令和６年度　業務実績等報告書

令和７年６月

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

目　　次

第１章　研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 ―――――――――――――――――――――――――――――――― １
１．分野横断的な研究の推進等 ―――――――――――――――――――――――――― ２
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 ―――――――――――――――――――――――――――――――― １２
（１）海上輸送の安全の確保 ―――――――――――――――――――――――― １９
（２）海洋環境の保全 ―――――――――――――――――――――――――― ７７
（３）海洋の開発 ―――――――――――――――――――――――――― １１１
（４）海上輸送を支える基盤的な技術開発 ―――――――――――――――― １４４
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 ―――― １６９
（１）沿岸域における災害の軽減と復旧 ―――――――――――――――― １７２
（２）沿岸・海洋環境の形成・保全・活用と脱炭素社会の構築 ―――――― １８９
（３）経済と社会を支える港湾・空港の形成 ―――――――――――――― ２０７
（４）情報化による技術革新の推進 ―――――――――――――――――― ２２５
４．電子航法に関する研究開発等 ―――――――――――――――――――― ２３５
（１）航空交通の安全性及び信頼性の向上 ―――――――――――――――― ２４１
（２）航空管制の高度化と環境負荷の低減 ―――――――――――――――― ２５６
（３）空港における運用の高度化 ―――――――――――――――――――― ２７８
（４）航空交通を支える基盤技術の開発 ―――――――――――――――― ２９７
５．研究開発成果の社会への還元 ―――――――――――――――――――― ３１１
（１）技術的政策課題の解決に向けた対応 ―――――――――――――――― ３１１
（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 ―――――― ３１６
（３）研究の中核機関としての役割強化 ―――――――――――――――― ３２０
（４）研究成果の積極的な広報・普及 ―――――――――――――――――― ３２７
６．戦略的な国際活動の推進 ―――――――――――――――――――――― ３４０
（１）国際基準化、国際標準化への貢献 ―――――――――――――――― ３４０
（２）海外機関等との連携強化 ―――――――――――――――――――― ３４０

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 ―― ３５５
１．組織運営の改善 ―――――――――――――――――――――――――― ３５８
２．管理業務の改善 ―――――――――――――――――――――――――― ３６０
３．業務環境の充実 ―――――――――――――――――――――――――― ３６１
４．業務運営の効率化による経費削減等 ―――――――――――――――― ３６１

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 ------- ３６３
１．運営費交付金を充当して行う事業 ---------- ３６９
２．運営費交付金以外の収入の確保 ---------- ３７１
３．短期借入金の限度額 ---------- ３７１
４．不要財産の処分に関する計画 ---------- ３７１
５．財産の譲渡又は担保に関する計画 ---------- ３７１
６．剰余金の使途 ---------- ３７１

第４章　その他業務運営に関する重要事項 ---------- ３７２
１．内部統制に関する事項 ---------- ３７７
２．人事に関する事項 ---------- ３７８
３．外部有識者による評価の実施・反映に関する事項 ---------- ３７８
４．情報公開、個人情報保護の促進に関する事項 ---------- ３７８
５．施設・設備の整備及び管理等に関する事項 ---------- ３７８

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。

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。

これらの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、ほか輸送に関連したビッグデータを活用しながら、地震・水害等における救助・避難に関する実態調査と水害救助シミュレータの開発を進める。

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、実海域実証を想定した洋上風力発電施設における、リスク評価に基づいた合理的な検査手法に関する検討を行う。

さらに環境汚染を最小限にとどめ、海上での船舶の衝突、座礁等で問題となる搭載油を回収し、処理効率を向上させるため、高粘度油の効率的なアンローディング技術の開発などに取り組む。

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，研究交流を促進しつつ新たなシーズ発掘にも努める。

◆当該年度の取組状況

令和 6 年度において、①ビッグデータを活用した災害シミュレータ、②再生エネルギーに関連した洋上風力発電施設に関する研究開発、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に対する研究にそれぞれ取り組んだ。

①ビッグデータを活用した災害シミュレータ

○災害時輸送シミュレータの開発

研究の背景

近年の日本では、毎年のように水害が発生している。多くの自治体では、洪水ハザードマップが作成されており、避難シミュレーション等を実施した研究が多くなされている。これらは地域のリスク評価や防災教育などに役立てられているが、これまでの輸送シミュレーションは、発災前等、道路が健全な状態での「避難」を想定しており、浸水後の「救助」を前提としたシミュレーションによる検討は十分ではない。それは、多くの輸送シミュレーションが単一機材による輸送を前提としているためである。水害発生時の浸水区域からの救助においては、車両、ヘリ、ボートの複数の輸送手段による載せ替えを考慮した輸送で、被災現場から避難所まで Door to Door の形で検討することが必要不可欠である。

研究目標

□水害救助シミュレータの開発及びシミュレータを用いた分析

令和 6 年度の研究内容

（1） 情報収集及び関連自治体へのインタビュー調査

（2） 水害シミュレータの本開発

令和 6 年度の研究成果

（1） 令和 2 年 7 月豪雨関連へ当時の様子の聞き取り調査を実施し、来年度分析で対象とする岡山県の基礎的な実態調査を実施した。

(2)令和 2 年 7 月豪雨(熊本県人吉市)を対象に水害救助のシミュレータについて、主にシミュレータのプロトタイプを完成させた。シミュレータは、浸水区域を設定し、地域内の居住人数等(図Ⅰ. 1. (1). ①. 1)を入力することで、避難所まで輸送するシミュレータとなっている。代表図に示した白い点が、救助地点、青い線が浸水域、緑の丸が車両、青の丸がボートとなっており、ルールベースのマルチエージェントを用いて、救助地点に人を配置させ、ボート・車両を連携させる形で避難所までの輸送をシミュレーションしたものの一例である(図Ⅰ. 1.

(1). ①. 2)。図Ⅰ. 1. (1). ①. 3 に災害発生から4つの避難所から救助者が輸送された人数を時系列で表す。例えば避難所④は災害発生から早く避難を開始できたが、それはヘリコプターが着陸できる病院が近かったからである。また、避難所⑬の輸送人数が多いのは浸水地域から少し離れており避難所に行きやすく人数が多かったからである。避難所や進出拠点の位置、病院のヘリポート有無などにより救助者数や救助開始時刻も変わってくることが再現できたとともに、あまり使われなかった避難所なども再現(図Ⅰ. 1. (1). ①. 4)でき、今後の拠点検討にも有効であることがわかった。

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、複数の輸送手段による救助を同時に評価するところに本研究の新規性がある。このシミュレータを用いることで複数の輸送手段の連携した救助など、複数のシナリオによる水害の救助状況を再現できることを確認した。

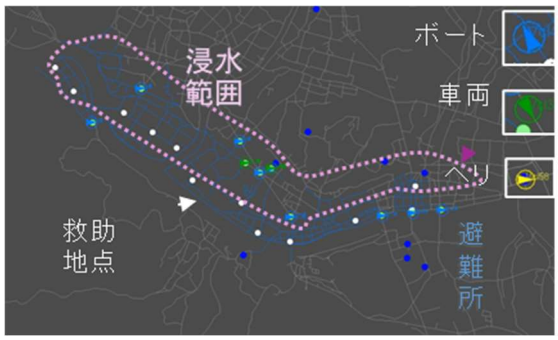
成果の公表

□科学雑誌掲載等論文:1

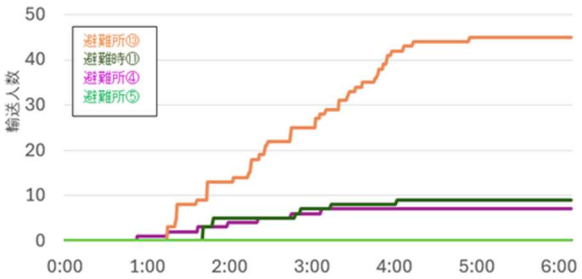
・中山恵介,荒谷太郎, 間島隆博:高知県におけるシミュレータを用いた傷病者の輸送計画に関する検討, 土木学会論文集,Vol.80, No.5, 22-00131, 202

出典:内山、檀上:令和２ 年７ 月豪雨による熊本県人吉市および球磨村渡地区の洪水被害の特徴－2020 年 7 月 9 日調査速報 第 1 版－、防災科学技術研究所 調査速報、2020 年７月 14 日･･･に地区別の世帯数を追加

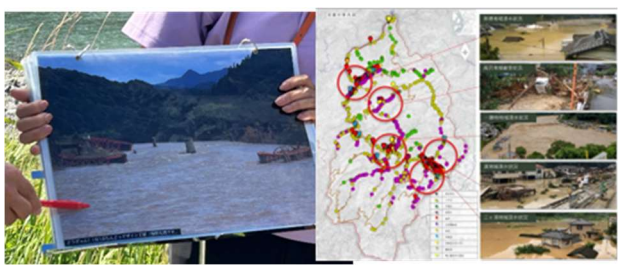
図Ⅰ. 1. (1). ①. 1 設定した浸水範囲と世帯位置



図Ⅰ. 1. (1). ①. 2 水害救助シミュレータによる再現例



図Ⅰ. 1. (1). ①. 3 災害発生から避難所毎の輸送救助者数



図Ⅰ. 1. (1). ①. 4 球磨村役場復興推進課からの資料

②再生エネルギーに関連した洋上風力発電施設に関する研究開発

洋上風力発電施設の増加を見込み、検査の省力化・省人化を目指し、以下、3つの研究を実施した。

○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

研究の背景

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として、実海域を想定した洋上風力発電施設における、合理的な検査手法に関する検討が求められている。浮体の検査について省力化・省人化が必要である。

研究目標

□得られた知見を踏まえ技術基準・安全ガイドラインの見直し案の作成
□コンクリート製浮体の将来の技術開発に関する研究提案（外部資金）

令和 6 年度の研究内容

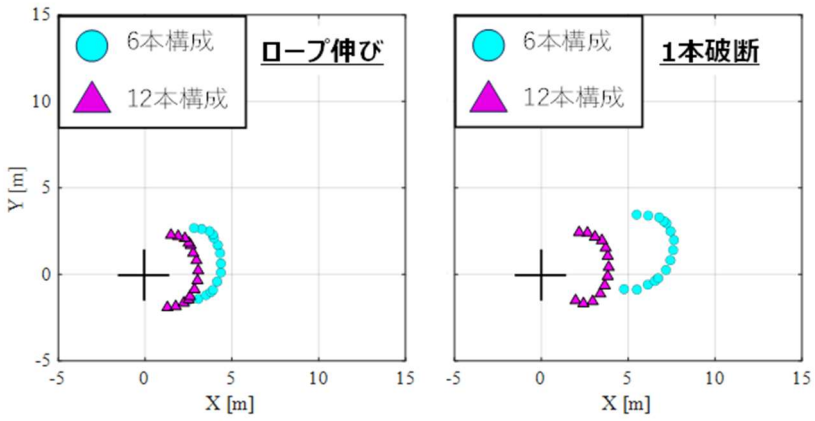
（1）浮体式洋上風力発電の検査の省人化・効率化に関する研究開発
（2）コンクリート製浮体の高度化に向けた研究
（3）商用化を見据えた技術基準・安全ガイドラインの見直し

令和 6 年度の研究成果

（1）浮体式洋上風力発電の検査の省人化・効率化

運転保守段階におけるリスクの定量化に向けて、検査の技術基準・安全ガイドラインにおける鋼製浮体の検査要求項目に対して、①防止したい事故、②検査目的、③検査対象、④検査で確認する事項、⑤内的要因、⑥外的要因を明らかにして、要因整理表を作成した。また、コンクリート製浮体についても同様の要因整理表の作成に着手した。この成果は、運転保守段階における鋼製浮体とコンクリート製浮体の材料特性の違いを明らかにするだけではなく、全施設、全係留索の検査を、リスク評価とモニタリング等を活用した抽出検査手法の導入可能性を目指すものである。

水深 400m を超える海域にて期待されるトート係留を対象に、係留索に異常が発生したときの浮体の平面運動の取得を目的とした水槽試結果をもとに、ロープ伸びや、係留索破断が及ぼす影響を明らかにし、異常検知の手順の案を作成した。係留索本数を 6 本から 12 本に変えた場合、浮体平面運動への影響が低下するものの、浮体運動を用いた係留の異常検知は可能であることを確認した（図Ⅰ. 1. (1). ②. 1）。この手法を確立すれば、定期検査に関する 2 つの要求事項を浮体運動のモニタリングにて代替できるものである。



図Ⅰ. 1. (1). ②. 1　係留ラインに異常が発生した場合の浮体運動の変化

（ロープが 12 本と多く、安定している場合も、浮体の位置の変位を検知できた）

(2)コンクリート製浮体の高度化

コンクリート製浮体の技術開発の方向性を決めるための調査研究を NEDO から受託した。

(3)商用化を見据えた技術基準・安全ガイドラインの見直し

今後予定される実海域実証への参画事業者からのニーズ等を踏まえ、以下の項目について、商用運用を前提とした技術基準・安全ガイドラインの見直しと拡充を行ない、学識経験者と関係事業者からなる検討会において承認された。見直しにあたっての論点を以下に示す。

・アンカーの水平保持力等の安全率の見直し

・実証期間に応じた疲労荷重の計算条件の見直し

・合成繊維索係留において既定値以外の安全率を適用する場合の条件の明確化

外部資金の獲得　国土交通省海事局　約 2,800 万円, NEDO　約 540 万円

〇洋上風力発電施設の防食システムの検査方法に関する研究

研究の背景

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として、実海域を想定した洋上風力発電施設における、合理的な検査手法に関する検討が求められている。防食システムの検査について省力化・省人化が必要である。

研究目標

□海中部に塗膜を有する海洋鋼構造物の防食システムの検査方法の開発

UEP（海中電界センサ）を活用した，防食システムの検査方法を開発する。開発したセンサを実環境に適用し，性能の検証を行う。

令和 6 年度の研究内容

□海洋鋼構造物の防食システムの検査方法の開発

令和 6 年度の研究成果

□海洋鋼構造物の防食システムの検査方法の開発

a)UEP を用いた電流密度計を開発した。

海水に掛かる数 1uV 程度の微小な電位差を UEP で検知し，海水の電気伝導度と合わせて解析することで，電気防食の防食電流密度を算出する．「電流密度測定装置および腐食測定方法」の特許を出願した．

b)上記電流密度計の現場校正方法を開発した。

a)の方法は、UEP のドリフト電圧を補正する必要があったが，これを現場で可能にする方法を考案した。「電位差測定装置のオフセット補正方法および電位差測定装置」の特許を出願した（図Ⅰ．1．(1)．③．1)．

c)上記測定技術を用いて、現地測定を実施した UEP を用いた電流密度計を開発した。

電気防食が設置されている港湾施設の「鋼管杭」において、上記測定を実施し、防食電流密度の分布が観測された（図Ⅰ．1．(1)．③．2、図Ⅰ．1．(1)．③．3)。なお，UEP を用い、実港湾施設で防食電流密度の分布を観測した例は，世界初である。

d) 防食塗膜に劣化が生じた場合の水中電位を室内実験で測定した。

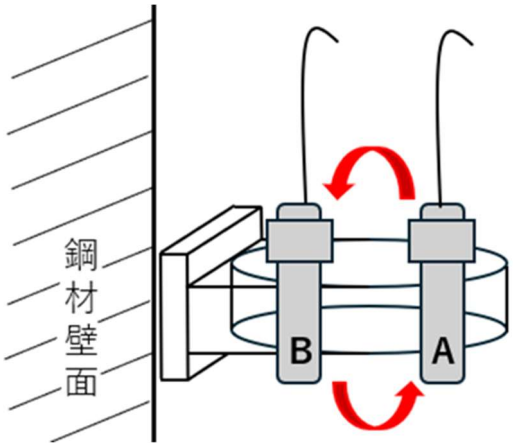
100mm 四方の鋼材に船舶用防食塗装を施した試験片に対して人工的に劣化（膨れ）を発生させた。劣化した状態の塗装試験片と犠牲陽極とを電気的に接続し UEP を用いて水中電位を測定した。塗膜膨れに破れがない状態でも微弱な水中電位が計測された。これは UEP を用いた防食塗装の劣化検出技術につながる可能性のある新たな知見である。

成果の公表

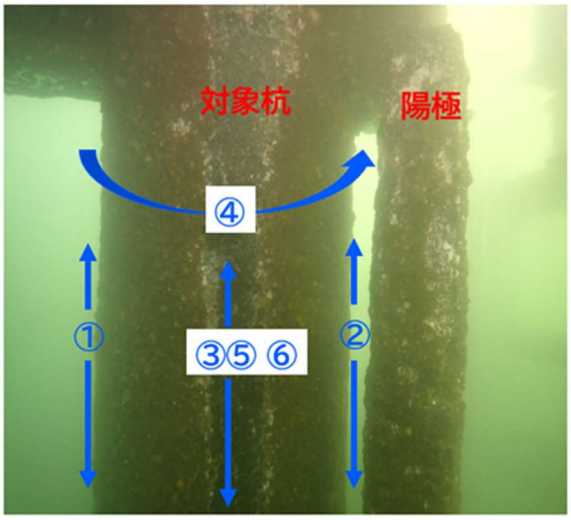
□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件

・電流密度測定装置および腐食測定方法 （SP20240572 特願 2025-028316） 2025/2/25 提出

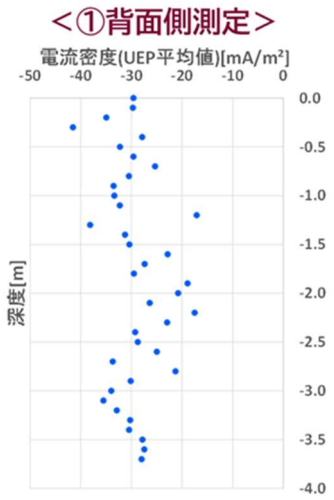
・電位差測定装置のオフセット補正方法および電位差測定装置 （SP20240575 特願 2025-028410） 2025/2/25 提出



図Ⅰ．1．(1)．③．1 電位差測定装置のオフセット補正方法および電位差測定装置



図Ⅰ．1．(1)．③．2 港湾鋼構造物(海中部)：
塗装無し＋電気防食



図Ⅰ．1．(1)．③．3 電流密度の分布

○固定翼人機による海上・沿岸の自動監視観測に関する技術開発

研究の背景

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として、実海域を想定した洋上風力発電施設における、合理的な検査手法に関する検討が求められている。無人機のよる風車の検査時の安全性確保のため、無人機及び周辺航空機・船舶の一元的な監視・情報共有技術が必要である。

研究目標

□無人機の目視外完全自動運航を支援するシステムの開発および実証実験により、将来の無人機自動運航で必要とされる運航およびシステム運用のガイドライン策定に資する科学的データを取得する。
□洋上風力や港湾環境監等で必要な機能について海技研・港空研と連携して検討を進め、海上・沿岸の風力発電施設等の自動監視の実現に資する技術を開発する。

令和 6 年度の研究内容

(1)システム改修
(2)総合評価試験

令和 6 年度の研究成果

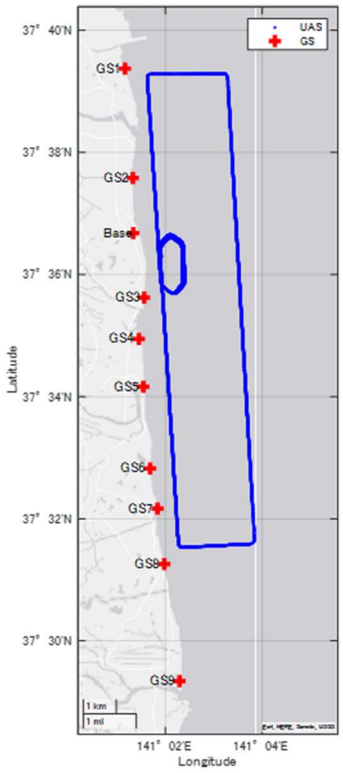
(1)システム改修

無人機の目視外飛行の動態を把握する無線システム(BLE および LTE)の機能および性能の向上とともに、有人機の位置監視システムやその他システム(AIS など)の情報を統合する管理システムを構築した。

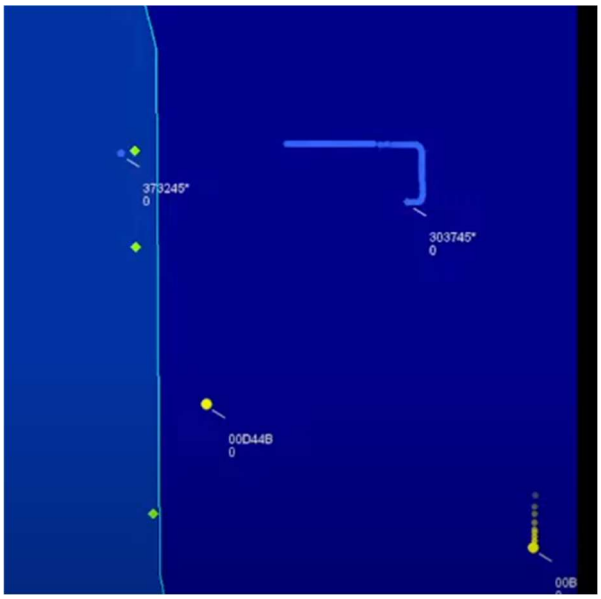
(2)総合評価実験

無人機による飛行実験を実施し、統合管理システムによる評価実験を実施した。南相馬沖において南北 15km、東西 5km における空域飛行する無人機を 5 秒更新率 97.5%以上の確率で捕捉できることを確認し

た。実験での航跡例を図Ⅰ．1．(1)．④．1、統合管理システム画面の例を図Ⅰ．1．(1)．④．2 に示す。



図Ⅰ．1．(1)．④．1　飛行実験エリア



図Ⅰ．1．(1)．④．2　無人機(青)を船(AIS)を同時表示

成果の公表

◆国内学会:1 件

古賀禎,虎谷大地,佐藤岳,固定翼無人機の広域位置探知実験の結果について,令和 6 年度(第 24 回)電子航法研究所研究発表会, 調布, 2024 年 6 月.

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

○海難事故等における油流出・回収及び回収効率向上技術の開発

研究の背景

海難事故等で海底に沈んだ船舶に搭載された貨物油や燃料油は、放置すると重大な環境被害をもたらす怖れがあるため回収することが望まれる。沈没した船舶のタンク内の重油や流出油を回収した油回収船のタンク内の重質油等は変質して高粘度となる場合が多く、回収作業の効率化が求められている。

研究目標

□バルクヒーティング法などの従来手法の問題点を解決する新たな沈船油回収システムの開発を行う。

令和 6 年度の研究内容

□海水環境下での重油エマルションの生成に適した界面活性剤の選定

□水路対策と従来手法に対する優位性の検証

□特許の権利化（自縛しない明細書を書くことの重要性を認識）

ベンチェリ管をよる微細気泡を用いた油水分離促進技術における最適条件

令和 6 年度の研究成果

船舶の燃料として使用される粘度の高い重油について、沈船から回収すること（図Ⅰ. 1. (1). ⑤. 1 参照）を目的に、海水環境下でのエマルション化について検討している。界面活性剤の選択によって塩水下では塩析を発生するなど等を確認し界面活性剤の O/W（Oil in Water）エマルション化の有効性について研究を進めた。また、油回収エジェクター近傍の流動状態を調べ効率的に油が回収できるように予備的高圧ジェットの導入を検討した。

長距離管路搬送実験を行い、従来知られている CAF（Core Annular Flow）法と比較して、界面活性剤を使用する O/W エマルション化法は油の回収、移送時の稼働停止時にも対応でき優位であることを明らかにした。図Ⅰ. 1. (1). ⑤. 2 左図の W/O（Water in Oil）エマルションではひずみ速度が経過しても粘度が低下しないが、右図の O/W エマルションでは粘度が低下し、ポンプでの油回収等が容易となる。

また、ベンチュリ管式油水分離では適切な混合油流量と空気流量があることを明らかにした。

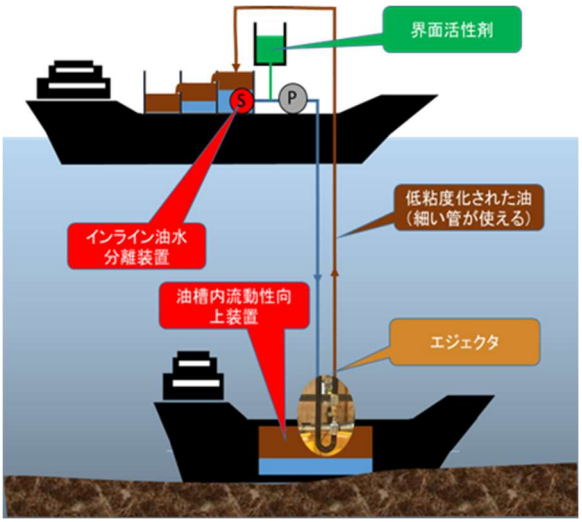
外部資金の獲得：2 件 （日本学術振興会 3,200 千円及び 3,500 千円）

成果の公表

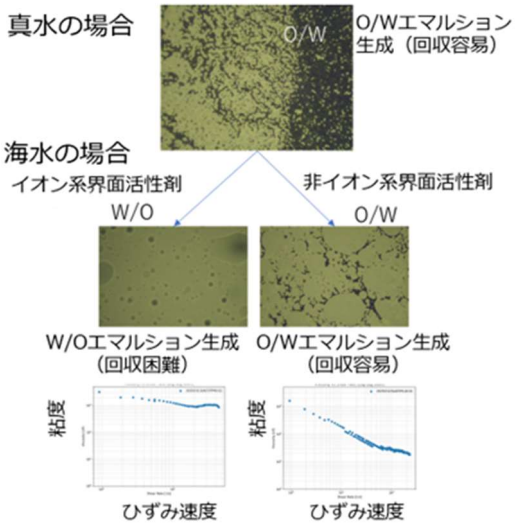
□特許・プログラム等の知的財産の出願等

特許（登録）：1 件

・重質油の回収方法、回収システム及び回収装置、特許第 7573869 号、2024.10.18



図Ⅰ．1．(1)．⑤．1　沈船からの回収のイメージ



図Ⅰ．1．(1)．⑤．2　エマルション化による重油のレオロジー制御

〇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。令和6年度から萌芽的な取り組みから連携が始まることを期待し、萌芽的連携推進研究課題を創出した。

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、洋上風力発電施設の防食システムの検査方法に関する研究、海難事故時における油流出・処理効率向上技術の開発を実施することとした。また、新たな連携推進研究課題として、小型波浪ブイを用いた洋上精密測位、萌芽的連携推進研究課題として、コンテナターミナルにおける本船動静の不確実性を考慮した荷役機械の運用計画立案に関する調査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に加え、参加しやすいオンラインのみのミニ勉強会を開始するとともに、交通モード連携の可能性検討のため鉄道や車両を対象としている交通安全環境研究所とうみそら研とで合同勉強会を開始した。また、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、連携研究に取り組む研究者へのインセンティブ向上として、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

－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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。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等

－事故再現シミュレーションツールの高度化、事故簡易推定手法の検討及び開発、事故時航跡表示システムの効率化・迅速化を行う。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

－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、水素専焼時の異常燃焼を抑制する技術の開発、ゼロエミッション燃料の排出ガス特性の評価及び後処理装置の検討、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

－代替燃料や補機を考慮したライフサイクル燃費評価法の構築、水槽試験と CFD の同化による多様な船型・状態でのシミュレーション技術の開発、実海域実船性能評価統合アプリケーションの開発を行う。等

（3）海洋の開発

海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の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、係留の健全性評価手法の開発と生物付着影響評価、デジタルツイン技術を用いた浮体応力推定手法の開発を行う。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

－CTV の風車タワーへの乗り移り性能評価プログラムの開発、海洋CCSに係る管内流動の評価を行う。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アルゴリズムの開発及び実機実装、画像ベース AUV ドッキング手法の開発、海空無人機システム AUV の基本設計を行う。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、実船の BOM/BOP データ作成等による造船所における PLM システムの環境整備、艤装工程に対応した建造シミュレータの開発、要素試験体を用いた溶接及び接着構造の基本性能評価を行う。等

②ビック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 等評価手法の実装に向けた設計、災害時輸送シミュレータのアルゴリズムの検討、計算条件、出力結果の共有化のためのデータベース設計・開発、オンラインワークショップ、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

－これまでに開発したGHG削減戦略評価プラットフォームについて、国際海運の実態を踏まえたIMO等における議論などを通じて高度化を行う。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な技術開発」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、当該中長期目標期間中に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ている。

・船体構造評価技術に関する研究
・船舶の安全運航のための性能評価に関する研究
・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
・操船自動化・操船支援の高度化に関する研究
・GHG 削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究
・実海域実船性能向上に関する研究
・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
・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
・DX 造船所の実現に向けた研究開発
・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

中長期目標に掲げられた研究開発課題と10の重点研究課題の関係は、次表のとおり。

第二期中長期計画	重点研究計画
（1）海上輸送の安全の確保	
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	船体構造評価技術に関する研究 船舶の安全運航のための性能評価に関する研究 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 操船自動化・操船支援の高度化に関する研究
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	船体構造評価技術に関する研究（再掲）

（2）海洋環境の保全	
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	GHG 削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究
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	実海域実船性能向上に関する研究

（3）海洋の開発	
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
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	海洋開発のための機器・オペレーション技術に関する研究

（4）海上輸送を支える基盤的な技術開発	
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	DX 造船所の実現に向けた研究開発
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	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

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として、15の基盤研究課題を設定した。内容の詳細は省略するが、課題名は以下の通り。

・燃料着火性評価のための基礎研究
・波浪中自航要素の船尾流場の影響に関する研究
・水槽試験の自動化、デジタル化、見える化に関する研究調査
・実海域再現水槽の送風機の機能拡張に向けた基礎的な研究
・船体主要目を学習データに用いた AI による操縦流体力推定法の確立
・海洋鋼構造物の防食システム検査手法の基礎検討
・アンモニア燃料中の応力腐食割れ・腐食疲労に関する調査研究
・溶接ビード品質評価に必要な点群データ精度の検討
・マイクロ波プラズマを用いた二酸化炭素の分解に関する基礎研究
・陸上の大気汚染物質濃度への船舶の寄与に関する逆時間方向計算による推定
・移動可能原子炉の輸送規制枠組みの構築に向けた研究
・使用済燃料用輸送容器の遅延落下メカニズムに関する研究
・3DCG を用いた機械学習による波浪推定法の研究
・異なる浮体群で構成される大規模海洋構造物の波浪場及び運動の高精度推定に関する研究
・海底地熱の資源ポテンシャルマップ作成と発電経済性試算の研究

◆当該年度の取組状況

令和 6 年度において、先に示した10の重点研究課題の各研究については、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、研究所の内部評価及び外部有識者により外部評価の実施により、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。

15の基盤研究課題の各研究について、得られた知見は、重点研究課題、科学研究費助成事業及び受託研究等に成果を接続するよう取り組んだ。

重　点　分　野	(1)海上輸送の安全の確保

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。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等 －事故再現シミュレーションツールの高度化、事故簡易推定手法の検討及び開発、事故時航跡表示システムの効率化・迅速化を行う。等

○船体構造評価技術に関する研究

研　究　の　背　景

IMO における目標指向型構造基準 GBS の発効(2016.7)、及び国際船級協会連合 IACS におけるバラ積貨物船及び油タンカーの共通構造規則 CSR BC&OT が施行(2015.7.1 以降の建造契約船に適用)され、我が国では日本海事協会 NK において、全船種を適用対象とした構造規則 C 編の全面見直しが行われ公表(2022.7)された。これら構造設計規則に関する国内外の動向は、規則の形態を従来の仕様要求型から解析的手法及び実データ分析に基づく機能要求型へと設計思想を変えるものであり、規則の透明性を高めることによって設計の自由度の向上を図るとともに新技術の導入を可能にする狙いがある。また近年、船体の安全性を確保するための手段として、ハルモニタリングの利用が拡大しており、データ活用によってメンテナンスの負担軽減や設計改善が期待されている。

一方、省エネ化や省資源化の社会ニーズに応じるため、安全性を保持しつつ余剰な強度を排除した船舶の設計・建造が求められており、これを実現することが我が国の海事産業の競争力確保につながる。古くから構造設計規則には、規則に適合しない船への同等効力を認める要件が設けられているが、同等効力すなわち安全性を定量的に示す手段がなかったため、船体構造の代替設計の実現は図られなかった。しかし、前述の基準動向を背景とした数値シミュレーション技術の向上、建造や運航にかかるビッグデータの構築によって、代替設計を実現できる可能性が高まり、安全性を定量評価するための技術開発に取り組むべき時期にさしかかっている。安全性を保持するには、建造時の品質や就航後の状態量のモニタリングデータを活用して、ライフサイクルで安全性を保持する手段を視野に入れて検討することが重要である。

研　　究　　目　　標

本研究では、前期重点研究で開発した荷重構造一貫解析システム（NMRI-DLSA）及びハルモニタリングに基づく船体構造デジタルツインシステムを利用して、次世代の船体構造設計に必要な基盤技術の構築を目指す。本中期計画の期間では、安全性を確保しながら環境に適合した合理的な船舶の設計建造の実現に向け、設計・建造・運航に渡りデータを蓄積するためのセンシング技術、データ同化型の解析予測技術、データ活用技術の高度化及びこれら技術開発に必要なデータプラットフォームの構築にかかる研究を行う。具体的には、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研究開発、実データ及び数値シミュレーションに基づく荷重・構造応答推定及び強度評価に関する研究、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の評価ツール開発に取り組む。

令和６年度の研究内容

（1）建造・運航モニタリングデータによる全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発

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

建造精度自動取得システムの開発では、建造精度取得システムを作成した。実船スケールを対象に写真撮影を行い、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。

②建造時や点検・修繕時にお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

デスクトップ版搭載シミュレータの開発対応では、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、デスクトップ版搭載シミュレータを作成した。

（2）船体応答計測に基づく非線形構造応答及び強度の推定技術

①粒子法を用いた非線形船体応答の解析

粒子法を用いて数値水槽を作成し、模型試験データを基に粒子法の計算精度を検証した。

②流体構造連成解析による波浪中船体損傷挙動の検証

ボックスガーダー型船体構造 FE モデル及び流体構造連成解析のための CFD のモデルを作成した。

③波浪中応答の非線形極値予測法の開発とその実装

2023 年度に開発した RTP 法（RAO-based Translation Process）を、非線形減衰力を考慮した roll 運動に対応できるように拡張した。

④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の検証

応答関数の不確定性を表現するための確率変数を 2 つに拡張した不確定性解析を行った。

⑤水槽試験結果を用いた波浪逆推定手法の検証と高度化

GFRP 弾性模型船を用いて波浪逆推定手法を検証するためのデータ取得を実海域水槽で実施した。

（3）船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングよる管理・修繕支援技術

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

腐食進行モデルにより推定腐食衰耗量を算出するプログラムの開発を行った。

②塗装劣化・腐食進行推定結果を全船構造解析へ反映するアプリケーション開発

全船構造解析（有限要素）モデルに対し、指定した区画（要素セット）に対し腐食量推定結果を反映するアプリケーション（中間プログラム）の開発を行った。

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

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、温度変化のある実船環境を想定した応答性の評価を行った。

④局部衰耗の進行評価法の開発

バラストタンク内環境を模擬した条件の複合サイクル試験により塗膜欠陥部からの腐食進行及び実船から採取した局部腐食を有する構造材の孔食寸法の分布を評価した。

(4)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

①塗膜条件の差異等が塗膜計測に及ぼす影響の調査

膜厚計測アルゴリズムの改良、及び 2 つの超音波プローブを用いて塗膜表面粗度を計測するための基礎検討を実施した。また、実船用の超音波膜厚計の仕様を決定した。

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

多数の波長帯にわたる反射光の画像が撮影できるスペクトルカメラを用いて付着初期の藻類の検出方法を検討した。実海域で採取した海水を用いた浸漬試験を行い、樹脂板上に生じた生物由来の付着物の検出方法を検討した。

③実船の外板塗装表面状態等の調査

新造船を対象に実船の船体外板塗装の状態を実測した。電磁膜厚計による膜厚計測、形状転写材を用いた塗膜表面形状計測、及び色度計を用いた塗膜色の計測を実施した。

(5)事故時の安全性評価並びに海難事故解析のための評価ツール開発に関する研究

①塗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

波浪中動揺再現シミュレーションツールの開発を行った。

① 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 年度まで本課題で実施。2024 年度以降は、「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」のサブテーマ(4)「安全安心な海上交通環境の実現に関する研究」で実施】

③海難事故 DB システム構築・拡充及びその類型化

海難事故 DB を整理して事故原因の分類を行った。

令和６年度の研究成果

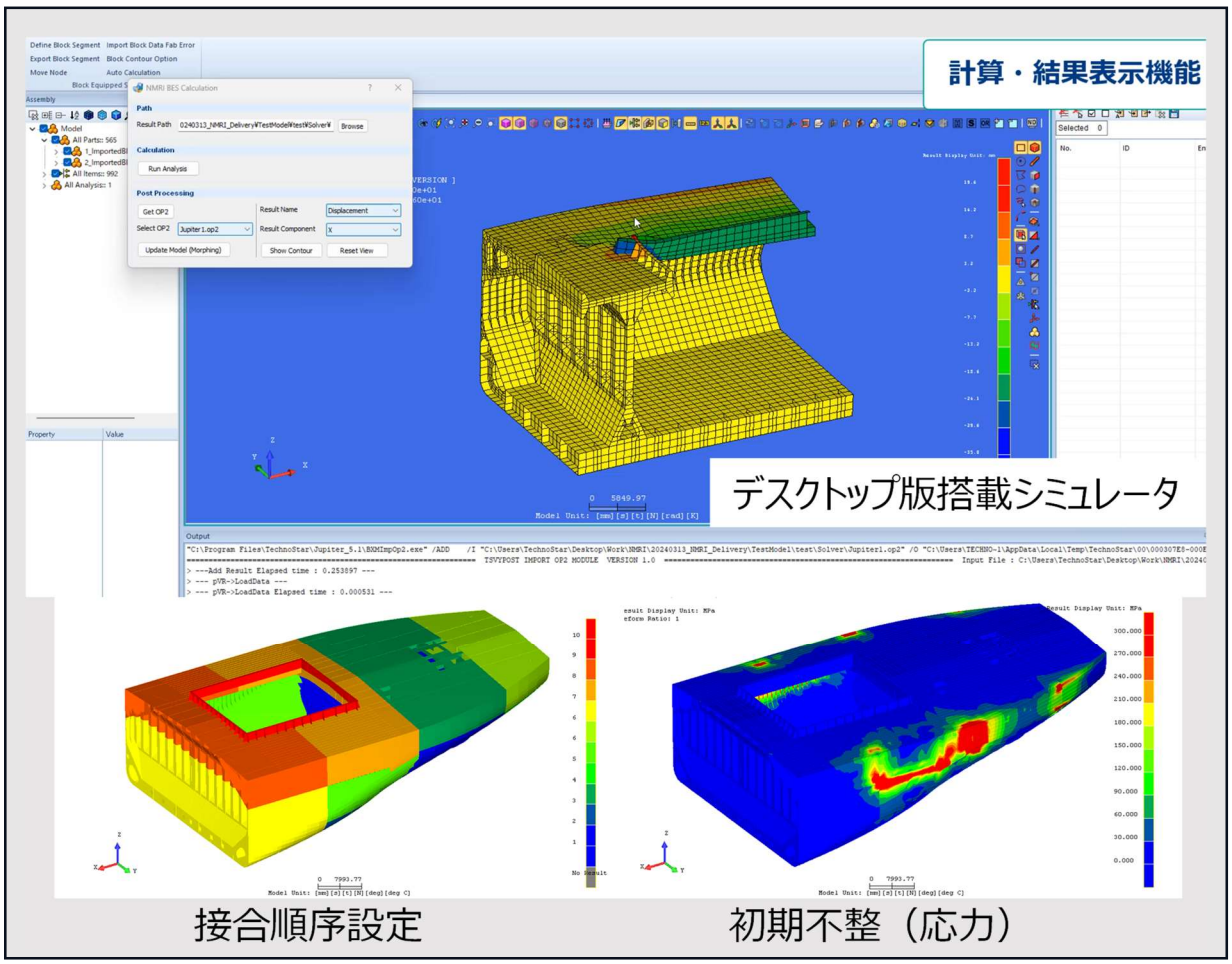
(1)建造・運航モニタリングデータによる全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発

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

建造精度自動取得システムの開発に関して、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(5m 程度のブロックに対して、誤差の目標は 5 ㎜以内のところ現状は十数㎜程度まで達成)。2023 年度の残課題である鏡面(外板塗装済)領域について形状生成が可能となった。

②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

デスクトップ版搭載シミュレータの開発に関して、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)、接合順序により発生する応力許容判定、事前対応の方策を簡易な操作で提示可能となった(図Ⅰ. 2. (1). ①. 1)。



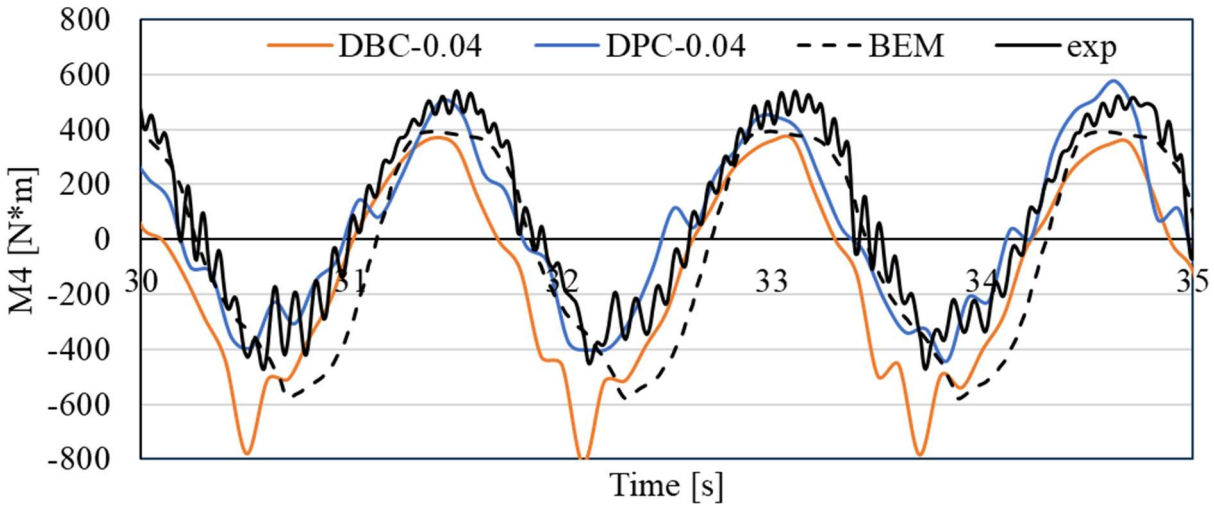
図Ⅰ. 2. (1). ①. 1　デスクトップ版搭載シミュレータの表示例

(2)船体応答計測に基づく非線形構造応答及び強度の推定技術

①粒子法を用いた非線形船体応答の解析

粒子法を用いて、船体の縦曲げモーメント等の断面力の計算が可能な数値造波水槽を作成した。粒子法で得られる局部水圧を積分して断面力を計算するための船体分割法を検討し、波浪中での非線形荷重を考慮した船体断面力の時刻歴を得ることに成功した。これまでに提案した本研究で改良したダミー粒子条件を使用して縦曲げモーメントを計算し、実験値との比較により良好な精度を得ることを確認した。

図Ⅰ.2.(1).①.2 に、全長 286.6 m のバルクキャリアを対象とした大波浪中(波高 30 m、波周期 12.8 s)における非線形船体縦曲げモーメントの時系列データの比較結果を示す。ダミー粒子条件(DPC)の計算結果を、模型実験、及び改良前の動的境界条件(DBC)と比較して検証する。参考として、非線形パネル法(BEM)の結果も示している。図Ⅰ.2.(1).①.2 より、DBC 及び非線形パネル法は実験値と大きな差があるが、DPC は実験値と良く一致しており、波浪中非線形を含む縦曲げモーメントの解析に対する DPC 法の有効性を確認した。

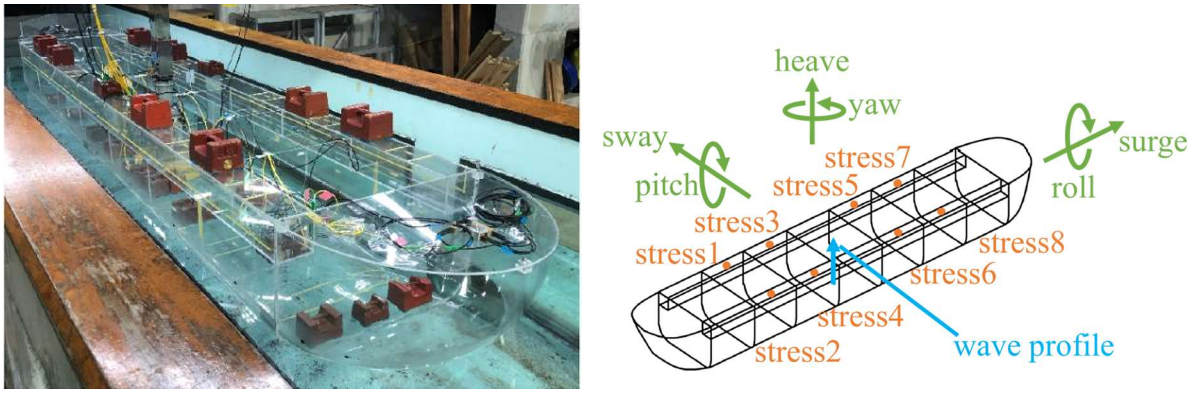


図Ⅰ．2．(1)．①．2　全長 286.6 m のバルクキャリアを対象とした大波浪中（波高 30m）
非線形船体縦曲げモーメントの比較結果
（exp：実験値、BEM：非線形パネル法（参考）、DBC：改良前の粒子法、DPC：改良後の粒子法）
（DPC により、実験値に近い高精度な解析結果を得ることができる）

②波浪中船体損傷挙動の解明及び損傷度の簡易モデル構築

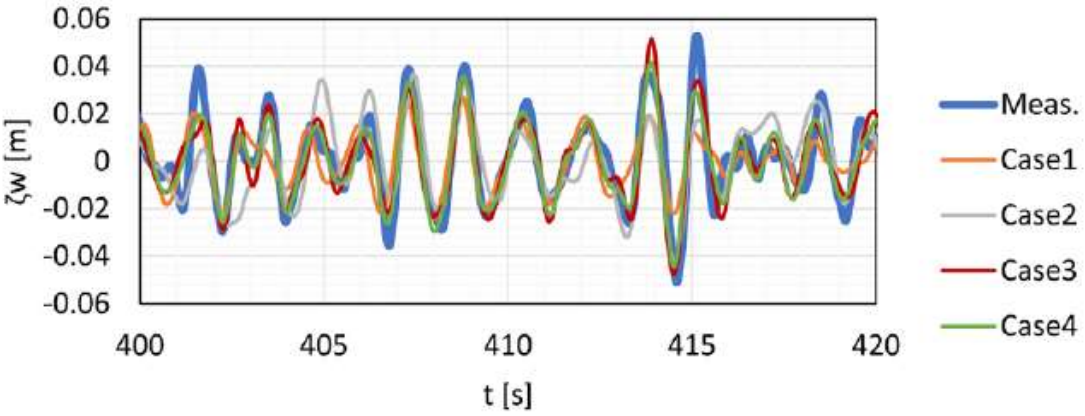
ボックスガーダー型船体構造 FE モデルを作成した。また、構造 FE モデルを用いた流体構造連成解析のための CFD のモデルを作成した。

短波頂の不規則波で測定された船体応答の信号から船舶が遭遇する波のプロファイルと測定されていない船舶の応答の時刻歴を推定するためのカルマンフィルタ手法を開発して実海域再現水槽の弾性模型実験（図Ⅰ．2．(1)．①．3）で検証した。波のプロファイルが、成分波の線形重ね合わせで表されると仮定し、波の振幅を状態変数としてモデル化することにより、波浪及び応答の時刻歴をリアルタイムで推定可能にした（図Ⅰ．2．(1)．①．4）。検証の結果、運動と歪の計測値を複合して利用することにより、良好な精度で波プロファイルを推定ができることが分かった。また、短波頂不規則波を Double Summation 法を使用してモデル化することにより、同じ周波数でありながら波の出会い角が異なる波間の干渉を考慮して方向波スペクトルを短時間で計算する方法を提案した。



(a) アクリル製弾性模型　　(b) 座標系とセンサ配置

図Ⅰ．2．(1)．①．3 アクリル製弾性模型の外観及び座標系とセンサ配置

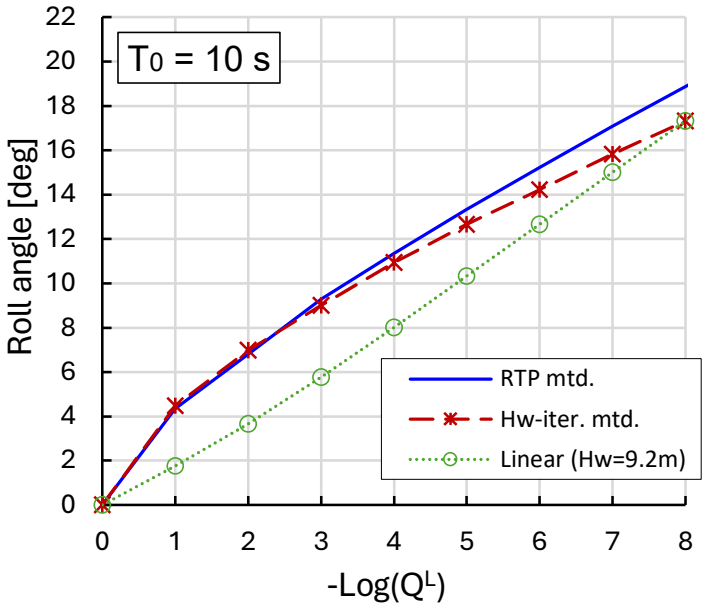


Case	Measurements
1	heave, pitch, sway
2	stress 3, 4, 5, 6
3	heave, pitch, sway, stress 3
4	heave, pitch, sway, stress 3, 4, 5, 6

図Ⅰ．2.（1）．①．4 波プロファイルの推定結果（上）と推定使用した計測項目（下）
（運動と歪の計測値を複合して利用して推定精度向上させた例）
（χ=240 度；斜向波）

③波浪中応答の非線形極値予測法の開発とその実装

2023 年度に開発した船体非線形応答の統計予測法である「RTP 法（RAO-based Translation Process）」を、非線形減衰力を考慮した roll 運動に対応できるように拡張した。ただし同手法は、減衰力の等価線形化において収束計算を必要とするやや手間のかかる手法であったため、精度を落とさずに収束計算が不要となるように手順を改良し、長期分布に対して適用した。加えて、専用のプログラムを必要としない実用性の高い「波高反復法」を開発した。この手法は非線形性を考慮した応答関数のみを用いて長期予測を行う手法で、長期最大期待値を生じさせる規則波高を求まることから設計規則波の設定にも利用できる（図Ⅰ．2.（1）．①．5 の”Linear”）。波高反復法により従来法よりも短時間で、かつ、同レベルの精度で非線形長期予測が行えることを確認した（図Ⅰ．2.（1）．①．5）。提案手法は国際学会 OMAE で発表済み、かつ国際ジャーナル Applied Ocean Research に投稿中である。さらに、提案した非線形統計手法を DLSA-Basic システムに導入した。



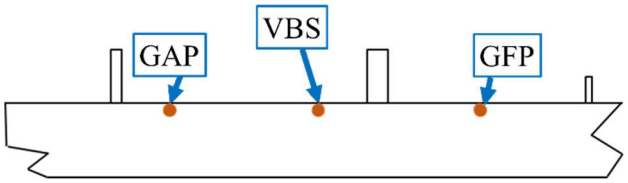
図Ⅰ．2.（1）．①．5　roll 運動の長期分布の比較

（青：RTP 法（従来法），赤：波高反復法（提案法），緑：線形（従来法（最大波高の RAO を使用）））

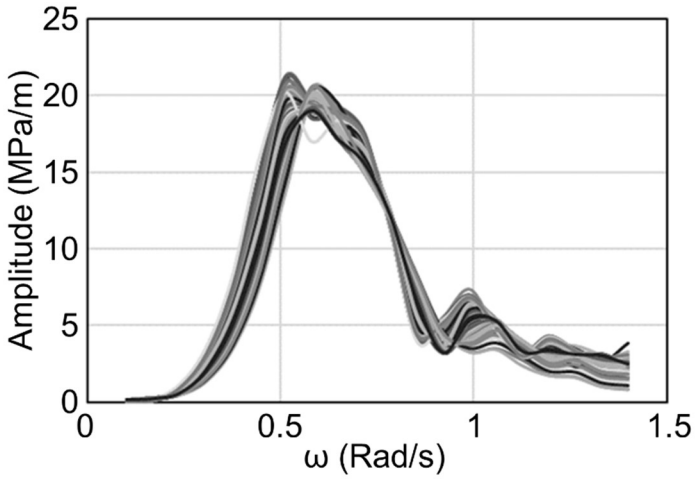
（波高反復法により従来法よりも短時間で、かつ、同レベルの精度で非線形長期予測が行えることを確認）

④船体応答に基づく波浪情報推定における不確定性（不確かさ）解析手法の検証

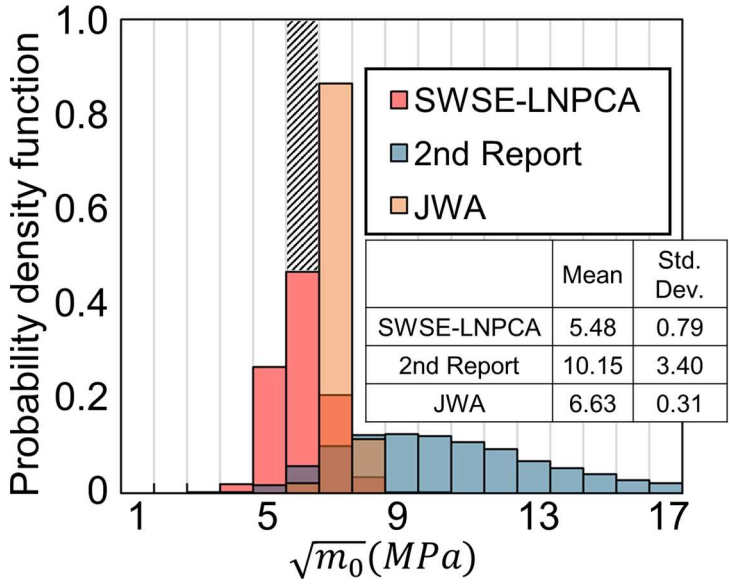
主成分分析に基づいて 2 つの確率変数を用いて応答関数の不確定性(従来の正規分布と積付のバラツキを想定した対数正規分布)を表現して不確定性解析を行い、応答関数の不確かさのモデル化が波浪情報推定の解析結果に与える影響を評価した。実際に即した波浪場での評価を行うため、方向分布関数を用いて短波頂不規則波への拡張を行い、大型コンテナ船のモニタリングデータを用いて検証した。また、任意箇所の応力の不確定性の評価手法も提案して精度を検証した。その結果、応答関数の不確定性を仮定した上で不確定性海象推定を実施して得た、提案手法による波浪情報を利用した推定値の方が、波浪追算値及び従来法を利用するよりも実測値（図中の黒斜線ハッチング部）に近く、精度良く推定できることを示した（図Ⅰ．2.（1）．①．6）。



(a) 検証に利用した船体の歪の計測位置



(b) 積み付けによる応答関数の不確定性モデルの例 （VBS、斜め向波）



	Mean	Std. Dev.
SWSE-LNPCA	5.48	0.79
2nd Report	10.15	3.40
JWA	6.63	0.31

(c) モニタリングによる検証結果

（船体中央縦曲げ応力 VBS を使用して船首 1/4L の縦曲げ応力 GFP を推定した結果）

図Ⅰ. 2. (1). ①. 6　積付による応答関数の不確定性モデル及びモニタリングによる検証結果

（SWSE-LNPCA：提案手法, 2ndReport：従来法, JWA：波浪追算を用いた推定結果）

（提案手法による波浪情報を利用した推定値の方が波浪追算値及び従来法を利用するよりも実測値（図中の黒斜線ハッチング部）に近い推定が可能）

⑤水槽試験による波浪逆推定手法の検証と高度化

波浪逆推定プログラムをベースとした確率波浪情報推定法（SWSE 法、Stochastic wave spectra estimation）の改良を行うことを目的として、以下の試験等を実施した。GFRP 弾性模型船の縦曲げ剛性の検定のための試験を実施し、歪計測が可能なレベルの剛性であることを確認した。波浪中の水槽試験計画を作成して、実海域水槽において同模型船を使用した波浪中応答試験を行い、波浪逆推定手

法を検証するための運動・ひずみデータを取得した。

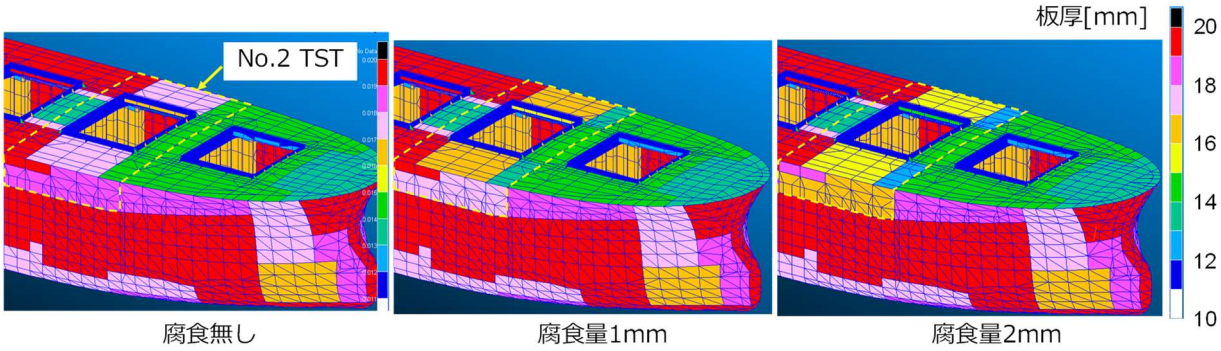
（3）船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングよる管理・修繕支援技術

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

腐食進行モデルにより推定腐食衰耗量を算出するプログラムの開発を行った。

②塗装劣化・腐食進行推定結果を全船構造解析へ反映するアプリケーション開発

全船 FE モデルを構成する要素の内、シェル要素に対し、区画と腐食量を指定して腐食（板厚減少）量を反映する中間プログラムを開発し（図Ⅰ．2．（1）．①．7）、任意の時点の腐食量推定値に対する構造強度評価を可能とした。モデルを構成する他の要素（梁要素、棒要素）への反映機能について引き続き開発を継続する。

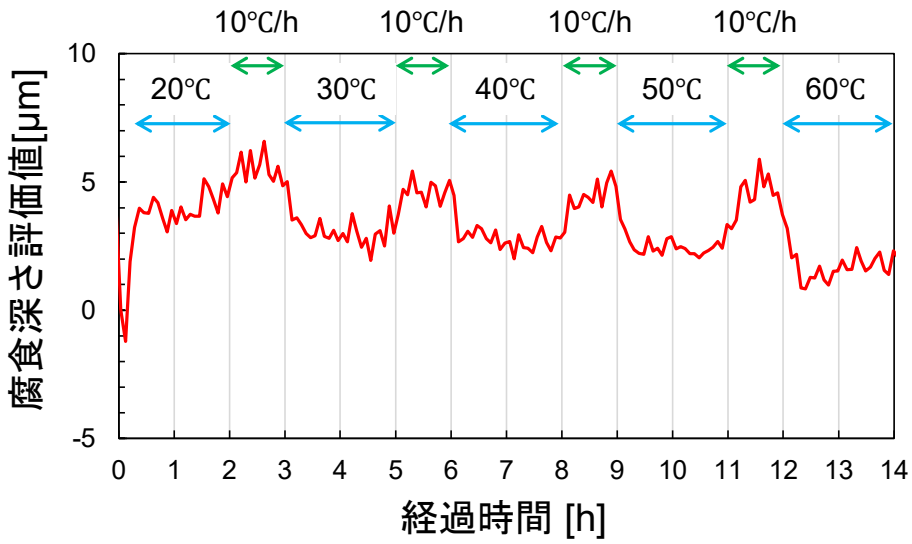


図Ⅰ．2．（1）．①．7 プログラムによる全船 FE モデル（No.2 トップサイドタンク）への腐食量反映の例

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

腐食進行検知センサ（図Ⅰ．2．（1）．①．8）の電気抵抗法による計測部分について、船舶の生涯腐食量（約 4mm）に対して「検出分解能（計測結果の安定性）＜ 5μm」が確保されていることを確認し、船の検査間隔 2.5 年よりも短い期間の腐食進行を評価可能であることを確認した。一方で、温度変化が早い環境では温度補償（図Ⅰ．2．（1）．①．9 参照）電極との温度応答速度の違いにより計測の正確性が低下しており、次年度更に応答性を向上させる改良を実施する。

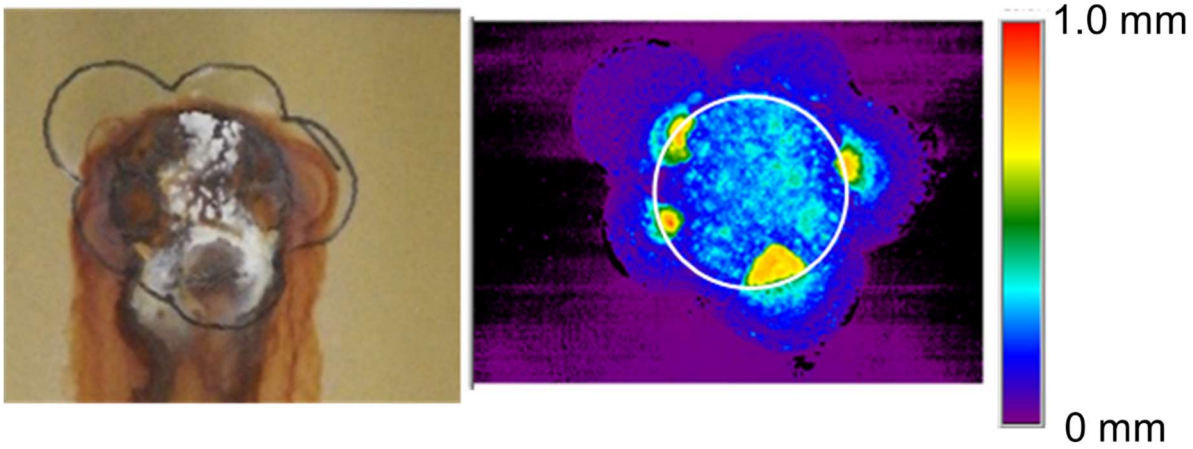
図Ⅰ．2．（1）．①．8 試作腐食進行検知センサ



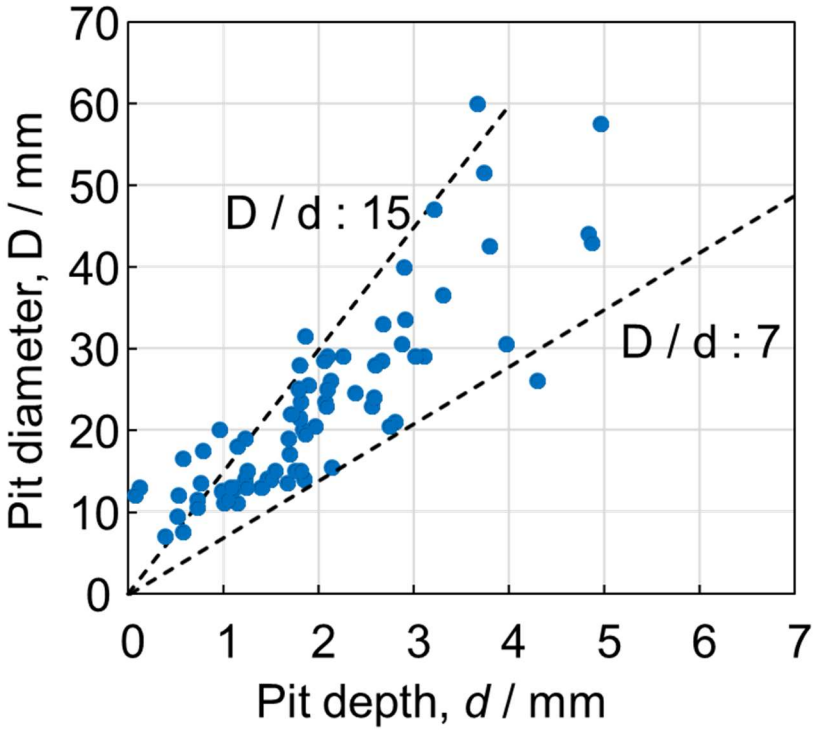
図Ⅰ．2.（1）．①．9 センサによる腐食量検出分解能及び温度補償部応答性の評価
（実腐食量 0 μm に対する計測値は温度の影響を受けて最大 7 μm 程度シフトしたが、
生涯腐食量 4 mm と比較して十分小さく、定温保持した際のドリフト量は極めて小さい
（5μm 以下）ことから、 十分な計測精度があることを確認した）

④局部的衰耗の進行評価法の開発

塗装欠陥部からの腐食進行は、欠陥中央部よりも外縁で腐食速度がより大きい（図Ⅰ．2.（1）．①．10）ことから、初期欠陥寸法が局部腐食状態に影響することを確認し、塗装品質・欠陥寸法を制御した試験片により系統的な試験を実施中である。また、実船バラストタンクに生じた孔食寸法は、過去に貨物倉で確認された孔食よりも扁平な傾向にあることを確認した（図Ⅰ．2.（1）．①．11）。これらにより、局部腐食の進行に伴う構造強度の低下を評価するための基礎的知見を得ることが出来た。



図Ⅰ．2.（1）．①．10 複合サイクル試験後の塗装欠陥部周囲の腐食深さ分布

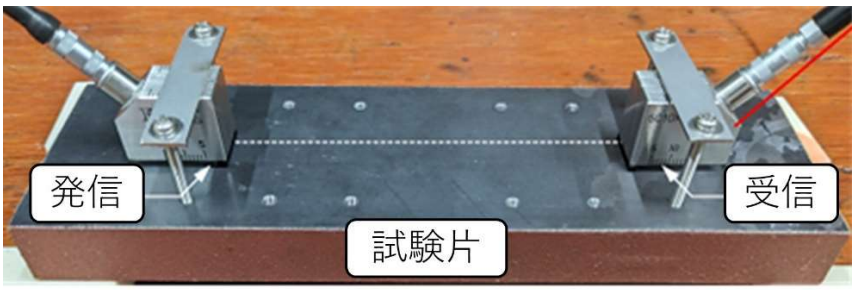


図Ⅰ．2.（1）．①．11　実船タンク構造材に生じた孔食形状分布
（プロットより、実船バラストタンクの孔食の直径/深さの比（D/d）が 7～15 程度となった。
オイルタンクでは、D/d の値は 4～10 程度といわれており、バラストタンクのほうが
扁平な傾向にあることを確認した。）

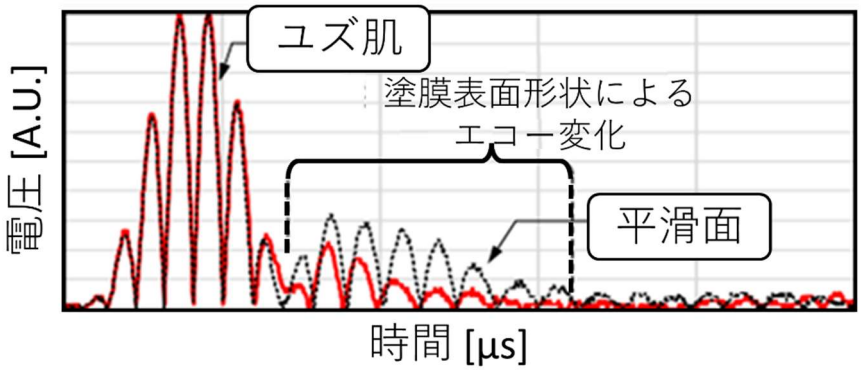
（4）船体外板の in-situ モニタリングによるメンテナンスの高度化

①塗膜条件の差異等が塗膜計測に及ぼす影響の調査

2 つの超音波プローブ（発信、受信）を用いて塗膜表面形状を評価する方法の基礎的検討を実施した。発信プローブから発射された超音波のうち、プローブ接触面の対面（裏面）を伝播する成分に着目し、塗膜表面形状によるエコー変化を調べた。平滑な塗膜、凸凹がある塗膜（ユズ肌）のそれぞれの試験片を実測し、超音波エコーに明確な差が生じることを確認した（図Ⅰ．2.（1）．①．12）。



(a) 超音波計測による塗膜表面形状評価装置の外観

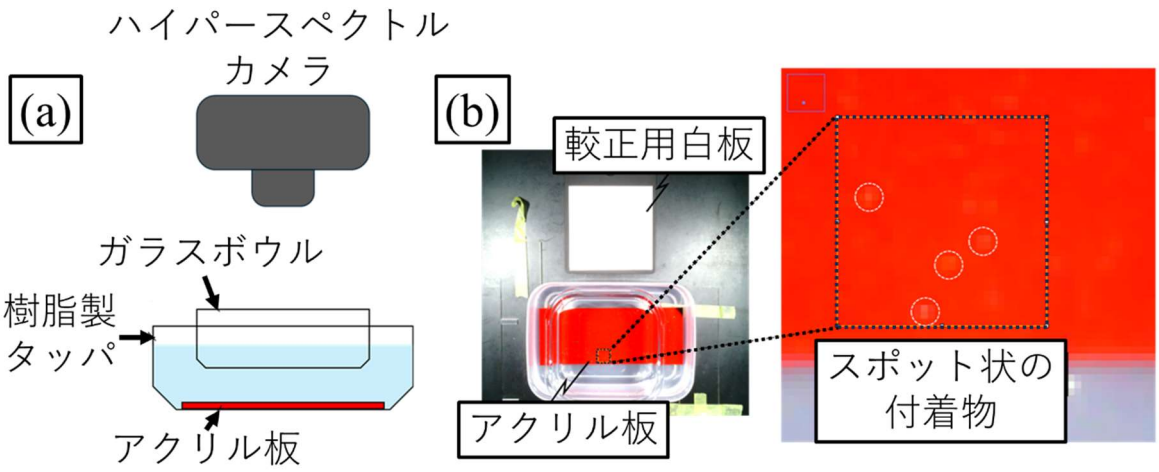


(b) 計測されたエコー変化例

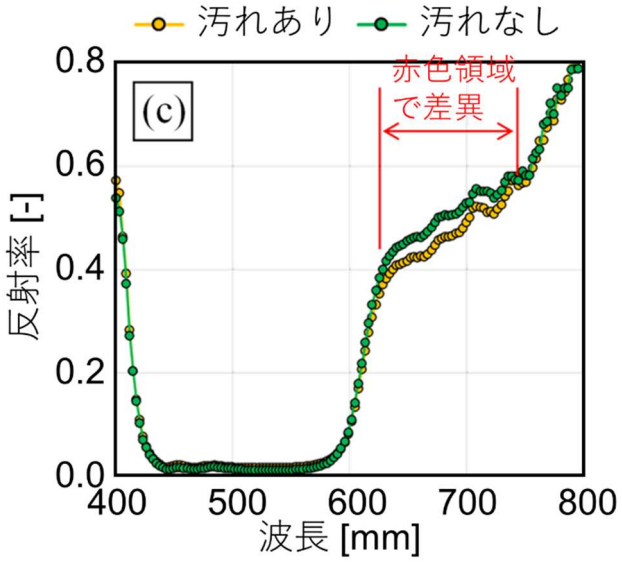
図Ⅰ. 2. (1). ①. 12 超音波計測による塗膜表面形状評価の基礎検討

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

実海水中に赤色のアクリル板を 1 日程度浸漬した上、ハイパースペクトルカメラで表面を撮影した。アクリル板を水中に置いた状態でガラスボウルを箱眼鏡の様に用いて撮影を行った。撮影により得られたスペクトル画像を解析し、赤色の波長の領域(620-740nm)で付着物の有無による明確な差が確認できた(図Ⅰ. 2. (1). ①. 13 (c))。



(a) ハイパースペクトル撮影の概要　　(b) 実海水浸漬による付着物



(c) 付着物(汚れ)の有無によるスペクトルの差 (横軸:波長、縦軸:反射率)

図Ⅰ. 2. (1). ①. 13 スペクトル画像解析による生物付着検出

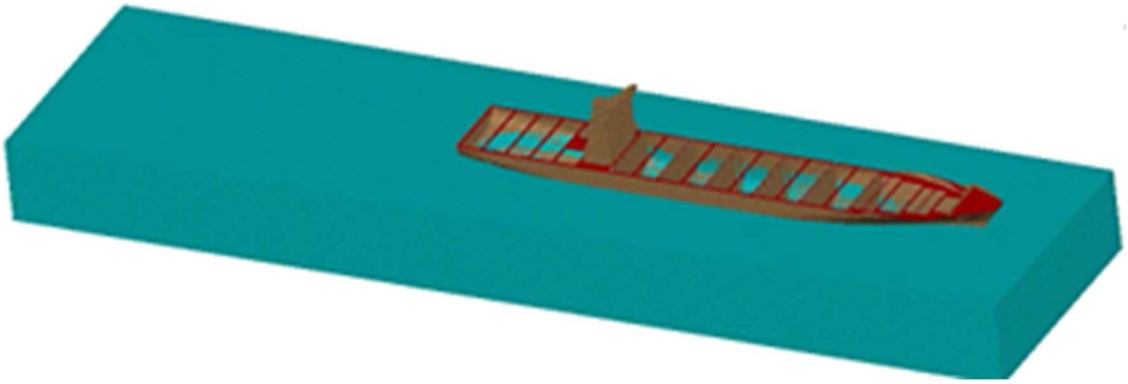
③実船の外板塗装表面状態等の調査

進水直前の新造船を対象に外板塗装表面状態の定量的データを取得した。船底の 18 カ所について、電磁膜厚計による塗装膜厚の計測、形状転写材を用いた塗膜表面形状計測、及び色度計を用いた塗膜色の計測を行った。超音波計測等の実船適用に向けて有用な外板塗装表面状態に関する基礎的なデータを得た。

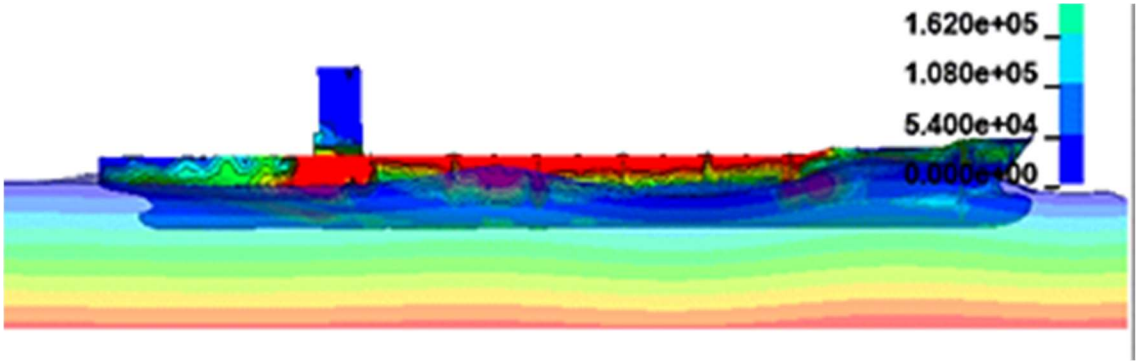
(5)事故時の安全性評価並びに海難事故解析のための評価ツール開発に関する研究

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

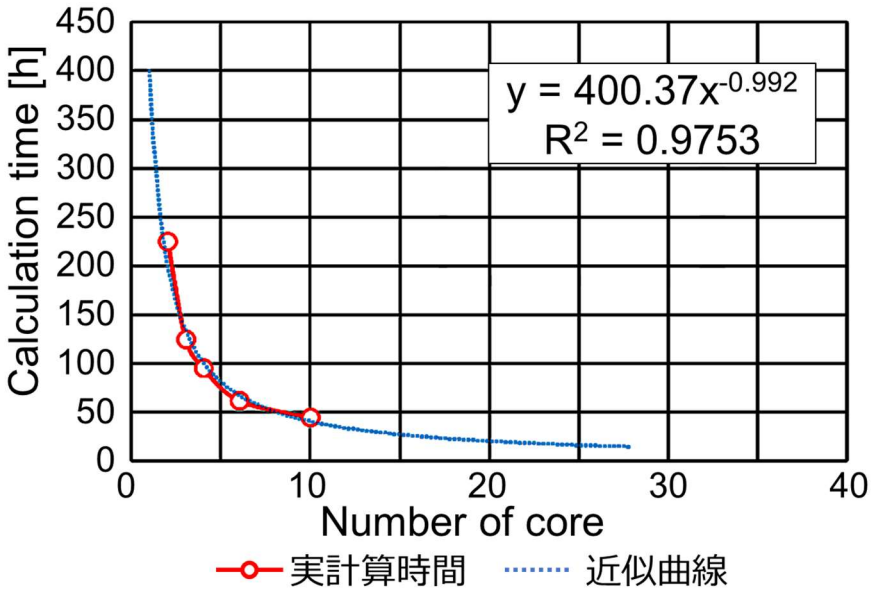
これまでに構築した衝突・座礁・折損等事故再現用モデルを基に、大型船の波浪中動揺再現モデルの作成及び試解析を実施した。船体モデル(①簡易モデル(弾性)、②詳細モデル(弾塑性))及び検証用の数値水槽を新規作成し、効率化・高速化を行った。また、波高・波長を変化させた規則波中のシリーズ解析を実施し、ロバストに比較的良好な結果が得られることを確認した。コア数と計算時間の関係は、一例であるが、図Ⅰ. 2. (1). ②. 1 の通り、従来 60 秒間の計算に対して 10 日程度要していたところ、2 日程度で計算できることを確認した。なお、本課題において作成した動画連続作成マクロプログラムをプログラム登録すると共に、解析例の動画を海難事故解析センターの HP において公開した。



図Ⅰ．2.（1）．②．1　大型船の波浪中動揺再現例



図Ⅰ．2.（1）．②．2　大型船の波浪中動揺再現例　（流体構造強連成解析）
流体コンター（圧力）、船体コンター（縦曲げ応力）



図Ⅰ．2.（1）．②．3　コア数と計算時間の関係
（大型船の 60 秒間の計算に要した時間（実値及び近似曲線））
（計算時間はコア数に応じて短縮される）

②海難事故 DB システム構築・拡充及びその類型化

座礁事故の解析においては、対象を 15 GT 以上に範囲を広げて実施した。座礁事故の類型化（居眠り（229 件から 777 件へ増加）、悪天候(77 件から 134 件へ増加）を実施した。解析例として、座礁事故における原因（大分類）「悪天候」及び「居眠り」の更なる原因（小分類）のランキング（条件付き確率別）を図Ⅰ．2．（1）．②．4 及び図Ⅰ．2．（1）．②．5 に示す。

⑤濃霧	22.4%
③潮流	16.4%
②強風（台風でない）	16.4%
①強風による走錨	15.7%
④台風	10.4%
⑥うねり	5.2%
⑦台風による走錨	5.2%
⑧悪天候によるレーダー映像の乱れ	3.0%
⑩雨	2.2%
⑨錨泊中の強風による触れ回り	1.5%
⑪雪	0.7%
⑬高波	0.7%

図Ⅰ．2．（1）．②．4　座礁事故の原因「悪天候（大分類）」の原因（小分類）ランキング（条件付き確率）

①単なる居眠り	80.4%
⑥当直交代時の連携ミス	7.9%
②（主に）飲酒に起因する居眠り	4.5%
③その他（薬服用、病気、体調不良）	4.2%
④居眠り防止装置があるのにoffにしていた	1.9%
⑧居眠り防止装置が居眠りを感知（検出）しなかった	0.4%
⑤飲酒＋「居眠り防止装置」の電源をoffにしていた	0.4%
⑩その他（居眠り）	0.1%
⑨薬服用+飲酒	0.1%

図Ⅰ．2．（1）．②．5　座礁事故の原因「居眠り（大分類）」の原因（小分類）ランキング（条件付き確率）

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Yusuke Komoriyama, Kazuhiro Iijima, Hidetaka Houtani, Tatsumi Akira, Masahiko Fujikubo: Kalman filter technique for estimating encountered wave profiles and unmeasured ship responses using measurement data in short-crested irregular waves, Applied Ocean Research, Volume 155, 104453, (2025).

□各種表彰の受賞：1 件

・Hiromi Kubo, Tetsuo Okada, Xi Chen, Yasumi Kawamura, Taiga Mitsuyuki, Ginga Hayakawa: OMAE 2023 CONFERENCE BEST PAPER AWARD, Structures, Safety and Reliability Symposium, Bayesian Updating of Estimated Parameters Representing Multi-Modal Directional Wave Spectrum Using Measured Ship Hull Stresses, 2024 年 6 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件

・波浪逆推定プログラム

・LSPP を用いた数値解析結果のシミュレーション動画の自動連続作成プログラム

□その他

◆国際活動：2 件

・岡正義: ISSC/ I.2 Loads committee 委員（Web 会議、Proceedings の作成等）

・山田安平: ISSC/ V.1 Accidental Limit State 委員（Web 会議、Proceedings の作成等）

◆その他の全文査読付き論文等：1 編

・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 −第三報−短波頂不規則波への適用及び応力応答の不確定性評価，日本船舶海洋工学会論文集，第 40 巻，pp. 145−156，（2024）.

◆その他発表論文：6 編

・Yusuke Komoriyama, Kazuhiro Iijima, Akira Tatsumi: Wave time history estimation by Kalman filter technique using ship response data with forward speed, Proceedings of the 37th Asian−Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2024), (2024).

・松井貞興: 船体非線形 roll 運動の短/長期予測に対する RTP 法の実用化，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 817−824, (2024).

・松井貞興，岡正義: RAO に基づく非線形 roll 運動の長期分布の簡易計算法，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 809−815, (2024).

・小森山祐輔，松井貞興，岡正義，田中義照，杉本圭: 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コンテナ船モデルを用いた検討ー，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 737−744, (2024).

・今井輝，岡田哲男，陳曦、川村恭己，早川銀河，満行泰河: 主成分分析による次元削減を用いた実船計測応力に基づく遭遇方向波スペクトルの推定，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 1051−1058, (2024).

・藤本修平: ハイパースペクトルカメラによる海水浸漬試験片の汚損モニタリング，2025 年度日本付着生物学会総会・研究集会研究発表要旨集, (2025).

◆公開実験：1 件

・浮体式風車の不規則波中の水槽試験（9/14，洋上風力発電 PT との共同開催）

重　点　分　野	(1)海上輸送の安全の確保

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。等

○船舶の安全運航のための性能評価に関する研究

研　究　の　背　景

国土交通省第 5 期技術基本計画において、自動運航船等の実用化や基準策定、新技術の社会実装による新価値創造につながる技術研究開発、国際基準・標準策定への参画、気象災害に対するリスク低減等の課題が掲げられている。これらの課題に対応するため、操船リスクシミュレータを用いた自動運航船の認証に必要な操縦運動計算モデルの高精度化とモデルを簡易に構築する手法の開発、実船の総合性能評価のための実船、水槽、CFD の 3 者を統合したシミュレーション技術の開発、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の 4 つの研究課題に取り組む。

研　究　目　標

自動運航船等の実用化に向けた研究開発として、低速時の離着桟操船を再現できる操縦運動数学モデルについて、制限水域影響も含め船体に作用する流体力モデルの定式化を完了する。及び、モデル係数の簡易構築手法を考案し提案する。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を調査し、レビュー論文を作成する。自由航走データからのモデル同定手法を開発し論文化する。実践の総合性能評価のためのシミュレーション技術の開発においては、Model Based System Engineering（MBSE）に対応する Function Mockup Unit（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をコード実装し、提供する。港湾内での実船操縦運動シミュレーション手法を構築し、計算を実施する。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では、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を開発する。成果を反映し、危険を回避する操船支援システムを提供する。小型船舶の安全性に関する規則策定に係る技術支援を行い、知見を規則に反映する。港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発においては、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を構築する。

令和６年度の研究内容

（1）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

①低速時操縦運動を推定するための数学モデルの自由航走試験結果からの検証

離着桟操船時に行われるプロペラ遊転中の舵力特性を検証するための模型試験を行い、遊転時想定の数学モデルを提案し、モデル内係数を解析することで、遊転中の舵の流体力特性を明らかにした。また、低速時操縦運動モデルを検証するための自由航走試験について、外部機関との共同研究体制を敷きつつ実施内容を拡張し、当初予定より 1 隻増やして 2 隻分の検証用データを取得した。当初予定より水槽試験回数を増やし、2 度目が年度末時期となったこともあり、シミュレーション結果と自由航走試験結果の比較については持ち越しとなった。

制限水域中の操縦流体力推定ツールの調査研究について、調査を完了させ調査結果を論文に纏めた。

②進化計算手法（焼きなまし法）による、模型船自由航走データからの巡航速力時操縦運動モデル同定の総括と低速時運動モデルのための基礎検討

低速用モデルへの適用に先駆けた検討という位置づけで、巡航速力時モデルの係数同定のための焼きなまし法の設定や操縦性指標の利用等の方法論を整理し、モデル同定のための総括を完了した。成果は国際会議 IWSH2025 で公表するために取り纏めた。また、低速時モデル同定への道筋として、前述の低速自由航走試験の実施により、利用する操縦性指標に関する基礎検討を行った。

③側壁影響を検証するための実験装置設計、及び狭水路運航中の流体力特性推定法の開発

水槽模型試験で側壁影響を検証するための垂直壁（模擬岸壁装置）を実海域再現水槽に設置することを想定し、実験装置としての仕様を検討・試設計した。実製作及び水槽試験は 2025 年度に行う予定である。

狭水路については、科研費分担者（九大）によって実験と CFD を比較検証しながら計算ツールと操縦運動モデルの開発を進めている。本年度は非定常の PMM 試験の流体力を CFD で再現可能なことを確認し、検証結果を 2025 年度開催の国際会議 MASHCON に投稿した。また、次年度向けの水路模型を科研費にて製作した。

（2）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

①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

実船性能の高精度推定に向け、粗度モデル及び塗料モデルの文献調査及びモデル開発、データ同化手法の開発を継続して行った。重合情報生成に必要な計算コストを削減する事でより大規模な計算を可能にする、並列処理に適した重合情報生成アルゴリズムを開発した。格子ボルツマン手法とのハイブリッド手法について、フルマルチグリッド手法及び埋め込み境界法の導入に着手した。

②港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発

港湾内操船を主とした操縦性能推定に向けて、研究内容(1)と連携し、水・空気両方の流場を計算する事で外乱影響を考慮した港湾操船状態のシミュレーション手法の開発を行った。

（3）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

①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

水槽試験でより精度の高い波浪場再現のために提案する造波法を検証するために実海域再現水槽で造波試験を実施した。また、波浪中の復原力変動を考慮した横揺れ 1 自由度のパラメトリック横揺れ計算を実施し、模型実験結果と比較して精度と改良点を検証した。

②国際基準計算ツールの整備・統合及び船舶設計要素の検証

第二世代非損傷時復原性基準で扱う 5 つの危険モードすべての脆弱性評価計算コードを統合したソフトを開発した。また、不適合が多いと指摘されている過大加速度モードについて、設計段階で検討できるパラメータの感度解析を行い、効果を数値化して示した。

③小型船の復原性試験法の提案

（国研）水産研究・教育機構水産技術研究所の調査船「たか丸」で復原性試験及び旋回試験と傾斜試験を実施し、旋回時に船体に働く力の釣り合いによる内方・外方傾斜角と GM の関係を計測して推定法を検討した。

（4）港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

①錨泊中の船体に働く外力の推定手法の研究

痩せ型船型の振れ回り運動を想定した操縦流体力の計測を行った。また、昨年度計測をした肥大船の操縦流体力の計測結果を用いて解析手法の検討を行った。風外力については、錨泊頻度が高く、既存の風圧力推定モデルの対象外になる内航タンカー船型の風洞試験を行い、推定モデル改良のためのデータを取得した。

②錨泊時の喫水状態を考慮した波漂流力のデータベースの構築

前進速度のない状態での波漂流力のデータベースを構築するため、3 次元パネル法のプログラムを用いて波漂流力の計算を実施した。

③航海計器と航海機器などと連携させる手法の確立

航海計器や航海機器から船内 LAN を介してデータを取得するプログラムの拡張を行った。また船上での活用以外の社会実装として、陸上支援システムでの活用もできるようにプログラムを改良した。

令和６年度の研究成果

（1）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

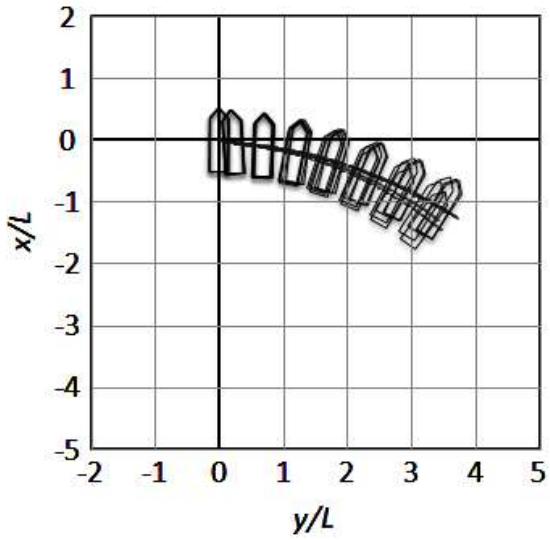
①低速時操縦運動を推定するための数学モデルの自由航走試験結果からの検証

プロペラ遊転想定時の舵力モデルにおける流体力特性に関する貴重な解析結果を得て、その結果を日本船舶海洋工学会令和 6 年秋季講演会で公表した。具体的には、当該状況下における舵の有効伴流特性・船体と舵の干渉特性・操縦運動中の舵への左右方向の流入流速特性（整流係数）を初めて明らかにした。

数学モデル検証用の自由航走試験の実施について、低速時操縦運動モデルの検証について共通目的を有する外部機関と共同研究体制を敷いて、新しい試みとして、海技研で開発していた自由航走模型試験用ダクトファンシステムをサイドスラスタの代替とした離着桟操船模擬実験を行った。対象船は当初予定より 1 隻増やして 2 隻とし（170m 級ケミカルタンカーと 350m 級コンテナ船）、このための試験方案の整備や模型船セッティングの方針検討をした上で、真横移動やその場旋回など、離着桟操船を想定した自由航走データを取得した（図Ⅰ.2.(1).①.14）。これら結果及び試験法は今後、公表予定である。

本研究で得た知見は、日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着桟時操縦運動を予測するための数学モデルに関する研究委員会(P-69)」において、当該モデルに関する研究方法の決定等といった委員会活動に貢献した。また、（一財）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」では、本研究で得た知見により、同会が発行する自動操船システム認証のためのガイドライン策定に貢献した。

また、本テーマの担当者は、国際水槽試験会議(ITTC)の操縦性委員会(Maneuvering Committee)に第 31 期委員として参加し、当該委員会のタスクのうち本研究と関連性のあるタスクの担当者として本研究で得た知見を委員会報告書に反映するための活動を行った。



図Ⅰ.2.(1).①.14　170m 級ケミカルタンカーを対象とする
ダクトファンシステムを用いた真横移動模擬試験の航跡
（真横移動時の結果、試験精度確認のため 5 回計測し船体プロットは 20 秒ごとに 5 回計測分を重ねて表示）

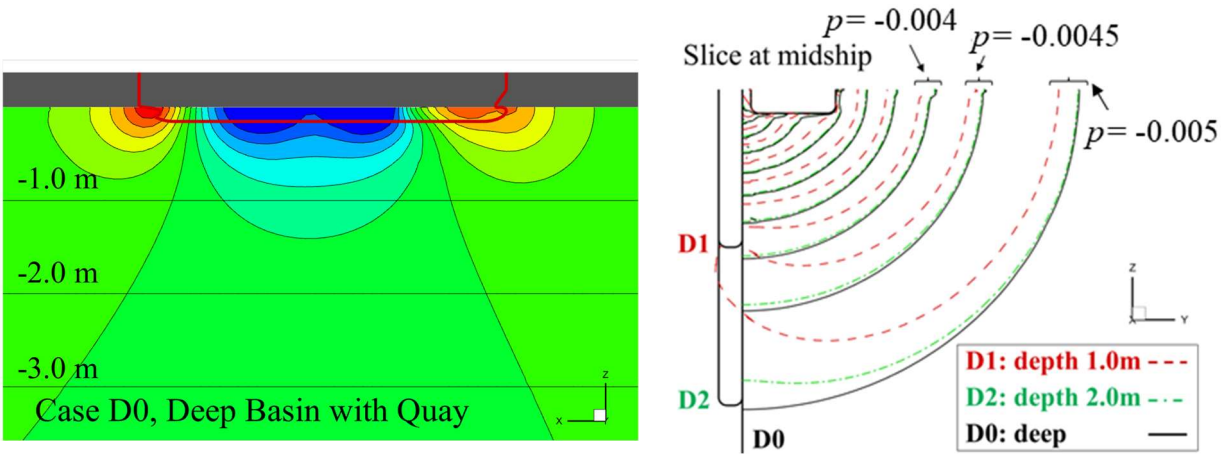
②進化計算手法（焼きなまし法）による、模型船自由航走データからの巡航速力時操縦運動モデル同定の総括と低速時運動モデルのための基礎検討

巡航速力時のモデルとして MMG 標準型モデルを前提とし、進化計算手法の一つである焼きなまし法を適用して操縦性指標（旋回試験時の Advance や Tactical Diameter、Zigzag 試験のオーバーシュート角、等）のみからモデル係数を同定するための設定（温度パラメータの更新）や方法論（同定対象とすべきモデル係数の選定）の総括を行い、同法の適用によって自由航走データから同定されたモデルによって操縦運動が精度良く推定できることを確認した。研究成果は国際会議 IWSH 2025 で公表予定である。

③側壁影響を検証するための実験装置設計、及び狭水路運航中の流体力特性推定法の開発

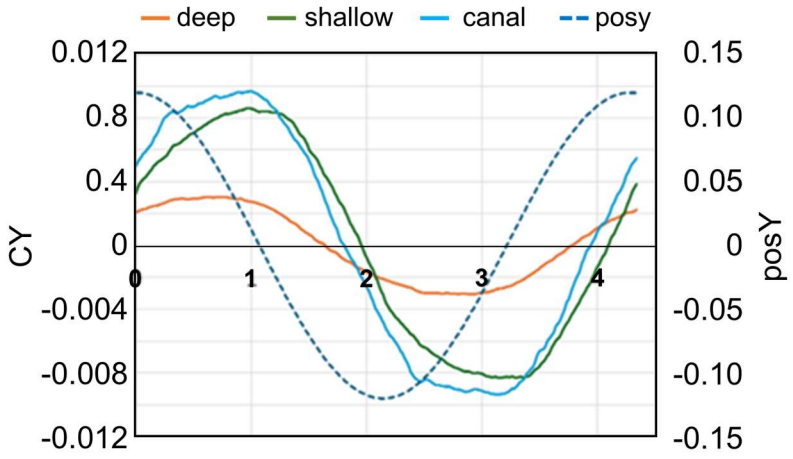
水槽模型試験で側壁影響を検証するための垂直壁（模擬岸壁装置）の仕様を決定した。具体的には、実海域再現水槽の水槽内に設置する前提で、流体力学的に無限水深及び十分長と見なせる垂直壁の寸法の検討、垂直壁の設置強度を検討するための作用流体力の推定、当該水槽に設置するための構造体や設置手順の検討を行い、実験装置としての設計を完了した。これら検討には海技研 CFD ソルバーNAGISA を活用し、側壁に平行に進行する船体まわり圧力場の計算結果から側壁深さは 2m で十分と判断した（図Ⅰ.2.(1).①.15）。一部成果は日本船舶海洋工学会令和 6 年秋季講演会で公表し、2025 年度も日本船舶海洋工学会令和 7 年春季講演会や国際会議（PRADS2025 を予定）で公表予定である。

狭水路については、水路内の操縦運動モデル構築とともにその検証のための水路内自由航走を実現する必要がある。CFD による自由航走直接シミュレーションの前段階として、非定常拘束試験である PMM 試験の CFD 計算を水路内で実施し（図Ⅰ.2.(1).②.16）、九大水槽での実験結果と比較検証した。図Ⅰ.2.(1).①.16 の(a)では横力の時間変化を約 1 周期分示しているが、浅水（canal）や狭水路（shallow）では深水（deep）に較べて流体力が増加する様子を捉えた。また図Ⅰ.2.(1).①.16 の(b)では実験値（マーク）と計算値（線）が横力（cy）と回頭モーメント（cn）については良好に一致した。前後力（cx）は位相に乖離があるが振幅は推定できることがわかった。以上より水路内の pure sway 運動については高い精度で CFD シミュレーションできることを示し、水路内の非定常運動を CFD で直接シミュレーションできる可能性を示した。この結果は国際会議に投稿し、発表予定である。



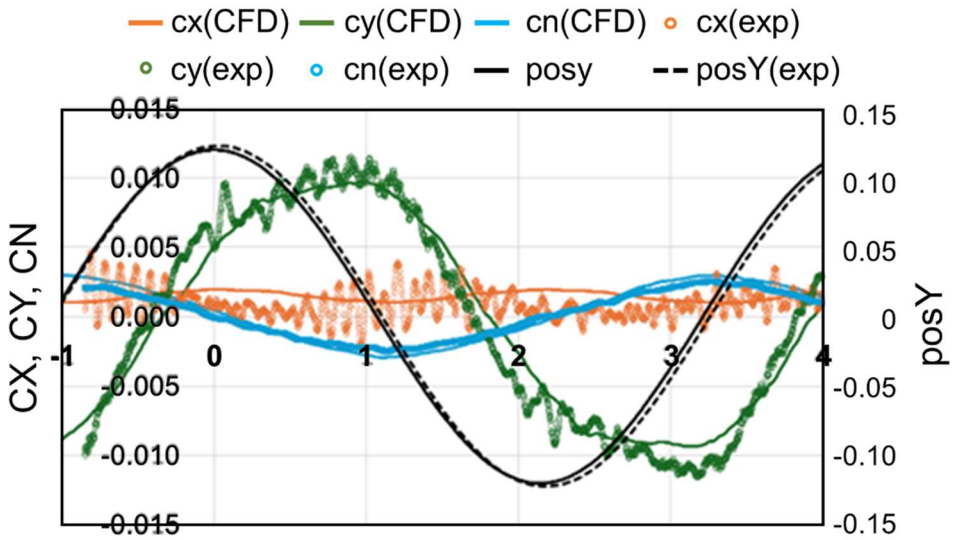
図Ⅰ.2.(1).①.15　CFD を用いた模擬岸壁装置の仕様検討結果

（左：十分深い側壁の壁面圧力分布、右：側壁深さ変更時の船体中央の横断面圧力分布の変化）



(a) CFD による深水・浅水・水路内の横力（CY）比較

（縦軸右側 posY は横方向変位を船長で割って無次元化したもの。横軸は無次元化時間(時間×船側/船長)である。浅水（canal）や狭水路（shallow）では深水（deep）に較べて流体力が増加）



(b) 水路内の実験値と計算値の比較

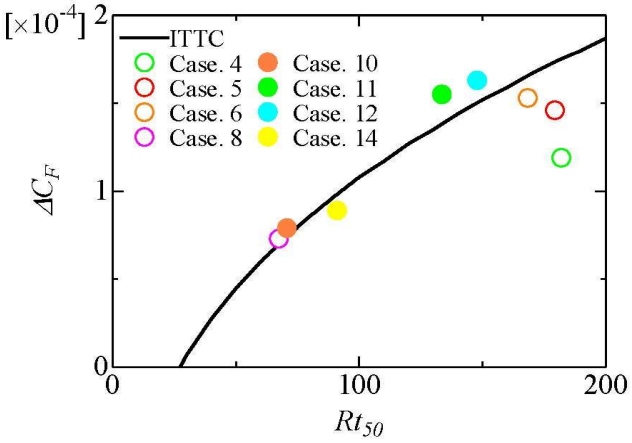
（縦軸右側 posY は横方向変位を船長で割って無次元化したもの。横軸は無次元化時間(時間×船側/船長)である。横力（cy）と回頭モーメント（cn）について実験値（マーク）と計算値（線）が良好に一致）

図Ⅰ.2.(1).①.16　PMM pure sway motion 時の力の時系列

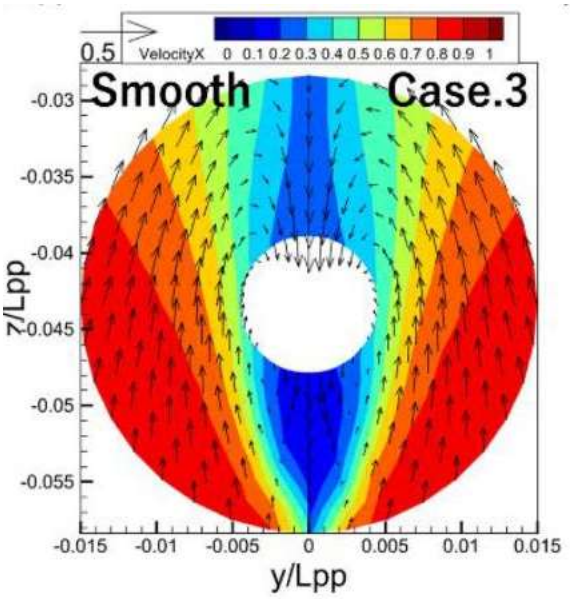
（2）総合性能評価のための CFD によるシミュレーション技術開発

①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

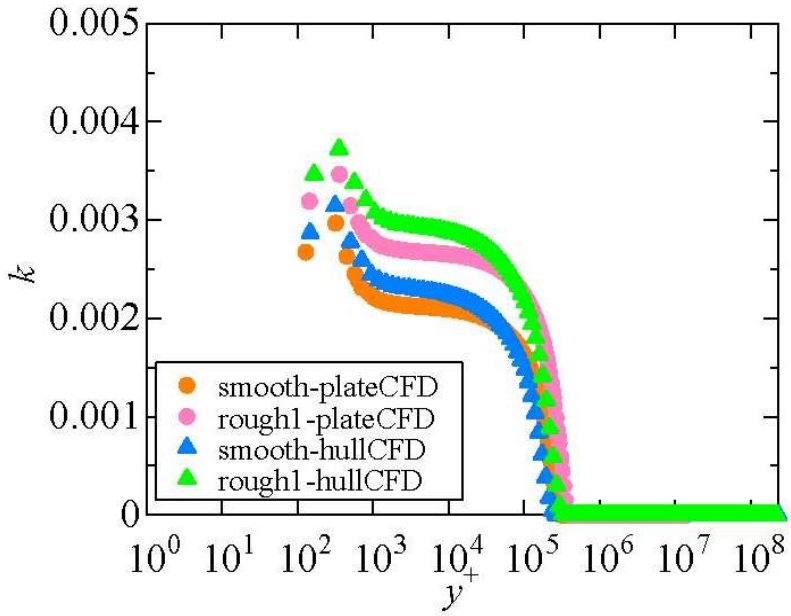
実船性能推定のための数理モデル及び新規手法として粗度塗料モデルを開発した(神戸大学との共同研究)。実際の塗料を使った計測データに基づき、シミュレーションの粗度モデルに使用する等価砂粗度を導出する方法を開発した。各種粗度と国際試験水槽会議(ITTC)の推奨プロシージャにある粗度修正係数推定式との関係を示し、塗料のパラメータの影響を明らかにした(図Ⅰ.2.(1).①.17(a))。さらに、滑面と塗料粗面に基づく船尾伴流の違い(図Ⅰ.2.(1).①.17(b))、物体表面近傍での乱流エネルギー分布の違い(図Ⅰ.2.(1).①.17(c))等を示した。データ同化手法の開発を継続し、並列処理等を新たに加え、ジャーナル論文等での成果発表を行った。重合情報生成において格子間の干渉非干渉処理、物体運動等により格子が動く際の格子間の関係が変わらない場合の例外処理、重合関係が完全に成立しない場合には近傍計算セル群から補間することで回避するアルゴリズムを開発することで大規模計算においても計算コストを削減した。格子ボルツマン手法と有限体積法による新たなハイブリッド手法においてフルマルチグリッド手法を導入し、計算時間を約 1/3 にできることを示した。



(a) 等価砂粗度モデルに基づく各種粗度による粗度修正係数(図中マーク)とITTC 推定式との比較
(縦軸:粗度修正係数、横軸:平均粗度高さ、黒線:ITTC 推定式、マーク:各種塗料パラメータによる推定値)



(b) 滑面(図中左側)と粗面(図中右側)での船尾の伴流分布の違い

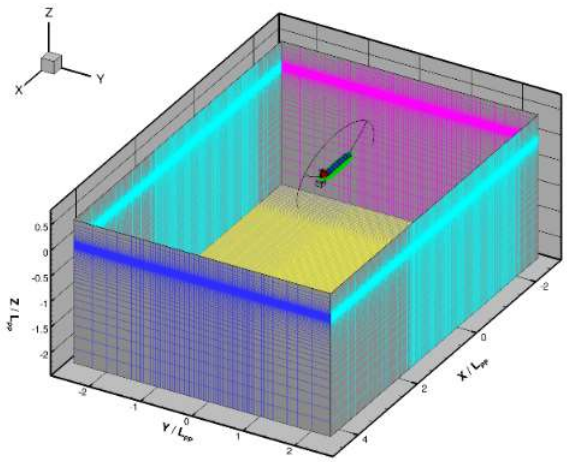


(c) 滑面(図中 smooth 表記)と粗面(図中 rough 表記)での物体表面近傍での乱流エネルギーの違い
(縦軸:乱流エネルギー、横軸:物体からの無次元距離)

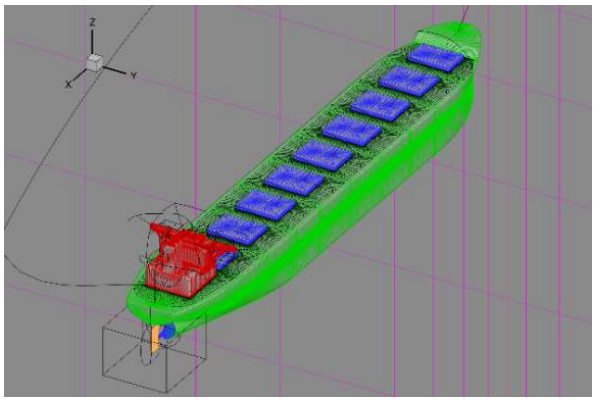
図Ⅰ.2.(1).①.17 等価砂粗度モデルによる試験結果と計算結果

②港湾内操船を主とした操縦性能推定法の開発

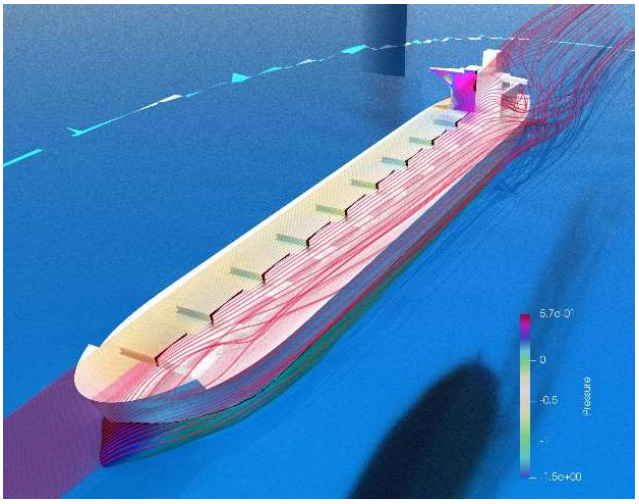
港湾内操船を主とした操縦性能の推定に向けて水・空気両方の流場を計算する手法等の開発を行った。上部構造物も一体となった格子(図Ⅰ.2.(1).①.18(a)(b))を使用し、水面下と水面上それぞれの流場を、自由表面を境界面として同時に行う流場計算手法を構築した(図Ⅰ.2.(2).①.18(c))。水面上下を並列に計算することで計算時間を約半分にすることも可能になった。



(a) 計算格子全体図



(b) 船体付近格子



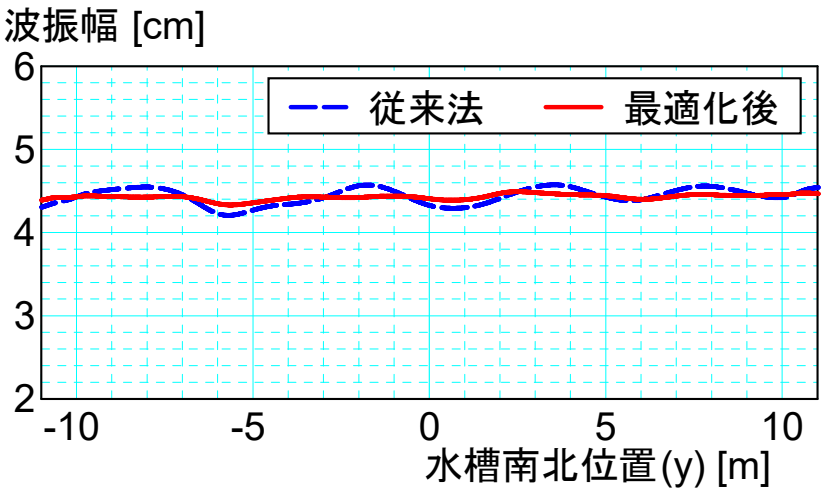
(c) 計算結果の可視化図
(物体表面圧力分布と空気側の流線)

図Ⅰ.2.(1).①.18 水・空気両方の格子生成と計算結果の可視化

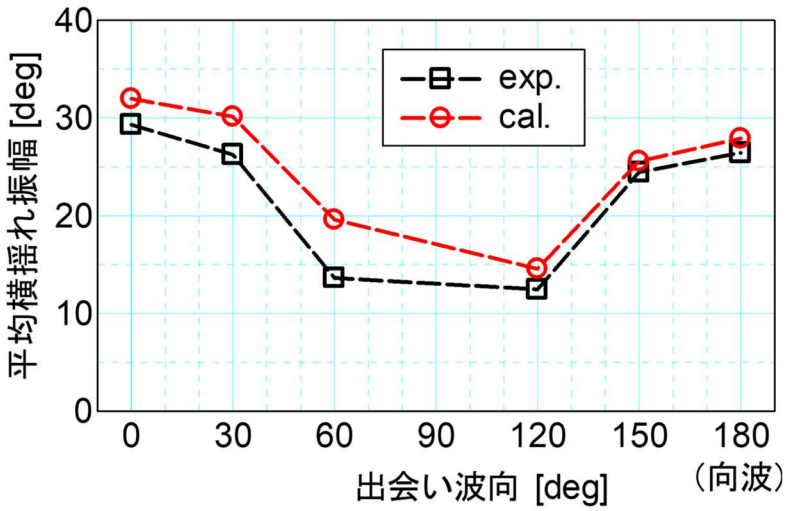
(3)復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究

①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

精度の高い波浪場再現技術として提案する造波板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の精度を明らかにするために水槽試験を実施した(図Ⅰ.2.(1).①.19)。その結果、最適化後の振幅幅は従来法と比べてばらつきが低減し、本手法が有効であることを示した。また、波浪中復原力変動を考慮したパラメトリック横揺れの時間領域計算を実施し、模型実験と比較した(図Ⅰ.2.(1).①.20)。その結果、向・斜向波は良い一致を示したが、すべての波向きに対して精度を上げるには左右揺れ、船首揺れを追加した 3 自由度に拡張する等改良の余地があることを確認した。



図Ⅰ.2.(1).①.19　波浪場精度向上のための造波法の検証−波振幅の空間分布解析−
（振幅のばらつきが低減）



図Ⅰ.2.(1).①.20　C11 級 post−Panamax コンテナ船(全長 262 m) の
パラメトリック横揺れ振幅計算と実験の比較
（30～60 度での一致度低下）

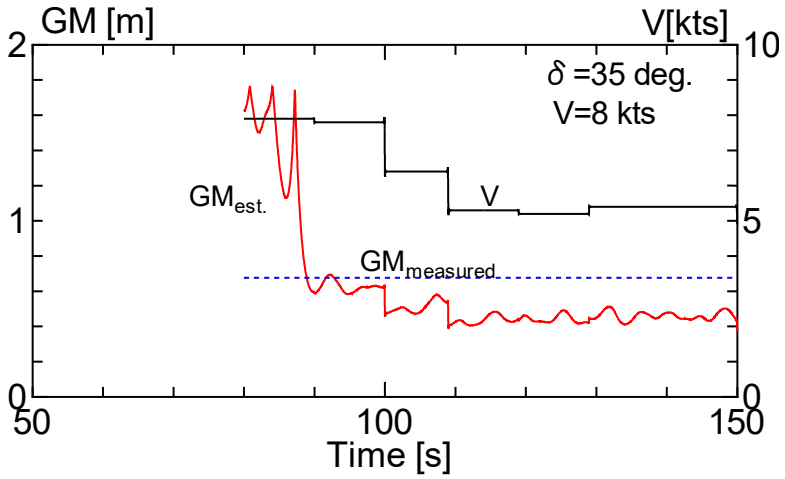
②国際基準計算ツールの整備・統合及び船舶設計要素の検証

第二世代非損傷時復原性基準の 5 つの危険モードすべての脆弱性評価計算コードを統合し((一財)日本船舶技術研究協会と連携)、共通の計算条件設定や計算結果表示機能を付与したソフトを作成した。5 つの危険モードの脆弱性評価計算コードの入力を統合することで、1 隻の船に対して 5 つのモードすべての評価を容易に行うことが可能になった。また、過大加速度モードの脆弱性基準評価に影響する設計パラメータとなる GM 値、ビルジキールサイズ、ブリッジ配置等の感度解析を行い、効果を数値化して示した。タンクアレンジメントによる GM 変更やビルジキール拡張では効果に限界があるため、基準に適合するブリッジの限界高さを求め、限界高さ以上には手摺や安全帯等、乗員を守る安全装置(解説文書では Safety device)を施すのが現実的であることを示した。

③小型船の復原性試験法の提案

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所の調査船「たか丸」(船長 29.5 m) を用いて旋回試験と傾斜試験を実施し、旋回時に船体に働く力の釣り合いによる内方・外方傾斜角と GM の関係式を検討した。値が小さく再現性が低い内方傾斜と舵直圧力から GM を推定することは難しいが、外方

傾斜と遠心力、横滑りの揚力から推定しても、推定値（赤）と計測値（青）の推定差が大きく、精度に課題が残ることが分かった（図Ⅰ.2.(1).①.21）。



図Ⅰ.2.(1).①.21　国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所の調査船「たか丸」(船長 29.5 m)の外方傾斜時に働く遠心力と揚力から推定した GM（推定値（赤）と計測値（青）の線の乖離が推定誤差）

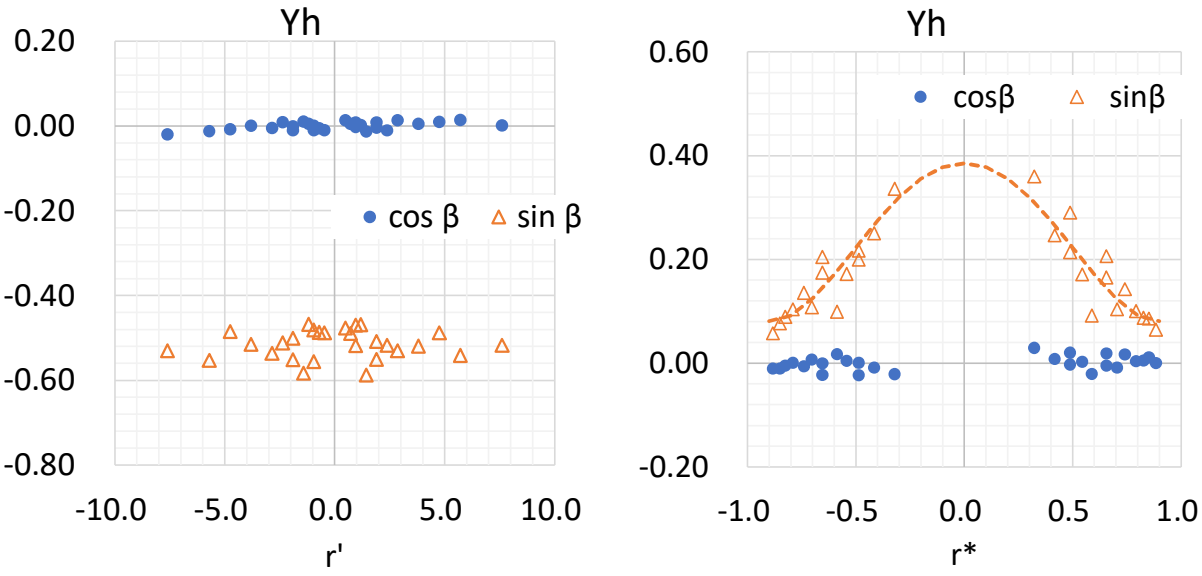
（4）港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

①錨泊中の船体に働く外力の推定手法の研究

昨年度導入した水槽試験法により、外航コンテナ船型と内航フェリー船型模型の振れ回り運動を想定した操縦流体力のデータを取得した。

また、昨年度計測をした肥大船の操縦流体力の計測結果を用いて解析手法の検討を行い、従前より提案されている Yaw Rotating Test の解析手法よりも計測結果との相関が強いことを確認した（図Ⅰ.2.(1).①.22）。従前法は水槽試験で計測した操縦流体力を斜航角（β）で調和解析を行い、フーリエ級数で表現している。図Ⅰ.2.(1).①.22 の(b)は、横力の $\cos\beta$ と $\sin\beta$ のフーリエ係数を示している。$\sin\beta$ の係数は斜航試験の計測結果を用いるとしており、解析の際にその成分を差し引いている。本来であれば $\sin\beta$ の係数は切片がゼロの r'（無次元回頭速度）の関数となるはずであるが、切片がゼロとはなっていない。これらの問題点を考慮した新たな解析手法を提案した。

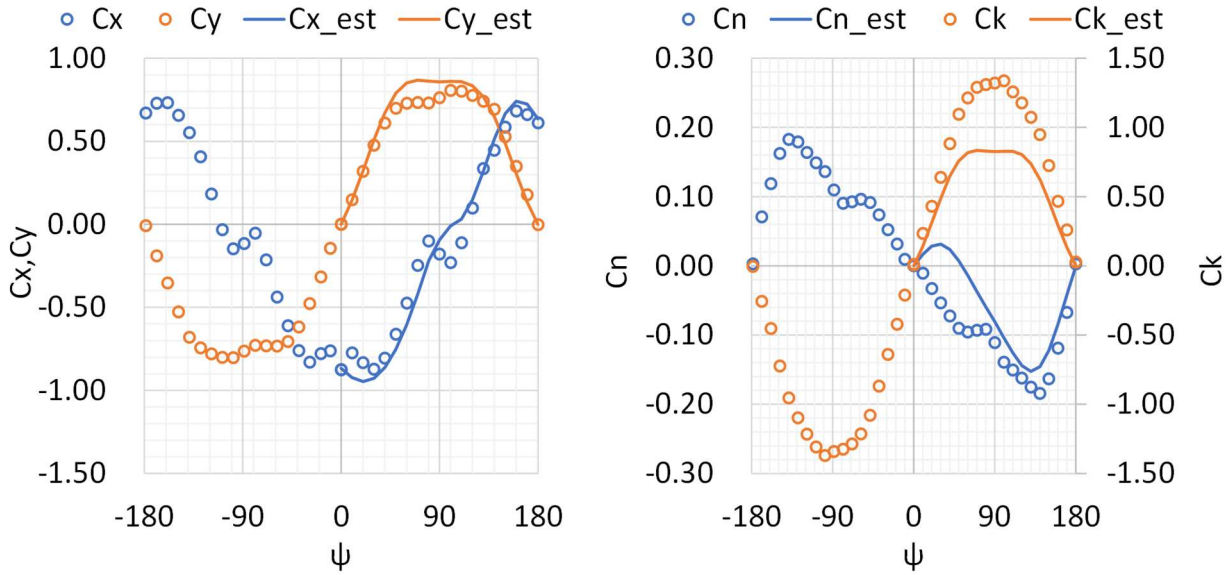
風外力については、錨泊頻度が高く、既存の風圧力推定モデルの対象外になる内航タンカー船型の風洞試験（喫水 3 種類、上部構造物 3 種類、船首フレア 3 種類の組み合わせを変更）を行い、推定モデル改良のためのデータを取得した。風圧力(Cx・Cy)とモーメント(Cn)の計測値（点）と既存推定式（線）との乖離状況を明らかにした（図Ⅰ.2.(1).①.23）。



(a) 既存の解析手法　　(b) 新たな解析手法

図Ⅰ.2.(1).①.22　操縦流体力の解析手法

((a)の既存解析手法より(b)の新規提案手法の方が物理的合理性が増し、関数表現の相関も高い)



図Ⅰ.2.(1).①.23　喫水・上部構造物に働く風圧力(Cx・Cy)・モーメント(Cn)の比較(点:計測値、線:推定式)
(計測値(点)と既存推定式(線)に一部乖離が見られる)

②錨泊時の喫水状態を考慮した波漂流力のデータベースの構築

データベースを構築するにあたり、水槽実験結果のある船型を用いてプログラムの検証を行った。

③航海計器と航海機器などとの連携させる手法の確立

航海計器や航海機器から船内 LAN を介してデータを取得するプログラムの動作設定や取得データの

時系列グラフを表示する機能を追加した。

また、共同研究相手先の陸上支援システムとの連携に必要なシミュレーションプログラムを改良した。シミュレーションプログラムとの入出力部については共同研究相手先が作成した（接続試験は来年度行う予定）。

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Nobuaki Sakamoto, Takanori Hino, Hiroshi Kobayashi, Kunihide Ohashi: Parameter adaptation of k−ω SST turbulence model for improving resolution of moderately separated flows around 2D wing and 3D ship hulls via EnKF data assimilation, Journal of Marine Science and Technology, Volume 29, pp. 885–909, (2024).

□査読付き国際会議論文：3 編

・Hiroshi Kobayashi, Kunihide Ohashi: DUAL SINGLE PHASE APPROACH FOR COMPUTING BOTH WATER AND AIR FLOW AROUND A HULL, Proceedings of the 15th International Conference on Hydrodynamics (ICHD 2024), (2024).

・Takako Kuroda: Study of Parameters for Excessive Acceleration Failure Mode in Design Stage, Proceedings of the 2nd International Conference on the Stability and Safety of Ships and Ocean Vehicles (STAB&S 2024), (2024).

・Harukuni Taguchi, Hideki Miyazaki: Risk Assessment Application for Dragging Anchor "Ikari-ing" and Its Use for Accident Analysis, Proceedings of Global Conference on Naval Architecture and Ocean Engineering 2024 (G-NAOE 2024), (2024).

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件

・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

・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.4.02）

□その他

◆国際活動：1 件

・北川泰士: ITTC Manoeuvring Committee 委員（Kick-off ウェブ会議、第 1 回対面会合）

◆その他発表論文：7 編

・大森拓也，大橋訓英: 狭水路を斜航する船体流体力への roll 運動影響について，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 38 号，pp. 395–398，(2024).

・北川泰士，塚田吉昭，中西徹，澤田涼平: 離着桟操船時の実船尺度操縦運動評価のための自由航走模型試験法，海上技術安全研究所報告，第 24 巻，第 2 号，総合報告，pp. 77–89，(2024).

・北川泰士，塚田吉昭，澤田涼平，平田宏一: プロペラ遊転時の舵力モデルに関する実験的検証，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 269–275，(2024).

・廣田匡俊，北川泰士，小林寛: 水槽試験における離着岸試験用模擬岸壁の仕様検討を目的とした CFD 解析による側壁影響の検討，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 291–297，(2024).

・Kunihide Ohashi: OVERSET-GRIDS METHOD FOR FLOW COMPUTATION ON COMPLEX GEOMETRY AND ITS PERFORMANCE IMPROVEMENT WITH HYBRID PARALLELIZATION USING SHARED MEMORY AND DISTRIBUTED MEMORY TECHNIQUES, Proceedings of the 9th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2024), (2024).

・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法へのフルマルチグリッド手法の適用について，日本流体力学会年会 2024 講演論文集，(2024).

・大橋訓英, 小林寛: 船舶の総合性能評価のための次世代 CFD 技術の高度化に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 24 巻, 第 4 号, 総合報告, pp. 45-67, (2025).

