令和５年度　業務実績等報告書

令和６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．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、第1期に引き続き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。

【重要度：高】国土交通分野での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、海上技術安全研究所、港湾空港技術研究所及び電子航法研究所の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、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。

そこで、安全・安心社会の構築に貢献すべく、船舶、港湾、空港、ほか陸上物流に関連したビックデータを活用し、災害時等を想定したシミュレーションを行うことで自治体等の利用を念頭に置きながら効果的な研究開発を実施する。

また、今後益々発展が期待される再生可能エネルギー関連施設の促進に関連し、特に進展の目覚ましい洋上風力発電施設を対象とした初期計画、施工、運用時の保守点検等に関連した総合的研究開発を実施する。

それに加え、海洋環境保全の観点から重要となる、海上での衝突、座礁時の船舶事故時等の際に環境汚染で問題となる搭載油を効率的・効果的に回収し、環境汚染を最小限にとどめるための研究開発が必要とされている。

【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、海上技術安全研究所、港湾空港技術研究所及び電子航法研究所の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、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。

（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、以下の研究開発を推進する。

- 船舶、港湾、空港、ほか陸上物流に関連したビッグデータを活用した地震・津波や高潮・高波等による大規模災害時の輸送シミュレータ等災害防止・被害最小化方策に関する研究開発
- 再生可能エネルギー関連施設の主軸と見込まれる洋上風力発電施設の計画、施工、保守点検等の高度化に関する研究開発
- 海洋環境保全に関連し、船舶事故時等に環境汚染で問題となる油の回収等、環境汚染防止に寄与する研究開発

また、これら以外の新たな分野横断的な研究テーマの模索や検討も継続的に行う。

【中長期計画】

（1）分野横断的な研究の推進

分野横断的な研究課題について、3研究所が連携し、効率的かつ効果的に実施する。

具体的には、以下の研究開発を進める。

①安全・安心社会の実現に向けたビッグデータを活用した地震・津波、高潮・高波等による大規模災害時の輸送シミュレータ等災害防止・被害最小化方策に関する研究開発

②再生可能エネルギー関連施設促進に関連し、洋上風力発電施設の計画・施工、保守点検等の高度化に関する研究開発

③海洋環境保全に関連し、船舶事故時等で問題となる油の回収等、環境汚染防止に寄与する研究開発

上記の研究テーマを通じて、我が国の運輸・海事産業の国際競争力を強化しつつ、さらに、当該テーマ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と実施を目指す。

【年度計画】

（1）分野横断的な研究の推進

安全・安心社会の構築に貢献すべく、船舶、港湾、空港、ほか輸送に関連したビックデータを活用しながら、地震・水害等による大規模災害時の輸送シミュレータによる災害防止・被害最小化方策に関する研究開発を実施する。また、今後益々発展が期待される再生可能エネルギー関連施設の促進に関連し、洋上風力発電施設の計画・施工、保守点検等の高度化に関した研究開発を実施する。それに加え、環境汚染を最小限にとどめるため、海上での船舶の衝突、座礁等で問題となる搭載油を効率的・効果的に回収するための研究開発を実施する。

上記の研究テーマを通じて、我が国の運輸・海事産業の国際競争力を強化しつつ、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実施して研究の連携を進める。当該テーマ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実施する。

◆当該年度における取組状況

①災害時輸送シミュレータの開発

令和2年7月豪雨以降における水害被害について調査を実施した。その結果、ヘリの活動は主に被害状況調査が中心であったが、一部救助隊の輸送や透析患者の輸送に活用されている事例を確認した。今後は、人命救助等にヘリやボートが多く使われた令和2年7月豪雨（熊本県人吉市）及び平成30年7月豪雨（岡山県倉敷市）を参考にシミュレータ開発を行う。

水害救助に関して、岡山県の協力のもと消防防災ヘリ、水難救助隊へのヒアリング調査を実施した（電子研・港空研と協力）。調査内容（救助時間、救助方法等）はシミュレータのパラメータとして活用していく。

シミュレータに関する論文レビューを実施し、交通モード連接により包括的な水害対策の検討ができる点が本研究の特徴であり、そのことを踏まえアルゴリズムを検討し、概念設計を行った。

査読付き論文：3件、その他発表論文：1件

1) 中山恵介,荒谷太郎, 間島隆博：高知県におけるシミュレータを用いた傷病者の輸送計画に関する検討, 土木計画学：政策と実践, 2024. （査読有）（採択済）
2) Taro ARATANI and Takahiro MAJIMA: Estimation of Transportation Capacity after Road Disruptions during Large-scale Disasters using Transport Simulator for Injured People, the XXVII World Road Congress Prague, Czech Republic 2023.9. （審査付きプロシーディング）https://proceedings-prague2023.piarc.org/ressources/files/source/6/IP0250-Aratani-E.pdf
3) Takahiro Majima, Taro Aratani: Rescue Transportation Simulator and Analytical Solution in the Event of Disasters, 2023 62nd Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers, SICE 2023, 10.23919/SICE59929.2023.10354126（審査付きプロシーディング）
4) 間島隆博,荒谷太郎：災害時の輸送システムに関する研究 ,第16回 港湾空港技術講演会 in関東2023（講演）

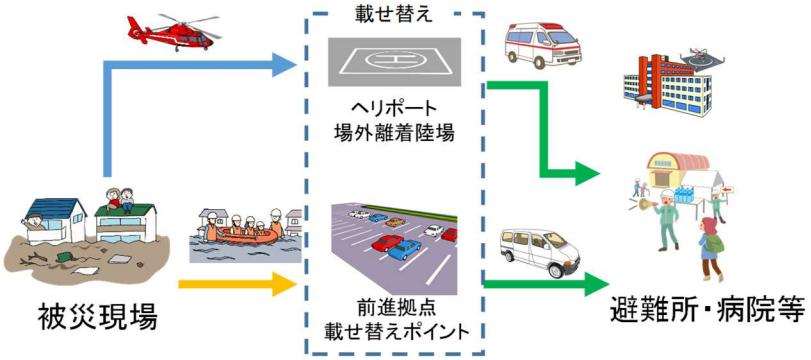


図１　水害救助のフロー

②洋上風力発電に関する研究

1)検査のガイドライン策定のための事前調査

国の浮体式用風力発電施設の検査の技術基準・安全ガイドラインの素案を有識者・関係事業者の意見を踏まえ、先行する日本海事協会（NK）のガイドラインを発展させる形で新規に作成した。

検査の効率化を図るため、過去の実証事業におけるNKの運用実績の例示、通常半年から1年程度にて行われる電気事業法の風車の点検にて取得したエビデンスを本検査でも活用できるよう重複箇所等を明示した。

防食システムでは、あらゆる浮体形式に対応できるよう性能要件を定め、電位計測の事例を示した。NKの知見が乏しい無塗装の浮体でも同水準で適用できることを港湾の実績・ガイドラインから引用することにより、汎用性を高める形で、NK及び関係事業者のニーズを盛り込むことができた。

今後、海事局内での確認プロセスを経て、技術基準・安全ガイドラインとして、実海域実証への適用のタイミング（2026年度ごろ）発行予定。さらに、実海域実証にて取得したデータによる2)や3)の研究成果の検証を経て、追加・見直しを行っていく。

2)係留張力のモニタリング手法の検討

２つのカテナリー係留（オールチェーン係留とチェーンと合成繊維索のハイブリット係留）を模擬した水槽試験を実施した。

係留の状態異常により浮体位置に変化が生じることを確認した。風と波の荷重が同時に作用した場合、浮体位置の平均値は風荷重のみの場合とほぼ一致した。

数値解析でも同様の傾向を再現した。

次年度以降係留形式を変え、実証事業での検証を予定している。

3)リスク評価に基づいた合理的な検査手法の検討

事業者が行った検査内容・日数・人員、頻度等の実績を収集した。

リスク評価とモニタリングを活用した検査の実現可能性を検討するため、モデルウィンドファーム（WF）を想定し検査のプライオリティの高い浮体を特定するために因子を抽出した。

モニタリングの例として、浸水検知用センサ、浮体位置、アノード減少量等を提示した。

4)コンクリート製浮体の検査・モニタリングガイドライン策定および高度化

コンクリート製浮体の検査のガイドラインを有識者・関係事業者の意見を踏まえて作成した。

また、検査の合理化に向け、浮体内部への浸水検知モニタリングの方法の事例を提案した。

水中部の検査、補修の必要性の判断基準などの課題は、実機の事例をもとで詳細に検討することにした。

以上より、事業者のニーズが高いコンクリート製浮体の導入支援に貢献した。

5)将来検討すべきガイドラインの調査

国内外の動向を踏まえ、国の技術基準・安全ガイドラインの役割を

①安全を確保しつつ経済合理性を高める要求水準

②新しいコンセプトの技術的な解決策

を定めるものと整理した。

これを踏まえ、短期（3年程度）・中長期（実証事業終了後）の課題について論点を整理し、短期の課題として以下の論点に着手した。

・海洋生物付着量の参考値の改訂
・浮体形式・係留方式の定義の改訂
・実証期間に応じた供用期間の見直し
・係留ラインの強度の確保に関する要求の見直し

上記において、海洋生物付着量の参考値の改訂、浮体形式・係留方式の定義の改訂については有識者による検討会において承認された。

外部資金の獲得：国土交通省海事局　約1,900万円
その他発表論文：3件

1) 藤山知加子、山路徹、前川　宏一：コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドラインと検討例、コンクリート工学　Vol.62, No.1, 2024年1月号
2) 国土交通省　海事局　海洋・環境政策課　技術企画室：コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドラインの概要、建設機械施工　Vol.75 No.11 November 2023 （文末に執筆協力として「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所、一般財団法人　エンジニアリング協会」と記載あり）
3) 平尾春華、蓮見知弘、中條俊樹：浮体式洋上風力発電の浮体運動を用いた係留索のモニタリングについて、海上技術安全研究所第23回研究発表会、2023.7.20

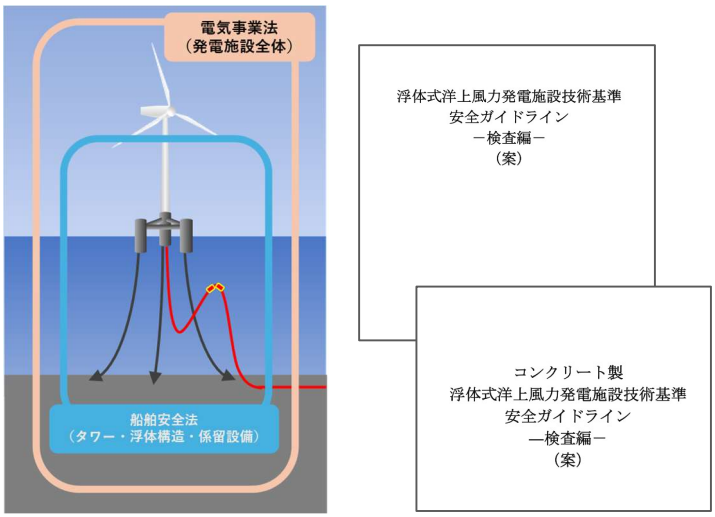


図2　浮体式洋上風力発電に係るガイドライン

③洋上風力発電施設のデータ集積システムによる電気防食モニタリングに関する研究

1)データ伝送及び電源確保方法の構築

システムの概略設計を行い、独立電源、音響通信の一連のシステムを構築した。独立電源に関しては、流電陽極方式電気防食工法の電流電圧（100mV、1A 程度）を昇圧させることができた。音響通信に関しては、魚群探知機のトランスジューサーを用い、蓄電させた電源により送・受信することができた。受信した情報については、開発した復調回路を経由させることで、文字情報に復元させた。

2)高耐久性を有するセンサ開発

長期耐久性センサ（LISICON-NASICON）を試作し、当センサのアルカリ金属イオン濃度の依存性を確認した。

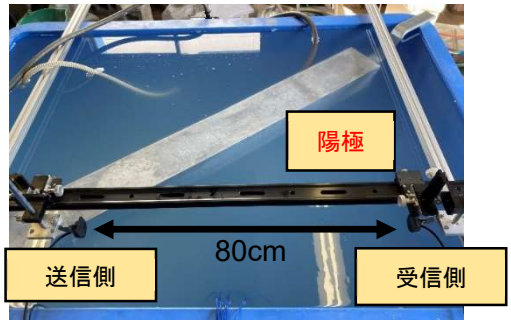


図 3　水中伝送実験中の状況

④重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発

油回収試験の結果、インラインポンプで移送できるまで回収油の粘度を低下させられることを確認した。また、ベンチュリ管式微細気泡生成を用いることで、特定の条件で油水分離時間の短縮を確認した。

当研究の実施により、各小項目で検討した結果を盛り込んだ油回収評価試験を実施可能となり、令和6年度以降実施予定の流出油の回収を対象としたエマルション化油の回収を前倒して実施することができた。

外部資金の獲得:2 件 （日本学術振興会　3,200 千円、日本科学協会（笹川財団） 1,120 千円）

査読付き論文:1件、その他発表論文:3件

1) Ma, X., Fujita, I., and Ono, M., Proc. 11th ICMF, #246, Kobe Japan, April 2023（査読付きプロシーディング）.

2) 藤田勇、馬驍、小野正夫、マリンエンジニアリング、58 巻 6 号、pp.851-858、2023.

3) 小野正夫、藤田勇、馬驍、第 92 回日本マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集 301、高崎、2022.10.

4) 馬驍、藤田勇、小野正夫、城田英之、海技研令和 4 年度研究発表会、PS-10、2022.07.

図 4　エジェクタを用いた油回収試験評価装置全体図

⑤その他の分野横断的な研究テーマの確立に向けた取組

うみそら研内での分野横断的研究の新規テーマの発掘や、実施課題のさらなる推進を図るため令和3年度より設立された「分野横断的研究推進会議」を定期的に開催し分野横断的研究の主要課題と位置づけられた洋上風力発電をはじめ、「内部特別予算活用型分野横断的研究課題」に採択された研究項目の進捗報告や、次年度の継続に向けた課題ごとの研究計画について、上記推進会議にて審議を行った。その結果、引き続き災害時輸送シミュレータの開発、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を行うとともに、洋上風力発電施設のデータ集積システムによる電気防食モニタリングに関する研究は、別途連携して実施してきた水中電界センサの活用に関する研究を含める形

で内容を拡大して実施することとした。また、重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発の研究は、沈船からの油回収から流出油の回収に研究範囲を拡大して実施することとした。さらに、これまでの分野横断研究の成果を基に、新たに固定翼無人機による海上・沿岸の自動監視観測に関する技術開発にも着手することとした。

また、3研究所の研究内容の把握による連携促進や連携研究の進捗管理を目的として、3研究所での連携勉強会を定期的に行うとともに、研究所ごとに主催する研究計画評価委員会や外部向けの研究発表会において、相互の参加や発表を通じた研究情報の共有に努めた。さらに、連携研究の進捗を管理するために「研究の連携案件調査票」を定期的（年2回）に更新し、研究所内で共有することにより、継続中の研究項目の実施状況の把握や、新たな連携課題の発掘のためのデータベース化を図った。3研究所の各研究者情報を共有するため、3研究所の全ての研究員に対して、リサーチマップへの情報登録を推奨した。また、連携研究に関するアンケートを行い、3研究所の研究連携テーマの発掘に努めている。この他、交通モード連携の可能性検討のため、他研究所との研究交流を開始した。また、連携研究に取り組む研究者へのインセンティブ向上として、災害時輸送シミュレータでの分野横断研究の成果を理事長表彰した。

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、海上輸送の安全の確保、海事分野の脱・低炭素化の実現、浮体式洋上風力発電施設をはじめとする海洋関連技術の開発等に取り組むとともに、海事産業のDXの推進等、国際競争力を強化するための政策を推進している。

研究所は、このような国土交通省の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、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

海難事故の原因分析・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、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた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、水素・アンモニア等のゼロエミッション燃料の燃焼解析技術を始めとする温室効果ガス削減技術の高度化及び実海域における実船性能向上に関する研究開発、並びに船舶の運航時における環境負荷低減に資する基盤的技術及び環境影響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振興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の導入拡大に向けた安全性評価・最適化、海洋開発のための関連機器、マリンオペレーション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、デジタル技術等の活用等による造船所の生産性向上や適切な品質管理を図るための革新的技術、ビッグデータを活用した海上輸送の効率化・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である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技術開発等に対する適切な成果を創出し、国土交通省が推進する政策に技術的に貢献するため、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。これらに取り組むにあたっては、研究開発成果の社会実装が強く求められていることも踏まえ、国の政策

とともに民間ニーズ等を踏まえたものとなるよう適切な対応を図ることとする。
　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
　海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関（IMO）における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発
　② 海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等

（2）海洋環境の保全
　国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。加えて、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 ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発
　② 実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発

（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振興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、海洋産業の振興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開発に係る関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発

② 海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発

我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく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 デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発

② ビッグデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発

【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である海上輸送の安全の確保、海洋環境の保全、海洋開発、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し、国土交通省が推進する政策に技術的に貢献するため、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。これらに取り組むにあたっては、研究開発成果の社会実装が強く求められていることも踏まえ、国の政策とともに民間ニーズ等を踏まえたものとなるよう適切な対応を図ることとする。

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

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関（IMO）における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。

また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発

－海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築よる安全・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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。 等

② 海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発

ー事故再現シミュレーションツールの高度化、AIS解析ツールの迅速化・可視化改修整備を行う。 等

（2）海洋環境の保全

国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。

加えて、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 ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発

ー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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、水素専焼の運転条件の検討・燃焼モデルの作成、エンジンの空気流動を模擬した試験技術の確立、船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化を行う。 等

② 実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発

ー代替燃料を用いた実海域性能評価法の開発、水槽試験とCFDの同化手法についての検討、船舶性能統合データベースの全体設計を行う。

（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関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発

ー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振興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を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、係留張力モニタリング技術の基盤構築、検査の合理化のための運転保守段階のリスク分析、波力発電制御手法の高度化を行う。 等

② 海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発

ー船体タンク内遊動水のモデル化及び遊動水影響を考慮した船体運動プログラムの開発、洋上プラットフォームに関する検討により全体挙動評価において必要となる数値計算モデルの構築を行う。 等

③ 海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

ーAUV-AUV通信・測位による協調群制御の手法の確立、ASV-AUV連結システムの複数機拡張および運用手法の開発を行う。 等

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発

我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに

応える海上交通サービスの提供等を行っていく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　デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、造船PLMシステムの開発、大組立工程に対応した建造シミュレータの開発、工程計画システムのプロトタイプの構築を行う。等
②　ビッグデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発
－データ融合とAI等評価手法の改善、海運・造船モデル/システムを高度化するための要件定義とデータベースの設計、過去の被災地域を対象とした文献調査、実態調査、実動訓練を行う。　等
③　海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発
－物資輸送に関する輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をするためのシステムの開発・改良を行う。また、港湾振興を担う地方自治体・団体等のニーズを踏まえて、貨物経路推定手法を用いた貨物の新規貨物発見及び既存貨物の特性分類を設定し、システムの改修を行う。
－開発した GHG 削減戦略評価プラットフォームを用いて、様々な代替燃料船の初期検討を行う。また、燃料供給インフラの位置、規模の最適化についての検討を行う。　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10の重点研究課題を設定した。

◆当該年度の取組状況
　令和 5 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)① 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 (1)② 海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等

研 究 テーマ	重点 1 船体構造評価技術に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5 年度計画
海難事故の原因分析・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、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた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。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 ② 海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発等	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 －海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築よる安全・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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。 等 ② 海難事故等の再現技術や評価手法に関する研究開発 －事故再現シミュレーションツールの高度化、AIS解析ツールの迅速化・可視化改修整備を行う。等

研究の背景

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る。

具体的には、以下があげられる。

・ライフサイクル安全性確保及び生産・作業支援のため、建造・運航モニタリングデータを活用した設計・建造・保守支援システムの開発
・波浪中運航支援及び合理的な構造設計の実現のため、実データ及び数値シミュレーションに基づく非線形荷重・構造応答推定及び強度評価に関する研究
・健全性診断のため、船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングによる管理・修繕支援技術の研究
・船体の合理的メンテナンスに資するため、船体外板の in-situ モニタリングによるメンテナンスの高度化に向けた研究
・事故時の安全性評価並びに海難事故解析のため、評価ツール開発に関する研究

期間全体の研究目標

・設計・建造・保守支援システム
・非線形船体応答シミュレーションプログラム
・塗装・腐食の予測・計測・評価システム
・船体外板モニタリングシステム
・海難事故解析のための評価ツール
・データ活用による安全監視・支援システム

上記成果は、以下があげられる。
・設計・建造・保守支援システムによるライフサイクルでの船体安全性の確保
・非線形船体応答シミュレーションプログラムの安全運航利用及び安全率の適正化等の設計利用
・塗装・腐食の予測・計測・評価システムによる安全確保及び長期耐用化
・船体外板モニタリングシステムによるメンテナンス工数の削減
・海難事故解析・評価ツールによる迅速な海難事故対応環境の構築
・安全監視・支援システムに基づく船体構造の安全性の確保及び次世代船舶の構造設計手法の確立

R5年度研究目標

□サブテーマ１
・建造精度自動取得システムプロトタイプ作成。搭載シミュレータプロトタイプ作成

□サブテーマ2
・非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築、波浪情報推定における不確定性解析手法の開発

□サブテーマ3
・腐食進行モデルに基づく板厚衰耗を算出するアプリケーション及びその全船モデルへの反映アプリケーションの開発

□サブテーマ4
・塗料のちがい等による超音波塗膜厚計測への影響の定量的な評価、実船の外板表面状態データの取得

□サブテーマ5
・事故再現シミュレーションツールの高度化、AIS 解析ツールの迅速化・可視化改修整備

R5年度研究内容

□サブテーマ１
1) 建造時の精度・誤差、経年劣化を考慮した降伏・座屈・疲労・最終強度評価可能な安全設計システムの開発
2) リスクベースメンテナンス手法の及び合理的な船体品質評価技術の確立【研究計画期間外】
3) 建造時や点検・修繕時にける作業効率及び安全性向上に資する MR（Mixed Reality：複合現実）等を活用した支援システムの開発
4) 統合システムの開発【研究計画期間外】

□サブテーマ2
1) 粒子法等による非線形船体応答推定手法の研究・開発
2) オンボードにおける非線形応答及び強度の推定に向けた高速化手法の開発
3) 極値応答予測への非線形統計予測法の適用
4) 波浪情報の不確定性解析手法の開発【研究期間外】

5) 構造模型による水槽試験及び実船データを用いた検証【研究期間外】

□サブテーマ3

1) 腐食環境予測及びモニタリングを組み合わせた船体構造の塗装劣化・腐食進行推定プログラムの開発
2) 塗装劣化・腐食進行推定結果の全船構造解析への反映アプリケーション開発
3) 船舶における腐食環境で長期耐久可能な塗装劣化・腐食進行検知センサの開発
4) 実船試験を含むモニタリング・推定システムの検証【研究期間外】
5) 局部衰耗の進行評価法の開発【研究期間外】

□サブテーマ4

1) 塗膜条件の差異等が塗膜計測に及ぼす影響の調査
2) 多波長計測等による外板表面への生物付着検出技術の検討
3) 実船の外板塗装表面状態等の調査

□サブテーマ5

1) 数値水槽を用いた流体構造連成及び構造破壊を考慮した事故再現シミュレーションツールの高度化、簡易推定手法の検討・開発
2) 事故時の AIS 活用技術の高度化・迅速化（衝突危険度評価技術の半自動化等）【2023 年度まで。2024 年度以降は重点 3 で実施】
3) リバースエンジリニアリングを用いた事故船体及び損傷部位のデジタイジング・システムの開発【研究計画期間外】
4) 海難事故 DB システム構築・拡充及びその類型化

R5年度研究成果

□サブテーマ１

1) 建造精度自動取得システムのプロトタイプを作成した。試験体サイズ及び実船スケールを対象にマニュアルで写真撮影を行い、必要な3D 形状生成精度を確保できる位置、写角、枚数等を調査し、撮影要領を作成した。骨部材などの特徴のある領域については精度よく3D 形状生成が可能となった。写角の不足する箇所や鏡面（外板塗装済）領域については形状生成に課題が残った。

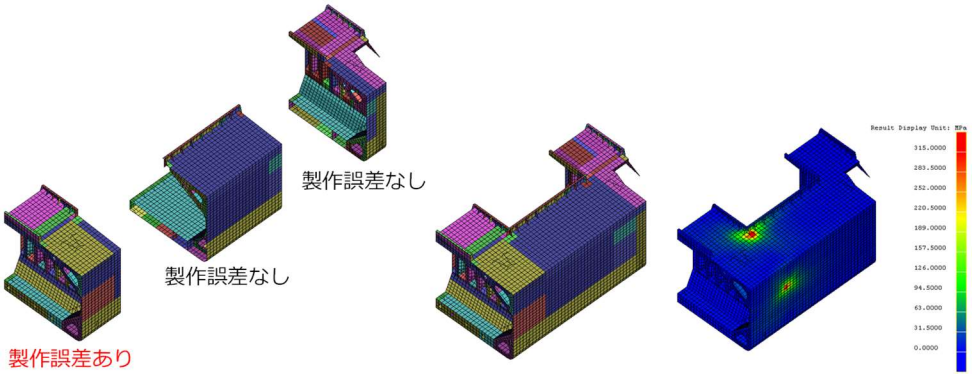
全体　　右端部の拡大

図 1.2.1 試験体サイズ(2m程度)での3D 形状生成結果

図 1.2.2 実船総組ブロック(写真)

図 1.2.3 実船スケールの3D 形状生成結果

2) 研究計画期間外。
3) 位置決め及び連結を再現できる要素及び解析手法を開発し、搭載シミュレーターのプロトタイプを作成した。これにより、吊り状態、建造誤差と位置決め（ピース・ジャッキ等による強制的な補強材・パネルの位置合わせ）により発生する応力許容判定、事前対応の方策を設計現場で活用可能な短時間で提示可能となった。



接合前　　接合後及び残留応力

図 1.2.4 製作誤差を有するブロック搭載時の接合による残留不整（応力、撓み）を数値計算による再現

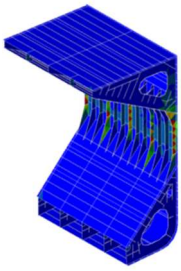


図 1.2.5 吊り状態での応力解析

4) 研究計画期間外。ただし、社会実装に関連する事項として、1 社が DLSA-Basic（1 ライセンス）の活用を開始し、合計 10 社（DLSA-Basic: 7, NMRIW-II: 5, NMRIW-Lite(SPREME): 2）が利用し（内、2 社共同研究）、他に 1 大学が個別の研究に活用している（共同研究）。また、船級規則・ガイドライン策定に資するデータ蓄積に活用された（共同研究）。

□サブテーマ2

1) 粒子法を用いて大波高規則波中の非線形船体運動を解析し、過去の実験データとの比較により、数値計算の有効性を検証した。計算精度を向上するため、浮体粒子と流体粒子間の相互作用運動方程式を改良し、新たな境界条件（DPC, Dummy Particle Condition）を既存の粒子法モデルに適用した。DPC の導入により、浮体粒子と流体粒子間の隙間問題（図 1.2.6）を解決した。改良前のモデル（DBC, Dynamic Boundary Condition）の計算結果と比べて、DPC を用いて大波高船体運動の計算精度を向上させることが確認できた（図 1.2.7）。

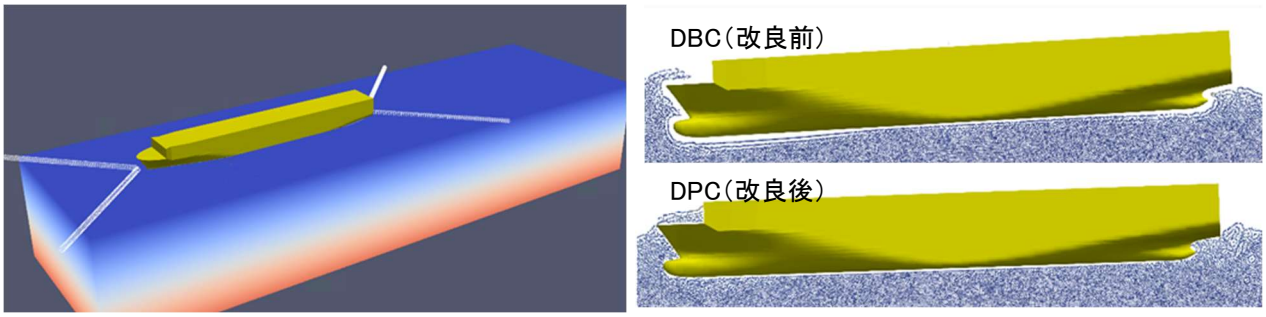


図 1.2.6 粒子法を用いて作成した 3 次元数値水槽（左）と境界条件改良前後の浮体粒子と流体粒子間の隙間（右）

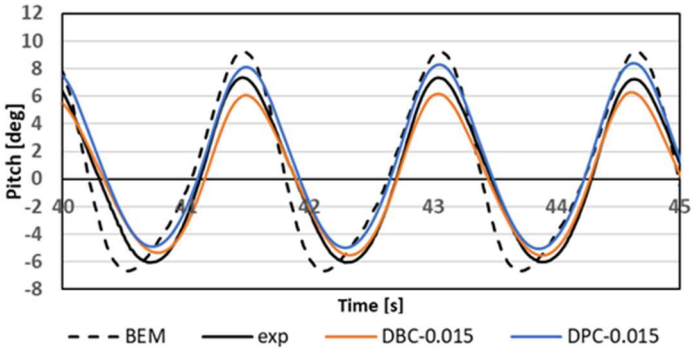


図 1.2.7 粒子法を用いた大波高船体運動（Pitch）の計算結果

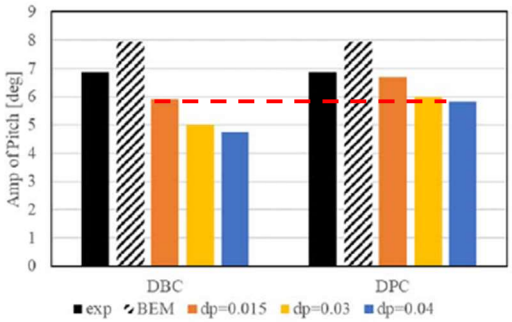
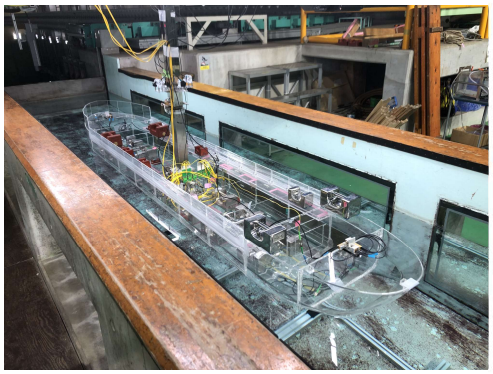


図 1.2.8 従来法（DBC）とダミー粒子法（DPC）の計算精度

（図中の赤破線のとおり、約 2 倍の粒子径サイズで同精度が得られる。→約 8 倍の高速化）

2)-1 MPWE※（Most Probable Wave Episode）を、HOSM+FORM 法から求める手法を開発して、水槽実験で検証した。仮想船型の弾性模型船の縦曲げモーメントを計測し、実海域再現水槽で MPWE を造波して検証した。模型船のホギングモーメントは波高が高くなると荷重が相対的に低下する形状非線形性を有するため、ターゲットの応答値（例えば設計荷重）を発生させるためには MPWE に対して非線形修正、すなわち線形計算で求めた MPWE よりも波振幅を増やす修正をする必要がある。実験検証では、HOSM+FORM 法で求めた MPWE に対して非線形修正をすることでターゲットの VBM 極値に近づくことを確認し、水槽試験での造波とこれに続く船体応答の再現を可能にしたことにより、設計不規則波を求める手法として HOSM+FORM 法が有効であることを示した。

※MPWE：設計不規則波の一つであり、ここでは波及び船体形状の非線形を含む縦曲げモーメントの不規則波中最大期待値を発生させる波プロファイルを意味する。



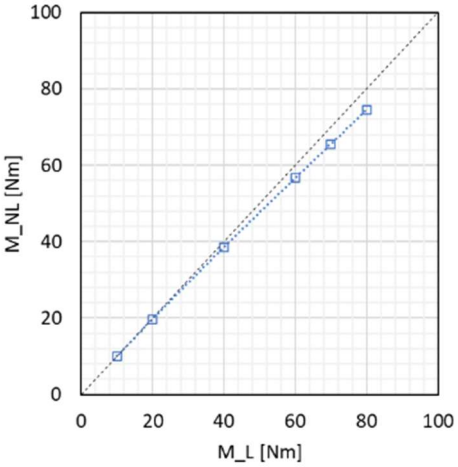


図 1.2.9 アクリル製弾性模型船（左）、及び線形計算と非線形計算のホギングモーメントの比（右）

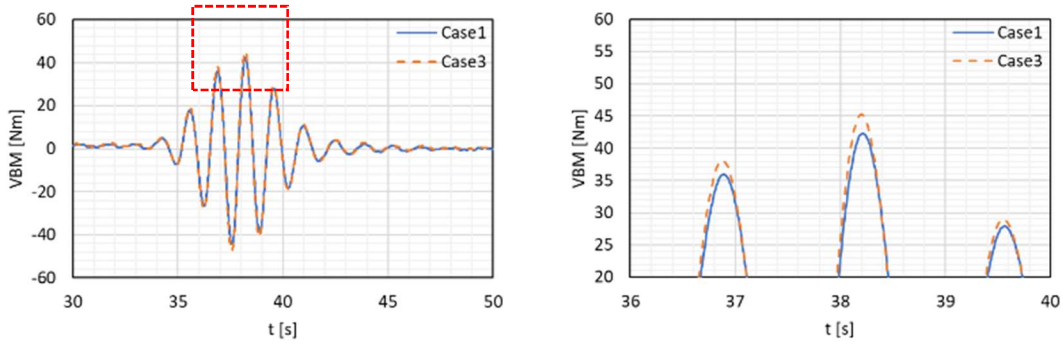


図 1.2.10 水槽実験で発生させた MPWE 中の縦曲げモーメント
Case1:線形計算用 MPWE を使用、Case3：非線形計算用 MPWE を使用
（非線形修正した MPWE を用いることでターゲット（60Nm）に近い極値が得られる。ターゲット値との差は高波高下での応答関数の精度の起因）

2)-2 線形・非線形横揺れ減衰及び横揺れ固有周期をオンボードで同定する手法として、計測された船体応答を活用した波プロファイル推定法及び Nelder-Mead 法に基づく手法を構築して、水槽試験で検証した。短い計算時間で精度よくパラメータを同定することが確認された。検証した手法は他の応答にも利用可能である。また、多方向不規則波中における有効性も確認されたことから実船での利用が期待される。

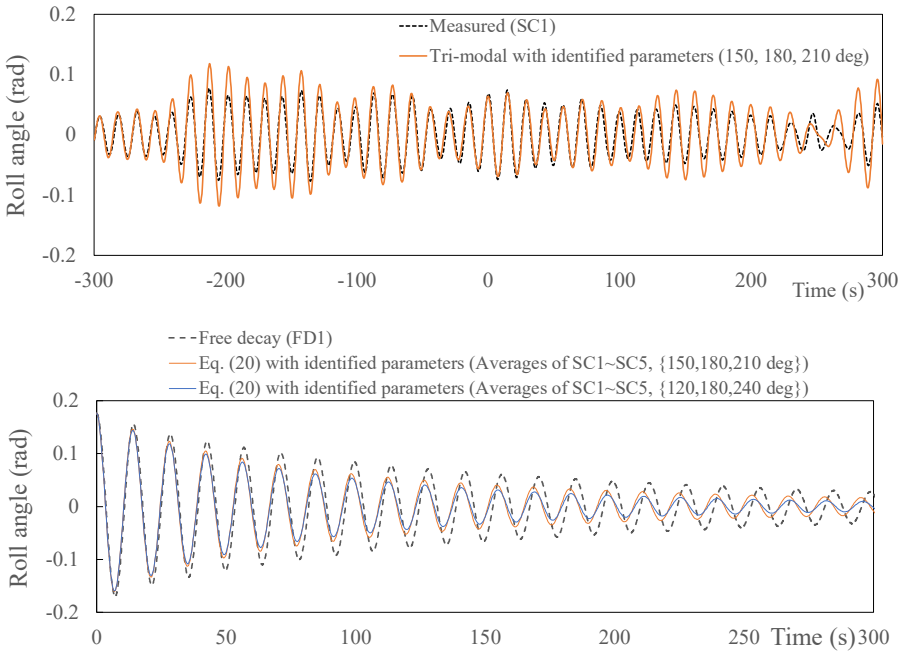


図 1.2.11 同定された減衰及び固有周期を用いた多方向不規則波中の横揺れの再現結果（上）
及び自由横揺れの再現結果（下）
（同定されたパラメータにより実計測を良く再現していることが分かる）

3)-1 波高の非線形影響を考慮可能な統計予測法として、RTP(RAO-based translation process)法を新たに提案した。同手法は規則波中の非線形性を考慮した応答関数をベースに任意の短期海象下の短期分布を簡易に計算可能な手法であるため、非線形性を考慮した長期予測計算に適しており、今後の構造設計への活用が期待される。同手法を用いて、形状非線形影響を考慮した波浪断面力（図 1.2.12）、および非線形減衰力を考慮した roll 運動の短期超過確率分布を合理的に予測できることが確かめられた。本機能を DLSA-Basic に実装した。

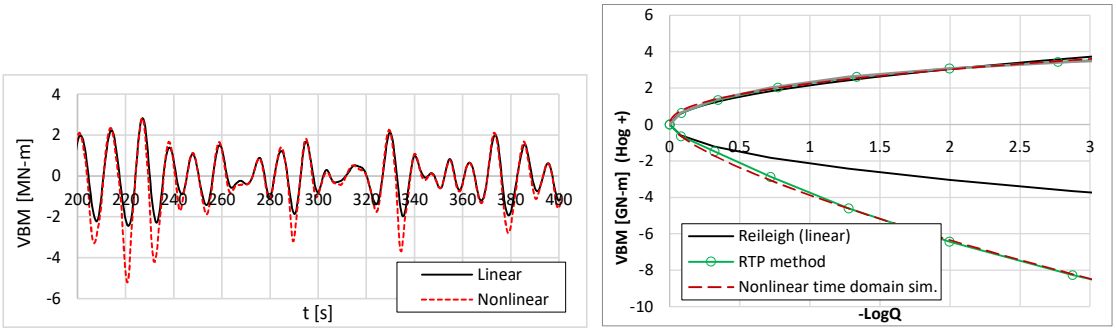


図 1.2.12 線形および非線形（形状非線形を考慮）の縦曲げモーメントの時系列（左）と、その短期分布（右）
RTP 法によって非線形の Time series の結果と良く一致する分布が得られている

3)-2 数学船型の生成及び不規則波中応答解析に対応した船体応答アプリケーション「SPREME」を開発し、波浪中水槽試験により精度を検証した。SPREME は、ストリップ法とパネル法を同一インターフェイスで選択可能であり、目的に応じた使い分けができるとともに、両手法の結果の比較によって信頼性を得ることができる。また、オフセット不要で主要目のみからの荷重解析が可能になり、さらに、設計初期段階での運動&荷重の評価及び感度解析も可能にした。

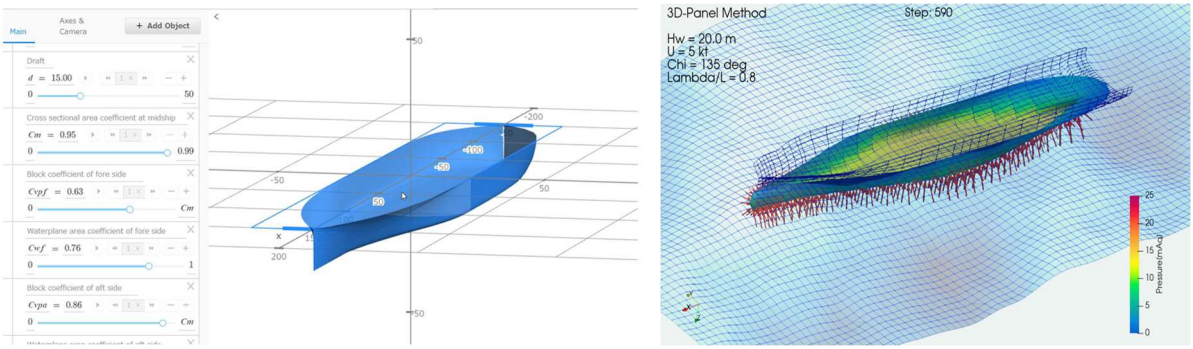


図 1.2.13 数学船型生成機能及び不規則波中応答解析の例

4） 研究計画期間外
5） 研究計画期間外

ロサブテーマ3

1） 船体構造材に対する既知の腐食進行モデルを調査し、バラストタンク環境について、経過時間及び環境・オペレーション条件を入力とする腐食衰耗量の推定プログラムを開発した。本プログラムを用いて、実船バラストタンクのモニタリングデータから衰耗量の推定を行い、環境変化を考慮可能なモデルでは、温度の高い環境で腐食衰耗量がより大きくなる結果であり、環境の違いを腐食量の違いに反映でき、平均値として評価するよりも実際の現象に近い推定が可能となった。一つのモデルで全船的な腐食衰耗量を推定できず組み合わせが必要であることと、腐食発生に先立つ塗装劣化期間の推定に課題が見いだされた。

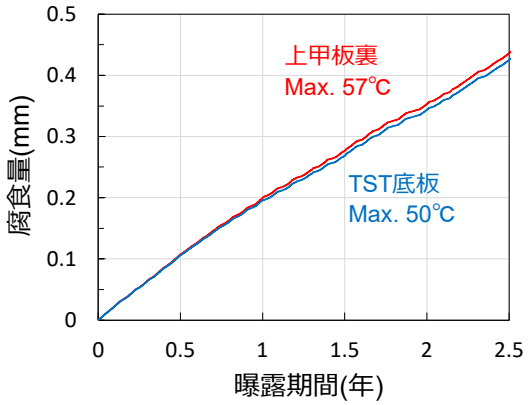


図 1.2.14 バラストタンク内腐食衰耗量の推定結果

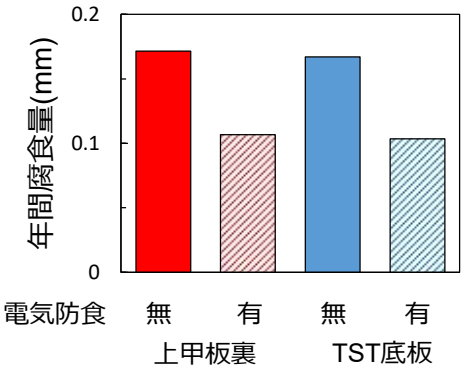


図 1.2.15 電気防食を考慮した腐食衰耗推定結果

2) 全船構造解析への反映アプリケーションの開発について、過去に製作済の有限要素モデルファイル読込・座標変換プログラムから読込機能部分を参照・変換中であり、令和 6 年度に開発を継続する。

3) 初期の腐食進行に対し分解能の高い電気化学インピーダンス法と、分解能は低いが長期間腐食をモニタリング可能な電気抵抗法を併用するセンサを設計・試作し、感度評価及び耐久性の検証が可能な計測システムを構築した。

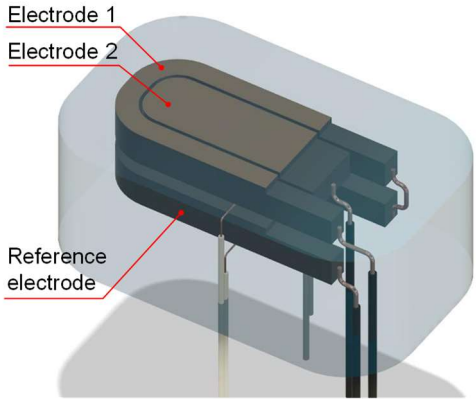


図 1.2.16 試作センサ構造

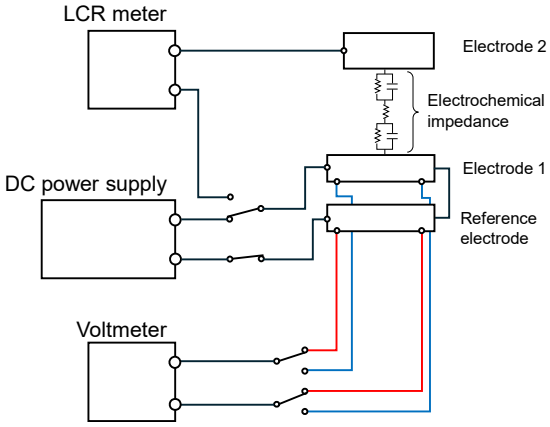


図 1.2.17 計測システム構成

4) 研究期間外
5) 研究期間外

□サブテーマ4

1) 種類の異なる 4 種の防汚塗料(塗料 A、B、C、D。いずれも市販品)を塗装した試験片を対象に超音波計測を実施した。塗料 A は防汚剤として亜酸化銅を含む加水分解型の防汚塗料である。塗料 B、C も加水分解型の塗料であるが塗料組成が異なる。塗料 B は亜酸化銅の含有量が塗料 A とは異なる。また、塗料 C は亜酸化銅等の防汚剤を含まない防汚剤フリーのシリコーン塗料である。

図 1.2.18 に超音波計測の結果を示す。本研究の超音波計測の対象を図 1.2.18 左に示す。鋼板(船体外板を想定)表面の防食(AC)塗装と防汚(AF)塗装の塗膜内を超音波が往復することによる超音波の到達時間の遅れ(位相遅れ)を検出し、膜厚値を推定する。図 1.2.18 に超音波計測結果から算出された各試験片の位相遅れと、電磁膜厚計で計測した各試験片の膜厚値との関係を示す。位相遅れ、膜厚値ともに複数箇所を計測した値の平均値を示している。塗料 A については 4 種類の異なる AF 膜厚の試験片を計測した(赤色の○)。膜厚の異なる塗料 A の 4 点から最小二乗法により近似直線(黒色の破線)を算出した。塗料 A については、超音波計測から位相遅れを求めてこの近似直線から膜厚値が推定できる。塗料 B(青色の★)、C(緑色の★)、D(茶色の★)の結果も図中に示した。塗料 B、C、D は 1 種類の膜厚値のみを計測した。塗料 B と C は、おおよそ塗料 A で算出した近似直線上に沿っている。このことから防汚剤の組成等が多少異なってもおおむね同様の膜厚推定直線が適用できる可能性が示された。一方で、塗料 D については膜厚推定

直線から大きく離れる結果になっている。この様に塗料の構成が大きく異なる場合には、別の塗料に対して取得した膜厚推定直線を用いることができないことが明らかになった（塗料 D には別途推定直線を算出する必要がある）。

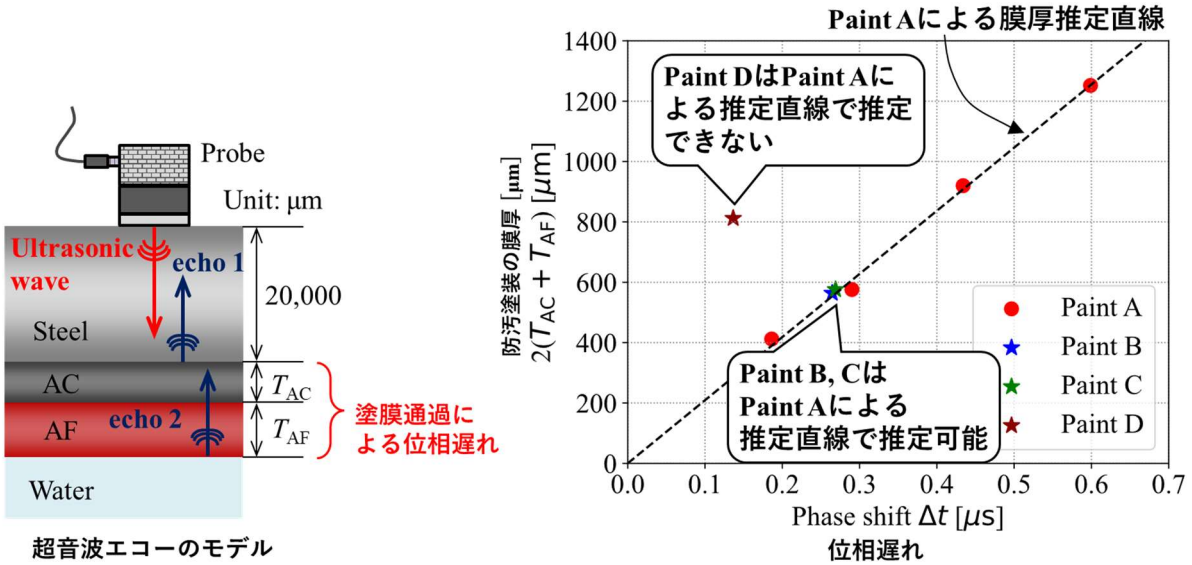


図 1.2.18　4 種類の異なる防汚塗料での超音波計測結果

上記の他、塗膜表面にある程度（実船相当）の凹凸を有する試験片や膜厚を細かく変化させた試験片などを作成するための試験片素材（ブラスト処理した鋼材）を設計・製作した。塗膜表面の凹凸の程度や細かく変化させる膜厚の範囲などは後述の実船調査から得る予定だったが、今年度は調整がつかず実船調査が行えなかったため次年度に実施する実船調査の結果から決定する。

実船の塗膜に近い状況のデータとして 30 ヶ月間実海域に浸漬した防汚塗装試験片を計測した。図 1.2.19 に計測の結果を示す。30 ヶ月の浸漬により、膜厚が 20%程度減少し、表面粗度（Rz）が 29%程度増加した。これらのデータも参考にし、次年度に試験片を作成して計測を続行する。経年劣化した試験片について超音波計測の妥当性を検証する。

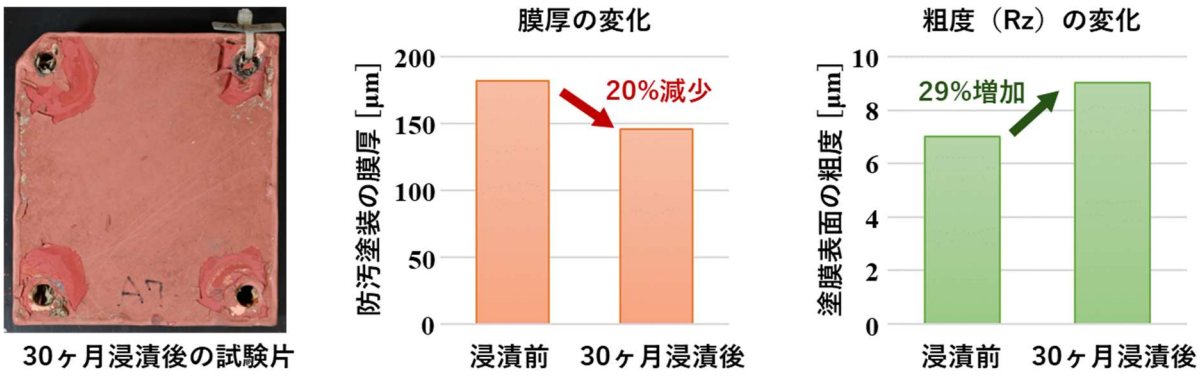


図 1.2.19　30 ヶ月間浸漬した防汚塗装試験片の変化

2）ハイパースペクトルカメラを用いて透明状態の（付着初期）の藻類を検出する手法の基礎検討として、海水を用いた試験片への藻類（バイオフィルム）の付着実験、およびハイパースペクトルカメラによる試験片の撮影試行を行った。

3）実船の塗膜状態を調査するための実船調査は、今年度内での調整がつかず実施できなかった。現在も調査先との調整を続けており次年度の早い段階で調査を実施する予定である。

□サブテーマ5

1）数値水槽を用いた流体構造連成解析手法（ICFD(Incomressible Computer Fluid Dynamics）手法）を用いて、規則波／不規則波中の小型船（図 1.2.21）の 3 次元動揺シミュレーションを再現するためのモデル（図 1.2.20、図 1.2.22、図 1.2.23）を作成し、試解析に成功した。規則波／不規則波、向波／斜波での解析を試行

し、船体運動→浸水→沈没シミュレーションが 1 ケース最短約 4 時間（24core の場合、図 1.2.29 参照）で解析可能であることを確認した。特に、甲板開口部からの船内への海水浸水、船内滞留水の動揺まで再現（図 1.2.25～図 1.2.28）できることが確認できたのは大きい。また、本手法は、流体構造連成解析が可能であり、浸水による船舶ガラスの破壊や、船体折損等の構造破壊も技術的に解析可能である。

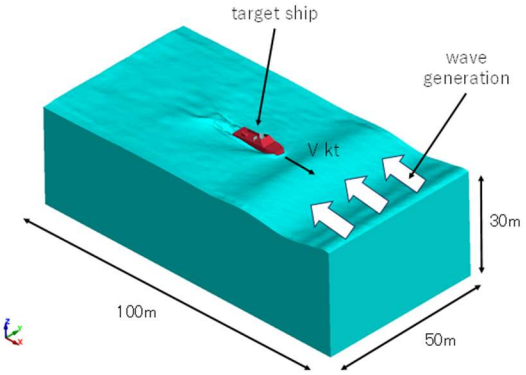


図 1.2.20 解析条件

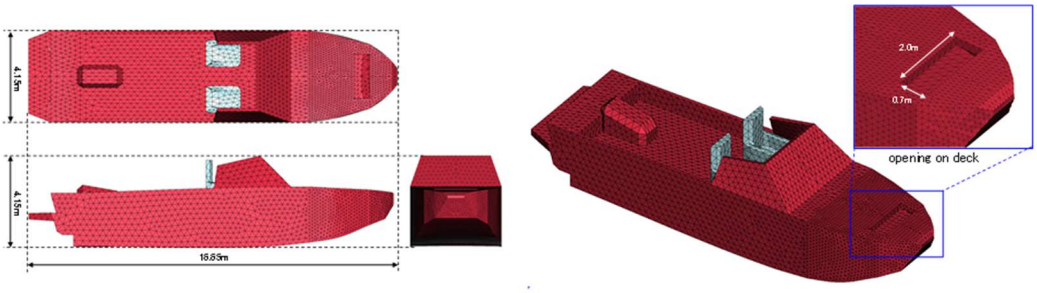


図 1.2.21 小型船モデル（2人乗りボート、甲板開口部モデル化）

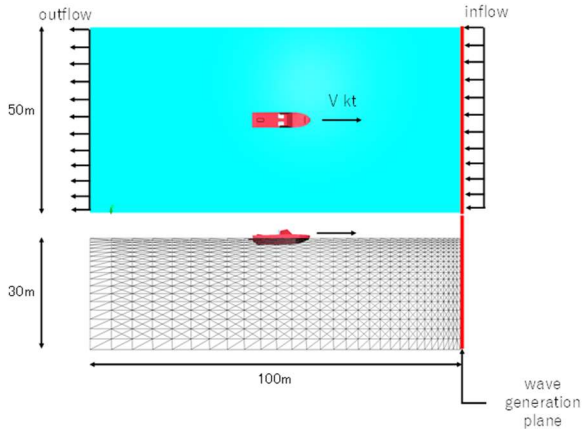


図 1.2.22 解析条件及び流体メッシュ（Lagrange メッシュ）

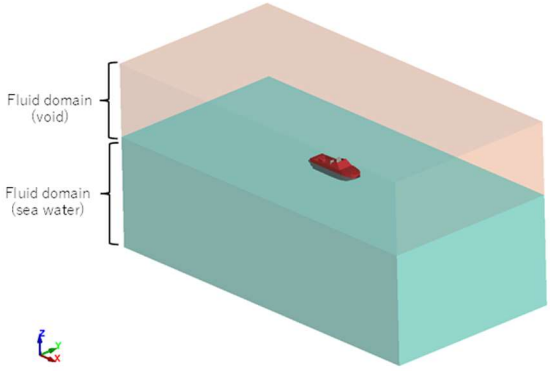


図 1.2.23 流体領域、空気領域、船舶モデル

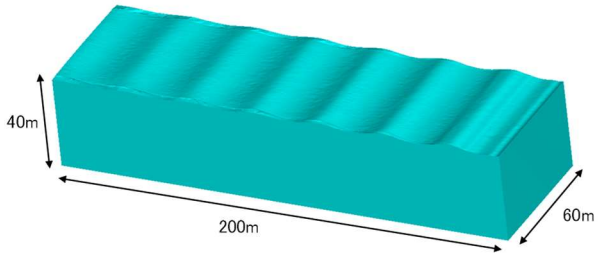


図 1.2.24 数値水槽 No.3 と、規則波生成試解析例（波高 3m、波長 30m）

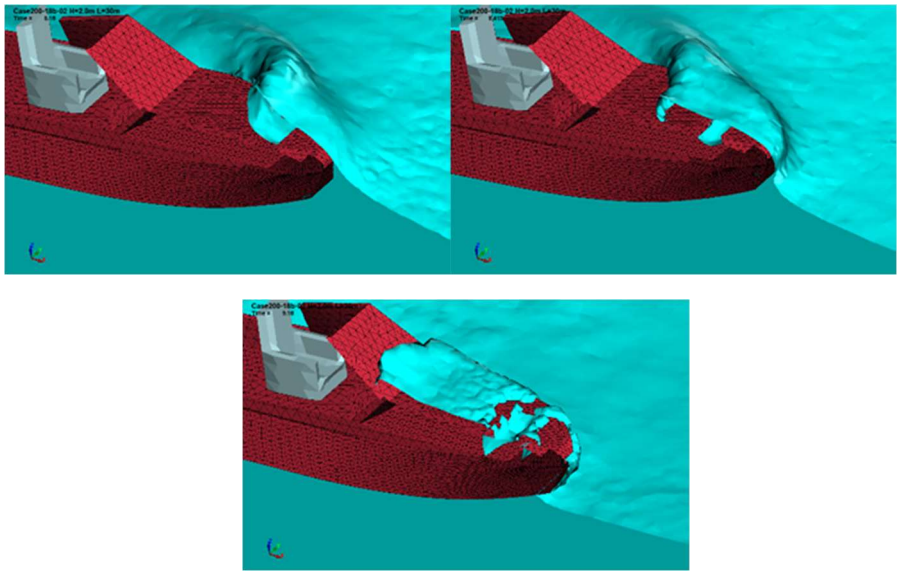


図 1.2.25 上甲板への海水打ち込みと、開口部からの船内区画浸水再現例

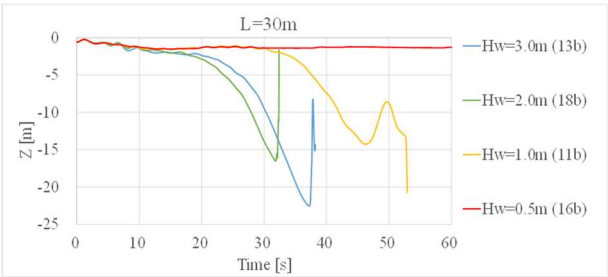


図 1.2.26 小型船 Z 座標の時刻歴（L=30m；船体動揺・浸水・沈没シミュレーション）

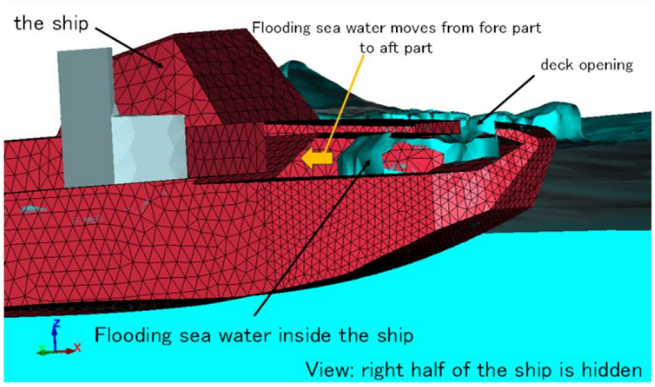


図 1.2.27 開口部からの浸水及び区画内に浸水した滞留水の移動解析例

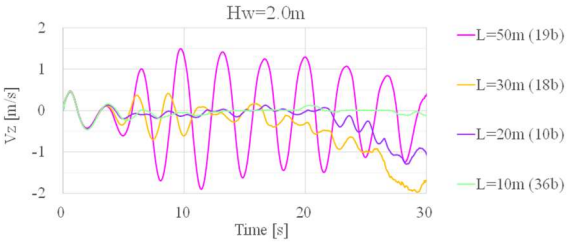


図 1.2.28 波長別 Z 方向速度の比較解析例

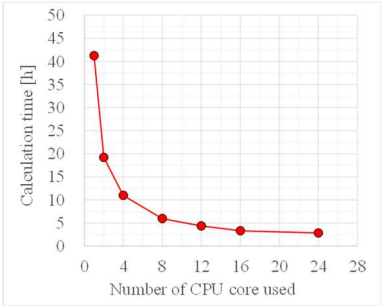


図 1.2.29 使用コア数と解析時間の関係

＜AIS＞

2) 衝突事故直後の航跡表示や状態量（速力・船首方位・針路）表示のニーズに対応するため、AIS 解析ツール（AISViewer、海技研開発ソフト）を使用して事故後の初動解析を実施している。当該システムは開発から 10 年以上経過しており、開発環境のサポートが既に終了したことにより、ツールの機能更新・メンテナンスができないだけでなく、OS の更新に伴い継続的な使用ができなくなる懸念があった。今後も事故時の初動解析のニーズに迅速に対応するため、当該システムの開発環境・言語を変更するとともに、オブジェクト指向による仕様の再見直しを行い、拡張性と維持管理性が向上した。データ解析の効率化・高速化を図るため、次年度に AIS データの事故時データ抽出とデコード処理の自動化機能等の導入を予定している。

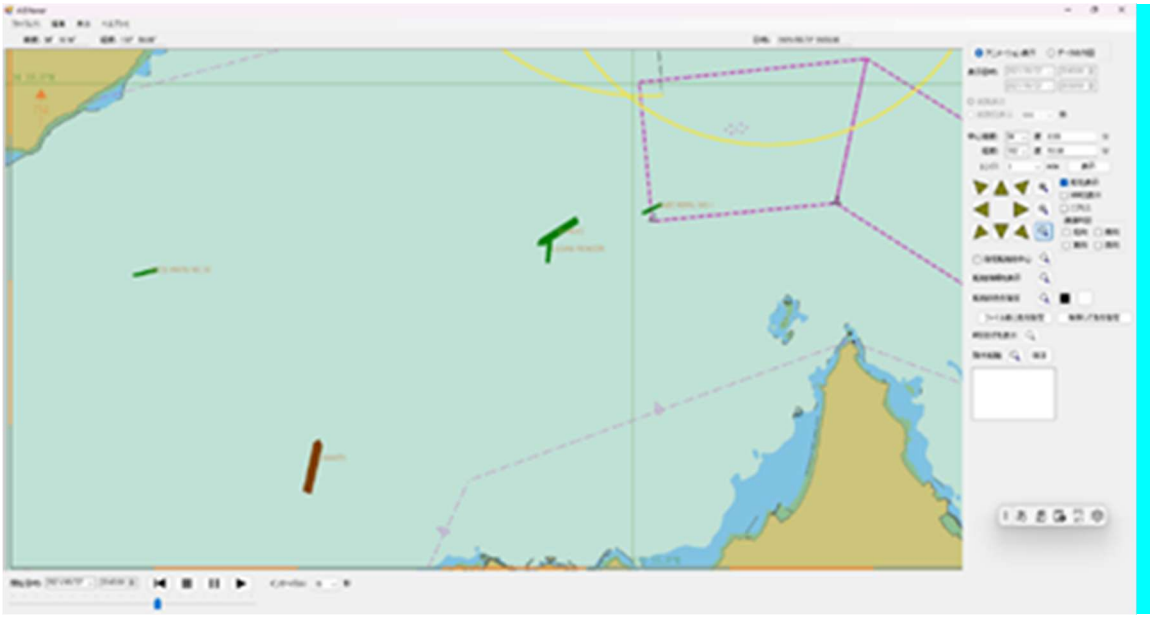


図 1.2.30 AISViewer による衝突事故時の船型表示例（来島海峡航路西側海域で 2021/5/27 23:53 頃発生）

3) 研究計画期間外

4) 海難事故 DB の座礁事故データについて、対象範囲を拡大し、より小型の船舶に対する解析・事故原因の類型化（図 1.2.33、図 1.2.34）を行った。座礁速度について、大型船では、10～11kt を最頻値として概ね正規分布であるが、小型船になると 10kt 未満の頻度も高く、必ずしも正規分布とはいえない統計分布形状になっていることが分かった（図 1.2.31、図 1.2.32）。より普遍的な結果を得るためには型船について 50ton 程度まで解析を継続する必要があろうと考える。また、座礁事故原因の類型化について、航路誤認、居眠り、水深誤認が事故原因として多いが、複合要因ケースの扱い、分類・類型化について今後検討していく必要がある。さらに、船種、サイズ等が事故原因に与える影響等について考察していく予定である。

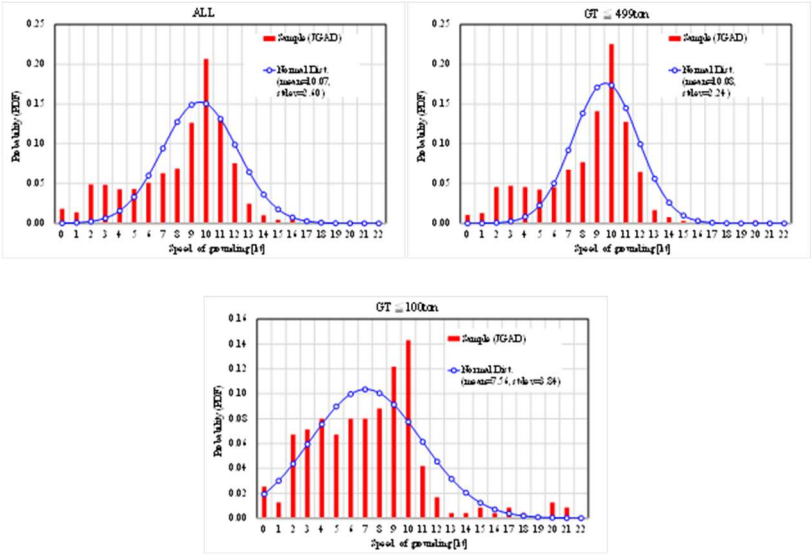


図 1.2.31　対象船舶の総トン数別　座礁速度の統計データ例

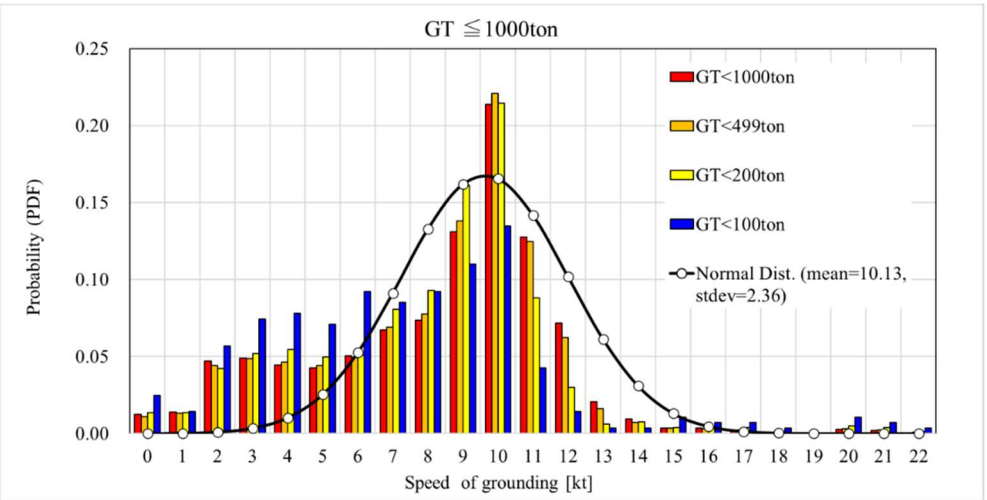


図 1.2.32　対象船舶の総トン数別　座礁速度の統計分布（例）

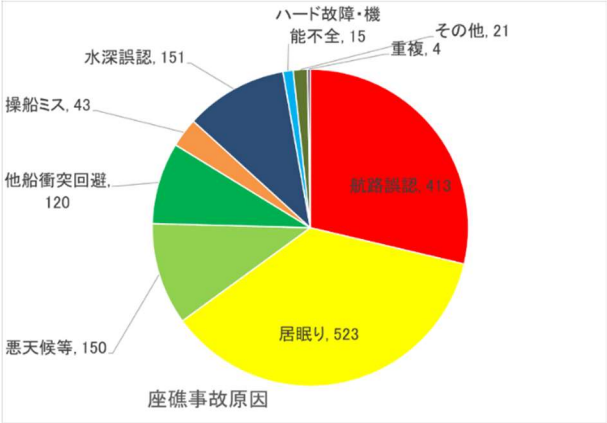


図 1.2.33　座礁事故原因（大分類）

大分類	中分類	小分類
居眠り	該当なし（居眠り）	①単なる居眠り
		②飲酒のみに起因する居眠り
		③その他（風邪薬、無呼吸症候群）
		④居眠り防止装置があるのにoffにしていた
		⑤飲酒＋居眠り防止装置の電源をoffにしていた
		⑥当直交代時の連携ミスによる居眠り
ハード故障・機能不全	電源喪失（操舵・機関不能）	①電源喪失（操舵・機関不能）
	航海機器故障	②航海機器故障
	機関（エンジン）故障	③機関（エンジン）故障
	操舵故障	④操舵故障
航路誤認	船位確認不足	①レーダーによる位置確認を怠った。
		②海図による位置確認を怠った。
		③その他（灯、夜標、後推測航法、見通し線、避険線等）による位置確認を怠った。
		④レーダー等の計器使用不適切
		⑤知っていたけど過信（大丈夫だろうと思った）
		⑥レーダーのレンジ切り替えミス
		⑦コンパスによる位置確認を怠った。
		⑧その他（航路誤認）
		⑨GPSによる位置確認を怠った。
		⑩レーダーを一べつしただけ
		⑪（新）慣れからの確認を怠り漫然と運転した。
		⑫（複合要因）やむをえない場合
		⑬避険線を用いた航法をしていなかった
	針路不適切	原因A：過信による確認不足
		原因B：そもそも問題に気付いていなかった
		①危険海域（浅瀬）の方向に針路をとってしまった
		②（新）風・潮の影響を考慮しなかった。
		③この海域の航行経験が無く、適切な針路をとれなかった。
		④針路変更せず、危険海域（浅瀬）の方向に続航してしまった。
		⑤指示不適切
		⑥指示義務違反
		⑦船位を海図に記載して確認しなかった
		⑧いつもと違って、危険海域（浅瀬）の方向に針路をとってしまった
		⑨船員同士の意思疎通・伝達ミス
		⑩急いでいたので近道のために浅瀬域を航行する針路をとった。
		⑪追い越しによる針路不適切
		⑫水路が工事によって変更されていることを知らなかった。
水深誤認	未確認	①浅瀬があることを知らなかった
	確認不足	②浅瀬があることを知っていたが確認しなかった
	調査不足	③水深の確認せず。思ったより浅かった。
		④浅瀬があることを知っていたが確認不足
		⑤岩等が没水しているのを知らなかった。
		⑥海図が古かった
		⑦水中に人工物が構築されていることを知らなかった
操船ミス	速度超過	①操舵ミス（技術・運動神経）
	操舵ミス	②操舵ミス（知能・判断）
		③速度超過
他船衝突回避	他船衝突回避	①他船に気を取られた。
		②他船衝突回避により針路変更せざるを得なかった
		③他船に気を取られて前方不注意
		④その他（他船衝突回避）
		⑤他船衝突回避により針路変更できなかった
悪天候等	台風	①強風による走錨
	強風（台風でない）	②強風（台風でない）
		③潮流
	走錨	④台風
		⑤濃霧
	視界不良	⑥うねり
		⑦台風による走錨
	その他（悪天候）	⑧悪天候によるレーダー映像の乱れ
		⑨錨泊中の強風による触れ回り
		⑩豪雨
その他	その他	①体調不良
		②無資格者に操船させていた
		③操舵者が持ち場を離れていた（目にゴミが入った）（くつを履き替える）（他の作業をしていた）等
	錨泊中の強風による触れ回り	④電話等しながら操船していた
	操船の判断ミス	⑤視力低減（眼鏡等紛失）
		⑥その他（その他）
		⑦船長が乗船していなかった。

図 1.2.34　座礁事故原因（大分類、中分類、小分類）の類型化（例、解析途中）

R5年度成果の公表

□査読論文（科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等（海技研報告であれば「研究報告」のみ））： 15 件（投稿中： 5 件、採択済： 3 件、掲載済： 7 件）

科学雑誌掲載論文

・Sadaoki Matsui, Masayoshi Oka: RAO-based Translation Process for Estimating Extreme Value Distribution of Nonlinear Ship Response in Irregular Waves, Journal of Marine Science and Technology (2023). (掲載済)
・Sadaoki Matsui: Enhanced RTP Method for Nonlinear Statistical Prediction of Ship Structural Response, Journal of Marine Science and Technology （投稿中）
・Sadaoki Matsui, Kei Sugimoto, Katsutoshi Takeda: Difference in Ship Response in Waves Between Strip and 3D Methods Based on Integrated Formulation, Ocean Engineering （投稿中）
・Sadaoki Matsui: Statistical Prediction for Nonlinear Failure Function of Linear loads – Application to Plate Buckling in Ship Structure, Journal of Marine Science and Technology （投稿中）
・Tomoki Takami, Ulrik Dam Nielsen, Jørgen Juncher Jensen, Atsuo Maki, Sadaoki Matsui, Yusuke Komoriyama: Onboard Identification of Stability Parameters Including Nonlinear Roll Damping via Phase-resolved Wave Estimation Using Measured Ship Responses, Mechanical Systems and Signal Processing 210. (掲載済)
・Ulrik Dam Nielsen, Tomoki Takami, Harry B. Bingham, Astrid H. Brodt or, Toshio Iseki, Jørgen J. Jensen, Malte Mittendorf, Rapha¨el E.G. Mounet, Yanlin Shao, Gaute Storhaug, Asgeir J. Sørensen,: Estimating Waves Via Measured Ship Responses, Scientific Reports 13. (掲載済)
・Chong Ma, Masayoshi Oka : Investigation of the influence of different boundary conditions in SPH on ship dynamics, Ocean Engineering. （投稿中）

査読付き国際会議論文

・Sadaoki Matsui: SIMPLE ESTIMATION FOR EXTREME VALUE DISTRIBUTION OF NONLINEAR ROLL MOTION OF SHIP BY RTP METHOD, OMAE2024 （採択済）
・Yusuke Komoriyama, Hidetaka Houtani, Tomoki Takami, Sadaoki Matsui, Wataru Fujimoto: TANK TEST OF FLEXIBLE ACRYLIC SHIP MODEL INWAVES FOR EXTREME RESPONSE PREDICTION, OMAE2024（採択済）
・Chong Ma, Masayoshi Oka: NONLINEAR NUMERICAL SIMULATION ON SHIP STRUCTURAL RESPONSE BASED ON SPH METHOD, ISOPE2024 （採択済）
・Tomoki Takami, Ulrik Dam Nielsen , Jørgen Juncher Jensen , Sadaoki Matsui : Nonlinear Roll Damping Identification Based on Onboard Ship Response Measurements, PAAMES and AMEC2023.（掲載済）
・Shuhei Fujimoto, Michihiro Kameyama, Tomoyuki Taniguchi: Ultrasonic measurement of the thickness of antifouling paints on the back side of a thick steel plate, PAAMES and AMEC2023.（掲載済）

その他の全文査読付き論文等

・松井貞興，鬼塚博之，日本貴秀一: 試船型を用いた全船直接荷重構造解析ならびに船級規則による船体構造強度評価の比較検討，海技研報告 23-3 (2023). (掲載済)
・小森山祐輔，飯島一博，辰巳晃，藤久保昌彦: リアルタイム応答計測による波浪中船体構造の安全性モニタリング，日本船舶海洋工学会論文集（投稿中）
・宝谷英貴，三上航平，小森山祐輔，岡正義，村山英晶: 一体型弾性模型船のための曲げ試験・捩り試験法 ーGFRP サンドイッチパネル製弾性模型船による検証ー，日本船舶海洋工学会論文集第 38 号(掲載済)

□その他発表論文： 7 件（投稿中： 0 件、採択済： 4 件、掲載済： 3 件）

・松井貞興，岡正義: RTP 法: 狭帯域非線形過程の極値分布の実用推定法，日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.37 (2023). (掲載済)
・松井貞興，杉本圭: DLSA における部分積載状態のバラスト水圧の計算法に関する検討，日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.37 (2023). (掲載済)
・松井貞興: 船体構造応答の非線形統計予測のための RTP 法の改良，日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.38 (2024) （採択済）
・小森山祐輔，松井貞興，岡正義，田中義照: 捩りによる反りを考慮した船体ホールドモデルの境界条件 ーU 字型の一様断面梁モデルを用いた基礎的検討ー，日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.38 (2024) （採択済）
・宝谷英貴，高見朋希，藤本航，小森山祐輔，松井貞興: 水槽への設計不規則波再現における波の非線形発達の影響 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.38 (2024) （採択済）
・高見朋希，柳本史教，武田勝利，石橋公也，大田大地: FORM によるパラメトリック横揺れの極値予測に関する 実験的研究，日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.38 (2024) （採択済）
・松井貞興: DLSA-Basic 非線形統計予測機能 及び クラウドアプリ“SPREME-web” 紹介(掲載済)

□特許申請： 0 件

・

□コアプログラム登録： 1 件
・松井貞興: SPREME

□国際連携活動： 3 件
・ISSC/ I.2 Loads committee 委員 (Web 会議、Proceedings の作成等)(岡)
・ISSC/ II.2 Dynamic Response committee 委員 (Web 会議、Proceedings の作成等)(山田)
・ISSC/ VI.1 ISSC-ITTC Cooperation 委員 (中韓会議出席等)(高見)

□受賞： 1 件
・小森山祐輔: 日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞)、水圧計測による波浪中船体構造応答の推定手法－第 1 報 縦曲げモーメントの推定—日本船舶工学系論文集第 35 巻

□公開実験： 1 件
・海技研 DLSA セミナー2024(3/27 開催)

主な評価軸に基づく自己分析

□成果・取組が国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値(安全・安心の確保、環境負荷の低減、国家プロジェクトへの貢献、海事産業の競争力強化等)の創出に貢献するものであるか
・ブロック精度によっては、現場合わせによる切代切断、補強材外しなどの不確定要因による手戻り・待ちが発生する。ブロック搭載・位置決めをいかに効率的に行うことが出来ることがヤードの生産性に直結するため、事前に3次元で検討が可能になる。
・波高非線形に対応した短期及び長期予測は、次世代船舶の強度設計に必要な手法であり、他機関(特に外国船級協会)に先駆けてこれを開発したことは、海事産業の競争力強化につながる。
・環境影響を考慮した腐食推定に向けた取組によって実際を反映した腐食劣化状態を把握することができ、より合理的に安全を確保することが可能となる。
・海難事故解析の評価ツールの整備により、原因究明の迅速化が図られ、再発防止に寄与することで安全・安心の確保の社会的価値の創出に貢献する。

□成果の科学的意義(新規性、発展性、一般性等)が、十分に大きいか
・ブロック製作誤差があるものを接合し、発生する応力を推定することが可能となった。
・波浪中非線形を含む複雑な応答の長期的な予測及び評価を設計者が行えるよう理論展開を行ない、手法を整備したことの科学的意義(一般性)は大きい。
・ストリップ法及びパネル法を同一のインターフェイスで選択可能な波浪中船体応答解析用アプリケーション「SPREME」は、科学的手法に基づくソフトウェアである。これをクラウドで公開したことで、設計者が容易に荷重・応答計算を行えるようになった。これを設計の標準手法とすることによって、解析的手法に基づく自由度の高い荷重設定／構造強度設計を実現できる。浮体の運動解析のベースとなるプログラムを提供したことの科学的意義(発展性)は大きいと言える。

□成果が期待された時期に創出されているか
・造船所及び船級協会のニーズに対応して、設計支援ツール DLSA 及びこれに関わる要素技術プログラム(荷重推定、腐食衰耗推定等)の機能を強化した。
・年度計画に従って研究を遂行し、年度目標を達成している。

□成果が国際的な水準に照らして十分大きな意義があり、国際競争力の向上につながるものであるか
・設計支援ツール DLSA の機能向上に加え、建造時の精度や残留応力、運航後の腐食劣化やメンテナンス等と融合して安全性評価を行なえるトータルシステムを開発している。ライフサイクルに渡る評価・支援を一元的に行えるトータルシステムは世界に例がなく、DLSA の普及の強みを活かして開発に着手したことは国際的な水準に照らして大きな意義がある。この成果は船体デジタルツインのグレードアップに直結し国際競争力の向上につながる。

□萌芽的研究について、先見性と機動性を持って対応しているか
・該当しない

研究開発課題	(1)① 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発

研 究 テーマ	重点 2 船舶の安全運航のための性能評価に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5 年度計画
海難事故の原因分析・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、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた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。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関（IMO）における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関（IMO）における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 －海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築よる安全・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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。 等

研究の背景

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関（IMO）におけ

る技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る。

具体的には、以下があげられる。
・ 港内操縦運動再現のための操縦運動数学モデルに関する研究
・ 総合性能評価のための CFD によるシミュレーション技術開発
・ 復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究
・ 港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

期間全体の研究目標

・ これまでの研究では確立されていない離着桟操船を再現できる操縦運動数学モデルについて、側壁影響も含め船体に作用する流体力モデルの定式化の完了。及び、操舵応答モデルも含めたモデル係数簡易構築手法の提示。粘性 CFD ソルバーやそれ以外の制限水域影響評価手法ツールの検証。
・ Model Based System Engineering (MBSE)に対応する FMU を含む CFD 統合システム、実船性能推定の高精度化のための実船-CFD デジタルツインモデル、水槽-CFD デジタルツインモデルを組み合わせたデジタルトリプレットモデルのプロトタイプ、港湾内での実船操縦運動シミュレーション手法。
・ 波浪中船舶の危険事象を再現する計算コードと水槽試験での再現技術
・ 危険を回避する操船支援システム
・ 小型船舶の安全性に関する規則策定に係る技術支援
・ 航海計器や航海機器を連携して錨泊時の安全性を評価するシステムの構築

上記成果は、以下があげられる。
・ 自動運航アルゴリズムの検証及び認証には操縦運動シミュレーションの利用が有力視されており、今後制定される国際的な安全性認証スキームにおいて、研究成果が反映されることを目指す。また、国内の造船所及び船社の自動操船アルゴリズム開発環境において、定式化した外力モデルやモデル係数簡易設定手法が実装されることを目指す。
・ MBSE 対応の FMU、CFD 統合システム及びデジタルツイン・デジタルトリプレットモデル等の開発・普及とともに、Functional Mock-Up Interface を介した現代のモデルベース設計システムとの連携も可能になることで、新船型・付加物等の開発サイクルを短縮でき、かつ船会社等における運航管理の高精度化やデジタルトランスフォーメーション化により安全性を高めることにも貢献し、我が国海洋産業の国際競争力強化につなげる。
・ 第二世代非損傷時復原性基準で扱う動的復原性に起因する危険事象を詳細に評価し、その結果を設計にフィードバックすることで、船舶の安全性を高め、我が国の造船業の国際競争力が強化される。また、小型船舶の復原性その他の基準の見直しや検査法を検討することで、小型船舶の安全性を高め、基準策定に貢献する。
・ 錨泊時の安全性の評価するためには航海計器や航海機器との連携が必須で国内の航海機器メーカーと共同で取り組む予定であり、社会実装を視野に入れて取り組むことを考えている。
・ 産業面からは、操縦運動モデルや CFD ツール・走錨判定ツールを提供し自動運航船開発や GHG 排出削減・走錨事故防止に資する。また規制基準の面からは、自動運航アルゴリズム認証や復原性基準等へ成果を反映して社会実装を実現する。

R5年度研究目標

□サブテーマ 1

・離着桟再現のため数学モデルの高度化及び流体力特性のデータ収集のため、複数船を対象に低速時・後進時を対象に含めた拘束模型試験を実施し、主にプロペラや舵等のアクチュエータによる外力モデルの特性に関する実験的検証を行い、アクチュエータモデルの確立を図る。
・2022 年度に実施した遺伝的アルゴリズムベースの自由航走データからの操舵応答モデル同定の先行的検討について、模型船の自由航走データを用いた操舵応答モデル同定の実証を行い、後年に予定する実運航データを用いた操舵応答モデル同定のための道筋を整備する。
・船舶に作用する流体力評価ツールについて、粘性 CFD ソルバー以外のツール利用の可能性や有望性を調査及び検証する。

□サブテーマ2

・実船性能の高精度推定に向けた数理モデル・新規計算手法の開発
・港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発

□サブテーマ 3
・水槽試験で裏付けされた危険事象を評価する計算コードの開発
・運航支援ツール、国際基準評価ツールの開発及び船舶設計要素の検証
・小型船舶の復原性を含む基準の見直し、検査法の提案

□サブテーマ 4
・錨泊中の船体に働く外力の推定手法の研究
・航海計器や航海機器と連携させる手法の確立

R5年度研究内容

□サブテーマ 1
・複数船を対象とした水槽模型試験によって、低速条件を含んだ幅広い運動状況においてデータ取得を行い、その結果に基づいて低速時のプロペラ及び舵の数学モデルの確立
・遺伝的アルゴリズム等の進化的計算手法を活用し、操縦性試験で得られる操縦性指標を学習の入力とした、操縦運動数学モデルの同定手法を開発する。R5年度は発展的な取り組みとして巡航速力ベースの MMG 型数学モデルの同定のための取り組みを実施
・制限水域における離着桟操船時の操縦流体力評価を目的として、粘性 CFD ソルバーの代替となり得る数値計算ツールの可能性及び有望性の評価のための調査研究を行う。そして、有望と見なせる手法について、側壁近傍での横移動を想定した試計算を実施
・日本船舶海洋工学会の研究委員会等、操縦運動数学モデルに関する外部委員会活動に貢献

□サブテーマ2
・粗度モデル及び塗料モデルの文献調査・モデル開発着手及びデータ同化手法導入と適用性等に関する基礎的検討
・重合格子手法における高速化及び IGES データに基づく投影手法の導入
・格子ボルツマン手法とのハイブリッド手法における乱流モデルの導入
・浅水状態での自由航走計算手法の検証

□サブテーマ 3
・不規則波中でのパラメトリック横揺れの再現模型実験の実施
・第二世代非損傷時復原性基準脆弱性評価計算コードの整備と運航支援システムの評価
・小型船の傾斜試験法の検討と救命浮器と船体の波浪中運動計算の実施

□サブテーマ 4
・船舶が振れ回り運動する際のダンピング項として働く、操縦流体力の計測
・錨泊中の船舶の振れ回り運動数値シミュレーションプログラムの出力データを航海機器（ECDIS）に表示する手法の検討

R5年度研究成果

□サブテーマ 1
・ケミカルタンカー及びコンテナベンチマーク船型（通称 DTC）を対象船として操縦性拘束模型試験を実施し、後進時や大斜航時などの離着桟操船を想定した試験条件で操縦流体力特性のデータ取得を実施した。そ

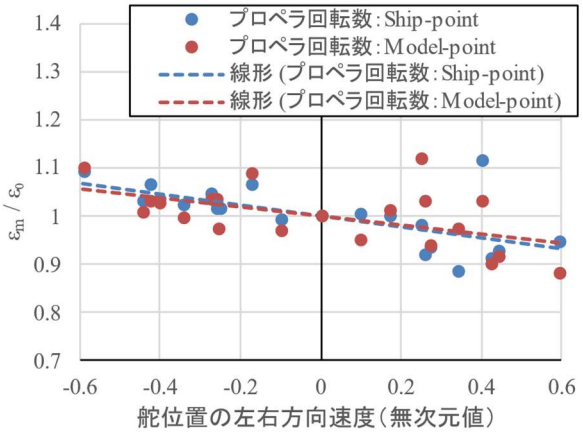


図 1.2.35 舵有効流入速度モデル内有効伴流比パラメータ ε の斜流影響（対象船：ケミカルタンカー）

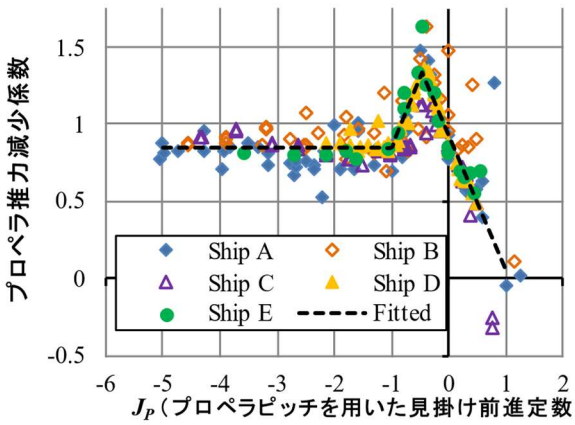


図 1.2.36 プロペラ逆転時の推力減少係数の 5 隻分計測値(Ship A-E)と提案した回帰モデル

して取得データや第1期中長期までの蓄積データに基づいて、主にプロペラモデル・舵力モデルを対象に低速時モデル及びモデル内係数の分析を行い、低速時操縦運動の特徴を考慮した適切なモデル係数解析法を提案した。そして、舵力モデル内の有効流入速度モデル係数については新しい係数解析法を開発し、その解析法に基づいてモデル係数に及ぼす斜航・旋回運動中の斜流影響(図 1.2.35)を初めて明らかにした。これらは R6 年度に実施予定の模型試験結果も踏まえて、査読論文として投稿することを計画している。加えて、プロペラ逆転時操縦流体力データベースの拡張を行い、後進時の抵抗特性や逆転時プロペラ有効推力モデル(図 1.2.36)など、一部の外力モデルについて水槽試験や CFD 利用を必要としないモデル簡易構築法を提案した。この成果の一部は日本船舶海洋工学会令和 6 年度春季講演会で公表予定である。また、前年度までに開発していた"実船の低速時舵効きを再現する自由航走模型試験法"について、国際会議 PAAMES/AMEC2023 で論文発表及び講演を行った。

・モデル同定手法の研究について、まず前年度までに実施した操舵応答モデル(KT モデル)の係数同定の検討に基づき、基礎アイディアを整理して 1 件のプログラム特許申請を行った。その後、対象船を前述のケミカルタンカーとして、同定対象モデルをより発展的な巡航速力ベースの MMG 型外力モデルとし、進化的計算手法として計算効率を考慮して焼きなまし法(SA 法)を選定し、操縦性指標を用いた解(操縦流体力微係数)の探索手順含め、モデル同定のためのフロー設計(図 1.2.37)を行った。R5 年度は本手法の実証に至らなかったが、R6 年度にはこのモデル同定フローの総括を行って結果を論文等で公表する計画である。

・制限水域における操縦流体力推定のための数値計算ツールの調査研究について、最初に離着桟時の一般的な操船計画を含めて離着桟時に起こり得る船体運動状況の整理を行った。次に、ポテンシャル理論ベースの数値計算手法や海技研以外の粘性 CFD ソルバーによる制限水域の操縦流体力特性の評価例を調査した。R6 年度にはこの調査研究結果をレビュー論文として投稿する計画である。そして、数値計算ツールの有望性評価の一環として、粒子法を用いた制限水域における真横移動時の流体力推定の試計算(図 1.2.38)を実施し、既存研究例との比較を行いつつ計算設定のブラッシュアップを行った。

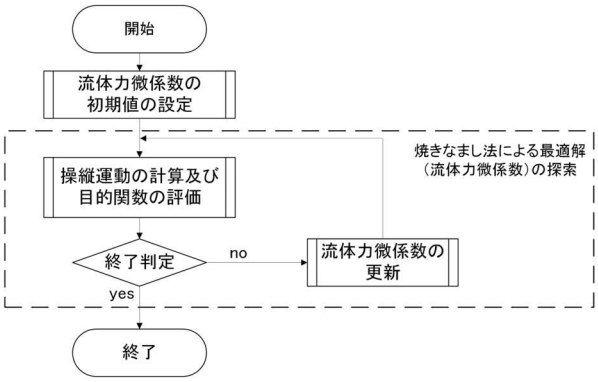


図 1.2.37 焼きなまし法を用いたモデル同定フロー概要

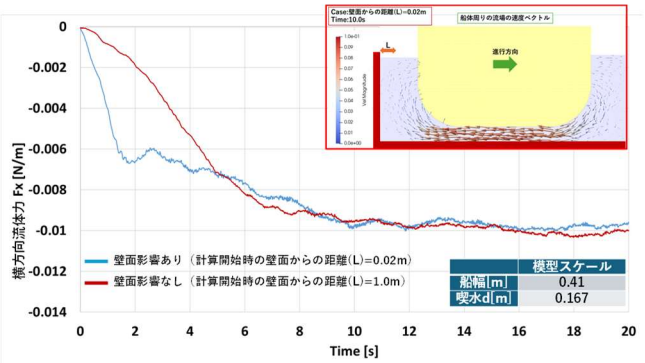


図 1.2.38 粒子法による浅水時(水深/喫水=1.2)の離岸運動流体力推定結果

・操縦運動モデルに関する外部委員会活動として、北川と澤田は日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着桟操船時の操縦流体力特性の簡易推定手法に関する調査研究委員会(委員長:北川)」に継続して参加し、研究成果の取り纏め・日本船舶海洋工学会講演会の国際セッションにて委員会の活動紹介・低速時操縦運動モデルに関する新しい研究委員会の企画を行った。加えて 2023 年 11 月より、日本海事協会技術研究所が主催する「自動運航船の操船制御システム評価用操縦運動モデルに関する研究会」に北川と澤田が委員として参加し、操船制御システムの安全性評価のための数学モデルに関する議論に貢献した。

□サブテーマ2

・第4期国土交通技術基本計画で開発した実海域性能の評価を可能にする CFD 統合システムをもとに、実船性能推定のための数理モデル及び新規手法の調査・開発に着手した。アンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化手法の導入と基礎的検討により、流場の改善性を示す(図 1.2.39)とともに、並列処理アルゴリズムを開発(図 1.2.40)した。

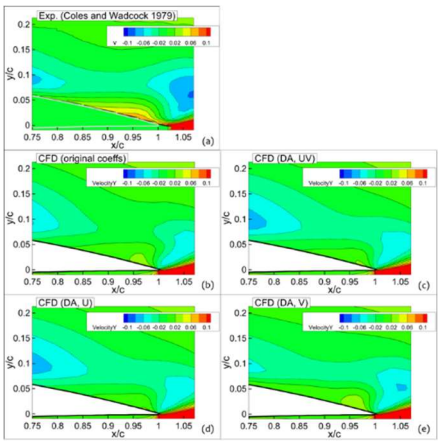


図 1.2.39 アンサンブルカルマンフィルタによる翼型周り流れの主流と垂直方向成分のデータ同化結果(1 段目が実験結果、2 段目左側が同化前、3 段目左側が同化による改善結果)

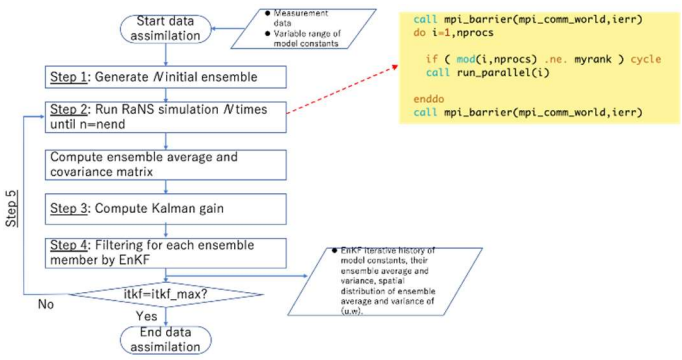


図 1.2.40 データ同化の並列処理アルゴリズムの開発

・動的重合格子手法を分散メモリ型の並列計算に対応させ、高速化を図った。格子生成において CAD データの IGES 形式への格子点の投影方法を導入し、形状再現度を向上させた。重合格子生成時に同一面で異なる境界条件を扱えるように拡張し、コンテナ積付け状態にあわせた格子点数約 1200 万点から約 3600 万点の計算格子を使用し、上部構造物の風圧抵抗計算結果を風洞試験結果(長さ約 1.3m 模型)で検証。風圧力を精度良く推定できることを確認した(図 1.2.41、1.2.42)。

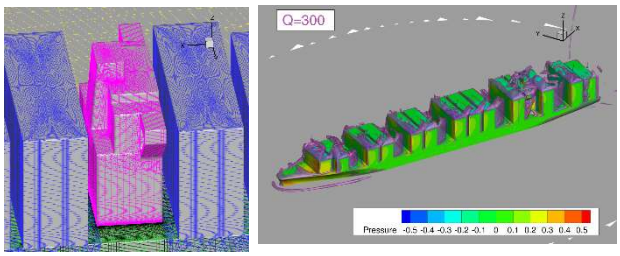


図 1.2.41 同一面で異なる境界条件への拡張(左図)及びコンテナ積付状態での圧力分布と渦等値面(右図)

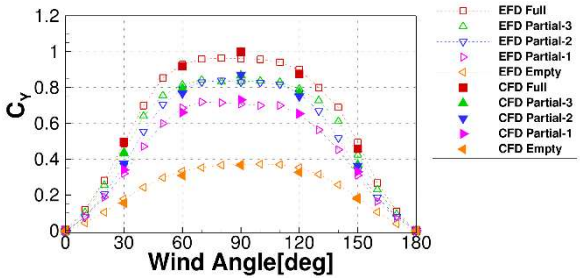


図 1.2.42 コンテナ積付状態での風圧横力係数の推定精度の検証

・格子ボルツマン手法(LBM)と有限体積法(FVM)の重合格子によるハイブリッド手法において乱流モデルを導入することにより高レイノルズ数へ適用させた。迎角 10 度を有する楕円体周り流れ(レイノルズ数 4.2×10^6)においてハイブリッド計算で有限体積法のみの場合と同様の結果が得られることを確認した(図 1.2.43、1.2.44)。

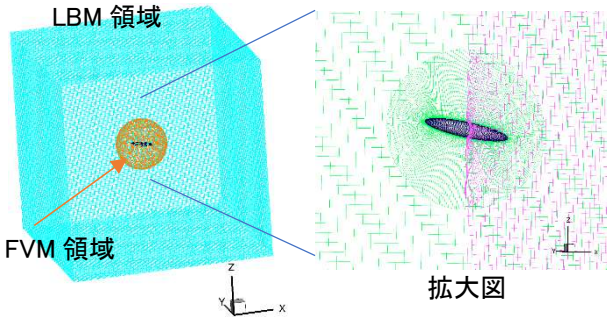


図 1.2.43 ハイブリッド計算用格子

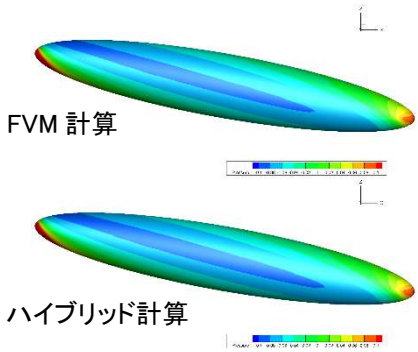


図 1.2.44 楕円体表面の圧力分布の比較

・港湾内操船を主とした操縦性能の推定に向け、約 500 万点の計算格子を使用して、深水域及び浅水条件

(水深喫水比 h/d=1.2、1.3、1.5)を変更したコンテナ船型の模型試験(長さ約 3.5m) 結果と同状態の自由航走計算結果を比較し、水深変更に伴う旋回径等の違いを精度良く推定できることを確認した(図 1.2.45)。船長 325m のタンカー船型の Z 操舵時の実船試験状態(レイノルズ数約 1.5×10^9)を約 300 万点の計算格子を用いて再現し、深水域及び水深喫水比 h/d=1.2 と 1.5 における第 1 行き過ぎ角の傾向等を捉えることを確認したとともに、Z 操舵中の船体表面圧力分布(図 1.2.46)や流場の変化を示した。

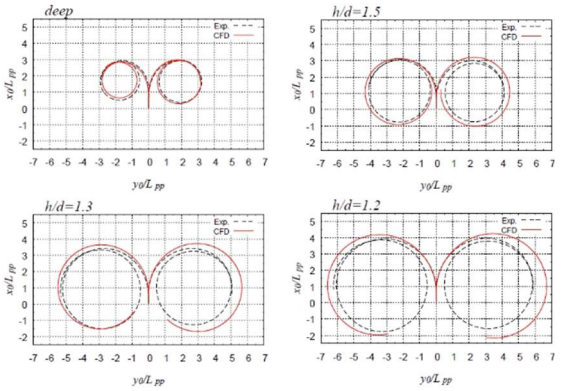


図 1.2.45 浅水条件による旋回径の比較

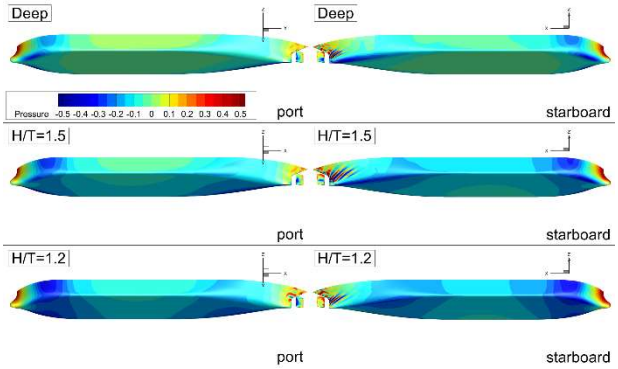


図 1.2.46 Z 操舵時の浅水条件による船体表面圧力分布の比較

□サブテーマ 3

・コンテナ船を用いた不規則波中のパラメトリック横揺れの模型実験を実施し、2022 年に更新された IACS No.34 Rev.2 の波スペクトルと方向分布の短波頂不規則波中のパラメトリック横揺れを計測した(図 1.2.47)。また、水槽実験技術向上として、水槽内の波高の空間分布が均一となる規則波を造波するための造波板の動揺振幅の最適解を焼きなまし法を用いて探索する手法を考案し、通常の造波法に比べて均一になることを数値造波シミュレーションで確認した(図 1.2.48)。

・第二世代非損傷時復原性基準の運航ガイダンスに基づく運航支援システムの有用性を検証するために造船所と運航会社の協力を得て検証した。その結果、危険とされる載荷状態は稀で影響は限定的ではあるが、その載荷状態での運航時にはこれまでの運用に影響が生じる, 安全側評価であることを確認した。

・漁業調査船「たか丸」を用いて通常の岸壁で行う傾斜・動揺試験を実施し、研修資料の素材を記録した。また、外乱下沖で同様の試験を行い、試験結果への影響と試験環境の限界を調査した。さらに、船の旋回時の内方傾斜を用いた GM 推定(図 1.2.49)や、バンバン操船による横揺れ固有周期の計測等を試した。また、25 人乗り救命浮器(3 m×4 m)を船長 12 m の小型船の舷側及び船尾に展開した場合の両者の相対運動をそれぞれ単体について STF 法により求めた複素応答振幅の差分の絶対値を取ることによって計算し、有義波高 1.5 m、 有義波周期 6.4 s、 ISSC 型スペクトルの不規則波中における各応答の短期予測を行った。

図 1.2.47 コンテナ船不規則中パラメトリック横揺れ試験

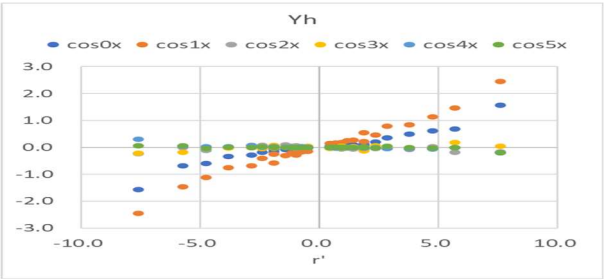


図 1.2.49 実船による旋回時内方傾斜の計測

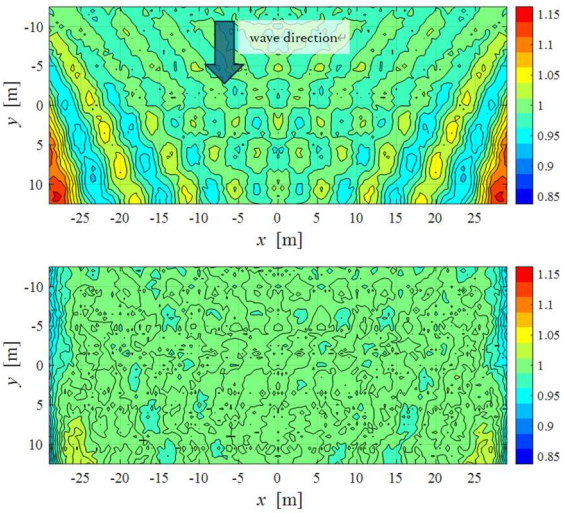


図 1.2.48 波振幅の空間分布(上:通常、下:最適化)

□サブテーマ 4

・前年度は船舶が振れ回り運動する際のダンピング項として働く、操縦流体力の計測を行った。本流体力の計測では、高品により提案された Yaw Rotating Test を採用した。Yaw Rotating Test は非定常運動の計測のために計測精度を確保することは難しいが、計測点数を抑えることが出来る。前年度は外航・内航タンカー船型について計測を行った。2 船は主要目に違いはあれども、一般的には肥大船型という分類に該当する。計測したデータを解析すると 2 船で操縦流体力の前後力と横力で考慮すべき項が異なることが確認された。また、並進運動と旋回運動との相対関係で考慮すべき項は異なることが確認された。さらに、外航タンカーについては航海速力で行われた CMT の結果があり、一般的に操縦流体力として考慮されている項とは異なることが確認された。これらを基に振れ回り運動時の操縦流体力の推定式が改善され、走錨リスク（船体に働く外力と最大係駐力の比）の推定精度が従来よりも向上することが期待される。
引き続き、船型の異なる模型での水槽実験を行うことを考えている。

図 1.2.49 内航タンカー模型の操縦流体力の計測

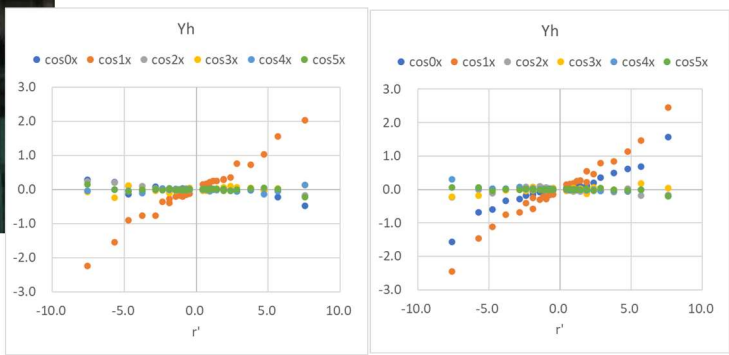


図 1.2.50 2 船の横力に関する解析結果
（左：外航タンカー、右：内航タンカ

・本研究で開発中のシステムは、錨泊中の船体がおかれた状況を反映するために航海計器で計測されたデータを安全性評価に活用することを想定している。また、評価結果は、船橋に設置されている ECDIS などで確認出来ることを想定している。これらの航海計器や航海機器との連携を進めていくため、国内の航海機器メーカーと共同研究を締結した。今年度は評価結果を ECDIS の画面上に表示するためのセンテンスを検討し、評価結果を受信して表示するプロトタイプを作成した。今回の検討結果を踏まえて、実船にて航海計器や航海機器との連携が有効に機能するかの動作確認を行うことを予定している。

図 1.2.51 振れ回り運動の数値シミュレーション結果を ECDIS 上に表示する画面

R5年度成果の公表

□査読論文（科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等（海技研報告であれば「研究報告」のみ））： 2 件（投稿中： 1 件、採択済： 1 件、掲載済： 0 件）

科学雑誌掲載論文

・

査読付き国際会議論文

・Ohashi, K., et al.: A Simplified Hybrid Method on Estimation for Dilution Rate from Scrubber Outlet at Full-Scale Conditions using RaNS Simulation, ISOPE2024, (2024).（投稿中）

・Ota D., Houtani H.,: Optimization of segmented wave maker control to generate spatially uniform regular waves in a wave basin by parallel simulation algorithm, Proceedings of the ASME 2024 43rd International conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE 2024, (2024).（採択済）

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文： 20 件（投稿中： 1 件、採択済： 1 件、掲載済： 18 件）

・大田大地 ほか: 操縦性指標を適応度の評価に用いた遺伝的アルゴリズムに基づく操縦運動モデルの係数同定手法に関する基礎的検討, 海上技術安全研究所 第 23 回研究発表会講演集（ポスターセッションにて発表）, pp.95-96, (2023).
・Kitagawa, Y., *et al.*: Development of a low speed free-running model test method considering scale effect in maneuvering and its demonstration on automated berthing, Proc. 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023).
・Kitagawa, Y., *et al.*: Introduction of the Research Committee for Reviews on the Simple Prediction Method of Hydrodynamic Characteristics in Harbor Maneuvering, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 37 号, pp.13-16, (2023).
・北川泰士 ほか: プロペラ逆転時操縦流体力特性の簡易推定のための実験的研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 38 号, (2024). （採択済）
・Sakamoto, N., et al.: False bottom effect for captive dynamic PMM tests in shallow water, US-Japan Joint Workshop on Ship Hydrodynamics in Hiroshima U., (2023).
・Sakamoto, N., et al.: 6DOF OVERSET URANS SIMULATIONS OF KCS UNDER ZIG-ZAG AND TURNING TESTS IN DEEP WATER, SIMMAN2020, (2023).
・Sakamoto, N., et al.: OVERSET RANS STUDY OF THE EFFECT OF TANK BOTTOM CONDITION FOR KCS UNDER STATIC DRIFTRUDDER CONFIGURATIONS IN SHALLOW WATER, SIMMAN2020, (2023).
・大橋訓英: 重合格子による有限体積法と格子ボルツマン法のハイブリッド手法の高レイノルズ数流れへの適用性の基礎検討, 流体力学会年会 2023, (2023).
・Kobayashi, H., et al.: Numerical estimation for wind forces of a container ship with various loading patterns of containers, PAAMES/AMEC2023, (2023).
・Sakamoto, N., et al.: Computational Investigation of Shallow Water Effect in Esso Osaka under Zig-Zag Maneuvers in Full Scale, PAAMES/AMEC2023, (2023).
・鏡園将成 ほか: Free-Run CFD による浅水域における船の旋回運動シミュレーション, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, (2023).
・小林寛: 船舶 CFD を新しいフェーズへ, テクノスター社 造船ユーザーカンファレンス, (2023).
・大橋訓英: 非圧縮性流体での擬似圧縮性解法における計算不安定の解消方法について, 第 37 回数値流体力学シンポジウム, (2023).
・坂本信晶 ほか: 船舶 CFD におけるデータ同化の必要性とそのプロトタイプ開発, 設計と運用に活かすデータ同化研究会, (2024)
・Sakamoto, N., et al.: Revisiting DA for Parameters of k-ω SST Model with 2D NACA4412 and their Application to 3D Hull Forms, 日本船舶海洋工学会春季講演会, (2024). (投稿中)
・Kuroda, T. and Ota D., Validation of operational guidance for excessive acceleration using container ship actual operational data, Proceedings of 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023)
・黒田貴子, 大田大地: 船舶復原性研修による安全性向上への取り組み, 海上技術安全研究所研究発表会, (2023).
・黒田貴子, 大田大地: 復原性試験実習, 復原性基礎研修, (2023).
・黒田貴子: 第二世代非損傷時復原性基準の概要, 復原性基礎研修, (2023).
・大田大地: 漁船の転覆事故の検証, 復原性基礎研修, (2023).

