

# 令和4年度 業務実績等報告書

令和5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のとるべき措置	1
1. 分野横断的な研究の推進等	2
(1) 分野横断的な研究の推進	2
(2) 研究マネジメントの充実	6
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	10
(1) 海上輸送の安全の確保	15
(2) 海洋環境の保全	52
(3) 海洋の開発	97
(4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発	118
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	143
(1) 沿岸域における災害の軽減と復旧	146
(2) 産業と国民生活を支えるストックの形成	167
(3) 海洋権益の保全と海洋の利活用	185
(4) 海域環境の形成と活用	191
4. 電子航法に関する研究開発等	203
(1) 軌道ベース運用による航空交通管理の高度化	211
(2) 空港運用の高度化	227
(3) 機上情報の活用による航空交通の最適化	243
(4) 関係者間の情報共有及び通信の高度化	254
5. 研究開発成果の社会への還元	264
(1) 技術的政策課題の解決に向けた対応	264
(2) 災害及び事故への対応	268
(3) 橋渡し機能の強化	271
(4) 知的財産権の普及活用	280
(5) 情報発信や広報の充実	284
6. 戦略的な国際活動の推進	292
(1) 国際基準化、国際標準化への貢献	292
(2) 海外機関等との連携強化	302

<b>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</b>	306
1. 統合に伴う業務運営の効率化	309
2. 業務の電子化	310
3. 業務運営の効率化による経費削減等	311
<b>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</b>	314
1. 運営費交付金を充当して行う事業	319
2. 運営費交付金以外の収入の確保	321
3. 短期借入金の限度額	321
4. 不要財産の処分に関する計画	321
5. 財産の譲渡又は担保に関する計画	321
6. 剰余金の使途	321
<b>第4章 その他業務運営に関する重要事項</b>	322
1. 内部統制に関する事項	325
2. 人事に関する事項	326
3. 外部有識者による評価の実施・反映に関する事項	326
4. 情報公開の促進に関する事項	327
5. 施設・設備の整備及び管理等に関する事項	327

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

## 1. 分野横断的な研究の推進等

### 【中長期目標】

#### 1. 分野横断的な研究の推進等

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

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

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

### 【中長期計画】

#### 1. 分野横断的な研究の推進等

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

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

### 【年度計画】

#### 1. 分野横断的な研究の推進等

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

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

## (1) 分野横断的な研究の推進

### 【中長期目標】

#### (1) 分野横断的な研究の推進

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

### 【中長期計画】

#### (1) 分野横断的な研究の推進

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

このため、以下の研究開発を進める。

- ①次世代海洋資源調査技術に関し、海底観測・探査、海中での施工、洋上基地と海底との輸送・通信、陸上から洋上基地への輸送・誘導等に係る研究開発
- ②我が国における国際交通ネットワークの要である首都圏空港の機能強化に関し、滑走路等空港イン

フラの安全性・維持管理の効率性の向上等に係る研究開発

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

#### 【年度計画】

##### (1) 分野横断的な研究の推進

研究所は、海洋の利用推進と国際競争力の強化といった課題について、分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施する。昨年度に引き続き、防災・減災、風力を主体とした再生エネルギー開発を推進するため分野横断的な研究の課題を設定し、これを推進する。

防災・減災に関しては、令和元年度に3年計画で交通運輸技術開発推進制度に採択された「大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析」において開発した傷病者輸送シミュレータを活用して、自治体の被害想定をもとにした分析を進めるとともに、緊急支援物資輸送システムの開発など、他の課題の模索も含め3研究所が連携して研究を進める。

また、これまで各研究所で取り組んでいた洋上風力発電施設や水中施工に関する技術等に関して、シミュレーション技術や各種モニタリング技術、測位技術等を対象に3研究所で情報交換による相互理解をより一層進め、連携研究を促す。海洋汚染対策に関連し、流出重油回収時に有効な高圧ジェットによる重油回収技術開発を連携して行い、油分離に関する有効方策を明らかにする。

さらに、各分野の共通基盤となる技術の活用を支援する3研勉強会等の活動を引き続き実施して共通基盤技術を利用した研究の連携を進めるとともに、総合的な政策課題に適切に対応した研究の模索や検討を継続的に行う。

#### ◆当該年度における取組状況

##### ①大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析

大規模災害発生時の救助・救援活動における陸・海・空が連携した輸送、及びその結節点となる空港、港湾の利用可否について、事前検討を可能にする傷病者輸送シミュレータを開発した。

本年度は、これまで開発したシミュレータの自治体への展開の取組として、関係のある自治体や協力のある自治体等に対して、災害に関する意見交換等を通じたシミュレータの紹介を実施した。また、対外的な発表を通じて、問い合わせを頂いた自治体に対しては、分析事例を示し、担当者との議論を実施した。今後においても、相談を頂いた自治体に関しては、簡単な解析例を提供しつつ、意見交換等を実施する予定である。

##### ②感染症禍における緊急支援物資輸送プラットフォームの構築

感染症禍における緊急支援物資輸送プラットフォームの構築では、国が支援物資輸送を行う際の情報共有における課題に対応するため、令和3年度と令和4年度と2年間にわたり緊急支援物資輸送プラットフォームである緊急支援物資輸送システムの開発を実施した。緊急支援物資輸送システムは、国・自治体・物流事業者等が同一のデジタルインターフェイスで情報共有できるシステムである。

本年度は、昨年度の現場実証からの意見があったユーザーインターフェイスについて一部改良を行い、また緊急支援物資輸送システムを活用した訓練について、岡山県、高知県、宿毛市、物流事業者等が参加した実動演習において活用された。

本活用に関して、自治体から訓練シナリオの評価を行いたいとの要望があり、シナリオを変えた場合の結果を提供したところ、自治体担当者の考えている内容が確認でき、システムの有効性を感じたなどの評価を得ることができた。

##### ③洋上風力発電に関する研究

「分野横断的推進会議」の一課題として、洋上風力発電施設の連成計算を活用した劣化予測など保

守点検に関するデジタルツインの構築、モニタリング技術やシミュレーション技術、さらにはその統合技術に関する研究を推進する。

具体的な連携研究として、令和2年度より、浮体式洋上風力発電施設の低コスト化に資するコンクリート製浮体の設計、施工、保守及び運営を対象に安全性評価に関する研究を、鋼製浮体の安全性評価を主導してきた海上技術安全研究所と、材料としてのコンクリートの特性に熟知している港湾空港技術研究所の知見を融合させて実施した。また、令和4年度は、点検コストの低減に資する研究として、電気防食の検査の省力化、効率化に向けた研究にも取り組んだ。

・浮体式洋上風力発電施設の低コスト化に資するコンクリート製浮体の設計、施工、保守及び運営を対象に安全性評価に関する研究を実施した。土木学会コンクリート標準示方書をベースに諸外国のコンクリート製浮体の先行事例を参考にして、変状連鎖図を用いて最適運用に資するモニタリング項目の抽出等、日本の気象条件に適合するガイドラインを新規に作成した。その成果は、国土交通省海事局より「コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン」として令和5年3月に公表された。

O&M(運用・保守)を対象に合理的な検査・モニタリング手法を検討し、点検コストの低減のため、一例として電気防食の検査の省力化、効率化に向けた研究に着手した。

港湾内での電気防食の運用実績から、事業者及び検査機関の現状の運用からの改善箇所を特定し、それに伴うリスクとベネフィットを洗い出した。これらの成果をまとめ、令和5年3月に「浮体式洋上風力発電施設の検査のガイドライン(案)」を作成した。

一方、電子研では、洋上施設の維持管理等に活用可能な無人機においてRID(REMOTE ID)を実運用する上での特性を把握するため受信機を開発するとともに、無人機の目視外完全自動運航を支援する広域監視システムの開発および基本実証実験を行い、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の取得に着手した。

#### ④油回収技術に関する研究

令和元年度に海上技術安全研究所および港湾空港技術研究所で共同提案し、採択された科学研究費助成事業(科研費)「高温高圧ジェットによる高粘度物質の微細化及び流動化に関する研究」について、研究を実施した。本研究では、重質油等の高粘度物質を効率よく回収する方法として、重油・界面活性剤・水の3成分の分散混合系のエマルジョン化による粘度特性の変化に注目し、水に界面活性剤等を加えた混合液を高温高圧ジェットで重質油に加える実験を行い、エマルジョン形成による高粘度物質の流動化促進効果に関連する特性を詳細に取得した。

本年度は、先の研究の継続として新規に採択された科研費「高粘度重質油のエマルジョン化と流動性の向上及び回収分離技術の構築に関する研究」、ならびに、うみそら研横断的研究課題として新規に採択された「重油のエマルジョン化による流動促進化及び回収技術の開発」について研究を実施した。前年度までに実施した重油回収移送管(水平配管)に加え、油回収のためのエジェクタポンプを新規に導入した。重質油回収移送管においては、揚程についても検証できる垂直配管を新しく導入・拡張し、より実際の回収作業を意識した試験装置を製作して、海技研・港空研の2研共同で重油回収移送実験を実施した。水に溶解させる界面活性剤濃度を変えて実験を行った結果、回収配管内で発生する圧力低下が計測されたとともに、O/Wエマルジョン(粘度が急低下する Oil in Water 型のエマルジョン)の形成も同時に観測され、圧力損失が抑制・軽減し、安定した挙動を示すことが確認できた。また、重油エマルジョン化について混合攪拌効果に関連する基本的な実験及びベンチュリ効果を応用した回収分離に関する基礎的な実験を実施し、その効果と結果について検討中である。

#### ⑥その他の分野横断的な研究テーマの確立に向けた取組

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」を定期的で開催し分野横断的研究の主要課題と位置づけられた洋上風力発電をはじめ、「内部特別予算活用型分野横断的研究課題」に採択された研究項目の進捗報告や、次年度の継続に向けた課題ごとの研究計画について、上記推進会議にて審議を行っ



た。その結果、引き続き洋上風力発電施設の連成計算を活用した劣化予測など保守点検に関するデジタルツインの構築、モニタリング技術やシミュレーション技術、および新たな油回収技術の開発に関する研究の次年度の展開や、これまでの分野横断研究の成果を基に、新たにビッグデータを活用した輸送シミュレータ関連の研究にも着手することとした。

また、3研の研究内容の把握による連携促進や連携研究の進捗管理を目的として、3研究所での連携勉強会を定期的に行うとともに、研究所ごとに主催する研究計画評価委員会や外部向けの研究発表会において、相互の参加や発表を通じた研究情報の共有に努めた。さらに、連携研究の進捗を管理するために「研究の連携案件調査票」を定期的(年二回)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研の各研究者情報を共有するため、3研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、研究所内外における連携活動の促進のための活用も継続的に行った。

さらに、第1期中長期計画によるうみそら研の7年間の研究成果、業務運営成果に関して全体を総括するとともに今後の研究開発の展望を示すため、12月15日に「海上・港湾・航空技術研究所第1期中長期研究報告会 -うみそら研の7カ年の研究成果総括と今後の展望-」をオンラインで開催した。講演後の質疑および終了後のアンケートを通じて、3研究所の統合効果と共に今後の展開などに関する外部からの意見や質問に対応することにより、外部意見も取り入れた分野横断研究のさらなる推進強化に取り組みつつある。

## (2) 研究マネジメントの充実

### 【中長期目標】

#### (2) 研究マネジメントの充実

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

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

### 【中長期計画】

#### (2) 研究マネジメントの充実

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

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

### 【年度計画】

#### (2) 研究マネジメントの充実

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

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

#### ◆年度計画における目標設定の考え方

令和4年度は、令和3年度に引き続き当所を取巻く研究環境変化や組織の運営状況を踏まえつつ、中長期目標期間において3研究所の各研究領域にまたがる分野横断な研究を効率的かつ効果的に実施する為、経営のあり方について継続的に検討を行うこととした。

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

#### ◆当該年度における取組状況

令和4年度は、経営戦略室を中心として、中長期目標期間中の研究開発成果の最大化を推進し、3研究所の研究分野にまたがる分野横断な研究を効率的かつ効果的に実施するため、行政政策や技術動向を踏まえた研究所全体の統制管理を行った。

経営戦略室は各研究所の企画・総務関係の担当者を中心に構成されているが、海上技術安全分野、港湾空港技術分野、電子航法分野の各分野を専門とする研究監と連携して各研究分野の連携・調整を行うための会議を令和4年度は10回開催した。また、理事長及び全役員と経営戦略室との研究所の経営戦略に関する定期的な意見交換会を令和4年度は21回開催し、統合した研究所としての取り組みを企画した。

一方、令和4年度は中長期計画期間の最終年度であったことから、令和5年度からの次(第2)期中長期計画を策定する会議を継続的に開催して、研究所全体の計画案を取りまとめた。具体的な取り組みとして、①長期ビジョンの取組、②研究推進の為に必要経費の積極的な確保、ICTを活用した日常的な研究情報の交換、研究施設の有効活用に向けた取組、③幹部や職員とのコミュニケーション・意見交換の場の設置、④その他研究マネジメントの充実に向けた取組等を行った。

### ①長期ビジョンの取組

平成29年に策定した長期ビジョンでまとめた「うみそら研の目指す方向」(図1.1.2)、「うみそら研の行動計画」(共通基盤となる技術、基礎的研究を強化した「研究体制の充実」、能力ある人材の採用、研修等を充実した「人づくり」および外部機関との研究・技術交流・連携学術等の「研究交流の促進」の3つの柱で構成(図1.1.3)に沿って、令和4年度も引き続き研究所一体となって取組を実施した。

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

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

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

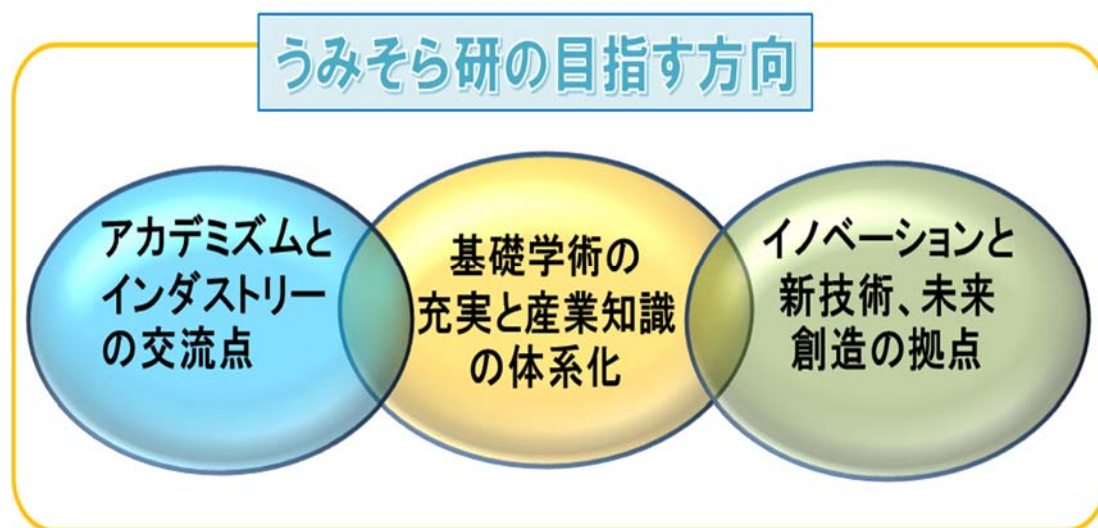


図 1.1.2 海上・港湾・航空技術研究所の目指す方向

## うみそら研の行動計画

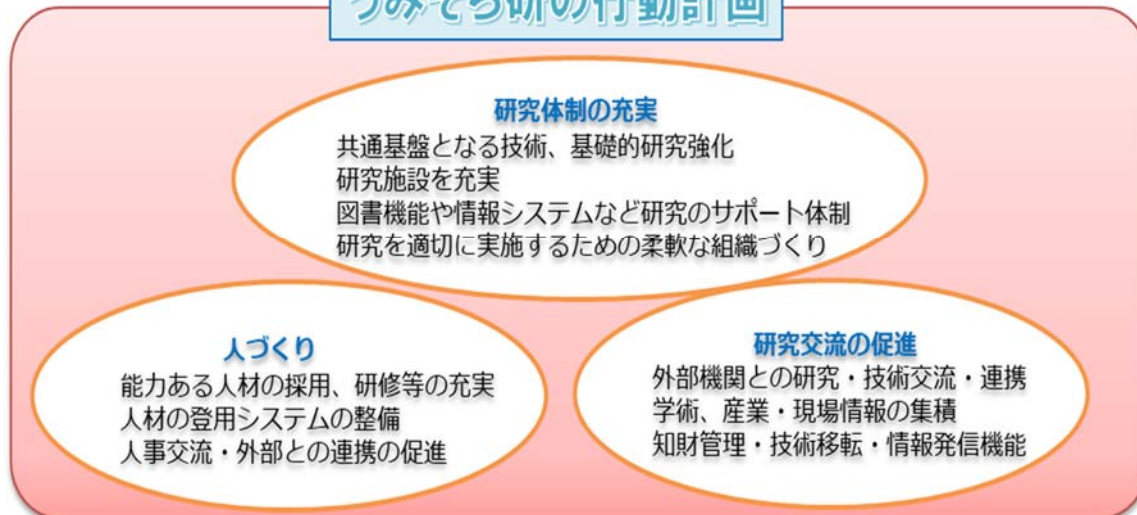


図 1.1.3 海上・港湾・航空技術研究所の行動計画

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

令和4年度も引き続き必要経費の積極的な確保のため、科研費を含む各種競争的資金の研究への応募及び各種受託業務の契約等により、外部資金獲得の取組を積極的に行った。

また、令和4年度には、表1.1.2に示す、(1)③油回収技術に関する研究、(1)⑤洋上風力発電に関する研究及び(1)②緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業の3件の研究を、外部資金による分野横断的な研究として実施している。

表 1.1.2 外部資金による分野横断的研究一覧

No	課題名	参画機関名	備考
(1) ③	科研「高粘度重質油のエマルション化と流動性の向上及び回収分離技術の構築に関する研究」(令和4年度より)	海上・港湾・航空技術研究所(海上技術安全研究所・港湾空港技術研究所)	新規
(1) ⑤	「浮体式洋上風力発電施設の安全評価手法等の確立のための調査研究」(令和2年度より)	海上・港湾・航空技術研究所(海上技術安全研究所・港湾空港技術研究所)	継続
(1) ②	「緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業」(令和3年度より)	海上・港湾・航空技術研究所(海上技術安全研究所・港湾空港技術研究所・電子航法研究所)	継続

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

研究所の有効活用に向けた取組については、海上技術安全研究所の400m試験水槽及び電子航法研究所の電波無響室などにおいて、民間企業等の要望に基づき有償で研究所施設を利用させることにより、研究資金の確保にもつなげた。

### ③コミュニケーション・意見交換の場の設置

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

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

加えて、分野横断的研究に取り組みやすい環境を整えるため、内部特別予算を活用する目的で令和2年度に構築した、トップダウンによる「分野横断的研究推進会議」を令和4年度は3回開催し、3研の分野横断研究の発展に寄与した。

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

### ④その他研究マネジメントの充実に向けた取組

研究所の情報システムに関して、3研究所のネットワークシステム統合などの整備を実施し、平成31年1月から3研究所で同一のグループウェアの稼働を開始した。また、3研究所統一の新会計システムの整備を行い、平成31年4月から運用を開始し、管理業務の効率化及び経費のさらなる節減に貢献している。さらに、令和3年度からは電子入札システムを導入し、より一層効率化を図っている。そして令和4年度では、情報システムの整備強化による研究サポート体制の充実に図るため、情報セキュリティ委員会では扱うことが難しかった情報システムの整備及び維持管理について調整を行う情報システム委員会を設立した。(第2章1.(1)円滑な業務運営を参照)

一方、令和5年度からの第2期中長期計画の策定において、研究マネジメントの充実に図る取組に関して、業務管理を行う体制の機能強化などの、研究開発成果の最大化推進を踏まえた企画立案を行い、計画内容に反映させた。

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

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

#### (1) 海上輸送の安全の確保

海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。

#### (2) 海洋環境の保全

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

#### (3) 海洋の開発

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

#### (4) 海上輸送を支える基盤的技術開発

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

### 【中長期計画】

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

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

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

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

#### (1) 海上輸送の安全の確保

安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。

このため、以下の研究開発を進める。

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

#### (2) 海洋環境の保全

IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。

このため、以下の研究開発を進める。

- ①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発
- ②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発
- ③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

#### (3) 海洋の開発

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

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

このため、以下の研究開発を進める。

- ①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発
- ②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発
- ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

#### (4) 海上輸送を支える基盤的な技術開発

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

このため、以下の研究開発を進める。

- ① 海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発
- ② 海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発
- ③ 海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発

#### 【年度計画】

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

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

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

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

我が国海事産業の未来の産業創造と社会変革に向けたイノベーションの創出を目的に、民間・大学等を含めた海事クラスターで共通の・長期的に取り組む課題を実施するための共同研究プロジェクトに重点的に取り組むこととする。

##### (1) 海上輸送の安全の確保

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

また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。

さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。

このため、以下の研究開発を進める。

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

— 安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、DLSA システムの完成に向けた要素技術成果の統合化及びシステム化を行うために、流体構造強連成システムのプロトタイプを DLSA-AT に取り入れる。さらに、統合デジタルツインシステム(i-SAS)の実用化に向け、運航中の外航船にシステムを搭載して、データ収録機能、応力等の状態量標示機能及びデータ同化手法の精度等のシステム検証を行う。また、急速に需要が高まっている GHG 対応燃料の運搬船、燃料船をリスクベース設計するために必要なリスク評価技術を開発する。等

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

— 安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に対応する技術開発を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、交通流が交差するなど複雑な海域を対象とした新たな安全対策となる航路案の設計技術と衝突リスク評価技術の拡充、実船の停止性能を推定するための主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーションプログラムの開発、荒天下操船運動評価プログラムの高精度化、及び荒



天下操縦性能基準案のための技術資料の作成を行う。等

## (2) 海洋環境の保全

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。

また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。

このため、以下の研究開発を進める。

### ① 環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発

—SO<sub>x</sub> 規制対応燃料およびガス燃料の燃焼改善技術と着火性評価手法の提案・検証、並びに次世代燃料燃焼時に問題となる排出物の計測・分析技術を確立し削減対策を検討する。等

### ② 船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発

—実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発、及び実船スケールにおける波浪中のフリーラン計算手法の開発を行う。等

### ③ 船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発

—GHG 削減のための後処理技術によるメタンスリップ、N<sub>2</sub>O 等の削減方法の検討を行う。

—グリーン・イノベーションを実現するために、水素やアンモニア等の代替燃料の高負荷・高混焼率での燃焼安定化技術の開発、内航船・外航船のカーボンフリー燃料利用技術の検討を行う。

## (3) 海洋の開発

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

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

このため、以下の研究開発を進める。

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

—安全性及び経済性を両立させた海洋再生可能エネルギー発電デバイス(新浮体形式・制御法及び製造法等を提案)の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、合成繊維索を使用したウィンドファームに適した係留系を簡易的に設計・評価可能なツールの開発、風車設置船(SEP)の位置保持性能評価プログラムの開発、及び作業員輸送船(CTV)と風車タワーの接舷状態における波浪中動揺評価プログラムの検証を行う。等

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

—鉱物資源開発のための全体システムの稼働性評価プログラムと計画支援プログラムを統合した開発支援プログラムの構築、及び管内流のアスファルテン付着とガスハイドレート生成・分解モデルを構築するとともに、フローアシュアランス解析プログラムの開発を行う。等

### ③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発

－他機関の AUV を含めた複数 AUV を用いた基本隊列制御システムの有効性の検証、及び AUV-ASV 連結システム利用した洋上風力発電設備の海中部の遠隔点検試験等の提案・実証を行う。等

### (4)海上輸送を支える基盤的な技術開発

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

このため、以下の研究開発を進める。

#### ①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発

－造船の協業体制を構築するため、造船のデータ標準化のひな型を作成するとともに、造船 PLM システムのシステム開発を行い、建造シミュレータの接続等のデモの作成を行う。

－設計データ生成技術に関して、設計テンプレートや過去番船モデルのリユースを利用した、高速生成機能の開発を行う。

－建造シミュレーションシステムに関して、造船所の内業工程に着目したプロトタイプ版の開発を行う。等

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

－過去の検証結果より抽出されたセンサの異常判断や遠隔監視機能のユーザビリティなどの対策を施した自動化システム及び遠隔操船システムの実用技術の構築・検証を行う。また、自動運航船のシステム評価のため、総合シミュレーションシステムを用いた安全評価手法の構築を行う。等

#### ③海上物流の効率化・最適化に係る基盤的な技術に関する研究開発

－物資輸送に関する輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をするためのシステムの開発・改良を行う。また、港湾振興を担う地方自治体・団体等のニーズを踏まえて、貨物経路推定手法を用いた貨物の新規貨物発見及び既存貨物の特性分類を設定し、システムの改修を行う。

－開発した GHG 削減戦略評価プラットフォームを用いて、様々な代替燃料船の初期検討を行う。また、燃料供給インフラの位置、規模の最適化についての検討を行う。等

### ◆年度計画における目標設定の考え方

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

### ◆当該年度の取組状況

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

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

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

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

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>—安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、DLSA システムの完成に向けた要素技術成果の統合化及びシステム化を行うために、流体構造強連成システムのプロトタイプを DLSA-AT に取り入れる。さらに、統合デジタルツインシステム(i-SAS)の実用化に向け、運航中の外航船にシステムを搭載して、データ収録機能、応力等の状態量標示機能及びデータ同化手法の精度等のシステム検証を行う。また、急速に需要が高まっている GHG 対応燃料の運搬船、燃料船をリスクベース設計するために必要なリスク評価技術を開発する。等</p>

**研究の背景**

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

具体的には、以下があげられる。

- ・全船直接荷重構造強度評価システムの開発
- ・荷重・構造連成を考慮した数値解析手法の高度化及び極限波設定手法の開発
- ・最先端の疲労強度評価法の開発
- ・最先端の船体縦曲げ最終強度評価法の開発
- ・リスク及び Reliability ベースの ALS (Accidental Limit State) 設計手法の開発
- ・極限海象下での非線形流体－構造連成応答に関する実験的研究
- ・ハルモニタリングシステムの開発に関する研究
- ・AI を活用した運航・保守・設計支援
- ・船体構造デジタルツインの開発
- ・データ活用型の強度評価手法の開発

#### 期間全体の研究目標

- 全船荷重構造一貫解析システム(DLSA)の開発
  - ・統合プラットフォーム
  - ・CFD や粒子法を含む強非線形荷重評価システム、及び、流体構造連成解析手法、極限波設定手法、操船影響の評価法
  - ・二軸載荷条件下の疲労き裂成長評価技術、及び、き裂成長則の知見を統合した疲労強度評価法
  - ・流体・構造連成を考慮した波浪衝撃荷重推定法及び最終強度・残余強度評価法
  - ・信頼性ベースの強度評価手法
  - ・荒天下での船体耐力評価技術及びこれを検証するための水槽試験計測技術
- 船体構造デジタルツインの開発
  - ・ハルモニタリングシステムガイドライン
  - ・AI 等を活用した安全運航・効果的保守・最適設計の支援手法
  - ・船体構造デジタルツインシステム
  - ・データ活用による船体強度評価システム及び設計フィードバック手法

上記成果は、以下があげられる。

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

#### R4 年度研究目標

##### □小項目 1

- ・DLSA の用途・目的による分類を以下の表に示す。Basic 及び Professional は GUI を開発済である。造船所の需要が高いのは設計に直結する Basic である。

表 1 DLSA の分類

	用途・目的	作業時間
<b>DLSA-Basic</b>	・疲労/降伏/座屈 ・船級承認、notation取得	1週間以内
<b>DLSA-Professional</b>	・最終強度 ・設計、(事故調査)	2週間～
<b>DLSA-AT</b>	・最終強度/残存強度 ・事故調査、研究	1か月～

構造強度評価システムの開発にかかる本年度の研究目標は以下のとおり。

##### 【DLSA-Basic】

- ・強度評価機能の高度化、社会実装

#### 【DLSA-Professional】

- ・崩壊解析精度検証、社会実装

#### 【DLSA-AT】

- ・極限波浪中における構造応答のばらつきが海象推定に与える影響の解明
- ・船体運動－タンク内スロッシング荷重－構造応答の連成解析モデルの精度検証

#### 【最先端の要素技術の確立】

- ・重畳波を含む二軸荷重下の疲労強度評価シミュレーション手法の開発
- ・損傷・傾斜時の崩壊を再現可能な最終強度簡易推定手法を開発

#### □小項目 9

船体構造デジタルツインの開発にかかる本年度の研究目標は以下のとおり。

- ・船体構造デジタルツインの標準化  
ガイドライン化の検討、船上データ標準化
- ・船体構造デジタルツインシステムの構築  
実船でのシステム検証、システムのブラッシュアップ
- ・データ活用型の船体強度評価手法の開発  
実データを利用した設計用波浪荷重の設定手法の構築

### R4 年度研究内容

#### □小項目 1

##### 【DLSA-Basic】

- ・全船強度評価による二軸載荷の疲労寿命に及ぼす影響調査
- ・座屈強度評価機能追加・実装

##### 【DLSA-Professional】

- ・実船モデルでの解析安定性及び精度検証
- ・計算安定性の向上及び GUI の改良

##### 【DLSA-AT】

- ・極限波浪中における構造応答のばらつき(不確実性)が海象推定に与える影響(確率分布)を把握
- ・模型実験データによる双方向連成解析プログラムの精度検証、波条件によるスロッシング非線形影響把握

#### 【最先端の要素技術の確立】

- ・疲労亀裂伝播試験により既に蓄積したデータ・知見からシミュレーション手法の開発
- ・繰り返し実験の実施。傾斜角を変化させたシリーズ計算実施。傾斜角が崩壊挙動に与える影響を解明し、損傷時(傾斜及び開孔を考慮できる)最終強度簡易推定手法を開発

#### □小項目 9

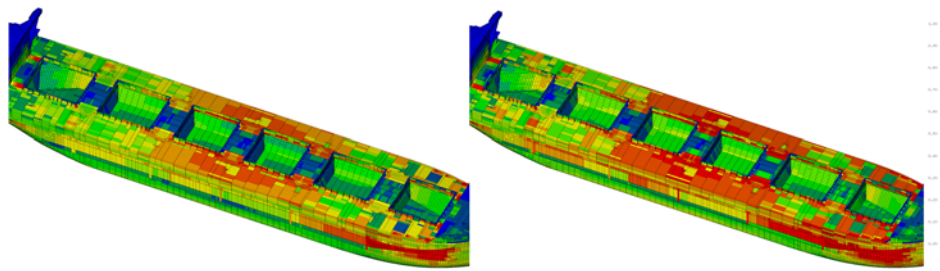
- ・船体構造デジタルツインシステムの認証用ガイドライン草案の作成
- ・船体構造デジタルツインシステムの実用化に向けた実船検証
- ・波浪データと AIS データを利用した確率論的アプローチによる設計波浪荷重の設定手法の提案

### R4 年度研究成果

#### □小項目 1

##### 【DLSA-Basic】

- ・全船有限要素モデルを対象にした腐食板厚衰耗を考慮した座屈強度評価機能を追加し、影響を調査した(図 1-1 参照)(降伏、疲労についても同様に評価可能)。本機能は造船所で使用された。

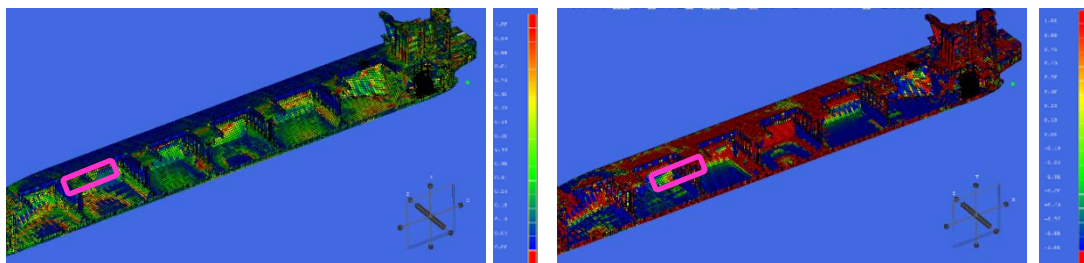


腐食前(gross 寸法)

腐食後(net 寸法)

図 1-1 長さ 240m 級のバルクキャリアの座屈評価の例 向波,波高 24m,波長船長比 1.1

- ・二軸応力条件下においては、主応力方向と直行する応力成分が疲労寿命に影響する場合があります。このとき、各二軸応力の大きさに加え、その位相差が疲労寿命に影響を及ぼす。そこで、二軸指標の全船マッピング結果として、応力振幅比に加え各軸の応力の位相差を表示する機能を実装した。二軸の応力が大きく、かつそれらが逆位相で作用する箇所においては、疲労強度評価上の注意が必要となる(図 1-2 参照)。



各軸の応力比

各軸の位相差

図 1-2 長さ 240m 級のバルクキャリア疲労強度への二軸の影響度指標

- ・線形ストリップ法/3D パネル法プログラム NMRIW-Lite に時間領域の不規則波中計算機能を追加し、かつ縦曲げモーメントがホギングとサギングで非対称になる等の船体形状による非線形性(形状非線形)を考慮したハルガーダ断面力を計算できるように改良した(図 1-3)。
- ・DLSA-Basic システムに船体 FEM モデルに作用するハルガーダ断面力を自動で計算する機能など、研究や設計における利便性向上につながる各種機能を追加した。
- ・DLSA-Basic システムのマニュアルを刷新し、使用法のフローチャートや詳細手順を追加することでユーザビリティを向上させた。
- ・線形ストリップ法/3D パネル法 Web アプリ版 NMRIW-Lite web に関する付属書「ハンズオンで学ぶ 波浪荷重解析」を作成し、造船所 1 社および 1 大学に対し講演を行った。

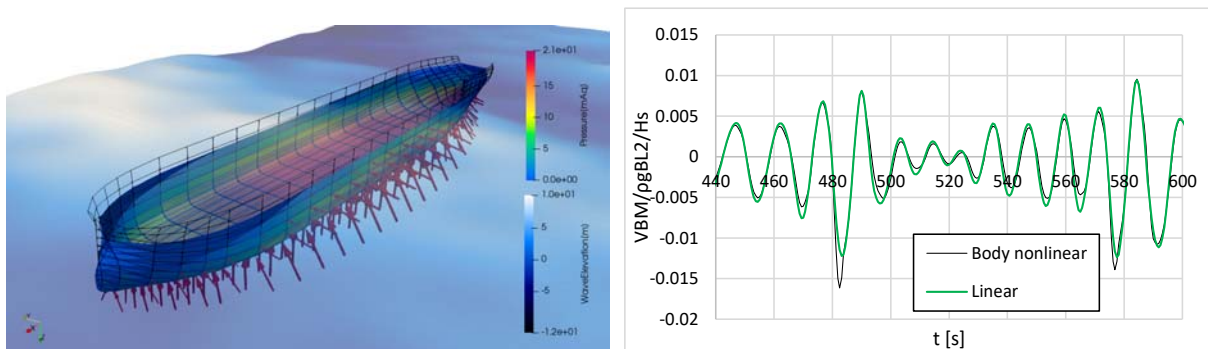


図 1-3 線形 3D パネル法の不規則波中解析(左)、及び形状非線形性を考慮した縦曲げモーメントの時系列(右)

【DLSA-Professional】

- ・実船モデルを対象に計算安定性を向上させるための計算条件を自動で設定できるようにした。また、線形解析用全船 FE モデルを対象に非線形解析用 FE モデルを自動で作成できるよう機能の向上を図った。合わせて、これらを GUI 上の簡便な操作で実行可能にした(図 1-4 参照)。

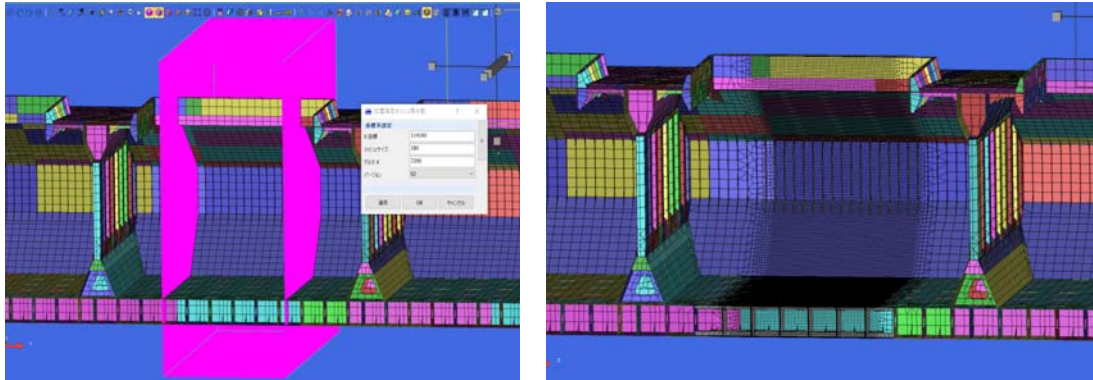


図 1-4 簡便な GUI 操作による非線形解析用 FE モデル作成

【DLSA-AT】

- ・船体運動や断面力等の船体応答の伝達関数の不確定性を考慮した計測応答からの波浪スペクトルの確率的推定法を構築した(図 1-5)。
- ・確率的波浪推定法に関連して、船速影響の考慮及び伝達関数の不確定性の一貫したモデル化法を考案した。
- ・重合格子対応非定常 Reynolds Averaged Navier-Stokes(URANS) ソルバーと Finite Element Analysis(FEA) の双方向連成環境を構築した(図 1-6)。
- ・非線形粒子法とパネル法(Hybrid 法)連成法と線形パネル法を用いて、LNG 模型船に対する二つ数値モデルを作成した。模型実験データによる二つ計算方法の計算特性と精度を検討した(図 1-7 参照)。

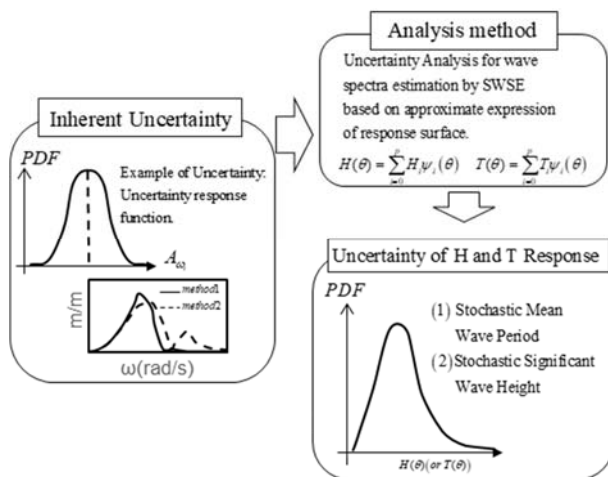


図 1-5 確率的波浪推定法

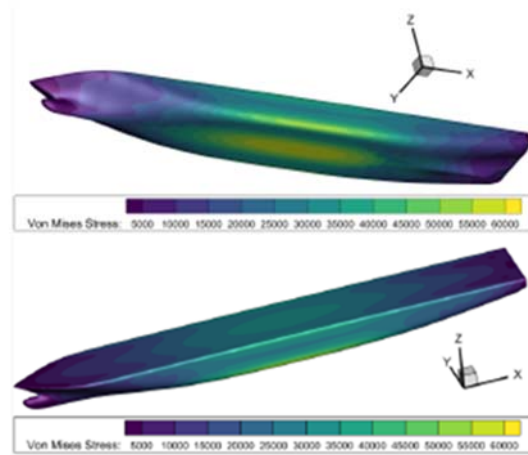
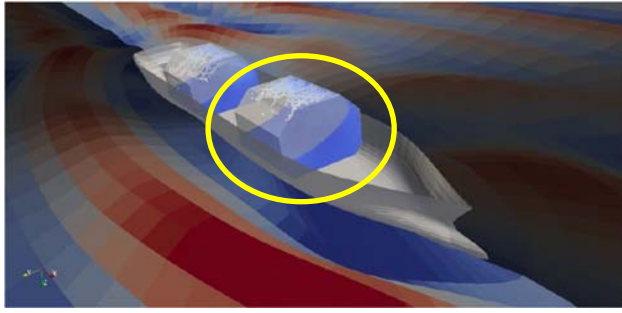
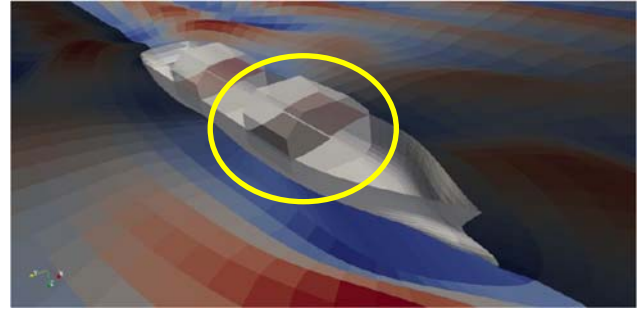


図 1-6 双方向連成による船体表面 Von Mises 応力の評価例



(a) Hybrid 法



(b) 線形パネル法

図 1-7 横波中での LNG 船タンク内流体力の数値解析結果の比較

- ・ICFD(Incompressible Computational Fluid Dynamics)コードを用いて、流体構造連成を考慮した実コンテナ船(8800TEU)の船型及びスケールでのバウフレア・スラミング解析を実施すると共に、粒子法の解析結果と比較検証を実施した(図 1-8、1-9 参照)。鉛直方向変位については、両手法で概ね良好な相関が得られることが分かった(図 1-10 参照)。加速度については、格子サイズや出力間隔等の検討が今後必要であることが分かった。
- ・スラミング解析の妥当性検証のため、コンテナ船船首の縮尺模型を 3 次元プリンタで製作し、水槽での落下実験を実施した。最先端の Bluetooth5.0 による無線式の加速度計を船体に埋め込み計測すると共に、現象把握のためバウフレアの水面突入状況を高速カメラで撮影した(図 1-11 参照)。将来的に、実験の解析検証を実施することが課題である。また、3 次元プリンタにより複雑形状の模型製作が有効であることが分かった。
- ・スプラッシュについて、船体周辺のみ格子サイズを若干 Fine にすることにより再現精度の向上が図られることが分かった(ICFD は、通常のオイラー格子と異なり、ラグランジュ格子であるため、局所的 Fine メッシュ化が可能である)。
- ・流体構造連成を解くための数値シミュレーションコードが整備され、かつ、計算機の性能が向上したことにより、数値水槽を用いた規則波中の実コンテナ船(弾塑性)の流体構造連成解析がロバストに計算できるようになった(図 1-12 参照)。ホイッピング等による船体折損メカニズム解明等のため、より長時間の計算ロバスト性を検証する必要がある、という課題を明確にした。



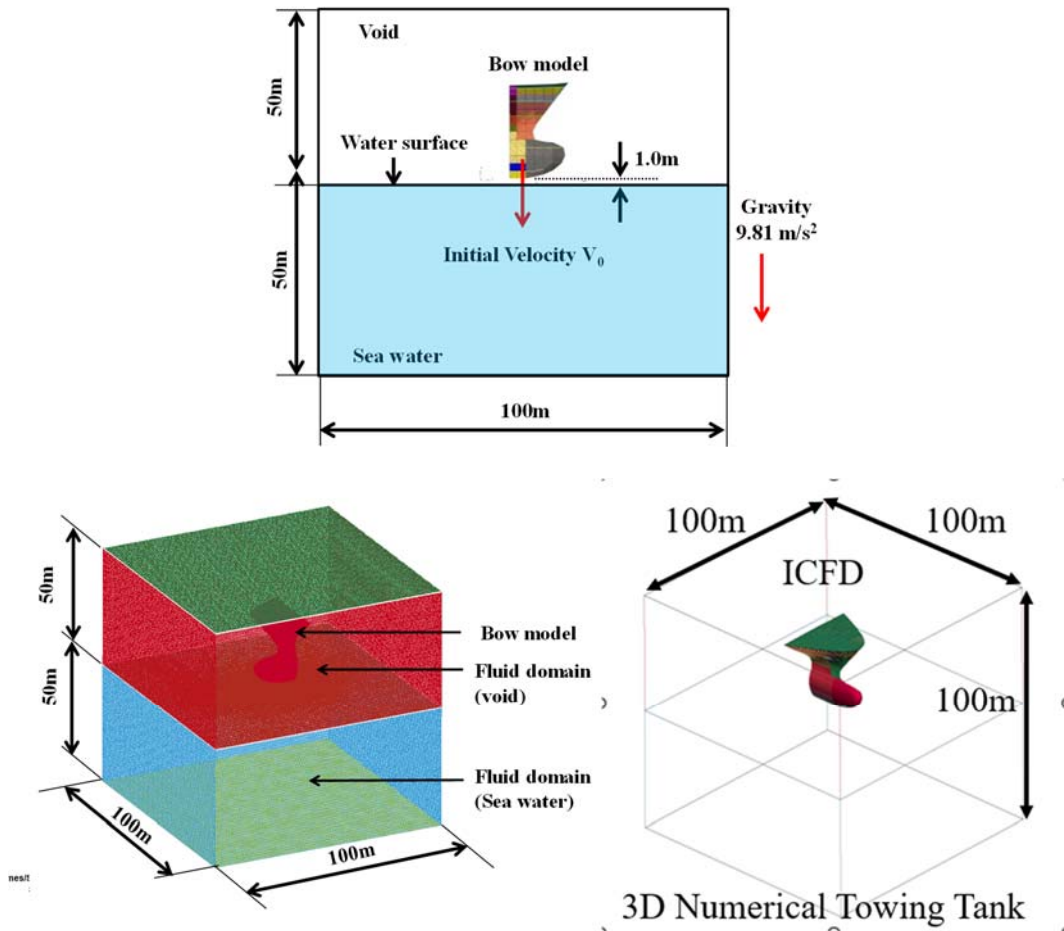


図 1-8 スラミング解析条件とモデル化の例(ICFD 解析の場合)

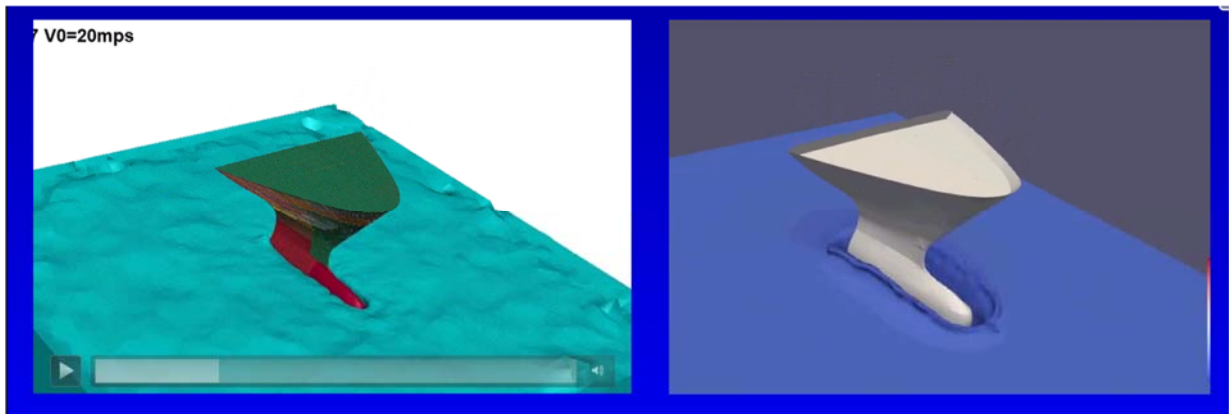


図 1-9 スラミング解析結果例(左:ICFD(流体構造連成)、右:粒子法(剛体))

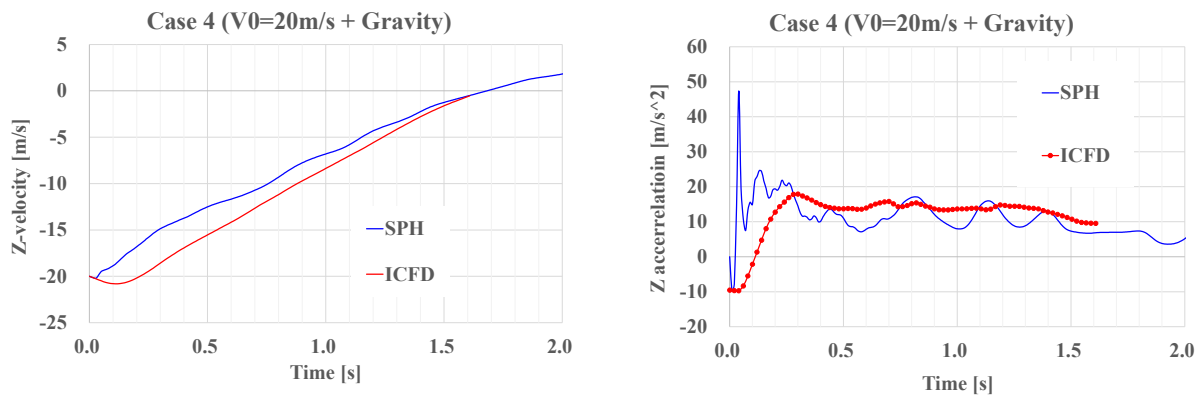


図 1-10 スラミング解析結果例(左:鉛直方向の速度の時刻歴、右:鉛直方向の加速度の時刻歴)

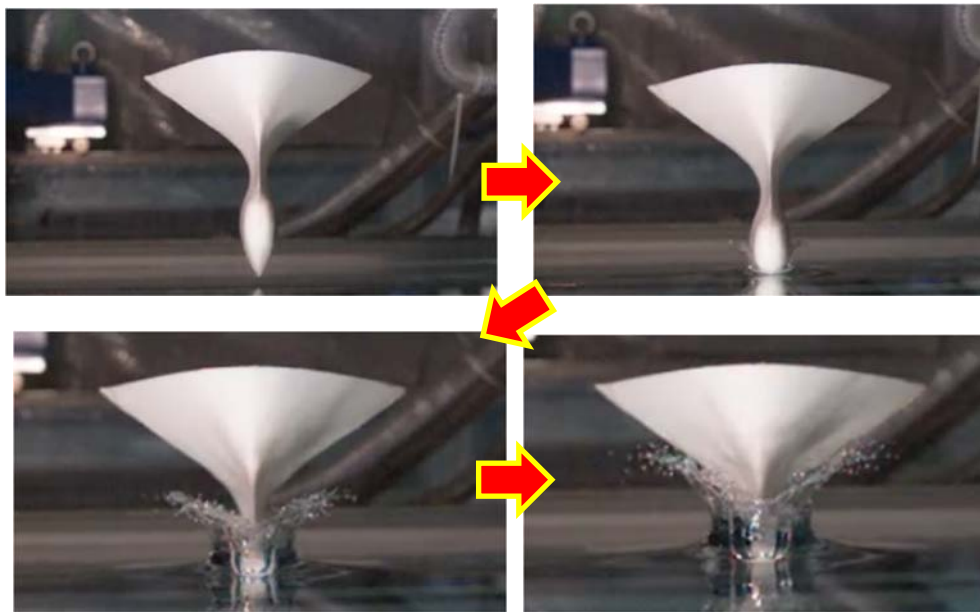


図 1-11 高速度カメラによるバウフレア模型の水面突入時の状況

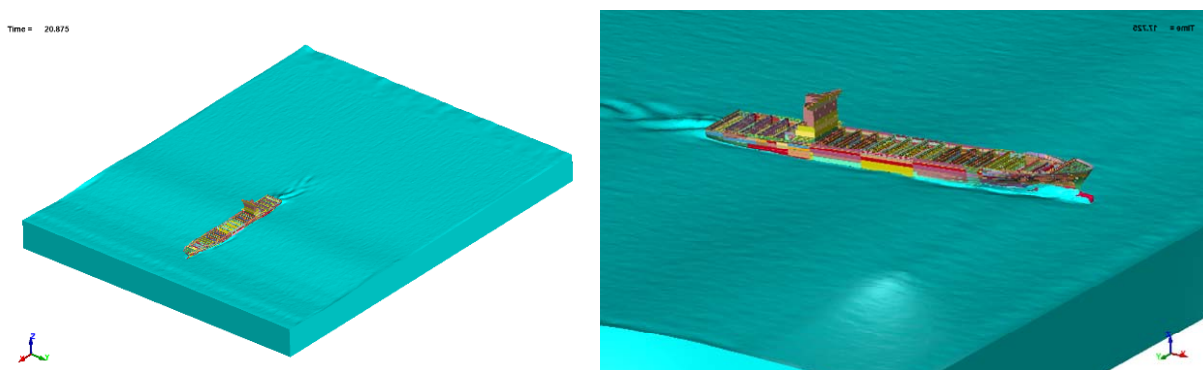


図 1-12 数値水槽を用いた規則波中のコンテナ船(弾塑性)の流体構造連成解析例(実スケール)

### 【最先端の要素技術の確立】

#### 重畳波を含む二軸荷重下の疲労強度評価法の開発

- ・二軸かつ重畳波条件下での疲労亀裂伝播挙動を推定可能なシミュレーション手法の開発を目的として、過去の試験により得られたデータ・知見を基に、数値解析による検討を実施した。疲労亀裂の進展には、疲労亀裂先端において塑性仕事が必要である。得られた試験結果によれば、高周波成分が疲労亀裂の成長に影響を与えていることから、高周波成分の繰り返しによって塑性仕事が行なわれていると推定される。したがって、高周波成分による塑性仕事の発生に関して焦点を当てた検討を行った。
- ・種々の検討の結果、高周波成分により生じる塑性仕事を考慮する必要があることがわかった。またこのとき、

高周波成分という比較的小さな振幅により生じる塑性仕事をシミュレーション上で表現するためには、亀裂開閉口モデルに使用している要素の加工硬化を適切に与える必要がある。これに対し、現在のシミュレーションでは、弾完全塑性体をベースとして簡易的な考慮のみを行っていることから、要素の加工硬化を詳細に考慮可能なモデルを構築した(図 1-13 参照)。しかしながら、シミュレーションへの実装には至っていない。

- シミュレーションへの実装には、高周波成分により疲労亀裂先端に生じる塑性仕事量と疲労亀裂進展量の関係を明らかにする必要がある。このためには、実験によって当該挙動を直接観察・測定して実現象を把握する必要があるが、現有の試験システムでは実施が困難であったことから、今後の課題として整理した。

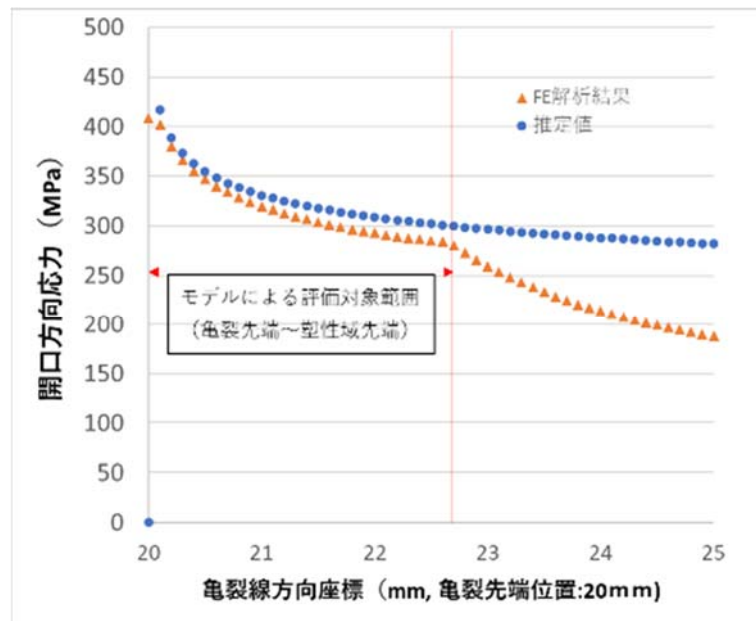
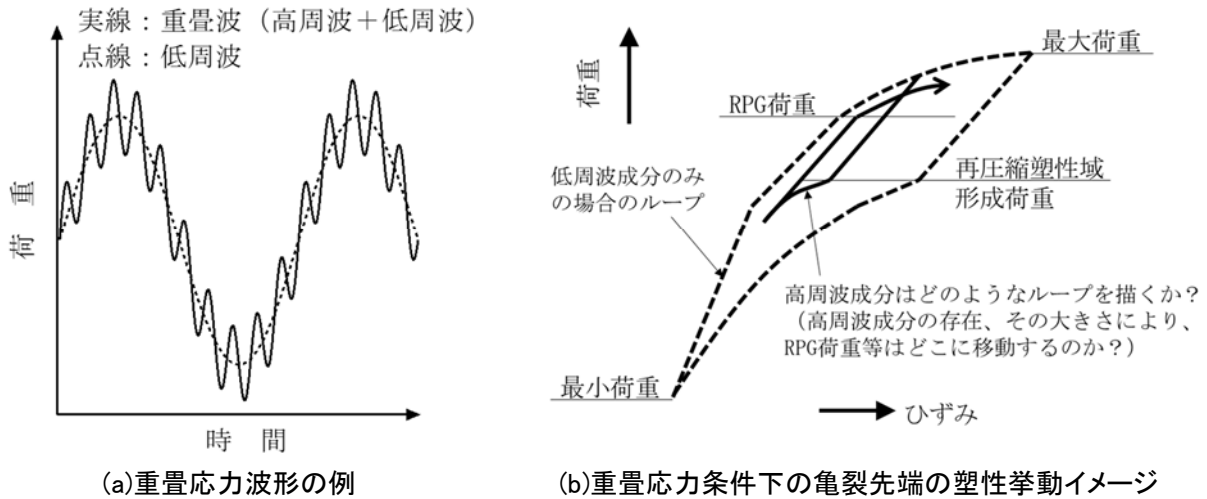


図 1-13 重畳応力条件下の加工硬化考慮可能なモデル

#### 損傷時傾斜を考慮した繰返し荷重を受ける船体崩壊挙動の実験的解明

- 傾斜角を変化させた損傷ボックスガーダーの崩壊解析を行い、傾斜に対する崩壊挙動と最終強度の変化について明らかにした(図 1-14)。損傷した左右非対称な断面に対応した Smith 法(簡易縦曲げ最終強度推定法)を用いた計算を行い、FEM 解析結果と同程度の精度かつ簡易的に推定を実施できることを確認した。
- 引張圧縮荷重試験が可能な治具および小型防撓パネル試験体の設計・製作および実験を実施した(図 1-16(a))。最終強度後に繰返し荷重を与え、圧縮片振りの場合はほとんど変化が現れなかったが、圧縮引張

の荷重の場合(図 1-16(b))は、繰返し荷重により徐々に強度が低下していくこと、圧縮から引張へ荷重を  
 載荷する時に剛性が急激に低下すること、等の崩壊挙動が明らかになった。前者は繰返し材料特性による  
 影響、後者は塑性域の拡がりが主に関係している現象であることが明らかになった。

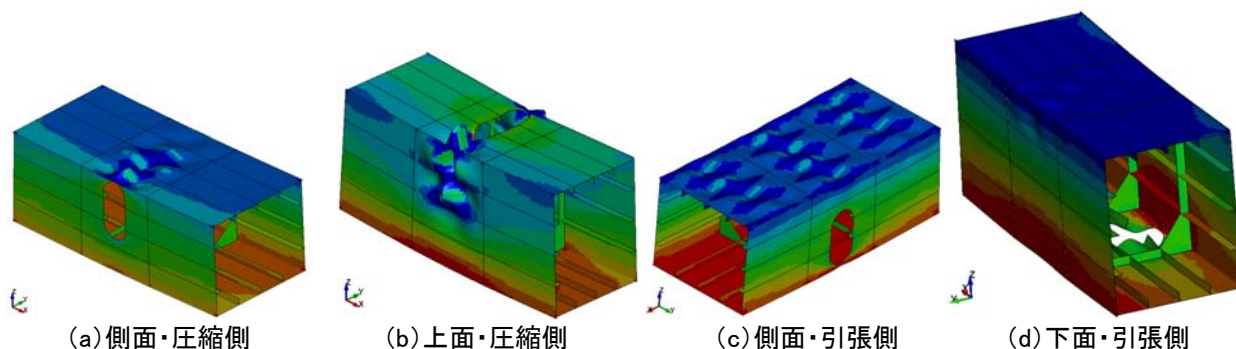


図 1-14 最終強度時の X 軸方向応力(変形 10 倍表示、(a)~(d): 開口部の位置)

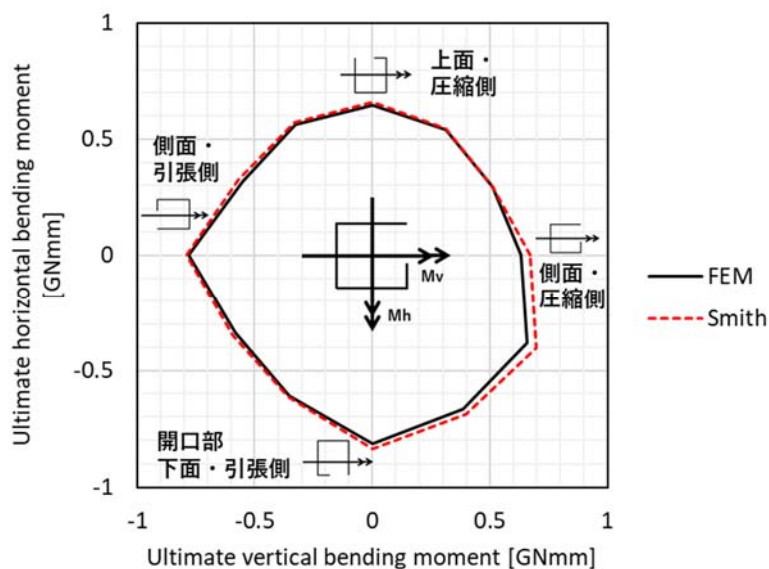
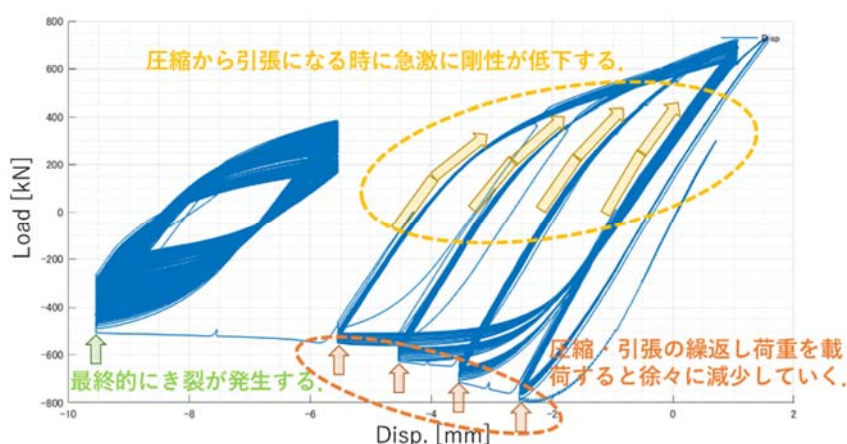


図 1-15 傾斜角を変化させた損傷ボックスガーダーの最終強度曲線



(a) 試験体



(b) 実験結果(荷重変位曲線)

図 1-16 繰返し圧縮引張荷重を載荷した防撓パネル実験および実験結果

## □小項目 9

- ・ISO19848(Standard data for shipboard machinery and equipment) Annex(Local ID definitions)における、ハルモニタリングデータに関する標準 ID(計測項目や構造部位の Naming Rule)を作成した。船級ガイドライン「NK 船体構造モニタリングガイドライン」において使用されている。
- ・デジタルツインシステム i-SAS を就航中の鉱石運搬船に実装して、少数の計測データから船体全域の応力を推定するデータ同化型プログラムを実船で利用でき、i-SAS が安全支援システムとして有効に機能することを検証した(図 9-1)。
- ・デジタルツインシステムで取得した応力データを用いて波浪逆推定データ同化手法の有効性を検証した。手法の有効性が示されたことにより、必ずしも計測をしていない任意の構造部材の応力スペクトルを取得することを可能にした。ベイズ推定を適用することにより座屈や疲労被害を予測することができ、損傷防止が図られる。(図 9-2)
- ・日本気象協会が提供する波浪追算による 2 次元波スペクトルを用いて波浪縦曲げモーメントの長期予測を行ない、IACS 推奨の波スペクトルによる予測値と比べて、長期最大期待値で約 6%、疲労被害度で約 20% 大となる結果を得た(図 9-3)。2 次元波スペクトルを用いて波浪荷重を推定する手法を特許出願した。
- ・全球海域の AIS データと波浪推算データを用いて、就航中のコンテナ船、バルクキャリア、オイルタンカー(計 17500 隻)を対象に、遭遇波高に対する操船影響と波浪荷重(縦曲げモーメント)に対する操船影響を調べた。波浪荷重への操船影響は、遭遇波高への操船影響と比べて小さく、構造強度設計において注意する必要があることを示した。

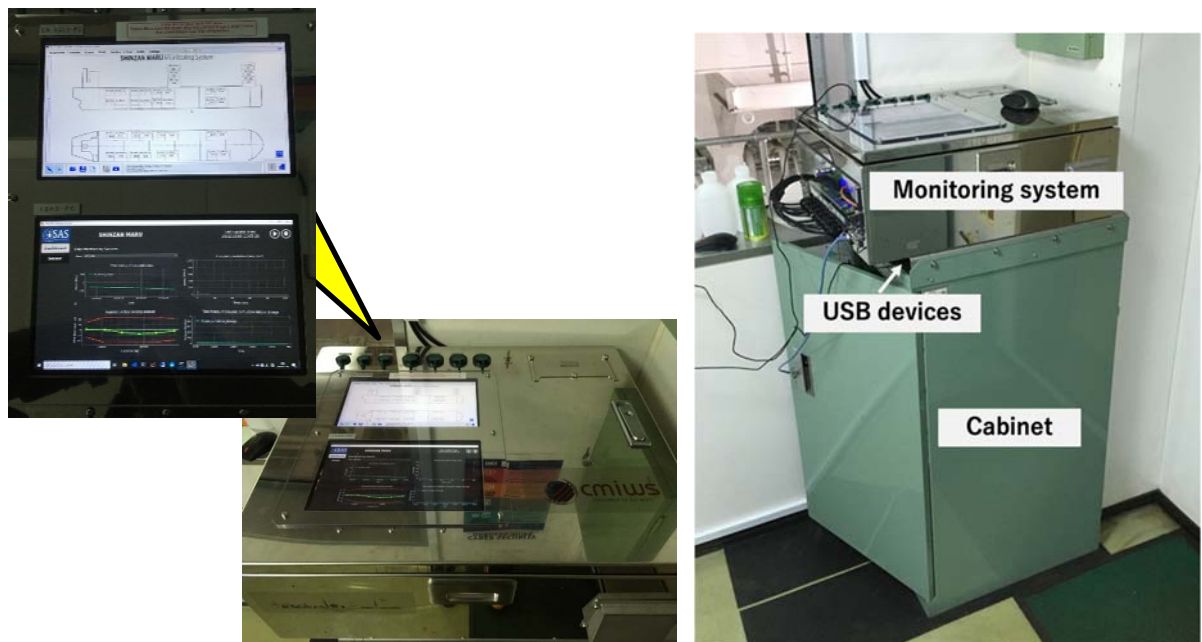


図 9-1 実船に搭載した i-SAS システム及びデータ同化手法の解析結果表示画面の例

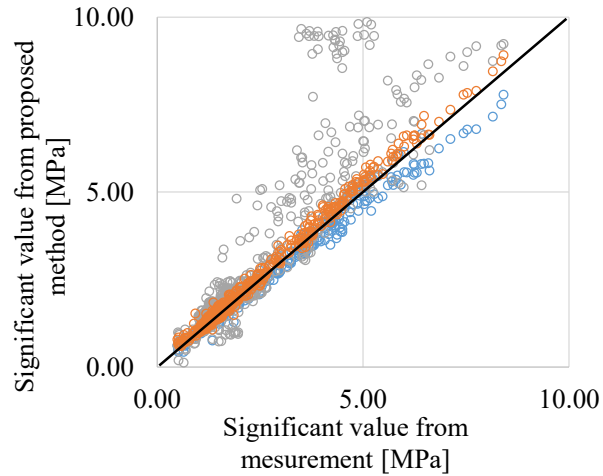


図 9-2 バルクキャリアの航路及び波浪逆推定手法による船体応力の検証結果  
 (グレー: 気象機関の波浪推算データに基づく推定結果、  
 ブルー: 計測 6 点のパワースペクトル及びビクロススペクトルを用いた推定結果、  
 オレンジ: 計測 6 点のパワースペクトル及び取捨選択した 3 点のクロススペクトルを用いた推定結果)

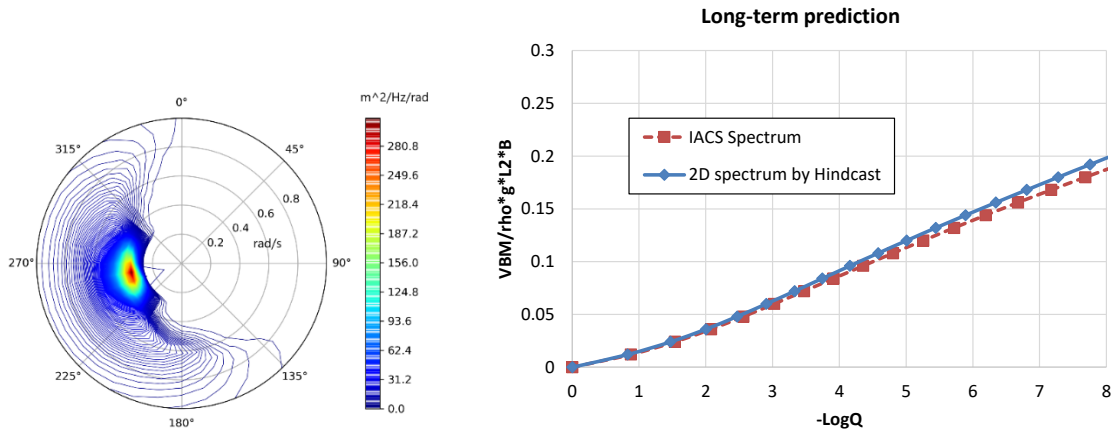


図 9-3 2次元波スペクトル及びこれを用いてポストパナマックス型コンテナ船の縦曲げモーメントを長期予測した結果

R4 年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 16 件(投稿中: 6 件、採択済: 3 件、掲載済: 7 件)

【小項目 1】

- Sadaoki Matsui: Practical Estimation Method for Extreme Value Distribution of von Mises Stress in Ship Structure, Journal of Marine Science and Technology (2022). (掲載済)
- Sadaoki Matsui: Practical Method for Statistical Prediction of Nonlinear Failure Function of Linear Load Factors –Application to Buckling Failure Evaluation of Plates in Ship Structures–, Marine Structures (2023). (投稿中)
- Sadaoki Matsui, Kyohei Shinomoto, Kei Sugimoto: Simplified Estimation Formula for Frequency Response Function of Roll Motion of Ship in Waves, Ocean Engineering (2023). (採択済)
- Sadaoki Matsui, Kyohei Shinomoto, Kei Sugimoto: Study on Simplified Estimation Formulae for Long-term Predictions of Ship Response in Waves –Application to Vertical Bending Moment–, Marine Structures (2023). (投稿中)

- Chen, X., Takami, T., Oka, M., et al.: Stochastic Wave Spectra Estimation (SWSE) Based on Response Surface Methodology Considering Uncertainty in Transfer Functions of a ship, Marine Structures. (採択済)
- 陳曦, 高見朋希, 岡正義, ほか: 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, 日本船舶海洋工学会論文集(2023).(投稿中)
- Liu, X., Okada, T., Chen, X., et al.: Estimation of Directional Wave Spectra Using a Wave Height Sensor and Stress Sensors on Board a Large Container Ship, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, pp.565-572 (2022). 共著(掲載済)
- Kubo, H., Okada, T., Chen, X., et al.: Bayesian Updating of Estimated Parameters Representing Multi-Modal Directional Wave Spectrum Using Measured Ship Hull Stresses, 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE) (2023). 共著(採択済)
- Sumit Kumar Pal, Tomoki Ono, Tomoki Takami, Akira Tatsumi, Kazuhiro Iijima; Effect of springing and whipping on exceedance probability of vertical bending moment of a ship, Ocean Engineering, 266, 112600.(2022). (掲載済)
- Ma, C., Oka, M., : Numerical Research on the Nonlinear Response of The Ship in Severe Waves Based On SPH, Proceedings of the 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference(ISOPE)(2023). (投稿中)
- Komoriyama, Y. , et al. : Ultimate longitudinal bending strength of damaged box girder in upright and inclined conditions – Model experiment and numerical analysis –(ICCGS)(2023).(投稿中)
- Yamada, Y. and Ma, C., 2022, “APPROACH TO SIMULATE FLUID-STRUCTURE INTERACTION OF A SHIP IN 3-DIMENSIONAL NUMERICAL TOWING TANK”, Proceedings of OMAE-2022-78638(2022年6月に OMAE-2022 で発表+Proceedings 掲載済).(掲載済)

#### 【小項目 9】

- Oka, M., Ma, C. : Long-term prediction for vertical bending moment utilizing the AIS data and global wave data, Journal of Marine Science and Technology (JMST) (2023). (投稿中)
- 岡正義, 陳曦, 馬沖: 波浪追算による 2次元波スペクトルを利用した波浪荷重推定, 日本船舶海洋工学会論文集, 第36号, pp.125-135 (2022). (掲載済)
- 小森山祐輔ほか、船体構造デジタルツインシステムの開発と水槽試験による検証, 海上技術安全研究所報告第22巻別冊 pp.63-68 (2022).(掲載済)
- Y., Komoriyama, K., Iijima, A. Tatsumi, M., Fujikubo, Identification of wave profiles encountered by a ship with no forward speed using Kalman filter technique and validation by tank tests – long-crested irregular wave case –, Ocean Engineering 271 113627-113627(2023).(掲載済)

#### □その他発表論文:9件(投稿中:3件、掲載済:6件)

#### 【小項目 1】

- 松井貞興: 船体構造のパネル強度評価の統計予測に基づく計算法, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.35 (2022). (掲載済)
- Shoeba, I., Kawamura, Y., Okada, T., Chen, X., et al.: Development of CNN-Based Sea State Estimation for Tank Test Data Considering the Uncertainty of Measurement Data, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第35号, pp. 585-592 (2022). (掲載済)
- Liu, X., Okada, T., Chen, X., et al.: Estimation of Directional Wave Spectra Using a Wave Height Sensor and Stress Sensors on Board a Large Container Ship, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第35号, pp. 565-572 (2022). (掲載済)
- 松井貞興: 船体に働く非線形波浪荷重の二次応答関数を用いた 統計予測法に関する検討, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.36 (2023). (投稿中)
- 大橋ほか: 流体構造連成による波浪中での船体運動と応力解析, 第36回数値流体力学シンポジウム (2022).(掲載済)

- ・陳曦, 高見朋希, 岡正義:主成分分析による応答関数の不確定性を考慮した波浪情報の不確定性解析, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.36 (2023).(投稿中)

#### 【小項目 9】

- ・小森山祐輔、飯島一博、辰巳晃、藤久保昌彦、カルマンフィルタ法による船体応答を用いた波プロファイルの同定—長波頂不規則波の場合—, 日本船舶海洋工学会講演論文集 vol.36 (2023). (投稿中)
- ・岡正義、船体構造のデジタルツイン技術について、今治地域造船技術講演会(2022).(掲載済)
- ・日本船舶海洋工学会 JSSC 委員会:第 21 回国際船舶海洋構造会議(ISSC2022)出席報告、日本船舶海洋工学会誌 KANRIN 第 106 号, pp.36-47. (2023). (掲載済)

#### □特許申請: 2 件

- ・船舶の波浪応答推定方法、波浪応答推定プログラム、波浪応答推定システム、及び船舶 : 岡正義、陳曦 (特願 2022-190686)
- ・波浪画像認識利用方法、波浪画像認識利用プログラム、波浪画像認識利用システム、及び波浪画像認識操船シミュレータ : 岡正義、馬沖、小森山祐輔(特願 2023-029969)

#### □コアプログラム登録: 1 件

- ・「船上モニタリング用マルチユーザ・フレキシブル・遠隔監視システム」(NMRI-iSAS)P 第 11237 号-1, R4.6.3: 馬沖他

#### □国際貢献: 3 件

- ・ISSC/ I.2 Loads committee 委員 (ISSC2022 への出席、Proceedings の作成等)(岡)
- ・ISSC/ II.2 Dynamic Response committee 委員 (ISSC2022 への出席、Proceedings の作成等)(山田)
- ・ISSC/ VI.1 ISSC-ITTC Cooperation 委員 (2022 への出席等)(高見)

#### □受賞: 2 件

- ・「海の日」海事関係功労者国土交通大臣表彰 「船舶の設計効率を大幅に改善させる DLSA-Basic:(全船荷重構造解析並びに強度評価システム)を開発・実用化し、我が国造船業の国際競争力の向上に寄与した功績が高く評価された」(村上睦尚、松井貞興、林原仁志、笛木隆太郎、2022.7.18)
- ・理事長表彰 「船舶DXを指向した船体構造デジタルツインの開発に貢献した功績」(高見、馬、陳、小森山、岡)(2022.12)



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

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

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>－安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、DLSA システムの完成に向けた要素技術成果の統合化及びシステム化を行うために、流体構造強連成システムのプロトタイプを DLSA-AT に取り入れる。さらに、統合デジタルツインシステム(i-SAS)の実用化に向け、運航中の外航船にシステムを搭載して、データ収録機能、応力等の状態量標示機能及びデータ同化手法の精度等のシステム検証を行う。また、急速に需要が高まっている GHG 対応燃料の運搬船、燃料船をリスクベース設計するために必要なリスク評価技術を開発する。等</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p> <p>－安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に対応する技術開発を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、交通流が交差するなど複雑な海域を対象とした新たな安全対策となる航路案の設計技術と衝突リスク評価技術の拡充、実船の停止性能を推定するための主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーションプログラムの開発、荒天下操船運動評価プログラムの高精度化、及び荒天下操縦性能基準案のための技術資料の作成を行う。等</p>

## 研究の背景

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

具体的には、以下があげられる。

- ・ GHG 対策のための代替燃料等に係るリスク評価手法の開発とリスクに基づく設計、運用基準等の策定に関する研究
- ・ 新規燃料、新形式船等に係る船体構造のリスクベース設計・信頼性評価手法の開発
- ・ 船舶交通流の制御とリスク評価に関する研究
- ・ 無人運航船の安全性評価に関する研究

## 期間全体の研究目標

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

上記成果は、以下があげられる。

- ・ リスクベース船舶設計ガイドライン等の実用化、安全基準の策定により社会実装を阻害するリスク要因が制御されることで、新規コンセプト船等の安全確保に寄与し社会実装を促進する。
- ・ 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。水素等の新たな貨物、プロパン等の新規の低引火点燃料については、IMO 等でも議論され、期待されているところであり、安全基準、リスクベース船舶設計ガイドラインは十分意義がある。
- ・ 準ふくそう海域での安全対策の実現により、海難事故を減少させ、安全安心な社会を実現する。
- ・ 無人運航船の安全確保に寄与し、社会実装を促進する。

## R4 年度研究目標

### □ 小項目 1

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

### □ 小項目 2

- ・ 液化水素運搬船のリスク評価手法を体系化する。規則・ガイドラインへフィードバックすべき事項を抽出する。

### □ 小項目 3

- ・ 複数の安全対策構築のための技術を包括し、立案支援手法の体系化を行うとともに、海域リスク評価手法を構築する。

### □ 小項目 4

- ・ 無人運航船の安全評価ガイドライン案を作成する。

## R4 年度研究内容

### □小項目 1

- ・新たな低引火点燃料船に係る評価技術開発と新規貨物・燃料等に対応した安全基準の策定。
- ・内航海運のカーボンニュートラル実現に向けた代替設計承認のための安全性評価手法の構築
- ・液化水素運搬船のリスク評価手法の体系化とパイロット(試行)船の運航を踏まえた暫定要件レビューの実施。

### □小項目 2

- ・水素爆発(爆轟(ばくごう))による鋼板破壊実験の結果の検証。
- ・EU プロジェクトでの LNG 船のリスク・モデル(イベントツリー・モデル)を準用したリスクモデル(BN)の拡張。

### □小項目 3

- ・安全対策構築のための立案支援手法の体系化。
- ・海域の衝突リスク評価手法の拡張。
- ・海域リスクの低減のためのビッグデータ、AI の海域管理への活用方法の検討。

### □小項目 4

- ・無人運航船の安全評価ガイドライン案の作成。
- ・自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書の作成。
- ・無人運航モデル船の定量的リスク推定手法構築と、旅客船と貨物船のリスクの差の推定。

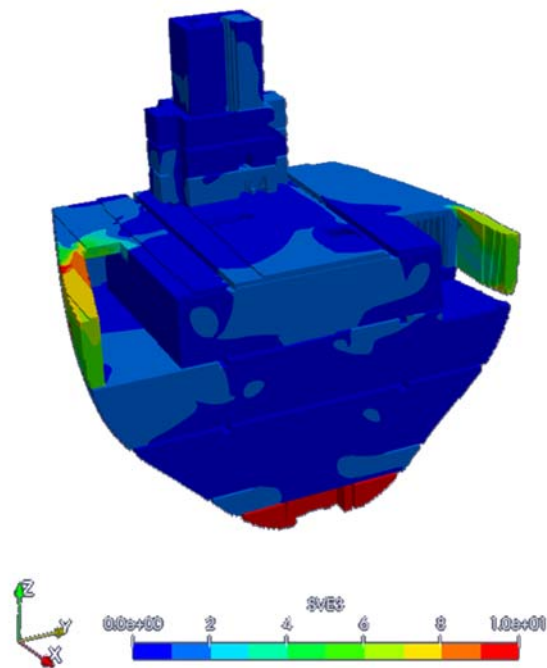
## R4 年度研究成果

### □小項目 1

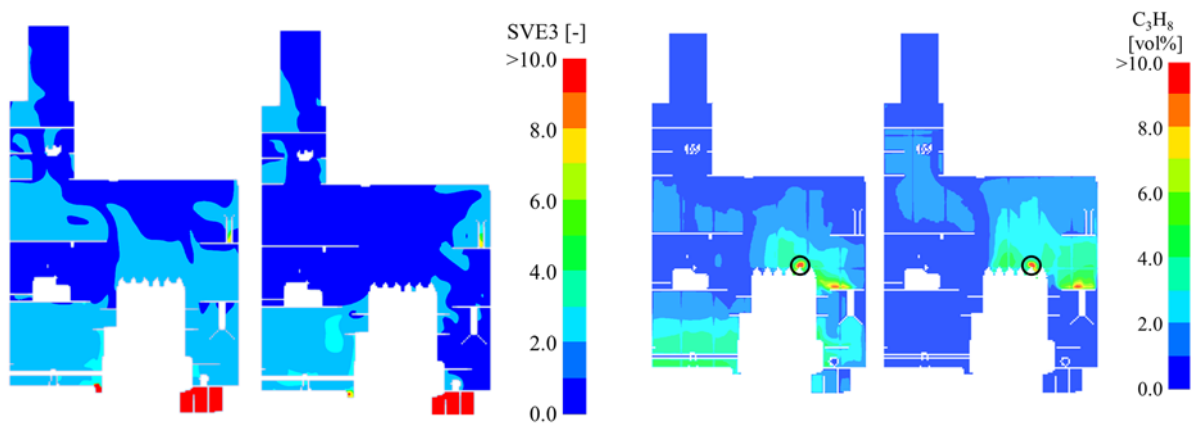
- ・新たな低引火点燃料船に係る評価技術開発と新規貨物・燃料等に対応した安全基準の策定
  - ・低引火点燃料を使用する機関室における火災安全対策として、国際ガス燃料船安全コード(IGF コード)では 30 回/h の換気を行うことが求められる。一方、広大かつ様々な機関設備が存在する機関室内の気流場は複雑となるため、瞬時拡散・一様分布を仮定する簡易手法では局所的な滞留のおそれがある場所を特定するための空間的な換気効率の評価を行うことが困難である。そこで、東京大学の村上らが提案している陸上建築物において用いられる換気効率指標(SVE: Scale of Ventilation Efficiency)を用いた、機関室の換気効率評価について検討を行った。換気口より供給される新鮮な空気を基準値 0 として、任意の地点における空気の汚染度をあらかず空気齢に相当する SVE3 の評価を行った。OpenFOAM を用いて事前に気流場解析を行い、定常状態の気流場のもと汚染物質濃度に相当するパッシブスカラーの移流拡散現象を解く。その際、OpenFOAM のパッシブスカラー移流拡散ソルバーは渦粘性係数を必要としないため、乱流拡散現象は考慮することができない点が機関室の換気場の解析に適さないと判断した。そこで、渦粘性の影響を考慮するための修正をソースコードに組み込んだソルバーを作成し、乱流拡散の影響を考慮した SVE3 の算出を実施した。図 1-1(a)に示すとおり、機関室内の空間的な空気齢相当の分布を解析できることを確認した。既報のプロパンガス漏えい・拡散解析結果(図 1-1(c))と SVE3 分布(図 1-1(b))を比較すると、(b)の評価で換気効率が悪い換気ダクトの向きが水平方向の場合において、よりプロパンガスが滞留する結果となっていることから、SVE3 指標を用いた換気効率評価の有効性が確認できた。
- ・内航海運のカーボンニュートラル実現に向けた代替設計承認のための安全性評価手法の構築
  - ・国内物流を支える内航海運のカーボンニュートラル実現に向けた環境整備の一つとして、国交省の「水素燃料電池船の安全ガイドライン」(以下、安全ガイドライン)の見直しが進められている。現行のガイドラインは低温液化ガス・大型船を対象とする IGF コードを基に作成されており、火災安全・防爆、タンク位置、バンカリングなど圧縮ガス・小型船への適用が困難な安全要件が含まれている。このような背景のもと、代替設計承認のための安全評価手法の構築を目的に、燃料タンクの代替設計に係るリスク評価手法を新規に開

発するとともに、そのリスク評価手順書を作成した。またこの手順書に基づく計算プログラムを作成した(図 1-2)。

- ・水素燃料電池船が火災時に燃料である水素をベント放出する際の拡散性状について、ワークステーション等の高性能計算機を用いることなく簡便に予測する拡散解析モデルを開発した。開発したモデルは、日本船舶技術研究協会の調査研究事業において内航の燃料電池船のベント配置に関する代替設計の同等安全性証明のための標準手法に適用された。
- ・液化水素運搬船のリスク評価手法の体系化とパイロット(試行)船の運航を踏まえた暫定要件レビューの実施
- ・現在、国際的なガイドラインである、「ばら積み液化水素の運搬に関する暫定勧告」について、IMO の貨物運送小委員会 (CCC: The Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers) にて見直し作業を行っている。この中で、海技研は国際的な議論を主導すべくフォーカルポイントを務め、これまでに蓄積したパイロット(試行)船等の情報を踏まえた見直し案への反映を実施した。本件は、2023 年度も継続して実施される予定である。



(a) SVE3 の空間分布の 3D 表示  
(青: 換気良、赤: 換気不良)



(左) 水平方向 (右) 下向き  
(b) 換気ダクトの向きの違いによる  
船体中央断面における SVE3 分布の比較  
(青:換気良、赤:換気不良)

(左) 水平方向 (右) 下向き  
(c)換気ダクトの向きの違いによる  
船体中央断面におけるプロパンガス濃度分布の比較  
(黒丸部:流出源を示す)

図 1-1 機関室内の空間的な空気齢相当(SVE3)の分布

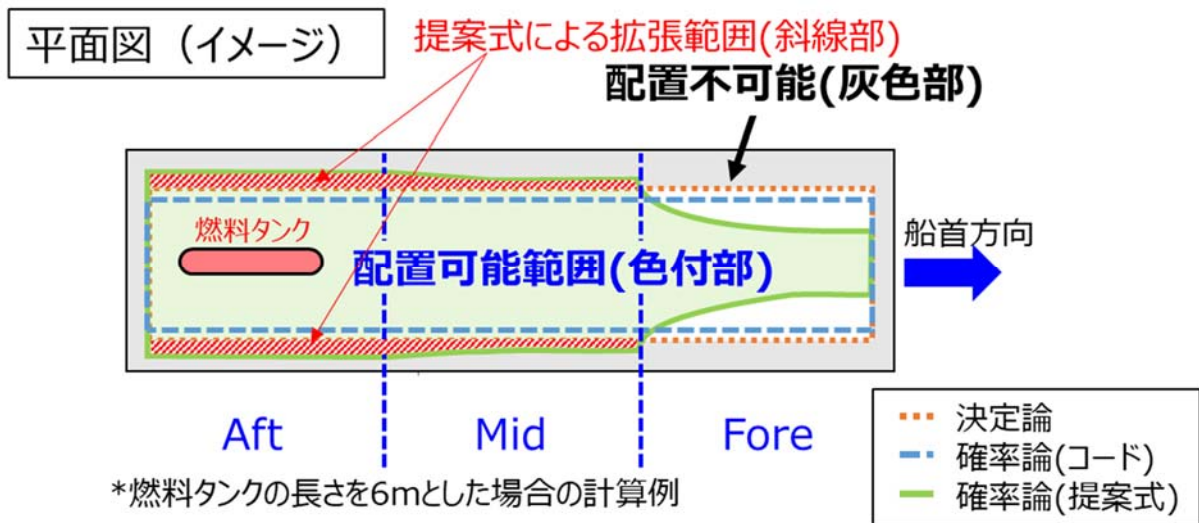


図 1-2 同等安全性証明のための燃料タンクの配置の代替設計に係る評価例  
(本条件では、赤色斜線部で(中央部～後部で)タンク配置の設計自由度が高くなると試算)

## □小項目 2

- ・水素爆発(爆轟(ばくごう))による鋼板破壊実験の結果を検証し、水素爆燃・爆轟への遷移過程の撮影に成功すると共に、爆轟現象における衝撃波先端が平面になることを実験的に確認した。衝撃波の鋼板への入射反射及び鋼板構造応答の様子を高速度カメラ等で計測した。また、爆轟による鋼板変形メカニズム解明のために、塑性変形鋼板の3次元計測を実施し、詳細な鋼板変形状況を明らかにした。
- ・船内の閉空間(Closed space)で水素爆轟が生じた場合、爆轟による衝撃波が構造物壁面で反射を繰り返し、衝撃波が複数回構造物壁に衝突することが分かった。今後、水素爆轟によるリスク評価実施に際しては、反射波の影響、複数回の衝撃影響も一定程度考慮する必要があることが分かった。
- ・水素爆轟の実験的検証により、発生する最大圧力値レベル、構造被害度に関する定量的なデータが得られた。
- ・EU プロジェクトでの LNG 船のリスク・モデル(イベントツリー・モデル)を拡張して、液化水素運搬船の衝突、座礁、爆発時等の Coarse リスク・モデル(ベイジアンネットワーク)を構築し、リスク・モデルを拡張した。

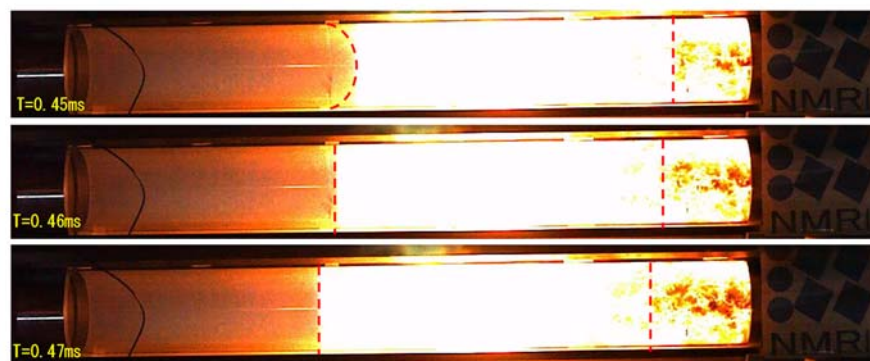


図 2-1 高速度カメラによるアクリル管内の水素爆轟現象の可視化、  
爆燃・爆轟遷移に伴う衝撃波先端形状の変化

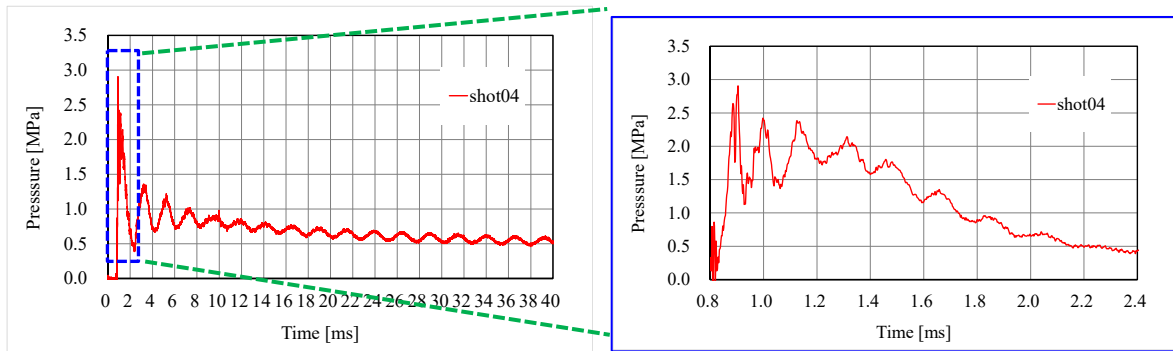


図 2-2 爆轟による管内圧力(管側面鋼板側)の時刻歴の例

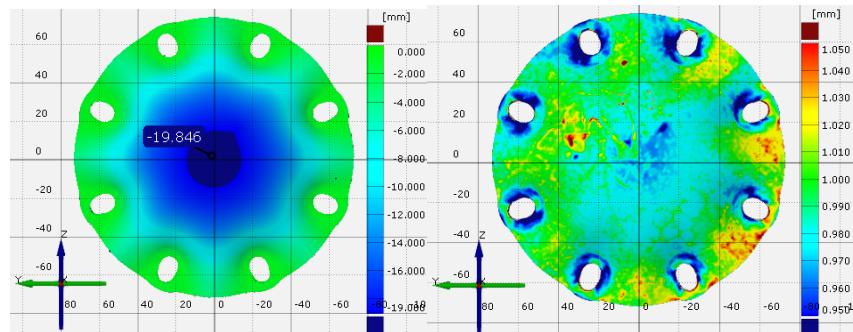


図 2-3 爆轟により塑性変形した鋼板の最大変形量及び板厚のコンター図例

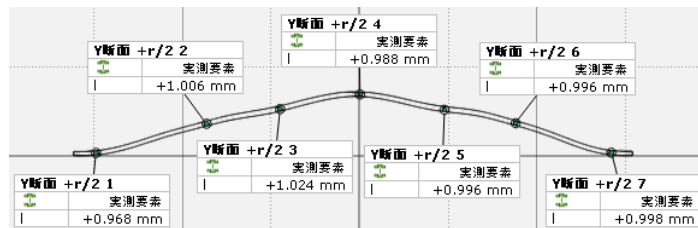


図 2-4 断面の板厚値例

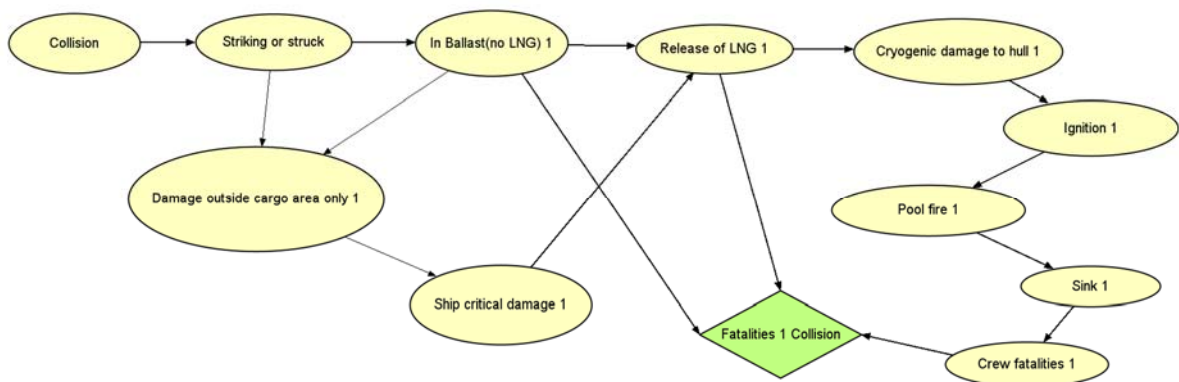


図 2-5 ベイジアンネットワーク(BN)による液化水素運搬船の衝突時のリスク・モデル例  
(○:Chance node(Conditional Probability), ◇:Utility node(Consequence))

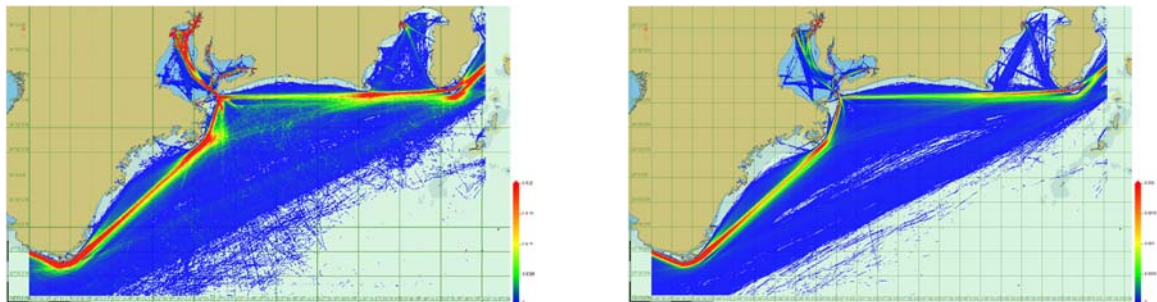
### □小項目 3

・新規対象海域における航路案立案支援技術の拡張について、以下を実施した。

- ・潮岬沖の推薦航路(2018-2019 年度の成果、海上保安庁との共同研究)が、2022 年 11 月に開催された

IMO MSC106にて合意され、2023年6月1日より運用が開始される。海上保安庁によるIMO対応のフォローを実施した。

- ・伊豆大島西岸沖と潮岬沖に続く安全対策構築の対象海域候補として、大王埼沖、御前埼沖におけるAISデータ解析による基礎調査として、見合い別の遭遇頻度発生状況、船種・見合い別の衝突事故発生状況、交通密度分布を解析した。その結果、推薦航路設置による効果は、既往調査海域(伊豆大島西岸沖や潮岬沖)ほど高くはないと考えられることを示した。この結果を受け、海上保安庁は、大王埼沖、御前埼沖の安全対策構築の見送りを決定した(図3-1)。



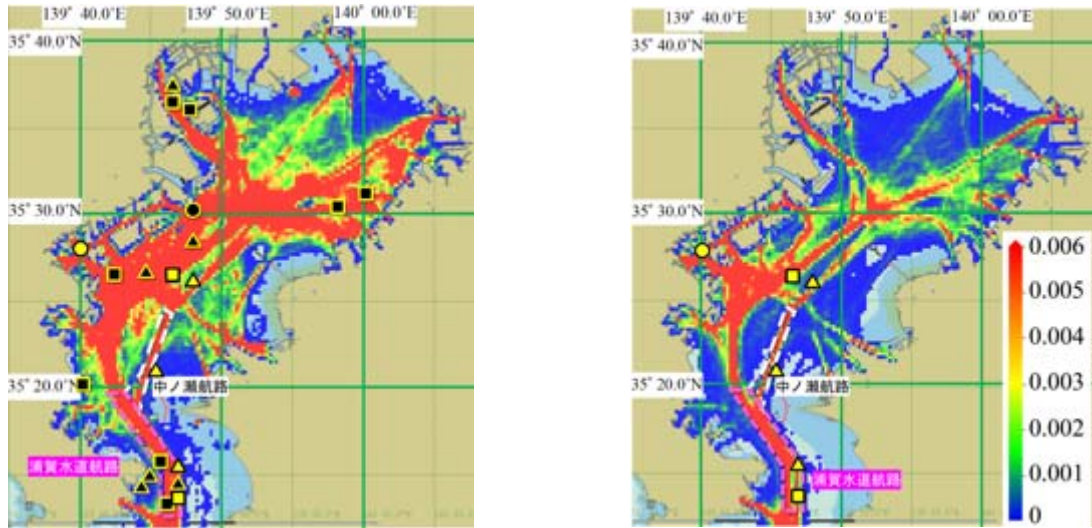
(a) 全方向の見合い関係における遭遇頻度

(b) 反航船における遭遇頻度

図3-1 大王埼沖～御前埼沖海域における見合い別の遭遇頻度分布

- ・衝突リスクの評価技術に関する研究について、以下を実施した。
  - ・海域に計算格子を導入した確率論的衝突リスク評価手法を用いた遭遇頻度の計算において、計算格子幅の感度解析を行った。海域により妥当な計算格子幅は異なるものの、本解析により正確な遭遇頻度の計算を行うことが可能となった。
  - ・確率論的衝突リスク評価手法を適用し、東京湾を航行する船舶のAIS(Automatic Identification System: 船舶自動識別装置)データ及びレーダデータを用いて、AIS非搭載船舶を含めた遭遇頻度を見合い関係別に解析した。遭遇頻度はこれまで、AISデータのみを用いて計算することが多かったが、AIS非搭載船舶の動的情報を示すレーダデータを用いることで、海上交通の実態に近い海域の遭遇頻度を示すことができた(図3-2)。
  - ・事故解析における状況認識の妥当性検証に適用するため、乗組員の衝突危険感に相当する衝突危険度指標の目安を明らかにすることを目的とし、事故調査報告書から抽出した乗組員の衝突に対する危険感とAISデータ分析による衝突危険度指標の関係を分析した。結果、危険度指標CJ(Collision Judgement)とBC(Blocking Coefficient: 避航操船空間閉塞度)の衝突危険感相当の目安、および危険を感じるOZT(Obstacle Zone by Target)識別のための評価エリアの角度と長さを示した。また、図3-3の棒グラフはCJの原著論文で示された海域別の避航開始時でのCJ値(ただし、練習船は港内のみ)を表し、網掛け部分は本研究により明らかとなった危険感に相当するCJ値の範囲を重畳したものである。CJの大小の違いはあるものの、どの船種でも避航開始時のCJ値は「衝突のおそれあり」(黄色網掛け部)もしくは「衝突を避けられない」(赤色網掛け部)の領域に存在していることから、危険感相当のCJの範囲は妥当であることを示した。





(a) AIS 非搭載船舶を含む全船舶の分布

(b) AIS 搭載船舶の分布

図 3-2 全見合い関係における遭遇頻度分布(カラースケール単位:24 時間当たりの遭遇頻度)

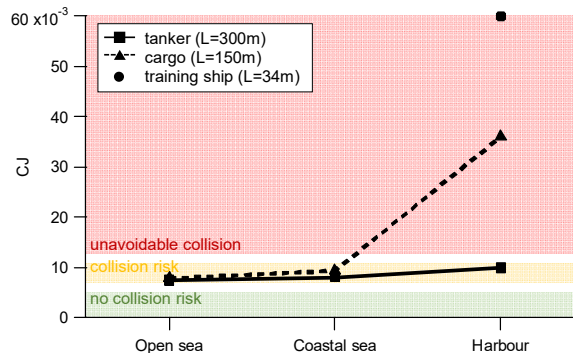


図 3-3 避航開始閾値と危険感相当の危険度指標 CJ 値の比較

・海域リスクの低減のためのビッグデータ、AI の海域管理への活用方法の検討として、以下を実施した。

- ・海上交通センターの運用管制官の運用管制業務において通常とは異なる海上交通流の状況(異常)を検知するため、ニューラルネットワークを用いた教師なし機械学習の一手法であるオートエンコーダ(自己符号化器)を用いて、航路逸脱時または航路逸脱が起こり得る船舶を検知するモデルを開発した(図 3-4)。これは、通常航行時のデータ(=正常状態)を学習させ正常データと入力データ(図 3-4 左図)の比較により正常状態のみを出力(図 3-4 右図)するものであり、これによって航行の異常状態を検出が可能となる(図 3-4 左図の矢印部分)。本研究については、2023 年度に海上保安庁と共同研究を実施する予定である。
- ・船舶行動の予測手法として、航跡をクラスタリングする手法を検討した。伊豆大島西岸沖の推薦航路の導入前後の航跡をクラスタリングし、導入前後の航跡を比較した。本手法を用いることで、新たな交通ルールを導入する際の航跡を予測することに役立つと考えられる。

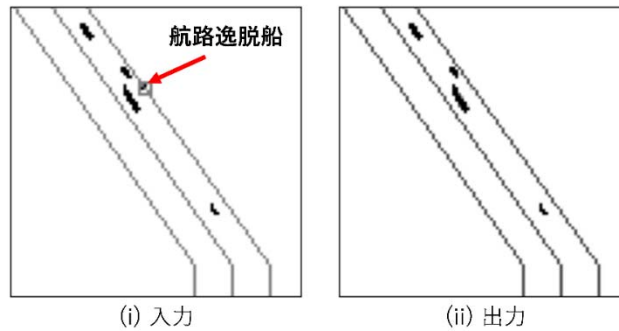


図 3-4 入出力画像の相違による異常(航路逸脱)検知の例(航路の境界線を追記)

#### □小項目 4

##### ・無人運航船の安全評価ガイドライン案の作成

・IMO では、自動運航船(MASS: Maritime Autonomous Surface Ships)の国際規則策定の第一段階として、非強制 MASS コードを策定中であり、MASS の安全性等の確保のための目標及び機能要件案を検討中である。機能要件の策定には、MASS に潜む危険性やそれに対する対応策を検討する必要がある。そこで本研究では、下記の 2 種類の船種×3 種類の操船タイプの合計 6 隻の船舶を無人運航モデル船(以下「モデル船」として設定し、リスク解析を実施した。モデル船の設定においては、昨年度実施した無人運航船の実証実験のための安全性評価のレビュー結果を参考にした。図 4-1 は、設定したモデル船のうち、船型 1)、操船タイプ ア)の船舶のシステムの全体像を示すシステムアーキテクチャである。

##### ➤ 船種

- 1) 海域限定の旅客船(港外航行のみを無人運航する)
- 2) 貨物船(離着岸、港外及び港内航行の全てにおいて無人運航する)

##### ➤ 操船タイプ

- ア) 遠隔コントロールセンター(RCC)なしに船舶側の自律性能により操船するタイプ
- イ) RCC において操船するタイプ
- ウ) RCC において航路指示し、当該航路指示に従い船舶側の自律性能により操船するタイプ

・上記のリスク解析結果を踏まえて、無人運航船の通常時の機能要件案を作成した。状況把握や操船制御等、合計 10 個の主機能を定義した上で、各々の主機能の説明、主機能の動作確認機能、不具合発生時の機能、船員への提示機能及び事前検証に分類して要件の作成・整理を行った。

・無人運航船の緊急時の機能要件案の作成を以下の流れで行った。まず文献調査により緊急時のオペレーションに関する用語の定義案を作成した。定義した各用語を使って、緊急事態発生時の対応の流れを整理した「緊急時対応シーケンスの一般化モデル案」を作成した。さらに、既存有人船の緊急時対応に関する文献調査結果を参考に、上記「一般化モデル案」を利用して無人運航船の緊急時対応シーケンスの具体例(座礁、衝突、火災、浸水)を示し、これを踏まえて無人運航船の緊急時の機能要件案を作成した。

・IMO で策定中の非強制 MASS コードのうち、日本は航行セクションの策定を主導している。当所は、上記の無人運航船の機能要件案を念頭に置きつつ、国内事業者、日本船舶技術研究協会、日本海事協会と協力して、MASS の航行に関する機能要件案の策定作業を行った。

##### ・自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書の作成

・2021 年度に作成した「自動運航船のリスク解析手順書」に微修正を施し、「自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書」を作成した。また、その附属書として、自動運航船の設計時及び無人運航船の実証実験時に求められるリスク解析の具体例を示すワークシートを「解析シート標準」として付した。さらに、2021 年度に作成した「自動運航船のリスク解析手順書」の英語版も作成し、海外の関係者からの参照の要望にも応えられるようにした。

- ・無人運航モデル船の定量的リスク推定手法構築と、旅客船と貨物船のリスクの差の推定
  - ・非強制 MASS コードの対象は貨物船のみであるが、強制 MASS コードの策定時には旅客船も対象に加わる予定であり、既存規則と同様に旅客船と貨物船の差を考慮した規則策定がなされるものと考えられる。そこで本研究では、無人運航モデル船のリスクの定量的推定手法を構築し、その手法を用いて無人運航モデル船の旅客船と貨物船のリスクを定量的に比較した。
  - ・上記推定の結果、旅客船のリスクは貨物船の約半分程度と推定された(図 4-2)。この推定においては、操船設備は旅客船と貨物船で共通と仮定しているため、推定結果の差は、MASS であるか否かに関わらず、既存規則が要求する旅客船と貨物船の構造等の要件の差に起因するものと考えられる。この結果からは、MASS コードにおいて既存規則との差分を規定する際、旅客船と貨物船とで要件の厳しさに差をつける必要はないと思われるが、今後、操船設備以外の設備についても船種による違いを考慮し、より詳細な検討が必要となる可能性がある。

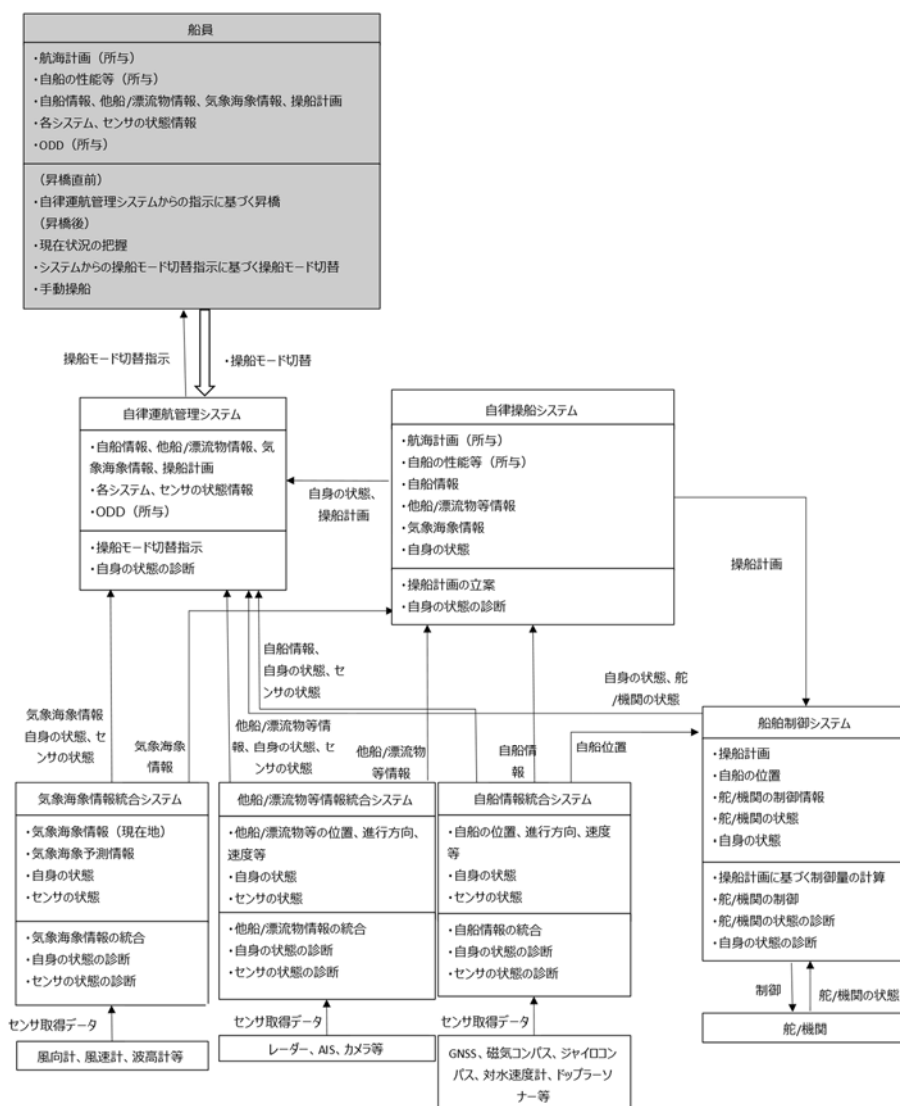


図 4-1 モデル船のシステムアーキテクチャ例

(海域限定の旅客船を RCC なしで船隻側の自律性能により操船するタイプの船舶)

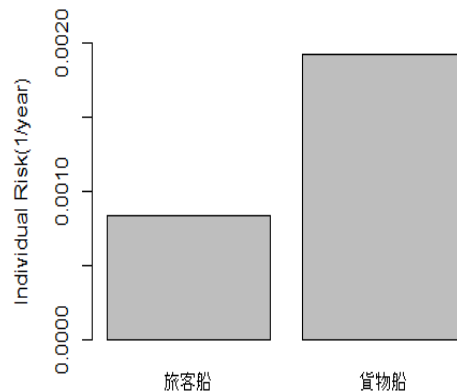


図 4-2 無人運航モデル船の旅客船と貨物船のリスクの比較

#### R4 年度成果の公表

**□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):9 件(投稿中:4 件、採択済:1 件、掲載済:4 件)**

- ・A. Kimura, Y. Oka, H. Oka, S. Ota, Experimental study on smoke flow behaviour under ships' deck structures in early stages of fire, J. Phys.: Conf. Ser. 2311 012009 (2022).(掲載済)
- ・A. Kimura, H. Oka, Y. Oka, Numerical Simulation of Smoke Flow in Ship Fire under Pendulum-like Motions, Proceedings of 14th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2023).(投稿中)
- ・Y. Oka, H. Oka, A. Kimura, Y. Goto, K. Kamiya, Numerical simulation of ceiling jet propagating along the inclined tunnel having a rectangular shape under natural ventilation, Proceedings of the 14th International Symposium on Fire Safety Science (IAFSS 2023)(投稿中)
- ・Y. Oka, A. Tanno, K. Matsuyama, H. Oka, Semi-empirical models of density jump position and temperature attenuation of smoke layer in horseshoe tunnel fire, Proceedings of 14th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC2023).(採択済)
- ・Yamada, Y.: Experimental study on the detonation of hydrogen-air mixture gas in closed circular tube, Journal of OMAE (投稿準備中)
- ・志尾嘉洋, 伊藤博子, 川村恭己, 河島園子:オートエンコーダを用いた航路逸脱検知モデルの開発, 日本航海学会論文集, 第 147 巻, pp.36-42 (2023) (掲載済)
- ・須山雄介, 河島園子, 伊藤博子, 川村恭己:東京湾における AIS 非搭載船舶の動静解析と衝突原因確率の推定, 日本航海学会論文集, 第 147 巻, pp.85-94 (2023) (掲載済)
- ・Kawashima, S., Itoh, H., Kawamura, Y. and Otsuka, H.: Analysis of the Situation Awareness of Remote Ship Operators: A Simulation-based Study, Transactions of Navigation (投稿中)
- ・三宅里奈 ほか: 事故解析における衝突危険度指標を用いた状況認識評価, 日本航海学会論文集(投稿準備中)
- ・三宅里奈, 伊藤博子, 石村恵以子, 柚井智洋, 塩苺恵, 工藤潤一, 河島園子, 平田宏一, 仁木洋一, 小林充, 澤田涼平, 稲葉祥梧: 小型実験船の遠隔操船のリスク解析, 海上技術安全研究所報告第 22 巻第 2 号 研究報告, pp.41-56. (2022)(掲載済)
- ・Shiokari, M., Itoh, H., Yuzui T., Ishimura E., Miyake R., Kudo J., Kawashima S.: Structured model-based hazard identification method for autonomous ships, Reliability Engineering & System Safety(投稿中)