重　点　分　野	(1)海上輸送の安全の確保

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。等

○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

研　究　の　背　景

従来、船舶の安全基準は主として運用の経験に基づいて策定されてきた。しかし、近年、国際海事機関（IMO）においては、長年の実績を待たずに、技術的検討に基づいて安全基準を策定する事例が増えている。さらに、具体的な安全対策を規定する記述的要件に代えて、安全目標と機能要件による規定方法が採用される傾向や、設計段階におけるリスク解析の要求など、新しい開発物を想定したより早い段階からのリスク対応を求めるようになっている。

国土交通省が策定した国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップに基づき水素やアンモニアの新燃料の安全利用を図るため、また、従来とは異なる貨物の安全輸送を図るため、海上輸送を行う主体の事業者、基準策定や船の承認に係る主管庁および船級機関、事故時の緊急対応にあたる海上防災当局等が定量的にリスクを見極めるためのリスク解析技術の整備が必要となっている。このように海域を通航する船舶や貨物が多様化する中、成長戦略実行計画（2021年 6 月 18 日閣議決定）における洋上風力の導入目標達成に向けて海域利用の促進が予想されるため、海上交通の安全確保が必要となっている。

本研究課題では、これまでに実績が無い技術を導入した船舶、既存のガイドや規則の適用が難しい船舶を新コンセプト船とし、現在社会実装化に向けて開発されている自動運航船、新規燃料船、新規貨物船を対象に、これら海上輸送を取り巻く様々な技術の安全上の懸念を解決するため、安全性評価のためのリスク解析技術の開発と関連規則の策定に関する研究を実施する。

研　究　目　標

IMO や船級等の規則/ガイドライン等において、設計時にリスク評価を要求する例が増加しており、新コンセプト船の実現のためには、それらの船舶に適したリスク評価手法が必要である。また、新コンセプト船を代替設計の同等安全性評価により主管庁承認するためのリスク評価手法も必要である。

自動運航船の安全性評価においては、従来のハードウェア中心のシステムでは無く、ハードウェア・ソフトウェア・人間が相互に作用することを考慮した、大規模・複雑システムとしての自動運航船に適した定性的な評価手法、及び事例の存在しない自動運航船のリスクを定量的に推定する定量的評価手法を開発する。

現行規則にない新燃料（水素・アンモニア）使用に際して、リスクベースによる代替設計の同等安全性評価が重要となる。その評価に必要となる、燃料漏洩に伴う拡散・火災・爆発・急性毒性による影響度解析の実用的手法の開発を行う。

新規制対応に伴う廃炉等の結果、従来の核燃料や廃棄物のみならず、これまでに輸送実績が少ない解体廃棄物や溶融燃料が将来的に船舶輸送される可能性があり、放射性物質輸送の安全を確保するための

安全評価手法を開発する。

海上保安庁の第 5 次交通ビジョンに掲げられる再エネ海域利用法施行を背景とした施設設置海域の海上交通の安全対策の策定、衝突リスク評価手法及び安全運航の監視評価手法に関する研究を実施する。また、運航・着離桟・荷役等の自動化には地形・気海象・港湾施設等のデジタル情報が必要であり、これらを地図の付加情報とする船舶版ダイナミックマッププラットフォーム（DMPF）の整備構築に関する技術的検討を実施する。

令和６年度の研究内容

（1）新コンセプト船に係るリスクベース評価手法の開発

①新コンセプト船のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発

自動運航船のリスク解析では、対象となる自動運航船の形態や使用方法等をまず理解する必要がある。そのような対象物と運用の概念は ConOps と呼ばれる文書として纏められることがシステム工学では一般的であり、それらの ISO 等の国際標準も存在するが、自動運航船に関しては確立されていない。自動運航船の ConOps の確立等に資する目的で、航空機等の他分野での記述を参考に自動運航船の ConOps の記載方法の指針案を開発した。

また、自動運航船のリスク解析では、ConOps を含む多くの資料の作成・解析が求められるが、それらは一般に人手で実施されるため作業負担等が大きい等の課題がある。そこで本研究ではリスク解析の負担軽減等に資する目的で、自動運航船のリスク解析支援ツールの開発を実施しているが、今年度は「自動化システムと人間の役割分担の概要」と「自動化システムの内部動作の概要」に関する資料を半自動的に作成する機能を実装した。

②新コンセプト船に由来する不確実性を考慮したリスク定量化手法の研究

自動運航船は ODD（Operational Design Domain）と呼ばれる自動運航システムが適切に機能する運用の範囲の内にある場合に、自動運航を実施する。そのため、自動運航船のリスクを適切に推定するためには ODD を考慮する必要があるが、そのような既往研究は存在しなかった。そこで、本研究では ODD を考慮した衝突回避失敗確率推定モデルを構築し、自動運航船の衝突回避失敗確率を定量的に推定した。また、既存船、自動運航船問わず、リスクモデルでは RIF を適切に考慮する必要があるが、これまでのリスク評価では専門家判断が多用されており客観性に課題があった。そこで本研究では客観的な RIF 同定に資するために、データ駆動型アプローチにより既存船の衝突事故発生の RIF を同定した。

（2）新規燃料船に係る影響解析手法の開発

①物理化学現象を考慮した大気拡散解析に関する研究

アンモニアの海水への溶解モデルについて、米国において過去に実施された液化アンモニアの水上漏洩実験の結果を再現するよう物質移動係数の修正を行った。

蒸発後のアンモニアが大気拡散する現象について、これまでに開発している質量保存流速場モデルによって推定された気流場に基づいて化学物質の拡散現象を解くためのラグランジュ型パフモデルのプロトタイプの開発を行った。

（3）放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究

①放射性物質輸送に対する安全評価手法の開発

大型解体廃棄物の内部表面汚染密度を簡易的に推定するため、放射性核種、汚染の形状及び位置、それに対する測定器の応答を試験的にデータベース化した。それを用いて測定値から汚染密度分布を推定する手法の妥当性を検証する作業を行った。また、事業者等による迅速な汚染密度評価を支援するため、海技研が提案する内部表面汚染密度の簡易推定法を計算コードに実装する作業を開始した。

②放射性物質輸送における事故時影響評価手法の研究

解体廃棄物や燃料デブリといった新たな輸送物に対する事故時の影響評価に対応するため、漏洩源に関するデータベースを構築した。これにより、放射性物質の拡散計算においては、屋外体系に適用可

能な代数的乱流モデルに代わり、レイノルズ応力の輸送方程式を基に発展させた乱流粘性係数輸送モデルを選定した。乱流粘性係数の計算値は、実験結果の傾向を再現できた。

（4）安全安心な海上交通環境の実現に関する研究

①交通ルール導入による影響評価及び衝突リスク評価手法の高度化に関する研究

2023 年 6 月 1 日午前 9 時より開始されている潮岬沖推薦航路の効果検証のためのフォローアップ調査を行い、衝突危険性軽減効果を確認するとともに課題及び効果向上のための要点を示した。事故解析への適用を目的とし、船舶間の物理的危険性との比較により事故前の操船者の衝突危険認知状況の適正さを評価するため、定量化 OZT（Obstacle Zone by Target）を用いた衝突危険認知評価手法の適用性検証と課題を抽出した。業務プロセスの最適化を目的とした各種ツールの整備・改良を行った。

②デジタル基盤を活用した安全運航の監視評価手法に関する研究

海技研クラウド上に DMPF を構築するための要素技術として、外部機関システムからのデータ取得方法、システムアーキテクチャ等を検討し、プロトタイプを構築した。

令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）新コンセプト船に係るリスクベース評価手法の開発

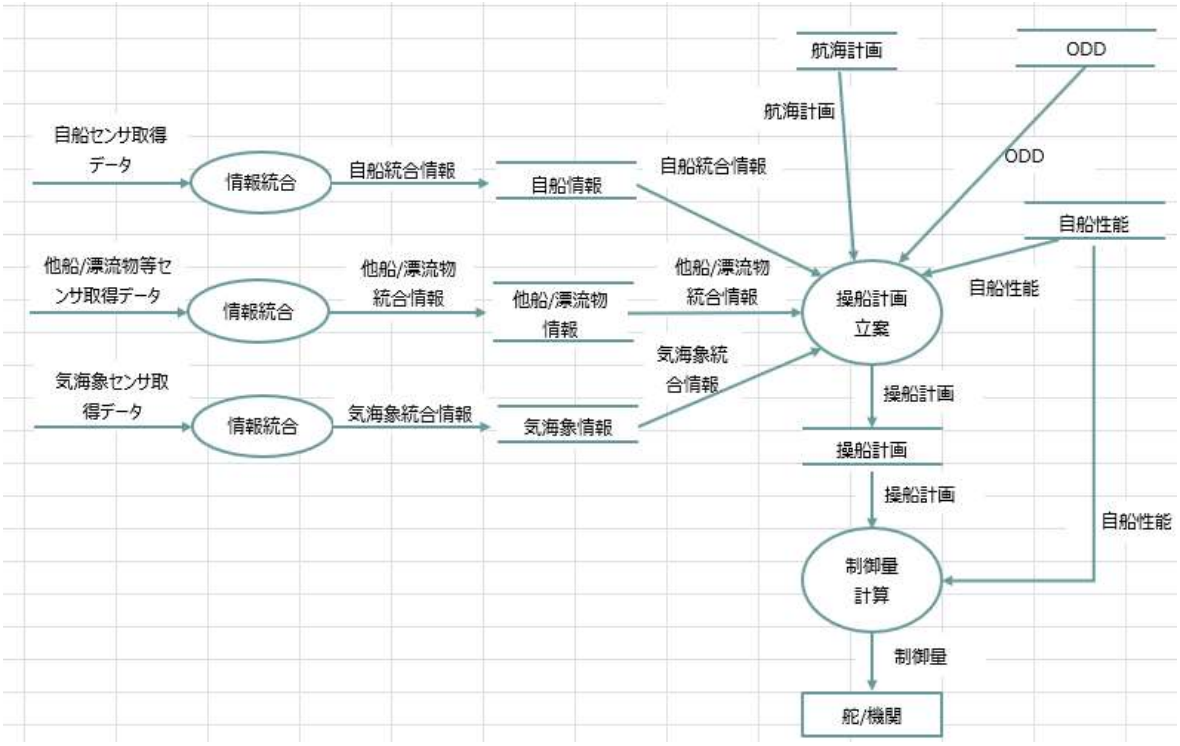
①新コンセプト船のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発

航空、鉄道、船舶の各分野の ConOps に関する文献を調査し、それぞれの対象及び主な記載事項(core elements)を整理し、その整理結果から自動運航船に類似したシステムの ConOps に記載すべき重要な要素を同定した。更に、自動運航船の初期設計段階のリスク評価に主に焦点を当てて、自動運航船の ConOps のフレームワークを作成した（図Ⅰ.2.(1).①.24）。これらの研究で得た知見を活かし、IMO における MASS コード策定審議における ConOps フレームワーク構築に関する議論に貢献するとともに、国内関係者の理解向上へ寄与している。また、自動運航船のリスク解析支援ツールに関しては、ExcelVBA により開発しており、これまでにシステムアーキテクチャ図作成支援機能、HAZID（Hazard Identification）のワークシートの作成支援機能を実装済みであったが、今年度は「自動化システムと人間の役割分担の概要」を示すテーブル作成支援機能、「自動化システムの内部動作の概要」を示すデータフローダイアグラム（DFD）作成支援機能を実装した（図Ⅰ.2.(1).①.25）。

Cover Page Table of Contents 1. Introduction 2. Documents	3. Envisioned System – Objectives and Roles of the System – Constraints in Achieving Objectives – Overview of System and Related Entities – Key Elements/Functions and Modes of the System	4. Use Cases – Overall Operation Phases – Use Cases Corresponding to Each Phase Appendix A: Acronyms Appendix B: Glossary of Terms

図Ⅰ.2.(1).①.24 自動運航船の ConOps の目次案

(a) 入力画面



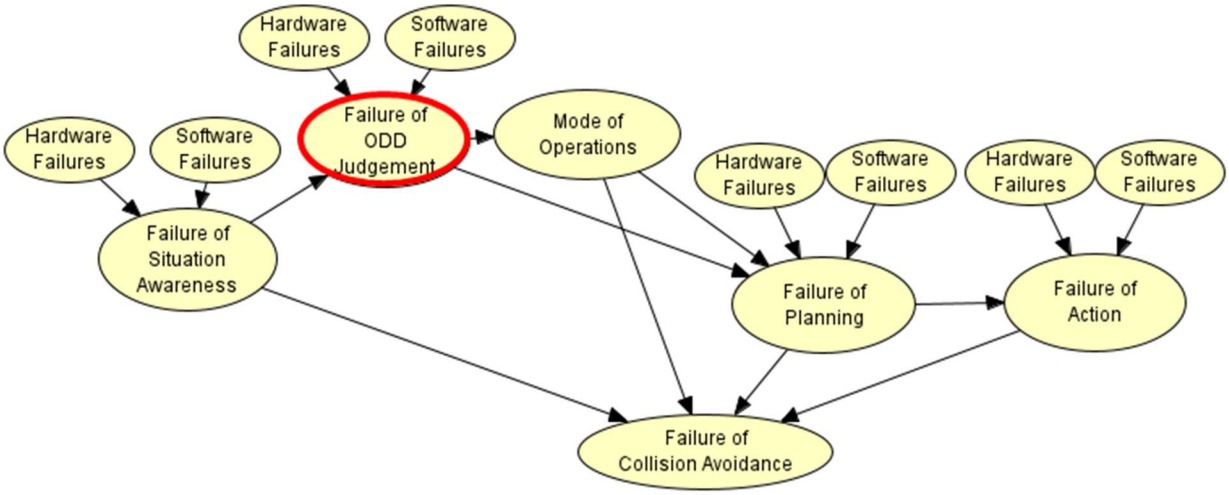
(b) 出力結果の例

図Ⅰ.2.(1).①.25 自動運航船のリスク解析支援ツールにおけるDFD作成支援機能

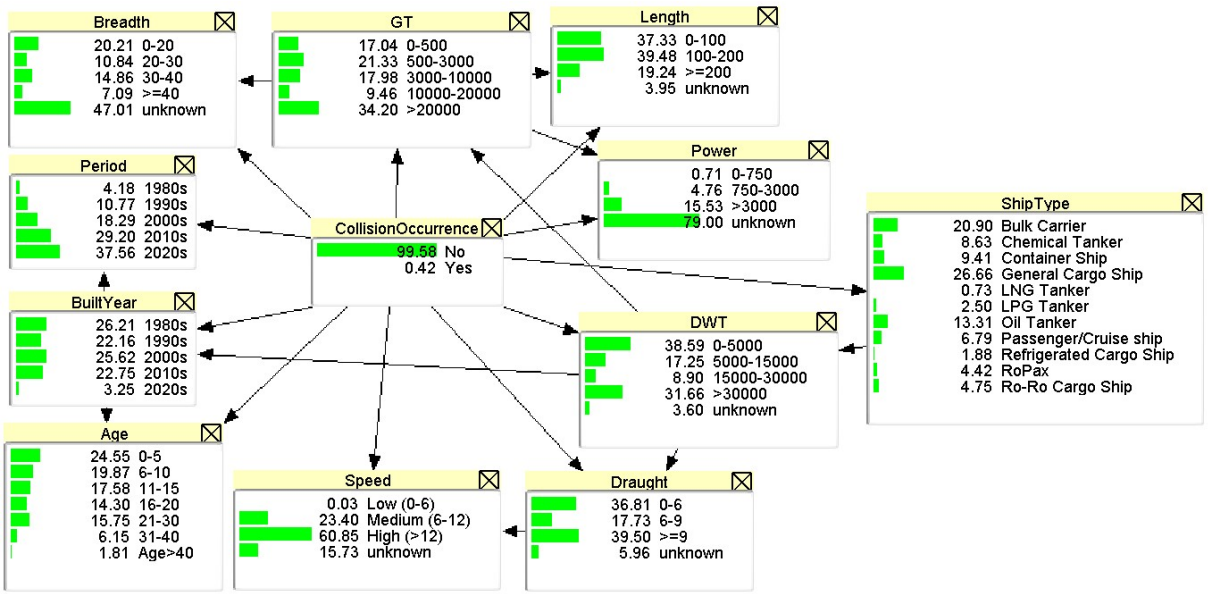
②新コンセプト船に由来する不確実性を考慮したリスク定量化手法の研究

ODD を考慮した自動運航船の衝突回避失敗確率推定モデルをベイジアンネットワーク(BN)により構築し、衝突回避失敗確率の推定、不確実さ解析、認知システムを二重化した場合の効果（衝突回避失敗確率の低減量）を推定した（図Ⅰ.2.(1).①.26）。また、データ駆動型アプローチによる衝突事故発生の

RIF 同定モデルを BN により構築し、S&P Global 社（旧 IHS Markit 社）の船舶要目データベースと海難データベースを使用し、既存船の RIF を同定した（図Ⅰ.2.(1).①.27）。なお、RIF は、船舶要因、環境要因、人的要因の 3 つに大別されるが、本研究では RIF として主に船舶要因のみに着目して分析を実施した。その結果、事故発生年代、総トン数、喫水、船幅が重要な RIF として同定された。



図Ⅰ.2.(1).①.26　ODD を考慮した自動運航船の衝突回避失敗確率推定モデル



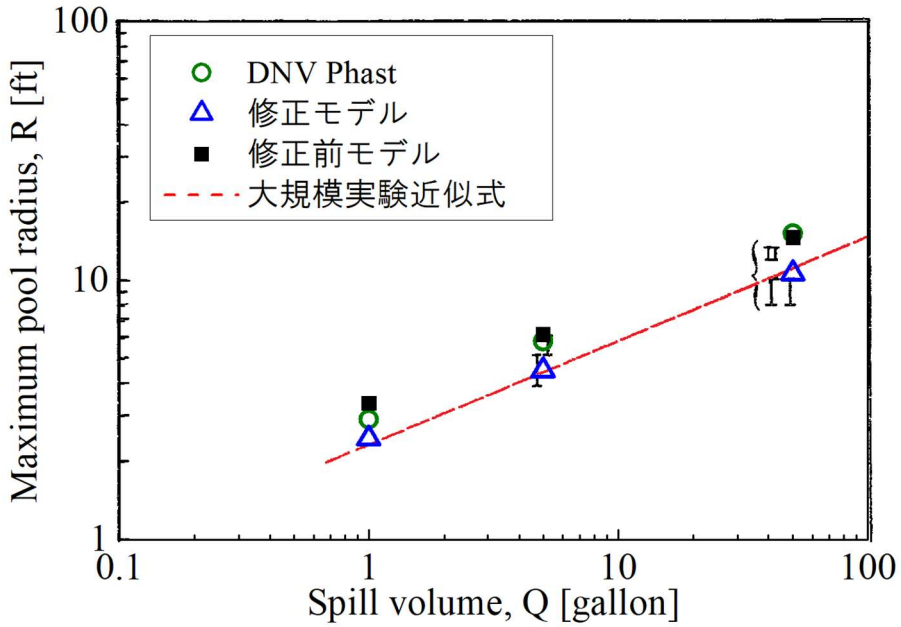
図Ⅰ.2.(1).①.27　データ駆動型ベイジアンネットワークによる既存船の衝突発生に関する BN モデル

（2）新規燃料船に係る影響解析手法の開発

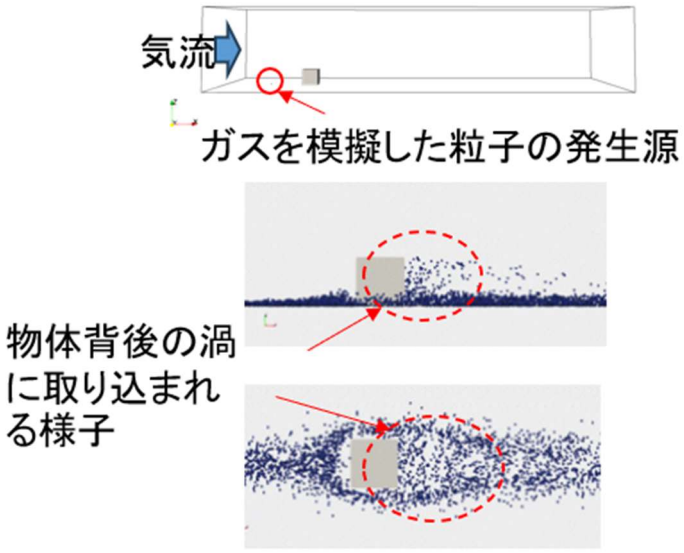
①物理化学現象を考慮した大気拡散解析に関する研究

船から海上へ漏洩した液化アンモニアによる被害影響度予測においては、気化して大気拡散に移行するアンモニアのソースタームの予測、及び気化した後のガス拡散性状の予測が極めて重要となる。昨年度より、海上漏えいした液化アンモニアの水への混合・溶解・蒸発現象を考慮するプールモデルに関する研究を行っているが、今年度はプールモデルに組み込まれている Dodge et al.（1983）が提案したアンモニアから水へ溶解する際の物質移動モデルの係数を修正した。その結果、修正モデル（△）は赤破線で示した Raj ら(1974)の水上への液化アンモニア漏洩実験結果から得られた近似予測式を良好に再現できた（図Ⅰ.2.(1).①.28）。

蒸発後のアンモニアガスの大気拡散モデル（パフモデル）構築のため、船体構造等による局所的な気流性状を考慮したラグランジュ型のパフモデルのプロトタイプを作成した。大気流場中の物体まわりの流れを質量保存流速場モデルによって求め、ラグランジュ型のパフモデルに組み込んだ結果、既存の簡易評価モデルでは再現することが不可能な物体背後の渦に巻き込まれながら拡散する様子が再現できた（図Ⅰ.2.(1).①.29）。



図Ⅰ.2.(1).①.28 アンモニア蒸発プールの最大半径と漏洩量の関係
（Raj et al.(1974)の実験結果に基づく近似式（赤線）に対して、修正モデル（△）はアンモニアの漏洩量に対する最大蒸発プール半径を良好に予測している）



図Ⅰ.2.(1).①.29 ラグランジュ型パフモデルの試計算結果

（3）放射性物質輸送に対応する安全性確保の研究

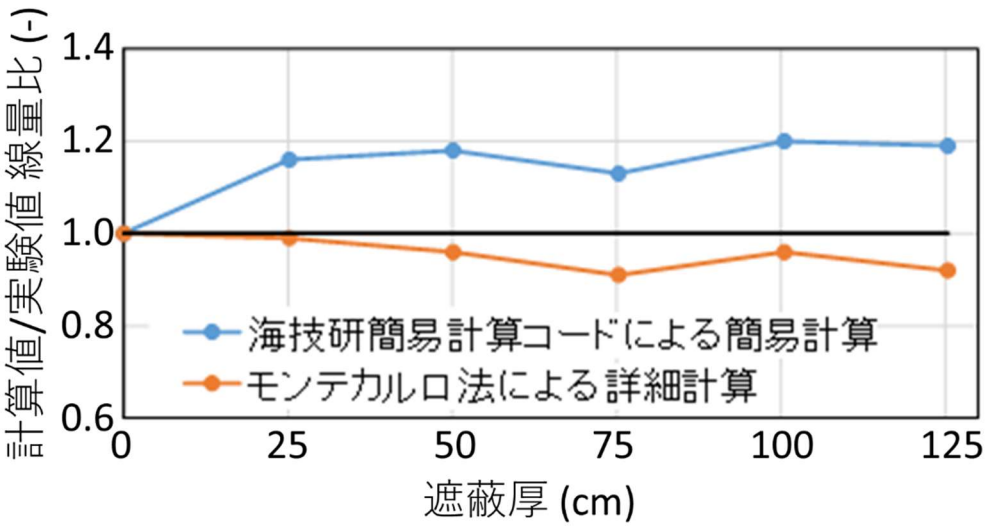
①放射性物質輸送に対する安全評価手法の開発

大型解体廃棄物の放射性物質による内部表面汚染密度（以下、内部表面汚染密度）の推定手法構築を目的として、入力となる放射線量を計算するための簡易計算コード（2023 年度に改良）の適用性を検証した。従来のモンテカルロ計算コードと比較して、計算時間を 1/100 以下に大幅に短縮しつつ、安

全側（約 20%高め）で実験値を再現する結果を得た（図Ⅰ.2.(1).①.30）。さらに蒸気発生器の輸送を計画している電力事業者と規制当局との会合において、内部表面汚染密度推定手法を検討し、海技研が提案する「感度（計算値）と測定値の連立方程式を用いる手法」（図Ⅰ.2.(1).①.31）を安全評価に用いることの妥当性を確認した。

②放射性物質輸送における事故時影響評価手法の研究

簡易な質量保存流速場モデルから得られる気流情報を用いて放射性物質の大気拡散計算を実施するにあたり、屋外体系に適用可能な代数的乱流モデルから乱流粘性係数を一次推定値として算出し、レイノルズ応力の輸送方程式を発展させた乱流粘性係数輸送モデルにより修正する方法を考案した。矩形物体周りの流れ場に適用したところ、乱流粘性係数の分布は、実用的に最も広く利用されている乱流モデル（k-ε モデル）を使用した数値流体解析結果に対し、簡易計算法（計算時間は約 1/100 に短縮）ではあるものの比較的再現性の高い結果が得られた（図Ⅰ.2.(1).①.32）。

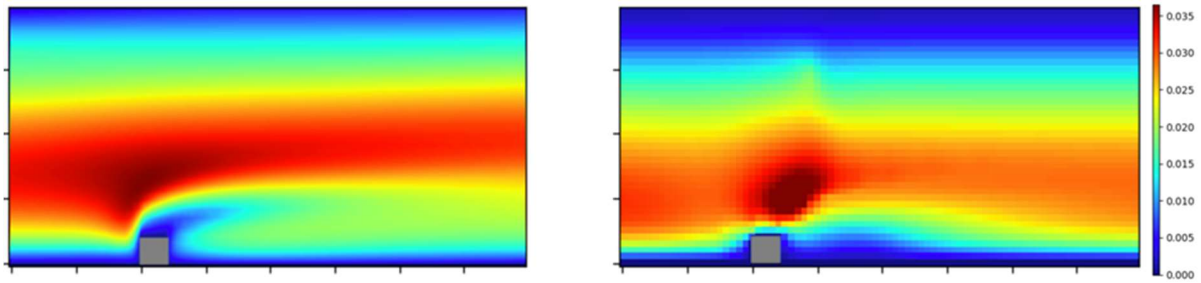


図Ⅰ.2.(1).①.30 海技研簡易計算コードと詳細計算の比較
（簡易計算では詳細計算値を安全側に 20%以内で再現させることができた）

$$A_i = \frac{D_k - \Sigma_{j \neq i} A_j F_{jk}}{F_{ik}}$$

A_i：部位iにおける汚染密度（未知）、D_k：評価点kにおける線量等量率
F_{ik}：部位iにおける単位汚染密度当たりの評価点kにおける線量等量率

図Ⅰ.2.(1).①.31 海技研が確立した内部表面汚染密度推定手法の式
（この計算式を実装した簡易計算と詳細計算との比較は図Ⅰ.2.(1).①.30 に示す通りである）



(a) 数値流体解析結果　　(b) 本提案手法による結果

図Ⅰ.2.(1).①.32 矩形物体周りの流れ場の乱流粘性係数の分布.（気流場の基礎方程式を解くことなく、本提案の簡便なモデルの組み合わせでも全体的な分布傾向が再現されている.）

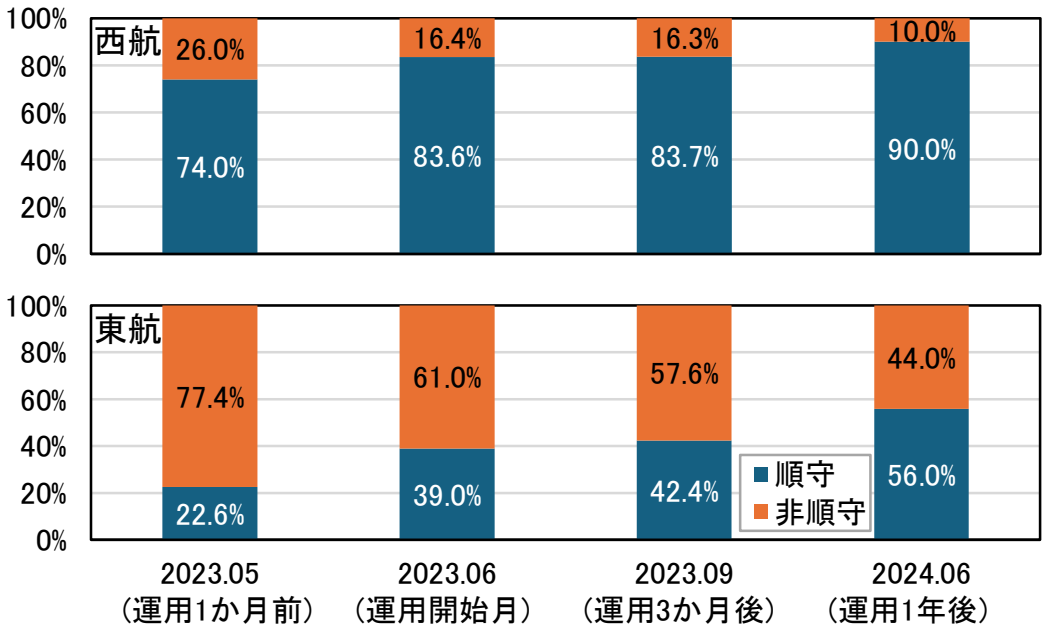
(4)安全安心な海上交通環境の実現に関する研究

①交通ルール導入による影響評価及び衝突リスク評価手法の高度化に関する研究

潮岬沖推薦航路の運用開始前後の船舶交通状況として、AIS(Automatic Identification System、船舶自動識別装置)データにより通航位置分布と航路順守率の変化を確認した。その結果、航路適用船のうち、西航船の順守率は順守前後共に高い一方で、東航船は上昇傾向にはあるが運用 1 年後でも56.0%と低い順守率に留まっていた(図Ⅰ.2.(1).①.33)。また、東西ともに非順守船のうち約 70%が、航路の入口から出口まで逆向きに航行している船舶であった(図Ⅰ.2.(1).①.34)。全体的な順守率の向上は、この逆向きに航行する船舶数を減少させることが重要であることを示した。また、海上保安庁による制度周知活動(2023 年 12 月、2024 年 6 月実施)後の順守率が上昇していることから、周知徹底を図ることが基本的な安全対策として有効であることが確認できた。

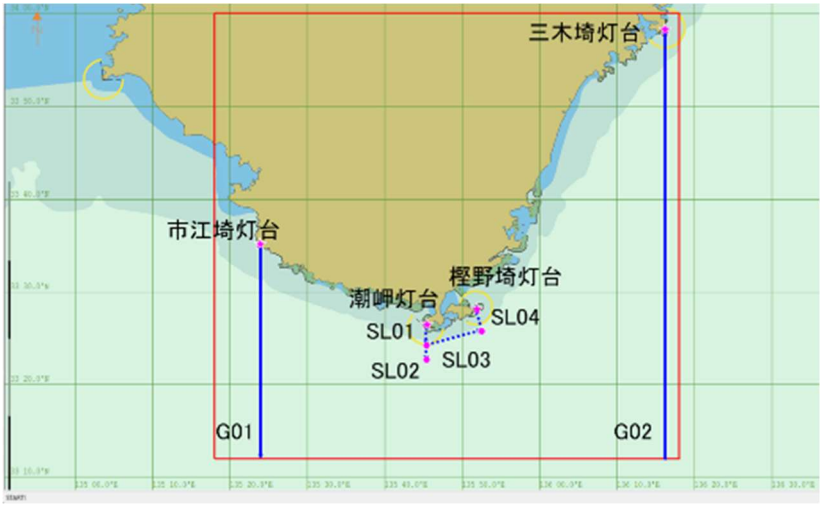
定量化 OZT を用いた衝突危険認知評価手法は、前中長期計画にて構築した手法であるが、その検証方法は運輸安全委員会が公表している事故調査報告書から選定した一つの衝突事例だけであった。そこで他の衝突事故に適用可能かの検証を行い、その手法の適用性検証と課題を抽出した。その結果、課題の一つとして、定量化の対象範囲設定の不適合により、特に回頭中の船舶において、進行方向に OZT が分布しているにもかかわらず当該 OZT が定量化の対象外となるという問題が挙げられた。引き続きこの解決方法の検討と検証を進めている。

新たな航路による船舶交通の予測モデル化手法を組み込んだ設計評価支援ツールの整備を行った。その結果、AIS データで観測された通航位置分布を近似化した推定モデルに基づき、可航域等の制限を考慮した航路導入後の予測モデルを立て、結果を可視化する一連の流れを大幅に短縮(約 1/5)することが可能となった。また、事故初動解析に使用する AISViewer(AIS 動画再生ツール)においてビッグデータの半自動入力機能の追加改修を行い、解析時間が 1/3 程度に短縮できた。



図Ⅰ.2.(1).①.33　潮岬沖推薦航路適用船舶に対する順守非順守船舶の割合

（西航船の順守率は順守前後共に高い一方で、東航船は上昇傾向にはあるが運用 1 年後でも低い。また、海上保安庁による制度周知活動（2023 年 12 月、2024 年 6 月実施）後に順守率が上昇した。）



(a) 解析対象海域(赤枠)と仮想線(青線)の設定位置

(仮想線のうち、海域への出入り計測判定は青実線(G1 および G2)、推薦航路の通航判定は青点線(SL01 から SL04、なお SL3 は推薦航路)を使用)

航行方向	入口	推薦航路1	推薦航路2	推薦航路3	出口	各経路の割合(東西別)
西航	G02 (240)	SL02 (166)			G01 (166)	69.2%
		SL03 (28)	SL01 (28)		G01 (28)	11.7%
		SL04 (46)	SL03 (46)	SL02 (46)	G01 (46)	19.2%
東航	G01 (1034)	SL01 (850)	SL03 (136)		G02 (136)	13.2%
			SL04 (714)		G02 (714)	69.1%
		SL02 (184)	SL03 (184)	SL04 (184)	G02 (184)	17.8%

(a) 図に示す仮想線識別文字(通航隻数)

(b) 2024 年 6 月における非順守船舶の通航経路の樹形図

(例えば、西航の G02-SL02-G01 は海域への入口となる仮想線 G02 を通航後、SL02 のみを通航し、仮想線 G01 から海域を出る場合の経路を示している。)

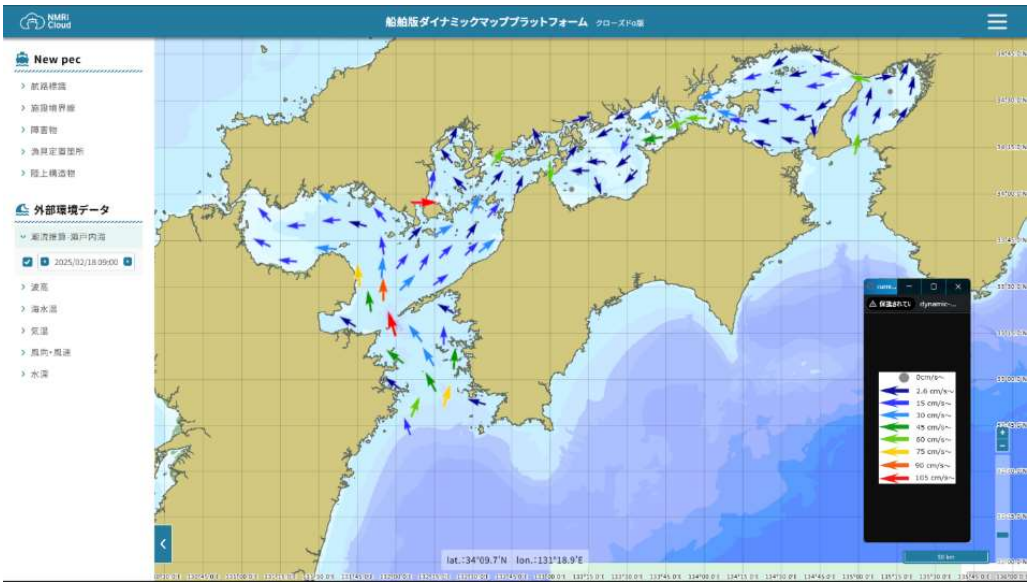
図Ⅰ.2.(1).①.34　非順守船舶の通航状況の分析結果

(東航船は仮想線 G01 を通航後、SL02 を通過し、G02 から海域を出る経路が順守航路であるため、西航の G02-SL01-G02 は東航船の航路を完全に逆向していることを意味する。同様に、東航船の G01-SL01-SL04-G02 は西航船の順守経路(G02-SL04-SL01-G01)を完全に逆向する経路である。

すなわち、東西ともに非順守船舶の約 7 割(西航の G02-SL02-G01(69.2%)、および東航の G01-SL01-SL04-G02(69.1%))は対航する船舶の順守航路を入口から出口まで逆向きに航行している船舶である。))

②デジタル基盤を活用した安全運航の監視評価手法に関する研究

ユースケースとして想定した航海日誌作成支援に必要な情報として、潮流情報、風向風速情報、有義波高情報、水深情報をモデルデータとして、それぞれの情報の発信状況に適した取得および地図への表示方法、クラウドを使用したシステムアーキテクチャを検討し、海技研クラウド(テスト版環境)にテスト開発版 DMPF を構築した。引き続きユースケースにおける DMPF の有効性確認のため、必要な機能の実装方法等を検討し、実装予定である。



図Ⅰ.2.(1).①.35　潮流データを重畳したダイナミックマップの表示例

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Yusuke Matsuya, Yuji Yoshii, Tamon Kusumoto, Tatsuhiko Ogawa, Seiki Ohnishi, Yuho Hirata, Tatsuhiko Sato, Takeshi Kai: Development of a chemical code applicable to ions based on the PHITS code for efficient and visual radiolysis simulations, Physical Chemistry Chemical Physics, Volume 27, pp. 6887–6898, (2025).

□査読付き国際会議論文：5 編

・Tomohiro Yuzui, Hiroko Itoh: Quantitative Risk Analysis of Collision of Maritime Autonomous Surface Ships, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management of Nuclear Facilities (PSAM17 &ASRAM2024), (2024).

・Hiroko Itoh, Takeshi Matsuoka: Exploring ConOps Prototypes for Initial Risk Assessment of Autonomous Ship Operations, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management of Nuclear Facilities (PSAM17 &ASRAM2024), (2024).

・Junichi Kudo, Arata Kimura, Hiroko Itoh, Hideyuki Oka: Probabilistic Approach to Risk Assessment for Alternative Design of Hydrogen Fuel Tank Arrangements on Small Ships, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management of Nuclear Facilities (PSAM17 &ASRAM2024), (2024).

・Rikako Asaumi, Rina Miyake, Hiroko Itoh: Application of Quantitative Obstacle Zone by Target (OZT) Method to Situation Awareness Assessment for Ship Collision Accidents, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management of Nuclear Facilities (PSAM17 &ASRAM2024), (2024).

・Y. Oka, A. Tanno, H. Oka, C. Iwamoto, Y. Sakurai: Semi-empirical model of velocity attenuation of smoke layer in tranquil flow region in arched ceiling tunnel, Proceedings of 13th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology (AOSFST 2024), (2024).

□各種表彰の受賞：2 件

・Sonoko Kawashima, Hiroko Itoh, Yasumi Kawamura and Hiroki Otsuka: 日本航海学会論文賞, Analysis of the Situation Awareness of Remote Ship Operators in an Emergency: A Simulation-based Study for Small Ships, 日本航海学会, 2024 年 5 月.

・三宅里奈, 工藤潤一, 伊藤博子: 日本水路協会水路技術奨励賞, 和歌山県潮岬沖における推薦航路の

設定に向けた海上交通流の評価技術の開発，日本水路協会，2025 年 3 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：1 件

・特許出願: 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

□その他

◆国際活動：4 件

・塩苅恵: IMO MSC 110/5 Development of a goal-based instrument for Maritime Autonomous Surface Ships （MASS), Report of the Correspondence Group（2025）

・工藤潤一: IMO CCC 10/4/4 Comments on document CCC 10/4 regarding the requirements for filling limit (2024)

・近内亜紀子: IAEA 放射性物質安全輸送規則 SSR-6(Rev.1)改訂への貢献

・近内亜紀子: IAEA 輸送安全基準委員会（TRANSSC）実務課題技術専門家グループ議長として付託事項について第 48 回および第 49 回輸送安全基準委員会（TRANSSC48 及び 49）に報告書提出

◆その他の全文査読付き論文等：1 編

・河島園子: 複雑な海上交通流に対する船舶同士の衝突発生の定量評価手法の開発とそれに基づく安全運航技術の確立，横浜国立大学学位論文（博士（工学）），(2024).

◆その他発表論文：17 編

・石村恵以子，沼野正義，疋田賢次郎: 自動運航船の推進機能の維持の検討，第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 215-216, (2024).

・柚井智洋，伊藤博子，石村恵以子: 自動運航船のリスク解析・評価 海上技術安全研究所における研究の紹介，日本船舶海洋工学会誌 KANRIN（咸臨），第 118 号, pp. 23-28, (2025).

・石村恵以子，高野慧、笛木隆太郎、塩苅恵、伊藤博子、柚井智洋、三宅里奈、工藤潤一: 自動運航船のリスク解析 ―タスクベースのハザード同定手法―，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-18, (2024).

・木村新太，岡秀行，岡泰資: 障害物の影響を考慮した浅層モデルに関する検討，第 57 回安全工学研究発表会講演予稿集, (2024).

・奥野功一，前中敏伸，大石晃嗣，吉田昌弘，中田幹裕，平尾好弘，天野俊雄: 遮蔽材料標準の策定について （27）標準で規定する組成及び、その補正方法と適用，日本原子力学会 2025 年春の年会予稿集, (2025).

・中田幹裕，坂本幸夫，石川智之，奥野功一，平尾好弘，天野俊雄，中島宏: 遮蔽材料標準の策定について （26）遮蔽材料組成標準の概要，日本原子力学会 2025 年春の年会予稿集, (2025).

・奥野功一，前中敏伸，大石晃嗣，吉田昌弘，中田幹裕，天野俊雄，平尾好弘: 遮蔽材料標準の策定について(25) -規定組成に対する組成補正法-”，日本原子力学会 2024 年秋の大会予稿集, (2024).

・箱崎健一: 湿式の使用済燃料用輸送容器の遅延衝撃評価，日本原子力学会 2024 年秋の大会予稿集, (2024).

・伊藤博子，木村新太，山田安平，三宅里奈，柚井智洋，工藤潤一，河島園子: 船舶のリスク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 24 巻，第 4 号，総合報告, pp. 1-43, (2025).

・Hiroko Itoh: Towards Safer Seas: Recent Advances in Maritime Traffic Research and Safety Measures, Proceedings of the World NAOE Forum 2024, (2024).

・三宅里奈: 船舶の安全航行のために ―新航路の構築―，日本船舶海洋工学会造船設計・生産技術研究会第 140 回造船設計部会, (2024).

・三宅里奈，伊藤博子: 潮岬沖推薦航路の導入に伴う船舶交通の変化と 衝突危険性への影響（第一報），日本航海学会第 151 回講演会予稿集, pp. 17-20, (2024).

・三宅里奈，工藤潤一，伊藤博子: 和歌山県潮岬沖における推薦航路の設定に向けた海上交通流の評価技術の開発，日本水路協会，令和 6 年度水路技術奨励賞 表彰式及び祝賀懇談会 受賞者ポスター発表, (2025).
・瓶子桜太，岡秀行: ゼロ方程式乱流モデルにおける速度壁面境界条件の検討，安全工学シンポジウム 2024 講演予稿集, (2024).
・岡泰資，岡秀行: アーチ型天井トンネル内を伝播する煙層の速度減衰予測モデルの提案，熱工学コンファレンス 2024 予稿集, (2024).
・岡泰資，櫻井幹記，岡秀行，丹野碧: 自然換気下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の速度減衰について，第 57 回安全工学研究発表会講演予稿集, (2024).
・桑原識裕，櫻井幹記，岡秀行，岡泰資: 平行平板間流れにおける障害物周りの循環流を再現する簡易代数モデルの提案，第 38 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, (2024).

重　点　分　野	(1)海上輸送の安全の確保

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	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を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、自動運航船等のリスク解析のためのモデルベースリスクアセスメント手法の開発、自動避航操船及び自動離着桟システムの開発並びにこれらシステムの安全評価技術の高度化、MR等を活用した船舶建造の安全性向上に資する作業支援システムの開発を行う。等

○操船自動化及び操船支援の高度化に関する研究

研　究　の　背　景

海上輸送の分野において船員の不足や高齢化が深刻な問題となっており、船員に受け入れられる省人化、無人化及び負荷軽減が求められている。欧州においては、船舶の安全性向上、運航コストの削減等を目的として、自動運航に関する研究・開発が始まっており、国際競争にさらされている我が国の海運・造船といった海事産業も、この動きに対応していく必要がある。また、自動運航船の課題の 1 つに安全性の確保が挙げられ、従来の安全性を担保する必要がある。

また、国土交通省海事局が公表している「自動運航船の実用化に向けたロードマップ」によると、自動運航船の実用化目標は 2025 年に定められている。その後、フェーズ 3 として、自律性が高く最終意思決定者が船員以外となる領域が存在する自動運航船の開発を進めていく計画とされている。そのため、そのコア技術となる他船や航路といった様々な条件下で自船がどのような操船を行うべきか決定するための「自動操船アルコリズム」の更なる開発は今後も必要と予測される。

自動操船アルゴリズムを早期検証するには、限りなく実際の船橋に近い操船環境を再現する「操船シミュレータ」と網羅的な検証を高速で実施する「ファストタイムシミュレータ」を併用することが有用であり、海上技術安全研究所では、自動運航船の技術開発及び安全評価技術の開発に対応するため、これまでの操船リスクシミュレータに代わりフルミッション型の操船シミュレータである SHS（Ship Handling Simulator）と高速シミュレーションが可能な FTSS（Fast Time Ship Simulator）で構成された総合シミュレーションシステムを整備した。また、上記ロードマップにも示されている通り自動運航船の基準や制度は外航船にも拡大していく方針であるため、SHS には、操舵等による船体応答に加えて、波による操縦運動の変化並びに波浪動揺の影響までもリアルに反映されることが求められる。

研　究　目　標

自動運航船の実現に向けた取り組みとして、自動避航及び係船を含む自動着桟を統合したシステムを開発する。また、操船自動化・操船支援システムの安全評価技術を確立する。

自動運航技術の開発及び安全評価に必要な総合シミュレーションシステムに関して、再現精度向上のため外洋外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法を開発する。

令和６年度の研究内容

（1）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

①自動避航システムに関する研究

相手船の情報が必要な混雑域や閉塞域に適用できる様に、これまで開発してきた自動避航アルゴリズムに他船の操船計画を考慮する機能等を追加し、小型実験船「神峰」及びシミュレータによる検証試験を実施した。

②自動着桟のための計測技術に関する研究

着桟時の LiDAR(Light Detection And Ranging)などのセンサ計測の高精度化、情報表示システムの構築等を実施し、実船（内航船）や小型実験船「神峰」及びシミュレータにより検証した。

③係船支援システムに関する研究

前年度より開発を進めている模型船に、係船ロープの長さ推定や船首・船尾スラスタとの協調制御などの機能を付加し、システム検証のための模型試験を実施した。また、支援システムの運用性等を確認するため実船搭載を想定した係船状態モニタリング装置を試作した。

（2）総合シミュレーションシステムによる安全評価技術の高度化

①避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の確立

自動航行アルゴリズムの安全評価用シナリオ作成のため AIS データの解析、衝突の調査報告書等の分析を実施した。また、安全評価の実施に向け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の評価を試行した。

②人の関与を考慮した緊急時対応の機能要件の抽出

時間的切迫を伴う実験シナリオを作成し、SHS を用いて実験を行った。

（3）外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法に関する研究

①操縦運動（前進と斜航・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確立

2023 年度（令和 5 年度）に試作した操縦運動する船に働く規則波中定常波力計算法※について、船体動揺にも簡易的に斜航による変化の影響を考慮する（斜航分だけ船体横断面の水平方向移動による位相の変化を考慮して 2 次元流体力を船長方向に沿って積分する)ことで、高精度化を行った。また、公表されている既存の実験データに加えて、VLCC 模型を用いて新たに中～長波長域(波長船長比≥1.0 程度)で実施した水槽試験結果を用いて、上記計算法の推定精度を定量的に調査した。

（※ストリップ法に基づいた既存の定常波力計算法(Salvesen N.,1974) を斜航状態に拡張し、前期重点研究で開発した船体の反射波に起因する短波長域の定常波力計算法（Suzuki et al., 2023）と、波浪中抵抗増加評価の ITTC 推奨法の一つである SNNM 法に倣い統合する方法）

②波浪中操縦運動計算プログラムの作成

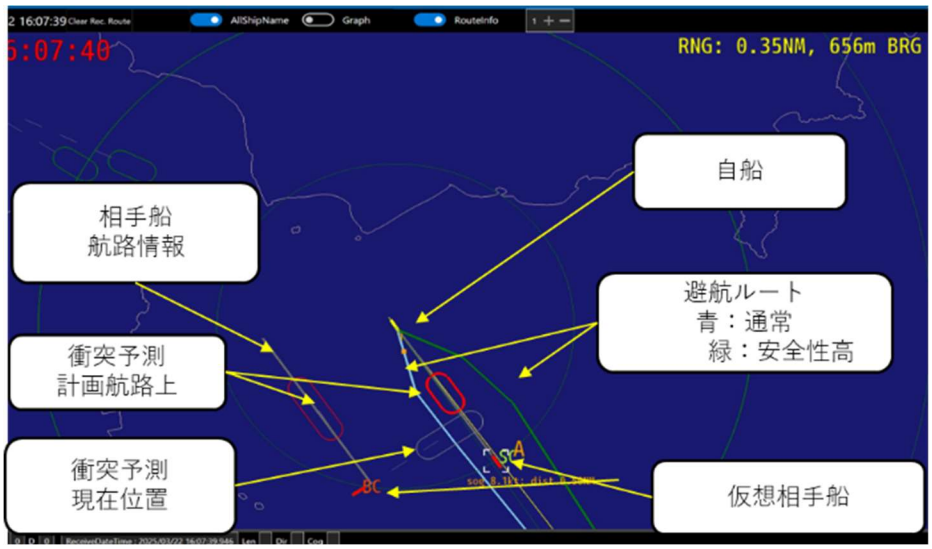
2 タイムスケール法(安川, 2006)に倣い、既存の平水中の操縦運動計算モデルに、波の影響として上記の定常波力計算法のみを考慮することで、3 自由度(前後・左右・回頭方向)の規則波中操縦運動推定プログラムを作成した。

令和６年度の研究成果

（1）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

①自動避航システムに関する研究

相手船との航路情報交換に基づいて衝突リスクを評価し、避航経路を生成する自動避航アルゴリズムの開発を行った。従来の AIS 情報に基づく衝突予測では、相手船が現在の船速及び針路を維持して直進することを前提に将来位置を推定していたが、本研究では、航路情報の交換によって取得した相手船の計画進路に基づき将来位置を予測することで、より現実的で柔軟な衝突回避が可能となるアルゴリズムを構築した。このアルゴリズムを基に避航操船システムを開発し、小型実験船「神峰」を用いて、仮想空間上に生成した相手船に加えて、実船を含む複合的な運用環境において実験を行った(図Ⅰ. 2. (1). ①. 36)。加えて、避航アルゴリズムにより避航経路が確保できない状況においては、自動操船から手動操船への切り替えを促す機能を設け、この機能について同実験船を用いた検証を行い、操船者への情報提示と操作介入の仕組みの有効性を確認した。

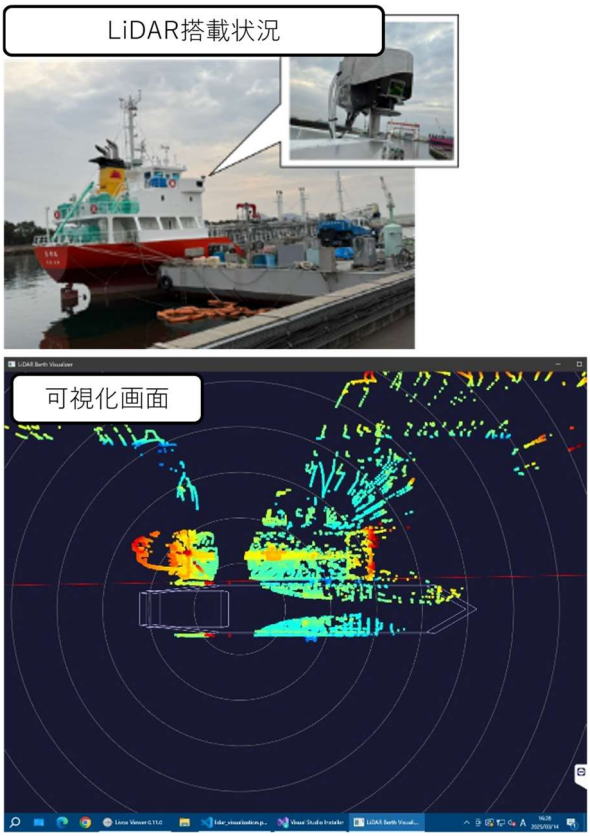


図Ⅰ．2.（1）．①．36　実船試験時の避航操船システム画面と海図表示
（仮想相手船の航路情報を受信し、衝突予測位置を相手船の航路情報に基づいて算出し、避航ルートを生成している）

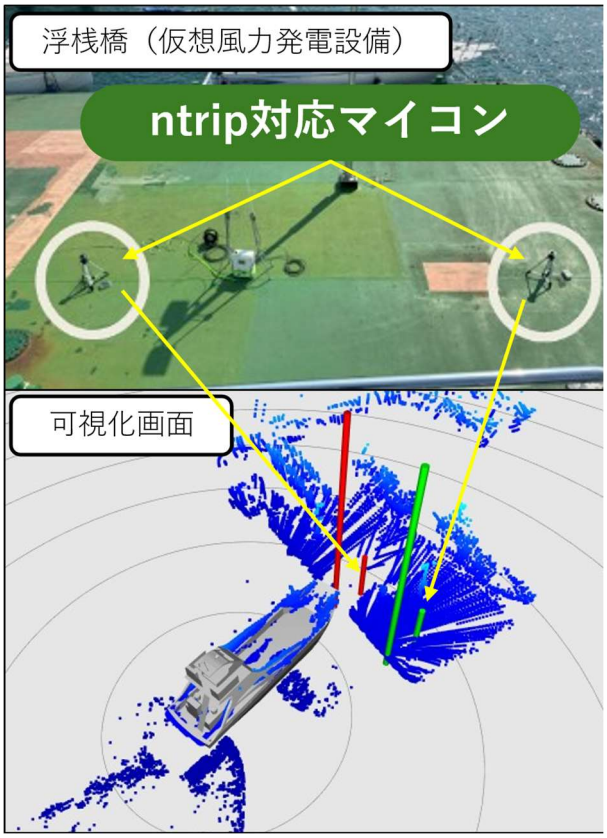
②自動着桟のための計測技術に関する研究

自動着桟における高精度な周辺環境把握を目的として、内航船への LiDAR センサの搭載を行い、実海域における岸壁検知に関する技術検証を実施した。LiDAR を用いた実測データをもとに、岸壁位置を検出可能なシステムを試作し、さらに検知結果をリアルタイムに可視化する情報表示システムを構築した(図Ⅰ．2.（1）．①．37(a))。併せて、洋上風力発電設備等における CTV((Crew Transfer Vessel、作業船）の接岸支援を想定し、RTK-GNSS 及び ntrip (The Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)通信を用いた高精度測位システムと LiDAR による可視化プログラムを統合した試作システムの構築を行った。実験船を用いて、GNSS アンテナ及び ntrip 対応マイコンを浮桟橋に風力発電設備と見立てて設置し、LiDAR と組み合わせて接岸対象構造物の三次元情報と CTV の相対位置をリアルタイムに可視化した(図Ⅰ．2.（1）．①．37(b))。

着桟操船支援の一つとして、近距離通信を用いた遠隔着桟操船システムの研究開発を実施し、新コンセプト船の一つであるトリプル連結バージを対象に、操船シミュレーションシステム（SHS）及び模型船実験によりその操船性を確認するとともに、切り離されたバージの遠隔操縦システムの基本性能等を評価した。



(a) LiDAR 岸壁検知システム
（内航船に搭載した LiDAR によって取得したデータをもとに、下の可視化画面では岸壁を検知している様子を示す）



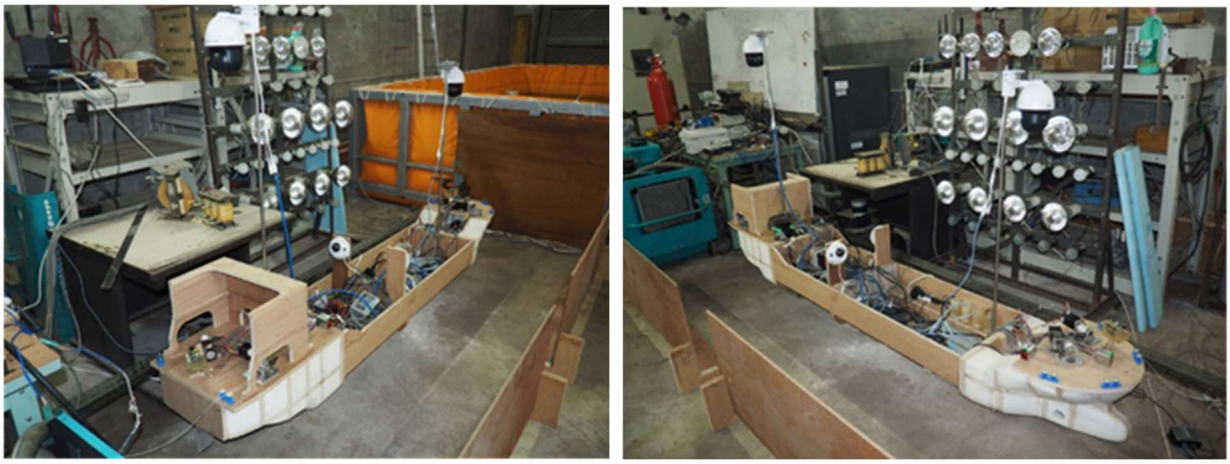
(b)　CTV 接岸支援システム
（浮桟橋及び実験船に搭載した ntrip 対応マイコンの座標を基に、桟橋との距離をセンチメートルオーダーで計測している。赤の短い棒は船から見て左側、緑の短い棒は右側の NTRIP マイコン位置を示し、長い棒は桟橋端の推定位置を表している。）

図Ⅰ．2.（1）．①．37　完璧検知システムと接岸支援システム

③係船支援システムに関する研究

係船ロープの長さ推定機能、及び船首・船尾スラスタとの協調制御を想定した基本機能の構築を進め、模型試験によって基本動作の検証を行った。さらに、実船搭載を想定した模型船(図Ⅰ．2.（1）．①．38.(b))と、係船状態モニタリング装置の試作を行い(図Ⅰ．2.（1）．①．38.(a))、係船関連機器の健全性監視、異常検知時のアラーム発令、及び情報の視覚化機能を備えた表示機能を含むシステム構成を実現した。これにより、係船中の機器状態を統合的に把握可能とする支援システムの運用性と拡張性を確認した。

(a) 係船支援システム



(b)　ウインチ制御模型船

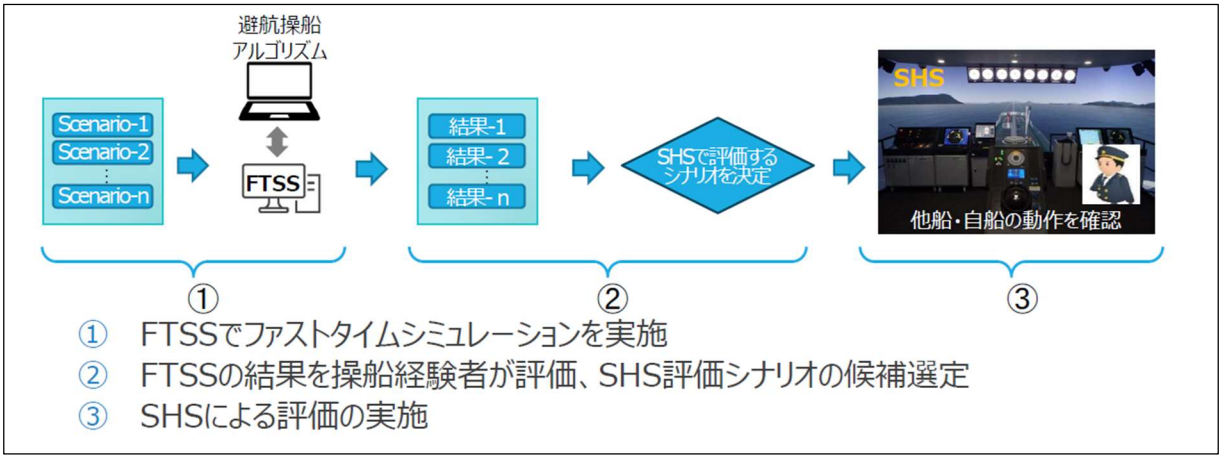
図Ⅰ．2.(1).①. 38　係船支援システムと試験模型船

(2)総合シミュレーションシステムによる安全評価技術の高度化

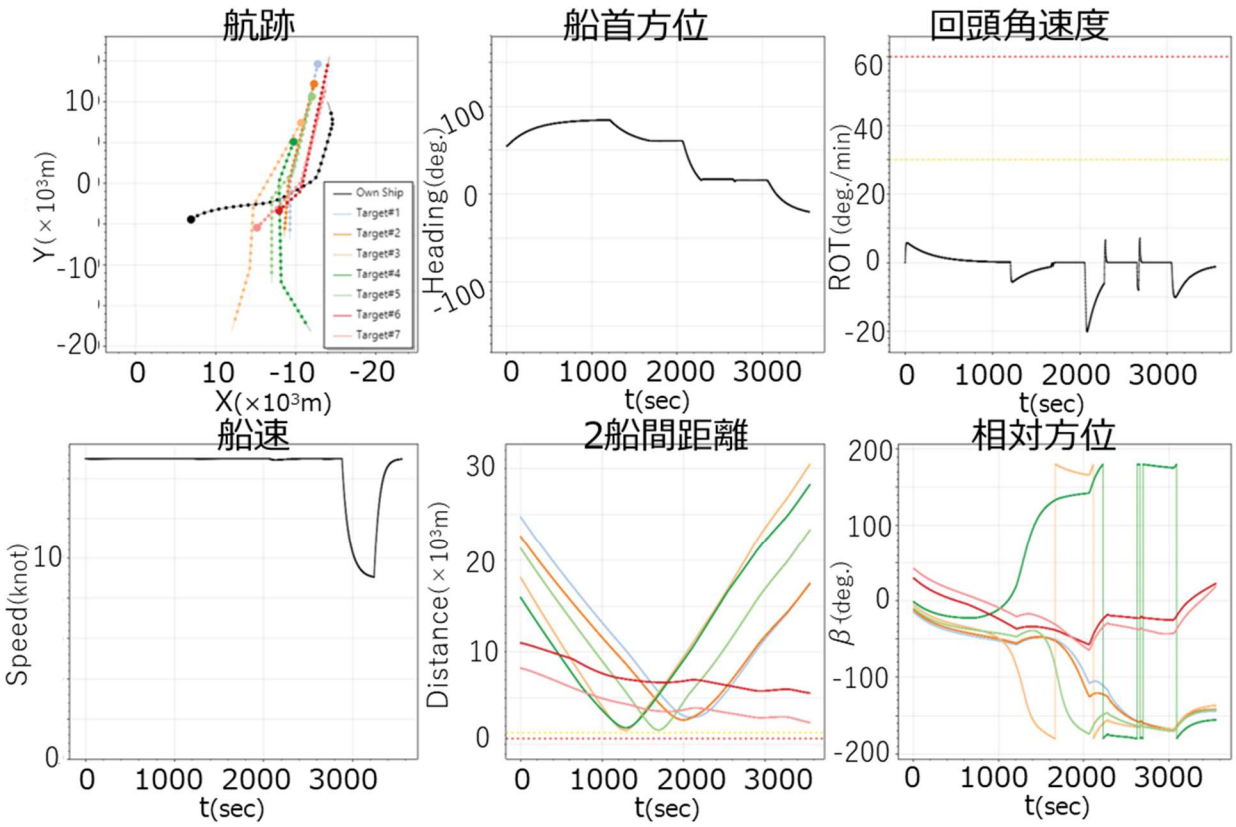
①避航操船及び離着桟操船を対象とした安全評価技術の確立

自動運航船の実運航に必要な安全評価手法の確立のため、FTSS と SHS を連携させた自動避航アルゴリズム評価の試行を実施した。評価手順を図Ⅰ．2.(1).①. 39 に示す。総合シミュレーションシステムに外部で開発された自動避航システムを接続し、FTSS による評価シナリオの実行(図Ⅰ．2.(1).①. 40 に実行結果の一例を示す)と SHS での再現対象シナリオの抽出、SHS での操船経験者による評価を実施し、自動避航システムの評価システムの有効性を確認した。

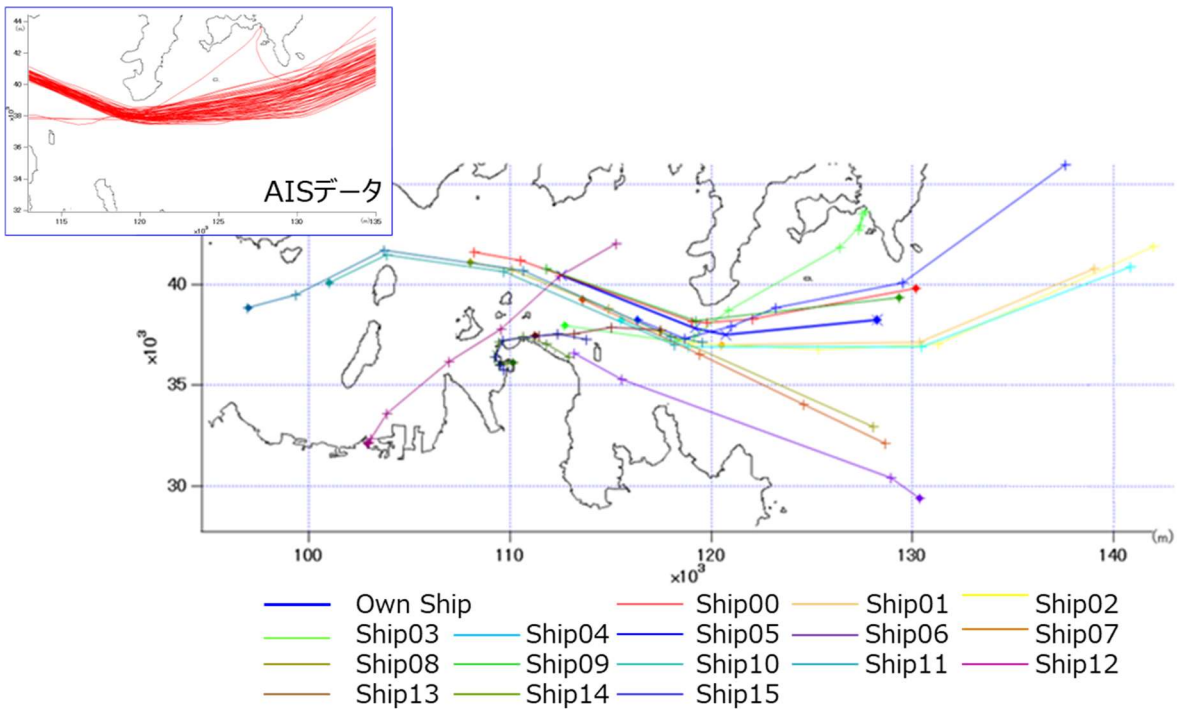
また、評価に使用するシナリオは、基本シナリオ、中間シナリオ、実海域シナリオで構成されることが国土交通省海事局、(一財)日本海事協会及び開発者等を交えた協議により決定されている。基本シナリオについては、これまでに評価シナリオセットの構築を進めてきており、その成果が 2025 年 1 月に発行された日本海事協会の「自動運航、自律運航に関するガイドライン Ver.2.0」に自動避航アルゴリズムの評価シナリオとして組み込まれた。一方、中間シナリオと実海域シナリオについては、関係者との協議が継続中であるが、本年度は AIS データから避航の難易度を考慮した実海域シナリオ(図Ⅰ．2.(1).①. 41)を作成する手順を示した。また、衝突海難に基づいた実海域シナリオ作成のため海難審判録及び事故調査報告書から商船が関係する事故を対象に事故要因の抽出と整理を実施した。



図Ⅰ．2.（1）．①．39　FTSS-SHS を連携させた自動避航アルゴリズム評価手順



図Ⅰ．2.（1）．①．40　FTSS 実行結果例(基本評価指標)



図Ⅰ．2.（1）．①．41　AIS データから作成した実海域シナリオ例

②人の関与を考慮した緊急時対応の機能要件の抽出

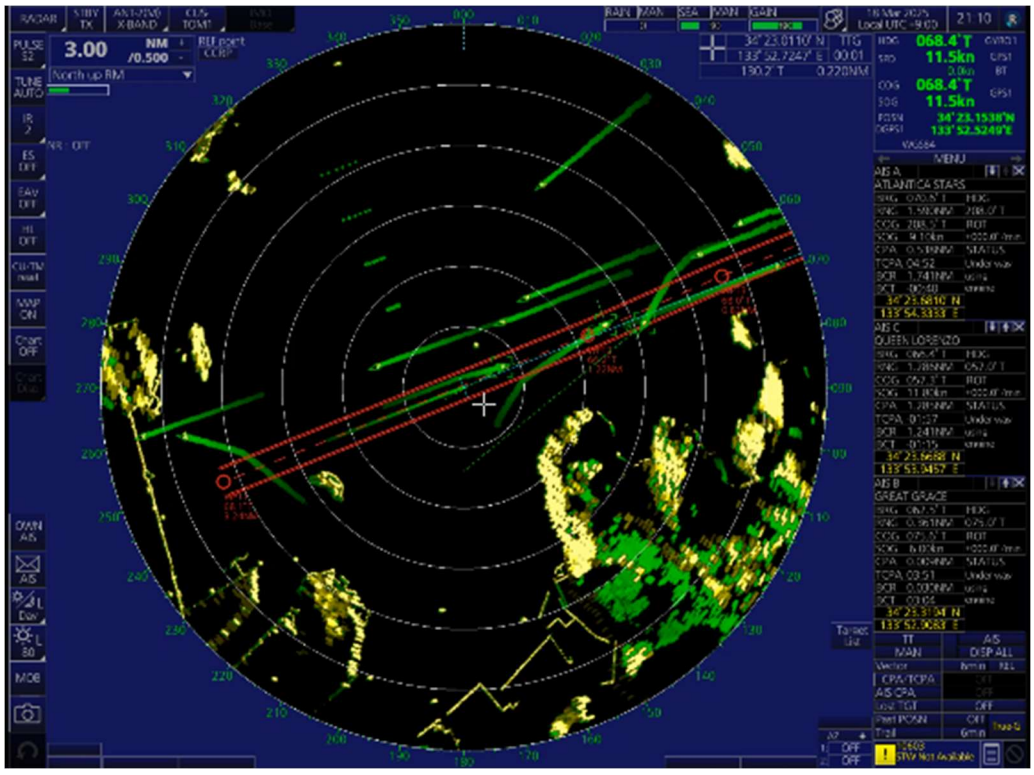
時間的切迫は、組織や環境、タスク、個人、心理的・社会的といったさまざまな要因によって引き起こされる。人間－機械系において、機械系は時間的切迫によって低下する人の信頼性を補うことが期待される。そこで 2024 年度（令和 6 年度）は、衝突海難を対象とし、環境要因（航行環境・交通流）による時間的切迫に焦点を当て、操船実務経験者を実験参加者とする SHS 実験を行い、時間的切迫を伴う環境要因が、人のパフォーマンスや生理指標に及ぼす影響の定量評価を試みた。なお、実験シナリオの作成にあたっては、こうした環境要因を引き起こす原因を、航海士のエラーの各フェーズ（認知・判断・操作）及びルール違反に分類した上で構築した。

作成した実験シナリオでは、本船は備讃瀬戸東航路内を航行するよう自動で運航されているが、同航船のうち一隻が航路内で減速したり、反航船のうち一隻が航路を逸脱したりして、本船と衝突が避けられないコースを航行するようにした。減速や航路逸脱などのイベント発生から衝突までの時間は 10 分以内とした。図Ⅰ．2.（1）．①．42 に SHS での再現例を示す。また、同じ航路内を安全に航行できる実験シナリオを作成して比較対象とした。

本実験では生理指標として、心電図のほか心拍数、呼吸数、深部体温、表面体温等を計測した。また、行動データとして、RADAR 操作、ECDIS 操作、船橋内での映像のほか、加速度 XYZ 軸、ジャイロ XYZ 軸、歩数等も計測した。

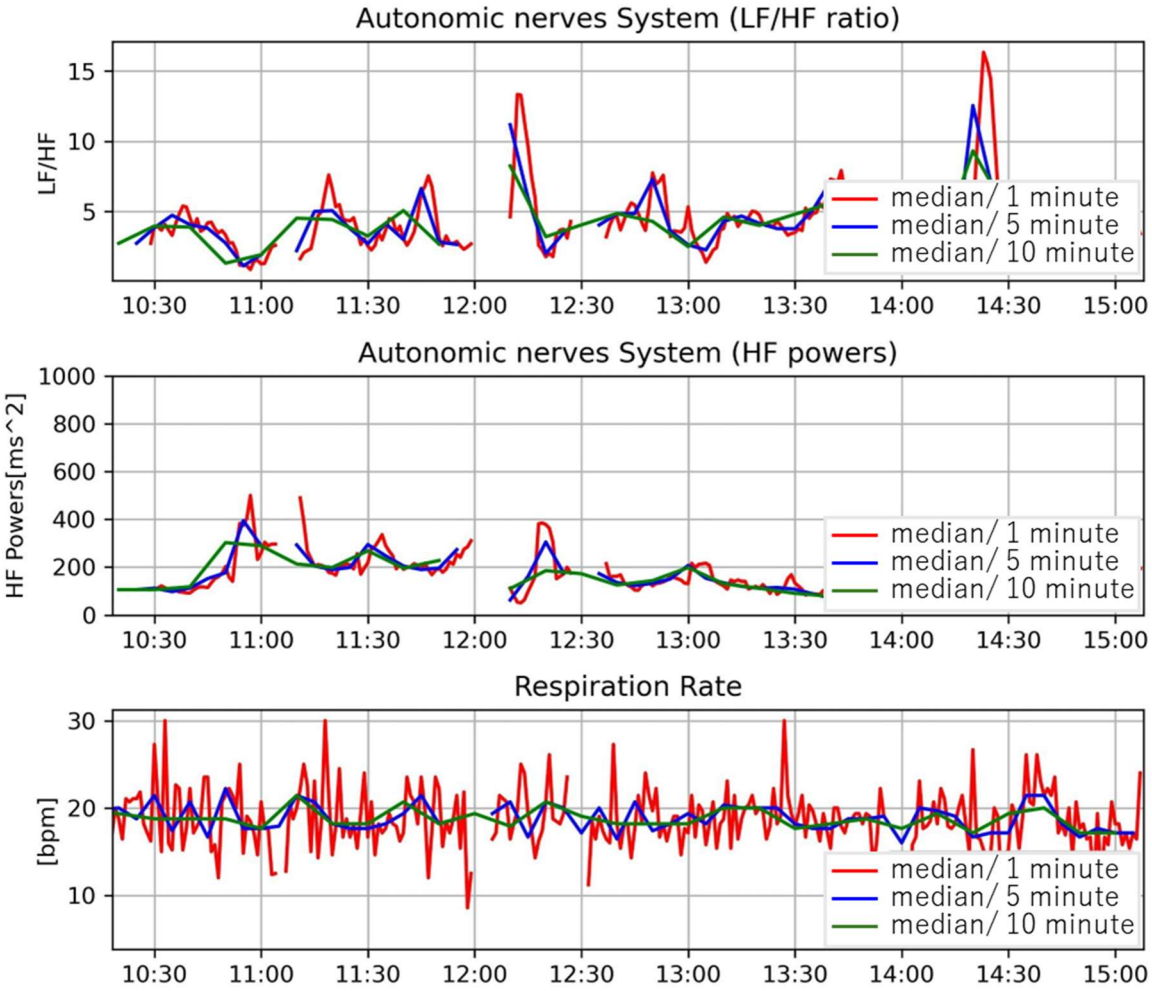
心電図は、LF 成分（低周波成分：0.04～0.15Hz）と HF 成分（高周波成分：0.15～0.40Hz）に分類できる。LF/HF から、高い値は交感神経優位（ストレス・緊張・覚醒状態）、低い値は副交感神経優位（リラックス・回復状態）と推定することができる。本実験で計測した心電図を基に実験中の LF/HF を算出したところ、時間的切迫を伴う実験シナリオにおいては、時間的切迫を伴わない実験シナリオと比較して LF/HF の平均値が高い傾向にあることが確認できた（図Ⅰ．2.（1）．①．43 参照）。前述したとおり心拍変動には様々な要因が影響を与えるため、その他の計測項目の影響など引き続き詳細な解析が必要だが、本実験の結果により、時間的切迫による航海士のストレスや緊張状態を生理指標から推定できることが示唆された。

(a) 景観画像



(b)Radar 画面

図Ⅰ. 2. (1). ①. 42 (a)SHS 実験時の景観画像とそのときの(b)Radar 画面
(本船が備讃瀬戸東航路を西航しており、対象の同航船の最接近距離が 0nm になるようシナリオを作成した)



図Ⅰ．2.(1).①. 43　取得した生理指標データ例

（上：心電図の LF 成分と HF 成分から算出される LF/HF 値、中：HF 成分のパワー値、下：呼吸数）

（LF/HF 値から時間的切迫を伴う実験シナリオは、時間的切迫を伴わない実験シナリオと比較して LF/HF の平均値が高い傾向にあることが確認できた。自律神経系の活動状態の要因は複雑であり、呼吸状態、姿勢変化による反射なども考慮した解析が必要なため呼吸数等も同時に計測した）

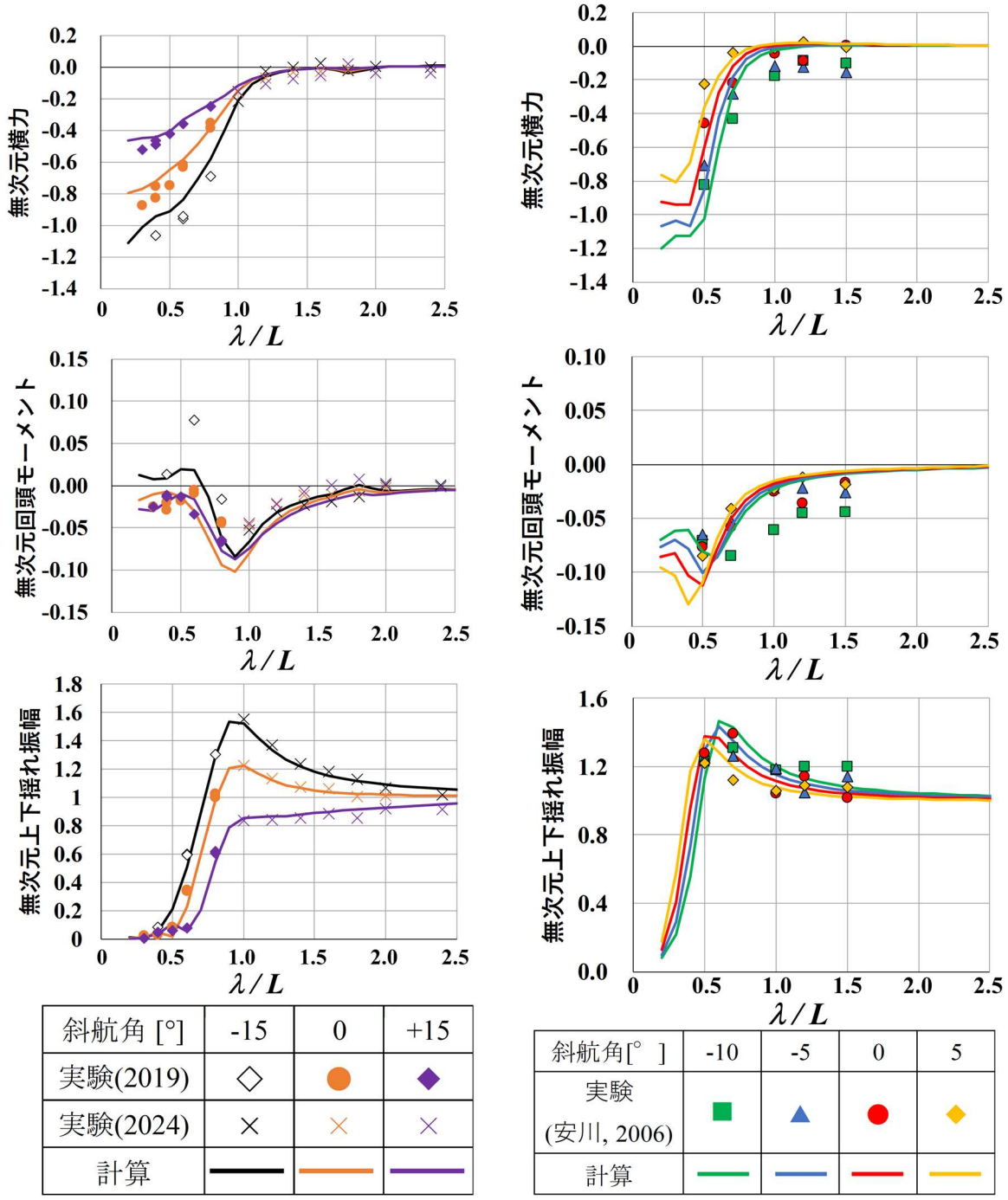
（3）外乱中の船舶操縦運動の実用的計算手法に関する研究

①操縦運動（前進と斜航・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確立

本研究において開発した計算法によって、複数の外航船型（タンカー，コンテナ船）に対して、幅広い波長と波向きにおける船体の斜航影響等を考慮した規則波中定常波力を妥当に推定できることを明らかにした（図Ⅰ．2.(1).①. 44）。また、本計算法を最終版として計算プログラムの確立をした。更に、確立した計算法の論理的妥当性及び実用性を示すために、検証の一部に関して学術雑誌論文としてとりまとめた。

②波浪中操縦運動計算プログラムの作成

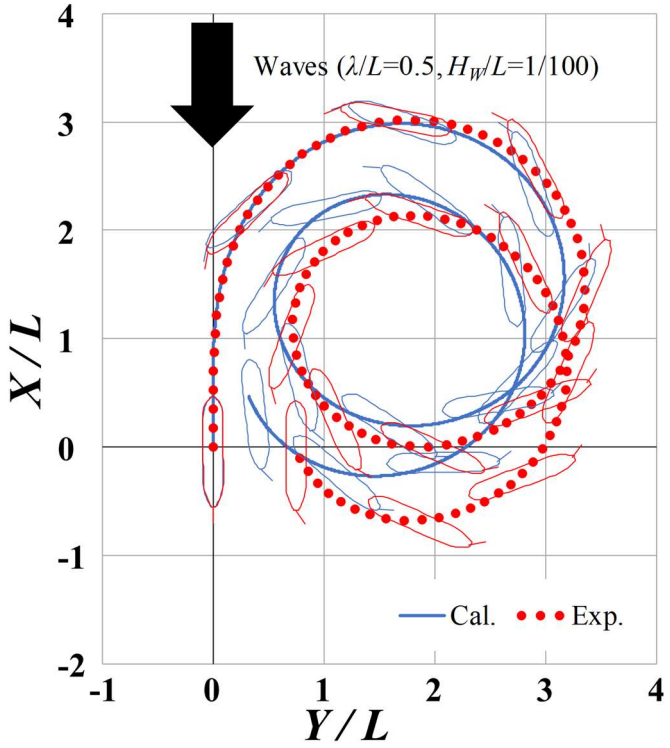
作成した 3 自由度（前後・左右・回頭方向）の規則波中操縦運動推定プログラムについて、既存の水槽試験と比較することで、旋回操舵時の航跡の漂流をおおよそ表現できることを確認した（図Ⅰ．2.(1).①. 45）。また、精度向上のために必要な波浪中操縦運動モデルの要素について、調査・検討資料としてとりまとめた。



(a) VLCC，斜め向かい波　　(b)　コンテナ船，横波

図Ⅰ. 2. (1). ①. 44　開発した規則波中の定常波力及び船体動揺計算法の検証

（開発した計算法（線）が、模型試験（点）で確認された定常波力ならびに船体動揺振幅の船体斜航による変化の影響を複数の船型に対して幅広い波長において妥当に捉えている）



図Ⅰ. 2. (1). ①. 45 規則波中操縦運動計算の例(VLCC, 向波, 波高船長比 0.01, 波長船長比 0.5)
(開発した定常波力計算法を外力に考慮した 3 自由度操縦運動推定プログラム(線)で、水槽試験(点)で得られた規則波中を旋回する船の航跡をおおよそ表現できている)

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文:5 編

- Yasuyuki NIWA: Target Ship Association Acquired by RADAR TT Information and AIS Information, Proceedings of the IAIN World Congress 2024, B1-3, pp. 207-214, (2024).
- Keiji Sato, Hitoi Tamaru: Development of a Ship Avoidance Algorithm Based on Obstacle Zone by Target, Proceedings of the IAIN World Congress 2024, A4-3, pp. 151-160, (2024).
- Mitsuru Kobayashi, Keiji Sato: Ship Detection and Positioning System by Stereovision, Proceedings of the IAIN World Congress 2024, B2-4, pp. 248-259, (2024).
- Makiko MINAMI, Keiji SATO, Ryohei SAWADA: Scenarios of Multiple Vessels Encounter for Safety Evaluation for Automatic Collision Avoidance Algorithm using AIS Data, The joint conference for the International Maritime and Port Technology and Development Conference (MTEC) and the 6th International Conference on Maritime Autonomous Surface Ship (ICMASS) 2024, Journal of Physics, Conference Series, Volume 2867, 012040, (2024)
- Kenji YOSHIMURA: Research on Taking Over a Navigational Watch on Maritime Autonomous Surface Ships, Proceedings of World Automation Congress 2024, (2024).

□各種表彰の受賞: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, 日本船舶海洋工学会, 2024 年 5 月.

□その他

◆その他発表論文:4 編

・南真紀子, 疋田賢次郎, 澤田涼平, 丹羽康之, 佐藤圭二, 國分健太郎: 海上技術安全研究所報告第 24 巻, 第 4 号, 総合報告, pp. 69-90, (2025).
・澤田涼平: LiDAR 点群を用いた実岸壁の形状認識手法の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 23-27, (2024).
・沼野正義, 疋田賢次郎, 石村恵以子, 東福 守, 荒川修一, 杉本文太, マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -第 9 報 静的・動的情報の統合-, 第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 217-218, (2024).
・石村恵以子, 沼野正義, 疋田賢次郎, 東福 守, 荒川修一, 杉本文太, 自動運航船の機関室等に対する状況認識支援の研究 -第 1 報 状況認識支援システムの概要-, 第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 219-220, (2024).

◆その他学会発表、講演等:5 編
・小林充, 佐藤圭二, 戸板佳祐: 船上カメラによる浮遊障害物検出の研究開発, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会 PS-15, (2024).
・佐藤圭二: 変動 OZT を元にした避航アルゴリズムの研究開発, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会 PS-16, (2024).
・小林充: 自動運航船の他船検出技術の現状と将来像, 令和 6 年うみそら研第 3 回ミニ勉強会
・小林充: 自動運航船の他船検出技術の現状と将来像, 光産業技術振興協会 ロードマップ策定専門委員会
・南真紀子, 疋田賢次郎, 佐藤圭二: 総合シミュレーションシステムについて, 日本船舶海洋工学会誌 KANRIN(咸臨), 第 117 号, pp. 26-30, (2024).

◆公開実験:3 件
・海技研 実海域再現水槽, 斜航状態の船の働く定常波力計測試験(7/26)
・海技研 総合シミュレーションシステム(SHS), 自動避航操船システム(7/26)
・海技研 総合シミュレーションシステム(SHS), トリプル連結バージ遠隔操船再現実験(12/6)

重　点　分　野	(2)海洋環境の保全

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、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、水素専焼時の異常燃焼を抑制する技術の開発、ゼロエミッション燃料の排出ガス特性の評価及び後処理装置の検討、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

○GHG 削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究

研　究　の　背　景

持続可能で暮らしやすい社会の実現のために、船舶から排出される環境負荷物質を削減し、海洋環境を保護する必要がある。船舶から排出される環境負荷物質としては、航行する船舶の動力システムから排出される排ガスだけでなく、船体に塗布された防汚塗料由来の化学物質の拡散や沈船からの重油の流出による海洋環境汚染などがある。これら環境負荷物質の削減は強く求められている。

船舶からの GHG 排出については、国際海事機関(IMO)は、2030 年、2040 年それぞれに 2008 年比 20～30%削減、70～80%削減の目安、2050 年頃には GHG 排出ネットゼロの目標を定め、内航海運においては、2021 年に閣議決定された地球温暖化対策計画によって、2030 年度に 181 万トンの CO_2 削減（2013 年度比約 17%削減）の目標が決められた。また、2050 年には我が国のカーボンニュートラルに向けて船舶分野も協力していくことが求められている。GHG 削減のために、水素・アンモニア・メタノール・バイオ燃料等の代替燃料やバッテリー推進システムの利用による GHG の排出削減が政策に取り入れられている（第 5 期国土交通省技術基本計画、2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略など）。

研　究　目　標

本研究では、代替燃料やバッテリーを利用した船について、その開発に係わる技術力の獲得並びに技術開発・実証や関連する安全基準の策定に資するための研究開発を実施する。水素やアンモニアをエンジンにおいて安全に燃焼させるための要素技術や排ガス中の環境負荷物質の処理技術の開発を国内メーカーと協力して行う。さらに、高度になる環境負荷削減対策の研究開発に合わせて、環境への影響を精度よく評価するための技術も高度化する必要がある。そこで、船舶からの環境負荷物質排出量の推定、船体の塗料の性能、あるいは事故時損傷等に関連し、船外へ放出される物質の環境中濃度などの評価技術、モニタリング技術及び合理的後処理技術の高度化を行い、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。具体的な研究項目と目標は下記である。

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の一環として、デュアルフューエル※から専焼を目指す上での課題を抽出し（2026 年度）、アンモニア専焼コンセプトを提案する（2029 年度）（※デュアルフューエル：ガス燃料を少量の液体燃料（軽油や重油）で着火・燃焼させる方式）。

次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化を目指し、各種新燃料の噴霧・燃焼特性解析のための実験技術を確立し、実験装置群の開発を行う（2024 年度）。さらに、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を構築・公開する（2028 年度）。

次世代燃料使用における安全・環境評価技術として、規格に沿った CN（Carbon Neutral）燃料の混合率、着火性指標（CCAI）と着火性との関係を公知化する。また、各種次世代燃料の安全利用のためのガイドラインの提案、排ガス処理性能予測手法の提案を行う（2026 年度）。

船舶運航における環境影響評価技術の高度化の一環として、モニタリング手法を標準化し、船舶由来物質の環境影響を予測する。また、船体の防汚評価手法を構築する。

内航・外航海運の省エネ化・GHG 削減対策に資する普及・実用技術として、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を社会実装する。

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一環として、エマルション化技術を利用した油回収システムを構築する（2023 年度）。

令和６年度の研究内容

（2）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

①既設機関の 1 気筒デュアルフューエル化に関連した研究

1 気筒デュアルフューエル化を目指した電子制御装置を製作し、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た。任意のクランク角度にて、任意の噴射量を噴射可能にしたが、ガス燃料の割合が低い（ガス燃料と液体燃料の割合はエネルギー割合で 20:80）ため、今年度はガス燃料の割合を高めるように改造し、実験を行った。ガス燃料の噴射割合を変更して、ガス燃料の吹き抜け割合や、排ガスに与える影響を調査した。

②水素専焼対応技術に関連した研究

舶用水素専焼エンジンの課題である異常燃焼への対応技術を開発することを目的として、民間企業と共同（日本財団助成事業）で異常燃焼発生条件の特定及び異常燃焼対策技術である排気再循環（EGR）技術の装置開発と評価試験を実施した。

③アンモニア燃焼支援による GHG 排出量の削減

所内の NH_3 と軽油を混焼できる小型単気筒ディーゼル試験機を利用して、実排ガスを用いて排ガス後処理装置の試験を実施し、共同研究先が設計試作した排ガス後処理装置により、排ガス浄化性能を確認した。また、海技研独自の研究として、NH_3 雰囲気中の軽油の自着火過程を調べるために、小型の着火試験装置を設計し製作した。

④アンモニア専焼方法開発

副室式 NH_3 ガス専焼機関の開発に向けて、副室内で NH_3 を改質して H_2 を生成する半導体型テスラコイルを用いた高周波プラズマ生成装置を開発した。プラズマ生成周波数は、産業科学医療用バンド（ISM: Industrial Scientific and Medical Band ）の 13.56MHz 帯を使用することとし、副室に取り付けるプラズマ放電用電極として、市販スパークプラグを改良した。開発した高周波プラズマ生成装置が、13.56MHz のプラズマを改良スパークプラグ先端において生成できることを確認した。

アンモニア分解ガスを副室燃料に使用した副室火花点火式アンモニア予混合燃焼システムの研究について、当所が所有する可視化定容燃焼容器に副室燃焼システムを追加する装置の設計・部品製作を完了した。

（2）次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化

①大型エンジン用の次世代燃料評価設備の構築と、計測技術の確立

大型エンジンを対象として次世代燃料の燃焼状態が評価できる設備の構築と、CFD 解析のための検証用データを取得するための計測技術の確立のために下記を実施した。

・水素噴流可視化のための光学的可視化手法の構築
・燃料噴射率計の試作・評価
・容器内速度場の計測手法

（3）次世代燃料使用における安全・環境評価技術

①ドロップイン燃料の着火性評価

アルコール系燃料（メタノール、エタノール）と既存燃料の混合時の着火性評価を行い、混合比と着火特性の関係を明確にした。また、着火性の低いメタノール、エタノールの着火性向上方法を模索した。

②PM 排出特性の評価

次世代燃料の例として、水素とアンモニアを取り上げ、単気筒小型 4 ストロークディーゼル機関を用いて、水素混焼時（吸気に水素を供給）とアンモニア混焼時（吸気にアンモニアを供給）に排出される PM 計測を行い、両者の比較を行った。

③光学計測による燃焼中の NO、すす生成の評価

噴霧燃焼画像から、すすの生成と酸化、あるいはすすと窒素酸化物の生成といった 2 つの情報を得られる 2 分岐光学系を組み込んだ高速度ビデオカメラを用いて、含酸素燃料との混合燃料の燃焼中に生成されるすす及び窒素酸化物の時空間分布の同時計測を試みた。この計測方法の検証として、すすの生成に対する燃料の感度評価と、一酸化窒素の時空間分布の撮影を実施した。

④アンモニア除害材の性能評価（NEDO エネ環先導プログラムにて実施）

アンモニア燃料船においてアンモニアのパージが必要となるシナリオを検討し、アンモニアの気相および水中から除害する除害・回収・再利用システムの要求性能を推定した。

システム実用化検討のため、入手したアンモニア吸着材粉末を用いて、シート状成形品の検討を行った。成形条件がアンモニア吸脱着性能に与える影響を調査するため、破過試験、TPD(昇温脱離)を用いて調査した。

水中からのアンモニア除害を想定し、水中のアンモニア濃度をモニタリングするため、複数のアンモニア計測装置を用いて比較検討し、評価試験法の検討を行った。

⑤舶用 NTA 触媒システムの性能評価

NTA 触媒(NOx−アンモニア変換)を用いて、舶用ディーゼルエンジン及びガスエンジンの実排気中における性能評価を行った。

⑥メタン酸化触媒の性能評価

排ガスでのメタン酸化触媒性能評価モデルを構築し、メタン酸化時の触媒内部の温度分布の実験結果を用いて検証を行った。

⑦代替燃料船の安全規則

IMO における水素、アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの検討に関する CG に適切に対応するため、国内業界意見案のとりまとめ、対策資料案の作成及び提案文書案の作成を行った。

(4)船舶運航における環境影響評価技術の高度化

①EGCS からの排水の濁度の標準化を目的とした調査研究

計測法による計測値への影響把握に関して、黒色標準粒子と白色標準粒子を混合した実験を追試し、計測法による計測値への影響を確認する。また、ISO 規格の素案作成に関して、ISO 提案のための標準サンプルの仕様を決定し、ISO 規格の素案を作成した。

②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

船舶由来の環境影響物質の環境中濃度の予測可能範囲として、海域に加えて大気質に拡張した。今年度はメソスケール(2〜2,000 km)に限定した下記の調査研究を実施した。

・発生源の把握

排出インベントリの調査:大気汚染の解明においては、人為起源の大気汚染物質の排出量の把握が重要である。大気汚染物質の排出量に関しては、排出量データベースとして複数提供されているところ、積み上げ方法や思想が異なるため、推計手法を調査した。調査対象は、EDGER(Emission Database for Global Atmospheric Research)、HTAP(The Task Force Hemispheric Transport of Air Pollution)、REAS(Regional Emission inventory in ASia)とした。

・気象モデル及び化学輸送モデルの調査

化学輸送モデルの移流、拡散、及び沈着過程においては、三次元での時間・空間変化からなる気象要素を正確に把握が必要である。そこで、化学輸送モデルに必要な、微粒子や水滴の挙動のような微物理過程を含む気象モデルを調査した。調査対象は、気象過程と化学過程の相関、例えば降水除去プロセス、物質と大気放射のフィードバックを連成できるオンライン解析手法である。

・船舶航行排出物が大気質に与える影響評価(予備解析)

調査により選定された化学輸送モデルに排出インベントリを与え、船舶由来の寄与をメソスケールにて評価した。

③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

本研究項目に関して、下記の 2 つの項目を実施した。

・藻類(褐藻)を用いた船底防汚塗料性能評価試験法の開発

提案した試験法について、ISO(国際標準化機構)/TC 8(船舶及び海洋技術専門委員会)/SC 2(海洋環境保護分科会)/WG 5(船底防汚システム)における審議に継続対応した。また、供試生物を異なる藻類(緑藻)へと拡張し、当該試験法の再現性及び評価法の有効性について検討した。

・船体水中洗浄が船底防汚塗料及び環境に及ぼす影響評価の具現化

実船を用いた水中洗浄試験及び調査を実施した。当該調査研究は、日本船舶技術研究協会からの

請負研究と併せて実施した。水中洗浄試験計画を作成し、実証試験により水質及び生物分析結果を取り纏めた。

（5）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

①GHG 排出削減を目指した内航貨物船の建造支援

外部機関と連携して、GHG 排出削減を目指した新たな省エネ技術を搭載した内航貨物船の建造と効果検証を支援した。2025 年 1 月に就航した 499GT 内航貨物船「ちゅらさん」では、高度空気潤滑システムやコンテナ型バッテリーシステム、船内監視・陸上サポートシステムといった新技術を導入しており、それらの効果検証を進めてきた。

②次世代燃料の利用技術

国内外において、水素やアンモニアなどのカーボンフリー燃料を用いるための様々な研究開発プロジェクトが進められている。本研究においては、前年度に引き続き、外部機関と協力して実船搭載の課題を整理するとともに、様々な調査を進めた。

また、前年度より実施してきたバイオ燃料について、複数の種類のサンプル油を用いて、酸化劣化計測などの各種試験を実施し、実船においてバイオ燃料を安全に使用するための知見を得た。

（6）海難事故等における油流出・回収及び処理効率向上技術の開発

①回収油分離に関する研究

重油エマルション化混合液の油水分離に関して、微細気泡が威力を発揮することが示されている。そこで、流体力学に基づき簡便に微細気泡を生成可能なデバイスであり、多方面で利活用されているベンチュリ管を用いて、重油エマルション化混合液に微細気泡を積極的に接触させることが可能な試験計測装置を製作し、回収油を対象とした油水分離効果を計測した。具体的には、ベンチュリ管通過後の回収油に対して水分率を計測し、回収油や空気流量との相関を取得することを目的に検討を行った。

②回収油の流動性に関する研究

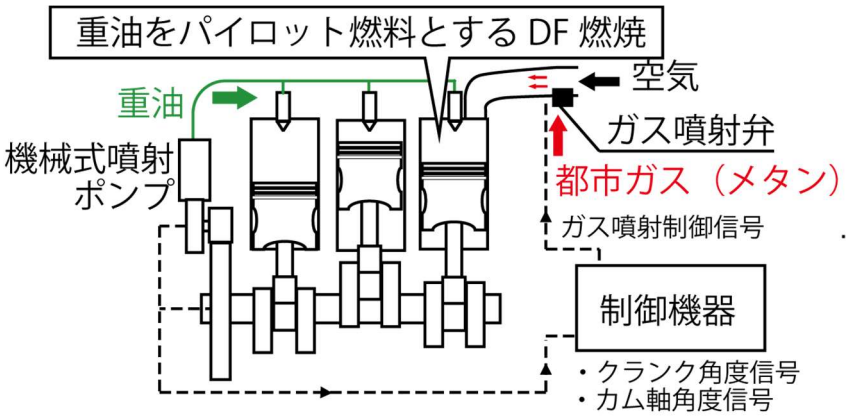
重油エマルション化に関して、エジェクターによる重油回収移送試験を実施し、試験結果を基に実用化に向けた重油回収システムの開発に取り組んだ。今年度はエジェクター近傍の流場を改善するために新たに予備噴射装置を設けた。また、「重油＋海水＋界面活性剤」の 3 成分による重油エマルション化について基本的な試験を実施し、界面活性剤の成分の違い（イオン性など）によって反応が異なることから、回収重油の環境状況に応じた使い分けなどについて検討した。

令和６年度の研究成果

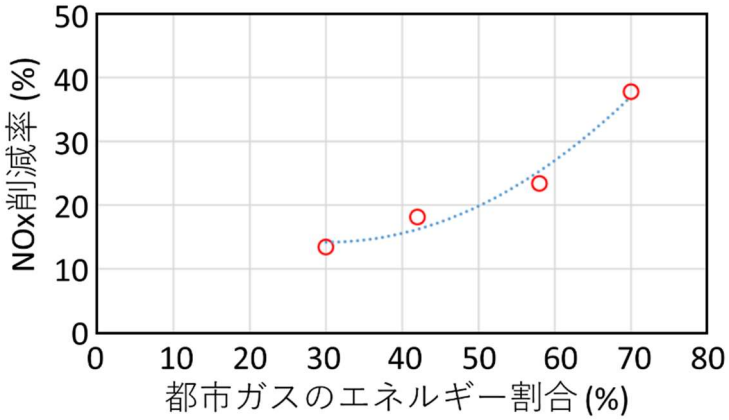
（1）水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発

①既設機関の 1 気筒デュアルフューエル化に関連した研究

図Ⅰ．2.（2）．⑥．1 に 1 気筒デュアルフューエル化の概要図を示す。既設ディーゼルエンジンの 1 気筒を対象に、エンジンに供給する空気に、都市ガス（主成分：メタン）を供給し、重油をパイロット燃料として、ガス燃料を着火燃焼するデュアルフューエル（DF）燃焼を実施し、未燃メタンや NOx の低減方法を研究開発している。メタンガスの噴射量やタイミングを任意に変更するために制御機器を改良・製作した。この制御機器を用いてメタンガスの噴射時期をクランク角度 0 度～90 度の間で変更し、メタンガスのエネルギー割合を 70%まで変更して実験を行った。本実験において、導入されたメタンは約 93%燃焼し、窒素酸化物（NOx）はガスをエンジンに導入する前（従来の重油のみの運転）の状態に比べて約 40%削減した(図Ⅰ．2.（2）．⑥．2)。



図Ⅰ．2.（2）.①. 1　1 気筒デュアルフューエル（DF）化したエンジン概要



図Ⅰ．2.（2）.①. 2　都市ガスのエネルギー割合に対する NOx 削減率
（都市ガス（メタンガス）の混合と共に NOx が削減されている）

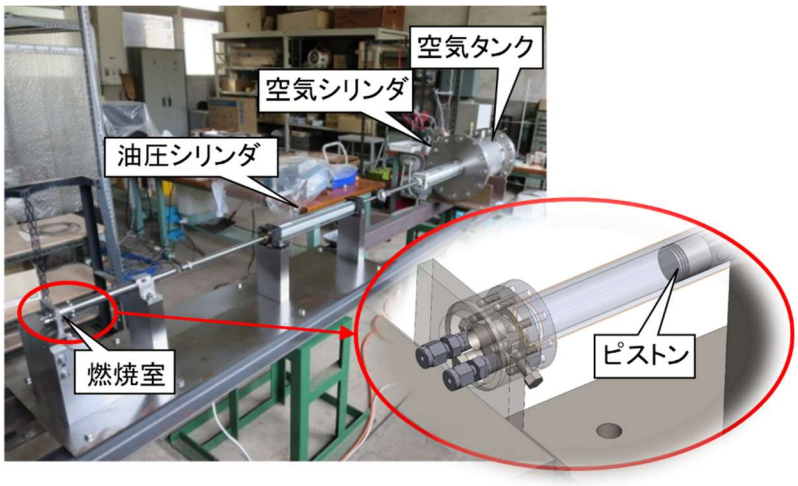
②水素専焼対応技術に関連した研究

水素専焼運転における異常燃焼の発生条件特定や対策技術（EGR 技術）評価試験を実施した。この結果、点火時期などをパラメータとした広範囲条件における異常燃焼発生条件の評価を完了した。さらに EGR 技術について装置を製作し、エンジン試験から異常燃焼におよぼす影響を評価し、課題を整理した。

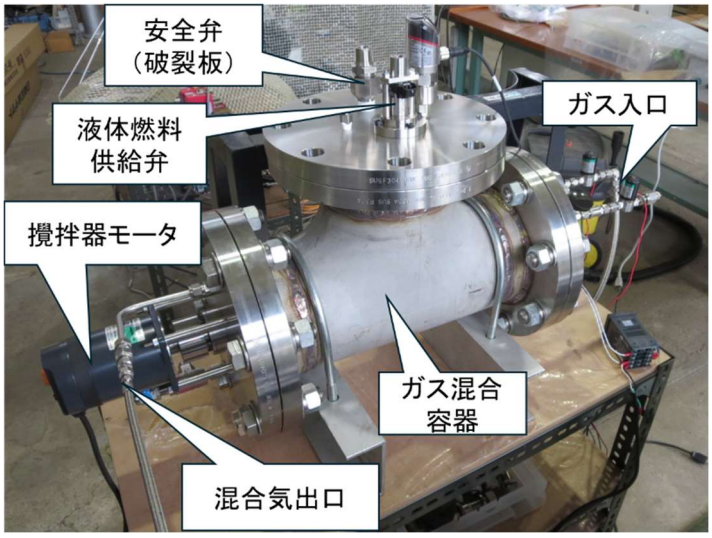
③アンモニア燃焼支援による GHG 排出量の削減

アンモニア(NH_3)と軽油を混焼できる小型単気筒ディーゼル機関（8kW）を利用して、実排ガスを用いて排ガス後処理装置の試験を実施した。共同研究先が設計試作した排ガス後処理装置により、NH_3 と軽油混焼時の NOx、未燃 NH_3、亜酸化窒素（N_2O）を 10ppm 未満に浄化できることを確認した。本成果は、舶用機器やエンジンメーカ、研究者らが参加する国際学会(CIMAC Congress 2025)の発表論文として投稿し、R7 年 5 月に発表予定である。

アンモニア雰囲気中の軽油の自着火過程を調べるために、小型の着火試験装置を設計・製作し、実験装置の基本動作を確認した（図Ⅰ．2.（2）.①. 3）。



(a) 圧縮着火するための燃焼室部分と駆動機構



(b) ガス混合のための容器

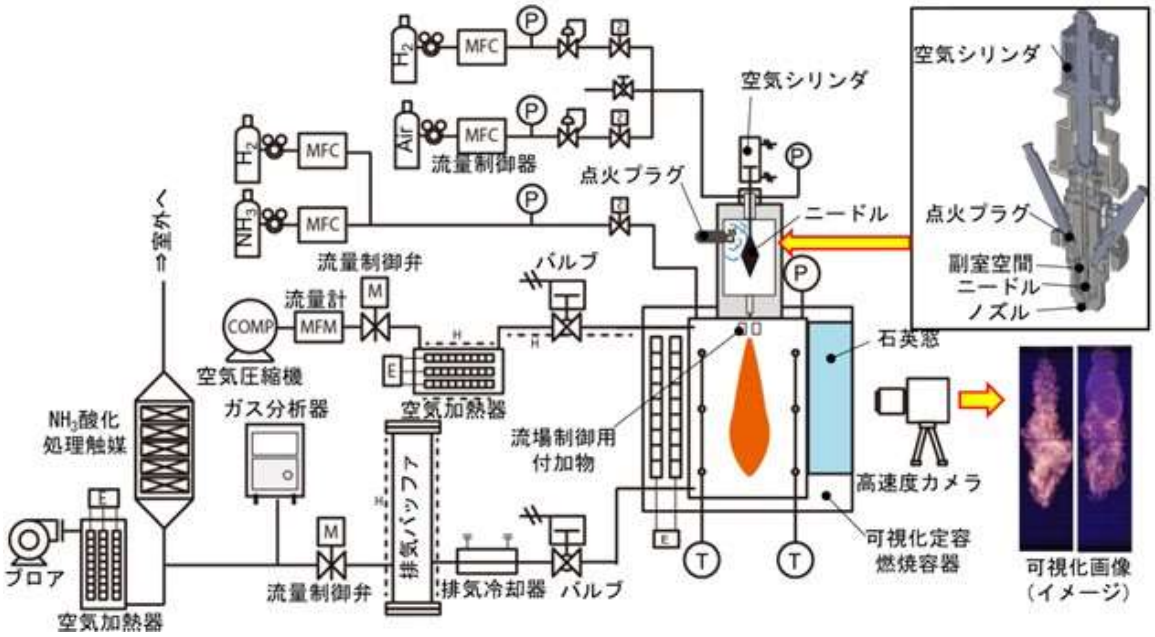
図Ⅰ. 2. (2). ①. 3 燃焼現象の解明のための実験装置

④アンモニア専焼コンセプトの提案

副室式 NH_3 ガス専焼機関の開発に向けて、副室内で NH_3 を改質して H_2 を生成する半導体型テスラコイルを用いた高周波プラズマ生成装置の開発を行った。プラズマ生成周波数は、プラズマ生成回路内の各素子のバランス調整を行い、産業科学医療用(ISM: Industrial Scientific and Medical Band)バンドの 13.56MHz 帯とした。また、副室に取り付けるプラズマ放電用電極として、市販スパークプラグの改良を行った。開発した高周波プラズマ生成装置は、改良スパークプラグ先端から 13.56MHz のプラズマ(空気)を生成可能であることを確認した(図Ⅰ. 2. (2). ①. 4)。

アンモニア分解ガスを副室燃料に使用した副室火花点火式アンモニア予混合燃焼システムの研究について、当所が所有する可視化定容燃焼容器に副室燃焼システムを追加する装置の設計・製作を行った。(図Ⅰ. 2. (2). ①. 5)

図Ⅰ．2.(2).①．4　改良スパークプラグを用いた 13.56MHz の高周波プラズマ



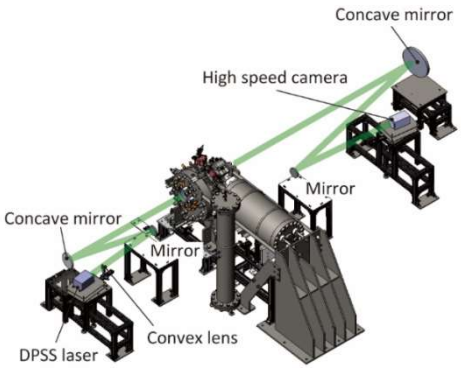
図Ⅰ．2.(2).①．5　副室火花点火式アンモニア予混合燃焼実験システム

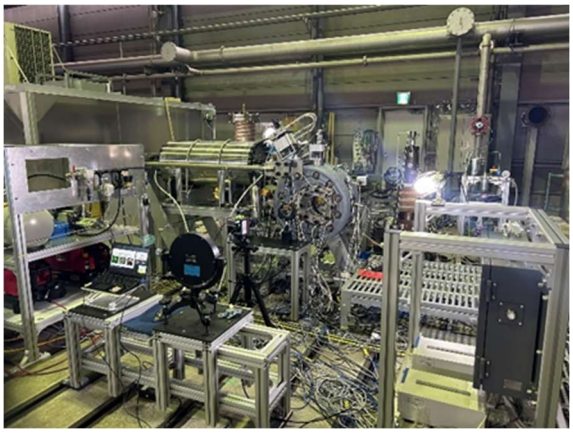
（2）次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化

①大型エンジン用の次世代燃料評価設備の構築と計測技術の確立

水素噴流可視化のための光学的可視化手法の構築に関して、水素噴流やアンモニア噴霧の可視化データを取得するため、当所で開発大型可視化燃焼容器に対し、平行光学系を基盤とした往復型シャドウグラフ装置を設計・設置した。本装置の光学系構成及び撮影されたシャドウグラフ画像を、図Ⅰ．2.(2).①．6 及び図Ⅰ．2.(2).①．7 に示す。当該シャドウグラフ画像より、水素ノズルから噴出した噴流が、周囲気体との密度差によって影画像として可視化された様子が確認できる。

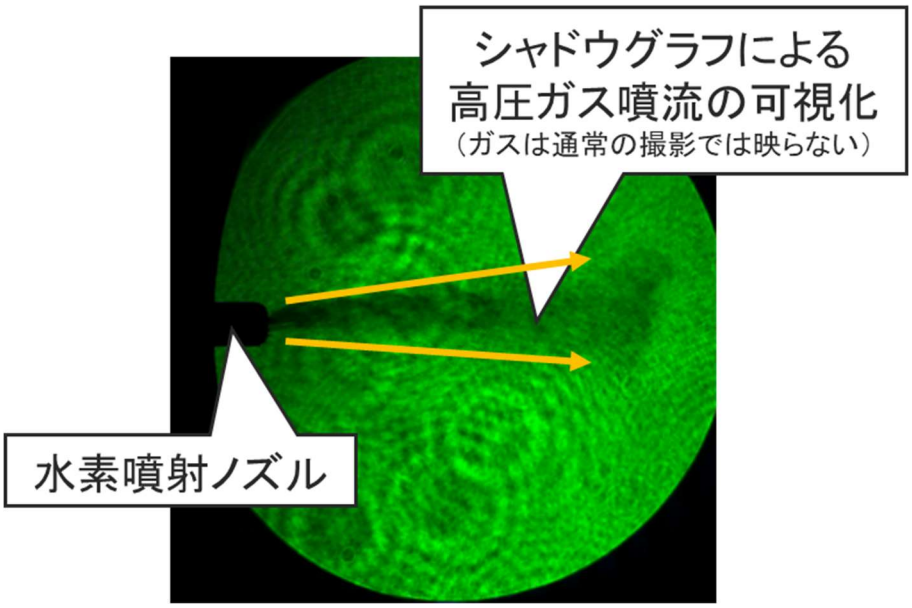
本年度は、本光学系の設計・構築と基礎的な実験検証を実施し、噴流の可視化が可能であることを確認した。今後は、本装置を燃焼場へ適用することで、実機条件下における水素燃焼の可視化を実施する。





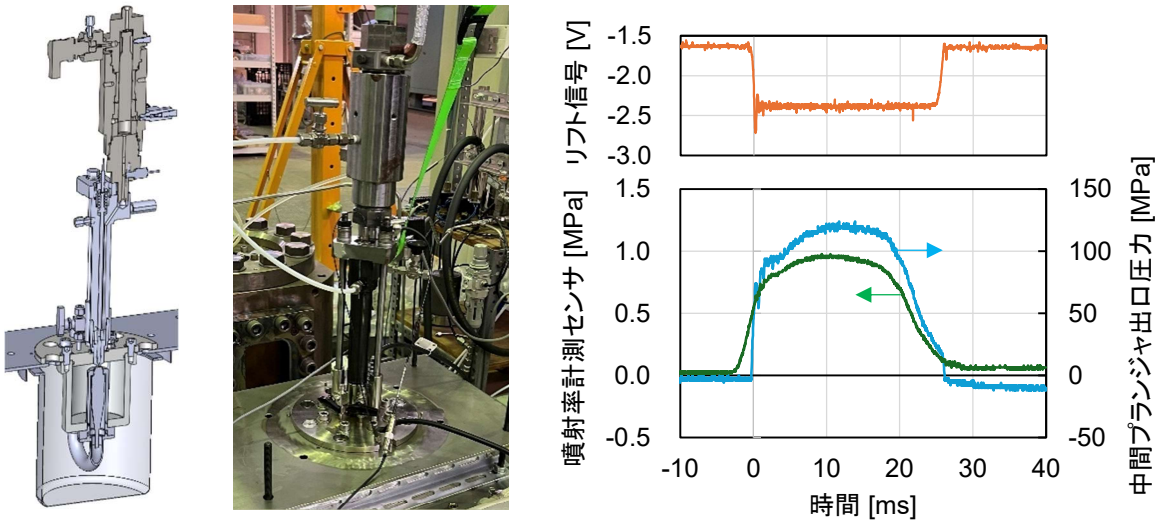
（a）配置図概要　　（b）外観写真

図Ⅰ．2.(2).①. 6　大型燃焼試験装置に適用したシャドウグラフ光学系



図Ⅰ．2.(2).①. 7　シャドウグラフ法で撮影された高圧噴流の可視化結果例
（通常の撮影では観測が困難な高圧水素ガス噴流を可視化することができた）

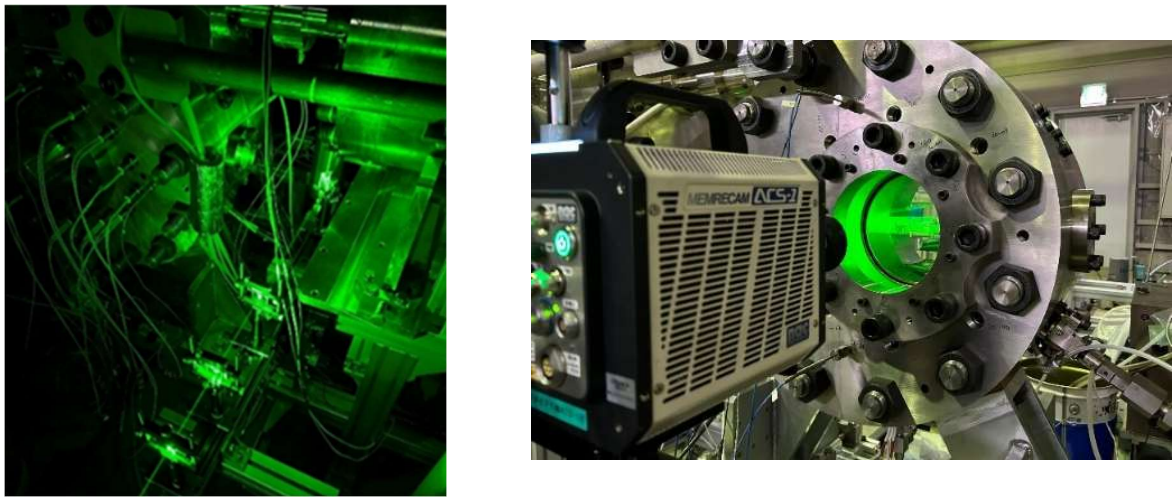
燃料噴射率計の試作・評価に関して、燃料噴射率計測に関する文献調査を実施した。燃料噴射率は、CFD 解析における初期条件として重要な物理量であり、高精度な評価が求められる。本研究では、燃料噴射率計の計測原理としてノズルから噴射される燃料噴流の運動量によって生じる反力を圧力センサーで測定することで、質量流量（噴射率）を高い分解能で算出することが可能なモメンタム法を採用した。図Ⅰ．2.(2).①. 8 に、構築した評価装置及び計測結果の一例を示す。



(a) 断面図と外観　　(b) 計測結果例

図Ⅰ. 2. (2). ①. 8　製作した燃料噴射率系と計測結果の一例

容器内速度場の計測手法の構築に関して、旋回流 ※ の 2 次元データを取得するため、計測手法として PIV(Particle Image Velocimetry, 粒子画像流速測定法)を採用し、本装置に適用した。PIV のレーザーシート系の構成を図Ⅰ. 2. (2). ①. 9 に示す。焦点距離の異なる 3 種類のシリンドリカルレンズを用いて、DPSS(Diode Pumped Solid State, LD 励起固体)レーザーから出力されるビーム光をシート光に変換した。高速度カメラにより取得された連続画像データを解析し、時間分解された 2 次元速度場を算出した。(※エンジンの燃焼室内の流れは、スワールと呼ばれる旋回流場となる。この雰囲気を模擬し、燃焼に与える影響を評価するために、旋回流の定量化・制御が必要。)



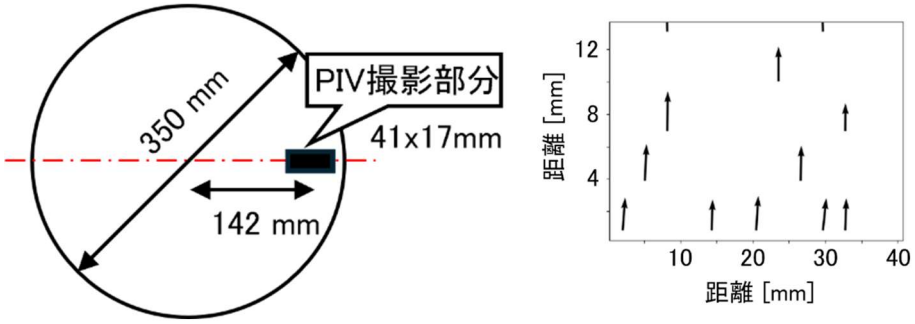
(a) 容器内へのレーザー光(緑色)の照射部分　　(b) 高速度カメラによる容器観察窓からの撮影

図Ⅰ. 2. (2). ①. 9　大型燃焼試験装置に適用した PIV 光学系

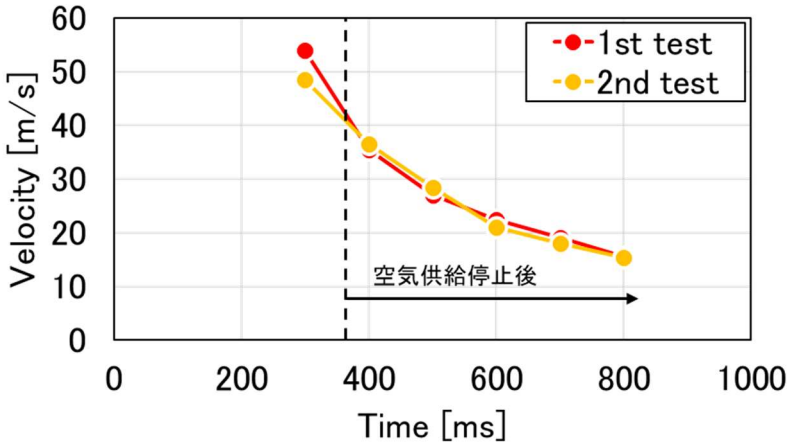
図Ⅰ. 2. (2). ⑥. 10 に PIV 解析結果の一例(図(a)及び(b))と容器内の圧力・温度の時間変化(図(c))を示す。タンクからの空気供給中は容器内の流速が大きくなり、徐々に容器内の圧力が上昇して所定の圧力に達した後、タンクから空気の供給を停止させると容器内の流速・温度・圧力は時間とともに減衰する傾向が確認された。本研究の結果から、タンクから空気供給した直後は流速が大きいため、実エンジン内を模擬するためには実機と同等の旋回流場になるまで空気充填後に一定の待機時間を設ける必要があることが明らかとなった。また、旋回流が弱い場合、待機時間後であっても、容器内の圧力と温度が低下するものの、容器内の実エンジンの燃焼室の温度・圧力を十分に維持できる能力を確認し

た（同図（c））。旋回流速度が早い場合については、燃焼室の温度・圧力を維持できる待機時間の間に、流速を減衰させるための改良（供給する空気の流れ方向の調整など）が必要であることが分かった。

研究初年度及び当該年度の進捗により、次世代船舶用代替燃料の燃焼状態を評価可能な設備の構築を完了した。本研究で整備した基盤を活用し、次年度より燃焼データベース構築に向けたデータ取得を開始する予定である。

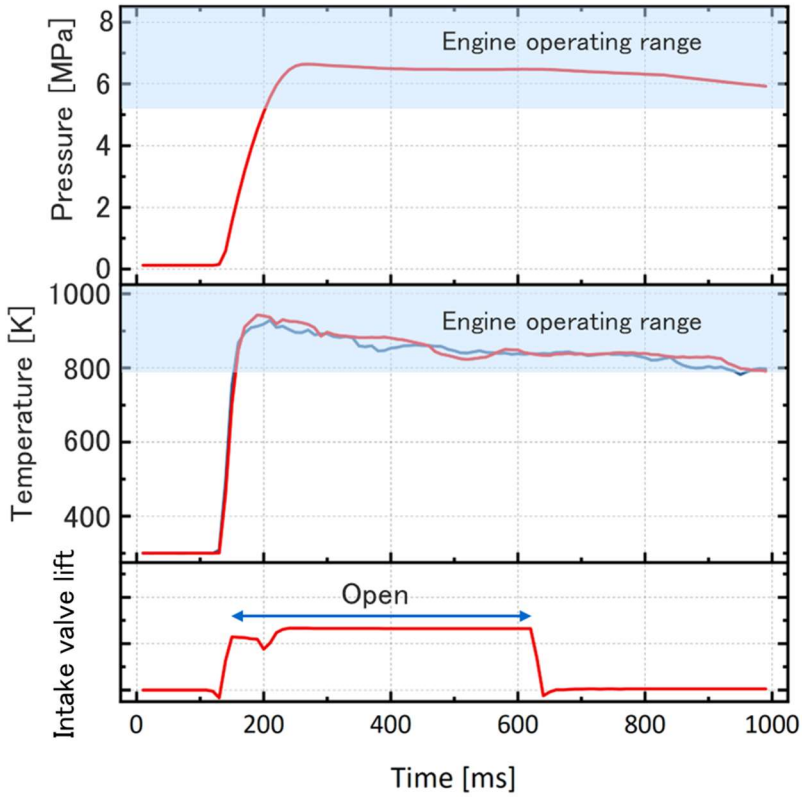


(a) 容器観察窓中の PIV 撮影部分と撮影部分の PIV 例



(b) PIV による流速の定量例

(PIV によって容器内に発生させた旋回流速度を測定した。
旋回流速度の減衰には、空気供給停止後の待機時間が必要であることがわかった。)