□特許申請： 1 件

・大田大地 ほか: 船舶の操縦運動モデルの係数同定プログラム、操縦運動モデルの同定した係数の利用方法、及び操縦運動モデルの係数同定システム（特願 2023-115815）

□コアプログラム登録： 3 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 Ver.4.01）
・CFD ポスト解析システム Ver.3.0
・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） Ver.2.1 R6

□国際連携活動： 1 件

・Simplified operational guidance and safety device for the excessive acceleration failure mode, SDC10/ INF.10, IMO, 2024

□受賞： 0 件

・

□公開実験： 0 件

・

研究開発課題	(1)① 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 (2)① ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発

研 究 テーマ	重点 3 次世代船舶技術の社会実装に不可欠なリスク解析技術の構築

中長期目標	中長期計画	R5 年度計画
海難事故の原因分析・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、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた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。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 －海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築よる安全・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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。 等

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、水素・アンモニア等のゼロエミッション燃料の燃焼解析技術を始めとする温室効果ガス削減技術の高度化及び実海域における実船性能向上に関する研究開発、並びに船舶の運航時における環境負荷低減に資する基盤的技術及び環境影響評価手法等に関する研究開発に取り組む。	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、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 ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、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 ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発 －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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、水素専焼の運転条件の検討・燃焼モデルの作成、エンジンの空気流動を模擬した試験技術の確立、船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化を行う。 等

研究の背景

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関（IMO）における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る。

国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。

具体的には、以下があげられる。

- 新コンセプト船に係るリスクベース安全性評価手法の開発
- 新規燃料船に係る影響解析手法の開発
- 放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究
- 安全安心な海上交通環境の実現に関する研究

期間全体の研究目標

□新コンセプト船に係るリスクベース安全性評価手法の開発

・IMO や船級等の規則/ガイドライン等で要求される定性的リスク評価手法の標準化及びガイドライン開発

・同等安全性評価のための定量的リスク評価手法の確立及びガイドライン開発

・自動運航技術等に関連する IMO での審議への意見反映

□新規燃料船に係る影響解析手法の開発
・物理化学現象を考慮した大気拡散解析コード
・燃料火災・爆発に伴う影響度詳細解析コード
□放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究
・原子力規制庁および海事局と連携し、IAEA および IMO 等国際機関における原子力関連規則の審議に日本の意見が反映されるよう助言レポートを作成する
・国内では海事局と連携し、解体廃棄物輸送等の安全審査及びガイドラインの原案を作成する
・日本原子力学会においては、簡易計算コードの V&V を行い学会標準化する
・海事局検査測度所有の事故時影響評価プログラムを新たな輸送物へ対応できるように拡張する
□安全安心な海上交通環境の実現に関する研究
・推薦航路の効果検証結果および交通ルール設計評価手法へのフィードバック
・船舶航行経路上の衝突リスク評価手法の確立
・航行条件下における衝突の蓋然性予測手法の確立
□全体
・新コンセプト船の導入への安全対策（リスクベース安全性評価手法の開発、安全基準・ガイドライン等の策定）
・海上交通環境への安全対策（運航支援監視技術の開発）

上記成果は、以下があげられる。
- リスク評価手法の標準化及びガイドライン開発により、新コンセプト船の安全性向上やリスク評価実施者の負担軽減に寄与し、安全安心な社会を実現する。
- 新規燃料船のリスク評価における影響解析の標準ツールとして開発したコードを普及させ、リスク評価実施者の負担軽減に貢献する。
- 新たな輸送物の安全評価手法の妥当性を評価する。これをガイドライン化、学会標準化する事で、事業者と規制当局がともに受け入れられるような客観的な基準が確立され、円滑な安全審査及び高い安全性が実現される。また V&V された遮蔽コードと、ガイドラインの組み合わせにより、信頼性の高い遮蔽解析が低コストで実施可能となり、事業者の放射性物質輸送申請書類作成期間の短縮化も期待される。
- 準ふくそう海域での安全対策の効果検証結果をフィードバックすることにより、海難事故を減少させ、安全安心な社会を実現する。
- 海事局・海上保安庁・日本海事協会・関連学会等との連携により、成果である手法および安全基準・ガイドライン等を普及促進させ新コンセプト船の安全性向上やリスク解析の負担軽減が可能となり、海上輸送の安全確保および海洋環境の保全に貢献する。

R5年度研究目標

□サブテーマ1
・自動/無人運航船の HAZID 結果を考慮した機能要件案の導出
・自動/無人運航船の HAZID における Risk Index (RI)計算方法の開発
・自動/無人運航船の衝突事故シナリオのモデル化

□サブテーマ2
・液化アンモニアの海上漏えいに伴う蒸発プールモデルの開発

□サブテーマ3
・新規に実施される大型解体廃棄物輸送の安全解析
・簡易遮蔽計算コードの適用範囲拡大
・放射性物質輸送事故影響評価システムの高度化

□サブテーマ4
・新交通ルール運用に伴う船舶交通流の変化モデルの構築
・船舶航行経路上の衝突リスク評価手法の構築
・デジタル基盤上で地図情報として提供するツールの試作

R5年度研究内容

□サブテーマ1
・自動/無人運航船の HAZID 手法の高度化に関する研究
・自動/無人運航船の定量的リスク解析手法の高度化に関する研究

□サブテーマ2

・既存の蒸発プールモデルへのアンモニア溶解モデルの組込みおよび検証

□サブテーマ3

・国交省の輸送物調査班会合および顧問会へ参加によるニーズの把握と課題への対応
・簡易遮蔽計算コードのビルドアップ係数のコード間検証と光核反応の影響を実証
・大気拡散モデルの改良としての乱流粘性係数モデルの比較

□サブテーマ4

・伊豆大島推薦航路および東京湾口部の経路指定の交通ルールの効果検証
・航行経路上に存在する潜在的な衝突発生数の推定手法の構築
・船舶版ダイナミックマップの試作

R5年度研究成果

□サブテーマ1

・自動運航船に関して実施した HAZID によって抽出した情報を用いて自動運航の実施に必要な動作を主機能として 10 種類の機能を設定した。また機能の動作確認や、故障や不具合が発生した場合等、主機能が動作するために必要な 5 つの観点を設定し、それらの観点から自動運航船の主機能に対する機能要件案を設定する手法を開発した（表 1.2.1）。現在、IMO において自動/無人運航船に関する規則（MASS コード）の議論が進行中であるが、本研究で得た成果も活用して、国土交通省等の国内関係者と協力し、IMO における MASS コードの審議にも貢献した。

表 1.2.1 開発した機能要件設定手法による自律（自動）操船の中止に関する機能要件一例（案）

主機能	・自律操船の継続可否を，関係するデータ（自己診断結果，自船の状態，気海象，他船や航行環境等）に基づき判断する ・ODD 外と評価されるなど，上記の継続可否判断の結果，継続不可と判断された場合，自律操船を中止する旨を対応船員に通知し，船員の指示に従い手動操船への切替を行う
主機能の動作を確認する機能	・自律操船継続可否判断機能が正常に作動しているか，その結果に誤りがないか確認する ・自律操船継続不可と判断された場合に対応船員に通知する機能が，正常に作動しているか確認する
不具合発生時の機能(警報等)	・上記 2 項目の機能のいずれかが正常に実行できないと判断された場合，対応船員に通知する ・対応船員から応答がない場合，不具合に対応するフォールバック用システムを実行する
船員への提示機能(状態確認)	・自律操船継続可否判断の根拠となるデータの提示（正常項目，異常項目の両方）と判断結果の提示 ・（該当の場合）フォールバック用システムの実行状況
事前に必要な検証	・自律操船継続可否判断機能が正確かつ適時に作動するかどうか，事前に検証を行う ・自律操船継続可否判断機能を実行できない旨の通知がされた場合の，船員の対応をマニュアルに記載して整備する ・マニュアルの確定後，船員による対応の訓練を実施し，訓練が十分に行われたことを確認する ・フォールバック用システムの実行訓練 ・各種検証及び訓練等実施後，船員の操船権回収訓練

・通常、HAZID では Frequency Index（FI）と Severity Index（SI）の和である Risk Index（RI）がハザード毎に設定される。これらは専門家によるブレーミンストーミングで設定されることが多いが、本研究では自動/無人運航船の HAZID における RI 計算方法を、ハザード毎に関係するパラメータを陽に考慮し設定する手法を提案した。例えば衝突事故に関するハザードの場合、衝突になるような危険な遭遇の発生回数や、ハザードの発生回数、それを回避するような安全対策の効果等をパラメータとして設定し、FI を計算し、乗船者数及び事故時の死亡率をパラメータとして SI を計算する（図 1.2.52）。

$$S_{ji} = N_{PoB} p_{fj}$$

S_{ji}： 航行フェーズjにおけるハザードiのシナリオにおける死者数
N_{PoB}： 乗船者数
p_{fj}： 航行フェーズjにおける事故時の死亡率（乗船者数に対する死亡者の割合）

- 749GT程度のコンテナ船を想定：N_{PoB}=7(人/隻)
- 航行フェーズjは港外航行とする
- IHSデータを用いて、1980年から2019年に発生したコンテナ船の衝突事故で、事故発生場所がOpen Seaである事故から死亡率の平均値を算出（$p_{fj}=8.05\times10^{-4}$）

$S_{ji}=5.64\times10^{-3}$

SI=1

表 SIの定義例[1)]

SI	定義	死者数
1	単一の負傷者	0.01
2	複数の負傷者	0.1
3	単一の死者	1
4	複数の死者	10

1) IMO: Revised guidelines FOR formal safety assessment (FSA) FOR use in the IMO rule-making process. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2, 2018.

図 1.2.52 開発した RI 設定法のうち SI 設定に関する例

・自動/無人運航船の衝突事故を対象とした事故シナリオ案を Bayesian Network（BN）で構築した（図 1.2.53）。また、その BN の各ノードの確率をベイズ推定ためのデータ整備を実施した。BN モデルの改良及びデータ整備を引き続き実施していく。

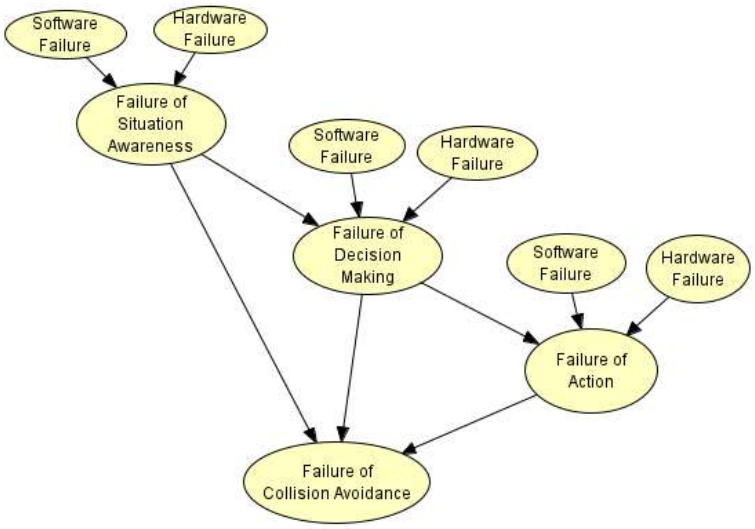


図 1.2.53 BN による衝突事故シナリオ

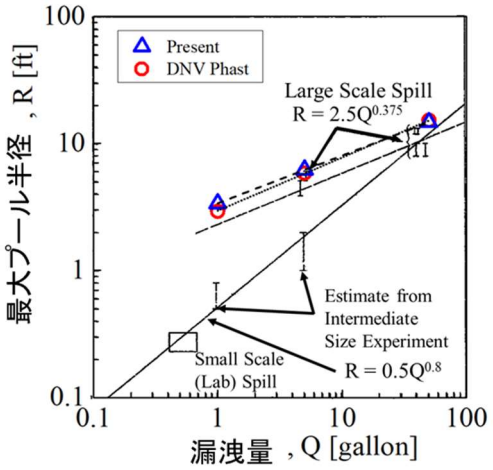
□サブテーマ2

・海上漏えいしたアンモニアから大気拡散に移行するアンモニア量を推定するために評価に不可欠なアンモニアの溶解蒸発モデルの開発を行った。前年までに開発している、LNG 漏洩被害影響度解析プログラム（P 第 11188 号-1）をベースとして、蒸発プールモデルに対してアンモニア/水系の化学平衡計算モデルおよび物質移動によるアンモニア溶解モデルの組込みを行い、P.K. Raj et al.(1974)の大規模漏洩実験を対象に当該分野で先行する DNV Phast（DNV が開発した有害化学物質の漏えい、大気拡散、火災爆発影響解析コード）および開発モデルによる予測との比較を行った。

その結果、本検討モデルは最大プール半径の予測式における漏洩量のべき指数が大規模実験の結果と良好に一致（0.375）していることから、図 1.2.54 のとおり開発モデルは漏洩量に対する最大プール半径の傾向を良好に再現することが分かった。

現在、建造が予定されている 87,000 m^3 クラスのアンモニア運搬船において大規模漏洩事象が発生することを想定した場合、漏洩量のべき指数より Phast による最大プール半径の予測は過大に見積もる可能性がある。

今後、より良好な再現が得られるよう、物質移動モデルについてさらなる検討を引き続き行っていく。また、本検討モデルは、海上防災上重要な貨物であるメタノールやアクリル酸等の他の水溶性危険物にも原理的に適用可能なモデルであるため、引き続きモデルの拡張を行っていく。



大規模実験：$R = 2.5Q^{0.375}$

DNV Phast：$R = 2.96Q^{0.418}$

開発モデル：$R = 3.39Q^{0.375}$

図 1.2.54 水上漏洩したアンモニアの漏洩量と蒸発プール最大半径の比較

□サブテーマ3

・国交省の輸送物調査班会合等では大型解体廃棄物の輸送に際しては放射性物質の表面汚染密度が直接計測できないため、その評価方法が課題であることが明らかになった。内部汚染推定では汚染パターンと外部測定との比較が主な方法となるため、膨大な汚染分布パターンの計算が必要になる。そこで汚染分布—外部線量データベースを作成するために、海技研で開発された簡易遮蔽計算コード POKER で使用するビルドアップファクター(線量を計算するための散乱線/透過線の線量比)の整備を行った。得られたビルドアップファクターは光核反応を考慮し、また 80mfp までをサポートしているためより厚い遮蔽体にまで適用可能であり、また光核反応を考慮したため従来のデータでは数桁以上の過少評価となっていた点が解消された(図 1.2.55)。

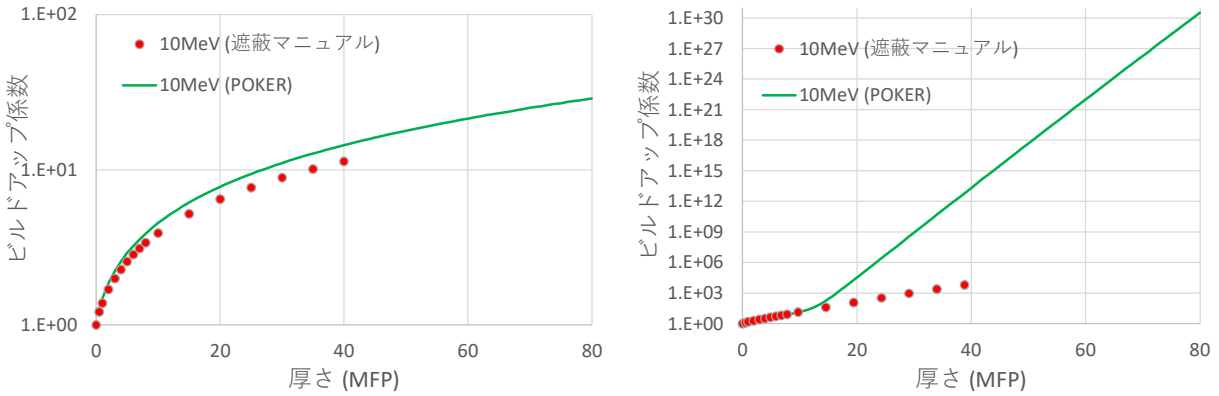


図 1.2.55 ビルドアップ係数 (左:水に対する 10MeV 光子、右:鉄に対する 10MeV 光子)。比較対象は過去の文献(財団法人原子力安全技術センター 放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル)による。

さらにモンテカルロ遮蔽計算(MC 計算)との相互比較等のために海技研で開発した MC 計算可視化ソフト Gxsview に POKER 入力の読み込み機能の追加を進めた。また過去に原子力研究所 JRR4 で行われた実験(日本原子力船開発事業団著 原子力第 1 船遮蔽効果確認実験報告書第 5 篇その他遮蔽実験)を用いて POKER コードのベンチマークを行い、モンテカルロ詳細計算コードが実験値を下回る危険側評価をし得るのに対し、POKER コードが一定の裕度で安全側の評価を示すことを確認した(図 1.2.56)。これらの結果は日本原子力学会簡易遮蔽コードワーキンググループおよび原子力学会春の大会 V&V 企画セッションで報告・討論され専門家の知見としての合意を得た。

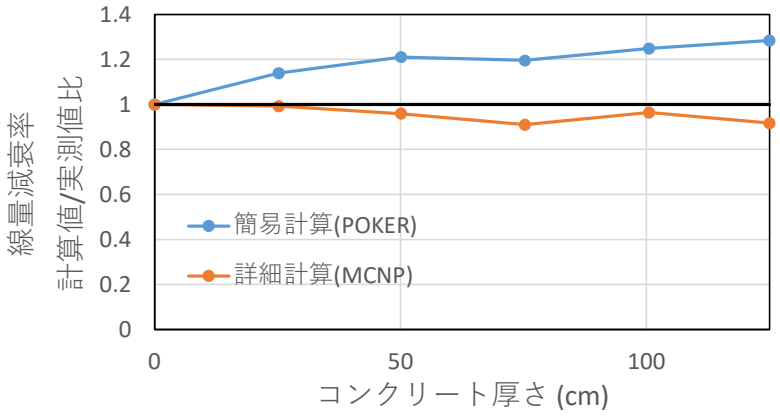


図 1.2.56 JRR4 遮蔽実験の再計算による詳細計算(MCNP)と簡易計算(POKER)の比較

・有害物質の大気拡散解析に必須となる風況予測モデルの開発を行った。基盤となるモデルは、緊急時対応に適した質量保存流速場モデル(MASCON)である。MASCON は流れの剥離を伴わない比較的なだらかな地形上の風況予測が対象であり、複雑地形や施設が障害物として気流場に及ぼす影響を考慮する場合、その予測精度は著しく低下する。この課題を解決するために、急峻な地形変化や施設等が気流場に及ぼす影響を代数式の組み合わせで表現するモデルを提案し、これを一次推定モデルとして質量保存流速場モデルに組み込み、流れの剥離を伴う風況予測を可能にした(図 1.2.57)。計算条件の設定が簡単であり、計算時間の短縮が見込め、緊急時の風況解析として満足できる予測精度を有する。

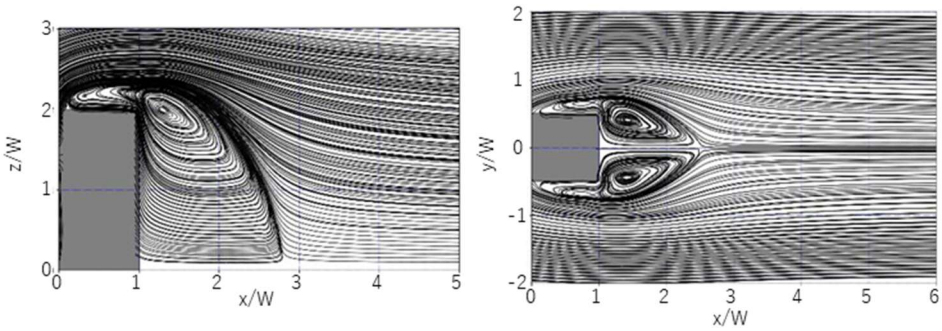


図 1.2.57 MASCON による矩形状障害物周辺の気流場予測結果(左:鉛直断面、右:水平断面)。物体上面・背面、および側面の渦のコアおよび付着点位置を再現

□サブテーマ4

・新ルール構築における船舶交通の安全性評価において、確率論的な観点から遭遇頻度を、決定論的な観点から OZT を、安全性評価のための指標として設定し、この 2 つの指標により海域の潜在的な衝突危険性を評価する手法が適用されているが、これらの指標による結果と実際の衝突発生状況の関係性は明らかにされていない。そこで遭遇頻度および OZT が海域の衝突危険評価に有用であることを検証するため、これらと衝突およびニアコリジョンの位置関係や発生状況に関する相関を分析した。その結果、遭遇頻度および OZT は、衝突およびニアコリジョンと強い相関があることを示した。これにより、海域の衝突危険評価において、実績データが少ない衝突事故やニアコリジョンではなく、航跡データから推測できる衝突危険性として、遭遇頻度および OZT が有用であることが示された(図 1.2.58)。

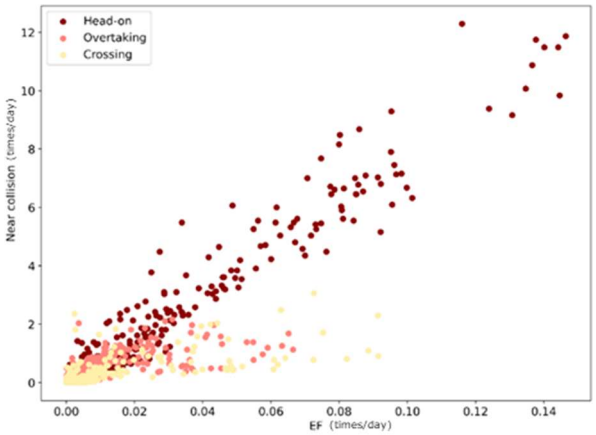


図 1.2.58 海域格子内の遭遇頻度とニアコリジョン数の散布図

・遭遇頻度および OZT を用いて、推薦航路と経路指定が新交通ルールとして実装された伊豆大島西岸沖と東京湾口部の近接海域における船舶交通の変化と潜在的衝突危険性を定量的に評価した。その結果、東京湾口部の導入により、すでに運用済みの推薦航路の遵守率が上昇したことに加え、個々のルール設置海域だけでなくその中間の海域での衝突危険性が減少していることを確認した。個々の交通ルール実装後の効果を検証した研究は複数見られる(第 1 期中長期計画中に実施済み)が、2 つの交通ルールの相互影響に関連するものはほとんど見られずこれを明らかにした。これにより近接する海域で新たな交通ルールが導入される場合は、個々のルールによる効果の他、複数のルールの相互作用を考慮することが必要であることが示された(図 1.2.59)。

・OZT による海域の衝突危険性評価手法を高度化するため、OZT を見合い関係別に識別し、単位時間当たりの潜在的な衝突発生率を意味する OZT 占有率を考案した(図 1.2.60 (a)(b))。

・上述の成果を適用し、来島海峡航路西側海域の安全対策(経路指定による整流化と灯浮標撤去)における影響評価を実施した。その結果、見合い関係別で衝突危険性が全体的に低くなる(海域全体で横切りは約 0.8 倍に改善)とともに、その発生場所が分離でき、安全性向上が期待できる。さらに来島西側海域を航行する経路別の船舶の進路交差と変針点が分離されることにより、操船意図が明確化されることが期待できる。また、経路指定の西側及び、撤去予定の灯浮標周辺海域で新たな船舶交通の集中が予測された。別途開催された有識者委員会により当該安全対策の策定及び運用上の安全対策(マーチスの情報提供海域の拡大等)に本研究成果が活用された。当該安全対策は 2024 年 7 月 1 日に運用が開始される予定である

（民間請負を受託）。

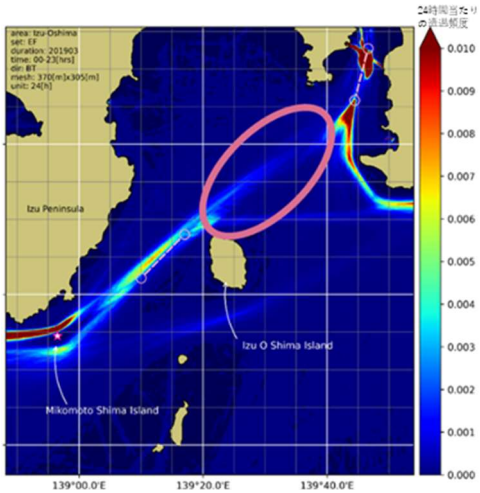
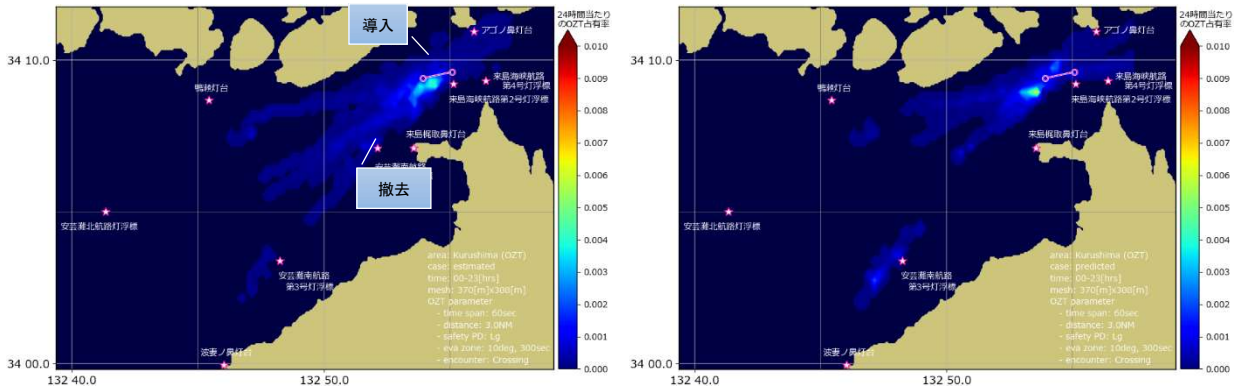


図 1.2.59　伊豆大島西岸沖～東京湾口部における反航船の遭遇頻度分布図（AIS データ：2019.3）



（a）現状：安全対策導入前　　（b）将来予測：安全対策導入後

図 1.2.60　来島海峡航路西側海域における安全対策案の OZT 分布図（横切り関係）

・これまでに開発してきた遭遇頻度推定手法では、船群間の進路が完全に一致する場合には、速度差があったとしても衝突危険性が算出されなかった。そのため、同一進路に属する船舶が多い狭水道の評価には適さなかった。船舶交通の安全性評価手法の高度化として、狭水道における船舶の衝突に至る見合い発生状況を分析するため、船群を進路と速度で定義して計算するよう推定手法を拡張した。関門海峡の交通流を解析したところ、図 1.2.61 において、従来手法と比較して、新手法では船群間の遭遇が多く検出されている箇所が赤くなっており、行会いと追い越しの関係で 1.4 倍、横切りの関係で 1.1 倍多く遭遇の発生が検出された。

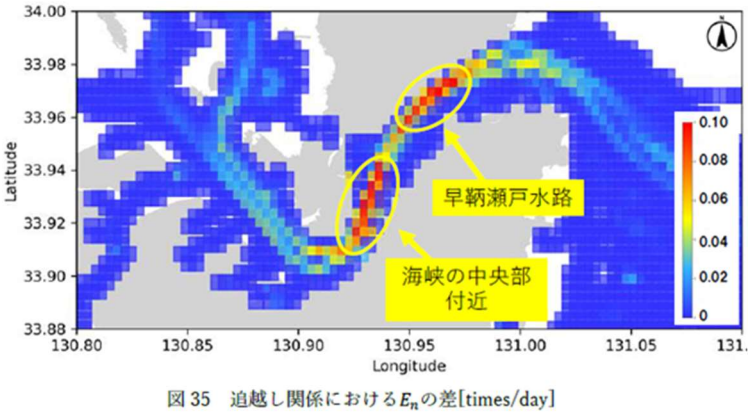


図 1.2.61　関門海峡における従来手法と新手法の遭遇頻度分布差

・船舶の AIS 情報は目的地名を含むが、個別の分岐等における行き先や詳細な操船意図は明示されない。これを解決することを目的として、AIS 航跡データから目的地を推定するため、隠れマルコフモデルを用いた

機械学習を用いて交通流分岐点での行動選択を予測する手法を開発した（図 1.2.62）。

図 1.2.62　跡データによる目的地を推定手法のための教師航跡の例

・遭遇頻度を用いて、船舶間の出会角等の具体的な交通流の特徴量を考慮した任意の二つの船舶群間に存在する航行経路上の潜在的な衝突発生数の推定方法を開発した。さらに船舶版ダイナミックマップに寄与するため、当該手法を船舶版ダイナミックマップ試作版デスクトップアプリに実装するとともに、航路計画立案のユースケースを想定し、計画航路の設定機能および見合い関係別及び時間別経路上の遭遇頻度算出機能の仕様を検討し実装した（図 1.2.63）。これにより現在は経済性に焦点を置いた航路計画で運航しているが、安全性にも考慮した計画立案が期待できる。また、当試作版は、オープンデータプラットフォームでの基盤プログラムとして活用予定である。ここで船舶版ダイナミックマップは、航路や水深等の 2D 静的情報の他、港湾施設等の 3D静的情報や、自動運航船の自動運転や内航船の安全運航に有用な潮流や船舶動静データ等の動的データを一元的に重畳する地図を言う。

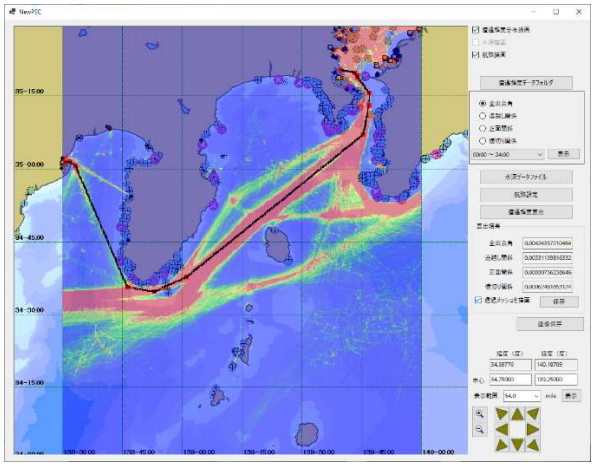


図 1.2.63　計画航路と遭遇頻度分布を航海用電子参考図に重畳した船舶版ダイナミックマップ試作版の表示例

R5年度成果の公表

□査読論文（科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等（海技研報告であれば「研究報告」のみ））： 10 件（投稿中： 5 件、採択済： 0 件、掲載済： 5 件）

科学雑誌掲載論文

・T. Yuzui & K. Kaneko: Toward a hybrid approach for the risk analysis of maritime autonomous surface ships: A systematic review, Journal of Marine Science and Technology (JMST). （投稿中）

・鎌田創 ほか: Integration of multiple sensors incorporated into ROV for remote measurement in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.36 No.1 pp.71-78 (2024)(掲載済)

・Sonoko KAWASHIMA, Hiroko ITOH, Yasumi KAWAMURA and Hiroki OTSUKA: Analysis of the Situation Awareness of Remote Ship Operators: A Simulation-based Study. Transactions of Navigation, Volume 8 Issue 2, pp. 45-55, 2023. (掲載済)

・Y. SUYAMA et al.: Analysis of ship collisions around Hayatomo-Seto Waterway in the Kanmon Passage, Transactions of Navigation. （投稿中）

・H. OKA: Theoretical Analysis on a Fire-Induced Ceiling Jet in a Corridor under Natural Ventilation Condition

Journal of Fire Sciences.（投稿中）
・Y. OKA et al.: Simple prediction model for temperature attenuation of fire-induced smoke layer in consideration of the starting position of the tranquil flow region in rectangular cross-sectional tunnel in natural ventilation, Tunnelling and Underground Space Technology.（投稿中）
・A. Tanno et al.: Smoke layer flow property induced by a weak fire plume in arched tunnels under natural ventilation, Tunnelling and Underground Space Technology.（投稿中）

査読付き国際会議論文

・R. Miyake & H. Itoh: Research on Change of Traffic Safety Accompanying the Successive Implementation of New Traffic Rules, Proc. of Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS) (2023) (掲載済)
・H. Itoh et al.: Relationship between estimated ship collision frequency and observed near misses in real traffic environment, Proc. of Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS) (2023) (掲載済)
・S. Kawashima et al.: Safe navigation routing using mesh-based encounter frequency, Proc. of Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS) (2023) (掲載済)

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文： 24 件（投稿中： 0 件、採択済： 0 件、掲載済:24 件）

・T. Yuzui et al.: Development of Risk Analysis Procedure for Autonomous Ships, Proceedings of AMEC 2023 (2023)
・柚井智洋: 自動運航船のリスク解析のための Risk Index 計算法の開発，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 37 号（2023）
・柚井智洋: 国際規則の観点からの船舶の安全確保の取り組み，第 14 回横幹連合コンファレンス論文集 (2023)
・柚井智洋: システムモデリングを利用したハザード分析手法の紹介，第 5 回 AI/IoT システム安全性シンポジウム（2023）
・石村惠以子 ほか: 仮想の自動運航船の緊急オペレーション時における機能要件の検討，第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集（2023）
・三宅里奈 ほか: 新コンセプト船を支えるリスク解析技術に関する研究，第 23 回研究発表会講演集（2023）
・木村新太: アンモニア燃料の漏えい事象を対象としたガス拡散解析，第 23 回研究発表会講演集（2023）
・木村新太 ほか: 自然換気下における傾斜した細長い空間内を伝搬する火災熱流動現象の数値シミュレーション，安全工学シンポジウム 2023 講演予稿集（2023）
・木村新太: 海上技術安全研究所，セイフティエンジニアリング，第 47 巻(3) 200 号（2023）
・木村新太 ほか: 液化アンモニアの水への溶解・気液平衡を考慮した蒸発モデルの検討，第 56 回安全工学研究発表会講演予稿集（2023）
・工藤潤一: 燃料タンク配置に係る代替設計支援ツールの開発，第 23 回研究発表会講演集（2023).
・工藤潤一: 水素燃料電池船の安全評価手法の開発，JSTRA 研究開発成果報告セミナー ―内航船の課題解決に向けて― (2023)
・平尾好弘 ほか: VIBRATION ANALYSIS OF SPENT FUEL CASK TIED DOWN IN THE HOLD BASED ON MEASUREMENT OBTAINED DURING SEA TRANSPORTATION IN JAPAN, Proceedings of the 20th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (2023)
・近内亜紀子 ほか: Proposal on Improvement of the Review and Revision Processes of the IAEA Transport Regulations from Japan, Proceedings of the 20th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (2023)
・近内亜紀子 ほか: REVIEW OF THE A1 AND A2 VALUES, Proceedings of the 20th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (2023)
・大西世紀: 遮蔽計算のための基盤的可視化ソフトウェア Gxsview の新機能（3）日本原子力学会 2023 年秋の大会予稿集（2023）
・平尾好弘: 遮蔽解析の V&V ガイドライン策定に向けて（3）規制の関心を踏まえたコード開発・認可観点での V&V，日本原子力学会 2024 年春の大会予稿集（2024）
・Yusuke SUYAMA, Sonoko KAWASHIMA, Hiroko ITOH and Yasumi Kawamura. Cause analysis of ship-ship collisions around Hayatomo-seto Waterway in the Kanmon Passage, Asia Navigation Conference 2023, Online.
・三宅里奈: 船舶版ダイナミックマップの試作版とガイドラインの作成，JSTRA 研究開発成果報告セミナー ―内航船の課題解決に向けて― (2023)
・伊藤博子: 総合安全評価（FSA）手法を用いた小型旅客船の浸水安全対策の評価，航海学会 海上交通工学研究会（2024.3).
・H. Itoh: Assessing Risks and Fostering a Safety Culture for Next-Generation Fuels, Container Shipping

Summit 2024 (2024.3)
・石川真菜美 ほか: 浅層モデルに基づく高密度ガス大気拡散予測モデルの改良とその評価, 第 56 回安全工学研究発表会 講演予稿集 (2023)
・後藤耀太 ほか: 自然換気時の矩形断面トンネル火災時に伝播する煙層性状への 火源位置と縦断勾配の影響, 第 56 回安全工学研究発表会 講演予稿集 (2023)
・岡泰資 ほか: 自然換気型のアーチ形断面トンネル長手方向に沿って伝播する煙層性状に関する実験的検討, 第 56 回安全工学研究発表会 講演予稿集 (2023)

□特許申請: 1 件
・三宅里奈: OZTによる海域衝突リスク評価プログラム及びOZTによる海域衝突リスク評価システム (特願2024-040082)

□コアプログラム登録: 3 件
・柚井智洋: 自動運航船のリスク解析支援プログラム
・浅見光史: 障害物が気流場に及ぼす影響を考慮した緊急時風況予測プログラム
・三宅里奈、河島園子、伊藤博子: 船舶版ダイナミックマップ基盤プログラム

□国際連携活動: 6 件
・近内亜紀子: 第 46 回輸送安全基準委員会(TRANSSC46)における IAEA 輸送規則の技術的基礎文書に関する専門家会合に関する議長報告
・近内亜紀子: 第 46 回輸送安全基準委員会(TRANSSC46)における E&T35 の質問状に対する回答の作成
・工藤潤一: IMO CCC 9/7 Draft revised interim recommendations for carriage of liquefied hydrogen in bulk (2023)(focal point を務めた非公式 IMO CG レポート)
・塩苅恵: IMO MSC 107/5 Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Report of the Correspondence Group (2023)
・塩苅恵: ISO/TC 8/WG 10 出席
・伊藤博子: 自動運航船に係る国際規則案の策定への貢献

□受賞: 2 件
・河島園子: 海上・港湾・航空技術研究所理事長表彰(個人表彰、最優秀論文賞)、Calculation of the number of ship collision candidates using mesh-based estimation method for ship traffic data, Journal of Marine Science and Technology, Volume27,Issue4,pp.1233-1251, 2022
・A. Tanno, Y. Oka, H. Oka, K. Matsuyama: Best Poster Award of 14th International Symposium on Fire Safety Science, A simple model to predict the temperature attenuation of smoke layer propagating along the arched tunnel axis under natural ventilation

□公開実験: 0 件
・

研究開発課題	(1)① 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発

研 究 テーマ	重点 4 操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5 年度計画
海難事故の原因分析・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、自動運航船やゼロエミッション船等の次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化に関する研究開発や、海難事故等の再現技術や評価手法、これらを通じた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。	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発	海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関(IMO)における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る必要がある。 また、自動運航船やゼロエミッション船をはじめとする次世代船舶の安全性評価手法、自動操船・操船支援に係る技術の高度化など、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、海難事故の高度な再現技術の確立等により、発生原因を正確に解明し、事故の適切な評価を行い、適切な再発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 次世代船舶等の安全性評価・リスク解析手法及び自動操船・操船支援技術の高度化並びに船体構造評価技術に関する研究開発 －海難事故の原因分析・再発防止と社会合理性のある安全規制の構築よる安全・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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、リスク解析のための自動運航船のモデリング手法の開発、避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の高度化、港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発、非線形船体応答及び強度の時間領域推定・評価法の構築を行う。 等

研究の背景

海難事故の削減、事故時の影響最小化等を図ることにより、海上輸送における安心・安全を適切に確保することが社会から要請されており、不断に取り組む必要がある。その一方、国際海事機関（IMO）における技術的合理性のない安全規制の導入に対しては、技術的な知見を基に、社会的負担とのバランスを確保した適切な安全規制体系の構築を図る。

具体的には、以下があげられる。
・情報通信を利用した自動避航・着桟システムに関する研究
・安全評価技術の高度化のための総合シミュレーションシステムの構築
・外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法に関する研究

期間全体の研究目標
・自動避航、自動着桟（係船までを含む）を統合した自動運航システムの構築
・操船自動化・操船支援システムの安全評価手法の確立、評価用テストプラットフォームの基準策定
・外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法に関する研究：海難事故再現技術や自動運航船の安全性評価のための基盤の確立

上記成果は、以下があげられる。
・開発した自動運航・運航支援システムを用いた実証実験を通して、船員負荷軽減に貢献することで、船員の負担軽減、海事産業の競争力強化が図られる。
・既存船舶と共存する環境下においても実運航を可能とする安全評価の策定により、操船自動化・操船支援システムの開発及び実用化の促進が期待される。また、評価用テストプラットフォームの基準を明確にすることは安全評価の妥当性を示し、安全性の確保につながるものとなる。
・自動運航機能を備えた船舶の外洋中安全性評価及び海難事故の再現技術と解析技術の向上に貢献する。また、外乱下での避航操船アルゴリズムの早期検証に関与・貢献することで、我が国の自動操運航船実用化に関する国際競争力が強化される。
・操船自動化・操船支援システムの普及により、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。

R5年度研究目標

□サブテーマ1
・避航操船・離着桟システムの改善と計測技術高度化検討、課題抽出

□サブテーマ2
・避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の高度化、緊急時対応の機能要件の抽出

□サブテーマ3
・操縦運動（前進+斜航・旋回）する船に働く波長影響を考慮した規則波中定常波力計算法のテストアルゴリズム

R5年度研究内容

□サブテーマ1
・VHF 等の通信により航過方法を合意し避航を行う必要がある海域においても自動避航を可能とするアルゴリズムの開発を目標に相手船の将来行動を考慮した避航アルゴリズムを構築する。今年度は相手船の変針を考慮した避航アルゴリズムを構築する。シミュレータまたは小型実験船で実験を通して実船適用へ向けた課題を抽出する。
・係船までを含めた模型船試験を行うとともに、計測技術の高度化のために、カメラまたは LiDAR を使用した計測技術の検討を小型実験船を用いて行い、実船適用へ向けた課題を抽出する。

□サブテーマ2
・総合シミュレーションシステムを用いた自動避航アルゴリズム及び自動離着桟アルゴリズムの評価手法を検討する。
・自動航行システムから操船者への引継ぎが必要な状況を操船シミュレータで再現し、警報内容及び警報発令のタイミングを中心に緊急時オペレーションの機能要件を検討する。

□サブテーマ3
・細長体を前提として主に船体動揺による成分に着目した既存の直進時の定常波力計算法について、そのプログラムコードを作成するとともに、斜航・旋回状態に実用的に拡張する手法の検討を行う。
・前中期計画期間までに開発した短波長域の計算法と上記の計算法をブレンディングすることで、幅広い波

長域で適用可能な操縦運動(前進+斜航・旋回)する船に働く規則波中定常波力計算法のテストアルゴリズムを提案する。また、テストアルゴリズムに基いたプログラムコードを作成し、既存の模型試験結果と比較することでその推定精度の検証を行う。

R5年度研究成果

□サブテーマ1

・相手船の将来行動を考慮するために、相手船による妨害領域(Obstacle Zone by Target: OZT)に、相手船の変針を加えた変動OZTを提案し、変動OZTを考慮した避航アルゴリズムを開発し、避航操船システムへの組み込みを行った(図 1.2.64、図 1.2.65)。避航操船システムを実海域での運航データを元にしたシミュレーションに通して効果を検証し、1 件の学会発表を行った。
・小型実験船を用いて、みちびきを含む複数の GPS システムの中で一つが故障した場合に他の GPS に自動で切り替えるフォールバックシステムを検証した。
・係船を含む離着桟システムのため、模型船試験及び小型実験船による LiDAR を用いた計測技術の検証を実施し、LiDAR の計測可能範囲など、実用化に向けた課題を抽出した(図 1.2.66)。
・港内の荷役場所近くでプッシャー船から切り離されたバージを遠隔操船で着桟させる短距離遠隔操船実験を小型実験船で実施し、Wi-Fi 通信によるタブレットを用いた操船システムの適用可能範囲、安全対策プログラムの機能などを確認した(図 1.2.67)。

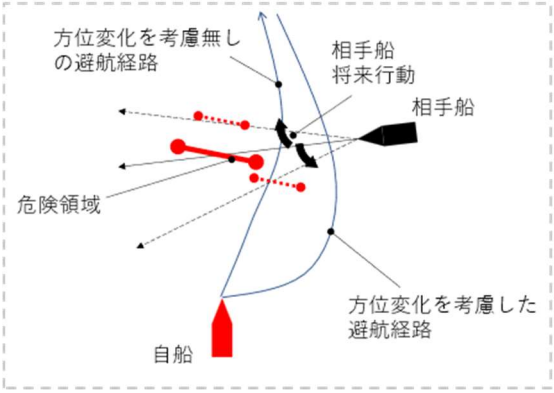


図 1.2.64 変動OZT

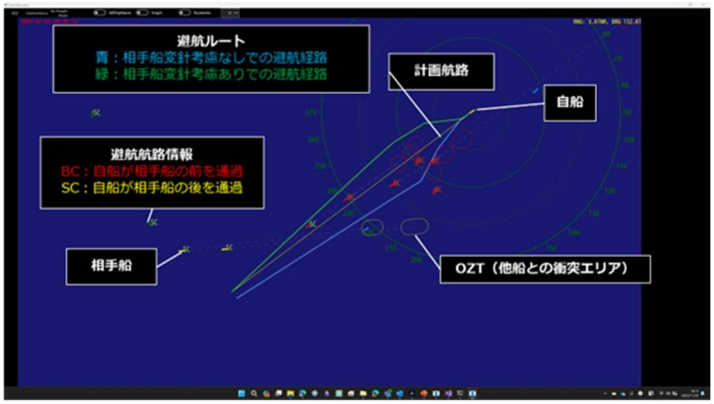


図 1.2.65 避航操船システム

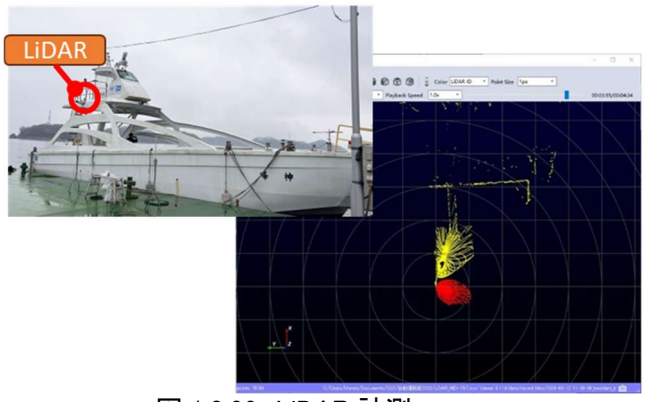


図 1.2.66 LiDAR 計測


図 1.2.67 タブレット操船システム

□サブテーマ2

・日本海事協会と連携し無人運航船の操船自動化システムに関するIMO GBS (Goal Based Standard) の Tier 4 相当の内容を想定した認証ガイダンス案(図 1.2.68)を策定した。認証ガイダンスは、自動運航船の安全性の認証において、シミュレーションを用いた評価が必要な項目に対し認証する際の手順を定めるものであり、避航操船タスクと離着桟操船タスクの自動化機能を対象としている。
・総合シミュレーションシステムと外部システムの接続の利便性を図るため、IEC61162-450 に準拠したメッセージを生成するモジュール及び IEC61174 で定められている、ルート交換用フォーマットの読み込みモジュールを開発した。
・操船シミュレータにおいて昇橋後の航海当直引継ぎが必要な事象を再現し、船員による操船のオーバーライドが適切に行われるための警報発報のタイミングや船員への通知内容等に関する機能要件を求めるため、現役の航海士を被験者として実験を実施した。実験は、自船から 3nm レンジ内に 5 隻以内とする ODD の輻輳度の超過時(図 1.2.69)及び波高・風速に関する ODDe 条件超過時の引継ぎについて、支援機器及び

情報提供の有無を変化させた場合の所要時間及び状況認識結果を計測した（図 1.2.70）。ODD(輻輳度)逸脱時の既存の航海機器のみによる航海当直引継では、90%程度の実験参加者が 5 分以内に航海当直の引き継ぎを終えることを確認した。あわせて、支援機器を用いた航海当直引継及び逸脱した ODDe 情報の有無による航海当直引継の違いについても検証し、支援機器等による所要時間及び状況認識結果変化があまりないことを確認した。なお、今年度の実験では、実験の設定やユーザインタフェースの関係で、支援機器の有用性は示されなかったが情報自体は有効との主観的評価を得ており、支援情報の有効的な提供については今後の課題である。

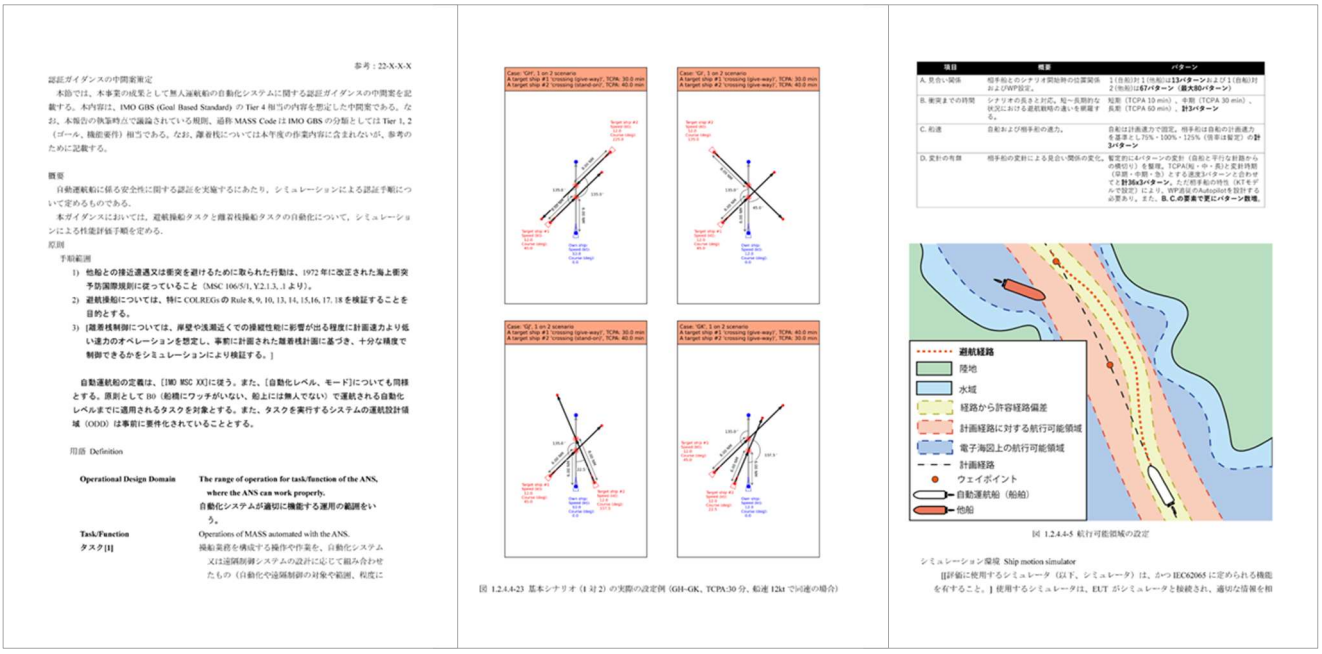


図 1.2.68 認証ガイダンス案(抜粋)

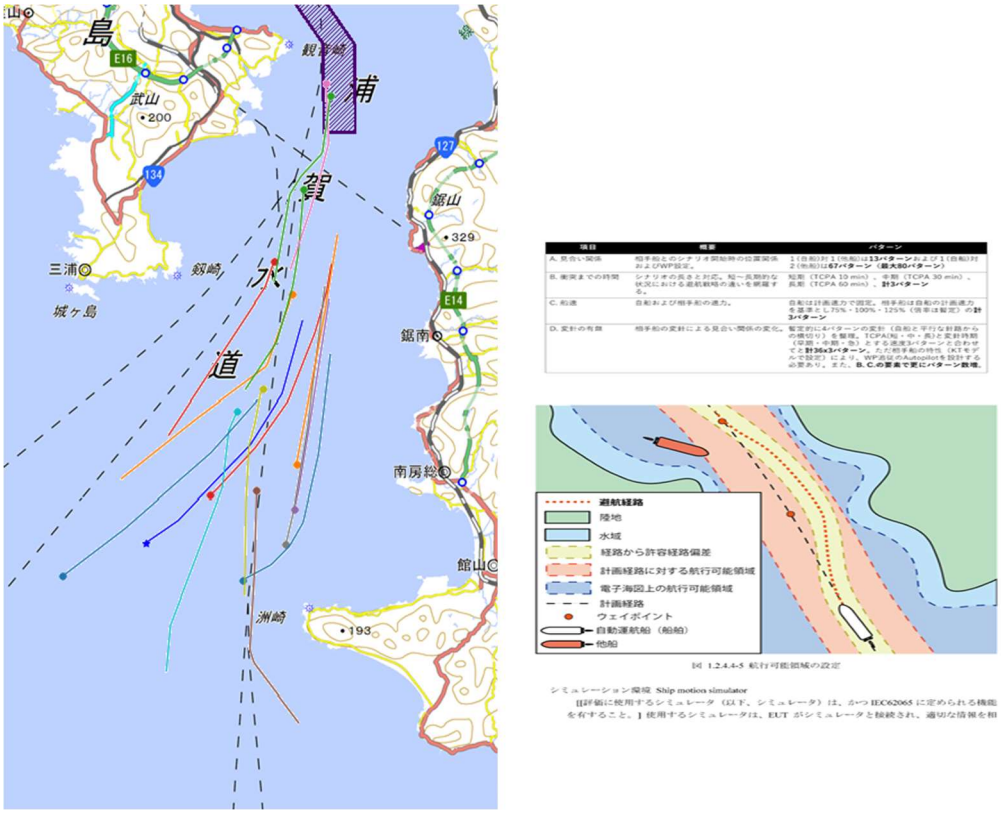


図 1.2.69 東京湾実験シナリオ例
左：計画航路(自船：青)、右：ODD(輻輳度)逸脱の警報発報時の他船位置（自船原点、船首方位 0°）

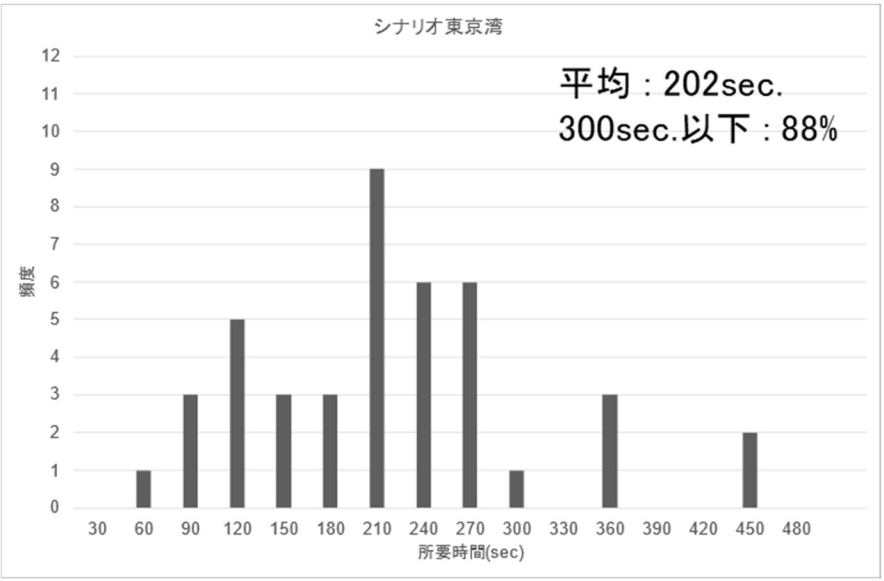


図 1.2.70 航海当直引継に要する時間(東京湾シナリオ)

□サブテーマ3

・細長体を前提として主に船体動揺による成分に着目した既存の直進時の定常波力計算法(Salvesen, 1974)について、梅尾ら(2022)の考え方に倣って、斜航状態に実用的に拡張する手法を提案し、既存の模型試験結果との比較からその妥当性を検証した(図 1.2.71 破線参照)。その結果、船体動揺による成分が支配的な中波長域(波長船長比>0.7 程度)以上において、提案した手法で定常波力の斜航角による影響を概ね妥当に捉えることができることを明らかにした。一方で、細長体等の仮定により、短波長域においては、既存の直進状態を含めて前後力と横力の絶対値を過小評価することを示した。

・前中期計画期間までに開発した短波長域の計算法と上記の計算法を、ITTC における波浪中抵抗増加(定常波力前後成分)評価の推奨法の 1 つである SNNM 法(Wang et al., 2021)に倣って統合することで、幅広い波長域で適用可能な操縦運動(前進+斜航・旋回)する船に働く規則波中定常波力計算法を提案した。また、既存の模型試験結果と比較することでその有用性を明らかにした(図 1.2.71 実線参照)。

・上記統合法の基となる前中期計画期間までに開発した短波長域の計算法について、科学雑誌掲載論文 2 件にまとめ、1 件は掲載済み、もう 1 件は採択済みとなった。

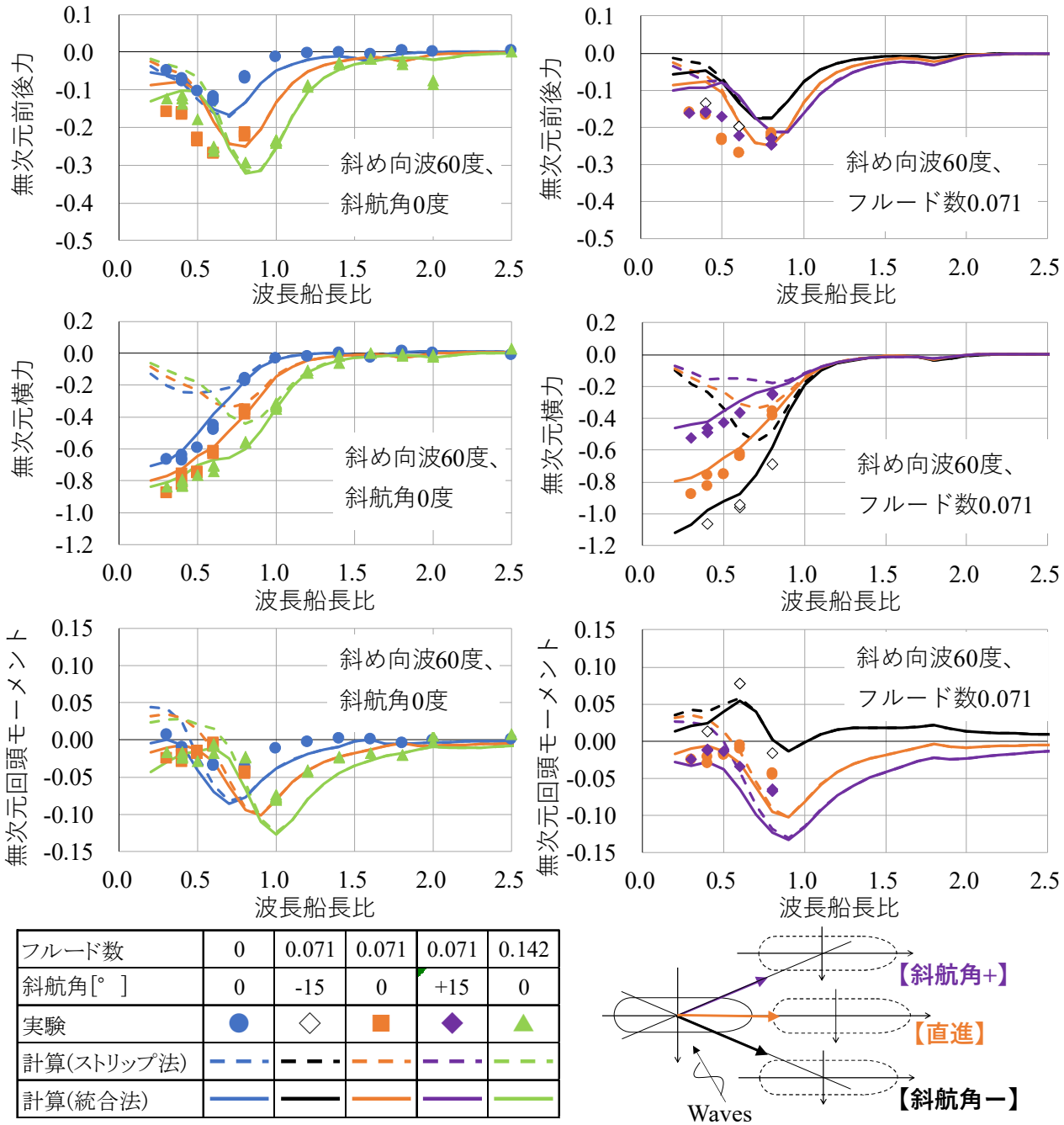


図 1.2.71 提案した手法による操縦運動(前進+斜航・旋回)する船に働く規則波中定常波力の推定結果および検証の例(VLCC, 斜め向波)(左図:前進速度影響、右図:斜航影響)

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ)): 8 件(投稿中: 2 件、採択済: 3 件、掲載済: 3 件)

科学雑誌掲載論文

・Suzuki, R., et al.: Estimation of Steady Wave Forces and Moment Acting on an Obliquely Moving Ship in Short Waves, and its Application in a Manoeuvring Simulation, Applied Mathematical Modelling, Vol. 125, part A, pp.261-292 (2023). (掲載済)

・Suzuki, R., et al.: A Prediction Method for Steady Wave Forces and Moment Acting on Ship Manoeuvring in Short Waves, International Journal of Offshore and Polar Engineering (IJOPE). (採択済)

・小林充他: 不特定浮遊障害物のカメラ画像検出プログラムの開発, 日本航海学会論文集, 第 149 巻, pp.48-55(掲載済)

・Sawada, R., Sato, K., Minami M.: Framework of Safety Evaluation and Scenarios for Automatic Collision Avoidance Algorithm, Ocean Engineering, (2024) (採択済)

・Sawada, R. et al.: Perspective on the Marine Simulator for Autonomous Vessel Development, Journal of

Marine Science and Technology.（投稿中）
・Wada, S., Sawada R., Maki, A.: Structure Design of a Development and Evaluation Platform for Autonomous Ships, Journal of Marine Science and Technology.（投稿中）

査読付き国際会議論文
・Suzuki, R.: A Practical Method of Predicting the Wave-induced Steady Forces and Yaw Moment Acting on a Ship Advancing in Oblique Waves, Proceedings of the 34th International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE2024).（採択済）

その他の全文査読付き論文等
・澤田涼平: 自動着桟の制御とセンシング技術に関する研究, 大阪大学学術情報庫 OUKA（学位論文）(2024)（掲載済）

□その他発表論文: 10 件（投稿中: 2 件、採択済: 0 件、掲載済: 8 件）
・佐藤圭二 ほか: 将来の OZT を考慮した避航アルゴリズム, 日本船舶海洋工学会 令和 5 年秋季講演会.（掲載済）
・澤田涼平 ほか: LiDAR を用いた着桟操船のための船上岸壁検知, 日本船舶海洋工学会 令和 5 年秋季講演会.（掲載済）
・Sawada, R.: Research on Automatic Berthing Control, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers Autumn Conference 2023.（掲載済）
・小林充 ほか: 不特定浮遊障害物のカメラ画像検出プログラムの開発, 日本航海学会講演予稿集, 第 11 巻, 第 1 号.（掲載済）
・南真紀子: AIS 情報を用いた自動避航操船評価用シミュレーション シナリオ生成に関する一考察, 日本機械学会第 32 回交通・物流部門大会講演論文集（掲載済）
・南真紀子 ほか: 自動運航船技術の実装と評価に向けて, 海上技術安全研究所報告, 第 23 巻別冊(掲載済)
・沼野正義 ほか: マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -VII 動的情報の管理支援-, 日本マリンエンジニアリング学会, 第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集.（掲載済）
・石村惠以子 ほか: マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -VIII 舶用機関の操作支援-, 日本マリンエンジニアリング学会, 第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集.（掲載済）
・牧敦生 ほか: 船舶操縦制御アルゴリズム評価に適用可能な風と波の不規則時系列の簡便な計算アルゴリズム, 日本船舶海洋工学会 令和 6 年春季講演会.（投稿中）
・澤田涼平: 避航操船の諸指標値に対する主観評価の解析法に関する考察, 日本船舶海洋工学会 令和 6 年春季講演会.（投稿中）

□特許申請: 0 件
・

□コアプログラム登録: 1 件
・ファストタイムシップシミュレーター V2.0

□国際連携活動: 0 件
・

□受賞: 1 件
・澤田涼平: 日本船舶海洋工学会奨励賞（乾賞）、「Automatic berthing control under wind disturbances and its implementation in an embedded system 他 1 件」

□公開実験: 1 件
・短距離遠隔操船システムに係る実船実験（3/25 実施）

研究開発課題	(2)② 実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発

研 究 テーマ	重点 5 実海域実船性能向上に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5 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、水素・アンモニア等のゼロエミッション燃料の燃焼解析技術を始めとする温室効果ガス削減技術の高度化及び実海域における実船性能向上に関する研究開発、並びに船舶の運航時における環境負荷低減に資する基盤的技術及び環境影響評価手法等に関する研究開発に取り組む。	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、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 実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、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 実海域の海象・気象における船舶の性能向上に関する研究開発 －代替燃料を用いた実海域性能評価法の開発、水槽試験とCFDの同化手法についての検討、船舶性能統合データベースの全体設計を行う。 等

研究の背景

国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。

具体的には、以下があげられる。
・実海域性能推定による省エネ船ライフサイクル燃費評価技術の開発
・計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発
・内航・外航の実船データによる性能分析結果を用いた診断技術の開発

期間全体の研究目標

・実海域性能推定による省エネ船ライフサイクル燃費評価技術の開発：ゼロエミッションにむけた実運航時の GHG 排出量・燃料消費量を設計要素・運航モデルに基づくシミュレーションにより評価する技術の開発
・計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発：設計要素についての評価のための水槽・シミュレーション・実船データ連携による世界初・世界一となる性能推定技術、キャビテーション水槽・シミュレーションによる水中騒音の事前推定技術及び騒音低減技術の開発
・内航・外航の実船データによる性能分析結果を用いた診断技術の開発：運航中の既存船の実海域性能向上のための水槽・シミュレーション・実船データを統合したデータベースによる実海域性能改善提案技術の開発
・運航中の既存船の実海域性能向上のための、代替燃料プラントを含めライフサイクル燃費を評価できる技術、実験とシミュレーションを同化させた推定技術を組み合わせ、実海域実船性能の診断技術の開発

上記成果は、以下があげられる。
・ライフサイクル燃費評価をベースとした GHG 削減技術の実現（船社、造船所、舶用メーカー）
・環境規制に適合した船舶の建造・普及（造船所、舶用メーカー）

・実運航の改善による GHG 削減（船社）

【社会的観点】

水槽・シミュレーション・実船データを連携した船舶性能統合データベースによる実海域実船性能の向上により、船舶からの GHG 削減が実現し、海洋環境が保護される。また、ライフサイクル評価技術の国際標準化により、船の生涯における GHG 削減が図られる。

水中騒音評価技術の開発により、適切な騒音低減対策が実施され、海洋環境が保護される。

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。

ITTC や国際シンポジウムで成果を展開し、我が国の国際的プレゼンス向上に資する。

【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。

GHG 削減技術の正確な評価により、造船業の国際競争力が強化される。

ウェザールーティングと連携した実海域性能向上技術の開発により、我が国海運のコスト低減が達成される。

【国際的観点】

船舶性能統合データベースに基づく船舶の省エネ化、運航改善により、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。

環境性能に優れた船の実現、運航技量改善方法の採用等により、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。

R5年度研究目標

□サブテーマ１

・水槽試験により低速船・肥大船の性能評価を行う。
・代替燃料を用いた実海域性能評価法を開発する。
・ウェザールーティングと連携した自然エネルギー等を利用する省エネ技術評価法を構築する。

□サブテーマ2

・波浪中抵抗増加の時系列評価法を構築する。
・水槽試験と CFD 同化について手法を検討する。
・水槽試験とシミュレーションによる水中騒音推定における課題の抽出と対応方針の策定を行う。

□サブテーマ3

・実海域実船性能評価統合アプリを作成する。
・船舶性能統合データベースの全体設計を行う。
・ウェザールーティングと連携した実海域性能向上方針を策定する。

R5年度研究内容

□サブテーマ１

・低速での水槽試験における課題の解決法について検討を行い、水槽試験による低速性能評価を実施する。
・代替燃料搭載船の実海域性能評価法を開発する。
・風力アシスト船について、ウェザールーティングと連携した省エネ性能評価法を検討する。

□サブテーマ2

・波浪中抵抗増加の変動振幅周波数応答について水槽試験を実施し、精度を検証する。
・水槽試験と CFD 同化手法の要件定義を行い、同化手法の選定とコード開発、試計算を行う。
・水槽試験とシミュレーションによる水中騒音推定における課題の抽出と対応方針の策定を行う。

□サブテーマ3

・実海域性能推定プログラムをベースに機能拡張を行い、実海域実船性能評価統合アプリを作成する。
・船舶性能統合データベースを構築するため、その全体設計を行い、評価アプリと水槽試験データベースを連接する。
・省エネ技術の海象影響及び、最適航路探索のための評価指標となるパラメータの検討を行う。

R5年度研究成果

□サブテーマ1

・ 低速船の推進性能について、Japan Bulk Carrier(JBC)をベースに船幅を広げた船型（SWBC）において船尾スタッドの有無による流場の安定化に関する調査のため流場計測を実施したその結果、スタッドの

有無による有意な差は現れないことが分かった（図 1.2.72）。そこで方針を変更しプロペラ作動による流場の安定化を狙い、SWBC での予備試験の位置づけとして JBC を対象に船速を変更した荷重度変更試験を実施し、8knot 以上の船速で自航要素を精度よく計測できることを確認した（図 1.2.73）。

- JBC を対象に船速を変更した荷重度変更試験を実施し、8knot 以上の船速で自航要素を精度よく計測できることを確認した（図 1.2.73）。
- 操縦性能については、SWBC 船型を用いて自由航走試験を実施し、IMO 操縦性基準を満足するかを検証した（図 1.2.74、図 1.2.75）。検証の結果、SWBC はほとんどの項目で IMO 基準を満足していることが分かった。基準を満足していない第一行き過ぎ角（10 度 Z 試験）に関しては、船型改良及び操縦性能シミュレーションを通して操縦性改善のための検討を行う方針とした。
- 耐航性能に関しては、SWBC 船型を用いて規則波中での抵抗増加計測試験を行い、既存推定モデルとの比較を行い、波浪中抵抗増加の低速モデルの改良を行うとともに、他船での試験データに基づき推定モデルの精度向上を確認した（図 1.2.76）。
- 代替燃料船の性能評価を行うため、代替燃料利用時の燃料消費率の簡易推定式を作成した（図 1.2.77）。また、Sea-web データに基づく補機情報の推定式を作成した。代替燃料使用時の排出率を入力する設定値に基づき考慮し、ライフサイクルにおける代替燃料利用による GHG 排出量削減効果の評価を行い、効果が定量的に評価できることを示した。（図 1.2.78）。
- 風力アシスト船でのウェザールーティングによる省エネ効果評価のため、手法の全体設計（図 1.2.79）とウェザールーティングに必要となる船舶性能の海象に対する応答データベース（図 1.2.80）を構築した。
- 海事クラスター共同研究　実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクト　フェーズ 2（24 機関参加）と連携し、フェーズ 1 での成果（実海域実船性能評価法）の検証および手法の高度化、国際標準化活動を実施した。

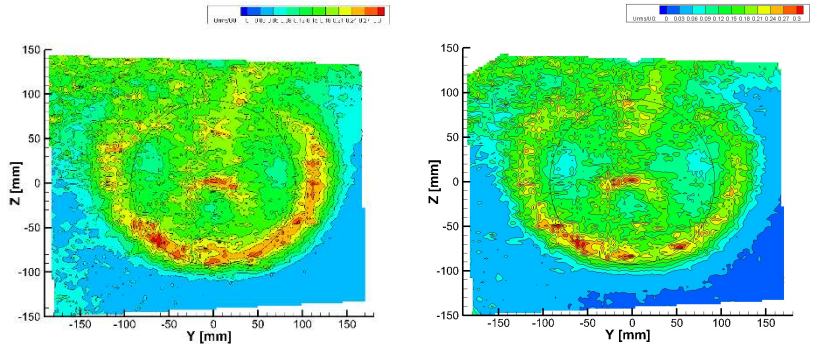


図 1.2.72　SWBC 船型のプロペラ面の主流方向流速の標準偏差（左：スタッド無し、右：スタッド有り）（7.2knot）

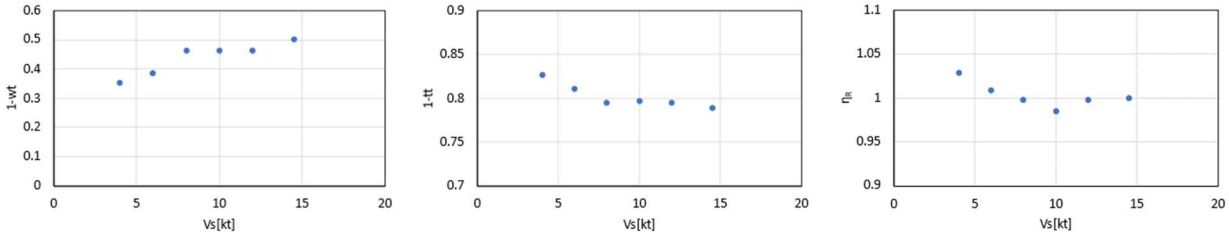


図 1.2.73　JBC の自航要素（左から、有効伴流係数、推力減少係数、プロペラ効率比）

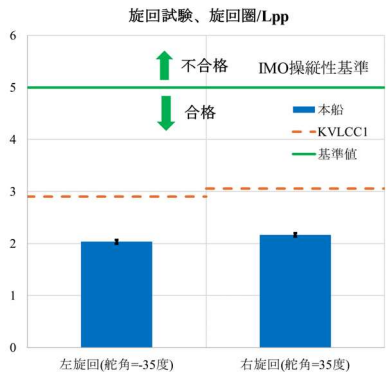


図 1.2.74 旋回試験結果
（SWBC 船型）

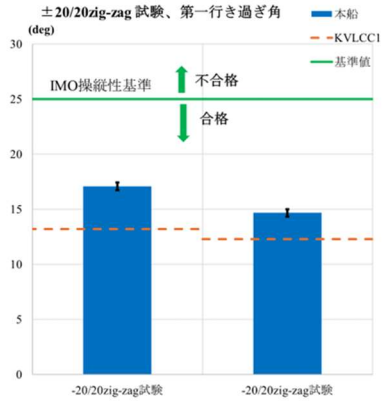


図 1.2.75 zig-zag 試験結果
（SWBC 船型）

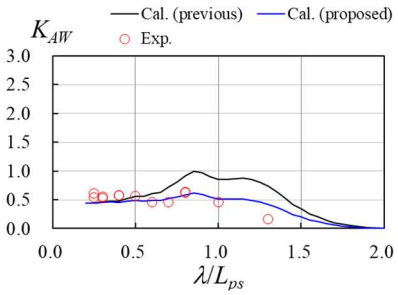


図 1.2.76　KVLCC2 船型の規則波中抵抗増加計測試験結果
（向波、4knot）

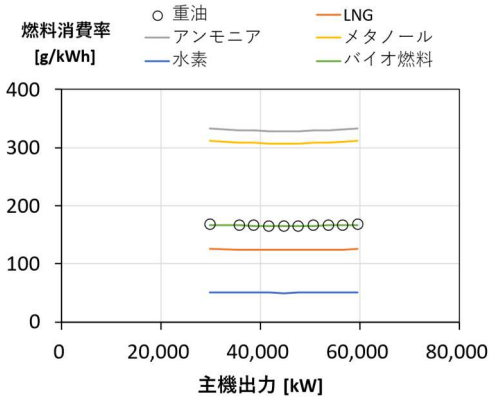


図 1.2.77　代替燃料の燃料消費率

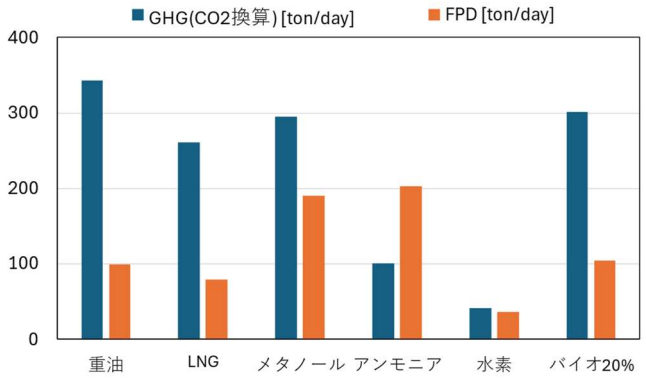


図 1.2.78　1 日当たりの燃料消費量及び GHG 排出量

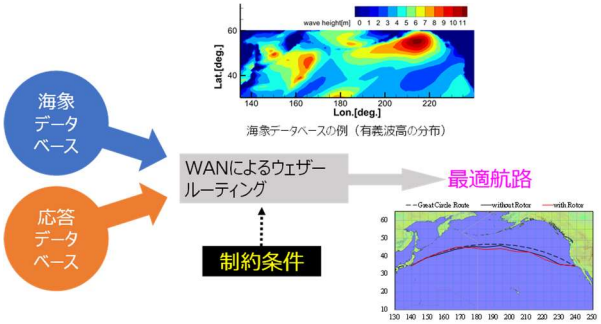


図 1.2.79　ウェザールーティングの全体設計

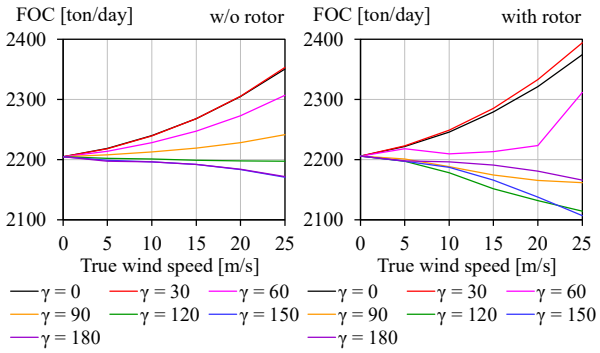


図 1.2.80　応答（燃料消費量）データベースの例
（左：ローター無し、右：ローター有り）

□サブテーマ2

- 波浪中の船体にかかる前後力について、規則波中の変動振幅を推定し、水槽試験結果と比較し、一致を確認した。（図 1.2.81）
- データ同化によるシミュレーションによる推定精度の向上について、船舶分野だけではなく、気象・航空分野のデータ同化の研究動向とともに、近年発展する機械学習手法の物理シミュレーションへの応用手法である Physics-informed ニューラルネットワーク等についても文献調査を行い、船舶推進性能分野に適した手法として、データ強化型シミュレーションベース設計法を考案し、国内学会に提案した。
- 粒子フィルターを用いた乱流モデル(EASM)のデータ同化手法を、世界で初めて船舶分野のシミュレーションに適用し、この手法についてソフトウェアアーキテクチャの設計/詳細設計/コーディングを実施した。その上で、749GT 内航貨物船の過去のデータを使用した試計算を行い、その有用性を確認した。（図 1.2.82）
- 水中騒音規制に関する国際動向に対応するため、プロペラキャビテーションノイズの簡易推定法の高精度化を実施した。キャビテーション推定チャート作成プログラムを開発し、本プログラムを HOPE Light と連携させた。これによって、キャビテーション推定チャートを用いて水中騒音レベルを推定することが可能となり、推定精度が向上することを確認した。（図 1.2.83）
- 実船計測対象船の模型船を用いたキャビテーション試験を実施し、キャビテーションパターン、変動圧力、そして水中騒音に関するデータを取得し、それらのデータが実船の傾向と一致することを確認した。（図 1.2.84）

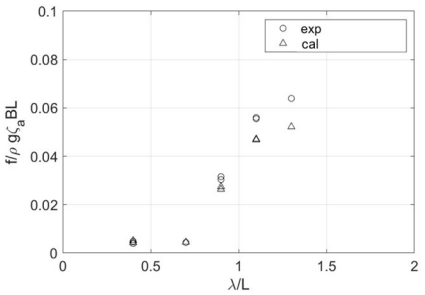


図 1.2.81　波浪中変動振幅の計算例（PCC）

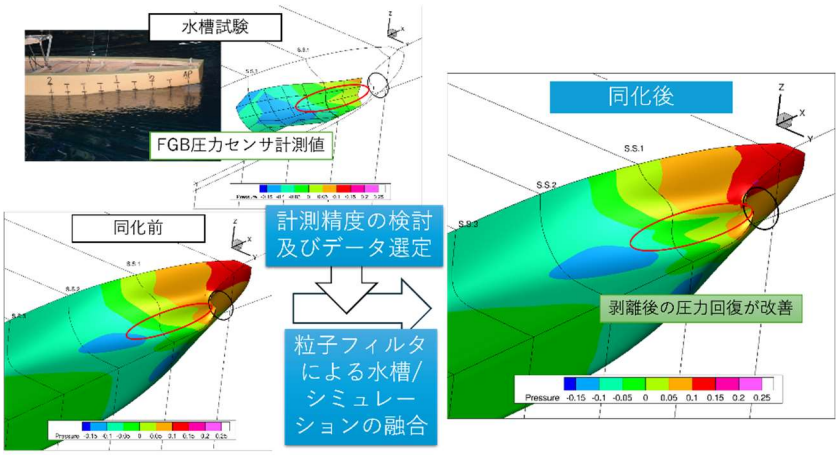


図 1.2.82　粒子フィルターを用いた乱流モデル(EASM)のデータ同化手法の例

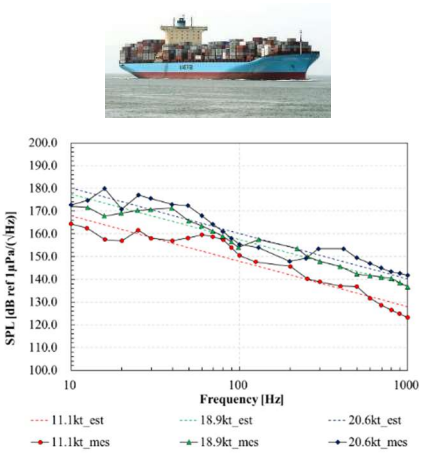


図 1.2.83 コンテナ船を対象とした簡易推定法と実船計測結果の比較

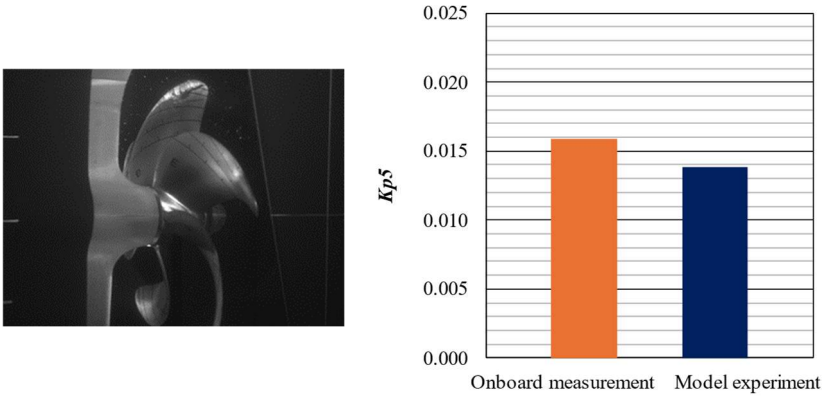


図 1.2.84　初代青雲丸のキャビテーション試験結果
（左：キャビテーション観察結果、右：変動圧力計測結果（実船計測結果との比較））

□サブテーマ3

- 実海域性能評価統合アプリについて、全体設計を行った。また、実運航性能シミュレータと気海象データ補間取得プログラムを連携させた。実運航性能シミュレータのクラウド版 VESTA-web の開発を行った。（図 1.2.85）
- 海上試運転時の波浪修正法として ITTC に提案した簡易推定法 Simple-NMRI 法について、ITTC で検証活動を行った。
- AIS データ・要目データを用いた実海域性能評価を実施した。（図 1.2.86）
- ウェザールーティングサービス会社と連携し、当所で開発した実海域性能モデルを組み込んだウェザールーティングサービスが開始された。ウェザールーティングサービス会社のニーズを受け、加速度評価モジュールを作成し（図 1.2.87）、ウェザールーティングサービスへの組み込みにつなげた。

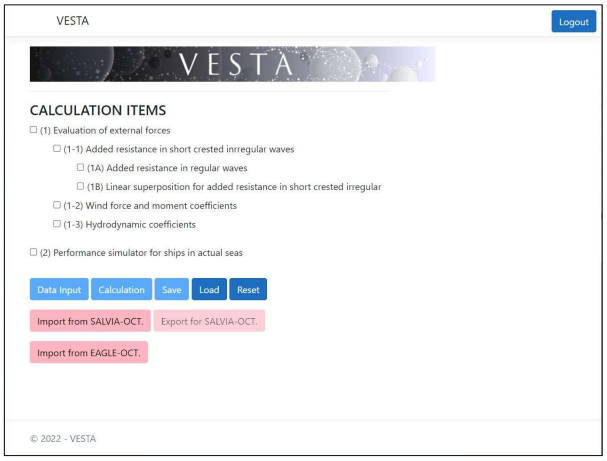


図 1.2.85　VESTA-web の TOP 画面

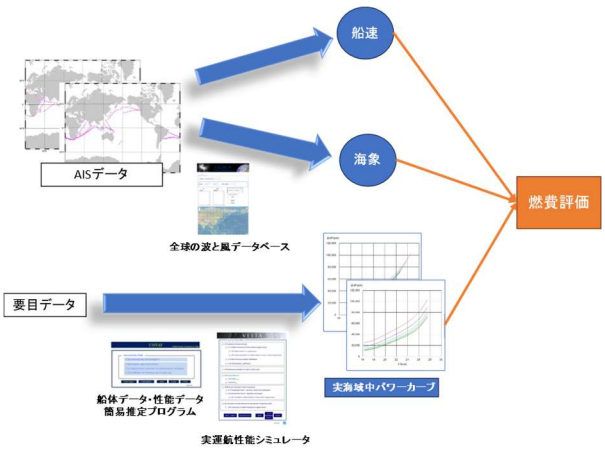


図 1.2.86　AIS データ・要目データを用いた
実海域燃費性能評価

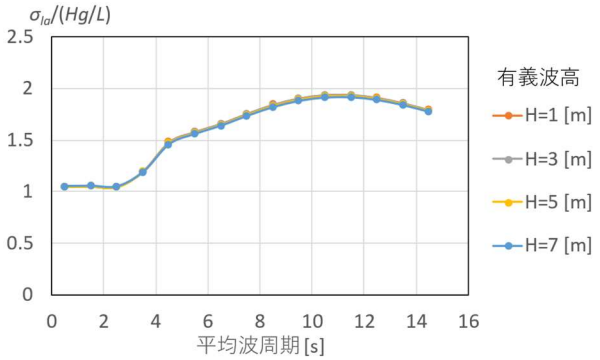


図 1.2.87　短波頂不規則波中横加速度標準偏差評価
（コンテナ船、横波）

R5年度成果の公表

□査読論文（科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等（海技研報告であれば「研究報告」のみ））：　9 件（投稿中：5 件、採択済：2 件、掲載済：2 件）

科学雑誌掲載論文

- Takaaki Hanaki, Yasuo Ichinose, Tatsuya Hamada, Kunihide Ohashi: Parameter tuning of the explicit algebraic stress model using a particle filter based on a computational fluid dynamics database and observed pressure distributions, Computers and Fluids.（投稿中）
- Akiko Sakurada et al: Analysis of Fouling and Aging Effect by Monitoring Data –Application of RCM–, JMST（投稿中）
- Takaaki Hanaki, Naoto Sogihara, Masaru Tsujimoto: Reproducibility evaluation of detailed directional spectrum based on mean spreading angle for ship performance estimation in actual seas, Journal of Marine Science and Technology.（投稿中）
- Akiko Sakurada, Mariko Kuroda, Masaru Tsujimoto: A Prediction Method of the Longitudinal Hydrodynamic Force in Large Oblique Motion of a Ship, Ocean Engineering.（投稿中）

査読付き国際会議論文

- N. Sogihara et al: A STUDY ON ROUTE AND FUEL OIL CONSUMPTION OF SHIPS CONSIDERING CHANGE OF WEATHER DERIVED FROM CLIMATE CHANGE (OMAE2024)（採択済）
- Y. Ichinose, T. Taniguchi: Enhancing Hull Form Design for Robust Efficiency: A Data-Enhanced Simulation-Based Design Approach, (IMDC2024)（採択済）
- H. Gasper, Y. Ichinose, K. Nishimoto: Seeing a Sea of Ships – Exploring the Ship Design Space in the Digital Domain, (IMDC2024)（投稿中）

その他の全文査読付き論文等

- Mariko Kuroda, Masaru Tsujimoto: A Wave Correction Method for Speed Trial Analysis: Simple-NMRI method, 海技研報告, 2023.（掲載済）

・Masaru Tsujimoto et al: Research and Development of OCTARVIA Project -Evaluation of Ship Performance in Actual Seas-, 海技研報告, 2024 (掲載済)

□その他発表論文: 23 件(投稿中: 0 件、採択済: 0 件、掲載済: 23 件)

・一ノ瀬康雄: "Data-Enriched Simulation-Based Design 手法の提案 -よりロバストで効率的な船型設計を目指して-", 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 2023/11/26(掲載済)
・一ノ瀬康雄: "データ強化型シミュレーションベースの設計手法: 効率的な船型設計へのアプローチ", 第 26 回推進・運動性能研究会, 2023/11/6(掲載済)
・Koichiro Shiraishi, Daijiro Arakawa, Kenichi Kume, Hikaru Kamiirisa, Verification of simplified underwater radiated noise estimation tool using Brown's formula, Proceedings of Internoise2023, i-ince, 2023/8/23. (掲載済)
・白石耕一郎: プロペラキャビテーションの可視化技術, ターボ機械協会創立 50 周年記念ワークショップ 一国内若手研究者によるキャビテーション研究の最前線に関する講演会にて基調講演, 2023/9/20. (掲載済)
・白石耕一郎: Brown の式を用いたプロペラキャビテーションノイズの簡易推定ツール, 第 201 回舶用プロペラ研究会, 2023. (掲載済)
・黒田麻利子 ほか: 船舶性能統合データベースによる実海域実船性能向上の構想, 海上技術安全研究所研究発表会, 2023. (掲載済)
・黒田麻利子 ほか: 実海域実船性能評価技術の開発, 海技研報告, 2023. (掲載済)
・黒田麻利子: 海上試運転実施・解析法の ITTC/ISO 動向, 実海域推進性能研究会, 2024. (掲載済)
・松沢孝俊 ほか: 最適運航システムの開発, 海技研報告, 2023. (掲載済)
・早稲田卓爾 ほか: 北極航路支援のための知的観測網構築,日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2023(掲載済)
・Takatoshi, Matsuzawa: Arctic Research Vessel as a Monitoring Tool for Engineering, International Workshop on Arctic Ocean Observation, 2023. (掲載済)
・松沢孝俊: 北極域研究船における航行支援について, ArCS II 北極海氷情報室 2023 年度フォーラム, 2023. (掲載済)
・松沢孝俊: 氷海航行支援システムの開発(ArCS II 北極航路課題・JCAR 氷工学 WG 第 2 回合同発表会), 2023. (掲載済)
・松沢孝俊: 北極域研究船「みらい II」における航行支援と工学的データの取得, 令和 5 年度第 2 回海洋技術フォーラムシンポジウム, 2024. (掲載済)
・枌原直人: 実船モニタリングデータを用いた性能評価を目的とした統計解析周期に関する検討, 第 85 回実海域推進性能研究会, 2023. (掲載済)
・枌原直人: 風力推進船のウェザールーティング, 第 86 回実海域推進性能研究会, 2024. (掲載済)
・Akiko Sakurada et al: Evaluation of Drift Force in Large Angles for PCC and Coastal Cargo Ship, Proc. of 10th PAAMES, 2023. (掲載済)
・横田早織 ほか: 荷重度変更法における自航要素推定精度向上の検討, 第 85 回実海域推進性能研究会, 2023. (掲載済)
・金子杏実 ほか: 全球の波と風のデータベース「GLOBUS cloud」の開発と船, 海技研発表会, 2023. (掲載済)
・久米健一: 風力アシスト船の試運転に関する ITTC-RP の骨子, 第 86 回実海域推進性能研究会, 2024. (掲載済)
・白石耕一郎 ほか: 伴流設計技術及び流場計測技術の高度化に関する研究, 海技研報告, 2023. (掲載済)
・新川大治朗: 差分進化法を用いたプロペラ最適化 低速幅広肥大船への適用, 第 26 回 推進・運動性能研究会, 2023. (掲載済)
・松沢孝俊: 2024 年のウトロ海氷観測の速報, 北極域研究船プロジェクトブログ. (掲載済)

□特許申請: 2 件

・摩擦抵抗低減装置、及び、摩擦抵抗低減装置を備えた船舶
・摩擦抵抗低減装置を制御するプログラム

□コアプログラム登録: 5 件

・相対運動計算プログラム V2 版
・ライフサイクル主機燃費指標計算プログラムクラウド版 OCTARVIA-app V2 版
・船体形状・船体性能推定プログラムクラウド版 EAGLE-OCT-app V2 版
・実運航シミュレータクラウド版 VESTA-web V1 版
・実船モニタリングデータ解析プログラム API 版 SALVIA-OCT.-API V1 版

□国際連携活動: 22 件

・Comments on document SDC10/5 about judging necessary sea areas for introducing policy for URN reduction based on the assessment, IMO SDC10/5/3
・Comments on document SDC 10/5 about the establishment of methods to measure and estimate URN, IMO

SDC10/5/4
・R&D of OCTARVIA Project（ITTC/SKC communication meeting）
・Progress for ToR 3E) Roughness usage in performance prediction and cross effects with correlation(ITTC FSSPC)
・Progress for ToR 5C) Investigate the influence of drift, rudder action, short wave and wave height on wave-added resistance（ITTC FSSPC）
・Literature Survey Report for Underwater Radiated Noise in Ice Condition（ITTC SC-Ice）
・Comparison of the added resistance in waves by SNNM-SNUs and tank test results(ITTC FSSPC)
・Progress for ToR 5C(ITTC FSSPC)
・第 80 回海洋環境保護委員会（MEPC 80）にて船舶のエネルギー効率に関する審議に参加
・第 81 回海洋環境保護委員会（MEPC 81）にて船舶のエネルギー効率に関する審議に参加
・ISO/TC 8/SC 6/WG 17 にて、海上公試規格に関する審議に参加、2 回
・ITTC Full Scale Ship Performance Committee に参加、5 回
・ITTC Specialist Committee on Ice に参加、4 回
・ITTC Specialist Committee on Performance of Wind Powered and Wind Assisted Ships に参加、1 回

□受賞：3 件
・一ノ瀬康雄 ほか: 令和 5 年度日本船舶海洋工学会賞（論文賞）、日本海事協会賞,A curved surface representation method for convolutional neural network of wake field prediction
・白石耕一郎 ほか: 令和 5 年度ターボ機械協会賞（論文賞）、差分進化法を用いた舶用プロペラ翼形状の多目的最適化
・白石耕一郎: ターボ機械協会創立 50 周年記念事業「チャレンジ大賞」

□公開実験：1 件
・「気泡の力で船の抵抗を減らす！！長尺平板模型船を用いた空気潤滑実験」, 400m 水槽（6/22 開催）

研究開発課題	(2)① ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発

研 究 テーマ	重点 6 GHG 削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5 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、水素・アンモニア等のゼロエミッション燃料の燃焼解析技術を始めとする温室効果ガス削減技術の高度化及び実海域における実船性能向上に関する研究開発、並びに船舶の運航時における環境負荷低減に資する基盤的技術及び環境影響評価手法等に関する研究開発に取り組む。	国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、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 ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発	国際海運における2050年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。 加えて、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 ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化及び安全・環境対策並びに船舶の運航時における環境負荷低減に関する研究開発 －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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、水素専焼の運転条件の検討・燃焼モデルの作成、エンジンの空気流動を模擬した試験技術の確立、船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化を行う。 等

研究の背景

国際海運における 2050 年カーボンニュートラルの実現や内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けて、水素、アンモニア等のゼロエミッション燃料船等の開発・実用化、安全基準の策定等環境整備が求められている。また、温室効果ガス削減以外にも、船舶に起因する環境負荷の低減に資する技術開発は、不断に行う必要がある。

具体的には、以下があげられる。
・水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発
・次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化
・次世代燃料使用における安全・環境評価技術の確立
・船舶運航における環境影響評価技術の高度化
・内航・外航海運の省エネ化・GHG 削減対策に資する普及・実用技術の確立
・重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発（港湾空港技術研究所との連携研究）

期間全体の研究目標

具体的には、以下があげられる。
□水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発
・既設ディーゼル機関のアップデート（2025 年度）
・DF から専焼を目指す上での課題抽出（2026 年度）
・NH_3 専焼コンセプトの提案（2029 年度）
□次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化
・各種新燃料の噴霧・燃焼特性解析のための実験技術の確立と実験装置群の開発（2024 年度）
・各種新燃料の CFD 検証データ、燃焼データベース用システムの構築と公開（2028 年度）
□次世代燃料使用における安全・環境評価技術
・規格に沿った CN 燃料の混合率、着火性指標（CCAI）と着火性との関係の公知化、各種次世代燃料の安全利用のためのガイドライン提案、排ガス処理性能予測手法の提案（2026 年度）
□船舶運航における環境影響評価技術の高度化
・モニタリング手法の標準化、船舶由来物質の環境影響予測、船体の防汚評価手法の構築
□内航・外航海運の省エネ化・GHG 削減対策に資する普及・実用技術
・内航船・外航船における GHG 削減目標に貢献する各種対策技術の社会実装
□重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発
・エマルション化技術を利用した油回収システムの構築（2023 年度）
□全体
・GHG 削減技術の高度化、次世代燃料に対応した安全・環境対策の影響評価技術の確立

上記成果は、以下があげられる。
・ 将来必要となる技術開発を民間企業に先駆けて実施し、基礎技術の共有を通して、国内産業の競争力強化に貢献する。
・ 舶用に特化した系統的な次世代燃料燃焼のための CFD 検証データを提供することで、CFD による新規開発を容易にし、国内産業の競争力強化に貢献する。
・ 成果のデータベース化による情報提供、メーカとの共同研究による成果の展開、行政からの要請対応をとおし、次世代燃料の安全利用に貢献する。

R5年度研究目標

□サブテーマ１
・既設実験用エンジンのガス噴射の電子制御化
・水素専焼の運転条件の検討・燃焼モデルの作成
・NH_3/空気比率が未燃 NH_3 や N_2O の生成に与える影響の把握
・プラズマや熱分解による NH_3 燃料の着火・燃焼の支援効果の把握、NH_3 改質触媒の製作

□サブテーマ2
・エンジンの空気流動を模擬した試験技術の確立
・水素・アンモニアの燃料噴射系の構築

□サブテーマ3
・アルコール系燃料の着火性評価
・次世代燃料利用評価のための PM 計測手法の高度化、排出率データの収集、バイオ燃料評価法の検討
・実排気におけるメタン触媒の反応モデルを構築、及びメタン発熱及び NOx 吸着の減少による触媒性能の改善効果の明確化、アンモニア酸化発熱反応が触媒性能に与える影響の調査

□サブテーマ4
・排ガス洗浄装置（EGCS）用濁度センサーの標準化に向けた調査研究
・船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化
・初期生物汚損の客観的な評価方法構築に関する調査

□サブテーマ5
・GHG 削減、カーボンニュートラルに貢献する各種技術について、船舶搭載性や実用性の調査並びに将来の GHG 削減目標達成のための知見の取りまとめ

□サブテーマ6
・実用化を意識した油回収試験装置を製作し、それによる油回収能力の検証

R5年度研究内容

□サブテーマ１

・既設機関の 1 気筒デュアルフューエル化

①既設 257kW エンジンに設置してあるメタン用のガス噴射弁を電子制御化する改造を実施し、ガス噴射時期の制御による、NOx と未燃メタンの低減効果を確認する。

②舶用電子制御燃料噴射弁について入手方法や制御手法の調査を実施する。

・水素専焼対応技術

①水素専焼条件において、高効率かつ安定した運転を実現するために、燃焼抑制技術としての超希薄化、排気再循環、水噴射の全てを組み合わせ時の条件を検討する。

②ガスエンジンシミュレータを開発し、水素混焼時の制御の検討を行う。

・アンモニア燃焼支援による GHG 排出量の削減

①NH_3/空気予混合気の空気量の調整する装置を作製し、アンモニア（NH_3）と空気の比率を変更した試験を行い、NH_3 と空気の比率が排ガス成分に及ぼす影響を調査する。

②前年度から引き続き国内エンジンメーカとの共同研究として、水素を利用した NH_3 燃焼支援方法による未燃 NH_3、N_2O の低減方法を開発する。

・アンモニア専焼方法開発

①プラズマや熱分解を利用して NH_3 燃料単体で燃焼するための方法を、要素試験装置、高温高圧燃焼容器を用いて開発する。

②前年度に基盤研で作製した要素試験装置を用いて大気圧下で NH_3 ガスをプラズマや熱分解を利用して、一部を水素に改質する試験を実施する。

□サブテーマ2

・2 ストロークエンジンの空気流動（スワール）を再現する試験設備を整備する。

・水素・アンモニアに対応した燃料噴射系を構築する。

□サブテーマ3

・ドロップイン燃料の着火性評価に関する研究

・排出物の定性・定量評価に関する研究

・排ガス処理方法の確立に関する研究

・代替燃料船の安全規則に関する研究

□サブテーマ4

・EGCS 用濁度センサーに関する調査研究

①EGCS 排水用濁度計の標準化に必要な項目に関する調査検討

②EGCS 排水用濁度計の構造要件、較正方法に対する規格化の適用範囲把握

③濁度計の計測方式や構造要件で制約されない試験法の構築、濁度の標準化

・船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化

①船舶から放出される化学物質の運命予測モデルの構築

②海中浮遊溶存相、海底近傍懸濁相、堆積相からなる三相間再分配モデルの構築

③高度化したプログラムを実際の船舶排出物質に適用し、実現象の再現性を評価

・船体付着生物管理に必要な防汚システムの評価手法の構築

①褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験法の構築

②試験法草案の作成および ISO への提案

③緑藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験の予備検討

④船体付着生物管理に必要な防汚システムの管理・最適化に関する研究

□サブテーマ5

・GHG 排出削減を目指した内航貨物船の建造支援

・各種バイオ燃料の酸化劣化に関する試験と取り扱いに関する知見の取りまとめ

□サブテーマ6

・油回収前の重質油粘性低下技術開発

・油回収管内の流動制御技術の開発

・油回収後の油水分離技術開発

R5年度研究成果

□サブテーマ１

・既設機関の 1 気筒デュアルフューエル化

科研費の研究の一環としてメタンガスを 257kW 中速ディーゼル機関(図 1.2.88)の 1 気筒に導入し、ガス噴

射のタイミングをエンジンの動作に合わせて制御するための制御機器を制作した(図 1.2.89)。本制御の導入により、未燃のメタンが燃焼室から流出すること(バルブオーバーラップ時の吹き抜け)を抑制する効果が得られた(これまではオーバーラップにより約 15%のガス燃料が吹き抜けていたが、本制御の導入により、約 3%のガス燃料の吹き抜けに抑制できた)。本技術を基にメタン利用による CO2、未燃メタン(GHG)の削減技術の開発を推進する。

図 1.2.88 257kW 中速ディーゼル機関

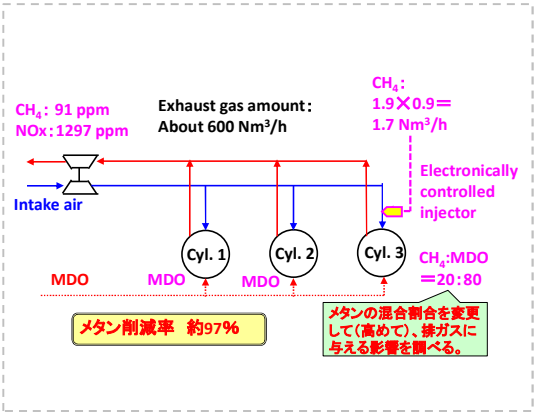


図 1.2.89 1 気筒デュアルフューエル(メタン・A 重油)化の模式図

・水素専焼対応技術

水素専焼運転ために実験システムを改造した。この結果、当所で初めて水素専焼運転に成功した。実験では、適切な運転調整により最大負荷率 75%まで異常燃焼を起こさずに運転できることを確認した。エンジン性能評価の結果から、水素専焼運転であっても都市ガス運転時と同等の燃焼安定性、燃焼期間を実現でき、低 NOx かつ高熱効率で運転が可能であることが明らかになった。一方で、負荷率 75%以上で発生する異常燃焼が課題になることが判明した。本研究成果の一部は、査読付き論文誌に掲載された [1)]。本研究成果を基に、水素の安定燃焼技術の構築を推進し民間企業のエンジン開発に貢献する。

1) Ichikawa, Y.: Retrofit concept for 100% hydrogen operation on natural gas lean-burn engine with spark ignition and prechamber system: engine performance under hydrogen-mixing and load limits, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.60, No.22, 2024.

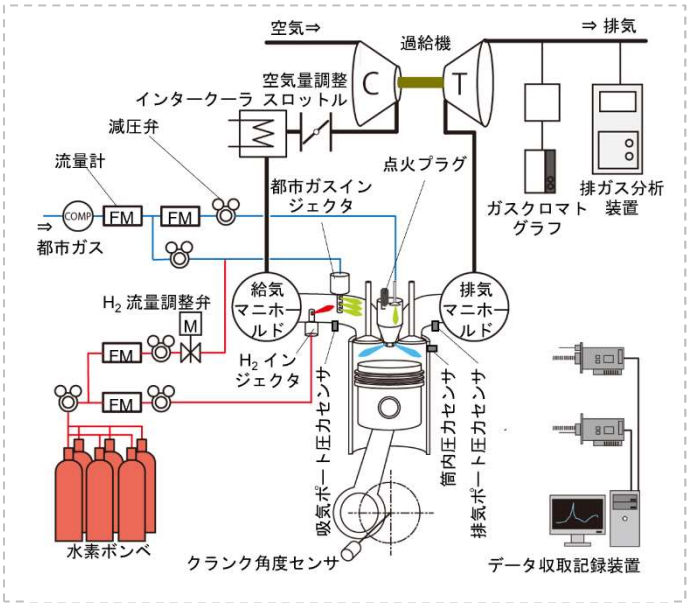


図 1.2.90 水素専焼実験システム図

・アンモニア燃焼支援による GHG 排出量の削減

軽油パイロット燃料を利用したアンモニア(NH_3)/空気予混合気の燃焼において、NH_3/空気予混合気の空気量を調整し、NH_3 と空気の比率を変更した試験を実施した(エンジンが吸入する空気を約 20%減らして、NH_3 をより燃焼させやすい状態での試験を行った)。その結果(図 1.2.91)、未燃 NH_3 の低減効果(約 78～54%の削減)が得られた。一方、N_2O はやや増加する傾向が確認された。また、燃焼用の空気を減少させたため CO

の増加があった。

前年度から引き続き国内エンジンメーカと機械メーカと共同して、水素を利用した NH_3 燃焼支援方法の研究開発を継続し、これまでの成果の発表を行った（10th PAAMES）。技術や取り組みが評価され本論文がベストペーパーアワードを受賞した(図 1..2.92)。

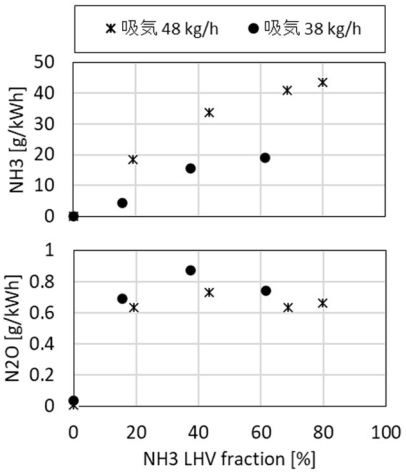


図 1.2.91　NH_3と空気の比率を変更した試験結果

図 1.2.92　10th PAAMES での受賞

・アンモニア専焼方法開発

①アンモニア（NH_3）燃料単体で燃焼するための方法として、科研費で開発したマイクロ波プラズマ生成装置を用　いた NH_3/空気（Air）予混合ガス燃焼に関する研究を行った。本装置を用いた実験において NH_3/Air 予混合ガスのマイクロ波プラズマアシスト燃焼が可能であることを実証すると共に、当量比 1.0 において、N_2O の生成を 4 ppm と極少量に押さえながら、NH_3をほぼ燃焼できること確認した（未燃 NH_3 25 ppm）。本研究成果は、科学雑誌掲載論文誌（International Journal of Hydrogen Energy）に投稿中である。

②NH_3 ガスを水素（H2）に改質する方法として、科研費で開発したマイクロ波プラズマ生成装置を用いた純 NH_3 改質 H2 生成に関する研究を行った。本装置を用いた実験において 100%NH_3 ガスをプラズマ化可能であることを実証すると共に、NH_3 流量 0.2L/min、マイクロ波投入電力 112W において、NH_3 分解率 84%を達成した。本研究成果は、査読付き論文誌に掲載された [2]（図 1.2.93　純 NH_3プラズマ、図 1.2.94　マイクロ波入力電力と NH_3 分解率の関係）

2）Sekiguchi, H: Pure ammonia direct decomposition using rod-electrode-type microwave plasma source, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.57, pp.1010-1016 (2024)

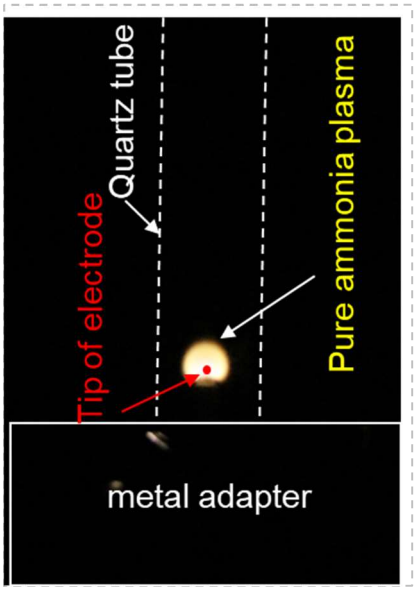


図 1.2.93　純 NH_3プラズマ [2]

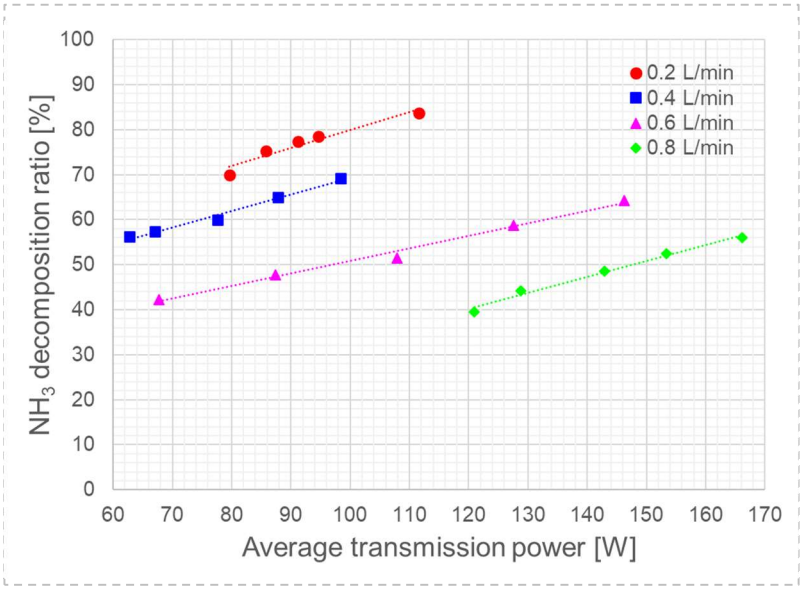


図 1.2.94　マイクロ波入力電力と NH_3 分解率の関係 [2]

<u>ロサブテーマ2</u>

下記の 3 項目を実施し、水素、アンモニアを対象とする燃焼試験を実施していくための研究基盤を構築した。これらを用いて次年度以降に燃焼試験を実施し、国内外でも事例の少ない水素やアンモニアといった次

世代燃料の燃焼データを取得する計画である。

・本試験装置では、圧縮空気を充填した給気タンクから燃焼室内に空気を吹き出し、空気の持つ運動量によって燃焼室内に旋回流を形成することができる。この旋回流中に燃料を噴射することで、旋回流中に噴射された燃料の燃焼過程が評価できる。事前検討として 3 次元 CFD 解析を実施し、装置で設定可能な給気タンクの圧力によって、実機に相当する周方向速度が燃焼室内に形成できることを確認した（図 1.2.95）。本試験装置では、給気タンクから燃焼室内に流入する空気の方向によって、燃焼室内の各半径位置における周方向速度分布が決まる。文献調査の結果から、2 ストロークエンジンの旋回気流速度を測定した和栗らの結果 [3] にもとづき、燃焼室半径を r としたときに、0.5r の位置で周方向速度が最大となるように、給気ポートを設計した（図 1.2.96）。

3)和栗ら、直噴式ディーゼル機関の排煙特性に関する実験的研究、日本機械学会論文集 B 編 46 巻 411 号 p.2224-2231, 1980.