#### **□その他発表論文:10件(投稿中:1件、掲載済:9件)**

- ・後藤耀太, 木村新太, 岡秀行, 岡泰資, 自然換気時の縦長矩形断面トンネル火災時に伝播する熱気流温度のダブルガウス分布式に基づく減衰予測, 第55回安全工学研究発表会講演予稿集(2022). (掲載済)
- ・岩本千咲喜, 岡秀行, 岡泰資, 自然換気条件下のトンネル火災時における熱気流の跳水位置に対する断面形状および発熱速度の影響, 第55回安全工学研究発表会講演予稿集(2022). (掲載済)
- ・岩本千咲喜, 岡秀行, 上矢恭子, 岡泰資, 矩形断面形状と発熱速度を考慮した跳水位置予測式および煙層温度の簡易予測式の提案, 2023年度日本火災学会研究発表会概要集(2023). (発表予定)
- ・須山雄介, 河島園子, 伊藤博子, 川村恭己: 東京湾におけるAIS非搭載船舶の動静を考慮した衝突原因確率の推定, 海上技術安全研究所第22回研究発表会講演集, pp.91-92(2022)(掲載済)
- ・河島園子, 伊藤博子: 船舶遭遇頻度分布を用いた海上交通の地理情報システムの開発, 海上技術安全研究所第22回研究発表会講演集, pp.93-94(2022)(掲載済)
- ・Kawashima, S., Itoh, H., Kawamura, Y. and Otsuka, H.: Analysis of Situation Awareness of Remote Ship Operator Using Simulator, Asia Navigation Conference (ANC) (2022)(掲載済)
- ・三宅里奈: OZT 定量化手法を活用した衝突事故解析手法の構築, 第22回研究発表会講演予稿集, pp.95-96, (2022). (掲載済)
- ・石村恵以子, 塩苺恵, 伊藤博子, 柚井智洋, 三宅里奈, 工藤潤一, 河島園子: 仮想の自動運航船のソフトウェアに関するハザード抽出について, 第92回マリンエンジニアリング学術講演会論文集, pp.220-221. (2022)(掲載済)
- ・柚井智洋, 伊藤博子, 塩苺恵, 石村恵以子, 三宅里奈, 工藤潤一, 河島園子: 自動運航船のリスク解析支援ツールの開発に向けて, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第35号, pp.173-176. (2022)(掲載済)
- ・柚井智洋, 伊藤博子, 木村新太, 塩苺恵, 三宅里奈, 工藤潤一, 石村恵以子, 河島園子: リスク評価技術の高度化ー自動運航船と新規貨物・燃料船のリスク評価ー, 海上技術安全研究所報告第22巻別冊 第22回研究発表会講演集, pp.75-80. (2022)(掲載済)

#### **□特許申請:1件**

- ・OZT による海域衝突リスク評価方法、海域衝突リスク評価プログラム、及び海域衝突リスク評価システム  
三宅里奈(特願 2022-141232)

#### **□コアプログラム登録:3件**

- ・工藤潤一: 燃料タンク配置に係る代替設計支援プログラム(2023)
- ・河島園子, 伊藤博子: EFCalculation(2023)
- ・伊藤博子: AISAnalyzer1.0(2023)

#### **□国際貢献: 2件**

- ・Shiokari, M.: Japanese MASS R&D Projects and Approaches for Ensuring Safety, IMO Seminar on Development of a Regulatory Framework for MASS. (2022)(掲載済)
- ・McHardy, C., Shiokari, M., et al.: Development of a Goal-based Instrument for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) – Report of the Correspondence Group, IMO MSC 107/5. (2023)(掲載済)

#### **□受賞:1件**

- ・河島園子: 日本航海学会奨励賞(衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定, 日本航海学会論文集, 第144巻, pp.32-41, 2021)

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

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

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>海難事故の再発防止と社会合理性のある安全規制の構築による安全・安心社会の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、先進的な船舶の安全性評価手法の研究開発や、海難事故等の原因究明手法の深度化や適切な再発防止策の立案等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p>	<p>安心・安全社会の実現のため、適切な安全規制の構築が求められる一方、国際海事機関(IMO)での議論に基づき必ずしも技術的合理性のない規制の導入による社会的コストの増加に対する懸念から、船舶の安全性向上と社会的負担のバランスを確保する合理的な安全規制体系の構築が期待されている。</p> <p>また、船舶の安全性向上に係る技術開発成果を背景として我が国が国際ルール策定を主導することは、安心・安全社会の実現とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>さらに、海難事故の発生原因を正確に解明し、適切な海難事故防止技術を開発することは、海難事故の削減のため不可欠である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①先進的な船舶の安全性評価手法及び更なる合理的な安全規制の体系化に関する研究開発</p> <p>－安全性と環境規制のバランスのとれた合理的な構造強度評価法の策定及び規則体系の再構築を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、DLSA システムの完成に向けた要素技術成果の統合化及びシステム化を行うために、流体構造強連成システムのプロトタイプをDLSA-ATに取り入れる。さらに、統合デジタルツインシステム(i-SAS)の実用化に向け、運航中の外航船にシステムを搭載して、データ収録機能、応力等の状態量標示機能及びデータ同化手法の精度等のシステム検証を行う。また、急速に需要が高まっている GHG 対応燃料の運搬船、燃料船をリスクベース設計するために必要なリスク評価技術を開発する。等</p> <p>②海難事故等の原因究明の深度化、防止技術及び適切な対策の立案に関する研究開発</p> <p>－安全運航と海難事故防止に必要な技術開発及び基準に対応する技術開発を目標に、研究開発の推進を図る。本年度は、交通流が交差するなど複雑な海域を対象とした新たな安全対策となる航路案の設計技術と衝突リスク評価技術の拡充、実船の停止性能を推定するための主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーションプログラムの開発、荒天下操船運動評価プログラムの高精度化、及び荒天下操縦性能基準案のための技術資料の作成を行う。等</p>

## 研究の背景

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

具体的には、以下があげられる。

- ・衝突回避能要件の研究
- ・荒天下の操船安全性に関する研究
- ・衝突事故及び乗揚げ事故等の回避・予防技術の開発に関する研究
- ・遠隔計測による運航状況分析技術の開発に関する研究
- ・損傷時船舶の安全性評価に関する研究

## 期間全体の研究目標

- ・衝突事故を防ぐための船舶の操縦性能要件のとりまとめ
- ・荒天下の操船性能評価手法を確立し、合理的な最低出力と操船安全性に関する基準案を作成
- ・制動能力や旋回性能を向上させるための回避行動促進装置、緊急時自動衝突回避システムの試設計
- ・小型船の航行支援に資するスマートフォンアプリの開発ガイドライン案
- ・遠隔計測により運航状況の危険性を把握する船体運動状況分析技術の開発
- ・船体構造強度を考慮した損傷時船舶の安全性評価手法の開発

上記成果は、以下があげられる。

- ・衝突・乗揚げ予防システム等の実用化により海難事故及び事故に伴う被害の減少が図られる
- ・国際ルールの形成への戦略的な関与により、我が国海洋産業の国際競争力が強化される
- ・合理的な基準体系の確立等により海難事故の防止が図られ、IMO等の期待に応えられる

## R4 年度研究目標

### □小項目 2

- ・衝突・座礁回避基準案のための技術資料
- ・主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーションプログラム

### □小項目 4

- ・最終版荒天下操船運動評価プログラムの作成

### □小項目 15

- ・開発した低速時操縦運動特性同定手法の有効性の実運航データによる実証

## R4 年度研究内容

### □小項目 2

- ・衝突・座礁回避基準要件の検討
- ・停止性能推定精度の向上

### □小項目 4

- ・荒天下操船運動評価プログラムの改良と本プログラムによる操船限界と主機出力の関係の評価

### □小項目 15

- ・実運航データを用いた低速時操縦運動特性の同定に関する検討

## □小項目 2

(実施事項 1: 衝突・座礁回避基準要件の検討)

・過去の衝突が原因と考えられる海難事故のデータを分析して、船の停止性能と衝突事故の減少率の関係について整理を行った。これは以前、上野により行われた分析に衝突事故のデータを追加することにより、再検討を行ったものである。新たに2017年から2022年まで発生した事故データを追加し、2008年から2022年までの34件の衝突事故を対象とした。衝突事故では2隻以上の船舶が関係しているため、分析対象隻数は68隻であった。また、衝突事故が発生した船速は個々で異なるため、分析を行う際には初速を12kn相当に換算した。

本解析に用いた船舶の総トン数の頻度分布を図1に示す。赤枠は上野が分析対象とした船舶で、水色が新たな船舶を追加して本分析の対象としたものである。衝突事故を起こしている船舶の分布に殆ど変更はなかった。初速を12kn相当に換算した危険の認識地点から衝突地点までの距離の頻度分布表を図2に示す。赤枠は上野が分析対象とした船舶の結果で、水色が新たに追加した船舶を含めた結果である。この結果より停止距離が4Lよりも短い距離で衝突に至っている船舶が大半となっている。

次に12knでの停止基準(Ds\_12)と衝突事故の低減率の関係を図3に示す。赤線は上野の分析による結果で、青線が新たに追加した船舶を含めた結果である。衝突事故の低減率の傾向もほぼ同じで、12knでの停止基準を10Lとすると約6%、6Lとすると約15%の低減率となる。しかし、既存の国際海事機関(IMO)の操縦性能基準では航海速力からの停止距離の基準が原則15L以下と定められている。肥大船などの航海速力が遅い船舶は、12knでの停止距離6L以下は達成することは難しいと考えられる。

(まとめ 1)

・2008年から2022年までに発生した衝突事故を対象として、衝突事故を回避するために必要な停止性能の分析を行った。12knからの停止性能が6Lであれば、約15%の衝突事故の低減が期待できると考えられる。既存の船舶がこの基準を満たすことが可能かなど引き続き検討することが必要と考える。

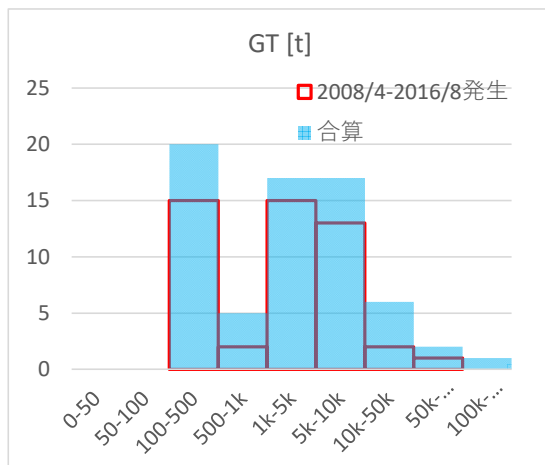


図1 衝突事故を起こした船舶の総トン数

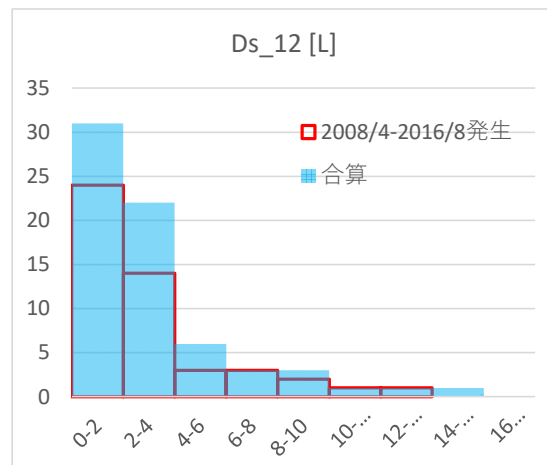


図2 衝突点前の停止に必要な停止距離と船長の比(初速12kn)



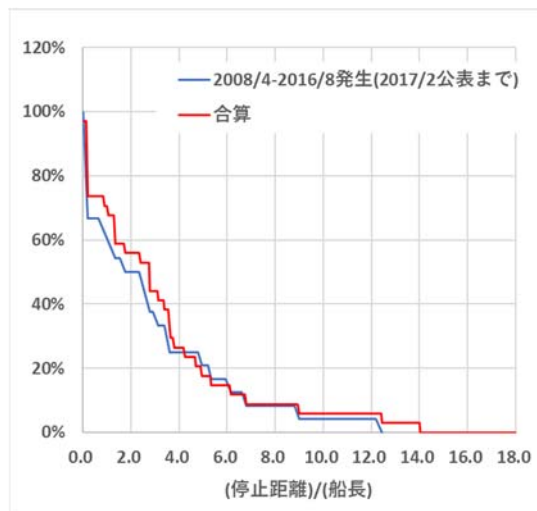


図3 停止基準(初速 12kn)と衝突事故低減率の関係

(実施事項 2: 停止性能推定精度の向上)

・模型船を用いた水槽実験で計測される操縦性能は実船よりも良い値となることが知られている。そのため、水槽実験で実船の性能を直接計測する試みが行われるようになってきている。その一つとして上野らにより実船の停止性能を自由航走模型実験で評価する実験法(JSC)が提案されている。本手法は正転及び逆転時のプロペラ推力を実船と相似とするため、不足する推力はダクトファンを用いた補助推力装置で補っている。提案された実験法を用いて水槽実験を行った。供試模型はVLCC(全長 300m)の 3m 模型とした。正転時の実船の操縦性能を計測する際は船尾側のみに補助推力装置を搭載するが、逆転時のプロペラ推力を相似とするために本実験では船首にも補助推力装置を搭載した(図 4)。

水槽実験で計測された航跡を図 5 に示す。縦軸と横軸は船長で無次元化した値を用いている。図には 3 種類の航跡が記載されていて、赤線は提案された実験手法で実施した結果、緑線はプロペラ回転数をモデルポイントで実施した結果(MP)、青線はプロペラ回転数を実船相当として船体の摩擦修正のみを実施した結果(SFC)を示している。停止距離はプロペラ回転数の与え方(正転から遊転、逆転)により変化するが、今回の 3 ケースについては同じアルゴリズムを適用している。3 つを比較すると  $MP < SFC < JSC$  の順に停止距離が長くなっている。JSC は SFC の停止距離よりも 1 船長程度長くなっていることがわかる。

また、衝突を回避するために必要な停止性能を検討した際に用いた初速 12kn からの停止距離と航海速度からの停止距離を比較したものを図 6 に示す。航海速度は 15.5kn で 12kn との違いは 3.5kn である。しかし、停止距離としては 3L 程度の違いが生じている。本実験ではプロペラ回転数の指令値を船速の関数として与えており、初期船速の遅い方がプロペラ遊点状態に至るまでの時間が短いためと考える。そのため、プロペラ逆転をして後進力が発生し始めるのが早くなり、停止距離は短くなったと考える。今回の実験では 12kn での停止距離は、衝突事故を回避するために必要な停止性能の分析(実施事項 1)から求めた 6L を若干上回る値となっている。

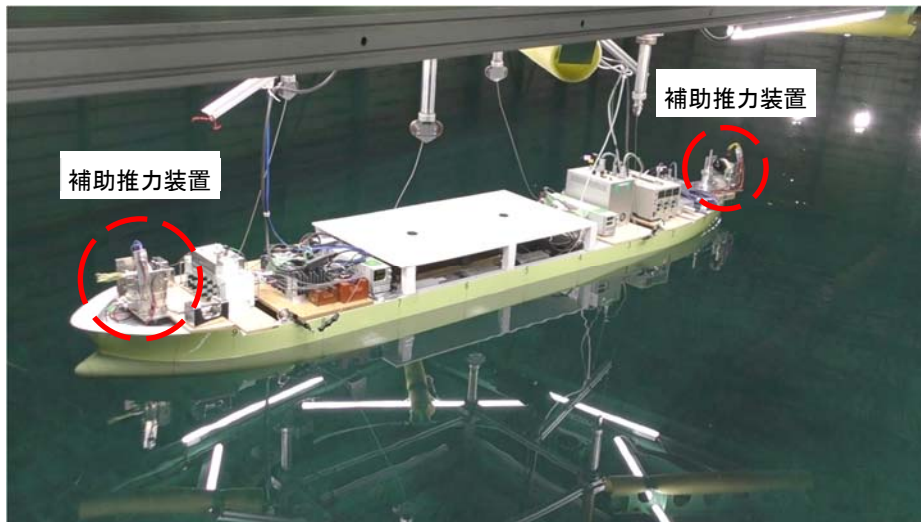


図4 実船を模擬した停止実験の様子

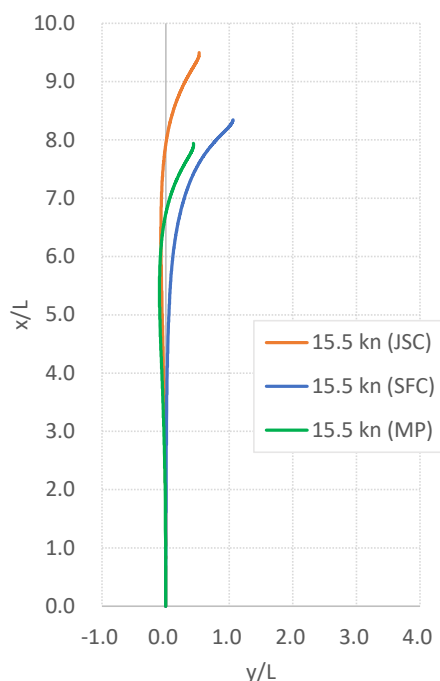


図5 航海速度(15.5kn)からの停止実験

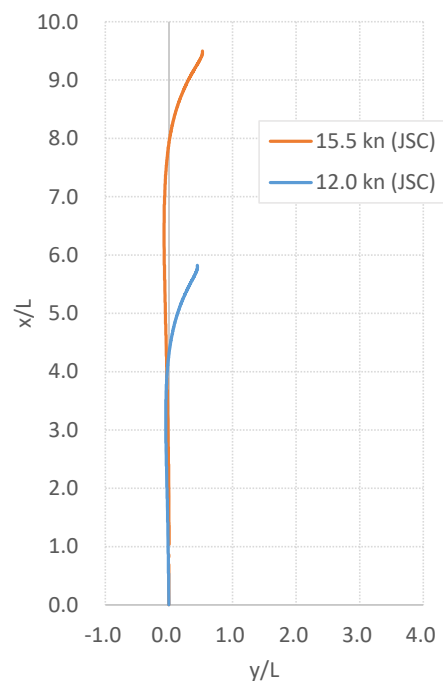


図6 初期船速を変更した停止実験(JSC)

(まとめ 2)

・VLCC の 3m 模型を用いて上野らにより提案された実船の停止性能を自由航走模型実験で評価する方法に従い水槽実験を行ってその妥当性を検証した。また、停止距離がプロペラ回転数の与え方や初期船速の違いによって大きく相違することを確認した。なお、本水槽実験では自由航走実験だけではなく、拘束試験も行った。拘束試験はシミュレーション計算に必要な抵抗・自航・プロペラ逆転試験を行い必要なデータの計測を行った。計測されたデータを解析し、シミュレーション計算に必要な係数の算出をしている。算出された種々の係数を用いて主機関応答モデルを組み込んだ操縦運動シミュレーション計算を早期に行う予定である。

#### □小項目 4

・昨年度までに開発した不規則波中操縦運動時の 6 自由度船体運動計算法について、直進時の船体摩擦抵抗・有効伴流率・プロペラ単独性能への尺度影響ならびに、主機のトルクリミットによるプロペラ回転数の低

下を考慮することで、実船尺度の計算へ拡張した。また、過去に提案した波風併存下の実船の操縦運動を直接評価する模型試験法による結果との比較から、本計算法の妥当性を明らかにした(図7)。提案した計算法は、平均的な操縦運動(船速低下や針路保持に必要な当舵)だけでなく、操縦運動や船体動揺の波による変動成分までも、模型船と比較して時間平均的な波浪外力の影響を受けやすい実船の舵効き状態において大略妥当に推定できるところに、従来の3自由度の波浪中操縦運動計算法にはない新規性がある。

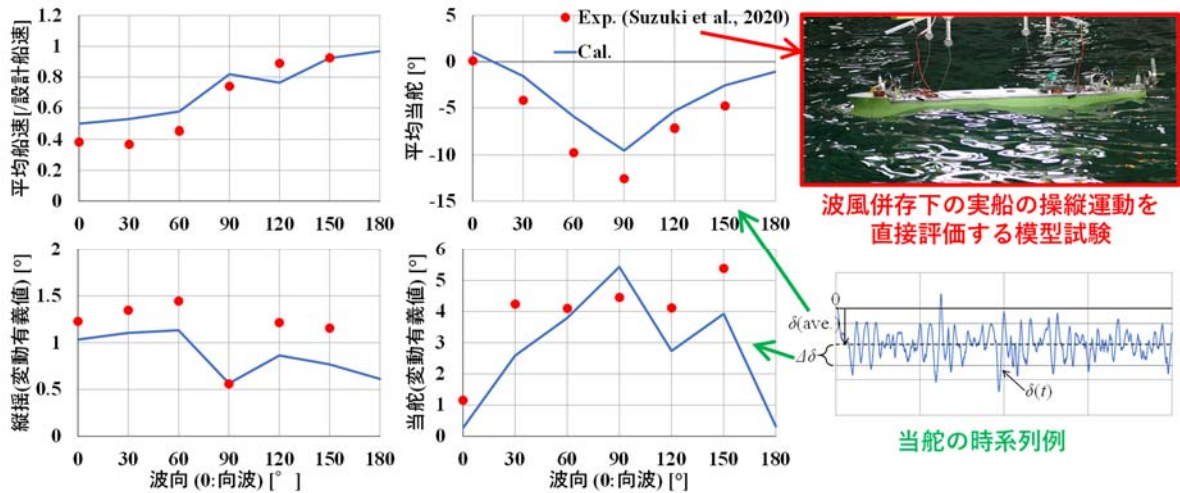
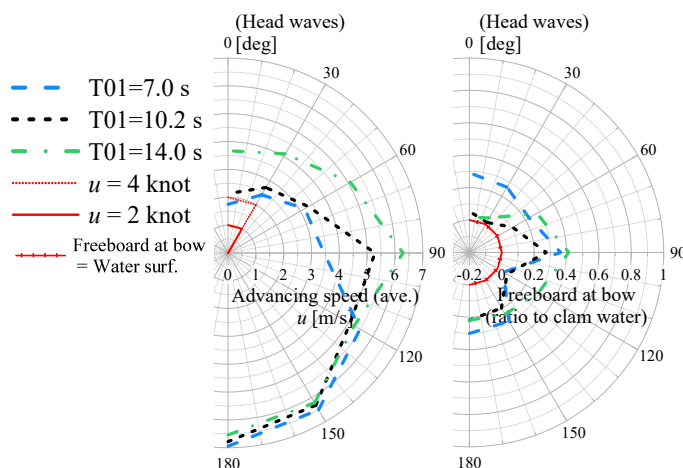


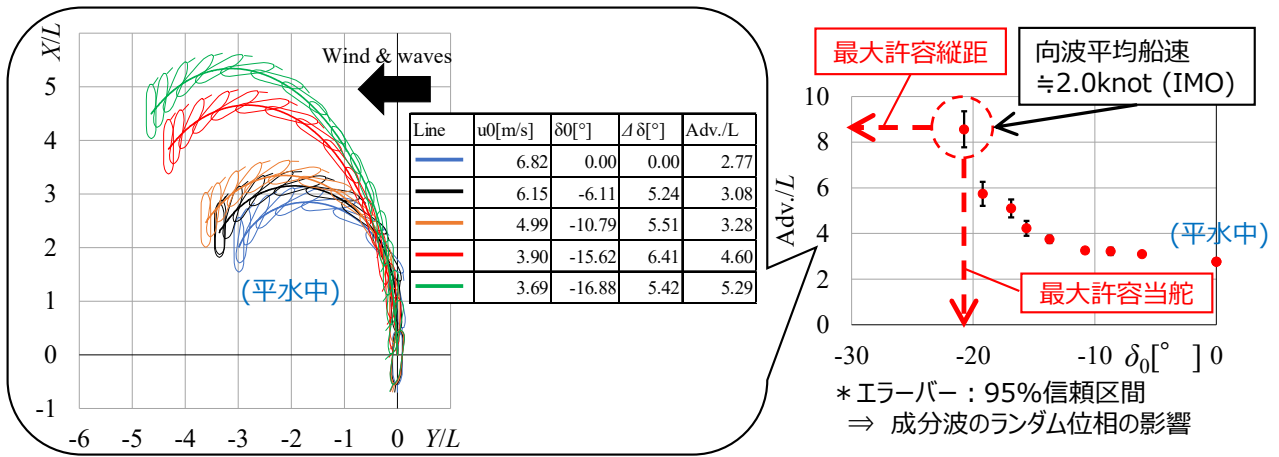
図7 不規則波・風(ビューフォート風力階級9)中の保針航行状態における大型タンカー(全長320m)の6自由度船体運動推定結果の検証

(左上図:平均船速、左下図:縦揺角変動有義値、中央上図:平均当舵、中央下図:当舵変動有義値)

・上記の計算法を用いて、現行の荒天下最低出力ガイドライン(IMO)の見直しの必要性を示すための数値計算と検討を行った(図8)。図8(a)より、最低出力ガイドラインにおける操船限界(最低船速)は、必ずしも耐航性に関わる運航限界の条件(海水打ち込み等が発生しやすい条件)に一致しないため、別途これを考慮する必要性のあることが伺える。また図8(b)より、向波に対する現行の最低出力ガイドライン(最低船速2knot)を基にすれば、横波中で安全に変針可能な当舵(平均値)の限界は約 $20^\circ$ 、縦距の限界は平水中の約3倍となることが分かる。国内研究者・技術者を中心に現行のガイドラインの見直しの必要性について共通意識形成を図るための技術資料として、現在本結果をまとめた論文を作成中である。



(a) 保針航走状態の平均船速(左図)と船首海水打ち込み期待値(右図)



(b) 横波中の許容当舵の検討

図8 大型タンカー(全長 320m)の荒天下操船限界評価例

### □小項目 15

“実計測データを用いた低速時操縦運動モデルの同定手法の開発”に関しては、前年度までに提案した手法を用いたモデル同定の基礎的実証を行った。この提案法の基本方針は、機械学習手法の一種である強化学習手法を用いて、船体運動の時系列でなく海上公試等の操縦性試験から得られる操縦性指標に基づいた報酬関数を設計して、得られた同定モデルが操縦性指標を再現できるようにすること、が狙いであった。今年度は報酬設計の基本方針はそのままに、より適切な機械学習手法として遺伝的アルゴリズム(GA)を適用し、SR108 船型の Zigzag 試験結果の公表値を入力情報とした手法の基礎的実証を行った。具体的には、操縦流体力微係数を提案手法による推定対象として、操縦流体力微係数から操舵応答モデル(KTモデル)を定めて Zigzag 操舵シミュレーションを行い、同定された流体力微係数により Zigzag 試験結果の公表値が再現できることを確認した。図9に選定したGAの世代交代モデル(MGG)のイメージ図と Zigzag 試験指標値の目標値(計測値)と同定モデルによる推定値を示す。残念ながら実船の実運航データを用いた手法実証には及ばなかったが、提案手法の妥当性は検証されたため、次期の後継重点課題にて実運航データを用いた低速操縦運動モデルの同定に関する研究を継続していく。

### 遺伝的アルゴリズム～選定した世代交代モデル：MGG

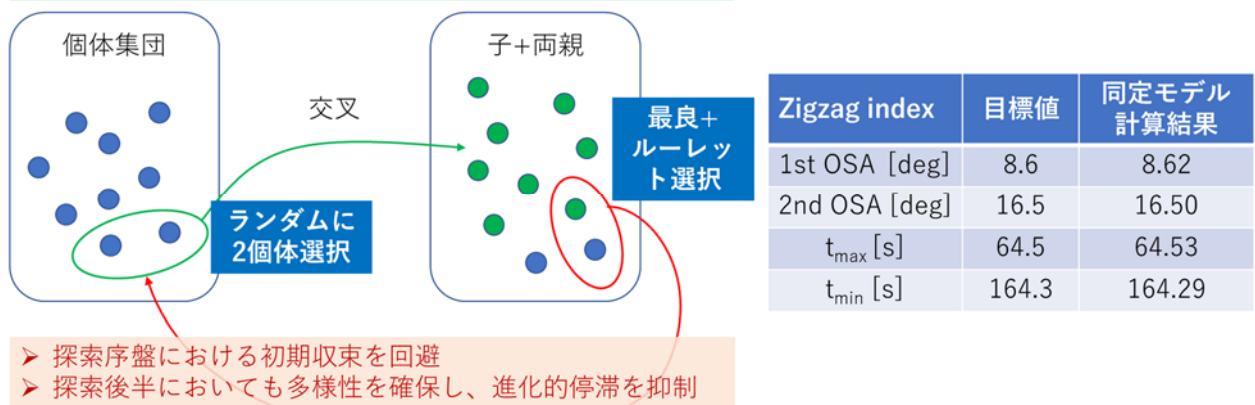


図9 選定したGAの世代交代モデルMGGのイメージ図と同定モデルによるZigzag試験指標計算値

前年度までに開発した低速時の実船の舵効き及び船速を再現する自由航走模型試験法に関して、制御プログラム上の不備を含めた課題を改善しつつ、試験法のデモンストレーションとして風外乱下における自動着栈アルゴリズムの検証実験を行った。本実験で適用した自動着栈アルゴリズムは海技研で開発したPPA法+船速制御手法であり、実験では(1)平水中での制御パラメータ調整による着栈シナリオの成功に向けた

検討 (2)ビューフォート風力階級5相当の風外乱下における自動着棧挙動の検証、の 2 通りの検証を行った。(2)の際は風荷重模擬装置を用いて想定風環境下における実船の風圧力の再現を行い、海技研で開発された船体横方向風外乱補償アルゴリズムを拡張した風外乱補償アルゴリズムの適用による改善効果の検証も行った。その結果、風外乱中では平水中で成功した制御パラメータ群では想定した着棧シナリオを完全に成功させるのは困難であり、拡張した風外乱補償アルゴリズムは一部風向条件では着棧シナリオを成功させたが多くの条件で成功まで導けるものではなく、外乱条件における課題が明確になった。図 10 に実験結果の一例として、検証時開始時の初期制御パラメータ値(図中の”Ini.”)と調整を重ねた制御パラメータ値(図中の”Tuned”)による平水中自動着棧の比較例を示す。初期パラメータでは目標停止位置((X,Y)=(0,0))で船速を落として船体を停止させることが出来なかったが、調整後パラメータでは目標方位(-180 度)で船首方位を整えつつ目標位置で船体を停止させることが可能となった。以上の実験的試行により、提案した自由航走模型試験法及び実験システムは自動着棧アルゴリズムの体系的な検証に有用であることがわかった。これらの研究成果は 2022 年度内に発表することは叶わなかったが、次年度に開催予定の PAAMES/AMEC 2023 にて公表予定である。また、本実験ではオンライン式の公開実験を行い、自由航走模型試験法ベースで実船尺度相当の状況で自動着棧アルゴリズムの検証が行えることを示し、研究成果の PR を行っている。

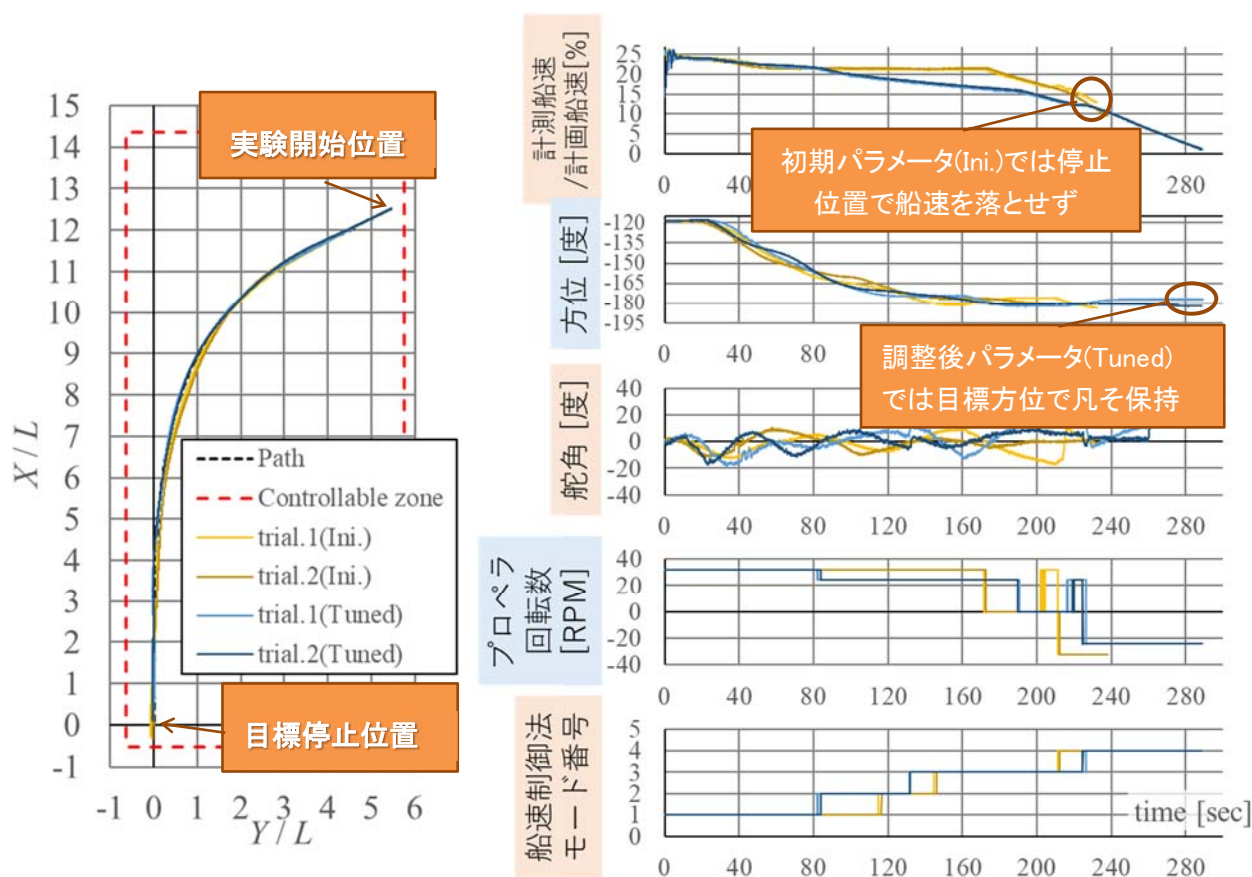


図 10 開発した自由航走試験法を用いた PPA 法+速度制御手法による平水中自動着棧の実験例

- ・本小項目の活動の枠内にて、日本船舶海洋工学会のプロジェクト研究委員会「離着棧操船時の操縦流体特性の簡易推定手法に関する調査研究委員会」(研究委員会番号:P-64)に北川と澤田が参加し、離着棧時の操縦運動をシミュレーションするための数学モデル及びモデル内係数の簡易推定法に関する調査研究を行い、現状の課題抽出を行った。本委員会では北川は委員長を務め、委員会の取り纏め、活動成果の公表方針等、国内の自動離着棧技術の発展に貢献するべく活動を進めた。また、得られた知見を活用し、流体性能評価系の次期中長期の研究計画の立案にもフィードバックさせた。加えて、系主催講演会も兼ねて、本委員会の調査研究成果に関するハイブリッド方式講演会を実施し、北川から 2 件・澤田から 1 件の発表

をする等、調査研究成果の公表を積極的に行った。図 11 は講演会参加者に対して実施したアンケートの内、「離着棧用操縦運動モデルに関する研究開発の中で今後に注力すべきトピック」を複数選択式で問うた結果である。これら研究需要は流体性能評価系の次期重点研究課題に於いても取り組む予定のトピックが多く、今後の研究開発動向を見定める上で有用な調査となった。

Q. 離着棧用操縦運動モデルに関する今後の研究開発として、あなたが注力すべきと思うトピックを選んでください。(複数選択、3つまで)

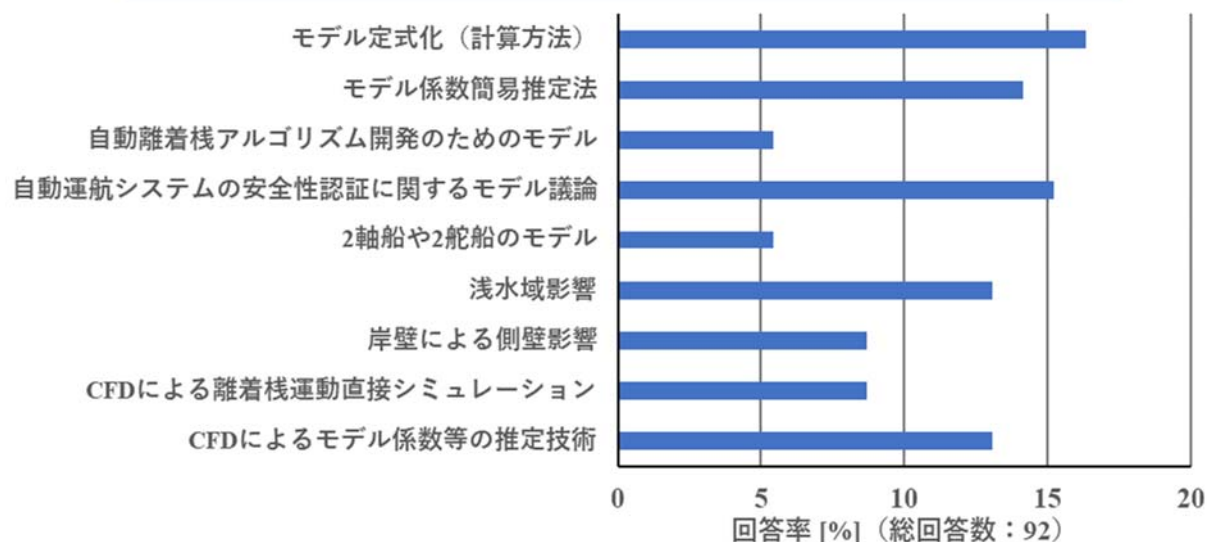


図 11 P-64 研究委員会の調査研究成果講演会において実施した参加者へのアンケート結果

#### R4 年度成果の公表

**□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 4 件(投稿中: 1 件、採択済: 0 件、掲載済: 3 件)**

- ・Suzuki R., Tsukada Y., and Ueno M.: Effects of steady wave forces for oblique motion on estimation of manoeuvres of full-scale ships, Proceedings of 15th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS2022), pp.226-237 (2022).
- ・Suzuki R., Tsukada Y., and Ueno M.: Effects of steady wave forces on course-keeping manoeuvres of full- and model-scale ships moving obliquely in short waves, Ship Technology Research (Schiffstechnik) (Published online, Nov. 23, 刊行物番号未定) (2022).
- ・Suzuki R. and Ueno M.: Prediction of Steady Wave Forces and Moment Acting on Ships Manoeuvring in Short Waves, Proceedings of the 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE2023) (2023). (投稿中)
- ・Yasushi Kitagawa, Yoshiaki Tsukada and Kunihide Ohashi: On Measurement of Hydrodynamic Pressures on Hull and Rudder Surface in Free-running Model Test, Proceedings of PRADS 2022 (2022).

**□その他発表論文: 7 件(投稿中: 0 件、掲載済: 7 件)**

- ・鈴木良介, 塚田吉昭: 不規則波中を旋回する船の波浪動揺と操縦運動計算法の一提案, 海上技術安全研究所報告, 第 22 巻 別冊 令和 4 年度(第 22 回) 研究発表会講演集, pp.81-82 (2022).
- ・鈴木良介, 塚田吉昭: 短波長波中を斜航する船に働く定常波力推定法について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 35 号, pp.377-379 (2022).
- ・北川泰士, 葦澤遼太, 大橋訓英, 塚田吉昭: 舵表面圧力の積分で得られる舵直圧力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 35 号, pp.355-359, 2022.

- ・北川泰士, 塚田吉昭, 大橋訓英: 自由航走中模型船の船体表面非定常圧力の計測, 第 22 回推進・運動性能研究会(口頭発表) (2022).
- ・北川泰士, 矢澤真樹: Propeller モデルの調査結果, 船舶の離着岸時の操縦運動を予測するための数学モデル及びその簡易構築手法の調査研究に関する講演会(共催:海技研, 兼 系主催講演会)(口頭発表) (2023).
- ・北川泰士: プロペラ逆転時モデルに関する研究事例紹介, 船舶の離着岸時の操縦運動を予測するための数学モデル及びその簡易構築手法の調査研究に関する講演会(共催:海技研, 兼 系主催講演会)(口頭発表) (2023).
- ・北川泰士: 事例紹介～港内操船時の操縦運動特性の推定手法に関する研究, エムアイエス株式会社ホームページ(寄稿), URL: [https://www.mttis.co.jp/items/user\\_stories/nmri/](https://www.mttis.co.jp/items/user_stories/nmri/) (2023).

#### **□コアプログラム登録: 1 件**

- ・実海域中を通常・低速航行する船の 6 自由度船体運動推定プログラム, 鈴木良介ほか

#### **□受賞: 1 件**

- ・令和4年度理事長表彰(個人表彰, 最優秀論文賞): 鈴木良介 (Numerical simulation of 6-degrees-of-freedom motions for a manoeuvring ship in regular waves, Applied Ocean Research, Vol.113, No.102732 (2021))

#### **□公開実験: 1 件**

- ・小項目 15 で開発した模型試験法のデモンストレーションとして、オンライン公開実験「自動離着岸アルゴリズム検証のための自由航走試験法による模型実験」を実施した。参加人数:50 名。(2022 年 8 月 9 日)

#### **□その他: 1 件**

- ・系主催講演会として、小項目 15 の研究成果に記載した日本船舶海洋工学会 P-64 研究委員会の調査研究成果に関する講演会を実施した。講演会は対面式とオンライン式のハイブリッド要領で開催し、合計 99 名(現地:23 名、オンライン:76 名)が参加した。(2023 年 3 月 15 日)

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

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

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMOにおいて、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①環境インパクトの大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現に資する規制手法に関する研究開発</p> <p>－SO<sub>x</sub> 規制対応燃料およびガス燃料の燃焼改善技術と着火性評価手法の提案・検証、並びに次世代燃料燃焼時に問題となる排出物の計測・分析技術を確立し削減対策を検討する。等</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p> <p>－GHG 削減のための後処理技術によるメタンスリップ、N<sub>2</sub>O 等の削減方法の検討を行う。</p> <p>－グリーン・イノベーションを実現するために、水素やアンモニア等の代替燃料の高負荷・高湿燃焼率での燃焼安定化技術の開発、内航船・外航船のカーボンフリー燃料利用技術の検討を行う。等</p>



## 研究の背景

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。

- ・次世代燃料の燃焼性評価手法の確立
- ・GHG・環境影響物質削減のための計測・分析技術の確立

## 期間全体の研究目標

- ・低硫黄燃料、次世代燃料の燃焼生成物の計測・分析技術の確立
- ・SO<sub>x</sub>、GHG 対応燃料に対応可能なエンジン内燃焼改善のための指標構築
- ・GHG 削減のための後処理技術の確立

上記成果は、以下があげられる。

- ・燃料の硫黄分規制や GHG 削減戦略に対応して、行政、業界の要望に応える形での GHG 削減技術、燃焼改善、計測システムなどの技術開発を行う。今後の燃料多様化も対応可能となり海洋環境が保全される。
- ・先駆的な技術開発により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。

## R4 年度研究目標

### □小項目 4

- ・SO<sub>x</sub> 規制対応燃料およびガス燃料の燃焼改善技術と着火性評価手法に関する提案、検証を行う。

### □小項目 5

- ・次世代燃料燃焼時に問題となる排出物について、計測・分析技術を確立し削減対策につなげる。
- ・触媒を用いてメタンスリップや N<sub>2</sub>O を削減するため、触媒反応に干渉する成分の同定や温度の影響を調査し、削減率が向上する条件を解明する。

## R4 年度研究内容

### □小項目 4

- ・燃焼性評価手法の確立を目標に大きくわけて2つ、すなわち液体燃料に対する着火性指標とガス燃料に対する着火性指標について研究した。
- ・液体燃料について、船用燃料の着火性指標(セタン指数、CN)を予測するため、規格着火性指標(CCAI)を実燃料に即したものに改良することを目的としている。そのため、燃料を構成している炭化水素の構造が着火性へ与える影響を加味して、CCAI 値を修正し、実燃料を用いた推定セタン価(ECN)の実測値との相関関係を調べる。ユーザの利便性を考慮し、最終的に、修正された CCAI 値は、燃料性状の基礎パラメータ(動粘度、密度)から求まるような表式とし、着火性を正しく予測できるようにする。
- ・ガス燃料について、これまで構築したガス燃料着火のための液体燃料の着火モデルと併せ、ガス燃料の着火モデルを構築することで、多様なガス組成に対して、異常燃焼すなわちノッキング現象の発生を精度良く予測する手法を開発する。異常燃焼を防いで燃焼をよくすることは、未燃のメタン、つまりメタンスリップ抑制につながるため、GHG 削減技術となる。これまでの結果や知見等を用いて、希薄ガスエンジンの運転条件(当量比や回転数の変化)に対して精度よく予測できる、ガス燃料の耐ノック性評価手法を提案する。

### □小項目 5

- ・低硫黄燃料、次世代燃料の燃焼時に発生する燃焼生成物について計測・分析を行う。アンモニア燃料では

避けることのできない N<sub>2</sub>O 計測に干渉するガス成分がないか、計測原理の異なる計測装置による同時計測を行い調査する。また、アンモニア燃料使用時の粒子状物質 (PM) 排出について実験的に調査する。さらに、低硫黄燃料使用時のブラックカーボン排出について、燃料組成との関係を明らかにする。

- ・後処理技術によるメタンスリップ、一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) の削減方法の研究を行う。メタン削減については、メタン酸化反応時の触媒内の温度計測を行い、ガスエンジン排気下における反応熱が触媒性能に及ぼす影響を調べる。N<sub>2</sub>O 削減については、アンモニア燃料使用時の排気組成及び温度を模擬した環境における、N<sub>2</sub>O 還元触媒の性能に与える影響を調査する。

**R4 年度研究成果**

**□小項目 4**

・液体燃料に対する着火性指標

前年度に実際の船用燃料を 89 種類の炭化水素でモデル化し、それらのモル分率を推定する方法を構築した。この手法では、船用燃料の密度、動粘度、推定セタン価の 3 つの実測値から 89 種類の炭化水素のモル分率が推定される。これを実際の船用燃料に適用した。結果の一例が図 1 である。ここでは、密度と動粘度から計算される着火性指標 (CCAI) が同一の船用燃料における、実測燃料着火性 (推定セタン価: ECN) とその燃料中の特徴的な成分 (炭素数が 6 から 40 の 15 種類の多環芳香族, 3~7 分枝の 6 種類の i-アルカン ( 2,2,3-trimethylbutane, 2,2,4-trimethylpentane, 2,2,5-trimethylhexane, 2,6,10-trimethyldodecane, 2,2,4,6,6-pentamethylheptane, 2,2,4,4,6,8,8-heptamethylnonane) の積算) の関係を示す。同一 CCAI でも実測された ECN は 10~35 までの様々な着火となっているが、その成分は、ECN が大きい燃料 (着火しやすい燃料) になると、多環芳香族が増加し、多分枝のアルカンは減少することが予測された。この手法により、多種多様な炭化水素の混合物である船用燃料をモデル化し、燃料ごとの特徴を推定できるようになった。炭化水素構造を予測できるようになったことは、着火性の異なる燃料の要因解析の一助となる。(日本マリンエンジニアリング学会誌, 58-1(2023), pp.117-124.)

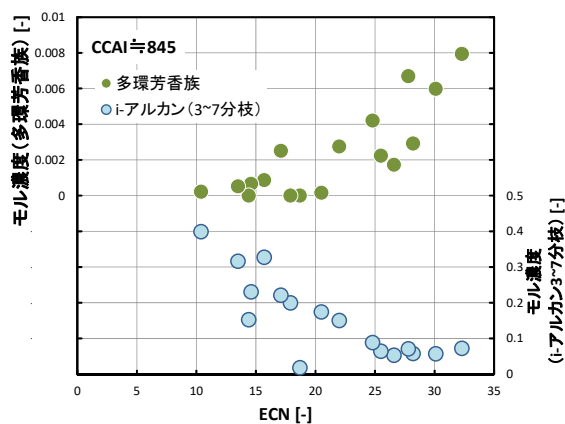


図 1 同一着火性指標 (CCAI) 値を持つ船用燃料の実測された着火性 (推定セタン価: ECN) と推定された構成成分の関係例

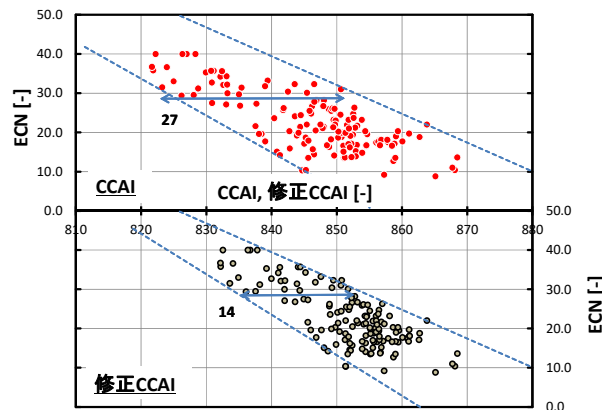


図 2 船用燃料の着火性指標 (CCAI) の修正値と実測された着火性 (ECN) の関係

図 2 は船用燃料 143 種の CCAI と ECN (上図)、修正された CCAI と ECN (下図) の関係を示す。図 2 上図に示すように、CCAI は傾向として着火性を示しているが、同一 ECN と計測された燃料であっても、CCAI 値は最大で 25 以上の差があり、バラツキが大きい。そこで、以下の式のように、CCAI を修正することで、図 2 下図に示すように ECN が 30 の時に取り得る CCAI 値の幅を約 27 から 14 と約半分にすることができた。ECN と完全な線形関係を得ることはできていないが、より精度の高い指標を提案した。また、船用燃料の場合、計測できる物性値は少ないことから、下記のように、一般的な燃料性状である、密度と動粘度から CCAI を修正できることが可能な表式とした。

動粘度・  $\rho_L < 200 \text{ cSt}$  の場合

$$\begin{cases} CCAI_r = CCAI + 25 \left[ 1 - \exp \left\{ -40(980 - \rho_L) \right\} \right] & (\rho_L < 980 \text{ kg} / \text{m}^3) \\ = CCAI & (\rho_L > 980 \text{ kg} / \text{m}^3) \end{cases}$$

動粘度・  $\rho_L > 200 \text{ cSt}$  の場合

$$\begin{cases} CCAI_r = CCAI + 13 \left[ 1 - \exp \left\{ -40(1000 - \rho_L) \right\} \right] & (\rho_L < 1000 \text{ kg} / \text{m}^3) \\ = CCAI & (\rho_L > 1000 \text{ kg} / \text{m}^3) \end{cases}$$

cSt: 動粘度単位(センチストークス)

CCAI<sub>r</sub>: 修正 CCAI 値

$\rho_L$ : 密度

#### ・ガス燃料に対する着火性指標

希薄ガスの燃焼改善手法の検討を、微小の液体燃料を用いるマイクロパイロット方式を対象に行った。液体燃料種、噴射圧力、噴射期間を変更することで、燃焼室中心部での着火を行うように制御すると、燃焼改善(燃焼期間の短縮)を行うことができた。なお、希薄条件での燃焼期間の短縮は、熱効率向上、未燃成分の減少の効果が得られることが想定できる。(日本マリンエンジニアリング学会誌、巻号未定(掲載決定))

前年度に、雰囲気条件が低温、空気とガスの混合気でガス濃度が希薄になると、耐ノック性指標であるメタン価と着火遅れの相関が低くなることが明らかになった。これはガス中に含まれる成分ごとに、着火遅れやその温度・濃度依存性に違いがあるためである。そこで、メタン価(MN)に各濃度に関する重みを用いた補正係数をかけたところ、修正されたMNと着火遅れの相関性を向上させることができることがわかった。図3はMNに補正係数であるガス中成分(メタン(CH<sub>4</sub>), エタン(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), プロパン(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), ペンタン(C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>), 水素(H<sub>2</sub>), 酸素(O<sub>2</sub>), 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>), 窒素(N<sub>2</sub>))の体積分率  $V_{fi}$  と重み  $S_i$  の積の和を掛けた値と、着火遅れの相関を示している。図内の Stoich(ストイキ)は、燃料と空気が燃焼反応に対して過不足なく反応し、燃料と酸素が完全に消費される条件、Lean(リーン)は、燃料に対して空気が多く、燃焼後に酸素が残存する条件を指している。ここでは Stoich を基準条件として、排ガス(特に NO<sub>x</sub>)量の低減のためにガスエンジンで採用されている Lean 条件も検討対象としている。各成分の重みが調整係数となっているが、両者は良い相関を示している。次に、この手法を用いて、各成分の寄与を検証した。図4には温度、濃度を変更した時の重みを無次元化し、各成分の重み係数を示しているが、これはメタン価では表し切れない着火遅れに対する、各成分の影響の大きさを表しており、高温、低温を比較すると、高温のみでプロパン、ペンタンの効果があること、低温でエタンの効果が大きくなることが明らかになった。また、ガス濃度の濃淡では、濃い場合にはブタンの効果が大きく、薄い場合には窒素の効果が表れることがわかった。以上の通り、ガス燃料の耐ノック性を表すメタン価は着火性との関係があるが、雰囲気温度、ガス濃度によって相関性に違いが現れることから、温度、濃度の変更による各成分の着火遅れに及ぼす影響が異なり、これらを補正することで着火遅れ予測の精度を改善できることを明らかにした。

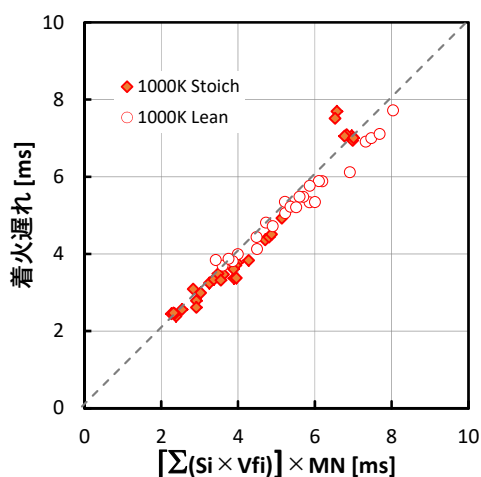


図3 補正されたメタン価と着火遅れの関係

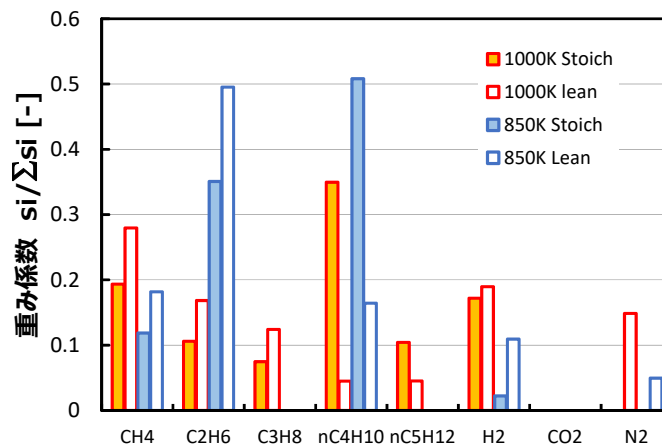


図4 温度、濃度条件による各成分の着火に及ぼす重み係数

## □小項目 5

### ・低硫黄燃料使用時のブラックカーボン排出と燃料組成との相関に関する研究

2020年SO<sub>x</sub>規制対応の低硫黄燃料油(適合油)は、従来燃料油と性状が大きく異なり、燃料基材や製法も異なるため、ブラックカーボン排出量の増加がIMO(国際海事機関)で懸念されていた。そこで、適合油(硫黄分<0.50%、VLSFO)、従来油(硫黄分<3.5%、HFO)、ECA(指定海域)対応燃料(燃料油中硫黄分<0.10%、ULSFO)、を用いて4-ストロークの中速エンジンを運転し、ブラックカーボン(BC)排出量を比較した。その結果、エンジン負荷率の高い条件では、燃料油によるBC排出量の差はほとんどなかったが、低負荷率では適合油が従来油よりもBC排出量が多いことが明らかになった。一般にアロマ分が多いとBC排出量が多いとされているため、燃料油の組成分析を行ったところ、芳香族分、レジン分、アスファルテン分といった、いわゆるアロマ分の比率は、VLSFOが約25%、HFOが53%、ULSFOが約30%だった。つまり、アロマ分のみではVLSFOのBC排出量の増加を説明することができないことがわかった。そこで、元素分析でH/C比を比較したところ、VLSFOがもっとも低く、これは、アロマ分以外に不飽和炭化水素が多いことを示しており、これがBCの高排出量の要因になっているものと考えられた。IMOでは燃料油中のアロマ分を規制し、BC排出量を削減する意見がでていた一方、燃料油中のアロマ分を単純に削減することは、燃料油の不安定化も招き、船の運航に悪影響を与える懸念も示されていた。本研究で、アロマ分が直接のBC排出原因といえないことを示したことは、BC排出削減対策として拙速にアロマ規制をすることを抑止するための基礎データとなった。

### ・アンモニア混焼試験時の排ガス計測・PM計測に関する研究

ディーゼル燃料へのアンモニア混焼を行うと、CO<sub>2</sub>は減少するが、より温暖化効果の高いN<sub>2</sub>Oが発生することが懸念されている。また未燃のアンモニアも生じる。通常の実験計測レベルに比べ未燃アンモニアレベルは高くなることが予想され、そのようなアンモニアの大きなバックグラウンドのあるところで、各排ガス成分を精度よく計測可能か調査することは、将来的にアンモニア燃料エンジンの排ガスインベントリを研究するためにも重要である。そこで、単気筒小型4ストロークディーゼル機関(AVL type 520、ボア/ストローク112/110mm、8kW、1500 min<sup>-1</sup>)の吸気にアンモニアをいれ、着火用燃料として軽油を用いたアンモニア混焼実験を行い、計測法としてフーリエ変換赤外分光法(FTIR)と非分散型赤外線吸収法(NDIR)という2種の原理の異なる計測装置を用い比較を行った。FTIR法は、全波長のスペクトルを一度に計測でき、感度も高く、多成分混合ガスの測定に適している。NDIRは光学フィルターにより波長を選択して測定していることから、対象ガス特有の吸収帯を利用でき精度も安定性も高い。今後、IMOにおいて、アンモニア燃料船の排ガス規制がどのような方向に進むかは未知であるが、船上計測を行うことを想定すると、装置構成が単純で堅

率な NDIR 法がのぞましい。計測値を比較した結果、アンモニアの混焼率にかかわらず  $N_2O$ 、 $CO_2$ 、 $NO_x$  については、2 つの分析方法の計測値はよく一致し、アンモニアの干渉なく精度よく成分を定量できることがわかった。一方  $CO$  に関しては、アンモニアが 10000ppm を超える場合、NDIR 法による計測値は経時的に FTIR 法による計測値から逸脱していき、アンモニアの干渉を受けていることが示唆された(図 5)。今後、原因の特定と解決方法を検討するとともに、さらにアンモニア混焼率を上げていく際に、FTIR 法においても、他の成分の計測への影響の確認が必要である。

また、アンモニア混焼の PM 排出量への影響について検討した。エンジン出力を一定とし、発熱量換算で 70%のアンモニアを吸気に入れた場合の PM の排出量は、軽油のみの時より減少し、元素状炭素(EC)が大きく減少したことが要因であった。一方、有機炭素(OC)はアンモニア混焼により増加し、主要成分となっていることが分かった。今後、このOC増加の原因を特定し、PM 削減につなげていく予定である。このように、脱炭素化が進むと OC や EC がさらに減少し、PM の秤量の精度が重要となる。そのため、秤量の精度向上を目指し、フィルター自体の湿度依存特性を求めめる実験を行い、技術調査資料として海技研報告に投稿した。(海上技術安全研究所報告第 22 巻第 3 号(R04/12/23)、341-345)

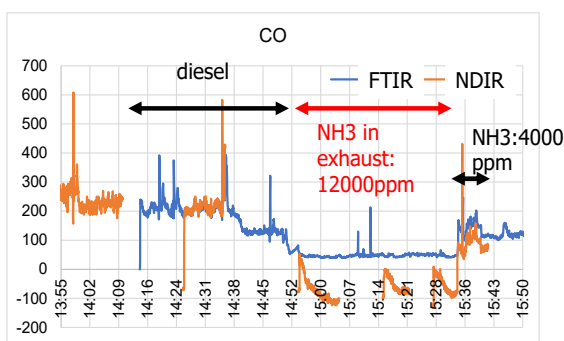


図 5 ディーゼル燃料にアンモニアを混焼した場合の  $CO$  排出量の計測

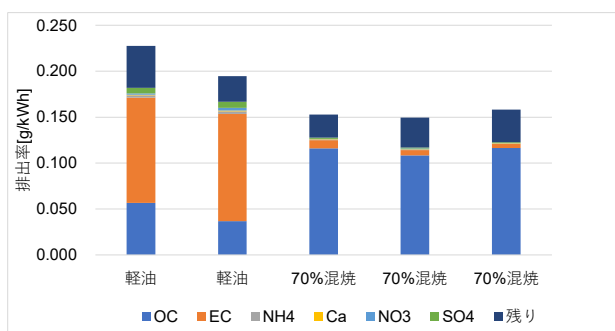


図 6 ディーゼル燃料にアンモニアを混焼した場合の PM 排出量の計測

### ・メタン酸化触媒によるメタン削減効果の研究

ガスエンジンを負荷率 75% で一定で運転し、空気過剰率( $\lambda$ )を変化させ、排気中のメタン( $CH_4$ )及び  $NO_x$  濃度を変化させた際のメタン酸化触媒の性能に与える影響を調査した。図 7 に示すように、デフォルトの設定

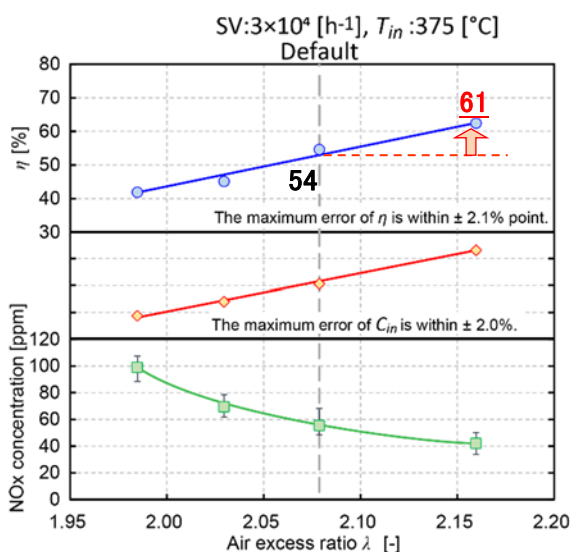


図 7 空気過剰率と  $CH_4$  削減率、 $NO_x$  及び  $CH_4$  排出濃度の関係

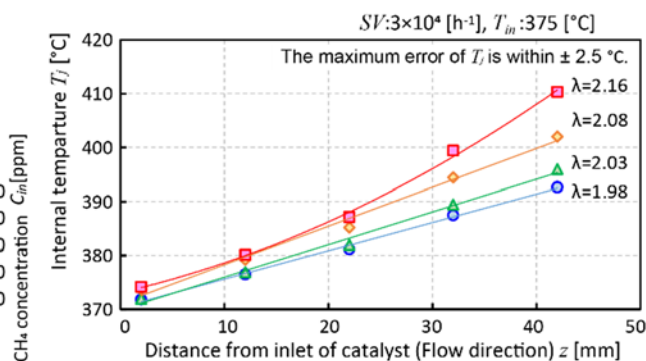


図 8 空気過剰率の変化が触媒内温度分布に与える影響

値 ( $\lambda = 2.08$ ) から  $\lambda$  を増加させ、メタン濃度が1割高く、 $\text{NO}_x$  濃度が2割低い条件にすると、メタン削減率 ( $h$ ) を54%から7%ポイント程度改善する効果があることが確認できた。この時、図8に示すように、 $\lambda$  の増加に伴い、触媒内部の温度上昇が確認されたことから、メタン濃度の増加と共に触媒内における反応熱(発熱)に伴う温度上昇が起きていることがわかった。さらに一酸化窒素( $\text{NO}$ )濃度が低下し  $\text{NO}$  による阻害反応が低下することで、メタン酸化反応が促進されたものと考えられる。(ガスエンジン排ガス中の  $\text{NO}_x$  の主成分は  $\text{NO}$  である。) これまで得られた成果を取りまとめ、投稿論文にまとめた。(International Journal of Engine Research (査読対応中))

・一酸化二窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 還元触媒による  $\text{N}_2\text{O}$  削減効果の研究

アンモニア燃焼エンジンの排気中  $\text{N}_2\text{O}$  を削減する  $\text{N}_2\text{O}$  還元触媒の性能を調査するため、還元剤であるアンモニア ( $\text{NH}_3$ ) 濃度の比 ( $\text{N}_2\text{O}:\text{NH}_3$ ) を3.3として、温度を変化させたときの触媒性能試験を行った。また、排気中一酸化窒素 ( $\text{NO}$ ) が存在する場合の濃度の比 ( $\text{N}_2\text{O}+\text{NO}:\text{NH}_3$ ) を2.5として、性能比較を行った。図9に示すように、 $\text{N}_2\text{O}$  のみより  $\text{NO}$  が共存する場合の  $\text{N}_2\text{O}$  削減率及び  $\text{NH}_3$  削減率が共に高くなることが明らかとなった。また、ある温度での化学反応速度を予測するアレニウス式 ( $k=A\exp(-E/RT)$ ,  $k$ : 反応速度定数、 $A$ : 頻度因子、 $E$ : 活性化エネルギー、 $R$ : 気体定数、 $T$ : 絶対温度) を用いた  $\text{N}_2\text{O}$  の反応速度解析の結果、図10に示すように、 $\text{NO}$  が共存する場合の反応速度定数が高く保てることから、性能が高いことが明らかとなった。一方で、高い触媒性能を発揮するためには、 $500^\circ\text{C}$  近い温度が必要であり、船上で適用する場合には、エネルギー源確保の課題があると考えられる。

・燃料油中硫黄分規制に対応するため、代替措置として、排ガス中の硫酸化物 ( $\text{SO}_x$ ) を除去する排ガス浄化装置 (EGCS: Exhaust Gas Cleaning Systems, スクラバ) が認められている。EGCS で排ガスの洗浄水を船外に排出する際には、IMO で定められた EGCS ガイドラインにより排水の水質モニタリングが義務づけられている。このうち、 $\text{pH}$  を船上で計測するためのプロトコルを規定した ISO 基準を策定し発行された。(ISO 23668:2022)

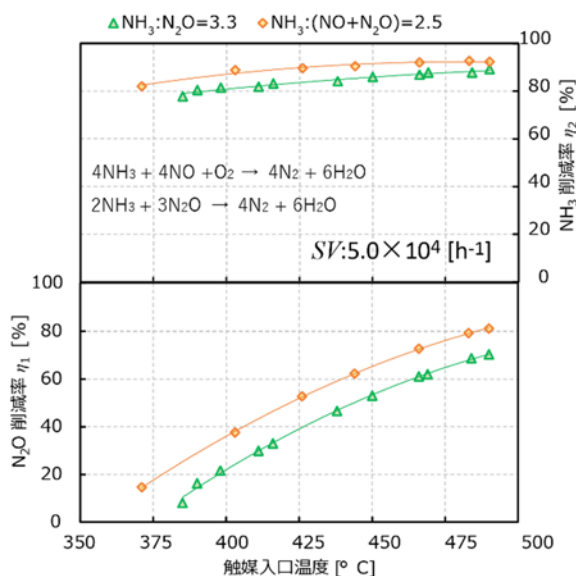


図9  $\text{N}_2\text{O}$  還元触媒の  $\text{N}_2\text{O}$  及び  $\text{NH}_3$  削減率

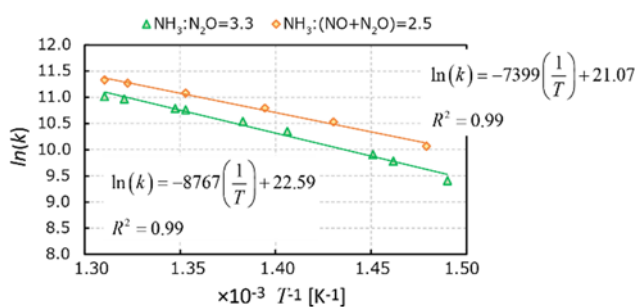


図10  $\text{N}_2\text{O}$  還元反応の反応速度解析結果

R4 年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):4件(投稿中:1件、採択済:1件、掲載済:2件)

・高木, 川内, 船用燃料の着火性評価のための燃料成分推定 -推定手法の構築と多成分燃料(残渣油)へ

の適用, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 58-1(2023), pp.117-124.

- ・今井, 高木, パイロット燃料の着火特性がメタン-空気予混合気の着火・燃焼特性に及ぼす影響, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 巻号未定(掲載決定)
- ・Yoshifuru Nitta, Yasuhisa Ichikawa, Yoichi Niki, Akiko Masuda and Koichi Hirata, "Performance Evaluation of Methane Oxidation Catalyst for Marine Gas-Engine in Actual Exhaust and Simulated Gas" International Journal of Engine Research (投稿中)
- ・Paivi T. Aakko-Saksa, Kati Lehtoranta, Niina Kuittinen, Anssi Jarvinen, Jukka-Pekka Jalkanen, Kent Johnson, Heejung Jung, Leonidas Ntziachristos, Stéphanie Gagné, Chiori Takahashi, Panu Karjalainen, Topi Ronkko, Hilikka Timonen, Reduction in greenhouse gas and other emissions from ship engines: Current trends and future options, Progress in Energy and Combustion Science,94, 101055 (2023). (掲載済)

#### **□その他発表論文:2件(投稿中:0件、掲載済:2件)**

- ・大橋厚人、未使用PM捕集フィルターの相対湿度に対する重量変化について、海上技術安全研究所報告第22巻第3号(R04/12/23)、341-345.
- ・羽島雄大、高橋千織、益田晶子、スクラバ排水監視における濁度計測に及ぼす黒色浮遊物質の影響、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集、92巻、ページ: 199-200、発行年: 2022年.

#### **□国際貢献:2件**

- ・ISO 23668:2022 Ships and marine technology –Marine environment protection – Continuous on-board pH monitoring method、2022年11月8日発行。
- ・PPR 10/INF.22 (2022) Update on the international Technical Working Group on the Development of a Standardized Sampling, Conditioning and Measurement Protocol for Black Carbon Emissions from Marine Engines

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

<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆5 実海域実船性能評価に関する研究</b>
--------------	-----------------------------

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p> <p>－実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発、及び実船スケールにおける波浪中のフリーラン計算手法の開発を行う。等</p>

**研究の背景**

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。

- ・次世代 EEDI,EEOI の開発及び実海域運航性能向上技術に関する研究
- ・水槽試験を活用した船用推進プラントの実海域自動適応制御技術開発に関する研究
- ・船体表面流の制御による船舶の省エネルギー技術開発に関する研究

**期間全体の研究目標**

- ・最適(エコ)運航システム
- ・実海域実船性能評価技術の開発



- ・多様化する推進プラントの船舶での実海域性能を踏まえた最適設計パラメータを決める推進プラントのシステム設計技術の開発
- ・運航状況に応じた船用推進プラントの実海域自動適応によるスマートパワー制御技術の開発
- ・デジタルツイン技術を用いた主機状態監視システムの開発
- ・船尾流場制御
- ・摩擦抵抗低減
- ・GHG削減のための革新的省エネ技術開発

上記成果は、以下があげられる。

#### 【社会的観点】

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

#### 【経済的観点】

- ・国際ルール形成への戦略的な関与により我が国海洋産業の国際競争力が強化される。
- ・革新的省エネ技術の実現により、我が国造船業の国際競争力が強化されるとともに、最適(エコ)運航システムの実現により、我が国海運のコスト低減が達成される。実海域での実船性能を直接水槽試験で評価可能となり新たな推進プラントの開発が促進され、我が国海洋産業の国際競争力が強化される。

#### 【国際的観点】

- ・船舶の省エネ化、推進プラントの実海域性能向上により、国際海運の排出する温室効果ガスが削減され、地球環境が保全される。
- ・環境性能に優れた先進的超省エネ船の実現、運航技量評価方法等により、GHG排出規制の的確な実施が図られ、IMO等の期待に応えられる。
- ・北極海航路の性能推定技術により、ポーラーコード等の技術的要請に応えられる。

### R4 年度研究目標

#### □小項目 5

- ・実海域性能診断技術の確立。
- ・低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発。
- ・造船各社との請負等による実海域性能船舶の設計・開発。
- ・気候変動による大洋航路の変化をウェザールーティングシミュレーションにより評価。

#### □小項目 17

- ・昨年度に開発した信頼性関数手法を活用した経年劣化アルゴリズムの開発を促進し、エンジンコンポーネント(過給機・冷却器、など)の個別の劣化予測を可能にする手法を開発する。
- ・前年度までに開発を進めている“遭遇海象に応じて主機運転状態を最適にする主機制御パラメータ自動調整アルゴリズム”を用いて、自律型船舶の主機革新的制御アルゴリズムの設計を目的として、報酬設計や制御方針設計を行う。
- ・研究成果の社会実装を目的として、船舶機関長支援システム技術の実運航船での実証試験を実施するための取り組みを行う。加えて、デジタルツイン技術による主機状態監視技術の開発を総括しながら、次期中長期で開発すべき発展技術の課題抽出を行う。

#### □小項目 18

- ・船型・流場データベースのブラッシュアップ。

- ・水槽試験結果と数値計算のデータ同化手法の評価。
- ・実船流場と模型船流場の比較結果のフィードバック。

#### □小項目 19

- ・GHG ゼロエミッションを想定した NMRI コンセプト船の総合評価 (GHG 削減効果の向上、実海域性能評価、操縦性能評価、水中騒音評価、経済性評価)。
- ・高度空気潤滑システムの開発および内航船への社会実装。
- ・弾性表面波デバイス実用化のための課題抽出。
- ・GHG 削減・水中騒音低減を両立させる空気吹出型省エネデバイスの開発。

### R4 年度研究内容

#### □小項目 5

- ・実海域性能評価法の高度化。
- ・造船各社と実海域性能船舶の設計・開発を行う。
- ・波浪中計測システムへの評価結果フィードバックの組み込み。
- ・気候変動に対する海運分野での緩和・適応策を検討。

#### □小項目 17

- ・エンジンコンポーネントの個別の劣化予測を可能にする手法を開発
- ・AI 技術を適用した推進プラント制御系設計に関する研究

#### □小項目 18

- ・船型・流場データベースの公開。
- ・データ同化による数値計算の高精度化。
- ・実船流場と模型船流場の比較結果の数値計算等の精度向上。

#### □小項目 19

- ・GHG ゼロエミッションを想定した NMRI コンセプト船に関する研究 (波浪中試験、操縦性能試験、キャビテーション試験)。
- ・Active 制御型省エネデバイスに関する研究 (400m 水槽での長尺模型試験、小型回流水槽での詳細計測試験、弾性表面波デバイス評価試験)。
- ・水中騒音低減に関する研究 (プロペラ水中騒音の実船推定精度向上、キャビテーション試験による付加物の有効性確認)。

### R4 年度研究成果

#### □小項目 5

- ・実海域性能評価法の高度化について、ローター船を対象にウェザールーティングによる省エネ効果の評価を行った (図 1)。また、生涯燃費におけるローター船の省エネ効果の評価を燃料消費量の長期予測結果に基づいて実施した (図 2)。
- ・低速域を含めた実海域性能評価技術の開発のため、荷重度変更モデルを用いた自航要素の推定法を提案し、実海域性能評価法の精度向上を行った (図 3)。
- ・波浪中計測システムを使用し、400m 水槽においてケミカルタンカー模型による繰り返し試験を実施し、各パラメータの不確かさの波浪中抵抗増加係数への寄与を調査し、精度向上の対応方針が明確になった (図 4)。
- ・利用者コメントを反映し、全球の波と風データベース (GLOBUS) の機能強化を行い、針路を入力とした波向・風向の変換を可能とした。これにより航路上の発現頻度表の作成を容易にした。また、海技研クラウド上に GLOBUS Cloud をリリースした (図 5)。

- ・パナマックスバルクキャリアの AIS 航路データとその時の気象海象データを用いて実海域性能評価を行い、実運航における気象海象要素の性能への影響の分析を可能とした(図 6)。
- ・気候変動に対する海運分野での緩和・適応策を検討について、現在気候、将来気候における気象海象の数値予測データを用いてウェザールーティング(WAN:海象適応航法)を実施し、燃料消費量に及ぼす気候変動の影響を評価し(図 7)、北太平洋では気候変動に伴い最適航路が南に寄る傾向を把握した。
- ・海上試運転時の波浪修正法について、STAWAVE-1 に代わる簡易推定法 Simple-NMRI 法を開発し、ITTC にて提案した(図 8)。
- ・海事クラスター共同研究 実海域実船性能評価(OCTARVIA)プロジェクトフェーズ 2(24 社参加)と連携し、フェーズ 1 での成果(実海域実船性能評価法)の検証および手法の高度化、国際標準化活動を実施した。
- ・ウェザールーティングサービス会社と連携し、当所で開発した実海域性能モデルを組み込んだウェザールーティングサービスを提供することとなった。

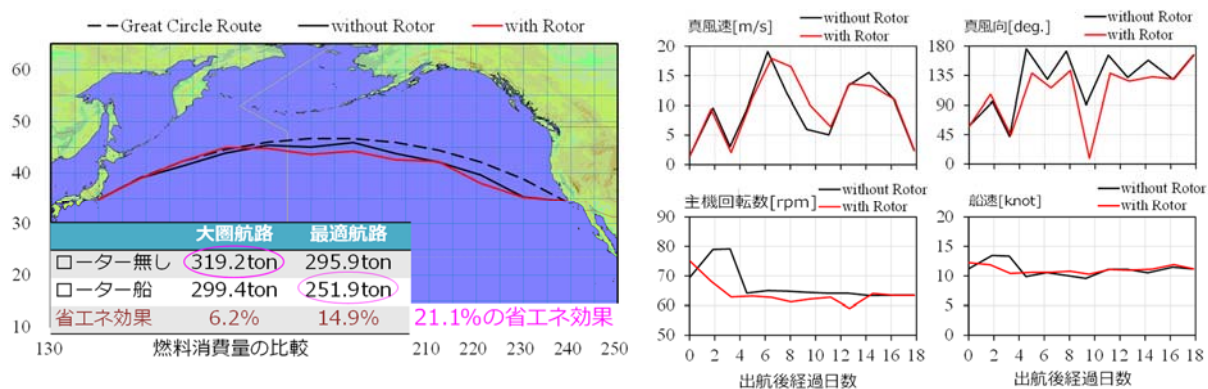


図 1 ローター船を対象としたウェザールーティング(北太平洋東航時)

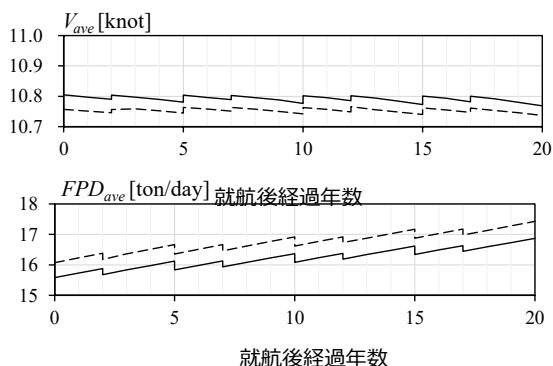


図 2 ローター船の船速、燃料消費量の経時変化(実線:ローター有り、破線:ローター無し)

ローター搭載による生涯燃費の評価

ローター無し	$1.22 \times 10^5$	ton
ローター有り	$1.18 \times 10^5$	ton
省エネ量	3,890	ton
省エネ効果	3.2%	-

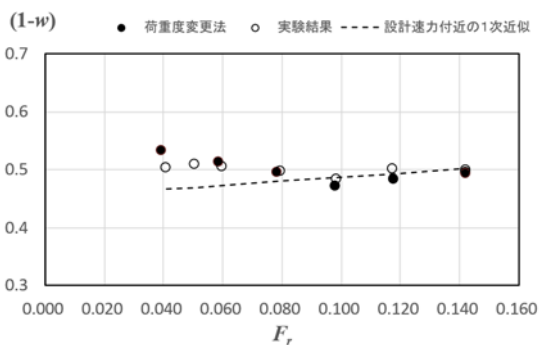


図 3 伴流係数の荷重量変更モデルと従来法(1次近似)の比較

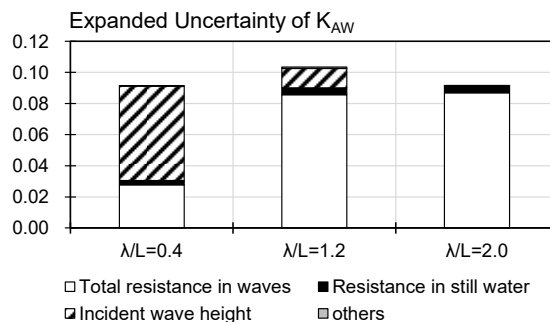


図 4 波浪中抵抗増加係数の不確かさ評価



図 5 GLOBUS Cloud の操作画面

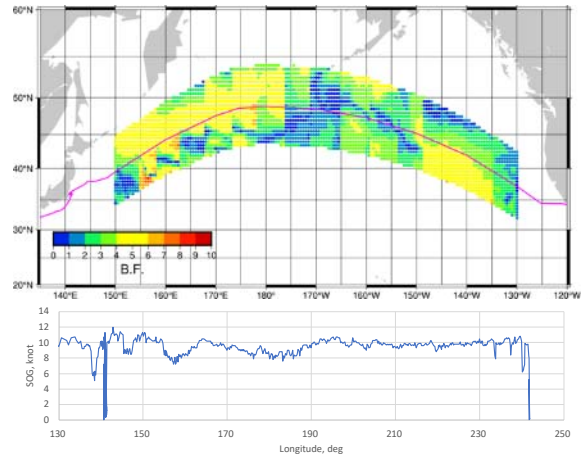
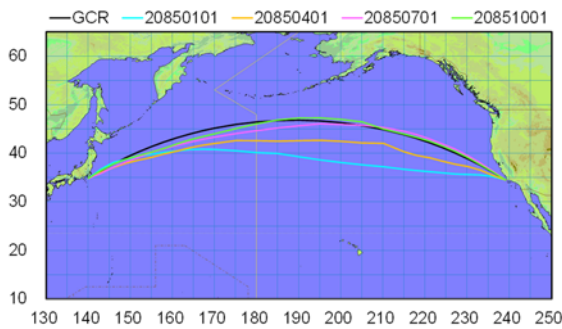


図 6 AIS データと気象海象データを用いた実海域性能評価例(パナマックスバルクキャリア)



GCR: 大圏航路、他: WAN 航路(出航日)

図 7 ウェザールーティング例  
(コンテナ船、西航、2085 年、評価シナリオ:  
RCP2.6)

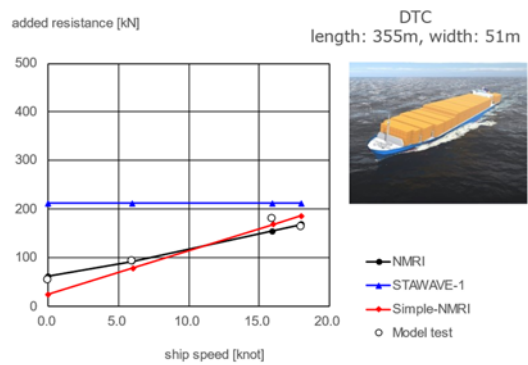


図 8 Simple-NMRI 法による波浪中抵抗増加の推定

### □小項目 17

- ・AI 機関長システムの根幹をなす主機デジタルツイン技術を開発し、エンジン性能や各部品の劣化を明示化するアルゴリズムを作成し、就航船実データを用いて検証した(図 9, 10)。
- ・“強化学習手法を適用した主機運転状態を最適にする主機制御パラメータ自動調整アルゴリズム”について、並列計算技術を適用するために計算環境を改造し計算パフォーマンスを改良した。さらに強化学習の報酬関数の設計を確立し、二つのアルゴリズム(PPO と TRPO)で PID 制御の最適調整ができることを示した(図 11, 12)。

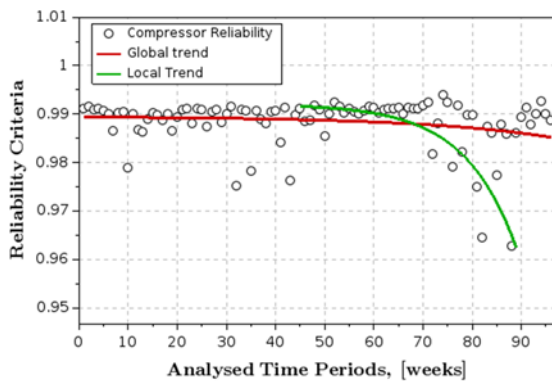


図 9 過給機のコンプレッサーの劣化評価

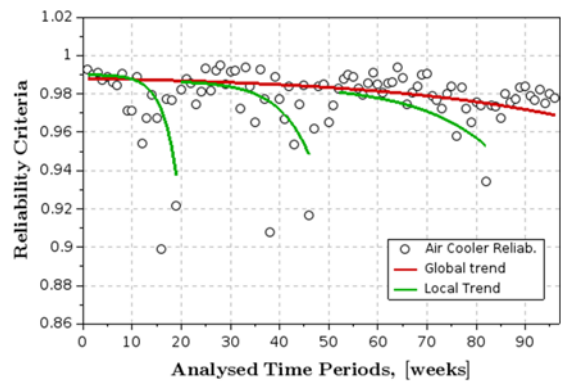


図 10 空気冷却器の劣化評価

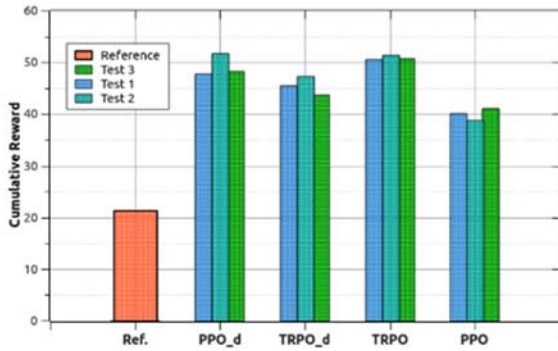


図 11 強化学習のアルゴリズムのベンチマーク

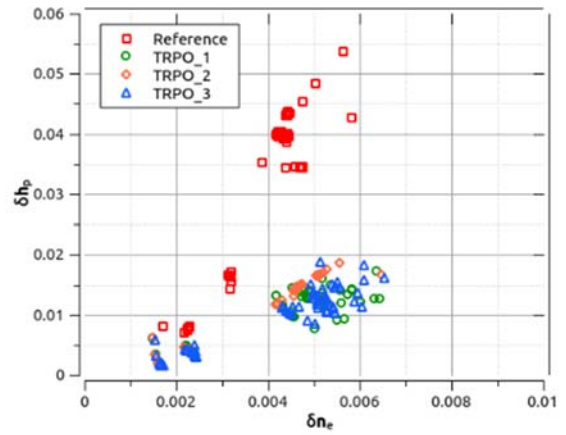


図 12 選定アルゴリズムによる PID ゲイン自動調整結果に基づくエンジン応答の違い

### □小項目 18

- ・伴流設計システム(図 13)の船型・流場データベースを内航船タンカー、外航コンテナ、PCC、バルク、タンカーを含む多様性のある 1 万船型程度のデータベースにアップデートした。また、これらに加えて、一般利用可能な数式船型、KVLCC2 船型の船型データベースを構築した。
- ・開発した伴流設計システム(社内データ用:Excel 版)を造船所が導入し、今後設計での利用が行われることとなった(図 14)。また、伴流設計システムの Web アプリ版を開発した。
- ・コンテナ船型のグースネック船首形状の複雑な造波現象に対して、単一格子で複数の喫水・トリム条件に対応できるロバスト性の高い構造格子生成を可能とした。これにより適切なトリムチャート(抵抗変化)の作成を可能とした(図 15, 16)。
- ・2018 年に実施した外航ばら積み船での省エネ付加物まわりの実船流場計測(図 17)と同条件で模型船の流場計測(図 18)を実施した。これにより船尾伴流の尺度影響について検証データを取得した。

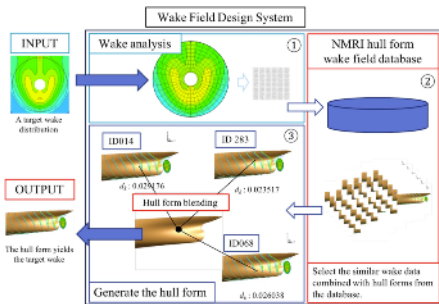


図 13 伴流設計システムの概要図

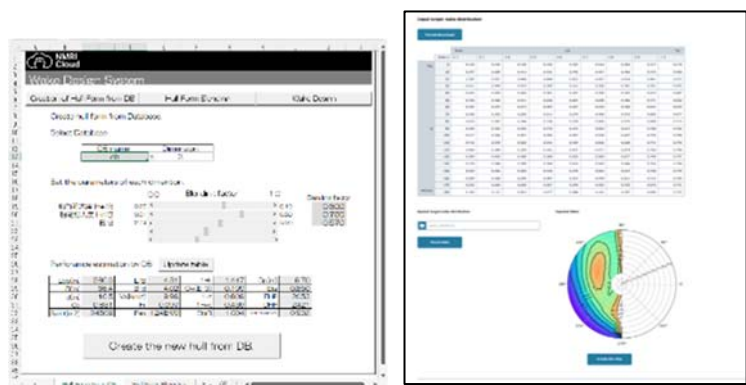


図 14 伴流設計システムの画面

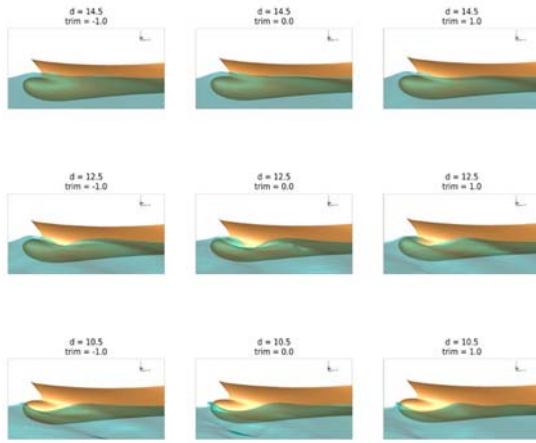


図 15 船首流場(喫水・トリム別)

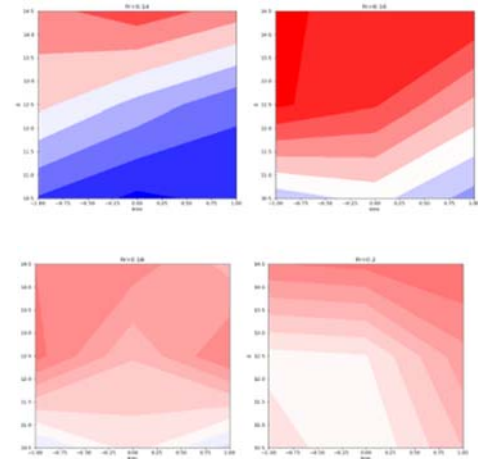


図 16 全抵抗係数の比較(船速別)

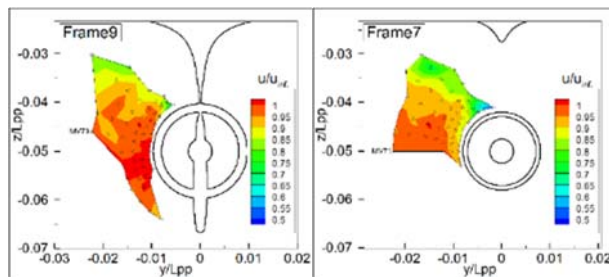


図 17 実船流場

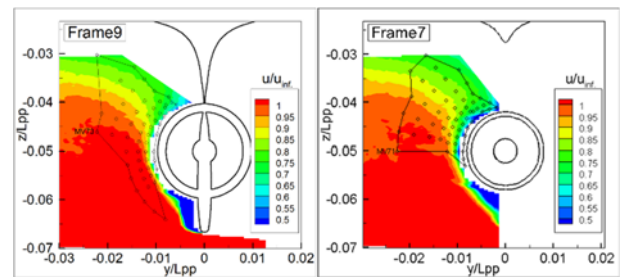


図 18 模型船流場

### □小項目 19

- ・低速幅広肥大船について、拘束模型試験(図 19)により針路安定性を評価した。斜航・旋回時に船体に働く流体力等を計測し(図 20)、操縦流体力微係数を求めた。同微係数を用いて得られる針路安定性指数では、低速幅広船は針路不安定側と判定されたものの、現実的な形状を有するタンカー船型である KVLCC1, 2 よりは安定側となることが分かった。
- ・低速幅広肥大船のプロペラのキャビテーション試験(図 21)を実施し、船尾変動圧計測により実機換算の船尾変動圧力が問題ないレベルであることを確認した(図 22)。
- ・最適化アルゴリズムの一種である差分進化法を用いてプロペラ効率の向上、キャビティ体積の低減を両立させる翼形状の最適設計を実施した(図 23, 24)。これにより単独効率を 2.5%、キャビテーション体積を 22% 低減できる改良プロペラが得られた。
- ・実運航性能シミュレータ VESTA を使って低速幅広肥大船の実海域性能を評価した(図 25)。低速幅広肥大船の主機出力(BHP)は実海域中でも従来船より小さく、さらに載貨重量も大きいことから単位輸送貨物量当たりの燃費効率は従来船に対して約 1.7 倍高い(BF6~7)ことが確認された。平水中のみならず実海域においても低速幅広肥大船の優位性を示すことができた。
- ・低速幅広肥大船の抵抗自航試験結果には、従来船型に比べ計測値のばらつきが大きい傾向が確認された。また船尾周りの PIV 計測により伴流分布や船体表面の主流速度の変動(分散)が大きいことも確認された。幅広肥大船の低速時の計測精度の向上のためには船体周りの流場を安定化(乱流化)させる試験法が必要であり、その解決策として船体後半部に乱流促進を追加しその効果を確認した(図 26)。追加の乱流促進がない場合には、低速幅広肥大船の船体周りの流れは層流状態の箇所が存在し、そこから剥離が非正常に生じるが、追加の乱流促進によって剥離の抑制ができ、流場が安定し、抵抗自航試験結果も安定することを確認した(図 27, 28)。
- ・空気潤滑を低速幅広肥大船に適用した時の効果を明らかにするために空気潤滑状態の CFD シミュレーションを実施した(図 29)。従来船型(JBC)と比較して、低速幅広船は浸水表面積のうち平坦な船底が占める割合が大きく、同じ相当気膜厚さになる空気を船底に吹き出した場合に、全体の摩擦抵抗係数の低減量が従来船型よりも 10%増加することが明らかになった(図 30)。

- ・運航データ、市況データ、船価データの分析をもとに運航条件の設定を行い、2030年から2050年までの燃料価格予測値に基づいて、低速幅広肥大船の経済性評価を行った。輸送貨物を石炭・鉄鉱石、航路を日本-豪州と想定し2030年の経済性を推定(図31)。低速幅広肥大船は、リプレース候補の180,000DWTのバルクキャリアと比較し、重油による運航時は同等の経済性を持つこと、また、アンモニアや水素といった高価なゼロエミッション燃料使用時は、従来船型よりも経済性が高いことを明らかにした。
- ・空気潤滑システムによる抵抗低減効果を向上させる周期吹出法について、船速・相当空気膜厚さ(船底に吹出した空気が一様な厚さの気膜として存在すると仮定した場合の膜厚)・吹出周期などに対する影響評価を実施するため、長尺模型試験用の周期吹出システムを設計・製作した。このシステムを用いて実船レイノルズ数となるよう全長36mの長尺模型で周期吹出のシリーズ試験を実施し(図32)、効果を確認した。
- ・内航船への空気潤滑システムの実装を進めるために、既存船の隻数が多い4,999DWT型タンカーを対象として内航船用空気潤滑システムの基本設計を実施した。空気吹出部の配置と気泡流の船底被覆状況をCFDにより確認し、省エネ効果の推定(図33)を行った。その結果、吹出動力も考慮した正味の省エネ効果として、満載状態で3.7%、バラスト状態で7.7%となることを確認した。
- ・音響流を壁面から約30度の角度で放射できる音響流放射型流場制御デバイス(以下、流場制御デバイス)を用いて流場制御実験を行った。音響流を上流側に放射(図34)することにより、音響流の強さによっては、デバイスの上流側、下流側両方で剪断力が減少すること(図35)を確認した。デバイス前後での剪断力の減少は、デバイス近傍の壁面で摩擦抵抗が低減していることを示しており、本デバイスによる流体制御が、流体の抵抗低減に有効であることが確認された。
- ・基本設計段階で使用可能な実船の水中騒音推定ツールを開発した。本ツールでは、水中騒音の簡易推定式であるBrownの式を用いて、船のプロペラから放出される水中騒音レベルを推定する。本ツールでの水中騒音推定結果とバルクキャリアの実船計測結果を比較(図36)から、本ツールによって船速の変化による水中騒音の変化を捉えられていることが確認できる。本ツールをHOPE Light V6に新機能として追加した(図37)。また、IMOでの水中騒音ガイドラインの改正案の審議において、日本提案(提案文書2件、インフォメーション文書2件)の作成と改正案の最終化作業に貢献した。
- ・ダクト型省エネ付加物(WADとUSTD)に空気吹出機能を付与してキャビテーション試験(図38)を実施し、ダクト型省エネ付加物によって最大8dB(付加物無しとの比較)の水中騒音低減を確認した(図39)。



図19 実海域再現水槽での拘束模型試験

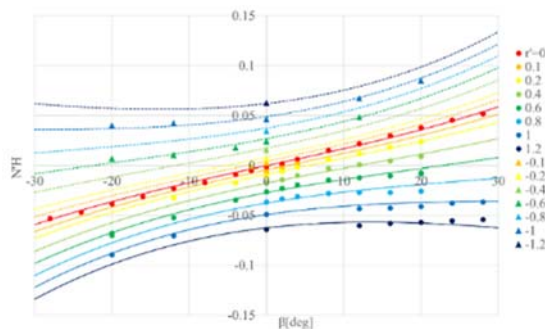


図20 操縦流体力(回頭モーメント)



$\theta=20\text{deg.}$ (Ballast MCR 状態)

図21 改良プロペラのキャビテーションの発生状況

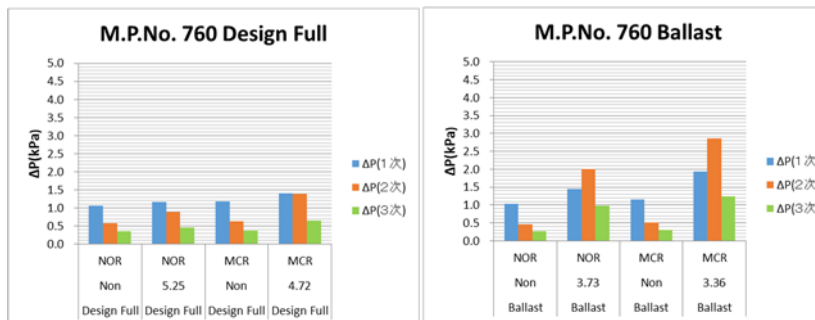


図22 船尾変動圧力の実機換算値

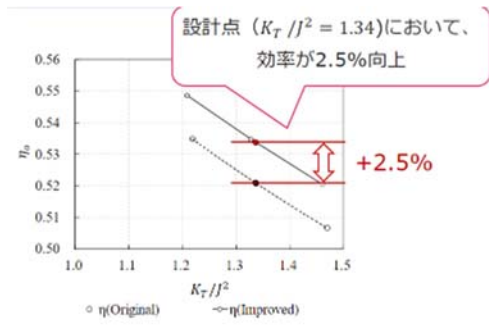


図 23 プロペラ最適設計前後のプロペラ効率比較

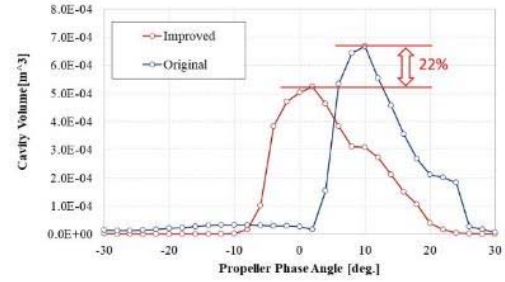


図 24 プロペラ最適設計前後のキャビテーション体積比較

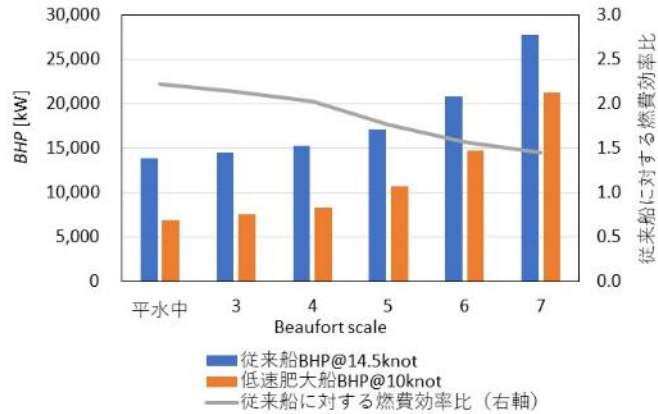


図 25 VESTA で推定した BHP および燃費効率比

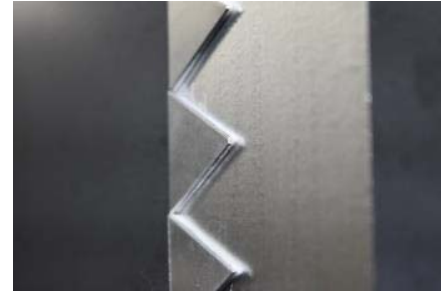


図 26 追加の乱流促進(Hama's Patch)

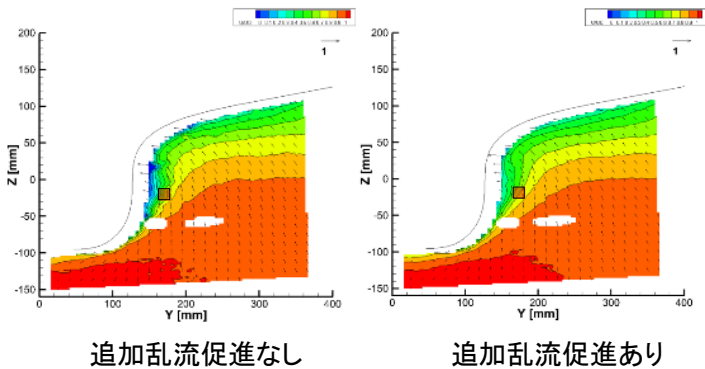


図 27 横断面内の主流速分布(時間平均)  
( $Fr=0.07$ , S.S. 3/4 より 40mm 前方の断面)

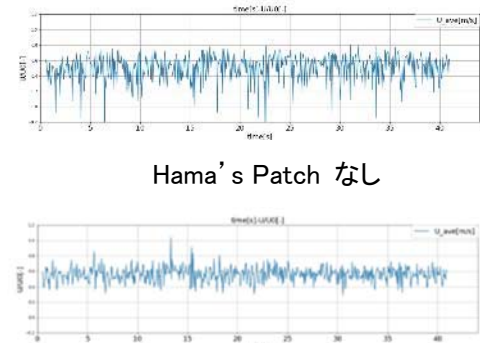


図 28 図 27 の赤色の矩形領域の主流速の時系列データ(領域平均)



気泡なし(上 平面図、下 側面図)



気泡あり(上 平面図、下 側面図)

図 29 摩擦抵抗係数の比較(低速幅広肥大船)



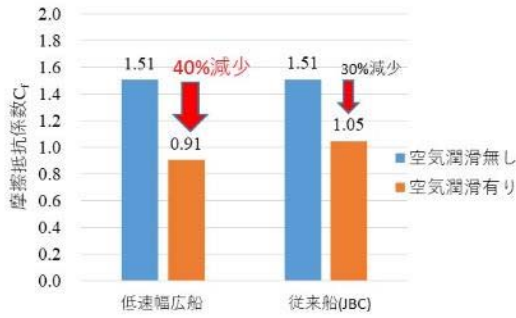


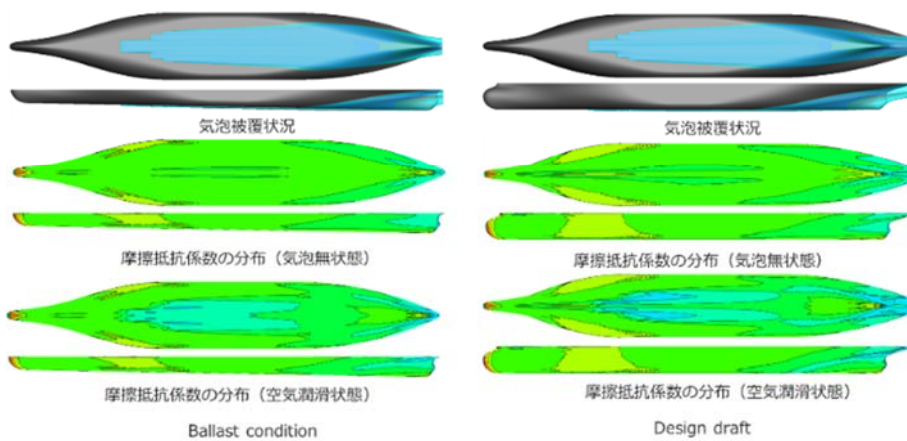
図 30 摩擦抵抗係数の比較(船速 10 ノット、満載状態、相当気膜厚さ  $t_a = 7\text{mm}$ )



図 31 2030 年の利益とその費用構成の比較



図 32 36m 長尺模型試験



Lpp	Lpp	m	98
B	B	m	15.4
Bef (有効被覆幅)	Bef	m	12.4
D	D	m	7.5
船速効率 $\eta_t = \text{BHP}/\text{CWP}$	$\eta_t$		1.03
空気効率 (空船燃費差)	1/sg		1.18
プロペラ直径	Dp	m	3.20
			バラスト 満載
主機負荷			85% 85%
実船係数			0.95 0.95
船速	V	k t s	14.5 13.5
主機出力	BHP	kW	1,665 1,665
前部吸水	d1	m	3.00 6.50
中央部吸水	d2	m	3.85 6.50
後部吸水	d3	m	4.70 6.50
推進効率	$\eta_p$		0.660 0.645
有効馬力	EHP	kW	1099 1043
気泡なし抵抗	R	kg	15,032 15,324
減速部空気膜厚さ	$t_a$	mm	7.0 7.0
吹き出し部空気膜厚さ	$t_a$	mm	12.4 12.4
所要空気量 (船尾部)	Q	m <sup>3</sup> /min	39 36
所要空気量 (大気圧)	Q	m <sup>3</sup> /min	54 60
抵抗削減量	$\Delta R$	kg	1,553 1,459
抵抗比	rr		0.897 0.905
プロペラ加重率CT	CT		1.658 1.977
空気吹き出し時の加重率CT*	CT		1.487 1.789
加重率変化分の $\eta_{pp}$ の低下率	mp		1.021 1.021
所要馬力	BHPa	kW	1,464 1,477
名目省エネ率	e	%	12.1% 11.1%
吸水による水圧(kPa)	ePa	kPa	39 67
kWh当たりの排気ガス総量	Nm <sup>3</sup> /kWh		0.0 0.0
プロペラ空気量(m <sup>3</sup> /min)	Qb	m <sup>3</sup> /min	54 60
プロペラ空気損失	eP	kPa	5.0 5.0
吐出圧(kPa)	ePa	kPa	44 72
プロペラ馬力(kW)			62 108
最終所要馬力	BHPa	kW	1,537 1,604
実質省エネ率	e		7.4% 8.3%

図 33 4,999DWT 型タンカーを対象とした内航船用空気潤滑システムの基本設計結果

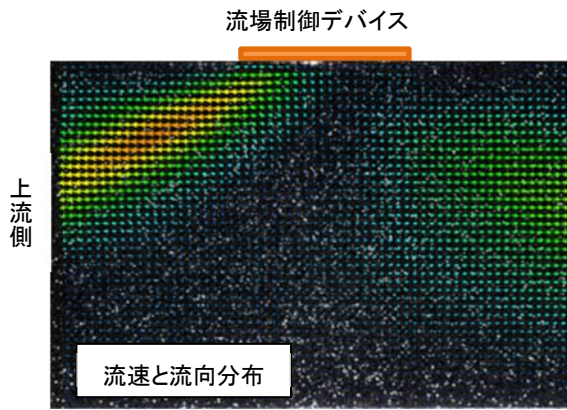


図 34 流場制御デバイスによる音響流の放射

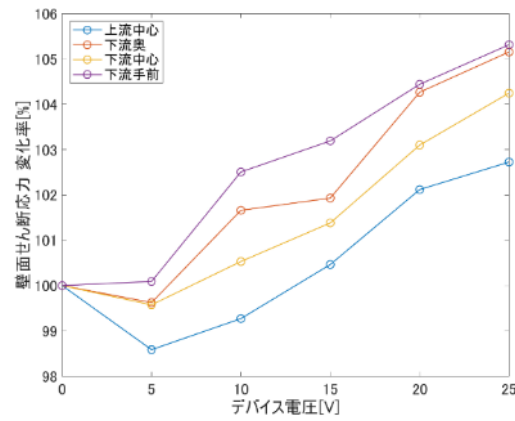


図 35 デバイスへの入力電圧と剪断力の関係

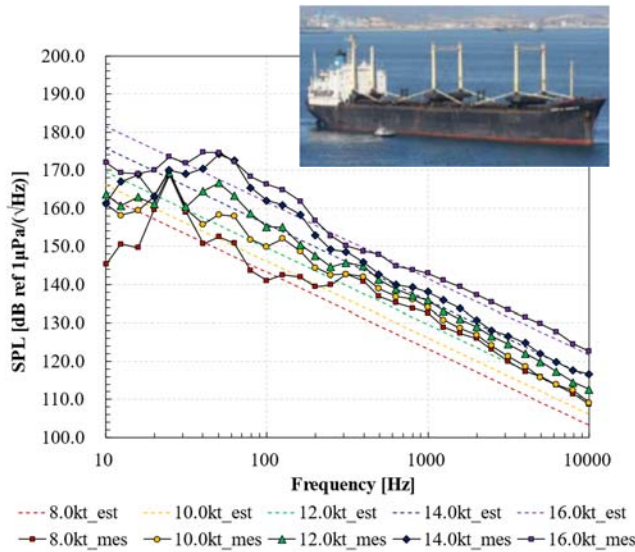


図 36 バルクキャリアの水中騒音の実船計測結果 (mes)と推定結果(est)との比較

Underwater Radiated Noise (URN) Estimation by Brown's Formula

Brown's formula

$$SL = 10 \log \left( \frac{n^3 D^4 Z}{f^2} \right) + 10 \log \left( \frac{A_c}{A_D} \right) + K$$

Item	Symbol	Value	Unit	Remarks
Speed for URN estimation	V <sub>est</sub>	16.0	[knot]	
Number of blades	Z	4	[-]	
Rate of propeller rotation	n	3.68	[rpm]	
Propeller diameter	D <sub>p</sub>	4.24	[m]	
Cavity area ratio	A <sub>c</sub> /A <sub>D</sub>	0.06	[%]	
Cavity area	A <sub>c</sub>	1.03	[m <sup>2</sup> ]	
Propeller area	A <sub>D</sub>	14.12	[m <sup>2</sup> ]	
Constant of Brown's formula	K	163	[-]	Propeller: K-163, Thruster: K-170

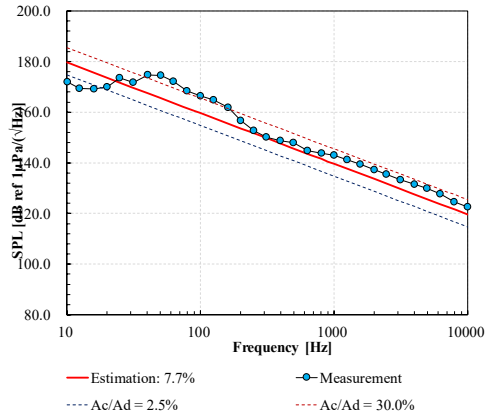


図 37 HOPE Light V6 の水中騒音推定

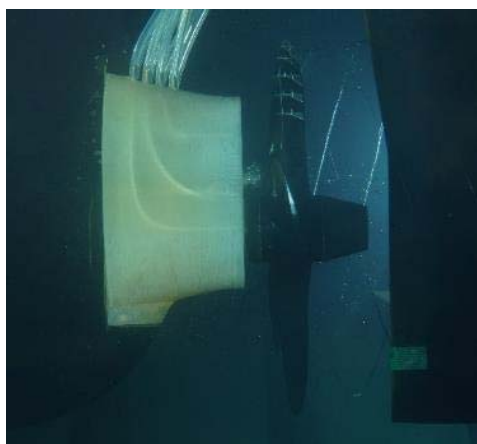


図 38 空気吹出中のキャビテーション試験

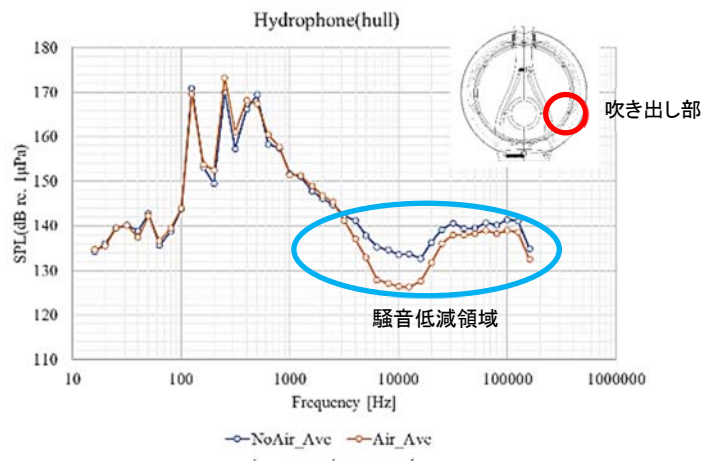


図 39 空気吹出有無での水中騒音計測結果の比較

## R4 年度成果の公表

### □査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):17 件(投稿中:9 件、採択済:3 件、掲載済:5 件)

- M. Kuroda et al.: The estimation of ship performance with self-propulsion factors by the load variation method (INT-NAM 2023)(投稿中)
- N. Sogihara et al.: LIFECYCLE ASSESSMENT OF FUEL SAVING IN BULK CARRIER WITH A FLETTNER ROTOR (OMAE2023)(採択済)
- N. Sogihara et al.: Enhancing Measurements of Added Resistance in Regular Waves Based on Uncertainty Analysis(INT-NAM 2023)(投稿中)
- T. Matsuzawa et al.: Full-scale experiments of JCG P/V SOYA from 1991 to 2013 in the Southern Sea of Okhotsk (Okhotsk Sea and Polar Oceans Research) (掲載済)
- 金子杏実ほか: 平水区域の波と風の統計的性質—日本海・三陸海岸—(日本航海学会論文集) (掲載済)
- 金子杏実ほか: 平水区域の波と風の統計的性質—九州・北海道—(日本航海学会論文集) (投稿中)
- Kume, K. et al.: Experimental Validation of Standardised Procedures for Added Resistance and Ship Motion Estimates in Regular Waves by Round-robin Tests (JMST)(投稿中)
- O. Bondarenko et al.: DEVELOPMENT OF A FREE-RUNNING MODEL TEST METHODOLOGY FOR EVALUATION OF A FULL-SCALE SHIP PROPULSION SYSTEM PERFORMANCE (30th CIMAC Congress) (採択済)
- K. Shiraishi et al.: Development of Cavitation Shape Measurement Method Using Multi-View Line Sensing Method (7th International Symposium on Marine Propulsors)(掲載済)
- K. Shiraishi et al.: Cavity Shape Measurement on Propeller Blade Surface by Combination Line CCD Camera Measurement Method (JMST)(投稿中)
- M. Kanazawa et al.: Bridging similar ships' dynamics for safeguarding the system identification of maneuvering models (Ocean Engineering)(投稿中)
- Y. Ichinose et al.: Interactive ship flow simulation enhanced by neural network model in a web environment (37th International ECMS Conference on Modelling and Simulation)(投稿中)
- 岡田善久ほか: プロペラピッチ分布と複数の省エネ付加物の干渉影響に関する研究—ピッチ分布と船尾ダクトが舵周りの流場に与える影響について—(日本船舶海洋工学会論文集) (採択済)
- 拾井隆道ほか: Fiber Bragg Gratings センサを利用した壁面せん断応力計の開発(海上技術安全研究所報告(研究報告)) (掲載済)
- Hiroi, T., et al.: Investigation of Drag Reduction by Bubbles Using Simultaneous Measurement of Wall Shear Stress, Liquid Phase Velocity and Bubble Distribution (ASME 2022 Fluids Engineering Division Summer Meeting)(掲載済)
- H. Kawashima et al.: Parameter Effects of Air Lubrication on Energy Savings (JMST) (投稿中)
- 澤田祐希ほか: 空気吹出機構を持つ省エネダクトを用いた水中騒音低減に関する研究(日本船舶海洋工学会論文集) (投稿中)

### □その他発表論文:35 件(投稿中:2 件、掲載済:33 件)

- 辻本勝: 船舶の風圧抵抗低減・風力利用と近年の動向(日本船舶海洋工学会誌(KANRIN)) (掲載済)
- 久米健一: 海上における風の商船への影響(日本船舶海洋工学会誌(KANRIN)) (掲載済)
- 松沢孝俊ほか: 南部オホーツク海における氷中航行の実船実験(日本船舶海洋工学会秋季講演会)(掲載済)
- T. Matsuzawa et al.: Development of risk quantification method for oil-spill along the ship tracks in the Arctic (The 37th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans 2023)(掲載済)
- N. Sogihara et al.: Lifecycle Assessment of Fuel Oil Consumption of a Ship in Service (HullPIC2022)(掲載済)

- ・粉原直人ほか: ウェザールーティングによる ローター船の省エネ効果の評価に関する研究(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
- ・粉原直人ほか: 実船モニタリングにおける統計解析周期に関する検討(日本船舶海洋工学会秋季講演会)(掲載済)
- ・粉原直人ほか: ローター船の省エネ効果に関する研究(第 83 回実海域推進性能研究会)(掲載済)
- ・金子杏実ほか: 平水区域の波と風の統計的性質—海域の特徴—(第 83 回実海域推進性能研究会)(掲載済)
- ・金子杏実ほか: 平水区域の波と風の統計的性質とその評価(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
- ・辻本勝: EEDI 規制と船舶性能(関西海事教育アライアンス)(掲載済)
- ・辻本勝: 船舶抵抗・推進論(東京大学大学院新領域創成科学研究科)(掲載済)
- ・辻本勝: 流体設計系が取り組む研究開発—実海域実船性能—(九州大学大学院工学研究院)(掲載済)
- ・辻本勝: 400m 水槽工事について(第 84 回実海域推進性能研究会)(掲載済)
- ・辻本勝: 400m 水槽工事と流体設計系中長期ビジョン(第 11 回水槽試験技術交流会)(掲載済)
- ・辻本勝: 中水槽の中長期ビジョンと将来像, 海上技術安全研究所報告(海上技術安全研究所報告)(掲載済)
- ・粉原直人ほか: 中水槽の推進性能試験における不確かさ評価(海上技術安全研究所報告)(掲載済)
- ・O. Bondarenko et al.: Assessment of Propulsion Engine Reliability Degradation Through the Continuous Analysis of Service Data (G-NAOE 2022)(掲載済)
- ・北川泰士ほか: 船舶の波浪中主機応答予測のための実験的手法及び計算手法(海上技術安全研究所報告)(掲載済)
- ・ボンダレンコ オレクシーほか: 強化学習技術を用いた船用エンジン最適制御システムの開発の現状と課題(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
- ・ボンダレンコ オレクシーほか: 船舶推進主機のデジタルツイン - 数学モデルとモデル同定の検証(日本船舶海洋工学会会誌(KANRIN))(掲載済)
- ・O. Bondarenko et al.: Empowering Propulsion Engine Digitalization Utilizing Digital Twin, Kalman Filter and Data Assimilation(日本船舶海洋工学会令和 5 年春季講演会)(投稿中)
- ・白石耕一郎ほか: 差分進化法を用いた船用プロペラ翼形状の多目的最適化法の開発(第 86 回ターボ機械協会総会講演会講演集)(掲載済)
- ・白石耕一郎ほか: 多視点型ラインセンシング法を用いたキャビテーション形状計測(第 87 回ターボ機械協会(京都)講演会講演集)(掲載済)
- ・白石耕一郎ほか: 大型キャビテーション水槽における計測技術の高度化(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
- ・拾井隆道: 外航ばら積み船における実船伴流、水中騒音、船尾変動圧力計測(第 199 回船用プロペラ研究会)(掲載済)
- ・拾井隆道: 本物の船の周りの流れはどうなっている?(今治地域造船技術講演会)(掲載済)
- ・K. Kume: The Geometry of JBC Above Water Surface and the Wind Tunnel Test Results(海上技術安全研究所報告)(掲載済)
- ・Kawashima, H., et al.: Experiments On Flow Field Control Using a Unidirectional Acoustic Flow Generator Device (13th Pacific Symposium Flow Visualization and Image Processing)(掲載済)
- ・川島英幹ほか: カーボンニュートラル社会に対応した船舶の省エネデバイスと省エネ船型の技術開発(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
- ・川島英幹ほか: 音響流放射型流場デバイスによる流場制御実験(海上技術安全研究所研究発表会)(掲載済)
- ・拾井隆道: 奨励賞授賞論文紹介 ダブル光ファイバースコープを用いた気泡による乱流摩擦抵抗変化に関する研究(日本船舶海洋工学会誌(KANRIN))(掲載済)
- ・拾井隆道: せん断応力計測による水平チャンネルにおける気泡による摩擦抵抗変化の速度影響調査(日本混相流学会混相流シンポジウム 2022)(掲載済)

- ・拾井隆道ほか:ダブル光ファイバースコープを用いた乱流境界層中の気泡特性計測技術の開発(日本船舶海洋工学会第22回推進・運動性能研究会)(掲載済)
- ・朴炫珍ほか: Estimation of the diffusion of bubbles injected for the air lubrication on a flat-bottom ship (International Conference on Multiphase Flow)(投稿中)

#### **□特許申請:3件**

- ・船舶推進システムの性能劣化モニタリング方法、性能劣化モニタリングプログラム、及び性能劣化モニタリングシステム
- ・多視点型ラインセンシング法による3次元計測装置
- ・画像処理を用いたキャビテーション発生の定量的評価装置

#### **□コアプログラム登録:3件**

- ・実船性能高速シミュレーションライブラリモジュール V2 版
- ・SALVIA-OCT-app V2 版
- ・HOPE Light V6

#### **□国際貢献:12件**

- ・TOR8 – Derive a modified procedure for full scale trial of wind propulsion ships –(ITTC/wind), 2022
- ・Suggested Decision-making process (ISO WG17)
- ・Validation of NMRI method for Wave Correction (ITTC FSSPC)
- ・Progress of ToR 3E (ITTC FSSP)
- ・Progress of ToR 5C (ITTC FSSPC)
- ・Some conclusions required to be reconsidered in the current comment list (ISO WG17 N123)
- ・Validation for NMRI method (ITTC FSSPC)
- ・Current Status Report for TOR8 (30th ITTC Specialist Committee on Ice 4th Meeting)
- ・Comments on the concept to manage the underwater radiated noise level of each ship proposed by the Correspondence Group on review of the Guidelines for the Reduction of Underwater Noise (MEPC.1/Circ.833) (SDC 9/5/4)
- ・Comments on the next steps proposed by the Correspondence Group on review of the Guidelines for the Reduction of Underwater Noise (MEPC.1/Circ.833) (SDC 9/5/5)
- ・Report on underwater sound measurements in Japan and discussion on estimating source levels of underwater radiated noise from a ship (SDC 9/INF.10)
- ・Study on comparison of operational and design approaches based on the relationship between Underwater Radiated Noise (URN) reduction measures and GHG emission (SDC 9/INF.11)

#### **□受賞:2件**

- ・拾井隆道:日本船舶海洋工学会奨励賞(乾賞),「ダブル光ファイバースコープを用いた気泡による乱流摩擦抵抗変化に関する研究」,日本船舶海洋工学会論文集,第34号.
- ・金子杏実:フレッシュマン講演奨励賞,「平水区域の波と風の統計的性質—日本海・三陸海岸—」,日本航海学会第146回講演会

#### **□公開実験:1件**

- ・中水槽50周年記念講演会,中水槽オンライン立会システム,2022.