(c) 容器内の圧力・温度の測定結果例

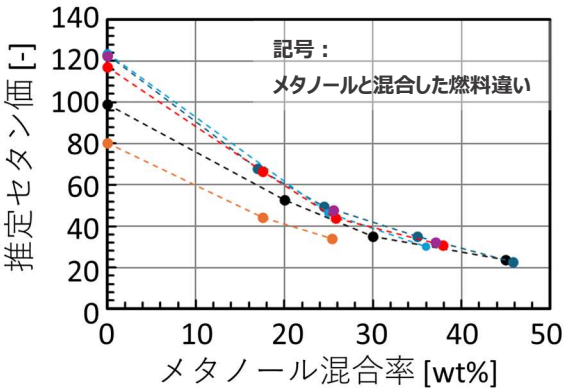
(旋回流が弱い場合、待機時間後においても温度・圧力を実エンジンの条件を維持できる)

図Ⅰ. 2. (2). ⑥. 10 PIV 法によって計測された燃焼室内速度場の計測結果例

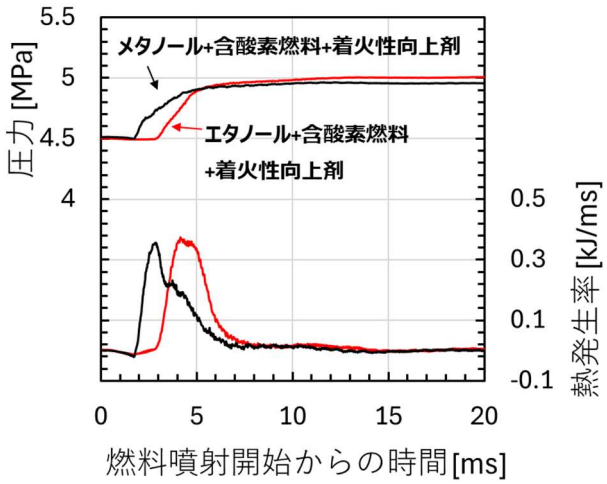
（3）次世代燃料使用における安全・環境評価技術

①ドロップイン燃料の着火性評価

石油会社との協同で、アルコール系燃料（メタノール、エタノール）と既存燃料の混合時の着火性評価を行い、A 重油相当の着火性を維持するためには、4～5 割程度の混合が限界であることが分かった。更に着火性を向上させるためには、含酸素燃料及び着火性向上剤を添加することで、アルコール系燃料を 6 割まで混合できることが分かった（図Ⅰ．2.（2）．①．11）。



（a）メタノールと様々な混合燃料の着火性評価



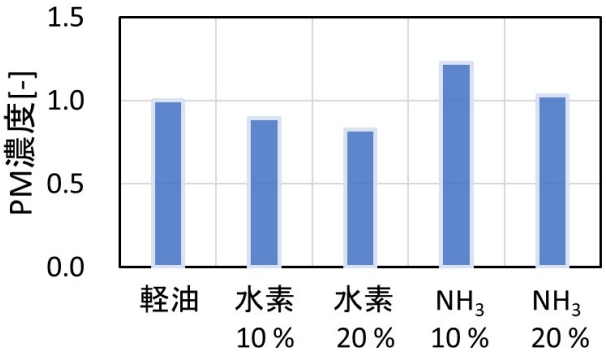
（b）メタノール、エタノール 6 割混合時の圧力、熱発生率

図Ⅰ．2.（2）．①．11 アルコール系燃料の着火と燃焼

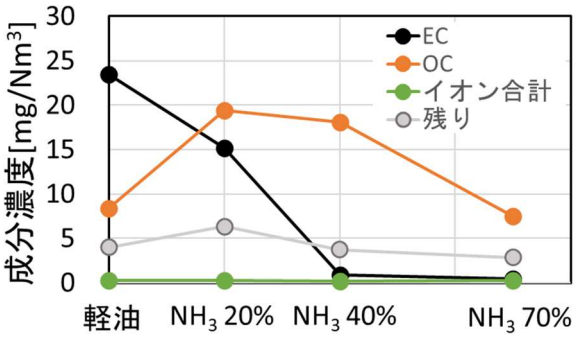
（（a）メタノールと混合する燃料によって、メタノールの混合率に対する着火性評価指標であるセタン価は異なる。また、メタノールを 40～50%混合すると、A 重油相当の着火性になる。（b）混合率の増加のために燃料選定、着火性向上剤を使用して、60%まで混合して安定した着火・燃焼が得られた）

②PM 排出特性の評価

水素混焼時とアンモニア混焼時の PM 排出特性の比較のため、両者の PM 計測を実施した結果を図Ⅰ．2.（2）．①．12 に示す。水素混焼では水素の供給量を上げると、PM 濃度が減少した一方、アンモニア混焼では、発熱量でアンモニアを 10%供給した場合（NH_3 10%）や NH_3 20%において、軽油より PM 濃度が増える現象が確認された。また、アンモニア混焼時の PM の組成を分析した結果を図Ⅰ．2.（2）．①．13 に示す。アンモニア混焼では、元素状炭素（EC）は減少する一方、有機炭素（OC）は NH_3 20%において大きく増えること、OC が PM の主要成分となることが分かった。したがって、PM の排出特性の解明には、OC に関する分析が必要であることが分かった（図Ⅰ．2.（2）．①．13）。



図Ⅰ. 2. (2). ①. 12 水素混焼時とアンモニア混焼時の PM 排出比較例
（水素、アンモニア混焼割合によって PM 排出傾向は異なり、水素増では純減、アンモニア増では増加後に減少に転ずる）

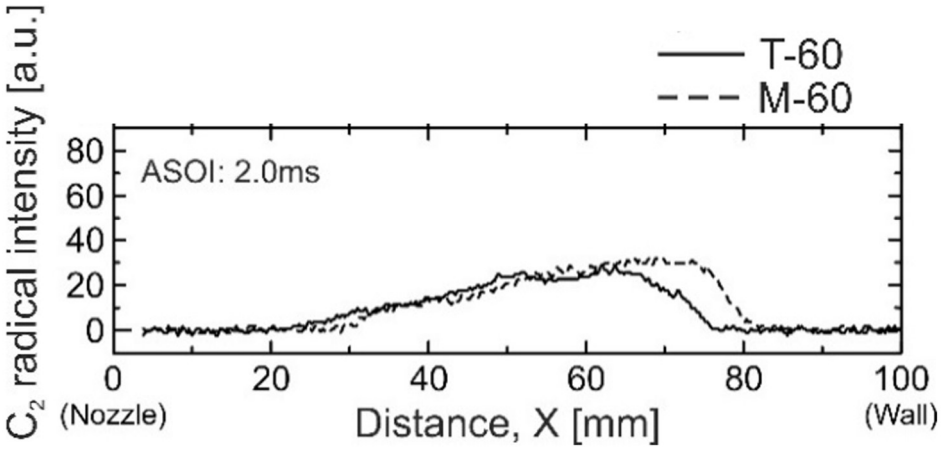


図Ⅰ. 2. (2). ①. 13 アンモニア混焼時の PM 成分分析例
（左図のアンモニア混焼割合の増加によって PM 排出が増加後に減少する原因として、有機炭素 OC の増加が挙げられる）

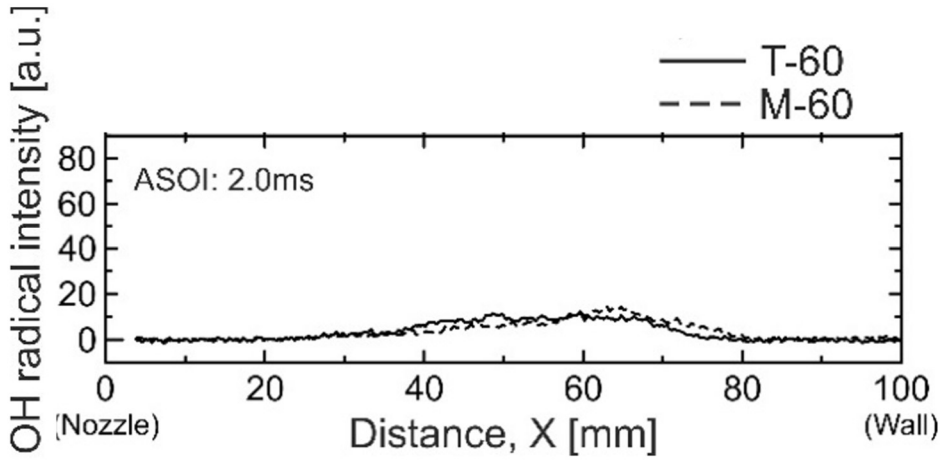
③光学計測による燃焼中の NO、すす生成の評価

図Ⅰ. 2. (2). ①. 14 に、噴霧燃焼画像の燃料噴射軸（X 軸）上における C2 及び OH ラジカルの自発光強度分布を示す。C2、OH ラジカルはそれぞれすすの生成、酸化を表す。試験燃料は、ヘキサデカンに単環のトルエンと二環の 1-メチルナフタレンをそれぞれ 60vol.%混合した 2 つの燃料（T-60、 M-60）を用いた。ヘキサデカン-メチルナフタレン混合燃料 M-60 のほうが C2 ラジカルの自発光強度は高く、OH ラジカルはほぼ変化がなかった。これより、画像解析からメチルナフタレンのすす排出量が多くなることが推定できた。

窒素酸化物の生成について、NO の時空間分布計測を試みたが、検討した光学系では NO の自発光強度が想定よりも弱く、計測に至らなかった。今後の対応として、高感度の高速度ビデオカメラを用いた撮影を実施する。



(a) C2 ラジカル

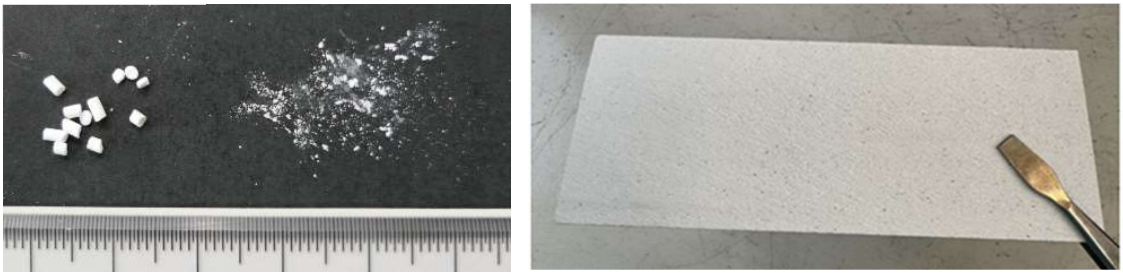


(b) OH ラジカル

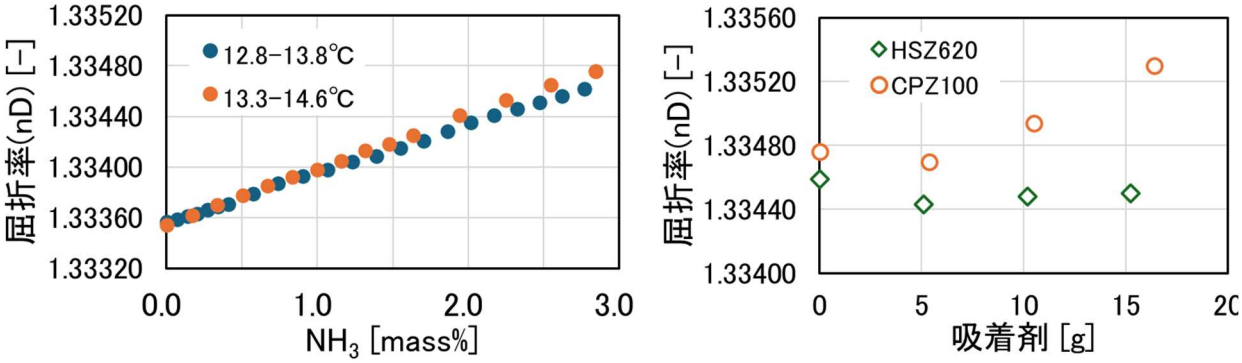
図Ⅰ. 2. (2). ①. 14　噴射軸上における C2 及び OH ラジカルの自発光強度分布
（ヘキサデカンにトルエン（T-60）、1-メチルナフタレン（M-60）を 60vol.%混合したテスト燃料では、60～80mm の位置で M-60 の C2 ラジカルが高く、OH ラジカルはほぼ変化がないことより、画像解析から燃料によるすす排出特性の違いが評価できる）

④アンモニア除害材の性能評価

アンモニア燃料船を対象に、1 航海あたりの燃料配管等からパージされるアンモニア総量を計算し、アンモニアの気相除害、水中除害のそれぞれのシナリオについて、除害装置の要求性能を推定した。また、吸着材粉末等のアンモニア吸脱着特性を評価するため、触媒分析装置（BELCATII）を導入し、定量評価を行った。また、ハニカム状に成形する時の成形条件を検討するため、成形時の焼成温度がアンモニア吸脱着性能に与える影響を調査した。この結果、焼成温度が上がるほどアンモニア吸脱着性能が低下することが確認された。また、水中からのアンモニア除害を想定し、水中アンモニアの吸着性能を評価するための試験方案を検討した。アンモニア濃度を連続的にモニタリングするため、モニタリング指標として pH、密度、屈折率、電気伝導度、アンモニアイオン濃度等と、任意のアンモニア水濃度との関係を調査した結果、純粋なアンモニア水では各手法ともアンモニア濃度と相関のある結果が得られたものの、粉末の吸着材をアンモニア水中に混合させると、例えば粉末自体が懸濁を引き起こすことで屈折率が適切な結果が得られなくなることが確認され、吸着材を混合させた後のモニタリング手法に改善が必要であることがわかった。



図Ⅰ．2.（2）．①．15　除害材として評価した吸着材サンプルとシート化の例



（a）アンモニア水の場合　　（b）吸着剤を水溶液に混合した場合

図Ⅰ．2.（2）．①．16　水溶液中のアンモニア濃度と屈折率の関係

（水中アンモニア濃度モニタリングに利用可能な計測値として屈折率が利用できる可能性を見出したが、水中に粉末吸着材が含まれると含有量によって計測結果が一定にならない。）

⑤舶用 NTA 触媒システムの性能評価

ガスエンジン及びディーゼルエンジンの実排気を NTA 触媒に通じた性能試験を実施し、NEDO MS プロジェクトに貢献した。

⑥メタン酸化触媒の性能評価

排ガスでのメタン酸化触媒性能評価モデルを構築し、メタン酸化時の触媒内部の温度分布の実験結果を用いて検証を試みたものの、モデルの改良が必要であることがわかった。

⑦代替燃料船の安全規則

水素、アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの検討に関して、設置された通信部会（CG：Correspondence Group）の対応、国内業界意見案のとりまとめ、対策資料案の作成及び提案文書案の作成を行い、IMO 第 10 回貨物運送小委員会（CCC10）における審議及びアンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの最終化に貢献した。

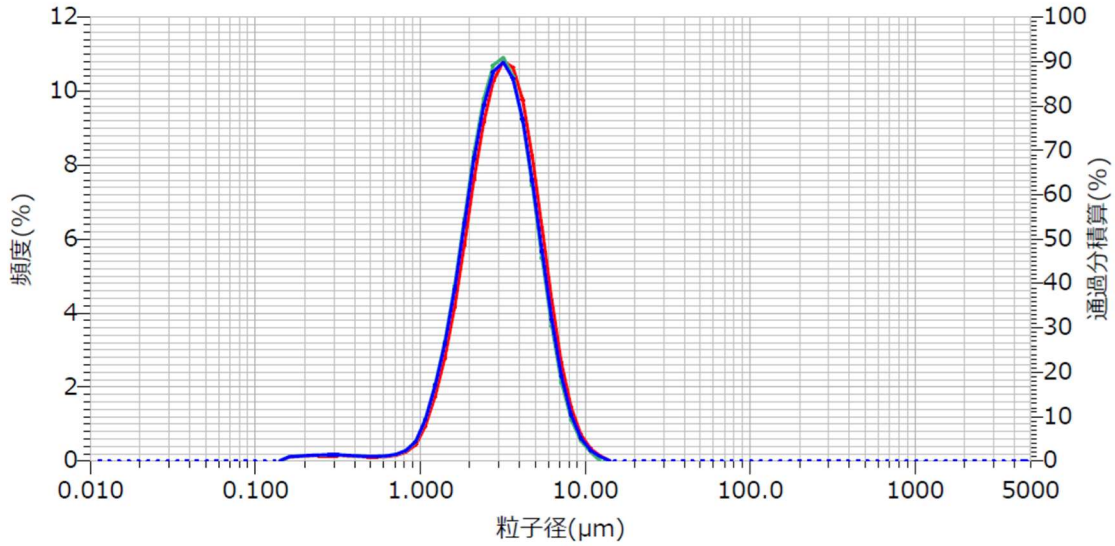
（4）船舶運航における環境影響評価技術の高度化

①EGCS からの排水の濁度の標準化を目的とした調査研究

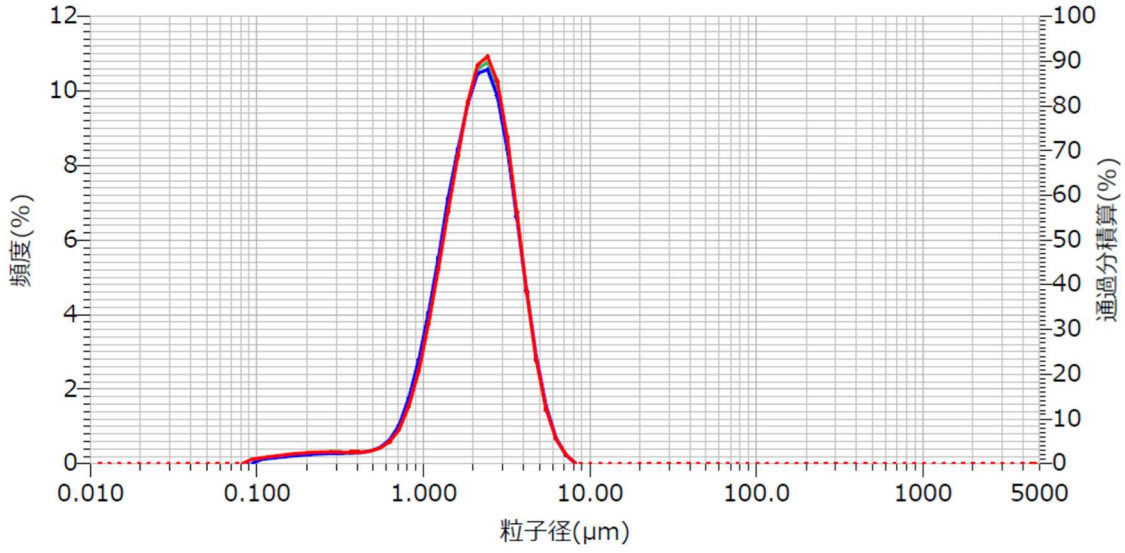
計測器メーカーと昨年度までの結果の再考察を行い、計測手法が計測値に及ぼす影響について第 94 回日本マリンエンジニアリング学会学術講演会にて学会発表を行った。実船サンプルに含まれる浮遊物質の粒子色が EGCS の方式（オープンループとクローズドループ）により異なり、粒子条件により計測法（透過光法・散乱光法・レシオ法）の応答性が異なることが明らかになった。また粒径への依存性も異なった。これらの結果を元に、黒色ポリスチレン標準粒子を用いて、既存のホルマジン濁度標準に相当する標準液を作成し、追試実験を行った（図Ⅰ．2.（2）．①．18）。

ISO 規格の素案作成に関して、上述の結果を元に ISO 規格の基本コンセプトを、製品としての濁度計

の計測限界を示すための標準液を提案することに決定し、ISO 規格提案のための素案を作成した。



(a) ホルマジン濁度標準の粒径分布計測結果
(メジアン径:3.1μm、平均径 3.4μm)

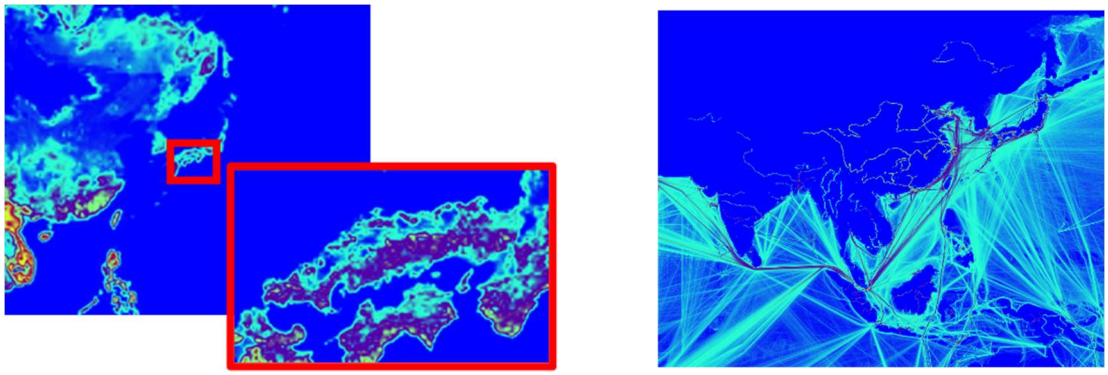


(b) 黒色ポリスチレン粒子の試作標準粒径分布
(メジアン径 2.5μm、平均径 2.3μm)

図Ⅰ. 2. (2). ①. 18 現在使われている濁度標準物質の粒径分布計測結果と試作した黒色ポリスチレン粒子による標準液の粒径分布の比較
(従来の濁度標準物質と同等の粒径を含有する試作標準液を作成した)

②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

船舶より排出される種々の大気汚染物質の発生源の把握に関して、当初予定していた人為起源のみならず、植物・バイオマス燃焼・火山及びダスト起源を調査した。さらに、排出量データアーカイブを精査し、各排出量が重畳しないように排出量データを整備した(図Ⅰ. 2. (2). ①. 19)。

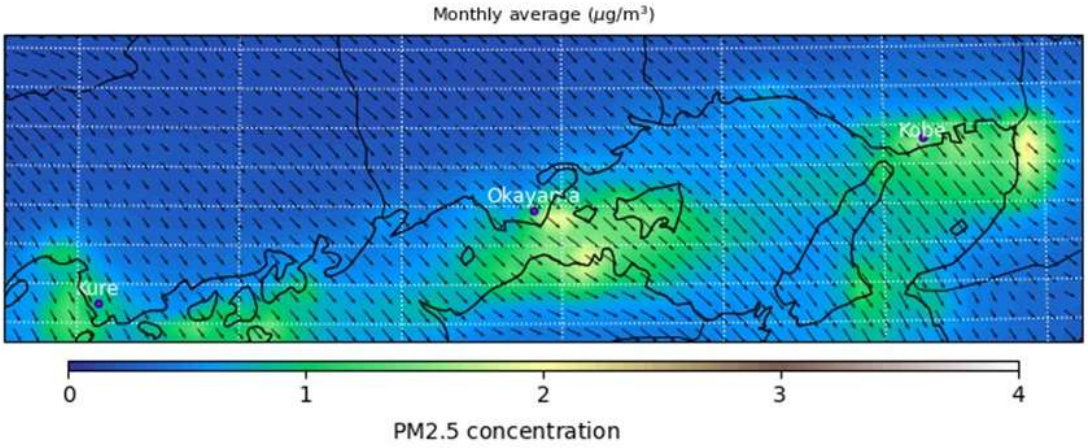


(a) MEGAN モデルによる植物光合成排出に係る葉面積指数(LAI)分布（再予測）　(b) 人為起源放出源のうち、船舶起源 PM2.5 排出分布(MIX2.1 公開データ; 推計)

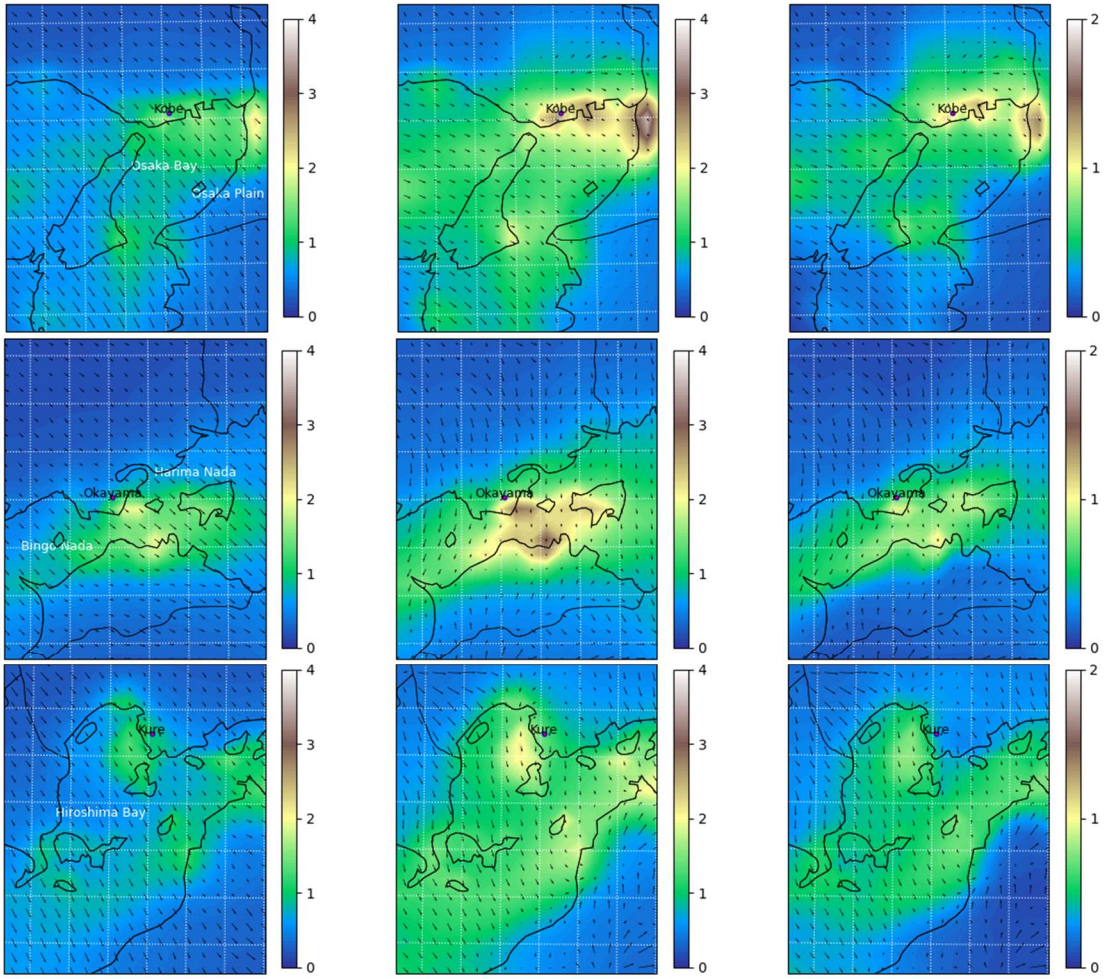
図Ⅰ. 2. (2). ①. 19　植物光合成排出に係る葉面積指数分布及び船舶起源 PM2.5 排出分布（2017/1/31 の例）

気象モデル及び化学輸送モデルの調査に関して、シミュレーション機能拡張のため、物質と気象場の相互作用が考慮できる、最新の知見が反映された on-line モデルを導入・整備した。また、大気質シミュレーションを行うための適用モデルを選定した。

船舶の航行中に排出される排出物が大気質に与える影響評価に関して、前述の発生源情報、気象モデル、及び化学輸送モデルの調査を行った。その結果に基づき、適切な化学輸送モデルを選定するとともに、排出インベントリを入力として、メソスケールにおける PM2.5 濃度に対する船舶由来の寄与を評価した。解析対象領域として、瀬戸内海沿岸部を選定した(図Ⅰ. 2. (2). ①. 20)。PM2.5 濃度に対する船舶寄与を推計し、その際、船舶寄与を拡大させる海陸風の影響も評価した。海域から陸域方向の海陸風に対して、陸域における船舶寄与が増大することを確認するとともに、海陸風の循環により PM2.5 分布にアノマリを生じることを再予測した(図Ⅰ. 2. (2). ①. 21)。この結果が陸上局における計測結果と評価目標水準の範囲で実現象を再現していることを確認した。



図Ⅰ. 2. (2). ①. 20　2017 年 1 月の大気中の PM2.5 濃度に対する船舶排出量の月平均寄与（矢印は月平均の風向風速）

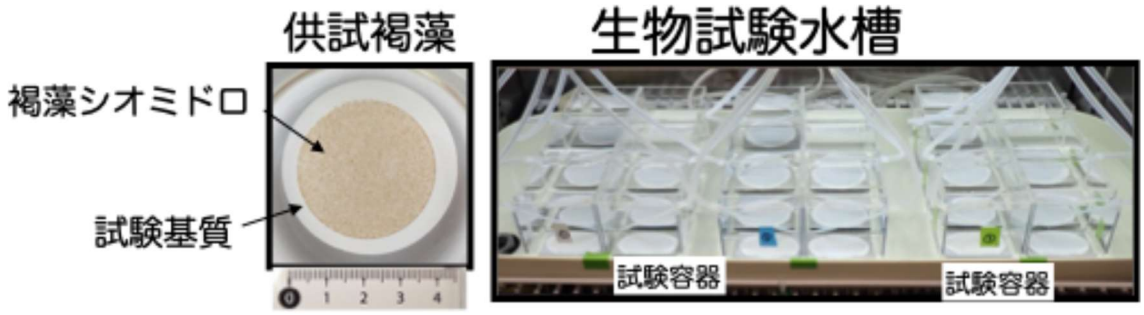


図Ⅰ. 2. (2). ①. 21　評価海域における船舶排出物の大気中 PM2.5 濃度への寄与の詳細（$\mu g/m^3$）
（左列は月平均、中央列は海陸風のある期間のみ抽出した時間平均、右列は海陸風のある期間の時間平均から月平均を引いた差。上段は神戸周辺、中段は岡山、下段は呉周辺を示す。各図の矢印はその期間の時間平均風向・風速を示す）

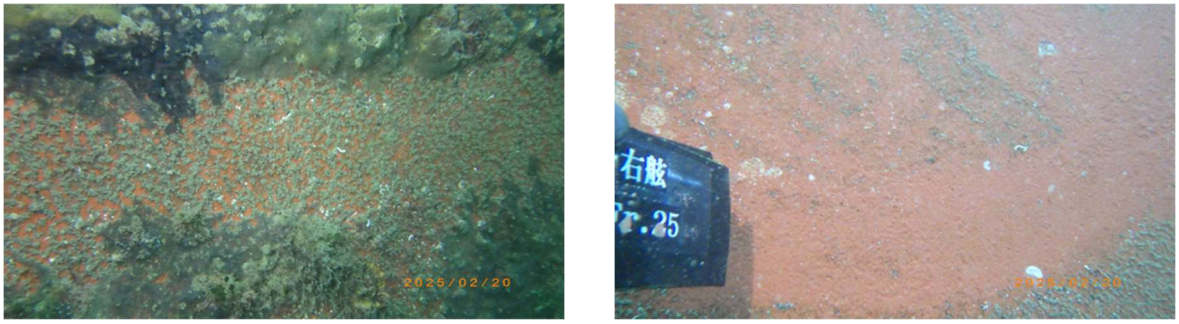
③船体付着生物管理に必要な防汚システムの管理・最適化に関する研究

ISO/TC 8/SC 2/WG 5 において、藻類（褐藻）を用いた船底防汚塗料性能評価試験法を提案し、我が国主導で審議した。今後は、ISO 21716 シリーズの第 4 部として、2025 年度以内の国際規格発行に向けた調整を完了しつつある（図Ⅰ. 2. (2). ①. 22）。

船体水中洗浄が船底防汚塗料及び環境に及ぼす影響評価の具現化に関して、日本船舶技術研究協会からの請負研究と併せて調査研究を実施し、必要なデータの蓄積及び整理、並びに成果を取り纏めて報告書を作成した（図Ⅰ. 2. (2). ①. 23）。IMO への提案文書作成の検討等、船体付着生物管理への継続対応のための準備を行った。



図Ⅰ．2.(2).①. 22 ISO 21716-4 の生物試験概要
（左：褐藻を固定した基盤、右：試験水槽内の様子）



(a) 水中洗浄前（付着藻類汚損が見られる）　(b) 水中洗浄後（塗膜面及びフジツボ跡）

図Ⅰ．2.(2).①. 23 船体水中洗浄時の外板の様子

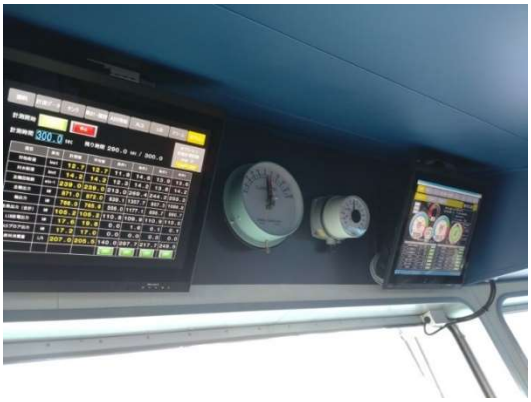
（5）内航・外航海運の省エネ化・GHG 削減対策に資する普及・実用技術

①GHG 排出削減を目指した内航貨物船の建造支援

外部機関と連携して、GHG 排出削減を目指した新たな省エネ技術を搭載した内航貨物船の建造と効果検証を支援した。2025 年 1 月に就航した 499GT 内航貨物船「ちゅらさん」では、高度空気潤滑システムやコンテナ型バッテリーシステムといった新技術を導入している。本研究の成果を活用した船内監視・陸上サポートシステム（図Ⅰ．2.(2).①. 24）は、それらの新技術の動作状況を監視するとともに、効果検証に活用した。なお、2025 年 3 月現在、実運航時のデータ取得を継続しており、1 年程度の実運航を続けた後、省エネ効果等を評価することとなる。

②次世代燃料の利用技術

国内外において、カーボンフリー燃料等を用いるための様々な研究開発プロジェクトが進められている。本研究においては、水素燃料電池船の設計支援に関連する調査（日本船舶技術研究協会からの請負研究に関連）やバッテリー利用技術に関連する調査（鉄道・運輸機構からの請負研究に関連）などを実施し、実船搭載の課題を整理した。また、バイオ燃料については、複数の種類のサンプル油を用いて、酸化劣化計測などの各種試験を実施し、実船においてバイオ燃料を安全に使用するための知見を得た。



(a) 船内監視モニタ

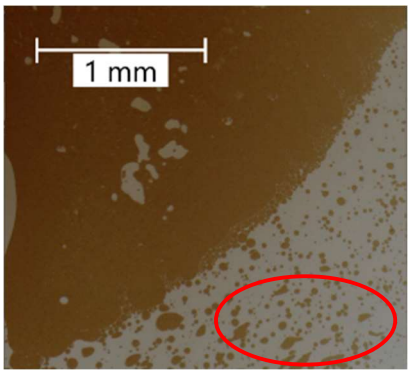
(b) 監視画面の一例

図Ⅰ. 2. (2). ①. 24 499GT 内航貨物船「ちゅらさん」に搭載した船内監視・陸上サポートシステム

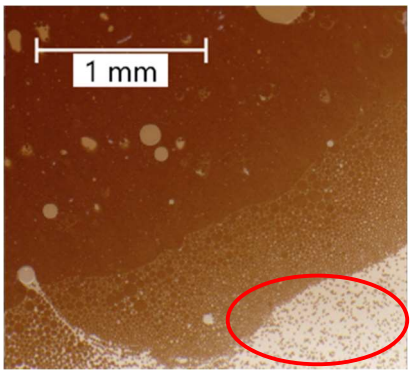
(6)海難事故等における油流出・回収及び処理効率向上技術の開発(港空研と連携)

①回収油分離に関する研究

エマルションに微細気泡を積極的に接触させることが可能な試験計測系を用いて、回収油を対象とした油水分離効果を計測した。ベンチュリ管による回収油滴の微細化挙動の確認を行った(図Ⅰ. 2. (2). ①. 25 (a)、(b))。また、昨年度の油回収試験結果を踏まえて、一連の実験(油の流動化・回収・分離)を実施しするための試験装置を構築した(図Ⅰ. 2. (2). ①. 25 (c))。

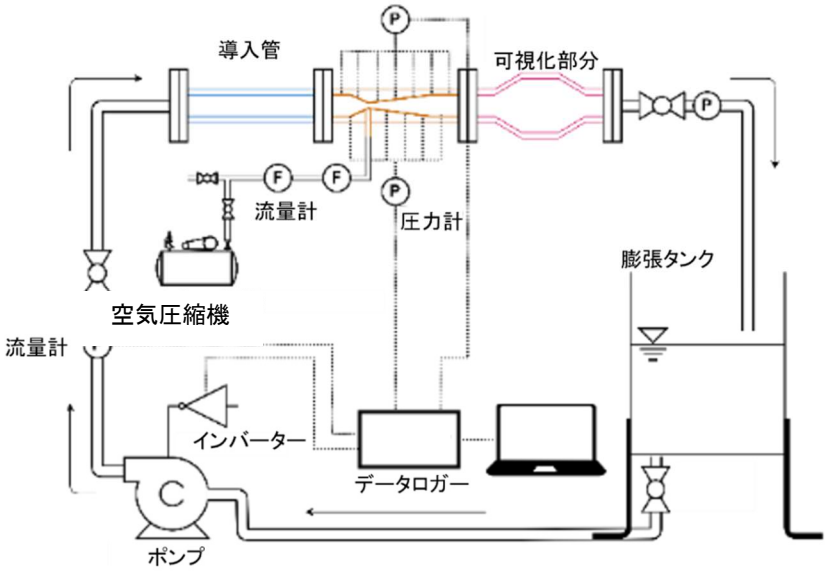


(a) ベンチュリ管通過前



(b) ベンチュリ管通過後

(ベンチュリ管通過前と比べ、油滴が微細化されている(赤丸部))

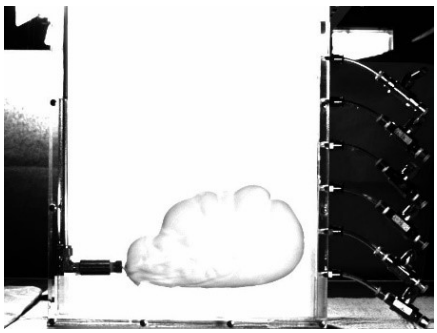


(c) 油分離試験装置概要図

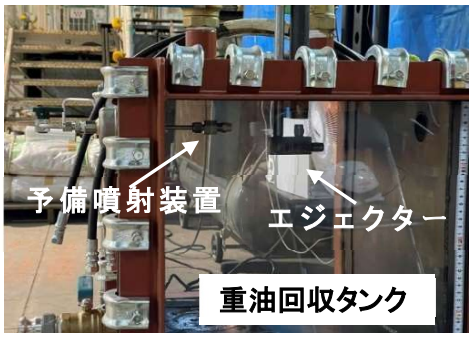
図Ⅰ. 2. (2). ①. 25 ベンチュリ管式微細気泡生成を用いた高効率油水分離試験

②回収油の流動性に関する研究

エジェクターによる重油回収装置を改良し、実用化に向けた重油回収システムの開発を行った。高粘度油（粘度：～30,000cst）に対し、水と界面活性剤の混合液を高圧水噴射した場合の流動状態について、可視化が可能な簡易な試験装置（図Ⅰ．2.（2）．①．26、左）にて試験を実施し、その効果を明らかにした。また、エジェクタポンプを用いた重油回収試験装置（図Ⅰ．2.（2）．①．26、右）を構築し、重油回収移送試験を実施した結果から、重油回収エジェクタ近傍の流動状態を改善するために新に予備噴射装置を設けた。さらに、「重油＋海水＋界面活性剤」の 3 成分による重油エマルション化について検証し、界面活性剤の成分の違いによって流動性並びに油水分離等にその効果が左右されることを確認した。



(a)　高圧噴射拡散状態可視化試験例



(b) 重油回収装置改良

図Ⅰ．2.（2）．①．26　回収油の流動性に関する研究試験例と改良した装置

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文：1 編

・Ryuji Kojima, Satuito Glenn, Nobuyoshi Namba: A bioassay for evaluating the efficacy of antifouling paints on algae using their CIELAB color coordinates with a flow-through system, Proceedings of 21st International Symposium on Toxicity Assessment (ISTA21), (2024).

□その他

◆国際活動：4 件

・小島隆志: Introduction to ISO 21716, Parts 1 to 4 (bioassay methods for screening anti-fouling paints), Online Workshop on Overview of Standards Development for Marine Pollution Prevention (ISO/TC 8/SC 2 and TC 8/WG 13 Topics), NMRI, (2024).

・小島隆志: IMO/PPR/12 日本代表団 （水中洗浄ガイダンス作業部会対応）.

・小島隆志: ISO/TC 8/SC 2/WG 5 プロジェクトリーダー （Draft 作成及び審議対応等）.

・小島隆志: ISO/TC 8/SC 2/WG 13 委員 （Web 会議、規格案審議対応）.

◆その他の全文査読付き論文等：1 編

・升井峻，小島隆志: 船体生物付着及び水中洗浄に関する国際基準動向，マリンエンジニアリング学会誌，第 59 巻，第 4 号, pp. 478-482,（2024）.

◆その他発表論文：13 編

・西尾澄人，仁木洋一，市川泰久: EGR によるメタンスリップ低減に関する研究（高負荷運転時），第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 269-270, (2024).

・大橋厚人，中村真由子，仁木洋一: 吸気へのアンモニア混合がディーゼル機関の PM 排出に与える影響，第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 175-176, (2024).

・仁木洋一，岸武行，平田宏一，栁本史教，十倉拓也: アンモニア混焼ディーゼル機関によるバイオ燃料の利用 ーバイオ燃料の種類が排気成分に及ぼす影響ー，第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.177-178, (2024).
・高橋千織，益田晶子，川口佳彦，原田隆裕，東亮一: スクラバ排水の濁度モニタリングに及ぼす浮遊物質特性の影響ー実排水サンプルの分析，第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 193-194, (2024).
・張野宏也，小島隆志，隠塚俊満(監修)，恒星社厚生閣(監修): e-水産学シリーズ 7 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 (ISBN978-4-7699-1709-0)，(2024).
・高橋千織，久米健一，川北千春，拾井隆道，新川大治郎，仁木洋一，新田好古，小坂浩之，安達雅樹，和中真之介，和田裕次郎: ゼロエミッション実現に向けたコンセプト船の検討 -低速幅広肥大船の開発と経済評価-，海上技術安全研究所報告，第 24 巻，第 1 号，総合報告, pp. 1-27, (2024).
・Koji Takasaki, Satoshi Kawauchi, Yoichi Niki, Yasuhisa Ichikawa, Chiharu Kawakita, Akihiro Miyanagi, and Koji Edo: Progress and prospect of combustion technologies developed in Japan for zero-carbon fuels, The 8th Rostock Large Engine Symposium 2024, (2024).
・高木正英: 代替液体燃料研究と AICE 共同研究(CFD ソフト開発)のご紹介，うみそら研勉強会・交通安全環境研究所所内セミナー, (2024).
・仁木洋一: 所内重点研究における代替燃料研究のご紹介，うみそら研勉強会・交通安全環境研究所所内セミナー, (2024).
・仁木洋一，関口秀紀，市川泰久: アンモニア混焼・専焼に関する研究の進捗状況，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-12, (2024).
・浅見光史: 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，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-13, (2024).
・高木正英: セタン価標準燃料の着火性評価に関する研究，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-14, (2024).
・仁木洋一: 船舶分野における代替燃料利用技術，第 24 回海上技術安全研究所講演会, (2024).

重　点　分　野	(2)海洋環境の保全

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	年度計画
船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、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 －代替燃料や補機を考慮したライフサイクル燃費評価法の構築、水槽試験と CFD の同化による多様な船型・状態でのシミュレーション技術の開発、実海域実船性能評価統合アプリケーションの開発を行う。等

○実海域実船性能向上に関する研究

研　究　の　背　景

国際海運分野における GHG 削減目標の達成に向けて、実運航における燃費実績の格付け制度（CII：Carbon Intensity Indicator）による評価が開始され、実海域での実船性能の向上が求められている。そのためには、船舶の低速化肥大化や自然エネルギーの利用に関する技術開発が求められている。低速化に伴い主機なども小型化するため、実運航に耐えうる船を実現するためには実海域中の推進性能や耐航性能を正しく評価する技術が必要となっている。また、燃料費の増加によって省エネによる効果も大きな影響があることから、実海域中の燃費性能改善を診断する技術の開発も必要となる。さらに、水中騒音規制への対策としてキャビテーションによる水中騒音の低減技術、評価技術、シミュレーション技術の連携や、水槽試験技術

が必要となる。

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の一環として、ゼロエミッションに向けた実運航時の 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を開発する。

計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発の一環として、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を開発する。

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の一環として、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を開発する。

運航中の既存船の実海域性能向上のため、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ることによる、実海域実船性能の診断技術を開発する。

これらの研究開発を通じて、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することにより、我が国の国際的プレゼンス向上に資する。

経済的観点からは、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。

国際的観点からは、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。また、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。さらに、北極海航路の性能推定技術により、ポーラーコード等の技術的要請に応えられる。

令和６年度の研究内容

（3）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

①内航・外航海運の低・脱炭素化省エネ船評価技術の開発

針路不安定となりやすい低速幅広船の操縦性能改善方法を検討するため、シミュレーション精度の向上のための検討を、水槽試験結果を用いて行った。

低速船の推進性能推定精度の向上モデル検証のための水槽試験を実施した。

温室効果ガス排出量削減のために採用が見込まれる代替燃料を搭載した評価について、環境性能だけではなく経済性能を評価可能とするため、代替燃料を採用した船の輸送効率への影響について検討した。

②自然エネルギー等を使用した推進性能評価（風力利用、省エネ装置）

ウェザールーティングとの組み合わせによって効果が最大化する風などの自然エネルギーを利用する省エネデバイス搭載船（帆船・ローター船）について、遭遇海象のばらつきを考慮した効果の一般化のための検討を行った。

高度空気潤滑システムを実船適用し、実運航データによる効果検証を行った。

（2）計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発

①実海域での時系列シミュレーションのための技術開発（中水槽・実海域再現水槽等連携）

実海域を航行している船舶に働く抵抗の変動を考慮し、主機応答への影響を評価することで、適切な主機作動条件の管理による燃費性能改善につなげるため、時系列シミュレーションモデル検証のための水槽試験を実施した。

②船体周りの流場計測と CFD の同化に基づく、低速状態を含めた多様な船型・状態でも確実なシミュレーション技術の開発

水槽試験、シミュレーション、実船データを連携した多様な船型、状態での性能推定技術を開発するため、統計的なデータ同化手法と機械学習を基にしたデータ強化手法を組み合わせたデータ強化型シミュレーション手法の開発を行う一環として、船体周り流場及び船体表面圧力計測のための水槽試験を実施し、開発中の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発展させた。

③水中騒音の改善技術の開発

水中騒音推定ツールの適用船種を増やすため、伴流とプロペラのデータベースを拡充した。

水中騒音改善技術の検証のため、キャビテーション水槽で試験を行った。

(3)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

①実船データによる性能の分析的評価技術の開発

実海域燃費性能評価シミュレーションツールと実船モニタリングデータ解析ツールを用いて、実船の運航性能を診断するため、燃費性能を分析するための要素影響定量化手法を開発した。

北極海の航行を念頭に極海を航行する船舶に乗船し、特有の航路選択方法や参考にする気象及び衛星情報等について、操船担当者やアイスパイロットから情報収集した。また、海氷数値モデルデータセットを用い、氷中可航性指標の長期検証を行った。

②診断結果の検証技術の開発

診断結果の検証のための船舶統合データベースにて、当所で開発している実海域性能シミュレーションを外部プログラムや AI との連携が可能となるように、API(Application Programming Interface)化を行った。また、実船データのデータベース化を行った。

③ウェザールーティングと連携した実船性能向上技術の開発

ウェザールーティングシステムに当所で開発した実海域燃費性能評価モジュールを組み込み、サービスが行われている。海象に応じた航路選択で、燃費性能と共に重要となる、耐航性能評価機能についても、ウェザールーティングシステムに組み込み、検証を行った。

令和６年度の研究成果

(1)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

①内航・外航海運の低・脱炭素化省エネ船評価技術の開発

低速船の操縦性能推定精度について、DWT25 万トンのバルカーを対象に針路安定性の推定に用いる水槽試験パラメータの解析法を改良し、シミュレーション精度を第一行き過ぎ角(deg)で従来の手法より誤差 46%から誤差 15%に向上させた。旋回性能推定法について、従来考慮していなかった船速影響を組み込み、推定精度を旋回半径で誤差 34%から誤差 3%に向上させた。本手法を、国際海事機関(IMO)の操縦性基準を満足することが難しい低速幅広船に適用することで、操縦性能・旋回性能の改善を図ることが可能となることを示した(図Ⅰ. 2. (2). ②. 1、図Ⅰ. 2. (2). ②. 2)。

タンカー船型模型を対象に波浪中抵抗増加試験、荷重度変更試験などの実海域推進性能を評価するための試験を行い、低速船評価モデル検証のための、水槽試験データを得た(図Ⅰ. 2. (2). ②. 3)。

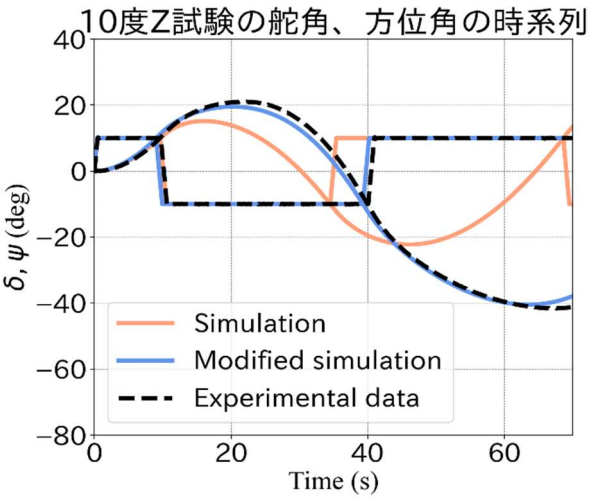
代替燃料を用いた船について、輸送効率への影響を評価する手法を開発するため、代替燃料の場合のタンク容量・DWT の簡易推定方法を開発した(図Ⅰ. 2. (2). ②. 4)。

24 機関が参加した海事クラスター共同研究実海域実船性能評価プロジェクト(OCTARVIA)フェーズ 2 を通じて研究開発を行った実海域実船性能法を国際標準にするため、ISO/TC8/SC2 総会に参加し、手法の紹介を行った。

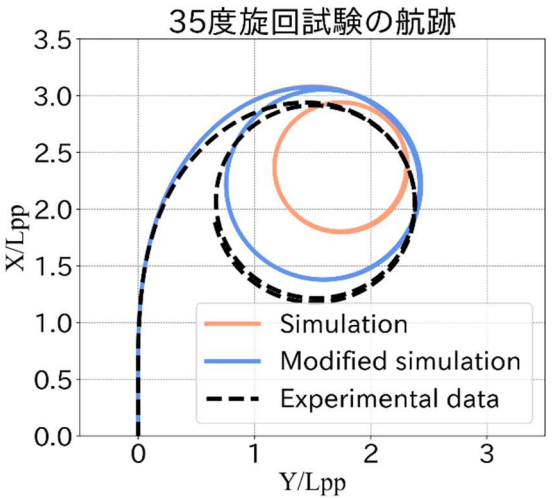
②自然エネルギー等を使用した推進性能評価(風力利用、省エネ装置)

海象に応じた航路選択との組み合わせにより効果が最大化される省エネデバイスである風力アシスト機能を搭載した船舶（帆船・ローター船）について、これまでの出航日時を指定した絶対的評価ではとらえきれない遭遇海象によるばらつきを考慮して効果を評価する方策を策定した。

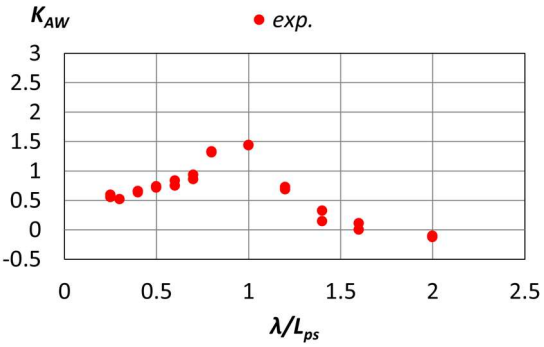
周期吹き出し法や吹き出し制御で実海域での省エネ効果を向上させた高度空気潤滑システム AdAM を初めて搭載した内航貨物船が就航した。モニタリングシステムにより、実運航時データを取得し、従来型の連続吹き出しよりも周期吹き出しにすることにより省エネ効果が増大することを確認した（図Ⅰ．2.(2).②.5）。



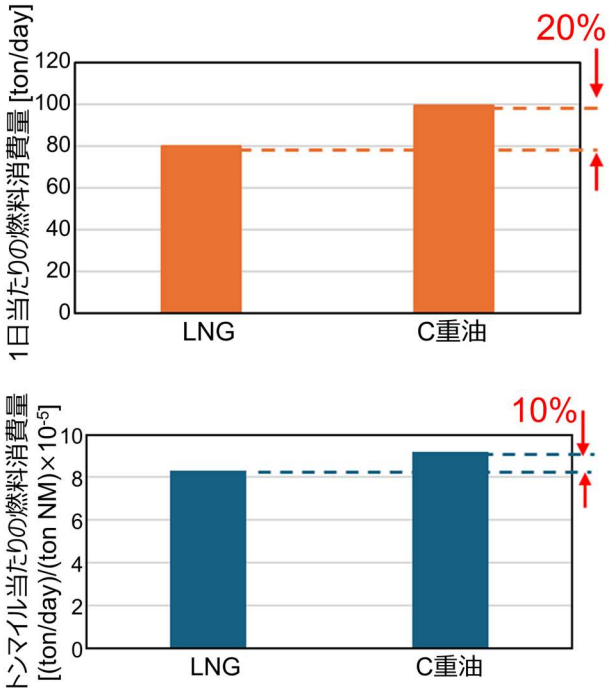
図Ⅰ．2.(2).②.1　DWT25 万トンのバルカーの 10 度 Z 試験シミュレーション（水槽試験パラメータ解析方法の改良によるシミュレーション精度向上を確認）



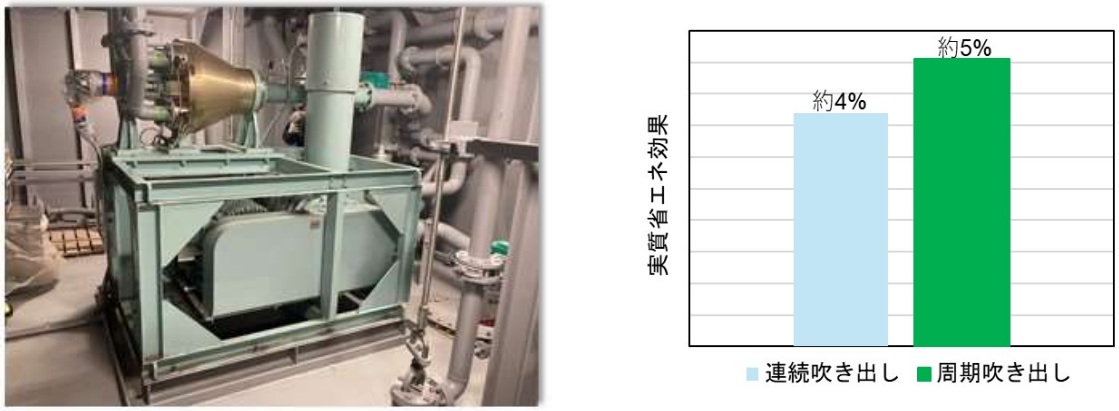
図Ⅰ．2.(2).②.2　DWT25 万トンのバルカーの 35 度旋回試験シミュレーション（従来考慮していなかった船速影響を組み込むことによるシミュレーション精度向上を確認）



図Ⅰ．2.(2).②.3　タンカー船型の波浪中抵抗増加試験（上：試験の様子、下：波浪中抵抗増加の結果（向波））（低速船評価モデル検証データの蓄積ができた）



図Ⅰ．2.(2).②.4　C 重油と LNG のトンマイル当たりのライフサイクル燃料消費量
（6500TEU コンテナ船、15 年間、北太平洋航路）



図Ⅰ．2.(2).②．5 高度空気潤滑システムを初搭載した内航貨物船のモニタリングデータによる省エネ効果の評価（左：周期吹き出しシステム、右：実運航データによる周期吹き出しと連続吹き出しの省エネ効果の比較）

（2）計測とシミュレーションを同化させた推定技術の開発

①実海域での時系列シミュレーションのための技術開発（中水槽・実海域再現水槽等連携）

波浪中の船に働く抵抗の変動を考慮し、主機応答への影響を評価することで、より高精度な実海域性能評価を行うことを目的として、時系列シミュレーション技術を開発するため規則波中の波浪中抵抗の時系列推定法の検証データを当所の実海域再現水槽で取得した。

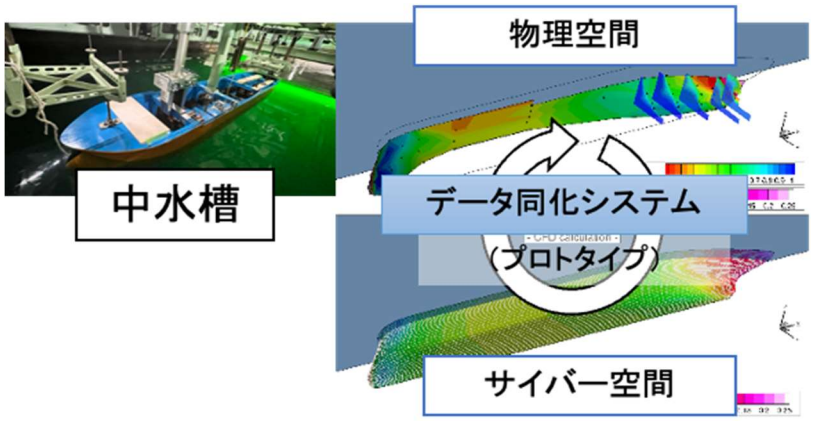
②船体周りの流場計測と CFD の同化に基づく、低速状態を含めた多様な船型・状態でも確実なシミュレーション技術の開発

水槽試験により、模型船船尾流場を PIV により計測し、また、FBG 圧力センサにより船体表面圧力分布のデータを取得した。これらの試験結果を連携し、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、事前データベース不要な逐次型に発展させたプロトタイプを開発した（図Ⅰ．2.(2).②.6）。なお、逐次型の場合、各ステップでの推定結果に基づく効率的なパラメータ推定により、計算コスト削減につながることが期待され、プロトタイプによる試計算では約 25%の CFD 計算コストの削減となった。

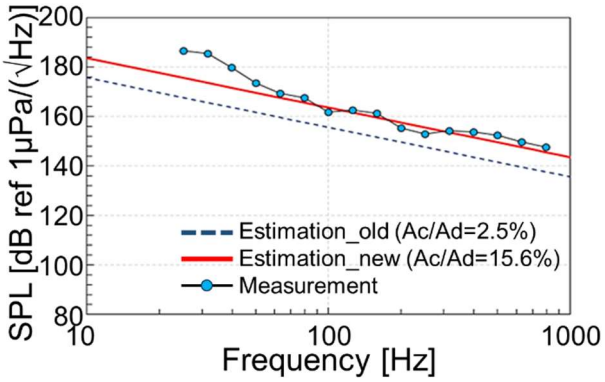
③水中騒音の改善技術の開発

船種と主要目を入力情報とする水中騒音簡易推定ツールを改良し、キャビテーション推定チャートの伴流とプロペラのデータベースを拡充することで、4 船種（コンテナ船、バルカー、タンカー、自動車運搬船）の特徴を考慮した推定が可能となった。これに必要となる様々なプロペラ展開面積比、ピッチ比、伴流分布の組み合わせでプロペラの形状や伴流分布を考慮してキャビテーション発生面積を推定可能なチャートを新規開発した。4 船種 20 隻の実船計測結果との比較・検証により、全船において、予測ツールは±5dB 以内の精度を有しており、実用上十分な精度があることを確認し、また改良ツールにより推定精度が RMSE（二乗平均平方根誤差）の平均値で 7.6dB から 4.5dB へと 3.1dB 改善することを示した（図Ⅰ．2.(2).②.7 及び図Ⅰ．2.(2).②.8）。

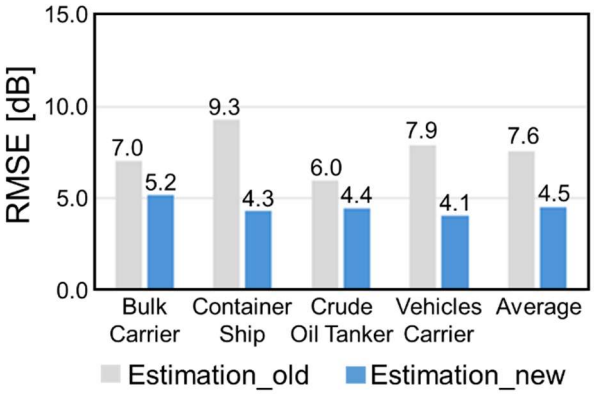
船底からの空気吹き出しによる水中騒音改善技術検証のため、キャビテーション水槽で試験を行い、空気量と吹出位置が水中騒音及び変動圧力に与える影響を調査した。その結果、最大 16dB の水中騒音低減効果が得られることを確認した（図Ⅰ．2.(2).②.9）。



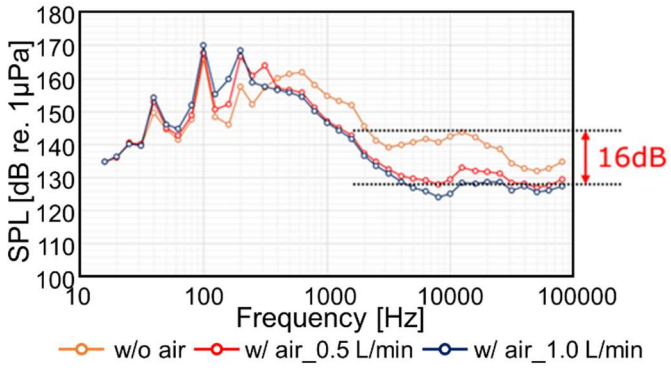
図Ⅰ．2.(2).②．6　水槽試験による流場・圧力計測と CFD 乱流モデルのデータ同化システム(プロトタイプ)

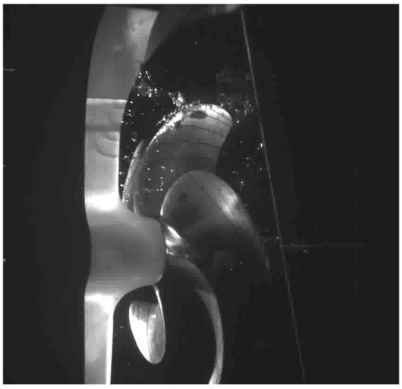


図Ⅰ．2.(2).②．7　改良した水中騒音簡易推定ツールによる評価精度の改善例
（Lpp302m のコンテナ船）



図Ⅰ．2.(2).②．8　改良した水中騒音簡易推定ツールの船種別精度評価





図Ⅰ．2.(2).②．9　空気吹出による水中騒音低減効果の検証試験結果（左）と実験状況（右）

（3）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

①実船データによる性能の分析的評価技術の開発

実船モニタリングデータによる評価結果とシミュレーション技術を連携し、実船データから設計要素や航路や遭遇海象等の運航要素による性能低下について診断する技術（改善できる提案手法）を分析的に評価する技術を開発するため、個船ごとの実船モニタリングデータを用いた燃費性能に関する要素影響定量化手法の開発を行った（図Ⅰ．2.(2).②．10）。

国際海事機関（IMO）の提案する極海可航性指標 POLARIS に海氷数値モデル neXtSIM の客観解析データを組み合わせ、北極海における可航性（安全に航行できる性能）評価を複数データ条件で実施し、海氷情報に関する可航性判別クライテリアの分析を行った。その結果、PC4 クラス（厚い一年氷内で

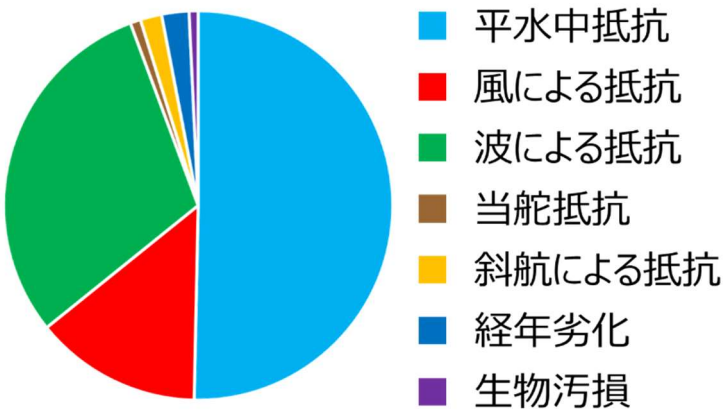
通年航行が可能な耐氷能力を有する船舶）では二年氷が北極海全体の可航性に大きな影響を及ぼすことがわかった（図Ⅰ．2.(2).②.11）。

②診断結果の検証技術の開発

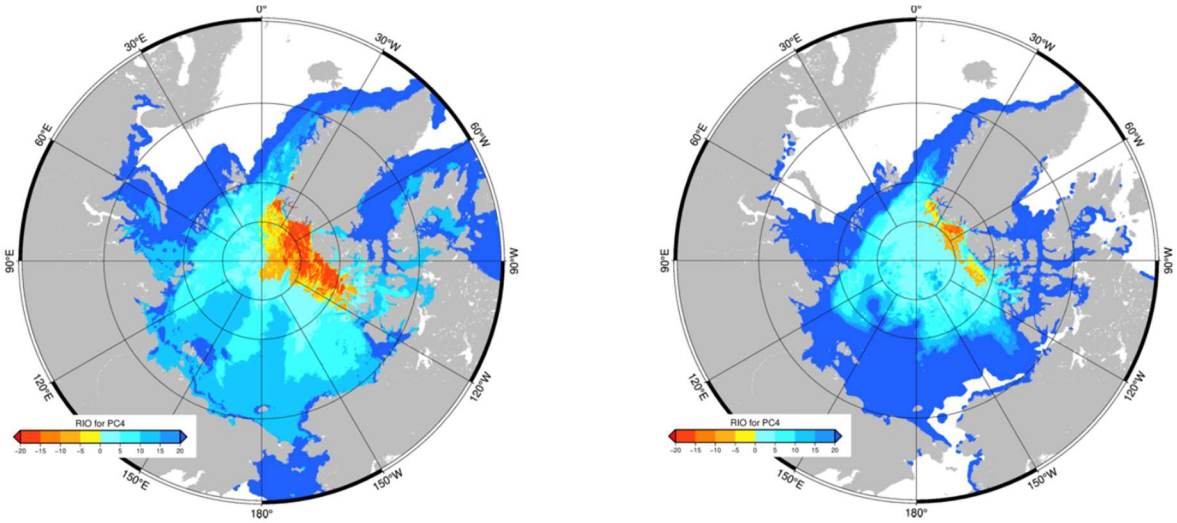
実船航行データ（5,000GT 以上の船舶の全球 AIS データ）をデータベース化した。また、本データベースを用いて実海域燃費性能シミュレーションを行い、体系的な実船データ解析・統計解析を可能とするため、当所で開発している実船データ分析ツール、実海域性能シミュレーションツール、海象データ取得ツールを API 化した（図Ⅰ．2.(2).②.12）。

③ウェザールーティングと連携した実船性能向上技術の開発

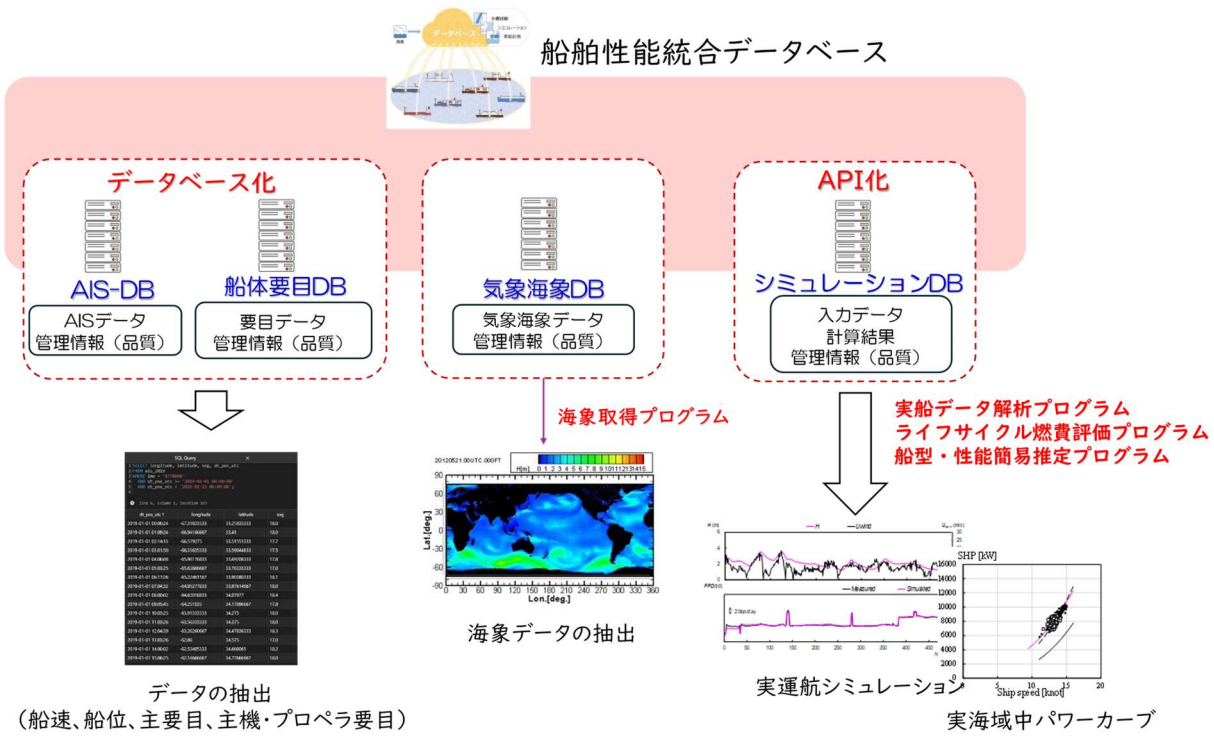
ウェザールーティングと連携した評価により、運航も考慮した実海域性能向上技術を開発するため、組み込み済みの燃費性能評価機能に加え、耐航性能評価機能をウェザールーティングシステムに組み込み、実船データによる精度検証及び実用性検証を行った。



図Ⅰ．2.(2).②.10　要素影響定量化結果の例（6500TEU コンテナ船、斜向波斜向風中、1 年間評価）



図Ⅰ．2.(2).②.11　北極海における PC4 クラス船舶の可航性評価例
（左：2023 年 5 月，右：2023 年 10 月；暖色は航行困難、寒色は航行可能を示す）



図Ⅰ．2.(2).②. 12　実船データベースを用いた統合シミュレーション

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Daijiro Arakawa, Yuki Sawada, Koichiro Shiraishi, Takashi Kanemaru, Jun Ando: Flow field measurements around a marine propeller tip and vortex identification procedures, Journal of Marine Science and Technology, Volume 29, pp. 471–489, (2024).

□査読付き国際会議論文：1 編

・Sofia Werner, Anders Alterskjær, David Trodden, Rogier Eggers, Yeongyu Kim, Yuling Gao, Xinshu Zhang, Kenichi Kume: Advancing the Wind Propulsion industry: ITTC Guidelines and Recommendations, Proceedings of Wind Propulsion 2024, (2024).

□各種表彰の受賞：4 件

・白石耕一郎，澤田祐希，新川大治朗: 日本船舶海洋工学会賞（論文賞），Deformed shape estimation for flexible composite marine propellers by image registration，日本船舶海洋工学会，2024 年 5 月.

・新川大治朗，川島英幹，濱田達也，拾井隆道，川北千春: 日本船舶海洋工学会賞（論文賞），Numerical Study on the Influence of Air Bubbles around the Ship Hull on the Propulsive Efficiency，日本船舶海洋工学会，2024 年 5 月.

・白石耕一郎，澤田祐希，新川大治朗: 日本海事協会賞，Deformed shape estimation for flexible composite marine propellers by image registration，日本海事協会，2024 年 5 月.

・新川大治朗，川島英幹，濱田達也，拾井隆道，川北千春: 日本造船工業会賞，Numerical Study on the Influence of Air Bubbles around the Ship Hull on the Propulsive Efficiency，日本造船工業会，2024 年 5 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：1 件

・特許出願: 抵抗低減船首形状及び船舶.

□その他

◆国際活動：21 件

・黒田麻利子: ISO/TC 8/SC 6/WG 17 にて海上公試規格に関する審議に参加, 1 回.

・黒田麻利子: International Towing Tank Conference (ITTC), Full Scale Ship Performance Committee (FSSPC) に参加, 2 回.

・松沢孝俊: ITTC Specialist Committee on Ice に参加, 1 回.

・久米健一, 黒田麻利子: ITTC 総会への参加, 2 回.

・Mariko Kuroda, Yoshihiko Sugimoto, Presentation on ″Ship's Fuel Consumption in Actual Seas″, ISO TC8/SC2 総会, (2024).

・Sofia Werner, Kenichi Kume, Anders Alterskjr, Rogier Eggers, Yeongyu Kim, Yuling Gao, David Trodden, Xinshu Zhang: Proceedings of the 30th International Towing Tank Conference (ITTC2024), Report of the Wind Powered and Wind Assisted Ships Committee, (2024).

・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: Proceedings of the 30th International Towing Tank Conference (ITTC2024), Report of the Specialist Committee on Ice, (2024).

・Hideo Orihara, Sebastian Bielicki, Se-Myun Oh, Gongzhen Xin, Gijs Struijk, Giuliano Vernengo, Mariko Kuroda, Stephen Minnich, Peiyuan Feng, Min Woo Kim: Proceedings of the 30th International Towing Tank Conference (ITTC2024), Report of the Full Scale Ship Performance Committee, (2024).

・Sofia Werner, Kenichi Kume, David Trodden, Anders Alterskjr, Rogier Eggers, Yeongyu Kim, Yuling Gao, Xinshu Zhang: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-03-01.9, ITTC – Recommended Procedures and Guidelines: Predicting the Power Saving of Wind Powered Ships, (2024).

・Sofia Werner, Kenichi Kume, David Trodden, Anders Alterskjr, Rogier Eggers, Yeongyu Kim, Yuling Gao, Xinshu Zhang: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines ,7.5-04-01-02, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Sea trials for assessing the power saving from wind assisted propulsion, (2024).

・Hideo Orihara, Sebastian Bielicki, Se-Myun Oh, Gongzhen Xin, Gijs Struijk, Giuliano Vernengo, Mariko Kuroda, Stephen Minnich, Peiyuan Feng, Min Woo Kim: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-04-01-01.1, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials, (2024).

・Hideo Orihara, Sebastian Bielicki, Se-Myun Oh, Gongzhen Xin, Gijs Struijk, Giuliano Vernengo, Mariko Kuroda, Stephen Minnich, Peiyuan Feng, Min Woo Kim: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-03-02-05, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Guideline on the CFD-based Determination of Wind Resistance Coefficients, (2024).

・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-01, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: General Guidance and Introduction to Ice Model Testing, (2024).

・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-02.1, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Resistance Tests in Ice, (2024).

・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and

Guidelines, 7.5-02-04-02.3, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Manoeuvring Tests in Ice, (2024).

・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-03, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Guidelines for Modelling of Complex Ice Environments, (2024).

・Franz von Bock und Polach, Takatoshi Matsuzawa, Aleksei Alekseevich Dobrodeev, Nils Reimer, John Wang, Yukui Tian, Yan Huang, Riika Matala, Otto Puolakka: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02-04-02, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Test Methods for Model Ice Properties, (2024).

・Mariko Kuroda: Proposal for an update of the calculation method for the added resistance in waves, International Towing Tank Conference, Full-Scale Ship Performance Committee （ITTC FSSPC）, (2025).

・Mariko Kuroda: Introduction of the evaluation method for ship performance in actual seas using onboard monitoring data, International Towing Tank Conference, Full-Scale Ship Performance Committee （ITTC FSSPC）, (2025).

◆その他発表論文：33 件

・辻本勝: OCTARVIA プロジェクトの成果，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, (2024).

・白石耕一郎，久米健一，新川大治朗，川並康剛: プロペラキャビテーションノイズの簡易推定ツール，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-3, (2024).

・一ノ瀬康雄，花木孝明，濱田達也，大橋訓英: データ強化型 CFD による推進性能向上-FBG 圧力センサによる乱流モデルのチューニング-，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-2, (2024).

・新川大治朗，川島英幹，濱田達也，拾井隆道，川北千春: Numerical Study on the Influence of Air Bubbles around the Ship Hull on the Propulsive Efficiency，日本船舶海洋工学会令和 6 年度春季講演会 論文賞受賞記念講演, (2024).

・白石耕一郎，澤田祐希，新川大治朗: Deformed shape estimation for flexible composite marine propellers by image registration，日本船舶海洋工学会令和 6 年度春季講演会 論文賞受賞記念講演, (2024).

・新川大治朗，川島英幹，白石耕一郎，枌原直人: 空気潤滑システムの吹出パターンが推進性能に与える影響－4,990DWT タンカーにおける数値シミュレーション－，日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 38 号, pp. 771-775, (2024).

・辻本勝: OCTARVIA2 の総括，海事クラスター共同研究「実海域実船性能評価プロジェクト（OCTARVIA）」フェーズ 2 成果報告会, (2024).

・杉本義彦，黒田麻利子: OCTARVIA 会議の活動，実海域実船性能評価（OCTARVIA）プロジェクトフェーズ 2 成果報告会, (2024).

・新川大治朗，川島英幹，濱田達也，白石耕一郎: Numerical study on the mechanism of bubble-propeller interaction in air-lubrication ship, 20th International Workshop on Trends in Numerical and Physical Modelling for Industrial Multiphase Flows (Multiphase 2024), (2024).

・辻本勝，松本光一郎: 実海域実船性能評価プロジェクトフェーズ 2 の取り組み，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 605-610, (2024).

・黒田麻利子，杉本義彦: 実海域実船性能評価に関する国際標準化，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 667-672, (2024).

・松沢孝俊，赤根英介: 北極海において「みらい II」が持つ可能性，日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 139-144, (2024).

・安斎圭祐，山内豊，水野滋也，松沢孝俊: タクタイルセンサを用いた平坦氷中における船体表面上圧

力分布の解析，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 159–164，(2024).
・櫻田顕子，黒田麻利子，枌原直人，辻本勝: 低速時の波浪中抵抗増加と大斜航時の前後力の推定精度向上，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 619–626，(2024).
・横田早織，枌原直人，秋林秀聡，島田一孝: 代替燃料利用による GHG 削減効果の評価，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 649–654，(2024).
・久米健一: 風力アシスト船に関する ITTC の取り組み －海上試験法ガイドライン－，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 491–494，(2024).
・川島英幹，濱田達也，若生大輔，新川大治朗，藤井啓太: 船底の表面粗度が空気潤滑の抵抗低減効果に与える影響について，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 547–552，(2024).
・白石耕一郎，久米健一，新川大治朗，川並康剛: プロペラキャビテーションノイズの簡易推定法の改善，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 597–604，(2024).
・立川拓也，蓮池伸宏，白石耕一郎，安東潤: 伴流分布が水中放射雑音に与える影響に関する調査，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 589–596，(2024).
・一ノ瀬康雄: 大規模言語モデルの船舶設計利用に向けた設計システムのアーキテクチャに関する一考察，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 941–946，(2024).
・新川大治朗，川島英幹，白石耕一郎: 内航船における空気潤滑システムの横傾斜および斜航時の数値計算，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号，pp. 559–566，(2024).
・新川大治朗，川島英幹，濱田達也，若生大輔: 摩擦抵抗低減への挑戦 －空気潤滑法の開発－，ナカシマデザインコミッティ 2024，(2024).
・新川大治朗，金丸崇，澤田祐希，白石耕一郎，安東潤: プロペラ翼端渦の PIV 計測と理論計算法によるモデル化，日本船舶海洋工学会第 28 回推進・運動性能研究会，(2024).
・新川大治朗: 泡の力で船を省エネ化– 抵抗低減技術の開発と最前線–，海と産業革新コンベンション，(2024).
・辻本勝: OCTARVIA プロジェクト（フェーズ 1・フェーズ 2）の成果，第 87 回実海域推進性能研究会，(2024).
・松沢孝俊: 環境にやさしい北極海の利用と基盤となる氷海変動の実態把握と予測: 氷海変動の実態把握，第 1 回北極域研究船「みらい Ⅱ」シンポジウム，(2024).
・櫻田顕子: RCM による実海域実船性能の検証法の開発，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会.
・横田早織，枌原直人，秋林秀聡，島田一孝: 代替燃料を使用した場合の GHG 排出量推定手法，第 87 回実海域推進性能研究会，(2024).
・久米健一: SC on Performance of Wind Powered and Wind Assisted Ships 活動状況報告，日本船舶海洋工学会第 28 回推進・運動性能研究会，(2024).
・白石耕一郎: プロペラキャビテーションノイズの簡易推定法の高度化，ターボ機械協会第 24 回プロペラ分科会，(2024).
・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，第 53 巻第 1 号，pp. 11–18，(2025).
・白石耕一郎: 海洋環境保全に向けた船舶水中騒音予測ツールの開発と活用，Class NK R&D Forum 2025，(2025).
・白石耕一郎，澤田祐希，新川大治朗: 透明模型翼型を用いたキャビテーション気泡の可視化方法の検討，日本船舶海洋工学会第 30 回推進・運動性能研究会，(2025).

重　点　分　野	(3)海洋の開発

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の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、係留の健全性評価手法の開発と生物付着影響評価、デジタルツイン技術を用いた浮体応力推定手法の開発を行う。等

○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

研　究　の　背　景

エネルギー基本計画（令和 3 年 10 月閣議決定）では、カーボンニュートラル社会の実現に向け、再生可能

エネルギーの活用が掲げられている。特に洋上風力発電は、再生可能エネルギー主力電源化の切り札として推進していくことが必要であるとして高い期待が寄せられている。洋上風力産業ビジョン（第1次）（令和 2 年 12 月）において、2030 年（令和 12 年）までに 1,000 万 kW、2040 年（令和 22 年）までに浮体式も含む 3,000～4,500 万 kW の導入目標が掲げられた。遠浅の海域の少ない我が国では、特に浮体式の洋上風力発電の商用化が急務となっている。グリーンイノベーション事業のフェーズ 2（令和 6 年度開始）では、実海域での適用を前提とした設計・施工・運転保守の各段階の低コスト化に資する要素技術開発が求められており、複数の実機による実証試験も開始すると考えられている。そのために、特にウィンドファームを対象に、安全性を確保しつつ発電コスト低減につながる研究開発が求められており、浮体施設や合成繊維索を用いた係留系の安全性評価から運営保守管理（O&M）技術の高度化等、広範囲の分野で研究開発の成果が求められている。また、波力発電等の海洋再生可能エネルギーについては、実用化に向けた実機スケールでの実証実験を目指すための研究開発が必要とされている。

研　　究　　目　　標

本研究は、浮体式洋上風力発電を中心に海洋再生可能エネルギーの普及拡大のための関連システム（浮体、係留、O&M 等）について、これまでで実施してきた単独のシステムを対象とした研究から、大規模な実用化を目指し、多数の浮体で構成されるファームを対象とした研究に移行していく。そのために、以下の研究を実施するものである。

大規模 FOWT（Floating Offshore Wind Turbines）において、適切な安全性を確保しつつ、発電量の最大化とコスト低減を実現するため、合理的な安全性等の評価手法に関する研究を実施する。具体的には、浮体変位データを用いた係留の健全性評価手法の研究開発、大規模 FOWT への RBI（Risk Based Inspection）導入のためのリスク評価手法の開発、コストインパクト要因の特定とライフサイクル経済性評価モデルの構築、ブレードピッチ制御や建造性を考慮した浮体構造の最適化支援技術の開発を実施する。

次に、近い将来に大規模 FOWT における利用が想定されている合成繊維索を用いた係留系について、最適設計手法および合理的な安全性評価手法、簡便な係留仕様算出法を開発する。係留系と他構成要素間の相互影響評価を加えて、安全性評価手法を高度化させる。合わせて、実海域浸漬試験による生物付着量の定量的評価および強度影響評価を実施する。

さらに、浮体式洋上風力発電では、時々刻々の状態量に基づく安全性評価や状況に応じた保守管理計画による合理的な運用・維持を可能とするためのデジタルツイン技術を開発する。ウィンドファームでの運用においては、限られた点数の浮体状態量（変位、歪等）から多様な情報を推算する必要があり、そのための研究開発を実施する。例えば、浮体変位データを用いた遭遇海象の推定手法、変位・海象データとデータ同化技術による浮体の応力・疲労余寿命の推定手法を開発する。これらを応用し、浮体係留索に働く張力や疲労余寿命の推定手法もあわせて開発する。

加えて、波力発電や潮流・海流発電は、風力発電にない利点（波力：波の予測しやすさ、潮流・海流：発電の安定性）を持ち、実用化が期待されている。実海域での高効率化・低コスト化の実証に加え、他業種との連携による事業性向上も重要である。そこで、波力発電については、既存成果を活用し、より高度な発電制御技術を開発する。また、事業性向上のため複数基連結時の安全性評価や、風力発電との設置海域・係留系の共有を視野に、波力、潮流・海流発電の導入を検討・提案する。

令 和 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築に関する研究

①係留張力のモニタリング技術の開発

合成繊維索を用いたトート係留システムにて、係留破断時とアンカーのずれ（繊維索の伸び）が発生した場合の浮体の軌跡の変化を数値計算と水槽模型試験で比較し、その精度を検証した。

②リスク評価による合理的な検査手法の開発

当初計画では、実海域実証を想定してリスク評価を行うこととしていたが、実証で設置する基数は 2 基と少なく、事業者の準備も整っていないことから、計画を変更し、商用ウィンドファームにおけるモニタリ

ングやリスク評価に基づく効率的な検査手法の検討のため必要となるリスクの定量的な評価を行うため、令和 5 年度に作成した検査の技術基準・安全ガイドラインに規定された検査項目毎に、想定される事故とその要因等を整理した。

③コスト等推計手法の開発

洋上風力発電の将来需要に必要となる施工等に必要な作業船の必要隻数を推計するモデルを提案、検証し、高度化した。また、国内点検実績から、検査項目を類型化し、作業時間推計手法の考え方を整理した。

（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に関する研究

①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

昨年度までに作成したプログラムを発展させ、浅海域への適用に適した、中間ブイ・中間シンカーを用いた係留系仕様を最適化可能な簡易設計プログラムを機能追加した。

②係留索に対する生物付着影響評価結果

合成繊維索試験体の実海域浸漬試験は、漁業者の協力のもと引き続き実施し、経過観察と強度評価を行った。

（3）デジタルツイン技術の構築に関する研究

①浮体遭遇海象推定手法の開発

前年度までに実施した弾性相似模型を用いた水槽試験結果を用い、浮体運動・浮体構造断面力・係留張力の規則波に対する応答関数、および長波頂不規則波に対する応答を取得し、それらを用いて波が一方向から入射する場合に対し、浮体が遭遇した海象を推定した。波が多方向から入射する場合を想定して、短波頂不規則波に対する水槽試験を実施した。

②浮体各所の応力等推定手法の開発

水槽試験で取得した浮体構造断面力が、数値シミュレーションで再現できているかを検証した。

（4）波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上に関する研究

①波力発電のより高効率な制御アルゴリズムの開発

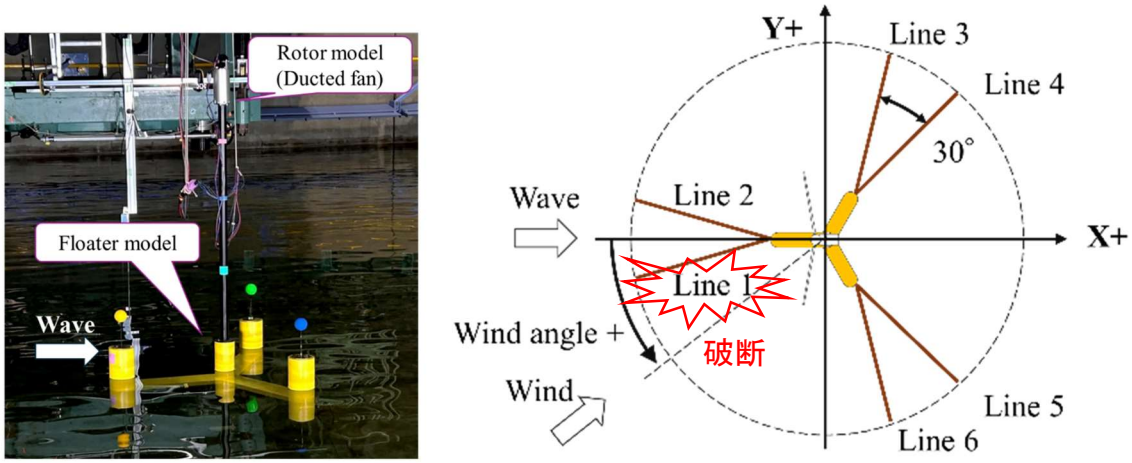
大波高時や大振幅発生時のような非線形が強い条件下における波力発電装置の運動特性を明らかにした。また、発電方式をこれまでに対象としたリニア方式ではなく、ラックアンドピニオン方式にして制御技術の検証を行い、他の発電方式に対応できるかについて検証した。

令和６年度の研究成果

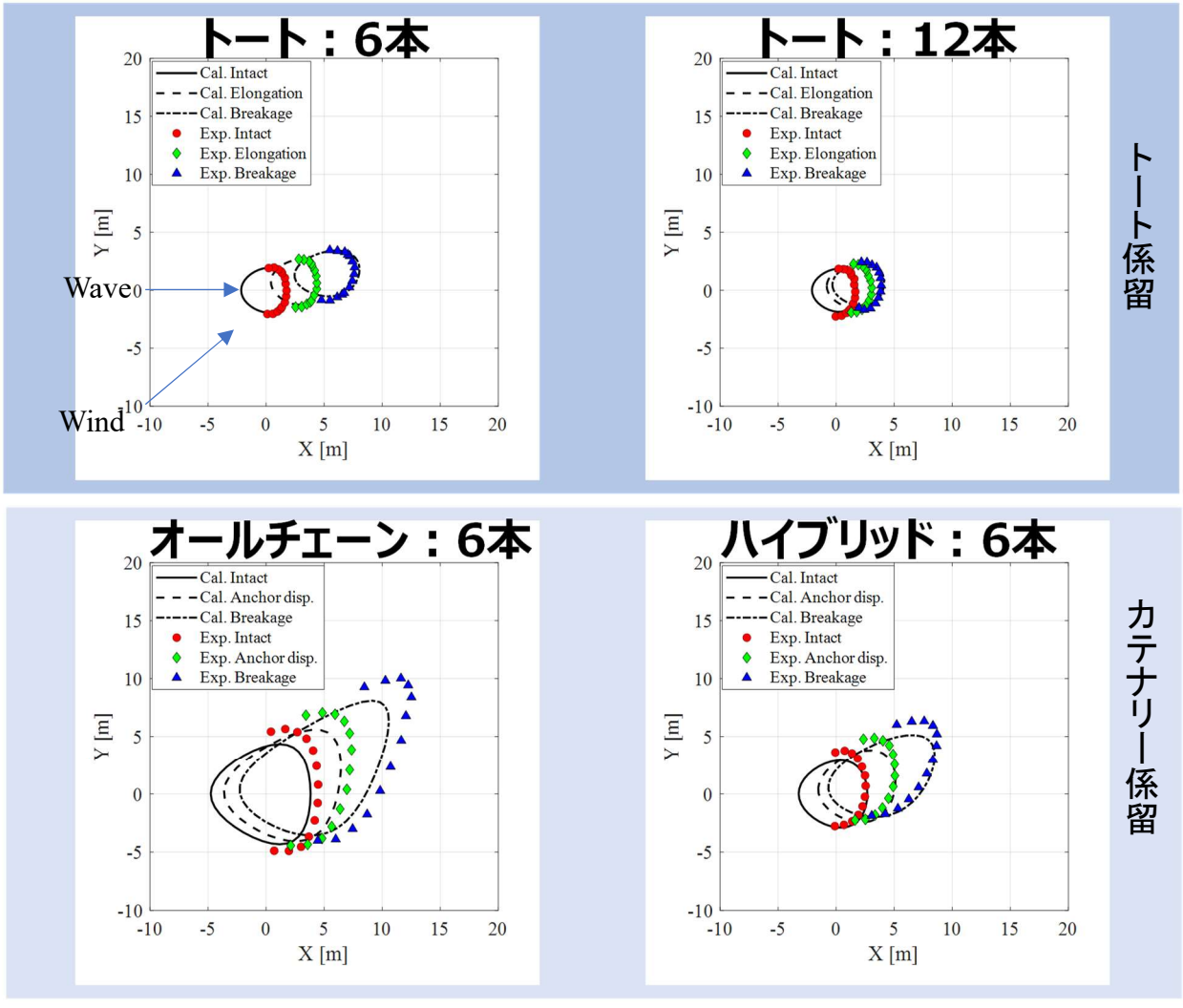
（1）大規模 FOWT の安全性等評価手法の構築に関する研究

①検査の合理化のための係留健全性評価に資するモニタリング手法の開発（港空研と連携）

合成繊維索を用いたトート係留を対象として、係留索に異常が発生したときの浮体の平面運動のデータ取得を目的とした水槽試験を実施し、ロープ伸びや係留索破断が及ぼす影響を明らかにした。トート係留を対象とした数値解析結果は試験結果に対して80～130%の精度を有しており、今後の詳細検討に使用できることを確認した。また、過年度実施したカテナリー係留の試験結果とも比較し、初期の復原力には違いがあるものの、双方の係留方式において、浮体運動から係留の異常を検知可能であることを確認した（図Ⅰ．2．(3)．①．1 及び図Ⅰ．2．(3)．①．2）。また、トート係留において、係留索数が増加し浮体位置の変化量が小さくなる場合でも、係留系の損傷による浮体位置変化をとらえることが可能であることを示した。



図Ⅰ．2．(3)．①．1　セミサブ浮体･トート係留を対象とした水槽試験の様子（左図）と係留配置（右図）



図Ⅰ．2．(3)．①．2　係留本数や係留構成の変化に伴う、係留系損傷時の浮体平面運動の変化
（係留系の損傷により、浮体位置が健全時より遠方に遷移している）
（実機スケール、模型試験は縮尺 1/100 にて実施）

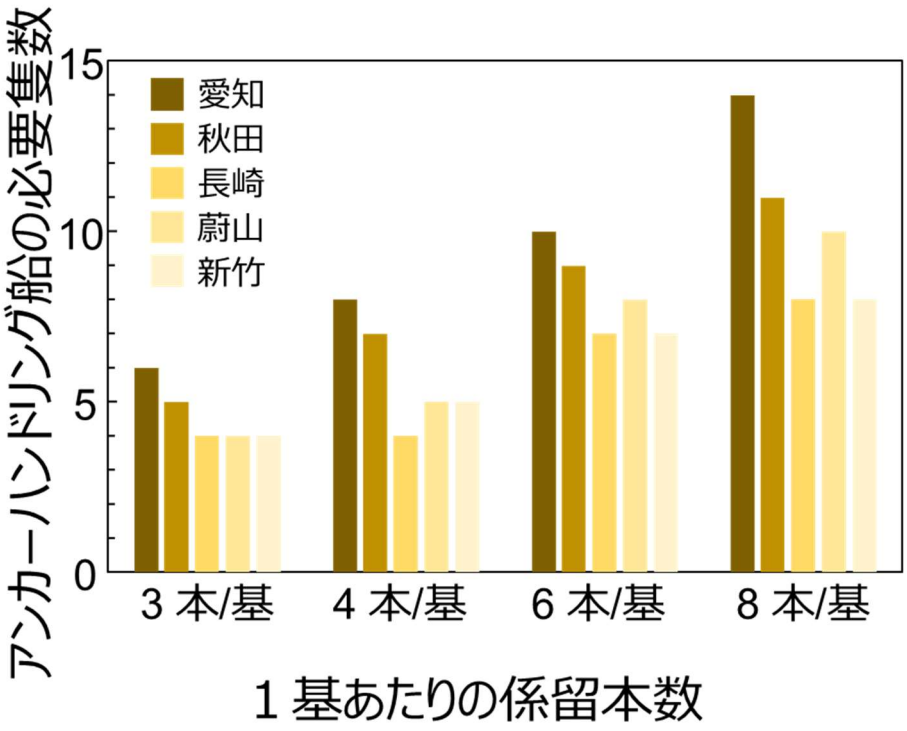
②リスク評価による合理的な検査手法の開発

検査の技術基準･安全ガイドラインにおける係留システム（18 項目）及び浮体式基礎（29 項目）の中間

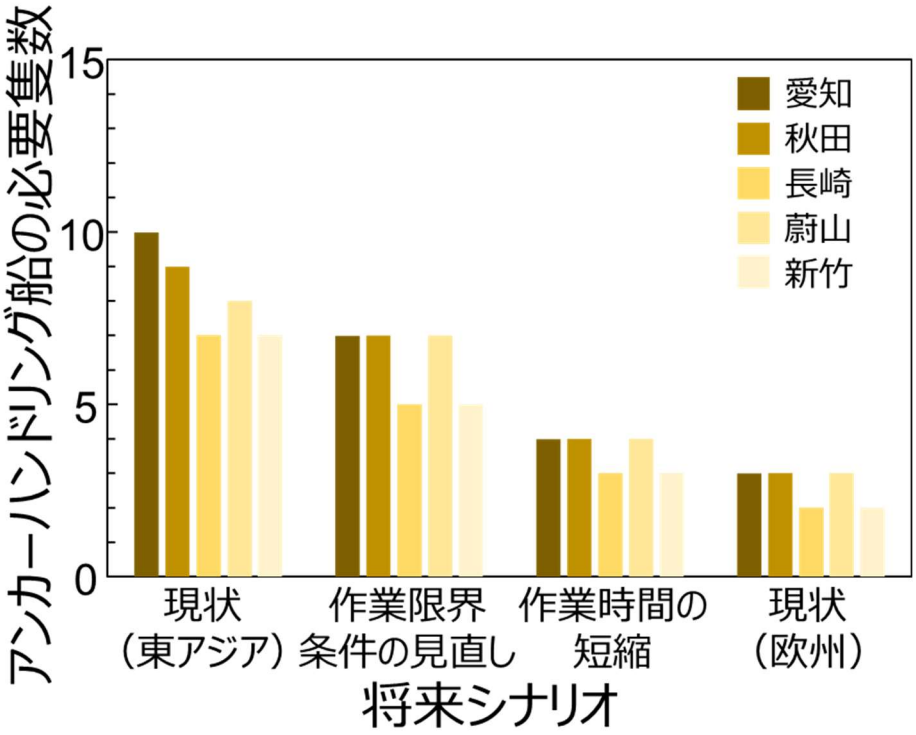
検査及び定期検査の要求項目に対し、①防止したい事故、②検査目的、③検査対象、④検査で確認する事項、⑤内的要因、⑥外的要因を特定し、リスクモデルの構築に向けた基盤を整理した。

③コスト等推計手法の開発

洋上風力発電の将来需要に必要となる施工等に必要な作業船の隻数を推計し、令和 6 年 8 月に「浮体式洋上風力発電の海上施工に関する官民フォーラム（第 3 回）」にて発表した。さらに、浮体式洋上風力発電の海上施工に必要となる作業船の隻数を推計するモデルを提案し、海象条件や係留本数、ケーブルのレイアウトの違いの影響を定量的に評価した。東アジアにおいて 1GW のウィンドファームの海上施工に必要となる作業船の隻数は、作業時間の短縮と作業限界条件の見直しにより、現状から 70–80%少なくて済み、現在の欧州水準と同程度となることを示した。このモデルは、将来の浮体式洋上風力発電の世界規模の需要を見据えた作業船の建造計画にも応用できる汎用性の高いものである（図Ⅰ．2.（3）．①．3 及び図Ⅰ．2.（3）．①．4）。



図Ⅰ．2.（3）．①．3 浮体式洋上風力発施設の 1 基あたりの係留本数とアンカーハンドリング船の必要隻数

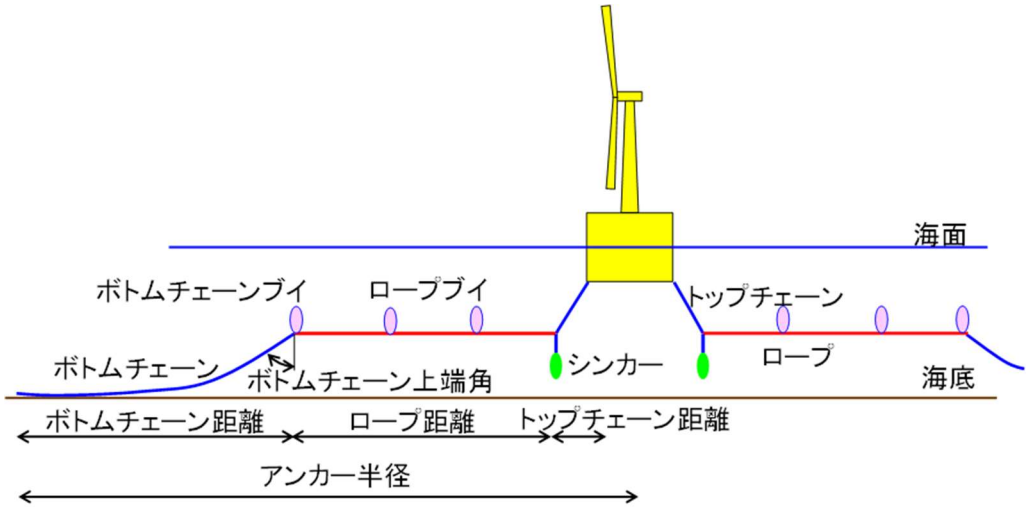


図Ⅰ．2.（3）．①．4　将来シナリオを変えたときのアンカーハンドリング船の必要隻数の変化

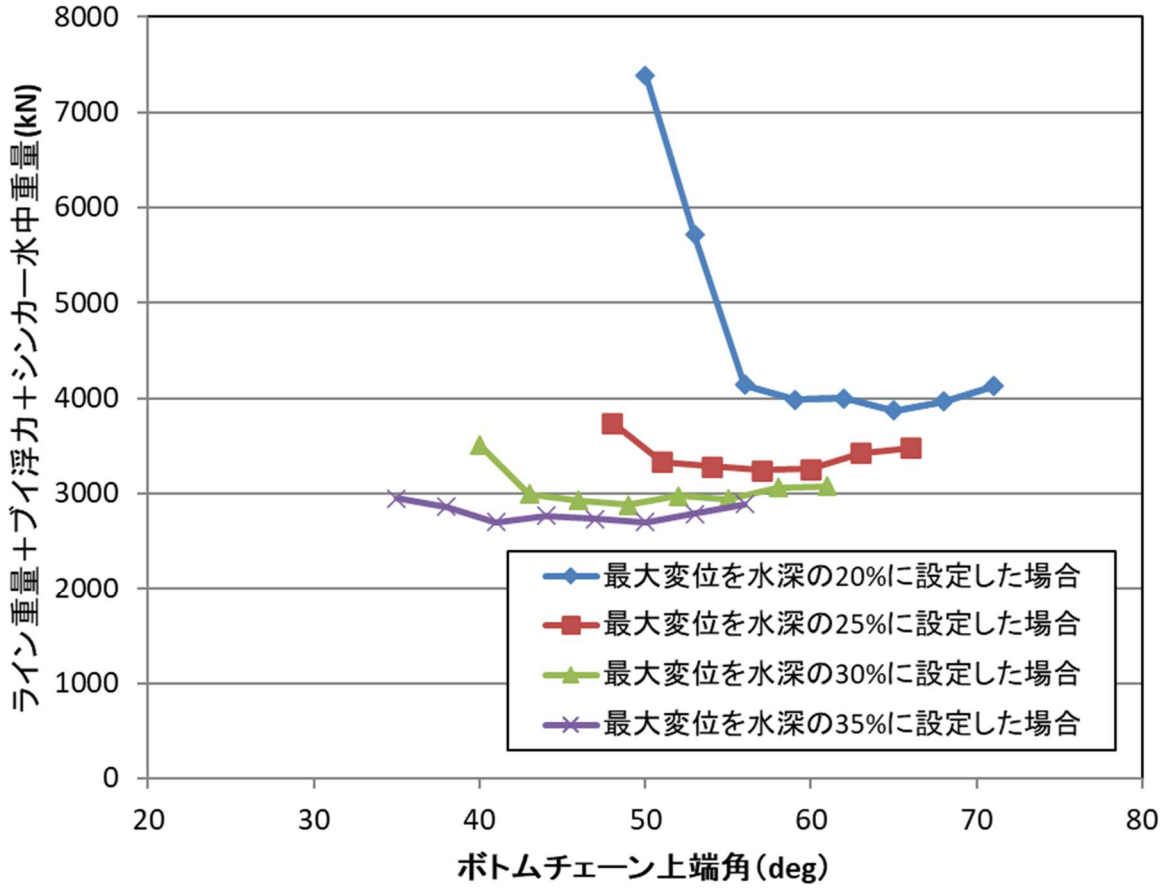
（2）合成繊維索を用いた係留システムの安全性評価手法の構築に関する研究

①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

前年度までに開発した係留仕様算出プログラムを対象に、水深の浅い海域において成立する、ブイ・シンカーを用いて合成繊維索を水平に展開する係留系（ブイ・シンカー係留（（図Ⅰ．2.（3）．①．5））に対応するため、拡張を実施した。簡易な入力に対し、安全率や浮体の移動量等の制約条件を満たす係留系仕様を算出することが可能となった（図Ⅰ．2.（3）．①．6）。



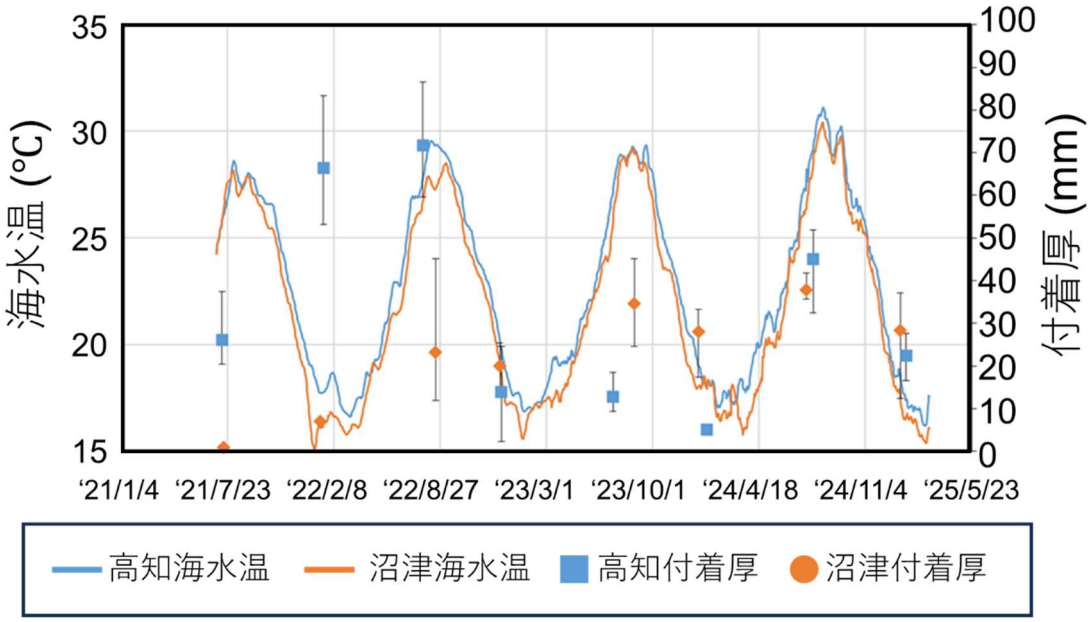
図Ⅰ．2.（3）．①．5　ブイ・シンカー係留のイメージ



図Ⅰ．2.（3）．①．6　係留仕様算出プログラムの出力結果の例
（係留チェーンの浮体との角度を変えた場合の係留索重量）

②係留索に対する生物付着影響評価結果

北海道石狩湾、静岡県沼津沖、高知県黒潮町沖において、2021 年（令和 3 年）3 月より 2025 年（令和 7 年）1 月にかけて実施していた実海域浸漬試験をすべて完了した。付着生物について、付着厚さ、水中重量を経過観測するとともに、設置期間の長い静岡県沼津沖と高知県黒潮町沖の付着厚さ計測結果と海水温との比較を行った。その結果、計測結果から判断する限り、既往報告と同様に夏季にかけて付着量が増加し、冬季にかけて減少すること、また 2 年目以降の夏季の増加量も 1 年目と同程度であること、さらに海水温と一定の相関が見られることが分かった（図Ⅰ．2.（3）．①．7）。

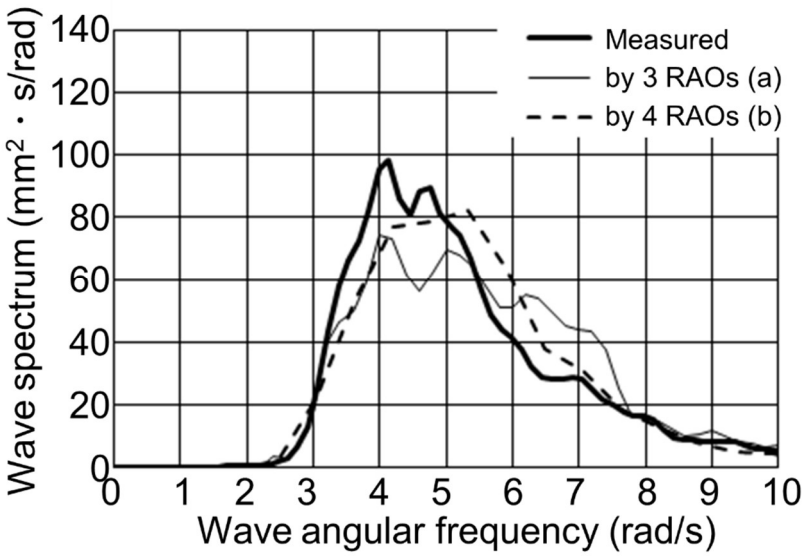


図Ⅰ．2.（3）．①．7 係留索に対する生物付着厚さと海水温の関係

（3）デジタルツイン技術の構築に関する研究

①浮体遭遇海象推定手法の開発

2023 年度（令和 5 年度）に海洋構造物試験水槽において実施した、剛性相似模型を用いた水槽試験結果を用い、浮体の遭遇波浪を推定した。遭遇海象の推定では、浮体の運動（サージ、ヒーブ、ピッチ）の 3 種のデータを入力としたものと、浮体ロワーハル部の歪データを加えた 4 種のデータを用いたものの 2 パターンをそれぞれ実施した。その結果、歪データを入力に加えると推定精度が向上することが分かった。また、遭遇した波スペクトルを比較的高精度で推定することができた（図Ⅰ．2.（3）．①．8）。

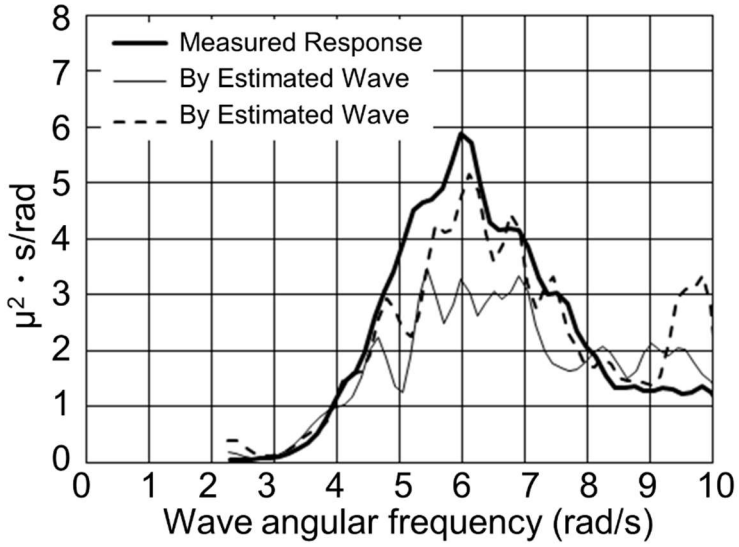


図Ⅰ．2.（3）．①．8 波浪推定結果（長波頂不規則波）
（計測した波スペクトルと浮体応答・歪応答を用いた推測結果の比較）

②浮体各所の応力等推定手法の開発

水槽試験で計測した浮体の構造歪と、試験中に計測された波を入力として出力された構造歪、そして推定された遭遇海象を入力とした数値計算から得られた構造歪を比較し、遭遇海象を入力とした場合に定性的に一致することを確認し、本手法の妥当性を確認した（図Ⅰ．2.（3）．①．9）。また、詳細な応力

推定のために FE モデルを作成した。

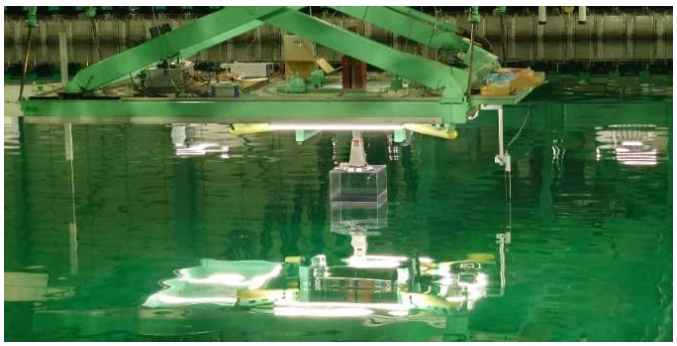


図Ⅰ．2.（3）．①．9 断面力の推定結果の例（ロワーハルの水平曲げ）
（計測結果と推測された波スペクトルを用いた解析結果の比較）

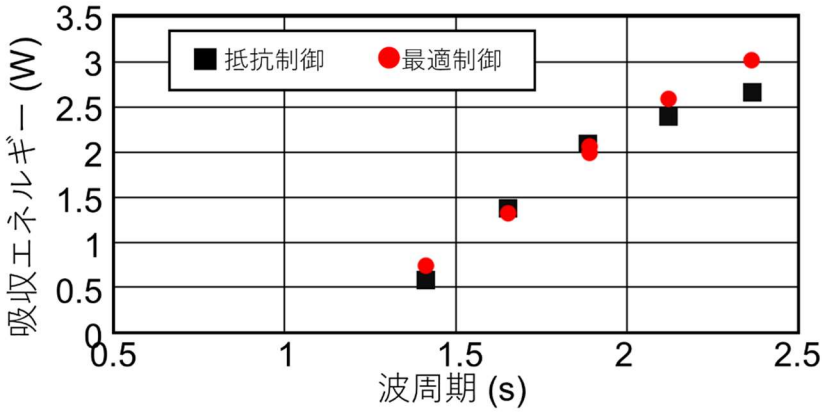
（4）波力・潮流・その他発電施設の安全性評価・性能向上に関する研究

①波力発電のより高効率な制御アルゴリズムの開発

水槽試験を実施し、大波高時や大振幅発生時のような非線形が強い条件下における波力発電装置の運動特性を明らかにするとともに、発電方式をこれまでに対象としたリニア方式ではなく、ラックアンドピニオン方式にして制御技術の検証を行い、他の発電方式に対応できるか検証した。その結果、ラックアンドピニオン方式に対しても制御が有効に機能することを確認した（図Ⅰ．2.（3）．①．10）。



（a）水槽試験の様子

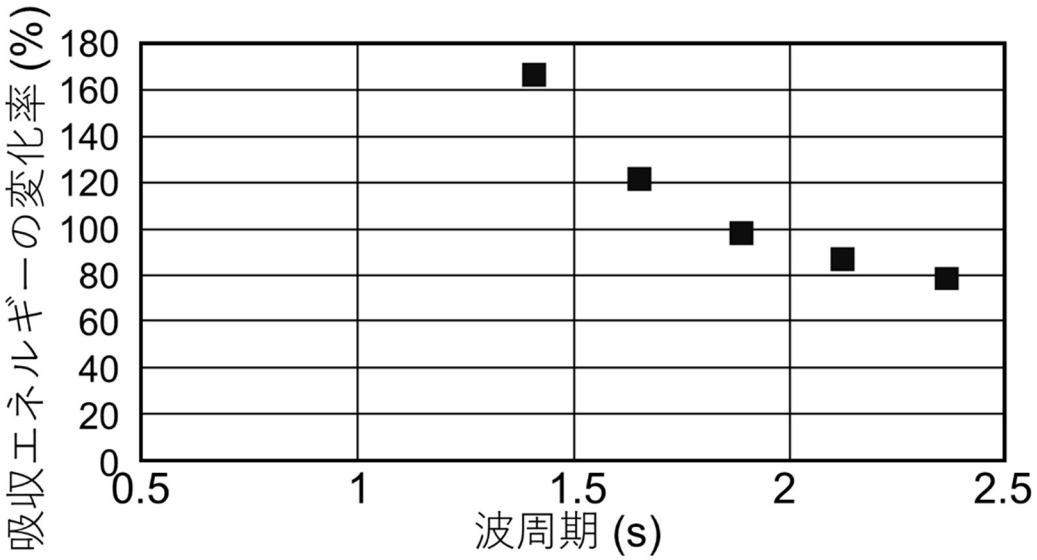


（b）吸収エネルギーの比較

図Ⅰ．2.（3）．①．10 水槽試験の様子及び制御手法の検証（吸収エネルギーの比較）

また、エネルギー吸収効率の改善をするため、波に対して指向性をもつ浮体形状(図Ⅰ. 2. (3). ①. 11)を考案し、浮体形状の改良によりエネルギー吸収効率を波周期の短い範囲で最大で 60%向上させることが可能であることを水槽試験で検証した(図Ⅰ. 2. (3). ①. 12)。

図Ⅰ. 2. (3). ①. 11 波に対する指向性を有しない浮体(左図)及び指向性を有する浮体(右図)



図Ⅰ. 2. (3). ①. 12 考案した浮体形状による波エネルギー吸収効率の波周期に対する変化
(100%を基準として、それ以上の場合は向上、それ以下の場合は低下と判断する)

成　果　の　公　表

□各種表彰の受賞:1 件

・梅田隼: 日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞), ガウス過程回帰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, 2024 年 5 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等:1 件

・特許出願: 反射型波力発電装置

□その他

◆国際活動：2 件

・中條俊樹: 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, 2 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, 4 回.

◆その他の全文査読付き論文等：3 編

・羽田絢, 中條俊樹, 吉本治樹, 神澤謙, 西村俊祐: 浮体式洋上風力の浮体形状と風車制御設定のパラメトリックスタディ, 日本船舶海洋工学会論文集, 39 巻, pp. 69-78, (2024).

・黒岩隆夫, 永尾徹, 平野晴彦, 中野拓也, 宮本伸樹, 菅原伸一郎: 風車タワーの破断・倒壊メカニズムの分析, 日本風力エネルギー学会論文集, 48 巻, 4 号, pp. 87-98, (2024).

・梅田隼: ポイントアブソーバー型波力発電装置のモデルベースおよびデータ駆動型リアクティブ制御に関する研究, 大阪公立大学学位論文（博士（工学））, (2024).

◆その他発表論文：15 編

・梅田隼: 波力発電装置の機械・電気システム統合シミュレーションの開発, 日本船舶海洋工学会第 29 回推進・運動性能研究会, (2024).

・蓮見知弘: エンジニアリングモデルを用いた浮体式洋上風力発電の海上施工の研究, 第 17 回 港湾空港技術講演会 in 関東 2024, (2024).

・蓮見知弘: ぷかぷか風車大作戦 ～浮体式洋上風車イノベーションバトル～ 開催報告, 日本風力学会誌, 風力エネルギー, 第 48 巻, 第 3 号, pp. 454-457, (2024).

・平尾春華, 羽田絢, 蓮見知弘, 正信聡太郎: 浮体式洋上風力発電の係留系健全性評価手法の開発 1. 水槽試験編, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 1177-1182, (2024).

・羽田絢, 平尾春華, 蓮見知弘, 正信聡太郎: 浮体式洋上風力発電の係留系健全性評価手法の開発 2. 数値解析による検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 1183-1190, (2024).

・蓮見知弘, 横井威, 羽田絢, 和田佑次郎, 正信聡太郎: 浮体式洋上ウィンドファームの洋上施工の稼働率に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 1163-1168, (2024).

・Toshiki Chujo: STUDY ON THE SYNTHETIC FIBER ROPE MOORING FOR FLOATING OFFSHORE WIND TURBINES DEPENDING ON THE WATER DEPTH AND MATERIALS OF ROPE, International seminar on papers presented at OMAE on Floating Offshore Wind, (2024).

・Tomohiro Hasumi: Research on installation time model for floating offshore wind farms, International seminar on papers presented at OMAE on Floating Offshore Wind, (2024).

・梅田隼: 波力発電装置を対象としたデータ駆動型リアクティブ制御の開発, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-24, (2024).

・羽田絢: 浮体式洋上風力の浮体挙動を利用した係留索健全性評価手法に関する実験的研究, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-23, (2024).

・中條俊樹: 大規模ウィンドファームの実現に向けた浮体式洋上風力発電の研究開発について, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, (2024).

・蓮見知弘, 黒岩隆夫, 松尾剛: 洋上風力関連船舶の需要試算の結果, 浮体式洋上風力発電の海上施工等に関する官民フォーラム, (2024).

・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の実証段階および商用運用段階における計測について, センサイト Web ジャーナル, (2024).

・中條俊樹: 浮体式洋上風力発電は普及するか？, 日本船舶海洋工学会若手の会, (2024).

・黒岩隆夫, 小垣哲也: 特集 2 風車の認証及び研究開発用の大型・特殊試験設備, 日本風力エネル

ギー学会誌, 風力エネルギー, 第 48 巻, 第 1 号, pp. 32-33, (2024).