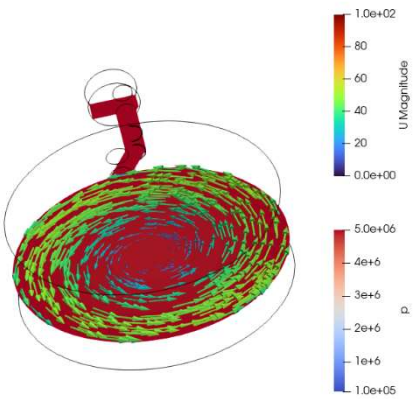


図 1.2.95 CFD 解析によるスワールの評価

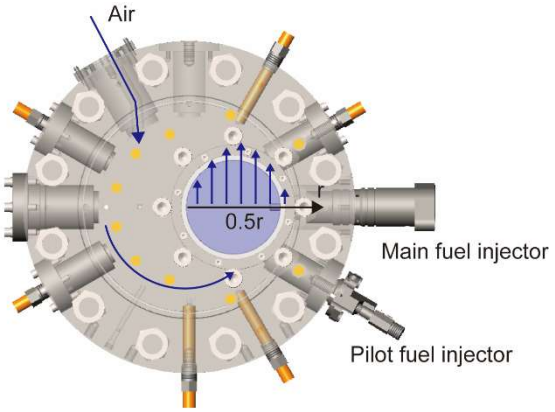


図 1.2.96 給気ポートとスワールの関係

・実機に相当する条件で噴射が可能なアンモニアの単独噴射系について検討した（図 1.2.97）。本噴射系は、当所で構築した重油-アンモニアの層状噴射系を活用したものであり、この方式に中間プランジャを追加することで、アンモニアの単独噴射を実現させるものである。また、当所で使用してきた既存の噴射系に比べて精密な噴射率制御を可能とするため、中間プランジャを駆動する軽油側に高速制御弁を設けた。当該年度では、アンモニアの中間噴射ポンプを設計し、製作を完了した。

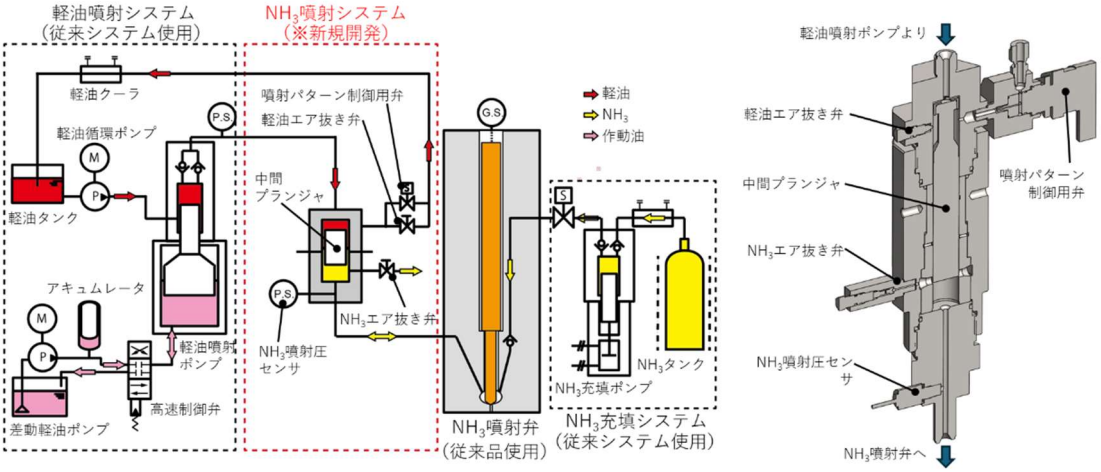


図 1.2.97 アンモニアの単独噴射系と中間プランジャ

・実機に相当する条件で噴射が可能な水素の噴射系について検討した。構築する噴射系は、作動油によって針弁を押し上げ、高圧の水素を噴射する計画としている。本噴射系では、針弁ガイド部に水素の圧力と同じ圧力のシール油を供給し、水素のリークを防止する対策を講じている。2023 年度、これらが適切に動作するための作動油、シール油および水素の供給系について設計を完了した。

□サブテーマ3

・ドロップイン燃料としてアルコール燃料を既存燃料に混合して活用することを想定し、石油会社との協同で、

メタノール、エタノールと既存燃料を対象にした混合燃料の着火性試験を行った。既存炭化水素燃料としてセタン価標準燃料（ヘキサデカン+ペンタメチルヘプタン、ヘキサデカン+メチルナフタレン）、ヘキサデカンを選定した。その結果、メタノール、エタノールの低着火性側の燃料の影響が大きく、両者の混合比から想定される着火性が得られないことが明らかになった。着火性、燃焼状態は、メタノール、エタノールの違いは大きくなかった。（図 1.2.98）

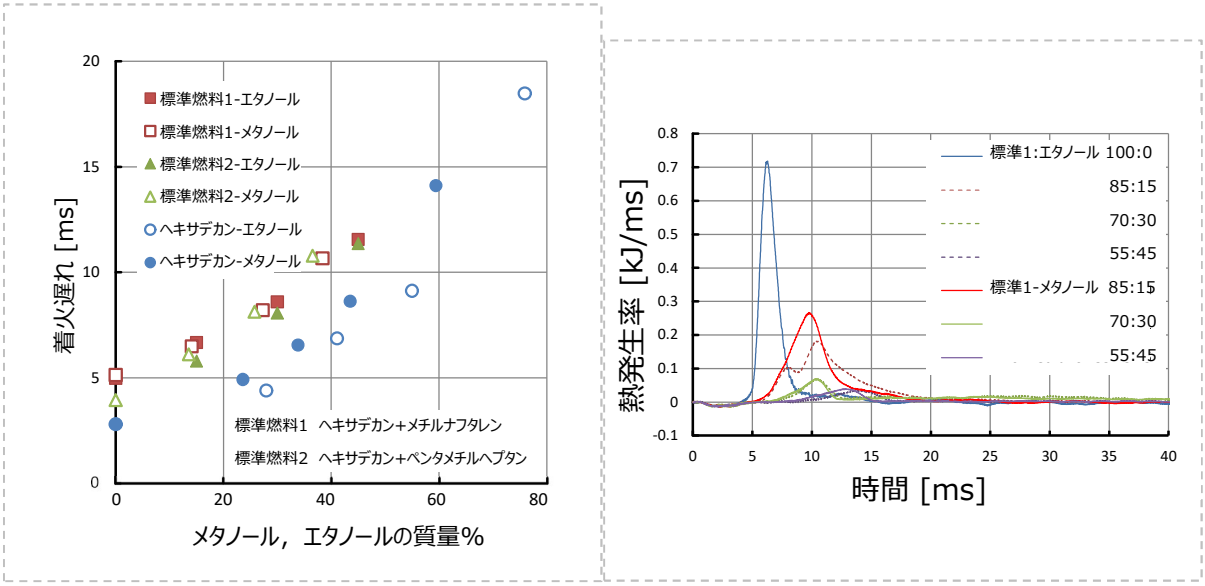


図 1.2.98 メタノール、エタノール混合量と着火遅れと熱発生率の関係

・単気筒小型 4 ストローク機関を用いて、NH_3 混焼時に排出される PM の計測および分析を実施した。安定した PM 計測を行うために、燃料噴射系の改良と PM 採取位置の変更などを実施した結果、安定した PM 計測が可能となり、PM 計測事例を蓄積することができた。アンモニア混焼時の PM 計測では、EC（元素状炭素）と OC（有機炭素）が PM の主要成分で、イオン成分が少ないことがわかった。NH_3 の混焼率を上げると、PM 総量は減少すると想定されたが，NH_3 が 20%の時にのみ増加した。PM の内訳は、EC （元素状炭素）が大きく減り、OC （有機炭素）は 20、40%時に増加することがわかった。（図 1.2.99）

アンモニアスクラバーの実験装置を構築し、スクラバー及びアンモニア酸化触媒によるアンモニア除害性能を実験的に評価した。その結果、アンモニアスクラバーでは元の濃度の 30%程度まで削減できたが、最適化によって更なる除去率の向上が想定できる。アンモニア酸化触媒では元の濃度の 0.02%まで削減できた。しかし、同時に副反応として 200ppm 以上の N_2O が生成するため、低減手法が必要であることがわかった。（図 1.2.100）

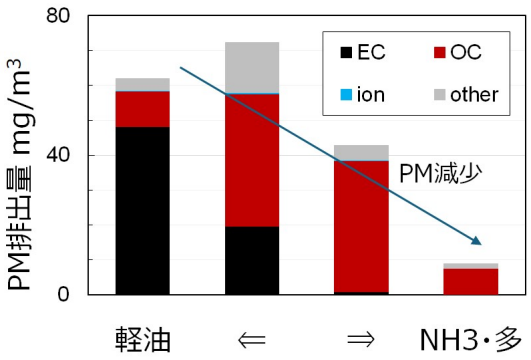


図 1.2.99 アンモニア混焼時の PM 排出特性

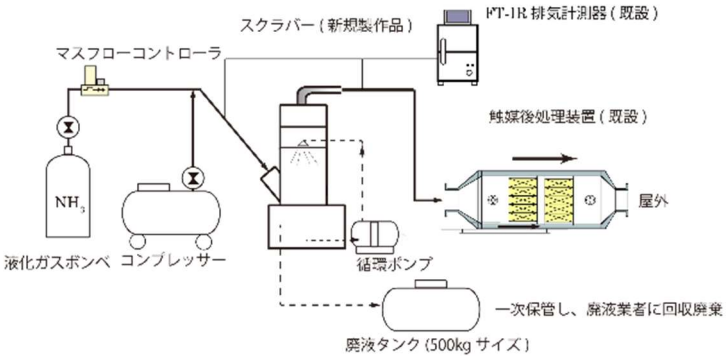


図 1.2.100 構築したアンモニアスクラバー実験装置

・メタン酸化触媒の実排気における性能評価のため、模擬ガスを用いて比較検討した結果に関して、投稿論文にまとめ採択された。また、実排気における触媒性能評価モデルを構築するための検討を行った。ガスエンジンの空気過剰率（λ）を変化させ、排気中のメタン及び NO_x 濃度を変化させた実験の結果、メタン酸化性能（η）を改善する効果があることが確認できた。これは、λ の増加に伴い、排気中メタン濃度の増加と共に触媒内における発熱に伴う温度上昇が起きたこと、さらに排気中 NO 濃度が低下し、触媒上における NO に

よるメタン酸化性能の阻害反応が低下したことにより、メタン酸化反応が促進された結果起きたものと予想される。（図 1.2.101）

・水素、アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインを策定する通信部会（CG）の議論に対する国内業界意見案をとりまとめ、第 9 回貨物運送小委員会（CCC）の対策資料案を作成し、日本の対応方針策定に貢献した。

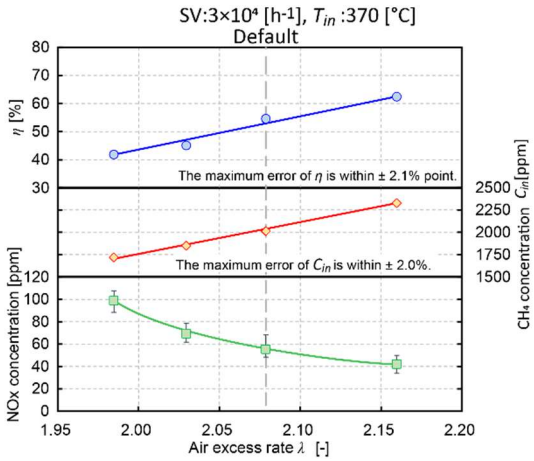


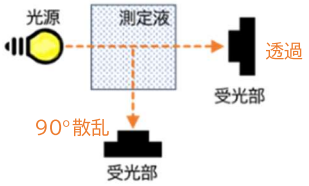
図 1.2.101　空気過剰率(λ)を変化させた際の触媒性能(η)の改善効果

□サブテーマ4

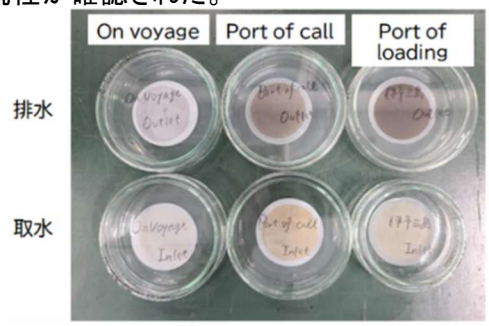
・EGCS 用濁度センサーに関する調査研究

EGCS からの排水については、IMO で定められたガイドラインにより排水の常時モニタリングが義務づけられ、規制値が設けられている。2022 年度に引き続き、EGCS 排水の濁度計測に影響を与える濁度計構造要件を解明するため、2022 年度に取得したオープンループスクラバ（海水を 1 回のみ使用して船外排水する方式）の実船データを精査するとともに、黒色標準粒子を用いて、各計測法の粒径依存性等を確認した。図 1.2.102 に結果を示す。オープンスクラバで得られた浮遊物質量と濁度の関係は、2021 年度に検討したクローズドループ(循環水を使用する方式)の洗浄水計測結果とは傾向が異なった。これには、浮遊物質の性状のうち、色および形態が影響していることが考えられた。また、粒子の色あるいは粒径の違いにより各計測法の応答性が異なる一方で、実船サンプルでは光路長の違いによる差はみられなかった。散乱方式では、計測値の直線性は低濁度域で失われるものの、オープンとクローズドの光路長 10mm の結果はほとんど差がなく、計測値の再現性が確認された。

供試センサー	SS30	SS10
セル長(光路長)	30 mm	10 mm
光源	近赤外LED ×1 波長:860 nm	
検出器	シリコンフォトダイオード×2 透過光および90°散乱光用	



試験に用いた濁度センサーの仕様



オープンスクラバー洗浄水中の浮遊物質

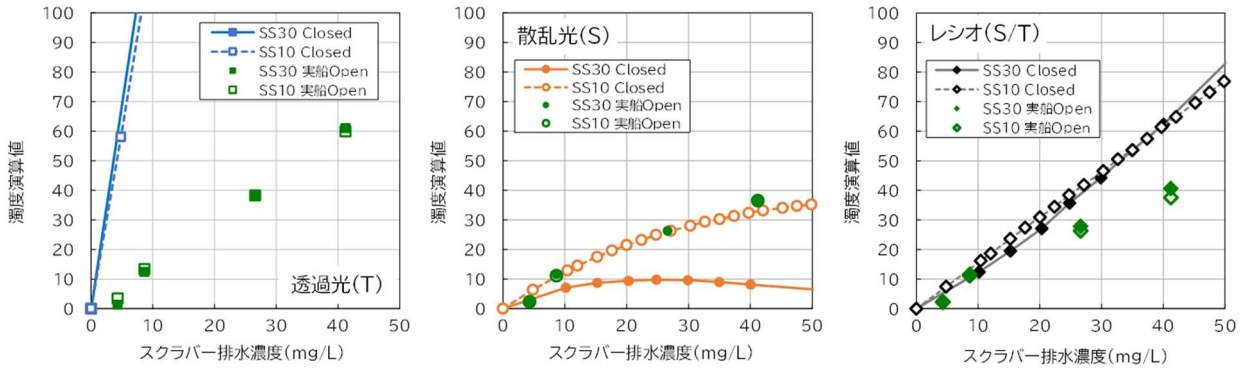


図 1.2.102 スクラバー排水濃度と濁度の関係

・船舶由来化学物質が海洋環境に与える影響評価技術の高度化

海洋環境における物質の移流拡散を評価するために、図 1.2.103 に示されるような物質形態の移行が考慮できるモデルを構築した。従来のモデルは、海中浮遊溶存相、海底近傍懸濁相、堆積相の三相構成によるものが大半であったが、本モデルでは、銅のコロイド化と、懸濁物質中や堆積物中における物質拡散が考慮できるところに特徴がある。物質は、環境依存の移行係数で、図示した各コンパートメントに時々刻々再分配される。このモデルに、海流による移流拡散および風による乱流混合を考慮することで、海洋環境に応じた物質の運命を予測できる。

船舶からの定常的に排出される化学物質として、船底防汚塗料由来の銅を、評価対象海域として典型的な閉鎖性内湾である米国サンディエゴ湾を選定して、モデルシミュレーションを行った。当該海域は潮汐により生じる流れが卓越するため、潮汐データ TPXO9v5 の 15 分潮を考慮して、領域海洋モデルを用いて海流を予測した。結果を図 1.2.104 に示す。海洋に分布する化学物質の濃度について、時系列を動画で図示するとともに、設定された任意領域における相別濃度変化の時系列を示せるようになった。本研究で構築した化学物質の形態移行モデルを用いることにより、実現象の再現・予測性能を向上させるのみならず、その場計測では分析困難な、海洋中でコロイドを呈する物質の量が予測可能となった。

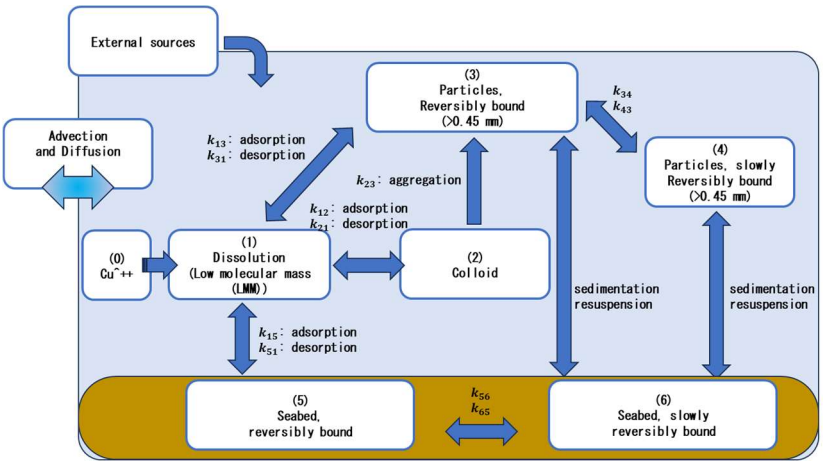


図 1.2.103 海洋環境中における化学物質の形態移行モデル(銅の場合)

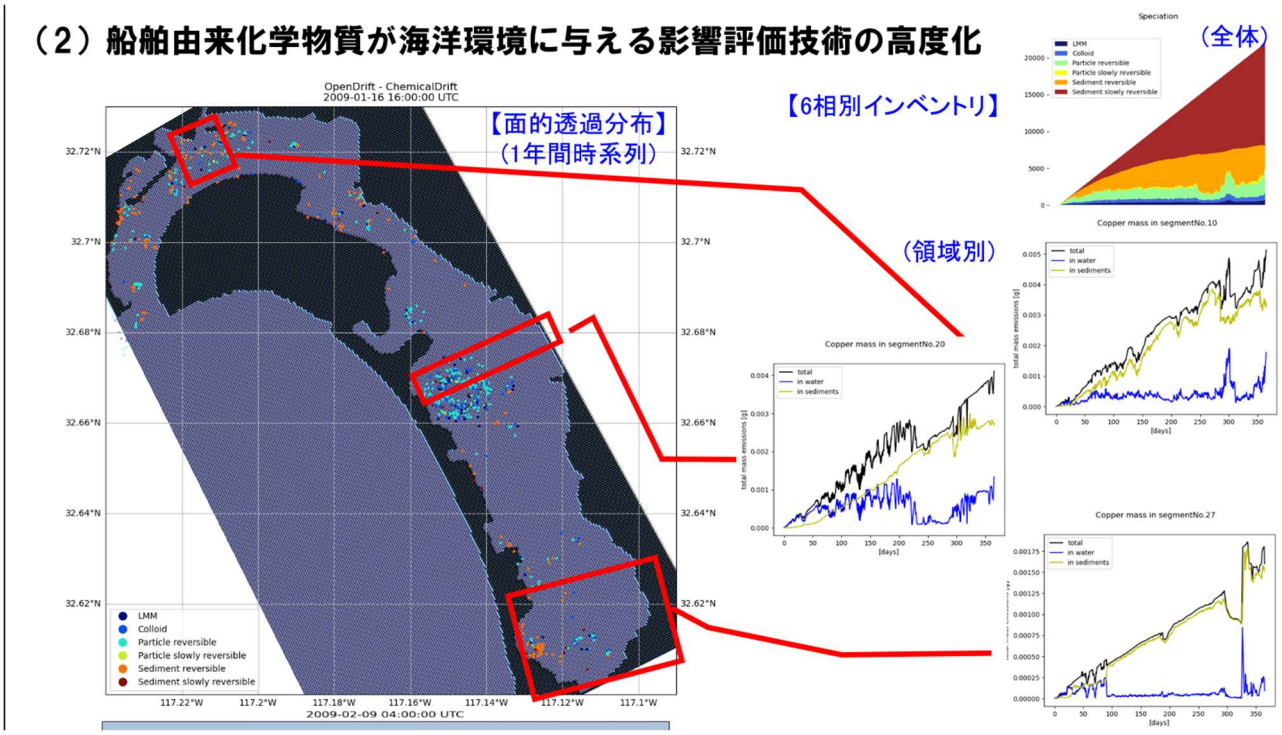


図 1.2.104 構築した物質形態海洋移行モデルを用いた米国サンディエゴ湾における銅分布のモデルシミュレーション例

・船体付着生物管理に必要な防汚システムの評価手法の構築

(1) 褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験法の構築

ISO21716 シリーズへの追加提案を目的として、図 1.2.105 の装置を用いて、試験片のマスク処理（塗装）および生物試験装置の最適化を行い、試験結果の再現性および妥当性を確認した。

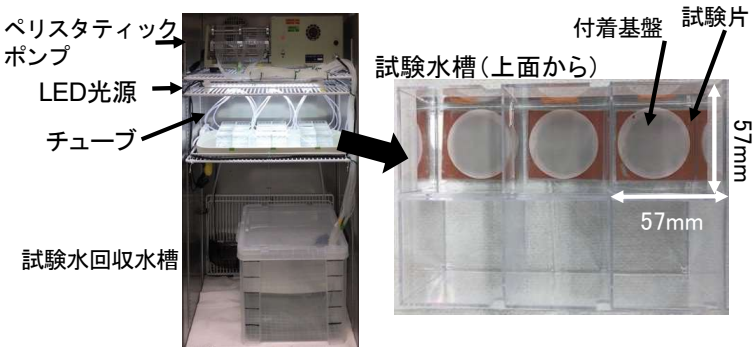


図 1.2.105 褐藻を用いた船底防汚塗料の防汚性能評価試験に係る試験片、試験装置、試験水槽及び付着基盤

(2) 褐藻を用いた市販塗料の防汚性能評価試験結果

構築した試験法の有効性を確認するため、市販塗料の防汚性能を評価した。市販塗料は 2 社のものを用い、航行速度に基づき 3 つの水準(航行速度、A・D：低速、B・E：低−中速、C・F：中−高速)を選択した。試験の結果を図 1.2.106 に示す。生物試験法の妥当性については、固定基盤の一様性および藻類活性の閾値を満たされることから確認できた。この生物試験法に基づく試験体を用いて、色空間パラメータを計測した結果、試験に用いた市販塗料が、十分な防汚性能を有していることが確認できた。

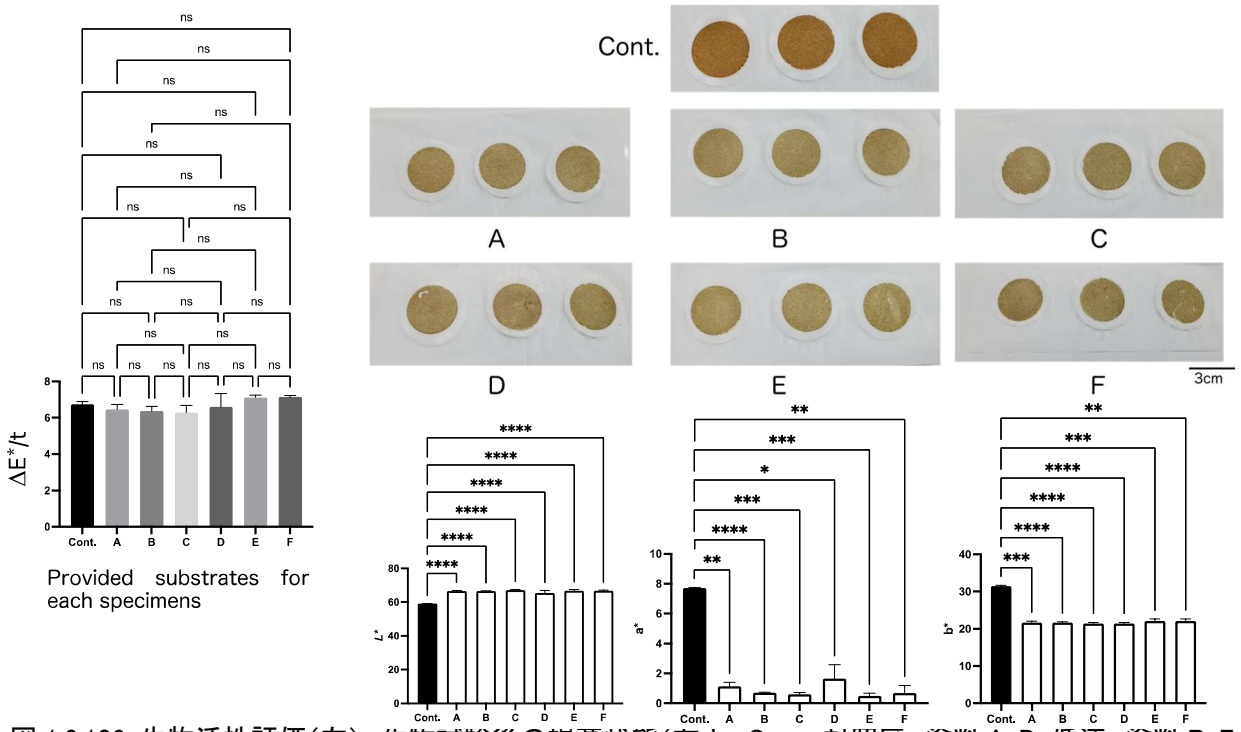


図 1.2.106 生物活性評価(左)、生物試験後の褐藻状態(右上。Cont.:対照区、塗料 A・D:低速、塗料 B・E:低速ー中速、塗料 C・F:中速ー高速)、市販塗料を用いて生物試験の色空間パラメータ計測結果(右下)。

(3) 試験法草案の作成および ISO への提案

上記(1)(2)の研究成果に基づき、褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価に関する試験法の草案を作成した。当該規格原案を、ISO 21716 シリーズへ追加(第 4 章:藻類)し審議項目とするため ISO へ提案し、2023 年 10 月に新規作業計画に承認された。ISO 船舶および海洋技術専門委員会(TC 8)海洋環境保護分科委員会(SC 2)船底防汚システム作業部会(WG 5)にて、当該規格原案が審議中である。

(4) 緑藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験結果(予備的検討)

色空間パラメータの有効性を確認するため、供試生物を拡張し、緑藻(*KU-1532:Ulva aragoënsis*、海水・汽水生物短期毒性評価試験に用いられる藻類)を用いた生物試験を行った。褐藻を用いた生物試験で構築した試験条件(供試生物の活性を含む)を適用し、その妥当性を確認した(図 1.2.107)。船底防汚塗料の性能評価の予備的検討では、色空間パラメータの色差(対照区−実験区の色差)を用いた。その結果、褐藻に有意であったパラメータ a*と異なり、緑藻ではパラメータ b*が有意であることを明らかにした(図 1.2.108)。

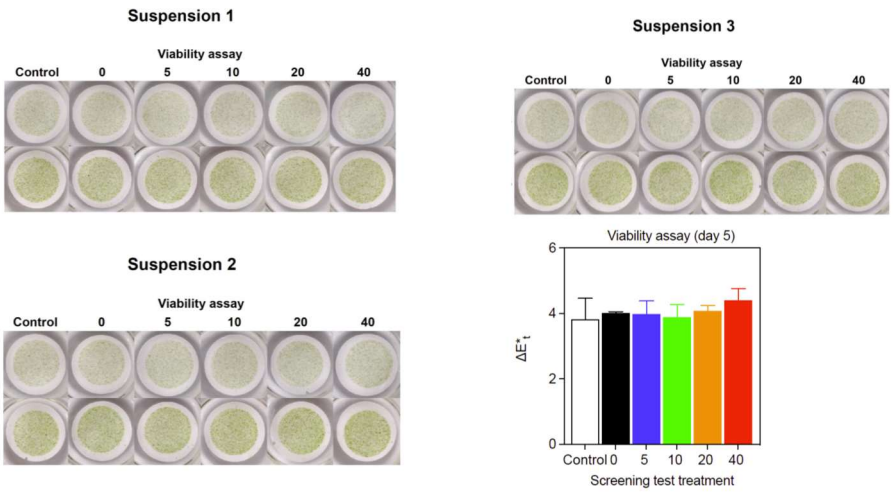


図 1.2.107 緑藻の固定化の様子および活性評価(固定期間 3−5 日の色差/2 日の値を示す)

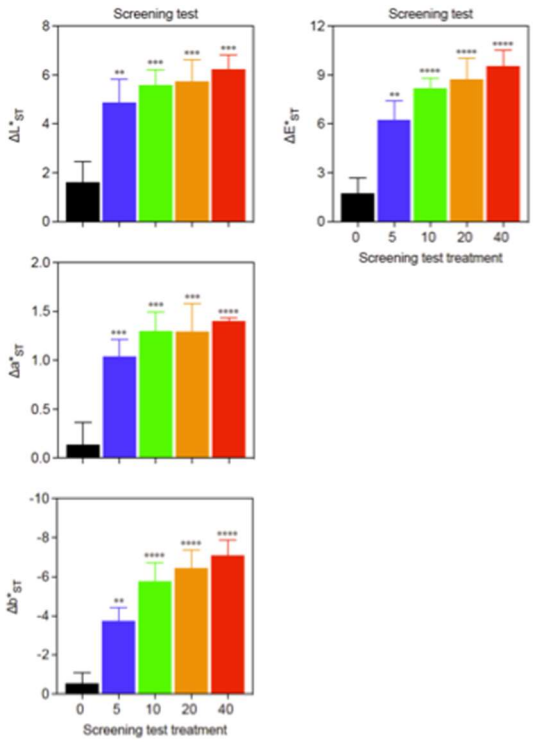


図 1.2.108（緑藻を用いた生物試験の色空間パラメータの色差と亜酸化銅配合量との関係）

(5) 船体付着生物管理に必要な防汚システムの管理・最適化に関する研究

IMO での船体付着生物管理ガイドラインの最終化および水中洗浄ガイダンスに関する審議に対応した。水中洗浄実施による影響を評価する実船実験を行う際の課題を抽出した。これを踏まえて、ISO/TC 8/SC 2/WG 13(水中洗浄システム作業部会)での新規計画(プロアクティブな船底洗浄の実施と文書化の方法：ISO 6319(ノルウェー提案)、生物付着試験に関する水中洗浄システム：ISO 20679(米国提案))の 2 審議にも対応した。

□サブテーマ5

(1) GHG 排出削減を目指した内航貨物船の建造支援

外部機関との連携事業によって、連携型省エネ船のコンセプトを踏まえた内航貨物船の建造支援を行った（図 1.2.109）。内航貨物船に、運航状態や船内機器の運転状態を監視・データ収集できる陸上サポートシステムを搭載し、運航状態の「見える化」などの機能を確認した。2023 年 6 月就航後の運航データを解析し、当初の目標と同程度の省エネ性能を確認した。

図 1.2.109 連携型省エネ船のコンセプトを踏まえた 499GT 内航貨物船「國喜 68」

(2) バイオ燃料の利用技術

国土交通省の事業に協力し、バイオ燃料を船舶で安心して利用するため、各種バイオ燃料の酸化劣化に関する試験などを実施し、バイオ燃料を取り扱う際の様々な知見を得た(図 1.2.110、図 1.2.111)。それらを取りまとめて、国土交通省の「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン」の改定に貢献した。

図 1.2.110 各種バイオ燃料
(金属腐食試験)

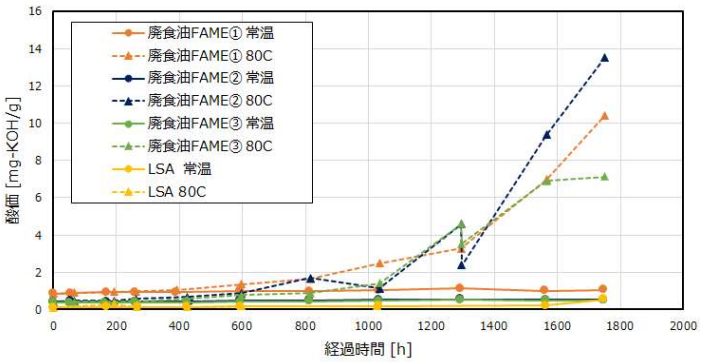


図 1.2.111 保管温度を変化させた場合の酸価の変化
(廃食油 FAME)

□サブテーマ6

・油回収後の油水分離技術として、マイクロスケールの微細気泡を積極的に接触させる縮小拡大管(ベンチュリ管)デバイスを導入した油水分離試験装置を構築、回収油を模擬したエマルション(重質油+水+界面活性剤)の油水分離試験を実施した。デバイス作動条件(エマルション流量および微細気泡生成のための空気流量)ごとの圧力分布の違いを詳細に計測するとともに、エマルション油水分離挙動の時系列変化を定量化した(図 1.2.112)。その結果、ベンチュリ管作動条件により油水分離時間に差異が生じ、最適な条件が存在することを示唆した。

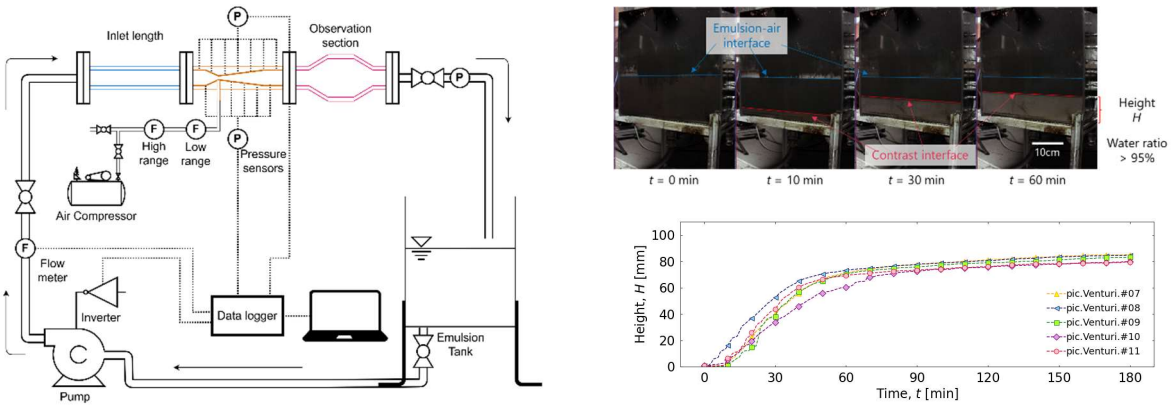


図 1.2.112 構築した回収油の油水分離試験装置

・油回収前の重質油粘性低下技術開発にあたり、高圧水噴射による回収油の流動化促進技術について PIV 計測に係る試験装置構築を行うとともに、流動化後の液体を詳細観測可能な顕微鏡システムを設計した。

・油回収管内の流動制御技術の開発にあたり、エジェクタポンプを用いた実用化を意識した回収試験装置を構築、重質油ならびにエマルションを対象に回収試験を実施し、管内圧力損失、回収後油の水分率を取得し、回収後油の分離挙動について定点観測を行った(図 1.2.113)。

図 1.2.113 構築した重油回収システム

R5年度成果の公表

□査読論文（科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等（海技研報告であれば「研究報告」のみ））:5 件（投稿中： 0 件、採択済： 1 件、掲載済： 4 件）

科学雑誌掲載論文

・Ichikawa, Y.: Retrofit concept for 100% hydrogen operation on natural gas lean-burn engine with spark ignition and prechamber system: engine performance under hydrogen-mixing and load limits, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.60, No.22, (Available online 26 February) (2024) （掲載済）

・Sekiguchi, H: Pure ammonia direct decomposition using rod-electrode-type microwave plasma source, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.57, pp.1010-1016 (2024) （掲載済）

・Sekiguchi, H: Experimental Investigations of Plasma-assisted Ammonia Combustion using Rod-Electrode-Type Microwave Plasma Source, International Journal of Hydrogen Energy. (採択済)

・Kanao, S., et al.: Optimization method of observation positions in sub-seabed CCS using the adjoint marginal sensitivity method, International Journal of Greenhouse Gas Control, (2023). （掲載済）

査読付き国際会議論文

・Niki, Y: Effects of Hydrogen on Combustion in Ammonia-Diesel Dual Fuel Engine and Demonstration of Autothermal Catalyst to reform Ammonia into Hydrogen, Proceedings of the ASME 2023, ICE Forward Conference (ICEF2023), ICEF2023-109103,(2023). （掲載済）

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文： 20 件（投稿中： 0 件、採択済： 0 件、掲載済 20 件）

・西尾澄人 ほか: EGR によるメタンスリップ低減に関する研究，第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会講演会，講演論文集 (2023).

・市川泰久 ほか: 水素専焼ガスエンジンの技術開発，令和 5 年度（第 23 回）海上技術安全研究所研究発表会（PS）論文集

・市川泰久 ほか:リーンバーンガスエンジンの水素高混焼率運転における機関性能，第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会講演会，講演論文集 (2023).

・市川泰久: 水素エンジン等の次世代燃料研究の進捗，第 23 回海上技術安全研究所講演会 (2023).

・市川泰久: 水素やアンモニアを燃料とする未来の舶用エンジン，うみコン 2024、3 研シンポジウム (2024).

・市川泰久 ほか: 水素混焼ガスエンジンに関する研究，海上技術安全研究所報告，第 23 巻，第 4 号 (2024).

・仁木洋一 ほか: アンモニア混焼ディーゼル機関における補助燃料の性状に関する研究 第一報 補助燃料性状がエンジン性能に及ぼす影響，第 93 回マリンエンジニアリング学術講演会講演会，講演論文集 (2023).

・仁木洋一: CIMAC 釜山大会報告セッション 5-2 及び 8-2，日内連技報 No.9、日本内燃機関連合会 (2023).

・仁木洋一: 海上技術安全研究所 環境・動力系における GHG 削減に関する研究取り組み，日内連情報 No.125、日本内燃機関連合会，(2024).

・仁木洋一 ほか: GHG 削減に向けた代替燃料燃焼技術に関する研究の展望，海上技術安全研究所報告，第 23 巻，別冊（令和 5 年度）第 23 回研究発表会講演集，(2023).

・仁木洋一 ： アンモニア混焼ディーゼルエンジンに関する研究—アンモニアが燃焼と排ガス成分に及ぼす影響と未燃アンモニアと亜酸化窒素の低減—，海上技術安全研究所報告，第 23 巻，第 4 号 (2024).

・清水勇毅 ほか: First evaluation of an ammonia reforming system in NH_3-diesel dual fuel small engine, Proceedings of 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023).

・川内智詞, 仁木洋一, 市川泰久: 舶用実機スケールの燃焼過程を模擬する大型燃焼試験装置の開発と展望, 令和 5 年度(第 23 回)海上技術安全研究所研究発表会(PS)
・高木正英: 液体代替燃料評価に向けた現状と課題, 令和 5 年度(第 23 回)海上技術安全研究所研究発表会(PS)
・小島隆志 ほか: 防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発 海上技術安全研究所報告第 23 巻, 第 4 号(2023).
・小島隆志: 船体付着生物に関する環境基準策定状況及び技術動向 2023 年度船舶基準セミナー～IMO における環境関係諸基準の策定状況及び関係者の取組状況(GHG、新燃料、船体付着等) 船舶技術研究協会 (2023).
・小島隆志: 船底防汚剤の歴史と船底防汚塗料に関連する規制(過去と未来) e-水産学シリーズ「船底や漁網に使用されている防汚剤の変遷と生物影響」 日本水産学会 (2023).
・小島隆志 ほか: 船舶起源の環境問題に対する環境・動力系の国際基準への取組 令和 5 年度(第 23 回) 海上技術安全研究所発表会講演要旨集 (2023).
・Kojima, R. A Laboratory Bioassay for Evaluating the Efficacy of Anti-fouling Paints on Ectocarpus sp. using Its CIELAB Coordinates, World Coating Council's AntiFouling Coatings Committee (WCC-AFCC) (2023).
・小島隆志: 環境問題からの船体付着生物管理及び水中洗浄の動向, 日本船長協会誌 (2023).

□特許申請: 0 件
・

□コアプログラム登録: 0 件
・

□国際連携活動: 9 件
・IMO、汚染防止・対応省委員会(PPR)、Black Carbon 規制、船体付着生物管理 GLs の検討、水中洗浄に関するガイダンスに関する審議、2 回
・IMO、海洋環境保護委員会(MEPC)、大気汚染防止及び船舶のエネルギー効率に関する審議
・ISO、ISO/TC8/SC2/WG13、船体汚損の水中洗浄システム、海洋環境保護、船底防汚システムに関する審議、3 回
・ISO、ISO/TC8 Charman's Strategic Advisory Group Meeting、TC 8 議長とその傘下の SC 議長及び TC 8 議長が指名する関係者による TC 8 の課題等の意見交換
・ブラックカーボン技術作業部会(IMO に関連)、船舶からの BC 排出量計測手法等に関する審議、2 回

□受賞: 5 件
・今井康雄 ほか: 日本マリンエンジニアリング学会・論文賞、天然ガスパイロット燃料着火方式における着火・燃焼特性に関する基礎研究-パイロット燃料の噴射パラメータがメタン空気予混合気の着火・燃焼特性へ与える効果-、日本マリンエンジニアリング学会誌, 57 巻 6 号 pp.790-797, (2022)
・福田哲吾 ほか: 日本マリンエンジニアリング学会・技術賞、バイオ燃料の持続可能性基準、LCA 評価法および各種認証についての調査、日本マリンエンジニアリング学会誌, 57 巻 6 号 pp.768-777, (2022)
・日本マリンエンジニアリング学会マリンエンジニアリング・オブ・ザ・イヤー、(長年にわたるマリンエンジニアリングに関する優れた研究成果及び独創的技術の実用化のための開発試験、環境動力系)
・Best Paper Award, First evaluation of an ammonia reforming system in NH_3-diesel dual fuel small engine, Proceedings of 10th PAAMES and AMEC 2023, (2023).(所内研究員が共著者として受賞)
・高橋千織: 海上・港湾・航空技術研究所理事長表彰(個人表彰)、舶用燃料油規制に係る対策技術の評価及び国際基準の策定に貢献した功績

□公開実験: 1 件
・環境・動力系ラボツアー(12/5 開催)

研究開発課題	(3)② 海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発

研 究 テーマ	重点 7 海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5 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振興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の導入拡大に向けた安全性評価・最適化、海洋開発のための関連機器、マリンオペレーション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振興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、海洋産業の振興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等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ② 海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発	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等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ② 海洋開発のための機器・運用技術の高度化、マリンオペレーション技術の最適化・安全性評価に関する研究開発 －船体タンク内遊動水のモデル化及び遊動水影響を考慮した船体運動プログラムの開発、洋上プラットフォームに関する検討により全体挙動評価において必要となる数値計算モデルの構築を行う。 等 ③ 海洋の利用に関連する技術に関する研究開発 －AUV-AUV通信・測位による協調群制御の手法の確立、ASV-AUV連結システムの複数機拡張および運用手法の開発を行う。 等

研究の背景

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振興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、海洋産業の振興に向けた国と民間との連携を図る。

具体的には、以下があげられる。
・マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究
・海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究
・高度な海洋調査に向けた先進的海洋無人機に関する研究開発

期間全体の研究目標

□マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究
・ 洋上風力発電アクセス船の最適配船計画プログラム、風車タワーと起重機船の波浪中連成運動評価プログラム、SEP 船の稼働性評価プログラム

・ 輸送中の液体 CO_2 流動評価プログラム、CCS 全体システム評価プログラム
・ バンカリングや CCS 等に対する 2 船体連成運動推定プログラム
□海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究
・ 海洋資源開発システムの安全性及び稼働性に係る評価技術及び計測技術
・ 対象資源に対する最適なシステム構成の選定に資する使用限界条件データベース
・ 日本の EEZ 内の資源開発を対象とした計画支援ツール
□高度な海洋調査に向けた先進的海洋無人機に関する研究開発
・ 運用深度 200m の試作機、6000m の実証機
・ AUV-AUV 通信・測位による複数 AUV 隊列群制御手法の実装
【最優先検討事項として当初計画から実施内容を変更】
・ 複数機 AUV 運用に最適化した MCS 調査装置の実装→AUV 水中ドッキング及び充電・データ転送技術
・ ASV-AUV 連結システムによる海中構造物点検手法
□全体
・ CTV や洋上 CO_2 圧入、バンカリング等の各種マリンオペレーションに対する安全性・稼働性評価技術およびガイドラインの策定、海洋資源開発のための全体システムの安全性・稼働性評価技術および開発支援プログラムの開発、海空無人機システム AUV、AUV-AUV 通信・測位および水中ドッキングシステムによる広範囲・長時間運用手法、海洋構造物等の保守点検への AUV 活用方策・手法

上記成果は、以下があげられる。
□マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究
・ 洋上風力発電の設置、維持管理技術に関する運用支援プログラムを整備することで、近年、産業界の注目が集まっている洋上風力発電事業への参入を後押しする。
・ 海洋 CCS 技術を評価するためのツールを整備して活用することで、技術的面から我が国沿岸域での CCS ポテンシャルを調査し、政府及び本邦企業に対して CCS に今後求められる技術等を示す。
・ バンカリングや CCS 等に対する 2 船体連成運動推定プログラムを整備することで、本邦企業への技術支援を行う。また、国が策定する次世代舶用燃料船の早期導入とバンカリング等に関するガイドラインの策定へ貢献する。
□海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究
・ 海洋資源開発における国家プロジェクトへの技術支援や本邦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に貢献することができる。
・ 海洋資源開発で使用可能なシステム構成の選定に資する情報に関して、資源開発を担う機関に提供し、開発計画の検討に活用する。
・ 海洋資源開発における国家プロジェクト、商業化を担う本邦企業にて開発計画の検討に活用する。
□高度な海洋調査に向けた先進的海洋無人機に関する研究開発
・ 試作機および実証機による実海域試験で海空無人機システム AUV の有効性を実証し、海外進出を含めた市場の開拓を後押しする。
・ 高品位海底調査における有用性を実証し、民間企業への技術移転や指導を行う。
・ 民間企業と連携し、事業ベースの海底資源調査に活用する。
・ ハードウェアシステムと運用技術をもとに、民間企業による委託事業等への参入を促す。
□全体
・ 評価技術や運用技術、支援ツール等を本邦企業に提供あるいは技術移転することで実プロジェクト等への参入を支援する。

R5年度研究目標

□サブテーマ１
・洋上風力発電施設の設置及び維持管理技術
・海洋 CCS 技術
・次世代舶用燃料バンカリング等の安全性・稼働性評価技術

□サブテーマ2
・海底鉱物資源の揚収に係る管内評価技術
・本邦 EEZ 内の海底資源を対象とした開発支援プログラムの拡充
・資源開発における最適なシステムの自動選定に係る技術

□サブテーマ3
・海空無人機システム AUV の基本設計
・AUV-AUV 通信・測位による協調群制御の手法を確立
【最優先検討事項として当初計画から実施内容を変更】
・音響地盤探査装置の基本・詳細設計→水中ドッキングに向けた AUV 誘導技術の開発
・ASV-AUV 連結システムの複数機拡張および運用手法の開発

R5年度研究内容

□サブテーマ 1
・洋上風力発電アクセス船(CTV)から洋上風力発電施設への乗り移り性能評価に関する研究
・超大型起重機船を使った風車タワーの一体搭載作業に関する研究
・液体 CO_2 輸送中の振動管内における流動状態評価及び管挙動に関する研究
・海洋 CCS のための洋上プラットフォームに関する研究
・船体タンク内遊動水の影響を考慮した船体運動に関する研究

□サブテーマ2
・エアリフト方式について、気相低体積率領域における評価手法の妥当性検討
・開発支援プログラムの対象範囲を本邦 EEZ 全域に拡張
・海底鉱物資源開発の最適なシステム抽出に係る最適化アルゴリズム選定に関する研究

□サブテーマ3
・海空無人機システム AUV の仕様策定および基本設計に関する研究
・AUV-AUV 通信・測位による複数 AUV の制御手法に関する研究
【最優先検討事項として当初計画から実施内容を変更】
・AUV による音響地盤探査に関する研究→ホバリング型 AUV 水中誘導手法に関する研究
・ASV-AUV 連結システム複数機同時運用および搭載センサーの拡張に向けたシステム開発に関する研究

R5年度研究成果

□サブテーマ 1
・洋上風力発電施設に CTV が船首接舷した状態での乗り移り評価試験、風洞試験等を実施し、乗り移り性能評価法を構築した。また、カタマラン型 CTV と SWATH 型 CTV の乗り移り性能の違いを明らかにした。(図 1.2.114)

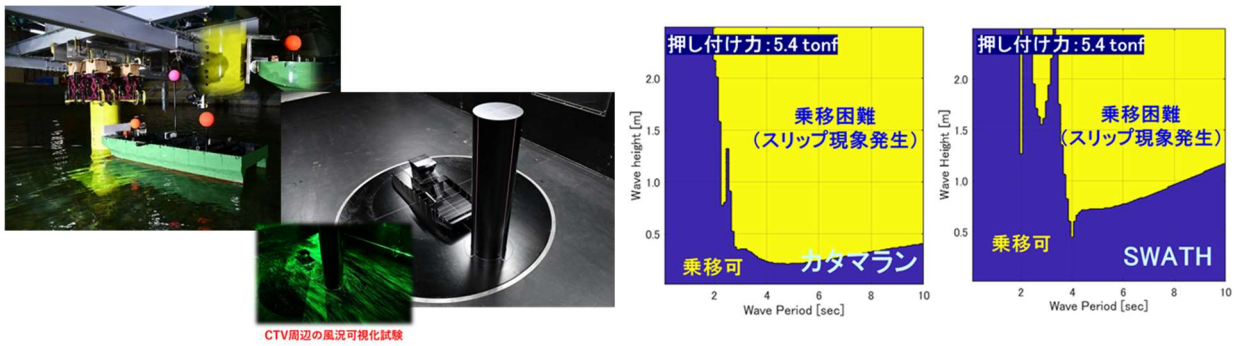


図 1.2.114 洋上風力発電アクセス船(CTV)の乗り移り性能評価のための各種模型試験と異なる船型 CTV の乗り移り性能の違いに関する評価結果の比較例

・ストリップ法(STF 法)による波浪中船体運動計算プログラムによりモノハル型 CTV の耐航性能を評価した。また、当該プログラムをカタマラン船型に適用するための改造法を整理し、検証データ取得を目的に、カタマラン型 CTV の強制横揺れ試験、粘性影響を考慮した CFD 解析を実施した(図 1.2.115)。

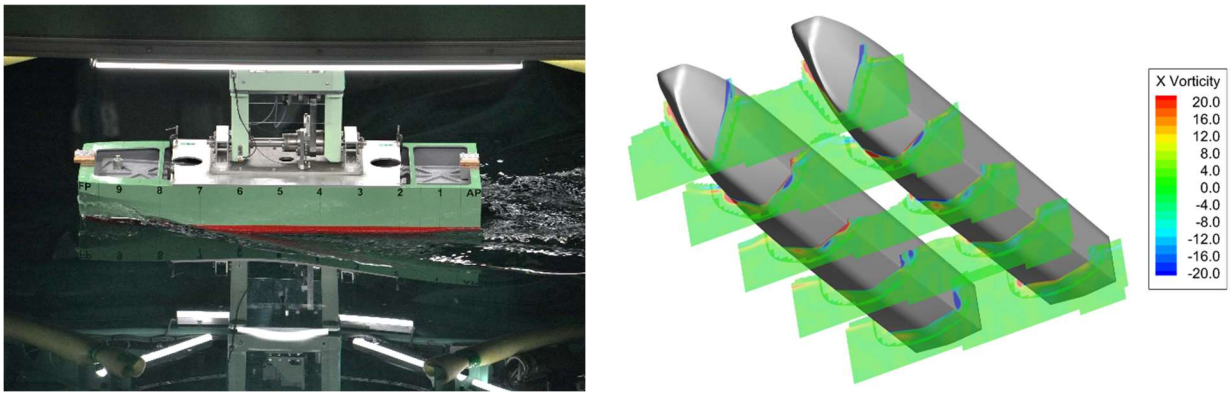


図 1.2.115 カタマラン型 CTV の強制横揺れ試験と CFD 解析（船長方向渦度分布）

・SEP 船本体と脚部に作用する波強制力や潮流力の計測を目的とした水槽試験計画を立案した。また、当該試験で使用する船体模型を製作し、その流体力解析を実施した。
・近接したスパー型 CO_2 圧入プラットフォームと CO_2 輸送船の相対運動を推定するための計算モデルを構築し、過去に実施した模型試験と比較し妥当性を検証した。また、2 浮体間の流体力学的相互干渉の有無がそれぞれの運動に与える影響を明らかにした。
・液体 CO_2 可視化計測（PIV,LIF）の大規模実験に向けた模擬実験を行ない、高圧流体の可視化計測に係る知見（蛍光染料の溶解特性等）を蓄積した。
・液体 CO_2 の管内流動解析のため、相変化を考慮した、Newton-Krylov 法（非線形方程式に対する解法）を用いる定常一成分二相系（CO_2）流れのドリフトフラックスモデル（混合物モデルの一つで、各相の速度差を考慮したモデル）を構築した。
・次年度実施予定の内部流影響を考慮した挙動評価プログラムの検証データを取得するための潮流中挙動計測実験に向けて試験計画を立案し、試験装置を設計・製作した。
・粒子法に基づき、船体タンク内遊動水の影響を考慮するプログラムの開発を進めた。また、錨泊中に大きな振れ回り運動を伴う状態での LNG バンカリングについて、水槽試験と数値計算により稼働限界条件を明らかにし、過去に策定した岸壁係船時の条件と比較することで、国が進める夜間・錨泊中の LNG バンカリングガイドラインの改定に貢献した。

□サブテーマ2

・気相の体積率が低い領域を対象とした固気液三相流移送試験を実施し、これまでに検討してきた内部流評価モデルの適用性を調査した（図 1.2.116）。これまでに検討してきたドリフトフラックスモデルを用いた場合、気相体積率が低い領域では高い領域に比べて分布定数が小さくなることがわかった。これは管内の流速分布が異なることを表しており、管内混相流の数値計算に用いる構成方程式の精度に影響すると考えられる。気相体積率によらず、固相流速と液相流速に線形の関係があることが明らかとなった（図 1.2.117）。また、摩擦損失の推定式について当該領域でも適用できることが確認できた。

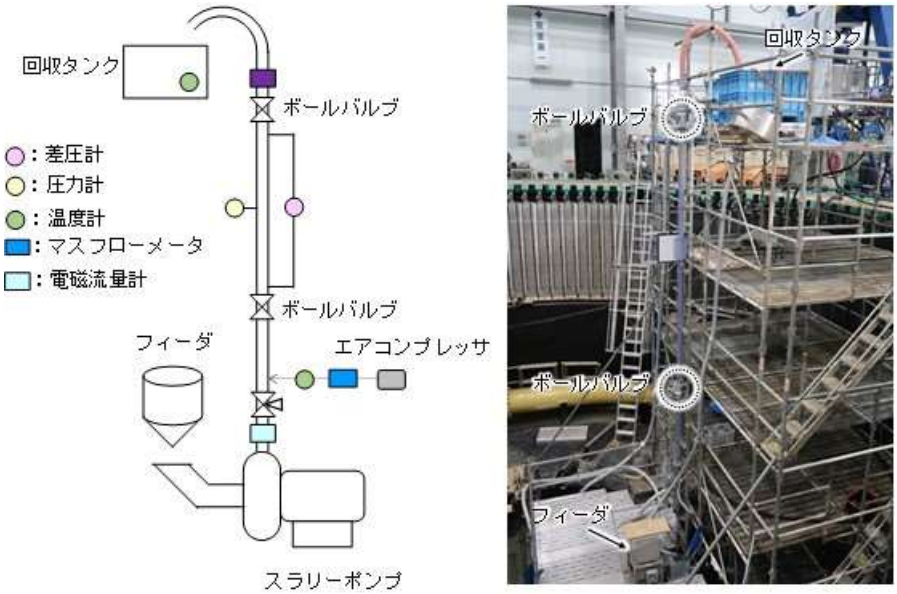


図 1.2.116 試験装置模式図及び外観写真

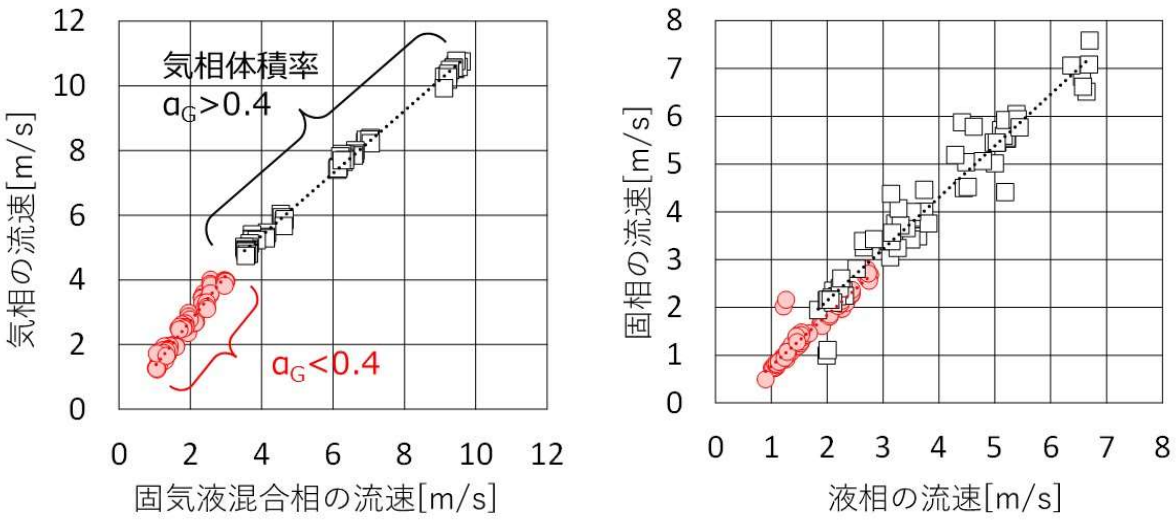


図 1.2.117　気相体積率の違いおける各相の流速結果

（左図：混合相流速と気相流速の関係、右図：液相流速と固相流速の関係）

・さらに、令和 4 年度に構築した固液二相流の圧力損失推定モデルについて、複数の模擬鉱石を用いた試験結果との比較を通じて、当該モデルが球形粒子のみでなく非球形粒子にも適用可能であることを確認するとともに、将来の管内流動状況リアルタイムモニタリングの構築に向け、時間領域シミュレーションへのモデルの拡張を行った。

・稼働性評価及び経済性評価が可能な開発支援プログラムについて、海底熱水鉱床を対象とした支援プログラムをもとに、本邦 EEZ 内全ての海底鉱物資源に対応するため対象海域を南鳥島海域や日本海海域を含め拡充を行った。併せて、水深が立体的に表現できる陰影段彩図に変更した（図 1.2.118）。これまで海底熱水鉱床開発で使用可能なシステムを検討してきたが、今後はマンガン団塊等の水深 4,000m以深の大水深で使用可能システムについて検討を行う。

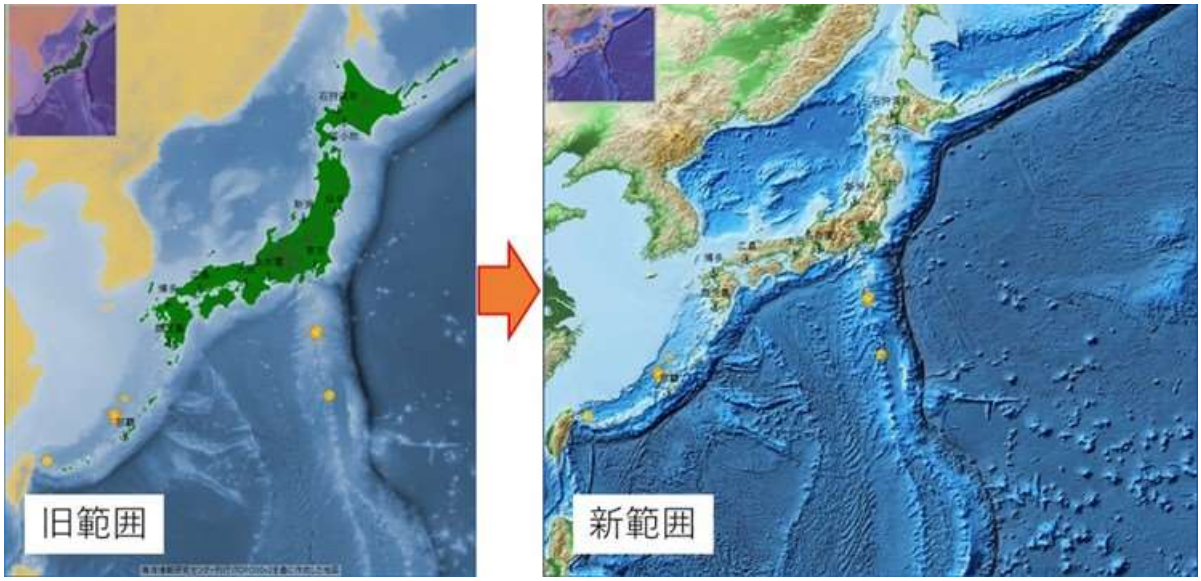


図 1.2.118　開発支援プログラムの対象範囲拡張

・最適なシステム（洋上施設の係留の有無、シャトル船の隻数、揚鉱管の仕様等）の候補を抽出可能とする最適化アルゴリズムについて調査し、離散値を含む入力変数を有するため、AI 技術であるニューラルネットワークを用いた手法を候補として選定した（図 1.2.119）。同手法を用いれば経済性指標を最大化する最適なシステム構成候補を自動で決定できる可能性がある。今後はニューラルネットワークの構築に必要な学習データを効率的に作成し、保有するプログラムに同アルゴリズムを実装し効果を検証する（図 1.2.120）。

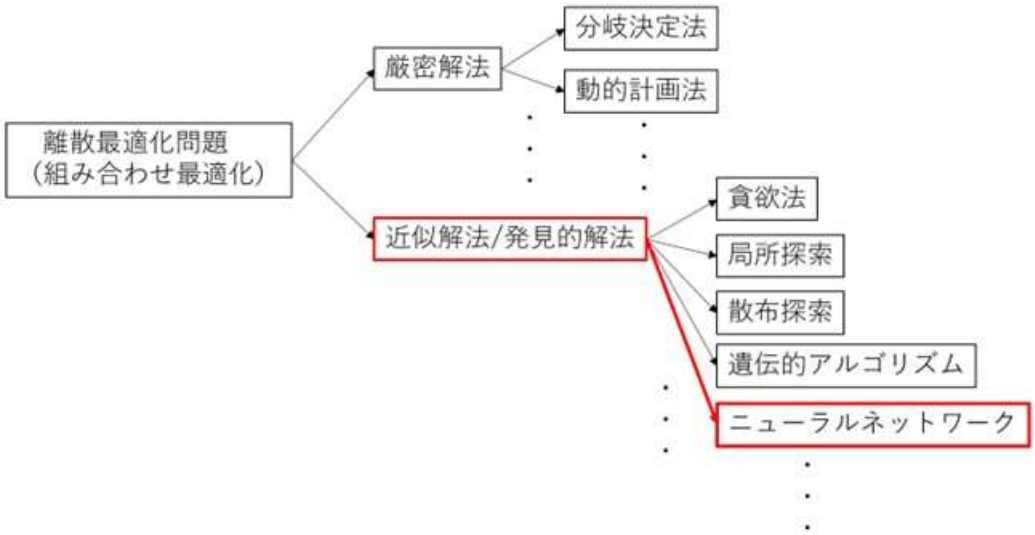


図 1.2.119 システムの最適化手法に係る検討結果

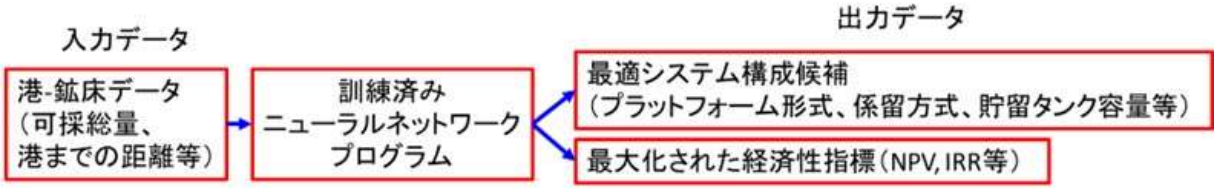


図 1.2.120 ニューラルネットワークプログラムの開発支援プログラムへの実装イメージ

ロサブテーマ3

・飛行艇により輸送され、展開・運用・揚収される海空無人機システム AUV 特有の要求条件を洗い出し、必要仕様を策定した。また、策定された仕様をもとに、自動投入揚収対応 AUV および深度 6,000m 級の深深度 AUV に対し、概念・基本設計を行った。深度 2,000m 級で開発される自動投入揚収対応 AUV に関しては、飛行艇のペイロードに合わせ 800kg の重量目標が定められた。自動揚収に欠かせないドッキングの際に非常に高い精度の位置制御が求められることから、ホバリング機能を有し、5 自由度以上の運動制御が可能であることを機体の目標仕様として策定した。6,000m 級の深深度 AUV に関しては、推定重量が 1,460kg であることから飛行艇への搭載は考慮せず、従来の支援船による運用を基本として開発を進める。但し、飛行艇の大型化に伴う将来の搭載可能性を見据え、機体の形状や基本特性等において自動投入揚収対応 AUV を踏襲することとした（図 1.2.121）。

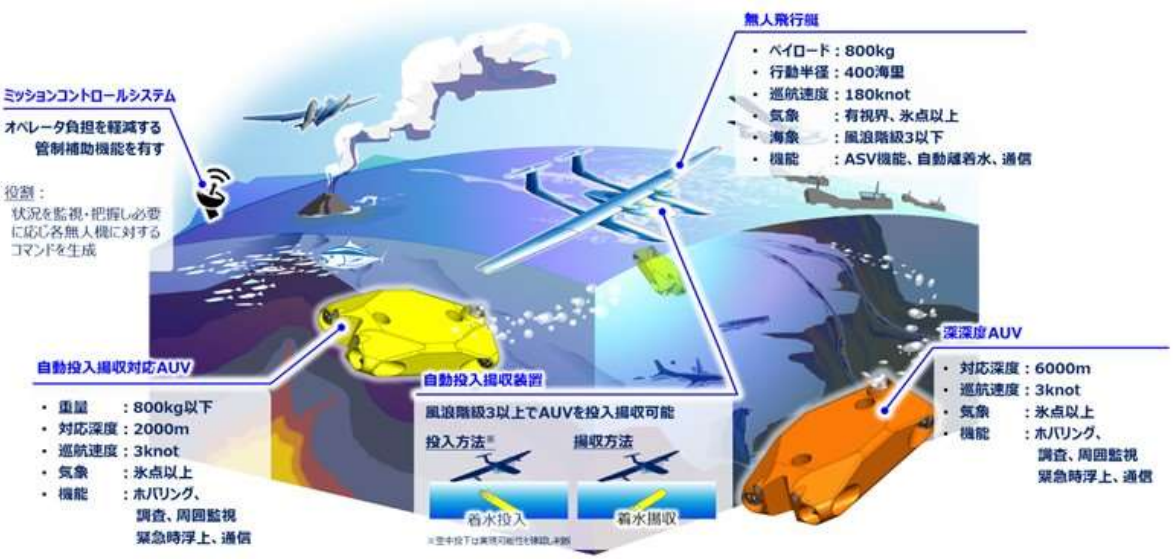


図 1.2.121 海空無人機システム AUV の概念および基本設計の結果

・海底に設置された音響基準局（音響灯台）による絶対位置補正（図 1.2.122(1)）と、AUV の 1 機を中心とした音響ネットワークによる相対位置調整（図 1.2.122(2)）の 2 つを組み合わせた、リファレンス － フォロワー群制御と言った複数 AUV 制御手法を提案した（図 1.2.122）。提案手法では、図 1.2.123 に示した運用手順の通り、海底付近まで潜航した AUV 群は旋回待機を行いながら水中音響灯台を定期的に測位して絶対位置補正を行う（図 1.2.123(1)）。次に、絶対位置補正終了後、AUV1 機をリファレンス機、その他をフォロワー機と定義する。フォロワー機は定期的にリファレンス機を測位し、AUV 間の相対位置調整を実施しながら航行する（図 1.2.123(2)）。

図 1.2.122 リファレンス － フォロワー群制御の基本概念

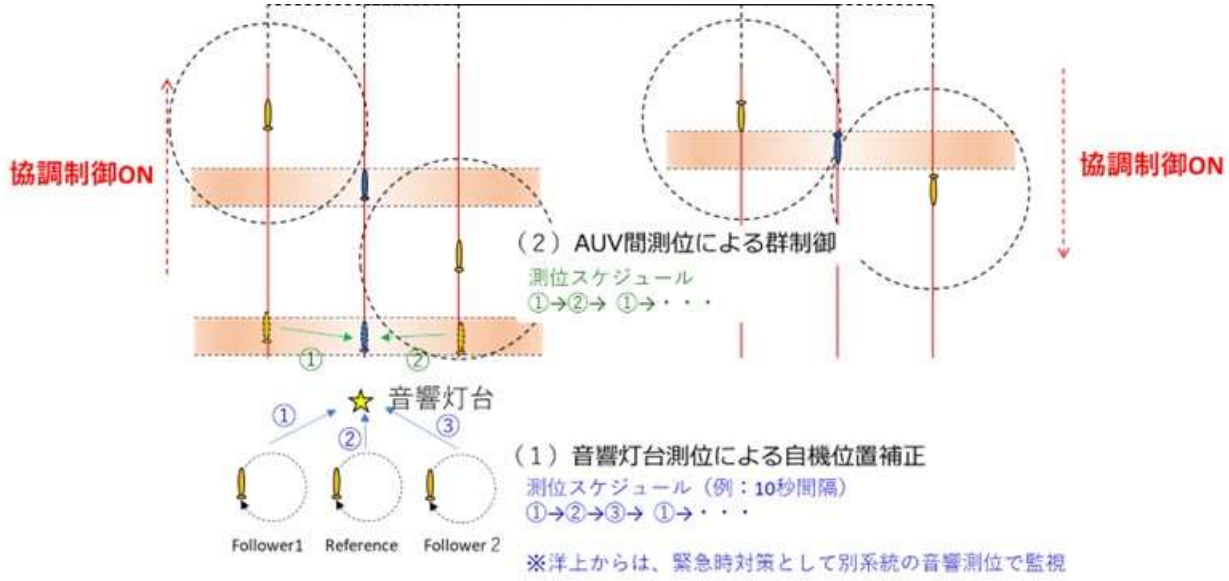


図 1.2.123 リファレンス － フォロワー群制御の実施手順

・上記提案手法の有効性を検証するため、MATLAB/Simulink による複数 AUV シミュレーションモデルを製作し、時間領域でのシミュレーションを実施した。得られたシミュレーションの結果から、本提案手法による絶対位置補正および相対位置調整が、AUV の観測データの安定化（図 1.2.124）及び航行安定性の向上（図 1.2.125）に効果があることを確認した。

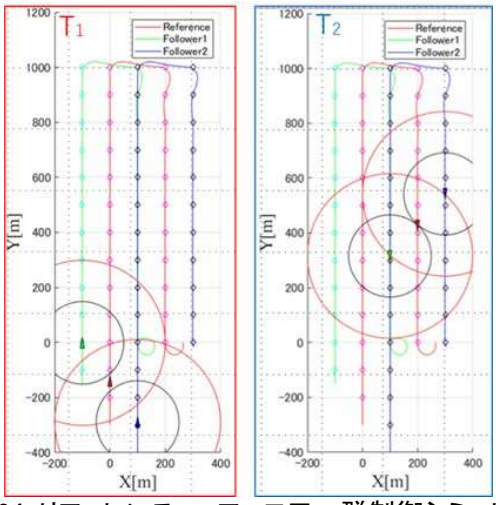


図 1.2.124 リファレンス － フォロワー群制御シミュレーション結果（AUV3 機）

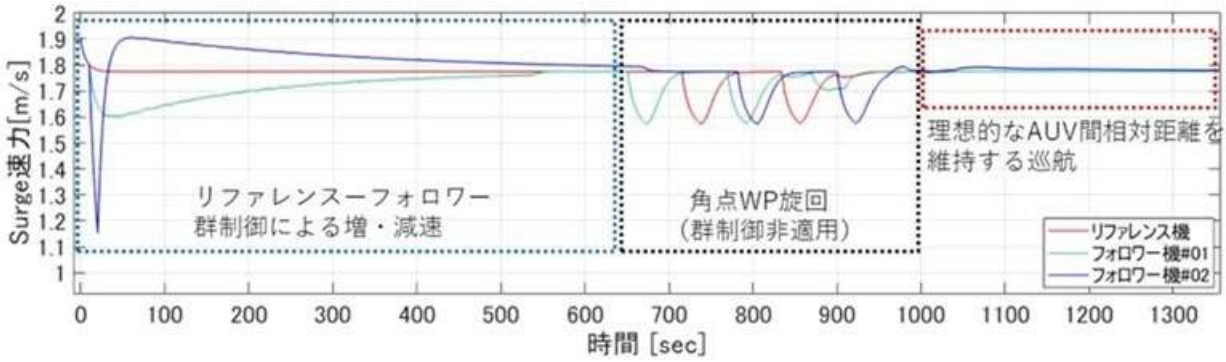


図 1.2.125 リファレンス － フォロワー群制御時の AUV surge 速力

・AUV をより高度に運用するためには、観測の高度化だけでなく、観測データの取得方法や充電方法に関しても高度化させることが求められる。そこで、観測データの洋上転送や水中充電を行う水中基地局（以下、深海ターミナル）を海底に設置し、AUV をドッキングさせることによりこれらの高度化を目指す。AUV は海底に設置された深海ターミナルに着座するため、高度を下げながら着座位置へと接近する。AUV の自機位置・速度測定装置の一種である Doppler Velocity Log(DVL)は、着座の間際には反射音のマルチパス現象により、機体速度および高度の計測が不可能となる。そこで、AUV の自機位置測定にカメラから取得した画像情報を用い、深海ターミナルへの誘導を行う。

・画像情報をもとに有効な自機位置測定を行うため、3 つの赤色 LED から構成される誘導灯の最適な配置を提案した（図 1.2.126）。

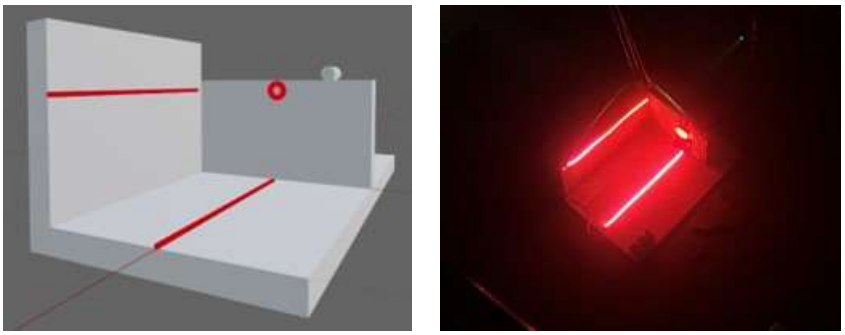


図 1.2.126 深海ターミナル上 LED 誘導灯の配置図と深海ターミナル模型の水中設置時の外観

・LED 誘導灯の画像検出を行う際、カメラとLED誘導灯間の距離に応じて輝度が大きく変化するため、光源のサチレーションによって白く映った場合、色情報の検出が困難となる。また、同色の誘導灯においても、距離に応じた輝度の変化によって色味が異なって見える特性がある（図 1.2.127）。こうした問題の解決に向け、ラベリングによる色検出システムを新たに開発した。本システムでは、複数のピクセルから構成された対象物を検出し、対象物の持つ色情報の比率を求めることでどの誘導灯であるのかを判断する。また、RGB 画

像から色検出を得意とする HSV（Hue（色相）、Saturation（彩度）、Value（明度））画像に変換することで、色味の変化に強いシステムとした。

・水中では予期せぬ漂流物等により光源が遮られ、対象物が 2 つに分断されて検出される可能性がある。本システムはモルフォロジー演算を用いることで、対象物の再統合を可能とした。

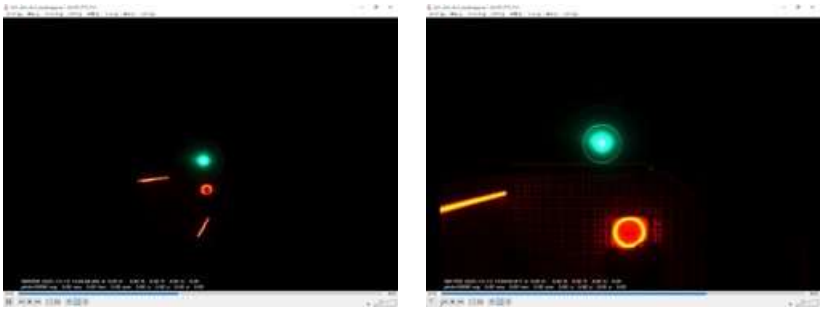


図 1.2.127 距離に応じた LED 誘導灯の見え方の変化
（左図: 誘導灯までの距離約 5m, 右図: 誘導灯までの距離約 1m）

・複数の LED 誘導灯を設置した深海ターミナル模型（以下、モックアップ）を水槽内に設置し、撮影映像から AUV の相対自機位置推定性能の検証を行った。相対自機位置の推定には、検出した誘導灯の特徴点の 3 次元座標を算出することでモックアップ設置位置からの相対的に推定した（図 1.2.128）。モックアップは図中のオレンジ色の四角内に設置し、AUV は縦距離 5m の地点から潜航を開始した。誘導灯として 2 本のライン状 LED と 1 個の円形 LED を設置している。図中黒のプロットはライン状 LED 検出時、赤のプロットは円形 LED 検出時の自機位置推定結果を示す。自機位置推定精度は誤差 0.1-0.2m 程度とおおむね良好であり、AUV ドッキング時の自律接近航走に十分な精度を持つことを確認した。

・ドッキング技術を海技研のホバリング型 AUV（ほばりん）にて検証するため、ほばりんの制御システムを大幅に改造した。大きな変更点としては、ROS（Robot Operating System）で構成されていたソフトウェアを ROS2 へアップデートし、より高度なミッションの組み込みを可能とした。現在段階的に各種機器の動作確認を進めており、動作確認完了次第ドッキング技術検証試験を行う予定である。

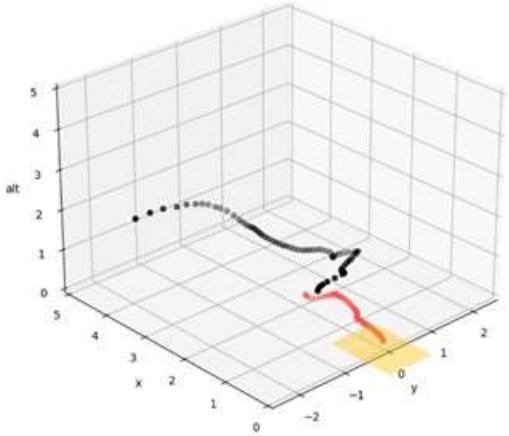


図 1.2.128 画像処理による自機位置推定結果の 3 次元プロット

・「AUV-ASV 連結システム」の複数機同時運用及び搭載センサーの拡張に向けたシステムの開発を行った。連結システムの 2 式目を製作し、2 式を同時運用しても無線通信データ量が過重とならないよう、それぞれ独立した Wi-Fi SSID のネットワーク構成とした（図 1.2.129 左）。また、ASV に DGPS（相対測位方式）とステレオカメラ、AUV に DVL と水中 LiDAR 装置（レーザー測位装置）を搭載し、遠隔操作時・自律航走時に必要な位置精度の向上を実現した（図 1.2.129 右）。

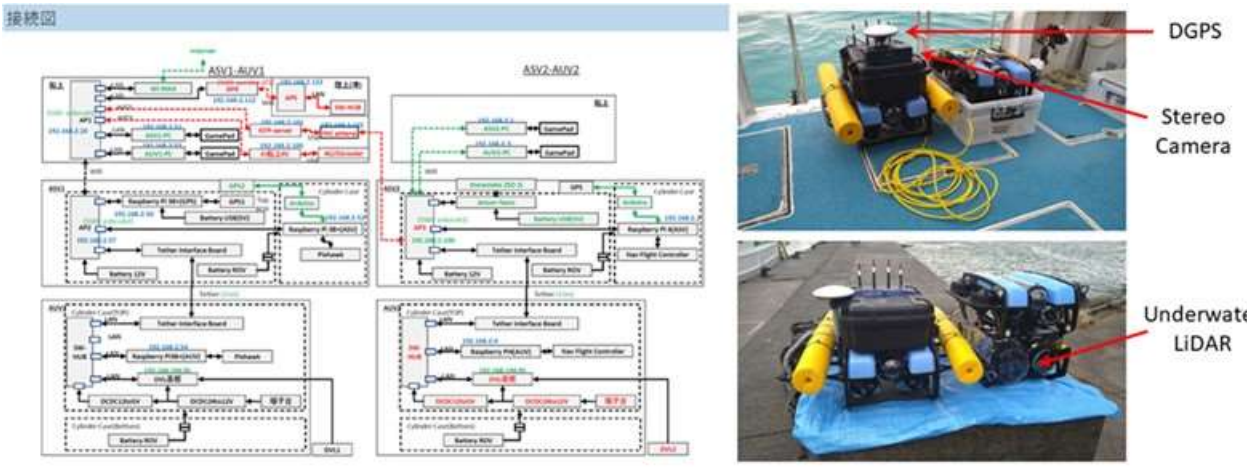


図 1.2.129 「AUV-ASV 連結システム」2 式の構成と拡張センサー搭載時の写真

・洋上風力発電設備の海中部点検を目的として、「AUV-ASV 連結システム」を用いた銚子沖の着床式洋上風力発電設備で技術試験を実施した（図 1.2.130）。令和 3 年度および令和 4 年度の試験時と比較して濁度の高い状況での点検技術試験となったが、海中部の底部基礎（水深約 12m）の鉄筋や底生生物（イトマキヒトデ）等の映像取得に成功した。また、DGPS 導入により、ASV の海上位置保持精度が向上していることを確認した。

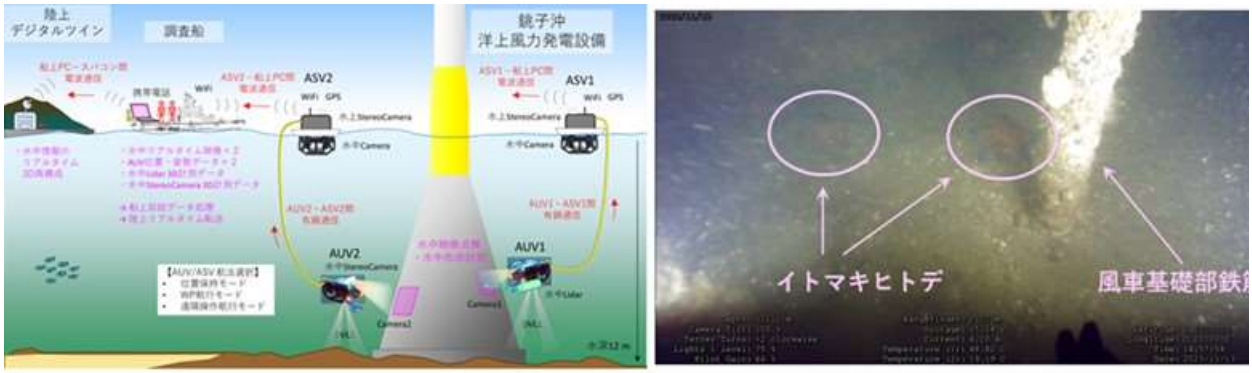


図 1.2.130 銚子沖洋上風力発電設備の海中部点検技術試験概要図と試験から得られた海底映像

・サンゴ礁海域の海底環境調査を目的として、「AUV-ASV 連結システム」を用いた石垣港の南側海域で技術試験を実施した。亜熱帯に属する石垣島周辺海域では海水の透明度が高く、DGPS 測位を用いた ASV の誘導や ASV による AUV の曳航に加えて、ASV の水中カメラ映像を確認しつつ AUV を遠隔操作する手法が有効であった。調査 1 日目に水深 8m のイシサンゴを観測対象と定め、マーカーや音響トランスポンダ等の海底人工物を設置せずに、調査 2 日目に再訪調査したところ、午前、午後の 2 回の調査とも、観測対象のイシサンゴを再確認、再調査することに成功した（図 1.2.131、1.2.132）。

図 1.2.131 石垣島南海域での観測対象イシサンゴ調査時の ASV 海上位置
（ASV 水中カメラによる AUV 監視時、橙色：1/23、桃色：1/24 午前、黄色：1/24 午後）

船上遠隔操作の様子　ASV（海面）水中映像　AUV（水深8m）水中映像

図 1.2.132　観測対象であるイシサンゴ調査時の船上、ASV、AUV における映像

・本研究の一連の結果により、浅海域における遠隔操作の海底調査技術が確立された。また、海水透明度が調査水深以上の海域であれば、ASV の水中カメラ監視による AUV 誘導とモニタリング技術として重要な海底調査位置への再訪調査が可能であることを実証した。

R5年度成果の公表

□査読論文（科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等（海技研報告であれば「研究報告」のみ））：　11 件（投稿中：　1 件、採択済：　5 件、掲載済：5 件）

科学雑誌掲載論文

・Otsubo, K.: Stick/Slip Phenomenon of a Crew Transfer Vessel Pushing Its Bow Against an Offshore Wind Tower During a Transfer Operation, International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol.33. No.4, pp.409-419, (2023)（掲載済）
・Masanobu, S., et al.: Hydraulic Transport of Large Solid Particles in Inclined Pipes under Pulsating Flow Conditions, J. Offshore Mech. Arct. Eng. (投稿中)
・Fujiwara, T.: Leader-Follower Formation Control Characteristics with Dynamic Way Point on Cruising AUVs, International Journal of Offshore and Polar Engineering,(2024)（採択済）

査読付き国際会議論文

・Otsubo, K., et al.: Comparison of stick/slip Phenomena at transfer points between different hull-type CTVs, Proc. 34th International Ocean and Polar Engineering Conference (2024)（採択済）
・Takano, S., et al.: EFFECT OF AXIAL DENSITY DISTRIBUTION IN LIQUID-SOLID FLOW IN PIPES ON THE JUMPER FOR DEEP SEA MINING, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2024)（採択済）
・Yamamoto, M., et al.: Optimization for Buoyancy Modules Attachment on Riser System For The Production Of Polymetallic Nodules, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2024)（採択済）
・Masanobu, S., et al.: NUMERICAL SIMULATION OF PULSATING SLURRY FLOW IN A JUMPER FOR SUBSEA MINING, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, (2024)（採択済）
・Yamamoto, M. et al.: Dynamic Analysis to Identify Mathieu Instability on Hanging Riser for Exploitation of Subsea Minerals, Proceedings of OTC Brasil (2023)（掲載済）
・Park et al.: Monitoring of Liquid-solid two-phase pipe flow using ultrasonic pulses, Proceedings of 14th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering (2023)（掲載済）
・Murai et al.: Ultrasound pulse measurement of air-lift multiphase pipe flow in an inclined pipe, Proceedings of 14th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering (2023)（掲載済）
・Kim, K.: Longitudinal Motion Control of Underactuated Cruising AUVs for Acoustic Bottom Survey, Proc. of the 20th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2023), vol.1, pp.754-762 (2023)（掲載済）

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文：　11 件（投稿中：　0 件、採択済：　0 件、掲載済：　11 件）

・大坪和久　ほか: 洋上風力発電アクセス船の風車タワーへの乗り移り性能評価，海上技術安全研究所研究発表会講演集,pp.161-162 (2023)（掲載済）
・大坪和久　ほか: 洋上風力発電アクセス船から風車タワーへの乗り移り評価，日本船舶海洋工学会講演会

論文集, 第 37 号,pp.781-784 (2023)(掲載済)
・羽田絢 ほか: SEP 船の脚部に作用する風荷重の実験的研究, 令和 5 年日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 37 号, pp.775-780 (2023)(掲載済)
・高野慧 ほか: 表層型メタンハイドレート開発を対象とした1次元の管内混相流シミュレーション, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 37 号 (2023)(掲載済)
・高野慧 ほか: 鉛直な固気液三相流の摩擦損失推定手法, 海上技術安全研究所報告, 第 23 号別冊,pp.163-164 (2023)(掲載済)
・Yamamoto, M. et al.: Review of Deep Sea Mining R&D Activities in NMRI: 2019-2023, Underwater Minerals Conference (2023)(掲載済)
・Yamamoto, M.: Exploitation Systems for Deep Sea Mining, Workshop, E-Merge Project, online (2023)(掲載済)
・山本譲司 ほか: 海洋開発のためのマリンオペレーションと資源開発技術に関する研究への取り組み, 海上技術安全研究所報告, 第 23 巻別冊(令和 5 年度)第 23 回研究発表会 講演集, pp.93-97 (2023)(掲載済)
・山本譲司: 海底資源開発に係る海技研の取り組み, 海洋資源開発技術プラットフォーム会合, HP 公開 (2023) (掲載済)
・金岡秀 ほか: 高度な海洋調査に向けた海上技術安全研究所の海洋無人機システム, 日本船舶海洋工学会令和 5 年秋季講演会論文集 (2023)(掲載済)
・篠野雅彦 ほか: 複数ホバリング型 AUV の水中直接通信・測位と協調制御, 日本船舶海洋工学会令和 5 年秋季講演会論文集 (2023)(掲載済)

□特許申請: 5 件
・高橋一比古 ほか: 水面上漂流物の遮蔽及び回収方法、並びにそれに用いる遮蔽及び回収装置(国内優先権主張出願)(特願 2023-169443)
・荒木元輝 ほか: 複数ライザー管の渦励振低減システム(特願 2024-038927)
・佐藤匠 ほか: 動的・静的水中音響灯台による複数水中航走体の位置補正システム(特願 2024-049696)
・篠野雅彦 ほか: 情報共有機能付き水底情報収集システム、及び情報共有を伴う水底情報収集方法(特願 2024-032777)
・金岡秀 ほか: 水中航走体捕獲装置、及び水中航走体捕獲システム(特願 2024-050117)

□コアプログラム登録: 2 件
・AUV 制御用共通プログラム Ver2 岡本章裕
・複数機 AUV 管理・隊列制御プログラム Ver2 岡本章裕

□国際連携活動: 0 件
・

□受賞: 1 件
・深海技術研究グループ: 理事長表彰(グループ表彰)、海底資源開発に関する国家プロジェクト支援に貢献した功績)

□公開実験: 0 件
・

研究開発課題	(3)① 海洋再生可能エネルギー開発に係る関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発

研 究 テ ー マ	重点 8 海洋再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関連システムの安全性評価・最適化に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5 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振興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の導入拡大に向けた安全性評価・最適化、海洋開発のための関連機器、マリンオペレーション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振興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、海洋産業の振興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開発に係る関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発	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関連システムの安全性評価・最適化に関する研究開発 －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振興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を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、係留張力モニタリング技術の基盤構築、検査の合理化のための運転保守段階のリスク分析、波力発電制御手法の高度化を行う。 等

研究の背景

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振興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、海洋産業の振興に向けた国と民間との連携を図る。

具体的には、以下があげられる。
・大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築
・合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築
・デジタルツイン技術の構築
・波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上研究

期間全体の研究目標
・浮体変位を用いた係留の健全性評価手法、RBI(Risk Based Inspection)導入のためのリスク評価手法、コスト推計手法の構築
・合成繊維索係留の設計プログラム、合成繊維索における生物付着影響の総合的評価手法の構築

・浮体変位等を用いた波浪推定手法、浮体強度・係留のデジタルツイン技術の開発
・波力発電の高効率制御手法、複合的な海洋再生エネルギー利用技術の開発
□全体
・適切な安全性を保ちつつ、大規模 FOWT の商用化に資する設計（サブテーマ1,2）・施工（サブテーマ1）・運転保守段階（サブテーマ1,3）のコスト低減に資する技術、合成繊維索係留に対する実用的な設計・張力モニタリング手法の開発（サブテーマ1,2）、およびデジタルツイン技術の構築（サブテーマ3）、高効率な波力発電システムの開発（サブテーマ4）

上記成果は、以下があげられる。
・O&M コスト低減のための係留張力モニタリング技術を実機に適用する。
・合成繊維索係留の設計コスト低減のための設計手法を実機における設計へ活用する。
・デジタルツイン技術により O&M 手法を合理化し、実機における O&M コスト低減へつなげる。
・高効率制御手法により波力発電の実証につなげる。
□全体
・水槽試験、実機による実海域実証等により検証された研究成果について、国の安全ガイドラインへの反映、さらには国際基準への適用を目指す。開発された技術については商用ウィンドファームにおける実用化を目指す。

R5年度研究目標

□サブテーマ１
・係留張力のモニタリング技術の開発
・リスク評価による合理的な検査手法の開発
・浮体最適化技術の開発

□サブテーマ2
・簡易的に良好な仕様を出力する設計手法・プログラムの開発
・係留索に対する生物付着影響評価結果

□サブテーマ3
・浮体遭遇海象推定手法の開発
・浮体各所の応力等推定手法の開発

□サブテーマ4
・波力発電のより高効率な制御アルゴリズムの開発

R5年度研究内容

□サブテーマ１
・検査の合理化のための係留の健全性評価手法の開発
・大規模 FOWT への RBI 導入のためのリスク評価手法の開発
・浮体最適化支援技術の開発
・大規模 FOWT のコスト推計手法の開発

□サブテーマ2
・係留仕様を出力する設計手法・プログラムの開発
・実海域浸漬試験等による生物付着影響評価

□サブテーマ3
・浮体遭遇海象推定に関する研究
・浮体各所の応力等推定に関する研究

□サブテーマ4
・これまで実施してきた波力発電装置の制御アルゴリズムの整理
・波力発電のより高効率な制御アルゴリズムに関する研究

R5年度研究成果

□サブテーマ１　大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築
・検査の合理化のための係留の健全性評価手法の開発
　セミサブ型浮体に2つのカテナリー係留（オールチェーン係留とチェーンと合成繊維索のハイブリット係留）

を模擬した水槽試験を実施した。係留の状態異常により浮体位置に変化が生じることを確認した。風と波の荷重が同時に作用した場合浮体位置の平均値は風荷重のみの場合とほぼ一致した。数値解析でも同様の傾向を再現した。

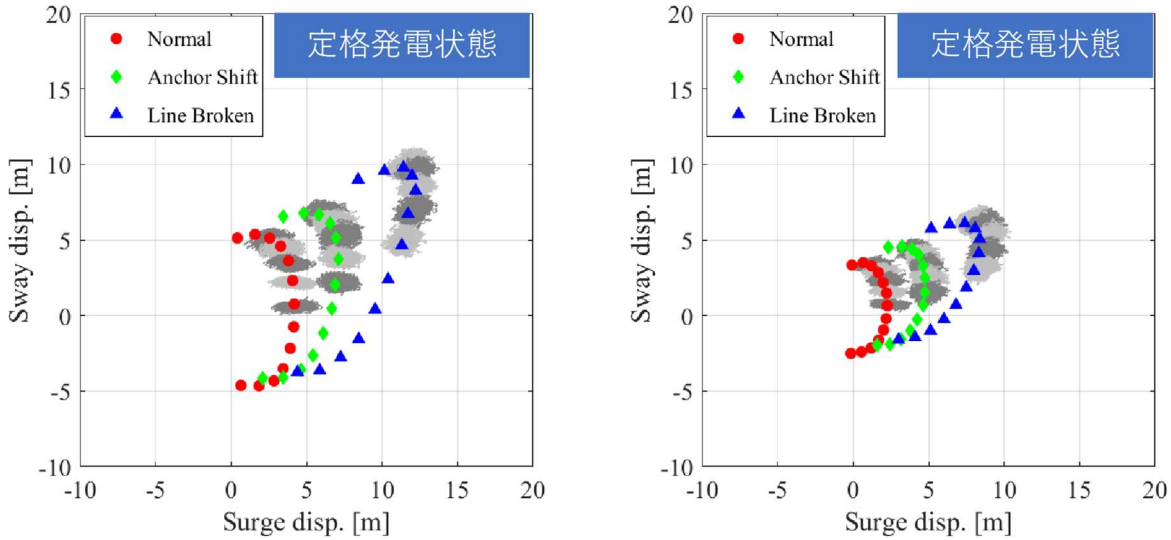


図 1.2.133　オールチェーン係留（左図）およびハイブリッド係留（右図）の定格発電時における浮体位置の変化

・大規模 FOWT への RBI 導入のためのリスク評価手法の開発
　リスク評価とモニタリングを活用した検査の実現可能性を検討するため、モデルウィンドファームを想定し検査のプライオリティの高い浮体を特定するための因子を抽出した。

・浮体最適化支援技術の開発
　風車の影響をより柔軟に評価するため、既存の公開風車から発電容量を変更した模擬評価用の風車を設定し、プロジェクトの実態により即した検討が可能な体制を構築した。浮体の設計と設備情報を入力とし、建造計画・スケジュールを出力する枠組みを構築し、様々な建造フローを定量的に比較できる手法を開発した（図 1.2.134）。これにより所期の成果が得られた。

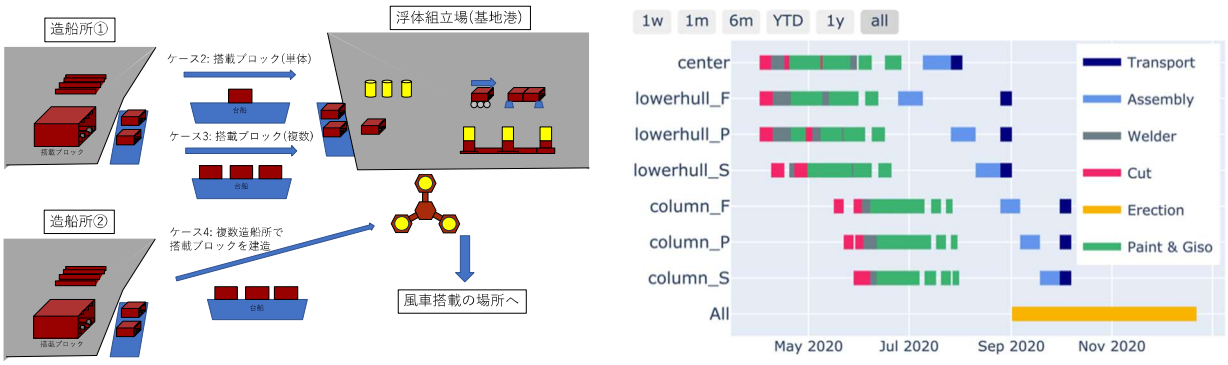


図 1.2.134　浮体建造フローの比較イメージ（左図）と浮体の建造計画の出力例（右図）

・大規模 FOWT のコスト推計手法の開発
　浮体式洋上ウィンドファームの洋上施工の総作業時間を主要 7 つの作業時間の合計で定義し，多様な洋上施工を統一的な枠組みで評価できるモデルを、荒天待機を含む基準作業時間をベンチマークとして導入して提案した。日欧の先行事業の各洋上作業のベンチマークを推計し、日本の将来目標値を示した。またモデルの妥当性を検証した。また、作業海域の有義波高と風速が洋上施工の作業時間に与える影響を定量的に明らかにするため、各洋上作業の稼働率を追加してモデルを拡張した。これにより、日本近海での洋上施工の総作業時間を統一的な方法で定量的に評価できるようになった。

<u>□サブテーマ2　合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築</u>
・係留仕様を出力する設計手法・プログラム（係留簡易設計プログラム）の開発

カテナリー係留において、係留索素材にナイロン、ポリエステル、チェーンを選択可能で、与えられた環境条件に対して必要な安全率を満たしつつ、検討初期段階の動的計算に十分な精度を持つ係留仕様（索の太さ、長さ、本数等）を出力可能なプログラムを開発した。また係留調達コストを試算し、索素材の違いによる差の傾向を明らかにした。係留仕様の出力結果は汎用の動的計算プログラムにより精度を検証した。（図 1.2.135）

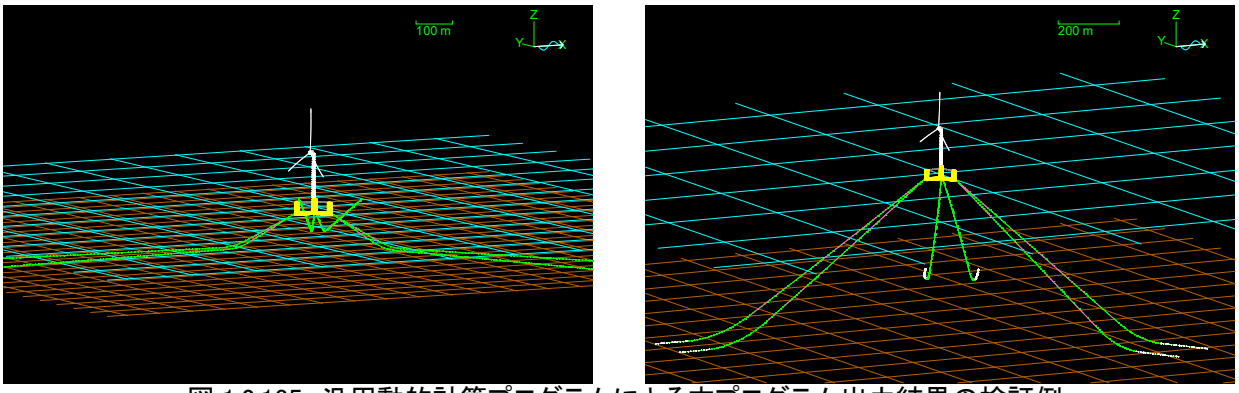


図 1.2.135　汎用動的計算プログラムによる本プログラム出力結果の検証例
（右図：水深 100m、左図：水深 500m）

・実海域浸漬試験等による生物付着影響評価

2022 年度に引き続き実海域浸漬試験を継続実施するとともに、一部の試験体は強度評価を実施した。付着厚さの計測結果と先行研究を踏まえ、国土交通省海事局が発行する技術基準・安全ガイドラインの改訂案を提案した。試験体の強度は浸漬後低下する傾向が得られ、その低下要因を整理した。（図 1.2.136）

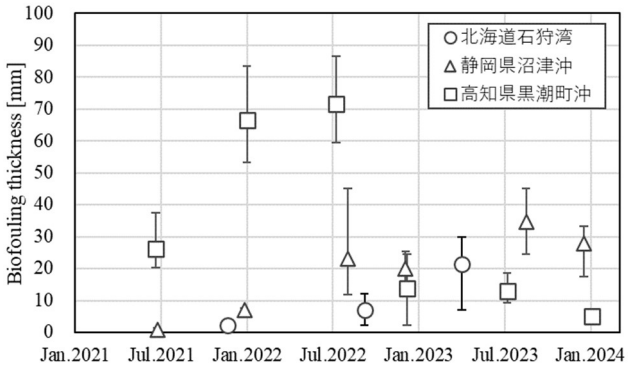


図 1.2.136　付着厚さの経年変化（左図）および強度評価試験の様子
（右図、海事局請負研究により実施、写真提供：東京製綱繊維ロープ株式会社）

□サブテーマ3　デジタルツイン技術の構築

・浮体遭遇海象推定に関する研究

剛性相似模型を用いた水槽試験（図 1.2.137）を実施し、水槽試験結果から、浮体変位・構造歪を入力として遭遇波スペクトルを推算する手法を開発した。（図 1.2.138）

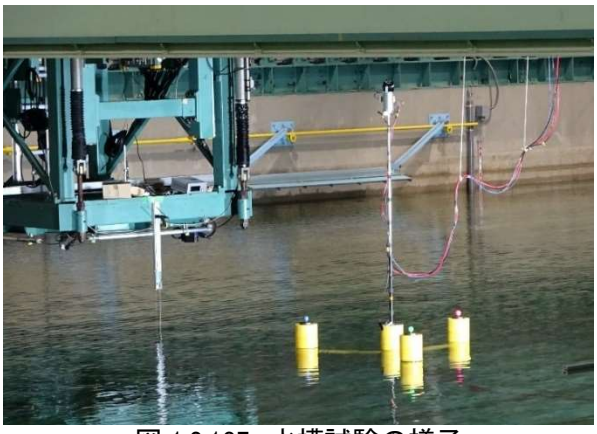
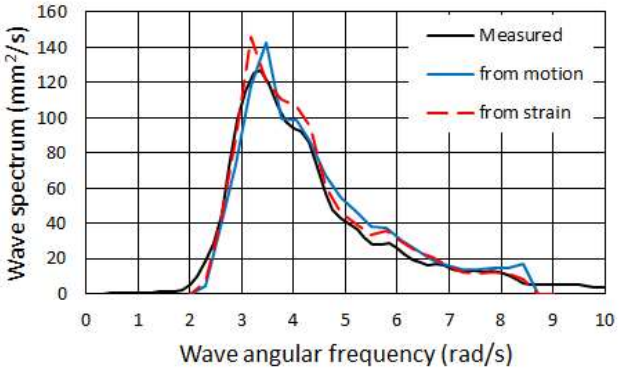


図 1.2.137　水槽試験の様子



	範囲A	範囲B	範囲C
浮体運動からの推定の誤差	0%	+18%	+32%
浮体歪からの推定の誤差	+7%	+10%	+7%

図 1.2.138　水槽試験結果の例

（左図：浮体運動と構造歪から推定した波スペクトル、右図：波の角周波数別の推定誤差）

・浮体各所の応力等推定に関する研究

市販プログラムを活用し、連成影響を考慮して浮体構造断面力を算出した。（図 1.2.139）

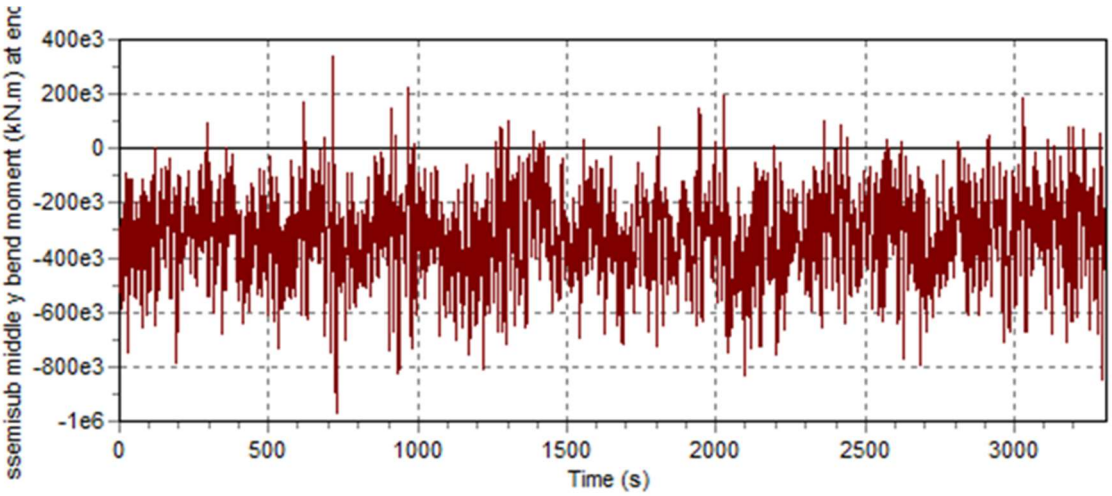


図 1.2.139　　浮体構造断面力の数値シミュレーション例

（中央コラム底部の曲げモーメント、風速 10.6 m/s、波高 13.4 m、波周期 13 s）

□サブテーマ4　波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上研究

・より高効率な制御アルゴリズムに関する研究

波力発電装置の電気出力の最大化を目的に、ガウス過程回帰モデルを用いたデータ駆動型リアクティブ制御法を開発した。その制御法の有効性を、リニア発電機を搭載した波力発電模型を用いた水槽試験で検証した。ガウス過程回帰を用いて、波力発電装置浮体の応答を計測データから学習することで、制御法適用下の浮体の変位と速度を正確に予測することができた（図 1.2.140）。学習した運動モデルを用いることで、運動モデルの定式化を行わず、従来の制御法である ACL と同程度の発電電力を得ることができた。あわせて、最適化時に制約条件も考慮できることを確認した。（図　1.2.141）。開発した制御法は運動モデルのモデル化誤差が大きい場合や運動モデルが経時的に変化する場合など、従来の制御法では最適化できない条件では有効である。

