と連携して Signing Service と Validation Service を用いて ASP 間のメッセージ交換実証実験も実施した（図 1.4.33）。この実証実験により、APAC 地域に情報信頼基盤を導入するための技術課題や実現方法の検討ができ、SWIM Workshop の参加者から高く評価された。また、本実証実験の結果を CARATS 情報管理検討 WG に報告し、既存施策の調整と新しい施策の検討の推進につながった。これらの研究活動は、地域 SWIM 導入の技術基準の策定、及び地域 SWIM 基盤に基づいた協調運用の実現に貢献したといえる。

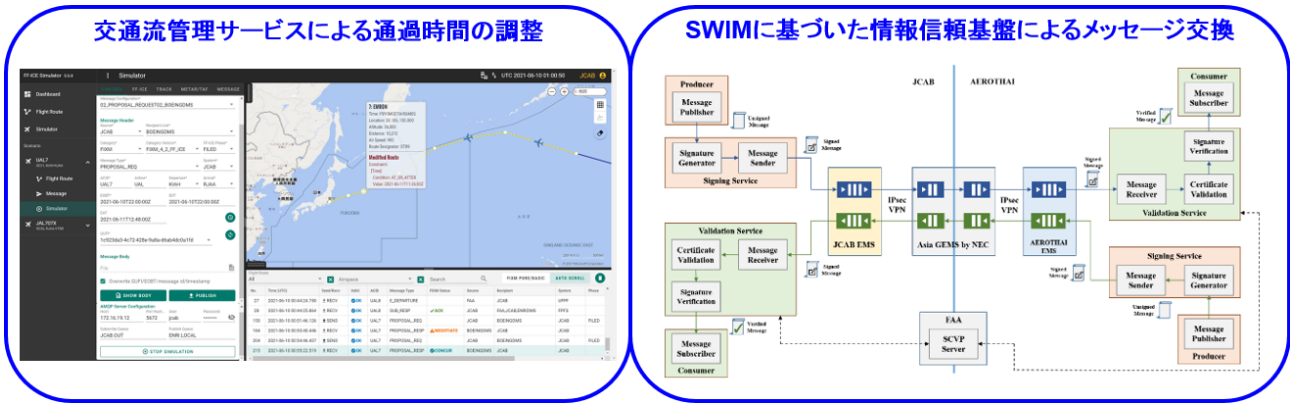


図 1.4.33　国際連携実証実験

さらに、空地統合 SWIM 実験システムに基づき提案した技術を用いて、仙台空港において 4DT 飛行実証実験を実施した。実証実験では、離陸後に、IP Data Link サービスによる地上管制システム（ATC）と機上飛行管理システム（FMS）間のデータ通信（CPDLC）の機能を検証し、乱気流の影響による着陸経路の変更に関して、機上 EFB（Electronic Flight Bag）と FMS が地上 SWIM サービスを経由して連携できることを確認した（図 1.4.34）。本実証実験により、SWIM に基づいた TBO の導入に向けて機上 EFB と FMS を連携させ、管制システムを含む 4DT に基づいた戦略的な調整が可

能となることを確認した。

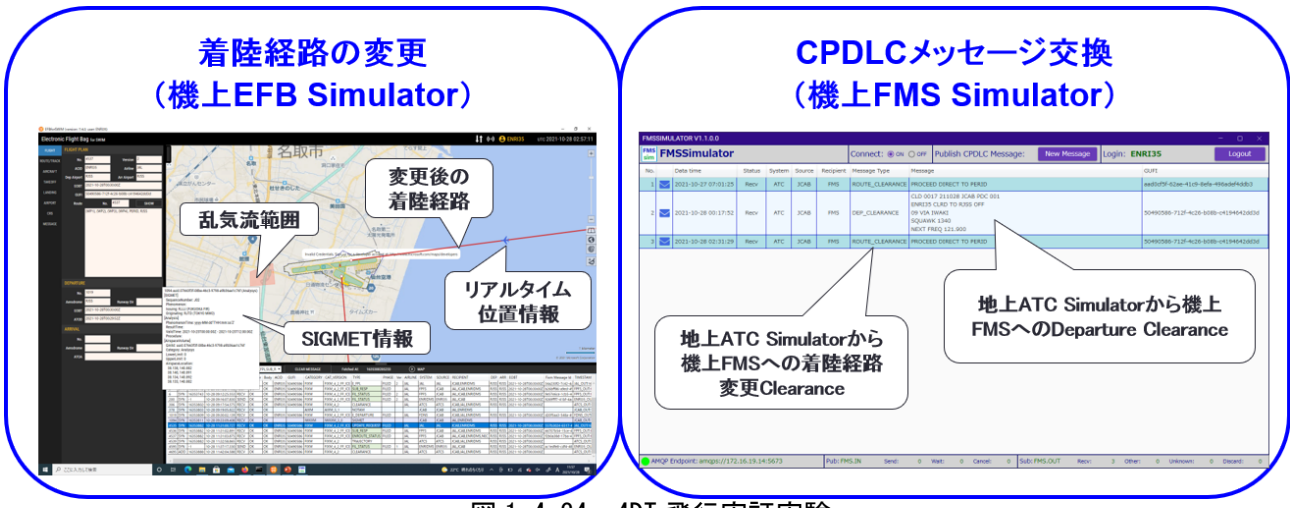


図 1.4.34　4DT 飛行実証実験

□SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査

SWIM や FF-ICE/R1 に関する技術資料を改訂するため、アドバイザーとして ICAO IMP（Information Management Panel）と ATMRPP（ATM Requirements and Performance Panel）の会議や Task Group 会議に参加した。また、引き続き、ICAO APAC SWIM Task Force のタスクリーダとして、第 5 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するとともに、定期的に行われるタスクリーダ間の連携推進会議に参加した。さらに、技術動向調査として、SWIM に関連する技術標準の検討会や TBO の導入に向けた国際技術交流会などにも参加した。

成果の公表

□査読付き論文：１編

・X.D. Lu, K. Morioka, “Connected Aircraft for Operational Awareness,” IEEE GCCE 2021, online, October 2021.

□国際標準化会議（ICAO 等）：２編

・X.D. Lu, “AEROTHAI-JCAB Demonstration on Trust Framework,” ICAO SWIM Workshop, online, July 2021.

・X.D. Lu, “SWIM Infrastructure to Achieve Message Level Security,” ICAO Fifth Meeting of SWIM TF, online, August 2021.

□その他：６編

・X.D. Lu, “Test System of JCAB,” Multi-Regional TBO Demonstration Guided Discussion 3, online, May 2021.

・X.D. Lu, “Test Report for JCAB-FAA Vignettes,” Multi-Regional TBO Technical Exercise, online, June 2021.

・呂暁東，森岡和行，古賀禎，“飛行実証実験による空地統合 SWIM に関する検討，” 電子航法研究所研究発表会，2021 年 6 月.

・X.D. Lu, “Updates of JCAB for Phase 2,” Multi-Regional TBO Technical Interchange Meeting 3, online, October 2021.

・呂暁東，“MR TBO における国際航空信頼フレームワークの構築，”CARATS 第 46 回情報管理検討 WG，2021 年 11 月.

・呂暁東，“SWIM における FF-ICE や TBO 実証実験システムの開発について，”SDECC 出前講座，2021 年 11 月.

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 －航空通信基盤の高度化に関する研究では、複数の通信システムおよび通信経路を用いた際の接続率向上技術の評価開発、通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証、新しいネットワークに対応した各種規格の標準化活動を行う。本年度は、実験室規模で複数の通信システムおよび通信経路を模擬した検証システムの開発を始めるとともに、通信の秘匿・優先度選択技術の基礎調査を行う。等

○航空通信基盤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、より安全で効率的な運用を行うSWIM（System Wide Information Management）が検討されている。このような次世代の航空情報共有のために、通信速度が速く大容量を扱え、IP(Internet Protocol)化に対応できる次世代航空通信システムの導入が近づいている。次世代航空通信システムとして唯一 ICAO の標準規格策定が終了しているAeroMACS（Aeronautical Mobile Airport Communications System）をはじめとする次世代航空通信システムの航空機への搭載がすすむと、その後しばらくは、様々な世代の航空通信システムを用いる機体が混在することが予想される。現在の航空データ通信は、機体の受信状況等に応じて搭載無線機を選択し使用しているが、飛行中の切替えなどによる接続率の低下に問題がある。一方、ICAO Doc.9869は航空管制データ通信について高い接続率を要求しており、あらゆる飛行フェーズの航空機が通信接続率の要件を満足できる高度な航空通信基盤を実現するため複数の通信システムおよび通信経路を用いた接続率等の評価開発が必要とされている。さらに通信の IP 化に伴い、通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証や新しい規格の標準化も必要となる。

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複数の通信システムおよび通信経路を含む検証ネットワークシステムを開発する。

□複数の通信システムが利用される際、通信経路に拠らず情報の重要度に応じて通信を秘匿化しシステムを選択するための評価実証を行う。

□航空の IP 化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３年度の研究内容

□航空通信システムの規格策定活動参画
□複数の通信システムおよび通信経路を模擬した検証システム開発
□通信の秘匿・優先度選択技術の基礎調査

令和３年度の研究成果

□航空通信システムの規格策定活動参画

ICAO CP DCIWG WG-I へ昨年報告した結果を元に、WG 事務局で発行する IPS SARPs Validation Report（2022 年以降発行予定）に電子研の研究結果が掲載されることなり、草稿の作成、情報のアップデートを行っている。

□複数の通信システムおよび通信経路を模擬した検証システム開発

昨年度開発した PC 構成による航空通信の検証システムを用いて、今年度は複数の通信システム利用時の接続率の推定や、SWIM との連接、EFB(Electronic Flight Bag)への情報表示などを実証した。さらに、開発した VHF データ通信の実アビオニクスによる空地検証システム（図 1.4.35）を用いて既存の航空通信システムである ACARS の通信をインターネットで利用される IP パケットで統一し SWIM 連接を可能にする概念についての実証を試みた。これにより、既存航空データ通信装置を用いて SWIM の track message（機体の位置情報）の送信が可能だが時間がかかることなど、SWIM への適用の可能性や課題を明らかにした。この結果は、次世代航空通信システムへの移行期の解決策の一つにもなりうる。また、実アビオニクスを用いた通信の検証システムとして、AeroMACS 同様に次世代航空通信システムの一つとして期待され、現在、国際標準規格化作業が進められている LDACS(L-band Digital Aeronautical Communications System)試作装置（図 1.4.36）の開発、および次世代衛星通信機材の調達も実施した。VHF データ通信システムと衛星通信装置の実験用航空機への搭載を見据えた準備や、開発した VHF データ通信の実アビオニクスによる空地検証システムの実験局免許申請も行った。

