令和２年度　業務実績等報告書

令和３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 ---------- ７７
（４）海上輸送を支える基盤的な技術開発 ---------- ９４
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 ---------- １１６
（１）沿岸域における災害の軽減と復旧 ---------- １１８
（２）産業と国民生活を支えるストックの形成 ---------- １３５
（３）海洋権益の保全と海洋の利活用 ---------- １５０
（４）海域環境の形成と活用 ---------- １５７
４．電子航法に関する研究開発等 ---------- １６６
（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化 ---------- １７２
（２）空港運用の高度化 ---------- １８７
（３）機上情報の活用による航空交通の最適化 ---------- ２０５
（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化 ---------- ２１５
５．研究開発成果の社会への還元 ---------- ２２２
（１）技術的政策課題の解決に向けた対応 ---------- ２２２
（２）災害及び事故への対応 ---------- ２２８
（３）橋渡し機能の強化 ---------- ２３２
（４）知的財産権の普及活用 ---------- ２４４
（５）情報発信や広報の充実 ---------- ２４９
６．戦略的な国際活動の推進 ---------- ２５９
（１）国際基準化、国際標準化への貢献 ---------- ２５９
（２）海外機関等との連携強化 ---------- ２６８

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 ―――― ２７３
１．統合に伴う業務運営の効率化 ―――――――――――――――――――――― ２７６
２．業務の電子化 ―――――――――――――――――――――――――――――― ２７７
３．業務運営の効率化による経費削減等 ―――――――――――――――――― ２７９

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 ――――― ２８１
１．運営費交付金を充当して行う事業 ―――――――――――――――――――― ２８６
２．運営費交付金以外の収入の確保 ―――――――――――――――――――― ２８８
３．短期借入金の限度額 ―――――――――――――――――――――――――― ２８８
４．不要財産の処分に関する計画 ―――――――――――――――――――――― ２８８
５．財産の譲渡又は担保に関する計画 ―――――――――――――――――――― ２８８
６．剰余金の使途 ―――――――――――――――――――――――――――――― ２８８

第４章　その他業務運営に関する重要事項 ―――――――――――――――― ２８９
１．内部統制に関する事項 ―――――――――――――――――――――――― ２９２
２．人事に関する事項 ―――――――――――――――――――――――――― ２９３
３．外部有識者による評価の実施・反映に関する事項 ―――――――――― ２９３
４．情報公開の促進に関する事項 ―――――――――――――――――――― ２９３
５．施設・設備の整備及び管理等に関する事項 ―――――――――――――― ２９４

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

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

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、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。

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。

◆年度計画における目標設定の考え方

令和2年度は、分野横断的な研究として、首都圏空港の機能強化に関して引き続き関係する研究者等の間で情報交換、連携し効率的かつ効果的に研究を進める。また、次世代海洋資源調査技術に関する研究は、成果の民間移転により社会実装を進めるとともに、広域海底探査のための複数AUVを同時運用する際の隊列制御の研究および、音響画像システムによる施工の生産性向上に向けた研究は各研究所の研究として引き続き実施する。

令和元年度より、交通運輸技術推進制度を利用して3年計画で実施する「大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析」の研究も連携して進める。さらに、各分野の共通基盤となる技術を活用した連携を進めるための検討を継続的に行う事とした。

◆当該年度における取組状況

①我が国における国際交通ネットワークの要である首都圏空港の機能強化に関し、滑走路等空港インフラの安全性・維持管理の効率性の向上等に係る研究開発

平成30年度より、空港の基盤施設・航空交通管理の各分野に渡る連携課題として「空港設計および地上走行時間管理に資する交通データ等活用技術の研究」を電子航法研究所にて実施している。港湾空港技術研究所と連携の上、羽田空港の空港面交通データを利用して、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、前年度までの解析から予想される、誘導路上の交通量の多い地点が損傷し、日中運用時間帯に緊急補修を実施することになった場合において、通行不可の経路や、その影響といった空港内の交通に及ぼす影響を調べるためにシミュレーションを行った。これにより通常、一方通行の経路が双方向通行となることで、安全性を考慮した業務の煩雑化や遅延増加の可能性を提示

した。また、本年度は誘導路の路面損傷に影響を及ぼす要因と考えられる航空機の走行方向について検討し、情報を提供した。従来と同様の傾向がある一方で、航空交通量のデータとの関係がわからない路面損傷箇所もあり、当該箇所については東京空港事務所で今後検討することとなった。研究成果について、国土交通省航空局主催の空港技術報告会で電子航法研究所、港湾空港技術研究所両研究所から発表した。

また、港湾空港技術研究所、電子航法研究所及び国土交通省航空局による連携調整会議を平成29年度から継続してきた。本年度は、新型コロナウイルス感染拡大防止との両立性をめざし、令和元年度末のメールによる資料配布と意見交換をオンライン会議に発展させて実施し、空港機能の強化に寄与する研究課題の整理に向けて、新たにFOD（滑走路異物監視システム）に関する情報を提供できた。令和3年度以降も引き続きこの会議を運営していくこととしている。

②次世代海洋資源調査技術

次世代海洋資源調査技術に関する連携研究については実質的に令和元年度で終了しているが、これまでの連携研究結果のまとめを令和2年度の最初に連携して行った。音響映像呈示システムを含む浅海用音響ビデオカメラについては、床掘浚渫工、置換工をターゲットとした施工モニタ用のアプリケーションの改良を行い、施工管理システムとして試用し実用の目途を得ると共にマニュアルを作成した。（港空研の研究成果としても併記）

AUV（Autonomous Underwater vehicle）の技術開発については、第2期SIPに参画しながらASV（Autonomous Surface vehicle）によるAUV複数機（3機）を同時運用する際の隊列制御アルゴリズムを新たに開発し、駿河湾にて有効性を確認することにより、複数機の管理が安定し、広大な海底域の探索が可能となった。（海技研の研究成果としても併記）

③大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析

海上・港湾・航空技術研究所は、傘下の3研究所が連携して、大規模災害発生時の救助・救援活動（特に、人命救助において一つのリミットとなる発災後72時間以内）における陸・海・空が連携した輸送およびその結節点となる空港、港湾における混雑の発生と対応策についての事前検討を可能にするシミュレーションツールの開発を目的とした交通運輸技術開発推進制度による研究を、令和元年度より開始した。なお、本研究の成果が地方自治体の防災計画や災害対策の立案・修正において有効に活用されることを最終目標としている。

傷病者輸送シミュレーションの前提条件となる各種データを取得するため、津波や地震、台風等による大規模災害が予想される地方公共団体の防災計画等について、連絡会（静岡県、高知県）を設けて実態調査を実施し（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、静岡県、高知県とも連携しながら地方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。

今後は、地方公共団体の防災計画の策定・変更に適用できる様、当該自治体と協議しながら、災害時の傷病者輸送全体を模擬するシミュレーションツールが有効に利用できる様、被災が予想される地方自治体と連携を図りながら研究開発・改良をより一層進める。

④洋上風力発電に関する研究

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調査研究を行った。具体的には、内部・外部連携のための研究マップの作成と安全性評価の要素技術への取り組みである。

研究マップの作成は、令和元年度の3研連携勉強会の成果を踏まえた取組であり、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、外部連携のための洋上風力発電に関する研究マップを作成した。

安全性評価の要素技術については、大型機器の洋上施工の手法とその危険性の検討を進め、研究対象となる洋上施工を実現するために必要なダイナミック・ポジショニング・システムと自己昇降式作業船機能を併せ持つSEP船のシミュレーションができるわが国唯一のシミュレータの整備（海技研担当）を行った。また、浮体式洋上風力発電施設の形状最適化検討及び合成繊維ロープを使用した場合の係留安全性評価法の提案（海技研担当）、並びに、洋上風力発電施設の杭基礎の水平抵抗特性の解析（港空研担当）を実施し、風車の動的応答のカギとなる要因分析を実施した。これらの取り組み内容については、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および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にそれぞれ記載している。

⑤「みちびき」 を利用したデータの利活用

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成功した。自動着桟の制御手法など自動運航に関する技術開発（海技研担当）の今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。

また、全交通モード向けにメッセージを送信するMDAS（MSASデータアクセスサービス）構想の実現に向けた実証実験等に対応する検討を開始した。さらに、港湾空港技術研究所で実施中の音響灯台の方式検討における基準点配置等測距に関して、電子航法研究所との意見交換、連携を開始した。

⑥油回収技術に関する研究

令和元年度に海上技術安全研究所および港湾航空技術研究所で共同提案し、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、過年度行ったビーカー試験の結果を説明するモデルの検討と、管路系における効果の検証実験（海技研担当）等を行うとともに、研究成果をもとに、重質油の回収方法および回収システムに関する特許を海技研と港空研の共同で出願した。

また、油回収船を対象とした次世代型油回収装置の開発も進めている。本装置は、従来型で用いられる集油ブームではなく水中バブルカーテンを用いることで高速航行が可能であり、また、従来型の回収ポンプの代わりに高圧水ジェットエジェクタにより油を吸引するため、ゴミの混入に強く、対応できる油の粘性範囲が広いなどの特長を有している。本年度は、模型水槽実験により油回収性能を評価し、従来型回収装置と同等以上の回収効率を有することを確認するとともに、当該装置に関する特許を出願した（港空研担当）。

これらにより、沈没した船舶の燃料油の抽出や、港湾域の流出油の回収に資する。

⑦その他の分野横断的な研究テーマの確立に向けた取組

令和2年度も引き続き、上述の6つの課題以外の分野横断的な研究テーマの具体化に向け、経営戦略室、研究監を中心とした会議を開催し、共通基盤技術に関する3研連携勉強会の開催、各研究所の研究発表会等での連携、3名の研究監の他の研究所の研究計画・評価委員会への参加による3研究所の研究の理解の促進、連携研究案件の調査・促進等を行った。特に勉強会におい

ては、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点からオンライン開催として実施した。また、オンラインによる表彰論文報告会も1回開催するなど、優秀な論文に関する知見と分野横断的な取組と交流による研究活動の活性化に取り組んだ。

令和2年度に開催した3研連携勉強会のリストを表1.1.1に、勉強会の様子を示す写真を、図1.1.1に示す。

第1回はデジタルトランスフォーメーション(DX)をテーマとして討議した。DXは、データやデジタル技術の活用により企業や社会を変革する取り組みとして、近年様々な分野で頻繁に目にする言葉である。国土交通省で令和2年度にインフラ分野のDX推進本部の第1回会合が開催されるなど、生産性の向上を目指す取り組みが始まったところである。勉強会では、各研究所でのDXへの取り組みの現状について、研究発表を通して理解を深めるとともに、今後の連携を探った。

第2回は遠隔操作・メンテナンスをテーマとして討議した。遠隔操作・メンテナンスは、国土交通省でICT技術を活用した建設現場の生産性向上を図る「i-Construction」を企画・推進しており、建設機械等の遠隔操作が重要な技術の一つとされている。また、構造物の老朽化に伴いメンテナンスの重要性も高まっている。一方、交通運輸の分野でも、遠隔での移動体や施設の遠隔監視・操作、メンテナンスが、安全性の向上と省力化を両立する技術として要望されており、航空交通の分野でもレーダや通信等のICT技術のみならず、最近では遠隔操作による航空交通管理技術の研究開発等も国内外で進められている。勉強会では、各研究所における遠隔操作・メンテナンスに関する取り組みの現状について、研究発表を通して理解を深めるとともに、今後の連携を探った。

表 1.1.1　3 研連携勉強会開催実績

No	開催日	勉強会名	参加者数
1	令和 2 年 10 月 23 日	デジタルトランスフォーメーション(DX) （令和 2 年度第 1 回　3 研連携勉強会）	54 名
2	令和 3 年 1 月 18 日	遠隔操作・メンテナンス （令和 2 年度第 2 回　3 研連携勉強会）	52 名

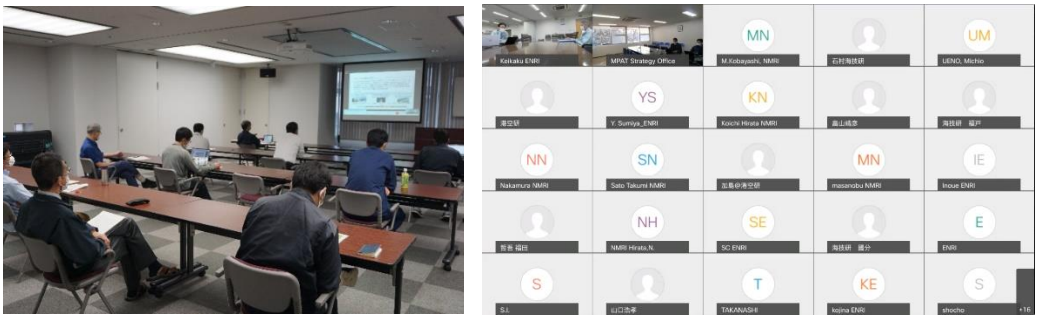


図 1.1.1　令和 2 年度第 1 回 3 研連携勉強会の様子（左：港空研会場、右：オンライン参加者（抜粋））

各研究所の研究発表会での連携については、分野横断的研究として、電子航法研究所研究発表会（オンライン、9月30日～10月1日）において海技研の研究者が、港湾空港技術講演会（12月3日）においては海技研及び電子研の研究者が講演を行った。

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

さらに、「AI戦略2019 ～人・産業・地域・政府全てにAI～」（令和元年6月11日統合イノベーション戦略推進会議決定）に基づき、人工知能（AI）の研究開発に関する統合的・統一的な情報発信や、AI研究者間の意見交換の推進等の活動として、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を継続している。

（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2年度は、令和元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2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2年度は4回開催した。また、理事長及び全役員と経営戦略室との研究所の経営戦略に関する定期的な意見交換会を令和元年度は26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2年度も引き続き研究所一体となって取組を実施した。

「研究体制の充実」については、3研連携勉強会を複数回開催し、共通基盤技術の研究に関する今後の連携について情報共有や意見交換等により推進するなど、分野横断的な研究を中心に研究成果の最大化に向けた研究体制の充実を目指す取組を行った。その結果、3研究所が連携して研究課題を立案し、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させることにより、研究所全職員のスキルを向上させ、研究業務をより効率的、効果的に進めるための支援体制の強化につなげた。

「研究交流の促進」については、国内企業や大学等の外部機関との共同研究を引き続き実施したほか、研究員の在外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。

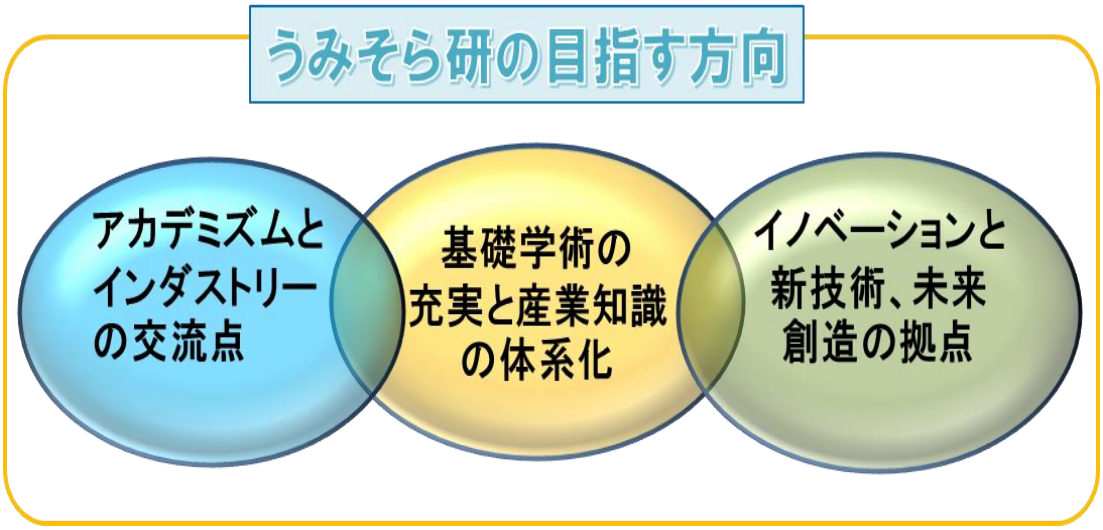


図 1.1.2　海上・港湾・航空技術研究所の目指す方向

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2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2年度には、(1)③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)⑥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及び洋上風力に関する研究1件を、外部資金による分野横断的な研究として実施している。

表 1.1.2　外部資金による分野横断的研究一覧

No	課題名	参画機関名	備考
1	交通運輸技術開発推進制度「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)	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2回開催した。連携勉強会では研究所の施設見学会や意見交換会を併せて開催することで、最新の研究、各研究所施設の紹介等を行い、研究所全体として研究の一層の推進を図った。また、3名の研究監が各研究所の研究計画及び研究評価の委員会に参加し、各研究所の情報収集を互いに行い、海上・港湾・航空技術研究所内の研究の把握と連携研究の提案に活用した。

研究所役員と職員との間については、理事長をはじめとする、役員及び経営戦略室による研究所運営全般に係る会議や、経営戦略室と研究監による分野横断的研究の推進に係る会議を定期的に行うことで、日々、議論の場を設け、研究所の将来の運営方針や各研究職員の研究内容等の相互理解を深めるとともに、将来の運営方針等に役立てるための研究所職員からの意見聴取を行う等を積極的に実施した。

さらに、次年度以降も分野横断の研究が加速することを目的として、「分野横断的研究推進会議」の構築を行った。

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。

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、体系化された荷重・構造強度評価システムを実用化するため、DLSA システムの完成に向けた各モジュールの統合化及びシステム化を図る。また、船体構造モニタリングシステムのガイドラインの作成を行う。さらに、DLSA システム及び船体構造モニタリングシステムを統合したデジタルツイン開発及びデジタルツインに必要な実船応力推定プログラムの開発を行う。 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、規則波中の実船を対象とした荒天下操船運動評価テストプログラムの開発、運航危険性評価法を用いた操船支援方法の提案、実用性を考慮した低速時操縦運動特性の同定手法の構築及び走錨危険推定プロクラムの作成・水槽実験での検証を行う。 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
－低硫黄燃料油や次世代燃料が燃焼した際に生じる環境影響物質の定量化、環境影響への因果関係を解明するための計測・分析法の検討を行う。 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、実船性能推定手法の検証を複数船種で検討、造船各社等との連携による

高実海域性能船舶の設計・開発の検討及び実海域性能評価法の国際標準化に向けた検討を行う。
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

－環境影響物質削減のための排ガス後処理装置の研究開発を行う。

－水素エンジン等の燃焼安定化技術の開発と安全性の検討、舶用エンジンのアンモニア燃焼技術の研究開発を行う。 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、浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術の検討、風車設置作業等における連成運動評価のための吊荷と浮体の連成運動評価プログラムの開発、係留合成繊維索の生物付着に関する評価法の検討を行う。 等

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

－海底熱水鉱床開発等の実プロジェクトの技術支援のために採掘・揚鉱・採鉱母船一体挙動解析プログラムの開発及びコバルトリッチクラスト開発を想定した計画支援プログラム用データベースの作成を行う。 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

－造船の協業体制を想定した新しい造船ビジネスモデルの構築のために、造船協業体制における設計・建造プロセスの共通化・標準化の項目の検討を行う。

－ローカルな騒音源を考慮した騒音予測機能を構築し，ニューラルネットワークによる騒音予測 Web アプリの開発を行う。 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

－避航操船アルゴリズムを組み込んだ自動避航操船システムの開発及び任意の自動避航操船システムの評価に必要なファストタイムシミュレーションシステムの開発を行う。 等

③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発

－平時輸送の輸出入貨物を対象とし、貨物経路推定の基本手法の性能向上の検討、災害時の輸送に関しては、地域防災計画等よりネットワークデータ等の基盤データの整備を行い、陸、海、空を含めた大規模災害時を対象とした輸送シミュレータの開発を行う。

－国際海運・造船における経済状況を表す貨物流動データ等及び海運会社・造船会社の活動を表す運航

データや船腹・建造データにおいてデータフュージョン（データ融合）技術の検討を行う。 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2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	R2 年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全･安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心･安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心･安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発	安心･安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心･安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重･構造強 度評価システムを実用化するため、DLSA システムの完成に向けた各モジュールの統合化及びシステム化を図る。また、船体構造モニタリングシステムのガイドライン の作成を行う。さらに、DLSA システム及び船体構造モニタリングシステムを統合したデジタルツイン開発及びデジタルツインに必要な実船応力推定プログラムの開発を行う。 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。
□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
□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

期間全体の研究目標

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

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。

R2 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

・デジタルツイン構築及びクラウド利用に向けた線形解析周波応答型システムの更新【1-①：DLSA-Basic】
・非線形時刻歴応答評価型システムの開発【1-①：DLSA- Pro.】
・線形・非線形荷重推定及び荷重構造連成解析プログラムの開発【1-②：DLSA-AT】
・極限海象に対する動的船体構造応答推定手法の開発、及びリスクベースデザインのための船体最終強度を対象とした構造信頼性評価システムの高度化【1-⑤：DLSA-AT】
・二軸重畳載荷条件下の疲労亀裂伝播試験制御用ソフトウエアの改良、及び位相差を有する二軸重畳載荷条件下の疲労き裂成長履歴を推定する手法の確立【1-③：最先端の要素技術】
・複合荷重及び又は繰返し荷重下での最終強度推定システムの開発【1-④：最先端の要素技術】
・極限波中での構造強度評価のための水槽実験技術の確立【1-⑥：最先端の要素技術】

□小項目 9 船体構造デジタルツインの開発

・ハルモニタリングガイドラインの作成
・AI を利用した船体の状態量予測と点検システム構築に向けた検討
・実船応力推定プログラム構築

R2 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・非線形荷重推定及び荷重構造連成解析プログラムの構築及び精度検証【1-①：DLSA-Basic 及び Pro.：】
・極限海象に対する動的船体構造応答推定手法の開発【1-②、⑤：DLSA-AT】
・船体最終強度を対象とした構造信頼性評価システムの高度化【1-⑤：DLSA-AT】
・二軸荷重比ならびに重畳波の荷重振幅の影響を考慮した二軸載荷条件下の疲労き裂成長評価手法を確立【1-③：最先端の要素技術】
・複合荷重及び又は繰返し荷重下での船体構造の耐力低下及び崩壊挙動のモデル化に向けた模型実験【1-④：最先端の要素技術】
・水槽試験による強度評価手法の確立に向けた要素技術の研究開発【1-⑥：最先端の要素技術】

□小項目 9 船体構造デジタルツインの開発

・ハルモニタリングガイドラインの作成
・AI を利用した船体の状態量予測手法の開発、及び点検システム構築
・データ同化による実船応力推定プログラムの作成及びハルモニタリングシステムへの組み込み

R2 年度研究成果

口小項目 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（図 1.2.1）。
・DLSA-Basic の荷重解析パート（NMRIW-Lite）のクラウド化及び NAGISA と NMRIW の連携プログラム（入力ファイル変換プログラム）を作成した。
・波浪荷重推定のための数学船型モデルを提案し、構造設計規則の開発に利用された。
・DLSA-Basic の GUI の機能向上（静水中荷重簡易確認機能、作用荷重確認アニメーション機能、応力 RAO 表示機能の追加など）
・DLSA-Basic を適用し全船強度評価を行い、二軸載荷が疲労寿命に及ぼす可能性がある部位を抽出した。
・最終強度評価システム DLSA-Pro.用 GUI を開発した。

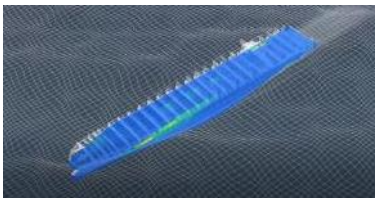


図 1.2.1 船体構造 DT（右：実船イメージ、左：DLSA-Basic 解析結果）

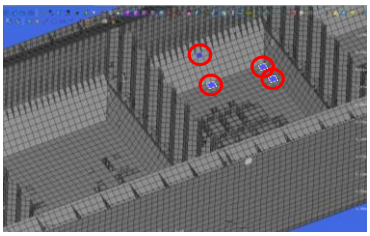


図 1.2.2 二軸載荷が確認された箇所

【1-②、⑤:DLSA-AT】

・オンボードで計測された船体運動履歴を用いて、数十秒先までの船体運動をリアルタイムで予測する新しい手法を構築した。定常状態の実験データおよび非定常な実船データにより手法の有効性を確認した（図1.2.3）。
・海技研 CFD コード NAGISA を用いた船体波浪荷重の一貫した評価法の確立のための第一歩として、NAGISA 計算法の指針を構築した（図1.2.4）。FEA と連成させた場合の計算指針は現在構築中。
・タンク内スロッシング衝撃圧の計算精度を向上するため、粒子法境界条件を改良した（図 1.2.5）。模型実験との比較を通じて、改良した粒子法の計算精度を検証した。
・規則波と不規則波浪条件を解析できるように時間領域 3 次元パネル法を改良し、パネル法（船体運動の解析）と粒子法（タンク内流体力）を連成させる両方向連成解析プログラムを開発した（図 1.2.6）。

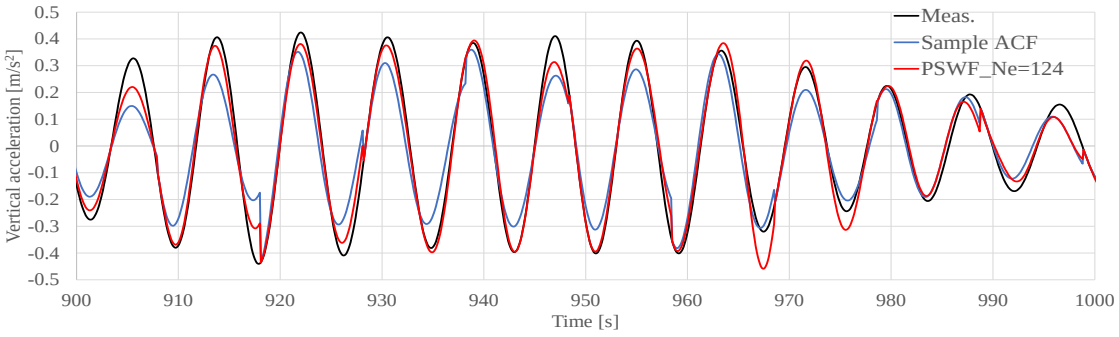


図 1.2.3 船体運動の予測結果の検証例

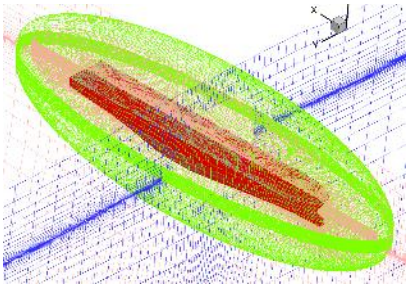
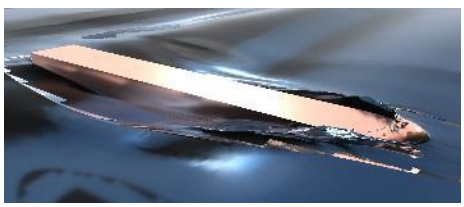



図 1.2.4 船体荷重評価のための NAGISA 格子分割及び結果

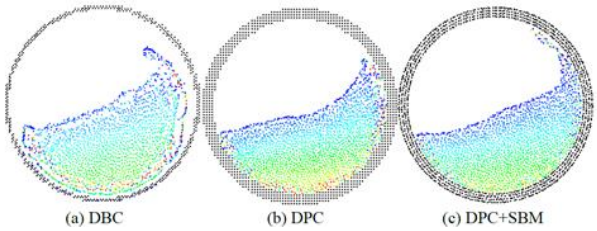


図 1.2.5 スロッシング流体圧力分布の比較

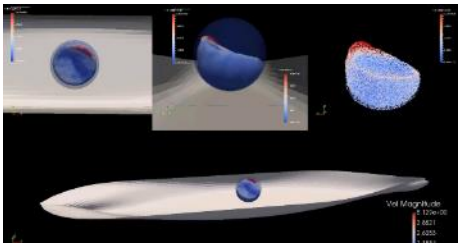


図 1.2.6 スロッシングと船体運動連成解析

・ICFD（InCompressible Fluid Dynamics）手法を用いた流体構造連成解析手法の高度化及び妥当性検証のためのベンチマーク解析、スラミング解析実施
・全船モデルを用いた規則波中の流体構造連成シミュレーション手法開発のための解析手法高度化実施
・ICFD 解析のためのノウハウ・知見を集積（図 1.2.7）

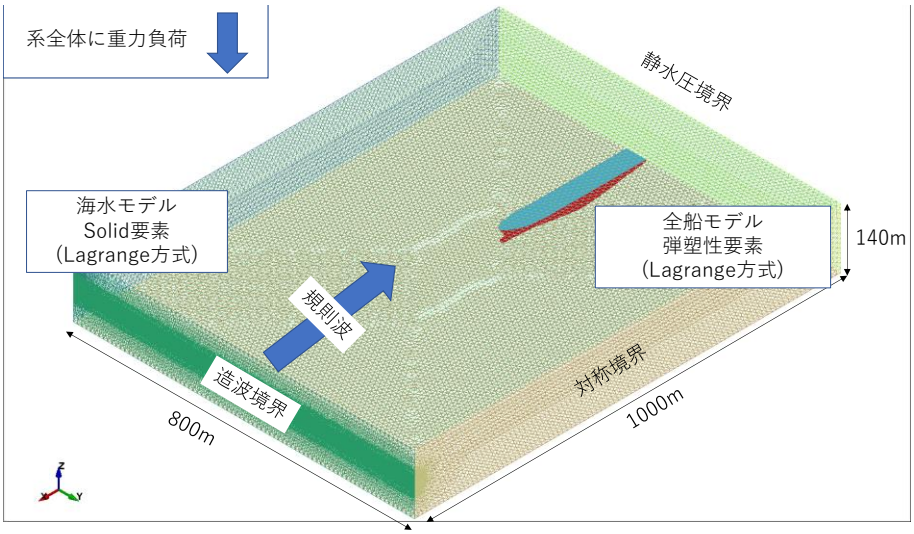


図 1.2.7 全船モデルによる波浪中、流体構造連成解析高度化

【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を評価すべく疲労亀裂伝播試験を実施。
・重畳波（高周波成分）の影響により、疲労寿命が小さくなることを実験により明らかにした。
・これまでに開発した数値シミュレーション手法では、重畳波の影響を表現できない場合があることが判明したため、プログラム改良に向けて準備を進めている。

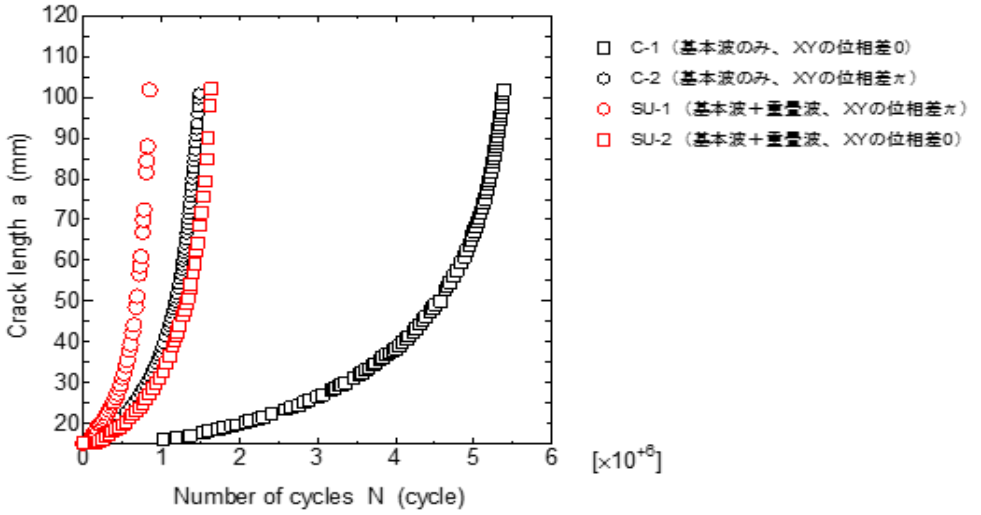
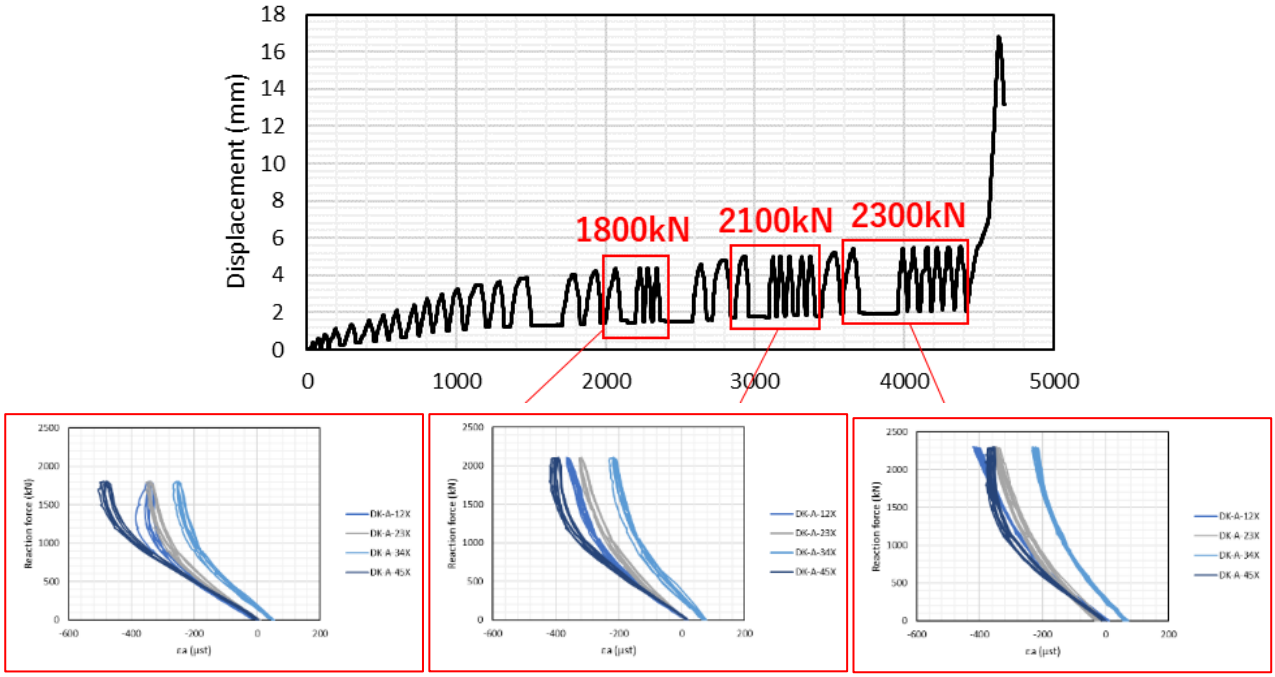


図 1.2.8 疲労寿命に与える重畳波の影響

【1-④：最先端の要素技術】

・繰返し荷重が船体縦曲げ最終強度に及ぼす影響を明らかにするために、ボックスガーダー箱桁構造模型を用いた崩壊実験を実施した。試験方法には 4 点曲げを採用し、被試験部である中央スパンに純曲げ（デッキ側：圧縮、ボトム側：引張）を作用させた。最終強度の 65.6%、76.5%、83.8%で繰返し荷重を載荷させた結果、ラチェット効果は微小であり、縦曲げ最終強度に与える影響も小さかったと考えられる。（図 1.2.9）。

・損傷部が船体縦曲げ最終強度に与える影響を明らかにするために、破孔を有する箱桁構造模型を用いた 4 点曲げ崩壊実験を実施し、損傷部付近で、ひずみが局所的に大きくなる傾向があり、座屈が生じるとその影響がより顕著になることが分かった（図 1.2.10）。従来損傷船体の縦曲げ最終強度の推定で考慮されている中立軸の傾斜に加えて、損傷部付近では座屈後のひずみの増加率が高くなる影響も検討する必要があることが明らかになった。



（a）最終強度の 65.6%の荷重 （b）最終強度の 76.5%の荷重 （c）最終強度の 83.8%の荷重

図 1.2.9　繰返し荷重下の変位・軸ひずみの挙動

図 1.2.10　損傷あり箱桁構造模型の 4 点曲げ崩壊実験の様子

【1-⑥：最先端の要素技術】

・アクリル弾性模型船を用いた波浪中曳航試験（6 自由度運動）を実施した（図 1.2.11）。FBG ひずみセンサを利用し、92 点のひずみ、船体表面の 113 点の圧力を計測した。さらに、試験により得られた水圧データを船体表面に渡って補間し、得られた船体表面水圧を FE モデルに受け渡し、実験水圧を用いた荷重-構造一貫解析を実施し、船体部の局部応答をシミュレーション可能となった（図 1.2.12）。

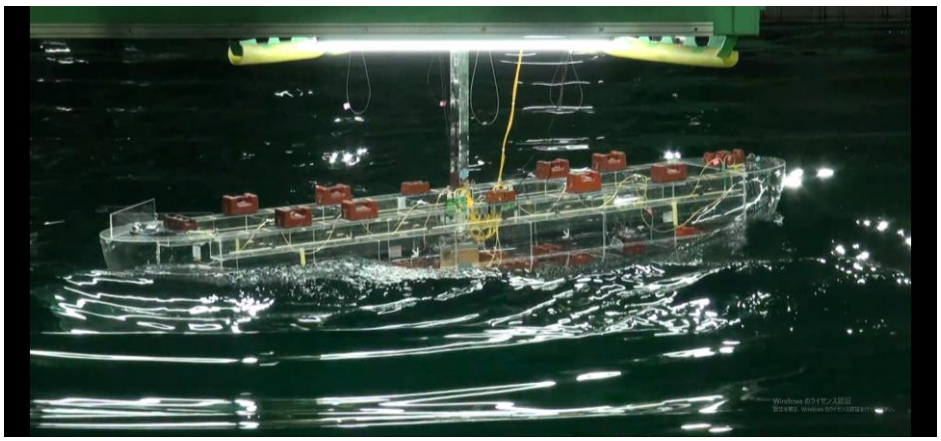


図 1.2.11 アクリル製弾性模型船を用いた波浪中曳航試験

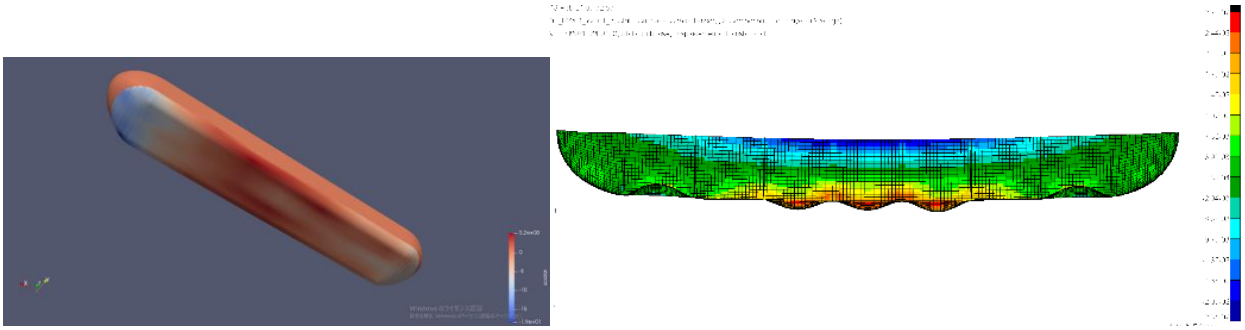


図 1.2.12 計測した船体表面水圧データを補間し荷重構造一貫解析（DLSA-Basic）を実施した結果（変形 1000 倍）

□小項目 9 船体構造デジタルツインの開発

・船級ノーテーション付与のためのハルモニタリングガイドライン案の作成に貢献した。
・シリーズ建造コンテナ船 10 隻のハルモニタリングによる応力データを解析して疲労健全性評価を行なった。（図 1.2.13）
・船上データと数値シミュレーションを組合せた順解析により疲労健全性を推定し（図 1.2.14）、要因分析に基づいて将来予測を行う手法を構築した（図 1.2.15）。応力の計測データを用いて推定精度を検証した。
・船体の損傷や舶用品の欠陥を AI 画像認識で検出するための点検システムの構築を行った。
・船体構造デジタルツインのコアとなる DLSA 連携 HMS プログラム（DLSA/HMS）を構築した。また、（一財）日本船舶技術研究協会からの受託研究「超高精度船体構造デジタルツインの研究開発」の一環で、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 ; integrated Structural Analysis System)のプロトタイプを東京大学等と共同開発した。（図 1.2.16）
・AIS データと波浪追算データを利用して、実就航のタンカー、バルクキャリア、コンテナ船が遭遇した波浪及び、船体に作用した波浪荷重の最大期待値の頻度分布を取得し、確率論的に設計荷重を設定する手法を提案した。（図 1.2.17, 1.2.18）

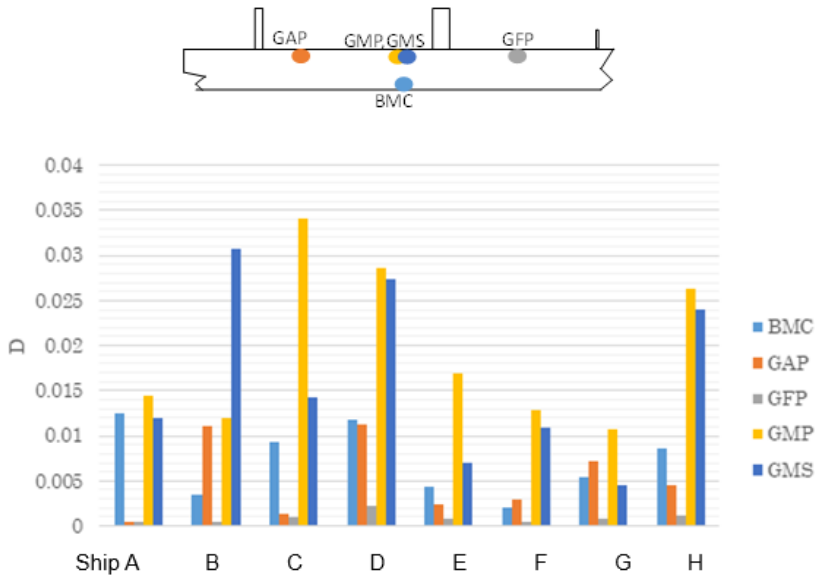


図 1.2.13　計測データに基づき 25 年後の疲労被害度を推定した結果

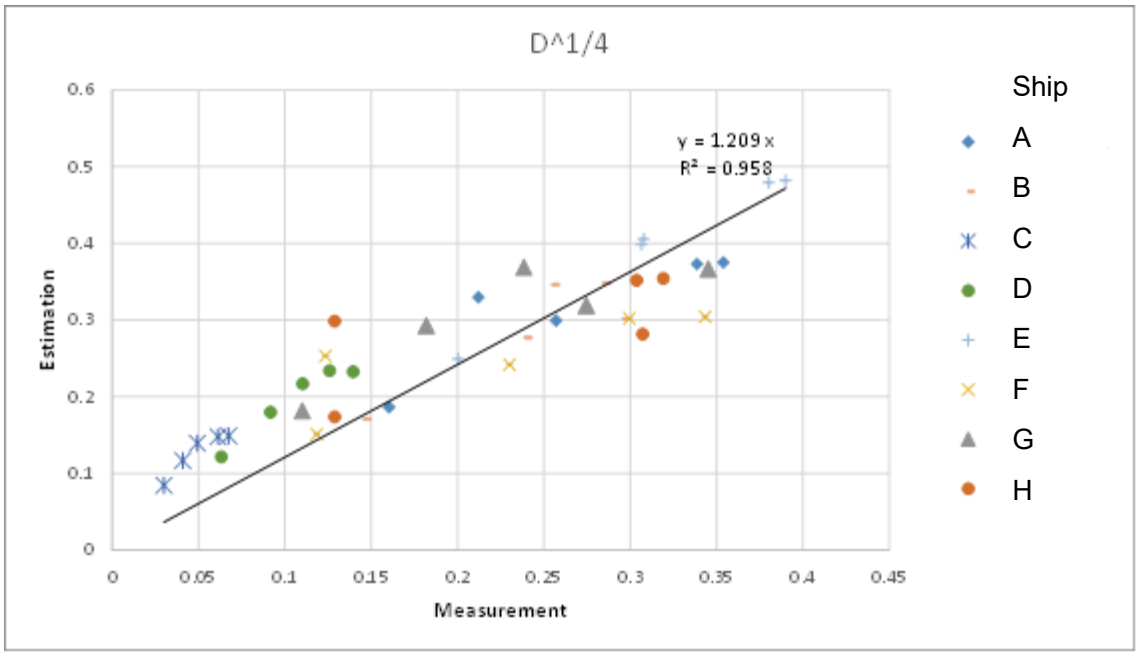


図 1.2.14　順解析による推定値（縦軸）と応力モニタリングによる推定値（横軸）の比較

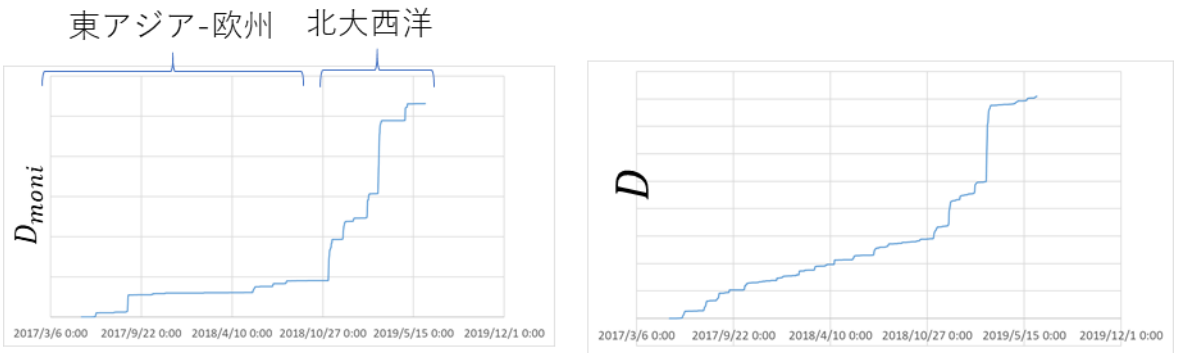


図 1.2.15　疲労被害の成長曲線の実際（モニタリング）と予測

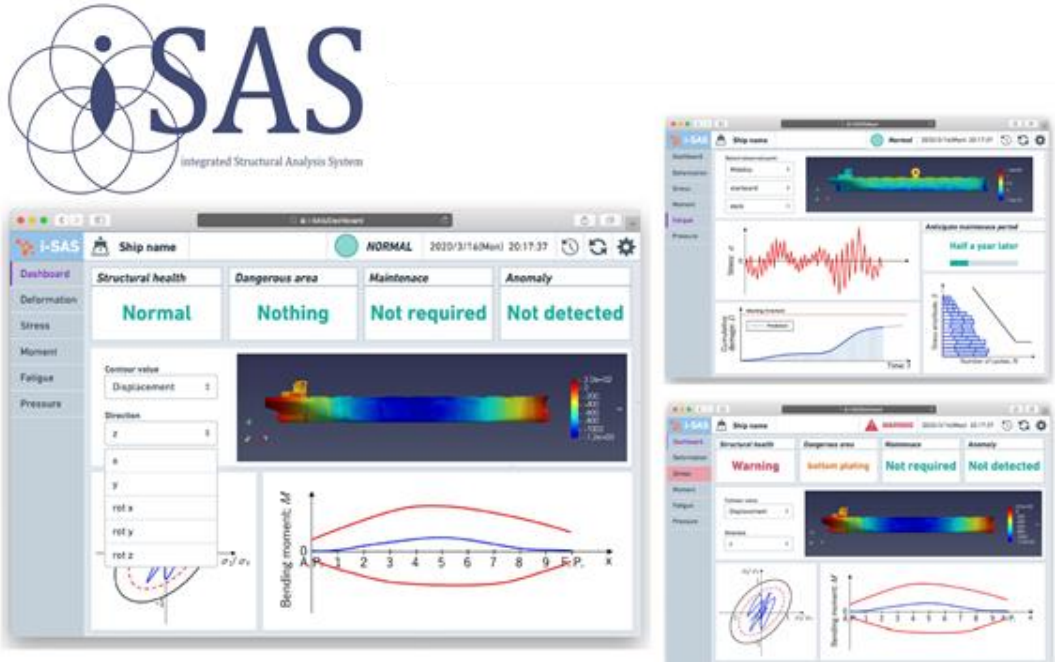


図 1.2.16　開発中の船体構造デジタルツインシステム（iSAS）

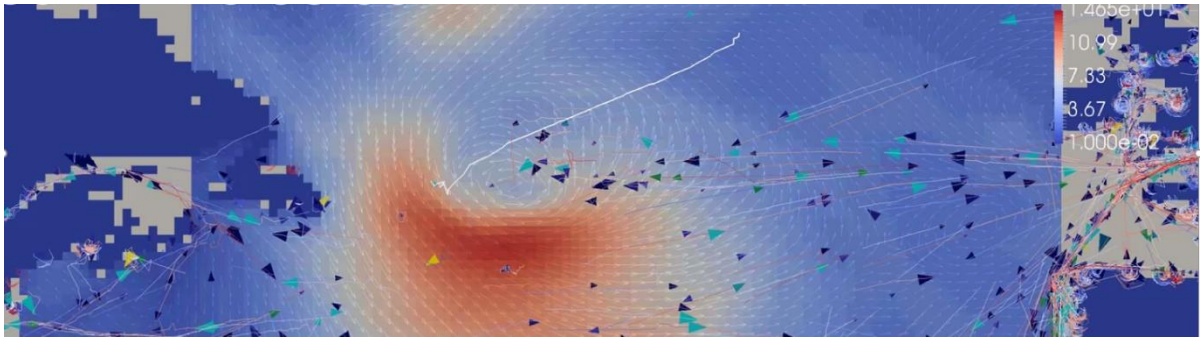


図 1.2.17　デジタルデータの活用例
（AIS データによる北大西洋就航船の遭遇海象把握と波浪荷重推定）

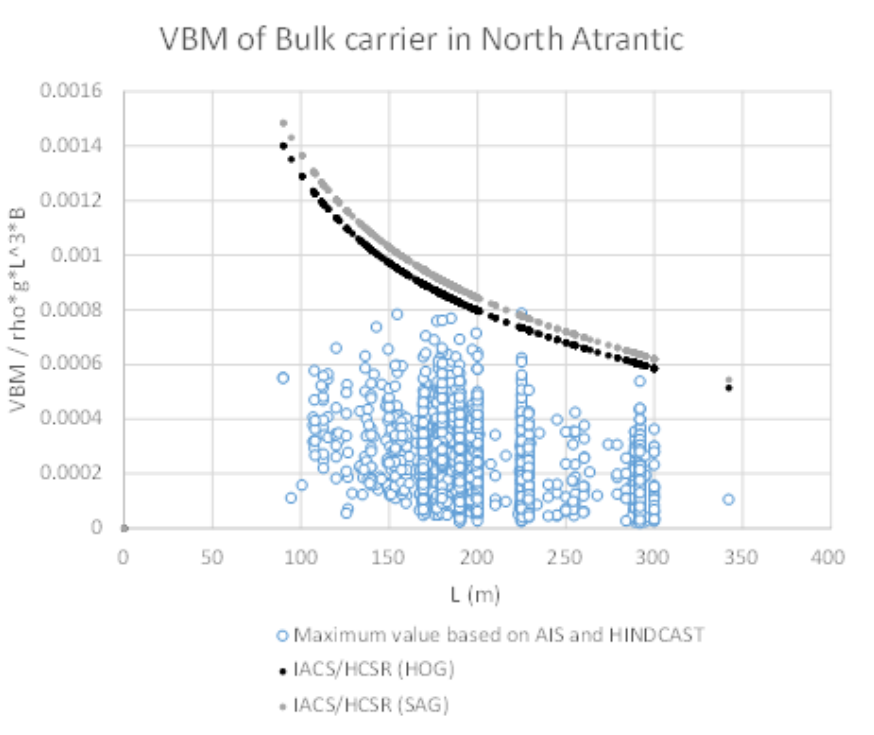


図 1.2.18　設計荷重と北大西洋就航船（パルクキャリア）の実作用荷重

R2 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：0 件）

・松井貞興：船型パラメータを系統立てて変化させうる数学船型の開発－第 2 報 水線面二次モーメントおよび前後非対称性に関する形状パラメータの導入－，日本船舶海洋工学会論文集，第 32 巻（2020）
・松井貞興： A new mathematical hull-form with 10 shape parameters for evaluation of ship response in waves, Journal of Marine Science and Technology (JMST), (2020) （投稿中）
・Takami, T., Nielsen, U.D, and Jensen, J.J. (2020): Real-time Deterministic Prediction of Wave-induced Ship Responses Based on Short-time Measurements, Ocean Engineering Volume 221, 1, 108503.
・Takami, T., Nielsen, U.D, and Jensen, J.J. (2020): Estimation of Autocorrelation Function and Spectrum Density of Wave-induced Responses Using Prolate Spheroidal Wave Functions, Journal of Marine Science and Technology (available online).
・Takami, T , Choung. Ma : Surrogate Model Approach for Stochastic Prediction of Sloshing Loads Based on SPH and FORM, Applied Ocean Research （投稿中）
・Morishita, M., Gotoh, K., Anai, Y., Tsumura, S., Niwa, T.: Fatigue surface crack growth behavior in flat plate and out-of-plane gusset-welded joints under biaxial cyclic loads with different phases, Journal of Marine Science and Technology (JMST), Published online, 2020.
・Yamada, Y., Takamoto, K., Nakanishi, T., Chong, M., Komoriyama, Y., “NUMERICAL STUDY ON THE SLAMMING IMPACT OF STIFFENED FLAT PANEL USING ICFD METHOD: EFFECT OF STRUCTURAL RIGIDITY ON THE SLAMMING IMPACT”, Proceedings the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE-2020), OMAE2020-18242, August 3-7, 2020, Virtual, Online, 2020.

口その他発表論文：11 件（投稿中：3件、採択済1件）

・松井貞興、村上睦尚：数学船型を用いた波浪荷重推定に関する研究－第 2 報 水線面二次モーメントに関する形状パラメータの導入－，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 31 号（2020）
・松井貞興、村上睦尚他：数学船型を用いた波浪荷重推定に関する研究－第 3 報 数学船型の重量分布の決定方法－，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 31 号（2020）
・Takami, T., Nielsen, U.D, and Jensen, J.J. (2020): Deterministic Prediction of Wave-induced Ship Responses Based on Corrected Autocorrelation Functions，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 31 号(2020)

・Takami, T., Nielsen, U.D, and Jensen, J.J. (2021): Response Prediction based on FORM with Extrapolated Karhunen-Loeve Ocean Waves、日本船舶海洋工学会講演会論文集　第 32 号、2021.5 （投稿中）
・C. Ma and M. Oka: Improvement of Boundary Condition for Sloshing Simulation in Spherical Tank, The 5th DualSPHysics Users Workshop, 15th–17th March, 2021. （採択済）
・辰巳晃, 小森山祐輔他 : 3D レーザースキャナによるボックスガーダ試験体の 初期たわみ計測とその成分分析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集　第 32 号、2021.5 （投稿中）
・岡正義他：海事関連技術のデジタル変革に向けて、令和 2 年(2020 年)度発表書誌論文研究報告、海上技術安全研究所第 20 巻別冊、2020.7
・岡正義他：船体構造デジタルツインの早期実現に向けた研究開発、令和 2 年(2020 年)度発表書誌論文研究報告、海上技術安全研究所第 20 巻別冊、2020.7
・岡正義、馬沖、小森山祐輔：デジタルツインの検証のための水槽試験技術、KARIN 日本船舶海洋工学会誌第 94 号、2021.1
・岡正義：海事関連技術のデジタル変革に向けた海技研の取り組み、うみコン 2021／3 国研シンポジウム、2021.2
・岡正義、馬沖：北大西洋就航船の波浪荷重分布と最悪海象、日本船舶海洋工学会講演会論文集　第 32 号、2021.5 （投稿中）

□特許申請：0 件
・

□コアプログラム登録：0 件
・

□国際貢献：2 件
・ISSC/Load Committee 委員　1件
・ISSC/Dynamic Response Committee 委員　1 件

□受賞：1 件
・理事長表彰（グループ表彰；「DLSA－Basic（全船荷重構造解析）の開発及び実装・普及に貢献した功績」、構造安全評価系基準開発グループ

□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☆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	R2 年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事　機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コ　ストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系　の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重・構造強　度評価システムを実用化するため、DLSA システムの完成に向けた各モジュールの統合化及びシステム化を図る。また、船体構造モニタリングシステムのガイドラインの作成を行う。さらに、DLSA システム及び船体構造モニタリングシステムを統合したデジタルツイン開発及びデジタルツインに必要な実船応力推定プログラムの開発を行う。 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、規則波中の実船を対象とした荒天下操船運動評 価テストプログラムの開発、運航危険性評価法を用いた操船支援方法の提案、実用 性を考慮した低速時操縦運動特性の同定手法の構築及び走錨危険推定プロクラム の作成・水槽実験での検証を行う。 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）

・管制支援技術の評価手法の開発（論文）

□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。

R2 年度研究目標

□小項目 1

・新規貨物・燃料等の船舶に関するリスクベース船舶設計ガイドラインの検討・開発

・新規貨物・燃料等の船舶に関する安全基準の開発

□小項目 2

・複数シナリオに対する液化水素運搬船の確率論的被害度影響評価手法の構築。

□小項目 3

・新たな交通状況がやや複雑な海域における安全対策検討のための航路案設計技術と衝突リスクの評価技術を構築する

・安全対策構築における基礎資料として海難事故データを収集し、必要項目を構造化する

□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

R2 年度研究内容

□小項目 1
・低引火点燃料船のリスクモデルに関する研究
・船舶の車両区域における火災安全性の高度化に関する研究
・安全基準の合理化のための調査

□小項目 2
・ベイジアンネットワークを用いた液化水素運搬船の構造リスクモデルの拡充・高度化（複数シナリオ検討）
・水素爆発による構造安全性評価手法の検討・開発（複数シナリオ検討）
・妥当性検証のための水素爆発模型実験の検討・仕様書案ベース作成

□小項目 3
・準ふくそう海域の交通流制御技術に関する研究
・危険度指標に関する研究
・海域のリスク評価技術に関する研究

□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

R2 年度研究成果

□小項目 1
・低引火点燃料の使用に伴うリスクのひとつである機関室内での漏洩事象に関して、プロパンを対象として漏洩・拡散・換気に関する数値シミュレーションを行った。その結果を用いて、現行規則の換気要件について、瞬時拡散・完全混合モデルに基づく室内濃度との比較から換気効率の評価を行った。その結果、比較的少量の漏洩であれば漏洩ガス密度が空気よりも高くても機関室に滞留しないことが分かったが、流出量が多い場合、密度が高いほど換気効率が低下し滞留する可能性が高くなることが分かった。

・液化水素運搬船の配管からの漏洩事象に関する定量的なリスク評価を行った。影響度の評価には、米国 Sandia 国立研究所が開発した陸上の水素関連設備のための被害影響度評価モデル HyRAM に含まれる、影響評価モジュールを修正して用いた。検討する事象として、漏洩とともに瞬時着火して発生する水素のジェット火災による放射熱の評価と、非着火漏洩後に形成する可燃性の蒸気雲が爆発して発生する蒸気雲爆発による爆風圧の評価の 2 つを対象とした。前者については、HyRAM のモデルをそのまま用い、後者については開放空間での爆風圧を評価するため、まず可燃範囲のガスの総重量を計算し、土橋ら（2013）が開発した水素の爆燃に用いられる経験式から爆風圧の評価を行った。漏洩源の流出穴径を変化させることで、深刻な影響が及ぶ距離を影響度の指標として流出穴径の関数として表現した（図 1.2.19）。この結果に加えて、漏洩頻度については英国周辺に位置するオフショア施設からの原油等の漏洩データベースである英国安全衛生庁（UK HSE）の Hydrocarbon Release Database（HcRD）及び高圧ガス保安協会の事故事例データベースの水素ステーションにおける事故データの 2 種類のデータを利用することで、これらから求められる漏洩頻度は水素運搬船からの漏洩頻度であると仮定し、機器毎の漏洩頻度①を昨年度、ベイズ推定より求めた。今年度は、漏洩穴径の確率密度確率（図 1.2.20）について、後述する拡張べき乗分布関数を用いて、FLNG の漏洩穴径の確率密度関数②を求めた結果を流用し、①と②から漏洩頻度を流出穴径の関数として表現し、上記の影響度の指標と組み合わせて漏洩穴径と発生頻度、影響度を含めて定量的にリスク解析を行う手法を開発した。

・オフショア施設のリスク評価は重要であり、ハザードとしては、漏洩や地震等が考えられる。オフショア施設からの原油等の漏洩時の流出穴径や地震のマグニチュード等は、一般的にべき乗分布に従うことが知られている。しかしながら、流出穴径や地震のマグニチュード等の確率変数の値が小さい領域や大きい領域では、べき乗分布から逸脱する。これまでに海技研は、確率変数の全領域にわたり、高精度で近似可能な拡張べき乗分布を開発している。本研究では、拡張べき乗分布関数のパラメータを実際のデータから推定する手法を開発し、例題としてオフショア施設からの原油等の漏洩時の流出穴径や地震エネルギーの確率密度関数の推定に適用し、拡張べき乗分布関数によりこれらの現象の確率密度関数を高精度で近似可能なことを確認した。

・オイルタンカーからの貨物漏洩について、浅層モデルを用いた数値シミュレーションを試みた。その際に、既往の研究では貨物タンクからの流出は簡便な Bernoulli の式に基づいて計算し、この値をソース項としてプール拡散のみを浅層モデルで解いていることに対して、開発手法では開口から貨物が流出する現象も含めて解いている。CFD モデルを用いた 3 次元の混相流シミュレーションと比較した結果、パラメータの一部に最適値が見いだせて

いないものの比較的良好な再現が得られた。

・車両区域に特有のデッキ裏のロンジやウェブ等の構造物を考慮した煙の流動特性に関する数値シミュレーションを行った結果、デッキ裏に沿って流れる煙を含む熱気流は多数のロンジが障害物となり運動量の散逸が起こることで、煙が伝播する時間が長くなるとともに、熱気流の厚み大きくなることが分かった。陸上の建築物では、火災によって生じる熱気流の浮力の影響から天井にできる限り近い位置に煙探知器を設置することが一般的であるが、車両区域ではロンジの影響によって必ずしもデッキ裏近傍の位置において煙濃度が最大値となるとは限らなかった。このことから、実態としてロンジの下端付近に設置されていることに関して探知の遅れ等の問題が無いことが分かった。

・2019 年度に実施した国際ガスキャリアコードの全面改正による懸案事項の調査結果あり、そのうち Filling Limit の設定における reference temperature の指定とそれに伴う追加措置について、全面改正前後での要件の比較調査を行った結果、改正後コードでは液封の考慮が欠けていることが確認できた。これについては、2021 年度以降に国際基準に反映すべく継続して作業を進めていく。

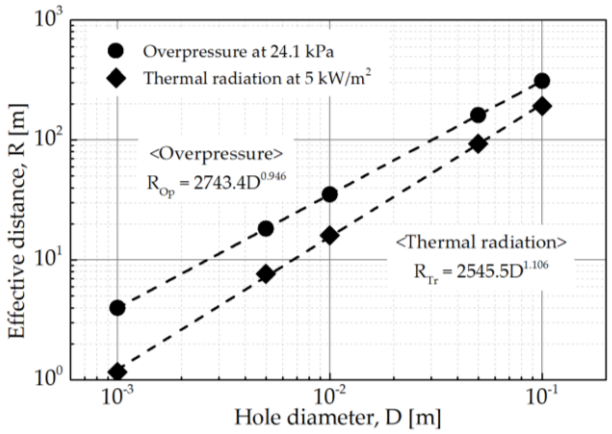


図 1.2.19 流出穴径と影響度(放射熱、爆風圧)の関係

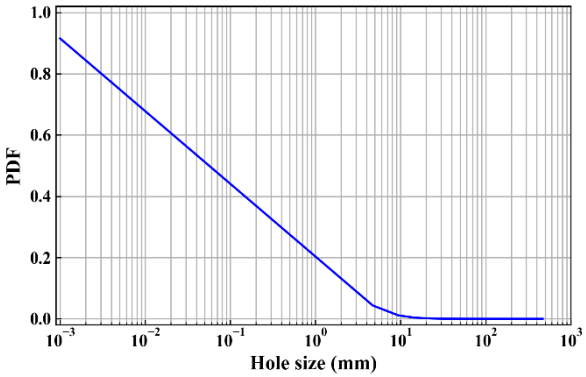


図 1. 2. 20 配管からの漏洩に関する流出穴径の確率密度関数

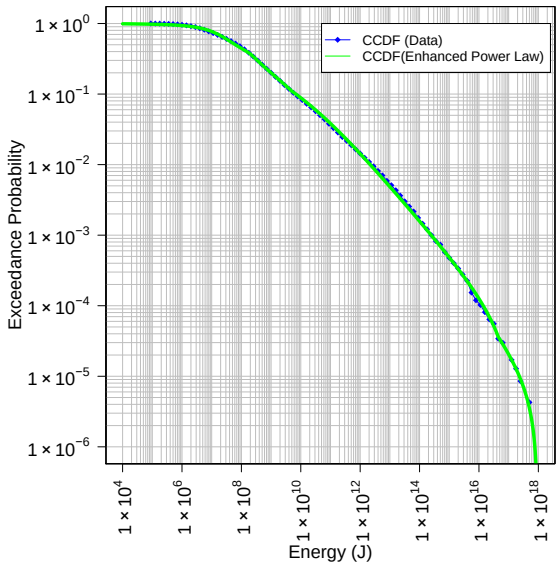


図 1.2.21 地震エネルギーの拡張べき乗分布関数による相補累積分布関数（CCDF）

□小項目 2

・ベイジアンネットワークを用いた液化水素運搬船の構造リスクモデルの拡充・高度化を実施した。ベイジアンネットワークのノードを追加し、各ノード間の関係を見直し、改善・拡充を行った。一部のノードに仮の値として条件付き確率を設定し、コンパイル成功により、リスクが表示できるまでを確認した。

・水素爆発による構造安全性評価手法の検討・開発を実施した（解析中）。爆発しナリオとしては、大きく2つ。1つは、ガイドラインで規程されている closed space での爆発でブリッジ付近での爆発。もう1つは、船体中央部での爆発について試解析を実施した。

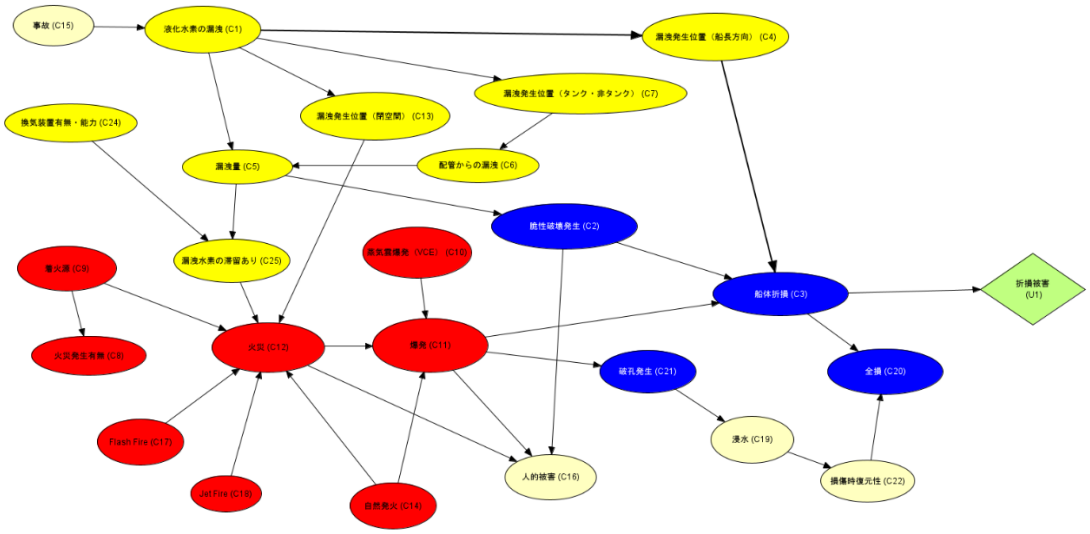


図 1.2.22　ベイジアンネットワークを用いた構造安全リスク・ベースモデル

図 1.2.23　ベイジアンネットワークを用いたリスク一覧表示例

□小項目 3

・準ふくそう海域の交通流制御技術に関する研究について、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、2022 年に開催予定の IMO NCSR9 に提案する予定であるため、追加解析等の提案文書の作成支援を行った（来年度も継続してフォローアップを行う予定である）。

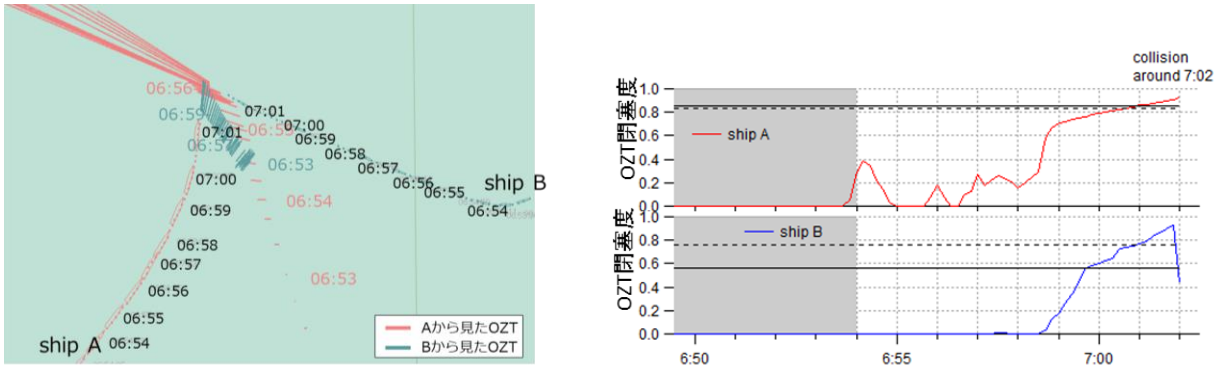
・伊豆大島西岸沖と潮岬沖に続く安全対策構築の対象海域候補として、大王埼沖、御前崎沖が挙げられ、交通流の概要調査、漁業活動の実態に関するアンケート調査を実施した。これらを踏まえ、対象海域が選定され、次年度に交通制御のための航路の立案と安全性評価を行う予定である。

・前年度までに実施した伊豆大島西岸沖と潮岬沖の安全対策構築に関する知見をもとに、航路案を立案する際の事前調査方法、立案方法、安全性評価方法からなる航路案立案支援手法を構築した。

・危険度指標に関する研究について、以下を実施した。

・運輸安全委員会の船舶衝突事故の調査解析を支援するため、既往の衝突危険度を測る複数の指標をプログラム化（ツール名：TrafficStateAnalysisTool 2）した。また、見合い関係における危険度を表す指標の開発のため、操船者の主観（危険感）と、船舶間の物理的な関係（定量指標）の相関を、運輸安全委員会の船舶事故調査報告書から抽出したデータを用いて分析し、これらを取りまとめて解析ツールを構築した。

・さらに、針路上の不安全率と危険減衰率の加重平均であらわされる OZT による閉塞状況の定量評価法を検討し、事故解析における衝突危険度評価の有効性検証を行い、危険感や操船行動の根拠の事実確認および妥当性評価に適用できることを確認した（図 1.2.24）。

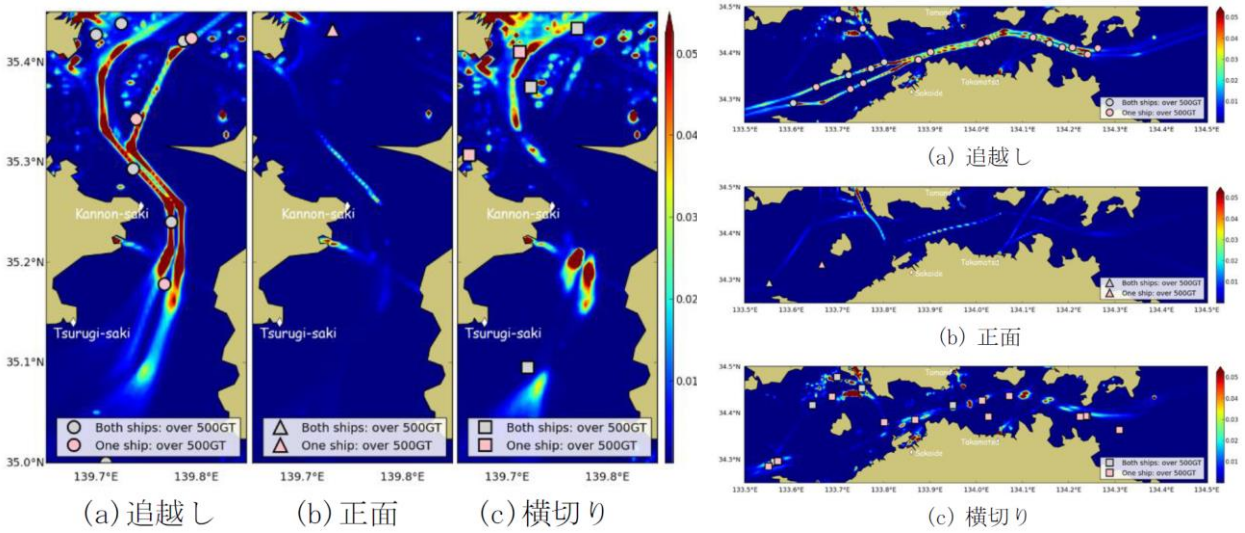


(a) 衝突事故時の航跡と OZT 発生位置　　(b) OZT による閉塞状況の時間変化

図 1.2.24 衝突事故時の OZT による評価の例

・海域のリスク評価技術に関する研究について、以下を実施した。

・複数の海域で前年度までに開発した通航進路別の遭遇頻度推定手法を用いて、AIS 航跡データから進路別の衝突原因確率を推定し、海域の特徴と合わせて分析した（図 1.2.25）。衝突原因確率は、整流海域よりも進路が錯綜する海域で高いこと、また、見合い関係別では、正面からの位置関係が最も高く、追越し及び横切り関係は従来推定されてきた値よりも低くなることが分かった。



(a) 東京湾　　(b) 備讃瀬戸

図 1.2.25 遭遇頻度分布と衝突発生場所

□小項目 4

・自動運航船のリスク解析を行なうため、自動運航船を構成するシステムや、このシステムを用いた運航方法を表現し、そのシステムを用いて運航した場合に想定されるハザードを同定し、そのリスクを推定する必要がある。これを行うため、以下の事項を行った。

・従来の機械システム向けのリスク評価手法や、ソフトウエアで構成されるシステムをモデル化する手法を調査し、モデル化手法を検討した。さらに、システムズ・アプローチなどの安全性解析手法を参考にして、自動運航船のためのシステムのモデル化を含むリスク解析手法を提案した。

・仮想的な自動運航船を設計し、そこで用いるシステムが使用できる条件を整理して、自動運航船が自動運航できる条件(運航設計領域)の設定を試行した。

・仮想的な自動運航船に、提案するリスク解析手法を適用し、通常の運航状態におけるハザードの抽出を試行した。さらに、そのハザードのリスクを半定量評価するために必要となる、波及する結果の頻度や影響度の抽出方法を検討した。

R2 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): 11 件(投稿中:8 件、採択済:1 件、掲載済:2 件)

・A. Kimura, M. Asami, H. Oka, Y. Oka: Development of an algebraic model of empirical parameterization of near wakes around a vehicle, Fluids 6(2):75, 2021.2.

・木村, 工藤, 柚井, 伊藤, 岡: 代替燃料船における漏洩ガスの換気シミュレーション, 日本マリンエンジニアリング学会誌, (採択済).

・T. Yuzui, A. Kimura, J. Kudo, H. Itoh, H. Oka: Quantitative risk analysis on jet fire due to a leakage of a hazardous substance – Case: Liquefied Hydrogen Carrier–, Safety (投稿準備中)

・F. Kaneko, T. Yuzui: AN EFFECTIVE METHOD FOR HIGHLY ACCURATE ESTIMATION OF CCDF OF SEISMIC ENERGY AND LEAK HOLE DIAMETER IN RISK ASSESSMENT OF OFFSHORE OIL – RELATED FACILITIES, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, (投稿中)

・志尾, 伊藤, 川村, 河島: 再起型ニューラルネットワークを用いた船舶の動静予測モデルの開発, 日本航海学会論文集, 第 143 巻, pp.77–82 (2020)

・F. Kaneko: On a method for estimation number of collision candidates at all intersectional angles between two water ways, Journal of Navigation, (投稿中)

・M. Asami, A. Kimura, H. Oka: Evaluation and improvement of algebraic models for flow fields around a single rectangular obstacle using a diagnostic mass–consistent model, Fluids, (投稿中)

・H. Oka, Y. Oka: Theoretical investigation on a fire–induced ceiling flow in a rectangular corridor under natural ventilation, Applied Sciences, (投稿中)

・A. Tanno, H. Oka, K. Kamiya, Y. Oka: Determination of smoke layer thickness from vertical temperature distribution in tunnel fires under natural ventilation, Tunnelling and underground space technology, (投稿中)

・河島, 伊藤, 川村: 衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定, 日本航海学会論文集, (投稿中)

・B. Song, H. Itoh, Y. Kawamura: Development of training method for vessel traffic service based on cognitive process, Cognition, Technology & Work, (投稿中)

□その他発表論文: 16 件(投稿中: 4 件、掲載済:12 件)

・木村, 浅見, 岡(秀), 岡(泰), 質量保存流速場モデルを用いた車両まわりの渦流れ場に関する 数値シミュレーション, 安全工学シンポジウム 2020 講演要旨集, 2020.7.

・木村, 岡, 浅層モデルを用いた液体貨物漏洩に関する数値シミュレーション, 第 53 回安全工学研究発表会講演予稿集, 2020.12.

・A. Kimura, M. Asami, H. Oka, Y. Oka, Development of a parameterization model of near wakes around a vehicle, Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2020), 2020.12.

・河島, 伊藤, 川村, 矢渡: 衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定, 日本航海学会講演予稿集, Vol. 8, No. 1, pp.40–43 (2020)

・志尾, 伊藤, 川村, 河島: 再帰型ニューラルネットワークを用いた船舶の動静予測モデルの開発, 日本航海学会講演予稿集, Vol. 8, No. 1, pp.60–63 (2020)

・塩苅, 伊藤, 柚井: 自動運航船のリスク解析手法の構築に向けて, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 30 号, pp.393–396 (2020)

・柚井, 塩苅, 伊藤: 船舶事故の要因分析への STAMP/CAST の適用, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 30 号, pp.165-168 (2020)
・三宅: 衝突危険度評価を活用した衝突事故解析手法の確立 ーOZT 定量化手法の構築ー, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 31 号(2020)
・柚井, 工藤: 海事分野における安全規制の事後評価に関する研究-差の差分析を用いた IGC コード義務化による事故頻度低減効果の推定の試み-, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 31 号(2020)
・塩苅, 伊藤, 柚井: 自動運航船のリスク解析手法の構築に向けた試み, 海上技術安全研究所第 20 回研究発表会 HP 掲載, pp.97-98 (2020)
・M. Shiokari, S. Ota: Considerations on the common regulatory issues among the IMO instruments for realization of Maritime Autonomous Surface Ships, IOP Conference series: Materials Science and Engineering (2020)
・M. Asami, A. Kimura, H. Oka: Evaluation by comparison with actual measurement on a Far-wake Parameterization for a Diagnostic Mass Consistent Flow Model, Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2020), 2020.12.
・A. Kimura, R. Suga, H. Oka, Y. Oka: Numerical Investigation of the effect of cross-sectional aspect ratio of a space on the ceiling flow, Proceedings of 12th Asia Oceania Symposium on Fire Science and Technology, (アブストラクト審査, 投稿中).
・C. Iwamoto, H. Oka, K. Kamiya, K. Matsuyama, Y. Oka: A New Model to Predict the Density Jump Position of Ceiling Jets in Tunnel Fires, Proceedings of 12th Asia Oceania Symposium on Fire Science and Technology, (アブストラクト審査, 投稿中).
・岩本千咲喜, 岡秀行, 岡泰資:断面形状と発熱速度を考慮した跳水位置の予測式の提案, 2021 年度日本火災学会研究発表会概要集, (講演予定).
・塩苅, 伊藤, 柚井, 石村, 三宅, 工藤, 河島: システムモデリングによるリスク解析手法の自動運航船の概念設計への適用, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (講演予定).