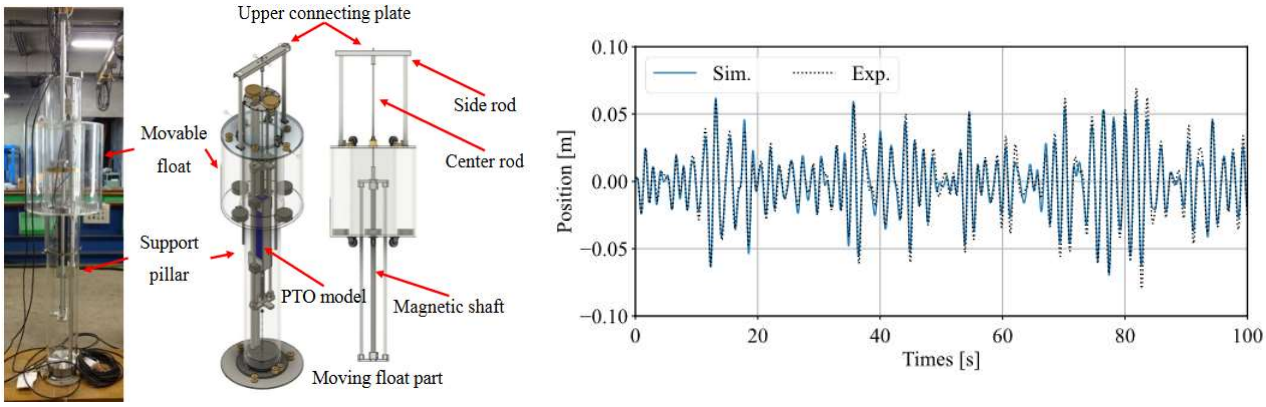


図 1.2.140　供試模型（左図）および不規則波中応答の例（右図）

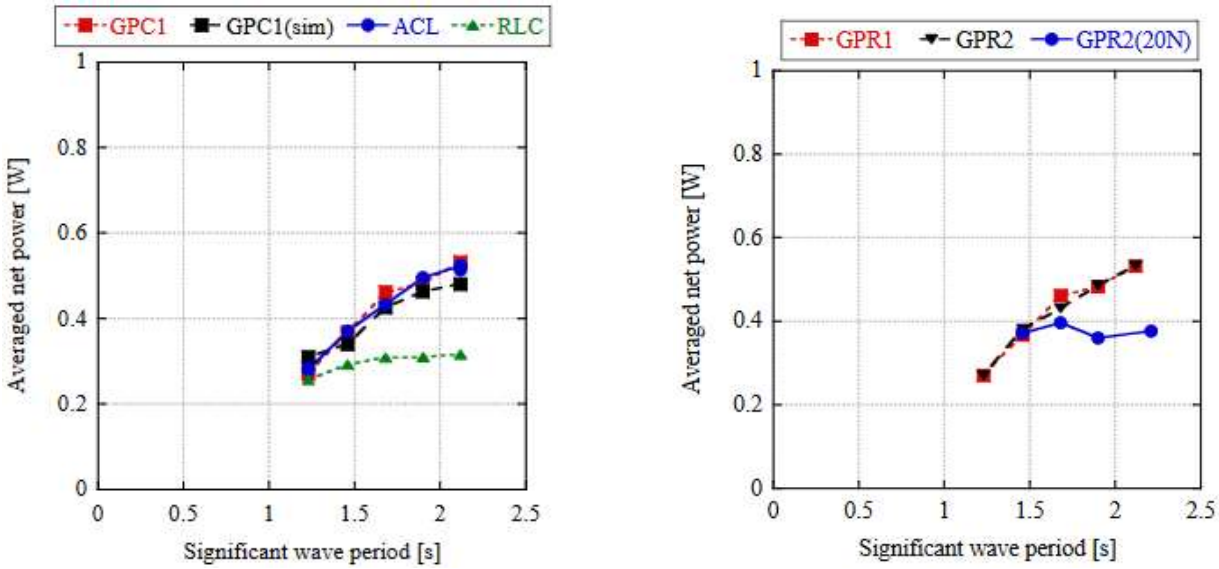


図 1.2.141　ガウス過程回帰モデル（GPC）と従来制御（ACL、RLC）の発電量の比較（左図）
ガウス過程回帰モデルの学習データによる発電量（GPR1、GPR2 等）の比較（右図）

※ACL：Approximate Complex-Conjugate Control with Considering Copper Loss
銅損を考慮した近似的複素共役制御

※RCL：Resistive Loading Control　抵抗負荷制御

R5年度成果の公表

□査読論文（科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等（海技研報告であれば「研究報告」のみ））： 9 件（投稿中： 1 件、採択済： 5 件、掲載済： 3 件）

科学雑誌掲載論文

・Jun UMEDA, et al.: Experimental Validation of Data-driven Reactive Control Strategy for Wave Energy Converters: A Gaussian Process Regression Approach, Ocean Engineering, Elsevier（投稿中）

査読付き国際会議論文

・中條俊樹 ほか: STUDY ON THE SYNTHETIC FIBER ROPE MOORING FOR FLOATING OFFSHORE WIND TURBINES DEPENDING ON THE WATER DEPTH AND MATERIALS OF ROPE, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2024（採択済）
・羽田絢, 中條俊樹, 小島隆志: FIELD STUDY OF BIOFOULING ON THE SURFACE OF SYNTHETIC FIBER ROPES IN JAPANESE COASTAL WATERS AND ITS INFLUENCE ON THE ENGINEERING CHARACTERISTICS OF HYBRID MOORINGS, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2024（採択済）
・蓮見知弘, 横井威, 羽田絢 ほか: ANALYSIS OF INSTALLATION TIME FOR FLOATING OFFSHORE WIND FARMS, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2024（採択済）
・中條俊樹 ほか: THE FIELD TEST OF A SHALLOW-WATER MOORING SYSTEM FOR FOWT USING NYLON SYNTHETIC FIBER ROPES, Proceedings of the ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2024（採択済）

その他の全文査読付き論文等

・藤原敏文, 中條俊樹 ほか: 海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究, 海上技術安全研究所報告第 23 巻第 3 号（掲載済）
・梅田隼 ほか: ガウス過程回帰モデルを用いた波力発電装置の運動モデルの構築, 日本船舶海洋工学会論文集 2023 年 38 巻 p.117-125（掲載済）
・蓮見知弘, 横井威, 羽田絢 ほか: 浮体式洋上ウィンドファームの洋上施工時間推計モデルの研究, 日本船舶海洋工学会論文集 2023 年 38 巻 p.127-139（掲載済）
・蓮見知弘, 横井威, 羽田絢 ほか: 日本近海の浮体式洋上ウィンドファームの洋上施工時間推計モデルの研究,日本船舶海洋工学会論文集（採択済）

□その他発表論文： 16 件（投稿中： 2 件、採択済： 0 件、掲載済： 14 件）

・和中真之介 ほか: 工程モデリングと離散時間シミュレーションに基づく洋上風車浮体の建造計画検討システムの開発, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 37 号, pp.541-545, 2023.
・黒岩隆夫, 花岡諒, 陳曦, 中條俊樹: 浮体式風車の弾性模型試験および応答に基づく波浪推定, 日本船舶海洋工学会講演論文集（投稿中）
・中條俊樹: 海上技術安全研究所における浮体式洋上風力発電の研究開発, SEAJAPAN2024 海上技術安全研究所セミナー講演集
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電に関する海上技術安全研究所の取組, 一般社団法人海洋産業研究・振興協会「浮体式洋上風力発電の実用化に向けて」調査研究委員会講演
・中條俊樹: 浮体式風力発電技術最前線, 一般財団法人エンジニアリング協会海洋開発セミナー講演
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の最新事情と研究開発, 九州大学大学院船舶海洋工学専攻特別講義（船舶海洋工学特論第一）
・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電についての研究開発, Techno-Ocean2023
・中條俊樹: 海技研におけるこれまでの海洋再生エネルギー研究の総括と将来展望, 海上技術安全研究所研究発表会講演論文集
・黒岩隆夫: 浮体式洋上風力発電, Offshore Tech Japan（海洋産業技術展）2024
・黒岩隆夫: 陸上・洋上風車の消費寿命評価, 第 5 回 FREA 風力 O&M ワークショップ
・黒岩隆夫: 風車運用寿命延長技術研究会報告, 第 45 回風力エネルギー利用シンポジウム
・蓮見知弘, 國分健太郎, 藤本修平: 次世代浮体式洋上風力発電にかかる国内外の技術開発および認証制度についての動向調査, 2023 年度国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー部成果報告会
・蓮見知弘: 浮体式洋上風力発電の係留システムに関する洋上施工時間推計モデルの定式化と解析, 海上技術安全研究所研究発表会
・蓮見知弘: 浮体式洋上風力発電設計製作セミナーを終えてのコメント, 日本財団オーシャンイノベーションコンソーシアム浮体式洋上風力発電設備設計・製作セミナーホームページ
・平尾春華, 蓮見知弘, 中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の浮体運動を用いた係留索のモニタリングについて, 海上技術安全研究所研究発表会講演集
・梅田隼: 波力発電における制御法の開発, エムアイエス株式会社ホームページ（投稿中）

□特許申請: 0件
・

□コアプログラム登録: 1件
・浮体式洋上風力発電施設の係留設計プログラム(齊藤昌勝、渡邊充史)

□国際連携活動: 9件
・IEC 61400-3-2 TC 88/MT 3-2 の専門家会合に参加、IEC 61400-3-2 の改訂に関する審議、3 回、中條俊樹
・ISSC Committee V.4 (Renewable Energy) の専門家会合に参加、年度報告書の作成に関する審議、6 回、中條俊樹

□受賞: 0件
・

□公開実験: 1件
・浮体式洋上風力発電設計・製作セミナー(8/9 開催)

研究開発課題	(4)① デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発

研 究 テーマ	重点 9 DX 造船所の実現に向けた研究開発

中長期目標	中長期計画	R5 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、デジタル技術等の活用等による造船所の生産性向上や適切な品質管理を図るための革新的技術、ビッグデータを活用した海上輸送の効率化・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。	我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく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 デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理に資する技術に関する研究開発	我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく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 デジタル技術の活用による海事産業の生産性向上や品質管理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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、造船PLMシステムの開発、大組立工程に対応した建造シミュレータの開発、工程計画システムのプロトタイプの構築を行う。 等

研究の背景

我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく。

具体的には、以下があげられる。
・船舶のモデルベース設計に関する研究開発
・造船製造現場の DX に関する研究
・品質管理のデジタル化に関する研究
・予防保全高度化のための接合の新工法・評価技術に関する研究

期間全体の研究目標

□船舶のモデルベース設計に関する研究開発
・船舶製品開発のデータ構造（E-BOM, M-BOM, BOP）のガイドライン、データ標準化案
・設計データのデータ生成支援システム
・造船 PLM システム
・船舶の MBSE 開発ガイドライン
□造船製造現場の DX に関する研究
・造船製造現場の建造シミュレータ
・工程計画・管理システム
□品質管理のデジタル化に関する研究
・溶接ビード品質マネジメントシステム
・ブロック寸法品質マネジメントシステム、ガイドライン
・品質データのデータ構造と PLM システムへの実装
□予防保全高度化のための接合の新工法・評価技術に関する研究
・溶接・接着接合（補修も含む）に関する施工技術・評価技術のガイドライン

・新工作法を取り入れた将来の造船工程のイメージ
□全体
・設計、建造、品質管理を含む船舶のモデルベース開発体制と造船用 PLM システムの開発
・新工作法を取り入れた次世代造船のコンセプトの策定

上記成果は、以下があげられる。
・造船所の DX 化により、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貢献する。
・持続可能なインフラメンテナンスとして、インフラメンテナンスの高度化・効率化に貢献する。
・自動運航船や代替燃料船などのゼロエミッション船のような複雑な製品開発について、正しい製品を早く提供することに貢献する。複雑な製品開発体制の整備に貢献することで我が国造船業の国際競争力の強化だけでなく、安全・安心の確保や海洋環境負荷の低減にも貢献する。

R5年度研究目標

□サブテーマ 1
・BOM/BOP のデータ構造策定
・PLM-CAD システムインタフェースの仕様策定

□サブテーマ2
・大組立工程に対応した建造シミュレータの開発
・艤装工程への建造シミュレータの実用的な展開方法の考案
・工程計画システムのプロトタイプの構築

□サブテーマ4
・モデル検証用要素試験体の選定・製作および継手形状と荷重変形による接合部負荷モードの把握

R5年度研究内容

□サブテーマ 1
・造船 PLM システムに関する研究
・設計データ生成に関する研究

□サブテーマ2
・建造シミュレータの精度と汎用性の向上
・大組立工程を対象とした工程計画システムのプロトタイプの構築

□サブテーマ4
・接合部の疲労損傷・腐食・破壊挙動の検証
・代替施工法・代替材料による作業効率評価

R5年度研究成果

□サブテーマ 1
・上流設計を含む船舶 BOM/BOP (E-BOM, M-BOM, BOP)の標準データモデルを策定した上で、この標準データモデルに基づき実際の船舶の一部(機関室区画)について実製品の BOM/BOP データを作成した。造船は機能観点の部品と製造観点の部品の概念が異なる(製品アーキテクチャが異なる)。異なる製品アーキテクチャ間で部品間のデータ連携を図るため、通常の E-BOM と M-BOM の間に機能観点の部品ツリーのまま、製造上の部品(製造一品)を部品展開する中間的な BOM(図 1.2.142 における E'-BOM) を提案した。また、作成した実製品の BOM/BOP データを汎用 PLM システム上に実装し、PLM システムによる造船設計業務プロセスとしてドキュメント管理機能、設計変更管理機能、ワークフロー管理機能、設計承認手続き機能等についてデモを作成した。また、PLM-CAD システムの連携に関して、設計－製造間で共有して持つべきデータ項目を整理した上で、PLM システムで持つデータ、CAD システムで持つデータを取り決め、両者間の運用やシステム接続に関して仕様を策定した。
・過去番船の製品モデルの流用設計を想定した設計データ生成手法について、PLM システムの設計変更管理機能(リビジョン機能)を活用した BOM による番船データ管理(複数番船間のデータを BOM でデータ管理する手法)及び同型船の BOM データ生成手法に関して、PLM システム内での BOM のデータ生成方法を定めた。具体的には、過去番船の BOM から派生 BOM を作成(複製)した上で、設計変更しない部品については共通部品として同一の部品データを共有しつつ、設計変更する部品のみを新たにデータ登録する手法や、マスターBOM に予め仕様バリエーションとして複数の部品候補を用意した上で、部品を選択して製品全体を構成する手法について、それぞれの手法における BOM/BOP のデータ生成、管理手法を整理した。これらの手法について、実際の PLM システムで同型船の BOM データ生成のデモを作成し、過去番

船等の BOM データから同型船の BOM データが生成できることを確認した。

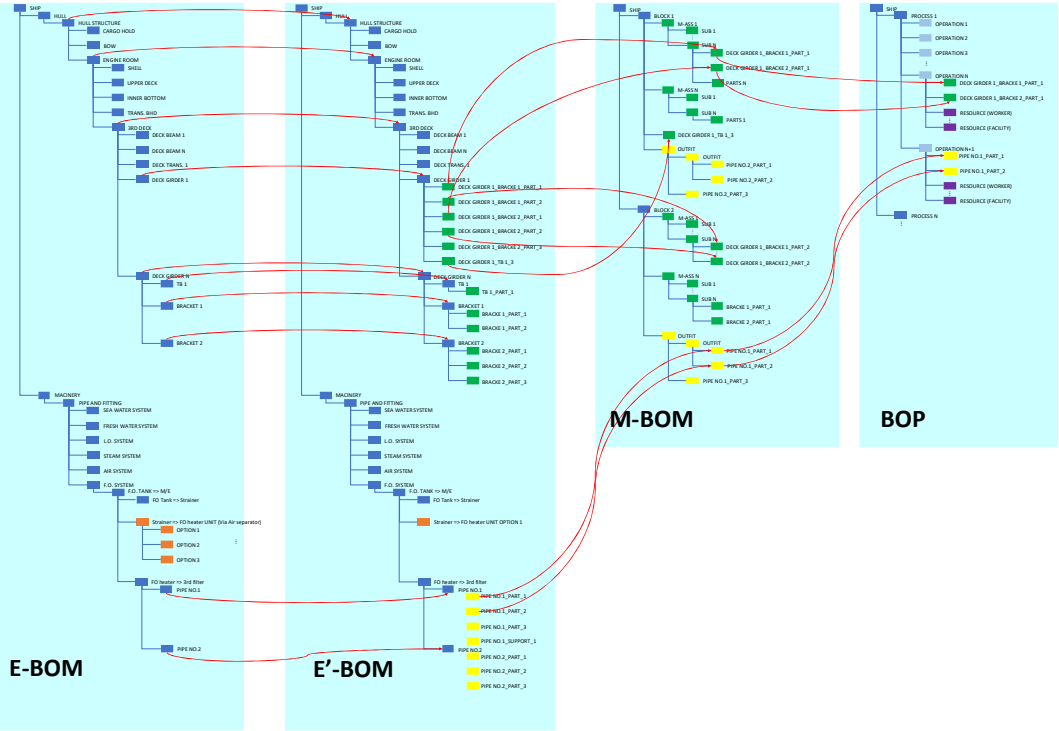


図 1.2.142 船舶 BOM (E-BOM, M-BOM, BOP) の標準データモデル

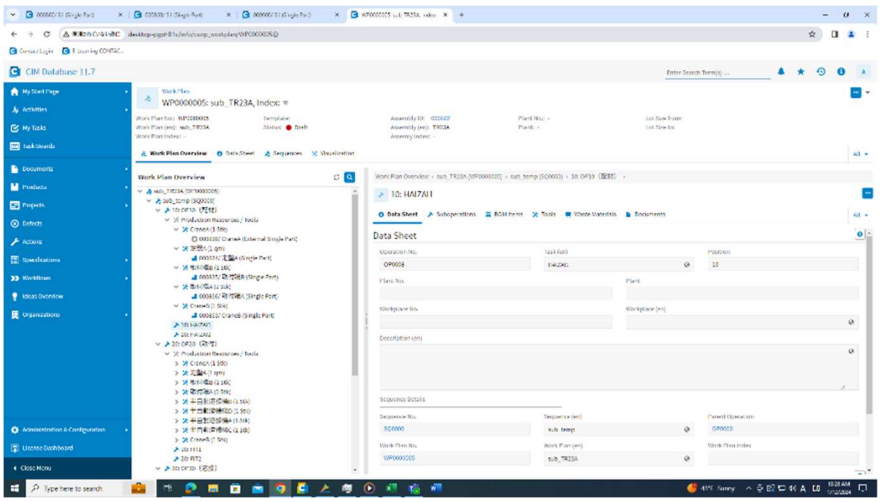


図 1.2.143 汎用 PLM システムによる造船設計業務プロセスのデモイメージ

※BOM (Bill of Materials): 部品表。製品をそれを構成する部品の階層ツリーで表現する。どのように製品を見るかによって部品の見方が異なり、設計目線で部品を捉えたものが E-BOM (Engineering BOM)、製造目線で部品を捉えたものが M-BOM (Manufacturing BOM)。データ連携において、異なる BOM 上の部品同士の関係性を付けることが重要。
※BOP (Bill of Process): 工程情報。製品の作り方の情報を表現する。

□サブテーマ2

・当所で開発している建造シミュレータについて、その適用工程の拡張を実施した。これまでに小組立工程や限定的ではあるが中組立工程に対して適用してきたが、よりニーズが見込める工程に対して適用対象を拡大した。具体的には、大組立工程、大組立ライン工程、型鋼 NC 工程に対して、設備情報(BOE)、工程情報(BOP)を協力造船所の工程ごとに整理し、シミュレーションが可能であることを確認した。
・今後の社会実装を目指して、造船所にて本シミュレータを利用できるようにシステム開発を実施した。まず、シミュレーションを実行するにあたり、プロダクトの進行状況や場所、ファシリティの種類や数、場所、ワーカーのスキルや人数など条件設定を可能とする設定編集システム(図 1.2.144)を開発した。これにより容易に条件を設定してシミュレーションを実行することが可能となる。さらに、シミュレーション結果は 3D と時間軸の

情報を持つため、ガントチャートと連携して結果を可視化するツール（図 1.2.145）を開発した。

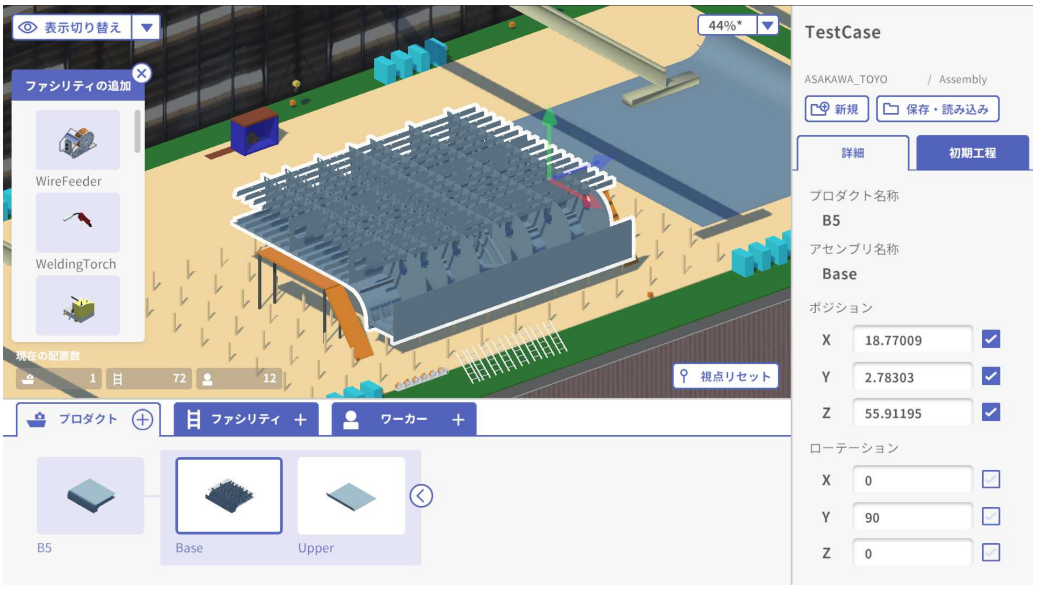


図 1.2.144　シミュレーション条件の設定編集システム（浅川造船株式会社様　データご提供）

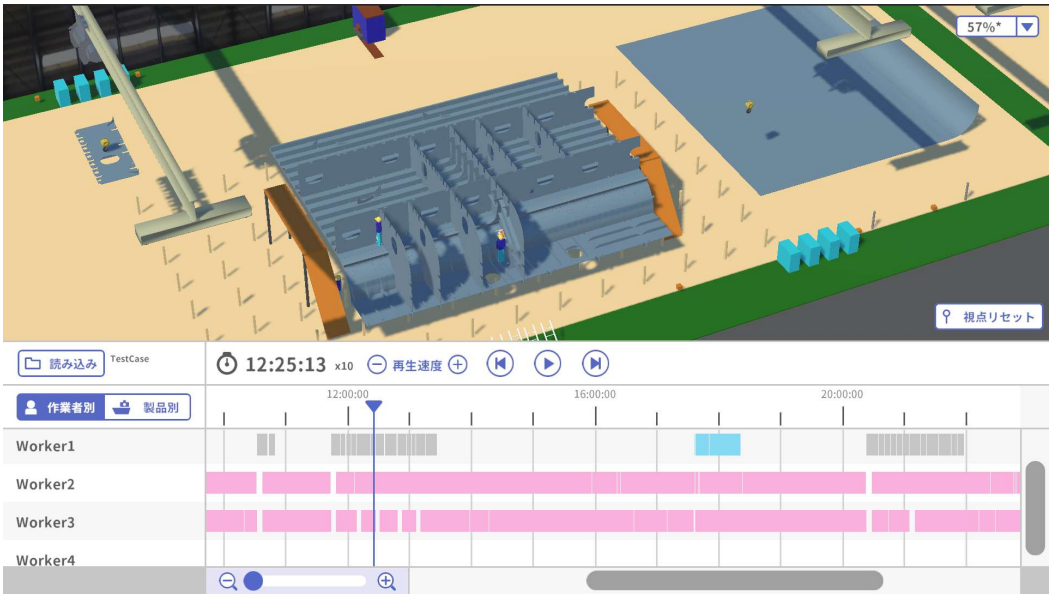


図 1.2.145　3D とガントチャートの可視化ツール（浅川造船株式会社様　データご提供）

・上記システムとツールを用いて、造船所 1 社をテスターとした試適用を実施した。その結果、作業にあたっての事前検討において実用的なレベルにあるなど有用との評価があった。また、主にデータ準備やさらなる条件変更の要望などの改善点を整理した。また、作業前の事前検討といった具体的な活用方法の検討を実施した。
・データ準備の一部である BOP の生成については、限定的な工程に限るが、 MBOM から簡易的に自動生成する技術を開発・テストを実施した。

□サブテーマ4

・エアー式の剥離工具を使用し、溶接部を繰り返し打撃することにより、溶接工程で生じるスラグ・スパッタ等の副生成物の除去と溶接継手部の疲労強度改善を同時に達成する新工法の開発を行った。打撃力や Pass 数、ストライカー先端形状等をパラメータとして、溶接部の疲労強度改善に高い効果が期待できる打撃条件を見出した。
・突合せ溶接継手を対象とした疲労試験を実施した。剥離工具での打撃を行った試験体（図 1.2.146）の 200 万回疲労強度（200 万回の繰り返し荷重に対して破断することなく耐える応力振幅の最大値）は溶接ままに比べて 36%改善することが明らかとなり、新工法の有用性を示す結果が得られた（図 1.2.147）。

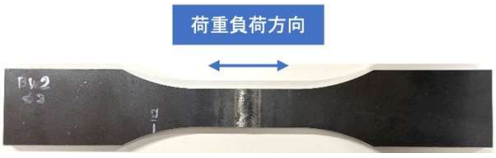


図 1.2.146　疲労試験用 溶接試験体の外観

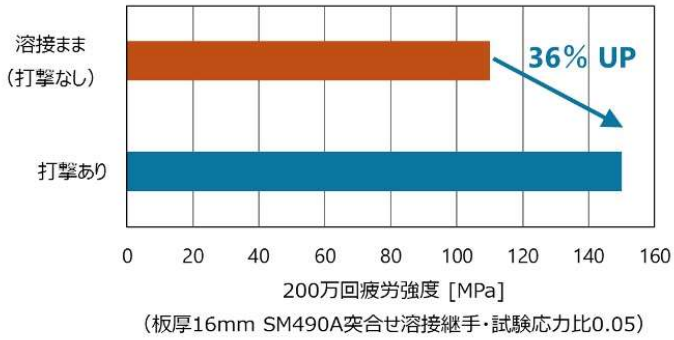


図 1.2.147　疲労試験結果

・繊維強化プラスチック(FRP)で補強された鋼製部材を用いて、海水浸漬試験およびその後の基礎的な力学性能試験を実施した(図 1.2.148)。これにより、海水浸漬による強度劣化と破損モード変化の関係データを取得した。
・モデル検証用要素試験体として T 型接着継手構造を選定し、負荷・変形によって接着部に与えられる負荷モードを定量評価可能な数値シミュレーションモデルを作成した(図 1.2.149)。このモデルを用いて、接着部に接着剤基礎材料特性を割り当て、接着部に生じる応力分布やひずみ分布を評価した。これにより、T 型継手における損傷発生条件を推定できるようになった。

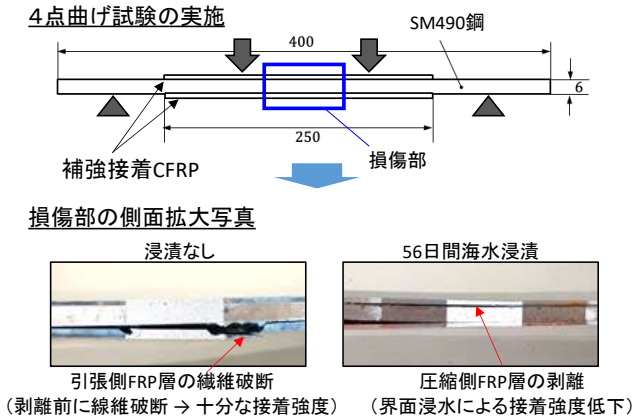


図 1.2.148　浸漬による CFRP 補強鋼板の曲げ損傷比較

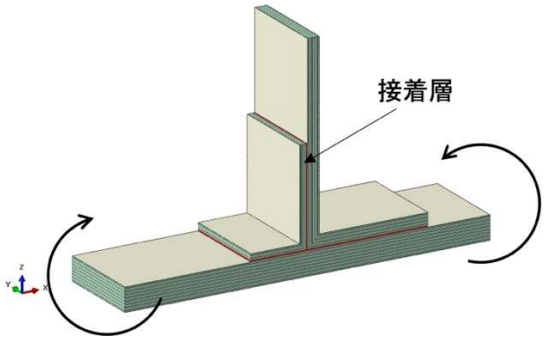


図 1.2.149　T 型接着構造体モデル

R5年度成果の公表

□査読論文(科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等(海技研報告であれば「研究報告」のみ)): 2 件(投稿中: 0 件、採択済: 2 件、掲載済: 0 件)

科学雑誌掲載論文

・

査読付き国際会議論文

・Matsuo, T., et al : Effect of Seawater Immersion on the Steel Plate Reinforced with Fiber-reinforced Composites, Proc. 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2024). (採択済)

・Fueki, R., et al : Effect of Needle Peening on Fatigue Strength of Aluminum Alloy Welded Joint Containing a Surface Deffect, Proc. 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (2024). (採択済)

その他の全文査読付き論文等

・

□その他発表論文: 9 件(投稿中: 2 件、採択済: 0 件、掲載済: 7 件)

・松尾宏平: DX 造船所の実現に向けた研究開発, 海上技術安全研究所報告, 第 23 巻, 別冊(令和5年度) 第 23 回研究発表会講演集, pp.149-154 (2023).

・松尾宏平: デジタルシップヤードに向けた海技研の取り組み, 国際海事展「バリシップ 2023」, (2023).
・森下瑞生　ほか: 流用設計における M-BOM 生成に関する検討, 日本船舶海洋工学会講演論文集　第 36 号, pp.223-227 (2023)
・森下瑞生　ほか: 流用設計における M-BOM 生成に関する検討, 海上技術安全研究所, 第 23 巻, 別冊(令和5年度)第 23 回研究発表会講演集, pp.197-198 (2023)
・森下瑞生　ほか: BOM による造船の製品バリエーション管理手法の検討, 日本船舶海洋工学会講演論文集　第 38 号, (2024)
・谷口智之: 深さ優先探索に基づく大組ブロックのリソース制約付き二次元定盤配置計画, 海上技術安全研究所,第 23 巻, 別冊(令和5年度)第 23 回研究発表会講演集, pp.195-196 (2023)
・安部昭則　ほか: デジタルシップヤードに向けた MODE の取り組み, 海事デジタルエンジニアリング講座　第 2 回シンポジウム　-MODE2023- (2023)
・安部昭則　ほか: デジタルシップヤードに向けた MODE の取り組み　ー高精度生産計画システムの研究開発ー, 日本船舶海洋工学会講演論文集　第 38 号, (2024)
・松尾剛　ほか: 鋼板補強用 CFRP の海水浸漬による強度特性への影響, 第 15 回 日本複合材料会議 講演論文集, 講演番号 2D05(2024)

□特許申請: 0 件
・

□コアプログラム登録: 0 件
・

□国際連携活動: 0 件
・

□受賞: 0 件
・

□公開実験: 1 件
・デジタルシップヤードに関する公開実験(3/7 実施)

研究開発課題	(4)② ビッグデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発

研 究 テ ー マ	重点 10 ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究

中長期目標	中長期計画	R5 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、デジタル技術等の活用等による造船所の生産性向上や適切な品質管理を図るための革新的技術、ビッグデータを活用した海上輸送の効率化・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。	我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく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 ビッグデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発	我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく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 ビッグデータ等の活用による新たなニーズに対応した海上輸送システムに関する研究開発 －データ融合とAI等評価手法の改善、海運・造船モデル/システムを高度化するための要件定義とデータベースの設計、過去の被災地域を対象とした文献調査、実態調査、実動訓練を行う。等

研究の背景

我が国海事産業が、その取り巻く環境の変化に適切に対応し、国際競争力を強化し、我が国経済の持続的な発展に貢献していくために、デジタル技術を活用した海事産業の技術革新の促進、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等を行っていく。

具体的には、以下があげられる。
・ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発
・災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発
・デジタルツイン統合システムの研究開発

期間全体の研究目標

□ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発
・企業のサプライチェーンの管理や経営判断を支援するシステムとして活用
・海運・造船分野の予測・評価手法の開発⇒ 企業・国・業界団体等のシナリオ分析や政策立案に活用
・海運・造船分野のモデル化・意思決定支援システム・データベース開発⇒ GHG 削減等の利害関係者間の調整、コンサルティングツールとして広く展開
□災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発
・開発システムはクラウドの活用により離れた複数の箇所からアクセス可能にし、わが国の国土強靱化へ貢献
・自治体等を対象にした情報共有化を含む訓練に活用
・高速計算法による、被災想定のシナリオ分析や防災計画立案に活用
□デジタルツイン統合システムの研究開発
・船舶の各要素のデジタルツインのデータを連携した統合システムの研究開発、クラウド活用で広く展開

上記成果は、以下があげられる。
・クラウド活用による情報発信
・企業、業界団体、国等の経営判断や政策立案の支援システムとして活用
・コンサルティングツールとして広く展開

・自治体等を対象にした情報共有化を含む訓練に活用
・船舶のデジタルツインシステムによる船舶の安全・安定運用

□全体

・ビックデータと海運・造船に係る評価手法の開発では、AI の技術も導入して海運・造船関連データを有効に利用し、モデルやシミュレーションによる各種指標の評価、意思決定支援システムやデータベースの開発を行う。この成果は、企業、業界団体、国などが、脱炭素化に向けて合理的な判断を行うことやわが国の国際競争力強化等にも貢献するものである。
・災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発では、わが国の災害対応に対し、シミュレータの開発および情報共有、シナリオ分析など、デジタル化の観点から取り組むものである。わが国における防災計画の立案に寄与し、国土強靱化対策に貢献するものである。

R5年度研究目標

□サブテーマ 1

・AIS 等の船舶動静データを基にしたデータ融合と各種評価手法の改善
・海運・造船モデルと意思決定支援システムを高度化するための要件定義とデータベースの設計

□サブテーマ2

・過去の被災地域を対象とした文献調査、実態調査、実動訓練の実施

□サブテーマ3

・プログラムのクラウド化、個別デジタルツインのためのデータ同化に用いる入力データの整理
・疲労健全性診断のための指標検討
・主機デジタルツインと VESTA の連続検討

R5年度研究内容

□サブテーマ 1

・海運・造船関連のデータ融合と AI 等評価手法の実装
・海運・造船関連のモデル化とシステム設計

□サブテーマ2

・緊急支援物資輸送システムの開発
・水害孤立者の救助シミュレータの開発

□サブテーマ3

・波浪環境、船体、主機のデジタルツインのデータを連携した安全運航システムの構築
・デジタルツイン統合システムを活用した船舶の安全・安定運用、設計・建造手法の開発

R5年度研究成果

□サブテーマ 1

・国際機関の要請により、研究成果である AI 技術（neural network、NN）を利用した海運市場に係る分析・予測に関する研修（講義・演習）を海外機関向けに実施した（図 1.2.150）。
・船舶動静データに基づくバルクキャリアの積載貨物量推計値と、貿易統計等のデータを統計的な手法などで融合し、これらのデータを将来予測等に使用するためのデータベース設計を行った（図 1.2.151）。
・先行研究の成果を基に、ハンディ―マックスバルカー市場を対象にした需要予測モデルを再開発し、その妥当性を検証した。開発した需要予測モデルにより外部要因による市場の変動（2050 年カーボンニュートラル等）を考慮可能とし、運賃指標も算出可能となった（図 1.2.152）。
・国際機関等による国際海運の燃料需要・価格シナリオ等に基づき、IMO における日本提案：Feebate 制度の炭素課金額の算定を実施（図 1.2.153）。
・新しい燃料規制として検討されている GHG Fuel Standard(GFS)の影響を考慮した、将来の船団構成、脱炭素化までの道筋を予測するシミュレータを開発した(図 1.2.154)。輸送需要や燃料供給量などの将来シナリオに応じたシミュレーションを実施し、GFS の影響評価を行った。結果は運輸総合研究所が提出した IMO ISWG-GHG 16 におけるインフォメーションペーパーのバックデータとして使用された。
・船会社が所有船団の脱炭素化を計画的に進めるための、脱炭素化計画システムの開発を行った(図 1.2.155)。開発システムは、特定の航路を想定して、CII や GFS、炭素課金といった規制を考慮した運航をシミュレートし、排出量やコストの出力を行う。また、TCO(Total Cost of Ownership)の評価機能を実装し、コスト最小化を目指す船団転換を出力可能とした。開発システムは複数の船社で試用され、その有効性やユーザビリティの検証を行った。

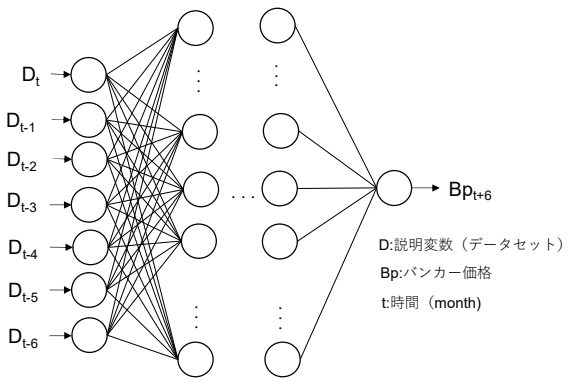


図 1.2.150　NN によるバンカー価格予測の概要

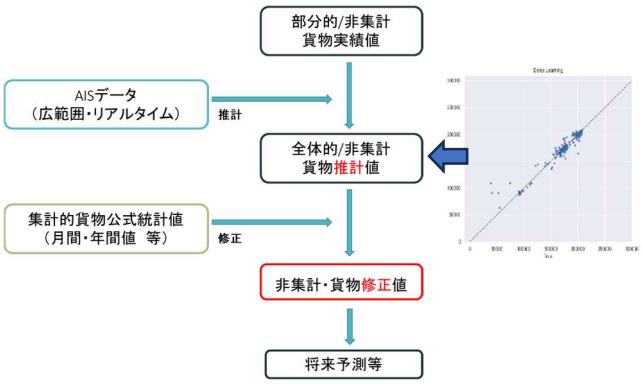


図 1.2.151　データベースの設計

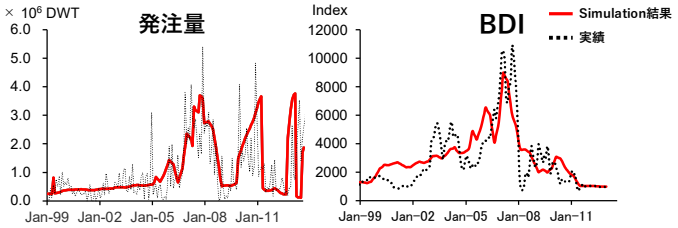


図 1.2.152　ハンディマックスバルカーの
需要予測結果の概要

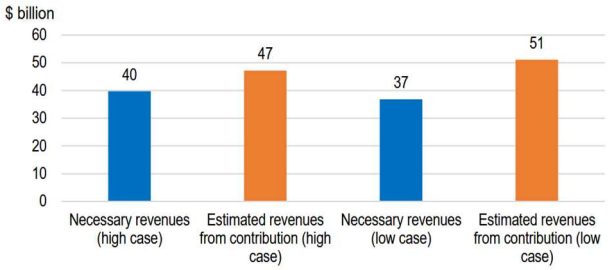


図 1.2.153　炭素課金額の算定結果

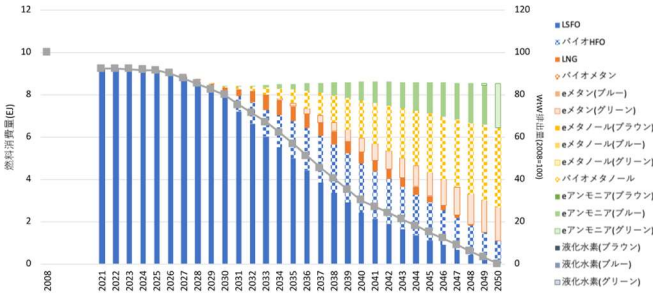


図 1.2.154　GFS を考慮した燃料転換シミュレーション
（燃料消費量と WtW 排出量の出力例）

図 1.2.155　脱炭素化計画システムの
ダッシュボード画面

□サブテーマ2

・令和 2 年 7 月豪雨以降における水害被害について調査を実施した。その結果、ヘリの活動は主に被害状況調査が中心であったが、一部救助隊の輸送や透析患者の輸送に活用されている事例を確認した。今後は、人命救助等にヘリやボートが多く使われた令和 2 年 7 月豪雨及び平成 30 年 7 月豪雨を参考にシミュレータ開発を行う。
・水害救助に関して、岡山県の協力のもと消防防災ヘリ、水難救助隊へのヒアリング調査を実施（電子航法研究所・港湾空港技術研究所と協力）。伺った内容はシミュレータのパラメータとして活用していく。
・シミュレータに関する論文レビューを実施し、救助シミュレーションに関する研究の多くは単一の輸送手段による救助に限定されているが、本研究の特徴としては、複数の輸送手段による救助を同時に評価するところと言える（図 1.2.157）。
・緊急支援物資輸送システム（図 1.2.158）は、複数物資の混載に対応できるように一部改良を実施した。
・スマートフォンアプリで車両等の動態管理ができるアプリを開発し、緊急支援物資輸送システムへデータが反映できるように改良した。これにより、アプリのインストールのみで、車両等の動態管理が可能となり機器の受渡が不要になる。
・スマートフォンによる輸送機材の動態管理を実施（図 1.2.160）し、岡山県主催の物資オペレーション訓練や複数自治体が参加の物資輸送訓練（図 1.2.161）で活用された。
・能登半島地震においては、土木学会と連携して物流関係の調査を実施。来年度に向けても引き続きフォローする予定である。

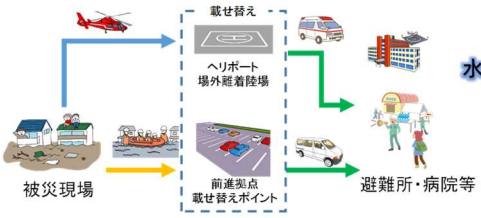


図 1.2.156　水害救助のフロー

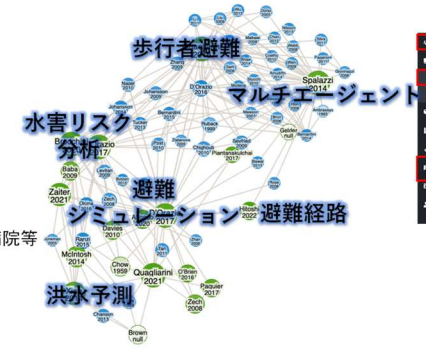


図 1.2.157　水害救助に関する文献のリレーションネットワーク

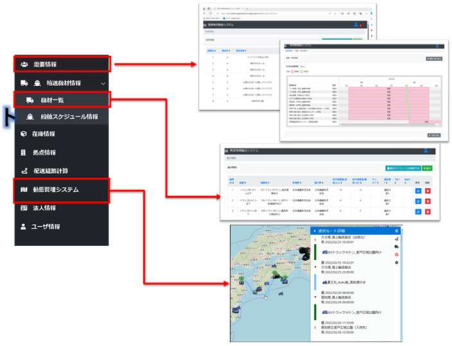


図 1.2.158　緊急支援物資輸送システムの画面遷移図

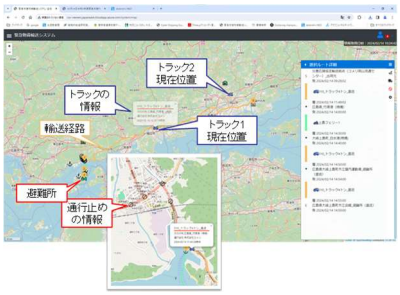


図 1.2.159　実動演習時の情報共有画

図 1.2.160　スマートフォンアプリによる車両の動態管理

図 1.2.161　実動演習の様子（物資の積み替え）

□サブテーマ3

・開発した統合型のデジタルツインシステム i-SAS(integrated Structural Analysis System)及び i-SAS に組み込んだ船体構造デジタルツインのモジュールについて、水槽及び実海域でのシステム稼働及び計測したデータに基づいて検証を行ない、有効性及び活用方策を主張した（図 1.2.162）。（成果論文）

・海運会社、造船所、大学、船級協会との共同研究を立ち上げ、就航中の鉱石運搬船により i-SAS の検証を行なった。カルマンフィルタ法等のデータ同化手法による船体応力推定が船上においてリアルタイムで実施可能であること、計測した歪から推定した応力データに基づいて疲労健全性評価ができることを実証した（図 1.2.163）。

・実海域ビッグデータの一つである波スペクトルデータを利用して、波スペクトルの形状をモデル化した波浪荷重の推定手法を提案した。これまでの方法では 2 パラメータ（有義波高、平均波周期）の形状固定のスペクトルモデル(P-M モデル)を用いていたところ、実海域のマルチピークスペクトルを含む 2 次元波スペクトルを平均二乗誤差最小の設定で関数モデルに近似することで、複数の山（ピーク）の集中度パラメータを取得した。集中度パラメータを用いることで波浪場の傾向を捉えることができ、正確な荷重の推定が可能になった。北大西洋海域のコンテナ船を例に定量評価を行いスペクトル形状が波浪荷重推定に与える影響度を示した（図 1.2.164, 1.2.165）。（成果論文）

・主成分分析に基づく確率論的波浪スペクトル推定法(SWSE-PCA 法)を提案して、数値シミュレーションや実船計測を利用して、決定論的問題の解を収集するモンテカルロシミュレーション（MCS）に基づく不確定性解析の結果と比較することで本手法が実海域で推定した波浪の確率的評価に対して有効であることを示した（図 1.2.166）。（成果論文）

・開発した主機デジタルツインシステムについて、波浪中主機応答計算シミュレータ（主機、船体、プロペラ）を用いて、強化学習技術を適用した主機制御パラメータ自動調整ができることを示した。さらに、海運会社との共同研究を立ち上げ、実船計測結果を利用して、エンジンの部品の経年劣化の評価アルゴリズムを検証した。（成果論文 AMEC, 特許）

・主機デジタルツインと VESTA の連携に対して、エンジン応答性関数を開発し、調和解析理論を用いてトルクリミット機構の非線形モデルを単純な記述関数で近似できることを示した。（成果論文 IMDC）

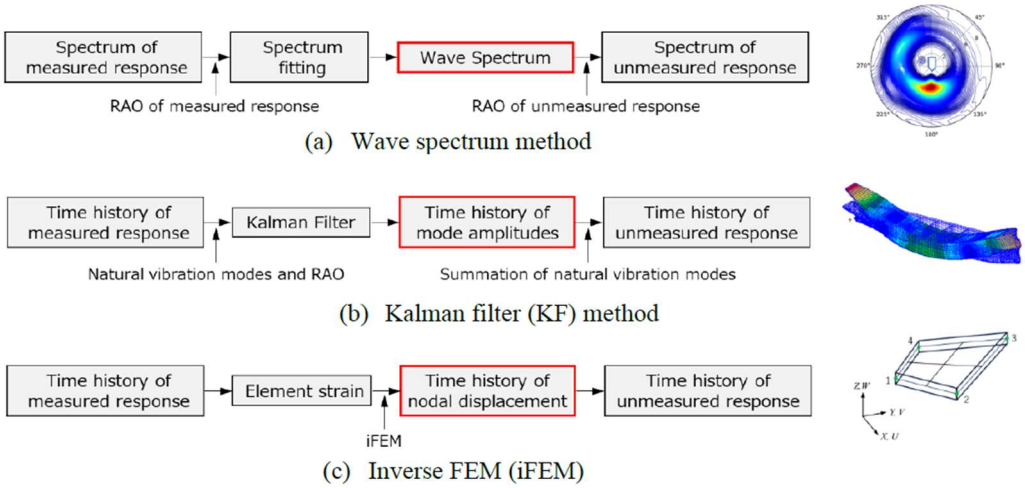


図 1.2.162 船体構造デジタルツインのコアとなる要素技術

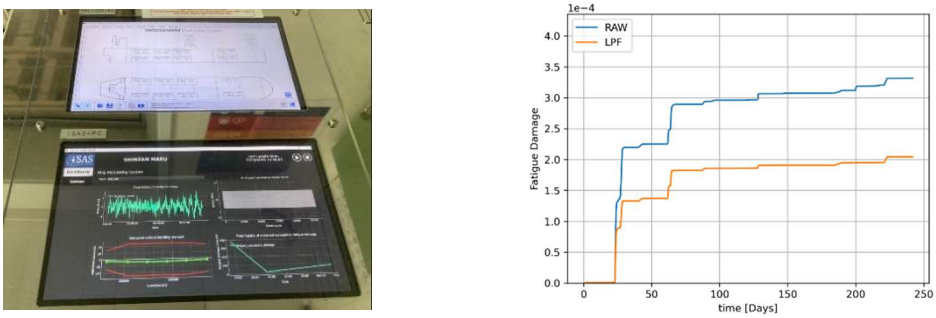


図 1.2.163 実船搭載したデジタルツインシステム(i-SAS)の画面（左）及び
船体構造デジタルツインによる健全度性評価（疲労被害度の成長曲線）（右）
（RAW（生波形）、LPF（弾性振動除去波形)の解析結果）

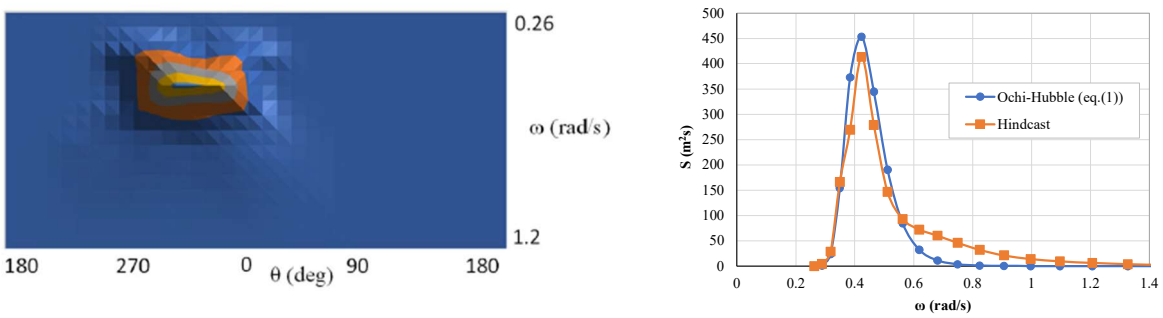


図 1.2.164 波浪追算による2次元波スペクトル（左）及び 4 パラメータでモデル化した周波数スペクトル（右）

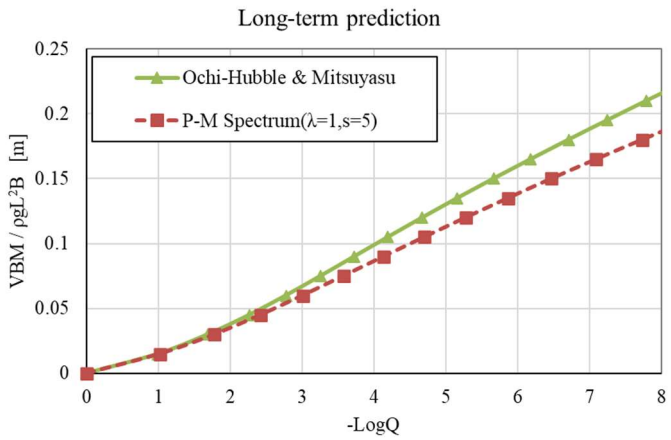


図 1.2.165 波スペクトルモデルによる長期分布の比較
赤：2 パラメータ（有義波高、平均波周期）でモデル化した波スペクトルを使用
緑：4 パラメータ（2 パラメータ＋周波数・波向の形状）でモデル化した波スペクトルを使用

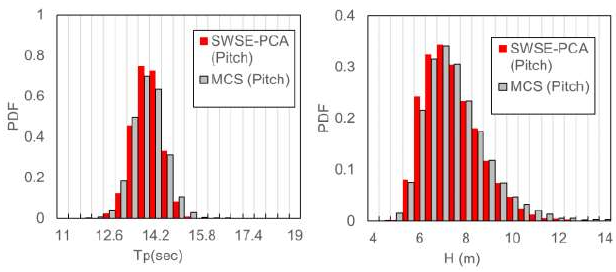


図 1.2.166 実船データを用いた手法の検証結果
（主成分分析手法 SWSE-PCE とモンテカルロシミュレーション法による確率密度の比較）

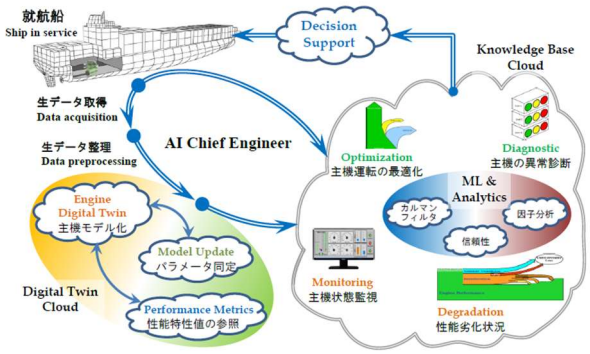


図 1.2.167 主機デジタルツインの概念図
（成果論文：海技研報告）

R5年度成果の公表

□査読論文（科学雑誌掲載論文・査読付き国際会議論文・その他の全文査読付き論文等（海技研報告であれば「研究報告」のみ））： 15 件（投稿中： 8 件、採択済： 1 件、掲載済： 6 件）

科学雑誌掲載論文

・Yujiro Wada, Takumi Kamata, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, Kunihiro Hamada: Comprehensive Analysis of Vessel Movement Data Reliability, The Journal of Navigation, Cambridge University Press, 2023.8（投稿中）

・Taro ARATANI, Keiko MIYAZAKI, Toru TAKAHASHI, Shinichi INOUE, Yui FUJIMOTO: Actual Conditions and Issues Regarding Barrier-free Access for Tourist Boats, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2023.9. https://doi.org/10.1177/03611981231193611（掲載済）

・Fujikubo, M., Oka, M., Komoriyama, Y., Ma, C. et al.: A digital twin for ship structures – R&D project in Japan –, Data-Centric Engineering Journal, 2024.(採択済)
・Mikami, K., Ma, C., Komoriyama, Y., et al.: Deformation and stress reconstruction of ship structures by inverse Finite Element Method with interpolated single-sided strain, Ocean Engineering(投稿中)

査読付き国際会議論文

・Yujiro Wada, Kunihiro Hamada, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi: Maritime Big Data: Shipping and Logistics Analysis using Automatic Identification System Data, CRC Press, 2024.2(投稿中)
・Ibadurrahman, Kunihiro Hamada, Yujiro Wada, Yusuke Igarashi, Daisuke Watanabe: Long-term Ship Position Prediction Using Automatic Identification System (AIS) Data and End-to-End Deep Learning, Maritime Big Data: Shipping and Logistics Analysis using Automatic Identification System Data, CRC Press, 2024.2(投稿中)
・Takahiro Majima, Taro Aratani: Rescue Transportation Simulator and Analytical Solution in the Event of Disasters, 2023 62nd Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers, SICE 2023, 10.23919/SICE59929.2023.10354126(掲載済)
・Taro ARATANI and Takahiro MAJIMA: Estimation of Transportation Capacity after Road Disruptions during Large-scale Disasters using Transport Simulator for Injured People, the XXVII World Road Congress Prague, Czech Republic 2023.9.(掲載済)
・Imai、A., Chen, X.,: Estimation of directional wave spectra of arbitrary shape based on measured ship stress, TEAM2023.(掲載済)
・Bondarenko O., Kitagawa Y. Digital Twin-Enabled Response Function Analysis: A Synthetic Approach to Ship's Propulsion System Assessment. 15th International Marine Design Conference IMDC2024.(投稿中)
・Shinnosuke WANAKA, Kazuo HIEKATA, Tomohito TAKEUCHI, Masanobu TANIGUCHI: Simulation Method of Decarbonization of International Shipping for Evaluating the Impact of Possible Regulation Limiting GHG Intensity of Marine Fuels. 15th International Marine Design Conference IMDC2024(投稿中)
・Yujiro Wada, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, Kunihiro Hamada: AIS Data and its Characteristics, Maritime Big Data: Shipping and Logistics Analysis using Automatic Identification System Data, CRC Press, 2024.2(投稿中)

その他の全文査読付き論文等

・Samer Hassan Okasha, Yujiro Wada, Ryuichi Shibasaki: Forecasting Bunker Price using Deep Learning and Dimensionality Reduction, Proceedings of 2024 Conference of the International Association of Maritime Economists (IAME), June 2024.(投稿中)
・岡正義, 馬沖, 陳曦: 波方向スペクトル形状を考慮した縦曲げモーメントの長期最大期待値推定, 日本船舶海洋工学会論文集第 38 号(掲載済)
・陳曦. 高見朋希, 岡正義: 船体応答に基づく波浪情報推定における不確定性解析手法 -第二報-主成分分析による応答関数の不確定性, 日本船舶海洋工学会論文集第 38 号(掲載済)

□その他発表論文: 14 件(投稿中: 2 件、採択済: 0 件、掲載済: 12 件)

・和田祐次郎, 伊藤大河, 渡邊大介, 五十嵐祐介, 濱田邦裕: 海上物流ビッグデータを用いたパナマックスバルカー市況の予測に関する研究, 令和 5 年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集, 2023.5(掲載済)
・和田祐次郎 ほか: Shipbuilding capacity optimization using shipbuilding demand forecasting model (論文紹介),日本船舶海洋工学会誌 KANRIN (咸臨) (109) 2023.7 (掲載済)
・和田祐次郎, 平野想真, 濱田邦裕: コンテナ船の需要予測のための SD モデルの開発, 令和 5 年日本船舶海洋工学会秋季講演会予稿集, 2023.11(掲載済)
・荒谷太郎, 松田蒼太, 間島隆博: 離島航路再編時における旅客利便性及び必要船舶数に関する検討, 土木学会第 79 回年次学術講演会講演概要集, 第VI部門, 2024.9.(投稿中)
・Hiroshi Matsukura: Ship Allocation Planning for Transport of Disaster-Related Cargos after the Pull-phase of the Nankai Trough Earthquake－Development of Planning System and Trial Calculation－, 令和 6 年日本船舶海洋工学会春季講演会予稿集, 2024.5.(投稿中)
・Akiko MASAKI, Kaho TAKAHASHI, Taro ARATANI, Takahiro MAJIMA and Kazuo ONO:・Examples of application of CMOS annealing, 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Aug.2023.(掲載済)
・Kaho TAKAHASHI, Akiko MASAKI, Taro ARATANI, Takahiro MAJIMA and Kazuo ONO: Overview and Application Example of CMOS Annealing, The International Network on Quantum Annealing (INQA) Seminars, July.2023.(掲載済)
・荒谷太郎: 緊急支援物資をいかに届けるか ～実動演習から支援物資輸送を考える～、アジア・シームレス物流フォーラム 2023, 2023.5.(掲載済)
・松倉洋史: 南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用－日本海側フェリー/RORO 船隊輸送の半割れケースの評価と輸送計画の改良－, 令和 5 年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集, 2023.5(掲

載済）
・岡正義: 船体構造のデジタルツイン技術について，九州大学大学院船舶海洋工学専攻特別講義（掲載済）
・馬沖，小森山祐輔，岡正義: 粒子法数値解析に基づく HMD 型デジタルツインシミュレータの開発，海上技術安全研究所報告第 23 巻別冊（掲載済）
・ Bondarenko O., Kitagawa Y., Sawada R., Fukuda T. Enhancing Transient Performance of Propulsion Engines in Actual Sea Using Reinforcement Learning-based PID Gains Tuning. In Proc.: 10th PAAMES and AMEC2023（掲載済）
・ Bondarenko O., Kitagawa Y., Fukuda T. Development of an Advanced Ship Engine Monitoring System Utilising Engine Digital Twin Technology. 海上技術安全研究所研究報告 23 巻第 2 号,2023.（掲載済）
・馬沖: 粒子法（SPH）を用いた波浪中船体応答の解析（HMD シミュレータへの活用），日本船舶海洋工学会東部支部構造研究会（掲載済）

□特許申請： 2 件
・岡正義，陳曦: 船舶の波浪応答推定方法、波浪応答推定プログラム、波浪応答推定システム、及び船舶（国内優先権主張出願）（特願 2023-111271）
・ボンダレンコ，北川，澤田，福田: 船舶の主機制御パラメータの自動調整方法、自動調整プログラム、自動調整システム（特願 2023-170690）

□コアプログラム登録： 4 件
・品質管理 Web AI システム(quality-ai)（馬沖，小沢匠，平方勝）
・設計作業工数学習・予測アプリ（NNDMH)（馬沖，平方勝）
・GFS 規制を考慮した国際海運の脱炭素化シナリオシミュレータ（和中真之介）
・コンテナ船需要予測プログラム（和田祐次郎，濱田邦裕（広島大学））

□国際連携活動： 15 件
・IMO の審議対応：5 件（GHG-EW 3, ISWG- GHG 15, MEPC 80, ISWG- GHG 16, MEPC 81）
・IMO 温室効果ガス削減対策の包括的影響評価運営委員会への参加とその対応：5 件
・IMO 提案文書（ISWG-GHG 16/2/12, MEPC 81/INF.26）にデータ分析結果を提供：2 件
・国際機関の要請に対応し、AI 技術等を利用した海運市場の分析・予測に関する基礎研修を海外機関向けに実施：3 件（JICA、東京大学からの依頼によるスエズ運河庁（SCA）に対する研修を 3 回実施）

□受賞： 3 件
・和田祐次郎: 日本船舶海洋工学会論文賞（（公社）日本船舶海洋工学会）
・和田祐次郎:日本造船工業会賞（（一社）日本造船工業会）
・荒谷太郎，間島隆博: 海上・港湾・航空技術研究所理事長表彰（研究チーム表彰）、研究所連携研究を組織して災害時輸送シミュレータを開発した功績

□公開実験： 0 件
・

3. 港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等

【中長期目標】

国土交通省では、港湾・空港施設等の整備、防災及び減災対策、インフラ長寿命化に加え、近年対応が求められる、ICT技術やDXの導入による生産性向上、沿岸・海洋環境の形成に加え脱炭素社会の構築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、すなわち港湾・空港施設等の防災及び減災対策、インフラ整備の長寿命化、サイバー施工技術やDXの導入による生産性向上、沿岸・海洋環境の形成に加え脱炭素社会の構築への対応における技術的課題の解決等、国土交通省が推進する政策への技術的支援に対する適切な成果を創出し、関係機関を含めた幅広い技術課題の解決を図るため、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。なお、研究開発等にあたってはデジタル技術の活用にも積極的に取り組むこととする。

基礎的な研究開発等のうち、地震、波浪、環境、地形、地盤、計測等の基礎的な研究開発は、研究所が取り組む港湾・空港等分野のあらゆる研究の基盤であることから、これらを推進する。また、成果の実用化を目途とする実用的な研究開発等とともに港湾・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。

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。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、本中長期目標期間の港湾空港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には、同様に取り組むこととする。

なお、港湾・空港等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等に関する研究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維持するとともに、研究成果の社会還元を図るため、引き続き民間との連携を推進する。

【年度計画】

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち港湾・空港施設等の防災及び減災対策、インフラ整備の長寿命化、サイバー施工技術やDXの導入による生産性向上、沿岸・海洋環境の形成に加え脱炭素社会の構築への対応における技術的課題の解決等、国土交通省が推進する政策への技術的支援に対する適切な成果を創出し、関係機関を含めた幅広い技術課題の解決を図るため、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。なお、研究開発等にあたってはデジタル技術の活用にも積極的に取り組むこととする。

基礎的な研究開発等のうち、地震、波浪、環境、地形、地盤、計測等の基礎的な研究開発は、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、これらを推進する。また、成果の実用化を目途とする実用的な研究開発等とともに港湾・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。

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。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空港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には、同様に取り組むこととする。
なお、港湾・空港等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維持するとともに、研究成果の社会還元を図るため、引き続き民間との連携を推進する。

◆令和5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開発課題の研究を的確に実施するため、社会・行政ニーズ及び重要性・緊急性を踏まえ、8 件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、第 6 期科学技術・イノベーション基本計画（令和 3 年）は、「世界を主導する卓越した研究を強化し、豊かな発想の土壌となる多様な研究の場を確保するなど、我が国の基礎研究力を一層強化すべく取り組んでいかなければならない」とし、基礎研究を重視している。

これを踏まえ、中長期目標は、地震・波浪・環境・地形・地盤・計測等に関する原理・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 5 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 5 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。

◆令和5年度における取組状況

（1）基礎研究への取組

令和 5 年度も基礎研究を重視し、地震・波浪・環境・地形・地盤・計測等に関する原理・現象の解明に向けた研究を実施した。

令和 5 年度においては、43 件の研究実施項目のうち、19 項目を基礎研究として位置付けた。

また、基礎研究以外の応用研究・開発研究と位置づけた研究実施項目においても、基礎研究的な要素・成果を含む研究が存在する

（2）特定萌芽的研究の推進

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

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

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

③独創的・先進的な研究テーマであるか、研究手法が独創的・先進的であること。

の条件を満たすものを特定萌芽的研究とし、研究者から応募のあった研究課題の中から採択し、研究費を競争的に配分する制度である。

令和 5 年度は、「機械学習による海洋環境の時空間分布の即時推定の高度化」の特定萌芽的研究を実施した。

（3）国土技術政策総合研究所との連携

国土技術政策総合研究所とは「港湾の施設の技術上の基準」、「港湾の施設の点検診断ガイドライン」等への研究成果の反映に向けた検討体制が確立されている。令和 5 年度においても、国土技術政策総合研究所との共催により、国、民間事業者等に向けた講演会を多く開催してきており、共同で研究活動や成果

を発信することにより、社会的要請を踏まえた研究ニーズ等を両研究所が効率的かつ効果的に把握し、研究活動の実施に役立っている。

更に、両研究所と各地方整備局等との間で、継続的な“技術対話”を開催し、それぞれの技術的強みを活かしながら、現場技術力の維持・向上を図るべく、連携を推進している。

研究開発課題	（1）沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ	①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靭化の推進が必要である。研究所は、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、地震災害の軽減や復旧に関する研究開発、気候変動・津波・高潮・高波による災害の軽減や復旧に関する研究開発に取り組む。	南海トラフ巨大地震や首都直下地震等の大規模地震に伴う地震・津波災害や気候変動に伴う極端気象によって生じる高潮・高波に関連した災害を軽減するとともに、迅速な復旧を図る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の大規模地震に伴う地震・津波災害や気候変動に伴う極端気象によって生じる高潮・高波に関連した災害を軽減するとともに、迅速な復旧を図る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地震災害の軽減や復旧に関する研究開発 －2021 年2月および 2022 年3月の福島県沖の地震による相馬港等の被害に関する調査結果をとりまとめる。 －液状化流動が沿岸・海洋構造物等にもたらす影響を評価するための手法を開発・提示するための研究に着手する。 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５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

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

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資する目的で、全国 69 港湾をカバーする強震観測網による観測を行った。

②地震災害および被災要因調査

令和 3 年 2 月および令和 4 年 3 月の福島県沖の地震による相馬港等の被害に関る調査結果をとりまとめた。令和 6 年 1 月 1 日の能登半島地震（M7.6）では、当所の研究者が国総研の研究者と連携し本省・北陸地方整備局への支援を実施した。

③地震学的・地盤工学的知見に基づく地震動の事後推定技術に関する検討

平成 28 年熊本地震の本震・前震および中規模地震を対象としたブラインドプレディクションの成果を評価の高い国際ジャーナルで公表した。令和 6 年 1 月 1 日の能登半島地震（M7.6）で被災した輪島港と飯田港で余震観測を行い、サイト特性の評価を行うとともに地震動の事後推定を行った。

④液状化流動が沿岸・海洋構造物等にもたらす影響評価手法の開発

液状化流動が沿岸・海洋構造物等にもたらす影響を評価するための手法を開発・提示するための研究に着手した。

（2）最大級の地震に対する被害軽減技術に関する研究

①地震動作用後を対象とした沿岸域施設の変形予測手法の検討

現行の耐震設計では、地震動作用中に発生する施設の損傷等を評価しているため、地震後に求められる施設の性能を直接的に評価していない。そこで、本研究では、地震動作用後を対象とした変形照査手法の確立を目的とした検討を行った。

②地震による係留施設損傷過程の可視化とそれに基づく簡易被害推定方法の開発

地震による係留施設損傷過程の可視化とそれに基づく簡易被害推定方法の開発に関して、粒子間作用力の算出プログラムの開発および深層学習用画像の作成プログラム開発を行った。

（3）地震・津波・高潮・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関する研究

①地震・高潮・高波による吸い出し・陥没等予知と維持管理技術の開発

海岸道路の護岸擁壁背後法面の陥没型被災とその規模に及ぼす地下水位勾配変動特性および越波の影響の解明等を行い、成果を査読付き論文として公表した。過年度に開発した二層構造のフィルター層とケーソン目地透過波低減法について、現地への実装を進めた。

令和５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

令和 5 年末現在では 69 港湾の 160 箇所で観測を行っており、令和 5 年 1 月～12 月の期間で 2,146 個の強震記録が取得された。令和 5 年には九州地方の 8 港湾で新たに観測を開始し、得られた記録に基づきサイト増幅特性の検討を開始した。令和 6 年 1 月 1 日の能登半島地震（M7.6）では、北は青森から南は熊本まで全国 32 港湾で強震記録が得られた。港湾地域強震観測では地震発生時に地震動情報即時伝達システムを介して港湾における PSI 値等の情報を行政機関等に即時に配信している。能登半島地震でも地震発生後すみやかに配信され行政機関にて活用された。金沢港等で得られた強震記録（図 1.3.1a-1）は物流上重要な施設の利用可否判断にも活用された。

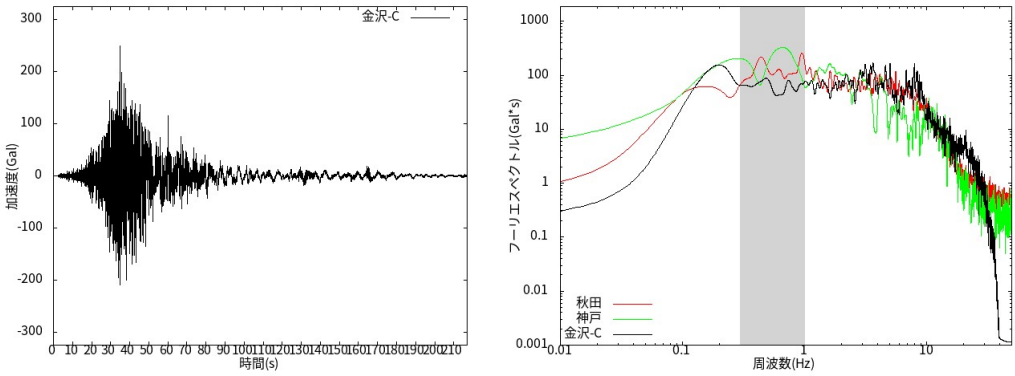


図 1.3.1a-1　令和 6 年能登半島地震による金沢港での強震記録の波形（左）とスペクトル（右）

②地震災害および被災要因調査

令和 3 年 2 月および令和 4 年 3 月の福島県沖の地震による相馬港等の被害に関る調査結果を港空研資料としてとりまとめた。

また、令和 6 年 1 月 1 日の能登半島地震（M7.6）（図 1.3.1a-2）では、当所の研究者が国総研の研究

者と連携し、本省および北陸地方整備局への技術支援を実施した。港湾法 55 条の規定に基づき、能登半島地震においては輪島港など被災した港湾 6 港を対象に国が権限代行を行うこととなり、各施設の利用可否判断の結果を国交省がホームページに掲載するという新たな試みがなされた。

特に災害対応の初期において、速やかに研究所職員による現地踏査を行うと同時に、現地派遣職員の後方支援を行うチームも組織し、緊急支援物資輸送船舶の接岸と係留施設の利用可否判定において効率的かつ迅速に対応し、研究所が重要な役割を果たした。重力式岸壁、矢板式岸壁、桟橋、セル式岸壁など、それぞれの力学特性に応じて利用可否判断にあたり着目すべき点が異なるなど、当所では構造形式毎の地震時挙動特性について研究を行ってきた長い歴史を有しており、研究者がその知見を生かして利用可否判断の支援を早急に行えたことの意義は極めて大きかったと考えられる。

図 1.3.1a-2　令和 6 年能登半島地震による重力式岸壁（左）と矢板式護岸（右）の被害

③地震学的・地盤工学的知見に基づく地震動の事後推定技術に関する検討

国際会議「ESG6」に際して行われたブラインドプレディクションでは、2016 年熊本地震の本震・前震および中規模地震を対象とし、熊本市内のある地点での地震動の事後推定が行われた。研究担当者はブラインドプレディクションの主催者から提供されたデータに加え、近隣における気象庁の強震記録も用い、地震動の事後推定を行った。大振幅となる前震と本震に対しては地盤の非線形挙動を考慮するため有効応力解析も併用した。解析実施後にブラインドプレディクションの主催者から示された実際の観測記録と比較すると、中規模地震に対する地震動の事後推定精度は非常に高かった。前震・本震に対しては、地盤の非線形挙動を実際よりも強く見積もりすぎる傾向があった。これらを含む成果については評価の高い国際ジャーナルに公表した。

令和 6 年 1 月 1 日の能登半島地震（M7.6）で被災した能登半島の港湾には強震計が設置されておらず、施設に作用した地震動が不明である。そこで、これらの港湾のうち輪島港と飯田港で余震観測を行い、サイト特性の評価を行うとともに地震動の事後推定を行った（図 1.3.1a-3）。地震動の事後推定においては、震源断層に近いこと、地盤の強い非線形挙動が想定されることなど、困難な条件下での推定を行う必要から、推定のための新たなプログラム開発も行った。

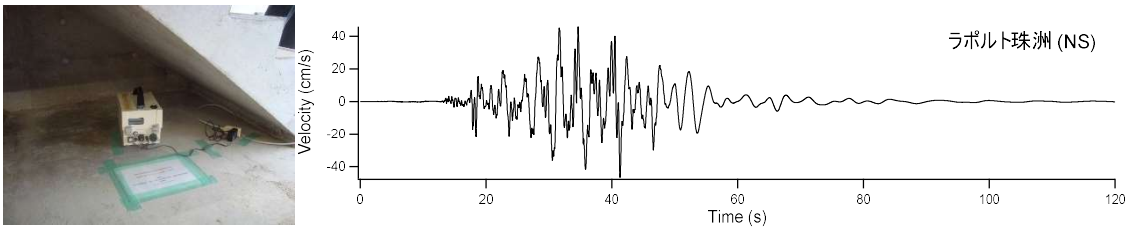


図 1.3.1a-3　令和 6 年能登半島地震後の飯田港における余震観測の状況（左）と再現地震動（右）

④液状化流動が沿岸・海洋構造物等にもたらす影響評価手法の開発

液状化土砂流動のダイナミクスを考慮した流体－構造物とのマルチフィジックス解析が可能な粒子法モデルを構築し、遠心力場実験との比較検証を通じてその有効性を示した。また、構造物への液状化及

び液状化流動の影響を抑止する2つの対策技術に関する現地検証・分析、ならびに、幅広い粒度と塑性を有する地盤の液状化予測判定に及ぼす細粒分補正式の開発を進めた。

さらに、海底地すべり津波に及ぼす液状化重力流の影響について、関東地震津波を対象として明らかにした。そして、液状化土砂流動等に伴う連鎖複合災害の世界的な重要性・インパクトについて、当該分野のトップジャーナル及び斜面防災世界フォーラムで公表した（図 1.3.1a-4）。

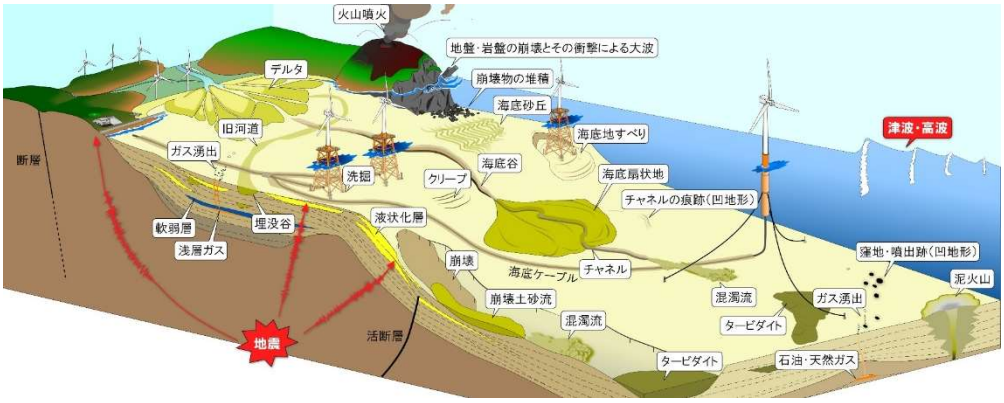


図 1.3.1a-4　令和洋上風力発電施設と沿岸・海底ジオハザードの関係
（日本学術会議洋上風力委員会）

（2）最大級の地震に対する被害軽減技術に関する研究

①地震動作用後を対象とした沿岸域施設の変形予測手法の検討

現行の耐震設計では、地震動作用中に発生する施設の損傷等を評価しているため、地震後に求められる施設の性能を直接的に評価していない。そこで、本研究では、地震動作用後を対象とした変形照査手法の確立を目的とした検討を行った。令和 5 年度は、空港舗装実設計断面を対象とした変形予測手法の影響確認、液状化地盤上のモノパイル基礎の模型振動実験を行った（図 1.3.1a-5）。

図 1.3.1a-5　地震動作用後の作用の例

②地震による係留施設損傷過程の可視化とそれに基づく簡易被害推定方法の開発

可視化した粒子間作用力の輝度画像から圧縮力、せん断力を算出する解析方法の検討を行った。また、基礎データとして FLIP 解析を多数実施し、DB 集積を実施するとともに、FLIP 入力データから深層学習用の入力画像を自動で作成するプログラムを開発した（図 1.3.1a-6）。成果の一部は英文ジャーナルで公表した。

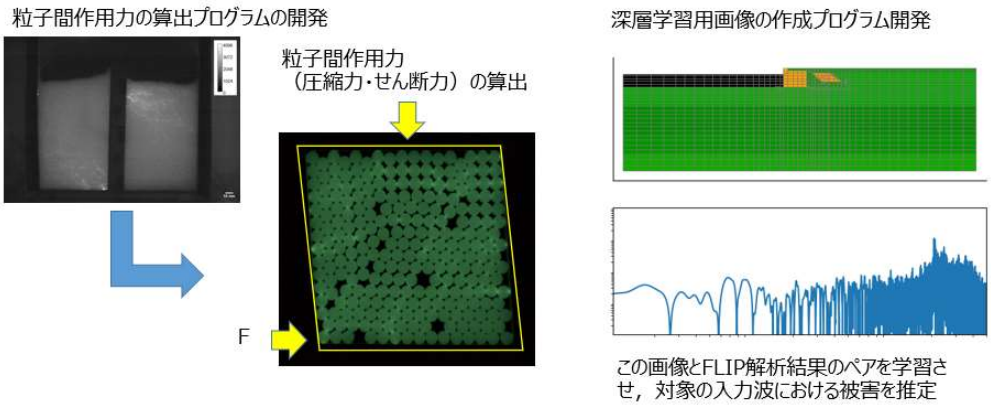


図 1.3.1a-6 粒子間作用力の算出プログラムの開発および深層学習用画像の作成プログラム開発

（3）地震・津波・高潮・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関する研究

①地震・高潮・高波による吸い出し・陥没等予知と維持管理技術の開発

舗装直下地盤の吸い出し・空洞形成・破壊過程の解明、地中レーダーにより空洞の発達深度を早期に評価・同定しうる手法の開発、海岸道路の護岸擁壁背後法面の陥没型被災とその規模に及ぼす地下水位勾配変動特性および越波の影響の解明を行った（図 1.3.1a-7）。成果は 9 編の査読付き論文として公表した。過年度に開発した二層構造のフィルター層とケーソン目地透過波低減法について、現地への実装を進めた。

図 1.3.1a-7 臨海部の舗装直下地盤の陥没後の状況：実大試験結果

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：2 編

・長坂陽介，野津厚 (2023)：港湾地域強震観測年報（2020），港湾空港技術研究所資料，No.1409

・竹信正寛，野津厚，小濱英司，大矢陽介，長坂陽介，朝比翔太，呉双蘭，工代健太，近藤明彦，佐々真志，菅原法城，高野大樹，百海郁弥，宮田正史，森川嘉之，佐々木誠 (2024)：令和 3 年(2021 年)および令和 4 年（2022 年）福島県沖の地震による港湾施設被害報告，港湾空港技術研究所資料，No.1414

□発表論文（英文）：12 編

・Nagasaka, Y. (2023): Strong ground motion simulations of the 2016 Kumamoto earthquakes using corrected empirical Green's functions: methods and results for ESG6 blind prediction Steps 2 and 3 with improved parameters. Earth Planets Space 75, 61. https://doi.org/10.1186/s40623-023-01815-6

・Nozu, A. (2023): Use of Fourier phase characteristics and effective stress analyses for post-earthquake ground motion estimation: application to ESG6 blind prediction steps 2&3 dataset and JMA accelerometric

data. Earth Planets Space 75, 101. https://doi.org/10.1186/s40623-023-01854-z

・Nozu, A. (2023): The region of large site amplification in Northern Hokkaido, Japan, extends to the eastern Soya Region. Earth Planets Space 75, 181. https://doi.org/10.1186/s40623-023-01936-y

・Sassa, S. (2023): Landslides and Tsunamis: Multi-Geohazards, Landslides.

・Murata, K., Sassa, S., Aida, Y. and Ikoma, T. (2923): Study on Applicability of the MPS Two-phase Flow Model to Submarine Landslide Problem and the Basic Characteristics of Impact Pressure on Mooring Anchors of Offshore Wind Turbines, Proceedings of the 3rd World Conference on Floating Solutions.

・Tashiro, S., Asada, H., Ueno, K., Katayama, Y., Sassa, S. (2023): Numerical study on a countermeasure principle using artificial drainage material against sand boil damage caused by liquefaction during earthquakes, Proceedings of the 8th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.

・Sassa, S. (2023): Recent Advances in the Mechanics and Countermeasures of Scour and Erosion, Proceedings of the 11th International Conference on Scour and Erosion Keynote Paper

・Miyamoto, J., Sassa, S., Ito, H., Tsurugasaki, K., Sumida, H. (2023): Wave-Induced Liquefaction and Stability of Suction Bucket Foundation in Drum Centrifuge, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.

・Takada, Y., Yan, S., Sassa, S., Kim, S., Lee, C., Hong, J. (2023): Response to suction dynamics on intertidal distribution of Haustorioides amphipod species on East Asian sandy beaches during diurnal tidal changes, Plankton and Benthos Research.

・Miyamoto, J., Sassa, S., Ito, H., Tsurugasaki, K., Sumida, H. (2023): Effects of loosening following installation on the overall stability of suction bucket foundation under wave-induced liquefaction, Proceedings of the 11th International Conference on Scour and Erosion.

・Watabe, Y., Kubota. S., Mukunoki, T., Sassa, S. (2023): Influence of Suffusion on Shear Characteristics of Pumice Sand with Non-Plastic Fines in Relation to Compaction Condition, Proceedings of the 11th International Conference on Scour and Erosion.

・Tsubokawa, R., Iida, Y., Ushiwatari, Y., Matsuda, T., Ochi, M., Miyatake, M., Sassa, S. (2023): Coastal Road Slope Disasters due to Scour and Erosion surrounding a Retaining Wall, Proceedings of the 11th International Conference on Scour and Erosion.

□発表論文(和文):6 編

・野津厚 (2023): 強震記録の上下動成分に見られる見かけの残留速度 Vnon の生成要因, 日本地震工学会論文集, Vol.23, No.2, pp.2_1-2_22.

・村田一城, 佐々真志, 梁順普, 小林千紘, 工代健太 (2023): 臨海部の液状化予測判定における細粒分の塑性及び非塑性の混合比が及ぼす影響について, 土木学会論文集 79 巻, 18 号, 23-18138.

・牧野凌弥, 宮本順司. 佐々真志 (2023): 崩壊土量・高さを変化させた水中大規模土砂流動の実大応力実験, 土木学会論文集 79 巻, 17 号, 23-17133.

・梁順普, 佐々真志, 工代健太, 村田一城, 小林千紘 (2023): 砂の粒子形状・間隙物性の違いによる風波・降雨・越波作用下の吸い出し・空洞形成・陥没特性, 土木学会論文集 79 巻, 18 号, 23-18132.

・梁順普, 佐々真志, 工代健太, 村田一城, 小林千紘 (2023): 臨海部の舗装直下地盤における空洞発達の時間同定と破壊過程に関する実大実験, 土木学会論文集 79 巻, 17 号, 23-17132.

・内糸直樹, 加藤祐典, 越智聖志, 宮武誠, 松田達也, 鈴木崇之, 佐々真志, 坪川良太, 牛渡裕二, 飯田泰成 (2023), 護岸擁壁背後法面の陥没型被災に及ぼす地下水位勾配変動特性, 土木学会論文集 79 巻, 17 号, 23-17092.

□特許(出願、登録):3 件

・特許(登録):地盤取り込み式の締固め工法(特許第 7402461 号)

・特許(登録):水域構造物の補強構造および補強方法(特許第 7429000 号)

・特許（登録）：地盤試料の探査装置及び探査方法（特許第 7426028 号）

□表彰（論文賞、その他の表彰）：4 件
・佐々真志（2023）：土木学会技術開発賞
・佐々真志（2023）：海岸工学論文賞
・佐々真志（2023）：Associate Editor Award,Soils and Foundations
・佐々真志（2023）：5 Years Editors Award,Landslides

□社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：6 件
・「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」に関する研究を通じて取得された強震記録のデータは、①地震直後における行政機関の対応方針の策定や、②被災した港湾施設の復旧設計に活用されるほか、③設計入力地震動の策定（随時見直し）に活用されている。
・常時微動観測結果を基に、港湾の施設における設計入力地震動が高精度化された。（鹿見港、小樽港）。
・液状化流動に関する研究成果に基づく知見が、日本学術会議見解「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力開発に向けて－海底地質リスク評価の重要性－」へ反映された。
・高波一地盤一構造物相互作用に関する研究成果に基づく知見が、日本学術会議見解「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力開発に向けて－海底地質リスク評価の重要性－」へ反映された。
・「地震・高潮・高波による吸い出し・陥没等予知と維持管理技術の開発」における成果の一つである目地透過波低減法が実用化された。（那珂湊港護岸）
・「地震・高潮・高波による吸い出し・陥没等予知と維持管理技術の開発」における成果の一つであるフィルター層が下記港湾の施設において実用化された。
大分港（大在西地区）耐震岸壁（-9m）（1 バース・2バース）。
川内港（唐浜地区）耐震岸壁（-12m）。
西之表港（洲之崎地区）耐震岸壁（-7.5m）。
細島港（工業港地区）耐震岸壁（-9m）。
八代港大築島土砂処分場。
新門司土砂処分場。

□その他（学会発表、講演等）：27 件
・毛利惇士（2023): 高剛性矢板壁体を用いた海岸保全施設の耐震補強効果の模型振動実験，地盤工学研究発表会.
・佐々真志（2023): 海底地すべり・重力流ダイナミクスと連鎖複合災害の理解と軽減，日本地球惑星科学連合 2023 年大会　招待講演.
・宮本順司，佐々真志，伊藤輝，牧野凌弥（2023): Experiments on submarine gravity flows of liquefied sand in a drum centrifuge, Abstracts of the 6th World Landslide Forum
・村田一城，戎崎俊一，佐々真志，高川智博，増田光一，宮本卓次郎，大野正人，丸山茂徳（2023): On dominant submarine landslide component of the tsunami source mechanism at 1923 Great Kanto Earthquake, Japan, Abstracts of the 6th World Landslide Forum
・Quoc Anh Tran, Erik Sørlie, Gustav Grimstad, Gudmund Eiksund, 高橋英紀，佐々真志（2023): Coupled CFD-MPM analysis of the earthquake induced submarine landslides, Abstracts of the 6th World Landslide Forum
・村田一城，佐々真志，梁順普，小林千紘，工代健太（2023): 細粒分の質および物性が異なる地盤の液状化予測判定法に関する研究，第58回地盤工学研究発表会、地盤会工学
・梁順普，佐々真志，工代健太，村田一城，小林千紘（2023): 砂の粒子形状の違いによる風波・降雨・越波作用下の吸い出し・空洞形成・陥没特性，第58回地盤工学研究発表会、地盤工学会
・川村喜一郎，佐々真志，大久保泰邦，野村英雄（2023): 沿岸開発における海底地質リスクとその地盤工

学の国際的な展望，第58回地盤工学研究発表会、地盤工学会
・高田美音，佐々真志，足立雅樹，岩城徹也，齊藤英徳（2023): 新たな CPG 工法の液状化対策効果検証のための現場実証実験－全体概要及び施工状況－，第58回地盤工学研究発表会、地盤工学会
・大野喜代孝，佐々真志，蛭川愛志，竹之内寛至，金子誓（2023): 新たな CPG 工法の液状化対策効果検証のための現場実証実験－隆起抑制効果－，第58回地盤工学研究発表会、地盤工学会
・足立雅樹，佐々真志，高田美音，岩城徹也，齊藤英徳，金子誓（2023): 新たな CPG 工法の液状化対策効果検証のための現場実証実験－改良効果向上－，第58回地盤工学研究発表会、地盤工学会
・宮本順司，牧野凌弥，佐々真志（2023): 崩壊土の高さを変化させた液状化土の遠心力場水中重力流実験，第58回地盤工学研究発表会、地盤工学会
・梁順普，佐々真志，工代健太，村田一城，小林千紘（2023): 舗装直下地盤における空洞発達の時間同定と破壊過程に関する実大実験，土木学会 第 78 回年次学術講演会
・五十嵐大輝，佐々真志，梁順普，村田一城，小林千紘，山本七輝，大塚悟（2023): 裏埋砂の粒子形状を考慮した鉛直方向の地震動下における吸い出し抑止法の研究，土木学会 第 78 回年次学術講演会
・岩城徹也，佐々真志，竹之内寛至，蛭川愛志（2023): 細粒分混じり地盤に対する新たな CPG 工法の現場実証実験－隆起抑制効果－，土木学会 第 78 回年次学術講演会
・金子誓，佐々真志，高田美音，齊藤英徳（2023): 細粒分混じり地盤に対する新たな CPG 工法の現場実証実験－N 値の上昇－，土木学会 第 78 回年次学術講演会
・竹之内寛至，佐々真志，足立雅樹，高田圭太，大野喜代孝（2023): 細粒分混じり地盤に対する新たな CPG 工法の現場実証実験－小型施工機の適用性検証－，土木学会 第 78 回年次学術講演会
・渡部要一，窪田翔，椋木俊文，佐々真志（2023): 非塑性細粒分を多く含む火山灰質砂の非排水せん断特性に及ぼす締固め条件と内部侵食の影響，第58回地盤工学研究発表会、地盤工学会
・長坂陽介，野津厚（2023): 修正経験的グリーン関数法による 2023 年トルコ地震の強震動シミュレーション，Japan Geoscience Union Meeting 2023
・長坂陽介，野津厚（2023): 2023 年トルコ地震の強震記録から推定される震源過程の特徴，地震学会秋季大会
・長坂陽介（2023): 2023 年 2 月 6 日のトルコ地震(Mw 7.8)の強震動シミュレーション，日本建築学会大会
・長坂陽介，野津厚（2023): 修正経験的グリーン関数法による 2023 年トルコ地震の強震動シミュレーション，Japan Geoscience Union Meeting 2023
・野津厚，竹信正寛（2023): 関東大震災が岸壁の設計に与えた影響－岡部博士の考えを現代の視点から見る－，情報誌港湾
・野津厚（2023): 港湾・空港分野における動的相互作用問題への動的解析の適用－羽田空港 D 滑走路接続部の事例，地盤工学会誌
・野津厚（2023): 強震記録の上下動成分に見られる見かけの残留速度 Vnon の生成要因について，日本建築学会大会
・野津厚（2023): 構造物被害予測プログラム FLIP で用いられる粘土の強度に関する一考察，地盤工学研究発表会
・野津厚（2023): 1995 年兵庫県南部地震におけるガントリークレーンの倒壊要因に関する一考察，土木学会年次学術講演会

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	②津波・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、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、地震災害の軽減や復旧に関する研究開発、気候変動・津波・高潮・高波による災害の軽減や復旧に関する研究開発に取り組む。	南海トラフ巨大地震や首都直下地震等の大規模地震に伴う地震・津波災害や気候変動に伴う極端気象によって生じる高潮・高波に関連した災害を軽減するとともに、迅速な復旧を図る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津波・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の大規模地震に伴う地震・津波災害や気候変動に伴う極端気象によって生じる高潮・高波に関連した災害を軽減するとともに、迅速な復旧を図る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津波・高潮・高波災害の軽減や復旧に関する研究開発 －随伴型データベースによる高潮推算手法の開発を低解像度、単純地形にて開始する。 －マングローブに波や津波による引き抜き特性を地盤強度を変えた移動床実験で明らかにする。 等

研究の背景

南海トラフ巨大地震による津波など、巨大な津波の来襲が切迫している。一方、気候変動にともなう海面上昇、高潮・高波の強大化が顕在化しはじめ、対応方針の策定が急務となっている。津波想定の見直しや、将来気候に関する予測データの更新、確率的なリスク評価に対するニーズが高まっている。さらに、ハード面からみると港内施設の大規模浸水対策や、吸い出しなど老朽化する港湾施設の修繕などの対策も急務である。近年では、DX 化やデジタルツインによる被害予測などの新技術の導入や SDGs の観点からのグリーンインフラの活用も重要視されてきており、対策工法のイノベーションが必要となっている。

研究目標

本研究では、逼迫する巨大津波や気候変動による海象の激甚化に対応するため、①津波の波形と被害の予測手法や、②気候変動化の高波・高潮リスクの評価法を確立することを目標とする。さらに、津波や気候変動に対応するためのハード・ソフト対策を実施するため、③災害対策技術のイノベーションを図ることを念頭に、波浪外力に対する港内施設やグリーングレイ複合インフラの最適設計手法の確立、数値波動水槽の設計実務への導入を目標とする。

令和５年度の研究内容

（1）津波・高潮・高波のリスク評価に関する研究

①機動的津波高潮評価に関する研究

特定の港湾を対象とする津波と高潮のシミュレーションの大幅な精度向上を目的として、随伴方程式（アジョイント法）を用いた新しいシミュレーションプログラムの開発を進め，台風外力やネスティングに対応したアジョイントモデルの開発に取り組んだ。

②海洋波浪結合モデルによる長期アンサンブル高潮計算に関する研究

気候変動による海面上昇や波浪の増大が港湾施設に及ぼす影響を調べるため、これまで開発してきた海洋波浪結合モデルにアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)を用いて、将来気候の高潮や高波のリスク評価に取り組んでおり、粗い空間格子で与えられているd4PDF の台風気象場を高精細なモデルに組み込む方法について検討した。

（2）港湾・海岸施設の災害対策技術に関する研究

①複合越波対策工法の越波と波力に関する研究

桟橋の上床板に働く波力が設計上問題になることが多いため、水理模型実験により波が斜めに入射する場合の桟橋上部工への波力の低減効果について調べた。

②吸出し防止用のフィルター材の耐波安定性に関する研究

護岸や岸壁の吸い出しを防止するための新工法に関する水理模型実験を実施してその効果を調べた。

③マングローブに働く津波波力とその変形に関する研究

現地調査によりマングローブ林の地盤の形成過程や地盤強度を調べるとともに、水理模型実験も実施してその堆砂効果を調べた。

④外郭施設群を対象とする大規模数値波動水槽の開発

消波ブロックなどのポーラスメディアの新しいモデル化に関する検討を行った。

⑤港内施設の設計波浪外力の算定法に関する研究

ブシネスクモデルによる港内施設への波浪外力の算定及び換算沖波波高の推定方法を検討した。

令和５年度の研究成果

（1）津波・高潮・高波のリスク評価に関する研究

①「機動的津波高潮評価に関する研究

“ネスティングを含めたフルアジョイントモデル”という新たなモデルを開発し、計算精度の大幅な向上を実現した。

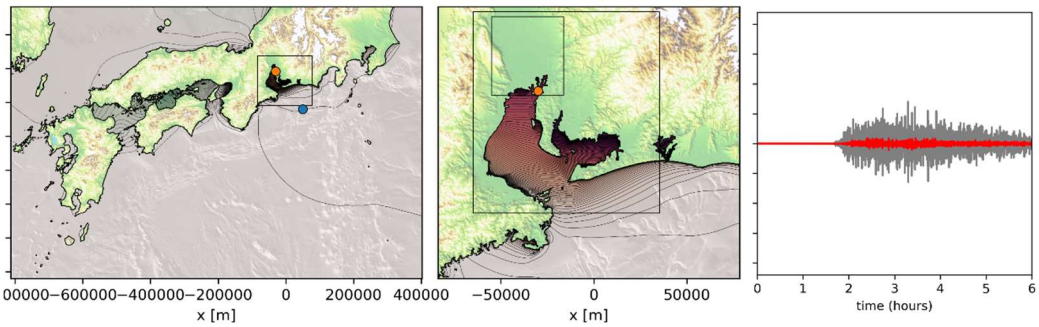


図 1.3.1b-1 名古屋港を対象としたネスティングによる高潮計算の対象領域(左および中)と、

潮位変動に関する計算結果における誤差の評価

(簡易計算法(灰色線)とフルアジョイントモデル(赤線)による精度の向上)

②海洋波浪結合モデルによる長期アンサンブル高潮計算に関する研究

d4PDF の台風に含まれる誤差の補正による高潮計算結果の高精度化を目的として、過去の台風データをもとに機械学習による新たなプログラムを開発し実現象に即した計算を可能とした。

（2）港湾・海岸施設の災害対策技術に関する研究

①複合越波対策工法の越波と波力に関する研究

桟橋の上床板に働く波力が、斜め入射波の場合に大きく低減することを明らかにし、その推定法を提

案した。

②吸出し防止用のフィルター材の耐波安定性に関する研究

大型水理模型実験により“分解安定型捨石フィルター”、“目地衝撃圧緩衝フィルター”を開発し、特許を取得した。

③外郭施設群を対象とする大規模数値波動水槽の開発

粒子法の計算精度(消波ブロックモデル)と計算速度(可変粒子の導入)を向上するとともに、消波ブロック等透過性構造物の新たなモデル化手法を開発した。

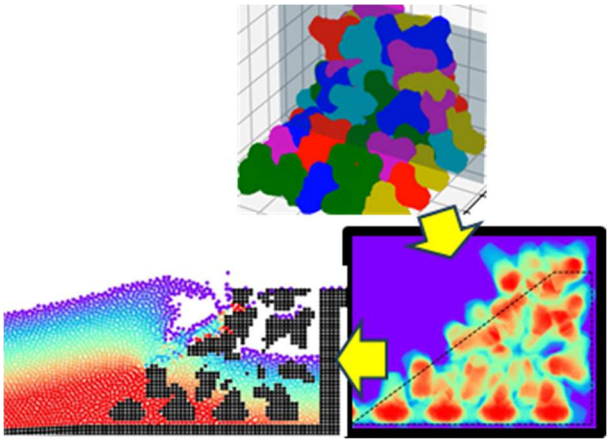


図 1.3.1b-2 ブロックの3次元幾何特性を反映した 2 次元モデル

④マングローブに働く津波波力とその変形に関する研究

マングローブの耐津波安定性を調査するため、現地調査を実施したところ、マングローブ林の地盤強度が多様であり、一律的にマングローブ林の強度を求めることが難しいことが分かった。また、植林されたマングローブ林背後に堆砂効果があることがわかった。

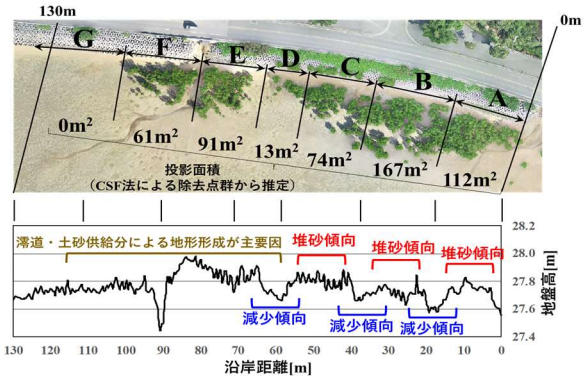


図 1.3.1b-3 マングローブ背後の堆砂状況の把握

⑤港内施設の設計波浪外力の算定法に関する研究

ブシネスクモデルに新たな波圧算定法を導入するとともに、平面模型実験による数値計算の再現性の検証と越波浸水過程の把握，越波浸水対策工の効率的な設計手法の提案を行った。

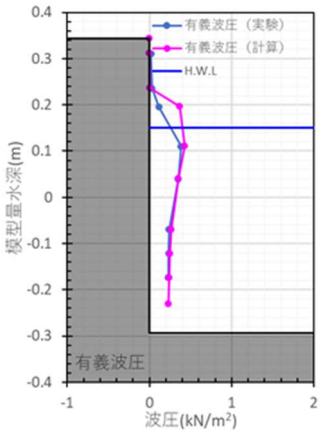


図 1.3.1b-4 港内の岸壁に作用する波圧の鉛直分布をブシネスクモデルで直接算定

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

・阿部洋士，高橋武志，鈴木高二朗，中澤祐飛(2023)：改良型護岸の越波流量低減効果と CADMAS-SURF の再現性の検証，Vol.62, No.3

・高橋武志，鈴木高二朗，関谷勇太，青田徹，小林航，鈴木英樹，錦織和紀郎，松田節男，久保田真一，土橋和敬，下迫健一郎，田所篤博，福永勇介，迫大介，野村大輔(2023)：袋型根固材を用いた着床式洋上風力発電設備の洗掘対策工に関する実験的研究，Vol.62, No.3

□発表論文（英文）：5 編

・Iwamoto, T.、Takagawa, T., Shibayama, T., Esteban, M. & Ma II, M. (2023)：A proposal of a semiempirical method for modifying the atmospheric pressure and wind fields of tropical cyclones, Coastal Engineering Journal 65(3): 418-432.

・Heidarzadeh, M., Iwamoto, T., Sepic, J. & Mulia, I. E. (2023): Normal and reverse storm surges along the coast of Florida during the September 2022 Hurricane Ian: Observations, analysis, and modelling, Ocean Modelling, 185: 1-17.

・Mulia, I. E., Ueda, N., Miyoshi, T., Iwamoto, T. & Heidazadeh, M. (2023): A novel deep learning approach for typhoon-induced storm surge modeling through efficient emulation of wind and pressure fields, Scientific Reports 13(1): 1-15.

・Tsuruta, N., Khayyer, A. and Gotoh, H. (2023): Development of advective dynamic stabilization scheme for ISPH simulations of free-surface fluid flows, Computers & Fluids, Vol. 266, 106048, 2023.

・K. Suzuki, O. Ishizaka, S. Sassa (2023): Large Hydraulic Experiment on the Prevention of Sand Leakage from Caisson Joints in Caisson-type Seawall using Mesh Fiber Force Reducers, Proceedings of ICSE-11.・

□発表論文（和文）：6 編

・小林誠，片山裕之，田村仁，佐藤慎司（2023）：高知県安芸漁港の高波浪来週特性，土木学会論文集，Vol. 79, No.17, 23-17109.

・平山克也，濱野有貴(2023)：岸壁を対象とした越波浸水対策の簡易検討手法に関する考察，土木学会論文集，79 巻，17 号，23-17106.

・阿部洋士，高橋武志，中澤祐飛，鈴木高二朗(2023)：水理模型実験による改良型護岸の越波量低減効果の検証，土木学会論文集，79 巻，17 号，23-17107

・高橋武志，阿部洋士，中澤祐飛，鈴木高二朗(2023)：数値波動水路による改良型護岸の越波量低減効果の再現性に関する考察，土木学会論文集，79 巻，17 号，23-17111

・中澤祐飛，鈴木高二朗，鶴田修己，千田優，新名薫，浅川圭一，政岡和宏(2023)：防波堤堤頭部における

津波に対する洗掘及び堤体の安定性に関する実験的検討，土木学会論文集, 79 巻, 17 号, 23-17045.
・山縣史朗，鈴木高二朗，鶴田修己，中澤祐飛，西ノ園憲人，山口哲也(2023): 津波時の堤体安定性におけるケーソン前面土圧の影響に関する研究，土木学会論文集, 79 巻, 17 号, 23-17124.