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

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

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p> <p>－実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発、及び実船スケールにおける波浪中のフリーラン計算手法の開発を行う。等</p>

**研究の背景**

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。

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

## 期間全体の研究目標

- ・実船スケールを含む平水中性能計算手法の確立と計算ガイドライン(国交省海事局, ITTC への提案)
- ・実プロペラモデルとの組合せを含む実用的な形状を有するハイブリッド型省エネ付加物に対する性能推定手法およびキャビテーション計算手法の開発
- ・上部構造物を含む風圧抵抗の評価手法の確立と計算ガイドライン(実海域実船性能評価プロジェクト)
- ・波浪中での計算手法(実海域実船性能評価プロジェクト)
- ・荒天時における区画損傷時船舶の船体運動及び船体構造強度のシミュレーションが可能
- ・CAD、CFD、最適化手法を組み合わせて、船体や省エネ付加物等の形状最適化が可能
- ・大規模計算にも適した新たな RANS/LES/LBM ハイブリッド計算手法により高速な計算手法を開発

上記成果は、以下があげられる。

- ・平水中における実船スケールを含む計算ガイドライン、実船馬力推定における風圧抵抗評価手法の確立およびガイドライン等の成果を活用し、ITTC Recommended Procedure 等による国際標準化において公平かつ標準的な計算法の策定に貢献する
- ・大波高時の区画傷時の船体運動計算が可能になり、船体構造強度を含めた計算手法を確立する
- ・実海域性能を推定できる高速な CFD システムを産業界に提供することにより、短期間で高性能な船型を開発できるようになる。また、平水中・波浪中で効果の高い省エネ付加物等の開発により、我が国海洋産業の国際競争力が強化される

## R4 年度研究目標

### □小項目 2

- ・一様・非一様流中における船用プロペラキャビテーション計算と検証を行うとともに、モデルの高度化、さらに船用プロペラキャビテーション計算に適した計算手法の指針を検討し、計算手法を確立する。

### □小項目 4

- ・実船スケールにおける波浪中自由航走計算手法を開発する。

### □小項目 5

- ・海難事故を想定した状態を設定し、海難事故の解析にも資する計算手法として、荒天時における区画損傷時船舶の船体運動及び船体構造強度のシミュレーションが可能な計算手法を確立する。

### □小項目 7

- ・格子ボルツマン法と有限体積法の重合格子によるハイブリッド計算手法の開発を継続する。有限体積法で使用する乱流モデルのハイブリッド計算手法への適用性について基礎的な検証を行う。

## R4 年度研究内容

### □小項目 2

- ・一様・非一様流中における船用プロペラキャビテーション問題に対する検証を行うとともに、キャビテーションモデルのキャビテーション気泡について圧縮性を考慮する方法・液相中の溶存気体の気相への析出量を考慮する方法等を開発し、モデルの高度化を行う。また、船用プロペラキャビテーション計算に適したプロペラ周りへの重合格子生成法についても検討を行い、計算指針を検討する。

### □小項目 4

- ・動的重合格子手法による実船スケールでの向波中での直進状態及び波浪中旋回状態の計算手法を開発し、検証を行う。実船スケールの高アスペクト比格子が移動した場合でも精確かつ高効率で重合情報を構築する手法を開発する。

**□小項目 5**

- ・海難事故事例等から、座礁等により船体が損傷して区画浸水している状態を選定する。複数の区画浸水と損傷孔を設定し、波浪中計算を行い、船体構造応答計算に必要な波浪荷重を導出する。導出した波浪荷重を元に区画損傷状態における弾性変形の船体構造応答計算を行い、一般性及び拡張性を有する連成計算手法を確立する。

**□小項目 7**

- ・ハイブリッド計算手法開発の継続として乱流モデルのハイブリッド計算手法への適用性について基礎的な検証を行う。

**R4 年度研究成果**

**□小項目 2**

- ・省エネ付加物有り/無しの船尾伴流中で作動するプロペラについて、プロペラ翼に発生するキャビテーション範囲を推定した。
- ・キャビテーション計算条件であるプロペラ荷重および船尾伴流を正確に再現するための計算格子生成指針を得た。
- ・上記指針で得た計算格子を用いることで、非常に流場変化の激しい逆転状態でのプロペラ周り流場も計算可能であることを示した。

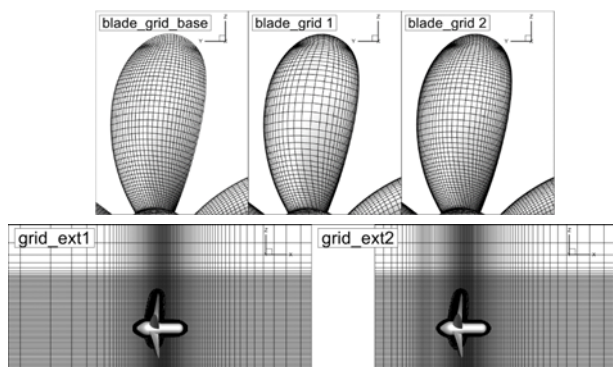


図 プロペラキャビテーション用計算格子

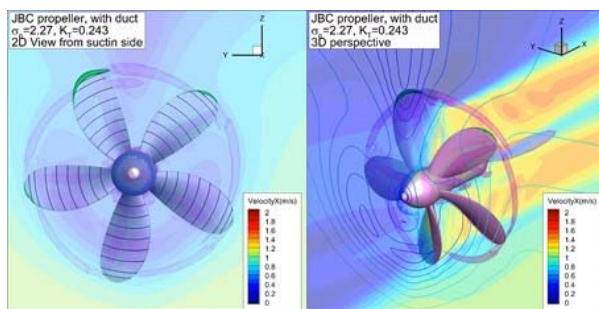


図 伴流中でのプロペラキャビテーション計算

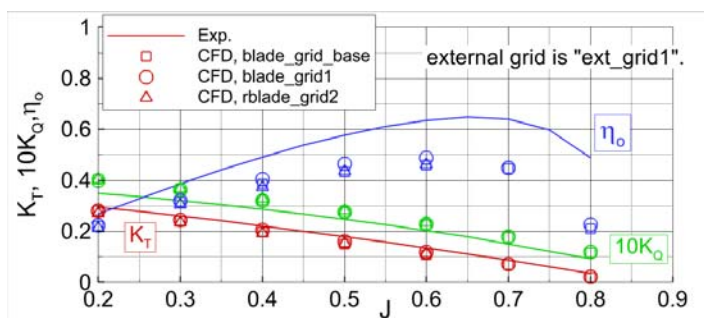


図 単独性能の比較検証

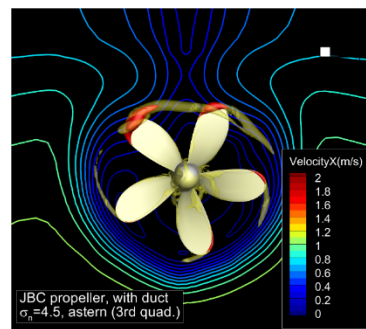


図 逆転状態におけるキャビテーション発生範囲推定

**□小項目 4**

- ・タンカー船型の KVLCC 船型(船長 320m)を使用し、実船スケールにおける波浪中での航走計算手法を開発し、向波中の直進状態の計算及び波浪中旋回計算等を行った。地球固定座標系で波浪場を表現し計算領域全体をまかなう格子、自走する船体と舵等を動的重合格子手法に基づき組み合わせ、1000 万点程度の格子数を使用して、波浪中(波高 5m、波長船長比=1.0)での自由航走と 35 度旋回計算を実現した。
- ・重合格子手法において、計算から除外する領域を指定する solid block 機能と、各計算格子の干渉/非干渉の明示的制御を組み合わせることで、ラダーホーンを有する舵等についても、重合格子を生成できる独自の手法を開発した。フラップ舵の舵角付き操縦運動シミュレーション手法を模型試験結果と比較することで



検証を実施した。

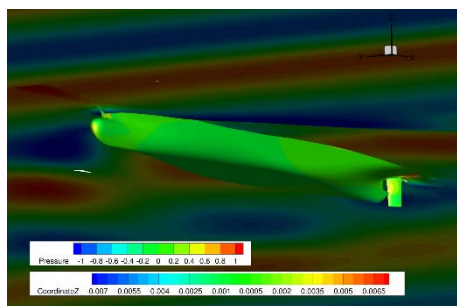


図 波浪中の自由航走旋回シミュレーション

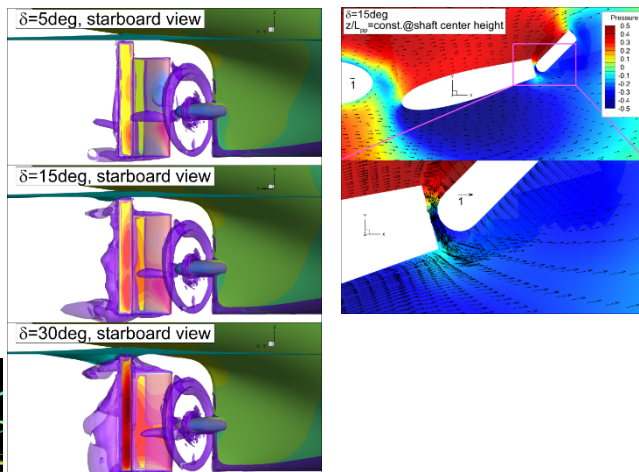


図 フラップ舵付きでの操縦運動シミュレーション

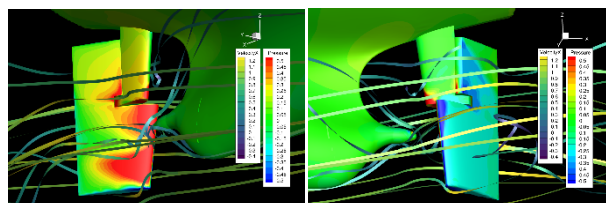


図 ラダーホーン付き舵回り計算(自航)例

### □小項目 5

- ・海難事故事例から状態を設定し、海難事故の解析にも資する計算手法として、荒天時における区画損傷時船舶の船体運動及び船体構造強度のシミュレーションが可能な計算手法を確立した。船長約 170m のカーフェリーの事故事例を選定し、両舷の void タンク等、6 つの区画及び船長方向に 6 区画に渡る亀裂による損傷孔を重合格子手法により再現した。複数区画が浸水し向波(波高 3m、波長船長比 1.0)を受ける状態で、船体運動や圧力分布の変動等から計算手法の妥当性を確認した。
- ・複数区画損傷状態の結果から波浪荷重を抽出し、同状態の FE モデルに荷重をマッピングすることで構造応答計算を行った。主船体や区画の応力の変動等から妥当性を確認した。国際的にもこのように多数の区画の損傷状態を扱われた例は見られない。

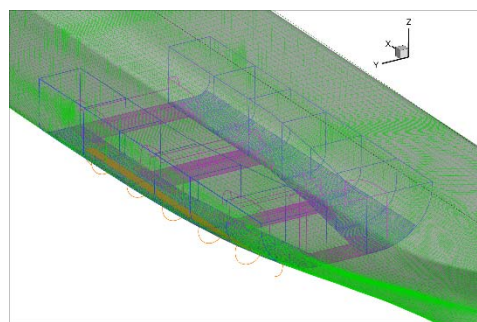


図 複数区画浸水及び損傷孔の重合格子

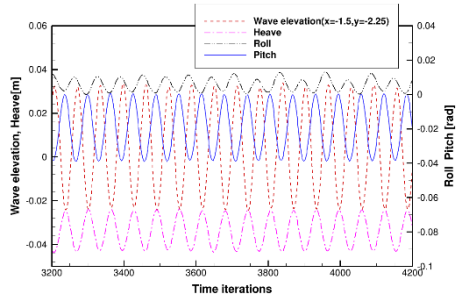


図 複数区画浸水状態での船体運動の履歴

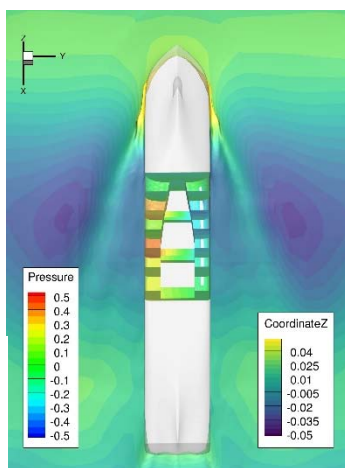
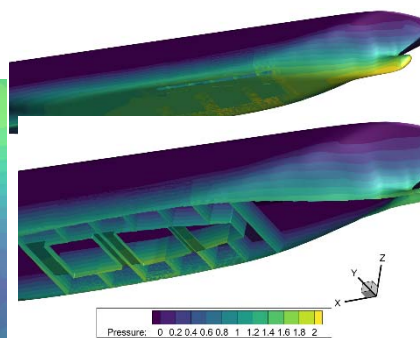
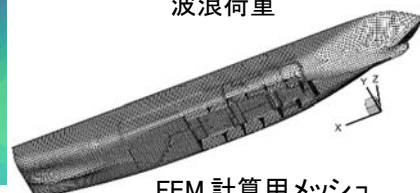


図 向波中での区画内を含む圧力分布



波浪荷重



FEM 計算用メッシュ  
von Mises 応力分布

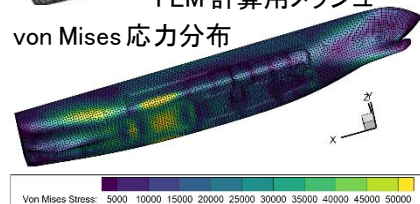


図 波浪荷重と船体構造応答計算

### □小項目 7

- ・重合格子による有限体積法(FVM)と格子ボルツマン法(LBM)のハイブリッド化の検討を継続。円柱周り流れにおいて円柱周りに有限体積法を、外側領域に格子ボルツマン法を適用し、重合格子手法により流場変数を交換。有限体積法の場合とハイブリッド計算法で比較し、円柱周り流場、抵抗係数についても両者で一致する結果が得られた。

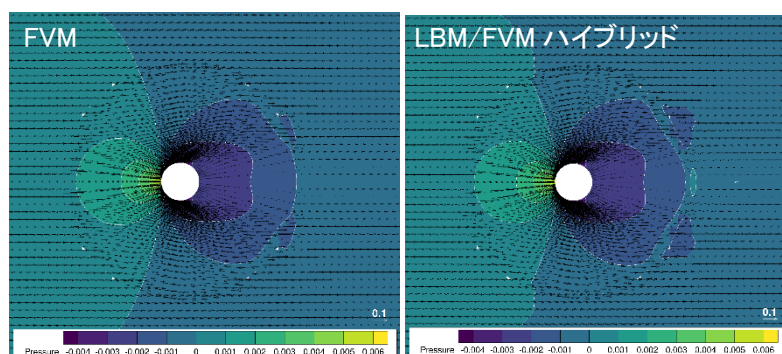


図 有限体積法とハイブリッド法の円柱周り流れ場の比較

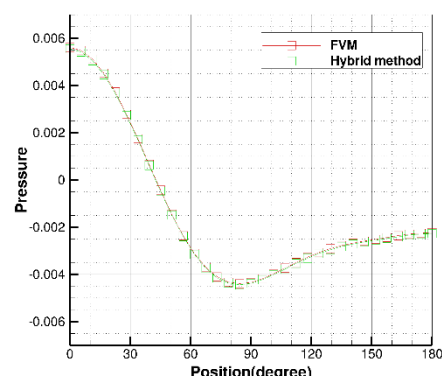


図 円柱表面圧力分布の比較

#### R4 年度成果の公表

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

- ・Kobayashi, H. et al.: CFD assessment of the wind forces and moments of superstructures through RANS, Applied Ocean Research, Vol.129, 2022
- ・Sakamoto, N. et al.: False bottoms revisited: computational study for KCS under pure yaw motion in shallow water ( $H/T = 1.2$ ), Journal of Marine Science and Technology, 2022

**□その他発表論文: 7件(投稿中: 0件、掲載済: 7件)**

- ・坂本信晶他: 水槽床状態の違いが浅水域船舶操縦性評価に与える影響の解明, 海技研発表会
- ・Ohashi, K.: Development of Hybrid Parallelization Method on Overset-Grids Method Using Shared Memory (OpenMP) and Distributed Memory (MPI) Techniques, ACFD2022
- ・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化に関する基礎検討, 日本流体力学会年会 2022
- ・Sakamoto, N. et al.: Viscous CFD Estimation of Rudder-related Parameters in MMG model for a Ship with Flap Rudder, 日本船舶海洋工学会秋季講演会
- ・Kobayashi, H. et al.: Numerical simulation for ship motion of a damaged ship in beam sea, 第36回数値流体力学シンポジウム, 2022
- ・Kobayashi, H. et al.: Numerical simulation of turning motion in regular head waves, 第36回数値流体力学シンポジウム, 2022
- ・大橋訓英他: 流体構造連成による波浪中での船体運動と応力解析, 第36回数値流体力学シンポジウム, 2022

**□コアプログラム登録: 3件**

- ・重合格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(NAGISA) Ver4.0
- ・複雑形状物体まわり流場計算のための重合格子処理プログラム(UP\_GRID) Ver2.1R5
- ・CFDポスト解析システム Ver.2.0

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

<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆7 多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究</b>
--------------	--

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法に関する研究開発</p> <p>－実海域実船性能評価技術の社会実装及び燃焼消費量最小化のための新技術の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、低速時波浪中性能および省エネ技術を考慮した実海域性能評価法の開発、及び実船スケールにおける波浪中のフリーラン計算手法の開発を行う。等</p>

**研究の背景**

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

具体的には、以下があげられる。

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

**期間全体の研究目標**

- ・ 水素エネルギーを利用した船用動力システムおよび多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価手

法

- ・各種動力システムの安全性評価手法

上記成果は、以下があげられる。

- ・多様なエネルギー源を船舶で活用する技術により、水素社会、環境にやさしい社会が実現される。
- ・先駆的な技術開発により我が国海事産業の国際競争力が強化される。

#### R4 年度研究目標

##### □小項目 3

- ・高負荷・高混焼率での水素混焼ガスエンジンの燃焼安定化技術の確立
- ・水素混焼ガスエンジンの安全管理手法の確立
- ・カーボンフリー燃料利用時の排気流量評価手法の検討
- ・強化学習の理論に基づく水素混焼ガスエンジンシステムシミュレータ構築

##### □小項目 4

- ・アンモニア混焼ディーゼル機関からの未燃 NH<sub>3</sub> 及び N<sub>2</sub>O 排出量低減手法の確立
- ・水素による NH<sub>3</sub> 燃焼支援効果の利用技術の検討
- ・船用大型エンジンのアンモニア層状噴射燃焼技術の開発

##### □小項目 5

- ・連携型省エネ内航船のコンセプト立案と実船建造支援
- ・内航船のカーボンフリー燃料利用技術に関する研究
- ・外航船のカーボンフリー燃料利用技術に関する研究

#### R4 年度研究内容

##### □小項目 3

- ・水素エンジン等の安全性評価

##### □小項目 4

- ・アンモニア燃料利用技術の開発

##### □小項目 5

- ・多様なエネルギー源を用いた動力システムの評価

#### R4 年度研究成果

##### □小項目 3

- ・負荷率 25%、50%、75%、93%の幅広い条件にて水素熱量混焼率 90%以上(図 1)で実験した。希薄燃焼、副室燃料停止、点火時期調整によって、適切な燃焼期間で安定燃焼を実現した。さらに、高水素混焼率であっても、低 NO<sub>x</sub>(図 2)かつ高効率(図 3)が実現できることを確認した。
- ・クランクケースの空気希釈システムと水素濃度監視によって、クランクケース内水素濃度を LEL50%以下に維持することができた。希釈空気流量が過大になると、クランクケース内圧力が増大することで、軸端から潤滑油が漏洩することが確認された。十分かつ適切な希釈をするためには、クランクケース内圧力をコントロールするため、クランクケース排出管に吸引ブロアを設置するなどの対策を検討する必要がある。
- ・炭素バランス法と酸素バランス法による排気流量の評価を実施した(図 4)。水素無混焼時は、両手法は近い値(±1%以内)であった。ガス分析精度の影響(図 4 中のエラーバー)は、水素熱量混合率 60%以下で

は炭素バランス法と酸素バランス法は同程度であるが、水素熱量混合率 90%付近では炭素バランス法ではガス分析精度の影響が大きいが、酸素バランス法では小さく有利となることがわかった。

- 前年度構築した強化学習計算環境をさらに改良し、並列計算技術を導入することで計算パフォーマンスを向上した。上記計算プログラムを活用して様々な制御アルゴリズムの検証を行った。その結果、エージェントアルゴリズム PPO および TRPO を使用した場合、学習回数に応じて報酬点の向上及びガスエンジンの運転状態向上が期待できる計算例が得られた。(図 5)

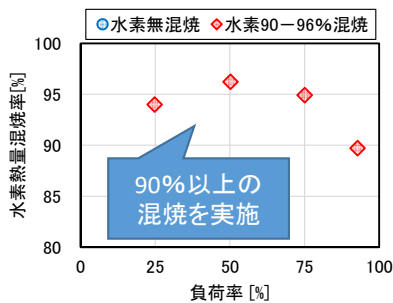


図 1 負荷率と水素熱量混合率

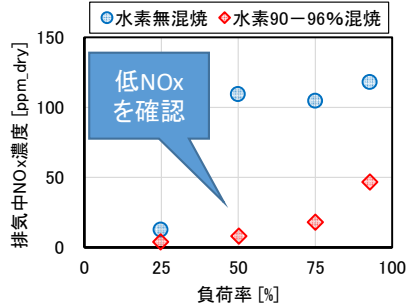


図 2 排気中 NOx 濃度

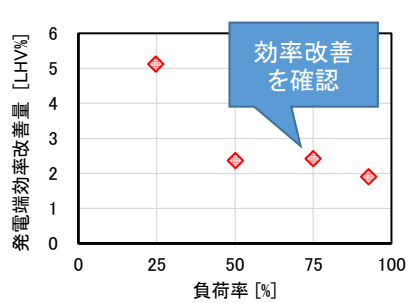


図 3 発電端効率の改善量

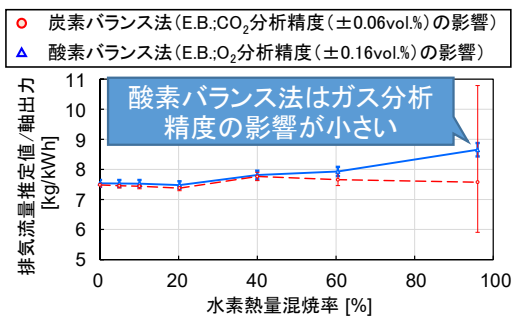


図 4 炭素バランス法と酸素バランス法の比較

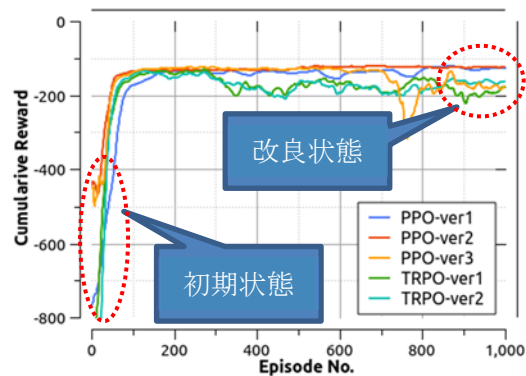


図 5 学習回数に応じた報酬点

#### □小項目 4

- アンモニア混焼ディーゼル機関からの未燃 NH<sub>3</sub> 及び N<sub>2</sub>O 排出量低減手法の確立については、吸気加熱器を(図 6)用いて吸気温度をコントロールし(液化 NH<sub>3</sub> の気化熱で吸気温度が下がる対策)、吸気温度が N<sub>2</sub>O や未燃 NH<sub>3</sub> 排出量に与える影響を調査し、NH<sub>3</sub> 混焼率が 60%より多い場合、吸気温度を上昇させることで、N<sub>2</sub>O の排出量を低減できることを確認した(図 7)。
- NH<sub>3</sub> 混焼率 60%以上の混焼率において、軽油早期噴射による燃焼位相の制御による未燃 NH<sub>3</sub> と N<sub>2</sub>O の低減効果を調査した。NH<sub>3</sub> 混焼率が 70%より多い場合、軽油早期噴射によるエンジンの運転が困難であり、未燃 NH<sub>3</sub> と N<sub>2</sub>O の低減効果が得られなかった(図 8)。同方式の適用範囲の拡張のため CFD の活用を考え、エンジン内の燃焼状態を解析(図 9)し、定性的に実験結果と一致する結果を得た(図 10)。

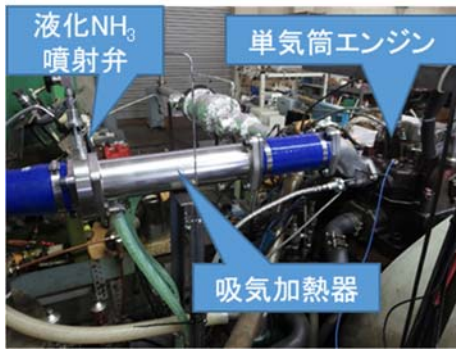


図 6 液化 NH<sub>3</sub> 噴射弁と吸気加熱器

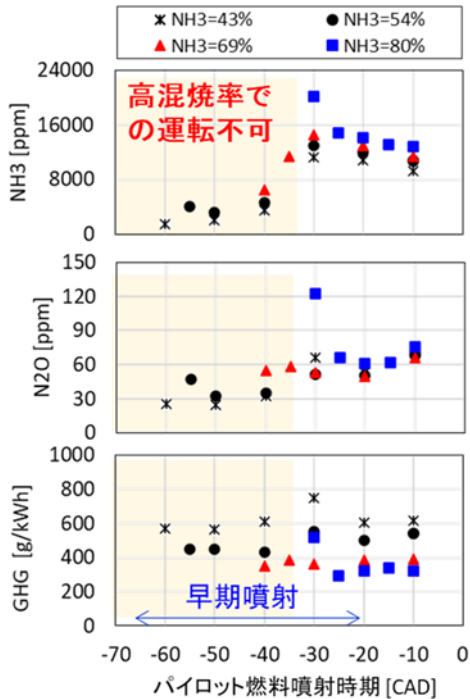


図 8 NH<sub>3</sub> 混焼率別の早期噴射による排ガスへの影響

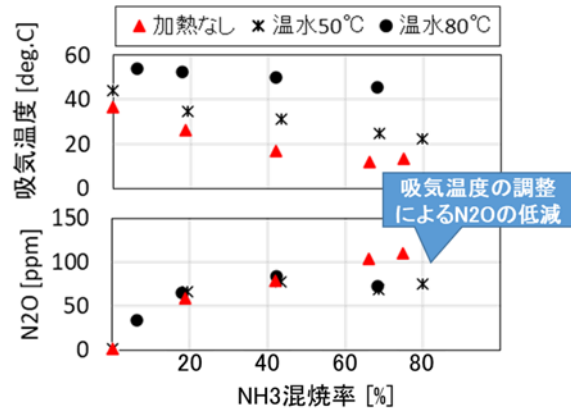


図 7 吸気温度上昇による N<sub>2</sub>O の低減混焼率

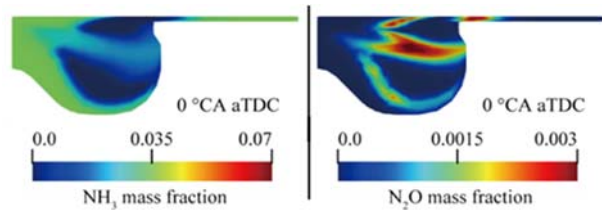


図 9 燃焼室内の NH<sub>3</sub>: 左と N<sub>2</sub>O: 右の分布 (計算)

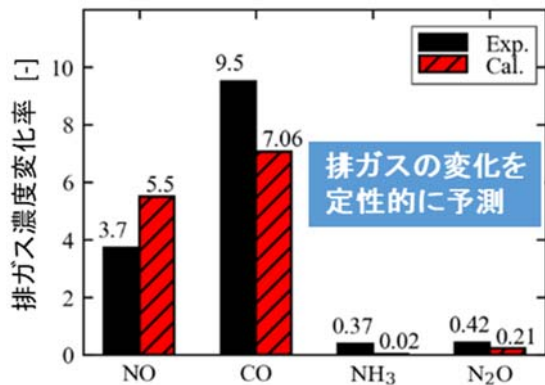


図 10 排ガス成分変化比率(実験: 黒・計算: 赤)

- ・水素による NH<sub>3</sub> 燃焼支援効果の利用技術を検討するため、NH<sub>3</sub> 混焼割合と H<sub>2</sub> の混合量を変化させて、H<sub>2</sub> の混合により未燃 NH<sub>3</sub> 低減やその他排ガス成分の変化と燃焼状態の変化を確認した。また、NH<sub>3</sub> 改質触媒を利用して H<sub>2</sub> を含む NH<sub>3</sub> 改質ガスを単気筒エンジンに供給し、NH<sub>3</sub> 改質システムの実現に向けた課題を抽出した。
- ・船用大型エンジンのアンモニア層状噴射(補助燃料-NH<sub>3</sub>-補助燃料)燃焼技術の開発については、大型定容燃焼試験装置(図 11)を用いて、船用 2st エンジンに適用する NH<sub>3</sub> 層状噴射燃焼に関する可視化実験を実施した。NH<sub>3</sub> 層状噴霧火炎の分光計測から NH<sub>3</sub> 燃焼の証拠となる NH<sub>2</sub>\* の発光を観測し、NH<sub>3</sub> は火炎基部で速やかに燃焼を開始し先端に至るまでに反応が完了していることが明らかになった。(図 12)。シャドウグラフ撮影(噴霧形成部分を影として撮影する手法)から、NH<sub>3</sub> 層状噴霧と 100%補助燃料噴霧の発達特性は類似することが明らかになり(図 13)、従来燃料の噴霧の知見の一部を、NH<sub>3</sub> 層状噴霧の設計や CFD に適用できることが示された。高速度撮影から、従来燃料の燃焼には見られない特徴的な燃焼プロセス(リフトオフ位置の下流への移動、噴射終了時期付近での再着火など)が初めて明らかになった(図 14)。

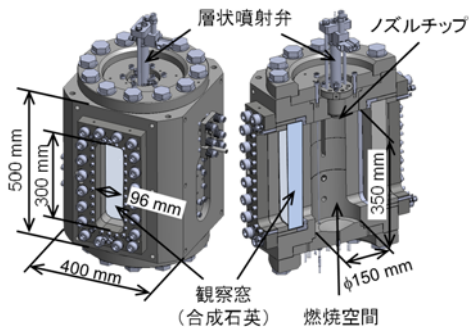


図 11 大型燃焼試験装置

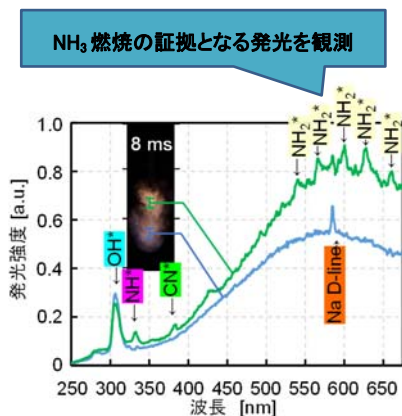


図 12 火炎発光の分光計測結果

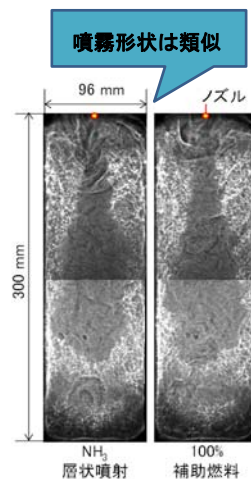


図 13 噴霧形状の可視化画像

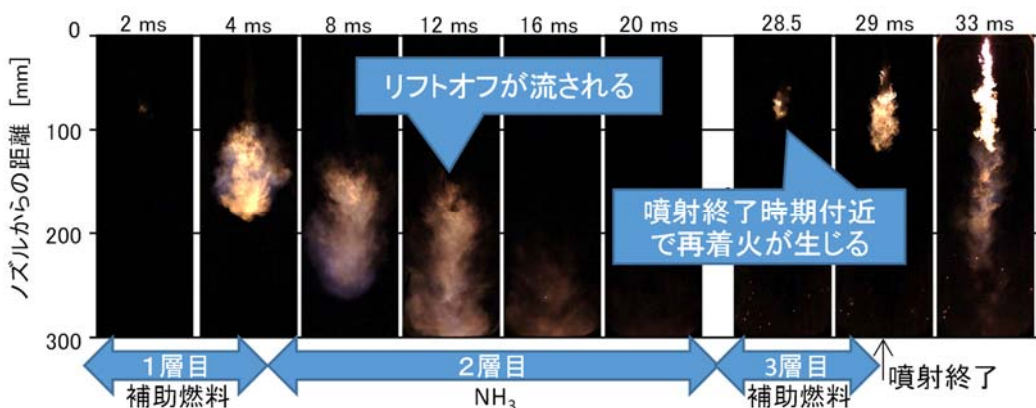


図 14 NH<sub>3</sub> 層状噴射燃焼の可視化画像 (補助燃料には軽油代替としてセタンを使用)

### □小項目 5

- ・連携型省エネ内航船のコンセプト立案と実船建造支援のため、2021 年度に国土交通省が提案した、省エネ機器の組み合わせや船主との連携による GHG 削減を目指す“連携型省エネ船”について、国土交通省や内航海運関係者らと共同で、詳細なコンセプトを検討・立案した(図 15)。また、(一社)内航ミライ研究会らが実施する環境省事業に協力して、運航・荷役・離着機・停泊時の省エネ化を目指した 499GT 内航貨物船の建造支援を行った。
- ・内航船のカーボンフリー燃料利用技術に関する研究として、内航船の 2050 年ネットカーボンニュートラルを目指して、水素エンジンを搭載する小型船の安全性評価等を実施した。また、国土交通省事業として、バイオ燃料を利用する大型貨物船の実証試験を補助するとともに、バイオ燃料に関連した各種陸上試験を実施し、その成果を基に「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン案」を策定した(図 16、表 1)。

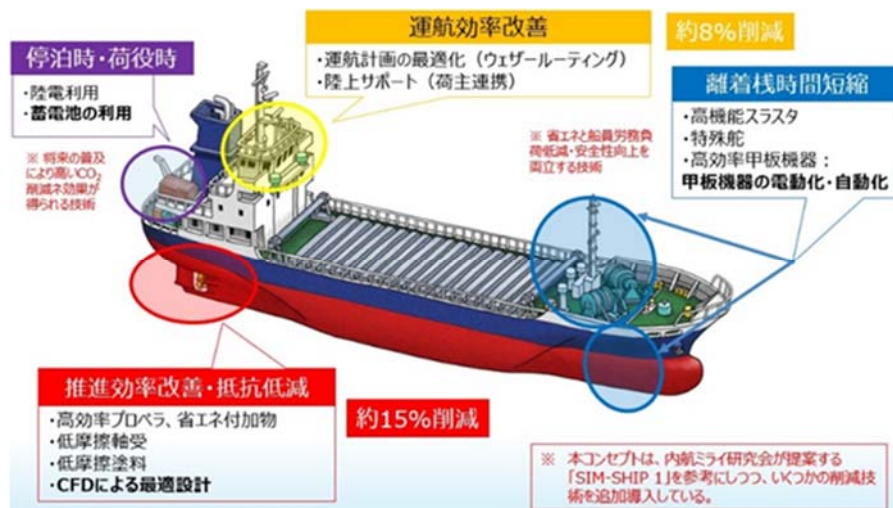


図 15 連携型省エネ船のコンセプト例(2022 年度国交省事業)

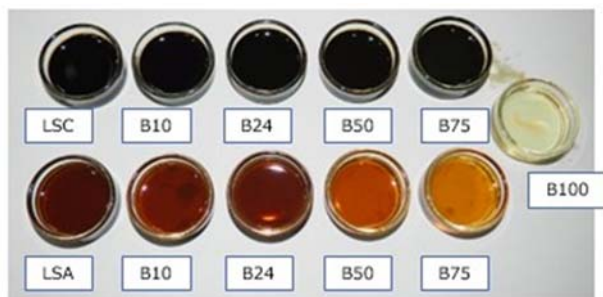


図 16 各種試験に用いたバイオ燃料混合油 (2022 年度国交省事業)

表 1 バイオ燃料使用時の要点例 (2022 年度国交省事業)

No.	
1	ゴム材料や金属材料への影響に注意する必要がある。
2	燃料清浄機やエンジンの運転のため、バイオ燃料を使用する前に混合油の動粘度や密度を把握しておく必要がある。
3	エンジンの運転制限やボイラへの使用などは、各メーカーに確認し、運転条件などについて協議することを推奨する。
4	燃料油を長時間貯蔵した場合など、安定性が悪化し、スラッジが発生することがあるので、注意が必要である。

R4 年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 4 件(投稿中: 1 件、採択済: 2 件、掲載済: 1 件)

- Yasuhisa Ichikawa, Yoichi Niki, Koji Takasaki, Hideaki Kobayashi, Akihiro Miyanagi, Experimental study of combustion process of NH<sub>3</sub> stratified spray using imaging methods for NH<sub>3</sub> fueled large two-stroke marine engine, Applications in Energy and Combustion Science, Vol13, 2023, 100119
- Yoichi Niki, Experimental and numerical analysis of unburned ammonia and nitrous oxide emission characteristics in ammonia/diesel dual-fuel engine, International Journal of Engine Research, SAGE, ジャーナル(投稿中)
- Yoichi Niki, Koichi Hirata, Kazuyuki Kobayashi, Yuki Shimizu, Development of premixed ammonia combustion strategy with minimum emissions for marine diesel engines, CIMAC 2023, 本文査読付プロシーディングス(採択済: 6 月発表予定)
- Hiromichi Oba, Kazuhisa Ito, Chikara Matsuda, Yasuhisa Ichikawa, Koji Takasaki, Fundamental study of the effect of stratified NH<sub>3</sub> injection system for nitrogen compounds reduction, CIMAC 2023, 本文査読付プロシーディングス(採択済: 6 月発表予定)



#### **□その他発表論文： 9 件(投稿中： 0 件、掲載済： 9 件)**

- ・仁木洋一、ディーゼルエンジンへのアンモニア燃料利用の現状と課題、化学工学会 産官学連携センター 開発型企業の会(系共催講演会)
- ・仁木洋一、平田宏一、NH3 混焼ディーゼル機関における CFD を用いた燃焼計算結果と実験結果の比較、日本マリンエンジニアリング学会、第 92 回学術講演会
- ・仁木洋一、「ディーゼルエンジンへのアンモニア燃料利用の現状と課題、化学工学会 第 88 年会
- ・市川泰久、船用リーンバーンガスエンジンの水素専焼に向けた技術開発、第 22 回海技研研究発表会
- ・市川泰久、仁木洋一、高崎講二、小林秀昭、三柳晃洋、NH3 層状噴霧火炎の燃焼プロセスの可視化、日本マリンエンジニアリング学会、第 92 回学術講演会
- ・市川泰久、仁木洋一、高崎講二、小林秀昭、三柳晃洋、アンモニア層状噴霧燃焼の可視化計測による燃焼機構の解明、日本燃焼学会、第 60 回燃焼シンポジウム
- ・Yasuhisa Ichikawa, Yoichi Niki, Koji Takasaki, Hideaki Kobayashi, Akihiro Miyanagi, Combustion Process in NH3 Stratified Spray Flame for Large Two-Stroke Marine Engine, Applications in Energy and Combustion Science, The 19th International Conference on Flow Dynamics
- ・平田宏一、船舶用代替燃料に関する取り組みと展望(解説)、トライボロジー学会誌「トライボロジスト」、67 巻、8 号、p.561-566、2022 年 8 月。
- ・高橋千織、仁木洋一、市川泰久、西尾澄人、低・脱炭素燃料の利用技術と課題、日本マリンエンジニアリング学会誌「マリンエンジニアリング」、58 巻、2 号、2023 年 3 月。

#### **□特許申請： 1 件**

- ・仁木洋一、エンジンにおけるアンモニア混焼方法、アンモニア混焼エンジン、及びアンモニア混焼エンジンを搭載した船舶

#### **□国際貢献： 6 件**

- ・アンモニア燃料船の国際安全ガイドラインの策定
- ・MSC104(2022 年 10 月)における提案文書案の作成(MSC104/15/10、MSC104/15/30 2 件)
- ・CG コーディネーターとして CG レポートをとりまとめ、提案文書を作成した。CCC8(2022 年 9 月)にて審議(CCC 8/13、CCC 8/INF.10 2 件)
- ・国際連携センターにおいて、上記内容を取りまとめ、海事局との共催で「アンモニア燃料船の国際 WS」を開催、2022 年 10 月
- ・水素燃料船の国際安全ガイドラインの策定
- ・CG の国内意見をとりまとめ、CCC8 における審議に貢献

#### **□受賞： 1 件**

- ・日本船舶海洋工学会シップ・オブ・ザ・イヤー2021 部門賞、水素混焼エンジン船「ハイドロびんご(Hydro BINGO)」

#### **□その他： 1 件**

- ・化学工学会 産官学連携センター開発型企業の会(系共催講演会)：アンモニアエンジンの見学と実験の紹介

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

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

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>船舶による環境負荷の大幅な低減と社会合理性を兼ね備えた環境規制の実現及び国際ルール形成への戦略的な関与を通じた海事産業の国際競争力の強化に資するため、適切な規制手法、船舶のグリーン・イノベーションの実現に資する革新的な技術及び実海域における運航性能評価手法の研究開発、並びに船舶から排出される大気汚染物質の削減や生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p>	<p>IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築することが求められている。</p> <p>また、環境負荷低減に係る技術開発成果を背景として国際ルール策定を主導することは、地球環境問題解決への貢献とともに我が国海事産業の国際競争力強化の観点から重要である。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③船舶の更なるグリーン化を実現するための、粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の削減、生態系影響の防止に資する基盤的技術及び評価手法に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- GHG 削減のための後処理技術によるメタンスリップ、N<sub>2</sub>O 等の削減方法の検討を行う。</li> <li>- グリーン・イノベーションを実現するために、水素やアンモニア等の代替燃料の高負荷・高湿燃率での燃焼安定化技術の開発、内航船・外航船のカーボンフリー燃料利用技術の検討を行う。等</li> </ul>

**研究の背景**

IMO において、船舶の運航に伴い排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等の規制が段階的に強化されるとともに、排ガス中のブラックカーボン(BC)等新たな課題についても検討が行われている。このため、これらの船舶に起因する環境負荷の大幅な低減に資する革新的な技術開発とともに、環境への負荷を正しく評価したうえで社会合理性のある適切な規制を構築する。

- 具体的には、以下があげられる。
- ・ 流出油の回収・処理の高効率化に関する研究
  - ・ 油・放射性物質等が環境放出した際の環境影響評価システムの高度化
  - ・ 船体付着生物の問題に関する研究
  - ・ 船舶に起因する大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術の高度化
  - ・ 防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発

## 期間全体の研究目標

- ・ 厳しい海象条件でも滞油性の高いオイルフェンス(あるいは新規の漏油防止装置)の提案
- ・ 一部の海底堆積物への放射性物質の集中あるいは希釈状況の把握が可能となることによる、原発事故による漁業や水産物への将来にわたる環境影響及び対策の検討への寄与
- ・ 放射性物質輸送容器が海没した際の、放射性物質海洋放出による環境影響評価手法の提示
- ・ 広範囲な物質(油・有害化学物質・放射性物質・船体防汚塗料)に由来する銅等の船舶起源海洋汚染物質を対象とした、閉鎖湾内・外洋のいずれの場合にも適用可能な海洋拡散シミュレーション計算基盤の構築
- ・ 船体付着生物管理ガイドラインの見直しにおける、妥当かつ合理性のある船体付着生物の越境移動抑制方策の提示
- ・ ニッチエリアに対する防汚技術が IMO で新たに問題視された場合の技術的バックデータの蓄積・提示

上記成果は、以下があげられる。

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

## R4 年度研究目標

### □小項目 4

- ・ 燃料油が海洋環境へ流出した場合を想定して、その燃料油の含有する硫黄分により、その流出油の拡散範囲がどの程度変化するのかを評価する。
- ・ 化学的に安定で分解されずに海洋中を浮遊し続ける海底火山噴火由来の碎屑物は、船舶の安全な航行に影響するため、海洋での挙動、任意海域への到達時刻、軽石の存在する水深を短期間で予測できるモデルを開発するとともに、特に船舶の海水取込口閉塞防止の観点から、船体の流線に追従して軽石が移動するかどうか評価する方法を提案し、今後類似の自然事象が発生した際の対応策検討に資する。
- ・ 前年度までに準備した発信コンテンツをプラットフォームに搭載し、情報発信の試験運用を行う。

### □小項目 5

- ・ 音響/分光計測技術を用いた防汚システム管理手法の実船適用性の検証に向けて、超音波探傷法(二探法)の計測手法を、生物試験を実施することで再現性を確認する。また、色空間パラメータ(CIELAB)計測法を用いて、生物試験条件、供試生物の活性評価法を構築する等、試験の再現性および有効性を確認する。
- ・ 分光計測技術を用いて、供試生物を藻類とする船底防汚塗料の性能評価試験法を開発し、国際規格化に向けて準備する。

### □小項目 6 【R4~R5:分野横断的研究課題】

- ・ 重高圧ジェットを用いた重油エマルジョン化実験装置を設計・製作し、重油・水及び界面活性剤によるエマルジョン化の基本的特性(生成条件/生成方法等)を明らかにする。

## R4 年度研究内容

### □小項目 4

- ・流出油の硫黄分の違いによる海洋流出分布の変化を評価する。
- ・海底火山噴火により放出された軽石の挙動を再現できる簡易モデルを開発する。このモデルを用いて軽石の海洋環境における分布を予測するとともに、航行中船舶周辺における軽石の挙動を評価する。
- ・情報発信プラットフォームを試験運用する。

### □小項目 5

- ・実船計測及び実海域浸漬試験等を行い、音響/分光計測技術を用いた防汚システム管理手法の実船適用を検証するべく、超音波探傷法(二探法)の有効性及び再現性を確認するために、供試生物にフジツボを用いて付着試験を実施し、解析法の最適化を図る。
- ・褐藻を用いた船底防汚塗料の性能評価試験法について、色空間パラメータを用いて評価すると共に、国際規格となる試験法の草案を完成させる。

### □小項目 6 【R4～R5:分野横断的研究課題】

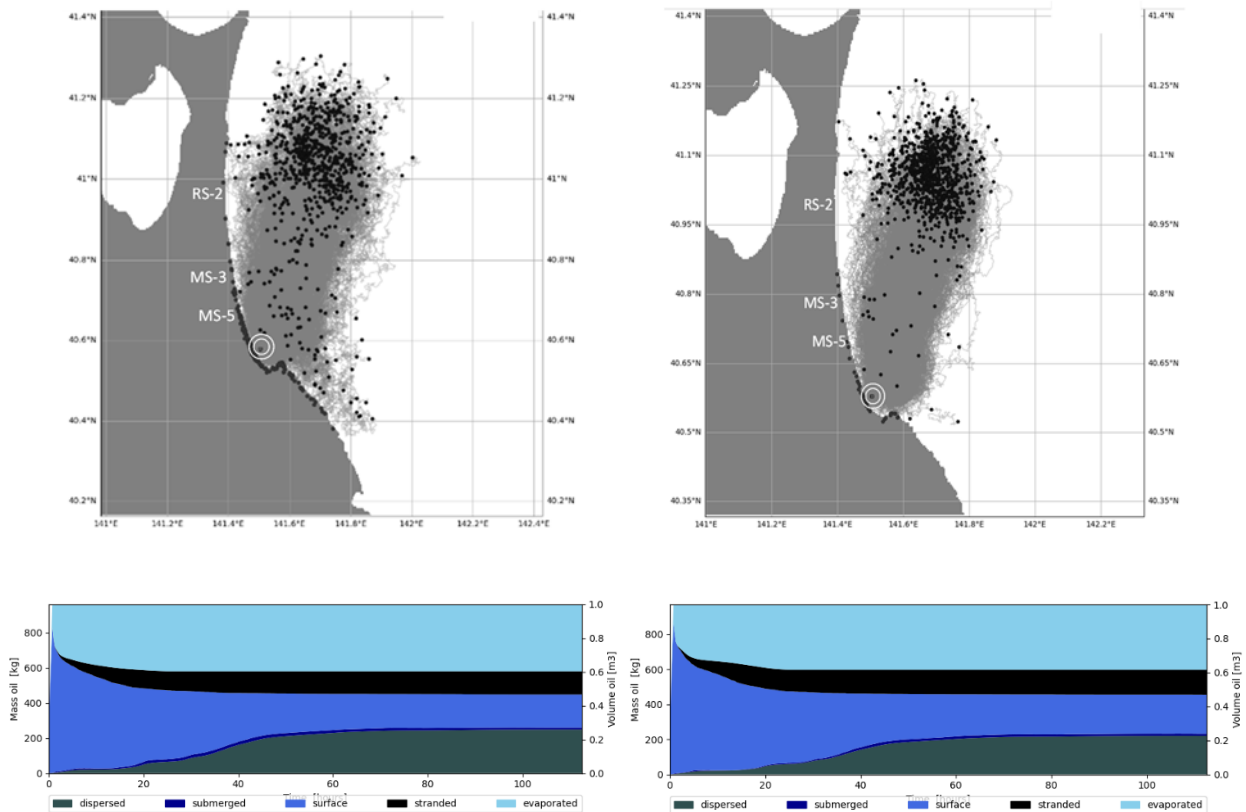
- ・重油エマルション化に係る基本的特性の解明

## R4 年度研究成果

### □小項目 4: 船舶に起因する大気及び海洋汚染物質の環境影響評価技術の高度化

#### (1) 硫黄分の異なる燃料油の海洋流出事象の変化

- ・従来開発および改良を進めてきた、海洋環境に流出した油の、海水の駆動力による【分散過程】、分散された【油滴の形状分布】、海上風による油の【水平方向への輸送】【鉛直方向への輸送】、及び【油の風化】を考慮できる油運命予測モデルを用いて、実際の貨物船の座礁事故に伴う燃料油の海洋環境への流出事象を対象に、燃料油の硫黄分規制前後における流出油の漂流予測を行った。硫黄分を多く含有する油は概して粘性が高いため、海洋中での移動量が小さく、風化時間が長くなる。図 1-1 に示されるように、硫黄分の少ない油は拡散範囲が広い一方で、風化が大きくなることが示唆される。異なる硫黄分からなる油の拡散に関して、実海洋環境に基づき影響評価した計算例は世界初といえる。



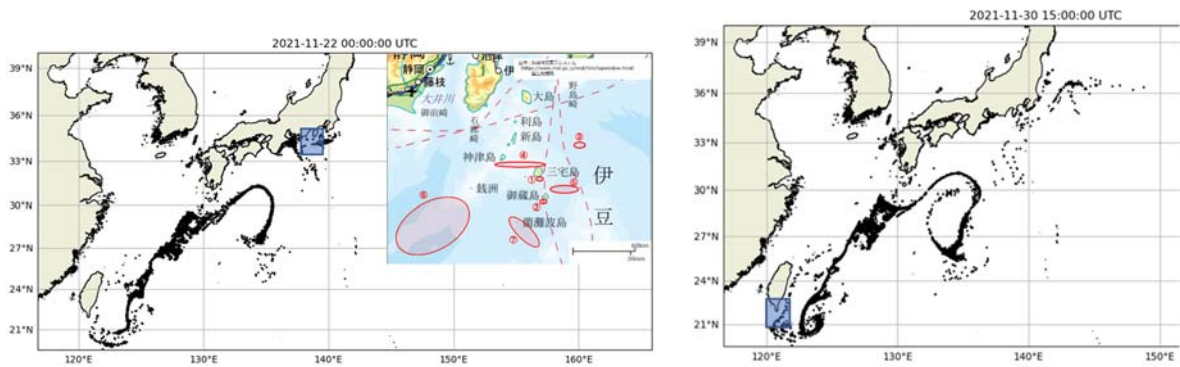
(a) 燃料 IFO-180LS 2014 (硫黄分:小)

(b) 燃料 INTER-MEDIATE FUEL OIL 300 (硫黄分:大)

図 1-1 ◎から流出した油の、流出開始から計算終了までの流出油の軌跡。流出油は、(a) 硫黄分規制後の燃料に対応する IFO-180LS 2014、(b) 規制前の燃料に対応する INTER-MEDIATE FUEL OIL 300 を仮定。油の含有する硫黄分が小さい場合、海洋の拡散範囲が大きくなることに伴い、陸域への油の漂着位置も広域になる。その一方で、油の風化はより大きくなる。

(2) 簡易モデルを用いた海底火山噴火により放出された軽石の海洋環境における分布予測および航行中船舶周辺における挙動評価

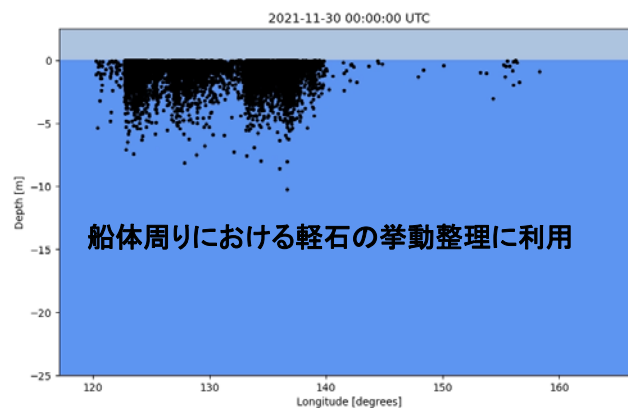
- ・海底火山噴火で海洋へ放出された軽石は、化学的に安定で分解されずに海洋中を浮遊し続け、船舶の航行に影響する。今後類似の自然事象が発生した際の対応策検討に資するべく、海洋における軽石の挙動、特に海水取込口閉塞防止の観点から、任意海域への到達時刻、軽石の存在する水深、および航行中船舶船体周辺における挙動を短期間で予測する方法を提案した。このような物質に関しては、物理的な特性(体積および密度)が不明確であり、簡便且つ実用的に軽石の挙動を予測できるモデルが存在しないことが課題であり、本研究では具体的な詳細値ではなく巨視的な終端速度で表現し、海洋中における軽石の水平および鉛直方向の移動変位を評価できるようにした。図 1-2 に示すように、任意海域への到達時刻、漂着位置の観測値を概ね再現できた。
- ・図 1-2 の計算から得られる軽石の存在する水深情報を用いて、流体への追従性評価のための無次元数であるストークス数で整理することで、軽石が船体周りでどのように挙動するのかを評価できるようにした。軽石が船体周りの流線に従うかどうかは、船速あるいは船体長により異なる。その結果は図 1-3 のようにまとめられ、航行中船舶の海水取込口が軽石で閉塞することを防止する観点で有用である。軽石の海洋中輸送の簡易なモデルおよび航行中船舶周りで軽石の挙動に関して、従来詳細な重要な軽石の存在する水深を予測できるようにした。終端速度に着目した軽石の簡易モデル、および軽石の船体周りで挙動に関して端的なダイアグラムとして提示したのは世界初といえる。



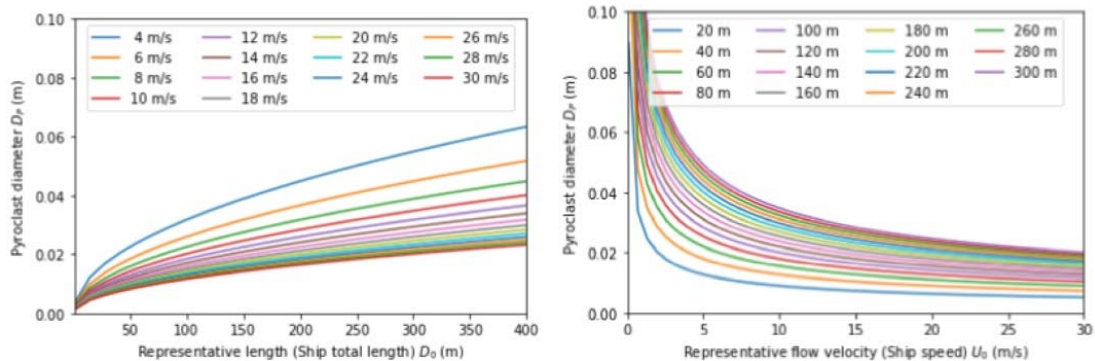
(a) 2021年11月22日(三宅島に到達)

(b) 2021年11月30日(台湾南部に到達)

図 1-2 任意海域への到達時刻、漂着位置の観測値。(a) 海保第三管区による観測「11/22 三宅島/御蔵島の南西側広域に軽石が確認」の到達時刻および分布を概ね再現。(b) 台湾海洋委員会による報告「11/29-30 午後に屏東県と台東県にまたがる太平洋岸で軽石を観測」に到達時刻が合致。



(a) 小粒径の軽石が存在する予測水深(経度平均)



(b) ストークス数 $\approx 1$ となる船体全長に対する軽石の直径

(c) ストークス数 $\approx 1$ となる船速に対する軽石の直径

図 1-3 軽石の存在する予測水深(a)を用いて、軽石の流体への追従性をストークス数で整理した結果。ストークス数 $\approx 1$ となる(b)船速、および(c)船体長に対応する軽石の直径。船体長が大きい場合、流線に従う軽石の直径は大きくなり、船速が大きい場合、流線に従う軽石の直径は小さくなることを示唆。

### (3) 発信コンテンツの海技研 WEB 上への公表および情報発信の試験運用

・本研究(1)に係る油運命モデルによる油流出シミュレーションに必要なデータ及び油を移動させる駆動力として整備すべき海流データをまとめ、海技研 WEB 上へ公表した。実際に動作させるための平易なマニュアルを整備した。

### □小項目 5: 防汚システム管理最適化のための基盤的技術の開発

船体の生物汚損を介した越境移動が環境に与える影響が大きいとして、近年問題となっている。IMO におい

ては、この問題について、船体付着生物管理に関するガイドラインを策定しガイドラインを審議中である。ガイドラインにおいては、船体の汚損度による水中洗浄のスキームを作成中であり、生物汚損の初期段階で除去することは重要である。そこで、船底防汚塗料を対象とする防汚システムにおいて、その管理最適化に必要な、生物汚損の早期検知を目的として、超音波二探法および色空間パラメータを用いた簡易検出技術に関する基盤的技術の開発に取り組んだ。また、これら管理手法の実船適用性については、船体外板の状況、船舶運航管理の把握、計測位置の検討等、さらなる検討が必要であることが分かった。さらに、超音波エコーおよび色空間パラメータの計測値を用いて、実船の塗膜厚や、付着した藻類の活性を推定できる手法を確立した。

(1) 音響計測技術を用いた防汚システム管理手法の実船適用性の検証

・船体外板は厚い鋼板に船底防汚塗料を含む防汚システムが導入されており、それらの塗膜層に対して主要な汚損生物であるフジツボの付着検知に、超音波を適用する技術を適用した(図 2-1(a))。本検討では、二本のプローブを用いて超音波を入射・反射される射角探傷法(二探法)を利用し、取得したエコー(図 2-1(b))の解析の結果、フジツボ幼生の付着・成長に伴うエコーの変化(積分値の減少)が検出できた(図 2-1(c))。また、超音波エコー位相の遅れを用いた塗膜厚計測の高精度な計測手法の構築についても検討を行い、塗膜厚みを4水準とする超音波エコーの計測を実施し、膜厚の変化によってエコー位相遅れが大きくなることが観測できた(図 2-2)。構築した本計測手法を用いて、塗膜厚とエコー位相遅れの相関関係を調査し、線形近似で表現することができた(図 2-2)。

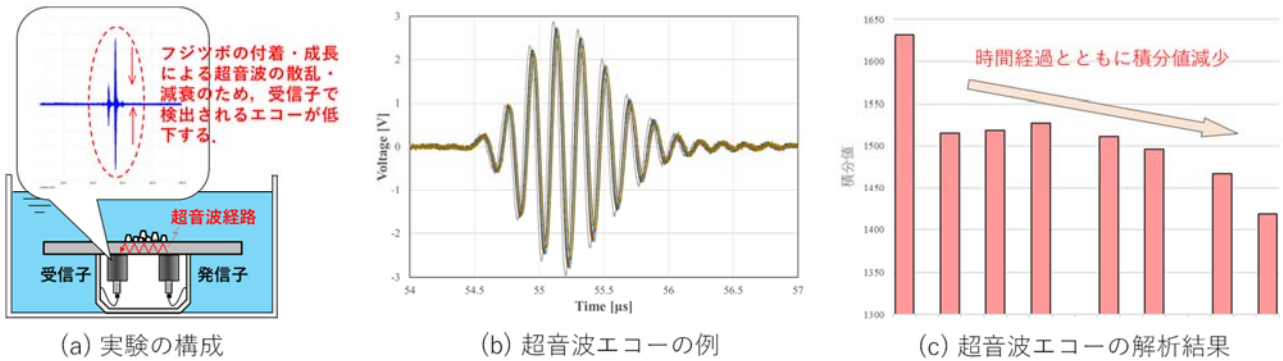


図 2-1 二探法によるフジツボ付着検出の検討

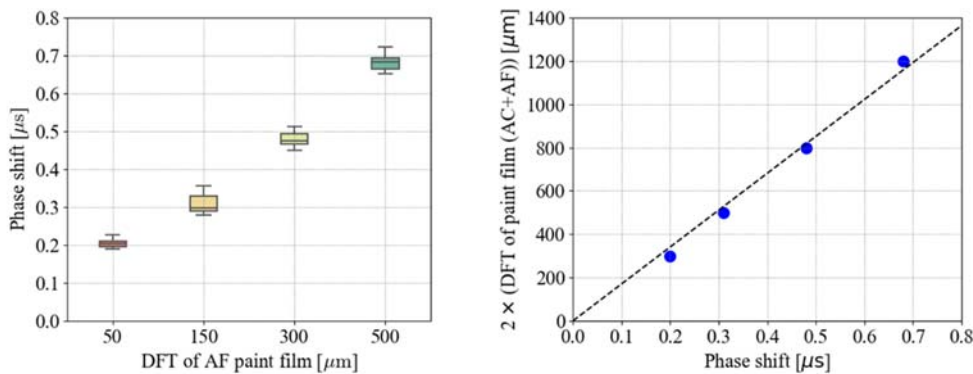


図 2-2 塗膜厚を変えた場合のエコー位相遅れの変化(左)、塗膜厚とエコー位相遅れとの相関関係(右)

(2) 分光計測技術を用いた防汚システム管理手法の実船適用性の検証

・船底防汚塗料の亜酸化銅含有量による褐藻(シオミドロ)への影響について、色空間パラメータ(白黒:  $L^*$ ,  $a^*$ : 緑赤、 $b^*$ : 青黄、の色調変化を表現)を用いた簡易的評価手法、および褐藻を用いた生物試験の再現性を確認した。また、ラボ生物試験装置の最適化(図 2-3)、付着基盤に合わせた供試試験片の塗装法検討、試験水交換率、暴露期間等の試験条件、および藻類の供試条件(生物活性、図 2-4)についても検討し、 $\Delta E^* > 4$  となる条件を設定する等、生物試験法を完成させた。また、適切な細胞染色法を検討し、これを用いて、褐藻の色空間

パラメータの有効性を確認するために、細胞生存率と亜酸化銅配合量との相関を調べ、パラメータを選択することで、線形近似による高い相関を示すことがわかり、色空間パラメータの再現性および有効性を確認した(図 2-5)。この結果は、実際に船体外板に付着した藻類活性を、色空間パラメータ値より推測できる可能性を示した。これらの成果は、国際学会(WAS2022、シンガポール)および欧文誌 2 報(2 報とも J. Biofouling、現在査読中)にて発表された。

さらに、これら研究成果を基に、ISO21716 シリーズの第 4 部(藻類を用いた船底防汚塗料性能評価試験法)として、草案を完成し、ISO/TC8/SC2 への追加提案に向けた審議の準備を行っている。また、当該試験法を審議する WG5 の付託事項(市販塗料を用いた褐藻の生物試験、および異なる藻類(緑藻)を用いた生物試験)についても検討し成果を纏めた。これらの結果は、2023 年 4 月中旬に開催される、WCC-AFCC にて発表(オンライン)する予定である。

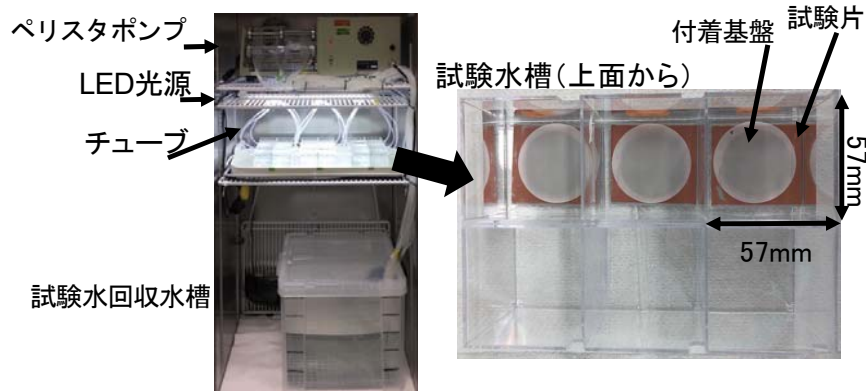


図 2-3 ラボ生物試験装置(左)及び試験水槽(右)の外観

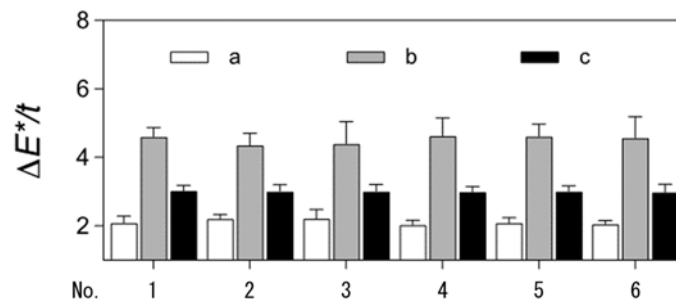


図 2-4 各供試試験片に用いる藻類の、固定基盤上での固定期間における  $\Delta E^*/t$  値(a: 固定期間 0-3 日、b: 固定期間 3-5 日、c: 固定期間 0-5 日、における各  $\Delta E^*/t$  値を示す。)



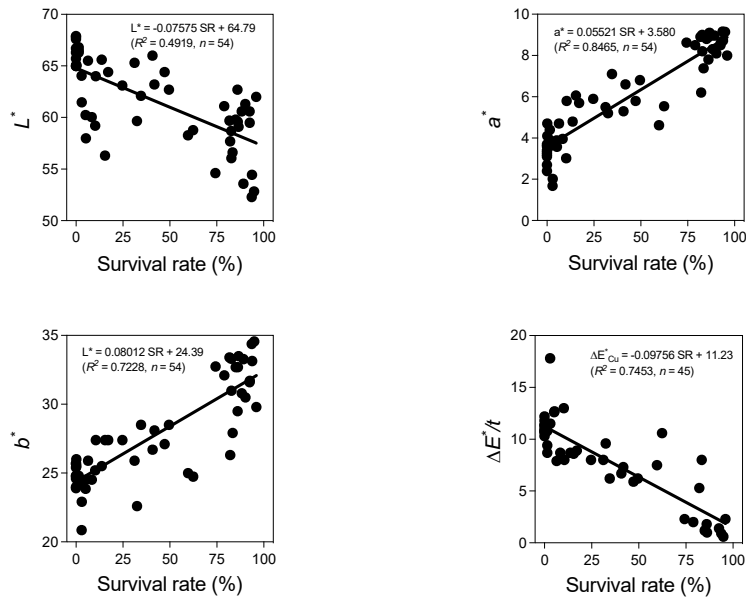


図 2-5 色空間パラメータおよび  $\Delta E^*$  値と褐藻細胞生存率との関係(図中には線形近似式及び相関係数を示す)

### □小項目 6: 重油のエマルジョン化による流動促進化及び回収技術の開発

船舶の燃料として広く使用されている重質油は粘度が高いため、油回収作業を阻害する要因となる。他方で、特定の条件下で水と重質油が混合攪拌すると、粘性が低いエマルジョンが生成される。このエマルジョンを制御することで、迅速な油回収技術の実現に繋がる。本研究項目では、回収対象の重質油について①から③までの 3 項目に分けて、各項目について研究開発に取り組んだ(図 3-1)。

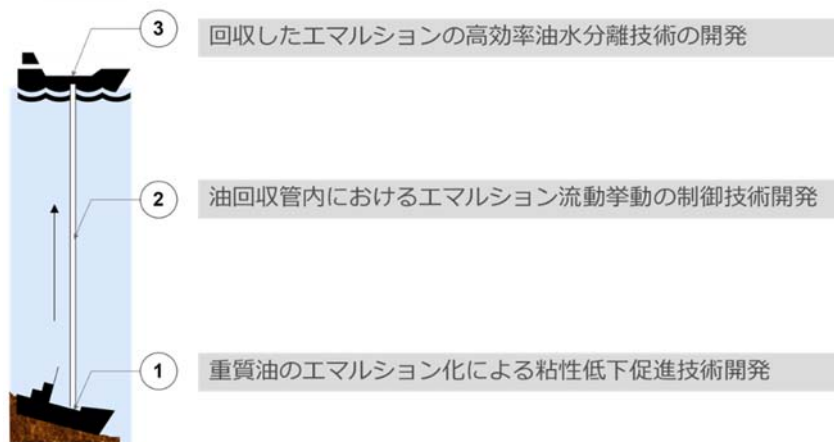


図 3-1 当該研究が対象とする油回収技術の概略図と研究項目

#### (1) 重質油のエマルジョン化による粘性低下促進技術開発

・粘性が高い重質油に高圧で水を噴射して、エマルジョンの生成過程についてその詳細を明らかにした。当該研究では、透明のシリコンオイルを用いることで、エマルジョン化過程の詳細な混合攪拌挙動を高速度カメラで撮影した。高圧で噴射する水は油と区別するために食紅で着色するとともに、界面活性剤を予め添加した(図 3-2; 3-3)。さらにエマルジョン化後の挙動について観測し、オイル層および水層が形成されることを確認するとともに、エマルジョン層が長期にわたり存在することを確認した(図 3-4)。



図 3-2 噴射試験で使用した試料

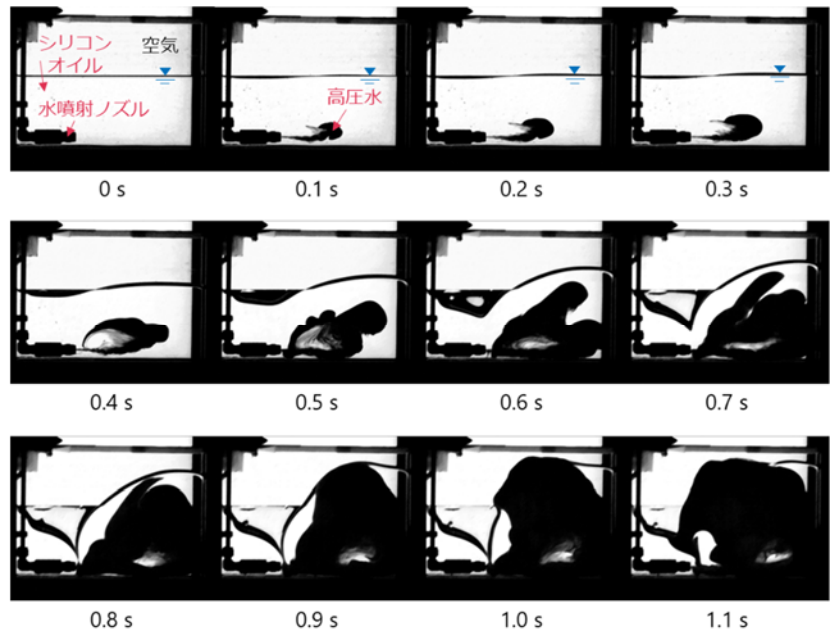


図 3-3 高圧水噴射によるエマルション化過程の詳細可視化画像

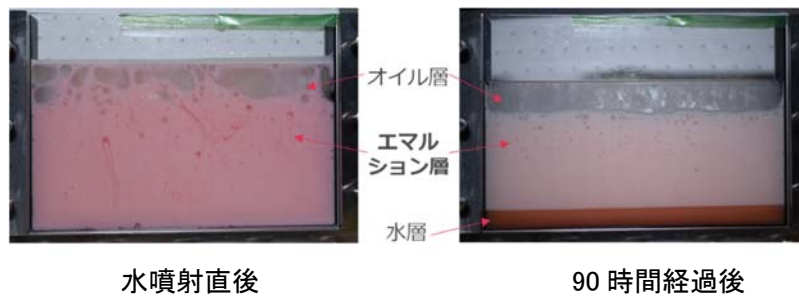


図 3-4 エマルション化後の経時変化

・R5 年度においても可視化計測を継続するとともに、生成したエマルションのレオロジー(せん断速度とせん断応力の関係)を計測することで、噴射圧と生成するエマルションの相関を取得する。

(2) 油回収管内におけるエマルション流動挙動の制御技術開発

・エジェクタによる重質油移送試験装置を構築し、重質油移送の検証を実施した。鉛直垂直方向約 4m 規模の試験装置を構築し、実際の重質油を用いた。重質油回収に用いる駆動水には、通常の水道水と、界面活性剤を添加した水溶液を利用した。その結果、界面活性剤を添加しない水溶液では回収管内の圧力が大きく上昇するような、回収作業を阻害する挙動が見られた(図 3-5(a))。一方で界面活性剤を添加した水溶液を用いた条件においては、終始圧力の上昇が抑制され、安定した挙動を示した。これにより、界面活性剤の添加による有効性が確認できた(図 3-5(b))。

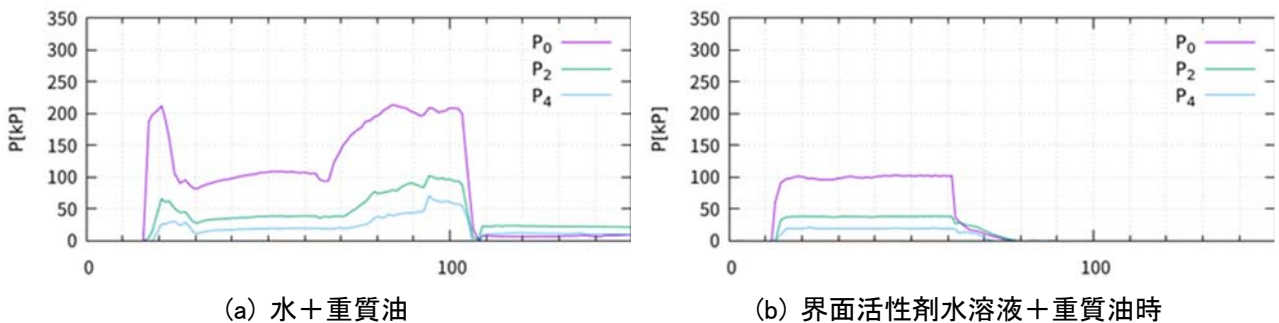


図 3-5 回収管内圧力変化

### (3) 回収したエマルションの高効率油水分離技術の開発

・重質油の粘性低下のため、重質油と同時に水(海水)が回収される。この回収される水をエマルションから分離できれば、(1)の駆動水として再利用できるため、重質油の回収効率向上に繋がる。既存研究でエマルション油水分離に対して有効性が示されている微細気泡を活用する手法を応用した。微細気泡を簡便に生成するために本研究で使用したベンチュリ管を活用することにより、微細気泡と液体を、従来手法に比べてより積極的に接触させられる。図 3-6 は、ベンチュリ管に水および空気を流した条件における可視化撮影画像および圧力分布の計測結果で、微細気泡の生成が確認された。油水分離の一例として、この装置に「水+空気+A 重油」の混合流体を通過させると、管出口で回収したエマルションの油水分離時間が異なる結果が得られた。

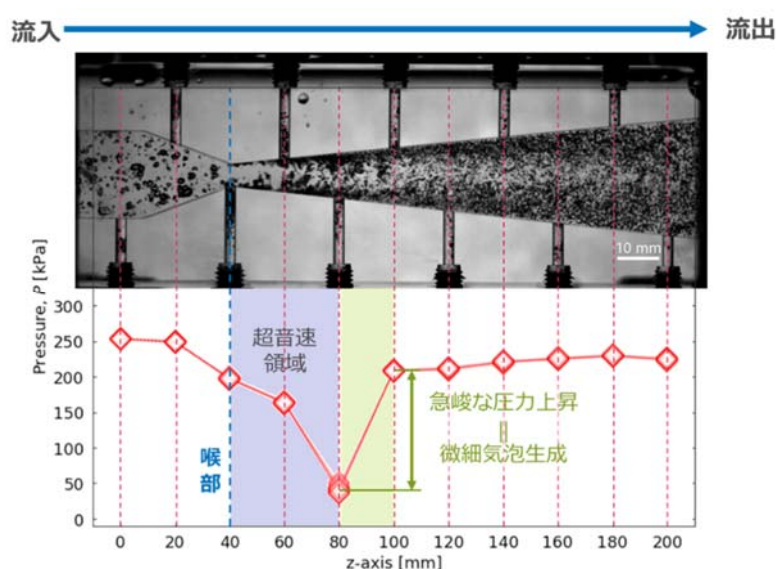


図 3-6 ベンチュリ管内圧力分布

#### R4 年度成果の公表

口査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 7 件(投稿中: 4 件、採択済: 3 件、掲載済: 3 件)

- ・M. Asami et al.: Drift prediction of pyroclasts released through the volcanic activity of Fukutoku-Okanoba into the marine environment, Marine Pollution Bulletin, Volume 186, January 2023, 114402. (採択済)
- ・R.Kojima et al.: A LABORATORY BIOASSAY FOR EVALUATING THE EFFICACY OF ANTI-FOULING PAINTS ON *Ectocarpus siliculosus* USING ITS CIELAB COORDINATES, UNDER A FLOW-THROUGH CONDITION. World Aquaculture Singapore 2022 (WAS2022). (採択済)
- ・Ma et al.: Experimental Study on Pressure Drop Reduction in Pipe Line Flow of Heavy Fuel Oil by Adding Surfactant Aqueous Solution The Japanese Society for Multiphase Flow, Proceedings of 11th ICMF. (採択済)
- ・M. Asami et al.: Predictive simulation of oil distribution after an oil spill into the ocean of fuel oils with varying sulfur content, Oceanological and Hydrobiological Studies. (投稿中)
- ・R. Kojima et al.: A Method for Screening Antifouling Paints using the CIELAB coordinates of *Ectocarpus siliculosus* under a Flow-through Condition. Biofouling, The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research. (投稿中)
- ・R. Kojima et al.: Laboratory bioassay method for screening antifouling coatings using thallus fragments of brown macroalga *Ectocarpus siliculosus*: their formation, storage, affixation to substrates, evaluation of viability and quantity through their color, and preliminary screening test under flow-through conditions. Biofouling, The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research. (投稿中)
- ・馬驍ら: 小型ジェット式スクラバ内液滴の直接可視化計測と解析モデル, 日本マリンエンジニアリング学会誌. (投稿中)

**□その他発表論文： 7 件(投稿中： 0 件、掲載済： 7 件)**

- ・浅見光史ら： 海洋環境保全のための流出油漂流予測システムの高度化と今後の展望，海上技術安全研究所 研究発表会講演集。(掲載済)
- ・小島隆志： 船底防汚塗料に関連する船体付着生物管理ガイドラインの概要，日本水産学会シンポジウム。(掲載済)
- ・馬驍ら： 小型船用ジェット式スクラバの噴霧液滴可視化計測と解析モデル，第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集。(掲載済)
- ・小野正夫ら： 高粘度重質油配管移送時のエマルション化による流動性変化に関する検討，第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集。(掲載済)
- ・安達雅樹： 代替燃料船検討のための既存燃料船の簡易評価モデル，第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集。(掲載済)
- ・小島隆志： 水中洗浄等に関する ISO 規格開発の国内外の動向について，第 16 回船用標準化推進協議会/標準化セミナー。(掲載済)
- ・馬驍ら： 流動性向上のための重質油－水エマルションの粘性特性に関する実験と物理モデル，海上技術安全研究所研究発表会講演集。(掲載済)

**□国際貢献： 1 件**

- ・R. Kojima: Ships and marine technology – Bioassay methods for screening anti-fouling paints –Part 4: Algae ISO (as NWIP of ISO 21716).

**□受賞： 1 件**

- ・馬驍： 日本マリンエンジニアリング学会学術講演会優秀講演賞「小型船用ジェット式スクラバの噴霧液滴可視化計測と解析モデル」2022 年 10 月。

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

<b>研究テーマ</b>	<b>重点☆9 海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究</b>
--------------	---------------------------------------

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p> <p>②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術の開発及び安全性評価手法の確立に関する研究</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p> <p>－安全性及び経済性を両立させた海洋再生可能エネルギー発電デバイス(新浮体形式・制御法及び製造法等を提案)の開発を目標に研究開発の推進を図る。本年度は、合成繊維索を使用したウィンドファームに適した係留系を簡易的に設計・評価可能なツールの開発、風車設置船(SEP)の位置保持性能評価プログラムの開発、及び作業員輸送船(CTV)と風車タワーの接舷状態における波浪中動揺評価プログラムの検証を行う。等</p> <p>②海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立に関する研究開発</p> <p>－鉱物資源開発のための全体システムの稼働性評価プログラムと計画支援プログラムを統合した開発支援プログラムの構築、及び管内流のアスファルテン付着とガスハイドレート生成・分解モデルを構築するとともに、フローシミュレーション解析プログラムの開発を行う。等</p>

## 研究の背景

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

具体的には、以下があげられる。

- ・海洋再生可能エネルギーに係る基盤技術及び安全性評価技術の開発に関する研究
- ・海洋エネルギー・鉱物資源開発システムの総合安全性評価技術の開発に関する研究
- ・浮体式風力発電におけるデジタルツイン技術の構築及び保守点検技術の高度化

## 期間全体の研究目標

- ・安全性及び経済性を両立させた海洋再生可能エネルギー発電デバイス(新浮体形式・制御法及び製造法等を提案)を開発する。また、安全ガイドラインを整備・改訂するとともに、必要となる実験技術を確立する。さらに要素技術として、設置・保守オペレーションで使用される作業船に対する安全性・稼働性評価技術を確立する。
- ・商業化を目指した海底熱水鉱床開発用全体システムに関する安全性・稼働性評価手法を構築するとともに、厳環境下におけるサブシー機器を含めた海洋資源開発システムの設計手法及び安全性評価手法を構築する。
- ・従来の浮体－風車連成解析機能に強度評価機能を追加し、浮体のデジタルツインを実現するとともにそれを活用し保守管理技術の高度化に資する疲労被害度算出機能を開発する。

上記成果は、以下があげられる。

- ・ガイドライン化及び開発したコスト低減技術、設置・保守関連技術の民間企業による採用により、我が国の海洋再生エネルギー産業の競争力が強化され、海洋における再生可能エネルギーの開発が促進され、大気中への二酸化炭素排出削減、ひいては地球の温暖化防止に資する。
- ・商業化を目指した海底熱水鉱床開発用海中システムや全体システムの計画支援を行うことにより、技術的・経済的にフィージブルなシステム開発を可能とし、世界初となる海底熱水鉱床開発事業の実現につながる。さらには、研究成果を他の海底鉱物資源開発事業に展開する。また、我が国民間企業の海洋産業への進出を技術的に支援することにより、我が国の海洋産業の育成やエネルギー・鉱物資源の安定供給確保だけでなく環境保全にも貢献することができる。
- ・保守点検の効率化・低コスト化に資することで浮体式洋上風力発電の普及を促進し、ゼロカーボン目標の達成、ひいては地球の温暖化防止に資する。

## R4 年度研究目標

### □小項目 1

- ・浮体式風力発電施設建造・運用コスト低減技術(改善)
- ・係留合成繊維索の生物付着に関する評価法(改良)
- ・計測・収録・配信システムの構築
- ・風車設置船の位置保持性能評価プログラム
- ・浮体式波力発電実時間制御・発電電力評価技術を用いた発電量評価及び制御法(改善)

### □小項目 2

- ・稼働性・経済性評価プログラム
- ・アスファルテン付着モデル
- ・ハイドレート生成・分解モデル
- ・フローアシュアランス解析プログラム(β版)

### □小項目 4

- ・強度評価連成解析機能

## R4 年度研究内容

### □小項目 1

- ・浮体式風力発電に関する研究
- ・風車設置作業等における位置保持評価に関する研究
- ・浮体式波力発電に関する研究

### □小項目 2

- ・開発技術の採鉱・揚鉱総合実証システム設計への適用
- ・開発支援プログラムの開発
- ・アスファルテン付着モデルに関する検討
- ・ハイドレート分解・生成モデルに関する研究

### □小項目 4

- ・デジタルツイン技術に関する研究

## R4 年度研究成果

### □小項目 1

- ・浮体式風力発電における風車のブレードピッチ制御と浮体の波浪中応答特性や疲労の関係を整理した。ブレードピッチ制御には従来よりも浮体式風力発電への適用が進んだ制御アルゴリズム(ROSCO)を用い、セミサブ型浮体の寸法を変化させた際の浮体応答、タワー基部荷重、材料重量当たりの単価を仮定した建造コストを対象に感度解析を実施した(図 1)。
- ・浮体式風力発電の検査及びモニタリングについて検討を実施し、AUV/ROVを用いた画像による検査、防食に関する検査についてガイドライン案を作成した。ウインドファームの検査合理化に向け、ファーム内の浮体の遭遇海象の差が係留張力に与える影響について、定量的な評価を実施した(図 2)。

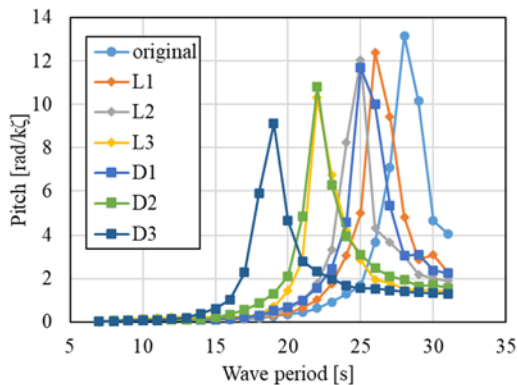


図 1 セミサブ型浮体のパラメータを変更した際の波浪中応答特性(L:ローハル長さの変更、D:コラム径の変更)

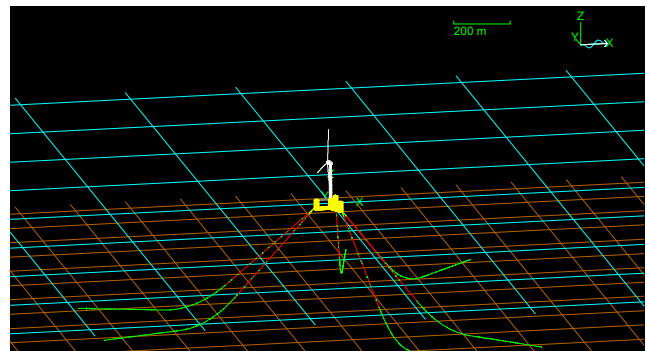


図 2 ウィンドファームの検査合理化検討のための計算モデル

さらに、

- ・IECにおいて、浮体式風力発電の損傷時復原性規定に関する当研究所の提案が IEC61400-3-2 Annex S として承認された。承認に際しては、IEC TC88(R4 年度は 9 回開催)での提案文書に関する討論、参加国からのコメントに対応する修正作業、討論、読み合わせを実施した。
- ・浮体式風力発電において合成繊維索を用いた係留系について、セミサブ型浮体とセミトート係留を対象に制約条件を満たす係留仕様を準静的な手法に基づき簡易的に算出するプログラムを作成した(図 3)。
- ・合成繊維索に対する生物付着量の調査を実施し、実海域観測試験の結果に基づき変化量をまとめた(図 4)。

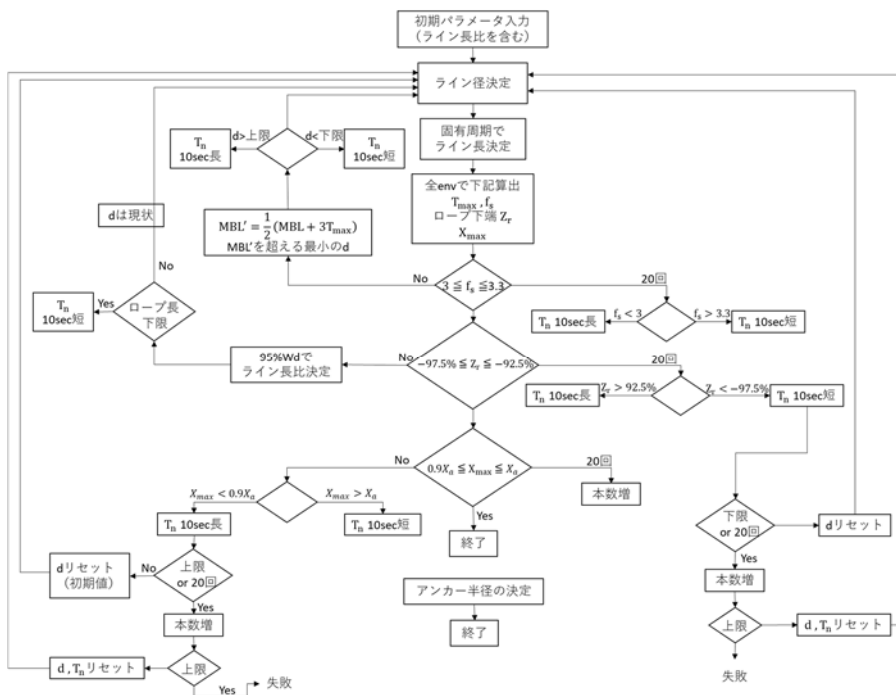


図3 係留仕様算出プログラムのフロー図

- ・バージ船と多目的作業船の 2 浮体によるマルチリフトオペレーションの波浪中運動試験を実施し、クレーン作業中の吊荷の質量や船間距離が多目的作業船の DP 性能に及ぼす影響について明らかにし、それを基にして最適な DP 設計法を検討した。
- ・CTV (Crew Transfer Vessel) が風車タワーに接舷した状態における波浪中動揺試験を実施し(図 5)、船首部押し付けによって生じる摩擦力が船体運動へ与える影響について評価するとともに、数値計算プログラムを検証した。当該プログラムを使うことによって、船首部の固着・スリップ状態を定量的に評価できることを確認した(図 6)

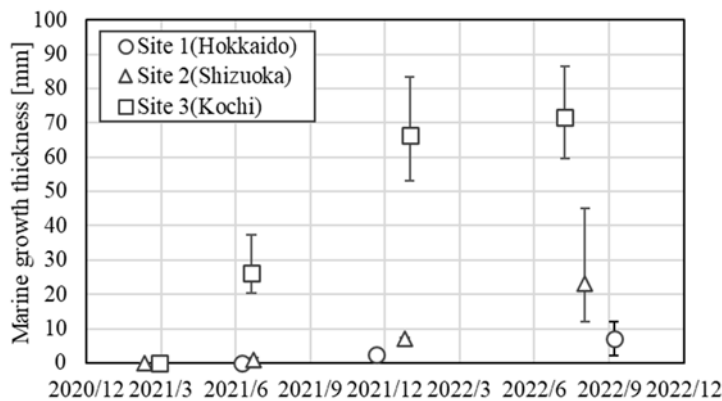


図4 合成繊維索試験体の実海域浸漬試験結果



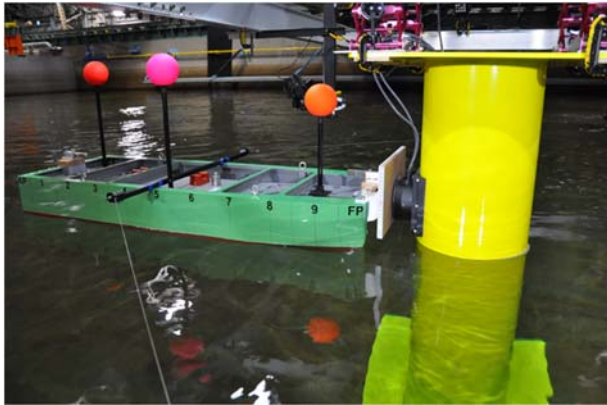


図5 船首接舷したCTV 波浪中動揺試験

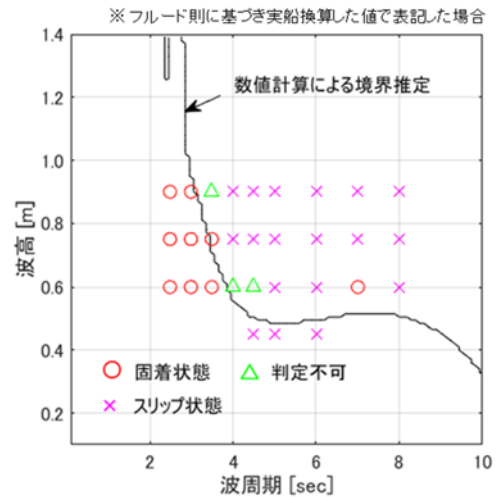


図6 CTV 船首部の固着/スリップ境界

・SEP 船模型を用いた風洞試験を実施して SEP 船の各脚部に作用する荷重を個別に計測し、脚部に作用する風荷重がSEP船全体に作用する風荷重の半分程度となる状況が発生し得ることを明らかにした(図7)。さらに流場計測を実施して、PIV 解析により SEP 船の脚部の影響を受けた流場の変化データを取得した(図8)。この結果と荷重計測結果を相互に参照し、SEP 船の脚部間の流場干渉が作用荷重へ与える影響を考察した。

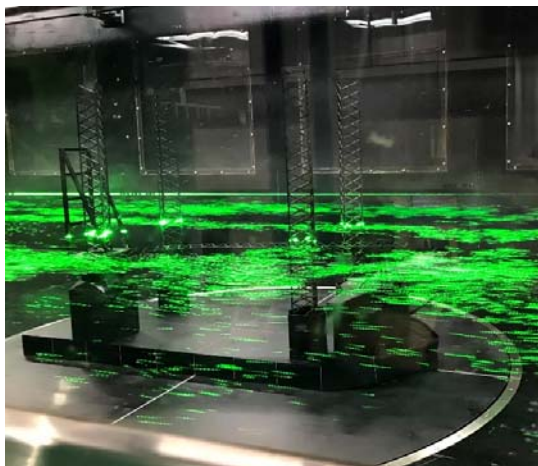


図7 SEP 船の風洞試験の様子

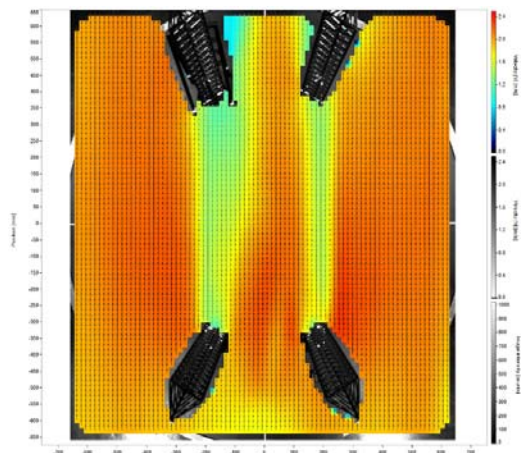
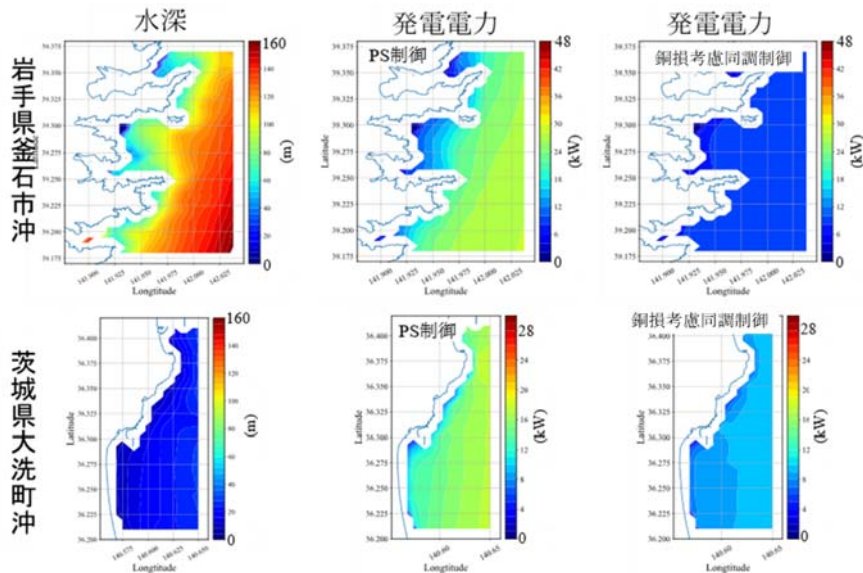


図8 SEP 船周りの風場(PIV)

・1 自由度並進動揺型波力発電装置を対象とした上下揺れのパワースペクトル密度を用いて変位の制約条件も考慮しながら発電電力を最大化する制御法(以下、PS 制御:R3 年度開発)の有用性を確認するため、岩手県釜石市沖及び茨城県大洗町沖の2 海域を対象に発電電力評価を行った。ここでは、海域の水深を考慮した波スペクトルを用いることでより現実に即した評価とした。PS 制御を用いることで、変位の制約条件を考慮できない従来の制御法(銅損を考慮した同調制御)よりも発電性能が約 50%向上していることを確認した(図9)。



**【PS 制御】**

- 船体応答の短期予測の考え方を援用し、変位の制約条件を満たした最適制御ゲインを決定
- 周波数領域の計算のため計算時間が短く、波力発電装置の試設計時に有用

図 9 釜石市沖、大洗町沖での波力発電電力評価結果

**□小項目 2**

・海底鉱物資源開発のスラリー移送に係る評価モデルの構築において、揚鉱・移送時に想定される揚鉱管・移送管の傾斜に伴う影響を考慮した脈動固液二相流の圧力損失推定モデルを構築し、スラリー移送試験(図 10)結果との比較により、モデルの妥当性を検証した(図 11)。さらに、ガスリフトによる資源揚収に係る評価モデルの構築に向けて、鉛直管内における固気液三相流の摩擦損失推定手法を新たに構築した。

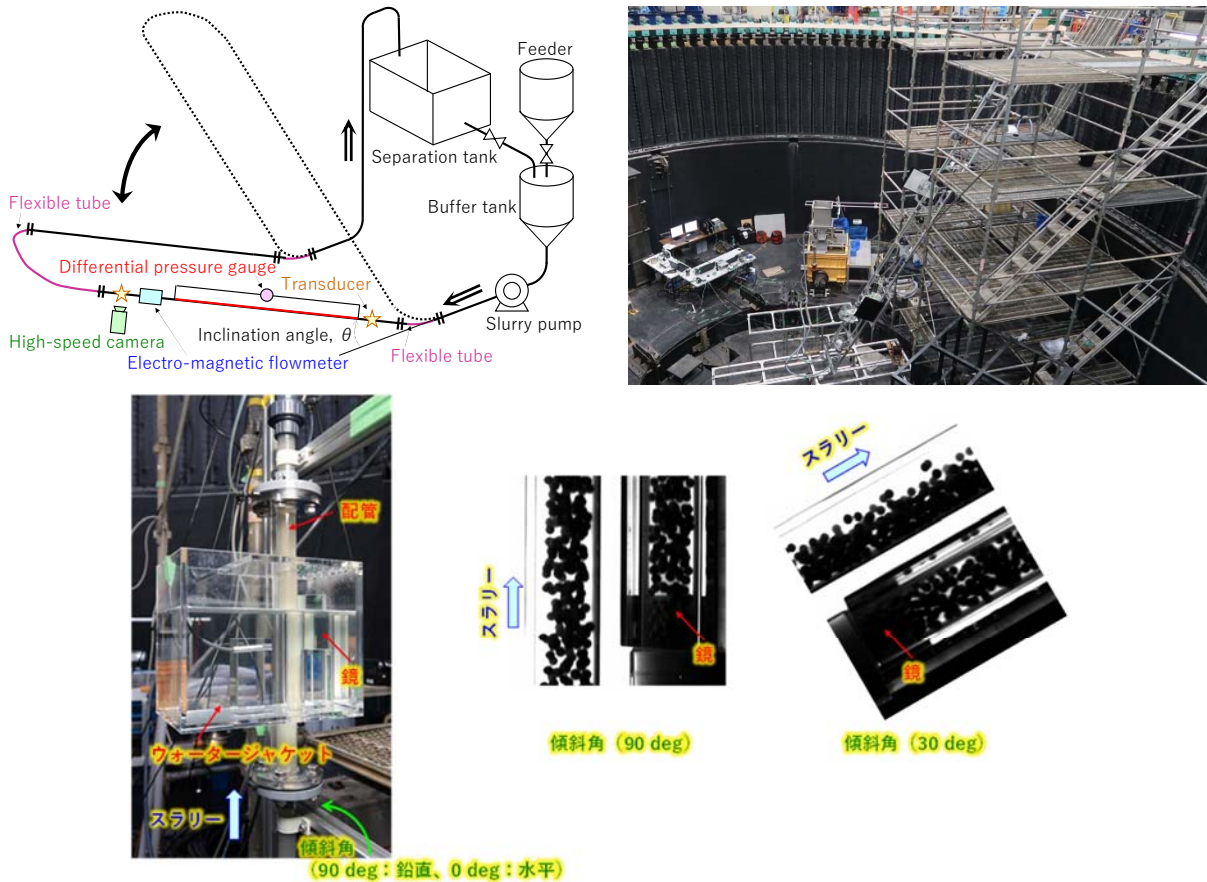
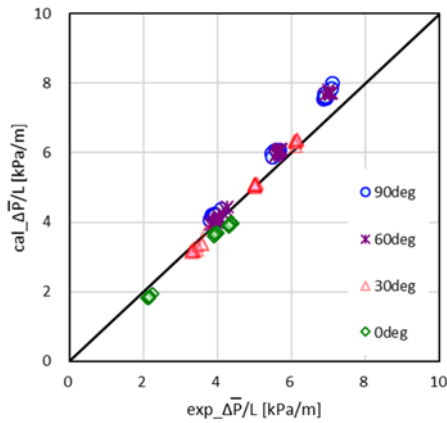
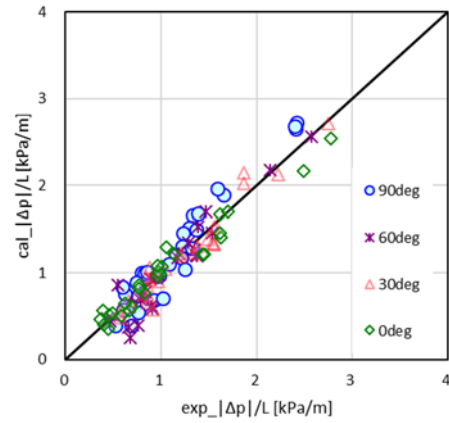


図 10 スラリー移送試験(上図:試験設備概要、下図:流動状況)



(a) 時間平均成分



(b) 変動成分

図 11 傾斜管内脈動固液二相流における圧力損失の計算結果と計測結果の比較

・採鉱機のようなクローラを有する移動体の縮尺模型を用いた水槽試験において、高速あるいは低速で航行する移動体に作用する操縦流体力を取得し、操縦微係数で構成した流体力の推定式を構築した。また、風洞試験において移動体に作用する風荷重を取得するとともに、旋回運動時の姿勢変化に伴う移動体周りの風場の変化を可視化試験により把握した。さらに、水際近くの入射波と反射波が共存する領域を航行する場合に作用する波浪荷重を計測した。碎波中での計測も行い、移動体に作用する波浪荷重に及ぼす碎波の影響についても考察した。取得した操縦流体力や風荷重、波浪荷重は他機関が開発中の大型シミュレータで活用するためにデータベースの形で整理し、操縦流体力の推定式とともに実装された。また、操縦運動中の移動体に作用する流体力の推定可能性を検証するために、海技研で開発した CFD コード NAGISA にて同移動体周りの流場と移動体に作用する操縦流体力を推定した。後者は操縦微係数の形で水槽試験の結果と比較し、良好な一致が得られた。

・異なる言語で開発された経済性の検討が可能な計画支援プログラムと稼働性評価プログラムを簡易的に統合した開発支援プログラムを作成した。本統合により、共通の設定条件(開発地点、荷役地点、輸送距離、シャトル船の隻数など)を共有し総合的な解析が可能となった(図 12)。なお、各プログラムの単独使用も可能である(図 13)。併せて、運用面の向上を図るため、単独使用、統合使用に係わらず評価結果と設定条件をレポート出力する機能も追加した(図 14)。稼働性評価プログラムでは、操業期間だけでなく、採掘、揚鉱、荷役などの各作業に要する占有時間(図 14-1(b))を得ることができ、システム変更をした場合の稼働率の比較やボトルネックとなる作業項目の抽出が可能である。

さらに、

・計画支援プログラム及び稼働性評価プログラムの計算結果は、海底資源開発の国家プロジェクトや初期検討を行っている機関に活用された。

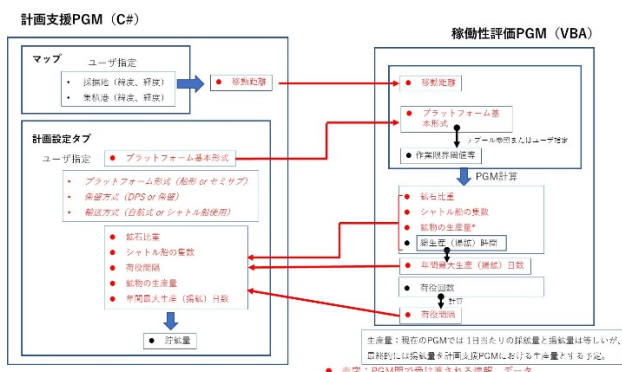
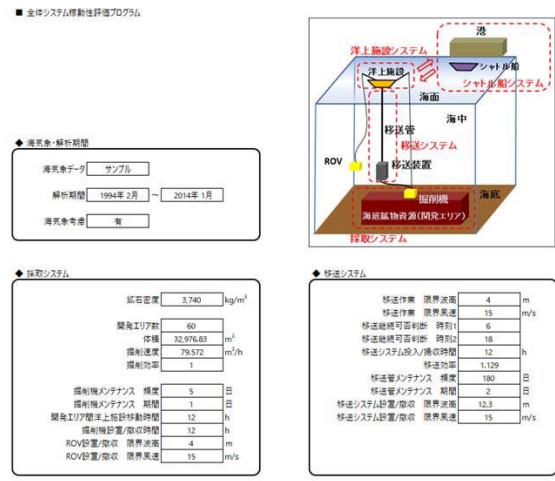


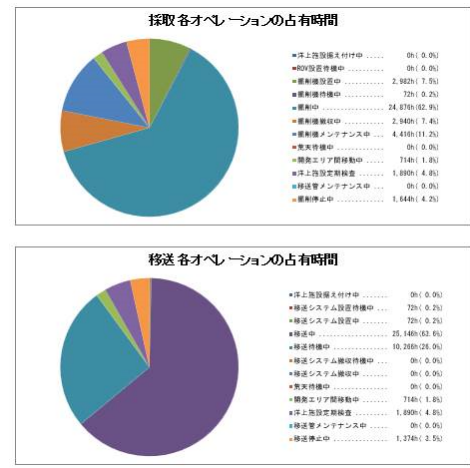
図 12 統合時におけるプログラム間のデータ共有フロー



図 13 開発支援プログラムのトップメニュー

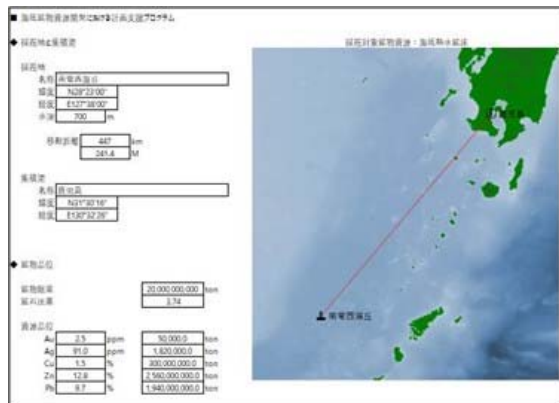


(a) 稼働性評価入力条件

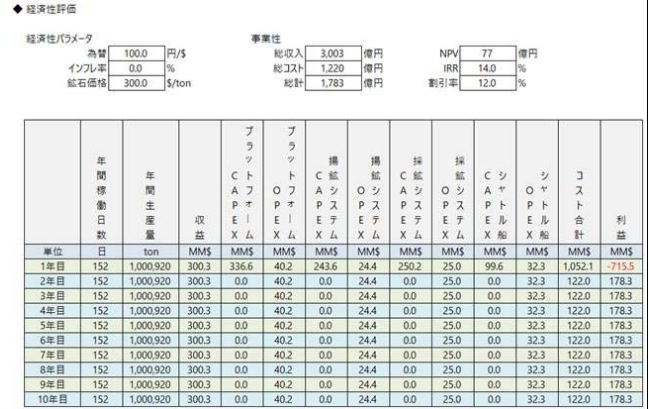


(b) 稼働性評価結果事例

図 14-1 レポート表示事例



(c) 経済性評価入力条件



(d) 経済性評価結果事例

図 14-2 レポート表示事例(つづき)

・アスファルテンの付着量評価のための SARA 解析 (Saturate, Aromatic, Resin and Asphaltene Analysis) 及び壁面付着に対しての流れの影響を解明するための回流試験を実施した(図 15 及び図 16)。SARA 解析の結果、高温高圧条件において試験用金属管に付着した重質油の組成についてのデータが得られた。さらに、処理時間を変えた付着試験での SARA 解析結果を比較し、処理時間による付着物組成の変化について、示唆的なデータを得た。



図 15 アスファルテン付着量評価のための SARA 解析



図 16 アスファルテン壁面付着評価のための回流試験

- ・小型の圧力容器を用いてガスと水からのガスハイドレートを生成し、プローブ式マイクロスコープカメラを用いた画像観察と、温度・圧力データの測定から、ガスハイドレート生成・分解過程についての検討を実施した。ガスハイドレート生成過程においては、過飽和等の非平衡状態を経由してバルク状のガスハイドレートが生成する様子が観察された(図 17)。また分解過程においては、ベントによる小規模な減圧を繰り返した場合、おおむね相平衡曲線に沿って分解が進むことが確認された(図 18)。過年度に実施した、フローループ型試験装置を用いた管内流動試験の知見と合わせて、流動のある条件におけるガスハイドレート生成・分解モデルの構築に関する知見を取りまとめた。



図 17 気液界面に生じたガスハイドレートの様子

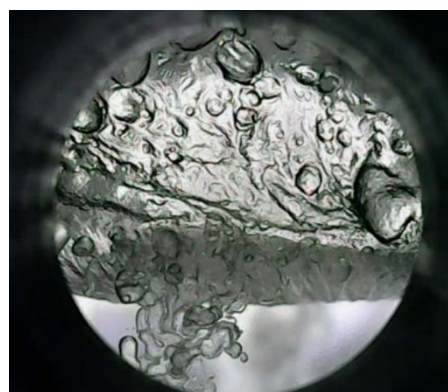


図 18 減圧によるガスハイドレート分解の様子

さらに、

- ・本研究成果を活用して、液体 CO<sub>2</sub> 輸送船と洋上圧入設備間を結ぶ移送管ホースにおける管内流とホース挙動について数値計算を用いた調査を実施し、洋上での CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) オペレーションの安全性・稼働性評価において今後取り組むべき技術課題等について明らかにした。

#### □小項目 4

- ・浮体変位から遭遇海象を推定する手法を検討して推定精度を確認するとともに、水槽試験のための縮尺模型の製作及び浮体内の応力推定のための有限要素モデルの作成を実施した(図 19)。

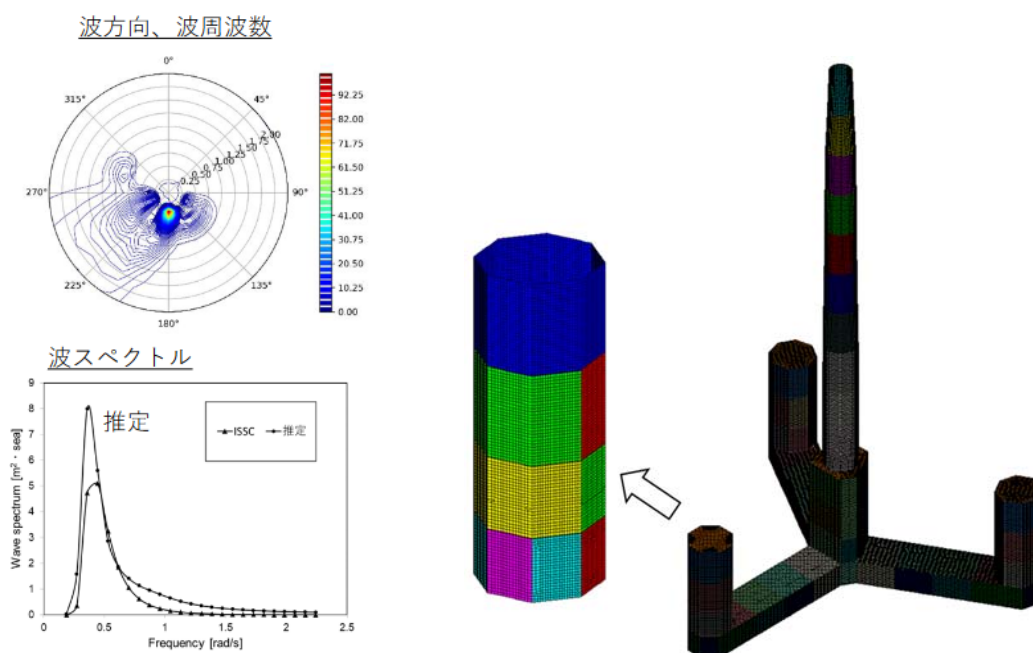


図 19 遭遇海象の推定結果(左図)及び有限要素モデル(右図)

#### R4 年度成果の公表

**□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):23 件(投稿中:8 件、採択済:11 件、掲載済:4 件)**

- Otsubo, K.: On wave-induced coupled motion during cooperative multi-crane lifting operation with two vessels, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*. (採択済)
- Fujiwara, T., *et al.*: Forced oscillation experiments for each vibration mode of closely spaced parallel pipes in steady flow, *Journal of Fluids and Structures*, Vol.117, 103833 (2023). (掲載済)
- Fujiwara, T.: Fundamental Study on Vibration Suppression Mechanisms using Flexible Joints for Hanging Pipes, *Journal of Fluids and Structures*. (投稿中)
- Takano, S., *et al.*: Correlation for Calculating Frictional Pressure Drops in Vertical Three-Phase Flows for Subsea-Resource Production, *Ocean Engineering*, Vol.275, 114121 (2023). (掲載済)
- Yoon, D., *et al.*: Ultrasound measurement for the large bubbles rising in angled slug pipe flows, *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol.91, 102357 (2023) (掲載済)
- Takano, S., *et al.*: Experimental Studies on Velocities of Gas- and Solid-Phases in Gas-Liquid-Solid Three-Phase Flow for Subsea Resource Production, *Multiphase Science and Technology* (投稿中)
- Nakajima, Y., *et al.*: Grinding Characteristics of Quartz Particles in Ball Mill under High-Pressure Condition, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. (投稿中)
- 蓮見知弘ほか: 浮体式洋上風力発電の洋上施工時間推計モデル定式化と解析, *日本船舶海洋工学会論文集*, 第 37 巻 (2023). (採択済)
- 山本裕介ほか: 浮体式洋上風況観測システム「Buoy Lidar」の摩耗量予測と摩耗低減に関する研究, *日本船舶海洋工学会論文集*. (投稿中)
- 中條俊樹ほか: 超大型風車を対象とした水槽模型試験技術, *日本風力エネルギー学会論文集* (投稿中)
- 梅田隼ほか: ガウス過程回帰による波力発電装置の運動モデルの学習, *日本船舶海洋工学会論文集*. (投稿中)
- 羽田絢ほか: 浮体式洋上風力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*. (投稿中)
- 中條俊樹ほか: 浮体式ウインドファームにおける遭遇海象の差による係留張力影響の解析について, *日本船舶海洋工学会論文集*. (投稿中)
- Otsubo, K.: On the stick/slip phenomenon of a crew transfer vessel pushing its bow against an offshore wind tower during a transfer operation, *Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference* (2023). (採択済)
- Tomohiro Hasumi, *et al.*: Estimation for the Efficiency of Offshore Installation Process of Floating Offshore Wind Turbines in Japan, *Proc. 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* (2023). (採択済)
- Ken Haneda, *et al.*: Wind Turbine Controller Effects on Fatigue Loads and Lifetime Power Generation of a Floating Offshore Wind Turbine, *Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference* (2023). (採択済)
- Toshiki Chujo, *et al.*: Estimation of Effect of Randomness in Sea Conditions for Mooring Tension in Floating Offshore Wind Farm, *Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference* (2023). (採択済)
- Yamamoto, M., *et al.*: Study on the axial tension reduction of a dual-bore vertical riser system for deep sea mining, *Proc. 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* (2023). (採択済)
- Masanobu, S., *et al.*: Study on Large Particle Slurry Transport in Inclined Pipes with Pulsating Flow for Subsea Mining, *Proc. 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* (2023). (採択済)
- Takano, S., *et al.*: Numerical Simulation on Gas-Liquid-Solid Three-Phase Flow by Gas-Lift Pumping System for Deep Sea Mining, *Proc. 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* (2023). (採択済)

- Nakajima, Y., *et al.*: Gas hydrate formation and dissociation under static and dynamic conditions, Proc. the 13th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP13) (2022). (掲載済)
- Nakajima, Y., *et al.*: Morphological observation of gas hydrate formation in gas–water systems, Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済)
- Yamamoto, J., *et al.*: Study on the plugging inside the riser pipe during the transfer of the low–temperature substances such as methane hydrate, Proc. 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済)

#### **□その他発表論文:38件(投稿中:1件、掲載済:35件)**

- 谷口友基: 非線形モデル予測制御によるポイントアブソーバー型波力発電装置の実時間制御に関する研究, 大阪府立大学博士論文 (2022).
- 中條俊樹: 研究グループ紹介 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 洋上風力発電プロジェクトチーム, 電気学会誌. (投稿中)
- 羽田絢ほか: 機構解析を用いた新形式浮体式洋上風力発電の波浪中応答及び局所荷重評価に関する研究, 第 22 回海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
- 中條俊樹ほか: 浮体式洋上風力発電の促進のための技術開発, 第 22 回海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
- 中條俊樹: 浮体式洋上風力発電における計測の将来像について, 使えるセンサ・シンポジウム 2022 (2022)
- 蓮見知弘ほか: 浮体式洋上風力発電の洋上施工時間推計モデルの解析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 33 号 (2022).
- 梅田隼ほか: ガウス過程回帰による並進動揺型波力発電装置の運動推定の特長, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 35 号, pp.631–635 (2022).
- Tomoki Taniguchi, *et al.*: EXPERIMENTAL VALIDATION OF NONLINEAR MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR FLOATING POINT ABSORBER TYPE WAVE ENERGY CONVERTER WITH LINEAR GENERATOR, Proc. Grand Renewable Energy 2022 (2022).
- Ken Haneda, *et al.*: REPORT ON A CASE STUDY OF MARINE GROWTH ON SYNTHETIC FIBER ROPES IN THE SEA AROUND JAPAN, Proc. GRAND RENEWABLE ENERGY 2022 (2022).
- 梅田隼ほか: Motion Estimation of Point Absorber type Wave Energy Converter by Gaussian Process Regression, 第 23 回船舶海洋工学会推進・運動性能研究会 (2022).
- 中條俊樹: 浮体式風力発電技術最前線, 一般財団法人 エンジニアリング協会 (2022).
- 中條俊樹: 浮体式洋上風力発電のロードマップと海技研の研究開発, 第 22 回海上技術安全研究所講演会 (2022).
- 中條俊樹: 合成繊維索係留に対する生物付着影響について, 日本船舶海洋工学会海洋工学研究会 (2022).
- Kaiyu Lao, *et al.*: Real-time control experiments of Transverse Flux Type Linear Generator for Wave Energy Converter – With the design of real-time wave predictor, 電気学会リニアドライブ研究会 (2023).
- 中條俊樹: 浮体式洋上風力発電の最新事情と研究課題, 東京大学講義「海事技術イノベーション」 (2023).
- Toshiki CHUJO: Technological Trend and Target of Floating Offshore Wind Turbines in Japan, The APEC(Asia Pacific Economic Cooperation) Workshop on Support Offshore Wind Deployment and Grid Connection in APEC Region (2023).
- 羽田絢: 浮体式洋上風力発電の導入促進に向けた研究紹介, 横浜市政策局、海と産業革新コンベンション うみコン 2023 (2023).
- 石田茂資: 風力発電は海へ向かうー海と風が創るエネルギーー, 三鷹ネットワーク大学推進機構 (2023).
- 蓮見知弘ほか: 浮体式洋上ウインドファームの洋上施工作业時間推計モデルの解析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 36 号 (2023).
- 梅田隼ほか: 海域水深と変位制約を考慮した波力発電装置の発電性能評価, 日本船舶海洋工学会講演会

論文集, 第 36 号 (2023)

- ・齊藤昌勝ほか: 合成繊維索係留システムの最適設計の考え方について, 第 22 回海上技術安全研究所講演会 講演資料 (2022).
- ・大坪和久ほか: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文賞受賞記念講演 (2022)
- ・大坪和久ほか: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価, 日本船舶海洋工学会 KANRIN, 第 103 号, pp.4 (2022).
- ・大坪和久: 風車タワーに船首接舷した CTV の波浪中運動評価, 海上技術安全研究所(第 22 回)研究発表会 講演集, pp.107-108 (2022).
- ・梅田隼: 波力・潮流海流発電装置の開発動向, 第 6 回海洋資源開発技術プラットフォーム会合 (2022).
- ・谷口友基ほか: 並進動揺型波力発電装置を対象とした 実時間最適制御法の水槽模型試験による検証, 日本船舶海洋工学会講演会論文賞受賞記念講演 (2022)
- ・谷口友基ほか: 並進動揺型波力発電装置を対象とした実時間最適制御法の水槽模型試験による検証, 日本船舶海洋工学会 KANRIN, 第 103 号, pp.6 (2022).
- ・谷口友基ほか: Kane の方程式を用いた浮体式ポイントアブソーバー型波力発電装置の定式化と波浪中運動評価, 第 22 回海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
- ・Kaiyu Lao, et al.: Water Tank Experiment to Evaluate a Transverse Flux Type Linear Generator in Wave Energy Converter, 電気学会研究会回転機/リニアドライブ/家電・民生合同研究会 (2022).
- ・山本讓司ほか: 海底鉱物資源開発のための計画支援システムの開発, 海上技術安全研究所報告, 第 22 巻, 別冊, pp.29-33 (2022).
- ・山本マルシオほか: 海底鉱物資源開発における移送管の内部流影響に関する数値解析について, 海上技術安全研究所(第 22 回)研究発表会講演集, pp.111-112 (2022).
- ・林拓己ほか: エアリフトポンプ内スラグ流のための超音波モニタリング技術の開発, 混相流シンポジウム講演集 (2022).
- ・高野慧ほか: 海洋鉱物資源とエアリフトポンプ方式における移送評価技術, 混相流, 第 36 巻, 第 3 号, pp.312-319 (2022).
- ・村井祐一ほか: 超音波によるエアリフト管内の混相流の計測, 混相流, 第 36 巻, 第 3 号, pp.329-335 (2022).
- ・村井祐一ほか: エアリフト管内の気液二相流の超音波モニタリング技術の開発, 日本機械学会第 100 期流体工学部門講演会講演論文集 (2022).
- ・高野慧ほか: 傾斜管における脈動スラリー流の移送評価に関する実験的研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 35 号, pp.727-730 (2022).
- ・湯川和浩ほか: 浮航型水陸両用車に作用する荷重および運動性能評価, 海上技術安全研究所(第 22 回)研究発表会 講演集, pp.133-134 (2022).
- ・中島康晴ほか: 小型耐圧容器を用いた重質油の付着性評価の試み, 石油学会第 70 回研究発表会 (2022).