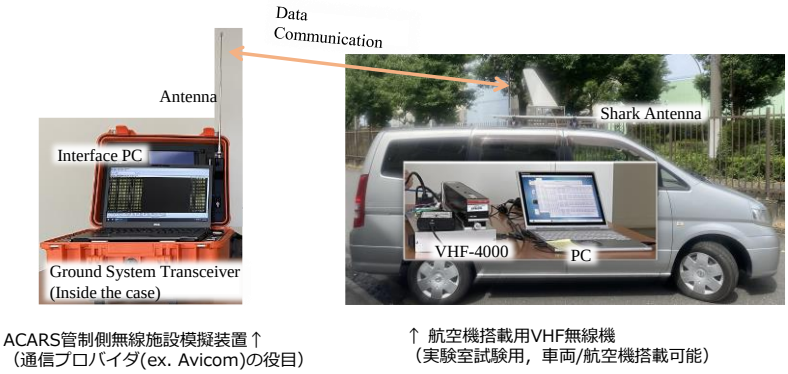


図 1.4.35　VHF データ通信の実アビオニクスによる空地検証システム

図 1.4.36　LDACS 試作装置

そのほか、次世代航空通信のひとつである AeroMACS の 4DT 飛行実証実験を行い、SWIM 連接中の 2 つの地上基地局間のハンドオーバを実証し、覆域拡大の可能性を明らかにした。この実験では AeroMACS 通信を介して地上管制システム（ATC）と機上飛行管理システム（FMS）を接続し、機上 EFB と FMS が連携しながら SWIM 情報共有を広いエリアで行えることを実証した。

□通信の秘匿・優先度選択技術の基礎調査

現状の秘匿化の要件を策定している規格化会議に出席し、各国の検討状況、および性能検証案の情報を収集した。アプリケーション層で暗号化を行う手法（TCP/IP 上で実行するもの SSL 等）と、より下の層を使用した新しいプロトコル（QUIC や HTTP3）について、実装可能性に関する調査を始めた。現状では、各国が実験を実施できず議論が止まった状態である。すでに電子研の先行研究にて提案した優先度選択の手法を、複数の通信システムおよび通信経路に対して応用することで、通信の優先度選択技術の実現が可能であると考えている。

成果の公表

□査読付論文：３編

・K. Morioka, X. Lu, J. Naganawa, A. Murata, S. Egami, N. Miyazaki, N. Yonemoto, A. Kohmura, “Flight tests for expanding AeroMACS coverage and air-ground SWIM demonstration”, Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS) 2021, April 2021.
・K. Morioka, X. Lu, N. Yonemoto, A. Kohmura, “Development of Multi-link Emulator for Heterogeneous Aeronautical Radio Systems,” The 16th International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2021 (ICSANE2021), SANE2021-43, pp.61-64, November 2021.
・A. Kohmura, K. Morioka, N. Yonemoto, “Development of air - ground VHF data communication validation system,” 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021), p4-19,

December 2021.

□その他：６編

・河村暁子，森岡和行，長縄潤一，二ッ森俊一，金田直樹，呂暁東，米本成人，住谷泰人，“AeroMACS を用いた空地通信技術の高度化に関する研究”，電子航法研究所報告技術資料，No.134，pp.33-45，2021 年 6 月.

・森岡和行，米本成人，河村暁子，“航空無線通信用マルチリンクエミュレータの開発 ～コンセプトと基本動作確認～”，電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集，B-2-4,2021 年 9 月.

・森岡和行，二ッ森俊一，米本成人，北折潤，住谷泰人，河村暁子，“次世代陸域航空無線通信システムのプロトタイプ開発　～システム詳細と IP 疎通まで～”，日本航空宇宙学会第 59 回飛行機シンポジウム予稿集，2021 年 11 月.

・森岡和行，呂暁東，長縄潤一，宮崎則彦，米本成人，河村暁子，“空港面通信システムの覆域拡大に関する実証実験　～上空におけるハンドオーバ実験～”，電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会予稿集，2022 年 2 月.

・森岡和行，二ッ森俊一，米本成人，北折潤，住谷泰人，“次世代陸域航空無線通信システムのプロトタイプ開発　～パワーアンプモジュール評価～”，電子情報通信学会総合大会講演論文集，2022 年 3 月.

・河村暁子，森岡和行，米本成人，“既存航空用 VHF データ通信システムの IP 化検討”，電子情報通信学会総合大会講演論文集，2022 年 3 月.

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

令和 3 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 81 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 3 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 383 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	383 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	25 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	164 名
うち電子航法に関する研究開発等	194 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。また、一般財団法人沿岸技術研究センターが実施する「港湾関連民間技術の確認審査・評価事業」に研究者を派遣し審査・評価を支援した。

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として、日本の海事産業の技術力強化等を図るため、造船所、舶用メーカー等が集約・連携して行う自動運航船・ゼロエミッション船・内航近代化の3テーマに関する技術開発事業において設置された「海事産業集約連携促進技術開発評価会」で審議、評価を実施した。また、温室効果ガスの削減の推進と将来的な地球温暖化対策の強化に貢献することを目的に、環境省及び国土交通省が LNG・水素・アンモニア等を燃料とするガス燃料船の重要構成部品（ガス燃料タンク等）の省 CO^2 な製造プロセスの確立に係る設備投資等を支援する「海事分野におけるカーボンニュートラル支援事業」において、審査委員会での審議、評価に貢献した。さらには、防衛装備庁の研究開発における外部評価機関「長期運用型 UUV 技術研究外部評価委員会」において、政策評価に貢献した。

電子航法分野においては、衛星航法による航空機の着陸システムである GBAS（地上直接送信型衛星航法補強システム）（カテゴリーI）が東京国際空港に整備され、試行運用が継続中である。研究所はこの試行運用を技術的に支援し、GBAS 機上受信機を用いて空港周辺で GBAS ディジタル放送電波を受信・分析して安全性を評価した。また、航空局がエアラインや製造メーカーと開催する会合に研究者を派遣し、分析結果を報告して貢献した。

（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。

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
自動運航船の実用化に向けた安全評価ガイドライン	国土交通省 海事局	令和 4 年 2 月
港湾の施設の技術上の基準・同解説(部分改訂)	国土交通省 港湾局監修	令和 4 年 4 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、4 回の港湾空港技術地域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(リモート開催)し、合計で 557 名の参加者を得た。また、航空局等に対して、小型無人機に関する勉強会、GBAS 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。のべ 64 名の研究者が研修講師等として派遣された。

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たり、地方整備局主催の研修、JICA の実施した研修などへ、研究者を講師として派遣した。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 58 名に、技術開発と評価試験に関する WEB 講義を実施した。他に、国の出先機関2か所において講師派遣を行い、それぞれ GBAS システム及び SWIM に関する WEB 講義を実施した。海上技術安全研究所では、北海道運輸局、関東運輸局、近畿運輸局、九州運輸局が実施する、乗組員・利用者の安全確保に寄与するため、管内の旅客船運航事業者及び内航海運事業者の安全管理・運航管理を担う方々を対象とした安全統括管理者・運航管理者研修会において講師を派遣し、走錨事故対策として開発した「走錨リスク判定システム(錨 ing)」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日本学術会議の会員

科学が文化国家の基礎であるという確信の下、行政、産業及び国民生活に科学を反映、浸透させることを目的として設置された日本学術会議において、我が国の科学に関する重要事項を審議するなど、科学政策の実現に向けた活動を行った。

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。

（2）災害及び事故への対応

【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

令和 3 年 7 月に発生した熱海市伊豆山地区の土石流災害を受け、国土交通省港湾局等と現地調査を実施したほか、国土技術政策総合研究所との合同調査団として、11 月に海底火山「福徳岡ノ場」の噴火に伴う漂流軽石現況調査(沖縄県)、令和 4 年 3 月に福島県沖を震源とする地震による港湾の被災状況調査(福島県・宮城県)を実施するなど、災害現場へ迅速に研究者派遣し、高度な技術力で被災現場を調査し、被災原因や復旧方針に対する所見を早々に国へ報告し、復旧に役立ててもらった。

図 1.5.1 被災調査の様子

(左:相馬港被災状況調査、右:漂流軽石現況調査)

（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。東京湾に面す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令和 3 年 4 月 27 日に地震発生時対応としての安否確認訓練、11 月 11 日に津波避難訓練を実施した。

図 1.5.2　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 3 年度、運輸安全委員会より船舶事故調査に係る船体調査等の支援作業、船舶事故調査に係る船体の縦強度解析、沈没に係る解析調査（貨物船A沈没事故）の計 3 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	173 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	64 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	68 件
うち電子航法に関する研究開発等	41 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 3 年度は、フェーズ 1 での成果普及や戦略的に国際標準化に向けて 23 機関による

OCTARVIA 会議で検討を行い、開発したライフサイクル主機燃費評価法による代替燃料利用船への適用や、シップデータセンターや気象海象データサービス POLARIS とのデータ連接等により、各社での実海域実船性能の実船適用を 20 機関による OCTARVIA2 において進めていく。