□特許申請:0 件
・

□コアプログラム登録: 2 件
・可燃性液化ガスの海上流出に伴う大気拡散・火災放射熱による被害影響評価プログラム, 木村, 岡.
・TrafficStateAnalysisTool 2:三宅、工藤

□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	R2 年度計画
海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。 また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。 さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 ②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発	安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関（IMO）での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。このため、以下の研究開発を進める。 ①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発 －安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、体系化された荷重・構造強度評価システムを実用化するため、DLSA システムの完成に向けた各モジュールの統合化及びシステム化を図る。また、船体構造モニタリングシステムのガイドラインの作成を行う。さらに、DLSA システム及び船体構造モニタリングシステムを統合したデジタルツイン開発及びデジタルツインに必要な実船応力推定プログラムの開発を行う。 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、規則波中の実船を対象とした荒天下操船運動評価テストプログラムの開発、運航危険性評価法を用いた操船支援方法の提案、実用性を考慮した低速時操縦運動特性の同定手法の構築及び走錨危険推定プログラムの作成・水槽実験での検証を行う。 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
□損傷時安全基準に関する研究

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と基準案を作成
□荒天下の操船性能評価手法を確立し、合理的な最低出力と操船安全性に関する基準案を作成
□制動能力や旋回性能を向上させるための回避行動促進装置、緊急時自動衝突回避システムの開発
□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基準体系の確立

上記成果は、以下があげられる。

□緊急時自動衝突回避システム等の実用化により海難事故及び事故に伴う被害の減少が図られる。
□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。

R2 年度研究目標

□小項目 4(荒天下の操船評価手法の開発)

・規則波中の実船を対象とした荒天下操船運動評価テストプログラムの完成

□小項目 13(運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発)

・船体運動状況分析システムを用いた操船支援方法の提案

□小項目 14(新形式客船及び貨物船の損傷時安全基準に関する研究)

・複数の計算手法を用いた損傷浸水した船舶の波浪中運動試計算と危険事象の有無の確認

□小項目 15(港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究)

・実用性を考慮した低速時操縦運動特性の同定手法の構築と離着桟のような港内操船を実海域再現水槽で再現するための実験環境整備

□小項目 16(走錨防止支援システムに関する研究)

・水槽実験で検証された走錨危険度推定プログラム

R2 年度研究内容

□小項目 4(荒天下の操船評価手法の開発)

・斜航影響を考慮した実用的な波漂流力推定法の開発・荒天下操船運動評価テストプログラムへの組み込み

□小項目 13(運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発)

・運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発

□小項目 14(新形式客船及び貨物船の損傷時安全基準に関する研究)

・損傷浸水時の船舶に要求される耐航性能についての検討

□小項目 15(港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究)

・船舶の低速時操縦運動特性の同定手法に関する検討と港内操船再現のための水槽実験手法の開発

□小項目 16(走錨防止支援システムに関する研究)

・走錨危険度推定プログラムの作成及び水槽実験による検証

・走錨モニタリングシステムの検討

R2 年度研究成果

□小項目 4(荒天下の操船評価手法の開発)

・前年度までに開発した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，模型だけでなく実船の舵効き状態での妥当性も，自由航走模型試験との比較から検証した。規則波中(波長船長比 0.6，波高船長比 1/58.2)をオートパイロットで保針航行するタンカーの実船と模型の舵効き状態での，船速比ならびに当舵の平均値について，計算と実験で比較した結果を図 1.2.26 に示す。なお，実船舵効き状態での実験結果は，実船実験データでなく，本小項目で前年度までに開発した実験法(Suzuki et al., 2019, Ocean Engineering)を活用した実船の舵効き状態での自由航走模型試験の結果である。数値計算における波漂流力の反射波成分については，今後精度向上の必要性があるものの斜航影響を考慮可能な上野ら(2001，日本造船学会論文集)の推定法を採用した。

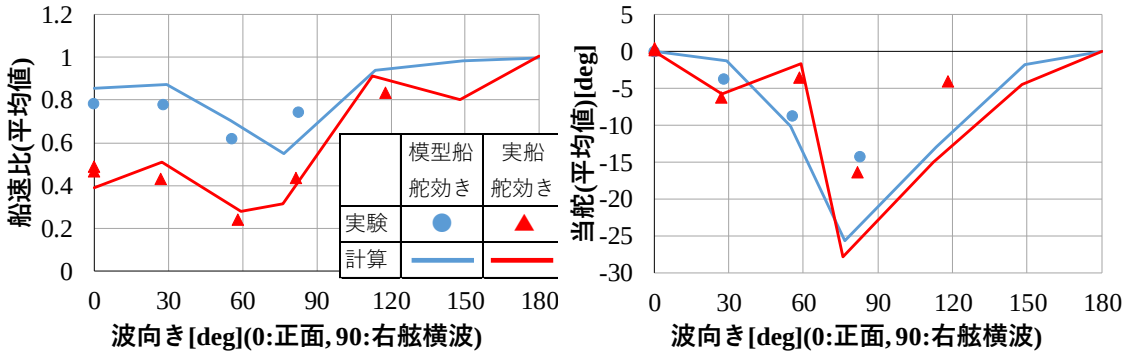


図 1.2.26　規則波中(波長船長比 0.6，波高船長比 1/58.2)をオートパイロットで保針航行するタンカーの実船と模型の舵効き状態での船速比と当舵の平均値

・前年度までに開発した規則波中操縦運動時の 6 自由度船体運動計算法を，既存の規則波の波力成分等の線形重ね合わせに基づき大波高の不規則波中の計算に拡張した。その計算の一例として，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を図 1.2.27 に示す。水槽模型試験による精度検証と改善は，令和 3 年度に実施する予定である。

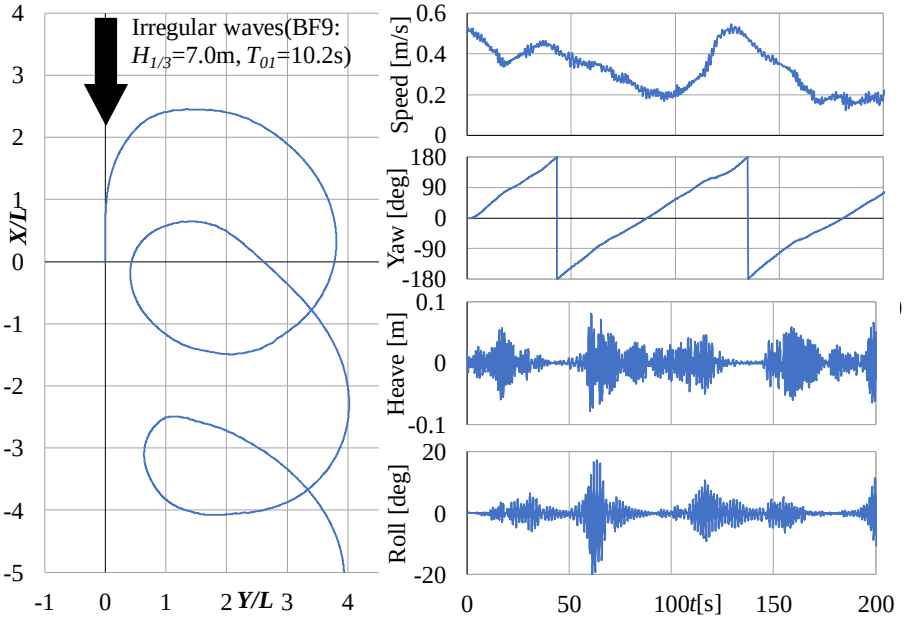


図 1.2.27　タンカー模型に対する一方向不規則波(ビューフォート風力階級 9)中 35 度旋回時の船体運動の推定

（追加成果）

・前年度までに開発した規則波中操縦運動時の 6 自由度船体運動計算法に関するプログラムを民間企業 1 社(商船会社の子会社)に提供した。また，そのために，対象とする特殊舵を有する内航コンテナ船について，数値計算に必要な係数を同定するとともに，推定結果の妥当性も検証した（守秘義務につき，図は割愛）。

□小項目 13(運航危険性評価法を用いた操船支援法の開発)

・運航中発生する危険現象のひとつである横加速度を取り上げ，危険を回避する操船支援法を開発した。空載状態のコンテナ船のブリッジ内で大きな横加速度が発生し，死傷者が出る事故が報告されている。IMOで最終化された第二世代非損傷時復原性基準暫定ガイドライン(MSC cir.1627)には復原性に起因する危険現象のひとつとして過大加速度モードが挙げられている。

・開発した操船支援法は海象（波高と波周期）と船の速度，針路（波向），載荷状態（喫水，トリム，GM）を入力値とし，過大加速度の危険性評価結果を操船者に適切に示し，危険を回避する操船を支援するもので，GUI を備えた具体的な操船支援用危険度評価システムを作成した（図 1.2.28）。ここでの危険度評価計算は北大西洋の波浪発現頻度表(IACS No.34)にある各海象での不規則波中横加速度の分散値の計算結果を用いて 1.0G を閾値とした短期発生確率で行っており，本システムでは評価結果と発生確率の閾値 10^{-6} の比で示している。なお，評価計算法は第二世代非損傷時復原性基準の過大加速度モードを網羅している。

・過大加速度モードは，現存する船舶の 7 割がいずれかの載荷状態で簡易基準（第一，第二段階基準）が不合格と判定されることが分かっており，多くの船舶が運航制限（波高制限）や運航ガイダンス，直接復原性評価（時間領域計算）の実施を検討することになる。本システムは運航ガイダンスにも活用できる仕様とした。

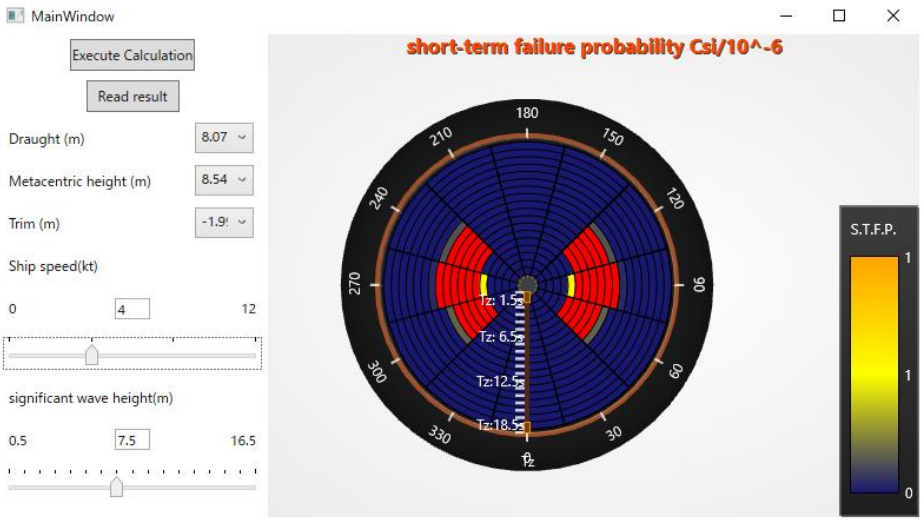
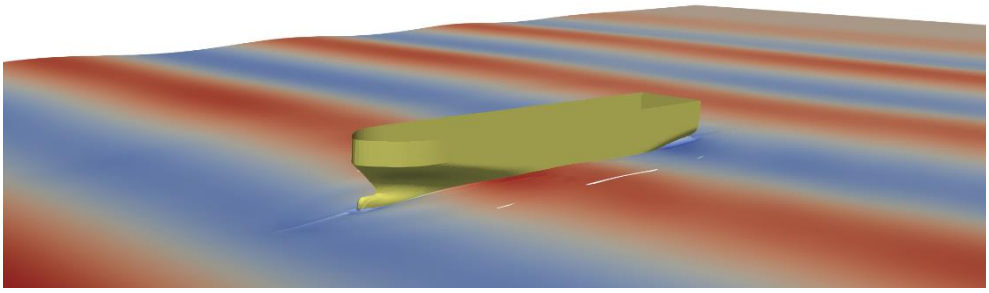


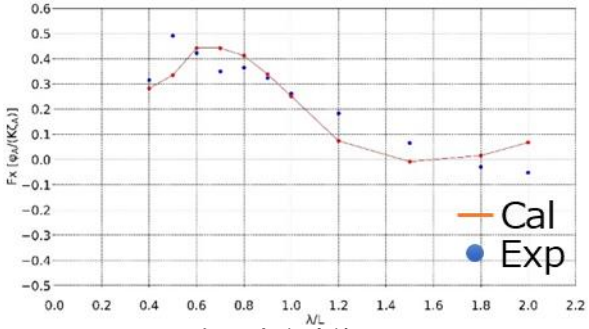
図 1.2.28 操船支援用危険度評価システム（横加速度）

□小項目 14(新形式客船及び貨物船の損傷時安全基準に関する研究)

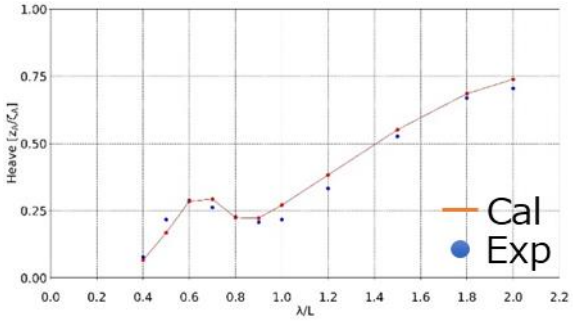
・海技研の CFD システムを用いて 6 自由度状態における定常力とばね力も考慮した波浪中船体運動計算（図 1.2.29）及び斜波における安定した長時間造波計算法（図5）の検討を行い，区画損傷時の復原性の検討のベースとなる計算手法を構築した。



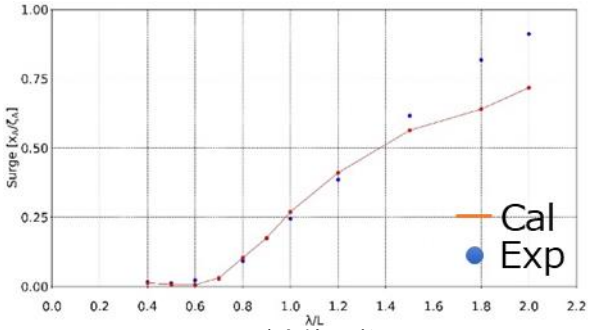
波浪中船体運動の可視化（λ/L=1.2）



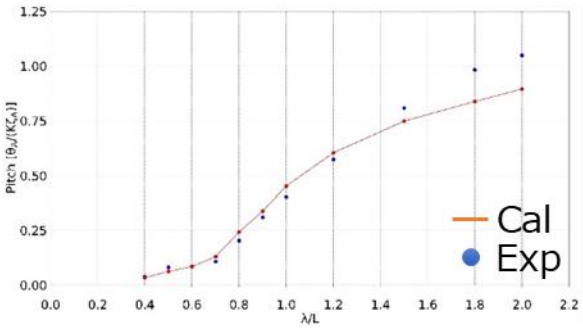
船長方向流体力



ヒーブ応答関数

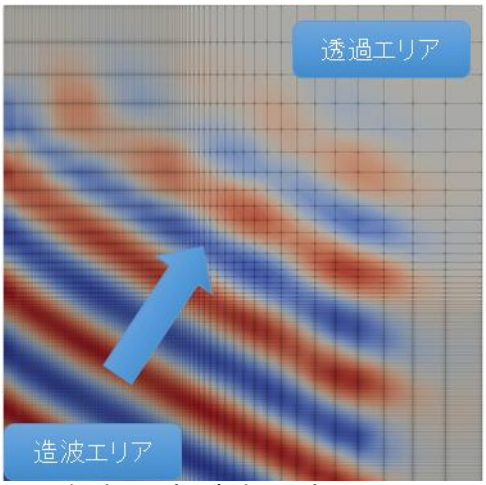


サージ応答関数

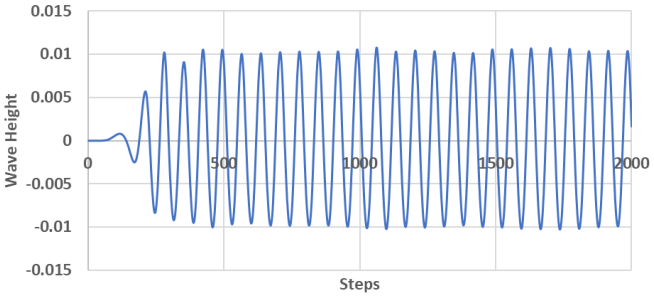


ピッチ応答関数

図 1.2.29　6 自由度状態における定常力とばね力も考慮した波浪中船体運動計算



斜波（30 度）造波の可視化



計測波高の時系列

図 1.2.30　斜波における長時間造波計算

□小項目 15（港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究）

・船舶の操縦運動数学モデルを，模型船や CFD による拘束試験結果ベースではなく，実船で比較的データが入手しやすい操縦性試験結果からモデル同定を行う手法の検討を行った。具体的には，文献調査による既存手法調査と，手法検証のための操縦流体力データ取得のための拘束模型試験（CMT）及び航跡データのための自由航走模型試験を実施した。

・自動離着桟アルゴリズムの評価及び検証のためのツール開発として，上野らが開発した船速舵効き修正法（RSC 法）をベースとして拡張し，自由航走模型試験にて実船の低速操縦運動を再現するための実験手法を提案した。そして，想定風環境下で実船に作用する風圧力を再現する風荷重模擬装置を 4m クラスの模型船用に整備し，風環境下での船舶操縦運動を評価できる環境を整備した。これらの手法開発と実験環境整備により，自由航走模型試験にて自動離着桟アルゴリズムの実船スケールでの直接評価が可能になったと言える。

・上記の自由航走試験手法の適用として，33000DWT ケミカルタンカーの模型船（実船での垂線間長 170.5m）を対象に，実海域再現水槽において，自動着桟模型実験の試行として海技研が開発した自動着桟アルゴリズム(PPA 法)の制御パラメータ検討を行った。そして，無風下での自動着桟成功例の制御パラメータに対し，風荷重模擬装置を用いることで風環境下での影響評価を行った。
例を図 1.2.31 に示す。経路開始点の座標[X, Y]は[20, −8]及び目標地点（停止地点）は[−27, 8]であり，目標地点にて船首方位を 90 度にしつつ船体を停止（前後方向船速を 0.02m/s 以下）させるように制御パラメータを検討し，無風化（図中，”No Wind”）では成功と見なせる制御パラメータ群を探索できた。一方，そのパラメータ群でビューフォート風力階級 6 相当（実船スケールで風速 12.6m/s）の風環境下で自動着桟を試行した所，成功に至ることはなく，風環境等の外乱を考慮したアルゴリズム設計の必要性を定量的に認識できる結果となった。
以上により，開発した模型試験手法が自動離着桟アルゴリズムの評価に十分有用であると判断した。

・なお，これらの水槽模型試験は FBG 圧力センサーを用いて主に船尾を中心とした多点の船体表面圧力の計測を行っている。FBG 圧力センサーは操舵を伴う模型舵にも貼付している（図 1.2.32）。プロペラ回転流の影響下における操縦運動中の圧力計測は確認する限り他に例が無く，本データは操縦運動数学モデルの改良や CFD での自由航走状態の直接計算手法の検証等に活用する予定である。

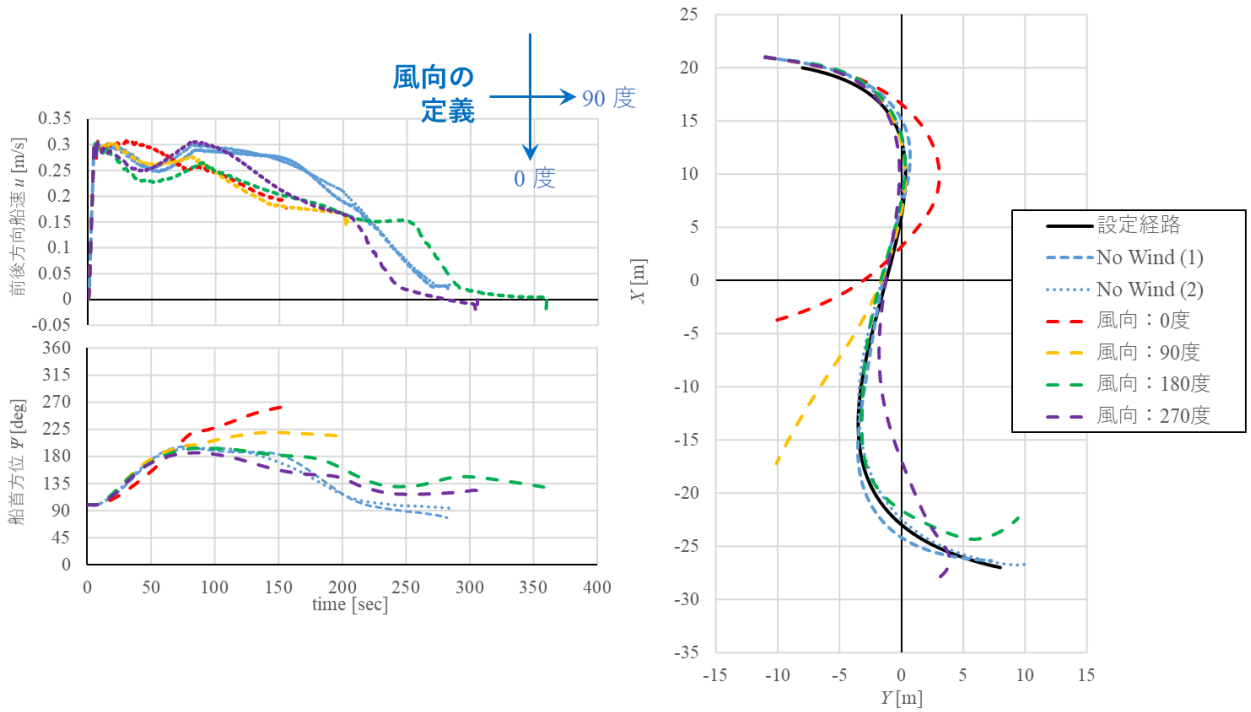


図 1.2.31 ケミカルタンカー模型船（実船 170.5m）を対象とした実船低速操縦運動を再現する模型試験法による自動着桟アルゴリズム（PPA 法）の制御パラメータ検証実験（風環境下の風速はビューフォート風力階級 6 相当の 12.6m/s）

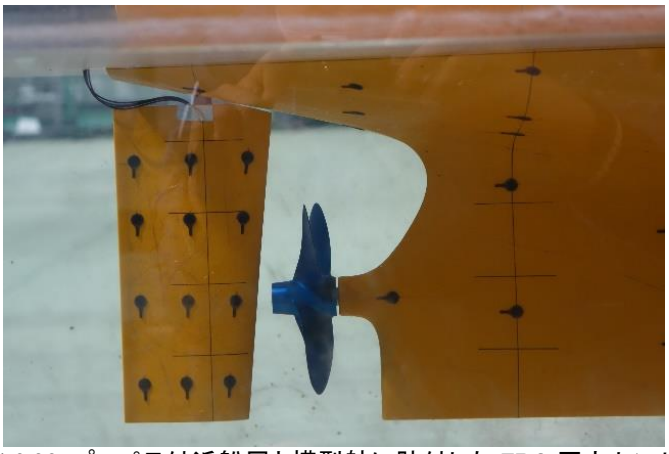


図 1.2.32 プロペラ付近船尾と模型舵に貼付した FBG 圧力センサー

□小項目 16(走錨防止支援システムに関する研究)

・錨泊船の振れ回り運動を計算し最大錨鎖張力と限界把駐力を比較するプログラム(走錨危険度推定プログラム)を 3 自由度の MMG モデルをベースに，外力項として風圧力，波漂流力，錨鎖張力を付加して作成した。その際，内航タンカー及び内航フェリー船型の模型船を用いた水槽実験を行って，低速時の操縦流体力(図 1.2.33)やプロペラ推力，舵力，波漂流力(図 1.2.34)を計測し，計測結果から各々の力の推定式を再構築した。

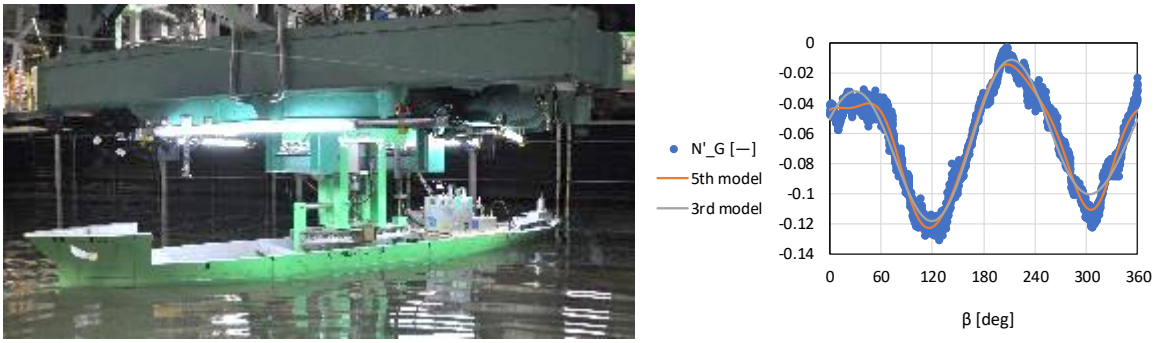


図 1.2.33 低速・大斜航状態の操縦流体力の計測状況(左)と計測データ(右)(海洋構造物試験水槽)

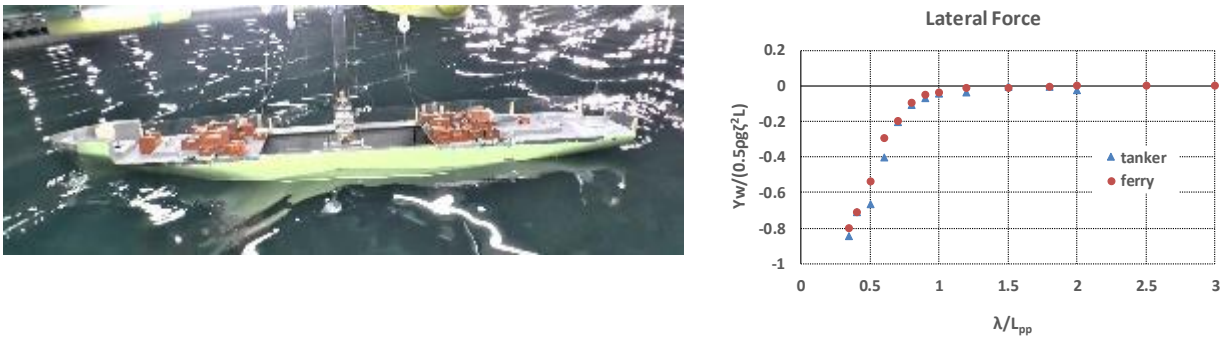


図 1.2.34 波漂流力の計測状況(左)と計測データ(右)(実海域再現水槽)

・錨泊条件，外力条件をパラメータとした波・風中の錨泊船の振れ回り運動に関する水槽実験(図 1.2.35)を行って，船体運動や錨鎖張力の計測結果との比較により走錨危険度推定プログラムの妥当性を確認した。

・走錨危険度推定プログラムに入出力 GUI を組み合わせて，荒天下での走錨を回避するため，錨泊実施前に船長や乗組員の判断を支援する「走錨リスク判定システム」(図 1.2.36)を開発した。「走錨リスク判定システム」は，船舶，気象・海象等のデータを入力することにより，錨泊方法，錨鎖長さ，風速に対応した走錨リスクを提示し，船舶運航者に走錨を回避するための判断材料を提供するもので，今後当所の HP や海技研クラウドで公開され関係者に無償提供される(公開時期：本年台風シーズン前)。

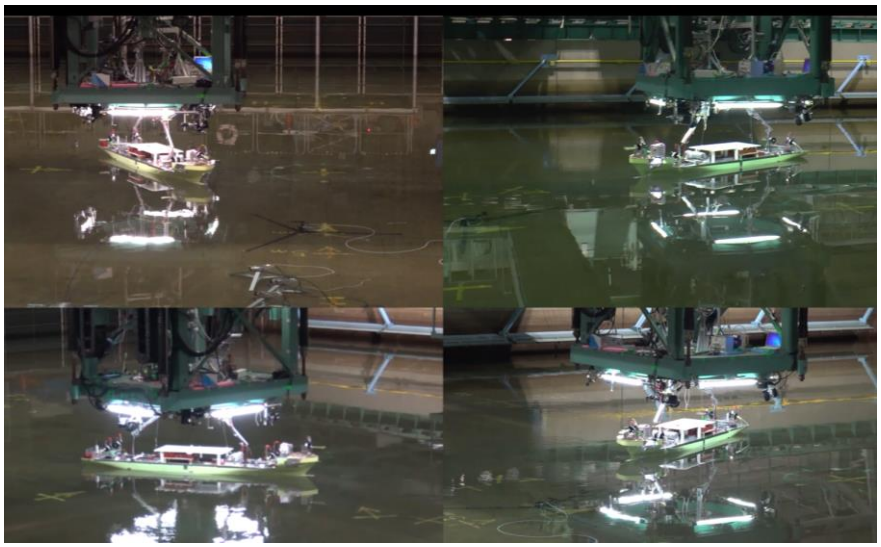


図 1.2.35　波・風中の錨泊船の振れ回り運動に関する水槽実験（海洋構造物試験水槽）

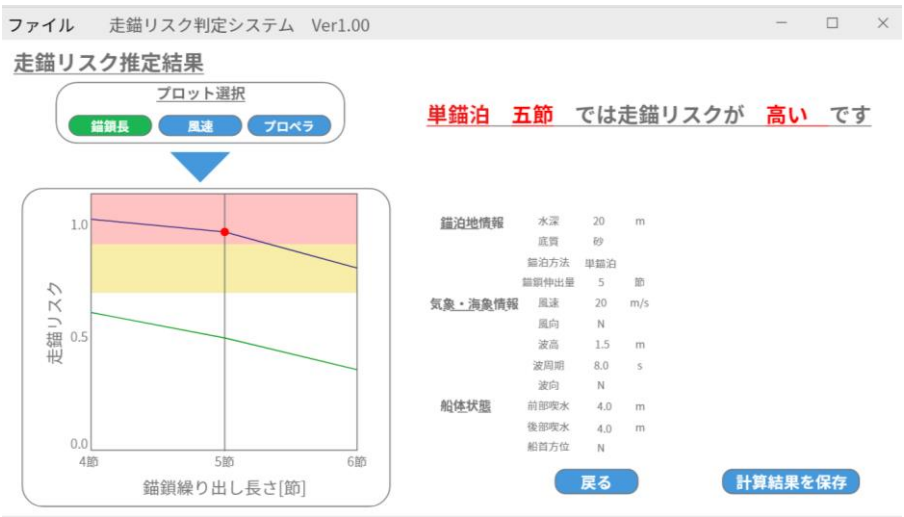


図 1.2.36　走錨リスク判定システム

・錨泊中の船舶において錨鎖張力を直接計測することは実際上困難であることから，錨泊中の錨鎖が錨とベルマウスを通る鉛直面内においてカテナリー形状をなすものと仮定すると，錨鎖と水平面のなす角と水深，錨鎖の単位長さ当たりの重量などから錨鎖張力を推定することが可能であることを利用し，船上で計測が可能なデータを用いて錨鎖張力を推定し，錨泊条件（水深，底質，錨・錨鎖特性）から算定される係駐力と比較することで走錨危険度をモニタリングする手法を考案し，R3 年度研究計画としてまとめた。

R2 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）

・Ryosuke Suzuki, Michio Ueno, and Yoshiaki Tsukada : Numerical simulation of 6-degrees-of-freedom motions for a manoeuvring ship in regular waves, Applied Ocean Research （投稿中，刊行物番号・刊行物発行年月・ページ番号未定）.

□その他発表論文：5 件（投稿中：1 件、掲載済：4 件）

・鈴木良介，塚田吉昭，上野道雄：実船の操縦運動推定に対する波漂流力の影響に関する一考察，海技研報告，第 20 巻別冊，pp.99-100 (2020).
・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への取り組み，海技研報告,第 20 巻別冊，pp.101-102 (2020).
・宮崎英樹，田口晴邦：荒天時の走錨リスクの低減に向けて，海技研報告,第 20 巻別冊，pp.103-104 (2020).

・鈴木良介，上野道雄，塚田吉昭：操船シミュレータのための波浪中操縦運動・船体動揺推定モデルの開発，第 20 回海上技術安全研究所講演会（2020）（刊行物なし）
・北川泰士，塚田吉昭：実船の港内操縦運動を再現するための模型試験法の開発と自動着桟アルゴリズム検討への適用，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 32 号(2021)（掲載予定）.

□特許申請：0 件
・

□コアプログラム登録：2 件
・波風中を操縦運動する船の 6 自由度船体運動推定プログラム 鈴木良介，北川泰士，上野道雄，大森拓也
・第二世代損傷時復原性基準過大加速度計算プログラム ver1.0 黒田貴子

□国際貢献：0 件
・

□受賞：1 件
・理事長表彰 特殊功績（個人）：国際海事機関第 2 世代非損傷時復原性基準暫定指針の策定に貢献した功績，黒田貴子

□公開実験：1 件
・波・風中の錨泊船の振れ回り運動に関する水槽実験，2020.9.18

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	R2 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 －低硫黄燃料油や次世代燃料が燃焼した際に生じる環境影響物質の定量化、環境影響への因果関係を解明するための計測・分析法の検討を行う。 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 －環境影響物質削減のための排ガス後処理装置の研究開発を行う。 －水素エンジン等の燃焼安定化技術の開発と安全性の検討、舶用エンジンのアンモニア燃焼技術の研究開発を行う。 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。
□排ガス規制対応のための計測・分析技術の高度化
□排ガス処理技術の高度化に関する研究
□船舶から排出される PM 等の環境影響評価技術の高度化
□次世代燃料の燃焼性評価手法の確立
□GHG・環境影響物質削減のための計測・分析技術の確立

期間全体の研究目標

□排ガス・排水等、トータルでの環境負荷低減を目指した排ガス処理システムの開発
□SOx、GHG 対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善技術
□次世代燃料の燃料生成物の成分を計測・分析することで定量的な評価を行い、その結果に基づいた削減技術の確立

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小型スクラバや燃焼改善、計測システムなどの技術開発を行う。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。

R2 年度研究目標

□小項目 4
・ガス燃料の微量ガス成分の耐ノック性影響評価
・SOx 規制対応燃料の燃焼改善技術及びその時の GHG への影響の実験的検証

□小項目 5
・スクラバによる PM、BC、CO2 削減率の計測
・排ガスの成分からスクラバ排水への移行について、排ガスおよび排水の分析から解明
・燃焼試験装置を用い、次世代燃料の燃焼時に発生する燃焼生成物について分析・同定する

R2 年度研究内容

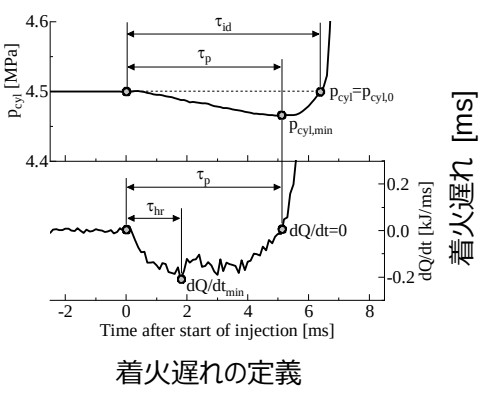
□小項目 4
・SOx、 GHG 対応燃料の燃焼改善技術の開発

□小項目 5
・スクラバの GHG 削減への応用
・スクラバの環境負荷の検証
・次世代燃料の燃焼生成物に関する調査

R2 年度研究成果

□小項目 4
・2020 年硫黄分規制対応適合油は、これまで市場に出ていない新しい燃料油であり、様々な基材をブレンドして作られる。その配合は石油メーカーによって違うだけでなく、製油所や季節によっても異なる。そこで、本研究では、様々な基材を用い、現実的なブレンド油を試製し、その燃料の着火性評価を実施した。まず、基準燃料による確認試験として、燃料試験装置に合わせて規格化された着火遅れおよび様々な定義による着火遅れとその時の蒸発過程について評価したほか、数値解析により、噴射期間の違いによる噴霧内の濃度、温度分布を予測した（図 1.2.37～1.2.38）。この結果、十分な着火可能な空気と燃料の混合気が形成されていたとしても、蒸発に伴う温度低下によって着火が遅れることがわかった。この基準燃料試験から、実測着火性指標を修正し（修正 ECN）、適合油も ISO8217 にある規格着火性指標（CCAI）にほぼ対応していることを実証した（図 1.2.39）。個別の燃料で見ると CCAI の低下に対して修正 ECN が増加しない燃料もあり、この理由については次年度の課題とする。

・液体燃料の分割噴射、燃料噴射圧変更によるガス燃料の着火性影響試験を実施し、分割噴射の効果が雰囲気（空気中、ガス燃料中）によって異なることが実証された。図 1.2.40 に二段噴射時の燃焼観察例を示す。また、天然ガスに含まれるメタン以外の微量ガス成分は、産地によって異なることが知られている。そこで、異なる微量ガス成分をメタン中に混合することによって燃焼試験を行ったところ、液体燃料の着火には大きな影響はなく、燃焼期間に効果が表れることが明らかになった。燃焼期間が短いことは、ガスエンジンにおける効率向上（GHG 削減）の可能性を示唆しており、この結果については、追試験を含めて詳細に検討し、次年度の評価指標の構築につなげる。



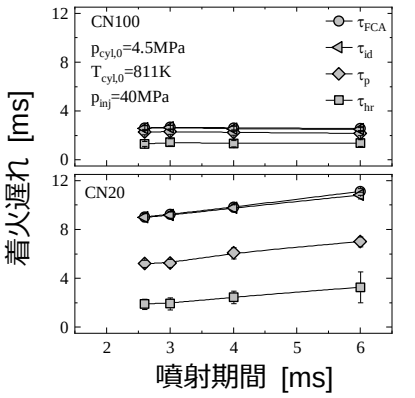


図 1.2.37 基準燃料による着火遅れの評価

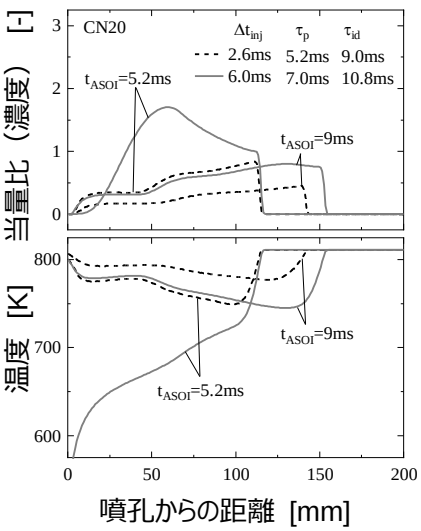


図 1.2.38 モデルによる基準燃料による着火遅れの評価例

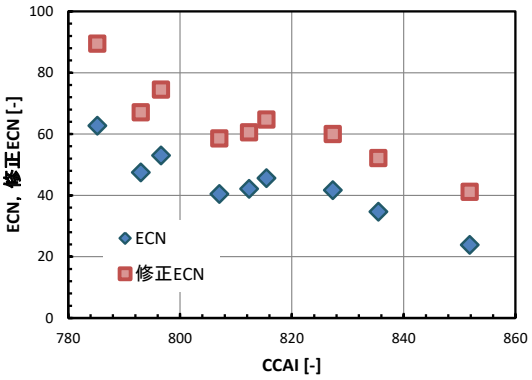


図 1.2.39 モデルによる基準燃料による着火遅れの評価例

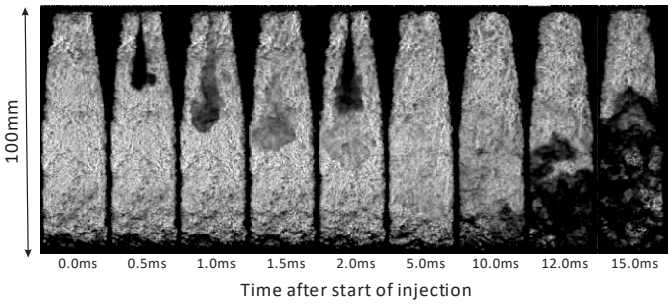


図 1.2.40 二段噴射時の燃料噴霧と火炎観察例

・

<u>口小項目 5</u>

・GHG 削減のため、スクラバによる CO2 削減効果の検証をおこなった（重点☆7と連携。次年度より重点☆4 で実施）。LPG エンジンで 50～60%、ディーゼルエンジンで 10～20%削減を確認。ディーゼルエンジンは水素混焼を併用することで約 75%削減可能であることを確認した。次年度は、回収した CO2 の分離技術の検討および CO2 回収装置（スクラバ）を搭載する船舶の試設計を行う。

・スクラバ排水の環境影響を評価するため、スクラバ排水に移行する可能性のある、排ガス中に含まれる多環芳香族炭化水素(PAHs)の捕集システムを構築し、捕集したサンプルを分析した。その結果、排水モニタリング対象物質であるフェナントレンを始め、アントラセン・ピレンなどの環数の大きな、より有害な PAH が確認された。次年度は、異なる燃料を用いた際の PAH の種類、排出量の変化について調査する。

・ガスエンジンからのブローバイガス計測法を確立した。それにより、ガスエンジンの水素混焼時の水素濃度を計測可能になったことで、爆発限界を超えるなどの危険を察知できるようになった。次年度は、メタンスリップなど GHG 削減につながる成分についての計測・分析をおこなう。

・適合油などの残渣燃料にも対応可能な燃焼可視化装置(OCA)を稼働させ、燃焼波形、火炎の画像、燃焼時の映像を取得できるようになった。模擬燃料や各種燃料との燃焼性の違いを、火炎画像によって明らかにした（図 1.2.42）。次年度は排出物の分析も行い、燃料組成との相関について詳細な分析をおこなう。この、燃料組成と排出物との詳細データは、IMO 提案への科学的根拠となりうる（ブラックカーボンおよび PAH）

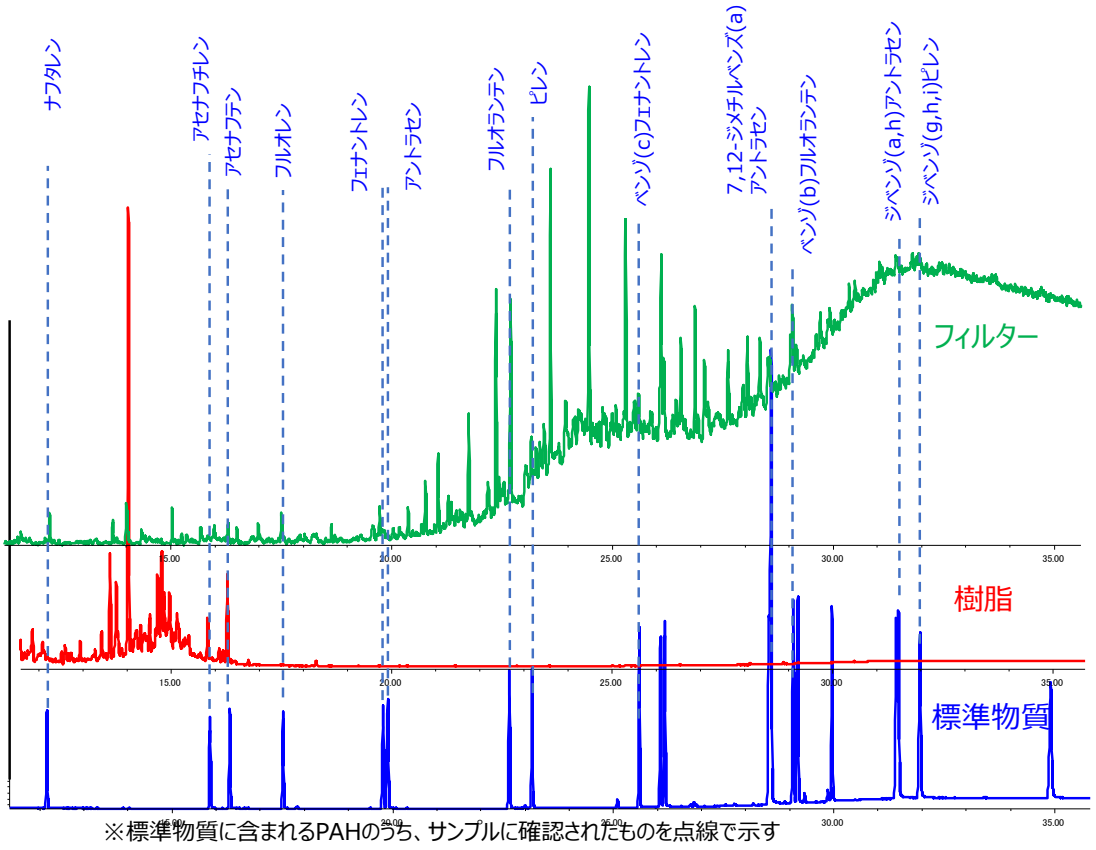


図 1.2.41　PAHs 標準物質と排ガス中に含まれる PAHs のクロマトグラム

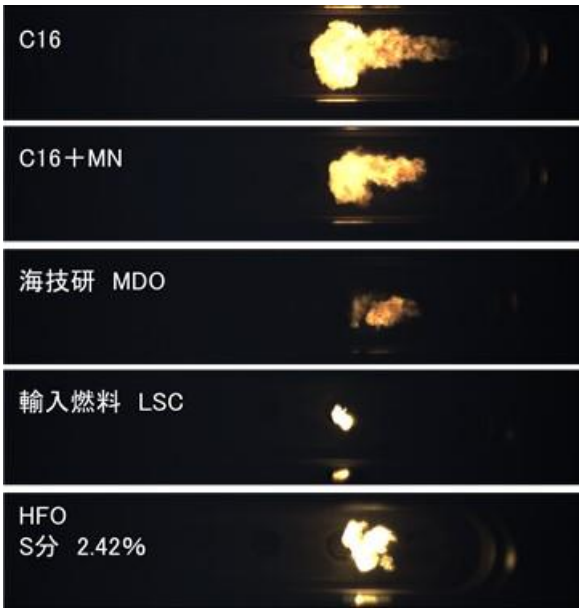


図 1.2.42　燃料油種および模擬燃料油の着火性の違い

R2 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）：4 件（投稿中：3 件、採択済：1 件、掲載済：0 件）

・川内、高木、二成分系燃料におけるディーゼル噴霧の混合気形成過程と着火の関係に関する考察、日本マリンエンジニアリング学会（採択済、2021 年 5 月発行誌掲載予定）

・内藤（北大）他,「Experimental study on evaporation characteristics of light cycle oil (LCO) droplet under various ambient conditions」、Energy & Fuels（投稿中）

・高木、「二成分系モデル燃料による舶用重質油の着火性指標に関する評価」、JIME（投稿中）

・大橋、「恒温恒湿槽内における PM 捕集フィルタの質量変化に関する考察」、JIME（投稿中）

□その他発表論文:6 件(投稿中:0 件、掲載済:6 件)

・中村、市川、舶用ガス機関のブローバイガス吸入・再燃焼技術に向けた成分分析、日本マリンエンジニアリング学会、学術講演会
・益田、船舶業界の環境への取り組み:排ガスおよび温室効果ガスの規制の動向、環境技術 2 号特集、環境技術学会(2021.3)
・高橋、排ガス規制動向と規制対策技術、日本船舶海洋工学会, KANRIN 第 92 号(2020.9)
・高橋、硫黄分規制導入による燃料油性状への影響、日本マリンエンジニアリング学会誌第 56 巻第 3 号(2021.5)

□特許申請:0 件

・

□コアプログラム登録:2 件

・川内、「一次元噴霧モデルにもとづく蒸発噴霧解析プログラム」
・益田、高橋、金山「舶用燃料油の動粘度計算プログラム (1) 温度依存性予測) 」

□国際貢献:0 件

・

□受賞:1 件

・大橋、日本マリンエンジニアリング学会、CPD 奨励賞

□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	R2 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	海洋環境の保全 IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO2)、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(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、実船性能推定手法の検証を複数船種で検討、造船各社等との連携による高実海域性能船舶の設計・開発の検討及び実海域性能評価法の国際標準化に向けた検討を行う。 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。

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。

R2 年度研究目標

□小項目 5
- ・経年劣化・生物汚損影響評価法のガイドライン案
- ・直接実船性能推定手法の試行
- ・低速時波浪中推進性能モデルの検討
- ・造船各社との請負による実海域性能船舶の設計・開発
- ・実海域性能評価法の国際標準化提案

□小項目 6
- ・実運航試験によるベストプラクティスモデルの検証

□小項目 16
- ・AI 技術を適用した主機制御自動調整システムの完成

□小項目 17
- ・AI 技術を適用し主機の異常診断システムの完成

□小項目 18
- ・適用船型を拡張した船型・流場データベースの構築
- ・伴流設計システムの適用船型の拡張及び有効性の検証
- ・実船計測へ応用可能な PIV 計測システムの曳航水槽による評価

□小項目 19
- ・最適設計システムを用いた肥大船型・プロペラの最適形状立案
- ・気泡吹出周波数制御の実船システム提案
- ・空気潤滑法の摩擦抵抗低減メカニズムの解明
- ・弾性表面波デバイスの抵抗低減効果の拡大検討
- ・超低速船の水中騒音レベル把握
- ・キャビタンでの空気潤滑試験による水中騒音低減効果の評価

R2 年度研究内容

□小項目 5
- ・実海域実船性能評価技術を開発する。
- ・経年劣化・生物汚損影響評価法を開発する
- ・直接実船性能推定手法を複数船種で実施する。
- ・低速時波浪中推進性能モデルの作成を行う。
- ・造船各社と実海域性能船舶の設計・開発を行う。
- ・実海域再現水槽試験に AI 学習を組み込む。
- ・実海域性能評価法の国際標準化を検討する

□小項目 6
- ・ベストプラクティス運航モデルを実運航試験により検証・評価する。

□小項目 16
・AI 技術を適用した主機制御自動調整システムを開発し、省エネ性能や安全性能を最も高めることが可能なシステム設定の検討を行う
□小項目 17
・デジタルツインモデルを利用して異常検知、異常予兆を行い、異常原因を特定するシステムの開発
□小項目 18
・船型・流場データベースと伴流設計システムの統合
・船型・流場データベースの一般商船等への拡張
・伴流設計システムを一般商船等へ適用
・実船対応可能な伴流計測システムの試設計
・曳航水槽における伴流計測システムのブラッシュアップ
・流場計測結果と数値計算のデータ同化手法の検討
□小項目 19
・超低速肥大船の推進性能及び技術課題の検討
・空気潤滑法の摩擦抵抗低減効果の向上
・気泡による摩擦抵抗低減メカニズムの解明
・弾性表面波デバイスの開発
・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に関する F/S

R2 年度研究成果
□小項目 5
・実海域実船性能評価技術の開発については、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）の抽出条件を検討し同手法の適用範囲の拡張と精度向上を行った。また OCTARVIA プロジェクトと連携し実船モニタリングデータを用いて同手法の検証を行い手法の有効性を示した（図 1.2.43）。また、評価法については計算プログラム化し、プログラム登録を行った。さらに、RCM の波風中の性能評価法としての有効性について検討を行い、波、風に関する抽出条件等、今後検討すべき事項が明らかになった。

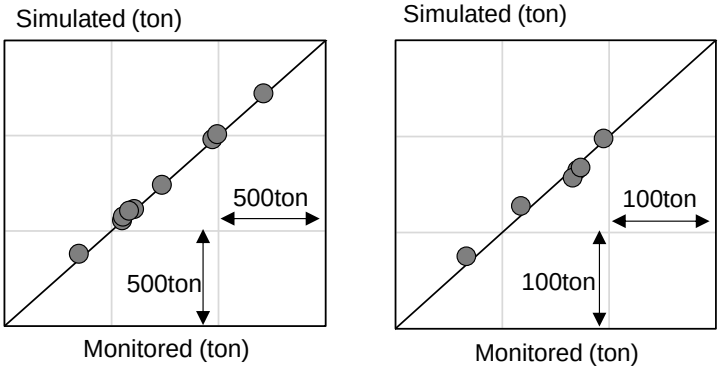


図 1.2.43 RCM を用いた燃費のシミュレーション結果と実船モニタリングデータとの比較
（左：コンテナ船、右：タンカー）

・経年劣化・生物汚損影響評価法を開発については、前記 RCM に基づいた評価法の構築を行い、OCTARVIA プロジェクトと連携し自動車運搬船、撒積船の長期間の実船モニタリングデータを用いてその有効性を確認した（図 1.2.44）。

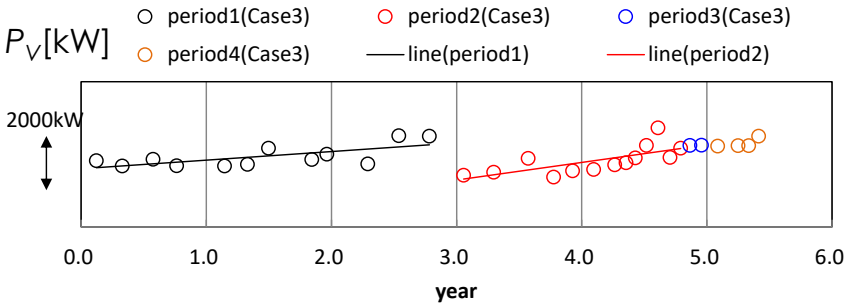


図 1.2.44 撒積船での経年劣化・生物汚損影響評価例（主機出力増加の時系列）
・複数船種による直接実船性能推定手法の実施については、船上での波浪観測手段として X バンド波浪レーダーに注目し、国内外の開発動向を調査した。

・低速時波浪中推進性能モデルの作成については、タンカー船型とバルカー船型の低速時向波中抵抗増加試験を実施した。大型コンテナ船の結果も含め、低速時波浪中抵抗増加の成分抽出を実施し、低速時における波浪中抵抗増加の反射波成分と運動成分の寄与について明らかにし、モデルの検討を実施した。また、抵抗増加に横揺影響を考慮することにより、横波～斜追波中の波浪中抵抗増加の推定精度を向上した(図 1.2.45)。低速時の実海域シミュレーションを実施し、大斜航中の斜航抵抗の精度が実海域性能において重要であることが明らかとなり、バルカー船型および大型コンテナ船の大斜航を含む斜航試験を実施し、斜航抵抗の新たな簡易推定式および近似表現の構築を実施した(図 1.2.46)。

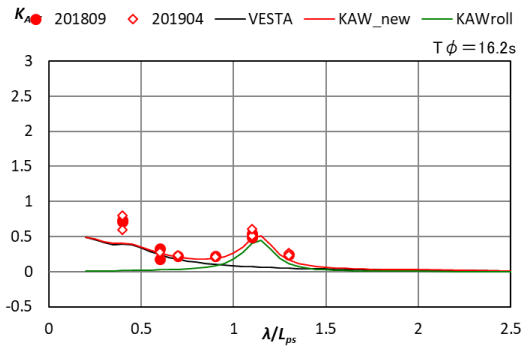


図 1.2.45 横波中抵抗増加の検証結果
(コンテナ船(DTC))

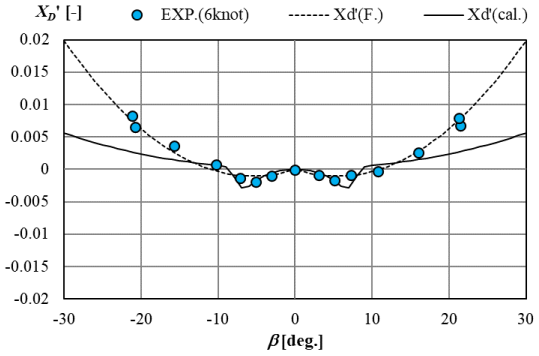
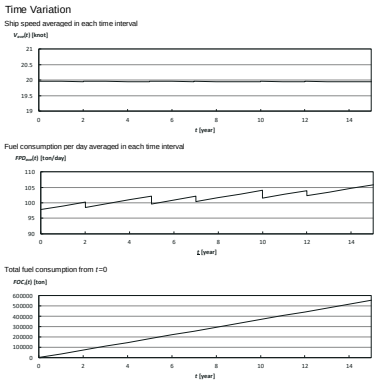


図 1.2.46 斜航抵抗試験結果およびモデル式
(バルカー(JBC))

・造船各社との実海域性能船舶の設計・開発については、請負研究に関連して、風力推進ローター船の実海域燃費評価を実施した。
・実海域再現水槽の水槽制御システムに組み込んだ自動計測解析機能を用いて実施した検証試験結果についてまとめ、自動計測解析機能の妥当性を確認した。
・実海域性能評価法の国際標準化に向けて、評価法を実装した計算プログラム(図 1.2.47)の作成及び評価法の文書化を行った。また、海運会社等の関連団体にヒアリングと研究成果の紹介を行い国際標準化に必要な情報の収集と情報の展開を行った。



INDEX of the ship performance in actual seas

INDEX

Item	Value	Unit	Remarks
Lifecycle fuel consumption	101.68	ton/day	Fuel consumption per day averaged thorughout life

Elements

Item	Value	Unit	Remarks
Total fuel consumption	5.570E+05	ton	Total fuel consumption throughout life
Total amont of cargo	4.284E+07	ton	Total amount of cargo delivered throughout life
Total distance for transport work	2.624E+06	mile	Total distance for transport work throughout life

Sub-indexes

Item	Value	Unit	Remarks
Fuel consumption per ton-mile	0.0050	g/(ton-mile)	Fuel consumption per cargo and distance for transport work throughout life
Fuel consumption per day per TEU	0.01560	(ton/day)/TEU	Fuel consumption per day per TEU averaged throughout life (for container ship)

図 1.2.47 実海域性能評価計算の例

□小項目 6

・最適運航検討の一環として 2019 の EUMRV データを入手し分析した。その結果、通常船にはないアイスクラス船の特性として、特に高い CO_2 排出量のデータが見られることが確認された。船種別の分析では、船種ごとの運航の特性が CO_2 排出量データの傾向に表れていることが確認された(図 1.2.48)。
・船舶要目データ及び AIS データにより、より詳細な運航形態に関する情報を付加して分析し、ベストプラクティス運航モデルとなるデータを抽出して、実運航の分析・検証を行った。

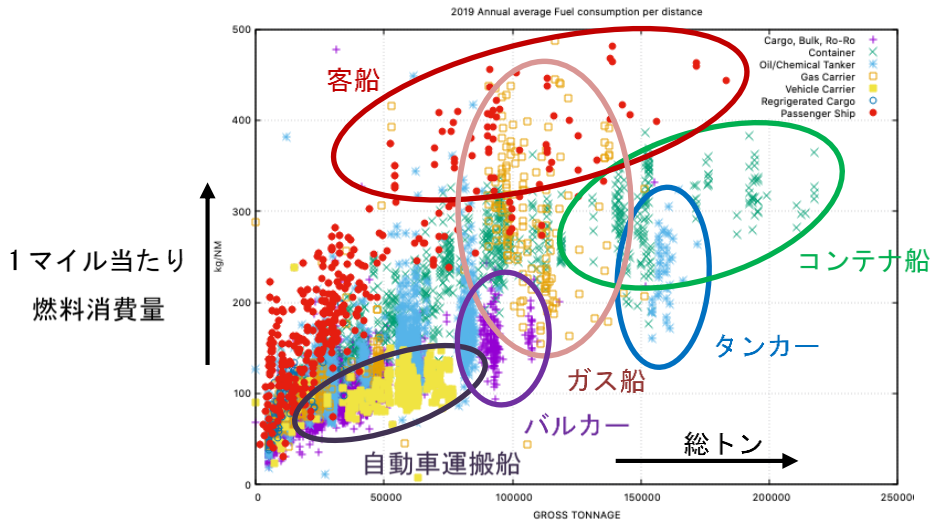


図 1.2.48 2019 年 EUMRV データ(v69)に含まれる全船の船種別 CO_2 排出量(マイルあたり)

・北極海航路に対応する最適航路探索ソフトをリリースし、国交省の産学官連携協議会を通じ、船社等に公開した(図 1.2.49)。このソフトは VESTA-ICE による船速・燃費等推定ルーチンが組み込まれており、また A*アルゴリズムによる航路最適化機能を有し、加えて海氷分布のデータを与えることで、航路距離・燃費・航行時間の最適化条件に基づき、北極海航路における航路の選択肢を提示することができる。

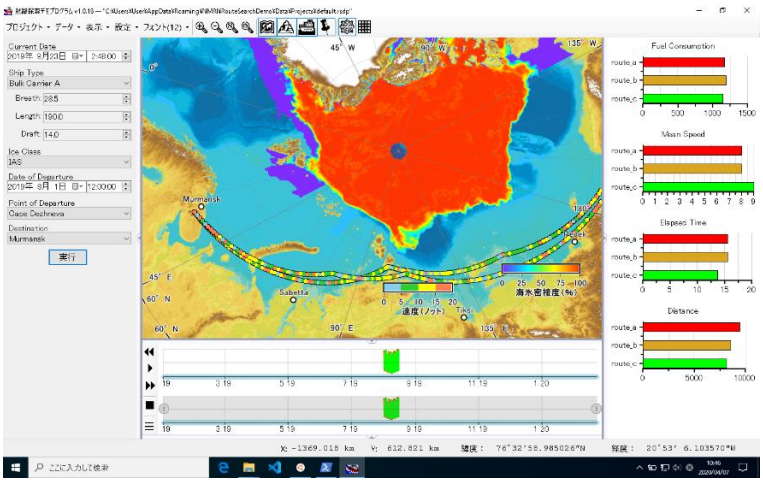


図 1.2.49 最適航路探索ソフト RouteSearch のインターフェース

口小項目 16

・海技研にて開発した主機特性数学モデル(Hybrid-CMV モデル)を組み込み、これまでに開発した“船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラム”を改良した。Hybrid-CMV モデルは、従前の CMV モデルでは評価が困難であった 1 サイクルでの燃料燃焼とエンジントルク発生の関係について、CMV モデルベースでこれらを合理的に評価可能である上に同じ評価が可能な詳細計算手法よりも高速計算が可能であることが特徴である。本プログラムは、パナマックスバルクキャリア船を対象船とした主機特性を考慮した波浪中水槽模型試験結果との比較を通じ、高い計算精度を有することを確認している。そして、本プログラムの活用により波浪中主機負荷変動が大きいほど燃料消費性能が悪化することを理論計算にて示し(図 1.2.50)、学術的に新規性の高い知見を得ることが出来た。これらの成果は論文発表にて適宜公表している。

・上記の波浪中主機性能の評価のため、プロペラメーカーとの共同研究により波浪中プロペラ性能の評価を行うことで技術開発を推進した。

・昨年度より開発を進めている“遭遇海象に応じて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”を令和 2 年度は本格化させた。具体的には、(1)学習用の入出力パラメータの決定、(2)目標船速を担保しながら主機負荷変動抑制と燃費性能向上を目的とした報酬計算仕様の設計、(3)学習計算用ルーチンの検討により自動調整アルゴリズムを設計した。図 1.2.51 にそのフローチャートを示す。学習計算には燃料消費性能を実用的な計算時間で評価できる上記の改良“船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラム”を適用した。学習進度に応じた正規化報酬点の時間変化を図 1.2.52 に示す。初期設定から 1.3%程度の改良が見られた。

・本小項目は令和 2 年度が最終年度であり、これまで得られた成果の概要を以下に示す。

1. 強化学習手法をベースにした遭遇海象に応じて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の設計
2. 主機特性自航装置を用いた水槽試験法の Hybrid-CMV モデル組み込みによる高度化（小項目 17 と連携）。成果の一部は外部企業との共同研究にも活用されている。
3. 波浪中の船速と変動量含めた主機状態を同時に評価できる“船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラム”の開発。本プログラムは外部企業との共同研究においても活用されている。

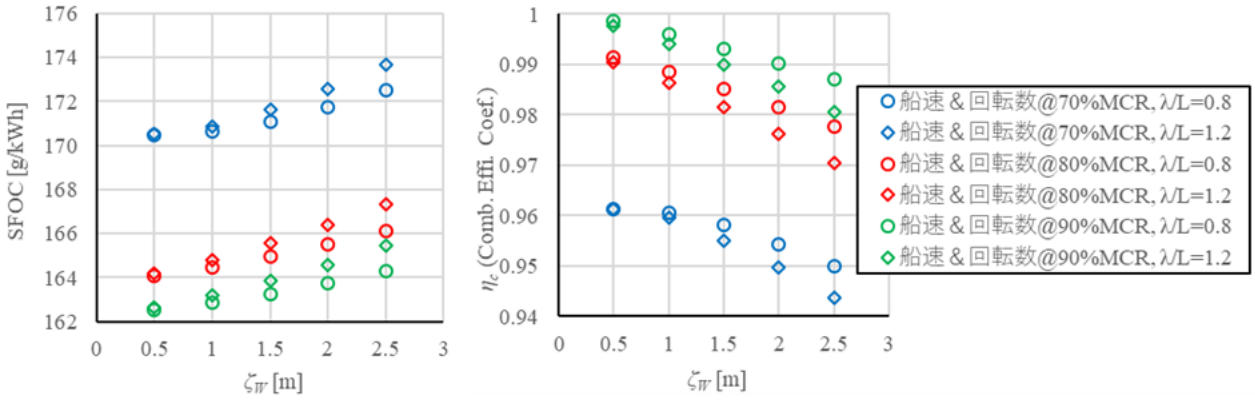


図 1.2.50 波振幅増加に伴う主機燃料消費率(SFOC)と燃焼効率係数の悪化の例

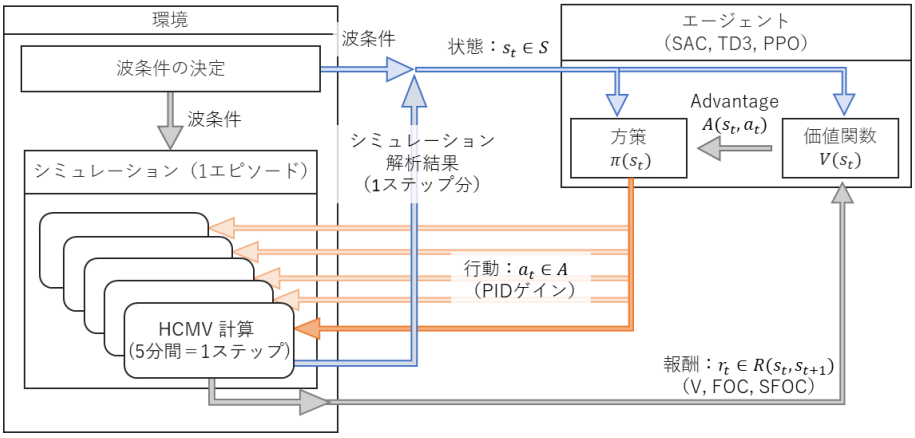


図 1.2.51 強化学習を適用した主機ガバナーPID ゲイン自動調整アルゴリズムのフローチャート

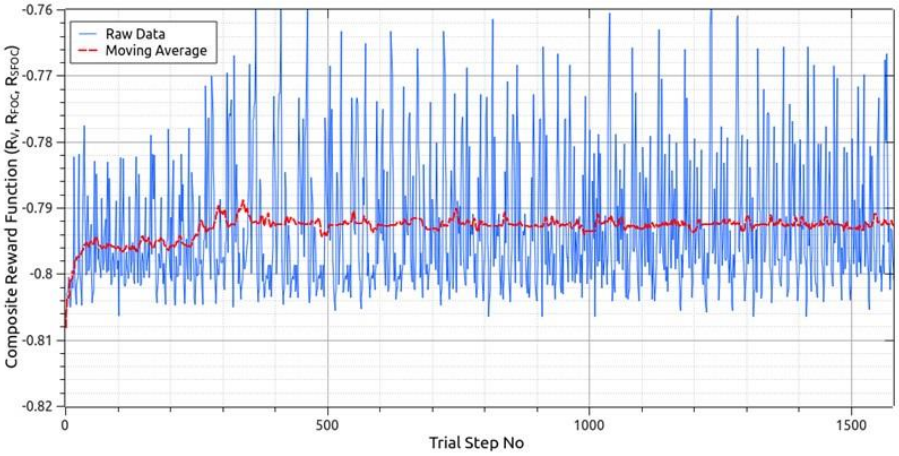


図 1.2.52 強化学習アルゴリズムによる学習進度に応じた報酬点の時間変化

□小項目 17

・これまでに開発した“船体＋プロペラ＋主機応答連成計算プログラム”を利用して波浪中主機負荷変動が燃料の燃焼に与える影響を評価するために，対象船の主機特性数学モデルに対して新たに燃料燃焼特性を含めて Hybrid-CMV モデルを構築した（小項目 16 と連携）。

・実機を使った試験結果により，燃料油に応じて空気過剰率が小さいほど燃焼特性が悪化する結果が得られた（図 1.2.53）。

・昨年度より開発を進めている「主機の異常診断システム」に，AI を使い自動で診断を行うアルゴリズムを開発して

追加した。このアルゴリズムの検証は主機の異常状態を模擬するシミュレーションで行った。図 12.54 にアルゴリズムのフローチャートを示す（この進展として、実データでのアルゴリズムの検証・評価のために主機メーカーとの共同研究を計画中である）。

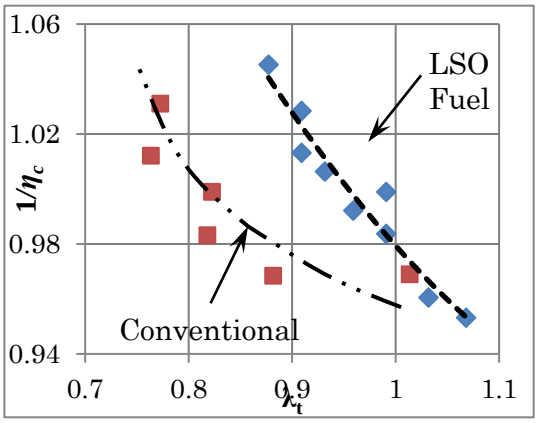


図 12.53 Degradation of combustion efficiency η_c as a function of air excess ratio λ and fuel type

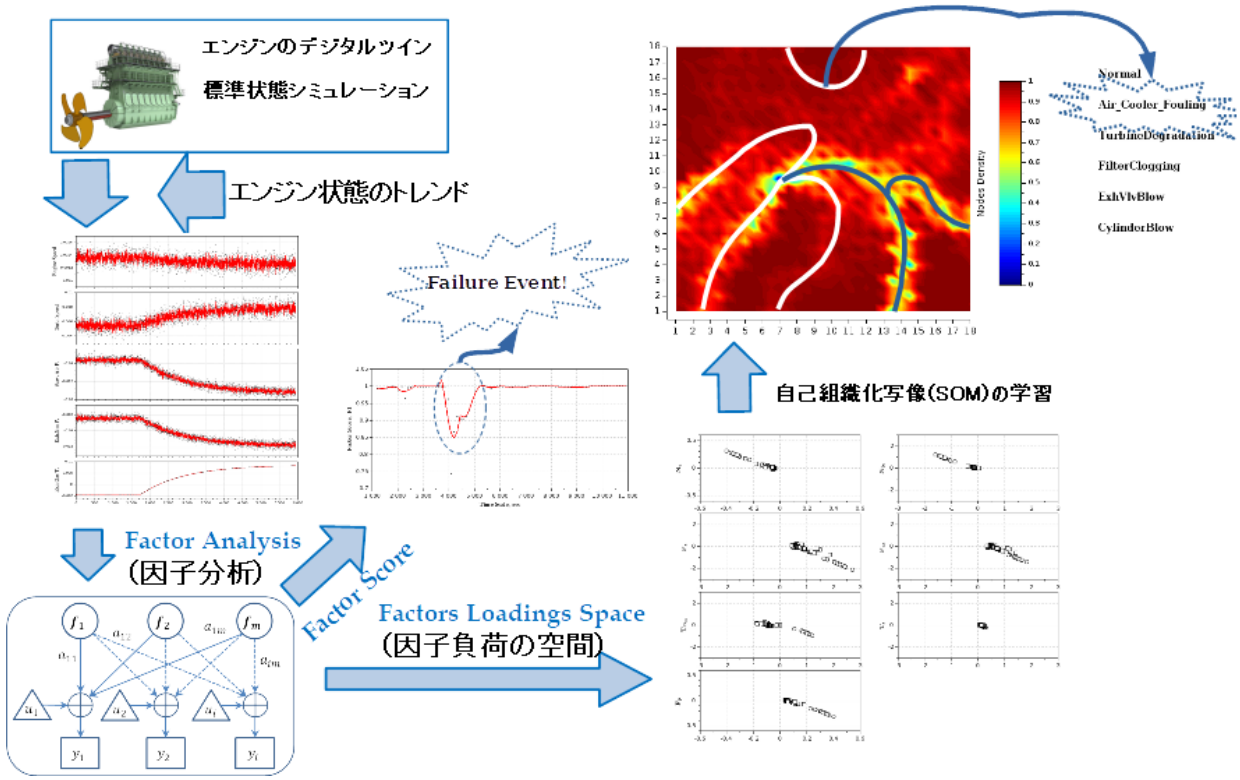


図 1.2.54 因子分析と自己組織化写像を適用した異常診断アルゴリズムのフローチャート

□小項目 18

・伴流設計システムの汎用性をより高めるため、従来開発し水槽試験で精度確認を行っている伴流設計手法とは別に、R1 年度に特許出願した AI 技術を船型設計に応用するための鍵となる船体表現手法（IHR: Imaged-based Hull Form Representation）と AI 技術のひとつである CNN（Convolutional Neural Network）を組み合わせ、従来手法（CFD 計算）よりも数万倍高速に船尾伴流場を推定することが出来る高速伴流推定手法を開発し（図 12.55、1.2.56）、以下 2 点の研究成果が得られた。

1)CNN による伴流推定法において損失関数に伴流の分布関数の勾配を導入することで、推定伴流の振動が軽減され、推定精度が向上した。

2)CNN による伴流推定法と最適化手法を組み合わせて、所望の伴流を実現する船型を提示（レコメンド）する手法を新たに開発した（図 1.2.57）。

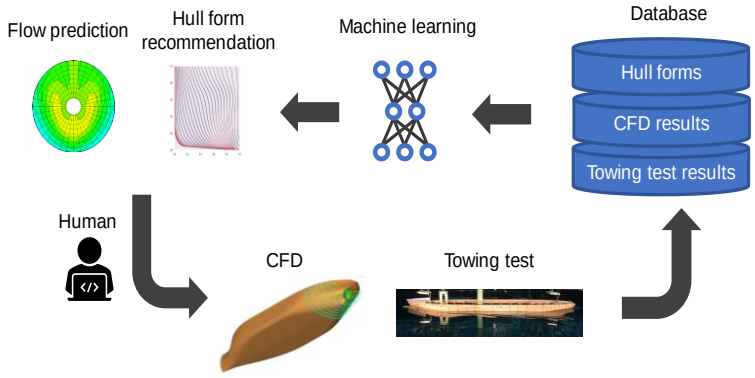


図 1.2.55　船型・流場データベースによる設計システムの概念図

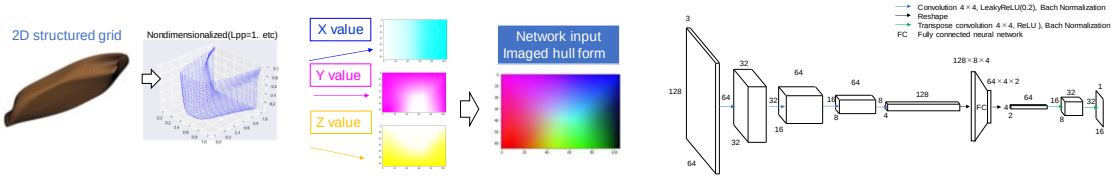
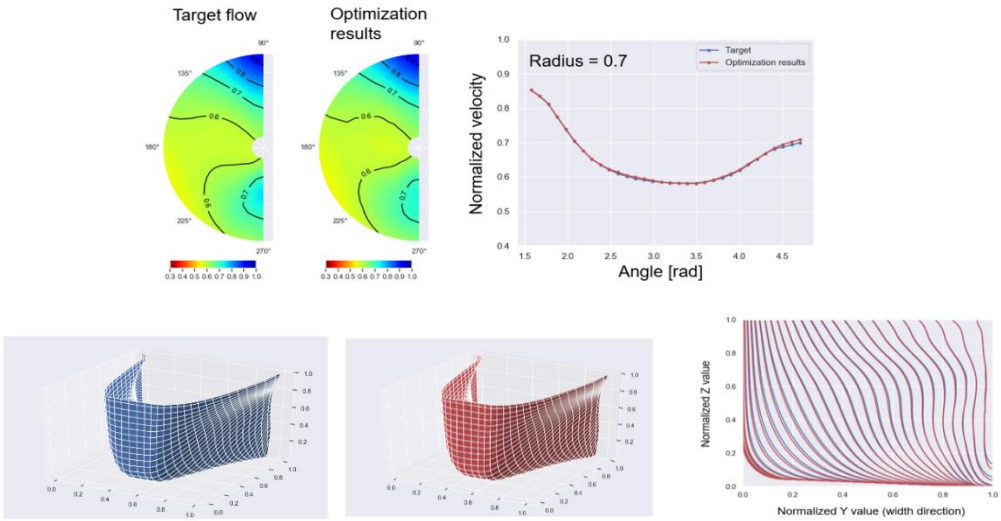


図 1.2.56　CNN による流場推定手法の概念図



(a) target hull form　　(b) optimization results　　(c)　hull form lines on stern

図 1.2.57　CNN による伴流推定法と最適化手法を組み合わせた所望の伴流をもつ船型レコメンド手法

・船型・流場データベースによる設計システムのクラウド環境基盤の検討として以下を実施した。
1)船型・流場データベースによる設計システムの実用化に向けて造船所と開発中のシステムの評価を行った。
2)クラウド環境を活用した水槽オンライン立ち会いシステムのプロトタイプを開発し、水槽データベースのクラウド化についてデータベースの基本設計を行った（図 1.2.58）。
・水槽試験結果と数値計算のデータ同化手法として、データベースの発展である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た。今後、適用船型の拡張による評価・改良を行い、最適トリム運航へ実施・評価を可能とするシステムとする。

図 1.2.58　水槽オンライン立会システムの画面

・大型キャビテーション水槽の PIV 計測システムの精度向上のため、レーザーの配置の見直しやキャリブレーションボードの調整機構の追加等を実施した。改良したシステムを用いて、ダクト型省エネデバイス（海技研開発 WAD、USTD）の伴流を計測し（図 1.2.59）、過去に実施した船尾変動圧力および水中騒音計測結果との関連を調査した。過去の研究によりダクト型省エネデバイス（WAD）により船尾変動圧力および水中騒音の低下が確認されているが、今回の計測から、ダクト型省エネデバイスによる船尾伴流のピーク値の改善が確認された（図 1.2.60）。

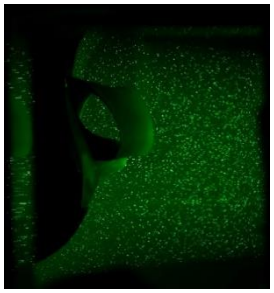


図 1.2.59　USTD まわりの流場計測

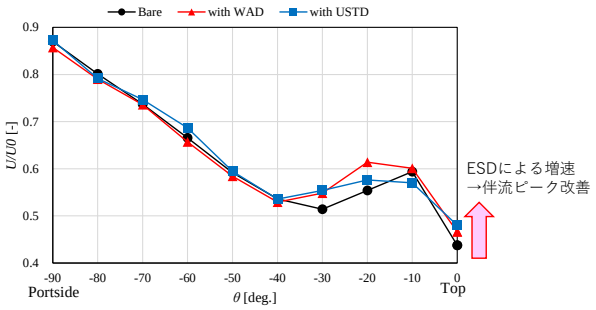


図 1.2.60　主流方向速度分布（r/R=0.8）

・曳航水槽においてプロペラ単独状態のプロペラ前後の流場計測手法を確立した。本手法を用いて、フィン付きボスキャップに適用し、通常ボスキャップ時発生するハブ渦がフィン付きボスキャップにより消滅する機構が明らかになった（図 1.2.61）。

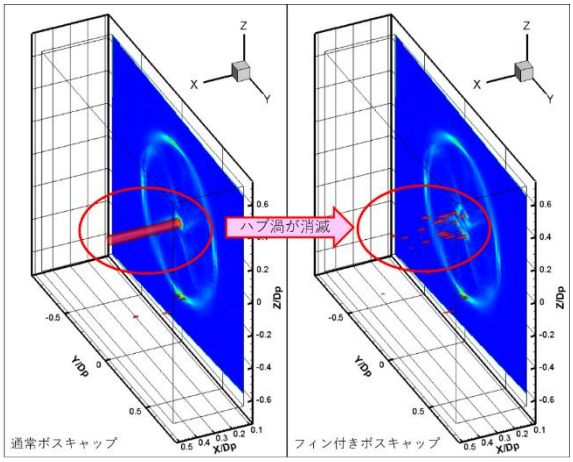


図 1.2.61PIV 計測結果によるプロペラ後方渦度分布および速度勾配テンソルの第 2 不変量の等値面の可視化

口小項目 19

・GHG ゼロエミッションを想定した NMRI コンセプト船：バルクキャリアを対象に、GHG ゼロエミッション船の運航コストの評価可能な海上物流シミュレータを作成した。ゼロエミッション船の導入戦略シナリオを提示し、低速・大型化による GHG 削減効果を定量化した(図 1.2.62)。

・Active 制御型省エネデバイス：気泡吹出周波数制御により船速 8kt 時の摩擦抵抗低減効果が 28%から 34%に 6%向上することを確認した（図 1.2.63）。時系列 PTV により、気泡周囲の流場を計測。壁面近傍の速度勾配が変化することにより、抵抗が変化する可能性が示唆される（図 1.2.64）。

・弾性表面波デバイス：音響波により水流（約 2mm/s）が発生することを確認した（図 1.2.65）。

・水中騒音低減：大型キャビテーション水槽第 2 計測胴における TSP（Time Stretched Pulse）信号を用いた伝達関数の測定方法を構築し、反射・残響の影響を補正できることを確認した（図 1.2.66）。文献調査の結果、空気潤滑

法で発生する気泡流により、低減可能な水中騒音の周波数帯が明らかとなった。

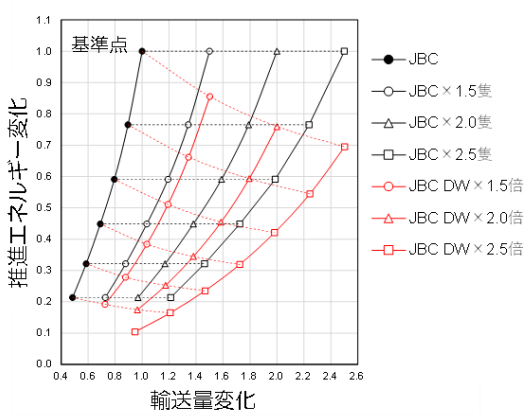


図 1.2.62　気泡吹出周波数の変化による大型化・隻数増加と推進エネルギー・輸送量の関係

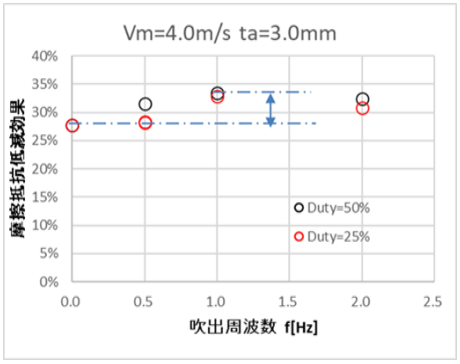


図 1.2.63　周期吹出による摩擦抵抗低減効果の向上

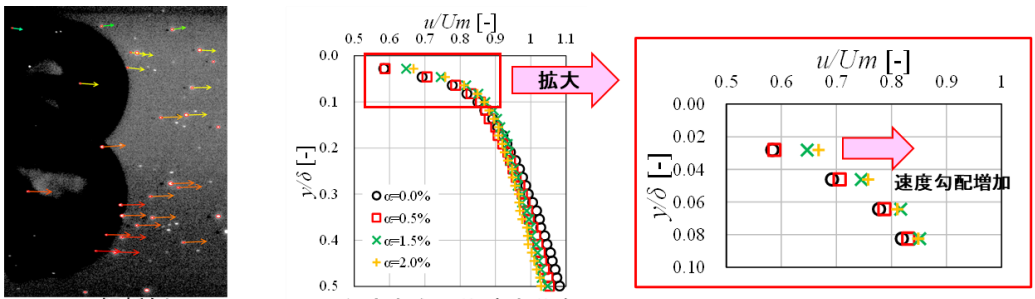


図 1.2.64　時系列 PTV による気泡周囲流速計測例

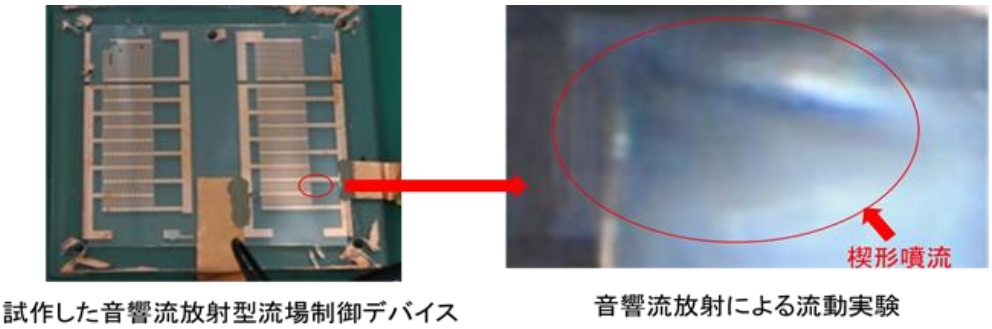


図 1.2.65　音響流放射による水流発生確認実験

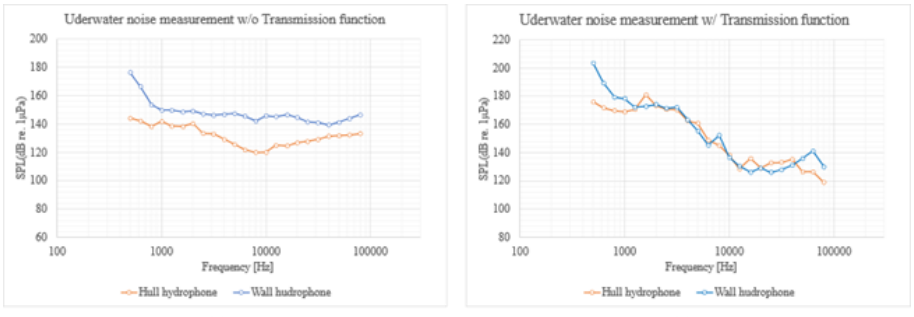


図 1.2.66　伝達関数補正による反射・残響音の補正例

R2 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):21 件(見込み含む)(投稿中:14 件、採択済:2 件、掲載済:5 件)

- K. Kume et al.: Validation of dimensionless method using height average wind velocities for wind forces, Journal of JASNAOE, Vol.31, pp.39-46 (2020)
- S. Yokota et al.: Detailed Study on the Behavior of Ships in Very Short Waves, Proc. OMAE2020, OMAE2020-19008, pp.1-6
- 大場弘樹他:マイクロバブルをトレーサーに用いた PIV 計測法の開発-模型船周りの流場計測と波高影響調査-, 海技研報告, 第 20 巻, 第 1 号, pp.51-62, 2020
- M. Kuroda et al.: Automated Measurement System for Actual Sea Model Basin, 海技研報告, 第 20 巻, 第 1 号, pp.63-75, 2020
- A. Kaneko et al.: Evaluation of Occurrence Probability of Winds for Use of Wind Propulsion System in Calculating Attained Energy Efficiency Design Index, Transaction of Navigation, Vol.6, No. 2, 2021(採択済)
- N. Sogihara et al.: Uncertainty Assessment in Ship Performance Evaluation by Monte Carlo Simulation Using Onboard Monitoring Data, Journal of JASNAOE (投稿中)
- A. Sakurada et al.: Application of Energy Saving Bow Shape in Actual Seas to JBC, Proc. of OMAE2021 (投稿中)
- 久米健一, 濱田達也:コンテナ船の甲板上積み付け状態と風圧力の関係, 日本船舶海洋工学会論文集(投稿中)
- S. Yokota et al.:A Practical Correction Method for Added Resistance in Oblique Waves Considering the Influence of Roll Motion, Journal of JASNAOE(投稿中)
- 松沢孝俊 : GLAS データを利用した POLARIS による北極海の可航性評価, 日本船舶海洋工学会論文集(投稿中)
- Bondarenko O., et.al.: Development of Detailed Engine Model for Evaluation Propulsion Performance in Waves by a Self-Propulsion Model Test, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- 岡田善久他:複数の省エネ付加物とプロペラの干渉影響に関する研究ープロペラ位置とピッチ分布による自航要素への影響ー, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 32 号, pp.1-8 (2020)
- K. Shiraishi et al.: "Accuracy Verification of Cavity Shape Measurement Using Combination Line CCD Camera Measurement Method", Proceedings of International Symposium on Cavitation (CAV2021), 2021. (採択済)
- Y. Ichinose et al.: A Wake Field Prediction Method for a Curved Surface Such as a Hull Form Utilizing a Convolutional Neural Network, Journal of Marine Science and Technology. (投稿中)
- 若生大輔他:"長尺平板模型を用いた空気潤滑法における周期吹出による摩擦抵抗低減に関する研究(第 1 報)-20mおよび 36m模型における摩擦抵抗低減効果-"、日本船舶海洋工学会論文集、2021.(投稿中)
- 濱田達也他:"長尺平板模型を用いた空気潤滑法における周期吹出による摩擦抵抗低減に関する研究(第 2 報)-局所剪断力およびボイド率分布-"、日本船舶海洋工学会論文集、2021.(投稿中)
- 澤田祐希他 : ワイヤーメッシュスクリーンを用いた水素気泡発生装置の開発およびプロペラキャビテーション試験への適用の検証, 日本船舶海洋工学会論文集(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).
- H. Kawashima et al.: Experimental Study on Air Lubrication Using 50m Long Flat Plate -1st Report: Effect of End Plate and Center Keel on Drag Reduction in Air Lubrication -, Journal of Marine Science and Technology. (投稿中)
- H. Kawashima et al.: Experimental Study on Air Lubrication Using 50m Long Flat Plate - 2nd Report: Effect of Air Injection Method and Air Injection Section Arrangement on Drag Reduction in Air Lubrication-, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)
- C. Kawakita: Effect of Skew Angle on Hydrodynamic Performance of Flexible Composite Marine Propellers, Journal of Marine Science and Technology (投稿中)

□その他発表論文:30 件(投稿中:2 件、掲載済:28 件)

- 枌原直人他:海技研が提供する船舶の実海域性能に対するソリューション, 海技研報告, 第 20 巻別冊, pp.25-30, 2020
- 金子杏実他:風力推進の利用のための代表航路での風速・風向の発現確率, 第 80 回 実海域推進性能研究会(2020)
- 久米健一:風圧力の無次元化に用いる高さ平均風速の有効性について, 第 80 回 実海域推進性能研究会(2020)
- 折原秀夫他:制限水路における推進性能-ITTC における海上速力試験での浅水影響修正法の検討について-, KANRIN 93 号 (2020)
- S. Yokota et al: Measurement and Estimation of Added Resistance in Waves at Low-Speed, International Conference on PAAMES/AMEC 2021(投稿中)

- 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 (2020)
- 辻本勝他：今後の船，海洋へのいざない，日本船舶海洋工学会 (2021)
- 松沢孝俊：北極海における船舶運航の安全性と経済性の向上，JCAR 北極域研究船利用計画ワークショップ (2020)
- 松沢孝俊：北極海航路における運航支援システムについて － プロトタイプ提案，第 10 回北極海航路に係る産学官連携協議会，国土交通省，2020 年 8 月 3 日 (2020)
- 松沢孝俊：北極海航路における運航支援システムの紹介，2020 年度第1回北極の未来に関する研究会，日本財団・笹川平和財団，2020 年 10 月 6 日 (2020)
- 松沢孝俊：氷海工学の観点から，北極環境研究コンソーシアム 2020 年度第 2 回全体集会 (2020)
- 北川泰士他：波浪中主機負荷変動が燃料消費性能に及ぼす影響に関する一検証，第 80 回 実海域推進性能研究会 (2020)
- 北川泰士他：波浪中主機負荷変動が燃料消費特性に及ぼす影響に関する一検証、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 31 号 (2020).
- 北川泰士他：舶用主機デジタルツインに関する研究開発と技術的課題、，海技研報告，第 20 巻別冊，pp.43-48, 2020
- Bondarenko O., et.al.: Performance Degradation of Propulsion Engines due to Aging、海上技術安全研究所令和 2 年度研究発表会、PS-8, 2020.
- 一ノ瀬康雄：科学の力で水をあやつる ~船舶の最新流体シミュレーション~，今治地区造船技術講演会 (2020)
- 一ノ瀬康雄他：船型設計技術，日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会シンポジウム『GHG 排出量ゼロに向けた船舶流体力学の現状と展望』(2020)
- 毛利隆之他：キャビテーション・水中騒音に関する水槽試験技術，日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会シンポジウム『GHG 排出量ゼロに向けた船舶流体力学の現状と展望』(2020)
- 岡田善久他：省エネ付加物とプロペラの干渉影響の研究－模型試験による自航要素の変化の検証－，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 30 号，pp.505-509 (2020)
- 眞砂徹他：内航省エネ船型の実船適用，海技研報告，第 20 巻，第 2 号，pp.43-51, 2020
- 一ノ瀬康雄他：船型バリエーションの開発，海技研報告，第 20 巻，第 2 号，pp.27-42, 2020
- 拾井隆道他：高度流体制御技術によるゼロエミッション船の実現，海技研報告，第 20 巻別冊，pp.73-78, 2020
- 宮川和芳他：キャビテーションによる流体励振力予測、ターボ機械、2020 年 9 月号 (2020)
- 田中泰爾他：36m 長尺平板におけるボイド波生成による摩擦抵抗低減効果の促進，混相流シンポジウム 2020 (2020)
- 大石義彦他：36m 長尺平板を用いた摩擦抵抗低減時における気泡ボイド波の可視化，第 48 回 可視化情報シンポジウム(2020)
- 田中泰爾他：高速チャネル乱流におけるボイド波生成による壁面せん断応力の変調，日本流体力学会年会 2020
- 田中泰爾他：36m 長尺平板模型における間欠的気泡注入による空気潤滑法の高効率化、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 32 号 (2021)(投稿中).
- 大石義彦他：36m 長尺平板における気泡抵抗低減時のせん断応力の変動，日本機械学会第 98 期流体工学部門講演会論文集(2020)
- 川北千春：ゼロエミッション・コンセプト船，日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会シンポジウム『GHG 排出量ゼロに向けた船舶流体力学の現状と展望』(2020)
- 川北千春：ゼロエミッション船の研究開発動向，第 152 回造工中手船型研究会 (2021)

□特許申請：3 件

- 構造物の流体抵抗低減方法、構造物の流体抵抗低減装置 (特願 2020-111951)
- 船舶の性能推定方法、性能推定プログラム、及び性能推定システム(出願手続き中)
- 摩擦抵抗低減装置を備えた船舶、及びバブル発生装置(出願手続き中)

□コアプログラム登録：2 件

- HOPE Cloud(船型性能簡易推定ツール)
- wwjapan cloud v1 版(クラウド版日本近海の波と風データベース)

□国際貢献：3 件

- ITTC：Guidelines on the CFD-based Determination of Wind Resistance Coefficients, 29th ITTC, 2021(予定)
- Final Report and Recommendations to the 29th ITTC from SC SOS, Proc. of 29th ITTC, 2021(予定)
- The Specialist Committee on Ice Final Report and Recommendations to the 29th ITTC, Proc. of 29th ITTC, 2021 (予定)

□行政要望：1 件

・ AIS 等のデータを用いた解析について、国土交通省　海事局　海洋・環境政策課
※現存船燃費性能規制（EEXI）の検討のため AIS 及び気象海象等のデータに基づき運航解析を実施。

□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☆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	R2 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	海洋環境の保全 IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO2)、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(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、実船性能推定手法の検証を複数船種で検討、造船各社等との連携による高実海域性能船舶の設計・開発の検討及び実海域性能評価法の国際標準化に向けた検討を行う。 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。

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)
□荒天時における損傷時船舶の自力航行などの船体運動シミュレーションが可能
□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
□大波高時の区画損傷時船舶の運動シミュレーションが可能になり、将来の合理的な復原性基準の実現に貢献
□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の開発
／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

R2 年度研究目標

□小項目 1
・実船馬力の推定における格子分割数や粗度設定等の物理モデルのパラメータ選定による計算手法を確立する。
・開発中の重合格子対応の構造格子ベースのソルバーNAGISA において分散メモリ型並列手法を開発する。
・自走状態のシミュレーションにおいて、体積力モデルの選択と使用数の制約をなくし、複数の船舶が自走する状態も計算できる手法を開発する。

□小項目 2
・重合格子法における各格子の重合状態の計算アルゴリズムを更新し、メモリ等計算リソースの効率的な使用とそれに伴う手法を開発し、格子ブロック数が極多数の場合においても重合情報生成を可能とすることで、ハイブリッド型省エネデバイスの性能計算手法を確立する。
・二相流れに対応した NAGISA の開発を継続し、界面捕獲スキームを重合格子に対応させる。また、NAGISA に組み込むためのキャビテーションモデルプログラムを開発する。

□小項目 4
・動的重合格子法を現実的な計算時間で行うことと、不完全な重合情報にならざるを得ない場合でも計算を破綻させずに計算を継続する手法を開発する。

□小項目 5
・損傷し浸水した船舶の波浪中での運動計算を可能にするため、主船体に損傷状態を取り扱えるよう、重合情報生成システムの改良を行う。

□小項目 7
・新たな数値計算手法として格子ボルツマン法(LBM)を主体とした高速なハイブリッド計算手法の開発を開始する。

R2 年度研究内容

□小項目 1
・実船馬力推定に関わる粗度高さ等の物理モデルのパラメータ選定と格子分割数による不確かさ解析等により、実船馬力計算手法を確立する。
・分散メモリ型並列手法を開発する。重合格子において有効な計算負荷の分散アルゴリズムを検討し、分散計算のランクごとに計算負荷が均等になる手法や通信のオーバーヘッドを小さくできる手法等を開発する。
・体積力モデルの選択と使用数の制約がないデータ構造を導入し、バウスラスター等のアクチュエーターが多数動作する状態を計算できるとともに、複数の船舶が任意に自走する状態も扱えるように拡張する。

□小項目 2
・グルーピングや除外判定法の見直し等により重合情報生成アルゴリズムを開発することで、多数の格子ブロックを使用して形状再現性を高めた場合においても数値シミュレーションにより流れ場を求めることができるようにする。
・前年度開発した界面捕獲スキームによる二相流れの基礎検証を継続する。これと並行し、重合格子を使用した際でも、補間エラーを出来るだけ抑えることの出来る界面捕獲スキームを開発する。一流体・均質媒体を仮定したキャビテーションモデルである、Zwart モデルおよび Schnerr-Sauer モデルのプログラムを開発し、ソルバーNAGISA への組み込み基礎検証計算を行う。

□小項目 4
・波浪中のフリーラン計算であることを前提とした場合に適用が可能な制約条件（波浪場の計算領域は矩形の格

子で定義され、船体はその中を6自由度運動している)を適用することにより、重合情報生成の高速化手法を開発する。

・近似的な補間情報により、当該ステップの計算を行い、計算を継続させる手法を開発する。

□小項目 5

・損傷し浸水した船舶の波浪中での運動計算を扱えるよう、重合情報生成システムの拡張を行う。

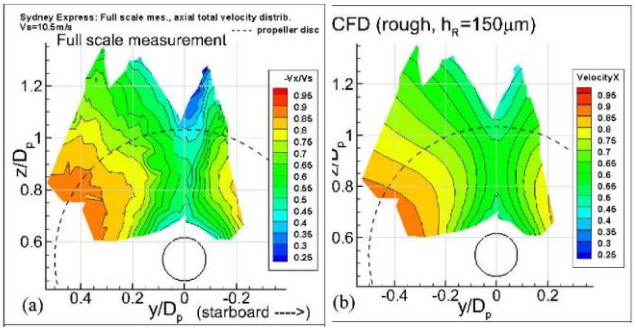
□小項目 7

・新たな数値計算手法として格子ボルツマン法(LBM)を主体とした高速な計算手法の開発を開始する。

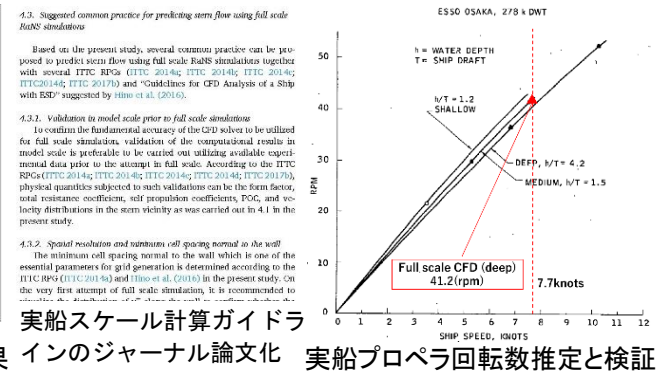
R2 年度研究成果

□小項目 1

・実船スケール CFD 計算において、実船の抵抗・推進性能の直接推定に必要な格子解像度・計算に用いることのできる粗度高さ等を、実船計測結果との検証を通じて明らかにし、計算パラメータ等をまとめた実船スケール計算ガイドラインと共に、国際ジャーナル 2 本に掲載した。また、前述の計算ガイドラインを適用した実船スケール自由航走計算を実施し、実船のプロペラ回転数を精度よく直接推定できることを示した。



実船伴流計測結果　　実船スケール CFD 計算結果


4.3. *Suggested common practice for predicting stern flow using full scale RaNS simulations*

Based on the present study, several common practice can be proposed to predict stern flow using full scale RaNS simulations together with several ITTC RPGs (ITTC 2014a; ITTC 2014d; ITTC 2014e; ITTC2014f; ITTC 2017b) and "Guidelines for CFD Analysis of a Ship with ESD" suggested by Hino et al. (2016).

4.3.1. *Validation in model scale prior to full scale simulations*

To confirm the fundamental accuracy of the CFD solver to be utilized for full scale simulation, validation of the computational results in model scale is preferable to be carried out utilizing available experimental data prior to the attempt in full scale. According to the ITTC RPGs(ITTC 2014a; ITTC 2014b; ITTC 2014c; ITTC 2014d; ITTC 2017b), physical quantities subjected to such validations can be the form factor, total resistance coefficient, self propulsion coefficients, POC, and velocity distributions in the stern vicinity as was carried out in 4.1 in the present study.