#### **□特許申請:2 件**

- ・鉱石移送関係、山本讓司(出願準備中)
- ・水面上漂流物の遮蔽及び回収方法、並びにそれに用いる遮蔽及び回収装置、高橋一比古(特願 2022-160179)

#### **□コアプログラム登録:1 件**

- ・LSTM を用いた係留ライン張力推定プログラム(渡邊充史)

#### **□国際貢献:1 件**

- ・IEC61400-3-2 “Wind energy generation systems – Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines, Annex: Application of Damage Stability Criteria”



#### **□受賞:4件**

- ・日本船舶海洋工学会賞(論文賞, 副賞 日本造船工業会賞): 大坪和久, 長谷川賢太(クレーン作業中の吊荷と多目的作業船の波浪中連成運動評価, 同 第2報 吊荷が着水した直後での波浪中連成運動解析)
- ・日本船舶海洋工学会賞(論文賞, 副賞 日本海事協会賞): 谷口友基, 藤原敏文, 梅田隼, 片山徹(並進動揺型波力発電装置を対象とした実時間最適制御法の水槽模型試験による検証 (2022))
- ・谷口友基: ORAL PRESENTATION AWARD, Grand Renewable Energy 2022 International Conference (2022)
- ・理事長表彰(グループ表彰)「海洋構造物試験水槽の維持管理および機能向上に貢献した功績」(海洋システム研究グループ)

#### **□公開実験:1件**

- ・風車タワーに船首接舷した洋上風力発電アクセス船の波浪中運動を評価するための水槽模型試験 (R4.4.25)

研究開発課題	(8) 海洋の利用に関連する技術に関する研究開発
研究テーマ	重点☆10 海洋資源開発等に係る探査システムの基盤技術及び運用技術の開発に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化に資するため、船舶に係る技術を活用して、海洋再生可能エネルギー生産システムに係る基盤技術、海洋資源開発に係る生産システム等の基盤技術及び安全性評価手法の確立並びに海洋の利用に関する技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発</p>	<p>海洋再生可能エネルギー・海洋資源開発の促進及び海洋開発産業の育成並びに国際ルール形成への戦略的関与を通じた我が国海事産業の国際競争力強化が求められている。一方、実際の海洋開発は民間での開発リスクが過大であるため、海洋開発推進、海洋産業の育成に向けた国と民間との連携が重要である。</p> <p>したがって、研究所には、船舶に係る技術を活用し、海洋基本計画等の国の施策に沿ったナショナルプロジェクト、海洋産業育成等への技術的貢献を行うとともに、実際の開発・生産を担う我が国企業への技術的支援が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③海洋の利用に関連する技術に関する研究開発</p> <p>－他機関の AUV を含めた複数 AUV を用いた基本隊列制御システムの有効性の検証、及び AUV-ASV 連結システム利用した洋上風力発電設備の海中部の遠隔点検試験等の提案・実証を行う。等</p>

### 研究の背景

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

具体的には、以下があげられる。

- ・ 高効率小型 AUV(自律型無人潜水機)システムの研究開発
- ・ AUV 要素技術の研究開発
- ・ 複数 AUV の同時運用システムの研究開発
- ・ AUV 研究開発成果の社会実装・民間活用・国際規格化

### 期間全体の研究目標

- ・ 複数機の小型 AUV の同時運用による広域探査システムのプロトタイプ完成  
(航行型の小型 AUV、ホバリング型の小型 AUV、洋上中継器、投入揚収装置)
- ・ 広域探査システムの運用技術(隊列制御技術・ASV(洋上中継機)による多数 AUV 運用等)完成
- ・ 隊列制御を行った多数 AUV による地震探査が可能(従前の船舶からの調査に比べて、高精度のデータ取得が可能)等、AUV 運用において高効率化
- ・ 民間移転実施
- ・ SIP 第 2 期事業に参画(簡易に搭載可能な隊列制御アルゴリズム、システム開発を実施)する中で、民間事業者と協力しながら対応。SIP 事業終了後に、民間調査が可能(社会実装の完成)

- ・広域探査システムの企画・転用技術
- ・自律行動に対して汎用的に利用されることの多いROS(ロボットオペレーティングシステム)を活用したAUV制御アルゴリズムの開発を行い、他機種 AUV への展開利用を平易化する。国内開発 AUV へのシステム搭載を実施。さらに、エネルギー関連、水産関連支援関連、風力発電施設等も含んだ海洋構造物・パイプライン等の保守点検等で実用可能な AUV 開発、点検作業等を実施。

上記成果は、以下があげられる。

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

#### R4 年度研究目標

##### □小項目 5

- ・JAMSTEC(国立研究開発法人海洋開発研究機構)所有 AUV、民間他機関との連携も実施しながら隊列制御有効性を検証(汎用性を証明)

##### □小項目 6

- ・航行型 AUV 最適誘導制御法および高度推定フィルターの研究開発

##### □小項目 7

- ・洋上風力発電設備の検査等を念頭においた複数 AUV 活用方策に関して調査・研究。銚子沖洋上風力発電設備において、「AUV-ASV 連結システム」の海中部映像点検の性能評価

#### R4 年度研究内容

##### □小項目 5

- ・大深度での複数 AUV 隊列制御技術の研究開発

##### □小項目 6

- ・探索アルゴリズムの高度化による航行型 AUV 最適誘導の高速化
- ・地形複雑度を用いた高速自機位置探索手法の開発

##### □小項目 7

- ・R3 年度までに製作した「AUV-ASV 連結システム」について、実海域運用に適するように改良実施。深海水槽、動揺水槽にてシステム動作確認を行い、銚子沖洋上風力発電設備において海中部点検技術試験を実施

#### R4 年度研究成果

##### □小項目 5

- ・SIP 第 2 期事業に参画し、令和 3 年度に開発・調整した基本隊列制御システムの実海域実証試験を行った(図 1)。

##### ・6 月駿河湾試験

JAMSTEC の ASV「KaiKoo」、海技研航行型 AUV2・3・4 号機、株式会社 IHI 製 AUV「AU3」の 5 機のビークルを基本隊列制御システムで制御するため、ハードウェア共通化として令和 3 年度、各 AUV へ JAMSTEC 製音響測位装置の搭載、ソフトウェア共通化として通信プロトコルの策定・実装を行った。4 月の全ビークルを集めた JAMSTEC 岸壁における通信測位試験を経て、6 月に駿河湾の水深 120m 海域において各 AUV の

単機潜航試験および全機を用いた基本隊列制御試験を行った。全機の潜航および MBES(マルチビーム音響測深機)を用いた海底地形計測に成功し、基本隊列制御システムが想定通りに機能することを確認した。一方で、AUV が近接して航行した場合、MBES のソナー干渉が生じ、地形データに一部欠損が生じることも明らかになった。



図1 基本隊列制御システムを用いた6月駿河湾での実海域試験  
(5機のASV・AUVの試験概念図(左)、試験に配備されたASV・AUV(中)、取得した海底地形データ(右))

### ・9月駿河湾試験

JAMSTEC 研究船「よこすか」および東洋建設株式会社自航式多目的船「AUGUST EXPLORER」を支援母船とし、深度 1300m 海域で基本隊列制御試験を実施した。基本隊列制御システムにソナー干渉を防ぐためのアルゴリズムを追加実装し、5機のASV・AUVを用いた広域・詳細(1m解像度)な海底地形データの取得に成功した。

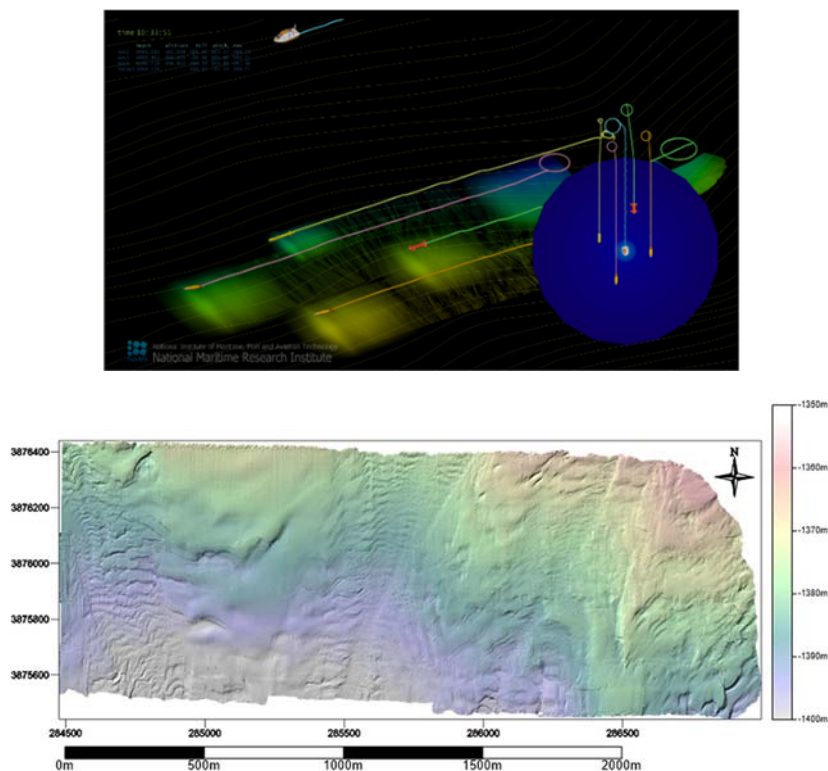


図2 9月駿河湾1300m海域での基本隊列制御実証試験  
(ログデータから復元した隊列関係(上)、広域・詳細(1m解像度)な海底地形データ(下))

### ・ソナー干渉回避アルゴリズムの開発(10機の基本隊列制御シミュレーションによる有効性検証)

基本隊列制御において、AUV同士が近接する場合にMBES観測でソナー干渉(海底地形観測欠落部)が生じることが明らかになった。通信可能範囲から出ようとするAUVへはASVへ近づくように、そうでない場合は近接するAUVから離れるように制御するアルゴリズムへと改修し、10機のAUVモデルを用いてシミュレ

ーション計算を行った。ソナー干渉を伴わない隊列制御システムを完成させた。

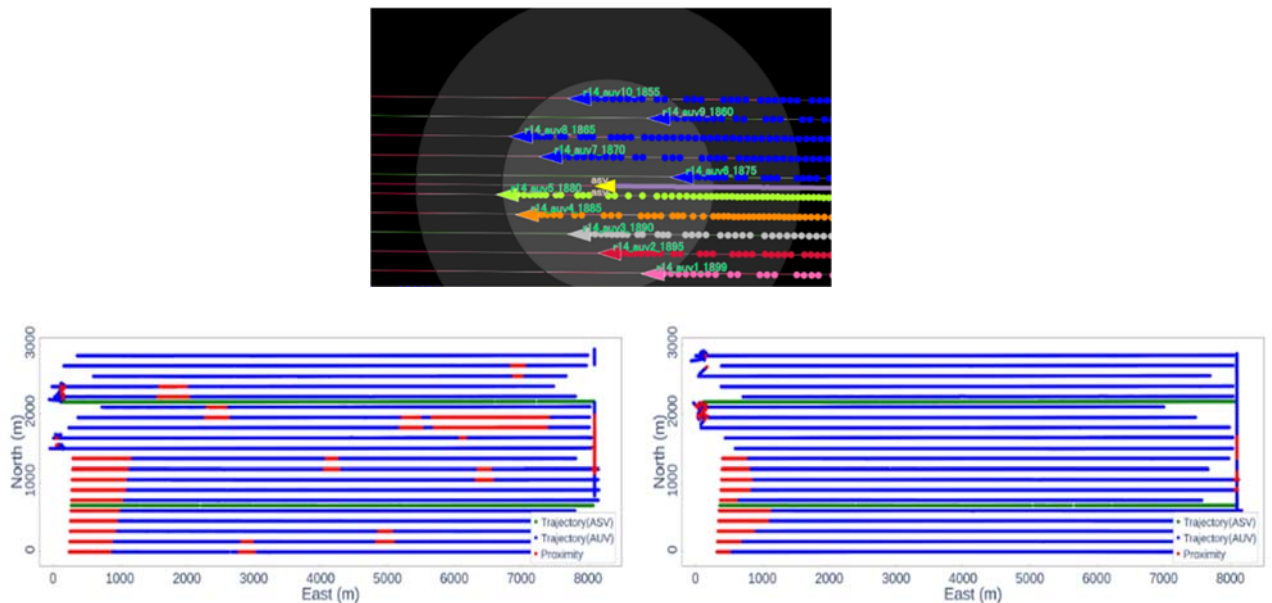


図 3 MBES ソナー干渉防止機能付き隊列制御システムによる 10 機 AUV 隊列シミュレーション (10 機シミュレーションの監視画面(上)、干渉防止方策なし結果(下左)、干渉防止あり結果(下右)、左下スタートの 10 機一往復航行シミュレーション、赤ライン部はソナー干渉箇所)

・AUV-AUV 通信・測位、位置誤差検出アルゴリズムの開発

潜航の初期待機において各ビークルの認識位置誤差を修正することは重要なプロセスであるが、監視拠点からの測位誤差により正確な位置補正が難しい。そこで、画像処理の図形検出アルゴリズムとして知られるハフ変換により円軌道を描くことで、AUV 位置誤差の検出・補正を高精度化する手法を開発した。外れ値を含む測位データであっても頑健に位置誤差補正が可能な結果が得られることがわかった。本手法を実機試験にも適用し、有効性を確認した。

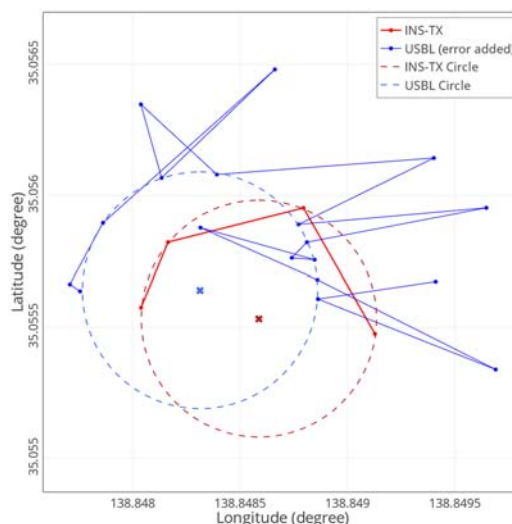


図 4 ハフ変換を用いた AUV 軌道検出結果

□小項目 6

・航行型 AUV 最適誘導の問題において、GDS(Gradient Descent Search)法をベースに、探索毎にステップサイズを最適化することで、収束性を改善する新しい数値探索アルゴリズムを開発し、適用した。その結果、既存の GDS(Gradient Descent Search)法と比べ、同等の精度の収束解が最大約 70%短縮した計算時間で求められることを確認し、実機実装に向けた一つの土台作りができた(図 5)。

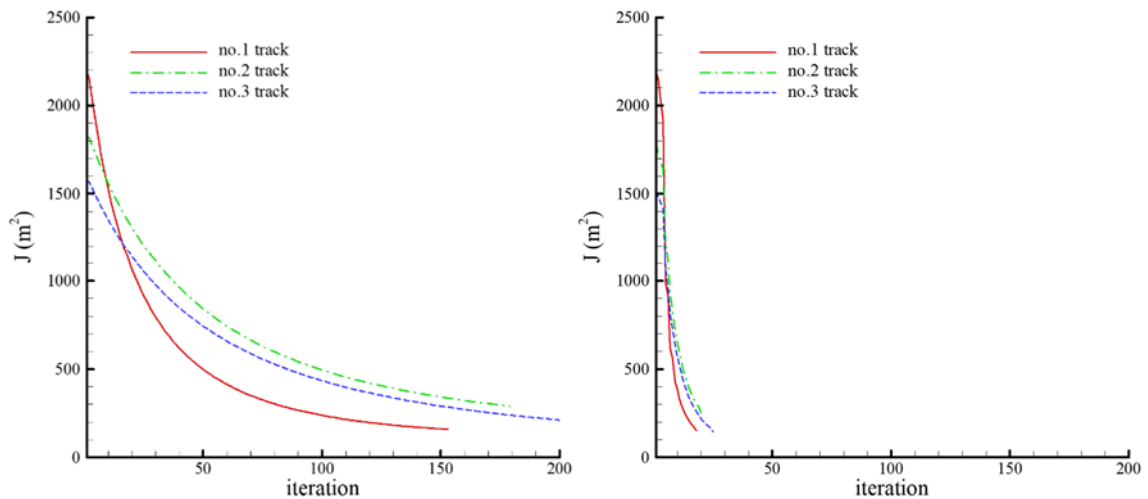


図 5 探索アルゴリズムによる収束性の比較(既存(左)と最適ステップサイズ(右))

・高度推定フィルターとして TERCOM(地形照合自機位置推定)が提供する高度情報の精度は、既知の低解像度地形情報に依存することから、制限的である。こうした問題の解決に向け、DVL(ドップラー流速・高度計)のビーム毎にマッチングした後、各ビーム(図 6 のビーム 1~4)で得られた推定位置に対し、各ビームの SSD(Sum of Squared Differences) 値の逆数に比例する重みづけを行い、平均化する手法を開発した。この手法により、マッチング精度を考慮した平均化が可能となり、安定かつもっともらしい自機位置推定結果が得られることを確認した(図 6 の WC)。

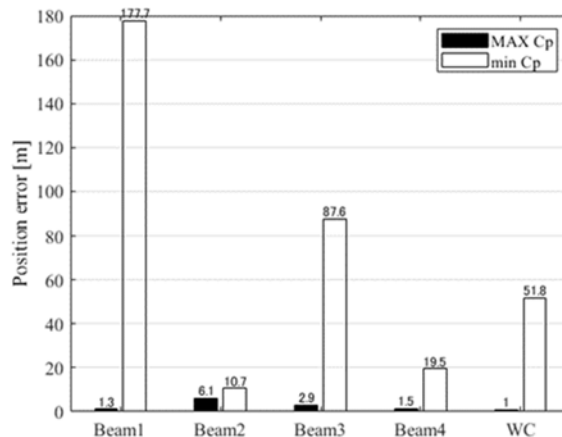


図 6 TERCOM による自機位置推定結果

(MAX Cp: 最大複雑度地形、min Cp: 最小複雑度地形で、WC は 4 ビームによる位置推定の重みづけ平均)

### □小項目 7

- ・R3 年度までに製作した「AUV-ASV 連結システム」の不具合点(コネクタの防水性能等)について改良を施し、深海水槽、動揺水槽にてシステム動作確認を行った後、銚子沖洋上風力発電設備において、海中部点検技術試験を実施した。「AUV-ASV 連結システム」の運用方法として、以下が有効であることがわかった。
  - ・ ASV-作業船間がケーブルレス(無線 LAN)であるため、作業船は ASV を直接目視できる範囲であれば、緩い位置保持(ASV との距離 20~50m の範囲)を行うだけで十分であった。
  - ・ 「AUV-ASV 連結システム」が着水位置から風車塔に接近する際など、長距離を移動する際には、ASV が AUV をケーブル曳航する方法が有効であった。
  - ・ 「AUV-ASV 連結システム」の AUV は、海面から海底までの 20m 以内の鉛直距離を、1 分以内で上下移動することが可能であり、風車塔の東西南北 +  $\alpha$  (北西) の 5 方向に関して、30 分以内での点検撮影完

了が可能であった。



図7 銚子沖洋上風力発電設備での海中部点検技術試験の様子  
(AUV-ASV 連結システム(左)、風車塔に接近した ASV を作業船から撮影(中)、海底付近の AUV(右))



図8 「AUV-ASV 連結システム」の AUV による海中撮影映像  
(風車塔西側側面のケーブル保護管(左)、風車塔東側海底付近の洗堀防止用フィルターユニット(右))

- ・本事業は、国土交通省総合政策局海洋政策課の R4 年度公募型事業「海の次世代モビリティの利活用に関する実証事業」に応募し、採択された。また、事業実施に成功し、3 月に開催された成果報告会でも実施内容の総括を行った。
- ・海中撮影映像を関係各所(東京電力リニューアブルパワー、銚子市漁協、日本潜水協会)に確認いただき、映像点検として十分な画質を有しているとの評価を得た。

#### R4 年度成果の公表

**□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 7 件(投稿中: 3 件、採択済: 4 件、掲載済: 0 件)**

- ・Akihiro Okamoto, Masahiko Sasano, Kangsoo Kim and Toshifumi Fujiwara: Position Error Correction Method Using Circle Hough Transform for AUV Navigation, Transactions of Navigation. (採択済)
- ・Kanao Kobatake and Masakazu Arima: Verification of Swarm Intelligent Underwater Robot System for Marine Environment Observation with Vehicle Loss Compensation and Functionality Maintenance, Proceedings of the ASME 2023, 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2023 (2023). (採択済)
- ・Takumi Sato, Kangsoo Kim, Masahiko Sasano, Akihiro Okamoto, Shogo Inaba, Satoshi Kondo, Hiroshi Matsumoto, Takashi Murashima, Toshifumi Fujiwara and Hiroyuki Osawa: Sea Trials of Multiple Heterogenous Cruising AUVs and ASV with Basic Formation Control, Proceedings of the ASME 2023, 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2023 (2023). (採択済)
- ・Toshifumi Fujiwara: Formation Control Specifications on Multiple Cruising AUVs for Seafloor Topography Mapping, Proceedings of The 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (2023). (採択済)
- ・Akihiro Okamoto, Masahiko Sasano, Kangsoo Kim and Toshifumi Fujiwara: Development of formation control system for multiple AUVs with sonar interference avoidance function, Journal of Robotics and Mechatronics (2023).(投稿中)
- ・Kangsoo Kim, Akihiro Okamoto, Masahiko Sasano, and Toshifumi Fujiwara et al.: A new approach of weakly

- coordinated multi-AUV operation: The basic formation control, Journal of Field Robotics (2023).(投稿中)
- ・Masahiko Sasano: Environmental observation of shallow CO2 seep by a hovering AUV Hobalin in Shikine Island Environmental Monitoring and Assessment, Springer (2023).(投稿中)

#### **□その他発表論文:17件(投稿中:2件、掲載済:15件)**

- ・稲葉祥梧, 佐藤匠, 岡本章裕, 篠野雅彦, 金岡秀, 藤原敏文: AUV 深度による測位評価と航跡補正, 海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
- ・篠野雅彦, 岡本章裕, 稲葉祥梧, 藤原敏文: 海底資源探査・洋上風力発電設備における AUV の新しい活用技術, 海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2022).
- ・Masahiko SASANO, Akihiro OKAMOTO, Shogo INABA, Toshifumi FUJIWARA, Hiroyuki YAMAMOTO, Eiichi ASAKAWA, and Sotaro TAKASHIMA: Applications for Autonomous Control of Multiple AUVs Toward Deep-Sea Resource Explorations, Proceedings of the OCEANS 2022 Hampton Roads (2022).
- ・佐藤匠: 国際舞台で輝け! 海事・海洋技術開発のエキスパートに, 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 (2022).
- ・篠野雅彦: 複数 AUV の水中協調作業, 日本ロボット学会第 145 回ロボット工学セミナー (2022).
- ・藤原敏文: 海技研海洋先端技術系の研究, 九州大学大学院船舶海洋工学専攻 (2022).
- ・金岡秀: 海上技術安全研究所の AUV 研究開発について, 総合海洋政策本部 (2022).
- ・Akihiro Okamoto, Kangsoo Kim, Masahiko Sasano, Takumi Sato, Shogo Inaba, Satoshi Kondo, Hiroshi Matsumoto, Takashi Murashima, Takuya Shimura, Toshifumi Fujiwara and Hiroyuki Osawa: Development of Basic Formation Control System for Heterogeneous Autonomous Marine Vehicles and its Sea Trials in Suruga Bay, Underwater Technology (UT23) (2023).
- ・Inaba Shogo, Sasano Masahiko: Similar Object Identification in Sonar Images by Machine Learning, Underwater Technology (UT23) (2023).
- ・Masahiko Sasano: Multiple AUV operation technologies for deep-sea bottom resources exploration in Japanese SIP offshore project, United States and Japan Conference on the Development and Utilization of Natural Resources/Sea Bottom Surveys Panel (2023).
- ・藤原敏文: 自律型無人潜水機 AUV の開発と将来展望, 公益財団法人笹川平和財団海洋政策研究所 Ocean Newsletter および Web. (投稿中)
- ・藤原敏文: 海技研の AUV 研究と今後の展望, 第 165 回海洋技術フォーラム資料 (2023).
- ・篠野雅彦: 複数 AUV の水中協調作業, 次世代センサ協議会海洋計測センサ技術研究会 (2023).
- ・篠野雅彦: 「AUV-ASV 連結システム」を用いた 洋上風力発電設備の海中部点検, 国土交通省主催セミナー (2023).
- ・稲葉祥梧, 篠野雅彦, 須藤拓, 浦環: ASV による複数 AUV の管制, マリンエンジニアリング学会 HP. (投稿中)
- ・篠野雅彦: 複数 AUV の新形式運用, 日本プロジェクト産業協議会(JAPIC)海洋資源事業化委員会 (2023).
- ・海技研プレスリリース: 複数の自律型海中ロボットの隊列制御による高効率な海底調査技術の実証試験について, 海上技術安全研究所 (2023).

#### **□特許申請: 2件**

- ・拡張 AUV-ASV 連結システム: 篠野雅彦
- ・ハフ変換を用いた AUV の位置誤差検出および補正法: 岡本章裕、篠野雅彦、金岡秀、藤原敏文

#### **□コアプログラム登録: 3件**

- ・AUV プログラム用 Python パッケージ: 岡本章裕
- ・隊列制御プログラム: 岡本章裕
- ・複数機 AUV 潜航情報表示プログラム: 岡本章裕



**□受賞：3件**

- ・日本マリンエンジニアリング学会：ロイドレジスター電気電子工学賞
- ・うみそら研チーム表彰：複数 AUV 隊列制御実証チーム、複数 AUV の隊列制御システムの構築とその有効性を実海域で実証した功績
- ・日本航海学会：2022 年度英文論文誌の論文賞

研究開発課題	(9)海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発
研究テーマ	重点☆11 造船業の競争力強化や新たなニーズに対応するための新しい生産システムの構築並びに新材料利用技術に関する研究

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①海事産業の発展を支える技術革新と人材育成に資する技術に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－造船の協業体制を構築するため、造船のデータ標準化のひな型を作成するとともに、造船PLMシステムのシステム開発を行い、建造シミュレータの接続等のデモの作成を行う。</li> <li>－設計データ生成技術に関して、設計テンプレートや過去番船モデルのリユースを利用した、高速生成機能の開発を行う。</li> <li>－建造シミュレーションシステムに関して、造船所の内業工程に着目したプロトタイプ版の開発を行う。等</li> </ul>

**研究の背景**

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

具体的には、以下があげられる。

- ・ 建造モニタリングシステムの開発
- ・ 生産性向上に資する機器の開発
- ・ 新しい造船生産工程管理の提案
- ・ 防振部材への火気を伴わない接合方法の利用に関する研究
- ・ 騒音予測プログラムの改良
- ・ 騒音・振動及び生産設計にかかわる知的設計システムの構築
- ・ 造船の協業体制に向けた研究
- ・ 生産計画におけるモデルベース開発に向けた研究

**期間全体の研究目標**

- ・ 建造モニタリングシステムの開発(造船IoT体制の構築)、生産現場の改善により生産性の20%向上(リードタイムの短縮、実トーチ時間など)、ウェアラブル等を用いた新造船インターフェースの開発
- ・ 造船用パワーアシストスーツの開発、工作ロボットの開発

- ・非熟練及び短時間労働者を新たに取り入れた新しい概念の造船工程の提案、造船所でのモデル事業の実施、未活用労働者向けの技能研修プログラムの開発
- ・騒音低減のための防振部材を活用した新たな構造仕様や施工方法の信頼性の高い設計手法を開発し、防振部材導入に関するガイドラインを作成
- ・現行の騒音予測手法にニューラルネットワークモデルの構築等により改良し、多様な船舶に対する騒音予測をより高精度で行う騒音予測技術を開発
- ・生産設計分野における知的設計システム(プロトタイプ)を開発
- ・設計・製造プロセスにおけるデータの仕様、標準化を策定する。次世代造船設計システム(インテリジェント CAD)のビジョンとその実用化開発のロードマップを策定する。推進性能と生産性(ぎょう鉄難易度と溶接長等)を統合的に評価し、船型形状と外板板割りの多目的最適化が可能なインテリジェント CAD システムのプロトタイプを開発する。
- ・内業工程を再現するシミュレーションシステムのプロトタイプを開発し、船殻ブロックに対するリユースシステムのプロトタイプを開発する。(リユースシステムの開発は小項目 8 に統合して実施)

上記成果は、以下があげられる。

- ・未来の造船工場(新技術の導入、新しい働き方の提案)や生産現場の改善計画の普及により、労働者不足の改善及び地方都市の活性化等地方創生に資するとともに、我が国造船業の国際競争力が強化される。
- ・船内騒音対策・軽量化・設計自由度の向上などを通じて船内労働環境の改善に資するとともに、造船産業の国際競争力の強化を図り造船業の活性化(地方創生)に資する。造船設計・生産性向上に資する。
- ・設計フロントローディングによる戻り工事の低減及び建造コスト管理の高精度化により、我が国造船業の国際競争力が強化される。
- ・造船設計及び製造の生産性向上とともに、企業間を超えた協業体制等の新しい造船ビジネスモデルの構築に関して技術面で支援する。
- ・シミュレーションシステムおよびリユースシステムの開発を通じて、造船所の生産設計の効率化および安定的な生産に資する。

#### R4 年度研究目標

##### □小項目 4

- ・設計指針・施工要領のガイドラインの提案

##### □小項目 8

- ・造船 PLM(Product Lifecycle Management)システムのシステム開発
- ・開発したインテリジェント CAD システムを含む次世代造船設計システムの実用化開発のロードマップの作成

##### □小項目 9

- ・シミュレータの他工程に対する拡張、検証
- ・データ標準化のひな型の作成(小項目 8 に統合して実施)

#### R4 年度研究内容

##### □小項目 4

- ・実船試験による効果の検証

##### □小項目 8

- ・造船の標準化に関する研究
- ・次世代造船設計システムの実用化開発のロードマップ作成
- ・インテリジェント CAD システムに関する研究

## □小項目 9

- ・仮想的な工場を再現するシミュレータに関する研究
- ・過去番船モデルのリユースに関する研究(小項目 8 に統合して実施)

## R4 年度研究成果

### □小項目 4

- ・船殻構造の起振応答量解析は難しく、設計時に推定していた固有振動数とは異なり、実際には、損傷報告後に判明した振動モードの固有振動数が起振周波数域に存在し、共振を起こしていた事例が確認されている。現状、課題が生じている部位は、燃料タンク壁や清水タンク壁で、エンジンやプロペラを起振源として、壁が共振した場合は 10Hz 程度の振動が発生することがあり、試運転後や就航後に振動が確認され対策が必要な事例が生じている。試運転後や就航後は、接合部裏面(飲料水である清水タンク内面には特別な塗装がされている)も含む塗装の焼けが発生すると更なる追加工事が発生するため、溶接などの火気工事を伴う補強部材の追加は可能な限り回避することが望ましい。そこで、本研究の実証段階では、構造接着を用いた共振防止カーリング(板材補強小型骨材)の取付の実機への適用に取り組んでいる。
- ・本研究では、これまで全ての試験片製作時は、評価対象接着剤メーカー製品の製作を取り扱っている複合成形材料・繊維メーカーのグループ会社にて精密に接着接合を行ってきた。しかしながら、被着面前処理の度合いや接着層厚などが構造接着の接合強度のばらつきに影響を及ぼすため、実機への適用に先立ち、連携造船所自身が接着接合した試験体を用いて、構造接着を用いた共振防止カーリングの効果を検証するための振動試験を実施した。接着層厚の異なる 10 体の接着試験体並びに比較検証用の溶接試験体 1 体について試験を実施した(図 1、図 2)。
- ・試験体の固有振動数を求めるスイープ試験を加速度 $\pm 4.9\text{m/s}^2(0.5\text{G})$ で実施したところ、試験体の固有値は 58Hz、応答倍率は約 27 倍であった。実船で想定される振動応答の範囲としては、振動評価に用いられる Lloyd's Register 「Ship Vibration and Noise」の上限とすると、試験体の固有値に近い起震周波数 60Hz の場合の基準上限加速度は $\pm 27\text{m/s}^2$ であり、応答倍率が約 27 倍であることを考慮すると、加速度 $\pm 1\text{m/s}^2$ が実船で想定される振動応答の範囲となる。よって、加速度 $\pm 1.0\text{m/s}^2$ で再度スイープ試験を実施したところ、試験体の固有振動数は 56~60Hz、応答倍率は 32.1~36.7 倍であった。比較試験で実施した同形状の溶接試験体の固有振動数は 58Hz、応答倍率は 38.3 倍であった。構造接着の場合も溶接とほぼ同程度の剛性であった。
- ・また、「Ship Vibration and Noise」では、20Hz 以下の基準上限変位は 0.5mm であり、実船で想定される起震周波数は 10Hz 程度では、基準上限加速度は $\pm 2\text{m/s}^2$ である。試験体の耐久性を確認するためのスポット試験により、接着部の剥離が生じる変位を得るため、実船で想定される振動応答を超える加速度で、5 分間ずつ段階的に加速度を $\pm 1\text{m/s}^2 \rightarrow \pm 3\text{m/s}^2 \rightarrow \pm 6\text{m/s}^2 \rightarrow \pm 9\text{m/s}^2 \rightarrow \pm 12\text{m/s}^2$ と上げる計画で試験を実施した。接着層厚 0.5mm、3.0mm、6.0mm では、加速度 $\pm 6\text{m/s}^2$ で剥離が発生し、応答倍率の平均は、36~49 倍( $\pm 219 \sim \pm 294\text{m/s}^2$ )であった。接着層厚 9.0mm では、加速度 $\pm 9\text{m/s}^2$ で剥離が発生し、応答倍率の平均は、35 倍( $\pm 319\text{m/s}^2$ )であった。十分な接着強度を有することを確認した。
- ・共振防止カーリングのように接着線長が 1m を超える場合であっても、令和 2 年度に作成した艀装品サイズの仮固定用具・施工手順・施工方法などの施工要領で、接着可能であることを確認した。本重点研究では、実船試験による効果の検証を目指していたが、研究期間内で実機への適用に至ることができなかった。今後は、連携造船所からの請負研究を計画しており、実機への適用支援を引き続き行う。

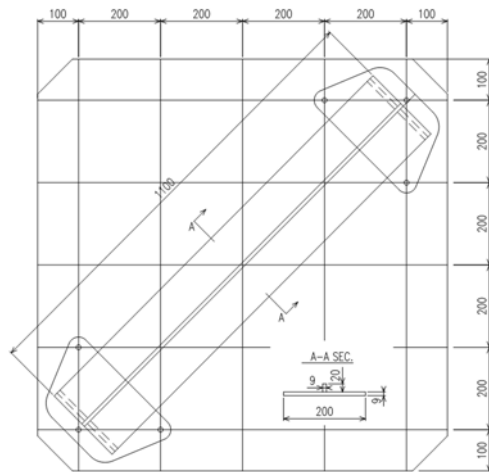


図 1 振動試験体配置図 (mm)

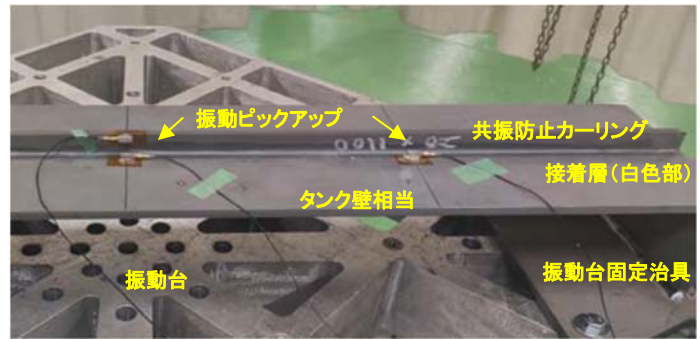


図 2 振動ピックアップ(加速度計)取付状態

### □小項目 8

・製品データをたちどころに生成できる仕組みや仕様変更等にも柔軟に対応できる設計手法を整備するため、PLM(Product Lifecycle Management)システムを基盤とする設計プロセス、データ生成機能について検討した。具体的には、過去番船モデルの流用設計により製品モデルを BOM/BOP(Bill of Process/ Bill of Product)データまで含めて高速設計する一連の手法を検討した。この際、3次元モデルの設計変更については既存 CAD システムのパラメトリック設計機能(形状情報をパラメトリックに表現することで類似形状部品を複製処理できる機能)及びルールベース設計機能(設計標準等の設計ルールを CAD に搭載することでスロット形状や開先処理等の生産設計を自動処理する機能)を活用することで、新船の 3 次元モデルが高速かつ低工数で設計できることを確認するとともに、それら機能の活用を想定した設計プロセスを整理した(図 3)。また、新船の BOM/BOP データ生成について、PLM システムのテンプレート機能(レシピ機能)をカスタマイズすることで類似部品の BOM/BOP データを自動生成できることを確認した(図 4)。これらの機能確認、機能開発にあたっては、実際の船舶製品モデルの生成を想定し、上流から下流までの設計プロセスを再現することで実施した。具体的には、代替燃料対応による機関室内燃料タンク拡張の設計変更を想定した上で、設計プロセスの一連のデモ作成まで実施した(図 5)。

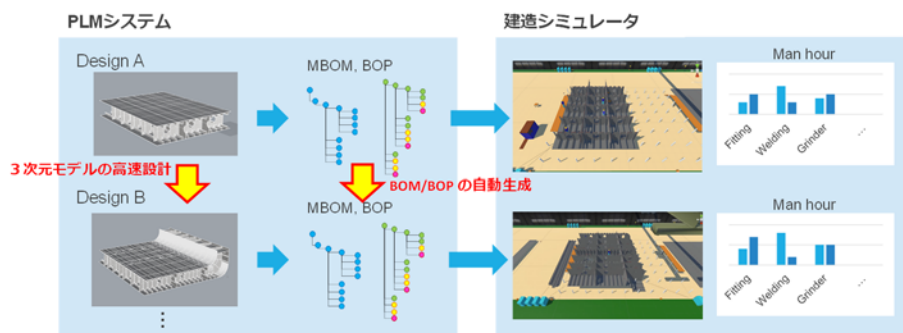


図 3 過去番船モデルの流用設計による高速設計、データ生成のイメージ

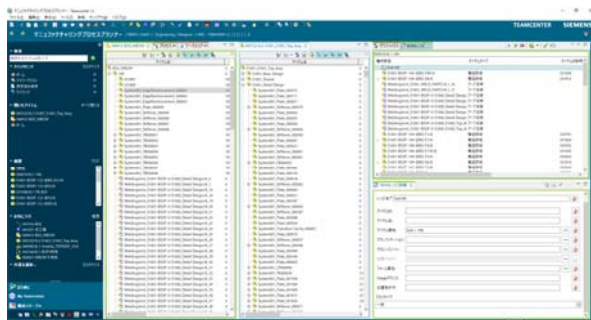


図 4 BOM/BOP データと BOM のレシピ機能

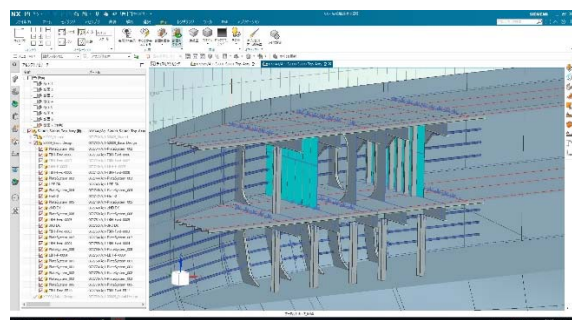


図 5 機関室の流用設計デモ

- ・本研究の提案手法(設計プロセス、データ構造)を汎用的に活用するため、データ構造はそのままに簡易システムで同様のことが実証できるかを検証した。このため、汎用パッケージ製品ではなく、当所開発の簡易的 PLM システムを開発し、当該システムで BOM/BOP データをデータ管理できることを確認した。簡易的 PLM システムはゲーム開発エンジン Unity 上で開発した。
- ・インテリジェント CAD システムについては、MBSE (Model Based Systems Engineering) の製品開発手法の観点から次世代造船設計システムの実用化開発のロードマップについて整理を行った。船舶開発における V 字開発モデルについて整理を行った上で、特に設計及び製造の DX 化のための技術要件や技術要件に対応する技術ソリューションの整理を行い、今後の実用化に向けたロードマップを整理した(図 6)。

要求	要件	サブ要件	説明	
計画通りに製品を製作すること	製品の工程 (プロセス) 情報を出力すること。	ブロック分割、組立ツリー、組立要領を作成すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製造に関するデータ (ピース類、治具類、足場架設等) をシステム上で設計データと併せて統合的に管理。</li> <li>・製品データから高速にブロック分割、組立ツリー、組立要領のデータを生成。</li> <li>・工程データを Bill of Process (BOP) の体系で管理し、PLM システム上で製品データとデータ連携。</li> <li>・工程情報の内容や表現を揃える (データ標準化、ヘテロ環境整備)。</li> </ul>	
	プロセスの工数、工期を出力すること。	作業者の要素作業単位で積み上げて工数、工期を求めること。 製品情報が揃わない状況で工数、工期を求めること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製品個体ごとにその構成作業を分解し、その積み上げによって工数、工期等を見積もる (「工数=物量×能率」の世界から脱却)。</li> <li>・過去番船の流用設計等により製品モデルを仮作成した上で上記の積み上げ方式で工数等を求める。類似の過去番船データを活用して積み上げ方式で求める。</li> </ul>	
	日程計画、設備 (定盤等) 計画、人員計画を出力すること。	リソースまで考慮した最適な日程計画を出力すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日程計画とリソース計画を同時に最適化するシステム。大規模な最適化計算。</li> </ul>	
	製造現場に作業指示を出力すること。	造船所全体で一元化した日程管理、原価管理をすること。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・小日程等の細かい管理粒度を情報の最小要素として、工場全体の日程計画、管理を行う。ミクロ/マクロの日程を同じデータに基づいて切り替えて見る。</li> </ul>
		製造現場への作業指図情報を作成すること。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・製品情報、工程情報、日程情報をデータ連携した上で、製造現場に系統的に製造指図を行う。タブレットなどを介して施工手順と併せて指示し、製造の着完データを取得する (製造現場での着完の状況が設計データと連携)。</li> </ul>
		付随作業まで含めて要素作業単位で作業指示を出すこと。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・工程情報を基に、製造現場での詳細な作業手順情報を作成する。</li> <li>・付随作業まで含むビジュアルな作業イメージを提供する。</li> <li>・細かい時間単位で製品の仕上がり状況を提示する。</li> </ul>
	製品の個体誤差に応じて個体ごとに作業指示を出すこと。	ロボットの作業を実施させること。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接変形シミュレーションや計測によるブロックの変形解析により、ブロック個体に応じて作業指示を出す。</li> <li>・熱を使わず、施工工数や設備費用がリーズナブルな切断・接合方法を開発する。</li> <li>・詳細な作業手順情報に基づきロボットに作業を代替させる。段取り作業、準備作業を支援する付随作業ロボットを導入する。</li> </ul>
		製造現場に仕掛品や部品をジャストインタイムで供給すること。	構内の製造ラインに JIT で供給すること。 サプライヤーに JIT で納品してもらうこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構内の物流を見える化し、小ロット (究極には 1 個流し) で製造ステージに届ける物流体制。構内物流には AGV 等を活用。</li> <li>・造船一船用の生産ラインの同期化のため双方の生産情報を連携する。</li> <li>・大きなロット単位ではなく、必要な時にばらばらに納品する (JIT 納品)。</li> </ul>
	製造現場の作業実績を取得すること。	作業者の作業内容や作業進捗を取得すること。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・計画と同じ粒度で製造現場の実績データを取得し進捗管理を行う。異常に対してタイムリーに軌道修正する。</li> <li>・細かい管理によって作業者は自分事として認識できる。作業者が製品に付与した価値を見える化、計量化する。</li> </ul>
		作業者の安全状況や体調管理データを取得すること。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業者周辺の状況や作業者自身のバイタルデータを取得し、危険や熱中症等に対してアラームを発信する。健康状態と作業品質の関連を取る。</li> </ul>
	製品の作業後の状態を取得すること。品質を定量化すること。	施工箇所を全数検査を実施すること。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工箇所を原則、全量検査し、品質を定量化した上で客観的な品質管理とする。</li> </ul>
		データに基づく船主、船級検査体制とすること。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・全量検査とともに、データによる承認プロセスを導入する。</li> <li>・検査データを製品データと紐づけて管理し、「船のカルテ」として船の航海後も活用する。</li> </ul>

図 6 造船所の DX 化に向けた技術要件の整理の例

## □小項目 9

- ・前年度より当研究所で研究開発を実施している建造シミュレーション技術について、本年度は大組立工程に適用できるように拡張を実施した。一般的に組立の工程は、造船の製造工数全体に対して 3~4 割ほどを占めており、付随作業が多く、ブロックの中に人が潜り込むなどの製品形状に由来する立体的な制約も存在するため、これまで過去の関連研究でも取り扱いが非常に少ない、難易度の高い工程であった。本研究では、特に製品が大きく、人がブロックに入り込むような大組立工程に対して、実際の工程を参考に緻密な建造シミュレーションを実施した(図 7~9)。
- ・図 7 に示すように、浅川造船株式会社のご協力のもと、実際の小組立工程を対象としたシミュレーションが可能であることを示し、また、図 8 に示すように、小組立で製作された小組部材を組み立てる大組立工程のシミュレーションが可能であることを示した。
- ・図 9 に示すように、工程の拡張だけでなく、設備の異なる別の造船所(ジャパン マリンユナイテッド株式会社)に対しても、同様に適用可能であることを確認した。一方で、両造船所ともに 1 隻すべてのブロックに対する汎用性の確認までには至っていない。



図7 小組立工程の建造シミュレーション(浅川造船株式会社)  
 (左:実際の造船所の様子、右:建造シミュレータによる計算)



図8 大組立工程の建造シミュレーション(浅川造船株式会社)  
 (左:実際の造船所の様子、右:建造シミュレータによる計算)

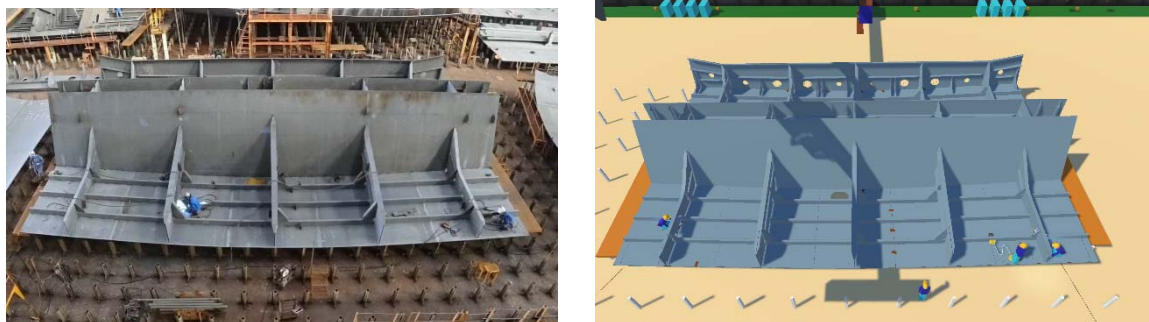


図9 別造船所での大組立工程の建造シミュレーション(ジャパン マリンユナイテッド株式会社)  
 (左:実際の造船所の様子、右:建造シミュレータによる計算)

・上記の建造シミュレータを適用するにあたり、実際の造船所で用いられている CAD データから本シミュレータを実行するまでのデータフローについて検討を実施した。図 10 に示すように、造船所で利用している市販の CAD システムから汎用的な形式で形状や MBOM(Manufacturing-BOM)相当の情報を出力し、それらを Rhinoceros7 と Grasshopper をプラットフォームとして、シミュレータ用の入力形式に変換する。その際に BOP (Bill of Process) の情報が欠けているため、本研究では今回の工程と設備に限定的ではあるが、簡易的に BOP を自動生成するルールベースのアルゴリズムを構築した。また、シミュレーションを実行する前に、設備や製品のレイアウト、設備や道具の個数、人員、資格、タスクの進行状況などの初期条件を設定するプレ処理部を構築し、最後にソルバーであるシミュレータが実行できるまでの一連のデータフローを確認した。

造船所のCADデータからシミュレータまでの流れを検証

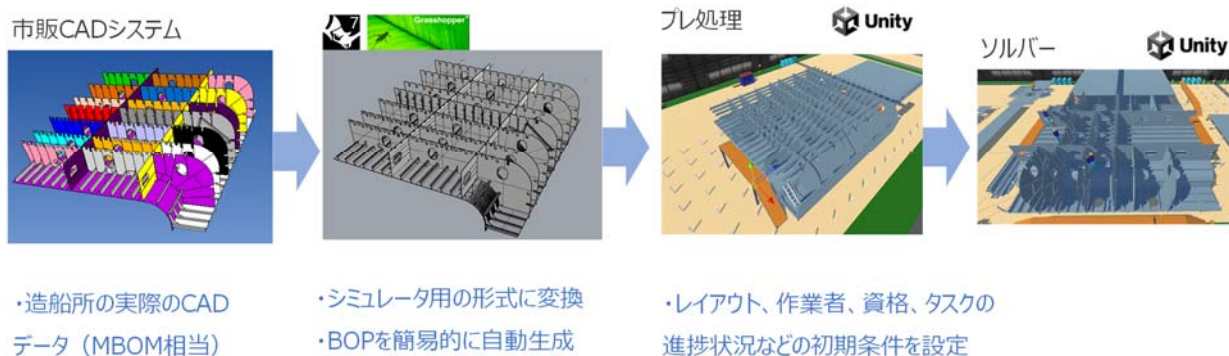


図 10 MBOM-BOP-シミュレーションに至る一連のデータフローの検証

・建造シミュレータを実造船所で利用するユースケースについて検討を実施した。造船所と打ち合わせを実施し、将来的な利用から直近の利用に至るまでユースケース案を以下のように整理した。

- ・初期計画段階での利用
- ・設計段階における製造工数への評価と最適な製品設計
- ・大日程、中日程、小日程計画の精密化・精度向上、一元的計画
- ・作業手順や作業性などの事前検討
- ・詳細な作業手順の事前作成。作業前のイメージアップ
- ・作業指示、作業管理での活用 など。

特に、2つ目の設計段階における製造工数の評価については、図 11 に示すような仮想的な平行部のブロックを対象として、ブロックの代表寸法の変化が工数に及ぼす影響について、建造シミュレータを用いて評価するといった概念実証を実施した。

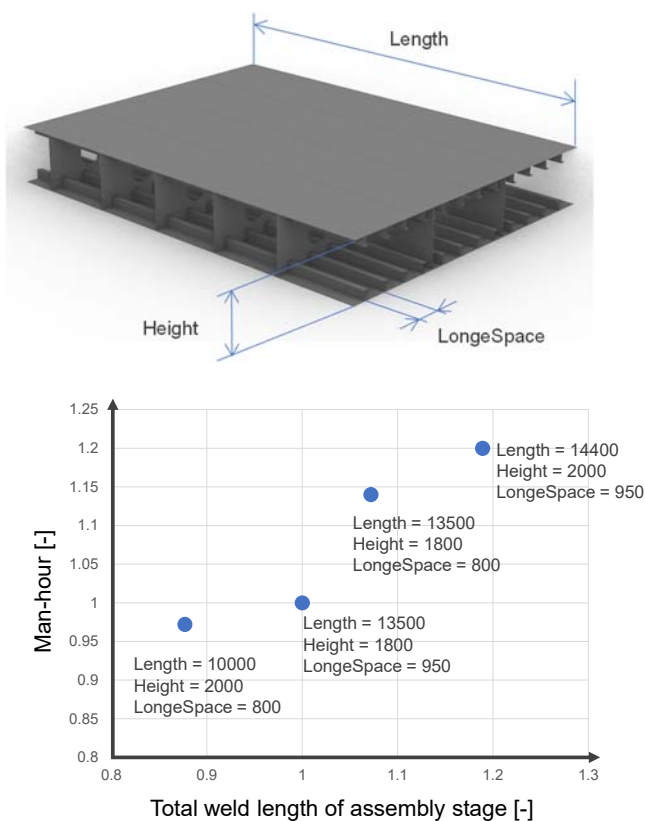


図 11 設計段階における製造工数評価に関する概念検証(シミュレーション結果)



#### R4 年度成果の公表

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

□その他発表論文: 7 件(投稿中: 0 件、掲載済: 7 件)

- ・松尾宏平ほか 造船におけるデータ標準化と PLM システムに関する研究 海上技術安全研究所研究発表会講演集 2022
- ・Matsuo, K., et al. : Development of PLM System for Production Planning and Production Control in Shipbuilding, Proceedings of the 20th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS) (2022).
- ・Tomoyuki Taniguchi, etc.: A study of process simulation based on a multi-agent system for shipbuilding, Proceedings of the 20th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS) (2022).
- ・松尾宏平 スマートヤードに向けたデータ連携 日本船舶海洋工学会学会誌 KANRIN 105 号 pp39-43 (2022 年 11 月)
- ・松尾宏平 海技研のデジタルシップヤード構想 海上技術安全研究所今治地域造船技術講演会 (2022 年 12 月)
- ・松尾宏平ほか DX 造船所の技術要件とその具体像に関する一考察 日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 36 号、2023
- ・谷口智之 ほか: ブロック大組立工程に対する工程情報生成と建造シミュレーションに関する基礎的検討、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 36 号、2023

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

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

中長期目標	中長期計画	R4年度計画
<p>海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新たなニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術・輸送システム等に関する研究開発</p> <p>—過去の検証結果より抽出されたセンサの異常判断や遠隔監視機能のユーザビリティなどの対策を施した自動化システム及び遠隔操船システムの実用技術の構築・検証を行う。また、自動運航船のシステム評価のため、総合シミュレーションシステムを用いた安全評価手法の構築を行う。等</p>

**研究の背景**

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

具体的には、以下があげられる。

- ・ 自動運航システムの構築
- ・ 立体視による他船検出システムの研究
- ・ 自動航行船の安全基準の研究
- ・ 自動離着陸機能の開発
- ・ シミュレーションシステムによる検証技術の研究

**期間全体の研究目標**

- ・ 自動運航システムのコンセプトの構築
- ・ 大洋航行における計画航路に基づいた自動運航システム及び、自動避航システムの開発
- ・ 複数のセンサ及びデータに基づく航行障害物情報の統合センシング技術の開発
- ・ 自動運航を実現するための規則の対応案
- ・ 着陸支援システムと自動着陸機能の開発
- ・ シミュレーションシステムによる無人運航船(自動運航船)の検証技術の開発

上記成果は、以下があげられる。

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

## R4 年度研究目標

### □小項目 1

- ・ 自動避航操船システムの開発
- ・ 自動離着棧システム及び遠隔操船システムの開発
- ・ 自動運航船等の不具合時等の状況把握支援機能要件の抽出とシステムの構築
- ・ 自動化システムを支援システムとして実用化促進

### □小項目 6

- ・ シミュレーションシステムを用いた安全評価手法の構築

## R4 年度研究内容

### □小項目 1

- ・ 自動避航操船システムの開発と試行を実施する。
- ・ 自動離着棧システム及び遠隔操船システムの実用技術を構築する。
- ・ 不具合発生によるアラーム発報時等の状況把握支援機能の検討

### □小項目 6

- ・ シミュレーションによる評価法検討

## R4 年度研究成果

### □小項目 1

#### (1) 小型実験船による自動化システムの課題対策

- ・ 前年度までの小型実験船「神峰」を用いた実船試験により得られた遠隔操船のための監視機能および自動避航操船機能のユーザビリティに関する課題について、インターフェースの改善を行った(図 1)。
- ・ その後、小型実験船「神峰」による検証試験を行い、自動避航操船と自動着棧を連続して行う自動運航システムが概ね適切に機能することを確認した(図 2)。さらに、本自動運航システムを用いた遠隔操船の検証試験を実施し、容易な操作で遠隔操船が可能であることを確認した(図 3)。

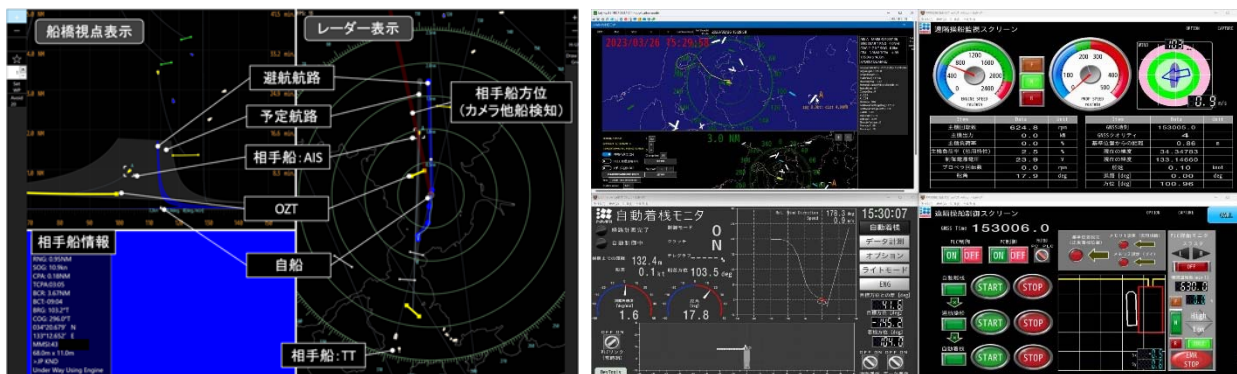


図 1 自動避航操船機能の表示画面

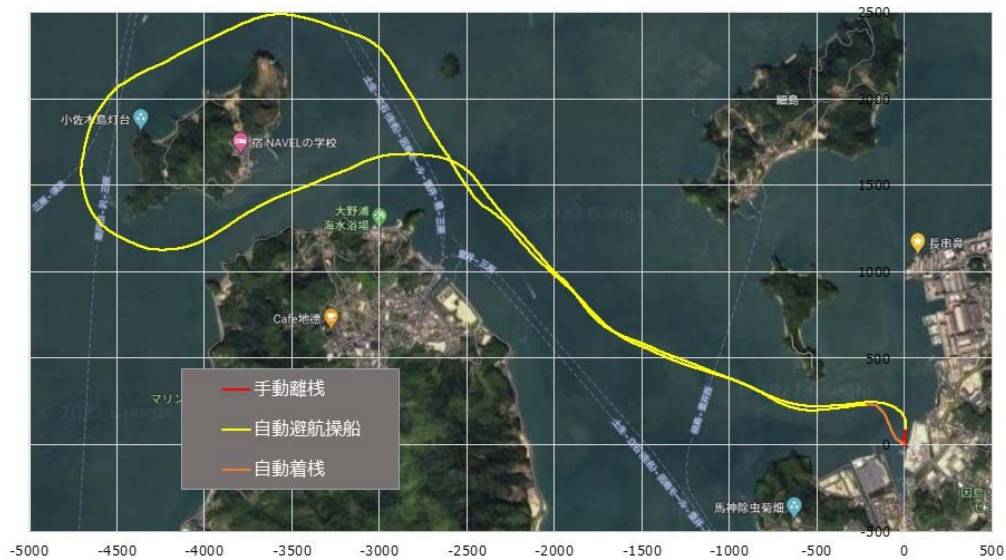
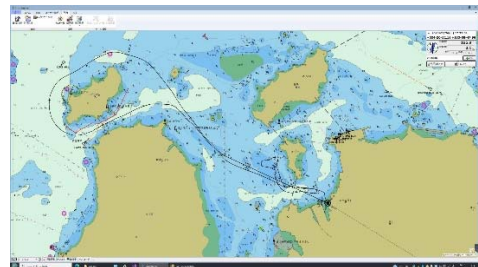


図2 Full 自動運航システムの試験結果



(a) 遠隔操船場所(三鷹)



(b) 電子海図画面



(c) リアルタイム映像画面



(d) 監視・制御画面

図3 遠隔操船時の表示画面

・不具合発生によるアラーム発報時等の状況把握支援機能の検討

自動運航船・無人運航船等においては、船体側の各種機器の不具合等発生時や各種アラーム等発報時に、「人」(乗組員・遠隔監視員・移乗してきた対応員等)が当該船舶の状況を把握し、要すれば適切な対応をする必要がある。従前の場合、乗船している船員が、毎日の点検・記録から整備・保守、そして運転まで行っており、「何」が「何処」にあり、それはどのような「機能」を有し、「現在の値」は如何ほどか、これまでの「履歴」はどうであったか、自ら把握していた。ただ、自動運航船等においては、「人」は当該船の管理に専従しているわけではないため、不具合等が発生して「人」の対応を要する事象の場合は、短時間の内に当該船舶の状況を把握し、必要な対応をしなくてはならない。これまでの調査・検討や、2021 年度に実施した基盤研究やJMETS(海技教育機構)との共同研究の成果等を基に、自動運航船等を想定した支援システムの試設計・及び基本的な機能の試作を行った。

検討結果より、機器データ(現時点では、機器の名称と役割)や配置図をのみならず、系統図も含め相互に連携して表示が可能であると、状況把握の促進に資すると考えられた。よって、システムは[配置図]-[系

統図]-[機器データ] 各々に対し、インタラクティブに操作と表示が可能であるものとした。試設計の連携概念を図 4 に示す。

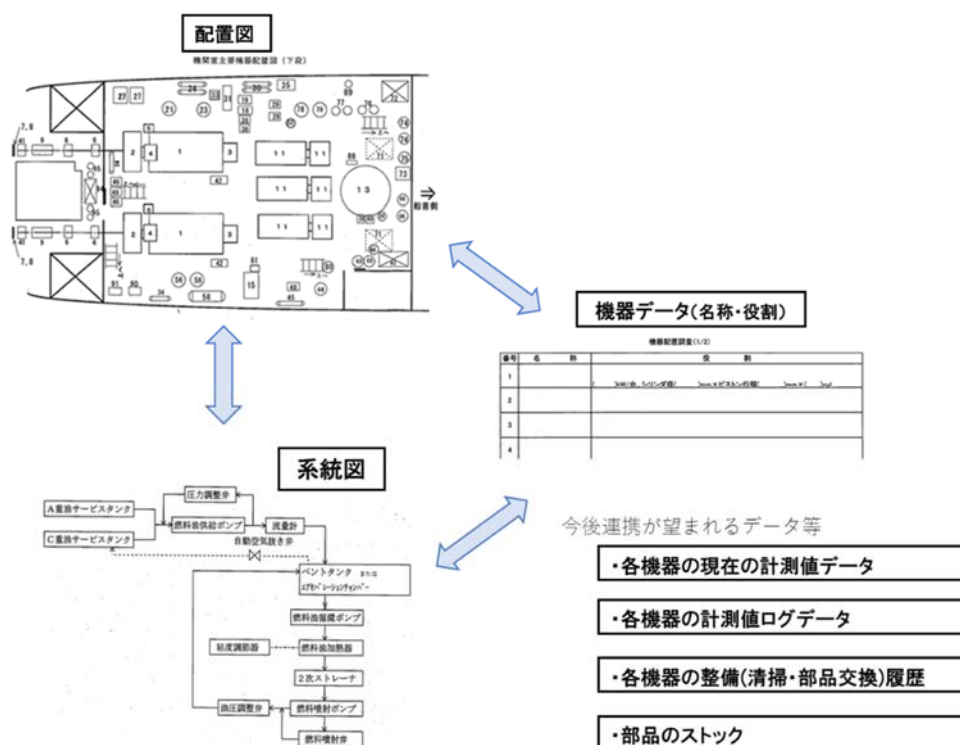


図 4 配置図(位置情報) - 系統図 - 機器データ の連携概念図

試設計を基に、一部の系統についてシステムを試作し、動作を確認した。システムが動作するプラットフォームとしては、将来的にはスマートフォン上での動作も検討する必要があると考えるが、現時点では開発の容易性の観点から Windows タブレット PC 上で動作するものとした。試作したシステムについては、現場の船員による試用(トライアル)を行い、得られたフィードバックに基づき改良を行った。試作・改良を行った支援システムについて図 5 に示す。船員の意見から、例えば新しい船に配属されたことを想定すると、乗船前の事前の予習や、現場での使用、自室に戻ったの復習に使用可能であり、従前の紙の図面や資料による習熟より効率的となる可能性があるとの意見が得られた。

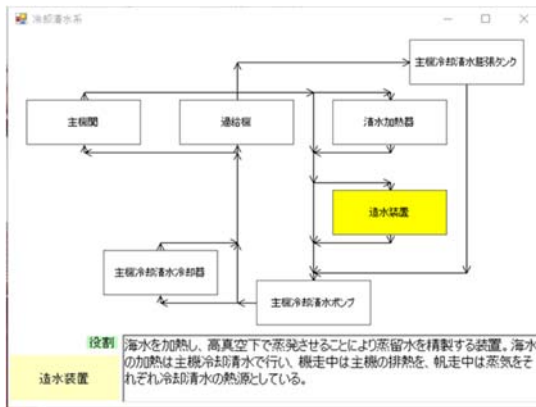
以上のとおり、不具合等発生時の状況の把握を支援するシステムについて、必要な機能の抽出とその試作を実施した。



(a) コントロールパネル



(b) 機器画像



(c) 系統図



(d) 3D 配置図

図 5 試作支援システム表示例 (機関室の造水装置)

(2) 自動化システムの適用範囲拡大のための実用技術に関する研究

・2021 年度までに小型実験船「神峰」による検証試験を進めてきた自動化システムの一部である、非常停止機能を小型作業船に導入し、その機能を検証した。本機能は、自動ブレーキシステム(進行方向の障害物等を検知し、自動的に後進操作を行うシーケンス制御)を想定しており、仮定の障害物を設定することによって、適切に機能することを確認した(図 6)。

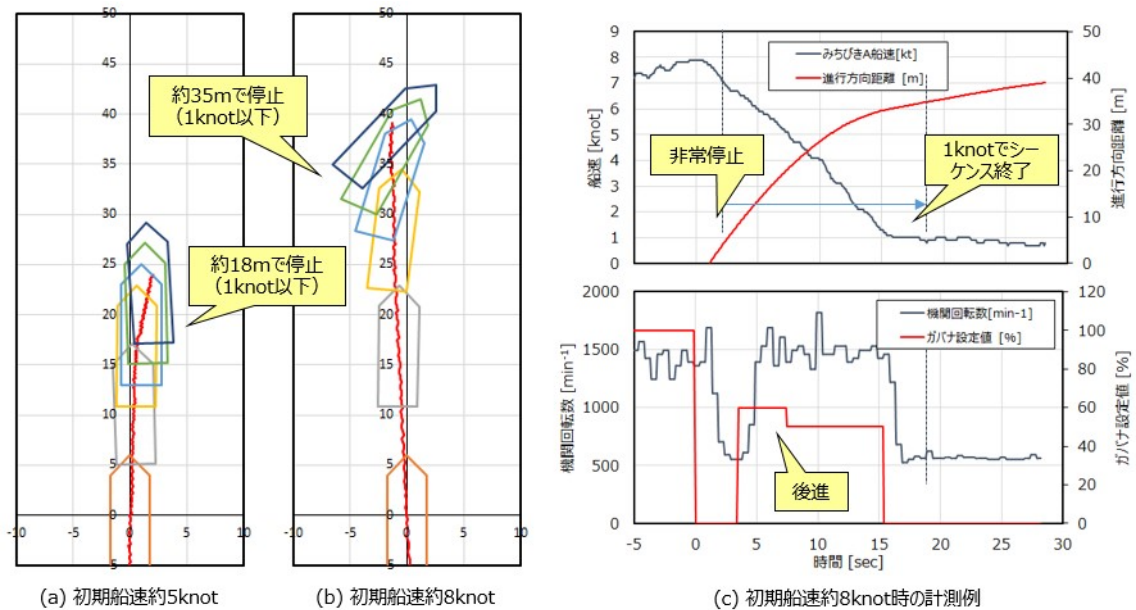


図 6 小型作業船による自動ブレーキシステム(非常停止機能)の試験結果

・本研究で進めてきた自動化システムを多種多様な船舶への適用範囲を拡大するため、船首・船尾スラストおよび2基の係船ウインチを搭載した模型船を用いて、自動着棧・係船支援のシステム開発を行った。模型試験により、綱取り作業を除く一連の動作を自動化できることを確認した(図7、図8)。また、スラストによる方位制御など、一部の自動化システムについては、199GT ケミカルタンカーを用いた実船試験を行い、実用技術に関する検討を進めた(図9)。



図7 499GT 模型船(全長 2m)

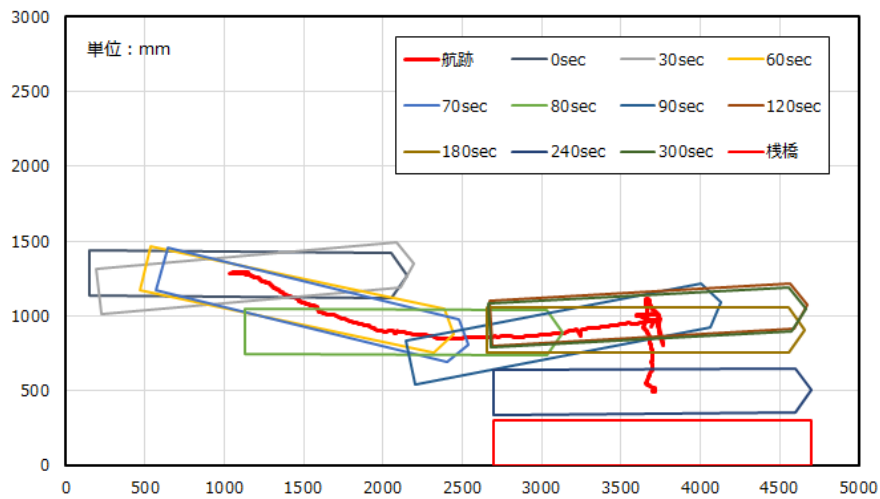
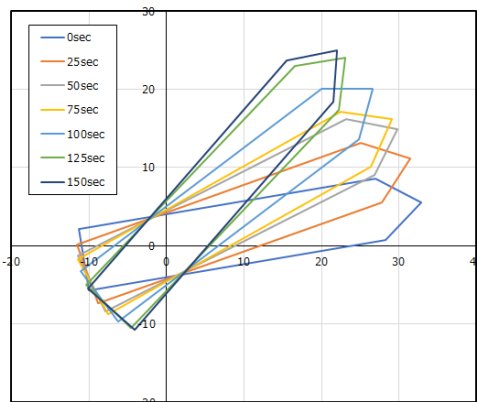
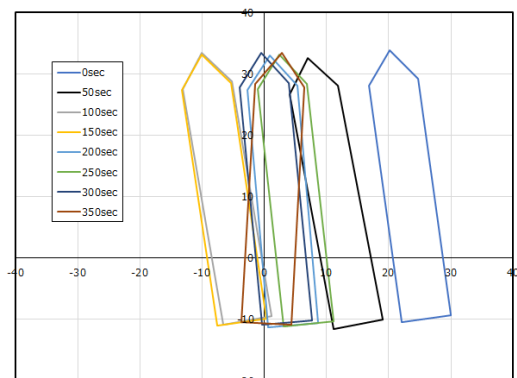


図8 499GT 模型船による自動着棧試験の計測結果例



(a) スラストによる方位制御



(b) スラストによる平行移動制御

図9 199GT ケミカルタンカーによる実船試験の例

- ・内航船の運航事業者およびエンジンメーカ、船用機器メーカーによる協力のもと、陸上監視機能を活用した陸上サポートシステムの技術を構築した。数隻の内航船にシステムを搭載し、アラーム機能等を含めて、適切な陸上監視が可能であることを確認した(図 10、図 11)。なお、本研究開発の一部は、国土交通省総合政策局の令和 4 年度交通運輸技術開発推進制度により実施した。

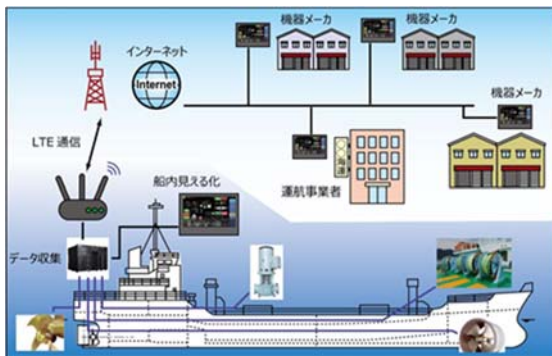


図 10 陸上サポートシステムのイメージ



図 11 エンジン監視画面の例(299GT 貨物船)

### □小項目 6

- ・自動運航船の航行が社会に受容されるためには、自動運航船が安全であることを示す必要があり、自動化システムの認証基準等の策定に資することを目的として、安全評価手法や評価に必要な SHS(操船シミュレータ)及び高速シミュレーションの実行が可能な FTSS(ファストタイムシップシミュレータ)からなる総合シミュレーションシステムの構築などの検討を進めており、第 22 回海上技術安全研究所研究発表会において概要を報告した。(図 12、表 1)

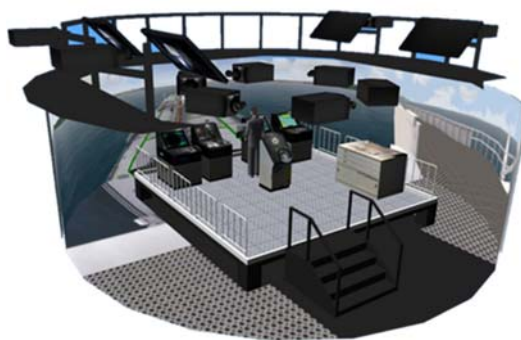


図 12 SHS イメージ(2021 年 3 月作成)

表 1 SHS の基本仕様

Visual system	Cylindrical screen $r=6.5m$ , Field of view (H x V) 360deg. x 30deg. Screen for downward view
Bridge	Overhead Panel (Main engine RPM, Speed indicator, Rudder angle indicator, Wind direction /anemometer, clock, inclinometer, etc.) Radar x 2, ECDIS(Electronic Navigation Chart), Steering stand, Repeater compass, Navigation console, Chart table, Binoculars, etc.
Reproduction	Time changeover without steps (day, dusk, night) Ship's Lights and Shapes Characteristics of light of AtoN Weather (including restricted visibility due to fog) etc.

- ・自動避航システムの安全評価手法の開発では、評価対象の機能、評価すべき安全性の対象を明確にした。避航操船において重要な交通法規である COLREGs(Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea: 海上における衝突予防のための国際規則に関する条約) の Rule8-10 及び Rule13-17 の航法に関する規定を考慮の対象とした。新たに提案した見合い関係のカテゴリ(図 13)と停止船の存在、変針の有無を考慮して COLREGs の Rule13-17 を網羅する 1 対 1 及び、1 対 2 の基本テストシナリオ群の設計方針を示した(図 14~図 16)。また、評価は FTSS と SHS を連携させ網羅性を確保しつつ効率的に実施することを検討した。内航船の操縦運動モデルの拡充のため、2 軸 2 舵の旅客船の操縦運動モデルを作成した(図 17)。



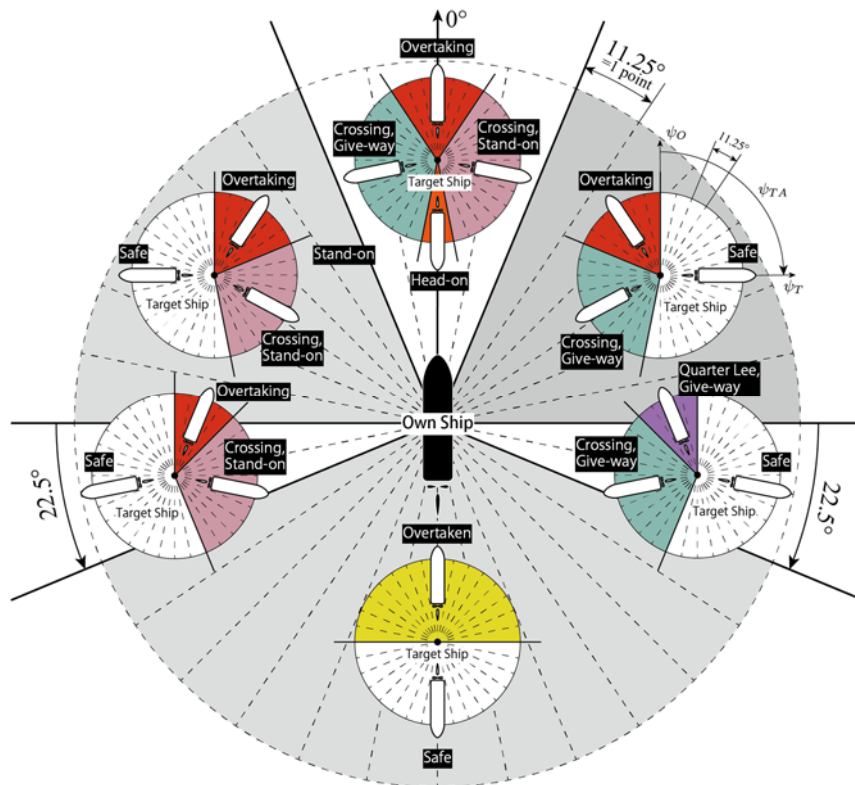


図 13 見合い関係のカテゴリ

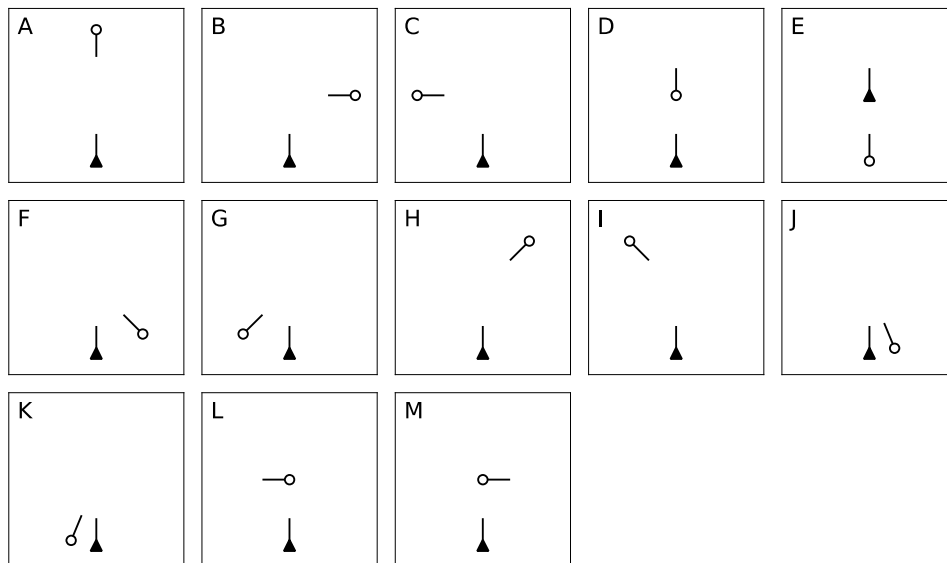


図 14 基本テストシナリオセット案

(1対1:変針無し、▲自船(自動運航)、○相手船、|針路)

※L、Mは、漁船・プレジャーボートを想定し停止船を配置しており、停船したまま、もしくは設定されたタイミングで動き出し、自船の針路を妨害する。

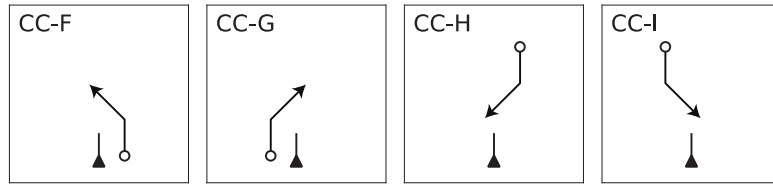


図 15 基本テストシナリオセット案  
(1 対 1: 変針有り、▲自船(自動運航)、○相手船、| 針路)

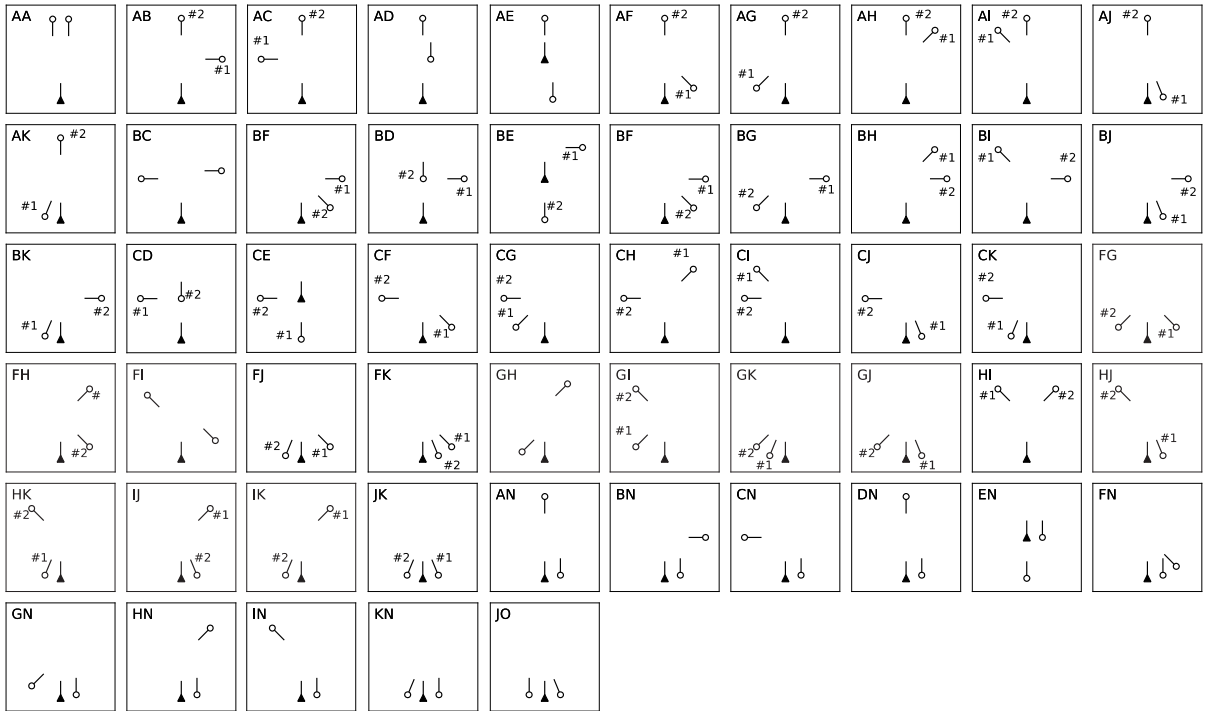


図 16 基本テストシナリオセット案(1 対 2、▲自船(自動運航)、○相手船、| 針路)

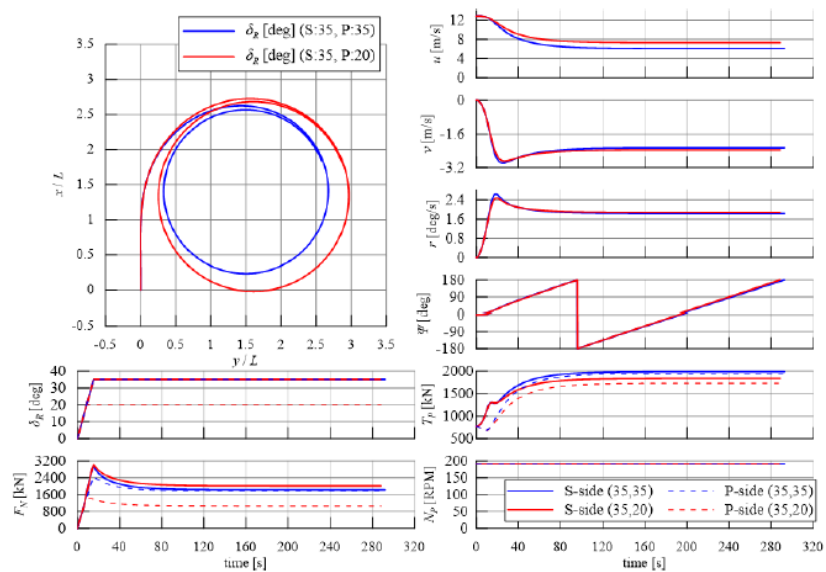


図 17 旅客船の操縦運動モデルの作成(旋回試験シミュレーション結果)

## R4 年度成果の公表

### □査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等): 7 件(投稿中: 4 件、採択済: 1 件、掲載済: 2 件)

- ・Kokubun, K.: Status and Issues in Development of MASS, Proceedings of World Automation Congress 2022, (Published Online, November 18) (2022)
- ・澤田、北川、平田、Automatic berthing control under wind disturbances and its implementation in an embedded system、JMST(採択済み、印刷中)
- ・澤田、平田、Mapping and Localization for Autonomous Ship using LiDAR SLAM on the Sea、JMST
- ・小池(阪大)、Dostal(ハンブルグ工科大)、澤田、宮内(阪大)、牧(阪大)、A Study on the Implementation of Nonlinear Kalman Filter Applying MMG Model、JMST(投稿中)
- ・牧(阪大)、丸山(阪大)、Dostal(ハンブルグ工科大)、笹(神大)、澤田、脇田(阪大)、Practical method for evaluating wind influence on autonomous ship operations (2nd Report)、JMST(投稿中)
- ・小林ほか: 立体視による他船検出・位置推定システム、測位航法学会論文集(投稿中)
- ・Kokubun, K.: Application of Mission Function Control to Berthing Problem, Transactions of Navigation, (投稿中)

### □その他発表論文: 17 件(投稿中: 2 件、掲載済: 15 件)

- ・國分健太郎: 自動運航船の実用化に向けた海上技術安全研究所の取り組み(第三報)、日本人間工学会第 63 回大会 web 予稿集 (2022)
- ・南、シミュレーションを用いた自動化システムの安全性評価、日本人間工学会第 63 回大会 web 予稿集 (2022)
- ・平田ほか、小型実験船「神峰」による自動離着棧及び遠隔操船の実用技術、海上技術安全研究所報告第 22 巻別冊(第 22 回研究発表会講演集)、pp.77-82、2022.
- ・平田ほか、小型実験船の自動運航システム、海上技術安全研究所報告(総合報告)、第 22 巻, 第 2 号
- ・澤田ほか、小型実験船の自動着棧システム、海上技術安全研究所報告(総合報告)、第 22 巻, 第 2 号
- ・小林ほか、小型実験船の遠隔操船用周囲監視カメラシステム、海上技術安全研究所報告(総合報告)、第 22 巻, 第 2 号
- ・佐藤ほか、小型実験船の自動避航システム、海上技術安全研究所報告(総合報告)、第 22 巻, 第 2 号
- ・北川、澤田、港内操船を再現するための操縦運動数学モデルとその簡易 構築手法、海上技術安全研究所報告 第 22 巻別冊(第 22 回研究発表会講演集)、pp.83-88、2022.
- ・小池(阪大)、澤田他、MMG モデルを適用した非線形カルマンフィルタの実装に関する一考察、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 35 号
- ・宮内(阪大)、澤田ほか、自動運航船開発に適したシミュレーターモデルとは、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 35 号
- ・澤田、南、自動避航操船アルゴリズムのための評価用交通シナリオセット設計、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 35 号
- ・澤田、自動避航アルゴリズムの評価のためのシナリオ設計法、日本船舶海洋工学会講演会論文集(投稿中)
- ・南、総合シミュレーションシステムを用いた自律・無人運航船の安全性評価、海上技術安全研究所報告第 22 巻別冊(第 22 回研究発表会講演集)、pp.71-76、2022.
- ・小林ほか: 不特定浮遊障害物のカメラ画像検出プログラムの開発、日本航海学会 2023 年春季講演予稿集(投稿中)
- ・疋田賢次郎、沼野正義、石村恵以子、船内位置情報と系統図及び機器情報等が連携した現場作業習熟を支援するシステムの開発、(国)海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 令和 4 年度研究発表会講演集 2022.
- ・沼野正義、石村恵以子、疋田賢次郎、マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -V エージェント

間の視点の共有-, (公社)日本マリンエンジニアリング学会, 第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集 2022.

- ・石村恵以子,沼野正義,疋田賢次郎, マルチエージェントを用いた船舶管理支援システム -VI 船用機器間の関連探索アプリの開発による作業員への支援 -, (公社)日本マリンエンジニアリング学会, 第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集 2022.