□特許（出願、登録）：5 件
・特許（登録）：堤防補強方法（特許第 7440864 号）
・特許（登録）：災害対応型救命衣（特許第 7376872 号）
・特許（登録）：袋詰ユニットの段積み構造（特許第７３０７４４４号）
・特許（出願）：分解安定型フィルター工法および港湾施設の防砂構造（特願 2023-107143）
・特許（登録）：同上（特許第７３３６０９２号）

□表彰（論文賞、その他の表彰）：2 件
・平山克也，濱野有貴(2023)：海岸工学論文賞
・田村仁，川口浩二，岩本匠夢，藤木俊（2023）：土木学会論文賞

□社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：4 件
・1B-212-A: 迅速な施工と高波浪に対する安定性を高めた新工法“袋詰ユニットの段積み構造”が、実施工で使用された。
・1B-212-A: “分解安定型フィルター工法”、“防砂シート引込軽減工法”が港湾局の吸い出し対策技術カタログへ掲載（令和 6 年 3 月）
・TECFORCE として能登半島地震の津波調査派遣要請に対応し、北陸地方整備局の現地での災害調査を支援（令和 6 年 1 月）。
・1B-211-A: 改良型護岸の換算天端高係数などが港湾基準の部分改定に反映された(令和 6 年 4 月 1 日)。

□その他（学会発表、講演等）：4 件
・岩本匠夢，高川智博，柴山知也，Miguel Esteban, Martin Mall(2023):傾度風平行に基づく台風気象場の補正方法の提案，第 70 回海岸工学講演会
・平山克也(2023): 岸壁を対象とした越波浸水対策の簡易検討手法に関する考察，令和 5 年度港湾空港研究シンポジウム, 2024.1.26.
・千田優，森信人(2023): 実地形への運用性向上を目指した漂流物モデルの開発と検証，第 70 回海岸工学講演会
・鶴田修己，Donfang Liang、Abbas Khayyer，後藤仁志(2023): 粒子法における非重合型解像度可変計算のための混合粒径モデルの改良，海岸工学論文集，アブストラクト(3)

研究開発課題	(2)沿岸・海洋環境の形成・保全・活用と脱炭素社会の構築

研究テーマ	①沿岸・海洋環境の形成・保全・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、脱炭素社会への貢献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、港湾・空港整備における脱炭素化に関する研究開発に取り組む。	グリーン社会の実現に向け、生物多様性を持続的に維持するため、干潟・藻場等の沿岸生態系を造成・保全・活用するための研究開発が求められている。また、海岸侵食や航路・泊地の埋没に対応するため、沿岸地形の形成や維持に関する研究開発が求められている。さらに、脱炭素社会の構築が求められていることから、ブルーカーボンや再生可能エネルギーの普及における技術的課題を解決するための研究開発が 求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①沿岸環境の形成・保全や活用に関する研究開発	グリーン社会の実現に向け、生物多様性を持続的に維持するため、干潟・藻場等の沿岸生態系を造成・保全・活用するための研究開発が求められている。また、海岸侵食や航路・泊地の埋没に対応するため、沿岸地形の形成や維持に関する研究開発が求められている。さらに、脱炭素社会の構築が求められていることから、ブルーカーボンや再生可能エネルギーの普及における技術的課題を解決するための研究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沿岸環境の形成・保全や活用に関する研究開発 －沿岸域ビッグデータの活用による海面上昇に伴う海浜地形応答プロセスの検討では、海面上昇による海浜地形応答を明らかにするために、ディープニューラルネットワークによる海浜地形断面変化モデルを用い、複数の海面上昇シナリオに対する疑似地形変化実験を行う。 －水環境生態系モデルの運用手法の標準化では、シミュレーションが幅広く活用されることを目的として、初学者でも操作可能なユーザーインターフェースのプロトタイプの開発を行う。 等

研　究　の　背　景

沿岸・海洋環境の「形成」の視点では、土砂輸送や地形変化の予測計算の大幅な向上が、海岸港湾構造物の設計、維持浚渫、養浜の計画の最適な策定をする上で必要不可欠である。また、沿岸・海洋環境の「保全」において、油や軽石など様々な物質の漂流予測や回収技術の実用化は喫緊の課題であり、一方、水環境生態系モデルは様々あるものの、研究者以外のユーザーは限定的となっているのが実情である。さらに沿岸・海洋環境の「活用」に関して、2018 年省令改正における生物共生型港湾構造物の組み込みや、2022 年末予定の「ブルーインフラ」標準化への打ち出しが求められており、沿岸環境の形成・活用の具体

的な成果が期待される。

研　究　目　標

3 つのサブテーマを設定し、それぞれ以下の目標に向けた研究を実施する。

（1）沿岸・海洋環境の形成：航路泊地埋没や海岸侵食対策における最適化手法開発。実フィールドにおける数値モデルでの対策の効果予測の評価開始、実課題への対策の試験的検討への到達。

（2）沿岸・海洋環境の保全：海洋流出物の回収技術の実用化の到達、水環境生態系モデルの 3 大湾におけるプロトタイプ完成への到達。

（3）沿岸・海洋環境の活用：環境配慮に資する港湾構造物の条件提示、目指すべき環境の数値化及び可視化する技術のプロトタイプ完成への到達。

令和５年度の研究内容

（1）沿岸・海洋環境の形成に関する研究

①沿岸域ビッグデータの活用による海面上昇に伴う海浜地形応答プロセスの検討

・既存データをオープンデータとしての整備を目指したデータ統合・クオリティチェック。

・波崎海洋研究施設において地形観測の高頻度化を目的とした各種計測機器による試験的な実施。

・ディープニューラルネットワークを用いた既存の地形予測モデルを用い、水位上昇に伴った擬似的な地形応答を計算し、過去の水位上昇トレンドから導かれる地形応答と Bruun 則の比較。

・種々のビッグデータをインプットデータに利用するように再構成し、同様の検討を行い、別の因子を介した海面上昇の地形変化への影響についての検討。

②土砂輸送・地形変化シミュレーションの高度化に向けたモニタリングとモデリング

・波崎海洋研究施設における海浜地形モニタリング。インドネシア バリにおける海浜地形・土砂輸送モニタリング。

・国内港湾域におけるフロックの粒子特性・沈降速度モニタリング。フロック粒子特性の外的要因となる水理環境の再現。離岸堤の配置/設計と土砂移動のモデリング。

（2）沿岸・海洋環境の保全に関する研究

①油等海洋流出物の回収及び対応の最終的解決に向けた研究開発

・油回収船に適した革新的油回収装置の提案。油回収機模型実験による回収性能評価。重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発。重油回収システムの実験評価。海上浮遊物の漂流制御技術の提案。装置化の検討。海上浮遊細粒固形物の効率的な回収除去技術の提案。実用システムの提案とまとめ。海洋マイクロプラスチック回収技術の検討。

②水環境生態系モデルの運用手法の標準化

・水環境生態系モデルについて、シミュレーション実施の準備段階と計算条件の設定段階における標準的な指針を作成。並行してユーザーインターフェースの開発を行い、プロトタイプを作成。

（3）沿岸・海洋環境の活用に関する研究

①港湾域の生物モニタリング手法及び評価基軸となる指数の開発

・環境 DNA を用いた・モニタリング手法の開発及びデータベースの充実化。評価基軸となる指数の構築へ向けた方針の検討。

②湾口における大気・海洋環境モニタリングと解析

・大気・海洋モニタリング、解析、中間とりまとめ。

令和５年度の研究成果

（1）沿岸・海洋環境の形成に関する研究

①沿岸域ビッグデータの活用による海面上昇に伴う海浜地形応答プロセスの検討

・Bruun 則の更新につながる予測手法を提案するため、機械学習を応用し、LSTM 層数、隠れユニット数、エポック数の組み合わせ（250 ケース以上）での学習・再現計算を実施したものの、予測結果は学会でも賛否両論あり，再現計算精度の向上が必須課題

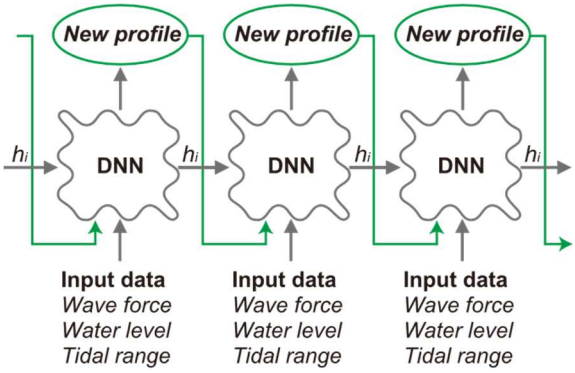


図 1.3.2a-1　地形変化予測 DNN のネットワーク

②土砂輸送・地形変化シミュレーションの高度化に向けたモニタリングとモデリング

・波崎海洋研究施設における海浜地形モニタリングについては、当初の予定通り週に 1 回の頻度での地形観測・流況観測を実施した。（51 回/3 年目標：150 回）

・Patimban 港などの実港湾を対象としたシミュレーションに向けた検討を実施した。

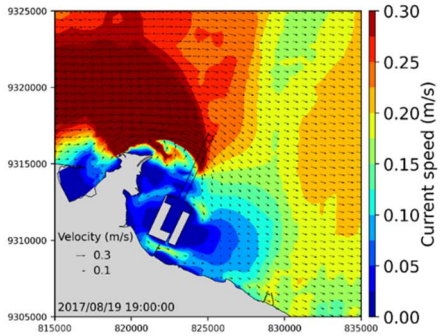


図 1.3.2a-2 パティンバン港潮流計算による流速分布
（大潮；東方流速ピーク時）

（2）沿岸・海洋環境の保全に関する研究

①油等海洋流出物の回収及び対応の最終的解決に向けた研究開発

・沈船からの油の抜き取り作業を対象に、水の加水により O/W エマルションを生成する手法による高粘度油の回収技術について研究開発を実施、界面活性剤を添加することに O/W エマルションが安定化、海技研との分野横断研究を一年延長し開発した技術が適用可能か検討した。

②水環境生態系モデルの運用手法の標準化

開発した「流動生態系シミュレーションモデル（通称 EcoPARI）の社会実装に向けた取組を進めており、2023 年度は、専門的なコマンドや条件入力を、直観的操作や簡易設定を追加するなど、地方整備局やコンサルタントなどで初めてシミュレータに接する初学者も操作可能なユーザーインターフェースの開発や関連 DB の整備に取り組んだ。

その結果、シミュレーション実施の準備段階と計算条件設定段階における入力ファイル作成に係る標準的な指針を作成するとともに、ユーザーインターフェイスプロトタイプを作成し、計算実行部分と図化・

解析等のポスト処理部分に先立ち、条件設定部分を完成させた。

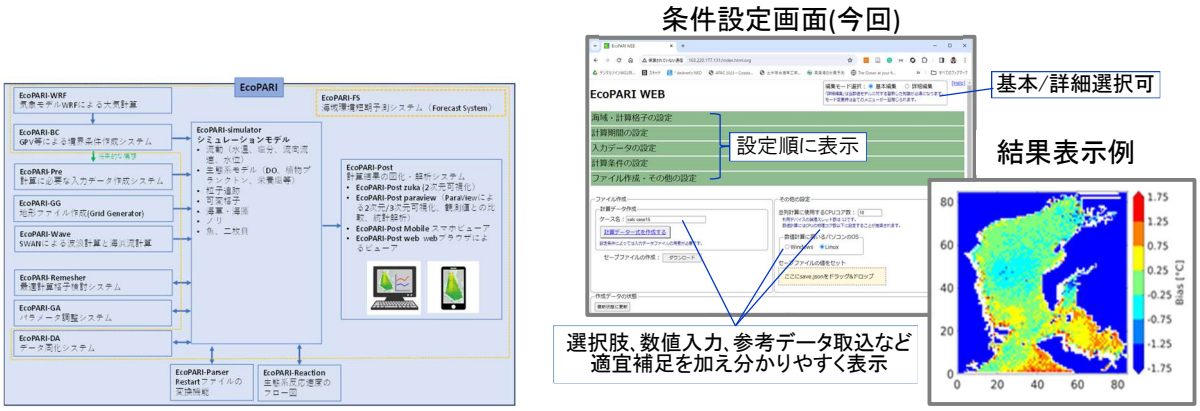


図 1.3.2a-3　水環境生態系シミュレーションインターフェイスの開発(左)と、
初学者向けインターフェイス事例(右)

(3)沿岸・海洋環境の活用に関する研究

①港湾域の生物モニタリング手法及び評価基軸となる指数の開発

・環境 DNA を用いた海草・海藻藻場の分布をより高精度に推定できるデータベースのα版を構築しオープン済み、さらに、生物多様性を診断できる指数を開発した。

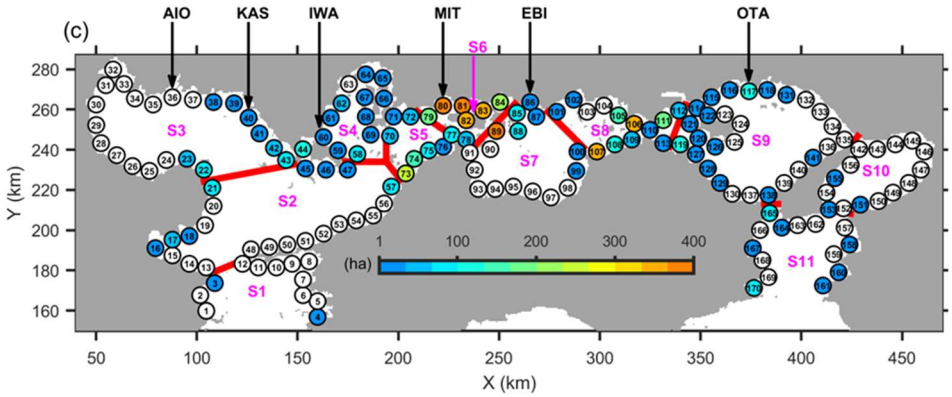


図 1.3.2a-4　遺伝的多様性の診断指数

②湾口における大気・海洋環境モニタリングと解析

・東京湾の海洋観測に関して，SST データ等の多様なデータとの統合により、東京湾では河川よりも外洋の影響の方が強いことや東京湾の水温が黒潮大蛇行に応答していることを提示した。

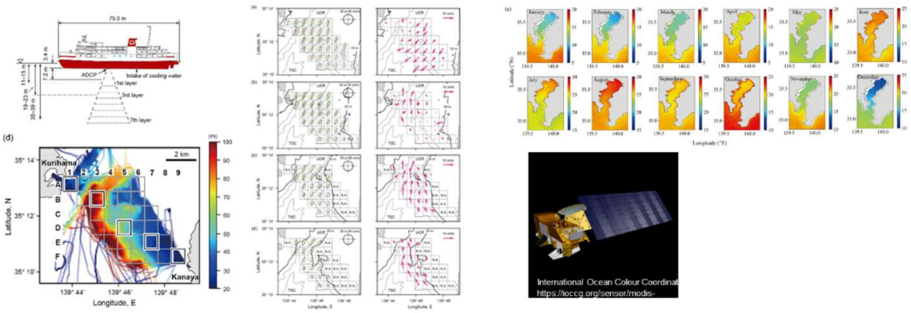


図 1.3.2a-5 東京湾口の海洋モニタリング(左)、SST 解析(右)

・他の研究実施項目（4B-211-D）と協力することで，東京湾ロデータのオープン化を実現した。

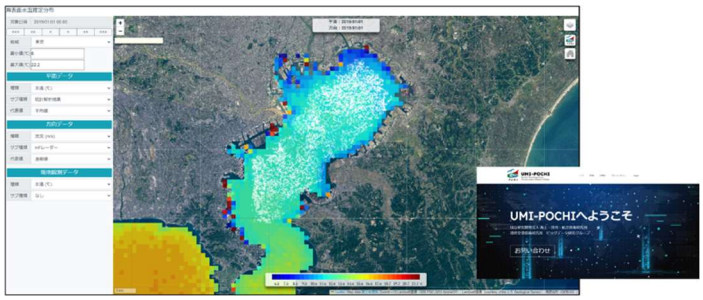


図 1.3.2a-6　東京湾ロデータのオープン化の実現（携帯でも閲覧可能）

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

・大竹　剛史，中川　康之，小砳　大地(2023)：非構造格子を用いた計算手法の土砂輸送解析への導入の試み，港湾空港技術研究所　資料，1411，2023 年 09 月

・井上徹教．(2024)．堆積物表層への鉄剤散布による硫化水素溶出抑制に関する室内実験．港湾空港技術研究所報告，63(1)，3-22.

・井上徹教、藤田勇(2023)、軽石の覆砂材としての利用に関する実験的研究、港湾空港技術研究所報告 62-2

□発表論文（英文）：13 編

・Le, T.H., Nguyen, T.N.Q., Tran, T.X.P.., Nguyen H.Q. et al. Identifying the impact of land use land cover change on streamflow and nitrate load following modelling approach: a case study in the upstream Dong Nai River basin, Vietnam. Environ Sci Pollut Res 30, 68563-68576 (2023). https://doi.org/10.1007/s11356-023-26887-5

・Nguyen, H.Q., Thang, H.N., Banno, M., Van An, N., Viet, T.Q. & Luan, N.T. (2023): Seasonal variations of sediment load related to all large damming in the Red River system: A 64-year analysis. Earth Surface Processes and Landforms, 1-15. Available from: https://doi.org/10.1002/esp.5676

・Seongsik Park, Kyunghoi Kim, Tadashi Hibino, Yusuke Sakai, Taito Furukawa, Kyeongmin Kim (2023): An antifouling redox sensor with a flexible carbon fiber electrode for machine learning-based dissolved oxygen prediction in severely eutrophic waters. Water 15(13) 2467, 2023 年 7 月

・Nguyen Van An, Tran Thi An, Nguyen Hao Quang, Ha Nam Thang and Le Van Thap (2023): Benthic Habitat Mapping and Bathymetry Retrieval in The Shallow Water of Cham Island, Vietnam. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1278, 012038.

・Nguyen Tan Phong, Cu Thi Nuong, Nguyen Hao Quang (2023): Local perceptions of mangrove protection and livelihood improvement in Co-management: Lessons learnt and recommendations, Ocean & Coastal Management, Volume 237, 15 April 2023, 106530

・Hayashi, M., Inoue, T., & Hirokawa, S. (2023). Estimation of changes in nutrient release rate from sediments after tsunami by incubation experiment. Water, 15(11), 2041.

・Mochida, F., Miyatsuji, T., Nakamura, Y., & Inoue, T. (2023). Modeling of Sulfur and Iron Dynamics in Enclosed Bay Sediments and Evaluation of the Suppression Effect on Sulfides Release by Iron. Water, 15(13), 2366.

・Waku, M., Sone, R., Inoue, T., Ishida, T., & Suzuki, T. (2023). Spatial-temporal distribution and interrelationship of sulfur and iron compounds in seabed sediments: A case study in the closed section of Mikawa Bay, Japan. Water, 15(19), 3465.

・Sone, R., Waku, M., Yamada, S., Miyawaki, D., Ishida, T., Kamohara, S., Inoue, T., & Suzuki, T. (2023). Mass Mortality of Asari Clams (Ruditapes philippinarum) Triggered by Wind-Induced Upwelling of Hypoxic Water Masses. Water, 15(22), 3997.

・Hafeez, M. A., Inoue, T., Matsumoto, H., Sato, T., & Matsuzaki, Y. (2024). Application of Building Cube Method to reproduce high-resolution hydrodynamics of a dredged borrow pit in Osaka Bay, Japan. In Proceedings of the 11th International Conference on Asian and Pacific Coasts.
・Hafeez, M. A., & Inoue, T. (2024). Three-dimensional hydrodynamic modelling of saltwater ingression and circulation in a brackish Lake Shinji, Japan. Advances in Water Resources, 184, 104627.
・Matsuzaki, Y., Fujita, I. (2023), OILPARI-a real-time oil transport simulation for marine disaster response: Its functionary, update, and progress toward the next generation, APAC2023, -11.
・Inoue, T.,, Fujita, I. (2023), Application of drifted pumice stone as a sand-capping material, MDPI, Water, https://doi.org/10.3390/w15050942.

□発表論文(和文):6 編
・大竹剛史, 中川康之, 小硲大地, Dinar Catur Istiyanto, Aloysius Bagyo Widagdo(2023):非構造格子モデルによる沿岸域の地形変化計算について, 土木学会論文集, 79 巻, 17 号, 23-17079.
・鈴木 崇之, 藤野 天馬, 林 知希, 伴野 雅之 (2023): 波打ち帯における土壌水分量と微地形変化に関する現地予備調査, 土木学会論文集, 79 巻, 17 号, 23-17080.
・桑田 拓真, 武若 聡, 伴野 雅之 (2023):電波式流速計による沿岸流連続観測の試み,土木学会論文集, 79 巻, 17 号, 23-17189.
・伴野雅之 (2023):長期観測データを用いた気候変動による海浜地形変化予測, 混相流, 37(4), 384-391.
・比嘉紘士, 中村聖美, 林宏樹, 岡田輝久, 井上徹教, 中村由行, 鈴木崇之. (2023). 東京湾における水底間の硫化物・鉄・マンガン循環に関する現地観測及び生態系モデル解析. 土木学会論文集, 79 巻, 17 号, 23-17143.
・乳原材, 内山雄介, 小硲大地, 細川真也(2023)マルコフ連鎖に基づく瀬戸内海アマモ場の多世代コネクティビティ解析. 土木学会論文集, 79 巻, 17 号, 23-17136.

□特許(出願、登録):2 件
・特許(出願):鉄イオン供給装置及び鉄イオン供給方法(特願 2023-202612)
・特許(登録):底質からの硫化水素発生抑制方法(特許第 7284651 号)

□表彰(論文賞、その他の表彰):2 件
・松崎義孝, 井上徹教(2023):日本港湾協会論文賞
・本間翔太(2023):国土技術研究会, イノベーション I 部門, 最優秀賞

□社会実装(現場や基準等に反映された研究成果等):3 件
・静岡県が行う「令和 5 年度スルガベイ・シミュレータを活用した研究支援」で活用された。
参考:https://www.pref.shizuoka.jp/kurashikankyo/kankyo/1053555/1054816/index.html
・UMI-POCHI を通じた生物多様性データ等のオープン化
・UMI-POCHI を通じたフェリーデータのオープン化

□その他(学会発表、講演等):24 件
・伴野雅之:海浜地形の長期モニタリングの意義と展望, 海洋調査技術学会, 2023 年 11 月 8 日, 東京海洋大学.
・K. Kim, Y. Nakagawa, T. Hibino, T. Nishimoto, K. Ajiki. A fuel cell type sensor for continuous monitoring of seabed deposition and erosion. 17th International Conference on Cohesive Sediment Transport Processes 2023 年 9 月
・K. Sakata, Y. Nakagawa, M. Iwanami(2023): Practical prediction method of nautical depths in muddy areas. 17th International Conference on Cohesive Sediment Transport Processes 2023 年 9 月

・K. Yamamoto, S. Stinko, N. Basir, Y. Nakagawa, K. Murakami, H. Shirouzu (2023): In Situ Resuspension and Sedimentation Characteristics of Tropical Peat Sediments in Bengkalis Island. 17th International Conference on Cohesive Sediment Transport Processes 2023 年 9 月
・Kim Kyeongmin, 中川康之, 日比野忠史, 西本高志, 阿式邦弘. 電気化学センサーを用いた海底堆積物の動態監視システムの開発と応用. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 2023 年 11 月
・Masayuki Banno: 37-year beach profile monitoring in Japan and prediction, WBR seminar, 2023 年 5 月 17 日, Swansea University.
・伴野雅之・栗山善昭 (2023): ディープラーニングによって Bruun 則に関する新たな洞察を得る, 海岸工学講演会
・井上徹教, 内藤了二, 大窪修一. (2023). 鉄材による底質改善について. HEDORO, 143, 12-17.
・Inoue, T. (2023). Short-term variation in benthic phosphorus transfer due to discontinuous aeration/oxygenation operation. WYSS2023.
・井上徹教. (2023). 破砕した軽石の覆砂材としての効果. 日本陸水学会第87回大分大会, O-C02.
・井上徹教, & 萩野裕基. (2023). 鉄による堆積物からの硫化水素溶出抑制. 第 60 回環境工学研究フォーラム講演集, 9.
・松崎義孝、井上徹教、内藤大輔、アンサンブルカルマンフィルタによる水圏生態系モデルのデータ同化システムの開発 、第 60 回環境工学研究フォーラム講演集
・松崎義孝、井上徹教、松本大輝、久保田雅也、伊勢湾の海洋レーダー観測値による数値シミュレーションの流向流速の定量的評価、第70回海岸工学講演会
・松崎 義孝、水環境総合評価システムによる水環境評価のための標準化プラットフォーム構築、JHPCN: 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 15 回 シンポジウム
・松本 大輝, Muhammad Ali Hafeez, 井上 徹教, 佐藤 朋之, 松崎 義孝, 流動が大阪湾のくぼ地の水質に与える影響について, 第 60 回環境工学研究フォーラム
・松崎義孝、流動生態系シミュレーションシステムによる水環境評価のための標準化プラットフォーム構築に向けた JHPCN の活動 、スーパーコンピューティングジャパン2024、2024 年 （招待講演）
・井上徹教. (2024). 流動生態系シミュレーションシステム EcoPARI 開発に関する港空研の取り組み. 防災と水環境研究の最前線.
・本間翔太, 細川真也, 大倉翔太 (2023) 環境 DNA を用いた魚類多様性評価一現場実装への期待一, 国土技術研究会
・大倉翔太, 細川真也, 本間翔太 (2023) 伊豆大島南西部を通る外洋水波及による東京湾の水温変動, 土木学会第 79 回年次学術講演会
・井上徹教, 末岡一男, 森澤友博(2023) 淺井貴恵, 玉上和範, 堆積物中のマイクロプラスチック分別を目的とした基礎実験, 第 26 回日本水環境学会シンポジウム講演集, 269.
・Fujita,I. (2023), Technical notes on Fundamental Experiments of Firefighting using Bubble Curtain and Underwater Dispersion for Oil Burning on Water Surface, engrXiv, https://doi.org/10.31224/3216.
・増田、藤田(2023)、油流出事故への備え、雑誌港湾、2023-11.
・藤田、馬、小野、城田(2023)、(解説)海上・港湾・航空技術研究所における油濁対策研究開発一洋上と沈船からの油回収技術、日本マリンエンジニアリング学会誌、vol.58、No.6 2023
・Xiao Ma, Isamu Fujita, Masao Ono(2023), Study on Pressure Loss Reduction due to Surfactant Addition in C Heavy Oil-Water Pipeline Along with Forced Agitatio, 11th International Conference on Multiphase Flow, ICMF 2023, Kobe, Japan, April 2-7, 2023

研究開発課題	(2)沿岸・海洋環境の形成・保全・活用と脱炭素社会の構築

研究テーマ	②脱炭素社会構築を支援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
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、脱炭素社会への貢献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、港湾・空港整備における脱炭素化に関する研究開発に取り組む。	グリーン社会の実現に向け、生物多様性を持続的に維持するため、干潟・藻場等の沿岸生態系を造成・保全・活用するための研究開発が求められている。また、海岸侵食や航路・泊地の埋没に対応するため、沿岸地形の形成や維持に関する研究開発が求められている。さらに、脱炭素社会の構築が求められていることから、ブルーカーボンや再生可能エネルギーの普及における技術的課題を解決するための研究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脱炭素社会構築を支援する技術に関する研究開発	グリーン社会の実現に向け、生物多様性を持続的に維持するため、干潟・藻場等の沿岸生態系を造成・保全・活用するための研究開発が求められている。また、海岸侵食や航路・泊地の埋没に対応するため、沿岸地形の形成や維持に関する研究開発が求められている。さらに、脱炭素社会の構築が求められていることから、ブルーカーボンや再生可能エネルギーの普及における技術的課題を解決するための研究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脱炭素社会構築を支援する技術に関する研究開発 －港湾区域内のブルーカーボン生態系の分布・生息状況に関する現地観測を行い、港湾内外の構造物を対象としたドローンによるブルーカーボンの計測手法を開発する。 －防波堤を対象に各工種におけるCO_2排出量簡易推定手法を構築し、副産物を大量使用した港湾用低炭素コンクリートを開発する。 等

研究の背景

気候変動の社会経済活動への影響が生じており、温室効果ガスの排出削減に向けた国際的な機運が急速に拡大している中、我が国でも脱炭素社会(2050 年カーボンニュートラル宣言)の実現を目指し、積極的に温暖化対策を行うことが求められている。このような背景から、ブルーカーボン生態系の各種利活用技術や洋上風力発電の高度解析技術などのような港湾や沿岸域において脱炭素化等によりグリーン社会の実現を目指すための技術研究開発を推進する。

研究目標

港湾や沿岸域において脱炭素社会の構築を支援するための技術を開発する。このため、カーボンニュートラルに資する環境技術(ブルーカーボン、ブルーインフラなどに関連する技術)の開発と、クリーンエネルギー利用を支援する海洋関連技術(洋上風力などの海洋再生可能エネルギー発電に関連する技術)の開発を進

める。

令和５年度の研究内容

（1）カーボンニュートラルに資する環境技術に関する研究

①脱炭素化に向けた CO2 吸収能力を高める浅場造成手法の検討

グリーンレーザー搭載ドローンを用いたブルーカーボンの計測手法の開発を進め、藻場面積の全国推計モデルについて検討するとともに、ブルーカーボン生態系の堆積物が CO2 収支に与える影響に関する現地調査を行った。

②グリーングレーハイブリッドインフラ適用のためのグレー部材への海生生物着生手法の実験的検討

型枠に都市モデルを用いた新たな藻類生育基盤を創出するとともに、凸型および凹型の表面形状を有する 2t 型消波ブロックを製造して載荷試験を実施した。

③港湾工事の脱炭素化に向けた興和構造物の CO2 指向型設計手法と低炭素材料の開発

防波堤を対象とした CO2 排出量の簡易推定手法の構築と CO2 指向型設計法の検討を実施するとともに、副産物等を活用した CO2 排出量の大幅削減可能な港湾用低炭素コンクリートを開発した。

（2）クリーンエネルギー利用を支援する海洋関連技術に関する研究

①洋上風力発電施設等の風・波・地震連成解析手法の開発

着床式洋上風力発電施設に対して風・波・地震動の 3 外力を同時に考慮可能な数値解析ツールを開発するとともに、遠心模型実験装置を風と波と地震動の同時作用状況を再現できるように改良した。

令和５年度の研究成果

（1）カーボンニュートラルに資する環境技術に関する研究

①脱炭素化に向けた CO2 吸収能力を高める浅場造成手法の検討

グリーンレーザー搭載ドローンによる港湾内外の構造物や自然生息域を対象とした藻場計測を実施し、ブルーカーボンの計測手法の開発を進めた（図 1.3.2b-1）。

また、環境データの充実した重要港湾等の港湾区域内における藻場マップを作成して、藻場面積の全国推計モデルを開発し、GHG インベントリや J ブルークレジット算定に用いる吸収係数や方法論について検討した。さらに、自然生態系においてブルーカーボン生態系の堆積物が CO2 収支に与える影響に関する現地調査を行って、調査データを分析した（図 1.3.2b-2）。

なお、海藻藻場における温室効果ガス排出・吸収量（GHG インベントリ）の報告は世界初であった。

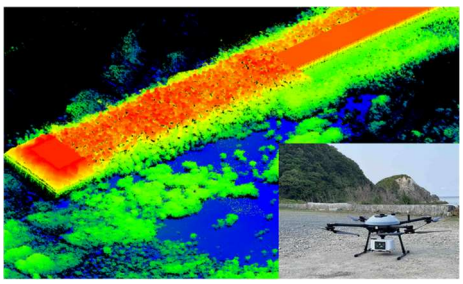


図 1.3.2b-1 グリーンレーザー搭載ドローンによる港湾構造物周りの藻場計測

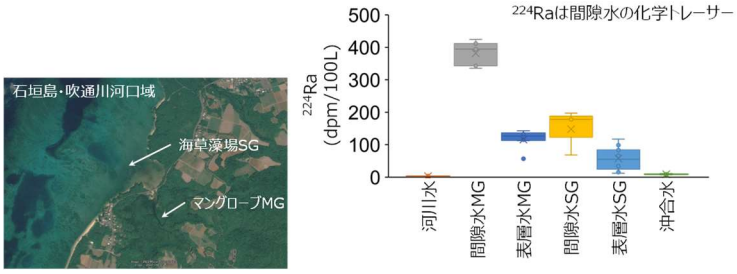


図 1.3.2b-2 ブルーカーボン生態系の堆積物による CO2 収支への影響に関する調査

②グリーングレーハイブリッドインフラ適用のためのグレー部材への海生生物着生手法の実験的検討

グレーインフラ表面の凸形状がアラメ系藻類の付着に効果的という知見を活用し、型枠に都市モデルを用いた新たな藻類生育基盤を創出した（図 1.3.2b-3、図 1.3.2b-4）。また、凸型および凹型の表面形状を有する 2t 型消波ブロックを製造して載荷試験を行い、必要強度を確保すれば通常の消波ブロックの耐荷力と変わらないことを確認した。これらの消波ブロックは、実海域に設置して暴露を開始しており、

藻類付着状況をモニタリングしてく予定である。

図 1.3.2b-3　各種基盤の実海域付着実験

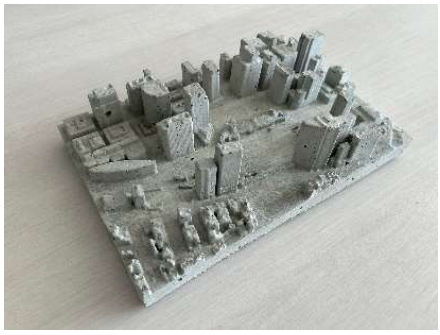


図 1.3.2b-4　都市モデルを用いた基盤

③港湾工事の脱炭素化に向けた港湾構造物の CO2 指向型設計手法と低炭素材料の開発

防波堤のエンボディードカーボンおよびアップフロントカーボンの比較評価を行い、防波堤における建設時 CO2 排出量の傾向について分析し、防波堤を対象とした CO2 排出量の簡易推定手法の構築と CO2 指向型設計法の検討を実施した。

また、副産物等を活用した CO2 排出量の大幅削減可能な港湾用低炭素コンクリートを開発し、港湾構造物としての適用性評価を行った（図 1.3.2b-5、図 1.3.2b-6）。

図 1.3.2b-5　低炭素コンクリートで作製した 2t 消波ブロック

図 1.3.2b-6　消波ブロックの載荷試験

（2）クリーンエネルギー利用を支援する海洋関連技術に関する研究

①洋上風力発電施設等の風・波・地震連成解析手法の開発

着床式洋上風力発電施設の数値解析ツールに、これまでに取り扱いのなかった地震力作用や地盤と構造物の線形相互作用効果を導入して、風・波・地震動の 3 外力を同時に考慮可能な数値解析ツールを開発し、地震力の与え方等に関する感度分析を行った（図 1.3.2b-7）。

また、遠心模型実験装置について、既存の振動台に風洞装置や造波装置を新規追加することにより、風と波と地震動の同時作用状況を再現できるように改良し、動作確認を含めた予備実験を実施した（図 1.3.2b-8）。

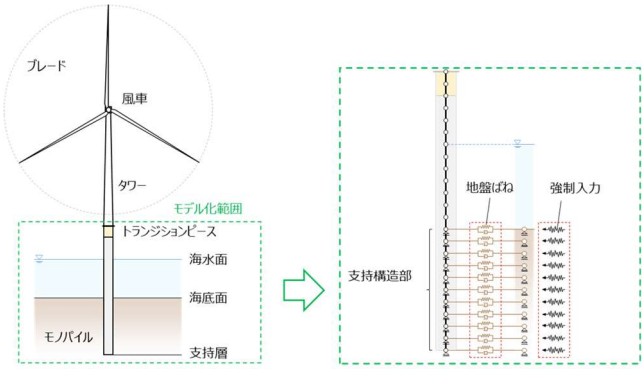


図 1.3.2b-7 地震力を考慮した洋上風車応答解析モデル

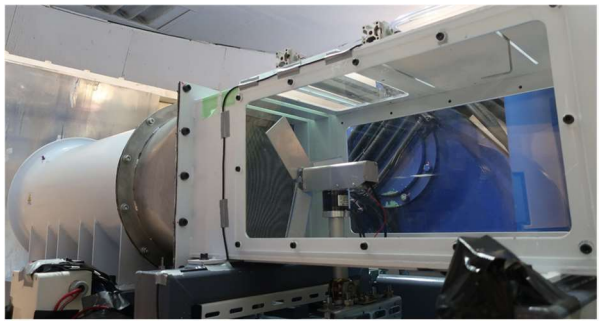


図 1.3.2b-8 遠心模型実験装置の一部（風洞装置）

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（英文）：4 編

・Moki, H., K. Yanagita, K. Kondo, and T. Kuwae (2023): Projections of Changes in the Global Distribution of Shallow Water Ecosystems Through 2100 Due to Climate Change, PLOS Climate, 2: e0000298.

・Ross, F. W. R., P. W. Boyd, K. Filbee-Dexter, K. Watanabe, A. Ortega, D. Krause-Jensen, C. Lovelock, C. F. A. Sondak, L. T. Bach, C. M. Duarte, O. Serrano, J. Beardall, P. Tarbuck, and P. I. Macreadie (2023): Potential Role of Seaweeds in Climate Change Mitigation, Science of the Total Environment, 885: 163699.

・Nakamura, W., P. T. Naing, K. Watanabe, T. Tokoro, K. Gempei, T. Endo, T. Kuwae, and J. Sasaki (2024): Changes in DIC/TA Ratio by Tidal Asymmetry Control pCO2 Over a Spring-Neap Tidal Cycle in a Subtropical Mangrove Forest in Japan, Geochemical Journal, 58(1): 28-45.

・Lønborg, C., C. Carreira, G. Abril, S. Agustí, V. Amaral, A. Andersson, J. Arístegui, P. Bhadury, M. B. Bif, A. V. Borges, S. Bouillon, M. L. Calleja, L. C. Cotovicz Jr., S. Cozzi, M. Doval, C. M. Duarte, B. Eyre, C. G. Fichot, E. E. García-Martín, A. Garzon-Garcia, M. Giani, R. Gonçalves-Araujo, R. Gruber, D. A. Hansell, F. Hashihama, D. He, J. M. Holding, W. R. Hunter, J. S. P. Ibánhez, V. Ibello, S. Jiang, G. Kim, K. Klun, P. Kowalczuk, A. Kubo, C.-W. Lee, C. B. Lopes, F. Maggioni, P. Magni, C. Marrase, P. Martin, S. L. McCallister, R. McCallum, P. M. Medeiros, X. A. G. Morán, F. E. Muller-Karger, A. Myers-Pigg, M. Norli, J. M. Oakes, H. Osterholz, H. Park, M. L. Paulsen, J. A. Rosentreter, J. D. Ross, D. Rueda-Roa, C. Santinelli, Y. Shen, E. Teira, T. Tinta, G. Uher, M. Wakita, N. Ward, K. Watanabe, Y. Xin, Y. Yamashita, L. Yang, J. Yeo, H. Yuan, Q. Zheng, and X. A. Álvarez-Salgado (2024): A Global Database of Dissolved Organic Matter (DOM) Concentration Measurements in Coastal Waters (CoastDOM v1), Earth System Science Data, 16(2): 1107-1119.

□発表論文（和文）：5 編

・竹山佳奈、中村由行、桑江朝比呂、鈴木伸也、鳥羽幸太郎、田中浩輝、山本晃久、風呂田利夫（2023）：多摩川河口域における橋梁建設工事や大規模出水が河口域生態系へ与えるインパクト、土木学会論文集（海洋開発）、79 巻，18 号，23-18005.

・竹山佳奈、桑江朝比呂、中村由行、鈴木伸也、鳥羽幸太郎、田中浩輝、山本晃久、風呂田利夫（2023）：多摩川河口域における橋梁工事に伴う干潟保全措置とその効果、土木学会論文集（海洋開発）、79 巻，18 号，23-18004.

・山下真奈、川端雄一郎、中村菫、岡部晃（2023）：CO2 排出量の観点からの岸壁における構造形式の選定に関する一考察、土木学会論文集（海洋開発）、79 巻，18 号，23-18065.

・中村菫、川端雄一郎、森川忠泰、石澤武紘、木村匡伯（2023）：鉄鋼スラグ水和固化体の護岸ブロックへの適用による CO2 排出量削減効果に関する一検討、土木学会論文集（海洋開発）、79 巻，18 号，23-18044.
・榊原繁樹、砂原俊之、米山治男、大矢陽介、千田優、小濱英司、髙川智博、加島寛章、久保雅義（2023）：係留船を考慮した係留施設の性能照査に関する一考察、日本航海学会講演予稿集、Vol.11、No.2.

□特許（出願、登録）：0 件

□表彰（論文賞、その他の表彰）：0 件

□社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：2 件
・港湾工事の脱炭素化に向けた港湾構造物の CO2 指向型設計手法と、低炭素材料の開発における低炭素型材料の活用マニュアルの作成に関連し、低炭素型材料を活用する試行工事（令和 5 年度鹿島港外港地区南防波堤築造工事、高炉セメント C 種相当品の使用）が実施された（令和 5 年 12 月プレス発表）。
・港湾工事の脱炭素化に向けた港湾構造物の CO2 指向型設計手法と、低炭素材料の開発における低炭素型材料の活用マニュアルの作成に関連し、低炭素型材料を活用する試行工事（令和 5 年度東京湾中央航路東側護岸他付帯工事、鉄鋼スラグ水和固化体の使用）が実施された（令和 5 年 12 月プレス発表）。

□その他（学会発表、講演等）：14 件
・Kuwae, T., G. Yoshida, M. Hori, K. Watanabe, T. Tanaya, T. Okada, Y. Umezawa, and J. Sasaki (2023): Nationwide Estimate of the Annual Uptake of Atmospheric Carbon Dioxide by Shallow Coastal Ecosystems in Japan, Journal of JSCE, 11: 23-00139.
・茂木博匡、柳田圭悟、近藤桂一、桑江朝比呂（2023）：全球における浅海生態系面積変化の将来予測、海洋理工学会 2023 年度秋季大会、福岡、A10.
・百田恭輔、渡邉裕基、佐藤允昭、渡辺謙太、細川真也（2023）：海水温上昇によるアマモの栄養株の消長および種子発芽への影響の実験的予測、第 39 回個体群生態学会、北海道、P-33.
・源平慶、渡辺謙太、棚谷灯子、伴野雅之、茂木博匡、吉田光寿、桑江朝比呂（2023）：沿岸生態系を対象とした UAV 搭載のグリーンレーザースキャナによる観測手法の検討、日本沿岸域学会令和 5 年度全国大会、新潟、10-4.
・中村航、土屋考人、宮島利宏、宮入陽介、横山祐典、渡辺謙太、源平慶、桑江朝比呂、佐々木淳（2023）：Inorganic Carbon Cycle in Mangrove Soils and Possibility for Assimilation of Outwelled Mangrove Carbon in Seagrass and Coral Ecosystems、日本地球惑星科学連合 2023 年大会、千葉、ACG41-09.
・渡辺謙太、所立樹、茂木博匡、桑江朝比呂（2023）：人間活動の影響を受けた沿岸域の pCO2 および DOC 変動に養殖海藻・天然藻場が与える影響、日本地球惑星科学連合 2023 年大会、千葉、ACG41-06.
・桑江朝比呂、伴野雅之、所立樹、吉田光寿、源平慶、渡辺謙太、棚谷灯子、茂木博匡（2024）：二種類のブルーカーボンドローン開発：グリーンレーザードローンと渦相関ドローン、日本生態学会第 71 回大会、横浜、S18-3.
・川端雄一郎、中村菫（2023）：高炉スラグ微粉末を大量使用したコンクリートの港湾の無筋ブロックへの適用性に関する検討、令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会、V-236.
・中平達也、川端雄一郎、中村菫（2023）：桟橋の建設工事における CO2 排出量の傾向分析、令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会、II-188.
・辰巳大介、坂田憲治、川端雄一郎、中村菫（2023）：工事発注段階の情報に基づく港湾工事における二酸化炭素排出量の全国推計、国土技術政策総合研究所資料、No.1249.
・川端雄一郎（2023）：港湾施設の建設時の脱炭素化に向けた検討、建設コンサルタンツ協会・港湾専門委員会講演会.
・加島寛章、高橋英紀、大矢陽介、米山治男（2023）：地震力を導入した OpenFAST による洋上風車応答の感

度分析、第 45 回風力エネルギー利用シンポジウム、pp.230-233.
・田村仁、加島寛章、吉村淳、高橋孝介、福井真(2023):日本沿岸を空間分解能 1km で解像する長期波浪推算プロダクト、第 45 回風力エネルギー利用シンポジウム、pp.41-44.
・吉村淳、田村仁、加島寛章、高橋孝介(2023):気象海象観測のための小型海象ブイ性能検証、第 45 回風力エネルギー利用シンポジウム、pp.65-67.

研究開発課題	(3)経済と社会を支える港湾・空港の形成

研究テーマ	①インフラ整備に関する研究開発

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・空港の機能強化を含むインフラ整備の高度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、これまで行ってきた長寿命化に資する対策に加えて、インフラの高度利用に関する研究開発に取り組む。	過去に整備されたインフラの老朽化が進む中、予防保全への本格転換による効率的かつ効果的な維持管理を実施していく必要があるとともに、インフラの長寿命化や既存インフラの有効活用等の取組が求められている。また、インフラ整備のより一層の効率化のために調査から施工までを含めた整備手法の高度化が必要不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①インフラ整備に関する研究開発	過去に整備されたインフラの老朽化が進む中、予防保全への本格転換による効率的かつ効果的な維持管理を実施していく必要があるとともに、インフラの長寿命化や既存インフラの有効活用等の取組が求められている。また、インフラ整備のより一層の効率化のために調査から施工までを含めた整備手法の高度化が必要不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①インフラ整備に関する研究開発 －各種試験による鉱滓の基本的な材料特性の把握および鉱滓の循環利用特有の課題の整理を行う。 －統計的手法による沿岸波浪計データの分析および機械学習による沿岸波浪データの推定方法の検討を行う。 等

研究の背景

SDGs アクションプラン 2023 の重点項目の一つとして「持続可能で強靭な国土と質の高いインフラの整備」が挙げられている。また、国の活力の源である我が国産業の国際競争力を確保するためには、今後も国民生活を支える港湾・空港等のインフラを整備してゆく必要がある。一方、我が国は厳しい経済状況や少子高齢化といった社会的条件下にある。この制約の下で効率的かつ効果的にインフラを整備してゆくためには、省力化、コスト縮減に対する取組みが求められる。このような要求への対応として、基礎地盤の特性、施設の構造特性、作用外力およびこれらの相互作用を精度良く評価し、安全上の余裕代の高精度化といった設計法の合理化が必要である。合わせて環境負荷低減に対する配慮が必要である。

研究目標

本研究テーマでは、経済性の向上や環境負荷低減に配慮しつつ効率的かつ効果的な港湾・空港施設を整備するための技術の研究開発を目標とし、①設計法の合理化、②構造，施工の高度化といった課題に対する研究を行う。具体的には、①取得データの蓄積及び分析による計測データの信頼性向上、新しい計測技術や蓄積データを活用した新しい解析手法や予測手法の開発と設計法の高精度化、および②リサイクル材を含む新素材を用いた部材や構造の検討，環境保全や安全性に配慮した施設整備の施工管理方法の検討が考えられる。

令和５年度の研究内容

（1）インフラ施設整備の合理化に関する研究

①海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性及び波浪情報提供に関する検討

波浪観測データの解析および波浪特性の検討について、波浪観測データの解析、波浪スペクトル情報整備に向けた検討、ナウファスシステム処理の高度化に関する検討を行った。また、新たな波浪観測技術について RTK 測位技術を用いた小型波浪ブイの開発を進捗させた。加えて4K カメラ画像による波浪推定法を新規検討項目として追加し、開発を開始した。

②離島港湾の静穏度向上策（→静穏度評価）に関する研究

内地港湾を想定した荷役稼働率は特定の船舶のみが利用する離島港湾の利用実態を反映していない。また、離島港湾の岸壁は外郭施設による港内静穏度の確保が十分でないことが多いため、内地港湾のように一方向波ではなく、多方向波に対する係留船舶の荷役限界波高の算定が必要となる。このことから、内地港湾の岸壁の荷役限界波高との違いを明らかにし、離島航路の状況、利用実態に即した離島港湾の静穏度評価及び荷役稼働率の算定方法を検討した。

③波浪観測ネットワークを用いた沿岸波浪監視の信頼性向上に関する研究

沿岸波浪計では高波浪時に欠測が生じる等の問題を抱えており、既存の波浪観測網を利用したより信頼性の高い波浪情報の提供が求められている。このことから波浪変形の観点、統計的手法及び機械学習などを用いた分析により、GPS 波浪計と沿岸波浪計の関係性を整理するとともに、GPS 波浪計での観測値から沿岸波浪計の欠測値を補完する手法について検討を行った。

④大規模造成地盤の力学特性と長期変形特性の評価

沈下計測と補修計画とを一体化した長期維持管理システムの構築を目的として、ボーリングによる新規地盤情報に既存の情報を加えてデータベース化するとともに、沈下計測結果を整理し、空間だけでなく経年変化についてもデータベースの整備を行った。次いでこれらの情報を用いた三次元モデル作成手法の検討に着手した。

⑤電気浸透脱水を用いた浚渫土の減容化に関する研究

新しい浚渫土砂処分への対応策の開発を目的として、電気浸透脱水による浚渫土砂減容化手法の開発を行った。具体的には、電気浸透の仕様と圧密脱水量の関係といった基礎的研究から、新しい電極の開発など現地適用を想定した検討も実施した。加えて、浚渫土砂の減容化以外の地盤工学的課題への電気浸透現象の適用性の検討を行った。

（2）インフラ構造材料の高機能化に関する研究

①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

桟橋の性能は残留変位や部材の曲率で規定されており、実際的な使用可否・修復可否に基づく規定となっておらず、桟橋の構造部材の性能を最大限発揮させるような効率的な施設設計ができないのが実状である。このことから、桟橋構造全体の破壊過程を把握し、桟橋の実際的な使用可否、修復可否を判断する方法を提示することを目的として、桟橋の性能照査方法の再構築のための検討を行った。

②打撃応答特性を利用した杭の施工管理手法の確立

杭の施工管理は、杭の貫入量計測をもとにしたハイリー式に基づくものが一般に利用されているが、その結果にはばらつきが多く、計測には打撃中の杭直下に人が立ち入る必要があることから、正確性・安全性の両面において合理的な手法とは言い難い。このことから、新しい杭の施工管理手法（杭−やっとこ連成モデル）の確立、提案を目的として，模型実験及び数値解析を実施した。

③鉱滓の地盤材料としての循環利用に関する研究

港湾施設の再整備において掘削土砂の一部として鉱滓が回収される例が見られる。使用された経緯や使用材料の詳細がはっきりしない場合、このような鉱滓は廃棄物として取扱うほかない。発生土の有効活用の観点から，鉱滓を循環利用する上で設計に必要な指標、考え方を提示するために、鉱滓の循環利用シナリオの作成および技術課題の整理および鉱滓の基本的な物理化学・力学特性の検討を行った。

令和５年度の研究成果

（1）インフラ施設整備の合理化に関する研究

①海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性及び波浪情報提供に関する検討

波浪観測データの解析および波浪特性の検討について、波浪特性の分析および顕著な海象事例の解析を行うとともに、波浪スペクトル情報の実務導入を想定した問題点・課題を整理、試計算を実施した．加えてナウファスシステム処理の高度化に向けて伝達関数の検討や観測データの品質チェックの項目と発生頻度の分析を行った。新たな波浪観測技術については、GNSS センサーを載せた小型ブイ実験と給電基盤の開発、4K カメラ画像による波浪推定法開発の準備として既存カメラ映像に基づく波浪統計量推定の検証を行った。

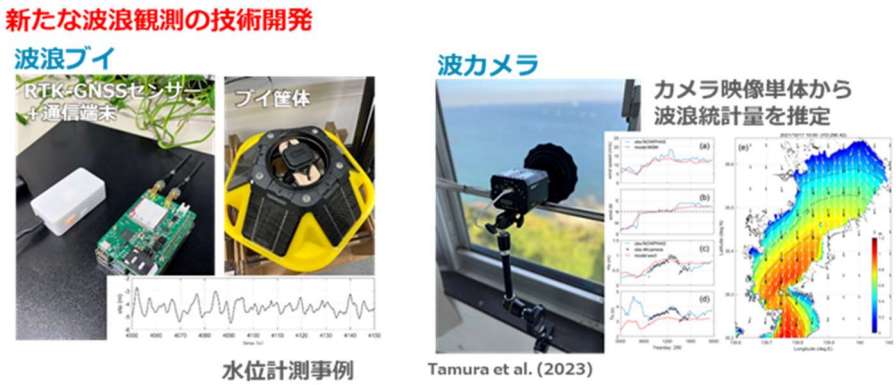


図 1.3.3a-1 小型ブイおよび 4K カメラによる波浪観測

②離島港湾の静穏度向上策（→静穏度評価）に関する研究

内地港湾の岸壁における係留船舶を想定した一方向波に対する荷役限界波高との違いを明らかにし、離島港湾の岸壁における波浪場の特性を踏まえた荷役稼働率を算定するとともに多方向波に対する荷役限界波高、岸壁の利用実態（ニーズ）に即した荷役稼働率の算定方法等を提案した．

なお、単一成分波近似法が「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説（令和2年3月版）」において、波浪荷重の算定に用いる CADMAS-SURF/2D による計算負荷の軽減方法として紹介されていることから、そのフォローアップとして NOWT-PARI との接続計算プログラムを提供（公開）する予定である。

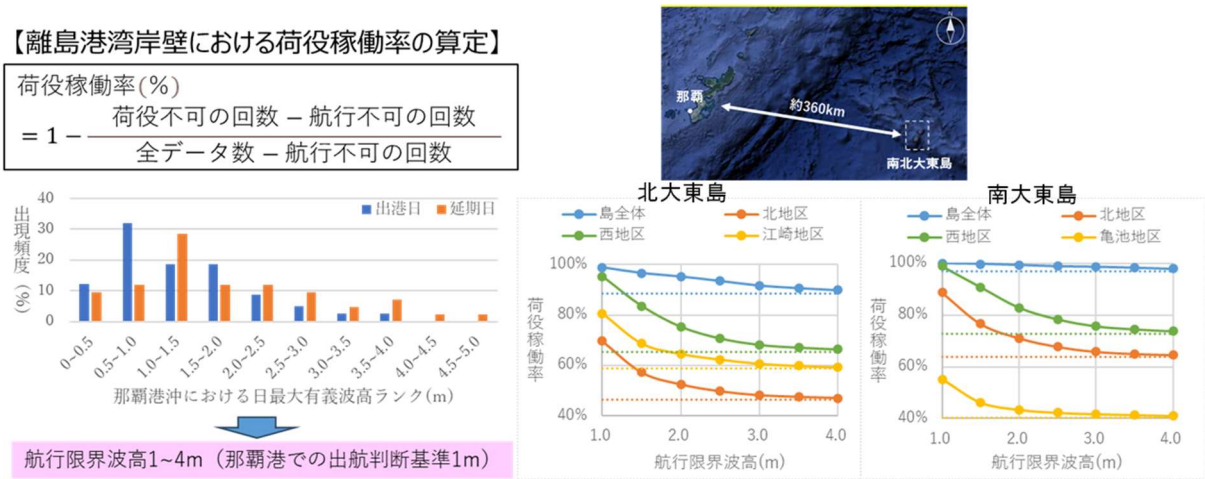


図 1.3.3a-2 離島港湾での荷役稼働率の算定方法の提案

③波浪観測ネットワークを用いた沿岸波浪監視の信頼性向上に関する研究

沖合の GPS 波浪計での観測値から岸側の GPS 波浪計での観測値から沿岸波浪計の欠測値を補完する手法について、波浪観測結果、波浪推算結果に対して相関解析、主成分分析等の統計的手法による検討を行い、沿岸波浪計の欠測値補完で必要となる GPS 波浪計地点を整理した。統計的手法による補完方法について一定の成果が得られたことから、機械学習による補完方法の検討に着手した。加えて、設計で新たに導入された準沖波の設定方法のフォローアップとして、準沖波から沖波を逆推定する簡易手法を組み込んだシステムを HP 上で公開した。

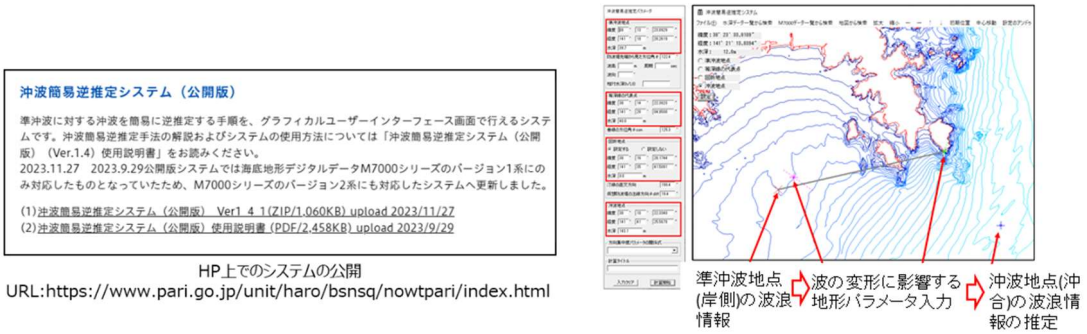


図 1.3.3a-3　沖波簡易逆推定システム

④大規模造成地盤の力学特性と長期変形特性の評価

羽田空港 D 滑走路をモデルケースに、施工時の土質調査結果を入手し、沈下予測に必要なデータベースに格納する土質パラメータを抽出し、地盤パラメータの三次元地盤モデル用のデータベースを整備した。また、複数の衛星画像、レーダー測量の精度の比較を実施し、沈下傾向を経年変化データとしてデータベースを整備した。加えて、計画に先行して、地盤パラメータの三次元モデルの作成手法の検討に着手した。2022年度実施のボーリングデータについては、データの品質確認の上、を国土地盤情報検索サイト「Kunijiban」に反映し、一般に公開した。

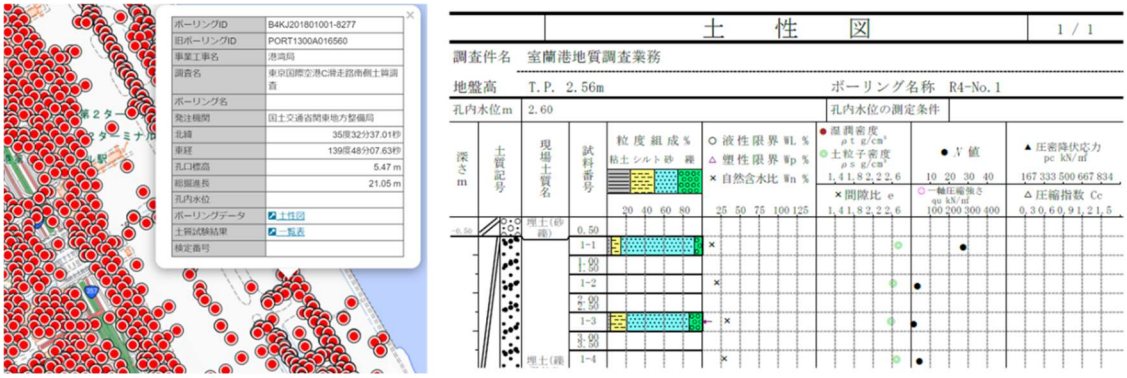


図 1.3.3a-4　羽田空港を対象とした土質データベースの整備

⑤電気浸透脱水を用いた浚渫土の減容化に関する研究

アクリル土槽を用いた模型実験を平面ひずみ、軸対象条件で多数実施し、電極配置、印可電流値及び電極材料とその組み合わせなどの電気浸透の仕様と圧密脱水量の関係を検討し、効果的な電気浸透脱水方法に関する知見を得た。検討においては、電極の素材だけではなく、構造に実務への適用を想定した工夫を加えた RS 電極を開発した。加えて、SEP 船スパッドカンの新たな引抜方法や汚染地盤浄化修復工法への適用など、浚渫土砂の減容化以外への電気浸透現象の応用性を見出した。

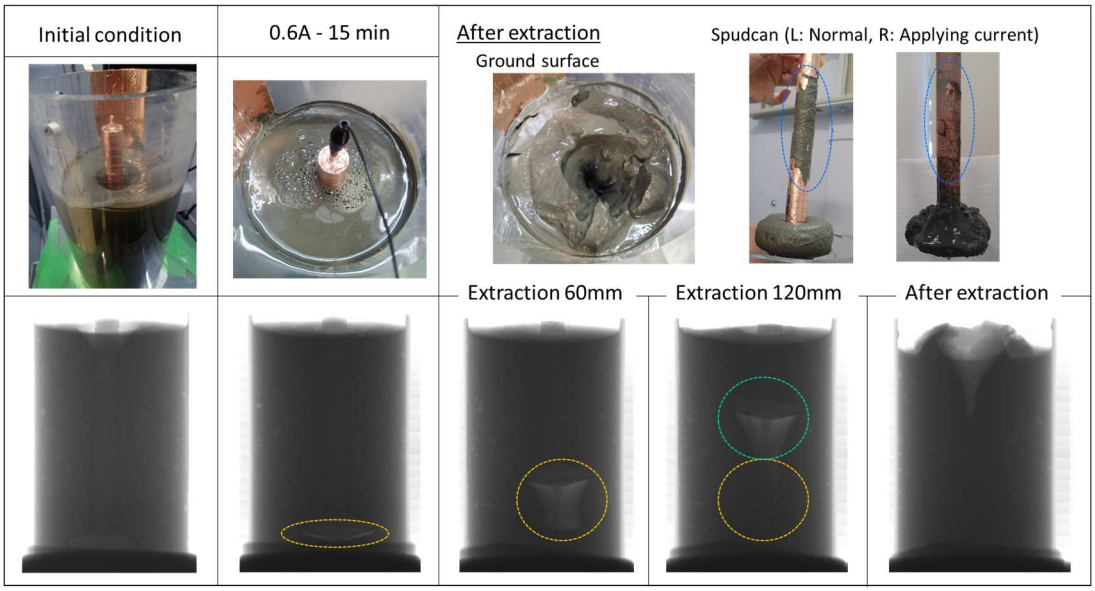


図 1.3.3a-5 電気浸透によるスパッドカン引抜事前検討

（2）インフラ構造材料の高機能化に関する研究

①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

桟橋の構成部材の降伏後、塑性化後の挙動のモデル化方法について、杭と上部工の接合部のモデル化方法（回転ばねの感度）について数値解析により検討し、鋼管杭のポストピーク後の耐力の考え方や上部工との接合部のモデル化方法など、これまで十分に検討されていなかった課題に対する解決策を示した。また、過去の被災事例の整理結果をもとに、桟橋の性能設計のコンセプトの検討及び照査方法の課題抽出を行った。加えて性能照査方法の今後の方向性（ポスト L2 照査の提案，限界曲率を超えた杭の使用可能範囲の提案、構造物のモデル化に関する基本的な考え方の提案）を示した。

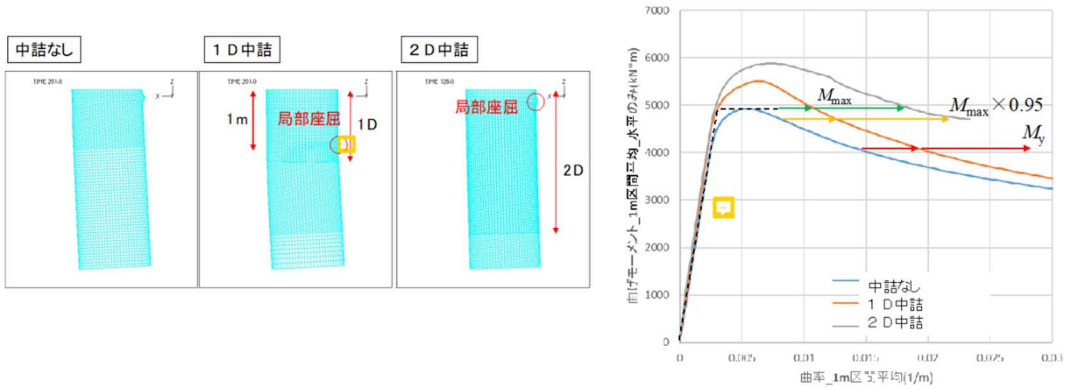


図 1.3.3a-6 鋼管杭の限界曲率超過後の耐力に関する数値解析

②打撃応答特性を利用した杭の施工管理手法の確立

杭-やっとこ連成モデル開発のための模型実験では、一連の実験に先立って，計測値と理論値との比較により実験モデルの妥当性を検証した。杭の先端の固定条件の再現が困難であったが、適切に実験モデル化することができた。また、任意の次元での解析を可能とするために、杭の衝撃載荷解析プログラムを開発した。開発したプログラムは市販のプログラムと比較して検証し、安定した解析を可能とする工夫を加えた。本プログラムにより実験結果をよく再現することができた。

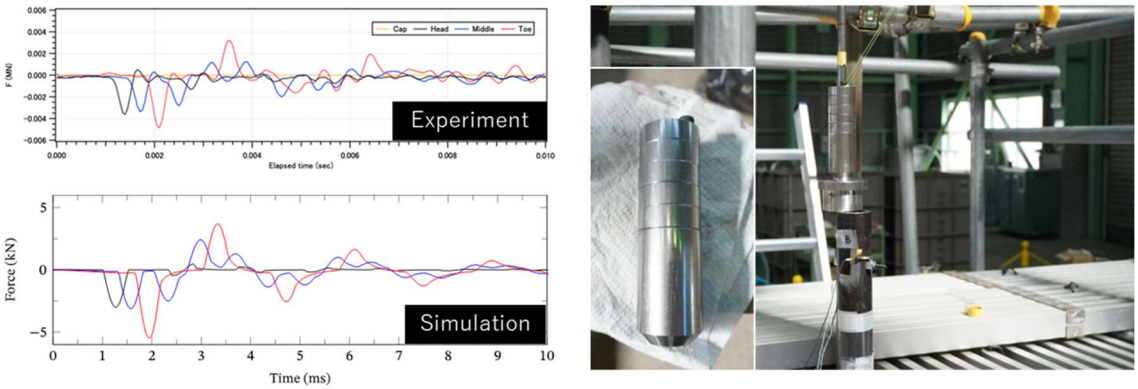


図 1.3.3a-7　杭の衝撃載荷実験（右）と有限要素法による解析結果との比較（左）

③鉱滓の地盤材料としての循環利用に関する研究

鉱滓が多様な種類や固化反応性などの特性を持つことから、鉱滓利用の多様性を考慮した循環利用シナリオを作成し、当技術マニュアル（案）に必要な記載事項を整理し、骨子（目次案程度）を提示した。その際、整備局との意見交換等を通して、モデルケースの各種条件（鉱滓の種類、状況、利用方法など）に応じた循環利用特有の技術課題を整理した。また、特性が異なる数種類の鉱滓を対象として，化学分析および土質試験を実施した。

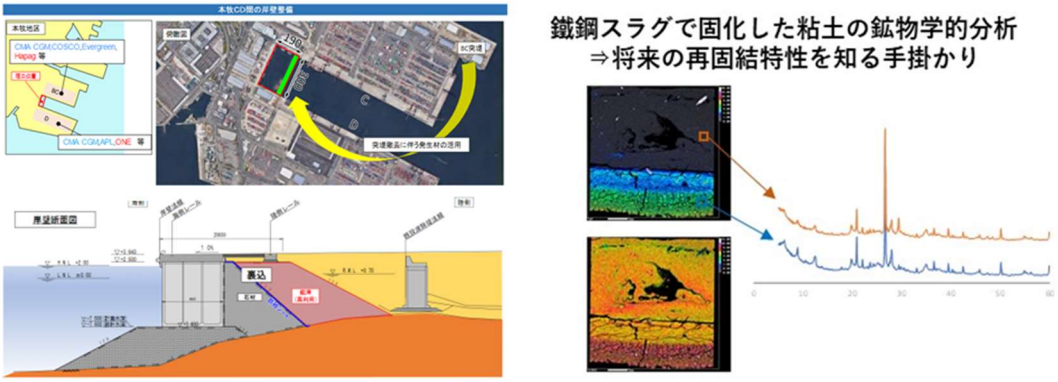


図 1.3.3a-8　現地での鉱滓再利用検討事例

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：7 編

・田村仁・細川真也・藤田勇・大倉翔太・本間翔太・川口浩二（2024）：海面ビデオ映像に基づく輝度周期の導入と波浪パラメータ推定，港湾空港技術研究所報告，第 63 巻，第 1 号

・平山克也・森谷拓実（2023）：実用的な沖波諸元の設定方法に関する基礎的研究，港湾空港技術研究所報告，第 62 巻，第 3 号

・川口浩二・藤木峻・田村仁（2024）：全国港湾海洋波浪観測年報（NOWPHAS2023），港湾空港技術研究所資料，No.1415

・水谷崇亮・兒島正明・村上和之・右田宏文・丸山晴広・橋本洋之・石田毅史（2019）：二軸同軸式アースオーガーで岩に根入れしセメントミルク注入を行った鋼管杭の軸方向抵抗特性，港湾空港技術研究所資料 No.1363

・水谷崇亮（2020）：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

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

・稲田滉平・水谷崇亮・野津厚・小濱英司・大矢陽介・川端雄一郎・竹信正寛・近藤明彦・田中豊・松村聡・田渡竜乃介 (2023):矢板式係船岸の偶発状態に対する耐震性能照査法の高度化に関する課題の整理, 港湾空港技術研究所資料, No.1410

□発表論文(英文):4 編

・Kataoka,T. and Fujiki,T. (2023): Applicability of ocean wave measurements base on high-frequency radar systems in an estuary region, Coastal Engineering Journal, DOI:10.1080/21664250.2023.2275469

・Tamura,H., Hosokawa,S., Fujita,I., Okura,S., Homma,S., Kawaguchi,K., Uchiyama,R., and Yagi,H. (2023): Extraction of ocean wave parameters from video images, Coastal Engineering Journal, DOI:10.1080/21664250.2023.2283302

・Sugiyama,Y., Hashimoto,N., Couoture,C., and Takano,D. (2023): Electrochemical perspective on the applicability of electroosmosis for clay consolidation, Journal of Applied Electrochemistry, DOI: 10.1007/s10800-023-02018-3

・Matsumura,S., Takano,D., and Couture,C. (2023): Strength-deformation behavior of sandy soil with different structures: layered structure vs. uniform structure, Proceedings of Geotec Hanoi 2023.

□発表論文(和文):10 編

・橋本典明・川口浩二・吉村英人・藤木峻・三井正雄 (2023):高精度で安定性の高い方向スペクトル解析法の実用化に関する研究, 第70回海岸工学講演会

・森谷拓実・平山克也 (2022):準沖波に対する沖波の簡易逆推定手法の提案, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.78, No.2

・森谷拓実・平山克也 (2023):準沖波に対する簡易逆推定手法の見直しと実海域における適用性の検証, 土木学会論文集, Vol.79, No.18

・平山克也・森谷拓実・濱野有貴・田中陽二 (2023):東北地方沿岸の確率準沖波諸元から逆推定される確率沖波諸元の妥当性に関する検討, 土木学会論文集, Vol.79, No.18

・堀田海陽・中村朋佳・吉田郁政・大竹雄・高野大樹 (2023):Dynamic Mode Decomposition with Control による海上空港の不同沈下量予測の基礎検討, AI・データサイエンス論文集, 第 4 巻第 3 号

・斎藤大雅・大竹雄・Wu,S.・高野大樹・杉山友理・吉田郁政 (2024):ジェネリックデータベースと階層ベイズモデルを用いた海上空港基礎地盤物性値の推定, 土木学会論文集(掲載決定)

・畑井向・大竹雄・Wu,S.・高野大樹・杉山友理・吉田郁政 (2024):動的モード分解を用いた海上空港不同沈下過程の信号復元と将来予測に関する基礎研究, 土木学会論文集(掲載決定)

・北浦直子・水谷崇亮・坂本貴光・土田孝 (2019):徳山下松港における原位置載荷試験を活用した杭の設計, 地盤と建設, Vol.37, No.1

・水谷崇亮・久保敏哉・北澤真・山下久男 (2020):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

・新谷聡・末政直晃・水谷崇亮・西村真二 (2023):大口径テーパー杭の載荷試験による押込み抵抗力の特性調査, 土木学会論文集, Vol.79, No.7

□特許(出願、登録):1 件

・特許(出願):防舷材構造体(特願 2023-127043)

□表彰(論文賞、その他の表彰):2 件

・稲田滉平(2023):土木学会全国大会 第 78 回年次学術講演会優秀講演者賞

・森川嘉之(2023):地盤工学会功労賞

□社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：2 件

・「海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性及び波浪情報提供に関する検討」において運営されている全国港湾海洋波浪情報網（NOWPHAS）にて過去に観測された結果を参考に，能登半島地震後の輪島港への自衛隊艦船の接岸可否判断基準の設定に活用された（令和6年1月）。

・「大規模造成地盤の力学特性と長期変形特性の評価」において収集，品質確認された過年度実施のボーリングデータが国土地盤情報検索サイト「Kunijiban」に一般公開された。輪島港で撮影された能登半島地震時の動画公開前の確認の際に Kunijiban の地盤情報が活用され，現象の理解の裏付けとして役立っている（令和6年1月8日(月)），また，能登半島地震後の金沢港御供田町岸壁への重力物荷揚げについて，荷揚げ位置（法線からの控え距離）に関する緊急検討（令和6年1月16日（火））の際にも Kunijiban の地盤情報を元に議論がなされ，整備局への回答に活用された。

□その他（学会発表、講演等）：13 件

・田村仁 (2023)：4K カメラによる波浪観測の試み，第 30 回海洋工学シンポジウム

・片岡智哉・藤木峻 (2023)：汽水域における短波海洋レーダーを用いた波浪計測の適用性，第 30 回海洋工学シンポジウム

・内山諒史・田村仁・八木宏 (2023)：4K カメラ画像解析に基づく海面輝度特性，2023 年度土木学会全国年次学術講演会

・杉山友理・高野大樹・森川嘉之 (2022)：電気浸透脱水を用いた浚渫土の減容化に関する検討，第 57 回地盤工学研究発表会

・杉山友理・橋本永手・高野大樹 (2023)：浚渫土の電気浸透圧密に用いる電極材料の検討，第 58 回地盤工学研究発表会

・杉山友理 (2023)：電気浸透を用いた浚渫土砂の減容化に関する研究，港湾空港技術特別講演会 in 関東 2023

・中村駿太・大矢陽介・川端雄一郎・水谷崇亮・松村聡・森川嘉之 (2021)：高軸力でのスパイラル鋼管の曲げ挙動に関する載荷試験（その1），2021 年度土木学会全国年次学術講演会

・大矢陽介・川端雄一郎・中村駿太・水谷崇亮・松村聡・森川嘉之 (2021)：高軸力でのスパイラル鋼管の曲げ挙動に関する載荷試験（その2），2021 年度土木学会全国年次学術講演会

・田渡竜乃介・水谷崇亮・松村聡・浜本尚拓・窪田幸一郎・鍵本慎太郎 (2022)：連成フレーム解析を活用した控え矢板式係船岸の必要根入れ長感度分析，2022 年度土木学会全国年次学術講演会

・稲田滉平・水谷崇亮・田渡竜乃介・高野向後・田端優憲 (2023)：斜面上の桟橋の支持杭の横抵抗の考え方に関する検討（その1），2023 年度土木学会全国年次学術講演会

・高野向後・田端優憲・稲田滉平・水谷崇亮・田渡竜乃介 (2023)：斜面上の桟橋の支持杭の横抵抗の考え方に関する検討（その2），2023 年度土木学会全国年次学術講演会

・宮本順司・牧野凌弥・伊藤輝・白庄司健之・傳亮司・日請真宏・水谷崇亮 (2023)：粘性土地盤の洋上風力 TLP 基礎杭の繰返し載荷に対する安定性実験，2023 年度土木学会全国年次学術講演会

・田渡竜乃介・水谷崇亮・稲田滉平・宮下健一朗・阿式邦弘・西本高志 (2023)：矢板式係船岸に作用する地震時土圧の簡易設定手法に関する検討，2023 年度土木学会全国年次学術講演会

研究開発課題	(3)経済と社会を支える港湾・空港の形成

研究テーマ	②インフラの維持管理に関する研究開発

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・空港の機能強化を含むインフラ整備の高度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、これまで行ってきた長寿命化に資する対策に加えて、インフラの高度利用に関する研究開発に取り組む。	過去に整備されたインフラの老朽化が進む中、予防保全への本格転換による効率的かつ効果的な維持管理を実施していく必要があるとともに、インフラの長寿命化や既存インフラの有効活用等の取組が求められている。また、インフラ整備のより一層の効率化のために調査から施工までを含めた整備手法の高度化が必要不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②インフラの維持管理に関する研究開発	過去に整備されたインフラの老朽化が進む中、予防保全への本格転換による効率的かつ効果的な維持管理を実施していく必要があるとともに、インフラの長寿命化や既存インフラの有効活用等の取組が求められている。また、インフラ整備のより一層の効率化のために調査から施工までを含めた整備手法の高度化が必要不可欠である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②インフラの維持管理に関する研究開発 －暴露試験等によりコンクリート、鋼材(防食方法含む)及び各種建設材料の長期耐 久性等の検討や評価を行う。 －施設の補修補強技術、既存施設の残存性能評価等に関する研究を行う。 等

研究の背景

国の活力の源である我が国産業の国際競争力を確保するため、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だけでなく、持続可能な維持管理(例:ICT 等の活用による地域の実情に対応した維持管理)が強く求められているところである。このため、本研究では持続可能なインフラの維持管理を実現するための技術開発を行う。なお、今中期では、コンクリート構造物、鋼構造物を研究対象としたが、次期中長期では地盤材料も対象とし、幅広い視点から研究を実施する。

研究目標

本研究では、持続可能なインフラの維持管理の実現を目標とし、①インフラの長寿命化、②既存施設の を残存性能評価および改良・更新技術に関する研究を行う。

(1)インフラの長寿命化に関する研究

材料の長寿命化、品質確保(向上)による長寿命化、モニタリング等の活用による長寿命化等に関する研究開発を実施する。

(2)既存施設の残存性能評価および改良・更新技術に関する研究

施設の補修補強技術、既存施設の残存性能評価等に関する研究開発を行う。

令和５年度の研究内容

（1）インフラの長寿命化に関する研究

＜長期暴露試験関連＞

①長期暴露試験および実構造物調査を基にした各種建設材料の性能評価および評価手法の開発

長期暴露試験施設（1966 年から稼働）や実環境での暴露試験で得られたデータを基に、コンクリート系材料（フェロニッケルスラグ粗骨材を用いたコンクリート等）及び各種木質材料の耐久性の評価や、鋼材の腐食・防食特性に関する評価を行った。

②海洋構造物の防食工法の設計・維持管理の高度化に関する研究

a）電気防食工法の設計

実環境での電気防食特性の評価手法の確立を行う。さらに、実海域（波崎観測桟橋や一般の港湾施設など）において波浪、水質等の環境情報を取得し、環境情報と防食に関する情報の関連性を整理する。

b）電気防食工法の維持管理

「電位測定」による劣化度判定の高度化を目標として、電位と陽極消耗量の整理を行う。

c）被覆防食工法の設計・維持管理手法の高度化

波崎桟橋での長期暴露試験(2024 で 40 年経過）など、実環境での検討を基に、長期経過後の被覆防食の性能の評価を行い、設計・維持管理手法の高度化を図る。

③改良地盤の長期耐久性の検討およびその評価手法の開発

曝露試験を実施して、水中と土中曝露による劣化特性を把握する。また、劣化促進試験を実施し、曝露試験の結果と対比を行う。これらに基づいて、両試験結果から長期耐久性を推定する手法を構築する。アウトプットとしては、試験方法および長期耐久性の評価手法の構築が挙げられる。

＜生産性向上関連＞

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

a）桟橋を対象として、上部工 PCa 梁－鋼管杭の接合方法について実験及び解析により検討し、環境条件や施工条件に配慮した接合部設計法を提案する。既存の設計法は、主として道路構造物が対象であり、港湾構造物への適用性が不明であり、海洋環境における接合部の耐久性は明らかにされていない。

b）高い流動性と材料分離抵抗性をあわせ持ったコンクリートが JIS A 5308 レディミクストコンクリートに追加された。この採用に際しては、施工の効率化や品質向上の効果を考慮することがポイントとなるため、港湾構造物での適用性や適用による生産性向上効果について検証する。

c）既設防波堤・護岸の天端嵩上げの構造詳細は、設計計算を行わずに経験・実績で一体化筋の配置や既設部との一体化方法が設定されていることが多い。最近整備された他の基準類を踏まえて、接合部の一体性確保のための設計・施工方法の考え方をとりまとめるとともに、施工性の向上と騒音防止を可能とする新工法の適用性について検討する。

（2）既存施設の残存性能評価および改良・更新技術に関する研究

第 3 期 SIP「スマートインフラマネジメントシステムの構築」による共同研究プロジェクトが 2023 年 11 月から開始され、サブ課題 B「先進的なインフラメンテナンスサイクルの構築」と D「サイバー・フィジカル空間を融合するインフラデータベースの共通基盤の構築と活用」に、共同研究開発機関の 1 つとして参画する（港湾関係での共同研究開発機関は五洋建設との 2 者。協力機関は港湾局、国総研）。

また、サブ課題 C「地方自治体等のヒューマンリソースの戦略的活用」には協力機関として参画する。これらの研究計画の実施するため、2024 年度から新たな実施項目「デジタル技術を活用した港湾構造物

の維持管理の省力化・高度化に関する研究」を立ち上げることとした。

令和５年度の研究成果

（1）インフラの長寿命化に関する研究

＜長期暴露試験関連＞

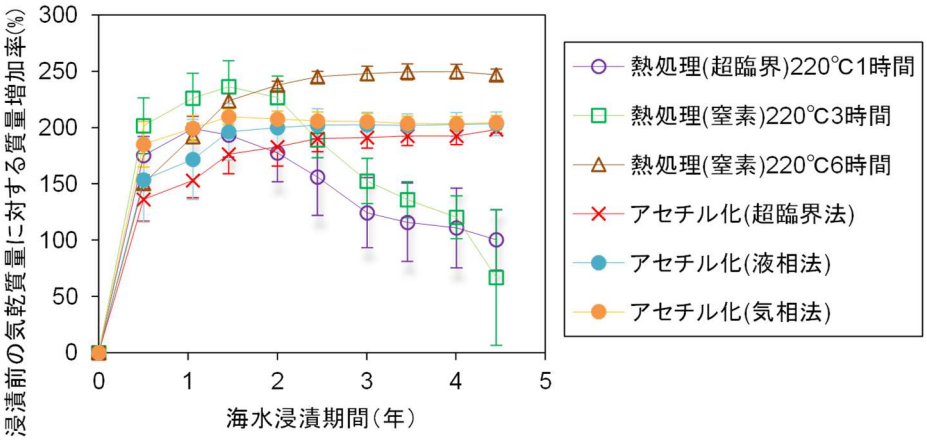
①長期暴露試験および実構造物調査を基にした各種建設材料の性能評価および評価手法の開発

・これまでの各種の知見等を踏まえつつ、「コンクリートの品質及び性能」のうち、「無筋コンクリートの配合条件（粗骨材最大寸法）」に関する、技術基準の部分改訂を行った。

・納豆菌、シラス骨材を用いたコンクリートの諸特性を調査中である。また、長期暴露試験施設での暴露試験を開始させた。

・10 年間海中に暴露された「根固めブロック（フェロニッケルスラブ粗骨材を用いたコンクリート）」に関する調査を、大学等と共同で実施した。

・木材については、気中での風化浸食速度への影響要因についての試験体が設置後 3 年となり、暴露条件による質量減少率・曲げ剛性減少率の差が現れてきている。海虫害への樹種・保存処理等の影響については、アセチル化処理試験体が海中浸漬 4 年まで無被害となっている（図 1.3.3b-1）。



樹種：スギ，試験体寸法：20mm×20mm×100mm，森林総合研究所との共同研究
海水から試験体を取り出して湿潤質量を測定後，浸漬を再開継続．
吸水によって質量が増加した後，キクイムシ食害を受けた試験体では質量が減少．

図 1.3.3b-1　木質材料（スギ材）における海水浸漬期間と質量増加率の関係

②海洋構造物の防食工法の設計・維持管理の高度化に関する研究

a）防食工法の設計

・実海域（波崎観測桟橋など）において、電気防食特性の評価手法の確立を目標として、波浪等の環境情報を取得しつつ、防食工法の特性を評価し、環境情報と防食に関する情報の関連性を評価した。

・実海域での電気防食の特性把握のための、新たな室内実験系の構築を行った。

b）防食工法の維持管理

・「電位測定」による劣化度判定の高度化（細分化）を目標として、実際の施設における定期点検結果の情報を港湾管理者等から入手し、整理を行った。細分化後の劣化度の案及び管理者における測定結果の例を以下に示す（図 1.3.3b-2）。

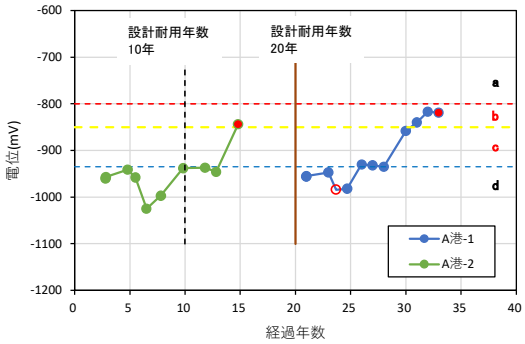
劣化度	判定基準
a	防食管理電位を満足しておらず，防食できていない
b	防食管理電位を満足しており，防食できている． ただし，陽極が完全消耗に近い状態である可能性がある．
c	防食管理電位を満足しており，防食できている． ただし，陽極消耗に関して，陽極からの発生電流は電流低減率0.5を満足していない可能性があるため，陽極寿命が設計寿命より短くなる可能性がある．
d	非常に良好な防食状態にある

電位(mV vs 海水塩化銀電極)

−800

−850

−935



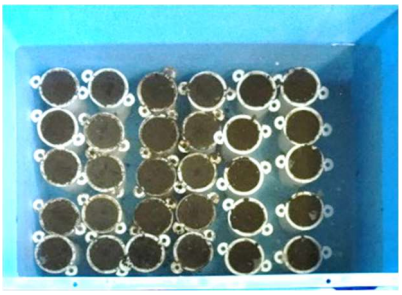
（現状：a/d(2 段階） → abcd(4 段階)へ（赤枠分を追加）

図 1.3.3b-2 鋼構造物の電気防食の劣化度判定の見直し（案）及び定期点検結果の一例

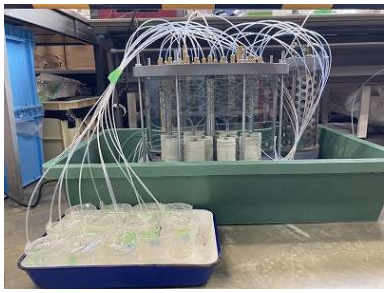
③改良地盤の長期耐久性の検討およびその評価手法の開発

2023 年度は、試験供試体の作製に加えて、劣化促進試験方法の検討を行った。試験供試体を実際に作製し、曝露試験を始めている。また、劣化促進試験方法についても改良を施し、効率的に試験を実施することが可能となっている（図 1.3.3b-3）。

上記に加えて、現場打設の固化処理土を入手し、その表面の劣化状況を確認し、試験結果をまとめた。また、過去に曝露試験を始めた供試体を用いて、固化処理土の劣化状況を確認し、論文としてとりまとめた（図 1.3.3b-4）。

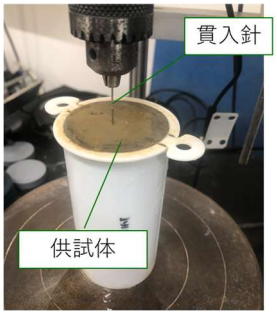


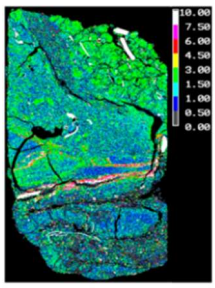
(a) 水中暴露



(b) 改良した劣化促進試験機

図 1.3.3b-3 改良地盤の長期耐久性に関する試験





CaO

(a) 劣化状況を調べる試験　　(b) カルシウム残量のマッピング

図 1.3.3b-4 現場で打設した固化処理土の劣化状況の確認

＜生産性向上関連＞

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

a)桟橋構築工法に関する検討

・PCa 梁－鋼管杭接合工法について実規模の載荷実験を実施し、設計方法を確立した。

・杭頭部材および梁部材を工場製作とする PCa 桟橋構築工法(図 1.3.3b-5)の部材設計法を確立するとともに、本工法の生産性向上効果および CO_2 排出量を試算した。これらの結果を港空研報告として取りまとめるとともに、特許を出願し取得した。

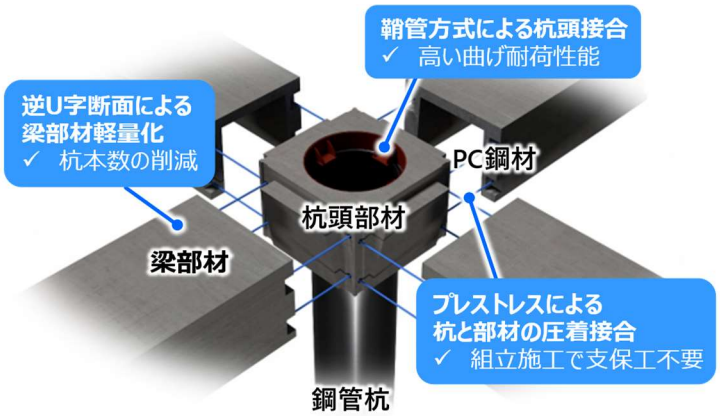


図 1.3.3b-5 工場製作 PCa 部材を活用した組立式桟橋構築工法

b)締固めを必要とする高流動コンクリートに関する検討

・大型の施工実験を実施し、施工品質を確認するとともに、作業員の作業負荷やバイブレータ稼働時間を定量的に評価し、生産性向上効果を確認した。

・技術基準の部分改訂において、「締固めを必要とする高流動コンクリート」に関する記載を追加した。

c)嵩上げに関する検討

・円形シアキーを用いた部材接合部のせん断耐力評価を行った。

・既設防波堤の嵩上げを対象とした設計の基本的考え方を整理し、港空研資料として発刊した。

(2)既存施設の残存性能評価および改良・更新技術に関する研究

・2024 年度から開始する実施項目「デジタル技術を活用した港湾構造物の維持管理の省力化・高度化に関する研究」の研究計画・準備を行った。

・各部材の点検診断結果から構造全体の性能評価(将来予測を含む)を行うことのできる手法・システムの開発・実装に着手した(第 3 期 SIP と関連)。実装に関して、港湾局や国総研だけでなく、港湾管理者との連携が重要であるため、川崎市港湾局と連携して検討を進める体制を整えることができた。

・また、国交省港湾局の「サイバーポート」との連携も重要であり、関連する港湾局や国総研との連携体制を整えることができた。

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(報告・資料)

・田中豊, 川端雄一郎, 小林怜夏, 竹信正寛, 横田弘, 山本修司, 鈴木高二朗, 下迫健一郎:既設防波堤上部工の嵩上げにおける部材接合部の照査法の整理, 港湾空港技術研究所資料, No. 1413, 2023.

・高橋英紀, 上野一彦, 河田雅也, 小西一生, 府川裕史, 和田眞郷, 竹内秀克, 徳永幸彦, 森川嘉之:セメント固化処理土による壁体を利用した岸壁構造の地震時挙動, 港湾空港技術研究所報告, Vol. 63, No.

1, 2024.

□発表論文(英文):4 編

・Hashimoto Nagate, Tanaka Motoki, Kaneko Yasuaki, Kato Yoshitaka, Hirama Akinobu: Development of a method for obtaining Nyquist plots identical to those of the three-electrode AC impedance method in concrete-embedded rebar without requiring electrical continuity, Journal of Applied Electrochemistry, Vol. 53 No. 9 Page. 1895-1909, 2023.

・Masayuki Hara, Nagate Hashimoto, Kentaro Koike, Toru Yamaji, Hiroyuki Kobayashi, Yukihiro Sone, Hidenori Hamada :Experimental study on corrosion characteristics of steel bars in concrete located in tidal zone, Eurocorr2023

・Toru Yamaji, Jun Tomiyama, Satohiko Ishigaki:A study on the performance of surface coating materials on concrete based on exposure tests under marine atmosphere environment for 30 years, Eurocorr2023

・Hidenori Takahashi, Itsuki Sato, Yoshiyuki Morikawa and Akira Ozawa: Long-term durability of cement-treated soil used in offshore airport island construction, Applied Sciences, 2023.

□発表論文(和文):6 編

・田中亮一, 山路徹, 網野貴彦, 小池賢太郎:長期屋外暴露試験におけるコンクリートの強度と表層品質に及ぼす海水養生の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 45, pp. 388-393, 2023.

・原将之, 橋本永手, 山路徹, 小林浩之, 曽根幸宏, 浜田秀則:干満部に位置するコンクリート中鉄筋の腐食特性, 材料と環境 , Vol. 72, No. 4, pp. 115-120 , 2023.

・藤田和哉, 加藤絵万, 髙橋駿人, 加藤佳孝:環境条件がコンクリートの水分逸散および移流に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 45, pp. 520-525, 2023.

・田澤佑介, 鈴木将充, 加藤絵万, 加藤佳孝:フレッシュコンクリートの空気量が硬化体の空隙および物質移動抵抗性に及ぼす影響に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 45, pp. 316-321, 2023.

・田澤佑介, 加藤佳孝, 加藤絵万, 鈴木将充, 高橋駿人:振動締固めが硬化体の空隙および物質移動特性に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 23, pp. 127-130, 2023.

・田中豊, 川端雄一郎, 加藤絵万, 大矢 陽介:中詰固化工法によるケーソン部材の補強効果に関する検討および試算, 土木学会論文集, 第 80 巻第 3 号, 2024.

□特許(出願, 登録):3 件

・特許(出願):杭支持構造物の目地部構造及び杭支持構造物の構築方法(特願 2023-098208)

・特許(出願):試験片、金属腐食評価システム及び構造物の金属腐食評価方法(特願 2024-019781)

・特許(登録):高温養生用セメント組成物及びこれを用いた硫酸塩劣化を抑制されたセメント組成物硬化体の製造方法(特許第 7348475 号)

□表彰(論文賞, その他の表彰):6 件

・川端雄一郎(2023):日本コンクリート工学会技術賞

・山路徹(2023):土木学会国際活動奨励賞

・小池賢太郎(2023):土木学会吉田研究奨励賞「好気性微生物とシラスを併用した高機能自己治癒コンクリートの開発」

・原将之(2023):防錆防食技術発表大会 若手技術者優秀発表賞

・田中豊(2023):防錆防食技術発表大会 若手技術者優秀発表賞

・2023 年度インフラメンテナンス賞・チャレンジ賞:腐食測定機「DrCORR(ドクター・コロ)を用いた完全非破壊による鉄筋コンクリート構造物の鉄筋の腐食速度推定技術 (※東京理科大学, 飛島建設(株)と共同実施)

□社会実装(現場や基準等に反映された研究成果等):4 件

・「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」の中で開発した，「工場製作の PCa 部材を用いた桟橋構築工法」について，民間施設に対して適用された．
・「長期暴露試験および実構造物調査を基にした各種建設材料の性能評価および評価手法の開発」の成果に関連して，「無筋コンクリートの配合条件（粗骨材最大寸法）」に関する内容が，港湾の技術基準に反映された（令和 6 年 4 月 1 日付け）
・「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」の成果のうち，「締固めを必要とする高流動コンクリート」に関する内容が，港湾の技術基準に反映された（令和 6 年 4 月 1 日付け）．
・「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」の成果のうち，「既設防波堤の嵩上げを対象とした設計の基本的考え方」に関する内容が，港湾の技術基準に反映された（令和 6 年 4 月 1 日付け）．

□その他（学会発表，講演等）：15 件
・橋本永手，原将之，山路徹，小池賢太郎：海洋環境に暴露した鉛直方向に長い鋼材試験体の腐食速度分布，材料と環境講演集，Vol. 2023, pp. 287-290 (2023)
・橋本永手，原将之，山路徹，小池賢太郎：海洋環境に暴露した鉛直方向に長い鋼材試験体の腐食測定結果と考察，防錆管理，Vol. 67 No. 10, pp. 336-342 (2023)
・樽谷早智子，新原雄二，新井崇裕，今井道男，平佐健一，野津厚，小濱英司，大矢陽介，山路徹：羽田空港D滑走路における光ファイバレイリー計測による維持管理への適用検討，土木学会全国大会年次学術講演会，Vol. 78, CS9-15
・辻井颯，小池賢太郎，山路徹，酒井貴洋，正木徹，網野貴彦，田中亮一，竹中寛，湯地輝 ：遠隔離島地における現地調達材料を用いた鉄筋コンクリートの耐久性評価，土木学会全国大会年次学術講演会，vol. 78, V-238 (2023)
・松永正弘，小林正彦，山田昌郎：過酷な海中環境でも使えます—木材・プラスチック複合材（WPC）とアセチル化木材—，森林総合研究所研究成果選集2023, pp. 32-33, 2023年6月
・林正彦，山田昌郎，松永正弘，前田啓，神林徹，石川敦子：木材・プラスチック複合材の海洋環境暴露試験（第3報）—暴露開始後39か月までの変化—，日本木材保存協会第39回年次大会研究発表論文集，pp. 4-5, 2023年9月
・松永正弘，山田昌郎，石川敦子，小林正彦，前田啓，神林徹：2年間の海洋暴露試験を実施した化学改質木材の物性評価，日本木材保存協会第39回年次大会研究発表論文集，pp. 30-31, 2023年9月
・小池賢太郎，山路徹：海中環境において 40 年供用された根固めブロックの耐久性調査，セメント・コンクリート，No. 924, pp. 9-14 (2024. 02. 15)
・山路徹，松田英樹：腐食環境 CX(ISO9223)での長期暴露試験におけるジンクリッチペイントの効果に関する一考察，材料と環境講演集，Vol. 2023, pp. 295-298 (2023)
・山路徹，川瀬義行，小林厚史，吉田倫夫：高波浪海域に建設された鋼構造物における電気防食特性と波浪観測情報の比較，材料と環境討論会講演集 Vol. 70th, pp. 85-88 (2023)
・佐藤樹，高橋英紀，後藤友亮：長期水中暴露によるセメント固化処理土の劣化特性，地盤工学研究発表会発表講演集，2023.
・大森慎哉，浅田英幸，森澤友博，高橋英紀，森川嘉之：CNF を添加したセメント固化処理土の強度および靭性向上効果，地盤工学研究発表会発表講演集，2023.
・栗原大，高橋英紀：セル式岸壁前面の捨石盛土形状に関する遠心模型実験，地盤工学研究発表会発表講演集，2023.
・田中豊，川端雄一郎，加藤絵万，池野勝哉，天谷公彦，岩波光保：PC 圧着接合部における塩分浸透に関する基礎的検討，土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会，2023.
・田中豊，小池賢太郎，Michael Henry：スランプフローで管理するコンクリートを用いた実大打込み実験による生産性向上効果の検討：日本コンクリート工学会 コンクリート工学 12 月号，pp. 1051-1058, 2023.

研究開発課題	(4)情報化による技術革新の推進

研究テーマ	①デジタル技術の活用による生産性向上に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
自然災害、インフラの老朽化の進行、人口減少・超高齢社会に伴う人手不足及びDXの進展等の社会情勢の変化への対応が必要である。研究所は、ICT施工やIoT、ロボット技術、デジタル技術の導入と活用に関する研究開発に取り組む。	情報のデジタル化を推進し、インフラ整備の抜本的な効率化や働き方改革・生産性向上を目指すとともに、デジタルデータを活用することで、これまでになかった付加価値をデータから生み出し、海洋・沿岸で得られた様々なデータの価値を最大化していく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デジタル技術の活用による生産性向上に関する研究開発	情報のデジタル化を推進し、インフラ整備の抜本的な効率化や働き方改革・生産性向上を目指すとともに、デジタルデータを活用することで、これまでになかった付加価値をデータから生み出し、海洋・沿岸で得られた様々なデータの価値を最大化していく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デジタル技術の活用による生産性向上に関する研究開発 －水中情報化施工に関する研究では、これまで培ってきたマシンガイダンス、遠隔操作技術、情報管理技術を組み合わることで、従来困難とされていた水中難視環境化での機械化施工の実現を目指す。併せて水中機械化施工を行う上でのインフラとなる水中測位システムの開発に取り組む。 －点検の自動化技術に関する研究では、港湾構造物における水面、水中点検作業のロボットによる自動化に向けて、ROVの構造物との衝突回避、経路誘導など、特例 動作の自動操縦技術の開発に取り組む。 等

研　究　の　背　景

社会的意義・価値：失われつつある我が国産業の活力並びに国際競争力を回復するためには、各分野へのDX 技術の適用は欠かせないものである。これは、港湾インフラの整備・維持管理においても同様であり、近年進歩の目覚ましい ICT、IOT に続き DX 技術の導入は必須である。このため、港湾インフラの整備・維持管理においてDX 技術を活用することにより、これらにかかる定量データや客観的な情報の取得及び蓄積を推進し、作業計画の最適化、詳細な解析や診断技術の進展に資する技術開発を行うことが必要である。

現状では、水中建機は透明度の高い海域でスタンドアロンで稼働しており、水中作業は潜水士の人力に依存している。また、水中移動体の測位を実現する音響測位システムはなく、測位システムの開発が要請されている。さらに、水中及び水上移動型の点検装置の構造物近傍における特定動作の自動化技術の開発が要請されており、例えば桟橋上部工下面の目視調査・点検や、水中構造物近傍における特定動作の自動化技術など

の具現化が求められている。

研　　究　　目　　標

港湾構造物の施工と管理における生産性の向上を図るため、DX 化の観点を強化した技術開発を推進し、港湾構造物の水中施工および水中点検の DX 化を具現化することを目標とする。そのために、機械の情報をリアルタイムに収集、管理、配信、表示するシステムの開発、水中移動体の測位を実現する音響測位システムの開発、水中及び水上移動型の点検装置の特定動作の自動化技術の開発を行う。

令 和 5 年 度 の 研 究 内 容

（1）施工におけるDXの推進

①水中機械化施工の情報管理システムに関する研究

「4A-211-D 水中測位システムの開発」の成果を応用した測位情報の取得方法を検討した。また、水中機械化施工管理ツールを京浜ドック用にカスタマイズし、機械化施工管理に関する試験を行うとともに、水中バックホウとの情報リンクも行った。

②水中測位システムの開発

京浜港ドックにおいて、水中バックホウの測位実験を行った。浮上式については、水中移動体を囲うように浮上局を配置した。また、音響的マルチパス対策を施した。さらに、気中の無線通信においては、起重機船の重機部分が干渉し、不通の状況を招きやすいため、通信方式の改善を試みた。

海底設置式について、音響灯台の配置についての制約やキャリブレーションの要否等に関する検討を行い、これの利用可能性について検討し、また、音速および周波数の位相差による測距技術の理論的検討も行った。

（2）ロボット技術による点検作業のDX

①構造物近傍における点検装置の特定動作の自動化技術の検討

水中目視作業における特定動作（測位・経路誘導、衝突回避、情報取得）の自動化技術を検討した。また、抽出した無人化・自動化要素について解決策を検討し、水中ドローンの操縦支援システムの検討を行った。さらに、海上目視作業における特定動作を対象とした ASV 化技術についてブラッシュアップを図った。

令 和 5 年 度 の 研 究 成 果

（1）施工におけるDXの推進

①水中機械化施工の情報管理システムに関する研究

京浜ドックにおいて、実海域に近い環境での実験を実施し、実用化に向けた検討を実施した（図 1.3.4a-1）。また、共同研究者の水中バックホウに研究成果（マシンガイダンスや遠隔操作）を設置し、実際の現場工事で使用した（図 1.3.4a-2）。

図 1.3.4a-1　京浜ドックに2台の水中バックホウを投入し連携作業を実施

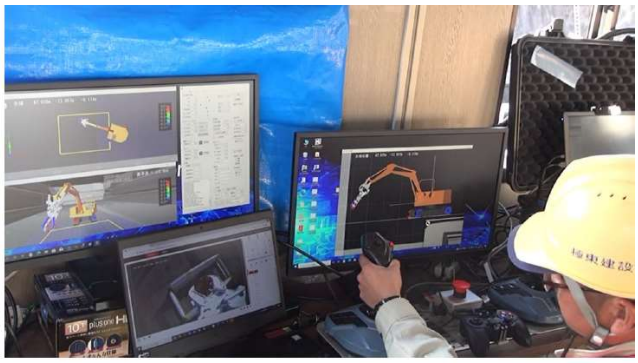


図 1.3.4a-2　バックホウの 1 台は、水中の作業状況を共有するシステムを用い遠隔操作で作業

②水中測位システムの開発

浮上局は自位置計測が可能なため設置位置の厳密性を問わない利点があり、水中移動体を囲うように浮上局を配置することで測位精度の向上を図った(図 1.3.4a-3、図 1.3.4a-4)。また、音響的マルチパス対策を行うことにより、浅海域で起こりがちな海底面と水面での反射波を回避することができた。

海底設置式についての検討の結果、音響灯台は任意配置(増設・配置換を含む)が可能であり、キャリブレーションも容易であることから、広範囲展開の可能性があることが示された。また、小型・軽量・安価、であることから、ROV だけでなく、行動範囲の広い AUV にも対応可能であることが示唆された。また、測距については、周波数の位相差による精密計測を行うことで、理論上は数センチ程度の精度を持つ長距離、高精度の計測が可能となることが示唆された。

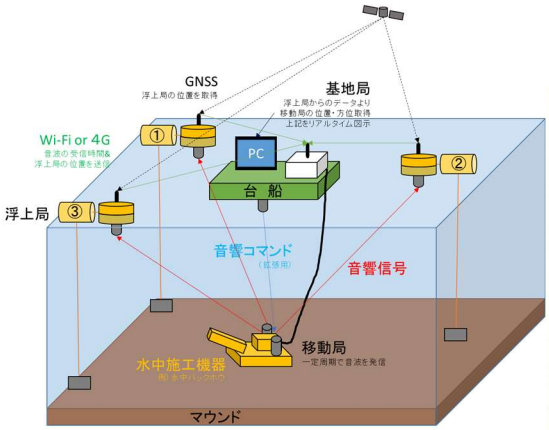


図 1.3.4a-3 水中測位システム概要図

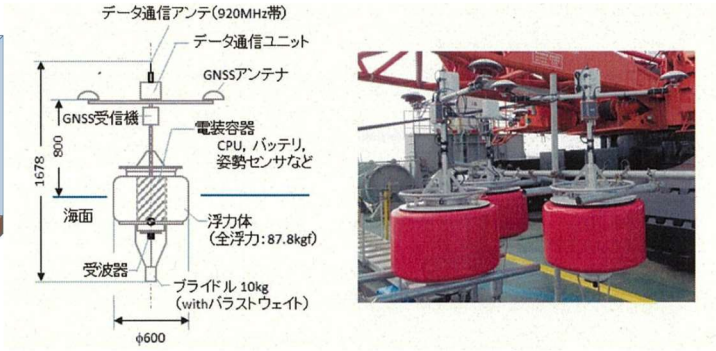


図 1.3.4a-4 浮上局概要図

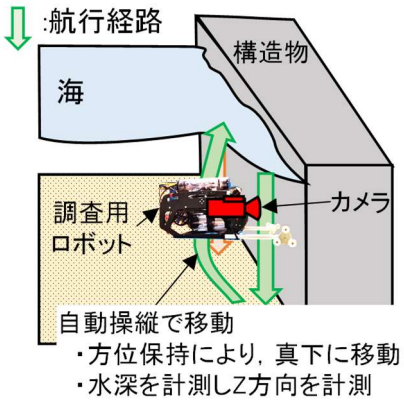
(2)ロボット技術による点検作業のDX

①構造物近傍における点検装置の特定動作の自動化技術の検討

水中目視作業における特定動作(測位・経路誘導、衝突回避、情報取得)の自動化技術の検討を行った結果、水平位置を保持したまま移動が可能な車輪走行方式の優位性が確認された(図 1.3.4a-5)。

また、本研究で開発を進める技術を水中ドローンに実装して、特定動作を対象とした AUV 化についての模擬作業実験を行ったところ、センサを追加することで簡易的に水中での位置検出が可能となることが示された。さらに、開発された操縦支援ソフトウェアを利用することで、地図表示上でクリックした位置に水中ロボットを自律誘導することが可能となった(図 1.3.4a-6)。

衝突回避機能について回避優先アルゴリズムを導入することでその機能が改善され、特に波浪環境下における自動誘導時の衝突回避機能が向上した。また、一般技術者による簡易型の運用試験についても実施した。



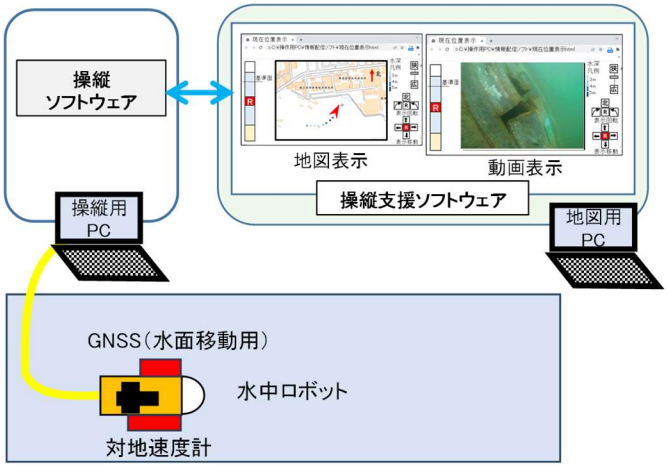


図 1.3.4a-5 車輪式移動機構による調査イメージ　　図 1.3.4a-6 水中ドローンの操縦支援システム

成　果　の　公　表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：0 編

□発表論文（英文）：1 編

・Kita, T., and Tanaka, T. (2023): Elemental Study of Underwater Wall Climbing Platform for Port Inspection. OCEANS 2023-MTS/IEEE US Gulf Coast. 1-4.

□発表論文（和文）：2 編

・平林丈嗣, 上山淳. (2023): 水中機械化施工における作業情報共有システムの提案. 建設ロボットシンポジウム論文集, 21, O01-4.

・田中敏成, 喜多司, 野上周嗣, 倉持雅彦, 丸井英明. (2023): ROV 型桟橋上部工点検ロボットの ASV 化を目的とした特定動作の自動化実験. 建設ロボットシンポジウム論文集. 21, O03-5.

□特許（出願, 登録）：0 件

□表彰（論文賞, その他の表彰）：1 件

・田中敏成, 喜多司, 野上周嗣（2023）：第 21 回建設ロボットシンポジウム優秀論文賞

□社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：2 件

・遠隔操作技術について, 東亜建設が遠隔操作施工を実施（令和 5 年 11 月）.

・構造物近傍における点検装置の特定動作の自動化技術の検討に関する研究に関して、成果を港湾管理技術者向けの講習にて成果を普及した。（令和 5 年度港湾管理講習会, 北開局, 2023.8.31）日付要確認

□その他（学会発表, 講演等）：2 件

・平林丈嗣（2023）：港湾工事で使用される水中バックホウとマシンガイダンス. 海洋音響学会誌. 50(3), 67-73.

・平林丈嗣（2024）：水中 ICT バックホウの開発の動向について. 潜水. 89, 18-21.

研究開発課題	(4)情報化による技術革新の推進

研究テーマ	②デジタル技術の活用による新たな価値の創造に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
自然災害、インフラの老朽化の進行、人口減少・超高齢社会に伴う人手不足及びDXの進展等の社会情勢の変化への対応が必要である。研究所は、ICT施工やIoT、ロボット技術、デジタル技術の導入と活用に関する研究開発に取り組む。	情報のデジタル化を推進し、インフラ整備の抜本的な効率化や働き方改革・生産性向上を目指すとともに、デジタルデータを活用することで、これまでになかった付加価値をデータから生み出し、海洋・沿岸で得られた様々なデータの価値を最大化していく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デジタル技術の活用による新たな価値の創造に関する研究開発	情報のデジタル化を推進し、インフラ整備の抜本的な効率化や働き方改革・生産性向上を目指すとともに、デジタルデータを活用することで、これまでになかった付加価値をデータから生み出し、海洋・沿岸で得られた様々なデータの価値を最大化していく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デジタル技術の活用による新たな価値の創造に関する研究開発 －コンテナターミナルへのサイバーポートによるDX導入に関する研究では、港湾分野での技術開発として、これまでも研究所が継続して実施してきたコンテナターミナルシミュレーションをベースに、サイバーDX化を推進するために必要な技術の 研究開発を行い、物流における国際競争力の復活に寄与する。等

研究の背景

現代社会では社会生活、経済活動など全ての領域において、デジタル技術が浸透しており、港湾分野も例外ではありえない。また、衰えつつある我が国の活力を維持再生する上では、港湾分野においてもデジタル技術の導入を強力に進めていく必要がある。その様な状況下では、港湾分野におけるデジタル技術の導入、活用、DX 化が強く求められている。

研究目標

上記の認識の下、本テーマでは、港湾分野での技術開発として、これまでも研究所が継続して実施してきたコンテナターミナルシミュレーションをベースに、サイバーDX 化を推進するために必要な技術の研究開発を行う。AI の導入、デジタルツイン化による運用支援技術の創出など、情報工学的に高度な手法を用いた新たな手法の導入を目指す。

加えて、これまで十分とは言えなかった DX 情報分野において、研究所としての新しい価値の創造に取り組む。ネットワークを使った IoT リモートセンシング技術、AI によるビッグデータの解析、Web API などによるデータ・サービスの発信などを推進する。DX に必要な収集、解析、発信の一連の過程が行える情報システムをオンプレミスなシステムとして構築し、各種のデータ・サービスの提供を先端的な形で行う。

令和５年度の研究内容

（1）コンテナターミナルへのサイバーポートによるDX導入に関する研究

①AI コンテナターミナルと連動するシミュレーターの開発に関する研究

博多港を対象として、AutoMod の基本モデルと AI コンテナターミナルシステムを構築し、2 つのシステムの連携試験を実施した。また、デジタルツインを実現するための AI ターミナルシステムおよびシミュレーションの基盤構築と検証を実施するとともに、ターミナルオペレータ―からのヒアリング内容を基に、現場で求められている評価呈示機能を考慮した上で AI ターミナルシステムおよびシミュレーションの仕様に反映した。

②コンテナターミナル間の情報連携によるデジタルツインに関する研究

海外では港湾ごとの情報共有の指向も見えてきている中で、わが国では運用規模が小さく、ターミナルごとの連携運用は物理的にも小規模にしか期待できない。そこで、サイバーポートやリアルタイムデータの情報共有により、運用主体の異なるターミナル、他港間での連携が可能なソリューションの提案とその評価を行った。また、DX による将来の国際的なターミナルの即時的な連携について提案した。

（2）DX時代の情報収集・処理・発信に関する研究開発

①主要内湾の沿岸情報の収集・発信基盤強化

情報発信基盤を構築し、運用のための技術を培った。また、実務でも利用可能なDXプラットフォーム（オープンデータプラットフォームを含む）を構築し、本格運用を開始した。さらに、新たなコンテンツを構築しやすいようデータを可視化するための共通プラットフォームを構築した。

②海中でのデータ長期測定のためのモニタリングシステムの構築

データ伝送及び電源確保方法の開発を行った。また、高耐久センサの開発においては、各種センサの感応部（液絡部）の素材として、水を通さず Na のみを伝導させる Superionic Conductor を使用した設計・試作を行った。さらに、UEP（海中電界センサ）を活用した、防食システムの検査方法の開発を行った。

令和５年度の研究成果

（1）コンテナターミナルへのサイバーポートによるDX導入に関する研究

①AI コンテナターミナルと連動するシミュレーターの開発に関する研究

AI コンテナターミナルシステムの適用先である博多港アイランドシティコンテナターミナルについて、AutoMod®によるターミナルシミュレータを構築するとともに、ターミナルオペレータ等へのヒアリングを行い、デジタルツインに求められる機能を整理し、ターミナルシミュレータや AI ターミナルシステムの改造項目に反映した。

前年度の伊万里港を対象とした小規模コンテナターミナルでのシミュレーションの基礎検討を踏まえ、複数バースで構成される博多港を対象としたシミュレータを構築し、より大規模なターミナルへの適用が可能となるよう、シミュレータの汎用性を高めた。

博多港アイランドシティコンテナターミナルにおける実作業データおよび AI ターミナルシステムを用いて作成した作業データをターミナルシミュレータに付加したシステムを構築し（図 1.3.4b-1）、シミュレーションによる評価を実施した。

また、IoT 手法の適用による荷役機械の情報収集を目的に、現地ターミナルオペレータへのヒアリングや、コンテナクレーンの制御信号データ（PLC データ）を活用した荷役作業状況の分析手法の検討を九州大学と共同で進め、コンテナターミナルのデジタルツインの実用化に向けた機能の拡充に取り組んだ。

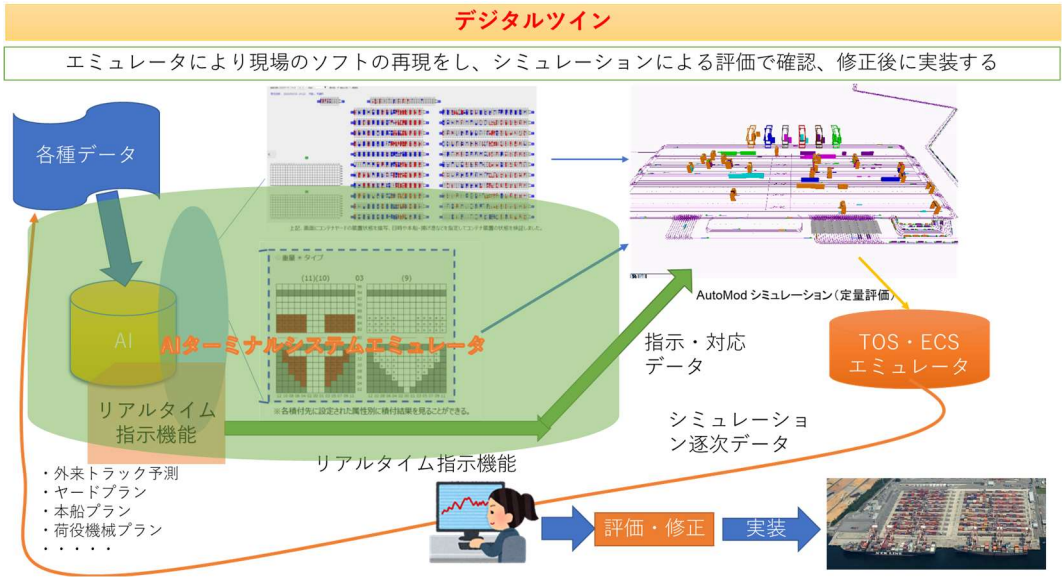


図 1.3.4b-1　リアルタイム指示機能のある AI ターミナルシステムのシミュレーションと実装

（2）コンテナターミナル間の情報連携によるデジタルツインに関する研究

シンガポール大との MOU に基づき、港湾デジタルツイン標準化技術である PortML 等の仕様調査および試作的構築を実施した。実際に日本の港湾を PortML でモデリングし、PortML の利点であるモデリング時の工数の削減効果が十分にあることを確認した（図 1.3.4b-2、図 1.3.4b-3）。

一方、PortML 単体ではシミュレーションモデルとして動作させることはできず、別途他のシミュレーションソフトウェアとのコンパイラや、シミュレーションライブラリの構築が必要となることがわかった。

また、港湾間連携ソリューションの有効性の根拠の補強のため、有識者へのインタビュー調査を実施した。さらに、日本のコンテナターミナルの情報技術の高度化に当たっては、日本の港湾システムの現状の調査と課題点の整理が不可欠であるため、コンテナターミナルの作業情報を管理するためのシステムである TOS について、国内外の代表的なシステムの比較と日本における課題点を整理し、日本の港湾ガバナンスとの関連性に関する考察を実施した。その結果を元に、日本の港湾ガバナンスとの関連や、今後の港湾システムのあるべき姿についての考察を実施した。

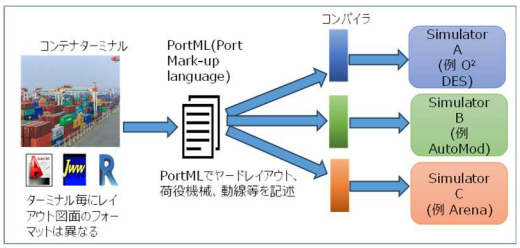


図 1.3.4b-2　PortML のコンセプト

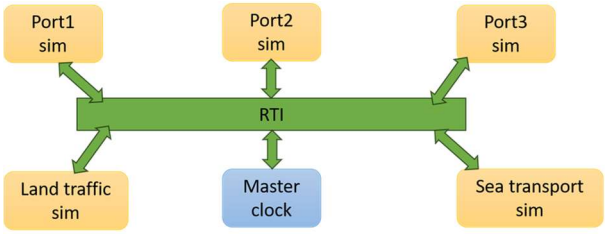


図 1.3.4b-3　コンテナターミナルシミュレータ間の相互通信

（3）主要内湾の沿岸情報の収集・発信基盤強化

情報発信基盤としてのハード環境を構築するとともに、所内のサーバー移設等の整備も行い、安定した運用のための土台を構築した。また、データ転送技術の開発、沿岸浸水マップ、生物データベース、漂流予測などのアウトプットツールを開発した。

実務でも利用可能なDXプラットフォーム（オープンデータプラットフォームを含む）を構築し、「UMI-POCHI」の本格運用を開始した（図 1.3.4b-4）。可視化部分においては、視覚的な分かりやすさに力を入れ、描画手法の高度化を行った（携帯から閲覧することも可能）。

以上の共通プラットフォームの開発により、新規コンテンツの構築のハードルが下がり、トライアル2件を含む計8件の運用が開始された。また、情報発信コンテンツの利用回数をモニタリングするための機能開発を行い、年間 10 回以上の利用があったことが確認された。

図 1.3.4b-4　DX プラットフォーム「UMI-POCHI」

（4）海中でのデータ長期測定のためのモニタリングシステムの構築

データ伝送及び電源確保方法の開発を行った（図 1.3.4b-5）。開発においては、音響データ通信に着目し、通信方式の選定を行い、基盤および回路を試作した。また、流電陽極を利用した独立電源装置を構築した。

高耐久センサの開発においては、各種センサの感応部（液絡部）の素材として、水を通さず Na のみを伝導させる Superionic Conductor に着目し、材料設計・試作に成功した。現在は、これまでの検討結果を踏まえ、高耐久化・配合検討を行っているところである。

また、UEP（海中電界センサ）を活用した、防食システムの検査方法の開発を行った。室内実験において電流密度の測定を試行した結果、センサとしての実用化の可能性が示唆された（図 1.3.4b-6）。実用化された場合、対象構造物と非接触で、鋼材の腐食速度や防食電流密度を評価することが可能となる。

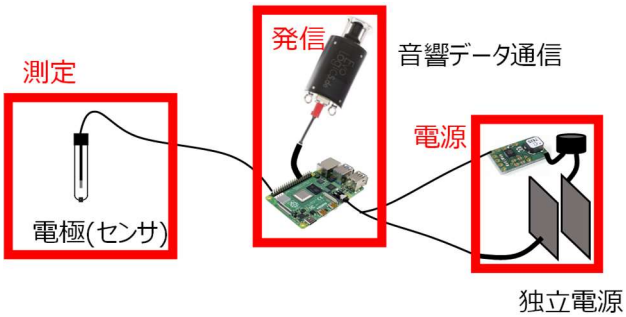


図 1.3.4b-5　研究概念図

図 1.3.4b-6　UEP センサ

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（英文）：0 編

□発表論文（和文）：2 編

・犬塚秀世，吉江宗生，杉村佳寿（2023）：コンテナターミナルの脱炭素化のための荷役シミュレーションモデルの活用法の検討．　日本船舶海洋工学会講演会論文集．　37.