4.3.2. *Spatial resolution and minimum cell spacing normal to the wall*

The minimum cell spacing normal to the wall which is one of the essential parameters for grid generation is determined according to the ITTC RPG (ITTC 2014c) and Hino et al. (2016) in the present study. On the very first attempt of full scale simulation, it is recommended to

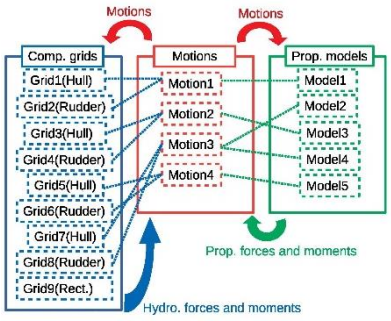
実船スケール計算ガイドラインのジャーナル論文化

実船プロペラ回転数推定と検証

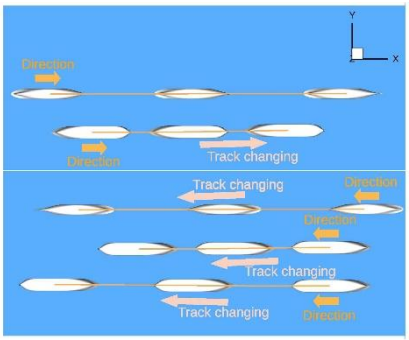
図 1.2.67　実船スケール計算ガイドラインと検証結果

・重合格子においても有効な分散メモリ型並列手法を開発。重合格子を構成する計算格子を計算ノードに分散して配置し、計算ノード間で重合情報に基づく変数を通信及び同期することで全格子での流場計算を行い、2 倍程度の高速化を実現した。

・重合格子における計算格子、運動方程式と体積力モデルの制約を伴わないデータ構造とそれらを関連付けする手法を開発し、複数の船舶が任意に自走する状態も扱えるように拡張した。



体積力モデルのデータ構造

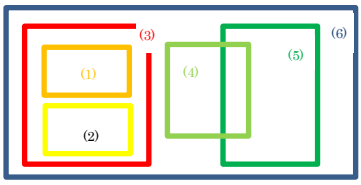


多船航路航行状態のシミュレーションへの応用

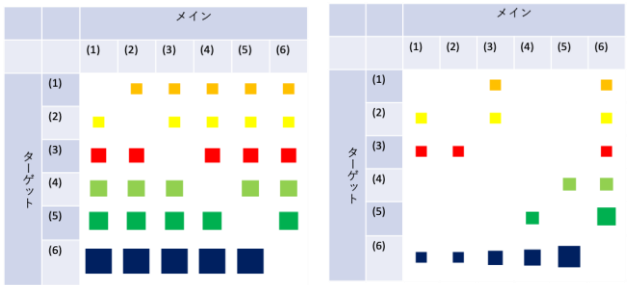
図 1.2.68　体積力モデルの制約なしデータ構造と多船航路航行状態への応用

□小項目 2

・アルゴリズムを改良し、格子の全組合せではなく重合する組合せのみでメモリを確保することで効率化を実現した。極めて多数の格子がある場合(例えば組み合わせ数約 395,000 通り等)の重合格子生成も可能にした。



6つの格子が重合している場合のメモリ使用量改善(改良前->改良後)の模式図

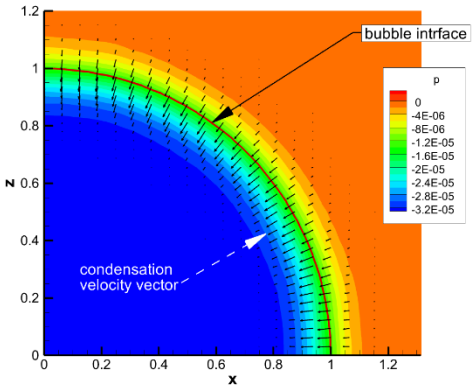


改良前　　改良後

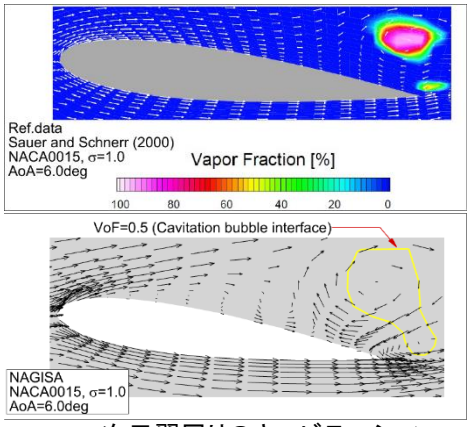
■が各組合せでの割当メモリ。大きさが容量を概念的に示す。

図 1.2.69 重合格子の組み合わせに基づくメモリ使用量の改良

・動的重合格子に対応した界面捕獲アルゴリズムを開発し、様々なケースの検証問題を通じて、物理量の保存性等の確認を行った。Schnerr-Sauer モデルに基づくキャビテーション計算プログラムを開発し、前述の界面捕獲アルゴリズムと共に NAGISA への組み込みを行った。単一球形気泡の収縮問題を通じた基礎検証を行い、開発した手法の妥当性を確認した。



単一球形気泡の収縮



二次元翼周りのキャビテーション

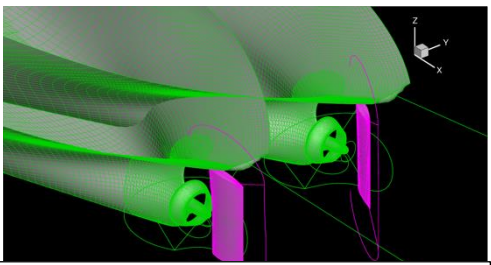
図 1.2.70 キャビテーションモデルの基礎検証

□小項目 4

・波浪中のフリーラン計算等において制約条件を付加し、運動相対位置を考慮した動的重合格子のアルゴリズムの改良により、高速化とロバスト化を図った。

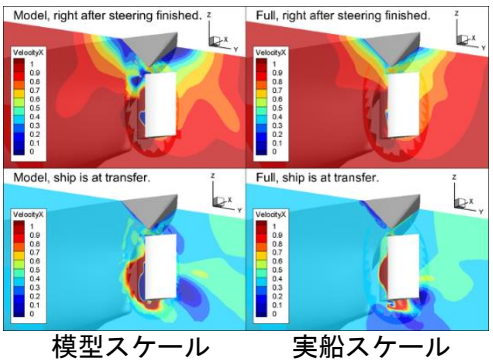
・改良した動的重合格子手法を用いて模型及び実船スケールでの自由航走シミュレーションを行い、計算結果を検証した。

・複数の外部機関において波浪中計算の実用化がなされた(社会実装)。波浪中の船体表面圧力、波向き変更を含む波浪中抵抗増加、運動の応答関数等、詳細な検証も行われている。



舵を除く格子の相対位置関係は変化しないため、重合関係の解を更新しない

図 1.2.71 動的重合格子のアルゴリズム改良



模型スケール　　実船スケール

図 1.2.72 35 度旋回中模型・実船スケール流場の比較

□小項目 5

・損傷による一区画浸水を想定した船体内部の計算領域を扱えるよう、重合情報システムを拡張した。新しい格子トポロジーを導入することで、物体内への貫通孔、凹部、閉区画の計算領域配置に対応し、バウスラスター、シーチェスト、ムーンプール、カーゴホールド、損傷孔等の計算が可能になった。

・開発した手法を波漂流力の評価、浮体内部の自由水との波浪中での強連成計算へ適用した。

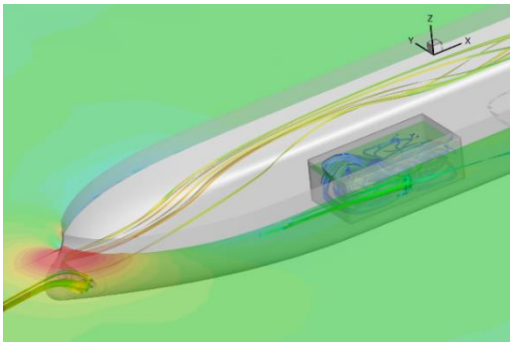


図 1.2.73　一区画浸水状態を想定した計算と流線追跡

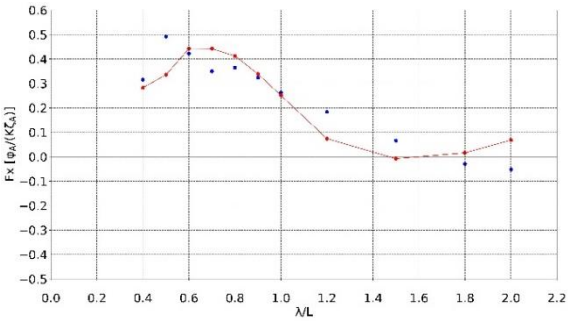


図 1.2.74　波漂流力の検証(重点☆03 と連携)

図 1.2.75　タンク内自由水と浮体の強連成計算

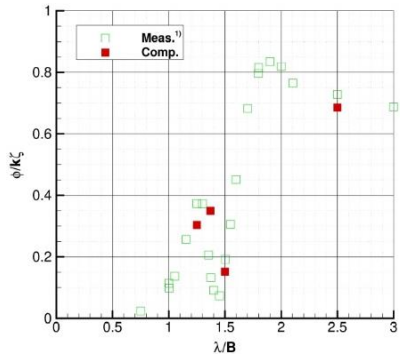


図 1.2.76　タンク内自由水との連成による浮体の横揺れ応答関数の検証

□小項目 7

・長期ビジョンにおける「次世代超高速・高精度計算手法の基盤開発」を目標に並列化を含むプロトタイプコードの開発に着手した。CAD データを元に物体条件を扱う埋め込み境界法等について文献調査も行った。

R2 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)

・Sakamoto, N. et al.;An overset RaNS prediction and validation of full scale stern wake for 1,600TEU container ship and 63,000 DWT bulk carrier with an energy saving device, Applied Ocean Research, Vol.105, 2020

・Korkmaz, B. K. et al.:CFD based form factor determination method, Ocean Engineering, Vol.220, 2020

・Sakamoto, N. et al.;CFD Based Turning Circle Maneuvering Simulation for a Merchant Ship with High-lift Rudder, ISOPE2021(投稿中)

□その他発表論文:11 件(投稿中:0 件、掲載済:10 件)

・Ohashi, K.:Development of the numerical method for simulation of ship motions in regular waves with changing wave direction, ICCM 2020

・Sakamoto, N. et al.:Model and Full Scale CFD of the Esso Osaka under 35deg Turning Circle Maneuver in Deep Water, 日本船舶海洋工学会秋季講演会

・日野孝則, 大橋訓英:CFD 技術, 日本船舶海洋工学会　推進・運動性能研究会シンポジウム　4 章

・大橋訓英;自走する船群の数値シミュレーション, 第 25 回 計算工学講演会

・Sakamoto, N. et al.:Application of "THINC" Interface Capturing Scheme to the Structured Overset CFD Solver, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2020

・大橋訓英他, 船舶の総合性能評価にむけた CFD 技術開発, 海技研報告第 20 巻別冊

・Sakamoto, N. et al.:Overset RaNS Study of the Effect of Tank Bottom Condition for KCS under Static Drift/Rudder Configurations in Shallow Water, SIMMAN2020(採択済)

・Sakamoto, N. et al.:6DoF Overset URaNS Simulations of KCS under Zig-zag and Turning Tests in Deep Water, SIMMAN2020(採択済)

・Ohashi, K.:Numerical Simulation of Sloshing in LNG Tank Including Irregular Tank Motion Using Moving Grid Technique, WCCM & ECCOMAS 2020

・大橋訓英;不規則運動下での LNG タンクのスロッシング計算, 日本流体力学会 年会 2020

・大橋訓英:タンク内流動と浮体運動の強連成シミュレーション, 第 34 回数値流体力学シンポジウム

□特許申請:0 件

・

□コアプログラム登録:2 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) Ver3.34
・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）Ver2.1R3

□国際貢献:0 件

・

□受賞:1 件

・理事長表彰「実海域実船性能評価プロジェクトを実施し海事オープンイノベーションを推進した功績」(分担者)

□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	R2 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、実船性能推定手法の検証を複数船種で検討、造船各社等との連携による高実海域性能船舶の設計・開発の検討及び実海域性 能評価法の国際標準化に向けた検討を行う。 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。

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洋産業の国際競争力が強化される。

R2 年度研究目標

□小項目 3

・水素エンジン等の安全性評価と燃焼技術の調査。水素混焼時の燃焼安定化技術の開発と機関の安全性に関する調査

・舶用大型エンジンの水素・アンモニア燃焼技術開発（内燃機関内の燃焼を模擬できる可視化燃焼試験装置の製作）

□小項目 4

・軽油早期噴射を用いたアンモニア混焼ディーゼル機関からの未燃アンモニア及び亜酸化窒素排出量低減手法の開発

・アンモニア混焼機関の排ガス後処理システムの研究開発

□小項目 5

・GHG 対策技術・代替燃料のカーボンフリー船への導入時期やそれぞれの技術課題、船舶への適用性を調査

R2 年度研究内容

□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

R2 年度研究成果

□小項目 3

・水素混焼（LNG/H2）時の燃焼制御のため，水噴射を実施し，燃焼速度の抑制効果と NOx 排出率の低減効果を確認した。この結果は，水素専焼エンジンを高負荷域で安全に使用する際の知見となる。（図 1.2.77、図 1.2.78）

・すべての負荷率において、水素熱量混焼率 20%でメタン排出率を 50%削減できることを確認した。また，水素混焼に加えて空気過剰率（λ）を調整することで，さらにメタンスリップを削減した。これらの効果は，特にメタン排出率の高い低負荷で効果的であり，メタン排出率を最大 80%，GHG 排出で 60%程度の削減を（25%負荷率時）達成した（図 1.2.79）

・現状までに水素熱量混焼率 60%において、GHG 排出率削減率 70%を実証した（50%負荷率時）。本年度は安全な水素専焼を目指した技術開発を進めた。（図 1.2.80）

・舶用内燃機関内の燃焼を模擬できる大型の定容燃焼試験装置を構築し、水素やアンモニアの燃焼試験の実施が可能となった。

□小項目 4

・既設の NH_3 ガス供給装置による NH_3 混合率を増加させた実験を実施した。供給熱量割合で、最大混焼率 69%を達成（前年度は 20%程度）した。

・軽油早期噴射による未燃 NH_3 と N_2O 排出量の低減を確認した（図 1.2.81）。関連した成果を英文論文として投稿した。

・軽油早期噴射と NH_3 供給量の増加を行い、混焼率 58%時に、軽油のみの運転と比較して GHG 削減率 46%を達成（図 1.2.82）した。

・市販の N_2O 分解触媒を入手し、NH_3 混焼エンジンを想定した排ガス条件で性能試験を実施した（図 1.2.83）。その結果、限られた温度条件において（400℃～），N_2O を半減するための設計指針が得られた。

□小項目 5

・前年度までに、水素やアンモニアなどの石油代替燃料、さらに内燃機関や燃料電池システム、電気推進システムなどの動力源の特性を調査し、各技術・代替燃料の船舶への導入に向けた技術課題、船舶への適用性について整理した。それらの研究成果を踏まえて 3 種類のゼロエミッション船コンセプトを検討し、エネルギー収支や CO2 削減の評価を行った（図 1.2.84～図 1.2.86）。さらに、それぞれの船舶を完成させるために必要な技術を取りまとめた。

・水素混焼エンジン（最大混焼率 50%）と水酸化ナトリウム水溶液を用いた CO_2 回収システムを組み合わせた小型エンジン試験によって、トータルで約 75%の CO_2 削減が可能なことを確認した（図 1.2.87、図 1.2.88）。

・アンモニア燃料船の基本構成や構成要素を検討し、簡易的なリスク評価を実施した（図 1.2.89、図 1.2.90）。

図 1.2.77　シリンダ吸気への水噴射の様子

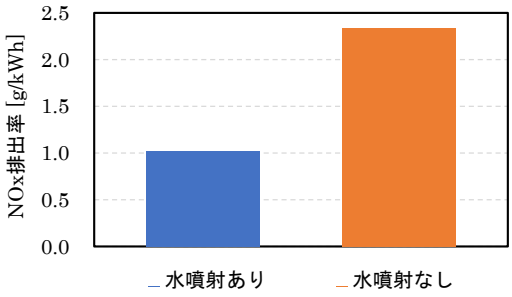


図 1.2.78　水噴射による NOx 低減効果

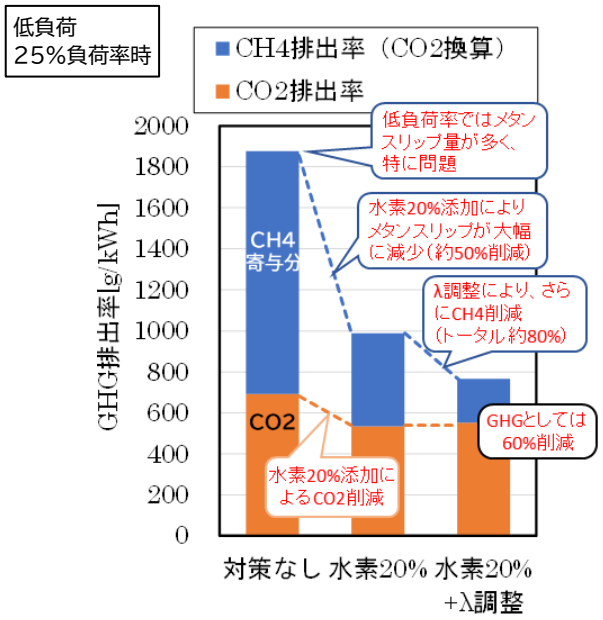


図 1.2.79　水素混焼と空気過剰率 λ の
調整によるメタン排出削減
（メタンスリップ量の多い低負荷での GHG 削減）

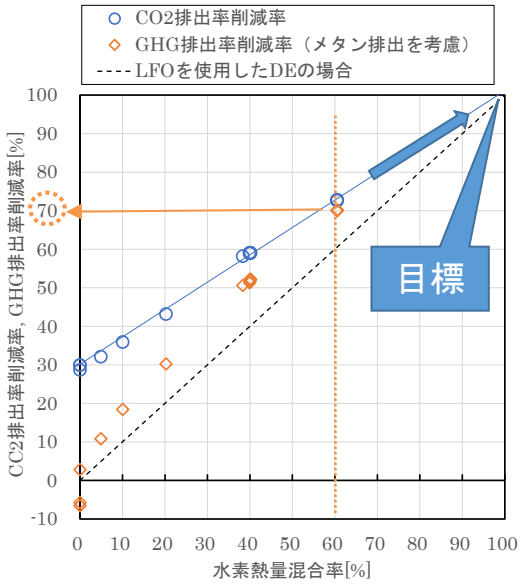


図 1.2.80　水素熱量混合率と CO2、GHG 削減率の実績

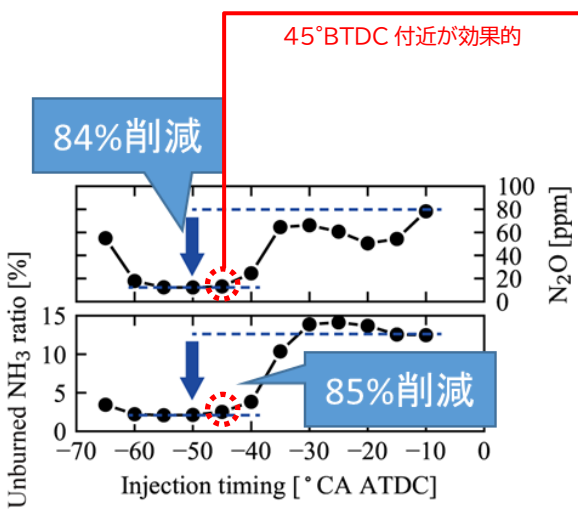


図 1.2.81　軽油早期噴射の効果

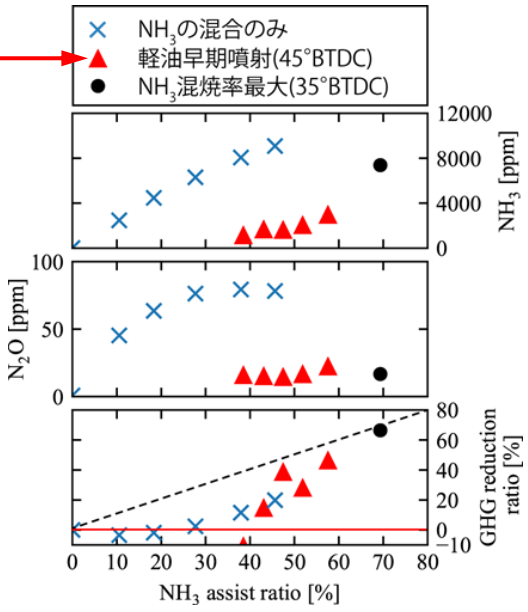
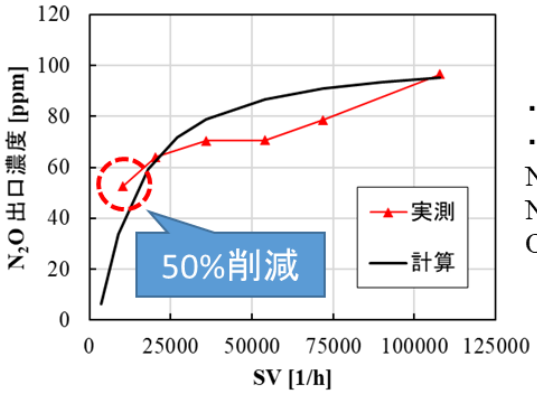


図 1.2.82　軽油早期噴射を用いた
未燃 NH_3 と N_2O の削減と GHG 削減



・温度 : 400°C
・触媒入口ガス組成
NO:800, N_2O:100,
NH_3:1000 ppm
O_2:11, CO_2:7, H_2O:5 %

図 1.2.83 触媒による N_2O 削減性能

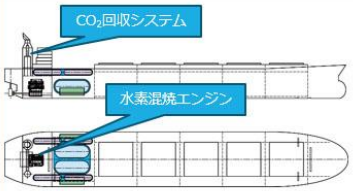
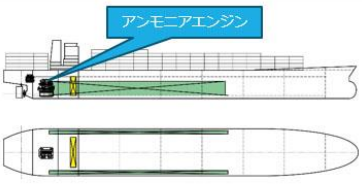
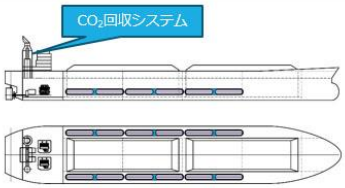
	コンセプト船①	コンセプト船②	コンセプト船③
船種	80,000DWTバルクキャリア	6,000TEUコンテナ船	150,000m³液化ガス運搬船
主機関	水素混焼エンジン	アンモニアエンジン	ガスエンジン発電機（メタン）
イメージ			
概要	● 技術的ハードルが比較的低い水素混焼エンジン（混焼率50%）を用いる。 ● その他の省エネ技術とCO_2回収により最大90%のCO_2削減を実現する。	● 主機に大出力アンモニアエンジンを用いる。 ● アンモニア混焼の発電機を搭載する。 ● 90%程度のCO_2削減を実現する。	● 2020年時点のLNG運搬船をベースとする。 ● 船上CO_2回収と合成燃料利用を組み合わせた持続可能な海運カーボンリサイクルを検討する。

図 1.2.84 ゼロエミッション船のコンセプト検討

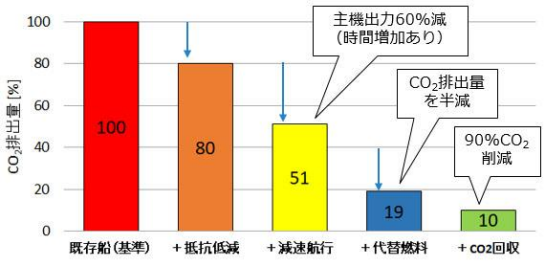


図 1.2.85 水素混焼エンジン船の CO_2 削減
（コンセプト船①）

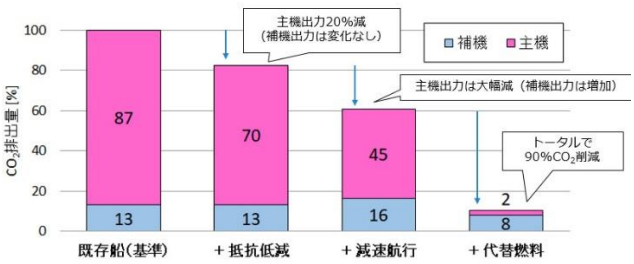


図 1.2.86 アンモニア燃料船の CO_2 削減
（コンセプト船②）

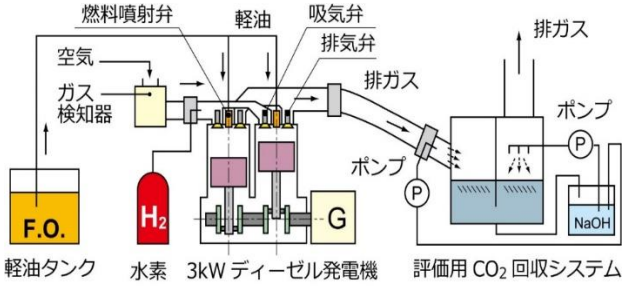


図 1.2.87 水素混焼エンジンと CO_2 回収システムを組み合わせた小型試験装置の構成

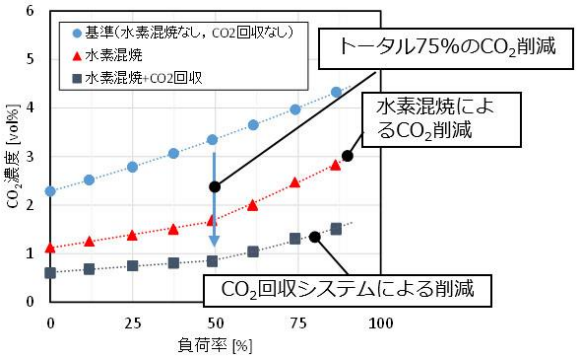


図 1.2.88 水素混焼エンジンと CO_2 回収システムを組み合わせた試験の結果

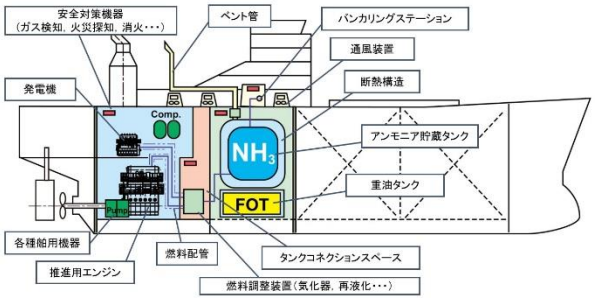


図 1.2.89 アンモニア燃料船の基本構成

図 1.2.90 アンモニア燃料船のリスク評価のためのワークシート（一部抜粋）

R2 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：0 件、採択済：1 件、掲載済：1）

・Yoichi Niki: Reduction in unburned ammonia and nitrous oxide emissions from an ammonia assisted diesel engine with an early timing of diesel, ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. (採択済)

・新田 好古,メタン酸化触媒の水分による性能低下メカニズムに関する研究, 海技研報告, Vol.20(3), (2020.12)

□その他発表論文：11 件（投稿中：1 件、掲載済：10 件）

・市川泰久ほか：水素混焼ガス機関に対する水噴射による燃焼抑制技術の研究、日本マリンエンジニアリング学会第 90 会学術講演会(2020.10).

・仁木洋一ほか：アンモニア混焼ディーゼルエンジンの現状と課題、海上技術安全研究所研究発表会（2020.7）

・仁木洋一ほか：吸気へのアンモニア混合がディーゼル機関の燃焼に与える影響、日本マリンエンジニアリング学会第 90 会学術講演会(2020.10).

・仁木洋一：4 ストローク機関におけるアンモニア燃焼、日本マリンエンジニアリング学会誌　第 55 巻 6 号(2020.11).

・Yoichi Niki, et al.: Fundamental Study on Application of Ammonia as a Fuel to Marine Diesel Engines, CO2 Free Ammonia as an Energy Carrier: Japan's Insight , Springer (expected date of publication: August 2021)

・平田, 他, GHG 削減プロジェクトチームの活動計画, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻別冊（令和 2 年度）, 第 20 回研究発表会講演集, p.19-23, 2020 年 7 月.

・平田, 他, 海運造船の GHG 対策, 環境プランニング学会誌.

・関口秀紀ほか：二次電池の基礎と船舶搭載例、海交新社　月間共有船（2021. 1）.

・関口秀紀ほか：二次電池開発の今後の動向、海交新社　月間共有船（2021. 2）.

・安達雅樹、船舶からの GHG 排出削減長期戦略の比較レビュー、第 90 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、pp.35-38, 2020.

・安達雅樹、船舶からの GHG 長期排出削減戦略の比較レビュー、マリンエンジニアリング、Vol.56, No.3, 2021.(投稿中)

□特許申請：2 件

・仁木洋一、エンジンにおけるアンモニア混焼方法、アンモニア混焼エンジン、及びアンモニア混焼エンジンを搭載した船舶（3/11 発明届提出）

・市川、水素燃焼エンジンの燃焼制御方法、水素燃焼エンジン、及び水素燃焼エンジンを搭載した船舶、3/31 出願

□コアプログラム登録：0 件

・

□国際貢献：0 件

・Hiroyuki Kosaka, Masaki Adachi, Koichi Hirata, Eiichi Muraoka, 4.4 Marginal abatement cost curves, Fourth IMO GHG Study, IMO MEPC (2020. 10).

□受賞：1 件

・新田好古ほか：ロイドレジスターマンソン賞、日本マリンエンジニアリング学会(2020 年 10 月 27 日)

□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	R2 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 －環境影響物質削減のための排ガス後処理装置の研究開発を行う。 －水素エンジン等の燃焼安定化技術の開発と安全性の検討、舶用エンジンのアンモニア燃焼技術の研究開発を行う。 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。

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

□船舶に由来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

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。
□船舶由来大気汚染物質（特に二次生成物質）の予測精度の向上。
□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・放射性物質など)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。
□船舶由来汚染物質の陸域環境寄与率の簡易評価手法の確立、及び詳細評価精度の向上により、大気・海洋環境評価手法を標準化する。これは、国による大気規制導入検討の際に、技術面から貢献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。

R2 年度研究目標

□小項目３：船体付着生物の問題に関する研究

・国際規格 ISO-21716（防汚塗料をスクリーニングするためのバイオアッセイ法）の提案、発行

□小項目４：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

・海技研で実施した研究のとりまとめ

R2 年度研究内容

□小項目３

・国際規格 ISO-21716（Part-4）藻類を用いた防汚塗料性能評価手法に関する通過試験の実施による、詳細な試験パラメータの確認
・メーカー等へのヒアリング、文献調査による、ニッチエリアにおける船体付着生物管理のための新技術の開発動向の把握

□小項目４

・これまで海技研で実施した、大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術について、研究内容及び成果のとりまとめ

R2 年度研究成果

□小項目３

・フジツボ・イガイを対象とする国際規格の発行

本重点研において R 元年度までに開発・評価・検証を行った、汚損生物（フジツボ、イガイ）を用いた船底防汚塗料の性能評価のためのスクリーニング法の成果に基づき、試験法案（ドラフト）を作成した。ISO/TC8/SC2/WG5（国際標準化機構／船舶及び海洋技術専門委員会／海洋環境保護分科委員会／船底防汚システム作業委員会）のプロジェクトリーダーとして、当該試験法案に関する審議に対応し、国際規格 ISO 21716-1～3(2020)として発行させた（2020 年 11 月）。

・藻類を対象とする国際規格発行のための塗料評価試験

汚損生物として藻類（シオミドロ）を用いた防汚塗料性能評価法の構築について、水温 15℃の条件で市販塗料の性能評価を実施し、昨年度までに構築した藻類を対象とする船底防汚塗料性能評価試験法が有効であることを確認した（図 1.2.91）。

WG での議論における指摘事項（藻類の試験水温について、20℃の場合についても検証すべき）への対応として、藻類生物量と蛍光強度との相関について調査した。その結果、生物量が増大するとともに、ある生物量を超えると蛍光強度が飽和することを突き止めた（図 1.2.92）。一方、藻類量が極端に少ないと藻類が試験基板に定着せず適切ではない。以上の事実は、試験生物量として最適な濃度範囲が存在することを示唆するものである。

・従来の防汚塗料性能評価手法に代わる簡易手法の検討

藻類を対象とした従来式の蛍光強度測定法は、複雑な計測装置と前処理を必要とするため、実際に現場で塗料性能評価を行う際にハードルが高い。そこで、従来法に代わる簡易的なその場（in-situ）評価手法として、ポ

ータブル色彩色度計の利用可能性について予備的検討を行った（図 1.2.93）。藻類を用いた予備的な生物試験を行った結果、防汚塗料中の亜酸化銅の量によって光パラメータのプロファイル（緑、赤、黄、青、白、黒の組み合わせ）が変化することを確認した。この事実は、色彩色度計が藻類を対象とした塗料性能評価の指標として利用できる可能性を示すものである。

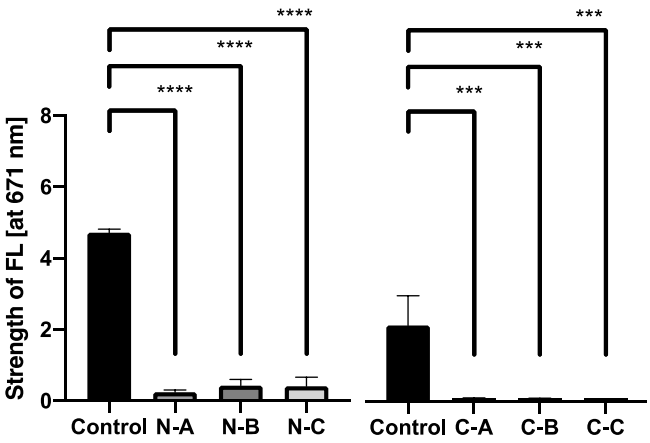


図 1.2.91　市販塗料を用いた生物試験結果（水温 15℃）

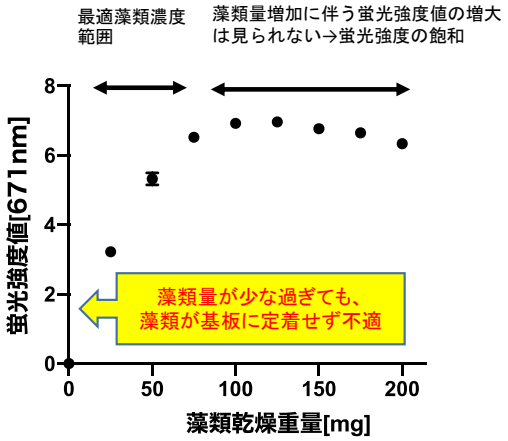


図 1.2.92　藻類量（Dry-weight）ー蛍光強度の相関（水温 20℃）

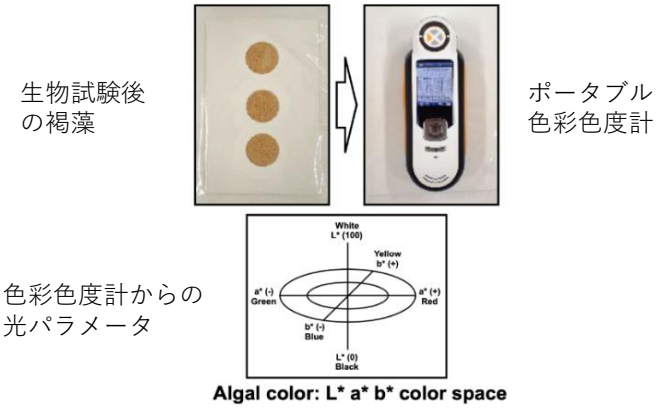


図 1.2.93　ポータブル色彩色度計を用いた藻類の簡易防汚評価

□小項目４

・海技研で実施した大気／海洋汚染物質の環境影響評価研究のとりまとめ

海技研で第 2～3 期中期計画中に実施した、大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術について、研究開始時の状況、研究成果及び現状・問題点の観点から整理・とりまとめを行った（図 1.2.94 及び表 1.2.1）。また、海洋汚染物質の一つである船舶からの流出油研究についても、同様な整理・とりまとめを行った。

・スクラバ排水による長期水質環境影響評価　（国交省海事局からの請負調査業務として実施）

2020 年 1 月より開始された船舶燃料油中の S 分濃度規制では、使用燃料中の S 分が 0.5%を超える場合について、代替措置として排ガス洗浄装置（EGCS）を使用することが認められている。本研究では、海技研がこれまで開発した手法に基づき、船技協 WG で作成された EGCS ガイドライン案に基づき濃度計算を行った。EGCS 環境影響評価のフローチャートを図 1.2.95 に示す。評価の概要は以下の通りである。

① AIS データに基づく船舶活動量を推計し、評価対象海域における EGCS 排水に含まれる各評価対象物質成分の 1 日当たり放出重量を算出した。活動量の計算では、本重点研で開発した船体抵抗に基づく出力推定の手法を適用した。

② スクラバ排水による長期水質影響評価のための評価には、船底塗料用防汚剤の環境中濃度推計において実績のある数理モデル MAMPEC（Marine Antifoulant Model to Predict Environmental Concentrations）を採用した。1 日当たりスクラバ排水放出量中に含まれる物質として、金属 11 種及び多環芳香族炭化水素（PAH）21 種を抽出し、文献調査に基づき、MAMPEC の計算で使用する化合物データベース（水分配係数、有機炭素吸収係数、ヘンリー則定数等を含む）を新規作成した。

③ 評価対象海域において、MAMPEC を用いて上記 32 種の物質濃度を評価した。

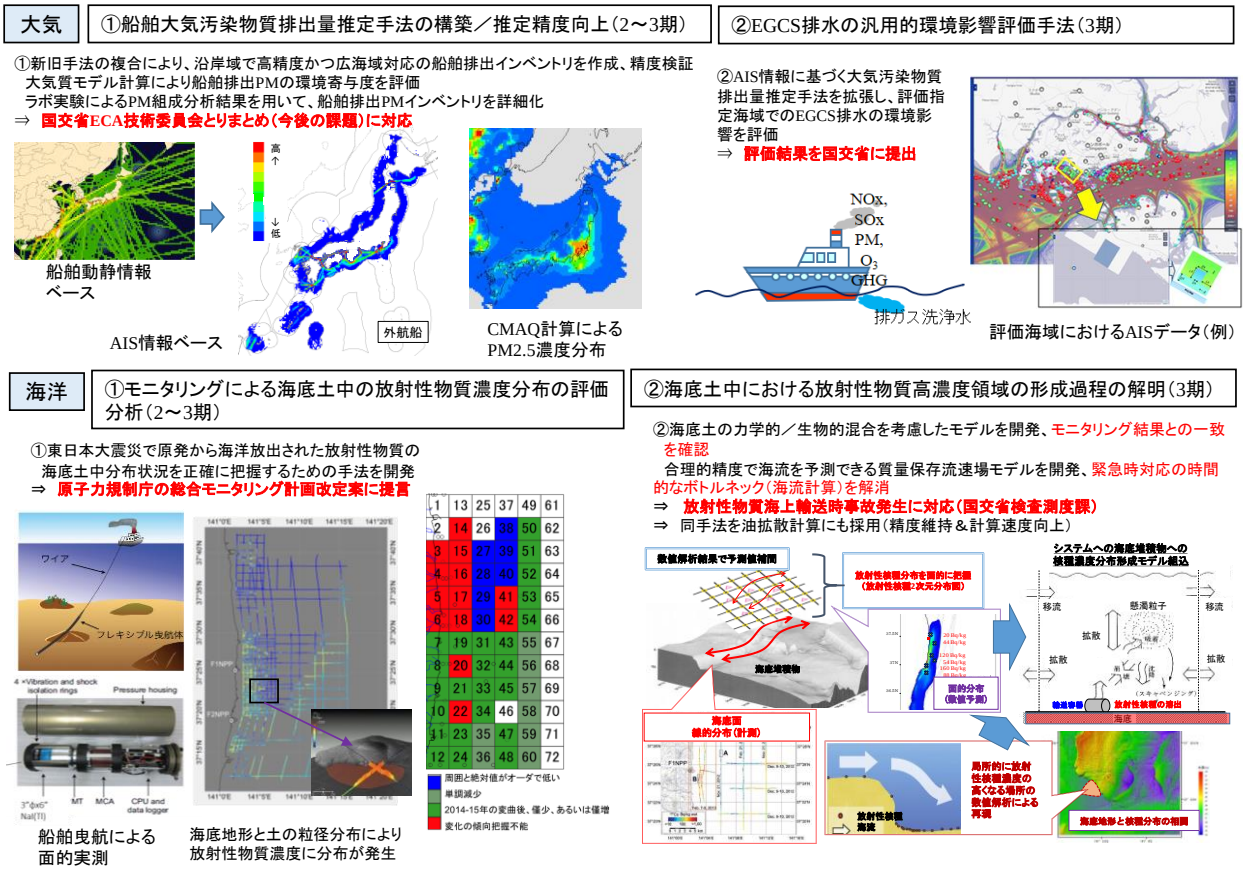


図 1.2.94　海技研における大気／環境汚染物質の環境影響評価研究のとりまとめ

表 1.2.1　海技研における大気／環境汚染物質の環境影響評価研究のとりまとめ
（研究開始時の状況、研究成果及び現状・問題点の観点から整理）

油流出への対応		研究開始時点での状況	海技研の取り組み／成果	現状／未解決課題
流出油回収・処理	オイルフェンス	・基本技術：確立済み ・課題：展開時間大／再利用不可／航行障害等 ・荒天下での油捕捉率：低　⇒　荒天型OF（最大波高6m対応）を開発（ただし高コスト／大重量）	・従来型OFの問題点（左記）を解消するバブルカーテン式OFを試作・性能確認（メーカと共同で特許申請）（3期） ⇒　今後、メーカが製品化の予定	
	油処理剤	・海上流出油の分散化・生物分解促進用 ・2010年メキシコ湾原油流出事故で初めて深海で大規模散布 ⇒　海中散布効果：不明（環境影響に懸念）	・海中散布による重油の微細化効果（有効性）を確認（2期）	・散布後の環境影響：詳細不明（高難易度）
	沈船・座礁船燃料タンク中残留油の回収	・低温環境下の燃料タンクからの重油回収：低流動性のため困難（サルベージ会社のニーズ）	・重油流動促進のための新技術を検討（2～3期） ⇒　高周波電磁誘導加熱：限定的効果（他技術との併用が必要） ⇒　少量の水＋添加剤によりエマルション相転換を誘起、重油粘度の大幅低下を実験的に確認	・重油流動を促進する界面活性剤の添加・撹拌法／生体毒性の低い界面活性剤の開発　⇒　製品化を目指しメーカと協力開始
支援技術	流出油の漂流予測計算	・国の体制：海上保安庁と気象庁が連携して漂流予測（ただし海表面での漂流のみ）	・港湾内油流出事故の3次元シミュレーション技術を確立（1期） ・沖合油事故対応のため計算システム拡張、質量保存流速場モデル導入による海流精度向上（3期） ⇒　日本周辺沖合海域における油漂流が、合理的精度かつ迅速に計算できる基盤を整備	・日本周辺沖合海域における油流出事故事例に基づく油漂流予測性能の検証
	油流出事故の環境リスク評価	・リスク評価手法なし	・流出油の毒性による生態影響モデルを構築（短期毒性：1期、長期毒性：2期） ・流出油防除支援ツールDOGを開発、明石海峡油流出事故でツール検証（1期）　⇒漁業被害額による検証結果：良好	・DOG：リスク指標（漁業被害額）がデリケートなため実用に至らず
	リモートセンシング	・海難現場が沖合の場合、流出情報（油種・油量・拡散状況）の把握が困難　遠隔からの状況把握が必要	・流出油の実海域観測に必要な要素技術（観測支援飛行航路誘導／簡易油水判定／濁り・汚染マップ表示のプログラム）を開発（1期）	・実地性能：未確認（フランスとの油濁防除国際共同演習が中止）
	沈船データベース（ハザードマップ）	・海底放置された沈船燃料タンクの腐食による重油漏れ・環境汚染の散発的発生 ・対応のための基本情報なし	・日本周辺海域の未処理沈船の調査、ラボ／実海域で船舶材料腐食試験を実施 ⇒　沈船燃料タンクからの残留油流出時期のハザードマップを作成（1期）	・沈船データベース：国交省で施策資料として現在も随時使用

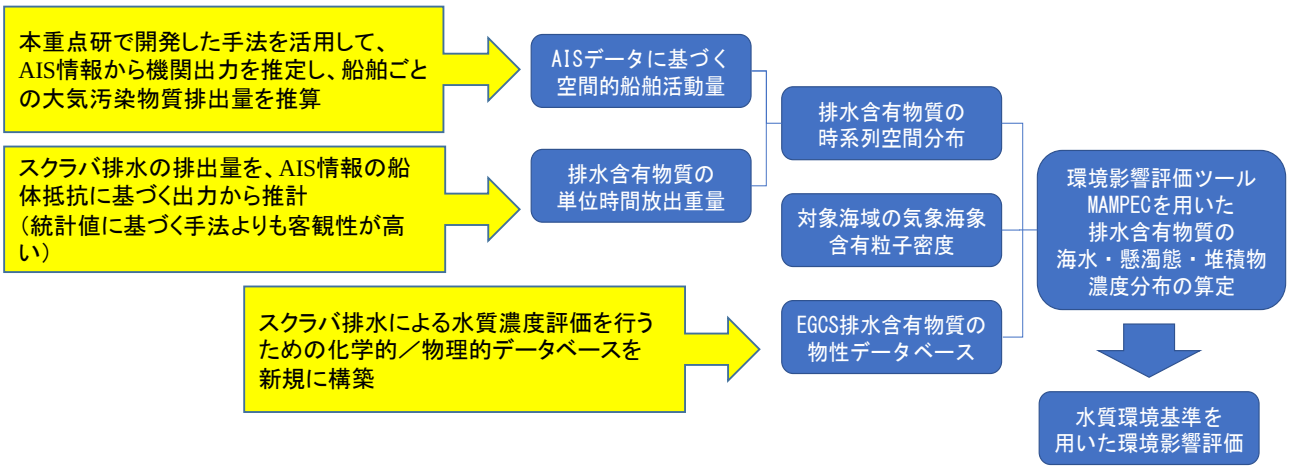


図 1.2.95　EGCS 環境影響評価のフローチャート

R2 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、掲載済：1 件）

・浅見光史、大西世紀、鎌田創、FW-CADIS 法により導出した分散低減パラメータを用いた Monte-Carlo 粒子輸送計算による低レベル放射性廃棄物輸送船「青栄丸」の線量当量率評価、日本原子力学会和文論文誌、19 巻、4 号、p. 220-233、2020 年

・宮田修、亀山道弘、油処理剤の水中散布における油粒の形状と挙動に関する実験的研究、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：3 件（投稿中：0 件、掲載済：3 件）

・小島隆志ほか、藻類を用いた防汚塗料の流水条件下での防汚性能評価法について、第 90 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、2020 年 10 月

・小島隆志、船底防汚塗料の防汚性能評価試験法、オンラインシンポジウム「海洋利用と生物付着の制御」（日本付着生物学会、日本マリンエンジニアリング学会の共催）、2020 年 10 月

・浅見光史、木村新太、岡秀行、Evaluation of a Far-wake Parameterization for a Diagnostic Mass Consistent Flow Model、Asia-Pacific Association for Computational Mechanics、2020 年 12 月

□特許申請：1 件

・小野正夫、城田英之、馬驍、藤田勇（港空研）、重質油のエマルション化による流動性向上システム（R3.3.15）

□コアプログラム登録：0 件

なし

□国際貢献：1 件

・ISO-21716(2020)（防汚塗料をスクリーニングするためのバイオアッセイ法）のうち、Part-1：一般、Part-2：フジツボ、Part-3：イガイの部分までが、2020 年 11 月に国際規格として発行された。船底防汚塗料の性能評価に関する試験法としては、世界初の国際規格である。

□受賞：2 件

・浅見光史、第 52 回日本原子力学会賞・貢献賞（授賞理由：放射線遮蔽工学の体系化と知識の普及、「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会（幹事）、「遮蔽計算の応用技術」研究専門委員会（幹事））

・小島隆志、日本マリンエンジニアリング学会功労賞（授賞理由：JIME 海洋環境研究委員会委員長として、船底防汚塗料に関する研究及び海洋保全に関して積極的な学会活動を実施）

□公開実験：0 件

なし

□その他（セミナー主催）：1 件

・船底防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供（R3.3.16）

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	R2 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、浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術の検討、風車設置作業等における連成運動評価のための吊荷と浮体の連成運動評価プログラムの開発、係留合成繊維索の生物付着に関する評価法の検討を行う。 等 ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発 －海底熱水鉱床開発等の実プロジェクトの技術支援のために採掘・揚鉱・採鉱母船一体挙動解析プログラムの開発及びコバルトリッチクラスト開発を想定した計画支 援プログラム用データベースの作成を行う。 等

研究の背景

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

R2 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
・吊荷と浮体の連成運動評価プログラム（機能拡張）
・浮体式風力発電施設の安全ガイドライン改定案（係留系）
・係留合成繊維索の生物付着に関する評価法
・浮体式波力発電実時間制御・発電電力評価技術と制御アルゴリズムの高度化

□小項目 2
・採掘・揚鉱・採鉱母船一体挙動解析プログラム
・計画支援プログラム用データベース（機能拡張）
・アスファルテン付着予測解析プログラム

R2 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連成運動評価に関する研究
・浮体式波力発電に関する研究

□小項目 2

・採鉱母船等の安全性・稼働性評価技術に関する研究
・全体システムの稼働性評価・計画支援技術に関する研究
・アスファルテン付着モデルに関する研究
・ハイドレート分解・生成モデルに関する研究

R2 年度研究成果

□小項目 1

・セミサブ型浮体、スパー型浮体を対象として、浮体形状を変数とし、浮体の建造コスト低減を目的としたパラメトリックスタディとその結果に対する波浪中動揺特性を解析した。その結果、良好な性能を有する浮体を提案した（図 1.2.96）。

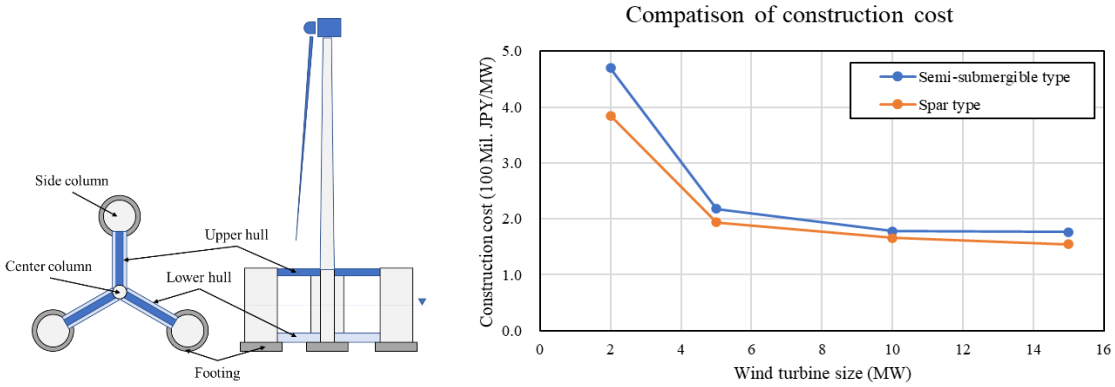


図 1.2.96　セミサブ型浮体のイメージ図及び風車サイズを変更した場合の材料重量に基づく概略建造コスト単価

・クレーン作業中の吊荷が着水した直後における作業船との波浪中連成運動解析プログラムを開発し、平成 30 年度に実施した試験結果との比較検討を行うとともに、着水前後における作業船のロールの固有周期の変化とそれが稼働性評価に与える影響について調査した（図 1.2.97）。当研究所で開発された CFD ソルバー「NAGISA」と多体剛体系解析プログラムを連成し、吊荷が懸下された状態における作業船の波浪中動揺シミュレーションを実施して試験結果との検証を行った。排水量の異なる 2 浮体を使った吊荷のマルチリフト状態における波浪中動揺試験を実施し、吊荷と浮体の間の連成影響について調査し、そのモデリング法について検討した（図 1.2.98）。洋上風車の設置時に使用される SEP 船の波浪中動揺性能に対する脚部展開の影響について調査するとともに、日本近海の有望海域を対象とした稼働性評価を試行した。陸と洋上の風力発電設備との間を人員・物資輸送する小型高速船（Crew Transfer Vessel）が洋上設備に接舷した状態における波浪中動揺評価に関する数値計算法を定式化し、プログラムを開発するとともに、計算検証のために令和 3 年度に実施する水槽試験についても検討した。

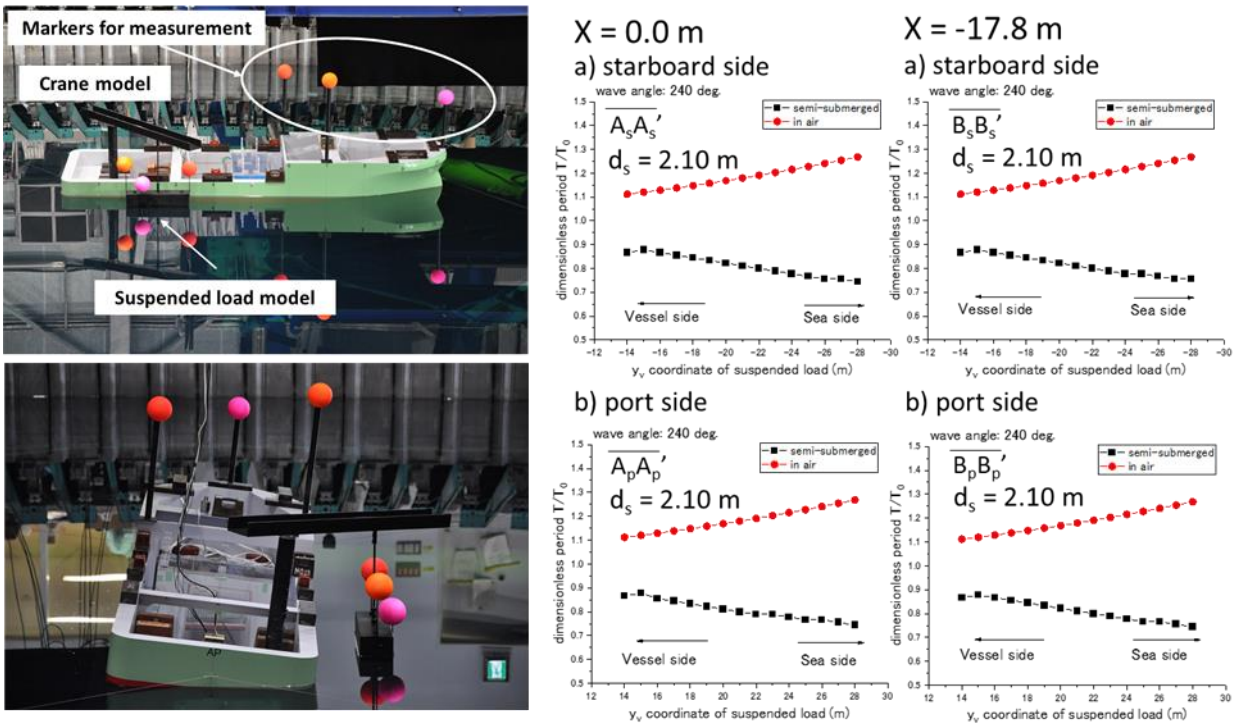


図 1.2.97　クレーン作業中の吊荷が着水した直後における作業船との波浪中連成運動評価
（左：水槽試験の様子、右：吊点が作業船のロールの固有周期へ与える影響の変化）

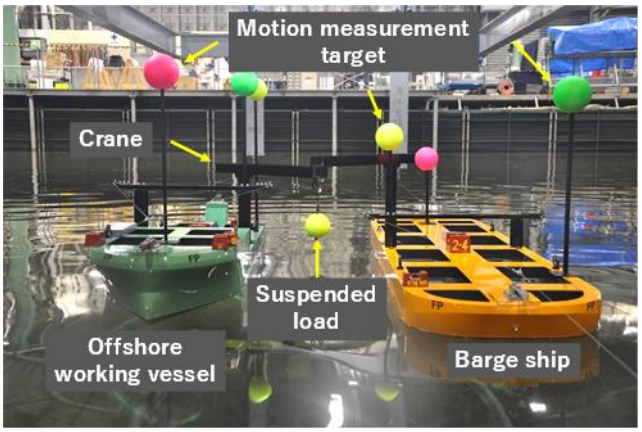


図 1.2.98　2 浮体を使った吊荷のマルチリフト状態における波浪中動揺試験の様子

・合成繊維索を用いた係留について、風車・浮体・係留の一体解析モデルを作成し、浮体式洋上風力発電システムの係留安全性評価を実施することにより、評価における留意点（合成繊維索の軸剛性の非線形性、最大張力の発生する環境条件として暴風時（50 年再現風速）の他に定格荷重とカットオフ風速の間で最大張力が発生する可能性が極めて高いこと 等）を抽出して、安全ガイドラインの改定案としてまとめた（図 1.2.99）。

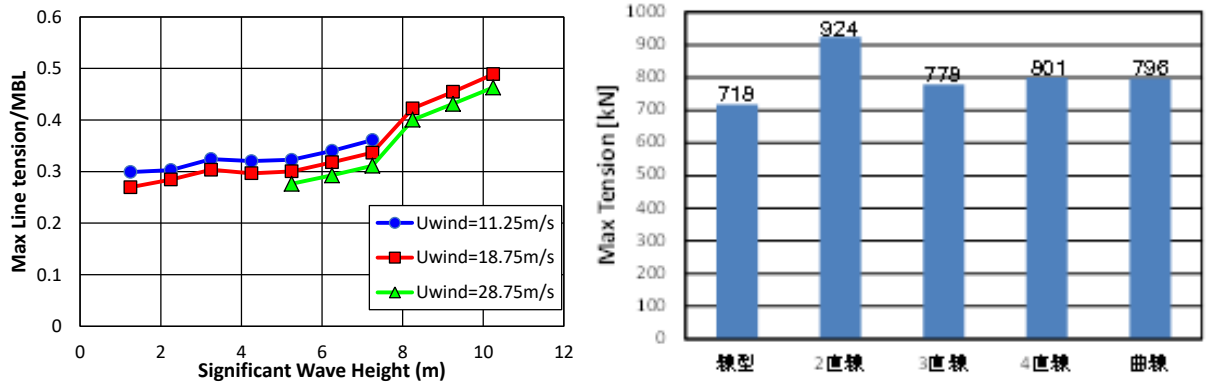


図 1.2.99　係留安全性評価結果（左：頻度表に従って計算した最大張力（定格風速：11.4m/s、カットオフ風速：

25m/s)、右:軸剛性特性に違いによる最大張力の比較)

・合成繊維索を用いた係留について、生物付着の観測結果(図 1.2.100)を参考にしながら安全性の評価手順を提案するとともに試設計を実施し、主に疲労強度を中心に安全性評価を実施した。また、サブロープの疲労試験を実施し、T-N 線図を作成するとともに国際基準との比較検証を実施した。

さらに、
・新エネルギー・産業技術総合開発機構(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構築した(図 1.2.101)。

図 1.2.100 合成繊維索に対する生物付着の観測例

図 1.2.101 実海域実証試験用計測・収録・配信システム

・並進動揺型波力発電装置を対象として、模型に組み込み可能な小型陸上試験システムを開発し、非線形モデル予測制御法の実時間制御検証を行うとともに、小型陸上試験システムを模型に実装して水槽試験を行うことで、陸上試験と水槽試験を統合した実時間制御・発電電力評価技術を開発した(図 1.2.102、図 1.2.103)。

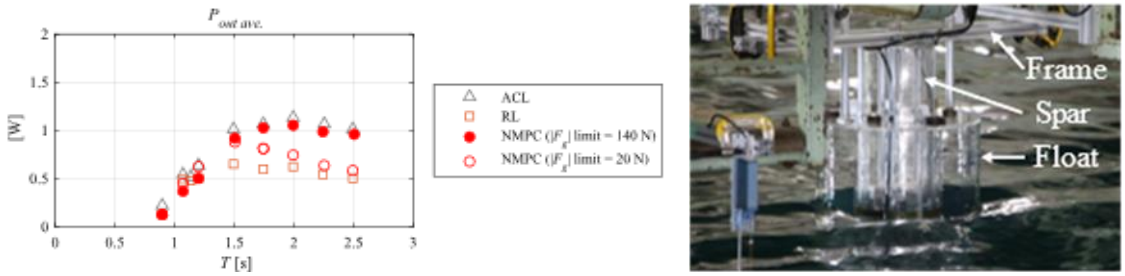


図 1.2.102 水槽試験模型による発電電力評価(規則波)と試験の様子

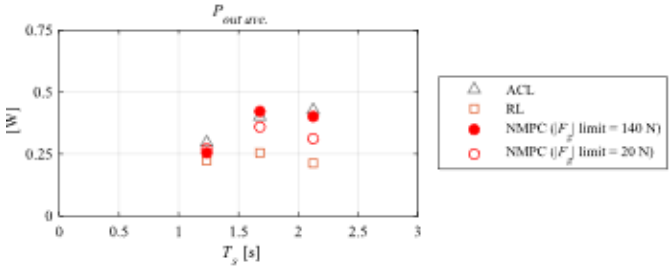


図 1.2.103 水槽試験模型による発電電力評価(不規則波)

□小項目 2

・採掘ユニット・揚鉱ユニット・採鉱母船を一体とした挙動解析プログラムの開発を行うにあたり、採掘ユニットから揚鉱ユニットまでをつなぐ移送管部分について、摩擦抵抗及び管内圧力変化を考慮したプログラムを開発し(図 1.2.104)、令和元年度に取得した商業時のスラリー移送における運用状態を想定した水槽試験データと計算結果の比較を行い、開発プログラムの検証を行った(図 1.2.105)。

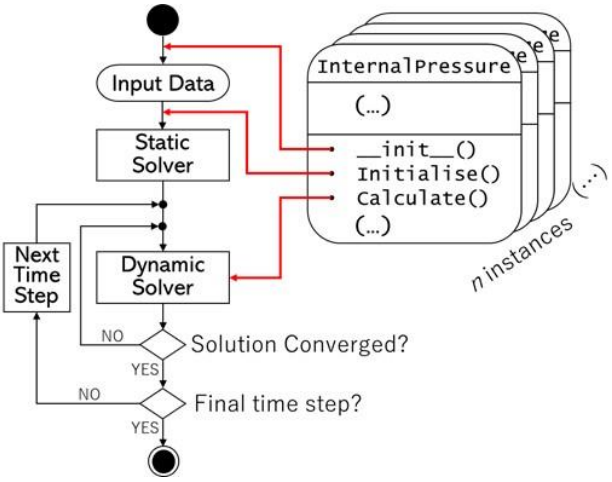


図 1.2.104　内部流れの影響を考慮した時間領域解析フロー

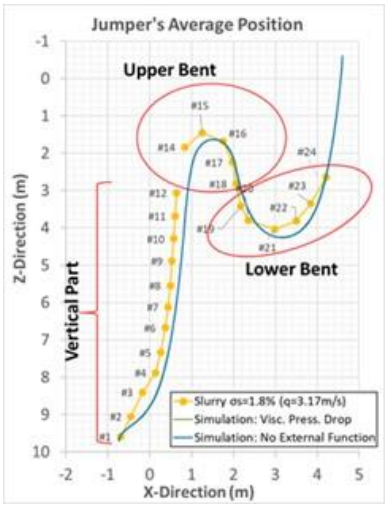


図 1.2.105　試験データとの検証結果

さらに、

・固定鉛直管内の脈動固液二相流、軸方向に振動する鉛直管内の固液二相流それぞれに対する圧力損失推定手法を構築した（図 1.2.106）。

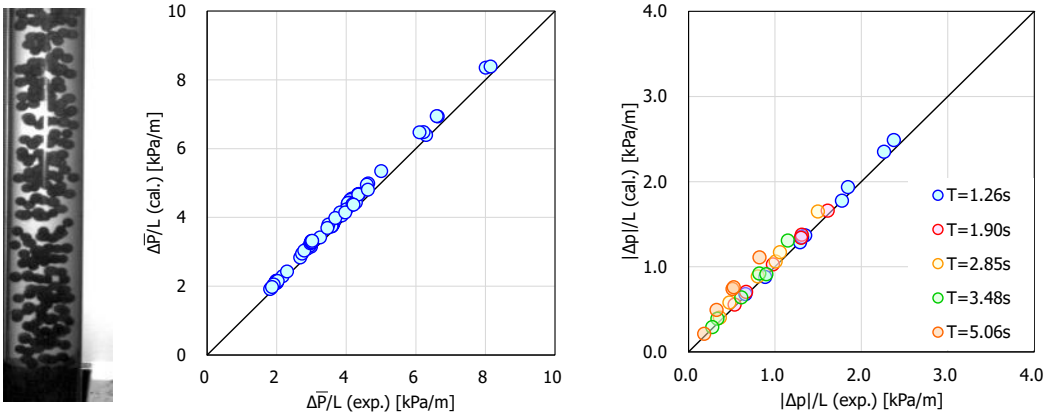


図 1.2.106　固定鉛直配管内の脈動スラリー流の圧力損失推定結果（左：定常成分、右：変動成分）

・移送管の耐久性評価手法に係る研究として、ファインバブル発生装置を用いた窒素脱気水と酸素飽和水を、小規模循環式試験装置に適宜供給することで、当該装置内の流体の溶存酸素量の制御を試みる試験を実施した。昨年度出願した特許の内容に本試験結果を加え、国内優先権主張出願を行った。

・採鉱機のようなクローラを有する移動体の動揺性能に影響を与えると思われる横揺れ流体力に着目し、高速で航行する、アスペクト比が小さく箱型の移動体を対象に、曳航中の横揺れ強制動揺試験を実施し、高いフルード数までの流体力（特に粘性減衰係数の特性）を把握した（図 1.2.107）。また、当研究所で開発された CFD ソルバー「NAGISA」を用いて高速で航行する移動体の数値流体解析を実施して、波切り板、船尾フラップ等の付加物がヒーブ・ピッチモーメントに与える影響を明らかにした（図 1.2.108）。

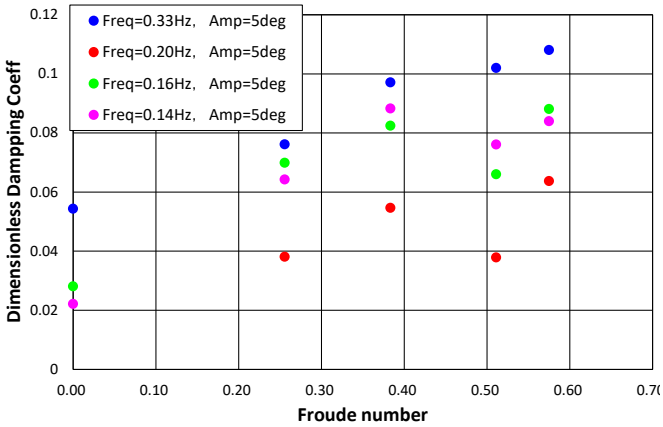


図 1.2.107 箱型移動体の高フルード数域での粘性減衰係数

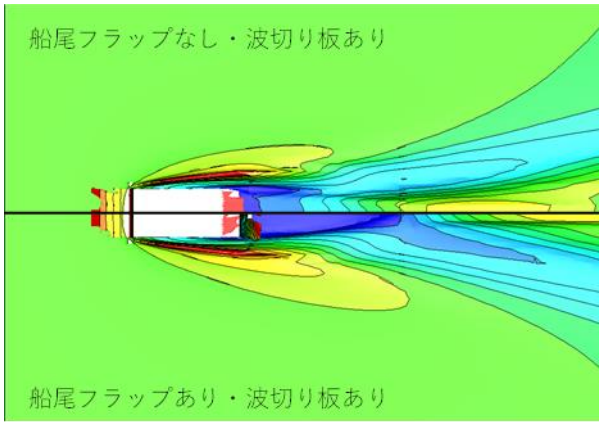


図 1.2.108 高速曳航時の移動体の CFD 解析結果例

・令和元年度に開発した海底鉱物資源開発のための計画支援プログラムの機能を拡張するため、コバルトリッチクラストを対象とする新たな資源データベースの作成を行った（図 1.2.109、表 1.2.2）。

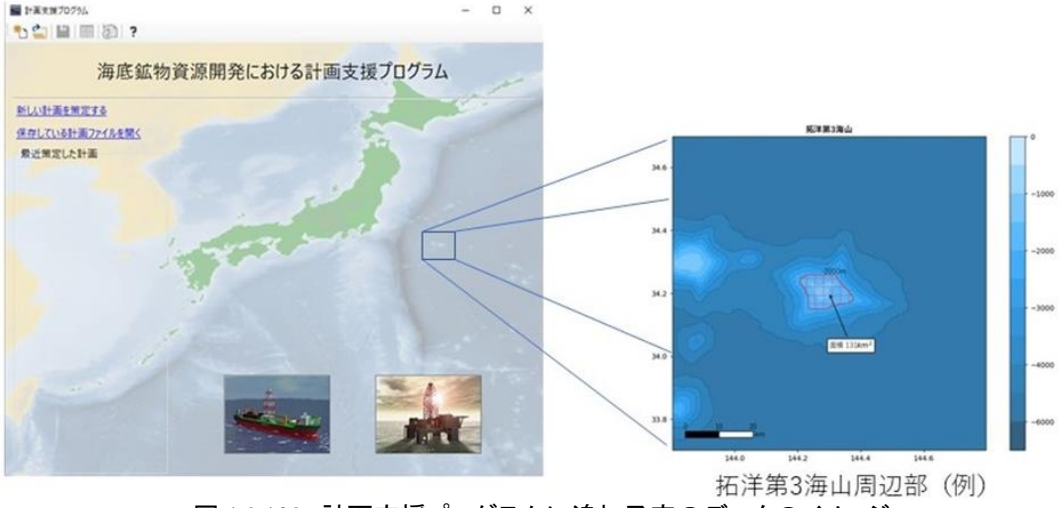


図 1.2.109 計画支援プログラムに追加予定のデータのイメージ

表 1.2.2 コバルトリッチクラストの資源データの例

No.	地名	北緯			東経			水深			鉱区面積
		度	分	秒	度	分	秒	m	～	m	km^2
1	拓洋第3海山	34	12	0	144	18	0	1,500	～	5,500	131
2	小笠原東海山	26	9	0	144	9	0	1,200	～	2,500	1,288
3	小笠原海台	25	18	0	143	48	0	1,400	～	2,000	833
4	半沢海山	25	48	0	147	0	0	1,000	～	3,000	696
5	奄美海台	28	6	36	132	15	0	1,800	～	2,500	222
6	駒橋海山	28	25	48	134	15	0	500	～	2,000	61
7	大東海嶺	25	27	36	133	42	0	1,500	～	2,500	121
8	流星海山	25	36	0	135	36	0	900	～	2,200	124
9	拓洋第5海山	23	0	0	153	24	0	1,100	～	5,500	2,868

・昨年度開発した、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用いて、揚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（図 12.110）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 12.111）。

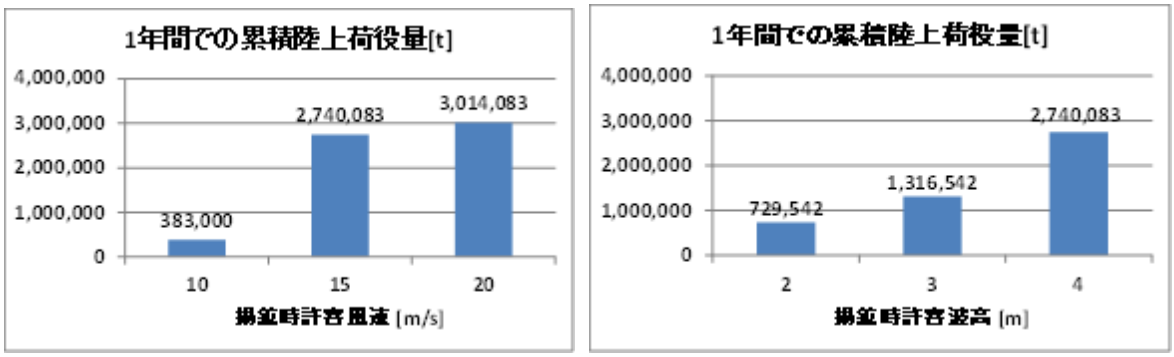


図 12.110　パラメータスタディの結果

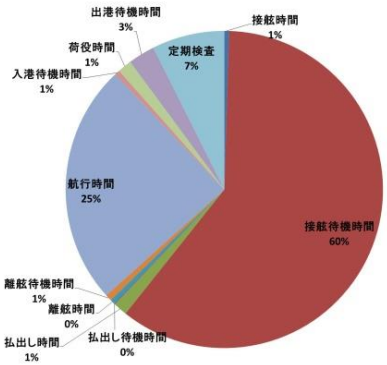


図 1.2.111　シャトル船の各オペレーション時間占有率（評価期間：1 年間）

・アスファルテン付着量評価のための付着モデルについて検討するとともに、質量、運動量、エネルギー保存則をベースとした定常解析プログラム（β 版）を開発した。アスファルテン管壁付着機構解明及び付着量を評価するため、重質油を用いた予備的なラボ試験を実施した。また、熱的な条件が内部流の相変化に及ぼす影響を解明するため、常圧下において、ガスハイドレートを模擬した氷スラリーのループ試験を実施し、相変化過程を観察するとともに、データを取得した。ガスハイドレート生成・分解モデルに関する検討を行った（図 1.2.112）。

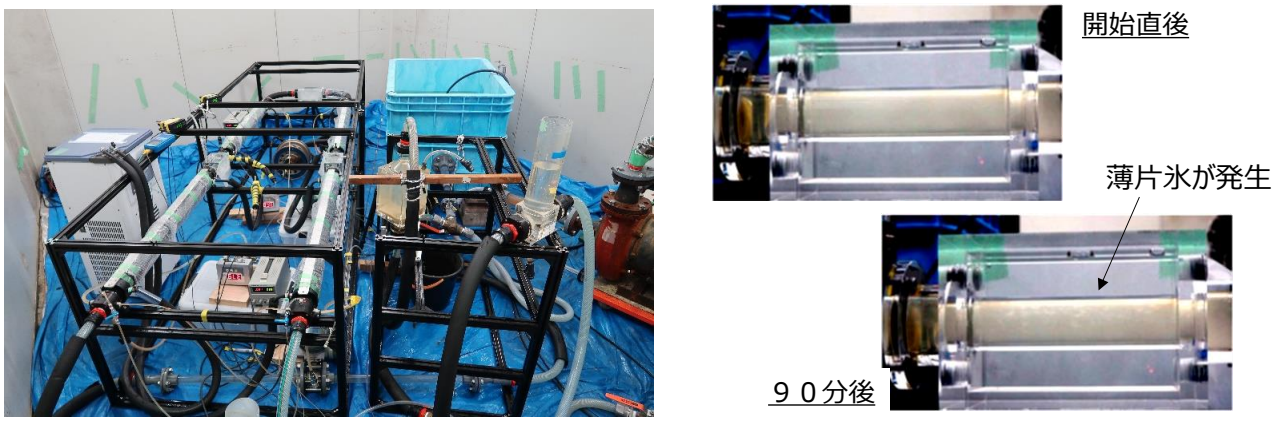


図 1.2.112　ガスハイドレートを模擬した氷スラリーの相変化に及ぼす影響を調査するための常圧下ループ試験
（左：ループ試験の様子、右：管内に薄片氷が発生した時の様子）

・海上技術安全研究所と横浜国立大学の連携講座において学生の研究指導、修士論文（1 件）及び卒業論文（1 件）の執筆指導を行った。修士論文 1 件の研究内容は論文にし、日本船舶海洋工学会論文集に投稿した。

R2 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）：18 件（投稿中：7 件、採択済：8 件、掲載済：3 件）

・Masanobu, S., *et al.*: Hydraulic Transport of Large Solid Particles with Pulsating Flow in Vertical Pipes for Subsea Mining, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (J. OMAE), Vol.143, No.6, (Published Online, March 13) (2021)

・谷口友基 ほか: 波力発電装置の陸上試験装置の開発と実時間最適制御法の検証, 日本船舶海洋工学会論文

集, 第 32 号, pp.99-108 (2020)
・石村恵以子 ほか: 海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験の安全性評価, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第 56 巻, 第 1 号, pp.155-161(2021)
・大坪和久 ほか: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価 第 2 報 吊荷が着水した直後での波浪中連成運動解析, 日本船舶海洋工学会論文集. (採択済)
・Chujo, T., *et al.*: Consideration of New Damage Stability Criteria for Floating Offshore Wind Turbines, Journal of Marine Science and Technology (JMST). (投稿中)
・Okada, Y., *et al.*: Parameter-varying Modeling and Nonlinear Model Predictive Control with Disturbance Prediction for Floating Offshore Wind Turbines, Journal of Marine Science and Technology (JMST). (投稿中)
・Suzuki, H., *et al.*: Wave and Wind Responses of a Very-light FOWT with Guy-Wired Supported Tower Numerical and Experimental Studies, Journal of Marine Science and Engineering. (投稿中)
・Yamamoto, M., *et al.*: Measurement and Simulation of VIV response of a submersed drillstring in the transition to the critical flow regime, Journal of Marine Science and Technology (JMST). (投稿中)
・Takano, S., *et al.*: Study on Pipe Wear Based on Large Scale Experiment and Scale Effect for Deep Sea Mining, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (J. OMAE). (投稿中)
・Nakajima, Y., *et al.*: Experimental Study on Beneficiation of Seafloor Massive Sulfides by Liquid-Liquid Extraction, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (J. OMAE). (投稿中)
・石原祐希 ほか: External turret 係留におけるスラミングを考慮した船首部最大曲げモーメントの予測, 日本船舶海洋工学会論文集. (投稿中)
・Chujo, T., *et al.*: Concept Study for the Floater Type Selection on Floating Offshore Wind Turbines, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)
・Hirao, C. S., *et al.*: Tank Test and Numerical Simulations of Floating OTEC, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2021). (採択済)
・Saito, M.: Fatigue Analysis of Mooring Systems for Floating Offshore Wind Turbines, Proc. 31st International Ocean and Polar Engineering Conference (2021). (採択済)
・Yamamoto, M., *et al.*.: Numerical Simulation of a Jumper Conveying Slurry for Deep-Sea Mining, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)
・Masanobu, S., *et al.*: Experimental Investigation of Large Particle Slurry Transport in Vertically Oscillating Pipe for Subsea Mining, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)
・Takano, S., *et al.*: Experimental Study on Void Fractions and Pressure Drops in Three-phase Flow for Deep Sea Mining, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)
・Yamamoto, J., *et al.*: Experimental Study on Plugging Inside a Pipe using Carbonated Ice as a Substitute For Methane Hydrate, Proc. 40th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (2021). (採択済)

□その他発表論文:21 件(掲載済:21 件)

・Takano, S., *et al.*: Evaluation Method of Pipe Wear for Development of Seafloor Massive Sulfides, Journal of JSCE, Vol.8 (2020).
・Chujo, T., *et al.*: Investigation of Biofouling on Synthetic Fiber Rope for The Safety Criteria of Floating Offshore Turbines Mooring Design -Investigation in Hokkaido-, UT21 Underwater Video Competition (2021)
・Haneda, A., *et al.*: Investigation of Biofouling on Synthetic Fiber Rope for The Safety Criteria of Floating Offshore Turbines Mooring Design -Investigation in Shizuoka Prefecture-, UT21 Underwater Video Competition (2021)
・Yamamoto, M., *et al.*: A Review of the R&D on Riser System for the Manganese Nodules Exploitation, Proc. 49th Underwater Mining Conference (2020).
・Nakajima, Y., *et al.*: Experimental Study on Plugging Caused by Methane Hydrate Formation in Pipes, Proc. Global OCEANS 2020 (2020).
・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電の将来ビジョンと海技研の取り組み, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.13-17 (2020)
・羽田絢 ほか: 海技研の模型試験技術と将来展望, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.57-61 (2020)
・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電の将来ビジョンと海技研の取り組み, 横浜国立大学セミナー (2020)
・中條俊樹 ほか: 海上技術安全研究所における洋上風力発電への取組み, 横浜国立大学セミナー (2020)
・鈴木長之ほか: 浮体式洋上風力発電の設計セミナーの紹介, 日本風力エネルギー学会誌「風力エネルギー」通巻 第 135 号, pp.415-417 (2020)
・石田圭 ほか: 水中線状構造物の流体力に関する研究, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.143-144 (2020)
・中條俊樹 ほか: 浮体式洋上風力発電の技術動向について, 日本風力エネルギー学会誌, 通巻 第 136 号, pp.583-586 (2021)
・谷口友基 ほか: 非線形モデル予測制御による波力発電装置の高効率化と実装試験, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.115-116 (2020)
・谷口友基 ほか: ポイントアブソーバー型波力発電装置の陸上試験装置による実時間最適制御, 海上技術安全

研究所報告，第 20 巻，第 3 号, pp.17-28 (2020)
・梅田隼 ほか: 強化学習を利用した波力発電装置の制御，海上技術安全研究所報告，第 20 巻，第 4 号，pp.17-27 (2021)
・大坪和久 ほか: 海洋エネルギー・鉱物資源開発技術に対する海技研の取り組み，日本マリンエンジニアリング学会誌，第 56 巻，第 1 号 (2021).
・高野慧 ほか: 鉛直動揺管におけるスラリー移送に関する実験的研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 31 号 (2020).
・山本マルシオ ほか: 固液二相流がフレキシブルホースの動的挙動に与える影響に関する実験的研究，海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.119-120 (2020)
・高野慧 ほか: 海洋鉱物資源開発における傾斜管内の固気液三相流の移送評価，海上技術安全研究所報告，第 20 巻，第 3 号 (2020).
・高野慧 ほか: 鉛直動揺管内におけるスラリー移送評価, pp.145-146 (2020)
・大坪和久 ほか: 水陸両用車に作用する流体力及び波浪外力に関する研究，海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp.121-122 (2020)

□特許申請:2 件
・液体中に存在する微粒子の分離装置及び分離方法 中島康晴ほか（特願 2021-61189）
・配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システム（国内優先権主張出願） 高橋一比古ほか（特願 2021-036709）

□コアプログラム登録:1 件
・半没状態にある吊荷と浮体の波浪中連成運動解析プログラム 大坪和久

□国際貢献:2 件
・中條俊樹 ほか: IEC 61400-3-2 改定作業での付属書 Application of damage stability criteria の提案
・大坪和久: ISO 20257-2 策定作業での爆圧を考慮した FSRU トップサイドレイアウト設計の考え方の提案

□受賞:5 件
・令和 2 年度日本船舶海洋工学会論文賞: 大坪和久 ほか（海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験のための稼働性評価）
・ASME OOAE Awards Committee, OMAE 2019 Best Paper of Ocean Space Utilization Symposium: Yamamoto, M., *et al.*(Experimental Analysis of Reduced-Scale Jumper for Deep-Sea Mining)
・理事長表彰（研究チーム表彰）: 中條俊樹 ほか（合理的な浮体式洋上風力発電施設損傷時復原性基準の検討・提案に貢献した功績）
・理事長表彰（個人表彰、最優秀論文賞）: 大坪和久（クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価，第 30 巻, pp.187-200，日本船舶海洋工学会論文集, 2019）
・日本船舶海洋工学会 奨学褒章: 石原祐希（External turret に働くスラム力特性と船首部の曲げモーメント予測），横浜国立大学連携講座の一環として本研究テーマの中で指導

□公開実験:1 件
・浮体式洋上風力発電小型模型の設計製作セミナー (2021.3)

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	R2 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 －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

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が必要とされている。
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（航行型の小型 AUV、ホバリング型の小型 AUV、洋上中継器、投入揚収装置）
□広域探査システムの運用技術（隊列制御技術・ASV による多 AUV 運用等）
□民間移転実施
□広域探査システムの企画・転用技術

結果として、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。

R2 年度研究目標

□小項目 5
・隊列制御アルゴリズム開発

□小項目 6
・要素技術の開発

□小項目 7
・深海底探査法に関する研究開発

R2 年度研究内容

□小項目 5
・SIP2 事業、小型 AUV 等を用いた試験水槽等により、隊列制御アルゴリズム（AUV-AUV 測位・通信を含む）の開発

□小項目 6
・最適高度誘導制御法の開発・シミュレータ上での有効性検証

□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

R2 年度研究成果

□小項目 5
・隊列制御アルゴリズム開発
- SIP2 事業に参画しながら駿河湾において、最終的に 3 機の航行型 AUV（海技研 AUV2, 3, 4 号機を使用）を 1 機 ASV が統括監視・制御するシステム（基本隊列制御システム）を開発し、実海域でシステムの有効性を検証した。その際、問題なく精緻な海底地形も計測した（図 1.2.113 は第 1 回、8/1-8 実施、図 1.2.114 は第 2 回、10/17～24 実施試験）。効率的な AUV の複数機運用技術に貢献。

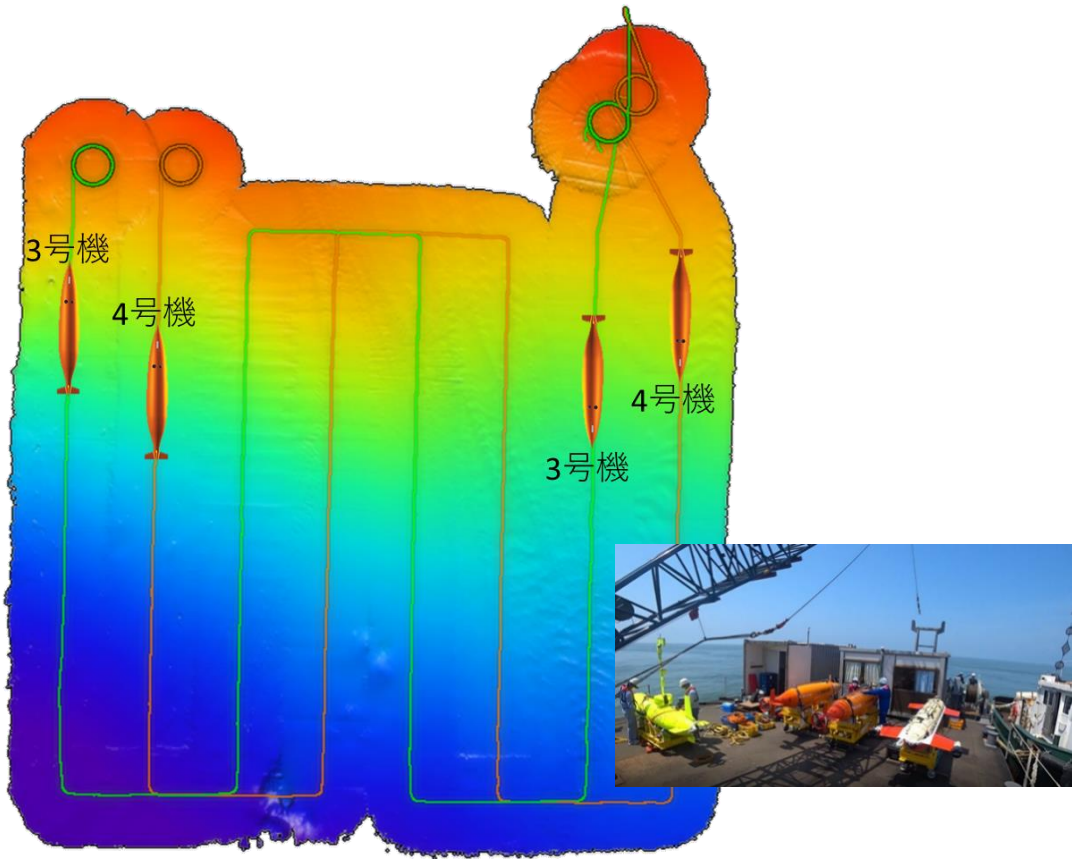


図 1.2.113　1 機 ASV と 2 機 AUV（AUV3, 4 号機）による海底地形図
（基本隊列制御システムを使った駿河湾実証試験）

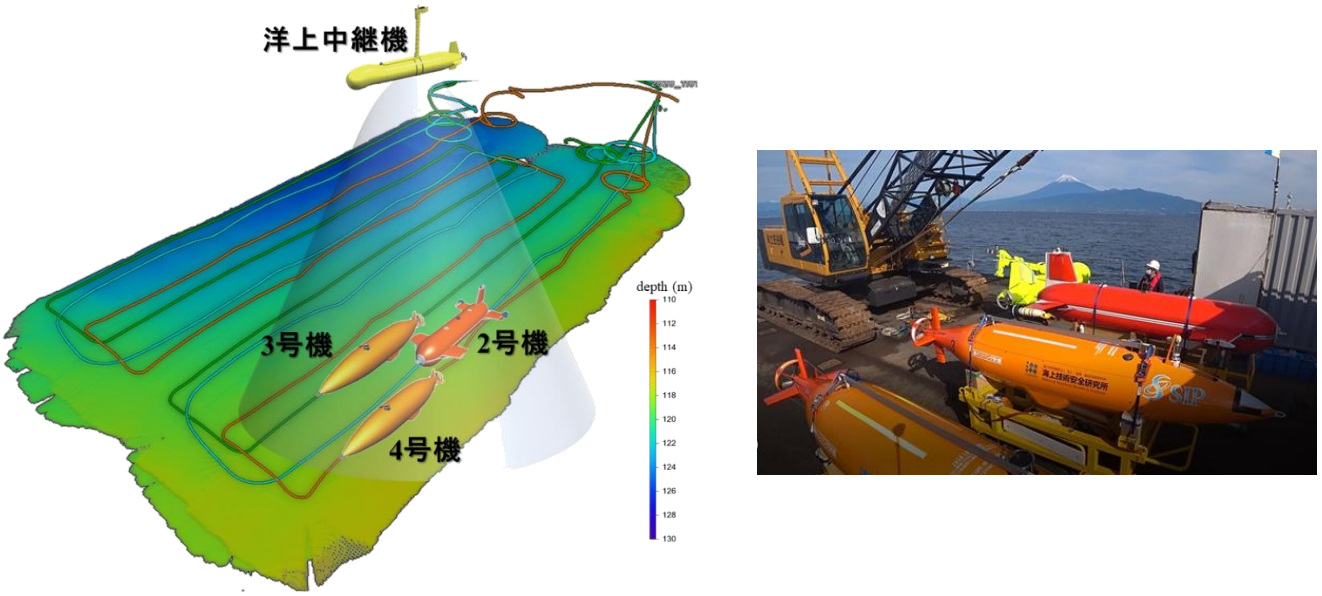
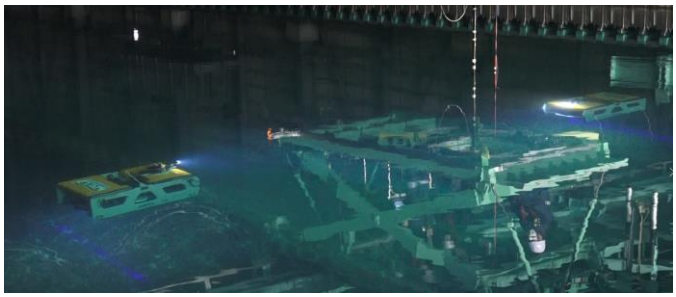


図 1.2.114　1 機 ASV（洋上中継機）で 3 機 AUV（AUV2, 3, 4 号機）を統括監視・制御するシステム（基本隊列制御システム）を完成、駿河湾で有効性を確認、その際の海底地形図と使用 ASV と AUV

・AUV-AUV 測位・通信制御アルゴリズム開発

- 海技研で独自に製作した制御システムを用いたホバリング型 AUV「ほばりん 2」（今年度新規製作）と第 1 期 SIP で開発された「ほばりん」を用いて AUV-AUV 通信・測位システムのプロトタイプを完成させた（図 1.2.115）。当所の実海域再現水槽でシステム確認試験を実施し、その有効性を確認した。深海海底化で観測誤差の少ない、精緻な AUV 稼働が実現できる技術開発である。

➢ 昨年度開発した小型航行型 AUV（mini-AUV）に付随する制御プログラムに改良を加えることで、外部機関へのプログラム販売を実施。超小型航行型 AUV の国内デファクトスタンダード化に向けての対応を外部機関とも連携しながら実施中。安価で汎用的、また、平易に利用可能な AUV の普及に前進した。



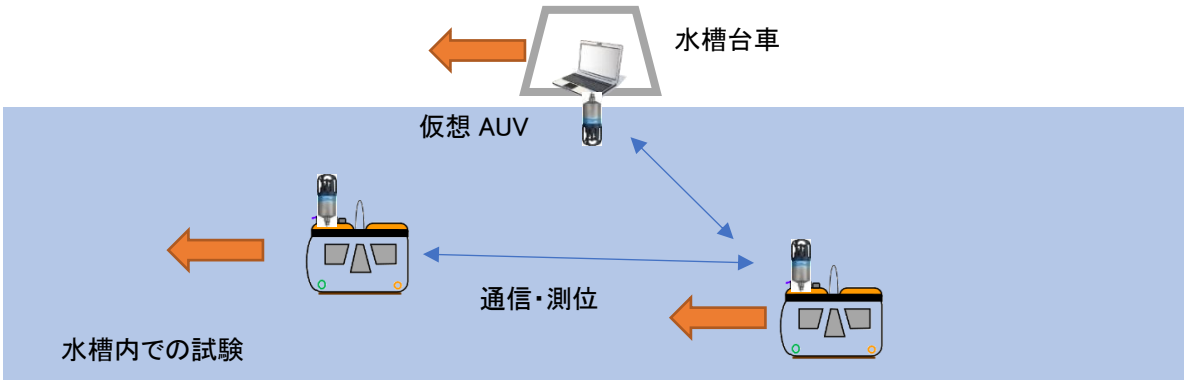


図 1.2.115　AUV-AUV 通信・測位システムのプロトタイプ開発
（上図左：使用した 2 機のほばりん、上図右：実海域再現水槽での試験状況、下図：実施概念）

□小項目 6

・最適高度誘導制御法の開発・シミュレータ上での有効性検証

➢ 海底地形、AUV 運動モデル及び航法を仮想空間で具現化し、AUV の挙動を時系列で求められる 3D シミュレータを Matlab 計算環境で開発した。シミュレーションは実海域潜航試験の結果を忠実に再現しており、その有効性を確認した（図 1.2.116）。

➢ ウェイポイントの最適化を通じた最適高度誘導の実現に向け、実海域試験現場で適用可能な数値アルゴリズムを開発した。また、3D シミュレータの開発にて観測や航行制御に使われる音響装置の動作を模擬するため、ソナー方程式をベースとする音響環境モデリングを行った。

➢ 従来の深度制御ではなく、高度制御を進展させることで、急峻な海底地形下においても鮮明な海底地形図・海底情報の取得可能となる。技術を着実に進展させた。

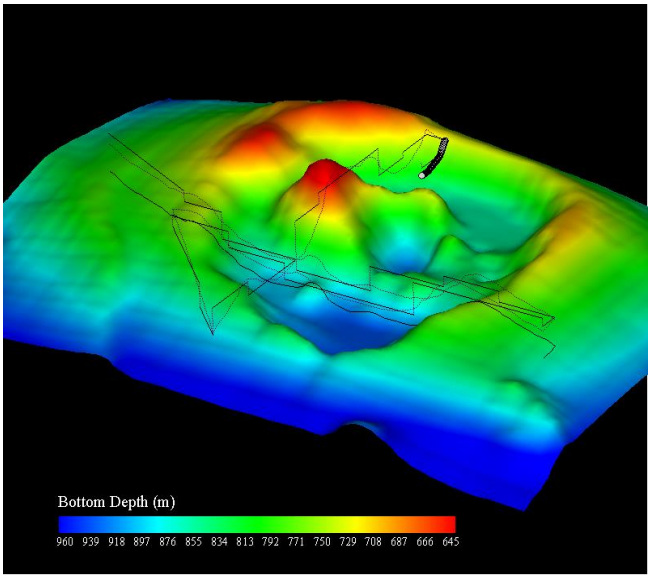


図 1.2.116　3D シミュレータによる AUV 航行計算結果の可視化

□小項目 7

・複数 AUV の活用方策に関する研究開発

- 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小型 AUV システムの製作を開始した（図 1.2.117）。AUV と ASV を連結させることで、母船とはケーブル接続なく、AUV での計測情報を即座に母船に転送可能となる。
- また、環境省深海底 CO2 貯留（CCS）実証事業の一部として、AUV を用いた CO2 シープの pH 分布測定を静岡県式根島で実施（図 1.2.118）。CCS 貯留時に CO2 の噴出が無いことを AUV を使って無人観測することが可能である。さらに、将来の複数 AUV 深海底音響探査（3 次元地震探査）を目指した水槽試験の結果をまとめて公表した（図 1.2.119）。