**□特許申請: 1 件**

- ・國分健太郎、自動係船方法、及び自動係船システム

**□コアプログラム登録: 2 件**

- ・國分健太郎、間島隆博、ミッションファンクション制御則を用いた船舶の着岸制御
- ・澤田、自動着岸制御プログラム、P11266 号-1

**□受賞: 1 件**

- ・ MTEC/ICMASS2022 Best Paper Award (Maritime Safety), Minami, M., et al.(Development of the Comprehensive Simulation System for Autonomous Ships)

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

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

中長期目標	中長期計画	R4 年度計画
<p>海事産業の技術革新の促進と海上輸送の新ニーズへの対応を通じた海事産業の国際競争力強化及び我が国経済の持続的な発展に資するため、海事産業の発展を支える革新的技術、人材育成に資する技術、海上輸送の新たなニーズに対応した運航支援技術、海上輸送の効率化・最適化に係る基盤的な技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p>	<p>海事産業の技術革新の促進、海運・造船分野での人材確保・育成、多様なニーズに応える海上交通サービスの提供等により我が国海事産業の国際競争力を強化するとともに、我が国経済の持続的な発展に資することが求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>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</p> <p>－物資輸送に関する輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をするためのシステムの開発・改良を行う。また、港湾振興を担う地方自治体・団体等のニーズを踏まえて、貨物経路推定手法を用いた貨物の新規貨物発見及び既存貨物の特性分類を設定し、システムの改修を行う。</p> <p>－開発した GHG 削減戦略評価プラットフォームを用いて、様々な代替燃料船の初期検討を行う。また、燃料供給インフラの位置、規模の最適化についての検討を行う。等</p>

#### 研究の背景

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

具体的には、以下があげられる。

AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

- ・平時及び災害時における複合一貫輸送評価手法の研究
- ・船舶の運航情報提供システムの開発

AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

- ・データフュージョン技術の開発と海上貨物・造船需要等の評価・予測手法
- ・システムオブシステムズ手法による海事産業の構造変化の影響評価手法の研究

船隊運航管理システムの高度化

#### 期間全体の研究目標

- ・港湾振興組織等を対象とした輸出入貨物輸送経路推定プログラム。自治体・国を対象とした災害時における傷病者及び支援物資輸送評価手法及びシステム
- ・国、自治体・指定公共機関を対象とした緊急支援物資輸送システム
- ・船社等を対象とした船舶の運航情報提供システム

- ・国、造船会社等を対象とした海上貨物・造船需要等の評価・予測手法
- ・海運・造船会社、船級を対象とした海上ゼロエミッション輸送を評価するシミュレータ・ワークショップシステム
- ・内航船社を対象とした高度化された船体運航管理システム

上記成果は、以下があげられる。

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

#### R4 年度研究目標

##### □小項目 4

- ・AI 等を用いた複合一貫輸送の評価の研究

##### □小項目 5

- ・AI 等を用いた国際海運・造船予測の研究

#### R4 年度研究内容

##### □小項目 4

- ・緊急支援物資輸送システムに関してプル型輸送を見据えた形での改良を実施する(国受託)。平時(非災害時)輸送については、想定ユーザを対象にヒアリングを実施すると共に Web 公開内容の改修を行う。

##### □小項目 5

- ・データ融合技術に基づくコストの算定と、世界的な外航貨物需要データの精度向上を行う。  
開発した GHG 削減戦略評価プラットフォームを用いて、様々な代替燃料船の初期検討を行う。燃料供給インフラの位置、規模の最適化についても検討する。

#### R4 年度研究成果

##### □小項目 4

- ・昨年度より開発している、大規模災害時における輸送モード・輸送ルート選択に係わる意思決定をサポートするための緊急支援物資輸送システムについて、複数の物資に対応できるような改良を一部行い、昨年度の現場実証からの意見があったユーザーインターフェースについて一部改良を行った(図 1)。
- ・緊急支援物資輸送システムを活用した訓練について、岡山県、高知県、宿毛市、物流事業者等が参加した実動演習において活用された(図 2、図 3)。
- ・緊急支援物資輸送システムでは、プル型支援時に予想される計算爆発に備え、疑似量子コンピュータによる配送アルゴリズムの定式化を実施し、小規模な問題における PoC(Proof of Concept: 概念実証)を行った。(図 4)。
- ・災害時の支援物資輸送では、プル型輸送期の着地での輸送済み物資の充足率を均質化するよう輸送計画の改善を行うと共に、プッシュ期・復旧復興期の利用可能船の評価を行った(図 5)。
- ・輸出入貨物輸送経路予測については、想定利用者にヒアリングを行い、また手法の改良を行うと共に最新データを含む 4 回分(2003,2008,2013,2018 年)のデータで予測計算を行い海技研クラウドの AI 貨物輸送経路分析システム上で公開した(図 6)。



図1 緊急支援物資輸送システム

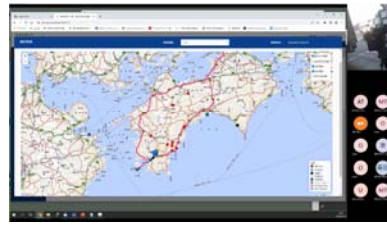


図2 実動演習の様子  
(オンラインによる共有)



図3 実動演習の様子  
(物資の積み替え)

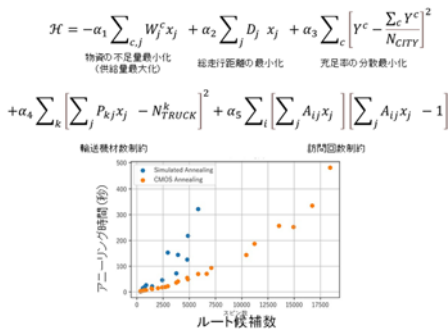


図4 疑似量子における配送アルゴリズムの定式化

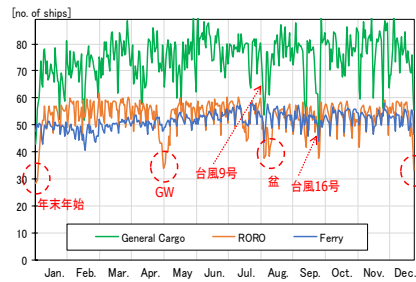


図5 プル期・復旧復興期の利用可能船の評価(2021年)

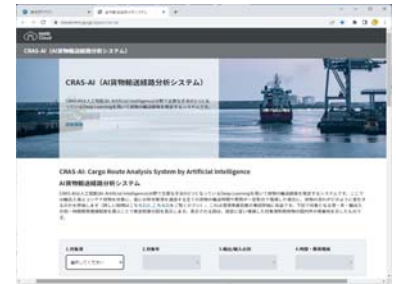


図6 海技研クラウド上のAI貨物輸送経路分析システム

## □小項目5

- ・国際海上コンテナ輸送を対象にして、コンテナ船の需要予測モデルを開発し、将来のコンテナ船の建造需要予測を行った(図7)。
- ・国際機関や海事コンサルタントによる国際海運の燃料需要シナリオや燃料価格の将来シナリオに基づき、データの加工技術を使用して項目の統一化を行い、在来燃料やゼロエミ燃料の需要シナリオを作成した。また課金・還付(Feebate)制度を適用したケースで、炭素課金額の算定を行った(図8)。
- ・国際機関の要請によりAI技術(neural network)を利用した海運市場の分析・予測に関する基礎研修を海外機関向けに実施した。
- ・IMOにおいてEUより提案されているGHG Fuel Standard(GFS)規制の規制案と燃料、技術、将来の輸送需要のシナリオを入力として、将来の代替燃料及び代替燃料船の需要、規制の影響・効果等を定量的に議論するツールを開発した(図9)。建造需要と代替燃料選択に関する意思決定のモデルによって、規制や燃料コストなどのシナリオに対応する将来見通しを定量化した(図10)。
- ・国際海運の主要バルク貨物を対象にして、貿易統計等に基づき、輸送コストの推計精度を向上する方法(図11)、また、コンテナ貨物を対象にして、船舶の積載貨物量を推計する方法を欠損値補完法やAI技術(neural network)を用いて開発した。

・IEA のゼロエミ燃料導入シナリオや輸送需要シナリオに基づき、建造需要量を予測する方法を開発した(図12)。

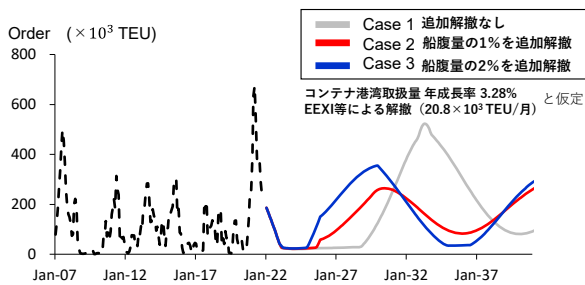


図7 コンテナ船建造需要量の将来シミュレーション

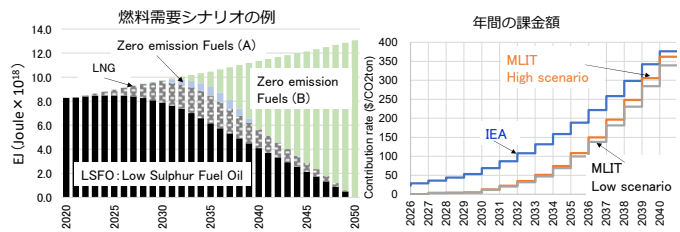


図8 国際海運の燃料需要シナリオと課金額の作成例

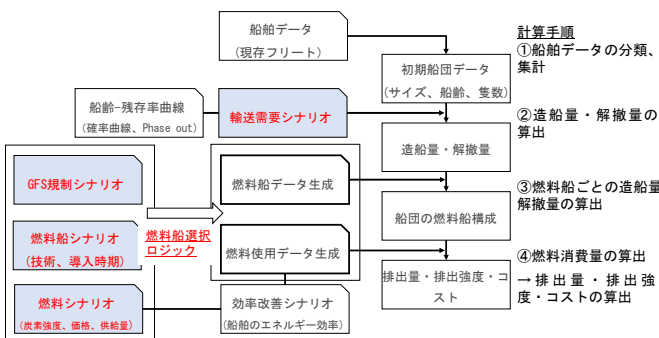


図9 GFS 規制案を入力とした船団の燃料転換シミュレーションの開発

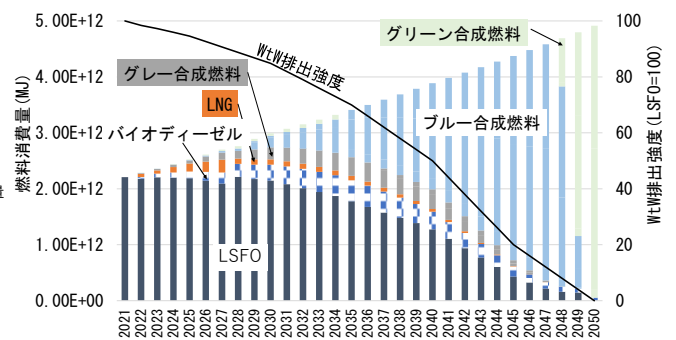


図10 バルクキャリアにおける燃料転換シミュレーション(出力イメージ)

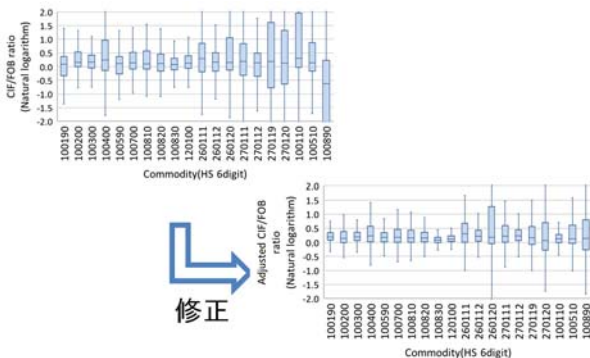


図11 主要バルク貨物の輸送コスト推計値における精度改善(変動の減少)結果

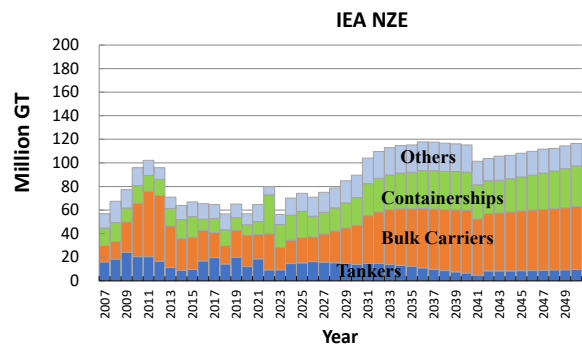


図12 IEA のゼロエミ燃料導入シナリオに基づく建造需要予測の結果

R4 年度成果の公表

□査読論文(ジャーナル・本文査読付プロシーディングス・海技研報告(研究報告)等):10件(投稿中:3件、採択済:1件、掲載済:6件)

- ・中山恵介, 荒谷太郎, 間島隆博:高知県におけるシミュレータを用いた傷病者の輸送計画に関する検討, 土木計画学:政策と実践, 2022. (投稿中)
- ・Taro ARATANI and Takahiro MAJIMA: Estimation of Transportation Capacity after Road Disruptions during Large-scale Disasters using Transport Simulator for Injured People, the XXVII World Road Congress Prague, Czech Republic 2023. (投稿中)
- ・Taro ARATANI, Keiko MIYAZAKI, Toru TAKAHASHI, Shinichi INOUE, Yui FUJIMOTO: Actual Conditions and Issues Regarding Barrier-free Access for Tourist Boats, Transportation Research Record (TRANSED-DRT),



2023. (投稿中)

- ・松倉洋史: 南海トラフ地震におけるプル型輸送期以降の船舶利用可能性評価, 日本船舶海洋工学会論文集, vol.37, 2023(採択済)
- ・Takahiro MAJIMA, Taro ARATANI, Shinji HOSOTSUBO: Information Sharing System for Relief Supplies Transport Operation in the Event of Disasters, 9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022), 2022.9. (掲載済)
- ・荒谷太郎, Hwayoung Kim, Thi Quynh Mai Pham, 宮崎恵子: 離島航路利用者における移動負担感の日韓比較, 実践政策学, Vol.8, No.1, pp.25-41, 2022. (掲載済)
- ・DAF Muzhoffar, Yujiro Wada, Kunihiro Hamada, Takumi Kamata, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, Takahiro Majima, Comprehensive Evaluation of Vessel Movement Data Reliability, 9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022), 2022.9. (掲載済)
- ・和田祐次郎, 平山大貴, 濱田邦裕, 渡邊大介, 五十嵐祐介, 間島隆博: 海上物流ビッグデータを用いたケーブサイズバルカー市況の予測に関する研究, 海運経済研究, vol.56, 2022. 10. (掲載済)
- ・Hiroyuki KOSAKA: Imputation of Missing Data in Maritime Container Trade Data, 9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022), 2022.9. (掲載済)
- ・Hiroyuki KOSAKA: Analysis of CIF/FOB Ratio in Reconciliation of Trade Statistics, International Association of Maritime Economists Conference 2022 (IAME 2022), 2022.9. (掲載済)

#### □その他発表論文: 12 件(投稿中: 2 件、掲載済: 10 件)

- ・松倉洋史: 南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用ー日本海側フェリー/RORO 船隊輸送の半割れケースの評価と輸送計画の改良ー, 令和 5 年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集, 2023.5(投稿中)
- ・和田祐次郎, 伊藤大河, 渡邊大介, 五十嵐祐介, 濱田邦裕: 海上物流ビッグデータを用いたパナマックスバルカー市況の予測に関する研究, 令和 5 年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集, 2023.5(投稿中)
- ・高橋佳歩, 正木晶子, 荒谷太郎, 間島隆博, 小埜和夫: 災害時の救援物資配送計画に対する CMOS アニメーション技術の適用検討, MCPC 第 7 回量子コンピュータ推進セミナー オンライン, 2023.3. (掲載済)
- ・高橋佳歩, 正木晶子, 荒谷太郎, 間島隆博, 小埜和夫: 災害時の配送計画に関する疑似量子コンピュータの有効性, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2022 年秋季研究発表会&シンポジウム, 2022.9. (掲載済)
- ・青山久枝, 荒谷太郎, 間島隆博, 山田泉, 今込毅: 大規模災害時の空港面運用に関するシミュレーションによる課題の検討, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2022, CD-ROM, 2022.8. (掲載済)
- ・Taro ARATANI, Keiko MIYAZAKI, Toru TAKAHASHI, Shinichi INOUE, Yui FUJIMOTO: Actual Conditions and Issues Regarding Barrier-free Access for Tourist Boats, Transportation Research Board, the TRANSED: Mobility, Accessibility & Demand Response Transportation Conference, 2022.9. (掲載済)
- ・松倉洋史, 荒谷太郎, 間島隆博: 南海トラフ地震時における日本海側フェリー/RORO 船隊による支援物資輸送, 海上技術安全研究所研究発表会予稿集, 2022(掲載済)
- ・Hiroshi Matsukura: Ship Availability Evaluation from Pull-type Transportation Period of Nankai Trough Earthquake, Proceedings of Autumn Conference of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, November 2022. (掲載済)
- ・Shinnosuke WANAKA, Ryutaro KAKIUCHI, Naoki FUJITA, Kazuo HIEKATA, Hiroyuki YAMATO: Study on Simulation Based Evaluation of Route and Cargo Specific Project for Introducing Decarbonized Ships, Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, 2022.9 (掲載済)
- ・Shinnosuke WANAKA, Ryutaro KAKIUCHI, Naoki FUJITA, Kazuo HIEKATA, Hiroyuki YAMATO: Simulation Method of Fleet Transition Based on Technology, Economics, and Regulation Scenario for Decarbonization of Shipping, Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, 2022.9 (掲載済)
- ・Kazuki TAKAHASHI, Yumiko USHIJIMA, Yoshihiro FUJITA, Takuya SAITO, Hiroyuki YAMATO, Ryutaro

KAKIUCHI, and Shinnosuke WANAKA, Development of a Communication Platform to Support Consensus-Building Among Stakeholders in Shipping Decarbonization, Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, 2022.9 (掲載済)

- Yujiro Wada, Kunihiro Hamada, Hiroki Hirayama, Takahiro Majima, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, Development of a Shipping Market Forecasting System Using Vessel Movement Data and its Practical Application, 20th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS2022), 2022.9. (掲載済)

**□特許申請: 1 件**

- コンテナ船の需要予測方法, 需要予測プログラム, 及び需要予測システム

**□コアプログラム登録: 1 件**

- 災害時の配送計画立案支援プログラム

**□国際貢献: 6 件**

- IMO の審議対応: 4 件 (ISWG-GHG12, ISWG-GHG13, MEPC79, ISWG-GHG14)
- IMO 提案文書 (ISWG-GHG 13/4/6) にデータ分析結果を提供: 1 件
- 国際機関の要請に対応し、AI 技術等を利用した海運市場の分析・予測に関する基礎研修を海外機関向けに実施: 1 件

**□公開実験: 1 件**

- 災害時の支援物資輸送に係る実動演習を公開(2023 年 2 月 14 日)

### 3. 港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等

#### 【中長期目標】

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

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

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

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

#### 【中長期計画】

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

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

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

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

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

#### 【年度計画】

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

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

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

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

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

#### ◆年度計画における目標設定の考え方

中長期目標に示された研究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、9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、波浪・海浜・地盤・地震・環境等に関する原理・現象の解明に向けた基礎研究に積極的に取り組むことを求めており、令和4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4年度計画においても、将来の発展の可能性があると想定される萌芽的研究については、適切な評価とこれに基づく予算配分を行い、先見性と機動性をもって推進することとした。

#### ◆当該年度における取組状況

##### (1)基礎研究への取組

令和4年度も基礎研究を重視し、波浪・海浜・地盤・地震・環境等に関する原理・現象の解明に向けた研究を実施した。

令和4年度においては、52の研究実施項目のうち、21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、先行的に取り組む、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4年度は、「海中鋼構造物用点検装置における磁石車輪式移動機構の検討」、「統計分析による港湾構造物の劣化予測の高度化」、「浚渫土中の有機炭素貯留メカニズムの解明に向けた微生物・鉱物学的検討」、「浅海部広域におけるプロセスベースモデルを用いた海草・海藻藻場におけるCO<sub>2</sub>吸収量推定手法の開発」、「閉鎖性水域における水環境デジタルツインの実現に向けた生態系モデルの領域沿岸データ同化手法の開発」の5件の特定萌芽的研究を実施した。

### (3) 国土技術政策総合研究所との連携

国土技術政策総合研究所とは「港湾の施設の技術上の基準」、「港湾の施設の点検診断ガイドライン」等への研究成果の反映に向けた検討体制が確立されている。令和 4 年度においても、国土技術政策総合研究所との共催により、国、民間事業者等に向けた講演会を多く開催してきており、共同で研究活動や成果を発信することにより、社会的要請を踏まえた研究ニーズ等を両研究所が効率的かつ効果的に把握し、研究活動の実施に役立っている。

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

研究開発課題 (1)沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ ① 地震災害の軽減や復旧に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害の発生リスクが高まっているなか、国民の生命や財産を守るために、防災及び減災対策を通じた国土強靱化の推進が必要である。研究所は、東日本大震災をはじめとした既往の災害で顕在化した課題への対応を引き続き推進するとともに、新たな災害が発生した場合には迅速に対応しつつ、港湾・空港等における地震、津波及び高潮・高波災害の軽減及び復旧に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点を置いて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。</p> <p>このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。</p> <p>①地震災害の軽減や復旧に関する研究開発</p>	<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点を置いて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。</p> <p>このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。</p> <p>①地震災害の軽減や復旧に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－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ついて、予備的な実験を行うとともに、AIによる被害推定精度の検討を開始する。</li> <li>－沿岸域施設の耐震性能早期発現のための対策技術開発について、これまでに実施した模型振動実験、数値解析の結果を総合し、耐震性能照査手法の取りまとめを行う。</li> <li>－多様な動的外力下の沿岸構造物の吸い出し・陥没等抑止に有効な設計・対策技術について、汎用的な成果としてとりまとめる。 等</li> </ul>

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4年度の研究内容

### (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 61 港湾をカバーする強震観測網による観測を行った。

### (2) 地震災害および被災要因調査

令和 4 年 3 月 16 日福島県沖の地震(M7.4)による被害を受け、調査で得られた成果等に基づき、「相馬港復旧検討会」への参画などを通じ、早期本格復旧に向けた支援を実施した。

### (3) 地震学的・地盤工学的知見に基づく地震動の事後推定技術に関する検討

福島県沖の地震で被害を受けた相馬港において余震観測・常時微動観測を行い、港湾内における地盤震動特性の違いを明らかにした。

### (4) 液状化による沈下・流動の新たな予測手法の開発

様々な継続時間・不規則性を有する地震動や連続して作用する地震動の下での幅広い粒度・塑性を有する地盤の液状化に伴う沈下・流動機構について研究した。

### (5) 地震動作用後を対象とした沿岸域施設の変形予測手法の検討

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

### (6) 沿岸域施設の耐震性能早期発現のための対策技術開発

直杭式栈橋に座屈拘束ブレースを追設した構造について検討し、耐震性能照査手法検討取りまとめ、係留施設改良時の既設構造の効果影響検討を行った。

### (7) 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

有効応力分布の推移を可視化する模型振動台実験により様々な係留施設の不安定化過程を記述するための実験環境構築と簡易な被害推定方法の予備検討を実施した。

### (8) 沿岸構造物の吸い出し・陥没等安定性評価と対策技術の開発

二層構造のフィルター層とケーソン目地透過波低減法について、より広範な土質・外力・構造条件での検討を進め、吸い出し・陥没抑止技術の包括的な知見として取り纏めた。

### (9) 波・流れに対する沿岸地盤構造物の変形・破壊特性評価と補強技術の開発

遠心模型実験手法を適用し、護岸の安定性評価法と補強方法の検討を行うとともに、補強された防波堤の破壊実験も行った。

## 令和4年度の研究成果

### (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 4 年 3 月 16 日福島県沖の地震(M7.4)では、相馬港で 600Gal を超える強い地震動が観測された(図 1.3.1)。この地震動について、工学的基盤 2E 波に換算し、平成 23 年東北地方太平洋沖地震および令和 3 年 2 月 13 日福島県沖の地震(M7.3)による相馬港での地震動(前者は推定地震動)との比較を行った結果、令和 4 年 3 月の地震による地震動は、令和 3 年 2 月の地震による地震動を上回っていただけでなく、成分や周波数によっては平成 23 年東北地方太平洋沖地震による地震動を上回っていたと推定された。こうした情報は直ちに行政機関に伝達され、その後、相馬港の復旧設計でも活用された。

相馬港での観測地震動を工学的基盤 2E 波に換算する際には、近年新たに開発した有効応力解析に基づく換算法を用いている。この解析が令和 3 年 2 月の地震に対しても令和 4 年 3 月の地震に対しても精度良く行われていることを強震観測結果に基づき確認した(図 1.3.2)。

行政機関に質の高い情報を提供するためには、このような計算精度の検証は重要であると考えており、今後も継続的に行っていきたいと考えている。

## (2) 地震災害および被災要因調査

令和4年3月16日に福島県沖を震源とするM7.4の地震が発生し、港湾施設に被害が発生した(図1.3.3左)。この地震を受け、当所では国土技術政策総合研究所と合同で2回にわたり調査団を派遣し、相馬港および仙台塩釜港石巻港区において調査を行ったことは令和3年度の業務実績報告書で既に述べた。

その後は調査で得られた成果等に基づき、「相馬港復旧検討会」への参画などを通じ、早期本格復旧に向けた支援を実施した。

また、地震後の係留施設の利用可否判断を迅速かつ適切に行うことを目的としてこれまで開発を行ってきたRTK-GNSSを用いた岸壁使用可否判断支援システム(名称: Berth Surveyor)を複数の港湾に適用し、システムの稼働に必要な基準点を選定し、施設変形量測定および施設の供用可否判断(損傷判断)が可能であることを確認するとともに、複数の地方整備局を訪問し、機材の使用方法についてデモンストレーションを行った(図1.3.3右)。

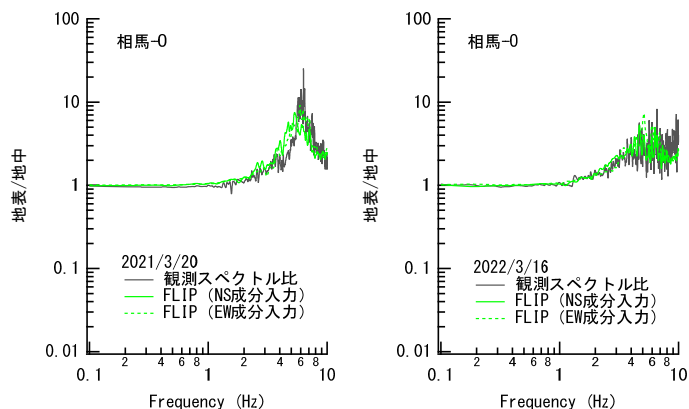
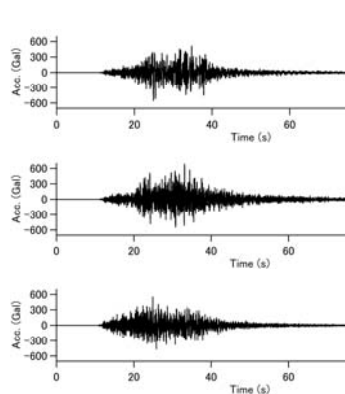


図 1.3.1 相馬港で観測された加速度波形

図 1.3.2 相相馬の強震記録から求めたフーリエスペクトル比(地表/地中)とFLIP解析によるスペクトル比の比較



図 1.3.3 相馬港の被害(左)と岸壁使用可否判断支援システム「Berth Surveyor」のデモの状況(右)

## (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4年3月16日福島県沖の地震(M7.4)において被害を受けた相馬港において余震観測・常時微動観測を行った(図1.3.4)。臨時余震観測は1号埠頭、3号埠頭、5号埠頭の三箇所で行った。その結果、本震の記録が得られた相馬-0(図1.3.4の2番)と比較して、3号埠頭では、1Hz付近の水平動が



大きいことなど、港湾内における地盤震動特性の違いを明らかにした(図 1.3.5)。この成果は復旧設計に活用された。

今後はさらに、震源に関する放射特性や指向性の取り扱い、表層地盤の非線形挙動の取り扱いなどの課題に取り組む。再現の難しい強震記録に着目し、その原因を探り、計算手法の改良を検討する。

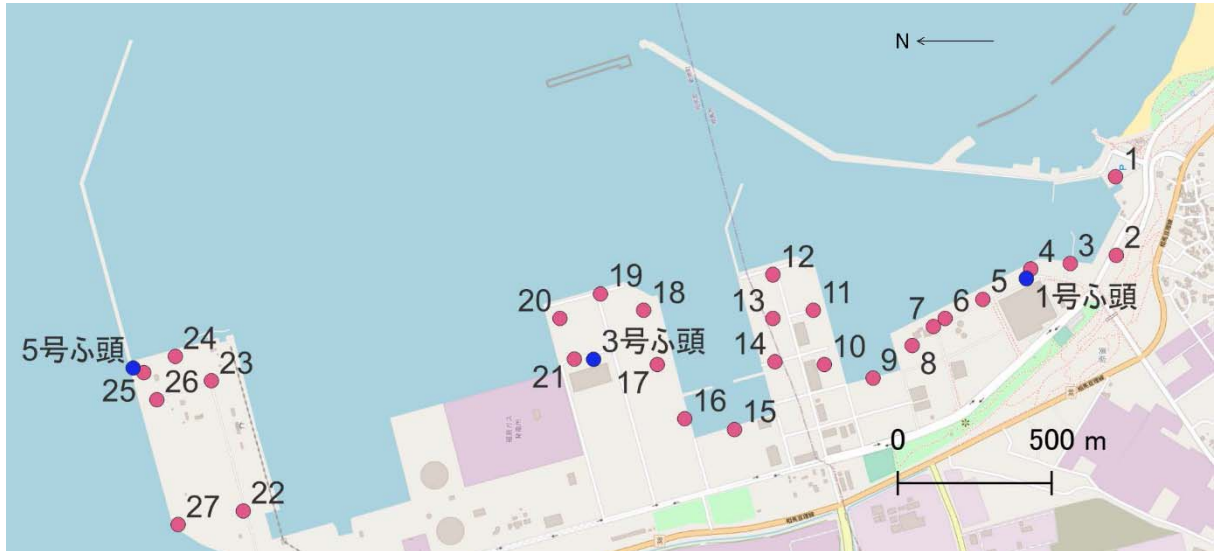


図 1.3.4 相馬港における余震観測地点(青)と常時微動観測地点(赤)

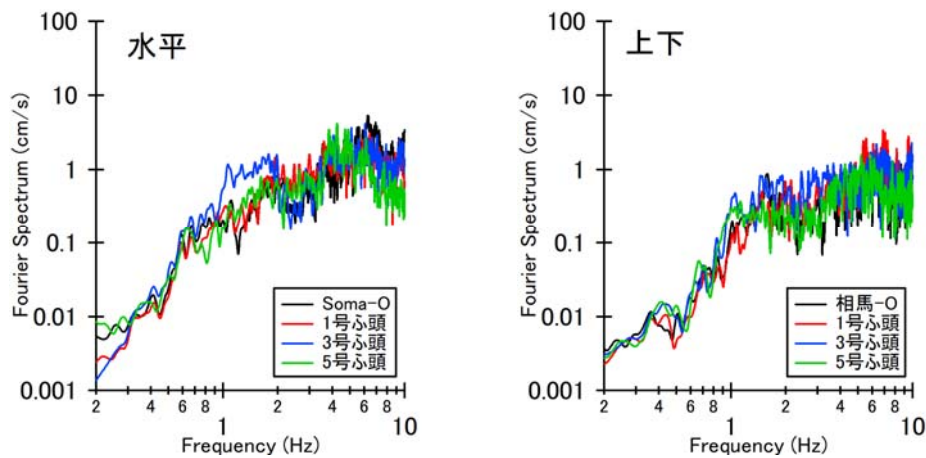


図 1.3.5 相馬-O(図 1.3.4 の 2 番)および余震観測地点における加速度フーリエスペクトル

#### (4) 液状化による沈下・流動の新たな予測手法の開発

これまで評価分析を進めて来た大正関東地震時の広域液状化流動(図 1.3.6、図 1.3.7)について考察を深めるとともに、液状化による沈下・流動の新たな評価予測手法を開発し、現地挙動分析及び遠心力場実験を通じてその有効性を検証した。

さらに、幅広い粒度と塑性を有する地盤の液状化予測・対策と液状化流動被害抑止技術についても検討を進めた。

本研究により得られた成果は、R5 発足の「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」に発展・展開していく予定である。

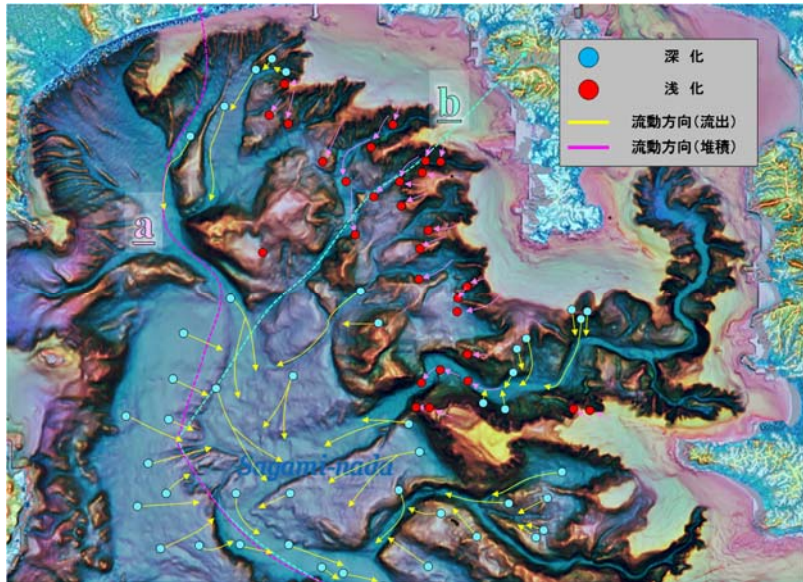


図 1.3.6 大正関東地震時の広域液状化流動の評価分析結果(詳細地形図との照合)

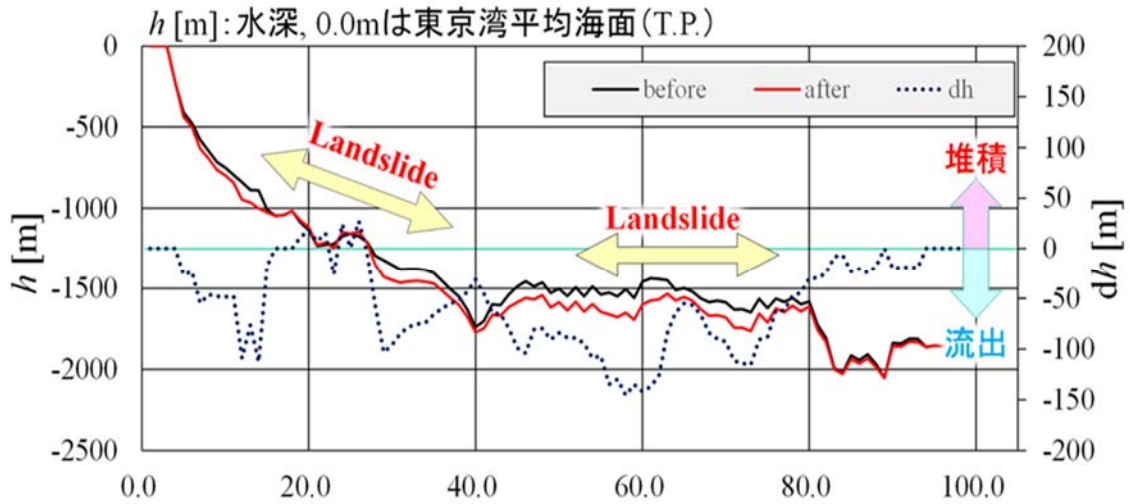


図1.3.6のaを通る線上の位置(km)

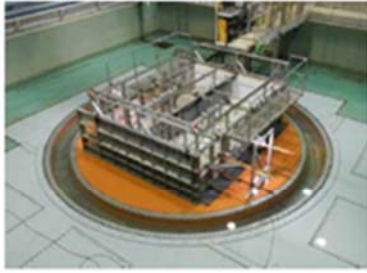
図 1.3.7 大正関東地震時の広域液状化流動の評価分析結果(水深断面図)

(5) 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

令和 4 年度は、沿岸域の空港土木施設を対象とし、地震動作用中に発生する過剰間隙水圧のみならず地盤の累積損傷も考慮した地震後の空港土木施設の変形予測について検討した。その際、液状化地盤の累積損傷を考慮した体積変化特性の数値モデル化の検討を行った(図 1.3.8)。

今後は実設計断面を対象とした変形予測手法の影響確認を行う予定である。

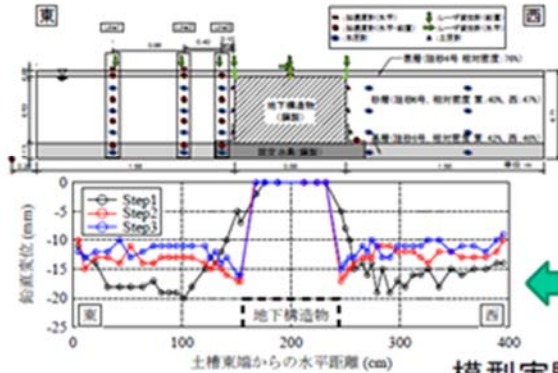
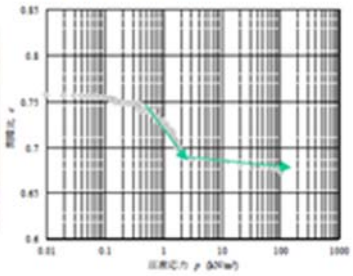
【水中振動台実験】



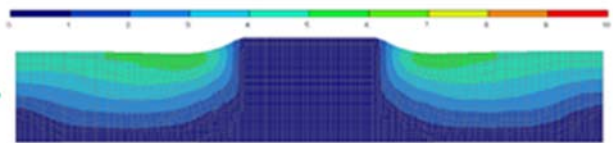
【繰返し載荷試験】



体積変化特性



室内試験による体積変化特性  
(応力-ひずみ関係)を数値モ  
デル化, 変形解析に反映



模型実験との比較

鉛直変位分布の計算結果

図 1.3.8 液状化地盤の累積損傷を考慮した体積変化特性の数値モデル化

(6) 沿岸域施設の耐震性能早期発現のための対策技術開発

既存施設の耐震補強と早期復旧を目的とし、直杭式栈橋に座屈拘束ブレースを追加した構造(図 1.3.9 右)について検討した。令和 4 年度は耐震性能照査手法検討取りまとめ、係留施設改良時の既設構造の効果影響検討を行った。

図 1.3.9 に示す一般的な鋼管ブレースによる改良(左)と本研究の座屈拘束ブレースによる改良(右)を比較した、後者がコスト縮減に寄与することを示した。

本研究では、港湾分野においてこれまでになかった制震の考え方を導入することができ、新たな工法を選択肢を広げることができた。

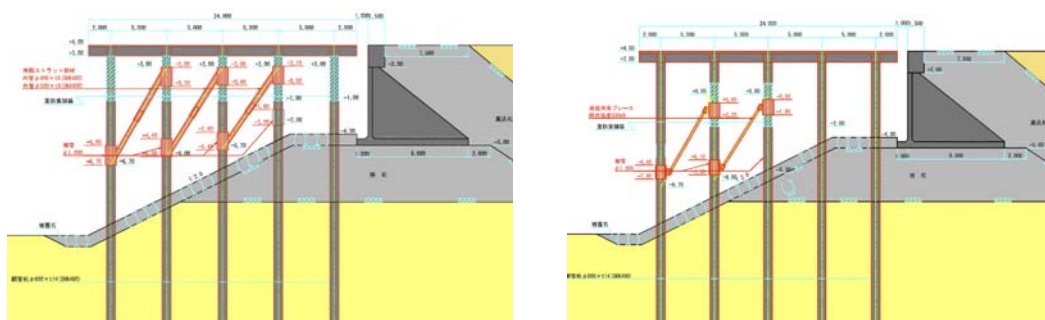


図 1.3.9 一般的な鋼管ブレースによる改良(左)と本研究の座屈拘束ブレースによる改良(右)

(7) 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

有効応力分布の推移を可視化する模型振動台実験により様々な係留施設の不安定化過程を記述すること、得られた実験・解析の有効応力分布の推移を学習することで、簡易かつ高精度な被害推定方法を開発することを目標とし、令和 4 年度は実験環境構築(図 1.3.10)と予備検討の実施、被災情報の収集と DB を検討した。

今後は、実験での係留施設の損傷過程の検討を高度化し、数値解析との直接比較による被害推定の高精度化に資するデータを取得すること、実験・解析結果の深層学習により簡易かつ即時的な被害推定方法を開発することを予定している。

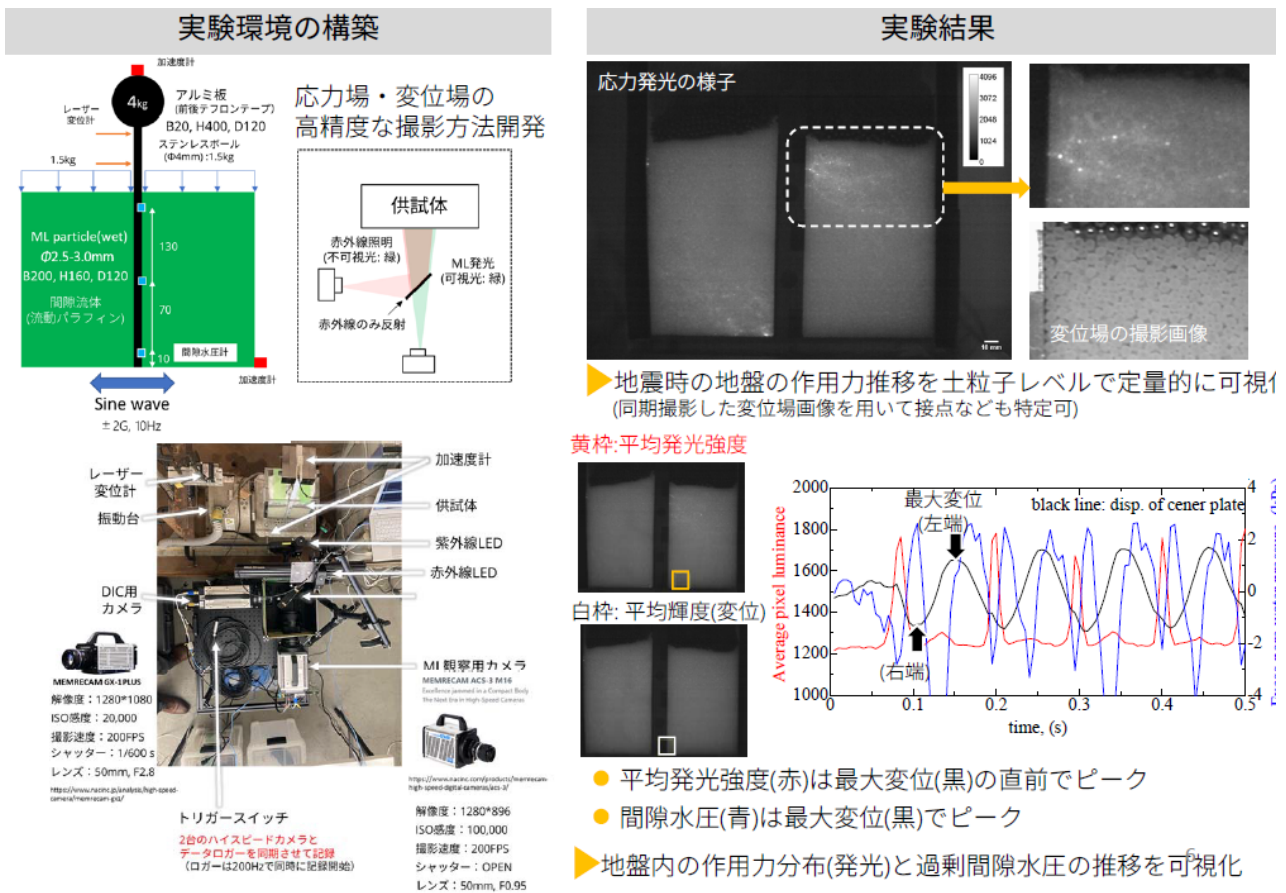


図 1.3.10 地盤内の作用力分布と過剰間隙水圧の可視化

(8) 沿岸構造物の吸い出し・陥没等安定性評価と対策技術の開発

吸い出し・陥没抑止に有効な対策技術である二層構造のフィルター層とケーソン目地透過波低減法について、より広範な土質・外力・構造条件での検討を進め(図 1.3.11)、越波・降雨によるフィルター層の吸い出し抑止機能を評価・検証すると共に、フィルター材の粒子物性の影響を明らかにし、開発技術の継続的な陥没抑止効果を実証した。各種の追加試験・実験及び現地試験を実施し、吸い出し・陥没抑止技術の包括的な知見として取り纏めた。

本研究により得られた成果は、R5 発足の「地震・高潮・高波による吸い出し・陥没等予知と維持管理技術の開発」に発展・展開していく予定である。

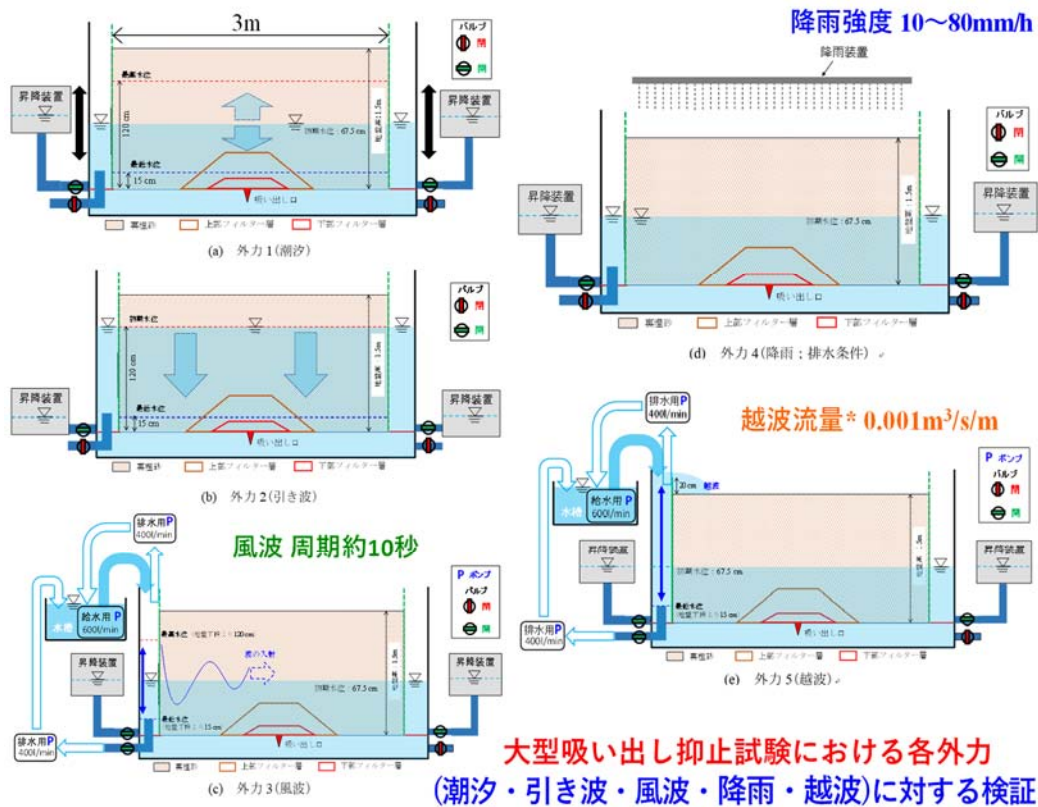


図 1.3.11 臨海部の潮汐・引き波・風波・降雨・越波等の多様な動的外力作用下の吸い出し・空洞生成・発達・陥没過程の体系的解明

(9) 波・流れに対する沿岸地盤構造物の変形・破壊特性評価と補強技術の開発

実物スケールでの流体と地盤の挙動を同時に再現できる遠心模型実験手法を適用し、波と流れに対する沿岸地盤構造物の変形・破壊過程を観察し、護岸の安定性評価法と補強方法の検討を行うとともに、補強された防波堤の破壊実験も行った(図 1.3.12)。

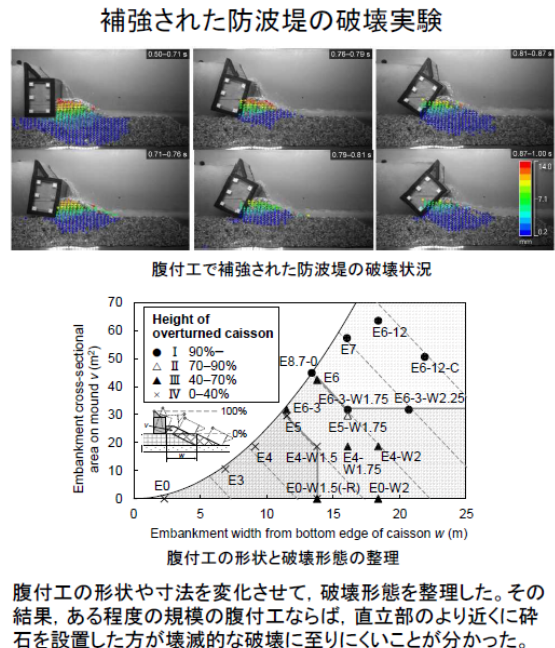
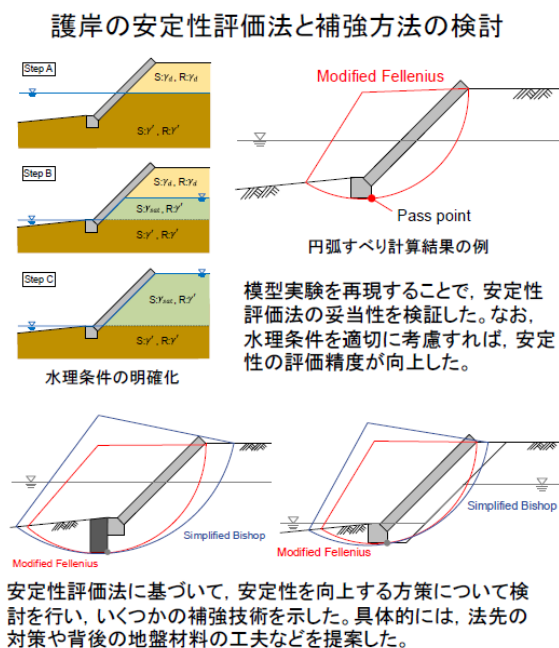


図 1.3.12 護岸の安定性評価法と補強方法の検討(左)および補強された防波堤の破壊実験(右)

## 成 果 の 公 表

□ 港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料: 2 編

- ・ 高橋英紀 (2022): 高波による護岸での地盤破壊と安定性評価法, 港湾空港技術研究所報告, Vol. 61, No. 2, pp. 1-33.
- ・ 栗原大, 高橋英紀 (2023): 腹付工を有する混成堤の破壊特性と粘り強さを増す腹付工の形状, 港湾空港技術研究所報告, Vol. 62, (刊行予定).

□ 発表論文(英文): 12 編

- ・ Kondo, A., Takano, D., Kohama, E. and Bathurst, R.J. (2022): Visualization of pile penetration using mechanoluminescent-coated particles, Géotechnique Letters 12(3), pp.203-208, <https://doi.org/10.1680/jgele.21.00069>
- ・ Nozu, A. (2022): A simple scheme to prepare site-specific design ground motions based on local microtremor measurement and globally-available strong motion databases, The 8th Asian Conference on Earthquake Engineering.
- ・ Nagasaka, Y. and Nozu, A. (2022): Stabilization of the S-to-P energy ratio of a diffuse wavefield from reflections at free surfaces, Bulletin of the Seismological Society of America, 112(3), pp.1191-1196, <https://doi.org/10.1785/0120210283>
- ・ Wu, S.L., Nozu, A., Nagasaka, Y. and Chen, G.X. (2023): Equivalent-linear method with complex frequency for response analyses of the ground subject to fling-step displacements, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.107784>
- ・ Sassa, S. (2022): Review of the Founding Issue of P-LRT: Progress in Landslide Research and Technology, Progress in Landslide Research and Technology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18471-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18471-0_15)
- ・ Sassa, S. (2022): Scour and Erosion: a global perspective, International Journal of Geoenvironment Case Histories, 7(4), pp. ii-iii, [https://www.geocasehistoriesjournal.org/pub/article/view/IJGCH\\_7\\_4\\_0\\_B/0](https://www.geocasehistoriesjournal.org/pub/article/view/IJGCH_7_4_0_B/0)
- ・ Tsubokawa, R., Iida, Y., Ushiwatari, Y., Matsuda, T., Ochi, M., Miyatake, M., Sassa, S. (2022): Coastal road slope collapses behind a retaining wall due to scour and erosion, International Journal of Geoenvironment Case Histories, 7(4), pp. 39-49, [https://www.geocasehistoriesjournal.org/pub/article/view/IJGCH\\_7\\_4\\_4](https://www.geocasehistoriesjournal.org/pub/article/view/IJGCH_7_4_4)
- ・ Takahashi, H., Lidija Zdravković, Aikaterini Tsiampousi, and Mori, N. (2022): Destabilisation of seawall ground by ocean waves, Géotechnique. (in press).
- ・ Kurihara, O and Takahashi, H. (2022): Centrifuge model tests on tsunami-induced failure process of composite-type breakwater with reinforcing embankment, Proceedings of the International Conference on Physical Modelling in Geotechnics (ICPMG2022).
- ・ Takahashi, H. (2022): Dynamic model tests of levees reinforced by cement deep mixing method, Proceedings of the International Conference on Physical Modelling in Geotechnics (ICPMG2022).
- ・ Takahashi, H. (2022): Tsunami overflow tests of levee reinforced by deep mixing method in centrifuge, Proceedings of International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ICSMGE).
- ・ Kurihara, O and Takahashi, H. (2023): Backfilling configuration to improve tenacity of composite-type breakwaters, Coastal Engineering Journal. (in press).

□ 発表論文(和文): 10 編

- ・ 野津厚 (2022): 地震動位相の微分可能性に関する補足と群遅延時間の平均・標準偏差の計算方法の改良, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.78, No.4, pp.I\_737-I\_742.
- ・ 佐藤慶介, 小濱 英司 (2022): 矢板式構造による既設重力式岸壁増深改良の地震応答解析におけるモデル化手法の影響評価, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.78, No.4, pp.I\_537-I\_550.

- ・NGUYEN Binh, 佐々真志, 上野一彦, 浅田英幸, 田代聡一(2022):人工排水材による液状化時のポイリング被害抑止工法の地表面変状抑制効果の検証, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 78, No.2, pp.I\_577-I\_582.
- ・竹之内寛至, 佐々真志, 木田匠紀, 足立雅樹, 岩城徹也, 斉藤英徳, 金子誓(2022):新たなCPG工法の細粒分混じり砂質土への適用性の検証, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 78, No.2, pp.I\_559-I\_564.
- ・宮本順司, 伊藤輝, 佐々真志(2022):実大応力下の長大水路における土砂流動実験:, 土木学会論文集 B2, Vol. 78, No.2, pp.I\_175-I\_180.
- ・梁順普, 佐々真志, 工代健太, 村田一城, 小林千紘(2022):臨海部の多様な外力と砂の粒子形状を考慮した吸い出し・陥没抑止法の研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 78, No.2, pp.I\_121-I\_126.
- ・坪川良太, 飯田泰成, 牛渡裕二, 松田達也, 越智聖志, 宮武誠, 佐々真志(2022):発生頻度の高い高波の断続的作用による擁壁背面の被災メカニズム分析, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 78, No.2, pp.I\_439-I\_444.
- ・梁順普, 佐々真志, 工代健太, 村田一城, 小林千紘(2022):降雨や越波等の継続作用下における地盤内の吸い出し・空洞形成・陥没過程:, 土木学会論文集 B2, Vol. 78, No.2, pp.I\_727-I\_732.
- ・加藤佑典, 越智聖志, 宮武誠, 佐々真志, 坪川良太, 牛渡裕二, 飯田泰成, 阿部翔太(2022):高波による護岸擁壁背後法面の陥没型被災に及ぼす浸透流動特性:, 土木学会論文集 B2, Vol. 78, No.2, pp.I\_439-I\_444.
- ・橋本茂樹, 斎藤秀樹, 松本英明, 水口陽介, 早川哲也, 高橋英紀(2022):浚渫土砂による防波堤背後盛土構造の安定性評価手法, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 78, No. 2, pp. I\_595-I\_600.

□表彰(論文賞、その他の表彰):5件

- ・佐々真志:土木学会国際活動奨励賞
- ・村田一城:土木学会年次学術講演会 優秀講演者表彰
- ・長坂陽介:土木学会年次学術講演会 優秀講演者表彰
- ・長坂陽介:日本地震工学会大会 2022 優秀発表賞
- ・村田一城:日本水路協会水路技術奨励賞

□特許(出願、登録):4件

- ・特許(出願) 応力発光材料を用いた静的荷重の測定方法, 測定装置及び測定システム
- ・特許(出願) 地盤改良方法
- ・特許(登録) 地盤改良土の製造方法および地盤改良方法(特許第 7219896 号)
- ・特許(登録) 地盤改良土の製造方法および地盤改良方法(特許第 7219897 号)

□その他(学会発表、講演等):11件

- ・長坂陽介, 野津厚(2022):自由表面での反射による拡散波動場における S 波 P 波エネルギー比の安定化, 建築学会大会.
- ・長坂陽介, 野津厚, 呉双蘭(2022):相馬港における臨時地震観測および常時微動観測, 日本地震工学会大会
- ・長坂陽介, 野津厚(2022):自由表面での反射が拡散波動場における S 波と P 波のエネルギー費に与える影響, 土木学会第 77 回年次学術講演会.
- ・長坂陽介(2022):地域的なスペクトルインバージョンを用いた強震動シミュレーションの検討, 日本地震学会秋季大会.
- ・野津厚(2022):時間領域におけるはざとり解析—相馬港の場合, 第 57 回地盤工学研究発表会.
- ・野津厚(2022):2022 年 3 月 16 日福島県沖の地震(M7.4)の震源断層の破壊過程の推定, 土木学会第 77 回年次学術講演会.

- ・野津厚(2022):P 波, S 波, Rayleigh 波の同時入射の下での地震波干渉法の定式化とその成立条件, 日本地震学会秋季大会.
- ・野津厚(2022):道北の日本海側だけでなくオホーツク海側でも観測される著しく大きなサイト増幅特性, 日本地震学会秋季大会.
- ・野津厚(2022):波形インバージョンによる 2022 年 3 月 16 日福島県沖の地震(M7.4)の震源断層の破壊過程の推定, 建築学会大会.
- ・大矢陽介, 小原陵, 小濱英司(2022):着床式洋上風力発電設備を対象とした模型振動実験の基礎検討ー海底面固定条件における風車模型の振動特性ー, 土木学会第 77 回年次学術講演会.
- ・大矢陽介, 小濱英司(2022):地盤と地下構造物の動的相互作用による 地表面沈下に関する研究ーその7 過剰間隙水圧消散に伴う地盤の 変形解析に関する基礎検討ー, 土木学会第 42 回地震工学研究発表会.

□現場や基準等に反映された研究成果:3 件

- ・地震動特性の分析結果が、相馬港の復旧設計で活用された。
- ・フィルター層による吸い出し防止対策が港湾の技術基準に反映され(令和 4 年 4 月 1 日付け)、現場での導入が進められている。
- ・ケーソン目地透過波低減法が港湾の技術基準に反映され(令和 4 年 4 月 1 日付け)、現場での導入が進められている。



研究開発課題 (1)沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ ② 津波災害の軽減や復旧に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害の発生リスクが高まっているなか、国民の生命や財産を守るために、防災及び減災対策を通じた国土強靱化の推進が必要である。研究所は、東日本大震災をはじめとした既往の災害で顕在化した課題への対応を引き続き推進するとともに、新たな災害が発生した場合には迅速に対応しつつ、港湾・空港等における地震、津波及び高潮・高波災害の軽減及び復旧に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風が発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。</p> <p>このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。</p> <p>②津波災害の軽減や復旧に関する研究開発</p>	<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風が発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点をおいて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。</p> <p>このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。</p> <p>②津波被害の軽減や復旧に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"><li>－浸水被害推計技術の研究では、担当者が短時間のオペレーションで災害推計情報を作成し情報発信できる基盤を検討する。</li><li>－大規模数値波動水槽の研究では、ソフトウェアを高速化する検討を行うとともに、公開のための準備を行う。</li><li>－マングローブに働く津波波力の研究では、マングローブの津波による引き抜きに関する移動床実験を行う。等</li></ul>

## 研究の背景

2011年の東日本大震災以降、越波を伴う津波に対しても安定な構造物の開発や構造物が破壊されて生ずるガレキの漂流などを予測する数値シミュレーションモデルの開発等を行ってきた。

しかし、陸上部を遡上する複雑な津波の挙動やそれに伴う被害は十分には明らかにされておらず、その推定方法も未開発である。

また、避難等に活用が期待される浸水リアルタイム予測技術に関しても、利用しているデータはGPS波浪計のデータのみであり、他の貴重なデータは活用しきれていない。

## 研究目標

最大級の津波に対しても、強靱な(レジリエントな)沿岸域の構築を目標とする。すなわち、最大級の津波に対しても人命を守り、社会経済に対して壊滅的な被害を発生させず、早期復旧復興を可能とすることを目標とする。

## 令和4年度の研究内容

### (1) 広域地殻変動を伴う巨大津波災害に対応した早期浸水被害推計技術の開発

津波時に発生する漂流物の挙動、とくに移動経路や漂流範囲の再現性を向上させることを目的として、漂流物シミュレーション手法の高度化に取り組んだ。

また、早期津波評価技術の核となる津波波形データから波源を推定する手法について、断層パラメータに加えて不均一な滑り分布を推定できるように手法の改良に取り組んだ。

### (2) 外郭施設群を対象とする大規模数値波動水槽の開発

被覆ブロックの挙動や洗堀の進行状況を既存の実験式を直接参照して、移動限界のチューニングを省略可能な固液混相カップリングモデルを構築した。

さらにポストプロセス機能をソフトウェアへ実装した。

### (3) マングローブに働く津波波力とその変形に関する研究

令和3年度に引き続いてマングローブが生息する場所でのおおよその地盤特性を明らかにしたほか、移動床の水理模型実験を実施し、地盤の強度に及ぼす潮汐と波の影響を調べた。

## 令和4年度の研究成果

### (1) 広域地殻変動を伴う巨大津波災害に対応した早期浸水被害推計技術の開発

これまで開発してきた漂流物モデルと実際の港湾を模した複雑地形上の漂流物の移動経路や漂流範囲を比較すると、顕著な違いがあり、再現性の向上が課題であった。実験の動画解析により、動き方の違いが生まれるのが漂流物と地面や障害物が部分的に接触している場合であることが推定された。

そこで、漂流物モデルに部分接触の効果を取り入れる新しいモデルを構築したところ、移動経路や漂流範囲の再現性が大きく向上した。これにより、現実の複雑地形上で発生する漂流物挙動をより正確に再現できるようになったと考えられる(図 1.3.13、図 1.3.14)。

また、前年度に開発した津波波形データから断層パラメータを推定する手法では、均一すべりを仮定したものであったが、今年度は不均一な滑り分布を再現するため、断層面を分割し、小断層ごとのすべり量を推定パラメータに加え、他の断層パラメータとともに一括して推定できる手法を構築した(図 1.3.15)。

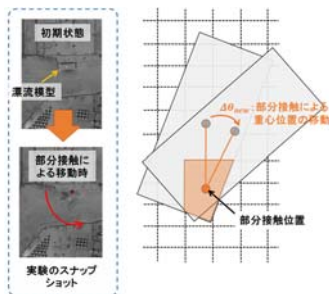


図 1.3.13 部分接触を考慮した漂流物モデル

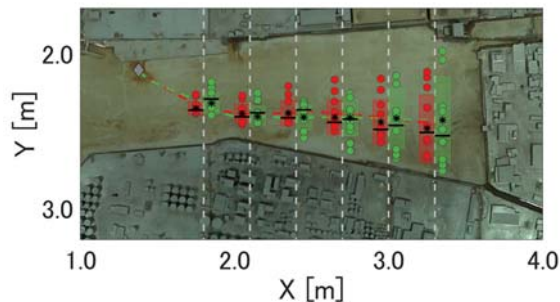


図 1.3.14 漂流物の移動経路(実験:赤、モデル:緑)

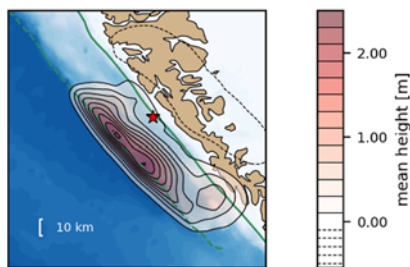


図 1.3.15 津波波形データから推定した不均一滑り断層による地殻変動の推定結果

## (2) 外郭施設群を対象とする大規模数値波動水槽の開発

消波ブロックや被覆ブロックの挙動や砂地盤層の洗堀現象に対して、これまでは流体（液相）の計算設定に合わせて煩雑なパラメータチューニングを毎回行う必要があったが、既往の実験式を直接適用できるように固相モデルの改良を行い、移動限界に関してチューニング作業の大幅な省略が可能な枠組みを構築した(図 1.3.16)。

また、消波ブロックや砕石マウンド、被覆ブロックを含む複数の防波堤を対象に、2次元の広域津波シミュレーションモデル(STOC)による計算結果を反映した3次元の津波シミュレーションを実施した。水理模型実験との比較から開発した数値波動水槽の妥当性を検証するとともに、堤頭部における消波ブロックの巻き止め形状の適用性について数値実験を通して検討した(図 1.3.17)。

さらに、開発中のソフトウェアに対して、計算結果の3次元描画が可能なポストプロセス機能を追加して、ユーザーインターフェースを改善した。

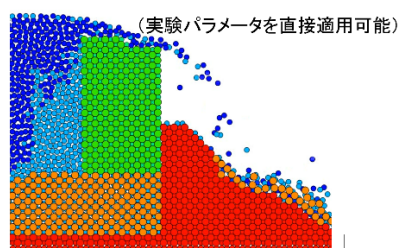


図 1.3.16 被覆ブロックや洗堀の再現モデルの改善

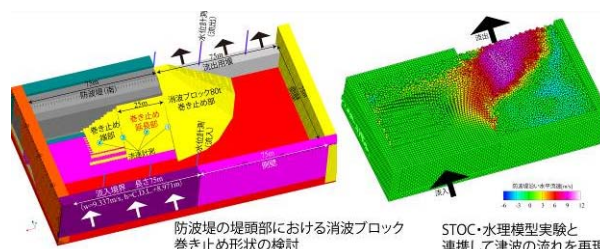


図 1.3.17 複数構造物の3次元数値解析

## (3) マングローブに働く津波波力とその変形に関する研究

マングローブが生息するような地盤では、潮汐のほかに波が作用することでより地盤強度が強くなることが明らかとなった。

また、今後5年間の予定で JICA, JST の SATREPS による研究が開始され、インドネシアでのマングローブの調査地点を現地の研究者とともに確認した。

### 成果の公表

□ 港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料: 0 編

□ 発表論文(英文): 4 編

- Morita, R., Nojima, K., Chida, Y & Arikawa, T (2022): Tsunami-Induced Drift Motion and Numerical Simulation Using Various Models, Journal of Disaster Research, DOI: 10.20965/jdr.2022.p0532
- Chida, Y. and Mori, N (2023): Numerical modeling of debris transport due to tsunami flow in a coastal urban area, Coastal Engineering, DOI: 10.1016/j.coastaleng.2022.104243
- Tsuruta, N., Khayyer A. and Gotoh, H. (2022): Modified Dynamic Stabilization scheme for ISPH simulations, Proceedings of the 16th SPHERIC International Workshop, Catania.

・Chang C-W., Mori, N., Tsuruta, N., Suzuki, K., Yanagisawa, H. (2022): An Experimental Study of Mangrove-Induced Resistance on Water Waves Considering the Impacts of Typical Rhizophora Roots, Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol.127, e2022JC018653.

□発表論文(和文):2編

- ・徳田達彦・有川太郎・高川智博・千田優・Anawat Suppasri・近貞直孝・森信人・今村文彦(2022): 2022年フンガ・トンガ＝フンガ・ハアパイ噴火による津波伝播に関する考察, 土木学会論文集 B2(海岸工学),Vol. 78, No.2, p. I\_145-I\_150.
- ・千田優・高川智博・吉村英人・吉村藤謙・高須貴子(2022): 物理エンジンを活用した三次元漂流物モデルの開発, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.78, No.2, p. I\_517-I\_522.

□表彰(論文賞、その他の表彰):0件

□特許(出願、登録):3件

- ・特許(出願) 袋詰ユニットの段積み構造
- ・特許(登録) 洗掘抑制体および洗掘抑制方法(特許第7141649号)
- ・商標(出願) ネットピロー

□その他(学会発表、講演等):3編

- ・中村康大・鈴木高二朗(2022): 津波の越流洗掘に対する捨石のアーミング効果に関する小型模型実験, 令和3年度土木学会全国大会概要集
- ・Tsuruta, N., Suzuki, K., Nakazawa, Y., Nishinosono, N., and Toyoda, Y. (2022): Experimental study on wave overtopping of double parapet type seawall, Proceedings of the 37th International Conference on Coastal Engineering 2022 (ICCE-2022), Sydney, Australia.
- ・Suzuki, K., Kubota, H. (2022): Stability of Temporarily Placed Large Sandbags against Waves, Proceedings of the 37th International Conference on Coastal Engineering 2022 (ICCE-2022), Sydney, Australia.

□現場や基準等に反映された研究成果:0件

研究開発課題 (1)沿岸域における災害の軽減と復旧

研究テーマ ③ 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
<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害の発生リスクが高まっているなか、国民の生命や財産を守るために、防災及び減災対策を通じた国土強靱化の推進が必要である。研究所は、東日本大震災をはじめとした既往の災害で顕在化した課題への対応を引き続き推進するとともに、新たな災害が発生した場合には迅速に対応しつつ、港湾・空港等における地震、津波及び高潮・高波災害の軽減及び復旧に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点を置いて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。</p> <p>このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。</p> <p>③ 高潮・高波災害の軽減や復旧に関する研究開発</p>	<p>南海トラフ巨大地震や首都直下地震に代表される地殻変動の活発化や異常気象による巨大台風の発生等による大規模災害の発生リスクが高まるなか、今後起こりうる災害をいかに軽減し、また迅速に復旧復興を図ることに重点を置いて、ハード及びソフト両面からの取組が求められている。</p> <p>このため、既往の災害で顕在化した技術的な課題への取り組みを継続しつつ、以下の研究開発を進める。</p> <p>③ 高潮・高波災害の軽減や復旧に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－海象観測データによる海象特性の解明に関する研究では、波浪観測データの処理・解析(速報及び確定処理、波浪統計解析)を継続して実施する。</li> <li>－波浪観測の信頼性向上の研究では、波浪変形の観点から観測地点間の関係性を調べる。</li> <li>－波浪推算手法の研究では、中長期の過去の再現計算を行って波浪推算モデルを評価する。</li> <li>－港内波浪による浸水シミュレーションの研究では、港内施設の浸水対策に関するシミュレーションを実施する。</li> <li>－海洋・波浪結合モデルによる高潮推算の研究では、主要な海域での推算誤差を分析する。</li> <li>－護岸の越波と波力に関する研究では、前年度に引き続き、近年に提案された形式の護岸の模型実験を行う。</li> <li>－フィルター材の耐波安定性の研究では、衝撃波力に対するフィルター材の安定性について模型実験を行う。等</li> </ul>

## 研究の背景

我が国では、1959年9月の伊勢湾台風以降、高潮・高波による甚大な被害は受けていないが、アメリカでは2005年9月のハリケーンカトリナ、フィリピンでは2013年11月の台風ハイヤンなどで大きな被害が発生している。

今後は、地球温暖化の影響により、我が国でもこれまでの想定を超える高潮・高波の発生が懸念される。

そこで、防災・減災対策を被害先行型から対策先行型へ切り替えていくため、最大級の高潮・高波に対する被害をいかに軽減し、そこから迅速な復旧・復興を図るかということに重点をおいて、ハード・ソフトの対策につながる研究を行う。

## 研究目標

最大級の高潮・高波に対する被害の軽減および迅速な復旧・復興のための予測技術の開発を行う。

また、最大級の高潮・高波に対する被害を最小限にするため、設計を上回る外力に対しても粘り強く抵抗し、早期復旧しやすい防波堤や護岸を開発する。

## 令和4年度の研究内容

### (1) 海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明

全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)で取得した波浪観測データを処理・解析し、2021年1年間の各港における各種の波浪統計量をまとめた。

また、顕著な海象事象の個別解析として、2022年1月のトンガ国海底火山噴火に伴って観測された日本周辺における海面変動を整理した。

### (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

波浪変形の観点からGPS波浪計と沿岸波浪計による観測データの関係性を調べた。

### (3) 日本沿岸域を対象とした波浪推算手法の課題整理と高度化

第三世代波浪モデルWW3による日本全海岸線を含む長期波浪推算を実施し、過去20年間の超高解像度日本沿岸波浪プロダクトを作成した。

また、2008年2月の富山湾・寄り回り波事例を対象としてその異常波浪の発生メカニズムを大気力学の視点から解析した。

さらに、現地に設置した4Kカメラの映像からの波浪統計量(有義波高, 有義波周期)の抽出の可能性を調べた。

### (4) 岸壁の越波・排水を考慮した埠頭の浸水シミュレーション手法の開発

過年度までに開発・検証した埠頭の浸水シミュレーション手法をモデル港湾の岸壁に適用し、岸壁上の土地利用計画を踏まえた地盤高の嵩上げや胸壁の設置による浸水対策の効果を検証した。

また、これらの浸水対策工による越波・排水状況の違いを断面模型実験により把握した。

### (5) 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に基づく波・密度場を考慮した高潮将来予測の実施に向けて、日本で発生した顕著な高潮を対象に、波や密度場の影響を考慮した高潮の過去再現計算を複数実施した。

また、領域気象モデルWRFを用いてd4PDFを高解像度化する手法を開発した。

### (6) 複合型越波対策工法の越波と波力に関する研究

過年度に引き続いて直立型、越波透水型、ダブルパラペット型、フレア型の護岸の越波量を断面実験によって測定し、その越波特性を調べた。

また、越波を計算する数値計算モデルの安定性を高めるため、モデルの改良を行った。

### (7) 吸い出し防止用のフィルター材の耐波安定性に関する研究

護岸や岸壁の吸い出し対策として裏込石と埋立砂の間に設置される捨石フィルターの耐波安定性を大規模波動地盤総合水路での大型実験により調べた。

## 令和4年度の研究成果

### (1) 海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明

2021年の観測データに統計解析を行って年報にとりまとめた(2023年6月刊行予定)。そこには、能代と敦賀の沿岸波浪計で既往最大有義波高を更新したことも記した。

また、2022年1月に発生したトンガ国海底火山噴火に伴って観測された日本周辺における海面変動を整理したところ、図1.3.18に示すように沖合に設置されたGPS波浪計で観測された気圧の急激な上昇の直後に、海面変動(潮位偏差)が観測され、今回の海面変動が気圧変動に伴うことが示唆された。

次年度以降も統計解析を継続する。

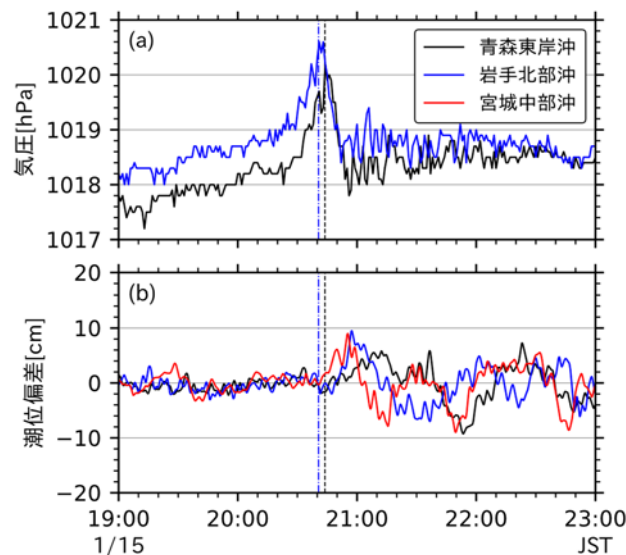


図 1.3.18 GPS 波浪計の気圧(a)と潮位偏差(b)の時系列変化  
(黒点線と青鎖線は青森東岸沖と岩手北部沖の気圧ピーク時)

### (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

波浪変形の観点から GPS 波浪計と沿岸波浪計間の関係性を整理するとともに準沖波から沖波を簡易に推定するシステムを作成した。

### (3) 日本沿岸域を対象とした波浪推算手法の課題整理と高度化

第三世代波浪モデル WW3 による日本全海岸線を含む長期波浪推算を実施し、過去 20 年間の超高解像度日本沿岸波浪プロダクトを作成した。図 1.3.19 はその一例であり、2019 年台風 15 号が関東地方に襲来した際の結果を示している。

波浪モデルは準全球モデルから沿岸モデルまで 4 重ネスティングで構成される。沿岸モデルの解像度は約 1km であり、高精度に波浪場を再現できていることが確認できる。

日本海を通過する大気擾乱と、日本海から富山湾に伝播する波浪スペクトルの詳細な解析により、2008 年に富山湾に大きな沿岸被害をもたらした近年最大規模の寄り回り波の生成メカニズムを明らかにした。

また、現地に設置した 4K カメラの映像から波浪統計量(有義波高, 有義波周期)を推定可能なことを明らかにした。

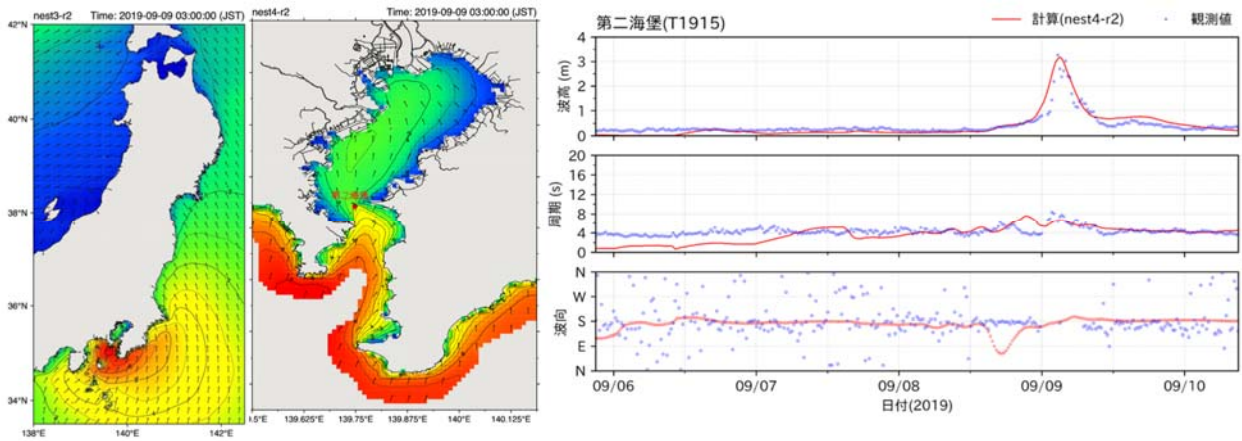


図 1.3.19 第三世代波浪モデルによる高解像度長期波浪推算の実施

(4) 岸壁の越波・排水を考慮した埠頭の浸水シミュレーション手法の開発

図 1.3.20 に示す断面越波実験を行い、岸壁天端の嵩上げや胸壁の設置による浸水対策効果を検討し、これらを平面配置した埠頭の浸水シミュレーションを実施して、浸水対策の具体的な検討手法を提示した。

次年度は、新規の実施項目において浸水対策工を含む港内施設の性能設計に用いる波浪外力の算定手法を検討する予定である。

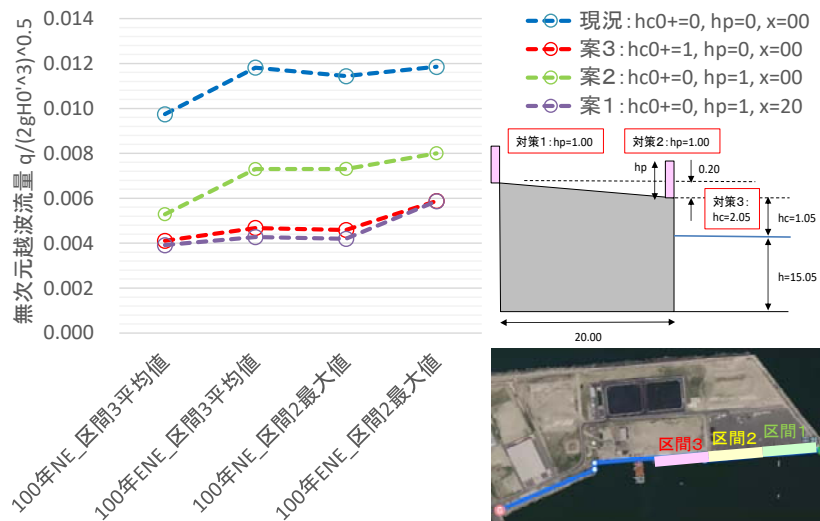


図 1.3.20 断面実験による浸水対策工の特性把握

(5) 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

高潮の過去再現計算を通じて波・密度場が高潮に与える影響を検討すると共に、領域気象モデル WRF によって d4PDF を高解像度化する手法を開発した。

図 1.3.21 に示すように、東京湾に接近した複数の台風は、高解像度化によって上陸直前の最大風速  $W_{max}$  が増加し、中心気圧  $P_c$  も低下する傾向を示すことが分かった。



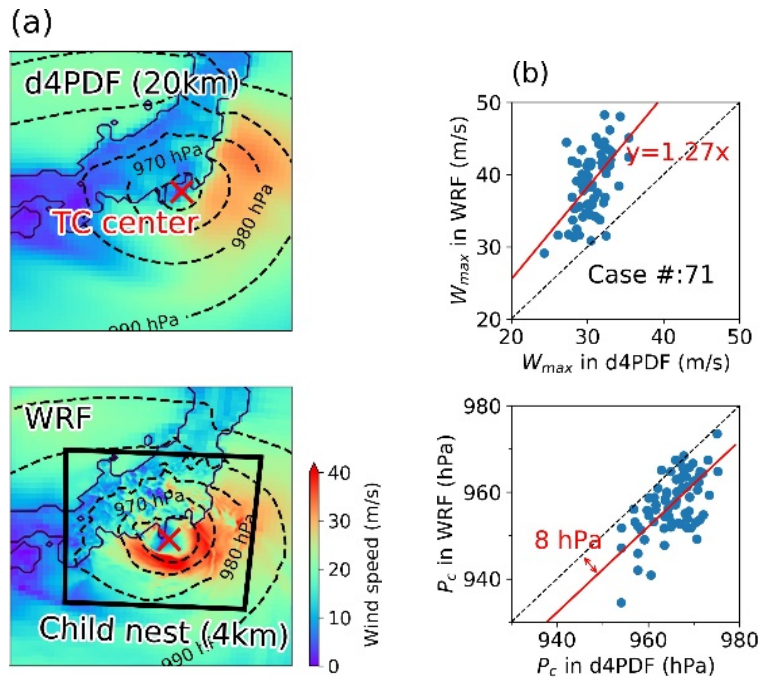


図 1.3.21 d4PDF の高解像度化に伴う風速・気圧変化

(6) 複合型越波対策工法の越波と波力に関する研究

実験によって改良型護岸(ダブルパラペット型、上部フレア型、透水型)の越波特性を調べ、図 1.3.22 のように換算天端高係数を求めた。また、越波計算の数値計算では長時間の計算が必要となるが、これに用いる数値計算モデル CADMAS-SURF が途中で不安定となって停止する場面が多かった。

そこで、プログラム改良に取り組んだところ、自由表面の境界条件を改良することにより、計算の安定性を高めることに成功した。

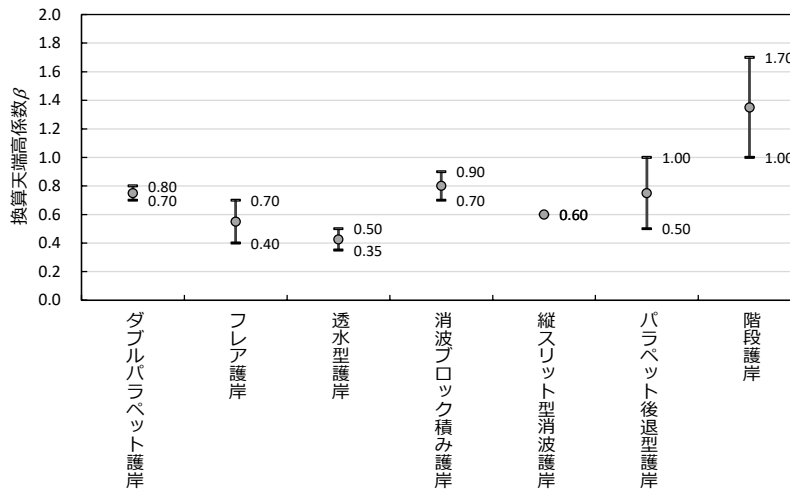


図 1.3.22 改良型護岸を含む各種護岸の換算天端高係数

(7) 吸い出し防止用のフィルター材の耐波安定性に関する研究

護岸や岸壁の埋立砂の吸い出し防止用捨石フィルターの耐波安定性を大型実験で調べたところ、均等係数の大きい捨石フィルターでは細粒成分の抜け出しが大きくなってフィルターとしての機能を果たせなくなり、その隙間から埋立砂が抜け出しやすくなることを明らかにした。

## 成 果 の 公 表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料:1編

・川口浩二・吉田勘一郎・田村仁(2023):全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS2021),港湾空港技術研究所資料 No.1407, 121p.

□発表論文(英文):1編

・Hirayama, K., Yamada, S., Haman, Y. (2022): Experimental study on wave reflection and transmission on a slit-type permeable breakwater in wave and current field reproduced in a basin, ISOPE-2022.

□発表論文(和文):6編

・川口浩二・吉田勘一郎・田中陽二(2022):2022年トンガ国海底火山噴火による東北太平洋沿岸での潮位変動の観測結果,土木学会論文集 B3(海洋開発),2022年78巻2号 p.1511-1516.

・平山克也・濱野有貴(2022):斜め波が浅く入射する直立壁に沿う波高分布と越波流量に関する考察,土木学会論文集 B3(海洋開発),2022年78巻2号 p.1433-1438.

・濱野有貴・平山克也・山田宗拓(2022):高潮時における岸壁上の越波浸水過程に関する平面模型実験とその再現計算,土木学会論文集 B2(海岸工学),2022年78巻2号 p.1601-1606.

・鶴田修己・鈴木高二朗・中澤祐飛・西ノ園憲人・豊田洋輔(2022):ダブルパラペット式護岸における排水性能と越波流量の関係に関する実験的検討,土木学会論文集 B2(海岸工学),2022年78巻2号 p.1613-1618.

・高橋武志・鈴木高二朗(2022):CADMAS-SURF3Dにおける自由表面境界流速の外挿手法の改善とその効果について,土木学会論文集 B2(海岸工学),2022年78巻2号 p.113-118.

・阿部洋士・高橋武志・中澤祐飛・鈴木高二朗(2022):改良型護岸の越波量低減効果に関する研究,土木学会論文集 B2(海岸工学),2022年78巻2号 p.1607-1612.

□表彰(論文賞、その他の表彰):3件

・田村仁・川口浩二・岩本匠夢(2022):Coastal Engineering Journal Awards, Coastal destruction and unusual wave spectra induced by Typhoon Faxai in 2019

・田村仁(2022):Coastal Engineering Journal Reviewer Award 2021

・田村仁・川口浩二・岩本匠夢(2023):JAMSTEC 中西賞, Coastal destruction and unusual wave spectra induced by Typhoon Faxai in 2019

□特許(出願、登録):0件

□その他(学会発表、講演等):0件

□現場や基準等に反映された研究成果:0件

研究開発課題 (2)産業と国民生活を支えるストックの形成

研究テーマ ① 国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組む。また、既存構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新等において限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策に資するため、インフラのライフサイクルマネジメント及び有効活用に関する研究開発等に取り組む。	人口減少が進み高齢化社会が進んでいく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する研究開発	人口減少が進み高齢化社会が進んでいく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ①国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する研究開発 ーデジタル化によるコンテナターミナルの国際競争力の確保のため、ICT等の導入やサイバーポートの活用による生産性の向上を数値シミュレーションにより評価する手法の拡張、デジタルツインに向けた研究と国際的な動向に合わせたシンガポール大学と連携した取組みを進める。等

研究の背景

我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組むこととしている。

当研究テーマの研究内容は、国際戦略港湾政策、首都圏空港機能強化(羽田空港整備)、インフラ輸出力など、下記研究目標に掲げる国際競争力に関連するサブテーマおよび構成し、研究所全体で包括的に研究開発を進めることとしている。

研究目標

国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する下記の研究開発を進める。

(1) 港湾・空港のオペレーション機能の強化に関する研究開発

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

(2) 港湾・空港の効率的・効果的な整備に資する技術開発

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

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

令和4年度の研究内容

(1) 定量的シミュレーションによる新型コンテナターミナル計画技術の提案

横浜港新本牧埠頭を対象として、ゲート、コンテナターミナル自動チェックシステムゲート、平行型蔵置場、GC、RTG、をレイアウト、計画取扱量 100 万 TEU/年を上回る 150 万 TEU/年として、AutoMod®によりシミュレーションし、RTG の臨時加増やトランシップ船の導入効果を評価した。

また、伊万里港を対象とした AI ターミナルシステムについて AutoMod®によりその効果の分析を試みた。

主な内容

- i) 平行型蔵置のレイアウトの想定
- ii) CONPAS 利用率 50%、コンテナダメージ自動チェックシステムゲート、オンドックの導入を条件
- iii) 初期レイアウトによるシミュレーション結果から、2 日目に RTG を 32 基から 42 基に加増
- iv) 全く別の要素として、トランシップ率 15%とし、全量内航船シフト(ターミナル内横持)の効果の評価
- v) 考察

(2) コンテナターミナルの運用支援技術の提案

内閣府官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)を活用して、画像処理とレーザー計測の双方のデータで判定するシステムを実用化することを目標とし、令和2年度までに基本システムが完了したため、令和3~4年度は国土交通省の現地実証試験(横浜港大黒T9、神戸港PC18)を支援した。

令和4年度の研究成果

(1) 定量的シミュレーションによる新型コンテナターミナル計画技術の提案

図 1.3.23 では、平行型蔵置では、ターミナルの年間取扱量目標値 100 万 TEU に合わせて RTG32 基で運用する場合、年間 150 万 TEU のペースになった場合は、RTG を 10 台加増することで効率が上げられる(前年度の垂直型蔵置では常に 48 基の運用が必要)。

RTG を加増しない場合は、15%がトランシップ船で外来トレーラーからシフトしても RTG の運用効率が上がらないことがわかる例である。

このように荷役中でもシミュレーションでその後の結果が推定できるため、計画を途中で変更することでより良い運用を導けることを示した。

AI が示すオペレーションに関する支援の結果を同時に予測できるため、将来のデジタルツインの在り方の一つとしてシミュレーションの有効利用を示した。



図 1.3.23 2日目にRTGを増増する例、15%がトランシップで内航船にシフトした例の比較評価

## (2) コンテナターミナルの運用支援技術の提案

横浜港大黒埠頭での現地実証試験においては、過年度の継続の中での改良点について、また博多港での現地実証試験においては、導入のための課題及び実証試験結果に対して、改善点の提案などにより技術支援を行った(図1.3.24)。

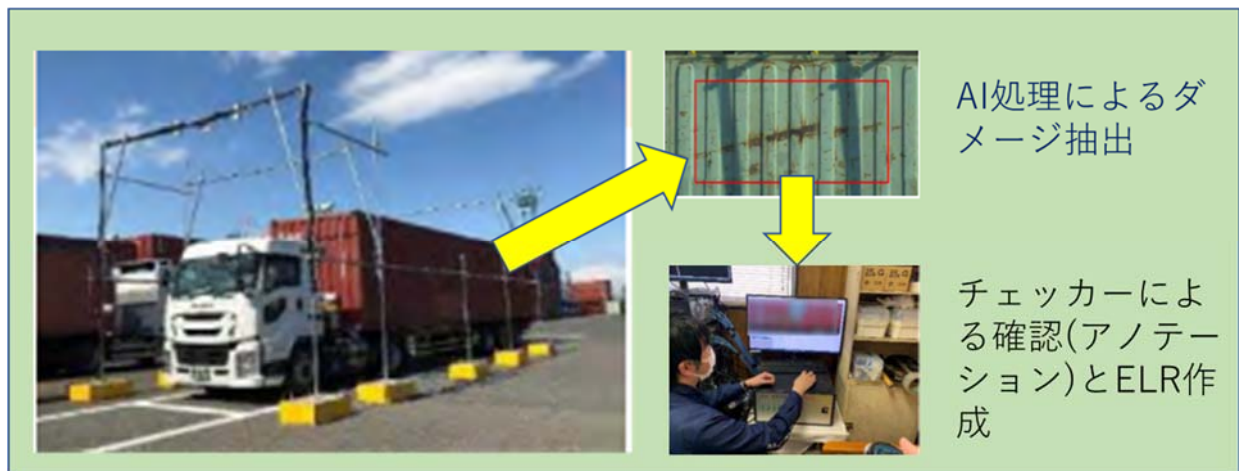


図1.3.24 コンテナダメージチェックシステムの実証イメージ

### 成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料:0編

□発表論文(英文):0編

□査読付き和文論文:1件

・小野憲司、荒牧健、岡村京子、吉江宗生; 日本の港湾におけるコンテナターミナル自動化の課題と展望、日本物流学会誌 No.30(2022年6月)

□表彰(論文賞、その他の表彰):0件

□特許(出願、登録):2件

- ・特許(登録) 人工知能を活用した包括的コンテナターミナルシステム及びオペレーション方法  
(特許第 7165902 号)
- ・特許(登録) 人工知能を活用したコンテナターミナルシステム(インドネシア特許)

□その他(学会発表、講演等):3件

- ・市川信、吉江宗生、高橋琢磨、高嶋玲子; 仮想の垂直蔵置型コンテナターミナルへの予約システム導入効果の比較について、土木学会令和4年度全国大会第77回年次学術講演会、2022.9.12-16
- ・Muneo Yoshie, “CAPACITY AND EFFICIENCY OF CONTAINER HANDLING”, The 20th ASEAN-Japan Port Technology Group Meeting 基調講演、2022.12.16
- ・吉江宗生:「コンテナをひとつずつ動かす」九州大学輸送・交通システム工学・講演、2022.10.26

□現場や基準等に反映された研究成果:0件

研究開発課題 (2)産業と国民生活を支えるストックの形成

研究テーマ ② インフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組む。また、既存構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新等において限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策に資するため、インフラのライフサイクルマネジメント及び有効活用に関する研究開発等に取り組む。	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②施設の長寿命化や新たな点検診断システムの開発などインフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発	人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ②施設の長寿命化や新たな点検診断システムの開発などインフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発 －港湾構造物の点検診断技術に関して、点検装置等の検討を行う。 －暴露試験によりコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性等の検討を行う。等

研究の背景

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

研究目標

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

令和4年度の研究内容

(1)インフラの点検診断システムに関する研究

① 港湾構造物の性能評価の高度化に向けた点検診断技術の導入・運用に関する検討

目視やセンサによる点検が困難な場合を想定した、微破壊または非破壊試験を活用した性能評価や劣化進行の予測を行うための検討を行った。

- ② 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  
 栈橋上部工点検用 ROV に改良を加え、水槽試験及び実海域試行を行った。

(2) インフラの長寿命化技術に関する研究

- ① 暴露試験によるコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性評価  
 長期暴露施設(昭和 41 年より稼働)や実環境での暴露試験で得られたデータをもとに、各種材料の電気防食特性、集中腐食メカニズムを検討した。
- ② 海洋環境下におけるサステナブルマテリアルの適用性評価  
 リサイクル材料(各種スラグ骨材、高炉スラグ微粉末、フライアッシュなど)の要求性能、耐久性の評価について検討した。
- ③ 港湾構造物におけるコンクリート工の生産性向上について検討

令和4年度の研究成果

(1) インフラの点検診断システムに関する研究

- ① 海洋構造物の性能評価の高度化に向けた点検診断技術の導入・運用に関する検討  
 長期モニタリングのうち鋼材の X 線残留応力測定技術を活用し、その適用性を評価した。アルカリシリカ反応(ASR)による膨張劣化が生じたコンクリート中の鉄筋で残留応力を測定し、センサでの計測値と比較したところ、総合的な結果が得られた(図 1.3.25)。また、昨年度までに構築した解析プラットフォームを用いて、ASR による膨張が橋脚柱部の耐震性能に及ぼす影響と補強効果について検討した(図 1.3.26)。

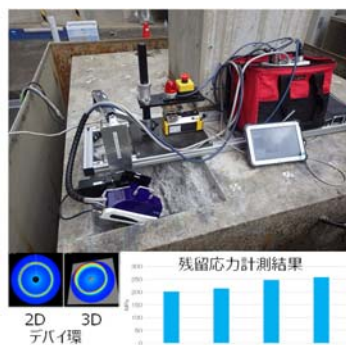


図 1.3.25 X 線残留応力の測定状況

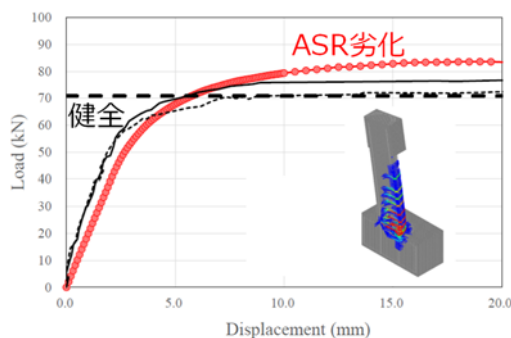


図 1.3.26 劣化による柱部材の耐力評価

- ② 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  
 定点保持機能を有する栈橋上部工点検用 ROV(Remotely Operated Vehicle)に、測位と撮影、衝突回避機能、調査経路の自動生成機能、自動誘導機能等を新たに構築した。この改良型の海上用 ROV(ASV: Autonomous Surface Vehicle)、及び水中用 ROV(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)を用いて水槽試験と実海域試験を実施した(図 1.3.27、28)。  
 この実験を元に、部分自動化にかかる課題を抽出し、自動化が困難な作業(陽極消耗量の計測)の無人化・自動化要素の検討を実施した。





図 1.3.27 海上用 ASV による実海域試験

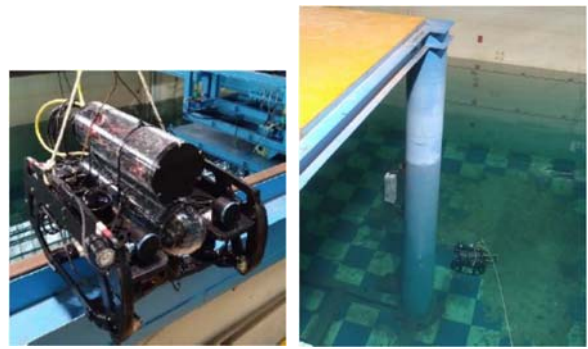


図 1.3.28 水中用 AUV による水槽試験

## (2) インフラの長寿命化技術に関する研究

### ① 暴露試験によるコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性評価

長期暴露施設や実環境での暴露試験により、コンクリートの塩害劣化予測手法、コンクリート中鉄筋の電気防食特性および鋼材の集中腐食メカニズム、LWL 付近の電気防食特性(図 1.3.29)等について検討した。また、各種木質材料の耐久性(図 1.3.30)に関するデータを取得した。

今後も新たな材料を含め、材料の耐久性に関するデータの取得、整理、解析を進め、事業に反映させていく予定である。

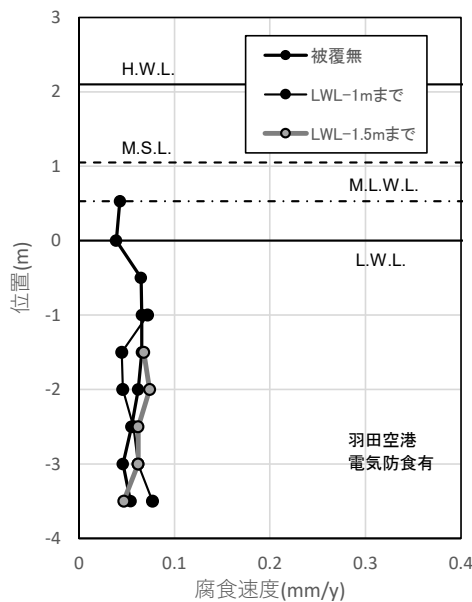


図 1.3.29 暴露試験による電気防食効果

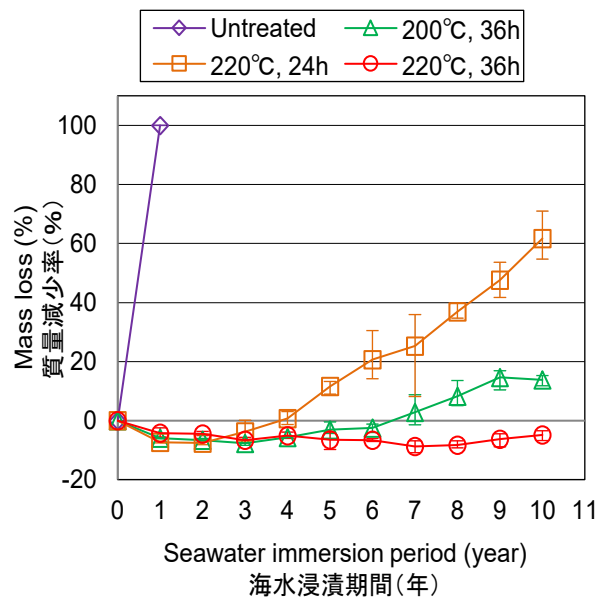


図 1.3.30 熱処理木材の海水浸漬時の質量減少率

### ② 海洋環境下におけるサステナブルマテリアルの適用性評価

リサイクル材料(各種スラグ骨材、高炉スラグ微粉末、フライアッシュなど)の要求性能、耐久性の評価に関する既往研究の統合に改めて着手した。リサイクル材料を用いたコンクリートの諸性能(施工性、耐久性等)の評価(図 1.3.31 及び図 1.3.32)、港湾コンクリート構造物(主に無筋)の要求性能の整理および長期耐久性の評価方法の整理、環境調和性の高い材料(特にリサイクル材料)の適用性の評価(これまでは「耐久性」の評価が中心であったが、それに加え、「環境負荷(CO<sub>2</sub> 排出量等)」も含めて、総合的に検討)等の検討を行った(図 1.3.33)。CO<sub>2</sub> 排出量の算定手法については、「港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン(発注段階編):国土交通省港湾局」に反映された。

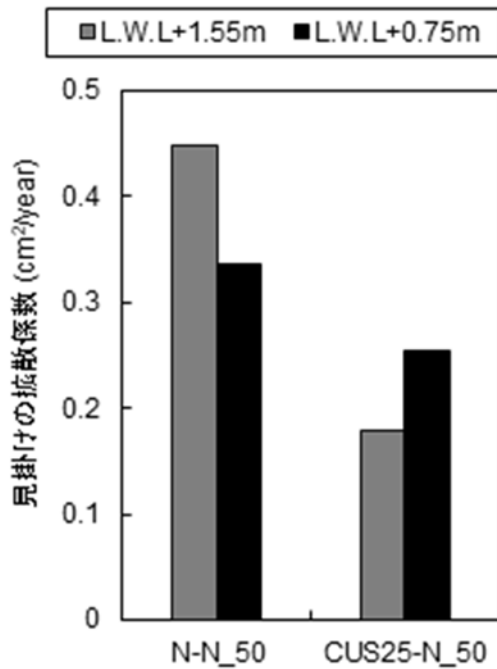


図 1.3.31 高密度リサイクル骨材を用いた暴露試験



図 1.3.32 暴露 1 年後の付着生物の状況

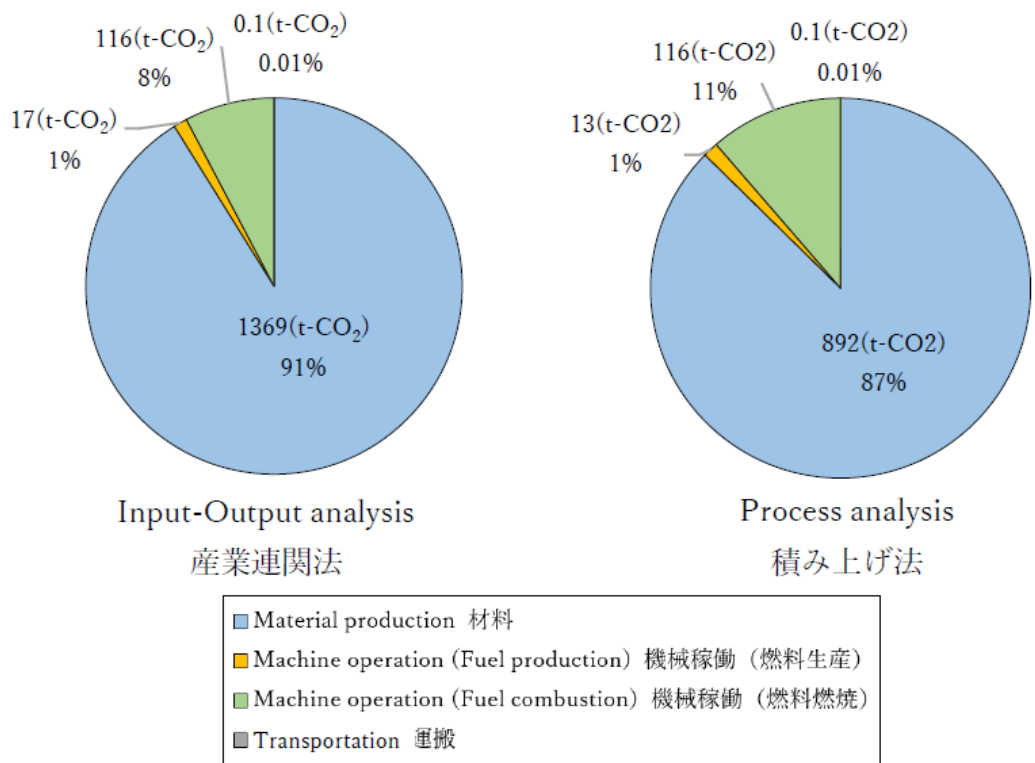


図 1.3.33 排出源別 CO<sub>2</sub> 排出量算定結果

③ 港湾構造物におけるコンクリート工の生産性向上に関する検討

PC 圧着接合によるフルプレキャスト栈橋構築工法(PC-Unit 栈橋工法<sup>®</sup>、図 1.3.34)について、各種実験結果を取りまとめ、設計手法を提案した。本工法の最大の特徴は、全ての部材を工場製作としている点であり、現場の省人化・省力化を追求した工法である。本工法による省人化効果の試算結果より、従来の現場打ちによる方法よりも約 6 割少ない労働者数で栈橋を構築が可能であることが示された。更

に、CO<sub>2</sub> 排出量についても比較しており、現場打ちによる方法よりも 2.5 割少ない CO<sub>2</sub> 排出量で栈橋構築が可能であると示された。CO<sub>2</sub> 排出量については、PC 構造の利点を最大に活かしており、鋼管杭の本数や使用するコンクリート量の削減が大きく影響している。

JIS A 5308 に 2019 年に追加されたスランプフロー管理のコンクリート(締固めを必要とする高流動コンクリート)を用いた実大の打込み実験を実施し、高密度配筋を有する部材への充填性(施工品質)の確認、バイブレータの稼働時間測定等を行った。同一の配筋条件で普通コンクリートによる打込みも実施し、締固めを必要とする高流動コンクリートとの比較を行った。その結果、施工品質に大きな差は確認されなかったが、バイブレータの稼働時間は 6 割以上低減(図 1.3.35)しており、打ち込み作業全体における作業員の移動距離も約 3 割低減した。このことから、締固めを必要とする高流動コンクリートの使用により、施工品質を落とすことなく大幅な施工性の向上が期待できると考えられる。

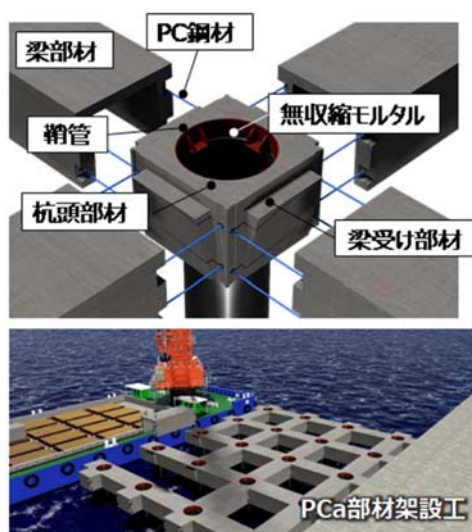


図 1.3.34 PC-Unit 栈橋工法<sup>®</sup>

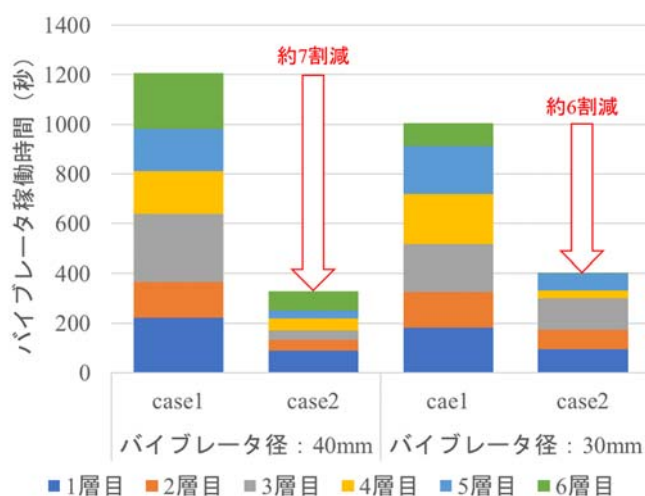


図 1.3.35 バイブレータ稼働時間の比較  
(case1: 普通コンクリート、case2: 高流動コンクリート)

### 成果の公表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料:1 編

・田中豊, 池野勝哉, 石塚新太, 田中智宏, 金枝俊輔, 栗原勇樹, 前嘉昭, 天谷公彦, 中村董, 川端雄一郎, 加藤絵万, 岩波光保: PC 圧着構造を用いたユニット式プレキャスト栈橋の開発—工場製作部材による省力化施工—, 港湾空港技術研究所報告, 第 61 巻, 第 1 号, 2022

□発表論文(英文): 14 編

・K.Koike, T.Yamaji, T.Nishida, K.Yonamine, A.Adachi, K.Nakagawa: Influence of transportation and pumping on the properties of concrete with large amount of copper slag fine aggregate in actual construction of port and harbor structures, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol.24, pp.1368–1377, 2022.5

・T. Miura, K. Sato, M. Fujishima, H. Nakamura, Y. Kawabata: Mechanism for reduction in compressive properties of cementitious materials in relation to internal crack patterns due to ASR and DEF expansion, Cement and Concrete Composites, Vol.128, 104441, 2022.

・N.R. Joshi, A. Matsumoto, S. Asamoto, T. Miura, Y. Kawabata: Investigation of the mechanical behaviour of concrete with severe DEF expansion focusing on internal damage propagation under various compressive loading scenarios, Cement and Concrete Composites, Vol.128, 104433, 2022.

・Y. Kawabata, C. Dunant, S. Nakamura, K. Yamada and T. Kawakami: Effects of temperature on expansion of concrete due to the alkali-silica reaction: A simplified numerical approach, Materiales de Construcción, Vol.72, Issue 346, e282, 2022.

- P. Chindasiriphan, H. Yokota, Y. Kawabata, P. Pimpakan: Combined Effect of Rice Husk Ash and Superabsorbent Polymer on Self-Healing Capability of Mortar, Construction and Building Materials, Vol.338, 127588, 2022
- Y. Kawabata, K. Yamada, T. Kawakami and Y. Sagawa: Environmental impacts on expansion of concrete due to alkali-silica reaction, Magazine of Concrete Research, Paper 2200158, 2022.
- T. Miura, S. Multon, Y. Kawabata: Influence of different expansion models on the anisotropy of ASR expansion under restraint evaluated by 3D-RBSM, Proceedings of 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete Volume II, pp.511-522, 2022
- K. Yamada, Y. Kawabata, T. Kawakami: Importance of geological diagnosis and a proposal of comprehensive management flow of concrete structures for alkali-aggregate reaction, Proceedings of 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete Volume II, pp.53-82, 2022
- M. Fujishima, T. Miura, Y. Kawabata, H. Nakamura: Influence of DEF expansion on mechanical behavior under uniaxial compressive stress evaluated by Digital Image Correlation, Proceedings of 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete Volume II, pp.161-172, 2022
- K. Yamada, Y. Kawabata, T. Kawakami, Y. Sagawa and S. Ogawa: AW-CPT as an ideal laboratory potential expansion test for ASR with constant alkali content and maximized water supply and the design of an alkali solution for wrapping, Proceedings of 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, pp. 877-886, 2021
- Y. Kawabata, K. Yamada, S. Ogawa and Y. Sagawa: Environmental impacts on ASR expansions –modeling, field exposure and alkali-wrapped concrete prism test, Proceedings of 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, pp. 213-224, 2022
- Y. Kawabata, C. Dunant, K. Yamada and T. Kawakami: Influence of temperature on expansion due to alkali-silica reaction and numerical modeling, Proceedings of 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, pp. 225-236, 2022
- K. Yamada, Y. Kawabata, T. Kawakami and Y. Sagawa: Determining the pH of concrete pore water for alkali-wrapped considering alkali dissolution from aggregate, Proceedings of 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, pp. 867-876, 2022
- KITA ,T., TANAKA, T. and SUZUKI, H. : "Proposal and Prototyping of Autopilot External Module for Underwater Robots.", Paper presented at the The 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference, Shanghai, China, June 2022.

□発表論文(和文):10編

- 松永正弘, 山田昌郎, 小林正彦, 神林徹, 石川敦子:各種処理法でアセチル化したスギ材の海洋暴露評価, 木材保存, Vol.48, No.3, pp.114-128, 2022.5.
- 江俊頤, 加藤佳孝, 加藤絵万, 高橋駿人:鉄筋周囲のコンクリート性状が各種腐食速度測定結果に与える影響の実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.700-705, 2022.
- 高橋駿人, 藤田和哉, 加藤佳孝, 加藤絵万:気象情報と近赤外分光センサを利用したコンクリートの水分蒸発特性の非破壊測定方法の一検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, pp.364-369, 2022.
- 藤田和哉, 加藤絵万, 高橋駿人, 加藤佳孝:気象条件がコンクリートの乾燥に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, pp.484-489, 2022.
- 池野勝哉, 中村董, 川端雄一郎, 金枝俊輔, 岩波光保:プレキャスト棧橋工法の建設時における CO<sub>2</sub> 排出量の比較検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.78, No.2, pp.I\_301-I\_306, 2022.
- 田中豊, 池野勝哉, 加藤絵万, 川端雄一郎, 岩波光保:プレキャスト化した棧橋上部工の杭頭接合に関する交番載荷実験および解析的考察, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.22, pp.297-302, 2022.

- ・藤田和哉, 加藤佳孝, 加藤絵万, 高橋駿人, 李博研: 非飽水状態のセメント硬化体中の塩化物イオンの移動に関する実験的検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.22, pp.129-132, 2022.
- ・喜多司, 田中敏成, 鈴木博善: 車輪付き水中ロボットを用いた水中構造物点検のための移動手法の提案, 土木学会論文集 B3(海洋開発), 78 巻, 2 号, p. L13-L18, 2022.
- ・田中敏成, 喜多司, 野上周嗣: 棧橋下における点検ロボットの定点保持技術の開発, 第 20 回建設ロボットシンポジウム論文集, 2022.
- ・喜多司, 田中敏成, 鈴木博善: 鋼管杭水中部の外観確認を目的とした水中ロボットの自動航行の検討, 第 20 回建設ロボットシンポジウム論文集, 2022.

□表彰(論文賞、その他の表彰): 3 件

- ・土木学会インフラメンテナンスチャレンジ賞: 棧橋上部工を対象とした点検ロボットと診断支援システムの開発: 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所
- ・日本材料学会第 22 回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム優秀論文賞: プレキャスト化した棧橋上部工の杭頭接合に関する交番載荷実験および解析的考察, 田中豊
- ・土木学会吉田賞論文部門: 屋外における環境作用がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する共通暴露試験と数値解析による検討, 蓑輪 圭祐, 下村 匠, 川端 雄一郎, 藤井 隆史, 富山 潤

□特許(出願、登録): 3 件

- ・特許(出願) 超イオン伝導体を液絡に用いる高耐久基準電極
- ・特許(登録) 杭支持構造物及びその構築方法(特許第 7178050 号)
- ・特許(登録) 高耐粉状化性の裏込めグラウトとその裏込めグラウト材(特許第 7054109 号)

□その他(学会発表、講演等): 12 編

- ・喜多司, 田中敏成, 鈴木博善: 港湾構造物点検用水中ロボットの自動航行についての検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 令和 4 年 11 月 第 35 号, 2022.
- ・小林正彦, 松永正弘, 神林徹, 石川敦子, 山田昌郎: 海洋環境における木材・プラスチック複合材(混練型 WPC)の劣化解析, 森林総合研究所研究報告, Vol.21-No.2 (No.462), pp.113-128, 2022.6.
- ・原将之, 橋本永手, 山路徹, 小林浩之, 星野雅彦, 浜田秀則: コンクリート試験体を用いた干満部コンクリート中鉄筋のマクロセル腐食に関する検討, 土木学会全国大会年次学術講演会, Vol.77, V-170, 2022.9.
- ・新村亮, 野島省吾, 山路徹, 大即信明: 海水練り鉄筋コンクリートの遠隔離島における暴露試験(その 2), 土木学会全国大会年次学術講演会, Vol.77, V-423, 2022.9
- ・KITA, T. and TANAKA, T.: Prototyping of Automatic Navigation of Underwater Robot for Visual Inspection, Underwater Technology 2023
- ・山路徹: 海洋コンクリート構造物に長期間適用された有機系被覆の遮塩性, 塗装技術, Vol.61, No.6, pp.93-102, 2022.5.
- ・山路徹, 西田孝弘: 異なる試験条件(材料, 暴露環境, 試験方法)による塩化物イオン拡散性状の比較~海外と国内の比較例~, セメント・コンクリート, No.905, pp.36-44, 2022.7.
- ・原将之, 橋本永手, 山路徹, 小林浩之, 曾根幸宏, 浜田秀則: 干満部に位置するコンクリート中鉄筋の腐食および電気防食特性, 材料と環境討論会講演集, Vol.69, pp.291-294, 2022.9.
- ・山路徹, 坂田憲治: 定期点検結果を基にした港湾鋼構造物の電気防食の維持管理に関する一考察, 材料と環境討論会講演集, Vol.69, pp.281-284, 2022.9.
- ・山路徹, 西田孝弘, 橋本永手, 川瀬義行, 志鶴真介, 一瀬拓也, 今井篤実, 小林厚史, 吉田倫夫: ペโตรラタム被覆防食工の劣化メカニズム及び耐久性に関する検討, 防錆管理, Vol.67, No.1, pp.16-23, 2023.1.