・Mathias，　T. N.，　犬塚秀世，杉村佳寿，篠田岳思（2023）：PCL データを活用した RTG の荷役作業状態と消費エネルギーの分析．　日本船舶海洋工学会講演会論文集．　37.

□特許（出願，登録）：1 件
・特許（登録）：人工知能を活用した荷役機械の分散システム（インドネシア出願）

□表彰（論文賞，その他の表彰）：1 件
・犬塚英世（2023）：The 15th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies(EAST)，OCDI Takeuchi Yoshio Special Award for EASTS

□社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：1 件
・生物多様性データ等のオープン化や油漂流予測システム等をコンテンツとする，UMI-POCHI の本格運用が開始された.

□その他（学会発表，講演等）：1 件
・大倉翔太（2023）DX 推進に向けた研究データの利活用の取り組み　環境 DNA による魚類相モニタリングと東京湾口部の環境モニタリング，東京湾シンポジウム

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、安全・安心な航空輸送の実現、需要回復・増大への的確な対応、航空分野のグリーン施策及び航空イノベーションに係る政策を推進するとともに、安全で秩序ある効率的な航空交通を確保するため航空管制等の航空保安業務を実施している。

研究所は、上記政策における技術的課題への対応や航空保安業務への支援のため、航空交通の安全性及び信頼性の向上、航空管制の高度化、環境負荷の低減、空港における運用の高度化並びに航空交通を支える基盤技術の開発を目標に、次の研究開発課題に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ついては、先見性と機動性を持って的確に対応する。

【重要度：高】 我が国の航空交通に係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）航空交通の安全性及び信頼性の向上

航空需要の増大に対応して航空交通容量を拡大していくには、航空交通の安全性と信頼性の向上が必要になる。このため、航空機運航を支援する衛星・地上施設について、高性能化、用途の拡大等によって安全性を高める技術、施設等の障害発生時に運航への影響を最小化する技術等に関する研究開発に取り組む。

（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

航空需要の増大への対応には定時性の確保、環境負荷の低減及び次世代航空モビリティの考慮も重要な観点である。これを踏まえ、飛行空域の効率的な利用による空域容量の拡大、運航の堅牢性や次世代航空モビリティに対応した空域管理など航空管制の高度化等に関する研究開発に取り組む。

（3）空港における運用の高度化

空港では、航空管制、空港面管理等の業務が実施されており、新技術を活用して業務を効率化していくとともに、空港の機能を最大限発揮させるため、滑走路運用の効率を高める必要がある。このため、管制塔の業務を高度化する技術、航空機等の新たな監視技術、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路の設定等に関する研究開発に取り組む。

（4）航空交通を支える基盤技術の開発

航空交通を支えるシステムの高度化に資する基盤技術の開発や技術的課題の解決が必要である。このため、航空交通においてデジタル化を促進するための基盤技術及び航空機との無線通信を支える基盤技術等に関する研究開発に取り組む。

【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及び信頼性の向上、航空管制の高度化、環境負荷の低減、空港における運用の高度化並びに航空交通を支える基盤技術の開発を目標とする研究開発を実施して有益な研究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であっても、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のある萌芽的研究についても、先見性と機動性を持って的確に取り組む。

（1）航空交通の安全性及び信頼性の向上

航空交通の安全確保は最も重要な課題である。今後の航空需要の増大に的確に対応して空港や航空路の交通容量を拡大していく上では、航空機運航を支援する衛星・地上施設の高度化により交通量に適応した高い安全性を実現する必要がある。

また、施設の障害等に際しても一定の管制の処理容量を維持し、早期復旧に向けた対策をあらかじめ講じるなど、信頼性を高める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衛星航法の高機能化、安全性評価手法の高度化、適用範囲の拡大、障害に備えたバックアップに関する研究開発

②航空機監視に用いる各種センサの機能・要件の一元化に必要な技術に関する研究開発

（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。

また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。

このため，以下の研究開発を進める。

①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発

②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発

（3）空港における運用の高度化

空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。

また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発

②衛星航法を活用した高度な進入着陸方式に関する研究開発

（4）航空交通を支える基盤技術の開発

航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。

このため、以下の研究開発を進める。

①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発

②周波数共用、宇宙天気現象が航空交通を支えるシステムに与える影響などの技術的課題に関する研究開発

【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及び信頼性の向上、航空管制の高

度化、環境負荷の低減、空港における運用の高度化並びに航空交通を支える基盤技術の開発を目標とする研究開発を実施して有益な研究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。

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のある萌芽的研究についても、先見性と機動性を持って的確に取り組む。

（1）航空交通の安全性及び信頼性の向上

航空交通の安全確保は最も重要な課題である。今後の航空需要の増大に的確に対応して空港や航空路の交通容量を拡大していく上では、航空機運航を支援する衛星・地上施設の高度化により交通量に適応した高い安全性を実現する必要がある。

また、施設の障害等に際しても一定の管制の処理容量を維持し、早期復旧に向けた対策をあらかじめ講じるなど、信頼性を高める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衛星航法の高機能化、安全性評価手法の高度化、適用範囲の拡大、障害に備えたバックアップに関する研究開発

－新しいGNSS環境に対応したGBASについて、電離圏擾乱時を含む飛行実験等により規格化のための方式検証を行う。

－セキュリティ対策として検討されている認証方式を検証するとともに、GNSS障害時のバックアップとしてマルチDMEの評価を行う。 等

②航空機監視に用いる各種センサの機能・要件の一元化に必要な技術に関する研究開発

－一元化に必要な高機能空中線の素子及び指向性制御方式並びに受信局との連携機能の改修と評価を行い、導入効果をまとめる。 等

（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。

また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。

このため、以下の研究開発を進める。

①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発

－初期的FRA（フリールート空域）運用や国際交通流管理のための方策についてモデリングを実施する。

－悪天回避経路の生成状況に応じて空域に対する悪天候の影響度合いを定量化し提案する。

－次世代航空モビリティのための日本の低高度空域の交通環境を調査し，空飛ぶクルマのための飛行経路であるUAMコリドーの設計条件について検討を行う。 等

②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発

－空港の交通流の現状分析を進め、各空港の特徴に応じた到着・出発・空港面の統合運用方法を検討する。また、到着・出発・空港面の統合運用について、シミュレーション実験により、統合した管理機能を評価する。

－将来の時間管理運用について、ユーザーが求める機能を明確化し、実現するアーキテクチャを作成する。また、評価実験システムを使用して支援機能が管制業務作業量に与える影響を検証する。 等

（3）空港における運用の高度化

空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。

また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発

－遠隔で航空管制するリモートタワー・デジタルタワー技術の信頼性向上のため、長距離、長時間の運用環境等における評価試験を行う。

－空港周辺や空港面において、航空機等の監視データを分析し、性能要件を満足した新たな監視術を導入するための性能評価手法を検討する。

－空港面用監視技術であるFOD（滑走路異物)検知装置において、誤検知率の低減および低コスト化に向けた検討を行う。 等

②衛星航法を活用した高度な進入着陸方式に関する研究開発

－GBASを活用した新たな進入方式について、運用概念と安全性評価方針を検討する。また、滑走路離脱のパイロット支援に係る運用概念の作成、飛行方式設計アルゴリズムの高度化を行う。 等

（4）航空交通を支える基盤技術の開発

航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。

このため、以下の研究開発を進める。

①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発

－SWIM（情報共有基盤）を用いてセキュアな情報共有を実現できるサービスアシュアランス技術を提案し、検証する。

－複数の通信システムおよび通信経路を模擬した検証システムによる接続率向上を飛行実証し、通信の秘匿・優先度選択技術の評価を行う。 等

②周波数共用、宇宙天気現象が航空交通を支えるシステムに与える影響などの技術的課題に関する研究開発

－電波高度計の安全を確保しながら、同一・隣接周波数である5Gモバイルシステム等と周波数を共用するため、電磁干渉特性や干渉経路損失推定の基本評価を行う。

－宇宙天気現象がGNSSに与える影響を評価し、国内空港における制約を検討する。 等

◆年度計画における目標設定の考え方

航空交通の安全性及び信頼性の向上、航空管制の高度化、環境負荷の低減、空港における運用の高度化並びに航空交通を支える基盤技術の開発を目標とする研究開発を実施して有益な研究成果を創出することとしている。

◆令和 5 年度における取組状況

令和 5 年度においては、以下の分野を重点的に実施している。

（1）航空交通の安全性及び信頼性の向上

（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

（3）空港における運用の高度化

（4）航空交通を支える基盤技術の開発

上記4分野以外においても、萌芽的研究として、滑走路面の堆積物の分布測定・状態分析のための基礎的研究及びセキュリティ検査のための画像化レーダー技術に関する基礎的研究を実施している。

萌芽的研究

〇滑走路面の堆積物の分布測定・状態分析のための基礎的研究

研究の概要と成果

本研究は、冬季の爆弾低気圧等の影響により発生する急激な積雪をリアルタイムに観測するための新しい滑走路面の堆積物計測技術に関する研究である。滑走路上に堆積した水、雪等は航空機着陸時の摩擦係数の低下を引き起こすため、着陸前のパイロットに滑走路状態が連絡されている。現在は定期的に人が観察、計測して滑走路状態を記録しているが、この作業を自動化、リアルタイム化するため、滑走路脇から堆積物を計測する技術を開発している。

本年度は滑走路面の堆積物について面的分布計測システムと、堆積物分類アルゴリズムを開発した。面的分布計測システムの開発では、撮像性能を向上させるため、フィルタの特性計測及びレーザー線の強度分布のばらつきを評価しながら測定システムを改良し、正確な反射波強度を計測するシステムを構築した。このシステムを用いてフィルタ特性の評価を行ったところ、フィルタの偏波性能が正確計測できた。また、氷と水の違いを分類するためのアルゴリズム開発においては、氷、雪、水等の撮影画像を分類にあたって、基本的な部分の認識精度を向上させ、微小厚さの遠隔測定の技術が確立できた。

〇セキュリティ検査のための画像化レーダー技術に関する基礎的研究

研究の概要と成果

本研究は空港等におけるセキュリティ検査への導入を目指し、人や物体に対しミリ波レーダー技術を活用した電波を照射した場合の熱雑音を映像化する際の撮像性能向上に関する研究である。空港のように乗客に対するセキュリティ検査を実施する場所では、検査に要する時間が検査効率を左右するため、高速に検査が可能な機器が求められている。しかしながら、ミリ波レーダー技術を活用した電波を人や物体に照射し、熱雑音を映像化する基本原理を検証した結果、映像化した場合のコントラストが低く、ミリ波画像の高精細化、高分解能化が必要なことが判明した。このため、撮像性能を向上させる技術を開発している。

本年度はセキュリティ検査のための画像化レーダーシステムの撮像性能向上を図るため、基準受信機並列化方式を開発するとともに、昨年度開発した測定・計算アルゴリズムを改修した。

基準受信機並列化方式の開発では、複数受信機で得られたデータをそれぞれの相関値を用いて積算する手法について、2 つの受信機の位置を 2 次元的に変更可能な構造にシステムを改修し、直交する 1 次元アレイの計測を実施、点波源、面波源について計測できた。また、測定・計算アルゴリズムの改修では、実行速度の向上のため、反射波の存在確率の高い 3 次元位置だけを計算する間引き計算のアルゴリズムについて、撮影、計算、画像化までの処理時間を分析し、遅延、処理速度を向上できるよう改修し、一部の区間のみの詳細計算から、レーダーの動作範囲に相当する全区域の計算手法に改修できた。

その他：2 件

- 米本成人, “レーダの周波数と特徴”, Interface 9 月号, 2023 年 7 月.
- 米本成人, “レーダ信号処理　空港における異物所有者を検出”, Interface 10 月号, 2023 年 8 月.

研究開発課題	（1）航空交通の安全性及び信頼性の向上

研究テーマ	①衛星航法の高機能化、安全性評価手法の高度化、適用範囲の拡大、障害に備えたバックアップに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大に対応して航空交通容量を拡大していくには、航空交通の安全性と信頼性の向上が必要になる。このため、航空機運航を支援する衛星・地上施設について、高性能化、用途の拡大等によって安全性を高める技術、施設等の障害発生時に運航への影響を最小化する技術等に関する研究開発に取り組む。	航空交通の安全確保は最も重要な課題である。今後の航空需要の増大に的確に対応して空港や航空路の交通容量を拡大していく上では、航空機運航を支援する衛星・地上施設の高度化により交通量に適応した高い安全性を実現する必要がある。 また、施設の障害等に際しても一定の管制の処理容量を維持し、早期復旧に向けた対策をあらかじめ講じるなど、信頼性を高める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衛星航法の高機能化、安全性評価手法の高度化、適用範囲の拡大、障害に備えたバックアップに関する研究開発	航空交通の安全確保は最も重要な課題である。今後の航空需要の増大に的確に対応して空港や航空路の交通容量を拡大していく上では、航空機運航を支援する衛星・地上施設の高度化により交通量に適応した高い安全性を実現する必要がある。 また、施設の障害等に際しても一定の管制の処理容量を維持し、早期復旧に向けた対策をあらかじめ講じるなど、信頼性を高める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衛星航法の高機能化、安全性評価手法の高度化、適用範囲の拡大、障害に備えたバックアップに関する研究開発 －新しいGNSS環境に対応したGBASについて、電離圏擾乱時を含む飛行実験等により規格化のための方式検証を行う。

○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

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が使用可能となる。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極めて重要な課題となっている。

※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 5 年度の研究内容

□次世代 GBAS の方式検証

□次世代 GBAS 飛行実験

□耐妨害性検証実験

□次世代システムにおける外部センサ情報の活用方策検討

令和 5 年度の研究成果

□次世代 GBAS の方式検証

複数衛星系・複数周波数対応(DFMC) GBAS の国際標準案の起草グループに中心メンバーとして参画し、国際標準案の検証を実施。DFMC GBAS 電離圏モニタ方式を飛行実験データを用いて検証するとともに、国際標準案全体についても DFMC GBAS 地上・機上ソフトウェアの開発を通じて検証を行った。

□次世代 GBAS 飛行実験

2023 年 4 月、10 月及び 2024 年 3 月に新石垣空港周辺において飛行実験を実施し、強い電離圏擾乱時を含む世界的に貴重な飛行実験データを取得することに成功した。実際の強い電離圏擾乱下の GBAS 飛行実験データは世界で唯一であり、ICAO で進められている次世代 GBAS (DFMC GBAS)の国際標準案策定に使用されている。

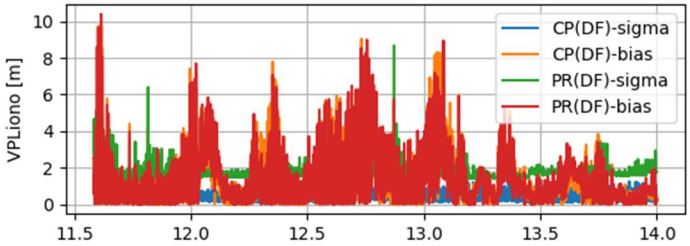
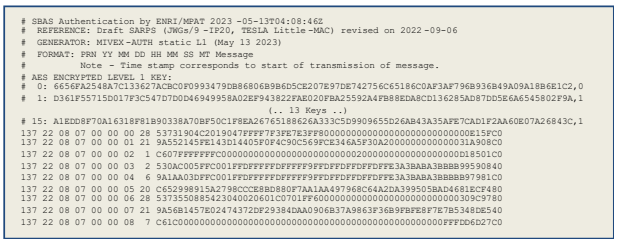


図 1.4.1 電離圏擾乱時の DFMC GBAS 電離圏モニタの検証

□耐妨害性検証実験

SBAS 信号認証メッセージの効果、MSAS における実現可能性を検証した。DFMC SBAS プロトタイプへの組み込身を実施中。また、これらの研究成果を DFMC SBAS における SBAS 信号認証の国際標準案の検証に活用し、その策定に寄与しているところである。



```
# SBAS Authentication by ENRI/MPAT 2023 -05-13T04:08:46Z
#  REFERENCE: Draft SARPS (JWGs/9 -IP20, TESLA Little-MAC) revised on 2022-09-06
#  GENERATOR: MIVEX-AUTH static L1 (May 13 2023)
#  FORMAT: PRN YY MM DD HH MM SS MT Message
#          Note - Time stamp corresponds to start of transmission of message.
# AES ENCRYPTED LEVEL 1 KEY:
#  0: 6656FA2548A7C133627ACBC0F0993479DB86806B9B6D5CE207E97DE742756C65186C0AF3AF796B936B49A09A18B6E1C2,0
#  1: D361F55715D017F3C547D7D0D4694995 8A02EF943822FAE020FBA25592A4FB88EDA8CD136285AD87DD5E6A6545802F9A,1
                                   (.. 13 Keys ..)
# 15: A1EDD8F70A16318F81B90338A70BF50C1F8EA2676518862 6A333C5D9909655D26AB43A35AFE7CAD1F2AA60E07A26843C,1
137 22 08 07 00 00 00 28 53731904C2019047FFFF7F3FE7E3FF8000000000000000000000000000E15FC0
137 22 08 07 00 00 01 21 9A552145FE143D14405F0F4C90C569FCE346A5F30A200000000000000031A908C0
137 22 08 07 00 00 02  1 C607FFFFFFFC0000000000000000000000000200000000000000000000D18501C0
137 22 08 07 00 00 03  2 530AC005FFC001FFDFFFFFFDFFFFF9FFDFFDFFDFFDFFDFFE3A3BABA3BBBBB99590840
137 22 08 07 00 00 04  6 9A1AA03DFFC001FFDFFFFFFDFFFFF9FFDFFDFFDFFDFFDFFE3A3BABA3BBBBB97981C0
137 22 08 07 00 00 05 20 C65298915A2798CCCEBBD880F7AA1AA497968C64A2DA399505BAD4681ECF480
137 22 08 07 00 00 06 28 537355088542304002060 1C0701FF6000000000000000000000000000309C9780
137 22 08 07 00 00 07 21 9A56B1457E02474372DF29384DAA0906B37A9863F36B9FBFE8F7E7B5348DE540
137 22 08 07 00 00 08  7 C61C0000000000000000000000000000000000000000000000000FFFDD6D27C0
```

図 1.4.2 SBAS 信号認証メッセージサンプル

□次世代システムにおける外部センサ情報の活用方策検討

ICAO 宇宙天気情報サービスを主管する ICAO 気象パネルと調整を行い、ICAO 宇宙天気情報マニュアルの改訂などを通した ICAO 宇宙天気情報サービスの改良に向けた検討を行っている。

□新規事項

JAMSTEC と協力し、観測船「みらい」を用いた北極域における DFMC SBAS 性能評価実験を行った。引き続き極域における DFMC SBAS 性能評価実験の結果の解析を進める。

図 1.4.3 北極海 DFMC SBAS 性能評価実験

成果の公表

□学術論文誌:5 編

- 坂井丈泰, “メッセージタイプ 28 の受信前における SBAS の完全性, ”測位航法学会論文誌, Vol. 14, No. 1, pp. 1-6, April 2023.
- 坂井丈泰, 北村光教, 毛塚敦, “SBAS における高速補正メッセージの削減, ”日本航空宇宙学会論文集, Vol. 71, No. 5, pp. 203-208, Oct. 2023.
- R. Suga, A. Kezuka, and M. Watanabe, “Hybrid Electromagnetic Simulation using 2D-FDTD and Ray-tracing Method for Airport Surface, ”IEICE Transactions on Electronics, Vol. E106-C, No. 11, pp. 774-779, Nov. 2023.
  DOI:10.1587/transele.2022ECP5068
- J. Budtho, P. Supniti, N. Siansawasdi, S. Saito, A. Saekow, L. M. M. Miynt, “Ground Facility Error Analysis and GBAS Performance Evaluation around Suvarnabhumi Airport, Thailand,” IEEE-TAES, Vol. 60, No. 1, pp. 537-547, Feb. 2023.
  DOI: 10.1109/TAES.2023.3326134
- S. Sophan, P. Supnithi, L. M. M. Myint, S. Saito, K. Hozumi, M. Nishioka, “Local Mitigation of Higher-Order Ionospheric Effects in DFMC SBAS and System Performance Evaluation, ”GPS Solutions, Vol. 28, No. 76, Feb. 2024.
  DOI:10.1007/s10291-024-01614-w.

□国際学会（全文査読）:0 編

□国際学会（アブストラクト査読）:2 編

- T, Sakai, M, Kitamura, and A, Kezuka, “Prototyping Message Authentication on L1 SBAS, “ION GNSS+ 2023, Denver, USA, Sept. 2023.
- S, Saito, T, Yoshihara, et. al., ”Evaluating performance of ionospheric anomaly monitor for DFMC GBAS with flight data in ionospheric disturbed conditions, ”ION GNSS+ 2023, Denver, USA, Sept. 2023.

□国際学会（査読なし）:3 編

- S, Saito, T, Yoshihara, and T, Takahashi, ”Intense ionospheric irregularities following the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha’apai on 15 January 2022, ”JPGU 2023, Makuhari, Japan, May 2023.
- S, Saito and T, Yoshihara, ”DFMC GBAS Development and Ionospheric Threat Mitigation, ”5th INCT GNSS NavAer Workshop, Brazil, Nov. 2023.
- S, Saito, T, Yoshihara, et. al., ”GBAS Ionospheric Threat Assessment in the Asia-Pacific Region, ”5th INCT GNSS NavAer Workshop, Brazil, Nov. 2023.

□標準化会議:9 編

- T, Sakai, ”MSAS Feedback to New VPL Equation, ”ICAO NSP JWGs/10, Montreal, Canada, May 2023.
- S, Saito and T, Yoshihara, ”Validation of ionospheric anomaly monitor for DFMC GBAS with flight data, ”ICAO NSP JWGs/10, Montreal, Canada, May 2023.
- T, Sakai, “MSAS Authentication Prototype and Sample Message on L1, “ICAO NSP JWGs/10, Montreal, Canada, May 2023.
- M, Fukuda, M, Nakakubo, S. Saito, T, Yoshihara, and S, Saito, “GBAS Status Update in Japan, ”ICAO NSP JWGs/10, Montreal, Canada, May 2023.
- T, Sakai, ”Prototype Authentication Message Generator for L1 SBAS, ”SBAS IWG/38, Toulouse, France, Sept. 2023.
- S. Saito, et. al., “Evaluating performance of ionospheric anomaly monitor for DFMC GBAS with flight data in ionospheric disturbed conditions, “RTCA SC-159 WG-4, Washington DC, USA, Oct. 2023.
- S. Saito, ”Impact of removing SBAS ranging source on Annex 10, GBAS ICD, and MOPS, ”RTCA SC-159 WG-4, Washington DC, USA, Oct. 2023.
- S, Saito and T, Yoshihara, ”DFMC GBAS Ionosphere Monitor Validation by Flight Data,” ICAO NSP JWGs/11, Montreal, Canada, Nov. 2023.
- S. Saito, ”SBAS Ranging Source in GBAS, ”ICAO NSP JWGs/11, Montreal, Canada, Nov. 2023.

□国際会議:5 編

- S. Saito and T. Yoshihara, “GBAS Research Status of ENRI, ”IGWG-22, San Francisco, USA, June 2023.
- S, Saito and T. Yoshihara,“Ionospheric anomaly monitor performance analysis for DFMC GBAS with ground and flight data, ”IGWG-22, San Francisco, USA, June 2023.
- S. Saito, et. al., “Observation of the ionospheric scintillation on GNSS signals and their relationship with plasma bubble structures, ”EAR Symposium, Online, Aug. 2023.
- T. Sakai, “Ranging Signal Authentication: Another Augmentation by QZSS, ”International Symposium on Space Security, Seoul, South Korea, Nov. 2023.
- T. Sakai, “SBAS Authentication Toward Secure GNSS, ”GNSS Interference Awareness Workshop, Online, Feb. 2024.

□国内学会:7 編

- 吉原貴之他, ”屋根上に設置した GNSS の測位誤差と屋根雪荷重との関係について, ”雪氷研究大会, 郡山, 日本, Sept. 2023.
- 吉原貴之, 毛塚敦, 齋藤享他, ”GNSS 信号の積雪面反射における右旋及び左旋円偏波の受信による積雪面観測の検討, ”雪氷研究大会, 郡山, 日本, Sept. 2023.
- 吉原貴之, 北村光教 坂井丈泰, 小田浩之, 高橋透, ”空港面での GNSS 受信信号の品質監視と測位解の信頼性評価, ”第 67 回宇宙科学技術連合講演会, 富山, 日本, Oct. 2023.
- 北村光教, 小田浩之, 坂井丈泰, ”MSAS 補強性能に関する解析, ”第 67 回宇宙科学技術連合講演会, 富山, 日本, Oct. 2023.
- 北村光教, 坂井丈泰, ”L5 SBAS による信号認証機能, ”第 61 回飛行機シンポジウム, 北九州, 日本, Nov. 2023.
- 小田浩幸, “電子航法研究所における飛行実験, ”日本航海学会 GPS/GNSS 研究会, 鳥羽, 日本, Oct. 2023.
- 高橋透, ”北極域における次世代測位補強システムの利用, ”海洋技術フォーラムシンポジウム, オンライン, March 2024.

□その他:5 編

- 坂井丈泰, ”GNSS の基礎, ”測位航法学会全国大会, 東京, 日本, May 2023.
- 北村光教, ”SBAS の概要及び理論, ”出前講座, 海上保安庁羽田航空基地, 東京, 日本, July 2023.
- 北村光教, ”SBAS の概要, ”出前講座, 海上保安庁北九州航空基地, 北九州, 日本, Nov. 2023.
- Takeyasu Sakai, ”Quasi-Zenith Satellite System (QZSS): Current Status and Ongoing Projects, ” Autonomous Navigation Laboratory Seminar, Seoul, South Korea, Nov. 2023.
- 高橋透, ”北極海航路における準天頂衛星から放送される補強メッセージの利用, ”第2回うみそら研勉強会, オンライン, Dec. 2023.

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):2 件

- 特許第 7326650 号:衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法、測位誤差を補正する情報処理装置及びプログラム(令和 5 年 8 月 7 日登録)

特許第 7385287 号:衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法、測位誤差を補正する情報処理装置及びプログラム(令和 5 年 11 月 14 日登録)

研究開発課題	（1）航空交通の安全性及び信頼性の向上

研究テーマ	①衛星航法の高機能化、安全性評価手法の高度化、適用範囲の拡大、障害に備えたバックアップに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大に対応して航空交通容量を拡大していくには、航空交通の安全性と信頼性の向上が必要になる。このため、航空機運航を支援する衛星・地上施設について、高性能化、用途の拡大等によって安全性を高める技術、施設等の障害発生時に運航への影響を最小化する技術等に関する研究開発に取り組む。	航空交通の安全確保は最も重要な課題である。今後の航空需要の増大に的確に対応して空港や航空路の交通容量を拡大していく上では、航空機運航を支援する衛星・地上施設の高度化により交通量に適応した高い安全性を実現する必要がある。 また、施設の障害等に際しても一定の管制の処理容量を維持し、早期復旧に向けた対策をあらかじめ講じるなど、信頼性を高める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衛星航法の高機能化、安全性評価手法の高度化、適用範囲の拡大、障害に備えたバックアップに関する研究開発	航空交通の安全確保は最も重要な課題である。今後の航空需要の増大に的確に対応して空港や航空路の交通容量を拡大していく上では、航空機運航を支援する衛星・地上施設の高度化により交通量に適応した高い安全性を実現する必要がある。 また、施設の障害等に際しても一定の管制の処理容量を維持し、早期復旧に向けた対策をあらかじめ講じるなど、信頼性を高める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衛星航法の高機能化、安全性評価手法の高度化、適用範囲の拡大、障害に備えたバックアップに関する研究開発 －セキュリティ対策として検討されている認証方式を検証するとともに、GNSS障害時のバックアップとしてマルチDMEの評価を行う。等

〇全飛行フェーズでのRNP化に向けた衛星航法のバックアップ（APNT）構築

研究の背景

我が国では全飛行経路の RNP 化が進められているが、RNP 経路を飛行する際の航法装置としては現在 GNSS のみが認められており、DME/DME 測位は現在使用できない。一方で障害により GNSS が使用できない場合が多数報告されており、RNP 経路を飛行する際の GNSS のバックアップ（APNT）を構築する必要がある。EUROCAE WG107 では短期的なバックアップとして地上 DME 局にインテグリティ性能を持たせて RNP 経路を飛行可能とする標準化が進行中であり、我が国でも 2026 年度からの導入を目指して計画中である（CARATS NAV-8）。EUROCAE WG-107 では、最大のインテグリティ脅威であるマルチパスへの対策基準が策定される見込みであり、ICAO での国際標準化も進行中である。また、欧州では中期的バックアップとして複数の地上 DME 局を用いたマルチ DME-RAIM（Range Autonomous Integrity Monitoring）の研究が進められている。長期的な対策は LDACS-NAV など新たなシステム導入に向けて各国が研究段階にある。

研究目標

□短期的 APNT 国内導入に向けて、実運用機材でインテグリティを改善する方法を開発するとともに EUROCAE 基準に基づいた電波伝搬解析により国内 DME 誤差発生要因を明らかにする。

□中期的 APNT 国内導入に向けて、マルチ DME の国内適用性を明らかにするとともに、我が国特有の山岳地形や配置の悪さに対応した RAIM アルゴリズムを開発する。

□長期的 APNT の国際的な方式選定に向け、地表画像による測位の利用可能性を明らかにするとともにインテグリティ保証に有用なアルゴリズムを開発する。

令和 5 年度の研究内容

□DME パルス伝搬解析（EUROCAE 基準）

□マルチ DME 国内性能評価

□飛行実験及び実験系性能改善

□国際標準化参加（EUROCAE、ICAO 等）

□長期 APNT 初期検討

令和 5 年度の研究成果

□DME パルス伝搬解析（EUROCAE 基準）

EUROCAE WG-107 ではマルチパスがインテグリティ脅威として扱われ、地面反射等のフェージングにより発生するとの見解である。我が国での状況を確認するため、実験用航空機（よつば）により取得した飛行実験データの解析を実施した。その結果、マルチパスが原因であると考えられる DME 誤差をエンルート（図 1.4.4）において抽出することができた。発生要因究明のため EUROCAE WG-107 の議論に基づいた電波伝搬解析を実施した結果、地面反射に起因するものではないことが分かった。なお、抽出された DME の誤差データは、長距離・一定高度の飛行で取得しているため、図 1.4.5 に示すように対流圏による誤差も明瞭に観測することができている。DME の長距離利用で発生する誤差を定量的に把握したことは DME の再配置を検討する上で有用なデータを提供することができる。

図 1.4.4 飛行実験経路

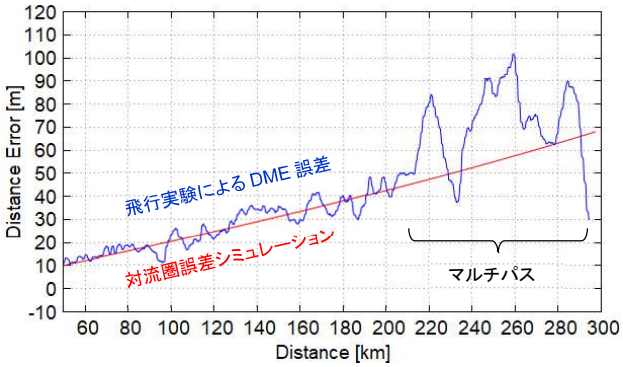


図 1.4.5 DME 測距誤差

□マルチ DME 国内性能評価

（1）成田空港飛行実験データ解析

複数の地上 DME 局との測距情報を用いて測位を行うマルチ DME 方式について、大規模空港の一例としての成田空港において取得した DME データにより測位性能の解析を実施した。図 1.4.6 に示す到着経路（SWAMP-N）において解析した結果、十分な局数と測距精度を有していることが分かった。また、測位精度についても RNP1 基準を満たしていることが分かり、マルチ DME 方式が成田空港へ適用可能であることを明らかにした。また、マルチ DME は RNP 経路に適用することから自律的なシステムの完全性監視（RAIM）が要求されるため、測位解と DME 距離との乖離を統計量として測位異常が検出可能であるかを解析した。その結果、図 1.4.7 に示すように誤差が大きくなる部分において図 1.4.8 に示すとおり統計量が増大することから、成田空港における DME-RAIM の基本動作を確認できた。

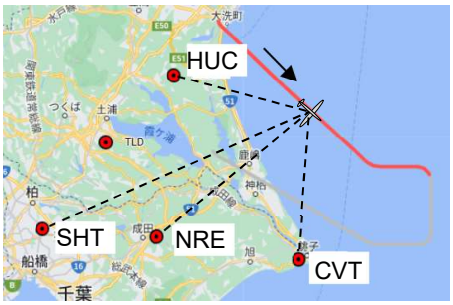


図 1.4.6 成田空港における飛行経路

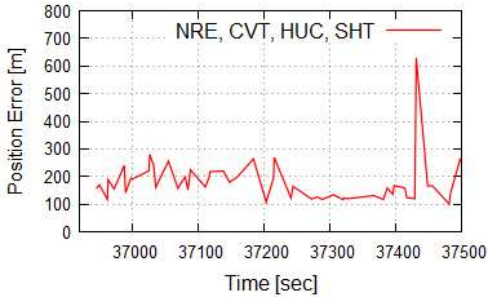


図 1.4.7　マルチ DME 測位誤差

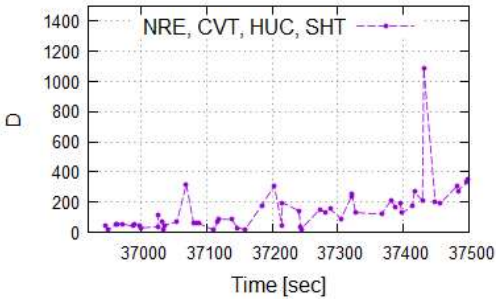


図 1.4.8　DME-RAIM 統計量

実験用航空機よつばにより仙台空港の出発・到着経路において取得した DME 測距データを用いてマルチ DME 測位の性能を解析した。その結果、図 1.4.9 に示すように高高度においては比較的精度良く測位可能である一方で、低高度においては誤差の変動が極めて大きくなることが分かった。この要因を分析した結果、飛行経路（図 1.4.10）において高高度では SDE、ISD、HPE、IXE 及び FKE の地上局を用いた測位となるが、低高度では FKE が利用できないことが原因であることが分かった。マルチ DME 測位では航空機を囲うように地上 DME 局が存在すると測位精度は向上するが、仙台空港の出発経路では低高度において FKE が利用できず、南北に一直線上の配置となっていることが原因あることを明らかにした。この状況は、山間部が多く南北に細長い国土を有する我が国特有の課題であり、GNSS 障害時のバックアップとして国際標準化が進むマルチ DME／DME-RAIM を我が国に導入する際の課題を明確化できた。

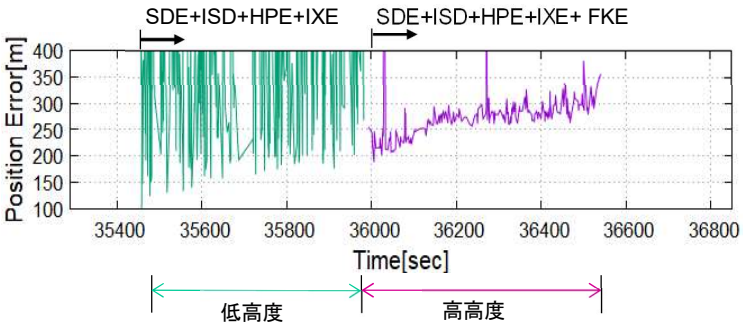
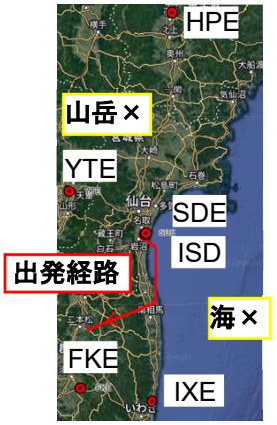


図 1.4.9 仙台空港出発経路におけるマルチ DME 測位誤差



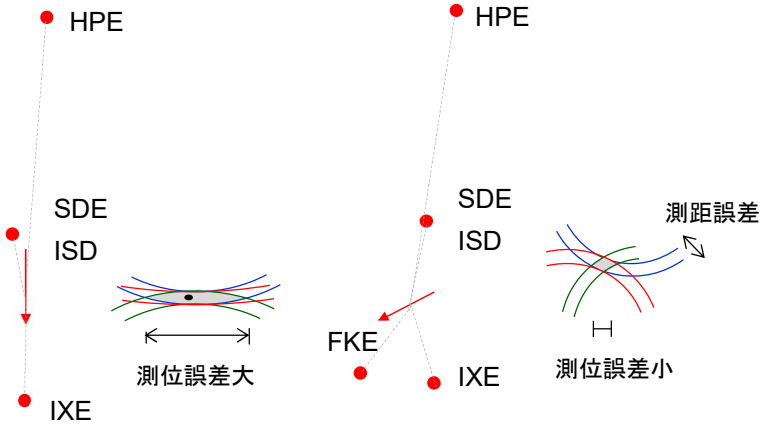


図 1.4.10 仙台空港飛行実験経路　　図 1.4.11 地上局の配置とマルチ DME 測位誤差

□飛行実験及び実験系性能改善

長期的 APNT のデータ取得を実験用航空機の代替としてドローンにより実施するため、法規及び技能講習

を受講した。

□長期 APNT 初期検討

DME は 2 局以上で測位が可能となるが、完全性を保証するためには 4 局以上の地上 DME 局との測距が必要である。低高度において、利用可能な局数が 4 局未満となった場合でも完全性を保証する方法としてカメラによる地表面画像を用いることを検討している。DME が 2 局以下となり IRU が代替測位手段となった際にも完全性を保証可能であると考えられる。研究フェーズであり、長期的な APNT として位置づけである。本年度は、その基礎検討として、 電子航法研究所上空にてドローンにより取得した地表画像を用いて地図との相関計算を行い、測位結果が正しい場合に強い相関が得られることをテンプレートマッチング法により確認した。また、テンプレートマッチング法は膨大な計算時間が必要であることを定量的に明らかにし、RNP1 経路の TTA(警報時間)に収まるようなアルゴリズムの改良が課題であることを明確化した。

成果の公表

□学術論文誌:0 編

□国際学会(全文査読):0 編

□国際学会(アブストラクト査読):1 編

- A. Kezuka, M. Takashima, T. Amishima, K. Takeuchi, “A Study on Application of Mulit-DME Positioning to Aircraft Departure Routes, ”ICSANE2023, Surakarta, Indonesia, Dec. 2023.

□国際学会(査読なし):0 編

□標準化会議:0 編

□国際会議:0 編

□国内学会:4 編

- 毛塚敦, 田嶋裕久, “成田空港飛行実験によるマルチ DME 測位と DME-RAIM の有効性に関する基礎検討, ”信学技報 SANE2023-16, 相模原, 日本, June 2023.
- 毛塚敦, 吉原貴之, 藤井直樹, “航空用距離測定装置を利用した対流圏遅延量測定法, ”信学技報 SANE2023-28, 札幌, 日本, July 2023.
- 竹内研人, 網嶋武, 高島宗彦, 毛塚敦, “UAV により取得した地表面画像による自己位置標定方法, ”信学ソ大, B-2-5, 名古屋, 日本, Sept. 2023.
- 毛塚敦, 高島宗彦, 本田純一, “機械学習を用いたドローンによる進入角指示灯の検査支援及び自動化に関する基礎検討, ”信学技報 SANE2023-46, 室蘭, 日本, Aug. 2023.

□その他:1 編

- 毛塚敦, “航空分野における測位の概要と完全性保証, ”明治大学理工学部電気電子生命概論特別講義, 川崎, 日本, May 2023.

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（1）航空交通の安全性及び信頼性の向上

研究テーマ	②航空機監視に用いる各種センサの機能・要件の一元化に必要な技術に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大に対応して航空交通容量を拡大していくには、航空交通の安全性と信頼性の向上が必要になる。このため、航空機運航を支援する衛星・地上施設について、高性能化、用途の拡大等によって安全性を高める技術、施設等の障害発生時に運航への影響を最小化する技術等に関する研究開発に取り組む。	航空交通の安全確保は最も重要な課題である。今後の航空需要の増大に的確に対応して空港や航空路の交通容量を拡大していく上では、航空機運航を支援する衛星・地上施設の高度化により交通量に適応した高い安全性を実現する必要がある。 また、施設の障害等に際しても一定の管制の処理容量を維持し、早期復旧に向けた対策をあらかじめ講じるなど、信頼性を高める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航空機監視に用いる各種センサの機能・要件の一元化に必要な技術に関する研究開発	航空交通の安全確保は最も重要な課題である。今後の航空需要の増大に的確に対応して空港や航空路の交通容量を拡大していく上では、航空機運航を支援する衛星・地上施設の高度化により交通量に適応した高い安全性を実現する必要がある。 また、施設の障害等に際しても一定の管制の処理容量を維持し、早期復旧に向けた対策をあらかじめ講じるなど、信頼性を高める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航空機監視に用いる各種センサの機能・要件の一元化に必要な技術に関する研究開発 ー一元化に必要な高機能空中線の素子及び指向性制御方式並びに受信局との連携機能の改修と評価を行い、導入効果をまとめる。 等

〇高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究

研究の背景

我が国では、将来の航空交通需要増大へ対応した監視技術の革新として、二次監視レーダー(SSR)、広域マルチラテレーション(WAM)、放送型自動従属監視(ADS-B)といった異種センサを整備し、それらの航跡を統合する航空路マルチセンサーシステムの整備を進めている。現在、航空路 WAM の整備が進んでいるほか、令和 3 年度には CARATS にて ADS-B 導入の意思決定が予定されている。航空路マルチセンサーシステムは各センサの長所を取り入れた監視機能を実現できる一方、異種センサが独立して整備された冗長性の高い構成となっており、それらをより一元的に実現することが、効率化と高性能化の両立に必要である。これに向けては、各センサが持つ異なる送受信要件を集約できる高機能空中線が必須となる。そのため、高機能空中線と高機能空中線による監視機能実現（SSR・WAM 相当の測位、ADS-B の検証）に必要な技術の開発が求められる。国内外の技術開発の動向としては、各センサに関する個別の技術開発は見受けられるが、航空路マルチセンサーシステムの包括的な検討は見当たらない。

研究目標

□SSR/WAM 相当の測位機能及び ADS-B 検証機能を達成するために必要な、高機能空中線及び高機能空中線を用いた監視機能の要素技術開発

□高機能空中線による効率化・高性能化（サイト数・精度等）の検討結果とりまとめ

□監視技術に関する国際標準化活動に参加し、評価結果の提出による貢献と技術文書への反映

令和 5 年度の研究内容

□高機能空中線の素子・指向性制御方式の改修・評価

□高機能空中線を活用した監視機能の改修・評価

□提案方式の導入効果の検討

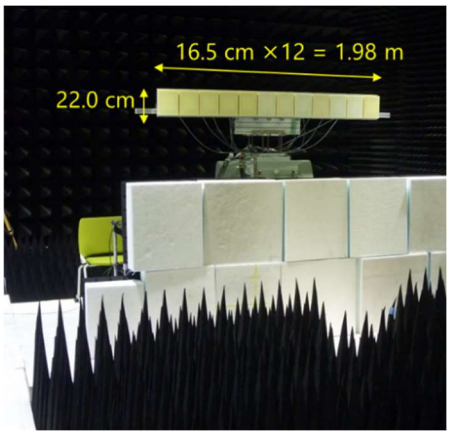
□国際標準化活動

令和 5 年度の研究成果

□高機能空中線の素子・指向性制御方式の改修・評価

様々な監視センサの要件に対応するためには、電波の送受信方向（指向性）の制御や電波の到来方向推定（航空機の方向探知）が必要となる。その実現に必要な空中線素子の改修を実施した。改修では、これまで 12 素子を横一列に並べていたところ、縦 3 素子×横 4 素子の構成でも並べられるようにした。本改修の意図は、地面反射した電波を受信して方向探知精度が悪化することへの対策である（マルチパス対策）。

改修の評価として、空中線素子と指向性制御方式を連接させて到来方向推定の実験を行った。指向性制御はデジタルビームフォーミング方式が可能な受信システムにおいて MUSIC(Multiple Signal Classification)と呼ばれるアルゴリズムを適用した。実験は次の 3 条件で実施した（条件 1～3）。条件 1 は電波無響室内（マルチパスの無い条件）において改修無しの構成（縦 1×横 12）とした場合である。条件 2 は屋外環境（マルチパスの有る条件）において改修無しの構成（縦 1×横 12）とした場合である。条件 3 は、屋外環境において改修後の構成（縦 3×横 4）とした場合である。図 1.4.12 には実験時の写真を示す。



(a) 条件 1：無響室・改修無し

(b) 条件 2：屋外・改修無し

(c) 条件 3：屋外・改修有り

図 1.4.12 指向性制御と空中線素子の連接実験

まず、条件 1（電波無響室・改修無し）では非常に良好な精度を確認できた。誤差の標準偏差は 0.04° となり、既存の SSR より（0.06° ）よりも優れた精度を達成した。さらに、横方向のサイズは約 2m であり、既存の SSR（8.1 m）よりも小さい。すなわち、デジタルビームフォーミング方式により、既存 SSR よりも小型に空中線を実現できる可能性を示すことができた。しかしながら、同じ構成を屋外で実験した条件 2 では、0.34° となり、精度が悪化した。無響室と屋外の最も大きな違いはマルチパスの有無であるため、精度悪化の原因はマルチパスと言える。そこで、マルチパス対策の改修効果を確認するため、条件 2 と条件 3 の結果を比較した。ただし、マルチパス対策の効果のみを抽出するには横方向素子数を揃える必要がある（図 1.4.13 に示すように、精度は横方向素子数にも比例するため）。そこで条件 2 において 4 素子のみを使った場合(縦 1×横 4)と条件 3(縦 3×横 4)を比較すると、前者は 1.1° 後者は 0.71° となり、大幅な改善効果を確認できた。この結果をもとに、SSR 相当の 0.06° の実現に必要な素子規模を概算すると、横方向を約 12 倍して縦 0.78 m×横 7.9 m となる。既存の SSR は縦 1.8 m×横 8.1 m であるため、縦方向には約半分の小型化が期待される結果となった。このような航空監視信号に対するデジタルビーム方式の応用は先進的な研究課題であり、学会での報告は少ないところ、当所の研究開発は素子数が従来実験よりも多いほか、垂直パターン形成の分析

にも取り組んでおり、新規性が高く、科学的意義も十分に高い。

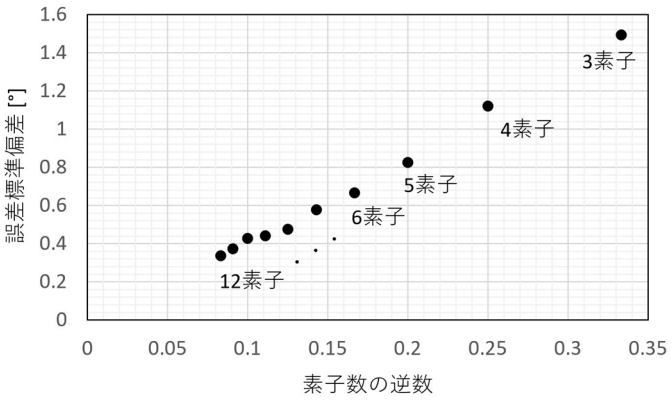


図 1.4.13 条件 2 横方向素子数と精度の評価結果（条件 2）

□高機能空中線を活用した監視機能の改修・評価

高機能空中線は航空機までの距離と信号到来方向を測定できる。これをさらに周辺の WAM 受信局と連携させれば、信号到達時間差も測定できるようになる。このような様々な情報を活用して航空路マルチセンサーに必要な各種機能を実現する技術について改修・評価を進めた。

(1) 測位機能の改修・評価

シミュレーションを用いて航空機位置を推定するアルゴリズムについて改修を行った。具体的には高度の取り扱いを改良して精度を向上させた。さらに改修したアルゴリズムを、実験データを用いて評価した。実験では、高機能空中線として航空局が所有するアクティブフェーズドアレイ方式の評価機材を借用した。本評価機材により飛行中の航空機に対する距離と信号到来方向の測定を行った。また、当所の受信局 2 局（東京国際空港及び調布）を利用し、信号到達時間差を測定した。実験で得られたデータに対して改修したアルゴリズムを適用し、その精度を評価した。図 1.4.14 には実験での位置関係、機材写真、及び測位結果を示す。評価の結果、測位精度を表す RMSE は 89.9 m となり、必要精度である 350 m（航空路 WAM 要件）を満たすことができた。また、従来 WAM の動作には最低 4 局必要であったところ、本結果は地上局数が 3 局のみで得られたものであり、地上局数の削減効果も実験的に確認できた。

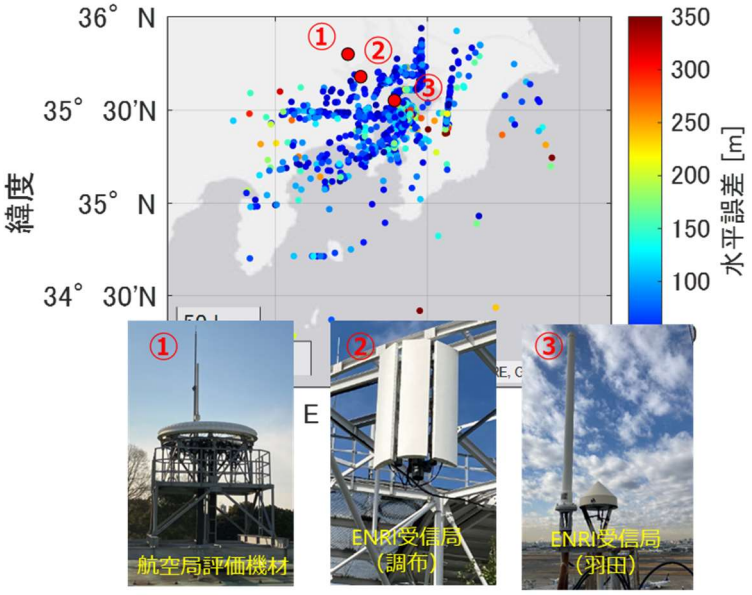
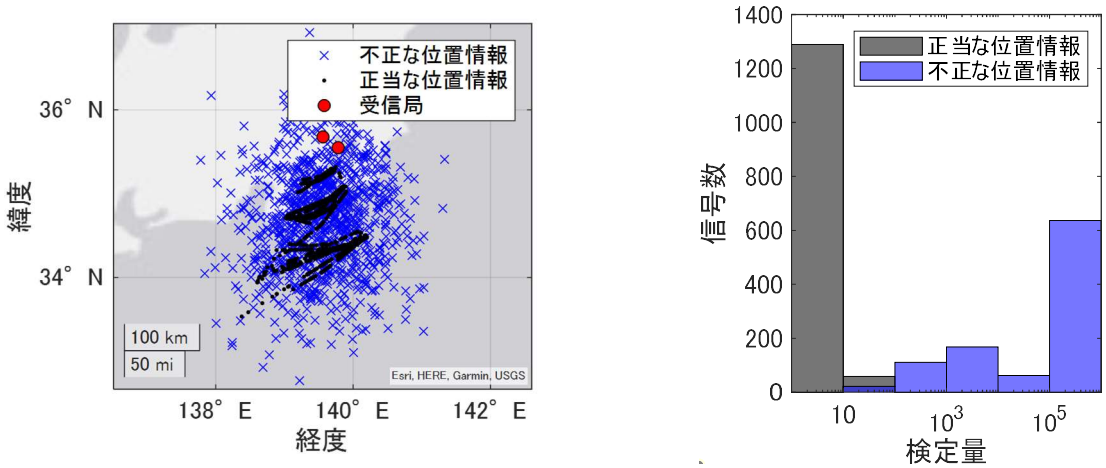


図 1.4.14 測位機能の評価結果

(2) ADS-B 検証機能の改修・評価

ADS-B は航空機による位置放送であるため成りすましの脆弱性がある。その対策として様々な情報を用いて位置情報を検証する機能の改修・評価を進めた。改修では、前述した空中線素子と指向性制御方式の連接実験データを使用できるようにした。実験データからは信号到来方向の測定結果を利用した。さらに当所の受信局 2 局において測定した信号到達時間差を利用した。そして、信号到来方向と信号到達時間差の情報を組み合わせて、位置情報を検証するアルゴリズムを適用・評価した。本アルゴリズムは情報の正当性の指標である検定量を計算するものである。評価として、不正な位置情報を人工的に生成し、検知できるかどうかを確認した。その結果を図 1.4.15 に示す。図 1.4.15(a)が位置情報であり、これらに対して検定量を計算した結果が図 1.4.15(b)である。位置情報が正当な場合には検定量が小さいが、位置情報が不正な場合には検定量が大きくなり、不正を検知できた。検知率は 98.5%となった。従来の手法である信号到達時間差のみを用いた場合は検知率が 88.2%であったため、大幅な性能向上となった。以上から、情報を組み合わせることにより、なりすまし対策を強固にできることを確認できた。

このような ADS-B 検証機能については、大阪万博において空飛ぶクルマ向けの監視装置の仕様として反映され、今年度メーカーによる製造が開始された。本研究では当該メーカーによる製造を共同研究により支援しているほか、過去に利用許諾を締結したソフトウェアが実際に使用されることとなった。したがって、これらの成果は、安全性・信頼性向上、システムの高度化といった社会的価値の創出に貢献し、期待された時期に成果が創出されていると言える。



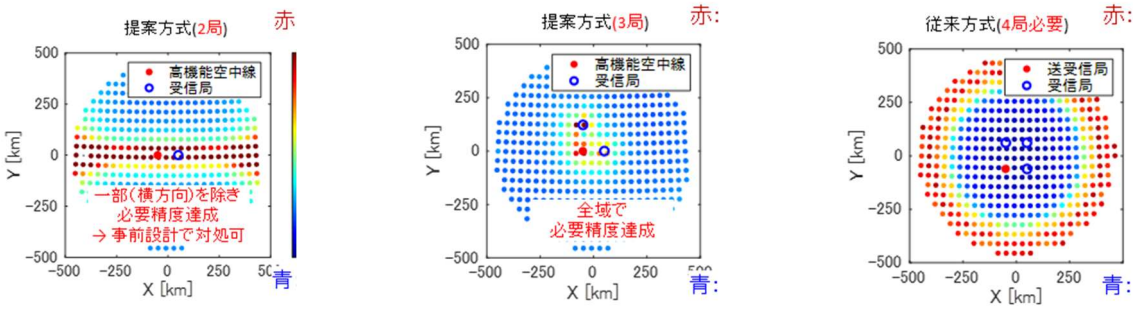
(a) 位置情報　　(b) 検定量

図 1.4.15 ADS-B 検証機能の評価結果

□提案方式の導入効果の検討

高機能空中線と受信局の連携による測位機能について、シミュレーションにより様々な条件下での性能評価を行った。昨年度からの改善点はパラメータの見直し、新しい評価指標(後述する性能充足率)の導入、受信局数を増やした場合の計算である。図 1.4.16(a)には計算の一例として、地上局が 2 局の場合(高機能空中線 1 局、受信局 1 局)を示す。図中の色は精度を表しており(赤:低精度～青:高精度)、地上局の基線正面方向を中心に広いエリアで要求精度 350 m を満足した。要求精度を満足した地点の割合を性能充足率と定義すると 89.8%となった。性能充足率は地上局間の離隔距離や航空機高度によって変わることが分かり、まとめると図 1.4.17 の結果となった。全体的な傾向として、地上局間の距離が広がると性能充足率は改善したが、測位原理上、頭打ちすることも確認された。この部分は受信局配置に関する事前設計で対処すれば良い。もし横方向の改善が必要な場合には受信局を追加することになる。この例として、1 局を追加して 3 局とした場合(高機能空中線 1 局、受信局 2 局)の例を図 1.4.16(b)に示す。この場合は性能充足率が 99.1%まで改善し、全域で必要精度を達成することができた。以上の結果を従来 WAM と比較すると、図 1.4.16(c)のように従来 WAM は少なくとも 4 局が必要である。実用上は地形や建物の遮蔽の影響を考慮し、さらに多数の受信局を必要とする。これに対して、高機能空中線と受信局による測位は、図 1.4.16(a)(b)で示したように地上局数が 1～2 局少ない 2～3 局でも成立する。高機能空中線を WAM の送受信機という位置づけで用いることになる。

以上の導入効果検討はシミュレーション結果ではあるが、前述したように航空局評価機材と当所機材の連携によって実験的な検証も行った。本成果により WAM 局数の削減を通じたシステムの整備や維持管理の負担軽減・省力化に繋がることが期待される。したがって、本成果・取り組みは社会的価値（空域及び空港運用の効率化）の創出に貢献している。



(a) 提案方式：2 局　　(b) 提案方式：3 局　　(c) 従来方式（WAM）：4 局

図 1.4.16 連携測位の導入効果のシミュレーション結果

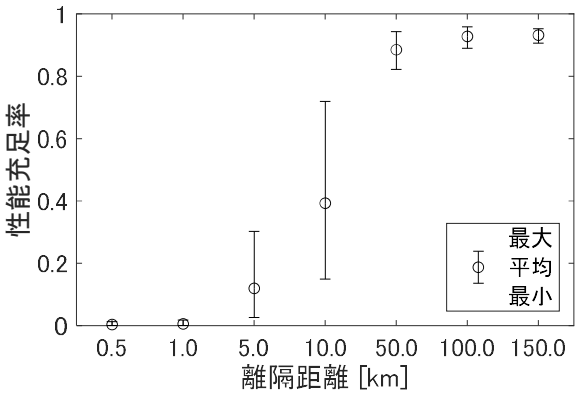


図 1.4.17 地上 2 局間の距離を変えた場合の性能充足率

□国際標準化活動

本研究では ICAO 監視パネル（SP）やアジア太平洋地域の監視関連会議に継続して参画している。監視パネル関連会議においては、技術マニュアル（先進型地上走行誘導管制システムに関するマニュアル: Doc 9830）の改訂作業を主導的に進めている。改訂内容の提案と各国からの意見を踏まえた修正の作業を繰り返しており、本年度は最終章まで進んだ。今後は全体的な整合性を取る作業となる。アジア太平洋地域では、監視実施調整会議（SURICG）に参加し、ADS-B 検証機能の性能と受信局配置の関係性について IP を報告した。

※ 略語一覧

SSR: Secondary Surveillance Radar

WAM: Wide Area Multilateration

ADS-B: Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

RMSE: Root Mean Squared Error

SP: Surveillance Panel

SURICG: Surveillance Implementation and Coordination Group

IP: Information Paper

成果の公表

□学術論文誌:1 編

・ 小菅義夫, 古賀禎, 長縄潤一, 宮崎裕己, “観測雑音に相関がある場合の Taylor 級数推定法による TDOA 測位と距離バイアス誤差ありの TOA 測位の同一性,” 電子情報通信学会 和文論文誌 B, 2023 年 10 月.

□国際学会(全文査読):1 編

・ J. Naganawa, H. Miyazaki, “Air-Ground Radio Channel Analysis by Opportunistic DAPs Signal, ” in Proc. 2023 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Malaysia, Nov. 2023.

□国際学会(アブストラクト査読):1 編

・ J. Naganawa, Y. Kosuge, H. Miyazaki, “Improved Model on Aircraft Localization using a Secondary Surveillance Radar and Cooperative Receivers, ” International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2023, Nov. 2023.

□国際学会(査読なし):0 編

□標準化会議:3 編

・ ENRI, “Factors Affecting Performance of ADS-B Position Verification by TDOA, ” ICAO APAC SURICG/8, SURICG/8-IP/12, June 2023.

・ H.Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual, ” ICAO SP ASWG TSG/17, June 2023.

・ H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual, ” ICAO SP ASWG/18, Sept. 2023.

□国際会議:0 編

□国内学会:5 編

・ 長縄潤一, 北折潤, 田嶋裕久, 古賀禎, 宮崎裕己, “航空機監視信号の到来角推定精度向上に向けた実験的検討, ” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 信学技報, vol. 123, no. 104, SANE2023-29, pp. 43-48, 2023 年 7 月.

・ 長縄潤一, 小菅義夫, 宮崎裕己, “二次監視レーダと受信局を用いた TSOA-AOA 測位における高度の取り扱い, ” 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 講演論文集, B-2-7, 2023 年 9 月.

・ 長縄潤一, 小菅義夫, 宮崎裕己 “二次監視レーダと受信局を連携した TSOA-AOA 測位の基礎検討, ” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 信学技報, vol. 123, no. 156, SANE2023-43, pp. 52-57, 2023 年 8 月.

・ 田嶋裕久, 長縄潤一, “アレイアンテナ開口分布の最急降下法による最適化の検討, ” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 信学技報, vol. 123, no. 255, SANE2023-54, pp. 40-45, 2023 年 11 月.

・ 長縄潤一, “ADS-B で得られる航空機速度情報の検証手法に関する基礎検討, ” 電子情報通信学会 2024 年総合大会, 2024 年 3 月.

□その他:3 編

・ 長縄潤一, 宮崎裕己, 田嶋裕久, 古賀禎, 北折潤, 角張泰之, “ADS-B 位置検証技術の性能概算, ” 令和 5 年度(第 23 回)電子航法研究所 研究発表会講演概要, 2023 年 6 月.

・ 長縄潤一, 宮崎裕己, 田嶋裕久, 古賀禎, 北折潤, 角張泰之, “ADS-B 位置検証技術の性能概算, ” 航空無線, 第 118 号, 2023 年.

・ J. Naganawa, “Introduction of Surveillance Systems for Air Traffic Control,” マルチメディア大学での招待講演, Nov. 2023.

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

研究テーマ	①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大への対応には定時性の確保、環境負荷の低減及び次世代航空モビリティの考慮も重要な観点である。これを踏まえ、飛行空域の効率的な利用による空域容量の拡大、運航の堅牢性や次世代航空モビリティに対応した空域管理など航空管制の高度化等に関する研究開発に取り組む。	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発 －初期的FRA（フリールート空域）運用や国際交通流管理のための方策についてモデリングを実施する。

○国際交通流の円滑化に関する研究

研究の背景

福岡飛行情報区（FIR: Flight Information Region）、仁川 FIR と上海 FIR 間の航空交通流及び福岡 FIR を通過するアジア・北米間の交通量は長期にわたり増加傾向である。航空交通流の効率化のため、ICAO アジア太平洋地域のシームレス航空航法サービス計画はフリールート空域（FRA: Free Route Airspace）の導入を推奨している。一方、航空交通流の効率化は FIR 毎に単独で行うと得られる便益に限界があるため「シームレス・スカイ」の実現は極めて重要であると考えられる。

上記 FIR におけるシームレス・スカイ上での FRA の実装手法は学術レベルを含めて、現在までに検討されておらず、フリールートや空域構成の算出や便益推定及び FIR 間での情報共有手法の具体的な手法の決定が必要とされる。

研究目標

□「フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究」の研究で提案した仁川 FIR と福岡 FIR の FRA 運用概念の導入を推進するため、運航手順を具体化する。運航者への便益の明確化、航空管制や運航に関する課題の洗い出し、及びその解決方法の提案を行う。

□近い将来の航空交通管理手法として、国際交通流管理のための方策を定義する。

□ICAO や IPACG（Informal Pacific ATC Coordination Group）などの関連管制機関協議体へ分析結果や提案の提供などにより貢献する。

令和 5 年度の研究内容

□FRA の便益推定・運用上の課題の洗い出し

□空域設計の実装

□国際 ATFM 方策のモデリング

令和 5 年度の研究成果

□FRA の便益推定・運用上の課題の洗い出し

FRA などの空域設計変更にあたって、事前にシミュレーションなどで運航者便益や飛行安全への影響を評価した。この結果、FRA 導入後も、実際の効果を飛行データ等から確認する必要があることがわかった。しかし、導入後評価には導入前後の数年間の飛行データが必要であること、また評価指標は交通量に依存しない他の要素に対するロバスト性が求められることから、難易度が高く評価実績はいまだ少ない。日本は FRA の導入前で、高高度セクター再編を段階的に導入している途中であるため、FRA を導入済みのヨーロッパの FRA 評価を検討することとした。公開されている OpenSky Network の ADS-B データのみにより、フランス上空の FRA 効果について、統計分析、経路分析、クラスタリングなどを調査した（図1.4.18）。調査の結果、正しく評価するためにはデータの品質、航跡に対応する飛行計画情報の必要性等が明らかとなった。今後フランスの民間航空大学（ENAC)と韓国航空大学（KAU）と協力して、監視データと飛行計画データから抽出可能な運航指標や航空管制官業務負担の検討に取り組み、将来日本の空域にも適用できる評価方法を確立するとともに、ヨーロッパのデータを用いて検証する計画である。

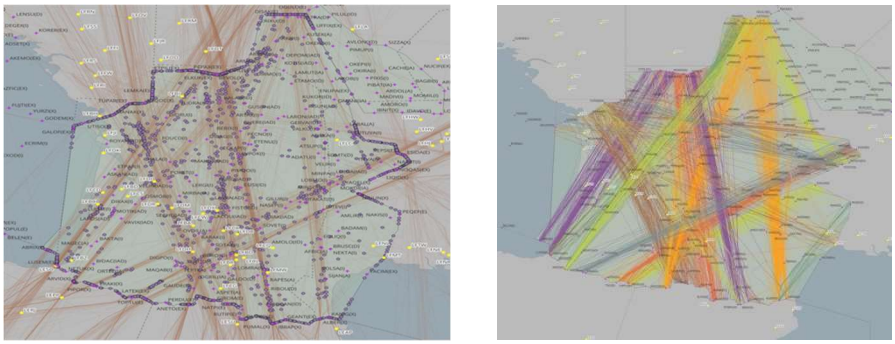


図 1.4.18 OpenSky Network ADS-B データから抽出したフランス上空 FRA 空域の航跡（例）。
左：航跡から抽出した入出域点と経路変更点検出の例
右：航跡クラスタリングの結果の例

また、FRA のように航空路が構成されない空域では、今までの経路情報に基づく航空路セクターの管制業務作業量予測が困難になることが想定される。航空路に依存しない航空管制業務量指標に関して、新しい軌道のクラスタリングに基づいた方式を提案し、現在のセクターの管制官業務作業量予測に利用されている MMBB（Modified Messerschmitt-Bölkow-Blohm)指標との相関を確認した。

□空域設計の実装

福岡 FIR を通過するアジア～北米間の交通量に増加傾向があり、アジア～北米間の航空交通流のより効率的な運航を目指して、人工衛星による高性能な通信・航法・監視（CNS：Communication、Navigation、Surveillance）システムを活用した空域設計の改善を検討・提案している。現在、日本・中国・韓国と北米間の

便において福岡 FIR のレーダー空域と洋上空域の間は、約 60 海里の間隔に定められたゲートウェイ地点を通過している。最近の CNS システムで可能になる 30 海里間隔のゲートウェイをもとに、日本とアラスカの間の NOPAC 固定経路の短縮・排除の空域構成（図 1.4.19）の運航者便益・航空管制への効果をシミュレーションで評価した。その結果、提案した 30 海里間隔ゲートウェイの消費燃料・飛行時間便益を確認し（図 1.4.20）、空域構成により東行き交通が分散し、西行き交通が集中する傾向が明らかになった。

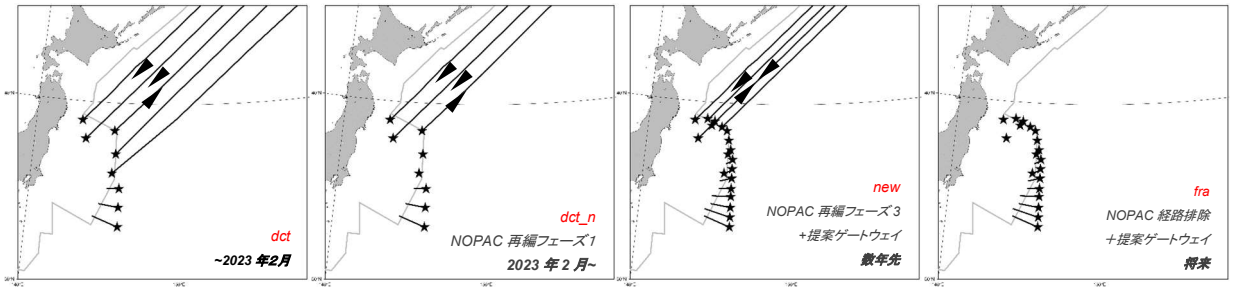


図 1.4.19 レーダー空域～洋上空域間のゲートウェイ追加と
NOPAC 固定経路の短縮・排除の効果をシミュレーションで評価した
4つの空域モデル

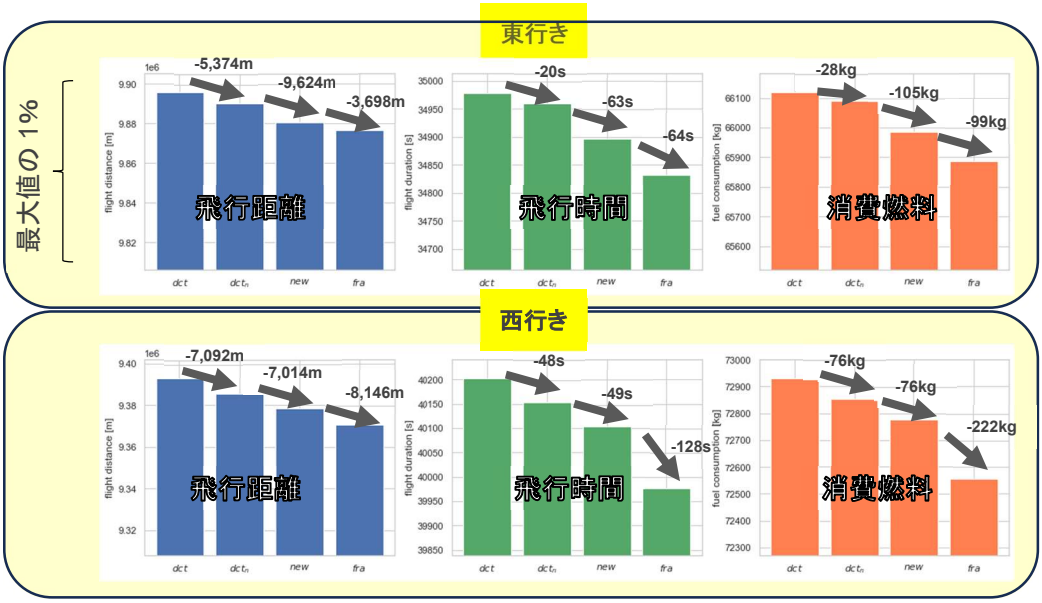


図 1.4.20 4つの空域モデルのシミュレーションで評価した東行き・西行きの交通の
運航者便益（飛行距離、飛行時間、消費燃料）の評価結果

□国際 ATFM 方策のモデリング

国際交通量が増加するなか、円滑かつ効率的な国際交通流を研究開発するため、国際協力のもと国際交通流管理（ATFM: Air Traffic Flow Management）に関する情報交換が必要となる。当所は、南京航空航天大学（NUAA）、韓国航空宇宙研究院(KARI)及び韓国航空大学（KAU）との共同研究で、東北アジア地域の国際 ATFM について研究を行っている。

この結果、軌道情報を共有することで不確定性が減り、個別便に対する精密な時間管理 ATFM の方策検討が可能となった。先行研究である KARI のシミュレーション実験では、これらの方策は交通流全体に適用する通過航空路ごとの距離間隔や時間間隔方策よりも遅延が少なく、平等性が高いことを示している。

現在の不確定性と軌道予測精度をモデル化するため、成田国際空港から韓国・中国行きの出発機の軌道予測精度を解析した。成田国際空港からの出発飛行における3つのフェーズ（出発時刻、離陸から巡航の上昇フェーズ、及び仁川 FIR までの巡航フェーズ）それぞれにおける不確定性を解析した結果、ATFM による出発時刻指定の不確定性を削減する効果と、巡航フェーズの高い予測性が確認できた。今後は、上昇フェーズ

の予測を改良するため、機械学習モデルを作成する予定である。

成果の公表

□学術論文誌:1 編

・ 長岡 栄, 平林 博子, ブラウン マーク, “航空管制の難度指標に関する研究, ”電子航法研究所 研究報告, No.136, 2023 年 7 月.

□国際学会(全文査読):2 編

・ Hirabayashi H., Brown M, Takeichi N, “Airspace Design Proposal for Efficient Flight Operations in North Pacific Oceanic Airspace,” Fifteenth USA/Europe Air Traffic Management Research & Development Seminar (ATM2023), Savannah, Georgia, USA, June 2023.
・ Brown M, Hirabayashi H, Imuta T, Jeon D, Lee K, Wang Y, Gray N. H, Chai H, “Analysis of air traffic time predictability for international ATFM,” APISAT2023, 2023 年 10 月.

□国際学会(アブストラクト査読):0 編

□国際学会(査読なし):0 編

□標準化会議:0 編

□国際会議:0 編

□国内学会:1 編

・ 村田暁紀, ブラウンマーク, “セクタにおける管制負荷量及び交通流に対する複雑性との相関性の分析, ”JSASS 第 54 期年会講演会, 2023 年 4 月.

□その他:3 編

・ ブラウンマーク, 平林博子, ビクラマシンハナヴィンダ, 村田暁紀, 虎谷大地, 井無田貴, “フリールート空域の設計、潜在便益、及び評価について, ”第 23 回電子航法研究所発表会, 2023 年 6 月.
・ ブラウンマーク, 村田暁紀, “フリールート空域の設計、潜在便益、及び評価について, ”航空無線第 117 号, 2023 年 9 月.
・ Hirabayashi H, Brown M, “Simulation Study Report on the NOPAC Re-design,” IPACG/48, Seattle, Sep. 2023.

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

研究テーマ	①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大への対応には定時性の確保、環境負荷の低減及び次世代航空モビリティの考慮も重要な観点である。これを踏まえ、飛行空域の効率的な利用による空域容量の拡大、運航の堅牢性や次世代航空モビリティに対応した空域管理など航空管制の高度化等に関する研究開発に取り組む。	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発 －悪天回避経路の生成状況に応じて空域に対する悪天候の影響度合いを定量化し提案する。

○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及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及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及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。

□上記の分析及びの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 5 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及び分析、国内外の動向調査及び運用判断指標候補の評価（悪天回避及び運用判断指標の統合）

□研究用評価システムによる評価及び性能向上（評価機能の改良）

□研究のとりまとめ

令和 5 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及び分析、国内外の動向調査及び運用判断指標候補の評価（悪天回避及び運用判断指標の統合）

悪天回避経路生成の結果のバリエーションを悪天率やデビエーション率と結び付け、空域容量との関連性を明らかにした。

悪天回避と空域容量の相関を追及するため、収集した 2022 年 6 月 1 日～2023 年 5 月 31 日の東京航空交通管制部の航空路管制情報処理システム（TEPS）の管制官運転情報から悪天回避のための管制指示を抽出し、悪天回避に係る管制指示傾向を分析した。図 1.4.21 の左は悪天回避指示率の日推移、右は時間推移を表す。左図について、横軸は収集開始日からの日数（データは 1 時間毎）であり、縦軸は悪天回避に係る管制指示が通常の管制指示に占める割合（悪天回避指示率）を示す。悪天回避指示率は東京航空交通管制部のセクタ毎に求め、同一時間帯において複数の値をプロットした。右図について、横軸は 00 時 UTC～23 時 UTC の時間軸、左縦軸は棒グラフに対応して通常の管制指示数の月合計、右縦軸は折れ線グラフに対応して悪天回避指示率の全セクタかつ月間の平均値を示している。2 つの図より、7～9 月の夏季は他の季節と比較して悪天回避指示率が高いこと、また、日中と夜間で悪天回避指示率の傾向が異なること等がわかった。後者は、これまで日単位で求めていた悪天率及びデビエーション率を時間単位で分析した結果であり、機数が少なく管制指示数の少ない時間帯を区別することで、より高い相関が得られる可能性を示唆している。

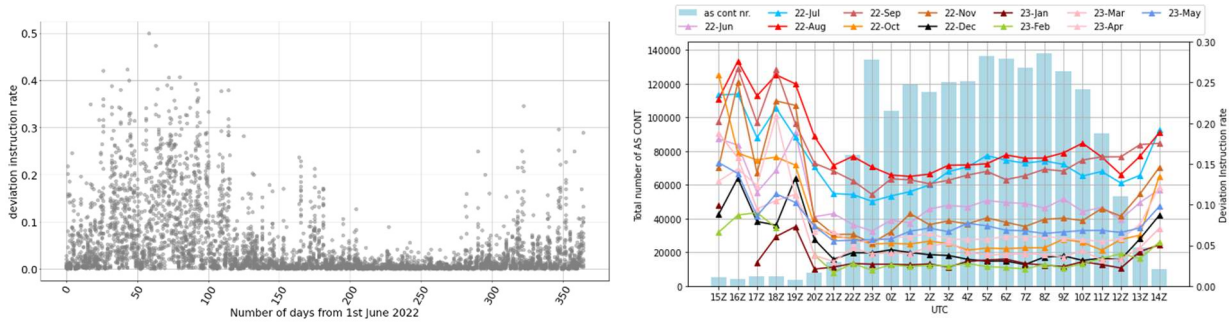


図 1.4.21　悪天回避指示率（左：1 時間毎の日推移、右：時間推移）

一方、これまでに導入・分析した悪天率は空域に対する悪天候の占める体積割合と定義したため、悪天率が同値でも悪天域は空域内に集中している場合や散在している場合など様々な状況が考えられ、航空交通流に与える影響も異なることが予想される。そこで、同じ悪天率を示す悪天域に対し、開発した悪天回避経路生成を適用した結果を比較した。図 1.4.22 は同値の悪天率であるが形状の異なる悪天域に対して基準経路に対する悪天回避経路生成を実施した結果の一例である。また、図 1.4.22 の経路生成結果に伴う飛行距離、飛行時間、燃料消費量の計算結果を表 1.4.1 に示す。図 1.4.22 より、異なる悪天回避経路が生成されることがあるとわかる。表 1.4.1 より、基準経路に対する悪天回避経路の飛行距離の増加量は図 1.4.22 のとおり左図の方が大きいが、飛行時間及び燃料消費量は右図の方が大きい。したがって、悪天回避経路生成は

回避に伴う飛行距離の延伸量だけでなく、風や飛行経路との関係性にも大きく影響を受けると考えられる。以上より、同値の悪天率に対して取り得るデビエーション率には時系列での相関がある一方、その関係性は広がりを持っていると言える。この特性については、近年活用等の取り組みが活発化している、航空機から収集された気流の乱れを表す指標の 1 つである EDR（渦消散率）のデータ収集・分析結果からも同様な傾向が見られた。

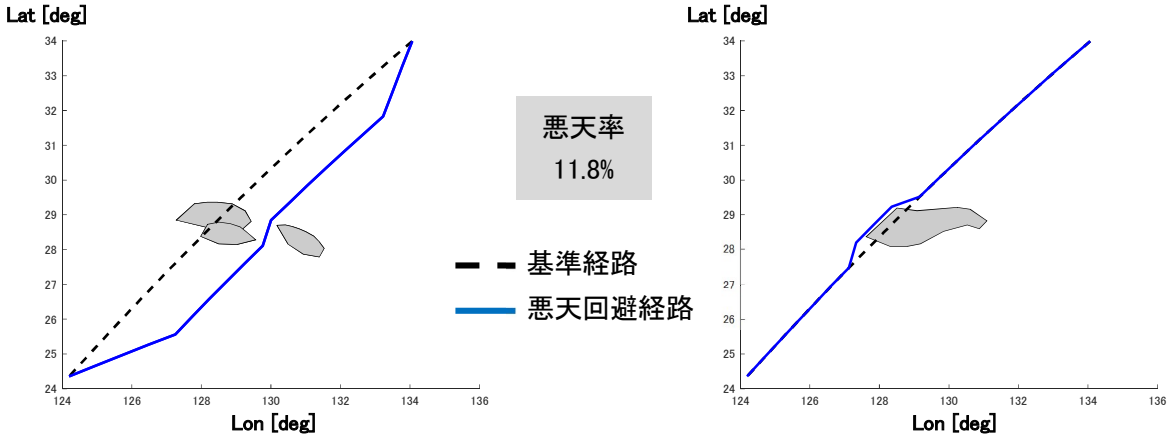


図 1.4.22　悪天回避経路の生成結果

表 1.4.1　基準経路に対する悪天回避経路の諸量

基準経路に対する増加量	飛行距離	飛行時間	燃料消費量
悪天回避経路（左）	37.0 NM	73.9 秒	46.1 kg
悪天回避経路（右）	9.3 NM	93.9 秒	57.3 kg

そこで、悪天率及び取扱機数を入力として悪天回避指示数を出力する GPR（Gaussian Process Regression：ガウス過程回帰）モデルを検討した。悪天候の影響に応じた悪天回避指示数の増減がモデル化できれば、管制作業量の限界から求まる空域容量の算出に繋がる。GPR モデルを作成するため、モデル入力となる悪天率を前述の悪天回避に係る管制指示傾向分析と同一期間（2022 年 6 月 1 日～2023 年 5 月 31 日）の全国合成レーダーエコーGPV から時間単位で求めた。また、もう 1 つのモデル入力となる取扱機数についても、同一期間の TEPS の管制官運転情報から抽出した、1 時間あたりの通信継承の延べ数（入域機数）とした。モデル出力の悪天回避指示数については、同様に抽出した 1 時間あたりの悪天回避のための管制指示の延べ数とした。結果として、83,238 組の悪天率と取扱機数、悪天回避指示数が得られた。これらについて、横軸に悪天率、縦軸に悪天回避指示数をとり、取扱機数をカラースケールで表した散布図が図 1.4.23 の左である。これらの組に対し、MATLAB の fitrgp 関数を適用して GPR モデルを作成した。今回はデータ点数が多いため、スパース法によるフィッティングを実行した。結果を図 1.4.23 の右に示す。図 1.4.23 の左と同様に、横軸は悪天率、縦軸は悪天回避指示数を表し、カラースケールで取扱機数を示した。取扱機数が小程度（水色）の場合、悪天率に対する悪天回避指示数の増減はほとんど見られず一定値をとる一方、取扱機数が中程度（青色）以上の場合は悪天率の増加に対して悪天回避指示数も増加する関係であることが分かる。また、取扱機数が中程度と大程度（桃色）では悪天回避指示数の増減傾向が異なる。取扱機数が中程度の場合は悪天率の増加に対して敏感に反応するとともに悪天率が 20%の辺りで極大値をとる一方、取扱機数が大程度の場合は悪天率の増加に応じて線形的に増加することが分かった。このように、信頼区間の分析等により適用可能範囲を見極める必要はあるものの、悪天率と取扱機数に対する悪天回避指示数の相関がモデル化できた。結果的に、これら悪天率、取扱機数、悪天回避指示数の運用判断指標としての使用可能性を明らかにした。

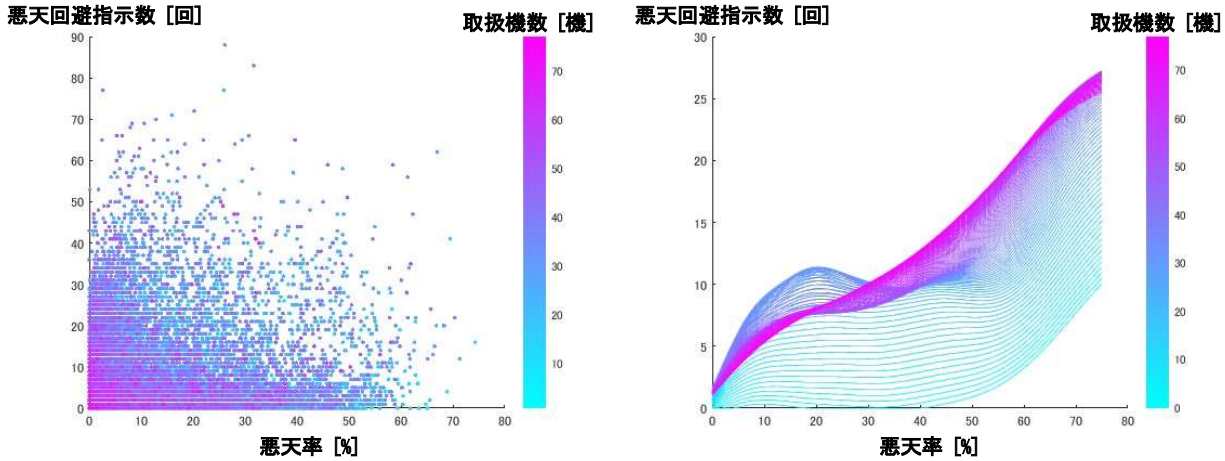


図 1.4.23　悪天率と取扱機数に対する悪天回避指示数の GPR モデル（左：作成用データ、右：作成モデル）

□研究用評価システムによる評価及び性能向上（評価機能の改良）

運航前の軌道調整を検討するために、研究用評価システムの性能向上として、中間ファイルの保存省略や GPU を用いた描画の高速化に伴う気象データ処理の変更、及び任意の 4 次元点に対する周辺交通量の算出や同一航空機に関する複数軌道のペアリング表示等の機能追加を実施した。また、性能向上させた研究用評価システムを用いて、同一航空機に関する複数の飛行計画案の表示機能に関するデモンストレーション評価を管制経験者に対して行い、意見を聴取した。評価の結果、地図上に悪天回避経路を含む複数の飛行経路を表示することの有効性や飛行計画案の飛行距離や飛行時間、遭遇する気象現象の値を並べて比較できるよう提示することの有効性を確認できた。

□研究のとりまとめ

重点研究「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」（令和 2 年度～令和 5 年度）のとりまとめを行った。航空機の悪天回避のモデル化に関して、安全で効率的な飛行計画の作成に応用可能な降水エコー域の水平回避経路生成技術を開発・評価するとともに、発展的に気象予報データ（航空悪天 GPV）を用いた悪天回避経路生成を検討し、実用化に繋がる課題を抽出できた。また、将来の空域容量の最適活用に繋がる、国内の実績データから算出可能な悪天率とデビエーション率の正相関結果を新規に得られたことで、我が国における運用判断指標としての使用可能性を示すことができた。研究用評価システムについては、性能向上を図るとともに、同一航空機に関する複数の飛行計画案の表示機能に関するデモンストレーション評価により管制経験者の意見を聴取し、将来の実用化に向けた有効性を明らかにした。

成果の公表

□学術論文誌：0 編
□国際学会（全文査読）：0 編
□国際学会（アブストラクト査読）：0 編
□国際学会（査読なし）：0 編
□標準化会議：0 編
□国際会議：0 編
□国内学会：6 編

- 横濱こころ（電気通信大学），中村陽一，瀬之口敦，千葉一永（電気通信大学），“航空機の悪天回避経路生成に向けた乱気流指数の活用の検討，”日本航空宇宙学会第 54 期年会講演会，2023 年 4 月．
- 中村陽一，ビクラマシンハナヴィンダ，瀬之口敦，“悪天発生時における回避経路と交通流制御に関する初期的検討，”日本航空宇宙学会第 54 期年会講演会，2023 年 4 月．
- 平林博子，瀬之口敦，“管制指示傾向から見る悪天回避が管制処理容量に及ぼす影響，”第 61 回飛行機シンポジウム，2023 年 11 月．

・　ビクラマシンハナヴィンダ，中村陽一，瀬之口敦，“飛行計画における航空機の搭載燃料の予測向上に関する一検討，”第 61 回飛行機シンポジウム，2023 年 11 月.
・　横濱こころ（電気通信大学），中村陽一，瀬之口敦　千葉一永（電気通信大学），“悪天候回避時における航空機の飛行経路と気象データの相関分析，”第 61 回飛行機シンポジウム，2023 年 11 月.
・　中村陽一，瀬之口敦，“航空交通における乱気流回避の定量化に向けた初期的解析，”第 61 回飛行機シンポジウム，2023 年 11 月.

□その他：1 編

・　瀬之口敦，平林博子，中村陽一，“CARATS 施策 MET-4-1，MET-4-2 および TBO-2-1 関連の研究進捗および新規研究案について，”CARATS 第 54 回 ATM 検討 WG／第 54 回航空気象検討 WG 合同 WG，2023 年 9 月.

□受賞：0 件

□特許（出願、登録）：0 件

研究開発課題	（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

研究テーマ	①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大への対応には定時性の確保、環境負荷の低減及び次世代航空モビリティの考慮も重要な観点である。これを踏まえ、飛行空域の効率的な利用による空域容量の拡大、運航の堅牢性や次世代航空モビリティに対応した空域管理など航空管制の高度化等に関する研究開発に取り組む。	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ①柔軟な空域運用・経路設定、環境負荷の低減、空域の有効活用、悪天候などに対する運航の堅牢性及び次世代航空モビリティを考慮した空域管理方法に関する研究開発 －次世代航空モビリティのための日本の低高度空域の交通環境を調査し、空飛ぶクルマのための飛行経路であるUAMコリドーの設計条件について検討を行う。

〇次世代航空モビリティの運用環境構築に関する研究

研究の背景

近年、空飛ぶクルマ（AAM/UAM、 eVTOL 等とも呼ばれる）や無人航空機（sUAS、ドローン等とも呼ばれる）、無操縦者航空機（RPAS）といった次世代航空モビリティの登場により、低高度における交通管理の必要性が議論されている。しかしながら、特に空飛ぶクルマに関しては、まだ利用可能な機体が存在しないため、低高度空域の環境をどのように整備すべきか見通すことが困難である。諸外国においては、将来の次世代航空モビリティの運用構想をまとめた Concept of Operations（ConOps）を発行し、ステークホルダーと将来構想のすり合わせを進めている。低高度空域における状況は地域性が強く、次世代航空モビリティの

ConOps は各国の状況を考慮する必要があるため、日本においては日本の状況を反映した ConOps の作成が必要である。日本における検討も進められているが、主に 2025 年の大阪万博を対象としているため、今後は 2030 年以降の運用環境や、それを支える要素技術の検討が求められている。

研究目標

□次世代航空モビリティ運用環境に係る調査・検討を行い、必要な要素技術の抽出、及びアーキテクチャを体系的にまとめる。

□上記要素技術のうち、UAM コリドーの設計と低高度交通情報共有の研究開発を行う。

令和 5 年度の研究内容

□要素技術・アーキテクチャの調査・検討

□低高度交通管理に係る机上検討

□低高度監視技術の開発

令和 5 年度の研究成果

□要素技術・アーキテクチャの調査・検討

日本と諸外国の動向について、航空局発行の「空飛ぶクルマの運用概念」や、米国連邦航空局が発行した UAM ConOps v2.0 等の調査を行うとともに、空の移動革命に向けた官民協議会実務者会議、運航安全 WG 等に参加し、関係者と各種文書について議論を行った。また、日本の地域性を考慮した低高度空域の今後の在り方を具体化していくために、航空局、及び仙台・那覇空港事務所へヒアリング調査を実施した。上記の調査や議論、ヒアリング結果は、次年度以降実施する必要な要素技術の特定、及びアーキテクチャの構築の材料となる。

□低高度交通管理に係る机上検討

空港周辺における UAM コリドーに関して、既存の空域の観点から UAM コリドーの設計に対する潜在的な制約条件を整理し、実現可能な UAM コリドーの設計方針を示した（図 1.4.24）。またその過程で、空港周辺における UAM の飛行が既存航空機の ACAS II に与える影響について簡易的なシミュレーションを実施した（図 1.4.25）。このようなシミュレーションは他機関での前例が無く、専門家らが本問題について議論をするきっかけをつくった。

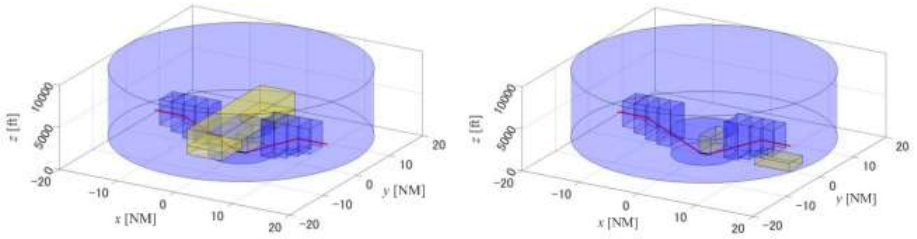


図 1.4.24 UAM コリドーの設計方針（左図：特別管制区上空を通過するコリドー、左図：既存航空機の到着経路の下を通過するコリドー、青：既存の空域、赤：既存航空機の到着経路、黄：UAM コリドー）

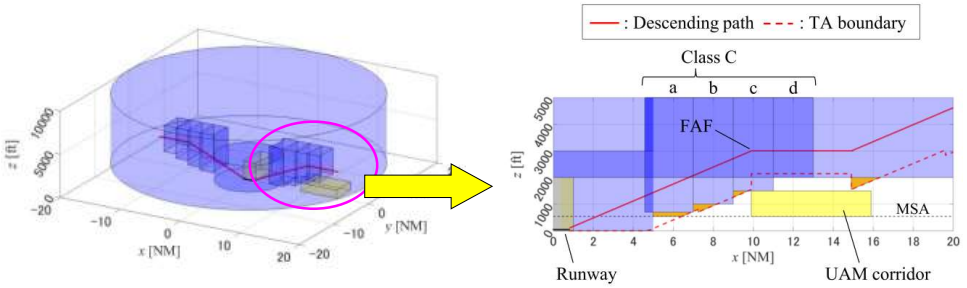


図 1.4.25 ACAS II と UAM の干渉シミュレーションの結果例（赤点線より上を UAM が飛行すると到着機に TA が発出される. 特に、オレンジのエリアは既存空域以下でも TA が出る. 黄色の UAM コリドーは TA が出る境界以下、最低安全高度以上に設定している. ）

□低高度監視技術の開発

ADS-B 非搭載機の情報を提供する低高度交通情報共有システムを選定し(図 1.4.26)、メッセージ生成基本ソフトを製作した。開発したシステムは、令和5年度末に仙台 OCTPASS と連接して基本機能の確認を行う予定である。

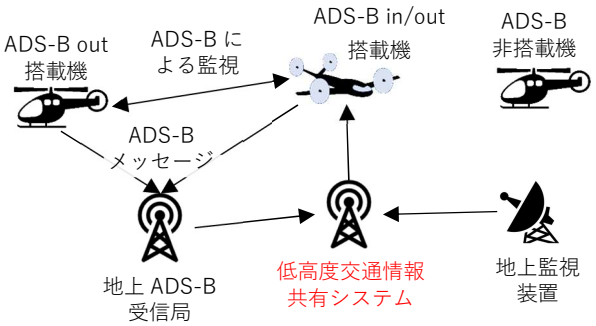


図 1.4.26 低高度交通情報共有システムのイメージ

成果の公表

□学術論文誌:1 編

- D. Toratani and H. Hirabayashi, "Analysis of Flight Plans for Visual Flight Rules Toward Preflight Information Sharing," Journal of Air Transportation, vol. 31, no. 4, pp. 172–, May 2023. DOI: 10.2514/1.D0288

□国際学会(全文査読):0 編

□国際学会(アブストラクト査読):1 編

- D. Toratani, H. Hirabayashi, A. Senoguchi, and T. Otsuyama, "Study on Urban Air Mobility Corridor Design in the Vicinity of Airports," DASC, Oct. 2023. DOI: 10.1109/DASC58513.2023.10311283

□国際学会(査読なし):2 編

- "UAM/AAM Research Activities in ENRI," ICAS Emerging Technology Forum 2023," Sept. 2023.
- T. Shimazu and D. Toratani, "UAM/AAM Research Activities in ENRI," ICAS Emerging Technology Forum 2023," Sept. 2023.

□標準化会議:1 編

- D. Toratani, A. Senoguchi, and T. Otsuyama, "A Potential Challenge for Urban Air Mobility Flights in the Vicinity of Airports," SP5-AIRB WG/16, Sept. 2023.

□国際会議:0 編

□国内学会:2 編

- 虎谷大地, 平林博子, "空港周辺における UAM コリドーの設計方針の検討, "日本航空宇宙学会年会講演会, 1C10, April 2023.
- 佐藤岳, 虎谷大地, 古賀禎, 樋口丈浩, "深層強化学習を用いた小型無人航空機の衝突回避手法の検討, "飛行機シンポジウム, 1F15, Nov. 2023.

□その他:4 編

- 虎谷大地, "ドローンと有人航空機の情報共有, "データリンク・フォーラム東京, June 2023.
- "電子航法研究所における次世代航空モビリティに関する研究, "ジャパンドローン 2023, June 2023.
- 虎谷大地, "日本の空域の交通密度分布 —次世代航空モビリティの導入に向けて—, "月刊クリーンテクノロジー, Oct. 2023.
- 虎谷大地, "RPAS 向けの DAA について, "海上保安学校出前講座, Nov. 2023.

□受賞:1 件

- 若手優秀講演賞, "空港周辺における UAM コリドーの設計方針の検討, "日本航空宇宙学会年会講演会, April 2023.

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

研究テーマ	②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大への対応には定時性の確保、環境負荷の低減及び次世代航空モビリティの考慮も重要な観点である。これを踏まえ、飛行空域の効率的な利用による空域容量の拡大、運航の堅牢性や次世代航空モビリティに対応した空域管理など航空管制の高度化等に関する研究開発に取り組む。	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発 －空港の交通流の現状分析を進め、各空港の特徴に応じた到着・出発・空港面の統合運用方法を検討する。また、到着・出発・空港面の統合運用について、シミュレーション実験により、統合した管理機能を評価する。

○AMAN/DMAN/SMAN 統合運用に関する研究

研究の背景

大規模空港の近傍では、航空交通流の輻湊の解消が大きな課題である。特に、滑走路は航空交通のボトルネックであるため、到着交通の管理（AMAN: Arrival Management）機能は、出発交通の管理（DMAN: Departure Management）機能と統合して効率的に運用する必要がある。さらに、滑走路とスポット間では、航空機が安全かつ円滑に走行できるよう、空港面での交通管理（SMAN: Surface Management）が求められる。ICAO GANP 及び CARATS（OI-23-1 空港運用の効率化)においても、AMAN/DMAN/SMAN の各機能の性能向上と統合運用の実現を目指した計画が明記されている。

研究目標

□到着・出発・空港面の航空交通流を統合する運用方法を提案する

□遅延の減少など提案する運用方法の有効性を定量的に評価する

令和 5 年度の研究内容

□到着・出発・空港面管理機能の統合運用の検討

□シミュレーション実験評価と改修

□技術動向調査と運用分析

令和 5 年度の研究成果

□到着・出発・空港面管理機能の統合運用の検討

AMAN/DMAN/SMAN 統合運用システムのアーキテクチャを設計し、滑走路を最大限に活用しながら空港の混雑と出発遅延を最小にする機能と情報フローを開発した。また、羽田空港における AMAN/DMAN/SMAN 統合運用のシミュレーション評価環境を構築した。さらに、空港の誘導路及び滑走路端における航空交通の混雑を確率的に予測する自動化システムを設計し、DMAN/SMAN 機能統合による環境負荷低減効果を定量的に見積もった。本研究で開発した地上走行時間予測の機械学習モデルを適用することで、年間約 6 キロトンの CO2 排出量を削減できることを明らかにした。この削減量は CARATS で CO2 排出量のベンチマークの一つとして用いられている東京—大阪間の飛行（航空機型式として B737 を想定）に換算すると 730 飛行程度による排出量に相当する。

□シミュレーション実験評価と改修

東京航空交通管制部と連携し、本研究で開発した AMAN の運用実現性を現役管制官が評価するヒューマンインザループシミュレーション(HITL)実験を合計 20 回実施した（実験風景は、図 1.4.27 参照）結果で得られた実験データを初期的に解析した。AMAN の実装により、管制官によるレーダー誘導の指示回数を約 20%削減しながら、対象空域（知多半島上空の T25 セクター）において飛行時間を大幅に（19 機あたり合計 13 分）削減することが明らかになった。図 1.4.28 の航跡データ比較から、AMAN により経路延伸が削減したことがわかる。

□技術動向調査と運用分析

将来的に AMAN/DMAN/SMAN 統合運用の発展形にある IM（Interval Management）運航に関わる ICAO 機上監視マニュアルの改訂作業に貢献した。成田空港及び関西空港の運用を分析し、空港の特徴に応じた AMAN/DMAN/SMAN 機能による燃料消費削減や管制運用に関する研究開発を進めた。特に、関西空港の特徴に応じて、燃料消費量の削減と管制運用のしやすさを両立させる AMAN 研究成果をまとめた発表論文が、国際会議において最優秀論文賞を受賞するなど、科学的意義が国際的に高く評価された。

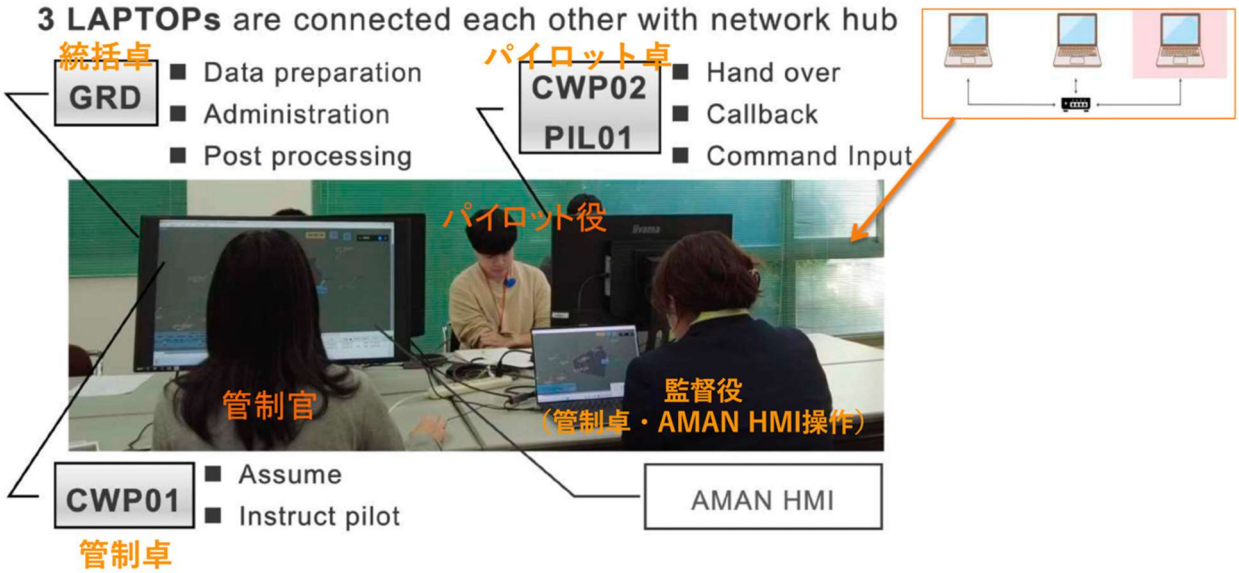


図 1.4.27 管制卓を模擬した HITL シミュレーション実験の様子

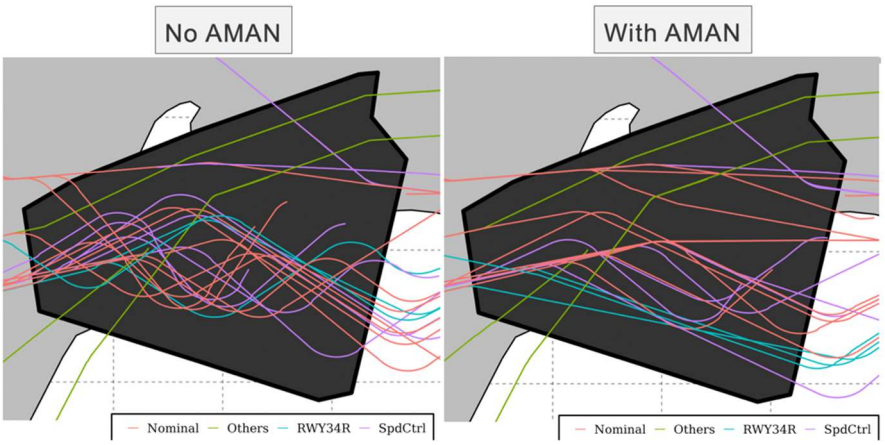


図 1.4.28 HITL シミュレーション実験結果の例：現行の運用（左）と AMAN を適用した場合の運用（右）の航跡を比較すると、管制官によるレーダー誘導の削減により飛行経路の延伸距離が減少していることが確認できる

成果の公表

□学術論文誌：1 編

- Katsuhiro Sekine, Furuto Kato, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, Eri Itoh, “Rule Design for Interpretable En Route Arrival Management via Runway-Flow and Inter-Aircraft Control, ”IEEE Access, Vol.11, pp.75093-75111, July 2023.

□国際学会（全文査読）：5 編

- Eri Itoh and Michael Schultz, “Designing a Framework of Integrated Aircraft Departure and Surface Traffic Operation via Queuing Network Models, ”Proc. Fifteenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2023), June 2023.
- Furuto Kato and Eri Itoh, “Aircraft Taxi Time Prediction Using Machine Learning and Its Application for Departure Metering, ”Proc. 42nd Digital Avionics Systems Conference (DASC), October 2023.
- Katsuhiro Sekine, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, Eri Itoh, “En Route AMAN Design Toward Sustainable Arrival Traffic Operation, ”Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology 2023 (APISAT 2023), October 2023.
- Daiki Iwata, Eri Itoh, “Developing Aircraft Departure Queuing Models for a Mixed Takeoff/Landing Operational Runway, ”Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology 2023 (APISAT 2023), October 2023.
- Takuya Nishida, Eri Itoh, “Flight Time Prediction of Arrival Air Traffic Flows Following Time-based Airspace Concept Applying Machine Learning Methods,” Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology 2023 (APISAT 2023), October 2023.

□国際学会（アブストラクト査読）：0 編

□国際学会（査読なし）：2 編

- Daiki Iwata, Yuki Nonaka, Eri Itoh, “Verification of Fuel Efficiency using the A320neo Simulator by Combining Fixed-flight Path Angle Descent and Speed Control to Kansai International Airport, ”Proc. 26th Air Transport Research Society (ATRS) World Conference, July 2023. [Receiver JTTRI Best Paper Award]
- Katsuhiro Sekine, Hatsune Fukai, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, Eri Itoh, “Simplified Model of an Airport with Single Runway for Large-scale Air Traffic Simulation, ”Proc. 26th Air Transport Research Society (ATRS) World Conference, July 2023.

□標準化会議：2 編

- Takuya Otsuyama, “Update References in ICAO Doc9994, ”ICAO SP/AIRBWG/16, September, 2023.

・ Takuya Otsuyama, “Change proposal for TIS-B Definition, ”ICAO SP/AIRBWG/16, September, 2023.

□国際会議:0 編

□国内学会:3 編

・ 船場陸央, 伊藤恵理, “機械学習による成田国際空港における航空機の地上走行時間予測, ”第 61 回飛行機シンポジウム講演集, 2023 年 11 月.

・ 羽場大貴, 都築怜理,伊藤恵理, “複雑ネットワークを活用したマルチスケール航空交通分析手法の提案, ”第 61 回飛行機シンポジウム講演集, 2023 年 11 月.

・ 西田拓矢, 伊藤恵理, “新しい空域設計概念に基づく航空交通の到着時刻予測, ”第 61 回飛行機シンポジウム講演集, 2023 年 11 月.

□その他:1 編

・ 山田泉, “空港 CDM(DMAN, TSAT)と気象について”, 気象庁 航空予報室勉強会, 2023 年 7 月.