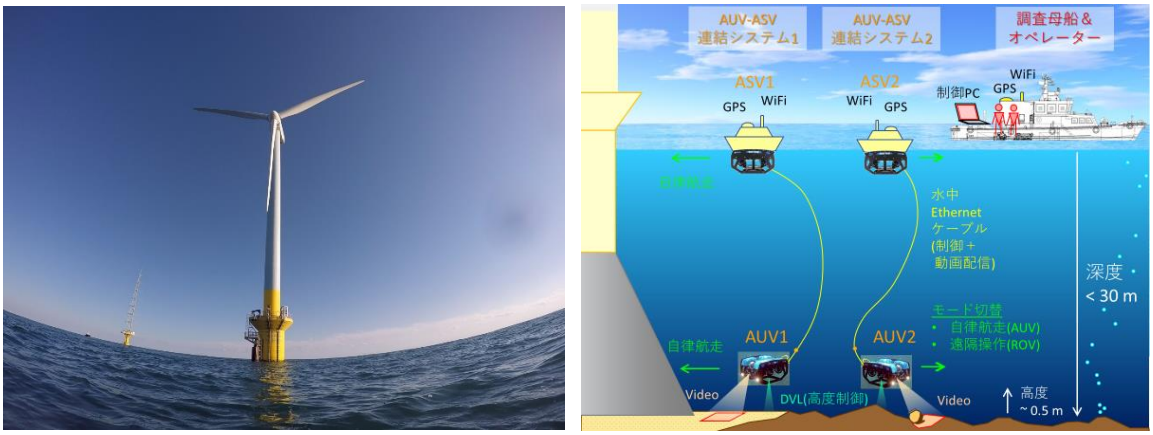


図 1.2.117　対象例としての銚子沖風力発電設備（左）と AUV–ASV 連結システム概要（右）

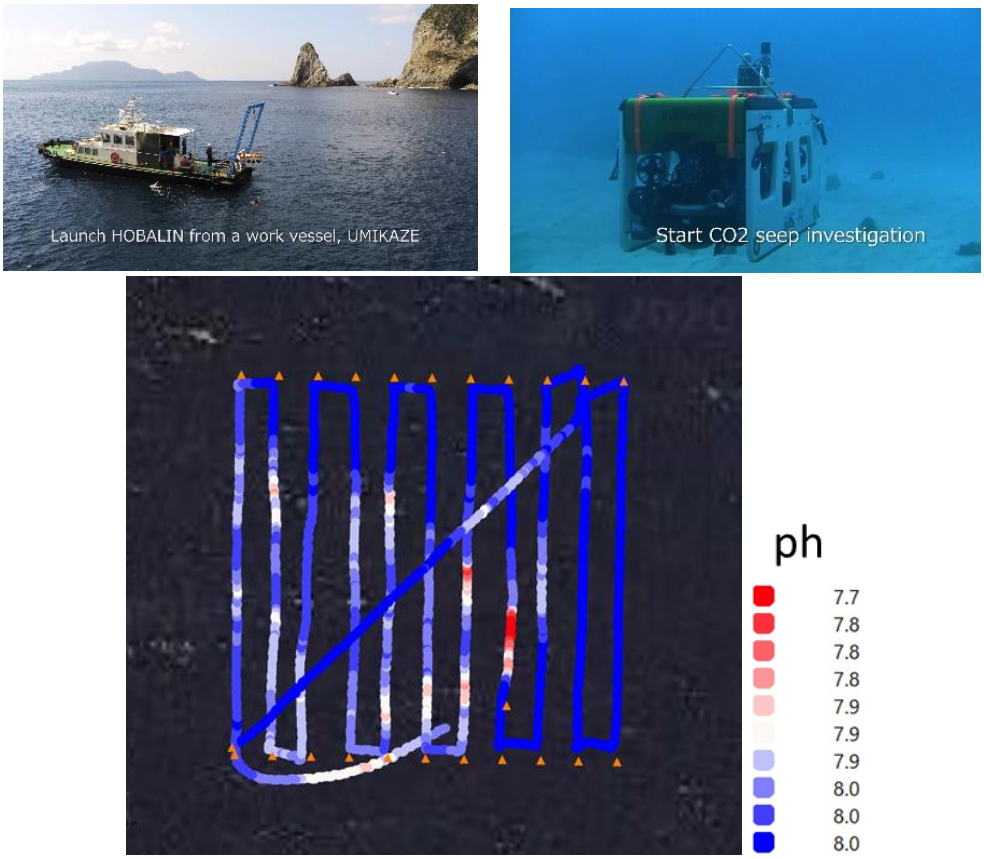


図 1.2.118　式根島御釜湾 CO2 シープ「ほばりん」潜航調査と pH 分布測定結果

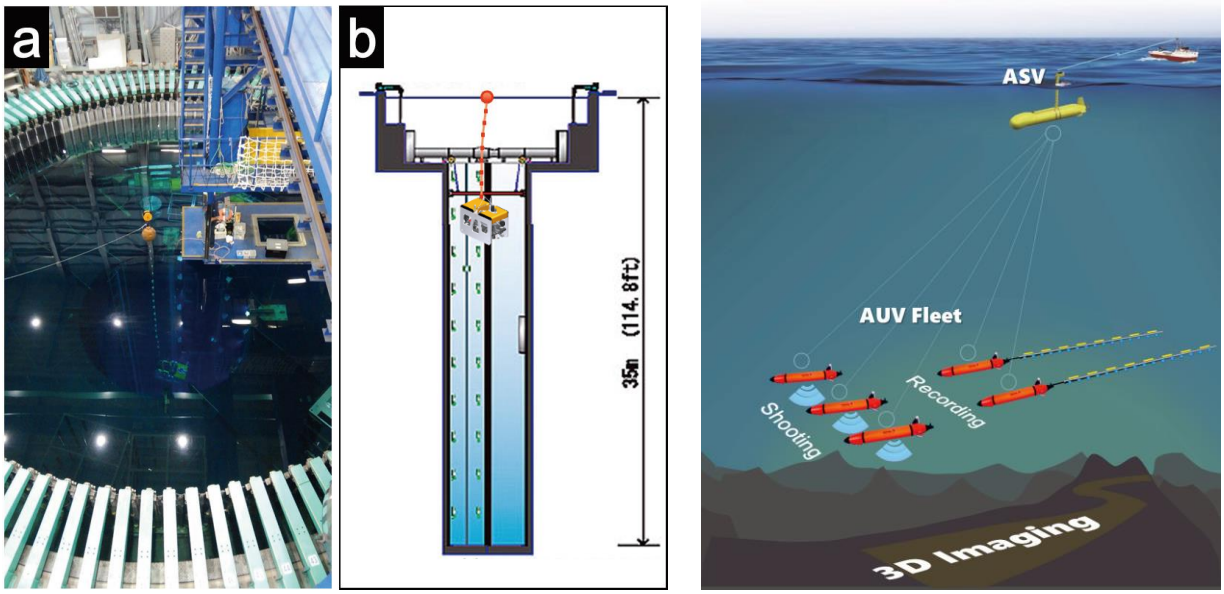


図 1.2.119 複数 AUV を用いた海底下音響探査法に関する水槽試験と将来構想

R2 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):7 件(投稿中:2件、採択済:4件、掲載済:1 件)

- 平尾、藤原、岡本、関口、今里、篠野、小型 AUV の操縦運動モデルに関する一検討、日本船舶海洋工学会論文集、第 32 巻、2021
- 稲葉、篠野、須藤、浦、ASV による複数 AUV の管制、日本マリンエンジニアリング学会誌、2021 (採択済)
- 多良、塚原、篠野、村上、淺川、AUV を用いた反射法地震探査システムの開発と展望、物理探査 74 巻、2021 (採択済)
- Jun Umeda、Toru Katayama、Hirotada Hashimoto、Burak Yıldız、Study on Bilge Keel Component of Roll Damping for Non Periodic Motion、Fluid Mechanics and Its Applications、2021 (投稿中)
- 藤原、金、篠野、佐藤、稲葉、岡本、今里、大澤、SEA TRIALS SUMMARIZATION ON FUNDAMENTAL FORMATION CONTROL OF MULTIPLE CRUISING AUVS、Proceedings of the ASME 2021 40th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering、2021 (採択済)
- 梅田、藤原、MODELING RELATION BETWEEN THE SPEED AND PROPELLER REVOLUTION OF THE CRUISING AUV USING MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS、Proceedings of the ASME 2021 40th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering、2021 (採択済)
- 宮澤、有馬、谷口、梅田、藤原、非線形モデル予測制御による自律型海中ロボットの潜航シミュレーション、日本船舶海洋工学会論文集、2021 (投稿中)

□その他発表論文:11 件(投稿中:0件、掲載済:11 件)

- 篠野、熊谷、矢野、ROV・AUV による湖底遺跡調査、テクノオーシャンニュース No.75、2021
- 佐藤、金、篠野、稲葉、藤原、航行型 AUV の隊列制御による海底鉱物資源調査の安定化、海上技術安全研究所研究発表会講演集、2020
- 梅田、坂本、藤原、付加物が航行型 AUV の流力性能に与える影響、日本船舶海洋工学会令和 2 年秋季講演会論文集、2020
- 金、佐藤、稲葉、松田、高島、大野、実戦としての複数 AUV 同時運用 – 伊豆諸島海域の高効率・高精度海底調査、日本マリンエンジニアリング学会誌、2021
- 篠野、岡本、三木、西林、高月、石灰、川上、仙洞田、吉田、The CO2 seep investigation by HOBALIN、IEEE OES Underwater Technology21 UT21、2021
- 稲葉、篠野、藤原、須藤、小西、The Recovery of the Semi-Submersible ASV with a Folding Antenna、IEEE OES Underwater Technology21 UT21、2021
- 金、佐藤、稲葉、岡本、高橋、篠野、今里、瀧本、藤原、New Approaches for Practical Simultaneous Operation of Multi-AUVs、IEEE OES Underwater Technology21 UT21、2021
- 藤原、長谷川、志村、Autonomous fleets for mapping the deep ocean、Nature (Focal Point)、Vol.590 No.7844、2021
- 佐藤、和中、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、2021
- 藤原、海技研における AUV 研究開発、国土交通省総合政策局第 3 回海における次世代モビリティに関する産学

官協議会、2021
・梅田、坂本、藤原、船舶用 CFD による AUV の抵抗・自航要素の推定、第 15 回船舶用 CFD セミナー、海技研、2021

□特許申請:1 件
・篠野:「AUV-ASV 連結システム」(出願中)

□コアプログラム登録:3 件
・岡本、mini-AUV 制御用プログラム
・岡本、AUV 制御用インターフェースプログラム
・岡本、AUV 制御用共通プログラム

□国際貢献:0 件
・

□受賞:4件
・金、佐藤、稲葉、岡本、高橋、篠野、今里、瀧本、藤原、New Approaches for Practical Simultaneous Operation of Multi-AUVs, IEEE OES Underwater Technology21, 最優秀賞
・岡本、谷口、佐藤、平尾、稲葉、梅田、一般財団法人日本水路協会令和 2 年度水路技術奨励賞受賞
・今里、金、佐藤ほか、マリンエンジニアリング学会賞(技術賞)受賞
・稲葉ほか、Shell Ocean Discovery XPRIZE に参画した TeamKUROSHIO が第 9 回ロボット大賞にて審査員特別賞を受賞

□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	R2 年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発 －造船の協業体制を想定した新しい造船ビジネスモデルの構築のために、造船協業体制における設計・建造プロセスの共通化・標準化の項目の検討を行う。 －ローカルな騒音源を考慮した騒音予測機能を構築し、ニューラルネットワークによる騒音予測 Web アプリの開発を行う。 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ことが求められている。
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
□高減衰材料の一般商船での利用に関する研究
□騒音予測プログラムの改良
□騒音・振動及び生産設計にかかわる知的設計システムの構築
□インテリジェント CAD システムに関する研究
□造船の協業体制に向けた研究

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
□騒音低減のための高減衰材を活用した新たな構造仕様や施工方法の信頼性の高い設計手法を開発し、高減衰材導入に関するガイドラインを作成
□現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルの構築等により改良し、多様な船舶に対する騒音予測をより高精度で行う騒音予測技術を開発
□生産設計分野における知的設計システム（プロトタイプ）を開発
□次世代造船設計システム（インテリジェント CAD）のビジョンとその実用化開発のロードマップを策定。また、海技研の流体・構造・生産設計ソフトを統合した推進性能、ぎょう鉄難易度と溶接長を統合的に評価し、船型形状と

外板板割りの多目的最適化が可能なインテリジェント CAD システムのプロトタイプを開発
□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。
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。
□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。

R2 年度研究目標

□小項目 4
・接合部強度評価データセットの取得
・難燃性や損傷対策などの規則要件適合対策

□小項目 6
・騒音・振動対策を考慮した機関室・居住区知的設計システム（プロトタイプ）の開発（ニューラルネットワークによる騒音予測システムの改良）
・工程管理に関する知的設計システム（プロトタイプ）の制作

□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を使用した試設計による設計フロントローディングの効果検証
・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

R2 年度研究内容

□小項目 4
・各種強度試験・環境劣化促進試験による接合部強度評価
・防火性・難燃性・損傷対策等の規則要求の対応策

□小項目 6
・ローカルな騒音源を考慮した騒音予測
・工程管理に関する知的設計システムの技術的な検討

□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 システムのプロトタイプの効果検証を実施するための導入準備と課題整理
・造船ビックデータとその設計応用に関する基礎的検討としてセンサーフュージョン技術について調査

R2 年度研究成果

□小項目 4
・構造用接着剤認定要件 ClassNK「構造用接着剤使用のためのガイドライン」の設計基準強度において、劣化後の強度保持率（劣化後の平均強度/初期の平均強度）η_dなどは実験的に確認する必要がある。FTP Code 及び防火構造材料の認定も取得した NK 認定構造用接着剤である S 社の製品 M7-15 は、被着材が鋼・複合材の場合、ガイドラインで安全率を考慮して設定しているη_d>0.25 を満たしており、適用できることを確認した。（図 1.2.120 参照）
・2020 年迄に、FTP Code Part2(煙・毒性試験)、FTP Code Part5(表面燃焼性試験)、ISO1716(発熱量試験)、並びに、鋼船規則 R 編の規定による防火構造材料（難燃性上張り材(不燃性・難燃性基材用、不燃性基材用、難燃性基材用)、難燃性表面床張り材、一次甲板床張り材）の認定を取得した構造用接着剤に絞り込み、その他の接合方法については重点研究としては対応しないこととなった。
・2021 年度研究計画の一部を前倒して、仮固定治具・施工手順・施工方法などの施工要領を作成した。1m 未満の艤装品サイズでは、作業者 1 名で 1 分未満の位置合わせ・加圧時間で接着可能であることを確認した。（図 1.2.121 参照）

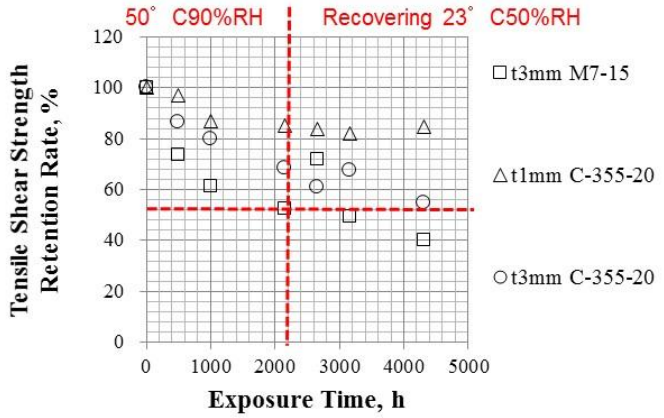


図 1.2.120　劣化後の強度保持率 η_d

図 1.2.121　マグネット、瞬間接着剤、両面テープによる仮止め方法

□小項目 6

・開発済みの騒音予測モデルで，実用上十分な騒音予測が可能であったが，エアコンの調整不足等でエアコンノイズの影響が大きな部屋に対しては，エアコンノイズや通路からの空気伝搬音（居住区内のダクト等から）によるローカルな騒音（ノイズ）の影響があると，図 1.2.122 左に示すように，実測値とニューラルネットワークによる騒音予測結果に差（予測誤差）が生じていた．今年度は，エアコン騒音（ノイズ）を考慮した精緻な予測を実現させるために，エアコン騒音の特徴を表現するニューラルネットワークモデルを構築した．エアコン騒音の特徴を捉えた学習が安定して収束することを確認した．これにより，学習結果を利用してエアコン単独運転時の騒音レベルの予測が可能となった．

・従来の騒音予測（航走中）結果にエアコン単独の騒音予測結果を足し合わせることによって，エアコン騒音の影響を考慮した騒音予測結果が求まる（図 1.2.122 右青丸参照）．図 3 左に示すように，従来の騒音予測ではエアコンノイズの影響を考慮できていなかったが，図 1.2.122 右に示すように，1,000Hz から 2,000Hz に発生しているエアコン騒音（エアコン単独のノイズ計測結果を与えた）を考慮した設計評価が可能となった．

・設計者はエアコン騒音レベルを任意に設定して，設計評価できるようになった．これによって，設計段階で騒音コードの規制値に対して，余裕をもった設計・対策が可能となる．海上公試前に艤装岸壁に係留中でのエアコン単独試験を行い，設計時に想定したエアコン単独の騒音レベル以下になっていることを確認すれば，海上公試において規制値を超えない可能性が高まる．

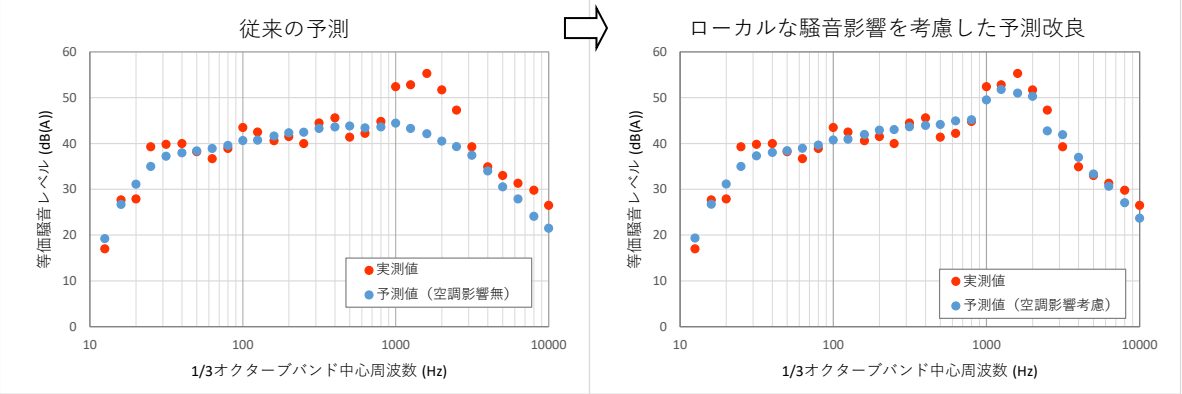


図 1.2.122　ローカルな騒音源を考慮した騒音予測

・造船作業における工数推定及び生産計画の高精度化を目指し，造船作業のモデリング及び建造シミュレーションに関する検討を行った．本シミュレーションモデルは，造船作業の特徴である作業者が作業に応じて，移動・動作することを表現すること，すなわち作業者の詳細な動きを表現した．
・造船工程のモデル化にあたって，図 1.2.123 に示すように，製品（プロダクトモデル），設備・道具（ファシリティモデル），作業（プロセスモデル）のデータ構造（情報の内容，形式，関係性等）を定義した．本データ構造に基づいて，建造シミュレーションを実施するための情報処理の手法を整理した．これに基づく建造シミュレーションシステムの試作を行い，工場内の作業者の詳細な動きを視覚化できるとともに，ガントチャート等で表現できるようになった．
・同じ製品の製造に対して，生産方法の違いにより作業手順や作業時間が変わりうることを確認した．詳細な作業の積み上げにより，作業手順や作業時間を定量的に示すことが可能となった．造船所内における情報の流れ，モノの流れをデジタルで一気通貫にコントロールするデジタルシップヤードの実現にむけて，造船工程のモデリングの基礎を整備した．

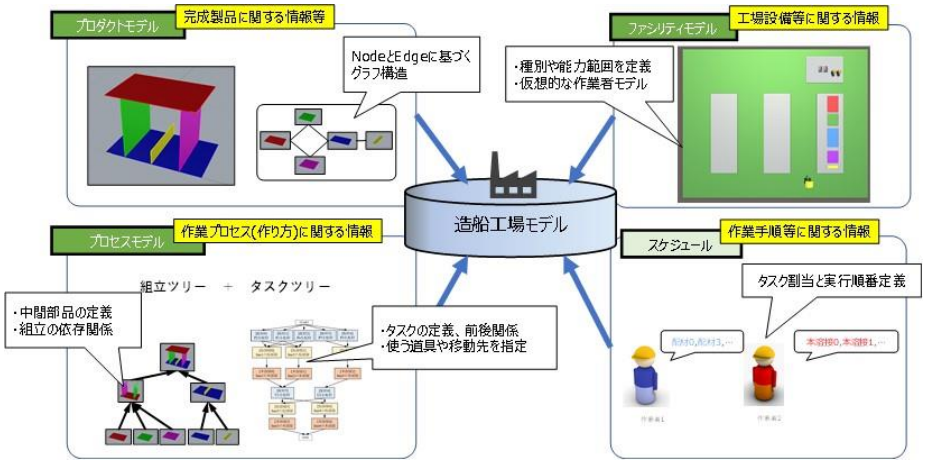


図 1.2.123　造船工程のモデル表現

□小項目 8

・造船のデータ標準化のため、過去の関連プロジェクト（造船 CIMS、造船 STEP）や建設・建築業界の BIM IFC (Industry Foundation Class) 等を参考に、造船のデータ構造の在り方について整理を行った。特に複数造船所間の協業体制を想定し、データ構造として必要なデータ（クラス、クラス間の関連等）についてオブジェクト指向手法に基づき整理を行い、データモデル設計書の素案を作成した。
・データ構造を基盤として、設計、建造等の造船の一連のプロセスにおいてデータを統一的に取り扱う統一データプラットフォームについて検討し、既存の PLM システム上での実装を実施した。大型ロット発注を複数の造船所間で協業して建造する場合を想定し、業務プロセス、データ構造（BOM の構造）を整理し、それを効率的に運用するためのシステム（CAD と PLM システム等の連携）についてデモ機を開発した。（図 1.2.124 及び図 1.2.125 参照）

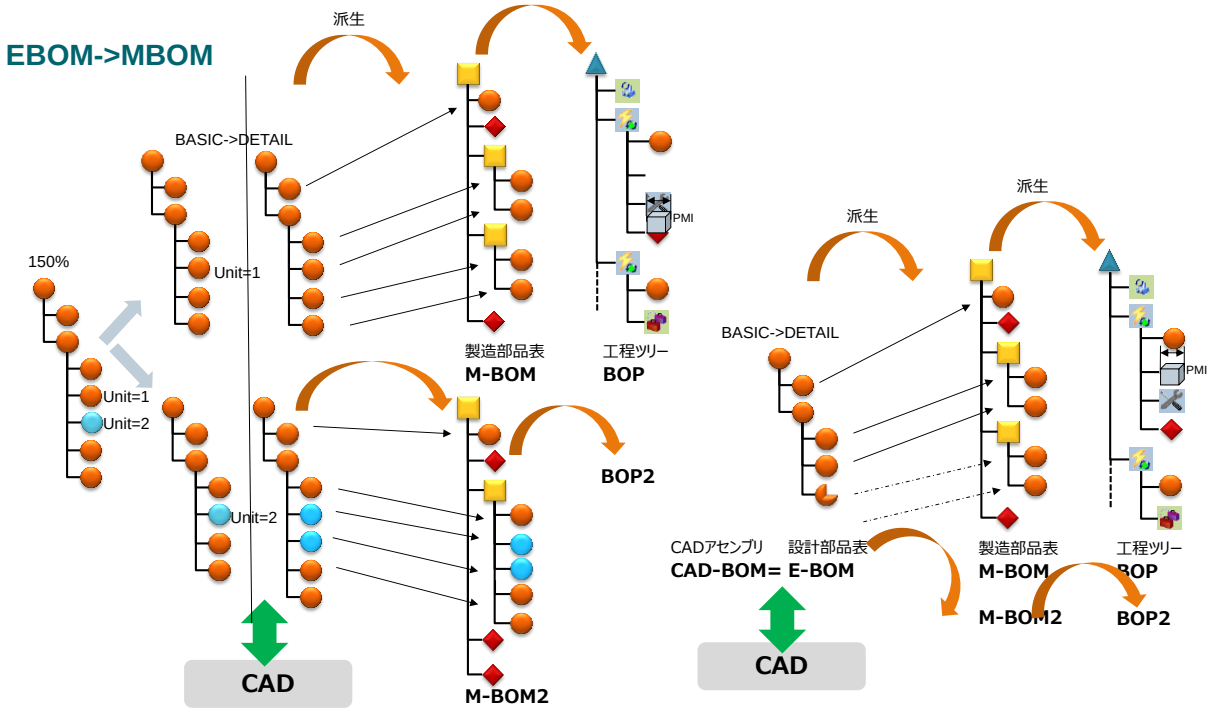


図 1.2.124　複数造船所の協業を想定した造船 BOM の構造

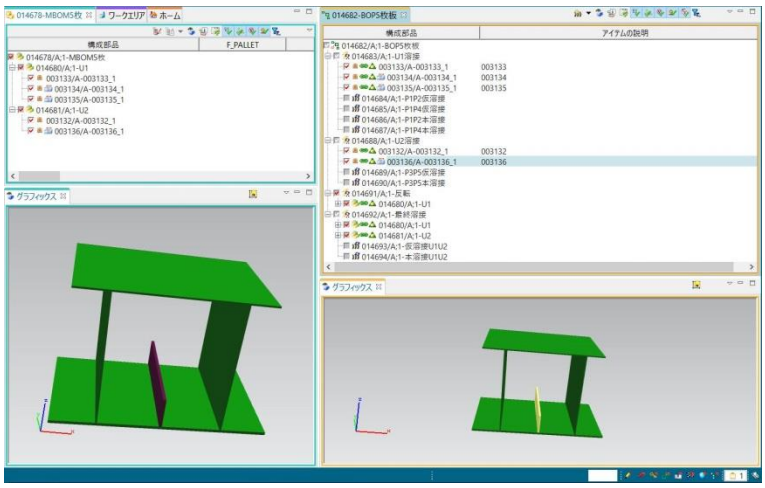


図 1.2.125　デモ機として開発した造船用 PLM システム

・コミニュケーションモニタリング等の造船設計ビックデータとその設計応用に関する研究では、現在設計にフィードバックできていない会話データや実験動画などから設計者の暗黙知を形式知化するための要素技術を調査し、造船設計においてこの有効性を検証ためのプロトタイプ開発の対象領域の候補を作成した。
・設計のフロントローディングを実現するインテリジェント CAD のプロトタイプに関して、造船所・CAD メーカーと共同で造船設計現場での効果検証を実施するため、設計フェーズにおける開発ツールの使い分けの検討、効果検証のための対象船型の選定を行った。（図 1.2.126 参照）

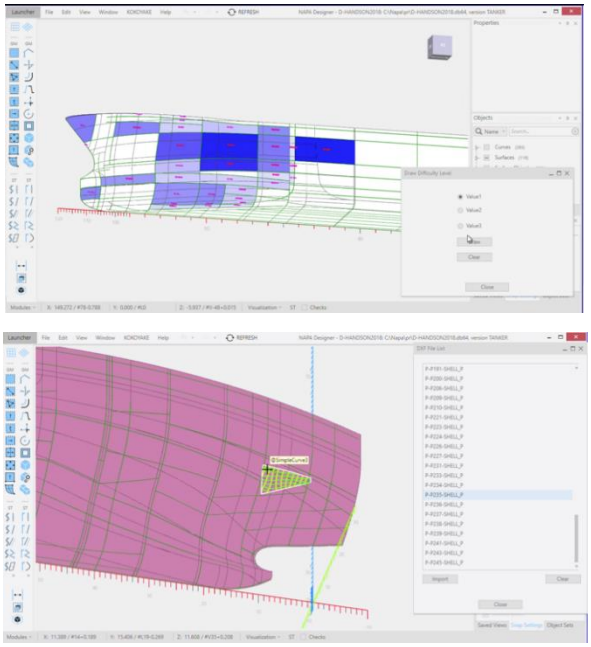


図 1.2.126　開発中プロトタイプの加工難易度評価の一例

R2 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:0 件、採択済:1 件、掲載済:0 件)

・M. Takezawa, K. Matsuo, T. Ando: Development of Support System for Ship-hull Plate Forming using Laser Scanner, Int. J. of Automation Technology Vol.15 No.3, 2021(採択済)

□その他発表論文:5 件(投稿中:0 件、掲載済:5 件)

・平方勝　ほか:次世代造船システムの構想, 海上技術安全研究発表会講演集
・谷口智之　ほか:強化学習を用いた AI ネスティングシステムの開発, 海技研研究発表会講演集 PS
・松尾宏平　ほか:フィードバック式プレス施工支援システムの研究開発、海技研研究発表会講演集 PS
・平方勝　ほか:次世代の造船設計システム構想, 日本船舶海洋工学会ワークショップ
・竹澤正仁　ほか:造船用高精度建造シミュレーション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 31 号, pp.177-183 (2020)

□特許申請:5 件

・船舶の建造シミュレーション方法及び建造シミュレーションプログラム　谷口　智之ほか(出願日 2020/9/25)
・船舶の建造シミュレーションシステム　谷口智之ほか(出願日　2020/10/9)
・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、及び建造シミュレーションプログラム　松尾宏平ほか(出願日　2020/11/2)
・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システム　松尾宏平ほか(出願日　2020/11/2)
・船舶の品質データベースの構築方法、品質データベースの構築プログラム、統一データプラットフォーム、及び統一データプラットフォームの利用方法　松尾宏平ほか(出願日　2020/12/21)

□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:1 件

・新開発の次世代 CFRP の成形手法　竹澤正仁ほか、2021/2/5

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	R2 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 －避航操船アルゴリズムを組み込んだ自動避航操船システムの開発及び任意の自動避航操船システムの評価に必要なファストタイムシミュレーションシステムの開発を行う。 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ことが求められている。

具体的には、以下があげられる。

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

□自律運航システムのコンセプトの構築
□大洋航行における計画航路に基づいた自律運航システム及び、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
□自律運航を実現するための規則の対応案
□着桟支援システムと自動着桟機能の開発
□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。

R2 年度研究目標

□小項目 1

・ツール(システム)構築と入出力データの標準化、要素機能（避航）の充実

□小項目 2

・要素機能（画像処理）の充実、実システムへの適用促進（避航アルゴリズムとの連携）

□小項目 4

・陸上からの情報提供・管制

□小項目 5

・要素機能（自動着桟）の充実、自動離着桟操船システムの検証

□小項目 6

・ツールとしてのシミュレータシステムの構築、検証方法の確立

R2 年度研究内容

□小項目 1

・自動避航操船システムを構築する。
・避航操船機能の評価のためのファストタイムシミュレーションシステムを開発する。

□小項目 2

・検出機能改良と避航アルゴリズムとの連携を行う。

□小項目 4

・陸上からの自動運航船のバックアップ機能の小型実験船への実装を行う。
・自動運航船における陸上からの情報提供・管制について調査する。

□小項目 5

・自動離着桟操船システムを作成する。

□小項目 6

・総合シミュレーションシステムの開発とそれによる検証技術を検討する。

R2 年度研究成果

□小項目 1

・自動運航システムの開発のためのツールの開発を実施した。Json 形式で UDP 通信することにより、避航操船アルゴリズムの実行環境を問わず、避航操船アルゴリズムの評価をするシミュレーションが実施できるようになった。
・避航操船アルゴリズムの研究開発として、時系列を考慮した深層強化学習による避航アルゴリズムを提案し、査読論文に採択された。

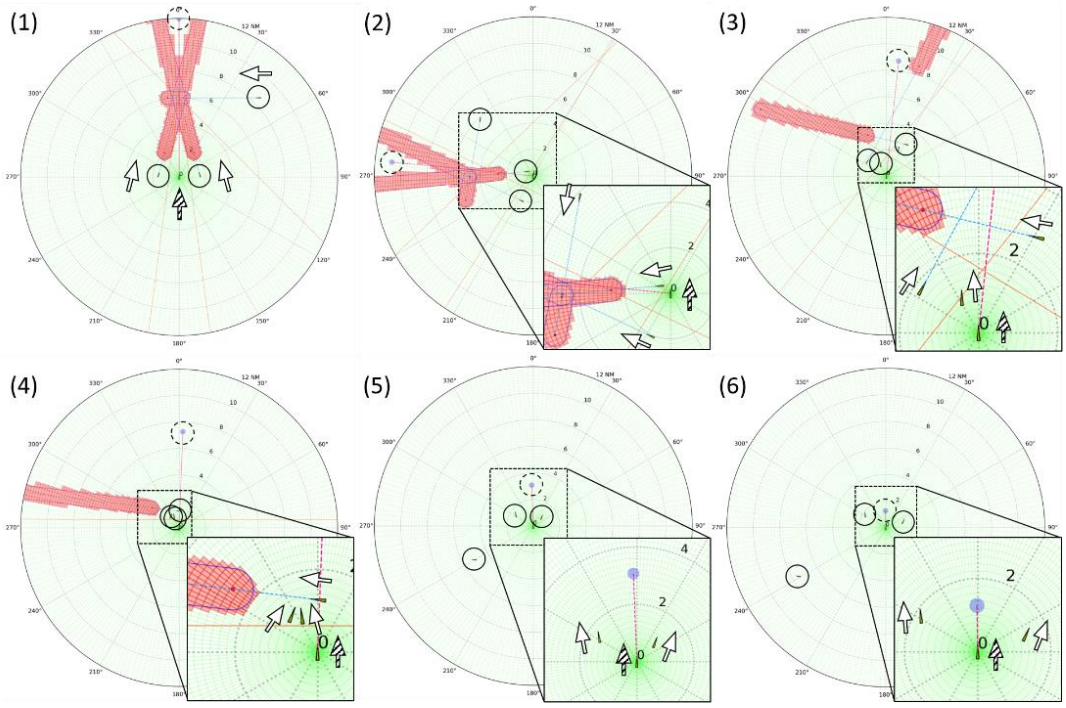


図 1.2.127　深層強化学習を使った避航操船のスナップショット
(1)からスタートし(6)まで適当な時間間隔での自船周りの状況を示しており，各時刻で自船は図中央に位置しすべて自船のヘッドアップで表示している．実線の円で囲まれたのは相手船，破線の円で囲まれるのは自船が目標とするウェイポイントを表す．ボーダーと白抜きの矢印はそれぞれ自船と相手船の船首方位を表す．グレーの領域は自船から見た相手船によって発生した OZT をグリッドセンサーにより検知したときの，OZT を検知した各グリッドセルを示している．

・さらに、避航操船アルゴリズムを操船支援へ活用するために、早期実現可能性の高い、妨害ゾーン（Obstacle Zone by Target：OZT）を用いたルールベースのアルゴリズムを用いた避航操船支援システムを開発し、実船（海洋大の汐路丸）で検証を行った。また、OZT の表示方法についての特許出願をおこなった。

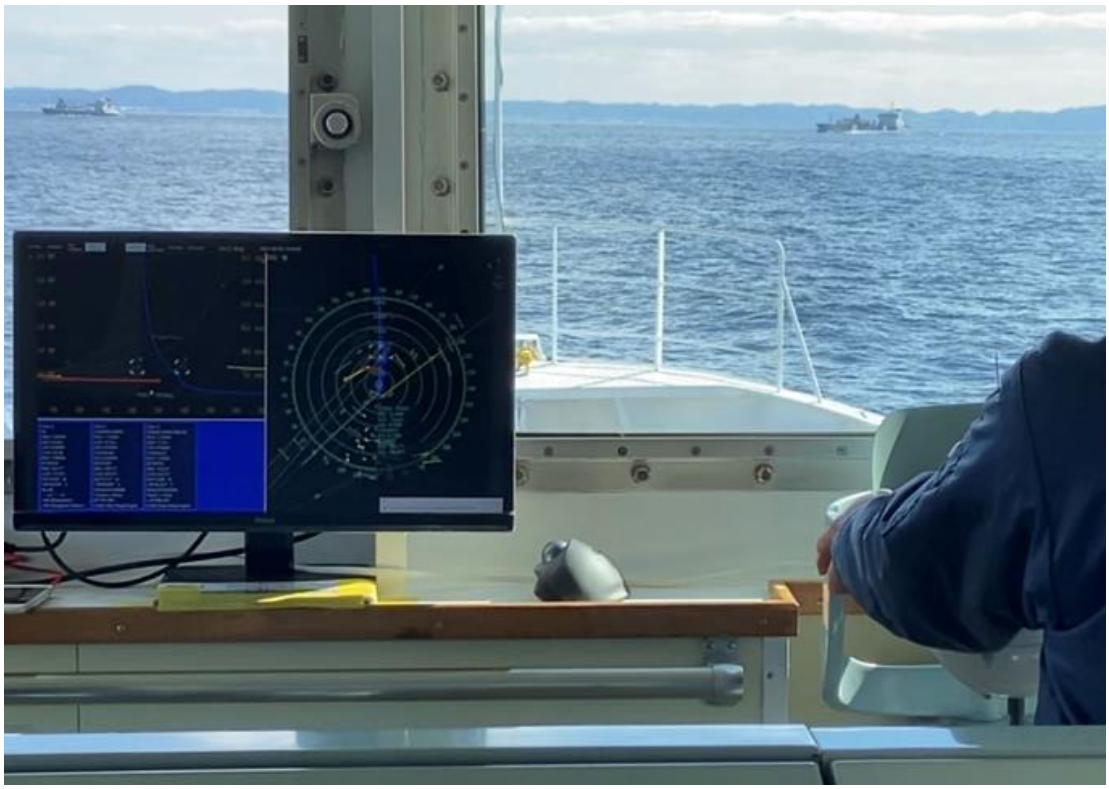


図 1.2.128　汐路丸実験状況

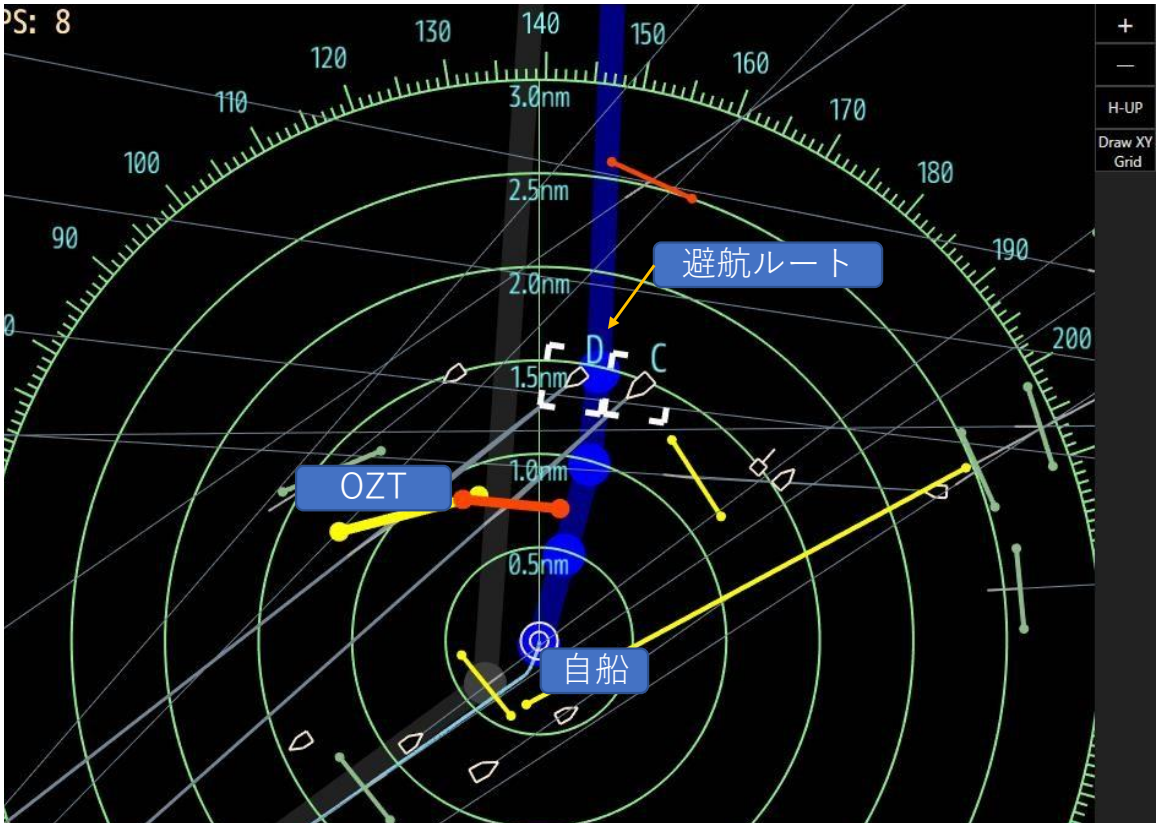


図 1.2.129　提案する避航ルート

□小項目 2

・画像マッチングアルゴリズムの改善により、立体視距離推定誤差を低減した。
・1～2mile 先の灯浮標の推定距離偶然誤差は 1.1%程度、4mile 先の反航船の推定距離偶然誤差は 5%程度であった。解像度から理論的に見込まれる誤差程度とほぼ一致した（図 1.2.130～図 1.2.131）。
・2021 年度小型船による自動運航実験計画にあわせ、小型船搭載用の全方位他船監視システムを構築した（図 1.2.132～図 1.2.133）。
・（一財）日本船舶技術研究協会「海事におけるデジタライゼーション推進のための画像認識システムの構築等に係る研究開発」研究委員会委員および WG 委員に引き続き就任、先行事例として講演、発表。科研費を獲得し基礎的研究を並行して実施している。

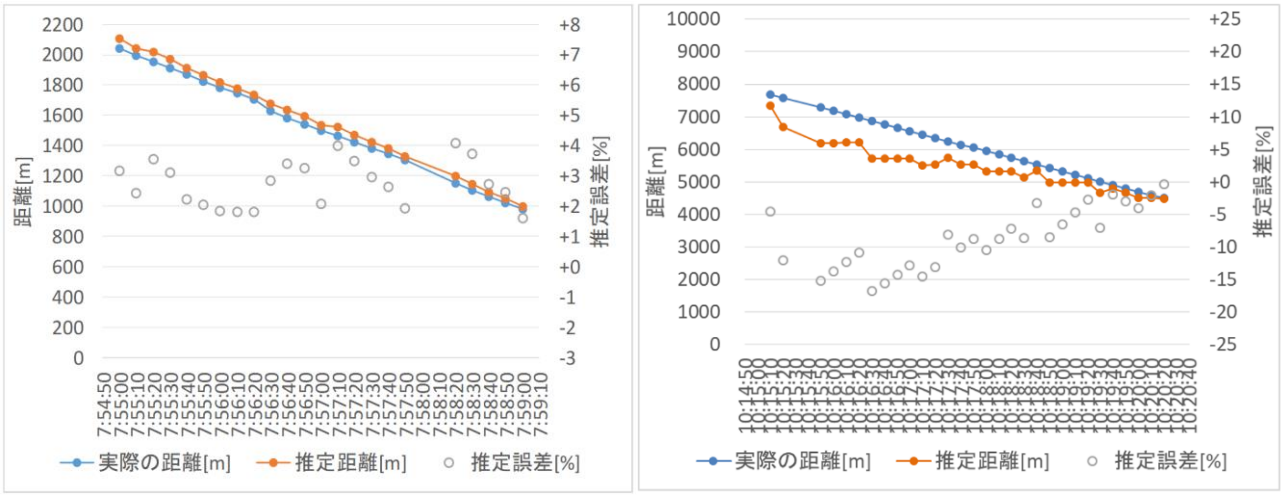


図 1.2.130　距離推定と誤差例　左：1mile 先灯浮標　右：4mile 先反航船

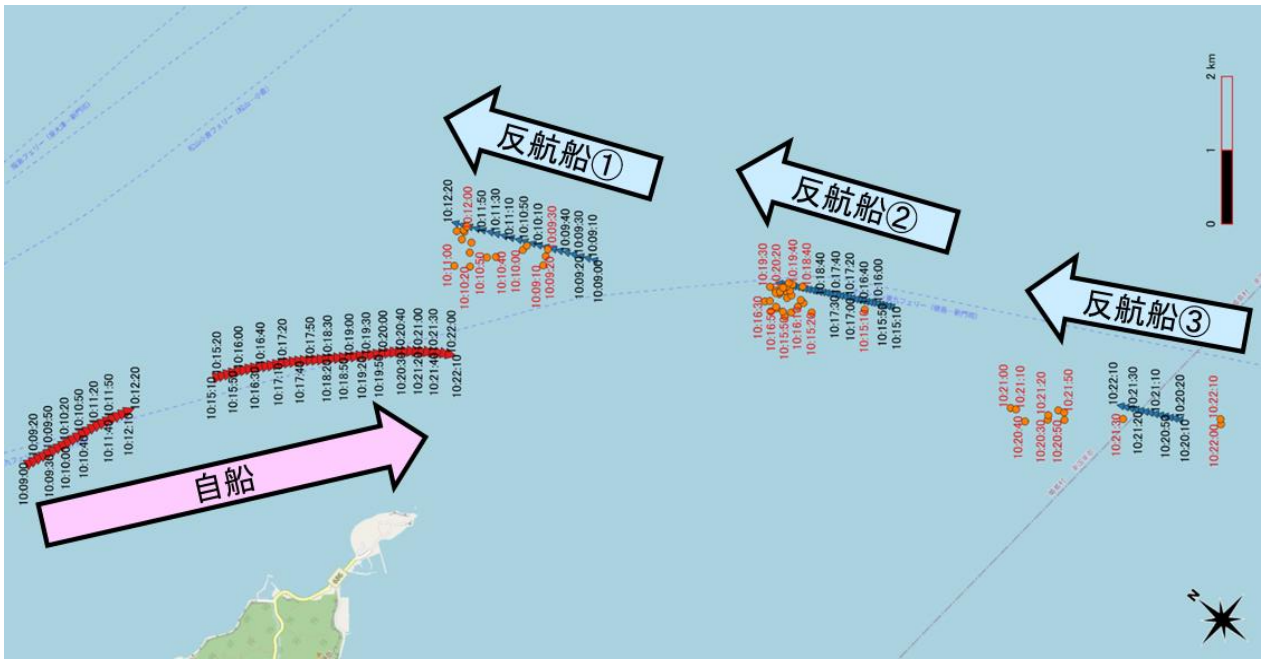


図 1.2.131　反航船推定位置と実際の位置

図 1.2.132 小型船に設置した全方位他船監視システムの一部

図 1.2.133 全方位他船監視システム検出試験結果

□小項目 4

・当初の計画通り、陸上からの自動運航船のバックアップ機能として、実船上で計測データ及びカメラ画像データを船・陸間通信技術により陸上に転送し、陸上で確認できるシステムを構築した（図 1.2.134）。
・さらに、遠隔操船システムと計画航路追従機能を組み合わせることによって、陸上からの遠隔操船によって計画航路追従が行えるシステムを試作した。この遠隔操船システムを小型実験船に実装し、広島県尾道市因島の海上において、遠隔操船システムの動作確認試験を行い、他船が周りにいない状況で遠隔操船ができることを確認した（図 1.2.135）。
・自動運航船における陸上からの情報提供や管制について調査し、現状をまとめた。

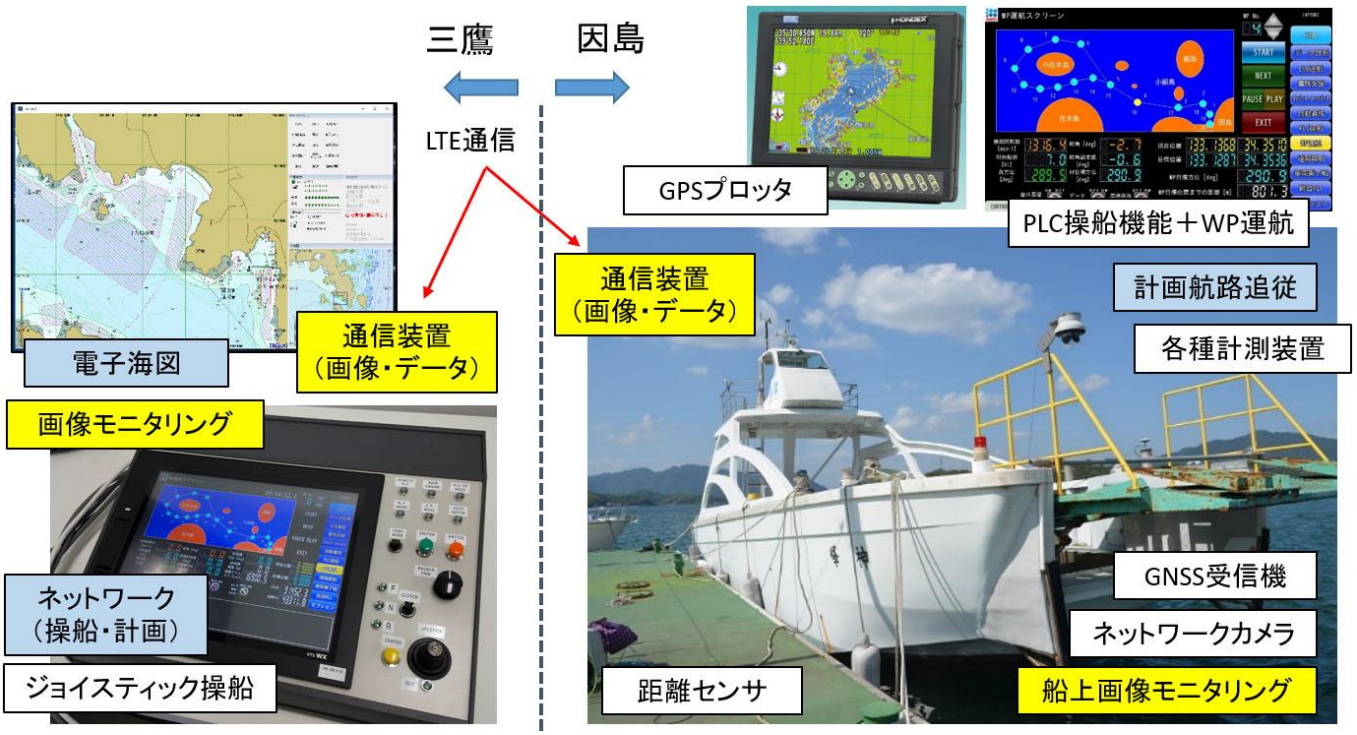


図 1.2.134　遠隔操船システムの小型実験船への実装並びに遠隔操船の概要

図 1.2.135　計画航路追従（ウェイポイント運航）の試験結果

□小項目 5

・2019 年度に実装した自動着桟制御コードおよび、シミュレーションコードの実装言語を Python3 から Julia に全面的に変更し、JIT コンパイラによる実行速度の向上および実装の整理を行った。また、2019 度に開発した低速時の MMG モデルの計算において、船体に働く Cross flow drag の積分計算を近似式に変更し、従来式（シンプソン則）、従来式（精度保証付き Gauss-Kronrod 求積法ソルバ（Quadjl））の 2 つの実装と比較し精度および実装速度を検証した（表 1.2.3）。結果的に Gauss-Kronrod 求積法による計算結果と同等の精度を保ちつつ、シンプソン則による実装に比べて、船体運動シミュレーションの計算速度を向上することができた。

・昨年度整備した実験船（神峰）の PLC 制御システムを操船シミュレータの小型版であるミニシミュレータ（5 号館）にも整備し、PLC を介してミニシミュレータで神峰のシミュレーションを行うことが可能となった。さらに、自動着桟

制御コードに付随したシミュレータコードを実装しており、実験船、ミニシミュレータ、シミュレータコード（Python3/Julia）に応じて通信内容の処理を変えることで、すべての環境で着桟制御コードの共通化を行った(図 1.2.136)。共通化により、陸上と船上の開発の移行をスムーズにすることで開発時のバグを抑制し、開発コードの品質向上を実現した。

・2019 年度より進めてきた実験用小型船向けの自動着桟システムを更新し、検証試験を実施した。風圧力特性と舵による力をもとにしたフィードフォワード制御を導入し、さらに着桟直前の回頭モードのクラッチ操作を改良することによって、8～10m/s 程度の強風時においても比較的安定した自動着桟ができることを確認した（図 1.2.137、図 1.2.138(a,b)）。

・操船者/船員の負荷低減に資するため、内航船舶に適したリーズナブルで実用的な省力化・効率化システムの総合的な研究開発を進めた。船首・船尾のスラスタやジョイスティック操船、監視カメラなどの様々な船員負荷低減技術を導入した 499GT 模型船を設計・試作し、水槽試験によって機能を確認した（図 1.2.139）。

表 1.2.3　MMG コードの実行速度の比較

実装	実行速度
近似式[吉村他　2020]（Julia）	162.400μs
Gauss–Kronrod 求積法（Julia）	608.700μs
シンプソン則（Julia）	178.299μs
シンプソン則（Python3，参考）	47899.246μs

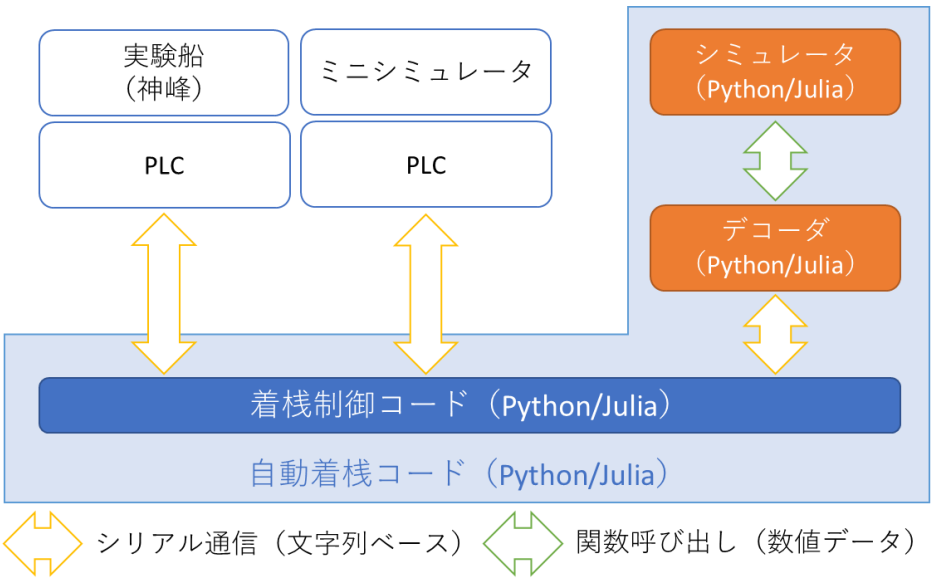


図 1.2.136　自動着桟コードと実験船・ミニシミュレータおよびシミュレータコードの関係図

図 1.2.137　自動着桟実船試験の様子

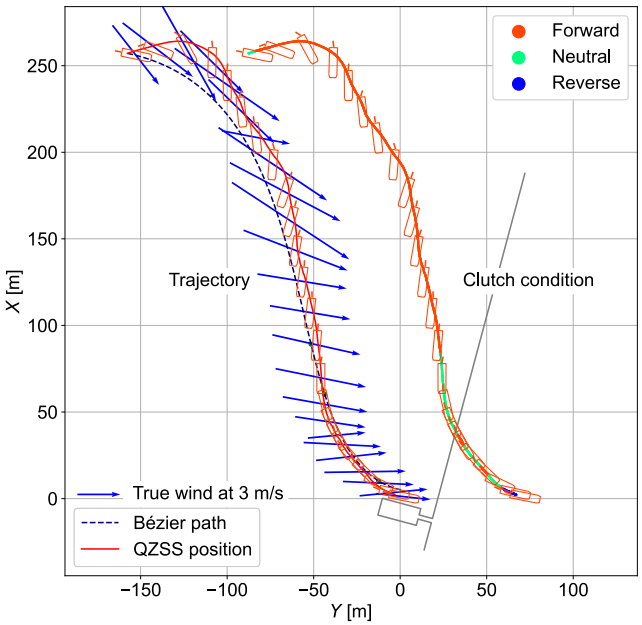


図 1.2.138(a) 改良したアルゴリズムによる強風時の着桟実験結果

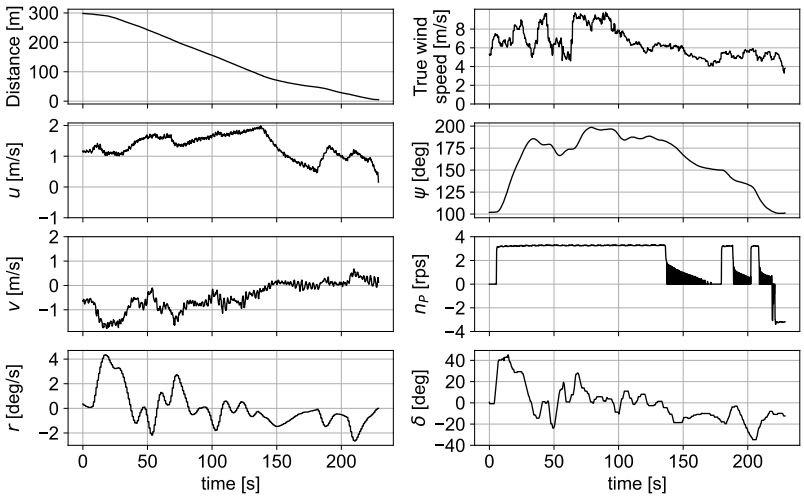


図 1.2.138(b) 実験時(図 5-2(a))のセンサ解析結果の時系列

図 1.2.139 様々な負荷低減技術を導入した 499GT 模型船

□小項目 6

・日本財団の MEGURI2040 プロジェクトにおいては、無人運航船を 2025 年までに実用化し、2040 年までに内航船の半数を無人運航船にする事を目標に、2021 年度中の実証試験を予定しており、当所は、第三者機関として、安全性評価を担当している。具体的には、将来的な遠隔操船船・自動運航船に必要な機能、HMI、不測の事態に陥った時のフォールバックとしてのオーバーライド手法等を検討し、遠隔操船船・自動運航船の自動化システムの安全性評価に必要な、ファストタイムシミュレーションシステム、操船シミュレータ、機関シミュレータ、センサシミュレータ、避難シミュレータから構成される、総合シミュレーションシステムの概要設計を実施した（図 1.2.140～図 1.2.141）。また、オーバーライドの検証用のモックアップを作成（図 1.2.142）し、遠隔監視模擬システムを構築した（図 1.2.143）。加えて、事故データ、AIS データをベースに、評価に使用するシナリオの検討を実施した（図 1.2.144）。

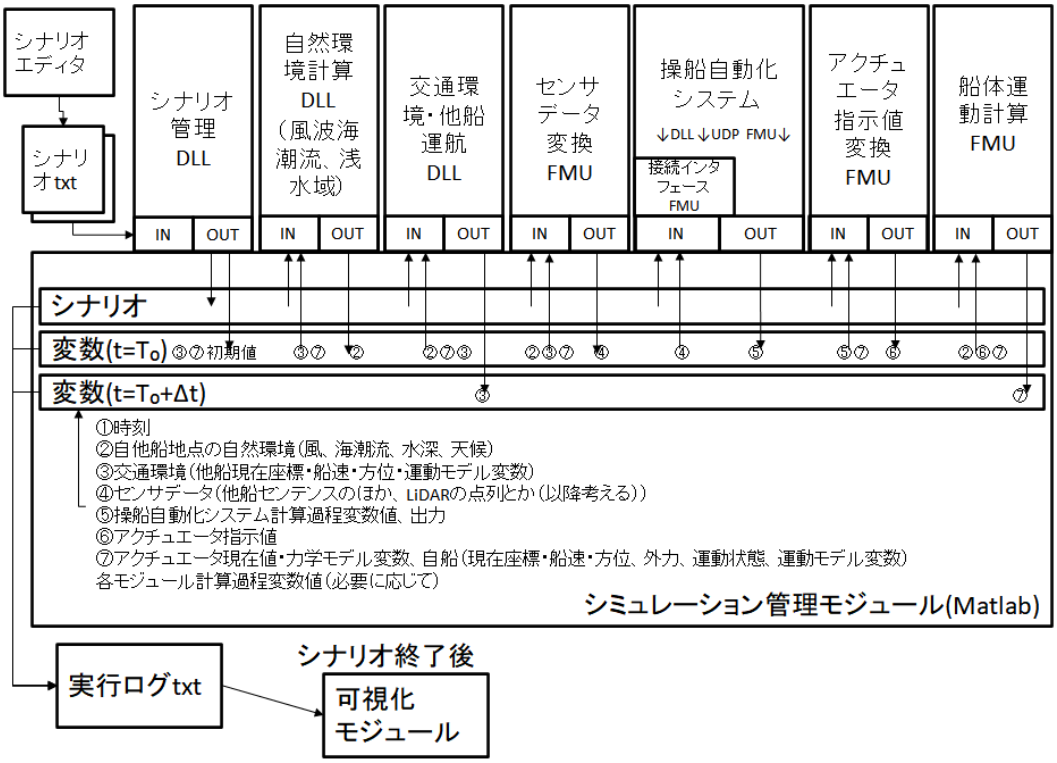


図 1.2.140　ファストタイムシミュレーションシステム

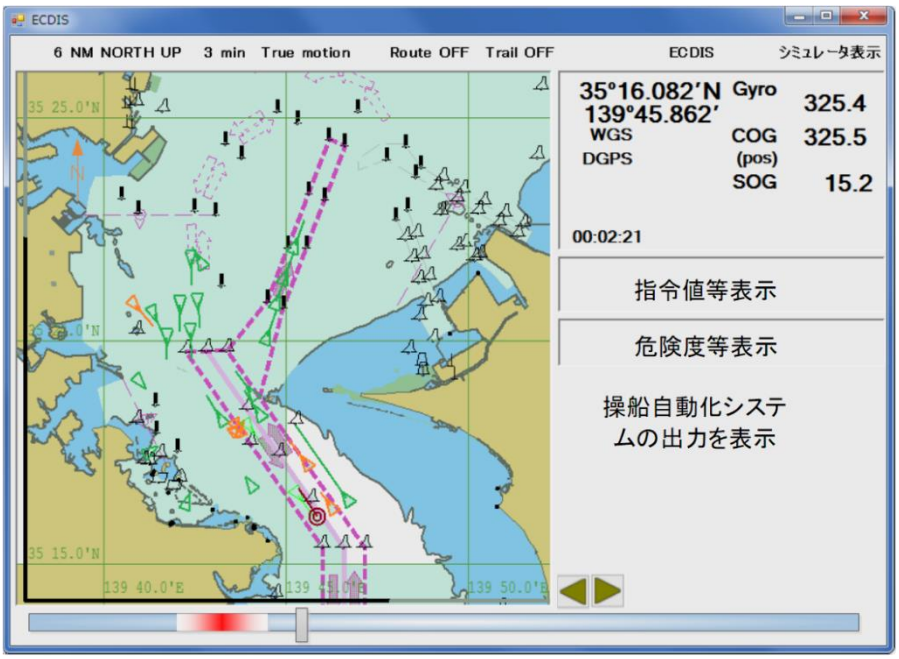


図 1.2.141　シミュレーション結果

図 1.2.142　操船用モックアップ

操船シミュレータ
（無人運航船側を再現）

遠隔監視システムの画面
（遠隔地側の監視画面を再現）

図 1.2.143　製作した操船シミュレータと遠隔監視模擬システムの動作状況

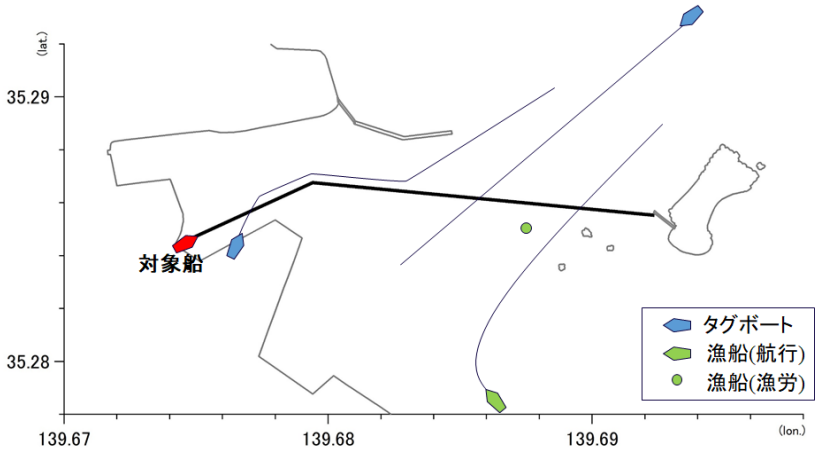


図 1.2.144　シナリオ案

R2 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):4 件(投稿中:1 件、採択済 0 件、掲載済:3 件)

・Sawada R., Sato K. and Majima T.: Automatic Ship Collision Avoidance using Deep Reinforcement Learning with LSTM in Continuous Action Spaces, J. Mar Sci Technol, (JMST), 2020
・Sawada R., Hirata K., Kitagawa Y., Saito E., Ueno M., Tanizawa K. and Fukuto J., : Path following Algorithm Application to Automatic Berthing Control, J Mar Sci Technol, (JMST), 2020
・Miyauchi, Y., Sawada, R., Akimoto, Y ., Umeda, N. & Maki, A. Optimization on Trajectory planning of Autonomous Docking / Berthing for the Realistic Port Geometry, Ocean Engineering (2021). (投稿中)
・小林充 ほか:可視光・遠赤外線画像と深層学習による浦賀水道航路の通航船舶の検出, 海技研報告第 20 巻第4号, 2021

□その他発表論文:11 件(投稿中:2 件、掲載済:9 件)

・平田宏一, 海技研における自動着桟システムの研究開発, 日本人間工学会, 関東支部第 50 回大会講演論文集, 2020 年 12 月.
・平田宏一, 海技研における自動着桟システムと要素技術の研究開発, 第 20 回海上技術安全研究所講演会, 2020 年 12 月.
・澤田涼平, 平田宏一, 北川泰士, 齊藤詠子, 上野道雄, 宮崎恵子, 谷澤克治, 福戸淳司:経路追従制御による自動着桟操船システムの開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 30 号, pp.43-49, 2020
・澤田涼平:深層強化学習による自動避航操船研究, Marine Engineering 日本マリンエンジニアリング学会誌 (Journal of the JIME), 第 55 巻, 第 6 号, pp.16-20, 2020
・澤田涼平, 平田宏一, 北川泰士, 齊藤詠子, 宮崎恵子, 上野道雄, 福戸淳司:着桟操船の音声支援と自動着桟制御に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻(別冊), 第 20 回研究発表会 講演集, 2020(採択済)
・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, 日本人間工学会関東支部第 50 回大会講演集(2020)
・國分健太郎, 南真紀子, 伊藤博子, 小林充:自動運航船の実用化に向けた当所の取組み, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻(別冊), 第 20 回研究発表会 講演集, 2020
・南真紀子, 丹羽康之, 佐藤圭二, 間島隆博;自動避航アルゴリズムの評価に関する検討, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻(別冊), 第 20 回研究発表会 講演集, 2020
・澤田涼平:深層強化学習を用いた複数の船舶を考慮した自動避航操船, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻, 第 4 号, 2021
・澤田涼平, 北川泰士, 平田宏一:風外乱補償型経路追従制御による自動着桟制御, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 32 号, 2021(投稿中)
・澤田涼平, 平田宏一:航行環境を考慮した着桟制御のための経路計画, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 32 号, 2021(投稿中)

□特許申請:2 件

・妨害ゾーン判断方法、移動体用システム及び妨害ゾーン表示方法 佐藤圭二ほか
・名称:「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」、出願番号:特願 2020-086108

□コアプログラム登録:1 件

・立体視による物体検出のための撮影・情報記録プログラム 小林充

□国際貢献:0 件

・

□受賞:0 件

・

□公開実験:3 件

・人にやさしい 499GT 貨物船に関する模型実験, 2021 年 1 月 25 日
・小型実験船「神峰」による自動着桟システムの実船実験, 2021 年 3 月 18 日
・衝突を自動的に回避する避航操船システムに係る実験, 2021 年 3 月 25 日

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

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

中長期目標	中長期計画	R2 年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発	海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発 －平時輸送の輸出入貨物を対象とし、貨物経路推定の基本手法の性能向上の検討、災害時の輸送に関しては、地域防災計画等よりネットワークデータ等の基盤データの整備を行い、陸、海、空を含めた大規模災害時を対象とした輸送シミュレータの開発を行う。 －国際海運・造船における経済状況を表す貨物流動データ等及び海運会社・造船会社の活動を表す運航データや船腹・建造データにおいてデータフュージョン（データ 融合）技術の検討を行う。 等

研究の背景

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

具体的には、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
・平時及び震災時における複合一貫輸送評価手法の研究
・船舶の運航情報提供システムの開発
□AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究
・データフュージョン技術の開発と海上貨物・造船需要等の評価・予測手法
・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。

R2 年度研究目標

□小項目 4

4) 災害時の傷病者輸送については、地域防災計画等の資料よりネットワークデータ等の基盤データを整備し、大規模災害時のシミュレータの開発を行う(国受)。支援物資輸送についてはシナリオ生成・物資輸送結果の総合評価機能を開発する。

輸出入貨物輸送経路予測システムは、想定利用者の意見を基に課題解決可能なよう開発を行い、クラウドに実装する。

□小項目 5

5)国際海運・造船需要予測、内航海運を例として、AI 手法等の適用に基づく融合技術の応用を行う。開発した System of Systems のモデルに基づく国際海運における GHG 削減等規制の影響評価を行う。

最新の AIS データから教師データを作成し、AI の再学習を行い、船舶の運航状況可視化のためのプログラムを開発する。(民請)

ディープラーニングをベースとして海運市況予測モデルを作成(広大担当)し、UI を整備してユーザービリティーを高める。

貿易統計データに基づくデータベースとモデル開発。(科研)

R2 年度研究内容

□小項目 4

・4)AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- 傷病者輸送シミュレータについて、地域防災計画等の資料よりネットワークデータ等の基盤データを整備し、大規模災害時におけるシミュレータ開発を行った。
- 輸出入貨物輸送経路予測システムは、想定ユーザーへのヒアリング、Web 公開用の貨物輸送経路分析例とそれに合わせたシステム改修、海技研クラウドでの公開等を行った。
- 支援物資輸送については発災後利用可能な船種や船腹量の分析を行ってシナリオを作成すると共に、充足率を用いた物資輸送結果の総合評価機能を開発した。

□小項目 5

・5)AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

- IMO 4th GHG Study のコンソーシアムに、海技研 GHG PT メンバー等と参加し、代替燃料船等のコスト評価や最新の情報収集を実施した。
- これまでに開発したバルクキャリアの輸送シミュレーションと造船市場予測モデルを統合し、ゼロエミッション船の中長期導入戦略を評価するシミュレーションを開発した。

R2 年度研究成果

□小項目 4

- マルチエージェントシステムによる大規模災害時輸送のシミュレータのプロトタイプを開発した。(図 1.2.145)
- 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 1.2.146)や、病院への搬送人数、機材ごとの輸送人数を定量的に示した(図 1.2.147)。
- 令和元年度に交通運輸技術開発推進制度に採択され、2年目における年度末評価委員会において、委員の先生方から緻密なシステムで大変重要な技術を開発されていると評価を受けた。

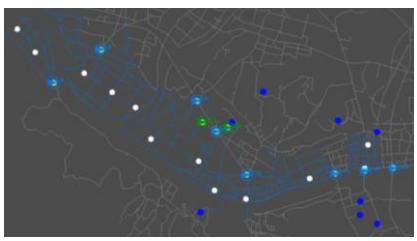


図 1.2.145:シミュレータ可視化画面
(緑・水色:輸送機材、青:病院)

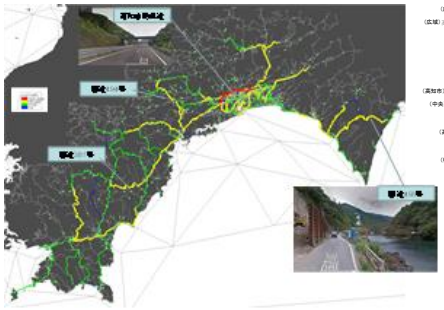


図 1.2.146: 結果より算出された、利用頻度の高い道路

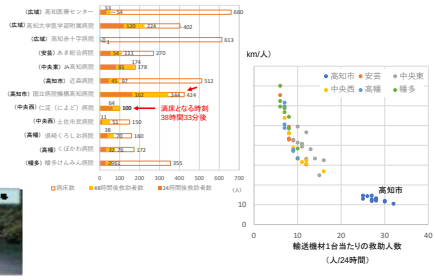


図 1.2.147: 病院への搬送人数、機材ごとの輸送人数をグラフ化

- 想定ユーザーである地方港湾を対象にヒアリング調査を実施し、分析内容は港にとって知りたい内容であり、さらに詳しい分析を期待するとの結果が得られた。それらの結果を基に公開用輸出入貨物輸送経路予測システムを開発して海技研クラウド上に公開した（図 1.2.148）。
- 南海トラフ地震後に利用可能となる船種や船腹量の分析を行い、発災後 24 時間程度から多数の船舶を支援物資輸送に利用可能となるとを示すと共に、解析シナリオを作成して輸送の総合的評価機能を開発した（図 1.2.149）。

図 1.2.148 海技研クラウドに公開した貨物輸送経路分析システム(一部)

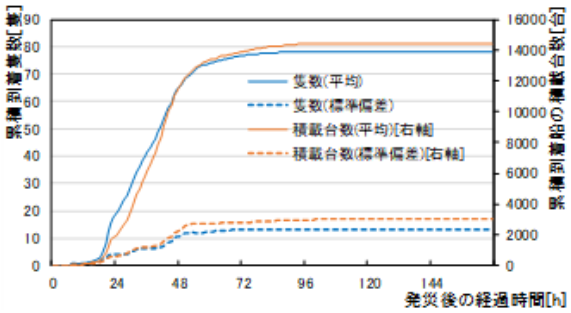


図 1.2.149 発災後の経過時間と到着済み船の累積輸送力の分析結果

□小項目 5

- IMO 4th GHG Study に参加し、最新の情報収集を行うトと共に、様々な CO_2 削減技術のコスト評価を行った。
- CO_2 削減技術の全体的なコスト評価を行うため、CO_2 削減可能量とコストの関係を示す限界削減費用曲線の作成（図 1.2.150）、減速航行における限界削減費用の感度分析等を実施した（図 1.2.151）。
- 造船市場モデルと運航モデルを統合した GHG 排出量評価シミュレータを開発した。
- 開発したシミュレータを活用し、ゼロエミッション船導入時の運航コストを減速等の影響も加味し評価した。（図 1.2.152）
- 開発したシミュレータを活用し、複数のゼロエミッション船導入戦略を評価し、IMO の削減戦略に対応する導入戦略の検討を実施した。（図 1.2.153, 1.2.154）

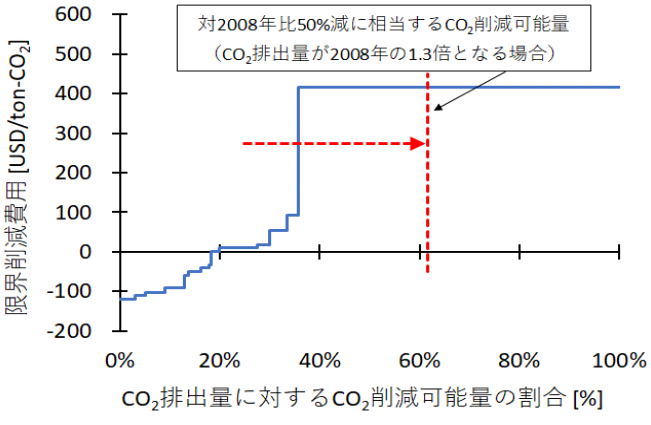


図 1.2.1502050 年の国際海運における限界削減費用

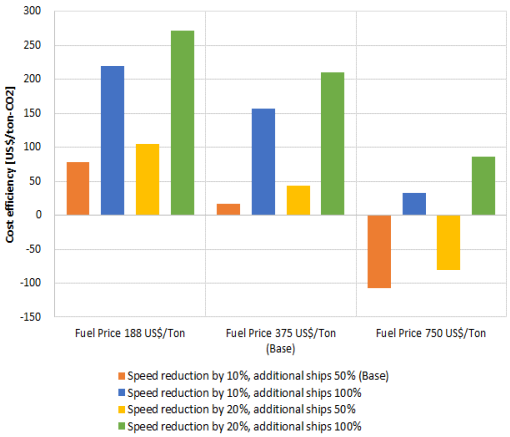


図 1.2.151 減速航行における限界削減費用の感度

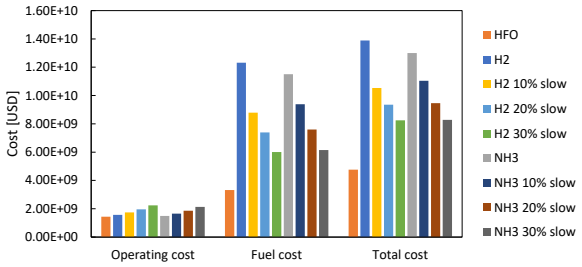


図 1.2.152 ゼロエミッション船導入による運航コストへの影響評価

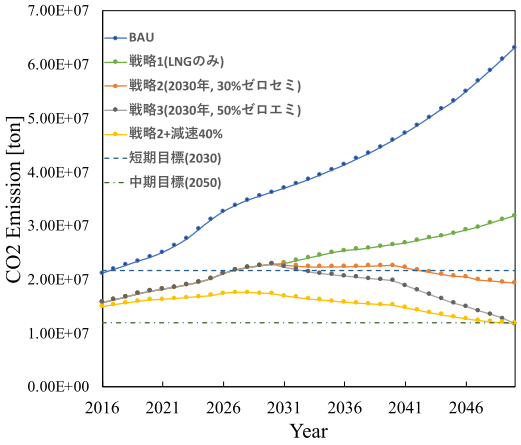


図 1.2.153 ゼロエミッション船導入戦略ごとの GHG 排出量の推移

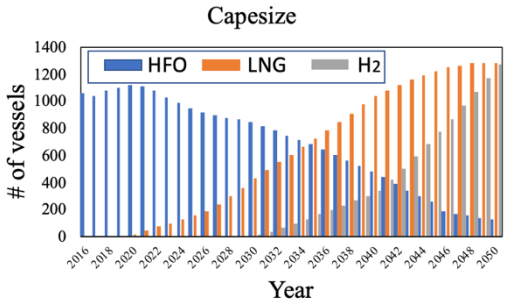


図 1.2.154 シミュレータが予測した船団における H2 燃料船への移行シナリオ

R2 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：3件、採択済：0件、掲載済：3件）

- 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 (2021)（投稿中）
- 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 (2021)（投稿中）
- Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Kunihiro Hamad, Shinnosuke Wanaka: Evaluation of GHG Emission Measures Based on Shipping and Shipbuilding Market Forecasting, Sustainability, Vol. 13, No. 5, 2021.
- Kazuo Hiekata, Shinnosuke Wanaka, Yoshinori Okubo: Mining Rules of Decision-making for Fleet Management Under Market Uncertainty Using Genetic Algorithm, Maritime Policy and Management, 2021. (投稿中).
- 和中真之介，稗方和夫，堀井悠司：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.
- 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可能性評価，日本船舶海洋工学会論文集，vol.32，2020.

口その他発表論文：6 件（投稿中：0 件、掲載済：6 件）

- 荒谷太郎：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～マルチエージェントシステムによるシミュレータの開発～，第 5 回「交通運輸技術フォーラム」，2021.
- 荒谷太郎：大規模災害時における傷病者輸送シミュレータ開発に関する取組，第 13 回港湾空港技術講演会 in 横浜，2020.
- 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：マルチエージェントシステムによる傷病者輸送シミュレータの開発，土木計画学研究・講演集(CD-ROM) Vol.62，2020.

- 荒谷太郎, 間島隆博, 小濱英司, 大矢陽介:大規模災害時の船舶による救援活動, 港湾荷役, 第 65 巻 4 号, pp.417-421, 2020.
- 和中真之介, 和田裕次郎, 山村巽, 川北千春, 濱田邦裕:海運・造船市場モデルと運航モデルの統合によるゼロエミッション船導入戦略の検討, 日本船舶海洋工学会講演論文集, Vol.30, 2020.
- 松倉洋史, 荒谷太郎, 間島隆博:南海トラフ地震における船舶による支援物資輸送への利用可能性評価法, 日本船舶海洋工学会令和 2 年秋季講演会論文集, 2020.

□特許申請:1 件

・輸送経路予測プログラム及び輸送経路予測システム　松倉洋史

□コアプログラム登録:1 件

・INFINIT モデルを用いた海上輸送シミュレーション　和中真之介

□国際貢献:1件

・Hiroyuki KOSAKA, Koichi HIRATA, Eiichi MURAOKA, Masaki ADACHI: 4.4 Marginal abatement cost curves, Fourth IMO GHG Study July 2020, MEPC 75-7-15.

□受賞:〇件

・

□公開実験:〇件

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2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2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2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2年度においては、50 の研究実施項目のうち、24 項目を基礎研究として位置付けた。また、基礎研究以外の応用研究・開発研究と位置づけた研究実施項目においても、基礎研究的な要素・成果を含む研究が存在する。

（2）特定萌芽的研究の推進

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

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

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

③独創的・先進的な研究テーマであるか、研究手法が独創的・先進的であること。

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

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

研究開発課題	（1）沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ	地震災害の軽減や復旧に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害の発生リスクが高まっているなか、国民の生命や財産を守るために、防災及び減災対策を通じた国土強靱化の推進が必要である。研究所は、東日本大震災をはじめとした既往の災害で顕在化した課題への対応を引き続き推進するとともに、新たな災害が発生した場合には迅速に対応しつつ、港湾・空港等における地震、津波及び高潮・高波災害の軽減及び復旧に関する研究開発等に取り組む。	南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。 このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。 ①地震災害の軽減や復旧に関する研究開発	南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。 このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。 ①地震災害の軽減や復旧に関する研究開発 －震源近傍の強震動に関して、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、熊本地震の際に顕在化した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開発し、その妥当性を検証する。 －既存施設への部材追加や地震による損傷後の交換などを通じ、沿岸域施設の機能を地震後に早期に発現させるための技術の開発を進める。 －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・対策技術を開発する。 等

研究の背景

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

研究目標

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

令和2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について検討を行った。震源近傍強震動の予測手法の開発について、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開発し、実地震に適用してその妥当性を検討した。

（2）最大級の地震に対する被害軽減技術に関する研究

最大級の地震に対する被害軽減技術に関して、最大級の地震に対する洋上風力発電設備・沿岸域構造物の耐震性能照査の技術開発、沿岸域施設の耐震性能早期発現のための対策技術開発について検討を行った。

洋上風力発電施設を対象として開発した地震応答解析プログラムを用い、モノパイル基礎を対象として多数の解析を行い、地震動・風力連成解析の影響、液状化層のモデル化方法の影響、海底面傾斜の影響等について検討した。制振部材の追設による直杭式桟橋の耐震補強工法について、模型振動実験、解析を行い、追設部材の損傷を許容することで構造全体としての損傷・変形を低減できることを確認した。

（3）地震・津波・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関する研究

地震・津波・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関して、沿岸構造物の吸い出し・陥没等安定性評価と対策技術の開発、波・流れに対する沿岸地盤構造物の変形・破壊特性評価と補強技術の開発について検討を行った。

令和2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2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2年 1 月～12 月の期間で 1,930 個の強震記録が取得されている。東北地方太平洋沖地震の発生以降、2013 年～2018 年までは毎年 2,000 個以上の強震記録が得られており、それと比べるとやや少ないが、東北地方太平洋沖地震の発生以前は強震記録の数が年間 300～500 個程度であったことを考えるとかなり多いと言える。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。

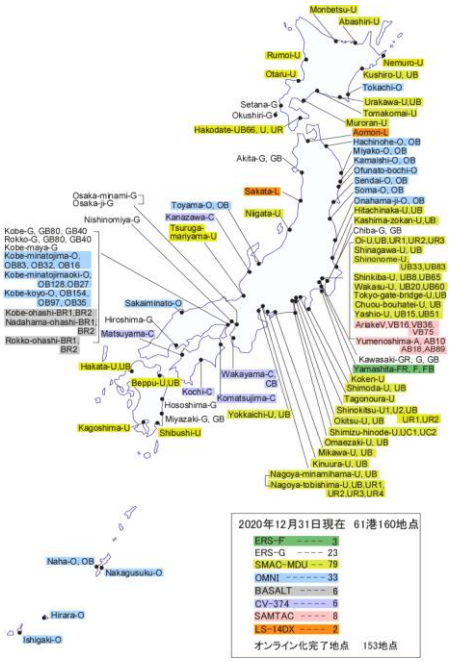


図 1.3.1 港湾地域強震観測網

令和 3 年に入ってからは、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港湾でも強い地震動が観測された。2 月 13 日に福島県沖で発生した地震（M7.3）では北海道から近畿まで 28 港湾で強震記録が得られた。3 月 20 日に宮城県沖で発生した地震（M6.9）では北海道から東海まで 20 港湾で強震記録が得られた。2 月 13 日の地震の際に相馬港の地表面（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、2011 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、2011 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。

図 1.3.2 相馬港で見られた噴砂

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。

②地震災害および被災要因調査

令和2年度は、現地調査を要する被害地震として、令和 3 年 2 月 13 日福島県沖の地震が発生した。この地震に関して、国土技術政策総合研究所、東北地方整備局小名浜港湾事務所、福島県相馬港湾建設事務所と

連携し、2 月 15 日に現地調査を行った。主な対象は相馬港である。その結果、耐震強化岸壁では、ケーソン背後において岩ズリからしみ出したと考えられる細粒分を含む泥水溜まりがあったものの、同じ埠頭の非耐震ケーソン岸壁よりも変形・変状は小さく、供用に支障が無いことなどを確認した。図 1.3.2 は同じ埠頭の護岸背後で見られた噴砂である。

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 1.3.2）。これは地震時の岸壁法線の変位を数 cm の誤差で計測できるものであり、部材の損傷程度の正確な把握を可能とするものである。令和2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。

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。

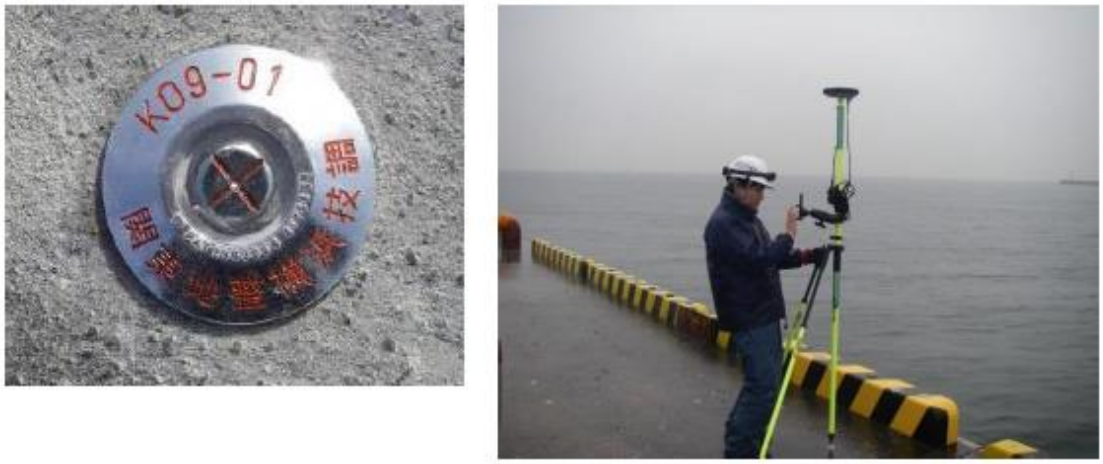


図 1.3.3 岸壁使用可否判断支援システム「Berth Surveyor」

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する。その際、工学的な応用を考慮し、できるだけ簡便で利用しやすくかつ計算精度も確保できる震源モデルとすることを念頭におく。令和2年度は、強震動シミュレーション手法について、精度の良い計算を行うために必要となる断層面の離散化の方法、複素周波数の利用方法などについて、基礎的な検討を行い、成果を公表した（図 1.3.4）。また、実際の地震を対象にして、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を強震記録と比較することによりその妥当性の検証をすすめた（図 1.3.5）。さらに、近年発生した米国の被害地震について震源断層の破壊過程の推定を行い、成果を米国地震学会が刊行する“Bulletin of the Seismological Society of America”にて公表した（図 1.3.6）。

今後はさらに実地震を対象とした場合の計算精度の検証などの課題に取り組んでいく予定である。

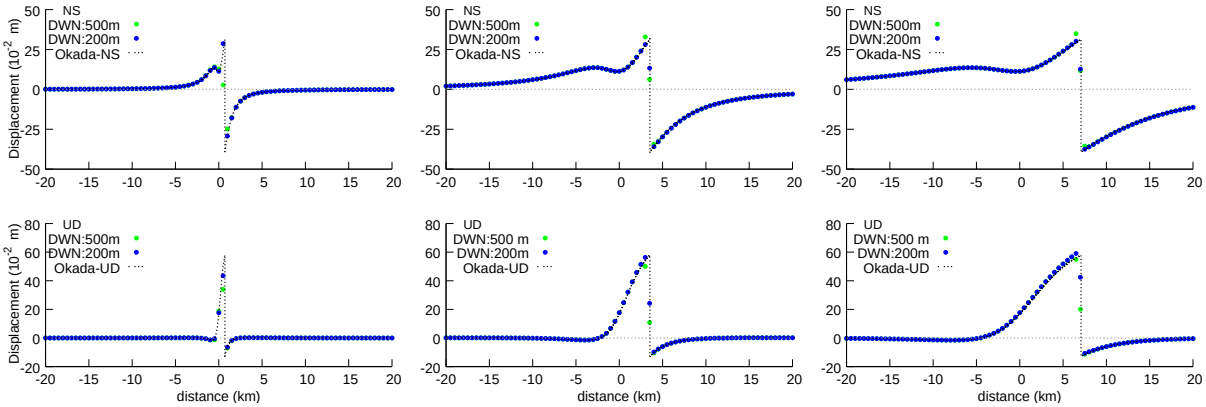


図 1.3.4　永久変位成分を含む地震動の計算精度に関する基礎的な検討の例

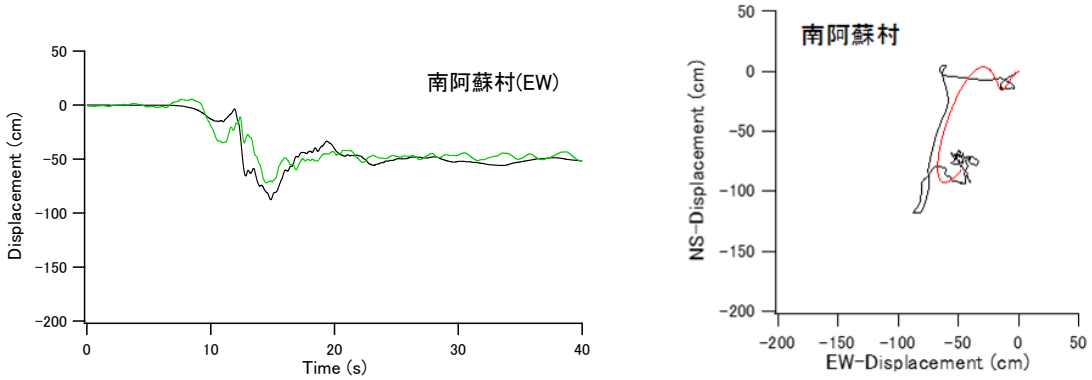


図 1.3.5　実地震を対象とした複合型の震源モデルによる強震動シミュレーション結果の例

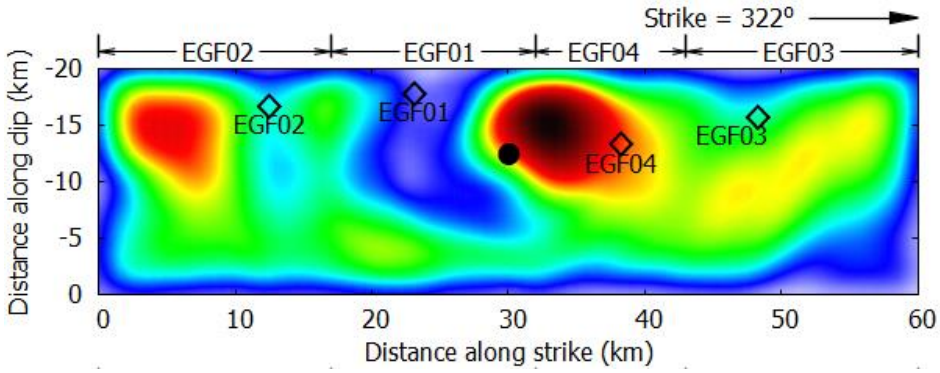


図 1.3.6　2019 年 7 月 6 日米国 Ridgecrest 地震（Mw7.1）のすべり量分布
（断層を北東側から見た図，●は破壊開始点）

④液状化による沈下・流動の新たな予測手法の開発

図 1.3.7　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

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。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2年度は様々な地震動作用下での粒度や塑性が大きく異なる地盤の液状化と沈下特性について評価・分析を行った。

（2）最大級の地震に対する被害軽減技術に関する研究

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

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

令和2年度は、洋上風力発電施設を対象として本研究で開発した地震応答解析プログラム（図 1.3.8）を用い、モノパイル基礎を対象として、地震動・風力連成解析の影響、液状化層のモデル化方法の影響、海底面傾斜の影響等について検討した。地震動・風力連成解析の影響については、風は地震動による風車の振動を抑制する傾向があること、連成解析によれば単独解析の結果を足し合わせるよりも断面力が小さくなり経済的な断面となる可能性があることを明らかにした。液状化層のモデル化方法の影響については、地盤ばねの非線形性、有効応力の変化を精緻にモデル化した方が杭の断面力が小さくなることを示した。海底面傾斜の影響については、海底面傾斜による流動変位が杭の断面力に及ぼす影響が大きいこと、海底地盤の傾斜の把握が重要であることを示した。

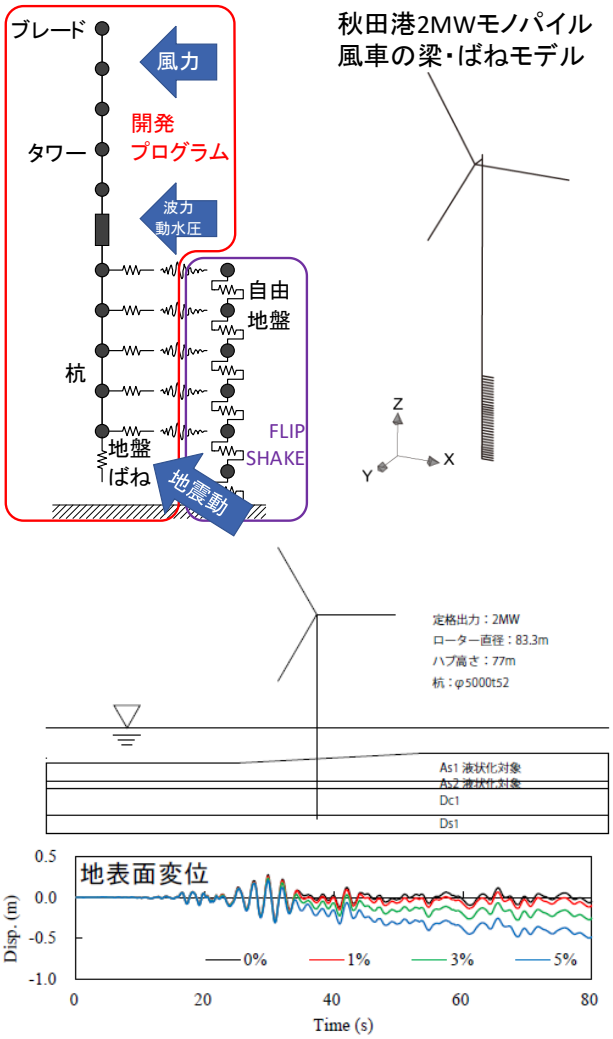


図 1.3.8　開発したプログラムと解析の一例

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2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）について、水中振動台による模型振動実験と数値解析により検討した。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。模型振動実験では追設部材を防振ゴム等により模擬した（図 1.3.9）。検討の結果、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が得られた。

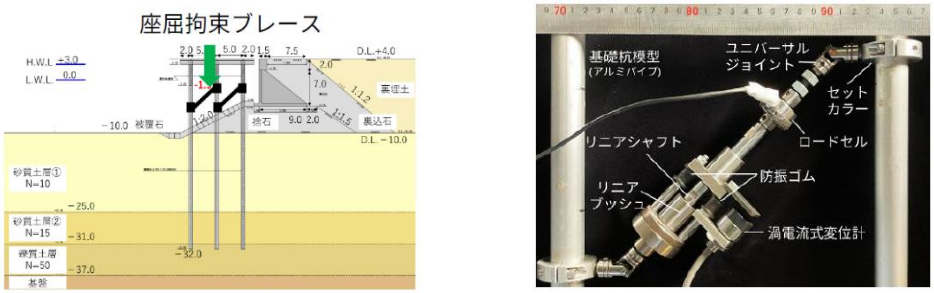


図 1.3.9　直杭式桟橋に座屈拘束ブレースを追設した構造（左）と追設部材の再現に用いた防振ゴム等（右）

（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増設滑走路、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。今後は、研究実施期間の延長により、沿岸構造物の吸い出し、陥没等安定性評価と有効な設計対策技術について、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。

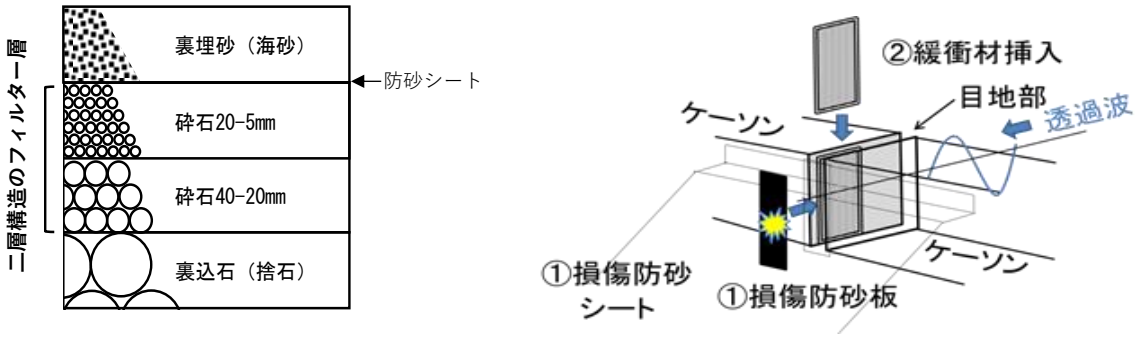


図 1.3.10　吸い出し防止対策としての二層構造のフィルター層の概念図(左)とケーソン目地透過波低減法(右)

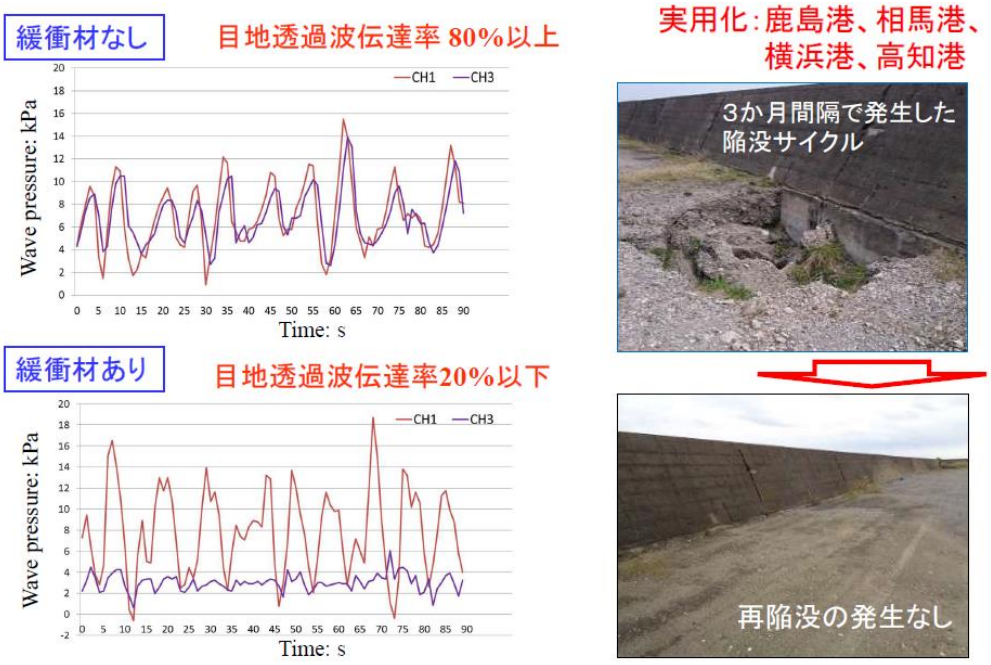


図 1.3.11　ケーソン目地透過波低減法による波力低減効果と陥没抑止効果

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2年度は波・流れに対する沿岸地盤構造物の変形・破壊過程を調べ（図 1.3.12 左）、不規則波によっても引き波時に護岸が倒壊すること、地盤内水位が高まるほど護岸が不安定化することを確認した。また、深層混合処理工法を用いた補強に関する実験を先行的に実施し（図 1.3.12 右）、堤体内部に固化処理土を設けることで越流時に天端高さを保てること、適切な固化処理土の強度設定が必要であることを確認した。

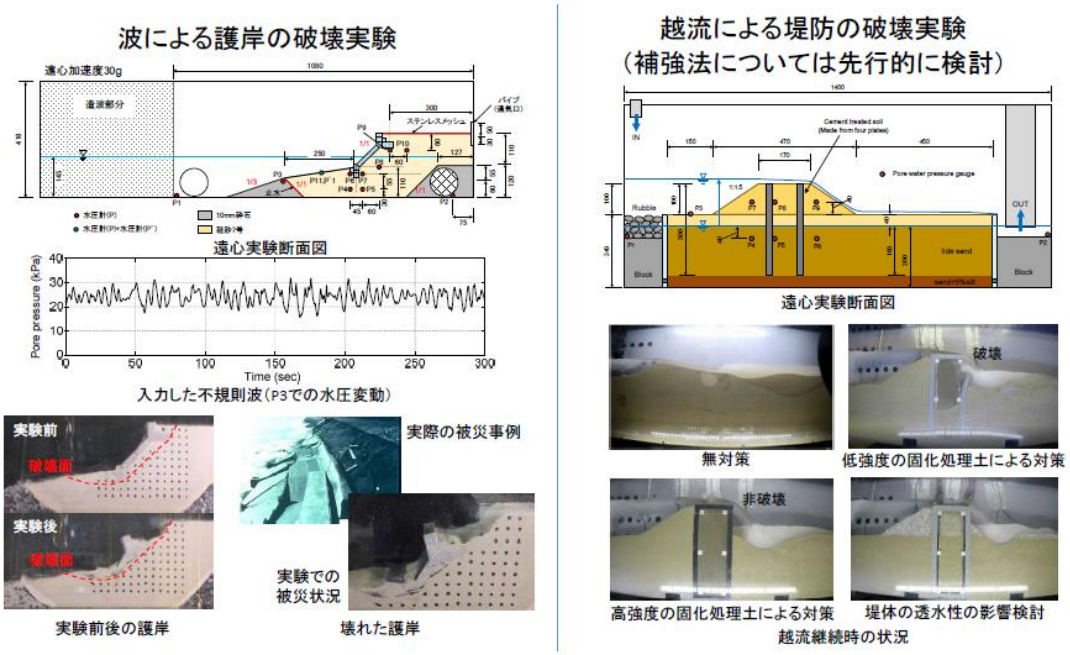


図 1.3.12　波による護岸の破壊実験（左）と越流による堤防の破壊実験（右）

成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：1編

・工代健太，佐々真志，梁順普，高田康平，鈴木高二朗(2020)：地盤及び水理外力の特性を考慮した吸い出し・空洞形成・陥没機構とフィルター材による抑止法の研究，港空研報告，Vol.59，No.3，pp.1-20.