◆公開実験:2 件

・浮体式洋上風力発電設計・製作セミナー(2024.8/7-8/9)

・浮体式風車の不規則波中の水槽試験を公開(2024.9.14, 構造・産業システム系及び洋上風力発電プロジェクトチーム)

重　点　分　野	(3)海洋の開発

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の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 －CTV の風車タワーへの乗り移り性能評価プログラムの開発、海洋CCSに係る管内流動の評価を行う。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アルゴリズムの開発及び実機実装、画像ベース AUV ドッキング手法の開発、海空無人機システム AUV の基本設計を行う。等

○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

研　究　の　背　景

平成 30 年 5 月に閣議決定された第 3 期海洋基本計画では、その主要施策の一つに「海洋の産業利用の促進」が挙げられている。当該施策において、メタンハイドレートや海底熱水鉱床などの海洋資源は、将来の商業化への移行が可能となるよう、産業化のための技術開発を着実に進めていくことが規定されている。現在、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラストに続き、大水深に賦存するマンガン団塊やレアアース泥についても開発技術の検討が進められている。国内の稀少鉱物資源確保やエネルギーの安定供給を目指す上でも海洋資源開発技術に係る研究が必要不可欠となっている。

鉱物資源は、産業活動及び国民生活の基礎を支える必要不可欠な素材で、近年台頭している資源ナショナリズムの中、陸上資源の乏しい日本にとって、海底資源の開発は国の成長戦略はもちろん、経済安全保障の観点からも重要な課題となっている。AUV（Autonomous Underwater Vehicle, 自律型無人潜水機）は、人間の接近が極めて制限的な深海底に対しても、至近距離まで接近し、海底資源の調査に不可欠な高品位・高精度の情報が収集できる。こうした背景から、AUV をはじめとする海洋無人機は、次世代の海洋資源開発にて海洋調査の主役になりつつあり、より高度な海洋調査の実現に向け、先進的な海洋無人機の研究開発が強く求められている。

また、海洋空間の利活用においては各種作業船による建設や O&M、水素やアンモニア等の洋上生産・荷役やバンカリング、洋上での CCS（Carbon dioxide Capture and Storage, CO_2 回収・貯留）のための洋上 CO_2 圧入等では、非常に高度なマリンオペレーションが要求されており、その運用手法や安全性・稼働性評価手法に関する技術開発が求められている。

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では、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。また、海洋 CCS については 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。さらに、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では、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。また、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。さらに、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では、試作機及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。また、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。さらに、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。加えて、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。

これらの研究開発を通じて、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ことを目指す。

令和６年度の研究内容

（1）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

①カタマラン型高速船の風車タワーへの乗り移り性能評価プログラムの開発及び SEP 船 *1 の運動性能評価モデルの構築（*1 SEP 船: Self-Elevating Platform, 自己昇降式作業船）

SEP 船の脚部に作用する波浪及び潮流荷重データを模型試験により取得し、それを基に脚部に作用する荷重を考慮した運動性能評価モデルを作成した。モノハル型 CTV *2 の乗り移り時の波浪中運動評価する試験を実施すると共に数値計算による比較評価を実施した。CFD ソルバーNAGISA を用いてカタマラン型高速船の強制横揺れシミュレーションを実施し、船体運動を推定する上で重要な横揺れ減衰力を推定し、カタマランとそのデミハル単独時の流体力等を比較した。また、デミハル間の干渉流体力を計算するプログラムを開発し、干渉流体力の変化を調査した。(*2 CTV: Crew Transfer Vessel, 洋上風力発電アクセス船)

②振動管内の液体 CO_2 流動解析モデルの開発、CCS 洋上プラットフォームの全体挙動評価モデル(β 版)の構築

海洋 CCS に係る浮体式圧入プラットフォームに係船された液体 CO_2 輸送船を対象とする振れ回り運動や移送ホースの挙動評価のための時間領域計算モデルを作成した。液体 CO_2 の蒸発挙動及び液体 CO_2 から固体 CO_2(ドライアイス)生成挙動の可視化を行い、その結果を基に、周期振動を加味した相変化を伴う配管内 CO_2 移送挙動の混相流モデルの作成を行った。移送ホース等の潮流中 VIV(Vortex Induced Vibration, 渦励起振動)挙動計測試験を実施し、VIV 評価モデル構築に資するデータを取得した。

海洋 CCS システムのコンセプト調査を行い、数値計算や水槽試験に利用するため、参考文献に基づき液体 CO_2 輸送船の設計を実施し、波浪中動揺計算に要する流体力データ等を取得した。

③LNG バンカリングに関する安全性評価モデルの開発、オペレーション限界条件等の評価

昨年度に構築した錨泊中 LNG バンカリングの時間領域計算モデルに対し、実事業の海域やオペレーションを参考にして、海気象条件や天然ガス燃料船とバンカー船間の係船索径、本数、配索方法を見直した。また、水深や曳航角度をパラメータとした 2 船体拘束曳航試験を行い、取得した流れ荷重データを計算モデルに組み込んだ。精緻化したモデルを用いた風と波の条件下での計算により、2 船の相対動揺や係船索張力、防舷材反力、錨鎖張力や把駐力の最大値を求め、閾値との比較から錨泊中 LNG バンカリングの運用可否を判断した。

(2)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

①海底鉱物資源の揚収に係る超音波を用いた管内混相流の計測技術の構築

海底熱水鉱床を対象とした模擬鉱石を用い、超音波及び高速度カメラによる管内部流の固液各相の流速データの取得を行い、高速度カメラとの比較により精度検証を行った。

管内混相流の流速計測試験には、内径 26mm の配管、アルミナボール(密度:3690kg/m^3、直径 4mm)を用いた。

②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

本邦 EEZ 内の環境条件(水深、海象)に即した揚鉱システム(管厚、浮力体の有無及び配置)の選定を目的としたアルゴリズムの開発を行った。

併せて、開発したアルゴリズムを使用して試計算を行った。試計算では、全ての管が X65 グレード(降伏限界:448MPa)と仮定し、台風などの極限環境条件で使用することを想定し、von Mises 応力の目標値は降伏限界の 1/3(148MPa)と設定した。また、管厚は、API 規格で定義された 7 種類の管厚に基づいて最適化の検討を行った。

③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手法の検討

最適化アルゴリズムの一つであるニューラルネットワークを用いて、既存の開発支援プログラムへ適用し、熱水鉱床事業の公開情報を使用し最適化手法の有用性の検証を行った。

(3)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

①複数 AUV 協調群制御アルゴリズムを航行型 AUV の制御系に実装

前年度に開発した reference - follower 群制御技術を海技研の航行型 AUV2 機に実機実装した。当該 AUV を用いた実海域潜航試験を実施し、開発・実装した群制御技術が洋上からの管制を必要とせず、複数機間の相対位置を最良に管理する革新的な複数 AUV の同時運用技術であることを実証した。

②ホバリング型 AUV のドッキング技術を実証

HSV(色相、彩度、明度)空間を用いた色検出手法を導入し、画像認識フィルタリング技術を開発した。当該技術に基づいた AUV 海中ドッキングの実現に向け、画像情報のフィードバックによる機体制御のアルゴリズムを開発し、海技研のホバリング型 AUV への実機実装を行った。

③海空無人機システム試作機 AUV の基本・詳細設計及び深深度 AUV(6000m 級)の基本設計

CFD 解析を通じて海空無人機に資する試作機 AUV の動流体力を求め、ダイナミックモデルの構築を行った。また、最大深度 6000m の深深度 AUV に対し、基本設計を実施した。

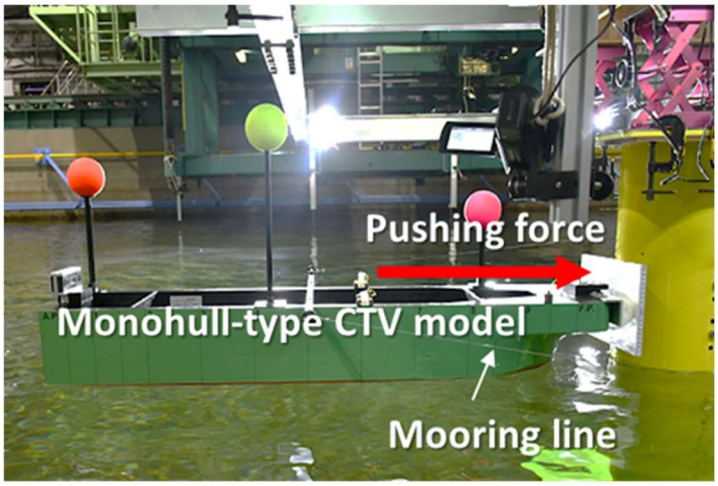
令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

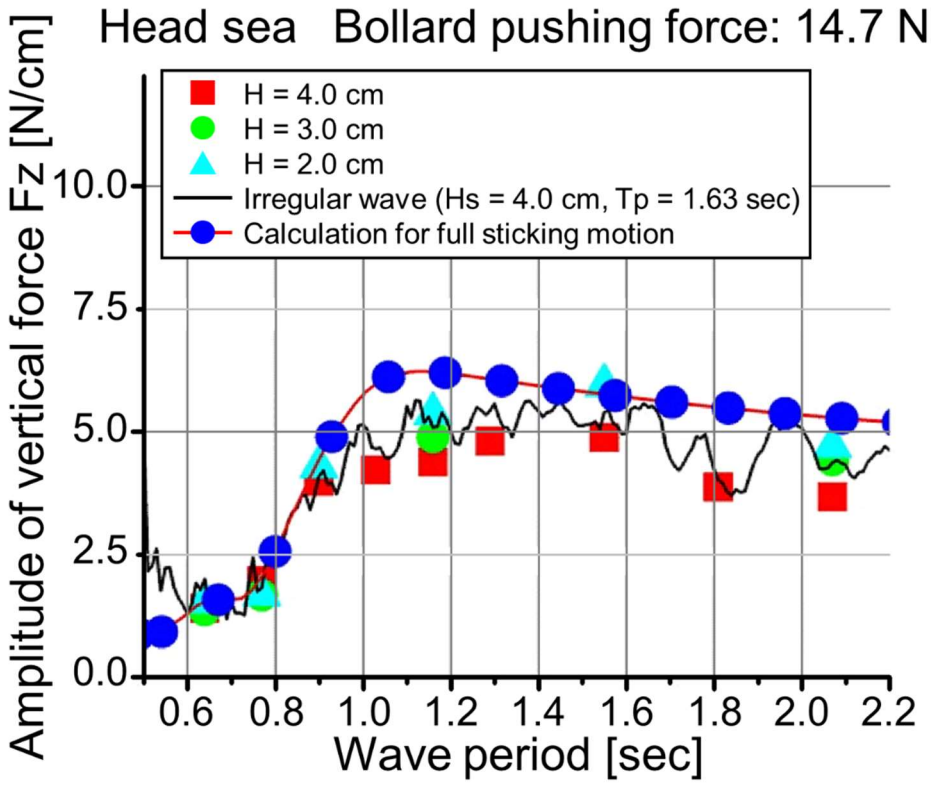
（1）マリンオペレーション技術の最適化と高度化手法の確立に関する研究

①カタマラン型高速船の風車タワーへの乗り移り性能評価プログラムの開発及び SEP 船の運動性能評価モデルの構築

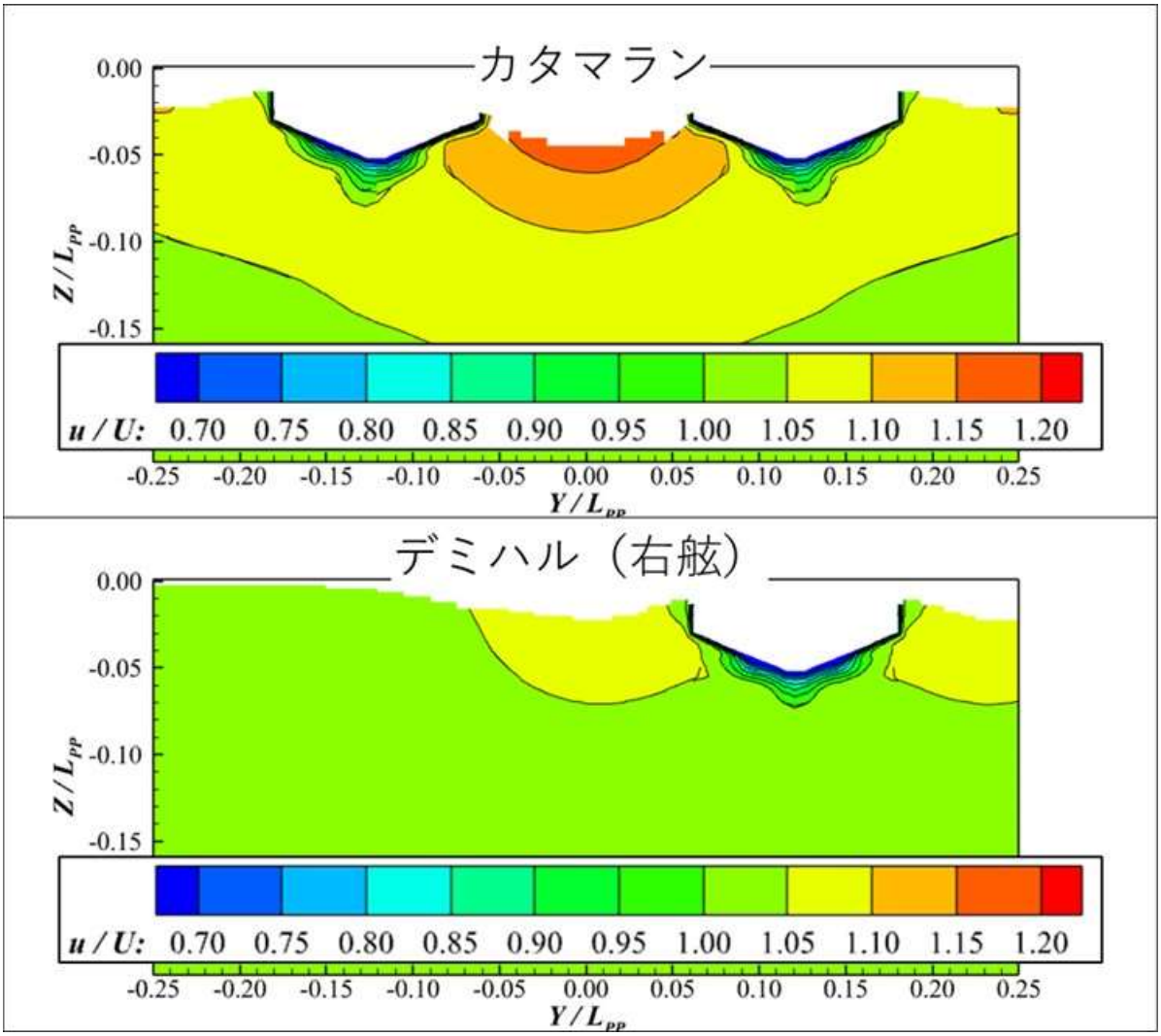
SEP 船の脚部に作用する波浪及び潮流荷重データを模型試験により取得し、それを基に運動性能評価のための計算モデルを構築した。

モノハル型 CTV の乗り移り時の波浪中運動評価に関する数値計算法を提案し、水槽試験結果との比較評価を通じて計算手法の妥当性を確認した（図Ⅰ. 2. (3). ②. 1)。カタマラン型高速船の強制横揺れシミュレーションを通じて、カタマランの場合はデミハル間の流れが縮流効果によって加速され、減衰力に寄与すると思われる揚力成分が 1.2～1.3 倍程度増大することを明らかにした(図Ⅰ. 2. (3). ②. 2)。また、デミハル間の干渉流体力がデミハル間距離によって変化することを数値計算によって明らかにした(図Ⅰ. 2. (3). ②. 3)。

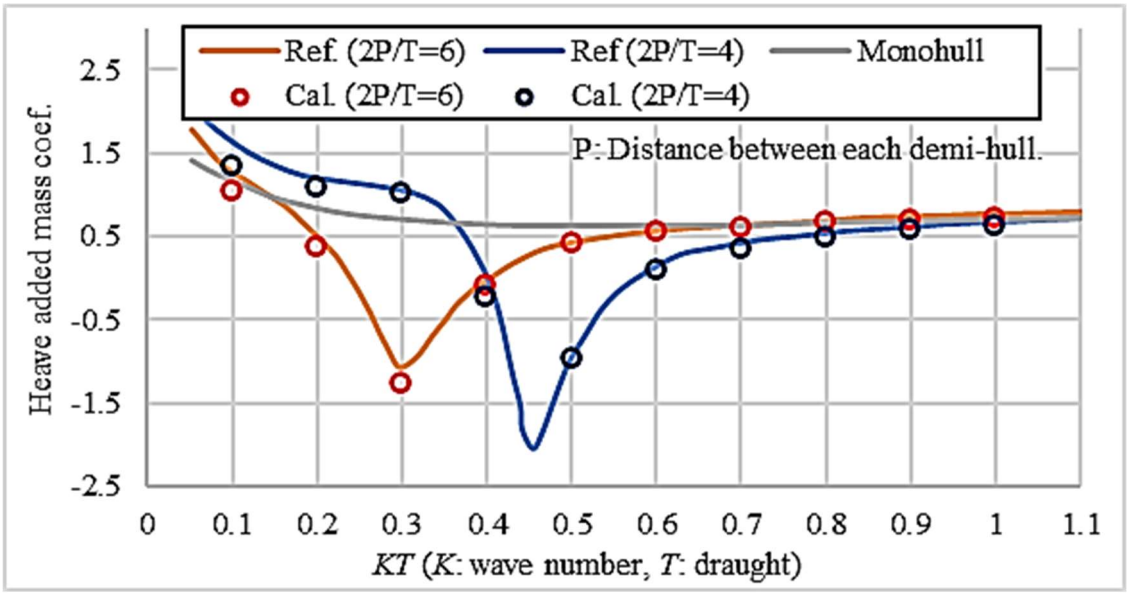




図Ⅰ．2.(3).②.1 モノハル型 CTV の乗り移り時を想定した波浪中運動試験（上図）と
船首部に作用する上下力の数値計算結果との比較（下図）
（数値計算が水槽試験結果を概ね再現していることを確認した）



図Ⅰ．2.(3).②．2 カタマラン（上図）とデミハル単独（下図）における船体周りの流速分布の違い
（カタマランの場合はデミハル間の流れが縮流効果によって加速されて減衰力に寄与することが確認された）

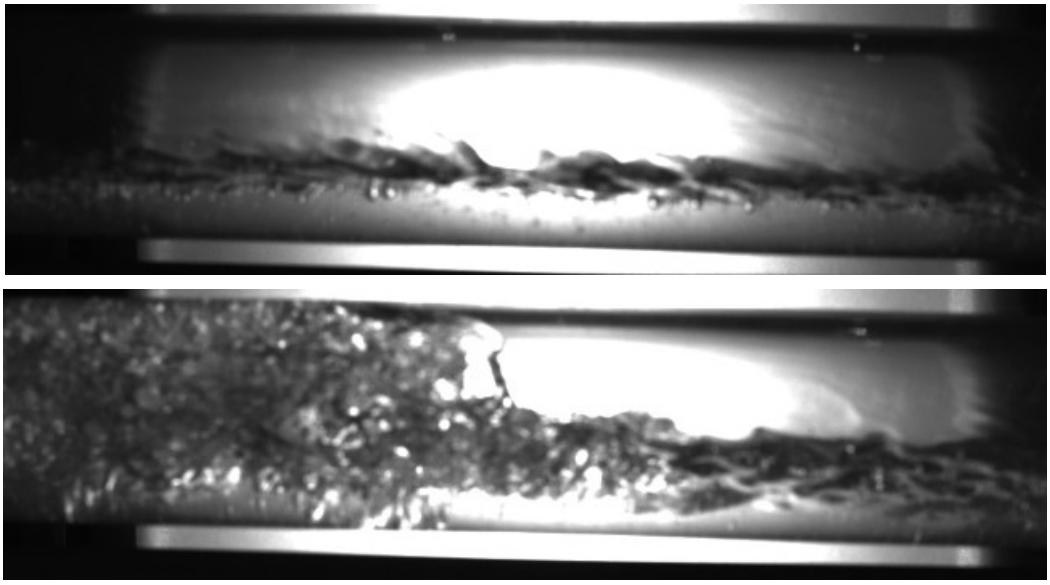


図Ⅰ．2.(3).②．3 デミハル間の干渉流体力を考慮したカタマランの上下揺れ付加質量係数
（2P：デミハル間距離、T：喫水）
（デミハル間の干渉流体力がデミハル間距離によって変化することが確認された）

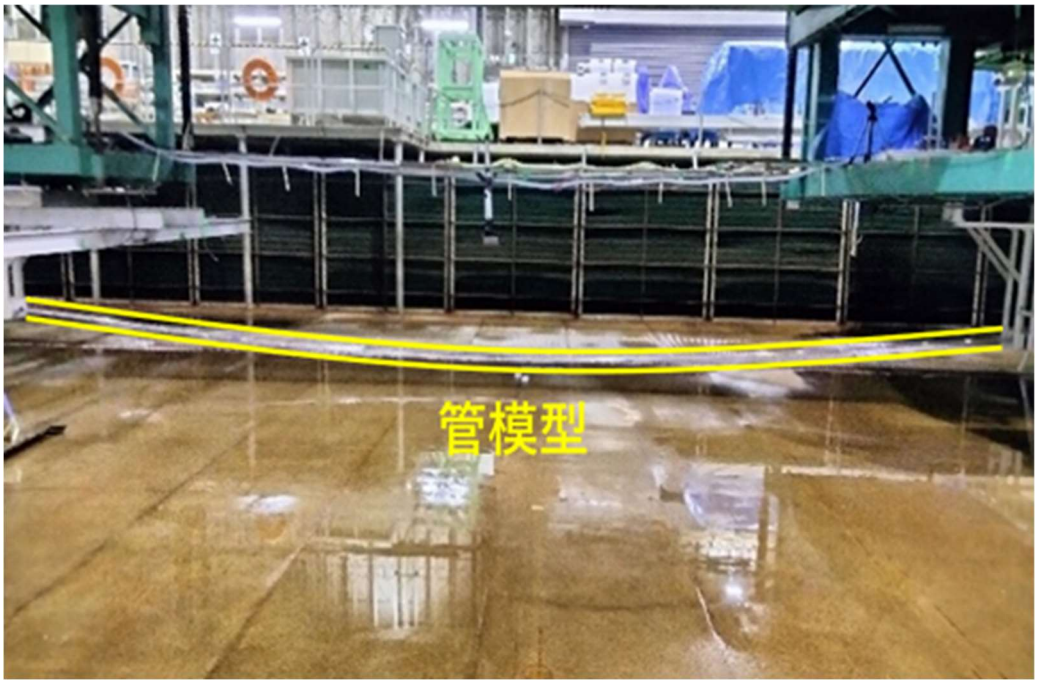
②振動管内の液体 CO_2 流動解析モデルの開発、CCS 洋上プラットフォームの全体挙動評価モデル（β 版）の構築

海洋 CCS に係る浮体式圧入プラットフォームに係船された液体 CO_2 輸送船を対象とする振れ回り運動や移送ホースの挙動評価のための時間領域計算モデルを構築した。

液体 CO_2 の蒸発挙動及び液体 CO_2 から固体 CO_2（ドライアイス）生成挙動の可視化計測を通じ、周期振動を加味した相変化を伴う配管内 CO_2 移送挙動の混相流モデル（ドリフトフラックスモデル）を構築した。気液二相流が潮流中の VIV 挙動に与える影響を計測する水槽試験を通じて、管内部に流れる気液二相流によって振動周波数のピークが 5%程度低下するなど、通常の VIV 特性とは異なることを明らかにした（図Ⅰ. 2. (3). ②. 4 及び図Ⅰ. 2. (3). ②. 5）。

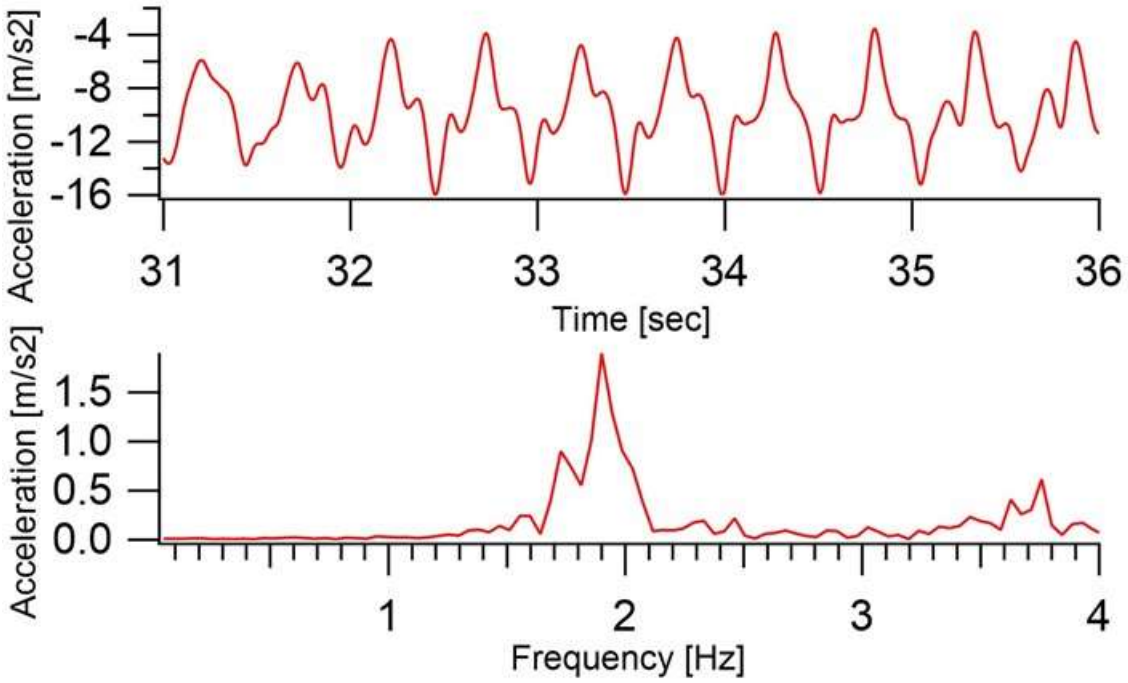


(a) 管内部の流動の様子（上：層状流、下：スラグ通過時）

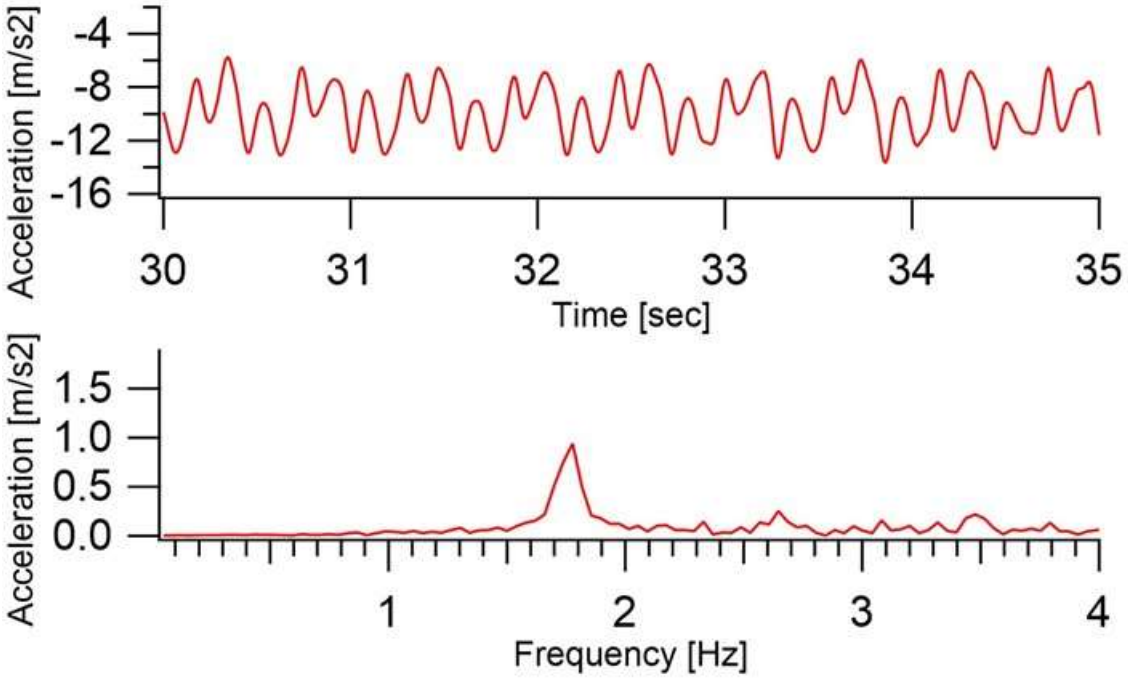


(b) VIV 挙動計測実験に用いた管模型の外観

図Ⅰ. 2. (3). ②. 4　管内部の流動と VIV 挙動計測実験の様子



(a) 水単相流



(b) 気液二相流

図Ⅰ. 2. (3). ②. 5 内部流による管挙動の変化

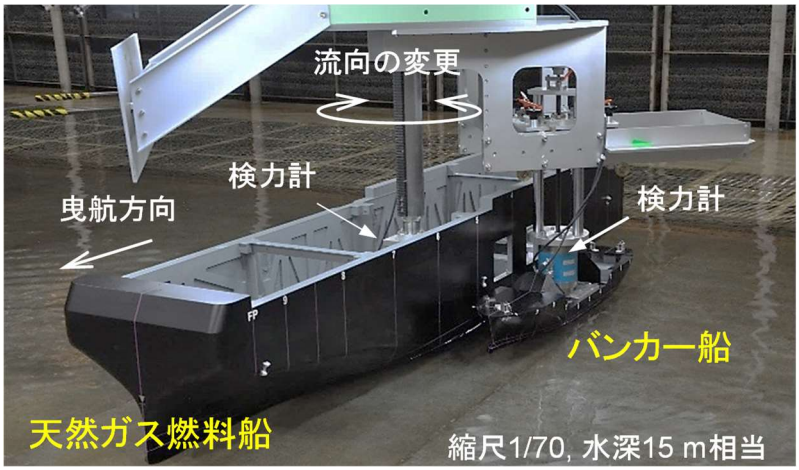
(加速度の時間変化及び振動周波数との関係。管内部に流れる気液二相流によって通常の VIV 特性とは異なることが確認された。)

③LNG バンカリングに関する安全性評価モデルの開発、オペレーション限界条件等の評価

天然ガス燃料船とバンカー船模型を用いた 2 船体拘束曳航試験により、浅水影響と 2 船間の相互干渉影響を考慮した流れ荷重データを取得した(図Ⅰ. 2. (3). ②. 6)。

風と波の条件下で振れ回り運動を伴う錨泊中 LNG バンカリングの時間領域計算の結果から、LNG 燃

料移送が可能となる運用限界条件（2 船間の係船索径、本数に対する風速と波高の上限値）を決定した。また、その条件を国の事業による LNG バンカリングガイドラインの改訂（令和 7 年 3 月発行）に反映した。



（a） 2船体拘束曳航試験の様子

錨泊船への LNG 移送限界条件：以下に示す①②のいずれかを満足するものとする； ①風速 5m/sec 以下、波高 1.0m 以下※2 ②2 船間係留中の相対動揺量※3 が許容範囲内※4 であること ※2□索径 48mm 未満かつ索 8 本以上の場合は波高 0.5m 以下 ※3□マニホールド付近における 2 船間の Surge 方向と Sway 方向の最大移動量 ※4□使用するフレキシブルホースの仕様より、事業者が LNG バンカー船と LNG 燃料船の種類・大きさごとに十分に安全な許容値を設定する。Surge 方向：±1.0m 以下、Sway 方向：＋0.75m を目安とすることもできる[8]。

（b） 錨泊中 LNG バンカリングの運用限界条件（ガイドラインからの抜粋）

図 Ⅰ．2.（3）．②．6 錨泊中 LNG バンカリングに対する運用限界条件の検討

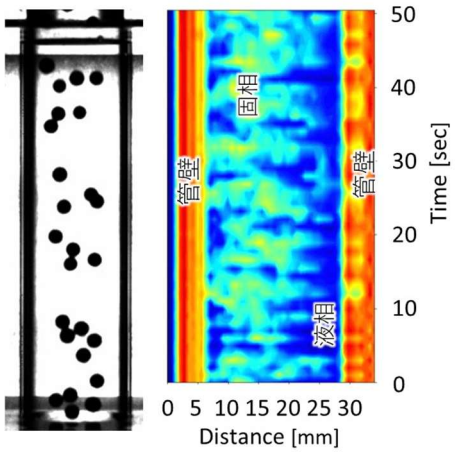
（2）海洋資源開発システム等の安全性評価と開発支援技術の確立に関する研究

①海底鉱物資源の揚収に係る超音波を用いた管内混相流の計測技術の構築

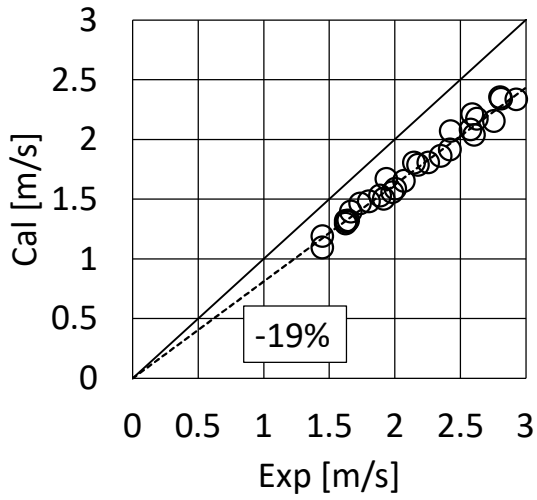
管内混相流の流速計測試験（図 Ⅰ．2.（3）．②．7 及び図 Ⅰ．2.（3）．②．8）にて得られた高速度カメラの画像から固相粒子群の流速を算定し、従来の推定モデル（固相流速が液相流速と粒子群の浮遊速度の差で与えられるとするモデル）より推定した固相流速の結果と高速度カメラで撮影した画像から算定した値の比較を図 Ⅰ．2.（3）．②．9 に示す。本結果より、従来のモデルでは、固相流速を 19%程度過小に評価していることが明らかとなった。

従来の推定モデルを用いた圧力損失の推定結果と、高速度カメラを用いて求めた固相流速より得られる圧力損失を比較すると、推定モデルから得られた圧力損失が 10%程度過大になる傾向を示した（図 Ⅰ．2.（3）．②．10）。これまでの研究では、圧力損失は推定モデルにより算定しており、その値が実験で直接計測された値より 10%程度過大な傾向を示していたことから、本実験により固相流速を正確に把握することで圧力損失の推定精度が向上することが明らかとなった。

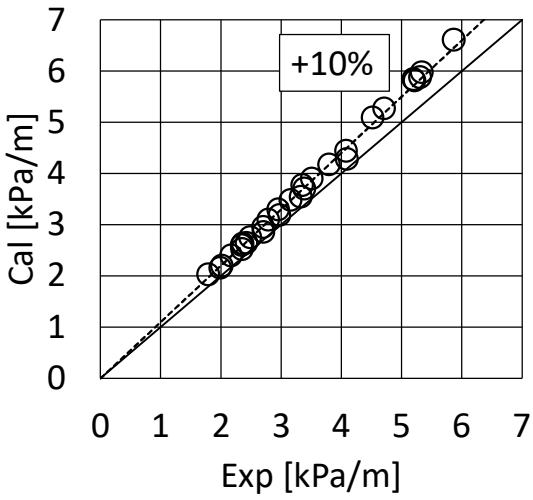
図Ⅰ．2.（3）．②．7　試験装置外観



図Ⅰ．2.（3）．②．8　高速度カメラ及び超音波計測結果例



図Ⅰ．2.（3）．②．9　固相流速の比較結果
（従来の推定モデルを用いて得られた固相流速（Cal）は、高速度カメラの画像から算定した固相流速（Exp）より 19%過小であることが明かとなった）

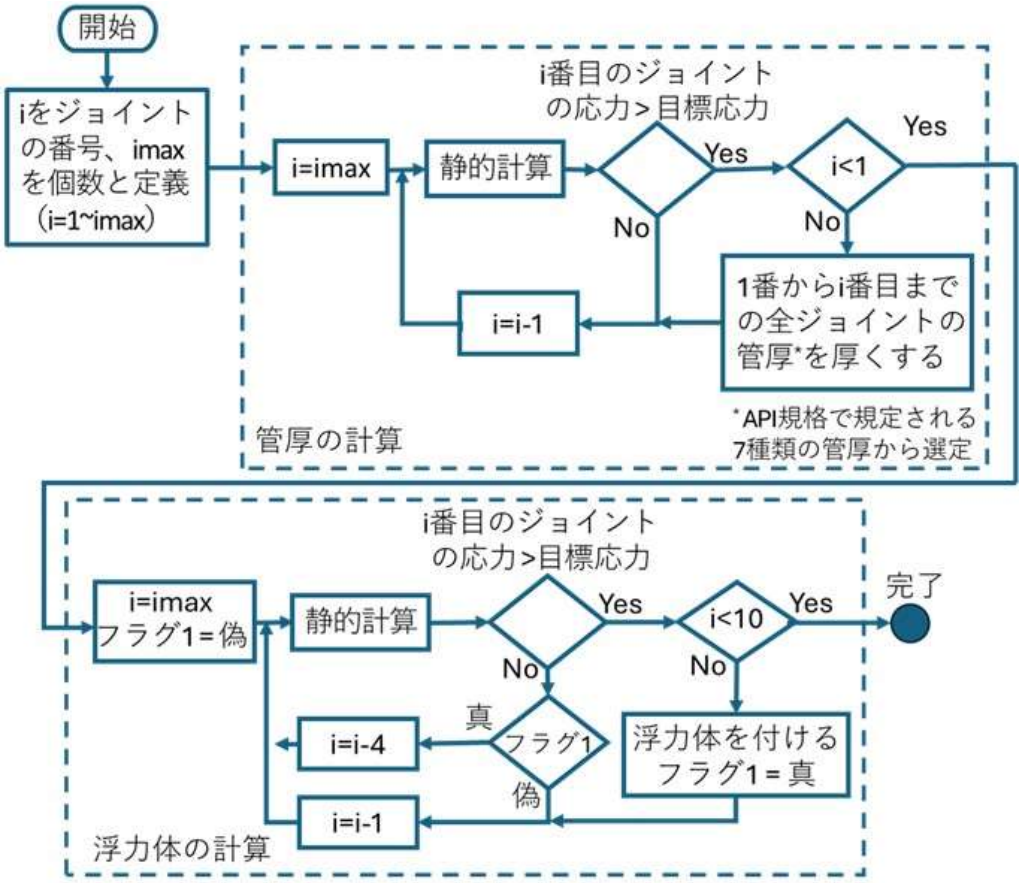


図Ⅰ．2.（3）．②．10　圧力損失の比較結果
（従来モデルが推定した圧力損失（Cal）と高速度カメラを用いて求めた固相流速より得られる圧力損失（Exp）を比較すると、従来モデルから得られた圧力損失が 10%程度過大となる傾向が示唆された）

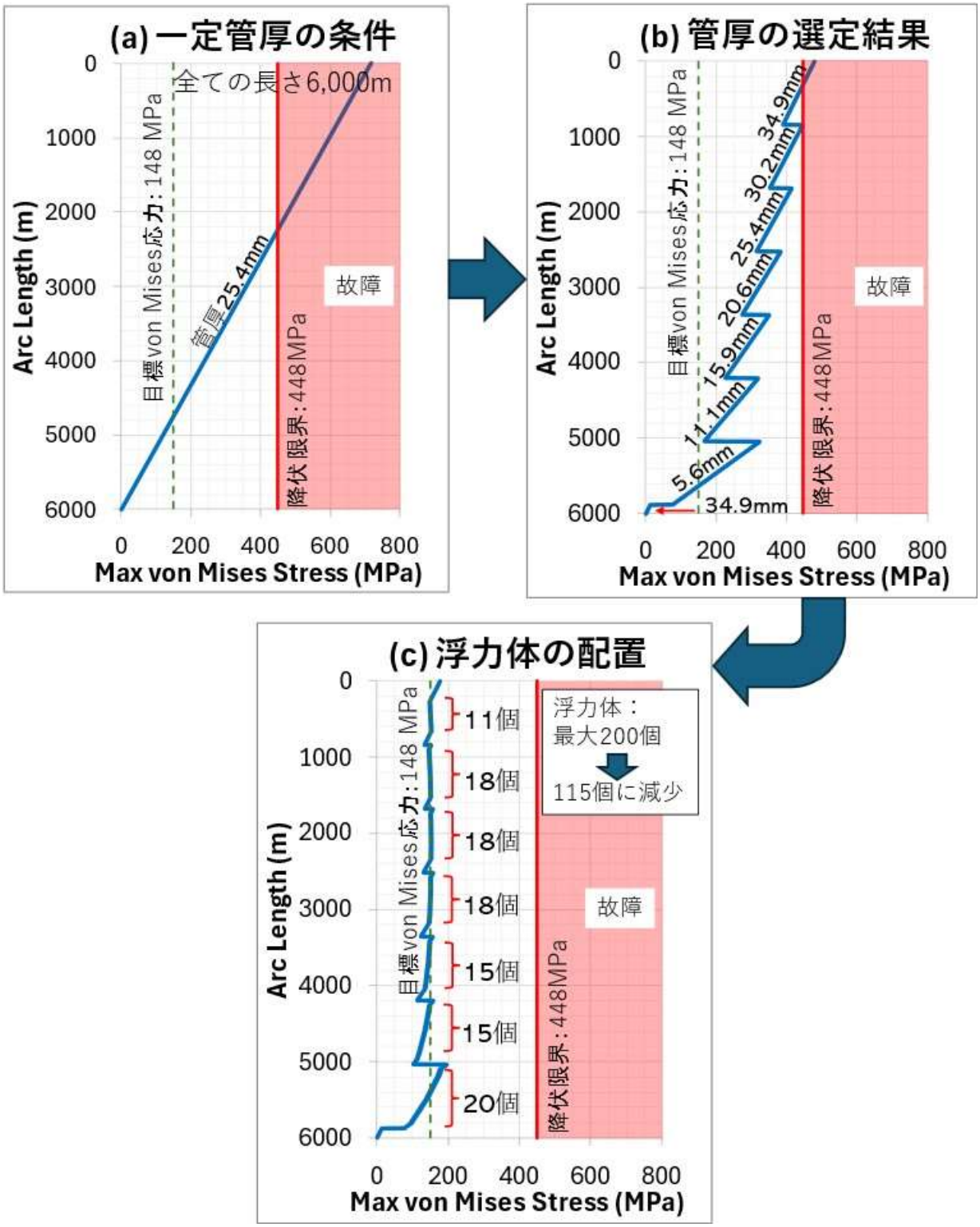
②本邦 EEZ 内の海底資源を対象とした開発支援プログラムの拡充

海底資源開発で使用可能な最適な揚鉱システムを選定するため、von Mises 応力を目標値とした管厚や浮力体の有無及び配置を最適化するアルゴリズムを開発した。開発したアルゴリズムを図Ⅰ．2.（3）．②．11 に示す。

開発したアルゴリズムを用い、水深 6,000mの揚鉱管を対象とした解析を行った。解析結果を図Ⅰ．2.（3）．②．12 に示す。解析結果より、強度上使用可能な管厚の配置と最小限の浮力体数と配置が算定され、浮力体数は全管に使用した場合より、4 割程度削減できる結果となった。



図Ⅰ．2.(3).②．11　von Mises 応力を目標値とした管厚、浮力体の最適化アルゴリズムのフローチャート



図Ⅰ．2.（3）．②．12　6,000m の揚鉱管における最適化解析結果

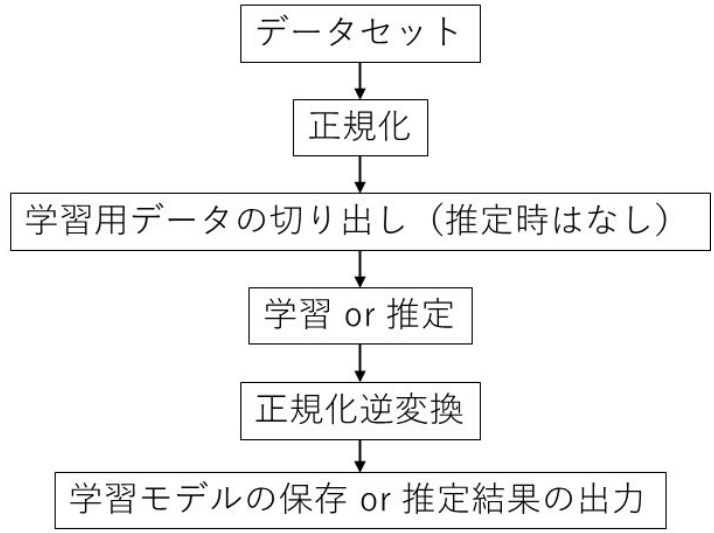
（(a)管厚 25.4mm で一定条件による解析では、故障の可能性が示唆された。(b) von Mises 応力の目標値をもとに管厚を調整した解析では、上端部で故障の可能性が示唆された。(c) von Mises 応力の目標値をもとに浮力体の数と配置を調整した解析により、故障の可能性がなく浮力体の数を軽減できる結果を得た）

③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手法の検討

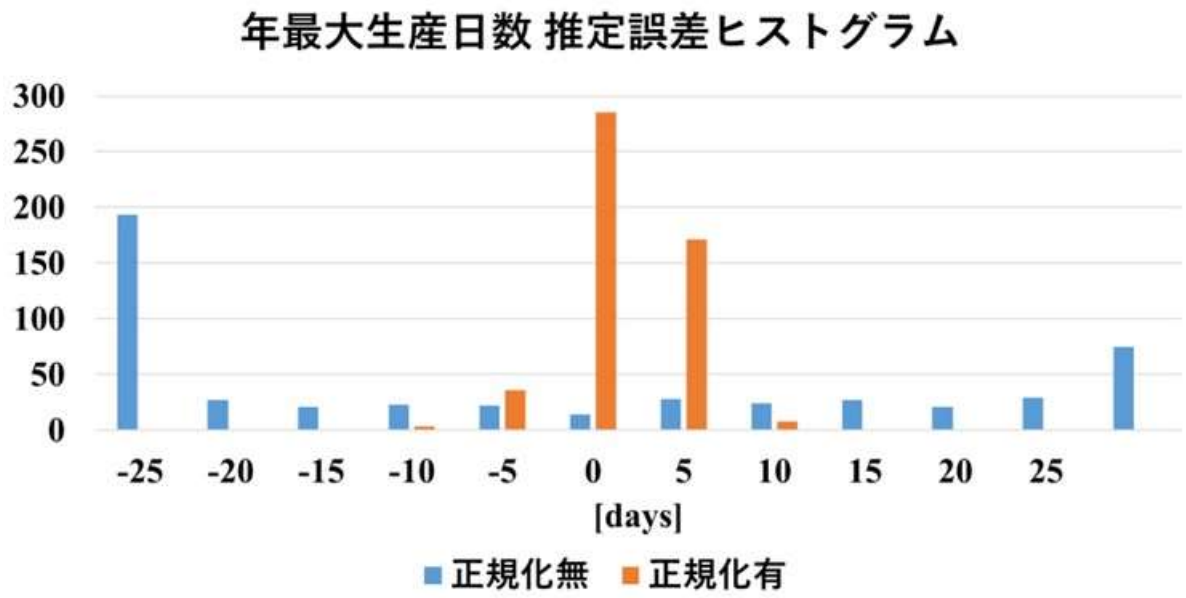
資源開発の最適なシステムを選定する手法として、最適化アルゴリズムの一つであるニューラルネットワーク（Chainer 7.8.1）を用い、既存の開発支援プログラムへ適用し、本手法有用性の検討を行った。具体的な手順を図Ⅰ．2.（3）．②．13 に示す。学習データは正規化し、単位系による推定精度への影響

を排除した。これにより推定結果の精度を向上させるとともに、ばらつきを抑えることができた（図Ⅰ．2.(3). ②. 14）。推定精度の検証ではテストデータを用いてパラメータ毎に決定係数を求め、平均化した。その結果は 0.93 となり、高精度な推定モデルが構築できた（図Ⅰ．2.(3). ②. 15）。

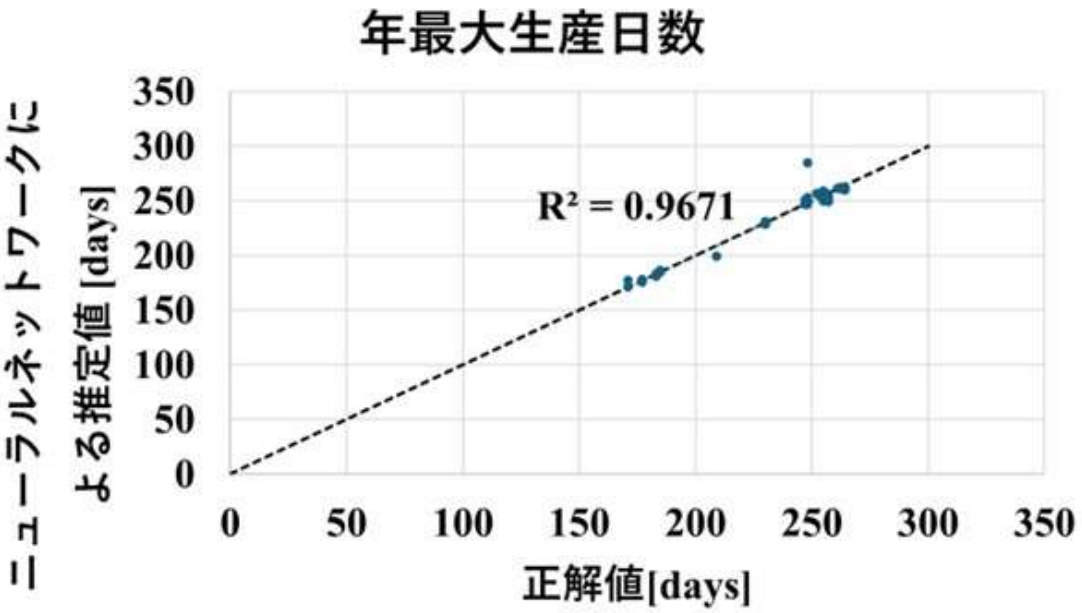
併せて、海底熱水鉱床開発をモデルケースとして最適化手法の有用性について検証を行った結果、従来の計画より貯鉱量、日生産量、シャトル船隻数が増加し、CAPEX が約 17%増加したものの操業期間が 11 年短縮し、収支を 630 MM$の赤字から 906 MM$の黒字へ改善可能なシステム構成候補を自動で選定できることを確認した（図Ⅰ．2.(3). ②. 16）。



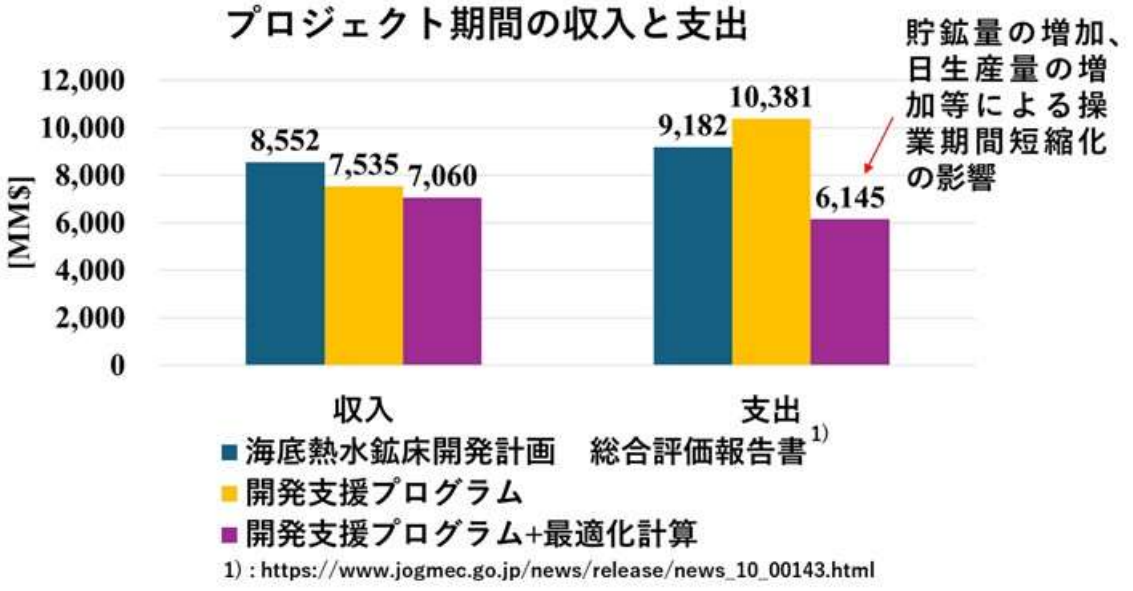
図Ⅰ．2.(3). ②. 13　ニューラルネットワーク構築手順



図Ⅰ．2.(3). ②. 14　正規化有無による推定誤差の違い
（学習データに正規化を施すことにより年最大生産日数の推定結果の精度を向上させるとともに、ばらつきを抑えることが確認できた）



図Ⅰ．2.（3）．②．15　推定精度の検証結果例
（年最大生産日数についてテストデータを用いて推定値と正解値を比較し、良好な推定精度を確認した）



図Ⅰ．2.（3）．②．16　海底熱水鉱床開発への適用結果
（海底熱水鉱床開発計画をモデルケースとして、最適化計算を実施することで収支を改善可能なシステム構成候補を自動で選定できることを確認した）

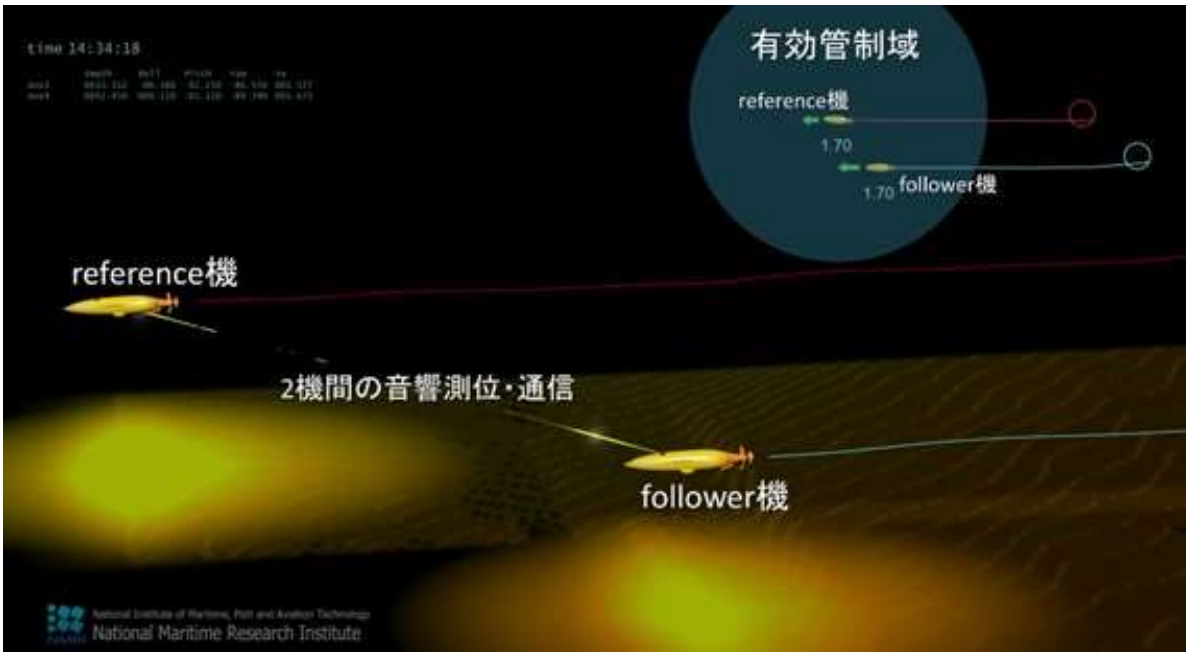
（3）高度な海洋調査に向けた先進的海洋無人機に関する研究開発

①複数 AUV 協調群制御アルゴリズムを航行型 AUV の制御系に実装

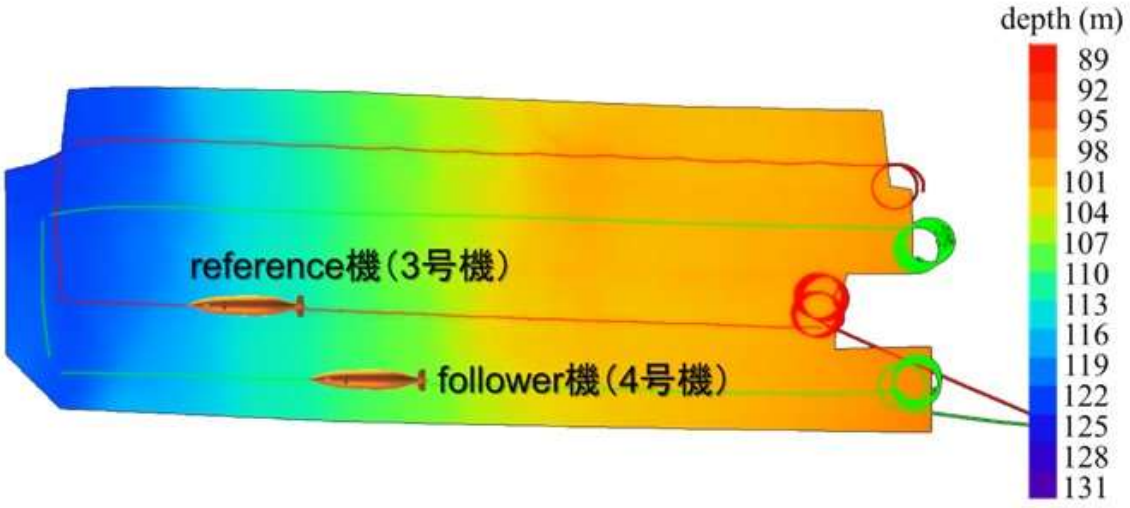
R5 年度に開発した reference － follower 群制御技術を海技研の NMRI 航行型 AUV3・4 号機に実装し、駿河湾で実海域潜航試験を行った。本試験では、follower 機が reference 機に対して定期的に音響測位を実施し、両機間の音響測位・通信が常に安定するように、自動で自機速度を調整する制御を行った。試験の結果、2 機間の相対位置が常に安定し、音響測位・通信が有効に機能する範囲（有効管制域）内に維持されることを確認した（図Ⅰ．2.（3）．②．17）。これにより、開発した手法が信頼性と安全性を確保しながら、洋上からの管制に頼らない革新的な複数 AUV の同時運用を実現できることを実証し

た。

開発・実装した複数 AUV 協調制御技術は、複数機間の相対位置を直接制御することで、音響干渉や測位の欠測を防ぎ、高品質・高精度の海底音響観測にも大いに役立つ。実際に、本試験では欠測域のない高精度（解像度 1m）の海底地形を、AUV2 機の同時運用によって高効率で達成することができた（図Ⅰ. 2. (3). ②. 18）。



図Ⅰ. 2. (3). ②. 17　アニメーションで再現した AUV2 機協調群制御駿河湾潜航試験
（両機間の音響測位・通信が常に安定するように、follower 機は reference 機に対して定期的に音響測位を行い、自動で自機速度を調整。その結果、2 機間の相対位置が常に安定し、音響測位・通信が有効に機能する範囲（有効管制域）内に維持されることを確認した）

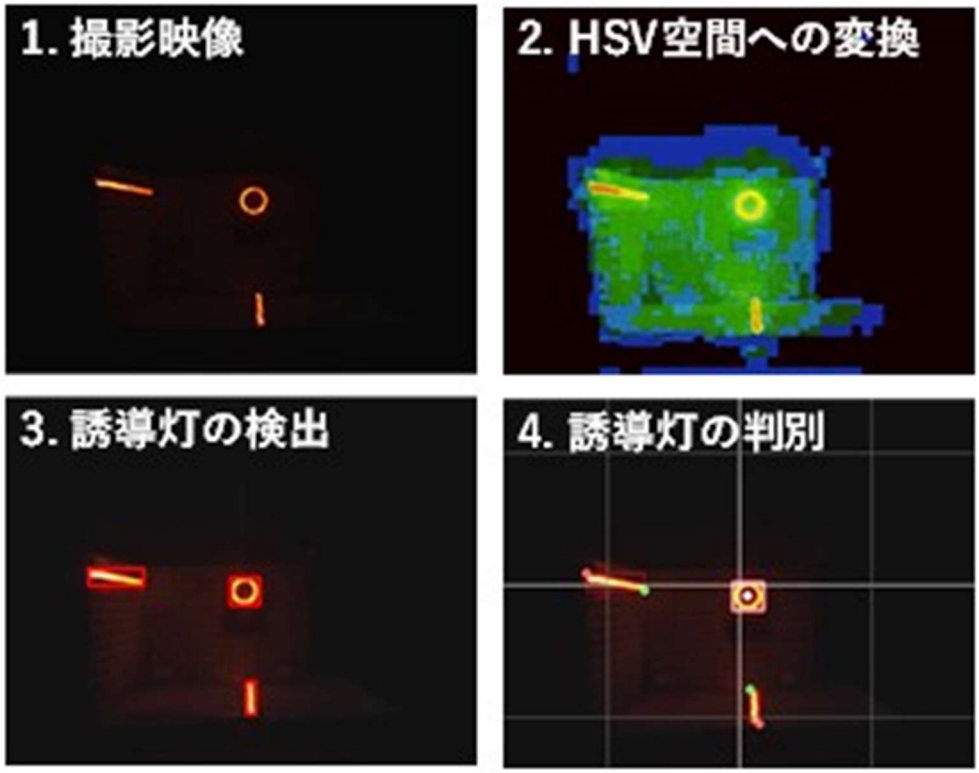


図Ⅰ. 2. (3). ②. 18　AUV2 機協調群制御駿河湾潜航試験から得られた高品質・高精度の海底地形図
（AUV2 機の協調群制御により、高品質・高精度の海底地形情報を高効率で取得した）

②ホバリング型 AUV のドッキング技術を実証

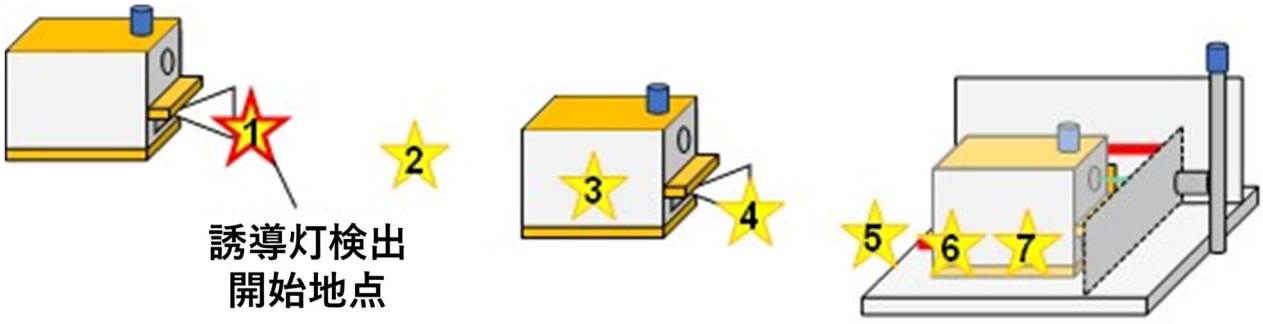
画像処理に基づいた AUV 誘導に欠かせないターゲット検出アルゴリズムを開発・実装した。本アルゴリズムでは、AUV の前方カメラが撮影した映像をリアルタイムで HSV（色相・彩度・明度）空間に変換し、

ドッキング台上に設置された 3 つの誘導灯を検出・判別する（図Ⅰ. 2. (3). ②. 19）。検出された誘導灯の情報から、AUV はドッキング台上の着座点に対する自機の相対位置を求め、ドッキングに向け姿勢や高度を最適に整えることができる。



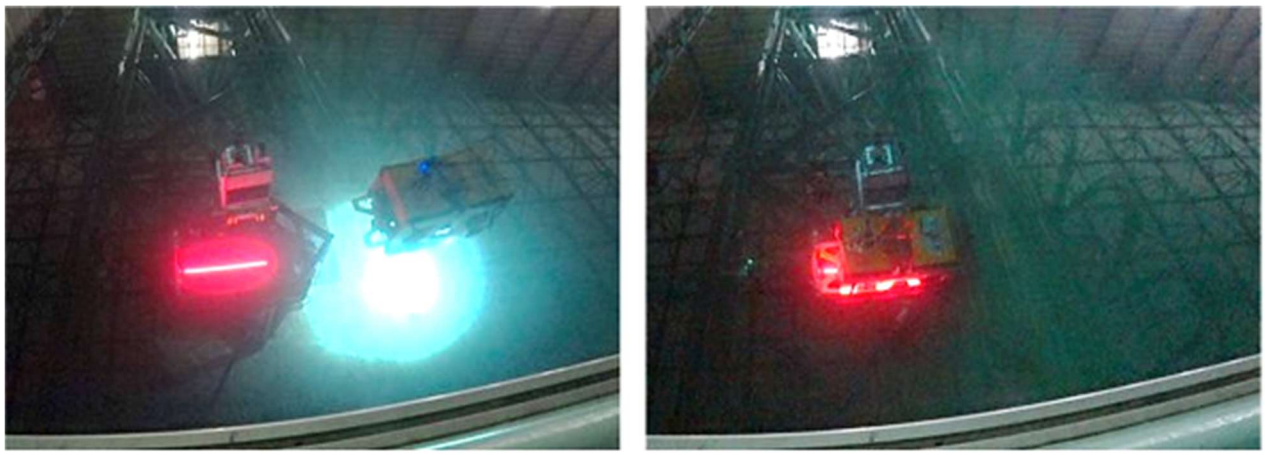
図Ⅰ. 2. (3). ②. 19　HSV 変換に基づいたターゲット検出アルゴリズムによる誘導灯の検出・判別
（HSV 変換により、ロバストで安定した誘導灯の判別を実現した）

艇体制御による着座点への AUV 誘導には、位置・高度・速度の目標情報を持ち、誘導灯検出開始点から着座点まで、複数が生成される誘導用ウェイポイントを用いた。誘導用ウェイポイントを追従することで、AUV は高度及び速度を徐々に下げながら、安全かつ確実に着座点に到達することができる。（図Ⅰ. 2. (3). ②. 20）。



図Ⅰ. 2. (3). ②. 20　ウェイポイント追従によるホバリング型 AUV のドッキング制御

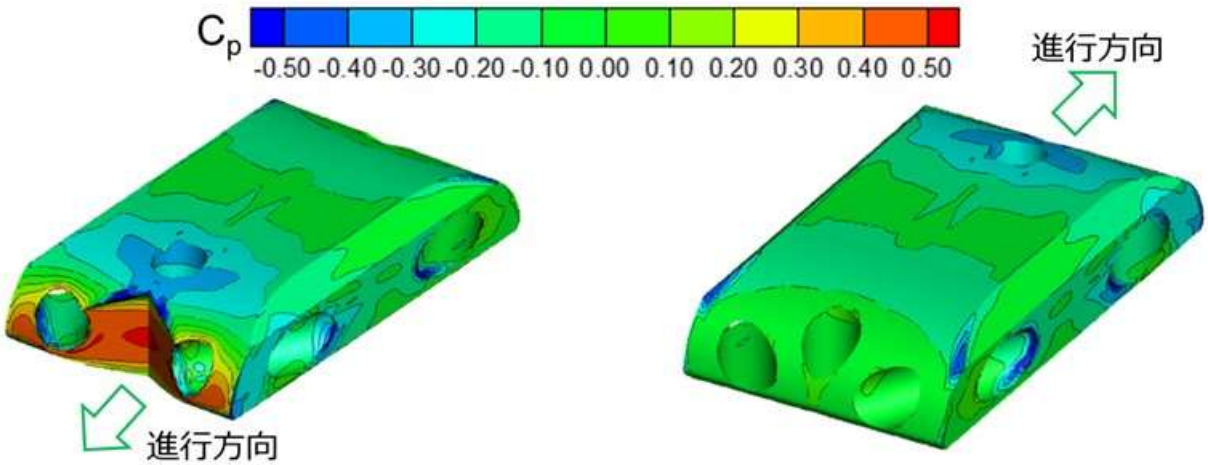
上記のターゲット検出アルゴリズム及びドッキング制御技術を海技研のホバリング型 AUV「ほばりん」に実装し、実海域再現水槽にて自律ドッキング試験を実施した（図Ⅰ. 2. (3). ②. 21）。結果として、「ほばりん」は着座点へのドッキングに複数回成功し、本研究で開発した画像処理及びウェイポイント追従による AUV 誘導技術がホバリング型 AUV のドッキング制御に有効であることを実証した。



図Ⅰ．2.(3).②. 21　AUV 自律ドッキング試験の様子(左:着座点へ接近中 ／ 右:ドッキング完了)

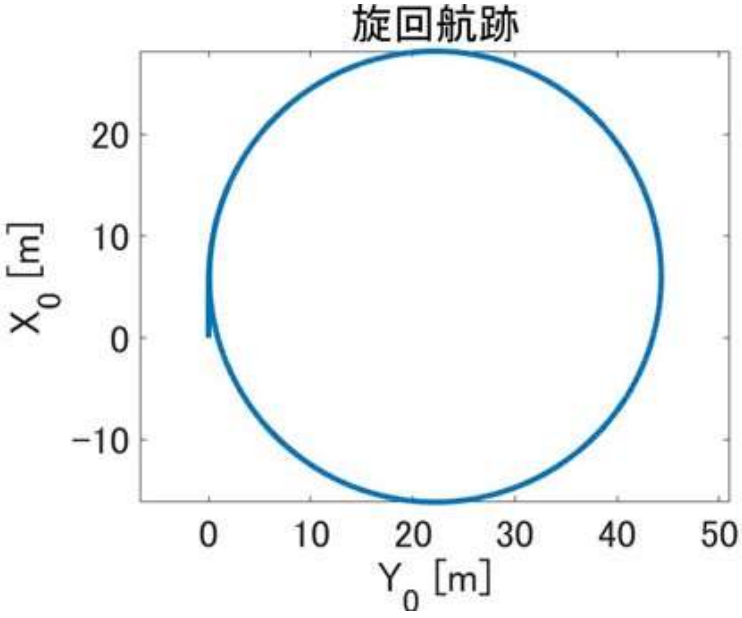
③海空無人機システム試作機 AUV の基本・詳細設計及び深深度 AUV(6000m 級)の基本設計

次世代の自律無人海洋調査システムとして、無人飛行艇による展開・回収に対応できる海空無人機システム試作機 AUV の基本設計を行った。潜航深度、航続時間、搭載機器、電池容量や着水・揚収機構等を考慮して決定した艇体形状に対し、CFD 解析を通じて流体力を求めた(図Ⅰ．2.(3).②. 22)。

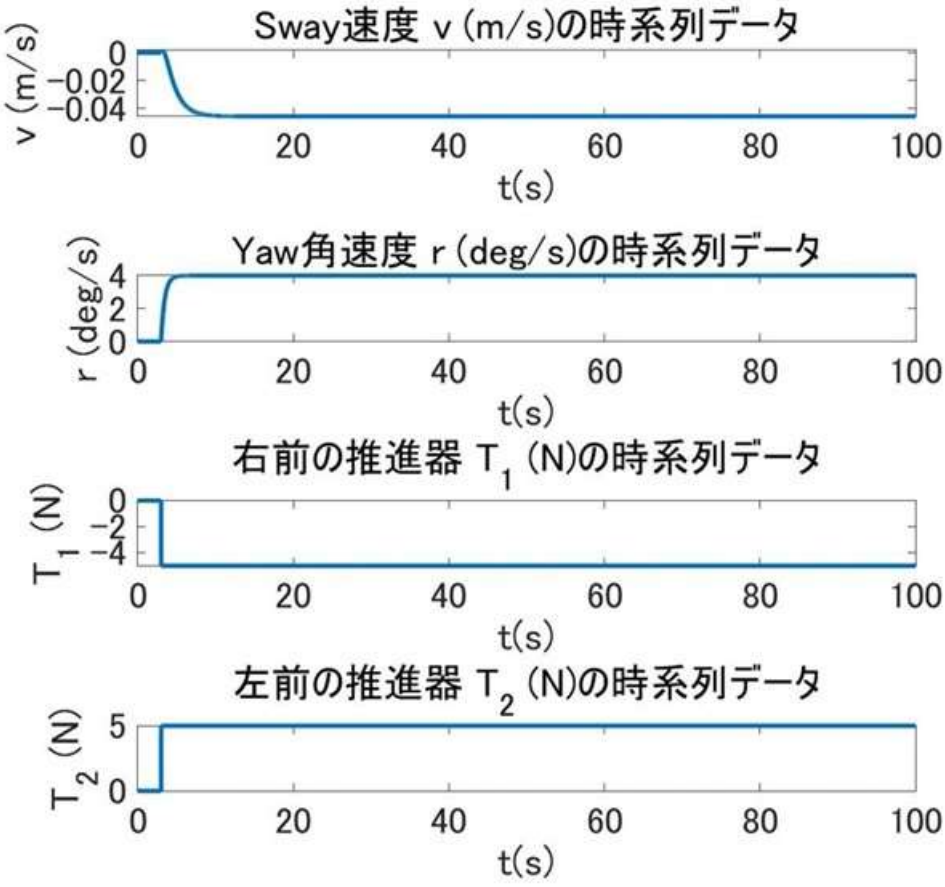


図Ⅰ．2.(3).②. 22　試作機 AUV の CFD 解析結果(左:上面 ／ 右:底面から見た艇体表面の圧力分布)

基本設計の一環として、AUV の挙動を把握するために、航空力学で一般的に用いられる 6 自由度のダイナミックモデルを構築した。このモデルは、主要な連成効果を考慮し、縦方向(surge, heave, pitch)と横方向(sway, roll, yaw)の運動方程式 2 セットで構成される。各係数項に当たる安定微係数は、CFD 解析により求めた流体力を用いて導出した。さらに、アクチュエータ入力を与えて運動方程式を時間領域で解き、試作機 AUV の挙動を確認するシミュレーションを実施した(図Ⅰ．2.(3).②. 23 及び図Ⅰ．2.(3).②. 24)。この結果をもとに、スラスタの選定や制御系の設計を進める等、詳細設計へ展開していく予定である。

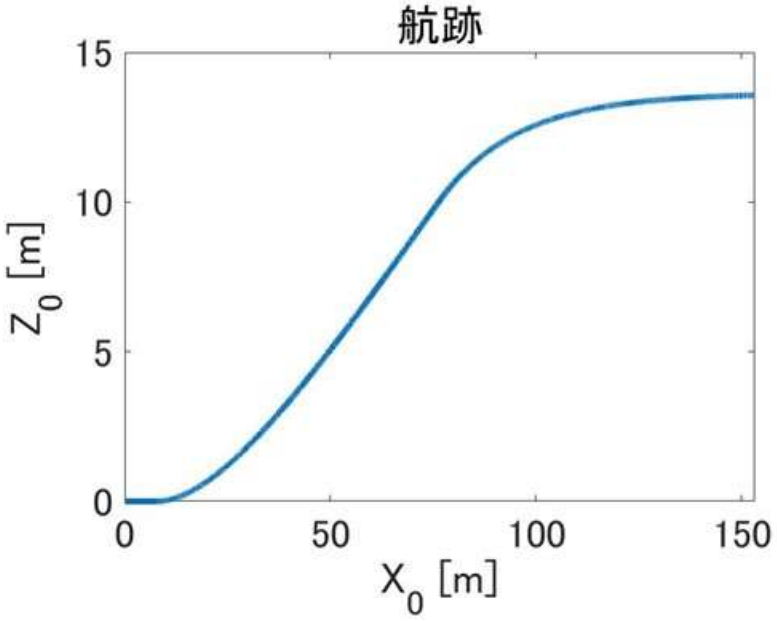


(a) 旋回航跡

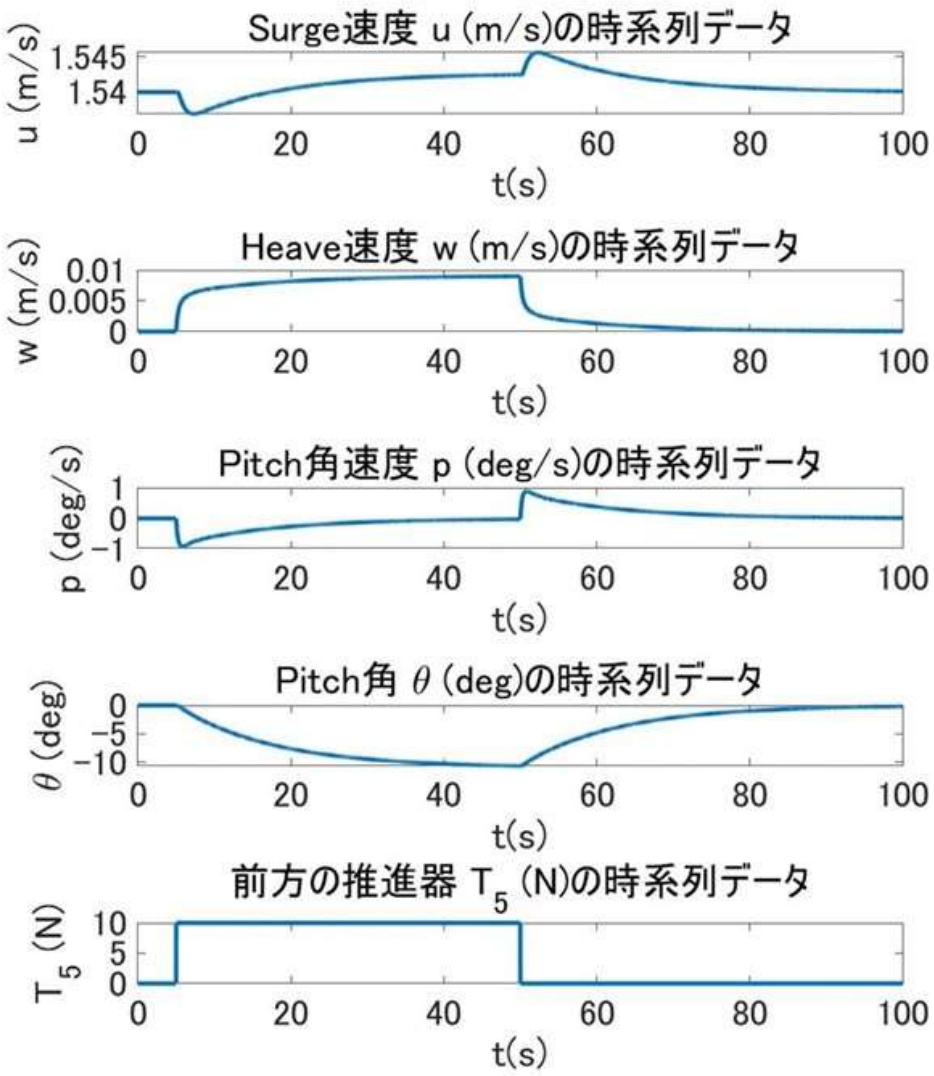


(b) 運動応答

図Ⅰ. 2. (3). ②. 23 試作機 AUV の旋回航跡及び横方向(sway, roll, yaw)運動応答



(a) 降下航跡



(b) 運動応答

図Ⅰ. 2. (3). ②. 24 試作機 AUV の降下航跡及び縦方向(surge, heave, pitch)運動応答

成　果　の　公　表

□各種表彰の受賞：1 件

・金岡秀，藤原敏文，篠野雅彦，岡本章裕，稲葉祥梧，佐藤匠，瀧本忠教，今里元信: 令和 6 年「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰、複数 AUV 隊列制御技術の開発及び実装に貢献した功績, 2024 年 7 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：6 件

・特許出願: 情報共有機能付き水底情報収集システム
・特許出願: 情報共有を伴う水底情報収集方法
・AUV 制御用共通プログラム Ver3
・複数機 AUV 管理・隊列制御プログラム Ver3
・複数機 AUV 潜航情報表示プログラム Ver2
・汎用疲労解析ソフトウェア（FATRUN/SPECTRUN Ver. 2）

□その他

◆その他の全文査読付き論文等：1 編

・Yasuharu Nakajima, Joji Yamamoto, Satoru Takano, Marcio Yamamoto, Tomo Fujiwara, Masao Ono: Influence of Salinity on Gas Hydrate Formation, Extended Abstracts of The Third Pacific Rim Thermal Engineering Conference PRTEC-24078, (2024).

◆その他発表論文：10 編

・長谷川賢太，石田圭，大坪和久: 洋上風力発電向け Crew Transfer Vessel の洋上風車タワー接舷時における風荷重特性，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-17, (2024).
・高野慧，山本マルシオ，正信聡太郎: 移送管形状及び運動に密度分布が及ぼす影響に関する研究，第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, PS-21, (2024).
・Marcio Yamamoto, Joji Yamamoto, Sotaro Masanobu, Kazuhiro Yukawa: The Axial Resonance on 4,000m-class Riser System For Deep Sea Mining, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 459-466, (2024).
・Marcio Yamamoto, Satoru Takano, Motoki Araki, Tomo Fujiwara, Masao Ono, Shigeo Kanada, Yasuhara Nakajima, Ichihiko Takahashi, Joji Yamamoto, Sotaro Masanobu, Kazuhiro Yukawa: Research Review on the Vertical Transport System in the NMRI, II Workshop e-Merge Project, University of Sao Paulo, (2024).
・Marcio Yamamoto, Joji Yamamoto, Kazuhiro Yukawa, Sotaro Masanobu: Addressing the Resonance of 4,000m-class Hang-Off Riser for Deep Sea Mining, November Conference, Innovation Norway（在ブラジルノルウェー大使館）, (2024).
・Kanako Kobatake, Akihiro Okamoto, Masahiko Sasano, Shogo Inaba, Toshifumi Fujiwara: Docking Control Method Using LEDs Detection by Hovering AUV “Hobalin” for Deep-Sea Research, OCEANS 2024 Halifax, (2024).
・Masahiko Sasano, Akihiro Okamoto, Shogo Inaba, Kanako Kobatake, Kangsoo Kim, Toshifumi Fujiwara: Autonomous Control of Seafloor Data Transfer from Lander Edokko Mark-I to AUV Hobalin, OCEANS 2024 Halifax, (2024).
・小畠かな子，岡本章裕，篠野雅彦，稲葉祥梧，藤原敏文: 光学検出によるホバリング型 AUV の自己誘導手法，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 39 号, pp. 213-218, (2024).
・Kangsoo Kim, Masahiko Sasano, Akihiro Okamoto, Shogo Inaba, Takumi Sato, Kanako Kobatake, Toshifumi Fujiwara, Sotaro Masanobu, Tadanori Takimoto: Multi-AUV-based Marine Survey for Advanced Underwater Exploration, Proceedings of Underwater Technology 2025, (2025).

・Shogo Inaba, Takumi Sato, Jun Umeda, Kangsoo Kim, Toshifumi Fujiwara: Study on Course Design of Cruising AUV for Docking at Deep-Sea Terminal, Proceedings of Underwater Technology 2025, (2025).

重　点　分　野	(4)海上輸送を支える基盤的技術開発

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、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、実船のBOM/BOP データ作成等による造船所における PLM システムの環境整備、艤装工程に対応した建造シミュレータの開発、要素試験体を用いた溶接及び接着構造の基本性能評価を行う。等

○DX 造船所の実現に向けた研究開発

研　究　の　背　景

第 5 期国土交通省技術基本計画では、造船所の抜本的な生産性向上と、船舶のライフサイクル全体での価値を高めるビジネスモデルへの転換を図るため、設計から竣工、さらには運航・メンテナンスを含めたライフサイクル全体の効率化を実現する「DX 造船所」の構築に取り組むことが示されている。また、同計画では、持続可能なインフラメンテナンスの一環として、インフラの維持管理における高度化・効率化に向けた技術研究開発の必要性についても言及されている。

こうした国土交通省における海事産業のデジタルトランスフォーメーション（DX）推進の方針を踏まえ、本研

究では、デジタル技術の活用による造船所の生産性向上に関する研究開発に取り組むこととする。造船所の DX 化は、海事産業における技術革新を促進するとともに、海上輸送の新たなニーズへの的確な対応を可能とし、海事産業の国際競争力の強化及び我が国経済の持続的な発展に資するものである。我が国の造船業は今後、自動運航船や代替燃料船など、いわゆるゼロエミッション船といった複雑な製品開発において、無駄を省きつつ、より迅速かつ正確に製品を提供することが求められる。造船所の DX 化は、こうした複雑な製品開発体制の整備に貢献し、我が国造船業の国際競争力の強化のみならず、安全・安心の確保や海洋環境負荷の低減にも寄与する。

研　究　目　標

本研究における造船所の DX 化では、全てを数値的に計画し、数値的に管理することによって、製品開発における納期/品質/コストを計画通り達成することを目指す。このため、造船所における設計、建造、品質管理、新工作法の観点から以下の研究開発を実施する。

船舶のモデルベース設計に関する研究開発として、船舶製品開発のデータ構造（E-BOM, M-BOM, BOP）のガイドライン、データ標準化案を作成する。また、設計データのデータ生成支援システムの開発、並びに造船 PLM システムの開発を行う。船舶の MBSE 開発ガイドラインを作成する。

造船製造現場の DX に関する研究の一環として、造船製造現場の建造シミュレータの開発、及び工程計画・管理システムの開発を行う。

品質管理のデジタル化に関する研究として、溶接ビード品質マネジメントシステムの開発、ブロック寸法品質マネジメントシステムの開発及びガイドラインの作成を行う。品質データのデータ構造と PLM システムへの実装を行う。

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として、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を作成する。また、新工作法を取り入れた将来の造船工程のイメージを構築する。

全体として、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、及び、新工作法を取り入れた次世代造船のコンセプトの策定を行う。

上記の研究開発を通じて、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。同時に、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。

また、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。

令和６年度の研究内容

（1）船舶のモデルベース設計に関する研究開発

①造船 PLM システムの開発

PLM/BOM ベースの船舶開発のため、設計プロセス及びデータフロー、BOM データモデルのカスタマイズ、既存システムと PLM システムの接続インタフェース等について整理した。

②設計データ生成に関する研究

E-BOM（設計 BOM）上に予め用意された部品群から部品を選択し製品（船舶）全体を構成する設計手法について PLM システム上でのデモを作成した。

造船用製品構成ナレッジグラフとその生成 AI によるデータ生成技術に関する研究に着手した。

（2）造船製造現場の DX に関する研究

①建造シミュレーション技術

作業のモデル化やシミュレーションのパラメータ、エージェントの判断ロジック等を改良し、シミュレーションモデルの精度向上を実施した。

M-BOM（製造 BOM）、BOP データを自動生成するためのアルゴリズム開発を実施した。

配管の経路計画アルゴリズムを応用した組立シミュレーション技術のプロトタイプを開発した。

②工程計画・管理システム

作業計画及び日程計画への建造シミュレータの利活用として、造船所にて運用の試行を実施した。

（3）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

①接合部の疲労損傷・腐食・破壊挙動の検証

多ニードル打撃による溶接部ピーニング施工に関して適切な施工条件を見出した。

接着接合部強度の海水曝露劣化に伴う設計下限値並びに接着面表面加工の効果を明らかにした。

②代替施工法・代替材料による作業効率評価

ピーニング法や接着接合法の具体的な適用部位を提案し、作業工数の低減効果を予測した。

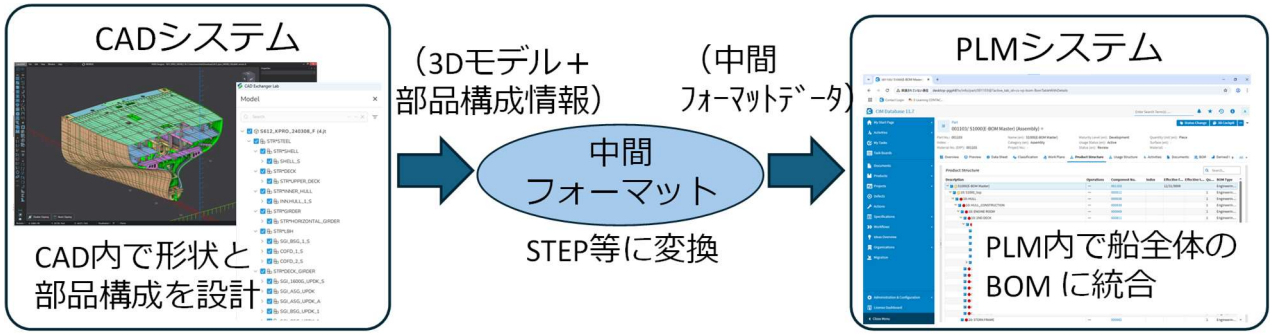
令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）船舶のモデルベース設計に関する研究開発

①造船 PLM システムの開発

昨年度は造船における BOM（Bill of Materials、部品表）のデータ構造について研究を実施したが、それらの BOM 情報を設計プロセスにおいて、どのような順序や方法で生成・統合するかについては未解決の課題として残っていた。今年度は、この課題に対して設計業務における設計情報のデータ生成プロセスとして、前年度に整理した BOM 情報を具体的にどのような順序・方法で生成していくかについて検討を行った。その結果、まず製品全体を構成する大枠の部品構成(BOM) を PLM（Product Lifecycle Management）システム内に定義した上で、設計の進展に伴って徐々に各部品の情報を確定・詳細化していくプロセスを整理した。

造船では特に船殻部品や配管部品などについては、3 次元形状を CAD で検討・決定してから部品構成が明確になることが多い。これらの部品について、CAD で検討・作成した部品情報及び部品構成を PLM システムの BOM に登録するための手順やデータ受け渡し方法を明確化した。具体的には、造船業界ではレガシーシステムが広く使用されており、それらの情報を PLM システムが直接データを取り込むことが困難なため、CAD 上で生成した情報を一旦汎用フォーマット（STEP 等）に変換し、それを介して PLM システムに取り込む方法を提案した。さらに、実際のモデルを用いて PLM システム上でデモンストレーションを行い、その妥当性を確認した（図Ⅰ．2．（4）．①．1 参照）。



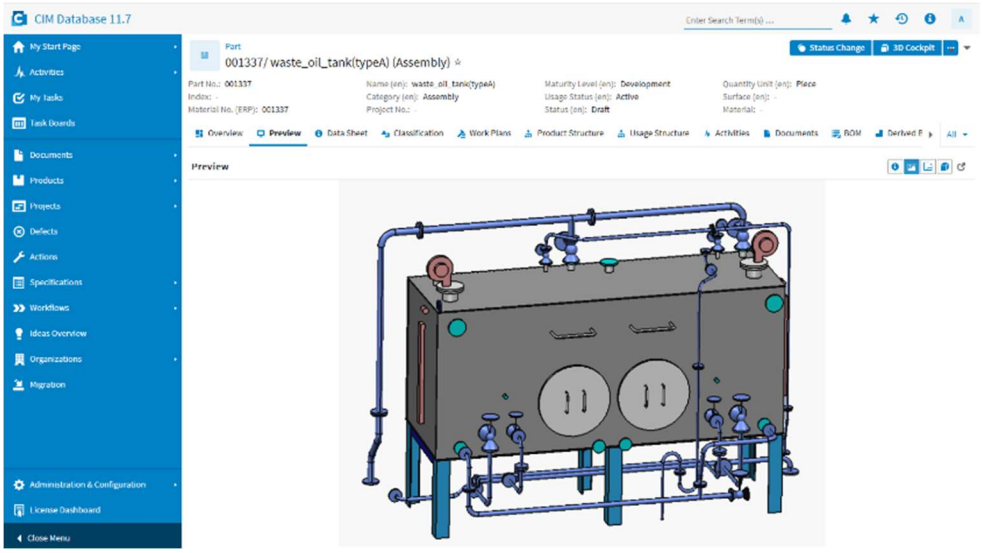
図Ⅰ．2．（4）．①．1 BOM 情報の CAD システムから PLM システムへの取込み

② 設計データ生成に関する研究

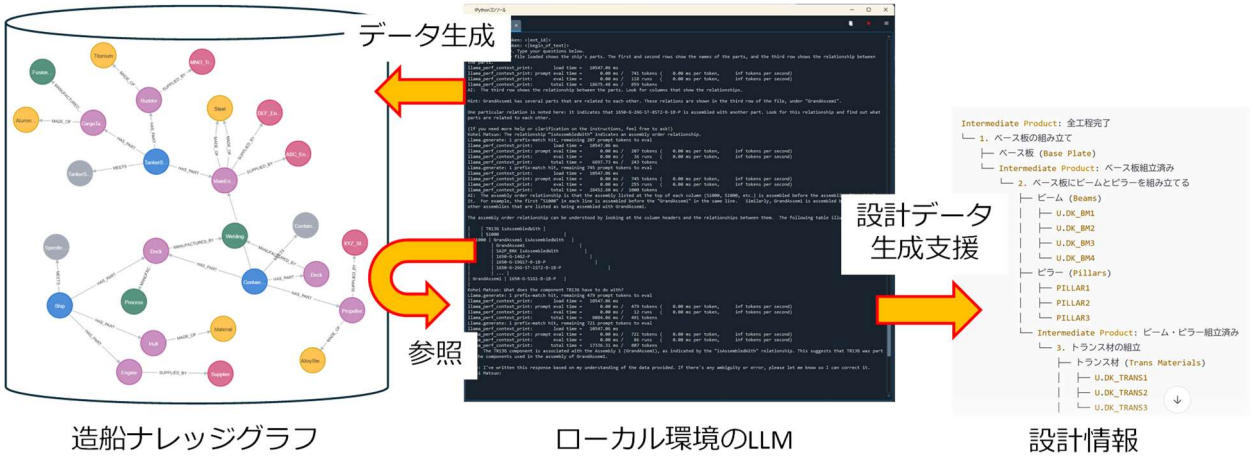
設計データ生成に関する研究として、モジュール開発における BOM データの生成手法について検討を行った。具体的には、モジュール部品を含むマスターBOM を用意し、このマスターBOM からモジュール部品（図Ⅰ．2．（4）．①．2 参照）を選択することで個船 BOM（トランザクション BOM）を生成する設計手法を提案した。この手法の妥当性を確認するため、PLM システム上に船殻及び艤装品の BOM モデルを作成し、艤装品のモジュール化を実施した。その上で、E-BOM（Engineering BOM、設計 BOM）上でモジュール部品を選択することで、M-BOM（Manufacturing BOM、製造 BOM）データが PLM システム

上で自動生成されるか検証を行った。その結果、M-BOM が PLM システム上で自動生成されることを確認した。

また、造船所内の設計情報を効率的に探索・活用するため、ナレッジグラフを用いた造船情報のデータ構造化に関する研究を実施した。始めに、造船分野における製品開発用ナレッジグラフの目的や意義を整理し、その後、ナレッジグラフの具体的なデータ構造について検討を行った。設計したデータ構造のスキーマに基づき、簡易的な造船用ナレッジグラフを試作し、設計及び製造プロセスにおける活用方法を検討した。具体的には、図Ⅰ.2.(4).①.3 に示す通り、ローカル環境で LLM(Large Language Model、大規模言語モデル) を運用できる環境を整備した上で、仕様書等の数百枚程度の図面情報から人が実施するものと同等レベルで生成 AI がナレッジグラフを構築できることを確認するとともに、ナレッジグラフを参照しながら生成 AI が設計データ(BOM データ等)を推論・生成する基本機能を確認した。



図Ⅰ.2.(4).①.2 PLM システム内での部品モジュール管理の様子(例:廃油タンクのモジュール部品)



図Ⅰ.2.(4).①.3 造船ナレッジグラフと生成 AI 活用による設計情報生成支援の概念図

(2)造船製造現場の DX に関する研究

①建造シミュレーション技術

建造シミュレータのモデル精度を向上させるため、作業のモデル化を拡充し、作業者エージェントの判断ルールの改善を行った。具体的には、簡易自動台車を用いる溶接やサブマージ溶接機を用いる溶接などを含む 20 種類以上のタスクを定義し、建造シミュレータと後述するエディタ上で取り扱えるように開発を行った。また、これに伴い、作業はエージェントの判断ルールも追加している。さらに、作業者エージェントの判断ロジックをジオメトリ情報に基づく方法に改善した。具体的には他の作業者との距離などを

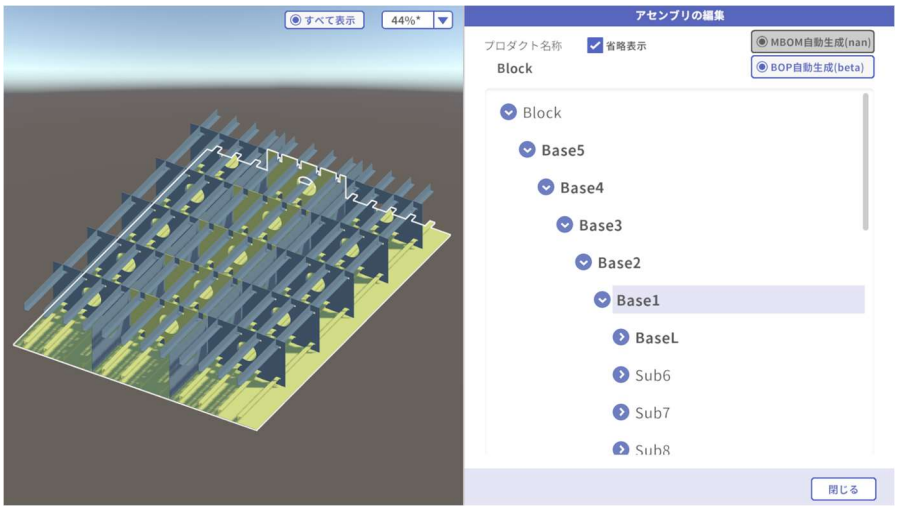
考慮にいれている。

次に、図Ⅰ．2．(4)．①．4 及び図Ⅰ．2．(4)．①．5 に示すように建造シミュレータを実行するために必要な入力データである M-BOM 及び BOP（Bill of Process、製造工程表）データを編集・作成できるエディタを開発した。シミュレータを実行する上で手間となるのが入力データの準備であり、これらの初期案を生成する目的で M-BOM 及び BOP の情報をグラフ理論に基づく自動生成アルゴリズムを提案した。（成果の一部は国土交通省交通運輸技術開発推進制度でも実施）。

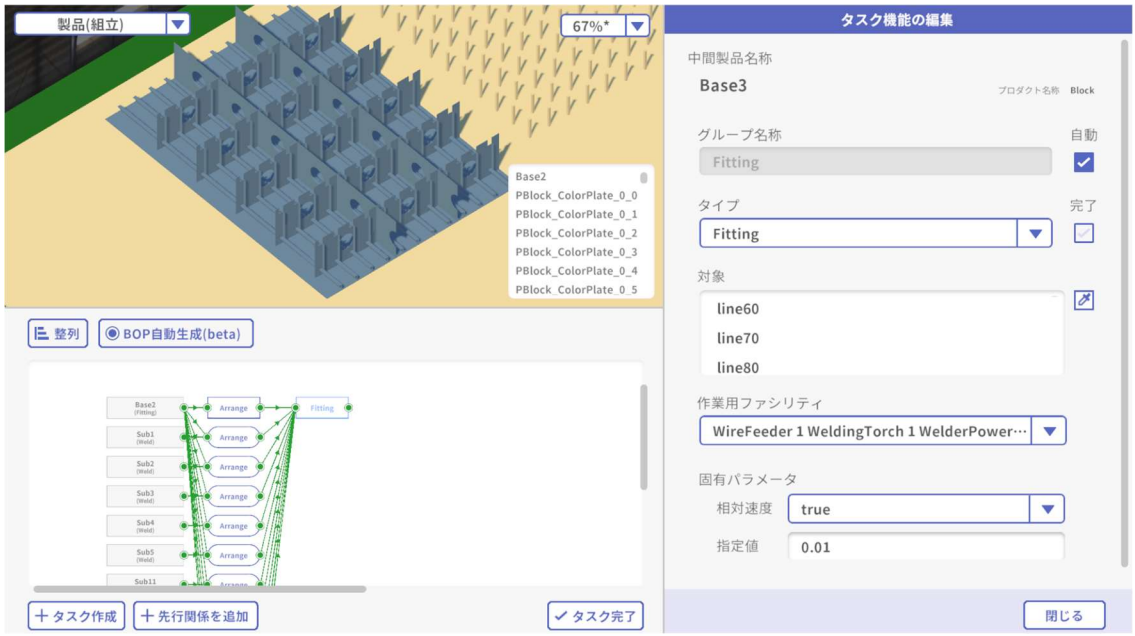
上記に加えて、艤装工程への拡張を目指して、経路計画アルゴリズムを応用した配管艤装品の取付シミュレーションの基礎アルゴリズムを提案した。図Ⅰ．2．(4)．①．6 に示すように配管1品ごとに干渉しない取付のパスを計算し、それに基づき全体の取付手順を自動で計算できる手法を開発した。

②工程計画・管理システム

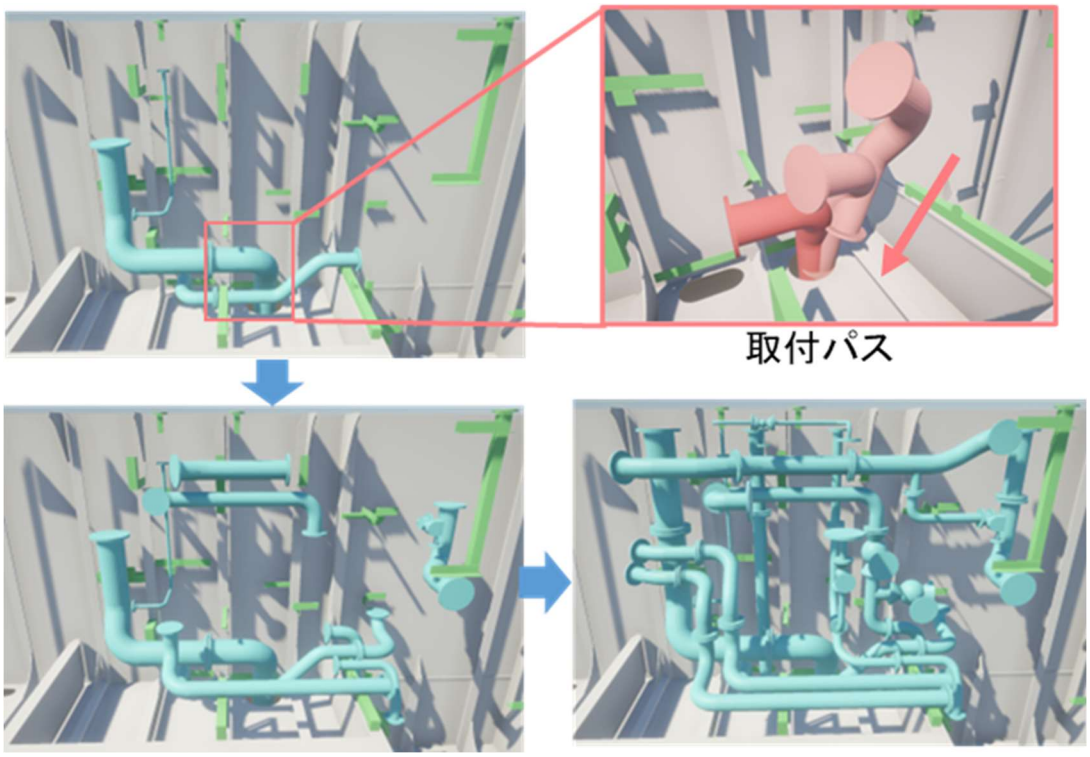
①で構築した建造シミュレータ及び M-BOM・BOP エディタを協力造船所のシステムと連携する試みを実施した。既存 CAD システムからデータを出力し、それを基に本システムが実行可能であることを確認した。また、シミュレータ及びエディタから出力されるデータを用いて、造船所の計画管理システムとの連携の可能性について検討を行った。さらに海技研クラウドからの利用を想定したプロトタイプの動作検証を実施し、クライアント版アプリとして提供可能であることを確認した。このプロトタイプの動作検証は共同研究を実施している国内造船所 4 社のうち、3 社で実施した。



図Ⅰ．2．(4)．①．4 M-BOM の編集及び自動生成機能の実装



図Ⅰ．2．(4)．①．5　BOP の編集及び自動生成機能の実装



図Ⅰ．2．(4)．①．6　配管の取付シミュレーション（取付パスと取付手順の自動生成）
（他の配管や船殻部品を避けながら取り付けている様子を示している）

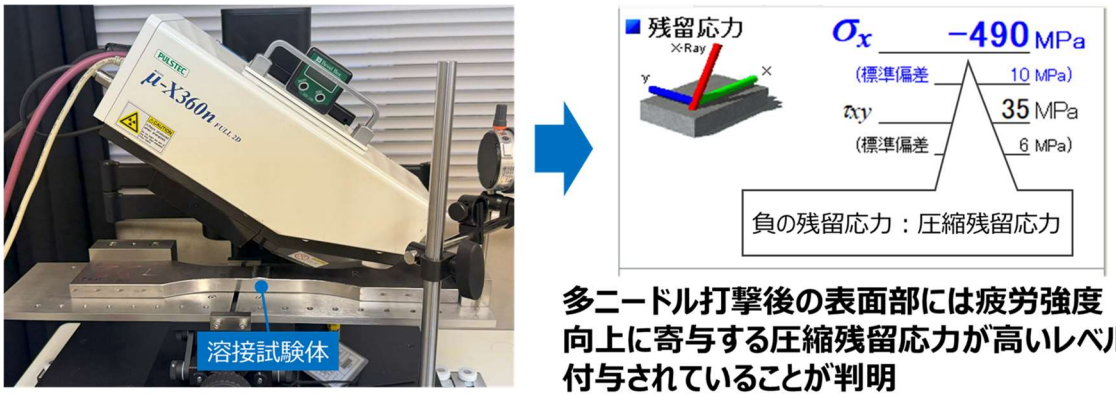
(3)予防保全高度化のための接合の新工法・評価技術に関する研究

①接合部の疲労損傷・腐食・破壊挙動の検証

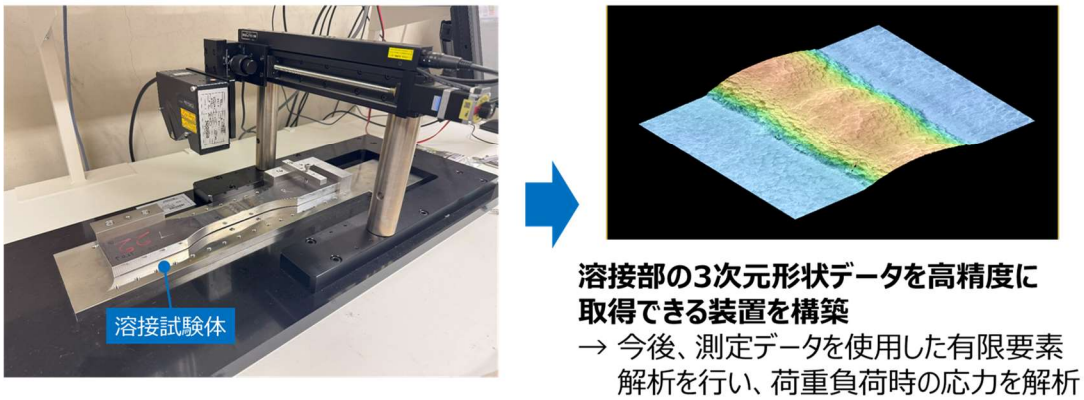
溶接二次加工法として、多数のニードル打撃による溶接部ピーニング法を新たに提案し、打撃条件をパラメトリックに整理することで適切な施工条件を見出した。具体的には、溶接部の疲労強度向上に寄与する圧縮残留応力や止端部形状を、提案したピーニング法を用いることで適切に制御できることが、条件を様々に変えた実験により明らかになった（図Ⅰ．2．(4)．①．7）。

また、溶接の代替施工法として提案する接着接合部の耐環境性能評価のため、接着剤により接合したシングルラップ継ぎ手試験片を製作し、飽和吸水状態を再現した海水曝露実験後のせん断引張強度

試験を実施して、曝露しない条件での強度と比較した。海水暴露実験では 60℃人工海水に 6 日間浸しており、これはおおよそ 30℃海水における飽和吸水状態（1 年以上経過）を再現している。実験の結果、接着部せん断強度の吸水劣化度及び接着面の表面加工の影響を明らかにした（図Ⅰ．2．（4）．①．8）。

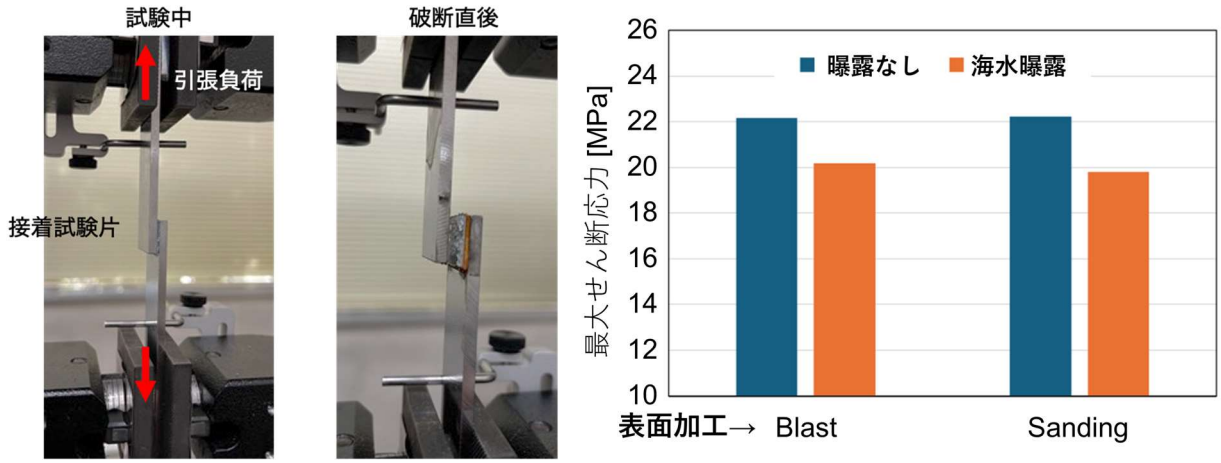


残留応力計測（X線応力測定装置による）



溶接部の3次元形状計測

図Ⅰ．2．（4）．①．7　ニードル打撃による圧縮残留応力および応力集中緩和形状の付与
（残留応力は、ピーニング前は正（引張残留応力）であったが、多ニードル打撃後は負（圧縮残留応力）となることを確認した）



図Ⅰ．2．（4）．①．8　シングルラップ継ぎ手引張試験（左）とせん断強度比較（右）
（表面処理により海水暴露しても 10%程度の強度低下に抑制可能）

②代替施工法・代替材料による作業効率評価

接合の新工法(ピーニング法および接着接合)について、適用可能性が高い部位を洗い出し、造船所へのヒアリングを通じて工数削減効果及び必要な適用条件を見出した。

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文:2 編

・Kohei Matsuo, Mizuki Morishita, and Tomoyuki Taniguchi: Research on BOM Data Model for PLM System in Shipbuilding, Proceedings of the International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS 2024), (2024).

・Tomoyuki Taniguchi: Study of Pipe Installation Simulation Based on Path Planning Algorithm, Proceedings of the International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS 2024), (2024).

□その他

◆国際活動:1 件

・松尾剛: Observation and WD revise for NP 527-6, ISO/TC61/SC13/WG2, 2024.

◆その他発表論文:11 編

・松尾宏平, 一ノ瀬康雄, 谷口智之, 森下瑞生, 和中真之介: 造船の統一データプラットフォームと インテリジェント CAD に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 24 巻, 第 3 号, 総合報告, pp. 95-104, (2024).

・谷口智之, 松尾宏平, 森下瑞生: 造船建造工程に対する三次元シミュレーション技術の研究, 海上技術安全研究所報告, 第 24 巻, 第 3 号, 総合報告, pp. 105-111, (2024).

・谷口智之: 3D パスプランニングによる組立可能性を考慮した配管部品の組立順序計画, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 38 号, pp. 365-369, (2024).

・松尾宏平: 造船用製品構成ナレッジグラフと生成 AI による構築について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 947-952, (2024).

・谷口智之: 3D データからの配管部品の組立手順自動生成について, 日本船舶海洋工学会西部支部シンポジウム, (2024).

・谷口智之, 森下瑞生: 次世代の造船管理:MBOM/BOP の自動生成と建造工程シミュレーション, 第 9 回交通運輸技術フォーラム, (2025).

・松尾宏平, 谷口智之, 森下瑞生: デジタルシップヤードに向けた海技研の取り組み, 東大 MODE 生産計画へのシミュレーション技術導入に関するワークショップ, (2024).

・松尾宏平: デジタルシップヤード ～これからの造船作業を考える～, 令和 6 年度今治地域造船技術講演会, (2024).

・松尾剛, 櫻井昭男, 柳本史教, 秀熊佑哉, 櫻井俊太: CFRP により補強した鋼板の海水環境加速試験法による力学性能評価, 第 16 回 日本複合材料会議講演論文集, (2025).

・笛木隆太郎: 溶接部の疲労強度改善に関する研究の取り組み状況のご紹介, 溶接施工委員会 WG3 第 3 回, (2025).

・松尾剛: 繊維強化プラスチックを知るための力学と試験法, プラスチック成形加工学会第 35 回年次大会, (2024).