□受賞:1 件

・ JTTRI Best Paper Award, 26th Air Transport Research Society (ATRS) World Conference

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

研究テーマ	②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大への対応には定時性の確保、環境負荷の低減及び次世代航空モビリティの考慮も重要な観点である。これを踏まえ、飛行空域の効率的な利用による空域容量の拡大、運航の堅牢性や次世代航空モビリティに対応した空域管理など航空管制の高度化等に関する研究開発に取り組む。	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発 －将来の時間管理運用について、ユーザーが求める機能を明確化し、実現するアーキテクチャを作成する。

○時間管理運用における機能間の連携に着目したアーキテクチャ作成に関する研究

研究の背景

我が国の管制情報処理システムの統合システム移行後、管制運用はシステム全体で使用する共有トラジェクトリー（軌道）を用いた運用へ変化している。しかし、現在の軌道情報を用いた運用は時間管理運用の観点からは、必ずしもゲートからゲートまでの全ての運航フェーズにおいてシームレスな運用、システム間のつながりを達成しているとは言い難い。将来の軌道ベース運用を実現するためには、時間を含む共通の軌道情報を関係者全体で共有し、管理、使用していく仕組みが必要とされている。我が国のこれまでの時間管理手法として、離陸前であれば EDCT（出発制限時刻）制御、インフライトにおいては CFDT（通過点の割当時刻）を用いた制御などが実施されてきた。また、今後 AMAN step2 やメタリングなどの導入も検討されている。個々のシステムロジックやそれらが互いに連接する部分に焦点を当て、全運航フェーズで効率的な時間管理運用が達成できる実現可能なアーキテクチャ（システム間の関係性を表したもの）の作成が望まれている。

研究目標

□時間管理に関する既存及び将来の管制システムのアーキテクチャ作成

□時間管理手法の一つであるメタリングの要件定義

□CFDT を用いた効果的な運用手法の提案

□航空交通流管理における到着順序付け、到着滑走路選択の改善手法の提案

□GANP KPI の設定への寄与及び航空交通管理に関する研究の裾野拡大への寄与

令和 5 年度の研究内容

□時間管理に関連する将来の航空交通システムのアーキテクチャ作成

□シームレスに他機能と連携し、効率の良いメタリング要件の定義

□到着順序付け、滑走路選択等の性能向上手法の提案

令和 5 年度の研究成果

□時間管理に関連する将来の航空交通システムのアーキテクチャ作成

時間管理では、出発制御時刻の割当等を行う航空交通流管理、エンルートにおける到着機の間隔付けを行うメタリング、ターミナル内や滑走路での管理を行う AMAN など、各運航フェーズでの時間管理を連携して機能させることで、効率の良い交通流を形成することが検討されている。

令和4年度に実施した、ステークホルダー（政策立案部門、管制運用機関、航空会社）を対象とした時間管理のニーズに関するヒアリングで得られた結果を集計（図 1.4.29）し、解析を進めた。重要とされた項目は「空地で共有される時間精度の向上」や「燃料消費量の削減」、「空域利用者間の公平性」等である一方で、「現在の運用との連続性」等の項目については無関心となり、変化に対してある程度受容的であることが示唆された。

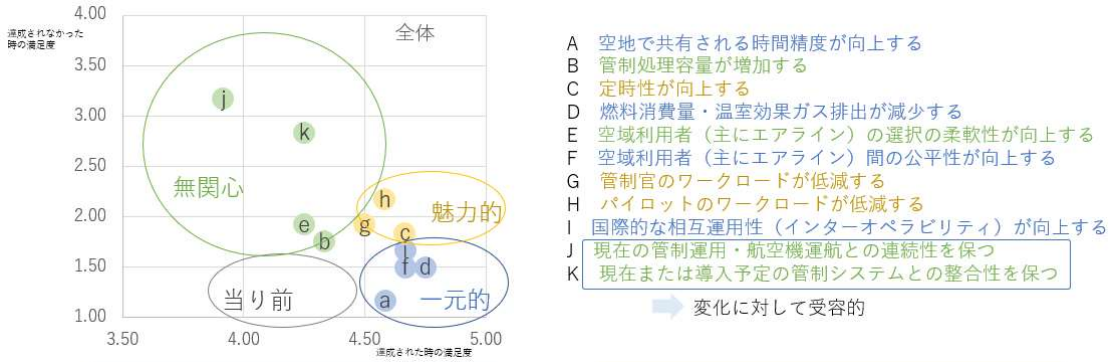


図 1.4.29 時間管理のニーズに関するヒアリングの集計結果

これらの結果を踏まえ、到着交通流の時間管理のアーキテクチャを検討し、作成した。また、時間精度の向上について、時間管理には精度の高い軌道予測が不可欠であるため、管制システムの軌道予測誤差について分析を行った。図 1.4.30 は、CFDT 割当を想定した機上システム及び管制システムの軌道予測誤差の分布である。軌道生成及びエンルート管制の各システムが CFDT 確定タイミングで持っていた CFDT FIX 通過予測時刻をシステムログから抽出し、実際の通過時刻と比較して誤差を算出した。機上では上空の風や飛行意図が把握されているため、機上の予測誤差と比較すると地上の管制システムの誤差は大きい結果であったが、管制システムによって分布が異なることがわかった。

さらに、飛行フェーズが進むにつれ、どのように予測誤差が変化するのか、便ごとに時間経過による予測誤差の変化を調べた。結果の一例を図 1.4.31 に示す。時間経過と共に不確定要素が減り、誤差が減少していくが、まれに誤差が大きく増加するケースが確認された。当該便の対地速度を調べたところ、値が大きく変化していたため、予測に使用する速度の想定が実際と大きく乖離したことが大きな予測誤差に繋がったと推測された。

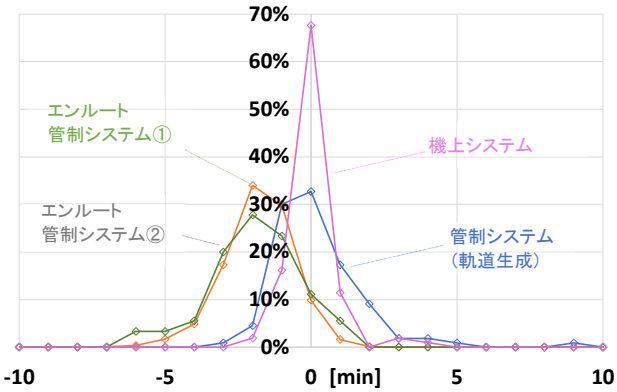


図 1.4.30. 管制システムごとの予測誤差分布

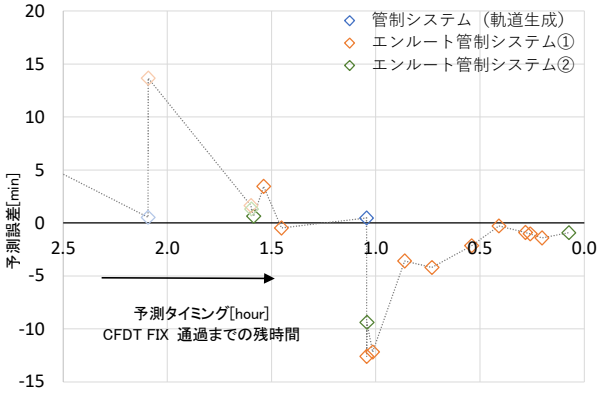


図 1.4.31 時間経過による予測誤差の変化の例

□シームレスに他機能と連携し、効率の良いメタリング要件の定義

ヒアリングにより得られたニーズやメタリングに関するコメント、CARATS で検討を進められている施策案を踏まえて、メタリングの要件の整理を行い、機能を具体的な処理が記述できるレベルまで分解した（機能分解）。「メタリング単独／メタリング・AMAN 統合運用の双方に対応できること」、「減速やベクタリングを使用し適切な間隔を保ってターミナル空域に入域すること」、などのメタリングに求められる機能や条件を整理し、その実現のためにシステムが持つべき具体的な機能要件へのブレークダウンを行い、定義化をすすめた。メタリングに必要な機能の検討例を図 1.4.32 に示す。

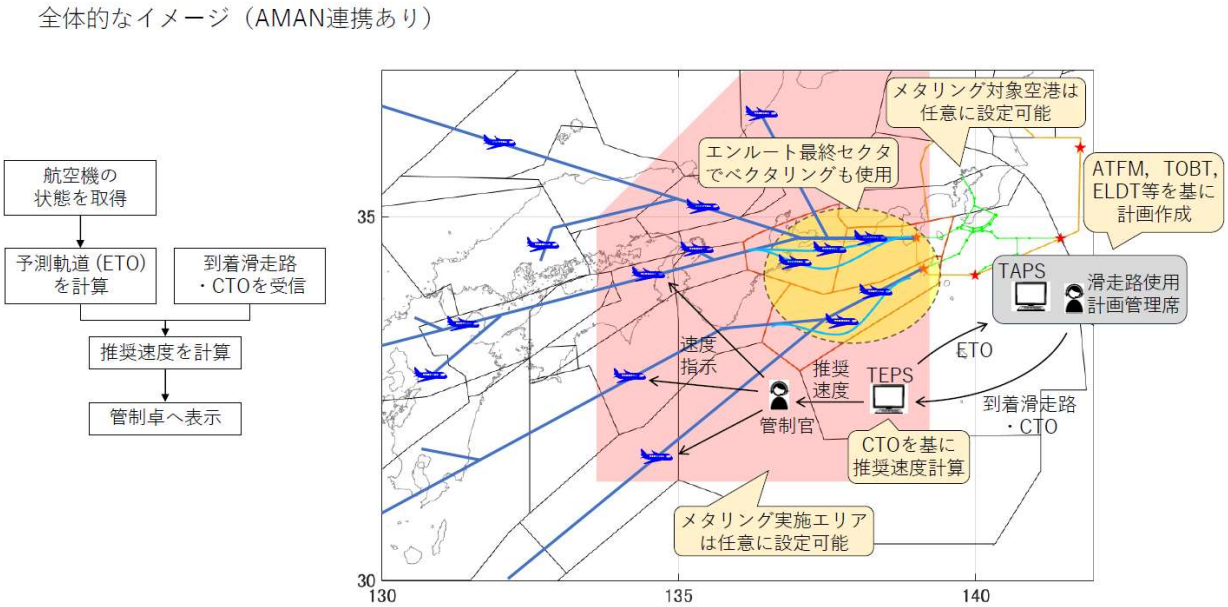


図 1.4.32 メタリングに必要な機能の検討例

□到着順序付け、滑走路選択等の性能向上手法の提案

航空交通流管理における使用滑走路割り当ての評価に向けて、羽田空港への到着機を対象に実際の滑走路割り当て変更の影響の分析を進めた。一般に滑走路割り当て変更により遅延時間を低減させる傾向がある一方で、一部遅延が増加するケースもあり、最適な割り当てにより更なる遅延時間の低減の可能性が示唆された。また分析を通して、点検等により滑走路が使用できない時間帯などを抽出し、実運用に近い条件を考慮したシミュレーションモデルの構築を進めた。これらの分析やモデル構築に基づき、航空交通流管理における到着機の順序付け及び着陸滑走路の選択を行う機能について、効率性を向上するための提案手法を取りまとめた。

成果の公表

□学術論文誌:1 編

・ Y. Miyazawa, D. Toratani, Y. Nakamura, R. Mori, “Performance Analysis of Runway Allocation for Arrival Flow Using a Queuing Model, ”Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 2024

□国際学会(全文査読):0 編

□国際学会(アブストラクト査読):0 編

□国際学会(査読なし):0 編

□標準化会議:0 編

□国際会議:0 編

□国内学会:2 編

・ 中村陽一, “オープンデータの利用促進に向けた航空機の標準的な運航特性に関する検討, ”航空宇宙学会　飛行機シンポジウム, 2023.11.

・ 岡恵, “到着空港の混雑に起因する空港周辺の非効率性を表す指標値の算出手法の開発, ”航空宇宙学会　飛行機シンポジウム, 2023.11.

□その他:1 編

・ 岡恵, “研究開発促進のための航空交通データ「CARATS Open Data」, ”航空無線, 2023.

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（2）航空管制の高度化と環境負荷の低減

研究テーマ	②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空需要の増大への対応には定時性の確保、環境負荷の低減及び次世代航空モビリティの考慮も重要な観点である。これを踏まえ、飛行空域の効率的な利用による空域容量の拡大、運航の堅牢性や次世代航空モビリティに対応した空域管理など航空管制の高度化等に関する研究開発に取り組む。	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発	航空管制において、空域容量の拡大、環境負荷の低減や定時性の確保が求められている。それらを達成するために、決定された経路と時間から構成される軌道を可能な限り計画通りに飛行する軌道ベース運用の導入が始まっており、さらなる推進にはより柔軟な空域運用など航空管制の高度化が求められる。 また、運航の堅牢性や今後の次世代航空モビリティ等の増加に対応する新たな空域の管理方法の開発が必要であり、特に混雑空港では遅延低減のための支援技術の開発が必要である。 このため、以下の研究開発を進める。 ②出発機や到着機の遅延低減を目的とした混雑空港における航空管制の高度化、管制支援方法に関する研究開発 －また、評価実験システムを使用して支援機能が管制業務作業量に与える影響を検証する。等

○管制支援機能が管制作業量に及ぼす影響に関する研究

研究の背景

管制支援のためにコンピューターによる自動化やシステム支援機能の活用が促進されている。一方で、システム障害時等にも対応できる適切な容量管理が必要とされており、自動化や支援機能がもたらす管制業務の見える化が求められている。

研究目標

TEPS（航空路管制処理システム）を中心とした管制システムの各支援機能がもたらす最適な管制取扱機数等、容量管理に必要とされる定量値を導き出す。

令和 5 年度の研究内容

□管制支援情報及び支援機能の調査並びに定量化の検討

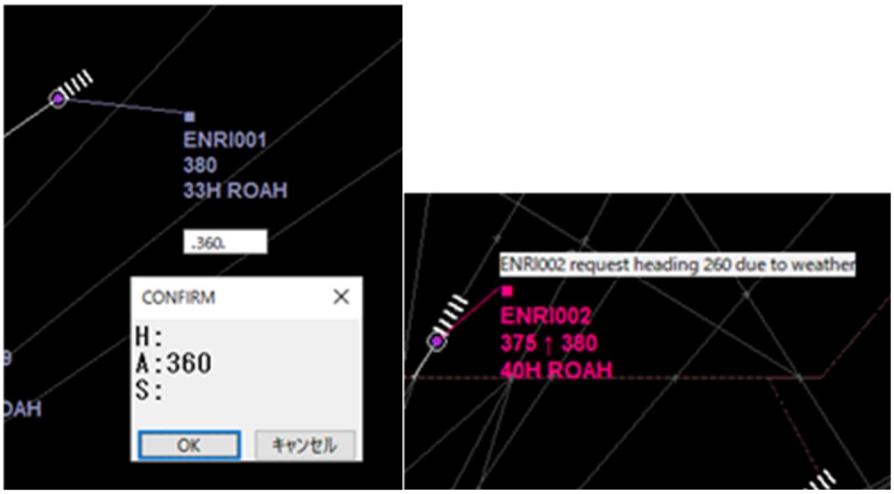
□管制業務作業量の実測及び定量化

□技術資料作成

令和 5 年度の研究成果

□管制支援情報及び支援機能の調査並びに定量化の検討

現在国内管制空域において運用が開始されている CPDLC（管制官～パイロットデータリンク通信）に関する管制支援機能の実装による作業量を定量化するため、管制システムにおける CPDLC 支援機能を調査した。現在の国内 CPDLC 運用は隣接空域への周波数変更等限られた業務種別にのみ適用されているが、将来、業務種別拡大のために必要な機能等（注意喚起機能、自動化促進）について提案するために、開発中の評価システムに検討結果を組み込んだ。評価システムに組み込んだ機能の例を図 1.4.33 に示す。



（左）管制官役が指示コマンドをシステム端末へ入力時に確認を促すこと（図下部の CONFIRM のポップアップ表示）で、誤入力防止効果を期待
（右）パイロットリクエストのダウンリンク時に、画面上の対象機が赤くなるとともにリクエストメッセージ（図上部の白背景黒字）が表示される注意喚起機能

図 1.4.33 評価システムに組み込んだ提案する機能の例

□管制業務作業量の実測及び定量化

CPDLC 支援機能を組み込んだ評価システムを使用し、管制経験者による管制運用のリアルタイムシミュレーション実験を実施した。対象セクターは年度前半の調査（高高度セクター及び交通流傾向）をもとに、沖縄北方の高高度セクターを選定し、実験中に公募型研究で提案された負担感をアンケート方式で計測する手法を取り入れた。実験結果から、CPDLC 支援（自動化）機能の実装による管制業務作業量が定量値として示された。図 1.4.34 に管制官とパイロット間の管制指示に要した時間を、CPDLC 支援機能を使用した場合と音声による場合を比較して示す。CPDLC 支援機能を使用した場合の作業時間は音声による場合と比較し、平均で約 3 割作業時間が低減する結果であった。作業時間が少なくなることで空域容量増加の可能性が示唆されたが、一方で、パイロットリクエストに対する管制対応に関しては作業時間が長くなる傾向を示す等、CPDLC 運用における課題も抽出された。また、現実的には作業の煩雑さ、負担感等を考慮しなければならない。そこで、実験中のアンケートから得られた負担感との関連について分析した。図 1.4.35 は各試行回における因子分析から得られた総合的負担感に対する重みである因子得点と交通指標（mmbb）の相関を示している。カラースケールは該当する試行回の CPDLC 対応機率であり、色が濃いほど CPDLC 対応機率が低いことを表す。交通量が増加するにつれ負担感が増すこと（正相関）は容易に想像できる。一方、CPDLC 対応機率が高い試行回の因子得点は低い傾向があり、CPDLC の対応機率が高いことで総合的負担感を軽減する可能性を示唆する結果であった。

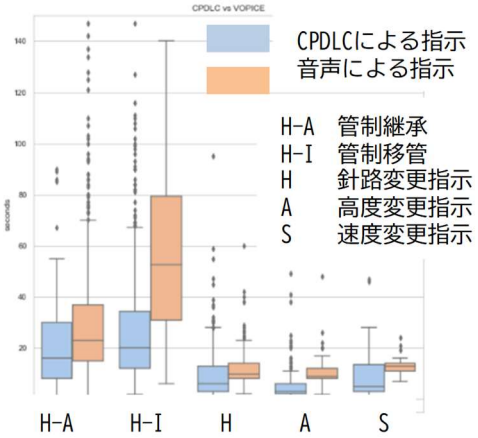


図 1.4.34 管制指示に要した時間

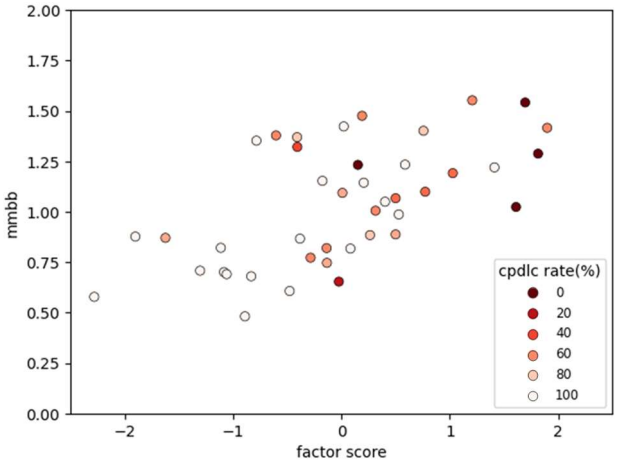


図 1.4.35 総合的負担感に関する因子得点と交通指標の相関

□技術資料作成

年度後半に実施した、開発評価システムを使用したリアルタイム管制シミュレーション実験の結果は、CPDLC 運用の利点だけでなく課題抽出も行っており、CPDLC 運用拡大へ向けた検討に役立つことから、行政当局にとりまとめ報告書を提出した。

成果の公表

□学術論文誌:1 件

- S.Wada, M. Ishii, M. Inoue, and D. Toratani, "Semi-Continuous Descent Operations: A Fuel-Efficient Interval Management Algorithm," Journal of Aircraft, Articles in Advance, Sep. 2023.

□国際学会(全文査読):0 編

□国際学会(アブストラクト査読):1 件

- M. Ishii, M. Inoue, and D. Toratani, "Fuel-efficient interval management for air traffic descending operation, "IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC),Paper Tu-P5-P.1, Oct. 2023.

□国際学会(査読なし):0 編

□標準化会議:0 編

□国際会議:0 編

□国内学会:9 件

- 平林博子, 村田暁紀, 井無田貴, "航空路管制システム自動化機能に対応した管制官の作業負担について, "日本航空宇宙学会第 54 期年会講演会 1C-11, 2023 年 4 月.
- 井無田貴, 平林博子, "飛行高度帯データから見た航空交通流の考察, "日本航空宇宙学会第 54 期年会講演会 1C-12, 2023 年 4 月.
- ビクラマシンハナヴィンダキトマル, 虎谷大地, 平林博子, "固定飛行経路角降下の運用構想に関する一検討, "第 23 回 電子航法研究所研究発表会, 2023 年 6 月.
- 伊藤誠, 西田開飛, 孟成柱, "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, "第 23 回 電子航法研究所研究発表会, 2023 年 6 月.
- 宮岡佑弥, 井上正樹, 虎谷大地, "'現場の声'を反映できるインタラクティブな到着管理システムの開発, "第 61 回飛行機シンポジウム, 2023 年 11 月.
- 石井南, 井上正樹, 虎谷大地, "高度・速度制御による航空機の間隔維持を可能にした降下運航方式, "第 61 回飛行機シンポジウム, 2023 年 11 月.
- 西田開飛, 孟成柱, 伊藤誠, 井無田貴, 平林博子, "航空路管制業務におけるチーム状況認識を評価するためのクエリの提案, "第 61 回飛行機シンポジウム, 2023 年 11 月.

・　村田暁紀, 虎谷大地, “機械学習を用いた管制負荷量の分類精度向上に関する研究, ”日本航空宇宙学会誌, 2023 年 12 月.
・　宮岡佑弥, 井上正樹, 虎谷大地, 石井南, “chat-AMAN: 管制官との双方向コミュニケーションで実現する協働型の航空管制支援システムの構築, ”言語処理学会第 30 回年次大会, 2024 年 3 月.

その他:1 件

・　平林博子, 井無田貴, 村田暁紀, “国内 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communications)機能実装による管制作業への影響分析, ”国土交通省航空局交通管制部管制課への報告書, 2024 年 3 月.

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（3）空港における運用の高度化

研究テーマ	①センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
空港では、航空管制、空港面管理等の業務が実施されており、新技術を活用して業務を効率化していくとともに、空港の機能を最大限発揮させるため、滑走路運用の効率を高める必要がある。このため、管制塔の業務を高度化する技術、航空機等の新たな監視技術、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路の設定等に関する研究開発に取り組む。	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発 －遠隔で航空管制するリモートタワー・デジタルタワー技術の信頼性向上のため、長距離、長時間の運用環境等における評価試験を行う。

○デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究

研究の背景

リモート・デジタルタワー（RT/DT、RDT）の技術開発は世界的に実用化の段階に来ており、日本においても奄美空港で令和 3 年度からリモートレディオ空港として運用を開始する。国際的には RT は映像や監視センサ技術を用いて、既存の運用を遠隔に行えるシステムとして開発が進められてきており実用化の目途がついてきた。これらの DT システムでは、技術動向や運用展開の方向性として、安全性の向上や業務の効率化を目指し、今までの管制塔運用にはなかった、映像やセンサからのデジタル情報をさらに活用した今までにない業務支援機能の拡充やシステム機能の高度化によって実現できるあらたなタワー運用スタイルの研究・開発の取り組みが議論されている。（SESAR JU, CANSO, EUROCAE, EASA 等）

研究目標

□コンパクトな監視センサと映像システムを組み合わせたコストバランスに優れたデジタルタワーシステムの技術実証と有効性について航空局へ仕様策定支援を行う

□タワー業務用システムの高度化

⇒タワー管制業務支援機能の実用化及び充実、オペレーターの負担軽減と運用における安全性の向上に寄与

□デジタルタワーシステムの技術実証と有効性を示すとともに低コストなシステム構成の実現とシステムの導入促進

令和 5 年度の研究内容

□システムの信頼性向上（改造）及びフィールド評価試験

□統合型機能の開発と実用環境における評価試験

□EUROCAE 活動参加、規格策定

令和 5 年度の研究成果

□システムの信頼性向上（改造）及びフィールド評価試験

AI による画像認識技術を活用し、空港内及び空港周辺の航空機や車両を識別する技術の導入に向けた課題について本格的に検証を開始した。管制官の支援機能の高度化に必要な最先端な技術として、様々な課題に取り組んでいる。

まず、学習用のデータの数を2万枚使用し、デフォルトテンプレートとの性能比較を実施した。テンプレートの数を増やしながら、学習傾向と認識精度の性能の評価を実施しており、誤認識等の課題を整理し、対策を進めている。図 1.4.36 はオリジナルの画像とデフォルトテンプレートを使った場合の誤認識の例で、左側上部の赤い□囲みの部分を誤認識していたことがわかる。

図 1.4.36　ENRI オリジナル（左）とデフォルトテンプレート（右）を使った場合の誤認識の例

PTZ カメラの追従性向上のために画像認識機能を組み込んで評価した。

飛行中の航空機に対しては監視センサ情報とのハイブリッド制御によって非常に高い精度で追尾ができる一方、地上面などで複数の航空機が存在する場合は、航空機が画像上の近い位置にいる場合や、遮蔽物に隠れた場合等において、画像認識だけでは高精度での追従性が確保できないことが明らかになった。追従性を向上させるため、障害物の判定とともに新たな制御アルゴリズムを加えた開発、評価を進めている。図 1.4.37 は画像認識技術を組み込んだカメラで自動追尾した場合の解析状況の結果の画面である。解析状況が画面内に文字や□囲みで表示される。

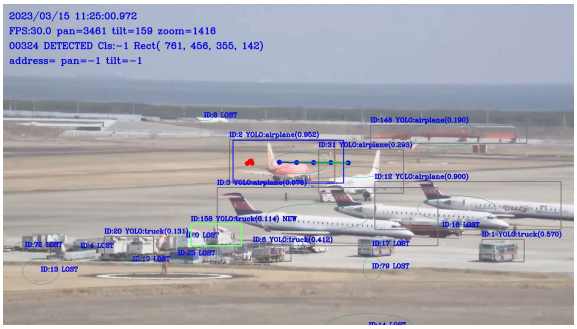


図 1.4.37　画像認識技術を組み込んだ PTZ カメラの自動追尾制御の解析状況を示した例

支援機能は HMI(Human Machine Interface)検討も含めた業務の最適化を進め、管制官のルックダウンに

よる業務負担の軽減と安全性の向上に寄与できる機能を開発中である。仙台空港に設置したプロトタイプシステムでは、監視センサ情報と組み合わせた RWI（Runway Incursion）の試験システムを構築し RDT 用に視覚的に気付くことが容易な警報表示機能を開発した（図 1.4.38）。これらの機能の性能評価は監視センサの性能調整を行った後、次年度以降に実施予定である。

図 1.4.38 試験システムにおける RWI のデモ表示例

□統合型機能の開発と実用環境における評価試験

松本空港におけるトラフィック監視センサ MiniMLAT は R6 年度に予定している実証実験の準備をすすめており、機器の調整を実施している。ADS-B 等で受信したデータは運用課の要望に基づき、参考情報として情報を新千歳 FSC(Flight Service Center)に配信を行うとともに、仙台空港（岩沼分室）のプロトタイプを活用した小型空港向け RDT のコンセプトを確立するための技術開発に取組んでいる(図 1.4.39)。また、統合型システムの管制卓の設計を進めており、RDT 機能の操作への最適化及び、実際の管制塔業務の調査も踏まえ、実用に供するインタフェースのプロトタイプ構築を進めている（図 1.4.40）。

図 1.4.39 松本 MiniMLAT の新千歳 FSC への展開

図 1.4.40 管制官業務への情報レイアウトの HMI 最適化設計例（機能の操作性と業務分析に基づいたルックダウン抑制に効果的な情報レイアウトのプロトタイプ）

VR（Virtual Reality）用の HMD（Head Mounted Display）を使った、RDT 用インタフェースの環境構築を行った（図 1.4.41）。HMD を使用したインタフェースは新たな取り組みで、将来の訓練等の導入コスト低減に繋げられる可能性があり、活用に期待がもてる。

図 1.4.41　HMD 内の画像表示（左）と HMD 利用の様子（右）の例

□EUROCAE 活動参加、規格策定

WG-100 において ED-240C の議論を開始。31 回目の会議では ENRI から AI 機能の使用事例と課題について情報提供を行い、議論を推進するとともに、ED-240C のベース案の作成を行った。現在も 2 週間毎にコアチームでのオンライン会議を実施しながら、ドキュメント構成のブラッシュアップ作業に貢献中である。さらに、これまでの継続的な活動が認められ、EUROCAE International Award の受賞につながった。

成果の公表

□学術論文誌：1 編

・　井上諭，青山久枝，菅野太郎，古田一雄，“航空路管制業務におけるチーム認知プロセスモデリング手法に関する研究，”電子航法研究所報告、No.137, pp.1-17, 2024

□国際学会（全文査読）：0 編

□国際学会（アブストラクト査読）：0 編

□国際学会（査読なし）：0 編

□標準化会議：2 編

・　Inoue S, & Brown M, “How to use ML Techniques for Remote Tower – Use case information –, ” EUROCAE WG-100 #31 (Nov. 2023)

・　Brown M, “AI techniques and use cases from an ER-022 perspective, ”EUROCAE WG-100 #31 (Nov. 2023)

□国際会議：0 編

□国内学会：0 編

□その他：1 編

・　井上諭，“飛行場運用の高度化に向けた技術の研究開発，”日本機械学会　関東支部　イブニングセミナー(2024 年 1 月)

□受賞：0 件

□特許（出願、登録）：0 件

研究開発課題	（3）空港における運用の高度化

研究テーマ	①センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
空港では、航空管制、空港面管理等の業務が実施されており、新技術を活用して業務を効率化していくとともに、空港の機能を最大限発揮させるため、滑走路運用の効率を高める必要がある。このため、管制塔の業務を高度化する技術、航空機等の新たな監視技術、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路の設定等に関する研究開発に取り組む。	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発 －空港周辺や空港面において、航空機等の監視データを分析し、性能要件を満足した新たな監視術を導入するための性能評価手法を検討する。

○空港用マルチ監視技術活用に関する研究

研究の背景

通信や航法といった技術同様に、近年では監視技術の導入についても性能要件に絡めた議論が行われている。しかし、航空路の一部を除いて未決定の監視性能要件は多く、測定方法も含めて課題が残されている。航空機監視に利用される監視システムは、主に一次監視レーダ系（PSR、ASDE）と二次監視レーダ系（SSR、MLAT/WAM、ADS-B）に大分され、利用環境に応じて異なる性能を持った監視システムを組み合わせるマルチ監視となる。このとき、運用要件を満足できる監視システムの導入が必要である。特に空港面及び空港近傍（「空港用」と称す）では、航空路と比べて高い位置精度が必要であり、また航空機以外の移動体も含めた位置情報を提供しなければならない。しかし、個々の監視システムであっても複数センサを組み合わせたマルチ監視システムであっても、監視性能要件に合致したシステムであるかを判断するための適切な評価方法が存在しない。そのため、運用者の要求を満足できる適切な監視システムの導入を進めるための監視性能評価手法の開発が必要である。一方、既存監視システムだけでは検出されない移動体が存在する。そのため、評価手法を開発するにしても、未検出の移動体を検出する監視システムの開発・提案も重要となる。具体例としては「モード A/C トランスポンダのみを搭載した航空機に対する MLAT 監視」、「建物等による信号の遮蔽やマルチパスによる ADS-B の性能低下」、「車両等のトランスポンダに依存しない独立非協

調監視システム（INCS）技術に基づいた監視システム」等について、監視システムの開発課題が残されている。

研究目標

□空港用監視システム（既存・新規監視装置）の性能（位置精度、検出率等）に対して信号受信数や受信機配置等を関連付ける監視性能評価手法を開発する。

□未検出移動体を監視するための監視技術や監視データを統合処理する要素技術を開発・提案する。

令和 5 年度の研究内容

□評価手法の開発（個別の監視システム）

□監視装置の改修、データ収集、解析、評価

□動向調査

令和 5 年度の研究成果

□評価手法の開発

本年度は主に、ADS-B の評価手法の一つとしてモニタリングシステム（一種の個別評価法）の開発検討に入った。モニタリングシステムの開発に先立ち、当所の開発した ADS-B 性能評価システムを改修し、特に ADS-B 性能評価について長期的な観点から性能の傾向を見ると共に、システム状態指数による統計値の変化やエリア別の統計について初期解析を実施した。

ADS-B からは搭載システムの状態を示すパラメータ（システム状態指数）として波源インテグリティ（SIL）、システム設計保証（SDA）、航法速度精度（NACv）が提供されており、受信された GNSS の信号や ADS-B システムの機上搭載上の問題があるときには、性能を満足しない値が送信される。これらシステム状態指数を判定することで機体別の ADS-B の状況把握と ADS-B による運用状況を把握することができる。当該指数を反映したインテグリティ（NIC）と航法精度（NACp）の統計解析を行ったところ、10 機から 20 機の航空機のシステム状態指数が FAA の判定基準（SDA < 1.33、SIL < 2、NACv < 0.66）を満足しないことが判明した（表 1.4.2、表 1.4.3）。NIC と NACp の全体的な統計結果としては大きな変化が見られなかったが、NIC については NIC=0（信号が正しく取得されず Unknown となる場合）の割合が減少しており、性能の低い航空機が一定数いたことにより低い性能値の割合増加につながっていたことが新たに分かった。この一連の処理に基づいた統計結果を ADS-B の性能振る舞いを明らかにした一つの成果として標準化会議で発表したところ、概ね米国と同様の傾向を示していることが分かり、解析手法には一定の信頼性があると判断された。

次に性能が低下する要因を調査するために、性能が低下する可能性が示唆される空港面の NIC、NACp について、エリアに分けた統計解析を実施した（図 1.4.42、表 1.4.4 及び表 1.4.5）。仙台空港を対象とした統計解析を通して、建物が多いエプロンエリアについては NIC=0 が他のエリアに比べて多いことが分かり、空港面に注視した性能指数の変化として新たな成果が得られた。空港面の ADS-B の性能評価結果は、CARATS 監視検討 SG にて発表を行い、空港面 ADS-B の活用に関する意思決定の一助となり、本成果が国の方針や社会ニーズに適合し、社会的価値（空港運用の効率化に）の創出につながる極めて大きな成果となった。

MLAT については、信号受信状況についてグルーピングの観点を含めた評価を開始するとともに、電波伝搬の観点から測位計算が行われない受信エリアの状況をシミュレーションし、構造物からの影響の可能性があることも明らかにした。

表 1.4.2　NIC 統計解析結果（左：全データ、右：低システム状態排除後）

SIL、SDA、NACv の値が FAA の指標に合わせて統計値から除外する処理を行ったところ、10 機～20 機が性能を満たしていないことが明らかとなり、NIC=0 の割合が微減となった。全体傾向としては、多くの航空機について FAA の要件（NIC≧7）を満足する結果が得られた。

NIC	2022年 1-2月	2022年 3-4月	2022年 5-6月	2022年 7-8月	2022年 9-10月	2022年 11-12月
0	0.0321%	0.0474%	0.0113%	0.0136%	0.0451%	0.0263%
1	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
2	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0001%
3	0.0003%	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0001%
4	0.0004%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0001%
5	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0004%	0.0000%	0.0000%
6	0.0044%	0.0030%	0.0021%	0.0076%	0.0058%	0.0067%
7	0.2844%	0.3929%	0.2466%	0.2820%	0.3587%	0.4775%
8	99.4839%	99.4364%	99.4826%	99.5228%	99.2812%	99.2851%
9	0.1426%	0.0610%	0.1208%	0.0829%	0.2105%	0.1074%
10	0.0517%	0.0590%	0.1365%	0.0906%	0.0986%	0.0967%
11	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
<7	0.0374%	0.0506%	0.0134%	0.0217%	0.0510%	0.0333%
データ数（百万）	38.663	53.201	45.158	57.453	47.008	59.577
機数	1,595	1,716	1,751	1,870	1,920	2,122

NIC	2022年 1-2月	2022年 3-4月	2022年 5-6月	2022年 7-8月	2022年 9-10月	2022年 11-12月
0	0.0130%	0.0301%	0.0109%	0.0114%	0.0137%	0.0263%
1	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
2	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0001%
3	0.0003%	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0001%
4	0.0004%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0001%
5	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0004%	0.0000%	0.0000%
6	0.0044%	0.0030%	0.0020%	0.0077%	0.0058%	0.0067%
7	0.2846%	0.3929%	0.2469%	0.2822%	0.3597%	0.4782%
8	99.5027%	99.4675%	99.4823%	99.5540%	99.3446%	99.2981%
9	0.1427%	0.0611%	0.1210%	0.0823%	0.2052%	0.1075%
10	0.0517%	0.0453%	0.1368%	0.0620%	0.0710%	0.0830%
11	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
<7	0.0183%	0.0332%	0.0130%	0.0195%	0.0195%	0.0332%
データ数（百万）	38.634	53.128	45.071	57.410	46.856	59.477
機数	1,589	1,705	1,740	1,860	1,902	2,108

表 1.4.3　NACp 統計解析結果（左：全データ、右：低システム状態排除後）

表 1.4.2 と同様にシステム状態指数が低い航空機を除外した解析を実施した。NIC とは異なり、NACp は全体として大きな割合の変化は生じていなかった。航空機の多くは NACp≧8 を満足する結果を得た。

NACp	2022年 1-2月	2022年 3-4月	2022年 5-6月	2022年 7-8月	2022年 9-10月	2022年 11-12月
0	0.0007%	0.0232%	0.0048%	0.0073%	0.0095%	0.0230%
1	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0003%	0.0000%	0.0000%
2	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
3	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
4	0.0000%	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
5	0.0000%	0.0005%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
6	0.0000%	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0001%
7	0.0000%	0.0015%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
8	0.4675%	0.5984%	0.6104%	0.6524%	0.7615%	1.1069%
9	76.8615%	77.6796%	75.9307%	76.7490%	76.3833%	75.0135%
10	22.6679%	21.6873%	23.4414%	22.5765%	22.8228%	23.8431%
11	0.0023%	0.0093%	0.0127%	0.0145%	0.0229%	0.0134%
<8	0.0007%	0.0254%	0.0049%	0.0075%	0.0095%	0.0231%
データ数（百万）	38.378	52.805	44.823	57.132	46.393	59.067
機数	1,595	1,716	1,751	1,870	1,920	2,122

NACp	2022年 1-2月	2022年 3-4月	2022年 5-6月	2022年 7-8月	2022年 9-10月	2022年 11-12月
0	0.0007%	0.0232%	0.0048%	0.0073%	0.0090%	0.0230%
1	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0003%	0.0000%	0.0000%
2	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
3	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
4	0.0000%	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
5	0.0000%	0.0005%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
6	0.0000%	0.0001%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0001%
7	0.0000%	0.0015%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
8	0.4678%	0.5986%	0.6103%	0.6528%	0.7634%	1.1084%
9	76.8493%	77.7078%	75.9245%	76.7648%	76.4842%	75.0728%
10	22.6798%	21.6589%	23.4476%	22.5603%	22.7204%	23.7822%
11	0.0023%	0.0093%	0.0127%	0.0145%	0.0229%	0.0134%
<8	0.0007%	0.0254%	0.0049%	0.0076%	0.0090%	0.0231%
データ数（百万）	38.356	52.764	44.749	57.098	46.273	58.975
機数	1,589	1,705	1,740	1,860	1,902	2,108

図 1.4.42　エリア別統計解析のためのエリア分け

表 1.4.4 NIC 統計値（エリア別）

NIC	Total		RWB	CON	TXB	APRON	APRON2	APRON3	AIRPORT	OutOfArea
0	8,060	0.7677%	0	20	63	212	7,463	4	268	30
1	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2,508	0.2389%	0	0	69	22	2,385	0	32	0
7	2,595	0.2472%	0	4	25	1	2,545	0	5	15
8	1,035,391	98.6168%	114,016	121,259	384,647	290,546	55,339	1,087	67,224	1,273
9	1,357	0.1292%	130	45	54	4	354	0	770	0
10	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2	0.0002%	0	0	0	0	0	0	0	2
<7	10,568	1.0066%	0	20	132	234	9,848	4	300	30
#reports	1,049,913		114,146	121,328	384,858	290,785	68,086	1,091	68,299	1,320

表 1.4.5 NACp 統計値（エリア別）

NACp	Total		RWB	CON	TXB	APRON	APRON2	APRON3	AIRPORT	OutOfArea
0	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1,076	0.1038%	155	91	249	0	426	0	155	0
9	823,190	79.3813%	80,582	92,281	287,424	242,352	54,770	446	65,077	258
10	212,742	20.5150%	33,409	28,921	97,080	48,294	1,065	645	2,289	1,039
11	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
<8	0	0.0000%	0	0	0	0	0	0	0	0
#reports	1,037,008		114,146	121,293	384,753	290,646	56,261	1,091	67,521	1,297

□監視システムの改修と測定実験によるデータ収集

本年度は主に以下のことを実施した。1 つ目は前項で記載した ADS-B 性能評価のためのモニタリングに向けたデータ解析装置の改修である。システム状態指数の改修を行った結果、SIL、SDA、NACv の解析が可能になり、測定期間内の各航空機のシステム状態指数の平均値を算出し、これらを考慮した NIC、NACp の統計値を算出できるようになった。次に、主に空港面の性能評価を推し進めるために、エリア別の解析ができるようにデータ解析装置の改修を行った。この結果、空港内では環境によって信号が更新されないエリア(NIC=0 のこと)が存在することが明らかになった。MLAT のデータからも ADS-B の性能評価が行えるようなソフトウェアの改修も行ったほか、大容量のデータ処理への対応や各航空機のバージョン種別などを管理するためのデータベース化に着手するとともにエラー処理への対応を行い、予定通りに研究は進捗している。

2 つ目として、モード A/C 対応 MLAT についてファミリービーコン機(F/B 機)の分離・識別ができるように改修を行った。同一のトラック番号を有する F/B 機は航跡自体の分離が可能であったものの、システム上これらの識別が困難である課題に対して、距離に応じた閾値を設定することにより、状況に応じた分離・識別が行えることが確認できた(図 1.4.43)。また、複数機からの信号が同時刻で得られる場合の初期捕捉ができない問題については課題を整理し、エリアに分けた質問方式を活用する方針を立てると共に、ターゲット処理部で得られた受信データを分岐する等の改修に必要な課題を整理した。モード A/C MLAT の機能の一つである選択質問方式は、ICAO 監視パネルの作業部会において機能を紹介し、モード A/C の個別質問がこれまでにはない新技術として取り上げられ、当研究所の独自技術として世界的に PR することができた。

さらに、北海道及び関東方面、西日本～九州沖縄エリアにおいて、監視システムで利用する 1030/1090MHz の信号環境のデータ取得・解析を実施し、レーダ覆域と信号数の関係についてデータを取りまとめ、得られた成果は ICAO 監視パネルの作業部会において情報共有した。

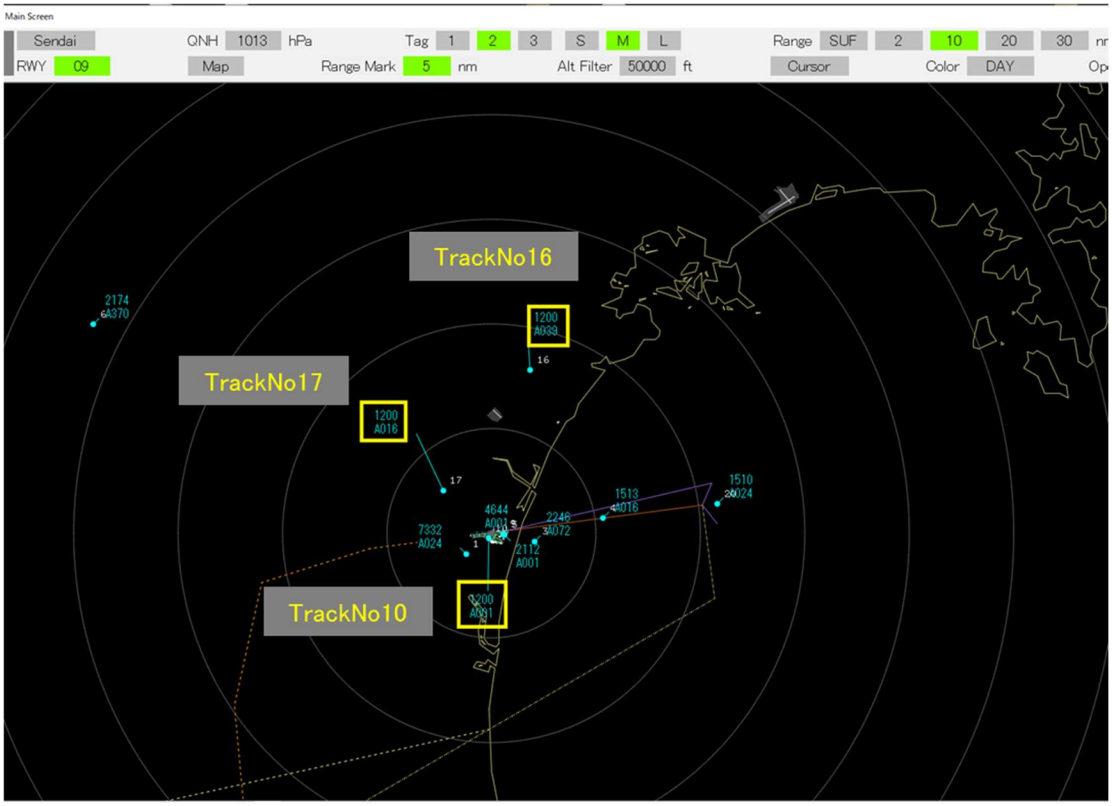


図 1.4.43 モード A/C 対応 MLAT による F/B 機の分離・識別の結果
同じビーコンを持つ航空機を異なるトラック番号を付して管理することが可能となった

□動向調査

ICAO 監視パネルにおける航空機監視作業部会やサブグループ会議等に参加し、監視システムの動向調査を実施した。本研究成果として、モード A/C 対応 MLAT の選択質問方式及び日本国内の ADS-B 性能評価方法と解析結果、信号環境測定結果等についての成果公表を行い、計 8 件の研究成果を標準化団体に

情報提供ができ、今後の国際的な成果共有を進めるこができるようになった。特に、ADS-B については FAA と同様の傾向を示すことを会議の場で確認し、今後もデータ解析を実施して意見交換することに結びついた。空港面 ADS-B の成果については他の国も関心を持つなど、日本での先行評価結果の価値が高いことが明らかになり、国際的な水準に照らしても十分大きな意義があり、国際競争力の向上にもつながった。

成果の公表

□学術論文誌:0 編

□国際学会(全文査読):3 編

- J. Honda, and K. Matsunaga, "ADS-B Performance Parameter Variation along Trajectory, " International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI 2023), pp.165-166, Portland, USA, July 2023.
- J. Honda, and Y. Kakubari, "Preliminary Results on the Impact of Grouping in Multilateration Positioning, " International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Kuala Lumpur, Nov. 2023.
- J. Honda, "Influence of Scattering Order on ILS Localizer Using Ray-Tracing Method, " International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Kuala Lumpur, Nov. 2023.

□国際学会(アブストラクト査読):0 編

□国際学会(査読なし):0 編

□標準化会議:8 編

- J. Honda, K. Matsunaga, T. Otsuyama, and Y. Kakubari, "Statistical Analysis of ADS-B Quality of Performance in Sendai Airport, " ICAO SP-ASWG19-IP/07R1, Montreal, March 2024.
- Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, "Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan, " ICAO SP-ASWG19-IP/01, Montreal, March 2024.
- Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, "Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan, " ICAO SP-ASWG-TSG WP18-17, Fort Lauderdale, Jan. 2024.
- K. Matsunaga and J. Honda, "PRELIMINARY ANALYSIS OF ADS-B POSITIONAL PERFORMANE IN JAPAN, " ICAO SURICG/8-IP/10, Singapore/Virtual, Sep. 2023.
- T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, "Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan, " ICAO SP5-ASWG18-IP/02, Montreal, Sep. 2023.
- K. Matsunaga and J. Honda, "Statistical Analysis of ADS-B Positional Performance in Japan, " ICAO SP5-ASWG18-IP/05, Montreal, Sep. 2023.
- Y. Kakubari and J. Honda, "Multilateration for Mode A/C using Radio-over-Fiber, " ICAO SP5-ASWG18-IP/10, Montreal, Sep. 2023.
- T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, "Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan, " ICAO SP-ASWG-TSG WP17-14, Paris, June 2023.

□国際会議:0 編

□国内学会:6 編

- 本田純一, 角張泰之, "伝搬特性から見たマルチラテレーションの受信状況推定, "2024 電子情報通信学会総合大会, B-2-20, March 2023.
- 松永圭左, 本田純一, "システム状態を考慮した ADS-B 位置性能指数の統計結果, " 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会, vol.123, no.341, SANE2023-100, pp.57-62, Jan. 2024.
- 本田純一, "レイ・トレーシング法を用いた LOC 放射電波の可視化, "第 61 回飛行機シンポジウム, 3B06, Nov. 2023.
- 本田純一, 松永圭左, "情報源インテグリティレベルを考慮した ADS-B 位置性能の統計値, " 2023 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-3, p.133, Sep. 2023.
- 大津山卓哉, 本田純一, "周辺交通状況と機上における監視信号環境に関する考察, " 2023 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-13, p.143, Sep. 2023.
- 本田純一, "ILS ローカライザ電波干渉へのレイ・トレーシング法の応用, " 電子情報通信学会宇宙・航

行エレクトロニクス研究会, vol.123, no.156, SANE2023-44, pp.58-63, Aug. 2023.

□その他：12 編

- 本田純一, “研究所紹介と研究概要説明, ”出前講座, 性能評価センター, Sep. 2023.
- 角張泰之, “OCTPASS に関する研究について, ”出前講座, 性能評価センター, Sep. 2023.
- 松永圭左, “ADS-B の位置性能指数について, ”出前講座, 性能評価センター, Sep. 2023.
- 大津山卓哉, “監視信号環境に関する研究について, ”出前講座, 性能評価センター, Sep. 2023.
- 角張泰之, “航空管制を支える航空機監視システムと光ファイバ無線技術の応用, ”光技術コンタクト 2023 年 10 月号, Oct. 2023.
- 本田純一, “空港面における ADS-B 性能評価結果, ”CARATS 推進協議会, Oct. 2023.
- 松永圭左, “ADS-B に関する研究について, ”出前講座, 海上保安学校宮城分校北九州港空研修センター, Nov. 2023.
- 本田純一, “空港監視技術について, ”出前講座, 福岡航空交通管制部, Nov. 2023.
- 大津山卓哉, “監視システムと信号環境について, ”出前講座, 福岡航空交通管制部, Nov. 2023.
- 本田純一, “電子航法研究所の概要及び研究について, ”出前講座, 大阪航空局管制技術課, Jan. 2024.
- 本田純一, “空港監視システムに関する研究について, ”出前講座, 大阪航空局管制技術課, Jan. 2024.
- 本田純一, “ILS 電波干渉シミュレータの開発について, ”出前講座, 大阪航空局管制技術課, Jan. 2024.

□受賞：0 件

□特許（出願、登録）：0 件

研究開発課題	（3）空港における運用の高度化

研究テーマ	①センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
空港では、航空管制、空港面管理等の業務が実施されており、新技術を活用して業務を効率化していくとともに、空港の機能を最大限発揮させるため、滑走路運用の効率を高める必要がある。このため、管制塔の業務を高度化する技術、航空機等の新たな監視技術、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路の設定等に関する研究開発に取り組む。	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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センサ等のデジタル技術を活用して遠隔で航空管制する技術、空港周辺や空港面における航空機等の新たな監視技術と性能評価に関する研究開発 －空港面用監視技術であるFOD（滑走路異物）検知装置において、誤検知率の低減および低コスト化に向けた検討を行う。

○FOD 検知装置の導入および滑走路維持管理の効率化に関する研究

研究の背景

滑走路小異物（FOD）監視システムは、FOD を自動的に探知し、空港運用者に情報を提供するシステムであり、空港運用に係る安全性向上のために導入が進められている。FOD に起因する事故を未然に防ぐだけではなく、滑走路を閉鎖して実施する滑走路点検の時間短縮を図ることが可能となる。これにより、滑走路利用効率の向上及び空港滑走路閉鎖に伴う航空機の上空待機時間の低減が図れ、CO_2 排出削減が期待できる。当所では実用化に向けた FOD 探知装置の開発を実施し、レーダセンサ単体評価において EUROCAE MASPS ED-235 を超える探知性能達成とレーダセンサ設置条件明確化をしたところである。実運用に先立ち、空港滑走路における監視環境変動（季節・交通）評価/対策及び信頼性評価・低コスト化を行う必要がある。また、滑走路維持管理方式の効率化提案が求められている。

研究目標

□監視環境変動を明らかにし、誤検知率低減を可能とする FOD 探知アルゴリズムを実現する。

□FOD 監視システムの信頼性向上及び低コスト化に向けた検討を行う。

□FOD 監視システムを使った滑走路維持管理方式効率化の向上に向けた技術提案を行う。

令和 5 年度の研究内容

□FOD 監視システム空港環境データ取得継続及びデータ分析・誤検知率低減法有効性確認、画像認識機能追加

□FOD 監視システム信頼性データ取得継続及びデータ分析・低コスト化法の検討

□滑走路維持管理方式効率化に資する FOD 監視システム UI(ユーザインターフェース)提案

□国際基準策定会議への参加

令和 5 年度の研究成果

□FOD 監視システム空港環境データ取得継続及びデータ分析・誤検知率低減法有効性確認、画像認識機能追加

2023 年 5 月から 6 月までの 2 ヶ月間、羽田空港 C 滑走路の夜間閉鎖時間に国際的な技術基準である MASPS(Minimum Aviation System Performance Standards)で定義される探知率、位置精度、探知時間および複数物体分離性能の評価試験を実施した(図 1.4.44)。評価結果から、覆域内(350 m)において探知率(図 1.4.45)、位置精度、複数同時探知性能、探知時間の性能が ED-235 MASPS を満たすことを明らかにした。さらに、落鳥 1 件(2023 年 6 月)及びバードストライク 1 件(2023 年 9 月)を直ちに探知し、パイロットから管制官への通報よりも 10 分早く探知ができ落下物除去時間の短縮に有効であることや、鳥と航空機の衝突の段階から検知し、落鳥発生後も直ちに FOD 探知を実現し、FOD 評価装置が有効に機能することを確認した。(図 1.4.46)

図 1.4.44 滑走路における試験状況

場所/対象物	北側500 m	北側350 m	直交235 m (小雨)	南側350m (小雨)	南側500 m (小雨)
タイヤ片	98.3	99.1	98.3	100	96.6
灯火	100	100	100	100	100
M10ボルト+ナット80 mm	68.4	97.4	98.3	95.7	43.6
燃料キャップ	100	100	100	100	96.6
コンクリート片	100	100	100	100	100
金属片	98.3	98.3	100	100	89.8

図 1.4.45 MASPS 準拠対象物探知率試験結果

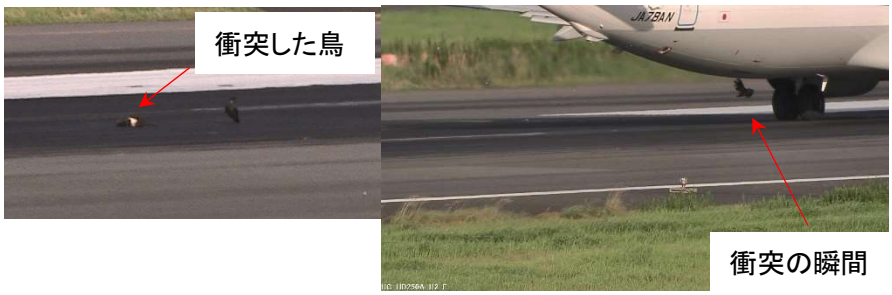


図 1.4.46 自動検知したバードストライクの状況(2023 年 9 月 27 日)

2023 年 3 月の評価装置の稼働開始から連続して取得しているレーダセンサ、高精細カメラ、気象センサ、滑走路運用状況の各データを分析し、環境変動によるセンサ反応の評価分析を実施した(図 1.4.47)。また、昨年度改修を実施した監視情報による航空機・車両等の誤検知低減法の有効性を確認した(図 1.4.48)。さらに、鳥や昆虫のセンサ反応多数の分析結果を踏まえ、鳥や昆虫等のセンサ反応による誤検知を低減するための画像認識機能追加改修を実施した。

画像認識機能以外のシステム高精度化の検討も実施した。具体的には、ミリ波レーダの高分解能特性を活用した、鳥や昆虫等の移動体判定による FOD との分別法、レーダ反射波強度の変動を評価することによる移動体と FOD との分別法の提案を行った。これに加え、滑走路上の段差、塗装、灯火等の固定物の反応

を除外しつつ FOD のみを検知する信号処理方式の検討を実施した。これら画像認識機能やミリ波レーダの高分解能特性を活用した高精度化は、既存システムと差別化することを目的に研究開発に取り組んでいるものである。FOD 自動探知は空港滑走路の利用効率向上、省人化に結びつく技術であり、滑走路閉鎖時間の短縮は CO2 排出削減の可能性が期待できる等、航空局主催の滑走路検知装置導入検討会でも実用システムの導入が議論されているなど国の方針とも合致し、社会的価値（空港運用の効率化等）の創出にも貢献できた。

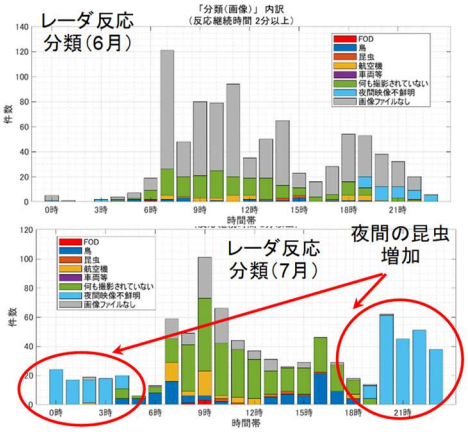


図 1.4.47 センサ反応の評価分析例

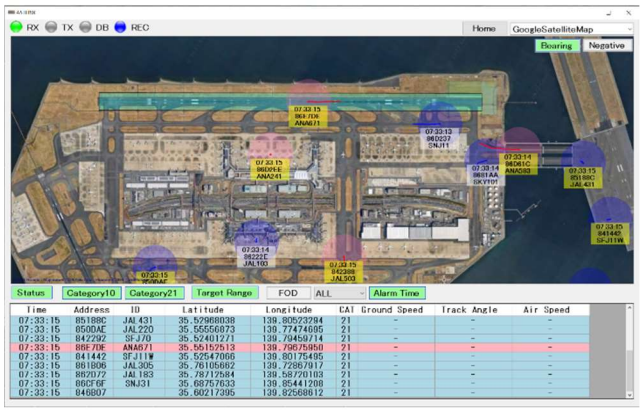


図 1.4.48 監視情報による FOD アラート高精度化

□FOD 監視システム信頼性データ取得継続及びデータ分析・低コスト化法の検討

2023 年 3 月の稼働開始以来、ミリ波レーダ受信結果・送信電力・回路モニタ信号（電圧、電流、温度）等を含む装置動作状況の記録・分析し、約 1 年連続稼働している現時点において安定した動作となっていることを確認した。また、覆域解析ツールを用い、センサ 1 局あたりの覆域拡大を行った場合の、センサ数低減の実現可能性を評価し、低コスト化検討を実施した。覆域が現在の 350 m から 400 m まで拡大可能な場合は、C 滑走路の滑走路センサ数を 6 センサから 5 センサに減少可能となる見込みとなり、システム低コスト化が可能となる結果が得られた。

□滑走路維持管理方式効率化に資する FOD 監視システム UI 提案

FOD 監視システムのシステム UI について前年度の検討結果を踏まえ、地図上への探知 FOD 情報の表示項目・表示方法等の修正、反応継続時間や FOD 種別等の追記を行うシステム改修を実施した。また、画像認識機能追加改修を実施し、画像認識結果（認識物体種別、認識エリア、予測確率等）を表示する UI を追加した。

□国際基準策定会議への参加

EUROCAE WG-83、滑走路面異物検知装置導入検討会、海外共同研究等に参加・協力し、本研究で得られた結果が国内外における同システムの実用化検討に活用された。EUROCAE WG-83 では、規格文書 ED-235A の発行に関する議論に参加し、国際技術基準の改訂に寄与した。ED-235A は 2023 年 12 月に OC（Open Consultation）を完了し、今後発行予定である。また、本研究の成果はマレーシア工科大学を通じてマレーシア空港会社およびマレーシア航空局に報告しており、マレーシアにおける実用化検討にも活用されている。

成果の公表

□学術論文誌：0 編

□国際学会（全文査読）：0 編

□国際学会（アブストラクト査読）：1 編

・ S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Evaluation of Small Bolt and Nut Detection Performance Using Airport Runway Foreign Object Debris Detection System Based on a 96-GHz Millimeter-Wave Radar System, ”Proceedings of the 48th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2023), pp.1-2, Sep.2023.
DOI: 10.1109/IRMMW-THz57677.2023.10299075.

□国際学会（査読なし）:0 編

□標準化会議:0 編

□国際会議:0 編

□国内学会:1 編

・ ニッ森俊一，森岡和行，河村暁子，米本成人，“羽田空港での滑走路異物監視システムの評価計画，”令和 5 年度（第 23 回）電子航法研究所研究発表会, June 2023.

□その他:3 編

・ ニッ森俊一，“ミリ波レーダセンサを用いた滑走路異物探知システムの実用化に向けた研究開発状況，”2023 年マイクロウェーブ展ワークショップ, FR4B-01，Dec. 2023.

・ ニッ森俊一，“羽田空港における滑走路異物監視システムの評価状況，”港湾空港技術講演会 in 関東 2023, Dec. 2023.

・ ニッ森俊一，“滑走路異物探知システムの実用化に向けた研究開発状況，”第 36 回航空安全シンポジウム, Mar. 2024.

□受賞:0 件

□特許（出願、登録）:0 件

研究開発課題	（3）空港における運用の高度化

研究テーマ	②衛星航法を活用した高度な進入着陸方式に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
空港では、航空管制、空港面管理等の業務が実施されており、新技術を活用して業務を効率化していくとともに、空港の機能を最大限発揮させるため、滑走路運用の効率を高める必要がある。このため、管制塔の業務を高度化する技術、航空機等の新たな監視技術、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路の設定等に関する研究開発に取り組む。	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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衛星航法を活用した高度な進入着陸方式に関する研究開発	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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衛星航法を活用した高度な進入着陸方式に関する研究開発 －GBASを活用した新たな進入方式について、運用概念と安全性評価方針を検討する。また、滑走路離脱のパイロット支援に係る運用概念の作成、飛行方式設計アルゴリズムの高度化を行う。 等

○GBAS を活用した着陸運用の高度化に関する技術開発

研究の背景

進入着陸において ILS から GBAS を用いた着陸システム（GLS）を使うことによって、個別の航空機の特性や進入フェーズに対応して進入角を選択可能な自由度の高い進入や、滑走路離脱点に合わせた着地点を選択するマルチエイミングポイントを設定した着陸など、より環境に優しい効率的な進入着陸の実現が期待される。欧州では、SESAR 関連プログラム（SESAR 2020 PJ.02）で先行してこれらの実現可能性の検証実験が行われている。

研究目標

□従来方式と併用可能な高角度進入(IGP)の技術開発と運用条件明確化

□滑走路離脱を含む同一滑走路の第 2 エイミングポイント(SRAP)設定技術開発と運用条件明確化

□IGP や SRAP に係わる進入経路の安全性評価に関して、飛行データに基づいた衝突リスクモデル（CRM）改良及び無障害物評価表面（OAS）改良

□IGP や SRAP 運用に必要なパイロット負荷軽減と誤認防止を考慮した滑走路離脱誘導を含めた支援ツールの開発及び評価

令和５年度の研究内容

□IGP、SRAP（非同時設定）の運用概念構築、安全性評価方針決定

□CRM 改良のための飛行データ解析

□滑走路離脱支援に関わる運用概念の構築

令和５年度の研究成果

□IGP、SRAP（非同時設定）の運用概念構築、安全性評価方針決定

主に（1）騒音軽減、（2）燃料消費低減、（3）地上障害物件回避を目的とした運用概念の検討を行い、(1)、(2)に関しては飛行シミュレータ装置を用いた模擬実験から進入経路と得られる効果の関係の具体化を図った。また、(3)に関しては効果が得られる滑走路をリスト化して効果が高いと期待されるものについて進入経路の基本設計を行って運用概念と安全性評価方針を検討した。

□CRM 改良のための飛行データ解析

飛行データ解析に用いるための ADS-B データについて、従来の東京国際空港に加えて新規に神戸大学において関西国際空港、大阪国際空港等の到着機について収集を開始した。

□滑走路離脱支援に関わる運用概念の構築

パイロット負荷軽減、誤認防止に必要なガイダンス情報、支援ツールの表示方法を具体化し、現在の着陸手順を考慮した操作と確認手順を考案して運用概念を検討した。

成果の公表

□学術論文誌：0 編

□国際学会（全文査読）：0 編

□国際学会（アブストラクト査読）：1 編

・ T. Yoshihara, A. Senoguchi, A.. Kezuka, S. Saito, and T. Koga, “A Study on Estimated Errors and a Correction Method for Wind Velocity Derived from Mode S Messages of Aircraft Surveillance Systems using Atmospheric Radar Observation, ”International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics (ICSANE)2023, Surakarta, Indonesia, Dec. 2023.

□国際学会（査読なし）：0 編

□標準化会議：1 編

・ T. Yoshihara, “Introduction of the ENRI’s R&D projects related to wake turbulence separation, ”ICAO WTSWG/15 – IP05, Montreal, Canada, April 2023.

□国際会議：1 編

・ T. Yoshihara, S. Saito, R. Mori, N. Fujii, and H. Aoyama, “ENRI’s R&D Activities on Advanced GBAS Operations, ”International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 22, San Francisco, USA, June 2023.

□国内学会：2 編

・ 森亮太, 藤田雅人, “ADS-B による着陸航跡抽出, ”日本航空宇宙学会誌, Vol. 71, No. 6, p.151-155, June 2023.

・ 吉原貴之, 瀬之口敦, 毛塚敦, 齋藤享, 古賀禎, “航空機監視装置から得られる風情報の補正手法の開発に向けて, ”第 17 回 MU レーダー／赤道大気レーダーシンポジウム, オンライン, Sept. 2023.

□その他：5 編

・ 齊藤真二, 福島荘之介, “GBAS 機上受信機と GBAS-16 プロトタイプ（ソフトウェア）の連接試験結果報告, ”国土交通省航空局提出, June 2023.

・ 齊藤真二, “GNSS を活用した新しい進入方式 ～RNP to xLS～, ”出前講座（海上保安学校宮城分校北九州航空研修センター）, Nov. 2023.

・ 吉原貴之, “GBAS の概要と滑走路運用の高度化, ”出前講座（大阪航空局福岡空港事務所）, Nov. 2023.

・ 吉原貴之, 齊藤真二, 藤井直樹, 青山久枝, “低視程時の GBAS による滑走路運用の検討（経過報告）, ”CARATS 推進協議会 CNS 検討 WG 航法検討 SG, Dec. 2023.

・ 齊藤真二, 吉原貴之, “GNSS を活用した新しい進入方式 & GBAS の概要と滑走路運用の高度化, ”出

前講座(海上保安庁海上保安学校宮城分校), Jan. 2024.

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（3）空港における運用の高度化

研究テーマ	②衛星航法を活用した高度な進入着陸方式に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
空港では、航空管制、空港面管理等の業務が実施されており、新技術を活用して業務を効率化していくとともに、空港の機能を最大限発揮させるため、滑走路運用の効率を高める必要がある。このため、管制塔の業務を高度化する技術、航空機等の新たな監視技術、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路の設定等に関する研究開発に取り組む。	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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衛星航法を活用した高度な進入着陸方式に関する研究開発	空港では、航空機が安全かつ円滑に離着陸が行えるよう、航空管制、空港面管理業務が実施されており、空港の運用を最適化するため、安全を確保したうえで施設の高度化によって業務を効率化する技術の開発が必要である。 また、空港周辺の山岳や市街地への配慮による空港運用の制約に対応して、柔軟で環境負荷の低い離着陸経路を設定するとともに、多くの航空機が離着陸できるように滑走路運用の効率を高め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衛星航法を活用した高度な進入着陸方式に関する研究開発 －GBASを活用した新たな進入方式について、運用概念と安全性評価方針を検討する。また、滑走路離脱のパイロット支援に係る運用概念の作成、飛行方式設計アルゴリズムの高度化を行う。 等

○飛行方式等に係る安全と効率に関する研究

研究の背景

航空の安全と効率を追求するための業務のひとつに飛行方式設計がある。現在、飛行方式設計業務は航空交通管理センターで管理管制官が設計ツールを用いて実施されている。飛行方式設計業務は、PANS OPS（ICAO Doc8168）の基準に沿って対象空域に飛行方式を設計する。その際、対象空域の地形や運用方式に対して基準を満たすよう、設計者が既存の設計ツールを用いて設計するが、条件の多い設計作業には多くの時間を要する。特にこの業務の地点設定に関わる効率化に向け、先行研究「進入方式等の効率向上に向けた研究」では、最適化手法の一種である遺伝的アルゴリズムを用いた進入方式最適化プログラムを開発し、限定的な計算条件で既存の RNP AR 飛行方式と同等の結果が得られることを確認した。そこで、様々な条件に対応可能なアルゴリズムの開発や、ユーザビリティの向上など、汎用性の高い設計支援ツールの開発が期待されている。併せて、飛行方式等に応じた安全に係るデータ解析が求められている。

研究目標

□汎用性の高い設計支援ツールの開発

□飛行方式等に応じた安全性検証

令和 5 年度の研究内容

□飛行方式設計のための最適化アルゴリズムの高度化
□飛行方式等に応じた安全性に係るデータの解析

令和 5 年度の研究成果

□飛行方式設計のための最適化アルゴリズムの高度化

RRT（Rapidly-exploring Random Tree）アルゴリズムに、直線と円弧の組み合わせで構成される 2 地点間の最短経路とその生成方法である Dubins パスを組み込んだ手法を提案した。この方法は RNP AR APCH と親和性が高く、多様な経路を短時間で安定して生成することが見込まれる。

提案手法を用いて、直線と曲線で構成される多様な経路の候補（図 1.4.49）から経路を生成したところ（図 1.4.50）、実際に熊本空港に設定されている飛行経路（図 1.4.51）と比較して、ほぼ同様のコースを描く結果が得られ、提案手法による経路生成が有効であることが確認できた。

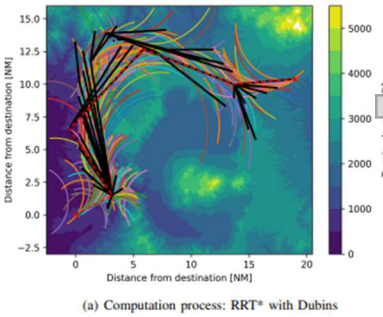


図 1.4.49 Dubins パスを用いた経路計算の途中

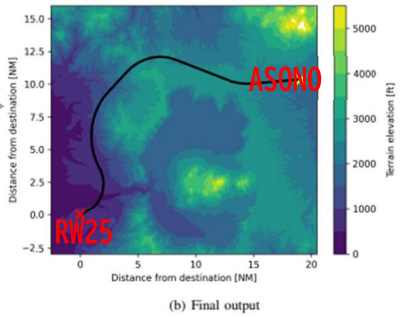


図 1.4.50:生成した経路のひとつ

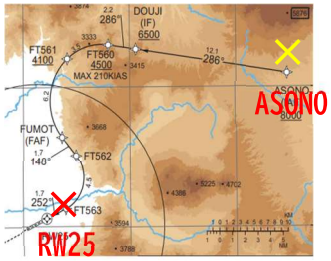


図 1.4.51 実際の熊本空港の RNP

□飛行方式等に応じた安全性に係るデータの解析

ICAO（国際民間航空機関）SASP（管制間隔・空域安全性パネル）の数学者グループに参加し議論した結果、次回の SASP に向けて福岡 FIR における CDP（洋上上昇降下方式）の実運航データを用いて定量的な安全性検証を行うこととなり、検証作業に着手した。

成果の公表

□学術論文誌：0 編
□国際学会（全文査読）：0 編
□国際学会（アブストラクト査読）：1 編

・ R. Saez, D. Toratani, R. Mori and X. Prats, “Generation of RNP Approach Routes with an RRT* Algorithm, ”42thDASC, 2023.Oct.

□国際学会（査読なし）：0 編
□標準化会議：0 編
□国際会議：0 編
□国内学会：1 編

・ 森亮太, “推力低減上昇方式のシミュレータ検証, ”JSASS 第 54 期年会講演会, 2023 年 4 月.

□その他：1 編

・ 森亮太, “衝突確率の計算結果のまとめ, ”第 12 回新たな飛行方式導入に係る検討会議, 2023 年 7 月.

□受賞：0 件
□特許（出願、登録）：0 件

研究開発課題	（4）航空交通を支える基盤技術の開発

研究テーマ	①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空交通を支えるシステムの高度化に資する基盤技術の開発や技術的課題の解決が必要である。このため、航空交通においてデジタル化を促進するための基盤技術及び航空機との無線通信を支える基盤技術等に関する研究開発に取り組む。	航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。 このため、以下の研究開発を進める。 ①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発	航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。 このため、以下の研究開発を進める。 ①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発 －SWIM（情報共有基盤）を用いてセキュアな情報共有を実現できるサービスアシュアランス技術を提案し、検証する。

○SWIM による協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究

研究の背景

欧米では、SWIM（System Wide Information Management）により運航に係る様々な情報をシステムや関係者の間で共有し、相互運用性と協調性の実現が進められている。また ICAO では、FF-ICE（Flight and Flow for Information Collaborative Environment）の導入を推進し、離陸前と離陸後の情報共有によりグローバルな協調的意思決定を図り、更に空地統合 SWIM を利用した軌道ベース運用を目指している。これらを実現するためには、標準情報交換モデルを用いたメッセージの交換による各種情報の共有だけではなく、運航の安全性に係わる情報の品質を保証する高度な SWIM 情報サービスも求められている。

研究目標

□グローバルな協調運用に関する運用面及び技術面の課題を明らかにする上で、運用レベルが異なる飛行情報区の間での協調的意思決定を支援できる広域サービス構築技術を提案する。

□運航の安全性に係わるセーフティクリティカルな情報の信頼性、完全性やセキュリティを保証できるアシュアランス技術を提案する。

□協調運用の有効性を評価できる手法の確立及び検証システムの開発を行い、実用化可能なサービスの検証実験や国際連携実験による総合評価を実施する。

令和 5 年度の研究内容

□運航の安全性に係わる情報を保証できるサービス要件の分析

□サービスアシュアランス技術の提案

□検証実験システムの開発

□SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査

令和 5 年度の研究成果

□運航の安全性に係わる情報を保証できるサービス要件の分析

現在、ICAO では、SWIM に基づいた情報共有に必要な通信セキュリティとグローバルな協調運用に必要な情報セキュリティを保証するため、Cybersecurity Panel と Trust Framework Panel（TFP）が新たに設立され、技術要件の検討や関連マニュアルの作成が行われている。

また、Connected Aircraft の概念により、空地統合 SWIM に基づいて機上システムと地上システム間で運航に関する具体的な情報や制約条件をリアルタイムに交換することが可能となる。SWIM サービスや ATM アプリケーションを起動させて実際の飛行計画や飛行軌道を変更できる情報は「セーフティクリティカルな情報」と呼ばれ、運航の安全性に対して影響を生じさせる可能性がある。これに対して、情報セキュリティと運航の安全性の両方を考慮したセーフティクリティカルな情報は導入されるリスクを最小化する必要がある。今年度は MR TBO の飛行実証実験により SWIM に基づいた軌道ベース運用に必要な運用要件と技術要件を検討し、運航の安全性に係わるセーフティクリティカルな情報を保証するため、別項目にて記載する検証システムの開発と検証実験により、以下のサービス要件を明らかにした（表 1.4.6）。

運用フェーズ	運用要件	技術要件	サービス要件
離陸前：飛行計画の調整	離陸前の飛行計画の共有と調整	FF-ICE/R1 + 標準情報交換モデル	情報の信頼性： ・データの正確性 ・メッセージの完全性 身元の信頼性： ・偽装防止 ・否忍防止 通信の信頼性： ・妨害防止 ・改ざん防止 運航の安全性： ・運航リスクの評価 ・アクセス制御
離陸後：飛行経路の調整	離陸後の飛行軌道の共有と調整	FF-ICE/R2 + 航空交通流管理	
離陸後：FIR間の通過調整	空域管理者間での軌道共有と管理	FF-ICE/R2 + Global SWIM	
離陸後：飛行経路の変更	戦術的対応と戦略的計画の調和	航空管制システムとSWIMの連携	
離陸後：運航状況の感知	空地情報の共有・管理・利用	Connected Aircraft + 空地統合SWIM	

表 1.4.6 情報の信頼性と運航の安全性を保証するためのサービス要件

□サービスアシュアランス技術の提案

軌道ベース運用を実現するためには、これまでのサービスごとの個別提供、空域ごとの個別運用と運航者ごとの個別評価から、統一された信頼基盤によるグローバルな協調運用への移行が必要である。この課題を解決するため、セーフティクリティカルな情報の信頼性と運航の安全性を保証できる SWIM サービス信頼基盤のモデルを提案した（図 1.4.52）。このモデルは三つのレイヤーで構成されている。管理レイヤー（Management Layer）では、ローカルやグローバルなアイデンティティ、アクセス、及びリスクに関する情報やポリシーを管理する。連携レイヤー（Cooperation Layer）では、管理される情報に基づいて具体的な認証（Authentication）、認可（Authorization）と検証（Validation）を行い、その結果により連携の仕組みを判断する。動作レイヤー（Action Layer）では、認証、認可と検証の結果に基づいて具体的なエンティティから SWIM サービスへのアクセスと運用アプリケーションの操作を実行する。このモデルを用いて、SWIM によるセーフティクリティカルな情報の共有を保証するグローバルな認証、認可と検証サービスの連携を実現できるサービスアシュアランス技術も提案した（表 1.4.7）。航空分野において、このような空地統合 SWIM に基づき運航に関連する人間、機器とサービスの間でアイデンティティ管理、アクセス制御とリスク評価の連携を実現できる SWIM サービスアシュアランス技術に関する研究は、運航の安全性を確保する上で新規性、発展性、一般性が十分に大きい。

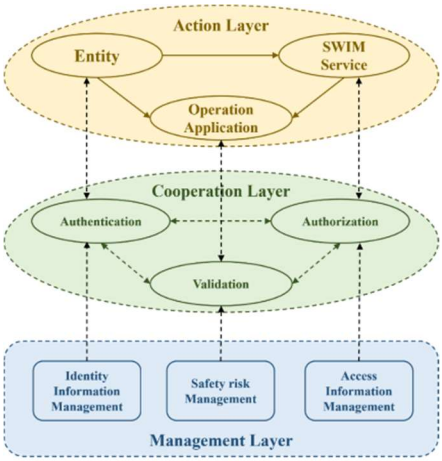


図 1.4.52 SWIM サービス信頼基盤のモデル

サービス	要素技術	アシュアランス技術
認証サービス	• 公開鍵暗号技術 • 電子署名	• メッセージサインサービスによるSWIMメッセージングインフラとの連携技術
認可サービス	• 属性条件や運用状況による動的アクセス制御技術	• セキュリティサービスによるSWIMサービスとの連携技術
検証サービス	• 広域情報品質管理 • 運航リスク評価	• リスク評価サービスによる運用アプリケーションとの連携技術

表 1.4.7 SWIM サービスアシュアランス技術

□検証実験システムの開発

本年度、Boeing 社との連携により、日本、米国、シンガポール、タイの 4 カ国を跨いで、世界初の実際の旅客機を使用した MR TBO（多地域間軌道ベース運用）の Phase 2B に関する飛行実証実験が成功裏に実施された。この実証実験では、当所で開発した SWIM 実験システムが使われ、2 千人以上がオンライン参加で実験の進行状況を見学するとともに、参加者からも高い評価を受け、世界的に報道された。本実証実験により、Connected Aircraft の概念を活用して実際の管制システムと SWIM システム間の連携モデルを明確化し、戦術的対応と戦略的計画を融合できることが確認された（図 1.4.53）。これらの実験結果は、ICAO FF-ICE/R2（Flight & Flow Information for a Collaborative Environment/Release 2）Implementation Guidance の作成にも反映され、寄与できた。また、実証実験のために、公開鍵暗号技術と電子署名（PKI：Public Key Infrastracture）を用いて SWIM 情報の信頼性を確保できるメッセージサインと検証サービスを開発し、地上 SWIM におけるセキュアな情報共有に関する国際連携検証実験においてその有効性を示した（図 1.4.54）。

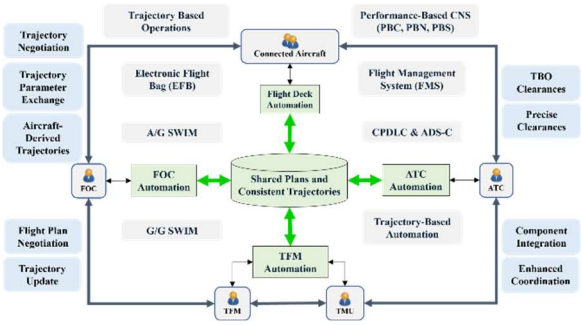


図 1.4.53 Connected Aircraft による管制システムと空地 SWIM システムとの連携モデル

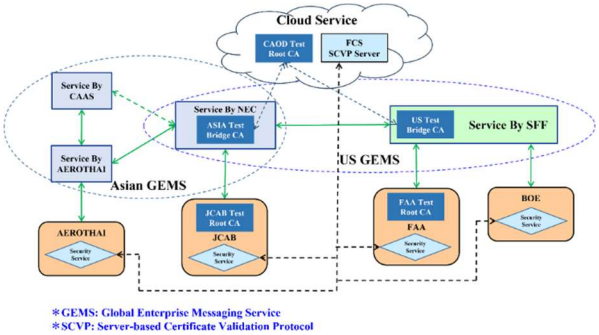


図 1.4.54 PKI に基づいたグローバルな SWIM メッセージングインフラ

さらに、次世代航空通信基盤に対応できる電子研の実験用航空機を用いて飛行実証実験を行った。この実証実験では、Connected Aircraft の運航の安全性を保証するために必要なリスク評価サービスを開発し、空地統合 SWIM において航空機を含む認証・認可・検証サービスの連携機能を検証した。この結果、SWIM サービスアシュアランス技術を利用して、検証サービスにより情報の完全性に問題がある NOTAM メッセージを検知し、リスク評価サービスにより飛行経路調整サービスへの通知を中止することで、運航の安全性が保証できることを示した（図 1.4.55）。

このように、航空交通情報の信頼性と運航の安全性を保証できる SWIM サービス信頼基盤のモデルを提案できたことは、安全・安心の確保、環境負荷の低減等に対する効果が大きく、国の方針や社会のニーズに適合し、社会的価値の創出にも貢献できた。さらに、MR TBO における世界初の多国間の飛行実証実験の実

施や Connected Aircraft の概念を活用した実際の管制システムと SWIM システム間の連携仕組みの検討や検証などは国際的な水準に照らして重要な役割を果たしている。

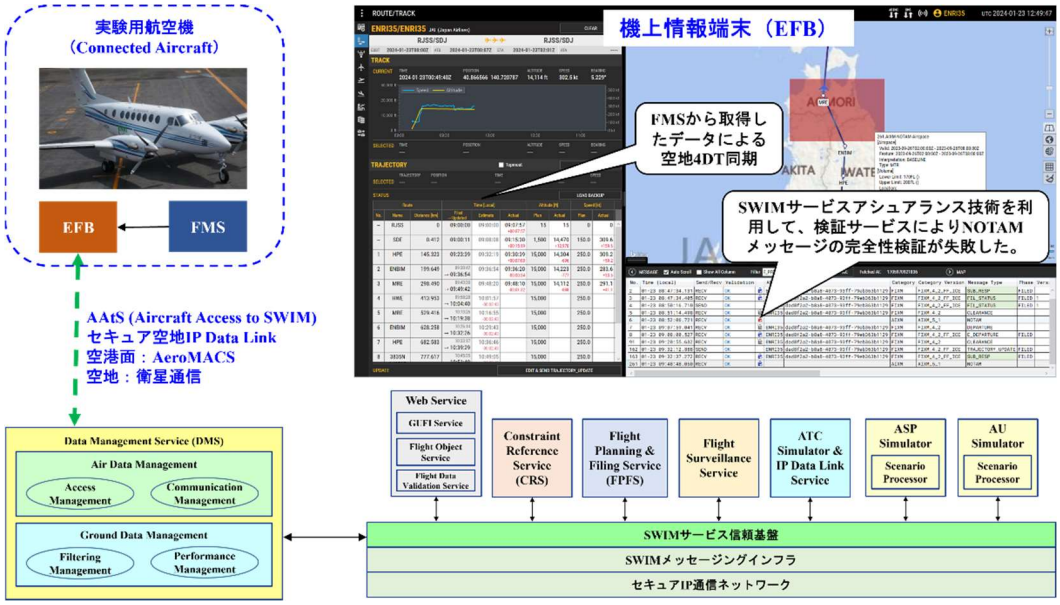


図 1.4.55 SWIM サービス信頼基盤に基づいた空地統合 SWIM 実験システム

□SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査

ICAO IMP（Information Management Panel）や ATMRPP（Air Traffic Management Requirements and Performance Panel）など多数の国際会議に参加し、技術標準資料の作成に貢献している。また、航空局から技術アドバイザーとしての参画も依頼された TFP 関連会議にも参加し、国際航空信頼基盤に関する技術要件の検討や情報セキュリティマニュアルの作成などを対応している。

ICAO APAC SWIM TF（Task Force）においてタスクリーダとして第 7 回と第 8 回 SWIM TF 会議で担当しているタスクの進捗状況について報告するとともに、定期的に行われるタスクリーダ間の連携推進会議に参加した。また、APAC SWIM Implementation Guidance の作成に参画し、APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles のドラフト版を作成した。さらに、APAC 地域 SWIM の導入を推進するため、SWIM TF/7 で設立された SWIM Implementation Pioneer Group（SIPG）のほか、地域各国との技術交流会や連携推進会など多数の情報交流会に参加している等、これらの活動により国際競争力の向上にも寄与できた。

成果の公表

□学術論文誌：0 編

□国際学会（全文査読）：1 編

・X.D. Lu and N. Kanada, “SWIM Service Trust Framework to Ensure the Safety of Flight Operations, ” IEEE GCCE 2023, October 2023.

□国際学会（アブストラクト査読）：0 編

□国際学会（査読なし）：0 編

□標準化会議：8 編

・X.D. Lu, “Overview of APAC SWIM-TI Profiles, ” ICAO 7th Meeting of SWIM TF, May 2023.

・X.D. Lu, “APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles – Draft Version 0.1, ” ICAO 7th Meeting of SWIM TF, May 2023.

・X.D. Lu, S. Han, W. Zhu and Y. Tian, “SWIM Discovery Service Demonstration, ” ICAO 7th Meeting of SWIM TF, May 2023.

・X.D. Lu, S. Han, W. Zhu and H. Gao, “Proposal of Regional Interoperable SWIM Registry, ” ICAO 7th Meeting of SWIM TF, May 2023.

・X.D. Lu, “Approaches to differentiate FF-ICE Flight Plan Update between different processing phases, ” FIXM Core v4.3.0 Overview TIM, October 2023.
・X.D. Lu and N. Kanada, “Practical Experiences in Japan: SWIM Security Service for Connected Aircraft, ” ICAO TFP-WGW 01, October 2023.
・X.D. Lu, “Updates of APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles, ” ICAO 8th Meeting of SWIM TF, November 2023.
・X.D. Lu, David Leow and Amornrat Jirattigalachote, “Proposal for detailed Enterprise Messaging Service architecture and its impact on the use of message headers, ” ICAO 8th Meeting of SWIM TF, November 2023.

□国際会議:3 編

・X.D. Lu and S. Wilson, “MR TBO Live Flight Demo Test Video, ”Multi-Regional TBO Live Flight Demo, online, June 2023.
・呂暁東, “MR TBO の飛行実証実験に関する日本の SWIM 実験システム, ”Multi-Regional TBO Live Flight Demo CARATS 説明会, June 2023.
・X.D. Lu, “Multi-Regional TBO Demonstration and SWIM,” KAU/ENRI Research Exchange Workshop, July 2023.

□国内学会:1 編

・金田直樹,呂暁東, “ICAO におけるトラストフレームワークの動向, ”第 61 回飛行機シンポジウム, 2023 年 11 月.

□その他:5 編

・呂暁東, 金田直樹, “MR TBO 飛行実証実験のための SWIM セキュリティサービス, ”CARATS 第 52 回情報管理検討 WG, 2023 年 6 月.
・呂暁東, “MR TBO における情報のデジタル化と航空交通の最適化, ”CARATS オープンデータ活用促進フォーラム 2023, 2023 年 12 月.
・呂暁東, “SWIM Task Force における国際連携実験について, ”CARATS 第 54 回情報管理検討 WG, 2023 年 12 月.
・呂暁東, “航空交通情報基盤(SWIM)について, ”航空保安大学校の特別講義, 2024 年 1 月.
・呂暁東, “SWIM に基づいた軌道ベース運用と国際連携実証実験, ”令和 5 年度航空無線技術交流会, 2024 年 2 月.

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（4）航空交通を支える基盤技術の開発

研究テーマ	①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空交通を支えるシステムの高度化に資する基盤技術の開発や技術的課題の解決が必要である。このため、航空交通においてデジタル化を促進するための基盤技術及び航空機との無線通信を支える基盤技術等に関する研究開発に取り組む。	航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。 このため、以下の研究開発を進める。 ①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発	航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。 このため、以下の研究開発を進める。 ①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発 －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による接続率向上を飛行実証し、通信の秘匿・優先度選択技術の評価を行う。 等

○航空通信基盤の高度化に関する研究

研究の背景

近年、航空システムから取得した様々な情報を関係者間で共有し、より安全で効率的な運用を行う SWIM（System Wide Information Management）が検討されている。このような次世代の航空情報共有のために、通信速度が速く大容量を扱え、IP(Internet Protocol)化に対応できる次世代航空通信システムの導入が近づいている。次世代航空通信システムとして唯一 ICAO の標準規格策定が終了している AeroMACS（Aeronautical Mobile Airport Communications System）の航空機搭載無線機の提供が今後始まるとその後しばらくは、様々な世代の航空通信システムを用いる機体が混在することが予想される。現在の航空データ通信は、機体の受信状況等に応じて搭載無線機を選択し使用しているが、飛行中の切替えなどによる接続率の低下に問題がある。一方、ICAO Doc.9869 は航空管制データ通信について高い接続率を要求しており、あらゆる飛行フェーズの航空機が通信接続率の要件を満足できる高度な航空通信基盤を実現するため複数の通信システム及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及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５年度の研究内容

□航空通信システムの規格策定活動参画

□複数の通信システム・経路の検証システムを用いた接続率向上の評価実証

□検証システムを用いた通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証

令和５年度の研究成果

□航空通信システムの規格策定活動参画

本研究では ICAO 通信パネルの関連 WG（作業部会）や PT（プロジェクトチーム）に継続して参画している。ICAO 通信パネルの WG において通信システムの RCTP(Required Communication Technical Performance：RCP から人的遅延を除いた部分)の理論的考察とシミュレーションの比較、VHF ACARS を用いた通信の IP 化、SWIM ポジションレポートの実装、航空用周波数帯を用いた Local 5G 通信システムの開発報告を行った。また LDACS システム専門部会（PT-T）へ LDACS の干渉検討についてなど計８編の Working paper を提出した。いずれも測定や理論計算に基づく報告かつ新規性の高い内容であり、深い議論を行うための情報提供を行い会議に貢献した。

□複数の通信システム・経路の検証システムを用いた接続率向上の評価実証

VHF ACARS、次世代衛星、AeroMACS を同時接続しながら地上局と通信する実験について車両を用いた予備実験での知見を得た後、実験用航空機を用いた飛行実験を実施し、最初に地上サーバに届くメッセージを採用する手法の有効性を確認した。ACARS の IP 化による SWIM 利用の実証も行い実現可能であることを明らかにした（図1.4.56）。

さらに、この実験で取得した遅延データと昨年度構築した空地通信接続率の理論モデルを比較した結果、遅延時間がガウス分布に近くなる場合においては理論モデルの有効性が確認できた（図 1.4.57）。

図 1.4.56　飛行試験で用いたマルチリンク実証システム

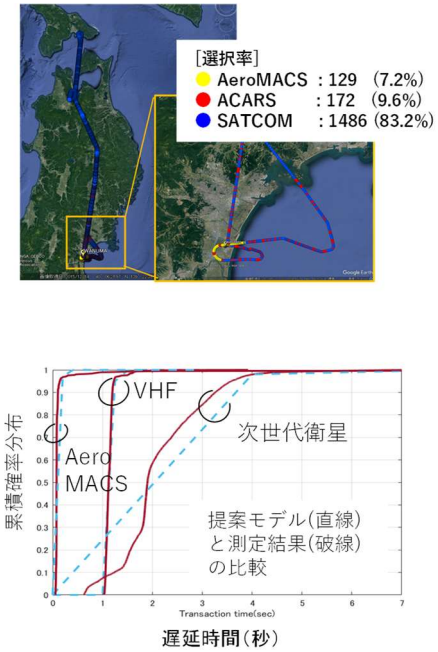


図 1.4.57　上：マルチリンク接続結果
下：提案した通信接続率モデルと飛行実験における測定結果の比較

□検証システムを用いた通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証

上記飛行実験にて、SWIM メッセージを ACARS 経由で送信する際にデータの圧縮・秘匿暗号化を取り入れ実証を行った。また、地図画像などメッセージのサイズが大きいデータは通信性能が高い AeroMACS に割り当てるなど、送信メッセージサイズを考慮して利用する通信メディアを指定する優先度選択も行い、実際の飛

行実験にて効果を確認できた。

また、これまで開発した LDACS 試作機を用いて LDACS の QoS（優先度選択）の評価も実施した。

4カ年の最終年である本年度は、1 件の査読付き論文が本分野最高峰の学会である IEEE のオンライン誌に掲載され、4 件の ICAO WP を提出したほか、国内最大の論文誌 IEICE 本誌へ招待論文を寄稿する等成果発出を多数行った。また、新旧3つの通信メディアを同時接続した飛行を伴う通信実証実験を実施しメッセージの選択方法や既存の通信装置でも SWIM 基盤を一部利用できることを明らかにできた。特に、次世代航空通信の導入を間近に控えた中で、その課題抽出と改善策の準備を行い、ICAO 通信パネル下の各種 WG にて VHF ACARS の IP 化、Local 5G の航空利用、LDACS を用いた航空向け QoS（優先度選択）、通信接続率の推定と評価に関する発表等を行ったことは、国際的な水準に照らして大きな意義があり、国際競争力の向上にもつながるものである。

また、本研究ではこれまでの 4 カ年で、複数の通信システム・経路の検証システムを用いた空地通信の実験室用エミュレータ、航空機搭載型の実証システムを開発した。複数の通信システムとして取り扱った通信装置は、航空機に搭載できるものが VHF ACARS、AeroMACS、次世代衛星通信の3式、実験室で利用できる装置が LDACS、Local5G（航空用周波数で利用）の2式の計5種類となる。今後の後継研究では、SWIM をはじめとする通信を利用するアプリケーションと通信仕様の関係を明確化し、適切に空地で情報を共有するための航空用通信制御方式の開発に取り組むことを予定している。

成果の公表

□学術論文誌：1 編

- K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, L. Jansen, N. Mäurer, T. Gräupl, M. Schnell, “Rapid Prototyping and International Validation Activity for the L-band Digital Aeronautical Communications System (LDACS), ”IEEE Open Journal of the Communications Society, Sept. 2023.
  DOI: 10.1109/OJCOMS.2023.3312110

□国際学会（全文査読）：0 編

□国際学会（アブストラクト査読）：5 編

- N. Mäurer, T. Ewert, L. Jansen, T. Graupl, K. Morioka, C. Schmitt, “International LDACS Security Validation Activities A Cooperation Effort between DLR and ENRI, ”ICNS2023, April, 2023.
  DOI: 10.1109/ICNS58246.2023.10124307
- T. Graupl, S. Kurz, M. Skorepa, F. Wrobel, K. Morioka, “LDACS Flight Trials: Demonstration of ATS-B2, IPS, and Seamless Mobility, ”ICNS2023, April, 2023.
  DOI: 10.1109/ICNS58246.2023.10124329
- L. Jansen, T. Graupl, N. Mäurer, K. Morioka, C. Schmitt, “A Software Framework for Synthetic Aeronautical Data Traffic Generation in Support of LDACS Evaluation Activities, ”ICNS2023, April, 2023.
  DOI: 10.1109/ICNS58246.2023.10124317
- N. Mäurer, T. Ewert, T. Graupl, K. Morioka, N. Kanada, C. Schmitt, “A Combined Link Layer Security Solution for FCI Datalink Technologies, ”DASC2023, Sept. 2023.
  DOI: 10.1109/DASC58513.2023.10311243
- K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, X. Lu, N. Kanada, M. Sato, N. Miyazaki, “Demonstration for Secure Multilink Aeronautical Communications System ― Preliminary Experiments on the Ground ―, ” International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics (ICSANE) 2023, IEICE Tech. Rep., vol. 123, no. 298, SANE2023-70, pp. 58-63, Dec. 2023.

□国際学会（査読なし）：0 編

□標準化会議：8 編

- K. Morioka, N. Yonemoto, A. Kohmura, “Current status of ENRI LDACS prototyping activity, ICAO DCIWG PT-T/22.

- N. Yonemoto, A. Kohmura, K. Morioka, N. Miyazaki, M. Sato, “Intermediate report on the IPS connectivity test through multi-link testing and theoretical consideration on the RTCP of the communication media related to the performance, ”ICAO CP DCIWG WG-I/38, Oct. 2023.
- N. Yonemoto, A. Kohmura, K. Morioka, “Intermediate report on the construction of aeronautical communication system using the local 5G mobile communication system in Japan, ICAO CP DCIWG WG-M/2, Oct. 2023.
- N. Yonemoto, A. Kohmura, K. Morioka, N. Miyazaki, M. Sato, “Intermediate report on the development of IPS connectivity through classic ACARS, ”ICAO CP DCIWG WG-M/02, Oct. 2023.
- K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, J. Honeda, “Current status of ENRI LDACS compatibility testing, ”ICAO CP DCIWG PT-T23, Noc. 2023.
- K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, J. Naganawa, J. Honda, “State of preparations for ENRI LDACS compatibility testing, ”ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) Technical SubGroup (TSG) Meeting 18, Jan. 2024.
- K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, J. Naganawa, J. Honda, “Initial report on ENRI LDACS compatibility testing, ”ICAO CP DCIWG PT-T/WM44, Feb. 2024.
- K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto,” Change proposal for LDACS Manual Part B, ”ICAP CP DCIWG PT-T/WM44, Feb. 2024.

□国際会議:0 編

□国内学会:4 編

- 森岡和行, 米本成人, 河村暁子, “エミュレータを用いたマルチリンク航空無線に関する検討－実航空機の航跡を用いた評価－, ”電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集, Sept. 2023.
- 森岡和行, 米本成人, 河村暁子, 金田直樹, “セキュアな航空無線システムの実現に向けた実証実験～地上での基礎検討～, ”第 61 回飛行機シンポジウム論文集, 2C04, Nov. 2023.
- 米本成人, 河村暁子, 森岡和行, “管制通信における必要通信技術性能評価のための到達時間率の劣化要因の分析, ”IEICE, SANE 研究会, SANE2023-55, vol. 123, pp.46-51, Nov. 2023.
- 森岡和行, 河村暁子, 米本成人, 呂暁東, 金田直樹, “マルチリンク航空無線システムの飛行実証実験速報, ”電子情報通信学会総合大会, B-2-31, Mar. 2024.

□その他:7 編

- 金田直樹, 河村暁子, 森岡和行, 米本成人, 住谷泰人, “空港面航空移動通信システム AeroMACS の研究開発と国際標準化, ”電子情報通信学会誌 5 月号, vol. 106, No.5, pp.400-405, May 2023.
- 森岡和行, 河村暁子, 森岡和行, 米本成人, 呂暁東, 長縄潤一, 宮崎則彦, 佐藤正彦, “次世代マルチリンク航空無線システムに関する検討状況, ”電子航法研究所研究発表会講演概要, May 2023.
- 河村暁子, “無操縦者航空機と通信, ”第 16 回日本無操縦者航空機委員会, Aug. 2023.
- 森岡和行, “コロナ禍における在外研究体験記～ドイツ航空宇宙センターでの次世代航空無線通信に関する研究～, ”航空無線 118 号, pp. 51-56, 航空保安無線システム協会, Oct. 2023.
- 河村暁子, “空港面移動通信システム(AeroMACS)について, ”総務省, 新生代モバイル通信システム委員会技術検討作業班(第 32 回), Nov. 2023.
- 森岡和行, 河村暁子, 米本成人, “航空通信の現状と今後の動向, ”第 28 回自営無線通信調査研究会, Dec. 2023.
- 河村暁子, 森岡和行, 呂暁東, 長縄潤一, 米本成人, “航空通信基盤の高度化に関する研究開発進捗状況, ”航空局 CARATS 通信検討 SG, Dec. 2023.

□その他:0 編

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（4）航空交通を支える基盤技術の開発

研究テーマ	②周波数共用、宇宙天気現象が航空交通を支えるシステムに与える影響などの技術的課題に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空交通を支えるシステムの高度化に資する基盤技術の開発や技術的課題の解決が必要である。このため、航空交通においてデジタル化を促進するための基盤技術及び航空機との無線通信を支える基盤技術等に関する研究開発に取り組む。	航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。 このため、以下の研究開発を進める。 ①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発	航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。 このため、以下の研究開発を進める。 ①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発 －電波高度計の安全を確保しながら、同一・隣接周波数である5Gモバイルシステム等と周波数を共用するため、電磁干渉特性や干渉経路損失推定の基本評価を行う。

○電波高度計と同一／隣接周波数利用システムの周波数共有に関する研究

研究の背景

電波高度計（使用周波数：4.2 GHz～4.4 GHz）の隣接及び同一周波数では、近年様々な電波利用システムの運用がされつつある。隣接帯域は日本を含む世界各国で 5 G モバイルシステムへの周波数割り当てがなされており、日本においては 3.6 GHz～4.1 GHz/4.5 GHz～4.6 GHz において携帯電話事業者が 5G モバイルシステムを運用している。さらに、同一周波数帯域においては、新たに Wireless Avionics Intra-Communication（WAIC）システムの国際規格策定が進んでいる。これらの電波利用システムは、電波高度計設計時には存在しなかったシステムであり、電波高度計受信機の隣接雑音及び相互変調ひずみ等の発生により、厳しい条件で電波高度計の運用を強いられる可能性がある。これらの課題は、ICAO Frequency Spectrum Management Panel(FSMP)Job Card 006/007 で議論され、ICAO FSMP 及び RTCA/EUROCAE で国際規格を策定中である。

研究目標

□電波高度計の干渉発生電力・周波数条件の取得・分析を行い、干渉発生条件を明らかにする。
□大規模電磁界数値解析技術を用い、電波高度計の干渉発生推定技術を実現する。
□国際標準化策定への寄与、航空当局/電波管理当局及び運航者/通信事業者へ情報提供を行う。

令和 5 年度の研究内容

□電波高度計の電磁干渉特性評価試験実施、電波環境の分析/調査実施
□大規模電磁界数値解析法を用いた電波高度計周波数帯における干渉経路損失推定実機比較
□電波高度計及び航空機電磁干渉に関する国際標準化活動
□電磁干渉報告書調査及び分析

令和 5 年度の研究成果

□電波高度計の電磁干渉特性評価試験実施、電波環境の分析/調査実施

昨年度取得した電波高度計の電磁干渉試験結果及び航空機電波高度計干渉経路損失測定結果のデータ分析・とりまとめを実施し、国内及び国内学会・国際標準化活動において投稿及び公表した。また、電波高度計の電磁干渉試験の結果、5G モバイルシステム基地局のアンテナ放射特性、空港の地形データを組み合わせた電波高度計の電磁干渉解析法を提案し、空港地形情報（羽田空港、広島空港、福岡空港等）と電波高度計電磁干渉特性、基地局条件における詳細な電磁干渉分析を実施した（図 1.4.58 及び図 1.4.59）。

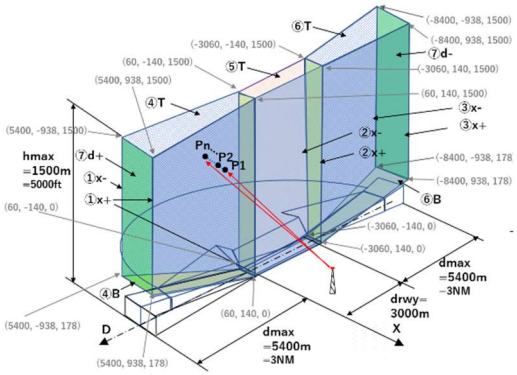


図 1.4.58 電磁干渉解析空間

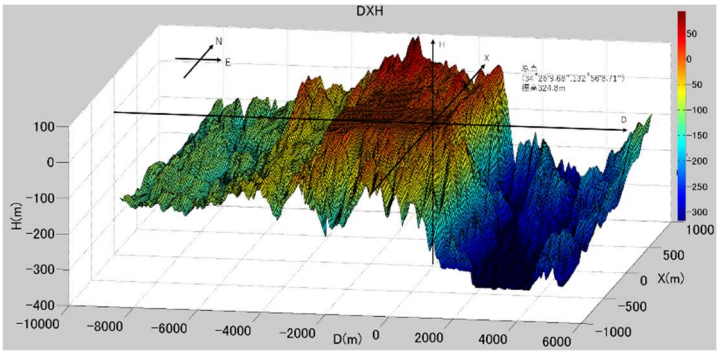


図 1.4.59 電磁干渉解析に用いた三次元空港モデル（広島空港）

□大規模電磁界数値解析法を用いた電波高度計周波数帯における干渉経路損失推定実機比較

北海道大学との共同研究において、ビーチクラフト B300 型機 3 次元数値モデルに大規模電磁界数値法を適用し、電波高度計干渉経路損失の数値解析法の提案を行い、得られた解析結果についてデータ分析を実施し、数値解析法の有効性を確認した。また、大学と共同で仙台空港において、電波高度計の飛行時の干渉経路損失測定を実施し、地上駐機中及び飛行時の干渉経路損失特性を取得するなど外部連携を深め、教育機会の提供にもつなげる活動もすすめた（図 1.4.60 及び図 1.4.61）。

前述の既存機器の電磁干渉特性分析・調査に加え、大規模電磁界数値解析法を用いた、干渉影響発生の定量化を進めており、世界的にも唯一、数値解析法による電波高度計への干渉推定を実現した。さらに、上空飛行中における電波高度計干渉経路損失の測定評価は世界初の実施である。そのため、これらの成果の科学的意義は高い。

図 1.4.60 上空における電波高度計干渉経路損失測定状況

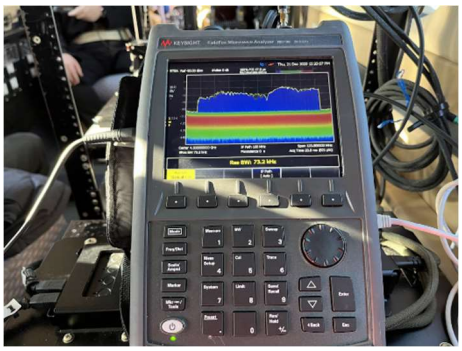


図 1.4.61 干渉経路損失時のスペクトラム表示

□電波高度計及び航空機電磁干渉に関する国際標準化活動

ICAO FSMP、EUROCAE WG-119/RTCA SC-239、WG-96/ SC-236 等、電波高度計及び航空機電磁干渉に関する国際標準策定に参加した。最新の国際標準化動向を把握すると同時に、日本における測定結果や干渉解析の進捗等を報告した。特に ICAO FSMP では、航空機電波高度計の干渉経路損失特性測定結果及び電波高度計干渉解析法に関する 3 件の寄与文書の発表を実施し、活発な議論を促した。電波高度計の電磁干渉課題について、製造メーカ及びメーカが存在する国の航空当局以外で実機データを取得し、詳細な分

析を実施しているのは我々の研究グループのみである。本課題は国際的な課題であり、各種標準化活動を通じて国際競争力の向上につながっている。

□電磁干渉報告書調査及び分析

今年度の報告は無かったが、今後、電磁干渉報告があった場合には調査及び分析を実施する。

成果の公表

□学術論文誌:0 編

□国際学会(全文査読):0 編

□国際学会(アブストラクト査読):1 編

- S. Futatsumori, N. Hiraga, "Measurements of Aircraft Radio Altimeter Electromagnetic Interference Characteristics Due to 5G Mobile Communication Systems, "Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (IEEE CAMA2023), Nov. 2023. DOI: 10.1109/EMCEurope51680.2022.9901319.

□国際学会(査読なし):0 編

□標準化会議:3 編

- S. Futatsumori, "Radio altimeter interference path loss evaluations of fixed-wing aircrafts, "ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG/17, Sep. 2023.
- S. Futatsumori, "Development of Aircraft Radio Altimeter Interference Analysis Methodology Due to Sub-6 5G Mobile Communication Systems, "ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG/17, Sep. 2023.
- S. Futatsumori and N. Hiraga, "Radio altimeter interference path loss evaluations of small-sized fixed-wing aircraft during flight, "ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG/18, Feb. 2024.

□国際会議:0 編

□国内学会:3 編

- 二ッ森俊一, 平賀規昭, "日本の Sub-6 帯 5G モバイルシステム周波数条件における航空機電波高度計の電磁干渉特性測定結果-大型固定翼航空機用電波高度計 12 台の測定評価および分析-, "信学技報, vol. 123, no. 123, SANE2023-38, pp. 23-28, Aug. 2023.
- 二ッ森俊一, 日景隆, "航空機内データ通信システムの国際標準化動向と電磁環境評価技術に関する研究活動, "2023 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, Sept. 2023.
- 二ッ森俊一, 平賀規昭, 脇修平, 牛丸皓介, 日景隆, "上空飛行時における電波高度計の干渉経路損失特性評価系-ビーチクラフト B300 型機を用いた測定評価-, "2024 年電子情報通信学会総合大会, Mar. 2024.