□発表論文(英文)：10編

・Wu, S., Nozu, A. and Nagasaka, Y. (2020): Accuracy of near-fault fling-step displacements estimated using the discrete wavenumber method, Bulletin of the Seismological Society of America, https://doi.org/10.1785/0120190257

・Wu, S., Nozu, A. and Nagasaka, Y. (2020): Rupture process of the mainshock of the 2019 Ridgecrest earthquake sequence from waveform inversion with empirical Green's functions, Bulletin of the Seismological Society of America, https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/doi/10.1785/0120200266/593869

・Miyamoto, J., Sassa, S., Tsurugasaki, K. and Sumida, H. (2020): Wave-induced liquefaction and instability of offshore monopile in a drum centrifuge, Soils and Foundations, Vol.61, Issue 1, pp.35-49, doi:10.1016/j.sandf.2020.10.005.

・Sassa, S. (2021): Mechanics and Countermeasures of Scour and Internal Erosion: Tsunami/Wave-Seabed-Structure Interaction, Lecture Notes in Civil Engineering, Keynote paper, in press.

・Sassa, S. (2020): New Horizons in Practical Liquefaction Prediction and Mitigation Measures for Existing Structures, Innovative Infrastructure Solutions, Vol. 5, No.3, pp.1-10. Invited. doi:10.1007/s41062-020-00324-9.

・Sassa, S. (2020): Cascading Mechanisms behind the 2018 Indonesia Sulawesi Earthquake and Tsunami Disasters: Inland/Coastal Liquefaction, Landslides and Tsunami, Springer Series in Geomechanics and Geoengineering, Keynote Paper. doi:10.1007/978-3-030-46351-9_4.

・Murata, K., Sassa, S. and Takagawa, T. (2020): Tsunami Disaster caused by the 1923 Great Kanto Earthquake and the Importance of Submarine Landslides, Proc. 5th World Landslide Forum. 280-285.

・Takahashi, H. (2021): Stability of composite-type breakwaters reinforced by rubble embankment, Soils and Foundations, Vol. 61, Issue 2, pp. 318-334.

・Takahashi, H. (2022): Tsunami overflow tests of levee reinforced by deep mixing method in centrifuge, International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering(ICSMGE, 国際地盤工学会議).(掲載決定済)

・Binh Nguyen, Kazuhiko Ueno, Yoshiyuki Morikawa, Hidenori Takahashi, and Sachihiko Tokunaga: Study on the earthquake resistance of deep-mixing reinforced levee using effective stress analysis, Deep Mixing 2021. (掲載決定済)

・Miyamoto, J., Sassa, S., Tsurugasaki, K. and Sumida, H.: Wave-induced liquefaction and the stability of suction bucket foundation, Proceedings of 10th International Conference on Scour and Erosion (ICSE-10) in press.

・Amin B., Lombardi, D., Bienen, B. and Sassa, S. (2021): Offshore Wind Turbine Foundations, Soils and Foundations, https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.12.004.

□発表論文(和文)：13編

・長坂陽介，野津厚(2020)：2018 年 6 月 18 日大阪府北部の地震(MJ 6.1)の震源過程解析および疑似点震源モデルによる強震動シミュレーション，地震 2，第 73 巻，pp.129-147.

・大矢陽介，小濱英司(2020)：地下構造物周辺の液状化地盤を対象とした模型振動実験の再現解析とひずみ履歴の評価，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.76，No.2，pp.I_498-I_503.

・野津厚(2021)：種々の教科書におけるモード解析の取り扱いとその改善策に関する一考察，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.77(印刷中).

・塩崎禎郎，大矢陽介，小濱英司(2021)：降伏応力 450MPa 超えの高強度鋼管杭の港湾構造への適用に向けた検討，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.77(印刷中).

・工代健太，佐々真志，梁順普，高田康平(2020)：地表面変位観測による地盤内の空洞陥没の予知および吸い出し抑止法の検討，土木学会論文集 B2，Vol.76，No.2，pp.859-864.

・宮本順司，佐々真志(2020)：日本沿岸で観測された暴波浪による液状化危険度評価と地盤内間隙水圧応答の予測，土木学会論文集 B3，Vol.76，No.2，pp.462-467.

・宮本順司，佐々真志，鶴ヶ崎和博，角田紘子(2020)：波による地盤の液状化とサクション基礎の安定性に関するドラム遠心実験，土木学会論文集 B2，Vol.76，No.2，pp.456-461.

・佐々真志(2020)：海底地すべりと津波： 海底地すべり研究の最前線 (現地調査・実験・数値解析)，地盤工学会誌，Vol.68，No.8，pp.86-93.

・工代健太，佐々真志，後藤翔矢，花沢大輔，大塚悟(2020)：母材砂の粒度分布と細粒分の塑性が液状化予測判定の精度に及ぼす影響の検討，土木学会論文集 B3，Vol.76，No.2，pp.1085-1090.

・村田一城，佐々真志，高川智博(2020)：海底地すべり及び地すべり津波のリスク評価に向けた地震時海底地盤液状化危険度の検討，土木学会論文集 B3，Vol.76，No.2，pp.1055-1060.

・竹之内寛至，佐々真志，足立雅樹，岩城徹也，岡田宙，金子誓(2020)：新たな CPG 工法の隆起抑制メカニズムの検証と改良体拡径時の改良効果，土木学会論文集 B3，Vol.76，No.2，pp.929-934.

・高橋英紀(2020)：深層混合処理工法で補強した堤防の地震時振動特性，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.76，No. 2，pp. I_426-I_431.

・近藤明彦，小濱英司，渡辺健二，国生隼人，天野俊，小山萌弥，永尾直也，吉原到(2020)：制振部材を用いた直杭式桟橋の模型振動台実験による耐震性向上効果の検討，土木学会論文集 B3(海洋開発).

・坪川良太，飯田泰成，牛渡裕二，松田達也，宮武誠，佐々真志 (2021): 沿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，印刷中.
・佐々真志 (2020): 吸い出し・陥没抑止に向けたケーソン目地透過波低減法，地盤工学会誌，Vol. 68, No. 12, pp. 35-36.

□特許：1 件
・特願 2020-133786「ドレーン材の打設方法及びそれに使用するドレーン材打設装置」：佐々真志、五洋建設、東亜建設工業、キャドテック、錦城護謨、不動テトラ、りんかい日産建設

研究開発課題	（1）沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ	津波災害の軽減や復旧に関する研究開発

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

研究の背景

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

研究目標

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

令和2年度の研究内容

（1）埋め込み境界法による混相モデルと物理エンジン bullet を用いた漂流物モデルを数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D-2F に実装することで三次元漂流物モデルを開発した。それを用いて、既存の平面二次元の漂流物モデル STOC-DM と比較計算した。コンテナのような偏心物体も計算できるようにモデルを改良した。

（2）津波発生後早期の被害推計への応用を念頭に、最大クラスはもちろん、それより小規模な津波に対しても、波源を推定する手法として、GPS 波浪計の点と海洋レーダーの面での観測データを活用し、相反原理に基づく独自手法で演算時間を大幅に短縮する手法を開発した。

（3）防波堤の堤頭部や被覆工に作用する波力を調べるために、大規模な平面実験で流れと水位を詳細に計測した。移動床実験で、堤頭部の洗掘現象を明らかにし、洗掘防止工を検討した。津波起因の渦で人体が巻き込まれる過程も調べた。

（4）粒子法の造波モデルの境界条件として、複数の断面で規則波の波高を与えるものを昨年度に開発しており、それを 1 つの断面だけで機能し底面地形の影響を受けにくいものに改良するとともに、不規則波や孤立波等の適用性も検討した。

令和2年度の研究成果

（1）岸壁上の漂流物の挙動を平面二次元と三次元のモデルで比較計算することで、平面二次元モデルでは考慮できない三次元の回転による地面との接触で漂流物の挙動を大きく変わることを確認した。今後は、偏心物体も含めて比較計算を行い、挙動の三次元性を平面二次元モデルに反映させる手法を開発する。

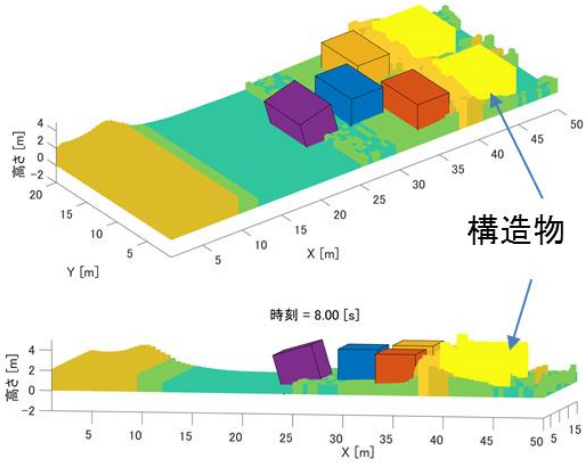


図 1.3.13　三次元漂流物モデルによる計算

（2）津波波源断層のパラメータの推定では、最適化関数が局所ピークを持つため、初期値の与え方によっては大域的な最適値に収束せず、推定値が安定しないという問題があった。波源インバージョン手法にレプリカ交換マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いることにより短時間で安定した波源断層の推定を実現した。

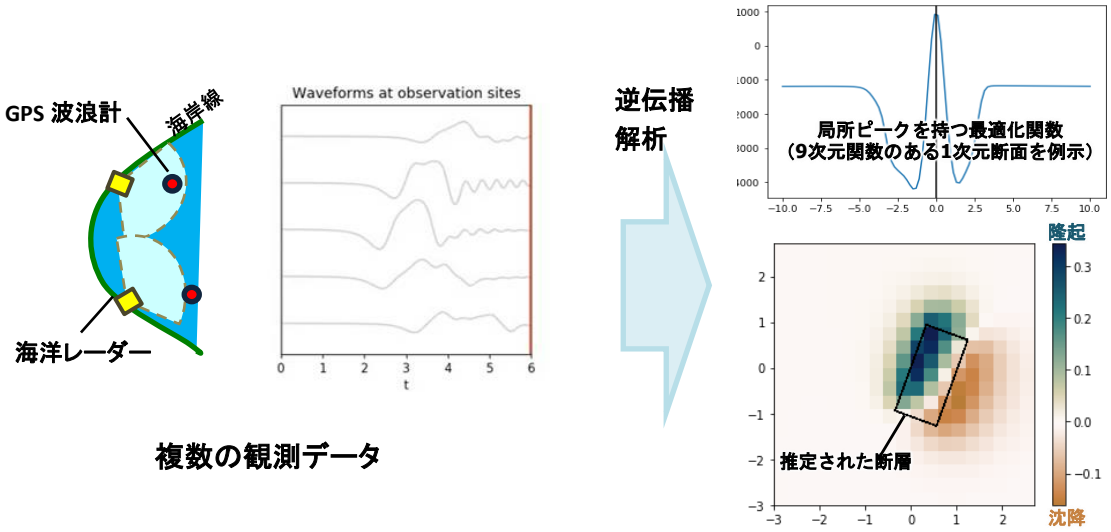


図 1.3.14　複数の観測地点のデータからの逆推定した波源断層

（3）防波堤の堤頭部で、津波の潜り込みによって海底面で流速が増大し洗掘が生じる過程を模型実験と数値計算で明らかにした。堤体に作用する波力の算定法をまとめ、連結式の袋詰め被覆工による新たな洗掘防止工等の安定性を確認した。これらの成果は浦戸湾口の防波堤の設計に使われ、洗掘防止工法では特許を取得した。津波起因の渦が人体を巻き込む過程と巻き込みを抑制するための必要浮力も明らかにした。

図 1.3.15　袋詰め被覆工による洗掘対策

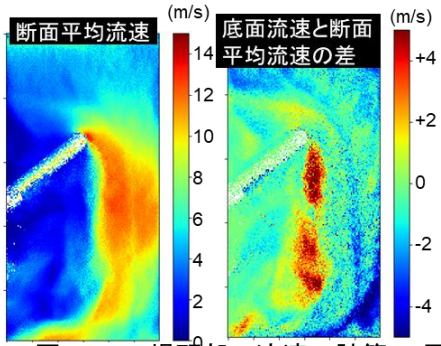


図 1.3.16　堤頭部の流速の計算

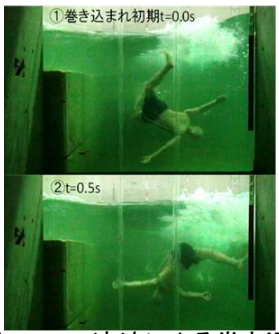


図 1.3.17　津波による巻き込み

（4）粒子法の造波モデルが 1 つの断面の波高で機能することを確認した。規則波だけでなく不規則波、孤立波でも、一様水深だけでなく波の変形が生じる斜面上でも、造波ができた。これによって計算領域を対象構造物の周辺に絞り計算効率を劇的に改善できると期待される。他の平面 2 次元シミュレーション等との接続性も高められた。

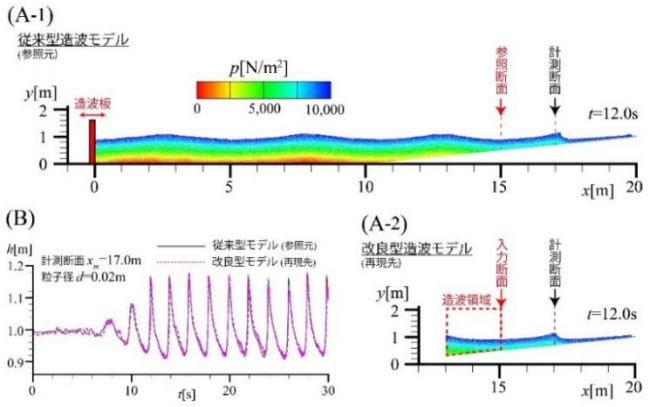


図 1.3.18 粒子法による改良型造波モデル（A：圧力分布，B：時系列波高）

成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：0 編

□発表論文（和文）：9 編

- 倉原義之介，武田将英，髙川智博，千田 優（2020）：引き波下における漂流コンテナの着底に関する漂流物移動モデルの検証，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76, No.2, pp.I_959-I_964.
- 千田 優，福井信気，森 信人，安田誠宏，山本剛士（2020）：漂流物と流れ場の時空間計測データを用いた複雑流れ場における津波漂流物挙動の解析，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.76, No.2, pp.I_313-I_318.
- 福井信気，森 信人，Che Wei Chang，千田 優，安田誠宏，山本剛士（2020）：沿岸市街地模型を用いた津波・高潮浸水実験と解析，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.76, No.2, pp.I_373-I_378.
- 富田孝史，田口聖也，中西祥一，千田 優，水谷法美（2020）：津波漂流物群の初期配置がそれらの流動挙動に及ぼす影響に関する実験的研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.76, No.2, pp.I_307-I_312.
- 大石裕介，新出孝政，山崎崇史，牧野嶋文泰，馬場俊孝，前田拓人，近貞直孝，対馬弘晃，高川智博（2020）：南海トラフ巨大地震の 3 次元津波伝播シミュレーション，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.76, No.2, pp. I_259-I_264.
- 千田 優，鶴田修己，久保田博貴，朝比翔太，遠山憲二，鈴木高二朗（2020）：空間解像度と防波堤の近似方法の違いが防波堤周辺の津波および地形変化計算に与える影響，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76, No.2, pp. I_1049-I_1054.
- 鶴田修己・鈴木高二朗・朝比翔太・遠山憲二（2020）：越流する津波の引き波時における岸壁への作用波力に関する検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76, No.2, pp.I_144-I_149.
- 鶴田修己・後藤仁志・Abbas Khayyer・鈴木高二朗（2020）：波高のみを境界条件とする新しい造波モデルの粒子法型数値波動水槽への適用，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 76, No.2, pp. I_7-I_12.
- 久保田博貴・鶴田修己・千田優・朝比翔太・遠山憲二・鈴木高二朗（2020）：三次元粒子法型数値波動水槽を用いた防波堤堤頭部における巨大津波流れに関する検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 76, No.2, pp. I_283-I_288.

□発表論文（英文）：2 編

- Kuriyama, Y., Chida, Y., Uno, Y. and Honda, K. (2020): Numerical simulation of sedimentations and erosions caused by the 2011 Tohoku Tsunami in Oarai Port, Japan, Coastal Engineering.
- Tsuruta, N., Khayyer, A., Gotoh, H., Suzuki, K. (2021): Development of Wavy Interface model for wave generation by the projection-based particle methods, Coasta Engineering, Vol.165, 103861.
- Chang, C-H., Mori, N., Tsuruta, N., and Suzuki, K.: On the Interactions between Water Waves and Mangrove Trees: Physical Modeling in Two Scales, Proceedings of AOGS 16th Annual Meeting, Suntec, Singapore, 2019.
- Suzuki, T., Tajima, Y., Watanabe, M., Tsuruta, N., Takagi, H., Takabatake, T., Suzuki, K., Shimozono, T., Shigihara, Y., Shibayama, T., Kawaguchi, S., and Arikawa, T.: Post-event survey of locally concentrated disaster due to 2019 Typhoon Faxai along the western shore of Tokyo Bay, Japan, Coastal Engineering Journal, 2020.

□その他：4 編

- Chida. Y., Mori. N., Yasuda. T., Fukui. N., Chang. C., Yamamoto. T., Kennedy. A., Copp. A., Zhang. Z. (2020): Physical experiments and numerical simulation for drift objects due to tsunami inundation in coastal urban area, Abstract, 37th International Conference on Coastal Engineering.
- Zhang, Z., Mori. N., Chida, Y., Yasuda. T., Fukui. N., Chang. C., Yamamoto. T., Kennedy. A., Copp. A. (2020): Physical modeling of tsunami and storm surge inundation in a coastal urban setting, Abstract, 37th International Conference on Coastal Engineering.

・ Fukui, N., Mori, N., Chida, Y., Yasuda. T., Chang. C., Yamamoto. T., Kennedy. A., Copp. A., Zhang. Z. (2020): Physical and numerical modeling of tsunami inundation in coastal urban area, Abstract, 37th International Conference on Coastal Engineering.
・ 鈴木高二朗(2020):津波防災に関する設計・研究の最新事情, CDIT, No.54.

口特許出願:1件
・ 特願 2020-127254(200-6018)「洗堀防止ユニット及び洗堀防止構造」:鈴木高二朗、朝比翔太、前田工繊.

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、岸壁の越波浸水・排水モデルを開発する。 －最大級の高潮ハザードの研究では、超高風速下の海面抵抗係数を検討する一方で、波浪の影響を考慮した高潮とその浸水の計算を行う。 －高潮高波・津波時の外郭施設の構造部材の波力の研究では、ニューラルネットワークを用いて波力の時系列や構造部材・地盤の動的挙動を推定する方法を検討する。 等

研究の背景

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

研究目標

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

令和2年度の研究内容

（1）2019 年に全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）で得たデータから、波浪の出現特性を整理し、波浪観測年報に取りまとめた。方向スペクトルに基づく日本沿岸における多峰性波浪の出現特性も検討した。

（2）台風 1915 号による沿岸災害はどのような海象条件下でもたらされ、なぜ横浜港周辺に局在化したのか、を提示することを主目的として、第三世代波浪モデルによる波浪の再現計算およびうねりが湾内に進入する波向線の解析を行った。

（3）台風 1821 号に伴う高潮・高波によって浸水被害の生じた神戸港コンテナ埠頭を例に、岸壁背後の浸水状況を、護岸の越波流量算定図の援用ではなく、港内の波浪変形と岸壁の越波・排水を同時に計算できる研究用ブ

シネスクモデル（NOWT-PARI）によって計算し、その妥当性を確認した。

（4）Wave setup が顕著な港湾に対して、台風の移動速度と経路が Wave setup を含む高潮の潮位偏差に与える影響を検討した。その高潮の推算では、北西太平洋全域から砕波帯を表現できる計算領域まで、ネスティングによって高解像度化し、海洋-波浪結合モデルを用いた。風速 30m/s を超す高風速下における海面抵抗係数の設定方法についても検討した。

（5）災害後の応急対策として用いられる土のうなど仮設工の越波に対する安定性、防砂板に作用する波力を低減するために近年開発された網型減勢材で波力が低減するメカニズムについて、大規模実験を行った。

令和2年度の研究成果

（1）2019 年のナウファスでは、通年欠測した地点を除く 69 地点のうち 5 地点で、何れも台風 1915 号または 1919 号によって既往最大有義波高を更新した。今後も、継続的に波浪観測データの解析を行い、日本沿岸各地点における波浪の出現特性を明らかにしていく。

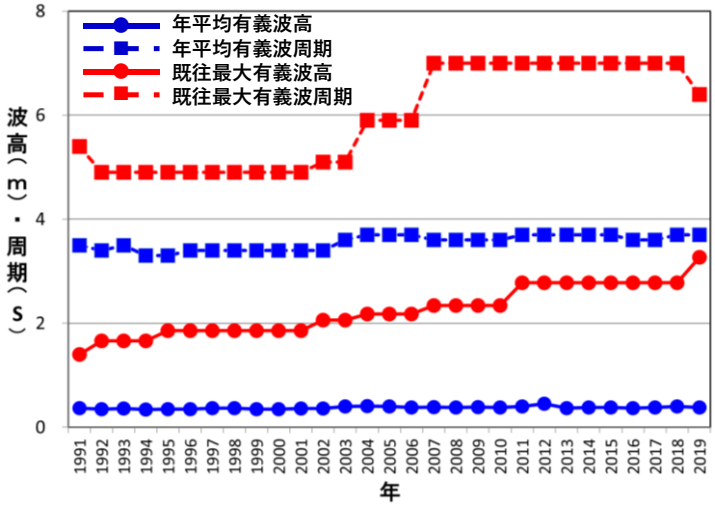


図 1.3.19　第二海堡における波浪の経年変化

（2）東京湾の波浪推算で風や地形の再現性が重要であり、湾外からのうねり性波浪が横浜港周辺に甚大な被害をもたらした可能性が高いことを示した。この知見は、被害の実態解明の手掛かりになると期待される。

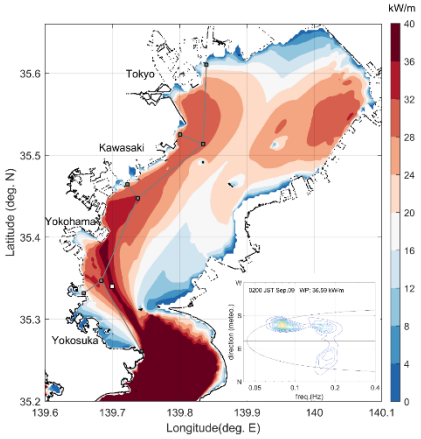


図 1.3.20　波パワーの最大値の分布

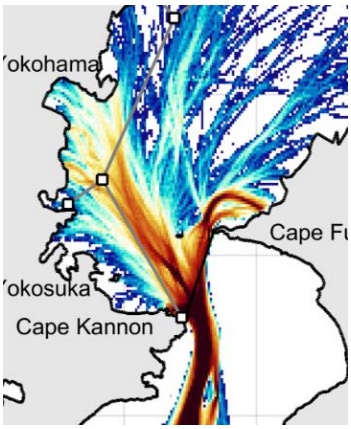


図 1.3.21　湾内に侵入するうねりの波向線の解析

（3）高潮・高波の時間変化に応じて連続計算できるよう改良した NOWT-PARI によって、潮位の低下や越波の減少で生じる自然排水も考慮して、埠頭の浸水過程を把握できることを確認した。今後は、水没による荷役機械の損傷を防ぎ港湾の早期再開に資する計算手法の確立に向け、水面変動を含めた最大浸水高の計算精度の向上と低減策の検討を進める。

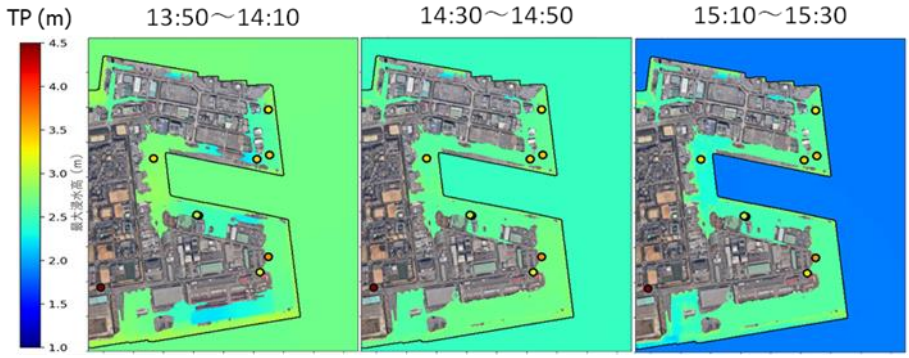


図 1.3.22　台風 1821 号に伴う高潮・高波による浸水過程

（4）台風が洋上で波浪の群速度を上回る速度（時速　70km）で移動すると、波浪はあまり発達できず、沿岸に達する波浪もそれによって生じる wave　setup もあまり大きくならない。図に示すように、これより遅い速度のときの方が wave setup が大きくなり、潮位偏差の合計としても大きくなる可能性があることが分かった。

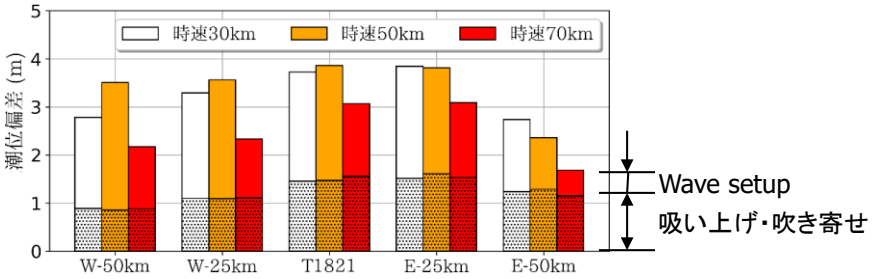


図 1.3.23　台風の移動速度と経路による潮位偏差の比較

（5）護岸の後退パラペットや土のうに作用する衝撃波力の特性を明らかにし、土のうの越波に対する安定性の評価法を提案した。その成果は、港湾局の「港湾における高潮・高波被害軽減のための土のうの設置事例集」に盛り込まれる予定である。網型減勢材による目地内波圧の低減メカニズムも明らかにした。

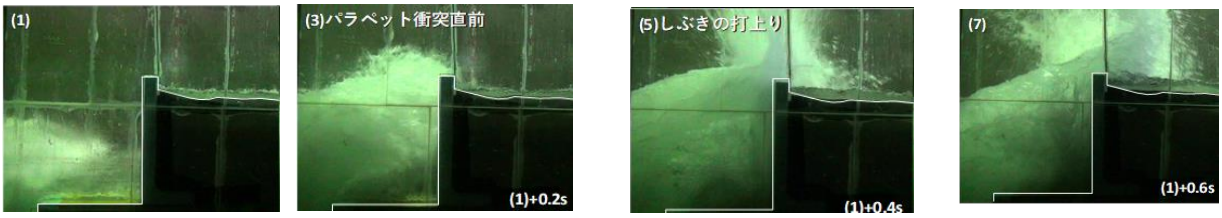


図 1.3.24　後退パラペットに働く波力実験

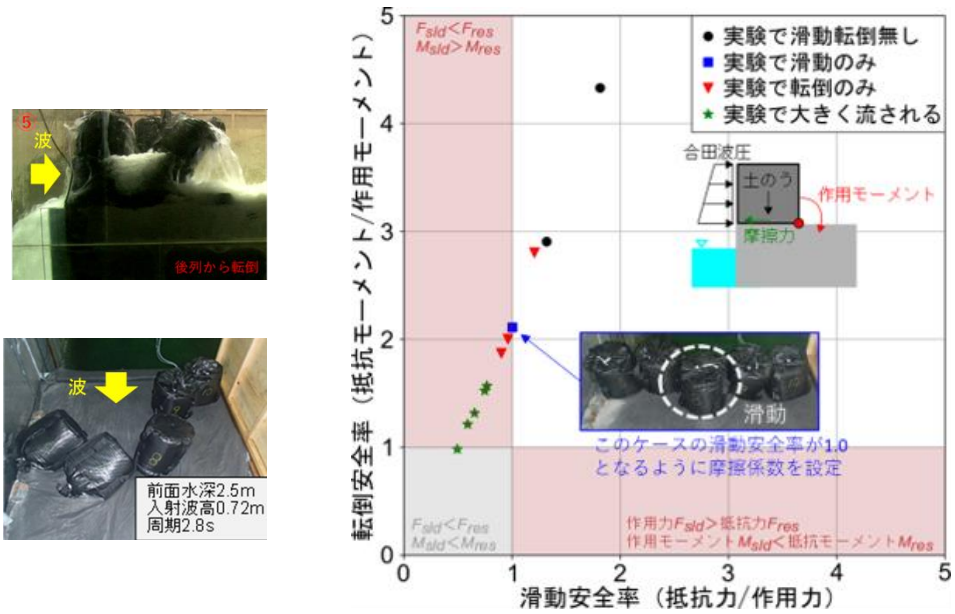


図 1.3.25　　土のうの安定性の実験の結果

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：3 編

・川口浩二・末廣文一・藤木 峻・田村 仁 (2020)：全国港湾海洋波浪観測年報（NOWPHAS20188），港湾空港技術研究所資料，No.1371，124p.

・川口浩二・吉田勘一郎・藤木 峻・田村 仁 (2021)：全国港湾海洋波浪観測年報（NOWPHAS2019），港湾空港技術研究所資料，No.1381，125p.

・ 河合弘泰・鈴木高二朗・平山克也・川口浩二・山本康太・本多和彦・里村大樹・鶴田修己・藤木峻・千田優・岩本匠夢・朝比翔太・川口真吾・久保田博貴 (2020)：台風 1915 号の気象・高潮・波浪の特徴と横浜港の浸水被害，港湾空港技術研究所資料，No.1379，54p.

□発表論文（和文）：10 編

・ 仲井圭二・額田恭史・橋本典明・川口浩二 (2020)：全国沿岸における波浪と風の特異日，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 76, No. 2, pp.I_37-I_42.

・ 松藤絵理子・橋本典明・川口浩二・宇都宮好博 (2020)：NOWPHAS 観測値を用いたうねりの特性解析及びうねりの推算精度向上に向けた検討，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 76, No. 2, pp.I_43-I_48.

・ 藤木 峻・森信人・川口浩二・田村 仁 (2020)：方向スペクトルの多峰性を考慮したスペクトル型波浪モデルの精度評価，土木学会論文集 B3(海岸工学)，Vol. 76, No. 2, pp.I_181-I_186.

・ 橋本典明・三井正雄・川口浩二・藤木 峻 (2020)：超音波ドップラー式海象計で観測された方向スペクトルの安定性と信頼性の向上，土木学会論文集 B3(海岸工学)，Vol. 76 No. 2, pp.I_199-I_204，土木学会海岸工学論文賞を受賞．

・ 岩本匠夢・河合弘泰 (2020)：様々な気象モデルを用いた最大風速半径の小さな台風 1915 号による高潮推算値の比較検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.76, No.2, pp.I_989-I_994.

・ 松尾俊平・河合弘泰・岩本匠夢 (2020)：海洋・波浪結合モデルを用いた沖縄本島沿岸における高波・高潮の同時生起性と継続時間，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.76, No.2, pp.I_216-I_221.

・ 田中 敦・鈴木高二朗 (2020)：直立護岸に作用する波圧と背後地盤の振動に関する一実験， 土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76, No.2, pp.I_121-I_125.

・ 田中 敦・鈴木高二朗 (2020)：深層学習手法を用いた時系列波圧および加速度の推定に関する一検討， 土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.76, No.2, pp.I_799-I_804.

・ 久保田博貴・鈴木高二朗・川口真吾 (2020)：岸壁・地盤とスラスターの位置関係が洗掘深と底面流速に与える影響の検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76, No.2, pp.I_360-I_365.

・ 安藤 圭・鈴木高二朗・森信人 (2020)：実設計への利用を考慮した耐衝撃波圧の部材設計方法の評価， 土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.76, No.2, pp.I_781-I_786.

□発表論文（英文）：5 編

・ Hitoshi Tamura, Koji Kawaguchi and Takashi Fujiki (2020): Phase-coherent amplification of ocean swells over submarine canyons, Journal of Geophysical Research -Oceans.

・ Hiroyasu Kawai, Koji Kawaguchi and Takashi Fujiki (2020): Half-century-long wave observation in and around Japanese ports through NOWPHAS, Proceedings of 30th International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE2020), Vol.3, pp.2625-2632.

・ Hitoshi Tamura, Koji Kawaguchi, Takumu Iwamoto and Takashi Fujiki (2021): Coastal destruction and unusual wave spectra induced by Typhoon Faxai in 2019, Coastal Engineering Journal, 63, 1, pp.92-105.

・ Heidarzadeh, M., Iwamoto, T., Takagawa, T. and Takagi, H. (2020). Field surveys and numerical modeling of the August 2016 Typhoon Lionrock along the northeastern coast of Japan: the first typhoon making landfall in Tohoku region, Natural Hazards, pp.1-19.

・ Ando, K., Suzuki, K. and Mori, N. (2020): Coastal concrete structure design against destruction by impulsive wave, Coastal Engineering Proceedings, 36v, structures.34.

□その他：1 編

・ Hirayama, K. and Y. Hamano (2020): An experimental study on wave runup on quay top and its reproduction by using a Boussinesq-type wave model, Proceedings of vICCE-2020.

□特許：1 件

・特願 2020-170441「潜堤構造物」：鈴木高二朗、国土交通省九州地方整備局、沿岸技術研究センター

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。 • 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 ーコンテナターミナルの生産性の向上のため、港湾のデジタル化、効率化、環境対応など総合的な機能の強化を図る技術として、コンテナダメージチェックシステムの開発、ICT 等を導入したターミナルの数値シミュレーション評価とこれに基づいた配置計画などの研究を進める。　等

研究の背景

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

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。

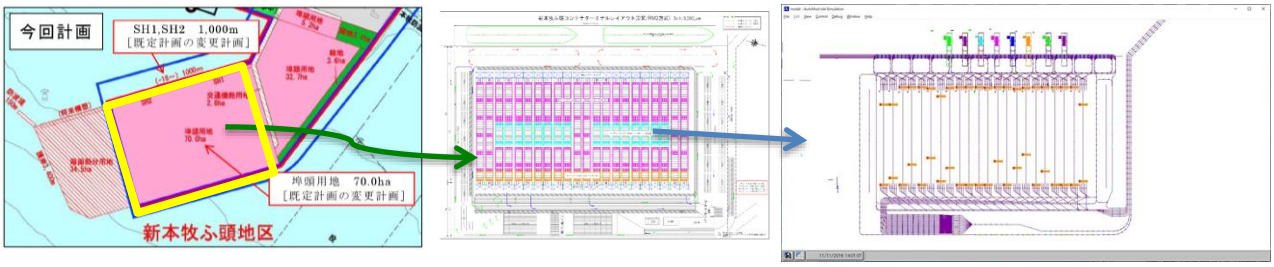
令和2年度の研究内容

（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た。

主な内容

i） 港湾計画及びその他資料からコンテナターミナル規模、年間取扱目標の確認
ii） CONPAS の予約システム・事前クラークシステムのモデル化
iii） 遠隔 RTG のモデル化
iv） オンドックのモデル化
v） コンテナダメージチェックシステムのモデル化
vi） AutoMod によるシミュレーション
vii） 考察



①　②　③

シミュレーションによるモデルイメージ

港湾計画図①および各種資料から規模、計画取扱量等を抽出し、諸外国の事例から②の縦型配置の自動化ターミナルを想定。AutoMod モデル③では荷役機械の規格、数、作業・走行経路、ロジック、及び各種導入技術として CONPAS、遠隔 RTG、オンドックシステム、AutoStd（自動ストラドルキャリア）が稼働しているという好条件下で最も自動化が遅れているコンテナダメージチェックシステムが稼働している場合をモデル化してシミュレーションした。

（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 に参加し、自動化ターミナルの計画について報告書をまとめた。また、シンガポール大学と MOU を締結し、将来のコンテナターミナルのデジタルツイン化をにらんだ情報交換を始めた。

（3）コンテナターミナルの運用支援技術の提案

コンテナダメージチェックの自働化システムの開発

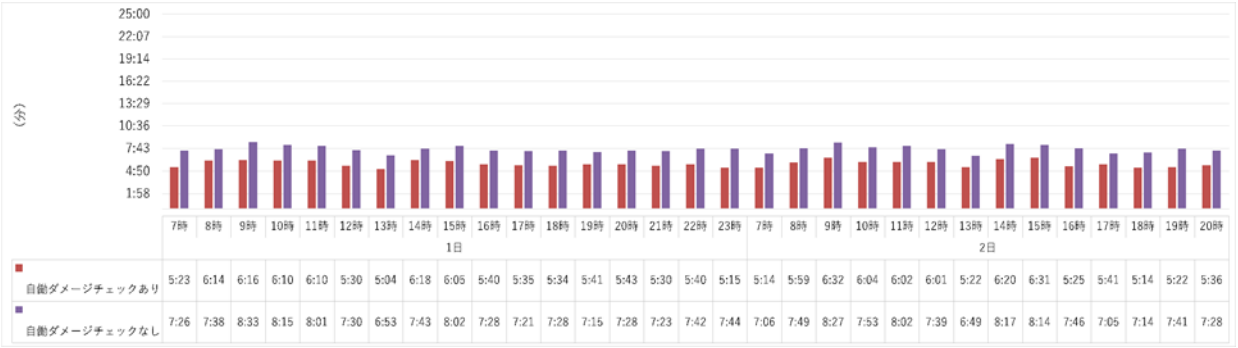
ダメージチェックシステムの目標

従来120秒かかる実入りコンテナのダメージチェックを10秒まで短縮するシステムの研究開発を目標とし、PRISM 予算によって推進するプロジェクトを実施した。出力データは港湾局が開発中の港湾関連データ連携基盤に接続されるように仕様を提案する。

令和2年度の研究成果

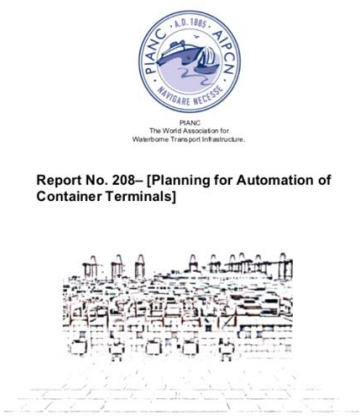
（1）コンテナターミナルシステムへのAI,ICT等新手法導入効果の評価手法の提案

令和元年度に検討した平行蔵置方式において、150万TEU/年の取扱量では、構内のトラックの待ちが多く、MC-3、4に倣ったRTGの基数では全く不足であるという結果になったが、令和2年度では、自働ダメージチェックがある場合、構内待ち時間は5～6分台である。自働ダメージチェックがない場合でも10分に満たない。蔵置場の奥行きが500mから700mに大幅に拡大されたモデルであることに加え、縦型配置によりどのレーンにも常に外来シャーシ側にASC（自動トランスファークレーン）が配置されているためであると考えられる。ただし、初期投資はかなり多額になると考えられる。このようにAutoModによるシミュレーションで未来の計画を自在に検討することができる、なお、港湾計画においては、目標取扱貨物量が約100万TEU/年となっており、本シミュレーションによればかなりの余裕が見込めることとなる。



外来シャーシの構内待ち時間の図

（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年に出版されることとなった。内容は、現場がまだ何もない計画段階の場合、土地の造成が進んでいる場合、すでにあるコンテナターミナルに自動化を導入する場合について、多くの最新の荷役機械、オペレーションシステム等とその組み合わせ方などについて記載された約190ページ程度の冊子となった。

シンガポール大学とのMOU締結

国際臨海開発研究センター、港湾荷役機械システム協会と連名で、シンガポール国立大学との間で、シンガポール海事研究所のほか、オーストラリア、中国、ドイツ、韓国、オランダの研究所及び大学等と、スマートポートの国際標準を目指した研究アライアンスの立ち上げの覚書を締結した。

この研究アライアンスでは、グローバルパートナーとして、港湾関係者による相互連携や情報の共有（PortML：port make-up language）を国際標準化します。これにより、革新的なデジタルツイン技術を開発できるようになり、港湾及び海事関係者の国際競争力を強化することができるようになる。

（3）コンテナターミナルの運用支援技術の提案

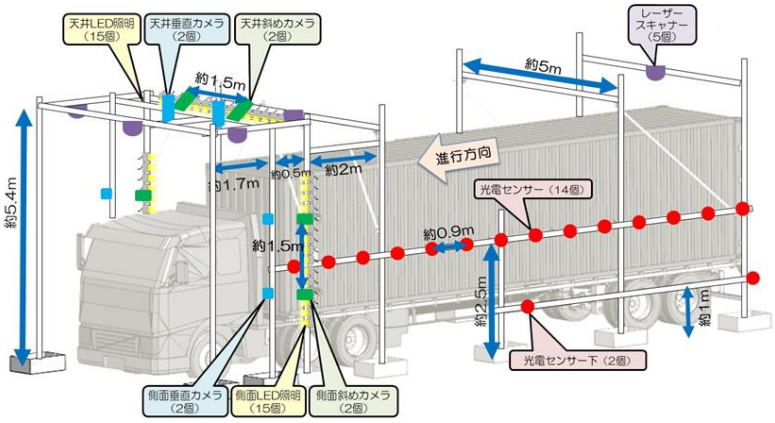


図1.3.26　コンテナダメージチェックシステムのイメージ
（横浜港設置プロトタイプ）

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年度は画像をAIで判定するシステムを構築し、横浜港大黒埠頭でデータ取得試験を実施した。また、神戸港ポートアイランドPC18への適用性の検討と試験マニュアルを作成した。

研究開発課題	（２）産業と国民生活を支えるストックの形成

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組む。また、既存構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新等において限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策に資するため、インフラのライフサイクルマネジメント及び有効活用に関する研究開発等に取り組む。	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②施設の長寿命化や新たな点検診断システムの開発などインフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの 有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ②施設の長寿命化や新たな点検診断システムの開発などインフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発 －港湾構造物の点検診断技術に関して、点検診断技術や点検装置の検討を行う。 －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を評価する。 －海洋環境下におけるサステナブルマテリアルの適用性評価の検討を行う。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２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、目視調査以外での水中ドローンの利用について検討するとともに、IoT を活用した点検診断システムによるモニタリングについて現地調査と数値解析を行った。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定点保持技術のプロトタイプを実装し、実港湾における桟橋上部工下面の現地調査実施時にその効果を確認した。

令和２年度の研究成果

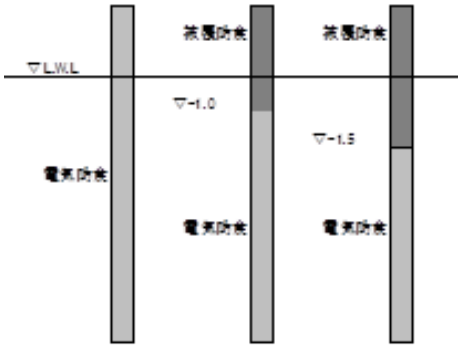
（１）インフラの長寿命化技術に関する研究

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

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・LWL 付近の電気防食特性（図 1.3.27）について検討した。また、各種木質材料の耐久性（図 1.3.28）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。



東京湾内の数か所で実施中（東京港は都が実施）
※電気防食無しの場合も実施.

図 1.3.27　集中腐食メカニズムおよび LWL 付近の電気防食特性の検証のための暴露試験

各樹種グループの風化速度(mm/年)の中央値		
樹種グループ	海水散布あり	海水散布なし
針葉樹	0.606	0.048
広葉樹(熱帯材以外)	1.085	0.230
広葉樹(熱帯材)	0.424	0.050

海水散布あり・なしともに，広葉樹（熱帯材以外）の風化速度が，針葉樹及び広葉樹（熱帯材）より大きい傾向が見られた.

図 1.3.28　約 100 種の無処理木材の海水シャー場暴露によるウェザリング（風化）速度

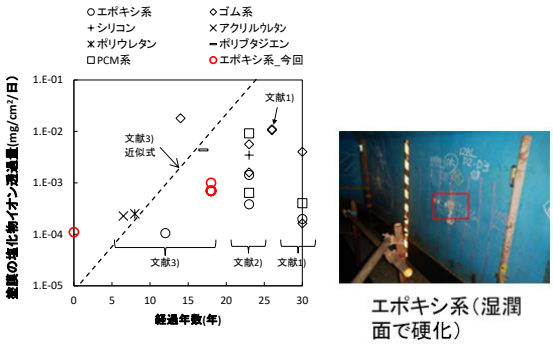
②海洋構造物の被覆防食工法における性能評価手法の開発

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（36 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 1.3.29）。

コンクリート構造物の被覆防食（表面被覆工法）の耐久性評価および劣化予測手法の検証を目的として、表面被覆材が適用され 18 年が経過した桟橋上部工での調査を行った（図 1.3.30）。

来年度は最終年度であるため、とりまとめを意識して調査・検討を進める。

図 1.3.29　ペトロラタム被覆工法の暴露試験（波崎海洋研究施設）



エポキシ系（湿潤面で硬化）

適用 18 年後の遮塩性試験結果（高い性能を保持）

図-1.3.30　適用 18 年後の遮塩性試験結果

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、港湾コンクリート構造物（主に無筋）の要求性能の整理および長期耐久性の評価方法の整理、環境調和性の高い材料（特にリサイクル材料）の適用性の評価　（これまでは「耐久性」の評価が中心であったが、それに加え、「環境負荷（CO_2 排出量等）」も含めて、総合的に検討）等に取り組む。

ｹｰｿﾝ（RC）
を模擬

図 1.3.31　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（R2.12 開始）
（実機ﾌﾟﾗﾝﾄで製造しﾎﾟﾝﾌﾟ圧送で打設）

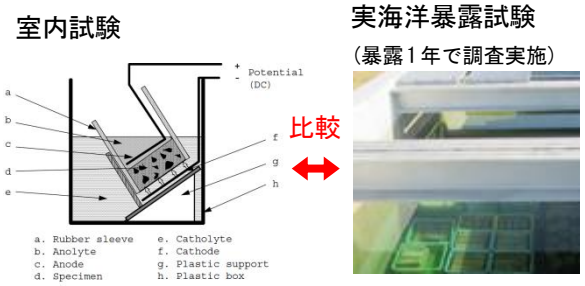
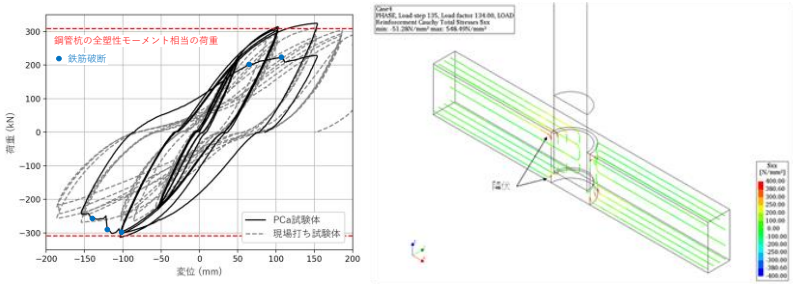


図 1.3.32　高炉ｽﾗｸﾞ微粉末を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの遮塩性の迅速評価（室内試験と実海洋環境暴露の比較）

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

港湾構造物におけるプレキャストコンクリート部材の活用推進に向けて、鞘管方式を採用してプレキャスト化した桟橋上部工はりと鋼管杭との接合部を模擬した試験体の正負交番載荷実験および数値解析を行った（図 1.3.33）。その結果、従来の桟橋上部工接合部と比較して耐荷性は概ね同程度であるが、エネルギー吸収能に優れることが確認された。また、鞘管と主鉄筋との接合方法では折り曲げ加工部に応力が集中すること、および鞘管および RC はりに伝達される応力は鋼管杭の径厚比に影響されないことが推測された。さらに、部材接合部の耐久性の評価を目的として、PC 圧着工法により接合した PCa 試験体の劣化促進試験および屋外暴露試験を開始した（図 1.3.34）。



荷重-変位関係（実験）　　主鉄筋の応力分布（数値解析）

図 1.3.33　接合部模擬試験体の載荷実験および数値解析

図 1.3.34　劣化促進試験

③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。試験舗装を構築し、鉄網の有無による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。

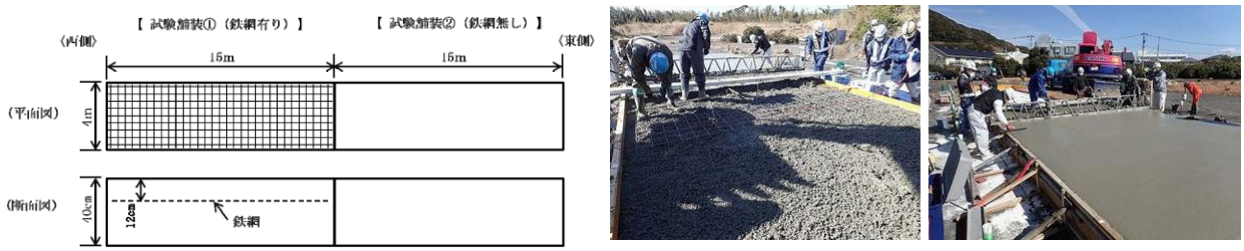


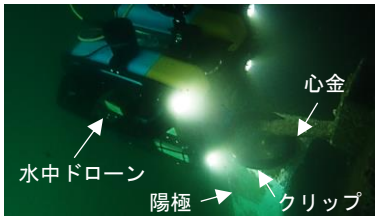
図 1.3.35　試験舗装の概要と作製状況

（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

目視調査以外での水中ドローンの利用の検討として、水中ドローンによる陽極消耗量の調査について検討した（図 1.3.36）。水中ドローンを利用することで、陽極の目視調査とあわせて陽極の発生電流量を測定でき、従来の潜水士による方法に代えることが可能であることが確認された。ただし、現状の調査効率は水中ドローンの操作の熟練度による部分が大きいことも認識された。また、IoT を活用した点検診断システムによるモニタリングについて、海洋構造物への効果的なセンサ配置を検討するのため、桟橋を対象として付着塩分濃度の調査および桟橋下面における風況の数値解析を行った。その結果、当該桟橋下面において、付着塩分濃度の空間的な分布は風の影響を受けていると推察された（図-1.3.37）。これらの検討より得られた成果は、港湾構造物の点検・診断の効率化に大きく寄与する。今後も港湾構造物の点検診断の安全かつ効率的な実施を可能とする新技術の活用を進め、効率的な維持管理の実現を目指していく。

水中ドローン



実験状況

図 1.3.36　水中ドローンによる陽極消耗量調査の実験状況

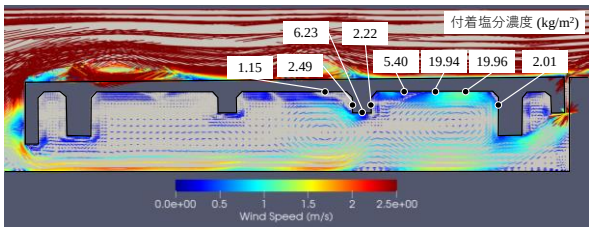


図 1.3.37　付着塩分濃度の現地調査結果および風況の数値解析

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、実装済みの測位機能を応用して外乱への対応技術の一つである定点保持機能（推力調整、当て舵等）のプロトタイプを構築した。また、桟橋上部工点検用 ROV を用いて、大阪港安治川地区、同港大正地区にて桟橋上部工下面の現地調査を実施し、波待ち時に実港湾における当該定点保持機能の効果を確認した（図-1.3.38，図-1.3.39）。

なお、この研究成果を含む「桟橋上部工点検用ロボットと診断支援システムの開発」について、令和３年１月に第４回インフラメンテナンス大賞優秀賞（国土交通省等７省共催）を受賞した。

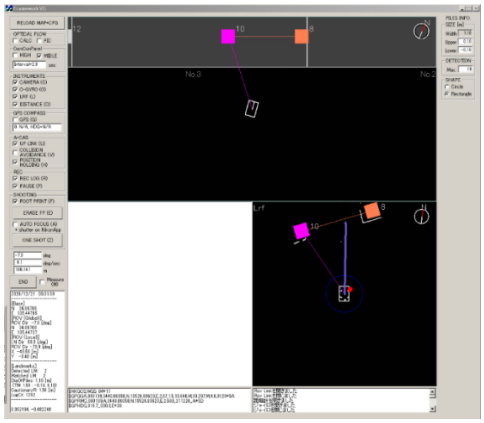


図 1.3.38　定点保持機能プロトタイプの実装と活用状況（大阪港安治川地区）

図 1.3.39　点検用 ROV による桟橋下面調査の実施（大阪港大正地区）

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
・野上周嗣，加藤絵万：水中ドローンを利用した港湾構造物の調査に関する検討，港空研資料 No.1380, 2020
・川端雄一郎，田中豊，加藤絵万，大矢陽介，森川嘉之：中詰固化によるケーソン部材の補強効果に関する解析的検討，港湾空港技術研究所資料，No. 1378, 2020 年 12 月

□発表論文（和文）：28 編
・正木徹,田中亮一,竹中寛,山路徹,与那嶺一秀:清宮理海洋環境下に長期間露出した鉄筋の埋設境界部における劣化に関する基礎的検討,土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.75th.V-173, 2020.08.
・田中亮一,山路徹,谷口修,竹中寛,清宮理:鉛直打継目の目開きによる塩分浸透と鉄筋腐食に関する実験的研究，土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.75th.V-542, 2020.8.
・小林茂則,野口孝俊,山路徹,与那嶺一秀: PHC 杭を模した試験体の海洋環境下での暴露試験(暴露 10 年までの中間報告),土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.75th.V-162，2020.08.
・田土弘人,西田孝弘,山路徹:桟橋上部工に埋設された梯子状センサによる鉄筋腐食の長期モニタリング，土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.75th, CS9-16, 2020.8.
・山路徹,坂田憲治,井山繁:港湾鋼構造物における電気防食用流電陽極の脱落およびその影響に関する一考察,材料と環境討論会講演集,Vol.67th, pp.129-132, 2020.10..
・山路徹,田土弘人,吉田倫夫,小林厚史,川瀬義行：海洋鋼構造物の電気防食に関する最近の知見，防錆管理，Vol.64，No.10，Page.372-379，2020.10.
・山田昌郎，森満範：臨海部での暴露実験による木材の風化速度の検討，木材工学研究発表会講演概要集 19，pp.12-19，2020 年 9 月
・松永正弘，山田昌郎，石川敦子，小林正彦，神林徹，片岡厚：超臨界法及び従来法でアセチル化した木材の海洋環境暴露試験―暴露 1 年間の変化―，日本木材保存協会第 36 回年次大会研究発表論文集，pp.20-21, 2020 年 10 月
・山田昌郎，成田廣枝：イチョウ材の海虫抵抗性と精油成分との関係，日本木材保存協会第 36 回年次大会研究発表論文集，pp.60-61, 2020 年 10 月
・小林正彦，石川敦子，松永正弘，神林徹，山田昌郎：木材・プラスチック複合材の海洋環境暴露試験（第 2 報）―暴露開始後 15 か月までの変化―，第 71 回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM，2021 年 3 月
・松永正弘，山田昌郎，石川敦子，小林正彦，神林徹：海洋暴露試験に供した熱処理木材の寸法安定性，第 71 回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM，2021 年 3 月
・山田昌郎，森満範：臨海部での暴露実験による木材の風化速度の検討，木材工学論文報告集 19，pp.1-9，2021 年 2 月
・山路徹,審良善和,阿部正美：長期暴露試験に基づく鋼管杭の被覆防食工法の耐久性評価に関する研究(30 年経過時の報告)，防錆管理，Vol.64，No.8，Page.273-279，2020.08.
・伊藤孝文,大和功一朗,西田孝弘,与那嶺一秀：電気化学的手法によるコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性の評価手法の比較，セメント技術大会講演要旨，Vol.74th，Page.ROMBUNNO.1305，2020.05.
・与那嶺一秀,山路徹,小林雄一,北澤健二：銅スラグ細骨材を多量に用いたコンクリートに対する海水養生の影響，セメント技術大会講演要旨，Vol.74th， Page.ROMBUNNO.3214，2020.05.
・小林雄一,網野貴彦,与那嶺一秀,山路徹,北澤健二,亀岡篤雄：高密度スラグ骨材を大量混合したコンクリートの施工性確認実験，セメント・コンクリート，No.880，Page.46-52，2020.06.
・与那嶺一秀,山路徹,西田孝弘,安達昭宏,中川耕三:銅スラグ細骨材を多量置換したコンクリートの運搬・圧送に伴う施工性の変化，土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.75th.V-272, 2020.8.
・与那嶺一秀,山路徹，西田孝弘,安達昭宏,中川耕三 ：銅スラグ細骨材を多量置換したコンクリートの実機を用いた施工実験，セメント・コンクリート，No.884， Page.40-45，2020.10.
・菅原法城，宮田正史，加藤絵万，川端雄一郎，稲葉正明，岩波光保，福手勤，中野敏彦：日本の港湾維持管理基準のベトナムへの展開と得られた知見,土木学会論文集 B3（海洋開発）特集号（Vol.76， No.2），2020
・野上周嗣，加藤絵万，網野貴彦，福岡繁，恩田充：コンテナターミナルにおける無線通信によるモニタリング技術の適用性の検証，第 20 回 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 20 巻，pp261-266，2020
・加藤絵万：港湾コンクリート構造物の点検診断技術に関する今後の展望，コンクリート工学，2020
・加藤絵万，田中豊，川端雄一郎，岩波光保，横田弘：桟橋 RC 上部工のセンサモニタリングの試行 ～25 年経過報告～，令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会講演概要集，V-664，2020
・中村健、宮田正史、中村俊之、川端雄一郎、尾崎竜三、村上裕宣：係船柱用アンカーボルトの小型化に向けた設計法の比較、令和 2 年度全国大会第 75 回年次学術講演会、II-154、2020.9

・齊藤創太、池野勝哉、川端雄一郎、加藤絵万、岩波光保：ダブルスクエア継手を用いた PCa 梁の現場打ち幅縮小効果の検討、令和 2 年度全国大会第 75 回年次学術講演会、V-609、2020.9
・増田健、田中豊、加藤絵万、川端雄一郎、平川恭奨、下村匠：エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線を用いた PC 桁の PC 桟橋上部工への適用性に関する検討、令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会、V-367、2020.9
・高橋駿人、加藤佳孝、加藤絵万：異なる試験方法から得られた塩化物イオンの拡散係数に関する基礎研究、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、第 20 巻、pp.113-118、2020．10
・池野勝哉、齊藤創太、川端雄一郎、加藤絵万、岩波光保：ダブルスクエア継手を有する PCa 梁の曲げ載荷実験および適用範囲の提案、土木学会論文集 B3（海洋開発）、76 巻 2 号 p. I_402-I_407、2020.
・池野勝哉、岩波光保、川端雄一郎、加藤絵万：鞘管方式を用いた斜杭式桟橋の杭頭接合に関する交番載荷実験および解析的考察、土木学会論文集 A1（構造・地震工学）、76 巻 4 号 p. I_75-I_86、2020.

□発表論文（英文）：10 編

・Shigeru Fukuoka, Takahiko Amino, Ema Kato： Development of Advanced Inspection and Diagnosis Technique for Harbor Structues by Sensor Monitoring, Advances in Construction Materials, Proceedings of the ConMat’20, 2020.
・Yutaka Tanaka and Takahiro Nishida: Development of a Damage Detecting Method for RC Slabs by Means of Machine Learning,Proceedings of XV International Conference on Durability of Building Materials and Components, 2020
・Kyosuke Hirakawa, Yuichiro Kawabata, Ema Kato, Yoshiyuki Morikawa, Tetsushi Hayakawa: A Pilot Srudy on The Solidification of Filling Matelial in Caissons for Enhanced Resistance Against Repeated Collision with Congrete Blocks, Advances in Construction Materials, Proceedings of the ConMat’20, 2020.
・Ema Kato, Yuichiro Kawabata, Nozomu Someya, Hiroyuki Murakami: A Fundamental Study on Failuer Behavior of Prestressed Concrete Superstructure of Open-Type Wharf, Advances in Construction Materials, Proceedings of the ConMat’20, 2020.
・Yutaka Tanaka, Kenichi Kuroki, Yuichiro Kawabata, and Ema Kato: The Effect of Solidification of Filling Materials Inside A Caisson on Structural Response Against Repeated Impact Load, Advances in Construction Materials, Proceedings of the ConMat'20, 2020.
・K. Ikeno, Y. Kawabata，E. Kato，M. Iwanami：Proposal of pile connection method for precast superstructure of port pier, Proceedings of International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS2020), 2021
・E. Kato, Y. Kawabata, T. Takahashi, Y. Izumida, E.Ooi, K. Kanemaru, K. Miyamaru, M. Iwanami, H. Yokota：Replaceable superstructure system in open-type wharf for reliable maintenance of port concrete structures, Proceedings of International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS2020), 2021
・山路 徹・宮田 正史（国総研）・熊谷 健蔵（ﾊﾟｼｺﾝ）・岩波光保・高山知司・鈴木高二朗・久田成昭,Evaluation of durability of concrete used for wave dissipating block based on filed survey，ConMat'20.
・Takahiro Nishida, Keiyu Kawaai and Atsushi Saito: Effect of Crack Repair by Bio-Based Materials Using Alginate and Bacillus Subtilis under Wet and Dry Environment Part-II, Proceedings of the XV edition of the International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC 2020) Barcelona, Spain20 – 23 October 2020, pp.961, 2020.10.
・Toshinari Tanaka, Shuji Nogami, Ema Kato and Tsukasa Kita: Development of ROV for Visual Inspection of Concrete Pier Superstructure, 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2020.
・Yutaka Tanaka, Kenichi Kuroki, Yuichiro Kawabata, and Ema Kato: The Effect of Solidification of Filling Materials Inside A Caisson on Structural Response Against Repeated Impact Load, Advances in Construction Materials, Proceedings of the ConMat'20, 2020.
・K. Yamada, Y. Kawabata, S. Ogawa and Y. Sagawa: A method keeping total alkali content and maximizing water supply for concrete prism test of potential expansion by ASR, In: Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations –Yokota & Frangopol (eds), pp. 2608-2612, 2021
・Haruka Takahashi, Shoichi Ogawa, Masahito Shibata, Mebae Kuranaga, Sadayuki Watanabe, Kentaro, Mishiba and Yuichiro Kawabata: Expansion behavior of cement pastes containing additives due to delayed ettringite formation, In: Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations –Yokota & Frangopol (eds), pp. 2659-2663, 2021
・T. Kawakami, Y. Sagawa, Y. Kawabata, K. Yamada and S. Ogawa: A study on ASR expansion behavior of concrete exposed to natural environment for 5 years: Experimental and numerical approaches, In: Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations –Yokota & Frangopol (eds), pp. 2637-2643, 2021
・Y. Kawabata, K. Yamada, S. Ogawa and Y. Sagawa: Mechanisms of internal swelling reactions: Recent advances and future research needs, In: Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations

–Yokota & Frangopol (eds), pp. 2599-2607, 2021

・J. Eto, S. Ogawa, K. Shibuya, Y. Kawabata, G. Igarashi, A. Teramoto, I. Maruyama and K. Yamada: Research on a new approach assessing ASR of concrete structures for nuclear facilities, In: Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations –Yokota & Frangopol (eds), pp. 2651-2658, 2021

□特許：4 件

・特願 2020-165927「鉄筋コンクリート部材、およびその製作方法」:山路徹、与那嶺一秀、五洋建設、東亜建設工業、東洋建設

・特願 2020-165932「鉄筋コンクリート構造物、その製作方法、及びその構造」:山路徹、与那嶺一秀、五洋建設、東亜建設工業、東洋建設

・特願 2020-165936「鉄筋コンクリート構造物、その製作方法、およびコンクリート構造物の構造」:山路徹、与那嶺一秀、五洋建設、東亜建設工業、東洋建設

・特願 2020-142289「酸素低減型混和材料、及びコンクリート生成方法」:西田孝弘、愛媛大学、安藤・間

研究開発課題	（２）産業と国民生活を支えるストックの形成

研究テーマ	施設の効率的な更新、建設発生土の有効利用、海面廃棄物処分場の有効活用などインフラの有効活用に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組む。また、既存構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新等において限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策に資するため、インフラのライフサイクルマネジメント及び有効活用に関する研究開発等に取り組む。	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③施設の効率的な更新、建設発生土の有効利用、海面廃棄物処分場の有効活用などインフラの有効活用に関する研究開発	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。このため、以下の研究開発を進める。 ③施設の効率的な更新、建設発生土の有効利用、海面廃棄物処分場の有効活用などインフラの有効活用に関する研究開発 －コアレス地盤調査法の開発に向けて基礎的な研究を開始する。 －物理探査を用いた改良地盤の品質評価方法の開発を行う。 －桟橋の性能規定の高精細化に向けた桟橋構造の破壊過程の検討を行う。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２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、桟橋上部工と鋼管杭の接合部の損傷過程を確認するための模型実験を実施するとともに、過年度に実施した模型実験結果を利用し数値解析による破壊挙動把握を行った。

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、室内実験等により比抵抗の違いによる検出可能性の検討を行った。

（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基礎的な研究を開始した。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開始した。

（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、保有水位の管理ではなく、跡地利用のための基礎的研究といった前広の観点で継続的に情報収集を実施することとした。

令和２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、改良地盤の三次元形状の計測、また、沿岸部における適用性について実規模計測実験で検討を行った。

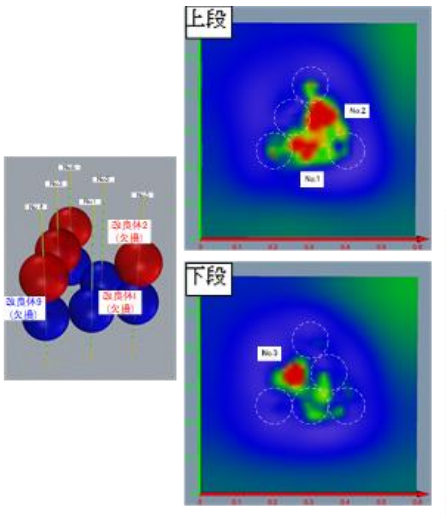


図 1.3.40　三次元計測の結果

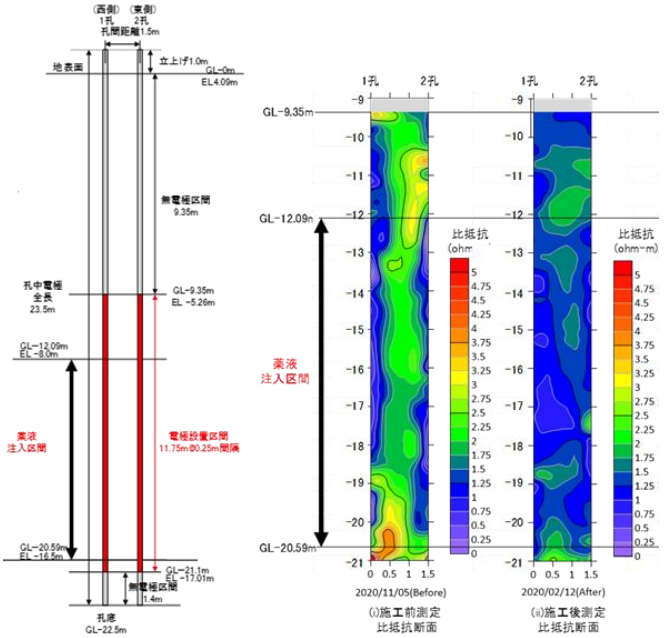


図 1.3.41　現地計測実験結果
（比抵抗トモグラフィによる薬注前後の結果）

②桟橋の性能規定の高精細化のための桟橋構造の破壊過程の解明

桟橋の要求性能は、使用性・修復性・安全性にカテゴライズされるが、現状では残留変位量や塑性ヒンジの発生箇所・個数といった性能規定が採用されており、実際的な使用可否・修復可否に基づく規定となっていない。桟橋の実際的な使用可否・修復可否を検討するためには、桟橋の構成部材の降伏後、塑性化後の挙動を含む桟橋構造全体の破壊過程を詳細に把握する必要がある。そのため、桟橋上部工と鋼管杭の接合部の損傷過程を確認するための模型実験を実施するとともに、過年度に実施した鋼管杭の地中部での曲げ挙動に関する模型実験結果について数値解析による破壊挙動の再現を試みた。

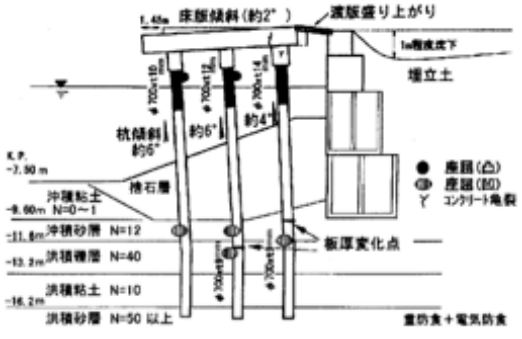


図 1.3.42　兵庫県南部地震による高浜桟橋の被災

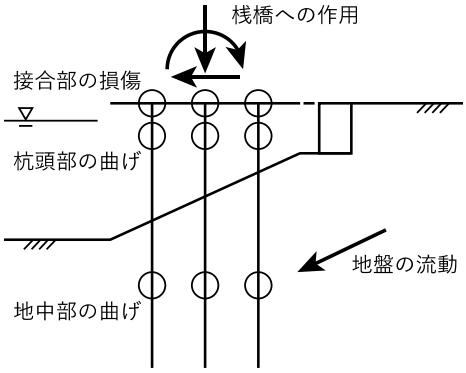


図 1.3.43　想定される桟橋の破壊モード

実験は、図 1.3.44 に示すように杭と上部工の接合部の模型を作製し、鋼管を繰返し交番載荷することでその損傷過程を確認した。

図 1.3.45 に杭と上部工の接合部の模型実験により得られた荷重変位関係の例を、図-1.3.7 に破壊時の状況を示す。損傷が鉄筋定着部（つばプレート）付近に集中し、それによって鉄筋の破断が生じている。

図-1.3.8 に過年度に実施した鋼管杭の曲げ試験の状況と数値解析による実験結果の再現例を示す。H31

年度検討と比較して今年度試行した解析手法（検討-1～4）の方が実験結果の再現性がよいことが確認できた。

今後、上部工と鋼管杭の接合部の数値解析による挙動把握、桟橋構造全体の破壊過程のモデル化・類型化等に取り組む予定である。

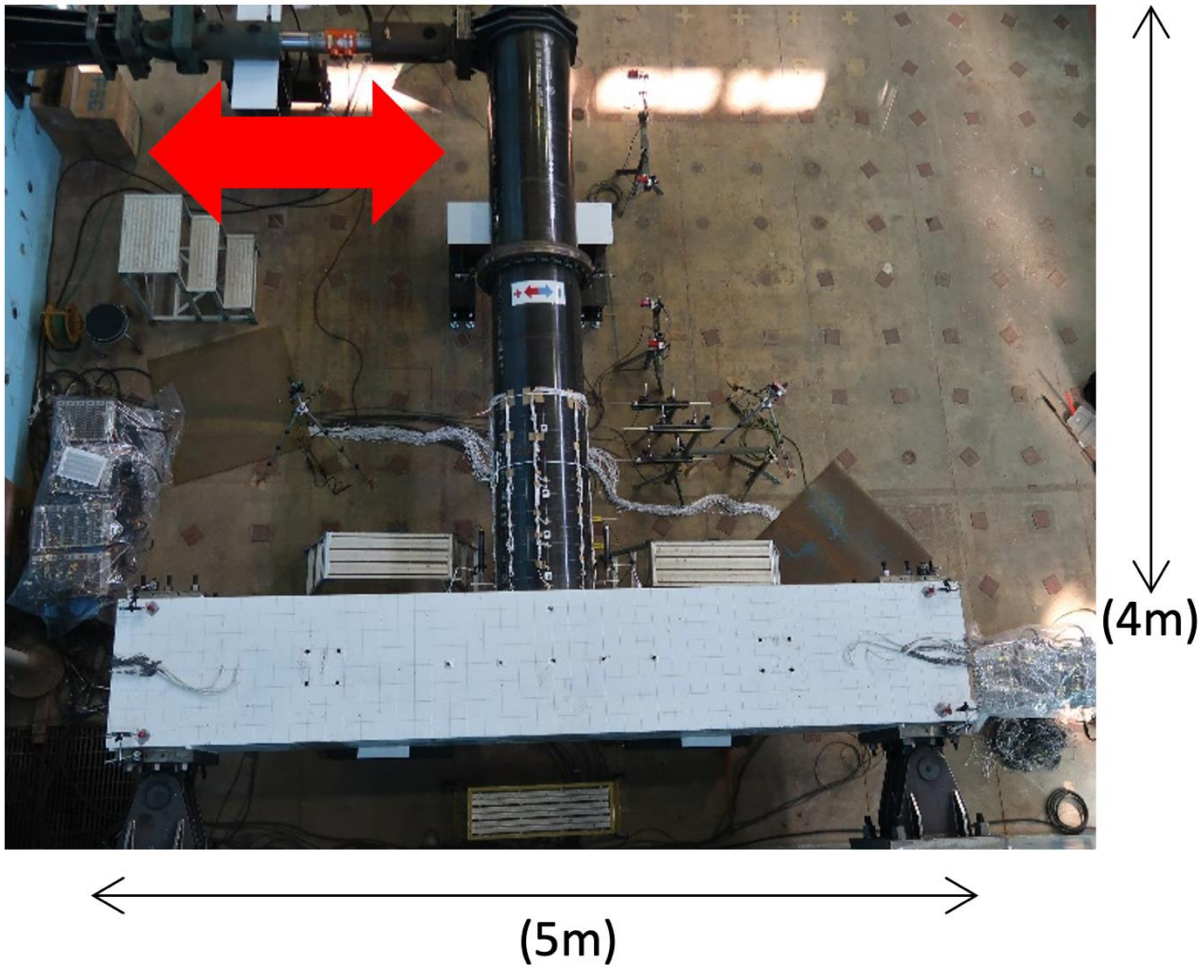


図 1.3.44　実験模型と交番載荷方向

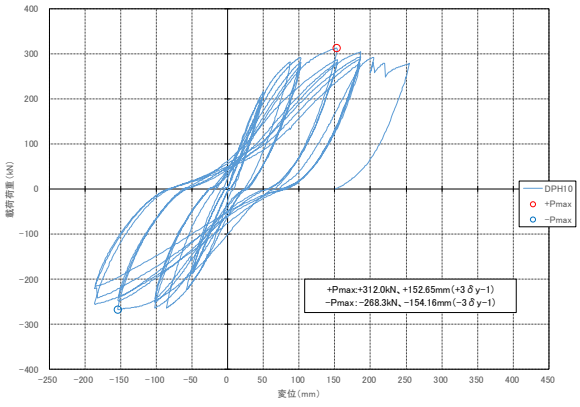


図 1.3.45　杭と上部工の接合部の模型実験により得られた荷重変位関係の例

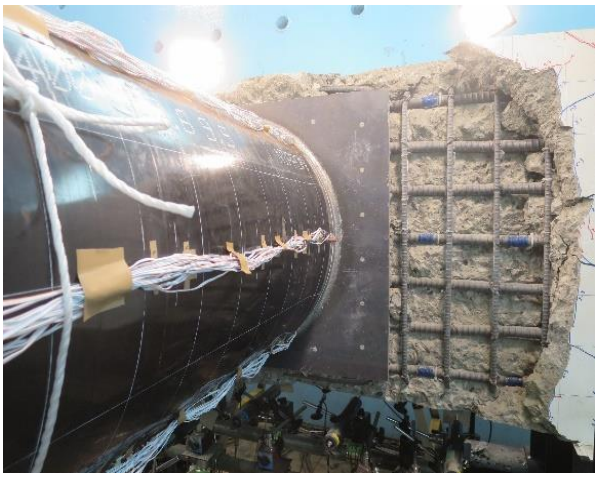


図 1.3.46　破壊時の状況

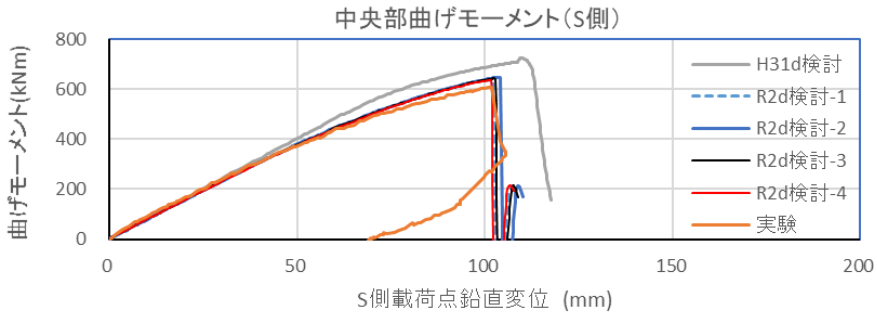


図 1.3.47　過年度に実施した鋼管杭の曲げ試験の状況と数値解析による実験結果の再現例

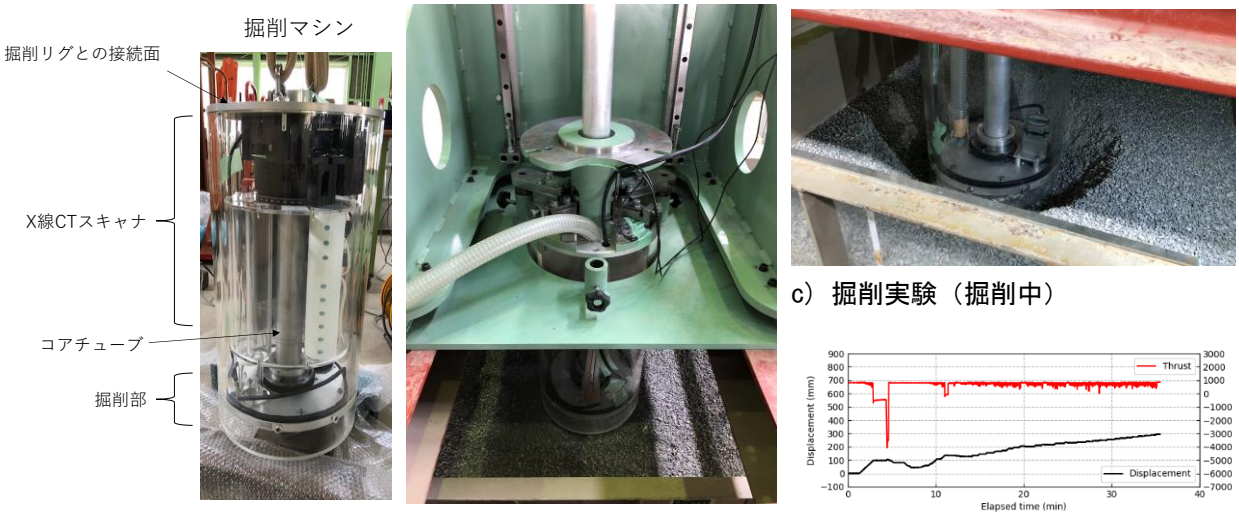
（２）建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

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、開発した X 線 CT スキャナ内蔵型掘削装置を用いて、模型礫地盤を対象とした掘削実験を実施し、掘進力等各種計測を行った（図 1.3.48）。



a）掘削装置　　b）掘削実験（掘削前）　　c）掘削実験（掘削中）　　d）掘削実験による各種計測結果

図 1.3.48　開発した掘削装置と模型地盤に対する掘削実験

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、弱部を含む供試体の作成方法を検討した。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できることを確認した。

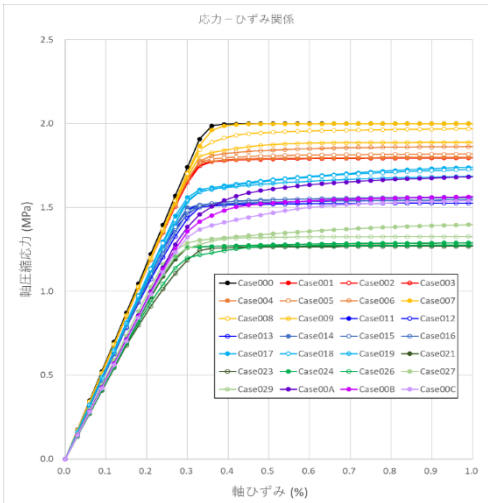


図 1.3.49　一軸圧縮時の応力ひずみ関係に及ぼす弱部の影響

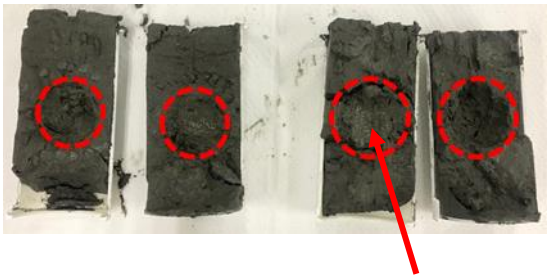


図 1.3.50　半割した未改良部を含むセメント改良土

成果の公表

港空研報告・資料：2 編

・松村，水谷，森川，赤司，本田，清水：カルシア改質土と異種材料との境界における摩擦特性，港空研報告，Vol. 59, No. 2，2020.

・水谷崇亮．東京港新客船埠頭におけるジャケット支持杭の鉛直載荷試験．港湾空港技術研究所資料，No.1374，2020.

発表論文（和文）：10 編

・高野大樹，荒井育岳，森川嘉之，松尾康成，濱野吉章．前面を固化改良した鋼管矢板の受働抵抗に関する遠心模型実験．土木学会論文集 B3，vol.76，p.I_480-485，No.2.2020.

・水谷崇亮，久保敏哉，北澤真，山下久男．先端に仕切板を設けた大径鋼管杭の急速載荷試験による押込み抵抗力特性の調査．土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76，No.2，pp.I_444-I_449，2020.

・松村，近藤，水谷，小濱，小林，米岡，武政，齊藤：X 線 CT 技術を利用したデジタル地盤工学への挑戦，第 55 回地盤工学研究発表会，DS-1-13，2020.