重　点　分　野	(4)海上輸送を支える基盤的技術開発

研 究 テ ー マ	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

中長期目標	中長期計画	年度計画
海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、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 等評価手法の実装に向けた設計、災害時輸送シミュレータのアルゴリズムの検討、計算条件、出力結果の共有化のためのデータベース設計・開発、オンラインワークショップ、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 －これまでに開発したGHG削減戦略評価プラットフォームについて、国際海運の実態を踏まえたIMO等における議論などを通じて高度化を行う。等

○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

研　究　の　背　景

我が国における社会情勢は刻々と変化している。人口減少による労働力不足や自然災害の頻発等、限られた条件のもとで最大限資源を活用することが求められている。令和 4 年 6 月に閣議決定された「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」では、AI技術を基にした実践・試行錯誤の蓄積が重要とされ、民間企業による実践を通じては積極的な技術情報の提供が求められている。特に、交通分野におけるデジタル化・データ融合の影響は、新しい交通インフラの創出、既存インフラの運営・改善など、輸送の多くの部分で関わっている。デジタル化の基盤となるデータは、社会・産業に対して欠かせないインフラの一つとなっており、

このデータを用いた個々の利用者の多様なニーズに、よりきめ細やかに対応した情報提供サービスの充実を行っていく必要がある。加えて、「第5期国土交通省技術基本計画」では、我が国の変革期である日本における国民の安全・安心で豊かな暮らしを実現するための技術研究開発、技術の効果的な活用が求められており、経済的インセンティブによる国際海運の脱炭素化、国土強靭化の確保（災害対応）、デジタル化の推進等の方針が示されている。

本重点研究では、これら政府等の方針に則し、①ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発、②災害時の輸送に関わる研究開発、③デジタルツイン統合システムの研究開発を実施し、分野横断的なデータの利活用によるイノベーションの創出、技術の効果的な活用等を実現していく。

研　究　目　標

研究の背景に掲げた 3 つの研究課題に対する具体的な研究目標を以下に示す。

ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発では、AIS（Automatic Identification System、船舶自動識別装置）等のビッグデータを利用することにより、船舶の港間移動等の詳細情報をもとにした各種の海運・造船指標の高度な利用が想定される。そのため、詳細かつ正確な指標を推定・予測するための AI 等評価手法の実装、国際海運 GHG 削減における経済的手法等を評価する高度な海運・造船市場のモデル開発、海事産業の構造変化に関して利害関係者間の合理的な意思決定を支援するシステム設計、これらのデータを統合し、輸送システムの高度化に向けたデータベースの開発を行う。

次に、災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発では、災害時輸送では、複数の輸送機関を効率的に活用していくことが求められている。そのためには関係者が利用しやすいシステムとして輸送機関が機能している必要がある。本研究では、我が国の国土強靭化対策に対応すべく、災害時輸送を支援するための可視化技術や情報共有の高度化及び災害時輸送に関わる評価分析を行う。

さらに、デジタルツイン統合システムの研究開発では、船舶設計や運航へのデジタル化技術導入を促進することにより、GHG 削減や自動化船等の実現に貢献することが社会ニーズとしてある。本研究では、研究開発を行ってきた航路支援や主機、船体、設計・建造等のデジタルツイン技術を連携・統合することにより、船舶用デジタルツインとしてデファクト化を目指す。デジタルツイン統合システムの普及を図ることより、船舶の安全・安定運用を実現するとともに、データ活用による設計・建造の合理化を追求する。関連する重点研究（「船体構造評価に関する研究」、「実海域実船性能向上に関する研究」、「DX 造船所の実現に向けた研究開発」等）と連携して研究を遂行する。

令 和 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

①AIS 等の船舶動静データを基にしたデータ融合と AI 等評価手法の実装に向けた設計

②海運・造船の GHG 削減策等に関するモデル/システムの試作

（2）災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発

①シミュレータのアルゴリズムの検討

②計算条件、出力結果の共有化のためのデータベース設計・開発、実動訓練の実施

（3）デジタルツイン統合システムの研究開発

①データ連携によるデジタルツインの機能拡張

②データ活用手法の構築

③応答特性データ及び解析プログラムの共通化

④運航中船舶のデジタルツインのためのフルシステムリアルタイムシミュレーションの試計算実施

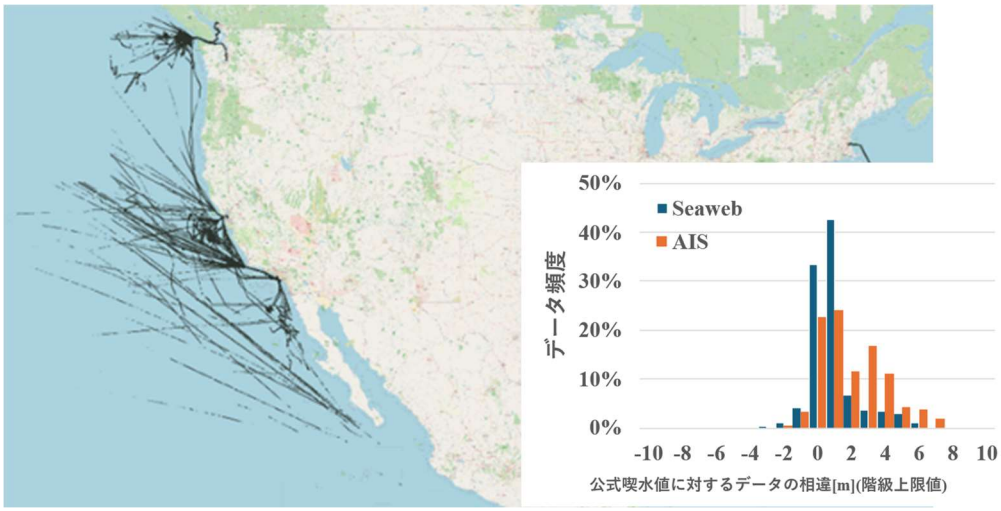
令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

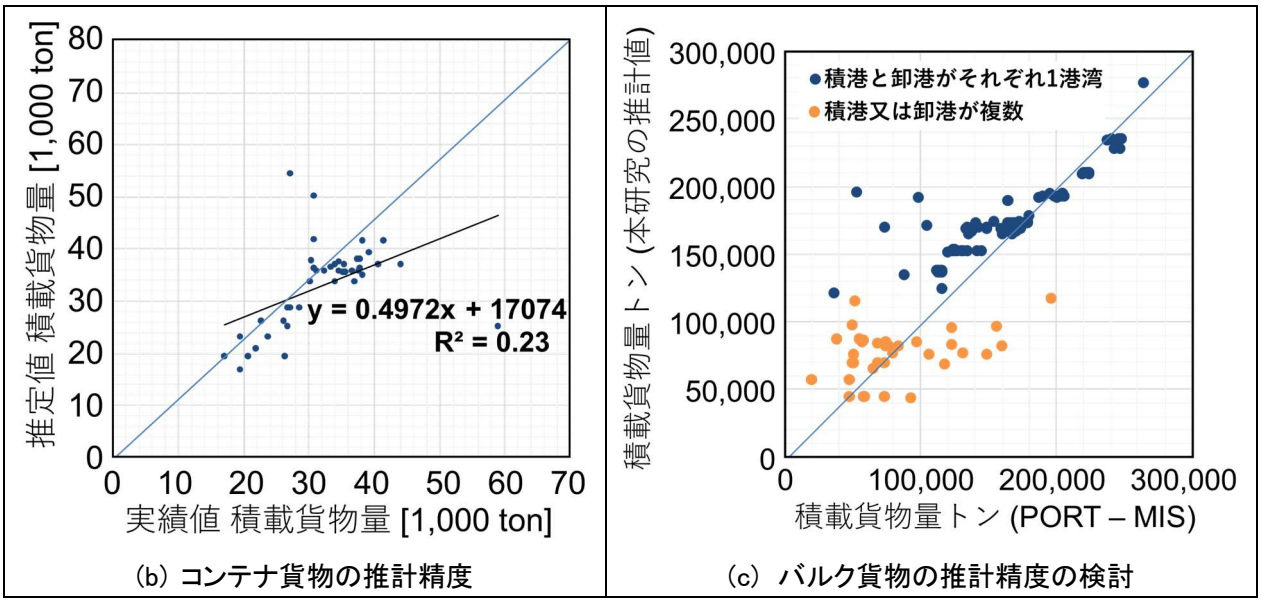
①海運・造船関連のデータ融合と AI 等評価手法の実装

AIS・船舶動静データと貨物流動データを融合し、船舶の積載貨物量を推計する AI 手法を改善し、コンテナ及びバルク貨物における推計精度を向上させることができた（図Ⅰ．2.（4）.②. 1 (a)(b)(c)）。

AIS 等から将来の海運市況等を予測するディープラーニング（DL）について、予測精度を保ちつつ予測結果の理由が理解しやすい説明可能な AI 手法（XAI）へと手法を発展させた（図Ⅰ．2.（4）.②. 2）。



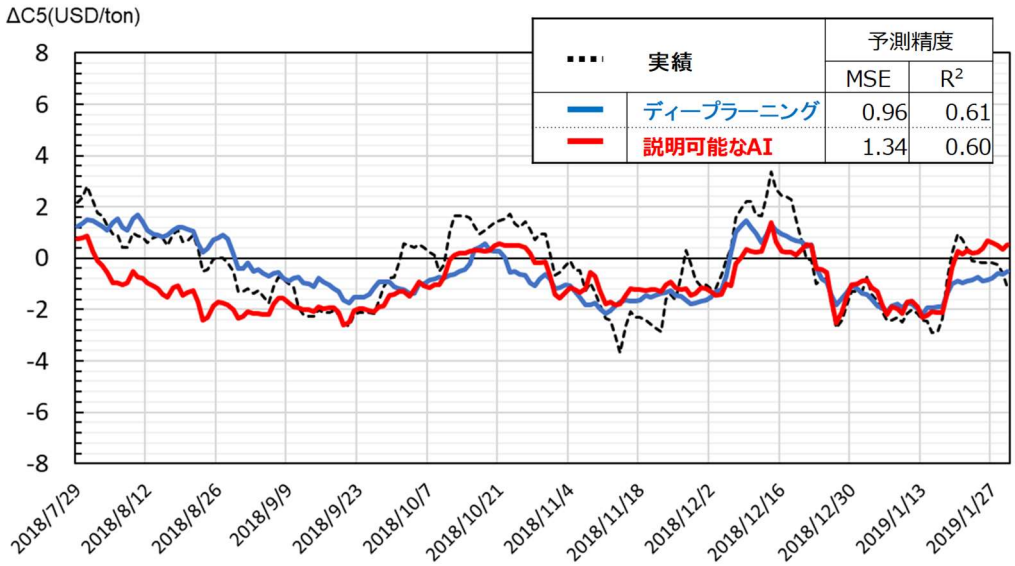
（a）米国コンテナ船を対象にした AIS データを用いた解析例



（b）コンテナ貨物の推計精度　　（c）バルク貨物の推計精度の検討

図Ⅰ．2.（4）.②. 1　船舶の積載貨物量推計

（AIS から得られる船舶の運航時の喫水値に関して、精度が高いと考えられる喫水値を選択し、船舶の積載貨物量推計に用いることで、推計の精度が向上した）

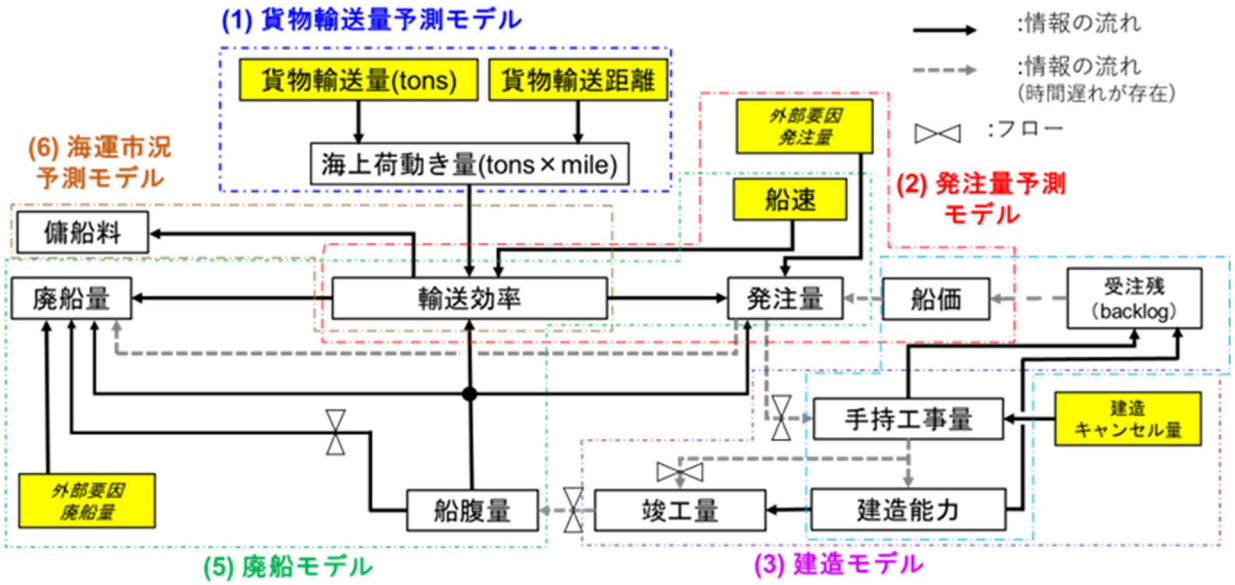


図Ⅰ．2.（4）.②．2　海運市況予測手法の改良

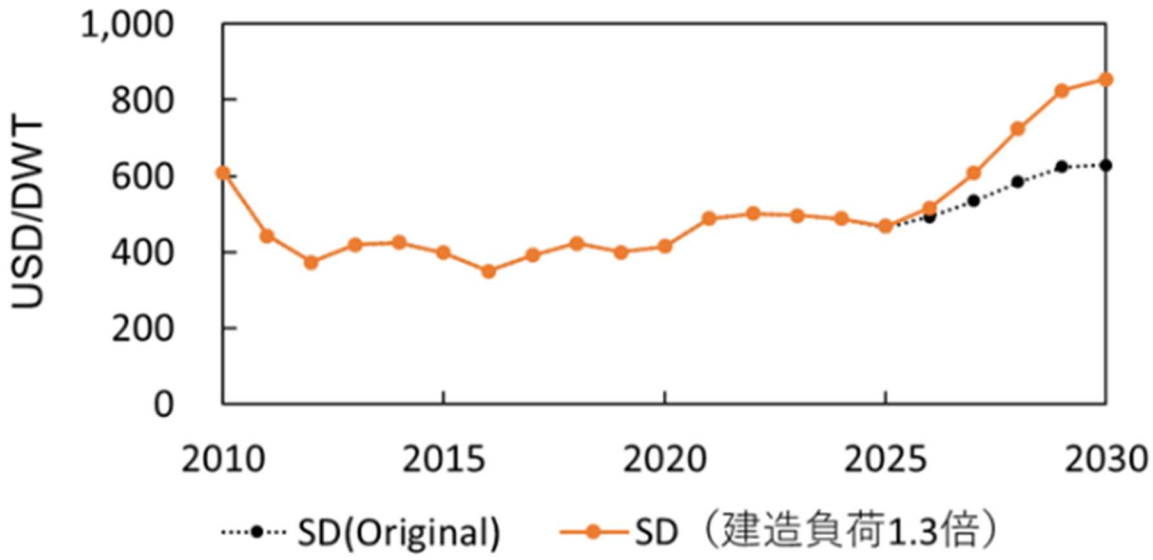
（説明可能な AI による市況予測が従来の DL と同程度の精度でできるようになった）

②海運・造船関連のモデル化とシステム設計

システムダイナミクス(SD)に基づく、バルクキャリアの造船需要シミュレーションモデルにおいて、造船会社の代替燃料船の船価決定モデルを追加し、船価への影響等を検討した（図Ⅰ．2.（4）.②．3）。



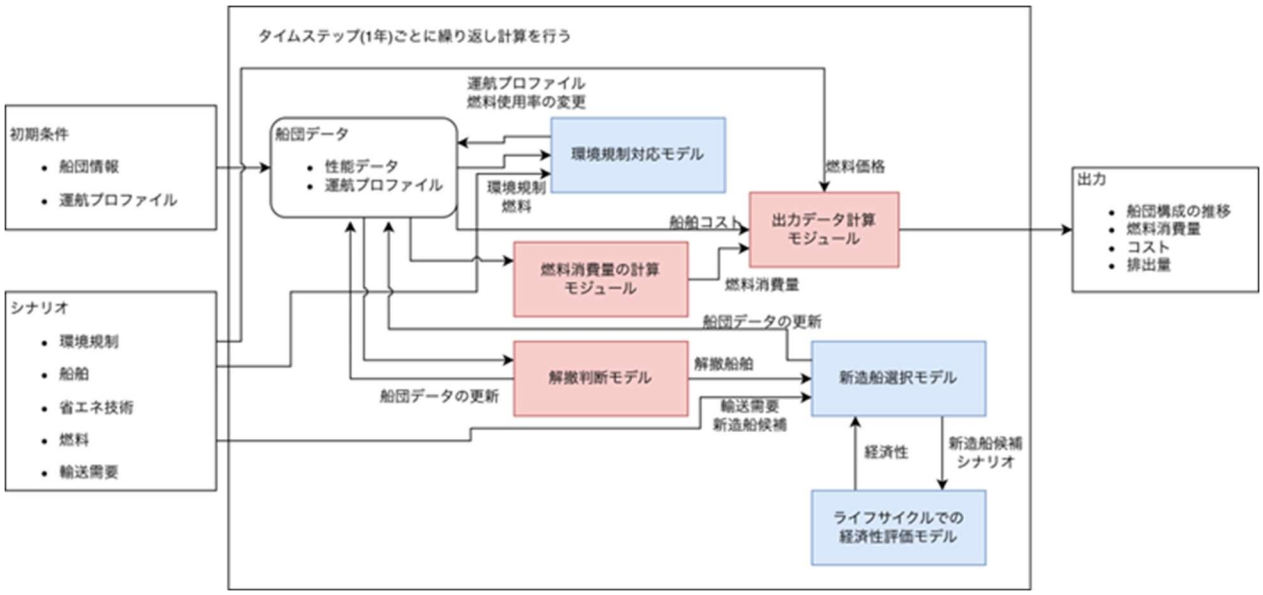
(a) SD に基づく造船需要予測モデル



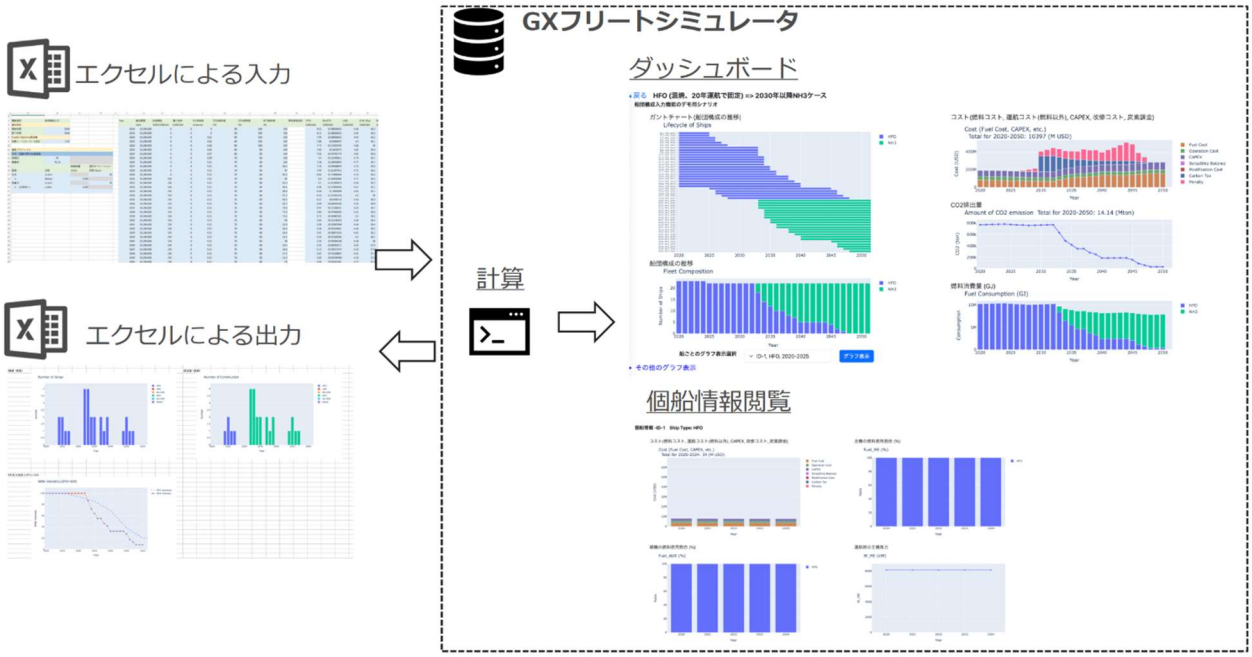
(b) 船価への影響分析例

図Ⅰ．2.(4).②.3 SD による次世代環境船の導入シミュレーション
（従来の SD モデルにおいて船価の影響を取り入れることで実用性を向上させた）

2050 年ゼロエミッション化に向けた船団の脱炭素化を計画するツール(GX フリートシミュレータ)を開発し、海運会社（内航・外航数社）のトライアルにより、実用化への進展を図った（図Ⅰ．2.(4).②.4(a)(b)）。



(a) GX フリートシミュレータの計算フロー

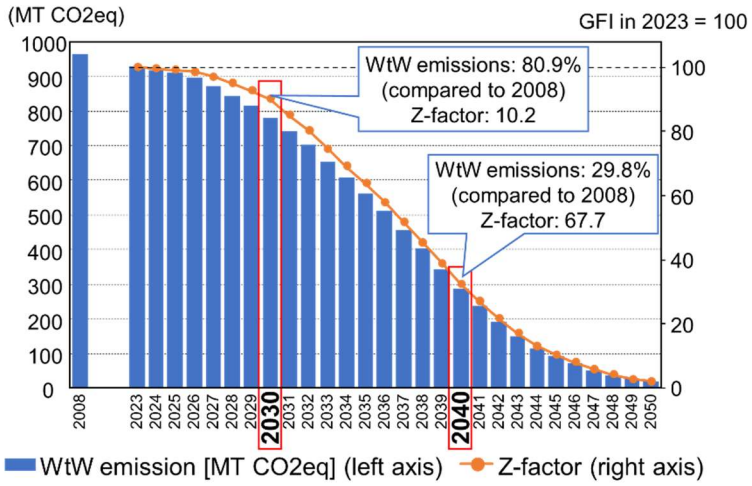


(b) GX フリートシミュレータの出力例

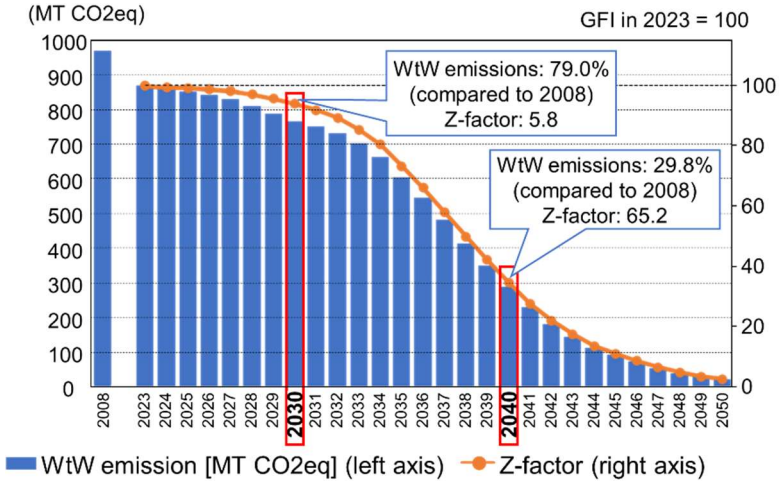
図Ⅰ. 2. (4). ②. 4 2050 年ゼロエミッション化に向けた船団脱炭素化計画ツールの開発

国際海運の GHG 削減目標、輸送需要、燃料需要、燃料価格等の将来シナリオに基づき、燃料 GHG 強度規制(GFS: GHG Fuel Standard)における GHG 強度規制値(GFI: GHG Fuel Intensity)の検討が可能なシミュレーションを開発し、IMO 文書(ISWG-GHG 18/2/1)の作成に貢献した(図Ⅰ. 2. (4). ②. 5)。

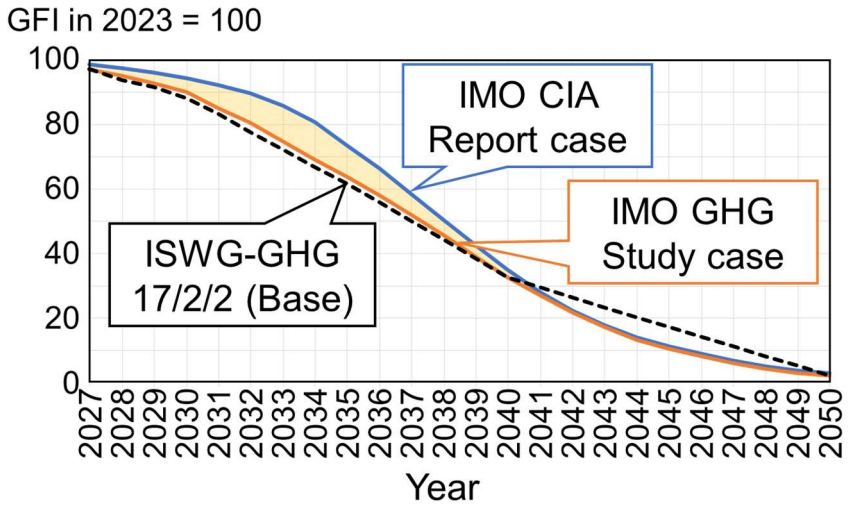
GFS 規制の特に柔軟性措置(船舶間の GHG 排出の融通等)が与える影響を、造船・運航・規制対応をモデル化したシミュレーションによって分析し、柔軟性措置によって燃料や輸送需要といった不確実性の影響を低減しうることを確認した(図Ⅰ. 2. (4). ②. 6 (a)(b)(c))。



(a) GFI 値：IMO GHG Study case



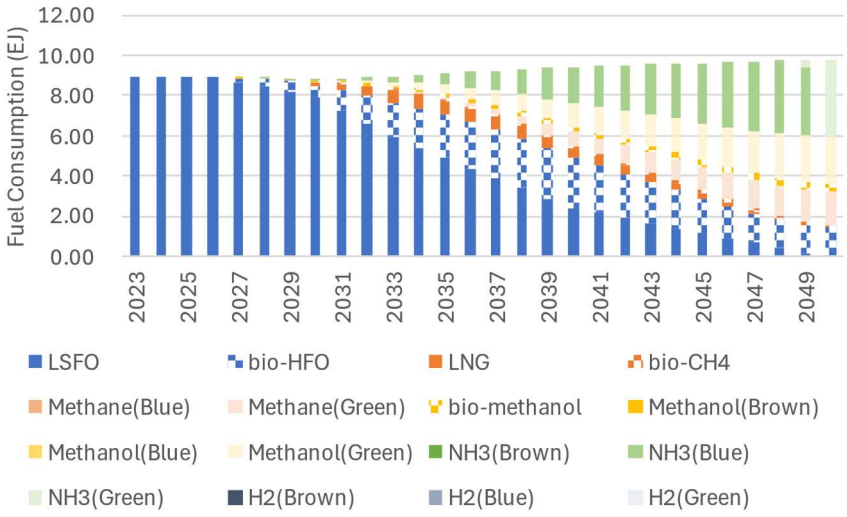
(b) GFI 値：IMO CIA Report case



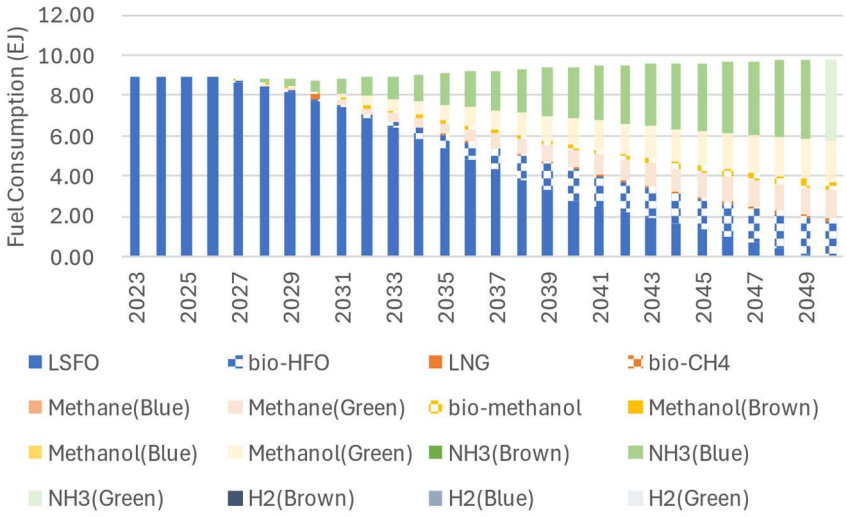
(c) GFI 削減率の計算例

図Ⅰ．2.(4).②．5　シミュレーションを用いた GFS 規制の GFI 規制値の検討

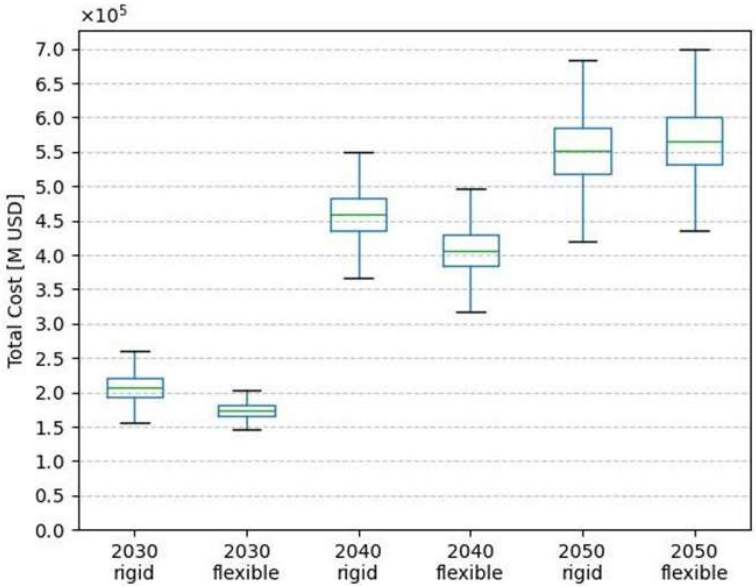
（図(a)、(b)は、IMO の 2023 削減戦略を達成する Z-factor(GFI 削減率)を検討した結果であり、2023 年時点の GFI 値に不確実性があることから、4th GHG Study をベースにした計算と IMO CIA レポートをベースにした 2 ケースを実施している。図(c)は、(a)および(b)の 2 ケースの計算結果に基づき、新たに提案された GFI Trajectory である（IMO ISWG-GHG 18 日本提案）。



(a) 柔軟性措置の導入なし



(b) 柔軟性措置の導入あり



(c) 柔軟性措置有無のコスト評価

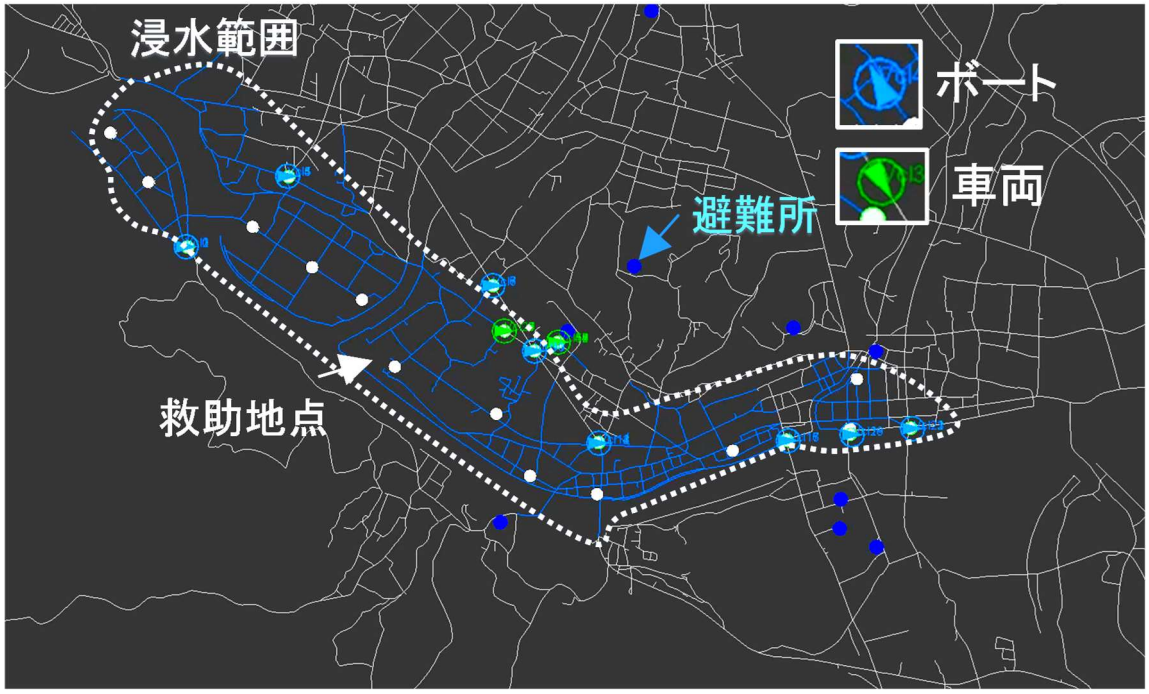
図Ⅰ. 2. (4). ②. 6 シミュレーションを用いた GFS 規制の柔軟性措置の検討
（異なる燃料を使った場合の比較において、柔軟性措置の導入には、特に 2030 年のコストの平均値とシナリオによる分散を低下させる効果があることを確認した）

（2）災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発（3 研連携）

①水害救助シミュレータ

令和 2 年 7 月熊本県人吉市等で発生した豪雨災害に関して、当時の様子および過去の浸水範囲の今後の利用計画等について関係者への聞き取り調査を実施した。その結果、球磨村の浸水範囲については、今後遊水池にする予定で、居住地としての利用は行わず、主要施設については高台への移転を進めているとのことであった。

令和 2 年 7 月豪雨を対象にシミュレータのプロトタイプを作成した。シミュレータは、浸水範囲及びその地域の人数、救助及び避難所地点を入力することで、避難所まで要救助者を輸送するシミュレータとなっている（図Ⅰ．2.（4）.②. 7）。



図Ⅰ．2.（4）.②. 7　水害救助シミュレータのプロトタイプ

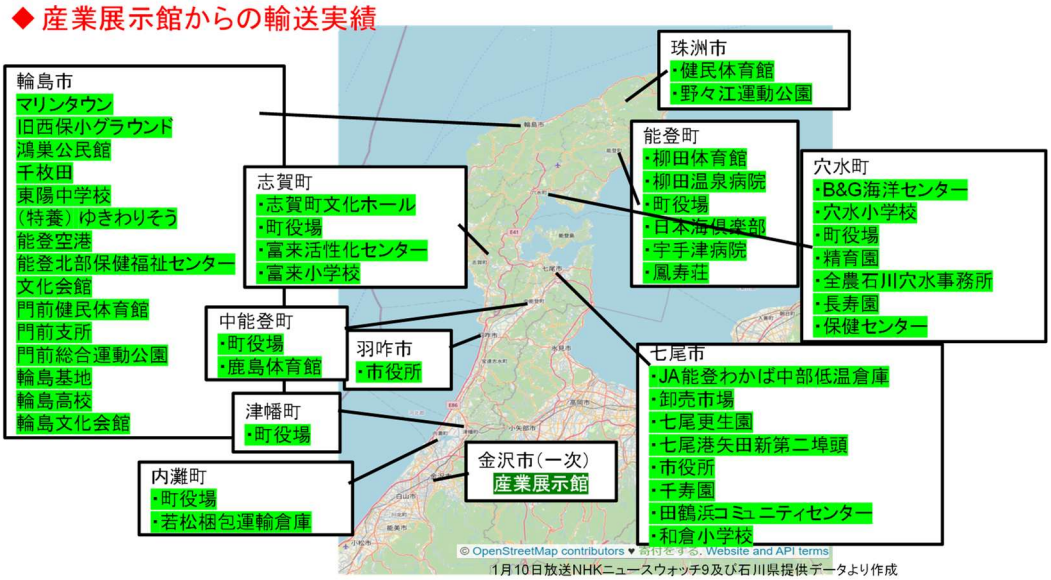
②緊急支援物資輸送システムの開発

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ヒアリング調査を実施した。災害時の物資輸送の実態を把握すると共に、災害時の物資輸送品目等のデータ分析を実施した（図Ⅰ．2.（4）.②. 8）。

電子航法研究所航空機「よつば」の飛行データを緊急支援物資輸送システムへ取り込み、航空機での支援物資輸送による配送計算を可能にした（図Ⅰ．2.（4）.②. 9）。

また、同機を活用した支援物資輸送の訓練を岡山県にて 2024 年 11 月 5 日から 6 日に実施した。さらに、愛知県においても 2025 年 2 月 4 日に訓練を実施した（図Ⅰ．2.（4）.②. 10）。

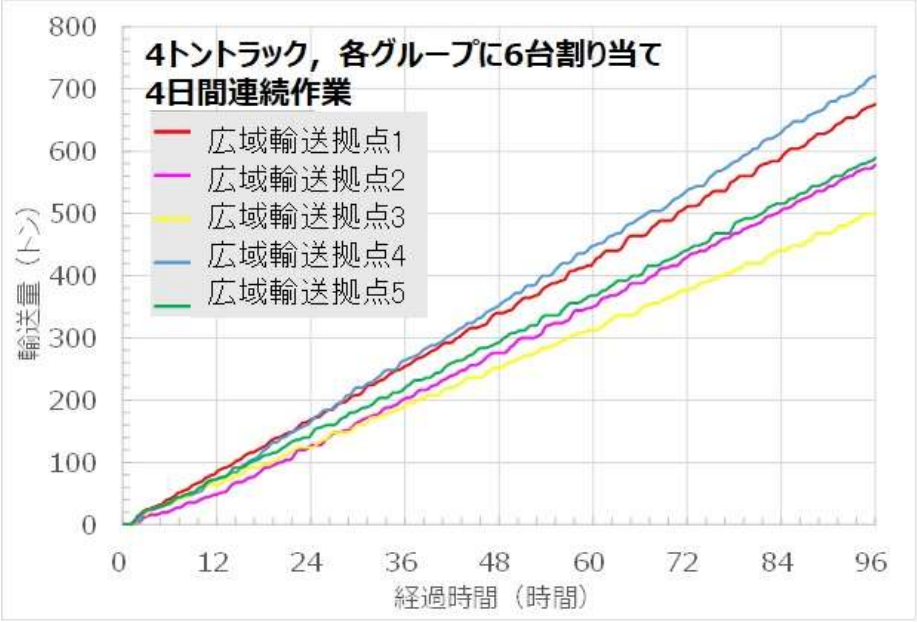
マルチエージェントによる物資輸送シミュレーションを実施し、複数拠点の輸送能力を算出し、自治体に向けて提供した（図Ⅰ．2.（4）.②. 11）。



図Ⅰ．2.(4).②．8　能登半島地震での一次拠点からの物資の輸送先

図Ⅰ．2.(4).②．9　電子研の航空機の運用状況を緊急支援物資輸送システムへの取り込み状態

図Ⅰ．2.(4).②. 10　電子研の航空機から支援物資を降ろす様子

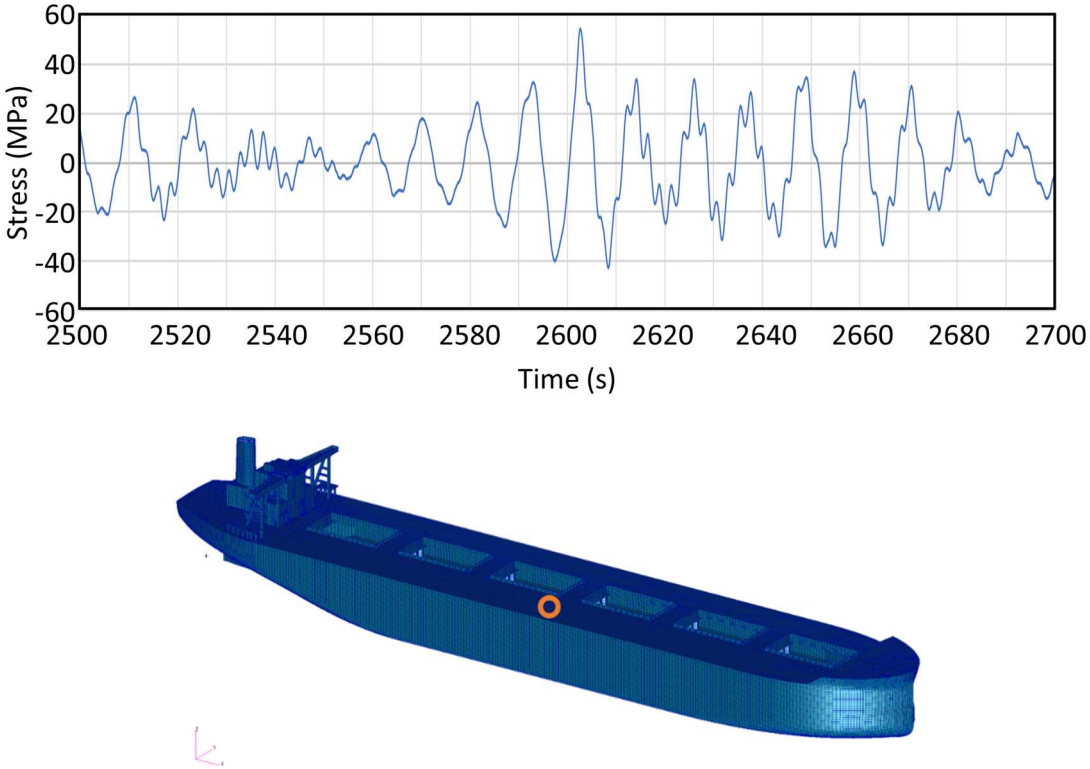


図Ⅰ．2.(4).②. 11　A 県をサンプルにした物資輸送シミュレーション実施時の
各物資拠点における輸送量の時間推移

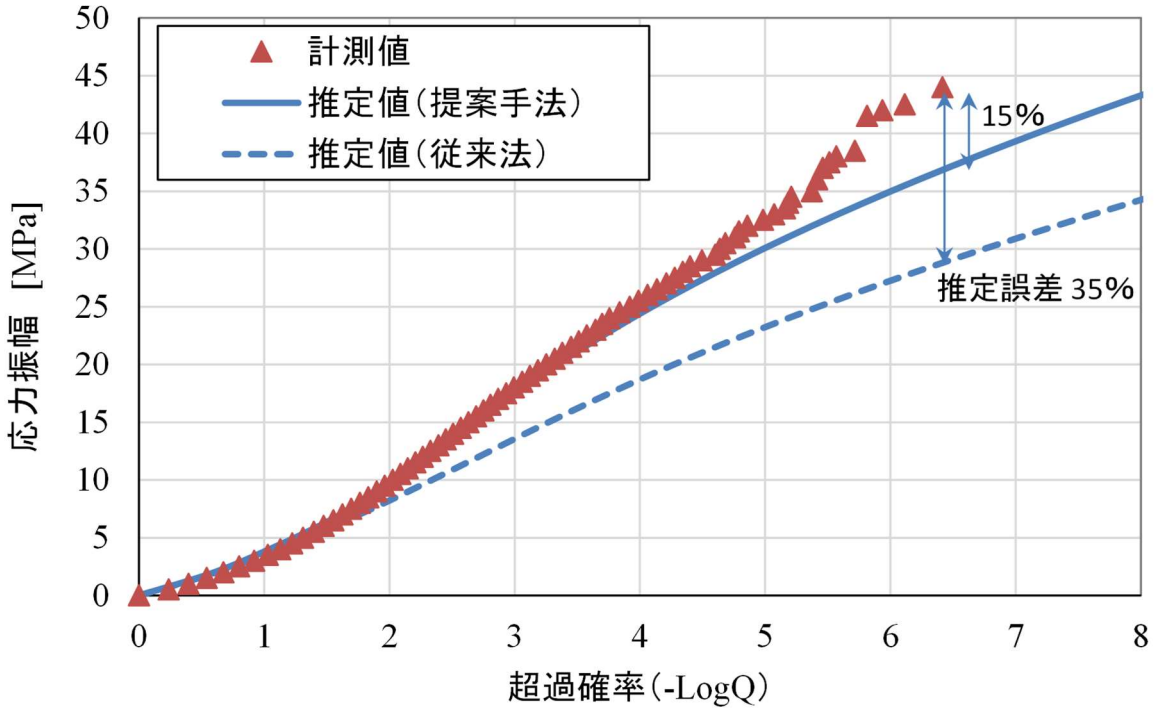
（3）デジタルツイン統合システムの研究開発

①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

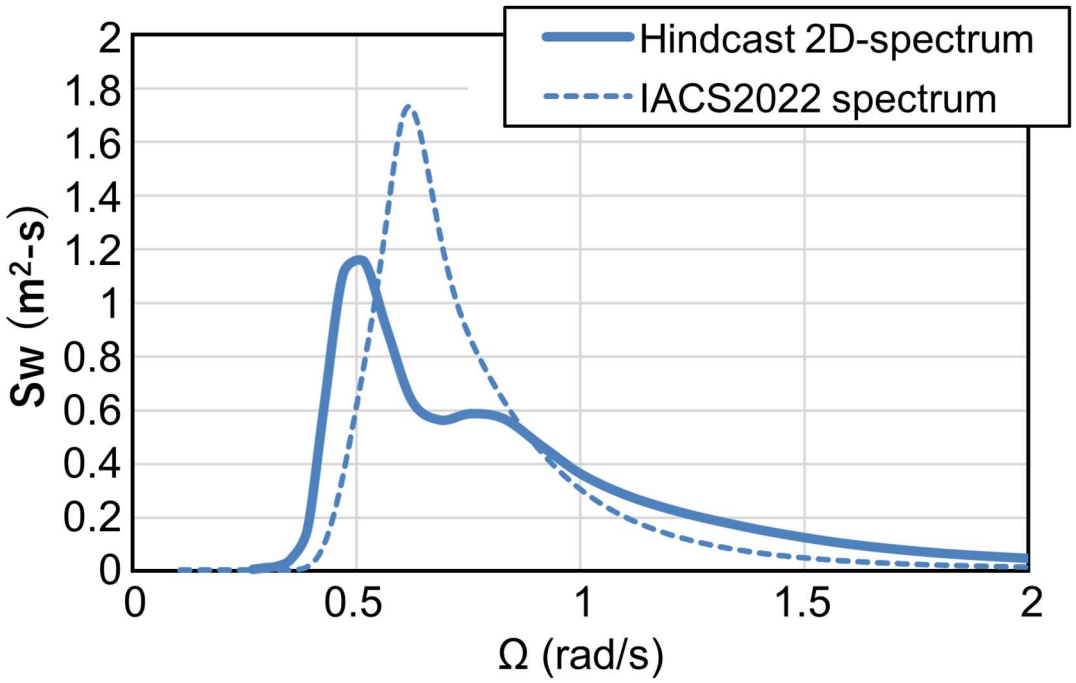
大型鉱石運搬船（長さ約 300m）に搭載した船体構造デジタルツインシステムにより、オンボードで取得した歪のデータ（図Ⅰ．2.(4).②. 12）を用いた数値シミュレーション手法の検証を行った。その結果、超過確率の最大値における対象船の応力振幅の計測値に対して、波スペクトルモデルの精緻化によってシミュレーションによる推定誤差を 35%から 15%に低減させた（図Ⅰ．2.(4).②. 13）。代表波浪値を用いて波スペクトルをモデル化する従来手法では、シングルピークのスペクトルに近似するため、船体応答への影響が大きい低周波うねり成分が考慮されずに実船の応答を正確に再現できなかったことがその要因である（図Ⅰ．2.(4).②. 14）。



図Ⅰ. 2. (4). ②. 12　船体構造の歪(応力)計測波形(上図)及び解析予測に使用した FE モデル(下図)
(FE モデル上の○は評価対象部を示す)



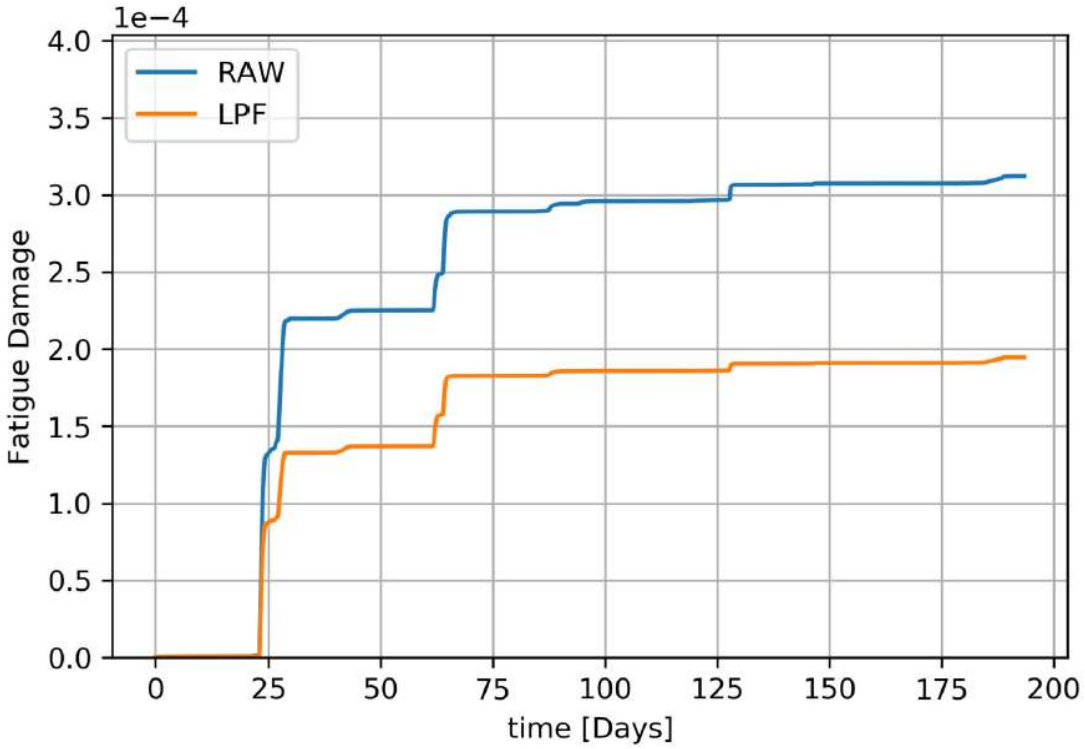
図Ⅰ. 2. (4). ②. 13　計測値と推定値の船体中央部応力振幅の比較
(実線(提案手法):波浪追算スペクトルを使用、破線(従来法):代表波浪値でモデル化した波スペクトルを使用)



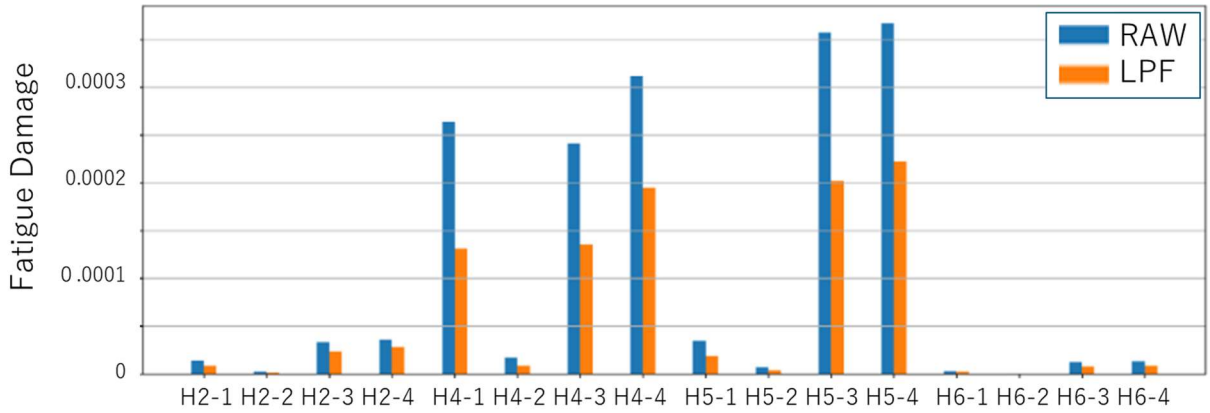
図Ⅰ．2.（4）．②．14　波浪追算(Hindcast)による波スペクトル（実線）と
代表波浪値でモデル化した波スペクトル（破線）
（代表波浪値でのモデル化は予測精度が悪化するため、Hindcast のスペクトルを使った方が良い）

②デジタルツイン統合システムを活用した安全・安定運用、設計・建造手法の開発

オンボードで計測された歪（応力）のデータを解析して、対象船の計測部位での最大応力及び疲労健全性の評価を行った。複数の計測部(16 点)のデータを解析した結果、縦曲げ弾性振動（ホイッピング）により、応力で約 10%、疲労被害度で約 60～100%（ホイッピングなし(LPF)と比べて約 1.6～2.0 倍）増加の影響があると評価した（図Ⅰ．2.（4）．②．15）。



(a) 疲労被害度の成長曲線



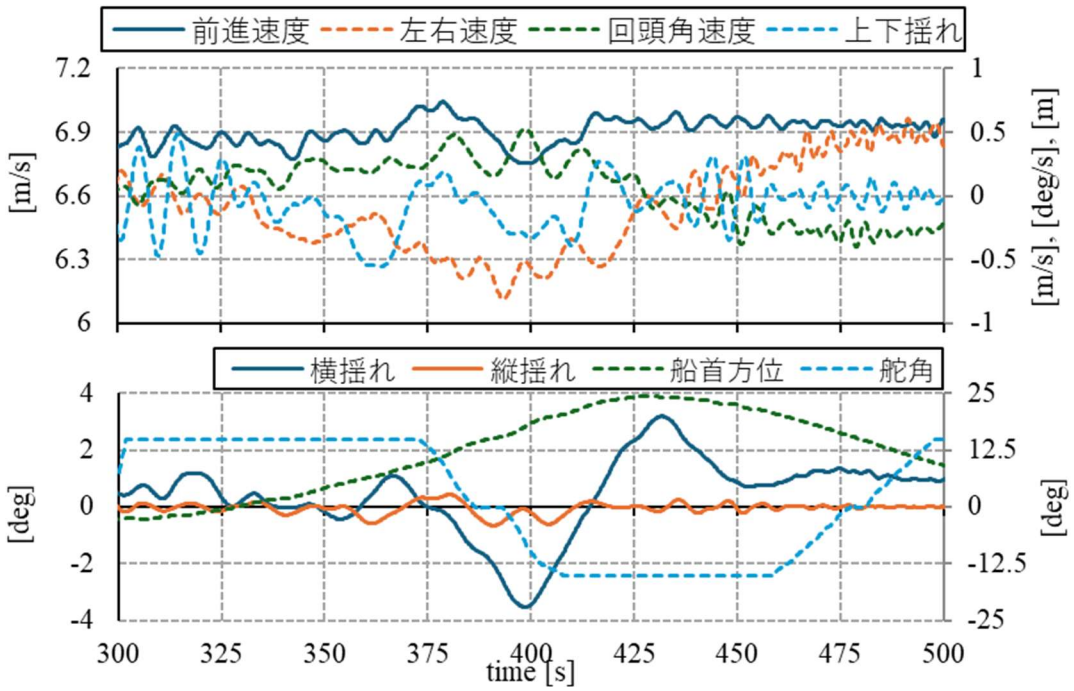
(b) 計測期間(約 6 ヶ月)の累積疲労被害度の計測部による比較

図 Ⅰ. 2. (4). ②. 15 実船のデータ解析による疲労被害度の推定結果

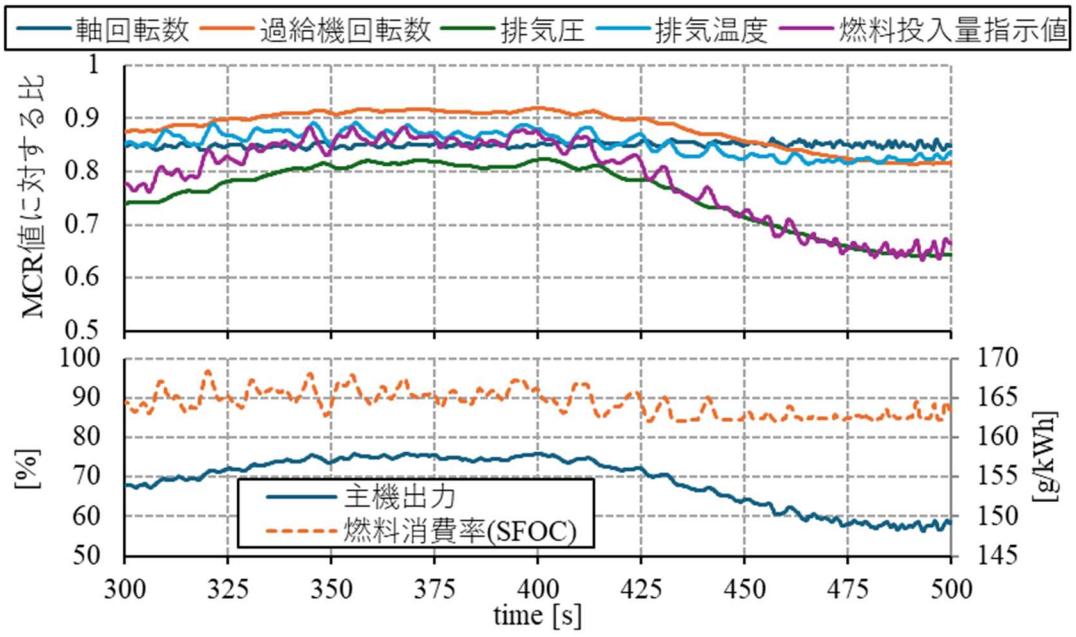
(計測値を用いた疲労解析において、ホイッピングを考慮した場合(RAW)、ホイッピングなし(LPF)と比べて約 1.6～2.0 倍に疲労被害度が増加する結果を得た)

③実海域運航中の船体運動・構造応答・主機状態のリアルタイムシミュレーション手法の設計

船体運動・構造応答・主機状態の出会い波浪に対する応答の時系列をリアルタイムで計算するための各種計算モデルの設定や計算環境を構築した。実海象中の運航を想定したシナリオで試計算を実施し、リアルタイム性の満足や妥当な計算結果が得られていることを確認した(図 Ⅰ. 2. (4). ②. 16)。



(a) 6 自由度船体運動と舵角



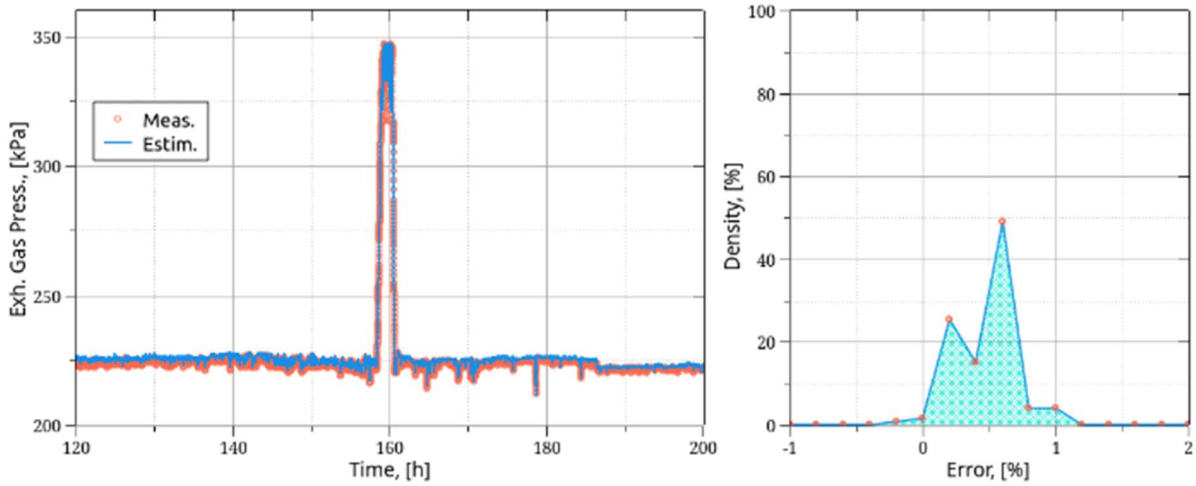
(b) 主機状態、主機出力、燃料消費率

図Ⅰ. 2. (4). ②. 16 構築モデルによる実海象想定風波中の方位変針自動操舵中シミュレーションの船舶状態時系列計算結果(実線は第 1 軸、破線は第 2 軸)

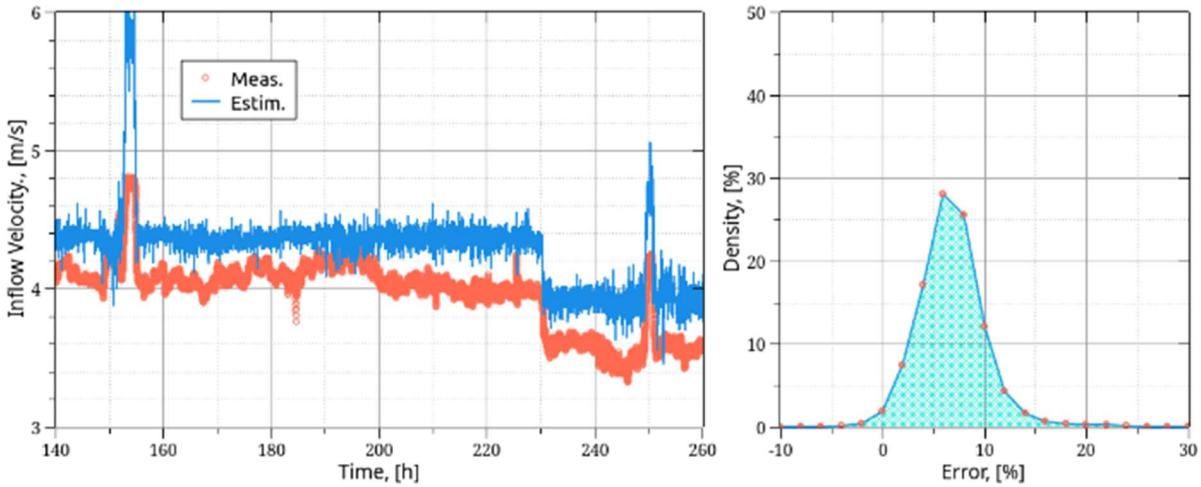
船舶の統合デジタルツインシステムの開発に向けて、推進主機のモデルと応答関数を統合するデータ同化フレームワークを構築し、さらに調和解析理論を用いて、トルクリミット機構の非線形関数を明示的に線形応答関数へ統合した。

海運会社との共同研究を立ち上げ、主機を構築する機械の性能劣化評価プログラムを開発し、就航船データを用いた検証を実施した。また、波浪中の実海域における船舶の統合デジタルツインシステム

の実現に向け、動的モデルの必要性を踏まえた基礎検討を実施した。その結果、就航船データを用いた性能評価においては、動的挙動のモデル化が可能であることを確認した（図Ⅰ．2.（4）.②. 17）。



（a）排気ガス圧



（b）プロペラへの流入速度

図Ⅰ．2.（4）.②. 17　就航船の測定データと動的モデルによる推定値の比較
（左：短時間の時系列における推定値と測定値の比較　、右：全期の誤差の密度分布　）

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Masayoshi Oka, Yusuke Komoriyama, Chong Ma：Accuracy verification of the 2D spectral AIS method by the hull monitoring data, Marine Structures 99, (2025).

□査読付き国際会議論文：3 編

・Takahiro Majima, Taro Aratani: Rescue Transportation Simulator and Bottleneck Analysis, 2024 63rd Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers, SICE, (2024).

・Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Shinnosuke Wanaka, Kunihiro Hamada: Model Development for Evaluating the Impact of Greenhouse Gas Reduction Measures in International Shipping, Proceedings of 10th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2024), (2024).

・Chihiro Sakoda, Taiga Ito, Yujiro Wada, Naokazu Taniguchi, Kunihiro Hamada: A quantitative analysis of the

impact of preprocessing vessel movement data on shipping market forecasting model, Proceedings of Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, (2025).

□各種表彰の受賞：1 件

・Yujiro Wada, Tatsumi Yamamura, Shinnosuke Wanaka, Kunihiro Hamada: SLSTL Special Award for TLOG, Model Development for Evaluating the Impact of Greenhouse Gas Reduction Measures in International Shipping, The Sri Lanka Society for Transport & Logistics (SLSTL), 2024 年 8 月.

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件

・需要予測プログラム(バルクキャリア)

・就航データとデジタルツインに基づくエンジン部品の劣化傾向監視プログラム

□その他

◆国際活動：14 件

・和田祐次郎, 和中真之介: IMO の審議対応(ISWG- GHG 17)： 1件

・和田祐次郎: IMO の審議対応(MEPC 82, ISWG- GHG 18, ISWG-GHG 19)：3 件

・和田祐次郎: IMO 温室効果ガス削減対策の包括的影響評価運営委員会等への参加とその対応: 7 件

・和田祐次郎: IMO 報告書の査読(MEPC 82/7/4 Add.1, MEPC 82/7/4 Add.2)：2 件

・和中真之介, 和田祐次郎, 小坂浩之: IMO 提案文書(ISWG-GHG 18/2/1)にデータ分析結果を提供: 1 件

◆その他発表論文：7 編

・和田祐次郎:【研究者の論点 日本海運経済学会】コンテナ船の将来需要の分析―SDモデル使い3ケースを比較, 日本海事新聞, 2024 年 6 月 6 日付, (2024).

・加藤翔, 樋口恵一, 荒谷太郎, 河瀬理貴, 間島隆博, 畑山満則, 山崎基浩, 大窪和明, 川本義海: 能登半島地震における支援物資の実態からみる防災計画の評価, 土木学会土木計画学研究・講演集, 第 70 巻, (2024).

・岡正義: 船舶用デジタルツインの社会実装に向けた研究開発, 第 24 回海上技術安全研究所研究発表会, (2024).

・岡正義, 馬沖, 陳曦, 小森山祐輔: 船体構造デジタルツインの開発, 海上技術安全研究所報告, 第 24 巻, 第 3 号, 総合報告, pp. 49-73, (2024).

・Bondarenko O., Fukuda T. and Miura S.: Intelligent Monitoring of the Engine Systems: Eliciting Performance Degradation Trends from in-Service Data, 第 94 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 285-290, (2024).

・小坂浩之：データ融合による国際バルク貨物流動データの精度改善, 第 41 回日本物流学会全国大会研究報告集, (2024).

・小坂浩之：船舶動静データに基づくコンテナ船の積載貨物量の推計, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 39 号, pp. 429-432, (2024).

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 6 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 6 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 6 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への予算配分を行い、先見性と機動性をもって推進することとした。

◆令和 6 年度における取組状況

（1）基礎研究への取組

令和 6 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 6 年度においては 37 件の研究実施項目のうち、15 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 6 年度は、「海水曝露環境でのセメント固化処理土の劣化メカニズムの解明」について、特定萌芽的研究として採択し、優先的に研究費を配分した。

（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のための密な連携体制が確立されている。令和 6 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。

重　点　分　野	(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。 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 －2024 年能登半島地震の強震記録について震源特性、サイト特性等の観点から分析を行う。 －2024 年能登半島地震の港湾施設被害について分析し、復旧設計等に向けた支援を行う。等

研　究　の　背　景

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

研　究　目　標

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

令和 6 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う。

②地震災害および被災要因調査

・港湾・空港施設の地震被害の要因を解明し、対策工の研究開発に資する基礎資料として、地震被害事例の調査・収集を行い、整理・分析して記録する。さらに、地震直後の施設の安全性を評価し、供用可否を迅速に判断するための手法を検討する。令和 6 年 1 月 1 日の能登半島地震(M7.6)において被災要因調査を行う。

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

・大地震発生後の被害評価・分析を目的とし、地震動の事後推定技術を確立する。周辺の強震計で観測された地震動データ、サイト特性情報、地盤情報、震源断層の破壊過程などの利用可能な情報を活用し、表層地盤の非線形挙動も考慮した適切な推定手法を構築する。

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

・液状化土砂流動の流体－構造物とのマルチフィジックス解析可能な粒子法モデルを検討する。構造物への液状化及び液状化流動の影響を抑止する対策技術の現地検証・分析、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について検討する。海底地すべり津波に及ぼす液状化重力流の影響、液状化地盤流動による海底構造物への衝撃圧について検討する。

（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う。

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う。

（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・破壊過程及びその機構、地中レーダーによる空洞の発達深度の早期評価・同定手法を検討する。砂浜海岸の維持管理評価予測手法の検証、空洞・陥没の復旧及び再発防止対策の検討、吸い出し・陥没抑止技術の社会実装を進める。

令和 6 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

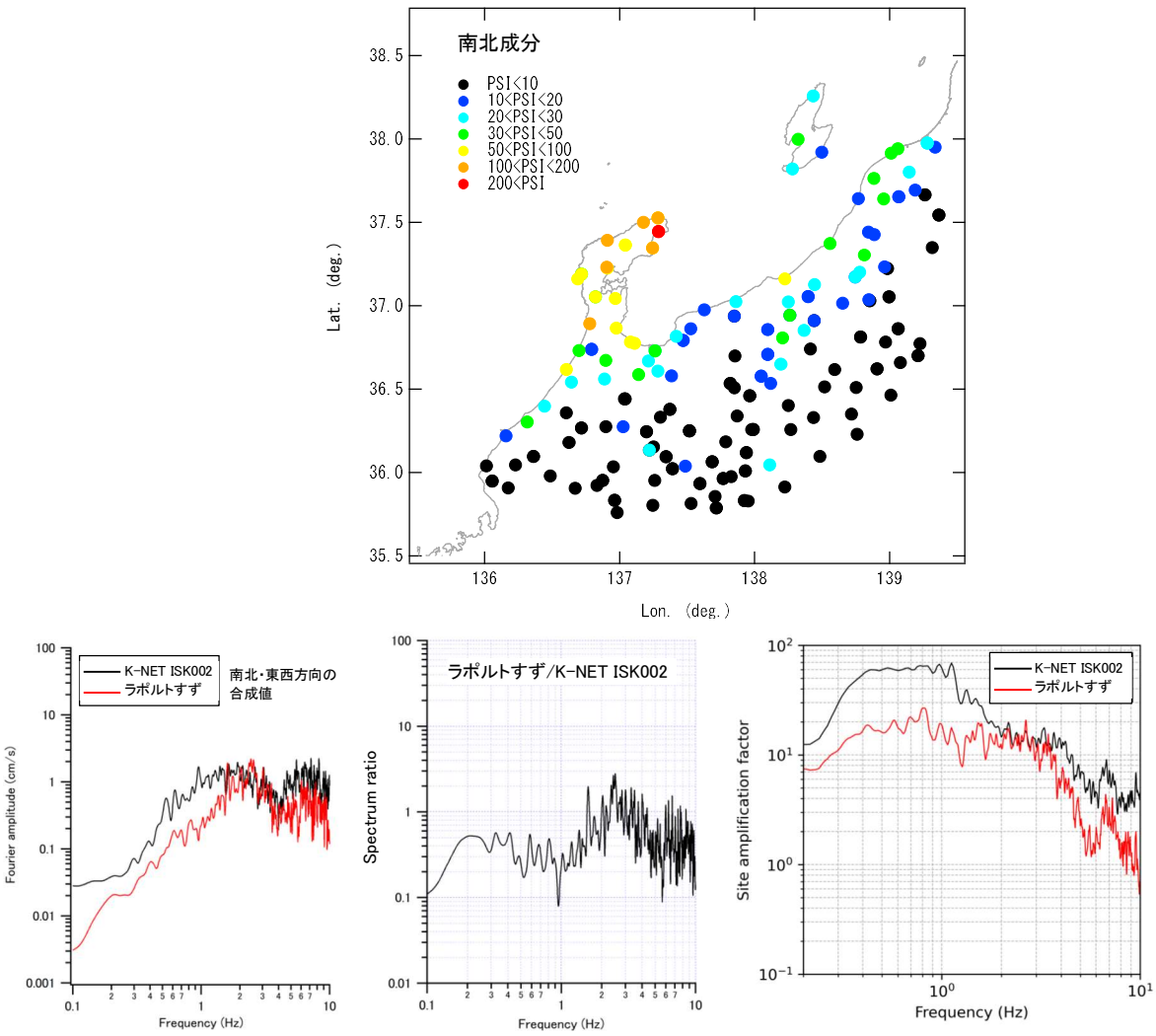
①港湾地域および空港における強震観測と記録の整理解析

・令和 6 年末現在では 69 港湾の 160 箇所で観測を行っており、令和 6 年 1 月～12 月の期間で 3,004 個の強震記録が取得された。

・令和 6 年能登半島地により港湾施設に被害が発生したことを受け、輪島港、飯田港等において余震観測、常時微動観測を実施した。このうち余震観測は輪島港では輪島港事務所の一箇所、飯田港ではラポルトすずの搬入口の一箇所で実施した。

・また、余震観測記録を用いたサイト増幅特性の補正を行い、輪島港、飯田港におけるサイト増幅特性を設定した（図Ⅰ.3.(1).①.1）。

・国際航路協会 PIANC MarCom WG225 において強震観測記録の耐震設計への活用方策について議論し、能登半島地震の被害状況を紹介した。



図Ⅰ.3.(1).①.1　令和 6 年能登半島地震での PSI 値と、余震観測によるサイト特性検討（飯田港）

上図：地震被害の大きかった能登半島の多くの地点で PSI 値が 100 を超え、地震後速報される PSI 値により被害発生可能性を評価できることが改めて認識された。

下図：飯田港において余震観測を行い（左図赤線）、近隣 K-NET と比較して（中図）、飯田港におけるサイト特性を評価（右図赤線）した。

②地震災害および被災要因調査

・令和 6 年能登半島地震の被災要因究明に関する受託研究を実施し、七尾港太田地区の矢板式岸壁における被災要因を解明した。試掘を含む詳細調査を行い、矢板壁頭部だけでなく控え杭頭部も海側へ移動していることが明らかになった。これらの結果をもとに、復旧設計に向けた行政機関への技術的支援を実施した（図Ⅰ.3.(1).①.2.a）。

・これまでに開発した港湾施設の利用可否判断支援装置（Berth Surveyor）を能登半島の 3 港湾に導入した（港空研協力支援）（図Ⅰ.3.(1).①.2.b）。

・内閣府 BRIDGE 事業に「港湾施設の被災状況把握・利用可否判断の迅速化」が採択され、Berth Surveyor と各種現地情報・計測データ・解析を連携させた利用可否判断手法、および、港湾局 Cyber Port との連携も視野に入れた災害情報共有の研究開発を開始した。

a)矢板式護岸被害の調査

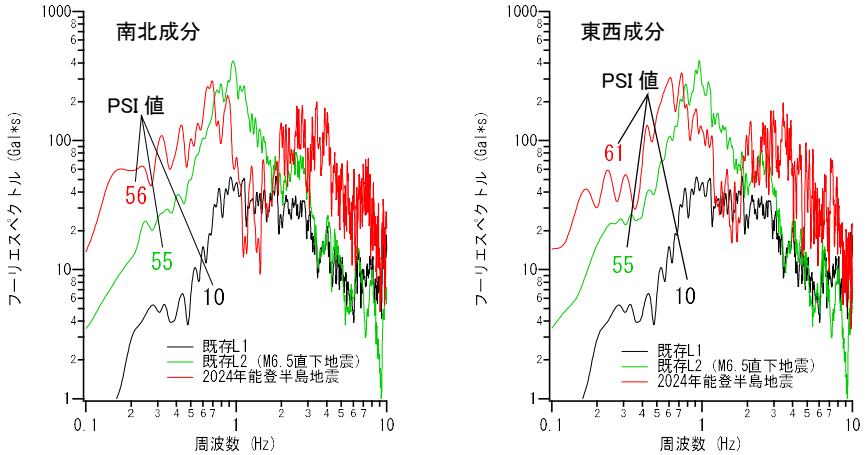
b)利用可否判断支援装置（Berth Surveyor）の導入・設置

図Ⅰ.3.(1).①.2　能登半島地震による被災調査等

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

・令和 6 年能登半島地震について、余震観測記録に基づいて設定されたサイト増幅特性を用い、多重非線形効果を考慮する必要性を検討しながら、輪島港、飯田港、七尾港などの再現地震動を求めた（図Ⅰ.3.(1).①.3）。

・事後推定した地震動を行政機関に提供して技術支援を行い、各港の港湾構造物の復旧設計に活用されて行政機関から高い評価を受けた。



図Ⅰ.3.(1).①.3　既存 L1、L2 地震動と令和 6 年能登半島地震における地震動の比較（七尾港）

・2024 年能登半島地震は L1 地震動よりも大きく L2 地震動と同程度であることが確認できた。

・L1 地震動よりも大きいことが港湾施設で被害が生じた要因であることが確認できた。

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（図Ⅰ.3.(1).①.4）。

・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。

・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。

・さらに、液状化地盤流動による海底構造物への衝撃圧に関する実大応力実験及び一連の解析を実施し、同特性を明らかにした。

・洋上風力への沿岸・海底ジオハザード影響評価については、アジア太平洋・欧・米連携体制（22か国）構築し、2024 年第 37 回万国地質学会議での海底ジオハザードと洋上風力に関するセッションを運営し、基調講演を行った。

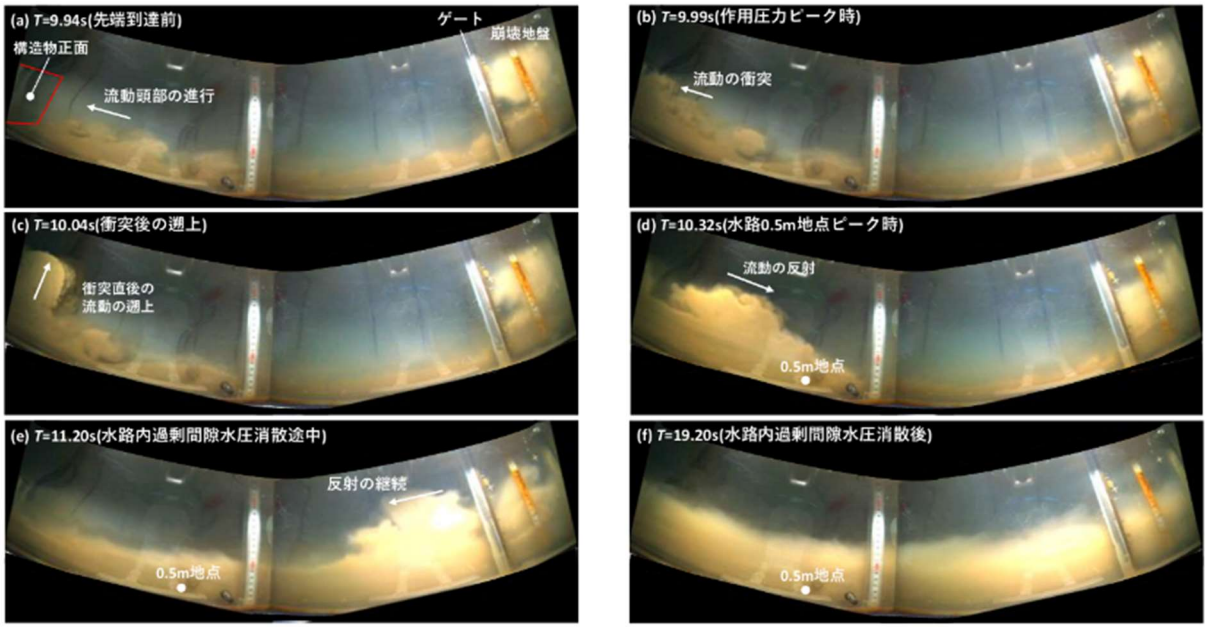


図 Ⅰ.3.(1).①.4 液状化地盤流動による海底構造物への衝撃圧の遠心実験結果

・地盤流動の先端が構造物に到達して衝突、反射し、地盤が流動状態から再堆積していく過程を解明した。

（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は評価していない。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 6 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、係留施設と係留船舶との地震時相互作用の検討の模型振動実験を行った。

・空港用地護岸を対象に地震応答解析では、レベル 2 地震動により発生する残留変位の要因について検討を行うとともに、設計地震動・強振観測記録を用いた解析を実施し、解析に用いる地盤モデルの高度化に関する検討を行った（図 Ⅰ.3.(1).①.5）。

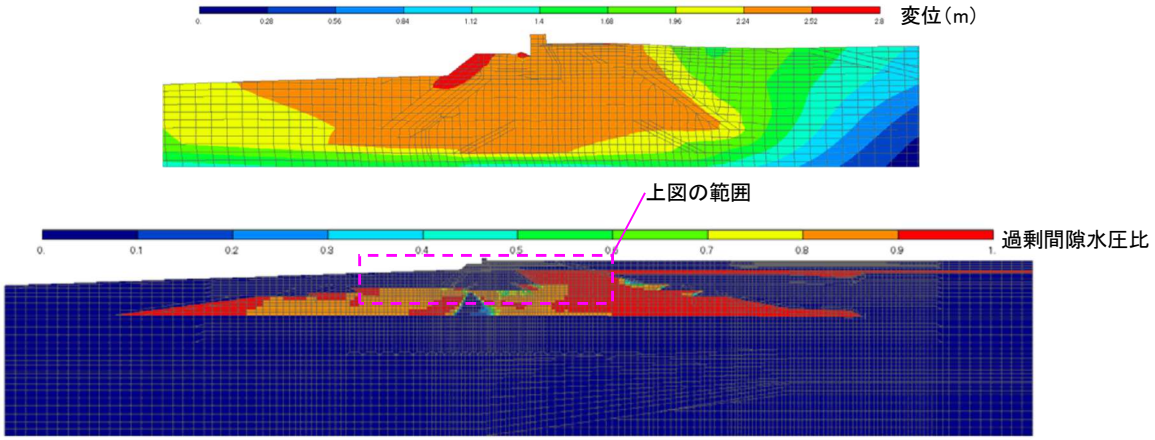


図 Ⅰ.3.(1).①.5 空港用地護岸の地震応答解析結果

上図：地盤モデル高度化により護岸構造周辺部分のレベル 2 地震動に対する変形を示す。

下図：液状化挙動評価の計算例を示す。

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

・切迫する南海トラフ巨大地震や首都直下地震に対して、その被害を軽減し、迅速に復旧復興を図るためには、係留施設の損傷過程を把握し、迅速な被害推定を行えることが重要である。そこで、本研究では、実験的に液状化に至る過程を詳細に解明し、構成モデルの高度化に貢献するとともに、解析的な簡易被害推定法の開発により、迅速な被害推定・利用可否判断に貢献することを目的としている。令和 6 年度は、研究責任者の長期在外研究に伴い、簡易被害推定方法を中心に検討を実施した。深層学習の学習データとなる動的有効応力解析に用いるパラメータに関する検討を行い、当初の各パラメータ間の重み付けをする形から、簡易設定法の等価 N 値を考慮した取り扱いを検討し、学習データの蓄積を行った。

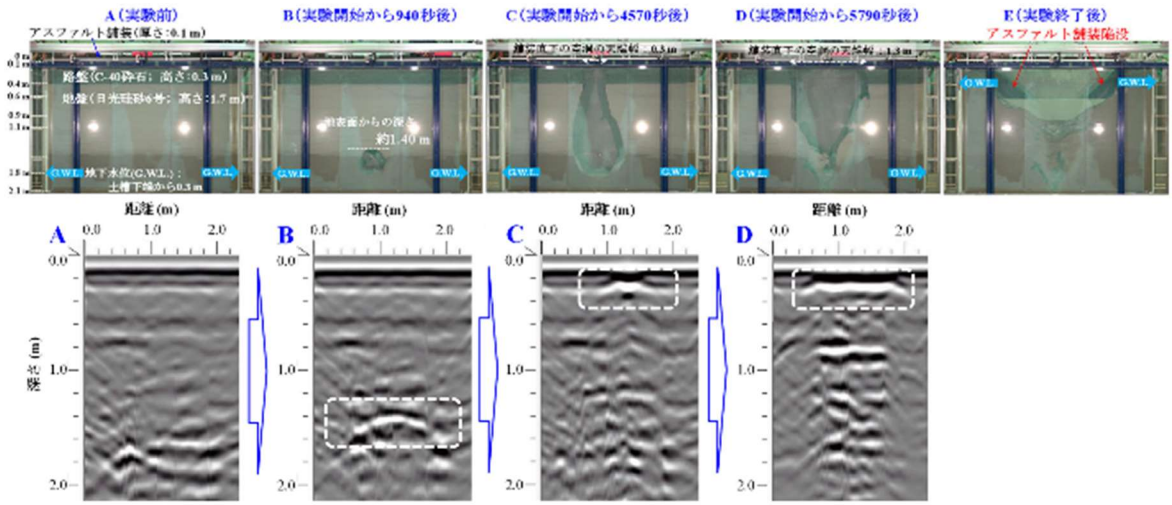
（3）地震・津波・高潮・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関する研究

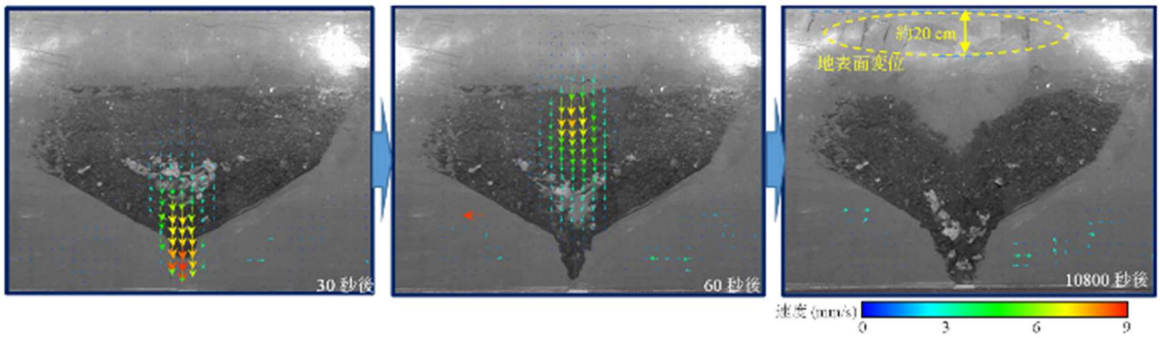
①地震・高潮・高波による吸い出し・陥没等予知と維持管理技術の開発

・港湾構造物の地盤の吸い出しや、埼玉県八潮市の道路陥没事故(2025 年 1 月 28 日)に見られる地盤の空洞化等の防止を目的に、実物大スケール実験を通じて舗装直下地盤の吸い出し・空洞形成・破壊過程及びその機構を解明し、舗装の種類・舗装厚が吸い出し災害の発生順序及び地中レーダーの空洞探知精度に及ぼす影響を明らかにした（図Ⅰ.3.(1).①.6.上図）。

・吸い出しによる空洞・陥没の復旧及び再発防止対策としての二層構造のフィルター層の有効性を明らかにし、吸い出し口の低潮時地下水位との関係に基づく 2 種類の復旧方法を考案し、敷設方法を構築・提示した。現実的に強い多様な水理外力の継続作用下で吸い出し・陥没を安定的に抑止しうることを実証した（図Ⅰ.3.(1).①.6.下図）。

・また、高波−地盤−洋上風力基礎相互作用の予知予測ならびに砂浜海岸の維持管理に資する新たな知見を得ると共に、同評価予測手法の検証を行った。





図Ⅰ.3.(1).①.6 吸出し空洞形成と地中レーダー測定,
および空洞陥没復旧における二重フィルター着底の様子

上図:大型吸い出し可視化実験により舗装直下地盤の空洞形成発達・路盤崩落過程の地中レーダー信号変化比較により空洞発達深度を早期に評価同定しうることを解明した。

下図:二層フィルターによる空洞陥没復旧手法において、二層フィルターが沈降着底して吸出しを防ぐ挙動を PIV 画像解析により解明した。

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載論文:3 編 [2024.4.1～2024.12.31]

・Kazuki Murata, Toshikazu Ebisuzaki, Shinji Sassa, Tomohiro Takagawa, Koichi Masuda, Takujiro Miyamoto, Masato Ohno, Shigenori Maruyama: Submarine Landslides and Tsunami Genesis in Sagami Bay, Japan, caused by the 1923 Great Kanto Earthquake, Landslides (2024)

・Quoc Anh Tran, Erik Sørlie, Gustav Grimstad, Gudmund Eiksun, Hidenori Takahashi, Shinji Sassa: Influence of sediment permeability in Seismic-Induced Submarine Landslide Mechanism: CFD-MPM validation with centrifuge tests and analysis、Computers and Geotechnics (2024)

・Ko K.-W.; Kayen R.E.; Kokusho T.; Ilgac M.; Nozu A.; Nweke C.C. : Energy-Based Liquefaction Evaluation: The Port of Kushiro in Hokkaido, Japan, 2003 Tokachi-Oki Earthquake, July 2024Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 150(10) (2024)

□査読付き国際会議論文:2 編 [2024.4.1～2024.12.31]

・Malino M. Takata, Shinji Sassa, Kanji Takenouchi, Masaki Adachi, Tetsuya Iwaki, Kiyotaka Ono, Chikai Kaneko: The New Compaction Grouting Method with Improved Upheaval Control and Enhanced Liquefaction Countermeasure Effect、Proceedings of the 34th International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE2024)

・Murata K.; Sassa S.; Aida Y.; Ikoma T.: 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(2024)

□和文査読付き論文:16 編

・菅原法城, 竹信正寛, 野津厚, 長坂陽介, 山田雅行, 江口拓生, 佐野新: 臨時の地震観測に基づき評価された設計入力地震動のばらつきに関する推定段階の要因に着目した定量的評価, 日本地震工学論文集, Vol,25, No.5. (2024)

・菅原法城, 竹信正寛, 野津厚, 山田雅行, 長坂陽介: 常時微動観測に基づく評価法等で推定された港湾地域のサイト増幅特性に関する一考察, 土木学会論文集特集号(海洋開発). (2024)

・村田誠, 菅原法城, 野津厚, 竹信正寛, 長坂陽介: 時刻歴波形で与えられる地震外力に対する桟橋杭応力照査の信頼性解析手法に関する基礎的研究, 土木学会論文集特集号(海洋開発). (2024)

・竹信正寛, 宮田正史, 野津厚, 大矢陽介, 小濱英司, 石野芳夫, 志賀守, 蒔苗嘉人: 令和 6 年能登半島

地震の発災直後における係留施設の利用可否判断事例とその課題，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.80，No.18，24-18116．（2024）

・小濱英司，久保博司，小浜優，菅野高弘：タイヤ式門型クレーンの地震時応答に関する模型振動実験，土木学会論文集，2024 年 80 巻 18 号 論文 ID：24-18175．（2024）

・宮田正史，菅原法城，野津厚，長坂陽介，小濱英司，大矢陽介，福永勇介，竹信正寛：港湾地域強震観測から得られる速度 PSI 値を用いた港湾単位での被害有無の概略判定手法，土木学会論文，2024 年 80 巻 18 号 論文 ID：24-18144（2024）

・樽谷早智子，新原雄二，新井崇裕，今井道男，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計測の維持管理への適用検討，土木学会論文集，2024 年 80 巻 18 号 論文 ID：24-18110（2024）

・石坂修，佐々真志：陥没抑止に対する予防保全・再発防止策としてのケーソン目地透過波低減法の有効性，土木学会論文集（2024）

・工代健太，梁順普，佐々真志，和田優希：臨海部の多様な外力下の岩ズリによる海砂の吸い出し・陥没抑止法の研究，土木学会論文集（2024）

・志村浩美，佐々真志，北原政宏，清山貴俊，村上和男：土砂処分場護岸における濁水流出対策としての岩ズリ層の適用性と実用化，土木学会論文集（2024）

・工代健太，佐々真志，梁順普，和田優希：吸い出しによる空洞陥没の二層フィルターを用いた復旧手法の研究，土木学会論文集（2024）

・梁順普，佐々真志，工代健太,和田優希：地中レーダーによる臨海部舗装直下地盤の空洞探知精度に及ぼす舗装の種類・層厚の影響，土木学会論文集（2024）

・八代陸也，越智聖志，宮武誠，内糸直樹，佐々真志，松田達也，牛渡裕二，坪川良太，飯田泰成：高波による護岸擁壁背後法面の陥没型被災における対策工断面形状が及ぼす浸透流動特性，土木学会論文集（2024）

・竹之内寛至，佐々真志，髙田美音マリノ，舟川勲，高田圭太，野口晋平，金子誓：隆起抑制効果と液状化対策効果が向上した新たな CPG 工法の現場実証実験，，土木学会論文集（2024）

・牧野凌弥，宮本順司，佐々真志，辻本剛三：液状化地盤流動による海底構造物への衝撃圧に関する実大応力実験，土木学会論文集（2024）

・菅原法城，村田誠，長坂陽介，山田雅行，竹信正寛，福永勇介，小林怜夏：スペクトルインバージョンの結果を用いた疑似地震動の新たな生成法，土木学会論文集，2025 年 81 巻 15 号 論文 ID：24-15013（2024）

□各種表彰の受賞：5 件

・Hidenori Takahashi, Lidija Zdravković, Aikaterini Tsiampousi, Nobuhito Mori（2024）：Subject prizes, Real world impact, Géotechnique, ICE Publishing award（英国土木学会）

・佐々真志，工代健太，梁順普：土木学会海岸工学論文賞

・工代健太：地盤工学会 第 59 回地盤工学研究発表会優秀論文発表者賞

・大坪正英：地盤工学会 第 59 回地盤工学研究発表会優秀論文発表者賞

・Akihiko KONDO：Best Poster Award, 1st Workshop of Geomechanics Alliance in Asia

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：1 件

・特許（登録）：ドレーン材の打設方法及びそれに使用するドレーン材打設装置（特許第 7498923 号）

□その他

◆港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：3 編

・梁順普，佐々真志，工代健太，和田優希：臨海部舗装直下地盤の吸い出し・空洞形成・陥没過程の実大実験と地中レーダーによる空洞発達の早期評価・同定手法，港空研資料，No.1419，2024 年 09 月

・工代健太，佐々真志，梁順普，和田優希： 吸い出しによる空洞・陥没の復旧及び再発防止対策としてのフィルター層の有効性と敷設方法，港空研資料，No.1418，2024 年 09 月
・長坂陽介・野津厚・福永勇介，港湾地域強震観測年報(2021)，港空研資料，No.1417，2024 年 6 月

◆社会実装(現場や基準等に反映された研究成果等):9 件
・輪島港、飯田港での余震観測、常時微動観測結果に基づく技術的知見が、港湾の復旧設計に適用された。
・本省参事官室主催の港湾施設の利用可否判断 WG(WG 座長:小濱地震防災領域長)に参画し、利用可否判断ガイドライン策定に寄与した(R7d 公開予定)。
・四国地整において、地震で被災した港湾施設の利用可否判断技術について現地訓練を実施した(国総研と共同、R7.1)。
・能登半島の3港湾に港湾施設の利用可否判断支援装置(Berth Surveyor)を導入・設置した(港空研は協力支援)。
・地盤流動に関する知見及び留意に関する成果が基準書の改定に反映された(港湾局、港湾の技術上の基準・同解説(令和 7 年 4 月 1 日付け))。
・海底地盤の液状化の予測・判定におけるコーン貫入抵抗値及びせん断波速度値の活用法に関する成果が基準書の改定に反映された(港湾局、港湾の技術上の基準・同解説(令和 7 年 4 月 1 日付け))。
・高波による海底地盤の液状化とその評価予測法に関する成果が基準書の改定に反映された(港湾局、港湾の技術上の基準・同解説(令和 7 年 4 月 1 日付け))。
・洋上風力発電施設等の基礎構造物の波による液状化対策とその対策範囲の設定法に関する成果が基準書の改定に反映された(港湾局、港湾の技術上の基準・同解説(令和 7 年 4 月 1 日付け))。
・ブルーインフラの整備・維持管理に関わる干潟・砂浜の多様な生物相及び地形安定性を実現するための評価・設計指針の知見に関する成果が基準書の改定に反映された(港湾局、港湾の技術上の基準・同解説(令和 7 年 4 月 1 日付け))。

◆学会発表、講演等:36 件
・野津厚:2024 年能登半島地震の被害から見えてきた港湾における地震災害対策の課題，CDIT,No.61. (2024)
・野津厚: 経験的グリーン関数を用いた波形インバージョンにより推定された 2024 年能登半島地震の震源断層の破壊過程，日本地震学会秋季大会，S22-10. (2024)
・野津厚: 2024 年能登半島地震による飯田港の地震動の事後推定，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東). (2024)
・野津厚: 2024 年能登半島地震の断層近傍の強震記録に基づくレベル 2 地震動の検証，土木学会第 79 回年次学術講演会講演概要集. (2024)
・Nozu, A.: Future of ISO23469: Seismic actions for designing geotechnical works, Proceedings of the 8th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, SS-2-06. (2024)
・長坂陽介: JpGU2024, JpGU, 幕張メッセ, Aftershock observation and site amplification factors at the port area of Wajima and Suzu city. (2024.5)
・長坂陽介: 建築学会年次講演会，日本建築学会，東京，令和 6 年能登半島地震で被害を受けた輪島市と珠洲市の港湾地域における臨時地震観測によるサイト増幅特性の推定 (2024.8)
・長坂陽介: 土木学会全国大会，土木学会，輪島港と飯田公における臨時地震観測によるサイト増幅特性の推定 (2024.9)
・長坂陽介: 地震学会秋季大会，地震学会，修正経験的グリーン関数法を用いた 2024 年能登半島地震の特性化震源モデル (2024.10)
・菅原法城，野津厚，長坂陽介，福永勇介: 修正経験的グリーン関数法による強震動予測結果の位相

波選択に起因する変動，日本地震学会 2024 年度秋季大会予稿集 （2024）

・岩城徹也，佐々真志，舟川勲，竹之内寛至，大野喜代孝：CPG 工法への低炭素型材料の適用性について－円筒形土槽実験の結果－，第 59 回地盤工学研究発表会，地盤工学会 （2024）

・高田美音マリノ，佐々真志，足立雅樹，高田圭太，野口晋平，金子誓：CPG 工法への低炭素型材料の適用性について－角型土槽実験の結果－，第 59 回地盤工学研究発表会，地盤工学会 （2024）

・小堀諒士，佐々真志，高田美音マリノ，高田圭太，野口晋平，金子誓：CPG 工法への低炭素型材料の適用性について－せん断土槽実験の結果－，第 59 回地盤工学研究発表会，地盤工学会 （2024）

・牧野凌弥，宮本順司，佐々真志：液状化地盤流動の海底構造物への作用に関する遠心力場水中重力流実験，第 59 回地盤工学研究発表会，地盤工学会 （2024）

・竹之内寛至，佐々真志，足立雅樹，岩城徹也，大野喜代孝：隆起抑制効果と液状化対策効果が向上した新たな CPG 工法の現場実証実験－現場実証実験概要－，土木学会 第 79 回年次学術講演会 （2024）

・高田圭太，佐々真志，小堀諒士，竹之内寛至，大野喜代孝，金子誓：隆起抑制効果と液状化対策効果が向上した新たな CPG 工法の現場実証実験－隆起抑制効果－，土木学会 第 79 回年次学術講演会 （2024）

・野口晋平，佐々真志，舟川勲，高田美音マリノ，高田圭太，金子誓：隆起抑制効果と液状化対策効果が向上した新たな CPG 工法の現場実証実験－液状化対策効果及びモルタル固結体の出来形－，土木学会 第 79 回年次学術講演会 （2024）

・上野一彦，Prissillia P.O.，田代聡一，浅田英幸，佐々真志：人工排水材を用いたボイリング被害抑止工法－設計チャート編－，土木学会 第 79 回年次学術講演会 （2024）

・田代聡一，浅田英幸，上野一彦，片平遥平，佐々真志：人工排水材を用いたボイリング被害抑止工法－有効応力解析編－，土木学会 第 79 回年次学術講演会 （2024）

・浅田英幸，田代聡一，上野一彦，片平遥平，佐々真志：人工排水材を用いたボイリング被害抑止工法－設計フロー・施工編－，土木学会 第 79 回年次学術講演会 （2024）

・工代 健太：吸い出しによる空洞陥没のフィルター材を用いた復旧手法の検討，第 59 回地盤工学研究発表会，地盤工学会 （2024）

・梁順普：地中レーダー探査手法による舗装直下地盤の空洞探知精度に及ぼす舗装の種類・層厚の影響，第 59 回地盤工学研究発表会，地盤工学会 （2024）

・工代健太：吸い出しによる空洞陥没の二層フィルターを用いた復旧及び再発防止対策について，令和 6 年度国土交通省 国土技術研究会 （2024）

・和田優希：臨海部の多様な外力下の岩ズリによる海砂の吸い出し・陥没抑止法の性能検証，第 59 回地盤工学研究発表会，地盤工学会 （2024）

・宮本順司，佐々真志：気候変動に伴う波高増大による日本周辺の波による液状化危険度の変化，土木学会 第 79 回年次学術講演会 （2024）

・Akihiko KONDO：Visualization of load transmission using mechanoluminescent-coated particles and its application for dynamic problem, 1st Workshop of Geomechanics Alliance in Asia （2025）

・Kazuki Murata, Shinji Sassa, Yasuhiro Aida, Tomoki Ikoma：Numerical simulation of the flow impact due to submarine landslide exerting on offshore wind turbines with a monopile type foundation、Abstracts of the 37th International Geological Congress. （IGC2024 口頭発表あり）

・Shinji Sassa：Submarine Geohazards Resistant Design Concept for Anchors and Cables of Floating Offshore Wind, ″Abstracts of the 37th International Geological Congress IGC2024-基調講演″

・Junji Miyamoto, Shinji Sassa：Wave-Induced Liquefaction and the Stability of Offshore Structures in Seabed Soils in a Drum Centrifuge, Abstracts of the 37th International Geological Congress. （IGC2024 口頭発表あり）

・Shinji Sassa, Soonbo Yang：Geoenvironmental dynamics-benthic species distribution modelling for

sandy beaches and sandflats based on the ecohabitat chart and saturated-unsaturated seepage analysis, Abstracts of the 9th International Sandy Beaches Symposium. (ISBS2024 口頭発表あり)

・Shinji Sassa: Collapse disasters at/around natural and artificial sandy beaches with mitigation measures, "Abstracts of the 9th International Sandy Beaches Symposium ISBS2024-基調講演"

・A. Mohri, E. Kohama, A. Yasuhara, T. Nakamura, M. Fukazawa, Y. Kawai, W. Igarashi, Y. Takahashi, S. Kobayashi, M. Tokoro, D. Suzuki: Study on Seismic Reinforcement of Coastal Protection Facilities with High Stiffness Sheet Pile Walls, 18th World Conference on Earthquake Engineering. (2024.6 口頭発表あり)

・E. Kohama, H. Kubo, Y. Kohama, T. Sugano: Model Shake Table Test on Seismic Deformation Behavior of Rubber Tired Gantry Crane, 18th World Conference on Earthquake Engineering. (2024.6 口頭発表あり)

・Nozu, A.: A Novel procedure to estimate base outcrop motions in time domain based on vertical array records, Proceedings of the 18th World Conference on Earthquake Engineering. (2024 口頭発表あり)

・Shoichi Tsukuni, Hidenori Takahashi, Kazuhiro Kaneda, Masayuki Imai, Yousuke Ohya, Eiji Kohama, Ooki Kurihara: Study of grid-wall soil improvements using a quasi-3D analysis method, Proceedings of the International Conference on Deep Mixing. (2024 口頭発表あり)

・Masahide Otsubo: Protection of river levees from earthquake induced lateral flow by cement mixing. (2024 口頭発表あり)

◆その他の国際連携活動(研究協力協定締結以外の国際活動):5 件

・国際航路協会 PIANC MarCom WG225 において、強震観測記録の耐震設計への活用方策について議論を行った。

・洋上風力への沿岸・海底ジオハザード影響評価に関する会合に参画し、アジア太平洋・欧・米連携体制(22か国)を構築し、運営面でリーダーシップを発揮した。

・2024 年第 37 回万国地質学会議において、海底ジオハザードと洋上風力に関するセッションを運営するとともに基調講演を行った。

・アメリカ・ヨーロッパ・アジア・オセアニア横断の国際地盤工学会技術委員会 Scour and Erosion (洗掘・侵食) の委員長を務め、委員会を運営した。

・国連海洋科学の持続可能な開発計画と国際海浜会議組織委員会の共催による 第 9 回国際海浜会議(ISBS2024)に参画し、自然・人工海浜の陥没災害と対策に関する基調講演を行った。

重　点　分　野	(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 －代表港湾において津波を機動的に予測するための随伴型データベースの作成を開始するほか、気候変動を考慮するためのデータベース d4PDF(地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース)を用いて高潮推算を実施する。 －数値設計による数値設計を推進するため、粒子法による数値計算の高速化のための混合粒径粒子の計算法の開発を行う。また、2 次元断面の数値計算のための消波ブロックのモデル化を行う。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 6 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

・随伴型データベースを利用した津波の初期水位分布推定法を高度化するとともに、この機動性を確保するために必要な日本全国高解像度地形データベースを整備する。

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

・アンサンブル気候予測データベース（d4PDF）の台風のバイアス補正のため、機械学習を活用した台風中心近傍の気象場の高精度・高解像度化手法について検討する。

（2）港湾・海岸施設の災害対策技術に関する研究

①海面上昇と波高増大が外郭施設に及ぼす影響に関する研究

・捨石置換工法等による吸出し防止効果やグリーンインフラによる堆砂効果、および桟橋に作用する波の入射角による波力の低減効果について実験的に検討する。

②数値波動水槽と水理実験を併用した設計法の導入

・消波ブロック間隙の幾何特性を踏まえた流れ場の解析や粒子法による壁面モデルの構築、及び気液混相流モデルの開発などを通じ、数値計算技術の設計への導入を図る。

③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モデル岸壁での越波流量、波力の算定精度を平面模型実験により確認するとともに、これらを用いて港内での算定が困難な換算沖波波高を逆推定することの妥当性を検証する。

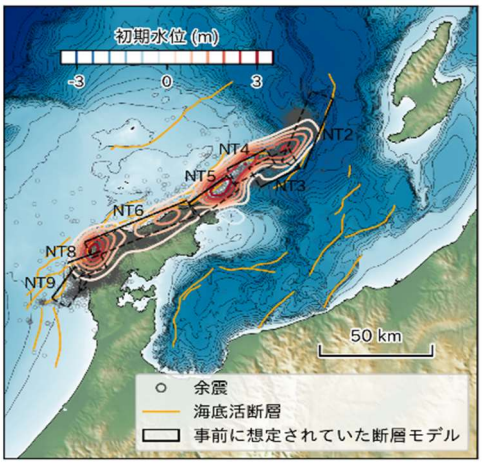
令和 6 年度の研究成果

（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

・2024 年能登半島地震津波の沖合波形と陸上の痕跡高の両方を精度よく再現する初期波源モデルを提示し、被災メカニズムの解明に寄与した（図Ⅰ.3.(1).②.1）。

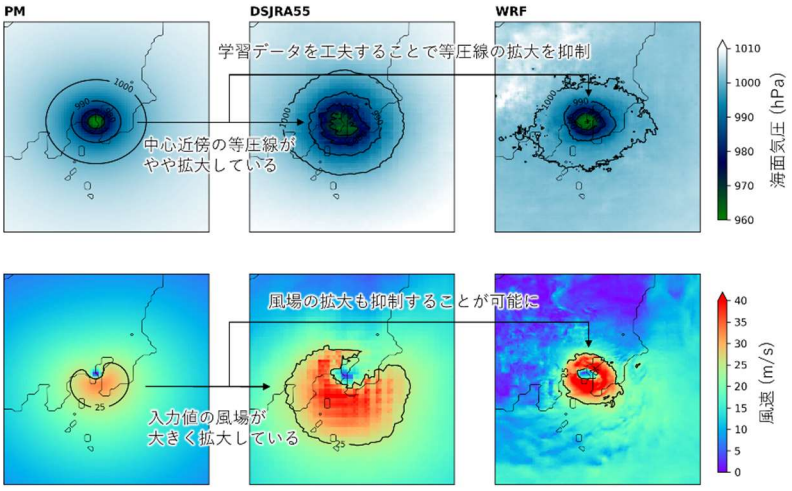
・災害発生時の技術支援が期待される高精度遠地津波計算アジョイントモデルを公開するとともに、日本全国を網羅した10mの高解像度地形データベースを整備した。



図Ⅰ.3.(1).②.1 2024 年能登半島地震津波の初期水位分布の推定結果

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

・領域気象モデル WRF を活用して、小ぶりで勢力の強い理想台風を力学的に多数生成する技術を開発した。また、本手法によって高解像度の学習データを生成し、敵対的生成ネットワークによる気象場の変換学習に適用することで、既往の台風モデルの補正手法を高度化した（図Ⅰ.3.(1).②.2）。



図Ⅰ.3.(1).②.2　台風 1915 号の気象場の補正結果

左図：補正前、中央図：補正後（既往）、右図：補正後（提案）

（2）港湾・海岸施設の災害対策技術に関する研究

①海面上昇と波高増大が外郭施設に及ぼす影響に関する研究

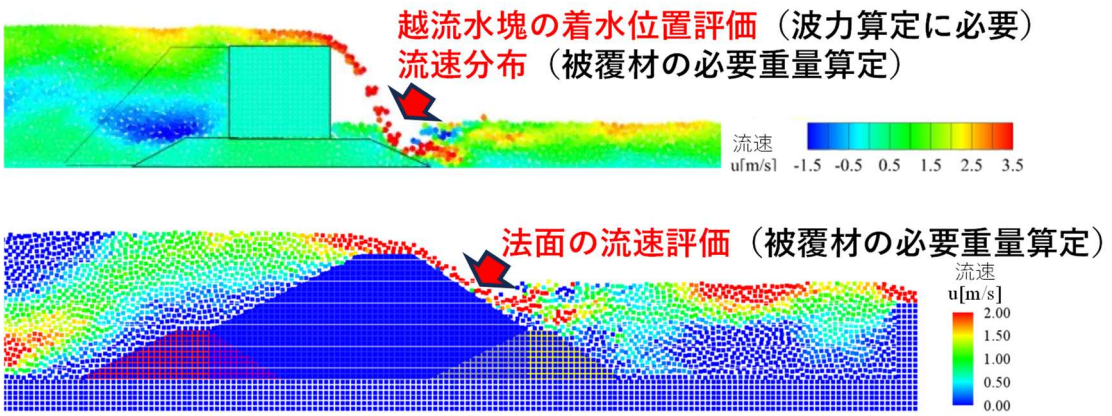
・フィルター材としての捨石に岩ズリを用いることで置換による吸出し抑制効果が発揮されることを明らかにした（図Ⅰ.3.(1).②.3）。

・海面上昇に対してマングローブ林による堆砂効果が期待されること、および入射角の僅かな変化により桟橋に作用する揚圧力が急減することを明らかにした。

図Ⅰ.3.(1).②.3　新たな吸出し防止工（捨石置換工法）の実験例

②数値波動水槽と水理実験を併用した設計法の導入

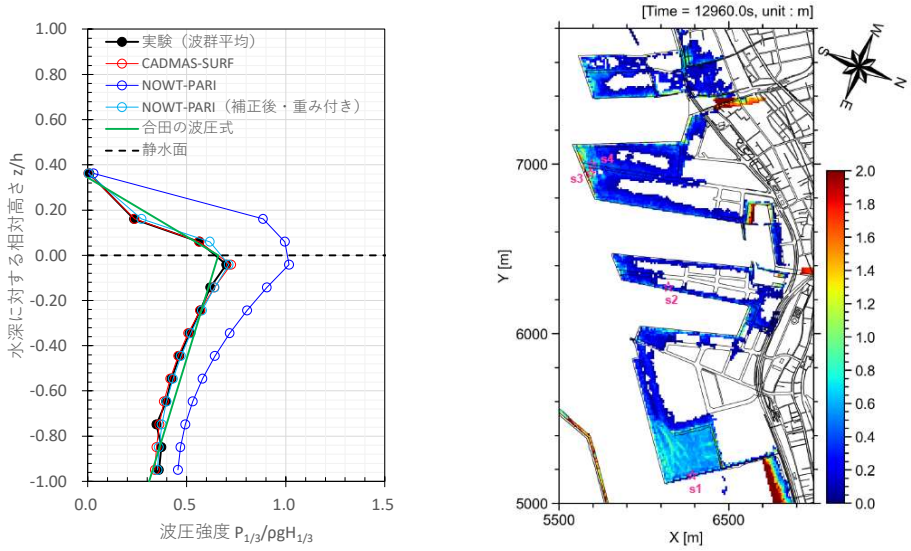
・飯田港防波堤やフィリピン・マニラの海岸堤防における津波越流解析、別府港海岸護岸や喜界島港防波堤への波力算定、高知港防波堤の洗堀解析に CADMAS-SURF や PARISPHERE（粒子法）を適用し、国内外の技術支援を実施した（図Ⅰ.3.(1).②.4）。また、消波ブロック間隙に波圧計を設置し水面形を実験的に可視化する一方、従来から 100 倍程度粗い時間刻みで、より高精度な計算が可能な気液混相流モデルを開発した。



図Ⅰ.3.(1).②.4 PARISPHERE による能登半島地震津波の飯田港の越流再現
上図：消波ブロック被覆堤を示す。 下図：傾斜堤を示す。

③港内施設の設計波浪外力の算定法に関する研究

・理論上取り扱えない非線形波力をブシネスクモデルで算定するための補正係数式を提案・導入するとともに、平面模型実験とその再現計算により計測・算定された岸壁上の越波流量または波力から、浸水対策施設の設計実務への活用が期待される換算沖波波高を逆推定することの適用性を明らかにした（図Ⅰ.3.(1).②.5）。



図Ⅰ.3.(1).②.5 ブシネスクモデルによる算定結果

左図：非線形波圧分布を示す。NOWT-PARI による波力の算定結果（青色）に非線形効果の補正係数を乗じることで（水色）、実験結果（黒・灰色）、合田波圧式（緑色）、CADMAS-SURF 算定結果（赤色）と同様な波圧分布を得ることができる。

右図：岸壁上の越波浸水状況を示す。NOWT-PARI による岸壁上の越波浸水状況の再現結果。これらの浸水対策として岸壁上に設置する胸壁の設計では、その最適な高さや幅を検討するために必要となる換算沖波波高を、越波流量や波力の算定結果から逆推定する。

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載論文：1 編 [2024.1.1～2024.12.31]

・Takagawa, T., Allgeyer, S. & Cummins, P. : Adjoint synthesis for trans-oceanic tsunami waveforms and simultaneous inversion of fault geometry and slip distribution. Journal of Geophysical Research, [Solid Earth], 129(6). (2024) [https://doi.org/10.1029/2024jb028750]

□和文査読付き論文：8 編

・鈴木樹，鈴木高二朗：マングローブ林及び周辺地形を対象とした RTK-UAV による写真測量，土木学会論文集特集号（海洋開発），80 巻，18 号，24-18056 （2024）

・鈴木高二朗，千田優，鶴田修己，藤木峻，里村大樹，中澤祐飛，高川智博，野津厚，宮田正史，山川匠，伴孝宏，志賀守，中川康之：能登半島地震津波による飯田港等での港湾施設の被害について，土木学会論文集特集号（海岸工学），80 巻，17 号，24-17091 （2024）

・中澤祐飛，山縣史朗，鈴木高二朗：桟橋に作用する斜め入射時の揚圧力の新たな設計法に関する基礎的研究，土木学会論文集特集号（海岸工学），80 巻，17 号，24-17199 （2024）

・小林千紘，鈴木高二朗：海面上昇による護岸の越波流量の増加について，土木学会論文集特集号（海洋開発），80 巻，18 号，24-18172 （2024）

・後藤崇文，鶴田修己，山中駿，Khayyer Abbas，後藤仁志：数値波動水槽における消波護岸越波のための簡易なブロック領域モデルの提案，土木学会論文集特集号（海岸工学），80 巻，17 号，24-17181 （2024）

・平山克也，平井翔太，濱野有貴：ブシネスクモデルにより算定される波圧の鉛直分布に関する考察，土木学会論文集，Vol.80，No.18，24-18155 （2024）

・濱野有貴，平山克也：換算沖波波高を越波流量や波力から逆推定する試みについて，土木学会論文集，Vol.80，No.17，24-17200 （2024）

・鈴木樹，平山克也，田中大介，江川祐輔，大家隆行：閉鎖性水域に面する空港島護岸における越波流量の推定に関する一考察，土木学会論文集，Vol.80，No.17，24-17186 （2024）

□国際連携活動：1 件

・第 10 回日韓沿岸技術研究ワークショップに参加し、研究内容や実績を 2 件紹介した。

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件

・特許（出願）：水中構造物の洗掘防止工法及び洗掘防止ユニット（特願 2024-124274）

・特許（登録）：潜堤構造物（特許第 7557685 号）

□その他

◆港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：2 編

・髙川智博，Sébastien Allgeyer，Phil Cummins ：アジョイント津波波形合成および断層幾何とすべり分布の同時インバージョン手法の開発，Vol.63，No.3 （2024）

・岩本匠夢，髙川智博，柴山知也，Esteban, M. & Mäll, M. ：傾度風平衡に基づく台風気象場の補正方法の提案，Vol.63，No.2 （2024）

◆社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：1 件

・水理公式集例題集のうち波浪や潮位，津波などに関する 8 つの例題を分担執筆した（土木学会水工学委員会、水理公式集例題集 （2024.12））

◆学会発表、講演等：16 件

・髙川智博，Sébastien Allgeyer，Phil Cummins：アジョイント津波波形合成および断層幾何とすべり分布の同時インバージョン手法の開発，日本地震学会 2024 年度秋季大会 （2024）

・髙川智博，千田優，藤木峻，川口浩二：アジョイント合成を用いた 2024 年能登半島地震津波の波源解析，第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・千田優，鈴木高二朗，髙川智博，鶴田修己：3 次元非静水圧モデルを用いた飯田港における 2024 年能登半島地震津波の解析，第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・髙川智博, Sébastien Allgeyer, Phil Cummins：アジョイント津波波形合成および断層幾何とすべり分布の同時インバージョン手法の開発，第 14 回巨大津波災害共同研究会 （2024）
・岩本匠夢，髙川智博，柴山知也：外洋の密度成層が内湾の高潮に与える影響についての数値的検討，第 71 回海岸工学講演会 （2024）
・Iwamoto, T., T. Takagawa, and T. Fujiki：Influence of Typhoon Moving Speed on Maximum Storm Surge Height in a Bay Facing the Open Ocean, 38th International Conference on Coastal Engineering, Rome, Italy. （2024）
・岩本匠夢：令和元年房総半島台風により東京湾で発生した高潮の時空間解析，第 10 回日韓沿岸技術研究ワークショップ （2024）
・岩本匠夢：高精度な台風気象場を用いた高潮の詳細解析，早稲田大学 （2024）
・Yamagata, S., K. Suzuki, N. Tsuruta, Y. Nakazawa, N. Nishinosono and T. Yamaguchi：Study on Earth Pressure Influence of Inner Core Rubble in Front of Caisson of Breakwater under Tsunamis, 38th International Conference on Coastal Engineering, Rome, Italy. （2024）
・Suzuki, T. and K. Suzuki：Countermeasures against sea level rise using Seawall with Multiple wave Overtopping measures (SMO), 38th International Conference on Coastal Engineering, Rome, Italy. （2024）
・Tsuruta, N., Dongfang Liang, Abbas Khayyer, Hitoshi Gotoh：Lagrangian multi-resolution technique for ISPH, proceedings of International workshop SPHERIC 2024, Berlin, Germany. （2024）
・鶴田修己，後藤崇文，山中駿，Abbas Khayyer，後藤仁志：乱積み消波ブロックの 3 次元間隙構造の解析，第 71 回海岸工学講演会 （2024）
・鶴田修己，千田優，鈴木高二朗：能登半島地震での津波越流による副次的な港内段波の発生過程に関する検討，第 71 回海岸工学講演会 （2024）
・平山克也：高潮・高波による岸壁越波浸水現象に関する研究，Global Port Report, News Letter, Vol.48, 韓国港湾協会 （2024）
・本多和彦，成田裕也，岡本侃大，百海郁弥，平山克也，髙川智博，森 信人：3 大湾内の港湾における高潮・波浪への気候変動の影響評価，国土技術政策総合研究所資料，No.1266，132p （2024）
・平山克也，横瀬介人，濱野有貴：湾内で与える確率沖波のスペクトル形状が施設への作用波に及ぼす影響に関する一考察，第 71 回海岸工学講演会 （2024）

◆その他の国際連携活動（研究協力協定締結以外の国際活動）：5 件
・国際航路協会 PIANC WG239 にて、港湾における津波災害の低減に関するレポートの執筆に参画した。
・国際航路協会 PIANC YPCom に参加し、港湾に関連した若手技術者との交流を深めた。
・インドネシア（SATREPS）において、グリーンインフラのガイドライン案の検討に参画し、現地研究機関との共同実験を実施した。
・フィリピン公共事業道路省から実習生を受け入れ、数値波動水路 CADMAS-SURF/3D の使用方法を指導した。
・エジンバラ大学にて沿岸巨大波の共同実験を実施した。

重　点　分　野	(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、異なる入力データでの検討を進めるとともに、逆流ネットワークによる海面上昇に伴う地形影響の抽出を検討する。 －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では、環境 DNA に関して、魚類多様性を比較解析できるための参照データベースを構築するとともに、遺伝的多様性を診断できる指数を開発する。等

研　究　の　背　景

沿岸・海洋環境の「形成」に関しては、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土砂輸送や地形変化の予測計算の大幅な向上が必要不可欠である。また、沿岸・海洋環境の「保全」においては、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」に関しては、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 年末の「ブルーインフラ」標準化への打ち出しへの対応が求められており、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 6 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

・全国の任意の海岸において、汀線の将来予測を可能にする取り組みであり、ディープニューラルネットワークを用いた地形予測モデルを構築し、海面上昇に対する地形応答をシミュレーションすることで既存の海面上昇推定式（Bruun 則）と比較する。

・上記の検討の中で使用したディープニューラルネットワークによる汀線変動予測モデルを、衛星画像から抽出されたオーストラリアの海岸における汀線変化に適用し、従来の経験的モデル（平衡型汀線変動モデル）による予測精度と比較する。

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を継続して実施する。

・固定設置型レーザ測距装置(LiDAR)による地形変化モニタリング技術に関して検討する。

・海岸構造物周辺の地形変化シミュレーション手法を検討し、海面上昇の影響に関する計算を実施する。

・現地データにもとづく土砂フロックの粒子特性や沈降速度に関する検討を行い、フロック形成モデルの土砂輸送シミュレーションへの導入を検討する。

・泥水密度を考慮した可航水深の設定に関する検討を実施する。

（2）沿岸・海洋環境の保全に関する研究

①油等海洋流出物の改修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を提案し、油回収模型実験で回収性能を評価する。

・重油回収システムの実験により、重油のエマルション化（乳化）による流動促進化と回収技術を開発する。

②水環境生態系モデルの運用手法の標準化

・過年度に開発した流動生態系シミュレーションシステム（通称 EcoPARI）の社会実装を目的とし、シミュレーション結果の図作成などの後処理について、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ポスト処理ユーザーインターフェースを開発する。

・昨年度より引き続き、シミュレーション結果の検証に用いる観測データベースを整備する。

（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

・港湾域の生物多様性評価軸を構築するための環境 DNA のデータベースの充実化を進めるとともに、生物モニタリング手法を構築する事を目標とした環境 DNA の動態解析を実施する。

・海草の移植の評価軸の構築を目標とした遺伝構造と流動に基づく瀬戸内海のアマモのつながりの解析を実施する。

②湾口における大気・海洋環境モニタリングと解析

・外洋水の東京湾への影響を解明する事を目指した海洋モニタリングのデータ取得と、沿岸の人の健康のモニタリングを可能とする事を目標とした船舶から排出されるガスの見える化技術を開発する。

令和 6 年度の研究成果

（1）沿岸・海洋環境の形成に関する研究

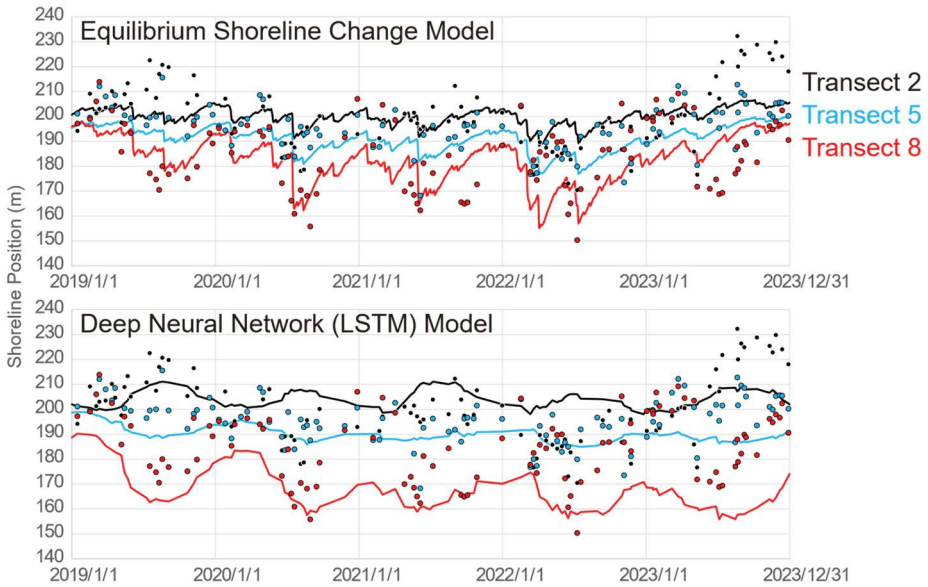
①沿岸域ビッグデータの活用による海面上昇に伴う海浜地形応答プロセスの検討

・全国の任意の海岸において、汀線の将来予測を可能にする取り組みであり、幾何的な従来の海面上昇推定式に対して、ディープニューラルネットワーク(DNN)を用いた海浜地形の予測モデルを構築した。

・このモデルの予測精度を検証するために、従来の海面上昇推定式とで汀線予測を比較した。この結果、DNN モデルの予測精度は、短期間に生じる汀線変動の再現性は劣るものの、長期の汀線変動や土砂輸送プロセスに連動した汀線変動は、より現象に忠実な再現性を示唆し、優位性が得られた（図Ⅰ.3.(2).①.1）。今後、予測精度の改善を進める。

・海浜地形断面変化への DNN 適用は学術的に未経験であり、モデルを構築して予測精度を評価し、国際ワークショップで議論したことは科学的意義があった。

・全国の任意の海岸において、衛星画像による汀線モニタリングと将来の汀線予測を可能にするデータベースの構築に向けた取り組みであり、港湾整備等に伴う周辺海岸への影響評価や海岸管理、モニタリングの省力化への寄与が見込まれる。



図Ⅰ.3.(2).①.1　地形変化予測モデルの予測性能評価

上図：経験的モデルによる予測結果を示す。

下図：ディープニューラルネットワークによる予測結果を示す。

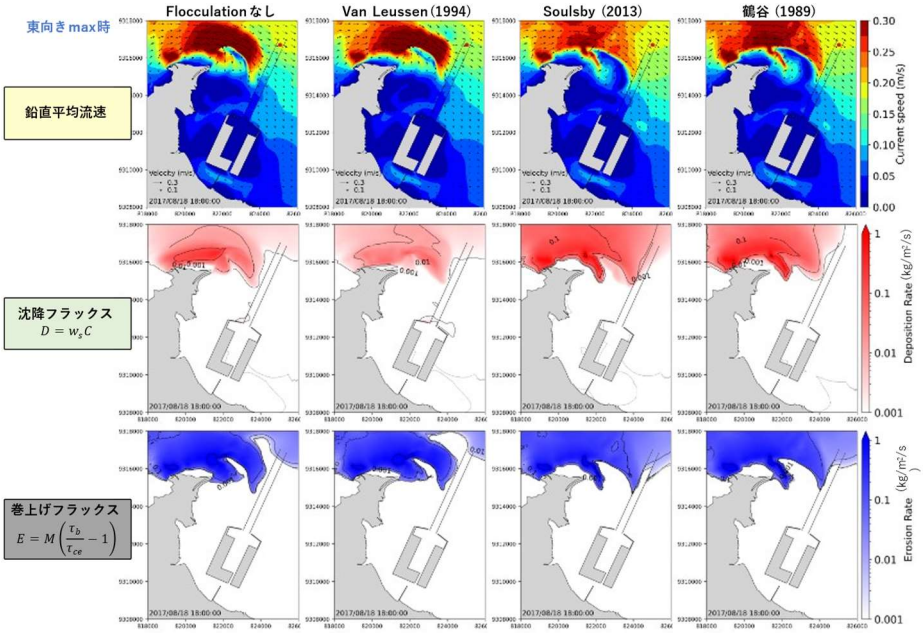
・オーストラリアの海岸における汀線位置の時系列データであり、3つの測線のデータを 3 色で示しており、シミュレーション結果を実線、衛星による推定値をポイントで示す。

・ニューラルネットワークよりも従来の経験的モデルのほうが細かい汀線変動を再現できていることが分かるが、ニューラルネットワークも変動の傾向は捉えており、今後の改善によって精度向上が期待できる。

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の継続により、近年の前浜の堆積傾向に関するデータが取得され、数年スケールの堆積メカニズムの解明のための基礎データが収集された。

・パティンバン港（インドネシア）やマタバリ港（バングラデシュ）などの実港湾を対象とした底泥輸送シミュレーションを軸に、フロック形成過程や河川からの大規模土砂供給などのプロセスに関する検討を進め、港湾の埋没対策において実用的なシミュレーション技術としての確立に向けての進展があった（図Ⅰ.3.(2).①.2）。



図Ⅰ.3.(2).①.2　フロック形成における導入式の違いによるシミュレーション結果の違い（パティンバン港）

・土粒子のフロック形成（凝集化）をシミュレーション上で考慮している。過去に提案された複数のフロック形成に関する式を用いた場合の計算結果の差異を確認しており、式によって土砂の堆積を表す沈降フラックスや侵食を表す巻き上げフラックスに違いが見られ、フロック形成を精緻に考慮することの重要性を示唆している。

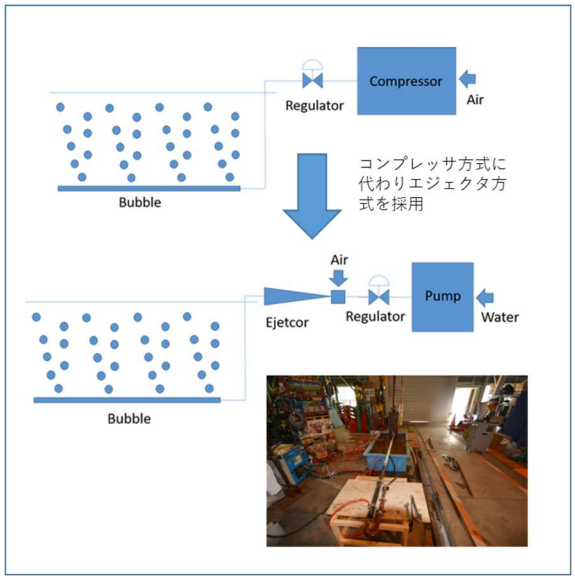
（2）沿岸・海洋環境の保全に関する研究

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

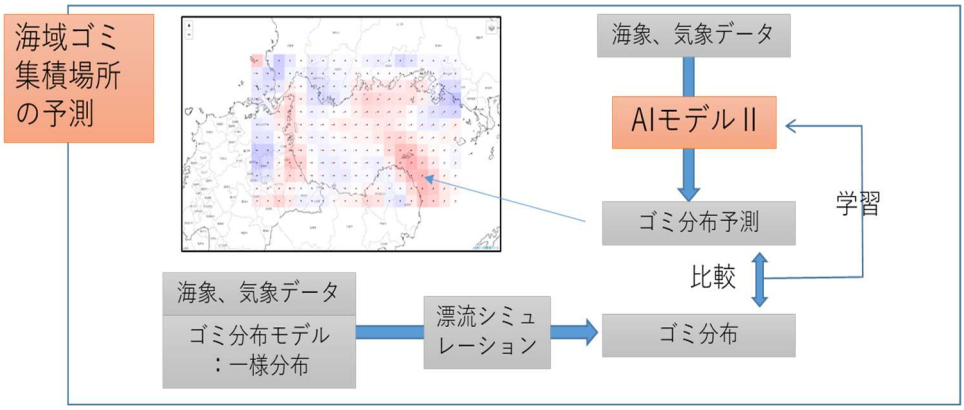
・沈船からの油の抜き取り作業を対象に、O/W(Oil in Water、油滴が水の中にある状態)エマルション化（乳化）による流動促進技術に関して、海上技術安全研究所との分野横断研究を実施した（図Ⅰ.3.(2).①.3）。

・海面浮遊物（油、固形粒子）の回収除去における革新的技術の研究開発を推進し、米国特許を取得するとともに、社会実装に向け地方整備局に対する働きかけを行った。

・環境整備船（ゴミ回収船）の担務海域における漂流ゴミ改修業務の高度化に資する技術として、過去のごみ改修実績を機械学習することで、気象・解消条件から漂流ゴミの量と場所を予測するAIシステムの開発を実施した（図Ⅰ.3.(2).①.4）。



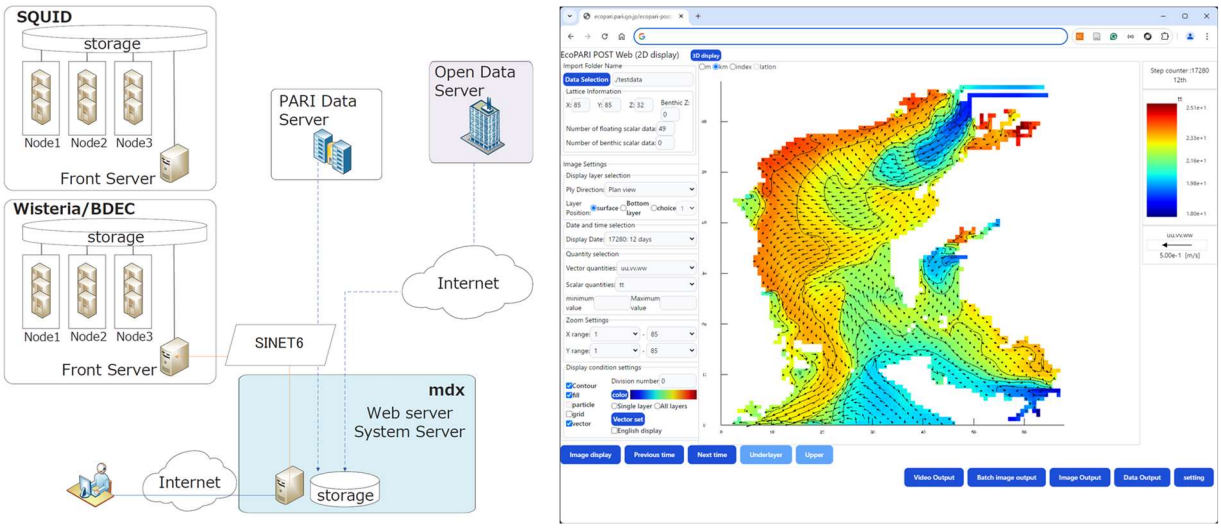
図Ⅰ.3.(2).①.3 エジェクタを用いたバブル発生装置に関する実験



図Ⅰ.3.(2).①.4 海域ゴミ集積場所予測モデルの概要

②水環境生態系モデルの運用手法の標準化

・流動生態系シミュレーション(通称 EcoPARI)実施の準備、実行、後処理が容易にできる基本システムが完成した(図Ⅰ.3.(2).①.5)。また地方整備局が実施しているモニタリングポストのデータベース化を行った。これにより、シミュレーション精度の検証が容易となった。



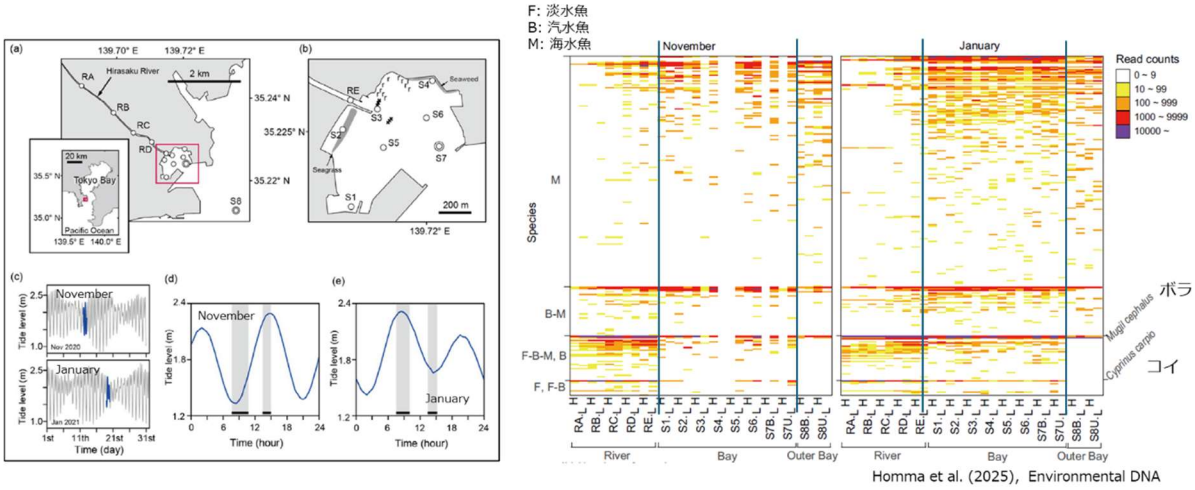
a)サーバー上での運用概念図　　b)初学者向けインターフェイス事例

図Ⅰ.3.(2).①.5 水環境生態系モデルのシステム

（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

・沿岸域における環境 DNA の詳細な動態を世界で初めて示した（図Ⅰ.3.(2).①.6）。この成果は、環境 DNA を使った沿岸域魚類の多様性モニタリング手法の開発に活かすことができる。さらに、瀬戸内海のアマモの遺伝構造が流動によって強く支配されている事を示しており、この成果は、アマモの進化的重要単位に基づく移植可能範囲の策定等に活かすことが可能である。