また、本プロジェクトで開発したプログラムを海技研クラウドにおいて公開した。

※「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。

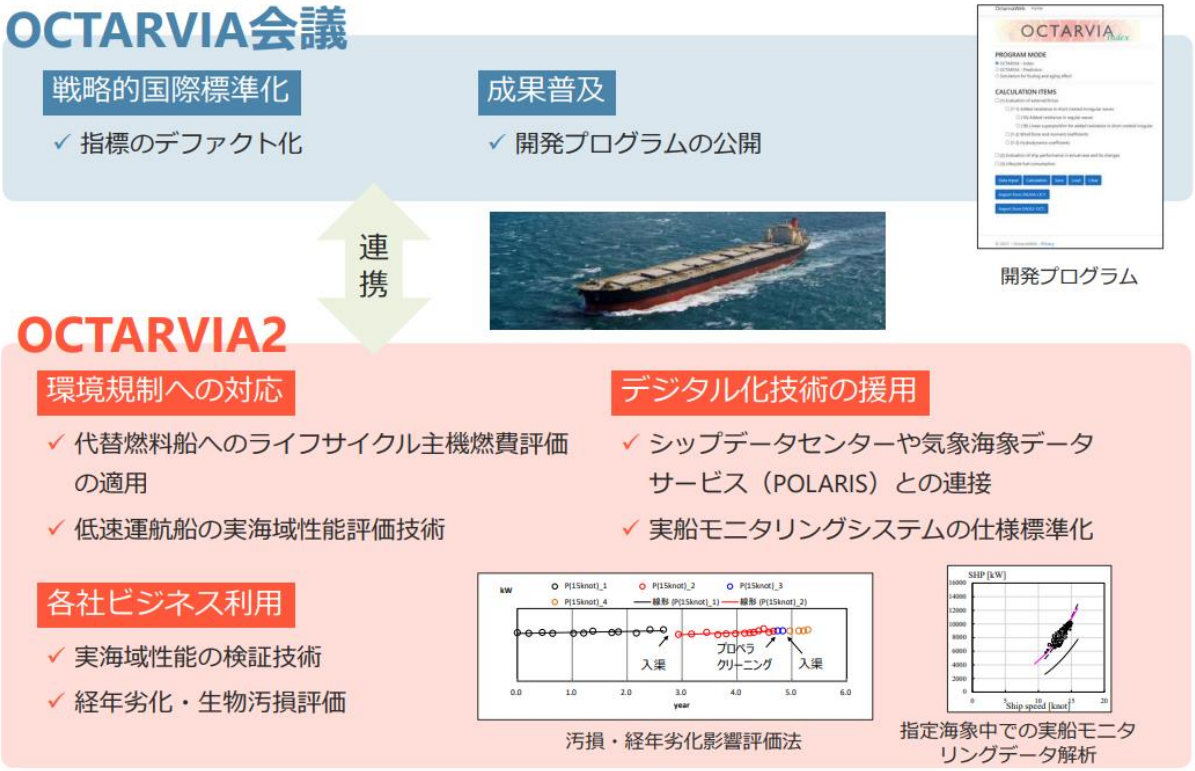


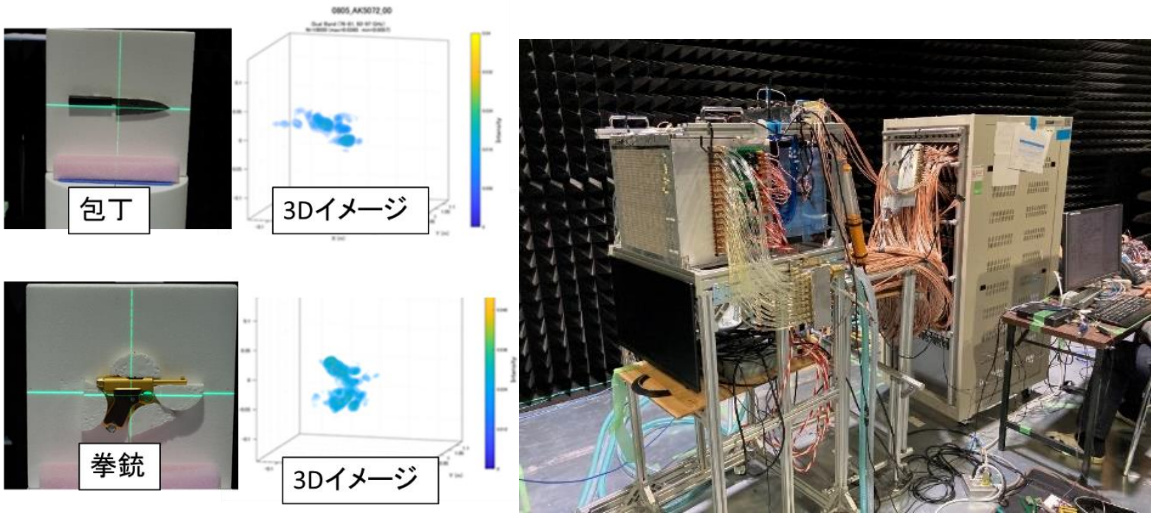
図 1.5.3　OCTARVIA プロジェクトの概要

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　国土技術政策総合研究所、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。令和 3 年 12 月 17 日に開催された web 方式の勉強会では、地震に対する液状化対策に関する事例研究について、研究者より説明を行った。

電子航法に関する研究開発等において、日本電気株式会社等と国立研究開発法人　新エネルギー・産業技術総合開発機構の競争的資金を用いた共同研究「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社

会の実現プロジェクト／(1)無人航空機の運航管理システムの開発／6)遠隔からの機体識別に関する研究開発」は、無人航空機と有人航空機の空域共有に関する安全確保の課題の一つである、福島ロボットテストフィールド(RTF)および南相馬市内に有人航空機の位置を探知するシステム整備を行った。有人機探知システムからの情報は、機体識別や位置情報共有を行う無人機機体識別システムと連接し、無人機の安全な運航に利用する。令和 3 年 12 月には、無人航空機や有人航空機を使用した総合実証実験を行い、システムの有用性を実証した。

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を行うとともに、連携する研究機関にて開発されたシステムを用いて、総合評価試験を実施した。これらの成果を製品化設計に反映させることで、迅速なシステム開発を推進している。



(a) 2 周波レーダーによる 3 次元画像化　　(b) リアルタイム型電波イメージャ

図 1.5.4　製作した電波イメージャ検証機

(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 3 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	155 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	129 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	26 件

(4)学界や産業界との公募型研究

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 3 年度は新規の募集を行わなかったが、令和2年度に募集及び採択を行った 3 件の研究課題(表 1.5.5)において、継続して研究開発を行った。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 3 年 6 月 9 日、10 日開催の研究発表会にて、令和 2 年度に終了した公募研究に関するポスター発表1件が行われた。令和3年度終了した公募研究 2 件についても令和 4 年度の講演・発表を予定している。さらなる裾野拡大を図るべく、令和 4 年度も公募型研究の取り組みを継続する予定である。

表 1.5.5 公募型研究一覧

件名	相手方
航空路管制業務におけるチームワークロードの計測手法の研究	筑波大学
電離圏シンチレーションの広域監視手法の開発	電気通信大学
空港面におけるマルチパス誤差低減技術に関する研究	東京海洋大学

また、国土強靱化や生産性の向上等に資するインフラに関する革新的な産・学の研究開発を支援し、公共事業等での活用を推進するため、研究所では公募型研究の取組を行っている。令和 3 年度は新規の募集はしなかったが、令和 2 年度に募集及び採択を行った 1 件の研究課題(表 1.5.6)においては、継続して研究開発を行った。研究終了後、実施した公募型研究の成果は、国等の社会資本整備を行う者に対し導入を促すとともに、国に対し研究成果の導入を後押しする既存の制度の活用や新たな仕組みの検討を要望していくこととしている。

表 1.5.6 採択事業一覧

課題名	代表機関名
可塑状グラウト増深工法の開発	代表会社 :五洋建設㈱ 共同提案者:東洋建設㈱、東亜建設工業㈱、若築建設㈱、あおみ建設㈱、㈱本間組、みらい建設工業㈱、りんかい日産建設㈱

（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 3 年度は表 1.5.7 のとおり実施した。

表 1.5.7　人事交流実績件数

研究所合計	100 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	26 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	57 件
うち電子航法に関する研究開発等	17 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 40 名、民間企業等 26 名との人事交流、客員教授、非常勤講師等として延べ 34 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、14 大学へ派遣した 16 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。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 3 年度においては、研究者 6 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、国内からの研修生・インターン生 58 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 3 年度は表 1.5.8 及び表 1.5.9 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 1.5.8　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	498 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	204 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	246 件
うち電子航法に関する研究開発等	48 件

表 1.5.9　研究者派遣の実施件数

研究所合計	121 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	9 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	107 件
うち電子航法に関する研究開発等	5 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、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幹事、幹事補佐、専門委員、顧問を務めた。日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会共同 フロンティア人工物分科会分科会、計算科学シミュレーションと工学設計分科会では幹事、委員を務めた。

さらに、上記の他、表 1.5.10 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 1.5.10 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及び特殊貨物運送部会	(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危険物 UN 対応部会及び同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委員	(一社)日本海事検定協会
目標指向型復原性基準の策定に関する調査研究(目標指向型復原プロジェクト)	(一財)日本船舶技術研究協会
海洋水質・生態系保護基準プロジェクト	(一財)日本船舶技術研究協会
甲板機器及びぎ装分科会/小型高速艇用アルミニウム艤装品基準規格原案作成 WG	(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の検討に関する調査研究(次世代航海設備検討プロジェクト)	(一財)日本船舶技術研究協会
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
高電圧(250 ボルトを超える電圧)等の電気機器を施設した小型船舶の安全基準に関する検討委員会	日本小型船舶検査機構
船員スキル定量化(基準化)の治験提供委員	(独法)海技教育機構
・港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する事例	
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
調査研究部門/鋼構造委員会/鋼・合成構造標準示方書維持管理編	(公社)土木学会
調査研究部門コンクリート委員会 230 示方書連絡調整小委員会	(公社)土木学会
調査研究部門コンクリート委員会 101 示方書改訂小委員会 2022 基本 原則編部会	(公社)土木学会
調査研究部門 コンクリート委員会 101 示方書改訂小委員会 2022 維持管理編部会	(公社)土木学会
調査研究部門 コンクリート委員会 101 示方書改訂小委員会 2022 設計編部会	(公社)土木学会
コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針改訂原案作成委員会	(公社) 日本コンクリート工学会
地盤改良マニュアル改訂編集委員会	(一社) セメント協会

港湾構造物防食・補修マニュアル（2022 年度版）改訂検討委員会	（一財） 沿岸技術研究センター
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
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

（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。

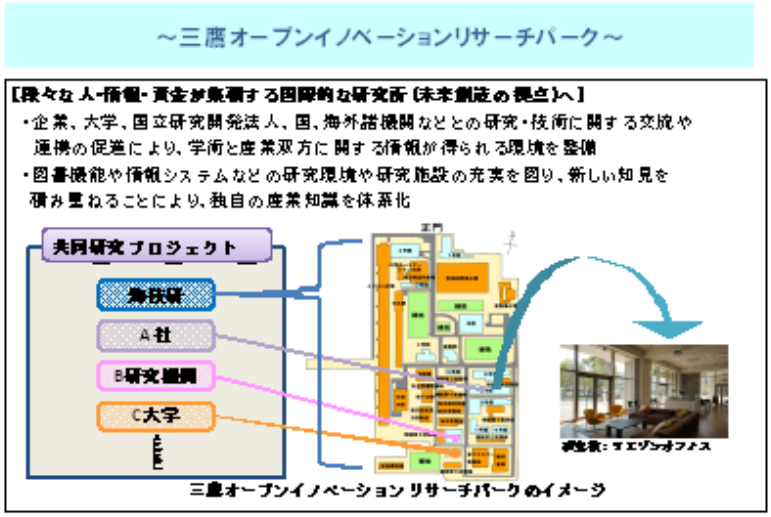


図 1.5.5　三鷹オープンイノベーションリサーチパーク

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 3 年 9 月に実施した。研修は、会場を設けず全日ライブ中継とし、あわせて 37 名が参加した。

安全で効率的な将来の航空交通システムの構築には、研究開発のさらなる推進が必要であり、航空機の実運航データが不可欠である。しかし、従前は研究開発において実運航データを利用できる機会は