・中村，松村：MPM を用いた開端杭の貫入シミュレーション，第 55 回地盤工学研究発表会，21-9-5-05，2020.

・森川，水谷，松村，赤司，本田，清水，木口：カルシア改質土と地山材の摩擦特性に関する実験（その 1），第 55 回地盤工学研究発表会，21-2-5-05，2020.

・赤司，本田，清水，森川，水谷，松村，宮下：カルシア改質土と地山材の摩擦特性に関する実験（その 2），第 55 回地盤工学研究発表会，21-2-5-06，2020.

・宇高，松村，菊本：泥岩の湿潤崩壊機構に及ぼす載荷条件の影響，第 55 回地盤工学研究発表会，21-2-3-03，2020.

・増岡，山本，松村，水谷：多孔質体中の水—空気界面挙動に関する室内試験と再現解析，土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会，III-415，2020.

・神崎達也，野々山栄人，宮田喜壽，高野大樹：養生期間がセメント改良土の局所化挙動に及ぼす影響，第 55 回地盤工学研究発表会，2020.

・高野，高橋，他，三次元比抵抗トモグラフィによる薬液改良地盤の出来形計測実験，第 55 回地盤工学研究発表会 2020

□特許：１件

・特願 2020-192423「地盤試料の探査装置及び探査方法」：近藤明彦、松村聡、水谷崇亮、小濱英司、森川嘉之、中村圭太、基礎地盤コンサルタンツ、つくばテクノロジー、学校法人立命館.

研究開発課題	（3）海洋権益の保全と海洋の利活用

研究テーマ	遠隔離島での港湾整備や海洋における効果的なエネルギー確保など海洋の開発と利用に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋権益の保全のためには、本土から遠く離れた特定離島（南鳥島、沖ノ鳥島）における、排他的経済水域（EEZ）及び大陸棚の保全や利用を支える活動拠点の整備が必要である。研究所は、これら活動拠点の整備や、この海域も含めた我が国のEEZ等における海洋再生エネルギー開発及び海洋の利用促進のため、港湾整備に係る技術を活用して海洋の開発と利用に関する研究開発等に取り組む。	海洋権益の保全と海洋の利活用のためには、本土から遠く離れた遠隔離島等における活動拠点の整備が必要であり、また海中を含む海洋での様々なインフラ整備技術が不可欠であることを踏まえ、海洋開発の拠点形成のための港湾をはじめとするインフラ整備や地形保全、海洋資源や海洋再生エネルギーの調査・開発に重点を置いた取組が求められている。 このため、これまで研究所が蓄積してきた波浪や海底地盤、港湾構造物等に関する知見を総合的かつ最大限に活用して、遠隔離島での港湾整備や海洋における効果的なエネルギー確保など海洋の開発と利用に関する研究開発を進める。	海洋権益の保全と海洋の利活用のためには、本土から遠く離れた遠隔離島等における活動拠点の整備が必要であり、また海中を含む海洋での様々なインフラ整備技術が不可欠であることを踏まえ、海洋開発の拠点形成のための港湾をはじめとするインフラ整備や地形保全、海洋資源や海洋再生エネルギーの調査・開発に重点を置いた取組が求められている。 このため、これまで研究所が蓄積してきた波浪や海底地盤、港湾構造物等に関する知見を総合的かつ最大限に活用して、遠隔離島での港湾整備や海洋における効果的なエネルギー確保など海洋の開発と利用に関する研究開発を進める。 －炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発では、地形変化と地盤形成のプロセスやメカニズムの解析と調査解析手法の妥当性検討を行い、低潮線、汀線、港湾施設周辺の地形保全に関する調査解析手法を提示する。 －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、プロファイルソナーを用いた外界計測試験、音響測位装置の精度検証試験、遠隔操作支援システムの構築を行う。 －音響画像システムに関する研究では、音響ビデオカメラの作業船への設置方法を検討するとともに、施工中のリアルタイムな状況把握のためのソフトウエアの整備を行う。 －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、杭の繰り返し水平載荷試験、要素試験、杭の貫入過程を表現する数値解析コードの高度化、繰返し水平荷重を考慮した地盤の非線形ばねモデルの検討を行う。 －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、実験装置の設計・製作を行うとともに、高圧水槽や低温海水循環装置を用いた耐久性に関する実験を行う。また、深海でのインフラ材料の暴露実験を開始する。 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2年度の研究内容

（1）船舶の自動離着岸のための防舷材システムの開発に関して、船舶の自動的かつ効率的な離着岸と安定的な係留荷役を実行できるように、受衝板付き防舷材に吸着機構を組み込んだ防舷材システムの概略構造について検討し、その基本コンセプトを設定した。

（2）炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発に関して、炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発について、GNSS 測量、RTK 搭載ドローンによる写真測量、マルチビームによる深浅測量、可視光＋NDVI カメラによる空撮、グリーンレーザー搭載型ドローンによる海底地形調査、そしてサンゴ幼生調査を実施するなど、地形変化要因の解析と予測手法の開発を実施した。また、深層学習による造礁生物の分布や活性の自動判別手法の開発を実施した。

（3）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して、設計断面などの情報を表示する水中 MG（マシンガイダンス）を操作インタフェースとした遠隔操作支援システムを構築した。平良港仮置きマウンドでの実海域試験では，割石投入直後の状態から遠隔操作による均し作業を行い，その性能と有効性を検証した。さらに水中 MG の他工種への応用を目的とし，暗渠部における浚渫作業への応用を検討した。本研究は、港湾の整備・維持管理や海洋開発等において、潜水士の高齢化等に対応するとともに、濁り海域や大水深海域での作業の生産性の大幅な向上を図るため、ICT を活用した水中施工機械（バックホウ）を開発するものである。

（4）ICT 施工への音響画像システムの適用に関して、浅海用音響ビデオカメラ（音響映像呈示システムを含む）について、施工モニタ用のアプリケーションの改良を行った。また、施工管理システムの実証試験を実施するとともにマニュアルを作成した。

（5）波力発電機能付き浮消波堤に関して、単体の浮消波堤に関する数値計算を継続するとともに、港湾内の静穏度を十分に確保するために、複数で構成された波力発電機能付き浮消波堤の効果的な配置について浮体動揺シミュレーションを用いた数値計算により検討した。

（6）洋上風力発電施設に働く波力と洗掘に関する研究に関して、洋上風力発電施設周囲の洗掘防止工に関する実験を共同研究により実施した。実験は小型と大型実験であり、小型実験は他社の実験場、大型実験は大規模波動地盤水路で実施した。

（7）洋上風力発電施設の杭基礎に働く水平抵抗力に関する研究では、大型土槽を用いた飽和砂地盤における杭の繰り返し水平載荷試験，および，三軸試験装置を用いて微小応力下での繰り返し載荷試験を実施した。数値解析では，土と剛体との摩擦接触を解く解析手法の開発を行うとともに，開発した解析手法を杭の貫入現象へ応用し，妥当性の検証を行なった。

（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して、モノパイル式洋上風力発電施設のモデル風車を対象に、風と波の複数の組み合わせ荷重に対する荷重連成解析を実施し、動的応答のカギとなる要因について分析した。併せて、実機相当風車を対象とした荷重連成解析用に、洋上風力発電施設にかかる気象・海象・構造諸元データを収集整理した。

（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に関して、水圧下でのコンクリートの力学挙動を解明するための実験機器を製作するとともに、各種セメント系材料の低温海水での劣化に関する実験を開始した。また、南海トラフ北縁部でセメント硬化体の劣化過程の現地モニタリングを開始した。

令和2年度の研究成果

（1）船舶の自動離着岸のための防舷材システムの開発に関して、以下の成果を得た。

・船舶の自動的かつ効率的な離着岸と安定的な係留荷役を実行できるように、防舷材の受衝板前面に吸着パッドを組み込んだ防舷材システムを考案し、船舶側面に吸着し易い吸着パッドの構造や船舶の喫水変化に追従する上下機構の構成について検討した。

・これらの概略構造の検討成果をもとにして、船舶の自動離着岸のための防舷材システムの基本コンセプトを設定した。

図 1.3.51　受衝板付き防舷材の例

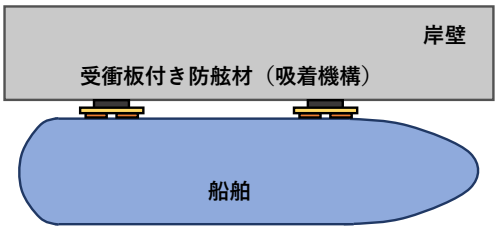


図 1.3.52　自動離着岸防舷材システムのイメージ

（2）炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発に関して、以下の成果を得た。
・ドローンや固定カメラからの撮影画像と測量データを組み合わせ，離島の低潮線や汀線全体や港湾施設周辺の地形変化をモニタリングする手法を確立、沖縄県の西表島における現地試験により、その有効性を確認した。
・大量データを用いて，土砂輸送過程と土砂生成過程の両方を考慮した地形変化を解析する手法を開発した。
・空撮画像や AI 等を用いることにより，造礁生物の分布や活性を自動判定する手法を開発した。

グリーンレーザー搭載ハイブリッド型ドローン

メーカー側で、ガソリン燃料発電機よりバッテリーに給電可能としたハイブリッド型ドローンを開発
長時間飛行による測量、空撮が可能となった。

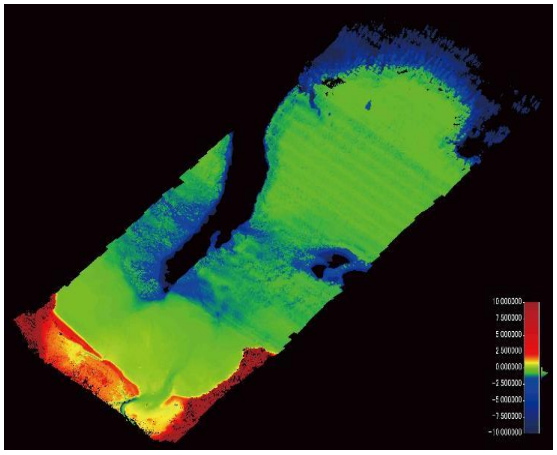


図 1.3.53　グリーンレーザー搭載ドローンによって得られた地形データ
水中部分も地音響測深による結果と比較しても圧倒的な高解像度

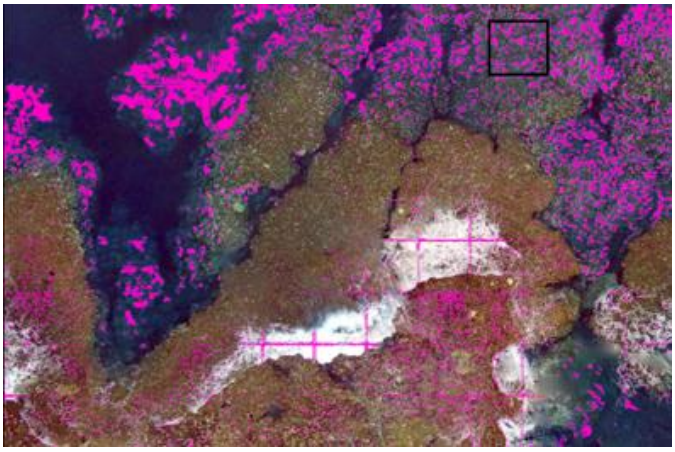


図 1.3.54　.ドローン空撮画像をベースとした機械学習によって構築されたサンゴ識別モデルによる推定サンゴ分布図

（3）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して、以下の成果を得た。
・昨年度成果の本均しアタッチメントに対し，石の移動を行うための小型バケットを追加し、陸上試験によりその有効性を確認した。
・沖縄県宮古島のケーソン仮置きマウンドにおいて，割石投入直後の状況から遠隔操作による均し作業試験を実施し、その施工精度や施工能力、実用化に向けた課題点を抽出した。（FIG01-02）
・他工種への応用として、暗渠部浚渫作業を対象としたシステム案を提案し，水槽試験により壁面検出センサ等の性能を確認した。

図 1.3.55　遠隔操作実験機と遠隔操作室の状況

（4）ICT 施工への音響画像システムの適用に関して、以下の成果を得た。
・音響映像呈示システムを含む浅海用音響ビデオカメラについて、床掘浚渫工、置換工をターゲットとした施工モニタ用のアプリケーションの改良を行い、新門司（Ⅱ期）工事において施工管理システムとして試用し実用の目途を得ると共にマニュアルを作成した。R3 年度は実工事での試用を行う予定である。

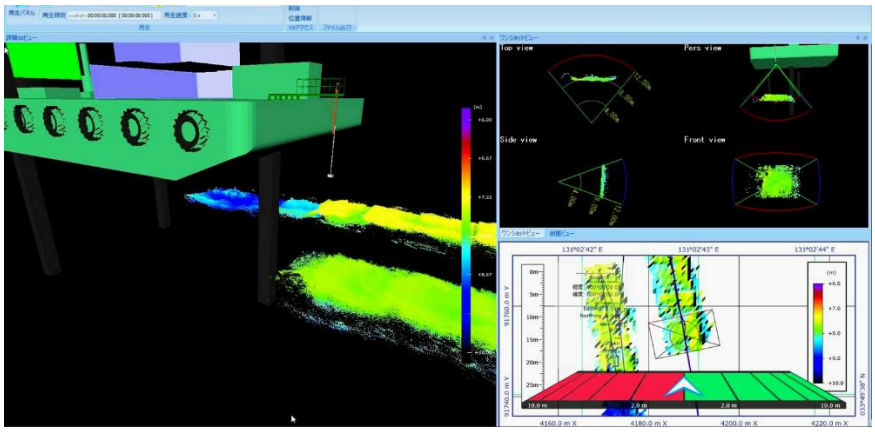


図 1.3.56　床掘浚渫工時のリアルタイム海底高さ視認の例

（5）波力発電機能付き浮消波堤に関して、以下の成果を得た。
・単体の波力発電機能付き浮消波堤の形状や係留方法、また発電装置の波エネルギー吸収による消波効果への影響について浮体動揺シミュレーションを用いた数値計算により検証した。
・複数で構成された波力発電機能付き浮消波堤については、単体浮体を長くした一体の浮体として簡易的な数値計算を実施し、消波効果への影響について検討した。

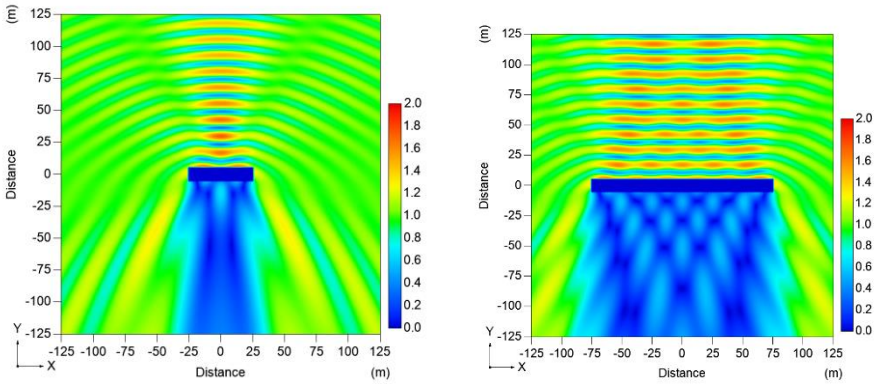


図 1.3.57　浮消波堤周りの入射波高比の分布（入射波周期 4s、浮体長さ 50m 及び 150m）

（6）洋上風力発電施設に働く波力算定法に関する研究に関して、洗掘に関する大規模移動床実験を実施中である。図 1.3.58 は無対策での洗掘状況であり、波を作用させた後、水路の水を抜いた状況である。

図-1.3.58 洋上風力発電施設周囲の洗掘に関する大規模移動床実験

（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に関して、以下の成果を得た。
・三軸試験装置を用いた微小荷重による繰り返し載荷試験を実施した。試験の結果，微小繰り返しにより土の剛性が低下する結果が得られた（図 1.3.59）。
・大型土槽を用いた杭の繰り返し水平載荷試験を実施した。
・土と剛体との摩擦接触を解く解析手法の開発を行うとともに，開発した解析手法を杭の貫入現象へ応用し，妥当性の検証を行なった（図 1.3.59）。

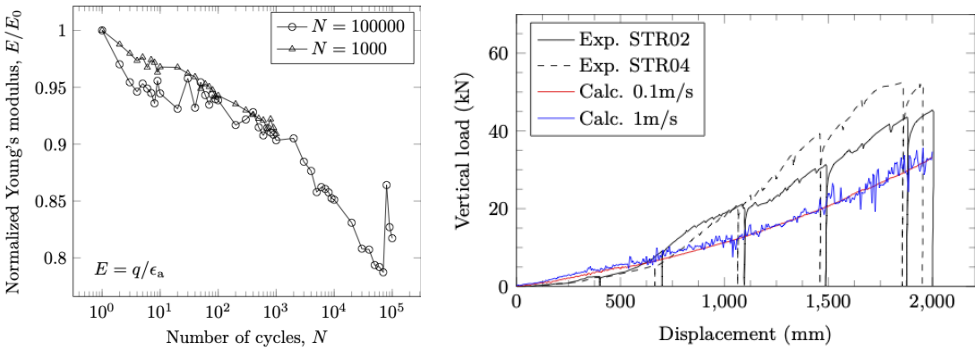
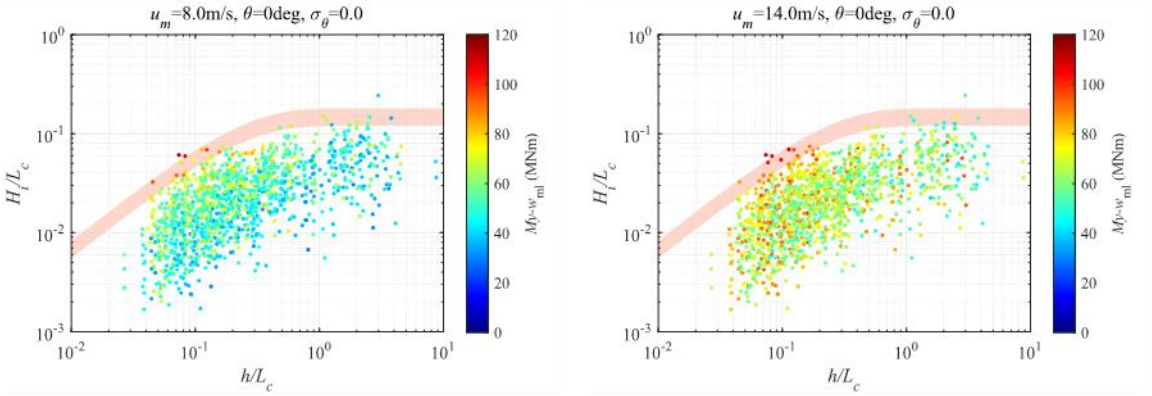


図-1.3.59 左：三軸試験における微小な繰り返し載荷に伴う土の剛性低下　右：杭の貫入実験の再現解析

（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して、以下の成果を得た。
・風と波の複数の組み合わせ荷重の作用下における風車の動的応答は、風速に応じたブレードピッチ制御だけでなく、浅海域で砕波が発生するような波浪条件において最大曲げモーメントの出現が顕著となることが確認された（図−1.3.X）。
・洋上風力発電施設にかかる気象・海象・構造諸元データを収集し、実機相当風車を対象とした荷重連成解析に必要なデータを抽出整理した。



（a）平均風速が 8 m/s の場合　　（b）平均風速が 14 m/s の場合

図 1.3.60 相対水深および波形勾配と海底面における最大曲げモーメントの関係（赤枠：砕波限界領域）

（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に関して、以下の成果を得た。
・水圧下でのコンクリートの載荷実験のための装置を設計・製作した。
・低温海水でのセメント系材料の劣化過程に関する実験を開始した。
・南海トラフ北縁部および水深 1680m に暴露した試験体を分析し、その劣化メカニズムを明らかにした。
・実験室でセメント硬化体の試験体の耐水圧性に関する検証実験を実施するとともに、同サイズの試験体を南海トラフ北縁部に設置し，現地での in-situ モニタリング実験を開始した（図 1.3.61）。

図 1.3.61　セメント硬化体の耐水圧性に関する実験（左）と南海トラフ北縁部での暴露状況

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
・米山治男（2020）：荷役限界波高に基づく離島港湾における船舶の係留方式の評価，港湾空港技術研究所資料，No.1372.
・棚谷灯子・桑江朝比呂（2021）：人工構造物を用いた新たな生息場の創造によるサンゴ礁生態系の再生．港湾空港技術研究所報告．

□発表論文（和文）：3編
・加島寛章・米山治男(2020)：モノパイル式洋上風車の動的応答に対する波浪の影響に関する基礎的検討，土木学会論文集 B3（海洋開発）
・加島寛章・森 信人（2020）：斜面上の非線形量の振る舞いと最高波高の出現特性についての実験的検討，土木学会論文集 B2（海岸工学）
・Z. Lyu, N. Mori, H. Kashima（2020）：Evolution of High-Order Weakly Nonlinear Wave with Bottom Topography Chang，土木学会論文集 B2（海岸工学）
・米山治男・加島寛章・原大地・西澤慶介（2020）：防舷材及び係船柱の設計に用いる船舶諸元の統計解析，土木学会論文集 B3（海洋開発）
・中村俊之・中村健・宮田正史・米山治男・村上公亮・尾崎竜三（2020）：繋離船作業の作業効率向上に配慮した大型係船曲柱の上部形状の小型化，土木学会論文集 B3（海洋開発）

□発表論文（英文）：5編
・Tanaya, T., N. Kinjo, W. Okada, M. Yasuda, and T. Kuwae (2021): Improvement of the coral growth and cost-effectiveness of hybrid infrastructure by an innovative breakwater design in Naha Port, Okinawa, Japan. Coastal Engineering Journal, doi.org/10.1080/21664250.2021.1889823
・Kita,Hirabayashi,Ueyama,Ooshiro,and,Kinjo(2020)：“ Sea Experiment on Tele-operation System of Underwater Excavator ”， 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction （ISARC）,2020-12
・K. Nakamura, S. Matsumura, T. Mizutani: Particle-to-surface frictional contact algorithm for material point method using weighted least squares, Computers and Geotechnics, March 2021.
・M. Kobayashi, K. Takahashi and Y. Kawabata (2021): Physicochemical properties of the Portland cement-based mortar exposed to deep seafloor conditions at a depth of 1,680 m, Cement and Concrete Research, 142, 106335.
・K. Takahashi, Y. Kawabata, M. Kobayashi, S. Gotoh, S. Nomura, T. Kasaya and M. Iwanami (2021): Action of hydraulic pressure on Portland cement mortars and related progress of the first-ever in-situ deep sea tests at a 3,515 m depth, Advanced Concrete Technology, 19, 226-239.
・T. Miura, S. Multon and Y. Kawabata: Influence of the distribution of expansive sites in aggregates on the microscopic damage due to alkali-silica reaction (ASR) - insights into the mechanical origin of

expansion -, Cement and Concrete Research, Vol.142, 106355, 2021
・H. Kashima and N. Mori (2020): Evolution of high-order nonlinear property using spatial developing nonlinear schrödinger equation in intermediate water, virtual International Conference on Coastal Engineering 2020
・Z. Lyu, H. Kashima and N. Mori (2020): Extreme Wave Analysis in High-order Weakly Nonlinear Wave Evolution from Deep to Shallow Water, virtual International Conference on Coastal Engineering 2020

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、生態系の要素や過程に関するデータや知見を収集するとともに、サブモデル（波浪モデル・地形底質モデル・生態系モデル）の結合と改良を引き続き行う。 －減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成では、地震・津波・高波に対する減災及びエネルギー減衰効果を評価するとともに、災害に対するレジリエンスを有しつつ多種多様な生物生息を実現しうる地形・地盤環境の特性評価・分析を行う。 －アマモ場生態系の機能向上技術に関する研究では、アマモ場の維持・再生を説明するモデルの開発を行うとともに、アマモ場の再生のための技術評価、アマモ場の餌場としての機能を評価するための葉上動物餌としての評価を行う。 －油濁対策技術に関する研究開発では、リアルタイム油漂流予測システムの改良を行うとともに、自己展開型バブルカーテンによる漂流油の制御、環境整備船へのバブルカーテンの応用、沈船からの油抜き取り技術など油濁対応関連技術の検討を進める。 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2年度の研究内容

(1)浅海域における二酸化炭素吸収速度と浸水抑制効果を予測する全球動態モデルの検証に関し、全球における炭素循環・生態系モデルならびに波浪・地形モデルの開発と検証をすすめるとともに、地形・生態系データの収集と GIS 解析を実施した。また、大型海藻場の炭素動態に関する現地調査や現地実験と数値モデル解析を実施した。さらに、新設の技術研究組合（JBE）や本省が事務局のブルーカーボン検討会と連携し、オフセットクレジット（J ブルークレジット）の制度を創設し試行した。

(2)減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成に関して、沿岸底生生態－地盤環境動態の統合評価予測技術を干潟・砂浜の広域にさらに発展させると共に、気象擾乱による沿岸地形・地盤環境の大変化と底生生態変化について開発した統合評価予測モデルを基に評価分析し、その有効性を国内外の現地観測結果に照らして検証した。

(3)大気・海洋に関する湾口横断観測と解析に関して、PM 等に関して安定的に長期連続観測する方法の開発し，さらに湾口風況に関する統計解析を行った。

(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に関して、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、地形変化が湾口での海水交換量に与えた影響を評価した。

(5)アマモ場生態系の機能向上技術の開発に関して、アマモ場の餌場としての機能を評価するための葉上動物餌としての評価を行い，アマモ場の維持および再生を説明する簡易モデルの開発を行った。

(6)データ同化による沿岸域の流動及び水質環境の解明に関して、伊勢湾を対象とした 2016 年 1 年間の水温と塩分のデータ同化を実施した。

(7)自然災害等を含む多様な流出油防除に向けた新技術の研究開発に関して、 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実施した. 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に取り組んだ. 沈船内に残留した高粘度油の抜き取り作業時の流動性改善を目標に，海上技術安全研究所と共同で， 水中油型(O/W 型)エマルション形成によるレオロジー制御の観点から研究開発を実施した。

令和2年度の研究成果

（1） 浅海域における二酸化炭素吸収速度と浸水抑制効果を予測する全球動態モデルの検証に関して、以下の成果を得た。

・大型海藻場による難分解性溶存有機炭素放出を介した CO2 吸収について、現地で実測した。
・亜熱帯域ブルーカーボン生態系における現地調査を実施し、マングローブ・海草・サンゴの複合生態系における生態系間の炭素フローを定量化（下図）、全球モデルでの CO2 吸収量の検証が可能となった。
・浅海生態系面積変化の将来予測を RCP シナリオ別に実施し、論文を投稿した。
・波高減衰計算の基盤となる、サンゴ礁域の詳細な地形観測をグリーンレーザードローンにより実施した。
・独創かつ学術的意義が認められ平成 2 年土木学会論文賞（公益社団法人土木学会）を受賞した。

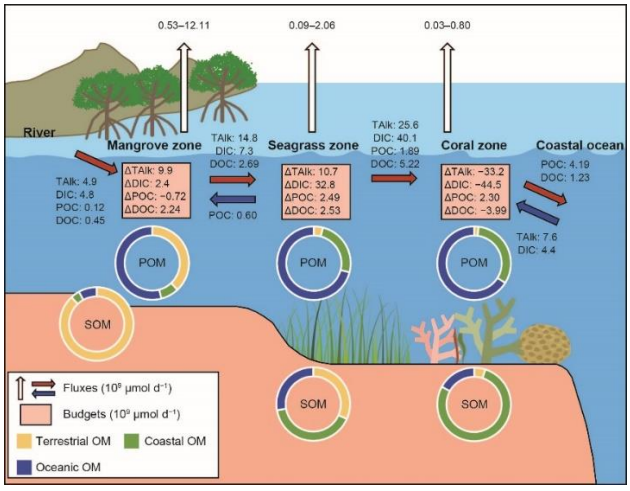


図 1.3.62　マングローブ・海草・サンゴの複合生態系において定量化した生態系間の炭素フロー（西表島）

(2)減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成に関して、以下の成果を得た。

・沿岸底生生態－地盤環境動態の統合評価予測技術を干潟・砂浜の広域にさらに発展させると共に、気象擾乱による沿岸地形・地盤環境の大変化と底生生態変化について開発した統合評価予測モデルを基に検証

し、その有効性を国内外の現地観測結果を通じて明らかにした。

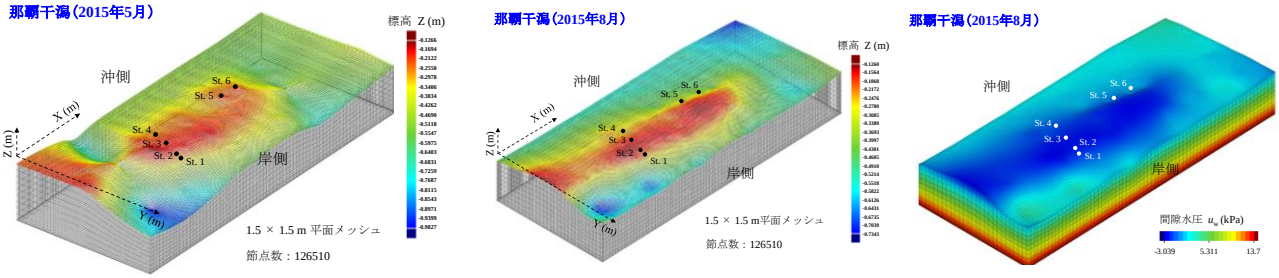
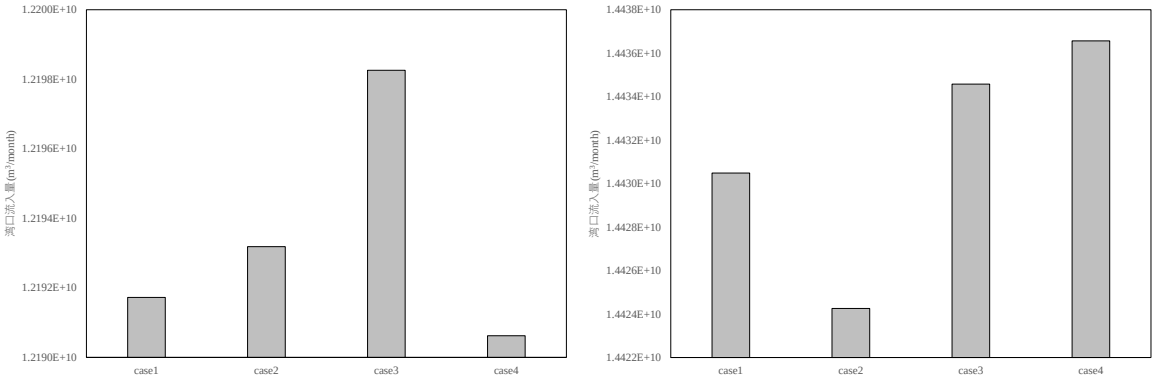


図 1.3.63　干潟・砂浜地形変化に伴う地盤環境動態・底生生物分布の予測と検証
(沿岸地形・地盤の台風イベントに伴う間隙水圧分布の例)

(3)大気･海洋に関する湾口横断観測と解析に関して、以下の成果を得た。
・大気観測に関して、PM 等の安定的に長期連続観測する方法を開発し、さらに、湾口風況に関する統計解析を行った。
・海洋観測に関して、pH 観測等を含めた安定的な観測体制を維持した。

(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に関して、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、地形変化が湾口での海水交換量に与えた影響を評価した。その結果、地形変化が海水交換量に与える影響は場所や季節によって変動することが示された。



(a) 2 月　　(b) 8 月

図 1.3.64　一部の水深を浅くした場合の三河湾口での流入量の変化
（case1：現地形, case2：渥美湾北部, case3：渥美湾東部, case4：渥美湾南部）

(5)アマモ場生態系の機能向上技術の開発に関して、アマモ場の餌場としての機能を評価するための葉上動物餌としての評価を行い，アマモ場の維持および再生を説明する簡易モデルの開発を行った。

図 1.3.65　アマモ場における環境 DNA 等による生物調査の様子

(6)データ同化による沿岸域の流動及び水質環境の解明に関して、閉鎖性水域を対象としたデータ同化において、長期間にわたって安定的に同化が実施可能であること、同化によって精度改善が可能であることを示した。

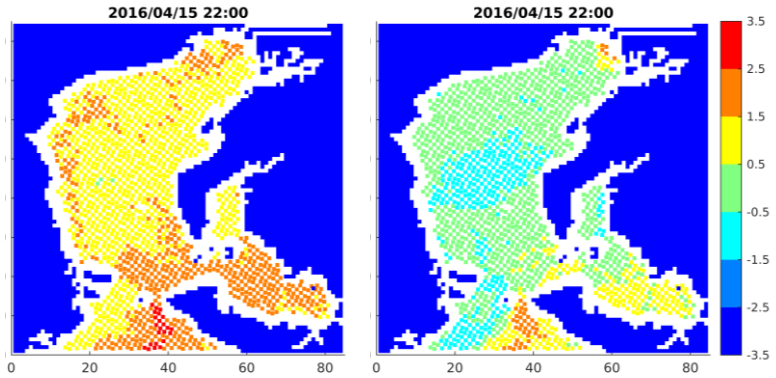


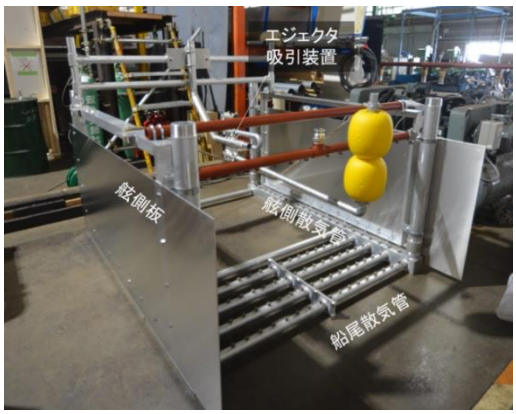
図 1.3.66　水温のシミュレーション結果と衛星観測値の差、右図：水温の同化結果と衛星観測値の差.

(7)自然災害等を含む多様な流出油防除に向けた新技術の研究開発に関して、以下の成果を得た。

・次世代型油回収機の開発においては、大型水槽における模型槽実験により油回収性能を評価し、従来機同等あるいはそれ以上の回収効率を有することを定量的に明らかにし。 併せて、当該装置に関する特許を出願した。

・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開発においては、サーバーバックエンドプログラムを全面的に Node.js 化し、マルチスレッド，クラスタリング等の手法を導入し、スケーラブルな高速化計算エンジンを実現した。フロントエンド機能についても、ユーザー間におけるシミュレーション結果の共有機能を追加するなどの 機能増強を行った。

・沈船内に残留した高粘度油の抜き取り作業時の流動性改善技術の研究においては、過年度行ったビーカー試験の結果を説明するモデルの検討と、管路系における効果の検証実験等を行なった。研究成果を基に、重質油の回収方法及び重質油の回収システムに関する特許を出願した。



図−1.3.67　次世代型油回収機実験模型

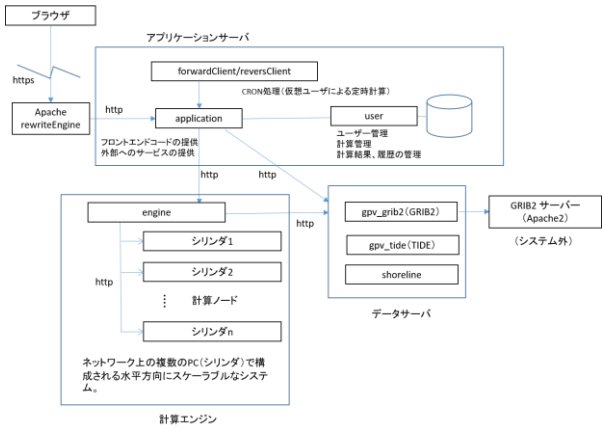


図 1.3.68　net−OILPARI 2020 システム構成

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

・田多一史・所立樹・渡辺謙太・茂木博匡・桑江朝比呂 (2020): 浅海域における海水中二酸化炭素分圧の観測と統計解析モデルの適用. 港湾空港技術研究所報告, 59(1), 3–65

・梁順普・佐々真志・工代健太・高田康平 (2020)：干潟及び砂浜における沿岸底生生態-地盤環境動態の統合評価予測技術の開発と適用，港湾空港技術研究所報告, Vol. 59, No. 3, 21-67.

・細川真也・百田恭輔・大倉翔太・小室隆（2020）：環境 DNA による沿岸域魚類の網羅的な推定と多様性評価，港湾空港技術研究所資料，No.1373

・細川真也・大倉翔太（2021）:船用風向風速計の現地における精度検証とキャリブレーション一東京湾口定期航路フェリーによる検討-,港湾空港技術研究所資料,No. 1382

□発表論文(和文)：11編

・中瀬浩太・桑江朝比呂・渡辺謙太・荒功一・浜谷信介・田中裕一 (2020): 京浜運河におけるコアマモ群落造成について. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 76(2), I_822–I_827

・松本大輝・中山恵介・駒井克昭・田多一史・佐々木大輔・渡辺謙太・久保篤史・丸谷靖幸 (2020): 成層を考慮したアマモ場における溶存無機炭素鉛直分布の推定モデルの開発. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 76(2), I_869–I_874

・赤塚真依子・高山百合子・Edwin MUCHEVBE・伊藤一教・渡辺謙太・桑江朝比呂・源利文 (2020): 海草場を対象とした環境 DNA の季節変化と環境 DNA 分析における採水量の検討. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 76(2), I_943-I_948
・相馬明郎・小西颯人・戸田慎治・名倉亮太・渋木尚・茂木博匡・桑江朝比呂（2020）: マングローブ・海草複合生態系による気候変動緩和のメカニズム～数理モデル解析～. 土木学会論文集 B2(海岸工学), 76(2), I_961-I_966
・岡田知也・三戸勇吾・秋山吉寛・増田孝文・村岡大祐・山北剛久・桑江朝比呂（2020）干潟・アマモ場における食料供給の環境価値の推定方法. 土土木学会論文集 B2-76（海岸工学）: I_973―I_978
・桑江朝比呂・茂木博匡・伴野雅之ほか 19 名（2021）今後の我が国の沿岸分野における気候変動対応で取り組むべき課題に関する意識調査. 土木学会論文集 B2 通常号 77:1-17
・梁順普・佐々真志・工代健太・高田康平・高田宜武・Sungtae Kim・Chae-Lin Lee・Jae-Sang Hong (2020) : 日韓の砂浜生態系におけるサクション一端脚類・等脚類分布の統一分析. 土木学会論文集 B3, Vol. 76, No. 2, 846-851.
・越智聖志・宮武誠・佐々真志 (2020) : 区分代表粒径を考慮した混合粒径下における波打ち帯の漂砂輸送解析. 土木学会論文集 B2, Vol. 76, No. 2, 439-444.
・梁順普・佐々真志・工代健太・高田康平・高田宜武・Sungtae Kim・Chae-Lin Lee・Jae-Sang Hong (2020) : 潮差が異なる砂浜潮間帯に生息する底生等脚類の岸沖分布と地盤環境適合場の一般性. 土木学会論文集 B2, Vol. 76, No. 2. 1015-1020.
・梶原直人・梁順普・佐々真志 (2020) : 静置下におけるフジノハナガイ *Donax semigranosus* (Dunker)の潜砂に与える砂質土砂の粒径と形状の影響. 水産工学, 日本水産工学会, Vol. 57, No. 3, 99-105.
・藤田勇（2021）: 次世代型油回収装置の開発, 雑誌作業船, 343 号

□発表論文（英文）: 13編
・Nakayama, K., Shintani, T., Komai, K., Nakagawa, Y., Tsai, J. W., Sasaki, D., Tada, K., Moki, H., Kuwae, T., Watanabe, K., Hipsey, M. R. (2020): Integration of submerged aquatic vegetation motion within hydrodynamic models. Water Resources Research, 56(8), e2020WR027369
・Moki, H., Taguchi, K., Nakagawa, Y., Montani, S., Kuwae, T. (2020): Spatial and seasonal impacts of submerged aquatic vegetation (SAV) drag force on hydrodynamics in shallow waters. Journal of Marine Systems, 209, 103373.
・Akhand, A., Watanabe, K., Chanda, A., Tokoro, T., Chakraborty, K., Moki, H., Tanaya, T., Ghosh, J., Kuwae, T. (2021): Lateral carbon fluxes and CO2 evasion from a subtropical mangrove-seagrass-coral continuum. Science of the Total Environment, 752, 142190
・Hall, L., S. De La Cruz, I. Woo, T. Kuwae, and J. Takekawa (2021) Age- and sex-related dietary specialization facilitate seasonal resource partitioning in a migratory shorebird. Ecology and Evolution, 11, 1866-1876.
・Akhand A., A. Chanda, K. Watanabe, S. Das, T. Tokoro, K. Chakraborty, S. Hazra, and T. Kuwae (2021) Low CO2 evasion rate from the mangrove surrounding waters of Sundarban, Biogeochemistry, 153, 95–114
・Seike, K., Shirai, K., Kubota, K., Ota, Y. and Sassa, S. (2020): Does trace fossil size correspond with burrower population density? An example from the modern counterpart of the trace fossil Bichordites. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 557, doi:10.1016/j.palaeo.2020.109946.
・Yang, S., Sassa, S. and Takada, Y. (2020): Cross-shore distributions of peracarid crustaceans after changes in beach morphology: The importance of suction as a key geoenvironmental variable. *Ecological Research*, Vol. 35, No. 5, 871-887. doi:10.1111/1440-1703.12151.
・Tamaki, A., Takeuchi, S., Yang, S. and Sassa, S. (2020): Long-term changes in a trochid gastropod population affected by biogenic sediment stability on an intertidal sandflat in regional metapopulation context. *Marine Biology*, Vol. 168:26, doi:10.1007/s00227-021-03828-9.
・Takeyama, K., Sassa, S. and Kohno, H. (2020): Development and verification of a new maintenance and management method considering the geoenvironmental dynamics for a habitat of the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. *Global Ecology and Conservation*, Vol. 24, doi:10.1016/j.gecco.2020.e01367.
・Ellrich, J. A., T. Yorisue, K. Momota (2020) : Limpet (Lottia cassis) disturbance limits recruitment in introduced (Balanus glandula) but not native barnacles (*Chthamalus dalli*) on the Pacific coast of Hokkaido,

Japan. PeerJ, 9190.

・Momota, K., S. Hosokawa (2021) Potential impacts of marine urbanization on benthic macrofaunal diversity and ecosystem functioning, Scientific Reports, 11: 4028.

・Yoshitaka Matsuzaki, Takashi Fujiki, Koji Kawaguchi, Tetsunori Inoue, and Takumu Iwamoto (2020): Application of the WRF Model to the Coastal Area at Ise Bay, Japan: Evaluation of Model Output Sensitivity to Input Data, Coastal Engineering Journal, https://doi.org/10.1080/21664250.2020.1830485.

・Muhammad Ali Hafeez, Yoshiyuki Nakamura, Takayuki Suzuki, Tetsunori Inoue, Yoshitaka Matsuzaki, Kangnian Wang, Abdul Moiz (2021): Integration of Weather Research and Forecasting (WRF) Model with Regional Coastal Ecosystem Model to Simulate the Hypoxic Conditions, Journal Science of Total Environment

・Watabe, Y., Egy, S. and Sassa, S.: Erodibility of clayey sand in relation to microfabric as a function of compaction condition, Proceedings of 10th International Conference on Scour and Erosion (ICSE-10) in press.

□特許：3件

・特願 2020-74276「油回収処理装置」：藤田勇

・特願 2020-81534「プラスチック片の回収方法および回収システム」：井上徹教、東亜建設工業

・特願 2020-179558「鉄イオン溶出体、および鉄イオン供給装置」井上徹教、日鉄ケミカル＆マテリアル

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、これまでに開発したモデルのパラメータの一般化を行うとともに、様々な海浜での将来予測計算を実施する。また、ディープラーニング型断面地形変化モデルを開発し、適用性を検討する。 －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における平均海面の変動や海象条件の変化によって生じる航路・泊地・周辺海岸の地形変化を予測する。 －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を実海域に適用するため、現地データの整理・解析とモデルの改良を行う。　　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2年度の研究内容

（1） 気候変動が海浜地形に及ぼす影響を評価する目的を踏まえ，予測モデルを一般化するために必要なモデルパラメータと海岸物理指標との比較を行う上での基礎情報として，波崎海岸の長期地形データについての統計データを整理した。その中で，海面の変動に対する地形の応答の一つである，これまで未知で

あった波浪に対する遡上域の地形変化の応答特性を左右する潮汐変動に伴った地形変化プロセスを明らかにした。モデルパラメータの一般化にはまだ至っていないものの，ディープラーニングによる海浜地形断面変化モデルの開発も並行して実施しており，多角的に将来予測計算を実施する体制を整えつつある。
（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に関して、波崎海洋研究施設において継続的に風・波・流れ・地形変化の現地観測を行った。また、杭の周辺洗掘等での砕波現象によって波・流れの場が複雑に変化する場所での地形変化を予測するために計算モデルの改良を行った。
（３）河口域周辺での土砂輸送および航路・泊地への集積機構の解明に関して、これまでに構築した砂泥混合底質モデルを実海域（インドネシア・パティンバン海域など）に適用するため、現地データの整理・解析とモデルの改良を行った．また国内河口港（新潟西港内）を対象として、河川河口域の埋没機構の実態に即したモデル化に向けて，既往現地データ等の解析を進めた。

令和2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に関して、以下の成果を得た。
・波崎海岸の３４年に亘る長期地形データについての統計データを整理した（図 1.3.69 左）。
・海面の変動に対する地形の応答の一つである潮汐変動が地形変化に及ぼす影響について明らかにした（図 1.3.69 右）。

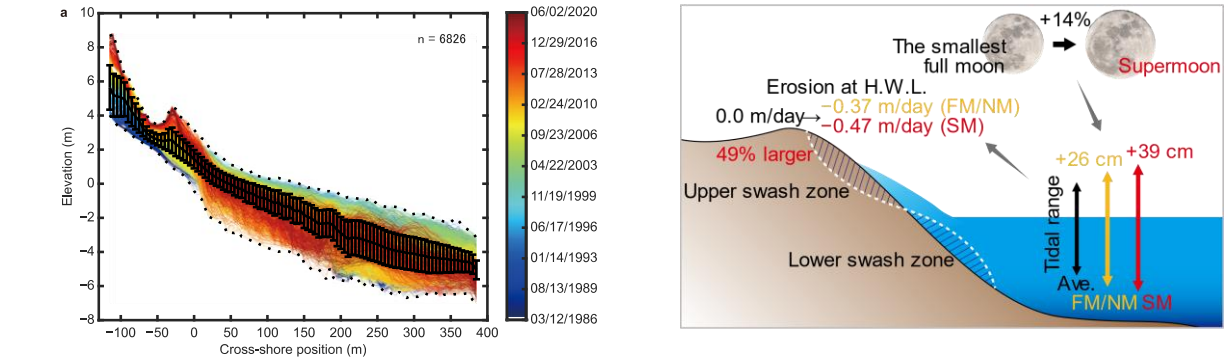


図 1.3.69　過去 34 年間に観測された海浜地形変動（左）とスーパームーンが地形変化へ与える影響（右）

（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に関して、以下の成果を得た。
・深浅測量結果他を用いた観測桟橋周辺の洗掘状況の把握を行った。整理した測量データおよび解析結果は今後の砂浜地形変化予測に用いられる（図 1.3.70 左）。
・周辺洗掘穴のある砂浜地形上で砕波する波による海浜流の計算を行い、洗掘穴による地形変化への影響を検討した（図 1.3.70 右）。

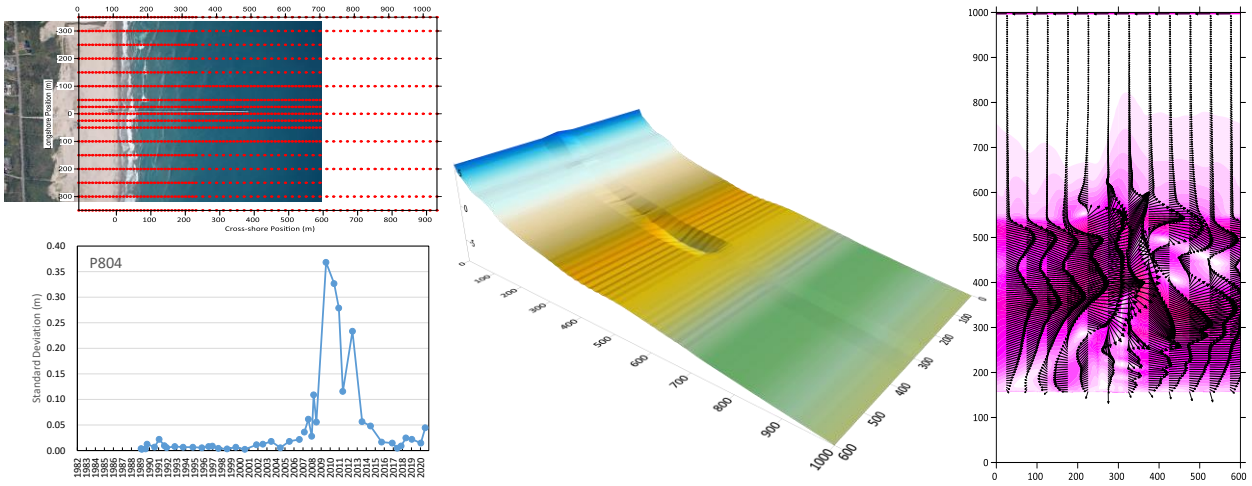


図 1.3.70　深浅データの解析による海岸の一様性変化（左）　周辺洗掘穴による流れ、地形変化（右）

（３）河口域周辺での土砂輸送および航路・泊地への集積機構の解明に関して、以下の成果を得た。
・砂泥移動実験データを用いた砂泥モデルの精度検証に関するとりまとめを行った（港空研資料）
・インドネシア・パティンバン海岸の地形変化予測システムの開発にむけて、砂泥モデルの適用に向けて、特に底質輸送に及ぼす同海域での波浪場の特異性に注目した数値的検討を進めている（図 **1.3.71**（左））
・港湾地形を考慮した数値計算への展開に向けた底質・地形条件の整理を行った．（図 **1.3.71**（右））

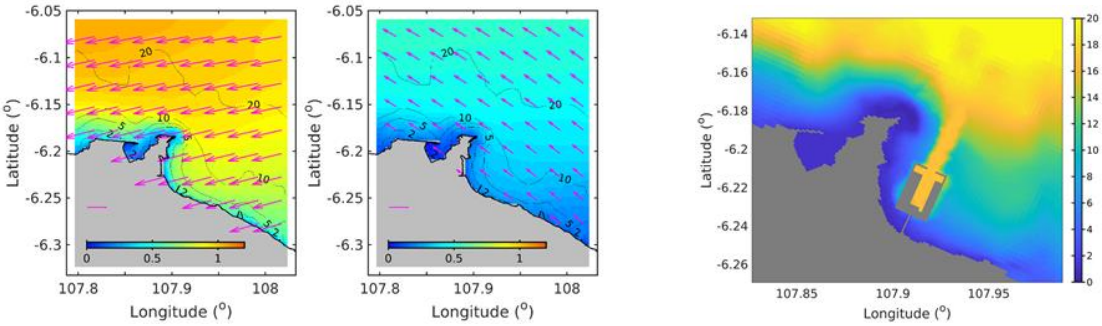


図 **1.3.71** パティンバン海岸を対象とする波浪場の再現計算（左）とパティンバン港建設後の地形データ（右）

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

・小硲大地，中川康之(2020)：河口沿岸域の地形変化予測に適用可能な砂泥混合輸送モデルの開発，港空研資料, No.1376

・中村聡志(2021)：砕波帯構造物の周辺洗掘と海岸の沿岸方向一様性の変化，港空研資料 No.1383，p.88.

□発表論文（和文）：2 編

・松下晃生，内山雄介，高浦　育，小硲大地（2020）：南シナ海における河川起源マイクロプラスチック粒子の 3 次元広域海洋輸送について，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 76，N0. 2，pp.I_979-I_984.

・増永英治，木村和久，小硲大地，内山雄介 (2020)：粒子追跡モデルを用いた黒潮から沿岸域への物質輸送過程の評価，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 76, No. 2，pp.I_91-I_96.

□発表論文（英文）：3 編

- Banno, M., Kuriyama, Y. (2020). Supermoon drives beach morphological changes in the swash zone. Geophysical Research Letters, 47, e2020GL089745. https://doi.org/10.1029/2020GL089745
- Banno, M.; Nakamura, S.; Kosako, T.; Nakagawa, Y.; Yanagishima, S.; Kuriyama, Y. (2020): Long-Term Observations of Beach Variability at Hasaki, Japan. J.Mar. Sci. Eng. 2020,8,871.
- Nakagawa, Y. (2020): Field measurements of fine sediment transport processes in Japanese estuaries, Proc. of 3rd Int. Conf. on Sustainablity in Civil Eng. (ICSCE2020), 26-27 Nov. Hanoi, Vietnam

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、航跡データ、気象データ、航空交通流制御関連データの収集および分析、国内外の動向調査および運用判断指標候補の評価、実験用評価システムの開発を行う。等

②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発

－フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究では、運航者が最大便益を得るためのフリールーティングと空域などを効率よく割り振るため協調的意思決定（CDM）を取り入れた軌道ベース運用に基づいた軌道管理方式のコンセプトを提案する。本年度は、福岡飛行情報区（FIR）とその周辺の空域の特性に基づいた運用コンセプト、開発してきた「管制難度」ATMパフォーマンス指標の適用の検討を行うとともに、軌道最適化ツールの改善や性能向上に取り組む。また、北太平洋の運用効率向上の推進のため、必要に応じてIPACG（Informal Pacific ATC Coordinating Group）の活動を支援し、FIR間の軌道管理の実現を推進するためにICAOのATMRPP（Air Traffic Management Requirements and Performance Panel）の標準化活動に取り組む。等

③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発

－空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究では、トランスポンダに依存せず空港面及び空港近傍における移動体を検出するために、パッシブPSRだけでなく航空用途以外の電波も利用した監視プロトタイプシステムの開発を行う。本年度は、実験用リアルタイムパッシブ監視システムによる検出性能評価を行い、パッシブレーダで移動体を検出するための技術提案を行う。

－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、新しいGNSS衛星の信号特性を評価し、GNSS信号認証技術を開発するとともに、SBAS相互運用性検証予備実験を行う。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航法と衛星航法（GNSS）による精密進入着陸システムである GBASを組み合わせた曲線進入等の高度運用方式を実現するために、空港周辺の山岳地形などの制約を調査し、設計条件や導入効果を明らかにする。また、衝突危険度モデルを改善する衝突確率計算アルゴリズムを提案して計器飛行方式設定基準の策定に貢献する。本年度は、引き続き、国内のモデル空港へ新進入方式を概念設計し、フルフライトシミュレータにより検証を行うとともに、民間航空機の運航データを活用して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検証する。

－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、空地連携を考慮することで航空機の降下における地上の軌道予測性を向上し、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、ファストタイムシミュレーションを用いてCDOの一環として提案する固定飛行経路角降下（Fixed-FPA, Fixed Flight-Path Angle Descent）の運航性能を評価し、fixed-FPA降下運用の導入による潜在的な便益を定量的に示す。等

②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発

－空港面の運用に資する交通分析とシミュレーションでは、空港レイアウトと運航スケジュールが

地上走行時間管理の性能にもたらす制約を分析し、この制約に適した地上走行時間管理手法を検討する。本年度は、主に首都圏空港を対象として、空港レイアウトが離陸の順序付けに及ぼす影響について、シミュレーションを用いた分析を行う。等

③光ファイバ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、空港において、これまでの研究成果を反映した評価用FOD探知システムを構築する。さらに、異物回収端末ユーザインターフェースの改善およびFOD 探知システムの空港環境および悪天候時の性能評価を継続して実施する。

－遠隔型空港業務支援システムの実用化研究では、小規模空港や離島空港でリモート運用を可能とするために必要な技術を開発し、我が国の運用環境に適したリモートタワーシステムを提案する。本年度は、映像系と監視センサ情報を統合したシステムの精度と性能向上、実運用を想定したシステムとして、ハウジング、PTZカメラ搭載型ライトガン等ハードウェア関連の評価、AIによる映像識別機能によるトラッキング性能評価を行う。また、PTZ システムの性能向上、管制運用を想定したHMI設計とプロトタイプへの機能の組込、簡易型監視センサの検討を予定している。また、EUROCAEにおいて、リモートタワーの技術規格の策定に継続参加するとともに、併せて海外動向調査を行う。等

（３）機上情報の活用による航空交通の最適化

航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発

－従属監視補完技術に関する研究では、従属監視方式である、放送型自動位置情報伝送・監視（ADS-B）を導入する際に必要となる、位置情報源障害発生時の補完や脆弱性対策を実現する技術を開発・評価する。最終年度である本年度は、位置情報源発生時の補完技術である時刻同期維持手法や脆弱性対策である位置検証手法などの性能評価を実施するほか、実験装置の改修を実施する。また、成果の取りまとめを行う。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

－航空機の拡張型到着管理システムの研究では、ターミナル空域からエンルート空域にかけて、到着機の順序付けとスケジューリングを行うために，拡張型到着管理システムの運用プロトコルと到着スケジューリング手法を提案する。さらに、拡張型到着管理システムと協働する新しい運航を提案し、シミュレーション検証を行う。本年度は、拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計の研究成果をまとめると共に、令和３年度から開始予定の重点研究に向け、到着・出発・空港面の航空交通を統合するシステムの研究開発について初期的な検討を開始する。提案するシステムの実用化に向けた既存のインフラの調査やシミュレーション実験の準備を行う。等

（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化

航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発

－SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価に関する研究では、航空交通管理における、異なる SWIM 情報システム間の融合と協調を実現するため、シームレスな情報交換とサービス連携に関する技術の提案と評価テストベッドの開発を行う。本年度は、構築されたSWIMテストベッドを用いて国際連携実験や実証実験によりSWIMに基づいた運用方式の有効性や信頼性を評価する。また、評価実験や実証実験などの結果により提案技術の改良や報告書の作成などを行う。

等
②航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全な次世代航空通信に関する研究開発
－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、複数の通信システムの基礎検討調査を行うとともに、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。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２年度における取組状況

令和２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、近年急速に発展している機械学習の技術を航空交通データへ適用することで、新たな改善策につながる可能性があることから、航空交通データの分析への機械学習の適用に関する基礎研究を実施している。これは、レーダーデータなどの航空交通データを使用し、当該航空交通データ分析へ機械学習を適用することにより、課題整理から改善案の策定までの一連の流れを解析する手法の開発を目標にしている。本年度は、特定の航空路を飛行する便を対象とし、指数ガウス過程回帰などの複数の回帰手法を用いて、巡航部分の飛行時間予測を行い手法間の精度の違いを比較した。また、空港周辺空域における管制間隔確保のための時間調整に着目し、降下フェーズの飛行時間予測を機械学習により行った。さらに、空港周辺空域へ入る際の航空機対の位置をドット絵として描画し、その航空機対の着陸順序の入れ替わりが実際に起こったかどうかを教師データとして、画像認識を行い到着順序予測を行う試行モデルを作成した。到着順序の予測精度が向上すれば、より実際の運航に合った交通流管理が可能となり、運航効率向上につながると考えられる。この試行モデルでは、順序が入れ替わる航空機対を７割程度検出することができた。

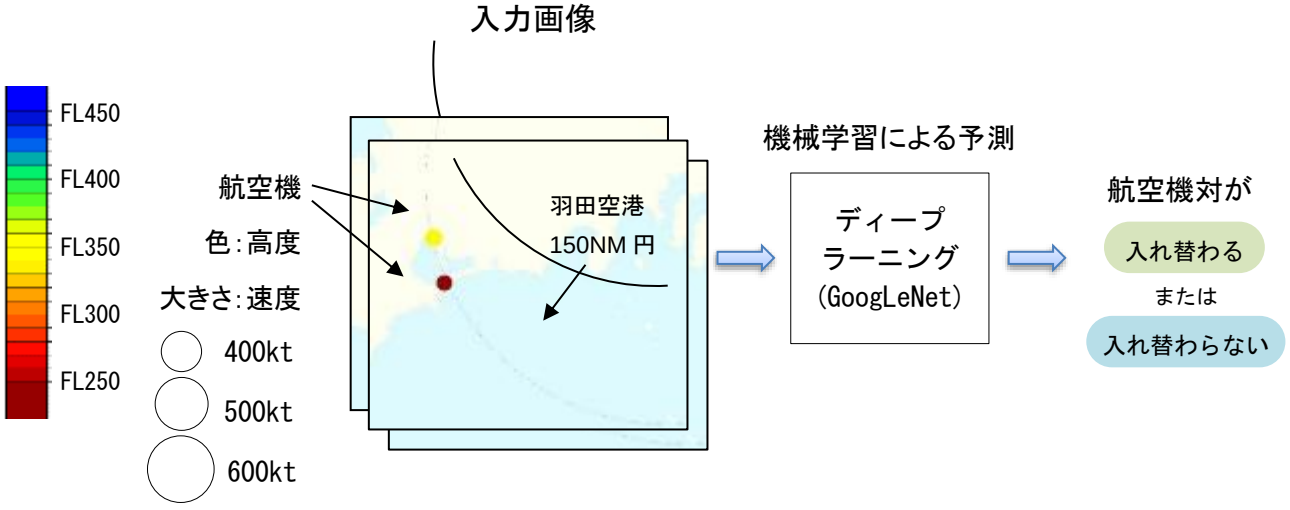


図 1.4.1　航空機対の画像から到着順序を予測する機械学習モデル

また近年、電子航法に関する萌芽的研究は減少傾向であったが、電子航法研究所長指導の下、電子航

法研究所内で新技術や社会情勢に関する自由討議、先進的な研究につながる企画募集を行うなどにより所内で先進的な研究に繋がる雰囲気の醸成に努め、令和 3 年度の萌芽的研究や調査研究などへの企画立案が増加した。

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、航跡データ、気象データ、航空交通流制御関連データの収集および分析、国内外の動向調査および運用判断指標候補の評価、研究用評価システムの開発を行う。等

○気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究

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２年度の研究内容

□航跡データ、気象データ、航空交通流制御関連データの収集および分析

□国内外の動向調査および運用判断指標候補の評価

□研究用評価システムの開発

令和２年度の研究成果

□航跡データ、気象データ、航空交通流制御関連データの収集および分析

気象レーダで観測されたエコー強度に基づく悪天回避経路の生成およびその影響の解析を実施した。

図 1.4.2　に、気象情報から飛行制約条件への変換の例として、レーダエコーから飛行制約へ変換したものを示す。悪天を回避する飛行軌道の生成にあたっては、与えられた気象情報（図 1.4.2　の左図）から悪天の強度を抽出し（図 1.4.2　の中央図、ここでは 2 値化を実施）、飛行が制限される領域として同等の強度をまとめて指定する処理（図 1.4.2　の右図、ポリゴン化を実施）が必要であり、それぞれの処理における妥当な閾値や高度化を検討することが今後の課題である。

図 1.4.3 に、気象関連の飛行制約条件を用いた飛行軌道の生成の例として、実際に悪天回避経路を生成した結果を示す。前述の閾値によって変化する飛行制約条件や飛行軌道の生成に用いる評価関数の設定により、様々な飛行軌道が得られることが分かる（図 1.4.3 の上図：効率性重視、下図：安全性重視）。今後は、効率性と安全性のトレードオフ関係を考慮した悪天回避モデルの検討を継続する。

以上より、気象情報から飛行制約条件への変換およびそれを用いた飛行軌道の生成について、国内空域への適用を想定した具体例を交え、従来は気象情報または飛行軌道として各々異なる画面上で検討されがちであったものを一連の流れとして処理・表示・評価する手法を提案した。

令和３年度は、航跡データと気象データを用いた解析について、事例を蓄積するとともに、他の気象データへの応用や航空交通流制御関連データを用いた解析への拡張を行う予定である。特に、気象情報から飛行制約条件への変換に関して、航空用の数値予報(航空用 MSM)の利用を検討する。

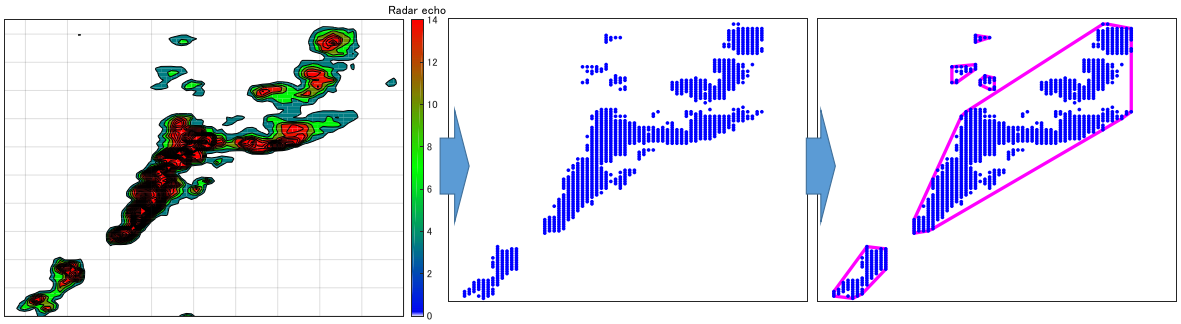


図 1.4.2　　レーダエコーから飛行制約への変換例

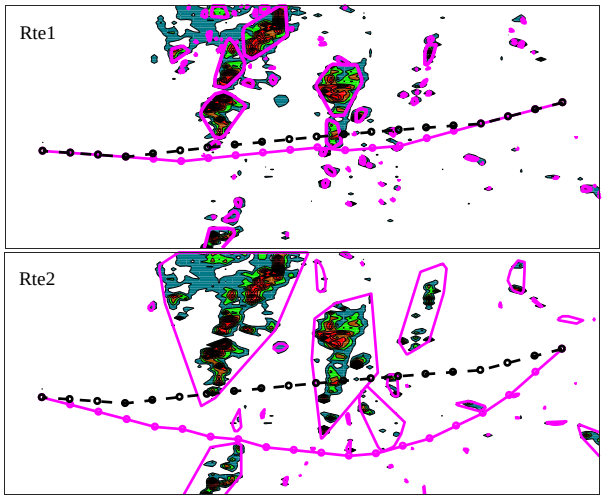


図 1.4.3　悪天回避経路の生成例

□国内外の動向調査および運用判断指標候補の評価

国内の動向について、航空路管制セクタにおける悪天対応の現状を把握するとともに、適正交通容量値への定量的な変換に関する解析手順を検討した。また、研究成果の社会還元（プロダクトイメージ）について航空局および気象庁の関係各位と意見交換を実施し、運航前の軌道調整に係る現行の運用状況および高度化の方向性や優先度をより明確に出来た（関係者間での共通認識が促進された）。また、研究成果を関係各位の参加する CARATS の場で報告する等、CARATS 施策である運航前の軌道調整に係る高度化の検討に貢献した。

令和３年度は、国内外の動向調査を継続するとともに、飛行計画軌道／セクタと悪天域（飛行困難空域）の重なり具合および重なる部分に対しての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予定である。

□研究用評価システムの開発

飛行計画経路を読み込み、実航跡および気象レーダのエコー強度と同時に表示して解析できるように研究用評価システムを改修した（図 1.4.4）。図 1.4.4 の白色の航空機シンボルは RDP データから抽出した航空機位置、赤線は実航跡を示す。また、白線は飛行計画経路、カラースケール領域は全国合成レーダ GPV のエコー強度を示す。

また、航空機数データの読み込み、表示機能（図 1.4.5）およびコマンドファイル実行機能を追加するプログラム改良を実施した。図 1.4.5 の線分は飛行計画データから求めた飛行経路の交通流密度を表し、青＜橙＜赤＜白の順で密度の大きい状態を示す。矢印シンボルは航空機位置、カラースケール領域は全国合成レーダ GPV のエコー強度を示す。

令和３年度は、本年度機能向上を実施した研究用評価システムの操作性向上や気象予報データも取り扱えるように機能向上を図る予定である。

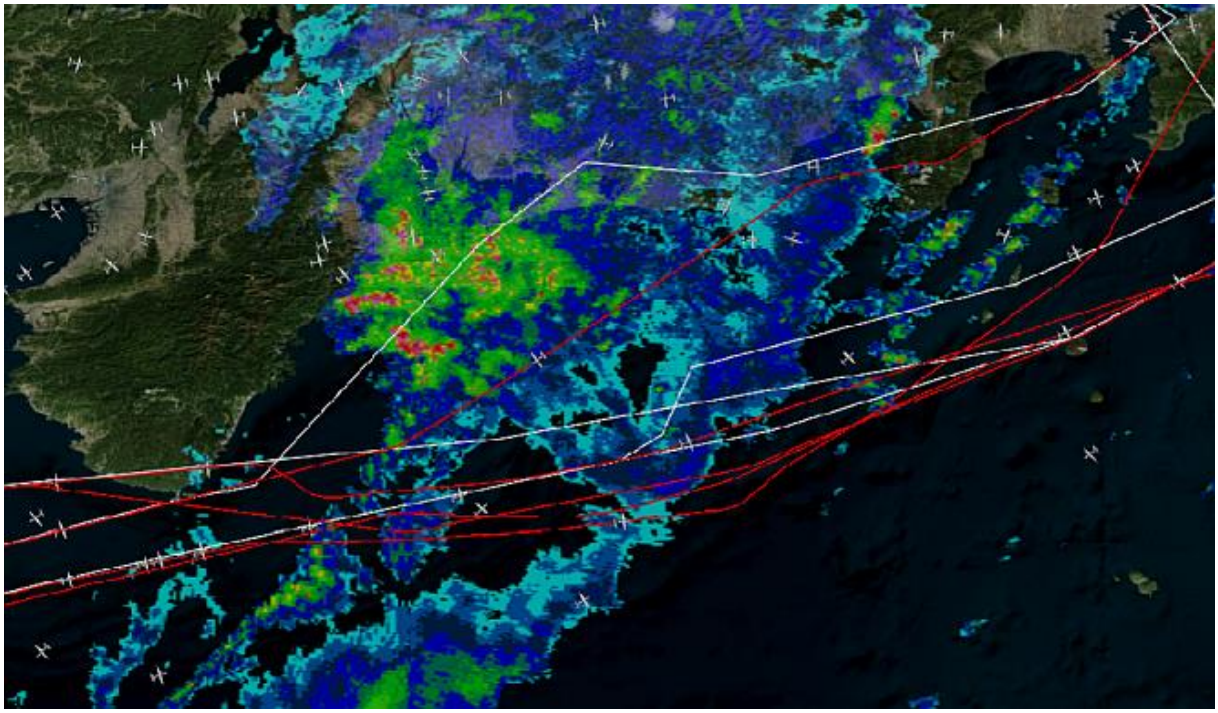


図 1.4.4　飛行計画経路、実航跡および気象レーダのエコー強度の同時表示例

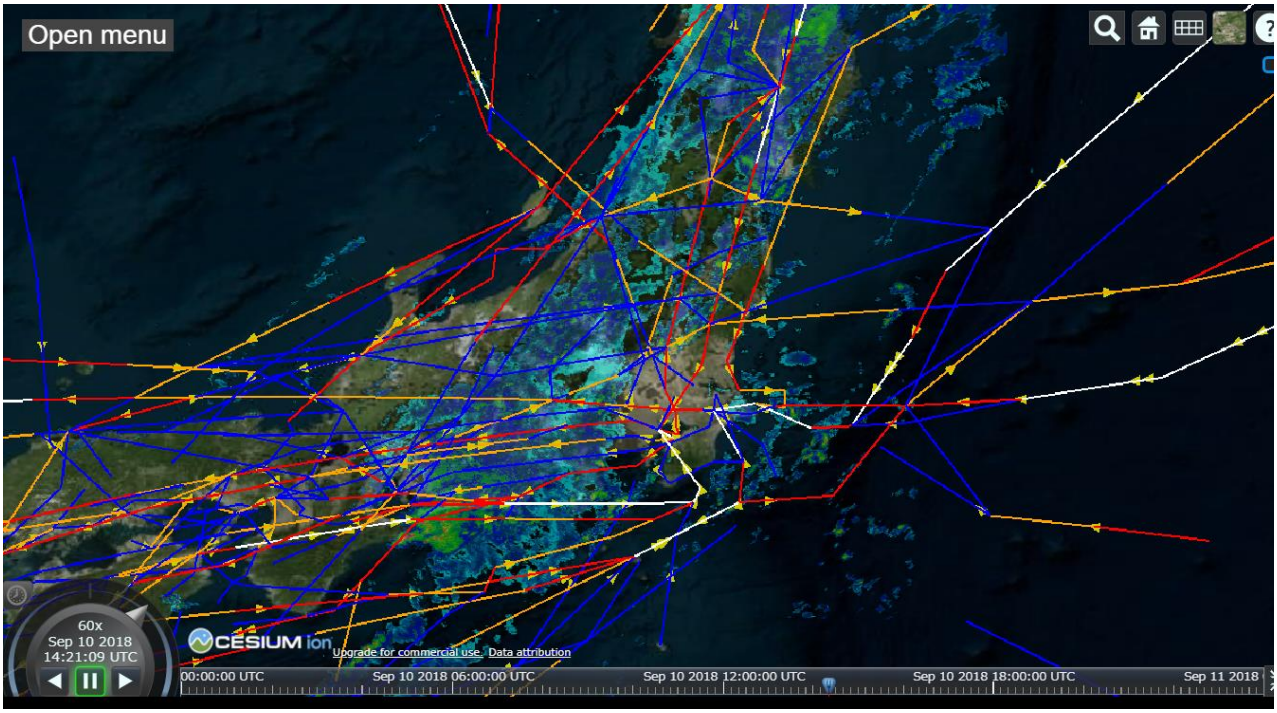


図 1.4.5　航空機数データの読み込み、表示機能例

成果の公表

□中村、瀬之口、平林：“悪天回避経路に関する研究の紹介”、航空無線 105 号（秋号）、2020 年 9 月.
□中村、瀬之口、平林：“軌道予測の高精度化に向けた悪天回避経路生成に関する検討”、令和 2 年度（第 20 回）電子航法研究所研究発表会、2020 年 10 月.
□瀬之口、平林、中村：“CARATS 施策 EN-6 および OI-15 関連の ENRI 研究開発の進捗報告”、CARATS 第 41 回 ATM 検討 WG／第 42 回航空気象検討 WG 合同会合、2020 年 10 月.
□中村、瀬之口：“軌道予測の高精度化に向けた悪天回避経路生成に関する検討”、第 58 回飛行機シンポジウム、2020 年 11 月.

研究開発課題	（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

研究テーマ	②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理(ATM)のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発 －フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究では、運航者が最大便益を得るためのフリールーティングと空域などを効率よく割り振るため協調的意思決定（CDM）を取り入れた軌道ベース運用に基づいた軌道管理方式のコンセプトを提案する。本年度は、福岡飛行情報区（FIR）とその周辺の空域の特性に基づいた運用コンセプト、開発してきた「管制難度」ATMパフォーマンス指標の適用の検討を行うとともに、軌道最適化ツールの改善や性能向上に取り組む。また、北太平洋の運用効率向上の推進のため、必要に応じてIPACG（Informal Pacific ATC Coordinating Group）の活動を支援し、FIR間の軌道管理の実現を推進するためにICAOのATMRPP（Air Traffic Management Requirements and Performance Panel）の標準化活動に取り組む。等

○フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究

研究の背景

国際民間航空機関の Global Air Navigation Plan に従って、運航効率と航空交通管理（Air Traffic Management: ATM）システムの容量を向上するため、ATM 方式は軌道ベース運用（Trajectory-Based Operations: TBO）に基づくこととなる。また、CARATS 計画も TBO を取り入れている。 各フライトの最大便益を得るため、運航者の希望軌道をなるべく制限しない「フリールーティング」が必要であり、需要が高い時に空域や空港の資源を効率よく割り当てるために「協調的意思決定」（CDM: Collaborative Decision Making）が必要である。今後、フリールーティグと CDM を取り入れた TBO に基づいた軌道管理方式を高高度空域に提供するコンセプトが必要である。

研究目標

□運用コンセプトの提案
□軌道の ATM パフォーマンス指標の提案
□軌道最適化アルゴリズムの改善
□便益バランシング方式の提案

令和２年度の研究内容

□運用コンセプトの提案：CDM の検討、運用概念の取りまとめ
□軌道最適化アルゴリズムの改善：ツール評価、改良
□便益バランシング方式の提案：アルゴリズム評価、改良、取りまとめ

令和２年度の研究成果

□運用コンセプトの提案：CDM の検討、運用概念の取りまとめ

韓国航空大学との共同研究により、仁川飛行情報区（FIR: Flight Information Region）及び福岡 FIR（レーダ空域及び洋上空域）における初期的なフリールート空域（FRA: Free Route Airspace）運用コンセプトを立案した（図 1.4.6）。このコンセプトを基に、仁川 FIR／福岡 FIR 境界線と監視・通信の性能が変わる洋上管制空域の入出域点間において直行経路による飛行が可能であると仮定し、仁川国際空港と北米（アラスカ及びハワイを含む）間の航空交通流を対象に分析を行った。得られた結果から、269,000NM 以上（FRA 内飛行の 3.5%減）の経路短縮効果が見込まれることが明らかになった（図 1.4.7）。フリールート空域コンセプトにおいて、交通量に応じた段階的な FRA 導入を想定している。初期段階として、空域の制限がなく交通量の少ない運用環境（19 時～07 時（日本時間）かつ高度 FL310 以上）を想定し、仁川 FIR との境界線上に最短飛行距離を可能とするウェイポイントの追加、及び洋上管制空域との境界線上において CNS/ATM の性能向上を有効に利用するよう横方向の短縮間隔を活用した空域／経路デザインを作成した。さらに、レーダ覆域内での効率的な運航者設定経路（UPR: User Preferred Route）を想定したウェイポイントによるグリッド構成を提案した。次期研究においては、本コンセプトの適用範囲を拡大することにより、空域使用者の便益、航空管制の作業負荷への影響、及び国境を越えたシームレスな交通流管理（ATFM）を実施する計画である。

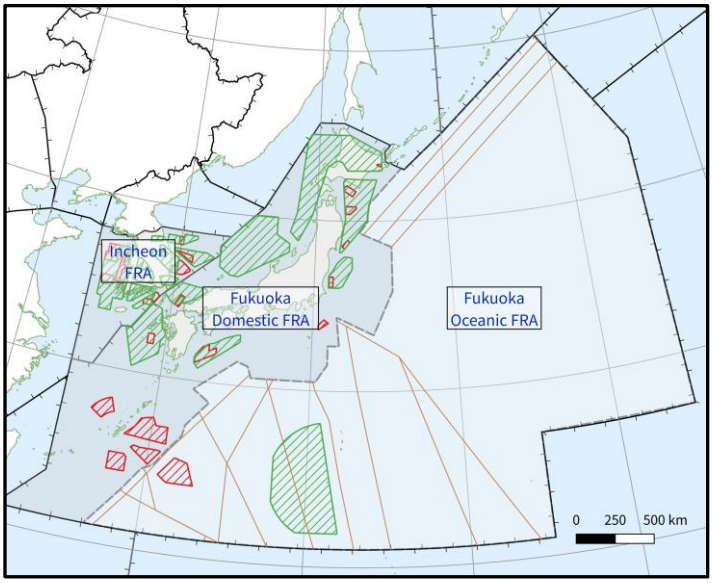


図 1.4.6　仁川 FIR 及び福岡 FIR のフリールート空域（FRA）案
初期段階は高度 FL310 以上、有効時間は 10:00-22:00 UTC。緑色及び赤色のポリゴンは FL310 以上の

訓練空域等を示す。訓練空域は夜間に通過可能となる。茶色い線は初期段階に残す洋上固定経路を示す。NOPAC の経路は、空域再編に従って３本となる。

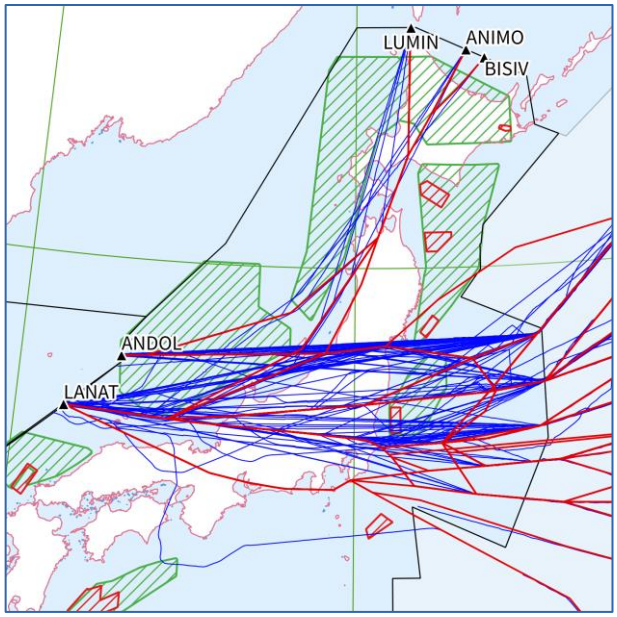


図 1.4.7　2019 年 5 月のある１週間の仁川国際空港から北米への便の飛行計画経路（赤線）とレーダ航跡（青線）を示す。レーダ誘導の影響でショートカットされている傾向が現れ、計画経路と実際経路の間にギャップが発生している。仁川 FIR 境界線と洋上空域の入域点間を直行しているものもあり、これら飛行は、航空管制の制約がなかったこと示している。それを参考に提案した、初期的 FRA を適用すると、269,000NM 以上(FRA 内飛行の 3.5%減)の経路短縮が可能となる。

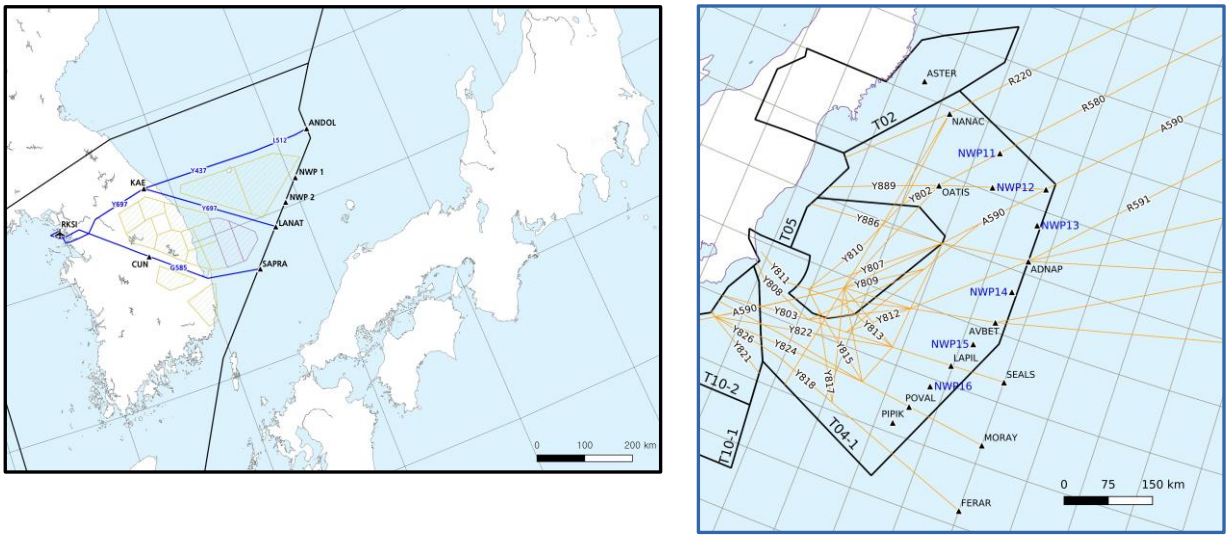


図 1.4.8　仁川 FIR と洋上空域間の経路効率の高度化のため、仁川 FIR の境界線の新しいウェイポイントと洋上空域の新しい入出域点（NWP）の追加を提案する。

□軌道最適化アルゴリズムの改善：ツール評価、改良

空域／経路構成の提案及び評価において、運航者が要求する現実的な経路を作成する必要がある。運航者指向飛行経路を生成するため、グラフ探索理論に基づく経路生成ツールを引き続き開発した。通常、長距離飛行では燃料を消費し機体重量が軽くなると巡航高度を上昇させていくステップアップクライムを行う。初期段階のアルゴリズムにおいては、巡航高度の選択肢が一つに限られていたが、本年度は航空機の性能を考慮したステップクライムを可能とするよう、機能を拡張した。本ツールは、次の研究のニーズにも十分に応えられる。

□便益バランシング方式の提案：アルゴリズム評価、改良、取りまとめ

NOPAC（NOrth PACific:福岡FIRとアンカレッジ洋上FIRを結ぶ５本の平行固定経路）から北米に向けた本邦出発便と上空通過機の平等性を保った巡航飛行を実現するため、遺伝的アルゴリズムを用いた便益バランシング手法を平成３０年度に提案した。本年度は、令和元年度開発したアルゴリズムを多目的最適化手法として機能拡張を行い、複数の解を提示できるようになった。複数のシミュレーションシナリオにおいてアルゴリズムを適用した結果、本邦出発機の遅延時間と、要求高度と巡航高度の差の最小化によるトレードオフ解集合が獲得できることを確認した。ただし、上空通過機と本邦出発機の割合や機種、単位時間に対する航空機数の違いにより、まれにトレードオフ解集合が獲得出来ないケースが見られた。次期研究では解集合が獲得できないケースにおいても対応可能なように手法を改良するとともに、本研究成果の実際の運用への活用方策を模索していく。

成果の公表

学会発表　３件

□ 長岡 栄, ブラウン マーク,管制難度指標による近接状況の回避アルゴリズムの一考察、第 58 回飛行機シンポジウム、2020 年 11 月

□ Lee, K., Brown, M., Hirabayashi, H., Kim, H. Y., Murata, A., Kim, H. W. and Park, S. E, An Analysis of Candidate Free Route Air Traffic between Incheon Airport and North America via Fukuoka FIR, 第 58 回飛行機シンポジウム、2020 年 11 月

□ Brown, M., Lee, K., Hirabayashi, H., Kim, H. Y., Murata, A., Kim, H. W. and Park, S. E., A Free Routing Concept for Incheon FIR and Fukuoka FIR, 第 58 回飛行機シンポジウム、2020 年 11 月

□ Nagaoka, S., Hirabayashi, H., Brown, M.: ″ Towards Automatic Trajectory Modification for Reducing Air Traffic Complexity Using an ATC Difficulty Index″, Air Traffic Management and Systems IV - Selected Papers of the 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), Springer, 2021.

国際会議　１件

□ Hirabayashi, H. and Brown., M., Evaluation of PACOTS, IPACG/46, Oct.2020.