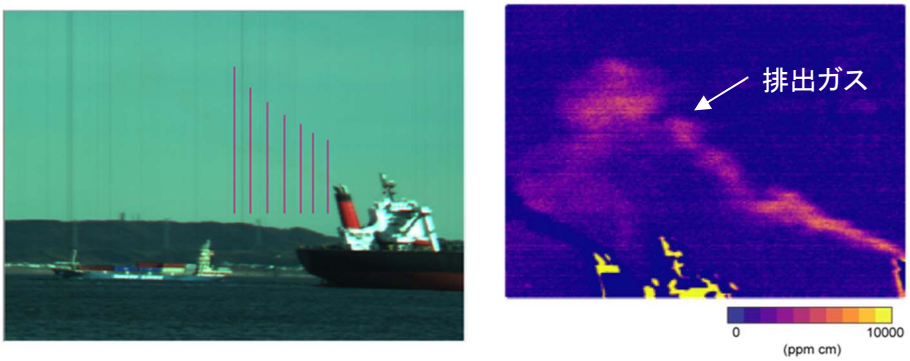
図Ⅰ.3.(2).①.6 沿岸域における環境 DNA の空間分布と動態

・左図：環境 DNA の調査地点と調査時間帯（潮位）を示し、右図は調査地点における環境 DNA の相対的な濃度を示す（11月と1月）。

・右図：それぞれのパネルの中で、左方向が川、右方向が外洋側の地点を示しており、淡水系の魚（F）ほど左側で、海水系の魚（M）ほど右側で環境 DNA 相対濃度が高くなっていることがわかる。縦方向に種を並べており、F は淡水魚、B は汽水魚，M は海水魚である。

②湾口における大気・海洋環境モニタリングと解析

・東京湾口の海洋観測データの取得を進めた。さらに、船舶から排出される NO_2 カラム濃度の見える化技術を開発した（図Ⅰ.3.(2).①.7）。この成果は、港湾域における新しい大気モニタリング技術となる可能性がある。



a)RGB 画像　　b）見える化技術による排出ガスの画像

図Ⅰ.3.(2).①.7 船舶から排出されるガスの見える化画像

・カメラ：ハイパースペクトルカメラ（NH-3，エバジャパン社製）を使用。

・撮影距離：およそ 5km先を航行する船舶を撮影。

・a）：ハイパースペクトルイメージから抽出したRGB画像を示す

・b）：NO_2 カラム濃度に基づいて排出ガスを抽出した見える化技術の画像を示す。

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載論文 7 編［2024.4.1～2024.12.31］

・Nguyen, H. Q., Banno, M., Thang, H. N. : Satellite derived bathymetry using empirical and machine learning approaches: a case study in the highly dynamic coastal water, Coastal Engineering Journal, 1-20. (2024)

・Thilakarathne, S., Suzuki, T., Mäll, M., Banno, M. : Identifying key morphometrics to post-storm beach recovery through explainable AI, Scientific Reports, 14, 14261. (2024)

・Hayuningsih, A. F., Suzuki, T., Mäll, M., Banno, M., Higa, H. : Investigating Mega-Cusp Shape Extraction through Aerial Photos and Object Detection Algorithms, Journal of Japan Society of Civil Engineers, 12(2), 24-17162. (2024)

・Matsumoto, H., Nakayama, K. : Quantification of mixing depth using the gradient Richardson number in submerged aquatic vegetation meadows. Water Resources Research, 60(8), e2023WR036472. (2024)

・Inoue, T., Asai, K., Morisawa, T., Tamaue, K. : New method for extracting microplastics from sediments using a hydrocyclone and sieve. Results in Engineering, 24, 103232. (2024)

・Matsuzaki, Y., Inoue, T., Kubota, M., Matsumoto, H., Sato, T., Sakamoto, H., Naito, D. : Web application of an integrated simulation for aquatic environment assessment in coastal and estuarine areas. Environmental Modelling and Software, 181, 106184. (2024)

・Inoue, T., Takafushi, T. : Experimental study on harmful effects of zero-valent Iron on Paraprionospio patiens. Marine Pollution Bulletin, 208, 116943. (2024)

□和文査読付き論文:9 編

・内藤了二, 小川竜平, 井上徹教, 管原庄吾, 秋山吉寛, 久米智久, 岡田知也: 深ぼれ跡地への埋め戻し材として有効利用された浚渫土砂中の有機炭素の残存率. 土木学会論文集(B3 海洋開発), 80(18), 18179. (2024)

・内藤了二, 萩野裕基, 管原庄吾, 井上徹教, 高伏剛, 秋山吉寛, 岡田知也: 浚渫土砂を活用した造成干潟における炭素貯留効果とメタン生成に関する調査, 土木学会論文集(B2 海岸工学), 80(17), 17259. (2024)

・松村啓太, 中山恵介, 松本海太, 新谷哲也, 松本大輝: 分岐を考慮した Submerged Aquatic Vegetation model の構築, 土木学会論文集, 80. 17: 24-17107. (2024)

・小硲大地, 中川康之, 佐藤由浩, 山形創一: 河口港における河川流下土砂の水中粒子特性に関する現地観測, 土木学会論文集, 80 巻, 17 号, 24-17121. (2024)

・大河原知也, 鈴木崇之, 林知希, 伴野雅之, 比嘉紘士: 波打ち帯における土壌水分量と地形変化の相互作用に関する検討, 土木学会論文集, 80 巻, 17 号, 24-17122. (2024)

・西浦友教, 鈴木崇之, 菊本統, 松村聡, 伴野雅之, 比嘉紘士: X 線 CT 装置を用いた砂層間隙率動的計測の試み, 土木学会論文集, 80 巻, 17 号, 24-14175. (2024)

・伴野雅之, 棚谷灯子, 冨井隆春, 冨井天夢, 堺浩一, 桑江朝比呂: UAV 搭載型グリーンレーザースキャナによる沿岸域の海底地形計測に関する技術的指針, 土木学会論文集, 80 巻, 17 号, 24-17167. (2024)

・柳嶋慎一, 伴野雅之: チョウセンハマグリ漁獲量と物理環境との関係, 土木学会論文集, 80 巻, 17 号, 24-17245. (2024)

・坂田憲治, 中川康之, 岩波光保, 辰巳大介: 浮泥堆積域における浚渫後の可航水深の予測手法の提案, 土木学会論文集, 81 巻 (2025) 2 号. (2025)

□各種表彰の受賞:2 件

・坂田憲治, 中川康之, 岩波光保, 井山繁: 土木学会論文賞

・松﨑義孝, 藤田勇: 土木学会技術開発賞

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：1 件

・特許（登録，米国）： Floating-oil recovery device，（US11993906B2）

□その他

◆港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：5編

・松崎義孝，井上徹教，久保田雅也，松本大輝，佐藤朋之，坂本光，内藤大輔： 流動生態系シミュレーションシステム EcoPARI のプリ・ポストプロセスに関する Web アプリケーションの開発，港湾空港技術研究所資料 1420. （2024）

・井上徹教，Muhammad Ali Hafee： 河川および汽水湖における塩水挙動の再現計算、港湾空港技術研究所資料 1421. （2024）

・中村聡志： 破波帯遡上域の地形変化予測モデルの開発(バーム地形の大規模侵食事例を用いた漂砂係数の推定)，港湾空港技術研究所資料，No.1422. （2024）

・中村聡志： 離岸堤および潜堤の定量的性能評価の試みと平均海面上昇の影響，港湾空港技術研究所資料，No.1423. （2024）

・細川真也，和泉隆夫，本間翔太，大倉翔太： 船舶排出ガス中の NO2 カラム濃度の見える化，港湾空港技術研究所資料，NO.1424 （224）

◆学会発表、講演等：34 件

・井上徹教，松崎義孝，久保田雅也，松本大輝，佐藤朋之： GUI を用いた流動生態系シミュレーション実行ツール EcoPARI の開発 Development of EcoPARI, a GUI-based tool for conducting hydrodynamic-ecosystem simulations. Japan Geoscience Union Meeting 2024. （2024）

・Nakamura, S., Higa, H., Okada, T., Nakamura, Y., Inoue, T.: Analysis of sulfur, iron, and manganese dynamics in Tokyo Bay by field observations and Hydrodynamic-Ecosystem Coupled Model. International Conference on Urban Drainage 2024. （2024）

・Yoshitaka Matsuzaki, Tetsunori Inoue, Masaya Kubota, Hiroki Matsumoto, Tomoyuki Sato, Hikari Sakamoto and Daisuke Naito： Web application of an integrated simulation system for standardized aquatic environment assessment, 12th International Congress on Environmental Modelling and Software （2024）

・松崎義孝，井上徹教，松本大輝，佐藤朋之，ハフィーズムハマドアリ，久保田雅也，中村恭志，坂本光，厳駿，柴田和樹，田中陽二，白木喜章，笠毛健生，アムヌガマ マンガラ，水口隼人，ムチェブエエドウィン，内藤大輔，田賀浩章，前田将輝，堀江敬太，筧雅行，神尾光一郎，西村規宏，北山千鶴，佐藤誠浩，岩中祐一，竹内一浩，畑恭子，小山悠人，阿部真己，持田史佳，内田洋平，西内勇貴，上野優，村田壱学： 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とフォーム構築，JHPCN： 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 16 回シンポジウム （2024）

・松崎義孝，井上徹教，松本大輝，久保田雅也，中村恭志，坂本光，厳駿，柴田和樹，田中陽二，白木喜章，アムヌガマ マンガラ，ムチェブエエドウィン，水口隼人，内藤大輔，古賀すみれ，前田将輝，堀江敬太，筧雅行，西村規宏，北山千鶴，佐藤誠浩，岩中祐一，堀田 正資，竹内一浩，畑恭子，小山悠人，阿部真己，持田史佳，内田洋平，西内勇貴，上野優，村田壱学： 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，JHPCN： 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 16 回 シンポジウム （2024）

・井上徹教： 河北潟シミュレーションモデルの構築，第 27 回日本水環境学会シンポジウム，23.（2024）

・神谷宏，井上徹教，清家泰： TP・PP は流量に比例するので LQ 式は 2 次式が妥当，第 27 回日本水環境学会シンポジウム，26-27 （2024）

・井上徹教： 東京湾の地形変化と湾内の流れ，海洋環境問題研究会シンポジウム （2024）

・井上徹教，永坂正夫： 河北潟における塩水侵入シミュレーション，日本陸水学会 第 88 回熊本大会

（2024）

・Muhammad Ali Hafeez, Tetsunori Inoue: Numerical Modelling of Backfill Patterns of Borrow Pit in Osaka Bay. 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・井上徹教, Hafeez Muhammad Ali. : 流動生態系モデル EcoPARI-Simulator を用いた汽水湖における青潮現象の再現. 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・松本大輝, 岩中祐一, 北山千鶴, 西村規宏, 井上徹教, 松崎義孝, 佐藤朋之: 東京湾に流入する中小河川が数値シミュレーション結果に与える影響について, 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・佐藤朋之, 井上徹教: 遺伝的アルゴリズムを用いた底生生態系モデルのパラメーター調整, 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・松崎義孝, 井上徹教, 久保田雅也, 松本大輝, 佐藤朋之, 坂本光, 内藤大輔: 流動生態系シミュレーションシステム「EcoPARI」の開発, 水環境の影響評価の標準化に向けたプリ―ポストプロセスの統合システム, 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・松本大輝, Hafeez Muhammad Ali, 井上徹教, 松崎義孝, 佐藤朋之: 出水時の流動が大阪湾東岸表層の赤潮発生に与える影響について, 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・松崎義孝, 井上徹教, 水口隼人: EcoPARI による 2020 年 8 月の伊勢湾と三河湾への外洋水の流入に関する数値シミュレーション, 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・松崎義孝, 井上徹教, 吉村藤謙, 横井良典, 北山千鶴: 海の天気予報,「伊勢湾海域環境予測システム」の精度検証, 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

・安藤さゆり, 松崎義孝, 松本大輝, 久保田雅也, 井上徹教: 東京湾・伊勢湾における流域雨量指数を用いた流動生態系シミュレーションの感度解析, 第 61 回環境工学研究フォーラム （2024）

・松崎義孝, 井上徹教, 久保田雅也, 松本大輝, 佐藤朋之, 坂本光, 内藤大輔: 水環境評価のための流動生態系シミュレーションシステムの開発, 第 61 回環境工学研究フォーラム （2024）

・水口隼人, 松崎義孝, 久保田雅也, 井上徹教: 外洋水流入による伊勢湾・三河湾の貧酸素への影響とその要因の解析, 第 61 回環境工学研究フォーラム （2024）

・松本大輝, 井上徹教: 海草 Shoot 長さの季節変動を考慮した海草成長モデルの開発, 第 61 回環境工学研究フォーラム （2024）

・井上徹教, 永坂正夫, 奥川光治: 河北潟シミュレーションモデルの構築, 河北潟および周辺域の自然環境への影響調査プロジェクト中間報告会要旨集 （2024）

・伴野雅之: 波崎海洋研究施設における長期地形モニタリングとその活用, 水工学に関する夏期研修会, 土木学会, 2024 年 8 月 30 日, 大阪公立大学 （2024）

・Takayuki Suzuki, Tomoki Hayashi, Masayuki Banno, Daniel T. Cox: Field Observations of Water Content and Microtopography Changes during Tidal Cycles in the Swash Zone, ICCE2024. (2024)

・Xinyu Chen, Tomoya Shimura, Takuya Miyashita, Masayuki Banno, Nobuhito Mori: Calibration of shoreline prediction model using Ensemble Kalman filter, ICCE2024. (2024)

・Masayuki Banno, Takayuki Suzuki, Shin-ichi Yanagishima, Satoshi Takewaka, Yoshiaki Kuriyama: Tidally-driven beach change: insights from long-term and LiDAR monitorings, ICCE2024. (2024)

・Manamperi, T. U. S., Karunarathna, H., Rahat, A., Banno, M., Pender, D., Cristaudo, D.: Machine learning techniques for cross shore beach change forecasting, ICCE2024. (2024)

・Yoshiaki Kuriyama, Hiroyuki Hayashi, Souichi Yamagata, Toshihiro Shimizu, Akiyoshi Katano, Haruo Mori, Shusei Ogawa: Disaster prevention function of nourished beach during 50 years under conditions of sea level rise and land subsidence, ICCE2024. (2024)

・Masayuki Banno: Time-series beach prediction using LSTM networks, ShoreShop2.0. (2024)

・Tri Minh Nguyen, Suzuki, T.,Mäll, M. and Banno, M.: Medium-term beach volume changes at Hasaki coast under met-ocean conditions and Arctic Oscillation, Coastal engineering conference of JSCE 2024. (2024)

・Xinyu Chen, Tomoya Shimura, Takuya Miyashita, Masayuki Banno, Nobuhito Mori: A shoreline

equilibrium-driven model with wave climate calibrated parameters, Coastal engineering conference of JSCE 2024. （2024）

・内山雄介, 乳原材, 小俗大地, 細川真也: ラグランジュ確率密度とマルコフ連鎖モデルを用いた瀬戸内海アマモ場の多世代コネクティビティの数値解析, JpGU （2024）

・細川真也: 沿岸魚類相の環境 DNA による把握, 環境水理部会研究集会 （2024）

・棟方有佳, 中村仁湖, 山崎智美, 本間翔太, 細川真也: 魚類の網羅的解析結果と釣果データとの比較, 第 71 回海岸工学講演会 （2024）

◆その他の国際連携活動（研究協力協定締結以外の国際活動）:4 件

・二国間交流事業（日本学術振興会）による共同研究をフランスとの間で実施した。

・オーストラリアの University of New South Wales Sydney が主催する汀線予測モデル開発ワークショップ（ShoreShop2.0）に参加した。

・オーストラリアの University of New South Wales Canberra が主催する Bengello 海岸調査に参加した。

・国際航路協会 PIANC EnviCom（環境委員会）、および YPCom（若手技術者委員会）に、それぞれ日本代表委員として参加した。

重　点　分　野	(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 －港湾区域等においてブルーカーボンを活用してCO_2吸収能力を高める手法に関する整理・提案を行い、モデル解析等によりCO_2吸収ポテンシャルを評価し、ブルーカーボン生態系の分布計測手法を開発する。 －硬く均質な地盤上の洋上風力発電施設に対する遠心模型実験を実施して、開発した風・波・地震連成解析手法の検証を行い、本解析手法に支持構造部等の非線形性を考慮できる機能を導入する。 等

研　究　の　背　景

社会経済活動に対して気候変動による影響が生じており、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等、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 6 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 CO_2 吸収能力を高める浅場造成手法の検討

・港湾内外の藻場において高効率かつローコストに CO_2 吸収量を計測する手法開発を目的に、グリーンレーザー搭載ドローンを用いた藻場分布・現存量計測手法の開発を進める。

・藻場等の形成を促す環境条件・構造・造成手法の提案を目的に、藻場分布推計モデルを用いて全国スケールの藻場マップ整備を進める。

②港湾工事の脱炭素化に向けた港湾構造物の CO_2 指向型設計手法と低炭素材料の開発

・港湾工事での CO_2 排出量の削減方策について、設計段階での検討を可能にすることを目的として、桟橋（PC上部工）および矢板式係船岸を対象として、設計段階で活用可能な CO_2 排出量の簡易推定手法を構築する。

・港湾構造物で活用可能な低炭素材料を開発することを目的として、高炉スラグ微粉末等の副産物等を大量混合し、かつ CO_2 を大気から直接吸収させたスラグ骨材を活用した低炭素コンクリートを開発し、港湾の無筋および鉄筋コンクリート部材への適用性について検討する。

（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

・硬く均質な砂地盤に設置されたモノパイル式洋上風力発電施設を対象に、風・波・地震動の 3 つの外力が同時に作用した際の風車の挙動を明らかにすることを目的として、3 外力が同時に作用する環境を再現可能な遠心模型実験を実施し、その応答特性を整理・解析する。

・今後検討予定の軟らかい複雑な地盤の挙動を表現することを目的に、地盤とモノパイル基礎の非線形な相互作用効果を数値解析ツールに導入する。

令和 6 年度の研究成果

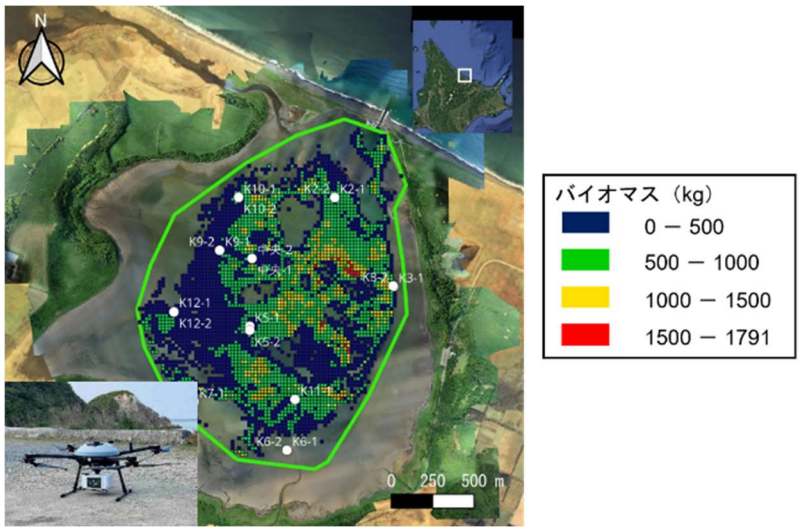
（1）カーボンニュートラルに資する環境技術に関する研究

①脱炭素化に向けた CO_2 吸収能力を高める浅場造成手法の検討

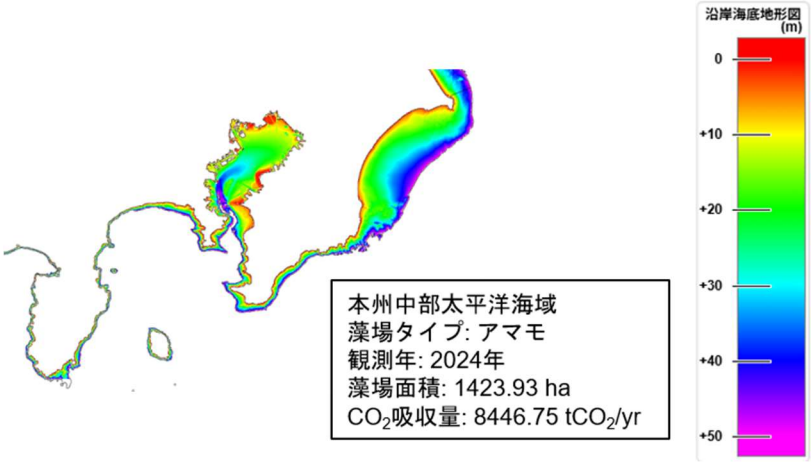
・国交省等の方針で GHG インベントリへの藻場算入が急がれたため、次年度からの研究課題であった全国スケールの藻場分布・面積推計モデルの開発と、これによる全国の藻場による推計 CO_2 吸収量の算出を前倒しで実施した。

・グリーンレーザー搭載ドローンにより港湾構造物、天然生態系、海面養殖を含む様々な藻場生態系において藻場の点群データを取得した。点群データにノイズ処理やアノテーションを施すことで、これまで衛星画像や空撮画像では難しかった、藻場の面的な現存量を推計することが可能になった（図Ⅰ.3.(2).②.1）。

・日本全国スケールの藻場面積・分布をモデルによって推計し、毎年の藻場面積変化を管理するブルーカーボンデータアーカイブシステムの開発を進めた（図Ⅰ.3.(2).②.2）。推計値は毎年の GHG インベントリ報告に活用される。



図Ⅰ.3.(2).②.1　グリーンレーザー搭載ドローンによる藻場の現存量推計
・20 m 四方グリッド当たりの kg 重量の範囲で色分けをしている。
・緑枠は解析範囲を表す。

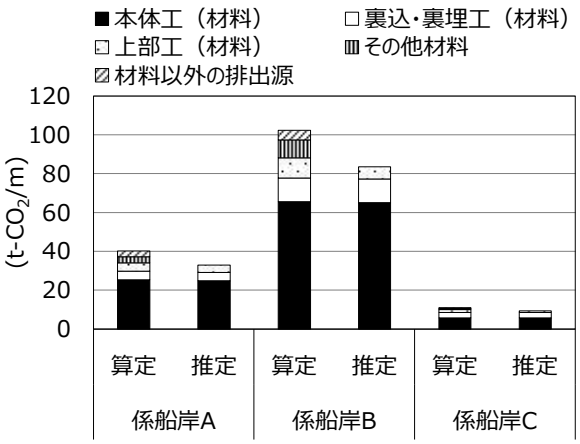


図Ⅰ.3.(2).②.2　藻場面積変化を管理するブルーカーボンデータアーカイブシステム
・藻場面積や CO_2 吸収量はカラーコンターで示した海域での総推計量を示す。

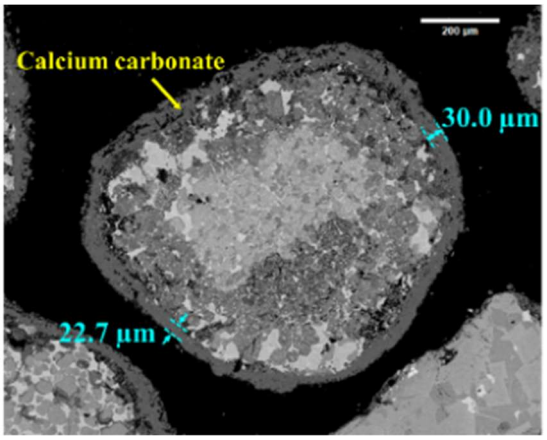
②港湾工事の脱炭素化に向けた港湾構造物の CO_2 指向型設計手法と低炭素材料の開発

・桟橋（PC上部工）および矢板式係船岸を対象として、CO_2 排出量の傾向分析を基に、設計段階で活用可能な CO_2 排出量の簡易推定手法を提案した。各種数量が確定していない基本設計段階を想定した簡易推定手法（簡易推定結果）は、工事発注で数量が確定した段階を想定して詳細に算定した値（詳細算定結果）に対して、約 70%以上の精度で推定できることがわかった（図Ⅰ.3.(2).②.3）。

・これまでに開発してきた低炭素コンクリートについて、さらに CO_2 の削減効果を得るため、スラグ骨材に大気から直接 CO_2 を吸収させ（図Ⅰ.3.(2).②.4）、それをコンクリート用骨材として利用したコンクリートを開発した。その結果、今回開発した低炭素コンクリートは最大で 93%の削減効果が得られた。



図Ⅰ.3.(2).②.3　矢板式係船岸における CO_2 排出量の詳細算定結果と簡易推定結果の比較



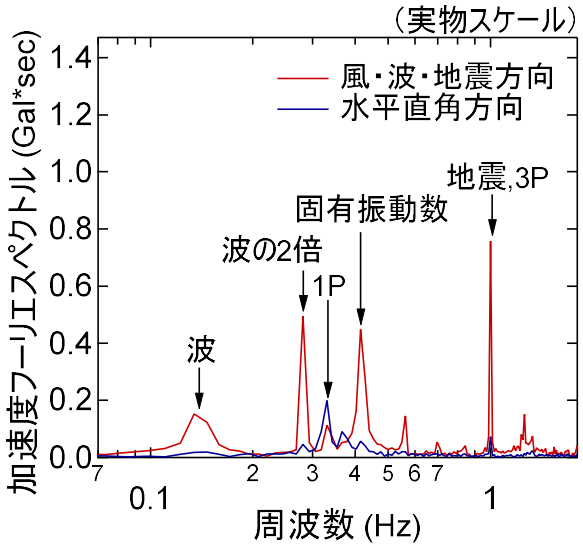
図Ⅰ.3.(2).②.4　CO_2 を吸収したスラグ骨材の電子顕微鏡観察像
・層厚約 30μm の $CaCO_3$ に覆われたスラグ骨材を示す

（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

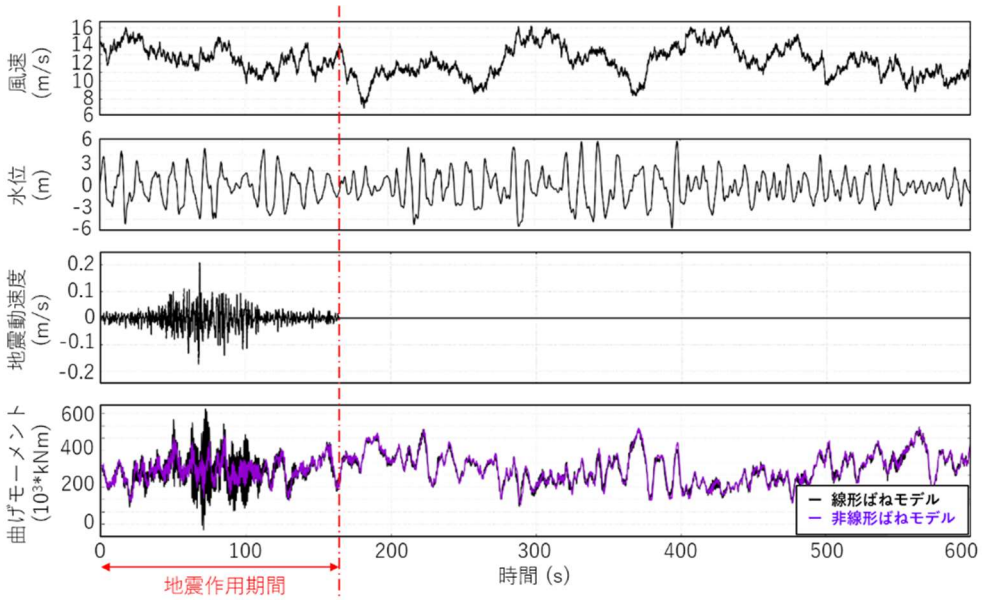
①洋上風力発電施設等の風・波・地震連成解析手法の開発

・硬く均質な砂地盤に設置されたモノパイル式洋上風力発電施設に対し、風作用に起因する風車ロータの回転振動（1P 振動）や 3 枚翼の回転振動（3P 振動）、さらに波および地震動による振動に加え、風車の固有振動を、模型実験によって再現することに成功した（図Ⅰ.3.(2).②.5）。

・地盤－モノパイル基礎間の非線形相互作用を表現する非線形ばねモデルを導入し、軟らかい複雑な地盤上に設置された洋上風力発電施設の地震時応答解析に向けたモデル構築を進めた（図Ⅰ.3.(2).②.6）。



図Ⅰ.3.(2).②.5　風・波・地震動を同時に風車に作用させた時の
風車ナセル部における応答加速度スペクトル



図Ⅰ.3.(2).②.6　非線形ばねモデル適用時における風速、水位、地震動速度
および曲げモーメントの時間変動
・地震時における地盤の非線形挙動が応答低減に寄与する。

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載論文：6 編［2024.1.1～2024.12.31］

・Watanabe, K., T. Tokoro, H. Moki, and T. Kuwae.: Contribution of marine macrophytes to pCO_2 and DOC variations in human-impacted coastal waters. Biogeochemistry 167(6): 831-848.　(2024)
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85191981409&doi=10.1007%2fs10533-024-01140-4&partnerID=40&md5=775bd54f3d0071bb2cb1f4361fd39bd0

・Horimoto, T., T. Tanii, T. Kuwae, K. Watanabe, and M. Ito.: Diet-tissue discrimination factors and turnover rates of carbon and nitrogen stable isotopes in the mottled skate Beringraja pulchra based on diet-switching experiments. Fisheries Research 274: 1070006.　(2024)
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85189504682&doi=10.1016%2fj.fishres.2024.107006&partnerID=40&md5=ebe53f692ce932d282c87b87204d866d

・Okada, T., Y. Mito, K. Tokunaga, H. Sugino, T. Kubo, Y. B. Akiyama, and T. Kuwae.: A method for evaluating ecosystem services that can be used for the management of nature-based solution projects: A case study of Shiosai-Nagisa in Tokyo Bay. Regional Studies in Marine Science 78: 103737. (2024)
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85201287321&doi=10.1016%2fj.rsma.2024.103737&partnerID=40&md5=aca7b5611754ac3c0f8d3618aee8a1e1

・Eger, A. M., N. Eddy, T. A. McHugh, N. Arafeh-Dalmau, T. Wernberg, K. Krumhansl, J. Verbeek, S. Branigan, T. Kuwae, J. E. Caselle, A. G. Ospina, A. Vergés.: State of the world's kelp forests. One Earth 7(11): 1927-1931. (2024)
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85208455447&doi=10.1016%2fj.oneear.2024.10.008&partnerID=40&md5=d1c68c14cc4fa092d930e76e55e4a1eb

・Filbee-Dexter, K., ..., T. Kuwae, et. al.: Carbon export from seaweed forests to deep ocean sinks. Nature Geoscience 17: 552-559. (2024)
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85193835034&doi=10.1038%2fs41561-024-01449-7&partnerID=40&md5=b506049e6396762de114649c3e94b3ce

・Y. Zheng, S. Medepalli, T. Wang, T. Ishida, Y. Kawabata, S. Goto & Y. Luan : A multi-scale experimental investigation of the feasibility of using integrated coal gasification combined slag as a supplementary cementitious material, Journal of Cleaner Production, Vol.449, 141491.(2024)
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85187958827&doi=10.1016%2fj.jclepro.2024.141491&partnerID=40&md5=392458f0a2213b9e0f161fbfd61f83fb

□和文査読付き論文：14 編

・棚谷灯子，吉田光寿，渡辺謙太，源平慶，伴野雅之，茂木博匡，桑江朝比呂： グリーンレーザースキャナ搭載 UAV で得られた点群の解析による海草藻場の空間分布推定，土木学会論文集 80(17)：24-17235. (2024)

・吉田光寿，渡辺謙太，源平慶，伴野雅之，棚谷灯子，茂木博匡，桑江朝比呂： グリーンレーザースキャナ搭載 UAV による海藻藻場の計測手法の検討，土木学会論文集 80(17)：24-17288. (2024)

・岩部然育，土井口華絵，加藤英紀，片山美可，髙橋大二朗，渡辺謙太，伴野雅之，石野芳夫： グリーンレーザー測量を用いた藻場把握方法の検討，土木学会論文集 80(18)：24-18025. (2024)

・岡田知也，遠藤直樹，菅家英明，三戸勇吾，桑江朝比呂： ブルーインフラ整備の計画段階における環境価値の定量的評価と“見える化”，沿岸域学会誌 37(2)：71-80. (2024)

・山下真奈，川端雄一郎，中村董，松村聡，佐々木均： 護岸におけるエンボディドカーボンの試算と解体発生材の再利用による削減効果に関する一考察，土木学会論文集，Vol.80，No.18，論文 ID：24-18036. (2024)

・中平達也，川端雄一郎，中村董： 傾向分析に基づく PC 桟橋の建設時の CO_2 排出量の簡易推定手法の提案， 土木学会論文集，Vol.80，No.18，論文 ID：24-18060. (2024)

・中村董，川端雄一郎，岩波光保： 環境性と経済性の観点からの消波ブロック被覆堤の最適断面に関する検討，土木学会論文集，80 巻 5 号. (2024)

・加島寛章，米山治男： 風と波と地震作用下の着床式洋上風車応答に関する数値解析，土木学会論文集 Vol.80，No.18，24-18111，10. (2024)

・飯干富広，吉塚尚純，石原拓也，平山隆幸，河村裕之，大熊康平，高橋英紀，栗原大： ケーソン式防波堤の転倒に対するカウンターウエイトブロック腹付工の補強効果，土木学会論文集，Vol.80，No.18，24-18054，10. (2024)

・高橋英紀，土田雄大，佐々木均，栗原大： 砂質土および粘性土地盤におけるスパッドカンの支持力評価，土木学会論文集，Vol.80，No.18，24-18024，10. (2024)

・三井順，久保田真一，田中真史，高橋英紀，栗原大： 消波ブロックによる腹付工のケーソン転倒防止効果に関する遠心模型実験，土木学会論文集，Vol.80，No.18，24-18041，10. (2024)

・栗原大，高橋英紀： 混成堤におけるケーソン転倒時の腹付工の抵抗力特性，土木学会論文集，Vol.80，

No.18, 24-18122, 10. (2024)

・高橋英紀, 後藤友亮, 國方康史, 山野俊介: 越流時の堤防基礎地盤での不飽和浸透に関する実験的検討, 土木学会論文集, Vol.80, No.18, 24-18046, 10. (2024)

・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: 係留船を考慮した係留施設の性能照査に関する一考察, 日本航海学会論文集, 第 150 巻. (2024)

□各種表彰の受賞:2 件

・村田一城: 日本沿岸域学会優秀講演賞

・高橋英紀: 地盤工学会誌年間優秀賞

□特許・プログラム等の知的財産の出願等:2 件

・特許(出願): 水域環境の観測装置および観測方法(特願 2024-129884)

・特許(登録): 水域環境の観測装置および観測方法(特許第 7625196 号)

□その他

◆学会発表、講演等:22 件

・Kuwae, T.: The inclusion of macroalgae and seagrass in Japan's national GHG inventory: methodology and science. International Blue Carbon Scientific Working Group 16th Annual Meeting. (2024)

・Kuwae, T.: National methods in Japan. International Blue Carbon Scientific Working Group 16th Annual Meeting. (2024)

・百田恭輔, 渡邉裕基, 佐藤允昭, 渡辺謙太: アマモの水温及び塩分の変化に対する生理・生態的反応, 日本生態学会第 72 回大会, 北海道. (2025)

・中村航, 渡辺謙太, 宮島利宏, 宮入陽介, 横山祐典, 山口保彦, 桑江朝比呂, 佐々木淳: マングローブ生態系における土壌から海洋への炭素プール移行の重要性, 第 30 回マングローブ学会年次大会., 東京. (2024)

・津田彩夏, 田中秀幸, 久保篤史, 渡辺謙太, 桑江朝比呂, 津旨大輔: 沿岸浅海域における堆積物中有機炭素の分解特性評価, 2024 年度日本海洋学会秋季大会, 東京, 24F-09-20. (2024)

・玉井孝謙, 中原浩平, 香川慶太, 中本健二, 田中慎也, 福本直, 坪田裕至, 宮本浩司, 広兼元, 河原和文, 渡辺謙太, 桑江朝比呂: 石炭灰造粒物を敷設した有機泥堆積干潟の暗条件での CO_2 分圧の経時変化, 土木学会第 79 回年次学術講演会, 宮城, II-179. (2024)

・玉井孝謙, 香川慶太, 中本健二, 田中慎也, 福本直, 坪田裕至, 宮本浩司, 広兼元, 河原和文, 渡辺謙太, 桑江朝比呂, 中原浩平: 有機泥堆積干潟を模擬した明暗条件室内実験での石炭灰造粒物による CO_2 分圧の経時変化, 令和 6 年度土木学会中国支部研究発表会, 広島, VI-15. (2024)

・中村航, 渡辺謙太, 宮島利宏, 宮入陽介, 横山祐典, 山口保彦, 桑江朝比呂, 佐々木淳: 安定炭素同位体および放射性炭素同位体を用いたマングローブ生態系における炭素隔離から流出までの時間スケールの推定, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 千葉, MIS14-03. (2024)

・渡辺謙太, 杉本亮, 久保篤史, 中島壽視, 桑江朝比呂: マングローブ・海草藻場・塩性湿地からの堆積物間隙水由来 DIC 流出, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 千葉, ACG38-P03. (2024)

・Pintos Andreoli, V., H. Moki, K. Taguchi, K. Watanabe, T. Maruo, T. Ichikawa, and T. Kuwae.: Analysis of macroalgae cultivation impact in shallow coastal areas. 15th Annual Indian Scientists' Association in Japan Symposium. Tokyo, P-31. (2024)

・百田恭輔, 佐藤允昭, 渡辺謙太, 渡邉裕基 細川真也: アマモの水温及び塩分の変化に対する生理・生態的反応, 日本生態学会第 72 回全国大会. (2025)

・加藤佳孝, 川端雄一郎, 伊代田岳史, 取違剛, 櫻庭浩樹, 蔵重勲, 宮原茂禎: コンクリート技術を活用したカーボンニュートラルの実現に向けて―土木学会 234 委員会の活動報告―, コンクリート工学, Vol.62, No.6, pp.507-513. (2024)

・川端雄一郎：カーボンニュートラルに向けた港湾・学会等の動向，日本材料学会．（2024）
・中村董：港湾工事における CO_2 削減方策，港湾空港技術講演会 in 関東 2024．（2024）
・中村董：港湾構造物の脱炭素化に向けた取組，海と産業革新コンベンション（うみコン）シンポジウム．（2024）
・高橋英紀，加島寛章：風・波・地震動の複合外力作用下の着床式洋上風車に関する遠心模型実験の取り組み，風力エネルギー，Vol.48，通巻.149，日本風力エネルギー学会誌，5．（2024）
・H. Kashima, H. Yoneyama：Relationship between waves and operating offshore wind turbine response, 43rd International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering, 6．（2024）
・加島寛章：地震力を導入した OpenFAST によるモノパイル式洋上風車応答の感度分析，風力エネルギー，Vol.48，通巻.150，日本風力エネルギー学会誌，8．（2024）
・H. Kashima, H. Yoneyama：Wave-induced impact on monopile-type offshore wind turbine response, 38th International Conference on Coastal Engineering, 9．（2024）
・Z. Lyu, N. Mori, H. Kashima：Evolution of nonlinear waves of multiple systems in two-dimensional directional crossing seas on a slope, 38th International Conference on Coastal Engineering, 9．（2024）
・H. Kashima：Response Analysis of Monopile-Supported Large Offshore Wind Turbine under Wind, Wave, and Earthquake Loads, Deep Wind conference 2025, 1．（2025）
・加島寛章：港湾空港技術研究所海洋利用研究グループ紹介，日本風力エネルギー学会学会誌通巻 149 号．（2024）

◆その他の国際連携活動（研究協力協定締結以外の国際活動）：5 件
・国際航路協会 PIANC Blue Carbon WG のメンバーとして、港湾におけるブルーカーボンの活用についてレポート執筆に向けた議論を進めた。
・GO-BC（Global Ocean Decade Programme for Blue Carbon）のメンバーとして、ブルーカーボンの研究・社会実装のこれからについて議論した。
・High Integrity Blue Carbon Market Technical Workshop に参画して、ブルーカーボンの国別インベントリへの算入やカーボンクレジットについて議論した。
・ISO 13315-7 "Environmental Management for Concrete and Concrete Structures - Part 7. End-of-life phase of concrete and concrete structures"の Convener（議長）を務め、同 ISO 制定に向けた執筆・議論等を実施した.
・エジンバラ大学・北海道大学との極大波発現特性に関する研究連携（科研費）に参画し，共同で造波水槽実験を実施した。

重　点　分　野	(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 －機械学習による沿岸波浪計の欠測値の補完方法を検討するとともに補完の精度検証を行う。 －鉱滓の循環利用を想定したシナリオのうち、研究の必要性が高いシナリオにおいてその利用環境を想定した鉱滓の物理化学・力学特性を把握する。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

港湾・空港施設の経済性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 6 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

・港湾施設設計に用いる作用外力設定、災害時の港湾施設被災原因の究明および顕著な海象事象の評価の際の基礎データ整備を目的として、各港で観測された波浪観測データを取りまとめる。

・波浪現象のより本質的かつ高精度な評価を通じた港湾施設設計の合理化に資することを目的として、波浪スペクトル情報整備に向けた方向スペクトルの試計算に着手する。

・波浪観測の低コスト化、省力化に資する目的で、RTK 測位(Real Time Kinematic、動的干渉測位)に基づく小型波浪ブイおよび 4K カメラ画像による波浪推定手法を開発する。

②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

・港湾施設の設計波や岸壁の荷役稼働率の算定に重要な波浪諸元の信頼性向上に資する目的で、高波浪時の沿岸波浪計の欠測値を GPS 波浪計の観測値で補う補完式を検討する。

・高波浪時の沿岸波浪計の欠測値を GPS 波浪計の観測値で補完する方法の検証を行うことを目的として、機械学習等の複数の手法による精度の違いを検討する。

・円滑な設計に資することを目的として、設計で新たに導入された準沖波の特性を明確にするとともに設計に必要となる沖波を簡易に逆推定するシステムを公開し、新しい波浪推算・設計波算定マニュアル策定に貢献する。

（2）インフラ構造材料の高機能化に関する研究

①打撃応答特性を利用した杭の施工管理手法の確立

・杭の施工管理の高精度化および安全性向上に資する手法の開発を目的として、杭打設を模擬した実験およびその再現解析を実施する。

・模型実験において新たな技術課題を検出し、解決策を考案するとともにその検証に着手する。

②鉱滓の地盤材料としての循環利用に関する研究

・鉱滓とは、鉄などの鉱物を精錬する際に発生する副産物で、主に珪酸塩や金属酸化物からなっており、インフラ構造材料としては目的成分以外の溶融物質も含んでいるものである。建設副産物や産業副産物の循環利用を通じた港湾整備の効率化及び環境負荷低減に資する目的で、この使用済み鉱滓を対象に物理試験、力学試験、溶出試験を実施し、循環利用時の地盤材料としての特性を把握する。

・鉱滓の循環利用時の確認事項や検討内容を明確にすることを目的として、技術マニュアル（案）の素案を作成する。

・鉱滓循環利用の効果を事業評価の評価軸に考慮することを目的として、仮想的に設定した港湾施設更新事業を対象に鉱滓循環利用による経済性、環境負荷低減効果を試算する。

令和 6 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

・2024 年の速報および 2023 年の確定波浪台帳を整備し、2023 年の各港における波浪の出現特性を港空研資料（全国港湾海洋波浪観測年報 2023）としてとりまとめた（図Ⅰ.3.(3).①.1）。

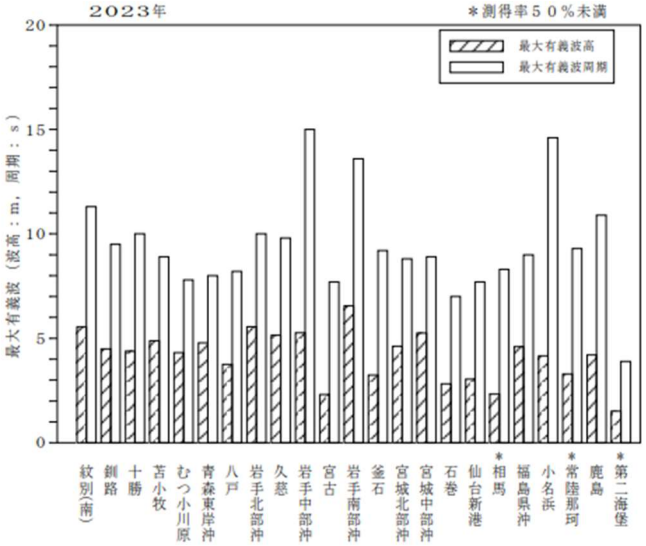
・2023 年は各港において、過去最大の波高を更新するような高波は発生しなかった。また、顕著な海象事象として、2024 年 1 月に発生した能登半島地震に伴う津波の観測記録をとりまとめて公表した。

・波浪観測生データを基に方向スペクトルを演算する各種プログラムを整備した（データを読み込んで、

複数の推定手法から選択的に方向スペクトルを計算し、その結果を図化するプログラム）。

・小型 GNSS（全地球航法衛星システム）センサを用いた RTK 測位(Real Time Kinematic、動的干渉測位)に基づく波浪観測技術や 4K カメラ画像による波浪推定技術を開発し、東京湾沿岸の実海域において試験観測を開始した（図Ⅰ.3.(3).①.2）。

・これら観測技術は計画よりも１年早く開発を完了し、今後は観測データの蓄積を行うとともに実用化に向けた検証を行う。



図Ⅰ.3.(3).①.1　全国港湾海洋波浪観測年報 2023

・例として年最大有義波の掲載情報を示す。

a)小型波浪ブイ　　b)4K カメラによる波浪推定手法

（青：観測値、黒：推定値）

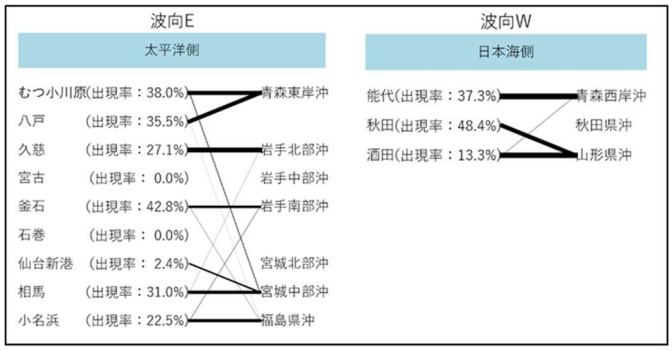
図Ⅰ.3.(3).①.2　RTK 測位に基づく観測

②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

・複数地点の GPS 波浪計と沿岸波浪計の重回帰分析に基づく補完式を提案し、沿岸波浪計地点の観測値を推定式により補完するシステムを作成した（図Ⅰ.3.(3).①.3）。

・波浪観測結果、波浪推算結果に統計的手法を適用して、欠測値を補完するうえで必要となる GPS 波浪計地点を示すとともに、GPS 波浪計の観測値から沿岸波浪計の観測値を補完する手法について統計的手法や機械学習等の複数の手法による精度の違いを示した（図Ⅰ.3.(3).①.4）。

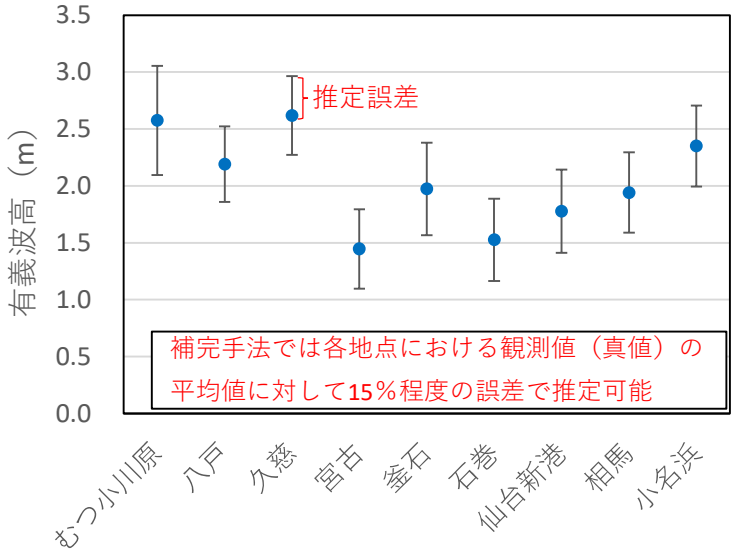
・設計で新たに導入された準沖波の設定方法に関するマニュアル「新しい波浪推算・設計波算定マニュアル～浅海波浪推算と準沖波の導入～」の作成において、本研究の準沖波から沖波を簡易に推定する手法等の成果が活用された。



a)沿岸波浪計と欠測値を補完するうえで必要な GPS 波浪計地点の組合せ例
（左：沿岸波浪計、右：GPS 波浪計）

b)推定値の表示例

図Ⅰ.3.(3).①.3　波浪観測の補完システム



図Ⅰ.3.(3).①.4　重回帰分析による補完手法の精度検証結果
・有義波高の平均値と推定誤差を示す。

（2）インフラ構造材料の高機能化に関する研究

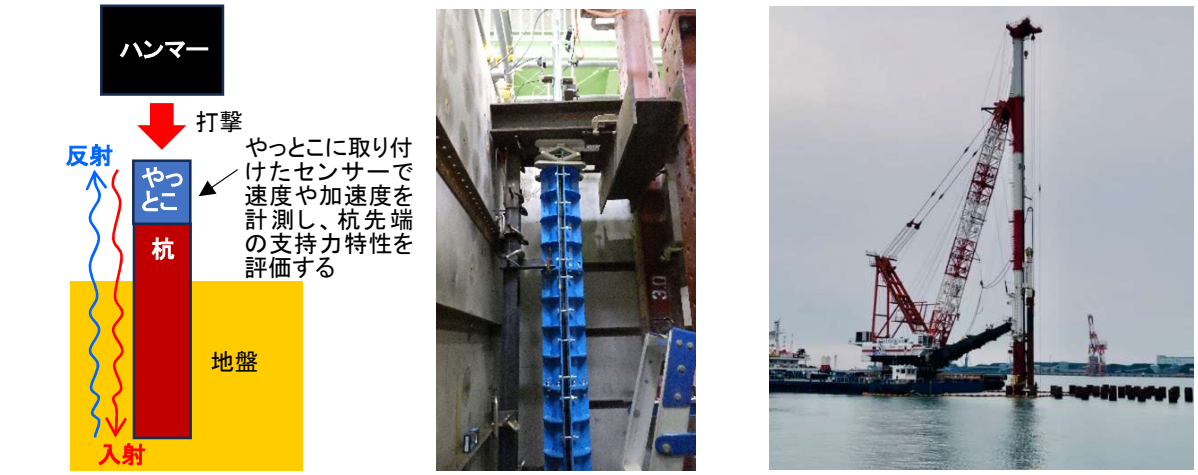
①打撃応答特性を利用した杭の施工管理手法の確立

・杭の施工管理の高精度化および安全性向上に資する手法の開発を目的として、杭打設を模擬した模

型実験、およびその再現解析の実施を継続し、杭体挙動に関するデータを蓄積した。

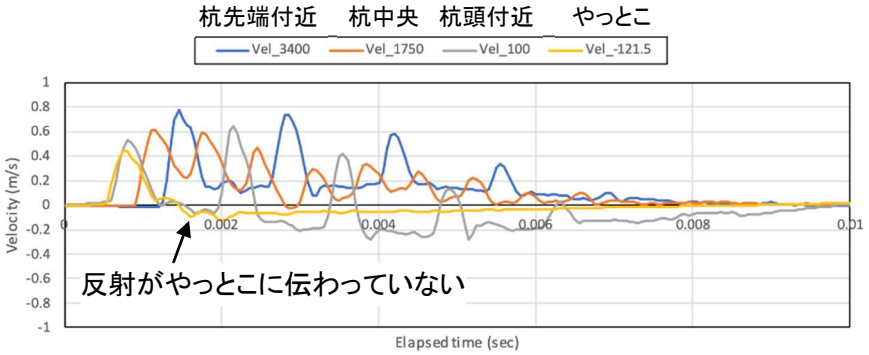
・加えて開発する杭の施工管理手法の精度検証の基礎データ取得を目的として、現地実証試験を実施した（図Ⅰ.3.(3).①.5）。

・模型実験の結果、杭先端の拘束の程度によっては、杭打撃時による反射波が引張波となり観測されないことがあるという新たな技術課題が抽出された（図Ⅰ.3.(3).①.6）。この解決策として波動方程式より反射波を含まない式を導出するとともにその検証に着手した。



a)打撃応答特性を利用した杭の施工管理手法の概念図　　b)杭打設の模型実験　　c)杭打設の現地実証試験

図Ⅰ.3.(3).①.5　杭打設の実験の様子



図Ⅰ.3.(3).①.6　杭挙動（速度）の時刻歴データ

②鉱滓の地盤材料としての循環利用に関する研究

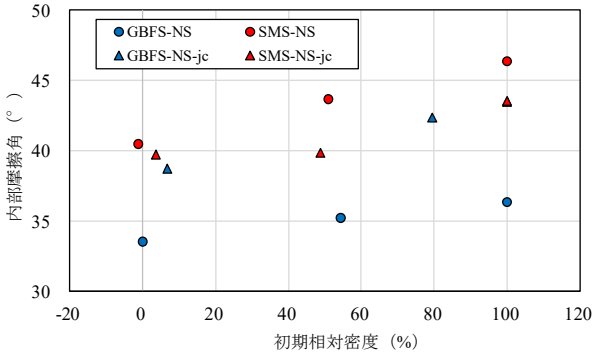
・鉱滓を対象に実施した物理・力学試験結果をもとに、新材時と循環利用時とで地盤材料としての特性の違いを把握した。試験の結果、堆積～固結～解砕過程を経た循環利用材は間隙比の高い緩い再堆積地盤を形成するが、新材と比較して力学性能が低下するような傾向はみられず、地盤材料としての再利用が期待される（図Ⅰ.3.(3).①.7）。

・鉱滓の循環利用時の確認事項や検討内容を明確にすることを目的として、本研究の成果を元に技術マニュアル（案）の素案を作成した。具体的には、改定が想定されるリサイクルガイドラインへの追記、修正案を作成した。

・鉱滓循環利用の効果を事業評価の評価軸に考慮すること目的として、仮想的に設定した港湾施設更新事業を対象に鉱滓循環利用による経済性、環境負荷低減効果を試算した。具体的には、鉱滓の循環利用の有無による工期、工費、CO_2 排出量の違いを示した（図Ⅰ.3.(3).①.8）。

高炉水砕スラグ新材　　高炉水砕スラグ循環利用材

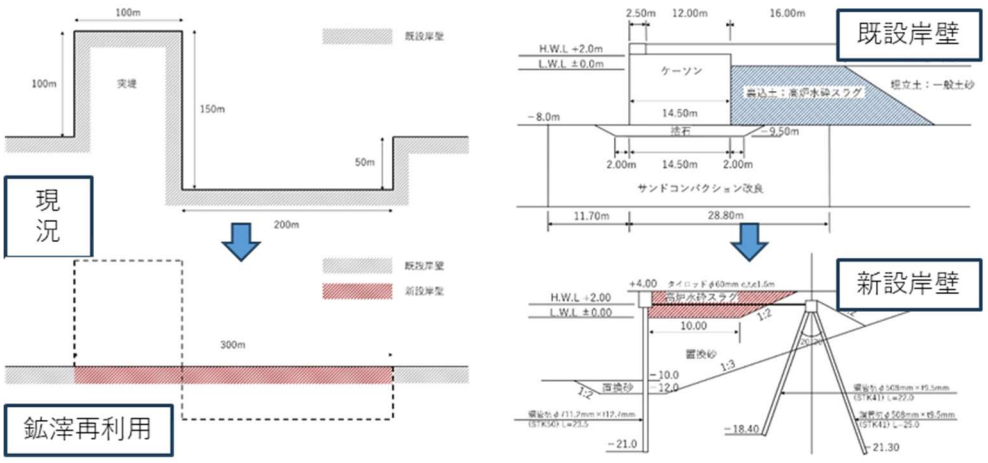
a）試料写真及び X 線 CT 画像



・GBFS-NS：高炉水砕スラグ新材
・SMS-NS：製鋼スラグ新材
・各々の“-jc”：循環利用材

b）内部摩擦角：圧密排水三軸圧縮試験により得られた内部摩擦角と初期相対密度との関係

図 Ⅰ.3.(3).①.7　新材、循環利用材を用いた土質試験結果例



	Case 1 循環利用有	Case2 循環利用無
工期	515日	497日
経済性：直工費	16.4億円	22.5億円
環境性：CO_2排出量	9414 t-CO_2	9870 t-CO_2

図 Ⅰ.3.(3).①.8　事業評価した仮想事業と検討結果

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載論文：5 編 ［2024.4.1～2024.12.31］

・Masuanga,E., Tamura,H., and Uchiyama,U.: Shoaling internal tides propagating from a shallow ridge modulated by the Kuroshio, Journal of Geophysical Research: Oceans 129 e2023JC020409. （2024）

・Sugiyama,Y., Hashimoto,N., Couture C., and Takano,D.: Electrochemical perspective on the applicability of electroosmosis for clay consolidation, Journal of Applied Electrochemistry, Vol.54, No.5, pp.1057–1073. （2024）

・Sugiyama,Y. and Takahashi,H.: Centrifuge model tests on spudcan penetration and extraction in sand–clay mixed soil, Ocean Engineering, Vol.304. （2024）

・Kawamura,K., Matsumura,S., and Kawamura, S.: Laboratory and field monitoring tests of volcanic soil (Ta–d) triggering landslides in the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, Geoenvironmental Disasters, Vol.11, No.1. （2024）

・Takahashi H., Zdravković L., Tsiampousi A., Mori N.: Destabilisation of seawall ground by ocean waves （2024）

□査読付き国際会議論文：1 編 ［2024.4.1～2024.12.31］

・Matsumura,S., Takano,D., and Couture C.: Strength–Deformation Behavior of Sandy Soil with Different Structures: Layered Structure Versus Uniform Structure, Proceedings of the 5th International Conference on Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development, pp.2413–2424. （2024）

□和文査読付き論文：1 編

・川口浩二、藤木峻、田中陽二、額田恭史、村瀬博一： 令和 6 年能登半島地震による日本海沿岸部の津波波形の解析、土木学会論文集、Vol.80、No.18、論文 ID: 24–18093. （2024）

□各種表彰の受賞：1 件

・平山克也、森谷拓実、濱野有貴、田中陽二： 日本港湾協会論文賞

□その他

◆港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：2 編

・杉山友理、高橋英紀、中村圭太： 中間土へのスパッドカン貫入・引抜に関する遠心模型実験および MPM による数値解析、港湾空港技術研究所報告、第 63 巻，第 3 号、pp.50–76. （2024）

・川口浩二、三原小弥、田村仁： 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.1426. （2025）

◆社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：2 件

・川口浩二： web サイト（リアルタイムナウファス；国総研管理）での波浪台帳を公表した（2022 年確定波浪台帳，2023 年速報波浪台帳）。（2024）

・川口浩二： ナウファスで観測された能登半島地震に伴う東北日本海側沿岸での潮位観測データを解析・提供した。（2024）

◆学会発表、講演等：11 件

・三井正雄、森重輝政、橋本典明、川口浩二、藤木峻： 海底にアレイ状配置した各種波浪計による出力特性について、第 71 回海岸工学講演会. （2024）

・橋本典明、川口浩二、藤木峻、三井正雄： 超音波ドップラー式海象計で観測された斜め方向の水粒子速度成分の特性とその利用に関する研究、第 71 回海岸工学講演会. （2024）

・髙川智博、千田優、藤木峻、川口浩二：アジョイント合成を用いた2024年能登半島地震津波の波源解析、第71回海岸工学講演会．（2024）
・藤木峻、川口浩二、田中陽二、額田恭史：不規則波浪に伴う水圧変動の弱非線形性を考慮した表面波の推定手法の検討、第71回海岸工学講演会．（2024）
・田村仁、細川真也、藤田勇、大倉翔太、本間翔太：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、第71回海岸工学講演会．（2024）
・田村仁：14th International Workshop on Modeling the Ocean 2024「Coastal destruction in Tokyo Bay induced by Typhoon Faxai in 2019」（2024）
・川口浩二：ナウファス波浪観測における取り組みについて、官民技術交流会．（2025）
・田村仁：新たな小型波浪津波計開発と観測網構築の取り組み、官民技術交流会．（2025）
・杉山友理：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 九州（2024）
・Lalit Kandpal：Geotribological Insights into Non-Dilative Interface Shear Mechanisms.（2024 口頭発表あり）
・Sukanta Das：Seismic Behavior of Footings on Slopes: Insights from Experimental and Numerical Analysis.（口頭発表あり）

重　点　分　野	(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 －暴露試験等により各種建設材料(コンクリート系材料、鋼材の防食工法、木質系材料、固化処理土等)の長期耐久性等の検討を行う。 －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や(例:ICT 等の活用による地域の実情に対応した維持管理)、重大な事故を未然に防ぐこと(予防保全)等が強く求められている。このため、持続可能なインフラの維持管理を実現する技術の研究開発を行う。

なお、前中長期計画では、コンクリート構造物、鋼構造物を研究対象としたが、今中長期計画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

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 6 年度の研究内容

（1）インフラの長寿命化に関する研究

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（鉄鋼スラグ水和固化体、銅スラグ細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う。

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

・電気防食工法の設計の高度化に関して、実環境での電気防食特性の評価手法の確立を行う。さに、実海域（波崎海洋研究施設の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。

・電気防食工法の維持管理の高度化に関して、「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。

・被覆防食工法の設計・維持管理手法の高度化に関して、波崎海洋研究施設の観測桟橋での長期暴露試験(2024 年で 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、曝露試験の結果との対比の基礎データを取得する。さらに、曝露表面での劣化深度を推定する方法を検討する。また対象範囲を広げて、関連する固化処理土の強度特性等についても検討する。

④湿潤条件を考慮したコンクリート部材接合部の設計・施工方法に関する検討

・特に施工の影響や孔壁状態の違いに着目し、模型実験を通して水の存在が部材接合部の耐荷性能に及ぼす影響を把握する。また、既設防波堤や護岸を対象として、既設パラペットを含めた場合や2回目以降の嵩上げを実施する場合の接合部の設計の考え方について検討し、課題の洗い出しおよび設計方針の整理を行う。

（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

①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

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」と連動し、以下について実施する。また、社会実装に向けて、国土交通省港湾局、国土技術政策総合研究所、港湾管理者（川崎市港湾局）と意見交換を行う。

・数値解析によるメンテナンスのハイサイクル化に関する研究として、数値解析の高精度化のための、実部材（桟橋上部工から採取した RC 床版）の載荷試験を実施する。

・港湾施設の3D モデル化技術とメンテナンスのハイサイクル化への利活用に関する研究として、港湾施設のうち、桟橋上部工の3D モデルから各種の構造解析モデルへ変換する手法について検討を行う。また、桟橋に作用する接岸力を対象とした構造解析の実施、および構造解析結果を教師データとした簡易モデル（外観による劣化度判定結果を基に残存性能を評価）の構築を進める。

令和 6 年度の研究成果

（1）インフラの長寿命化に関する研究

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

・コンクリート系材料（スラグ固化体、銅スラグ細骨材など）の劣化状況の評価を長期暴露試験により行った。銅スラグ細骨材等の高密度のスラグ骨材に関する知見を港空研報告として取りまとめた。また、

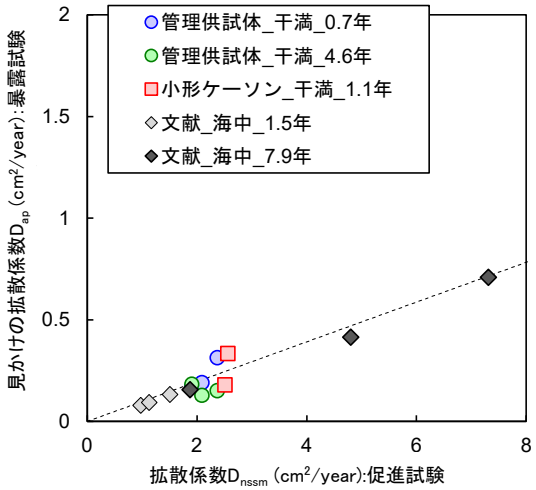
コンクリート系材料の劣化促進手法（電気的駆動力を印加）についても検討を行っており、塩化物イオン拡散係数において促進試験結果と長期暴露試験結果に相関が確認された（図Ⅰ.3.(3).②.1）。

・微生物を用いたコンクリートに関して、微生物によるひび割れ治癒効果および腐食抑制効果を検証するための長期暴露試験を開始した。定期的な外観観察および自然電位、分極抵抗のモニタリングを実施中である。

・背面土中部の鋼材腐食の評価のための長期暴露試験を行った。

・木材については、各種試験体の気中暴露および海中浸漬条件で、質量・曲げ剛性等の定期的な測定を継続中である。風化浸食速度と暴露環境・樹種の関係、樹種および樹幹内位置による耐海虫性の差異、保存処理の耐海虫効果、海虫害の力学特性への影響等を考察する。

a）暴露試験体の写真



b)塩化物イオン拡散係数に関する促進試験と暴露試験結果の比較

図Ⅰ.3.(3).②.1　銅スラグ細骨材を用いたコンクリートに関する調査結果

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

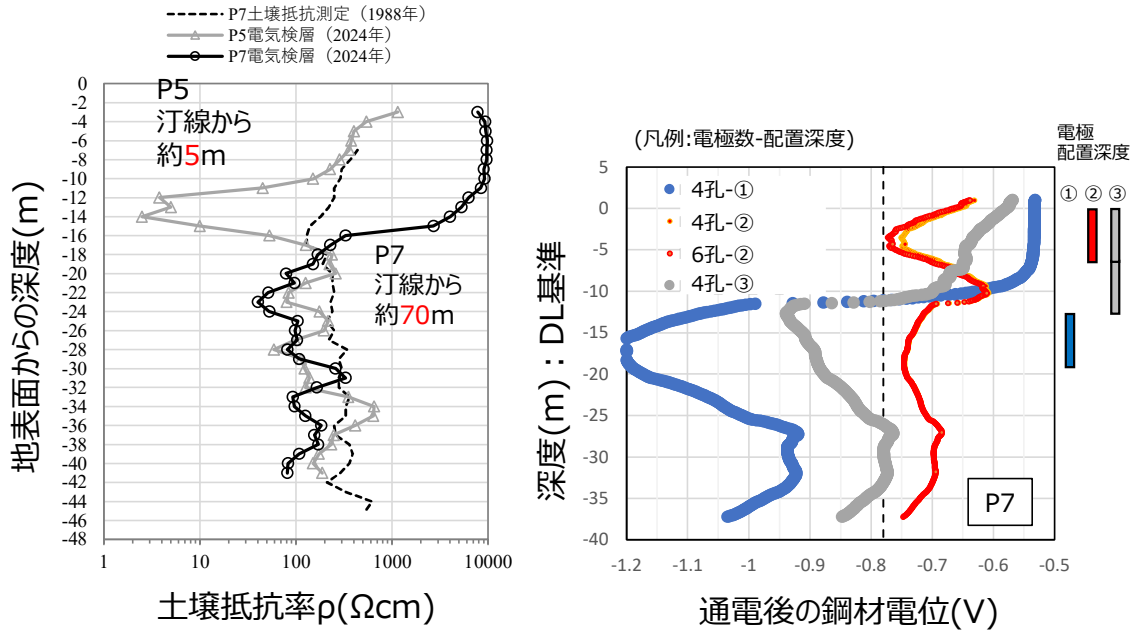
・電気防食工法の設計の高度化に関して、モノパイルの内面を模した試験体（港空研水槽・3～4 年経過）の解体調査を実施し、対象環境での腐食特性および防食工法の特性の評価を行った。また、実海域での電気防食の特性把握を目的として開発した「室内実験系」の検証実験を実施した。

・港湾環境（河口周辺等の汽水域）における防食設計の高度化を目指し、水質調査結果を基にした数値解析を行った。

・港湾環境（海岸付近の土中部）での電気防食設計の高度化を目指し、地盤調査および水質調査等を基にした数値解析を行った。現地の地盤調査で得られた土壌抵抗率を用い、通電用の電極の配置（数や設置深度）を変化させた際の鋼材電位の深度分布を数値解析により算定することで、最適な電極の比較検討を行うことができた（図Ⅰ.3.(3).②.2）。

・電気防食工法の維持管理の高度化に関して、「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関係の整理を、昨年度から継続して行った。

・被覆防食工法の設計・維持管理手法の高度化に関して、実海域（波崎海洋研究施設の観測桟橋など）において、長期間経過後（40 年程度）の被覆防食工法（重防食、ペトロラタム被覆）の諸性能を評価した。また、作用する波力を評価し、防食性能の耐久性に及ぼす波力の影響の評価も行った。

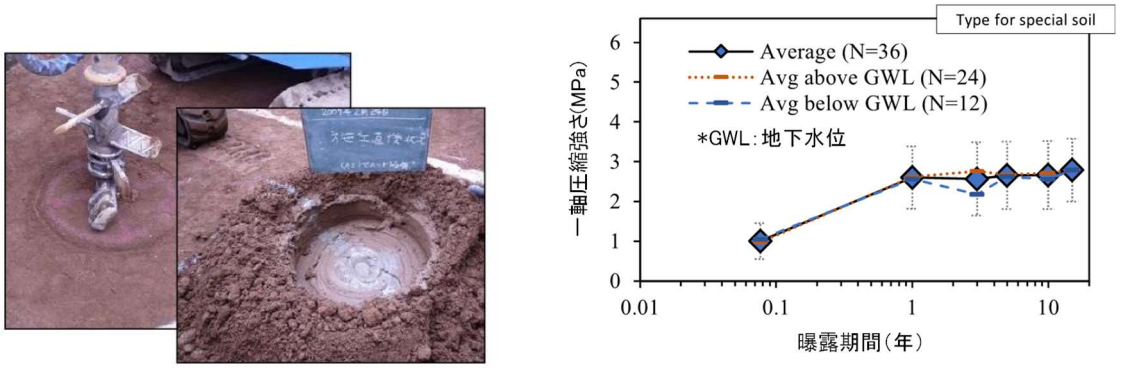


a)土壌抵抗率の深度分布　　b)外部電源方式電気防食適用時の電位の深度分布（数値解析により評価）

図Ⅰ.3.(3).②.2　土壌抵抗率の深度分布を基にした、土中鋼構造物（基礎杭）の電気防食特性の評価
a）汀線から離れると表層付近の土壌抵抗率が大きく異なった（雨水の混入に起因と推測）。
b）土壌抵抗率が深度方向で異なる場合、電極の配置深度によって、電流の流れ方が大きく異なる（数値解析の有効性を示唆）。

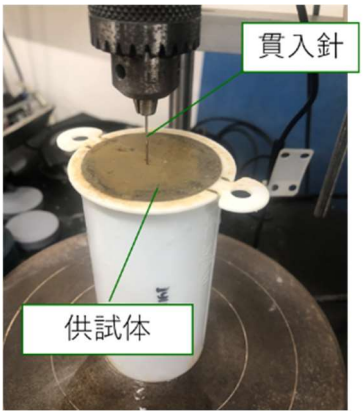
③改良地盤の長期耐久性の検討およびその評価手法の開発

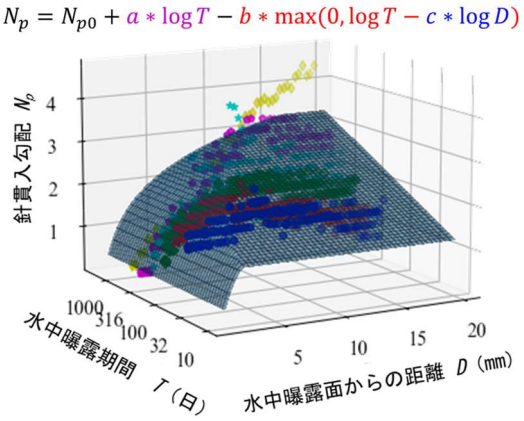
・昨年度に製作した劣化促進試験機を用いて、固化処理土の劣化特性を調査した。調査結果については分析中であり、来年度には結果を公表する。
・屋外で 15 年間にわたって固化処理土を土中養生しており、その固化処理土の長期耐久性について調査を行った。その結果、未処理土に曝露している固化処理土表面付近を除いて、内部の強度は保たれていることを確認した（図Ⅰ.3.(3).②.3）。
・室内で 3 年間にわたって固化処理土を水中養生しており、水に曝露している表面での劣化特性について調べた。試験結果は種々の考察をもたらしているが、例としては劣化深度について図Ⅰ.3.(3).②.4 に示すような統一的な式による説明を可能とした。
・本研究課題から派生して、そもそもの固化処理土の地耐力の評価式の提案や、現場での強度のばらつきの調査、固化処理土内に CO_2 を固定化する方法の提案なども行った。



a)打設時（15 年前(2010 年)の曝露試験開始時）の様子　　b)強度の時間変化

図Ⅰ.3.(3).②.3　土中養生中の固化処理土の強度変化特性





a)劣化状況を調べる試験　　b)統一的な式の提案

図Ⅰ.3.(3).②.4 曝露表面での劣化深度の推定式の提案

④湿潤条件を考慮したコンクリート部材接合部の設計・施工方法に関する検討

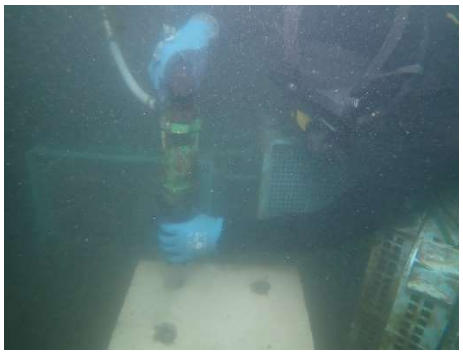
水が部材接合部の耐荷性能に及ぼす影響に関する模型実験では、以下の成果が得られた。

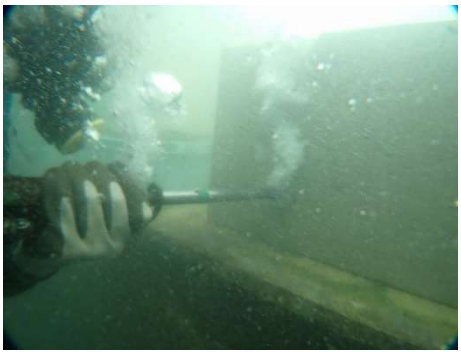
・気中および水中でのドリル削孔、および X 線 CT スキャンによるドリル削孔部の可視化を通して、施工環境や施工方向、施工者によるドリル削孔部の施工状態を定量化した。その結果、気中施工に対して水中施工の場合は同一の施工者でもドリル削孔角度のばらつきが大きいこと、横向き施工の場合は（水平面よりも）下方に向かってドリル削孔される傾向があることが明らかとなった（図Ⅰ.3.(3).②.5）。

・一部のドリル削孔部を用いて差筋施工および引抜き載荷実験を実施した。その結果、本実験ではドリル削孔部の施工状態のばらつきが差筋接合部の耐荷性能に及ぼす影響は確認されず、充填材の圧縮強度の違いによる影響の方が大きいことが示唆された。

・孔壁状態を滑面から凹凸まで変化させた試験体を用いて引抜き載荷実験を実施した。その結果、孔壁が滑面状態では充填材/コンクリート界面で付着破壊が先行し、最大荷重の低下および非常に脆性的な破壊に至ることを確認した。コア削孔した場合や明確な凹凸を設けた場合では差筋/充填材界面で付着破壊が先行するとともに、特に明確な凹凸を設けた場合では最大荷重時の差筋抜け出し量が増加しており、脆性的な破壊を改善できることが示唆された（図Ⅰ.3.(3).②.6）。

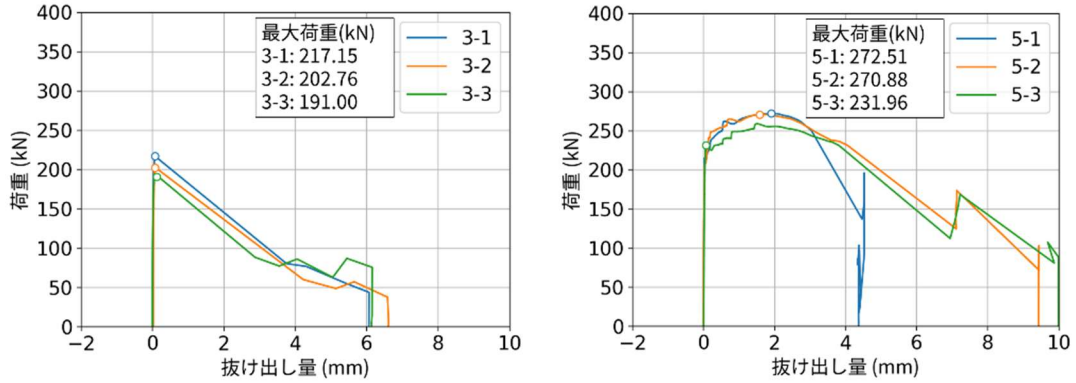
・嵩上げ接合部の設計の考え方の整理については、港空研、国総研および沿岸技術センターの関係者と議論を重ね、作用および抵抗の考え方の整理を行っている。





a)削孔方向：下向き　　b)削孔方向：横向き

図Ⅰ.3.(3).②.5 水中でのドリル削孔状況



a)孔壁状態：滑面（ボイド管）　　b)孔壁状態：凹凸（スパイラルシース）

図Ⅰ.3.(3).②.6　孔壁状態の違いによる荷重－差筋抜け出し量関係の変化

（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

①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

・数値解析によるメンテナンスのハイサイクル化に関して、桟橋上部工の残存耐力を評価する方法としての「数値解析」を高度化させるための実部材載荷試験（梁）を行った（図Ⅰ.3.(3).②.7）。この検討により、劣化がかなり進行した場合の解析手法の検証や課題の抽出を行うことができた。

・3D モデル化技術とメンテナンスのハイサイクル化への利活用に関して、3D 図面等から構造解析モデルを作成する手法の効率化として、桟橋上部工外形からの復元設計や、3D CAD からフレーム解析用モデルを自動作成する方法、桟橋外形から DuCOM/COM3 用モデルを作成する方法等について検討を行った。

・劣化度を基にした、桟橋の残存性能評価手法の高度化（機能拡張）を行っている。また、検討中の内容を基に国総研や港湾管理者等と社会実装に向けた意見交換を行った。

図Ⅰ.3.(3).②.7　実部材（桟橋から切り出した梁）の載荷試験状況

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載論文：8 編［2024.4.1～2024.12.31］

・Ji Xi, Yuya Takahashi, Yuichiro Kawabata: Quantitative Assessment of Correlation Between Compressive Strength Degradation and Microstructural Crack Information in Mortar Deteriorated by Freeze-Thaw Cycles,Construction and Building Materials. （2024.9）

・Hayato Takahashi, Toshikatsu Kou, Yoshitaka Kato, Ema Kato: Effect of water saturation in hardened mortar around a steel bar on corrosion considering exposure history,Journal of Building Engineering, （2024.12）

・Sara Farooq, Gentaro Aoki, Taito Miura, Yuichiro Kawabata, Hikaru Nakamura: Anisotropic expansion behavior and crack orientation of reinforced concrete due to the alkali−silica reaction,Cement and Concrete Composites. （2024.5）

・Ali Naqi, Masahide Otsubo, Reiko Kuwano, Hideki Nagatani, Kenichi Kawano, Weichen Liu： A mixing index for uniformly and gap-graded cohesionless particles influenced by mixing rate and diameter of stirring rods, Powder Technology. （2024）
・Sanjei Chitravel, Masahide Otsubo, Reiko Kuwano： Hydro-mechanical response of volcanic ash on removal of fines: shear stiffness to critical state mechanics, Soils and Foundations. （2024）
・Sukhumkitcharoen Rawiwan, Junichi Koseki, Masahide Otsubo：Relationships between Void Characteristics and Re-Liquefaction Resistance: An Image Analysis Study, Soils and Foundations. （2024）
・Sanjei Chitravel, Masahide Otsubo, Reiko Kuwano： The effect of suffusion on small strain shear modulus of gap-graded soil under principal stress rotation, Soils and Foundations. （2024）
・Itsuki Sato, Reiko Kuwano, Masahide Otsubo： Particle crushing and critical state of a volcanic pumice – the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, Soils and Foundations. （2024）

口査読付き国際会議論文：10 編 ［2024.4.1～2024.12.31］
・S. Asamoto, A. Izumi, Y. Kawabata, C. Kethib, R.-P. Martin, F. Toutlemonde, T. Shimomura & J. Tomiyama：Effect of cement and exposed environmental differences on DEF expansion: Joint investigation using constituents from Japan and France,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024.5）
・N. Yoshida, Y. Ando, Y. Kawabata, Y. Sagawa, T. Kawakami & Y. Shibui： Expansion properties and microscopic features of DEF and ASR expansive specimens subjected to residual expansion tests,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024）
・K. Yamada, Y. Kawabata, T. Kawakami & Y. Sagawa： Reconsideration of required studies on predicting long-term effects of AAR on the performance of real structures,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024.5）
・M. Fujishima, T. Miura, Y. Takahashi, S. Multon & Y. Kawabata： Influence of crack orientation of ASR expansion under restraint condition on compressive behavior evaluated by mesoscale discrete model,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024.5）
・Y. Kawabata,Y. Takahashi, T. Miura, Y. Sagawa, N. Yoshida, S. Miyamoto & K. Yamada： Microscopic to macroscopic aspects for structural assessment of ISR-affected structures – Research outcomes of JCI-TC211A-,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024.5）
・T. Miura, S. Multon,Y. Kawabata：Modification of aggregate crack orientation from different expansive site under applied stress evaluated by mesoscale discrete model,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024.5）
・R.-P. Martin, S. Asamoto, Y. Kawabata, C. Kethib& F. Toutlemonde： Conditions of DEF development in various climatic conditions: laboratory and field investigation,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024.5）
・Y. Kawabata, Y. Ando, C. Dunant & K. Yamada： Effects of temperature variations on ASR-induced expansive behavior,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024.5）
・T. Kawakami, Y. Sagawa, K. Yamada & Y. Kawabata： Difficulty in determining the alkali threshold based on CPT results,Proceedings of 17th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. （2024.5）
・Kyle Cabatit, Nobuhiro Chijiwa, Kunihiiko Uno, Yutaka Tanaka, Toru Yamaji： Effects of Severe Chloride-Induced Corrosion with Spalling on the Structural Performance of RC Structures in Marine Environments: An Experimental Study,fib symposium. （2024.11）

□和文査読付き論文：4 編

・田中豊、川端雄一郎、山路徹、三浦泰人： 水中施工したあと施工アンカーの付着性状に関する基礎的検討、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第 24 巻、pp.831-836. （2024.10）

・佐藤樹、高橋英紀、栗原大： 異なる母材の固化処理土で構築された地盤の鉛直載荷による破壊モードと地耐力、土木学会論文集. （2024）

・岡崎慎一郎、岡崎百合子、山路徹、与那嶺一秀： 材料や暴露環境が塩化物イオン拡散モデルの予測結果に与える影響要因分析、土木学会論文集、2024、80 巻、10 号. （2024.10）

・松永正弘、山田昌郎、小林正彦、前田啓、神林徹、石川敦子： 超臨界二酸化炭素中または窒素中で熱処理したスギ材の海洋暴露試験による評価、木材保存、Vol.50、No.3、pp.84-97. （2024.5）

□各種表彰の受賞：6 件

・小池賢太郎： セメント協会 第 78 回セメント技術大会優秀講演者賞

・小池賢太郎： 日本防錆技術協会 第 44 回防錆防食技術大会若手技術者優秀発表賞

・佐藤樹： Bright Spark Lecture Award （国際地盤工学会(ISSMGE)）

・川端雄一郎、加藤絵万： 土木学会技術賞

・川端雄一郎、加藤絵万： 日本建設業連合会土木賞

・土田雄大： 地盤工学会 第 59 回地盤工学研究発表会優秀論文発表者賞

□国際連携活動：2 件

・スウェーデン地盤研究所と、12 月に日本で開催した深層混合処理工法の国際会議に併せて打ち合わせを行い、固化処理土の急速劣化に関する試験法や CO_2 の混合方法について議論を行った。

・IFSTTAR （フランス交通・空間計画・開発・ネットワーク科学技術研究所） と、日仏で実施しているコンクリートの共同暴露試験について、定期的に打合せ（1 回/3 カ月）を行った。また、これまでのデータを取りまとめ、国際会議で 2 件の発表を行った。

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：4 件

・特許（出願）： 地盤改良体解析方法、地盤改良体解析プログラム及び地盤改良体解析装置
（特願 2024-201279）

・特許（出願）： コンクリートへの付着性を有する導電性ゲル（特願 2024-201279）

・特許（登録）： 高耐久性裏込めグラウト材（特許第 7473754 号）

・特許（登録）： コンクリート中鉄筋の腐食箇所検出装置（特許第 7489047 号）

□その他

◆港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：1 編（報告）

・小池賢太郎、山路徹、黒田智広、川中智加、畑中拓：高密度のスラグ骨材を用いたコンクリートの港湾構造物への適用性に関する研究、港湾空港技術研究所報告、第 64 巻第 1 号、2025.3.

◆学会発表、講演等：31 件

・小池賢太郎、川端雄一郎、昇悟志、鎌田太陽： 建設用 3D 材料押出プリンタで作製した積層体の積層界面における物質移動抵抗性に関する検討、第 78 回セメント技術大会 （2024）

・Kentaro Koike,Takahiro Nishida, Keiyu Kawaai, Toshinori Hayashi, Takamichi Nakamura： Investigation Of The Self-Healing Eff ect Of Mortar Using Bacillus Subtilis-LoadedSHIRASU, 9th international conference on self-healing materials. （2024.6.26）

・Takahiro Nishida, Keiyu Kawaai, Toshinari HAYASHI, Takamichi Nakamura, Kentaro Koike： Experimental Investigation of Self-Healing Effect of Mortar Mixed with Bacillus Subtilis and Biodegradable Plastic, 9th

international conference on self-healing materials. （2024.6.26）

・Takamichi Nakamura, Toshinari HAYASHI, Takahiro Nishida, Keiyu Kawaai, Kentaro Koike: Isolation Of Highly Alkaline-Resistant Bacteria For Contribution Of The Self-Healing Materials In Concrete, 9th international conference on self-healing materials. （2024.6.26）

・林俊斉、中村孝道、齋藤淳、西田孝弘、河合慶有、小池賢太郎: 好気性微生物の代謝による鉄筋コンクリートの腐食抑制技術の開発、第 44 回防錆防食技術発表大会 （2024）

・錦織和紀郎、昇悟志、久保田真一、青田徹、山路徹、川端雄一郎、小池賢太郎、岩本卓也、鎌田太陽: 海洋環境に半年間暴露した建設用 3D プリンタ製モルタル積層体の強度特性、第 79 回土木学会全国大会年次学術講演会 （2024）

・山田昌郎、森満範: 国産材 6 樹種試験体の含水率と曲げ剛性の関係、第 79 回土木学会年次学術講演会 （2024）

・松永正弘、山田昌郎、石川敦子、小林正彦、前田啓、神林徹: 1 年間の海洋暴露試験を実施したアセチル化竹材の性能評価、日本木材保存協会第 40 回年次大会 （2024）

・川端雄一郎、安藤陽子、山田一夫: アルカリシリカ反応で生成したゾル状生成物の分析の試みと考察、第 79 回土木学会年次学術講演会 （2024）

・土屋和夫、宮本慎太郎、皆川浩、久田真、川端雄一郎: 低温の海水作用を受けるセメント水和物の化学反応経路に関する考察、令和 6 年度土木学会東北支部技術研究発表会 （2024）

・小池賢太郎、 山路徹、西田孝弘: 海洋環境に長期暴露されたウレタンエラストマー被覆における各種非破壊調査結果 、第 44 回防錆防食技術発表大会 （2024）

・橋本永手、山路徹、小池賢太郎、出口青空: 海洋鋼構造物のマクロセル腐食を再現する実験系の提案 、第 44 回防錆防食技術発表大会 （2024）

・山路徹、西喜士、中川英夫: 定期点検診断結果を基にした鋼構造物の電気防食に対する劣化度判定に関する一考察、第 71 回材料と環境討論会 （2024）

・栗原大、高橋英紀: 二酸化炭素を混入したセメント固化処理土の強度発現特性に関する検討、第 59 回地盤工学研究発表会 （2024）

・佐藤樹、高橋英紀、宮下千花、三原一輝: セメント改良した関東ロームの促進変質実験による力学特性の評価、第 78 回セメント技術大会 （2024）

・中村弘典、二戸信和、宮脇賢司、高橋英紀: セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究-材齢 15 年までの一軸圧縮強さと水和生成物について-、第 78 回セメント技術大会 （2024）

・泉尾英文、中村弘典、二戸信和、宮脇賢司、高橋英紀: セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究、 第 79 回土木学会年次学術講演会 （2024）

・大森慎哉、三枝弘幸、浅田英幸、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特性に及ぼす混合時間の影響、第 59 回地盤工学研究発表会 （2024）

・佐藤樹、高橋英紀、栗原大: 異なる母材のセメント固化処理土の支持力破壊モードおよび地耐力に関する検討、第 59 回地盤工学研究発表会 （2024）

・栗原大、高橋英紀: 二酸化炭素を混入したセメント固化処理土の強度発現特性に関する検討、第 59 回地盤工学研究発表会 （2024）

・田中豊、加藤絵万、網野貴彦、田中亮一: 円柱状シアキーを設けた部材接合部のせん断耐力に関する基礎的検討、令和 6 年度土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会 （2024）

・Itsuki Sato, Reiko Kuwano, Masahide Otsubo: Effect of particle crushing and porosity of volcanic pumice on the location of critical state line, Proceedings of 10th Asian Young Geotechnical Engineering Conference. （2024 口頭発表あり）

・Hidenori Takahashi, Tomohiro Ichikawa, Takatoshi Noguchi: Centrifuge model tests on the effect of soft foundation ground in block-type quay walls subjected to earthquake, Proceedings of the 8th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. （2024 口頭発表あり）

・Ooki Kurihara and Hidenori Takahashi: Centrifuge model tests on configuration of cement-treated soil

behind cellular quay wall, Proceedings of the 8th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. （2024 口頭発表あり）

・Itsuki Sato, Hidenori Takahashi, Ooki Kurihara: Comparison of mechanical properties on cement treated soils produced by deep mixing and jet grouting methods at same site, Proceedings of Deep Mixing. （2024 口頭発表あり）

・Shinya Omori, Hidenori Takahashi, Yoshiyuki Morikawa, Hideyuki Asada, Hiroyuki Saegusa: Variation in improvement effects of cement-treated soil mixed with cellulose nanofiber, Proceedings of Deep Mixing. （2024 口頭発表あり）

・Hidefumi Izuo, Hironori Nakamura, Nobukazu Nito, Kenji Miyawaki, Hidenori Takahashi: Fifteen-year investigation of volcanic cohesive clay improved by in-situ mechanical mixing with cement, Proceedings of Deep Mixing. （2024 口頭発表あり）

・Sachihiko Tokunaga, Yoshiyuki Morikawa, Hidenori Takahashi, etc.: New applications of cement treated soil by CDM method, Proceedings of Deep Mixing. （2024 口頭発表あり）

・Youhei Katayama, Kazuhiko Ueno, Hidenori Takahashi, and Kiyonobu Kasama: Seismic response analysis of ground improved by Deep Mixing considering spatial variability, Proceedings of Deep Mixing. （2024 口頭発表あり）

・Ooki Kurihara and Hidenori Takahashi: Unconfined compression tests of cement-treated soil with carbon dioxide containment, Proceedings of Deep Mixing. （2024 口頭発表あり）

・Yang Li : X-ray microtomography measurements and DEM assessments of coevolving particle size and shape. （2024 口頭発表あり）

◆その他の国際連携活動（研究協力締結以外の国際活動）：5 件

・深層混合処理工法に関する国際会議(Deep Mixing 2024)において議長を務めるとともに、運営の主体にもなり開催した。

・国際航路協会 PIANC MarCom（海港委員会）での WG の幹事を務め、防波堤直下の軟弱地盤の対策や改良方法について世界の情報をとりまとめてドラフトレポートを作成した。

・RILEM（国際材料構造試験研究機関・専門家連合） TC-301 “Risk assessment of concrete mixture designs with alkali-silica reactive (ASR) aggregates”に参画し、委員会活動を推進した。

・fib（国際コンクリート連合） TG1.2 - Concrete structures in marine environments WP1.2.2 - Submerged floating tube bridges (SFTB)に参画し、委員会活動を推進した。

・JICA が主催する研修において、港湾施設の維持管理に関する講義等による技術支援を実施した。

重　点　領　域	(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せ、実海域を想定した実験を行うことで、水中 ICT 建機の実用化・普及に関する検討を行う。 －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、平易な作業例(目視点検)から抽出した各特定動作を自動化して再構成、ROV 等に実装して作業の最小単位の自動化を実海域等で検証する。等

研　究　の　背　景

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、港湾の ICT 化の一環で、ICT 測量として「マルチビーム測量」が導入された。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、マルチビーム測量における AI ノイズ除去機能の開発、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 6 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

・水中作業の自動化、機械化の全国展開を目的として、濁った場所での使用に向けた外界計測ソナーのアップデートを行う。

・水中 ICT 建機の普及を目的として、水中 ICT 建機の技術的資料を取りまとめる。

②マルチビームクラウド（AIMS）の開発

・測量における生産性向上や省人化を目的として、AWS クラウド上に専用解析ソフトウエアと AI ノイズ除去機能を搭載するマルチビームクラウド（Acoustic IMaging or Survey System, AIMS）を実装し、解析時間の大幅な短縮を実現する。

（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

・港湾構造物の桟橋上部工下面や水中部の点検の省力化・効率化を目的として、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を開発する。

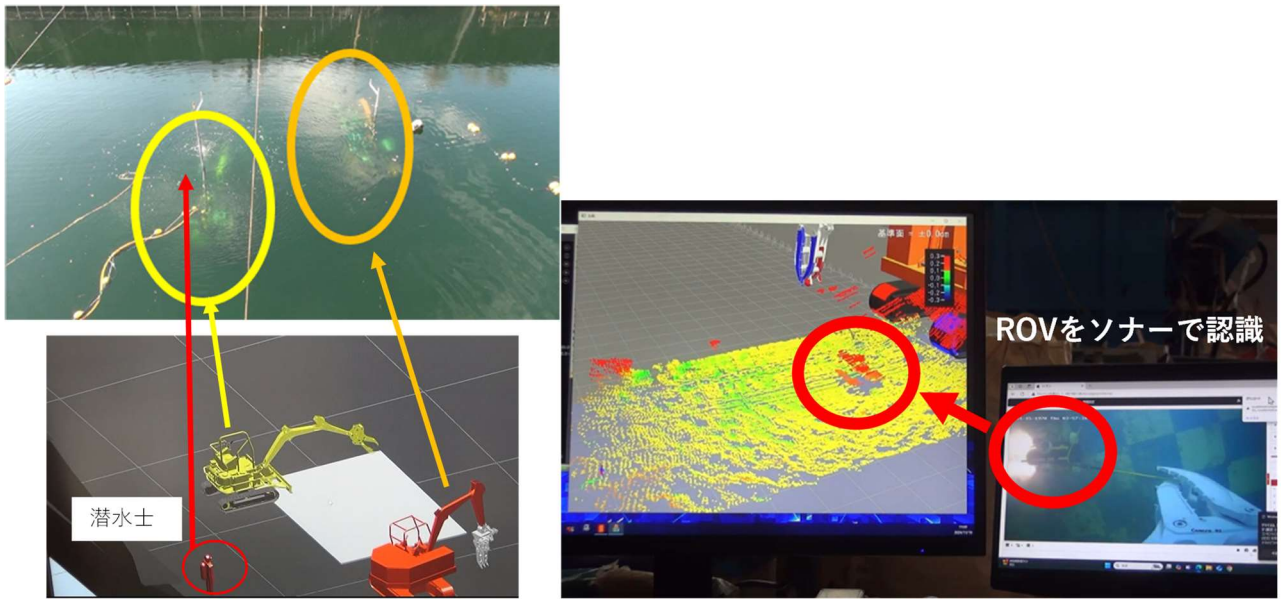
令和 6 年度の研究成果

（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

・濁水中でのソナー認識について、作業対象となる手先付近の状況を約 1 秒周期で常に走査（スキャン）し形状を更新することで状況認識のリアルタイム性を向上させるための機構を検討し、水槽実験によりその有効性を確認した。この成果により濁水中での機械化施工作業効率の向上につながる可能性を示した（図Ⅰ.3.(4).①.1）。

・ICT 型水中 BH（バックホウ）のシステム構成や使用条件などをとりまとめ、港空研報告付録として公開した。これにより、水中機械化施工管理ツールの具体的提案がなされるとともに、ICT型水中BHの民間利用での参考技術になる等、社会実装に近づきつつある。



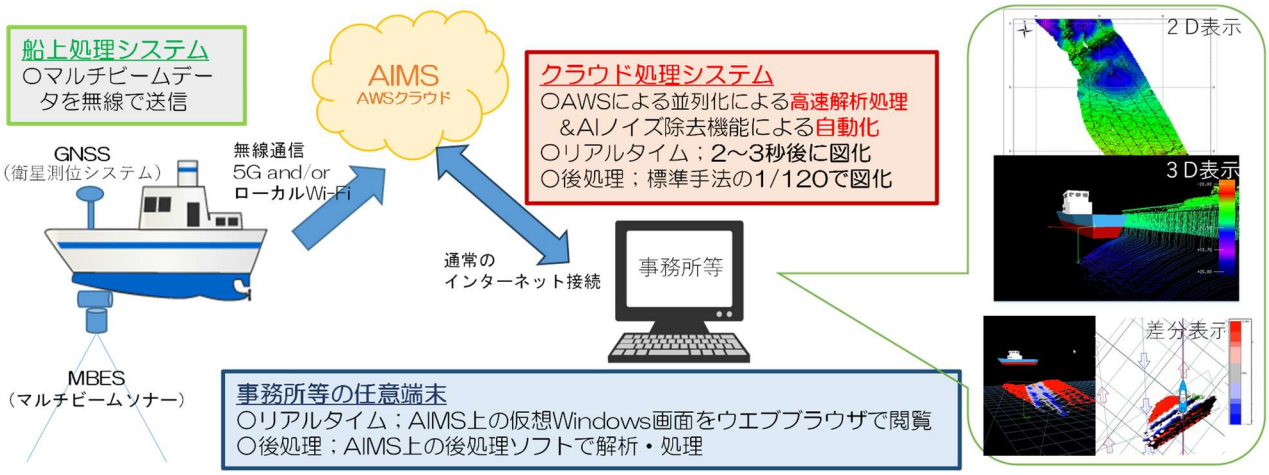
図Ⅰ.3.(4).①.1　水中機械化施工の情報管理システム

左図：水中の作業状況を CG で認識することで、目視に依存しない遠隔操作システムを実現した。

右図：ソナー技術を向上し、濁った環境でも使用可能となった

②マルチビームクラウド（AIMS）の開発

・AIMS を実装したことにより、熟練者による手作業を伴う標準手法では 2.5 日程度を要していた解析が、AIMS 後処理では 10 分程度となり、解析時間が大幅に短縮された（図Ⅰ.3.(4).①.2）。これにより、浚渫船を即日返却できるようになり、大幅な工期短縮やコストダウンが推測される。



図Ⅰ.3.(4).①.2　マルチビームクラウド（AIMS）の概念図

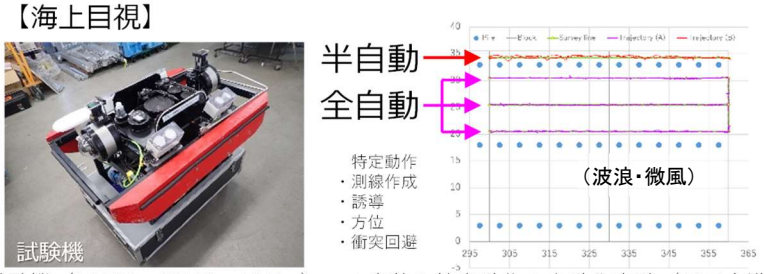
（2）ロボット技術による点検作業の DX

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

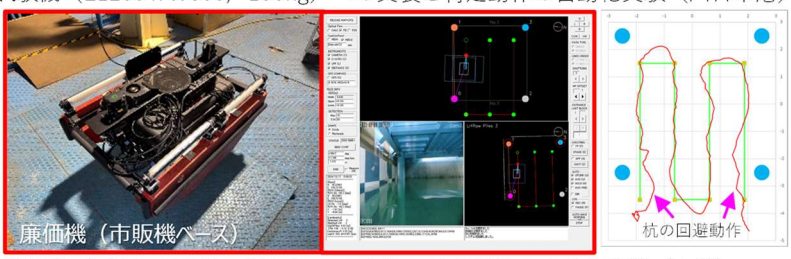
・構造物近傍における点検の省力化・効率化を目的として、水中及び水上移動型の点検装置の特定動作単位での自動化技術を構築した。本技術を市販 ROV 等にプラットフォームとして導入し、桟橋上部工下面の目視調査・点検や、構造物の水中部の目視調査・点検の主要作業を簡易的に自動化する事例を示した（図Ⅰ.3.(4).①.3）。

・自動化システムを市販の点検装置に実装したことにより安価に製作できる可能性を示すと共に、高度な熟練者でなくても操縦できる可能性を示すことができ、港湾労働者の深刻な作業者不足への対応や安全な作業環境の確保、老朽化が進む港湾構造物の頻繁な点検作業の生産性向上が期待できる。

【海上目視】



試験機（L1200 x W800，100kg）への実装と特定動作の自動化実験（四日市港）



廉価機（L800 x W600，50kg）への実装と特定動作の自動化実験（水槽）

凡　例

—　　：目標経路（測線）

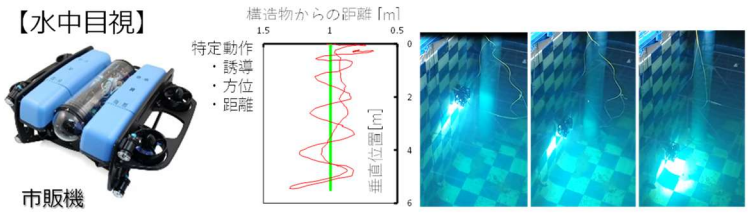
—,—　：ロボットの移動軌跡

●　　：杭（ランドマーク）

※移動軌跡はロボット位置の逐次測位の結果であり、その位置には動揺を含む運動の結果に加え、測位誤差によるばらつきが含まれる。

a）海上目視ロボットの自動化事例

【水中目視】



潜航中の構造物との距離保持（御前崎港）　壁面に沿った鉛直移動（水槽）
市販機への実装と特定動作の自動化実験

b）水中目視ロボットの自動化事例

図Ⅰ.3.(4).①.3　ロボットの自動化事例

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文：1 編［2024.4.1～2024.12.31］

・Kita T. Tanaka T.:　Tank Experiment of Underwater Wall Climbing Platform to Inspect Steel Pipe Pile.　（2024）

□和文査読付き論文：3 編

・平林丈嗣、松本さゆり、佐藤智夫、上山淳：「浮上式水中測位装置を用いた水中建設機械の測位と遠隔操作」、第 22 回建設ロボットシンポジウム　（2024 年 10 月）

・田中敏成、喜多司、先岡良宏、倉持雅彦：　桟橋下の杭列間エリアにおける点検ロボットの全・半自動の複合誘導実験、第 22 回建設ロボットシンポジウム、O2-4　（2024）

・喜多司、田中敏成：　構造物水中部点検用ロボットによる撮影画像への位置情報付与についての検討、第 22 回建設ロボットシンポジウム、O2-5　（2024）

□その他

◆港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：1 編

・平林丈嗣、佐藤智夫：「浮上式音響測位装置を用いた水中建設機械の測位と水中遠隔操作実験報告」、第 63 巻、第 3 号（2024 年 9 月）

◆社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：1 件

・AIMS を国総研クラウドへ実装した。（R7年度より全国の直轄で実運用予定）

◆学会発表、講演等：3 件

・Oceans2024 Singapore 展示会にてポスター発表

・松本さゆり：効率的な航路保全に向けた研究開発～マルチビームデータ処理クラウド(Acoustic IMasing or Survey system：AIMS)の開発～、港湾 （2024.12、口頭発表）

・田中敏成：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、建設機械、No.713 (Vol.60、No.12) （2024、口頭発表）

重　点　分　野	(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 －AIコンテナターミナルシステムとシミュレータの逐次連携機能の実装や、IoT 手法の適用による荷役機械の情報収集とシミュレーションへの適用手法の検討を実施する。 －沿岸環境や波浪・流動把握等の多様な課題に対応できる共通アウトプットプラットフォームの開発を進める。 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デジタル技術の導入を強力に進めていく必要があり、港湾分野においても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 6 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システムと連動するシミュレータの開発に関する研究

・AI など情報技術によりターミナル全体の運用を支援することを目的として、AI ターミナルシステムと数値シミュレーションの連動による定量的な評価をリアルタイムで呈示する技術を開発する。

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

・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うことを目的として、PortML の詳細調査とソリューション開発条件の整理を行う。

（2）DX 時代の情報収集・処理・発信に関する研究開発

①沿岸の環境と災害に対応するサイバーフィジカルシステム技術の開発

・現状のサイバーフィジカルシステムでの課題であるデータ取得から視覚化までのタイムラグを解消する目的で、データのインプットからアウトプットまでのハイスループットを実現する即時データ処理技術の開発を行うとともに、技術交流サロンのための基礎技術の習得を行った。

・多様な問題に即時に対応可能な共通アウトプットプラットフォームを構築する目的で、UMI-POCHI（港湾と沿岸の情報拠点）の運用を通じたニーズ抽出方法の検討を行うとともに、新たなコンテンツの構築を行った。

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

・鋼製浮体の防食システムの検査方法（特に電気防食用流電陽極の消耗量）の省力化を目的として、UEP（海中電界センサ）を活用した防食システムの検査方法を開発する。

令和 6 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システムと連動するシミュレータの開発に関する研究

・博多港においてターミナルオペレータの意見収集を行い、AI ターミナルシステムと数値シミュレータ間の連携機能を付与したシミュレーションシステムを開発した（図 Ⅰ.3.(4).②.1）。この成果により、ターミナルレイアウトやターミナルオペレーションの作業効率の定量的評価が可能となった。

・さらに、荷役機械の制御信号データの分析により、クレーンの消費エネルギー分析や地震等の災害時のターミナル活用についての検討を行った。

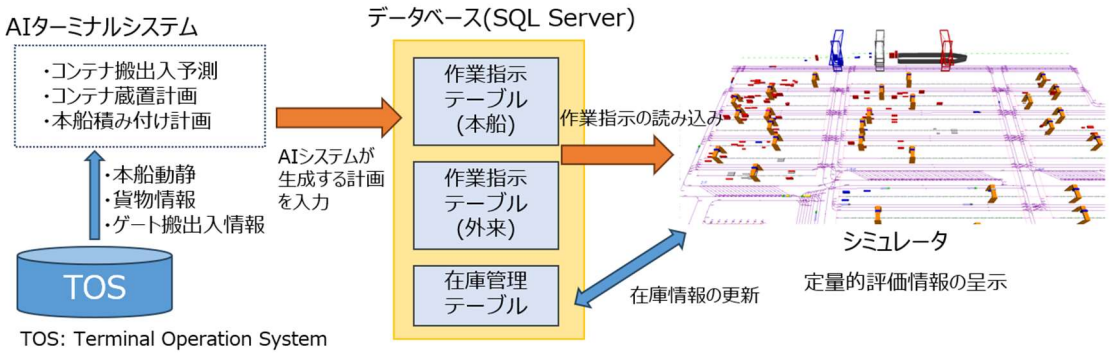
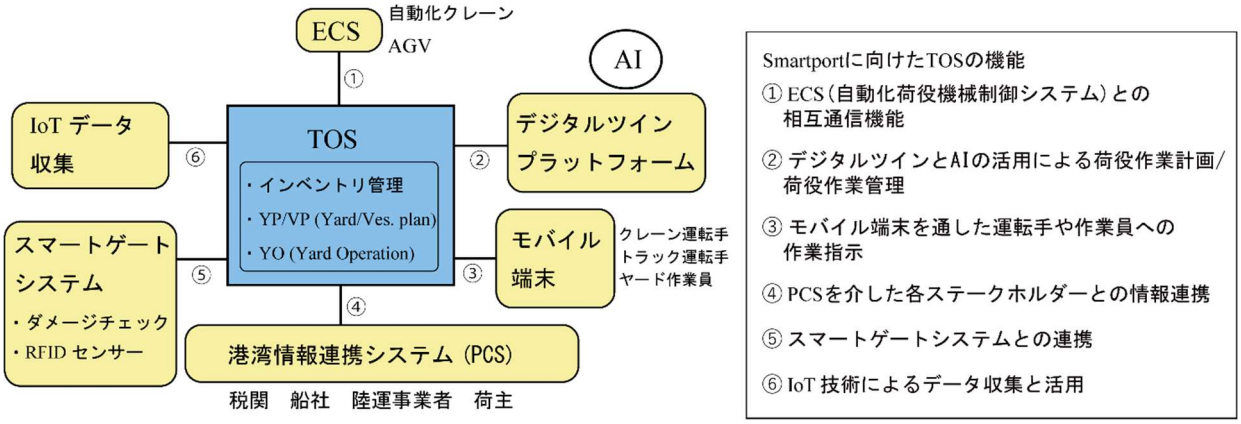


図 Ⅰ.3.(4).②.1　AI コンテナターミナルシステムと連動するシミュレータの概念図

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

・コンテナターミナルにおける情報化、情報共有についての調査を行い、スマートポート化を考慮したターミナルオペレーションシステムのコンセプトを提案し（図 Ⅰ.3.(4).②.2）、同一港湾のステークホルダー間の情報連携の重要性を提言した。この成果により、日本のコンテナターミナルにおいてもターミナル間の情報

共有の機運が高まるとともに、港湾デジタルツイン標準化が進むことが期待される。



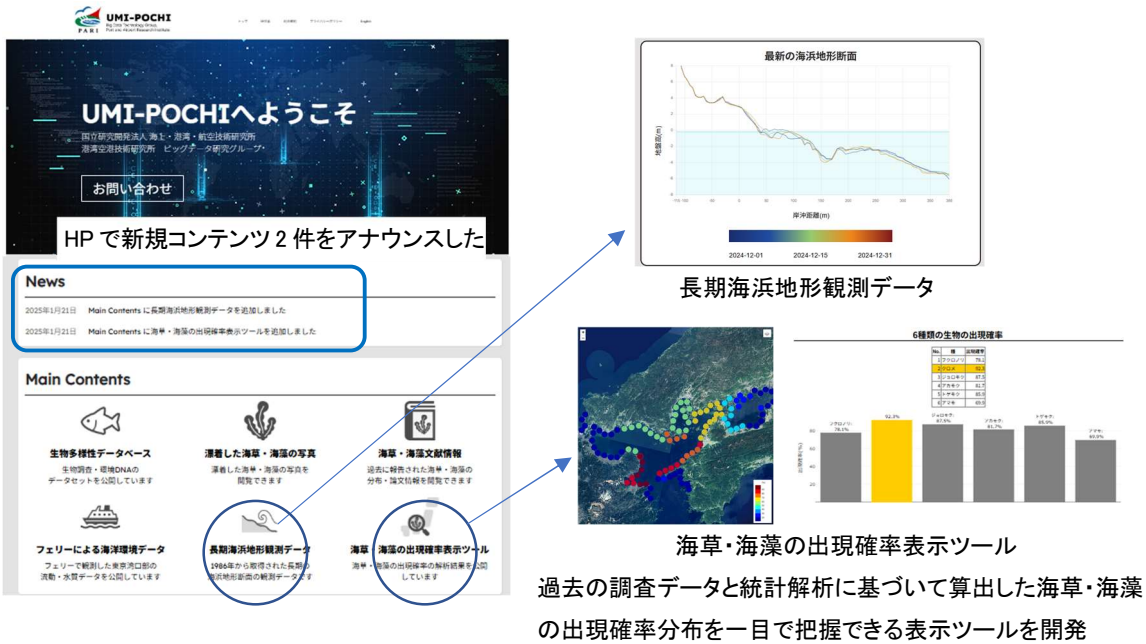
図Ⅰ.3.(4).②.2　スマートポートにおけるターミナルオペレーションシステムの概要

（2）DX 時代の情報収集・処理・発信に関する研究開発

①沿岸の環境と災害に対応するサイバーフィジカルシステム技術の開発

・即時データ処理技術の課題整理が完了し、大規模言語モデルによる技術を習得した。

・多様な問題に即時に対応可能な共通アウトプットプラットフォームとして、UMI-POCHI に、新たなコンテンツとして「長期海浜地形観測データ」及び「海草・海藻の出現確率表示ツール」を追加し（図Ⅰ.3.(4).②.3）、ニーズ抽出に努めた。



長期海浜地形観測データ

海草・海藻の出現確率表示ツール

過去の調査データと統計解析に基づいて算出した海草・海藻の出現確率分布を一目で把握できる表示ツールを開発

図Ⅰ.3.(4).②.3　UMI-POCHI に新たなコンテンツを追加

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

・海中において高耐久性を有するセンサの開発に関して、過年度までは、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 に着目していたが、今年度はセンサの構成材料を変更し、基礎的検討を実施した．今年度は「銀セメント照合電極」の安定的な製造方法を模索し、銀セメント照合電極の電位再現性を確認した．

・海洋鋼構造物の防食システムの検査手法に関して、UEP センサ（図Ⅰ.3.(4).②.4）を用いた電流密度の検出手法について、室内試験による検証を行った。実海域での計測も実施した。この結果、対象構造物と非接触で、防食時の電流密度が測定できる可能性が示された。これらの研究内容や実績は分野横断課題に応用されている。

図Ⅰ.3.(4).②.4 UEP センサ（海中電界センサ）の概念図

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載論文：1 編［2024.4.1～2024.12.31］

・Inutsuka H., Ichimura K., Sugimura Y., Yoshie M., Shinoda T.: Study on the Relationship between Port Governance and Terminal Operation System for Smart Port: Japan Case,Logistics, 8(2), 59. （2024）

□和文査読付き論文：4 編

・犬塚秀世、吉江宗生、杉村佳寿、市村欣也： AI コンテナターミナルのデジタルツイン化を支援する評価解析手法の開発、土木学会論文集(海洋開発)、80(18). （2024）

・Tiago Novaes、犬塚秀世、市村欣也、杉村佳寿、篠田岳思： PLC データを用いた RTG 荷役技術の可視化と消費エネルギーの分析、土木学会論文集(海洋開発)、80(18). （2024）

・上田剛士、犬塚秀世、市村欣也、杉村佳寿、吉江宗生、安部智久： 立体格納庫式コンテナターミナルにおける荷役高度化に向けた検討、土木学会論文集(海洋開発)、80(18). （2024）

・市村欣也、村山哲郎、犬塚秀世、杉村佳寿、篠田岳思： 港湾の脱炭素化のための水素駆動型荷役機器デバイスの開発と運用管理、土木学会論文集(海洋開発)、80(18). （2024）

□国際連携活動：1 件

・シンガポール国立大学と連携し、AI コンテナターミナルのデジタルツイン化に関する共同研究を実施した。

□その他

◆港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料：2 編

・細川真也、本間翔太、大倉翔太、田村仁： 漂着海草・海藻に基づく藻場分布域の推定手法の開発、港湾空港技術、第 63 巻、第4号、1-46. （2024）

・犬塚秀世、市村欣也、杉村佳寿、吉江宗生、篠田岳思： スマートポートに向けたターミナルオペレーションシステムと港湾ガバナンスの関係性についての一考察、63(3). （2024）

◆社会実装（現場や基準等に反映された研究成果等）：2件.

・UMI-POCH(港湾と沿岸の情報拠点)において、波崎海洋研究施設の観測データを公開した。

・UMI-POCH(港湾と沿岸の情報拠点)において、海草・海藻の出現確率表示ツール及びデータを公開した。

◆学会発表、講演等：8件

・Tiago Novaes、犬塚秀世、吉江宗生、杉村佳寿： Analysis of Programmable Logic Controller Data of a Rubber-Tired Gantry Crane、令和6年日本船舶海洋工学会秋季講演会. （2024）

・犬塚秀世、吉江宗生、Tiago Novaes、杉村佳寿： コンテナターミナルのオペレーション支援のための荷役シミュレーションモデルの活用に関する検討、第70回土木計画学研究発表会・秋大会. （2024）

・Tiago Novaes、犬塚秀世、杉村佳寿：Evaluation of Simulation Tools for Container Terminal Operations、第70回土木計画学研究発表会・秋大会．（2024）
・杉村佳寿、小川雅史、犬塚秀世、石黒一彦：環境配慮型荷役機械の導入実態を踏まえた港湾における脱炭素化の展望と研究の方向性、令和6年日本船舶海洋工学会春季講演会．（2024）
・細川真也、本間翔太、大倉翔太、田村仁：漂着海草・海藻に基づく藻場分布域の推定手法の開発、第71回海岸工学講演会．（2025）
・Homma, S., D. Murakami, S. Hosokawa, K. Kanefuji：Modeling an introduction of invasive alien species through container cargo considering the logistics network, 31st Conference of The International Environmetrics Society.（2024）
・Homma, S.：Introduction Risk of Red Imported Fire Ant through Cargo Containers, Climate Finance & Risk.（2024）
・Hideyo Inutsuka, Muneo Yoshie, Yoshihisa Sugimura, Takuma Takahashi, Reiko Takashima, Tomoyoshi Azuma：Study on Container Handling Simulation for Digital Twin of Container Terminal Operation, Proceedings of 10th International Conference on Transportation and Logistics.（2024、口頭発表あり）

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環境への対応として、GBASについては、多様な飛行実験データを収集して規格化に必要な検証を精緻化する。SBASについては、セキュリティ対策に用いる認証アルゴリズムを実証するとともに、極域へサービスエリアを拡大する手法を検討する。

－GNSS障害時のバックアップとしてマルチDMEのアルゴリズムを開発する。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を低コスト化する技術の基礎検討及びWAMの受信局を削減する技術の開発を行う。

－二次監視レーダによるデータ通信の拡大に伴う課題を解決するため、質問手法や検証評価技術について検討する。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

－設計した初期的FRA（フリールート空域）をシミュレーションやデータ解析で評価するとともに、国際交通流管理のための方策・概念を提案する。

－日本の低高度空域を対象にUAMコリドー（空飛ぶクルマのための飛行経路）の設計条件を精緻化し、それを実現するための監視通信インフラの検討を行う。

－垂直方向の悪天回避について分析するとともに、管制官のシステム入力記録から管制作業量を推定する。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および将来予測に基づき、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提案する。また、シミュレーション実験により、統合運用における管理機能の有効性を検証

する。
－関係者のニーズに基づいて作成した将来の航空管制システムのアーキテクチャに整合し、機能的に働くメタリングの要件を定義する。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

－遠隔により空港の管制業務を実施するためのリモートタワー・デジタルタワー技術の実用化に向けて、運用環境を想定したシステムの評価試験及び業務支援技術の開発と高度化を行う。

－空港周辺や空港面における航空機の監視データを統合する装置を機能向上するとともに、基本的な性能評価手法について検討する。

－空港面用監視技術を用いたFOD（滑走路異物）検知について、羽田空港評価システムデータの分析を行い、異物検知処理の高信頼性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、導入効果の評価を行うとともに効果が得られる条件を明確化する。また、滑走路離脱のパイロット支援に係る模擬実験機材の開発、飛行方式設計アルゴリズムのユーザビリティ向上を行う。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）に基づいた協調的意思決定の有効性を検証できる評価手法を提案し、国際連携実証実験を実施するとともに総合評価用実験システムを開発する。

－航空管制用データ通信について、SWIM等の運用に必要な通信容量と性能要件を調査するとともに、公衆通信網を含む航空用通信制御方式を設計する。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、電波環境の分析評価や機内持ち込み機器の影響評価を行う。

－宇宙天気現象がGNSSに与える影響を評価し、GNSSの性能向上技術を提案する。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 6 年度における取組状況

令和 6 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、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、大規模・可動型スケールモデルの計測技術の研究及び小型波浪ブイを用いた洋上精密測位を実施している。

萌芽的研究

○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、ミリ波レーダーを活用して、多数の送受信機を配置しつつ、コンパクトな構成に纏めた 3 次元ミリ波レーダーイメージャーを用いて 3 次元的な物体のリアルタイム計測、およびエスカレーター等を流れる人流の計測試験を行った。試作したレーダーイメージャーは毎秒 500 回の計測が可能な構成とし、全測定値を記録することで後処理により毎秒 500 枚の 3 次元イメージが取得できることを確認した。また、計測データをリアルタイムに処理するために、FPGA の最大容量の制限の中で、最適に処理する手法を検討した。1000 ボクセル程度の小さな空間であれば毎秒 500 枚、人物等が識別できる程度の解像度を持たせるため FPGA の限界値である 8192 ボクセル計算時においては毎秒 50 枚のリアルタイム映像化が可能となった。これにより、レーダー前方の 3 次元空間をリアルタイムに動画的に映像化することが可能となり、今後はそれを用いて、様々なシナリオにおける、各種危険物の撮影試験を行う予定である。

□査読付き国際会議論文：1 編

・Norihisa Shionoya and Naruto Yonemoto,“Considerations for Transient Voltage and Current Induced to Signal Line in Aircraft Bundles”, EMC Japan/APEMC Okinawa, May 2024

□その他

◆その他発表論文：1 件

・米本　成人、“多数の送信機からの信号を受信し、分離する符号化レーダ、”Interface、2024 年 10 月.

○大規模・可動型スケールモデルの計測技術の研究

研究の概要と成果

近年、空港や航空無線設備に向けて近接する大規模構造体や、航空機搭載無線設備の高周波化に伴い、スケールモデルで検証する場合の周波数が高くなっている。また、実際には可動する大規模な構造体がある場合、電波の無線信号に対して反射や遮蔽のみならず、移動速度によるドップラー周波数が発生することで、構造体による散乱波に振幅・周波数の変調成分が重畳される。この影響を評価する時、既存の電磁界解析では全体の空間を波長以下に分割し、一定の時間領域でデータを格納する必要があるため、構造物が大きくなる、

あるいは周波数が高くなると、膨大なメモリが必要となり、現実的に計算できない。よって、大型構造物の影響を評価する場合には、未だにスケールモデルは有効な手段として使用されている。

本研究においては、ミリ波より高い周波数にてスケールモデル計測を行うための基礎技術について検討を行う。今年度は、研究の開始に伴い、電波の分布を 2 次元平面で計測するシステムを構築した。ヴェクトルネットワークアナライザと広帯域アンテナにより、水平垂直双方で 800mmの空間を 6GHz から 67GHz まで計測できるシステムを構築した。このシステムを用いて、600mm開口のオフセットパラボラを用いて、平面波を生成する手法を構築した。広帯域アンテナと周波数時間変換を用いることで、600mm直径の空間の電波を 5mm 以内の分布で生成できることが示された。また、振幅の平坦度が低い原因が広帯域アンテナの放射パターンに拠るものと判明したため、次年度は振幅分布の広域化と作られた平面波でのスケールモデル試験を行う予定である。

□その他

◆国内学会:1 件

・米本　成人, 河村　暁子, 二ツ森　俊一, 森岡　和行, 本田　純一, 牧田　芳男, “大型ミリ波アンテナ計測のための放射波の平面度計測とオフセットパラボラによる平面波生成手法の一検討,信学技報, vol. 124, no. 421, MW2024-191, pp. 124-128, 2025 年 3 月.