限られており、特に航空機が実際に飛行した軌道である航跡データについては、入手が極めて困難であった。そこで、電子航法研究所では、平成 25 年頃より各種の航空管制情報処理システムに記録されたデータの選別、座標変換及び結合といった一連の特殊な加工を行うと共に、独自に開発を進めてきた航空管制用レーダーシステム（SSR モード S）を用いて、航空機から針路・姿勢・速度など時間とともに変化する航空機状態の情報を取得することで、我が国の管制圏内の出発から到着までの飛行の一連における航跡データを整備してきた。整備したデータは、平成 27 年より CARATS オープンデータとして国土交通省等を通じて公開され、研究機関、大学、民間企業等に広く提供されており、提供データを活用した多くの研究開発が喚起され、航空交通管理の分野における研究開発のコミュニティの大幅な拡大に貢献した。さらに、提供データを用いた研究開発の成果が航空行政の施策検討への活用や国際民間航空機関（ICAO: International Civil Aviation Organization）の関連文書への掲載等、我が国のプレゼンス向上や国際競争力の強化にも大きく寄与していることが認められ、日本航空宇宙学会より令和 3 年 4 月に第 30 回（令和 2 年度）日本航空宇宙学会　技術賞を受賞した。

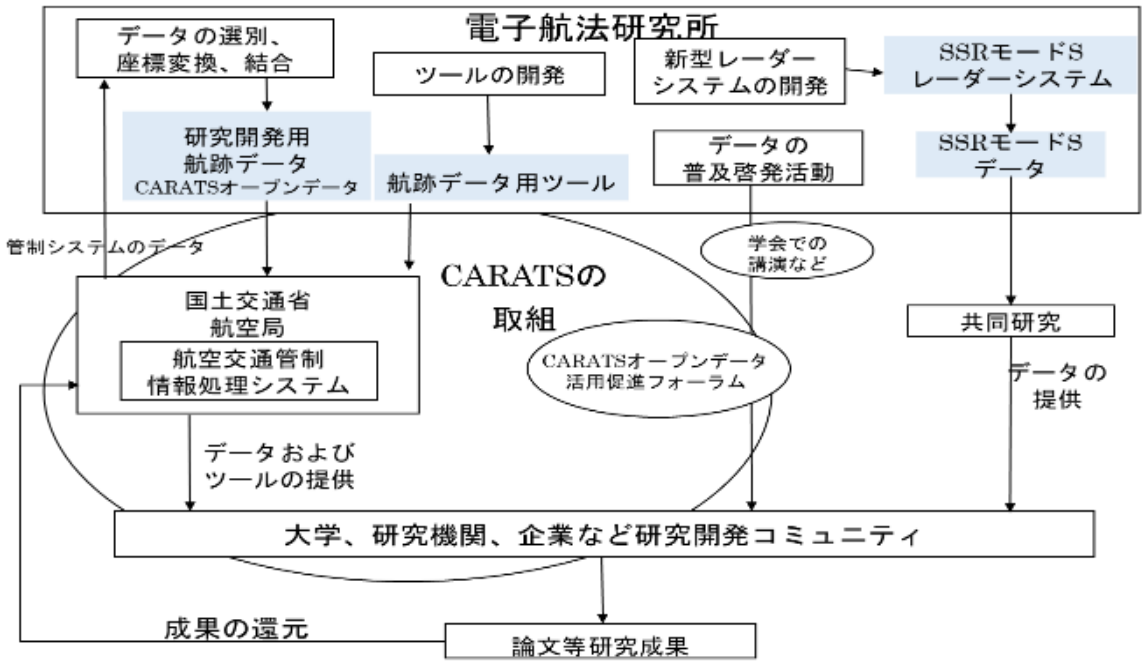


図 1.5.6　CARATS オープンデータを活用した研究開発の概要

図 1.5.7　日本航空宇宙学会 技術賞受賞の様子

当所職員は、令和 3 年 6 月、外航で普及しているウェザールーティングを内航海運のニーズと特性に適合するよう構成し、大学、気象情報提供会社、航海電子機器メーカーと連携して乗組員が操作できる船載のウェザールーティングシステムの開発および気象情報提供・最適航路計算サービスを創設することで、内航船の競争力強化と CO_2排出量削減へ貢献、内航船へのウェザールーティングの普及および性能向上に寄与するものと認められ、「2021 年山縣勝見賞」を受賞した。

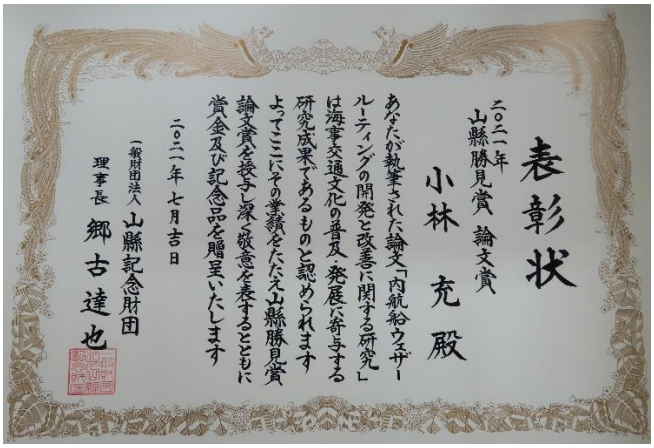


図 1.5.8 受賞した表彰状及び盾

（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、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 3 年度における特許の出願件数は 58 件であった。

表 1.5.11 特許取得等の状況（令和 3 年度）

出願	審査請求	特許取得
58 件	28 件	45 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 3 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は 50 件であった。詳細は表 1.5.12 のとおりである。収入については、特許料収入は 43 百万円、著作権収入は 24 百万円の収入があった。

表 1.5.12 令和 3 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【特許権】		
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	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
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	5103687
5	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
6	小型ダクト付きプロペラ及び船舶【特許権】	H25.3.29	5230852
7	船舶用プロペラ【特許権】	H25.12.27	5441488
8	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】	―	―
9	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】	―	―
10	GUIを用いた船体周り構造格子生成プログラム（HullDes）【著作権】	―	―
11	格子性能機能を備えた最適化プログラム(AutoDes)【著作権】	―	―
12	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】	―	―
13	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】	―	―

14	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】	—	—
15	要目最適化プログラム（HOPE Light)【著作権】	—	—
16	日本近海の波と風データベース表示プログラム【著作権】	—	—
17	DLSA-Basic【著作権】	—	—
18	衝突危険度評価プログラム（CollisionRiskCalc）【著作権】	—	—
19	Global winds and waves 表示プログラム（GLOBUS）【著作権】	—	—
20	Jupiter-DLSA-Basic【著作権】	—	—
21	海技研クラウドサービス(HOPE　Cloud)【著作権】	—	—
22	OCTARVIA-lim【著作権】	—	—
23	外航コンテナ定期船航路可視化プログラム【著作権】	—	—
24	EAGLE-OCT-lim【著作権】	—	—
25	SALVIA-OCT-lim【著作権】	—	—
26	主機モデルのアンセンティドカルマンフィルタ（UKF）を用いた推進システムの状態及び外乱推定【著作権】	—	—
27	運航･市場モデルによるゼロエミッション船コンセプト評価システム【著作権】	—	—
28	VESTA【著作権】	—	—
29	船型データ変換ツール【著作権】	—	—
30	AUV オペレーションプログラム【著作権】	—	—
	・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	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
5	地盤解析汎用プログラム（GeoFem）	―	―
6	高耐粉状化性の裏込めグラウトとその裏込めグラウト材（2）【特許権】	―	―
7	FLIPver. 7【著作権】	―	―
8	N－Pier【著作権】	―	―
	・電子航法に関する研究開発		
1	補正情報生成プログラム等一式【著作権】	―	―
2	洋上空域における衝突危険度推定ソフトウェア【著作権】	―	―
3	ADS-B 位置検証ソフトウェア【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 1.5.12 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 3 年度分の褒賞金及び実施補償金として 13, 773 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3年度においては、WEB 会議システムを使用して実施した。研修は 2 部構成であり、第1部は「特許の現状と研究者も押さえておくべき特許実務」と題して、特許に関するより基礎的な内容の他、うみそら研の特許関連の取り組み状況、日本、国際的な特許状況などに重点を置き、研修を行った。第 2 部では、「技術者も押さえておくべき特許実務」と題して、特許事務所から講師を招き講演を行った。、多くの参加者による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。

④保有特許の利用促進

令和3年度は、昨年度に引き続きコロナ禍のため、研究発表会や出前講座などがオンライン開催となったため、Webを利用した展示、広報活動を行った。

また、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・講演会のほか、2年ぶりに対面開催されたマイクロウェーブ展2021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。

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1.5.9　マイクロウェーブ展2021における電子航法研究所展示ブースの様子
（令和3年11月24日～11月26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9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 3 年度中の研究発表会等の実施回数については、新型コロナウイルス対応のため、研究発表会 9 回、一般公開及び公開実験 8 回の実施となったものの、研究発表会、一般公開及び公開実験のいずれについても、数値目標は達成した。

（1）研究発表会、講演会、出前講座、研究所報告等

①洋上風力発電に関するうみそら研発表会

令和3年12月6日に洋上風力発電に関するうみそら研発表会（ウェビナー方式）を開催した。各研発表5件、研究監発表2件、参加者約340名と成功裏に終了した。

図 1.5.10　洋上風力発電に関するうみそら研発表会での栗山理事長挨拶

①海上技術安全研究所研究発表会

令和 3 年 7 月 29 日から 30 日にかけて、「第 21 回海上技術安全研究所 研究発表会」をウェビナー形式で開催した。研究発表会では、海上技術安全研究所が取り組む 4 つの重点分野ごとにセッションを設け、社会実装を目指す 14 のテーマについて成果の発表を行いました。本研究発表会は、ライブ配信を行い、造船・海運・舶用工業などの業界及び行政機関・大学・金融機関などから 2 日間で延べ 652 名の参加があった。

図 1.5.11　海上技術安全研究所発表会の様子（令和 3 年 7 月）

②海上技術安全研究所講演会

令和 3 年 12 月 16 日、新型コロナウイルス対応として、第 21 回講演会をオンラインで開催し、IMO の GHG 削減戦略や内航海運に関する地球温暖化対策計画において、外航船・内航船ともに高い GHG 削減目標が掲げられ、将来のカーボンニュートラル化が求められる中、実現のために、多くの技術的・社会的なハードルを乗り越えるため、「カーボンニュートラルの実現に向けた海事産業のグリーン戦略」というテーマで講演会を開催しました。講演会には 438 名の聴講者があった。

図 1.5.12 海上技術安全研究所講演会の様子（令和 3 年 12 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 4 年 1 月 31 日に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新型コロナウイルス対策のためリモート開催した。講演会は、みずほリサーチ＆テクノロジーズ（株）の羽島氏、遠藤氏によるカーボンニュートラルを巡る最新動向に関する特別講演のほか当研究所から 3 研究領域、国土技術政策総合研究所から1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 286 回線の聴講者があった。