研究開発課題	（１）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

研究テーマ	③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理（ATM）のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発 －空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究では、トランスポンダに依存せず空港面及び空港近傍における移動体を検出するために、パッシブ PSR だけでなく航空用途以外の電波も利用した監視プロトタイプシステムの開発を行う。本年度は、実験用リアルタイムパッシブ監視システムによる検出性能評価を行い、パッシブレーダで移動体を検出するための技術提案を行う。

○空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究

研究の背景

空港面及び空港近傍の航空機監視に利用される SSR や MLAT 等は、高精度、高検出率かつ高更新率を備えた監視システムである。しかし、監視対象にトランスポンダを必要とし、トランスポンダが搭載されていない、もしくは正常に動作していない場合の監視はできない。そのため、トランスポンダに依存しない一次監視レーダ PSR(ASR、ASDE 等)は、監視対象空域における航空交通の安全性を担保する上で重要な役割を果たす。しかし、PSR は、大型の回転型空中線及び高出力送信機を必要とするため、整備及び維持の面で課題を有する。このような観点から PSR の代替もしくは覆域拡張のため、新しい監視システムの導入が期待されているが、新たな周波数帯の割り当ては困難であるため、既存の周波数資源を有効活用した新しい監視システムが求められている。

研究目標

□空港面及び空港近傍の航空機及び車両を検知する MSPSR の開発

□航空用電波以外の他目的電波も利用した監視システムの監視性能を導出する

※MSPSR(Multi Static Primary Surveillance Radar)：航空機からの反射波を複数点で受信して航空機の位置を算出する次世代型 PSR

令和２年度の研究内容

□実験用リアルタイムパッシブ監視システムによる検出性能評価

□パッシブレーダによる移動体検出の技術開発

令和２年度の研究成果

□実験用リアルタイムパッシブ監視システムによる検出性能評価

運用を見据えたレーダシステムとしての実験システム評価を行うため、低コストで実装可能な SDR（Software Defined Radio:ソフトウェア無線機）を使い、信号処理部も含んだリアルタイムパッシブ監視システムの評価システムを構築した。これらの開発や検出性能評価では既存の実験システムで得られた信号データを再生してそのデータ処理を行い、信号処理能力の制約が多いリアルタイムシステムにおいても既存の実験システムと同等の性能が得られることを確認した。またシステム構築時に技術検討を行った光ファイバ無線を使ってセンサを接続する監視システムを ICAO 監視マニュアル(Doc9924)に反映した。受信センサの小型化や時刻同期の正確性等、これまでに得られた成果が監視システム構成方法の一例として追記された。

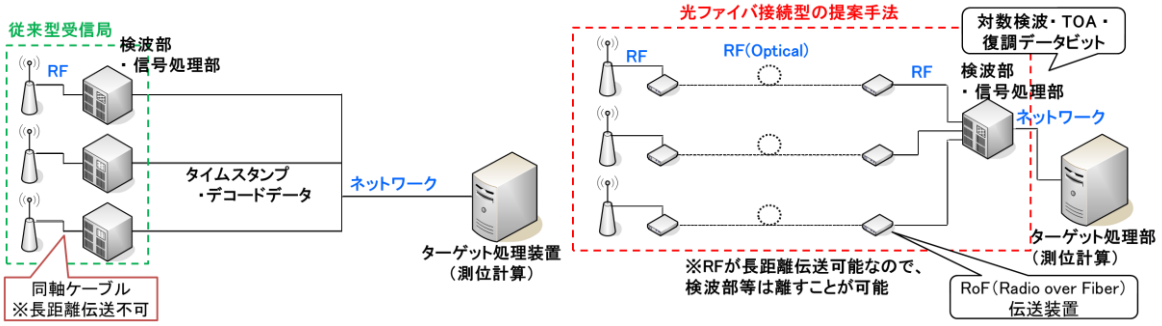


図 1.4.9　従来型 MLAT(左図)と提案手法(右図)の構成比較

□パッシブレーダによる移動体検出の技術開発

一般的に受動型レーダに用いられる受信機用アンテナには無指向性アンテナを使用することが多く、受信機単独で高精度・高分解能な測位を行うことは難しい。この問題を解決するために多くの信号処理手法が提案されている。空港周辺での移動体検出が可能となるようなパッシブレーダでの信号検出技術として、リニアアレーアンテナやビーム走査型アンテナで用いられている電波到来方位測定技術を適用し高精度・高分解能を達成するための技術開発を JAXA との共同研究として行った。JAXA ではモノスタティックレーダに対して畳み込み積分の結果として得られるレーダの受信信号を信号処理(計算処理)によって分解し、高分解能レーダとして使用する技術を開発している。この技術をパッシブレーダに応用し信号処理の実用性を確認するために、実験用パッシブ監視システムで得られた飛行実験による測位実験データに対して処理方法の開発と実データによる検証を行った。

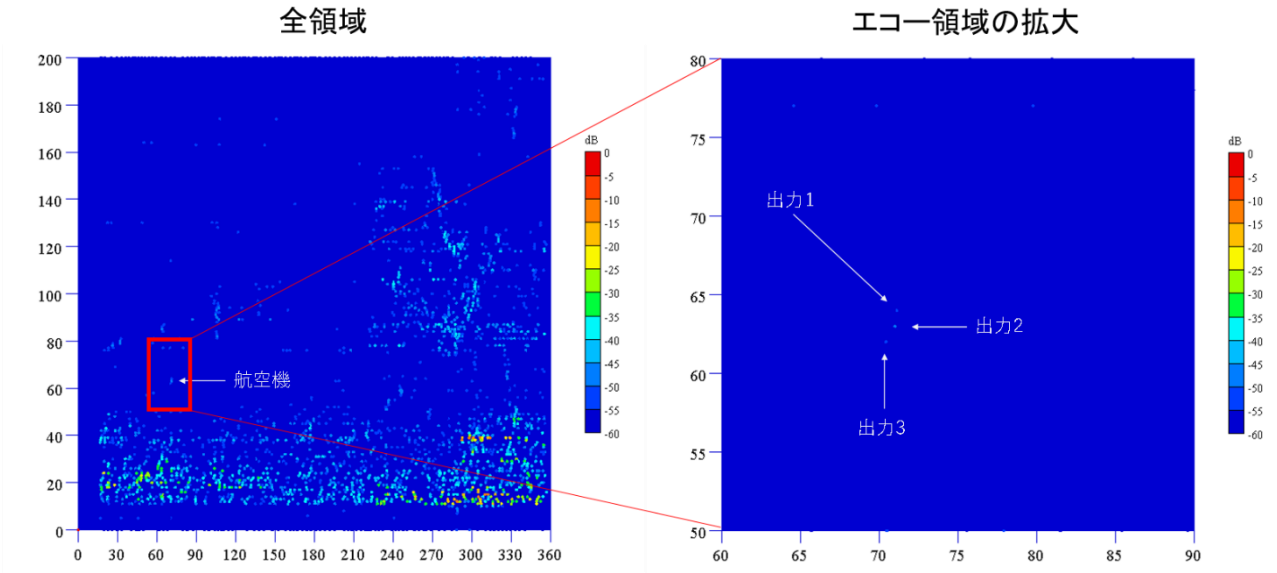


図 1.4.10　開発したパッシブレーダに対する高分解能処理の検証結果。表示処理の都合で拡大図では出力が 3 点に分かれているが、これまでのレーダ信号処理に比べて角度分解能が飛躍的に向上している。

成果の公表

□国内学会発表

・大津山卓哉，本田純一，“地デジ信号の遅延プロファイルを使った移動体検出”，電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会，2020 年 7 月

・大津山卓哉，本田純一，角張泰之，“光ファイバ無線技術を応用した航空機監視技術”，電子情報通信学会 総合大会，2021 年 3 月

□ICAO 等技術資料

・J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, “Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture,” ICAO SP-ASWG/ASWG/11, Apr. 2020

・J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, “Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture,” ICAO SP-ASWG/ASWG/TSG/11, June 2020

・J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, “Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture,” ICAO SP-ASWG/ASWG/12, Sep. 2020

研究開発課題	（1）軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

研究テーマ	③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発	運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。 また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理（ATM）のためのシステムの開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発 －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、新しいGNSS衛星の信号特性を評価し、GNSS信号認証技術を開発するとともに、SBAS相互運用性検証予備実験を行う。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２年度の研究内容

□次世代 GBAS の運用コンセプト開発

□次世代 GNSS 環境の信号特性評価

□GNSS におけるセキュリティ対策技術の開発

□SBAS 相互運用性検証実験のための予備実験

令和２年度の研究成果

□次世代 GBAS の運用コンセプト開発

次世代 GBAS について ICAO NSP（航法システムパネル会議）にて運用コンセプト及び基本的事項の検討が行われ、隔週のオンライン会議に参加して対応した。COVID-19 の影響により会議の進捗に遅れがあり、また航空需要の減退により次世代システムを早期に規格化する機運が失われたことから、次世代システムについて時間をかけて議論すべきとの方向性となり、本年度までに結論は出なかった。

一方、二周波数化をした場合にあっても問題となる電離圏シンチレーションについて GNSS 及びレーダによる観測結果を比較することでその特性を調査し、対策として次世代 GBAS においては GNSS 衛星数の増加が効果的であることを明らかにした。図 1.4.11 はその一例であり、レーダエコーの範囲内では L1 周波数及び L5 周波数で同時にシンチレーションを生じている例がある一方、信号経路がレーダエコーの範囲外となっている GNSS 衛星があることがわかる。

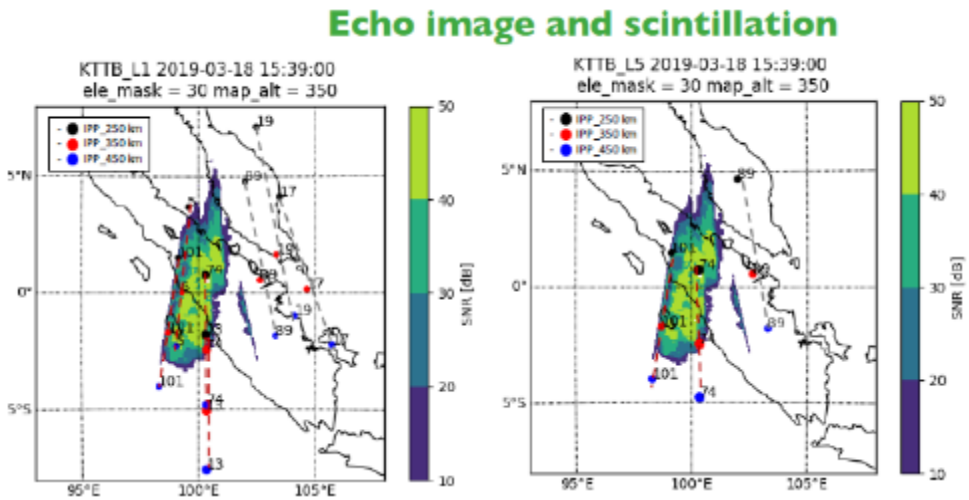


図 1.4.11　GNSS 及びレーダによる電離圏シンチレーションの同時観測の例
（レーダエコーと重なる領域で、L1 帯（左）及び L5 帯（右）で同時にシンチレーションを生じている）

□次世代 GNSS 環境の信号特性評価

石垣島実験施設の受信データを使用して、各衛星系（GPS・GLONASS・Galileo・BDS・QZSS）の信号特性を評価した。図 1.4.12 はその例であり、従前より使用されている L1 信号に比べて、新しく送信されている L5 信号は雑音が小さいことがわかる。

□GNSS におけるセキュリティ対策技術の開発
　ICAO NSP に参加し、SBAS を使用したセキュリティ対策について議論した。具体的な方式としてはディジタル署名技術を応用する方向であり、実現性について検討した。

□SBAS 相互運用性検証実験のための予備実験
　欧州との間で計画している SBAS 相互運用性検証実験の予備実験として、ノルウェーにて準天頂衛星 L5S 信号の受信実験を行った。この結果、北欧地域にて準天頂衛星 L5S 信号を受信できることを確認し、検証実験のフィージビリティを確認した。図 1.4.13 は結果の一例で、仰角が 7 度程度以上の時間帯に十分な C/N_0 で信号を受信できたことがわかる。

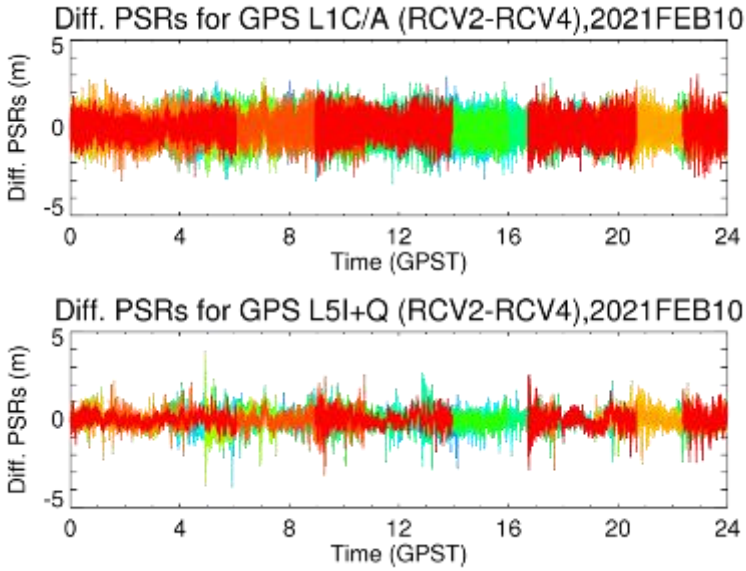


図 1.4.12　信号特性評価の例
（L1 信号（上）に比べて、L5 信号（下）は雑音が小さい）

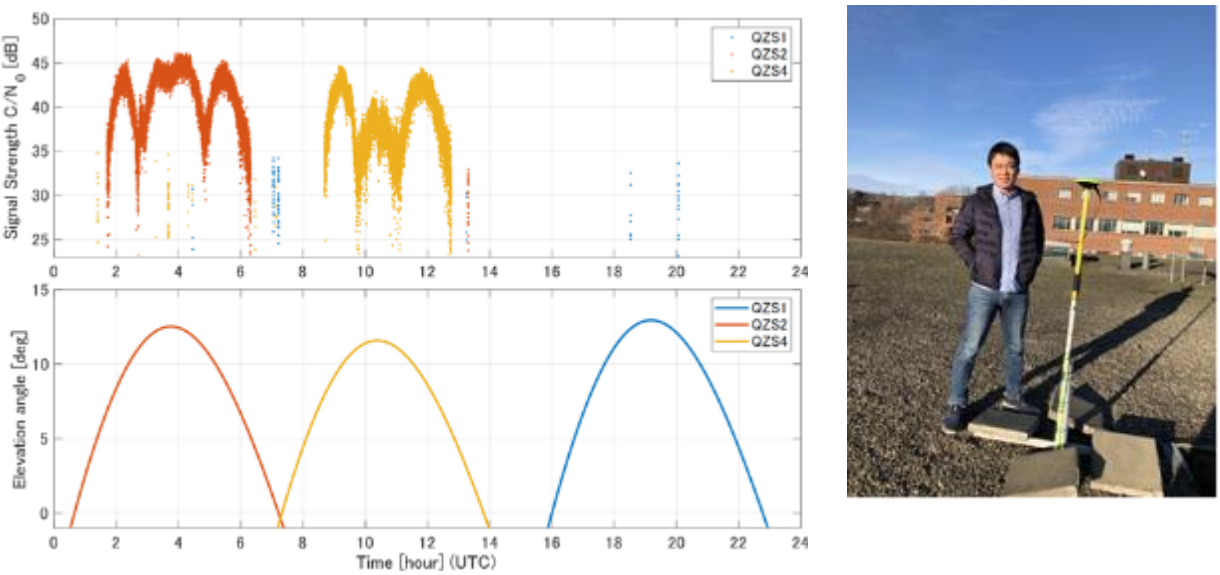


図 1.4.13　SBAS 相互運用性検証実験のための予備実験
（仰角（下）が 7 度程度以上の時間帯に十分な C/N_0（上）で信号を受信した。
QZS-1 衛星は L5S 信号を送信していない）

成果の公表

○査読付論文

□細川敬祐（電通大）・坂井純（電通大）・冨澤一郎（電通大）・齋藤享・津川卓也（NICT）・西岡未知（NICT）・石井守（NICT）, "A monitoring network for anomalous propagation of aeronautical VHF radio waves due to sporadic E in Japan", Earth, Planets and Space, 令和 2 年 7 月

□細川敬祐（電通大）・木村康拓（電通大）・坂井純（電通大）・齋藤享・冨澤一郎（電通大）・西岡未知（NICT）・津川卓也（NICT）・石井守（NICT）, "Visualizing Sporadic E using Aeronautical

Navigation Signals at VHF Frequencies", Journal of Space Weather and Space Climate, 令和2年12月

○国際標準化会議（ICAO・RTCA・EUROCAE等）
□松田国幸（航空局）・北村光教・井下亨（JRANSA), "Doppler shift of QZS-7 satellite", ICAO NSP GSSVWG, 令和2年4月
□齋藤享・福島荘之介, "Status of GBAS related studies of ENRI", EUROCONTROL Landing and Take-Off Task Force, 令和2年9月
□齋藤享, "Update to the NSP Job Card NSP.007.02", ICAO NSP/6, 令和2年11月

○国際学会等
□Acharaporn Bumrungkit (KMITL)・齋藤享・Pornchai Supnithi (KMITL), "A study of equatorial plasma bubble structure using VHF radar and GNSS scintillations over the low-latitude region", JpGU-AGU Joint Meeting, 令和2年7月
□齋藤享・細川敬祐（電通大)・坂井純（電通大)・冨澤一郎（電通大), "Study of structures of the sporadic E layer by using dense GNSS network observations", ION GNSS+, 令和2年9月
□坂井丈泰, "Japanese GNSS Future System Evolution in the 2020-2030 Perspective", European Navigation Conference, 令和2年11月

○国内学会等
□北村光教・渡邊浩志・坂井丈泰, "準天頂衛星システム サブメータ級測位補強サービスにおけるシステム間バイアスの推定", 測位技術振興会第2回研究発表講演会, 令和2年9月
□齋藤享・Acharaporn Bumrungkit (KMITL)・Pornchai Supniti (KMITL), "Study of the ionospheric scintillation and plasma bubble structure by using EAR and MC/MF GNSS receiver", 第14回MUレーダ・赤道大気レーダシンポジウム, 令和2年9月
□齋藤享・細川敬祐（電通大)・坂井純（電通大)・冨澤一郎（電通大), "Study of Sporadic E layer characteristics by using ROTI maps", 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 令和2年11月
□渡邊浩志, "L5 SBASメッセージ", 航空無線, 令和3年3月

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	① 混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバ技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発 －PBNとGBASを活用した高度な計器進入方式に関する研究では、性能準拠型航法（PBN）概念によるRNP航法と衛星航法（GNSS）による精密進入着陸システムである GBASを組み合わせた曲線進入等の高度運用方式を実現するために、空港周辺の山岳地形などの制約を調査し、設計条件や導入効果を明らかにする。また、衝突危険度モデルを改善する衝突確率計算アルゴリズムを提案して計器飛行方式設定基準の策定に貢献する。本年度は、引き続き、国内のモデル空港へ新進入方式を概念設計し、フルフライトシミュレータにより検証を行うとともに、民間航空機の運航データを活用して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検証する。

○PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究

研究の背景

ICAO（国際民間航空機間）は、PBN（性能準拠型航法）概念による航法を促進し、GBAS（地上直接送

信型衛星航法補強システム）等の導入により安全で効率的な進入方式により運航の最適化を図る計画である。近年、我が国においても PBN による RNAV/RNP 進入方式が多数の空港に展開されており、将来はさらに高度な計器進入方式の導入により、運航効率と滑走路アクセス性の向上が期待されている。

この実現のため、現在 RNP の RF レグ（円弧旋回）と GLS（GBAS Landing System）等による最終進入経路を組み合わせた新しい進入方式が検討されており、我が国の空港環境をふまえた実現可能性と将来の便益の明確化が要望されている。また、GLS 等の衝突危険度モデルによる障害物評価表面の緩和が期待されている。

研究目標

□RNP の RF レグと GLS 等による最終進入経路を組み合わせた新進入方式について、空港環境における制約を調査し、設計条件を定めて実証し、導入効果を定量化する。

□従来の衝突危険度モデルを改善する衝突確率計算アルゴリズムを提案し、民間航空機の運航データを活用して、その妥当性を検証する。

令和 2 年度の研究内容

□モデル空港方式設計とフルフライトシミュレータ実験

□飛行実証準備（可搬型プロトタイプ）

□衝突危険度モデルの妥当性検証

令和 2 年度の研究成果

□モデル空港方式設計とフルフライトシミュレータ実験

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、経路を改良し、さらに複数のフルフライトシミュレータで操縦性や燃料流量を評価した。この結果、モデル空港に設計した経路では、自動飛行や GPWS（対地接近警報装置）など機上装備が意図したとおりに動作し、操縦士に高いワークロードを与えずに通常運航と同様に飛行可能であることが検証された。併せて、現行経路と燃料流量を比較して 20%以上の削減効果があることがわかった。これは、モデル空港で 1 進入経路あたり年間ドラム缶 3,000 本以上の燃料消費削減、年間 3,000 トン以上の CO2 削減に相当し、カーボンニュートラルの実現に寄与できる。

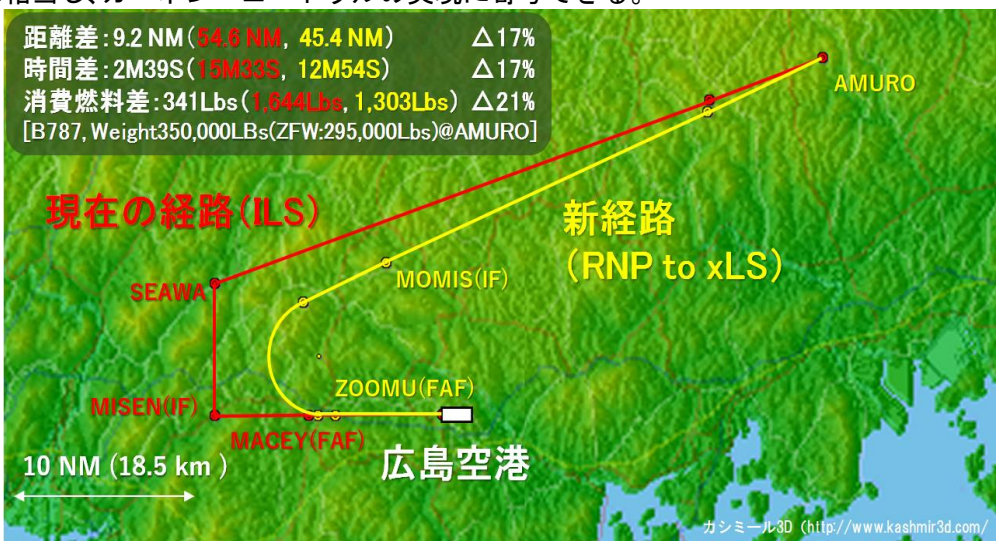


図 1.4.14　研究用 RNP to GLS 進入経路（広島空港：滑走路 10 進入）

□飛行実証準備（可搬型プロトタイプ）

本研究では、選定したモデル空港において RNP to xLS 飛行方式の飛行実証実験を行い技術的な実現性や課題を検証する計画である。この実現のため、技術成熟度レベル（TRL: Technology readiness levels）が高く、実用型 GBAS 装置と等価な機能を有する（冗長系を除く）可搬型プロトタイプを開発する。プロトタイプは、遠隔地の複数の国内空港において短い準備期間で飛行実験を実現するため、実験用車両内に機材を搭載した可搬型とする。実験用車両を空港内等に移動し、GNSS アンテナなどを

展開すれば、VHF アップリンク（VDB）により GBAS による最終進入経路（FAS: Final Approach Segment）が実現可能となる。

本年度は、令和元年度までに開発した可搬型プロトタイプ装置のソフトウェア部とハードウェア部のシステムインテグレーションを行い、実験室環境での動作検証を実施した。また、2 箇所のモデル空港において実施する RNP to xLS の飛行実証に備え、総合通信局の無線局落成検査を受検し、免許を取得し、移動局の実験試験局として VDB 信号の送信が可能となった。

図 1.4.15　飛行実証時の可搬型プロトタイプ装置 搭載イメージ

□衝突危険度モデルの妥当性検証

衝突危険度モデルは、GLS/ILS の進入時に、地上障害物への衝突確率を計算する数学モデルである。衝突確率は ICAO の世界基準により、1 進入あたり 10^{-7} 以下であることが求められている。この衝突危険度モデルは 1970 年代に開発され、その当時のモデルがそのまま 40 年程度にわたって同一のものが使用されているのが現状である。その一方で、近年航空機や地上航法装置の航法精度は向上しており、過去と比較して航空機がノミナルの飛行経路から逸脱して地上障害物に衝突する確率は相対的に低くなっているものと想定される。これは、地上障害物の設置基準の緩和の可能性を意味しており、衝突危険度モデルの更新によって実現できると期待されている。

本研究においては、衝突危険度モデルの構成要素のうち、数学モデルを改善することにより、現状に比べてより精度の高い衝突確率を求めることができるモデルの開発に取り組む。本年度は、令和元年度に提案した計算アルゴリズムについて、正確な衝突確率の推定ができる条件を明らかにしたうえで論文投稿を行い、採択された。また、ADS-B データから実運航のサンプルデータを抽出し、モデル検証で仮定したデータとの比較を行ったところ、データの大きな相違は確認されなかった。これは過去のモデルの検証結果が有効であることを示している。

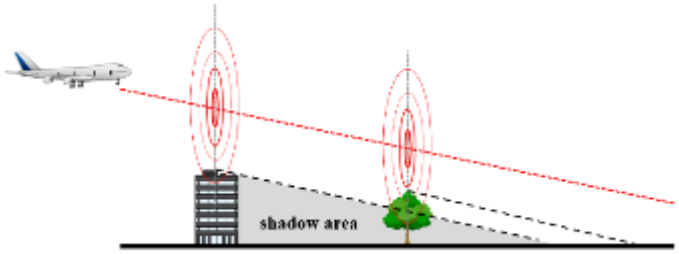


図 1.4.16　衝突危険度モデルの妥当性検証

成果の公表

1. 福島、「RNP to xLS 進入方式の設計と検証」, CARATS GNSS アドホック会議, 2020 年 8 月.
2. S.Saito, et.al, “Status of GBAS Related Studies of ENRI”, International GBAS working group (I-GWG)-LAT034, Sept. 2020.
3. R. Mori, M. Fujita, “Accurate Estimation of Ground Obstacle Collision Probability during ILS Approach”, IEEE Access, Vol. 8, pp. 66662-66671, 2020.

4. 齊藤真、福島、「可搬型衛星航法補強装置について」、第 58 回飛行機シンポジウム、2020 年 11 月
5. 齊藤真、「可搬型 GBAS プロトタイプ装置の開発」、日本航海学会航空宇宙研究会、2020 年 11 月

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバ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 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、空地連携を考慮することで航空機の降下における地上の軌道予測性を向上し、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、ファストタイムシミュレーションを用いてCDOの一環として提案する固定飛行経路角（fixed-FPA, fixed flight-path angle）降下の運航性能を評価し、fixed-FPA降下運用の導入による潜在的な便益を定量的に示す。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、垂直経路の情報を共有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）をまとめる。

令和２年度の研究内容

□fixed-FPA 降下の運航性能評価解析
□fixed-FPA 降下を活用した到着管理アルゴリズムの開発
□降下方式における環境負荷推定モデルの構築

令和２年度の研究成果

□fixed-FPA 降下の運航性能評価解析

関西国際空港を対象にファストタイムシミュレーション及びフルフライトシミュレーター実験を実施し fixed-FPA 降下の運航性能を評価した。フルフライトシミュレーター実験から機種ごとの性能データを取得し、以下のファストタイムシミュレーションのパラメータとした。ファストタイムシミュレーションでは異なる運航条件にてモンテカルロシミュレーションを用いて、異なる運航条件にて従来の CDO と fixed-FPA 降下それぞれ 10,000 フライトを模擬し、燃料消費量等を比較した。図 1.4.17 では、それぞれの降下方式の降下開始点（TOD, Top of Descent）から降下終点までの距離のばらつきを示している。従来の CDO（図中の FMS-PD(Profile Descent)）では、航空機搭載の飛行管理装置（FMS, Flight Management System）から航空機の運航性能に沿った降下パスを算出されることから、TOD 位置が大きくばらつくことがわかった（標準偏差：4.86）。一方、fixed-FPA 降下では、航空機の運航性能を考慮しつつ一定の降下角より降下パスが絞られることから、TOD 位置のばらつきが縮小されることが明らかになった（標準偏差：0.99）。その結果、地上における航空機の高度プロファイルの予測精度の向上につながると考えられる。また、他の到着機との間隔付けのために到着を遅らせる管制指示を模擬した際の fixed-FPA 降下の有効性を定量的に検討した。図 1.4.18 は、指示された遅延時間に対してそれぞれ従来の CDO と fixed-FPA 降下に要する燃料消費量の差異を統計的に示した結果である。縦軸の正の値が fixed-FPA 降下方式が有効という意味を持つ。fixed-FPA 降下ではアイドルに近い推力を保ちながら降下することで、ベクタリングやスピードブレーキを使用しなくても飛行速度を調整することが可能という特徴がある。得られた結果から、120 秒以上の時間調整が必要とされる際に fixed-FPA 降下が燃費の観点から便益があり有効であることが示された。また、これらの研究成果がインパクトファクターの高い学術論文誌に研究内容を掲載された。(Elsevier Aerospace Science &Technology, IF: 4.499)。

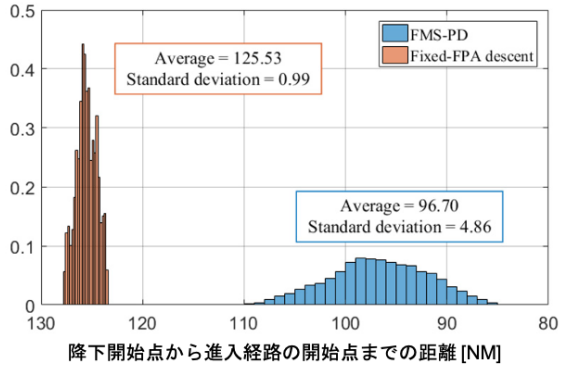


図 1.4.17　降下開始点のばらつき

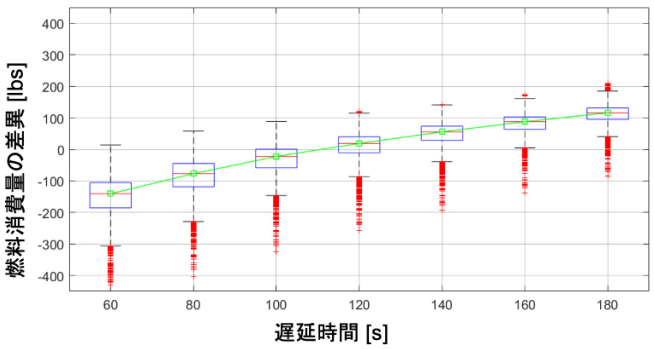


図 1.4.18　燃料消費量の差異

□fixed-FPA 降下を活用した到着管理アルゴリズムの開発

令和 2 年度は、主に独自開発のファストタイムシミュレータを用いて、周辺に他の航空機が飛行している交通流において fixed-FPA 降下を実施する方法に焦点を当てた。その一環として、慶應義塾大学との共同研究として fixed-FPA 降下を用いた到着管理アルゴリズム「Semi-CDO」を開発した。Semi-CDO は、fixed-FPA 降下を用いた航空機間の間隔維持をフィードバック制御としてモデル化し、航空機の到着時刻と高度制約の関係をモデリングすることにより高度制約を生み出すアルゴリズムである。Semi-CDO アルゴリズムの概要を図 1.4.19 に示す。図において IP は高度制約指示点を表してお

り、2 つのウェイポイントにおいて高度制約を付加している。
　評価解析から、従来の降下方式と比べて、Semi-CDO アルゴリズムの方が周辺の航空機との干渉を回避しつつ、燃料消費量を減少させる降下を実施していることが確認できた。関西国際空港へ到着する 30 機のうち 10 機を対象に従来の CDO と Semi-CDO アルゴリズムそれぞれを適用して行ったシミュレーションでは、
・従来の CDO：周辺の到着機との干渉が発生したため、10 機うち３機が CDO 実施を中止した。
・提案の Semi-CDO：速度調整により、周辺の到着機との安全間隔を保持できたため、10 機とも Semi-CDO を実施することができた。
という結果が得られた。

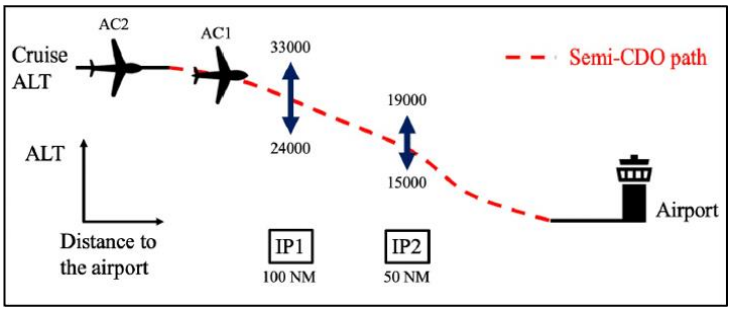


図 1.4.19　Semi-CDO アルゴリズムの概要図

□降下方式における環境負荷推定モデルの構築
　令和 2 年度は、横浜国立大学との共同研究として到着方式における環境負荷モデルの構築を行った。本研究では、神戸空港の容量拡大に向けて提案された、淡路島上空を通過する進入復行方式による環境負荷について数値シミュレーションによる評価検討を行った。米国連邦航空局（FAA, Federal Aviation Administration）開発の AEDT(Aviation Environment Design Tool)を適用し騒音暴露量を、国際民間航空機関（ICAO, International Civil Aviation Organization）が提供する Aircraft Engine Emissions Databank と Boeing 社開発の Fuel Flow Method 2 を用いて排出ガス等を推定し、従来の飛行方式との特徴を比較した。シミュレーション結果と人口密集地区等のデータより、fixed-FPA 降下方式を提案するにあたり、到着方式における注意すべき点や課題等を洗い出すことができた。

成果の公表

査読付き論文 1 件
□D. Toratani et al., “Feasibility Study on applying Continuous Descent Operations in congested Airspace with Speed Control Functionality: Fixed Flight-Path Angle Descent,” Elsevier, Aerospace Science and Technology, September 2020.

学会発表論文 2 件
□ビクラマシンハ　ナヴィンダ，虎谷大地，平林博子，“固定飛行経路角効果方式における運航性能評価に関する一考察”，第 58 回飛行機シンポジウム講演集，令和 2 年 11 月.
□和田真治，井上正樹，虎谷大地，“Semi-CDO：航空機の新たな降下運航方式の提案と到着管理アルゴリズム”，第 8 回制御部門マルチシンポジウム講演集，令和 3 年 3 月.

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発便と到着便の交通管理手法、光ファイバ技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発	燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発 －空港面の運用に資する交通分析とシミュレーションでは、空港レイアウトと運航スケジュールが地上走行時間管理の性能にもたらす制約を分析し、この制約に適した地上走行時間管理手法を検討する。本年度は、主に首都圏空港を対象として、空港レイアウトが離陸の順序付けに及ぼす影響について、シミュレーションを用いた分析を行う。等

〇空港面の運用に資する交通分析とシミュレーション

研究の背景

誘導路に出発待ちの航空機が多く並んでいるときは、到着便がスポットに向かうときに渋滞の影響を受けたり、出発便の地上走行時間の予測が難しくなる。そのため、スポット出発時刻を調整し、誘導路を走行する交通量を平準化することは、地上走行時間管理の有効な策と考えられている。現在、航空交通流管理において出発制御時刻（EDCT）を発出される航空機数は少ないが、将来、軌道ベース運用の導入後は、スポット出発時刻や離陸時刻を指定される航空機が増加することが予想される。スポット出発時刻の調整は、滑走路付近の待ち行列に対する順序付け及び間隔付けとして作用する。しかしながら、羽田空港をはじめとする国内の混雑空港においては、スポットの使用スケジュールが密に設定されているため、出発時刻の調整幅に応じたスポットの空き時間が必ずしも得られない場合がある。よって、地上走行時間管理をより精緻に行い、空港の運用を効率化するためには、スポットの空き時間の制約および空港レイアウトの制約を考慮した出発時刻管理の方策を検討する必要がある。

研究目標

□空港レイアウトおよび運航スケジュールの制約において予定された離陸順を達成するための交通管理方法を提案する。

令和２年度の研究内容

□空港レイアウトが順序・間隔付けに及ぼす影響のシミュレーション分析

令和２年度の研究成果

□空港レイアウトが順序・間隔付けに及ぼす影響のシミュレーション分析

東京国際空港（以下、羽田空港）では、出発便のスポット離脱（以下、出発）時刻と離陸時刻を計画的に割り当てる空港面の交通管理により、航空機の地上走行の混雑緩和を図っている。この交通管理において計画される出発時刻を TSAT(Target Startup Approval Time)、算出離陸時刻を CTOT(Calculated Take-Off Time)という。

TSAT および CTOT はさまざまな制約条件および優先度を考慮して空港における出発の交通流を改善するために算出されるものであり、CTOT は離陸後の交通流の時間管理において離陸時刻の予定として用いられることが想定されているため、円滑な航空交通流を計画的に形成するためには、なるべくすべての出発便が CTOT どおりに離陸することが望ましい。

本研究では、羽田空港の空港面交通データをもとに交通流シナリオを作成し、北風運用の D 滑走路出発便を対象として、CTOT 順どおりの離陸ができるようにするための誘導路上の順序付けについてシミュレーションを行った。

羽田空港の D 滑走路出発便の地上走行の経路においては、図 1.4.20 の赤丸印に示すように、異なるエプロンからの動線が合流する交差点が３か所存在する。シミュレーションでは、これらの交差点において、CTOT 順の情報をもとに合流の順序付けを行うこととした。また、同じエプロンからの複数の出発便についても、CTOT 順の情報をもとにエプロンから出る順を調節するため、プッシュバック経路の変更、および、プッシュバック後の停止時間の調節を行った。以下ではこれらの操作を「誘導路上の順序付け」と称する。シミュレーションでは、誘導路上の順序付けを行うことで、CTOT 順に近い離陸順が達成されるかを試みた。

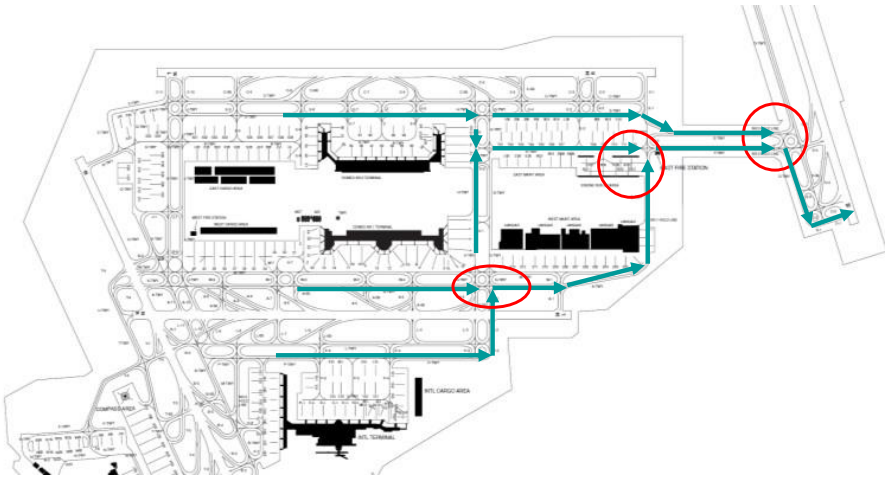


図 1.4.20　羽田空港 D 滑走路出発便の動線と合流の交差点

誘導路上の順序付けの効果を評価するため、ある日の空港面交通データの TSAT、CTOT をもとにして、下記の 2 種類のシミュレーションを行い比較した。なお、出発時刻(AOBT: Actual Off-Block Time)は TSAT の値よりもずれるような分布を与えている（平均 1 分遅延、標準偏差３分）。

① 現状模擬シミュレーション：AOBT どおりに出発し、途中の交差点等においては先着順で通過させる

② 順序付けシミュレーション：AOBT どおりに出発し、CTOT 順に基づいて誘導路上の順序付けを施し、交差点で後続便を遅延させる

順序付けシミュレーションにおいては、AOBT と TSAT の差が大きいほど、誘導路上の順序付けにおける交差点等での待機時間が長くなり、他便の交通の妨げとなる場合が生じるので、誘導路上の順序付けによる離陸順の調節幅は最大でも±4 便程度とした。この調節幅は、AOBT と TSAT の±5 分までの差による離陸順のずれを吸収できた。

羽田空港において出発便が混雑する午前 9 時～11 時 30 分に離陸した出発便 70 便について、シミュレーションにおける離陸順と CTOT の離陸順の差をヒストグラムにし、2 つのシミュレーションを比較

したものを図２に示す。図 1.4.21 から示されるように、誘導路上の順序付けを施すことにより、CTOT 順に近い順で離陸する割合が増加した。

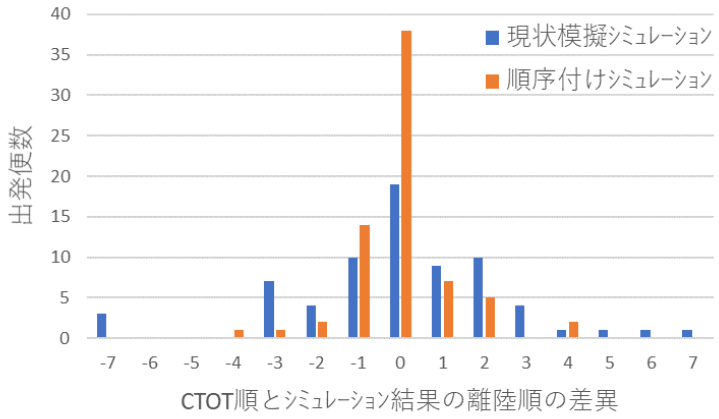


図 1.4.21　２通りのシミュレーションにおける離陸順と CTOT 順の乖離の比較

一方で、混雑していない時間帯においては、順序付けのための交差点における待機に起因して走行時間が増加することが明らかになった。このため、誘導路上の順序付けについては、離陸までの走行時間の増加につながらないよう、混雑の度合いに応じて行う必要がある。

以上より、D 滑走路出発便において、北風運用の場合は、スポット使用に影響ある場合、5 分程度 TSAT からずれて出発しても 4 便程度までなら誘導路上で順序を入れ替え、計画された順序で離陸できることが分かった。

なお、南風運用ではエプロンから滑走路入り口までが近いという空港レイアウトの制約から、合流順の調節に用いることのできる交差点が限られるため、スポット使用に影響の少ない範囲で、なるべく TSAT どおりに出発することが、北風運用よりも重要である。

結果の公表

国際会議　１件

□I.Yamada, H.Miyazaki, “JAPAN’S EFFORT TO A-SMGCS: DATA-DRIVEN AND SIMULATION-BASED RESEARCH ACTIVITIES ON AIRPORT SURFACE TRAFFIC FLOW”, ICAO APANPIRG CNS SG/24 IP, Nov.2020.

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、空港において、これまでの研究成果を反映した評価用FOD探知システムを構築する。さらに、異物回収端末ユーザインターフェースの改善およびFOD 探知システムの空港環境および悪天候時の性能評価を継続して実施する。

○滑走路異物監視システムの高度化に関する研究

研究の背景

FOD 監視システムの R2 年度以降の導入に向けて、実運用に向けた未検知率の低減、探知困難形状 FOD への対応、悪天候時の対策等のための研究開発を行う。非金属物体等の低 RCS 対象物および探知困難形状対象物について、反射特性の評価およびこれまでに実証試験を実施しているリニアセル方式レーダシステムに実装する検出技術を提案・開発する。また、FOD 監視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 監視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２年度の研究内容

□低 RCS 対象物探知技術の評価試験
□異物回収端末ユーザインターフェース(UI)の改善
□空港環境および悪天候時の性能評価（測定・特性定量化）
□評価システム構築および試験実施
□EUROCAE 等の国際基準策定会議での発表・提案

令和２年度の研究成果

□低 RCS 対象物探知技術の評価試験

滑走路上の様々な異物の中には、電波反射率が低い材質で構成される異物、また、電磁波散乱特性について主たる反射方向が入射波と異なる異物等が存在し、従来の FOD 監視システムの性能では探知不可能な場合がある。これらの探知が困難な異物を探知するための技術として、レーダセンサの感度を 20 dB 以上改善するための信号処理技術を実装した改良版 FOD 監視システムを構築し、2020 年 12 月に仙台国際空港で試験を実施した。図 1.4.22 に感度を改善した改良版 FOD 監視システムの概観を示す。位相積分回数を 1 回から 1024 回まで変化させることが可能であり、最大 30 dB 以上の感度改善が可能となる。滑走路上に、直径 1 インチ×高さ 1 インチの金属円柱を設置した場合に得られた 1 次元レーダビートスペクトラムを図 1.4.23 に示す。位相積分回数を 1 回（積分なし、2019 年 12 月成田国際空港試験時の性能を推定）、8 回（約 10 dB 改善）、128 回（約 20 dB 改善）に変化させた。レーダの受信ノイズフロアが積分回数に比例して低下していることが確認できる。これらの結果から、レーダ探知性能の改善により、低 RCS 対象物の未検知率の低減が見込める。

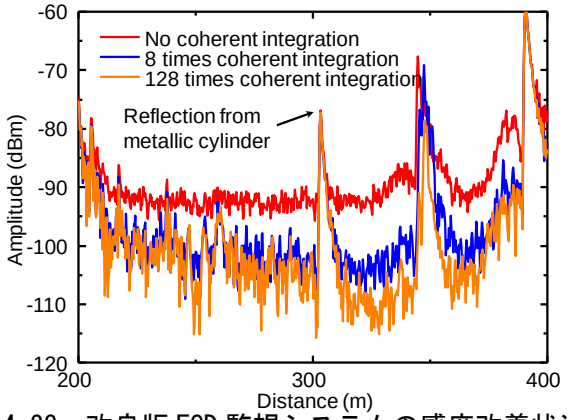


図 1.4.22　改良版 FOD 監視システムの概観　　図 1.4.23　改良版 FOD 監視システムの感度改善状況

□異物回収端末ユーザインターフェース（UI）の改善

空港運用者が滑走路上において異物を効率よく回収可能となる仕組みである異物回収端末ユーザインターフェースについて、より利用しやすい UI の実現を目指し、改修を実施した。令和元年度に実施した成田国際空港での実証試験における空港運用者による異物回収デモンストレーションに基づき改善項目を調査し、異物回収端末 UI の視認性改善および異物位置の認識性改善を行った。異物回収者の位置と異物の位置を表示している衛星写真から、視認性向上のために地図表示への切り替え機能を実装した（図 1.4.24）。さらに、異物位置および方角を短時間で認識するため、異物回収者から異物への方向線表示機能を追加した（図 1.4.25）。

図 1.4.24　地図表示への切り替え機能の追加　　図 1.4.25　異物回収者から異物への方向線表示機能

□空港環境および悪天候時の性能評価（測定・特性定量化）

成田国際空港の旧評価用 FOD 監視システムを用いた空港環境試験（2019 年 12 月、2020 年 1 月：悪天候条件における試験結果を含む）のデータ分析を行い、FOD 探知率の定量化として、探知対象

FOD における探知性能改善前後の探知距離と探知率の関係を推定した。さらに、クアラルンプール国際空港の改良版 FOD 監視システムが COVID-19 の影響で稼働が遅れ、2020 年内のデータ入手が不可となったため、12 月に仙台国際空港で追加試験を実施し、成田国際空港の結果と比較した。図 1.4.26 および図 1.4.27 にそれぞれ、仙台国際空港における試験状況および改良版 FOD 監視システムの探知性能評価の比較結果を示す。探知試験では、成田国際空港での旧評価用 FOD 監視システムで探知不可能だった異物は全て探知できた。また、アスファルト片は 1 個のみでも探知可能であり、M10 ボルト+ナットもナットのみで探知可能であった。これらの探知性能評価結果は、主には前述のレーダ探知性能の改善によるものである。

図 1.4.26　仙台国際空港における試験状況

FOD種類 /測定場所	仙台国際空港 （2020年12月） 距離300 m	成田国際空港 （2019年12月） 距離300 m	成田国際空港 （2019年12月） 距離200 m
アスファルト片	○（1個のみ）	×	○（複数個）
つぶればね	○	×	×
ねじ小	○（ねじ中：4 cmも○）	×	×
モンキーレンチ	○	×	×（向きによって○）
タイヤ片	○	×	×（複数個で○）
ラグナット	○	○	×
M10ボルト+ナット	○（ナットのみでも○）	×	×（向きによって○）
燃料キャップ	○	×	×
歪んだ金属片	○	×	○

図 1.4.27　FOD 監視システム評価の比較

□評価システム構築および試験実施

上記項目の感度改善や異物回収端末 UI 等の機能追加を実施した最新の改良版 FOD 監視システムの構築を完了し、その羽田空港設置を準備した。さらに、追加事項として、FOD 監視システム設計ツール（覆域および探知確率推定）を新たに開発した。構築した FOD 監視システム設計ツールでは、実環境で得られた探知性能評価結果等からのアンテナ局の情報、滑走路の構造、および FOD 探知装置の仕様および性能を入力することで、所望探知エリア全体の FOD 探知率が推定、評価可能となる。FOD 監視システムの性能は、前述の空港環境において単体のアンテナ局から得られた FOD サンプルの距離-探知率特性を用いる。図 1.4.28 に、成田国際空港での空港環境試験から得られた FOD サンプル（モンキーレンチ）の距離-探知率特性を示す。また、図 1.4.29 に、全長 2,500 m の滑走路に合計 7 台のアンテナ装置で監視を行うことを想定した場合の、モンキーレンチの滑走路全体における探知率推定結果を示す。今後、開発した検討支援ツールを用い、FOD 監視システムの空港への配置計画検討およびシステム設計等に活用する予定である。

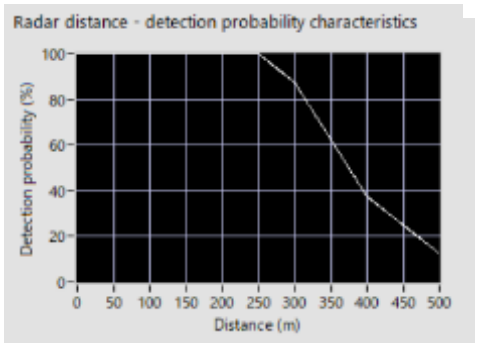


図 1.4.28
モンキーレンチの距離-探知率特性

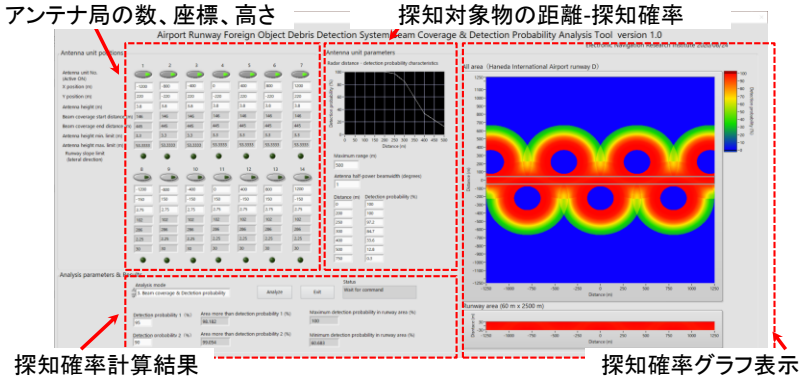


図 1.4.29
FOD 監視システム監視覆域/探知率推定結果
例（探知対象物：モンキーレンチ）

□EUROCAE 等の国際基準策定会議、国際展開、行政会議等での発表・提案

電子航法研究所は EUROCAE WG-83 のメンバーとして滑走路異物監視システムの国際標準化活動を実施している。本年度会合は実施されなかったが、令和３年度以降も継続して参加していく予定である。

航空局運用課が主催し、航空局管制技術課、東京航空局保安部、東京空港事務所管制保安部、成田国際空港株式会社、総務省、ATEC、FOD 探知装置メーカ等から構成される FOD 検知装置勉強会の準備会合を実施した。

総務省が実施している電波利用システムの海外展開事業において、日本側コンソーシアムの一員として滑走路異物監視システムの国際展開に協力した。本年度はマレーシアのクアラルンプール国際空港における FOD 監視システムの構築支援のための活動を実施した。2021 月 2 月に、クアラルン

プール国際空港において改良版 FOD 監視システムの構築の約半分が完了し、実験的な稼働を開始した。

成果の公表

- □ 二ッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 柴垣 信彦, 佐藤 洋介, 加島 謙一, “滑走路異物監視システムの高度化に向けた研究開発,”電子航法研究所研究発表会, 2020 年 10 月
- □ S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Reflection Angle Dependency Evaluations of Typical Foreign Object Debris on Airport Runway Using Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System”, Proceedings of the 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2020), pp.1-2, Nov. 2020.
- □ 二ッ森 俊一, 米本 成人, 柴垣 信彦, 佐藤 洋介, 加島 謙一, “96 GHz 帯ミリ波レーダを用いた滑走路異物探知システムの各種異物探知率推定 -空港環境測定およびレーダ反射断面積測定による探知率推定-,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 120, no. 350, SANE2020-53, pp. 78-83, 2021 年 1 月.
- □ 二ッ森 俊一, 宮崎 則彦, “光ファイバ接続型 96 GHz 帯広帯域ミリ波レーダにおける FMCW 信号源位相雑音の影響評価測定,”電子情報通信学会光応用電磁界計測研究会報告, PEM2020-13, pp. 21-25, 2021 年 1 月.
- □ N. Yonemoto, S. Futatsumori, A. Kohmura, and K. Morioka, “Standardization Activities on Foreign Object and Debris Detection System for Airport”, Proceedings of the 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2020), pp. 665-666, Jan. 2021.
- □ S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Reflection Angle Dependency Evaluations of Typical Foreign Object Debris on Airport Runway Using Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System”, Proceedings of the 15th European Conference on Antenna and Propagation (EuCAP 2021), pp.1-4, Mar. 2021.
- □ 二ッ森俊一,柴垣 信彦, “空港滑走路の安全確保のための滑走路異物探知システムの研究開発,” 日本信頼性学会誌 vol. 43, no. 2, pp. 73-78, 2021 年 3 月

研究開発課題	（２）空港運用の高度化

研究テーマ	③光ファイバ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光ファイバ技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発 －遠隔型空港業務支援システムの実用化研究では、小規模空港や離島空港でリモート運用を可能とするために必要な技術を開発し、我が国の運用環境に適したリモートタワーシステムを提案する。本年度は、映像系と監視センサ情報を統合したシステムの精度と性能向上、実運用を想定したシステムとして、ハウジング、PTZカメラ搭載型ライトガン等ハードウェア関連の評価、AIによる映像識別機能によるトラッキング性能評価を行う。また、PTZ システムの性能向上、管制運用を想定したHMI設計とプロトタイプへの機能の組込、簡易型監視センサの検討を予定している。さらに、EUROCAE において、リモートタワーの技術規格の策定に継続参加するとともに、併せて海外動向調査を行う。等

○遠隔型空港業務支援システムの実用化研究

研究の背景

リモートタワーのコンセプトの実現に向けて世界では研究が進められている。
日本においても RAG 以外の空港についてもリモート化の検討がなされている。

本研究所では RAG 高度化、ITV システムの機能向上、リモートレディオに活用することができる基盤システムの技術開発を行ってきた。これらのベースにさらにリモートタワーに向けた技術の実用化とシステム開発への要望が高まっている。

リモートタワーのシステムでは、実際に飛行場（タワー）にいる場合と同様に、オペレータは空港面の安全状況の監視、確認を行う。そのためネットワークを通じて提供される空港からの映像情報が重要になる。タワー環境は気象や時間帯で変化するが、映像技術や監視センサ技術を用いて、運用に最適なシステムを検討する必要がある。また、拡張現実技術を用い、デジタル処理した画像データに様々な支援情報やコンピュータ合成映像等を必要に合わせて提供することができる。このような映像やセンサ、ネットワーク等の IoT 技術を活用し、視覚的な情報を補うことで、遠隔業務でも安全性や効率性を今まで以上に高いレベルで実現することが期待されている。

そこで、将来システムの設計検討に向けて、システム、技術仕様の策定、技術指針の実証が必要である。

研究目標

□管制業務を見据えたシステム設計、テストシステムの構築と評価

□岩沼分室と調布を結んだ、遠隔運用を想定したシステムの性能検証

□監視センサ情報を活用した、トラッキング情報の拡張現実表示の精度向上

□管制業務に適した、人間工学分析に基づく業務用機器の HMI 設計

令和２年度の研究内容

□運用想定の試験システム構築と評価

□まとめ

□EUROCAE 活動参加、技術規格策定

令和２年度の研究成果

□運用想定の試験システム構築と評価

・「360° パノラマシステム」

リモートタワーの運用を想定したシステムとして 360° のパノラマ映像表示システムについて、コスト圧縮も要望されている中、ソフトウェアのアルゴリズムの見直しと効率化により、当初サーバ相当でしかできないとされた表示をワークステーション１台で処理できるように構築した。また、本システムについて、表示性能、品質や様々な環境対応（夜間、雨、雪等）性能の評価を行った。EUROCAE の技術要件を満足するとともに、運用に供するための仕様を検討した。仕様を実現するために必要な独自の技術開発（360° シームレス映像とするための映像キャリブレーション技術（スケーリング、歪曲補正、スティッチング）、映像の効率的な表示手法（表示のレイヤー構造、ハウジングの反射対策構造等））も行った。（図 1.4.30）

図 1.4.30　360° 表示のプロトタイプシステム

・「映像支援機能の開発と評価」

リモートタワーでは映像システムを活用した様々な視覚的な支援機能の実現が期待されている。その基礎となるのが、映像情報をベースとした動体検知機能であり、改良された（検知性能に関しての連続検出性能、探索性能、検出の安定性、感度設定バランス等）最新バージョンの性能評価を実施するとともに、今後の性能向上に向けて技術課題を整理した。課題の一例として、単純に映像情報からターゲットを抽出するだけの方法では限界がある遠方の小さなターゲットの認識精度向上に際し、人間が遠方でも航空機とそれ以外のノイズ（雲や鳥等）を識別可能なように、映像情報に加えてそれらからターゲットを絞り込む経験やヒューリスティックを使って判断をするための仕組みが挙げられる。また、映像情報に基づいた特定のターゲットの追尾や検出精度の向上のため、AI を活用した映像認識技術の導入の検討については引き続き取り組んでおり、それらをシステムに組み込んで性能評価を継続して実施した。今回の評価結果を基にリモート・デジタルタワーへの AI 技術の活用方法などを検討することができた。

・「映像システムへの監視センサ情報の活用」

タワーオペレーションの弱点は環境や気象条件によって視程が悪くなるときの監視であるが、監視センサ情報の活用は、条件に関係なく的確にターゲットの位置を把握できる点にある。リモートタワーの映像システムに監視センサ情報を導入するためには、監視センサそのものの情報の更新頻度や精度に加え、それらを映像情報と誤差なく組み込むための技術が必要となる。本研究では監視センサとして MLAT（マルチラテレーション）のシステムを組み込むための最適化キャリブレーション技術の

開発および精度評価、また機能そのものの評価を実施した。(図 1.4.31)
・「リモートタワー用ライトガン光度評価試験」
リモートタワーではライトガンは遠隔操作でおこなうために、ターゲットとなる航空機を連続追尾しながら照射するシステムとなる。そのため PTZ カメラにライトガンを組み込み、PTZ の自動追尾機能を活用した評価用システムを構築しており、本年度は国土交通省航空局交通管制部航空灯火・電気技術室の依頼に基づき、実験用航空機を用いてライトガンの視認性評価及び光度レベルの飛行評価を実施した。(図 1.4.32)

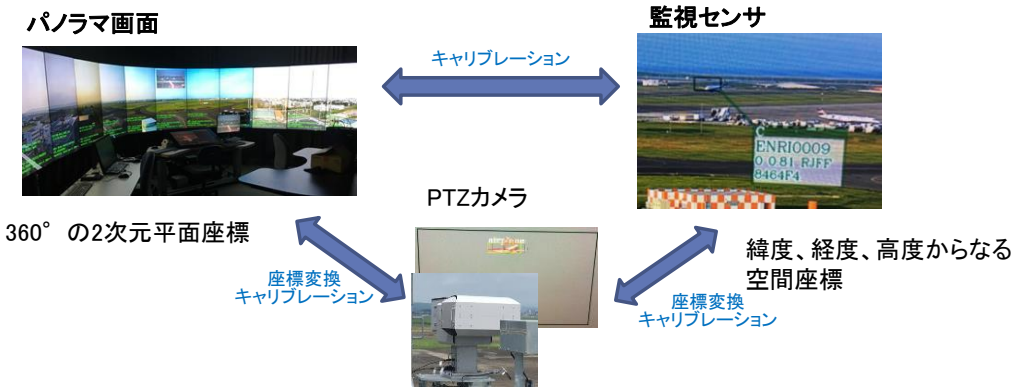


図 1.4.31　監視センサ情報の活用ためのシステムキャリブレーションの概要

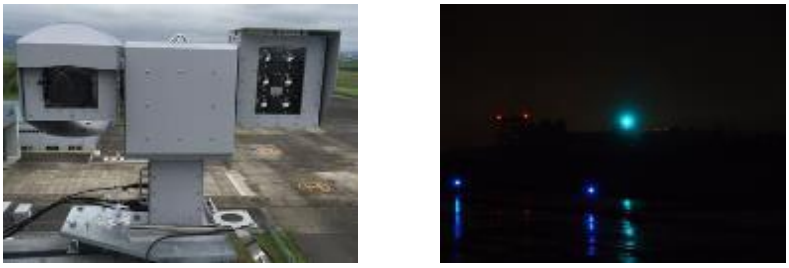


図 1.4.32　試験用ライトガン付き PTZ カメラ（左）と夜間のライトガン点灯試験の様子（右）

□まとめ
4 年間を通してリモートタワーシステムのコンセプトモデルを構築し、評価を実施してきた。本年度は最終年度として、運用に供するレベル最新の状態のシステムについて性能を評価するとともに、リモートタワーの基本となる研究モデルを完成させた。それらの結果をまとめて航空局の担当部署に報告する予定である。(図 1.4.33)

図 1.4.33　研究で構築したリモートタワーシステム（制御室側）

□EUROCAE 活動参加、技術規格策定
EUROCAE（欧州民間航空電子装置機構）の WG-100 ではリモートタワーにおける技術要件の議論を続けている。2020 年度は ED-240B 策定に向けた議論が行われていたが、非光学センサのための技術要件策定にはもう少し時間が必要なことから、現在は ED-240A をブラッシュアップし、より分かりやすく整理した ED-240A Ch.1 の 2021 年中の発行を目指して、議論及びとりまとめを行っている。電子研はこれらを策定する議論へエディタやコアチーム等の主要メンバーとしての参加、情報提供を現在も継続しており、ED-240A Ch.1 発効に向けた活動に貢献した。

成果の公表

□S. Inoue and T. Kanno, “Cooperative Work Analysis in Case of Aerodrome Flight Information Services”, International Conference on Human-Computer Interaction 2020, CCIS, volume 1294, pp 568-574, July 2020.
□井上　諭, ブラウン　マーク, 画像情報を用いた動体検知の効率化に関する研究, 日本機械学会交通・物流部門大会 Translog2020, 2020 年 11 月

□井上　諭，角張　泰之，上野　晃司，デジタルタワー管制のための映像情報と監視センサ情報の合成表示，電子情報通信学会総合大会 2021，2021 年 3 月

研究開発課題	（３）機上情報の活用による航空交通の最適化

研究テーマ	①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空機が保持する運航や気象等に関する情報を地上へ伝送し活用する技術、航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する技術に関する研究開発等に取り組む。	航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発	航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発 －従属監視補完技術に関する研究では、従属監視方式である、放送型自動位置情報伝送・監視（ADS-B）を導入する際に必要となる、位置情報源障害発生時の補完や脆弱性対策を実現する技術を開発・評価する。最終年度である本年度は、位置情報源発生時の補完技術である時刻同期維持手法や脆弱性対策である位置検証手法などの性能評価を実施するほか、実験装置の改修を実施する。また、成果の取りまとめを行う。等

○従属監視補完技術に関する研究

研究の背景

我が国の航空交通システムの長期ビジョン（CARATS）では、航空交通需要の増大に対応するために、航空交通管理（ATM）運用概念や通信・航法・監視（CNS）基盤技術に関する変革の方向性が示されている。このうち、監視技術については、地上・機上での状況認識能力の向上が挙げられている。このため現在、広域マルチラテレーション（WAM）の導入が進められており、今後は衛星航法システム（GNSS）をベースとした放送型自動位置情報伝送・監視（ADS-B）への移行が検討されている。この ADS-B は、航法システムを位置情報源とする従属監視方式であるため、意図的な偽位置情報や非意図的な誤位置情報発生への脆弱性対策が必要である。また、航法システムの障害や機上航法装置の不具合が発生した場合の補完監視センサも必要であり、ADS-B 用信号に基づく測位も可能な WAM が候補システムとして位置づけられている。補完センサとしての WAM に対しては、GNSS 障害発生時の時刻同期や、受信局数の削減を可能とする技術開発が求められている。これら脆弱性対策等を実現する技術は、欧米において開発・評価が進められている情報はあるが、検証結果等が示された文献は見受けられない状況である。

研究目標

□ADS-B 脆弱性対策技術の開発・検証

費用対効果を考慮した最適方式の提案と ICAO 技術マニュアルへの反映

□補完用 WAM 技術の開発・検証

GNSS を利用しない時刻同期技術の確立、性能維持を前提とした受信局数の削減

令和２年度の研究内容

□監視システムに関する動向調査

□ADS-B 脆弱性対策技術の検証試験と実験装置改修

□補完用 WAM 技術の検証試験と実験装置改修

□研究の取りまとめ

令和２年度の研究成果

□　監視システムに関する動向調査

本年度は、国内学会（5 件）、ICAO 会議（4 件）に参加し、調査を進めるとともに、研究成果を発表して専門家からの知見を得た。また、ICAO APANPIRG 関連会議において、ADS-B 脆弱性対策に関する WP を提出した。WP では本研究で取り組んでいる対策技術の原理および試験結果を説明した。試験において高い性能を示したことが評価され、アジア地域における ADS-B 整備・運用のガイダンス文書（AIGD: ADS-B Implementation and Operation Guidance Document）の改訂作業において提案技術が有効な脆弱性対策として記載された。

□　ADS-B 脆弱性対策技術の検証試験と実験装置改修

ADS-B と WAM は同一の無線信号形式を利用する。そのため、我が国で現在導入の進んでいる WAM システムを ADS-B システムとしても将来的に利用することが効果的である。この状況を想定して ADS-B の脆弱性である誤位置・偽位置（不正位置）対策を検討すると、WAM で既に測定を実施している信号到達時間差（TDOA: Time Difference of Arrival）に基づく手法が最適方式と言える（以下、TDOA 法）。TDOA 法による ADS-B 脆弱性対策技術について、本年度検証試験ならびに実験装置改修を実施した。

(1) ADS-B 脆弱性対策技術の検証試験

令和元年度に引き続き、生成した不正信号と在空機信号を実験システムに入力し、信号が不正であるかどうかの判定を行った。本年度の試験では、判定条件である「しきい値」を変化させ、不正位置の検出率や誤検出率の適切性の評価を試みた。図 1.4.34 には判定の結果例を示す。図 1.4.34（左）に示すように、格子状に生成した不正信号を、適切に「不正」と判定できた。一方、図 1.4.34（右）に示すように、在空機の信号は適切に「正当」と判定できた。後述するように、しきい値は最終的に検出率と誤検出率とのトレードオフで調整することになるが、図 1.4.34 の例では、レーダや異常検知などの分野で一般的に用いられる誤検出率一定の条件を用いた。具体的な値として、誤検出率 5%相当の 985.4 ns および 0.1%相当の 4146.5 ns の場合、それぞれ 99.8%および 99.2%の検出率を達成した。この値について考察すると、仮に意図的な不正信号の送信により 100 機体の偽位置生成が試みられたとしても、画面上にまったく表示されないか、表示されても 1 機程度ということになる。したがって、脆弱性対策への有効性を検証できた。また、しきい値の変更により、誤検出率を低減しつつも高い検出率を維持できたため、しきい値設定の重要性が確認できた。さらに、本結果をもとに、実際のシステム導入時の事前検討に有益なシステム設計法も追加で開発した。図 1.4.35 に開発したシステム設計法による検出率の計算例を示す。受信局位置と送信源位置の条件を与えることで、各覆域地点に期待される検出率が図示される。

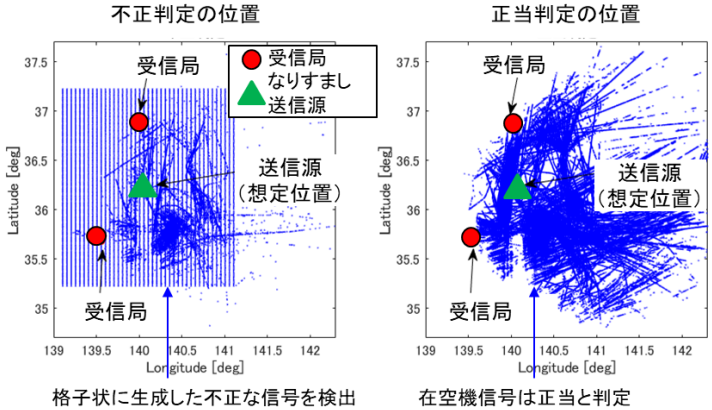


図 1.4.34　検証試験における判定の例：（左）不正判定した位置（右）正当判定した位置

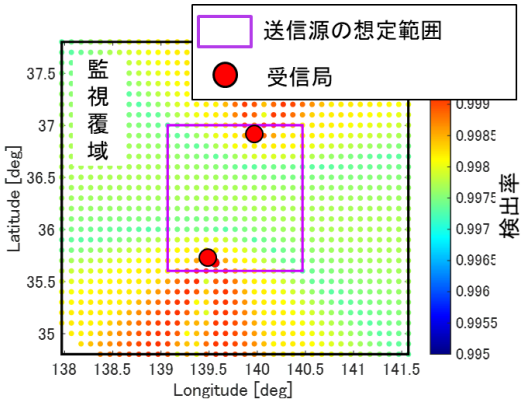


図 1.4.35　システム設計法による検出率の計算例

(2) 実験装置改修

実験装置を改修することで、性能を最適化するために重要かつ必要なしきい値調整機能を追加した。実験装置を用いて、しきい値と検出率および誤検出率の関係を評価した結果を図 1.4.36 および図 1.4.37 に示す。しきい値を下げると検出率は増加（改善）し、誤検出率も増加（悪化）する。一方、しきい値を上げるとその逆になる。図 1.4.36 と図 1.4.37 から検出率と誤検出率がしきい値で決まるトレードオフの関係であることが確認できた。本データは、実際のシステム導入の際に性能の最適化に利用できる。

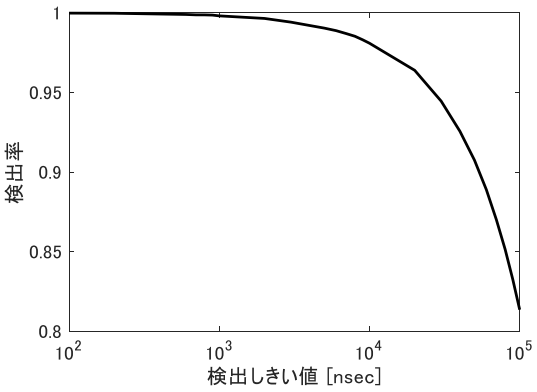


図 1.4.36　しきい値を変化させた場合の検出率

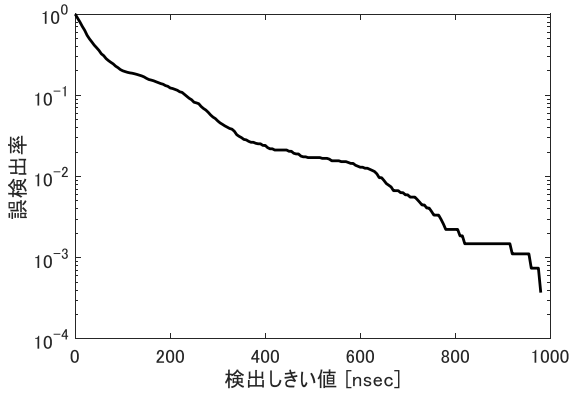


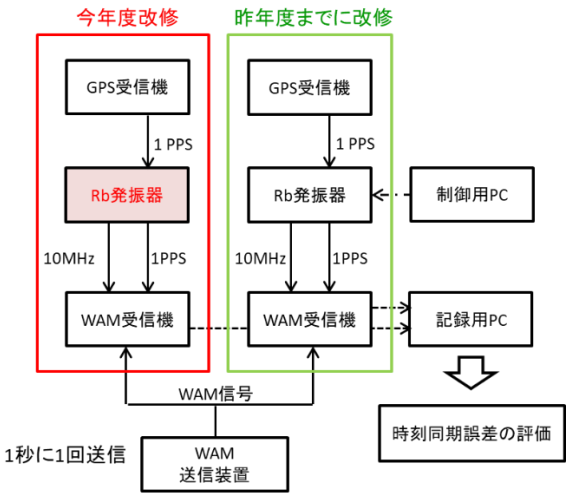
図 1.4.37　しきい値を変化させた場合の誤検出率

□　補完用 WAM 技術の検証試験と実験装置改修

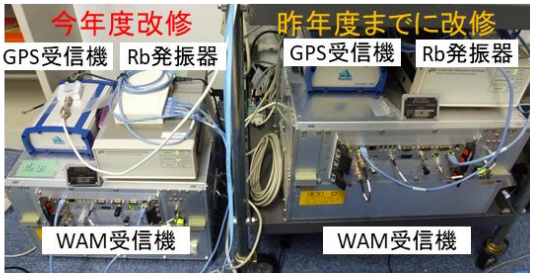
GPS 障害時に時刻同期を継続する仕組みとして、高い安定性を持つルビジウム（Rb）発振器が有効である。平常時には Rb 発振器を GPS に同期しておき、障害時には Rb 発振器の単独動作に切り替える。Rb 発振器の高い安定性により、一定期間の時刻同期の確保が期待される。また、WAM 受信局数削減技術として、信号到来角（AOA: Angle of Arrival）と信号到達時間差（TDOA）を併用して測位することで、TDOA の観測に必要な多数の受信局を部分的に AOA で代替できる。本年度これら補完用 WAM 技術の検証試験ならびに実験装置改修を実施した。以下では、説明を分かりやすくするため、実験装置改修、検証試験の順に述べる。

(1) 実験装置改修

本年度は時刻同期に関する実験装置改修を行った。令和元年度までの実験装置では 1 台の Rb 発振器を用いてデータを収集していたが、本改修により Rb 発振器を増設した。図 1.4.38 (a)には実験装置の構成を示しており、このうち赤色枠内が改修箇所である。また、図 1.4.38 (b)には改修後の実験装置写真を示す。改修した実験装置を用いて測定データの取得を行った。図 1.4.39 には測定データの一例を示す。GPS 障害発生時からの時刻同期誤差の変化を示している。なお、図中の黒線が厚みを持っている理由は測定のばらつきによるものである。誤差は 1 時間ごとに約 7 nsec で増加した。これを距離に換算すると約 2.1 m となり、航空監視に求められる監視精度（例えば航空路では 350 m）よりも少ない。したがって、時刻同期を継続できる。必要な精度を維持できる時間の長さについては、後述する検証試験で評価した。



(a) 実験装置の改修箇所



(b) 改修後の実験装置写真

図 1.4.38　補完用 WAM 技術に関する実験装置改修

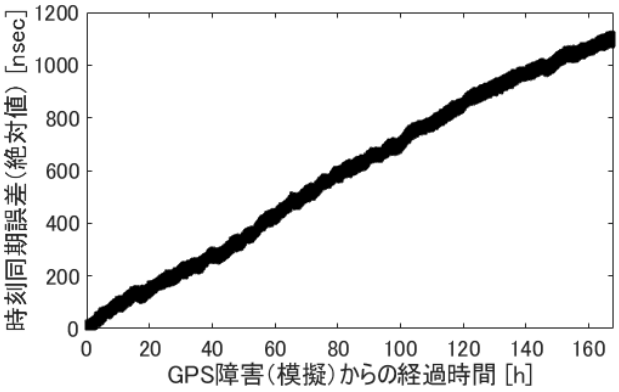


図 1.4.39　実験装置改修後の測定データ例

(2) 補完用 WAM 技術（GPS 障害時の時刻同期法）の検証試験

Rb 発振器により航空監視に必要な性能を維持できる時間の長さを評価した。評価指標としては、国際的な性能要件 ED-142 から、主要な項目として精度（水平誤差）、検出率、誤検出率を選択した。求められる性能としては、水平誤差 350m 以下、検出率 97%以上、誤検出率 0.1%以下である。図 1.4.40 には評価結果を示す。時間経過とともに性能が悪化している。この理由は、GPS 障害の発生後、時刻同期誤差が徐々に累積していく影響である。しかしながら、図中赤線で示す性能要件を満たす時間が継続しており、11 時間まで性能を維持することが確認できた。同様の評価を、Rb 発振器を用いない場合に対しても行ったところ、1 時間以内に性能要件を満たさなくなった。すなわち、Rb 発振器により 10 倍以上の時間で時刻同期維持が可能となり、今回提案する時刻同期手法が有効であることを確認した。また、この検証試験と並行し、測位技術を工夫することによって、さらに維持時間が向上する可能性の確認も行った。

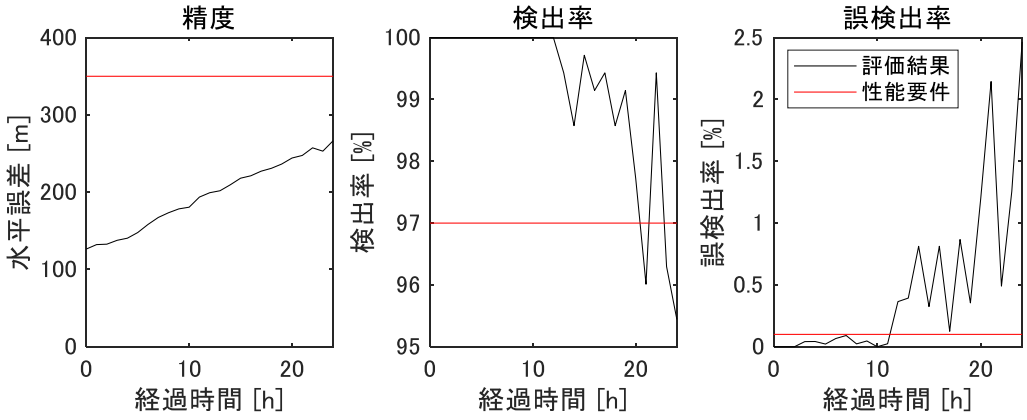
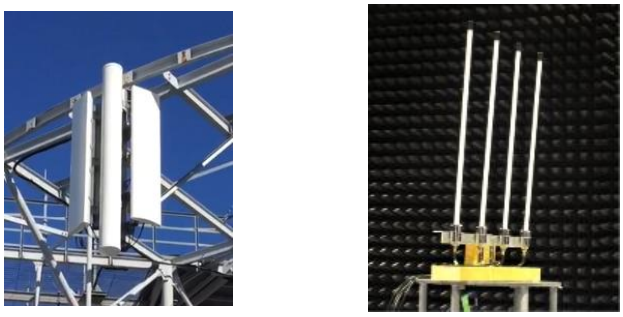


図 1.4.40　Rb 発振器を用いた WAM の評価結果

(3) 補完用 WAM 技術（受信局削減技術）の検証試験

受信局を削減するため、削減対象以外の受信局には図 1.4.41 に示すようなセクタアンテナまたはア

レーアンテナを設置すると想定した。これらアンテナに関する性能として、令和元年度までの評価結果に基づいて、AOA 精度 0.5° （セクタアンテナ）および 0.05° （アレーアンテナ）を設定した。また、受信局配置や航空機位置として図 1.4.42 の条件を設定した。受信局 5 局のうち 1 局（Rx #1）の削減を仮定した。その上で、性能要件 ED-142 で求められる精度、検出率、誤検出率の評価を行った。表 1.4.1 に示すように、AOA 精度 0.5° の場合は配置外側（位置#3）を除いて要求性能を満足した（精度：水平誤差 350m 以下、検出率 97%以上、誤検出率 0.1%以下）。さらに到来角精度 0.05° の場合は配置外側（位置#3）においても、要求性能を満足することを確認できた。



(a) セクタアンテナ　　(b) アレーアンテナ

図 1.4.41　アンテナの写真

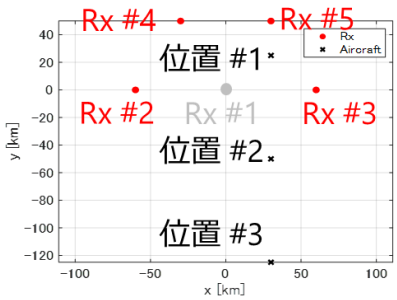


図 1.4.42　受信局と航空機位置

表 1.4.1　受信局削減の評価結果

		位置#1	位置#2	位置#3
AOA 精度 0.5° の場合	精度 [m]（水平誤差）	47.7	167.8	623.2
	検出率 [%]	100.0	100.0	100.0
	誤検出率 [%]	0.0	0.0	3.4
AOA 精度 0.05° の場合	精度 [m]（水平誤差）	20.6	51.6	184.4
	検出率 [%]	100.0	100.0	100.0
	誤検出率 [%]	0.0	0.0	0.0

※ 精度、検出率、誤検出率の要件はそれぞれ 350 m 以下、97%以上、0.1%以下である。AOA 精度 0.5° における位置#3 以外で全て要件を満たしている。

□研究の取りまとめ

研究のとりまとめとして、これまでに得られたデータおよび成果の整理を行った。本研究では、前述のように、ADS-B 脆弱性対策と補完用 WAM 技術について開発・評価を行い、その有効性を確認している。特に、本研究で提案した技術は、現在の航空路において整備が進んでいるシステム（航空路 WAM）を活用して効果的に実現できるため、今後の活用が期待される。また、評価結果を提出することで、ICAO 関連会合におけるガイダンス文書の改訂にも貢献した。

次に、本研究で蓄積した技術と現在の行政ニーズを踏まえて、今後の研究課題を整理した。その結果、信号の到来角（AOA）推定技術を発展させる必要があることが分かった。理由の 1 つは近年 ADS-B 導入の議論が深まり、具体的な導入エリアが挙げられていることである。エリアの特性によっては、本研究で提案した TDOA 法に加えて AOA を利用した手法により、脆弱性対策をさらに効果的に実現することが期待される。他にも、AOA の活用により WAM のみならず SSR や ADS-B も含めて受信局や送信局等の削減が可能となることで、複合的な航空路監視システム（マルチセンサ）をさらに効率化・高性能化することが期待される。

成果の公表

□ J. Naganawa, H. Miyazaki, “Theory of Automatic Dependent Surveillance – Broadcast Position Verification using Time Difference of Arrival,” in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Dec. 2020.

□ K. Wangchuk, Sangay, J. Naganawa, D. Adhikari, K. Gayley, “ADS-B Coverage Design in Mountainous Terrain,” Air Traffic Management and Systems IV – Selected Papers of the 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), Springer, 2021.

□ J. Naganawa, H. Miyazaki, “Example of ADS-B Position Verification Performance,” ICAO APAC Surveillance Implementation Coordination Group, SURICG/5-WP/07, Sep. 2020.

□ H. Miyazaki, “Update of Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP TSG,

SP TSG/12-WP03, Feb. 2021.
□ 長縄, 田嶋,宮崎, “航空監視用広域マルチラテレーションにおける GPS 障害対策と評価法,” 信学技報, vol. 120, no. 6, SANE2020-2, pp. 7-12, 2020 年 4 月.
□ 長縄, 宮崎, “信号到達時間差を用いた航空路監視システムにおける到来角併用の検討,” 信学技報, vol. 120, no. 98, SANE2020-19, pp. 17-22, 2020 年 7 月.
□ 伊藤, 山田, 長縄, 古賀, “円形仮想アレーを用いた航空機 ADS-B 信号の 2 次元方位推定精度向上に関する実験的検討,” 信学技報, vol. 120, no. 148, SANE2020-22, pp. 7-12, 2020 年 8 月.
□ 宮崎, 長縄, 田嶋, 小菅, 田中, “広域マルチラテレーションにおける GPS 障害対策の改善,” 信学技報, vol. 120, no. 350, SANE2020-56, pp. 96-101, 2021 年 1 月.
□ 長縄, 宮崎, 田嶋, 古賀, “ AOA と TDOA を併用した航空機位置検証の検討,” 電子情報通信学会 2021 年 総合大会, B-1-110, 2021 年 3 月.
□ 長縄, 宮崎, “ADS-B 位置検証技術の実用化に向けた考察,”令和 2 年（第 20 回）電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 19-24, 2020 年 9 月.
□ H. Miyazaki, A. Senoguch, H. Seko, “Utilization of mode-S DAPs data for weather forecast,” All India Aviation Seminar, AAOA-I, Nov. 2020.

研究開発課題	（３）機上情報の活用による航空交通の最適化

研究テーマ	②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空機が保持する運航や気象等に関する情報を地上へ伝送し活用する技術、航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する技術に関する研究開発等に取り組む。	航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発	航空機が持つ情報（機上情報）を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発 －航空機の拡張型到着管理システムの研究では、ターミナル空域からエンルート空域にかけて、到着機の順序付けとスケジューリングを行うために，拡張型到着管理システムの運用プロトコルと到着スケジューリング手法を提案する。さらに、拡張型到着管理システムと協働する新しい運航を提案し、シミュレーション検証を行う。本年度は、拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計の研究成果をまとめると共に、令和３年度から開始予定の重点研究に向け、到着・出発・空港面の航空交通を統合するシステムの研究開発について初期的な検討を開始する。提案するシステムの実用化に向けた既存のインフラの調査やシミュレーション実験の準備を行う。

○航空機の拡張型到着管理システムの研究

研究の背景

米国連邦航空局によれば、米国内空港の混雑およびフライトの遅延による国全体の損失は、2020 年には 340 億ドルまでに上昇すると試算されている。フライト数でスケールすると、日本の航空輸送に関する経済損失は年間数千億円を超えると想定される。特に航空輸送のさらなる増加が予想される首都圏空港において、経済的効果の向上が必要である。

このような世界規模の航空需要の増加に対応するために、米国の NextGen では最も航空交通が混雑する主要空港のターミナル空域から広範囲なエンルート空域にかけて、到着機の順序づけと到着時刻のスケジューリングを自動化する到着管理システム（TBFM）を導入し、航空機監視応用システムなどの新しい運航と協働させる高度化のために研究開発を進めている。欧州ではヒースロー空港において、エンルート空域から到着スケジューリングを行う支援ツールの導入が検討されている。日本では、CARATS において統合システムを活用した到着管理の高度化が施策にあげられており、2025 年の政策判断に向けて、段階的に研究を進める必要がある。

研究目標

□将来の羽田空港周辺の到着航空交通を管理する拡張型到着管理システムの運用プロトコルと到着スケジューリング手法を提案する。

□提案する拡張型到着管理システムについて、シミュレーション実験により、遅延時間や燃料効率などを検証する。

□拡張型到着管理システムの運用プロトコルと協働する航空機監視応用システムや四次元軌道運用などの新しい運航を提案し、シミュレーション実験により検証する。

令和２年度の研究内容

□拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計

□シミュレーター実験による検証

□新運航の検証

□提案した拡張型到着管理システム設計および新運航の検証結果のまとめ

□次期研究課題の模索

令和２年度の研究成果

□拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計

・令和元年度までに提案した手法に滑走路割り振り等の具体的な条件を追加して、2019 年 8 月以降の TEPS データと数理モデルを利用し、2019 年 7 月末以降から新ターミナル空域・経路において始まっている運用に対しても有効であることを確認した。

・RECAT を適用すると、羽田空港の到着機の機材バランスにおいては、到着順序を変更することなく、RW34L の最大到着率を 1 時間あたり 36 機（現状の約 1.2 倍）に設定可能であることを数理モデルの解析から示した。

・シンガポール南洋理工大学 ATMRI, ドレスデン工科大学と連携し、本手法をシンガポールチャンギ空港に応用し、新たな航空交通流管理手法である LRATFM（Long Range Air Traffic Flow Manegement）の運用概念設計に貢献した。

□シミュレーター実験による検証

・AirTOP シミュレーションを実施し、RW34L から 34R への滑走路割り振りは、想定した交通量では 1 時間あたり 3 機程度が理想的であり、ポイントマージの遅延時間を 1 機あたり 1 分程度削減することを示した。

・RECAT の適用により、現状の空域容量を維持すると、ターミナル空域では遅延時間を 1 機あたり 11 秒程度削減することを示した。

・ユーロコントロール実験研究所、東京理科大学、東京大学と連携し、令和３年度からの重点研究に向けてレーダー管制を模擬するヒューマンインザループシミュレータ・ESCAPE Light の環境を構築した。

□新運航（IM）の検証

・ICAO の航空機監視応用システムに関するガイダンス文書(航空機監視マニュアル　Doc9994)の第 2 版の改訂作業においても執筆グループに参加し、これまでの研究成果を基に、新たに追加した Chapter 4. Interval Management と参考文献欄の執筆を担当した。関連文書の更新作業も引き続き行われており、関連研究の現状報告として羽田およびチャンギ空港への到着管理システム適用手法の検討・検証結果を報告した。また、FAA からの資料提供依頼に応じ、論文 3 編を提供した。

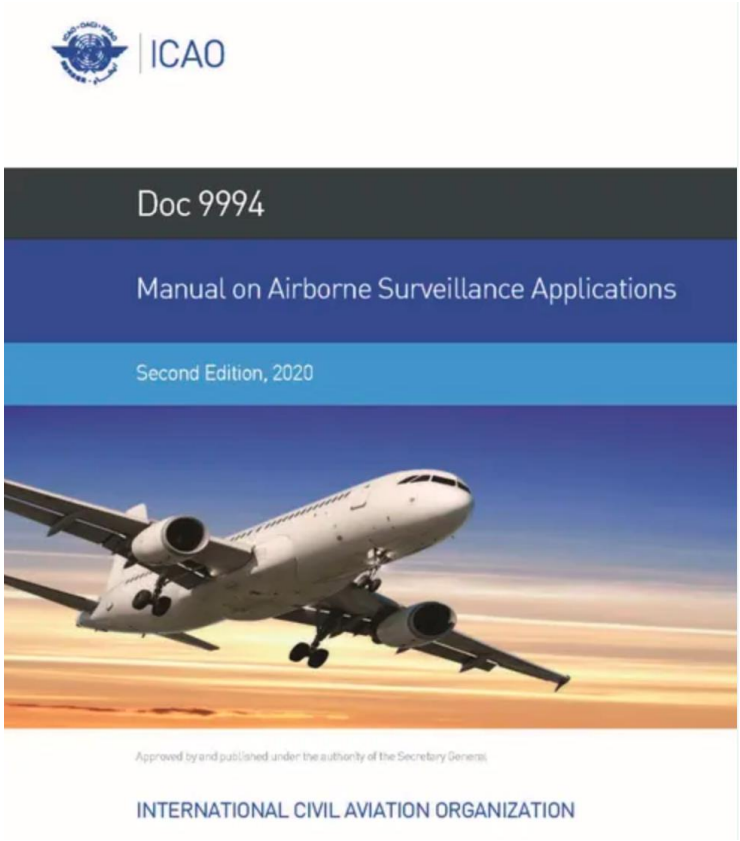


図 1.4.43　ICAO 監視マニュアル（Doc 9994）表紙

□提案した拡張型到着管理システム設計および新運航の検証結果のまとめ
・羽田空港から約 150NM 以遠のエンルート空域において AMAN が到着間隔づけを支援することで、滑走路・ターミナル空域の容量を 10%増加させた場合と同等の遅延削減効果が得られるなど、AMAN の設計条件を明らかにし、航空局に成果を報告した。
・データサイエンス手法、数理モデル、シミュレーション評価を発展させ研究成果をまとめた結果が，航空業界の代表的な学術誌である Journal of Air Trasportation Management，世界的に最先端の研究を行っている SESAR の会議 SESAR Innovation Days など査読付き論文として 7 本採択された。

□次期研究課題の模索
・本研究では、到着管理により到着交通流の効率などの向上に大きな成果を挙げた。一方，交通流全体の効率などの向上には出発の交通流、あるいは空港面の交通流管理を統合して運用する必要がある。このため、本研究で得られたデータサイエンスの手法、数理モデル、シミュレーション実験環境を発展させ、後続の重点研究課題「AMAN/DMAN/SMAN 統合運用に関する研究」を企画し、令和 3 年度より実施が決定した。

成果の公表

（令和２年度の公表状況）
査読付き論文 7 件（ジャーナル論文 5 件、フル査読付き国際学会発表論文 2 件）

1. Eri Itoh and Mihaela Mitici, “Evaluating the Impact of New Aircraft Separation Minima on Available Airspace Capacity and Arrival Time Delay”, The Aeronautical Journal, 124(1274), pp.447-471, April 2020.　（※令和元年度の報告書に Accepted として掲載あり）
2. Timo Riedel, Masaki Takahashi, Eri Itoh, Paul Frost, and Thomas Feuerle, “Pilot-Centered Evaluation of Flight-Deck Interval Management Control Laws Using an A320 Simulator”, Journal of Aircraft, 57(5), September 2020.
3. Eri Itoh and Mihaela Mitici, “Analyzing Tactical Control Strategies for Aircraft Arrivals at an Airport Using a queuing Modeling”, Journal of Air Transport Management, 89(101938), October 2020.

4. 宮沢与和, 伊藤恵理, “確率モデルによる到着交通流の制御性能の解析と予測”, 航空技術, 68 巻 6 号, pp. 213-222, 2020.
5. Eri Itoh, Yoshikazu Miyazawa, Michael Finke, and Juergen Rataj, “Macroscopic Analysis to Identify Stage Boundaries in Multi-Stage Arrival Management”, Air Traffic Management and Systems IV, Springer, 2020. （※令和元年度の報告書に Accepted として掲載あり）
6. Michael Schultz, Daniel Lubig, Judith Rosenow, Eri Itoh, Srinivas Athota, VuDuong, “Concept of a Long-Range Air Traffic Flow Management”, SESAR Innovation Days, December 2020.
7. Eri Itoh, Michael Schultz, Srinivas Athota, Vu Duong, “Devising Strategies for Aircraft Arrival Processes via Distance-based Queuing Models”, SESAR Innovation Days, December 2020.

学会発表 2 件

1. 宮沢与和, 伊藤恵理, “東京国際空港の到着便が使用する複数滑走路の効率的運用に関する一考察”, 第 58 回飛行機シンポジウム講演集, 2020 年 11 月.
2. 伊藤恵理, 宮沢与和, “東京国際空港における多段階到着管理の戦略”, 第 58 回飛行機シンポジウム講演集, 2020 年 11 月.

学会誌 1 件

1. 伊藤恵理, “空の世界の往来に、デジタル変革をもたらす”, 学術の動向, 25(6), pp.90-95, 2020 年 6 月.

標準化会議（ICAO）2 件

1. Eri Itoh and Takuya Otsuyama, “Status of Interval Management (IM) related research activities in Japan”, International Civil Aviation Organization (ICAO) Information Paper, SP-AIRB9-IP/02, April 2020. （※令和元年度の報告書に Submitted として掲載あり）
2. Eri Itoh, Michael Schultz, Srinivas Athota, and Vu Duong, “Ground-based Interval Management (GIM) related international collaborative research targeting arrivals at Singapore Changi International Airport” International Civil Aviation Organization (ICAO) Information Paper, SP-AIRB WG/10-IP/01, September 2020.