○小型波浪ブイを用いた洋上精密測位

研究の概要と成果

GPS(Global Positioning System)衛星に代表される GNSS(Global Navigation Satellite System)衛星の測位信号を使って位置を決定する衛星測位は広く利用されており、我々の生活になくてはならないものになっている。近年では、衛星測位は幅広い分野で応用されており、その精度を向上させる手法である精密測位を使って、測量やドローン制御などにも利用されつつある。洋上においても精密測位を行う試みが進められているが、陸上と同等の精度の測位は難しい。これは、洋上では波浪によって受信アンテナが傾くことや、陸上に比べて、海面で衛星信号が反射しやすいことから、測位衛星の信号が遮断され易く、測位誤差が大きいことに起因する。

本研究では、小型波浪ブイを複数台用いたネットワーク型精密測位を提案し、従来の単一のアンテナと受信機のセットによる測位とは全く異なるアプローチの測位方式を確立する。これにより、洋上で安定した精密測位を実現する。最終的には、津波検出システムを構築することや、観測データから電離圏のプラズマ密度及び対流圏の水蒸気量を抽出し、これまで観測の空白領域であった洋上における地球惑星・気象研究を実施する。

重　点　分　野	(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環境への対応として、GBASについては、多様な飛行実験データを収集して規格化に必要な検証を精緻化する。SBASについては、セキュリティ対策に用いる認証アルゴリズムを実証するとともに、極域へサービスエリアを拡大する手法を検討する。

○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 6 年度の研究内容

（1）次世代 GBAS の方式検証
（2）次世代 GBAS・SBAS 飛行実験
（3）耐妨害性検証実験
（4）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 6 年度の研究成果

（1）次世代 GBAS の方式検証

令和 4～5 年度に取得した GBAS 飛行実験データを用いて GBAS 規格の方式検証を実施した。SARPs 案策定において発生した複数の技術的問題を当所が主導して解決している。欧州 EDGAR (EGNSS DFMC for GBAS-based Operations)との協力を開始した。ICAO NSP において DFMC GBAS SARPs 原案作成グループのメンバーとして SARPs 案の起草を分担して実施している。

（2）次世代 GBAS・SBAS 飛行実験

2024 年 9 月 30 日～10 月 4 日に新石垣空港において実験を計画したが、台風接近のため中止せざるを得なかった。2025 年 2 月 24～28 日に改めて実施し、電離圏擾乱時を含むデータの取得に成功した。2023 年に実施した飛行実験データは EDGAR において貴重なデータとして高く評価されている。

（3）耐妨害性検証実験

SBAS Authentication に関する SARPs 案変更に対応しメッセージ生成プロトタイプツールを改良し、SBAS Authentication メッセージのサンプルデータを生成して ICAO NSP に提供するなど、SARPs 改訂提案に引き続き対応している。

（4）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 宇宙天気情報の発出状況、航空ユーザーのニーズ調査を NICT と協力し実施した。ICAO 宇宙天気サービスアドバイザリと実際の影響の関連の調査を開始している。

成　　果　　の　　公　　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編
・Somkit Sophan, Pornchai Supnithi, Lin M. M. Myint, Jirapoom Budtho, 齋藤享, “Statistical Analysis and Effects of Radio Frequency Interference in GPS Signal Quality in Thailand,”, GPS Solutions, 28:194, 2024, DOI: 10.1007/s10291-024-01731-6

□査読付き国際会議論文：1 編
・齋藤享、吉原貴之, “DFMC GBAS Performance Evaluation by Flight Experiment”, IWAC2024, November 2024 (Best Paper Award)

□和文査読付き論文：2 編
・坂井丈泰、“L5 SBAS におけるダイナミック衛星マスク”、 日本航空宇宙学会論文集、Vol.72, No.6, pp.190-195, 2024

・坂井丈泰、“SBAS 及び SLAS における後続マスク情報の使用”、測位航法学会論文誌、Vol.15, No.2, pp.10-16, 2025

□特許・プログラム等の知的財産の出願等：2 件

・特許出願：衛星航法システムにおける補正情報の伝送方法（特願 2024-112037 号）

・特許出願：衛星航法システムにおける補正情報の生成方法（特願 2024-233326 号）

□その他

◆国際活動：2 件

・ICAO NSP Space Weather Liaison （宇宙天気に関する ICAO METP との連絡調整役（斎藤））

・ICAO NSP GBAS Working Group GBAS Manual Rapporteur（GBAS Manual 執筆作業取りまとめ（斎藤））

◆標準化会議：10 件

・齋藤享, “Changes to the draft DFMC GBAS SARPs related to SBAS ranging source removal from any service types supported by Type 23 Message,” ICAO NSP JWGs/12, May 2024

・齋藤享、”Residual Ionospheric Uncertainty for use with GAST E,” ICAO NSP JWGs/12, May 2024

・齋藤享、吉原貴之, “Update on DFMC GBAS validation and the flight data collection campaign in October 2023 and March 2024,” ICAO NSP JWGs/12, May 2024

・齋藤享、吉原貴之, “Analysis of DFMC GBAS flight/ground data for GAST E standardization,” RTCA SC-159 WG-4, October 2024

・齋藤享, “Additional guidance on ionospheric monitoring for GAST D,” ICAO NSP JWGs/13, November 2024

・齋藤享, “Reconstruction of a full resolution raw ground pseudo-range measurement in the airborne receiver (Issue 18),” ICAO NSP JWGs/13, November 2024

・齋藤享、吉原貴之, “Analysis of DFMC GBAS position solutions and ionospheric error bounding by ground and airborne data,” ICAO NSP JWGs/13, November 2024

・ICAO NSP GSWG/5, February 2025

・坂井丈泰、北村光教, “MSAS Authentication Prototype Update and Sample Message on L1,” ICAO NSP GSWG/5, February 2025

・齋藤享, “Message Type 2 Additional Data Block 6 Proposal,” RTCA SC-159 WG-4, March 2025

・齋藤享, “Reconstructing full-resolution carrier-phase with MT-23,” RTCA SC-159 WG-4, March 2025

◆国際会議：4 件

・齋藤享、吉原貴之, “DFMC GBAS performance evaluation by flight experiments,” IGWG-23, June 2024

・吉原貴之、齋藤享, “GBAS Research Status of ENRI,” IGWG-23, June 2024

・齋藤享, “Ionospheric effects on GNSS-based navigation for aviation,” NCKU Space Forum, December 2024

・齋藤享, “DFMC GBAS and DFMC SBAS,” NextWave APAC Aviation Technologies Through Synergy Workshop, February 2025

◆国内学会：2 件

・吉原貴之、毛塚敦、齋藤享、”GNSS 衛星電波の右旋及び左旋円偏波観測による積雪面の雪質推定”、日本雪氷学会雪氷研究大会、2024 年 9 月

・吉原貴之、北村光教、坂井丈泰、小田浩幸、高橋透、“空港面での GNSS 受信信号の反射波解析と測位解の信頼性向上に向けて“、第 68 回宇宙科学技術連合大会、2024 年 11 月

◆その他発表論文：2 件

・坂井丈泰、”衛星航法補強システム SBAS”、準天頂衛星アカデミー、2024 年 9 月

・北村光教、” SBAS の概要”、出前講座（航空大学校仙台分校）、2025 年 3 月

◆各種表彰の受賞：2 件

・ION Red Pencil Recognition (齋藤)

・IWAC 2024 Best Paper Award (齋藤、吉原)

重　点　分　野	(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環境への対応として、GBASについては、多様な飛行実験データを収集して規格化に必要な検証を精緻化する。SBASについては、セキュリティ対策に用いる認証アルゴリズムを実証するとともに、極域へサービスエリアを拡大する手法を検討する。

○次世代 SBAS による北極域補強に関する研究

研　究　の　背　景

航空航法において衛星航法システム(GNSS)の導入が進められており、GNSS 利用の際に必要とされる衛星航法補強システムの一種である SBAS として、日本では MSAS が運用されている。SBAS は 2023 年に次世代規格である DFMC SBAS が組み込まれた SARPs が発行されており、継続的な改良がなされている。現在は追加の検討課題として、従来の静止軌道(GEO)を用いた SBAS 信号の放送に加えて、DFMC SBAS では傾斜対地同期軌道(IGSO)を用いた信号放送のための規格化検討が進められている。そのような中、日本は GEO と IGSO の複数の軌道からなる準天頂衛星システム(QZSS)を有しており、当所では 2017 年より QZSS を用いた DFMC SBAS 放送実証実験を行ってきた。

一方、北極域における GNSS 利用に関心が高まっている。北極域は航空経路、航海経路ともに既に利用されているが、新たな海洋資源開発や流氷の接触回避等のために、安全かつ高性能な測位が求められている。北極域では、従来の SBAS 信号は赤道上の GEO から放送されるため受信が困難であるが、DFMC SBAS

では IGSO を利用して中緯度の上空から放送することで受信することが可能となり、SBAS 技術によって安全な測位が利用可能となる可能性がある。ただし、北極域はこれまで従来の SBAS 信号の受信が困難であったことから、SBAS による補強の観点から十分な検討がなされていない。例えば GNSS 測位において重大な誤差源となりうる電離圏は、その活動のメカニズムが中低緯度地域と異なることが知られている。北極域において SBAS 技術によって安全な航法を実現するためには、このような従来と異なる地域特性を考慮した補強技術の開発が必要であると思われる。

※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

※MSAS（Michibiki-based Satellite Augmentation System）: 航空局が運用する日本の SBAS。情報伝送に準天頂衛星システム（みちびき）を利用している。

※DFMC SBAS（Dual-Frequency Multi-Constellation SBAS）：2 周波数信号を利用した次世代 SBAS

※GEO(Geostationary Earth Orbit): 赤道上空に軌道を持ち地球の自転と同期することで、地球に対して相対的に静止する衛星軌道

※IGSO(Inclined Geo-Synchronous Orbit): GEO と同様に地球自転に同期し、さらに軌道傾斜角を持つことで中心経度が一定のまま南北に相対位置が変化する衛星軌道

研　　究　　目　　標

□DFMC SBAS のメッセージ放送軌道として、IGSO を利用することで生じる課題を明らかにし、解決策を提示する。

□外部の海洋研究機関と連携することで、北極域における DFMC SBAS 及び GNSS コア衛星の実観測データを取得する。

□北極域において DFMC SBAS 補強を行う際の、地域特性に基づく補強技術の課題を明らかにし、対策を講ずる。

令 和 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）北極域観測船における DFMC SBAS 観測を実施

（2）DFMC SBAS における IGSO 利用の課題の調査

（3）北極域における電離圏環境の特性調査

（4）北極域における衛星軌道補強のインテグリティ向上手法の基礎検討

令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）北極域観測船における DFMC SBAS 観測を実施

小型観測システムを構築し、海洋ブイを利用して北極航海実験のための予備実験を実施した。また、海洋地球研究船「みらい」による北極航海実験を実施し、北極海域における DFMC SBAS 信号及び GNSS 信号を観測した。

（2）DFMC SBAS における IGSO 利用の課題の調査

DFMC SBAS の放送衛星として準天頂衛星システム軌道(IGSO)を利用する上で問題が生じないことを確認した。

（3）北極域における電離圏環境の特性調査

国立極地研究所ニーオーレスン基地(ノルウェー)にて、北極域電離圏活動に関する GNSS 定点観測を開始した。取得された GNSS 観測データと地磁気データとの比較を行なったところ、直上に電離圏擾乱が出現した際に位相シンチレーション指数の増加が確認された。

（4）北極域における衛星軌道補強のインテグリティ向上手法の基礎検討

北極域における補正性能向上を目的として、準天頂衛星システムが提供する精密軌道暦（MADOCA）を

SBAS 軌道補正に利用する方法を検討し、精度向上を実現した。

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文：1 編

・髙橋透，北村光教，齋藤享，坂井丈泰，藤原周（JAMSTEC），“Evaluation of DFMC SBAS Broadcasted from Japanese QZSS in the Arctic,” ION Pacific PNT, April 2024.

□その他

◆国際学会（査読なし）：2 件

・Toru Takahashi, Takanori Nishiyama, Mitsunori Kitamura, Susumu Saito, Taishi Hashimoto, and Takeyasu Sakai, Next Generation DFMC SBAS broadcasted from QZSS in Ny-Ålesund, The 15th Symposium on Polar Science, Tachikawa, Tokyo, Dec. 4, 2024.

・Toru Takahashi, Takanori Nishiyama, Mitsunori Kitamura, Taishi Hashimoto, Susumu Saito, and Takeyasu Sakai, Utilizing DFMC SBAS broadcasted from QZSS in Polar Region, International Workshop on ATM/CNS, Nakano, Tokyo, Nov. 20, 2024.

◆標準化会議：1 件

・髙橋透，北村光教，齋藤享，坂井丈泰, DFMC SBAS broadcasted from QZSS in the Arctic, 39th SBAS Interoperability Working Group (IWG), Kyoto, 2024 年 9 月 25 日

◆国内学会：3 件

・高橋 透，北村光教、斎藤享、藤原周，坂井丈泰，次世代 SBAS の北極域における性能評価実験，令和 6 年度（第 24 回）電子航法研究所研究発表会，調布，2024 年 6 月 7 日.

・北村光教，小田浩幸，坂井丈泰，SBAS 性能解析に関する報告，第 68 回宇宙科学技術連合講演会，姫路，2024 年 11 月 8 日.

・高橋 透，北村 光教，西山 尚典，斎藤 享，橋本 大志，藤原 周，小田 浩幸，坂井 丈泰，次世代 SBAS の北極域における利用の検討，第 68 回宇宙科学技術連合講演会，姫路，2024 年 11 月 8 日.

◆その他発表論文：1 件

・髙橋透，次世代 SBAS の北極域における性能評価実験，航空保安無線システム協会（JRANSA）航空無線

重　点　分　野	(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 －GNSS障害時のバックアップとしてマルチDMEのアルゴリズムを開発する。等

○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 6 年度の研究内容

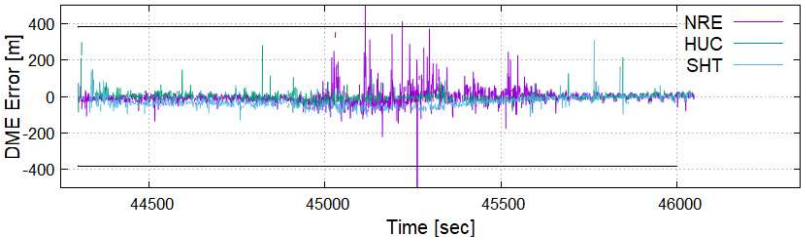
（1）DME マルチパス誤差の RNP 適合性評価
（2）マルチ DME アルゴリズム開発
（3）飛行実験
（4）国際標準化参加（ICAO、EUROCAE 等）
（5）長期 APNT 検討・成果公表

令和 6 年度の研究成果

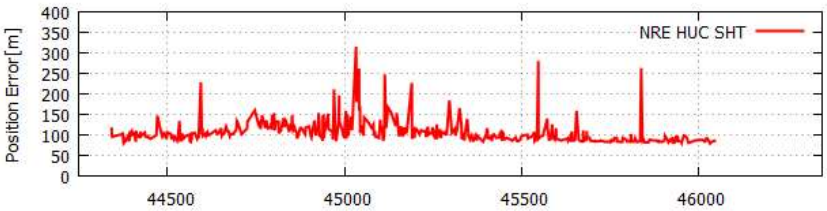
（1）DME マルチパス誤差の RNP 適合性評価

飛行検査シンポジウム(IFIS2024)において各国の専門家と情報交換を行った結果、電子航法研究所の実験用航空機における DME 誤差測定系の評価精度を改善することができた。成田空港における実験結果を再評価した結果、平野部に位置することから出発経路（図Ⅰ．4．（1）．①．1）における各 DME との測距誤差が小さいことが分かった(図Ⅰ．4．（1）．①．2)。これより、GNSS 障害時のバックアップとして、航空交通量が多い成田空港ではマルチ DME 測位方式が有効であることがより明確になった（図Ⅰ．4．（1）．①．3）

図Ⅰ．4．（1）．①．1 飛行実験経路



図Ⅰ．4．（1）．①．2 DME 測距誤差



図Ⅰ．4．（1）．①．3 マルチ DME 測位誤差

（2）マルチ DME アルゴリズム開発

DME による測距値に対してデジタルフィルタを適用するアルゴリズムの検討を行った。測定データの欠損によりフィルタ適用が困難であることが分かったため、測定器メーカとの打ち合わせを実施し、対処方法についての情報を入手した。今後ソフトウエアを改修予定である。

（3）飛行実験

長期 APNT 検討のための航空機直下画像取得用として購入を予定していたドローン2種機体認証機の生産中止が発表されたため、非機体認証機を購入し、レベル3飛行により画像データを取得した。

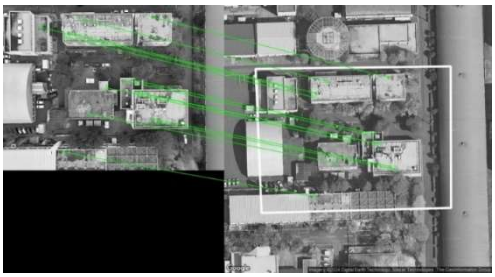
（4）国際標準化参加（ICAO、EUROCAE 等）

我が国特有の山岳地形により低高度でのマルチ DME 測位の継続性が低下する課題を整理し、EUROCAE Working Group-107 第 29 回トゥールーズ会議（フランス）においてそれら情報をインプットし、諸外国と我が国の課題について情報共有を行った。

（5）長期 APNT 検討・成果公表

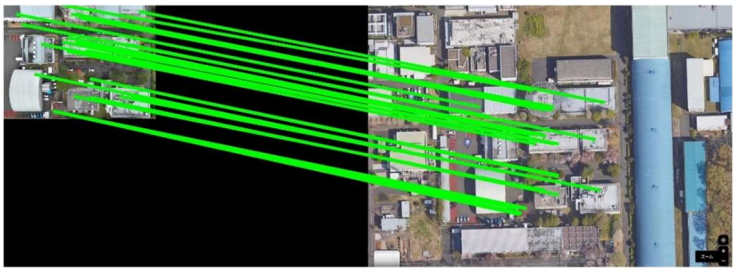
我が国特有の山岳地形に起因する遮蔽による低高度でのマルチ DME 測位性能劣化を補完するため、

航空機直下画像とデータベースとの画像照合により測位結果の妥当性を検証アルゴリズムを考案した。基礎検討の結果、汎用 PC で 0.4 秒程度で画像照合が可能であることが分かり、継続性改善に実用可能な演算量であることが確認できた（図Ⅰ．4．（1）．①．4）。また、画像照合の成功確率が課題であることが分かり、その解決のためにニューラルネットワークの導入が効果的であることを確認した（図Ⅰ．4．（1）．①．5）。



航空機直下画像（ドローンにより撮影）　データベース（Google）

図Ⅰ．4．（1）．①．4 画像照合による測位妥当性確認



航空機直下画像（ドローンにより撮影）　データベース（Google）

図Ⅰ．4．（1）．①．5 ニューラルネットワークによる初期検討結果

成果の公表

□査読付き国際会議論文：2 編

・毛塚 敦, “Observation of Long-Range Air-to-Ground Atmospheric Propagation Delay,” 2025 IEEE International Symposium on Antennas & Propagation and North American Radio Science Meeting

・毛塚 敦, “Evaluation of Multi-DME Positioning Performance in Japan through Flight Experiments,”Proc. of International Flight Inspection Symposium(IFIS2024) of Session 4, pp.6-13,July 2024

□その他

◆標準化会議：1 件

・毛塚 敦, “Investigation of Applicability of DME for RNP in Japan through Flight Experiment ” EUROCAE WG-107, M29-5, October 29-31,Toulouse, 2024

◆国内学会：4 件

・毛塚 敦,“画像による航法,”日本航海学会 GPS/GNSS 研究会, 東京海洋大学 2024 年 5 月 31 日

・毛塚 敦 他,“地表面画像による航空機測位システムの完全性保証,”信学技報 SANE2024-46,2024 年 6 月 5 日

・高島 宗彦 他,“CNN を用いた画像照合航法の初期検討,”電子情報通信学会総合大会, 3 月 2025 年

・佐野 菜々美 他,“航空機搭載 DME アンテナの放射特性算出のための有限要素法とレイトレース法のハイブリッド解析法の提案,” 電子情報通信学会総合大会, 2025 年 3 月

重　点　分　野	(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を低コスト化する技術の基礎検討及びＷＡＭの受信局を削減する技術の開発を行う。

○WAM・ADS-B 用高機能空中線による航空路監視の効率的整備に関する研究

研究の背景

我が国の航空路監視システムは二次監視レーダー(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)から構成されるマルチセンサ型である。これまで SSR、WAM の運用が開始され、現在は ADS-B の整備が検討されている。しかし、センサの拡充に伴い、WAM では多数の地上局について維持管理の負担がひっ迫している。また ADS-B については、脆弱性対策として離れた複数局を必要とするため、今後の拡充に際して地理的制約と維持負担増加の懸念がある。これらセンサの拡充に伴う課題の解決策として、高機能空中線(フェーズドアレイアンテナ)を活用した WAM 地上局の削減や ADS-B 脆弱性対策の適用範囲拡大が期待されるが、搭載のためには空中線規模の縮小による低コスト化が必要である。

国内外の技術開発の動向としては、フェーズドアレイ技術を大型の一次レーダーへ応用した事例が知られているが、ADS-B や WAM への応用は実用化されていない。

研究目標

□高機能空中線の低コスト化技術を開発・評価し、その効果を素子数等の指標により定量的に示す

□WAM 地上局の削減について、現在よりも少ない局配置で同等性能を達成可能な技術を開発し、施設統合や局数削減の試算結果をまとめる

□ADS-B 脆弱性対策について、低コスト化した高機能空中線 1 局を用いて平均検知率 90%・誤報率 5%を達成可能な技術を開発する

令和 6 年度の研究内容

（1）高機能空中線低コスト化技術に関する基礎検討

（2）WAM 地上局削減技術の開発

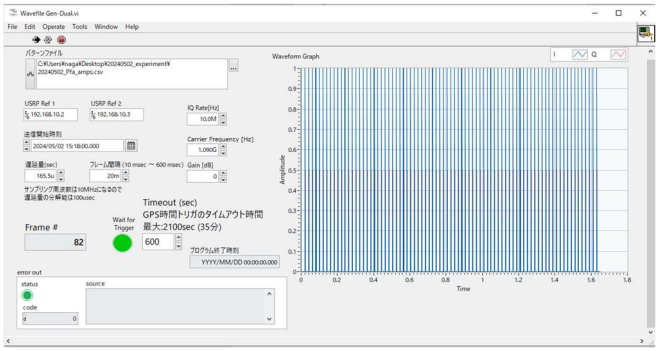
（3）国際標準化活動

令和 6 年度の研究成果

（1）高機能空中線低コスト化技術に関する基礎検討

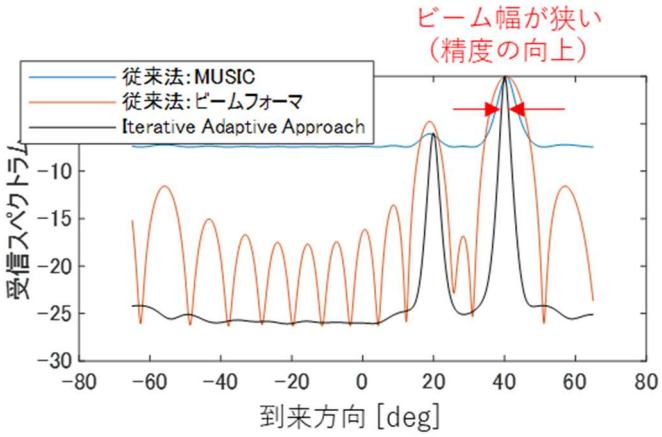
まず、準備として WAM・ADS-B 用の試験信号の生成装置を開発した。また装置メーカーへソフトウェア利用許諾の締結による技術移転を行った。本装置の外観と制御ソフトウェア画面を（図Ⅰ．4．（1）．②．1）および（図Ⅰ．4．（1）．②．2）に示す。ハードウェアは一般的な PC と信号発生器で構成されているが、制御ソフトウェアが重要である。本ソフトウェアは時刻同期により信号送信タイミングを 0.1 マイクロ秒単位で高精度に制御可能で、ADS-B 脆弱性対策機能を試験できる。当該メーカーは大阪万博の会場周辺で次世代空モビリティを監視するための ADS-B 装置について設置・調整作業を進めており、作業過程で本技術が活用された。今後、高機能空中線に関する開発を進めるにあたっても本装置を活用する計画である。

図Ⅰ．4．（1）．②．1　生成装置の外観



図Ⅰ．4．（1）．②．2　生成装置の制御ソフトウェア

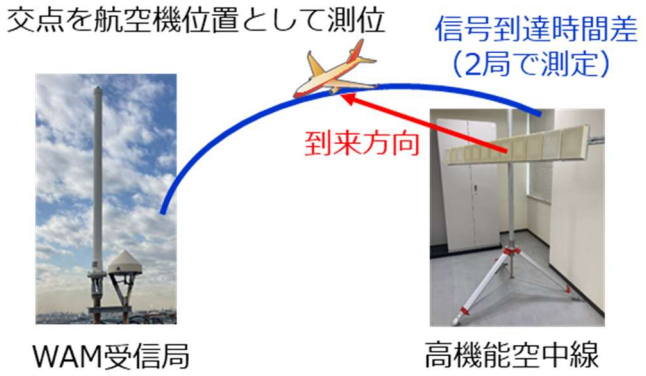
次に、低コスト化に向けた候補技術について検討を行った。高機能空中線の特徴の 1 つは航空機が発する電波の到来方向を推定することであるが、精度よく推定を行おうとすると大型化ひいては高コストに繋がる。この対策として、近年車載レーダー等で注目されている手法の 1 つである IAA（Iterative Adaptive Approach）について監視システムへの応用を試みた。シミュレーションを行い、WAM や ADS-B で使われる航空監視信号でも動作に成功したほか、精度劣化の原因であるマルチパスの影響を受けにくいことが分かった。（図Ⅰ．4．（1）．②．3）はシミュレーション結果の一例を示しており、横軸が到来角、縦軸が受信した電波の強度を表している。従来法（青線・茶線）と比較して、提案法（黒線）は幅が狭くなっており、より高精度に到来方向を推定できている。したがって、低コスト化に向けて有望な技術であることを確認できた。



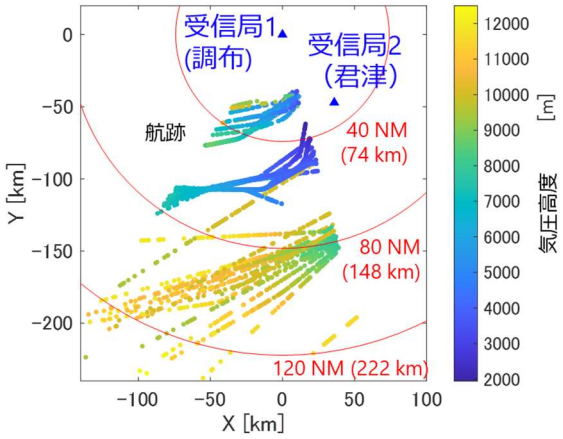
図Ⅰ．4．（1）．②．3　低コスト化に向けたシミュレーション（マルチパス下での信号受信結果）

（2）広域マルチラテレーション（WAM）地上局削減技術の開発

WAM は多数の受信局を使って信号到達時間差から航空機の位置を推定するため、受信局数の多さが課題とされてきた。受信局を減らすには、従来の信号到達時間差に加えて高機能空中線により測定した電波の到来方向を活用することが有効と考えられる。そこで、到来方向を活用した新たな測位アルゴリズムを開発し、実験データによる評価を行った。本アルゴリズムは先行研究で開発した技術をベースにしているが、低コストに実現できるよう質問信号無しで動作することが特徴である。（図Ⅰ．4．（1）．②．4）には本アルゴリズムの原理を示しており、信号到達時間差で定まる曲線と到来方向の交点を推定するものとなっている。本アルゴリズムを、当所の受信局（調布、君津）から得られた実験データ（図Ⅰ．4．（1）．②．5）を使って評価したところ、測位に成功し、表 1 に示すような精度が得られた。本分野において到来方向と信号到達時間差による測位を実験的に示した例は世界的にも希少である。なお精度については、航空路監視で求められる 350 m には及ばなかったため受信局数を増すことが必要となるが、総合的に従来法よりも少ない数となることが期待される。



図Ⅰ．4．（1）．②．4 測位アルゴリズムの動作原理



図Ⅰ．4．（1）．②．5 評価に使用した実験データ

表 1. 精度

範囲	精度（二乗平均誤差）
0 ～ 40 NM	462.6 m
40 ～ 80 NM	1834.4 m
80 ～ 120 NM	4813.3 m

（3）国際標準化活動

当所は ICAO 監視パネル関連会合において、空港面で航空機を誘導するためのシステムである A-SMGCS に関するマニュアルである Doc 9830 の改訂作業を担当している。改訂の目的は監視システムに関する情報を最新のものとすることである。当所の監視技術に関する知見の活用となるほか、対象機材としてマルチラテレーションを追記することから、本装置を製造する国内メーカーの海外展開にも資することが期待される。本年度は最終章である第 5 章について改訂案を下位のワーキンググループである TSG（Technical Sub Group）に提出し、承認された。今後、上位のワーキンググループである ASWG（Aeronautical Surveillance Working Group）に提出する運びとなった。

※ 略語一覧

SSR: Secondary Surveillance Radar

WAM: Wide Area Multilateration

ADS-B: Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

A-SMGCS: Advanced Surface Movement Guidance & Control System

成果の公表

□査読付き国際会議論文:1 編

・J. Naganawa, Y. Kakubari, T. Koga, “Test Equipment for TDOA-based ADS-B Position Verification,” International Workshop on ATM and CNS (IWAC) 2024, 2024.

□和文査読付き論文:2 編

・小菅, 古賀, 長縄, 宮崎, ”観測雑音に相関がある場合の Taylor 級数推定法による距離バイアス誤差ありの TOA 測位の収束条件,” 電子情報通信学会 論文誌 B, Vol.J107-B, No.8 , pp.448-457, 2024.

・小菅, 古賀, 長縄, 宮崎, ”重み付き最小自乗法における観測値及び未知数増加の推定精度への影響” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J 108-B, No.3 , pp.198-207, 2025

□その他

◆国際活動:5 件

・ICAO 監視パネル アドバイザー(マニュアル改訂案作成、各種審議(宮崎)

・IWAC 準備委員会事務局(事務局業務(長縄)

・IEICE Transactions on Communications 編集委員(査読のハンドリング(長縄)

・IEICE Transactions on Communications ICSANE 特集号 編集委員(査読のハンドリング(長縄))

・ICETC 2024 プログラム委員(査読(長縄)

◆標準化会議:3 件

・H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG TSG/19, June 2024.

・H. Miyazaki, “Life Cycle Times of ATC Systems for ANSP’s,” ICAO SP ASWG TSG/19, June 2024.

・H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG TSG WP20-18, February 2025.

◆国内学会:2 件

・長縄, 北折, 田嶋, 古賀, ” 12 素子リニアアレーによる航空機監視信号の到来角推定実験,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2024.

・長縄, 北折, 田嶋, 古賀, ” 航空機監視信号の到来角推定実験における信号干渉の分析,” 電子情報通信学会総合大会, 2025.

重　点　分　野	(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 －二次監視レーダによるデータ通信の拡大に伴う課題を解決するため、質問手法や検証評価技術について検討する。等

○二次監視レーダモードＳの新機能利用技術の研究

研　究　の　背　景

我が国の航空路監視システムは二次監視レーダ(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)から構成されるマルチセンサー型であり、複数センサがその特徴を生かして共存運用される。SSR モード S は導入後約 20 年が経過するが、国外においては新機能の利用についての検討が進むなど新たな技術課題が出現している。

第一の課題としては、新たな運用形態である地上局監視コード(SI)があげられる。SI 運用においては監視の連続性や安定性などの信頼性評価が必要であるため、信頼性評価する手法について検討が必要となる。

第二の課題は、データリンク機能の動態情報(DAPS)の利用拡大に係る課題である。DAPS は国際標準で新たなパラメータが定義されるなど拡張が進んでいる。新パラメータは TBO 予測性能の向上などに寄与できる可能性があり、有効な利用法についての検討が必要となる。この他に、DAPS は運用や整備の環境が異なる様々な航空機からの情報に依存するため、その妥当性を検証することが必要となる。

研　究　目　標

□SI 運用環境下での監視情報の信頼性を検証する技術の創出
□新たな DAPS パラメータを利用した追尾性能や位置精度の向上
□DAPS 情報の妥当性を検証する技術の確立

令 和 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）SI 評価手法の検討

（2）質問応答解析基本ソフトの製作

（3）DAPS 質問ソフトの改修

令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）SI 評価手法の検討

SI コードの実装にあたり必要となるプロトコルの検証を行うとともに、評価に必要となるデータ項目の抽出を行った。

（2）質問応答解析基本ソフトの製作

二次監視レーダの送受信を記録したログファイルを読み込み、通信状況を可視化するプログラムを製作した。

（3）DAPS 質問ソフトの改修

DAPS 質問を行うソフトウェアの改修を行い、新たなパラメータを実航空機から取得が可能となった。継続的に在空機に DAPS 質問を行い、データ取得を開始した。

※ 略語一覧

SSR: Secondary Surveillance Radar

重　点　分　野	(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 －設計した初期的FRA(フリールート空域)をシミュレーションやデータ解析で評価するとともに、国際交通流管理のための方策・概念を提案する。

○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 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）総合評価

提案した洋上ゲートウェイ構成や FRA 空域をシミュレーションやデータ解析で評価し、結果を報告する。

（2）研究取りまとめ

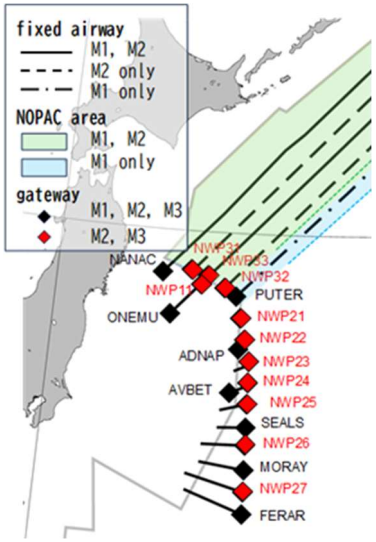
アジア～北米間の国際交通流管理について概念をまとめる。また、FRA 空域に適用できる複雑性指標を評価し、まとめる。

令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）総合評価

F RA 導入の評価について、既に FRA 運用を開始しているフランスの空域を対象にし、FRA 導入前後の実際の飛行距離値の比較、交通流の解析などを行った。この結果、フランスの FRA 空域設計や運用の特徴を把握し、陸域セクターにおける FRA の実際の便益導入メリット、空域設計の課題が判明した。また、FRA 導入前と比べてフランス国内の定期便の平均飛行距離に僅かな短縮を確認した。これは、FRA 導入の初期段階は航空管制システムの改善、交通流の構造への影響、航空管制官の訓練、空域運用の変化に伴うリスクを最小限に抑えるようにされたからである。また、FRA 空域は比較的小さいため、上空通過便の可能な飛行距離短縮が制限される。今後他の FRA 空域とのシームレス化や改善により便益が増える見込みである。

洋上空域における FRA 化および陸域空域～洋上空域間のシームレス化のための空域設計を、より柔軟な飛行計画経路設計および交通の集中を分散できるように追加ゲートウェイおよび FRA 空域を設けて行った上で、ファストタイムシミュレーションで評価し、最適経路に関する便益の定量化、運航に関する課題を明確にした。（図Ⅰ．4．（2）．①．1）は追加ゲートウェイおよび FRA 空域を設けた提案する空域再編案（提案 1，提案 2）である。（図Ⅰ．4．（2）．①．2）は追加ゲートウェイを設けることによる得られる効果である。

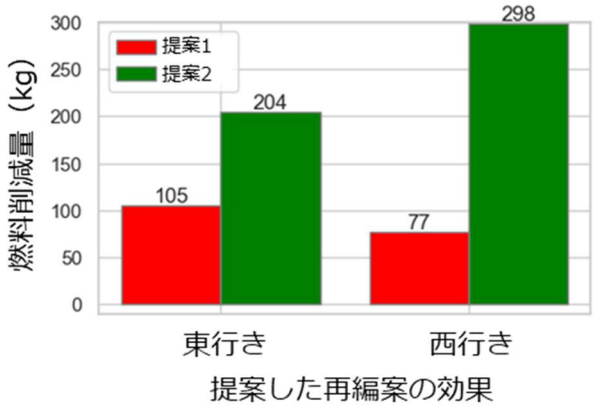


M1：基準とした空域構成

M2:ゲートウェイ追加＋青の空域をFRA化（提案 1）

M3:提案1＋緑の空域をFRA化（提案 2）

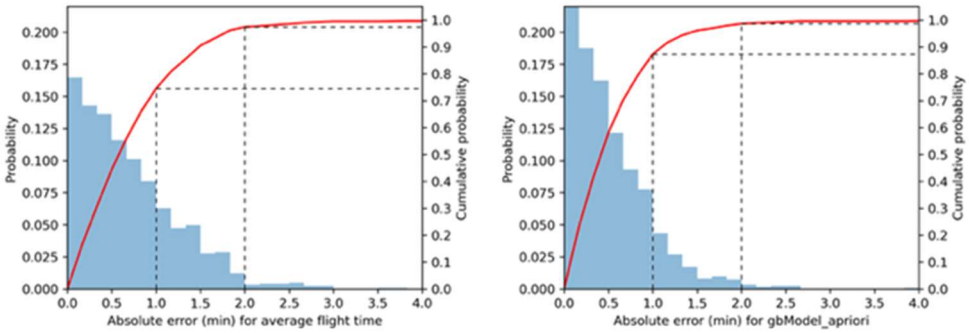
図Ⅰ．4．（2）．①．1 提案する空域再編案



図Ⅰ．4.（2）．①．2 提案した空域再編案の効果

効果的な航空交通流管理（ATFM）に必要な軌道予測精度向上を目的に、ケーススタディとして機械学習モデルを飛行時間予測に適用した．混雑が予想された場合，空域や空港の需要制限を超えないため ATFM により交通量を抑える必要がある。軌道ベース運用（Trajectory-Based Operations ：TBO）の概念では，各フライトの精密な軌道予測情報が関連する FIR の間で共有される。これにより，混雑時間帯の便を特定し，FIR の国際境界における入域時間スロットを指定する「時間ベース運用」の ATFM が可能となる。この時，入域時間のスロット幅は，軌道予測の不確定性に依存するため，不確定性が低くなるとスロット幅を小さくすることが可能となり，効率性が向上できる。

軌道予測の不確定性を把握するため，成田国際空港から仁川 FIR 境界線までの時間を分析し，離陸から巡航にたどり着くまでの飛行フェーズに着目した。物理モデルによる予測では，出発重量や航空会社の運航手順など，上昇性能に影響を与える重要な要因が考慮されず限界がある。予測精度を向上するため，機械学習の手法により，離陸から標準計器出発（SID：Standard Instrument Departure）の最終ウェイポイントまでの飛行時間の回帰モデルを作成し，平均時間を予測値とする場合と比較した。回帰モデルの特徴量として予報気温，風向風速，航空機の型式，運航者と推定飛行時間を利用した。（図Ⅰ．4.（2）．①．3）は成田空港の TETRA8 SID の ENPAR ウェイポイントまでの飛行時間の予測精度（予測誤差の確率分布）を示す。平均時間を予測値として利用する場合，平均誤差は0分になるが，分散の幅で不確定性が生じる。（図Ⅰ．4.（2）．①．3）の左のグラフが示すよう，平均値を利用する場合，75%の確率で±60 秒未満の誤差が得られる。一方，回帰モデルでは分散が減少し，±60 秒未満の誤差は約 88%の確率に向上した。この結果は，軌道予測を改善し，国際 ATFM をサポートする機械学習技術の可能性を示す。



図Ⅰ．4.（2）．①．3 成田空港の TETRA8 SID における離陸から ENPAR の飛行時間予測誤差分布。点線は1分未満の誤差と2分未満の誤差を得る確率を表す。左：予測値＝平均値，右：予測値を機械学習回帰モデル

（2）研究取りまとめ

洋上空域に入域するため、CDM を用いた便益バランシングのコンセプトを提案した。また、便益バランシング概念を取りまとめ ICAO ワーキンググループおよび IWAC2024 で発表した。さらに、複雑性指標の検討として、軌道データを対象としたクラスタリング、回帰分析を実施すると共に、効果的な ATFM に必要な軌道予測精度向上を目的に、ケーススタディとして機械学習モデルを、成田空港出発経路上について、運航者・気象等を特徴量とした離陸上昇過程の飛行時間予測に適用、予測向上させるなど、いずれも学会で発表した。

次期研究でも国際 ATFM コンセプトと便益バランシングの研究を継続し、研究体制を強化するため、シンガポールの Aviation Studies Institute（ASI）と MoU を締結した。今後 ASI は現在の日本・韓国・中国の ATFM グループに参加予定である。

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：4 編

・Hirabayashi, H., Brown, M., Takeichi, N., Study of a representative wind selection method using track data to evaluate Pacific flight operation, Journal of Air Transport Management, Volume 119 102639, August 2024.

・Brown, M., Lee, K., Kim, H. Y., Hirabayashi, H., Murata, A., Kim, H. Y., Park, S. E, Gray, N, H., Introducing Free Route Airspace to Northeast Asia/Pacific Region, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 2024 Volume 67 Issue 6 Pages 350-361.

・Hirabayashi, H., Brown M., Takeichi, N., Effect of Adding Gateways on Air Traffic Flows Over the North Pacific Ocean. IEEE Access（Oct 2024）.

・Hiroko Hirabayashi, Mark Brown, Navinda Wickramasinghe, Harutaka Suizu, Noboru Takeichi, “Simulation Study of Oceanic Flight Operations to support Airspace Design for increased Efficiency,” Transaction of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 2025 Volume 68 Issue 2 Pages 71-83.

□査読付き国際会議論文：1 編

・Brown, M., Murata, A., Hirabayashi, H., Imuta, T., Departure Flight Time Prediction at Narita International Airport using Machine Learning, APISAT2024, Adelaide, Australia, Nov. 2024.

□和文査読付き論文：1 編

・Suizu, H., Hirabayashi, H., Brown, M., Takeichi, N., A Method of Detecting Potential Loss of Separation in Oceanic Airspace from Surveillance data for Airspace Evaluation, 電子研報告, 2024 年 138 号 p.1-16, 2024 年 8 月.

□その他

◆標準化会議：1 件

・ICAO ATMRPP WG/44 WP1029. Towards a Framework for Considering KPAs on Collaborative Decision Making for ATM Service Deliver Management, April 2024.

◆国内学会：2 件

・平林博子、ブラウン マーク、井無田貴、高度分離セクター空域における交通量傾向と容量管理に与える影響、第 62 回飛行機シンポジウム、2024 年 10 月.

・村田暁紀、平林博子、井無田貴、疲労管理に向けた管制作業量モニタリングに関する検討、第 62 回飛行機シンポジウム、2024 年 10 月.

◆その他発表論文：1 件

・Hirabashi, H., Analysis of air traffic time predictability for international ATFM, TBO/FF-ICE workshop and tabletop exercise 2024 April 25-26, Seoul.

重　点　分　野	(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 －日本の低高度空域を対象にUAMコリドー(空飛ぶクルマのための飛行経路)の設計条件を精緻化し、それを実現するための監視通信インフラの検討を行う。

○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 6 年度の研究内容

（1）要素技術・アーキテクチャの調査・検討

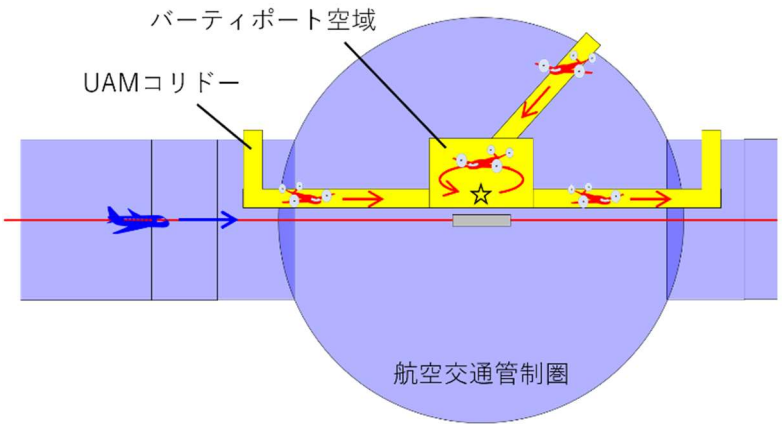
（2）低高度交通管理技術の開発

（3）低高度監視技術の開発

令和 6 年度の研究成果

（1）要素技術・アーキテクチャの調査・検討

要素技術・アーキテクチャの調査の一環として、航空局関係各課と複数の空港事務所に対して、低高度の交通管理に関するヒアリング調査を実施した。調査結果と低高度空域の関係者との議論を基に、中間的な体系的まとめ文書として、「空港周辺における AAM の飛行に関する将来展望」を執筆した。当該文書は、空の移動革命に向けた官民協議会実務者会議下の、空飛ぶクルマ交通管理タスクフォースにて発表するとともに、電子航法研究所ホームページにて公開している。まとめ文書のコンテンツ例として、（図Ⅰ. 4.（2）. ①. 4）に滑走路近傍にパーティポートを設置し UAM コリドーでアクセスする場合の図を示す。



図Ⅰ. 4.（2）. ①. 4　滑走路近傍にパーティポートを設置し UAM コリドーでアクセスする場合の例示

（2）低高度交通管理技術の開発

要素技術・アーキテクチャの調査で実施したヒアリング調査の結果を基に、低高度における後方乱気流に関する課題を整理した。また、後方乱気流が AAM に与える影響を評価するための、シミュレーション環境を整備した。

（3）低高度監視技術の開発

低高度交通情報共有システムとして、ADS-B 非搭載機の情報を提供する TIS-B のメッセージ生成基本ソフトを製作した。光ファイバ接続型受動監視システムである OCTPASS の送信機能を用いた TIS-B メッセージの送信実験を行い、TIS-B メッセージが連続的に送信されること、また既設 ADS-B 受信機で正しくデコードされることを確認した（図Ⅰ. 4.（2）. ①. 5）。実験を通して，TIS-B を実装する上での注意点が明らかになった。

図Ⅰ．4．(2)．①．5　TIS-B メッセージ送信実験の様子

成果の公表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・C. Aveneau, D. Toratani, A. Senoguchi, H. Hirabayashi, T. Otsuyama, and A. Kohmura, “Potential Operational Consequences of the Use of ACAS Xu in Controlled Airspace,” Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, May 2024.

□査読付き国際会議論文：1 編

・G. Sato, “Demand Capacity Balancing for Urban Air Mobility Using Multi-Agent Simulation,” ICAS, Sep. 2024.

□その他

◆標準化会議：1 件

・D. Toratani and T. Otsuyama, “Introduction of Research and Development on Detect and Avoid for Drones in Japan,” ICAO SP-AIRB WG/19, 2025 年 3 月.,

◆国内学会：2 件

・佐藤，虎谷，樋口，“マルチエージェント深層強化学習を用いた UAM の DCB アルゴリズムに関する一検討,” 飛行機シンポジウム, 2024 年 11 月.

・佐藤，虎谷，樋口，“深層強化学習を用いた航空交通流管理のための可変バッファアルゴリズム,” マルチ制御シンポジウム, 2025 年 3 月.

◆その他発表論文：4 件

・虎谷，“無操縦者航空機（RPAS）のための ACAS Xu シミュレーション,” 航空無線, 2024 年 6 月.

・虎谷，“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,” Japan Drone/次世代エアモビリティ EXPO, 2024 年 6 月.

・虎谷，“次世代航空モビリティの運用環境構築に関する研究,” 航空保安大学校特別講義, 2024 年 12 月.

・虎谷，平林，“空港周辺における AAM の飛行に関する将来展望,” 空飛ぶクルマ交通管理タスクフォース, 2024 年 12 月.

重　点　分　野	(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 －垂直方向の悪天回避について分析するとともに、管制官のシステム入力記録から管制作業量を推定する。等

○気象情報及び航空交通流を考慮した軌道調整技術に関する研究

研　究　の　背　景

CARATS 施策 MET-4-1「気象情報から「飛行困難空域」への変換」及び MET-4-2「気象情報から空域／空港容量への変換」に関連する TBO-2-1「協調的な運航前の計画軌道調整」の実現には国際的に調和の取れた将来の航空交通システムの構築が必要であり、気象予測、航空機の運航状況、空域容量等を加味した効率的かつ最適な軌道調整技術に関する研究開発が求められている。

軌道調整においては、悪天回避の要素のみならず、空域の混雑や交通流制御状況等の航空交通流管理(ATFM)を考慮した運用が求められており、実運用に即した軌道生成技術の検討が必要である。

また、航空交通流管理に関しては、過去研究の知見より、航跡データや管制官のシステム入力記録等から算出する空域容量を活用する余地があるため、気象予報を用いた場合の航空交通流管理への影響評価及び定量化を実施し、実運用で活かすことが肝要である。

研　　究　　目　　標

□悪天回避及び交通流制御状況等を考慮した軌道生成技術の開発

□悪天候の不確実性を反映した空域容量算出技術の開発

令 和 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）高度変更を含む悪天回避モデルの提案（垂直方向の悪天回避の分析）

（2）航跡データや管制官のシステム入力記録等を活用した実績ベースの空域容量算出技術の確立（管制官のシステム入力記録からの管制作業量の推定）

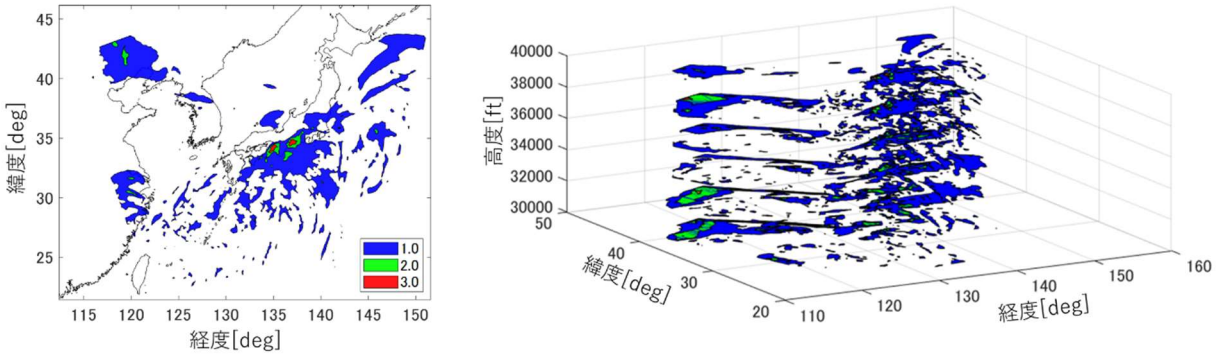
令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）高度変更を含む悪天回避モデルの提案（垂直方向の悪天回避の分析）

初めに、航空機にしばしば垂直回避される乱気流を対象に、航空機が遭遇した乱気流の強さを表す EDR（渦消散率）と気象場における乱気流を予測推定した乱気流指数、および乱気流を伴うことの多いレーダーエコーとの関係性を調べた。その結果、レーダーエコー単独では説明の付かない乱気流との遭遇も乱気流指数では予測されていたケースを確認できた。

そこで、先行研究で開発したレーダーエコーに基づく悪天域を水平回避する軌道生成技術を参考に、垂直方向の回避が見込まれる乱気流指数に基づく悪天域に応じた軌道生成について分析した。

まず、（図 Ⅰ．4.（2）.①. 6）で示すように、乱気流指数を 3 段階に分け、同じ区分に属する 10km 間隔の格子点の集合をアルファシェイプと呼ばれる手法でポリゴン化したものを悪天域の高度層として（図 Ⅰ．4.（2）.①. 6_(a)）、計算領域が覆われるように複数作成した（図 Ⅰ．4.（2）.①. 6_(b)）。なお、乱気流指数は 1 時間毎の予報値として与えられるため、軌道生成を行うにあたっては 1 時間毎の変化を考慮した悪天域の切り替えを行うとともに、線形補間を行って用いた。



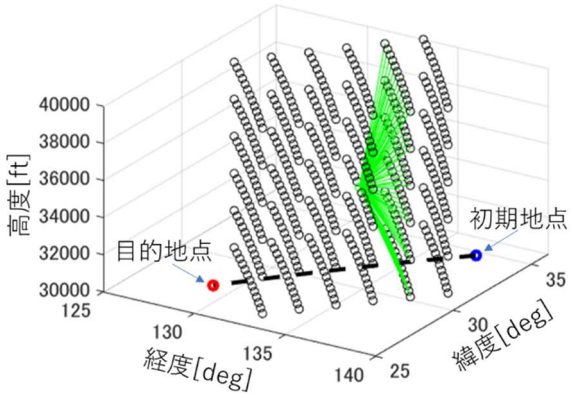
(a) 3段階のポリゴン（2021/7/1 14:00, FL400）　　(b) 高度ごとに作成したポリゴン

図 Ⅰ．4.（2）.①. 6　乱気流指数に基づく悪天域

次に、悪天回避軌道の生成については、（図 Ⅰ．4.（2）.①. 7）のように 3 次元の計算格子を設定し、先行研究と同様、動的計画法により次式で示す評価関数の値を最小にする軌道を初期地点から目的地点まで探索して求めた。

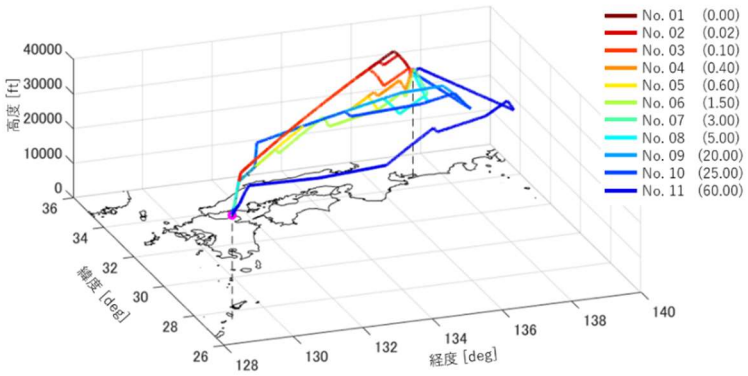
$$f = \sum \left(FF_{seg} + C_{tbi} \cdot I_{rep} \cdot \Delta T \right)$$

ここで、FF_{seg}は 1 つの計算格子間における燃料消費量、ΔTは悪天域の通過時間、I_{rep}は悪天域の強度値、C_{tbi}は係数である。FF_{seg}の計算にあたっては、欧州の EUROCONTROL にて開発された航空機の標準性能モデルである BADA および風向・風速が含まれる気象庁の気象データ MSM（メソ数値予報）を用いた。また、C_{tbi}はパイロットの判断基準のばらつきを模擬するために設けており、C_{tbi}が大きいほど悪天域を大きく回避する軌道が生成される。なお、I_{rep}は図1(a)の乱気流指数を区分した閾値そのものではなく、乱気流指数の値に応じた脅威を考慮して傾斜をかけたものである。

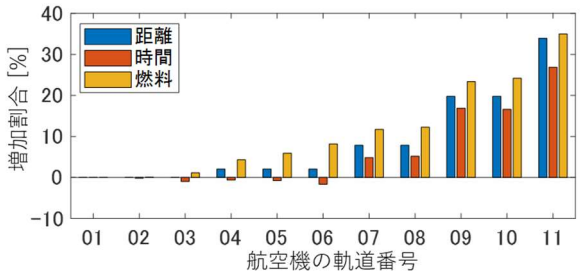


図Ⅰ．4．(2)．①．7　3 次元の計算格子

（図Ⅰ．4．(2)．①．8)に、C_{tbi}を 0～100 の範囲で変更し、得られた 11 種類の軌道を示す。凡例の各番号の括弧内はC_{tbi}の値を表す。No.01 の軌道は$C_{tbi} = 0$、すなわち悪天域の回避を考慮しない、燃料消費量が最小となる軌道であり、運航の効率性が最も高い。図4に No.01 の軌道に対する各軌道の距離・時間・燃料の増加割合を示す。(図Ⅰ．4．(2)．①．8)および(図Ⅰ．4．(2)．①．9)より、運航の効率性が高い No.02～05 の軌道は No.01 の軌道に対して高度変更のみが見られるのに対し、No.06～12 の軌道は水平方向にも延伸していることがわかる。すなわち、安全性を求めて悪天域を大きく回避する水平方向の迂回軌道に対し、高度変更による悪天域の回避軌道は運航の効率性が高いことがわかった。

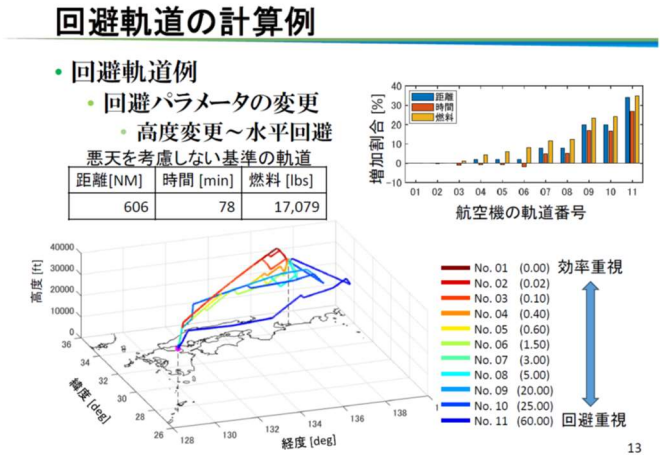


図Ⅰ．4．(2)．①．8　生成軌道の 3 次元表示



図Ⅰ．4．(2)．①．9　各軌道の距離・時間・燃料の増加分

航空交通を最適化していく上で欠かせない航空気象情報に関連する以上の取り組みについて、CARATS オープンデータ活用促進フォーラム 2024 で講演し、研究成果の普及に努めた(図Ⅰ．4．(2)．①．10)。



図Ⅰ．4．(2)．①．10　乱気流指数に基づく悪天域の回避軌道の計算例
（CARATS オープンデータ活用促進フォーラム 2024 での講演スライドから抜粋）

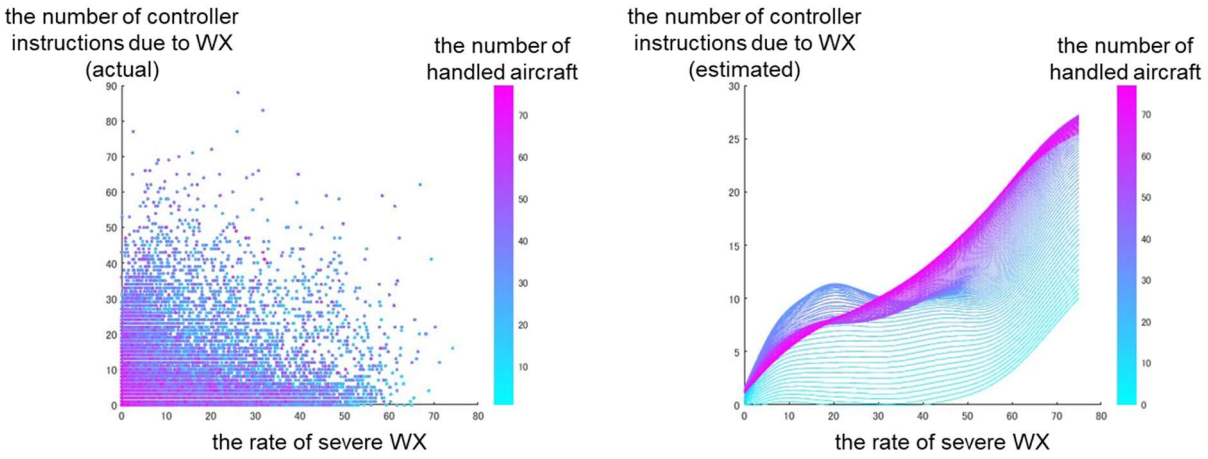
飛行計画の作成段階における軌道生成技術に関して、軌道生成に用いる気象予報の違いが航空機の運航性能に与える影響を分析した。その結果、気象予報の違いにより飛行時間および燃料消費量が短時間予報で±1%、長時間予報で±2%ほど異なることがわかった。すなわち、協調的な運航前の計画軌道調整の実現に向けて、軌道生成に用いる気象予報を関係者の間で揃えることの重要性が明らかになった。

また、同じく飛行計画の作成段階における軌道生成技術に関して、気候変動（気温上昇）が航空機の離陸性能に対して及ぼす影響について、将来的な観点から分析した。高標高かつ高気温が予想される広島空港を対象としたケーススタディにより、気温上昇の影響は離陸重量への制約となることを明らかにし、気候変動対策の重要性を強調できた。

（2）航跡データや管制官のシステム入力記録等を活用した実績ベースの空域容量算出技術の確立（管制官のシステム入力記録からの管制作業量の推定）

教師あり機械学習に分類される GPR（ガウス過程回帰）と呼ばれるデータ分析手法を用いて管制官のシステム入力記録から管制作業量を推定した。

先行研究より、（図Ⅰ．4．(2)．①．11）に示すとおり、エンルート空域に占めるレーダーエコーの割合を表す悪天率（横軸）および取扱交通量（カラースケール）を入力として悪天事由による管制指示数（縦軸）の推定値を出力する GPR モデルが得られていた。

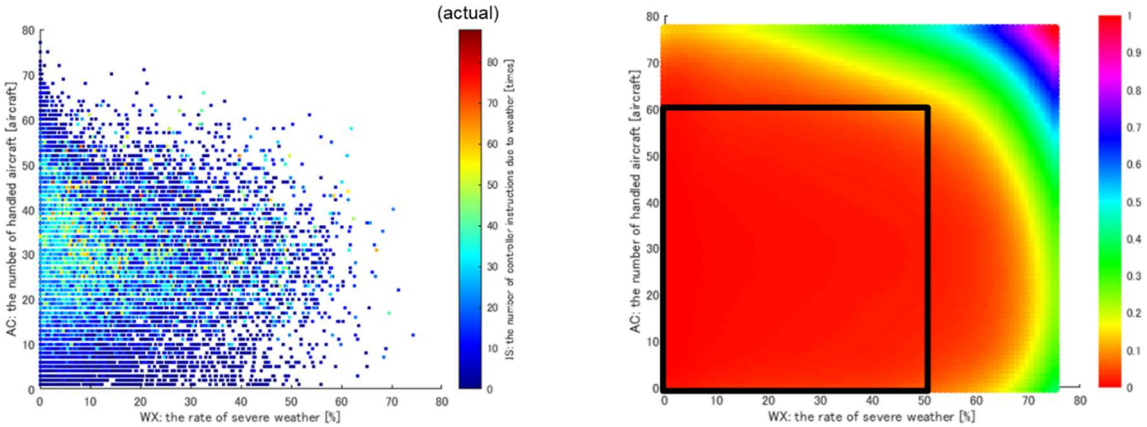


図Ⅰ．4．(2)．①．11　学習データ（左）と推定モデル（右）
（令和 5 年度業務実績等報告書 p.191 から先行研究の成果を引用）

一般的に、GPR を含む機械学習においては学習データに応じた推定モデルの有効範囲が存在する。そこで、今年度は作成した GPR モデルについて信頼区間に基づく分析を行い、適用範囲を絞った。

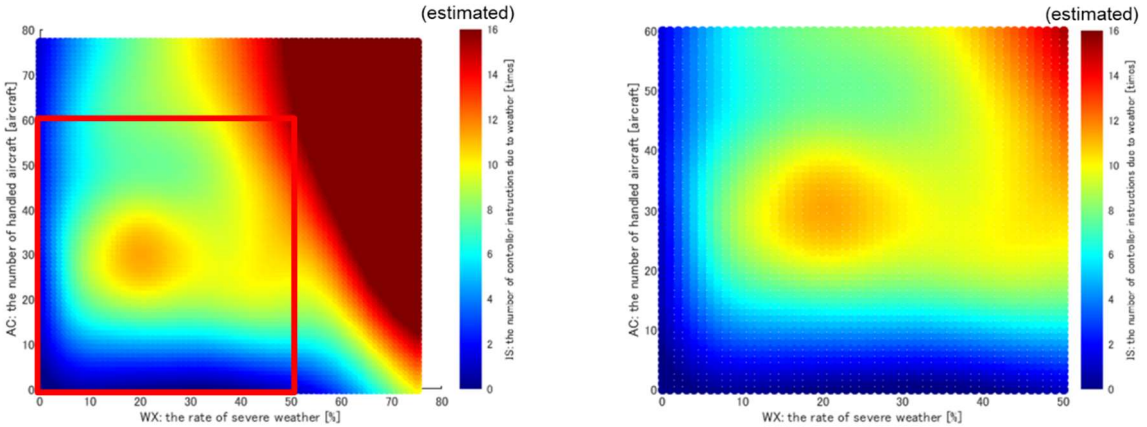
まず、信頼区間に基づく分析のため、(図Ⅰ. 4. (2). ①. 12)の左に示すように、横軸の悪天率はそのままとして、縦軸を取扱交通量、カラースケールを悪天事由による管制指示数に入れ替えた。

次に、GPR で学習データから推定モデルを作成する際、正規分布を仮定した推定値の 95%が収まる範囲を意味する 95%信頼区間が同時に得られるため、(図Ⅰ. 4. (2). ①. 12)の右に示すように、信頼区間を正規化してカラースケールでプロットした。信頼区間は小さい方が推定値の分布が狭く高精度を意味しており、横軸の悪天率と縦軸の取扱交通量で一定の信頼区間を囲めることがわかった(図の黒枠)。



図Ⅰ. 4. (2). ①. 12 学習データ(左)と信頼区間のプロット結果(右)

(図Ⅰ. 4. (2). ①. 13)の左に適用範囲を絞る前の GPR モデル、右に絞った後の GPR モデルを示す。横軸の悪天率については 0～50%、縦軸の取扱交通量については 1 セクタで 1 時間あたり 0～60 機の範囲の入力に対して、出力の悪天事由による管制指示数を一定の信頼区間で推定可能と言える。また、適用範囲を絞る前はカラースケールの表示上限 16 回／時・セクタを超えるような悪天事由による管制指示数の領域が見られたが、適用範囲を絞ったことにより、悪天事由による管制指示数の推定区間がカラースケールの表示区間に等しくなっていることがわかる。なお、縦軸の取扱交通量とカラースケールの悪天事由による管制指示数を入れ替えた効果として、航空交通流制御等で調整可能な取扱交通量の増減に対し、悪天事由による管制指示数の増加量が視覚的に把握しやすくなっていることもわかる。

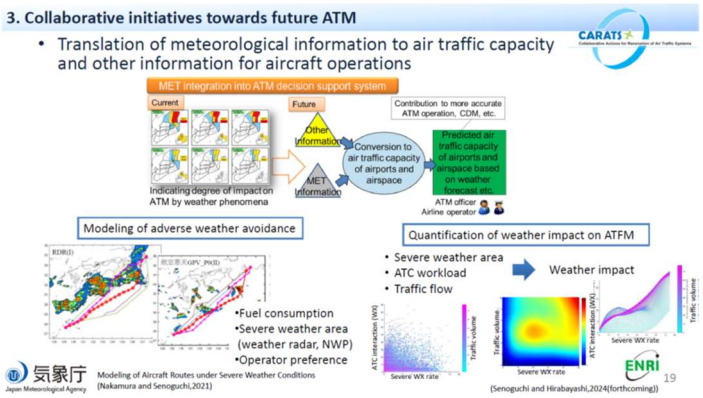


図Ⅰ. 4. (2). ①. 13 適用範囲を絞る前の推定モデル(左)と絞った後の推定モデル(右)

以上をまとめると、エンルート空域に占めるレーダーエコーの割合を表す悪天率および取扱交通量の 2 点を

入力として与えた場合に悪天事由による管制指示数の増加量を一定の信頼区間で推定できることがわかった。

WMO 主催の AeroMetSci-2024 における気象庁の講演に対して以上の取り組みに関する情報提供を行い、我が国のプレゼンス向上に貢献した(図Ⅰ. 4. (2). ①. 14)。



図Ⅰ. 4. (2). ①. 14　悪天回避のモデル化(左下)および気象の ATFM(航空交通流管理)への影響の定量化(右下)に関する我が国の研究開発の紹介

(引用:Michiko IKEDA, "Impact-based meteorological information to support ATM operation – present and future," WMO AeroMetSci-2024, p.19, October 2024.)

次年度実施予定の管制シミュレーション実験に向けて、既存の研究用システムの性能向上を実施した。評価実験システムに関しては、気象データを反映した航空機の速度計算機能および悪天域の時系列変化や回避経路等の表示機能を追加した。分析表示システムに関しては、管制作業量の処理機能を追加するとともにシステム操作・表示の向上等を図った。

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文:3 編

・ビクラマシンハナヴィンダ, 中村陽一, 瀬之口敦, "Estimating the Impact of Numerical Weather Prediction Data Models on Short-Haul Minimum Cost Tracks", 34th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS2024), 2024 年 9 月.

・中村陽一, 瀬之口敦, "Relationships between Aircraft Routes and Turbulence-Related Weather Data", 34th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS2024), 2024 年 9 月.

・ビクラマシンハナヴィンダ, 中村陽一, 瀬之口敦, "Benefit Analysis of Efficient Trajectory Planning with Dynamic Weather Forecast Information", Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT) 2024, 2024 年 10 月.

□その他

◆国際学会(査読なし):1 件

・瀬之口敦, 平林博子, "A Modeling of the Relationship between Severe Weather and Controller Workload with Gaussian Process Regression", 2024 International Workshop on ATM and CNS (IWAC2024), 2024 年 11 月.

◆国内学会:3 件

・中村陽一, 瀬之口敦, "乱気流指数に基づく悪天域の回避軌道に関する基礎的検討", 第 62 回飛行機シンポジウム, 2024 年 10 月.

・ビクラマシンハナヴィンダ, 中村陽一, 瀬之口敦, "気候変動が航空機の離陸性能に及ぼす影響に関する初期検討", 第 62 回飛行機シンポジウム, 2024 年 10 月.

・村田暁紀, “航空交通管理における人工知能の応用”, 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会(SANE), 2024 年 12 月.

◆その他発表論文:4 件

・中村陽一, 瀬之口敦, “運航制約条件を考慮した悪天回避経路に関する研究”, 令和 6 年度(第 24 回)電子航法研究所研究発表会, 2024 年 6 月.

・平林博子, “管制支援機能が管制業務作業量に及ぼす影響”, 航空無線, 2024 年 9 月.

・瀬之口敦, “CARATS 施策 MET-4-1, MET-4-2 および TBO-2-1 関連の研究進捗について”、CARATS 第 58 回 ATM 検討 WG／第 59 回航空気象検討 WG 合同 WG, 2024 年 9 月.

・中村陽一, 瀬之口敦, “悪天域を考慮した飛行経路の生成”, CARATS オープンデータ活用促進フォーラム 2024, 2024 年 12 月.

重　点　分　野	(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および将来予測に基づき、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提案する。また、シミュレーション実験により、統合運用における管理機能の有効性を検証する。

○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

口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 6 年度の研究内容

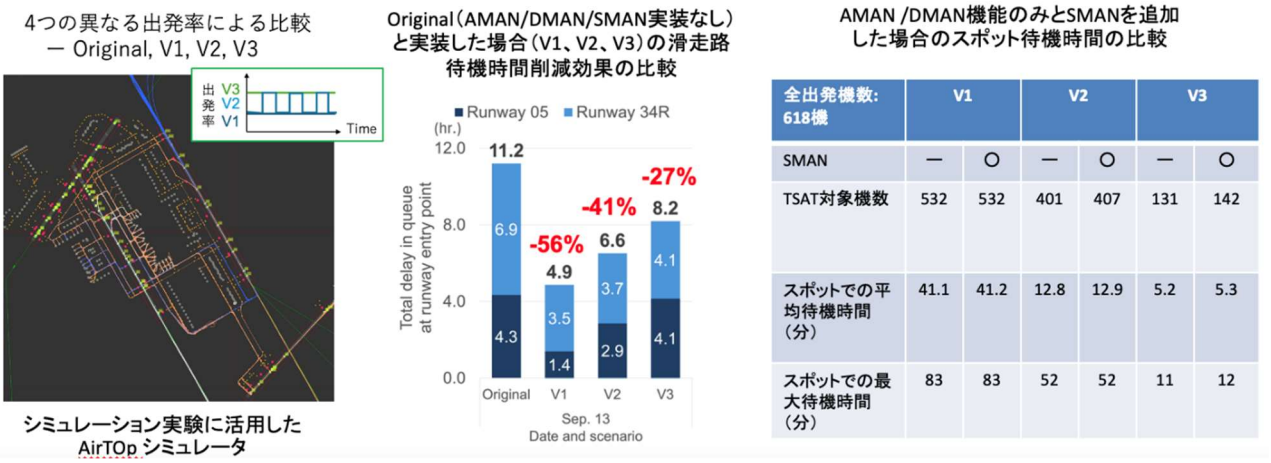
（1）到着・出発・空港面管理の統合運用の検証
（2）シミュレーション実験評価と改修
（3）技術動向調査と運用分析
（4）成果とりまとめ

令和 6 年度の研究成果

（1）到着・出発・空港面管理の統合運用の検証

羽田空港への AMAN/DMAN/SMAN 統合運用システム実装を模擬したシミュレーション実験を実施し、実験結果を分析・評価した。（図Ⅰ．4．（2）．②．1）の左図はシミュレーション実験に活用した AirTOp シミュレータの画像である。左図右上に記載のとおり、本実験では時間当たりの出発率についてオリジナル、V1（出発率低）、V2（時間帯で出発率が高低）、V3（出発率高）の 4 通りを比較した。

（図Ⅰ．4．（2）．②．1）の中央図は滑走路待機時間削減効果を、この 4 通りで比較した結果である。SMAN 機能による地上面の混雑回避方法（出発滑走路変更および DMAN 機能とのトレードオフ機能）を追加して TSAT を算出した場合においても、現状と比較して、最大で約 56%の滑走路待機時間を削減することがわかった。これは 1 日あたりの全出発機 618 機を対象にした場合、合計 6.3 時間（C 滑走路（RW05）では 3.4 時間、D 滑走路では 2.9 時間）の滑走路待機時間の削減効果であった。



全出発機数: 618機	V1		V2		V3	
SMAN	—	○	—	○	—	○
TSAT対象機数	532	532	401	407	131	142
スポットでの平均待機時間（分）	41.1	41.2	12.8	12.9	5.2	5.3
スポットでの最大待機時間（分）	83	83	52	52	11	12

図Ⅰ．4．（2）．②．1 シミュレーション実験に基づく統合運用の検証分析

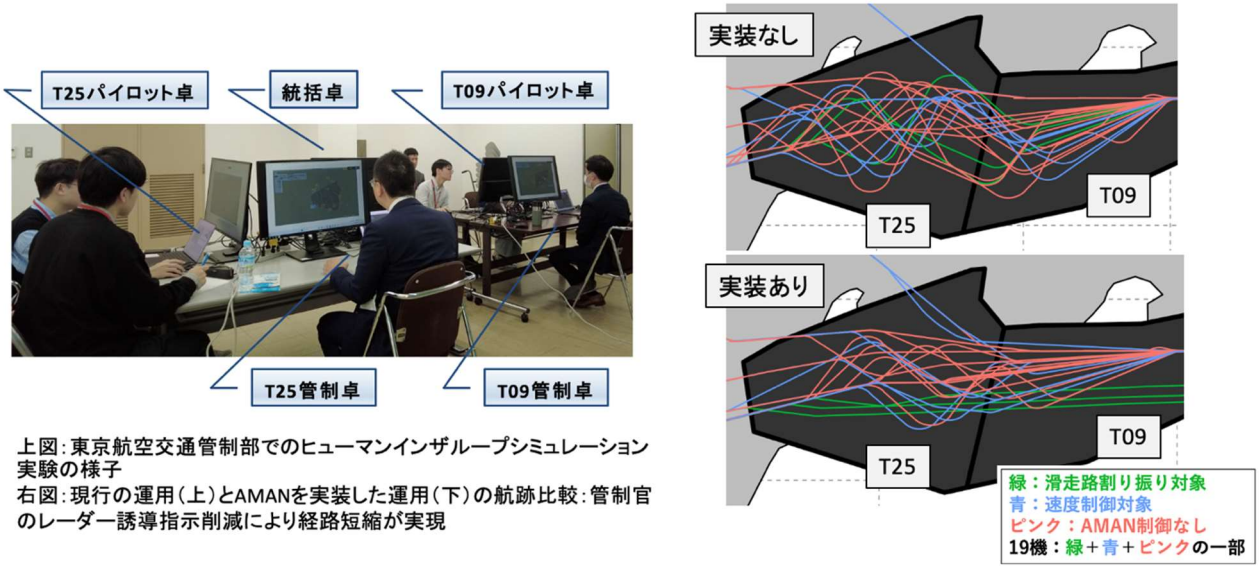
（図Ⅰ．4．（2）．②．1）の右図は AMAN/DMAN 機能のみと SMAN を追加した場合のスポット待機時間を、この 4 通りで比較した結果である。AMAN/DMAN 機能のみの場合と比較して、SMAN 機能追加による出発機のスポット待機時間の著しい増加は見られず、SMAN の有無で到着機の飛行時間は変化しなかったことから、AMAN/DMAN/SMAN 統合運用システムは有効であることを確認した。

（2）シミュレーション実験評価と改修

東京管制部において、12 月から 1 月にかけて、羽田空港に到着する航空交通流が通過する T25 と T9 という 2 つのセクターを連結したヒューマンインザループシミュレーション実験を合計 4 回実施し、実験結果を分析・評価した（図Ⅰ．4．（2）．②．2）。

空港システム（DMAN/SMAN 統合機能）と連携する AMAN の実装により、最も混雑する航空交通を模擬したトラフィックシナリオ（午前 7 時台）に対応する 45 分間のシミュレーション実験の結果、この間に T25・09 セクターを通過した羽田到着 19 機あたり合計 54 分（1 機あたり約 2.8 分）の飛行時間削減が実現した。平均消費燃料は、合計約 5,410lbs（一機あたり約 281lbs）の削減に換算できた（BADA モデルによる計算）。

管制官によるレーダー誘導の指示回数は、T25 と T09 セクター合わせて約 20%削減した。主にベクタリング（経路延伸の指示）の減少が著しく、T25 において 15 回、T09 において 11 回程度削減した。
実験の被験者となった管制官 2 名からは、良好な主観的評価が得られた。



上図：東京航空交通管制部でのヒューマンインザループシミュレーション実験の様子
右図：現行の運用（上）とAMANを実装した運用（下）の航跡比較：管制官のレーダー誘導指示削減により経路短縮が実現

図Ⅰ．4．（2）．②．2 ヒューマンインザループシミュレーション実験に基づく評価分析

（3）技術動向調査と運用分析

AMAN/DMAN/SMAN 統合運用システムの実装にあたり、TEPS および TAPS を中心とした航空交通管制情報処理システム内の情報フローと定常時を想定した運用方法を設計し、報告書にまとめた。国土交通省航空局に報告書を提供し、来年度の CARATS ATM アドホックでの説明を依頼されている。

本研究を活用し、連携した交通運輸技術開発推進制度において、研究成果を反映し、空港システムと連携する AMAN を TEPS に実装する UI（User Interface）を設計した。来年度以降、管制訓練シミュレータに実装し、ヒューマンインザループシミュレーション実験による実証を実施予定である。

（4）成果とりまとめ

これまでの研究成果および調査結果をまとめ、CARATS ATM アドホックで報告した。

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・Katsuhiro Sekine, Daiki Iwata, Philippe Bouchaudon, Tomoaki, Tatsukawa, Kozo Fujii, Koji Tominaga, Eri Itoh,"Validating a Flow-based Arrival Management for En Route Airspace: A Human-in-the-Loop Simulation Experiment with ESCAPE Light Simulaton", Aerospace 2024, 11(11), 866; https://doi.org/10.3390/aerospace11110866 , October 2024.

□査読付き国際会議論文：3 編

・Daiki Iwata, Katsuhiro Sekine, Philippe Bouchadon,Eri Itoh, "Evaluating Air Traffic Complexity via Human-In-The-Loop Simulation Experiments: Novel Metrics for Air Traffic Controllers", Proc. 2024 International Workshop on ATM/CNS (IWAC2024), November 2024.

・Daiki Iwata, Eri Itoh, "Development of a New Operational Framework to Accommodate Stochastic Air Traffic Flow at Tokyo International Airport", Proc. 34th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS2024), September 2024.

・Katsuhiro Sekine, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, Eri Itoh, "Validating Flow-based En Route AMAN

Coupling ESCAPE Light with Airtop Software", Proc. 34th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS2024), September 2024.

□その他

◆国内学会:1 件

・伊藤恵理, 岩田大輝, 関根将弘, "航空機の到着・出発統合運用システムの研究開発と運用実現性の評価", 第 70 回 土木計画学 研究発表会 秋大会 講演集, 2024 年 11 月.

◆その他発表論文:1 件

・伊藤恵理,"航空路で空港の混雑情報を活用する管制支援システム―AMAN/DMAN/SMAN 統合運用システムの研究開発について―", CARATS 空港運用検討アドホック(招待公演), 2024 年 9 月 30 日.

重　点　分　野	(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 －関係者のニーズに基づいて作成した将来の航空管制システムのアーキテクチャに整合し、機能的に働くメタリングの要件を定義する。等

○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 6 年 度 の 研 究 内 容

(1)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の改善
(2)シームレスに他機能と連携する効率の良いメタリング要件の定義
(3)メタリングのための軌道予測手法の提案
(4)到着順序付け，滑走路選択等の性能向上手法の改善

令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

(1)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の改善

本研究では、これまでに航空交通管理に関するステークホルダーの分析を行い、主要なステークホルダーを対象にヒアリングを行うことでニーズの特定を行った。今年度は、時間管理全体の機能や、その構成要素の目的を明確化するため、(図 Ⅰ. 4. (2). ②. 3)に示すように意図(To)/機能(By)/実体(Using)からなる SPS(System Problem Statement)を設定し、ニーズ分析結果に基づき時間管理のシステム構成と実現手段の検討を行った。SPS を設定することにより現在のシステム構成に縛られることなく、各機能が満たすべき目標を定義することが可能となる。

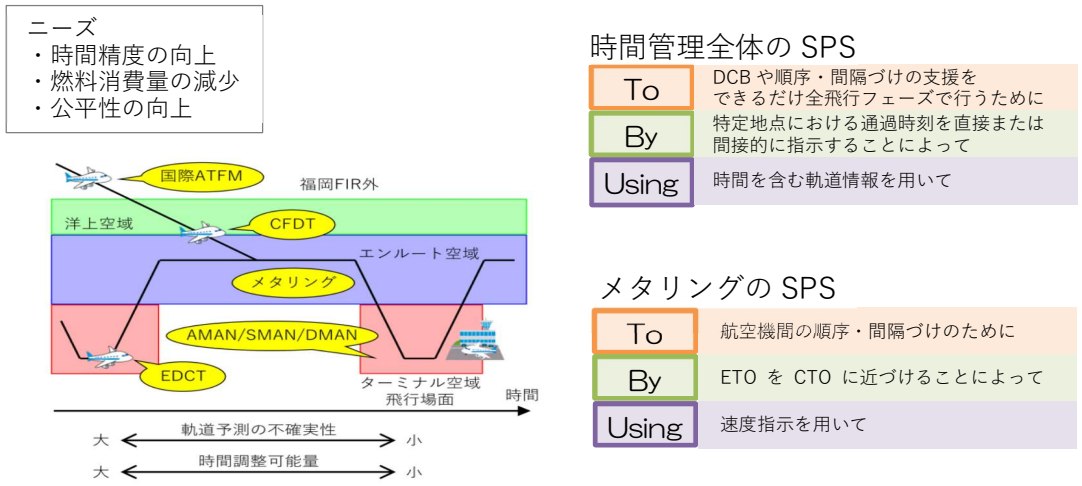


図 Ⅰ. 4. (2). ②. 3 時間管理の SPS の設定例

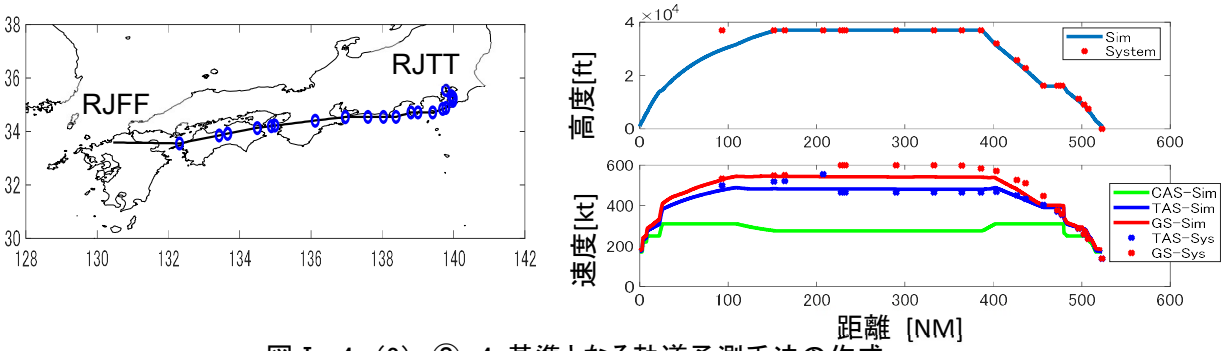
これらの時間管理のシステム構成及び実現手段の検討に基づき、将来あるべき時間管理のシステムアーキテクチャを資料化し、システム高度化に貢献する成果を得た。このシステムアーキテクチャの資料は、日本の航空交通の特性を考慮し、時間管理の具体的な運用や実装について、システムズアプローチを用いることで体系的に記述した初めての文書である。時間管理の導入にあたり考慮すべき点を記載し、いくつかの実現性の高い方向性を示すことで、ステークホルダーによる意思決定の材料を提供することを目的としている。

(2)シームレスに他機能と連携する効率の良いメタリング要件の定義

令和 5 年度に作成したメタリング要件を、上記アーキテクチャに整合するように再整理し、時間管理の一部として文書内で定義した。

(3)メタリングのための軌道予測手法の提案

軌道予測手法の評価を行うため、「離陸」などのイベントタイミングにおける飛行計画情報の抽出、複数の気象予報に基づく軌道の生成、実航跡との照合による予測精度の検証を自動的に実施する環境を整備した。一例として、(図Ⅰ. 4. (2). ②. 4)に示すように、羽田空港到着便に対する軌道予測計算のプロトタイプを作成し、実システムにおける予測データとの比較を行い、高度プロファイルは概ねシステムと同じ値を算出できることを確認した。

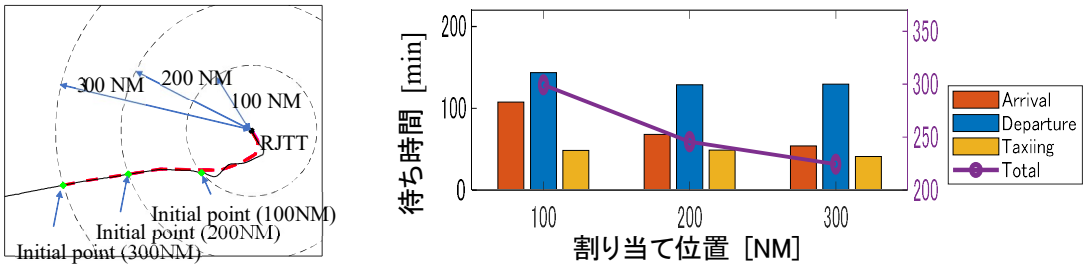


図Ⅰ. 4. (2). ②. 4 基準となる軌道予測手法の作成

左図:飛行計画経路(福岡空港発羽田空港着)
右上図:出発～到着の距離に対する高度(水色線は予測シミュレーション結果、赤点はシステム値)
右下図:出発～到着の距離に対する速度(線は予測シミュレーション結果、点はシステム値。色別に赤が対地速度(Ground Speed)、青が対気速度(True Airspeed)、緑が較正対気速度(Calibrated Airspeed)を示している)

(4)到着順序付け, 滑走路選択等の性能向上手法の改善

羽田空港出発機および到着機を考慮し, 到着機の滑走路割り当てのモデルを作成し, 効果を分析した。実際の割り当てが待ち時間を低減するように実施されている傾向を示し、(図Ⅰ. 4. (2). ②. 5)のように、最適な割り当てによる更なる削減可能性を示した。加えて割り当てタイミングの変更による影響を示し、早い段階での滑走路割り当ての優位性を示した。



図Ⅰ. 4. (2). ②. 5 滑走路割り当てタイミングの影響

左図:割り当てタイミング(空港から 100,200,300NM の距離)と空港の位置関係
右図:割り当てタイミング(空港から 100,200,300NM の距離)と待ち時間の関係(出発、到着、地上走行、全体の 4 種で分類)

成　果　の　公　表

□査読付き国際会議論文:2 編

・D. Toratani, Y. Nakamura, M. Oka, "Needs Analysis for Time-based Management in Next Generation Air Traffic Management System", 31st International Conference on Transdisciplinary Engineering 2024, July 2024.

・Raúl Sáez, D. Toratani, Y. Nakamura, M. Oka, "Tactical Departure Scheduling for Pop-Up Flights in Kansai International Airport", APISAT2024, October 2024.

□その他

◆国内学会:3 件

・虎谷、中村、岡、“システムズアプローチに基づく時間管理に対するニーズ特定”、航空宇宙学会　年会講演会、2024 年 4 月
・虎谷、中村、岡、“システムズアプローチに基づく時間管理のニーズ志向アーキテクチャ検討”、航空宇宙学会飛行機シンポジウム、2024 年 10 月
・岡、中村、虎谷、“メタリングの運用検討を目的とした時間調整量の分析”、航空宇宙学会　飛行機シンポジウム、2024 年 10 月

◆その他発表論文：12 件

・永野、岡、“DAPs から算出した風速の分析に関する経過報告”、三菱・ENRI　情報交換会、2024 年 7 月.
・永野、岡、“DAPs　から算出した風速の分析に関する経過報告（2）”、三菱・ENRI　意見交換会、2024 年 9 月.
・永野、岡、“DAPs から算出した風速の分析に関する経過報告（3）”、三菱・ENRI　情報交換会、2024 年 9 月.
・永野、岡、“DAPs から算出した風速の分析に関する経過報告（4）”、三菱・ENRI　情報交換会、2024 年 10 月.
・永野、岡、“TAPS データにおける航空機停止状態の位置ばらつきの初期評価結果”、三菱・ENRI　情報交換会、2024 年 10 月.
・平林、岡、中村、“電子航法研究所について”、SDECC 意見交換会, 2024 年 11 月.
・永野、岡、“DAPs から算出した風速の分析に関する経過報告（5）”、三菱・ENRI　情報交換会、2024 年 12 月.
・岡、“CARATS Open Data の拡充―飛行計画関係データ―”、CARATS オープンデータ活用促進フォーラム、2024 年 12 月
・永野、岡、“ガウス過程により短時間先の風速を予測する方法の検討(1)”、三菱・ENRI　情報交換会、2025 年 1 月.
・永野、岡、“ガウス過程により短時間先の風速を予測する方法の検討(2)”、三菱・ENRI　情報交換会、2025 年 2 月.
・中村、岡、“運航特性データ”、ENRI（CARATS Open Data 関連情報）、https://www.enri.go.jp/jp/research/organization/atm/carats_open_data.html、 2025 年 3 月.
・永野、岡、“ガウス過程により短時間先の風速を予測する方法の検討(3)”、三菱・ENRI　情報交換会、2025 年 3 月.

重　点　分　野	(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 －遠隔により空港の管制業務を実施するためのリモートタワー・デジタルタワー技術の実用化に向けて、運用環境を想定したシステムの評価試験及び業務支援技術の開発と高度化を行う。

○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)

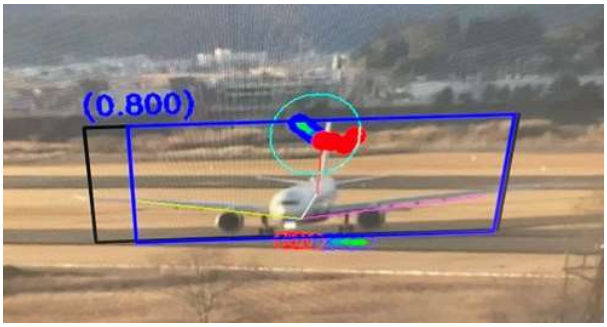
研　究　目　標

□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 6 年度の研究内容
（1）RDT の先進支援機能の検討と開発
（2）RDT としての実用環境における評価試験と技術要件の策定およびまとめ
（3）EUROCAE 活動参加、規格策定

令和 6 年度の研究成果
（1）RDT の先進支援機能の検討と開発
＜AI の活用を含めた機能開発及び性能向上＞
PTZ カメラの自動追尾機能に YOLOv8 の姿勢判定（図Ⅰ. 4. (3). ①. 1）を使用した制御安定化（乗移り対策と追尾制御のスムーズ化）の対策を組込んだ。YOLOv8 用のアノテーションデータ作成を実施。認識、姿勢判定用の両方に対応する約 2 万枚のデータを作成、学習作業を実施した。PTZ の制御安定化の対策のチューニング（尾翼を主目標とした追尾に変更し、画像認識データと監視データの両方を利用した制御を試験、制御の安定度は主観的評価では確実に上昇。ただし、姿勢判定は正面に近い状態での正しい姿勢状態の判別が不安定になる課題が残った。また、パノラマ映像の表示システムに YOLOv8 を組込み、識別のテストを実施した（図Ⅰ. 4. (3). ①. 2）。パノラマ上の航空機を識別できるようになり、後継研究では車両や人の検出にも適用しデジタルタワー等のエプロン監視などの機能への活用が期待される。



図Ⅰ. 4. (3). ①. 1 PTZ カメラの追尾に姿勢判定をしている状態の例

図Ⅰ. 4. (3). ①. 2 パノラマ映像の航空機の認識

＜HMI の最適化設計＞
HMI は管制課の担当調査官の協力を得て、既存システムのインタビュー調査及び相談を実施した。調査結果や運用体制などの条件とリモート・デジタルタワーの機能の内容等と併せて設計を試行錯誤し進めている。現在までに RDT のコンセプトシステム用の表示および操作インタフェースのプロトタイピングを実施した。
操作卓の情報をパノラマ画面に統合表示するためのユーザインタフェース（UI）のプロトタイピングを実施（図Ⅰ. 4. (3). ①. 3）。LC（ローカル）席, GND（グラウンド）席用の UI コンセプトをシナリオベース（図Ⅰ. 4. (3). ①. 4）で作成した。

図Ⅰ．4．(3)．①．3 統合表示のプロトタイピングの例

図Ⅰ．4．(3)．①．4 UI 操作のシナリオの一部

＜HMD インタフェースの開発＞

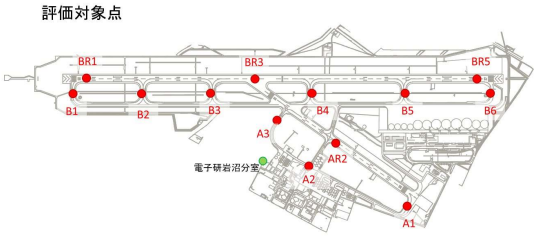
高解像度 HMD(Varjo XR-4)へ対応するためのソフトウェア改修を行った。高解像度でのパノラマ映像の画面出力が可能となっている。HMD の VR 環境で起こっていたちらつきは書き込みメモリの処理を変更することで解消した。カメラの制御インタフェースの検討は HMD の場合、視野角の制限があることから必要であるが、訓練の活用方法等の具体化を含め後継研究で検討していく。

(2)RDT としての実用環境における評価試験と技術要件の策定およびまとめ

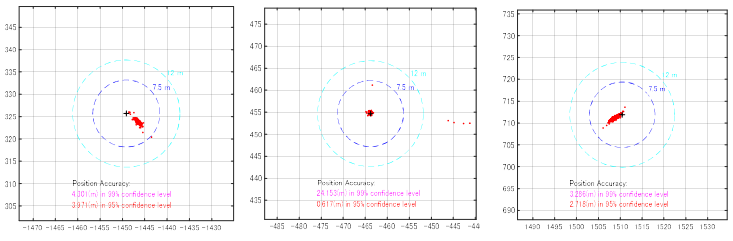
＜映像と監視センサ情報の連携機能の評価＞

視覚支援として RWY Incursion 機能の精度を示すための、チャネル数(フォーメーション)のによる MLAT の精度比較評価のためのデータ取得実験を 9 月に実施((図Ⅰ．4．(3)．①．5)、(図Ⅰ．4．(3)．①．6)、(図Ⅰ．4．(3)．①．7))。MiniMLAT(4 チャネル)でも EUROCAE MASPS ED-117A)の精度基準をクリアし、RWY Incursion の機能を保証できることを確認した(表1)。RT の支援機能開発に必要な小型の監視センサとして有効性を示せた。

図Ⅰ．4．(3)．①．5 仙台空港での MiniMLAT の実験局



図Ⅰ．4．(3)．①．6 実験時の評価対象地点



図Ⅰ．4．(3)．①．7 評価地点の計測状況の例

表1 評価地点別のスコア

	4局mini-MLAT相当時(受信局1,3,5,8)	
地点	要求精度12mを満たす割合(%)	95%信頼性における位置精度(m)
BR1	99.49	2.40
BR3	92.37	14.28
BR5	78.94	12.62
B1	99.90	3.97
B2	99.42	1.77
B3	98.25	0.62
B4	100.00	2.39
B5	99.83	3.45
B6	100.00	2.72
AR2	96.94	6.43
A1	100.00	3.39
A2	0.14	2.E+09
A3	99.41	2.47
要件	95%以上	12m以下

（3）EUROCAE 活動参加、規格策定

WG-100 では ED-240C（AI や高度な支援機能のオプション要件に関する技術）の議論を実施中。4月に Skyguide で Plenary を開催。11 月に CAAS で Plenary を開催した。コアチーム会議は隔週にオンラインで実施し、ドキュメント内容を議論している。世界的には中規模以上の空港でも導入検討が進みつつある状況。ミュンヘンやチャンギ、西シドニー、ブダペストの空港は新タワー建設を行わない方針としている。

成果の公表

□査読付き国際会議論文：1 編

・Inoue, S. & Brown, M., Effectiveness of Knowledge Based Processing for Visual Object Detection, IHIET-FS2025, 2025 年 6 月

□その他

◆国内学会：3 件

・小宮山, 敦賀, 荒尾, 網島, 角張, 長縄「Tukey 関数を使用する M 推定に基づく外れ値に頑強な TOA 測位方式」2025 電子情報通信学会総合大会, 2025 年 3 月.

・荒尾, 小宮山, 敦賀, 網島, 角張, 長縄「貪欲法を用いた遮蔽判定に基づくマルチラテレーション受信局選択」2025 電子情報通信学会総合大会, 2025 年 3 月.

・井上, 山田「物体の姿勢情報用いたカメラの追尾精度改善」2025 電子情報通信学会総合大会, 2025 年 3 月.

◆その他発表論文：1 件

・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、出前講座（保安大講義）

重　点　分　野	(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ける航空機の監視データを統合する装置を機能向上するとともに、基本的な性能評価手法について検討する。

○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 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）評価手法の開発・提案（個別、マルチ監視）

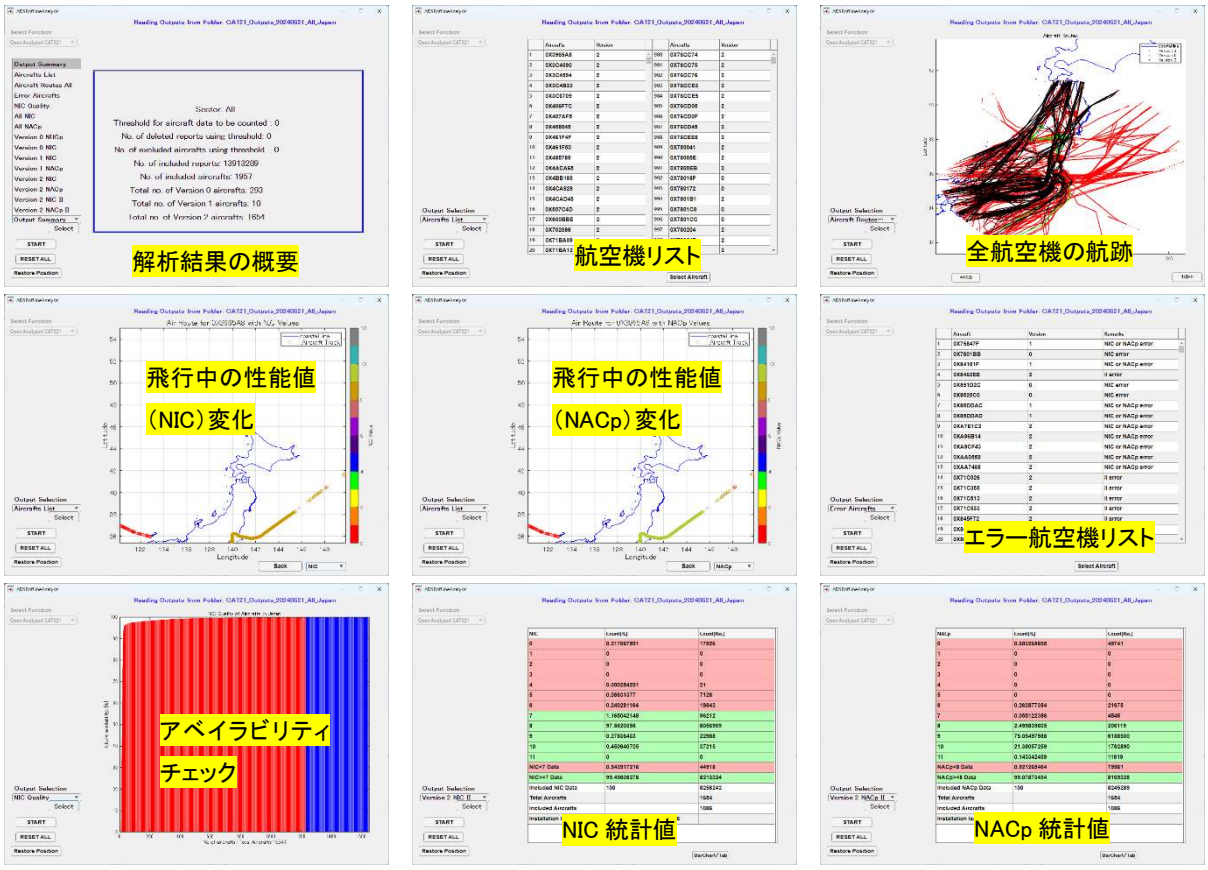
（2）監視装置の改修、データ収集、解析、評価

（3）動向調査

令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）評価手法の開発・提案（個別、マルチ監視）

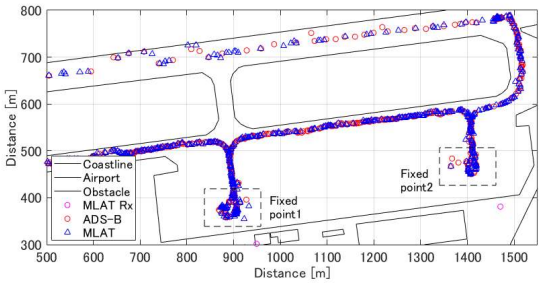
本年度は、協調監視システムの研究発展に注力し、個別の監視システムの評価方法の開発とマルチ監視の評価に向けたデータ統合等に関する研究を実施した。評価システムの開発の一つとして、航空機の発信する信号の一つであるモード S メッセージをベースにした ADS-B の性能評価手法について、前年度までの一連の解析方法の再確認を行うとともに、実際の監視システムが出力する ADS-B のフォーマット形式である CAT21 を使った解析方法を開発した。これら 2 つのデータに関するデータ解読と解析は、実データから正しく監視システムを評価するためであると共に実際に運用中の監視システムが出力する数値が正しいかどうかを判断するための評価用としても活用ができる利点がある。加えて、上記のフォーマット解析に対応した性能評価モニタ（Performance Monitor）の開発に着手した。対象期間及び対象空域で得られた航空機の ADS-B による位置情報と各種性能値を計算し、ソフトウェア上で指示することができる（図Ⅰ．4．（3）．①．8）。航空機のリストや航跡、飛行中の性能値の変化や監視要件に当てはまる航空機か否かを判定し運用要件に合致しないで航空機の推定が可能である。CAT21 方式による ADS-B 性能評価手法については、技術の一部を実装してソフトウェア化して技術移転することができ、研究成果の社会還元という部分で大きな成果となった。



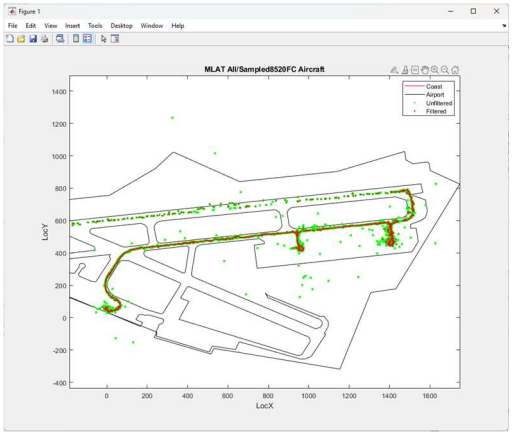
図Ⅰ．4．（3）．①．8 開発中の ADS-B 評価装置（Performance Monitor）

ADS-B の統計解析結果は、ICAO 監視パネルの作業部会で発表した。

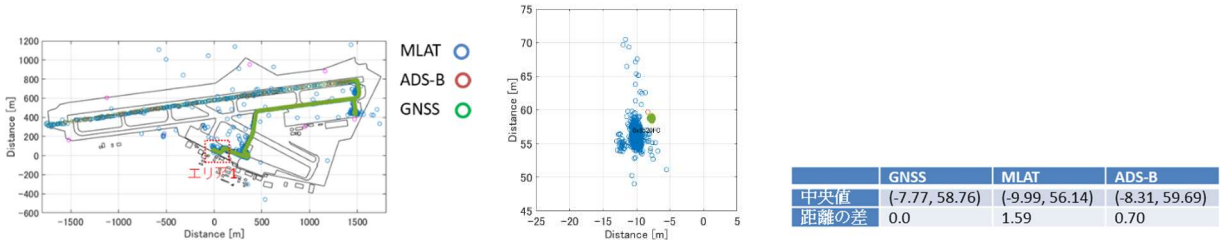
協調監視システムのデータ統合については、現在、ICAO で議論され、まとめられている監視性能要件についての動向も参考にして、単純に各種監視システムで計算された航空機の位置情報をまとめるのではなく、性能の高いデータを選択して出力する方法について初期検討を実施した（図Ⅰ．4．（3）．①．9）。データの統合・選択という観点からの研究を開始し、その前段となるフィルタ（スムージング）処理についても効果のほどを検証開始した（図Ⅰ．4．（3）．①．10）。並行して、空港面における監視システムの位置性能を検証した（図Ⅰ．4．（3）．①．11）。



図Ⅰ．4．（3）．①．9 選択プロット方式の初期検討結果（高頻度の出力を想定）



図Ⅰ．4．（3）．①．10 MLAT の空港面におけるフィルタ適用



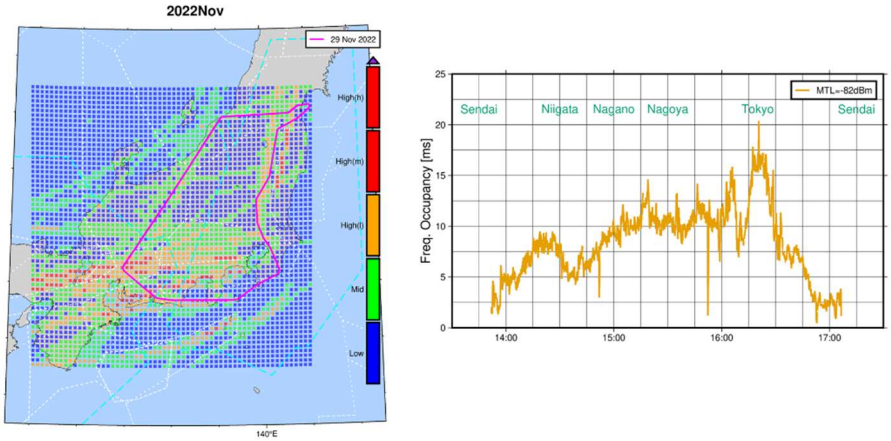
	GNSS	MLAT	ADS-B
中央値	(-7.77, 58.76)	(-9.99, 56.14)	(-8.31, 59.69)
距離の差	0.0	1.59	0.70

図Ⅰ．4．（3）．①．11 空港面における協調監視システムの位置性能評価結果
（左：航跡比較、右：駐機中の精度比較）

（2）監視装置の改修、データ収集、解析、評価

協調監視システムによる結果を統合し性能評価を進めるため、MLAT の改修を実施した。特に羽田空港などの大規模空港では航空機からのデータが大量に送信されておりデータ収集が追い付かないという課題が残っていた。そこで、外部装置で解析、記録ができるように MLAT のデータ分岐に係る改修を実施した。また、MLAT に関連した部分では、モード A/C 機によるファミリービーコン機（F/B 機）の分離・識別について、初期補足の課題を解決するためのソフトウェア改修を行った。F/B 機の分離・識別に使用する選択質問方式はアジア地域における ICAO の監視グループで成果発表した。

監視性能を測るために飛行実験を通して、日本全国の 1030/1090 MHz の監視信号環境の測定を行い、EUROCAE の定義に沿った交通流との関係について成果を公表した（図Ⅰ．4．（3）．①．12）。特に国内の混雑空港付近では、高度情報も考慮してデータをみなければならないことを ICAO 監視パネルの作業部会にて発表した。また飛行実験を通して、地上における監視システムの性能を推定するため、仙台空港でデータ取得を行った。成果については前節通りである。ASWG で成果を公表した。得られた結果を使って、前述したフィルタ処理や統合・選択処理につなげた。



図Ⅰ．4.（3）．①．12 交通流密度（左）と監視信号量の比較（右）

（3）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 S サービスに係る文書の改訂提案、モード A/C 対応 MLAT の選択質問方式、日本国内の ADS-B 性能評価手法による統計解析結果、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、日本独自の成果を国際的に発信することができた。アジア地域における会議では、モード A/C 対応 MLAT の選択質問方式について数カ国から質問を受けるなど関心の高さが感じられ、ADS-B の統計解析結果についても日本でのみ実施していたため日本での先行評価結果は非常に価値があることが明らかとなり、次年度の他の国からの報告が要望される中で日本の国際競争の向上に貢献できた。

成果の公表

□査読付き国際会議論文：4 編

- K. Matsunaga, and J. Honda, “An Evaluation Process of ADS-B Message and Statistical Evaluation,” Proc. Int. Workshop on ATM/CNS (IWAC), T3-2-A, pp.39-45, Nov., 2024.
- J. Honda, and H. Tajima, “Effect of Backscattering Caused by Two Localizers,” Proc. Int. Symp. Ant. and Propag. (ISAP), FrE3_01, Incheon, Nov., 2024.
- J. Honda, “Visualization of Electromagnetic Field Intensities of Instrument Landing System,” Proc. Int. Flight Inspection Symposium (IFIS), Session 7, Nagoya, July 2024.
- J. Honda, “Functionality Introduction of Japanese Customized ILS Simulator,” Proc. Int. Symp. on EMC Japan/APEMC Okinawa, MonPM1D.4, pp.37-40, Okinawa, May 2024.

□その他

◆標準化会議：8 件

- J. Honda, and T. Otsuyama, “Minor Revision of Doc 9871 regarding Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter,” ICAO SP-ASWG21-WP/16, Montreal, March 2025.
- T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, “Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan,” ICAO SP-ASWG21-IP/01, Montreal, March 2025.
- J. Honda, T. Otsuyama, K. Matsunaga and Y. Kakubari, “Preliminary Analysis of ADS-B Equipage and Statistical Evaluation in Japan,” ICAO SP-ASWG20-IP/08, Montreal, Sep. 2024.
- T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, “Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan,” ICAO SP-ASWG20-IP/01, Montreal, Sep. 2024.
- T. Otsuyama, “Preliminary Results of Traffic Density Analysis in Japan,” ICAO SP-ASWG-PBSSG, Brussel, June 2024.
- T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, “Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan,”

ICAO SP-ASWG-TSG WP19-01, Paris, June 2024.

・J. Honda, K. Matsunaga, T. Otsuyama, and Y. Kakubari, “STATISTICAL ANALYSIS OF ADS-B QUALITY OF PERFORMANCE IN SENDAI AIRPORT,” ICAO SURICS/9-IP/12, Bangkok, May 2024.

・J. Honda, Y. Kakubari, T. Otsuyama, and K. Matsunaga, “SELECTIVE INTERROGATION SYSTEM FOR MODE A/C MULTILATERATION,” ICAO SURICS/9-IP/11, Bangkok, May 2024.

◆国内学会：4 件

・田嶋裕久, 本田純一, “計器着陸システムにおける障害物散乱の影響のモーメント法による検討, ” 信学技報, SANE2024-41, pp.70-74, Oct. 2024.

・本田純一, 大津山卓哉, 角張泰之, 松永圭左, “空港面監視システムの測位位置の比較, ” 第 62 回飛行機シンポジウム, 1E02, Sep. 2024.

・大津山卓哉, 本田純一, “航空交通流と監視信号環境の関係に関する一考察, ” 2024 ソ大講演論文集, B-2-17, Sep. 2024.

・本田純一, 大津山卓哉, 角張泰之, 松永圭左, “空港面の協調監視システムの測位結果比較に関する初期検討, ”2024 ソ大講演論文集, B-2-17, Sep. 2024.

◆その他発表論文：2 件

・本田純一, “ADS-B 性能評価及び評価ツール, ”2025 年電子情報通信学会総合大会, 研究発表展示, 東京, March 2025.

・J. Honda, “Development of ILS Simulator for Electromagnetic Wave Interferences,” Exhibition of IFIS2024, Nagoya, July, 2024.

重　点　分　野	(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 －空港面用監視技術を用いたFOD(滑走路異物)検知について、羽田空港評価システムデータの分析を行い、異物検知処理の高信頼性化に向けた検討を行う。等

○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 6 年度の研究内容

（1）FOD 監視システム空港環境データ取得継続およびデータ分析・誤検知率低減法改善，画像認識機能評価

（2）FOD 監視システム信頼性データ取得継続およびデータ分析・低コスト化法の分析

（3）滑走路維持管理方式の効率化に資する FOD 監視システムユーザインターフェース実装

（4）EUROCAE 等の国際基準策定会議での発表・提案

（5）結果取りまとめ

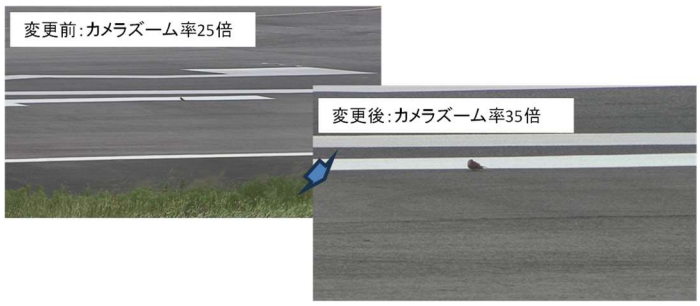
令和 6 年度の研究成果

（1）FOD 監視システム空港環境データ取得継続およびデータ分析・誤検知率低減法改善、画像認識機能評価

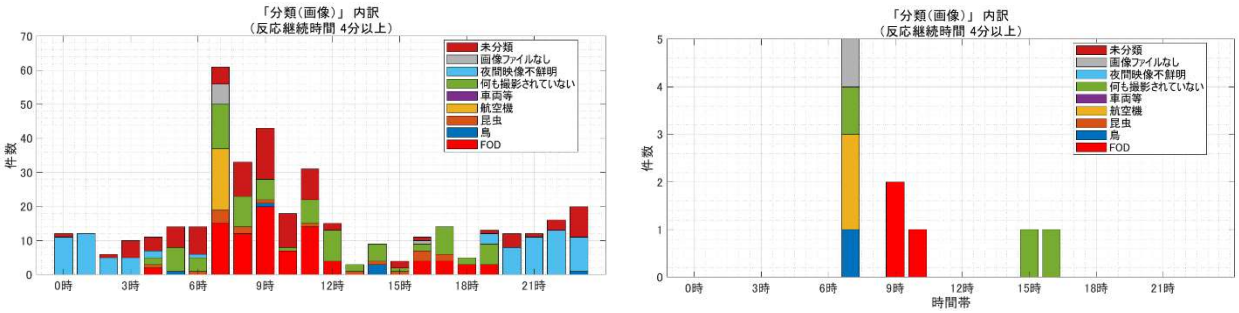
レーダセンサ、高精細カメラ、気象センサ、滑走路運用状況の各データの全数分析を継続し、月ごと、時間ごとの詳細なセンサ反応結果を取得した。分析結果に基づき、1. 降水影響緩和法、2. 滑走路クラッタ変動の緩和法、3. 鳥および昆虫等の動体物除去法を提案した。3 点目の動体物除去法については特許出願準備および機能追加回収を実施した。

また、昨年度機能追加を実施した画像認識機能については現在取得した画像をリアルタイムで解析し、その結果を分析予定である。高精細カメラ画像については滑走路上の位置座標補正実験を実施し、これまで 25 倍のズーム率で撮影していた画像を 35 倍の最大ズーム率で撮影可能となり、検知対象物の映像の了解性が大幅に改善した。（図Ⅰ．4.（3）．①．13）

探知物の全数分析を継続し、提案している動体物の除去機能の有効性を確認した。（図Ⅰ．4.（3）．①．14）本機能については現在システムに機能を追加するための機能追加改修を実施した。昆虫等の移動物を適切に除去可能な動体物判定しきい値設定を検討し、適切なしきい値に設定することで、FOD 監視システムのアラート発生に起因する滑走路点検回数を抑えることが可能であることを明らかにした。本システムのアラート発生による滑走路閉鎖時間と、羽田空港 C 滑走路における臨時点検回数による滑走路閉鎖時間を比較し、本システム導入により滑走閉鎖時間が短縮されることを確認した。



図Ⅰ．4.（3）．①．13 画像認識カメラズーム率の改善（滑走路座標の詳細取得による補正値取得）



図Ⅰ．4．(3)．①．14　動体物分別法の提案(レーダ反応件数 2024 年 7 月、反応継続時間 4 分以上)
左図:提案法適用前 339 件、右図:提案法適用後 10 件

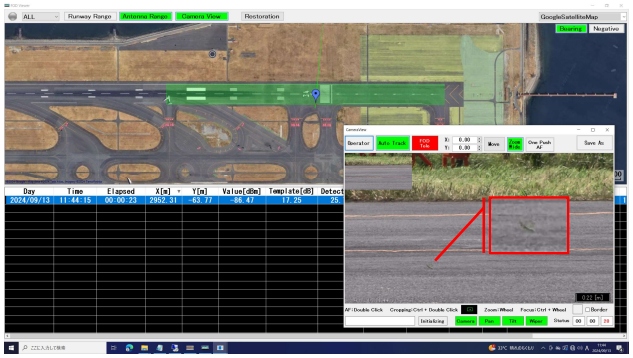
また、カメラ画像のリアルタイム解析を実施し、その有効性を確認した。今後、画像再学習およびデータ増加を実施し、誤認識や未認識を改善する予定である。SDI 形式のカメラ映像取得をエンコーダ経由から直接入力に変更し、映像時間遅延を低下させることでカメラ操作性を改善した。さらに、監視情報に基づく航空機除外処理を改修し、滑走路内に長時間停止する航空機と FOD の分別処理を改善した。

(2)FOD 監視システム信頼性データ取得継続およびデータ分析・低コスト化法の分析

2024 年 2 月から 3 月に実施した MASPS 評価試験から、探知エリアの重複化を行うことで現在の 350 m から 400 m への覆域拡大の可能性があることを明らかにした。この場合、C 滑走路のセンサ数を 6 センサから 5 センサに減らし、システム低コスト化が見込める。覆域設計ツールでの解析では 5 センサでも MASPS 性能が達成可能となる見込みを得たが、滑走路での実環境評価により実験的にも確認可能となるため、今後、夜間実験により評価を行う予定である。また、信頼性評価については、レーダを含めたシステムログデータ分析により継続して安定動作をしていることを確認した。

(3)滑走路維持管理方式の効率化に資する FOD 監視システムユーザインターフェース実装

FOD 監視システムのシステム UI について複数の改善項目を実施した。(図Ⅰ．4．(3)．①．15)FOD 探知時に異なる色と発光パターンで表示する外部信号灯の追加、警報音の発生機能、カメラの操作性改善や手動操作による FOD 確認済み設定機能等を追加した。(図Ⅰ．4．(3)．①．16)また、UI 画面上においての異物回収支援端末への回収コマンド送信および設定時間以上探知を継続した対象物への強調表示等を含めた改善項目を実装した。また、異物回収支援端末についても、地図や探知 FOD 表示操作性の改善を行った。



図Ⅰ．4．(3)．①．15 滑走路異物監視システム UI の改善

図Ⅰ．4．(3)．①．16 航空機カメラ自動追尾機能の実装 UI の改善

(4)EUROCAE 等の国際基準策定会議での発表・提案

EUROCAE WG-83、滑走路面異物検知装置導入検討会、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た。ED-235A は 2024 年 4 月に発行され、現時点の最新の国際技術基準である。また、ICAO 周波数ハンドブック改定に際し、FSMP において 90 GHz 帯 FOD 監視用レーダの情報を提供した。

(5)結果取りまとめ

約 2 年間以上の評価装置を用いたデータ収集および解析により、誤検知率低減を実現する、滑走路における鳥や昆虫の発生、気象変動によるクラッタ変化に対応する探知アルゴリズムを開発した。また、評価システムを用いた長期間の装置動作ログデータ分析および MASPS 評価試験等を実施し、競合他者に比較して国際技術基準以上の性能や長期信頼性確保を達成しつつ低コスト化が可能な機器構成やセンサ配置法を明らか

にした。さらに、羽田空港に設置した滑走路異物監視システム評価装置を用いた実証実験により、FOD 監視システムで得られた座標情報および異物回収支援タブレットを用いた FOD 回収の業務効率化が達成できることを確認した。FOD 監視システムは、国において導入検討が進められており、空港滑走路の安全性向上のみならず、滑走路点検の効率化、省力化、空港滑走路閉鎖時間の短縮による CO_2 排出削減が期待されることから、本研究成果は高い社会的価値を有する。

成果の公表

□査読付き国際会議論文:3 編

・S. Futatsumori, “Design and Finite-Difference Time-Domain Analysis of Three-Dimensional Printed W-Band Reflector Fresnel Lens Antenna Using Acrylonitrile Butadiene Styrene Plastic”, Proceedings of the Proceedings of the 2024 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES2024), May.2024.

・S. Futatsumori, K. Morioka, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Reflection Signal Strength Incident Angle Dependency Evaluations of a Small Object on an Airport Runway Using 96 GHz Foreign Object Debris Detection Millimeter-Wave Radar”, Proceedings of the 49th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2024), pp.1-2, Sept.2024.

・S. Futatsumori, N. Hiraga, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “96 GHz Millimeter-Wave Radar System for Airport Surface Detection Purpose”, Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (IEEE CAMA2024), Oct. 2024.

□その他

◆国際活動:4 件

・European Microwave Conference 2024 査読委員(国際会議運営に係る論文査読等)

・International Symposium on Antenna and Propagation 2024 査読委員(国際会議運営に係る論文査読等)

・European Conference on Antennas and Propagation 2024 査読委員(国際会議運営に係る論文査読等)

・Asia-Pacific Microwave Conference 2024 査読委員(国際会議運営に係る論文査読等)

◆国内学会:1 件

・二ッ森 俊一, ″ 96 GHz 帯ミリ波レーダを用いた滑走路異物探知システムの研究開発状況 -東京国際空港に設置した滑走路異物監視システム評価装置の概要-,″ 信学技報, vol. 124, no. 320, SANE2024-50, pp. 45-49, 2024 年 12 月.

◆その他発表論文:2 件

・二ッ森俊一, ″ W 帯ミリ波レーダを用いた滑走路異物監視システムの研究開発,″ 京都大学情報学研究科通信情報システム専攻談話会, 2024 年 6 月.

・″「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」リーフレット,″ 2024 年国際航空宇宙展, 2024 年 10 月.

◆各種表彰の受賞:1 件

・一般社団法人電波産業会 電波功績賞 総務大臣表彰

重　点　分　野	(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、導入効果の評価を行うとともに効果が得られる条件を明確化する。また、滑走路離脱のパイロット支援に係る模擬実験機材の開発、飛行方式設計アルゴリズムのユーザビリティ向上を行う。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危険度モデル(CRM)改良に向けた課題の明確化

□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 6 年度の研究内容

（1）IGP、SRAP（非同時設定）導入効果評価と条件明確化

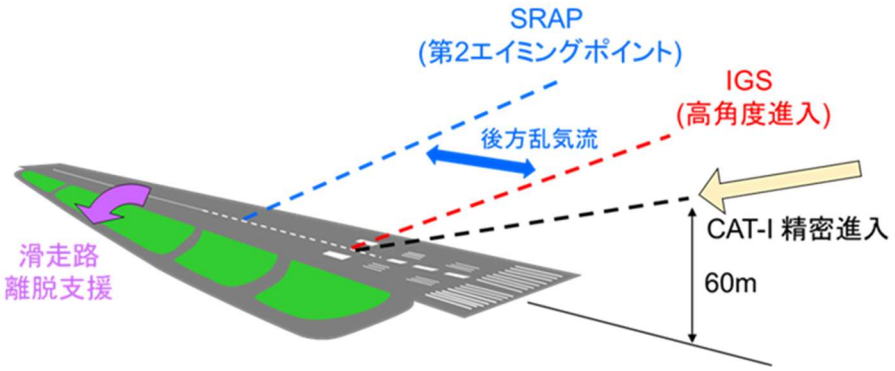
（2）CRM 分布モデル改良に向けた検討

（3）滑走路離脱支援に関わる模擬実験機材の開発

令和 6 年度の研究成果

（1）IGP、SRAP（非同時設定）導入効果評価と条件明確化

GBAS を活用した新たな進入方式（図Ⅰ. 4.（3）. ②. 1）について、（一財）小林理学研究所との共同研究で高角度進入（IGP）の騒音低減効果について B787 シミュレータ実験データを騒音予測モデルに入力して定量的に評価した。また、IGP、SRAP 地上障害物件を回避する便益が期待できる国内空港の 3 つの滑走路を中心に経路設計を進めた。これにより、いずれも精密進入で誘導可能な高度を 200ft 程度まで引き下げて設定できることを示した。



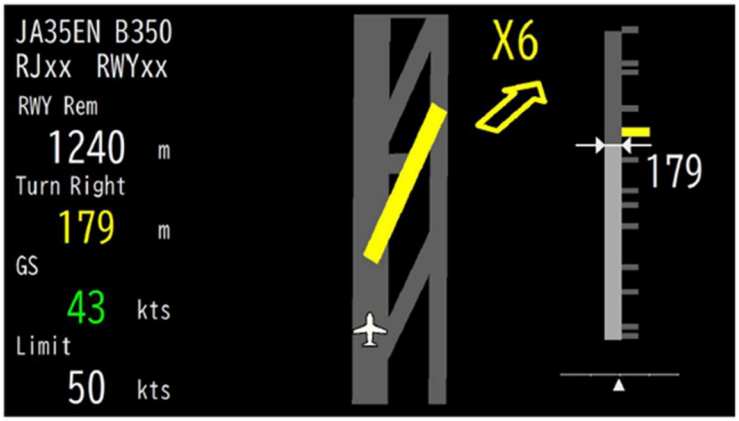
図Ⅰ. 4.（3）. ②. 1 GBAS を活用した新たな進入方式の概念図

（2）CRM 分布モデル改良に向けた検討

東京国際空港への到着機について蓄積された ADS-B データを用いて進入経路から横方向及び垂直方向の逸脱量分布を算出し、将来の CRM モデルの改良に向けて課題と解決方法について提示した。

（3）滑走路離脱支援に関わる模擬実験機材の開発

滑走路離脱支援ツールの画面生成表示部について、実演画面をもとにパイロットヒアリングを行い、それらの結果を反映した改修によって完成度を高めた（図Ⅰ. 4.（3）. ②. 2）。これにより、R7 年度以降に実施予定の模擬実験による検証準備が整った。



図Ⅰ. 4.（3）. ②. 2 滑走路離脱支援ツールの画面生成表示部の例
（自機位置（中央下部）と離脱誘導路（黄色い線）等を示す）

成　果　の　公　表

□その他

◆標準化会議:1 件

・吉原貴之, “Status update of the ENRI’s R&D activities related to wake turbulence separation, ” ICAO WTSWG/16 – IP02, April 2024.