図 1.5.13 港湾空港技術講演会の様子（令和 4 年 1 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 3 年度は、新型コロナウイルス対策のため、全国 4 地域においてリモート開催とし（近畿 11 月 17 日、関東 11 月 22 日、沖縄 12 月3日、中部1月 14 日）、557 回線の聴講者を得た。

図 1.5.14　港湾空港技術地域特別講演会の様子

⑤電子航法に関する研究発表会

令和 3 年 6 月 9 日から 10 日にかけて、第 21 回研究発表会をオンラインで開催し、環境をテーマとした企画講演を2件（電子航法分野、海事分野）、航法システムに関する研究（2テーマ）、監視通信システムに関する研究（2テーマ）、航空交通管理に関する研究（2 テーマ）について発表を行った。2 日間で延べ 553 名の聴講者を得た。

図 1.5.15　電子航法研究所発表会の様子

表 1.5.13　その他の講演会等内訳

	開催日	件名	概要
	R3.10.6	バリシップ 2021 オンラインセミナー	船舶の実海域性能の推定のために開発したプログラムの概要適用例及び当所が開発した造船設計者がシームレスに実施可能な全船荷重構造解析ならびに強度評価システム NMRI-DLSA として、DLSA-Basic 及び DLSA-Professional の機能及び特長を中心に講演した。
	R4.1.18～19	令和 3 年度　電子航法研究所　講演会	航空交通管理における最新研究動向と空港運用を支える監視技術に関する国際ワークショップを開催した。

表 1.5.14　出前講座及び特別講演内訳

	開催日	対象	概要
	R3.9.10	国土交通省海事局	リスク評価の概要、HAZID 手法と半定量評価に係

			る講義
	R3.10.5 R3.11.16	日本小型船舶検査機構	小型船舶の復原性に係る講義
	R3.10.25	近畿運輸局	走錨リスク判定システムに係る講義
	R3.11.12	北海道運輸局	気象・海象と荒天操船、荒天に伴う事故事例、走錨リスク判定システムに係る講義
	R3.11.26	関東運輸局	走錨リスク判定システムに係る講義
	R4.2.17	九州運輸局	走錨リスク判定システムに係る講義
	R4.2.18	日本船舶技術研究協会	大気汚染防止のための排ガス洗浄装置（FGCS）に関する日本主導の国際規格（ISO 23668）の開発状況と今後の展望
	R4.3.14 ～20	日本船主責任相互保険組合	避航の実態と、それによる荷重低減効果、・デジタルツインによる避航支援 の研究
	R3.8.2	航空局　管制技術課　航行支援技術高度化企画室	GBAS システムの概要及び運用上の注意等について
	R3.11.18	航空局　システム開発評価・危機管理センター	SWIM における FF-ICE や TBO 実証実験システムの開発について
	R4.1.24	航空保安大学校	電子研の業務、研究について
	R4.3.25	日本貨物航空（株）	SBAS の概要と今後の展開について

図 1.5.16 航空保安大学校出前講座の様子（令和 4 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 3 年度においては、第 43 号（令和3年 4 月）で「高潮・高波災害から安全を守る想定外の海象条件に備え港湾や海岸の耐波構造物をフォローする研究を」、第 44 号（令和3年 7 月）で「2050 年カーボンニュートラル実現のカギは、ブルーカーボンにあり」、第 45 号（令和3年 10 月）で「桟橋の耐震設計の高度化を目指して」、第 46 号（令和4年 1 月）で「東日本大震災から 10 年、津波の研究が遂げた進歩と今後目指すべき方向とは?」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、2021（令和3）年度分の活動内容を簡潔にとりまとめた「年次報告 2021」（日本語版）並びに「PARI Annual Report 2021」（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現地及びオンラインで 5 回開催し、合計 440 名の参加者があった。

表 1.5.15 公開実験の実績

	時期	テーマ
1	R3.7.13	操船シミュレータによる音声支援・自動着桟のデモンストレーション
2	R3.11.18	船体構造デジタルツインシステムの水槽試験による機能検証
3	R4.1.13	「オンライン立会システム」にて 400m 水槽の「自動計測システム」を公開
4	R4.3.25	バンカリング時における 2 船体周りの風場観測試験を公開
5	R3.7.9	「滑走路異物監視システム」の公開実験

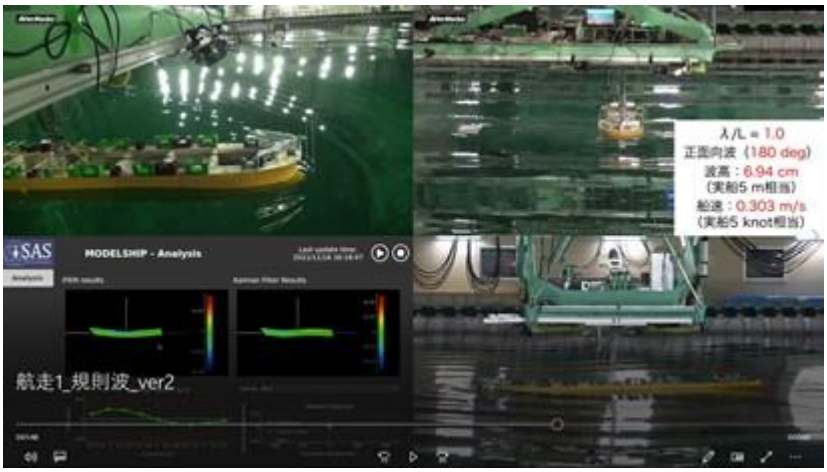


図 1.5.17　船体構造デジタルツインシステムの水槽試験による機能検証の公開（令和 3 年 11 月）

図 1.5.18 「滑走路異物監視システム」の公開実験（令和 3 年 7 月）

例年 4 月に、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実施しているが、令和 3 年度については、新型コロナウイルスの感染拡大防止策を十分に講じることが難しいことから中止した。

例年 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ているが、令和 3 年度については、新型コロナウイルス感染拡大防止及び安全に参加していただく環境の確保が困難なことから中止した。なお、令和 4 年 2 月には、実際に波の波形を再現できるデュアルフェースサーペント水槽を使った公開実験をオンラインで行い、361 回線の聴講者があった。

令和 3 年度については、新型コロナウイルス感染対応のため、研究所施設の通常の一般公開を中止したことにより、研究所について学ぶ機会を失ったことの代わりも兼ねて、ホームページにバーチャル一般公開のページを掲載した。これにより、研究所施設の施設見学や文字造波、津波、飛行実験などをバーチャル体験できるほか、キッズページとして、マンガやペーパークラフトなどのコンテンツも楽しむことができる。

図 1.5.19　バーチャル一般公開のホームページ

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。件数については、新型コロナウイルス感染拡大の影響から、令和 3 年度における一般公開を除く施設見学者は、20 件（287 名）であった。

⑥ホームページ

令和 3 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。

（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 1.5.20　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スーパーサイエンスハイスクール（SSH）事業への協力

港湾空港技術研究所では、文部科学省における先進的な理数系教育を実施する高等学校等「スーパーサイエンスハイスクール（SSH）」を支援する事業として神奈川県立横須賀高等学校の生徒を対象とした学習プログラムを例年実施しており、令和 3 年 11 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 1.5.21　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 3 年 11 月）

④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 3 年度のテレビ放映については、各種水槽、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 239 回の記事掲載があった。

⑤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、平成 24 年度から開催している。令和2年度は、新型コロナウイルス感染拡大防止のため、e-leaning 形式にて令和 4 年 2 月 2 日、3 日に土木学会建設用ロボット委員会と共同で開催した。研究所から「桟橋上部工点検用 ROV とその支援機能」及び「水中バックホウにおける音響画像の活用」と題する講義を行った。

⑥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」の日本語版をうみそら研バーチャル一般公開キッズコーナーに掲載した。

図 1.5.22　電子航法研究所紹介マンガ

⑦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。

表 1.5.16　その他展示会等の実績

	展示会等	実施場所・時期	概要
1	Society 5.0 科学博	東京スカイツリータウン(R) 令和 3 年 7 月 15 日～28 日	SIP プログラムの一環として、開発した AUV を展示
2	海洋都市横浜うみ博 2021	令和 3 年 7 月～令和 3 年 12 月（オンライン開催）	詳しく教えます！船と海の研究海上技術安全研究所の紹介として以下のコンテンツを出展した。

			①既存 HP へのリンク 海上技術安全研究所キッズページ
			「私たちは港湾と空港の専門家」と題して以下のコンテンツを出展した。 ①港空研の紹介映像 ②津波等の実験映像
3	Techno-Ocean2021	神戸国際展示場 令和 3 年 12 月 9 日～11 日	「海からのカーボンニュートラル」について、パネルセッションを実施

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、危険物等貨物の安全運送に関する基準の策定に貢献する。

電子航法の分野においては、航空関係者間の情報共有を図るための次世代の航空交通情報システムに係る国際地域基準の提案など国際標準化の活動に貢献する。

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:The Permanent International Association of Navigation Congresses）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 3 年度においては、目標である 63 人を上回るのべ 168 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 3 年度は、コロナ禍による審議事項の制限があったが、各種委員会に対して合計 39 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。

港湾空港技術研究所は、PIANC を構成する各委員会に研究者を派遣してその活動を支援してきた。また ISO/TC や国が主導している海外への日本の港湾の技術基準の普及について、ベトナムへの技術基準導入の支援を行った。

(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 3 年度においては、海上技術安全研究所は 39 本の提案文書等の策定に貢献した。

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 3 年度は、のべ 42 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、当所職員が IMO における国際ガス燃料船安全コード（IGF コード）等に係る審議に対応するための作業部会の主査を務めており、アンモニア燃料船の安全指針策定に関する新規作業計画に係る、IMO 第 104 回海上安全委員会（MSC 104：2021 年 10 月）への提案文書の作成に貢献した。さらに、アンモニア燃料船の安全対策を検討するための Hazard Identification や、アンモニアの火災危険性に関する調査、さらにはアンモニアに係る事故例調査を実施し、その結果も MSC 104 への提案文書に反映させ、我が国の積極的な取り組みのアピールに貢献した。

第 7 回貨物運送小委員会（CCC 7）においては、我が国が新規作業計画を提案していること、及び CCC 6 で設置された IGF コードに係る通信グループ（Correspondence Group：CG）においてもアンモニア燃料船の安全指針の検討に着手すべきとの意見が出ていたことに鑑み、MSC の決定を待たずに CCC 7 で設置する IGF コードに係る CG の中で、アンモニア燃料船に関する情報収集を行うことが合意された。これらにより、当所職員が本件に関する CG コーディネーターを務めることになった。

・液化水素運搬船基準の策定

地球温暖化防止のための水素社会の実現に向けて、運送を含む液化水素利用に関する技術開発が世界各国で進められており、これまでに当所は、IMO における液化水素運搬船に関する暫定勧告の策定に貢献した。