□その他:0 編

□受賞:0 件

□特許(出願、登録):0 件

研究開発課題	（4）航空交通を支える基盤技術の開発

研究テーマ	②周波数共用、宇宙天気現象が航空交通を支えるシステムに与える影響などの技術的課題に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
航空交通を支えるシステムの高度化に資する基盤技術の開発や技術的課題の解決が必要である。このため、航空交通においてデジタル化を促進するための基盤技術及び航空機との無線通信を支える基盤技術等に関する研究開発に取り組む。	航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。 このため、以下の研究開発を進める。 ①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発	航空交通を支えるシステムは、通信・航法・監視や航空交通管理の機能から成り立っている。これらの機能の向上に不可欠な基盤技術を発展させるとともに技術的課題の解決を進めることで、将来における航空交通を支えるシステムの高度化を実現する必要がある。 このため、以下の研究開発を進める。 ①航空通信ネットワーク・サービスに必要な情報共有管理技術・手法などに関する研究開発 －宇宙天気現象がGNSSに与える影響を評価し、国内空港における制約を検討する。

○磁気低緯度地域に関するGNSS性能向上及び性能評価技術高度化に関する研究

研究の背景

我が国は地磁気的な低緯度に位置し、電離圏を含む宇宙天気諸現象は GNSS の性能を制限するものとなっており、宇宙天気が運航に与える影響分析能力の向上及び宇宙天気情報を用いた地上装置の技術開発が望まれている。電離圏を含む宇宙天気諸現象は、性能劣化の要因の一つと位置付けられ、ICAO においても宇宙天気情報の配信が 2018 年 11 月より開始されたところである。

GBAS については、CARATS において導入が意思決定され、羽田空港においてカテゴリーI 運航トライアルが行われている。高カテゴリーGBAS については、検証過程で大幅な変更を経て 2017 年 11 月に GAST-D を含む ICAO SARPs が発効したところである。さらに、磁気低緯度地域における GAST-D の性能向上に向けた基準策定・技術開発が ICAO において継続されている。

GAST-D の導入のためには、GAST-D 実験装置の開発により獲得した技術に加え、その後発効までに変更されたSARPsに対応するため、GAST-D 特有の設置技術、性能評価手法検討が必要である。当所では2020年度から既に研究を開始し、基礎技術開発を行っているところである。

研究目標

□宇宙天気情報等を活用した MSAS、GBAS 等 GNSS 航法システムの性能評価技術及び性能向上技術の開発

□電離圏擾乱と航空機航法性能の関係の評価、宇宙天気アドバイザリ発出時の運航への影響評価

□GBAS 電離圏脅威モデルの維持管理・改良、これを考慮した GAST-D 性能向上技術の開発と設置の技術課題の明確化

令和 5 年度の研究内容

□MSAS 障害と宇宙天気現象の関係及び MSAS 補正情報の検証

□GBAS における独立電離圏監視手法の有効性の評価

□ADS-B 性能指標と電離圏シンチレーションの関係の評価
□空港環境での GAST-D 性能評価
□GBAS 電離圏脅威モデルの維持管理・改良

令和 5 年度の研究成果

□MSAS 障害と宇宙天気現象の関係及び MSAS 補正情報の検証

ICAO 宇宙天気情報発出状況を調査し、MSAS 障害との関連調査の準備を行った。また、EGNOS 障害と宇宙天気現象の関連を調査した。電離圏 3 次元トモグラフィーを改良した。2023 年 11 月、12 月に発生した大きな地磁気嵐に伴う電離圏擾乱の影響の調査を開始した。

□GBAS における独立電離圏監視手法の有効性の評価

地上ジオメトリスクリーニングのシミュレーションプログラムを引き続き作成し、電離圏監視手法の有効性解析を行った。欧州 EUROCONTROL が開発している PEGASUS GBAS Messenger ツールにおける地上ジオメトリスクリーニング対応の検討を EUROCONTROL と開始した。

□ADS-B 性能指標と電離圏シンチレーションの関係の評価

石垣島の緯度帯において電離圏擾乱発生イベントを抽出した。電離圏擾乱時の ADS-B データを用いた比較検討を開始した。

□空港環境での GAST-D 性能評価

GAST-D シミュレータを高性能並列計算機に移植し稼働させた。GAST-D における電離圏フィールドモニタの効果を検証し、有効であるとの初期解析結果を得た。

□GBAS 電離圏脅威モデルの維持管理・改良

航空局性能評価センターに対して GBAS 電離圏脅威モデル解析の技術指導を引き続き行った。ICAO APAC GBAS/SBAS 電離圏脅威対策ガイダンス改訂を主導し完成させるとともに、ICAO APAC GBAS/SBAS 導入ガイダンス文書の作成を行った。また、電離圏リアルタイム監視の測位誤差リアルタイム評価のための活用の検討を開始した。

成果の公表

□学術論文誌：4 編

- K. Seechai, L. M. M. Myint, K. Hozumi, M. Nishioka, S. Saito, M. Yamamoto and P. Supnithi, “Simultaneous equatorial plasma bubble observation using amplitude scintillations from GNSS and LEO satellites in low-latitude region, ”Earth Planets Space, Vol. 75, No. 127, Aug. 2023. https://doi.org/10.1186/s40623-023-01877-6
- K. Hosokawa, S. Saito, H. Nakata, C. Lin, J. Lin, P. Supnithi, I. Tomizawa, J. Sakai, T. Takahashi, T. Tsugawa, M. Nishioka and M. Ishii, ”Monitoring of equatorial plasma bubbles using aeronautical navigation system: a feasibility study, ”Earth Planets Space, Vol. 75, No. 152, Oct. 2023. https://doi.org/10.1186/s40623-023-01911-7
- H. Nakata, K. Hosokawa, S. Saito, Y. Otsuka and I. Tomizawa, “Periodic oscillations of Doppler frequency excited by the traveling ionospheric disturbances associated with the Tonga eruption in 2022. Earth Planets Space, Vol. 75, No. 158, Oct. 2023. https://doi.org/10.1186/s40623-023-01914-4
- S. Saito, K. Hosokawa, J. Sakai, I. Tomizawa, “Anomalous long-distance propagation of ILS LOC signals by the Es layer and its impact on aviation receivers, ”Space Weather, Vol. 21, No. 11, Nov. 2023. https://doi.org/10.1029/2023SW003577

□国際学会（全文査読）：0 編
□国際学会（アブストラクト査読）：0 編
□国際学会（査読なし）：3 編

- Susumu Saito, et. al., ”Real-time Ionosphere Observations with a Dense GNSS Network by a Three-dimensional Tomography Technique, ”AOGS2023, Online, July 2023.

- Susumu Saito, et. al., "Three-dimensional structure of the ionospheric disturbances over Japan following the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai on 15 January 2022, "AOGS2023, Online, July 2023.
- Susumu Saito, et. al., "Real-time ionospheric monitoring by using a dense GNSS receiver network, "AOGS-RAC LLWG Online Seminar, Online, Feb. 2024.

□標準化会議:2 編

- Susumu Saito, "Draft of the revision of iono guidance for GBAS, "ICAO APAC GBAS/SBAS ITF/5, Tokyo, Japan, June 2023.
- Susumu Saito, "Draft of the revision of iono guidance for SBAS, "ICAO APAC GBAS/SBAS ITF/5, Tokyo, Japan, June 2023.

□国際会議:0 編

□国内学会:2 編

- 齋藤享他, "3-D structure of ionospheric disturbance over Japan after the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai on 15 January 2022, "第 17 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, オンライン, 2023 年 9 月.
- 齋藤享, 高橋透, 吉原貴之, "Strong ionospheric irregularities in sunlit conditions and its impact on GNSS-based navigation systems, "地球電磁気・地球惑星圏学会, 幕張, 日本, Sept. 2023.

□その他:0 編

□受賞:1 件

- American Geophysical Union Outstanding Reviewers of 2022: Space Weather (齋藤享)

□特許(出願、登録):0 件

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、脱炭素化、DX、持続可能なインフラ メインテナンスなどの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迅速な対応が求められる研究開発ニーズに、機 動的かつ的確に対応する。

【中長期計画】
（1）技術的政策課題の解決への対応
①国が進めるプロジェクト等への支援
　国等がかかえる政策課題解決に向けた研究開発はもとより、国等が設置する技術委員会への参画、国等が実施する新技術の評価業務支援等、政策課題の解決に対応することにより、持続可能なインフラメンテナンス、脱炭素化、DX等の国が進めるプロジェクトや計画等の実施に貢献する。
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、必要に応じて民間企業と連携を図りつつ、社会実装が可能で実用性の高い成果を目指す。
　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迅速な対応が求められる研究開発ニーズに、機動的かつ的確に対応する。

【年度計画】
（1）技術的政策課題の解決に向けた対応
①国が進めるプロジェクト等への支援
　国等がかかえる政策課題解決に向けた研究開発はもとより、国等が設置する技術委員会への参画、国等が実施する新技術の評価業務支援等、政策課題の解決に対応することにより、持続可能なインフラメンテナンス、脱炭素化、DX等の国が進めるプロ ジェクトや計画等の実施に貢献する。
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、必要に応じて民間企業と連携を図りつつ、社会実装が可能で実用性の高い成果を目指す。
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、機動的かつ的確に対応する。

◆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 5 年度においては、海上輸送の安全確保等の海事行政や、港湾、航路、海岸及び飛行場等の整備事業等の実施に関する技術課題に関し、国土交通省、同地方整備局、地方自治体等から 75 項目の受託研究をそれぞれの要請に基づき実施した。研究所が実施する受託研究は、国等が抱える技術課題の中でも、プロジェクトの成否を左右する重要なものが多く、既存の技術では十分な対応が期待できない研究開発等を伴うことに加え、公平性及び中立性も必要となるため、受託研究の成果が国や地域の発展、安全性の確保に果たしている役割は非常に大きい。
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、研究所の研究者を延べ 500 名派遣し、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	500 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	21 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	184 名
うち電子航法に関する研究開発等	295 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、「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、年々多様化増大化する放射性物質等の海上輸送のより一層の安全を確保し、これらの海上輸送における技術革新に対処するとの観点から、「放射性物質等海上輸送技術顧問会」を設置しており、同顧問会を構成する「運搬船技術顧問会」、「輸送物技術顧問会」及び「海上輸送 INES 評価顧問会」にそれぞれ職員を派遣し、放射性物質等の海上輸送の安全規制に貢献した。また、我が国の経済安全保障を支える船舶産業が脱炭素化・人口減少・デジタル化といった急速な社会変化に対応し、競争力ある魅力的な産業に生まれ変わることを目的として開催された「船舶産業の変革実現のための検討会」に構成員として職員を派遣し、我が国船舶産業の生産性や稼ぐ力が高く、働き手にとって魅力ある産業への変革実現に向けて、改善案を提案し支援した。

航空行政においては、遠隔型空港業務支援システムの実用化研究にて、小規模空港への展開を目的としたコンパクトなシステムについて、小規模空港で性能評価と課題についての検討を継続して行っている。内閣府が平成 30 年度より運用を開始した準天頂衛星システムの機能を利用する静止衛星型衛星航法補強システム（SBAS）について、性能評価を行っている。さらに、当研究所で長期にわたり研究開発してきた「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）」が社会実装され、東京国際空港において試行運用が継続されている。研究所はこの試行運用を技術的に支援し、エアライン機が受信記録したデータ及び空港内の固定位置に GBAS 機上受信機を設置し受信記録したデータを分析して安全要求を評価した。また、航空局がエアラインや機器メーカーと開催する会合に研究者を派遣し、研究開発により得た知見を活かして安全検証を支援し、改善策を提案するなど指導的な役割を果たした。

（2）基準・ガイドライン等の策定や改定への支援

研究所が有する最新かつ先導的な研究成果や技術的知見等を、国土交通省等の行政機関が策定及び改定を行う基準やガイドラインに反映させるため、基準等の策定及び改定作業に積極的に参画し、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や、航空交通の安全等に係る基準等の策定及び改定に貢献した。

また、学会や関係機関が開催する講習会等において研究者が講師を務め、基準等の普及に協力するとともに、国土交通省等の関係機関に対して、基準・ガイドライン等に係る技術指導等を積極的に行った。

現場への反映では、温暖化対応の脱炭素化の現場実装として、港湾構造物の CO_2 指向型設計手法と低炭素型材料を活用する試行工事が実施された（鹿島港防波堤工事、東京湾中央航路護岸工事）。

これら行政機関の基準やガイドラインに反映された研究成果は 9 件、現場に反映された研究成果は 20 件となった。

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
LNG バンカリングガイドライン	国土交通省 海事局	令和 5 年 6 月
船舶におけるバイオ燃料の取り扱いガイドライン	国土交通省 海事局	令和 6 年 3 月
分解安定型フィルター工法、防砂シート引込軽減工法	国土交通省 港湾局	令和 6 年 3 月
改良型護岸の換算天端高係数	国土交通省 港湾局	令和 6 年 4 月
無筋コンクリートの配合条件 （粗骨材最大寸法）	国土交通省 港湾局	令和 6 年 4 月
締固めを必要とする高流動コンクリート	国土交通省 港湾局	令和 6 年 4 月
既設防波堤の嵩上げを対象とした設計の基本的考え方	国土交通省 港湾局	令和 6 年 4 月
将来の航空交通システムに関する長期ビジョン	国土交通省 航空局	毎年ロードマップ改訂中
準天頂衛星システム（IS-QZSS）信号仕様書	内閣府	令和 5 年 10 月

表 1.5.3 現場への研究成果の反映

研究所合計		20 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	0 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	19 件
	うち電子航法に関する研究開発等	1 件

（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

港湾空港技術研究所では、地方整備局に対して、港湾、航路、海岸及び飛行場等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、各地方整備局における現場の問題やニーズなどの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地域特別講演会を開催した。令和 5 年度は、全国 4 地域において開催し、延べ 433 名の参加を得た。（沖縄 11 月 7 日、中国 12 月 11 日、関東 12 月 20 日、九州 12 月 21 日）

電子航法研究所では、航空局等に対して、GBAS 電離圏に関する技術情報の提供等、研究成果の還元を積極的に実施し最新技術の普及に努めた。

図 1.5.1 港湾空港技術地域特別講演会

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は、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、地方整備局主催の研修などへ研究者を講師として延べ 45 名を派遣した。

電子航法研究所では、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 50 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 8 か所において講師を派遣し、GBAS、SBAS、空港監視技術及び監視信号環境等に関する講義を実施した。これら各種研修会や講習会への研究者等の派遣は延べ 69 名であった。

表 1.5.4 出前講座及び特別講演内訳

	開催日	対象	概要
	R5.7.27	海上保安庁 羽田航空基地	・電子航法研究所の概要 ・SBAS の概要及び理論について
	R5.9.6	航空局 管制技術課 性能評価センター	・研究所紹介と研究概要紹介 ・OCTPASS に関する研究について ・ADS-B の位置性能指数について ・監視信号環境に関する研究について
	R5.11.14	海上保安庁 北九州航空研修センター	・ADS-B の性能評価に関する研究 ・GNSS を活用した新しい進入方式～RNP to xLS～ ・SBAS の概要

			・RPAS 向けの DAA について
	R5.11.21	大阪航空局　福岡空港事務所	・電子航法研究所の概要と近年の研究 ・GBAS,SBAS,新しい後方乱気流管制方式の研究紹介
	R5.11.22	福岡航空交通管制部	・電子航法研究所の概要と近年の研究 ・空港監視技術について ・監視システムと信号環境について
	R5.12.15	東京航空局　新潟空港事務所	・電子航法研究所の概要 ・衛星航法の概要
	R6.1.15	航空保安大学校	・電子航法研究所の概要 ・航空交通情報基盤（SWIM）について ・SBAS 信号認証機能の概要とプロトタイプの開発
	R6.1.17	大阪航空局　管制技術課	・電子航法研究所の概要 ・空港監視技術について ・ILS 電波干渉シミュレータの開発について
	R6.1.17	海上保安学校　宮城分校	・電子航法研究所の概要 ・SBAS の概要 ・GBAS の概要と滑走路運用の高度化 ・GNSS を活用した新しい進入方式～RNP to xLS～


図 1.5.2　出前講座の様子
（左：海上保安庁　羽田航空基地　令和 5 年 7 月）
（右：大阪航空局　管制技術課　　令和 6 年 1 月）

（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とともに航空ニーズの把握に努めた。

（2）災害及び海難事故発生時の対応等における技術的な貢献

【中長期目標】

（2）災害及び海難事故発生時の対応等における技術的な貢献

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、防災・減災の取組を推進する施策等への支援を行う。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、海難事故等の原因分析及び再発防止のための適切な対策立案を支援する。

これらに加えて、突発的な災害や海難事故等の発生時には、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）災害及び海難事故発生時の対応等における技術的な貢献

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、防災・減災の取組を推進する施策等への支援を行う。

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。加えて、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、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技術的知見や施設を活用して事故原因を分析するとともに、国等における再発防止のための対策立案への支援を行う。

これらに加えて、突発的な災害や海難事故の発生時には、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。

【年度計画】

（2）災害及び海難事故発生時の対応等における技術的な貢献

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、防災・減災の取組を推進する施策等への支援を行う。

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。加えて、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、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技術的知見や施設を活用して事故原因を分析するとともに、国等における再発防止のための対策立案への支援を行う。

これらに加えて、突発的な災害や海難事故の発生時には、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。

◆年度計画における目標設定の考え方

中長期目標及び中長期計画を受けて、国土交通大臣からの指示があった場合、または研究所が必要と認めた場合に、被災地に研究者を派遣して被災状況の把握や技術指導等を迅速かつ適切に行い、災害対策マニュアル等に基づく訓練を実施しつつ、重大な海難事故等が発生した際には、研究所の持つ豊富な専門的知見を活用して事故情報を解析し、結果の迅速な情報発信や事故再現及び各種状況のシミュレーションの実施により、国等における再発防止対策の立案等への支援を行うことで、自然災害及び事故への対応に万全を期

するとともに、研究所の対応能力の向上を図ることとした。

◆当該年度における取組状況

（1）災害対応に係る体制

当研究所は、災害対策基本法（昭和 36 年法律第 223 号）に基づく指定公共機関としての指定を受けていることから、同法に基づく「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所防災業務計画」を策定し、理事長の判断によって災害総合対策本部を設置し、研究所長によって設置される災害対策本部が実施する災害応急対策及び災害復旧の支援等の業務を、災害総合対策本部が総括することで、研究所内の情報の共有化等を図る体制を整えるとともに、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所法（平成 11 年法律第 208 号）第 13 条に基づく国土交通大臣の指示への対応や、災害調査団の組織及び派遣など、当研究所が防災のためにとるべき措置を定めている。

また、同計画を補完するため、「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所業務継続基本計画」を策定し、都心南部直下地震（M7.3、東京 23 区の最大震度 7）を想定災害として、非常時優先業務や業務継続のための執行体制等、災害発生時における初動対処を定めている。

（2）被災地への研究者の派遣

令和 6 年 1 月 1 日に石川県能登地方の最大震度 7 の地震では、大きな地殻変動により港湾施設が甚大な被害を受け、即座の緊急支援物資輸送船舶の接岸及び係留施設の安全な利用可否判断が求められた。国による地方港湾の管理代行に伴い、港湾空港技術研究所は国土技術政策総合研究所と連携して、「能登半島地震対応技術支援チーム」を発足させ、TEC-FORCE として研究者を派遣し、長年蓄積してきた被災港湾の評価技術と知見を活用し、迅速な接岸可否判断や応急・復旧等の総合的な技術支援を行った（計 10 回、延べ 21 名を派遣）。

また、海上技術安全研究所は、土木学会と連携して支援物資輸送関係、海上輸送、港湾被害の調査を実施した。

図 1.5.3 能登半島地震による港湾施設被災調査

（3）防災訓練の実施

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。

海上技術安全研究所では、緊急地震速報を受けてから、強い揺れが来るまでの極めて短い時間の中で、身を守るための適切な行動をとるための緊急地震速報訓練（R6.11.2）と、火災・震災その他の災害による人命の安全及び被害の軽減を図ることを目的に消防・防災訓練（R6.3.7）を実施した。

港湾空港技術研究所では、業務時間外の大規模地震時の迅速かつ確実な職員の状態把握を目的として、携帯電話を活用した安否確認訓練（R5.5.8）を実施した。

電子航法研究所では、災害発生時に職員及びその家族の安否や研究所の被災状況の確認を迅速に行い、被害の全体像の把握や対応の判断を迅速に行うことを目的として安否確認訓練（R6.1.4）を実施した。

（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」を設置した。当センターは、事故発生時の専門的知見を活用した「初動分析・情報発信」を行うと共に、運輸安全委員会等の委託を受けて、水槽試験、シミュレーション技術、AIS データ等を用いて、事故状況を再現し、「海難事故原因の分析・究明」を行っている。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 5 年度、運輸安全委員会の委託により、北海道知床で発生した遊覧船事故（事故日：令和 4 年 4 月 23 日）に係る船首甲板部に生じる上下加速度の解析調査を実施し、解析結果は同委員会の報告書に活用され、事故原因究明に貢献した。

また、同事故を踏まえ、国土交通省に設置された「知床遊覧船事故対策検討委員会」「知床遊覧船事故対策フォローアップ委員会」「知床遊覧船事故を踏まえた遊漁船の安全設備の在り方に関する検討会」等7つの委員会に対し、これまで延べ3名の職員を主査又は委員として派遣し、事故原因究明のみでなく、事故の対策検討・再発防止にも貢献している。

また、船舶事故ハザードマップによって提供される情報を拡充すること及び、既に公表された船舶事故調査報告書データを活用して再発防止策等を検討する共同研究を運輸安全委員会とともに実施した。

羽田空港で発生した航空機衝突事故（事故日：令和 6 年 1 月 2 日）を踏まえ、国土交通省が設置した「羽田空港航空機衝突事故対策検討委員会」に職員を派遣し、さらなる安全・安心対策の立案に向けた支援を行った。

（3）研究の中核機関としての役割強化

【中長期目標】 （3）研究の中核機関としての役割強化 　研究所の優れた研究成果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、あるいは他の国立研究開発法人等との共同研究、受託研究、技術研究組合の活用のほか、政府出資金を活用した委託研究、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、研究開発のネットワークを形成することによりハブの役割を担い、研究開発成果を国全体として社会実装に結び付けるため、陸上交通など他の交通モードとの接続も含めた観点から関係機関との連携強化に努める。
【中長期計画】 （3）研究の中核機関としての役割強化 　研究所の優れた研究成果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、あるいは他の国立研究開発法人等との共同研究、受託研究、技術研究組合の活用のほか、政府出資金を活用した委託研究、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、研究開発のネットワークを形成することによりハブの役割を担い、研究開発成果を国全体として社会実装に結び付けるため、陸上交通など他の交通モードとの接続も含めた観点から関係機関との連携強化に努める。
【年度計画】 （3）研究の中核機関としての役割強化 　研究所の優れた成果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、あるいは他の国立研究開発法人等との共同研究、受託研究、技術研究組合の活用のほか、政府出資金を活用した委託研究、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、研究開発のネットワークを形成することによりハブの役割を担い、研究開発成果を国全体として社会実装に結び付けるため、陸上交通など他の交通モードとの接続も含めた観点から関係機関との連携強化に努める。

◆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、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 1.5.5 のとおりとなっている。

表 1.5.5　産業界・学界との共同研究等の実施件数

研究所合計	154 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	42 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	65 件
うち電子航法に関する研究開発等	47 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 5 年度は、フェーズ 1 での成果普及や戦略的な国際標準化を実施する OCTARVIA 会議（24 機関）において、成果普及のための一般向けセミナーを開催するとともに国内外からの海技研クラウドアプリ利用を進めた。また、国際標準化を目指した新規 ISO ドラフトの作成を行い、令和 6 年度に予定する新規提案の準備を完了した。

また、フェーズ 2 として研究開発を行う OCTARVIA2（21 機関）においては、実船検証の対象船を拡大して検討を行い、ライフサイクル主機燃費評価プログラムでの代替燃料計算機能の拡張、実海域性能推定法の低速運航への適用範囲拡大等の研究、これらを踏まえた標準手順書の改定、研究成果の海技研クラウドアプリへの反映を行い、GHG 削減検討などでの各社ビジネス利用の共通技術（ものさし）を開発し、プロジェクトを完了した。

※「実海域実船性能評価プロジェクト」（OCTARVIA Project）とは、船舶が実際に運航する波や風のある海域の中での速力、燃料消費量等の性能（実海域性能）を正確に評価する方法を開発する共同研究プロジェクトであり、世界の海上輸送の高度化に貢献しつつ、我が国の海事クラスターの国際競争力を強化する基盤となる技術をより高めることを目的とする。

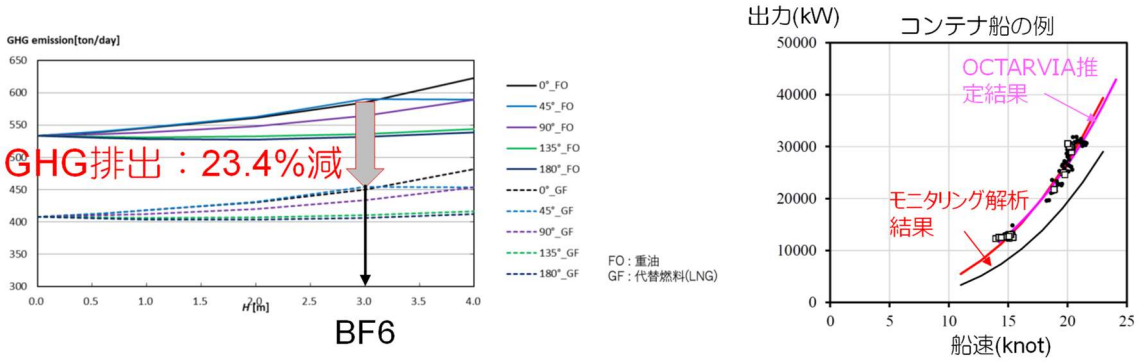


図 1.5.4　OCTARVIA プロジェクトフェーズ 2 の研究開発内容

（左：LNG燃料を使用した場合のGHG排出量評価、右：実海域実船性能の検証手順法の開発）

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 5 年 12 月 19 日に「特殊な護岸形状による越波流動の算定」の勉強会を開催した。

電子航法に関する研究開発等において、アルウェットテクノロジー株式会社等との共同研究として、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として、「3 次元イメージングレーダーによるセキュリティ検査システムの研究開発」を交通運輸技術開発推進制度にて実施しており、今年度は 3 年計画の 2 年目である。

ネットワーク型レーダーシステムとして、計測部、記録部、計算部、判定部の連接ソフトウェアを作成し、多数の危険物所持者のデータを取得し、レーダー画像判定用のソフトウェアを構築した。また、計算部を改良し、レーダー信号から 3 次元的な反射強度の分布を計算するアルゴリズムの高速化ソフトウェアを構築し、1 枚のレーダー画像計算に要する時間を前年度比 1/10 の 0.04 秒と改善した。事前試験として、学習データを用いて計測を行い、ソフトウェアの正常動作を確認した。判定結果については、長距離になると、判定結果が包丁に集まる傾向が示されたため、今後学習カテゴリ、判定手法の改修を行っていく。

最後に、最終年度へ向けて、エスカレーターを用いた多数の人員の連続判定の実証試験へ向けて、基礎データを取得した。

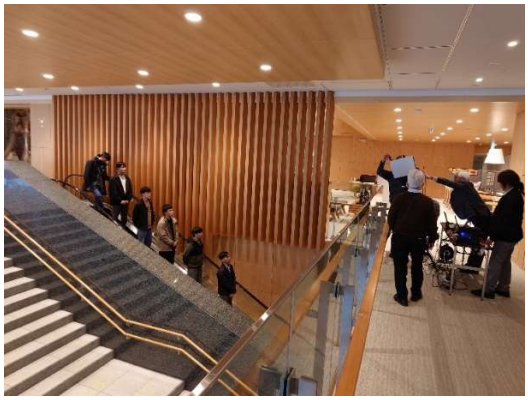


図 1.5.5 製作した 3 次元レーダーイメージャ(左)とエスカレーターを流れる人流の撮影例(右)

(3)産業界からの受託研究

研究所が有する優れた技術シーズを活用するため、令和 5 年度は表 1.5.6 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、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 1.5.6 産業界からの受託研究の獲得件数

研究所合計		137 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	112 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	25 件

(4)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。

(5)人事交流

研究所が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 5 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	159 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	28 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	99 件
うち電子航法に関する研究開発等	32 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 94 名、民間企業等 6 名との人事交流、客員教授、非常勤講師等として延べ 59 名の研究者を 15 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、7 大学へ派遣した 21 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。

また、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」を導入している。令和 5 年度においては、研究者 9 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 57 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。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。

（6）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 5 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	526 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	196 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	284 件
うち電子航法に関する研究開発等	46 件

表 1.5.9 研究者派遣の実施件数

研究所合計	64 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	0 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	64 件
うち電子航法に関する研究開発等	0 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）の幹事および主査を務めており、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及びマイクロ波フォトニクス研究会、エレクトロニクスソサイエティのエレクトロニクスシミュレーション（EST）研究会の副委員長、幹事補佐、専門委員を務め、電子情報通信学会より通信ソサイエティ研究専門委員会幹事などとしての貢献が認められ、2023 年度通信ソサイエティ活動功労賞を受賞した。さらに、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で幹事、計算科学シミュレーションと工学設計分科会および電離圏電波伝播小委員会で委員を務めた。


活動功労賞

二ッ森　俊一　殿

あなたの通信ソサイエティにおける研究専門委員会運営等に関する献身的活動は学術交流活性化への寄与が多大であると認めますのでここに活動功労賞を贈呈いたします

2023 年 9 月 13 日

一般社団法人　電子情報通信学会
通信ソサイエティ

会長　笠原　正治

図 1.5.6　通信ソサエティ活動功労表の賞状

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等	（一社）日本海事検定協会
危険物等海上運送国際基準検討委員会危険物 UN 対応部会及び同危険物運送用件委員会	（一社）日本海事検定協会
危険物等海上運送国際基準検討委員会委員	（一社）日本海事検定協会
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	（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	（一財）日本船舶技術研究協会
目標指向型復原性基準の策定に関する調査研究（目標指向型復原性プロジェクト）	（一財）日本船舶技術研究協会
ミニボートに関する性能鑑定基準策定支援委員会	日本小型船舶検査機構
防火検討会／陸電装置に係る基準検討 WG 会議	（一財）日本船舶技術研究協会
電気設備分科会／陸電装置に係る基準検討 WG 会議	（一財）日本船舶技術研究協会
甲板機械及びぎ装分科会／小型高速艇用アルミニウム艤装品設計基準規格原案作成 WG	（一財）日本船舶技術研究協会

放射性物質等航空輸送基準検討会	国土交通省航空局
輸送安全基準委員会（TRANSSC）	（国連）International Atomic Energy Agency
原子力規格委員会 放射線管理分科会	（一社）日本電気協会
■港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する事例	
コンクリート工学編集委員会	公益社団法人 日本コンクリート工学会
マスコンクリートのひび割れ制御指針改訂原案作成委員会	公益社団法人 日本コンクリート工学会
ISO/TC71 対応国内委員会	公益社団法人 日本コンクリート工学会
セメント・コンクリートの環境影響評価に関する研究委員会	公益社団法人 日本コンクリート工学会
ISO/TC156 対策委員会	ステンレス協会
JIS K6799 シリーズ(2018 版 Part1,Part2 及び Part3)改正準備委員会、 ISO/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
性能評価・診断小委員会 支持力・安定WG 品質保証小委員会 施工WG	公益社団法人 日本道路協会
波浪推算手法並びに確率(準)沖波及び堤前波の算定のマニュアル作成委員会	一般財団法人 沿岸技術研究センター
PC 桟橋技術マニュアル検討委員会	一般財団法人 沿岸技術研究センター
軽量混合処理土工法の技術マニュアル改訂委員会	一般財団法人 沿岸技術研究センター
セメント・コンクリート編集委員会	一般社団法人 セメント協会
成田国際空港の更なる機能強化に係る軟弱地盤対策等検討委員会	成田国際空港株式会社
鋼管杭技術委員会/港湾構造小委員会	一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会
JIS A 0206 工学地質図改正案作成委員会	一般社団法人全国地質調査業協会連合会
関西国際空港 空港用地性能評価検討会	一般財団法人 港湾空港総合技術センター
調査研究部門 構造工学委員会 土木構造物共通示方書改訂小委員会 性能・作用編部会	公益社団法人 土木学会
フラップゲート式可動防波堤技術マニュアル作成委員会	一般財団法人 沿岸技術研究センター

（7）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）～（6）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。

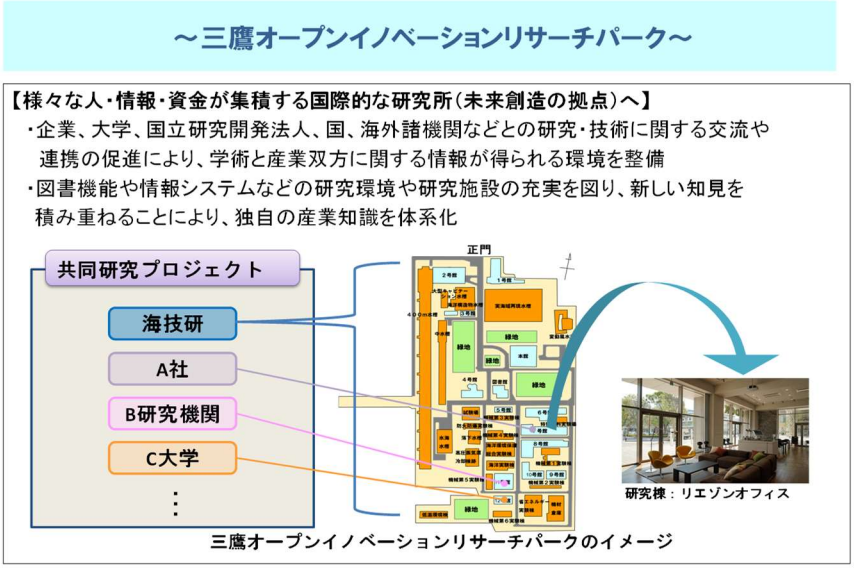


図 1.5.7　三鷹オープンイノベーションリサーチパーク

さらに、海事産業界への人材育成として、大学における造船専門教育カリキュラムの減少や造船系大学卒の就業者が減少をしている現状を踏まえ、若手研究員及び若手技術者が船舶海洋工学の基礎知識を短期集中で取得することを目的とした「船舶海洋工学研修」を令和 5 年 6 月に実施した。研修は、会場を設けず全日ライブ中継とし、あわせて 66 名が 13 日間の講義に参加した。

また、独自で開催していた「海洋開発研修」を（一社）エンジニアリング協会の「海洋開発セミナー」と統合し、講義、会場提供、施設見学等による協力を行った。

（4）研究成果の積極的な広報・普及

【中長期目標】

（4）研究成果の積極的な広報・普及

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、研究成果の迅速な社会還元や共同研究の促進のための情報発信や、研究活動の理解促進のための一般国民に向けた広報、学術誌への投稿等を通じた学術的進展への貢献等を積極的に行う。また、これらの活動を通じて効果的な情報交換や技術動向の把握等に努め、更なる研究活動の発展につなげる。

研究所が保有する知的財産権については、その有用性等を考慮し、コストを意識した管理を行いつつ知的財産の活用促進を図るとともに、技術のグローバル化に向けた国際特許の取得を戦略的に推進する。また、研究所の知的財産を広く社会に還元し、研究成果の社会実装に貢献するため、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。

【中長期計画】

（4）研究成果の積極的な広報・普及

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、研究成果の迅速な社会還元や共同研究の促進のための情報発信や、研究活動の理解促進のための一般国民に向けた広報、学術誌への投稿等を通じた学術的進展への貢献等を積極的に行う。また、これらの活動を通じて効果的な情報交換や技術動向の把握等に努め、更なる研究活動の発展につなげる。

研究所が保有する知的財産権については、その有用性等を考慮し、コストを意識した管理を行いつつ知的財産の活用促進を図るとともに、技術のグローバル化に向 けた国際特許の取得を戦略的に推進する。また、研究所の知的財産を広く社会に還元し、研究成果の社会実装に貢献するため、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）研究成果の積極的な広報・普及

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、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、研究成果の迅速な社会還元や共同研究の促進のための情報発信や、研究活動の理解促進のための一般国民に向けた広報、学術誌への投稿等を通じた学術的進展への貢献等を積極的に行う。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。

また、これらの活動を通じて効果的な情報交換や技術動向の把握等に努め、更なる研究活動の発展につなげる。

研究所が保有する知的財産権については、その有用性等を考慮し、コストを意識した管理を行いつつ知的財産の活用促進を図るとともに、技術のグローバル化に向けた国際特許の取得を戦略的に推進する。また、研究所の知的財産を広く社会に還元し、研究成果の社会実装に貢献するため、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

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。

研究所が保有する知的財産権については、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

令和 5 年度の研究発表会等については、講演会や研究発表会を 9 回実施し、一般公開及び公開実験を 8 回実施し、いずれも年度の数値目標を達成した。

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、前項の国や自治体等行政機関のプロジェクトや政策立案への技術支援や、産業界や学会との共同研究、各種委員会への研究者の派遣、研究発表会や講演会、施設見学や一般公開等々を通じて積極的に発信した。この結果、研究所職員の派遣者は延べ 1,358 人、様々な社会還元活動を 1,391 件実施し、発表会や施設見学・一般公開等の外部参加者は 7,988 人にのぼった。

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。

（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 5 年 7 月 20 日から 21 日にかけて、第 23 回研究発表会をハイブリッド形式（対面・オンラインの併用）で開催した。研究発表会では、海上技術安全研究所が取り組む 4 つの重点分野ごとにセッションを設け、社会実装を目指す 12 のテーマについて成果の発表を行った。また、21 件のポスター発表（対面のみ）も行った。ライブ配信では、2 日間で延べ 454 名、対面では 96 名の参加があった。

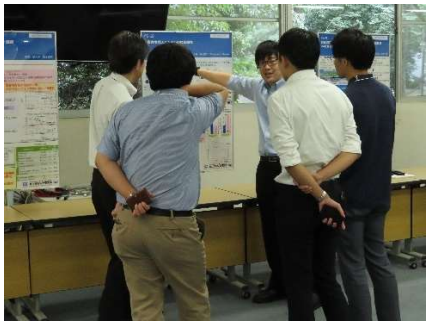



図 1.5.8 海上技術安全研究所発表会の様子（令和 5 年 7 月）

②海上技術安全研究所講演会

令和 5 年 12 月 5 日、第 23 回講演会をハイブリッド形式（対面・オンラインの併用）で開催した。講演会では、「脱炭素を目指す舶用エンジンと燃料」というテーマで、国際海運および内航海運における 2050 年 GHG 総排出量の実質ゼロという目標に向けて、脱炭素を目指す舶用エンジンと、アンモニアや水素、バイオ燃料などの新たな燃料の適用に向けた研究開発の動向、国際海事機関（IMO）における舶用燃料 LCA ガイドラインと欧州環境規制との関係について紹介した。ライブ配信では 374 名、対面では 47 名の参加があった。


図 1.5.9 海上技術安全研究所講演会の様子（令和 5 年 12 月）

③港湾空港技術講演会

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港湾空港技術講演会を令和 5 年 11 月 9 日に国土技術政策総合研究所と協力してオンラインで開催した。

講演会は、宮城大学の蒔苗教授によ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 2 研究室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 250 名の参加があった。

図 1.5.10 港湾空港技術講演会の様子

④電子航法研究所研究発表会

令和 5 年 6 月 9 日に第 23 回研究発表会を開催し、次世代航空モビリティをテーマとした特別講演を 2 件、航空交通管理に関する研究（3 テーマ）、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）について発表を行った。発表会には 220 名の参加があった。

図 1.5.11 電子航法研究所発表会の様子

⑤電子航法研究所講演会

令和 5 年 12 月 7 日に「世界に展がる ENRI の技術」をテーマに講演会を開催し、当研究所の国際活動、国際貢献、成果の海外展開に関する取り組みについて講演を行った。講演会には 97 名の参加があった。

また、会場において展示を行い、来場者に研究成果を発信した。

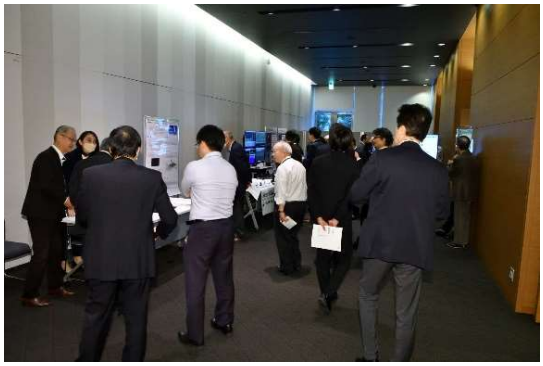


図 1.5.12 電子航法研究所講演会の様子

（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 5 年度においては、第 51 号（令和 5 年 4 月）で「いま新たな展開をみせる沿岸地形の形成や維持に関する研究」、第 52 号（令和 5 年 7 月）で「うみそら研と港空研のこれからを考える」、第 53 号（令和 5 年 10 月）で「すべての土台となる地盤をカギに、包括的かつ横断的に防災・減災を目指す」、第 54 号（令和 6 年 1 月）で「気候変動にともなう海面上昇や波高増大から経済活動の要、港湾施設を守るために」について特集した。

また、研究所を訪問・見学される方々にも「PARI」を紹介し、研究所の研究活動に理解を示して頂くことに努めるとともに、「PARI」をホームページで掲載し、幅広い情報発信に努めた。

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、2023（令和 5）年度分の活動内容を簡潔にとりまとめた「年次報告 2023」（日本語版）並びに「PARI Annual Report 2023」（英語版）を作成し、関係機関へ配布するとともにホームページで公開し、航空分野においても、航空に関する研究活動について年報を発行し、ホームページで公開した。

④研究所の一般公開、公開実験

研究所における特定の研究テーマについての研究内容を海事関係の専門家の方に理解いただき、また、来場の研究者との意見交換等を行うため、見学者を公募して行う実験公開を次表のとおり現地及びオンラインで 6 回開催し、合計 171 名の参加者があった。

表 1.5.11　公開実験の実績

	時期	テーマ
	R5.6.22	長尺平板模型船を用いた空気潤滑実験
	R5.8.9	浮体式洋上風力発電小型模型の水槽実験
	R5.12.5	環境・動力系のラボツアー
	R6.3.7	デジタルシップヤードに関する公開実験
	R6.3.25	短距離遠隔操船システムに係る実船実験

図 1.5.13　デジタルシップヤードに関する公開実験（令和 6 年 3 月）

科学技術週間の行事の一環として、東京都三鷹市から調布市にかけて隣接する海上技術安全研究所、電子航法研究所及び交通安全環境研究所が合同で、研究施設の一般公開を令和 5 年 4 月に開催した。当日は、隣接する宇宙航空研究開発機構（JAXA）も一般公開し、4 研究所でスタンプラリーを実施した。水槽施設を使用した波のダンスショー、海のロボット操縦体験及び測位衛星の電波を利用して絵を描くイベントなど一般の方にもわかりやすい展示や体験などを行った。

図 1.5.14　三鷹地区一般公開

港湾空港技術研究所においては、新型コロナウイルス感染拡大防止のため令和 2 年度から中断していたが、4 年ぶりに、開催規模を縮小して 7 月 22 日に研究所施設の一般公開を実施した。当日は、液状化再現実験、波の観測、生物調査の体験、ドローンシミュレーターなどの展示や体験を行い、主に子供や家族連れなど 254 名の来場者があった。研究所の活動紹介においては、基礎から最先端までの研究活動の成果が国民生活にどのように役立っているか、関わっているか等についてわかりやすい説明に努めた。

図 1.5.15　港湾空港技術研究所一般公開の様子（令和 5 年 7 月）

⑤施設見学

政府、自治体、民間企業、学校や一般の方々等、研究所施設の見学希望者に対応するため、施設見学を実施した。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、分かり易い解説や説明で答えるなど見学者の理解が深まるように心がけた。令和 5 年度における一般公開を除く施設見学者は、81 件（1,281 名）であった。

⑥ホームページ

各研究所において、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。

海上・港湾・航空技術研究所ではホームページ（http://www.mpat.go.jp/index.html）を更新して、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。

（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 1.5.16　うみそら研図書館の外観

②メールマガジンでの情報発信

研究所の活動内容等をより迅速に紹介するため、メールマガジンとして、海技研メールニュースを配信した。

③スーパーサイエンスハイスクール（SSH）事業への協力

港湾空港技術研究所では、文部科学省における先進的な理数系教育を実施する高等学校等「スーパーサイエンスハイスクール（SSH）」を支援する事業として、神奈川県立横須賀高等学校の生徒を対象とした学習プログラムを例年実施している。令和 5 年 8 月のプログラムでは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 1.5.17 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 5 年 8 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 5 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 241 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

本技術講習会は平成 24 年度から開催しているもので、国内外の技術動向や、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、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いる。令和 5 年度は、1 月 23 日、24 日に土木学会建設用ロボット委員会と共同で開催した。港湾空港技術研究所では最新の水中機器類の研究状況も含めて「港湾の施設の点検診断に求められるロボット技術の要件」と題する講義を行った。

⑥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 1.5.12 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 2023	横浜市役所アトリウム 令和 5 年 8 月 5 日～6 日	港湾における脱炭素化や生物多様性への配慮に関する取り組みを紹介した。
2	Techno-Ocean 2023（第 19 回）	神戸国際展示場 令和 5 年 10 月 5 日～7 日	海洋の幅広い産学官関係者が集う国際コンベンションで、環境問題、資源エネルギー、食糧問題など地球を取り巻く昨今の課題解決に重要な「海洋」への取組みについて紹介した。

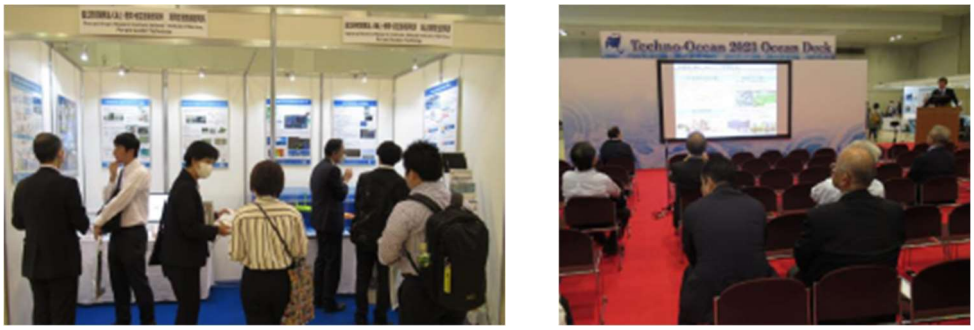


図 1.5.18 Techno-Ocean 2023 展示ブース(左：港空研と海技研)と、プレゼンの様子（右）

⑦研究体験会

電子航法研究所では、学生を対象にした研究体験会を令和 5 年 8 月 28～30 日に実施した。航空交通管理等の研究分野に関心のある学生が参加し、研究員によるレクチャーのもと、次世代システムの電波受信実験や新たな管制運用方式の導入前後とコロナ禍による航空交通流への影響の観察、ドローンによる GNSS データの取得と測位精度向上の補正処理などにより研究の基本作業を体験してもらうことで、学生のキャリア形成の支援に貢献できるように努めた。

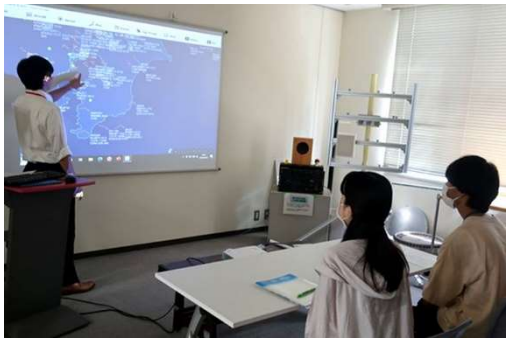


図 1.5.19 研究体験会（令和 5 年 8 月）

（3）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 5 年度における特許の出願件数は 22 件であった。

表 1.5.13　特許取得等の状況（令和 5 年度）

出願	審査請求	特許取得
22 件	30 件	44 件

（4）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 5 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 62 件であった。詳細は表 1.5.15 のとおりである。収入については、特許料収入は 36 百万円、著作権収入は 38 百万円の収入があった。

表 1.5.14　令和 5 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	耐衝突性に優れた船体構造及び船体構造の設計方法【特許権】	H28.3.4	5893231
2	小型ダクト付きプロペラ及び船舶【特許権】	H25.3.29	5230852

3	GLOBUS -Global winds and waves-表示プログラム【著作権】	―	―
4	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】	―	―
5	GUIを用いた船体周り構造格子生成プログラム（HullDes）【著作権】	―	―
6	格子性能機能を備えた最適化プログラム(AutoDes)【著作権】	―	―
7	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】	―	―
8	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】	―	―
9	NMRIW3D-Lite【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	海技研クラウドサービス(WWJP)【著作権】	―	―
13	海技研クラウドサービス(HOPE Cloud)【著作権】	―	―
14	海技研クラウドサービス(NMRIW-Lite Web/SPREME-web)【著作権】	―	―
15	EAGLE-OCT-lim【著作権】	―	―
16	海技研クラウドサービス(GLOBUS cloud)【著作権】	―	―
17	VESTA【著作権】	―	―
18	伴流設計システム excel 版【著作権】	―	―
19	衝突危険度評価プログラム(TrafficStateAnalysisTool 2)【著作権】	―	―
20	外航コンテナ定期船航路可視化プログラム【著作権】	―	―
	・港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等		
1	浸透固化処理工法【特許権】	H17.3.11 H17.5.27 H22.1.22 H23.1.14 H29.6.30 H30.8.17	3653551 3681163 4441613 4662116 6165194 6385018
2	コンクリート舗装版裏込めグラウト材【特許権】	H25.7.12	5311584
3	安心マンホール【特許権】	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 H28.8.22 R2.5.7	3709420 3963883 4300367 4368884 5119381 5283287 5300094 5598999 6699060
5	地盤解析汎用プログラム（GeoFem）【著作権】	―	―
6	高耐粉状化性の裏込めグラウトとその裏込めグラウト材【特許権】	R4.4.5	7054109

7	高耐久性裏込めグラウト材【特許権】	―	―
8	FLIPver. 7【著作権】	―	―
9	鉄筋腐食測定器(Dr. CORR)【特許権】	―	―
10	ケーソン堤体構造物の防砂構造【特許権】	H30.2.2	6283765
	・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	カオス論的指標値計算システム等一式【特許権】	H21.6.5 H24.5.11 H27.10.2 H22.4.30 H24.7.13 H24.3.2	4989618 4317898 5812265 4500955 5035567 4936147
3	補正情報生成プログラム等一式【著作権】	―	―
4	ILS 電波干渉解析シミュレーターソフトウェア【著作権】	―	―
5	空港面交通シミュレータ【著作権】	―	―
6	MIVEX-AUTH、GENIQ 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 5 年度分の褒賞金及び実施補償金として 22,084 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いる。例年は、WEB 会議システムを使用して実施していたが、令和 5 年度においては、趣向を変えて e ラーニングを使用して実施した。研修は、「知的財産制度の概要」及び「知的財産と標準」の二つのテーマを実施し、基礎的内容を学びなおすこと及び知財・標準化戦略の重要性を認識することを目的に行った。

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 5 年度は、研究発表会や出前講座などを利用した展示、広報活動を行った。

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、対面開催されたマイクロウェーブ展 2023 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。

さらに、研究成果の製品化を目的とした共同研究・開発の枠組みを継続し、積極的な知財の普及に努めた。

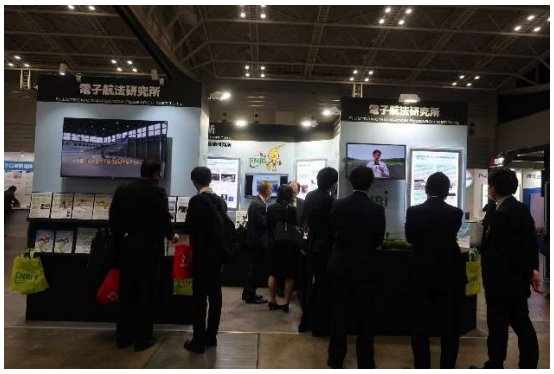


図 1.5.20　マイクロウェーブ展 2023 における電子航法研究所展示ブースの様子
（令和 5 年 11 月 29 日～12 月 1 日）

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。

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
　研究計画の企画立案段階から研究成果の国際基準・標準化を念頭に、国際的な技術開発動向及び我が国の技術の海外展開を踏まえつつ研究を実施するとともに、国際海事機関（IMO）、国際民間航空機関（ICAO）、国際標準化機構（ISO）、国際航路協会（PIANC）等への国際基準案の提案書作成等に対し、引き続き積極的に関与する。

【中長期計画】
（1）国際基準化、国際標準化への貢献
　研究計画の企画立案段階から研究成果の国際基準・標準化を念頭に、国際的な技術開発動向及び我が国の技術の海外展開を踏まえつつ研究を実施するとともに、国際海事機関（IMO）、国際民間航空機関（ICAO）、国際標準化機構（ISO）、国際航路協会（PIANC）等への国際基準案等の提案書作成に対し、引き続き積極的に関与する。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。
　さらに、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とともに、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。
　このような国際的な活動を通じて、海外情報の継続的な収集・蓄積を行うことで、標準化動向や最新の技術動向を研究開発に反映させる。

【年度計画】
（1）国際基準化、国際標準化への貢献
　研究計画の企画立案段階から研究成果の国際基準・国際標準化を念頭に、国際的な技術開発動向及び我が国の技術の海外展開を踏まえつつ研究を実施するとともに、国際海事機関（IMO）、国際民間航空機関（ICAO）、国際標準化機構（ISO）、国際航路協会（PIANC）等への国際基準案等の提案書作成に対し、引き続き積極的に関与する。
　特に本年度は、海上交通の分野においては、船舶に係る海洋環境に関する規格の策定に貢献する。
　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会議の審議にのべ 76（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。
　さらに、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とともに、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。
　このような国際的な活動を通じて、海外情報の継続的な収集・蓄積を行うことで、標準化動向や最新の技術動向を研究開発に反映させる。

◆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: International 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 5 年度においては、目標である 76 人を上回るのべ 181 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 5 年度は、各種委員会に対して合計 14 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やワーキンググループに研究者を派遣して、港湾・航路等の技術的課題に関するレポートの作成などその活動を支援し、各種ガイドラインへの日本の港湾技術の導入など、戦略的な国際活動の推進に貢献している。

(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 5 年度においては、海上技術安全研究所は 14 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 5 年度は、のべ 37 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、2023 年 9 月に開催された貨物運送小委員会第 9 回会合（IMO/CCC 9）において、当所職員は、液化ガスのばら積み運送のための船舶の構造及び設備に関する国際規則（IGC コード）の見直し（議題 4）及び液化水素運搬船の暫定勧告の見直し（議題 7）の審議を担当した。議題 4 においては、会議に先立って我が国提案文書 2 本の草案を作成するとともに、各国提案文書を検討して対策資料の案を作成した。また、議題 7 においては、非公式の通信グループ（CG）のコーディネータとして液化水素運搬船の基準を取りまとめ、その結果を提案文書にまとめた。会議においては、IGF コード及び IGC コードの改正に係る作業部会並びに液化水素運搬船の暫定勧告見直しに係る起草部会に参画し、IGC コードにかかる審議に加え、液化水素運搬船の基準の見直し案の最終化に貢献した。引き続き、液化ガスのばら積み運送の国際規則の見直しに取り組んでいく。

・自動運航船に係る国際規則案の策定への貢献

当所職員は、IMO の海上安全委員会（MSC）で進められている自動運航船の非義務的コード案の策定において、MSC に設置された自動運航船の通信グループ（CG）の我が国の意見集約に、CG コーディネータへの我が国意見の連絡を担当している。我が国は航行（Navigation）の章のリーダー国を務め、遠隔操船（Remote Operation）の章の検討メンバー（リーダー国は英国）となっていたが、さらに通信（中国がリーダー）の章等に参加を増やした（我が国は 17 章の内 8 章に参加）。当所職員は、これら増加分のリーダー国への対応も担当している。また、2023 年 5 月の MSC 107 の自動運航船に係る作業部会、10 月の第 2 回自動運航船に係る中間作業部会（ISWG-MASS 2）に参加し、審議に貢献するとともに、2024 年 3 月に航行の章のリーダー国として我が国が開催したオンライン会議において議長を務めた。当所職員は引き続き、自動運航船の非義務的コードの策定に取り組んでいく。

表 1.6.1　IMO に係る会議参加数（37 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
第 10 回汚染防止・対応小委員会（PPR 10）	Black Carbon 規制、船体付着生物管理 GLs の検討、液体化学物質の運送の審議	3
第 107 回海上安全委員会（MSC 107）	自動運航船関係基準の審議、義務要件の検討及び採択ほか	2
第 15 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 15）	GHG 削減対策の審議	1
第 80 回海洋環境保護委員会（MEPC 80）	エネルギー効率、GHG 削減対策等の審議	4
第 9 回貨物運送小委員会（CCC 9）	固体ばら積み貨物運送基準、アンモニア燃料船基準等、液化水素運搬船基準等、閉鎖区画への立ち入りに関する安全勧告の見直し、危険物運送基準の審議	5
第 39 回貨物運送小委員会編集・技術グループ（E&T 39）	危険物運送基準の審議	1
第 29 回汚染危険評価技術部会（ESPH 29）	ばら積み液体貨物運送基準の審議	1
第 2 回自動運航船に係る中間作業部会（ISWG-MASS 2）	自動運航船関係基準の審議	1

第 10 回船舶設計・建造小委員会（SDC 10）	タンカー以外の船舶の非常用えい航設備ガイドライン	1
第 11 回汚染防止・対応小委員会（PPR 11）	Black Carbon 規制及び EGCS 排水、水中洗浄に関するガイダンス、液体化学物質の運送、MARPOL 条約附属書 IV 及び関連ガイドラインの審議	5
第 40 回貨物運送小委員会編集・技術グループ（E&T 40）	固体ばら積み貨物運送基準の審議	2
第 10 回船舶設備小委員会（SSE 10）	救命設備基準、火災安全基準の審議	4
第 16 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 16）	GHG 削減対策の審議	2
第 81 回海洋環境保護委員会（MEPC 81）	大気汚染防止及び船舶のエネルギー効率、GHG 削減対策の審議、義務要件の検討及び採択ほか	5

(イ)ISO 及び IEC における活動

令和 5 年度は ISO の会議にのべ 21 名が出席し、各種規格のプロジェクトリーダー、コンビーナを務めており、規格策定作業に貢献した。

・船舶に係る海洋環境に関する規格の策定への貢献－排ガス洗浄装置関連

当所職員は、前議長の任期満了に伴い、TC 8/SC 2 幹事の米国運輸省から推薦され、TC 8 のメンバー国の投票により TC 8/SC 2 議長に選出され、2024 年 1 月から議長を務めている。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／排ガス洗浄装置（EGCS）作業部会）のコンビーナとして、英国提案の多環芳香族炭化水素（PAH）計の規格策定に向けて取り組んでおり、IMO/PPR（汚染防止・対応小委員会）での EGCS ガイドラインにおける連続排水監視基準に盛り込むべく、SC 2 議長として調整を進めていく予定。引き続き、SC 2 議長として、船舶に係る海洋環境に関する規格の策定をリードしていく。

・船舶に係る海洋環境に関する規格の策定への貢献－船底防汚システム関連

当所職員は、ISO/TC 8/SC 2/WG 5（船底防汚システム作業部会）において、プロジェクトリーダーとして、ISO 21716「船底防汚塗料のスクリーニングのための生物試験方法」シリーズ（第 1 部から第 3 部）の策定に貢献してきた。これらに続き、当所職員の研究成果に基づき作成した、規格原案（第 4 部：藻類：ISO 21716-4）は 2023 年 10 月に SC 2 の新規作業項目として承認された。その直後の、2023 年 11 月に開催された WG 5 では、この新規作業項目の背景及び試験法を説明するプレゼンテーションを行い、WG 5 における審議をリードした。また、船底防汚システムに関連して ISO/TC 8/SC 2/WG 13（船体汚損の水中洗浄作業部会）及び IMO/PPR 10 及び PPR 11 にも参加し、水中洗浄に関するガイダンスの審議に貢献している。引き続き、WG 5 のプロジェクトリーダーとして、国際規格の策定に取り組んでいく。

表 1.6.2 ISO、IEC に係る会議参加数（23 人）

会議名	会議目的	参加延べ人数
ISO/TC 188/SC 1ad hoc グループ	サーマルマネキンによるイマーション・スーツの保温性能試験法の審議	1
ISO/TC 8/WG 10	スマートシッピング及び自動運航船の審議	2
ISO/TC 8/SC 2/WG 13	船体汚損の水中洗浄システムの審議	1

ISO/TC 8 Chairman's Strategic Advisory Group Meeting(TC 8 CSAG 会議)	TC 8 議長とその傘下の SC 議長及び TC 8 議長が指名する関係者による TC 8 の課題等の意見交換	2
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 2/WG 13	船体汚損の水中洗浄システムの審議	1
ISO/TC 8/SC 1 及び WG 1	海上安全、救命設備(審議規格は Marine evacuation system 等)の審議	1
IEC 61400-3-2 TC 88/MT 3-2	IEC 61400-3-2 改訂に向けた最終確認	1
ISO/TC 8 総会	TC 8 の標準化方針の審議等	1
IEC 61400-3-2 TC 88/MT 3-2	Final Committee Draft Before Publication の最終確認、Committee Draft for Vote コメント対応	1
ISO/TC 8/SC 6	航海及び操船の規格開発状況報告等	1
IEC 61400-3-2 TC 88/MT 3-2	Final Committee Draft Before Publication の最終確認等	1
ISO/TC 8/SC 2 及び WG 13	海洋環境保護、水中洗浄システムの審議	1
ISO/TC 8/SC 2 及び WG 5	海洋環境保護、船底防汚システムの審議	1
ISO/TC 8/SC 2/WG 13	船体汚損の水中洗浄システムの審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 2/WG 13	船体汚損の水中洗浄システムの審議	1
ISO/TC 8/SC 2/WG 13	船体汚損の水中洗浄システムの審議	1
ISO/TC 98	無線送信用装置・デバイス測定方法・制御等の審議	1
IEC/TC 103	無線送受信設備規格の審議	1
IEC/TC 103/WG6	光無線トランシーバー規格の審議	1

また、無線送受信設備の規格を担当している技術委員会 TC103 および同委員会において光無線トランシーバーを担当する WG6 に参加し、計測にあたっての問題提起と対応策の提案を行った。

(ウ)IAEA における活動

令和 5 年度は、IAEA の会議にのべ 16 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(16 人)

会議名	会議の目的	参加延べ人数
TTEG-Criticality 会合	IMO/CCC/E&T38 結果を受けた船上 CSI 制限変更提案等の審議	2
移動可能原子炉(TNPP)WG	TNPP 輸送規則策定に向けた技術文書作成	2
第 46 回輸送安全基準委員会 (TRANSSC 46)	放射性物質輸送に係る安全基準の準備	2
TTEG-Criticality 会合	放射性物質輸送の臨界安全性に係る提案検討	2
放射性物質安全輸送規則の安全基盤文書 WG	放射性物質輸送規則助言文書改訂に係る検討	1

輸送及び兼用キャスクの運用及び保守の動向レビュー専門家会合	輸送及び兼用キャスクの運用及び保守における良好事例の審議	1
第 46 回輸送安全基準委員会（TRANSSC 47）	放射性物質輸送に係る安全基準の審議	2
放射性物質安全輸送規則の安全基盤文書 WG	放射性物質輸送規則助言文書改訂に係る検討	1
A1/A2 TRANSSC/RASSC Joint WG	放射性核種の基礎的数値見直しに係る検討	2
技術ミーティング参加	Technical meeting on nuclear and isotopic techniques in blue carbon habitats as a nature-based solution for climate change	1

(エ)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 5 年度には MarCom（海港委員会）、EnviCom（環境委員会）、さらに若手技術者を対象としたYP-Com（若手技術者委員会）への日本代表として研究者が参加したほか、令和4年度に続き、沿岸施設の維持管理に関するガイドラインの改訂に貢献するなど、戦略的な国際活動の推進に重要な役割を果たしている。港湾空港技術研究所では、PIANC Japan YP グループが日本港湾協会企画賞を 2023 年 5 月 24 日に受賞した。

表 1.6.4 PIANC に係る会議参加数（32 人）

会議名	会議の目的等	参加延べ人数
PIANC EnviCom	港湾や航路の環境問題に対応するための技術者委員会	5
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	4
PIANC-InCom WG236	内水航路の有効活用のレポート取りまとめ	2
PIANC MarCom WG231	係船柱・フックの選定、維持管理、試験について	2
PIANC MarCom WG211	防舷材システムの設計ガイドライン改訂が目的	1
PIANC-ASIA セミナー	アジアにおける航路埋没について	3
PIANC YP-Com Board Meeting	若手技術者ネットワーク促進のための会議	4
PIANC MarCom WG250	直立防波堤のガイドラインの更新について	1
PIANC MarCom	港湾や航路の環境問題に対応するための技術者委員会	2
PIANC MarCom WG205	軟弱地盤上の防波堤の設計と施工について	1
PIANC MarCom WG225	港湾施設の耐震設計ガイドラインについて	7

(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。

これに加え、 RTCA や EUROCAE が米国や欧州域内の技術基準を定めている。そして米連邦航空局（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。

・地上型衛星航法補強システム（GBAS）/静止衛星型衛星航法補強システム(SBAS) に関わる規格策定への貢献

ICAO アジア太平洋地域では GBAS/SBAS の導入および利用を推進する目的として GBAS/SBAS 実装タスクフォース（APAC GBAS/SBAS ITF）が設置されている。第 5 回会合は航空局がホストとなって日本で開催され、当所はその支援を行った。当所職員は本会合の共同議長を務めたほか、電離圏対策ガイダンス文書の改訂をコアメンバーとして主導した。ガイダンス文章の改訂案は本会合で承認され、上位の会議体である通信・航法・監視サブグループに上申されることとなった。

・リモートタワー映像系システム規格発行への貢献と EUROCAE International Award の受賞

EUROCAE WG100 はリモートタワー業務に使われる外部センサに関する標準規格の策定を進めた。参加した当所職員はその策定作業に参画し、議論を主導した。その後、本規格案は EUROCAE 本部の承認を得て 2023 年 10 月に正式発行の運びとなった(ED-240B MASPS for Remote Tower Optical Systems)。当該職員はこれまでの貢献が評価されて EUROCAE 2023 International Award を受賞した。

図 1.6.1 EUROCAE International Award（左：表彰式、右：楯）

・次世代航空交通情報システム（SWIM）の実用化に関する貢献

ICAO では、運航の安全性と効率性を向上させるため、監視・気象・空港・フライトなどの様々な情報を管理できる SWIM と呼ばれる次世代航空交通情報システムの概念が推進されている。当所職員は、タスクリーダとしてアジア太平洋地域におけるタスクフォース(APAC SWIM TF)に参加しており、情報交換のための技術標準（APAC SWIM Technical Infrastructure Profile）の作成を進めたほか、一層の導入推進のためシンガポール、タイ、中国と共に Pioneer Group を設立した。さらに、地域における新たな試みとして航空機位置情報を SWIM 上で共有するための実証実験を実施することとなり、我が国はコアメンバーとして技術支援を表明し、当所も当該実証実験に参画することとなった。

・ICAO 通信パネルへの貢献

ICAO 通信パネルの下に設置されているデータ通信設備作業部(DCIWG)において多方面の貢献を行った。まず、インターネットプロトコル(IP)を用いて航空通信をネットワーク化するための作業部会 WG-I において 1 件、規定類を維持管理する作業部会である WG-M において 2 件の報告を行った。さらに、陸域通信ワーキンググループ(PT-T)においては次世代陸域航空無線通信システムが現在の監視システムに影響を与えないことを確認するための試験を分担しており、その準備状況を報告した。

表 1.6.5 ICAO、RTCA、EUROCAE に係る会議参加数(53 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を行う会議	3
航法システムパネル(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を行う会議	4
監視パネル(ICAO SP)	航空機監視システムの国際標準・技術マニュアル等規程類の取りまとめを行う会議	15
遠隔操縦航空システムパネル (ICAO RPASP)	将来的に有人機と空域を統合して運航を可能とする遠隔操縦型航空機システムの実現に向けて検討を行う会議	1
航空交通管理要求・性能パネル (ICAO ATMRPP)	4DTBO、FF-ICE 等、将来の航空交通管理を支援する施策検討を行う会議	2
周波数スペクトラム管理パネル (ICAO FSMP)	航空で使用される無線システムの周波数と他の無線システムとの干渉を防止するための会議	2
トラストフレームワークパネル(ICAO TFP)	サイバーセキュリティに対応するためのトラストフレームワークに関する検討を行う会議	1
管制間隔・空域安全パネル(ICAO SASP)	安全性を考慮して管制サービスや関連する管制間隔の検討を行う会議	1
航法乱気流特別作業部会(WTSWG)	航法乱気流管制方式の基準策定を行う作業部会	1
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	2
アジア太平洋地域 SWIM タスクフォース (ICAO APAC SWIM TF)	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	7
EUROCAE WG-100	リモートタワー業務に使われる外部センサ等に関する検討を行う作業部会	10
EUROCAE WG-119/RTCA SC-239	電波高度計の次世代規格に関する検討を行う作業部会	3
EUROCAE WG-62/RTCA SC-159	GNSS 機器に関する検討を行う作業部会	1

(カ)その他国際会議

他にも多国間、二国間での会議が多くあり、当研究所が参加している国際会議には、次のようなものがあり、各種審議等に貢献した。

表 1.6.6 その他国際会議における会議参加数(62 人)

会議名	会議目的	参加延べ人数
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	海上公試推奨試験法の審議	1
第 60 回海洋環境保護の科学的側面に関する専門家会合（GESAMP）船舶で輸送される有害物質の危険性評価にかかる作業部会（EHS WG）	船舶で輸送される有害物質の危険性評価	1
ITTC Specialist Committee on Ice 6th Meeting (SC-ICE)	氷海及び氷海水槽計測等に関する審議	1
ISSC Committee I. 2 (Loads)	報告書執筆担当者の調整・選定等	1
ISSC Committee V.8 (ISSC-ITTC Joint Committee)	不確定性に関する論文内容の議論、役割分担の調整	1
ISSC Committee V.1 (Accidental Limit State)	報告書構成・執筆担当者調整、ベンチマーク解析について	1
ISSC Committee V.1 (Accidental Limit State)	報告書構成・執筆担当者調整、ベンチマーク解析について	1
ブラックカーボン技術作業部会（No.13）	船舶からの BC 排出量計測手法等	2
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	調査・報告書執筆担当者の調整、選定	1
ITTC Specialist Committee on Ice 7th Meeting (SC-ICE)	氷海及び氷海水槽計測等に関する審議	1
ITTC Full Scale Ship Performance Committee 8th Meeting (FSSPC)	船舶の実海域性能推定方法等の審議	1
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	調査・報告書執筆担当者の調整、選定	1
ITTC/AC（評議員会）	各技術委員会の活動の確認と助言等	1
ISSC Committee V.1 (Accidental Limit State)	ISSC ベンチマーク解析について等	1
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	各分野（風力、波力等）のセクションのリーダー決め、次回対面開催の調整	1
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	海上公試推奨試験法の審議	1
ITTC Specialist Committee on Ice 8th Meeting (SC-ICE)	氷海及び氷海水槽計測等に関する審議	1
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	担当内容の調整	1
ブラックカーボン技術作業部会（No.14）	船舶からの BC 排出量計測手法等	1
ITTC/SKC Communication Meeting	実船モニタリングによる耐航性評価の技術動向調査	1
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	海上公試推奨試験法の審議	1
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	報告書担当内容の調整	1
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	海上公試推奨試験法の審議	1
ITTC Specialist Committee on Performance of Wind Powered and Wind Assisted Ships	風力推進船の技術動向調査、性能推定法のレビュー、試運転での性能評価法の提案	1

ITTC Specialist Committee on Ice 9th Meeting (SC-ICE)	氷海及び氷海水槽計測等に関する審議	1
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	報告書内容担当構成等の最終決定	1
日韓 WS	KIOST と国内関係機関（CDIT、WAVE と PARI）による技術情報交換会	4
地震防災に関する日中ミニシンポジウム	地震防災における意見交換会	4
Debris Workshop（漂流物モデルのベンチマークテストに関する会議）	漂流物モデルのベンチマークテスト計算方法について	1
GESEM Network kickoff meeting	平衡型汀線変動モデルワークショップについて	1
Taiwan-Japan Symposium on Earthquake	2024 年能登半島地震速報について	1
海事イノベーションを通じた日英戦略的デジタル・パートナーシップの強化 セミナーとレセプション	デジタル関連技術に関するさまざまなセッションを開催	1
北東アジア港湾局長会議	日中韓共同研究について	2
北東アジア港湾局長会議	日中韓共同研究について	3
韓国海洋科学技術院（KIOST）研究者施設見学	実験施設（干潟・メソコスム実験水槽、大規模波動、大型構、海底流動、デュアルフェイス各施設）	6
地球温暖化に伴う海面上昇による高潮・洪水対策	地球温暖化にともなう海面上昇による高潮・洪水対策に関する意見交換会	2
途上国研究交流事業による研究者招聘（航路埋没対策）	航路埋没対策について	2
インドネシア・リアウ大学大学院生等見学	スラウェシ島での泥炭海岸侵食プロジェクト共同研究機関との連携	1
流出油とタールボールの特定・識別に関する ASEAN 人材の能力開発研修 講師	外務省 日・ASEAN 統合基金(JAIF) 令和3 年度承認事業	1
第 29 回 IPACG プロバイダ会議	日米航空当局による太平洋管制調整会議 IPACG のプロバイダ会議	1
第 22 回 国際 GBAS 作業部会（IGWG）	FAA とユーロコントロールが共同開催する GBAS に関する作業部会	2
第 38 回 SBAS 相互運用性会議（IWG）	各国の SBAS プロバイダが開催する SBAS 規格の相互運用性について議論する国際会議	2
欧州委員会及び内閣府によるDFMC SBAS 共同作業チーム第 2 回会合	政策協力（日欧 GNSS 協力体制）のもと開催される次世代衛星型衛星航法補強システムに関する技術会合	1

（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
　国際会議等の主催及び共催や積極的な参加、あるいは海外の研究機関との研究協力協定の締結等を通じた連携強化を図ることにより、関連する研究分野において技術や知見を蓄積するとともに、幅広いネットワークの拡大にも努める。また、海外の研究機関等と協力し、アジア・太平洋地域をはじめ各地の現場が抱える技術的課題の解決や、沿岸域の災害における技術的支援等を通じて、国際貢献を推進する。

【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等の主催及び共催や積極的な参加、あるいは海外の研究機関との研究協力協定の締結等を通じた連携強化を図ることにより、関連する研究分野において技術や知見を蓄積する。また、これらを通じて幅広いネットワークを拡大し、国際的なプレゼンスを高めるとともに世界最先端の研究が持続的に実施できるように努める。
　加えて、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。
　さらに、海外の研究機関等と協力し、アジア・太平洋地域をはじめ各地の現場が抱える技術的課題の解決や、沿岸域の災害における技術的支援等を通じて、国際貢献を推進する。

【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等の主催及び共催や積極的な参加、あるいは海外の研究機関との研究協力協定の締結等を通じた連携強化を図ることにより、関連する研究分野において技術や知見を蓄積する。本年度計画期間中に国際ワークショップ等を3回以上開催する。
　また、これらを通じて幅広いネットワークを拡大し、国際的なプレゼンスを高めるとともに世界最先端の研究が持続的に実施できるように努める。
　加えて、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。
　さらに、海外の研究機関等と協力し、アジア・太平洋地域をはじめ各地の現場が抱える技術的課題の解決や、沿岸域の災害における技術的支援を通じて国際貢献を推進する。

◆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 5 年度においては、海外機関との連携強化に向けて国際会議への積極的な活動に取り組んだ。目標である 3 件を上回る 7 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、令和 6 年 3 月 29 日に ISO に関する国際ワークショップを開催した。船舶及び海洋技術専門委員会の議長による ISO 戦略等の講演があり、5 か国 25 名の参加があった。

　港湾空港技術研究所においては 4 つの国際会議を開催し、令和 5 年 11 月に Amamo2023（国際アマモ・ブル

ーカーボンワークショップ 2023)を JBE（ジャパンブルーエコノミー技術研究組合）として、国際アマモ・ブルーカーボンワークショップ実行委員会（海辺つくり研究会、金沢八景－東京湾アマモ場再生会議、共存の森ネットワーク、JBE、セブン-イレブン記念財団、笹川平和財団海洋政策研究所）主催により東京で開催した。

また、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であることから「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 5 年 11 月 1 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、磯部雅彦東京大学・高知工科大学名誉教授、ローラ・コング国際津波情報センター長、自然災害管理総合研究センターの 2 氏 1 団体を表彰した。受賞者には堂故国土交通副大臣より記念品が授与された。

図 1.6.2　濱口梧陵国際賞授賞式の様子

電子航法研究所においては、令和 5 年 8 月 3 日に韓国航空大学（KAU）との研究交流ワークショップを開催した。本ワークショップでは、韓国航空大学によるアーバン・エア・モビリティの安全性や需要予想等に関する研究発表や、当所による進入経路生成や SWIM に関する研究発表が行われた。また、電子航法研究所の研究設備である電波無響室やリモートタワーの見学を行った。

図 1.6.3　韓国航空大学校との研究交流ワークショップの様子（電波無響室の見学）

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 5 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のもと、引き続き研究連携の深化を図った。（機関一覧：オランダ・海事研究所(MARIN)、フランス・海洋汚染研究センター(CEDRE)、カナダ・海洋技術研究所(IOT)、韓国・海事研究所(KMI)、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(UNICAMP)、ブラジル・サンパウロ大学(USP)、ノルウェー・ノルウェー科学技術大学(NTNU)）。

港湾空港技術研究所では、設計法の高度化，高精度化に関するノウハウの習得を目的として、 Royal Military College of Canada（カナダ王立軍事大学）に 1 名を留学させた。

また、上記など留学などを通じて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 5 年度までに、国内 30 件、海外 27 件、合計 57 件の研究協力協定を締結し、研究の質の向上と効率的な実施を図った。

電子航法研究所では、新たにフランスの国立民間航空学院（ENAC）と人材交流や共同研究に関する基本合意書を締結した。

国際貢献の推進に向けて海外の研修員の受け入れ、技術支援等にも取り組んだ。

海上技術安全研究所では、国内大学より海外の研修員を受け入れ、船舶の性能評価・海洋開発などに関する研究連携の深化を図った。

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のべ 19 名を派遣したほか、これらの研修が港湾空港技術研究所に隣接する国土交通省国土技術政策総合研究所で実施されたことから、研修の一環として各国研修生を対象とした実験施設の見学を実施し、研修生からの積極的かつ多数の質問に丁寧に回答することで、国際交流の推進に努めた。

電子航法研究所では、JICA の「航空管制システム技術の導入・管理」研修の一環として滑走路異物検知システム、リモートタワー、航空監視システム、次世代の GNSS に関する研修を実施した。また、12 月には JICA の「トリブバン国際空港における飛行処理能力強化のための航空管制業務改善プロジェクト」の一環として当所の実験設備見学を実施した。

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）組織運営の改善

研究開発成果の最大化を推進するため、引き続き研究マネジメントの充実を図る。このため、業務管理を行う体制の機能強化を図り、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に取り組むほか、課題解決を効果的・効率的に行えるような、組織の枠を超えた連携の強化を図る柔軟な組織運営を行う。

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。加えて、研究開発成果の社会還元を目的とした推進体制の整備に取り組む。

（2）管理業務の改善

一層の管理業務運営の効率化に向けて、内部管理業務の共通化を計画的に進める。併せて、研究所全体として適切に効率化が図られているかの確認を行う。

また、システムの合理化などの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。

（3）業務環境の充実

業務環境の充実については、リモート会議等の更なる活用、ICT環境の整備等により、業務の電子化を図りつつ、年次休暇の取得促進及び超過勤務の縮減に取り組むとともに、リモート環境も意識した心身の健康増進、育児・介護等と仕事の両立支援、勤務体制の柔軟化等の施策をより一層推進する。

（4）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　「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。

エ　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維持する。

【中長期計画】

1．組織運営の改善

研究開発成果の最大化を推進するため、引き続き研究マネジメントの充実を図る。このため、業務管理を行う体制の機能強化を図り、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に取り

組む。また、経営戦略室を中心として、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。さらに、課題解決を効果的・効率的に行えるような、組織の枠を超えた連携の強化を図る柔軟な組織運営を行う。

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。また、研究所の人材が有する能力の最大限の発揮を図る。加えて、研究開発成果の社会還元を目的とした推進体制の整備に取り組む。

2. 管理業務の改善

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とともに、一層の管理業務運営の効率化に向けて、内部管理業務の共通化を計画的に進める。併せて、研究所全体として適切に効率化が図られているかの確認を行う。さらに、システムの合理化などの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。

3. 業務環境の充実

業務環境の充実については、リモート会議等の更なる活用、ICT環境の整備等により、業務の電子化を図りつつ、年次休暇の取得促進及び超過勤務の縮減に取り組むとともに、リモート環境も意識した心身の健康増進、育児・介護等と仕事の両立支援、勤務体制の柔軟化等の施策をより一層推進する。

4. 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 「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。

さらに、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。

エ 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）組織運営の改善

研究開発成果の最大化及び業務効率と質の最大化を推進するため、引き続き研究マネジメントの充実を図る。このため、業務管理を行う体制の機能強化を図り、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に取り組む。また、経営戦略室を中心として、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。さらに、課題解決を効果的・効率的に行えるような、組織の枠を超えた連携の強化を図る柔軟な組織運営を行う。

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。また、研究所の人材が有する能力の最大限の発揮を図る。加えて、研究開発成果の社会還元を目的とした推進体制の整備に取り組む。

（2）管理業務の改善

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、一層の管理業務運営の効率化に向けて、内部管理業務の共通化を計画的に進める。併せて、研究所全体として適切に効率化が図られているかの確認を行う。さらに、システムの合理化などの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。

（3）業務環境の充実

業務環境の充実については、リモート会議等の更なる活用、ICT環境の整備等により、業務の電子化を図りつつ、年次休暇の取得促進及び超過勤務の縮減に取り組むとともに、リモート環境も意識した心身の健康増進、育児・介護等と仕事の両立支援、勤務体制の柔軟化等の施策をより一層推進する。

（4）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　「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。

さらに、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、自律的な取組を実施する。

◆年度計画における目標設定の考え方

令和 5 年度は、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も含め効率的かつ効果的に実施するため、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。

◆当該年度の取組状況

1．組織運営の改善

令和5年度は、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・総務関係の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5年度は12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5年度は22回開催し、分野の枠を超え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研究推進のため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2.1.1)、「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2.1.2)に沿って、令和5年度も引き続き研究所一体となって取組を実施した。

「研究体制の充実」については、3研連携勉強会を開催し、共通基盤技術の研究に関する今後の連携について情報共有や意見交換等により推進するなど、分野横断的な研究を中心に研究成果の最大化に向けた研究体制の充実を目指す取組を行った。その結果、3研究所が連携して研究課題を立案し、競争的資金への応募に結びつけた。また、社会還元を目的とした推進体制の整備について、どのように整備を進めていくかの議論を開始した。

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

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

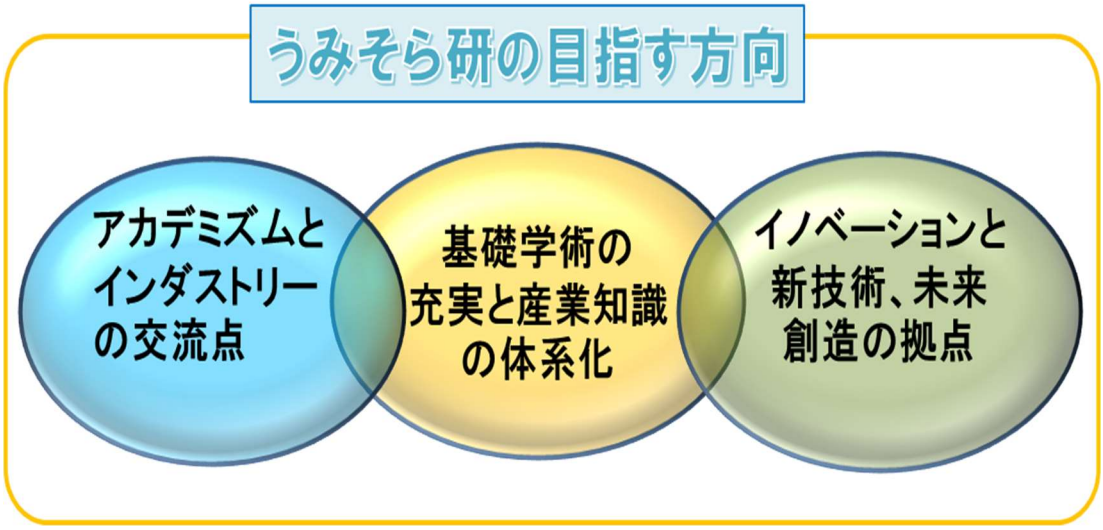


図 2.1.1　海上・港湾・航空技術研究所の目指す方向

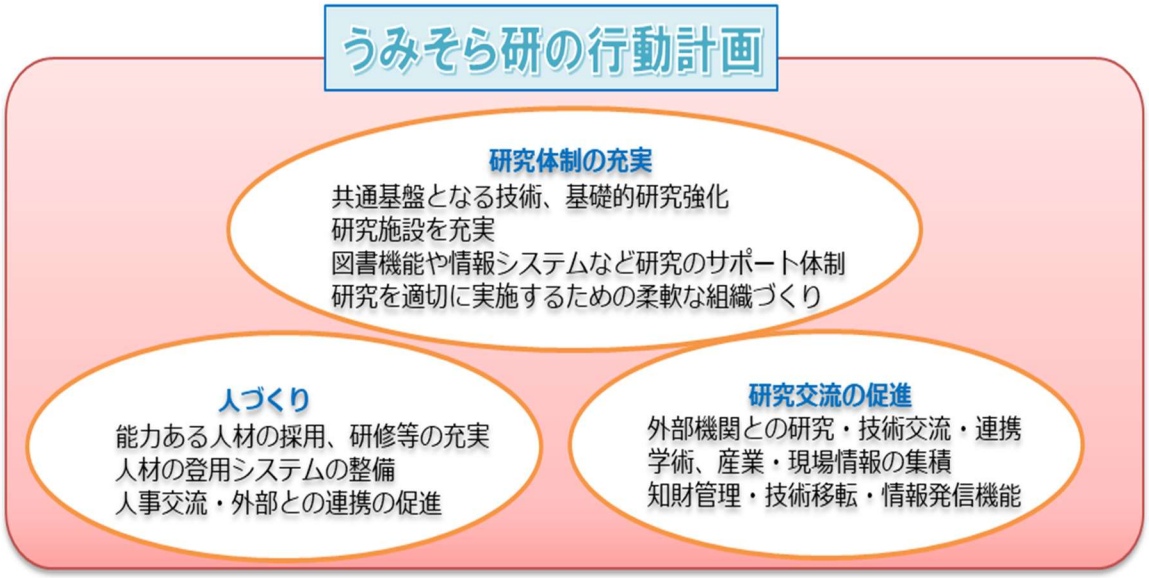


図 2.1.2　海上・港湾・航空技術研究所の行動計画

②研究推進のため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5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5年度には、表2.1.1に示す、(1)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、(2)波力発電機能付き浮消波堤に関する研究連携について及び(3)重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発の3件の研究を、外部資金による分野横断的な研究として実施している。

表 2.1.1　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)	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	海上技術安全研究所 港湾空港技術研究所	新規
(2)	波力発電機能付き浮消波堤に関する研究連携について	海上技術安全研究所 港湾空港技術研究所	継続
(3)	重油のエマルション化による流動促進化及び回収技術の開発	海上技術安全研究所 港湾空港技術研究所	継続

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実施した。

研究所の有効活用に向けた取組については、民間企業等の要望や、産業界・学会等との共同研究や受託研究などにより、研究施設の有効活用を図り、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、各研究所の研究発表会に連携の場を設けた他、研究者間の情報及び意見交換の場として、3研連携勉強会を計3回開催した。また、施設見学会を開催することで、最新の研究の紹介等を行い、研究所全体として研究の一層の推進を図った。さらに、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、うみそら研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、令和5年度は将来の運営方針等に役立てるための研究所職員からの意見聴取等を実施した。

加えて、分野横断的研究に取り組みやすい環境を整えるため、内部特別予算を活用する目的で令和2年度に構築した、トップダウンによる「分野横断的研究推進会議」を令和5年度は2回開催し、3研の分野横断研究の発展に寄与した。

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

④その他研究マネジメントの充実に向けた取組

業務効率化検討委員会を発展的に改組し、組織の枠を超えた連携の強化を図る体制とした業務連携委員会を設置した。また、研究所の情報システムに関しては、第１期中長期において、3研究所ネットワークシステムの統合、3研究所統一の新会計システムの整備、電子入札システムの導入などを行い、管理業務の効率化や経費の節減を図っている。一方、情報システムの整備強化による研究サポート体制の充実を図るため、情報セキュリティ委員会では扱うことが難しかった情報システムの整備及び維持管理について調整を行う情報システム委員会も設立した。令和5年度は、これまで対面のみで開催してきた役員懇談会を、情報システム（メール）を活用した開催も可能とするための規定の明確化を図った。

２. 管理業務の改善

（1）円滑な業務運営

「経営戦略室」を運営する等、府省庁等に対する窓口を同室に一本化することで円滑に業務を遂行した。

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、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においては、最高情報セキュリティ責任者の主導の下、コロナ禍が明けた後もテレワークの定着に向けて、申請手続きの簡素化、マイクロソフト 365 の活用及び大容量ファイル転送システムの導入など業務の簡素化・電子化の維持・強化に努めた。

（2）一括調達等による取組

令和 5 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 5 年度においては以下の 6 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。

・研究施設一般公開時の構内の警備・保安業務
・研究施設一般公開　4 研究所共通入場者受付システムの入場管理業務等
・研究施設一般公開物品借上
・一般公開参加者損害保険
・一般公開丁合等作業
・一般公開4研究所記念品の制作

（3）クラウドの運用

海技研クラウドは、所外の利用者に対して WEB を通じてサービスを提供するだけでなく、研究所が保有する実験設備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にも貢献している。実験設備（水槽

設備等）の溶存酸素量、水位、水温（水深ごと）等をクラウド上で web アプリでモニタリングすることにより、実験設備の維持管理の効率化を図った。令和 5 年度においては、研究所で開発した実船モニタリングデータ解析プログラムをアップデートして、外部企業等が保有するデータと API 連携が可能となり、さらに利便性が向上した。これにより、今後もクラウドサービスの利用増加が見込まれるため、機動的に対応できるよう組織規程を改正し、クラウド運用室を新設した。

（4）電子入札システムの本格運用

令和 4 年度より、電子入札システムを本格運用し、R5 年度は、新規に 92 者（累計 283 者）が新規に登録された。

電子入札システムの運用は、事業者の利便性向上及び入札機会の拡大に寄与するとともに、入札・契約事務の公平性・透明性の一層の促進に貢献している。

（5）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。特に所外会議においてもテレビ会議システムの利用を推進し、更なる業務効率化を図った。リモートワークを活用する職員が安定的に定着しており、柔軟な働き方によりワークライフバランスの向上にも貢献した。

（6）請求書の押印省略

令和 4 年度から開始した請求書の押印省略においては、令和 5 年度もさらにその利用を進め、令和 4 年度の発行数 544 件中 271 件（50%）に対し、令和 5 年度は発行数 517 件中 383 件（74%）の押印省略となったことから、押印作業及び郵送費用（メール送付が可能）などが軽減された。また、押印作業の担当者は、テレワークでの対応も可能となり、より一層の効率化が進んだ。

（7）電子決裁の推進

令和 5 年度においては、所内電子決裁の推進として、電子決裁システムを活用し、更なる業務効率化に取り組んだ。

また、理事会審議手法の一つとしてメール審議手法を確立し例年以上の意思決定の実施等、業務効率化や意思決定迅速化を行った。

電子決裁の件数は、令和 4 年度 5,131 件に対し、令和 5 年度には 5,600 件であり、対前年度比 9%増加となった。

なお、電子決裁の主な内容は、勤務時間報告書、所外発表許可伺い、その他起案であった。

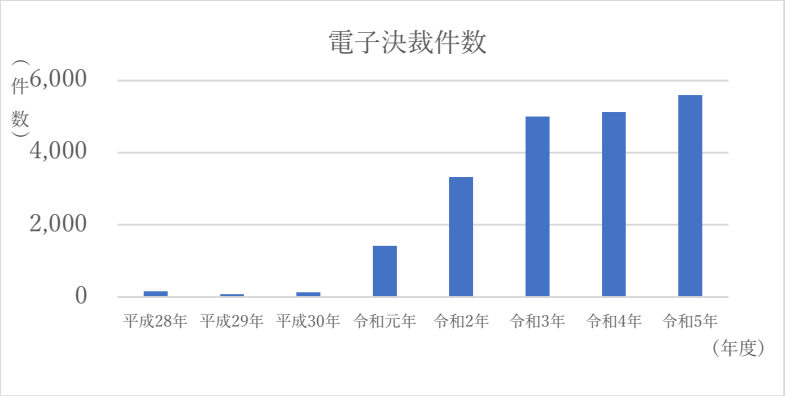


図 2.1.3　電子決裁件数の推移

3. 業務環境の充実

（1）年次休暇の取得推進等

所内周知により年次休暇の取得推進及び超過勤務の縮減を図るとともに、メンタルヘルス講習会やメンタルヘルス相談等の心身の健康増進の施策を実施した。また、育児休業制度をはじめとする様々な制度を用いて仕事と家庭が両立できるよう適切な運用を実施するとともに、研究者におけるフレックスタイムの実施により勤務体制の柔軟化を推進した。

4. 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５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. の管理業務の改善とともに、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 5 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 98.2、研究職種で 104.5 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 5 年度調達等合理化計画を策定し、以下の取り組みを実施した。

・ 仕様書内容の見直し
・ 入札参加要件の緩和
・ 公告期間の十分な確保
・ 適正工期（納期）の確保
・ 契約情報提供の充実
・ 事後点検体制の整備
・ 合理的な契約方式の検討

「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 5 年 5 月に令和 5 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 4 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。

（4）無駄の削減等に関する自律的な取組

「業務連携委員会」のほか、各研究所においても業務改善等を目的とした委員会を設置し、調達等の手続きに係る運用の改善や簡素化といった事務手続きの見直しや、電力使用量抑制等の無駄の削減に積極的に取り組んだ。

第3章　財務内容の改善に関する目標を達成するために
とるべき措置

【中長期目標】

（1）中長期計画予算の作成

運営費交付金を充当して行う事業については、「第４　業務運営の効率化に関する事項」で定めた事項について配慮した中長期計画の予算を作成し、当該予算による運営を行う。

（2）運営費交付金以外の収入の確保

知的財産権の活用や競争的外部資金の獲得などにより、適切な水準の収入を確保する。また、保有する施設・設備の外部機関による利用を促進し、自己収入の確保を図る。

（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、令和2年3月 26 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。

【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

（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	18,272	8,779	9,527	36,578
施設整備費補助金	2,801	3,108	650	6,559
受託等収入	7,360	11,753	968	20,081
計	**28,433**	**23,640**	**11,145**	**63,218**
支出				
業務経費	3,265	1,438	4,859	9,562
施設整備費	2,801	3,108	650	6,559
受託等経費	6,671	11,340	762	18,773
一般管理費	885	673	282	1,841
人件費	14,811	7,081	4,592	26,484
計	**28,433**	**23,640**	**11,145**	**63,218**

（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　　令和5年度～令和11年度収支計画

（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	**28,976**	**20,823**	**12,162**	**61,961**
経常費用	28,976	20,823	12,162	61,961
研究業務費	14,870	6,261	8,252	29,383
受託等業務費	6,671	11,340	762	18,773
一般管理費	4,092	2,931	1,481	8,504
減価償却費	3,344	291	1,667	5,302
財務費用	0	0	0	0
臨時損失	0	0	0	0
収益の部	**28,976**	**20,823**	**12,162**	**61,961**
運営費交付金収益	18,272	8,779	9,527	36,578
手数料収入	0	0	0	0
受託等収入	7,360	11,753	968	20,081
寄付金収益	0	0	0	0
資産見返負債戻入	3,344	291	1,667	5,302
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　　令和5年度～令和11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	**28,433**	**23,640**	**11,145**	**63,218**
業務活動による支出	25,632	20,532	10,495	56,659
投資活動による支出	2,801	3,108	650	6,559
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	**28,433**	**23,640**	**11,145**	**63,218**
業務活動による収入	25,632	20,532	10,495	56,659
運営費交付金による収入	18,272	8,779	9,527	36,578
受託収入	6,771	11,340	927	19,038
その他の収入	590	413	40	1,043
投資活動による収入	2,801	3,108	650	6,559
施設整備費補助金による収入	2,801	3,108	650	6,559
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

知的財産権の活用や競争的外部資金の獲得などにより、適切な収入を確保する。また、保有する施設・設備の外部機関による利用を促進し、自己収入の確保を図る。

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、令和 2 年3月 26 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。

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	2,534	1,211	1,338	5,083
施設整備費補助金	0	150	50	200
受託等収入	1,051	1,695	138	2,885
政府出資金	0	0	0	0
計	**3,586**	**3,057**	**1,526**	**8,168**
支出				
業務経費	438	199	709	1,346
施設整備費	0	150	50	200
受託等経費	953	1,620	106	2,679
一般管理費	83	101	39	223
人件費	2,112	986	622	3,720
計	**3,586**	**3,057**	**1,526**	**8,168**

（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 5 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	**4,064**	**2,948**	**1,714**	**8,726**
経常費用	4,064	2,948	1,714	8,726
研究業務費	2,093	853	1,169	4,115
受託等業務費	953	1,620	106	2,679
一般管理費	540	433	202	1,175
減価償却費	478	42	238	757
財務費用	0	0	0	0
臨時損失	0	0	0	0
収益の部	**4,064**	**2,948**	**1,714**	**8,726**
運営費交付金収益	2,534	1,211	1,338	5,083
手数料収入	0	0	0	0
受託等収入	1,051	1,695	138	2,885
寄付金収益	0	0	0	0
資産見返負債戻入	478	42	238	757
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。

［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。

（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	**3,586**	**3,057**	**1,526**	**8,168**
業務活動による支出	3,586	2,907	1,476	7,968
投資活動による支出	0	150	50	200
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	**3,586**	**3,057**	**1,526**	**8,168**
業務活動による収入	3,586	2,907	1,476	7,968
運営費交付金による収入	2,534	1,211	1,338	5,083
受託収入	967	1,620	132	2,720
その他の収入	84	75	6	165
投資活動による収入	0	150	50	200
施設整備費補助金による収入	0	150	50	200
その他の収入	0	0	0	0
財務活動による収入	0	0	0	0
政府出資金の受け入れによる収入	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

知的財産権の活用や競争的外部資金の獲得などにより、適切な収入を確保する。また、保有する施設・設備の外部機関による利用を促進し、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）
・出資の活用を含めた成果の普及

◆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 5 年度は、運営費交付金を充てるべき支出のうち 206 百万円を自己収入から充当するよう査定を受けた予算になっているが、受託等収入からこの金額を捻出し、年度計画を確実に達成した。

また、純損失は 9 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 293 百万円と合わせて総利益は 284 百万円となっている。これは、令和 5 年度に自己財源で取得した固定資産の額を、過去に自己財源で取得した減価償却費が超過したことが主な要因である。

（1）予算

表 3.1.1

（単位：百万円）

区　分	年度計画	実績
収入		
運営費交付金	5,083	5,083
施設整備費補助金	200	314
先進船舶・造船技術研究開発費補助金	0	0
受託等収入	2,885	3,888
計	**8,168**	**9,286**
支出		
業務経費	1,346	1,198
施設整備費	200	588
先進船舶・造船技術研究開発費補助金	0	0
受託等経費	2,679	3,563
一般管理費	223	163
人件費	3,720	3,722
計	**8,168**	**9,234**

（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	**8,726**	**9,031**
経常費用	8,726	8,986
研究業務費	4,115	3,982
受託等業務費	2,679	3,197
一般管理費	1,175	968
減価償却費	757	838
雑損	0	0
財務費用	0	0
臨時損失	0	45
収益の部	**8,726**	**9,024**
運営費交付金収益	5,083	4,172
手数料収入	0	88
受託等収入	2,885	4,352
寄付金収益	0	4
資産見返負債戻入	757	363
臨時利益	0	45
純利益	**0**	**−8**
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**	**293**
総利益	**0**	**285**

（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	**8,168**	**10,853**
業務活動による支出	7,968	9,656
投資活動による支出	200	1,114
財務活動による支出	0	83
次期中長期目標の期間への繰越金	**0**	0
資金収入	**8,168**	**9,116**
業務活動による収入	7,968	8,826
運営費交付金による収入	5,083	5,083
受託収入	2,720	3,239
その他収入	165	503
投資活動による収入	200	290
施設整備費補助金による収入	200	283
その他収入	0	7
財務活動による収入	0	0
前期中長期目標の期間より繰越金	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 230 件、競争的資金 115 件の合計 345 件を実施し、3,290 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、65 百万円を獲得した。

3. 短期借入金の限度額

特になし。

4. 不要財産の処分に関する計画

特になし。

5. 財産の譲渡又は担保に関する計画

特になし。

6. 剰余金の使途

特になし。

第4章　その他業務運営に関する重要事項

【中長期目標】

（1）内部統制に関する事項

内部統制については、「「独立行政法人の業務の適正を確保するための体制等の整備」について」（平成26年11月28日行政管理局長通知）に基づく事項の運用を確実に図り、理事長のリーダーシップの下で、内部統制に関するマネジメントを適切に行う。

なお、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を活用し対応を図る。

また、適正かつ効率的な内部監査体制の整備を図る。

コンプライアンスに関しては、コンプライアンス研修の開催等により職員への意識の浸透を図る取組を実施するとともに、必要に応じて規程や関係する取組の見直しを行う。

また、研究不正への対応は、研究開発活動の信頼性確保、科学技術の健全な発展等の観点からも極めて重要な課題であるため、職員の意識浸透や不正行為防止を図る取組を実施するとともに、必要に応じて規程の見直しを行うなど組織として取り組む。なお、万が一研究不正が発生した場合には厳正に対応する。

情報セキュリティについては、情報化の進展に伴い、機密情報の流出などの情報セキュリティインシデントを未然に防ぐ必要があることから、「サイバーセキュリティ戦略」（令和3年9月28日閣議決定）等の政府の方針を踏まえ、研究開発を含む研究所で実施する業務において、適切な情報セキュリティ対策を推進する。情報システムの整備及び管理については「情報システムの整備及び管理の基本的な方針」（令和3年12月24日デジタル大臣決定）に則り適切に対応するものとする。

（2）人事に関する事項

多様化する政策課題への対応に必要な人材や様々な経歴を有する人材の確保・育成に向けた活動、組織の横断的連携等を通して、高度な専門性・多様性が求められる研究開発を継続するための体制を強化する。職員の専門性やマネジメント力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とともに研究所内での人事交流を促進する。

また、達成すべきミッションと整合的な人材確保・育成を図るために、法人を取り巻く環境変化を踏まえ、人材の活用等に関する方針の見直しを進める。

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、手当を含め役職員給与の在り方について厳しく検証した上で、研究開発業務の特性等を踏まえた柔軟な取扱いを可能とするとともに、透明性の向上や説明責任の一層の確保が重要であることに鑑み、給与水準及びその妥当性の検証結果を毎年度公表する。

（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を行い、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

情報公開、個人情報保護については適正な業務運営を確保し、かつ、社会に対する説明責任を確保するため、適切かつ積極的に広報活動及び情報公開を行うとともに、個人情報の適切な保護を図る取組を推進する。具体的には、独立行政法人等の保有する情報の公開に関する法律（平成13年法律第140号）に基づき、組織、業務及び財務に関する基礎的な情報並びにこれらについての評価及び監査に関する情報等をウェブページで公開するなど適切に対応するとともに、個人情報の保護に関する法律（平成15年法律第57号）に基づき、保有する個人情報を適正に管理する。

（5）施設・設備の整備及び管理等に関する事項

研究ニーズの変化及び実験施設の老朽化に対応するため、ハード面のほか、デジタル技術も活用した研究手法の充実も視野に入れつつ、新たな実験施設の導入及び従来から活用している実験施設の補修に取り組む。

また、保有資産の必要性についても不断に見直しを行う。

【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。理事長のリーダーシップの下で、内部統制に関するマネジメントを推進する。

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よう、内部統制・リスク管理委員会において適切な対応を行うとともに、適正かつ効率的な内部監査体制を整備する。

コンプライアンスに関しては、コンプライアンス研修の開催等により職員への意識の浸透を図る取組を実施するとともに、必要に応じて規程や関係する取組の見直しを行う。

また、研究不正への対応は、研究開発活動の信頼性確保、科学技術の健全な発展等の観点からも極めて重要な課題であるため、職員の意識浸透や不正行為防止を図る取組を実施するとともに、必要に応じて規程の見直しを行うなど組織として取り組む。なお、万が一研究不正が発生した場合には厳正に対応する。

情報セキュリティについては、情報化の進展に伴い、機密情報の流出などの情報セキュリティインシデントを未然に防ぐ必要があることから、「サイバーセキュリティ戦略」（令和3年9月 28 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の定めに基づき、研究開発を含む研究所で実施する業務において、適切な情報セキュリティ対策を実施する。

また、情報システムの整備及び管理については「情報システムの整備及び管理の基本的な方針」（令和3年12月24日デジタル大臣決定）に則り適切に対応するものとする。

2. 人事に関する事項

多様化する政策課題への対応に必要な人材や様々な経歴を有する人材の確保・育成に向けた活動、組織の横断的連携等を通して、高度な専門性・多様性が求められる研究開発を継続するための体制を強化する。職員の専門性やマネジメント力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とともに研究所内での人事交流を促進する。

また、達成すべきミッションと整合的な人材確保・育成を図るために、法人を取り巻く環境変化を踏まえ、人材の活用等に関する方針の見直しを進める。

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、手当を含め役職員給与の在り方について厳しく検証した上で、研究開発業務の特性等を踏まえた柔軟な取扱いを可能とするとともに、透明性の向上や説明責任の一層の確保が重要であることに鑑み、給与水準及びその妥当性の検証結果を毎年度公表する。

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を行う。

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

情報公開、個人情報保護については適正な業務運営を確保し、かつ、社会に対する説明責任を確保するため、適切かつ積極的に広報活動及び情報公開を行うとともに、個人情報の適切な保護を図る取組を推進

する。具体的には、独立行政法人等の保有する情報の公開に関する法律（平成 13 年法律第 140 号）に基づき、組織、業務及び財務に関する基礎的な情報並びにこれらについての評価及び監査に関する情報等をホームページで公開するなど適切に対応するとともに、個人情報の保護に関する法律（平成 15 年法律第 57 号）に基づき、保有する個人情報を適正に管理する。

5. 施設・設備の整備及び管理等に関する事項

研究ニーズの変化及び実験施設の老朽化に対応するため、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。その際、ハード面のほか、デジタル技術も活用した研究手法の充実も視野に入れることとする。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

前中長期目標期間繰越積立金は、前中長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。理事長のリーダーシップの下で、内部統制に関するマネジメントを推進する。

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よう、内部統制・リスク管理委員会において適切な対応を行うとともに、適正かつ効率的な内部監査体制を整備する。

コンプライアンスに関しては、コンプライアンス研修の開催等により職員への意識の浸透を図る取組を実施するとともに、必要に応じて規程や関係する取組の見直しを行う。

本年度は、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。

また、研究不正への対応は、研究開発活動の信頼性確保、科学技術の健全な発展等の観点からも極めて重要な課題であるため、職員の意識浸透や不正行為防止を図る取組を実施するとともに、必要に応じて規程の見直しを行うなど組織として取り組む。なお、万が一研究不正が発生した場合には厳正にする。

情報セキュリティについては、情報化の進展に伴い、機密情報の流出などの情報セキュリティインシデントを未然に防ぐ必要があることから、「サイバーセキュリティ戦略」（平成 3 年9月 28 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の定めに基づき、研究開発を含む研究所で実施する業務において、適切な情報セキュリティ対策を実施する。

また、情報システムの整備及び管理については「情報システムの整備及び管理の基本的な方針」（令和3年 12 月 24 日デジタル大臣決定）に則り適切に対応するものとする。

（2）人事に関する事項

多様化する政策課題への対応に必要な人材や様々な経歴を有する人材の確保・育成に向けた活動、組織の横断的連携等を通して、高度な専門性・多様性が求められる研究開発を継続するための体制を強化する。職員の専門性やマネジメント力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とともに研究所内での人事交流を促進する。

また、達成すべきミッションと整合的な人材確保・育成を図るために、法人を取り巻く環境変化を踏まえ、人材の活用等に関する方針の見直しを進める。

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、手当を含め役職員給与の在り方について厳しく検証した上で、研究開発業務の特性等を踏まえた柔軟な取扱いを可能とするとともに、透明性の向上

や説明責任の一層の確保が重要であることに鑑み、給与水準及びその妥当性の検証結果を毎年度公表する。

（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を行う。

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。

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、個人情報保護の促進に関する事項

情報公開、個人情報保護については適正な業務運営を確保し、かつ、社会に対する説明責任を確保するため、適切かつ積極的に広報活動及び情報公開を行うとともに、個人情報の適切な保護を図る取組を推進する。具体的には、独立行政法人等の保有する情報の公開に関する法律（平成 13 年法律第 140 号）に基づき、組織、業務及び財務に関する基礎的な情報並びにこれらについての評価及び監査に関する情報等をホームページで公開するなど適切に対応するとともに、個人情報の保護に関する法律（平成 15 年法律第 57 号）に基づき、保有する個人情報を適正に管理する。

（5）施設・設備の整備及び管理等に関する事項

研究ニーズの変化及び実験施設の老朽化に対応するのため、別表4に掲げる施設を整備・改修する。その際、ハード面のほか、デジタル技術も活用した研究手法の充実も視野に入れることとする。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。加えて、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		200	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	150	
③	電子航法に関する研究開発等	50	

（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 5 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。

また、内部監査について、内部統制システムの中のモニタリング機能としてその役割を適正かつ効果的に発揮させるため、第 2 期中長期目標期間開始から理事長のもとに各研究所から独立した監査室を新設し、内部統制の強化を実施した。

（2）コンプライアンス違反防止のための取組

令和 5 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 5 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。また、研究の国際化やオープン化に伴う新たなリスクに対して新たな確保が求められる、研究の健全性・公平性の確保に取り組んだ。

（4）情報セキュリティに関する取組

全ての役職員等が、「海上・港湾・航空技術研究所情報セキュリティポリシー」の各遵守項目について、適切な運用を行っているか否について自らが点検を行い、改善すべき事項等について、点検を実施した者あるいはその管理者により必要な改善を行うことを目的に、情報セキュリティに関する自己点検および教育を実施した。

また、「政府機関等のサイバーセキュリティ対策のための統一基準」の改定を受けて、海上・港湾・航空技術研究所情報セキュリティポリシーの改定案及び関係規程の新設の検討を実施した。

さらに、近年活発化しているゼロデイ攻撃（ベンダーが未対応の脆弱性を狙った攻撃）への対策の一環として、海上技術安全研究所が所有するファイアウォール機器に脅威情報配信システムライセンスを導入し、最新の脅威情報をいち早くファイアウォールのポリシー等に反映することで、システムのセキュリティ強化を図った。

情報システムの関係としては、各研究所で使用しているサーバ証明書（SSL 証明書）の発行に関して、令和 6 年度に契約を一括化することを予定しており、令和 5 年度はその準備作業を実施した。

（5）テレワークの定着

新型コロナ感染症対策として令和 2 年度から本格的に実施したテレワークについて、多様な働き方を定着させる観点から更なる取り組みを推進した。

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 5 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、個人情報保護の促進に関する事項

情報公開については、ホームページにて法令等で公開することとされている、組織、業務及び財務に関する基礎的な情報並びにこれらについての評価及び監査に関する情報等を公表している。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。

また、個人情報保護に関しては、研修（e-ラーニング）を実施するなど、個人情報の適切な保護を図る取組を実施し、保有する個人情報を適切に管理している。

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。