- ・小林正彦, 松永正弘, 前田啓, 神林徹, 石川敦子, 山田昌郎: 木材・プラスチック複合材(混練型 WPC)に関する海水飛沫帯暴露試験結果と促進耐候性試験結果の比較, 第 72 回日本木材学会大会研究発表要旨集, I15-P-02, 2022. 3.
- ・松永正弘, 山田昌郎, 石川敦子, 小林正彦, 前田啓, 神林徹: 15 ヶ月間の海洋環境暴露による化学改質木材の物性変化, 日本木材保存協会第 38 回年次大会研究発表論文集, pp.16-17, 2022 年 5 月

□現場や基準等に反映された研究成果: 3 件

- ・CO<sub>2</sub> 排出量算定手法が「港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン(発注段階編): 国土交通省港湾局」に反映された。
- ・既存ケーソンの補強の設計・施工に関する研究成果について, また, 鋼構造物の防食に関する研究成果について, 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の部分改訂時に反映された。
- ・鋼構造物の防食とその維持管理に関する研究成果について, 「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル(2022 年版)」の改訂時に反映された。

研究開発課題 (2)産業と国民生活を支えるストックの形成

研究テーマ ③ インフラの有効活用に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
我が国の産業の国際競争力を確保し、国民生活を支える港湾・空港等の効率的かつ効果的な整備に資するため、研究所は港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組む。また、既存構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新等において限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策に資するため、インフラのライフサイクルマネジメント及び有効活用に関する研究開発等に取り組む。	人口減少が進み高齢化社会が進んでいく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③施設の効率的な更新、建設発生土の有効利用、海面廃棄物処分場の有効活用などインフラの有効活用に関する研究開発	人口減少が進み高齢化社会が進んでいく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、既存インフラの有効活用や施設自体の長寿命化にも留意しつつ、インフラの維持、更新及び修繕をいかに効率的かつ効果的に実施していくかに重点を置いた取組が求められている。 このため、以下の研究開発を進める。 ③施設の効率的な更新、建設発生土の有効利用、海面廃棄物処分場の有効活用などインフラの有効活用に関する研究開発 －コアレス地盤調査法の開発に向けて基礎的な研究を行う。 －固化改良体の不良箇所が改良地盤全体の強度に及ぼす影響について数値解析により検討を行う。等

#### 研究の背景

物流量の増大や船舶の大型化への対応、空港機能の拡張、また外力増大などによる既存不適格施設への対応など、既存インフラを機能向上させて積極的に有効活用する要請が強くなっている。

また、産業廃棄物や一般廃棄物を受け入れる海面廃棄物処分場などについて、高度有効利用を図ることが社会要請となっている。

一方、航路浚渫土砂を受け入れる土砂処分場の用地確保が困難になっており、土砂処分場の長寿命化が求められている。

#### 研究目標

既存インフラの機能向上、更新や用途変更を効率的に実施できる技術、建設発生土などを減容化や有効利用できる技術、海面廃棄物処分場を有効活用できる技術を開発する。

#### 令和4年度の研究内容

(1)既存施設の改良・更新技術に関する研究

栈橋の性能規定の高精細化のための栈橋構造の破壊過程の解明に向けて、将来的な栈橋の性能設計のコンセプト検討及び性能照査方法の課題抽出を行った。

(2) 建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

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

また、固化改良体の不良個所が改良地盤全体の強度に及ぼす影響の評価に関する検討、電気浸透脱水を用いた浚渫土の減容化に関する試験を実施した。

令和4年度の研究成果

(1) 既存施設の改良・更新技術に関する研究

① 栈橋の性能規定の高精細化のための栈橋構造の破壊過程の解明

栈橋の要求性能は、使用性・修復性・安全性にカテゴリ化されるが、現状では残留変位量や塑性ヒンジの発生箇所・個数といった性能規定が採用されており、実際的な使用可否・修復可否に基づく規定となっていない。栈橋の実際的な使用可否・修復可否を検討するためには、栈橋の構成部材の降伏後、塑性化後の挙動を含む栈橋構造全体の破壊過程を詳細に把握する必要がある。

今年度は、数値解析により、杭が限界曲率に達した後の耐力低下の影響評価と許容できる曲率の設定方法の検討、杭と上部工の接合部のモデル化方法の検討等を行った。既存の数値解析モデルでは、杭の曲げモーメント $M$ と曲率 $\phi$ の関係をバイリニア型(図 1.3.36 参照)で設定しているため、杭が限界曲率 $\phi_u$ (局所座屈等により曲げモーメントの低下が始まる曲率)に達した後も曲げモーメントが維持されることとなり不合理である。そこで図 1.3.36 中に示すような、 $M$ が最大値 $M_{max}$ の 95%まで低下する曲率 $\phi_{95}$ や、降伏応力時の曲げモーメント相当まで低下する曲率 $\phi_{dMy}$ などを許容できる最大の曲率として用いることを検討した。これにより栈橋の海側の杭では板厚を 1.5 倍程度まで増厚する必要が生じるものの、陸側の杭については現状と同程度の杭で十分に成立することが確認できている。

来年度以降、引き続き感度分析を行い、手法の一般化・具体的な照査方法の検討を進める計画である。

一方、杭と上部工の接合部は、従来は剛結としてモデル化されているものの、実施工で完全な剛結状態を確保することは難しいことから、回転ばねを使ったモデル化による影響を調査した。解析結果の一例を図 1.3.37 に示す。図からわかるとおり、回転ばねをある程度やわらかいものに設定すると、栈橋天端の変位が大きくなるとともに振動の周期が長くなる傾向が見られる。しかしながら、このときの杭に発生する曲率を確認すると、板厚を低減できるほどの差は生じていないことが確認された。

来年度以降、引き続き様々な条件で解析を行い回転ばねの感度を確認するとともに、過去に実施した模型実験結果等を参考に適切な回転ばねの設定方法を検討する計画である。

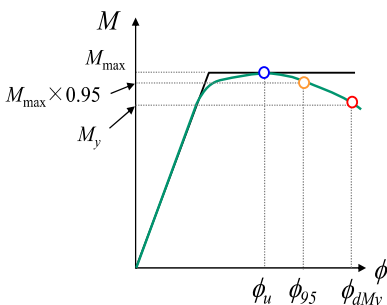


図 1.3.36 杭の $M$ - $\phi$ 関係のモデル

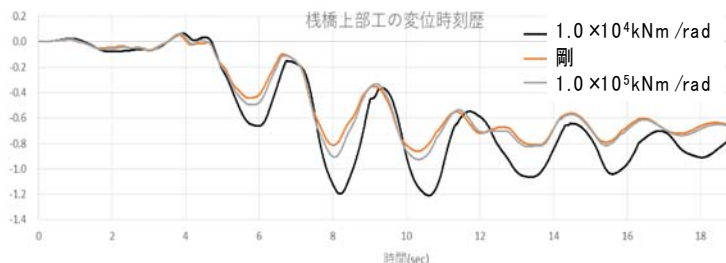


図 1.3.37 栈橋天端の変位時刻歴

(2) 建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

① コアレス地盤調査法の開発とデジタル地盤工学の確立に向けた基礎的研究



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

他方、砂礫地盤のように大粒径の粒子を多く含む地盤では、コアが不均質であることも多く、構成粒子の形状や堆積構造といった地盤の微視構造特性が地盤全体の力学特性やそのばらつきに有意な影響を与える。このような課題の解決に資する地盤調査技術の開発や地盤評価法の高度化が求められる。本研究では、原位置地盤内でコアを X 線 CT スキャンする「原位置デジタルサンプリング法」の開発と、得られた CT 画像をもとに地盤の工学特性を評価する一連の試験、解析技術の開発を行い、CT 画像をはじめとするデジタルデータを活用した地盤評価法の高度化、新たな地盤調査法の確立を目指す。

本年度には、過年度試作した世界でも先駆的な装置を用いて、礫材で作製されたモデル地盤を対象とした実証試験を実施し、原位置デジタルサンプリング法における以下の一連の作業を行った。

- ・地盤の掘削 ⇒ 図 1.3.38 及び図 1.3.39

サンプリングチューブを貫入し、地中で撮影する地盤コアを保護する。

その後、CT スキャナを内蔵した掘削マシンを地盤中に貫入する。

- ・地盤内での CT 撮影・画像取得 ⇒ 図 1.3.40

掘削マシンを停止し、内蔵された CT スキャナを起動する。

サンプリングチューブ周りを 360 度回転し、地盤コアをスキャンする。

得られた画像データは、地上の PC に転送されるほか、CT スキャナ内の内蔵 PC に保存される。

- ・画像処理による地盤の可視化 ⇒ 図 1.3.41

得られた画像データ(すなわち透視画像)を再構成し、CT 画像(すなわち断層画像)を作成する。

CT 画像に対して、ノイズ除去、二値化、異なる深さでの画像セットの接続を行う。

- ・礫粒子のモデル化(数値解析用粒子形状モデルの作成) ⇒ 図 1.3.42

画像処理された CT 画像に含まれる個々の不規則形状粒子を個別要素法(DEM)や3D プリントに使用可能なデータ形式に変換する。

上記の実証試験より、原位置デジタルサンプリング法の実現可能性が示された。



図 1.3.38 装置設置



図 1.3.39 掘削マシンの貫入

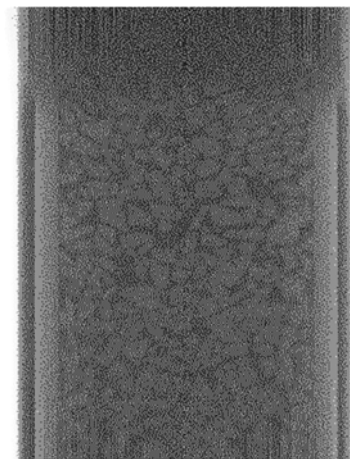


図 1.3.40 地中での CT スキャン  
結果

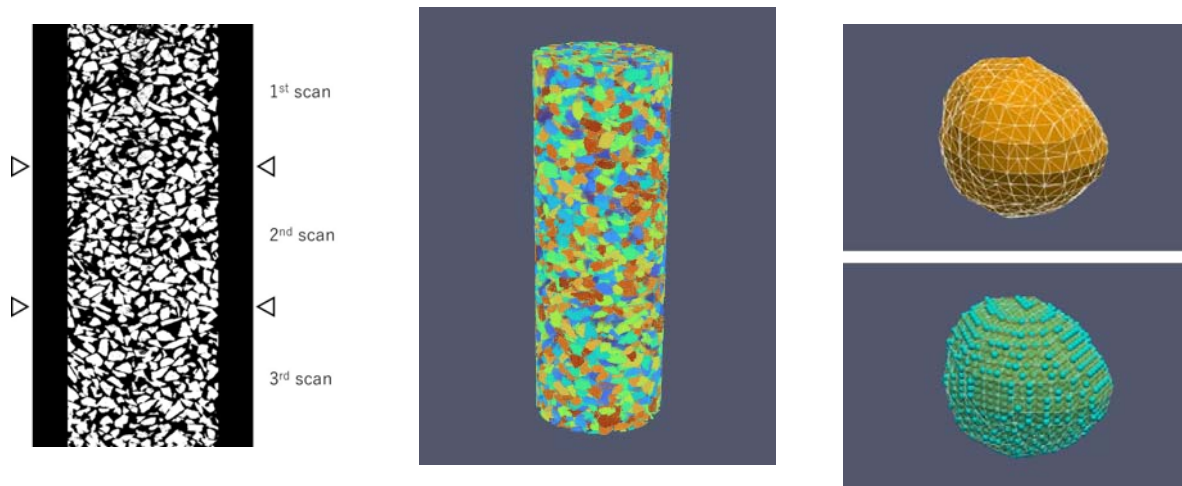


図 1.3.41 a) CT 画像処理後  
(ノイズ除去、二値化、画像接続)

図 1.3.41 b) 粒子のセグメント化、  
ラベル化

図 1.3.42 不規則形状粒子モデル  
作成  
(数値解析や3D プリント用)

② 固化改良体の不良個所が改良地盤全体の強度に及ぼす影響の評価

健全部の強度と弱部の強度の比、弱部の大きさ、弱部の供試体内の位置をパラメータとして、弱部が一軸圧縮試験時の応力ひずみ関係に及ぼす影響を数値解析および室内試験で検討した。その結果、固化改良体が未改良部を弱部として含む場合、破壊ひずみはあまり増加せず、強度のみ低下するクラック型の乱れと同じ影響を示すことが分かった。以上のことから、施工管理で強度確認のための一軸圧縮試験を行った場合、他に比べて破壊ひずみが増加せず、強度が小さい供試体が見られる場合は、その程度に応じた未改良部を想定し、改良地盤全体として性能を評価するなどの対応が考えられる。さらに、未改良部を弱部として含む改良地盤全体の支持力について数値解析的に検討した(図 1.3.43)。その結果、一軸試験と同様、未改良部が分散することによってその影響が小さくなる傾向が見られた(図 1.3.44)。また、内部の塑性領域の分布は大きく異なっており、単一の未改良部が大きいほど荷重が周辺地盤に伝達せず、破壊が局所的になることが分かった(図 1.3.45)。

検討対象の地盤構成や改良体寸法、想定される荷重の大きさや範囲を用いて同様の計算を行うことで、支持力に対する未改良部の影響をある程度想定することが可能であると考えられる。

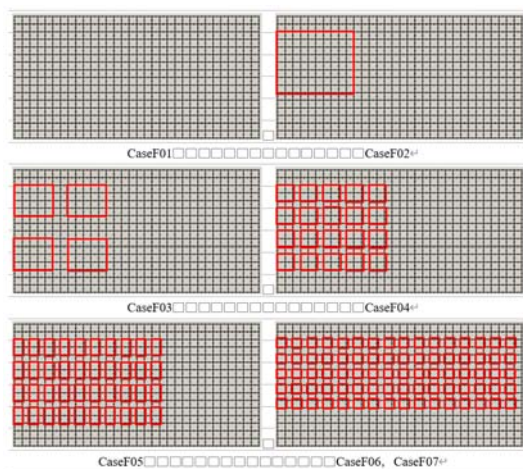


図 1.3.43 支持力計算の各ケースのメッシュ

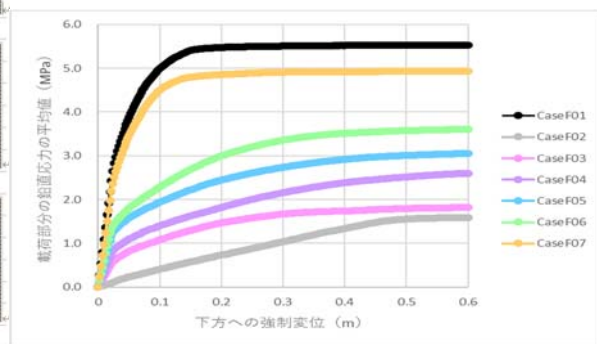


図 1.3.44 荷重－変位曲線

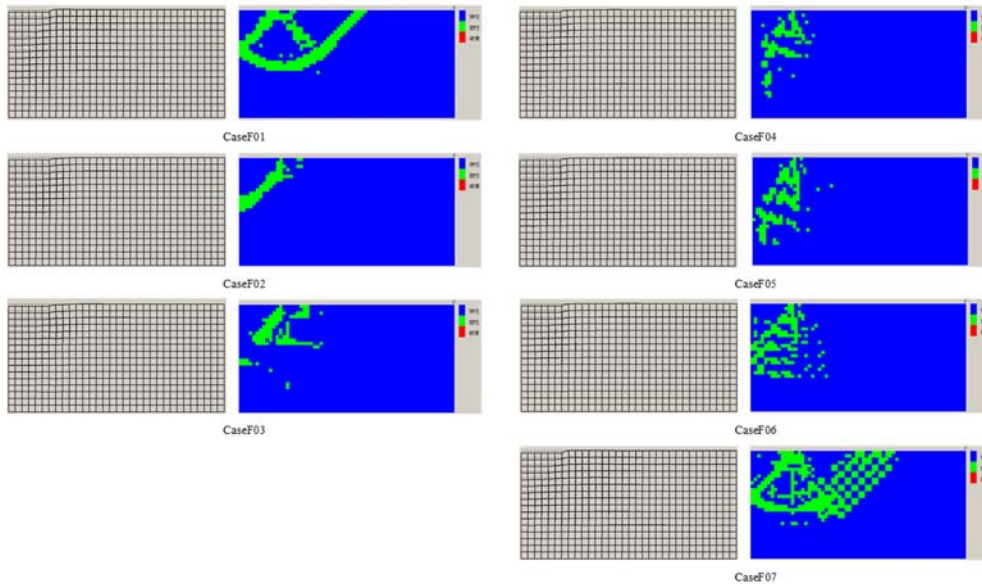


図 1.3.45 塑性領域(緑色の要素)

③ 電気浸透脱水を用いた浚渫土の減容化に関する研究

電気浸透による圧密脱水効果について検討するため、電気浸透圧密試験を実施可能な試験装置を製作し、カオリン粘土及び東京湾粘土を用いた電気浸透圧密試験及び標準圧密試験を実施した(図 1.3.46)。その結果、供試体の初期電気抵抗が大きいカオリン粘土では、0.01A の定電流条件で電圧が 75V に到達するまでに約 15 分を要し、このとき生じた体積変化量は載荷重 20kPa 程度で生じる体積変化量に相当することが分かった(図 1.3.47、図 1.3.48)。一方、東京湾粘土では、0.1A の定電流条件で電圧が 75V に到達するまでに約 3 時間を要し、載荷重 80kPa 程度で生じる体積変化が電気浸透圧密で生じることが分かった。

以上のことから、東京湾粘土のように間隙水が海水であるために供試体の初期電気抵抗が小さい材料を減容化の対象とする場合、電気浸透脱水が生じる電圧が加わるまでに時間を要するため、地盤内の電圧が短時間で上がるようにするための対応が必要であると考えられる。

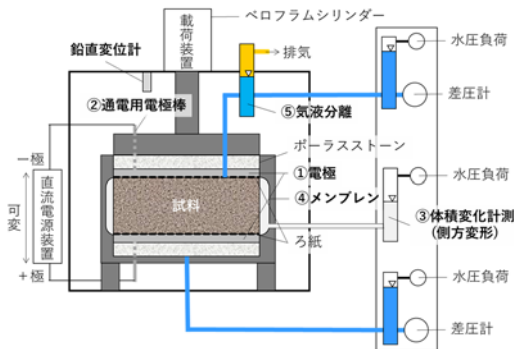


図 1.3.46 電気浸透圧密試験装置

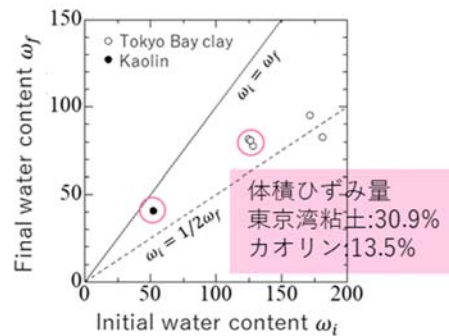
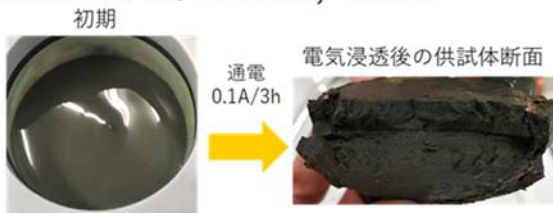


図 1.3.47 電気浸透圧密による含水比変化

東京湾粘土 ( $\omega_i=171.8\%$ ,  $\omega_f=94.9\%$ )



カオリン ( $\omega_i=100\%$ ,  $\omega_f=58\%$ )

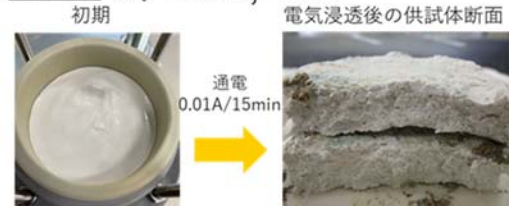


図 1.3.48 電気浸透圧密前後の供試体性状の違いの様子

## 成 果 の 公 表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料:2編

- ・杉山友理, 高野大樹, 森川嘉之, 電気浸透を用いた浚渫土砂減容化手法に関する研究—粘性土に対する電気浸透の適用性に関する検討—, 港湾空港技術研究所資料, No.1404, 2022.
- ・田渡竜乃介, 水谷崇亮, 野津厚, 小濱英司, 大矢陽介, 近藤明彦, 加藤絵万, 川端雄一郎, 田中豊, 竹信正寛, 松村聡, 浜本尚拓, 稲田滉平. 棧橋の偶発状態に対する耐震性能照査法の高度化に関する課題の整理. 港湾空港技術研究所資料, No. 1405, 2022.

□発表論文(英文):2編

- ・ Lin, S., Morino, R., Kurogome, I., Miyatsukasa, T., Yamashita, K., Mizutani, T., and Kobayashi, G. Dynamic load test and rapid load test on two large diameter steel pipe piles with double crossed steel ribs inside the pile bottom section. 11th International Conference on Stress Wave Theory and Design and Testing Methods for Deep Foundations (SW2022), Rotterdam, 2022.
- ・Keita Nakamura, Satoshi Matsumura, Takaaki Mizutani: Taylor particle-in-cell transfer and kernel correction for material point method, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Volume 403, Part A, 2023.

□発表論文(和文):4編

- ・杉山友理, 高野大樹, 森川嘉之, 松尾康成, 原田翔太: 前面を固化改良した鋼板矢板の受動抵抗発現メカニズムに関する解析的検討, 土木学会論文集 B-3(海洋開発), Vol.78, No.2, pp. I-1-I-1, 2022.
- ・堤 彩人, 山本 敦, 甲斐 雅比呂, 高野 大樹, 高橋 英紀, 榊原 淳一, P波減衰トモグラフィ探査法を用いた薬液改良地盤の出来形管理手法に関する検討, 土木学会論文集 B-3(海洋開発), Vol.78, No.2, pp. I805-I810-, 2022.
- ・高野大樹, 杉山友理, 新部貴理, 長谷川信介, 櫻井健, 竹花和浩, 比抵抗トモグラフィを用いた薬液注入のリアルタイムモニタリングに関する検討, 土木学会論文集 B-3(海洋開発), Vol.78, No.2, pp. I-781-I786-, 2022.
- ・森拓人, 水谷崇亮, 西村真二. パイプロハンマ工法における施工中の地盤抵抗測定手法の開発. 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 78, No. 2, pp. I.181-I.186, 2022.

□表彰(論文賞、その他の表彰):0件

□特許(出願、登録):1件

- ・特許(出願) 土減容化試験装置及び該土減容化試験装置を利用する電気浸透圧密工法

□その他(学会発表、講演等):3件

- ・杉山友理, 高野大樹, 森川嘉之, 電気浸透脱水を用いた浚渫土の減容化に関する検討, 第57回地盤工学会研究発表会講演集, 新潟, No. 80-8-3-05, 2021.
- ・長谷川, 松村, 高野: 分級構造を有する砂質土の強度変形特性(その1), 第57回地盤工学研究発表会, 20-4-2-05, 2022.
- ・松村, 長谷川, 高野: 分級構造を有する砂質土の強度変形特性(その2), 第57回地盤工学研究発表会, 20-4-2-06, 2022.

□現場や基準等に反映された研究成果:0件

研究開発課題 (3)海洋権益の保全と海洋の利活用

研究テーマ ① 海洋の開発と利用に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海洋権益の保全のためには、本土から遠く離れた特定離島(南鳥島、沖ノ鳥島)における、排他的経済水域(EEZ)及び大陸棚の保全や利用を支える活動拠点の整備が必要である。研究所は、これら活動拠点の整備や、この海域も含めた我が国のEEZ等における海洋再生エネルギー開発及び海洋の利用促進のため、港湾整備に係る技術を活用して海洋の開発と利用に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>海洋権益の保全と海洋の利活用のためには、本土から遠く離れた遠隔離島等における活動拠点の整備が必要であり、また海中を含む海洋での様々なインフラ整備技術が不可欠であることを踏まえ、海洋開発の拠点形成のための港湾をはじめとするインフラ整備や地形保全、海洋資源や海洋再生エネルギーの調査・開発に重点を置いた取組が求められている。</p> <p>このため、これまで研究所が蓄積してきた波浪や海底地盤、港湾構造物等に関する知見を総合的かつ最大限に活用して、遠隔離島での港湾整備や海洋における効果的なエネルギー確保など海洋の開発と利用に関する研究開発を進める。</p>	<p>海洋権益の保全と海洋の利活用のためには、本土から遠く離れた遠隔離島等における活動拠点の整備が必要であり、また海中を含む海洋での様々なインフラ整備技術が不可欠であることを踏まえ、海洋開発の拠点形成のための港湾をはじめとするインフラ整備や地形保全、海洋資源や海洋再生エネルギーの調査・開発に重点を置いた取組が求められている。</p> <p>このため、これまで研究所が蓄積してきた波浪や海底地盤、港湾構造物等に関する知見を総合的かつ最大限に活用して、遠隔離島での港湾整備や海洋における効果的なエネルギー確保など海洋の開発と利用に関する研究開発を進める。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>－CADMAS-SURF/3Dに基づく浮体動揺解析モデルの動揺減衰機構の再現性を向上させて、長周期波に対する荷役稼働率を算定し、一方向波による船体動揺解析を用いた従来法と比較考察する。</li><li>－音響ビデオカメラを用いた作業中の水中可視化実験を実施するとともに、ICT潜水における基礎捨石マウンド天端面・法面での計測方法について検討する。</li><li>－洋上風力発電施設の静的応答特性を調査し、過年度までに得られた動的応答特性と合わせて、洋上風力発電施設の合理的・効率的な荷重設定手法について検討する。</li><li>－南海トラフに暴露していた鉄筋コンクリートはり試験体を回収・分析し室内実験結果との比較</li></ul>

		を行うとともに、深海でのインフラ構築に適した材料の選定などを行う。等
--	--	------------------------------------

### 研究の背景

海洋の利用や開発については、1960年代からその重要性が指摘され、様々な取り組みが行われてきたが、その進展は必ずしも十分ではない。その原因の1つは、海洋には拠点となるインフラがほとんどないことである。そのため、南鳥島や沖ノ鳥島等の遠隔離島に海洋拠点港湾を整備し、海洋の利用・開発を促進する必要がある。

これらの離島は通常の港湾とは異なる厳しい波浪環境や施工環境にあり、船の接岸や荷役、施工を円滑に行うにはさらなる技術開発が必要になる。

そこで、これまでに蓄積してきた波浪、海底地盤、港湾構造物や港湾工事等に関する知見を最大限に活用し、遠隔離島の港湾整備を推進するとともに、海洋の利用・開発を促進する。

具体的には、孤立リーフ海域の波浪場を解明するとともに、新たな係留システムを開発する。

また、音響ビデオカメラの小型軽量化、海洋の利用開発に関する技術開発を行う。

### 研究目標

厳しい波浪条件や複雑な地形を有する離島でも適用可能な、港湾建設、国土の保全および利用のための新たな技術開発を行う。

また、港湾分野で蓄積された技術を活用して、海洋インフラ整備を支援し、海洋の利用・開発を促進する。

### 令和4年度の研究内容

#### (1) 離島港湾の静穏度向上策に関する研究

CADMAS-SURF/3D に基づく浮体動揺解析モデルの高精度化をさらに進め、長周期波に対する荷役稼働率の算定に適用した。

#### (2) 船舶の自動離着岸のための防舷材システムの開発

前年度までに実施した要素実験および数値計算の成果を考慮し、フェリー用岸壁を対象とした防舷材システムの概略図を作成した。

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

表面形状等を変化させた数種類の試験体を護岸に設置して、海生生物の付着状況のモニタリングを継続した。

また、サンゴのリスクニングに用いる基板素材について、サンゴの被覆メカニズムの分析を実施した。

#### (4) マシンガイダンス技術を用いた水中施工機械の多機能化に関する研究

水中マシンガイダンス・遠隔操作支援システムの実現場適応の検証を継続し、実現場試験による運用時の課題点の整理や遠隔操作インターフェースの改善点の抽出を行った。

#### (5) ICT 施工への音響画像システムの適用に関する検討

音響ビデオカメラを用いた浚渫直後における海底状況の判定方法を考案した。

また、マルチビームデータクラウド(AIMS)において、AIノイズ除去フィルターの高度化とクラウドへの搭載を行った。

さらに、ICT 潜水については、基礎捨石マウンドの天端面等での海底設置式ソナーを用いた測量法を提案した。

#### (6) 波と風の同時作用下における洋上風力発電施設の荷重設定手法に関する研究

FAST を用いた荷重連成解析により、様々な風と波を同時に受ける洋上風力発電施設の動的応答特性について調べ、洋上風車の動的応答を簡易に推定できる静的解析手法を提案した。

### (7) 深海におけるインフラ材料の力学特性と耐久性の評価

高水圧下におけるコンクリートの圧縮破壊過程について検討した。

また、南海トラフに暴露していた鉄筋コンクリートはり試験体を回収・分析し、コンクリート部材の接合実験を実施した。

## 令和4年度の研究成果

### (1) 離島港湾の静穏度向上策に関する研究

CADMAS-SURF/3D に基づく浮体動揺解析モデルにおける造波方法(ブシネスクモデルとの接続方法)を改良して、船体周りの二方向波浪場の再現性を向上させるとともに、長周期波に対する係留船舶の動揺量及び荷役稼働率を算定し、一方向波に基づく従来法との違いについて考察した(図 1.3.49、図 1.3.50)。

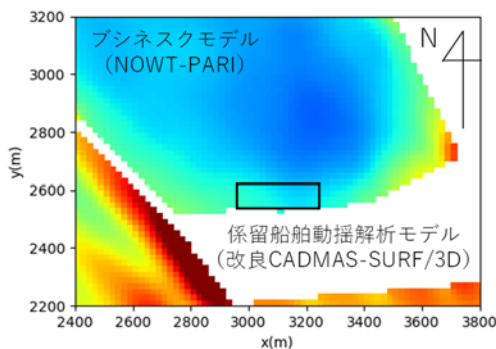


図 1.3.49 長周期波の波高分布(外港地区岸壁)

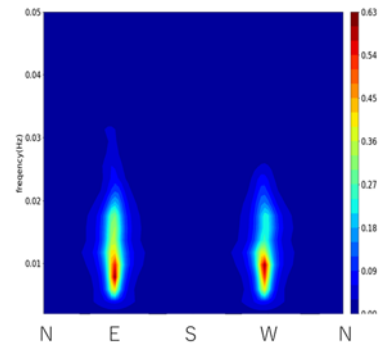


図 1.3.50 岸壁前面での長周期波の方向スペクトル

### (2) 船舶の自動離着岸のための防舷材システムの開発

前年度までに実施した吸着盤のスケールモデルを使用した要素実験および係留船舶動揺シミュレーションを用いた数値計算の成果を考慮した上で、フェリー用岸壁を対象とした防舷材システムの概略図を作成するとともに、吸着盤の個数・配置や潮位変化への追従機構などの全体コンセプトについて検討した(図 1.3.51、図 1.3.52)。

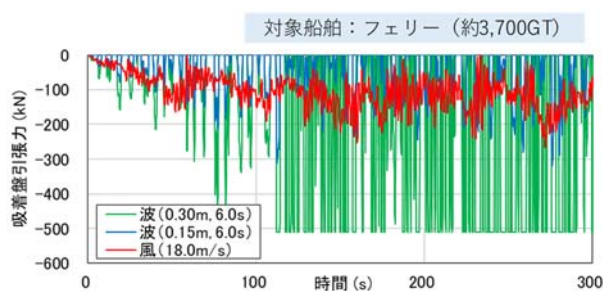


図 1.3.51 吸着盤の引張力の計算例



図 1.3.52 対象係留施設(フェリー用岸壁)

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

表面形状等を変化させた数種類の試験体を北九州の護岸に設置して、経時的な海生生物の付着状況についてのモニタリングを継続し、アラメ系またはホンダワラ系が付着しやすい基盤を特定した(図 1.3.53)。

また、サンゴのリスキニング技術確立のための基板素材を検討し、サンゴが鋼材の腐食が進みつつも被覆し固着していくことを解明した(図 1.3.54)。

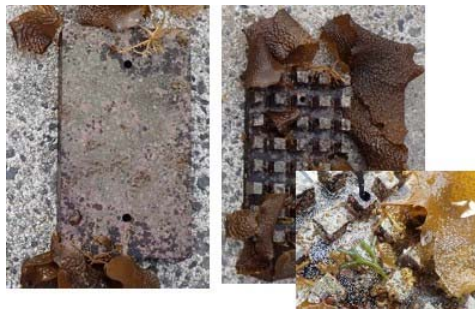


図 1.3.53 表面形状によるアラメ着生状況の差異

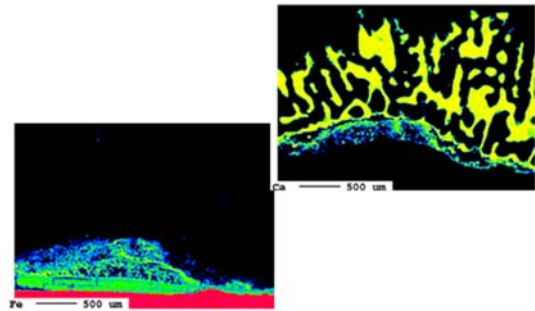


図 1.3.54 腐食生成物上に着生したサンゴの断面分析結果

(4) マシンガイダンス技術を用いた水中施工機械の多機能化に関する研究

前年度に引き続き、水中マシンガイダンスおよび遠隔操作支援システムの実現場適応の検証を実施した(図 1.3.55)。

また、実現場試験による運用時の課題点の整理や遠隔操作インターフェースの改善点の抽出を行い、判明した課題への対応策を提案した。

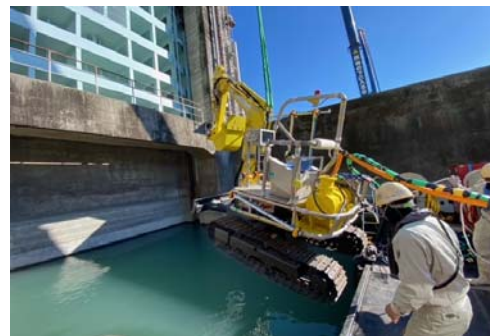


図 1.3.55 港湾工事や他工種作業(ダム排水口)における水中マシンガイダンスの利用

(5) ICT 施工への音響画像システムの適用に関する検討

浚渫船の施工中のリアルタイムな状況把握をするために、音響ビデオカメラを用いた水中可視化実験を実施し、浚渫直後における海底状況の判定方法を考案した。

また、マルチビームデータクラウド(AIMS)について、AIノイズ除去フィルターの高度化とクラウドへの搭載を行うとともに、海上での通信を伴う測量試験を実施した(図 1.3.56)。

さらに、ICT 潜水については、基礎捨石マウンドの天端面等を計測するための海底設置式ソナーを用いた測量法を提案した。

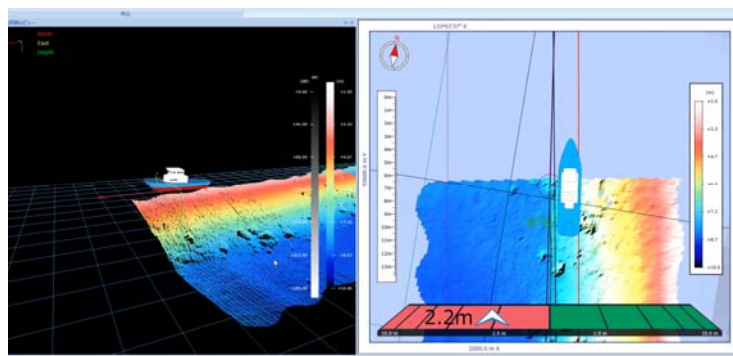


図 1.3.56 マルチビームデータクラウド(AIMS)のリアルタイム処理例



(6) 波と風の同時作用下における洋上風力発電施設の荷重設定手法に関する研究

FAST を用いた荷重連成解析により、様々な風と波を同時に受ける洋上風力発電施設の動的応答特性について調べるとともに、洋上風車の合理的・効率的な荷重設定手法について検討した(図 1.3.57、図 1.3.58)。

また、洋上風車の動的応答を簡易に推定できる静的解析手法を提案し、その有効性を確認した。

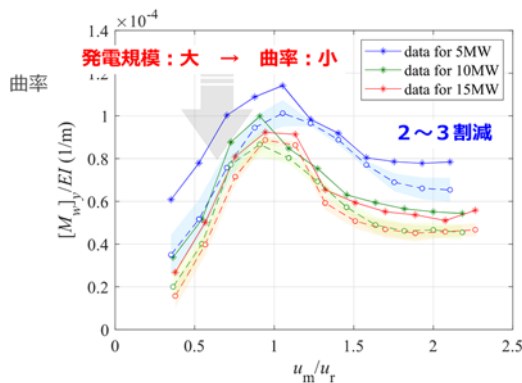


図 1.3.57 風車の発電規模が応答特性に及ぼす効果

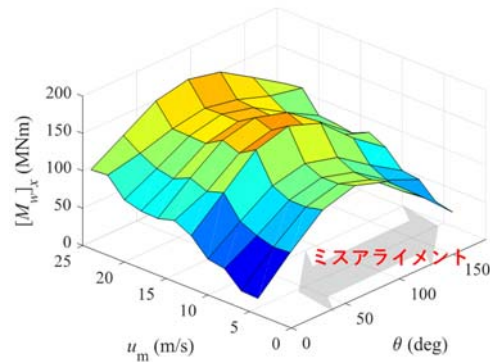


図 1.3.58 風と波のミスアライメントの風車応答への影響

(7) 深海におけるインフラ材料の力学特性と耐久性の評価

高水圧を负荷させながらコンクリートの圧縮試験が可能な試験機を用いて、高水圧下でのコンクリートの応力負担メカニズムを解明した(図 1.3.59)。

また、南海トラフに暴露していた鉄筋コンクリートはり試験体を回収・分析するとともに、コンクリート部材の接合実験を実施し、深海でのセメント系材料を活用した部材接合法について検討した(図 1.3.60)。

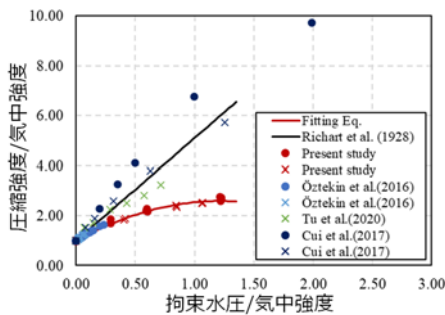


図 1.3.59 水圧とコンクリートの強度の関係

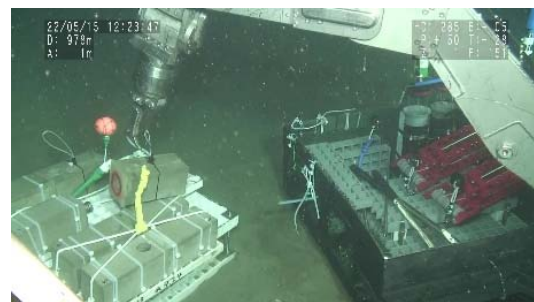


図 1.3.60 深海(約 3515m)における部材接合実験

成 果 の 公 表

□ 港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料: 0 編

□ 発表論文(英文): 3 編

- Kawabata, Y., Takano, D., Takahashi, K., and M. Iwanami (2022): In Situ Observation for the Influence of Hydraulic Pressure on Internal Damage of Cement-Based Materials, Materials & Design, Vol.216, 110556.
- Kobayashi, M., Takahashi, K., Kawabata, Y., and T.A. Bier (2022): Physicochemical Properties of Portland Cement/Calcium Aluminate Cement/Calcium Sulfate Ternary Binder Exposed to Long-Term Deep-Sea Conditions, Materials and Structures, Vol.55, 182.
- Takahashi, K., Kawabata, Y., Iwanami, M., Kobayashi, M., Kasaya, T., Yamanaka, T., Nomura, S., and H. Markita (2022): In-Situ Deep-Sea Monitoring of Cement Mortar Specimen at a Depth of 3515 m and Changes in

Mechanical Properties after Exposure to Deep Sea Condition, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.20, pp.254–266.

□発表論文(和文):5編

- ・平山克也・濱野有貴・吉澤章太・石尾将大・吉岡健(2022):水平流速の流速分布を推定する単一成分波近似法の実用化に向けた検討,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.78, No.2.
- ・榊原繁樹・砂原俊之・米山治男・久保雅義・津金正典(2022):係留施設の挙動を考慮した船舶接岸時の再現について,日本航海学会講演予稿集, Vol.10, No.2.
- ・加島寛章・米山治男(2022):複数の着床式洋上風車の応答に対する波の影響評価,第22回海上技術安全研究所研究発表会講演集.
- ・加島寛章・米山治男・Manawasekara, C.・田中陽二(2022):OpenFASTを用いた5, 10, 15MW着床式洋上風車の風と波に対する応答特性,土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.78, No.2.
- ・加島寛章・米山治男・Manawasekara, C.・田中陽二(2022):着床式洋上風力発電施設の応答に及ぼす風と波のミスアライメントの影響について,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.78, No.2.

□表彰(論文賞、その他の表彰):0件

□特許(出願、登録):0件

□その他(学会発表、講演等):3編

- ・Kashima, H., and H. Yoneyama (2022): Dynamic Response of 5, 10 and 15 MW Fixed-bottom Offshore Wind Turbines in Wind and Waves, 37th International Conference on Coastal Engineering.
- ・Lyu, Z., Mori, N., Kashima, H., and Y. Tajima (2022): The Occurrence of Extreme Wave Height in a Two-Dimensional Random Wavefield in Coastal Areas, 37th International Conference on Coastal Engineering.
- ・棚谷灯子・岩村俊平・岡田亘・桑江朝比呂(2022):長期観測データに基づく人工構造物を用いたサンゴ生息場再生の有効性の検証,日本サンゴ礁学会第25回大会講演要旨集.

□現場や基準等に反映された研究成果:0件

研究開発課題 (4) 海域環境の形成と活用

研究テーマ ① 沿岸生態系の保全や活用に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海域環境の保全・再生・創出や海洋汚染の防除により豊かな海域環境を次世代へ継承するとともに、地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が必要である。研究所は、沿岸域等における、生態系の保全や活用、地形の形成や維持に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が益々重要となっていること、また沿岸域が多様な生態系が広がる環境上重要な空間であることを踏まえ、この環境や地形を人間の営む経済活動や気候変動の中でいかに保全するか、また気候変動の緩和策としていかに活用できるかということに重点をおいた取組が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①沿岸生態系の保全や活用に関する研究開発</p>	<p>地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が益々重要となっていること、また沿岸域が多様な生態系が広がる環境上重要な空間であることを踏まえ、この環境や地形を人間の営む経済活動や気候変動の中でいかに保全するか、また気候変動の緩和策としていかに活用できるかということに重点をおいた取組が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①沿岸生態系の保全や活用に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－脱炭素化に向けた CO<sub>2</sub> 吸収能力を高める浅場造成手法の検討に関する研究では、港湾構造物等を対象としたブルーカーボンの計測手法を開発し、港湾区域内外のブルーカーボン生態系に適した環境や構造に関するデータ・知見を収集することで、CO<sub>2</sub> 吸収能力を高める手法を検討する。</li> <li>－減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成では、地震による海底地盤の液状化とその後の凝固、津波および生物活動の相互作用機構に関する現地挙動並びに実験の分析を進め、減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの取り纏めに繋げる。</li> <li>－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においては、環境 DNA 及び遺伝的多様性解析に基づき、港湾域特有の魚類多様性や海藻藻類の遺伝的多様性のそれ</li> </ul>

		<p>それぞれについて、パターン及びその変動プロセスを見出すためのモニタリング手法の開発に取り組む。</p> <p>—油等海洋流出物の回収及び対応技術の最終的解決に向けた研究開発では、油回収船に適した革新的回収装置の提案に向けたバブルカーテンやエジェクタ吸引など混相流的手法の検討や、軽石など海上浮遊物の新たな漂流制御及び回収技術の提案を行う。加えて乳化技術を用いた高粘度油の回収並びに管内輸送技術の開発に取り組む。等</p>
--	--	---

### 研 究 の 背 景

干潟やアマモ場、サンゴ礁に代表される沿岸域には、豊かな生態系が形成されており、沿岸域は地球環境にとって貴重な場となっている。しなしながら、高度経済成長期には、活発な経済社会活動に伴い、沿岸域の特に閉鎖性内湾において水質が悪化し、生態系が劣化した。

その後の対策により、水質が徐々に改善している沿岸域があるものの、生態系を含めた沿岸域環境の修復は依然として大きな課題である。

一方、新たな課題として、沿岸域の機能を気候変動の緩和に役立てることが求められるとともに、臨海コンビナートなどからの大規模油流出に対する対応も必要となってきている。

### 研 究 目 標

本研究では、沿岸域環境のさらなる修復と気候変動の緩和への活用、及び大規模油流出への対応技術の確立を目標とする。沿岸生態系の温室効果ガス吸収効果(ブルーカーボン)を解明するとともに、その機能の有効活用方策を提案する。

また東京湾や伊勢湾等において、赤潮や青潮の発生等の水環境をリアルタイムで予測するシステムを開発する。

さらに国土交通省保有の油回収船団の次世代油回収装置、地震や津波に伴う臨海コンビナート等からの油流出への対応技術を開発する。

### 令和4年度の研究内容

#### (1)脱炭素化に向けた CO<sub>2</sub> 吸収能力を高める浅場造成手法の検討

港湾区域内外のブルーカーボン生態系の生息状況に関する既往データや報告書等の収集と、グリーンレーザー搭載ドローンによる港湾内外の構造物を対象とした現地調査を実施し、計測手法の開発を進めた。自然生態系においてブルーカーボン生態系の堆積物が水底質に与える影響を現地調査し、アルカリ材等による CO<sub>2</sub> 吸収効果の基礎情報を得た。

#### (2)減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成

国際合同調査に関する結果の分析を進めるとともに、追加解析・実験を実施し、成果を取り纏めた。

### (3) 湾口における大気・海洋環境モニタリングと解析

大気モニタリングでは、常時運転で得られたデータの間解析の解析を行い次年度以降の計画を修正した。を、また海洋モニタリングに関しては、東京湾湾口で実施している流動観測結果や衛星データについて、の過去 10 年以上のビッグ膨大なデータを解析した結果をとりまとめの、成果を公表した。

### (4) 環境変動に対する水圏生態系の応答に関する数値的検証

湾スケールでの地形変化に伴う海水交換量等の変化について、平均水深の増加、面積の縮小の観点から検討し、また流入負荷量と二枚貝資源との関係について数値解析を行った。

### (5) 港湾域の生物モニタリング手法及び評価基軸となる指数の開発

環境 DNA に基づいた港湾域特有の魚類多様性のパターン及びその変動プロセスを見出すためのモニタリング手法に寄与する環境 DNA の要素技術の評価開発を行い成果を公表した。また遺伝的多様性解析に基づいた港湾域特有の海草藻類の遺伝的多様性のパターン及びその変動プロセスを見出すためのモニタリング手法について検討した。

### (6) 流動シミュレーションとデータ同化による沿岸域の流動の数値解析

伊勢湾シミュレータ(物理モデル)のデータ同化を用いた伊勢湾の過去解析値(解析データ)作成について検討した。

### (7) 主要内湾の沿岸情報の収集・発信基盤強化

生物多様性データベースや東京湾フェリーデータベースなどのオープンデータ基盤、4K 波浪モニタリングや沿岸浸水マップなどのアウトプットプラットフォームを構築した。

### (8) 油等海洋流出物の回収及び対応技術の最終的解決に向けた研究開発

空気吸引エジェクタの開発、重油のエマルジョン化による流動促進化及び回収技術の開発、漂着軽石の覆砂材としての利用に関する検討、およびマイクロプラスチックの回収について検討した。

## 令和 4 年度の研究成果

### (1) 脱炭素化に向けた CO<sub>2</sub> 吸収能力を高める浅場造成手法の検討

港湾区域内外のブルーカーボン生態系の生息状況に関する既往データや報告書等の収集と、グリーンレーザー搭載ドローンによる港湾内外の構造物を対象とした現地調査を実施し、計測手法の開発を進めた(図 1.3.61、1.3.62)。

自然生態系においてブルーカーボン生態系の堆積物が水底質に与える影響を現地調査し、アルカリ材等による CO<sub>2</sub> 吸収効果の基礎情報を得た(図 1.3.63)。

また、令和 2 年度に設立した「ジャパンプルーエコノミー(JBE)技術研究組合」によるクレジット制度において、R4dは 21 件が認証された(R2dは 1 件、R3dは 4 件)。

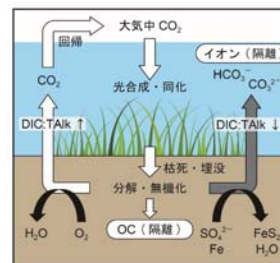
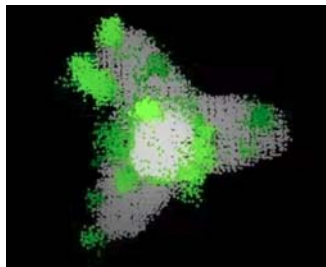
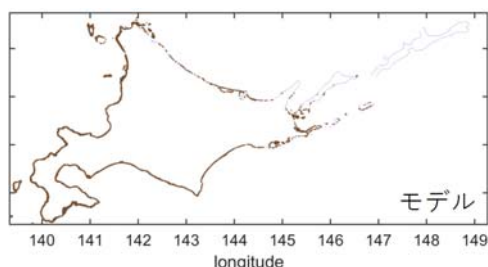


図 1.3.61 藻場分布予測モデルの開発

図 1.3.62 構造物上の藻場計測  
(グリーンレーザー搭載ドローン)

図 1.3.63 堆積物が CO<sub>2</sub> 吸収  
に与える影響の評価

### (2) 減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成

国際合同調査に関する結果の分析を進めるとともに、追加解析・実験を実施し、成果を取り纏めた(図 1.3.64)。

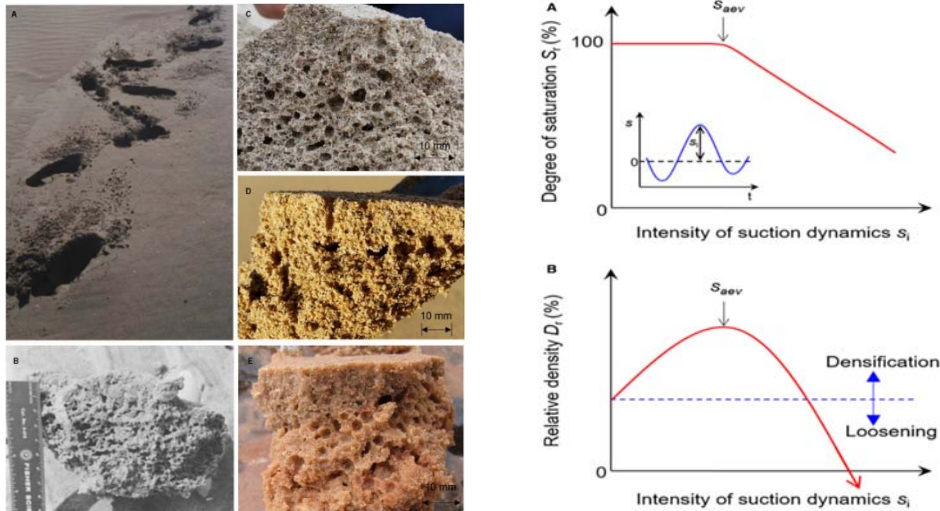


図 1.3.64 世界各国の沿岸泡状砂とサクシオン動態による高密状態から超緩詰め状態の遷移機構モデル

### (3) 湾口における大気・海洋環境モニタリングと解析

大気モニタリングでは、常時運転で得られたデータの間中解析を、また海洋モニタリングに関しては、東京湾湾口の過去の膨大なデータ解析結果の成果を公表し、さらに東京湾内と外洋との相互作用の解明に向けた解析を行った(図 1.3.65)。

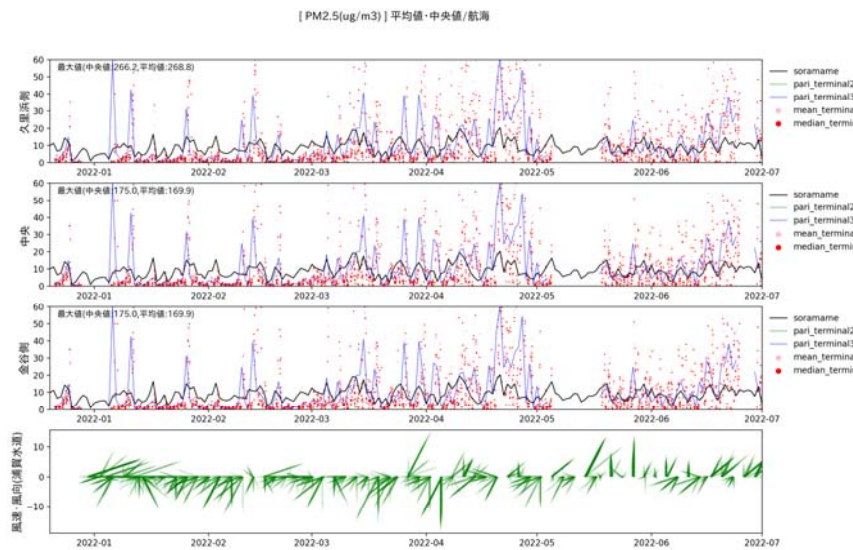


図 1.3.65 東京湾口での大気データの計測例

### (4) 環境変動に対する水圏生態系の応答に関する数値的検証

長期間にわたる地形改変が内湾の海水交換率や滞留時間に与える影響について検討したところ、湾スケールでの地形変化は滞留時間に大きな影響を及ぼすことが示された(図 1.3.66)。

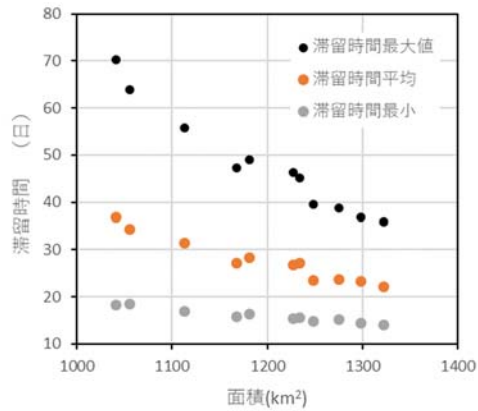


図 1.3.66 内湾における地形改変に伴う水域面積と滞留時間との関係

(5) 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

eDNA によるモニタリングの高度化を進め、メタバデータの QA/QC や目的別のモニタリング手法の確立、データベースの構築・公開を行った(図 1.3.67)。

さらに、生物多様性を診断するための指数として、データベースに基づいた評価基軸となる多様性指数を新たに開発した(図 1.3.68)。

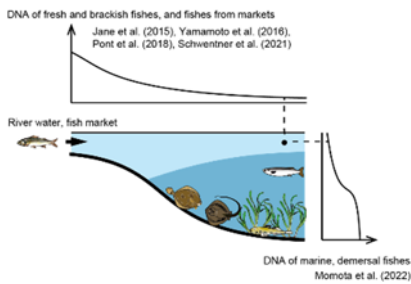


図 1.3.67 環境 DNA によるモニタリングの高度化に向けた沿岸域特徴の整理

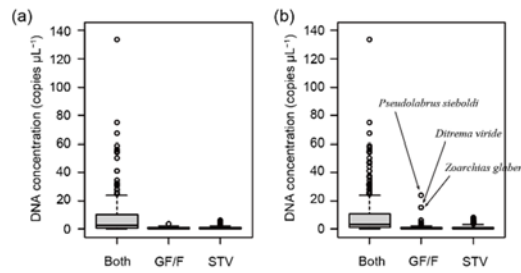


図 1.3.68 検出漏れが起こりにくい環境 DNA 濃度の評価

(6) 流動シミュレーションとデータ同化による沿岸域の流動の数値解析

伊勢湾シミュレータ(物理モデル)のデータ同化を用いた伊勢湾の過去解析値(解析データ)作成の検討を通じて、精緻化された境界条件を基に数値シミュレーションとデータ同化を実施することで、単にデータ同化だけに頼ることなく精度を更に高めることができることを示した。(図 1.3.69)。

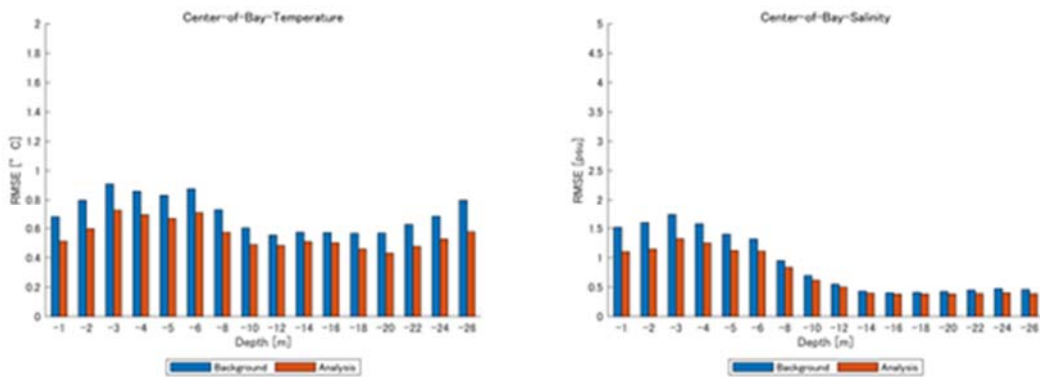


図 1.3.69 伊勢湾を対象としたデータ同化前後の水温(左)と塩分(右)に関する観測値との RMSE の比較

(7) 主要内湾の沿岸情報の収集・発信基盤強化

生物多様性データベースや東京湾フェリーデータベースなどのオープンデータ基盤、4K 波浪モニタリングや沿岸浸水マップなどのアウトプットプラットフォームを構築した(図 1.3.70、図 1.3.71)。

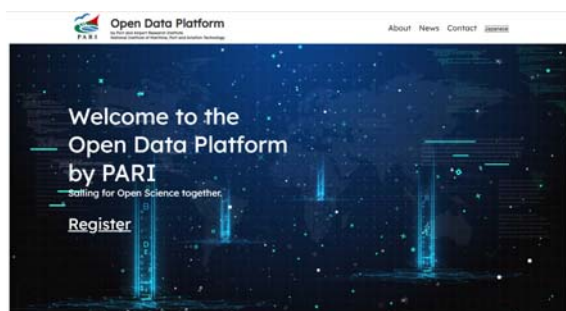


図 1.3.70 オープンデータプラットフォームの開発及び試験運用の開始



図 1.3.71 4K 高解像度カメラによる波浪モニタリングシステムの構築

(8) 油等海洋流出物の回収及び対応技術の最終的解決に向けた研究開発

空気吸引エジェクタの開発、重油のエマルジョン化による流動促進化及び回収技術の開発、漂着軽石の覆砂材としての利用に関する検討、およびマイクロプラスチックの回収について検討した(図 1.3.72、図 1.3.73)。



図 1.3.72 エマルジョン流動の実験

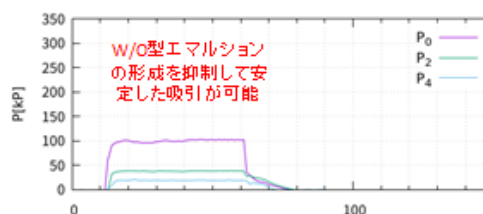


図 1.3.73 エジェクタ吸引の圧力変動の把握

成果の公表

□ 港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料: 0 編

□ 発表論文(英文): 15 編

- Akhand, A., A. Chanda, K. Watanabe, S. Das, T. Tokoro, S. Hazra, and T. Kuwae. 2022.11. Drivers of inorganic carbon dynamics and air-water CO<sub>2</sub> fluxes in two large tropical estuaries: Insights from coupled radon (222Rn) and pCO<sub>2</sub> surveys. *Limnology and Oceanography*, <https://doi.org/10.1002/lno.12075>.
- Tokoro, T. and T. Kuwae. 2022.10. Air-water CO<sub>2</sub> and water-sediment O<sub>2</sub> exchanges over a tidal flat in Tokyo Bay. *Frontiers in Marine Science*, 9: 989270.
- Kennedy, H., J. F. Pagès, D. Lagomasino, A. Arias-Ortiz, P. Colarusso, J. W. Fourqurean, M. N. Githaiga, J. L. Howard, D. Krause-Jensen, T. Kuwae, P. S. Lavery, P. I. Macreadie, N. Marbà, P. Masqué, I. Mazarrasa, T. Miyajima, O. Serrano, C. M. Duarte. 2022.10. Species traits and geomorphic setting as drivers of global soil carbon stocks in seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, 36, e2022GB007481.
- Kuwae, T., J. Hosoya, K. Ichimi, K. Watanabe, M. C. Drever, T. Moriya, R. W. Elner, and K. A. Hobson. 2022.9. Using stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) values from feces and breath to infer shorebird diets. *Oecologia* 200(1-2): 23-35, <https://doi.org/10.1007/s00442-022-05257-x>.



- Sugimura, Y, T. Okada, T. Kuwae, Y. Mito, R. Naito, Y. Nakagawa. 2022.7. New possibilities for climate change countermeasures in ports: The creation of blue carbon ecosystems and dredged soil containment countermeasures through port development projects in Japan. *Marine Policy*, 141, 105072.
- Kuwae, T., Watanabe, A., Yoshihara, S., Suehiro F., and Sugimura, Y. 2022.4. Implementation of blue carbon offset crediting for seagrass meadows, macroalgal beds, and macroalgae farming in Japan. *Marine Policy*, 138, 104996.
- Seike, K., Sassa, S., Shirai, K. and Kubota, K. (2022). Sediment hardness and water temperature affect the burrowing of *Echinocardium cordatum*: Implications for mass mortality during the 2011 earthquake–liquefaction–tsunami disaster, *ECSS*, Vol.267, 107763
- Sassa, S. and Yang, S (2022). Suction dynamics–induced bubbly sand under groundwater table fluctuations. *Sedimentology*, Vol.70, No. 1, 280–288.
- Okura, S., S. Hosokawa (2022) Representativeness and certainty of sea surface temperature from MODIS in semi–enclosed bays, *Coastal Engineering Journal*, 64, 428–441.
- Hosokawa, S., S.Okura (2022) Long–term observation of current at the mouth of Tokyo Bay, *Coastal Engineering Journal*
- Söhngen, B., Dianguang, M., Behrendt, K., Fleischer, P., Schmitt, K., Duro, G., Inoue, T., McKay, K., Moiroud, C., Verbelen, J., Wieggers, J., Wolter, C., & Zhou, J. (2022). Best practice approach for laying out technical–biological bank protections for inland waterways – PIANC WG 128. *Smart Rivers* 2022, 12p.
- Karim, R., Hafeez, M. A., & Nakamura, Y. (2022). Analysis of Development and Decline of Hypoxia by Using Monitoring Data Collected Near The Tama River Estuary of Tokyo Bay. *WET2022*, 24p.
- Momota, K., S. Hosokawa, T. Komuro (2022) Small–scale heterogeneity of fish diversity evaluated by environmental DNA analysis in eelgrass beds, *Marine Ecology Progress Series*, 688, 99–112.
- K. Matsumura, K. Nakayama, and H. Matsumoto (2022), Influence of patch size on hydrodynamic flow in submerged aquatic vegetation, *Frontiers in Marine Science*
- K. Nagatomo, K. Nakayama, K. Komai, H. Matsumoto, K. Watanabe, A. Kubo, K. Tada, Y. Maruya, S. Yano, J.W. Tsai, H.C. Lin, M. Vilas, M.R. Hipsey (2022), A spatially integrated dissolved inorganic carbon (SiDIC) model for aquatic ecosystems considering submerged vegetation, *Journal of Geophysical Research:Biogeosciences*

□ 発表論文(和文): 3 編

- 内藤了二, 岡田知也, 秋山吉寛, 三戸勇吾, 大西晃輝, 桑江朝比呂. 2022.11. 干潟造成に活用した浚渫土砂中に含まれる有機物の残存についての基礎調査. *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, 78(2), 1913–1918.
- 川原優紀, 栗本有紀, Jeng-Wei Tsai, Hao-Chi Lin, 松本大輝, 田多一史, 中山啓介. (2022). カキ養殖主体のラグーンにおける溶存無機炭素への影響要因の解析. *土木学会論文集 B3(海洋開発)*, 78 巻 2 号 p. 1637–1642
- 松村啓太, 松本大輝, 中山啓介, 田多一史, 新谷哲也, 吉村英人 (2022), 室内実験と数値計算による SAV 群落が流れ場に与える影響評価, *土木学会論文集 B3(海洋開発)*, 78 巻 2 号 p. 1853–1858

□ 表彰(論文賞、その他の表彰): 1 件

- 2022 年度日本沿岸域学会出版・文化賞, 沿岸域における環境価値の定量化ハンドブック (岡田知也, 三戸勇吾, 桑江朝比呂他編)

□ 特許(出願、登録): 2 件

- 特許(出願) PCT/JP2020/028683, 浮遊油の回収処理装置(米国、中国、EP、韓国)に国際出願
- 特許(登録) プラスチック片の回収方法及び回収システム(特許第 7072780 号)

□ その他(学会発表、講演等): 17 件

- 林美鶴, 井上徹教, 松本大一, 2022.6, 津波後に再堆積した海底堆積物からの溶出に関する模擬実験, 日仏海洋学会学術研究発表会
- 林美鶴, 松本大一, 井上徹教, 2022.5, 津波による堆積物擾乱を模した栄養塩溶出実験, Japan Geoscience Union Meeting 2022.

- ・大倉翔太, 細川真也, 和泉隆夫, 2022.9, 衛星 SST データによる冬季東京湾の水温変動傾向の把握, 土木学会全国大会
- ・小室隆, 後藤益滋, 杉野史弥, 2022.9, 環境 DNA を用いた霞ヶ浦流入河川におけるイシガイの分布, 日本陸水学会第 86 回兵庫大会
- ・小室隆, 杉野史弥, 山室真澄, 2022.9, 霞ヶ浦における夏季の湖岸と湖心の水温の違い, 日本水環境学会シンポジウム
- ・茂木博匡, 田口浩一, 渡辺謙太, 市川哲也, 桑江朝比呂, 2022.9, 海草植生抵抗が一次生産および炭素輸送に与える影響の解析, 2022 年度日本海洋学会秋季大会
- ・松崎義孝, 井上徹教, 2022.11, 領域沿岸データ同化における適切なアンサンブルを作成するための境界条件の摂動, 第 69 回海岸工学講演会
- ・本間翔太, 細川真也, 2023.1, 港湾における環境 DNA 調査の再現性について, 土木学会水工学委員会環境水理部会研究集会 2022
- ・井上徹教, 萩野裕基, 2022.9, 鉄剤散布による堆積物からの硫化水素溶出抑制に関する室内実験, 陸水学会 86 回兵庫大会講演要旨集
- ・戸田美沙, 内藤了二, 井上徹教, 久保田通代, 中村由行, 岡田知也, 2022.11, 還元条件下での静置溶出実験におけるヒ素及びリンの溶出抑制効果, 第 59 回 環境工学研究フォーラム
- ・松本大輝, 中山恵介, 2022.12, THE NUMERICAL ANALYSIS OF MIXING DEPTH AND THE THICKNESS OF BBL CONSIDERING THE SUBMERGED AQUATIC VEGETATION AND WIND STRESS, International conference of coastal engineering
- ・茂木博匡, 2022.11, 海草植生抵抗が一次生産量および炭素輸送に与える影響の解析, 2022 年度水圏生態系モデリングシンポジウム
- ・宮田達, 梅澤有, 井田拓成, 渡辺謙太, 梶田淳, 真鍋康司, 桑江朝比呂, 2022.5, 13C 標識法による部位別測定を用いたガラモ場の生産量評価, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会
- ・中村航, 佐々木淳, 渡辺謙太, 所立樹, 遠藤徹, 桑江朝比呂, T. N. Phyo, 源平慶, 2022.5, 吹通川マングローブ林における大潮-小潮間の潮位変動に伴う大気および水域への CO<sub>2</sub> 流出量の推定, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会
- ・渡辺謙太, 茂木博匡, 堀正和, 桑江朝比呂, 2022.5, コンブ場とガラモ場における炭素代謝の季節変動, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会
- ・田中秀幸, 久保篤史, 渡辺謙太, 桑江朝比呂, 2022.9, 水生植物から排出された蛍光性溶存有機物の分解特性, 2022 年度日本海洋学会秋季大会
- ・中村航, T. N. Phyo, 渡辺謙太, 中島壽視, 源平慶, 杉本亮, 宮島利宏, 桑江朝比呂, 佐々木淳, 2023.3, 吹通川マングローブ, 海草, サンゴ礁生態系間の炭素・栄養塩循環, 日本生態学会第 70 回大会

□現場や基準等に反映された研究成果:0 件

研究開発課題 (4) 海域環境の形成と活用

研究テーマ ② 沿岸地形の形成や維持に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>海域環境の保全・再生・創出や海洋汚染の防除により豊かな海域環境を次世代へ継承するとともに、地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が必要である。研究所は、沿岸域等における、生態系の保全や活用、地形の形成や維持に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が益々重要となっていること、また沿岸域が多様な生態系が広がる環境上重要な空間であることを踏まえ、この環境や地形を人間の営む経済活動や気候変動の中でいかに保全するか、また気候変動の緩和策としていかに活用できるかということに重点をおいた取組が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②沿岸地形の形成や維持に関する研究開発</p>	<p>地球温暖化対策や循環型社会の構築といった地球規模の環境問題への対応が益々重要となっていること、また沿岸域が多様な生態系が広がる環境上重要な空間であることを踏まえ、この環境や地形を人間の営む経済活動や気候変動の中でいかに保全するか、また気候変動の緩和策としていかに活用できるかということに重点をおいた取組が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②沿岸地形の形成や維持に関する研究開発</p> <p>－沿岸域ビック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、ディープニューラルネットワークによる地形予測モデルを用いた疑似的な海面上昇実験を行い、Bruun 則 と比較を行うほか、種々のデータをインプットに利用し、地形変化への影響について検討する。</p> <p>－波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発では、波崎海洋研究施設での現地観測を継続するとともに、地球温暖化による平均海面上昇等に 伴う地形変化への対策工を示す。</p> <p>－航路・泊地埋没の軽減化のための底質移動制御手法の開発では、港湾域を含めた複雑地形を考慮した数値シミュレーションによる航路埋没予測および堆積量縮減方法の検討を行う。</p> <p>等</p>

## 研究の背景

港空研における漂砂研究は航路埋没を防ぐための移動限界水深の研究から始まり、現在では、砂のみならずシルトを対象とした航路埋没対策工法が示されている。しかし、国内においては、依然として埋没の進行している港湾があり、また、海外においては、日本に比べてはるかに多くの量の土砂の堆積が想定されている港湾があり、これら航路・泊地の埋没に対応する技術は十分とはいえない。

一方、貴重な砂浜は、高度経済成長期に多く失われ、現在でも砂浜の消失は続いている。砂浜のもつ防護、環境、利用の機能が見直され、海岸の侵食対策が実施され、砂浜が回復している海岸があるものの、地球温暖化によって将来的には海岸侵食が生じることも想定されている。

また、遠隔離島や海外に目を向けた場合、砂浜だけではなく、サンゴ礁海岸などの保全も重要になっている。

## 研究目標

本研究テーマでは砂浜、マングローブ海岸、サンゴ礁海岸などの自然な沿岸地形や物流を支える航路・泊地などの人工の沿岸地形を今後の気候変動のもとにおいても維持することを目標とする。

また、地球温暖化が進行した場合の海岸侵食現象の変化、航路や泊地の埋没現象の変化を予想し、その対策を提案する。

さらに、アジアの大河川河口部、マングローブ、干潟等における埋没現象の解明とその対策を提案する。

## 令和4年度の研究内容

### (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

ディープニューラルネットワークを用いた既存の地形予測モデルを用い、水位上昇に伴った擬似的な地形応答を計算し、過去の水位上昇トレンドから導かれる地形応答と Bruun 則の比較を行った。また、種々のビッグデータをインプットデータに利用するように再構成し、同様の検討を行い、別の因子を介した海面上昇の地形変化への影響についての検討を行った。

### (2) 波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発

波崎海洋研究施設での現地観測継続し、波向き観測のための画像処理解析法や砕波による地形変化を考慮した海岸地形変化予測モデルの開発をすすめ、現地港湾および周辺海岸の地形変化予測・対策工を検討した。

### (3) 航路・泊地の軽減化のための底質輸送制御手法の開発

河口沿岸域の土砂動態の特徴と、沿岸地形や港湾の複雑地形の再現性を向上させる土砂輸送解析ツールの開発をすすめた。

さらに、河口・沿岸域特有の土砂動態の解明に有用な、新たな計測手法の開発にも取り組んだ。

## 令和4年度の研究成果

### (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

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における最適なハイパーパラメータについての知見を得た。数値実験により Bruun 則で示される海面上昇に伴う地形変化と同様のものだけでなく、新たな洞察を得ることができる興味深い地形変化が確認できた(図 1.3.74)。

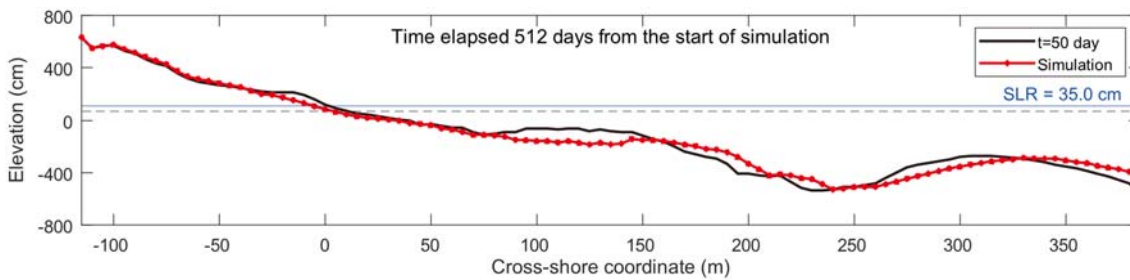


図 1.3.74 海面上昇によって生じた地形変化  
(約 3 cm の海面上昇時の地形(黒)と 35 cm の海面上昇時の地形(赤))

(2) 波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発

観測栈橋を用いた現地観測を継続し、観測されたデータは、整理・解析して公表した。

海岸地形変化予測モデルは、局所碎波モデルの改良を行い、構造物周辺の精緻な波と流れの計算モデルを開発した(図 1.3.75)。

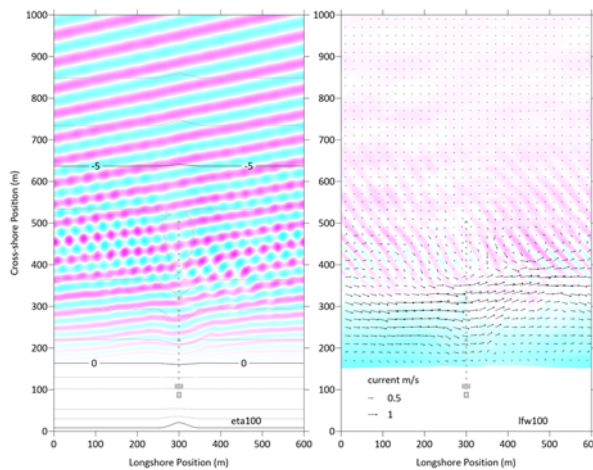
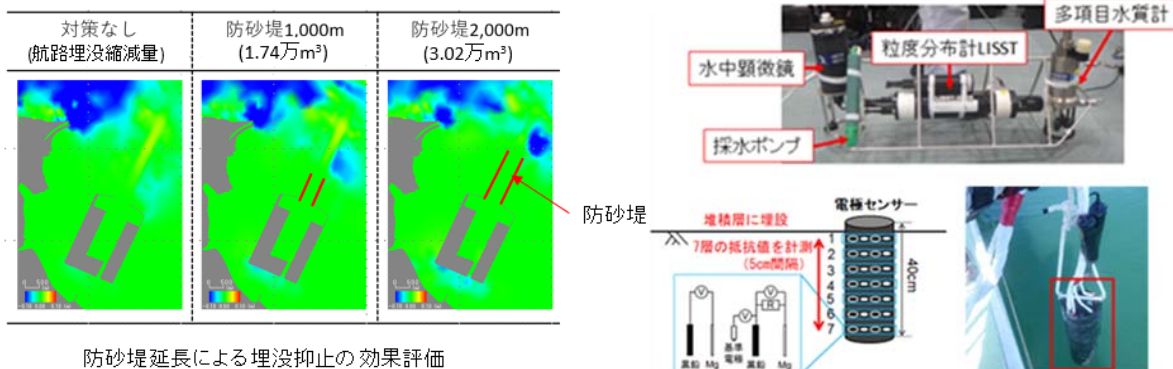


図 1.3.75 観測栈橋の群杭構造物と周辺深掘れによる波と流れ、平均水面変化の数値計算結果

(3) 航路・泊地の軽減化のための底質輸送制御手法の開発

港湾域を含めた複雑地形を考慮した数値シミュレーションによる航路埋没予測および堆積量縮減方法の検討し、上流堰での流下土砂量制御等、河口港湾の水理特性を考慮した埋没量抑制効果に関する検討を行った。

また、河口域でのフロック粒子の直接画像計測や、浮泥集積状況をモニターするための新たな計測システムによる現地データを蓄積した(図 1.3.76)。



防砂堤延長による埋没抑止の効果評価

図 1.3.76 非構造格子モデルによる土砂輸送計算と外郭施設の配置による埋没量抑制の評価検討例(左)と新たな粒子挙動計測システムの開発(右上:フロック粒現地計測システム、右下:浮泥センサ)

## 成 果 の 公 表

□港湾空港技術研究所報告・港湾空港技術研究所資料:0 編

□発表論文(英文):4 編

- Banno, M. (2023): What can long-term in situ monitoring data tell us about our coastlines?, Cambridge Prisms: Coastal Futures. 1, E8. doi:10.1017/cft.2022.9.
- Quang Nguyen Hao & Satoshi Takewaka (2022): Historical reconstruction of shoreline evolution at the Nam Dinh Coast, Vietnam, Coastal Engineering Journal, 65:1, 3-20, DOI: 10.1080/21664250.2022.2073748
- Kyeongmin Kim, Yasuyuki Nakagawa, Takumi Takahashi, Ryota Yumioka, Tadashi Hibino (2022), High-resolution monitoring of seasonal hypoxia dynamics using a capacitive potentiometric sensor: Capacitance amplifies redox potential. Science of the Total Environment, 836, 155435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155435>
- Nakagawa, Y., Kosako, T., Hayashi, H., Watanabe, T. (2023). Sedimentary Process in Navigation Channel in an Estuarine Port, - A Case Study from the Port of Niigata, Japan. In: Li, Y., Hu, Y., Rigo, P., Lefler, F.E., Zhao, G. (eds) Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022. PIANC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 264. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0\\_114](https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_114)

□発表論文(和文):3 編

- 伴野雅之 (2022): 将来の海岸侵食の定量評価とブルーカーボン生態系による波浪減衰, 沿岸海洋研究, 60 (1), 67-69.
- 乳原材, 内山雄介, 小碓大地 (2022): 診断的土砂輸送・地形変動モデルの開発と明石海峡周辺海域への適用, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 2022, 78 巻, 2 号, p. I\_451-I\_456.
- 中川康之(2022): 河口沿岸域における底泥密度測定, 流体力学会誌, 流れ, 第 41 巻, pp.192-197.

□表彰(論文賞、その他の表彰):0 件

□特許(出願、登録):0 件

□その他(学会発表、講演等):3 件

- 石澤堯史, 後藤和久, 山口直文, 伴野雅之, 篠崎鉄哉, 佐藤海生, 2022.5, 茨城県波崎海岸の堆積物中におけるマイクロプラスチックの空間分布に関する予察的検討, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会
- 伴野雅之, 栗山善昭 (2022): LSTM ネットワークの海浜地形変化予測への適用, 海岸工学講演会
- Banno, M. and Kuriyama, Y. (2023): Test of LSTM networks in long-term beach morphological changes, 37th International Conference on Coastal Engineering

□現場や基準等に反映された研究成果:0 件

#### 4. 電子航法に関する研究開発等

##### 【中長期目標】

国土交通省は、航空交通の安全の確保とその円滑化を図るため、航空管制等の航空保安業務を実施するとともに、我が国の国際競争力の強化に資するため、首都圏空港の機能強化、航空交通容量の拡大等に係る施策を推進している。

このため研究所は、航空交通の安全性向上、航空交通容量の拡大、航空交通の利便性向上、航空機運航の効率性向上及び航空機による環境影響の軽減を目標にして航空交通システムの高度化を図るため、次の研究開発課題に重点的に取り組み、航空行政の推進を技術面から支援することとする。

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

【重要度：高】我が国の航空交通システム等における技術的課題の解決は、国土交通省の政策目標実現に不可欠であるため。

##### (1) 軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術に関する研究開発等に取り組む。

##### (2) 空港運用の高度化

到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。

##### (3) 機上情報の活用による航空交通の最適化

航空機が保持する運航や気象等に関する情報を地上へ伝送し活用する技術、航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する技術に関する研究開発等に取り組む。

##### (4) 情報共有及び通信の高度化

多数の関係者が航空機運航の状況認識・判断を行えるようにする情報共有基盤の構築及び航空機と地上の間で航空管制、運航、気象等に関する情報を高速伝送する地对空通信システムの開発並びにそのセキュリティの確保に関する研究開発等に取り組む。

##### 【中長期計画】

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち航空交通の安全性向上を図りつつ、航空交通容量の拡大、航空交通の利便性向上、航空機運航の効率性向上及び航空機による環境影響の軽減に寄与する観点から、適切な成果を創出するため、本中長期目標期間においては、次に記載する研究に重点的に取り組むこととする。

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

さらに、独創的または先進的な発想により研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究については、電子航法に関する国際的な技術動向を踏まえつつ先見性と機動性を持って長期的な視点から取り組むとともに、プロジェクト型の研究開発に成果を移転するための基盤技術に関する研究にも経常的に取り組む。

##### (1) 軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実

装するための技術の開発が求められている。

また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要な堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

- ① 運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発
- ② 全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発
- ③ システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発

#### (2) 空港運用の高度化

燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

- ① 混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発
- ② 航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発
- ③ 光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発

#### (3) 機上情報の活用による航空交通の最適化

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

このため、以下の研究開発を進める。

- ① 放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発
- ② 航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する運航に関する研究開発

#### (4) 関係者間の情報共有及び通信の高度化

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

このため、以下の研究開発を進める。

- ① 異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発
- ② 航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全性の保証された次世代航空通信に関する研究開発

#### 【年度計画】

中長期目標に掲げられた研究開発課題、すなわち航空交通の安全性向上を図りつつ、航空交通容量の拡大、航空交通の利便性向上、航空機運航の効率性向上及び航空機による環境影響の軽減に寄与する観点から、適切な成果を創出するため、本中長期目標期間においては、次に記載する研究に重点的に取り組むこととする。

独創的または先進的な発想により研究所の新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究については、電子航法に関する国際的な技術動向を踏まえつつ先見性と機動性を持って長期的な視点から取り組むとともに、プロジェクト型の研究開発に成果を移転するための基盤技術に関する研究にも経常的に取り組むこととする。



組む。

#### (1) 軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。

また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要な堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理(ATM)のためのシステムの開発が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

##### ① 運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発

— 気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究では、気象(悪天)現象が航空機の運航、航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約について可視化・定量化し、航空交通流管理および航空機の運航管理の高度化を図る。本年度は、航空用の悪天情報を含む気象予報データを用いた悪天回避経路生成について検討するとともに、セクタにおける悪天域の割合と取り扱い航空機数やデビエーション率との関係性を分析する。また、検討・分析結果を関係者が評価できる仕組みを開発する。等

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

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

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

— 新しいGNSS環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究では、GPS以外のコアシステムを含めた新しいGNSS(衛星航法)環境を活用して、GNSSによる進入着陸誘導システムの高度化を図り、電離圏活動の影響を受けにくく、耐妨害性に優れたものとするための研究を行う。本年度は、新しいGNSS環境に対応したGBAS(地上直接送信型衛星航法補強システム)について規格化のための方式検証を行うとともに、次世代SBAS(衛星経由送信型衛星航法補強システム)とあわせて飛行実験を実施し、GNSS信号認証技術の検証を行う。等

#### (2) 空港運用の高度化

燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。

このため、以下の研究開発を進める。

##### ① 混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発

— GBASを活用した着陸運用の高度化に関する技術開発では、GBASの利点を活かして進入経路の選択から滑走路離脱までを一連の進入着陸として扱い、自由度の高い経路設定と個別の航空機の特性や進入フェーズに合わせてユーザが選択することにより、環境に配慮した効率的な進入着陸を実現するため

の技術開発を行う。本年度は、効率的な進入着陸の経路設定に必要な従来の進入と高角度進入(IGP)の併用、及び同一滑走路への第2エイミングポイント(SRAP)の設定のそれぞれについての技術課題の洗い出し、安全性評価の見直しに関わる飛行データに基づいた衝突リスク・モデル(CRM)及び無障害物評価表面(OAS)改良のための具体的手法の検討、パイロット支援ツールに関わるGBASを用いた滑走路離脱支援の課題抽出を行う。

－航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究では、混雑空港周辺における全体効率を高めるため、機上及び地上それぞれの視点から、交通量の多い環境下でも実施可能な継続降下運航(CDO、Continuous Descent Operations)の開発を目指す。本年度は、CDOの一環として提案する固定飛行経路角降下(Fixed-FPA)において、パイロットへの情報(降下経路の位置データ・実施に係る性能データ等)提供手法の評価を実施する。また、Fixed-FPA運用構想の提案を行うことにより、実現に要する機上及び地上機能を明らかにする。等

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

－AMAN/DMAN/SMAN統合運用による空港運用の効率化に関する研究では、航空交通が輻輳する大規模空港において、滑走路の最大活用のために、到着・出発・空港面の航空交通流を統合して管理する必要があるため、データサイエンス手法、数理モデル、シミュレーション実験を組み合わせ、運用手法を提案し有効性を評価する(AMAN:到着管理、DMAN:出発管理、SMAN:空港面管理)。本年度は、首都圏空港の空港面および到着・出発の航空交通流についての、現状分析を引き続き進め、データ駆動型の待ち行列モデルや機械学習手法を応用して、到着・出発、到着・空港面、空港面・出発交通の管理機能の統合について検討を進める。さらに、統合した管理機能の評価するため、シミュレーション環境を前年度に引き続き構築する。等

③光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発

－デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究では、リモートタワー・デジタルタワー(RT/DT)として、映像や監視センサからのデジタル情報を活用した業務支援のための機能の研究開発を行う。本年度は、映像系システムにおいてAI等の機械学習を用いた物体識別機能と追尾機能の精度向上に向けての技術開発および評価を行う。監視センサは小型の構成で実証試験を実施する予定であり、実地でのデータ取得及び評価、検証を行う。また、運用レベルのバリエーションに対応するシステムとしての機能や性能のオプション技術を想定し、システムや必要なソフトウェア技術を開発、性能評価を実施する。等

### (3) 機上情報の活用による航空交通の最適化

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

このため、以下の研究開発を進める。

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

－高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究では、高密度運航に求められる高精度な位置情報といった機上情報を迅速に取得するために、放送型自動位置情報(ADS-B)を受信・検証する機能および機上情報(DAPs)に対する質問送信機能を持つ高機能空中線に向けた研究開発を行う。本年度は、空中線素子の改修と指向性制御方式の開発を進めるほか、接続した初期的な評価実験を行う。受信局との連携機能の開発に着手し、その導入効果についてADS-B検証機能と併せて検討を進める。

－空港用マルチ監視技術活用に関する研究では、将来的に空港面及び空港周辺における監視システムの性能要件を算出するために、各種監視システムの性能評価を実施する。本年度は、マルチラレーション(MLAT)、放送型自動位置情報(ADS-B)、独立非協調監視システム(INCS)といった各種監視データを取得・解析し、特にADS-Bについては空港面で活用可能か検討するための、位置精度評価を実施する。等

②航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行

経路を実現する運航に関する研究開発

－本項目については中長期計画を達成したため令和2年度で終了した。

(4) 関係者間の情報共有及び通信の高度化

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

このため、以下の研究開発を進める。

- ① 異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発  
－航空分野でのDXを実現するため、情報共有基盤となるSWIMの導入が不可欠である。これに対応するため、SWIMによる協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究として、異なる運用要件に適応できる広域SWIMサービス基盤構築技術と情報の信頼性や運航の安全性を保証できるアシュアランス技術の提案、実用可能なサービスを用いた国際連携評価を行う。本年度は、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SWIMサービス基盤構築技術の提案を行う。また、軌道ベース運用に向けて国際実証実験を実施することにより提案技術の有効性を評価する。等
- ② 航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全な次世代航空通信に関する研究開発  
－航空通信基盤の高度化に関する研究では、複数の通信システムおよび通信経路を用いた際の接続率向上技術の評価開発、通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証、新しいネットワークに対応した各種規格の標準化活動を行う。本年度は、実験室規模で複数の通信システムおよび通信経路を模擬した検証システムを用いた接続率向上の評価実証、ならびに通信の秘匿・優先度選択技術の評価を始める。等

◆年度計画における目標設定の考え方

航空機運航の安全性及び効率性の向上、航空交通量増大への対応、航空利用者の利便性向上、航空機運航の効率性向上及び環境負荷低減などの達成に向けた重点研究分野を設定し重点的かつ戦略的に実施することを目標として設定している。

◆令和4年度における取組状況

令和4年度においては、以下の分野を重点的に実施している。

- (1) 軌道ベース運用による航空交通管理の高度化
- (2) 空港運用の高度化
- (3) 機上情報の活用による航空交通の最適化
- (4) 関係者間の情報共有及び通信の高度化

上記4分野以外においても、萌芽的研究として、AI やドローン等の急激に変化する分野を予測し、先見性と機動性を持って国内外の情勢及び技術動向を踏まえつつ基盤技術に関する研究を実施している。

萌芽的研究として、近年、小型無人航空機(ドローン)の普及が急速に進んでおり、既存の有人航空機、特にドローンと同じ低高度を飛行するヘリコプタとの衝突の可能性が懸念されている。本研究ではドローンの利活用を妨げることなく、ヘリコプタと共存することができる飛行環境を構築するにあたり必要となる要素技術の研究開発を目標としている。また、他の新たな航空機である空飛ぶクルマや、無操縦者航空機 (Remotely Piloted Aircraft System: RPAS) についても、将来求められる可能性がある要素技術の研究開発を行っている。

本年度の主な成果としては、前年度開発したヘリコプタの飛行予測手法の改善を行った。前年度開発した手法では飛行計画のみから予測経路を生成していたため、予測と実航跡との誤差が大きかった。新たに開発した手法では、飛行計画に加えて過去の航跡データと統計的な手法を用いることで、単なる予測経路ではなく、予測飛行範囲として統計的に精度よくヘリコプタの飛行を予測することが可能となった(図 1.4.1)。

また、RPAS の衝突回避シミュレーションを実施した。RPAS は機上にパイロットが搭乗せず、従来の旅客機とは飛行特性が異なるため、新たな衝突防止装置が必要であると言われている。加えて、旅客機に広く搭載されている空中衝突防止装置 (Traffic Alert and Collision Avoidance System: TCAS) は垂直方向の回避のみを行うが、RPAS 向けに開発されている Airborne Collision Avoidance System Xu (ACAS Xu) は、水平方向も組み合わせた回避を行うと考えられる。シミュレーションでは大型旅客機と異なる飛行特性を持つ 2 種類の RPAS の衝突回避シミュレーションを実施し、ACAS Xu を搭載した RPAS が、状況によって水平方向を組み合わせた回避をすることを示した (図 1.4.2)。加えて、そのような新たな挙動が空域に与える影響について検討した。

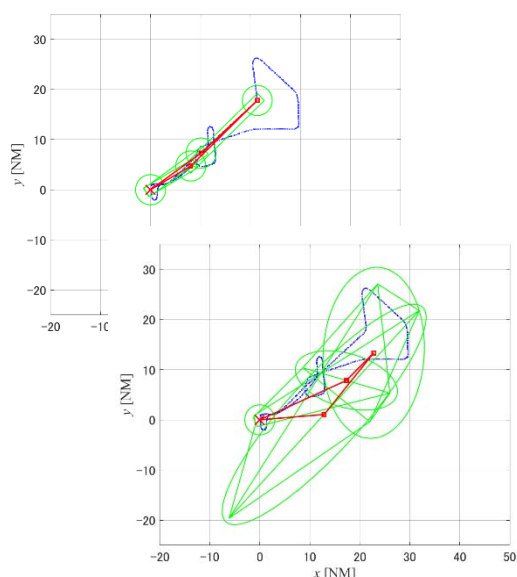


図 1.4.1 飛行予測の例(上図:前年度開発手法、下図:本年度開発手法、青:実航跡、赤:予測経路、緑:予測飛行範囲)

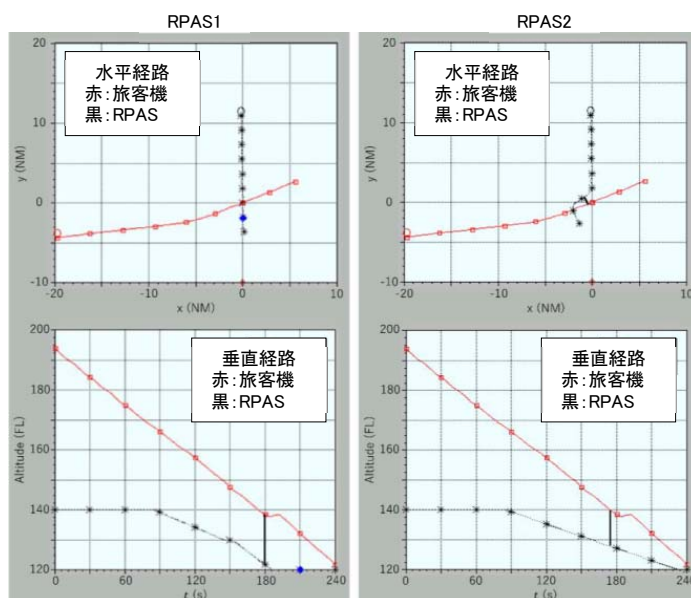


図 1.4.2 衝突回避シミュレーション結果(左図と右図は異なる飛行特性の RPAS を用いた結果)

### 成果の公表

#### □査読付論文：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,” IWAC, 令和 4 年 11 月.

#### □その他：3 編

・ 虎谷大地, 小手川達也, “日本の空域における次世代エアモビリティのための運用環境前提の検討,” 電子航法研究所研究発表会, 令和 4 年 6 月.

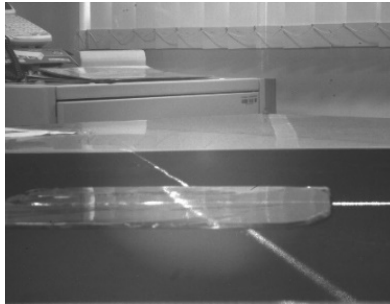
・ 虎谷大地, “ドローンのための空中衝突防止システムの技術動向,” 電子通信情報学会ソサイエティ大会, 令和 4 年月.

・ D. Toratani and H. Hirabayashi, “Estimation Methods of the Visual Flight Rules Planned Route for Sharing Preflight Information with Urban Air Mobility,” IWAC, 令和 4 年 11 月.

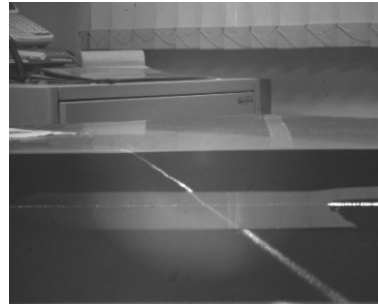
また、萌芽的研究として、冬季の爆弾低気圧等の影響により発生する急激な積雪をリアルタイムに観測するため、新しい滑走路面の堆積物計測技術に関する研究を実施している。滑走路面上に堆積した水、雪等は航空機着陸時の摩擦係数の低下を引き起こすため、着陸前のパイロットに滑走路状態が連絡されている。現在は定期的に人が観察、計測して滑走路状態を記録しているが、この作業を自動化、リアルタイム化するため、滑走路脇から堆積物を計測する技術を開発している。

本年度は、レーザー光細線化と共に、各種堆積物サンプルの測定データからレーザー反射の違いを抽出する信号処理手法と、得られたデータからサンプルの厚さを計算するアルゴリズムを開発した。

ラインレーザの導入により、監視区域の中心付近でビームを調整し、線幅を最適化できた。また、実験室内で水たまりや板氷を用い、基礎データを取得した(図 1.4.3)。さらに、レーザー波長に合わせたフィルタリングと計算による環境光の影響を低減する手法を開発し、各種天候条件下での屋外試験による外光の影響を分析評価し、背景の影響を低減する計測手法を考案した。これらの機器を用いて、画像解析用の教師データを作成するため、各種堆積物の画像データベースを作成した。



板氷



水たまりの計測

図 1.4.3 水たまりや氷を用いた実験室内でのデータ取得例

#### 成果の公表

□その他：1編

・米本成人，河村暁子，ニッ森俊一，森岡和行，宮崎則彦，“滑走路表面に堆積する雪氷の厚さ測定の試み，”電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会信学技報 SANE2022-118, 令和5年3月

さらに、萌芽的研究として、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も実施している。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、画像の空間分解能を高めるための配列方法の検討とともに、計算速度向上手法や送受信アンテナ構成に合わせて、任意の受信位置で受信する測定プログラム及び得られた信号から平面分布を推定し電波の波源位置を映像化する手法を開発した。

レーダー近傍において3次元イメージ画像を実測により分析した結果、奥行き方向の信号劣化を観測した。このため、3次元レーダーの計測信号を模擬するシミュレーションプログラムを開発したところ、理論値と実験値が一致し、近傍界における3次元信号の誤差評価の手法を確立することができた。アンテナ配置を自由に変更して、この手法を適用したシミュレーションを行ったところ、L字アレイで対角状に発生する像のにじみが口の字配置で低減できることが示せた(図 1.4.4)。

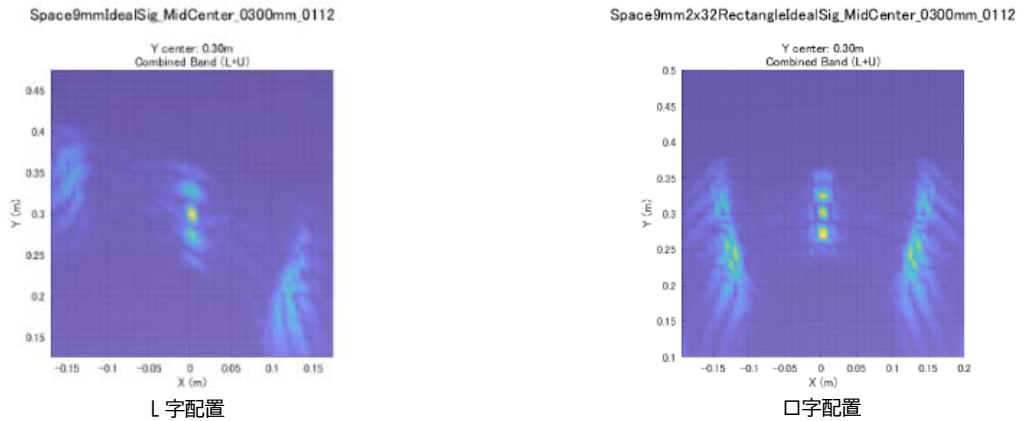


図 1.4.4 30cm 離れた 8cm 金属球の 3 次元レーダーイメージの上面図における配置の違い

### 成果の公表

#### □査読付論文: 2編

- ・Arie Setiawan, Naruto Yonemoto, Hitoshi Nohmi and Hiroshi Murata, “Analysis of Millimeter-Wave Imaging Using Dielectric Lens for Fourier Transformation,” APMC, Nov. 2022
- ・Arie Setiawan, Atsuki Yamawaki, Naruto Yonemoto, Hitoshi Nohmi and Hiroshi Murata, “Millimeter-Wave Imaging Using Dielectric Lens for Security Application, ” EuRAD, Sep. 2022

#### □国際標準化会議: 1編

- ・Noriyoshi Shionoya, “PUBLIC COMMENT PHASE ~AC20-158B”, FAA, May 2022

#### □学会発表論文ほか: 7編

- ・塩野谷哲久, 米本成人, “ハイブリッド・バンドル内における誘導電圧トランジェントの考察,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演概要集, 2022 年 9 月
- ・米本成人, 河村暁子, ニツ森俊一, 森岡和行, 宮崎則彦, 平賀規昭, 佐藤正彦, 能美仁, “セキュリティ検査のための隠された凶器を検出する 2 周波 FMC レーダーイメージャーの試作,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会信学技報 SANE2022-53, 2022 年 11 月
- ・米本成人, “セキュリティ検査のため 3 次元レーダーシステムの開発”, ENRI リーフレット, 2022 年 11 月
- ・米本成人, “低損失な複合材レドーム”, ENRI リーフレット, 2022 年 11 月
- ・米本成人, “光と電波を反射する反射器・マルチビームアンテナ”, ENRI リーフレット, 2022 年 11 月
- ・米本成人, “セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発,” ENRI リーフレット, 2022 年 11 月
- ・米本成人, “ミリ波レーダー組み込み型ヘッドライト,” ENRI リーフレット, 2022 年 11 月

**研究開発課題** (1)軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

**研究テーマ** ①運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。</p> <p>また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要な堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発</p>	<p>運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。</p> <p>また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要な堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理(ATM)のためのシステムの開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①運航者の希望に基づく飛行経路を実現しつつ、適切な管制処理容量の確保を可能とするための管理手法に関する研究開発</p> <p>－気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究では、気象(悪天)現象が航空機の運航、航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約について可視化・定量化し、航空交通流管理および航空機の運航管理の高度化を図る。本年度は、航空用の悪天情報を含む気象予報データを用いた悪天回避経路生成について検討するとともに、セクタにおけ</p>

		<p>る悪天域の割合と取り扱い航空機数やデビエーション率との関係性を分析する。また、検討・分析結果を関係者が評価できる仕組みを開発する。等</p>
--	--	---

○気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究

**研究の背景**

協調的な運航前の軌道調整を実現するにあたっては、天気図等から悪天域を読み取り、航空機運航や航空交通に及ぼす影響及び空域容量に対する制約を判断する高度な能力が要求される。これを支援するために、現状では航空交通気象センターから悪天に係る一般的な気象情報と共に航空交通気象時系列予報(ATMet 時系列)が提供されているが、それでもまだ航空機運航や航空交通に及ぼす影響及び空域容量に対する制約を直感的かつ定量的に把握することは容易ではない。ATMet 時系列等の気象情報に対して航跡データや航空交通流制御実績データ等から求めた航空機運航や航空交通に及ぼす影響との相関を調べる等、飛行経路の選択や航空交通流制御の実施判断に資する気象情報の意味付けを行う研究開発が必要とされている。

**研究目標**

- 悪天の発生傾向や管制空域及び飛行経路との関係性、回避状況などを分析し、回避条件やバッファの推定、回避方法のモデル化を行う。
- 米国等の取り組みを参考にしつつ、現状比較等により我が国に適した運用判断指標を検討することで、悪天による航空交通流管理への影響度を定量化する。
- 上記の分析及び評価の実施を容易にするための研究用評価システムを開発し、研究成果を可視化する。

**令和4年度の研究内容**

- 航跡データ、気象データ、航空交通流制御関連データの収集及び分析(予報値を用いた悪天回避の改良)
- 国内外の動向調査及び運用判断指標候補の評価(運用判断指標の分析)
- 研究用評価システムによる評価及び性能向上(評価機能の開発)

**令和4年度の研究成果**

□航跡データ、気象データ、航空交通流制御関連データの収集及び分析(予報値を用いた悪天回避の改良)

気象庁が提供している気象観測データの全国合成レーダーエコーGPVに基づいて開発した悪天回避経路生成技術に関し、運航前の飛行計画段階で利用可能な気象予報データである気象庁の航空悪天 GPV を適用した場合について事例解析を行った。図 1.4.5 に悪天回避経路の生成例を悪天域の再現精度が高い順に左から右に並べて示す(左図:観測値、中央図:直近の予報値、右図:3 時間前の予報値)。地図上のカラースケール領域が悪天域を表し、青から緑、赤へ変わるにつれて降水強度は高くなる。また、赤点実線が実際の飛行経路を表すのに対し、それ以外のカラー実線は運航者によって異なる悪天回避志向を反映した生成経路を表す。予報値を用いた場合は観測値を用いた場合に比べて生成経路数が少ないことがわかる。図 1.4.5 に示した事例以外でも同様の傾向が見られたことから、予報値を用いた悪天回避については生成経路にデータ解像度の違い等によるものと思われる差異が生じることがわかった。一方、飛行時間や燃料消費量等は実際の悪天回避の場合とあまり差がなく、比較的近い値が得られた。



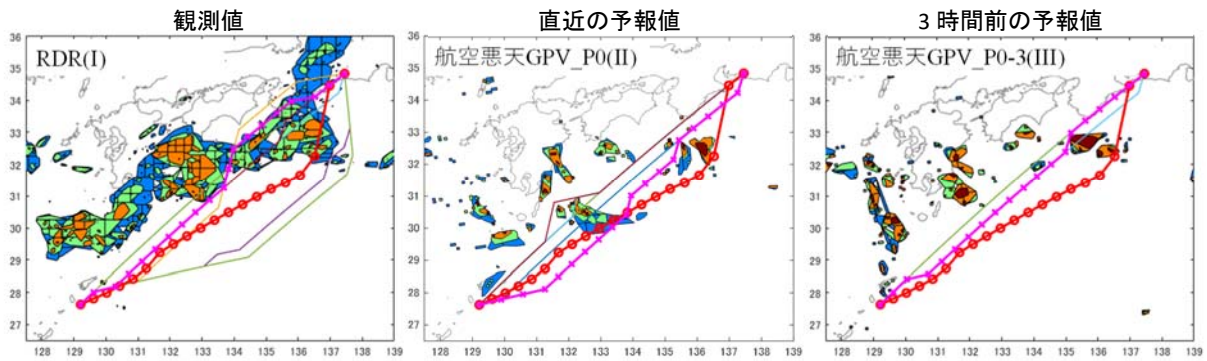


図 1.4.5 悪天回避経路生成例

(カラースケール領域: 悪天域、赤点実線: 実際の飛行経路、カラー実線: 運航者によって異なる悪天回避志向を反映した生成経路)

□国内外の動向調査及び運用判断指標候補の評価(運用判断指標の分析)

空域容量に影響する管制部空域の悪天率(対象空域に占める閾値以上のエコー強度領域の体積割合、ここでは対象日における最大値と定義)とデビエーション率(9~21時に航空路管制の対象空域で悪天候に起因する管制指示を受けた航空機の機数割合)を求め、相関関係を分析した。2021年5月~2022年1月の内の計245日間、羽田空港からの出発機を主に扱う関東西セクタ(T12)と武蔵セクタ(T13)を合わせた空域を分析対象とした。その結果、悪天率の算出に用いるエコー強度閾値の大きさによらず、0.6弱の相関係数が得られた(図1.4.6)。デビエーション率が高く悪天率が低い場合は交通流の要所にピンポイントで悪天が発生した場合、逆にデビエーション率が低く悪天率が高い場合は状況判断により悪天回避が行われなかった場合等が考えられるため、今後、より詳細な分析を行って強い相関関係を求めていく予定である。

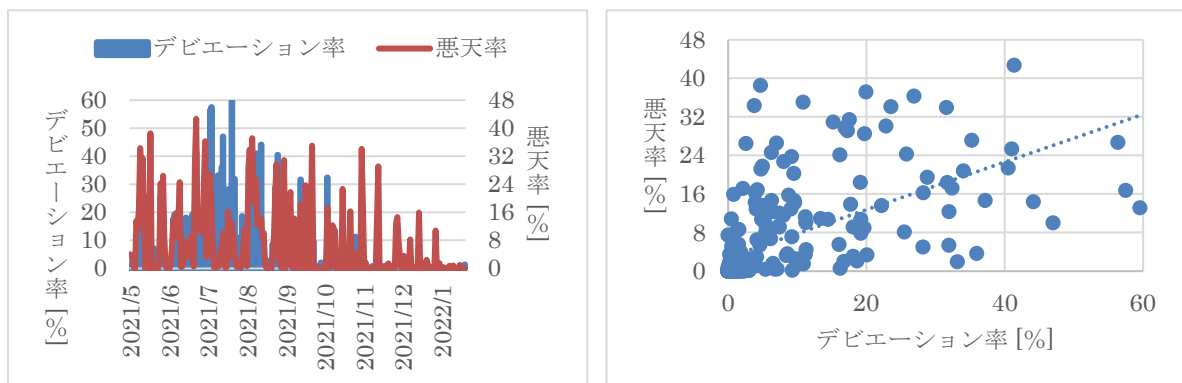


図 1.4.6 悪天率とデビエーション率(エコー強度閾値 0.1mm/h の場合)

□研究用評価システムによる評価及び性能向上(評価機能の開発)

航跡データや気象データ等を表示・分析する機能を有する研究用評価システムについて、システムの利用者が簡単な操作で航空交通流と悪天現象等の状況を把握できるよう、表示機能と分析機能の実行環境を切り分け、表示機能についてはブラウザ上から実行する仕組みに変更した(図1.4.7)。これにより、検討結果・分析結果を関係者から評価を受ける仕組みが整った。次年度は、複数の飛行計画情報を比較できるようにシステムの性能向上を図り、運航前の軌道調整における情報表示等を評価する。

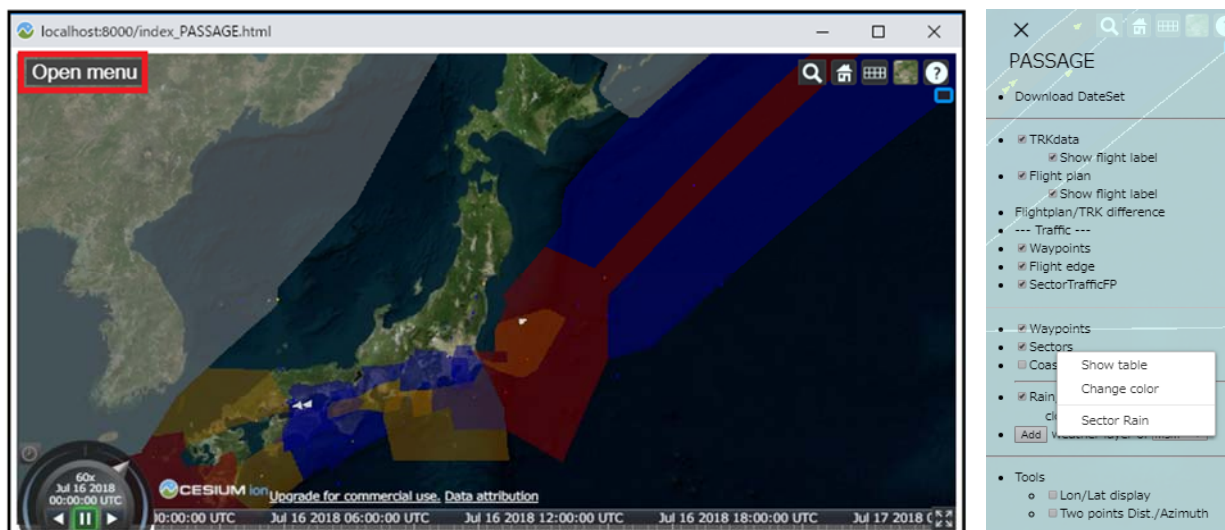


図 1.4.7 ブラウザ上の表示画面例(左:マップ表示、右:操作メニュー)

### 成果の公表

□査読付論文:0 編

□国際標準化会議(ICA0、RTCA、EUROCAE 等):0 編

□その他:7 編

- ・中村陽一、ビクラマシンハナヴィンダ、瀬之口敦:“気象予報データの利用者選択経路の導出に与える影響”、第 22 回電子航法研究所研究発表会、2022 年 6 月.
- ・瀬之口敦、平林博子、中村陽一:“航空路管制における悪天候の影響の初期的な分析”、第 22 回電子航法研究所研究発表会、2022 年 6 月.
- ・瀬之口敦、平林博子、中村陽一:“気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究の紹介”、航空無線 113 号、2022 年 9 月.
- ・瀬之口敦、平林博子、中村陽一:“CARATS 施策 MET-4-1、MET-4-2 および TBO-2-1 関連の ENRI 研究開発の進捗報告”、CARATS 第 49 回 ATM 検討 WG/第 50 回航空気象検討 WG 合同 WG、2022 年 9 月.
- ・中村陽一、瀬之口敦:“気象予報データを活用した航空機の悪天回避経路の生成”、日本航海学会学会誌 NAVIGATION 222 号、2022 年 10 月.
- ・中村陽一、瀬之口敦:“気象予報データを用いた悪天回避に関する初期的解析”、第 60 回飛行機シンポジウム、2022 年 10 月.
- ・瀬之口敦、平林博子、中村陽一:“航空路管制における悪天候の影響に関する考察”、第 60 回飛行機シンポジウム、2022 年 10 月.

<b>研究開発課題</b>	<b>(1)軌道ベース運用による航空交通管理の高度化</b>
---------------	--------------------------------

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。</p> <p>また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発</p>	<p>運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。</p> <p>また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要となる堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理(ATM)のためのシステムの開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用を可能とする技術に関する研究開発</p> <p>—国際交通流の円滑化に関する研究では、フリールート空域(FRA)運用による交通流の変化と便益を明確にするとともに、FRA 運用への移行の課題を洗い出し、対策を検討・提案する。また、日本と隣接する飛行情報区(FIR)の間で共有すべき情報や共有方法について検討し提案する。本年度は福岡 FIR と仁川 FIR の初期 FRA 運用概念に基づき作成した空域モデル、交通モデルを FRA</p>

		<p>モデルに反映するとともに、フリールーティングの影響・効果を評価するための評価指標を定義する。また、国際交通流管理のために共有すべき情報項目と共有するタイミングの検討を継続する。等</p>
--	--	--

○国際交通流の円滑化に関する研究

研究の背景

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

一方、上記 FIR におけるシームレス・スカイ上での FRA の実装手法は、学術レベルを含めて現在までに検討されておらず、フリールートや空域構成の算出、便益推定及び FIR 間での情報共有等の具体的な手法を開発することが必要とされる。

研究目標

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

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

令和4年度の研究内容

□FRA 運用モデルの構築・検証

□フリールーティング評価指標の定義

□国際 ATFM 方策の検討

令和4年度の研究成果

□FRA 運用モデルの構築・検証

仁川 FIR～洋上空域間の FRA 空域設計案及び洋上運用の効率化に関する検討を行った。

図1.4.8の左に2019年3月の仁川 FIR～洋上空域間の空域(現在空域)、右にFRA 空域設計案を示す。FRA 空域において、訓練空域を横断するATS 経路を残し、洋上空域に入域する航空機の横間隔を確保するために洋上転移経路を設け、その他のATS 経路は除去した。また、運航者が訓練空域を最短距離で回避する経路を計画できるように、訓練空域の境界線から10NM 離れたウェイポイントを数か所設置した。

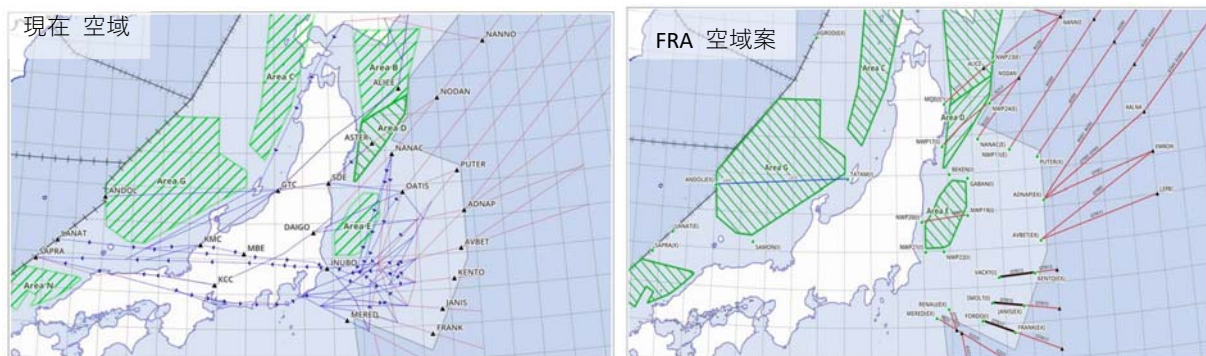


図 1.4.8 左:2019年3月の仁川 FIR～洋上空域間の空域。仁川国際空港～北米間の交通流が飛行計画で利用する主な航空路を青色の線(RNAV ATS 経路)と茶色の線(ATS 経路)で、訓練空域を緑網掛けのポリゴンで示す。右:FRA 空域設計案。洋上転移経路を黒線で示す。

FRA の便益評価として、仁川 FIR～洋上空域間の飛行計画で利用する FRA 入域・出域フィックスのペアに対して、現在空域と FRA 空域における飛行計画経路の距離を比較した。二つの比較例を図 1.4.9 に示す。入域・出域ペアに対して、FRA の飛行計画経路は現在空域の計画経路より短い(赤線と青線の距離の差)ケースがいくつかあった。入域・出域ペアに対する飛行計画経路の短縮距離と 2019 年に飛行したフライト数の積を全ペアで合計した距離は約 150,000NM である。これにより、約 300 時間の飛行時間短縮、3,000,000lb の消費燃料削減、4,000t の CO<sub>2</sub> 排出削減が見込める。

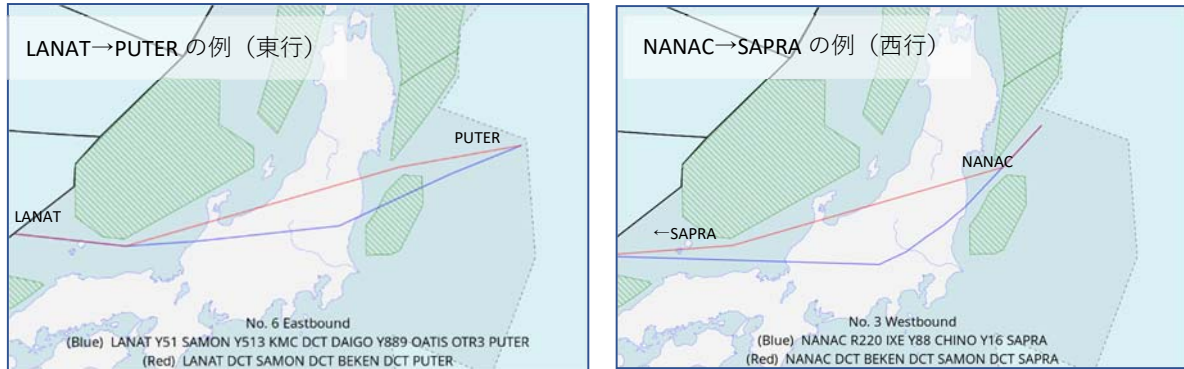


図 1.4.9 現在空域における飛行計画経路(青線)と FRA 空域における飛行計画経路(赤線)の比較例  
左: 東行き LANAT から PUTER、右: 西行き NANAC から SAPRA

ジェット機は、より高い巡航高度での飛行が効率的だが、上昇性能はエンジン推力と重量で左右される。特に長距離のフライトは、離陸時は機体が重いいため高い巡航高度を達成できない。しかし、航空機は巡航中に燃料を消費して徐々に軽くなり、次の高い巡航高度への上昇が可能になれば、航空管制から許可を得てその高度へ上昇する(ステップクライム)。他の航空機との潜在的な干渉がある場合、航空管制はステップクライムを拒否する。陸域のレーダー管制空域におけるステップクライムは、他の航空機にブロックされる状態が長く続かないが、洋上空域においては CNS 性能の限界によりその状態が長く続く場合があり、希望高度を達成できないことによる運航効率の劣化が発生する。北太平洋空域を通過するアジア～北米間におけるステップクライムの拒否要因を、運航データの解析とファストタイムシミュレーション実験で調査した。東京都立大学との共同研究で、ステップクライム要求が拒否された場合に、その原因となった関連機を検知するアルゴリズムを開発して洋上管制の有識者と共に性能を検証した。当該アルゴリズムの概要を図 1.4.10 に示す。各航空機の CNS 性能と複雑な洋上管制の管制間隔に関する規定を考慮することによって認識率を向上でき、十分な精度を達成した。

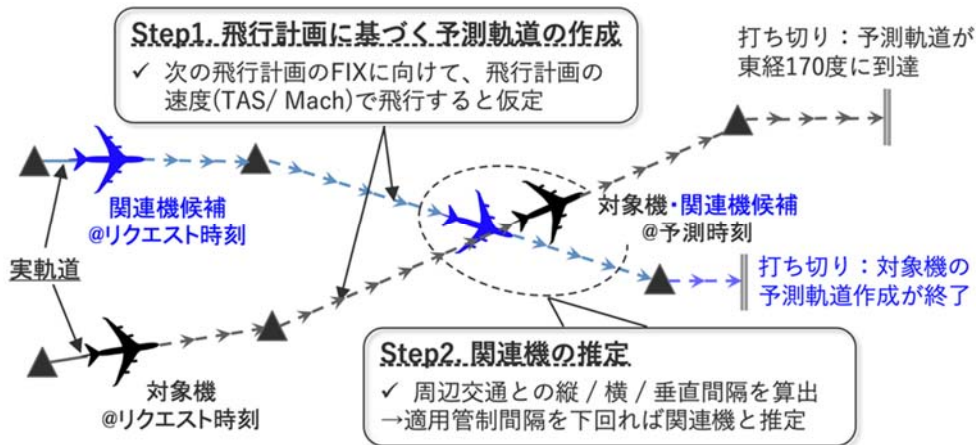


図 1.4.10 ステップクライム要求が航空管制により拒否される場合に  
ブロックする関連機を検出するアルゴリズムの概念

アルゴリズムは対象機と関連機のそれぞれの CNS 性能と洋上管制のルールを考慮して検出を行う。

#### □フリールーティング評価指標の定義

フリールーティングを導入する前に、新しい空域設計や運用方法を評価する必要がある。また、導入後にフリールーティングの効果を確認する必要がある。その評価・確認のための適切な指標について検討に着手した。指標を ATM システムの関係者(運航者、航空管制、航空交通管理)の観点と導入前・導入後で分類した。

運航者の指標として、フリールーティングから得られる飛行計画の柔軟性の向上により、飛行計画経路が理想的な経路により近づく効果が期待される。その効果を定量化するには、図 1.4.8 の空域設計例で計算した直接指標の飛行計画距離、飛行時間短縮とそれらから計算できる消費燃料削減と温室効果ガス排出削減の値がある。飛行時間の短いフライトの場合、理想的な経路は直行経路であると仮定できるが、洋上空域においては風の影響を考慮した最適経路が理想的な経路であると仮定する必要がある。また、洋上空域においては、最適な経路は毎日の気象変更とジェット気流の季節変動により変わり、FRA の妥当な評価が難しくなる。本研究では、洋上空域の季節変動を反映したファストタイムシミュレーション評価に適用する気象情報を、偏りなく選択する方法を開発した。多量のデータ処理を回避するため、上空の風向風速データを毎日公開される PACOTS 経路情報で代用し、機械学習であるクラスタリング手法により季節の傾向を包括的に得ることが可能な最小日数の気象データを選択した。

航空管制の観点の指標としては空域の安全と容量が一般的である。空域の安全と容量は航空管制官の業務負担と交通の複雑性に関連するが、関係性は明確ではない。FRA 設計案の初期評価についてファストタイムシミュレーションやモデリングで行ってきた。具体的には、飛行計画に基づいた軌道を計算し、潜在的干渉(Potential Loss of Separation)や先行研究で開発した管制難度指標で評価を行っている。FRA 設計案の具体化が進めば、管制官等参加型のリアルタイムシミュレーション実験で航空管制官の業務負担を直接測定できるが、多量のリソースが必要である。

日本においては、セクター容量管理のために MMBB(Modified MBB)指標が既に利用されている。FRA における MMBB の適正を明確にするため、MMBB と空域複雑性(Complexity)の相関の調査に着手した。セクターT02 の分析例を図 1.4.11 に示す。



図 1.4.11 T02 セクターをセルに分割し、セル毎にレーダー航跡に基づいた MMBB の値(数値)とセルの色(赤:複雑性高、青:複雑性低)で表す複雑性の計算結果の例  
レーダー航跡を重ね合わせており、局所的な交通流の密集が見られる。

航空交通管理の観点の指標として、フリールート運用に期待する効果は不確定性の削減である。定義と定量化については今後の検討課題である。

#### □国際 ATFM 方策の検討

多くのアジア～北米間の便が福岡 FIR の上空を通過する。また、日本～アジア間の交通流も多い。アジア地域には幾つかの高需要空域があり、混雑が発生した場合、関連する交通流に対して AFTM 方策を実施する必要がある。

洋上空域のファストタイムシミュレーション結果から、福岡 FIR の洋上ゲートウェイ近辺での交通集中がステップクライム拒否の一要因であることが分かった。潜在的な干渉を抑制するための AFTM 方策として、図 1.4.12 に示す新しい洋上ゲートウェイを 30NM 間隔に設け、交通を分散することを提案した。

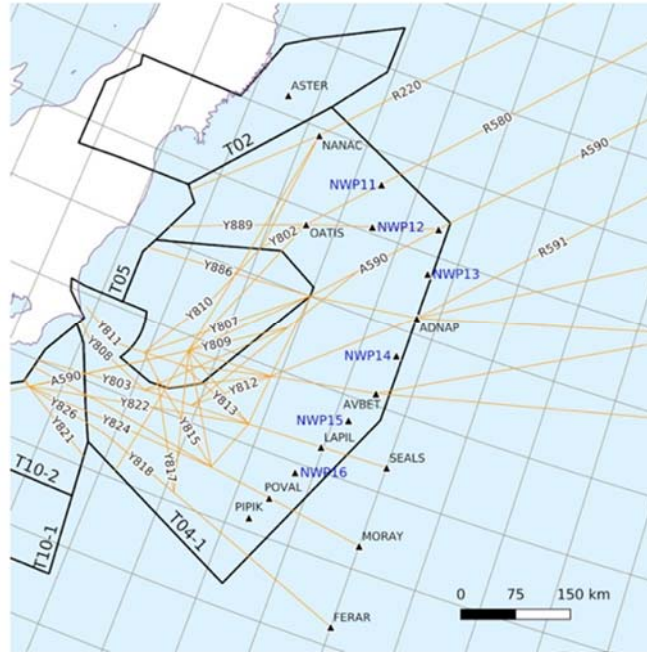


図 1.4.12 福岡 FIR の洋上空域と隣接するレーダー管制セクター  
洋上ゲートウェイを▲のシンブルで表す。

NWP11～NWP16 は現在の洋上ゲートウェイの間に追加するゲートウェイの案である

令和 4 年度に、韓国航空大学(KAU)、韓国航空宇宙研究院(KARI)及び南京航空航天大学(NUAA)との共同研究で、アジア地域における国際 ATFM の調査・検討に着手した。国際 AFTM 方策として、FIR 境界線のフィックスにおいて、ある交通流に対して FIR 入域の距離間隔の指定(MIT:Miles in Trail)と FIR 入域の時間間隔を指定(MINIT:Minutes in Trail)するのが一般的だが、最近では AFTM 方策対象の交通流全体よりも便ごとに制限を指定する方法に変わりつつある。便を特定する AFTM 制約について、FIR 境界線フィックスを通過する時刻の指定(Calculated Time Over:CTO)と離陸時刻の指定(Calculated Take Off Time:CTOT)がある。アジア太平洋地域においては、日本・韓国・中国が参加する東北アジアの NARAHG(North Asia Regional AFTM Harmonization Group)は互いに AFTM 方策として CTO を適用している。一方、東南アジア中心の Multi-Nodal AFTM に参加する国は CTOT を利用する。中国・韓国・日本間の一つの AFTM シナリオについて KARI がシミュレーション調査した結果から、CTO が MIT/MINIT より遅延が少なく平等性が高いことが分かった。今後は、CTO と CTOT のメリット・デメリットと両者の併用について検討する予定である。

#### 成果の公表

□査読付論文:5 編

- Hirabayashi, H., Brown, M. and Takeichi, N.: “Feasibility Study of Free Routing over the North Pacific,” in AIAA Journal of Air Transportation, Vol 30, pp. 59–70, Apr. 2022. <https://doi.org/10.2514/1.D0291>
- Murata, A., Toratani, D., Hirabayashi, H., Brown, M. and Takadama, K.: “Benefit Balancing between Japan Departure Flights and Overflights in the North Pacific Route System,” Transaction of JSASS, Aerospace Technology Japan, Vol. 20, pp. 41–48, Aug. 2022.
- Hirabayashi, H., Brown, M., Wickramasinghe N. K., Suizu, H. and Takeichi, N.: “Effect of Step Climb Operation on Long-Haul Flight over the Pacific Ocean,” The 2022 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2022), Niigata, Japan, October 2022.
- Brown, M. and Hirabayashi, H.: “Free Route Airspace Design for Fukuoka FIR: A Case Study for Overflight Traffic between Northeast Asia and North America,” The 2022 Asia-Pacific International Symposium on



Aerospace Technology (APISAT 2022), Niigata, Japan, October 2022.