2021 年 12 月には我が国において、世界初の液化水素運搬船「すいそ　ふろんてぃあ」による海上輸送実証試験が開始され、液化水素が運送された。

当所職員は、この暫定勧告見直しのための新規作業計画に係る IMO 第 104 回海上安全委員会（MSC 104：2021 年 10 月）への提案文書の作成に貢献した。この提案文書は、審議時間の都合で 2022 年 4 月に開催される MSC 105 で審議されることになった。また、液化水素運搬船に関する国際ワークショップを 2022 年 3 月 16 日にオンラインで開催し、関係各国の理解の醸成に貢献した。

・国際海上固体ばら積み貨物コードの改定

当所職員は、長年に渡って国際海上固体ばら積み貨物規則（IMSBC コード）の審議に参画しており、2021 年 9 月の第 7 回貨物運送小委員会（CCC 7）の翌週に開催された第 35 回編集・技術（E&T）グループ（E&T 35）において、米国の Mr. Steven Webb とともに議長を務めた。さらに 2022 年 3 月に開催された第 36 回 E&T グループ（E&T 36）においても議長を務めた。

E&T グループの会議には、IMDG コードを扱うものと、IMSBC コードを扱うものの二種類があり、E&T 35 は時間を区切って両方のコードについて審議し、E&T 36 は IMSBC コードについて審議した。

前述の CCC 7 には、当所職員も出席し、IMSBC コード等の審議に貢献した。また、E&T 35 及び E&T 36 にも出席し、IMSBC コードに係る審議に貢献した。

・有害液体貨物運送基準の策定

当所職員は、2021 年 5 月に開催された海洋環境保護の科学的側面に関する専門家会合（GESAMP） の第 58 回「船舶で輸送される有害物質の危険性評価にかかる作業部会（EHS WG）」（GESAMP EHS 58）に出席し、船舶で輸送される有害物質の危険性評価を行った。EHS WG には三つのサブグループがあり、当所職員は、Human health hazards サブグループ及び全体会合に出席し、レポート文書（PPR.1/Circ.11）の作成に貢献した。主な審議事項は、新規 13 物質と再査定 3 物質の査定及び毒性評価値の割り当て、各物質の EHS 名称の決定であった。また、IMO 第 26 回化学物質の安全／環境汚染危険性の査定に係る作業部会（ESPH 26）及び IMO 第 8 回汚染防止及び対応（PPR）小委員会（PPR 8）の要請により、汚染分類 Y 類の高粘度又は高融点の持続性浮遊物質に対し新たに課された排出要件（IBC コードにおいては特別要件 16.2.7）の混合物への適用指針を示した。

当所職員は、2018 年 2 月の第 5 回 PPR 小委員会の会期中の会合から、ESPH WG に継続的に出席しており、2021 年 10 月には、第 27 回 ESHP 技術部会 （ESPH 27）に出席し、ばら積み液体危険物の船舶運送に関して、新規物質の運送要件の査定及び暫定査定された物質の一覧である MEPC.2/Circular 案の確認等の審議に対応した。そして、提出された物質の危険性情報及び国際バルクケミカル（IBC）コードに基づく運送要件の

合理的な査定実施に貢献した。

表 1.6.1 IMO に係る会議参加数（42 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
NCSR 小委員会通信に係る中間会合（ISWG-COM）	SOLAS 条約改正案、各種装置の性能基準等改正案の審議	1
ライフサイクル GHG/carbon インテンシティーに係る非公式会合	各種舶用燃料の地球温暖化効果の LCA 指針の審議	2
第 8 回航行安全・無線通信・捜索救助小委員会（NCSR 8）	SOLAS 条約改正案、各種装置の性能基準等改正案の審議	1
第 103 回海上安全委員会（MSC 103）	義務要件の採択等、自動運航船関係の審議	2
第 8 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 8）	GHG 削減対策の審議	4
第 76 回海洋環境保護委員会（MEPC 76）	義務要件の採択等、EEDI 関係、GHG 削減対策の審議	3
第 7 回貨物運送小委員会（CCC 7）	固体ばら積み貨物運送基準、ガス等低引火点燃料船コード、個品危険物運送基準の審議	4
第 35 回貨物運送小委員会編集・技術グループ（E&T 35）	固体ばら積み貨物運送基準、個品危険物運送基準の審議	3
第 9 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 9）	GHG 削減対策の審議	1
第 104 回海上安全委員会（MSC104）	新規作業計画（自動運航船等）及び義務要件の採択等の審議	2
第 27 回汚染危険評価技術部会（ESPH 27）	ばら積み液体貨物運送基準の審議	2
第 10 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 10）	GHG 削減対策の審議	2
第 77 回海洋環境保護委員会（MEPC 77）	大気汚染及びエネルギー効率、大気汚染関係（EGCS 関連基準見直し）、エネルギー効率（省エネ技術基準見直し）、GHG 削減対策の審議	6
第 8 回船舶設計・建造小委員会（SDC 8）	作業員輸送船コード、非損傷時復原性の審議	2
第 8 回船舶設備小委員会（SSE 8）	救命設備基準、火災安全基準の審議	3
第 36 回貨物運送小委員会編集・技術グループ（E&T 36）	固体ばら積み貨物運送基準の審議	2
第 11 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 11）	GHG 削減対策	2

(イ)ISO 及び IEC における活動

令和 3 年度は ISO の会議にのべ 28 名が出席し、各種規格のプロジェクトリーダーを務めており、規格策定作業に貢献した。

表 1.6.2 ISO、IEC に係る会議参加数（28 人）

会議名	会議目的	参加延べ人数
ISO/TC 8/SC 1/WG 1	救命設備関係の審議	2
ISO/TC 8/SC 1	救命設備・火災安全関係の審議	2
ISO/TC 8/WG 10	自動運航船の用語の審議	1
ISO/TC 292/WG 8	物流セキュリティーに係るマネージメントの審議	1
ISO/TC 292/WG 8	物流セキュリティーに係るマネージメントの審議	2
ISO/TC 207/SC 7/WG 14	輸送セクターにおける GHG の定量化規格の審議	1
ISO/TC 207/SC 7/WG 14	輸送セクターにおける GHG の定量化規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 67/SC 7	海洋石油・天然ガス用海洋構造物の審議	1
IEC/TC 88 MT3-2	浮体式洋上風力発電施設の復原性の審議	1
ISO/TC 188/SC 1	イマーション・スーツ及び救命胴衣の審議	2
ISO/TC 207/SC 7/WG 14	輸送セクターにおける GHG の定量化規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 6	WG 9 代表として審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 2	環境関係規格全般の審議	3
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 67/SC 7	海洋石油・天然ガス用海洋構造物の審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 188/SC 1	イマーション・スーツの審議	2

(ウ)IAEA における活動

令和 3 年度は、IAEA の会議にのべ 25 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。

・放射性物質運送基準の改定

当所職員は、昨年度までに 40 回以上国際原子力機関（IAEA）の会議に出席し、中でも輸送安全基準委員会（TRANSSC）には 15 回出席し、放射性物質運送基準の審議に貢献してきた。2021 年 6 月及び 11 月に開催された TRANSSC 42 及び TRANSSC 43 には、我が国の副代表（Alternate）として出席し、IAEA 放射性物質安全輸送規則 SSR-6 等の放射性物質運送に係る各種文書の審議に貢献した。また、前述の CCC 7 及び E&T 35 にも出席し、放射性物質輸送（IMDG コード）関係の審議を聴取した。

表 1.6.3 IAEA に係る会議参加数（25 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
第 3 回技術基盤文書 WG	放射性物質安全輸送規則の技術基盤に係る調査検討の審議	1
第 42 回輸送安全基準委員会（TRANSSC 42）等	放射性物質輸送に係る安全基準の審議	2
第 17 回基礎的数値（A_1/A_2 値）に係る国際 WG	放射性物質安全輸送規則の核種毎の防護上の数値の見直しの審議	2

輸送拒否作業部会の付託事項策定に関する技術会合(EVT2102062)	放射性物質輸送拒否問題の審議準備	1
第 1 回 TTEG-PPA/TNPP(移動可能原子炉)WG	移動可能原子炉の輸送時の取扱いに関する審議	2
TRANSSC TTEG-PPA/保守 WG	輸送容器の保守管理に関するガイド作成	1
TRANSSC TTEG-PPA/経年変化 WG	輸送物設計における経年変化の考慮に関するガイド作成	2
第 43 回輸送安全基準委員会(TRANSSC 43)等	放射性物質輸送に係る安全基準の審議	2
臨界 TTEG／第 1 回船上 CSI 制限 WG	放射性物質輸送船における臨界安全指数制限の見直し	1
第 18 回基礎的数値(A_1/A_2 値)に係る国際 WG	放射性物質安全輸送規則の核種毎の防護上の数値の見直し	2
核及び放射性物質の安全・保安輸送国際会議	放射性物質輸送に関する包括的議論	2
臨界 TTEG／第 2 回船上 CSI 制限 WG	放射性物質輸送船における臨界安全指数制限の見直し	1
TTEG-PPA/TNPP(移動可能原子炉)WG 運営グループ	第 2 回 TNPP WG 準備	1
第 2 回 TTEG-PPA/TNPP(移動可能原子炉)WG	移動可能原子炉の輸送時の取扱いに関する審議	1
臨界 TTEG	放射性物質輸送における臨界関連基準の見直し	1
TTEG-PPA/TNPP(移動可能原子炉)WG 運営グループ	TNPP 課題について今後の議論の進め方	1
TRANSSC TTEG-PPA/経年変化 WG	輸送物設計における経年変化の考慮に関するガイド作成	2

(エ)国際航路協会(PIANC)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。

港湾空港技術研究所は、令和 3 年度に PIANCMarCom WG233 に主要メンバーとして参加し、沿岸施設の維持管理に関するガイドラインの改定に貢献するなど、戦略的な国際活動の推進に重要な役割を果たしている。

表 1.6.4 PIANC に係る会議参加数(18 人)

会議名	会議の目的等	参加延べ人数
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 MarCom WG211	防舷財システムの設計ガイドライン改訂が目的	2
PIANC MarCom 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	3
PIANC EnviCom WG214	土砂の有効利用のレポート取りまとめ	1

PIANC MarCom WG208	コンテナターミナル自動化のガイダンス作成	1
PIANC MarCom WG236	内水航路の有効活用のレポート取りまとめ	2
PIANC MarCom WG233	沿岸施設の維持管理に関するガイドラインの改訂	5
PIANC MarCom WG212	岸壁における船舶の許容同様基準	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。中でも、令和 3 年度はアジア太平洋地域おける GBAS/SBAS の導入を目指すタスクフォースにおいて、研究員 1 名が座長、他の研究員 2 名が技術リーダーを務めた。