研究開発課題	（４）関係者間の情報共有及び通信の高度化

研究テーマ	①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
多数の関係者が航空機運航の状況認識・判断を行えるようにする情報共有基盤の構築及び航空機と地上の間で航空管制、運航、気象等に関する情報を高速伝送する地対空通信システムの開発並びにそのセキュリティの確保に関する研究開発等に取り組む。	航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発	航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発 －SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価に関する研究では、航空交通管理における、異なる SWIM 情報システム間の融合と協調を実現するため、シームレスな情報交換とサービス連携に関する技術の提案と評価テストベッドの開発を行う。本年度は、構築されたSWIMテストベッドを用いて国際連携実験や実証実験によりSWIMに基づいた運用方式の有効性や信頼性を評価する。また、評価実験や実証実験などの結果により提案技術の改良や報告書の作成などを行う。 等

○SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価に関する研究

研究の背景

運航の安全性と効率性を向上するため、ICAO では、監視・気象・空港・フライトなど様々な情報を管理できる SWIM（System Wide Information Management）という次世代の航空交通情報システムの概念が推進されている。米国の NextGen と欧州の SESAR を中心として、情報の標準化、国際実証実験などの研究開発活動が世界的に進められている。また、日本でも CARATS のロードマップにおいて、情報共有基盤の導入は重要なミッションとしてあげられている。

2013 年からは、航空局と電子航法研究所を中核として、FAA が主導した SWIM Mini-Global Demonstration に参加し、技術情報を交換しつつ実験用システムを開発した。この実験用システムを利用したシナリオデータ及びセミライブデータの配信により実証試験の有効性を高め、運用上の課題点について実証した。また、2014 年から、電子航法研究所では EUROCONTROL が主導した SWIM Master Class に参加し、Web サービスに基づいた SWIM 実験用システムを構築している。これらの研究成果は、CARATS における情報共有基盤 SWIM の早期導入の意思決定につながっている。

しかし、運用する環境によって、各 SWIM システムの構造と採用された技術の仕様が必ずしも同じとは限らないため、今後、各 SWIM 間の情報交換とサービス連携などの課題について解決していく必要がある。

研究目標

□航空交通情報共有基盤において、統一情報環境を構築するため、データ変換モデル、情報メッセージモデルとサービス連携モデルを開発する。
□運用上の基本機能と技術面の性能要件を明らかにする上で、異種 SWIM システムとの融合に関する情報交換技術とサービス連携技術を提案する。
□これに基づいて、効率性・信頼性・安全性・環境などの観点から、サービス要件に応じたパフォーマンスについて評価できるテストベッドを開発する。

令和２年度の研究内容

□総合評価実験の実施
□他国との実証実験、国際標準化への取り組みや SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査
□まとめ

令和２年度の研究成果

□総合評価実験の実施

今まで提案した技術を組み込んだ SWIM テストベッドを用いて、国際連携実証実験と国内飛行実証実験により総合評価を行った。まず、米国航空局（FAA）と連携して、SWIM に基づいた FF-ICE※運用方式に対して、離陸前の地上間の情報共有による飛行計画の調整、ならびに離陸後の空地間の情報共有による飛行軌道の管理の両方の運用を統合した世界初の国際実証実験を実施した（図 1.4.44）。これにより、既存航空管制システムとの情報共有や連携の仕組みを検討することができた。さらに、標準情報交換モデルを用いて異なるシステム間でシームレスな情報共有を実現できる SWIM 構築技術の有効性も確認することができた。このような国際連携実験の取り組みと成果により、航空局が「FF-ICE/R1 導入検討会」を立上げ、実用化を推進している。

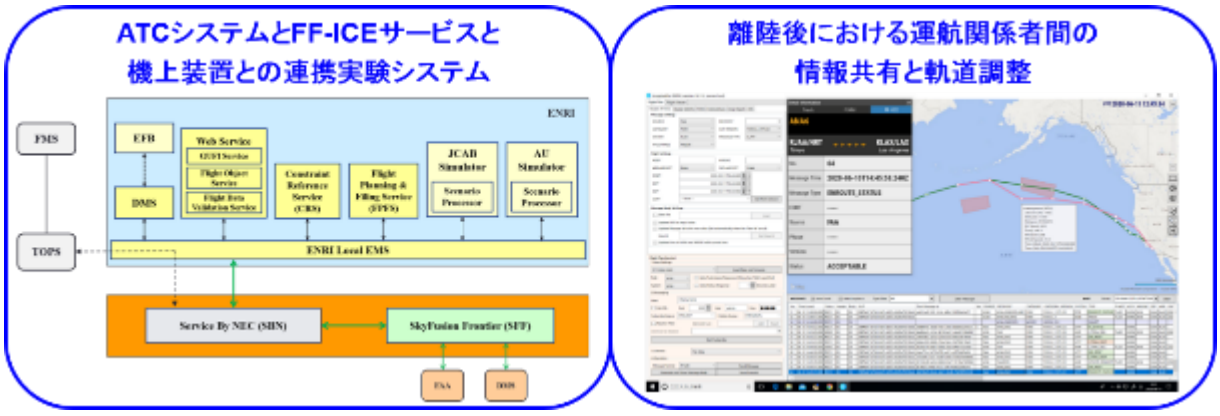


図 1.4.44　国際連携実証実験

また、空地統合 SWIM アーキテクチャの有効性を評価するため、電子研で開発した空港面高速無線通信システム AeroMACS を用いて、仙台空港において飛行実証実験を実施した。有効性評価のため、今までの実験システムを改良して地上管制システム（ATC）と機上飛行管理システム（FMS）間のデータ通信（CPDLC）をほかの関連システムと共有できる IP Data Link サービスを開発した。これにより、離陸後においても高精度な空地飛行軌道の同期や調整を可能にした。これらの評価実験により、SWIM に基づいた FF-ICE 運用方式に対して提案技術の有効性を確認することができた。

※FF-ICE（Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment）：将来、航空機の出発から到着までの飛行軌道（通過ポイントと通過時刻）を調整・管理するための、飛行情報、航空情報等を共有する環境

□他国との実証実験、国際標準化への取り組みや SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査

ICAO APAC SWIM Task Force（SWIM TF）において既存国際航空通信ネットワーク（AFTN/AMHS）との相互運用性を実現するため、今までの研究成果を踏まえ、アジア太平洋地域に導入される共通 IP 通信基盤（CRV）に取り入れられることが考えられる地域 SWIM アーキテクチャと構築方法を提案した。SWIM TF の第 4 回会合では、この提案について参加者と検討した結果、APAC SWIM Architecture として採用される予定となった。

また、中国と韓国と連携して、提案した地域 SWIM アーキテクチャに基づいて SWIM コアサービスと運用支援サービスを検証できる共通検証基盤を構築し、地域の状況に合わせたいくつかの検証実験を実施した（図 1.4.45）。SWIM TF の第 4 回会合では、FF-ICE サービス検証実験の実施により、APAC 地域に FF-ICE/R1（離陸前の飛行計画の調整）を導入するための技術課題や実現方法の提案と検討結果が高く評価された。ICAO ATMRPP にも航空局と共に本検証実験の結果を報告し、FF-ICE Implementation Guidance の改善に貢献することができた。

これらの研究活動により、地域 SWIM 導入の技術基準の策定、及び地域 SWIM 基盤の連携によるシームレススカイの実現に貢献した。

さらに、FAA と共同で、SWIM に基づいた運用方式を検証するためのいくつかの検証実験も実施している。また、2020 年 7 月からはカナダ、シンガポールやタイを加えた「Multi-Regional TBO（多地域軌道ベース運用）の実証実験」を実施し、軌道ベース運用に向けた具体的な SWIM サービスや運用プロセスの検討を進めている。

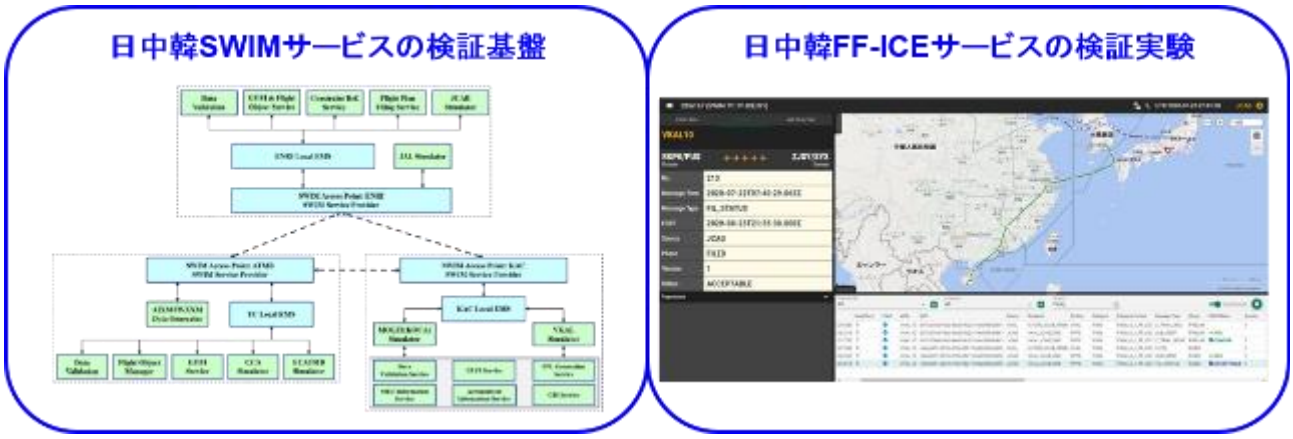


図 1.4.45　地域における SWIM サービス検証基盤と検証実験

□まとめ

本研究においては、令和元年度までの 4 年間に実施した

- 標準情報交換モデル（運航情報交換モデル、航空情報交換モデル、気象情報交換モデル）に基づいたデータ変換モデル、情報統合モデルとサービス連携モデルの開発
- 運用上の基本機能と技術面の性能要件の分析により、4 次元軌道に基づいた空地情報交換技術と異種サービス連携技術の提案
- 空地軌道同期によるオンライン評価技術を提案し、サービス要件に応じたパフォーマンスを評価できる SWIM テストベッドの開発

の 3 つの研究成果をもとに、最終年である令和 2 年度に、国際連携実験や飛行実証実験により総合評価を実施し、SWIM に基づいた FF-ICE 運用方式に対して提案技術の有効性を確認できた。

これらの研究成果により、CARATS における地対地 SWIM と FF-ICE/R1 導入の意思決定に貢献した。また、今までの国際活動により、アジア諸国と連携して ICAO APAC SWIM Task Force を設置し、タスクリーダとして地域に適用できる SWIM 基盤の構築を行っている。さらに、今までの国際連携実験により、ICAO SWIM Manual や FF-ICE Implementation Guidance の作成に貢献し、SWIM に関する国際標準化への取り組みも進めている。

以上のように、当初の研究目標を達成するのみならず、CARATS や国際連携実験、国際標準化の各活動において電子航法研究所の活動及び本研究成果が高く評価されている。

今後、運用レベルが異なる環境において情報の信頼性や運航の安全性などを保証できる技術と SWIM 情報サービスに関する検討、また、実運用に適用できる SWIM サービス検証基盤の構築について新たな研究課題として取り組む。

成果の公表

- □ X.D Lu, “FF-ICE Excution Demonstration”, FF-ICE/X Project Demonstration 2, June 2020.
- □ X.D Lu, “Report of Task 1.8 and Task 2.1.3 Status”, ICAO APAC SWIM Task Force Team Leaders Coordination Meeting, June 2020.
- □ X.D. Lu, “Preparetion for TBO Demo”, Multi-Regional TBO Demonstration Kickoff Meeting, July 2020.
- □ 呂暁東, “日本・中国・韓国による SWIM 実証実験について（電子航法研究所）”, CARATS 第 42 回情報管理検討 WG, 2020 年 8 月.
- □ 小菅 義夫, 古賀 禎, 宮崎 裕己, 呂 暁東, 稲葉 敬之, “レーダと複数の距離和計測センサによる目標位置推定誤差の解析,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J103-B, No.9, 2020 年 9 月.
- □ X.D. Lu, “Gate-to-Gate Trajectory Based Operation Scenario”, Multi-Regional TBO Demonstration - Guided Discussion 1, September 2020.
- □ 呂暁東, 住谷泰人, “航空交通情報共有基盤（SWIM）への挑戦”, 航空管制誌, 2020 年 10 月.
- □ X.D. Lu, “An Approach for APAC Regional SWIM Implementation”, ICAO APAC SWIM Task Force/4, November 2020.
- □ X.D. Lu, “FF-ICE/R1 Service Validation and Implementation”, ICAO APAC SWIM Task Force/4, November 2020.
- □ X.D. Lu, “FF-ICE/R1 Validation Demo”, ICAO APAC SWIM Task Force/4, November 2020.
- □ 呂暁東, 江上周作, “SWIM オントロジーの構築と応用に関する研究”, 航空無線, 2020 年 12 月.

□ 小菅 義夫, 古賀 禎, 宮崎 裕己, 呂 暁東, 稲葉 敬之, “Taylor 級数推定法による距離バイアス誤差ありの TOA 測位における初期値,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J103-B, No.12, 2020 年 12 月.
□ 江上周作, 呂暁東, 古賀禎, 住谷泰人, “航空交通管理における意味的な相互運用性のためのオントロジーの構築と応用”, 人工知能学会論文誌, Vol.36, No.1, pp.WI2-F_1-12, 2021 年 1 月.
□ 呂暁東, “SWIM R&D in ENRI”, 電子研講演会, 2021 年 1 月.
□ X.D. Lu, K. Morioka, S. Egami, T. Koga, Y. Sumiya, J. Naganawa, and N. Yonemoto, “Air/Ground SWIM Integration to Achieve Information Collaborative Environment”, Air Traffic Management and System IV, Springer, pp.301-314, 2021.

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、複数の通信システムの基礎検討調査を行うとともに、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。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。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２年度の研究内容

□複数の通信システムおよび通信経路の基礎調査、検証システム開発

□航空通信システムの規格策定活動参画

令和２年度の研究成果

□複数の通信システムおよび通信経路の基礎調査、検証システム開発

本年度は、本研究の初年度であることから、通信の接続率における現状調査と複数の通信システムおよび通信経路を実験室内で模擬できる検証ネットワークシステムの開発を実施した。

通信システムおよび通信経路の基礎調査では、各国が発行する航空データ通信のモニタリングレポートを分析した。ICAO 文書(Doc. 9869)が求める RCP(Required Communication Performance specification)の達成度が 99.9%であるのに対し、現在運用中の航空通信システムである VHF データ通信も衛星通信も 99.0%以上ではあるものの満たせていないこと、両通信間の切替え時は 95.0%を下回ることもあることが分かった。また、特定の衛星や航空会社、航空機の機種（使用する無線装置の型式）によって RCP 値が著しく低下することも明らかになった。

現在運用中の通信システムは、先述のモニタリング活動などによって接続率を評価できるが、今後導入が予定されている次世代航空通信システムや世代の異なるシステム間の切替え時の接続率は同様の方法では評価できない。そこで、実験室内で複数の通信システムおよび通信経路を模擬できる検証ネットワークシステムの開発を図 1.4.46 のように行った。さらに、今後、検証ネットワークシステムの一部を実際の無線機に置き換えてより実践的な検証が行えるよう拡張するために用いる、VHF データ通信における地上および機上装置の組み上げと開発も行った。(図 1.4.47)

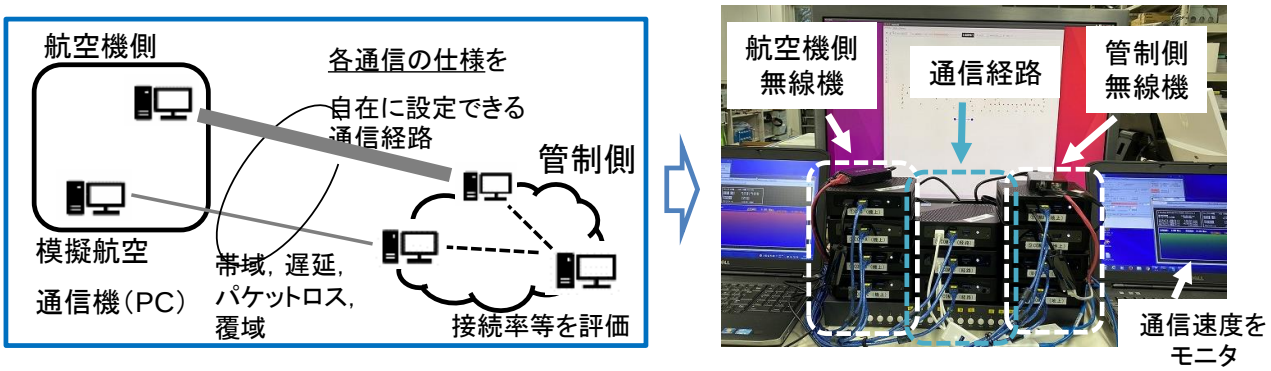


図 1.4.46　航空通信の検証ネットワークシステム

管制側VHF受信機

機上側VHF無線機

図 1.4.47　検証ネットワークシステムの高度化のための VHF データ通信の地上・機上無線機

□航空通信システムの規格策定活動参画

航空通信システムの国際標準規格策定会議である、ICAO FSMP（周波数管理パネル）、CP（通信パネル）、RPASP（遠隔操縦航空機システムパネル）等の技術作業部会に参画し、令和元年度の実験用航空機を用いた AeroMACS-SWIM 連接飛行試験（機内での無線 LAN による EFB（Electronic Flight Bag）利用を含む）に関する解析結果について報告すると共に、様々な航空通信システムについての技術及び運用上の課題や現状について議論した。

成果の公表

□ N. Yonemoto et al., “A/G connectivity tests for SWIM through Wide-area AeroMACS system”, ICAO CP WG-I32 Working paper, September, 2020.

□ 森岡和行他, “AeroMACS の覆域拡大に関する実証実験 ～仙台空港から福島上空における飛行実験～” 電子情報通信学会 SANE 研究会技術報告, 2021 年 1 月.

□ 河村暁子他, “SWIM-AeroMACS 連接飛行試験及び 機内 WiFi-EFB 実証試験報告”, 航空局 CARATS 第

11 回通信アドホック会議, 2021 年 1 月.
□ K. Morioka et al., “Current status of development of ENRI LDACS prototype and test results for forward link channels”, ICAO Communication Panel (CP) Project Team - Terrestrial Data Link (PT-T), February, 2021.
□ 森岡和行他,“次世代陸域航空無線通信システムのプロトタイプ開発 ～フォワードリンク基本性能評価～”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2021 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2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 86 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2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 299 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	299 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	24 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	125 名
うち電子航法に関する研究開発等	150 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について、総合的に検討するため設置された「海事産業将来像検討会」に研究者を派遣し、海事産業の将来像と、それを実現するために必要な施策について検討を行った。また、国土交通省における交通政策に関する重要事項についての調査審議を行うために設置された、「交通政策審議会海事分科会」に研究者を派遣し、海運、造船に関する事業、船舶、船員及び船舶交通安全に関する重要事項についての調査審議等を実施した。

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、試行運用が開始された。同システムは、当研究所が 1990 年代から研究を開始し、「GNSS 精密進入における安全性解析とリスク管理技術の開発（H20～23）」においてシステムの安全設計手法を確立した成果である。その後、この一部の技術は、特許化され国内製造メーカに技術移転され、国産化されている。衛星航法による着陸システムは、従来から米国が先行しており、FAA（連邦航空局）のプロジェクトにより GBAS が開発され、米国の製造メーカが米国、欧州、豪などの空港へ展開している例が顕著であった。しかし、安全上の課題があり、アジアなど磁気赤道域に近い地域に導入され運用を開始した例は存在していない。これは、衛星航法システムにおいて危険事象（警報が発生されない確率が許容値を超える）を生じる可能性をもつ電離圏擾乱の特徴が、磁気緯度に依存してアジアと欧米で異なるため、安全設計上の解決が困難なためであった。当研究所は、従来から GBAS のプロトタイプを開発しており、併せてアジア地域の電離圏擾乱現象を研究し、アジア各国の大学・研究機関とも連携してアジア地域の電離圏遅延モデルを作成した。さらに、空港周辺で発生する擾乱を検知する能力をもつシステムを提案して、プロトタイプにより国際標準の安全要求を満たす安全設計を実証することに成功した。本システムは ICAO（国際民間航空機関）の GANP（世界航空交通計画）・ASBUs（導入施策と工程）において、空港への航空機の進

入を最適化する将来技術として位置づけられ、国土交通省航空局の将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)で国が導入計画を策定するシステムであって、当所が果たした役割は大きい。

図 1.5.1 東京国際空港(左:GBAS 基準アンテナ、右:VHF データ送信アンテナ)

④自律型無人潜水機(AUV)の研究開発が Nature に掲載

研究所で実施している「深海自律型無人潜水機(AUV)複数運用技術に関する研究開発」が Nature で紹介された。本研究開発は、深海資源の調査能力を飛躍的に高め水深 6,000m 以浅の海域の調査を可能とする世界最先端調査システムの開発等を行っている戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的深海資源調査技術」の一部を構成するもので、4 つで構成される研究開発のうち、「Orchestrating a deepocean fleet of explorers(深海船隊の調査における協調)」の中で紹介された。

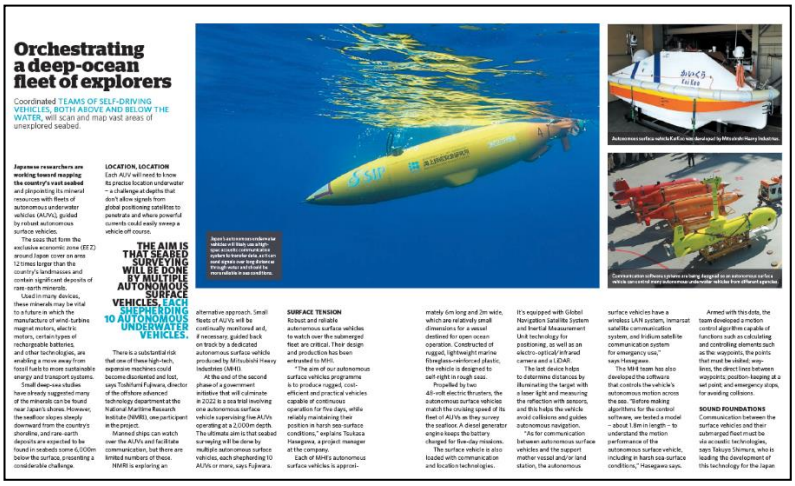
Nature 掲載された主な内容は、以下のとおりである。

・2022 年には、自律型無人洋上機(ASV)1 機により、水深 2000m で運航している 5 機 AUV の制御を実証することを目標としている。

・当所は、複数 AUV が ASV の制御範囲に収まるよう AUV の位置を自動調整する高度な 制御ソフトウェアを開発している。管理する機数が増えると近くに存在する AUV 同士のソナー干渉等を避けながら航行を管理・制御することはなかなか難しい。

・複数の研究機関や大学が所有する異なる機種の AUV を同時に利用することにも取り組んでいく。

・昨年 10 月の試験で、1 機 ASV による 3 機 AUV の制御に成功しており、研究開発は順調に進んでいる。



Orchestrating a deep-ocean fleet of explorers

Coordinated TEAMS OF SELF-DRIVING VEHICLES, BOTH ABOVE AND BELOW THE WATER, will scan and map vast areas of unexplored seabed.

THE AIM IS THAT SEABED SURVEYING WILL BE DONE BY MULTIPLE AUTONOMOUS SURFACE VEHICLES, EACH SHEPHERDING 10 AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES.

図 1.5.2　Nature 掲載記事

（2）基準・ガイドライン等の策定や改定への支援

研究所が有する最新かつ先導的な研究成果や技術的知見等について、国土交通省等の行政機関が策定及び改定を行う基準やガイドラインに反映させるため、基準等の策定及び改定作業に積極的に参画し、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や港湾の施設に係る技術基準・ガイドライン、航空交通の安全等に係る基準等の策定及び改定に貢献した。また、学会や関係機関が開催する講習会等において研究者が講師を務め、基準等の普及に協力するとともに、国土交通省等の関係機関に対して、基準・ガイドライン等に係る技術指導等を積極的に行った。

表 1.5.2　基準・ガイドライン等への研究成果の反映

名　称	発行機関等	発行(改定)年月
2020 年 SOx規制適合舶用燃料油使用手引書（第 3 版）	国土交通省　海事局	令和 3 年 4 月
港湾の施設の点検診断ガイドライン（一部変更）	国土交通省　港湾局	令和 3 年 3 月
港湾における高潮・高波被害軽減のための土のう設置事例集	国土交通省　港湾局	令和 2 年 9 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
ICAO 監視マニュアル(Doc9924)	国際民間航空機関	令和 2 年 12 月
ICAO ガイダンス文書改訂	国際民間航空機関	令和 2 年 9 月
ICAO　監視マニュアル（Doc 9994）	国際民間航空機関	令和 2 年 12 月

（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、5 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（少人数の会場開催又はリモー

ト開催）し、合計で 393 名の参加者を得た。また、地方整備局等と連携して、研究成果の中からそれぞれの地方整備局等の管内で関心が高いテーマを選び、小規模な報告会を機動的に開催することで意思疎通を図っており、研究者が地方整備局等へ出張した機会などを利用して、研究成果の報告会を実施した。また、航空局等に対して、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。

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、研究者のべ 30 名を講師として派遣した。研修には合計で 383 名の参加者があった。また、航空保安大学校が実施している研修に講師派遣を行い、航空情報科、航空電子科を対象とし研修生 46 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 GBAS システム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

①福島県沖地震に伴う相馬港(福島県)への被害状況調査

令和 3 年 2 月 13 日に発生した福島県沖地震により、相馬港に被害が発生したことから、国土交通省の要請を受け、港湾空港技術研究所は、被災後直ちに、地震防災研究領域の小濱耐震構造研究グループ長、地盤研究領域の佐々動土質研究グループ長、工代研究官、海洋研究領域の朝比耐波研究グループ研究員の 4 名を、国土技術政策総合研究所と合同で派遣し、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 1.5.3 相馬港被災調査の様子

②防災功労者内閣総理大臣表情の受賞

令和 2 年 9 月、港湾空港技術研究所緊急災害対策派遣隊（港空研 TEC-FORCE）は、「令和元年 8 月の前線に伴う大雨」、「房総半島台風」及び「東日本台風等による災害」において、国交省地方整備局等からの要請を受けて行った高度な技術支援等の活動に対して、令和 2 年度防災功労者内閣総理大臣賞を受賞した。防災功労者内閣総理大臣表彰とは、災害時における人命救助や被害の拡大防止等の防災活動の実施、平時における防災思想の普及または、防災体制の整備に貢献し、その功績が顕著であると認められた団体や個人を表彰するものである。

図 1.5.4　表彰式後の集合写真と表彰状

（3）訓練の実施

我が国においては 11 月 5 日が「津波防災の日」として定められており、平成 27 年 12 月には国連総会において、11 月 5 日が「世界津波の日」として採択され、全国で「津波防災の日」周辺での地震・津波防災訓練等が実施されている。港湾空港技術研究所においては、大規模地震を想定して令和 2 年 6 月 12 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 1.5.5　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 2 年度、運輸安全委員会より小型旅客船の旅客負傷事故に係る解析、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	161 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	46 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	63 件
うち電子航法に関する研究開発等	52 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 2 年度は、目標としていた実海域での性能評価の「ものさし」となる計算法と試験法を確立した。

令和 3 年 1 月には、成果報告会をウェビナー形式で開催し、3 年間の OCTARVIA プロジェクトの研究成果に関する講演と今後の研究成果の活用についてのパネルディスカッションを行いました。

今後は、成果の利用と展開、社会実装、競争領域での応用的利用を視野に入れ、プロジェクトの中心機関として社会実装に向けた開発を行っていく。

※「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 1.5.6　実海域実船性能評価プロジェクトの概要

図 1.5.7　実海域実船性能評価プロジェクト成果報告会

令和 3 年 3 月に、海上技術安全研究所、JAMSTEC 他計 8 機関で構成して活動していた“TeamKUROSHIO”が、海底観測をロボットのみで行う母船レス海底調査システムを開発し、第 9 回ロボット大賞『審査員特別賞』を受賞しました。

図 1.5.8　母船レス海底調査を可能とする洋上・海中ロボットシステム

港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等において、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 2 年 10 月 28 日に開催された web セミナー方式の研修会のパネルディスカッションにパネリストとして研究者が参画した。また、維持管理に関して海洋・港湾構造物維持管理基礎講座講習会が 9 月にオンデマンド配信方式で開催され、講師として研究者が参画した。

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。また、無人航空機や有人航空機を使用した実証実験を行っている。また、アルウェットテクノロジー株式会社等との総務省競争的資金を用いた共同研究「セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発」は、近年、世界各地で喫緊の課題となっている、ソフトターゲットを標的としたテロ等のセキュリティ対策のシステムの研究開発である。従来のセキュリティ検査機の速度を向上し、歩行者を直接検査できる新しい検査システムを開発するため、検知距離 2～5m を目標に、人が所持する不審物を衣服の上からイメージング画像を取得するイメージャ及び、検知距離 15m を目標に不審物を所持する人からの反射特性情報を取得するレーダーを開発し、ミリ波を用いた不審物センシング・イメージング技術を確立する。電子航法研究所では 2 周波対応アクティブ

型イメージャの研究開発に関して担当し、各種実験機による原理検証を行い、メーカーのシステム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。

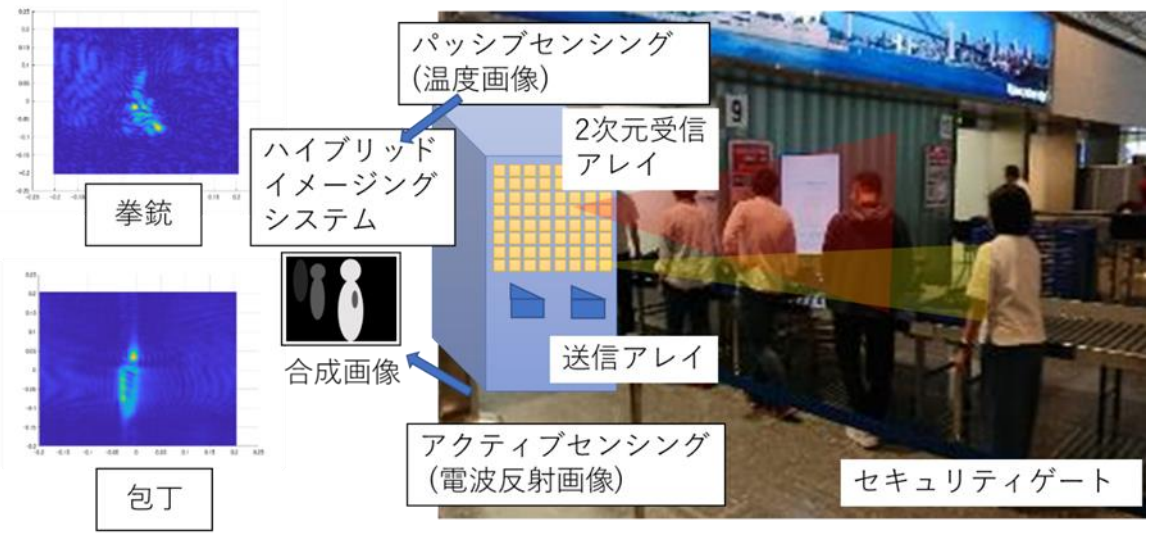


図 1.5.9 システム概念図

(3)産業界からの受託研究

研究所の有する優れた技術シーズを活用するため、令和2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	135 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	121 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	14 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 2 年度は電子航法研究所において表 1.5.5 のとおり 3 件の研究課題提案を募集し、所内外の委員で構成される公募型研究等評価委員会にて採択を行った。実施した公募型研究の成果は電子航法研究所研究発表会等を通じて普及することとしており、令和 2 年 9 月 30 日、10 月 1 日開

催の研究発表会にて、令和元年度に終了した公募研究に関するポスター発表 2 件が行われた。令和 2 年度終了した公募研究 1 件についても令和 3 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 3 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2年度は港湾空港技術研究所において、「港湾工事の施工の効率化に関する技術」、「港湾構造物等のメンテナンス・予防保全の省力化技術」等をテーマとして研究課題提案を募集し、外部の有識者等から構成される課題評価委員会にて表 1.5.6 のとおり採択を行った。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2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	92 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	19 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	53 件
うち電子航法に関する研究開発等	20 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 39 名、民間企業等 24 との人事交流、客員教授、非常勤講師等として延べ 32 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、12 大学へ派遣した 17 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 2 年度においては、研究者 4 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 26 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 2 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	512 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	190 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	285 件
うち電子航法に関する研究開発等	37 件

表 1.5.9　研究者派遣の実施件数

研究所合計	78 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	2 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	71 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設計工学分科会では幹事等を務めた。

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　ばら積み液体危険物部会　委員	（一社）日本海事検定協会
危険物等海上運送基準検討委員会　危険物UN対応部会及び同危険物運送要件部会　委員	（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　特殊貨物運送部会	（一社）日本海事検定協会
危険物等海上運送基準検討委員会及び同特殊貨物運送部会　委員	（一社）日本海事検定協会

海洋水質・生態系保護基準整備に関する調査研究ステアリング・グループ　委員	（一財）日本船舶技術研究協会
海洋水質・生態系保護基準整備プロジェクト　委員	（一財）日本船舶技術研究協会
ガス燃料船・新液化ガス運搬船基準の策定プロジェクト委員	（一財）日本船舶技術研究協会
救命設備基準改正プロジェクト委員並びにプロジェクトマネージャー	（一財）日本船舶技術研究協会
救命設備基準改正プロジェクト委員	（一財）日本船舶技術研究協会
救命設備基準改正プロジェクト	（一財）日本船舶技術研究協会
船舶の省エネ性能向上のための技術基準の検討に関する調査研究（省エネ性能向上技術基準検討プロジェクト）	（一財）日本船舶技術研究協会
真空形成法及びサンドイッチ構造の技術基準見直しに関する検査委員会	（その他）日本小型船舶検査機構
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	（その他）日本小型船舶検査機構
標準部会/洋上風力発電および支援船に関するISO規格検討WG　委員	（一財）日本船舶技術研究協会
構造分科会/プロペラキャビテーション ISO 規格検討 WG	（一財）日本船舶技術研究協会
・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総則・設計編	（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＜委託＞257 コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針改訂小委員会	（公社）土木学会
調査研究部門　コンクリート委員会　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

「JIS Z 1902 ペトロラタム系防食テープ」改正原案作成委員会	（一社） 日本防錆技術協会
「沿岸技術ライブラリ―No.27「港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル」の改訂」	（一財） 沿岸技術研究センター
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
ジャケット工法技術マニュアル改訂に係る委員会	（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
地盤調査規格・基準委員会 WG2(ボーリング・サンプリング)	（公社） 地盤工学会
地盤設計・施工基準委員会 WG6 杭の鉛直載荷試験基準改訂 WG	（公社） 地盤工学会
JIS H 8642 および JIS H 8672 改正原案作成委員会	（一社） 表面技術協会
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。

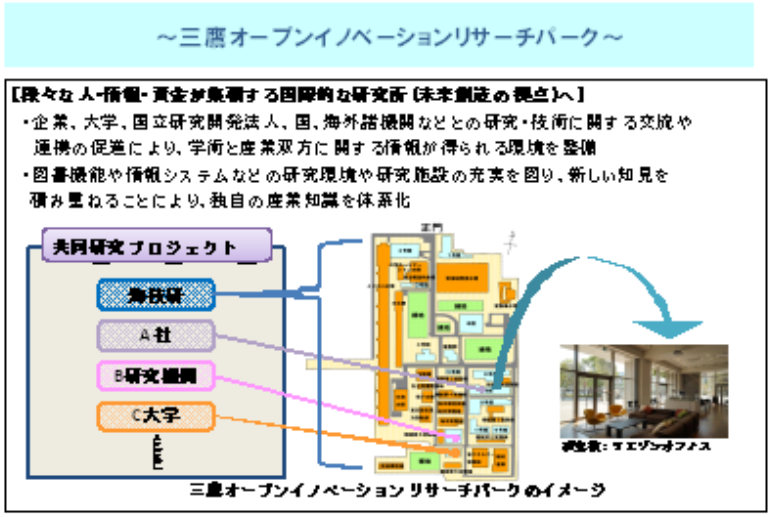


図 1.5.10　三鷹オープンイノベーションリサーチパーク

研究所は、8 社共同による洋上風エネルギーを利用する帆の技術と、この風エネルギーで造った水素による安定エネルギー活用技術を組み合わせた究極のゼロエミッション事業であり、その開発が脱炭素社会・水素社会の実現に向けた一歩となる事を目指し、風力と水素を活用したゼロエミッション事業『ウインドハンタープロジェクト』を始動し第一回会合を開催しました。

今後は、帆走中に水中の発電タービンを用いて発電し、電気による水電解により生産した水素と、水素キャリア・燃料電池とを組み合わせ、弱風時の推進力を補って船の定時運航を目指す活用や、水素キャリアで貯蔵した水素を陸上消費向けに供給する活用を検討しており、GHG を一切排出させないゼロエミッション事業の実現を目指していく。

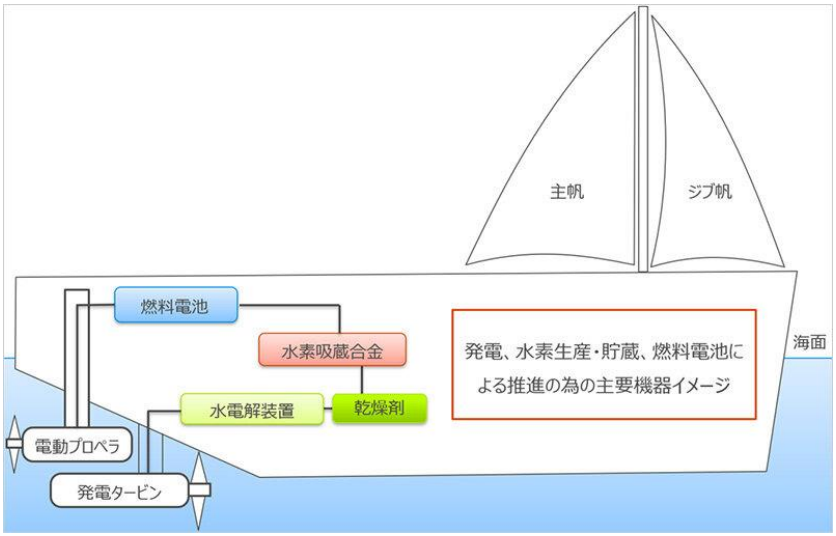


図 1.5.11　ウインドハンタープロジェクトの概要

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 2 年 9 月に実施した。研修は海

上技術安全研究所の所在する東京都三鷹市のほか、サテライト会場を全国 6 か所（横浜市、相生市、尾道市、今治市、佐伯市、長崎市）で、テレビ会議システムの利用により同時受講し、あわせて 62 名の外部の方が参加した。

図 1.5.12　船舶海洋工学研修風景

近年、世界各国で地球温暖化への対策が求められるなか、二酸化炭素を吸収する新たな選択肢として沿岸域の藻場、浅場などの海洋植物によるブルーカーボン生態系が注目されている。地球温暖化変動対策にブルーカーボンを利用するためには、公共事業、自治体、市民、企業の参画が必要であるが、日本では持続可能な利用を推進するための技術や投資効果を図る仕組みが課題となっていた。そこで、海上・港湾・航空技術研究所、桑江朝比呂（港空研　沿岸環境研究グループ長）及び笹川平和財団は、技術研究組合法に基づく日本初のブルーカーボンに関する技術研究組合として、令和 2 年 7 月に国土交通大臣の認可を受けて「ジャパンブルーエコノミー技術研究組合（JBE）」を設立した。JBE は、科学、技術、社会、経済の 4 つの方法論によるアプローチから、日本の沿岸域におけるブルーカーボン生態系の保全、沿岸域の気候変動対策を促進し、海洋植物によるブルーカーボンの定量的評価を可能とする技術開発及び資金メカニズムの導入等の試験研究を行う。

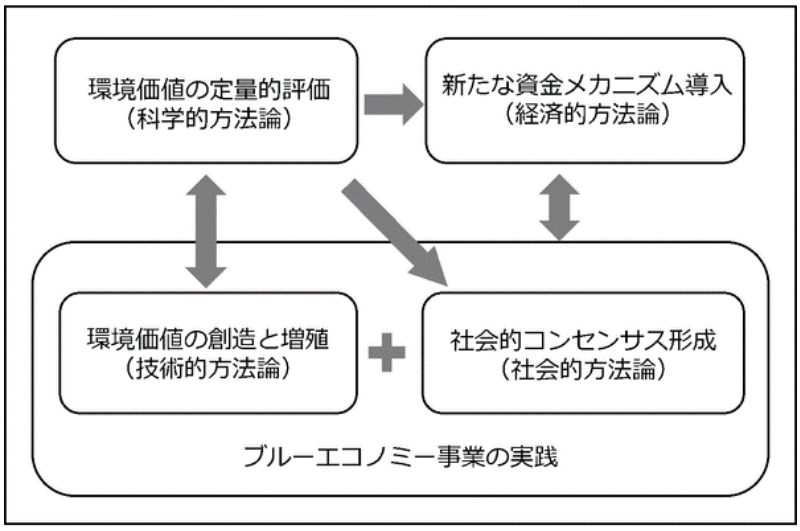


図 1.5.13　ジャパンブルーエコノミー技術研究組合の研究体制

（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2年度における特許の出願件数は 43 件であった。

表 1.5.11 特許取得等の状況（令和 2 年度）

出願	審査請求	特許取得
43 件	33 件	34 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2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 15 件、著作権（プログラム）の使用許諾に関する実施は 36 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 33 百万円、著作権収入は 56 百万円の収入があった。

表 1.5.12 令和 2 年度に活用された当研究所が保有する知的財産

No	件名（知的財産の種類）	登録日	登録番号等
	・船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等		
1	小型ダクト付きプロペラ及び船舶【特許権】	H25.3.29	5230852
2	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】	―	―
3	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】	―	―
4	GUIを用いた船体周り構造格子生成プログラム（HullDes）【著作権】	―	―
5	格子性能機能を備えた最適化プログラム(AutoDes)【著作権】	―	―
6	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】	―	―
7	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】	―	―
8	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】	―	―
9	要目最適化プログラム（HOPE Light)【著作権】	―	―
10	日本近海の波と風データベース表示プログラム【著作権】	―	―
11	DLSA-Basic【著作権】	―	―
12	衝突危険度評価プログラム（CollisionRiskCalc）【著作権】	―	―
13	Global winds and waves 表示プログラム（GLOBUS）【著作権】	―	―
14	Jupiter-DLSA-Basic【著作権】	―	―
15	船舶風圧力簡易推定計算プログラム	―	―
16	海技研クラウドサービス(HOPE Cloud)	―	―

17	AUV オペレーションプログラム	―	―
18	外航コンテナ定期船航路可視化プログラム	―	―
	・港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等		
1	浸透固化処理工法【特許権】	H17.3.11 H17.5.27 H22.1.22 H23.1.14 H29.6.30 H30.8.17	3653551 3681163 4441613 4662116 6165194 6385018
2	コンクリート舗装版裏込めグラウト材	H25.7.12	5311584
3	安心マンホール	H23.12.16 H25.3.22	4885605 5223079
4	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	クレーン【特許権】	H23.3.18 H26.5.23	4705224 5548627
6	ケーソン堤体構造物の防砂構造【特許権】	H30.2.2	6283765
7	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】	―	―
8	FLIPver. 7【著作権】	―	―
9	N－Pier【著作権】	―	―
	・電子航法に関する研究開発		
1	電波装置【特許権】	H18.8.25	3845426
2	衛星航法システムにおける電離圏異常を検出する方法及びその装置【特許権】	H25.7.5	5305416
3	補正情報生成プログラム等一式【著作権】	―	―
4	洋上空域における衝突危険度推定ソフトウェア【著作権】	―	―
5	ILS 電波干渉解析シミュレーターソフトウェア【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2年度分の褒賞金及び実施補償金として13,550 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2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部は広く知財の基礎的事項の解説を行いつつ、各研究所における知的財産に関する基本戦略や取り組み状況、諸外国と日本の比較等を含め紹介を行った。第2部では、特許権の獲得方法として、特許庁に在籍した職員による審査基準や審査の実例検討を行い、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。

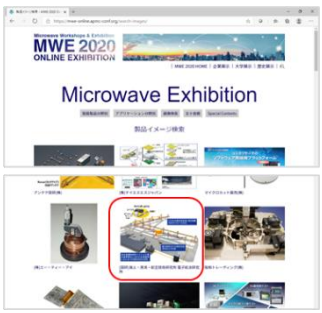
④保有特許の利用促進

令和2年度は、コロナ禍のため、これまで対面で実施していた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、マイクロウェーブ展2020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。

（トップページ）



（企業検索ページ）

図1.5.14　マイクロウェーブ展2020における電子航法研究所バーチャル展示の様子

（令和2年11月25日～12月28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「船舶の衝突安全性向上に関する特許」で、地方発明表彰「特許庁長官賞」を受賞

研究所は、船舶の衝突安全性向上に関する特許で、公益社団法人発明協会より、「地方発明表彰（九州） 特許庁長官賞」を受賞しました。また、当該発明に至る研究実施体制構築により、研究所が「実施功績賞」を受賞した。

図 1.5.15 特許庁長官賞及び実施功労賞受賞の様子

（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2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海上技術安全研究所研究発表会

令和 2 年 7 月 28 日から 29 日にかけて、「第 20 回海上技術安全研究所 研究発表会」を研究所初となる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つのプロジェクト研究をメインに海技研が進めて来た要素技術研究の成果を 7 セッション 17 講演のライブ配信を行い、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 537 名の参加があった。

図 1.5.16 海上技術安全研究所発表会の様子（令和 2 年 7 月）

②海上技術安全研究所講演会

令和 2 年 12 月 10 日、新型コロナウイルス対応として、第 20 回講演会をオンラインで開催し、第 1 部を基調講演と外部講演、第 2 部を研究講演とする構成とし、「2025 年自動運航船の実現に向けて～事故の起こらない、安全な船を目指して～」をテーマに、昨今、急速に開発が進展している「自動運航船」について講演を行い、講演会には 380 名の聴講者があった。

図 1.5.17 海上技術安全研究所講演会の様子（令和 2 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3年1月 20 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、大阪大学の矢吹教授(港空研客員研究官)によるインフラ DX 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 157 回線の聴講者があった。

図 1.5.18 港湾空港技術講演会の様子(令和 3 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2年度は、新型コロナウイルス対策のため、全国 5 地域において、少人数の会場開催又はリモート開催とし(仙台 11 月 20 日 61 名、横浜 12 月3日 57 名、沖縄 12 月4日 105 名、福岡 12 月 21 日 90 名、広島 1 月 14 日 80 名)、393 名の聴講者を得た。

図 1.5.19 港湾空港技術地域特別講演会の様子(左・仙台、右・横浜)

⑤電子航法に関する研究発表会

令和2年9月 30 日から 10 月1日にかけて、新型コロナウイルス対応として、第 20 回研究発表会をオンラインで開催し、国際標準化活動への取り組み(電子航法分野、海事分野)、航法システムに関する研究(3 テーマ)、監視通信システムに関する研究(3 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。今回は、海技研の国際標準化活動への取り組みとして海技研からも発表が行われ、2 日間で延べ 371 名の聴講者を得た。

表 1.5.13　その他の講演会等内訳

	開催日	件名	概要
	R2.11.7	今治地域造船技術講演会	船舶の自動着桟操船、未来の造船所の新しい造り方・働き方、未来の舶用エンジン等、最新技術の動向と海技研の取り組みについて講演した。
	R2.12.3	CARATS オープンデータ活用促進フォーラム	CARATS オープンデータの概要説明と航空交通流過密状態における着陸順最適化の説明を行った。

表 1.5.14　出前講座及び特別講演内訳

	開催日	対象	概要
	R3.1.28	HRC（造工中手船型研究会）	・第 152 回造工中手船型研究会での講演 「ゼロエミッション船の研究動向」
	R3.3.12	NYK バルクプロジェクト（株）	・CLASS7 輸送における海上輸送対応に係る講義
	R3.1.29	横須賀市立北下浦中学校	・地震防災をテーマとした講義
	R2.12.10	航空保安大学校	・電子研の業務、研究について
	R2. 12.17 12.18	航空局　管制技術課　性能評価センター	・GBASシステムの知識向上及び職員の円滑な業務遂行のスキル向上を目的
	R3.3.22	航空局　管制技術課　技術管理センター	・GBASシステムの知識向上及び職員の円滑な業務遂行のスキル向上を目的

図 1.5.20　航空局　管制技術課　性能評価センター出前講座の様子（令和2年12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2年度においては、第 39 号（令和2年 4 月）で「増加する既存施設の改良事案その課題と展望とは？」、第 40 号（令和2年 7 月）で「港湾・空港施設の維持管理サステナブルな社会への貢献を目指して」、第 41 号（令和2年 10 月）で「目指すは国際競争力確保！港湾・空港の機能強化に役立つ新技術の研究開発を」、第 42 号（令和3年 1 月）で「海底の砂や泥の動きを把握し沿岸域の地形変化の予測・管理に挑む」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、2020（令和2）年度分の活動内容を簡潔にとりまとめた「年次報告 2020」（日本語版）並びに「PARI Annual Report 2020」（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オンラインで 6 回開催し、合計 720 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	令和 2 年 9 月	波・風中の錨泊船の振れ回り運動に関する水槽実験
2	令和 3 年 1 月	人にやさしい 499GT 貨物船に関する模型実験
3	令和 3 年 2 月	次世代 CFRP 成形の公開実演
4	令和 3 年 3 月	浮体式洋上風力発電小型模型の設計製作セミナー及び水槽実験
5	令和 3 年 3 月	小型実験船「神峰」による自動着桟システムの実船実験を公開
6	令和 3 年 3 月	衝突を自動的に回避する避航操船システムに係る実験

図 1.5.21　小型実験船「神峰」による自動着桟システムの実船実験を公開（令和 3 年 3 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2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 2 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。

令和 2 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新設した。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 1.5.22　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2年度における一般公開を除く施設見学者は、17 件（86 名）であった

⑥ホームページ

令和２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 1.5.23　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校外学習、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、地域の中学校等からの校外学習の受け入れも行っており、令和 2 年 11 月には、藤沢市立長後中学校の生徒に対して沿岸環境に関する講義や地震や津波を想定した模型実験等の見学を行うなど災害研究への理解増進を図った。

また、特に、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を「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

ログラムも例年実施しており、令和2年 10 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 1.5.24 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2年 10 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2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 233 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 3 年 2 月から 3 月にかけて土木学会建設用ロボット委員会と共同で開催した。講習会へは、54 名の参加者があった。研究所から「水中バックホウ遠隔操作システムの開発」及び「BIM/CIM と ICT 施工と音響技術」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 1.5.25　電子航法研究所紹介マンガ

⑧東日本大震災 10 周年記念出版

令和3年3月 11 日の東日本大震災 10 年を機に、港湾技術研究所が事務局を務め関係 18 団体で構成する「国際津波・沿岸防災技術啓発組織委員会」から書籍「絆～津波からいのちを守るために」を出版し、文部科学省子どもの読書キャンペーン推奨図書として同省 HP でも紹介された。

図 1.5.26　書籍「絆～津波からいのちを守るために」

⑨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	海洋都市横浜うみ博 2020	令和 2 年 7 月～令和 3 年 3 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 ②海事・海洋分野の世界最先端技術拠点を目指す（海技研紹介動画）
			「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
2	うみコン 2021	令和 3 年 2 月(オンライン開催)	「海事関連技術のデジタル変革に向けた海技研の取り組み」、「港湾における高潮・高波被害軽減のためのデジタル技術を活用した支援」と題して講演を行った。

6. 戦略的な国際活動の推進

【中長期目標】

6. 戦略的な国際活動の推進

研究所は、上記1. ～4. における研究開発成果を活用し、国際基準・国際標準策定への積極的な参画や海外機関との連携を通じて我が国の技術及びシステムの国際的な普及を図る等の戦略的な国際活動を推進するため、次の事項に取り組む。

【重要度:高】 研究所による研究開発の成果を活用して戦略的に国際活動を推進することは、国土交通省の政策目標実現に不可欠であるため。

【中長期計画】

6. 戦略的な国際活動の推進

【年度計画】

6. 戦略的な国際活動の推進

(1)国際基準化、国際標準化への貢献

【中長期目標】

(1)国際基準化、国際標準化への貢献

世界的な交通の発展及び我が国の国際競争力の強化に貢献するため、国際海事機関(IMO)や国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機関(ISO)等における我が国提案の国際基準・国際標準化を視野に入れた、戦略的な取組を進める。具体的には、国土交通省に対する技術的バックグラウンドの提供等の我が国提案の作成に必要な技術的支援や、国際会議の参加等を行うことにより、我が国提案の実現に貢献する。

【中長期計画】

(1)国際基準化、国際標準化への貢献

研究成果の国際基準・国際標準化を目指して研究計画を企画立案するとともに、国際的な技術開発動向を踏まえつつ研究を実施することで、IMO 、国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機構(ISO)等への国際基準案等の我が国の提案作成に積極的に関与する。

また、我が国の提案実現のため、国際会議の審議に参画し、技術的なサポートを実施するとともに、会議の運営にも積極的に関与する。

加えて、主要国関係者に我が国提案への理解醸成を図るため、戦略的な活動を行う。また、我が国が不利益を被ることがないよう、我が国への影響及び適合性について技術的な検討を行うなど、他国の提案についても必要な対応を行う。

【年度計画】

(1)国際基準化、国際標準化への貢献

研究成果の国際基準・国際標準化を目指して研究計画を企画立案するとともに、国際的な技術開発動向を踏まえつつ研究を実施することで、IMO、国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機構(ISO)等への国際基準案等の我が国の提案作成に積極的に関与する。

特に本年度は、海上交通の分野においては、排ガス洗浄装置に係る規格等船舶に係る海洋環境保護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2年度においては、目標である 63 人を上回るのべ 140 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2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 7 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2年度においては、海上技術安全研究所は 7 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2年度は、のべ 19 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、当所職員が令和 2 年 10 月に、船舶で運送される有害液体物質の危険性評価を行う GESAMP/EHS WG の 8 名のメンバーのうちの 1 名に選出された。この WG による評価結果は、IMO にて MARPOL 条約の下で有害液体物質の運送要件を規定したり、見直したりする際の基礎とされる。

さらに、継続的に出席している当所職員が、令和 3 年 1 月 18 日～22 日にオンラインで開催された IMO 第 33 回貨物運送（CCC）小委員会編集・技術（E&T）グループにおいて議長を務めた。

同職員は、長年に渡って IMSBC コードの審議に参画しており、固体ばら積み貨物の運送に係る通信グループ（Correspondence group：CG）のコーディネータを 10 回、作業部会（Working group：WG）／起草部会（Drafting group：DG）の議長を 4 回務め、この分野のエキスパートとして国際的に認められている。また、船舶設備（SSE）小委員会の議長を 6 年間務めるなど、豊富な IMO の経験を有しており、今般、IMSBC コードに係る E&T グループの議長に選出された。

・当所職員が第 2 世代非損傷時復原性基準暫定指針の策定に貢献

船舶が荒天下で転覆しないためには十分な復原力を持つ必要があり、国際基準によりその要件が規定されている。しかし、現在の基準では、波浪等による影響により発生する 5 つの危険モード（デッドシップ状態、過大加速度、復原力喪失、パラメトリック横揺れ、波乗り/ブローチング）が十分に考慮されていない。2020 年 11 月に開催された IMO 第 102 回海上安全委員会（MSC 102）において承認された第 2 世代非損傷時復原性基準暫定指針は、これら 5 つの危険モードに対して、それぞれ 3 段階の基準を規定しています。これらは、比較的簡易な計算で安全側評価になる簡易基準の第 1 及び 2 段階基準と、直接復原性評価と呼ばれる厳密な計算が求められる第 3 段階基準となる。

当所職員は、日本船舶技術研究協会に設置された目標指向型復原性プロジェクトステアリンググループのメンバーとして、過大加速度モードの基準に関して、基準計算プログラムを開発し、①第 1 及び第 2 段階基準の試計算と基準値の検討、②直接復原性評価法（第 3 段階基準）の検討とベンチマークデータの計測、③簡易基準値の検証及び運航制限・運航ガイダンスの作成を実施した。さらに、これらの結果を我が国（大阪大学梅田直哉教授）がコーディネータを務めてきた通信部会の報告等により IMO に提出し、暫定指針の審議・策定に貢献した。

また、IMO 船舶設計・建造（SDC）小委員会に第 4 回会合（2017 年）から出席し、非損傷時復原性の審議に参画し、提案文書の説明を行うなどして、過大加速度モードの基準値及び評価方法について適切な暫定指針の策定に貢献した。

・温室効果ガス（GHG）排出量などに関する第 4 次調査報告書(4th GHG study の作成に貢献

IMO における温室効果ガス（GHG）排出量削減政策の基礎データとなる IMO 第 4 次調査報告書(4th GHG study)の作成において、研究所が、調査事業を IMO から受託した国際コンソーシアムの一員として、CO2 排出削減技術（減速航行を含む）のレビュー及び将来における削減可能量とその際のコスト評価を担当し、削減技術毎の CO2 削減コストと CO2 削減可能量を算定した。さらに、CO2 削減技術の普及シナリオ毎に両者を積み上げた関係を示す「限界削減費用曲線（MACC）」を提示し、ゼロ／低炭素燃料の導入なしでは 2050 年削減目標の達成は困難であることを示した。本報告書は IMO 第 75 回海洋環境保護委員会で審議の上、承認・最終化され（R2.11）、今後の IMO における GHG 排出削減対策の基礎資料として活用される。（I-2（業務実績報告書）より趣旨再掲）

表 1.6.1 IMO に係る会議参加数（19 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
Informal preliminary discussion session (virtual) on short-term measures for reduction of GHG emissions from ships	短期 GHG 削減対策に関する予備的意見交換	1
第 26 回汚染危険評価作業部会（ESPH 26）	IBC コード／MEPC.2/Circular 改正案の検討	2

第 7 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 7）	GHG 削減対策に係る審議等	3
第 102 回海上安全委員会（MSC 102）	義務要件の採択等、SSE 小委員会報告	2
第 75 回海洋環境保護委員会（MEPC 75）	義務要件の採択等、EEDI 関係、GHG 削減対策 大気汚染等の審議等	4
第 33 回貨物運送小委員会編集・技術グループ（E&T 33）	IMSBC Code の審議等	2
第 34 回貨物運送小委員会編集・技術グループ（E&T 34）	IMDG Code の審議等	1
CCC 小委員会－燃料電池に関する CG の非公式会合	燃料電池ガイドライン案の審議等	1
第 8 回汚染防止・対応小委員会（PPR 8）	排ガス洗浄装置、Black Carbon 等、液体化学物質の運送の審議等	3

(イ)ISO 及び IEC における活動

令和 2 年度は ISO の会議にのべ 35 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。

・当所職員がプロジェクトリーダーを務めた ISO 規格の制定

当所職員がプロジェクトリーダーを務めてきた ISO 21716：2020 シリーズ「船底防汚塗料のスクリーニングのための生物試験方法」（Bioassay methods for screening anti-fouling paints）が 2020 年 11 月に正式な国際規格として発行された。具体的には、第 1 部：「一般要件」、第 2 部：「フジツボ」、第 3 部：「ムラサキイガイ」の 3 件の規格が制定された。

生物の船体付着は船舶の燃費効率を低減させるのみならず、生物の越境移動を引き起こし、外来生物による従来の生態系の攪乱の原因となります。生物の船体付着を防止するための主要な防汚技術として、船底防汚塗料が挙げられる。従来、船底防汚塗料の生物付着防止効果の評価においては、実海域での暴露試験（Raft テスト）や実船を用いた評価試験（Patch テスト）が行われている。しかし、これらの試験は、塗料事業者独自の方法で行われており、統一的で標準化された方法はなかった。また、実海域試験の結果は、実施した試験の場所や季節により変動を生じるという問題もある。以上のことから、試験結果が場所や季節に依存しない、船底塗料の評価手法に関する国際規格の開発が求められていた。

ISO 21716:2020 シリーズは、船体付着生物の越境移動問題に関して、技術的に合理性のある規制の導入を促進するために開発された、バイオサイド型船底防汚塗料（殺生物活性剤（Biocidal active substances）を含む船底防汚塗料）の性能評価のための実験室における生物試験法となる。この国際規格の発行により、世界的な船底防汚塗料の品質向上が見込まれる。さらに、本規格に適合する高品質の塗料が普及することで、海洋環境への負荷の低減に繋がることが期待される。また、国内塗料事業者の技術力を活かして国際競争力の向上に繋がることも期待できる。今後は、供試生物として藻類を用いた試験法を開発し、ISO 21716:2020 シリーズを拡充する予定である。

・排ガス洗浄装置に係る規格策定への貢献

当所職員は、ISO 23668「船舶及び海洋技術－海洋環境保護－船上の pH 連続監視手法（Continuous on-board pH monitoring method）」のプロジェクトリーダーとして作業を進めた。この規格案は、これまでに委員会原案（Committee Draft：CD）としての投票を終え、現在、国際規格原案（Draft international standard：DIS）を鋭意作成中である。また、ISO/TC 8/SC 2/WG 10（国際標準化機構／船舶及び海洋技術専門委員会／海洋環境保護分科委員会／排気ガス洗浄装置作業部会）のコンビーナとして、同 WG を開催し、排気ガス洗浄装置に係る他の規格案 2 件（プロジェクトリーダー：英国）の作業の進捗状況を報告させ、今後の作業計画について審議した。

表 1.6.2 ISO、IEC に係る会議参加数（35 人）

会議名	会議目的	参加延べ人数
ISO/TC 8/SC 11/WG 3	船上装置のソフトウェアのメンテナンスの審議	1
ISO/TC 188/SC 1	イマーション・スーツの審議	2
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
IEC/TC 88 MT 3-2 Group 8	浮体式洋上風力発電復原性の審議	1
IEC/TC 88 MT 3-2 Group 3	浮体式洋上風力発電位置保持装置の審議	1
ISO/TC 8/WG 10	スマートシッピング関係の審議	6
ISO/TC 28/SC 4/WG 2	人員回収装置等甲板機械の審議	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 28/SC 4/WG 3	錨関係等艤装品の審議	1
ISO/TC 8/SC 1	救命設備、火災安全設備、乗下船装置等の審議	3
ISO/TC 8/SC 11	船上装置のソフトウェアのメンテナンスの審議	1
ISO/TC 67/SC 7	海洋構造物関係の審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 16	データ通信関係の審議	1
ISO/TC 8/SC 6	SC の進捗報告等事務の審議	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 8/SC 2	WG の報告等の審議	2
ISO/TC 8/SC 2/WG 10	EGCS 関係の審議	2
ISO/TC 8/SC 1/WG 1 非公式会合	極域用サバイバルキットの審議	1
ISO/TC 188/SC 1	イマーションスーツ、甲板ハーネス及び安全索の審議	2
ISO/TC 8/WG 10	自動運航船の用語の審議	1
ISO/TC 8/WG 10	自動運航船の用語の審議	1

(ウ)IAEA における活動

令和 2 年度は、IAEA の会議にのべ 8 名が出席し、放射性物質安全輸送規則等の審議に貢献した。

表 1.6.3 IAEA に係る会議参加数（8 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
第 14 回基礎的数値 (A1/A2 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検討	2
第 41 回輸送安全基準委員会（TRANSSC 41）	放射性物質輸送に係る安全基準の検討	2
第 15 回基礎的数値 (A1/A2 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検討	2
技術基盤文書に関する 専門家会合	放射性物質輸送に係る各種定義、試験基準等の検討	1
輸送拒否に係る技術会合	放射性物質の輸送拒否問題の検討	1

(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2年度に PIANC MarCOM WG225(港湾構造物の耐震設計)を議長として立ち上げ「港湾構造物耐震設計ガイドライン」の 2020 年改訂を目指すとともに、同 MerCom WG208(コンテナターミナルの自動化)では主要メンバーとして参加し、「自動化コンテナターミナルの計画手法(2021 年 3 月発行)」をとりまとめたことをはじめとして、EnviCom や YP-Com にも参画するなど、戦略的な国際活動の推進に重要な役割を果たした。

表 1.6.4 PIANC に係る会議参加数(20 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	4
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	5
PIANC EnviCom WG214	土砂の有効利用のレポート取りまとめ	4
PIANC MarCom WG208	コンテナターミナル自動化のガイダンス作成	5
PIANC MarCom WG225	港湾構造物の耐震設計	1

(オ)ICAO、RTCA、EUROCAE における活動

ICAO は、国際民間航空条約(通称 シカゴ条約)に基づき設置された国連の専門機関であり、国際航空運送に関する国際標準・勧告方式、ガイドライン、マニュアルの策定等を行っている。シカゴ条約附属書やその他の ICAO 文書で定められる国際標準の改正や新たな標準の策定は「パネル」と呼ばれる専門家会議で議論される。パネル内の詳細な作業は各パネルに設置される作業部会(WG)で行われる。我が国では航空局職員がパネルメンバーとして登録されているが、国際標準の実質的な骨格を決める高度かつ詳細な技術検討を行うため、パネルや作業部会に、電子航法研究所の研究員がパネルメンバーのアドバイザーとして出席し支援を行っている。また、個別の事項に対応するため結成される各種タスクフォースにおいて、電子航法研究所の研究員がタスクリーダーを務めるなど大きな貢献を行っている。

これに加え、米連邦航空局(FAA)の支援を受ける RTCA,Inc.や非営利団体である欧州民間航空電子装置機構(EUROCAE)が米国や欧州域内の技術基準を定めている。そして FAA 若しくは欧州航空航法安全機構(Eurocontrol)及び欧州航空安全機関(EASA)は、米国内や欧州域内を飛行する航空機の機器と地上設備が RTCA や EUROCAE 規格に準拠することを要求している。近年は RTCA と EUROCAE で協力して技術基準を定めることが多く、欧米の技術基準が事実上の国際標準となっている。

このため電子航法研究所は、国際標準の策定に貢献するために、条約附属書による標準を策定する ICAO だけでなく、戦略的な観点から、事実上の国際標準を決めることとなる RTCA や EUROCAE における活動にも貢献するよう積極的に取り組んでいる。

・航空監視マニュアル (Doc 9924) に関わる貢献

航空機からの応答信号や自発信号を利用した監視システムであるマルチラテレーション (MLAT) や広域マルチラテレーション (WAM) については、監視マニュアルである Doc 9924 に記述されている。電子航法研究所では光ファイバー無線技術を活用した新しい MLAT の開発・評価を行っており、ここで得られた知見を元に、Doc 9924 において新しい信号の同期方法について文書改定案を提出し、これが採択された。

・アジア太平洋地域への航空機監視システムへの貢献

ICAO のアジア太平洋域におけるアジア太平洋地域監視実施調整会議では、当該地域の ADS-B 整備に関するガイダンス文書である AIGD(ADS-B Implementation and Operations Guidance Document)が取りまとめられている。電子航法研究所からは、ADS-B 脆弱性対策の評価結果を報告し、なりすまし信号が在空機信号から分離できる手法を提案し、この内容が AIGD の改定案に採用された。

・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・フライトなどの様座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 2 年度は、ICAO のアジア太平洋地域における SWIM タスクフォースにおいて、既存国際航空通信ネットワーク(AFTN/AMHS)との相互運用性を実現するため、当該地域への導入予定の共通 IP 通信基盤(CRV)上で地域 SWIM アーキテクチャと構成方法を提案した。また、中国および韓国と連携し、SWIM コアサービスと運用支援サービスを検証可能な共通検証基盤を構築し、検証実験を実施した。これらの成果により APAC 地域に SWIM と FF-ICE の導入が推進され、SWIM Task Force のメンバーからも高く評価された。また、航空局と共に実験結果を ICAO ATMRPP に報告し、FF-ICE Implementation Guidance の改善に貢献することができた。

・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 2 年度は、MASPS（最低技術要件）の ED-240A を最新のに改訂するための議論および作業を行っており、2021 年中の発行を予定している。

表 1.6.5 ICAO、RTCA、EUROCAE に係る会議参加数（46 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
通信パネル(ICAO CP)	航空で使用される通信システムの国際標準・技術マニュアル等規定類の取りまとめ	2
航法システムパネル(ICAO NSP)	航空で使用される航法システムの国際標準・技術マニュアル等規定類の取りまとめ	5
監視パネル(ICAO SP)	航空機監視システムの国際標準・技術マニュアル等規定類の取りまとめ	8
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を他の無線システムから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	2
遠隔操縦航空機システムパネル(ICAO RPASP)	無人機を民間航空用空域に統合するための運用及び技術に関する検討を行う会議	3
管制間隔・空域安全パネル (ICAO SASP)	現行および将来の CNS／ATM システムの安全性評価手法、エンルートとターミナル空域における管制間隔基準の検討を行う会議	1
アジア太平洋地域モード S DAPs 会議 (ICAO APAC APANPIRG DAPs)	アジア太平洋地域におけるモード S のダウンリンク機能(DAPs)の導入に関した会議	2
アジア太平洋地域 GBAS/SBAS 実装タスクフォース (ICAO APAC APANPIRG GBAS/SBAS Implementation Task Force)	アジア太平洋地域における GBAS/SBAS の導入及び利用推進を目的とした会議	2

アジア太平洋地域 SWIM タスクフォース (ICAO APAC SWIM Taskforce)	アジア太平洋地域における SWIM 導入に向けた諸課題の解決策の検討を行う会議	2
アジア太平洋地域監視実施調整会議 (ICAO APAC 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
EUROCAE WG-62	GNSS を利用する航法装置に係る MOPS、MASPS の策定のための作業部会	3
EUROCAE WG-85	DME 航法の RNP(Required Navigation Performance)適用の成果を活用したドキュメント改定を行う会議	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	4
EUROCAE WG-107	GNSS 障害が発生した際の DME/DME 測位方式による RNP 運航環境維持に係る検討を行う作業部会	1
EUROCAE WG-115	耐無人機システム(Counter-UAS)に関する規定作成のための会議	1
RTCA SC228	米国における無人航空機システムの最小性能企画を作成するための委員会	1
RTCA SC159 WG/EUROCAE WG-62 共同会議	米国の RTCA と欧州の EUROCAE による次世代 GBAS に関する最低運用性能要件(MOPS)開発に関する合同会議	2

(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(21 人)

会議名	会議目的	参加延べ人数
GESAMP EHS WG 第 57 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
ブラックカーボン(BC)技術作業部会 (No.1)	船舶からの BC 排出量測定法等の検討	2
ブラックカーボン(BC)技術作業部会 (No.2)	船舶からの BC 排出量測定法等の検討	2
ブラックカーボン(BC)技術作業部会 (No.3)	船舶からの BC 排出量測定法等の検討	2
Indian Aviation Seminar	インド主催の航空関連のセミナー	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	2
F38 Virtual Meeting	米国 ASTM 主催による UAS に関する準委員会	2
第 28 回将来の航空交通システムの調和に関する会議(FATS/28)	将来の航空交通システムの相互運用性を向上させるための日米間会議	1
EUROCONTROL Landing and Take-Off Task Force 会議	EUROCONTROL 主催の Landing and Take-Off に関する会議	3
第 46 回日米航空管制調整グループ会議 (IPACG/46)	日米航空当局による太平洋管制調整会議	2

インドネシア GBAS 電離圏技術セミナー	インドネシアにおけるGBASの電離圏技術に関したセミナー	2

（2）海外機関等との連携強化

【中長期目標】

（2）海外機関等との連携強化

国際会議の主催及び共催や積極的な参加、あるいは海外の関係研究機関との研究協力協定の締結等を通じて、幅広い交流や連携の強化を図る。

港湾分野においては、世界各国の研究機関等との連携を強化するとともに、アジア・太平洋地域をはじめとする各地の現場が抱える技術的課題の解決や、大規模自然災害への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。さらに、海外における被災状況の調査等を通じた情報収集により、我が国の防災及び減災対策に資する知見の蓄積に努める。

また、航空交通分野においては、全世界で航空交通サービス等の均質性と連続性の確保が重要となることから、航空交通システム等に係る技術開発について、国際ワークショップ等を通じた技術交流や協力協定等による国際連携を強化する。特に、我が国と近隣アジア諸国との技術協力等を拡大し、継ぎ目のない航空交通（シームレススカイ）実現を支援する。

【中長期計画】

（2）海外機関等との連携強化

国際会議やワークショップの主催や共催、国際会議への積極的な参加、在外研究の促進等を通じ、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。

また、国外の関係研究機関との研究協力協定や教育・研究連携協定の締結、これに基づく連携の強化を図ることにより、関連する研究分野において研究所が世界の先導的役割を担うことを目指す。

また、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進するとともに、国土交通省が進める海外へのインフラ輸出を念頭に置いた我が国の技術力向上のための支援を行う。

具体的分野として、港湾分野においては、アジア・太平洋地域をはじめとする世界各地の研究機関等との連携を強化するとともに、大規模自然災害や沿岸域の環境問題等への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。また、海外における被災状況、沿岸環境等に係る情報収集を行い、我が国はもちろんのこと世界的規模での防災・減災対策、環境対策に貢献する技術や知見を蓄積する。

航空交通分野においては、航空管制業務等に係る多くの技術や運航方式等について、世界での共用性を考慮する必要があることから、各国の航空関係当局や研究機関及び企業等と積極的に技術交流及び連携を進める。特に、継ぎ目のない航空交通（シームレススカイ）実現を支援するため、我が国と近隣アジア諸国の研究機関との技術協力等を拡大する。

【年度計画】

（2）海外機関等との連携強化

国際会議やワークショップの主催や共催、国際会議への積極的な参加、在外研究の促進等を通じ、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。本年度計画期間中に国際会議において200件以上の発表を行うとともに、国際ワークショップ等を3回以上開催する。

また、国外の関係研究機関との研究協力協定や教育・研究連携協定の締結、これに基づく連携の強化を図ることにより、関連する研究分野において研究所が世界の先導的役割を担うことを目指す。

また、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進するとともに、国土交通省が進める海外へのインフラ輸出を念頭に置いた我が国の技術力向上のための支援を行う。

具体的分野として、港湾分野においては、アジア・太平洋地域をはじめとする世界各地の研究機関等との連携を強化するとともに、大規模自然災害や沿岸域の環境問題等への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。また、海外における被災状況、沿岸環境等に係る情報収集を行い、我が国はもちろんのこと世界的規模での防災・減災対策、環境対策に貢献する技術や知見を蓄積する。

航空交通分野においては、航空管制業務等に係る多くの技術や運航方式等について、世界での共用性を考慮する必要があることから、各国の航空関係当局や研究機関及び企業等と積極的に技術交流及び連携を進め

る。特に、継ぎ目のない航空交通（シームレススカイ）実現を支援するため、我が国と近隣アジア諸国の研究機関との技術協力等を拡大する。

◆年度計画における目標設定の考え方

幅広い交流や連携の強化を図るため、国際会議等の主催及び共催を通じて、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。また、国外の関係研究機関等との協定の締結、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進する。

◆当該年度における取組状況

①国際会議、ワークショップ等への積極的な取り組み

令和2年度においては、海外機関との連携強化に向けて国際会議への積極的な活動に取り組んだ 111 件の発表を実施した。国際会議における発表数は、新型コロナの影響による多くの国際会議の延期等により 134 件の論文発表の機会が損失された。R2 年度に開催されなかった国際会議の内、ITTC（国際試験水槽委員会）、世界地震工学会議及び ICSSC（国際衛星通信会議）など少なくとも 72 の国際会議が R3 年度に再開される予定であり、中長期目標を達成できる見通しである。

港湾空港技術研究所では、国際建設ロボットシンポジウム（ISARC2020）を事務局に参加し北九州市で開催、さらに、海岸工学国際会議（ICCE2020 ）や国際海洋・極地工学会（ISOPE2020）、国際地盤工学会（ISSMGE）国際ワークショップにも主要メンバー、基調講演、論文報告を行うなど、海外の研究機関と活発な技術交流を行った。

電子航法研究所では、インドネシアの航空宇宙庁（LAPAN）との電離圏及び高層大気観測研究とその衛星航法への活用に関する研究協力を目的として研究連携協定に基づき、GBAS 導入ための電離圏観測に関する国際技術セミナーを共同開催した。4 カ国（日本、インドネシア、ベトナム、マレーシア）から航空関係者、電離圏研究関係者 60 名が参加し、3 カ国（日本、インドネシア、ベトナム）6 件の発表があり、GBAS 導入に向けた活発な議論が行われた。さらに、International Symposium on Antenna and Propagation (ISAP2021)では、電子航法研究所の研究成果を展示発表した。ISAP はアジア地域では最大規模のアンテナおよび電波伝搬に関連した国際会議であり、世界中から研究者が集まる。本展示会において、滑走路異物監視、レーダを用いた空港検査場における新しい検査方式技術、マルチリンクを活用した将来の空地通信技術に関する研究成果について展示を行った。

本年度は目標値の 3 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、3 月 11 日に、救命胴衣復正試験に関する国際ワークショップ（WEBINAR）を開催した。本国際ワークショップには、16カ国 2 団体から約 30 名の参加がありました。ワークショップでは、「救命胴衣の着衣時の復正性能に関する実験的研究（Experimental research on righting performance of lifejackets with clothing）」、「着衣影響を含む復正性能の推定手法に関する研究（Study on method of predicting righting phenomena influenced by clothing）」について発表があり、活発な議論が行われた。

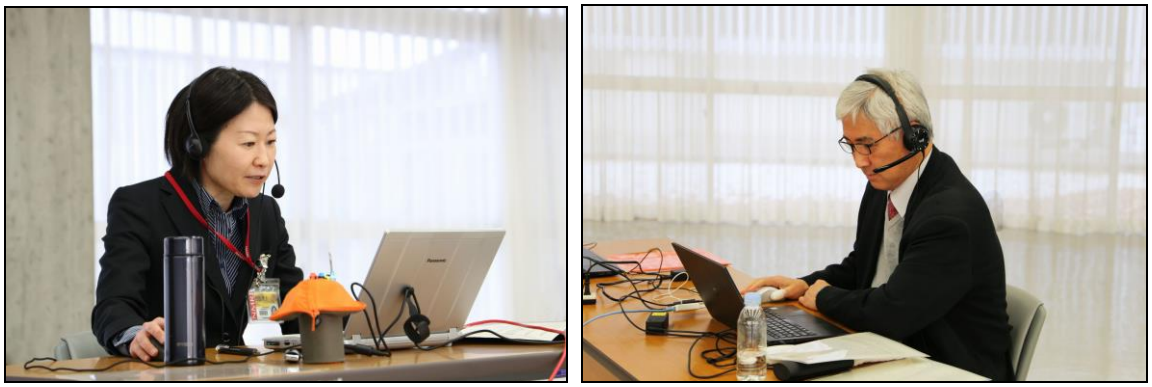


図 1.6.1　救命胴衣復正試験に関する国際ワークショップ（WEBINAR）の様子

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 2 年 11 月 4 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、今村文彦　東北大学教授、Costas Synolakis 南カリフォルニア大学教授、アチェ津波博物館（インドネシア共和国）を表彰した。受賞者には大西国土交通副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 1.6.2　濱口梧陵国際賞授賞式の様子

電子航法研究所では、国際的な枠組みとして ENRI Forum on SWIM と題した講演会を主催した。令和 3 年 1 月 22 日にオンラインにて開催し、外国からの講演者 3 名を含む 5 件の講演を行い、国内外から予想を上回る 300 人以上に参加頂いた。本会議のテーマとして、航空分野におけるデジタル化に関連した航空情報共有基盤（SWIM）を掲げた。国際動向の共有や連携を目的として、ICAO（国際民間航空機関）、FAA（米国連邦航空局）、IATA（国際航空輸送協会）、国土交通省航空局から講演頂いた。オンラインを活用することにより国内外から広く講演、聴講を頂く初めての試みとなった。

図 1.6.3　ENRI Forum on SWIM 開会式の様子

②協定の締結および技術支援

社会・行政ニーズにタイムリーに応えつつ、質の高い研究成果を上げるためには、研究を効果的・効率的に行うとともに、外部の研究能力を積極的に活用し、単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出を行うことが必要不可欠である。当研究所のポテンシャル及びプレゼンス向上を図るため、令和元年度は海外の大学、研究機関を含む更なる連携の強化を行った。

海上技術安全研究所においては、次に示す海外機関と研究連携促進に向けた覚書を結び、引き続き研究連携の深化を図った。特に、GHG 削減対策の一つであるバイオ燃料油の使用に関する研究協力等のため、インドネシア政府機関及びスラバヤ工科大学と提携し、様々なバイオ燃料に関して情報交換を行って来たことにより、スラバヤ工科大学から ITS 学長令を受領した（機関一覧：オランダ・海事研究所(MARINE)、フランス・海洋汚染研究センター(Cedere)、カナダ・海洋技術研究所(UIOT)、韓国・海事研究所(KMI)、インドネシア・技術評価応用庁(BPPT)、インドネシア・スラバヤ工科大学(ITS)、ブラジル・カンピナス大学、ブラジル・サンパウロ大学）。

港湾空港技術研究所では、研究の質の向上と研究の効率的な実施を目指して、国内外の研究機関との連携をより積極的に進めるため、平成 15 年度以降令和 2 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ており、令和 2 年度は、コンテナターミナルのデジタルツイン化に係るシンガポール大学との連携協定を新たに締結した。

電子航法研究所では、低緯度電離圏擾乱の GNSS に対する影響の評価を行うとともに、タイ・バンコク国際空港における GBAS 実証実験において必要な情報提供を行うことを目的にモンクット王工科大学ラカバン(KMITL)との共同研究を締結した。GBAS 実証実験においては、KMITL、タイ航空局及び AEROTHAI に対し、GBAS のための電離圏解析に関する技術訓練会を開催した。

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）に派遣予定であり、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16名を派遣したほか、これらの研修が港湾空港技術研究所に隣接する国土交通省国土技術政策総合研究所で実施されたことから、研修の一環として各国研修生を対象とした実験施設の見学を実施し、研修生からの積極的かつ多数の質問に丁寧に回答することで、国際交流の推進に努めた。電子航法研究所は留学生をインターン研修生としても積極的に受け入れている。本年度は、新型コロナウイルスの影響による遠隔受入という形にてフランス民間航空学院(ENAC) 、前年度より引き続きタイ・モンクット王工科大学の学生の計2名のインターン研修生を受け入れた。

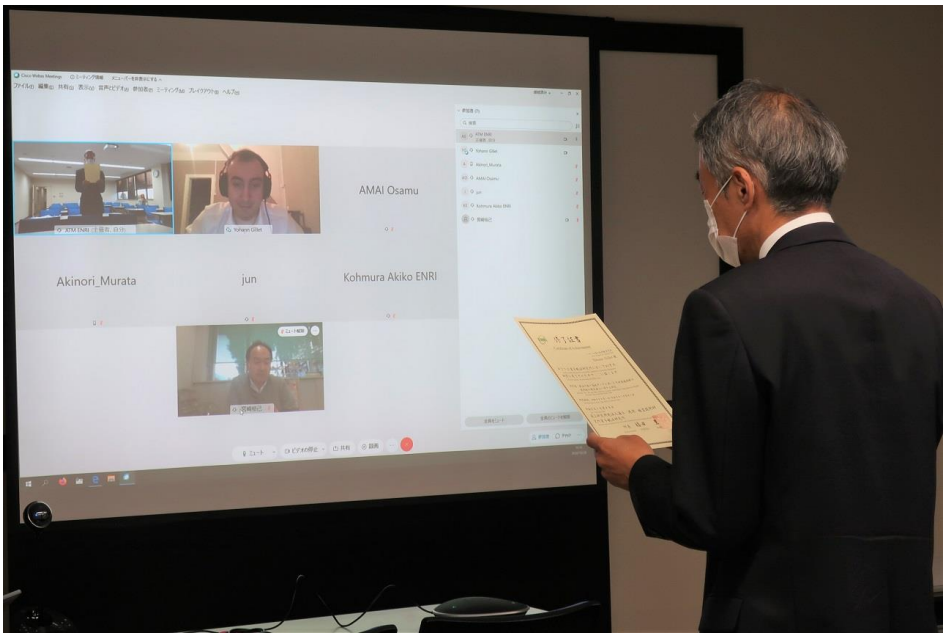


図 1.6.4　Web によるインターン報告会における修了証書授与式

電子航法研究所研究員が国際学術誌 GPS Solutions 誌の Editorial Advisory Board Member として世界の GNSS 研究レベルの向上に貢献している（論文執筆、査読活動の評価）。

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。

（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2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2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、業務効率化及び円滑な業務運営の推進に寄与した。

さらに、e-ラーニングを通じて、研究倫理やコンプライアンス、さらに安全保障輸出管理に関する研修を 3 研合同で実施することにより、研修時間等の効率化及び職員への周知徹底を図った。

情報セキュリティマネジメントおいては、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ビ会議の増加に対応するため、所外からのリモートアクセス許可申請の確認項目の明確化（研究所支給端末の所外持ち出し、研究所支給以外端末による研究所システムへの接続、所外から研究所システムへの VPN 接続、所外から研究所システムへのマジックコネクト利用による接続などの場合分け等）及びテレビ会議システムのセキュリティ対策周知（Web 会議システムにおける取扱い情報のセキュリティ（暫定版）2020 年 12 月情報セキュリティ委）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2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2年度においては以下の1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。

・タッグ名札他購入

2. 業務の電子化

（1）テレワークの開始、業務分析と対策、定着及び業務簡素化の進展

（1）－1 テレワークの開始

研究所は、1回目の新型コロナ緊急事態宣言下（令和 2 年 4 月～5 月）において、出勤率 8 割減を目指してテレワークを開始し、出勤率は 25%程度となったものの、業務に支障が生じた。具体的には、決算及び国土交通省国立研究開発法人審議会海上・港湾・航空技術研究所部会が例年より約 1 月遅れた他、一部の研究の進捗が1～2月遅れた。

（1）－2 テレワークの業務分析と対策

研究所は、テレワークの本格運用のため 10 月にテレワークの規程化を行うとともに、2020 年年末にかけて、出勤率 25%で業務に支障が生じた要因の業務分析と対策の策定を行った。業務分析においては、特に従来は全て出勤の上オッフィスで行っていた事務業務を担当者の視点から約 540 件に分類して分析した。分析時において、事務業務の 120 件 22.3%をテレワークで実施中であった。

業務分析の結果、業務手順の随所に出勤する要因があった。研究業務においては、実験・試験の実施である。事務業務においては、銀行口座管理等の独立システムの操作、施設管理、公印の押印も伴う法人文書の発送受業務、対面打ち合わせなどの慣習及び新規採用者等への業務指示・指導などである。

次に、テレワークを実施していなかった約420件の各事務業務に関し、どうすればテレワークできるかを一つ挙げ集計したところ、表 2.1.1 の集計結果となった。

表 2.1.1 事務業務テレワークを実施可能とするための方法の集計

テレワークを可能とする方法（事務業務毎）	件数
①既存の機能利用（メール、テレビ会議、デスクネッツ、リモート）	201
②新機能追加（デスクネッツ強化）	1
③新機能追加（会議システム）	1
④新システム・ソフト導入（電子決裁等）	70
⑤新システム・ハード（機器等）	8
⑥慣習見直し	35
⑦規程改正等	13
⑧その他（「※1備考」欄に記載）	88
計	417

※1備考 押印の廃止、金融機関窓口での手続の廃止、出張領収書の原本提出の電子化等

表 2.1.1 より、最多のテレワークを実施可能とするための方法は、①既存の機能利用（メール、テレビ会議、デスクネッツ、リモート）であったため、事務部門の一組織を抽出し、在宅におけるインターネット環境等を表 2.1.2 に調査した。

表 2.1.2 在宅におけるインターネット環境等（抽出調査）

人数（非常勤を含む）	在宅にインターネット環境がある	私用 PC 無し	職場 PC 貸与でテレワーク実施中	職場 PC 貸与によりテレワークを実施できる
13	13	4	1	3 （内、テレワーク実績有り:1）

表2より、研究所では職場 PC の貸与やマジックコネクトの導入などに取り組んだものの、部署によっては不足しており、更なるテレワーク環境の整備が必要なことが分かった。

このため、研究所はテレワークの実施を更に進捗させる主に以下の対策を実施した。

・テレビ会議の活用を、1.（1）に記載したテレビ会議システムのセキュリティ対策周知とともに促進（表1の①に対応）
・貸与 PC 及びマジックコネクトの更なる整備（表1の①及び④に対応）
・所内システム（ワークフローなどの機能）の活用促進（表1の①及び④に対応）

（1）－3 テレワークの定着

上記（1）－2の対策の効果としてのテレワークの定着については、2 回目の新型コロナ緊急事態宣言（2021 年 1 月～3 月）において検証した。実験・試験の実施、施設管理、銀行口座管理等の独立システムの操作及び公印押印を伴う発送受業務などの出勤業務を行いつつ出勤率約 43%（1 月）で支障無く業務を実施した。また、法人文書公印省略の規程化を 3 月に行った（表1の⑧に対応）。

これらの結果、表 2.1.3 のとおり、約 420 件のテレワーク未実施であった事務業務の内 68 件（全約 540 件の約 12.7%）について、新たにテレワークを実施又は試行に移行した。

表 2.1.3 事務業務の内 2021 年に入り新たにテレワークに移行した件数（年度末まで）

	実施	試行	計
①既存の機能利用（メール、テレビ会議、デスクネッツ、リモート）	17	19	36
②新機能追加（デスクネッツ強化）			
③新機能追加（会議システム）			
④新システム・ソフト導入（電子決裁等）	1	13	14
⑤新システム・ハード（機器等）		1	1
⑥慣習見直し		3	3
⑦規程改正等			
⑧その他（「※1備考」欄に記載）	12	2	14
計			68

※1備考 押印の廃止、金融機関窓口での手続の廃止、出張領収書の原本提出の電子化等

テレビ会議の活用促進やテレワークの進捗等による効果には、研究所における新型コロナ陽性者の累積が0であることも挙げられる。

次年度においては、多様な働き方の一つとしてのテレワークの更なる定着に向け、電子入札システムの導入検討及び情報システムの更新検討などを行う。

（2）クラウド導入・整備に向けた検討・開発

研究所が開発したプログラムやデータベースによる解析サービスの提供や外部リソースとの連携による新研究・プロジェクトの創出等を通じて、産官学との連携を促進するとともに、研究所が保有する実験設備やシミュレータのリアルタイムモニタリング等を通じて、所内の業務の効率化を促進するため、クラウドの導入・整備に向け、昨年度に作業部会（WG）を設置して検討を開始した。今年度は、研究所ソフトウェアの船舶性能推定システム（HOPE Light）や波と風データベースを用いたクラウドサービスの内部での試行運用とともに、クラウドサービスの所外への提供を開始した。

（3）ICT 環境の整備等による効率化

セキュリティと利便性を両立させる3研究所の情報ネットワークシステムの統合（研究所間を結ぶ VPN（仮想プライベートネットワーク）の接続）及び3研究所で統一したグループウエアを導入した。これにより、ペーパーレス化を実現し（コピー用紙の購入枚数を前年度比 15%削減した。前年度 259 万枚が今年度 221 万枚となったもの。）、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、委員等就任上申を電子決裁化することで、決裁時間の大幅な短縮に貢献した。

（4）テレビ会議による効率化

テレビ会議システムによる各研幹部会、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2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。なお、国内旅費は前年度から半減したが（前年度 7 千万円が今年度 3.3 千万円となったもの）、数字に現れる定着の程度はコロナ後の数字を見る必要がある。

（5）メール会議による効率化

上記2.（4）のテレビ会議の他に、担当者間による情報共有や意見交換などを実施する際にメール会議を実施し、管理業務の効率化の状況に関し、随時見直しを行った。

3. 業務運営の効率化による経費削減等

（1）一般管理費、業務経費の抑制

中長期目標及び中長期計画において、業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時までに、一般管理費及び業務経費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、初年度予算額の当該経費相当分に7を乗じた額に対し、中長期目標期間中における当該経費総額を一般管理費は 8%程度、業務経費は 3%程度、それぞれ抑制を図る（ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。）こととされている。

令和2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2年度の研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準を 100 として作成したところ、対国家公務員指数（ラスパイレス指数）が、事務・技術職種で 97.6、研究職種で 104.1 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2年度調達等合理化計画を策定し、以下の取り組みを実施した。

・入札参加要件の緩和
・ヒアリング実施（一者応札・応募の改善のため、入札説明書を受け取ったが入札に参加しなかった事業者）
・共同調達等及び複数年契約の推進

「独立行政法人の随意契約に係る事務について」（平成 26 年 10 月1日付け総管査第 284 号総務省行政管理局長通知）に基づく合理的な調達の実施状況としては、当該通知に基づく契約関係規程により、随意契約によることが合理的と判断されたものについて、契約審査委員会に諮った上で随意契約を実施した。

契約監視委員会による契約改善状況のフォローアップ及び結果の公表について、令和2年 6 月に令和2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、令和元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2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及び決算業務レビュー結果に基づき、決算業務にかかるフォーマットの共通化等や、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	2,582	1,231	1,380	5,193
施設整備費補助金	0	0	0	0
受託等収入	574	1,143	177	1,893
計	**3,156**	**2,374**	**1,556**	**7,087**
支出				
業務経費	493	245	713	1,451
施設整備費	0	0	0	0
受託等経費	491	1,068	150	1,708
一般管理費	133	83	42	258
人件費	2,039	978	652	3,669
計	**3,156**	**2,374**	**1,556**	**7,087**

(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 2 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	**3,418**	**2,406**	**1,835**	**7,658**
経常費用	3,418	2,406	1,835	7,658
研究業務費	2,120	887	1,185	4,192
受託等業務費	491	1,069	150	1,709
一般管理費	545	419	212	1,176
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	**3,418**	**2,406**	**1,835**	**7,658**
運営費交付金収益	2,582	1,231	1,380	5,193
手数料収入	0	0	0	0
受託等収入	574	1,143	177	1,893
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**	**2,374**	**1,556**	**7,087**
業務活動による支出	3,156	2,374	1,556	7,087
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**	**2,374**	**1,556**	**7,087**
業務活動による収入	3,156	2,374	1,556	7,087
運営費交付金による収入	2,582	1,231	1,380	5,193
受託収入	531	1,044	173	1,748
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2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、純利益は 227 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 18 百万円と合わせて総利益は 245 百万円となっている。これは、自己収入が前年度比 682 百万円増加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	5,193	6.640
施設整備費補助金	0	795
先進船舶・造船技術研究開発費補助金	0	19
受託等収入	1,893	3.615
計	**7,087**	**11.070**
支出		
業務経費	1,451	2,017
施設整備費	0	795
先進船舶・造船技術研究開発費補助金	0	19
受託等経費	1,708	3,256
一般管理費	258	414
人件費	3,669	3,730
計	**7,087**	**10,231**

（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	**7,658**	**9,225**
経常費用	7,658	9,195
研究業務費	4,192	4,638
受託等業務費	1,709	2,640
一般管理費	1,176	1,299
減価償却費	581	618
財務費用	0	0
臨時損失	0	30
収益の部	**7,658**	**9,452**
運営費交付金収益	5,193	5,112
手数料収入	0	68
受託等収入	1,893	3,938
寄付金収益	0	2
資産見返負債戻入	572	304
臨時利益	0	28
純利益	**0**	**227**
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**	**17**
総利益	**0**	**244**

（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	**7,087**	**8,892**
業務活動による支出	7,087	7,798
投資活動による支出	0	1,081
財務活動による支出	0	13
次期中長期目標の期間への繰越金	**0**	0
資金収入	**7,087**	**9,758**
業務活動による収入	7,087	9,354
運営費交付金による収入	5,193	6,640
受託収入	1,748	2.437
その他収入	146	277
投資活動による収入	0	404
施設整備費補助金による収入	0	404
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 217 件、競争的資金 127 件の合計 344 件を実施し、3,014 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、85 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。

（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2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2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2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2年度においては、個人情報保護研修及び情報セキュリティに関する教育・訓練を実施するとともに、事務室について施錠を徹底する等、セキュリティの確保による個人情報の保護に取り組んだ。

2. 人事に関する事項

職員の専門性を高めるための能力の開発や若手研究者の育成のための取り組みとして、OJTプログラムや各種研修の実施、若手研究者への論文の積極的投稿の指導を行った。

職員の勤務成績を考慮した適切な人事評価を行うため、国の人事評価制度に準じた制度を導入し、適切な実施に努めるとともに、卓越した研究者を確保するため、独自の研究者評価制度や外部有識者による研究者格付審査委員会により、研究者の評価を実施した。

また、人材活用等に関する方針に基づき、優れた人材の採用及び育成を行い、その能力が発揮できる環境の形成に努めた。

さらに、研究者が、研究所と外部機関等の間で、それぞれ雇用契約関係を結び、各機関の責任の下で業務を行うことが可能となる仕組みである「クロスアポイントメント制度」を促進した。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2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。