・Brown, M., Kim, H., Wang, Y., Lee, K., Hirabayashi, H., Wickramasinghe, N., Murata, A., Jeon, D.K., Eun, Y., Oh, E.M., Lee, S. and Gray, N. H.: “International Air Traffic Flow Management in North and East Asia,” The 2022 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2022), Niigata, Japan, October 2022.

□その他:5 編

・水津晴隆, 平林博子, ブラウンマーク, 武市昇:、“洋上経路を飛行する航空機の上昇リクエストに対する周辺交通の影響,” 第60回飛行機シンポジウム、新潟、2022年10月。

・平林博子、ブラウンマーク、武市昇、“北太平洋上空のフリールーティング運用可能性の検討、”令和4年度(第22回)電子航法研究所 研究発表会、2022年5月。

・Suizu, H, Takeichi, N., Hirabayashi, H., Brown, M., “The Effect of Nearby Traffic on Step Climb in Oceanic Airspace,” 28<sup>th</sup> IPACG Providers Meeting, Fremont, CA, USA, November 2022.

・Hirabayashi, H., Brown, M., Wickramasinghe, N., Suizu, H, Takeichi, N., “Route Design Considerations from Simulation of Step-Climb Operations over the North Pacific Ocean”, 28<sup>th</sup> IPACG Providers Meeting, Fremont, CA, USA, November 2022.

・Hirabayashi, H., Brown, “Preliminary Simulation Study of NOPAC Redesign,” 28<sup>th</sup> IPACG Providers Meeting, Fremont, CA, USA, November 2022.

**研究開発課題** (1)軌道ベース運用による航空交通管理の高度化

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>全航空機の飛行経路と通過時刻によって航空交通を管理する軌道ベース運用について、混雑空域において実施可能とする技術、当該運用を支える航空交通システムの堅牢性向上、管制空域及び飛行経路の管理技術等に関する研究開発に取り組む。</p>	<p>運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。</p> <p>また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要な堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムの開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発</p>	<p>運航者の希望に基づく飛行経路を実現するとともに、安全な航空機間隔が維持できる軌道ベース運用による航空交通管理方式の、洋上空域などの航空路空域のみならず航空交通量が多い高密度空域や複雑な空域への導入を実現するため、効率的な管制空域及び飛行経路の管理並びに軌道ベース運用の概念を実装するための技術の開発が求められている。</p> <p>また、この効率的な管制空域及び飛行経路の管理手法並びに軌道ベース運用の円滑な導入のため、高度な航空交通システムの安全かつ安定的な機能に必要な堅牢な通信・航法・監視を含む航空交通管理(ATM)のためのシステムの開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③システム故障、ヒューマンエラーや自然状況変化によるリスクなどに強い通信・航法・監視を含む航空交通管理のためのシステムに関する研究開発</p> <p>—新しい GNSS 環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究では、GPS 以外のコアシステムを含めた新しい GNSS(衛星航法)環境を活用して、GNSS による進入着陸誘導システムの高度化を図り、電離圏活動の影響を受けにくく、耐妨害性に優れたものとするための研究を行う。本年度は、新しい GNSS 環境に対応した GBAS(地上直接送信型衛星航法補強システム)について規格化のための方式</p>

		<p>検証を行うとともに、次世代 SBAS(衛星経由送信型衛星航法補強システム)とあわせて飛行実験を実施し、GNSS 信号認証技術の検証を行う。等</p>
--	--	---

○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。

電離圏に関する環境が欧米と異なる我が国は、GNSS の国際標準化作業に積極的に参画し、磁気低緯度地域で導入可能な次世代 GNSS 対応補強システムの開発に貢献する必要がある。当所ではこれまでも次世代 GNSS 補強システムのプロトタイプを開発してきており、引き続き国際標準策定作業を継続するとともに、相互運用性を確保するための活動を先導することが求められている。

※GNSS(Global Navigation Satellite System):人工衛星による航法システム。米国による GPS のほか、ロシアによる GLONASS 等がある。

※SBAS(Satellite-Based Augmentation System):情報伝送に人工衛星を用いる補強システム

※GBAS(Ground-Based Augmentation System):情報伝送に VHF 無線を用いる補強システム

研究目標

- 新しい GNSS 環境に対応した進入着陸誘導システムについて要素技術を開発し、技術的要件を明確化するとともに国際標準案に反映する。
- 欧米の研究開発機関と協調して、新しい GNSS 環境に対応した進入着陸誘導システムの相互運用性検証実験を実施し、相互運用性を確実にする。
- GNSS におけるセキュリティ対策技術を開発し、安全・安心な航法を実現する。

令和4年度の研究内容

□次世代 GBAS の方式検証

次世代 GBAS に関する方式提案について、規格化に必要とされる検証作業を行う。

□次世代 GBAS/SBAS 飛行実験

最新の GNSS 環境に対応した飛行実験を行い、次世代 GBAS の検証作業及び次世代 SBAS の相互運用性検証に必要な実験データを収集する。

□SBAS 相互運用性検証実験

SBAS の相互運用性を検証するため、シミュレータ等による試験を実施する。

□セキュリティ対策技術のプロトタイプ開発

GNSS におけるセキュリティ対策技術の実用化を目指し、次世代 SBAS での規格化を想定してプロトタイプを開発する。

令和4年度の研究成果

□次世代 GBAS の方式検証

次世代 GBAS について、前年度に引き続き ICAO NSP(航法システムパネル)アドホック会合における対応を継続した。この過程で欧米と共同提案した電離圏モニタ方式案について、飛行実験データを用いてプラズ

マバブルに対する応答を検証した。

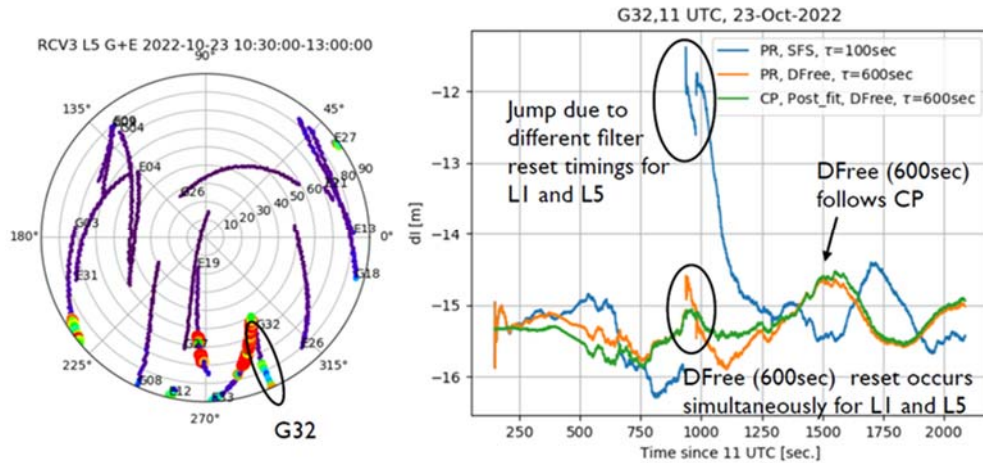


図 1.4.13 プラズマバブルに対する GBAS 電離圏モニタの挙動例  
シンチレーションの影響を受けている。

#### □次世代 GBAS/SBAS 飛行実験

令和 4 年 10 月に石垣島にて飛行実験を実施し、昼間フライト 4 回に加えて、プラズマバブルが発生しやすい夜間フライト 6 回の実験データを収集した。実験後の分析により、プラズマバブルを含むデータを取得できたことを確認した。令和 5 年 3 月に予定していた飛行実験は、実験機の整備のため、次年度早々に時期を変更することになった。

#### □SBAS 相互運用性検証実験

SBAS プロバイダ各国による IWG(相互運用性)会合において、新しく規格化された L5 SBAS の相互運用性の確保のためにサンプルの L5 SBAS メッセージを交換することを提案した。この提案に基づき、現行 MSAS の地上監視局配置を想定して実データに基づく L5 SBAS メッセージのサンプルを生成し、欧米研究機関との交換を進めている。認証メッセージについて L1 SBAS でも規格化される見通しとなったことから、プロトタイプを使用して生成したメッセージを欧州の規格化機関である EUROCAE WG-62 会合に提供した。

#### □セキュリティ対策技術のプロトタイプ開発

GNSS のセキュリティ対策として規格化が進められている SBAS 認証機能について、ICAO NSP におけるドラフト案に基づく認証メッセージを生成するプロトタイプの開発を完了し、動作を確認した。本プロトタイプにより L1 SBAS 向けの認証メッセージを実際に生成し、サンプルとして欧米研究機関に提供した。並行して、本プロトタイプのリアルタイム実験系との接続作業を行っている。

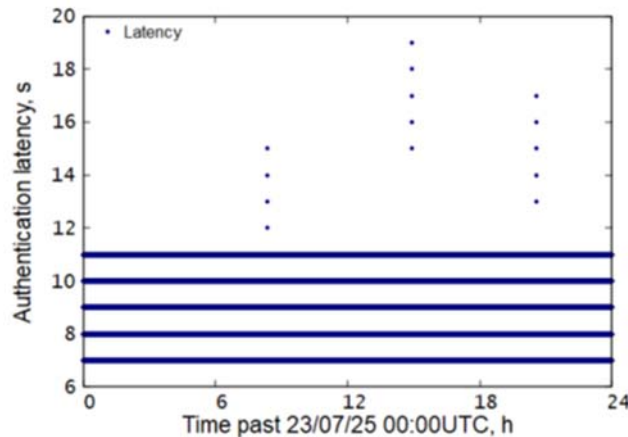


図 1.4.14 認証メッセージによる認証タイミングの遅れ時間  
正常時は 7~11 秒で、まれなアラートシーケンスの際にはより遅れる。

#### 成果の公表

##### □査読付論文:6 編

- Acharaporn Bumrungrkit, Pornchai Supnithi, 齋藤享, Lin Min Min Myint, “A study of equatorial plasma bubble structure using VHF radar and GNSS scintillations over the low latitude regions,” GPS Solutions, Sept. 2022
- 齋藤享, 吉原貴之, Tim Murphy, Matt Harris, Glaucia Balvedi, Gary McGraw, Joel Wichgers, “Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions,” ION GNSS+, pp.3150–3159, Sept. 2022
- Tim Murphy, Matt Harris, Glaucia Balvedi, Gary McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha, 齋藤享, “Availability of DFMC GBAS with Iono Gradient Monitoring,” Proc. ION GNSS+, pp.12–33, Sept. 2022
- 坂井丈泰, “衛星航法システムの信頼性,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J105–B, No.10, pp.1–10, Oct. 2022
- 坂井丈泰, “GPS ブロック III 衛星のアンテナ位相中心オフセットと食期間における姿勢制御,” 日本航空宇宙学会論文集, Vol.70, No.5, pp.146–151, Oct. 2022
- 坂井丈泰, “GNSS における RAIM 補強の理論とアルゴリズム,” 電子航法研究所報告, No.135, Dec. 2022

##### □国際標準化会議(ICA0、RTCA、EUROCAE 等):10 編

- 野宮真人, 齋藤享, 吉原貴之, 齋藤真二, “GBAS Status Update in Japan,” ICAO NSP JWGs/9, June 2022.
- 齋藤享, 吉原貴之, “DFMC GBAS Testbed and Flight Trials,” ICAO NSP JWGs/9, June 2022.
- 齋藤享, 吉原貴之, “Research and development activities related to GBAS in Japan,” ICAO APANPIRG CNS–SG/26, Sept. 2022.
- 齋藤享, 吉原貴之, Tim Murphy, Matt Harris, Glaucia Balvedi, Gary McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha, “Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions,” RTCA SC–159 WG4, Oct. 2022.
- 松田国幸, 坂井丈泰, “MSAS L1 Authentication Possibility”, ICAO NSP GSWG/4, Nov. 2022.
- 齋藤享, 吉原貴之, “DFMC GBAS flight data collection under ionospheric disturbed conditions,” ICAO NSP/7, Jan. 2023.
- 野宮真人, 齋藤享, 吉原貴之, 齋藤真二, “GBAS Status Update in Japan,” ICAO NSP/7, Jan. 2023.
- 齋藤享, “Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions,” ICAO NSP/7, Jan. 2023.
- 坂井丈泰, “Sample L1 SBAS Authentication Message by MIVEX–AUTH,” EUROCAE WG–62, Feb. 2023.

- ・齋藤享, “Preliminary results of DFMC GBAS flight data collection campaign in October 2022 under ionospheric disturbances,” RTCA SC-159 WG-4, March 2023.

□その他:15 編

- ・齋藤享, 吉原貴之, “Status of GBAS related studies of ENRI,” LATO/37, May 2022.
- ・高橋透, 齋藤享, 北村光教, 坂井丈泰, “ノルウェー・オスロにおける QZSS から放送された DFMC SBAS の受信実験,” 電子航法研究所研究発表会, June 2022.
- ・坂井丈泰, “GPS 運用状況データベースの構築,” 第 4 回測位技術振興会研究発表講演会, Sept. 2022.
- ・齋藤享, 吉原貴之, “GBAS Research Status of ENRI,” IGWG/21, Sept. 2022.
- ・齋藤享, 吉原貴之, “Validation of iono monitor for DFMC GBAS,” IGWG/21, Sept. 2022.
- ・坂井丈泰, “安全・安心な測位のために: 位置情報のインテグリティ,” 準天頂衛星が拓く安全・安心社会の実現に向けた高精度測位技術及び応用に関するシンポジウム, Sept. 2022.
- ・齋藤享, 吉原貴之, “DFMC GBAS testbed at Ishigaki, Japan,” International Workshop on ATM and CNS (IWAC), Oct. 2022.
- ・坂井丈泰, 北村光教, 高橋透, “Proposal to Exchange DFMC SBAS Messages for Interoperability,” SBAS IWG/37, Nov. 2022.
- ・坂井丈泰, 北村光教, 毛塚敦, “L5 SBAS による信号認証メッセージ,” 第 66 回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2022.
- ・高橋透, 北村光教, 小田浩幸, 坂井丈泰, “DFMC SBAS メッセージの相互検証,” 第 66 回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2022.
- ・北村光教, 坂井丈泰, “MSAS 性能評価～日本周辺 SBAS との性能比較～,” 第 66 回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2022.
- ・吉原貴之, 北村光教, 坂井丈泰, 小田浩幸, 高橋透, “GNSS 受信信号のコード相関結果を用いたマルチパス誤差評価と測位解の信頼性判定への利用,” 第 66 回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2022.
- ・根橋壮, 北村光教, 吉原 貴之, 星谷直哉, 長坂雄一, “列車位置検知への GNSS 測位技術適用に関する基礎研究,” 第 29 回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL), Dec. 2022.
- ・坂井丈泰, “GPS(全地球測位システム)の脆弱性,” 東京湾海難防止協会会報誌, Vol.6, Jan. 2023.
- ・高橋透, “ノルウェー・オスロにおける QZSS から放送された DFMC SBAS の受信実験,” 航空無線, No.115, Jan. 2023.

研究開発課題 (2) 空港運用の高度化

研究テーマ ①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発</p>	<p>燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>① 混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発</p> <p>－GBASを活用した着陸運用の高度化に関する技術開発では、GBASの利点を活かして進入経路の選択から滑走路離脱までを一連の進入着陸として扱い、自由度の高い経路設定と個別の航空機の特長や進入フェーズに合わせてユーザが選択することにより、環境に配慮した効率的な進入着陸を実現するための技術開発を行う。本年度は、効率的な進入着陸の経路設定に必要な従来の進入と高角度進入(IGP)の併用、及び同一滑走路への第2エイミングポイント(SRAP)の設定のそれぞれについての技術課題の洗い出し、安全性評価の見直しに関わる飛行データに基づいた衝突リスク・モデル(CRM)及び無障害物評価表面(OAS)改良のための具体的手法の検討、パイロ</p>

		<p>ット支援ツールに関わるGBASを用いた滑走路離脱支援の課題抽出を行う。</p>
--	--	--

○GBASを活用した着陸運用の高度化に関する技術開発

研究の背景

進入着陸において ILS から GBAS を用いた着陸システム (GLS) を使うことによって、個別の航空機の特性や進入フェーズに対応して進入角を選択可能な自由度の高い進入や、滑走路離脱点に合わせた着地点を選択するマルチエイミングポイントを設定した着陸など、より環境に優しい効率的な進入着陸の実現が期待される。欧州では、SESAR 関連プログラム (SESAR 2020 PJ.02) で先行してこれらの実現可能性の検証実験が行われている。

研究目標

- 従来方式と併用可能な高角度進入(IGP)の技術開発と運用条件明確化
- 滑走路離脱を含む同一滑走路の第2エイミングポイント(SRAP)設定技術開発と運用条件明確化
- IGP や SRAP に係わる進入経路の安全性評価に関して、飛行データに基づいた衝突リスク・モデル(CRM)改良及び無障害物評価表面(OAS)改良
- IGP や SRAP 運用に必要なパイロット負荷軽減と誤認防止を考慮した滑走路離脱誘導を含めた支援ツールの開発及び評価

令和4年度の研究内容

- IGP、SRAP の課題の洗い出し
 

航空機シミュレータ等を用いて課題の洗い出しと SRAP の段階的な導入(2つの進入経路の非同時/同時設定)を想定した場合に必要な技術課題を明確にする。
- CRM 及び OAS 改良のための具体的手法の検討
 

進入経路に関わる安全性評価に関して、現在の航空機性能を考慮した CRM 及び OAS 改良手法の検討と飛行データを収集する。
- GBAS を用いた滑走路離脱支援に関わる課題抽出
 

空港面航跡データや航空機シミュレータを用いて滑走路離脱に関わる機体性能や航法性能を考慮してパイロットに示すべき情報の特定と具体的な示し方を検討する。
- 低視程時の ILS/GBAS 運用の比較
 

低視程時の GBAS 運用において、ILS に必要な制限区域(CSA)が不要となる利点等に着目して滑走路処理容量低下を抑制する効果を定量的に評価する。

令和4年度の研究成果

- IGP、SRAP の課題の洗い出し
 

IGP、SRAP のそれぞれについて次年度予定している運用概念、安全性評価方針の決定で検討すべき便益、技術的課題を明確にした。具体的には、国内空港で潜在的な便益が期待される事項について検討を行い、次年度に向けて主に騒音低減効果を評価することとした。また、SRAP については通常及び第2エイミングポイントへの進入経路を同時に設定しない非同時設定の便益については、次年度以降に IGP と同様な騒音低減効果とともに、滑走路と駐機場の配置等から地上走行距離を減らす効果にも着目した評価を行うこととして、計算機上で SRAP(同時/非同時)を設定した際の空港面交通流を模擬するファストタイムシミュレータの改修を行った。

□CRM 及び OAS 改良のための具体的手法の検討

CRM 及び OAS 改良に必要な進入経路からの逸脱量分布を推定するため、前年度終了課題「PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究(H30年度~R3年度)」において検討し、良好な結果が得られた ADS-B データを用いた進入経路からの逸脱量算出方法について、定式化、解析事例を増やした検証、並びに既存手法との比較により提案手法の有効性を示した。具体的には、東京国際空港への着陸機 10



フライトについて ADS-B データの位置情報を進入経路に対する逸脱量に変換するとともに、GBAS による着陸 (GLS) データと比較して精度や妥当性等を検証した。ADS-B データには GPS 単独測位誤差とともに、位置情報を表現するための分解能が低いことに起因する誤差が含まれる。一方、GBAS による測位誤差は一般に横方向及び垂直方向に 1m 未満であることが知られている。そのため、GLS データを真値として比較検証したところ、移動平均による手法よりも逸脱量の推定精度が向上して提案手法が優れていることが示された。このような GBAS 測位結果を真値とした精度検証を含めて ADS-B データを用いた進入経路からの逸脱量推定手法の有効性を示したことは国際的にみても先進的な成果である。

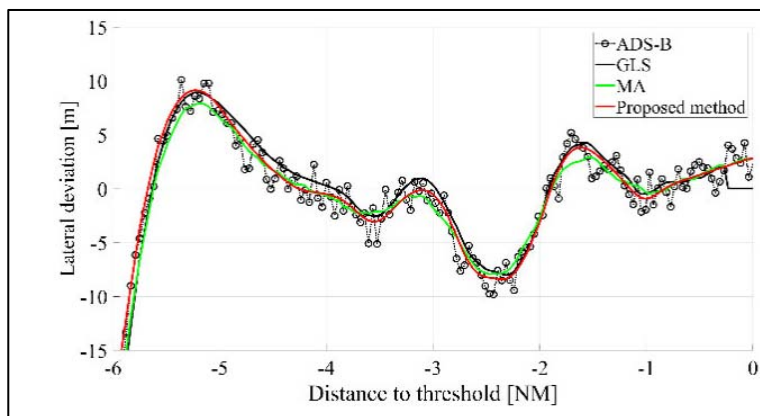


図 1.4.15 ADS-B 位置データを用いた逸脱量推定法による結果 (赤色線) GBAS 測位結果 (黒色線) と比較して ADS-B 位置データ (○印) には GPS 単独測位による誤差や分解能に課題があるが、カルマンフィルタによるスムージング処理結果は移動平均 (緑色線) よりも GBAS 測位結果に近く、逸脱量推定精度が向上したことがわかる。

#### □GBAS を用いた滑走路離脱支援に関わる課題抽出

GBAS を用いた滑走路離脱支援の課題抽出を行い、パイロットに示すべき情報を特定して実験用ハードウェアを選定した。具体的には、進入着陸後の滑走路離脱に関わるパイロット向け支援ツールについて、GBAS の航法性能を踏まえて必要となる機能性能について検討を行うとともに、次年度以降に開発する滑走路離脱支援のための実験装置との間の機器間インターフェースの調査を行った。その結果、航空機の機上装置から抽出すべき実験装置で必要な航法関連データを特定して、同装置構成品を前倒して調達した。

#### □低視程時の ILS/GBAS 運用の比較

低視程時の滑走路処理容量に関して、成田国際空港での ILS CAT-II/III による滑走路運用と比較して、GBAS CAT-II/III 運用による処理容量低下を抑制するシナリオを具体化したうえで定量的評価を行った。具体的には、低視程時の滑走路運用に関連した国際標準や国内基準をもとに、ILS 誘導電波保護のために滑走路や誘導路上に設定される保護エリアが必要なくなった場合の離着陸機の滑走路占有時間短縮効果について概算評価した。

### 成果の公表

#### □その他:3 編

- ・吉原貴之, 齊藤真二, 福島荘之介, 森亮太, ” ENRI’s R&D Activities on Advanced GBAS Operations”, International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 21, Sep. 2022.
- ・森亮太, 藤田雅人, “ADS-B データを用いた着陸航跡の抽出”, 第 60 回飛行機シンポジウム, 2022 年 10 月.
- ・吉原貴之, 齊藤真二, 森亮太, 藤井直樹, 青山久枝, “GBAS を活用した柔軟な進入経路の設定と滑走路運用の高度化”, 第 60 回飛行機シンポジウム, 2022 年 10 月.

研究開発課題 (2) 空港運用の高度化

研究テーマ ① 混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>① 混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発</p>	<p>燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>① 混雑空港における継続降下運航の運用の拡大及び衛星航法による進入着陸システムを用いた曲線精密進入等の高度な運航方式等に関する研究開発</p> <p>— 航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究では、混雑空港周辺における全体効率を高めるため、機上及び地上それぞれの視点から、交通量の多い環境下でも実施可能な継続降下運航(CDO、Continuous Descent Operations)の開発を目指す。本年度は、CDOの一環として提案する固定飛行経路角(Fixed-FPA)降下において、パイロットへの情報(降下経路の位置データ・実施に係る性能データ等)提供手法の評価を実施する。また、Fixed-FPA運用構想の提案を行うことにより、実現に要する機上及び地上機能を明らかにする。等</p>

## ○航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究

### 研究の背景

近年の航空交通量の増大に伴い、主要な空港の容量拡大が強く望まれており、地上における軌道予測の機能向上が潜在的な対策の一つであるとされている。一方で、従来の段階的に降下する方式は、低高度での燃料消費量増加・騒音発生につながることから、降下開始点から継続的に降下する継続降下運航(CDO, Continuous Descent Operations)の導入が望まれている。しかしながら、CDOの軌道は個々の航空機の性能に沿った降下経路であるため、地上での軌道予測精度を低下させる一因となり、日本でのCDOの運用拡大が進まない理由の一つとなっている。

軌道予測精度とCDOの拡大を両立するために提案されている方式の一つが、降下時の飛行経路角を指定する固定飛行経路角(Fixed-FPA, Fixed flight-path angle)降下方式である。Fixed-FPA降下方式は完全なCDOではないものの、飛行経路角の情報を介することで地上の軌道予測精度が向上する(空地連携)ため、CDOの運用拡大につながることを期待されている。しかし、従来の航空管制システムは、地上と機上それぞれが所有する情報が密接に共有できる環境ではないことから、このような方式の導入が困難である。

### 研究目標

- Fixed-FPA降下方式の設計方法を確立し、空地連携を達成するために必要とされる機能(速度制御機能、最適な降下角の選定手法等)の要件定義をする。
- 機上におけるFixed-FPA降下方式を支援するため、スマートサポートシステムの開発及び実証実験を行う。
- Fixed-FPA降下方式における運用構想(ConOps)を確立する。

### 令和4年度の研究内容

- Fixed-FPA降下専用EFBアプリの開発と評価
- Fixed-FPA降下プロシーダの機能拡張
- 環境負荷の評価を含めたFixed-FPA降下の運航性能評価
- Fixed-FPA降下方式の運用構想(ConOps)のまとめ

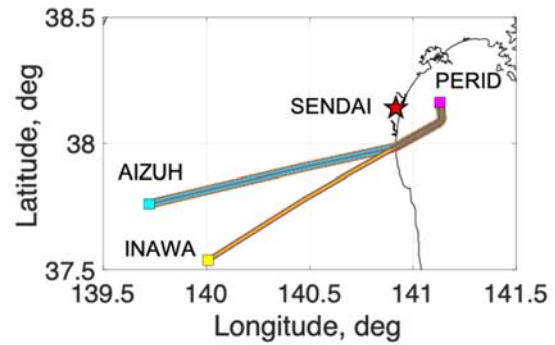
### 平成4年度の研究成果

- Fixed-FPA降下専用EFBアプリの開発と評価
- (1)Fixed-FPA降下の検証実験を実施するにあたり、機上パイロットへの情報提供を行う手法として電子フライトバッグ(Electronic Flight Bag, EFB)向けの模擬アプリを開発した。このアプリは、巡航中にパイロットがフライトと機体の状況(機体重量、巡航高度・速度、外風の状況等)及び意図(燃費重視や時間重視等)を入力すると、状況と意図に応じて適切なFixed-FPA降下経路(予め目的空港に合わせて計算された経路のセットから選択される異なる降下角の経路)を出力する。出力された降下経路を地上の管制官と共有することで、パイロットが希望する降下経路を管制官と共有することができる。アプリのインターフェースにおけるパイロットの入力パラメータ・出力経路のデータベース・パイロット業務に関する補助情報の表示等については、アプリ開発の専門家及びパイロットからのフィードバックを反映した(図 1.4.16(a))。
- (2)アプリの有効性を検証するため、弊所が所有する実験用航空機を用いて仙台空港にて国内初となるFixed-FPA降下実験を実施した。実験では、管制機関と予め調整したFixed-FPA降下経路をアプリのデータベースとして格納し、各フライトにおいて実際の降下経路とアプリから出力される降下経路の比較を行った。また、異なる降下角によるFixed-FPA降下、航空機の飛行管理装置(Flight Management System, FMS)による通常のCDO及び従来から用いられているステップダウン降下(交通量の多い環境で管制官が管理しやすい方式)を実施し、Fixed-FPA降下の有効性を評価した。実験の実施プロセスから、Fixed-FPA降下のような新しい運航方式において、実際の運航環境とEFBアプリの連携による様々な課題点を洗い出すことができ、今後の研究に結びつけることができた。図 1.4.16(b)は、Fixed-FPA降下検証実験で用いた経路を示している。この図において、Fixed-FPA降下開始点はAIZUH又はNAWA、Fixed-FPA降下終了点はPERIDである。



(例)パイロットの入力画面と Fixed-FPA 降下経路の候補を表示する画面

図 1.4.16(a)



Fixed-FPA 降下検証実験に使用した飛行経路

図 1.4.16(b)

#### □Fixed-FPA 降下プロシーチャーの機能拡張

Fixed-FPA 降下の機能拡張として、前年度まで到着機間の間隔維持を行うフィードフォワード制御則を開発してきた。提案のアルゴリズムは、Fixed-FPA 降下への指示である高度・速度指示を生成することで、できる限り対象便を最適な降下に近づけつつ、航空機間の安全間隔を適切に維持することを目的としていた。

本年度は、風等の外乱への対応を目的として、航空機の状態に基づいて管制指示を逐次的に変更するフィードバック制御則をアルゴリズムに組み込んだ。また、アルゴリズムの妥当性を評価するため、関西国際空港を対象に 5 機の航空機に対して、本アルゴリズムを適用したシミュレーションを実施した。シミュレーションにより得られた結果は、元のアルゴリズムから得られた解と同様な傾向を示しており、フィードバック制御則の妥当性に問題がないことを確認できた。

#### □環境負荷の評価を含めた Fixed-FPA 降下の運航性能評価

前年度は、シミュレーション解析により、CDO と Fixed-FPA 降下の環境負荷を比較評価した。それに加えて、本年度は仙台空港にて実施した Fixed-FPA 降下検証実験の結果を基に、Fixed-FPA 降下と様々な降下方式の環境負荷を比較した。図 1.4.17 は、横軸が飛行時間、縦軸が燃料消費量となっており、赤点は航空機の FMS による降下(通常の CDO)、青点はステップダウン降下、黒点は複数の降下角による Fixed-FPA 降下の結果を表している。なおこの結果は、降下開始点から降下終了点の飛行セグメントによるものである。図 1.4.17 の結果は、シミュレーション解析から推定される傾向と同様であり、降下角を固定することによって CDO より燃料消費量が若干増える一方、通常のステップダウン降下より燃費が良いことが明らかになった。環境に及ぼす負荷は燃費に比例することから、Fixed-FPA 降下による環境負荷軽減のポテンシャルが示された。

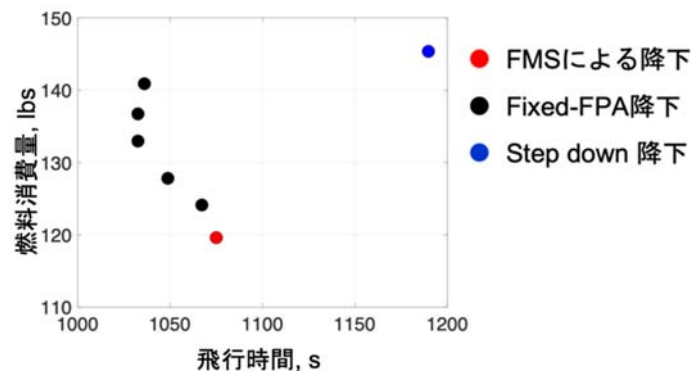


図 1.4.17 検証実験による運航性能の比較評価

□Fixed-FPA 降下方式の運用構想 (ConOps) のまとめ

本研究では、シミュレーションを用いた Fixed-FPA 降下の潜在的便益の定量的評価、機上の運航支援機能 (Fixed-FPA 降下専用の EFB アプリ) の開発、地上の管制支援機能 (Fixed-FPA 降下対象機間の間隔維持アルゴリズム) の開発等を実施し、シミュレーションと実験の両面から Fixed-FPA 降下の評価と、実現に要する要件の検討を明らかにすることができた。以上の研究開発成果により、Fixed-FPA 降下の運用構想をまとめるために必要な情報を獲得することができ、今後の研究に結びつけることが可能となった。

成果の公表

□その他 1 編

•Ishii, M., Wada, S., Inoue, M. and Toratani, D., “Arrival Management Algorithm with Data-driven Modeling for Fuel-efficient Descending of Commercial Aircraft”, システム制御情報学会研究発表講演会、2022 年 5 月

研究開発課題 (2) 空港運用の高度化

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発便と到着便の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>② 航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発</p>	<p>燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>② 航空機の離着陸時刻及び地上走行時間の予測を基に行う空港面交通の管理に関する研究開発</p> <p>－ AMAN/DMAN/SMAN統合運用による空港運用の効率化に関する研究では、航空交通が輻輳する大規模空港において、滑走路の最大活用のために、到着・出発・空港面の航空交通流を統合して管理する必要があるので、データサイエンス手法、数理モデル、シミュレーション実験を組み合わせ、運用手法を提案し有効性を評価する(AMAN:到着管理、DMAN:出発管理、SMAN:空港面管理)。本年度は、首都圏空港の空港面および到着・出発の航空交通流についての、現状分析を引き続き進め、データ駆動型の待ち行列モデルや機械学習手法を応用して、到着・出発、到着・空港面、空港面・出発交通の管理機能の統合について検討を進める。さらに、統合した管理機能を評価するため、シミュレーション環境を前年度に引き続き構築する。等</p>

## ○AMAN/DMAN/SMAN 統合運用による空港運用の効率化に関する研究

### 研究の背景

大規模空港の近傍では、航空交通流の輻湊の解消が大きな課題である。特に、滑走路は航空交通のボトルネックであるため、到着交通の管理 (AMAN: Arrival Management) 機能は、出発交通の管理 (DMAN: Departure Management) 機能と統合して効率的に運用する必要がある。さらに、滑走路とスポット間では、航空機が安全かつ円滑に走行できるよう、空港面での交通管理 (SMAN: Surface Management) が求められる。これらの交通管理は、定常時において空港を効率的に運用できるよう、また、さまざまな要因で空港での処理容量が低下する非定常時には、迅速に定常状態に回復できるよう、レジリエンスな設計がされなければならない。

先行研究の「航空機の拡張型到着管理システムの研究」(指定研究・令和2年度終了)では、羽田空港の到着管理に特化した研究を実施してきた。一方で効率的な空港運用は、到着管理だけでなく、出発・交通流管理と統合して運用する必要がある。「空港設計及び地上走行時間管理に資する交通データ等活用技術の研究」(基盤的研究・令和2年度終了)では、SMAN のシミュレーション評価のために、出発機の遅延時間を削減する DMAN との連携について初期検討を行った。

### 研究目標

- 到着・出発・空港面の航空交通流を統合する運用方法を提案する。
- 遅延の減少等提案する運用方法の有効性を定量的に評価する。

### 令和4年度の研究内容

- 到着・出発・空港面管理の機能統合の検討
- シミュレーション実験の構築
- 技術動向調査と運用分析

### 令和4年度の研究成果

- 到着・出発・空港面管理の機能統合の検討

AMAN/DMAN 機能統合において重要な要素となる、エンルート空域において航空交通の到着間隔のばらつきを小さくするための速度制御と滑走路割り振りアルゴリズムを研究開発した。時変流体待ち行列ネットワーク及び非線形整数計画法を組み合わせた数理モデルとシミュレーション実験により、羽田空港に到着する航空交通流を対象に T25 セクター入域時において提案アルゴリズムを適用すると、速度制御(減速)のみでは、ターミナル空域の最大遅延時間を約 18%削減できることを示した。さらに、この速度制御アルゴリズムに滑走路割り振りアルゴリズムを組み合わせることで、現状と比較して約 30%の到着遅延時間を削減できること、そして空港での地上走行時間を到着機が約 13%、出発機は約 3%削減できることを明らかにした。

DMAN/SMAN 機能統合において重要な要素となる地上走行時間の推定精度について、それを向上させる機械学習モデルを研究開発した。このモデルの適用により、平均二乗偏差(RMSE)60 秒以内の推定精度が確認できた。この地上走行時間予測モデルを適用し、出発機のスポットアウト時刻を制御することで、出発待ち時間の合計を RW05 において約 55%、RW34R において約 90%削減することをシミュレーション実験により明らかにした。

さらに、AMAN/DMAN/SMAN 機能統合において、トレードオフの関係にある要素(スポット待機時間と地上交通の混雑、到着機の滑走路割り振りを出発機の滑走路待機時間等)を明らかにし、次年度以降に取り組むべき課題を明示した。

これらの研究成果を、査読付き論文 12 件にまとめて発表した。

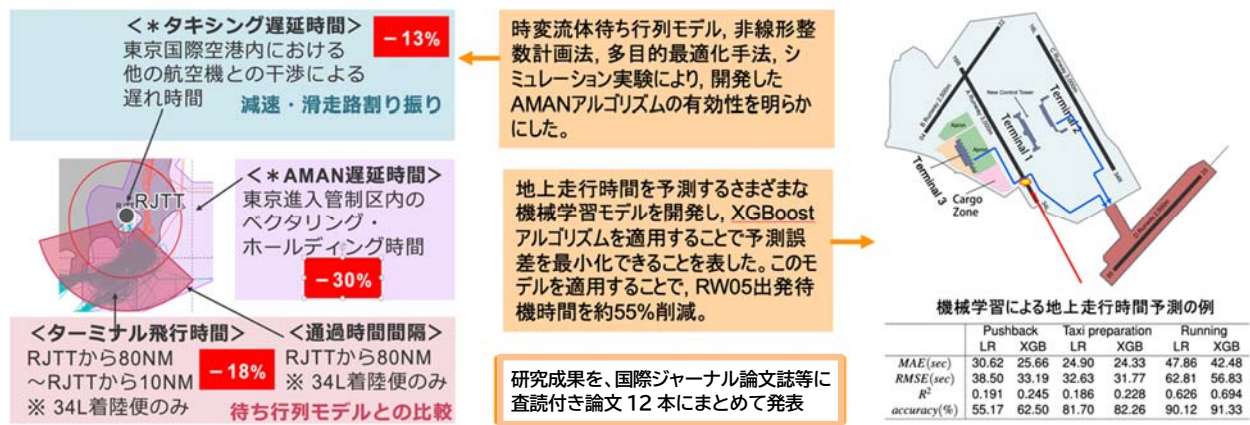


図 1.4.18 到着・出発・空港面管理の機能統合による航空交通流の評価結果

### □シミュレーション実験の構築

ユーロコントロールイノベーションハブと連携し、T25(知多)セクターでの管制運用を模擬するヒューマンインザループシミュレータを構築し、提案する AMAN を模擬する管制官支援ディスプレイを設計、実装し実験環境を準備した。東京管制部にて、T25 セクター及び隣接する T17(現在は T46 に変更)、T24(現在は T45 に変更)、T14、T09 セクターの管制運用のヒアリング及び運用調査を実施した。調査結果に基づき、ヒューマンインザループシミュレータに T25、T17、T14 セクターを模擬する管制卓を構築するとともに、航空交通シナリオを作成し、管制経験者による初期実験を行った。

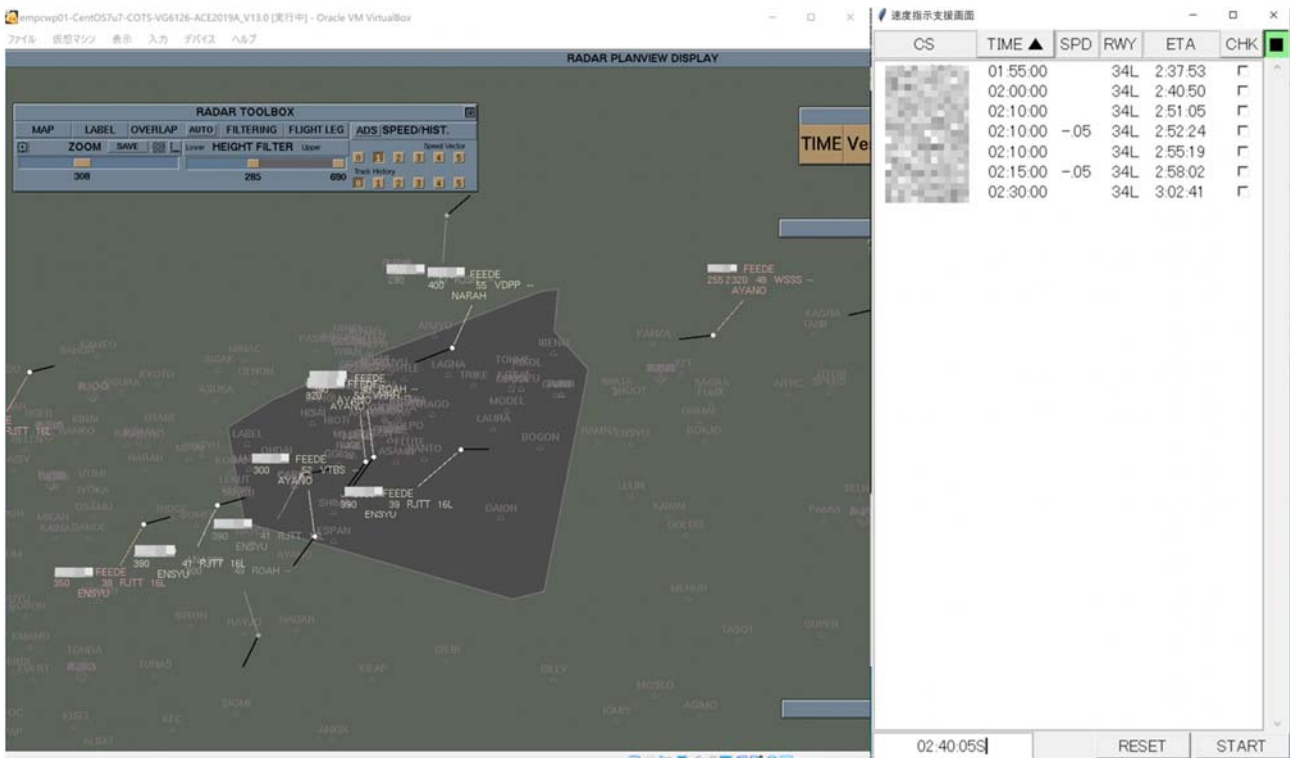


図 1.4.19 T25(知多)セクターを模擬する管制卓のレーダー画面と AMAN を模擬する管制支援ディスプレイ

### □技術動向調査と運用分析

成田国際空港及び関西国際空港のスポットアサインメントチャート、TEPS、TAPS、旧 ODAPS、DayPlan 等のデータを収集し、運用分析を実施した。関西圏空港の AMAN 設計についても検討を開始した。将来的に AMAN/DMAN/SMAN 統合運用の発展形にある IM 運航に関わる ICAO 機上監視マニュアルの改訂作業にも貢献した。



## 結果の公表

### □査読付き論文:12 編

- ・関根将弘, 立川智明, 藤井孝藏, 伊藤恵理, “多目的最適化と決定木を用いたエンルート交通流における速度制御戦略の抽出”, 進化計算学会論文誌, vol.13, no.1, pp.10-22, 2022.
- ・Yoshiaki Kawagoe, Ryohei Chino, Satori Tsuzuki, Eri Itoh, Tomonaga Okabe, “Analyzing Stochastic Features in Airport Surface Traffic Flow Using Cellular Automaton: Tokyo International Airport”, IEEE Access, vol. 10, pp. 95344-95355, 2022.
- ・青山久枝, 山田泉, 伊豆太, “マルチラレーションによる航空機情報の新たな活用を目指した取り組み”, 電子情報通信学会, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J105-B No.7, pp.521-524, 2022 年 7 月.
- ・山田泉, 青山久枝, 伊豆太, “羽田空港におけるマルチラレーションデータをもとにした航空機の交通量データの作成と空港舗装維持管理への活用可能性に関する考察”, 土木学会論文集 F4(建設マネジメント), 79 巻, 3 号, 2023 年 3 月.
- ・Koki Higasa, Eri Itoh, “Controlling Aircraft Inter-Arrival Time to Reduce Arrival Traffic Delay via a Queue-based Integer Programming Approach”, Aerospace, 9(11), pp.663, 2022.
- ・Koki Higasa, Katsuhiko Sekine, Eri Itoh, “Effectiveness of Aircraft Inter-arrival Control in Upstream Traffic Flow via a Combined Tandem Fluid Queue Model and Integer Programming Approach”, IEEE Access, Volume 11, pp. 15252-15270, 2023.
- ・Eri Itoh, Daiki Iwata, Michael Schultz, “Developing a Departure Queue Model Towards Integrated Arrival and Departure Runway Operation”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- ・Furuto Kato, Eri Itoh, “Applying Machine Learning For Taxi-time Prediction at Tokyo International Airport”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- ・Nobuharu Morikawa, Eri Itoh, “Machine Learning Methods Ensuring Both Performance and Interpretability of Estimating Aircraft Arrival Times”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- ・Koki Higasa, Eri Itoh, “Assessment and Control of Arrival Flow and Waiting Time Applying Gt/GI/St+GI Time-varying Queuing Model”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- ・Katsuhiko Sekine, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, Eri Itoh, “Air Traffic Simulation Across FIR in Japan Using Cellular Automaton”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- ・Katsuhiko Sekine, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, Eri Itoh, “Preliminary Study of Multi-objective Air Traffic Optimization for Devising Speed Control Strategy by Using Rule-based Simulator”, Proc. AIAA Aviation Forum, June 2022.

### □国際標準化会議(ICA0、RTCA、EUROCAE 等) 2 編

- ・Takuya Otsuyama, “Update Reference ICAO DOC9994”, ICAO SP/AIRBWG/14, October 2022.
- ・Takuya Otsuyama, “Change Proposal for TIS-B definition”, ICAO SP/AIRBWG/14, October 2022.

### □その他

#### (国内学会 5 編)

- ・青山久枝, 荒谷太郎, 間島隆博, 山田泉, 今込毅, “大規模災害時の空港面運用に関するシミュレーションによる課題の検討”, ヒューマンインターフェース学会, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2022 論文集, pp.61-66, 2022 年 8 月.
- ・山田泉, 青山久枝, 伊豆太, “羽田空港のマルチラレーションデータに基づく航空機の走行速度が誘導路の舗装の劣化に及ぼす影響の考察”, 第 65 回土木計画学研究発表会講演集, 29-2, 2022.
- ・西田拓矢, 伊藤恵理, “機械学習による航空機の飛行時間予測”, 第 60 回飛行機シンポジウム講演集, 2022.

・岩田大輝, 伊藤恵理, “滑走路における出発・到着航空機の統合運用のための松行列モデルの開発”, 第60回飛行機シンポジウム講演集, 2022.

・長谷川倫幹, 関根将弘, 伊藤恵理, “成田国際空港の航空交通にかかる現状分析”, 第60回飛行機シンポジウム講演集, 2022.

(著書 1件)

・伊藤恵理, “航空交通管理システム概論”, コロナ社, 2023年2月.

研究開発課題 (2) 空港運用の高度化

研究テーマ ③ 光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>到着機が燃料消費を抑えて進入する継続降下運航の混雑空港における運用の拡大を可能とする経路設定技術、衛星航法を利用した進入着陸方式等高度な運航方式、空港面における出発機と到着機の交通管理手法、光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術、滑走路上の異物監視システムに関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③ 光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発</p>	<p>燃費軽減に寄与する混雑空港における継続降下運航の運用拡大、低視程時の就航率を改善するための衛星航法による高度な運航方式、空港面における到着便と出発便の交通流の輻輳を解消する効率性と定時性の高い航空交通管理技術の開発が求められている。また、空港面に対する監視技術の高度化等が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>③ 光ファイバー技術等を応用した航空機監視技術及び滑走路上の異物監視システム等に関する研究開発</p> <p>— デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究では、リモートタワー・デジタルタワー(RT/DT)として、映像や監視センサからのデジタル情報を活用した業務支援のための機能の研究開発を行う。本年度は、映像系システムにおいてAI等の機械学習を用いた物体識別機能と追尾機能の精度向上に向けての技術開発および評価を行う。監視センサは小型の構成で実証試験を実施する予定であり、実地でのデータ取得及び評価、検証を行う。また、運用レベルのバリエーションに対応するシステムとしての機能や性能のオプション技術を想定し、システムや必要なソフトウェア技術を開発、性能評価を実施する。等</p>

○ デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究

研究の背景

リモート・デジタルタワー(RT/DT)の技術開発は世界的に実用化の段階に来ており、日本においても奄美

空港で令和3年度からリモートレディオ空港として運用を開始している。国際的にはリモートタワー(RT)は映像や監視センサ技術を用いて、既存の運用を遠隔で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。これらシステムの技術動向や運用展開の方向性として、安全性の向上や業務の効率化を目指し、映像やセンサからのデジタル情報をさらに活用した業務支援機能の拡充やシステム機能の高度化によって実現できる新たなタワー運用スタイルの研究・開発の取組が、欧州の航空交通管理に関する技術基準、規格検討に関係する機関を中心に議論されている。当所では先行研究として、日本型のRTシステムの基本コンセプト構築を目指した研究を前年度まで日本で唯一実施しており、上記にある業務支援機能のための基礎技術の研究開発にも着目したシステム構築に取り組んできた。これまでの技術基盤や研究プラットフォームを活かすことで、必要とされている運用支援のための拡張機能や技術の導入に向けた開発及び評価に取り組み、日本のタワーシステムの技術革新に貢献していく必要がある。

#### 研究目標

- コンパクトな監視センサと映像システムを組み合わせたコストバランスに優れたデジタルタワーシステムの技術実証と有効性検証(航空局への仕様策定支援)
- タワー業務用システムの高度化  
タワー管制業務支援機能の実用化及び充実、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4年度の研究内容

- シャドーモードでのコンセプトシステムの評価・検証と課題整理
- プロトタイプシステムのフィールドテスト(性能検証)
- タワー管制業務要件調査(HMI設計検討用)
- EUROCAE活動参加、規格策定

#### 令和4年度の研究成果

- シャドーモードでのコンセプトシステムの評価・検証と課題整理
- ・AIを用いた映像支援技術の開発及び評価

PTZカメラの自動追尾の精度改善に向け、AIによる画像認識を用いた障害物判定の試行と追尾性能向上効果の検証を実施し、カメラ追尾のふらつき防止に一定の効果を得た。一方で、交錯やターゲットが複数いる場合等には、精度になお課題があるため、予測処理など更なる精度向上の対策を検討した上で実装、評価中である。また、AI学習環境の整備を完了し、学習用データの取得を開始した。

- ・映像センサにおける座標変換(角座標-3次元座標)時のキャリブレーション手法の見直し

新たなキャリブレーション手法による検証の結果、PTZカメラの基準座標の誤差を修正することができ、上空座標のズレにおける補正精度が向上した。さらに、上空データを用いた評価、検証により、キャリブレーションは地上データのみで行っても、上空位置の推定値誤差の精度に問題が無いことが確認でき、運用機材整備時に向けたキャリブレーション方法を確立した。

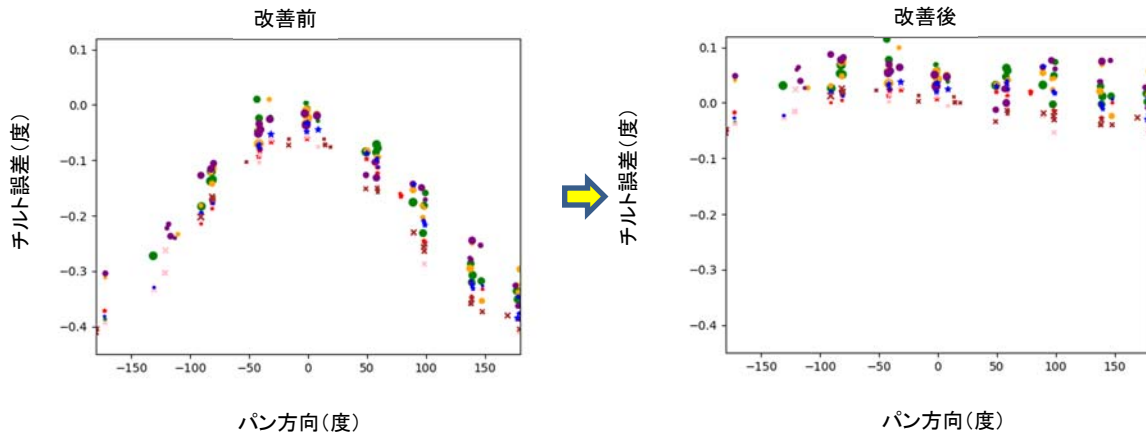


図 1.4.20 キャリブレーション手法の違いによる上空点の方位ごとのチルト誤差の比較

・ブロックノイズ調査及び対策

僅かに発生していたブロックノイズの原因が「動画伝送方式に起因する 1/100 単位でのデータオーバーフロー」であることを特定し、新しいエンコード方式による処理を追加導入することで問題解消の目途が立った。実機にも効果があると考えられるため、航空局へ報告する。

□プロトタイプシステムのフィールドテスト(性能検証)

・松本空港における監視センサ(MiniMLAT)の性能評価

松本空港の Mini MLAT(小規模マルチラレーション)システムの設置調整を完了し、性能評価のため、データ取得を開始した。初期データの評価では、想定通りの性能を確認出来たほか、信頼性や精度に関する課題の把握も出来、性能向上に向けた検討課題が得られた。無線局開局後には、運用を想定した長期の継続的なデータ取得と評価検証を本格的に進める。

表 1.4.1 初期評価における位置精度

レンジ [NM]	位置精度 [m]			
	Matsumoto Radio関連航跡		上空通過を含んだ全航跡	
	99%信頼性値	95%信頼性値	99%信頼性値	95%信頼性値
0~5	283.7	108.2	343.2	125.2
5~10	496.8	230.6	544.8	237.3
10~15	782.1	276.4	549.9	322.6
15~20	688.5	412.7	764.8	425.0
20~25	718.1	439.0	967.9	547.9

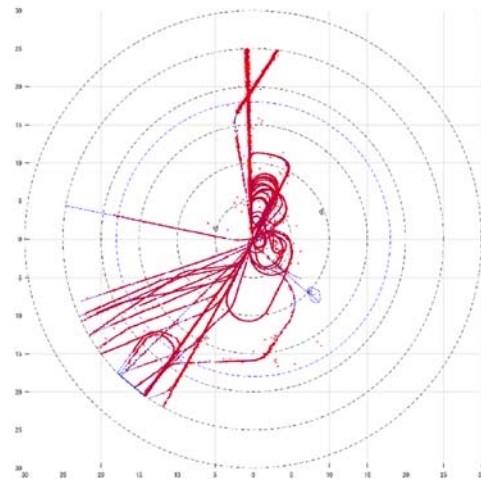


図 1.4.21 Matsumoto Radio 関連 全 46 航跡

・仙台空港(岩沼分室)での MLAT の 4 チャンネル方式での映像合成評価

仙台空港における Mini MLAT(MLAT4 局)での映像情報へのデータ統合とトラッキングの評価を実施し、監視センサの映像補助としての効果について検証を実施した。評価結果はリモートタワーの技術要件検討に関する情報として航空局に提供した。



図 1.4.22 HMI のユーザ評価実験の様子

□タワー管制業務要件調査(HMI 設計検討用)

・管制卓 HMI のユーザ評価

リモート・デジタルタワーの運用に必要な管制卓の HMI(ヒューマンマシンインターフェース)コンセプトの設計に取り組み、航空局の協力等も得て、管制官によるユーザ評価を実施し、HMI コンセプト評価及び小規模空港向けのリモートタワーの HMI 設計の要件を取りまとめた。評価結果については、論文作成中である。

□EUROCAE 活動参加、規格策定

・EUROCAE WG-100 への参加及び ED-240B の策定作業

EUROCAE WG-100 MASPS ED-240B(Non-Optical Sensor に関する技術要件)の策定にエディタ及びコアチームとして継続的に参加し、議論やドキュメント作成に対する貢献を続けている。2023 年下期にはこのドキュメントがリリースされる予定である。

成果の公表

□査読付論文:2編

- ・Inoue.S, Brown, M. & Kakubari, Y., Integration of (Surveillance) Multilateration Sensor Data into a Remote Tower System., Virtual and Remote Control Tower. Springer, DOI : 10.1007/978-3-030-93650-1 , ISBN: 978-3-030-93649-5 (2022)
- ・Inoue. S.& Brown, M., Remotely-Operated AFIS in Japan., Virtual and Remote Control Tower., Springer, 10.1007/978-3-030-93650-1, ISBN: 978-3-030-93649-5 (2022)

□その他:3編

- ・井上諭, 飛行場管制システムのデジタル化, 「IT 技術・自動運転技術が担う近い将来の交通安全」, 日本機械学会誌 2022 年 4 月号(2022) (発行済)
- ・井上諭, 角張泰之, 「管制塔のデジタル化に向けて」航空無線 114 号(冬期)(2022)
- ・井上諭, ブラウンマーク「知識処理によるリモート・デジタルタワー用物体検知性能の改善」, 電子情報通信学会総合大会(2023)

**研究開発課題** (3)機上情報の活用による航空交通の最適化

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>航空機が保持する運航や気象等に関する情報を地上へ伝送し活用する技術、航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する技術に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>航空機が持つ情報(機上情報)を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発</p>	<p>航空機が持つ情報(機上情報)を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発</p> <p>—高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究では、高密度運航に求められる高精度な位置情報といった機上情報を迅速に取得するために、放送型自動位置情報を持つ高機能空中線に向けた研究開発を行う。本年度は、空中線素子の改修と指向性制御方式の開発を進めるほか、接続した初期的な評価実験を行う。受信局との連携機能の開発に着手し、その導入効果についてADS-B検証機能と併せて検討を進める。</p>

○高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究

**研究の背景**

我が国では、将来の航空交通需要増大へ対応した監視技術の革新として、二次監視レーダー(SSR)、広域マルチラテレーション(WAM)、放送型自動従属監視(ADS-B)といった異種センサを整備し、それらの航跡を統合する航空路マルチセンサーシステムの整備を進めている。現在、航空路 WAM の整備が進んでいるほか、令和3年度には将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)にて ADS-B 導入の意思決定が行われた。航空路マルチセンサーシステムは各センサの長所を取り入れた監視機能を実現できる一方、異種センサが独立して整備された冗長性の高い構成となっており、それらをより一元的に実現することが、効率化と高性能化の両立に必要である。これに向けては、各センサが持つ異なる送受信要件を集約できる高機能空中線が必須となる。そのため、高機能空中線と高機能空中線による監視機能実現(SSR・WAM 相当

の測位、ADS-B の検証)に必要な技術の開発が求められる。国内外の技術開発の動向としては、各センサに関する個別の技術開発は見受けられるが、航空路マルチセンサーシステムの包括的な検討は見当たらない。本研究で必要な技術の開発を行うには、航空路監視用の様々なセンサを対象とした広範囲の専門知識・経験が求められるほか、高機能空中線に関わる専門知識・経験も同時に求められる。加えて、開発した技術を適切に評価するための実験施設も必要である。さらに、本研究の成果普及を効果的に行うには、我が国の航空当局との連携体制と国際標準化の経験も必要となる。

#### 研究目標

- 空中線素子を開発し、評価する。
- 高機能空中線の指向性制御方式を開発し、評価する。
- 高機能空中線を活用した監視機能の要素技術を開発し、評価する。
- 提案方式の導入効果を分析する(ADS-B・WAM・SSR)。
- 開発した技術の導入に向け、国際標準規格へ情報提供する等の標準化活動を実施する。

#### 令和4年度の研究内容

- 空中線素子の改修・評価
- 高機能空中線の指向性制御方式の開発・評価
- 高機能空中線を活用した監視機能の開発・評価
- 提案方式の導入効果の検討(SSR・WAM)
- 国際標準化活動

#### 令和4年度の研究成果

- 空中線素子の改修・評価

様々な監視センサの要件に対応するためには、電波の送受信方向(指向性)の制御や電波の到来方向推定(航空機の方向探知)が必要となる。その実現に向けた、最も基本的なハードウェアである空中線素子について改修を実施した。具体的には、前年度6素子構成であったところ、本年度は12素子構成に拡張した。図 1.4.23 には改修後の写真を示す。本素子は後述するように指向性制御方式と接続して評価実験を行った。



図 1.4.23 改修後の空中線素子

- 指向性制御方式の開発・評価

指向性制御や到来方向推定の実現に向けて、本研究ではアクティブフェーズドアレイ方式(以下、アクティブ方式)及びデジタルビームフォーミング方式(以下、デジタル方式)の開発に取り組んでいる。アクティブ方式は送受信のための基本方式で、デジタル方式はアクティブ方式と併用して主に受信機能を向上させる位置づけである。なお、このような組み合わせは気象レーダー等での事例が知られているが、今回のような民間航空監視では先進的な検討である。

#### (1) デジタル方式

受信機及び制御 PC から成る実験システムを用いて開発を進め、空中線素子と接続した評価実験を岩沼分室(仙台空港隣接)で実施した。図 1.4.24 (a)・(b)には実験時の写真を示す。在空機(飛行中のエアライン機等)の信号を受信・蓄積し、実験後の後処理にて指向性制御と到来角推定を適用した。指向性制御の評価として、指向性の変化と受信信号の強度の変化が一致していることを確認した。到来方向推定については、



精度を誤差分布の形で評価した。その結果を図 1.4.24(c)に示す。大部分の誤差は $\pm 2^\circ$  の範囲に含まれ、適切な動作を確認した。標準偏差は $0.60^\circ$  であった。この結果を前年度の結果( $0.92^\circ$ )と比較すると、35%の誤差削減となった。なお、現在の機械回転式の二次監視レーダ(SSR)は $0.06^\circ$  を要件としており、さらなる改善が望ましい。必要な改善点としては、信号処理の改良や地面反射の対策が考えられる。

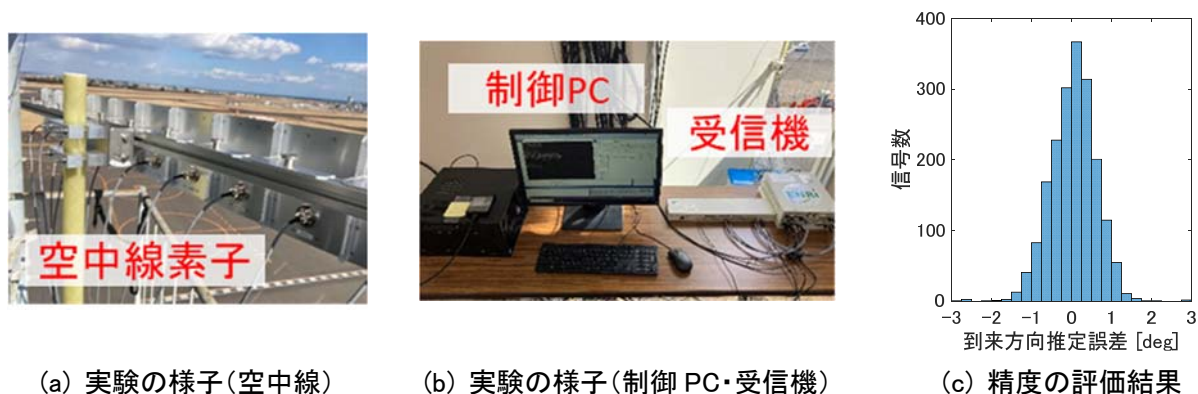


図 1.4.24 デジタル方式による指向性制御と空中線素子の接続実験

## (2) アクティブ方式

アクティブ方式については、航空局が所有する実験用機材を活用した取り組みを進めた。本機材は図 1.4.25(a)に示すものである。前年度の飛行実験により覆域と精度の向上が必要であることが分かっている。本年度は性能向上に向けた技術的な選択肢の整理と効果の試算等を行った。

### ① 大型化

空中線を大型化することで利得やビーム幅(指向性の鋭さ)が向上し、覆域と精度を改善できる。そこで、現在の SSR 要件を満たすために必要なサイズを試算した。まず、実験結果等に基づき設計目標として 2.9 dB の利得改善、 $2.5^\circ$  のビーム幅を設定した。目標を満たすように設計した結果、垂直方向は 3 段、水平方向は半径 4.75 m・素子数 192(このうち 48 を選択利用)という結果を得た。この結果は改修コストの見積もりに参考となる重要な情報である。

### ② 到来方向推定の改良

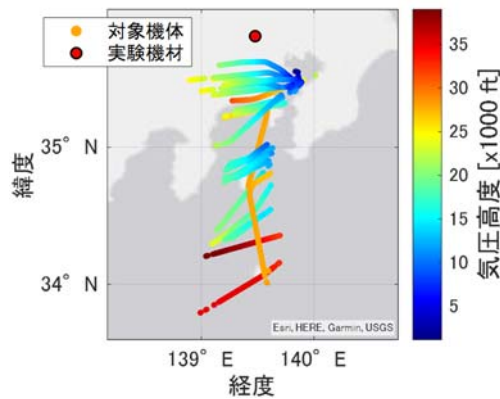
現在の実験機材は準モノパルスと呼ばれる手法を使用しているが、これをモノパルスと呼ばれる手法に変更することで精度を改善できる。両者の違いは、前者は信号の振幅だけを用いるが、後者は振幅と位相の両方を用いる点である。位相を使うことで、ビーム中心から航空機が左右のどちらにずれているかをより正確に判断できるようになる。本効果を疑似的に評価するための実験を行った。実験では、当所の実験用航空機及び在空機からの信号を受信・蓄積した。図 1.4.25(b)には得られたデータの可視化として対象機の航跡を示す。実験データに対して改善効果を仮定した処理を適用した。その結果、図 1.4.25(c)に示す改善前後の誤差分布が得られた。本改善により誤差分布はより  $0^\circ$  に近づいた。標準偏差は  $0.37^\circ$  から  $0.28^\circ$  となり、25.5% の誤差削減が得られた。

### ③ 受信局との連携

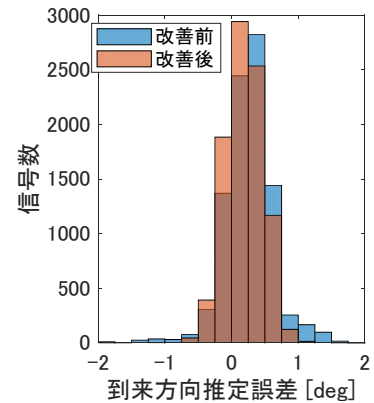
高機能空中線は電波の送受信により距離や信号到来角を測定できる。これに加えて、補助的な受信局と連携させることで、信号到達時間差も測定ができるようになる。このような様々な情報を用いて航空機を測位することで、精度の向上が可能になる。本機能の開発を進めており、詳細は次の項目で述べる。



(a) 機材写真



(b) 実験データの可視化(航跡)



(c) 精度の評価結果

図 1.4.25 アクティブ方式の結果

□高機能空中線を活用した監視機能の開発・評価

高機能空中線と受信局が連携することで、航空路マルチセンサーの監視機能である測位(SSR・WAMに準ずる機能)及び ADS-B の検証を実現する技術について開発・評価を進めた。

(1) 測位機能

高機能空中線と受信局が測定する距離・信号到来角・信号到達時間差といった様々な情報を用いて測位する機能を、計算機シミュレーションや理論的な分析により開発・評価した。計算機シミュレーションの一例として、図 1.4.26・表 1.4.2 には計算条件を、表 1.4.3 にはシミュレーション結果を示す。水平位置精度について、現在の WAM(複数受信局を使った監視装置)が要件とする 350 m を満たす結果が得られた。また、測位結果を到来方向精度に換算したところ、 $0.024^\circ$  となり、SSR の要件も満たすことができた。すなわち、高機能空中線と受信局を連携させることで、高機能空中線の精度を改善する効果を確認できた。

さらに測位機能に関わる理論的な成果を和文論文誌(電子情報通信学会)に投稿し、2 件採録された。内容は、初期位置と呼ばれるパラメータについて測位の成功条件を分析したものである。

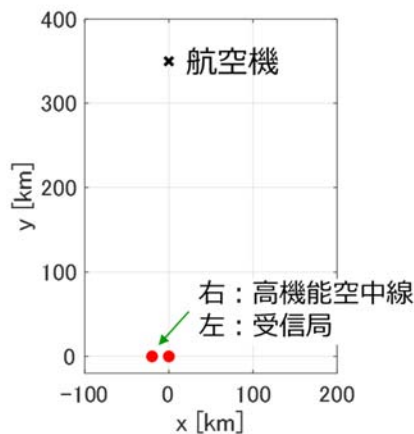


図 1.4.26 計算条件(位置関係)

表 1.4.2 計算条件(精度等)

到来方向精度 (高機能空中線のみ)	$1^\circ$
信号到達時間差精度	$\sqrt{2} \times 20 \text{ nsec}$
離隔距離	20 km

表 1.4.3 シミュレーション結果

水平位置精度	RMSE 190.9 m
到来方向精度 (受信局の連携あり)	標準偏差 $0.024^\circ$

(2) ADS-B の検証機能

ADS-B は航空機による位置放送であるため、なりすましといった脆弱性や機上装置不良の対策として、位置情報の正当性を地上側で検証する必要がある。そこで、距離・信号到来方向・信号到達時間差といった様々な情報を用いて検証する機能の開発・評価を進めた。開発・評価には当所実験システムや計算機シミュレーションを用いた。成果は本分野で高い評価を得ている英文論文誌(IEEE、米国電気電子学会)に投稿し、1 件採録された。内容としては、直接法と MLAT 法と呼ぶ 2 種類の計算ロジックについて不正な情報の検知率を比較・評価したものである。優劣は受信局数(ここでは高機能空中線を含み、 $N$ とする)に応じて変化した。 $N < 4$ では直接法が優れ、 $N = 4$ では両者は実用的には同一の性能、 $N > 4$ では MLAT 法が常に優れる結果となった。一例として図 1.4.27 は  $N = 5$ の結果であり、この場合は MLAT 法が高い検知率を示している。本成果は、計算ロジックの選択基準を明確に与える意味で有用性が高い。また、ADS-B 検証に関するこれまでの成果をまとめ、航空以外への応用も見据えた一般的な視点での解説記事を学会誌(日本 AEM 学

会)に寄稿した。

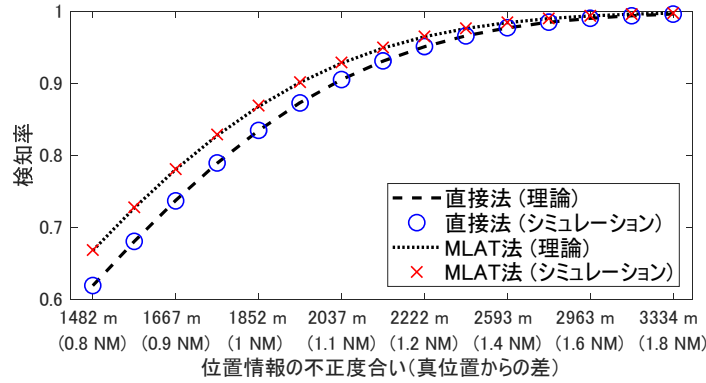


図 1.4.27 ADS-B 検証機能の評価例 (N = 5における検知率の比較)

□提案方式の導入効果の検討

測位機能の性能を様々な条件下で評価することで導入効果を検討した。その結果、地上設備の配置と性能・導入効果の関係を明らかにした。まず、高機能空中線と受信局の正面に航空機が存在する場合には性能が良好である。そのため、高機能空中線の精度を改善する効果が得られる。前述の結果(図 1.4.26・表 1.4.2~1.4.3)はその例となっている。また、従来の WAM は最低 4 局必要であるが、高機能空中線を用いると最低 2 局でも動作するため、サイト数の削減効果も見込まれる。一方で、航空機が正面に存在しない場合は性能が悪化するが、高機能空中線と受信局の離隔距離を広くすれば良いことが分かった。その例について、図 1.4.28・表 1.4.4 には計算条件を、表 1.4.5 にはシミュレーション結果を示す。高機能空中線と受信局の離隔が 20 km の場合には、水平位置精度が 415.2 m となって WAM の要件を満たさないが、離隔を 100 km とすれば 346.0 m となって WAM の要件を満たすことが確認できた。なお、到来方向精度は極めて低い標準偏差となったが、同時にバイアス分(平均)も観測されたため、本結果については参考として扱うこととした。

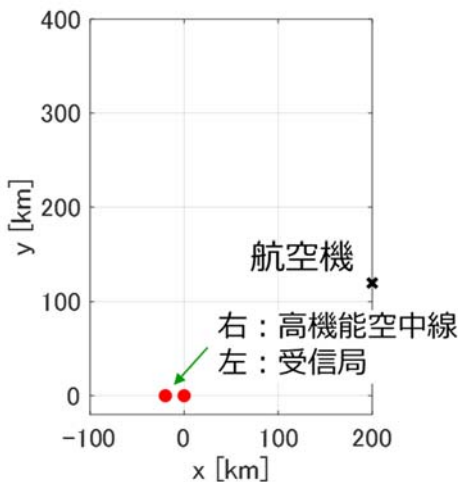


図 1.4.28 位置関係の計算条件(離隔 20km)

表 1.4.4 計算条件(精度等)

到来方向精度 (高機能空中線のみ)	1°
信号到達時間差精度	$\sqrt{2} \times 20$ nsec
離隔距離	20 km 又は 100 km

表 1.4.5 シミュレーション結果

水平位置精度	RMSE
	415.2 m (離隔 20 km) 346.0 m (離隔 100 km)
到来方向精度 (受信局の連携あり)	標準偏差
	0.051° (離隔 20 km) 0.006° (離隔 100 km)

ADS-B 検証機能については、既存の誤り検出の手順が不正情報への対策としても活用できることを発見した。具体的には、ADS-B は緯度・経度の情報を CPR という信号形式で格納しているが、信号から緯度・経度を取り出す際の誤り検出の手順が知られている(CPR Reasonableness Test)。本手順の有効性を確認したシミュレーションの一例を図 1.4.29 に示す。ここでは正当な位置情報(青色)に途中から不正な位置情報(赤色)を混入している。本手順により不正な位置情報を不正判定できた。

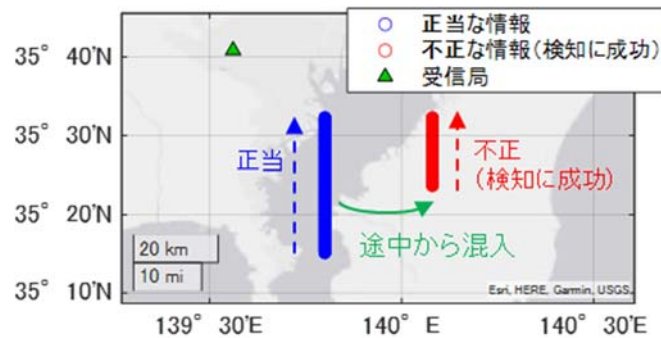


図 1.4.29 既存の誤り検出(CPR)の活用による ADS-B 位置情報の正当/不当判定

#### □国際標準化活動

本研究では ICAO 監視パネル(SP)やアジア太平洋地域の監視関連会議に継続して参画している。監視パネル関連会議では、技術マニュアルの改訂作業が進められている(先進型地上走行誘導管制システムに関するマニュアル: Doc 9830)。当所からは改訂内容を提案する WP を発表した。また、アクティブ方式に関する研究状況を IP で報告した。

アジア太平洋地域では、通信・航法・監視サブグループ会議(CNS SG)、監視実施調整会議(SURICG)、航空機動態情報ダウンリンク会議に参加した。監視実施調整会議では、CPR の活用による ADS-B 検証の効果を報告し、アジア太平洋地域における ADS-B 実装・運用ガイダンス文書(AIGD)に推奨される対策の一つとして追加され、AIGD の改訂に貢献した。通信・航法・監視サブグループ会議では、ADS-B 検証に関するこれまでの成果を IP で報告した。

#### ※ 略語一覧

SSR: Secondary Surveillance Radar

WAM: Wide Area Multilateration

ADS-B: Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

RMSE: Root Mean Squared Error

CPR: Compact Position Reporting

SP: Surveillance Panel

CNS SG: CNS Subgroup

SURICG: Surveillance Implementation and Coordination Group

WP: Working Paper

IP: Information Paper

AIGD: ADS-B Implementation and Operations Guidance Document

#### 成果の公表

##### □ 査読付論文: 3編

- ・ 小菅義夫, 古賀禎, 長縄潤一, 呂, 宮崎裕己, “Taylor 級数推定法による TOA 測位における収束条件,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J105-B, No.4, pp.433-445, 2022 年 4 月.
- ・ 小菅義夫, 古賀禎, 長縄潤一, 宮崎裕己 “Taylor 級数推定法による TSOA 測位における初期値,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J106-B, No.01, 2023 年 1 月.
- ・ J. Naganawa and H. Miyazaki, “Comparison of ADS-B Verification Methods: Direct TDOA and MLAT,” in IEEE Access, vol. 10, pp. 97276-97288, 2022.

##### □ 国際標準化会議(ICAO、RTCA、EUROCAE 等): 8 編

- ・ H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG/15, SP4-

ASWG15-WP/11, April 2022.

- ENRI, Japan, “Positive Effect of CPR Reasonableness Test on ADS-B Security,” ICAO APAC SURICG/7, SURICG/7-WP/11, May 2022.
- H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO, SP ASWG TSG/15, ASWG TSG WP15-10, June 2022.
- Japan/ENRI, “Research on ADS-B Position Verification,” ICAO APAC CNS SG/26, CNS SG/26-IP/14, Sept 2022.
- H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG/16, SP-ASWG16-WP/12, Oct. 2022.
- H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG TSG/16, ASWG TSG-WP16-13, Jan. 2023.
- J. Naganawa, “Research Progress on Active Phased Array Antenna,” ICAO SP ASWG/17, SP-ASWG17-IP/06, Mar. 2023.
- H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG/17, SP-ASWG17-WP/27, June 2022.

□ その他：8編

- 長縄潤一, 宮崎裕己, “複数 TDOA を用いた航空機 ADS-B 位置検証に関する理論検討,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 信学技報, vol. 122, no. 41, SANE2022-6, pp. 27-32, 2022 年 5 月.
- J. Naganawa, “Research Activity on ADS-B Security,” FATS WG/30, May 2022.
- 長縄潤一, 宮崎裕己, 田嶋裕久, 古賀禎, 北折潤, “ADS-B 位置検証の補強技術,” 令和 4 年度(第 22 回) 電子航法研究所 研究発表会 ポスターセッション, 2022 年 6 月.
- 長縄潤一, 宮崎裕己, 北折潤, 古賀禎, 田嶋裕久, “航空機監視信号の到来角推定に関する初期的実験,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 信学技報, vol. 122, no. 136, SANE2022-29, pp. 38-43, 2022 年 7 月.
- 長縄潤一, “ADS-B に関する研究について—脆弱性対策—,” 出前講座, 2022 年 7 月.
- 長縄潤一, 宮崎裕己, 田嶋裕久, 古賀禎, 北折潤, “ADS-B 位置検証技術に関する研究,” 第 60 回飛行機シンポジウム, 2022 年 10 月.
- 長縄潤一, 宮崎裕己, 古賀禎, 北折潤, 田嶋裕久, “航空機二次監視に向けたアレーアンテナ実験システムの基礎評価と性能向上の検討,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 信学技報, vol. 122, no. 248, SANE2022-59, pp. 49-54, 2022 年 11 月.
- 長縄潤一, 宮崎裕己, 田嶋裕久, 古賀禎, 北折潤, “無線信号特徴量を使った航空機位置情報(ADS-B)の検証,” 日本 AEM 学会誌, 2023 年 3 月.

**研究開発課題** (3)機上情報の活用による航空交通の最適化

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>航空機が保持する運航や気象等に関する情報を地上へ伝送し活用する技術、航空機が地上と連携して周辺航空機の状況を把握し最適な航空機間隔を維持するとともに最適な飛行経路を実現する技術に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>航空機が持つ情報(機上情報)を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発</p>	<p>航空機が持つ情報(機上情報)を航空交通管理などにおいて活用するため、機上情報を迅速に取得する等の監視性能向上、航空機監視応用システムと地上管制の連携による航空機間隔最適化に関する技術の開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①放送型自動位置情報伝送監視システム等の機能を用いて航空機の飛行管理システムが持つ運航情報などを地上に伝送して航空交通管理に活用する技術に関する研究開発</p> <p>一空港用マルチ監視技術活用に関する研究では、将来的に空港面及び空港周辺における監視システムの性能要件を算出するために、各種監視システムの性能評価を実施する。本年度は、マルチラレーション(MLAT)、放送型自動位置情報(ADS-B)、独立非協調監視システム(INCS)といった各種監視データを取得・解析し、特にADS-Bについては空港面で活用可能か検討するための、位置精度評価を実施する。</p>

○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ー系(PSR, ASDE)と二次監視レーダー系(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(以下、空港用)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 (INGCS) 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4年度の研究内容

- 評価手法の開発(主に監視データの解析)
- 監視装置の改修、データ取得
- 動向調査

#### 令和4年度の研究成果

- 評価手法の開発(主に監視データの解析)

監視性能評価手法を開発するにあたり、既存監視システムの性能評価を実施した。

MLAT については、仙台空港に展開した光ファイバー接続型受動監視システム(OCTPASS)を用いて、空港内を飛来する信号数と各受信ステーションでの受信状況の関係についてデータ解析を行い、受信ステーション毎で測位に有利なエリアとそうでないエリアの推定を開始した。

ADS-B については、国内への今後の導入が期待されており、ADS-B の利用が有用な飛行フェーズを把握するとともに、空港面で活用可能かを検討するため、当所が所有する ADS-B のデータ解析装置を用いて、空地全ての ADS-B 機に対して位置精度評価を実施した。特にインテグリティ(NIC)と航法精度(NACp)を統計解析した結果(図 1.4.30)、米国の解析結果である  $NIC \geq 8$  が 95%以上及び  $NACp \geq 9$  が 80%以上について日本でも同様の傾向を示すことを確認した。加えて、空地別にデータ解析を行ったところ、地上走行時(SP)の位置精度が飛行中(AP)に比べてやや低下する傾向を明らかにできた。これは国際標準化会議を通して研究成果を世界に発信し、今後の国際的な情報交換を進めることにつながる新たな発見となった。

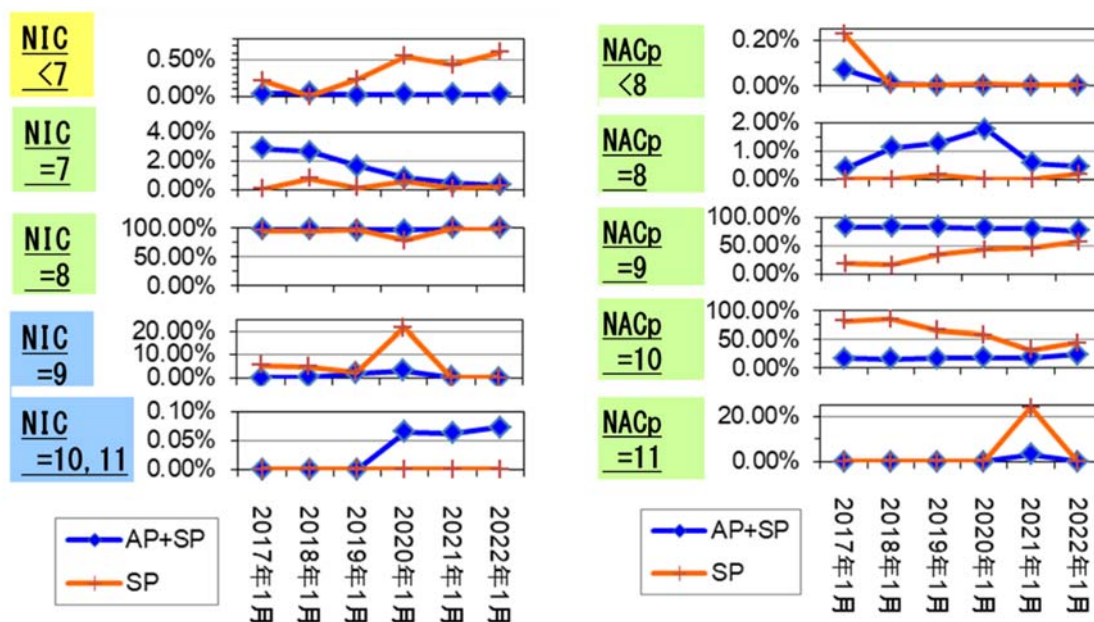


図 1.4.30 NIC と NACp の統計解析結果

NIC は NIC=8 が 95%以上を占めており、NACp は NACp=9 が 80%程度を占めている。米国 FAA では ADS-B Ver.2 の搭載義務化と運用に使用する上で NIC $\geq$ 7、NACp $\geq$ 8 が求められるところ、空地別の解析も実施した結果、地上で NIC $<$ 7 の割合がやや増加する傾向を示した。  
 (補足:NIC や NACp は 0~11 の数値が割り当てられており数値が大きいほど精度が高い)

□監視装置の改修、データ取得

ファミリービーコン機(同一コードを持つ複数の航空機)を正しく分離検出するためのモード A/C 対応 MLAT の開発に着手した。OCTPASS の機能により移動体自体の分離ができるところまでは概ね確認できているが、それぞれの移動体を異なる航空機であるとする認識分離機能がないため、異なる航空機であると認識できるように別々のトラック番号を付加する機能改修を行った。また仙台空港に展開した OCTPASS 装置を使って、1090MHz の信号数と検出に関するデータを収集した。

ADS-B については、先述した位置精度評価を行うためにデータ解析装置(位置性能指数算出プログラム及び統計処置プログラム)を改修した。その結果、地上面を含めた全運航フェーズで ADS-B 位置精度のデータを収集・解析し、性能評価できるようになり、これまでに収集した ADS-B データを解析することで、国内に導入されている最新型 ADS-B の搭載状況の傾向が明らかになった(図 1.4.31)。

INCS については、既存 PSR の信号を使った拡張システムについて、光ファイバケーブルや実験機材の設置等のデータ収集に係る環境を整備し、データ取得を開始したところである。また、地上デジタル放送波による移動体検出実験を実施し、遅延時間を用いた提案システムについて、周波数(チャンネル)やアンテナの向きを変えてデータ収集を行った。

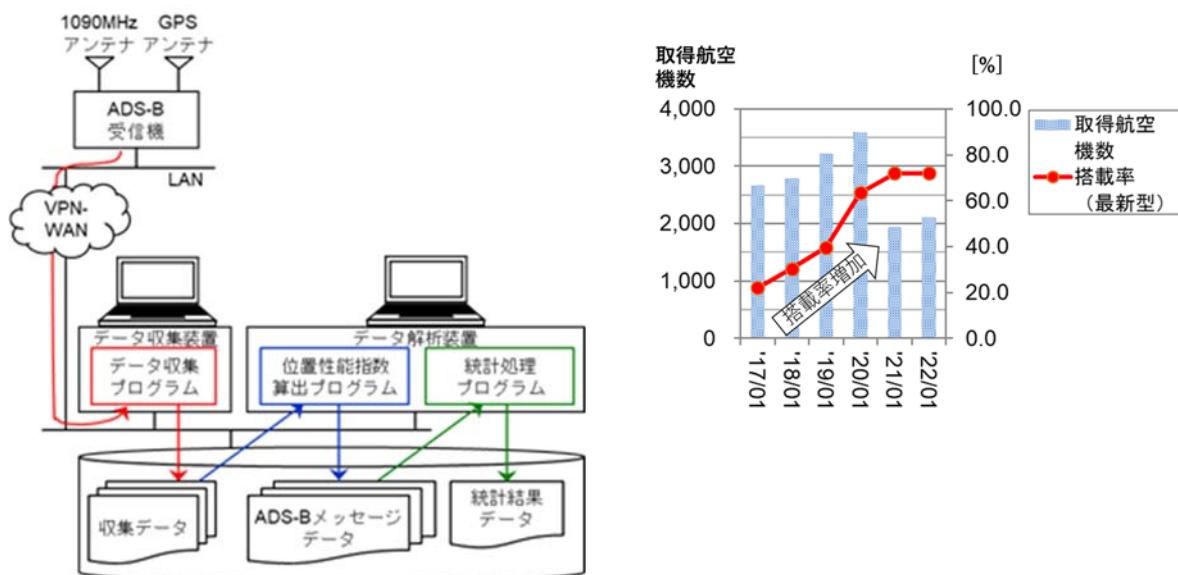


図 1.4.31 ADS-B データ解析装置の系統図及び最新型 ADS-B の搭載率の現状  
 右図は仙台空港で収集した最新型 ADS-B の搭載率の解析結果。最新型 ADS-B は、実運用上の ADS-B 最新版として欧米で義務化されており、搭載率が大きく増加している傾向がみられる。

□動向調査

ICAO 監視パネルにおける航空機監視作業部会に参加し、監視の動向調査を実施した。併せて、国内の監視信号環境やモード A/C 対応 MLAT 及び日本の ADS-B の性能評価結果について成果公表を行い、計 7 件の研究成果について国際標準化団体に情報提供でき、今後、国際的な情報交換を進めることとなった。

成果の公表



□査読付論文:2編

- J. Honda, K. Matsunaga, Y. Kakubari, and T. Otsuyama, “Preliminary Analysis of Performance Variation for ADS-B Position,” Proc. Int. Conf. on Broadband and Wireless Computing, Comm. and Applications (BWCCA), pp.312–322, Virtual, Oct. 2022.
- J. Honda, Y. Kakubari, T. Otsuyama, and K. Matsunaga, “Preliminary Study on Receiving Status at MLAT Station and Estimated Aircraft Position,” Proc. Int. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP), pp.377–378, Sydney/Virtual, Nov. 2022.

□国際標準化会議(ICA0、RTCA、EUROCAE等):7編

- T. Otsuyama, J. Honda, M. Oka, and H. Miyazaki, “Analysis of the 1030–1090 MHz Signal Environment in Japan,” ICAO SP ASWG TSG WP15–04, Virtual, June 2022.
- T. Otsuyama, J. Honda, M. Oka, and H. Miyazaki, “Analysis of the 1030–1090 MHz Signal Environment in Japan,” ICAO SP-ASWG16-WP/06, Montreal/Virtual, Oct. 2022.
- J. Honda and Y. Kakubari, “Multilateration for Mode A/C using Radio-over-Fiber,” ICAO SP-ASWG16-WP/21, Montreal/Virtual, Oct. 2022.
- K. Matsunaga and J. Honda, “Introduction of Former Research of DAPs Validation,” ICAO SP-ASWG16-IP/06, Montreal/Virtual, Oct. 2022.
- T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, “Analysis of the 1030–1090 MHz Signal Environment in Japan,” ICAO SP-ASWG-TSG WP16–09, Fort Lauderdale/Virtual, Jan.–Feb. 2023.
- T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, “Analysis of the 1030–1090 MHz Signal Environment in Japan,” ICAO SP-ASWG17-WP/20, Singapore/Virtual, March 2023.
- K. Matsunaga and J. Honda, “Preliminary Analysis of ADS-B Positional Performance in Japan,” ICAO SP-ASWG17-IP/05, Singapore/Virtual, March 2023.

□その他:5編

- 本田純一, 松永圭左, “ADS-B の位置性能指数の初期評価,” 第 60 回飛行機シンポジウム, 3A08, Oct. 2022.
- 松尾和馬, 本田純一, 池田誠, 大津山卓哉, “福岡地域における地上デジタル放送波による船舶検出の実験結果,” 映情学技報, vol.47, no.2, BCT2023-8, pp.27–30, Jan. 2023.
- 大津山卓哉, 本田純一, “航空監視信号環境と航空交通流に関する一検討,” 信学技報, vol.122, no.346, SANE2022-88, pp.1–5, Jan. 2023.
- 松永圭左, 本田純一, “ADS-B の位置性能指数の実データ解析,” 信学技報, vol.122, no.346, SANE2023-89, pp.6–11, Jan. 2023.
- 本田純一, 米本成人, “航空用電波施設に及ぼす風力発電設備の電波散乱に関する影響評価,” 日本エネルギー学会誌, Vol.46, No.4, pp.587–593, Feb. 2023.

**研究開発課題** (4)関係者間の情報共有及び通信の高度化

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

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>多数の関係者が航空機運航の状況認識・判断を行えるようにする情報共有基盤の構築及び航空機と地上の間で航空管制、運航、気象等に関する情報を高速伝送する地対空通信システムの開発並びにそのセキュリティの確保に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発</p>	<p>航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>①異種システム間の情報交換において安全性の保証された共通データ基盤の構築に関する研究開発</p> <p>—航空分野でのDXを実現するため、情報共有基盤となるSWIMの導入が不可欠である。これに対応するため、SWIMによる協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究として、異なる運用要件に適應できる広域SWIMサービス基盤構築技術と情報の信頼性や運航の安全性を保証できるアシュアランス技術の提案、実用可能なサービスを用いた国際連携評価を行う。本年度は、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SWIMサービス基盤構築技術の提案を行う。また、軌道ベース運用に向けて国際実証実験を実施することにより提案技術の有効性を評価する。等</p>

○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)により航空機運航に係る様々な情報をシステムや関係者間で共有し、相互運用性と協調性を有する運航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、さらに空地統合 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なく、運航の安全性に係わる情報の品質を保証する高度な SWIM 情報サービスも求められている。

当所は我が国で唯一、SWIMに関する研究開発を行い、開発した空地統合 SWIM 実験システムを用いて、運航前と運航後の協調的な軌道調整 (FF-ICE)に関する国際検証実験や飛行実証実験を実施している研究機関である。また、アジア太平洋地域 (APAC)における SWIM の導入を促進するため、日本、シンガポール、タイとの共同提案により ICAO バンコク事務所に APAC SWIM Task Force (TF)が設置され、当所は、タスクリーダーとして地域に適用できる SWIM アーキテクチャの検討や地域 SWIM サービス検証基盤の構築などを諸加盟国と連携しながら推進している。

#### 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4年度の研究内容

- 広域 SWIM サービス構築技術の提案
- 協調的意思決定支援ツールの開発
- 軌道ベース運用に向けた国際連携実験の実施
- SWIM に関する会議とセミナーの参加、技術動向調査

#### 令和4年度の研究成果

- 広域 SWIM サービス構築技術の提案

軌道ベース運用 (TBO: Trajectory Based Operation)の目的は、一つの飛行情報区及び複数の飛行情報区における航空機の全飛行フェーズの軌道に対して異なる運航関係者間で協調(空地軌道調整)し、軌道の一貫性を確保するとともに最適な航空交通業務の提供及び運航を実現することである。SWIM に基づいた TBO を実現するためには、個々の航空機の飛行軌道に影響を与える航空情報や気象情報等の運航に関する様々な情報を関係者間で共有するだけでなく、これらの情報の品質や継続利用を保証し、制約条件に対して異なる航空交通管理システム間で軌道調整を行い、一貫性のある軌道を実現できる広域 SWIM サービスの構築が必要となる。

令和4年度は、空地統合 SWIM によって開発された広域情報品質管理モデルを用いて、各航空機の運航に利用する合意された4次元軌道(4DT: 4-Dimensional Trajectory)に関連する飛行情報、交通流情報、航空情報、監視情報、機上情報や気象情報を適切に抽出できるマルチサービス・コンテナモデルを開発した(図 1.4.32)。このモデルに基づいて、以下の情報レイヤーと機能レイヤーを連動させ、異なる運用レベルに対応できる広域 SWIM サービス構築技術を提案した(図 1.4.32)。情報レイヤーは、SWIM 通信サービス (CaaS: Communication as a Service)によりリアルタイムの情報更新と異なる運航関係者間での情報共有を実現できる。機能レイヤーは、現在の4DTに影響を与える制約条件に対する適切な検証と評価により異なる航空交通管理システム間での軌道調整ができる。

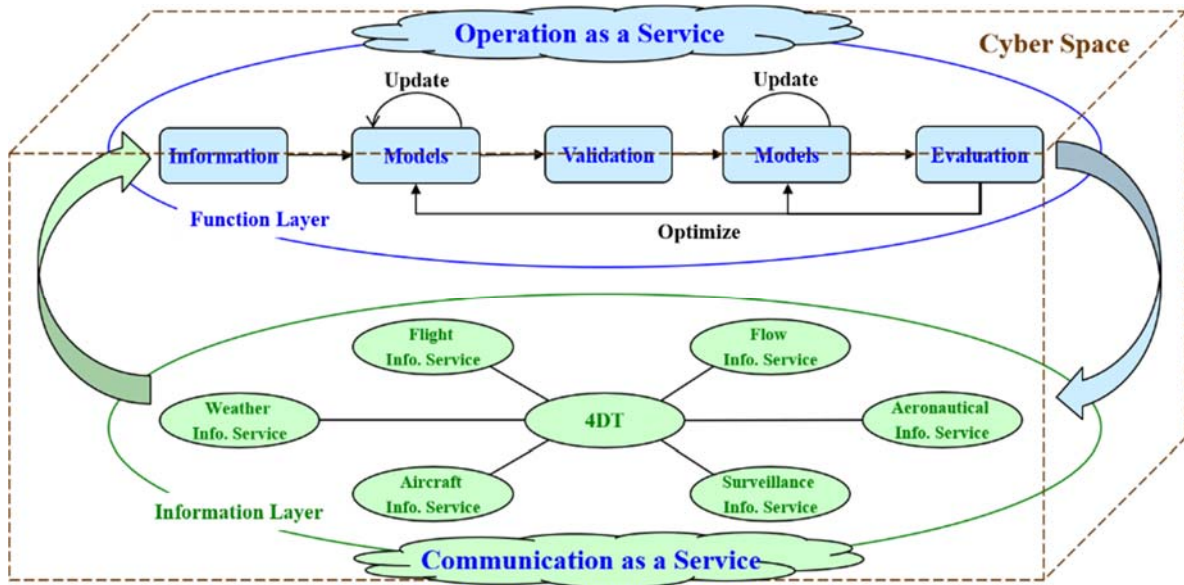


図 1.4.32 マルチサービス・コンテナによる広域 SWIM サービスの構築

また、運用レベルが異なる飛行情報区においては、広域 SWIM サービスを構築するため、各航空交通管理サービス提供者(ASP: ATM Service Provider)が提供できる SWIM サービスの内容や取得方法などの情報についてサービス利用者から探索できることが必要となる。これを実現するため、SWIM のサービス指向アーキテクチャコンセプトに基づいて SWIM サービスの情報(Metadata)を管理するサービス(SMMS: SWIM Metadata Management Service)と SWIM サービスの情報を交換するサービス(SMXS: SWIM Metadata Exchange Service)を開発した(図 1.4.33)。これらのサービスを利用して、SWIM サービスの登録や探索アクセスポイントに係る ENRI SWIM Registry を構築するとともに、REST(Representational State Transfer) API(Application Programming Interface)により異なる SWIM システム間で SWIM サービスの情報を探索・共有できるサービス(SDS: SWIM Discovery Service)を開発し、米国(FAA)、韓国(KAC)との接続実験を実施した。また、中国(ATMB)との接続実験を実施する予定である(図 1.4.33)。これらの研究成果を ICAO APAC SWIM Task Force(TF)に報告し、地域 SWIM サービス導入の技術基準の策定及び地域 SWIM サービスに基づいた協調運用方式の検討が始まった。

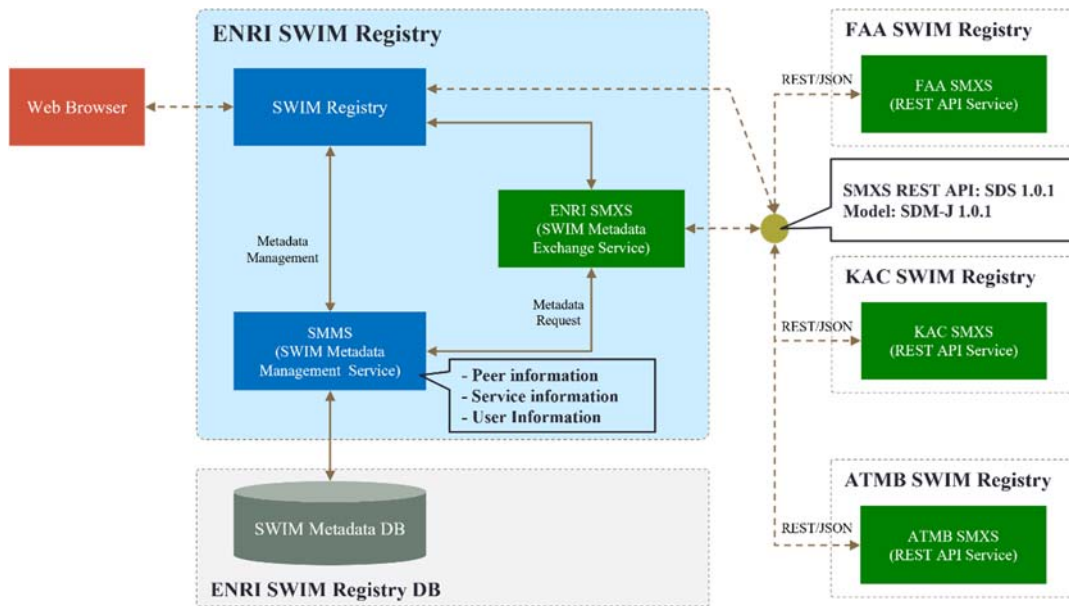


図 1.4.33 ENRI SWIM Registry のシステムアーキテクチャ

□ 協調的意思決定支援ツールの開発

正確で一貫性のある 4DT に基づく交通流管理を実現するため、異なる運航関係者間の協調的意思決定が必要となる。特に、異常事態の発生に対して、交通流管理に関する各システムの容量変化や制約条件を共有するとともに、各航空機の状態に対して適切な軌道調整が必要となる。これを実現するため、開発したマルチサービス・コンテナモデルを用いて前述したリアルタイムの情報レイヤーと軌道情報を管理できる機能レイヤーを融合し、実際の需要と現在の容量のアンバランスを調整できる協調的意思決定モデルと支援ツールを開発した(図 1.4.34)。

MugType	MugID	Start Time	End Time	Event	Runway	Control
NOTAM	NOTAM_RJAA_RWCLOSD_TBO_Phase2	2022-05-11 00:00	2022-05-11 02:00	RUNWAY_CLOSURE	16R/34L	GDP

Runway	Time	ACID	STAR	Direction
16L/34R	2022-05-10 17:33	LUAL7		34R
16L/34R	2022-05-11 00:39	LUAL5		34R
16L/34R	2022-05-11 00:48	JAL9	SUPOKE	34R

ACID	DEP	ARR	EOBT/ADT	EAT/AAT	Scheduled	Runway
LUAL7	KJAH	RJAA	2022-05-10 12:57	2022-05-10 17:32	2022-05-10 17:33	16L/34R
LUAL5	KDEN	RJAA	2022-05-10 12:54	2022-05-11 00:38	2022-05-11 00:39	16L/34R
JAL9	KSFO	RJAA	2022-05-10 13:21	2022-05-11 00:46	2022-05-11 00:48	16L/34R

Point	CC	Planned Time	Calculated Time	Crossing Time	Loss/Gain Time
RJAA	JP	2022-05-11 00:46:06	2022-05-11 00:48:00		0
SUPOKE	JP	2022-05-11 00:28:46	2022-05-11 00:30:02		-00:00:38
AVBET	JP	2022-05-11 00:01:57	2022-05-11 00:02:35		-00:01:16
LEPKI	JP	2022-05-10 23:26:43		2022-05-10 23:26:43	-00:01:54
PositionPoint	JP	2022-05-10 22:53:20			
PositionPoint	JP	2022-05-10 22:20:39			
PositionPoint	JP	2022-05-10 21:48:00			
PositionPoint	US	2022-05-10 21:15:00			

図 1.4.34 交通流管理サービスによる協調的意思決定支援ツール

## □軌道ベース運用に向けた国際連携実験の実施

令和 4 年度に提案したモデルと技術に基づいた実験システムを開発し、引き続き FAA と共同で、カナダ、シンガポール、タイと連携して、多国連携による Multi-Regional TBO Demonstration (Phase 2A) 実証実験を行い、有効性を評価した。本実証実験において、共有された制約条件によって、空港の実際の容量と離着陸の需要のアンバランスを調整できる交通流管理サービスを開発した。このサービスは、滑走路閉鎖の航空情報 (NOTAM Message) により、着陸航空機を優先的に処理するために、地上の航空機の離陸を延期することができた (図 1.4.34 の左上)。また、離陸を延期するための GDP (Ground Delay Program) により、空港の容量が更新され、影響を受ける航空機への制約条件や更新された着陸時間を地上と機上の運航関係者システム間で共有することができ、有効であることが確認された (図 1.4.34 の右上と図 1.4.35)。さらに、各航空機の 4 次元軌道情報に基づいて着陸管理用の固定ポイント (Fix Point) の通過時間を自動的に調整し、各空域利用者と共に、協調的意思決定を実現することができた (図 1.4.34 の右下と図 1.4.35)。

令和 5 年度においては、FAA と連携して、Boeing 社の ecoDemonstrator を用いて TBO に関する実際の飛行実証実験を計画している。このような国際連携実験の取り組みは、TBO の導入に向けて運用面と技術面の課題を明らかにできるため、ICAO ATM RPP (ATM Requirements and Performance Panel) は TBO/FF-ICE Tabletop Exercise を 2023 年 6 月にモントリオール本部で実施することとした。

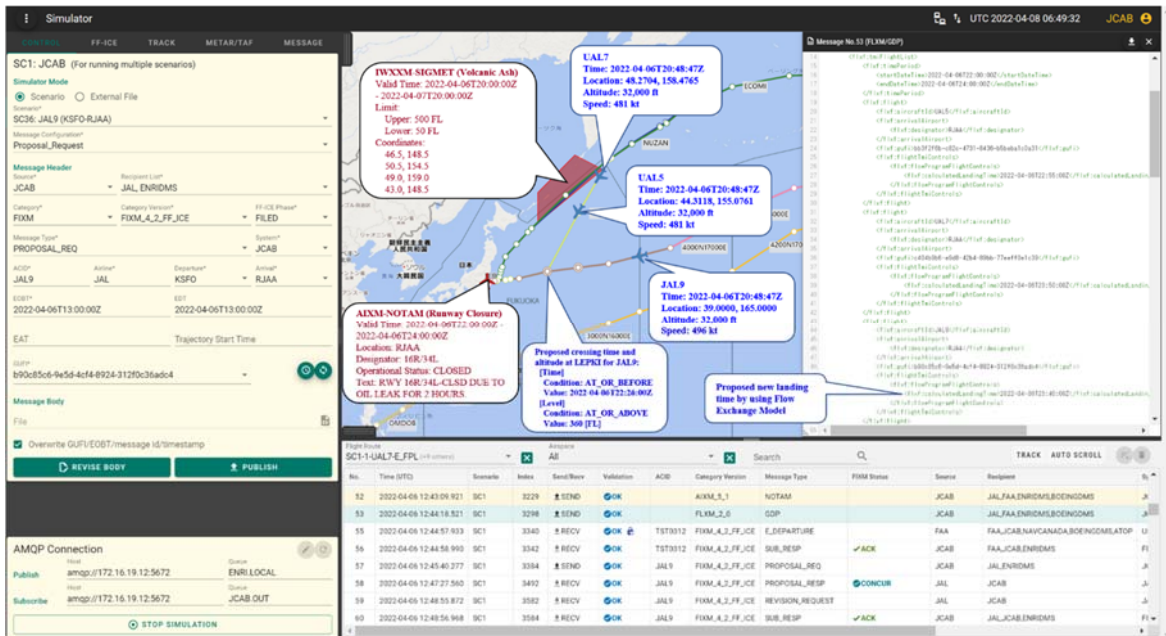


図 1.4.35 複数航空機による国際連携実証実験

## □SWIM に関する会議とセミナーの参加、技術動向調査

SWIM や FF-ICE/R1 に関する技術資料を改訂するため、行政当局のアドバイザーとして ICAO IMP (Information Management Panel) と ATM RPP や Task Group の会議に参加した。ICAO APAC SWIM TF では、タスクリーダーとして第 6 回 SWIM TF 会議で担当しているタスクの進捗状況について報告するとともに、定期的に行われるタスクリーダー間の連携推進会議に参加した。また、相互運用性を保証できる APAC 向け SWIM を構築するため、地域航空用 IP ネットワークの導入を担当している CRV OG (Common aeRONautical Virtual Private Network Operations Group) と SWIM TF との連携推進会議も設立され、定期的な技術検討会議が実施されている。

さらに、SWIM の研究開発に必要な運航の安全性に係る情報通信システムの国際的な相互運用性及びサーバー脅威に対する信頼的枠組みについて、ポリシーやガイダンスを策定する目的で ICAO TFP (Trust Framework Panel) が立ち上げられたため、TFP キックオフ会議に航空局のアドバイザーとして参加し、各

国参加者との意見交換及び情報収集を開始した。

地域において SWIM の研究開発を推進するため、設立した SASWIM 国際会議 (IEEE International Workshop on Service Assurance in SWIM) の第 4 回目会合が 2023 年 3 月にメキシコシティで開催され、参加者との技術交流を行った。

#### 成果の公表

##### □ 査読付論文: 4編

- X.D. Lu, N. Kanada, N. Wickramasinghe, H. Hirabayashi and M. Brown, “SWIM Based Trajectory Coordination to Achieve Strategic Planning and Collaborative Decision Making,” IWAC 2022, October 2022.
- X.D. Lu, K. Moriok, T. Koga, J. Kitaori and Y. Sumiya, “The Discussion of Air-Ground SWIM Integration to Achieve 4D Trajectory Sharing and Negotiation through An International Joint Demonstration,” 電子航法研究所報告 No.135, 2022 年 12 月.
- X.D. Lu, K. Morioka, N. Kanada and T. Koga, “4D Trajectory Negotiation to Achieve Situational and Operational Awareness for Air Traffic Management,” IEEE ISADS 2023, March 2023.
- N. Kanada and X.D. Lu, “Preliminary Feasibility Study of Quantum Key Distribution for Future Air Traffic Management Systems,” IEEE ISADS 2023, March 2023.

##### □ 国際標準化会議 (ICAO、RTCA、EUROCAE 等): 5編

- X.D. Lu, “SWIM-TI Interface Binding to Achieve Interoperability,” ICAO 6th Meeting of SWIM TF, online, May 2022.
- X.D. Lu, W. Zhu, S. Han and Y. Tian, “SWIM DISCOVERY SERVICE (SDS) UPDATE AND NEXT STEPS,” ICAO 6th Meeting of SWIM TF, online, May 2022.
- X.D. Lu, “The Development of ENRI SWIM Registry,” SWIM TF – SDS Implementation Coordination Meeting, online, October 2022.
- X.D. Lu, “Proposal of CRV based APAC Regional SWIM Architecture,” Joint Meeting of CRV OG and SWIM TF, online, October 2022.
- X.D. Lu, “Collaborative Validation for Interoperability of SWIM Service Discovery,” ICAO IMP WG-G/10, Singapore, February 2023.

##### □ その他: 6編

- X.D. Lu, “Lessons Learned of TBO Demonstration and Live Flight Experiment,” FATS/30, online, May 2022.
- 呂曉東, 森岡和行, 金田直樹, 古賀禎, ビクラマシンハナヴィンダ, 平林博子, ブラウンマーク, “SWIM による軌道ベース運用に関する実証実験,” 電子航法研究所研究発表会, 2022 年 6 月.
- X.D. Lu, “ENRI Test System for Live Flight Demonstration,” MR TBO Coordination Meeting, Tokyo, October 2022.
- 呂曉東, “SDECC 向け SWIM 概要説明および質問回答表,” SDECC 出前講座, 2022 年 12 月.
- X.D. Lu, “Trajectory Based Operation for Air Traffic Management: From Concept To Application,” Invited Talk, IEEE ISADS 2023, March 2023.
- 呂曉東, 福島荘之介, “MR TBO Lab Demo の報告,” CARATS 推進協議会, 2023 年 3 月.