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。

・SWIM の実用化に関する貢献

ICAO では、運航の安全性と効率性を向上させるため、監視・気象・空港・フライトなどの様々な情報を管理できる SWIM(System Wide Information Management)という次世代航空交通情報システムの概念が推進されている。令和 3 年度は、FAA などと連携して、SWIM に基づいた軌道ベース運用(TBO)の実現に向けた初期実証実験を行った。この実験結果を ICAO ATMRPP と IMP に報告し、TBO に関する具体的な技術検討が開始された。また、FAA と AEROTHAI と連携して、SWIM に基づく情報信頼基盤の実験システムを構築し、ICAO APAC SWIM ワークショップで実証実験を実施した。これらの成果を APAC SWIM タスクフォースに報告し、アジア太平洋地域における SWIM 導入の技術基準の策定や地域 SWIM 基盤に基づいた協調運用の実現に貢献した。

・ICAO 管制間隔・空域安全パネル (ICAO SASP)への貢献

ICAO SASP は、PANS ATM に関連して、特に航空機間セパレーションに関する議論を行っている。当該会議において、電子航法研究所より対地速度分布の研究成果公表を行い、風の影響が大きい空域において、現在の航空機間隔の衝突危険度モデルにおける仮定との乖離を報告し、本パネルより非常に重要な事実であるとの評価を受けた。

・ICAO 飛行方式パネル (ICAO IFPP)への貢献

ICAO IFPP は、PANS OPS に関連する議論を行っている。CRM WG では、地上障害物との間隔を設定するための衝突危険度モデル(CRM)ソフトウェアを新たにリリースするため、既存ソフトのバグの発見や過去の CRM の計算結果の比較が行われている。 過去の結果も踏まえて一部整合が取れない結果が出たため、電子航法研究所にてソフトウェア検証を実施している。

・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技術基準を検討する会議である。本会議では、電子航法研究所の職員がエディターおよびコアチームメンバーを務めている。令和 3 年度は、主要メンバーとして最新の技術要件文書（MASPS）の ED-240A Change1 のドラフトの作成や発行に貢献した。また、新たに ED-240B（Non Optical センサの活用パート）の議論を開始しており、コアチームでの議論に参加し、ドキュメントの原案作成などを行っている。

表 1.6.5 ICAO、RTCA、EUROCAE に係る会議参加数（49 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程類の取りまとめ	9
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	3
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と他の無線システムとの干渉を防止するための会議	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
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	2
情報管理パネル(ICAO IMP)	航空産業で利用される情報管理に係る国際標準・技術マニュアル等規程類の取りまとめ	1
アジア太平洋地域空域安全監視諮問グループ(ICAO APAC RASMAG)	アジア太平洋地域における RVSM 空域の安全性を監視する地域監視機関の会議	1
アジア太平洋地域監視実施調整会議 (ICAO APANPIRG SURICG)	アジア太平洋地域における航空機監視システムの導入を調整・支援することを目的とした会議	1
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
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	19
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	2
EUROCAE WG-96 and RTCA SC-236	航空機内データ通信(WAIC)機器に関する EUROCAE と RTCA の合同会議	3
EUROCAE WG-119 and RTCA SC-239	電波高度計に関する EUROCAE と RTCA による合同会議	4

(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（20 人）

会議名	会議目的	参加延べ人数
ブラックカーボン技術作業部会（No.4）	船舶からの BC 排出量測定法等の検討	2

GESAMP EHS WG 第 58 回会合	化学物質の有害性評価	1
国際溶接会議(IIW)第 XIII(疲労)委員会	溶接構造の疲労設計に関する規格案の審議	1
GBS workshop(MSC 104/INF.8)	GBS 定期監査の見直し等	1
ブラックカーボン技術作業部会(No.5)	船舶からの BC 排出量測定法等	2
EUROCAE Symposium 58th General Assembly	EUROCAE が実施する、年に一度の総会	1
ICAO SWIM ワークショップ	ICAO バンコク事務所主催の SWIM に関するワークショップ SWIM 導入に関する進捗報告とオンラインデモを実施	1
Multi-Regional TBO	米国 FAA 主導による軌道ベース運用実証のための会議	5
ASTM F38 Virtual Spring Meeting	米国 ASTM 主催による UAS に関する準委員会	1
第 26 回 IPACG プロバイダー会議	日米航空当局による太平洋管制調整会議 IPACG のプロバイダー会議	1
第 47 回 IPACG 及び第 27 回 IPACG PM	日米航空当局による太平洋管制調整会議 IPACG/47 及び当該プロバイダー会議(IPACG PM/27)	2
SWIM 国際接続実験デモ(MR TBO Project Risk Mitigation Technical Exercise)	SWIM の国際実験デモンストレーションを実施	1
データーリンクユーザーフォーラム(DLUF)	ARINC 規格等を作る AEEC が主催したデーターリンクユーザーフォーラム	1

・第 40 回国際海洋・極地工学会議(OMAE2021)において感謝賞受賞

2021 年 6 月 21 日～6 月 30 日にオンラインで開催された、米国機械学会(The American Society of Mechanical Engineers)主催の第 40 回(2021 年)国際海洋・極地工学会議(40th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering : OMAE2021)において、当所職員が 2018 年より Ocean Space Utilization Symposium の中のセッション「Deepsea Mining and Ocean Resources」のオーガナイザーを務めるとともに、同セッションの司会を担当しており、これらの功績が評価され感謝賞(Appreciation Award)を受賞した。

OOAE

OMAE Conference
Appreciation Award

Sotaro Masanobu

In grateful appreciation for his role and valued services in organizing sessions in the Ocean Space Utilization Symposium of the OMAE 2021 Conference

Dr. Franz von Bock und Polach
OMAE 2021 Conference Chair

図 1.6.1 ASME OMAE Awards Committee から贈られた表彰状

（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 3 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み 172 件の発表を実施した。

また、本年度は目標である 3 件を上回る 8 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、2022 年 3 月 16 日に国土交通省海事局と共催で、液化水素運搬船に係る国際ワークショップ(オンライン)を開催した。我が国以外では、24 の国及び国際機関から 76 名の参加登録があり、加えて我が国から 64 名の参加登録があった。なお、当研究所の You Tube でも配信した。

港湾空港技術研究所では、2021 年 4 月にインドネシア技術評価応用庁(BPPT)との共同研究ワークショップを開催した。また、2021 年 10 月には国際地盤工学会技術委員会を委員長として主催し、世界 14 カ国から 32 名の委員の参加があり、海外の研究機関と活発な技術交流を行った。

また、港湾空港技術研究所においては、平成 27 年 12 月の国連総会で 11 月 5 日が日本の津波防災の日から「世界津波の日」に制定されたことを機に、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 3 年 11 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、松冨英夫 秋田大学名誉教授、Gerassimos A.Papadopoulos 国際自然災害防止・軽減学会会長、太平洋津波博物館(アメリカ合衆国)を表彰した。受賞者には斉藤国土交通大臣より記念品が授与された。本件については、国連防災機関のHPで紹介されるなど世界に広く知らしめられた。

図 1.6.1 濱口梧陵国際賞授賞式の様子
(左:松冨教授と斉藤大臣、右:Gerassimos A.Papadopoulos 博士と斉藤大臣)

電子航法研究所では、一般社団法人電子情報通信学会の宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE 研) と共催し、「航空交通管理における最新研究動向と空港運用を支える監視技術に関する国際ワークショップ」を二日間にわたり開催した。航空交通管理と滑走路異物監視(FOD)に関して、国内外の研究者より計

10 件の講演を頂いた。航空交通管理については、ANA ホールディングス、ドレスデン工科大学、ドイツ航空宇宙センター、アメリカ航空宇宙局より、COVID-19 パンデミック期間に得た学びとして航空交通管理への DX の応用について幅広く講演頂いた。滑走路異物監視については、マレーシア航空局、マレーシア・エアポーツ・ホールディングス、マレーシア工科大学、日立国際電気より、滑走路安全性向上に資する FOD 監視のこれからについて日馬の研究協力体制を踏まえて講演頂いた。本年度は、学会との共催をした初めての国際ワークショップをオンラインで開催したが、各日 100 名以上の聴講者に参加頂き、好評を得た。

図 1.6.2 航空交通管理における最新研究動向と空港運用を支える監視技術に関する
国際ワークショップの様子(上:初日の様子、下:二日目の様子)

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 3 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。(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 年度以降令和 3 年度までに、国内 29 件、海外 27 件、合計 56 件の研究協力協定を締結し、研究の質の向上と効率的な実施を図った。

電子航法研究所では、ドイツ航空宇宙センター(DLR)と包括研究協力合意を更新し、ATM/CNS 分野における研究協力体制を強化し、日独両国の ATM の安全性と効率性の向上に貢献するための研究を継続する。また、国際交通流円滑化に関する研究について、当所と韓国航空大学、韓国航空宇宙研究所、南京航空航天大学との 4 者間の共同研究契約を新たに締結した。

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、海上技術安全研究所と電子航法研究所にて、海事・航空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 2 名を MIT(米マサチューセッツ工科大学)に派遣した。新型コロナの影響によりオンラインでのプログラム参加となったが、システムズアプローチの学習と、ケーススタディとして国際海運における CO2 削減方策の検討を実施し、国内大学及び海外との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）」等に、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 18 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。

図 1.6.3　在外派遣プログラム最終報告会の様子(左：開会の様子、右：研究員発表の様子)

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 1 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。

令和元年度に試行し、コロナ対策として令和2年度に本格的に実施したテレワークについて、多様な働き方を定着させる観点から推進する。

（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3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3年度においては、統一した会計システムの運用により、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、決算業務においては残業時間が統一システム導入前から7割減少した。

2016年	統合前最終年度の決算（残業増要因）
2017年	統合初年度の決算（残業増要因）
2018年	-- 2018年度: 統一会計システムの導入 --
2019年	統一会計システムによる決算（残業減要因）
2020年	-- 2020年度: マニュアルの整備 --
2021年	統一会計システム/整備したマニュアルによる決算（残業減要因）

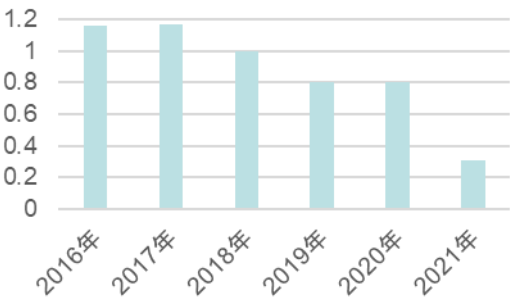


図 2.4 決算部署の決算時期の一人当たり残業時間推移（2018 年: 1.0）

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おいては、最高情報セキュリティ責任者の主導の下、コロナ禍におけるテレワークの定着に向けて、申請手続きの簡素化、マイクロソフト 365 及び大容量ファイル転送システムの導入など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3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3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。