◆国際会議:1 件

・吉原貴之, 齊藤真二, 藤井直樹, 小田浩幸, 青山久枝, “ENRI’s R&D Activities on Advanced GBAS Operations,” International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 23, 2024 年 6 月.

◆国内学会:6 件

・齊藤真二, “滑走路延長上に基準局を有する GBAS の可用性と着陸機数,” 電子情報通信学ソサイエティ大会, 2024 年 9 月.

・福島荘之介, 森亮太, “進入方式を設計する 障害物評価表面(OAS)ソフトウェアの再構築,” 第 62 回飛行機シンポジウム, 2024 年 10 月.

・小田浩幸, 吉原貴之, 齊藤真二, 藤井直樹, 青山久枝, “GNSS による高角度・第 2 エイミングポイントを設定した進入方式の導入効果,” 第 62 回飛行機シンポジウム, 2024 年 10 月.

・小林知尋, 横田考俊, 牧野康一, 吉原貴之, 齊藤真二, 藤井直樹, ナヴィンダ キトマル ビクラマシンハ, “騒音予測フレームワーク J-FRAIN による GBAS を利用した低騒音進入経路の騒音評価,” 第 62 回飛行機シンポジウム, 2024 年 10 月.

・齊藤真二, “GBAS ポジショニング・サービスによる滑走路離脱支援,” 第 62 回飛行機シンポジウム, 2024 年 10 月.

・吉原貴之, 青山久枝, 齊藤真二, 藤井直樹, 小田浩幸, “高カテゴリーGBAS 運航による低視程時の滑走路運用効率の低下抑制効果,” 第 62 回飛行機シンポジウム, 2024 年 10 月.

◆その他発表論文:9 件

・北村 光教, “SBAS の概要,” 出前講座(航空保安大学校岩沼研修センター), 2024 年 4 月.

・齊藤真二, “GBAS の概要と新しい進入方式,” 出前講座(航空保安大学校岩沼研修センター), 2024 年 4 月.

・吉原貴之, “GBAS による滑走路運用の高度化, ” 出前講座(航空保安大学校岩沼研修センター), 2024 年 4 月.

・吉原 貴之, 齊藤 真二, 藤井 直樹、青山 久枝, “GAST-D による低視程時の滑走路運用の改善効果, ” 第 24 回電子航法研究所研究発表会, 2024 年 6 月.

・齊藤 真二, “GBAS による精密進入方式と利点について,” 第 17 回港湾空港技術講演会 in 関東 2024, 2024 年 11 月.

・齊藤 真二, “GBAS の概要と新しい進入方式,” 出前講座(航空大学校仙台分校), 2025 年 3 月.

・吉原 貴之, “GBAS による滑走路運用の高度化, ” 出前講座(航空大学校仙台分校), 2025 年 3 月.

・齊藤 真二, “GBAS の概要と新しい進入方式 ～RNP to xLS～,” 出前講座(大阪航空局鹿児島空港事務所), 2025 年 3 月.

・吉原 貴之, “GBAS による滑走路運用の高度化, ” 出前講座(大阪航空局鹿児島空港事務所), 2025 年 3 月.

重　点　分　野	(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、導入効果の評価を行うとともに効果が得られる条件を明確化する。また、滑走路離脱のパイロット支援に係る模擬実験機材の開発、飛行方式設計アルゴリズムのユーザビリティ向上を行う。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 6 年 度 の 研 究 内 容

（1）最適化アルゴリズムのユーザビリティ向上および支援ツールの提案・評価

（2）飛行方式等に係る安全性検証の実施

令 和 6 年 度 の 研 究 成 果

（1）最適化アルゴリズムのユーザビリティ向上および支援ツールの提案・評価

令和 5 年度に開発したアルゴリズムに、直線と円弧の組み合わせで構成される 2 地点間の最短経路生成方法である Dubins パス注 1 を組み込み、設計プロセスの効率化を図るアルゴリズムの改良を行った。

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生成することが可能であることから、飛行方式設計のアルゴリズム改良において、経路生成の処理速度を速め、多様性のある経路設計案を提示することができた。また、ユーザビリティを向上させることで当初の計画よりも 1 年早く所期の目標を達成でき、航空局にも報告した。

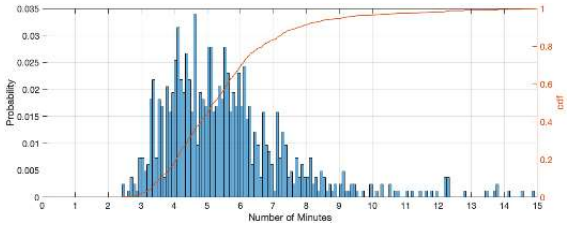
注 [1]Dubins パスとは、2 次元空間上で始点と終点の座標と向きを与えると、始点と終点を直進又は一定の曲率のカーブで最短となる経路を生成するアルゴリズムをいう。

（2）飛行方式等に係る安全性検証の実施

・洋上空域における CDP 注 2 と呼ばれる航空機の高度変更方式（図Ⅰ．4．（3）．②．3）に係る精緻な安全性検証を実施し、衝突リスク計算モデルに問題ないことを証明できた（図Ⅰ．4．（3）．②．4）。この結果も踏まえ、安全性検証に係るパネルである SASP から CDP における縦間隔の基準の見直し案を ICAO に提出することになった。

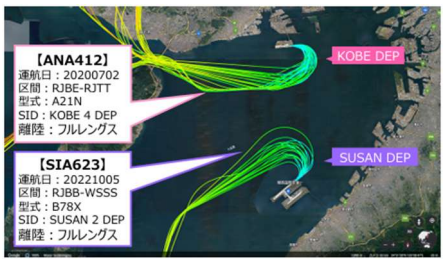
注 [2]CDP（Climb Descend Procedure）とは、洋上空域において ADS-C と呼ばれる航空機の位置、高度、速度情報などを航空機から管制機関へ衛星経由で送信する監視システムの下で実施される上昇降下方式をいう。

図Ⅰ．4．（3）．②．3 CDP 運用のイメージ
（航空局作成資料）



図Ⅰ．4．（3）．②．4 CDP の開始から完了までの時間分布

・新千歳空港の同時平行進入及び関西国際空港・神戸空港の同時出発経路の安全性検証結果を航空局に報告した。（図Ⅰ．4．（3）．②．5）は関西国際空港・神戸空港の同時出発経路のシミュレーションの一例であり、安全性検証として横間隔が十分に確保できることを示している。



図Ⅰ．4．（3）．②．5 関西国際空港・神戸空港の同時出発経路の安全性検証

成　果　の　公　表

□科学雑誌掲載等論文：1 編

・R. Sáez, D. Toratani, R. Mori, and X. Prats, ″A Flight Procedure Generation Framework Based on an RRT* Path Planning Algorithm,″ Advanced Engineering Informatics. Volume 64, 102975, March 2025

□その他

◆国際活動：2 件

・ICAO 管制間隔・空域安全パネル（SASP）WG アドバイザ（WG/39、WG/40 の議論参画）

・ICAO 管制間隔・空域安全パネル（SASP）WG 数学者サブグループの委員（WG/40 の提案書作成）

◆標準化会議：3 件

・N.K. Wickramasinghe and R. Mori、Quantitative Analysis on ADS-C CDP Trials conducted in the Fukuoka FIR、ICAO SASP-WG/39-IP/06、2024.May

・N.K. Wickramasinghe and R. Mori、Extended Assessment on ADS-C CDP Trials conducted in the Fukuoka FIR、ICAO SASP-WG/40-IP/16、2024 November

・S. Barry、 L. Bickmeier、 C. Falk、 B. Figuet、 R. Mori、 N. K. Wickramasinghe、 Climb and Descent Procedure Recommendation、ICAO SASP-WG/40-IP/18、2024 November

◆その他発表論文：1件

・森亮太、衝突確率の計算結果のまとめ（パラメータ修正後）、第 17 回新たな飛行方式の導入に係る検討会議、2024 年 11 月

重　点　分　野	(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)に基づいた協調的意思決定の有効性を検証できる評価手法を提案し、国際連携実証実験を実施するとともに総合評価用実験システムを開発する。

○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 6 年度の研究内容

(1)有効性を検証できる評価手法の提案

(2)総合評価用実験システムの開発

（3）他国との実証実験、国際標準化への取り組み
（4）SWIM に関する会議とセミナの参加、技術動向調査

令和 6 年度の研究成果

（1）有効性を検証できる評価手法の提案

運航関係者間の協調的意思決定を実現するため、交通流情報交換モデルを用いてリアルタイムの運航に関する制約条件と航空機の軌道情報を統合することで、空港や空域における実際の需要と現在の容量のアンバランスを動的に調整できる協調的プロセスモデルを令和 4 年度に提案した。しかし、選定されたプロセスモデルが発生したアンバランスを解消するまでに時間を要するため、調整が安定的に行えるか、一時的な効果にとどまらないかといった不確実性を回避する必要がある。

そこで、本年度は、リソース利用の実際値、限界値と期待値を考慮した変動率と危険度を定義し、協調的プロセスモデルの不確実性の解析により協調的意思決定の有効性を評価できる手法を提案した（図 Ⅰ．4．（4）．①．1．a）。また、この手法を用いた協調的意思決定の有効性を検証するため、プロセスモデルの選定から不確実性の解析、設定調整までの統合モデルを開発した（図 Ⅰ．4．（4）．①．1．b）。

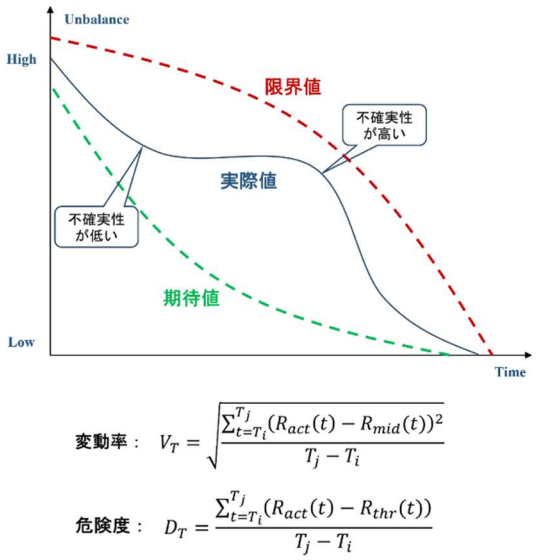


図 Ⅰ．4．（4）．①．1．a 有効性の評価手法

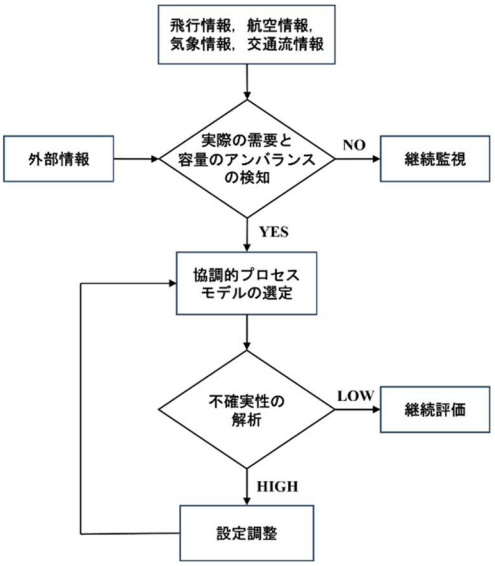


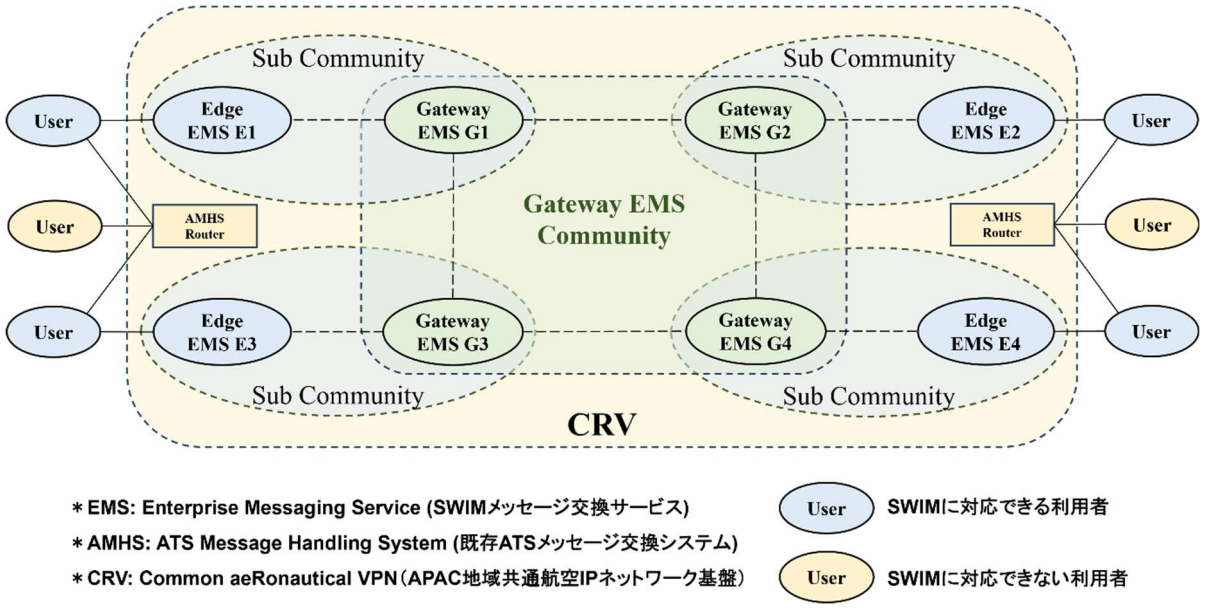
図 Ⅰ．4．（4）．①．1．b 有効性検証の統合モデル

（2）総合評価用実験システムの開発

APAC 地域では、初期軌道ベース運用（TBO：Trajectory Based Operations）の導入に向け、地上 SWIM に基づいた協調運用基盤や FF-ICE（Flight and Flow for Information Collaborative Environment）による離陸前の協調運用方式を 2030 年までに導入することを目指している。これを実現するため、APAC 地域共通航空 IP ネットワーク基盤（CRV：Common aeRonautical VPN）の上に、既存の ATS（Air Traffic Service）メッセージ交換システムと連携できる階層型地域 SWIM アーキテクチャを提案した。また、提案アーキテクチャを用いて FF-ICE 離陸前の協調的意思決定を評価できる地域 SWIM 実験システムを構築した。

さらに、Connected Aircraft の性能を追加した電子研の実験用航空機を用いて FF-ICE 離陸後における機上と地上 SWIM システム間の 4 次元軌道情報の同期を通じた協調的意思決定を評価できる飛行実験システムも開発した。これらの実験システムを統合することで、総合評価用の実験システムの開発を進めている。

これまでの研究開発の成果により、2025 年 1 月から国内地上 SWIM の運用が開始された。今後、FF-ICE Filing Service を含む初期サービスの提供により、運航に関する情報サービスの拡充が進む予定である。これにより、国の方針や社会のニーズに適合し、SWIM に基づいた新たな「CARATS 長期ビジョン 2040」が策定され、社会的価値の創出にも貢献できた。



図Ⅰ．4．(4)．①．2　CRV に基づいた階層型地域 SWIM アーキテクチャ

(3)他国との実証実験、国際標準化への取り組み

本年度、SWIM Implementation Pioneer Group（SIPG）と Surveillance Sharing in the SWIM Trial Implementation Group と連携して、地域 SWIM の導入を推進するため、SWIM over CRV Demonstration and Surveillance Data Sharing in SWIM Trial というジョイントイベントを開催した。本イベントでは、構築した地域 SWIM 実験システムを利用して 17 か国間で連携実証実験を実施し、提案した地域 SWIM アーキテクチャに対して以下の成果を確認した（図Ⅰ．4．(4)．①．2）。また、FF-ICE 離陸前のシナリオに関する実証実験により、SWIM に基づいた協調的意思決定の有効性も示した。

・階層型アーキテクチャにより、既存 ATS メッセージ交換との分離を実現

・隣接通過飛行情報区優先のメッセージ転送により、SWIM メッセージ交換の効率化を向上

・メッシュ型接続により、SWIM メッセージングインフラのレジリエンスを強化

これらの国際連携実証実験に基づき、SWIM Task Force のタスクリードとして作成した「APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles v1.0」が APAC 地域初の SWIM 技術基準として SWIM Task Force/9 会議で採用され、ICAO CNS SG/28 会議で正式に承認された（図Ⅰ．4．(4)．①．3）。これにより、国際的な水準に照らして重要な役割を果たし、地域 SWIM の早期導入に大きく貢献した。

また、本年度からは、10 か国が参加する APAC TBO Pathfinder Project のコアメンバーとして、地域における SWIM に基づいた FF-ICE 運用方式の策定を参画している。

Decision CNS SG/28/04 (Decision SWIM TF/09/01) –APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles v1.0	
What: The APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles v1.0 provided in **Appendix A** is adopted as a living document for immediate use by APAC States/Administrations.	Expected impact: ☐ Political / Global ☐ Inter-regional ☐ Economic ☐ Environmental ☒ Ops/Technical
Why: To assist APAC States/Administrations in their SWIM development and implementation, guidance specific to the operational environment within APAC is required. The draft APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles v1.0 is matured enough to be immediately used by APAC States/Administration.	Follow-up: ☐Required from States
When: 5-Jul-24	Status: Adopted by Subgroup
Who: ☒Sub groups ☐APAC States ☐ICAO APAC RO ☐ICAO HQ ☒Other: SWIM TF	

図Ⅰ. 4. (4). ①. 3 「APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles v1.0」が ICAO CNS SG/28 会議で承認された

(4)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) 、ATMRPP (Air Traffic Management Requirements and Performance Panel)や TFP(Trust Framework Panel)など多数の国際会議に参加し、SWIM、FF-ICE や TBO の導入に関する運用要件・技術要件の検討、既存技術仕様の改修、関連技術基準の策定、新しいマニュアルの作成に貢献している。また、APAC 地域 SWIM の導入に向けて、SWIM Task Force のタスクリードと SIPG のコアメンバーとして、地域各国との技術交流会や CRV OG との連携推進会など、多数の情報交流会に参加している。

さらに、提案した SWIM サービス信頼基盤モデルに関する実証実験の結果を TFP の第 2 回目全体会議で報告し、その内容が信頼基盤の実装を大きく後押しするものとして高く評価された。これらの活動により国際競争力の向上にも寄与している。

成果の公表

□科学雑誌掲載等論文:1 編

・K. Morioka, X.D. Lu, J. Naganawa, N. Kanada, N. Miyazaki, N. Hiraga, N. Yonemoto and A. Kohmura, "Air-Ground SWIM Demonstration over Extended AeroMACS – Tracking, antenna placement and handover evaluations –," Transactions of JSASS, May 2024.

□査読付き国際会議論文:2 編

・X.D. Lu, K. Morioka and N. Kanada, "Assurance Technology to Ensure Safety-Critical Information for Flight Operations," IEEE GCCE 2024, October 2024.

・X.D. Lu, K. Morioka and N. Kanada, N. Yonemoto and A. Kohmura "SWIM-based Collaborative Information Exchange to Ensure Consistency of Air-Ground 4D Trajectory for Connected Aircraft," IWAC 2024, November 2024.

□その他

◆国際活動: 9 件

・ICAO APAC SWIM Task Force のタスクリード

・APAC SWIM Implementation Pioneer Group(SIPG)のコアメンバー

・APAC Joint Event of SWIM over CRV Demonstration and Surveillance Data Sharing in SWIM Trial のテクニカルサポート

・APAC TBO Pathfinder Project の Lab Demo のテクニカルサポート

・ICAO IMP と Governance Working Group のアドバイザー
・ICAO ATMRPP と Transition Working Group のアドバイザー
・ICAO TFP と Trust Framework Considerations Working Group のアドバイザー
・IEEE GCCE2024 の Organized Session の Co-Chair
・IWAC2024 の TPC メンバーと TBO セションの座長

◆標準化会議:6 件

・X.D. Lu and Y. Iwasawa, “Air-Ground SWIM to Enhance Situational and Operational Awareness of Connected Aircraft,” ICAO IMP WG-G/12, April 2024.
・X.D. Lu, “Revision of APAC SWIM Technical Infrastructure Profiles,” ICAO 9th Meeting of SWIM TF, May 2024.
・X.D. Lu, “Analysis of SWIM over CRV Demonstration,” ICAO Workshop for Preparation of New-CRV Requirements and Specification for Future SWIM / Other Aviation Services, September 2024.
・X.D. Lu and N. Kanada, “Report of Live Flight Experiment in Japan: SWIM Service Trust Framework for Connected Aircraft,” ICAO TFP WG/2, November 2024.
・X.D. Lu, “Implementable Approach for SWIM Message Exchange over CRV,” the First Working Session of SWIM Implementation Pioneer Ad-hoc Group, January 2025.
・N. Kanada and X.D. Lu, “Trust Framework Panel Progress Report,” the First Working Session of SWIM Implementation Pioneer Ad-hoc Group, January 2025.

◆国際会議:2 件

・X.D. Lu, “FF-ICE/R1 Scenario and Lessons Learned for SWIM over CRV Demonstration,” Joint Event of SWIM over CRV Demonstration and Surveillance Data Sharing in SWIM Trial, May 2024.
・X.D. Lu, “Japan’s SWIM Journey – From R&D to Operational SWIM –,” ICAO SWIM Working Session, November 2024.

◆国内学会:1 件

・住谷美登里,呂暁東, “空港 CDM のための離陸時刻推定に関する分析,”2025 電子情報通信学会総合大会, 2025 年 3 月.

◆その他:2 件

・呂暁東, “SWIM for Connected Aircraft ～Live Flight Experiment～,” CARATS Connected Aircraft セミナ, 2024 年 11 月.
・呂暁東, “航空情報共有基盤(SWIM)の構築について,” 運輸安全委員会の出前講座, 2025 年 3 月.

重　点　分　野	(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 －航空管制用データ通信について、SWIM等の運用に必要な通信容量と性能要件を調査するとともに、公衆通信網を含む航空用通信制御方式を設計する。 等

○航空管制用データ通信の大容量化に資する研究

研　究　の　背　景

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）は、令和 8 年度に地上間利用の意思決定が予定され、その後令和 14 年度に空地間での導入が予定されている。データ通信により信頼性の高い管制通信を行え、さらに空地の多様な情報共有によって安全性や定時性の向上が見込まれる。このような次世代の航空情報共有では、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が必要とされる。当初、AeroMACS(Aeronautical Mobile Airport Communications System)，LDACS(L-band Digital Aeronautical Communications System)，次世代衛星通信などの次世代航空通信システムの導入が見込まれていたが、パンデミックによるエアラインへの経済的な打撃などを経ていまだ導入が進んでいない。この中で、航空業界では、よりコスト的に有利な公衆通信網の航空データ通信への活用の期待も広がっている。

研　究　目　標

□SWIM 等の空地大容量データ通信を実現するにあたり、飛行フェーズ（空港面、陸域、洋上）ごとに最適な通信システムの仕様を明らかにし、公衆通信網を含む航空用通信制御方式を開発する
□公衆通信網を航空データ通信へ活用するための技術課題の評価を行う
□航空の通信関連技術の標準規格化活動に参画し、性能評価結果に基づき、国際標準化への貢献を図る

令和 6 年度の研究内容

（1）航空通信システムの規格策定活動参画

（2）SWIM を含む航空アプリケーションに適した通信仕様および公衆通信網の適用に関する調査・課題分析
（3）公衆通信網を含む航空用通信制御方式の設計

令和 6 年度の研究成果

（1）航空通信システムの規格策定活動参画

ICAO 通信パネル WG-M において規格化が終了している次世代航空通信規格 AeroMACS の通信方式を 5G 化する検討会議へ参加し、開発中の Local5G 通信システムの状況などについて情報提供し、討議を続けている。

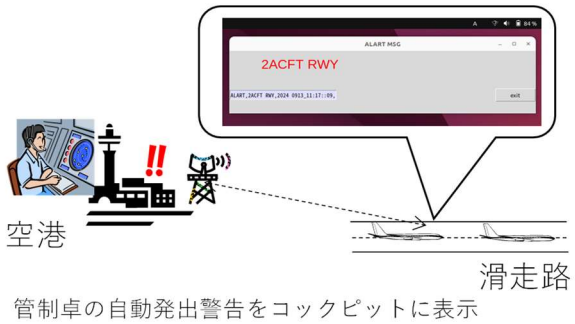
また、ICAO 通信パネルおよび監視パネルの WG にて、規格策定中の次世代航空通信規格 LDACS と既存トランスポンダ間の試作装置の測定に基づく干渉検討結果を発表し議論に貢献した。

さらに、近年議論が加速し始めた、HCATM（Hyper Connected ATM）の規格化へ向けた動きとして新た被発足した AEEC の会議へ初回より参加している。

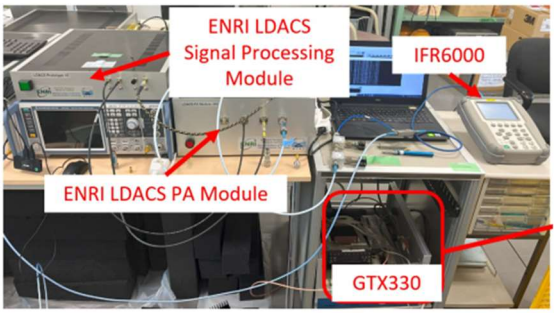
（2）SWIM を含む航空アプリケーションに適した通信仕様および公衆通信網の適用に関する調査・課題分析

SWIM を含む航空アプリケーションに適した通信仕様および公衆通信網の適用について、SWIM、D-TAXI、4DTRAD を主なアプリケーションとして現行の空地航空通信との対応を調査した結果、D-TAXI と4DTRAD は CPDLC 同様に対応できるものの、SWIM に関してはデータ容量が大きく現行の空地通信には適用できないことを明らかにした。

実験用航空飛行時の既存 ACARS および次世代 AeroMACS と衛星通信による SWIM 通信実験を9月と12月に実施した。このなかで、既存 ACARS で抽出した SWIM データを圧縮し IP 化して送受信する手法を提案し実験による実証で効果を確認した。この手法は、航空通信のなかでは比較的高速といわれる次世代衛星通信でもパケットごとにデータを分割する影響で遅延が非常に大きくなる課題があることを明らかにした。さらに、次世代通信だけでなく既存の ACARS でも IP 化暗号化が可能となる通信手法を開発し、管制塔から機体への自動アラート情報発出の実証実験を実施した。



図Ⅰ．4．(4)．①．4 飛行実験での疑似管制卓アラート表示結果



図Ⅰ．4．(4)．①．5 LDACSートランスポンダ間の干渉検討

（3）公衆通信網を含む航空用通信制御方式の設計

近年、空地通信のなかでも管制通信以外の運航用など（特に AOC）の通信に公衆通信網を用いることが提案され始めている。その候補として、MLS や AeroMACS が利用する周波数に近い Local5G に注目し、先行研究にて Local5G 通信装置を試作している。この装置の信号雑音比を変化させたときの通信速度や基準クロックの有無による特性の変化などの評価を実験室内で実施した。利用できるエリアは限られるものの、他の航空用通信装置に比べはるかに高速に通信できること、クロック同期に課題があることを明らかにした。

成　果　の　公　表

口査読付き国際会議論文：1 編

・K. Morioka et al, “Preliminary EMC test between LDACS and XPDR for small aircraft,” International Workshop on ATM and CNS (IWAC) 2024, Nov. 2024.

□その他

◆国際活動：2 件

・IEEE Antennas&Propagation Society DEIB committee 委員（DEI ルール作成等（河村））

・Advanced Electromagnetics 誌 Associate Editor （論文誌の編集（河村））

◆標準化会議：2 件

・K. Morioka, et. al, “ENRI LDACS compatibility testing with several duty cycles,” ICAO Communication Panel (CP) , Data Communications Infrastructure Working Group (DCIWG),Project Team – Terrestrial Data Link (PT-T)

・K. Morioka, et. al, “Interim report of ENRI LDACS compatibility testing in Japan,” ICAO Surveillance Panel (SP), Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 20, Sept., 2024.

◆国内学会：3 件

・森岡ほか, “L 帯を用いた次世代航空無線通信システムへのマルチアンテナ技術適用に関する初期検討 ～ シミュレーションによるビームフォーミング適用検討 ～, ”電子情報通信学会 SANE 研究会, 2025 年 3 月.

・森岡ほか, “マルチリンク航空無線システムのための鍵交換プロトコル実証”, 電子情報通信学会総合大会, 2025 年 3 月.

・河村ほか, “空地通信を用いた管制機関から航空機へのアラート発出実験”, 電子情報通信学会総合大会, 2025 年 3 月.

◆その他発表論文：4 件

・河村ほか, “航空通信関係研究開発進捗状況, ”CARATS 推進協議会 CNS 検討 WG 通信検討 SG, 2024 年 6 月.

・河村, “次世代マルチリンク航空無線システムの実証実験について, ”航空無線誌, 2024 年 6 月.

・河村ほか, “次世代マルチリンク航空無線システムの実証実験について”, 第 24 回電子航法研究所研究発表会, 2024 年 6 月.

・森岡, “LDACS とトランスポンダの電磁両立性に関する検討, ”航空無線, JRANSA,2025 年 3 月.

重　点　分　野	(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。 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	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。 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、電波環境の分析評価や機内持ち込み機器の影響評価を行う。

○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 6 年度の研究内容

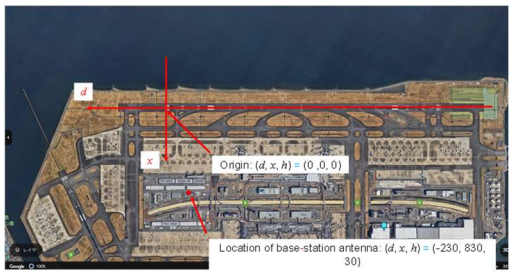
(1)電波環境の分析/調査実施、同一/隣接帯域周波数利用機器機内持ち込み影響の調査法検討
(2)大規模電磁界数値解析法を用いた電波高度計周波数帯における干渉経路損失推定実機比較

（3）電波高度計および航空機電磁干渉に関する国際標準化活動の実施
（4）電磁干渉報告書調査および分析

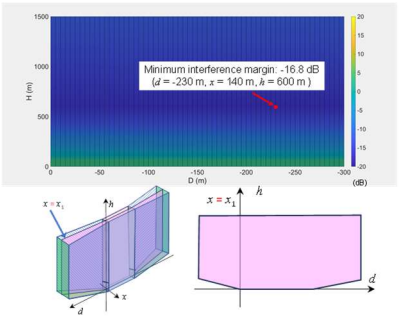
令和 6 年度の研究成果

（1）電波環境の分析/調査実施、同一/隣接帯域周波数利用機器機内持ち込み影響の調査法検討

日本の周波数条件で測定評価した電波高度計の電磁干渉特性、詳細な空港 3 次元数値モデル、基地局アンテナモデルを用い、3 次元空間において干渉発生条件を評価する干渉解析法について、羽田空港等をモデルに詳細な解析を実施し、帯域内干渉および帯域外干渉が発生する条件を詳細に明らかにした。また、機内持ち込み影響評価法については、当所が所有する電波高度計および航空局飛行検査センターから借用している電波高度計を用いて高度毎の詳細な干渉発生しきい値を取得し、機体 IPL 特性と組み合わせる影響調査法を提案した。((図Ⅰ. 4. (4). ②. 1)および(図Ⅰ. 4. (4). ②. 2))これらの結果を踏まえ、空飛ぶクルマの試験飛行に係る実験局免許の周波数共用検討（周波数毎の離隔距離計算、ノータム発行支援）や Sub-6 帯 5G モバイルシステムの上空利用に関する周波数共用検討等については航空局および総務省へ協力した。本研究の実験結果や追加実験結果取得、必要離隔距離計算等を実施し、本研究の成果を期待された時期に創出している。



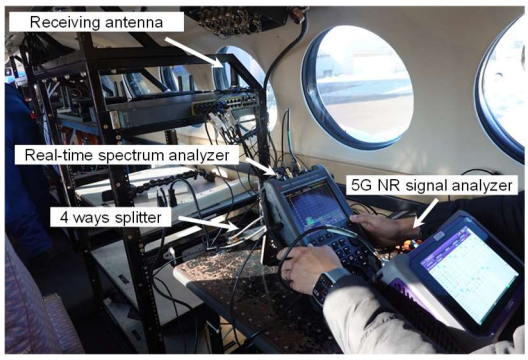
図Ⅰ. 4. (4). ②. 1 羽田空港における解析座標



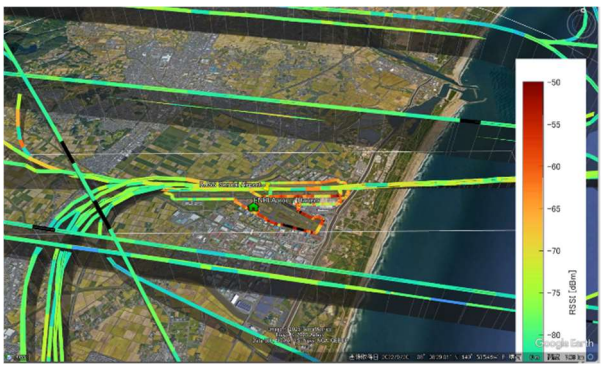
図Ⅰ. 4. (4). ②. 2 垂直面における干渉しきい値超過量

（2）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、スーパコンピュータを用いたビーチクラフト B300 型機干渉経路損失数値解析結果を測定結果と比較し、地面が無い場合にはよく一致することを確認した。地面がある場合については差分があったため、12 月に仙台空港の電子研エプロンにおいてアスファルト地面の反射率測定を実施し、数値解析の地面材料パラメータとして反映を行うことにより精度改善検討を実施した。さらに、当初研究計画に加え、12 月に実験用航空機を用いて仙台空港周辺および仙台市内上空における Sub-6 帯モバイルシステムの電界強度測定を実施し、上空における干渉影響評価の基礎データを取得した。((図Ⅰ. 4. (4). ②. 3)および(図Ⅰ. 4. (4). ②. 4))。運用中の Sub-6 帯モバイルシステム基地局の送信信号電力を定量的に評価した結果は世界初であり、科学的意義は極めて高い。



図Ⅰ. 4. (4). ②. 3 上空における基地局電力測定系概観



図Ⅰ. 4. (4). ②. 4 上空 5G モバイルシステム基地局信号電力

（3）電波高度計および航空機電磁干渉に関する国際標準化活動の実施

ICAO FSMP、EUROCAE WG-119/RTCA SC-239、WG-96/ SC-236 等、電波高度計および航空機電磁干渉に関する国際標準策定に参加した。ICAO FSMP では、WG/19 において、航空機電波高度計の電磁干渉解析法の進捗について羽田空港で帯域内干渉の評価結果、WG/20 において、仙台空港周辺および仙台市上空における Sub-6 帯モバイルシステム基地局の電界強度測定結果を報告した。また、EUROCAE WG-119/RTCA SC-239 においては電波高度計の MOPS 改訂に向けた議論が最終段階であり、主要項目の決定がなされつつあるが、MOPS 改訂に向けて、現在の日本の電波高度計の技術的要件を報告した。

（4）電磁干渉報告書調査および分析

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および分析を実施する。

成果の公表

□査読付き国際会議論文：3 編

・S. Futatsumori, “Electromagnetic Interference Evaluations of Aircraft Radio Altimeter Due to Sub-6 Band 5G Mobile Communications System at Japanese Conditions”, Proceedings of the 2024 IEEE Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal & Power Integrity: EMC Japan/Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Japan / APEMC Okinawa), May. 2024.

・S. Futatsumori, “Electromagnetic Interference Evaluations of Aircraft Radio Altimeter Due to Sub-6 Band 5G Mobile Communications System at Japanese Conditions”, Proceedings of the 2024 International Flight Inspection Symposium (IFIS2024), Jul. 2024.

・S. Futatsumori, N. Hiraga, S. Waki, K. Ushimaru, and T. Hikage, “Aircraft Radio Altimeter Interference Path Loss Evaluations of Small-Sized Fixed-Wing Aircraft During Flight”, Proceedings of the 2024 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2024), Nov. 2024.

□その他

◆国際活動：3 件

・RTCA SC-239/EUROCAE WG-119 Special Committee 委員（次期電波高度計の MOPS 策定等）

・RTCA SC-236/EUROCAE WG-96 Special Committee 委員（WAIC 機器の MOPS 策定等）

・ICAO Frequency Spectrum Management Panel WG Advisor（航空無線周波数に関する標準化等）

◆標準化会議：2 件

・S. Futatsumori, ″ Progress of Aircraft Radio Altimeter Interference Analysis Due to Sub-6 5G Mobile Communication Systems -Example of in-band interference analysis-,″ ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG/19, Jul. 2024.

・S. Futatsumori, ″Preliminary measurement of base station signal characteristics of Sub-6 band 5G mobile communication systems around and above an airport,″ ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG/20, Mar. 2025.

◆国内学会：3 件

・二ッ森 俊一, ″ Sub-6 帯 5G モバイルシステム基地局による航空機電波高度計の 電磁干渉解析法の基礎検討, ″ 2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2024 年 9 月.

・二ッ森 俊一, ″ 5G モバイルシステムと電波高度計の電磁干渉問題と国際動向, ″ 第 62 回飛行機シンポジウム, 2024 年 10 月.

・二ッ森 俊一, 平賀 規昭, ″帯域通過フィルタ付加による航空機電波高度計の帯域外干渉特性差分の基礎検討, ″ 2025 年電子情報通信学会総合大会, 2025 年 3 月.

◆その他発表論文：1 件

・総務省 総合通信基盤局基幹・衛星移動通信課, “航空機電波高度計と 4 GHz 帯実験試験局（航空移動局・地上基地局）の干渉検討について“, 2025 年 10 月

重　点　分　野	(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。 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	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。 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 －宇宙天気現象がGNSSに与える影響を評価し、GNSSの性能向上技術を提案する。等

○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 6 年度の研究内容

（1）MSAS 性能向上技術の提案
（2）GBAS 性能向上技術の提案
（3）GNSS 性能劣化要因分析技術開発
（4）GBAS 電離圏脅威モデルの維持管理・改良

令和 6 年度の研究成果

（1）MSAS 性能向上技術の提案

3 次元トモグラフィを高度化し、電離圏電子密度の3次元構造がリアルタイムに導出されるようになった。これにより電離圏遅延量の推定が可能となり、MSAS 補正値の検証が実施可能となった。

（2）GBAS 性能向上技術の提案

VHF レーダーによる電離圏監視により GAST C ジオメトリスクリーニングのインフレーション抑制シミュレーションを開発した。

（3）GNSS 性能劣化要因分析技術開発

ADS-B データと電離圏観測データとの比較から、2023 年から 2024 年 5 月においては石垣島付近では精度劣化に電離圏擾乱が寄与していた可能性が低いことを示した。

（4）GBAS 電離圏脅威モデルの維持管理・改良

国内の電離圏勾配連続監視の技術移転について航空局と調整。GBAS/SBAS ITF において GBAS 導入ガイダンス文書を完成させた。

成果の公表

□科学雑誌掲載等論文：5 編

- Supriadi, S., Abadi, P., Saito, S., Bangkit, H., Prabowo, D. U., Purwono, A., and Nugroho, G. A. (2024). Assessment of corrected time-step method for nominal ionospheric gradient calculation: A comparative analysis with spatial approaches. Earth Planet. Phys., 8(4), 641–649. DOI: 10.26464/epp2024032
- Abadi, P., Otsuka, Y., Saito, S., Yamamoto, M., Perwitasari, S., Muafiry, I. N., et al. (2024). Longitudinal range of the eastward-traveling equatorial plasma bubble inducing ionospheric scintillation. Space Weather, 22, e2024SW003908. https://doi.org/10.1029/2024SW003908
- Hong Pham Thi Thu, Christine Amory Mazaudier, Minh Le Huy, 齋藤 享, Dung Nguyen Thanh, Ngoc Luong Thi, Hung Luu Viet, Michi Nishioka, Septi Perwitasari, Occurrence probabilities of Equatorial Spread F and ROTI GPS index above Vietnam in the Equatorial Ionosphere Anomaly (EIA) region, Vietnam Journal of Earth Sciences, Sep 2024.
- Lin M.M. Myint, Septi Perwitasari, Michi Nishioka, Susumu Saito, Rungnapa Kaewthongrach, Pornchai Supnithi, Analysis of ionospheric and geomagnetic fields changes in Thailand during the May 2024 geomagnetic storm, Advances in Space Research, 2025.
- Sorai Teraoka Huixin Liu Michi Nishioka Susumu Saito Atsushi Kumamoto Yuki Ashihara Takumi Abe Toru Takahashi, Calibration of h'Es from VIPIR2 ionosondes in Japan, Earth Planets and Space

□査読付き国際会議論文：2 編

- 髙橋透, Pongpeaw, Anurak, 齋藤享, 古賀禎, Supnithi, Pornchai, Budtho, Jirapoom, "Impact of Ionospheric Disturbances on NIC and NACp Degradation in ADS-B Messages," Proceedings of the 2025 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, Long Beach, California, January 2025, pp. 211–215. https://doi.org/10.33012/2025.20010

・齋藤享, 吉原貴之, Enhancing GAST D availability by using the ionospheric field monitor, ION GNSS+, Sep 2025

□その他

◆国際活動： 2 件

・ICAO APAC GBAS/SBAS Implementation Task Force (ITF), Co-chair, Task Force 運営、GBAS/SBAS ITF/6 会議進行 （斎藤）

・MU レーダー40 周年記念国際ワークショップ Organizing Commitee Abstract 審査、プログラム編成、会議座長 指定研究 （斎藤）

◆国際学会（査読なし）：2 件

・髙橋透, 齋藤享, Mamoru Yamamoto, Atsushi Kumamoto, Yuki Ashihara, Manabu Shinohara, Horizontal structure of F layer and sporadic E-layer by sounding rocket S-520-32 observation, JpGU 2024, May, 2024.

・齋藤享, 野崎太成, 山本衛, 3-D structure of the ionospheric disturbance associated with the intense magnetic storms in 2023, JpGU 2024, May, 2024

◆標準化会議：4 件

・齋藤享, Status of Navigation Systems Panel Related to GBAS and SBAS, ICAO Asia and Pacific (APAC) GBAS/SBAS Implementation Task Force (GBAS/SBAS ITF) 6, 2024

・齋藤享, 細川敬祐, 坂井純, 冨澤一郎, Anomalous Propagation of ILS LOC Signals by the Sporadic E Layer, ICAO Navigation Systems Panel (NSP)-JWGs 12, 2024

・齋藤享 坂井丈泰 George Wong, Points of discussion on SBAS implementation guidance, ICAO Asia and Pacific (APAC) GBAS/SBAS Implementation Task Force (GBAS/SBAS ITF) 6, 2024

・齋藤享 吉原貴之 George Wong, Final Review for Draft Guidance Document for Implementation of GBAS in the Asia/Pacific Region, ICAO Asia and Pacific (APAC) GBAS/SBAS Implementation Task Force (GBAS/SBAS ITF) 6, 2024

◆国際会議：2 件

・齋藤享, ICAO APAC GBAS/SBAS Implementation Task Force activities, International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 23, 2024

・齋藤享, 吉原貴之, Enhancing GAST D availability with an ionospheric field monitor, International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 23, 2024

◆国内学会：4 件

・齋藤享, 細川敬祐, 坂井純, 冨澤一郎, GEONET リアルタイムデータを用いた Es 層のリアルタイム検出, Es 層研究集会, July, 2024

・高橋透, 斎藤享, 山本衛, 芦原佑樹, 熊本篤志, 篠原学, S-520-32 に搭載された GNSS 受信機とビーコン受信機による Es 層と F 領域構造の比較, MTI 研究会集会, 北九州, 2024 年 9 月 20 日

・高橋透, Pongpeaw Anurak, 斎藤享, 古賀禎, Supnithi Pornchai, Budtho Jirapoom, Impact of ionospheric activity on air navigation integrity and accuracy in ADS-B, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 立川, 東京, 2024 年 11 月 26 日.

・齋藤享, 吉原貴之, 髙橋透, 野崎太成 (京大・生存圏研), 山本衛 (京大・生存圏研), Ionospheric disturbances and their impact on aeronautical GNSS applications following the geomagnetic storms occurred in 2023-,地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 立川, 東京, 2024 年 11 月（招待講演）

◆その他発表論文：1 件

・齋藤享、津川卓也 (NICT)、小特集：宇宙天気研究に基づく社会インフラ防護と被害予測「電波・測位障害」、プラズマ・核融合学会誌、2024 年 4 月

5. 研究開発成果の社会への還元

【中長期目標】
5. 研究開発成果の社会への還元
研究所は、上記1. ～4. における研究開発成果を活用し、行政への技術的支援、他機関との連携及び協力等を通じて我が国全体としての研究成果を最大化するため、次の事項に取り組む。
【重要度:高】 行政への支援や他機関との連携及び協力等による研究所の研究開発成果の社会への還元は、国土交通省の政策目標の実現に不可欠であるため。

【中長期計画】
5. 研究開発成果の社会への還元

【年度計画】
5. 研究開発成果の社会への還元

(1)技術的政策課題の解決に向けた対応

【中長期目標】
(1)技術的政策課題の解決に向けた対応
上記1. ～4. における研究開発成果を、脱炭素化、DX、持続可能なインフラメ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 6 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 74 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 653 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Ⅰ.5.(1).①.1　行政等が設置する技術委員会への参加件数

研究所合計		653 名
	うち海上技術安全研究所	22 名
	うち港湾空港技術研究所	363 名
	うち電子航法研究所	268 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、年々進化するセンシング、AI 等の技術を船舶の運航に活用することにより安全性の向上が期待されること、国内物流を支える内航海運の担い手確保、船員労働環境の改善、職場の魅力向上等が喫緊の課題であることを踏まえ、官民一体となった幅広い検討を行うことを目的として、「自動運航船検討会」を設置した。同検討会に研究者を派遣し、自動運航や遠隔監視等を商用運航において活用するための安全基準、検査の方法、乗組み体制等に関しての検討を支援した。また、省エネ・脱炭素化の取り組みを加速する必要性が高まっており、内航海運におけるカーボンニュートラルの推進に向けた検討を進めるために設置された「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」に研究者を派遣し、検討を支援した。

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について、第三者性能評価を実施している。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正式運用が開始された。

（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。

基準・ガイドライン等の策定や改定では、海上技術安全研究所では国土交通省が設置した「船舶産業の変革実現のための検討会」において研究者を派遣し、2030 年に目指すべき目標として、我が国海事産業が次世代船舶の受注量におけるトップシェアを確保することを定めるとともに、船舶産業の変革に必要な GX、DX、人材確保等に係る取組、ロードマップ、今後の実施体制のとりまとめに貢献した。港湾空港技術研究所では近年、国土交通省からの委託事業により我が国の沿岸域における藻場の分布面積の推計手法を開発するとともに、同省のブルーカーボンに関する検討会において開発状況を報告してきた。その結果、2022 年度の我が国の温室効果ガス排出・吸収量の算定において、港湾空港技術研究所で開発された推計手法が活用された。その推計手法は令和 6 年 4 月の国連気候変動枠組条約（UNFCCC）事務局への温室効果ガス排出・吸収量の報告において我が国として初めて藻場による吸収量（合計約 35 万トン）が盛り込まれ、浅海域による吸収量を国連に報告している国はまだ少ないなか、海藻藻場については日本が世界で初めての報告となった。電子航法研究所では将来の航空交通システムに関する「CARATS 長期ビジョン 2040」の策定に貢献した。

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 12 件、現場に反映された研究成果は 7 件となった。

表Ⅰ.5.(1).②.1 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 6 年 5 月
「船舶産業の変革実現のための検討会」報告書	国土交通省 海事局	令和 6 年 7 月
水理公式例題集(波浪や津波などに関する 8 つの例題を分担執筆)	土木学会 水工学委員会	令和 6 年 12 月
利用可否判断ガイドライン	国土交通省　港湾局	令和 7 年 3 月

リアルタイムナウファスでの波浪台帳の公表（2022 年確定波浪台帳、2023 年速報波浪台帳）	国土交通省　国土技術政策総合研究所	令和 7 年 3 月
リアルタイムナウファスで観測された能登半島地震に伴う東北日本海側沿岸での潮位観測データの解析・提供,2024	国土交通省　国土技術政策総合研究所	令和 7 年 3 月
地盤流動に関する知見及び留意	国土交通省　港湾局	令和 7 年 3 月
海底地盤の液状化の予測・判定におけるコーン貫入抵抗値及びせん断波速度値の活用法	国土交通省　港湾局	令和 7 年 3 月
高波による海底地盤の液状化とその評価予測法	国土交通省　港湾局	令和 7 年 3 月
洋上風力発電施設等の基礎構造物の波による液状化対策とその対策範囲の設定法	国土交通省　港湾局	令和 7 年 3 月
ブルーインフラの整備・維持管理に関わる干潟・砂浜の多様な生物相及び地形安定性を実現するための評価・設計指針の知見	国土交通省　港湾局	令和 7 年 3 月
将来の航空交通システムに関する長期ビジョン	国土交通省　航空局	毎年ロードマップ改訂中

表Ⅰ.5.(1).②.2　現場への研究成果の反映

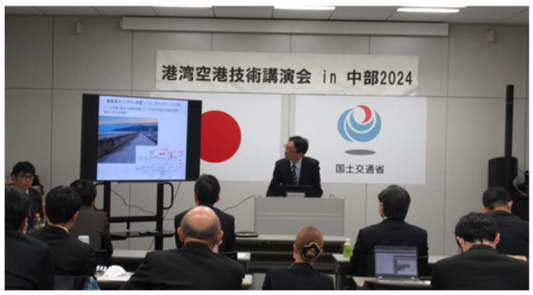
研究所合計		7 件
	うち海上技術安全研究所	0 件
	うち港湾空港技術研究所	6 件
	うち電子航法研究所	1 件

（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 6 年度は、全国 4 地域において開催し、延べ 497 名の参加を得た。（関東 11 月 11 日、九州 12 月 25 日、中部 1 月 27 日、沖縄 2 月 25 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Ⅰ.5.(1).③.1　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 44 名を派遣した。

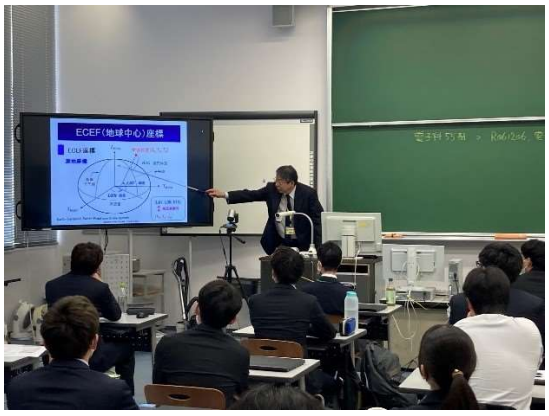
電子航法研究所では、航空保安大学校が実施している研修に講師派遣を行い、航空情報科、航空電子

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 3 か所において講師を派遣し、GBAS、SBAS 及び航空情報共有基盤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Ⅰ.5.(1).③.1 出前講座及び特別講演内訳

開催日	対象	概要
R6.4.25	航空保安大学校　岩沼研修センター	・電子航法研究所の概要 ・SBAS の概要 ・GBAS の概要と新しい進入方式 ・GBAS を用いた滑走路運用の高度化
R6.12.6	航空保安大学校	・電子航法研究所の概要 ・衛星測位と GBAS の原理・着陸運用の高度化 ・次世代航空モビリティの運用環境構築に関する研究 ・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
R7.1.28	航空保安大学校	・GBAS の概要 ・GBAS の原理1：GPS 測位から GBAS 偏移 ・GBAS の原理2：安全を保つ仕組み ・VDB が放送する電波とデータ ・航空機上での GBAS 計器・表示の概要 ・GBAS を運用していく上での注意点
R7.3.4	航空大学校　仙台分校	・電子航法研究所の概要 ・SBAS の概要 ・GBAS の概要と新しい進入方式 ・GBAS を用いた滑走路運用の高度化
R7.3.10	大阪航空局　鹿児島空港事務所	・電子航法研究所の概要 ・SBAS の概要 ・GNSS を活用した新しい進入方式 RNP to xLS ・GBAS を用いた滑走路運用の高度化
R7.3.12	運輸安全委員会	・電子航法研究所の概要 ・航空情報共有基盤（SWIM）の構築について



図Ⅰ.5.(1).③.2 出前講座の様子

（左：航空保安大学校 令和 6 年 12 月）　　（右：運輸安全委員会　令和 7 年 3 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。

◆令和6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。

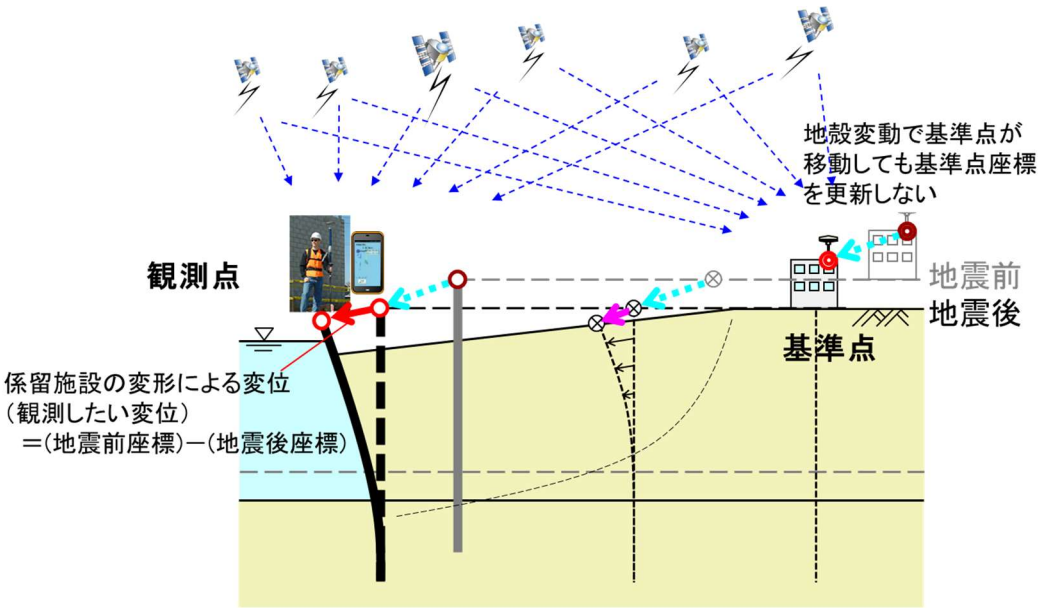
（2）被災地への研究者の派遣

港湾空港技術研究所では、令和 6 年 1 月 1 日の能登半島地震（M7.6）により地盤が移動し港湾施設が甚大な被害を受けたため、研究者を派遣し（6 回、延べ 10 人）、矢板式岸壁の被災状況調査と地震時変形挙動解明に向けた詳細調査を実施した（図Ⅰ.5.(2).②.1）。

また、地震時の強震観測記録に加え、地震後の余震観測や常時微動を観測した。これらの調査結果をまとめた技術資料を国等の行政機関に提出し、それらは金沢港等の港湾構造物の復旧設計に活用された。

さらに、今後の地震において、さらに機動的かつ的確に対応するため、岸壁変形量を高精度に短時間で計測できる利用可否判断支援装置(Berth Surveyor)を能登地域３港湾に設置した（国総研と共同）（図 I.5.(2).②.2）。

図Ⅰ.5.(2).②.1　矢板式岸壁の被災状況調査
（矢板壁頭部とともに控え杭頭部も海側に移動していた）
※図Ⅰ.3.(1).①.2　a)矢板式護岸被害の調査の再掲



観測点

基準点

図Ⅰ.5.(2).②.2 利用可否判断支援装置(Berth Surveyor)の設置

(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。

うみそら研では災害対応マニュアルを作成しており、そのマニュアルに沿った訓練として海上技術安全研究所では、放射性物質の海上輸送中に事故等が発生した場合の緊急時対応として、早期の体制構築と国交通省海事局との連携を円滑に実施することを目的に海上輸送に係る原子力防災訓練(R7.1)を国土交通省海事局と合同で実施した。港湾空港技術研究所では、今後発生が懸念される南海トラフ地震等の広域災害において、すべての港湾に技術者を派遣することは困難であることを踏まえ、地方整備局職員による現地 WEB カメラ映像を地方整備局本局、国土技術総合政策研究所及び港湾空港技術研究所で共有し、港湾施設の利用可否判断を行うための防災訓練(R7.1)を高知県内の港湾を対象に実施した。

研究所独自の防災訓練として、海技研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(R6.11.5)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(R6.10.28)と、災害発生時に職員の安否確認を迅速に行うことを目的として安否確認訓練(R7.3.10)を実施した。港湾空港技術研究所では、海に面していることから、震度 6 弱・津波高さ 4.8m・到達時間 4 分・敷地内浸水 2.3m程度を想定し、避難場所への避難と人員や負傷者等の確認・報告、人員や状況集約の防災訓練を実施した(R6.11.6)。合わせて、携帯メールや携帯電話による安否確認を概ね 30 分以内に集約する訓練も同時に実施した。また、訓練地震発生直後にはシェイクアウト訓練(※)を実施し、建屋が揺れている時に身を守る方法を周知した。
※シェイクアウト訓練とは「1:DROP!(まず低く!)、2:COVER!(頭を守り!)、3:HOLD ON!(動かない!)」
等の安全確保行動を身に着ける訓練。

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(R7.2.28)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、数値シミュレーション、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」に資する業務を行っている。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。

海上技術安全研究所の海難事故解析センターは、令和 6 年度、運輸安全委員会の委託により、山口県下関市沖で発生したケミカルタンカー転覆事故(事故日:令和 6 年 3 月 20 日)に係る解析調査を実施し、解析結果は同委員会の調査に活用され、事故原因究明に貢献することになる。

北海道知床で発生した遊覧船事故においては、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、事故後の対策・再発防止策検討にも貢献している。

さらに、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継続し

て実施している。

加えて、令和 6 年度は、運輸安全委員会の組織改革により陸・海・空 3 モードが一体となった「事故調査解析室」の体制が大幅に強化・増員された。これを踏まえ、「事故調査解析室」を中心とした同委員会と、意見交換会を実施し、船舶事故だけでなく、航空・鉄道事故も含めた陸・海・空 3 モードの事故原因究明に対する当所事故解析技術・研究施設の利活用を積極的に推進した。

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」に引き続き職員を派遣し、管制官の負荷軽減を含む業務分担見直しや管制官への注意喚起システムの改善に向けた提案等を行い、「羽田空港航空機衝突事故対策検討委員会における中間取りまとめ」に貢献した。

（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 173 件実施した。

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Ⅰ.5.(3).②.1 のとおりとなっている。また、産業界への技術移転や実用化に結び付いた研究成果は表Ⅰ.5.(3).②.2 のとおりとなっている。

表Ⅰ.5.(3).②.1　産業界・学界との共同研究等の実施件数

海上・港湾・航空技術研究所合計		152 件
	うち海上技術安全研究所	44 件
	うち港湾空港技術研究所	68 件
	うち電子航法研究所	40 件

表Ⅰ.5.(3).②.2　産業界への技術移転や実用化に結び付いた研究成果数

海上・港湾・航空技術研究所合計		8 件
	うち海上技術安全研究所	5 件
	うち港湾空港技術研究所	0 件
	うち電子航法研究所	3 件

海上技術安全研究所は、実運航での GHG 削減を進めるため、船舶の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（最適航路選定支援サービス）の実用化を目的とした共同研究を株式会社ウェザーニューズとともに行い、共同でデータ検証を行ってきた。その結果を受けて、2024 年 5 月から株式会社ウェザーニューズにて新たなサービスを開始することになった。

具体的には、海上技術安全研究所でこれまで開発してきた、波、風のある実海域で航行する船舶の速度、燃料消費量を世界最高精度で推定する実海域性能モデル（VESTA：ベスタ）を共同研究の成果をもとに株式会社ウェザーニューズのウェザールーティングシステムに組み込むことで、船型により異なる実海域性能（速度、燃費、船体動揺）を考慮した最適な運航プランを提供することができる。このサービスを利用することで一層の効率運航が可能となり、船舶分野からの GHG（温室効果ガス）排出削減が進むことが期待される。

（参考）

ウェザールーティングとは、気象予報をもとに船舶の進路、エンジン回転数を変更することにより、最短時間到着、最小燃料消費量といった最適な運航プランを提供するもの。

世界最高精度の船舶の実海域性能モデル（VESTA）とは、海上技術安全研究所が開発した、実運航性能シミュ

レータ(VESTA)に実装している波浪中抵抗増加、風圧力、当舵力、斜航力、船体動揺等の推定法に基づくモデルであり、実海域性能モデルで最も重要となる波浪中抵抗増加は各国の試験水槽機関で構成される国際試験水槽会議(ITTC:International Towing Tank Conference)で最も精度の高い推定手法と認められたもの。
精度:波浪中抵抗増加の推定はこれまで約 20%の誤差があったが VESTA では約 5%の誤差まで精度向上した。これにより、船型差を実海域性能で比較することが可能なレベルとなった。

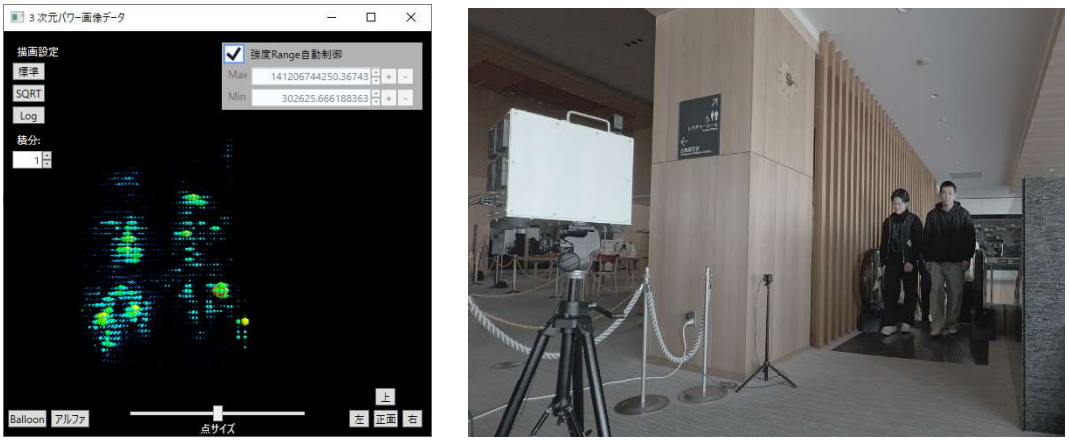
港湾空港技術研究所は、研究の質の向上と効果的な研究成果の獲得を図るため、大学や民間企業との共同研究協定を締結しており、令和 6 年度は 68 件の共同研究を実施した。そのうち、令和 6 年度に新規で開始したものは 13 件である。

令和 6 年度の共同研究における成果として、鉄筋腐食測定器「Dr.CORR」の周知活動が挙げられる。Dr.CORR はコンクリート構造物の劣化が顕在化する前に鉄筋の腐食状態を早期に把握し、効果的な保全対策を講じることを目的に、港湾空港技術研究所、東京理科大学、飛島建設が研究開発した装置である。特徴として、コンクリートを削らずに腐食状態を判定でき、独自開発の粘着性導電性ゲルを使用してハンズフリーでの測定ができる。また、パソコンやモバイルバッテリーからも電源供給ができるため現場でも便利に使用することができる。

この Dr.CORR について、令和 6 年 8 月 30 日に刊行された日刊建設工業新聞の「防災・減災に寄与するわが社の技術・工法・製品」にて防災・減災に大きく貢献しているとして特集記事が掲載された。

電子航法研究所は、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 3 年目である。

令和 4, 5 年度に構築したハードウェア・ソフトウェアを連接して開発したシステムの有効性の評価を行った。まず、システム全体の能力を見積もるため、画像化パラメータの調整を行った。レーダーの送信信号の信号の直線性の計測を行い、正しく周波数が掃引される条件を計測した。その結果、10μ 秒であれば、5GHz 掃引した場合の直線性が確保できることが判明した。それに合わせて、64 個送信機を同時・あるいは時分割で送信して 3 次元のレーダーイメージを生成する条件を探索した。計算空間を小さく設定すれば、10μ 秒送信を 20μ 秒置きに 64 種の送信パターンを完了する 1.2 ミリ秒を 2 ミリ秒間隔で行うことで、毎秒 500 枚のレーダーイメージが計算・記録できることを確認した。解析空間を実用的なサイズに拡張するとき、ハードウェア上のメモリの上限が影響するが、最大 8192 ポイントの 3 次元レーダーイメージの計算が可能であることが示された。この状態において、データ転送速度の限界値では、毎秒 50 枚の表示・記録が可能となった。



図Ⅰ.5.(3).②.1　3 次元レーダーイメージャとエスカレーターを流れる人流の撮影例(左)
および撮影された人物の 3 次元レーダーイメージの表示例(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 6 年度は表Ⅰ.5.(3).③.1 のとおり、受託研究を 133 件獲得した。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Ⅰ.5.(3).③.1 産業界からの受託研究の獲得件数

海上・港湾・航空技術研究所合計		133 件
	うち海上技術安全研究所	106 件
	うち港湾空港技術研究所	0 件
	うち電子航法研究所	27 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

研究所が長年蓄積してきた各種データや高度技術、あるいは先端技術等のシーズ技術を、産学官で共有し有効活用策の一環として、国や民間企業との人事交流、および大学や研究機関との人事交流を積極的に推進している。令和 6 年度は表Ⅰ.5.(3).⑤.1 及び表Ⅰ.5.(3).⑤.2 のとおり実施した。

表Ⅰ.5.(3).⑤.1 国や民間企業との人事交流の人数

海上・港湾・航空技術研究所合計		97 人
	うち海上技術安全研究所	19 人
	うち港湾空港技術研究所	58 人
	うち電子航法研究所	20 人

表Ⅰ.5.(3).⑤.2 大学等教育・研究機関との人事交流の人数

海上・港湾・航空技術研究所合計		79 人
	うち海上安全技術研究所	6 人
	うち港湾空港技術研究所	61 人
	うち電子航法研究所	12 人

国や民間企業との人事交流では、国等からの研究者や出向者、研修生等が 73 名であり、民間企業からの研究者や研修生等は 24 名であった。それぞれ、研究所が保有する高度技術や先端技術の研究開発等を研究所職員と一緒になって推進している。

大学や研究機関との人事交流では、研究所職員の大学等への講師等派遣や、大学からの研修生受け入れ等があり、全体では 79 名であった。研究所職員の大学への講師等派遣については、客員教授や非常勤講師等として延べ 38 名を派遣し、派遣先の大学は 25 大学であった。

このうち、研究所と大学とで協定を締結し、研究所職員が大学院の客員教授・准教授等に就任して、

研究所内等で大学院生の指導を行う仕組みである「連携大学院制度」に基づいた講師等派遣と研修生の人事交流の全体は 33 名で、12 大学であった。

また、研究所の技術シーズの円滑な外部機関等への委嘱と、これによる新たなイノベーション創出を目的に、研究所と外部機関等の間でそれぞれ雇用契約を結び、各機関の責任の下で業務を行う仕組みである「クロスアポイントメント制度」に基づく人事交流は 10 名であった。

大学や研究機関からの研修生やインターンの受け入れは全体で 55 名であり、各研究所の存在感の向上のみならず、次世代を担う若手育成の一環として関連業界の技術力の底上げに貢献している。

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。各研究所は、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 6 年度は表Ⅰ.5.(3).⑥.1 及び表Ⅰ.5.(3).⑥.2 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Ⅰ.5.(3).⑥.1　外部委員会への参画人数（行政設置の委員会は除く）

海上・港湾・航空技術研究所合計		521 人
	うち海上技術安全研究所	190 人
	うち港湾空港技術研究所	281 人
	うち電子航法研究所	50 人

表Ⅰ.5.(3).⑥.2　研究者派遣の実施件数

海上・港湾・航空技術研究所合計		51 件
	うち海上技術安全研究所	16 件
	うち港湾空港技術研究所	35 件
	うち電子航法研究所	0 件

特に、電子航法研究所においては、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）の幹事および共同主査を務めており、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テラヘルツ光電子技術研究会、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、専門委員、顧問を務め、電子情報通信学会より通信ソサイエティ和文論文誌編集副委員長などとしての貢献が認められ、2024 年度通信ソサイエティ活動功労賞を受賞し、また無線端末・アンテナシステム測定技術研究会の委員としての貢献も認められ功労賞を受賞した。

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、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。

図Ⅰ.5.(3).⑥.1　通信ソサエティ活動功労表の賞状（左）、
アンテナ・伝播研究専門員会の功労賞の賞状（右）

さらに、上記の他、表Ⅰ.5.(3).⑥.3 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Ⅰ.5.(3).⑥.3　各種規格・基準の策定への参画事例（一部抜粋）

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部会	（一社）日本海事検定協会
ガス燃料船・新液化ガス運搬船基準の策定プロジェクト	（一財）日本船舶技術研究協会
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
■港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する事例	
港内長周期波影響評価マニュアル（改訂版）検討会	一般財団法人　沿岸技術研究センター
今後の港湾の技術基準改定に向けた座談会	一般財団法人　沿岸技術研究センター
ゴム防舷材耐久性証明運営・審査基準作成委員会	一般財団法人　港湾空港総合技術センター
ISO/TC98/SC3/津波 WG	一般社団法人　建築・住宅国際機構
ISO/TC156 対策委員会	ステンレス協会
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
地盤調査規格・基準委員会	公益社団法人　地盤工学会
コンクリート診断士講習委員会	公益社団法人　日本コンクリート工学会
調査研究部門　地震工学委員 地盤の過剰間隙水圧上昇と消散に伴う変形の評価小委員会	公益社団法人　土木学会
調査研究部門　地震工学委員会　地震防災技術普及小委員会	公益社団法人　土木学会
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舗装構造検討専門委員会	成田国際空港株式会社
コンクリートに用いるスラグ骨材の環境安全品質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
海洋・港湾構造物設計士制度　試験小委員会、監理委員会	一般財団法人　沿岸技術建久センター
調査研究部門　コンクリート委員会　示方所改訂小委員会	公益社団法人　土木学会
室内試験規格・基準委員会　WG6　ジオシンセティックス	公益社団法人　土木学会
サンゴ礁生態系保全行動計画 2022-2-2030　評価指標検討会	一般財団法人　自然環境研究センター

（7）外部連携機能促進としての研修の開催

海上安全技術研究所においては、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 6 年 6 月に開催した。研修は、会場を設けず全日ライブ中継で実施し、あわせて 99 名が 13 日間の講義に参加した。

（8） SBIR 運営支援法人としての活動

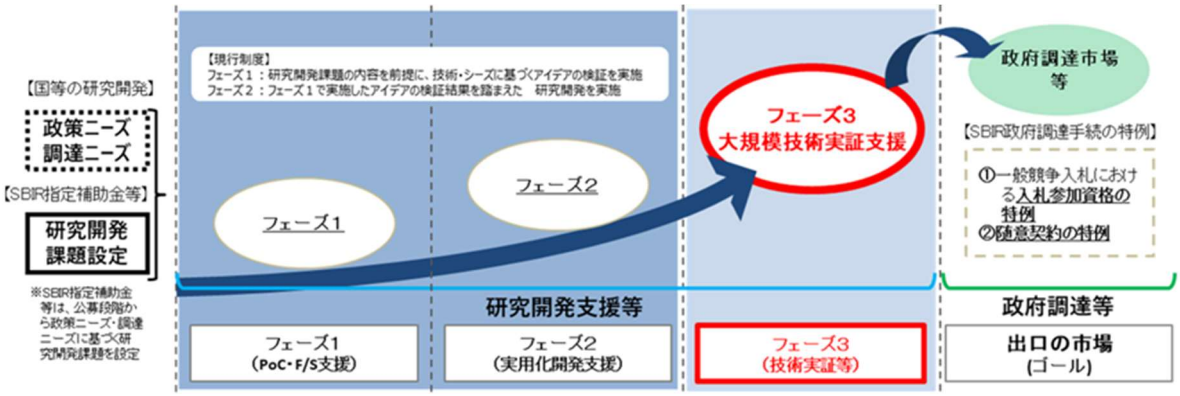
港湾空港技術研究所は、国土交通省が実施する「SBIR(Small/Startup Business Innovation Research)フェーズ 3 基金事業（中小企業イノベーション創出推進事業）」(図Ⅰ.5.(3).⑧.1)における運営支援法人の一つに指定され、令和 5 年度から SBIR 運営支援法人業務室を設置して活動を行っている。

SBIR 制度は、スタートアップ等(革新的な研究開発を行う中小企業)によるイノベーション創出を支援し、成果の社会実装を目指すもので、事業期間は 5 年、社会実装はその後 5 年以内を目標としている。

その活動内容としては、補助金申請支援や技術的助言を行っており、社会実装まで幅広く対応するものである。

令和 5 年度は「AUV(自立型無人潜水機)・ROV(遠隔操作型無人潜水機)を活用した港湾構造物の点検効率化・高度化に関する技術開発・実証」及び「空港業務の生産性向上に関する技術開発・実証」をテーマに 4 件が採択され、令和 6 年度には、2 年目となる令和 6 年度には「ドローンを活用した港湾施設の点検・調査効率化に関する技術開発・実証」及び「船舶の係留施設への衝突リスク低減に資する安全かつ効率的な離着岸の実現に向けた技術開発・実証」をテーマに新たに 6 件が採択され、計 10 件の支援を実施している。

具体的には、月例の定期報告会、年 2 回のフォローアップ委員会で進捗フォローを実施しており、専門的課題にはアドバイザリーWG を設け、技術的課題の解決に向けた議論も行っている。



図Ⅰ.5.(3).⑧.1　SBIR フェーズ 3 基金事業（中小企業イノベーション創出推進事業 HP より）

（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。

◆令和 6 年度における取組状況

令和 6 年度の研究発表会等については、講演会や研究発表会はうみそら研全体で目標 9 回に対して 11 回実施し、一般公開及び公開実験は目標 8 回に対して 11 回実施し、いずれも年度目標を過達した。研究開発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成果について、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、様々な社会還元活動を 729 件実施し、研究所職員を延べ 1,418 人動員し、発表会や講演会、施設見学、一般公開等の外部参加者は 11,198 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や、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

海上技術安全研究所では、令和 6 年 7 月 26 日、第 24 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、「海技研のプロジェクトの進捗と今後の展開」というテーマで、各プロジェクトチームの研究成果と今後の展望について 5 件、海技研のトピックとして 2 件の報告を行った。また、29 件のポスター発表（対面のみ）も行った。ライブ配信では、350 名、対面では 99 名の参加があった。

図Ⅰ.5.(4).①.1　海上技術安全研究所発表会の様子（令和 6 年 7 月）

②海上技術安全研究所講演会

また、令和 6 年 12 月 6 日、第 24 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、「内航海運の課題解決に向けた技術開発」というテーマで、船員の省力化、労働環境改善、環境負荷低減技術の開発など、様々な内航海運の課題解決に向けた技術開発の動向について紹介した。ライブ配信では 401 名、対面では 57 名の参加があった。

図Ⅰ.5.(4).①.2　海上技術安全研究所講演会の様子（令和 6 年 12 月）

③港湾空港技術研究所　講演会

港湾空港技術研究所では、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 7 年 1 月 10 日に国土技術政策総合研究所と協力して開催した（会場とオンライン）（図 I.5.(4).①.3）。

本講演会は『地震防災（能登半島地震1年、阪神淡路大震災 30 年）』をテーマに、京都大学　井合進名誉教授の特別講演と、港湾空港技術研究所からは石川県金沢港等の暫定供用に係る技術的支援や、今後の地震に備えて岸壁の利用可否判断技術に関する内容など 4 件を講演し、国土技術政策総合研究所からは能登半島地震直後に 2 つの研究所が果たした役割について講演した。講演会には会場とオンラインで合計 660 名の参加があった。

図Ⅰ.5.(4).①.3 港湾空港技術講演会の様子
（左図：井合名誉教授による講演、右図：研究者による講演）

④電子航法研究所研究発表会

電子航法研究所では、令和 6 年 6 月 7 日に第 24 回研究発表会を開催し、「アレーレーダがもたらす新たな航空機監視技術」をテーマとした特別講演を 3 件、航空交通管理に関する研究（2 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（2 テーマ）について発表を行った。発表会は対面形式で行われ、282 名の参加があった。

図Ⅰ.5.(4).①.4 電子航法研究所発表会の様子

（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、関係者に配布することで、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

港湾空港技術研究所では、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」を定期的に発刊して情報発信に努めている。毎号ごとに特集記事を選定して研究所の実験施設や研究実績や成果等を紹介し、「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」等を分かり易く解説している。

令和 6 年度においては、第 55 号（令和 6 年 4 月）の「Front Line −特集−」では「沿岸・海洋環境の「形成」「保全」「活用」を考える」について、第 56 号（令和 6 年 7 月）の「Front Line −特集−」では「令和 6 年能登半島地震　現地被災状況調査を振り返る」について、第 57 号（令和 6 年 10 月）の「Front Line −特集−」では「臨海部の企業も子どもたちも、同時に笑顔にできるブルーカーボンの可能性」について、第

58 号（令和 7 年 1 月）の「Front Line −特集−」では「地盤の評価手法の将来を考える」について紹介した。

また、情報誌「PARI」を研究所に訪問される方々にも紹介して研究活動に興味を示して頂くことに努めるとともに、ホームページにも掲載して幅広い情報発信に努めた。

③研究所の公開実験

海上技術安全研究所では、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で 8 回開催し、合計 118 名の参加者があった。

表 Ⅰ.5.(4).②.1　公開実験の実績

No.	開催日	公開実験のテーマ
1	R6.7.26	自動避航操船システム
2	R6.7.26	燃料・燃焼技術から GHG 削減をめざす
3	R6.7.26	斜航状態の船に働く定常波力計測試験
4	R6.8.9	浮体式洋上風力発電小型模型の水槽実験
5	R6.9.17	浮体式風車の不規則波中の水槽試験
6	R6.12.6	プロペラキャビテーション現象の観測と関連する計測
7	R6.12.6	模型連結バージの遠隔操縦試験
8	R6.12.6	トリプル連結バージ遠隔操船再現実験

図 Ⅰ.5.(4).②.1　浮体式風車の不規則波中の水槽試験に関する公開実験（令和 6 年 9 月）

④研究所の一般公開

海上技術安全研究所と電子航法研究所は、交通安全環境研究所と合同で、研究施設一般公開を令和 6 年 4 月 21 日に開催した。当イベントは毎年 4 月に実施される「科学技術週間」行事の一環として、上記 3 研究所が合同で一般の方々に向け、施設や研究等を公開しているものである。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。

また、当日は、隣接する宇宙航空研究開発機構（JAXA）も一般公開し、計 4 研究所でスタンプラリーを実施し、小・中学生をはじめ、家族連れを中心に 5,066 名の来場があり、多くの人々で賑わった。

図Ⅰ.5.(4).②.2　三鷹地区一般公開の様子
（海上技術安全研究所・電子航法研究所・交通安全環境研究所の合同）

港湾空港技術研究所は、国土技術政策総合研究所と合同で久里浜地区研究所として、7 月 20 日に、多くの見学アイテムを準備し一般公開を実施した。例えば津波・高潮のシミュレーション映像の紹介、振動台を使った地震の揺れや液状化の再現実験、水中バックホーや水中ドローンのはたらく水中ロボット等を展示し、697 人の来場者に興味を持って頂いた。研究活動の紹介においては、基礎研究から応用研究まで紹介し、それらの成果が国民生活にどのように役立っているか、関わっているか等の説明を行うとともに、展示パネルは子供でも読めるように平易にし、ひらがなを多くし、漢字にはひらがなを振るなど、より多くの人に理解してもらえるよう努めた。

図Ⅰ.5.(4).②.3　久里浜地区一般公開の様子
（港湾空港技術研究所・国土技術政策総合研究所の合同）

⑤施設見学

各研究所では、政府や自治体、民間企業、学校や一般の方々等、研究所の施設見学希望に対応するため、年間を通じて見学対応を実施した。施設見学については、研究所の活動内容や社会的役割や研究実績等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 6 年度における 3 研究所の施設見学の件数は 115 件、見学者数は 1,523 名であった（一般公開を除く）。

⑥ホームページ

各研究所では、ホームページを活用して、国民への情報発信に努めている。研究組織や研究成果、研究施設、セミナーやシンポジウムの開催、イベントやニュース、特許情報等の様々な事柄をタイムリーに掲載して情報発信した。

また、海上・港湾・航空技術研究所のホームページ（http://www.mpat.go.jp/index.html）を随時更

新して、組織紹介、取り組み、各種計画や規程等、特許や研究評価等の公開情報の充実を図った。

⑦地域貢献

海上技術安全研究所と電子航法研究所は、三鷹市をはじめとする近隣の自治体などと連携を進めており、小中学校の職場体験などを提供し、研究技術を活かして地域社会に貢献できるように努めた。

令和 6 年度は、三鷹中等教育学校の生徒が 3 日間にわたって、海上技術安全研究所と電子航法研究所で職場体験学習を実施した。1 日目は、電子航法研究所でモノつくり研究の体験として、研究員やスタッフと一緒にゲルマニウムラジオを制作して電波を感じる実験を行った。2 日目は、海上技術安全研究所で舶用エンジンの講義をうけ、その後、数種類の燃料の動粘度を測定し、温度を変えて数点測定し、グラフを作成して、エンジンで使用できる温度を考える体験などが行われた。3 日目は、電子航法研究所で航空管制データを使い交通流を観察した結果について、プレゼンテーション資料を作成して発表会を行った。

また、海上技術安全研究所は、三鷹ネットワーク大学・海技研共催企画展「三鷹に海の研究所？」を開催した。企画展では、4 つの重点研究分野やプロジェクトチームのパネルの展示を行い、研究所の取り組みや実験施設などを紹介した。また、三鷹ネットワーク大学にて一般向けの企画講座を開催し、研究所で実施している最新の研究や取り組みを分かりやすく紹介した。

（3）その他の情報発信

①図書館の一般開放

海上技術安全研究所では、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Ⅰ.5.(4).③.1 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

海上技術安全研究所では、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 6 年度においては、活動の一環である「探求活動」の成果が、公益財団法人国際エメックスセンターが主催する「高校生海洋環境保全研究発表会」で最

優秀賞を受賞した。

図Ⅰ.5.(4).③.2　スーパーサイエンスハイスクール（左図：指導の様子、右図：学生の発表の様子）

④メディアを通じた情報発信

各研究所とも、メディアを通じて研究活動を幅広く紹介するため、テレビや新聞等の取材を積極的に受け入れて情報発信しており、3 研究所全体で 196 回の記事掲載があった。例えば、港湾空港技術研究所で解析した石川県珠洲市内の津波の発生状況については、研究者が解析結果を説明する様子がテレビ放映された。

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

港湾空港技術研究所では、平成 24 年度から土木学会建設用ロボット委員会と共催で本講習会を開催しており、水中機器類に関する国内外の技術動向や、今後普及が見込まれる技術とその活用方法について、講演と実際の機器の操作体験を通じて習得をすることを目的としている。令和 6 年度は、2 月 5 日、6 日に神奈川県平塚市において開催した。研究者による講演は、「構造物水中部点検用ロボットによる撮影画像への位置情報の付与」と、「浮上式水中測位装置を用いた水中建設機械の測位と遠隔操作」を行った。

図Ⅰ.5.(4).③.3　ROV等水中機器類技術講習会の様子

⑥その他の展示会等への参加

各研究所では、個々に開催されるような各種展示会にも積極的に参加して情報発信を行い、研究所のプレゼンス向上に努めた。

表Ⅰ.5.(4).③.1　その他展示会等の実績

研究所	展示会等	実施場所・時期	概要
海上技術安全研究所	SEA JAPAN2024	東京ビッグサイト 令和 6 年 4 月 10 日～12 日	自動運航・省力化技術、GHG 削減技術、浮体式洋上風力発電の研究開発、海洋無人機システムの運用技術の 4 テーマに関連した研究パネルや映像等を展示し、セミナーを開催

			した。
海上技術安全研究所	海洋文化都市くれ海博 2024	広島県呉市大和ミュージアム 令和 6 年 11 月 10 日	海技研の施設、重点研究およびプロジェクトを紹介した。また、自動運航船研究について発表した。
海上技術安全研究所	海と産業革新コンベンション	横浜市役所 令和 6 年 12 月 13 日	海上技術安全研究所（前身の船舶技術研究所を含む。）で実施してきた空気潤滑法の開発に関する研究と最近の動向を紹介した。
港湾空港技術研究所	Oceans 2024 Singapore	シンガポール 令和 6 年 4 月 14 ～18 日	ソナーによる海底地形の計測処理システムや港湾構造物点検用ロボット等について、ポスターや動画の展示と、ブース訪問者に説明を行った。
港湾空港技術研究所	海と産業革新コンベンション	横浜市役所 令和 6 年 12 月 13 日	港湾構造物の脱炭素化に向けた取り組みについて、国内の状況や低炭素型材料の実工事事例などについて講演した。
電子航法研究所	ロボテスフェスタ 2024	福島ロボットテストフィールド 令和 6 年 10 月 4 日 ～5 日	同施設を拠点として有人機・無人機の監視システムに関する研究開発について、デモンストレーションを交えながら説明した。
電子航法研究所	仙台空港祭 2024	仙台空港 令和 6 年 10 月 12 日	仙台空港は実験用航空機「よつば」の運航拠点となっているため、空港祭ではペーパークラフト製作などのイベントを開催した。

図Ⅰ.5.(4).③.4　SEA JAPAN2024 の展示ブース（左）とセミナーの様子（右）

図Ⅰ.5.(4).③.5　Oceans 2024 Singapore の展示ブース（左）と説明の様子（右）

図Ⅰ.5.(4).③.6 仙台空港祭 2024 電子研イベントブースの様子

(4)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推進している。また、一方で、特許申請に係るでの特許情報の公表など、知的財産に関する取り組みを推進している。また、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するとともに、事業等への活用可能性についても検討を行うなど、厳格な手続きも実施している。

令和 6 年度における特許等の出願件数は 46 件、特許登録(取得)は 26 件だった。

表Ⅰ.5.(4).④.1 特許登録(取得)等の状況

出願	審査請求	特許登録(取得)
46 件	30 件	26 件

(5)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 6 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 19 件、著作権(プログラム)の使用許諾に関する実施は 120 件であった。具体的な案件は表 I.5.(4).⑤.1 のとおりである。収入については、特許料収入は 25 百万円、著作権収入は 29 百万円の収入があった。

※ ひと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に記載された著作権等の項目数は一致しない。

表Ⅰ.5.(4).⑤.1 令和 6 年度に活用された当研究所が保有する知的財産

No	知財の種類		知財の名称
	特許権	著作権	
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
2	●		小型ダクト付きプロペラ及び船舶
3	●		波浪中抵抗増加低減ステップを備えた船体構造
4	●		操舵装置及びその操舵方法
5	●		二枚舵システム及び二枚舵システムを装備した船舶
6		●	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)
7		●	GUIを用いた船体周り構造格子生成プログラム(HullDes)

8		●	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）
9		●	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）
10		●	格子性能機能を備えた最適化プログラム（AutoDes）
11		●	日本近海の波と風データベース表示プログラム
12		●	DLSA-Basic：全船荷重構造解析ならびに強度評価システム
13		●	wwjapan cloud V1（クラウド版日本近海の波と風データベース）
14		●	海技研クラウドサービス(HOPE　Cloud)
15		●	海技研クラウドサービス OCTARVIA-web
16		●	船体形状・船体性能推定プログラム EAGLE-OCT
17		●	海技研クラウドサービス(GLOBUS cloud)
18		●	VESTA（実運航性能シミュレータ）
19		●	外航コンテナ定期船航路可視化プログラム
20		●	燃焼解析ソフトウェア HINOCA の噴霧関連サブルーチン
21		●	NMRIW-II：非線形運動及び波浪荷重推定プログラム
22		●	汎用疲労解析プログラム FATRUN/SPECTRUN Ver.2
23		●	要目最適化プログラム（HOPE Light）
24		●	実船モニタリングデータ解析プログラム SALVIA-OCT
25		●	海技研クラウドサービス SPREME-web
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	●		コンクリート舗装版裏込めグラウト材
2	●		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
3	●		高耐久性裏込めグラウト材
4		●	FLIPver.7
5	●		安心マンホール工法
6	●		コンクリート舗装版裏込めグラウト材
7	●		高耐粉状化性の裏込めグラウトとその裏込めグラウト材
8	●		高耐久性裏込めグラウト材
9	●		鉄筋腐食測定器（Dr.CORR）
10	●		浸透固化処理工法
11	●		静的圧入締固め工法
12	●		ケーソン堤体構造物の防砂構
電子航法に関する研究開発			
1	●		カオス論的指標値計算システム等一式
2		●	補正情報生成プログラム等一式
3		●	ADS-B 位置検証ソフトウェア
4		●	ILS 電波干渉解析シミュレーターソフトウェア
5		●	リモート・デジタルタワー(RDT)システムソフトウェア
6		●	ADS-B 受信処理評価用ソフトウェア
7		●	ADS-B 位置情報表示ツール

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 6 年度分の褒賞金及び実施補償金として 17,686 千円を支払い、特許取得のモチベーション向上を図った。

③知財研修の実施

知財に関する研修は、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、強くて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。R6 年度は「知的基礎研修」を、独立行政法人工業所有権情報・研修館（INPIT）の E ラーニングサービスを利用して実施した。

④保有特許の利用促進

各研究所で保有する特許や技術計算プログラム等は、社会基盤整備への迅速で積極的な利用促進に向けて、ホームページでの公開や、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での公開等で広範な普及に努めている（図Ⅰ.5.(4).⑤.1）。

1）海上技術安全研究所の特許情報 HP

2）港湾空港技術研究所の特許情報 HP

3）電子航法研究所の特許情報 HP

4）工業所有権情報・研修館の特許検索 HP

図Ⅰ.5.(4).⑤.1　特許情報の公開 HP

海上技術安全研究所では、研究成果を、効率的・効果的に社会にアピールし、還元するための仕組みとして、所外の利用者に対して WEB を通じてサービスを提供する「海技研クラウド」を整備・運用しているが、過年度と同様、令和 6 年度も引き続き利用の増加傾向を維持しており、研究成果の効率的・効果的なアピール・還元につながっている。

また、電子航法研究所では、2024 国際航空宇宙展に出展し、研究成果の製品化を目的とした共同研究・開発の枠組みの説明や、知財の積極的な普及に努めた。

図Ⅰ.5.(4).⑤.2　2024 国際航空宇宙展における電子航法研究所展示ブースの様子
（令和 6 年 10 月 16 日～10 月 19 日）

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・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、船舶の設備に係る海上安全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、次世代の航空交通システムに係る国際基準の提案、検証、策定など、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 6 年度においては、目標である 76 人を上回るのべ 157 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 6 年度は、各種委員会に対して合計 19 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 6 年度においては、海上技術安全研究所は 19 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 6 年度は、のべ 36 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。

・温室効果ガス削減中期対策の策定への貢献

当所職員は、我が国の温室効果ガス削減対策の調査研究の専門家として IMO/MEPC 及びその傘下の GHG WG の国内外の関係者からの信頼を築いてきた。その専門性が認められ、IMO から 2 本の報告書（MEPC 82/7/4/Add.1 及び MEPC 82/7/4/Add.2）の査読を依頼され、これらの文書は MEPC 82（2024 年 9 月）で審議された。審議への貢献としては、2024 年度は温室効果ガス削減の中期対策に関する包括的影響評価運営委員会及び専門家ワークショップ（2023 年 9 月～2024 年 9 月）並びに第 18 回・第 19 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 18&19）へ参加し、さらに、GHG 排出強度の提案文書の作成にも貢献した。引き続き、GHG 削減の中期対策の審議に取り組んでいく。

表 Ⅰ.6.(1).①.1　IMO に係る会議参加数（36 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
第 108 回海上安全委員会（MSC 108）	自動運航船関係基準、義務要件の検討及び採択ほか	2
第 1 回代替燃料に係る中間作業部会（ISWG-AF 1）	アンモニア及び水素燃料を用いる船舶の安全に関する暫定指針	2
第 3 回自動運航船に係る中間作業部会（ISWG-MASS 3）	自動運航船関係基準	1
第 10 回貨物運送小委員会（CCC 10）	アンモニア及び水素燃料を用いる船舶の安全に関する暫定指針、液化ガスばら積み運搬船基準、固体ばら積み貨物運送基準	4
第 41 回貨物運送小委員会編集・技術グループ（E&T 41）	固体ばら積み貨物運送基準	2
第 17 回温室効果ガス中間作業部会（ISWG-GHG 17）	GHG 削減対策	2
第 82 回海洋環境保護委員会（MEPC 82）	大気汚染防止及び船舶のエネルギー効率、GHG 削減対策、義務要件の検討及び採択ほか	5
第 30 回汚染危険評価技術部会（ESPH 30）	ばら積み液体貨物運送基準	1
第 109 回海上安全委員会（MSC 109）	自動運航船関係基準、義務要件の検討及び採択ほか	3
第 11 回船舶設備・建造小委員会（SDC 11）	推進操舵装置、水中放射騒音低減、非常用曳航装置、IP コード等	3
第 12 回汚染防止・対応小委員会（PPR 12）	ISO/TC 8/SC 2 議長としての対応、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及び MARPOL 条約附属書 II、MARPOL 条約附属書 IV 及び関連ガイドライン	6
第 18 回温室効果ガス中間作業部会	GHG 削減対策における経済的手法	1

(ISWG-GHG 18)		
第 11 回船舶設備小委員会(SSE 11)	救命設備基準、ISO/TC 8/SC 1 議長としての対応	3
第 19 回温室効果ガス中間作業部会(ISWG-GHG 19)	GHG 削減対策	1

(イ)ISO 及び IEC における活動

令和 6 年度は ISO 及び IEC の会議にのべ 23 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。

・船舶の設備に係る海上安全に関する規格の策定への貢献

コンテナ船の荷崩れやばら積貨物船の貨物液状化による転覆事故のような重大な事故を防ぐためには、万が一、このような事故が起こった時に事故発生時の船舶の運動を解析する必要がある。そのような運動を示すデータの中で特に重要なヒール角(横方向の傾斜)は電子傾斜計で計測することができるが、その性能を規定する ISO 19697 は当所職員が主導し、ISO/TC 8/SC 6(国際標準化機構／船舶及び海洋技術専門委員会／航海及び操船分科委員会)にて、2016 年に制定された。その後、IMO/MSC 107(2023 年 6 月)において、2026 年 1 月 1 日以降に建造される総トン数 3,000 トン以上のコンテナ船及びばら積貨物船へ、機能を追加した電子傾斜計の搭載が義務化された。これに対応するため、当所職員は ISO 19697 の改訂を取りまとめる WG 9 (Indicators)のコンビーナ及びプロジェクトリーダーを務め、ISO/TC 8/SC 6 及び国内委員会の議論をリードしつつ規格改訂案を作成した。技術的内容を確立する委員会承認は既に済んでおり、国際規格案として承認する投票段階にまで進んでいる。引き続き、コンビーナ及びプロジェクトリーダーとして、また、ISO/TC 8/SC 6 のエキスパートとして、船舶の設備に係る海上安全に関する規格の策定を主導していく。

表Ⅰ.6.(1).①.2 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 292/WG 8	サプライチェーンのセキュリティ管理	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)	1
ISO/TC 8 Chairman's Strategic Advisory Group Meeting	船舶及び海洋技術分野の規格に関する課題等の意見交換	2
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格	1
ISO/TC 8/SC 2 及び WG 3、WG 4、WG 5、WG 11、WG 14	環境保護に関する規格の進捗、船底防汚塗料のスクリーニングのための生物試験方法、実海域性能評価法及びライフサイクル燃費評価法の標準化提案等	3
ISO/TC 8/SC 2/WG 13	船舶汚損の水中洗浄	4
ISO/TC 8/SC 6	航海及び操船分科委員会総会	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 9	電子傾斜計	1
ISO/TC 8 総会	TC 8 の標準化方針の審議、各分科委員会活動報告等	2
ISO/TC 292 総会	セキュリティ及びレジリエンス技術委員会総会	1
IEC/TC 88/MT 3-2	IEC61400-3-2 浮体式洋上風力発電の設計要件の次期改訂	1

ISO/TC 8/SC 8/WG 35	冠雪のある氷に関する模型試験法	1
ISO/TC 8/SC 25/WG 1	海事における温室効果ガス削減／代替燃料に関する規格	1
ISO/TC 61/SC 13 及び WG 2	繊維強化複合材料の試験規格	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

(ウ) IAEA における活動

令和 6 年度は、IAEA の会議にのべ 6 名が出席し、放射性物質安全輸送規則等の審議に貢献した。

・IAEA 放射性物質安全輸送規則改訂への貢献

当所職員は、IAEA（原子力機関）の TRANSSC（輸送安全基準委員会）にて 2021 年に開始された放射性物質安全輸送規則見直し／改訂プロセスにおいて、国内関係者の意見を集約するとともに、我が国の副代表として TRANSSC での審議に貢献した。また、当所職員は、TRANSSC に設置された 4 つの技術専門家グループの一つ TTEG-OM（輸送実務）での提案の一次審議において議論を主導するとともに前議長を補佐して審議結果をまとめ、その実績が認められて 2024 年 6 月に開催された TRANSSC48 にて TTEG-OM の新議長に選出された。IAEA 放射性物質安全輸送規則 SSR-6（Rev.2）は、2024 年 11 月に開催された TRANSSC49 にて各 TTEG でのコメント審議を反映した最終草案が承認され、今後 CSS（安全基準委員会）等での是認を経て 2026 年 1 月に出版される見込みであり、その後国連危険物輸送勧告モデル規則、ICAO（国際民間航空機関）/技術指針や IMO/IMDG（国際海上危険物）コード等への取入れを経て、2029 年 1 月に国内規則として施行される見込みである。引き続き、我が国副代表及び TTEG-OM 議長として、IAEA 等での放射性物質安全輸送のための活動に取り組んでいく。

表Ⅰ.6.(1).①.3 IAEA に係る会議参加数（6 人）

会議名	会議の目的	参加延べ人数
第 2 回放射性物質安全輸送規則安全基盤文書作成専門家会合	放射性物質輸送規則助言文書改訂及び安全基盤文書に係る検討	1
第 48 回輸送安全基準委員会（TRANSSC 48）	放射性物質輸送に係る安全基準	2
第 49 回輸送安全基準委員会（TRANSSC 49）	放射性物質輸送に係る安全基準	2
第 1 回放射性物質輸送規則助言文書改訂草案作成専門家会合	放射性物質輸送規則助言文書改訂に係る検討	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 6 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。

表Ⅰ.6.(1).①.4 PIANC に係る会議参加数（13 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	2
PIANC YP-Com Board Meeting/ Delegate Meeting	若手技術者ネットワーク促進のための代表者会議	1
PIANC WG239	港湾での津波災害の軽減のための会議	1
PIANC WG256	港湾・航路管理とブルーカーボンに関するレポート取りまとめ	2
PIANC World Congress2024	持続可能な水運部門を作るために必要な課題の取りまとめ	2
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	1
PIANC MarCom WG225	港湾施設の耐震設計ガイドラインについて	3

(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。

・ICAO 航空交通管理要求性能パネル （ATMRPP） への貢献

ICAO ATMRPP では、将来の空域等の需要、利用可能な CNS システムを考慮した軌道ベース運用、飛行や飛行情報のグローバルな共有等の検討を行っている。当所職員は ATMRPP の WG に対して、国際航空交通流管理における協調型意思決定に、ATM パフォーマンス指標をバランシングする方式・枠組みの必要性を提言した。

・航空機電波高度計の電磁干渉問題への貢献

近年普及が進んでいる 5G の電波が航空機の電波高度計と干渉する可能性があると懸念されており、様々な国際標準化団体でも議論が行われている。当所職員は ICAO 周波数スペクトラム管理パネル （FSMP） において、航空機電波高度計の電磁干渉解析法の進捗として羽田空港で帯域内干渉の評価を行った結果を報告した。また EUROCAE WG-119/RTCA SC-239 において、電波高度計の MOPS 改訂に向けた、現在の日本の電波高度計の技術的要件を報告した。

・SBAS 認証への貢献

近年、衛星航法補強システム（SBAS）の信号を受信できる受信機が、SBAS の信号を正しく受信していることを確認する認証機能である、SBAS 認証の実現が進められている。当所職員は ICAO 航法システムパネル(NSP) SBAS Authentication ad hoc に参加し、国際標準(SARPs)案の改良提案に対応するとともにプロトタイプソフトウェアを用いたメッセージの検証を実施した。また、二周波・複数衛星系(DFMC)を用いた地上型衛星航法補強システム(GBAS)の SARPs 案の策定が進められている。当所職員は NSP GBAS 作業部会(GWG)の SARP Drafting Group に中心メンバーとして参画し、DFMC GBAS メッセージフォーマットの一部提案とその地上・飛行実験データを用いた検証など、DFMC GBAS SAPRs 案策定における複数の課題を主導して解決した。

・SWIM 実現に向けた貢献

現在、航空交通管制に関する情報共有の改善にむけて、世界的に System-Wide Information Management (SWIM) と呼ばれるサービスの研究開発が進められている。当所職員は、ICAO Information Management Panel (IMP)、SWIM タスクフォース、Trust Framework Panel (TFP) といった多数の会議にて報告を行うことで、関連技術の基準作成に貢献している。また SWIM Implementation Pioneer Group（SIPG）のコアメンバーとして活動することで、APAC 地域の SWIM 導入推進を牽引している。

・ICAO 監視パネル (SP) への貢献

ICAO SP では、航空機監視システムの国際標準・技術マニュアル等規定類の取りまとめが行われている。当所研究員は、日本における現状把握と今後の信号環境測定方法検討に向けて、1030-1090 MHz の信号環境と交通密度について報告をした。また、ADS-B 自体が正しく動作しているかを測定する方法の検討に向けて、ADS-B の搭載状況とパフォーマンス品質に関する報告も行った。

・ICAO 管制間隔・空域安全パネル (SASP) への貢献

ICAO SASP では、空域と空港の航空機処理容量に対する将来の需要や利用可能な CNS システム、及び合意されたレベルの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他国と共同で行っている。当所職員は、洋上空域における短縮間隔を使用した上昇降下方式である Climb Descent Procedure (CDP) に係る安全性検証の定量分析を実データに基づき実施し、衝突リスク計算モデルに問題ないことを報告した。

・Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS) マニュアルの監視部分への貢献

ICAO Doc 9830 A-SMGCS マニュアルは長い間更新されていなかったため、Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) は Technical Sub-group (TSG) に対し、Doc 9830 の監視関連の内容を更新するよう指示した。当所職員は当該マニュアルの第 5 章についての修正案を提出し、TSG にて了承が得られた。今後、修正案は上位の ASWG に提出される予定である。

・L バンドデジタル航空通信システム (LDACS) 導入に向けた貢献

LDACS は L バンドの周波数帯域を利用する、次世代の航空機と地上間の通信システムである。当所職員は ICAO 通信パネル (CP) や SP に対して、LDACS とトランスポンダ間の干渉検討結果について報告を行った。

・アジア太平洋地域における GBAS 及び SBAS 導入促進への貢献

アジア太平洋地域では各国の GBAS 及び SBAS 導入への関心が高まっており、GBAS/SBAS Implementation Task Force (GBAS/SBAS ITF)を設置して情報共有及びアジア太平洋地域の特性を反映した導入ガイダンスの作成を行っている。当所職員は、GBAS/SBAS ITF の共同議長を務め、会議の運営を行うとともに、GBAS 導入ガイダンスを完成させた。

表Ⅰ.6.(1).①.5 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	2
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	5
監視パネル(ICAO SP)	航空機監視システムの国際標準・技術マニュアル等規程類の取りまとめを行う会議	20
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	1
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	2
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 GBAS/SBAS Implementation タスクフォース (ICAO APAC GBAS/SBAS ITF)	アジア太平洋地域における GBAS/SBAS の導入プランについて議論を行う会議	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	1
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	4
アジア太平洋地域 SWIM 実装パイオニアグループ (ICAO APAC SIPG)	アジア太平洋地域における地域 SWIM 実装について議論を行う会議	2
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	8
EUROCAE WG-107	APNT を DME で構築する技術に関する検討を行う作業部会	1
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	2

(カ)ITTC 等における活動

国際試験水槽会議(ITTC)は、106 機関(うち日本は 20 機関が加盟)により構成され、水槽試験法の向上、船舶・海洋構造物の性能の推定法の作成・向上を目的に、最新の技術動向調査や推奨手法を作成する活動をしている。その中で IMO や ISO との連携を行っている。

当所は評議員会(AC)の資格を有するとともに、近年は当所職員 3 名程度がそれぞれの専門の技術委員会に委員として参加しており、3 年毎に開催される総会では各技術委員会の成果を報告している。AC における各技術委員会の進捗状況を確認し助言や委員会構成、実施事項の審議に参加した他、技術委員としては、風力推進装置を設置した船の EEDI(エネルギー効率指標)での検査・認証法の ITTC ガイドライン作成等に貢献、海上試運転実施・解析推奨手法での各種波浪修正法の精度検証等に貢献、氷海水槽試験での複雑な氷況の再現手法のとりまとめ等に貢献した。

表Ⅰ.6.(1).①.6 ITTC 等に係る会議参加数（26 人）

会議名	会議目的	参加延べ人数
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)	報告書進捗、ベンチマーク解析結果検討、今後のスケジュール調整等	1
第 15 回ブラックカーボン技術作業部会	船舶からの BC 排出量計測手法等	1
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	調査レビューの進捗報告	1
ITTC/AC（評議員会）	各技術委員会の活動の確認と助言等	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 10th Meeting (SC-ICE)	氷海及び氷海水槽計測等に関するガイドライン審議	1
GESAMP 61（海洋環境保護の科学的側面に関する専門家会合）EHS WG	船舶で輸送される有害物質の危険性評価	1
ISSC Committee V.1 (Accidental Limit State)	報告書進捗、ベンチマーク解析結果検討、今後のスケジュール調整等	1
ISSC Committee I. 2 (Loads)	ISSC2025 Proceedings ドラフト作成、ベンチマーク解析結果検討	1
第 16 回ブラックカーボン技術作業部会	船舶からの BC 排出量計測手法等	1
ISSC Committee V.1 (Accidental Limit State)	報告書進捗、ベンチマーク解析結果検討、今後のスケジュール調整等	1
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	ITTC 総会での報告等	1
ITTC/AC 30-5（評議員会）	次期委員会付託事項、総会運営等	1
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	報告書執筆担当箇所の進捗確認	1
ITTC/AC 30-6（評議員会）	次期運営、喫水差相関手順書等	1
ISSC Committee V.1 (Accidental Limit State)	報告書進捗等	1
ITTC 総会	各委員会報告等	3
ISSC Committee V.4 (Renewable Energy)	報告書執筆担当箇所の進捗確認	1
ISSC Committee I. 2 (Loads)	ISSC2025 Proceedings の修正内容確認	1
ITTC Manoeuvring Committee	実スケール操縦性能推定等の審議	1
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	実船モニタリング等の審議	1
ITTC Stability in Waves committee	実船の波浪中復原性評価等の審議	1
ITTC/AC（評議員会）	IMO/MEPC 83 提案文書の扱い等	1

(キ)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Ⅰ.6.(1).①.7 その他国際会議における会議参加数(51 人)

会議名	会議目的	参加延べ人数
ShoreShop2.0	汀線変化モデルの開発に関する国際ワークショップ	1
International Blue Carbon Scientific Working Group Meeting	沿岸の炭素活動のための沿岸保全、計画、管理のガイドラインを策定	2
Deep Mixing 2024	深層混合処理工法に関する国際会議	3
UNSW Canberra	海浜地形の現地調査と長期地形データに関する連携研究	1
OMAE 2024 43rd International Conference on Ocean Offshore & Arctic Engineering	海洋工学を主テーマにした海洋・洋上・北極工学における最新の研究と技術の交流	1
SPHERIC International workshop	粒子法を主テーマにした国際会議	1
WCEE2024 International Conference on Earthquake Engineering	地震工学に関する最先端の知見や技術、実務的課題への対応策について議論・共有	5
ICCE 2024 38th International Conference on Coastal Engineering	海岸工学に関する研究成果の発表や研究者との交流・議論	5
EERA DeepWind Conference2025	深海域の洋上風力発電技術に特化した研究と技術の交流	1
ICEGE	地震地盤工学に関する技術委員会	4
ISBS2024 第9回国際海浜会議	国連海洋科学の持続可能な開発計画の一環として世界の海浜・生態系の保全・再生・持続的管理に向けた知見を共有	1
第 37 回万国地質学会議	地球科学の諸分野を網羅し、学術テーマから応用分野まで広範囲にわたるテーマについて議論・知見を共有	2
IS-Grenoble2024	ミクロからマクロの地盤工学に関する国際会議	2
北東アジア港湾局長会議	日中韓共同研究について	7
IRDR(災害リスク統合研究)2024 世界会議	国際学術会議と国連防災機関が共催する災害リスクに関する世界会議	1
国際斜面防災会議	斜面防災の世界的な推進・連携を目的とした国際会議	1
10th Asian Young Geotechnical Engineers Conference(10AYGEC)	アジアの若手地盤工学技術者の研究や技術に関する交流	1
JS-Srabaya 2024	東アジア地域が抱える地盤工学的課題に関して議論・知見を共有	1
12th International Congress on Environmental Modeling and Software	環境に関する幅広い分野のモデリングとソフトウェアについて議論・知見を共有	1
ICSHM2024	自己治癒材料に関する国際会議で論文発表・情報収集が目的	1
10th international conference on transportation and logistics	海運・港湾・物流業界を招いた各セクターの地域開発について議論	1
ベトナム基準策定のための WG	ベトナム基準 Part1.2 の改訂に向けた議論	1
第 30 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	3

第 23 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 39 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	1
ICAO APAC TBO Pathfinder-Project Meeting	2025 年 7 月に予定されている実験推進のためのミーティング	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等を通じて、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 6 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 9 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 7 年 3 月 14 日に Online Workshop on Overview of Standards Development for Biodiversity Conservation in the Marine Environment を開催した。我が国を含む 5 か国（ほかは中国、韓国、米国、ノルウェー）から約 30 名の参加があった。
港湾空港技術研究所においては 5 つの国際会議を開催し、令和 6 年 12 月に深層混合処理工法を題材にし

た Deep Mixing 2024 を CDM 研究会、DJM 工法研究会、公益社団法人地盤工学会との共催により横浜で開催した。

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 6 年 10 月 30 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、高山知司京都大学名誉教授、バルム・スンダーインド工科大学マドラス校名誉教授、The MAKEWAVES Tsunami Collaboration の 2 氏 1 団体を表彰した。受賞者には斉藤国土交通大臣より記念品が授与された。

図Ⅰ.6.(2).①.1　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6年11月19日から20日にかけて、ATM/CNS に関する国際ワークショップ 2024 (2024 International Workshop on ATM/CNS: IWAC2024) を開催した。本ワークショップは、航空交通管理 (Air Traffic Management: ATM) 、航空通信、航法及び監視 (Communication, Navigation, and Surveillance: CNS) 等に係る世界の専門家、関係者が一堂に会し、技術情報の交換、共有と今後の連携を図るための場を提供することを目的に、当所主催で隔年開催している。今回は対面開催のみとしたが、日本を含む 12 の国・地域から計 154 人の方が参加し、数多くの基調講演や学術発表が行われた。

また当所では、マレーシア工科大学との共同研究で、クアラルンプール国際空港に設置している滑走路遺物検知システム実験装置のデータ分析に関する研究を実施している。この研究に関して、マレーシア工科大学の研究者の招聘事業を、国土交通省総合政策局が実施している開発途上国研究機関交流事業へ提案し、採択された。マレーシア工科大学の研究員らは約 2 週間、日本に滞在し、当所を含む国内の関係機関を訪問し、滑走路遺物検知システムに関するワークショップを開催した。

図Ⅰ.6.(2).①.2　IWAC2024 の様子

図Ⅰ.6.(2).①.3　マレーシア工科大学とのワークショップの様子

②協定の締結および技術支援

社会・行政ニーズにタイムリーに応えつつ、質の高い研究成果を上げるためには、研究を効果的・効率的に行うとともに、外部の研究能力を積極的に活用し、単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出を行うことが必要不可欠である。当研究所のポテンシャル及びプレゼンス向上を図るため、令和 6 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)、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、JSPS 国際共同研究加速基金として沿岸巨大波の出現に関する実験の実施と研究打合せのため、スコットランド・エジンバラ大学より依頼があり研究者 2 名を派遣した。

また、上記など留学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 6 年度までに、国内 32 件、海外 27 件、合計 59 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、新たにベトナム科学技術アカデミー・地球物理研究所と技術支援契約を、シンガポール工科デザイン大学と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、開発途上国から研修員として日本に招いた海事行政及び船舶安全分野の中核を担う人材を対象に実施する JICA 課題別研修「海事行政における検査能力強化を通じた船舶安全の確保」の一環として、当所が保有する実験設備の見学を実施した。

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 23 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。

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、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）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維持する。

◆年度計画における目標設定の考え方

令和6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。

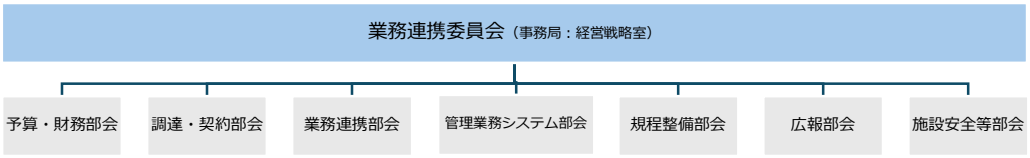
また、研究の一層の推進を図るため、必要な経費の積極的な確保に努める等、経営資源の効果的・効率的な活用を図るとともに、将来のイノベーション創出に向けた取組を進めることとした。

◆当該年度の取組状況

1．組織運営の改善

①業務管理を行う体制の機能強化

経営戦略室が業務連携委員会の業務を主導的に実施できるよう組織規程等を改正するとともに、7つの専門部会において業務連携の観点から具体的な検討を推進した。



②戦略的な研究計画の立案

政府や国土交通省の政策を取り巻く環境や最新の技術動向等を踏まえ、令和７年度計画を策定した。

③将来的な経営の在り方についての企画立案

政府や国土交通省の科学技術政策に関する計画の見直しに向けた動向を踏まえ、うみそら研の新たな長期ビジョンの策定に向けた検討体制を構築し、議論を開始した。

④研究所全体の研究計画や経営戦略に関する会議の開催

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１１回開催した。また、理事長及び全役員と経営戦略室との研究所の経営戦略に関する定期的な意見交換会を21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。

⑤組織の枠を超えた連携の強化

組織の枠を超えて、議題解決を効果的・効率的に行うため、業務連携委員会を4回、分野横断的研究連携推進会議を2回、情報システム委員会2回開催した。

⑥必要な経費の積極的な確保

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。

⑦必要に応じた分野横断的な研究体制の導入

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６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。また、令和６年度から従来の取り組みに加え、探索的性質の強い、あるいは芽生え期の研究の実施を支援し、推進することを目的として、萌芽的連携推進研究制度を創設した。

⑧ICTを活用した日常的な研究情報の交換

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。

⑨研究施設の有効活用

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。

⑩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2回開催し、令和6年度からの新たな取組としてミニ勉強会を計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。

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。

⑪研究所の人材が有する能力の最大限の発揮

大学等との共同研究を173件、クロスアポイントメントを10件実施し、研究所の人材が有する能力を最大限発揮できるよう努めた。

⑫研究開発成果の社会還元を目的とした推進体制の整備

3研究所共有の研究マネジメント、外部連携、広報等を推進するための体制について検討を開始した。

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 6 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 6 年度においては以下の 1 件について一括調達を行った。

引き続き業務効率及び経費を検討の上、必要な案件については一括調達を実施することとする。

・電子入札システムのサービス提供及び運用保守

（3）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、令和 6 年度は、新規に 91 者（累計 375 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。

（4）テレビ会議による効率化

テレビ会議システムによる各研幹部会、役員懇談会などを開催し、移動に要する時間と経費を抑制しつつ、コミュニケーションの活性化を進め、業務の効率化を図った。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。

（5）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 6 年度もさらにその利用を進め、令和 5 年

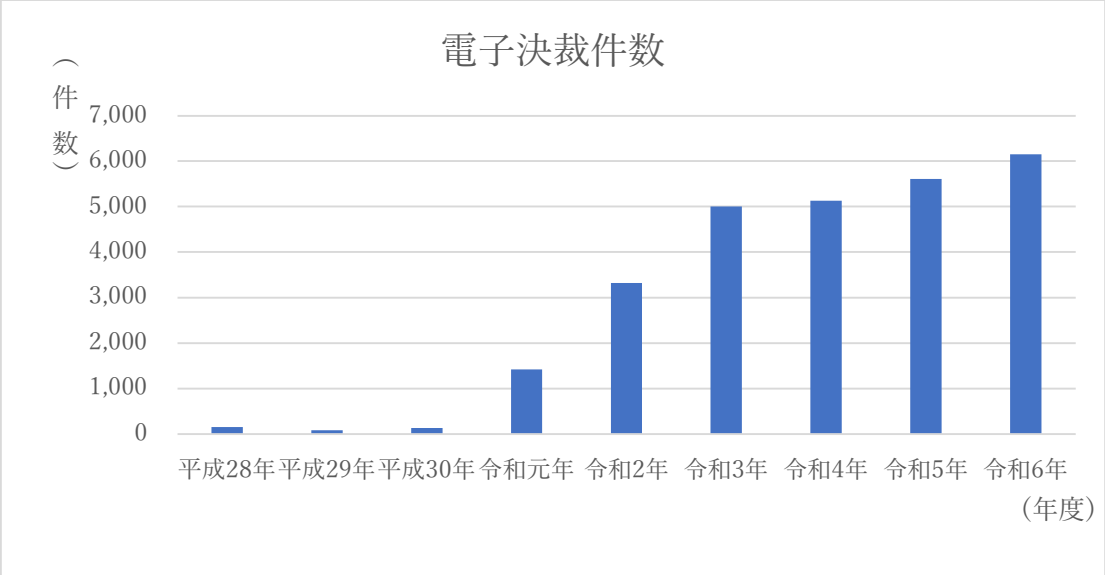
度の発行数 517 件中 383 件（74%）に対し、令和 6 年度は発行数 538 件中 411 件（76%）の押印省略となったことから、押印作業及び郵送費用（メール送付が可能）などが軽減された。また、押印作業の担当者は、テレワークでの対応も可能となり、より一層の効率化が進んだ。

（6）電子決裁の推進

令和 6 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 5 年度 5,600 件に対し、令和 6 年度には 6,154 件であり、対前年度比 110%となった。



図Ⅱ.1.1　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 6 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 6 年度の研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準を 100 として作成したところ、対国家公務員指数（ラスパイレス指数）が、事務・技術職種で 97.8、研究職種で 104.1 となっている。

（3）契約の見直し

「独立行政法人における調達等合理化の取組の推進について」（平成 27 年 5 月 25 日総務大臣決定）に基づき、令和 6 年度調達等合理化計画を策定し、契約事務の適正化として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
・業務等準備期間の確保
・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

また、コスト削減・調達業務の効率化として、以下の取り組みを実施した。

・共同調達の推進
・複数年契約の適用

「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 6 年 5 月に令和 6 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 5 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	2,545	1,223	1,353	5,120
施設整備費補助金	0	100	0	100
受託等収入	1,051	1,695	138	2,885
政府出資金	0	0	0	0
計	**3,596**	**3,018**	**1,491**	**8,105**
支出				
業務経費	444	178	695	1,317
施設整備費	0	100	0	100
受託等経費	953	1,620	109	2,682
一般管理費	84	108	43	235
人件費	2,116	1,012	644	3,771
計	**3,596**	**3,018**	**1,491**	**8,105**

（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 6 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	**4,074**	**2,960**	**1,729**	**8,762**
経常費用	4,074	2,960	1,729	8,762
研究業務費	2,084	807	1,165	4,056
受託等業務費	953	1,620	109	2,682
一般管理費	559	491	217	1,266
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	**4,074**	**2,960**	**1,729**	**8,762**
運営費交付金収益	2,545	1,223	1,353	5,120
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	**3,596**	**3,018**	**1,491**	**8,105**
業務活動による支出	3,596	2,918	1,491	8,005
投資活動による支出	0	100	0	100
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	**3,596**	**3,018**	**1,491**	**8,105**
業務活動による収入	3,596	2,918	1,491	8,005
運営費交付金による収入	2,545	1,223	1,353	5,120
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	100	0	100
施設整備費補助金による収入	0	100	0	100
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 6 年度は、運営費交付金を充てるべき支出のうち 203 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 16 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 231 百万円と合わせて総利益は 215 百万円となっている。これは、令和 6 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Ⅲ.1.1

（単位：百万円）

区　分	年度計画	実績
収入		
運営費交付金	5,120	5,530
施設整備費補助金	100	1,302
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	4,084
計	**8,105**	**10,916**
支出		
業務経費	1,317	1,428
施設整備費	100	1,228
先進船舶・造船技術研究開発費補助金	0	0
受託等経費	2,682	3,639
一般管理費	235	190
人件費	3,771	3,856
計	**8,105**	**10,341**

（2）収支計画

表Ⅲ.1.2

（単位：百万円）

区　分	年度計画	実績
費用の部	**8,762**	**9,327**
経常費用	8,762	9,297
研究業務費	4,056	4,014
受託等業務費	2,682	3,427
一般管理費	1,266	1,031
減価償却費	757	825
雑損	0	0
財務費用	0	0
臨時損失	0	30
収益の部	**8,762**	**9,312**
運営費交付金収益	5,120	4,403
手数料収入	0	111
受託等収入	2,885	4,442
寄付金収益	0	5
資産見返負債戻入	757	323
臨時利益	0	27
純利益	**0**	**−16**
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**	**231**
総利益	**0**	**215**

（3）資金計画

表Ⅲ.1.3

（単位：百万円）

区　分	年度計画	実績
資金支出	**8,105**	**9,576**
業務活動による支出	8,005	8,823
投資活動による支出	100	651
財務活動による支出	0	103
次期中長期目標の期間への繰越金	**0**	0
資金収入	**8,105**	**10,659**
業務活動による収入	8,005	9,652
運営費交付金による収入	5,120	5,530
受託収入	2,720	3,757
その他収入	165	365
投資活動による収入	100	1,007
施設整備費補助金による収入	100	533
その他収入	0	474
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 231 件、競争的資金 136 件の合計 367 件を実施し、3,453 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、87 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、監査室において適正かつ効率的な内部監査を行う。

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、改正された関係する規程の適切な適用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、研究員を含む研究所のすべての役職員に対し、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対応する。加えて、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に確保が求められる、研究の健全性・公正性の確保に取り組む。

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。

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		100	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	100	
③	電子航法に関する研究開発等	0	

(注)単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

[注記]

施設・設備の内容、予定額については見込みであり、中長期計画を実施するために必要な業務や老朽状況等勘案した施設・設備の改修等の追加等変更することもある。

◆当該年度の取組状況

1．内部統制に関する事項

（1）内部統制の推進

内部統制について、業務方法書に定めた事項の運用を確実に図るとともに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、「内部統制の推進及びリスク管理に関する規程」を整備し、研究所における内部統制及びリスク管理に関する事項の報告、改善策の検討及び各管理責任者間における連絡及び調整を行う組織として、内部統制・リスク管理委員会を引き続き設置し、適切な運用を行った。

令和 6 年度は、同委員会において、研究所の業務継続基本計画及び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設置し、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 6 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 6 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。令和 6 年度は例年の自己点検および教育に加えて、標的型攻撃メール訓練を実施した。

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、情報セキュリティポリシーに基づき実施された内部監査、および内閣サイバーセキュリティセンター（NISC）による外部監査を受けた。

情報システムの関係としては、令和 9 年度を運用開始とする新たな情報システムを一括して調達するため、システムの構築方法や機器の仕様書を作成した。情報システムベンダーに対して、見積の作成を依頼

し、一括調達に向けた手続きを開始した。

また、うみそら研および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 年度に契約を一本化した。

（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 6 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。