・複合機
・電子入札システムコアシステム
・電子入札システム

2. 業務の電子化

（1）研究業務関係

①クラウドサービス一般利用を開始

海技研クラウドのアプリは開発中のものを含めて 15 を超え、今後も研究基盤としての整備拡張をおこなっていく予定。

また、7月に無償提供開始の「走錨リスク判定システム（錨 ing）は台風シーズンに利用が伸び、船舶の安全な錨泊に貢献した。

クラウドサービスによるアプリ利用の累計は[2,924（3月末）]件となっている。

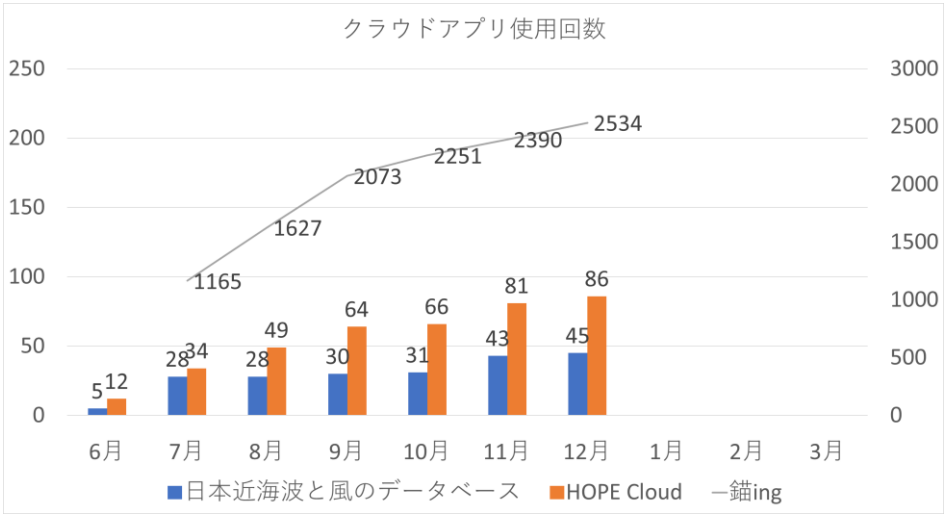


図 2.1　アプリ利用回数

②. 水槽オンライン立ち合いシステム及び自動計測システムを開発、公開

Web アプリ上で水槽試験の実施状況・データの確認や比較、チャット機能を用いたデータファイルの送受信、試験実施者との連絡ができるサービスを開始した。

利用者による迅速な試験評価（馬力評価、再試）、実績データとの比較、出張費削減や試験映像の取得がリアルタイムで可能となった。

また、推進性能試験の効率化・計測精度の向上・再現性の向上による品質向上が図られ、今後は、その他公開実験等のオンライン実施定着による発信力強化を図っていく。

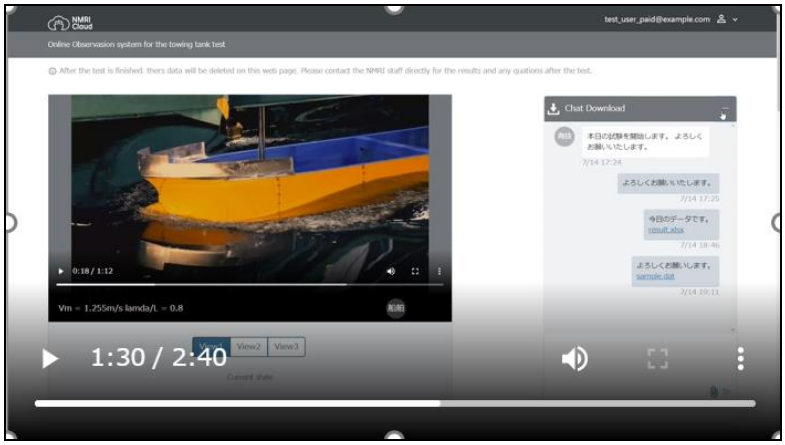


図 2.2　オンライン立ち合いシステムによるリアルタイムでの試験映像

（2）事務業務関係

①入札仕様書のメール対応試行

令和 3 年度より、電子入札システム導入に向けて、従来手渡しを原則としていた、入札仕様書の配布をメール対応可とする試行を実施した。

取り組みの結果、年度末までに、総仕様書配布数の 9 割がメールでの配布となり、事業者へのサービス向上を実現した。

②電子入札システムの導入

令和4年2月1日から電子入札システム運用を開始し、入札公告、事業者登録などを順次行い、令和4年度の本格運用を目指している。（令和4年3月末現在登録事業者数延べ45社）

また、令和5年度からの運用開始を目指し、会計システムの電子決裁化を検討していく。

③旅費業務のアウトソーシング

港空研では、国内出張にかかる旅行チケットの代行手配業務のアウトソーシングを先行して行い、令和4年度からの業務開始を目指して3研究所で引き続きの連携と情報共有を図っていく。

④テレワークの定着

令和3年度は、リモートアクセス機能利用（デスクネッツ機能の利用）により、更に52業務（期首45実施＋7試行、期末51実施＋1試行）がテレワークの移行業務となった。累計で240件がテレワーク可能業務となった。

本取組みにより、緊急事態宣言時には 4 割出勤、その他期間では、6 割出勤を達成した。今後も新たな働き方の実現に向けて取り組んでいく。

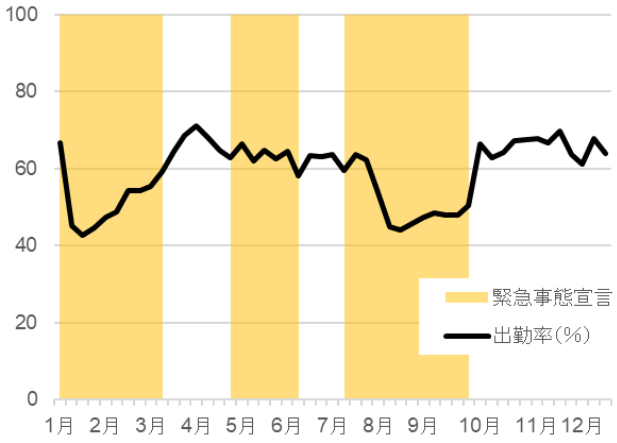


図 2.3　うみそら研出勤率推移

⑤ICT 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、ワークフローを活用し、特許申請や共同研究契約に係る事務手続き、外部からの取材申請処理、所外機関等発表伺、Web 国際会議参加報告書といった業務の電子化を行った。また、所内イントラに購読した専門誌（日刊）や経営戦略会議資料を掲載するなど、資料の電子化を行った。

⑥テレビ会議による効率化

テレビ会議システムによる各研幹部会、役員懇談会などを開催し、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3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。

⑦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3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、上記2. の業務の電子化とともに、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3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 99.6、研究職種で 105.3 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3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。

・仕様書内容の見直し
・入札参加要件の緩和
・公告期間の十分な確保
・適正工期（納期）の確保
・契約情報提供の充実

「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3年5月に令和3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、令和2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3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	2,571	1,223	1,362	5,156
施設整備費補助金	0	0	0	0
受託等収入	585	1,143	177	1,904
計	**3,156**	**2,366**	**1,539**	**7,061**
支出				
業務経費	494	212	725	1,431
施設整備費	0	0	0	0
受託等経費	502	1,068	150	1,719
一般管理費	121	89	41	251
人件費	2,039	998	622	3,659
計	**3,156**	**2,366**	**1,539**	**7,061**

(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 3 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	**3,417**	**2,398**	**1,817**	**7,632**
経常費用	3,417	2,398	1,817	7,632
研究業務費	2,122	839	1,176	4,137
受託等業務費	502	1,069	150	1,720
一般管理費	531	459	204	1,193
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	**3,417**	**2,398**	**1,817**	**7,632**
運営費交付金収益	2,571	1,223	1,362	5,156
手数料収入	0	0	0	0
受託等収入	585	1,143	177	1,904
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	**3,156**	**2,366**	**1,539**	**7,061**
業務活動による支出	3,156	2,366	1,539	7,061
投資活動による支出	0	0	0	0
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	**3,156**	**2,366**	**1,539**	**7,061**
業務活動による収入	3,156	2,366	1,539	7,061
運営費交付金による収入	2,571	1,223	1,362	5,156
受託収入	542	1,044	173	1,759
その他収入	43	99	4	146
投資活動による収入	0	0	0	0
施設整備費補助金による収入	0	0	0	0
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 3 年度は、運営費交付金を充てるべき支出のうち 185 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 64 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 12 百万円と合わせて総損失は 52 百万円となっている。これは、令和 3 年度に自己財源で取得した固定資産の額を、過去に自己財源で取得した減価償却費が超過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	5,156	6.388
施設整備費補助金	0	31
先進船舶・造船技術研究開発費補助金	0	0
受託等収入	1,904	3.764
計	**7,061**	**10,183**
支出		
業務経費	1,431	3,038
施設整備費	0	31
先進船舶・造船技術研究開発費補助金	0	0
受託等経費	1,719	3,422
一般管理費	251	430
人件費	3,659	3,691
計	**7,061**	**10,612**

（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	**7,632**	**10,318**
経常費用	7,632	10,229
研究業務費	4,137	5,024
受託等業務費	1,720	3,067
一般管理費	1,193	1,248
減価償却費	581	889
財務費用	0	0
臨時損失	0	90
収益の部	**7,632**	**10,254**
運営費交付金収益	5,156	6,015
手数料収入	0	59
受託等収入	1,904	3,860
寄付金収益	0	1
資産見返負債戻入	572	318
臨時利益	0	1
純利益	**0**	**△64**
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**	**12**
総利益	**0**	**△52**

（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	**7,061**	**10,167**
業務活動による支出	7,061	8,931
投資活動による支出	0	1,227
財務活動による支出	0	9
次期中長期目標の期間への繰越金	**0**	0
資金収入	**7,061**	**10,438**
業務活動による収入	7,061	9,838
運営費交付金による収入	5,156	6,388
受託収入	1,759	3,125
その他収入	146	325
投資活動による収入	0	600
施設整備費補助金による収入	0	600
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 292 件、競争的資金 124 件の合計 416 件を実施し、3,288 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、95 百万円を獲得した。

また、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。
　令和元年度に試行し、コロナ対策として令和2年度に本格的に実施したテレワークについて、多様な働き方を定着させる観点から推進する。（第2（2）業務の電子化の再掲）。
（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		0	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	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。

［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3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3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 3 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

（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。令和3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3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。

（5）テレワークの定着（再掲）

新型コロナ感染症対策として令和2年度から本格的に実施したテレワークについて、多様な働き方を定着させる観点から更なる取り組みを推進した。（業務の電子化の再掲）。

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」を促進した。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研修など、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3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。

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の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。