**研究開発課題** (4)関係者間の情報共有及び通信の高度化

**研究テーマ** ②航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全な次世代航空通信に関する研究開発

中長期目標	中長期計画	年度計画
<p>多数の関係者が航空機運航の状況認識・判断を行えるようにする情報共有基盤の構築及び航空機と地上の間で航空管制、運航、気象等に関する情報を高速伝送する地対空通信システムの開発並びにそのセキュリティの確保に関する研究開発等に取り組む。</p>	<p>航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全性の保証された次世代航空通信に関する研究開発</p>	<p>航空情報、飛行情報、気象情報等、航空機の運航に必要な情報の共有に関する技術の開発及び航空機と地上管制機関等との間のセキュアで高速な通信に関する技術の開発が求められている。</p> <p>このため、以下の研究開発を進める。</p> <p>②航空機と管制機関間をつなぐ高速で安全な次世代航空通信に関する研究開発</p> <p>－航空通信基盤の高度化に関する研究では、複数の通信システムおよび通信経路を用いた際の接続率向上技術の評価開発、通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証、新しいネットワークに対応した各種規格の標準化活動を行う。本年度は、実験室規模で複数の通信システムおよび通信経路を模擬した検証システムを用いた接続率向上の評価実証、ならびに通信の秘匿・優先度選択技術の評価を始める。等</p>

○航空通信基盤の高度化に関する研究

**研究の背景**

近年、航空システムから取得した様々な情報を関係者間で共有し、より安全で効率的な運用を行う SWIM (System Wide Information Management) が検討されている。このような次世代の航空情報共有のために、通信速度が速く大容量を扱え、IP(Internet Protocol)化に対応できる次世代航空通信システムの導入が近づいている。次世代航空通信システムとして唯一 ICAO の標準規格策定が終了している AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Communications System)を始めとする次世代航空通信システムの航空機への搭載が進むと、その後しばらくは、様々な世代の航空通信システムを用いる機体が混在することが予想される。現在の航空データ通信は、機体の受信状況等に応じて搭載無線機を選択し使用しているが、飛行中の切替え等による接続率の低下に問題がある。一方、国際標準規格文書 ICAO Doc.9869 は航空管制データ通信について高い接続率を要求しており、あらゆる飛行フェーズの航空機が通信接続率の要件を満足できる高度な航空通信基盤を実現するため複数の通信システム及び通信経路を用いた接続率等の評価開発が必要とされている。さらに通信の IP 化に伴い、通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証や新しい規格の標準化も必要となる。



## 研究目標

- 既存の AeroMACS プロトタイプを活用して、航空機、車両、地上間で接続可能な複数の通信システム及び通信経路を含む検証ネットワークシステムを開発する。
- 複数の通信システムが利用される際、通信経路に拠らず情報の重要度に応じて通信を秘匿化しシステムを選択するための評価実証を行う。
- 航空の IP 化関連技術の標準規格化活動に参画し、性能評価結果の提案に基づき、貢献を図る。

## 令和4年度の研究内容

- 航空通信システムの規格策定活動参画
- 複数の通信システム・経路の検証システムを用いた接続率向上の評価実証
- 検証システムを用いた通信の秘匿・優先度選択技術の評価

## 令和4年度の研究成果

- 航空通信システムの規格策定活動参画

本研究では ICAO 通信パネル及びその関連 WG に継続して参画している。ICAO 通信パネルにおいて IPS SARP<sub>s</sub>(IP に関する標準及び勧告方式)の Validation report に、当研究所から提供していた AeroMACS の空地通信実験の結果について、本年度掲載されることが決まり、IPS SARP<sub>s</sub> の策定に貢献できることとなった。さらに、当研究所で開発した LDACS(L-band Digital Aeronautical Communications System)試作装置を用い、ENRI と独 DLR の連携による日独共同相互運用性試験を実施して得られた評価結果を ICAO 通信パネルのプロジェクトチーム(PT-T)に報告し、現在策定中の LDACS 国際標準規格及び技術仕様案における曖昧さや誤記等の指摘と改善提案を行った。

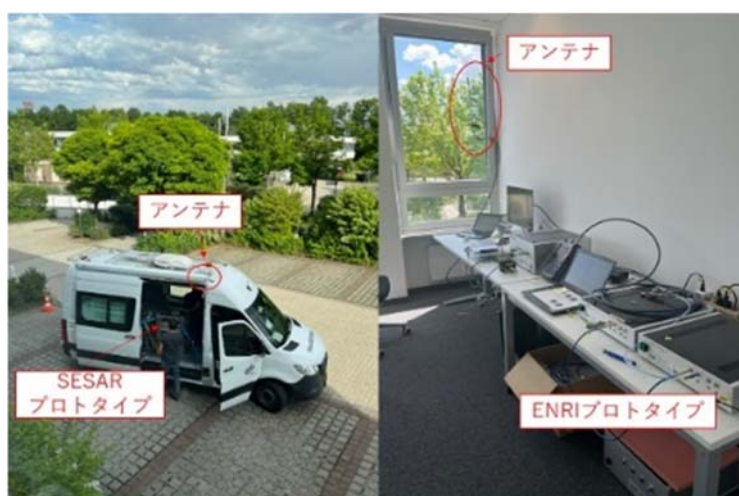


図 1.4.36 連携した日独共同での LDACS 相互運用性試験の様子

- 複数の通信システム・経路の検証システムを用いた接続率向上の評価実証

これまでに開発してきた PC 構成による複数通信システム及び通信経路を模擬した検証システムによる基礎評価結果に基づき、航空通信の性能仕様として ICAO Doc.9869 に規定されている RCP(Required Communication Performance)の根幹をなす接続率について統計的分析を行った。また、飛行状態の通信機の応答(メッセージの再送による遅延)を理論モデルから定式化し、シミュレーション結果と比較する評価実証を行った。理論モデルでは、1 メッセージが N 個の packets に分割されて受信完了となるまでの送信回数の発生確率の累積密度は図 1.4.37 の通りである。理論モデルを定式化した結果は、複数の通信システム・経路の検証システムにおける仙台から洋上へ飛行する VHF データ通信シミュレーションの接続率評価結果(図 1.4.38)とよく一致し、理論モデルと定式化の妥当性を確認できた。

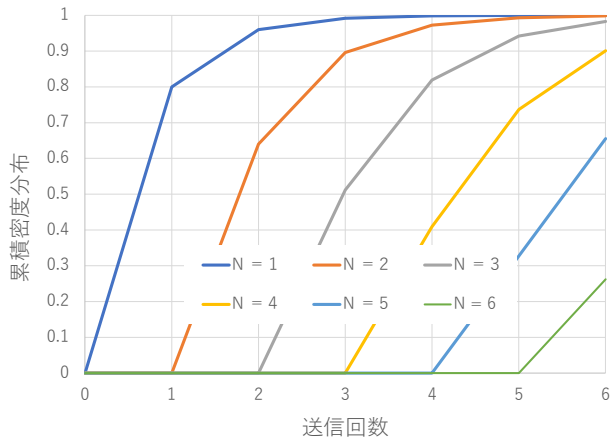


図 1.4.37 理論モデルの結果

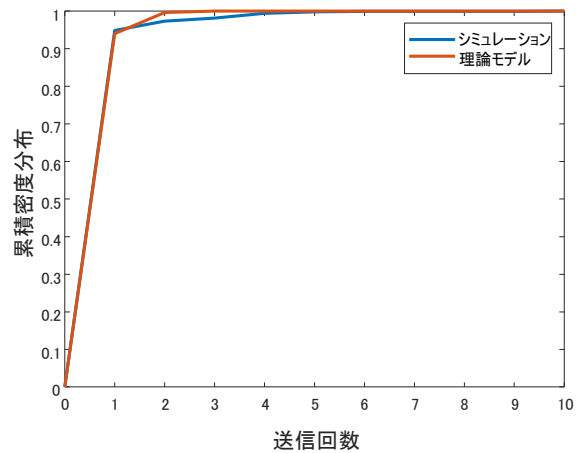


図 1.4.38 VHF データ通信におけるシミュレーションと理論モデルの比較

さらに、次年度に予定している実験用航空機を用いた複数の通信システム・経路の接続率評価実験の準備として、既存アビオニクスである VHF データ通信装置(図 1.4.39)の実験局免許を取得し、うみそら研構内及び周辺において、IP パケット通信を行う車両搭載通信実験を実施し、性能を評価した。この結果、図 1.4.40 の通り比較的受信強度の強い地上局近傍においてもマルチパス等によって通信の途切れる箇所があること等が明らかになり、空港面における利用においても通信が途切れ、データ再送が頻繁に行われる可能性のあることがわかった。



図 1.4.39 実験局免許を取得した VHF データ通信装置

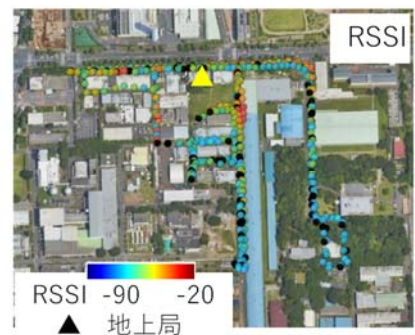


図 1.4.40 車両搭載通信実験結果 (●が通信の途切れた箇所)

#### □検証システムを用いた通信の秘匿・優先度選択技術の評価

VHF データ通信装置の IP 化通信実験において、xml 形式の SWIM 位置通報メッセージを 1 パケットで送信できる形に圧縮・暗号化して送信・復号する手法を考案し、実証試験を PC 上で実施した。本手法は、SWIM 位置通報メッセージの緯度経度や速度を表すパラメータ群と航空機の便を示す ID (GUFI:Global Unique Flight Identify)をある特定の文字列で紐づけし、xml 形式の定型文を省略するものである。本手法により、既存通信である ACARS で 1 パケットの送信(約 1 秒)に必要な全パラメータを納めることができ、送信量及び時間を xml 形式の定型文を省略しない場合の約 1/10 に抑えられる。また、圧縮したメッセージに対して暗号化を行うことで、通信の秘匿試験を行った。これら試験の結果、提案手法が有効であることを確認でき、既存の VHF データ通信装置でも工夫により暗号化した SWIM メッセージを送受できることを明らかにした。優先度選択技術については、評価検討の結果、先行研究で利用した QoS(Qolity of Service)の適用に確定し、検証は次年度行う予定である。

## 成果の公表

### □ 査読付論文:2編

- ・K.Morioka, S. Futatsumori, N. Yonemoto, J. Kitaori, Y. Sumiya, A. Kohmura, “Rapid Prototyping for a Future Aeronautical Mobile Communications System using Software Defined Radio”, IEEE Proceedings of the Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) 2022, April 2022.
- ・K. Morioka, X. Lu, J. Naganawa, N. Kananda, N. Miyazaki, N. Hiraga, N. Yonemoto, A. kohmura, “Air-Ground SWIM Demonstration over Extended AeroMACS”, International Workshop on ATM/CNS (IWAC) 2022, October 2022.

### □ 国際標準化会議(ICA0、RTCA、EUROCAE 等):2編

- ・K. Morioka, S. Futatsumori, J. Kitaori, Y. Sumiya, N. Yonemoto, A. Kohmura, “ENRI Technical Validation Report (ENRI TVALR)”, ICAO DCIWG PT-T/20, September 2022.
- ・K. Morioka, S. Futatsumori, J. Kitaori, Y. Sumiya, N. Yonemoto, A. Kohmura, “Feedback from ENRI Technical Validation”, ICAO DCIWG PT-T/20, September 2022.

### □ その他:2編

- ・河村暁子, 森岡和行, 米本成人, “航空通信基盤の高度化に関する研究開発概要”, 航空局 ICAO CP-DCIWG/5 対処方針検討会, 2022 年 4 月.
- ・河村暁子, 森岡和行, 米本成人, “航空通信基盤の高度化に関する研究開発概要”, 航空局令和 4 年度第 1 回 CARATS\_CNS 検討 WG(通信検討 SG・航法検討 SG・監視 検討 SG・GNSS 検討アドホック・小型機検討アドホック 同時開催), 2022 年 6 月.

## 5. 研究開発成果の社会への還元

### 【中長期目標】

#### 5. 研究開発成果の社会への還元

研究所は、上記1.～4.における研究開発成果を活用し、行政への技術的支援、他機関との連携及び協力等を通じて我が国全体としての研究成果を最大化するため、次の事項に取り組む。

【重要度：高】 行政への支援や他機関との連携及び協力等による研究所の研究開発成果の社会への還元は、国土交通省の政策目標の実現に不可欠であるため。

### 【中長期計画】

#### 5. 研究開発成果の社会への還元

### 【年度計画】

#### 5. 研究開発成果の社会への還元

## (1) 技術的政策課題の解決に向けた対応

### 【中長期目標】

#### (1) 技術的政策課題の解決に向けた対応

上記1.～4.における研究開発成果を、国が進めるプロジェクト等への支援、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や港湾の施設に係る技術基準及びガイドライン、航空交通の安全等に係る基準等の策定などに反映することにより、技術的政策課題の解決を支援する。このため、技術的政策課題や研究開発ニーズの把握に向けて、行政機関等との密な意思疎通を図るとともに、社会情勢の変化等に伴う幅広い技術的政策課題や突発的な研究開発ニーズに、的確かつ機動的に対応する。

### 【中長期計画】

#### (1) 技術的政策課題の解決に向けた対応

##### ① 国が進めるプロジェクト等への支援

国等がかかえる技術課題について受託研究等を実施するとともに、国等が設置する技術委員会へ研究者を派遣する等、技術的政策課題の解決に的確に対応するとともに、国が進めるプロジェクトや計画等の実施に貢献する。さらに、国や公益法人等が実施する新技術の評価業務等を支援する。

##### ② 基準・ガイドライン等の策定

研究所の研究開発成果を活用し、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や港湾の施設に係る技術基準・ガイドライン、航空交通の安全等に係る基準等の策定や改定を技術的観点から支援する。

##### ③ 行政機関等との密な意思疎通

研究計画の策定にあたっては、ニーズの把握のため行政機関等と密な意思疎通を図り、研究の具体的な内容を検討するとともに、実用化が可能な成果を目指す。

国、地方公共団体等の技術者を対象とした講演の実施、研修等の講師としての研究者の派遣や受け入れにより、技術情報の提供及び技術指導を行い、行政機関等への研究成果の還元を積極的に推進する。

その他、社会情勢の変化等に伴う幅広い技術的政策課題や突発的な研究開発ニーズに、的確かつ機動的に対応する。

### 【年度計画】

##### ① 国が進めるプロジェクト等への支援

国等がかかえる技術課題について受託研究等を実施するとともに、国等が設置する技術委員会へ研究者を派遣する等、技術的政策課題の解決に的確に対応するとともに、国が進めるプロジェクトや計画等の実施に貢献する。さらに、国や公益法人等が実施する新技術の評価業務等を支援する。

##### ② 基準・ガイドライン等の策定

研究所の研究開発成果を活用し、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や港湾の施設に係る技術基準・ガイドライン、航空交通の安全等に係る基準等の策定や改定を技術的観点から支援する。

##### ③ 行政機関等との密な意思疎通

研究計画の策定にあたっては、ニーズの把握のため行政機関等と密な意思疎通を図り、研究の具体的な内容を検討するとともに、実用化が可能な成果を目指す。

国、地方公共団体等の技術者を対象とした講演の実施、研修等の講師としての研究者の派遣や受け入れにより、技術情報の提供及び技術指導を行い、行政機関等への研究成果の還元を積極的に推進する。

その他、社会情勢の変化等に伴う幅広い技術的政策課題や突発的な研究開発ニーズに、的確かつ機動的に対応する。

#### ◆年度計画における目標設定の考え方

中長期目標及び中長期計画を受けて、年度計画においては、国等からの受託研究の実施、技術委員会や研修等への研究者の派遣等により、現場の技術的課題の解決へ対応するとともに、技術基準の策定や新技術の評価等の国の技術政策を支援することとした。

#### ◆当該年度における取組状況

##### (1) 国が進めるプロジェクト等への支援

###### ① 国等が抱える技術課題についての受託研究等の実施

令和4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89項目の受託研究をそれぞれの要請に基づき実施した。研究所が実施する受託研究は、国等が抱える技術課題の中でも、プロジェクトの成否を左右する重要なものが多く、既存の技術では十分な対応が期待できない研究開発等を伴うことに加え、公平性及び中立性も必要となるため、受託研究の成果が国や地域の発展、安全性の確保に果たしている役割は非常に大きい。

令和4年度に実施した受託研究の成果は、委託者である国等が実施する事業等に対し、設計条件の設定、解析手法・性能照査手法の改良・設定、事業計画や対策の検討における基礎資料、政策立案・実施等に用いられるなど、様々な形で活用された。

###### ② 国等が設置する技術委員会への研究者の派遣等

技術課題を解決するために国等によって設置された各種技術委員会等の委員として、研究所の研究者のべ484名を派遣し、国等が抱える技術課題解決のために精力的に対応した。

表 1.5.1 行政等が設置する技術委員会への参加件数

研究所合計	484名
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	29名
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	159名
うち電子航法に関する研究開発等	296名

###### ③ 国や公益法人等が実施する新技術の評価業務等の支援

研究所では、国土交通省(地方整備局等を含む)の要請に応じて、有用な新技術の活用促進を図るために「公共工事等における新技術活用システム(通称「NETIS」)」に登録する技術の現場への適用性等を評価することを目的として各機関が設置している、「新技術活用評価会議」に研究者を派遣し、技術支援を実施した。また、一般財団法人沿岸技術研究センターが実施する「港湾関連民間技術の確認審査・評価事業」に研究者を派遣し審査・評価を支援した。

一方、海事行政においては、我が国造船・船用工業が日本に欠かせない産業として、地域貢献を含む経済成長や安全保障に貢献し続けるための方策として、日本の海事産業の技術力強化等を図るため、造船所、船用メーカー等が集約・連携して行う自動運航船・ゼロエミッション船・内航近代化の3テーマに関する技術開発事業において設置された「海事産業集約連携促進技術開発評価会」で審議、評価を実施した。また、交通政策審議会船舶交通安全部会において、船舶交通安全政策に係る重要事項についての調査審議等に委

員として職員を派遣し審議等に貢献した。さらに環境省が実施する「令和 4 年度社会変革と物流脱炭素化を同時実現する先進技術導入促進事業」において、審査委員として職員を派遣し、審議、評価に貢献した。

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初期評価実験を小規模空港で実施し、性能と課題について検討を行った。内閣府が平成 30 年度より運用を開始した準天頂衛星システムの機能を利用する静止衛星型衛星航法補強システム(SBAS)への対応を完了し、性能評価を行っている。さらに、当研究所で長期にわたり研究開発してきた「衛星航法による航空機の着陸システムである GBAS(地上直接送信型衛星航法補強システム)」が社会実装され、東京国際空港において試行運用が継続されている。研究所はこの試行運用を技術的に支援し、エアライン機が受信記録したデータ及び空港内の固定位置に GBAS 機上受信機を設置し受信記録したデータを分析して安全要求を評価した。また、航空局がエアラインや機器メーカーと開催する会合に研究者を派遣し、研究開発により得た知見を活かして安全検証を支援し、改善策を提案するなど指導的な役割を果たした。

### (2) 基準・ガイドライン等の策定や改定への支援

研究所が有する最新かつ先導的な研究成果や技術的知見等について、国土交通省等の行政機関が策定及び改定を行う基準やガイドラインに反映させるため、基準等の策定及び改定作業に積極的に参画し、海上輸送の安全確保・海洋環境の保全等に係る基準や航空交通の安全等に係る基準等の策定及び改定に貢献した。また、学会や関係機関が開催する講習会等において研究者が講師を務め、基準等の普及に協力するとともに、国土交通省等の関係機関に対して、基準・ガイドライン等に係る技術指導等を積極的に行った。

表 1.5.2 基準・ガイドライン等への研究成果の反映

名称	発行機関等	発行(改定)年月
洋上風力発電施設向け作業員運搬船(CTV)の安全設計ガイドライン	国土交通省 海事局	令和 5 年 3 月
コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン	国土交通省 海事局	令和 5 年 3 月
港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン(発注段階編)	国土交通省 港湾局 ホームページ公表	令和 4 年 6 月
港湾の施設の技術上の基準・同解説(部分改訂)	国土交通省 港湾局 監修	令和 5 年 4 月
将来の航空交通システムに関する長期ビジョン	国土交通省 航空局	毎年ロードマップ改訂中
広島空港 RNP to xLS 進入方式の実用化	国土交通省 航空局	令和 5 年 2 月

### (3) 行政機関等との密な意思疎通

#### ① 国、地方公共団体等の技術者を対象とした講演の実施

地方整備局等において、4 回の港湾空港技術地域特別講演会を国土技術政策総合研究所と共催し、研究者が研究所の最新の研究成果を報告することで、研究所が実施している港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究活動や成果についての情報を幅広く提供するとともに、研究ニーズなど、各地域における情報を収集した。当該講演会は一般にも公開(リモート開催)し、合計で 539 名の参加者を得た。また、航空局等に対して、GBAS 電離圏解析講習を行い技術情報の提供等、研究成果の還元を積極的に行い、技術の普及に努めた。のべ 53 名の研究者が研修講師等として派遣された。

#### ② 研修等の講師としての研究者の派遣や受け入れ

港湾空港技術研究所に隣接する国土技術政策総合研究所において実施された国等の技術者に対する研修に、研修計画の企画段階から積極的に参画し、地方整備局主催の研修、JICA の実施した研修などへ、研

究者を講師として派遣した。また、航空保安大学校が実施している研修に講師派遣を行い、航空情報科、航空電子科を対象とし研修生 48 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、それぞれ GBAS システムや携帯電子機器の航空機に対する影響評価に関する国際規格等について講義を実施した。海上技術安全研究所では、北海道運輸局、関東運輸局、近畿運輸局、九州運輸局が実施する、乗組員・利用者の安全確保に寄与するため、管内の旅客船運航事業者及び内航海運事業者の安全管理・運航管理を担う方々を対象とした安全統括管理者・運航管理者研修会において講師を派遣し、走錨事故対策として開発した「走錨リスク判定システム(錨 ing)」に関する講義を実施した。

#### (4) その他、技術的政策課題や研究開発ニーズへの対応

##### ① 日本学術会議の会員

科学が文化国家の基礎であるという確信の下、行政、産業及び国民生活に科学を反映、浸透させることを目的として設置された日本学術会議において、我が国の科学に関する重要事項を審議するなど、科学政策の実現に向けた活動を行った。

##### ② 航空局との連携推進会議

航空局における各種重要施策に関する研究開発について、研究開発の進捗状況の報告や新規研究テーマの提案、研究成果の活用状況等に関して報告・討議を行い、航空行政の計画やニーズの把握に努め、航空行政との連携を強化することが出来た。

##### ③ 将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)における各種会議

将来の航空交通システムを計画的に構築するため CARATS 推進協議会及びその傘下に具体的施策等を検討する WG が設置されており、これら会議において、航空局を主体として航空会社、航空関係の機器製造企業、大学等が参加し、ロードマップの作成・検討等が進められている。当該会議にメンバーとして参加し、CARATS の実現に向けた支援をするとともに航空ニーズの把握に努めた。

## (2) 災害及び事故への対応

### 【中長期目標】

#### (2) 災害及び事故への対応

沿岸域の災害における調査や、災害の発生に伴い緊急的に求められる技術的な対応を迅速に実施し、被災地の復旧を支援するとともに防災に関する知見やノウハウの蓄積を図り、今後の防災対策のための技術の向上に努める。また、沿岸自治体の防災活動の支援や沿岸住民への啓発活動など、ソフト面の事前対策強化も支援する。

さらに、海難事故等の分析及び適切な対策立案を支援する。

これらに加えて、突発的な災害や事故の発生時には、必要に応じて予算や人員等の研究資源の配分を適切に行い、機動的かつ的確に対応する。

### 【中長期計画】

#### (2) 災害及び事故への対応

沿岸域の災害における調査や復旧支援を実施するとともに、防災に関する技術の向上や知見・ノウハウの向上を図り、災害対応マニュアルの改善等の取組を支援する。また、沿岸自治体の防災活動の支援や沿岸住民への啓発活動など、ソフト面の事前対策強化を支援する。

具体的には、国内で発生した災害時において、国土交通大臣からの指示があった場合、または研究所が必要と認めた場合に、被災地に研究者を派遣することにより、被災状況の把握、復旧等に必要な技術指導等を迅速かつ適切に行う。また、研究所で作成した災害対応マニュアルに沿った訓練を行うとともに、その結果に基づいて当該マニュアルの改善を行う等、緊急時の技術支援に万全を期する。

また、重大な海難事故等が発生した際には、研究所の持つ豊富な専門的知見を活用して事故情報を解析し、その結果を迅速に情報発信するとともに、詳細解析が必要な場合には、事故再現や各種状況のシミュレーションを行うことにより、国等における再発防止対策の立案等への支援を行う。

### 【年度計画】

#### (2) 災害及び事故への対応

沿岸域の災害における調査や復旧支援を実施するとともに、防災に関する技術の向上や知見・ノウハウの向上を図り、災害対応マニュアルの改善等の取組を支援する。また、沿岸自治体の防災活動の支援や沿岸住民への啓発活動など、ソフト面の事前対策強化を支援する。

具体的には、国内で発生した災害時において、国土交通大臣からの指示があった場合、または研究所が必要と認めた場合に、被災地に研究者を派遣することにより、被災状況の把握、復旧等に必要な技術指導等を迅速かつ適切に行う。また、研究所で作成した災害対応マニュアルに沿った訓練を行うとともに、その結果に基づいて当該マニュアルの改善を行う等、緊急時の技術支援に万全を期する。

また、重大な海難事故等が発生した際には、研究所の持つ豊富な専門的知見を活用して事故情報を解析し、その結果を迅速に情報発信するとともに、詳細解析が必要な場合には、事故再現や各種状況のシミュレーションを行うことにより、国等における再発防止対策の立案等への支援を行う。

#### ◆年度計画における目標設定の考え方

中長期目標及び中長期計画を受けて、国土交通大臣からの指示があった場合、または研究所が必要と認めた場合に、被災地に研究者を派遣して被災状況の把握や技術指導等を迅速かつ適切に行い、災害対策マニュアル等に基づく訓練を実施しつつ、重大な海難事故等が発生した際には、研究所の持つ豊富な専門的知見を活用して事故情報を解析し、結果の迅速な情報発信や事故再現及び各種状況のシミュレーションの実施により、国等における再発防止対策の立案等への支援を行うことで、自然災害及び事故への対応に万全を期するとともに、研究所の対応能力の向上を図ることとした。

#### ◆当該年度における取組状況

##### (1) 災害対応に係る体制



当研究所は、災害対策基本法(昭和 36 年法律第 223 号)に基づく指定公共機関としての指定を受けていることから、同法に基づく「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所防災業務計画」を策定し、理事長の判断によって災害総合対策本部を設置し、研究所長によって設置される災害対策本部が実施する災害応急対策及び災害復旧の支援等の業務を、災害総合対策本部が総括することで、研究所内の情報の共有化等を図る体制を整えるとともに、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所法(平成 11 年法律第 208 号)第 13 条に基づく国土交通大臣の指示への対応や、災害調査団の組織及び派遣など、当研究所が防災のためにとるべき措置を定めている。

また、同計画を補完するため、「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所業務継続基本計画」を策定し、都心南部直下地震(M7.3、東京 23 区の最大震度 7)を想定災害として、非常時優先業務や業務継続のための執行体制等、災害発生時における初動対処を定めている。

## (2) 被災地への研究者の派遣

令和 4 年 3 月 16 日に福島県沖を震源とする M7.4 の地震が発生したことに伴い、国土技術政策総合研究所と合同で 2 回にわたり相馬港および仙台塩釜港石巻地区へ調査団を派遣した。令和 4 年度においては、調査で得られた成果等に基づき、「相馬港復旧検討会」への参画などを通じ、早期本格復旧に向けた支援を実施した。また、相馬港において余震観測・常時微動観測を行い、港湾内における地盤振動特性の違いを明らかにし、その成果は復旧計画に活用された。



図 1.5.1 福島県沖地震による相馬港の被害

## (3) 訓練の実施

我が国においては 11 月 5 日が「津波防災の日」として定められており、平成 27 年 12 月には国連総会において、11 月 5 日が「世界津波の日」として採択され、全国で「津波防災の日」周辺での地震・津波防災訓練等が実施されている。港湾空港技術研究所においては、業務時間外の大規模地震を想定して令和 4 年 12 月 22 日に地震発生時対応としての安否確認訓練を実施した。

## (4) 重大な海難事故等への対応

我が国周辺海域では、船舶の衝突や座礁などの重大な海難事故が、依然として多数発生している。その原因を究明し、事故を未然に防止する対策を検討することは、安全・安心な社会の実現のための社会的要請となっており、政府においても平成 20 年 10 月に運輸安全委員会を設置して体制を強化した。こうした国の方針を踏まえ、研究所として重大海難事故発生時の即応体制を整えるべく、平成 20 年 9 月 1 日に海上技術安全研究所に「海難事故解析センター」を設置し、事故の分析と社会への発信を行うとともに、水槽試験やシミュレーションによる事故再現技術等を活用し、事故原因の解析を行っており、最近ではセンターの活動が報道機関に認知され、重大な海難事故発生とともに、新聞、テレビ等からの問い合わせ、取材が行われるようになった。

海難事故解析センターは、令和 4 年度、運輸安全委員会より、貨物船及びケミカルタンカーの衝突事故に係る解析調査、コンテナ船損傷事故に係る船体動揺に関する解析調査、旅客船浸水事故に係る解析調査、船舶

事故調査に係る錨の係駐力及び錨泊状態において発生する外力(風圧力及び波漂流力)の解析、旅客船浸水事故に係る相対水位の解析調査の計 4 件を請負い、解析結果は同委員会の報告に活用され、事故原因究明検討に貢献した。

また、令和 4 年 4 月 23 日に北海道知床で発生した遊覧船事故を踏まえ、二度とこのような悲惨な事故を起こさないよう、小型船舶を使用する旅客輸送における安全対策を総合的に検討するため、「知床遊覧船事故対策検討委員会」に委員として職員を派遣し、事故究明及び再発防止対策検討に貢献した。

また、平成 28 年度から引き続き、運輸安全委員会の海難事故調査資料を用いてデータベースを作成し、ここから事故に寄与している要因を整理・体系化することにより、事故低減策効果を推定する共同研究を運輸安全委員会とともに実施した。

### (3) 橋渡し機能の強化

#### 【中長期目標】

##### (3) 橋渡し機能の強化

研究所の優れた技術シーズを社会に還元するために、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究、受託研究や人事交流、研究所からの研究者派遣等の取組を推進する。

また、研究所の大型試験設備、人材、蓄積された基盤技術を核として、外部との連携を促進する研究プラットフォームとしての機能強化を図る。

#### 【中長期計画】

##### (3) 橋渡し機能の強化

研究所の成果を社会に還元するため、研究所の有する優れた技術シーズを迅速に産学官で共有し、企業等への技術移転に積極的に取り組む。また、大学等の有する学術的シーズを活かし、研究所単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出と活用拡大に努めるとともに、関連研究に取り組む研究機関の裾野の拡大を図る。

具体的には、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究、受託研究、公募型研究、政府出資金を活用した委託研究、研究者・技術者等との情報交換・意見交換、人事交流、研究所からの研究者派遣等の取り組みを行い、産学官における研究成果の活用を推進する。

また、研究所の大型試験設備、人材、蓄積された基盤技術等を核として、外部との連携を促進する研究プラットフォームとしての機能を強化する。

さらに、出資を活用し、民間の知見等を生かした研究開発成果の普及を推進する体制を構築する。

#### 【年度計画】

##### (3) 橋渡し機能の強化

研究所の成果を社会に還元するため、研究所の有する優れた技術シーズを迅速に産学官で共有し、企業等への技術移転に積極的に取り組む。また、大学等の有する学術的シーズを活かし、研究所単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出と活用拡大に努めるとともに、関連研究に取り組む研究機関の裾野の拡大を図る。

具体的には、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究、受託研究や公募型研究、政府出資金を活用した委託研究、研究者・技術者等との情報交換・意見交換、人事交流、研究所からの研究者派遣等の取り組みを行い、産学官における研究成果の活用を推進する。

また、研究所の大型試験設備、人材、蓄積された基盤技術等を核として、外部との連携を促進する研究プラットフォームとしての機能を強化する。

さらに、出資を活用し、民間の知見を生かした研究開発成果の普及を推進する体制を構築する。

#### ◆年度計画における目標設定の考え方

中長期計画を踏まえ、研究所の成果を社会に還元するため、研究所の有する優れた技術シーズを迅速に産学官で共有し、企業等への技術移転に積極的に取り組むこととした。

#### ◆当該年度における取組状況

革新的技術シーズから事業化へと繋ぐ取り組みとして、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究、受託研究や公募型研究、研究者・技術者等との情報交換・意見交換、人事交流、研究所からの研究者派遣等の取り組みを行い、産学官における研究成果の活用を推進した。また、研究所の大型試験設備、人材、蓄積された基盤技術等を核として、外部との連携を促進する研究プラットフォームとしての機能を強化した。

#### (1) 橋渡し機能の整備・強化

研究所の有する優れた技術シーズを産学官で共有し、企業等への技術移転に積極的に取り組み、大学等の有する学術的シーズを活用して研究所の研究開発成果を社会に還元するため、以下の規程等を適切に運用した。

- ・国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所知的財産ポリシー
- ・国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所受託等業務取扱規程
- ・国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所共同研究取扱規程

(2) 産業界・学界との共同研究等

研究所単独ではなし得ない優れた研究開発成果の創出と活用拡大を目指し、学術的なシーズを有する大学や産業的なニーズを有する民間企業等との共同研究を実施した。

これらにより、産業界・学界における研究成果の活用促進を図るとともに、研究所が有さない技術を補完し、研究成果の質の向上、実用化を加速している。具体的な獲得件数は表 1.5.3 のとおりとなっている。

表 1.5.3 産業界・学界との共同研究等の実施件数

研究所合計	154 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	52 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	64 件
うち電子航法に関する研究開発等	38 件

船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等において、我が国の海事産業の持続的発展に不可欠な産学官の人材の糾合と技術の統合を推進し、戦略的アプローチに基づくクラスターの結集が不可欠な共通的・基盤的な研究課題に取り組み、研究成果の最大化を目指しているが、そのパイロットプロジェクトとして発足した「実海域実船性能評価プロジェクト」(※)の活動として令和 4 年度は、フェーズ 1 での成果普及や戦略的な国際標準化に向けて 23 機関による OCTARVIA 会議において、計算プログラムのサポート体制の整備、クラウド上での計算プログラムの利用環境向上、シンポジウム等での普及促進活動、国際標準化を目指した新規 ISO 骨子案の作成を行った。

また、フェーズ 2 となる、OCTARVIA2 においては、対象船を拡大し、実船モニタリングデータによる実海域パワーカーブの作成、汚損・経年影響、方向スペクトル利用、入力レベル別評価、実海域中性能推定法の実証を行った。さらに、普及促進活動として、ShipDC、POLARIS との連携利用により、計算プログラム「SALVIA-OCT」を改良した。

※「実海域実船性能評価プロジェクト」(OCTARVIA Project)とは、船舶が実際に運航する波や風のある海域の中での速力、燃料消費量等の性能(実海域性能)を正確に評価する方法を開発する共同研究プロジェクトであり、世界の海上輸送の高度化に貢献しつつ、我が国の海事クラスターの国際競争力を強化する基盤となる技術をより高めることを目的とする。



図 1.5.2 kOCTARVIA プロジェクトの概要

港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等において、港湾空港技術研究所は、海洋・港湾構造物の設計に関する専門知識向上、技術の発展・普及並びに「港湾の施設の技術上の基準」の円滑な運用に寄与することを目的として、国土交通省 国土技術政策総合研究所、一般財団法人 沿岸技術研究センター及び海洋・港湾構造物設計士会と四者で「連携・協力」に関する協定書を平成 30 年 12 月 7 日に締結している。令和 4 年 12 月 20 日に開催された勉強会では、港湾構造物の建設時における CO2 排出量算定について、研究者より説明を行った。

電子航法に関する研究開発等において、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を実施している。今年度は、前年度まで実施した基礎研究成果を元に、実用化のため小型、高速の 3 次元レーダーイメージングシステム開発を目指した「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提案し、採択されて研究を開始した。ミリ波レーダーは、従来の電波と比較して波長が短いため、反射率の小さな非金属物体であっても画像化できることを示したが、低コスト化、小型化、高速化が課題であった。このため初年度は、価格に応じて複数のクラスタを繋ぎ合わせて、高画質化が可能となるクラスタ型レーダー構造を提案し、システムデザインを行った。それに伴い、1つのクラスタをできる限り小さく製作するため、従来の開口サイズ(縦横約 15cm 幅)の 1/4 の面積に 2 倍の素子を配置した送受信アレイを開発した。また、レーダー信号から 3 次元的な反射強度の分布を計算するアルゴリズムについて並列コンピューティングを用いて計算する高速化アルゴリズムを開発した。従来のシステムで計測された送受信機 1024 組み合わせの電波反射データから、縦横高さ方向に 64 分割した、256k ポイントの空間に対して、計測値を積分して、3 次元的な散乱電波の分布を計算した。従来は計測後の処理で 30 秒程度を必要とした計算を、約 0.5 秒で計算し、かつ画像化することが可能となった。これにより、従来の後処理でない、リアルタイムに撮像し、画像処理できる方策への道筋が示せた。

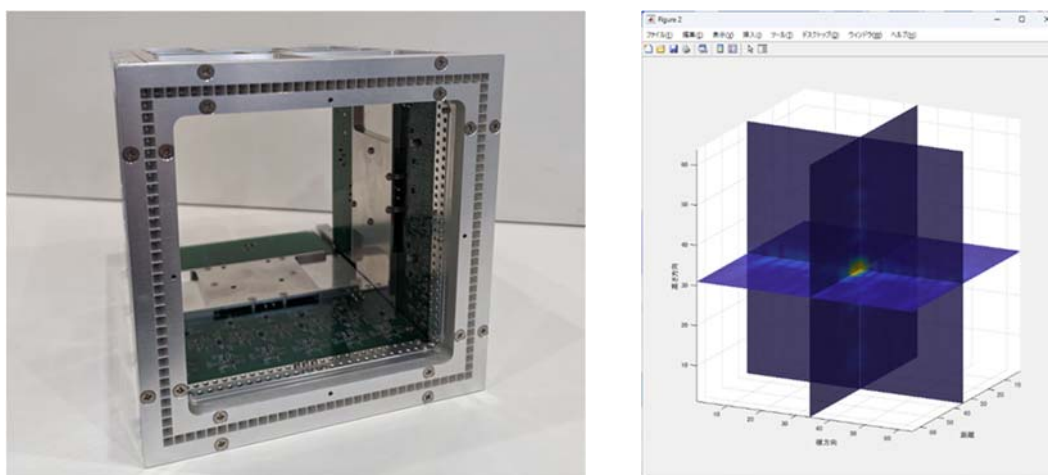


図 1.5.3 製作した 3 次元レーダーイメージャの送受信部の外観と並列コンピューティングで計算した金属球の 3 次元次元イメージ  
(左:3 次元レーダー用送受信アレイ、右:1m 先に置いた金属球の測定結果の画像化例)

### (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 4 年度は表 1.5.4 のとおり受託研究を獲得した。獲得した受託研究を着実に実施し、確実に民間企業等の産業的なニーズに応えることで、研究所の成果を社会へ還元できた。

また、関連研究に取り組む研究機関の裾野の拡大を図るため、研究所では公募型研究への取り組みも行っている。さらに、各研究所のホームページにおいても受託研究等の案内を実施しており、積極的に成果の普及に取り組んでいる。

表 1.5.4 産業界からの受託研究の獲得件数

研究所合計	144 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	122 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	0 件
うち電子航法に関する研究開発等	22 件

#### (4) 学界や産業界との公募型研究

大学等の有する学術的シーズを活かし、研究所単独ではなし得ない優れた研究開発成果を創出すること、および関連研究に取り組む研究機関の裾野の拡大を図るため、研究所では公募型研究の取り組みを行っている。令和 4 年度は新規の募集を行わなかったが、令和 2 年度に募集及び採択を行った 1 件の研究課題(表 1.5.5)において、継続して研究開発を行った。実施した公募型研究の成果は電子航法研究所研究発表会等を通じて普及することとしており、令和 4 年 6 月 16 日、17 日開催の令和 4 年度研究発表会にて、ポスター発表 1 件が行われ、また令和 5 年度の講演・発表も予定している。令和 3 年度に終了した公募研究 2 件についても令和 4 年度の研究発表会において同じくポスター発表が行われた。さらなる裾野拡大を図るべく、令和 4 年度も公募型研究の取り組みを継続する予定である。

表 1.5.5 公募型研究一覧

件名	相手方
航空路管制業務におけるチームワークロードの計測手法の研究	筑波大学

また、国土強靱化や生産性の向上等に資するインフラに関する革新的な産・学の研究開発を支援し、公共事業等での活用を推進するため、研究所では公募型研究の取組を行っている。令和 4 年度は新規の募集はしなかったが、令和 2 年度に募集及び採択を行った 1 件の研究課題(表 1.5.6)においては、継続して研究開発を行った。研究終了後、実施した公募型研究の成果は、国等の社会資本整備を行う者に対し導入を促すとともに、国に対し研究成果の導入を後押しする既存の制度の活用や新たな仕組みの検討を要望していくこととしている。

表 1.5.6 採択事業一覧

課題名	代表機関名
可塑状グラウト増深工法の開発	代表会社 : 五洋建設(株) 共同提案者: 東洋建設(株)、東亜建設工業(株)、若築建設(株)、 あおみ建設(株)、(株)本間組、みらい建設工業(株)、 りんかい日産建設(株)

#### (5) 研究者・技術者との情報交換・意見交換

大学の有する学術的なシーズや民間企業の有する産業的なニーズを把握し、積極的な情報共有を図るため、国内外の研究者や技術者等との意見交換会を実施したほか、各研究所の発表会、講演会、出前講座、ワークショップなどの実施を通じて、研究開発等に関する広範な意見交換を行い、研究ニーズや国際的な最新動向の把握等を図った。研究ニーズや国際的な最新動向の把握、研究連携等は非常に重要であり、ここで得られた知見などは、今後、研究所がハブとなって関係者へ還元されることが考えられる。

#### (6) 人事交流

研究所が有する優れた技術シーズを産学官で共有するための促進策の一環として、行政機関、大学、独立行政法人、民間企業などと人事交流を行っており、強力な技術交流が育まれた。令和 4 年度は表 1.5.7 のとおり実施した。

表 1.5.7 人事交流実績件数

研究所合計	101 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	33 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	56 件
うち電子航法に関する研究開発等	12 件

具体的には、各研究所の特性を活かした人事交流を進めており、国 46 名、民間企業等 11 名との人事交流、客員教授、非常勤講師等として延べ 41 名の研究者を 15 大学に派遣し、高等教育機関における人材育成に貢献した。このうち、12 大学へ派遣した 19 名は、研究所と大学院が協定を締結した上で、研究所の研究者が大学院の客員教授・准教授等に就任し、研究所内等で大学院生の指導を行う「連携大学院制度」に基づいている。特に、研究者が、研究所と外部機関等の間で、それぞれ雇用契約関係を結び、各機関の責任の下で業務を行うことが可能となる仕組みである「クロスアポイントメント制度」を導入した。令和 4 年度においては、研究者 8 名をクロスアポイントメント対象者とし、研究者が組織の壁を越えて活躍することを通じて、研究所の技術シーズが円滑に外部機関等に橋渡しされ、新たなイノベーションが創出されることが期待される。

さらに、国内からの研修生・インターン生 72 名の受け入れを実施した。これは各研究所の存在感の向上のみならず、若手育成の一環として関連業界の技術力の底上げに資するものである。また、研修生・インターン生はもとより、任期付研究員等に対してもその能力開発の機会を提供し、関係分野の人材育成に貢献した。当研究所は、国土交通省地方整備局等と密接に連携しており、社会資本整備や災害対応等の現場に赴き、その具体的な課題解決の任にあたることも多く、現場に根ざした研究の機会に恵まれていることから、任期付研究員等についても正職員と同様、大学等の研究室のみでは得難い現場における研究の機会を与え、その能力の開発に努めた。

#### (7) 外部委員会への参画(研究者派遣)

研究成果の活用の推進を図るため、研究所として外部委員会への委員、講師等委嘱の受け入れ、研究者の派遣を行っており、令和 4 年度は表 1.5.8 及び表 1.5.9 のとおり実施した。このような継続的な取り組みにより、当研究所は産学官の間に立って橋渡しを行うことができる国立研究開発法人となっている。

表 1.5.8 外部委員会への参画件数(行政設置の委員会は除く)

研究所合計	498 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	160 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	287 件
うち電子航法に関する研究開発等	51 件

表 1.5.9 研究者派遣の実施件数

研究所合計	142 件
うち船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	3 件
うち港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	127 件
うち電子航法に関する研究開発等	12 件

特に、電子航法に関する研究開発等においては、将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)を推進する協議会および傘下の会議体へ参加し、CARATS の実現に向けた検討・議論を積極的に実施し、航空交通分野における研究開発の推進に大きく貢献している。

また、昨今大きな期待が高まっている無人航空機(UAV; Unmanned Aerial Vehicle、いわゆるドローンを含む)の安全運航と社会実装推進に必要な技術開発と環境整備の実現を目的に活動する JUTM(Japan UTM Consortium、日本無人機運行管理コンソーシアム)の幹事を務めており、産官学の連携による日本の航空業界

の推進に重要な役割を果たしている。各種学会の委員活動も活発に対応しており、電子情報通信学会では通信ソサイエティの宇宙・航行エレクトロニクス研究会及びマイクロ波フォトニクス研究会、エレクトロニクスソサイエティのエレクトロニクスシミュレーション(EST)研究会の幹事、幹事補佐、専門委員、顧問を務め、電子情報通信学会よりEST 研究専門委員会幹事ならびに英文論文誌特集号幹事としての貢献が認められ、2022 年度エレクトロニクスソサイエティ活動功労表彰を受賞した。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分科会、計算科学シミュレーションと工学設計分科会では幹事、委員を務めた。



図 1.5.4 エレクトロニクスソサイエティ活動功労表彰受賞の様子

さらに、上記の他、表 1.5.10 に示すとおり、船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術及び港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する各種規格・基準の策定作業に研究者が委員として参画し、研究成果の活用・普及に努めた。

表 1.5.10 各種規格・基準の策定への参画事例

規格・基準等に係る委員会等の名称	発行機関等
・船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する事例	
ミニボートに関する性能鑑定基準策定支援委員会	日本小型船舶検査機構
危険物等海上運送国際基準検討委員会及び同特殊貨物部	(一社)日本海事検定協会
危険物等海運運送国際基準検討委員会危険物 UN 対応部会及び同危険物運送要件部会	(一社)日本海事検定協会
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
海洋水質・生態系保護基準整備に関する調査研究ステアリング・グループ	(一財)日本船舶技術研究協会
救命設備基準改正プロジェクト	(一財)日本船舶技術研究協会
防災用呼気膨張式浮力補助具の性能基準に関する検討委員会	(一財)日本船舶技術研究協会
危険物等海上運送基準検討会及び同個品危険物査定検討ワーキンググループ及び同固体ばら積み貨物査定検討ワーキンググループ	国土交通省
・港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する事例	
港湾構造物防食・補修マニュアル(2022 年度版)改訂編集委員会	(一財)沿岸技術研究センター



港湾の施設の維持管理技術マニュアル(英訳版)検討委員会	(一財)沿岸技術研究センター
日本の港湾設計基準に関する技術説明資料(OCDI/CDIT 英文版)有職者検討会(令和4年度)	(一財)国際臨海開発研究センター
ゴム防舷材試験環境証明運営・審査基準作成委員会	(一財)港湾空港総合技術センター
ゴム防舷材耐久性運営・審査基準作成委員会	(一財)港湾空港総合技術センター
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	(公社)日本コンクリート工学会
地盤調査規格・基準委員会	(公社)地盤工学会
地盤調査規格・基準委員会 WG2 ボーリング・サンプリング	(公社)地盤工学会
地盤設計・施工基準委員会 WG6 杭の鉛直載荷試験基準改訂WG	(公社)地盤工学会
室内試験規格・基準委員会 WG6 ジオシンセティックスメンバー	(公社)地盤工学会
令和4年度ISO/TC156対策委員会委員及びnWG15主査・nWG10委員	ステンレス協会
ISO/TC138/SC3/WG8委員会	日本プラスチック工業連盟・高耐性ポリエチレン管協会
JIS K6799シリーズ(2018版 Part 1, Part 2 及び Part 3)改正準備委員会	日本プラスチック工業連盟・高耐圧ポリエチレン管協会
調査研究部門 コンクリート委員会<委託>253 暑中コンクリートの設計・施工指針に関する研究委員会	(公社)土木学会

(8) 外部連携機能促進としての研究プラットフォームの機能強化

研究所の保有する大型試験設備、人材、蓄積された技術等をベースとして、前述の(1)～(7)を通じて外部との連携を促進するとともに、各研究所の特性に応じた取り組みを行うことにより、研究所との関係が深く、様々な連携が見込める国内及び海外の大学や研究機関等に対して複数の共同研究を締結すること等が実施しやすくなり、研究プラットフォームとしての機能強化を図った。

具体的な取り組みとしては、海上技術安全研究所においては、三鷹オープンイノベーションリサーチパーク構想として、様々な人・情報・資金が集積する国際的な研究所(未来創造の拠点)を目指し、企業、大学、国立研究開発法人、国、海外諸機関などとの研究・技術に関する交流や連携の促進により、学術と産業双方に関する情報が得られる環境を整備し、さらなる交流や連携促進を図った。

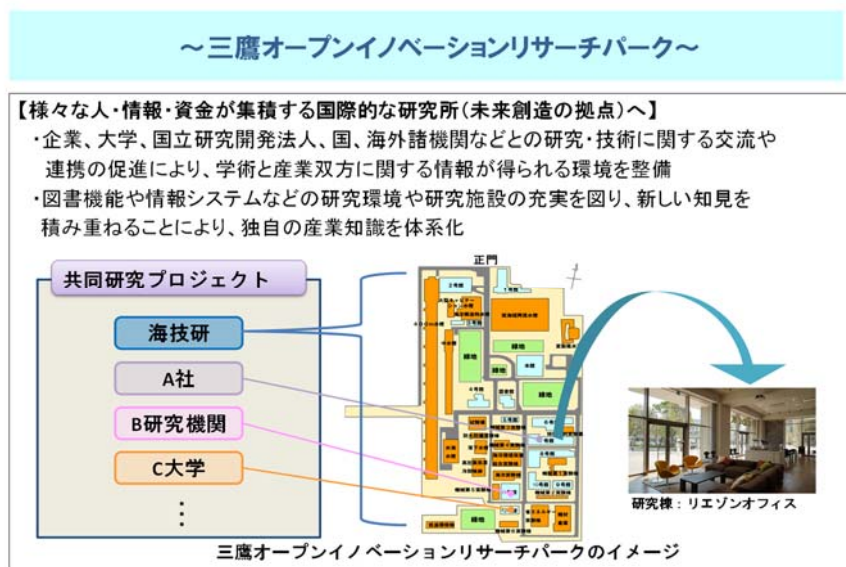


図 1.5.5 三鷹オープンイノベーションリサーチパーク

さらに、海事産業界への人材育成として、大学における造船専門教育カリキュラムの減少や造船系大学卒の就業者が減少をしている現状を踏まえ、若手研究員及び若手技術者が船舶海洋工学の基礎知識を短期集中で取得することを目的とした「船舶海洋工学研修」を令和4年6月に実施した。研修は、会場を設けず全日ライブ中継とし、あわせて81名が参加した。

また、独自で開催していた「海洋開発研修」を(一社)エンジニアリング協会の「海洋開発セミナー」と統合し、講義、会場提供、施設見学等による協力を行った。

安全で効率的な将来の航空交通システムの構築には、研究開発のさらなる推進が必要であり、航空機の実運航データが不可欠である。電子航法研究所では、大学等の研究者が多量の実運航データを入手できるように、我が国の飛行情報区域内を対象として出発から到着までの一連の飛行における航跡データやその可視化ツールを整備してきた。航跡データは、国土交通省が保有する航空交通データ(航空機の高度や位置情報等)や、当所で開発した航空管制用レーダーシステム(SSRモードS)で受信したデータを収集し、処理を加えたものである。これらのデータが、当所の共同研究や国土交通省を通じて大学等の研究者に提供され(国土交通省を通じて提供されるデータはCARATSオープンデータと呼ばれる)、多数の研究開発の活性化、研究の裾野拡大へとつながり、航空宇宙技術の向上ならびに調査研究の発展に貢献してきた。これらの業績から、令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰の科学技術賞(科学技術振興部門)及び令和4年度日本航空協会航空特別賞を受賞した。

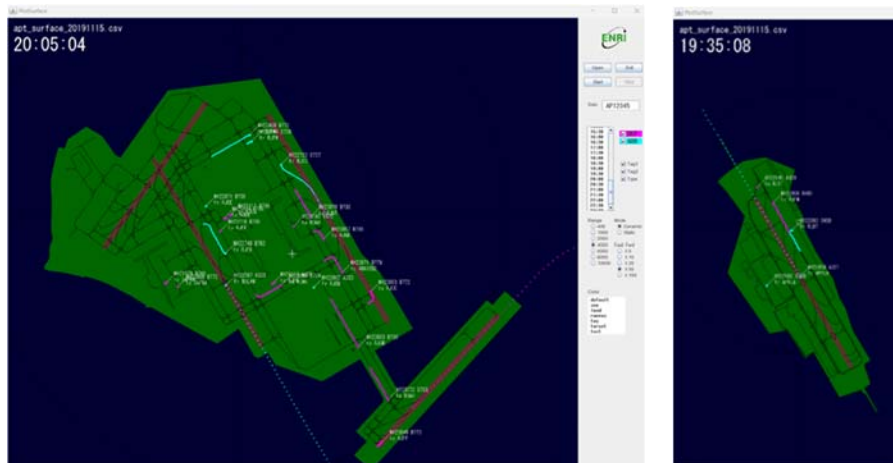


図 1.5.6 CARATS オープンデータ可視化ツール[飛行場面の軌跡]  
(左:羽田空港の例、右;福岡空港の例)



図 1.5.7 文部科学大臣表彰 科学技術賞受賞の様子



図 1.5.8 日本航空協会航空特別賞の盾

また、令和4年8月、「リモートタワー技術の研究開発」に関し、ネットワークを通じて提供される飛行場からの安全状況の監視や映像のセンサ情報をもとに、管制塔における管制業務を効率的に支援するシステム及びこのシステムを用いてセンターのような集約した拠点から遠隔で制御できる効率的な管理、運用が期待できる将来のコンセプトの研究開発への取り組みの成果が、国内空港での管制システムの整備などの航空行政や国際的な標準規格文書の作成活動等、航空機の円滑な運航に寄与していることが認められ、日本航空技術協会において会長賞(研究・開発の部)を受賞した。



図 1.5.9 日本航空技術協会「会長賞」受賞の様子

#### (4) 知的財産権の普及活用

##### 【中長期目標】

##### (4) 知的財産権の普及活用

知的財産権については、有用性、保有の必要性等を検討し、コストを意識した管理を行いつつ、産業界への普及、活用の促進に努めるとともに、技術のグローバル化に向けた国際特許の取得も視野に入れた戦略的な取組を推進する。

##### 【中長期計画】

##### (4) 知的財産権の普及活用

知的財産権については、有用性、保有の必要性等を検討し、コストを意識した管理を行いつつ、出資の活用も含めて普及活動に取り組み知的財産の活用促進を図る。また、技術のグローバル化に向けた国際特許の取得も視野に入れた戦略的な取組を推進する。

具体的には、特許権を保有する目的や申請にかかる費用等を十分に吟味する等、特許を含む知的財産全般についてのあり方を検討しつつ、適切な管理を行う。また、研究所のホームページの活用等により保有特許の利用促進を図る。

##### 【年度計画】

##### (4) 知的財産権の普及活用

知的財産権については、有用性、保有の必要性等を検討し、コストを意識した管理を行いつつ、普及活動に取り組み知的財産の活用促進を図る。また、技術のグローバル化に向けた国際特許の取得も視野に入れた戦略的な取組を推進する。

具体的には、特許権を保有する目的や申請にかかる費用等を十分に吟味する等、特許を含む知的財産全般についてのあり方を検討しつつ、適切な管理を行う。また、研究所のホームページの活用等により保有特許の利用促進を図る。

#### ◆年度計画における目標設定の考え方

知的財産権について、グローバル化を踏まえ戦略的に取得するとともに、維持コストを意識した管理、普及及び活用に努めることとした。

#### ◆当該年度における取組状況

##### (1) 特許出願等の取り組み

特許の出願・取得については、褒賞金の支払い等による出願のインセンティブ付与や、ホームページでの特許情報の公表など、知的財産に関する取り組みを進め、全所的に特許出願のための環境整備に努めた。一方で、特許申請に係る費用等について十分に吟味したうえで、知的財産管理活用委員会等において、事業性(特許が活用され、特許収入が期待できる)と特許性(新規性、発明の困難性などの特許が認められる一般的条件)を主な判断要素として出願等について審議し、事業等への活用可能性についても厳しく検討するなど、厳格な手続きを経て特許の出願等を行った。この結果、令和4年度における特許の出願件数は34件であった。

表 1.5.11 特許取得等の状況(令和4年度)

出願	審査請求	特許取得
34件	29件	31件

##### (2) 特許の適切な管理・活用の取り組み

###### ① 知的財産の活用

令和4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5件、著作権(プログラム)の使用許諾に関する実施は90件であった。詳細は表 1.5.12 のとおりである。収入については、特許料収入は28百万円、著作権収入は32百万円の収入があった。

表 1.5.12 令和4年度に活用された当研究所が保有する知的財産

No	件名(知的財産の種類)	登録日	登録番号等
	・船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等【特許権】		
1	耐衝突性に優れた船体構造及び船体構造の設計方法【特許権】	H28.3.4	5893231
2	小型ダクト付きプロペラ及び船舶【特許権】	H25.3.29	5230852
3	ゲートラダー【特許権】	H27.11.6 H29.6.23	5833278 6160804
4	船舶まわりの定常粘性造波流場計算プログラム(NEPTUNE)【著作権】	—	—
5	非構構造格子による物体まわりの粘性流場計算プログラム(SURF)【著作権】	—	—
6	GUIを用いた船体周り構造格子生成プログラム(Holdless)【著作権】	—	—
7	格子性能機能を備えた最適化プログラム(AutoDes)【著作権】	—	—
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)【著作権】	—	—
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)【著作権】	—	—
10	波浪中での非線形船体運動及び波浪荷重推定プログラム(NMRI-W II)【著作権】	—	—
11	要目最適化プログラム(HOPE Light)【著作権】	—	—
12	日本近海の波と風データベース表示プログラム【著作権】	—	—
13	DLSA-Basic【著作権】	—	—
14	Jupiter-DLSA-Basic【著作権】	—	—
15	海技研クラウドサービス(HOPE Cloud)【著作権】	—	—
16	OCTARVIA-lim【著作権】	—	—
17	EAGLE-OCT-lim【著作権】	—	—
18	SALVIA-OCT-lim【著作権】	—	—
19	VESTA【著作権】	—	—
20	伴流設計システム excel 版【著作権】	—	—
21	NMRIW-Lite web【著作権】	—	—
22	UNITAS【著作権】	—	—
23	自動着棧制御アルゴリズム・改修版【著作権】	—	—
	・港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等		
1	浸透固化処理工法【特許権】	H17.3.11 H17.5.27 H22.1.22 H23.1.14 H29.6.30 H30.8.17	3653551 3681163 4441613 4662116 6165194 6385018

2	コンクリート舗装版裏込めグラウト材【特許権】	H25.7.12	5311584
3	安心マンホール【特許権】	H23.12.16 H25.3.22	4885605 5223079
4	静的圧入締固め工法【特許権】	H17.8.19 H19.6.1 H21.5.1 H21.9.4 H24.11.2 H25.6.7 H25.6.28 H28.8.22 R2.5.7	3709420 3963883 4300367 4368884 5119381 5283287 5300094 5598999 6699060
5	地盤解析汎用プログラム(GeoFem)【特許権】	—	—
6	高耐粉状化性の裏込めグラウトとその裏込めグラウト材【特許権】	R4.4.5	7054109
7	高耐久性裏込めグラウト材【特許権】	—	—
8	FLIPver. 7【著作権】	—	—
9	N-Pier【著作権】	—	—
10	ケーソン堤体構造物の防砂構造【特許権】	H30.2.2	6283765
	・電子航法に関する研究開発		
1	電波装置【特許権】	H18.8.25	3845426
2	補正情報生成プログラム等一式【著作権】	—	—
3	洋上空域における衝突危険度推定ソフトウェア【著作権】	—	—
4	MSAS 性能解析ソフトウェア【著作権】	—	—

※1つの著作権及び特許権で、複数の相手方に実施している場合があるため、著作権等の実施件数と表1.5.12に記載された著作権等の項目数は一致しない。

## ②特許出願の奨励

研究者に特許出願のインセンティブを付与するため、令和4年度分の褒賞金及び実施補償金として19,447千円を支払い、特許等出願の意欲の向上を図った。

## ③知財研修の実施

本研修は、研究開発の初期段階から知財戦略を構築して計画的な出願を行い、強く役に立つ特許を創出し、円滑に知財サイクルを回して行くことを目的として毎年実施しており、令和4年度においては、WEB会議システムを使用して実施した。研修は2部構成であり、第1部は「特許の現状と基礎知識」と題して、日本、国際的な特許状況などに重点を置き、説明を行った。今回はトピックスとして、過去のアンケートで要望が多かった「特許マップ」を取り上げ、解説を行った。最後に、令和4年4月より統合法人として整備された職務発明等取扱規程について、補償金等を中心に各研究所の旧規程との比較を交えて解説を行った。第2部では「特許発明明細書入門」と題して、特許事務所から講師を招き特許明細書作成にあたっての実践的な内容についての講演を行い、多くの参加者による活発な質疑応答が行われた。

上記の研修を通じて、特許創出を意識した研究の実施について、更なる意識の向上を図った。

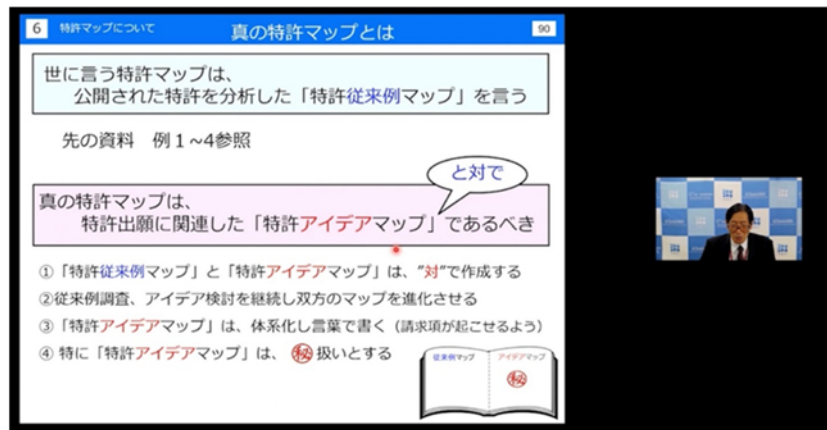


図 1.5.10 WEB 会議システムを利用した知財研修の様子

#### ④ 保有特許の利用促進

令和4年度は、昨年度に引き続きコロナ禍のため、研究発表会や出前講座などがオンライン開催となったため、Webを利用した展示、広報活動を行った。

また、当研究所の研究開発分野に関連する専門的な企業等へ積極的にアピールすべく、研究成果を研究所の研究発表会・講演会のほか、対面開催されたマイクロウェブ展2022などの外部の展示会等へ出展するとともに、研究所で取得している特許をホームページや独立行政法人工業所有権情報・研修館の開放特許情報データベースに公開するなど、当研究所の知財の普及に努めた。

さらに、研究成果の製品化を目的とした共同研究・開発の枠組みを継続し、積極的な知財の普及に努めた。



図 1.5.11 マイクロウェブ展 2022 における電子航法研究所展示ブースの様子  
(令和4年11月29日～12月2日)

また、有償・無償を問わず、公開を実施あるいは想定している技術計算プログラムについては、紛争への備えとして著作物登録を進めており、平成 19 年度に「液状化による構造物被害予測プログラム(FLIP 改良版)」及び「高潮津波シミュレータ(STOC 改良版)」の登録を行った。「液状化による構造物被害予測プログラム(FLIP 改良版)」は、平成 19 年度より販売を開始して平成 28 年 4 月から最新版「FLIP ROSE ver.7 シリーズ」が販売されている。また、「高潮津波シミュレータ(STOC 改良版)」は研究所が単独で開発したものであるが、公益に資するため、津波に関する部分を「津波シミュレータ T-STOC」としてソースプログラム及び入出力データを平成 28 年 7 月から引き続きホームページにおいて公開した。

## (5)情報発信や広報の充実

### 【中長期目標】

#### (5)情報発信や広報の充実

研究発表会、講演会、広報誌やパンフレット等の発行、研究所の一般公開や施設見学の実施、ホームページ掲載等の多様なツールを活用し、研究開発成果の迅速な社会還元や共同研究の促進のための行政等に向けた情報発信や、研究活動の理解促進のための一般国民に向けた広報を積極的に行う。

### 【中長期計画】

#### (5)情報発信や広報の充実

研究発表会、講演会、出前講座、研究所報告等の発行等により、研究業務を通じて得られた技術情報や研究開発の実施過程に関する様々な情報を、主に行政等の利活用が想定される対象に向けて積極的に発信し、研究成果の普及、活用に努める。

また、研究成果を分かりやすく説明・紹介する広報誌やパンフレット等の発行、研究所の一般公開、施設見学の実施、ホームページ掲載等の多様なツールを通じた広報周知活動を、主に一般国民に向けて効率的かつ積極的に行い、研究所の取組に対する理解の促進に努めるとともに、科学技術の普及啓発及び人材育成の促進に寄与する。

### 【年度計画】

#### (5)情報発信や広報の充実

研究発表会、講演会、出前講座、研究所報告等の発行等により、研究業務を通じて得られた技術情報や研究開発の実施過程に関する様々な情報を、主に行政等の利活用が想定される対象に向けて積極的に発信し、研究成果の普及、活用に努める。

また、研究成果を分かりやすく説明・紹介する広報誌やパンフレット等の発行、研究所の一般公開、施設見学の実施、ホームページ掲載等の多様なツールを通じた広報周知活動を、主に一般国民に向けて効率的かつ積極的に行い、研究所の取組に対する理解の促進に努めるとともに、科学技術の普及啓発及び人材育成の促進に寄与する。本年度期間中に研究発表会を9回以上、一般公開及び公開実験を8回以上実施する。

#### ◆年度計画における目標設定の考え方

中長期計画を踏まえ、研究成果の幅広い普及を図り、研究所の取組に対する理解の促進に努めるとともに、科学技術の普及啓発及び人材育成の促進に寄与するため、最新の研究を説明・紹介する発表会や講演会の開催、研究所の施設の一般公開等を計画するとともに、広報紙の発行やホームページの内容の充実を図ることとした。

#### ◆当該年度における取組状況

研究業務を通じて得られた技術情報や研究開発の実施過程に関する様々な情報について、各種研究発表会等を通じて積極的に発信し、研究成果の普及、活用に努めた。

また、研究成果を分かりやすく説明・紹介する広報誌やパンフレット等の発行、研究所の一般公開、施設見学、ホームページ掲載等の多様なツールを通じて広報活動を積極的に行い、研究所の取組に対する理解の促進に努め、科学技術の普及啓発及び人材育成の促進に寄与した。

令和4年度中の研究発表会等の実施回数について、コロナ下であったものの、研究発表会10回、一般公開及び公開実験11回と、研究発表会、一般公開及び公開実験のいずれも、数値目標は達成した。

#### (1)研究発表会、講演会、出前講座、研究所報告等

##### ①海上・港湾・航空技術研究所第1期中長期研究報告会

第1期中長期計画による研究が令和4年度末に終了することに伴い、令和4年12月15日に7年間の研究成果と業務運営成果に関する総括と今後の研究開発の展望に関する報告会(ウェビナー方式)を開催した。





図 1.5.12 第1期中長期研究報告会の様子(令和4年12月)

### ②海上技術安全研究所研究発表会

令和4年7月21日から22日にかけて、「第22回海上技術安全研究所 研究発表会」をウェビナー形式で開催した。研究発表会では、海上技術安全研究所が取り組む4つの重点分野ごとにセッションを設け、社会実装を目指す14のテーマについて成果の発表を行いました。本研究発表会は、ライブ配信を行い、造船・海運・船用工業などの業界及び行政機関・大学・金融機関などから2日間で延べ596名の参加があった。



図 1.5.13 海上技術安全研究所発表会の様子(令和4年7月)

### ③海上技術安全研究所講演会

令和4年12月6日、第22回講演会をオンラインで開催し、持続可能な社会の構築を目指すグリーンイノベーションの一環として設置した洋上風力発電PTの研究成果について紹介するとともに、今後の浮体式洋上風力発電の普及に向けた展望について、「浮体式洋上風力発電の展望と将来技術」というテーマで講演会を開催しました。講演会には431名の聴講者があった。



図 1.5.14 海上技術安全研究所講演会の様子(令和4年12月)

### ④港湾空港技術講演会

港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する調査、研究及び技術開発の成果を公表し、その普及に努めることを目的に例年実施している港湾空港技術講演会を港湾空港技術研究所設立60周年記念講演会として、令和4年10月13日に国土技術政策総合研究所と協力して、ハイブリッド会議方式で開催した。講演会は、東京工業大学の日下部治名誉教授による特別講演のほか当研究所から8研究領域、国土技術政策総合研究所から4研究部がそれぞれ研究の課題と展望について報告した。講演会には350名の参加

があった。



図 1.5.15 港湾空港技術講演会の様子(令和4年10月)

#### ⑤ 港湾空港技術地域特別講演会

港湾空港技術地域特別講演会は、研究所が実施している港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究活動や成果についての情報を幅広く提供するとともに、研究ニーズなど、各地域における情報を収集することを目的として、国土技術政策総合研究所及び地方整備局等との共催で開催している。令和4年は、新型コロナウイルス対策のため、全国4地域においてリモート開催とし(関東11月28日、四国12月12日、沖縄12月14日、北陸12月16日)、515回線の聴講者を得た。



図 1.5.16 湾空港技術地域特別講演会の様子(令和4年11月)

#### ⑥ 電子航法に関する研究発表会

令和4年6月16日から17日にかけて、第22回研究発表会をオンラインで開催し、次世代航空モビリティをテーマとした特別講演を2件、航空交通管理に関する研究(2テーマ)、航法システムに関する研究(2テーマ)、監視通信システムに関する研究(2テーマ)について発表を行った。2日間で延べ538名の聴講者を得た。



図 1.5.17 電子航法研究所発表会の様子

表 1.5.13 その他の講演会等内訳

開催日	件名	概要
R5.3.15	第1期中長期計画成果報告会	第1期中長期期間における電子航法研究所の研究成果や活動を総括した報告会を行った。

表 1.5.14 出前講座及び特別講演内訳

開催日	対象	概要
R4.8.18	日本小型船舶検査機構	・小型船舶の復原性に係る講義
R5.2.28	国土交通省神戸運輸監理部	・「自動離着陸」技術等についての講演
R5.3.8	(一財)日本船舶技術研究協会	・水中洗浄等に関する、ISO規格開発の、国内外の動向について講演
R4.7.4	航空局 管制技術課 性能評価センター	・SBAS 配信サービスの将来について ・GNSS における電離層の影響について ・ADS-B に関する研究について
R4.9.13	東京航空局 東京空港事務所	・GNSS を活用した新しい進入方式の研究 ・滑走路運用の効率化に資する新しい管制間隔の検討 ・電子航法研究所における FOD 検知システムの研究開発状況と羽田空港での評価計画
R5.1.18	航空保安大学校	・電子航法研究所の概要 ・滑走路異物監視システムに関する研究の概要と進捗
R5.2.3	東京航空局 航空機検査官	・携帯電子機器の航空機に対する影響評価に関する国際規格について ・電磁干渉評価に必要となる電磁界理論計算について ・携帯型電子機器の航空機内での使用制限と耐性確認の実際について ・電波高度計と 5G モバイルシステムの電磁干渉課題の現状



図 1.5.18 出前講座の様子

(左: 航空局管制技術課性能評価センター 令和4年7月)

(右: 東京航空局東京空港事務所 令和4年9月)

(2) 広報誌、パンフレット、一般公開、施設見学、ホームページ掲載等

① パンフレット

海上・港湾・航空技術研究所のパンフレットを作成し、関係者に配付することで、研究所の体制や役割について積極的な周知に努めた。

② 技術情報誌

港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する技術情報誌「PARI」について、「研究活動が国民の暮らしの向上にどのような役割を果たしているのか」を分かり易く説明・紹介するため、毎号ごとに各研究テーマの特集記事を選定し、研究成果が実際に活用されている状況、研究所の実験施設及び現地観測施設などを紹介した。令和4年度においては、第47号(令和4年4月)で「加速する洋上風力発電プロジェクトその現状と未来を考える」、第48号(令和4年7月)で「地盤内部を“見える化”する地盤工学の新展開」、第49号(令和4年10月)で「港湾工事の脱炭素化に向けて各地方整備局と密に連携し新たな技術の現場実装を目指す」、第50号(令和5年1月)で「国際競争力向上を目指しコンテナターミナルのデジタル化に挑む」について特集した。

また、研究所を訪問・見学される方々にも「PARI」を紹介し、研究所の研究活動に理解を示して頂くことに努めるとともに、「PARI」をホームページへ掲載し、経済的で効果的な情報発信に努めた。

### ③年次報告

港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する毎年度の研究活動について、より多くの方々に分かり易く紹介するため、2022(令和4)年度分の活動内容を簡潔にとりまとめた「年次報告 2022」(日本語版)並びに「PARI Annual Report 2022」(英語版)を作成し、関係機関へ配布するとともにホームページで公開し、航空分野においても、航空に関する研究活動について年報を発行し、ホームページで公開した。

### ④研究所の一般公開、公開実験

研究所における特定の研究テーマについての研究内容を海事関係の専門家の方に理解いただき、また、来場の研究者との意見交換等を行うため、見学者を公募して行う実験公開を次表のとおり現地及びオンラインで6回開催し、合計403名の参加者があった。

表 1.5.15 公開実験の実績

時期	テーマ
R4.4.25	風車タワーに船首接舷した洋上風力発電アクセス船の波浪中運動を評価するための水槽模型試験
R4.4.28	三鷹第三船舶試験水槽 50 周年記念講演会
R4.8.9	自動離着岸アルゴリズム検証のための自由航走試験法による模型実験
R4.8.30	2022 年度 開発型企業の会 第 1 回技術交流会
R5.2.14	災害時の支援物資輸送に係る実動演習
R5.2.20	船舶・海洋構造物の信頼性評価のための溶接・接着による接合試験体のデモ実験

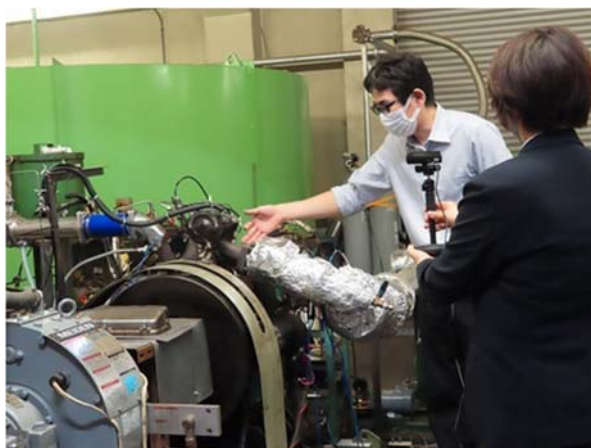


図 1.5.19 第1回技術交流会でのアンモニア混焼実験の公開(令和4年8月)

例年 4 月に、科学技術週間の行事の一環として、東京都三鷹市から調布市にかけて隣接する海上技術安全研究所、電子航法研究所及び交通安全環境研究所が合同で、研究施設の一般公開を実施しているが、令和 4 年度については、新型コロナウイルスの感染拡大防止策を十分に講じることが難しいことから中止した。

例年 7 月に、港湾空港技術研究所において、主に子供や家族連れを対象として、体験しながら研究所について学ぶことができる研究所施設の一般公開を実施しているが、令和 4 年度については、新型コロナウイルス感染拡大防止及び安全に参加していただく環境の確保が困難なことから中止した。なお、令和 5 年 3 月には、茨城県神栖市にある海浜地形観測を行うための波崎海洋研究施設からオンライン施設公開を実施し、195 回線の聴講者があった。

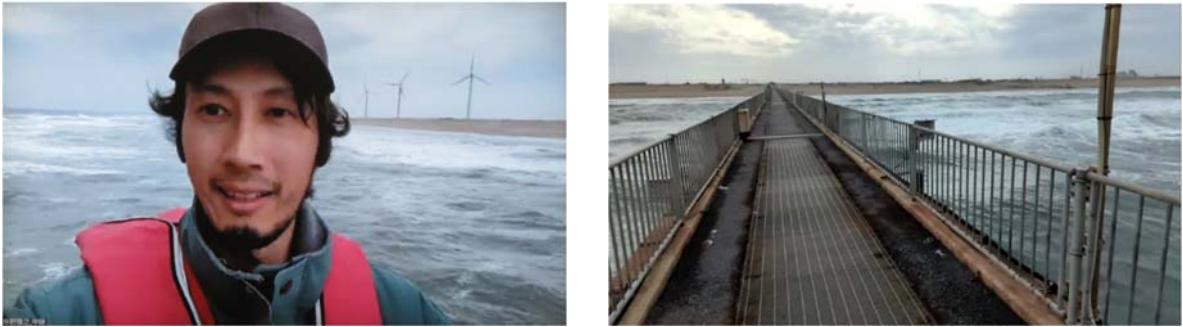


図 1.5.20 波崎海洋研究施設のオンライン施設公開(令和 5 年 3 月)

令和 4 年度については、新型コロナウイルス感染対応のため、研究所施設の通常の一般公開を中止したことにより、研究所について学ぶ機会を失ったことの代わりも兼ねて、ホームページにバーチャル一般公開のページを掲載した。これにより、研究所施設の施設見学や文字造波、津波、飛行実験などをバーチャル体験できるほか、キッズページとして、マンガやペーパークラフトなどのコンテンツも楽しむことができる。



図 1.5.21 バーチャル一般公開のホームページ

### ⑤施設見学

政府、自治体、民間企業、学校や一般の方々等、研究所施設の見学希望者に対応するため、施設見学を実施した。施設見学については単なる施設の紹介にとどまらず、施設に関連した研究を紹介することを通して、研究所の活動内容や研究者の社会的位置付けを広く理解してもらう絶好の機会と捉え、極力、希望者を受け入れるよう努めた。また、見学者からの質問には、分かり易い解説、説明で答えるなど見学者の理解を深めるように心がけた。件数については、新型コロナウイルス感染拡大の影響から、令和 4 年度における一般公開を除く施設見学者は、60 件(709 名)であった。

### ⑥ホームページ

令和 4 年度においては、海上・港湾・航空技術研究所のホームページ(<http://www.mpat.go.jp/index.html>)

を更新して、組織紹介、取り組み、各種計画や規程等、公開情報の充実を図った。各研究所においても、研究組織、研究成果、研究施設、セミナー・シンポジウム等の開催、各研究所のイベントやニュース、特許情報等の様々な情報を引き続きリアルタイムに提供し、効率的かつ効果的な情報発信を推進した。

### (3) その他の情報発信

#### ① 図書館の一般開放

研究所内の図書館に所蔵している歴史的または学術研究用の重要で貴重な資料について、広く一般の方にも活用してもらえるように、各種規程類及び一般利用者の研究所内への入退所の手続き等の各種規程類を整備し、図書館の一般開放を引き続き実施した。なお、当該図書館は公文書等の管理に関する法律に基づく歴史資料等保有施設として内閣総理大臣より指定されている。



図 1.5.22 うみそら研図書館の外観

#### ② メールマガジンでの情報発信

研究所の活動内容等をより迅速に紹介するため、メールマガジンとして、海技研メールニュースを配信した。

#### ③ スーパーサイエンスハイスクール(SSH)事業への協力

港湾空港技術研究所では、文部科学省における先進的な理数系教育を実施する高等学校等「スーパーサイエンスハイスクール(SSH)」を支援する事業として神奈川県立横須賀高等学校の生徒を対象とした学習プログラムを例年実施しており、令和4年7月に港湾空港技術研究所に来所した同校の教員と生徒に対し、研究課題作成に係る指導や研究所の施設見学等を実施し、生徒の研究所等の関心の向上を図った。

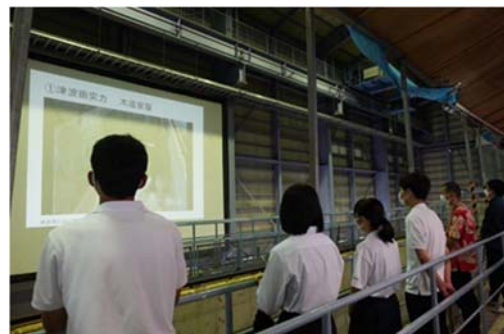


図 1.5.23 横須賀高等学校のスーパーサイエンスハイスクール(令和4年7月)

#### ④ メディアを通じた情報発信

メディアを通じた情報発信のため、テレビやプレス取材に積極的に協力した。令和4年度のテレビ放映については、各種水槽、大型水路を用いた実験等を紹介した番組が放映された。また、研究所の諸活動について新聞や専門紙などに238回の記事掲載があった。

#### ⑤ 港湾及び海洋土木技術者のためのROV等水中機器類技術講習会

本技術講習会は、我が国の最前線にある技術者による国内外の技術動向から今後普及が見込まれる技

術についての知識とその実際の運用方法について、港湾空港技術研究所が進めている最新の水中機器類の研究開発状況とあわせて、講演と実際の機器の操作体験を通じた学習をすることを目的として、平成 24 年度から開催している。令和 4 年度は、2 月 1 日、2 日に土木学会建設用ロボット委員会と共同で開催した。研究所からは「ROV を活用した栈橋上部工下面点検の内業支援システム」及び「水中ドローンを活用した陽極の消耗量推定の試み」と題する講義を行った。

⑥その他の展示会等への参加

以下の展示会等に参加し、ブース出展やパネル展示による積極的な情報発信を行い、研究成果の普及に努めた。

表 1.5.16 その他展示会等の実績

	展示会等	実施場所・時期	概要
1	Sea Japan 2022	令和 4 年 4 月 20 日～22 日	「海上技術安全研究所セミナー」では、建造シミュレータ、船舶分野の代替燃料技術、船体構造デジタルツイン、OCTARVIA プロジェクトフェーズ 2 を中心に講演及びパネル展示を行った。
2	海洋都市横浜うみ博 2022	横浜市役所アトリウム 令和 4 年 8 月 6 日～7 日	港湾における脱炭素化や生物多様性への配慮に関する取り組みを紹介した。

## 6. 戦略的な国際活動の推進

### 【中長期目標】

#### 6. 戦略的な国際活動の推進

研究所は、上記1.～4.における研究開発成果を活用し、国際基準・国際標準策定への積極的な参画や海外機関との連携を通じて我が国の技術及びシステムの国際的な普及を図る等の戦略的な国際活動を推進するため、次の事項に取り組む。

【重要度：高】 研究所による研究開発の成果を活用して戦略的に国際活動を推進することは、国土交通省の政策目標実現に不可欠であるため。

### 【中長期計画】

#### 6. 戦略的な国際活動の推進

### 【年度計画】

#### 6. 戦略的な国際活動の推進

## (1) 国際基準化、国際標準化への貢献

### 【中長期目標】

#### (1) 国際基準化、国際標準化への貢献

世界的な交通の発展及び我が国の国際競争力の強化に貢献するため、国際海事機関(IMO)や国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機関(ISO)等における我が国提案の国際基準・国際標準化を視野に入れた、戦略的な取組を進める。具体的には、国土交通省に対する技術的バックグラウンドの提供等の我が国提案の作成に必要な技術的支援や、国際会議の参加等を行うことにより、我が国提案の実現に貢献する。

### 【中長期計画】

#### (1) 国際基準化、国際標準化への貢献

研究成果の国際基準・国際標準化を目指して研究計画を企画立案するとともに、国際的な技術開発動向を踏まえつつ研究を実施することで、IMO、国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機構(ISO)等への国際基準案等の我が国の提案作成に積極的に関与する。

また、我が国の提案実現のため、国際会議の審議に参画し、技術的なサポートを実施するとともに、会議の運営にも積極的に関与する。

加えて、主要国関係者に我が国提案への理解醸成を図るため、戦略的な活動を行う。また、我が国が不利益を被ることがないよう、我が国への影響及び適合性について技術的な検討を行うなど、他国の提案についても必要な対応を行う。

### 【年度計画】

#### (1) 国際基準化、国際標準化への貢献

研究成果の国際基準・国際標準化を目指して研究計画を企画立案するとともに、国際的な技術開発動向を踏まえつつ研究を実施することで、IMO、国際民間航空機関(ICAO)、国際標準化機構(ISO)等への国際基準案等の我が国の提案作成に積極的に関与する。

特に本年度は、海上交通の分野においては、代替燃料の利用促進を含む GHG 対策に関する基準の策定に貢献する。

電子航法の分野においては、航空関係者間の情報共有を図るための次世代の航空交通情報システムに係る国際地域基準の提案など国際標準化の活動に貢献する。

また、我が国の提案実現のため、本年度計画期間中に国際基準及び国際標準に関する国際会議にのべ63(人回)以上参画し、技術的なサポートを実施するとともに、会議の運営にも積極的に関与する。

加えて、主要国関係者に我が国提案への理解醸成を図るため、戦略的な活動を行う。

また、我が国が不利益を被ることがないよう、我が国への影響及び適合性について技術的な検討を行うなど、他国の提案についても必要な対応を行う。



#### ◆年度計画における目標設定の考え方

世界的な交通の発展が期待されていることに伴い、交通機関の安全性の確保がとりわけ重要視されている。また、我が国運輸産業の国際競争力強化が喫緊の課題とされており、国際社会における主導的立場を維持していくため、我が国提案の国際基準・国際標準化を視野に入れた、戦略的な取組を進める。

上記の国際的な課題を解決するため、研究成果の国際基準及び国際標準化を目指して、国際会議への参加、さらには会議運営に参画することにより、我が国提案への理解醸成を図り、戦略的な活動を行う。また、他国の提案については、我が国が不利益を被ることがないように、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4年度においては、目標である63人を上回るのべ201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4年度は、コロナ禍による審議事項の制限があったが、各種委員会に対して合計26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4年度においては、海上技術安全研究所は26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 4 年度は、のべ 46 名を IMO の関係会議(IMO の議題にリンクして他の国際機関で開催された会議を含む。)に出席させた。中でも、2021 年 9 月に開催された貨物運送小委員会第 7 回会合(CCC 7)で設置されたアンモニア燃料船に関する情報収集のための通信グループ(Correspondence Group:CG)のコーディネーターとなって通信グループを運営し、その結果を 2022 年 9 月に開催された同小委員会第 8 回会合(CCC 8)に報告した。また、アンモニア燃料船に関する我が国提案文書の策定にも貢献した。CCC 8 では、国際ガス燃料船安全規則(IGF コード)の改正及び低引火点燃料のための指針の作成(議題 3)及びアンモニアを燃料とする船舶の安全ガイドラインの策定(議題 13)の審議を担当し、代替燃料に係る船舶の安全に関する技術要件の作業部会にも参画し、審議に貢献した。引き続き、アンモニア燃料船を含む代替燃料に係る安全基準の策定に取り組んでいく。

#### ・水素運搬船の基準策定及び液化ガスのばら積み運送のための船舶の構造及び設備に関する国際規則(IGC コード)の見直しへの貢献

当所職員は、2022 年 9 月に開催された貨物運送小委員会第 8 回会合(CCC 8)において、非公式 CG のコーディネーターとして液化水素運搬船の基準を取りまとめることとなり、現在、2023 年 9 月の同小委員第 9 回会合(CCC 9)への提案に向けて、そのための作業を実施中である。CCC 8 においては、液化ガスのばら積み運送のための船舶の構造及び設備に関する国際規則(IGC コード)の見直し(議題 10)及び液化水素運搬船の暫定勧告の見直し(議題 14)の審議を担当した。議題 10 においては、会議に先立って我が国提案文書 3 本の草案を作成するとともに、各国提案文書を検討して対策資料の案を作成した。議題 14 においては、会議に先立って我が国提案文書 2 本の草案を作成した。会議においては、IGF コード及び IGC コードの改正に係る作業部会に参画し、審議に貢献した。引き続き、関係各国の意見の取りまとめを含め、液化水素運搬船の基準策定に取り組んでいく。

#### ・和歌山県潮岬沖における推薦航路の設定

当所職員は、潮岬沖における推薦航路の設定に貢献した。この推薦航路は、2022 年 6 月に開催された航行安全・無線通信・捜索救助小委員会の第 9 回会合(NCSR 9)に提案し、合意され、2022 年 11 月に開催された海上安全委員会第 106 回会合(MSC 106)において採択され、2022 年 11 月 28 日に発行された航行分離帯以外の航行安全対策に関するサーキュラー(SN.1/Circ.342)で設定された。この推薦航路は 2023 年 6 月 1 日から運用が開始される。

当所は、海上交通流シミュレーションシステムを構築し、これまでも海上保安庁の第 3 次交通ビジョンの一環として、伊豆大島西方海域の推薦航路の設定に貢献した。これに引き続き、海上保安庁の第 4 次交通ビジョンの施策に関連して、潮岬沖における船舶交通の安全対策を構築するため、これまでの研究により得られた海上交通流シミュレーションによる定量評価法をもとに、当該海域における複雑な航行環境へ対応させるために交通流の将来予測方法を高度化し、この海域における効果的な船舶交通の整流化対策を検討して、推薦経路の設定に貢献した。

#### ・自動運航船に係る国際規則案の策定への貢献

当所職員は、IMO の海上安全委員会(MSC)の下に設置された自動運航船の通信グループ(CG)において、我が国意見の取りまとめを担当し、同 CG のオンライン会合では、我が国を代表して発言を担当している。また、2022 年 11 月に開催された MSC 106 においては、自動運航船に係る作業部会に参画し、審議に貢献した。自動運航船に係る国際規則はロードマップに沿って開発していくことが合意されており、MSC 106 では、非義務的コード案の策定に向けて、前述の CG において、有志国・機関を募って部分ごとに目標及び機能要件の案を作成することが合意された。我が国は航行(Navigation)部分のリーダー国を務めるとともに、遠隔操船(Remote Operation)部分の検討メンバー(リーダー国は英国)に加わった。当該職員は、我が国のとりまとめ担当として、世界をリードして、航行部分の目標及び機能要件の案をまとめる作業の補助を行い、関係国・機関(我が国を除いて 19 カ国・12 国際機関)に意見を照会し、さらに案を見直すという作業を実施中である。また、遠隔操船部分について、我が国の意見をまとめて関係国(英国等)に意見を送付する作業も進めている。

表 1.6.1 IMOに係る会議参加数(46人)

会議名	会議の目的	参加延べ人数
第9回汚染防止・対応小委員会(PPR 9)	排ガス洗浄装置、Black Carbon等船体付着生物管理GLs、液体化学物質の運送の審議・検討	5
第105回海上安全委員会(MSC 105)	義務要件の検討及び採択及び自動運航船関係基準の審議	4
第12回温室効果ガス中間作業部会(ISWG-GHG 12)	GHG削減対策の審議	3
低引火点燃料CG会合	各種低引火点燃料の安全要件の審議	1
第78回海洋環境保護委員会(MEPC 78)	大気汚染・GHG削減対策の審議	3
第9回航行安全・無線通信・捜索救助小委員会(NCSR 9)	各種通信装置の性能基準等の審議	1
自動運航船CG会合	自動運航船関係基準の審議	2
自動運航船に係るMSC/LEG/FAL合同WG	自動運航船関係基準の審議	2
第8回貨物運送小委員会(CCC 8)	固体ばら積み貨物運送基準、アンモニア燃料船基準、液化水素運搬船基準等の審議	4
第37回貨物運送小委員会編集・技術グループ(E&T 37)	固体ばら積み貨物運送基準の審議	2
自動運航船CG会合	自動運航船関係基準の審議	2
第28回汚染危険評価技術部会(ESPH 28)	ばら積み液体貨物運送基準の審議	1
第106回海上安全委員会(MSC 106)	義務要件の検討及び採択及び自動運航船関係基準の審議	2
自動運航船CG会合	自動運航船関係基準の審議	2
第13回温室効果ガス中間作業部会(ISWG-GHG 13)	GHG削減対策の審議	2
第79回海洋環境保護委員会(MEPC 79)	義務要件の検討及び採択及びエネルギー効率、GHG削減対策の審議	3
自動運航船CG会合	自動運航船関係基準の審議	2
第9回船舶設備小委員会(SSE 9)	救命設備基準、火災安全基準の審議	3
第14回温室効果ガス中間作業部会(ISWG-GHG 14)	GHG削減対策の審議	1
第38回貨物運送小委員会編集・技術グループ(E&T 38)	危険物運送基準の審議	1

## (イ)ISO及びIECにおける活動

令和4年度はISO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。

・排ガス洗浄装置に係る規格策定への貢献

当所職員がプロジェクトリーダーとして作業を進めた ISO 23668:2022「船舶及び海洋技術－海洋環境保護－船上の pH 連続監視手法(Continuous on-board pH monitoring method)」が 2022 年 11 月 9 日に発行された。今年度は、国際規格原案(Draft international standard:DIS)としての投票を終えた後、最終国際規格原案(Final draft international standard:FDIS)を作成した。また、ISO/TC 8/SC 2/WG 10(国際標準化機構／船舶及び海洋技術専門委員会／海洋環境保護分科委員会／排気ガス洗浄装置作業部会)のコンビーナとして、同 WG を開催し、排気ガス洗浄装置に係る他の規格案 1 件(プロジェクトリーダー:英国)の作業の進捗状況を報告させ、今後の作業計画について審議を進めた。さらに、ISO/TC 8/SC 2 の次期議長に推薦され、投票の結果承認され、2024 年から当面 6 年間議長を務める予定である。

表 1.6.2 ISO、IEC に係る会議参加数(25 人)

会議名	会議目的	参加延べ人数
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 292/WG 8	物流セキュリティ規格の審議	1
ISO/TC 8/WG 10	Maritime Computer Applications の審議	1
IEC/TC 88 MT3-2	浮体式洋上風力発電施設の復原性の審議	1
ISO/TC 8/SC 1 & WG 1	救命設備関係規格の審議	1
ISO/TC 188/SC 1 ad hoc グループ	サーマルマネキンによる保温性能試験法の審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 292/WG 8	物流セキュリティ規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 3/WG 19	液化水素タンク試験法の審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 6	航海関係規格策定の進捗管理の審議	1
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 188/SC 1	イマーシオン・スーツ及び救命胴衣規格の審議	3
ISO/TC 8/WG 12	水生有害生物関係規格の審議	1
ISO/TC 8/SC 2	環境関係規格全般及び輸送セクターGHG の定量化規格策定状況報告の審議	3
ISO/TC 8/SC 6/WG 17	海上公試規格の審議	1
ISO/TC 292/WG 8	物流セキュリティ規格の審議	2
ISO/TC 8/SC 2/WG 13	船体の水中洗浄の審議	1
IEC/TC 103	無線送信用装置・デバイス測定方法・制御等の審議	2

また、電気及び電子技術分野の国際規格の作成活動に長年携わり、無線送信用装置やこれに類似した技術を使用するデバイスの測定方法、安全性に関する必要条件、送信機制御等の標準化に関する委員を務めた実務活動への積極的な功績が認められ、2022 年 10 月 24 日に IEC1906 賞を受賞した。



令和4年度  
IEC1906賞伝達式  
経済産業省  
令和4年10月24日

図 1.6.1 IEC1906 賞伝達式の様子

(ウ)IAEA における活動

令和4年度は、IAEA の会議にのべ47名が出席し、放射性物質安全輸送規則等の審議に貢献した。

表 1.6.3 IAEA に係る会議参加数(47人)

会議名	会議の目的	参加延べ人数
TTEG-Criticality(臨界)	放射性物質輸送に係る諸課題の審議	3
第44回輸送安全基準委員会 (TRANSSC 44)	放射性物質輸送に係る安全基準の審議	3
TNPP(移動可能原子炉)WG steering group	TNPP 輸送規則策定に向けたWGでの議論の準備	1
TNPP WG 第3回会合	TNPP 輸送規則策定に向けた技術文書作成	1
TTEG-Criticality 第1回会合	臨界関連提案の一次審査	1
TTEG-PPA(輸送物性能評価)第1回会合	Shielded radioactive material 提案の一次審査	1
TTEG-RP(放射線防護)	放射線防護関連提案の一次審査	1
TTEG-PPA 第2回会合	Human attributes and non-approved packages 提案の一次審査	1
TTEG-Criticality 第2回会合	臨界関連提案の一次審査	1
TTEG-PPA 第4回会合	20%-increase and dose rate evaluation (Multiple proposals from F and S, F-54) 提案の一次審査	1
TTEG-PPA 第5回会合	輸送物設計要件関連提案の一次審査	2
TTEG-OM(実務課題)／第4回会合 Class7Box	Class7Box 提案の一次審査	2
TTEG-OM／第1回会合	貨物コンテナ関連提案の一次審査	2
TTEG-PPA(輸送物性能評価)第1回会合 合続き	Shielded radioactive material 提案の一次審査の続き	1
TTEG-PPA 第3回会合	Ageing, calculation requirements, and working life for special form 提案の一次審査	1
TTEG-OM/第2回会合／混合梱包等	混合梱包関連提案の一次審査	2
TTEG-OM/第3回会合／専用積載	専用積載関連提案の一次審査	2

TTEG-Criticality 第3回会合	臨界関連提案の一次審査結果最終化	1
TTEG-RP(放射線防護)	放射性物質輸送規則提案の一次審査結果最終化	3
TTEG-PPA	放射性物質輸送規則提案の一次審査結果最終化	2
TTEG-OM/第5回会合/その他提案	実務課題関連提案の一次審査結果最終化	2
TNPP WG 準備会合	第4回 TNPP WG 準備	1
第4回 TNPP WG	TNPP 輸送規則策定に向けた技術文書作成	2
技術基盤文書 WG	規則根拠文書の整備	2
使用済燃料輸送技術会合	使用済燃料輸送の良好事例共有	2
IMO/E-learning Module 会合	放射性物質海上輸送のための E-learning module 作成	1
第45回輸送安全基準委員会 (TRANSSC 45)	放射性物質輸送に係る安全基準の審議	3
TTEG-Criticality 会合	臨界関連提案の修正案最終化	1
使用済燃料輸送専門家会合	使用済燃料輸送の良好事例文書作成	1

#### (エ)国際航路協会(PIANC)における活動

国連の経済社会理事会の諮問機関に指定されている国際航路協会(PIANC)は、内陸水路委員会(InCom)、海港委員会(MarCom)、環境委員会(EnviCom)、レクリエーション水路委員会(RecCom)、国際協力委員会(CoCom)、若手技術者委員会(YPCom)の下に、多数のワーキンググループを設置し、港湾・航路等の技術的課題に関するレポートを作成しており、これらは世界の港湾・航路技術者の指針となっている。

港湾空港技術研究所は、令和4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3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定に貢献するなど、戦略的な国際活動の推進に重要な役割を果たしている。

表 1.6.4 PIANC に係る会議参加数(8人)

会議名	会議の目的等	参加延べ人数
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 WG211	防舷財システムの設計ガイドライン改訂が目的	2
PIANC MarCom WG233	沿岸施設の維持管理に関するガイドラインの改訂	1
PIANC MarCom WG236	内水航路の有効活用のレポート取りまとめ	1
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	1
PIANC EnviCom EG214	土砂の有効利用のレポート取りまとめ	1
PIANC YP-Com	若手技術者ネットワーク促進のための若手技術者委員会	1

#### (オ)ICAO、RTCA、EUROCAE における活動

ICAO は、国際民間航空条約(通称 シカゴ条約)に基づき設置された国連の専門機関であり、国際航空運送に関する国際標準・勧告方式、ガイドライン、マニュアルの策定等を行っている。シカゴ条約附属書やその他の ICAO 文書で定められる国際標準の改正や新たな標準の策定は「パネル」と呼ばれる専門家会議で議論される。

パネル内の詳細な作業は各パネルに設置される作業部会(WG)で行われる。我が国では航空局職員がパネルメンバーとして登録されているが、国際標準の実質的な骨格を決める高度かつ詳細な技術検討を行うため、パネルや作業部会に、電子航法研究所の研究者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、米連邦航空局(FAA)の支援を受ける RTCA,Inc.や非営利団体である欧州民間航空電子装置機構(EUROCAE)が米国や欧州域内の技術基準を定めている。そして FAA 若しくは欧州航空航法安全機構(Eurocontrol)及び欧州航空安全機関(EASA)は、米国内や欧州域内を飛行する航空機の機器と地上設備が RTCA や EUROCAE 規格に準拠することを要求している。近年は RTCA と EUROCAE で協力して技術基準を定めることが多く、欧米の技術基準が事実上の国際標準となっている。

このため電子航法研究所は、国際標準の策定に貢献するために、条約附属書による標準を策定する ICAO だけでなく、戦略的な観点から、事実上の国際標準を決めることとなる RTCA や EUROCAE における活動にも貢献するよう積極的に取り組んでいる。

#### ・ICAO 飛行方式パネル(ICAO IFPP)への貢献

IFPP(INSTRUMENT FLIGHT PROCEDURE PANEL)は、新しい計器飛行方式の設計基準、計器飛行方式の監視要件、航空機搭載電子システムのガイダンス等と IFP 設計基準との調和など飛行方式設計に関する検討を行う会議であり、地上障害物との衝突危険度を計算するためのアルゴリズムや OAS(地上障害物表面)などに関する維持管理などを行っている。令和 4 年度は衝突危険度計算に関するドキュメントおよびソフトウェアをリリースするための活動を行っており、当所職員はソフトウェアの信頼性を保証するために検証作業を実施し、その成果を報告した。その成果が承認され、ソフトウェアの検証作業は終了することとなり、維持管理に貢献した。

#### ・SWIM の実用化に関する貢献

ICAO では、運航の安全性と効率性を向上させるため、監視・気象・空港・フライトなどの様々な情報を管理できる SWIM(System Wide Information Management)という次世代航空交通情報システムの概念が推進されている。当所職員は、タスクリーダーとして SWIM タスクフォースに参加し、アジア太平洋地域における SWIM の性能要件と CRV(共通 IP ネットワーク)の制限を分析し、AMHS/SWIM Gateway を利用して CRV の上で地域 SWIM 基盤の構築方法について報告した。また、CRV 以外の SWIM サービス提供者と接続できる方法を提案することで、アジア太平洋地域における SWIM 導入の技術基準の策定や地域 SWIM 基盤に基づいた協調運用の実現に貢献した。

#### ・放送型自動位置情報伝送・監視機能(ADS-B)の脆弱性対策への貢献

SURICG(Surveillance Implementation Coordination Group)は、アジア太平洋地区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て ICAO APAC 事務所が主催し、ICAO APANPIRG(Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group) CNS サブグループの下に設置されている。当所職員は、既存の誤り検出の技術が脆弱性対策の面で一定の効果を表すことを明らかにし、SURICG で報告した。本報告はアジア太平洋地域における ADS-B ガイダンス文書(AIGD ADS-B Implementation and Operations Guidance Document)への記載が採択されることとなり、ADS-B の脆弱性に関する課題の対策に貢献した。

#### ・ICAO 通信パネル(ICAO CP:Communication Panel)への貢献

ICAO CP の下に設置されている DCIWG(Data Communications Infrastructure Working Group)では次世代陸域航空無線通信システム LDACS(L-band Digital Aeronautical Communication System)の国際標準及び勧告方式 SARP(S)S(Standards And Recommended Practices)立案等の検討を行っている(2024 年の適用を目標としている)。電子航法研究所が開発している LDACS のプロトタイプを用いた技術的な検証作業結果を DCIWG で報告し、SARP(S)S 作成に貢献した。

・衛星型衛星航法補強システム(SBAS)の欺瞞信号対策への貢献

SBAS 信号のなりすまし(欺瞞信号)への対策として、SBAS 認証技術の検討が ICAO 航法システムパネル(ICAO NSP: Navigation Systems Panel)の下に設置されている GSWG(GNSS SARPS Working Group)で進められている。現在は基本設計の段階であり、他国に先駆けてプロトタイプを開発して設計内容の妥当性を検証するとともに、認証情報のサンプルを提供することで、ICAO における SBAS 認証技術の検討に貢献した。

表 1.6.5 ICAO、RTCA、EUROCAE に係る会議参加数(51 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	7
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	3
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	18
航空交通管理要求・性能パネル(ATMRPP)	4DTBO、FF-ICE 等、将来の航空交通管理を支援する施策検討を行う会議	2
周波数スペクトラム管理パネル(ICAO FSMP)	航空で使用される無線システムの周波数と他の無線システムとの干渉を防止するための会議	3
飛行方式パネル(ICAO IFPP)	飛行方式設計に関する検討を行う会議	1
情報管理パネル(ICAO IMP)	航空産業で利用される情報管理に係る国際標準・技術マニュアル等規程類の取りまとめ	1
アジア太平洋地域監視実施調整会議(ICAO APANPIRG SURICG)	アジア太平洋地域における航空機監視システムの導入を調整・支援することを目的とした会議	1
アジア太平洋地域 SWIM タスクフォース(ICAO APAC SWIM Taskforce)	アジア太平洋地域における SWIM 導入に向けた諸課題の解決策の検討を行う会議	2
EUROCAE WG-100	リモートタワー業務に使われるカメラ等、映像系システムを検討する作業部会	12
EUROCAE WG-107	GNSS 障害が発生した際の DME/DME 測位方式による RNP 運航環境維持に係る検討を行う作業部会	1

(カ)その他国際会議

他にも多国間、二国間での会議が多くあり、当研究所が参加している国際会議には、次のようなものがあり、各種審議等に貢献した。

表 1.6.6 その他国際会議における会議参加数(49 人)

会議名	会議目的	参加延べ人数
ブラックカーボン技術作業部会(No.6)	船舶からの BC 排出量抑制法等	2
生物付着管理東アジア RTF 会合	東アジア版生物付着管理ガイドライン実装方法検討	1
GESAMP EHS WG 第 59 回会合	液体化学物質の有害性評価	1
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	海上公試推奨試験法の審議	1



ブラックカーボン技術作業部会 (No.7)	船舶からの BC 排出量抑制法等	2
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	海上公試推奨試験法の審議	1
第 75 回国際溶接会議第 XIII(疲労)委員会	溶接構造等の疲労に係る国際規格の審議	2
ブラックカーボン技術作業部会 (No.8)	船舶からの BC 排出量抑制法等	2
IMO - GloFouling partnership GIA task force meeting	船体付着生物管理に係る情報交換等	1
ブラックカーボン技術作業部会 (No.9)	船舶からの BC 排出量抑制法等	2
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	海上公試推奨試験法の審議	1
ブラックカーボン技術作業部会 (No.10)	船舶からの BC 排出量抑制法等	2
ブラックカーボン技術作業部会 (No.11)	船舶からの BC 排出量抑制法等	2
ITTC Full Scale Ship Performance Committee	海上公試推奨試験法の審議	1
ブラックカーボン技術作業部会 (No.12)	船舶からの BC 排出量抑制法等	2
ITTC Specialist Committee on Performance of Wind Powered and Wind Assisted Ships	風力推進船の技術動向調査、性能推定法のレビュー、試運転での性能評価法の提案	1
第 8 回日韓沿岸技術研究ワークショップ	韓国海洋科学技術院(KIOST)との共催による沿岸域環境、防災および利用に関する技術情報の交換	6
韓国・釜慶大学 WS	海岸工学に関する研究情報の交換	4
ECO-DRR WS	沿岸域でのグリーンインフラ、海岸保全技術	1
JSPS 二国間共有 泥炭地の底質輸送プロジェクト第 4 回ワークショップ	ピート(泥炭)土壌海岸の地形変化に関する調査研究	1
JSPS 二国間交流事業(尼との共同研究)ワークショップ	ピート(泥炭)土壌海岸の地形変化に関する調査研究	1
SATREPS Kick Off Meeting	沿岸域でのグリーンインフラ、海岸保全技術	1
The 20th ASEAN-Japan Port Technology Group Meeting	ASEAN との港湾技術に関する情報共有	1
第 30 回 将来の航空交通システムの調和に関する会議(FATS)	日米航空当局による将来の交通システムに関する会議	1
Multi-Regional TBO	米国 FAA 主導による軌道ベース運用実証のための会議	5
第 28 回 IPACG プロバイダ会議	日米航空当局による太平洋管制調整会議 IPACG のプロバイダ会議	1
第 21 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 37 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

## (2) 海外機関等との連携強化

### 【中長期目標】

#### (2) 海外機関等との連携強化

国際会議の主催及び共催や積極的な参加、あるいは海外の関係研究機関との研究協力協定の締結等を通じて、幅広い交流や連携の強化を図る。

港湾分野においては、世界各国の研究機関等との連携を強化するとともに、アジア・太平洋地域をはじめとする各地の現場が抱える技術的課題の解決や、大規模自然災害への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。さらに、海外における被災状況の調査等を通じた情報収集により、我が国の防災及び減災対策に資する知見の蓄積に努める。

また、航空交通分野においては、全世界で航空交通サービス等の均質性と連続性の確保が重要となることから、航空交通システム等に係る技術開発について、国際ワークショップ等を通じた技術交流や協力協定等による国際連携を強化する。特に、我が国と近隣アジア諸国との技術協力等を拡大し、継ぎ目のない航空交通(シームレス・スカイ)実現を支援する。

### 【中長期計画】

#### (2) 海外機関等との連携強化

国際会議やワークショップの主催や共催、国際会議への積極的な参加、在外研究の促進等を通じ、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。

また、国外の関係研究機関との研究協力協定や教育・研究連携協定の締結、これに基づく連携の強化を図ることにより、関連する研究分野において研究所が世界の先導的役割を担うことを目指す。

また、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進するとともに、国土交通省が進める海外へのインフラ輸出を念頭に置いた我が国の技術力向上のための支援を行う。

具体的分野として、港湾分野においては、アジア・太平洋地域をはじめとする世界各地の研究機関等との連携を強化するとともに、大規模自然災害や沿岸域の環境問題等への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。また、海外における被災状況、沿岸環境等に係る情報収集を行い、我が国はもちろんのこと世界的規模での防災・減災対策、環境対策に貢献する技術や知見を蓄積する。

航空交通分野においては、航空管制業務等に係る多くの技術や運航方式等について、世界での共用性を考慮する必要があることから、各国の航空関係当局や研究機関及び企業等と積極的に技術交流及び連携を進める。特に、継ぎ目のない航空交通(シームレススカイ)実現を支援するため、我が国と近隣アジア諸国の研究機関との技術協力等を拡大する。

### 【年度計画】

#### (2) 海外機関等との連携強化

国際会議やワークショップの主催や共催、国際会議への積極的な参加、在外研究の促進等を通じ、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。本年度計画期間中に国際会議において200件以上の発表を行うとともに、国際ワークショップ等を3回以上開催する。

また、国外の関係研究機関との研究協力協定や教育・研究連携協定の締結、これに基づく連携の強化を図ることにより、関連する研究分野において研究所が世界の先導的役割を担うことを目指す。

また、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進するとともに、国土交通省が進める海外へのインフラ輸出を念頭に置いた我が国の技術力向上のための支援を行う。

具体的分野として、港湾分野においては、アジア・太平洋地域をはじめとする世界各地の研究機関等との連携を強化するとともに、大規模自然災害や沿岸域の環境問題等への技術的支援を通じて国際貢献を推進する。また、海外における被災状況、沿岸環境等に係る情報収集を行い、我が国はもちろんのこと世界的規模での防災・減災対策、環境対策に貢献する技術や知見を蓄積する。

航空交通分野においては、航空管制業務等に係る多くの技術や運航方式等について、世界での共用性

を考慮する必要があることから、各国の航空関係当局や研究機関及び企業等と積極的に技術交流及び連携を進める。特に、継ぎ目のない航空交通(シームレススカイ)実現を支援するため、我が国と近隣アジア諸国の研究機関との技術協力等を拡大する。

#### ◆年度計画における目標設定の考え方

幅広い交流や連携の強化を図るため、国際会議等の主催及び共催を通じて、国外の大学、企業あるいは行政等の研究者との幅広い交流を図る。また、国外の関係研究機関等との協定の締結、外国人技術者を対象とした研修への講師派遣や外国人研究員の受け入れ、研究者の海外派遣による技術支援等、国際貢献を推進する。

#### ◆当該年度における取組状況

##### ①国際会議、ワークショップ等への積極的な取り組み

令和4年度においては、海外機関との連携強化に向けて国際会議への積極的な活動に取り組んだ。目標である200件を上回る227件の発表を実施した。

また、本年度は目標である3件を上回る4件のワークショップ等国際会議を開催した。

海上技術安全研究所においては、国土交通省海事局と共同で令和4年10月19日にアンモニア燃料船の安全に関する国際ワークショップを開催した。ワークショップには16の国と国際機関から278名の参加があった。

港湾空港技術研究所においては、令和4年12月に韓国海洋科学技術院(KIOST)と「第8回日韓沿岸技術研究ワークショップ」をオンラインで開催した。

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4年11月2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、佐竹健治東京大学地震研究所所長、パプアニューギニア大学自然科学部災害リスク軽減センター(パプアニューギニア)、オレゴン州立大学工学部 OH ヒンズデル波浪水理実験場(アメリカ)の1氏2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 1.6.2 濱口梧陵国際賞授賞式の様子

電子航法研究所では、ATM/CNSに関する国際ワークショップ2022(IWAG2022)を令和4年10月25日～27日の3日間にわたり開催した。本ワークショップでは、感染症等の懸念が強く参加者減少が見込まれるなか、ハイブリッド形式(現地もしくはリモートでの参加が可能)を導入することで参加のハードルを下げ、その結果56件の講演を実施し、延べ約440名の参加者(内、約140名がリモートでの参加)がみられた。加えて一般社団法人

人 日本航空宇宙学会(JSASS)と共催し、学術発表に関してはすべての論文を全文査読とすることでワークショップの学術的価値の向上を図った。

ワークショップの内容としては将来のシームレス・スカイの円滑な運用に必要な SWIM (System Wide Information Management) や航空交通流管理手法関連セッションを設け、これらの分野における我が国と近隣アジア諸国の研究機関との技術協力等の拡大のきっかけを提供し、好評を得た。



図 1.6.3 ATM/CNS に関する国際ワークショップ 2022 (IWAG2022)の様子

また、空港滑走路異物(FOD:Foreign Object Debris)監視システムおよびミリ波・テラヘルツ波技術に関する国際ワークショップを令和4年11月9日に、仙台空港及び同空港に隣接する当所岩沼分室において開催した。本ワークショップでは、仙台空港内での FOD 監視システムの実験場視察を行ったほか、マレーシアからの参加者よりクアラルンプール国際空港に展開・実証実験中の FOD 監視システムに関する研究発表が行われるなど、最新の研究活動について活発な意見交換が行われた。



図 1.6.4 FOD 監視システムおよびミリ波・テラヘルツ波技術に関する国際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4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(MARINE)、フランス・海洋汚染研究センター(Cedere)、カナダ・海洋技術研究所(UIOT)、韓国・海事研究所(KMI)、インドネシア・技術評価応用庁(BPPT)、インドネシア・スラバヤ工科大学(ITS)、ブラジル・カンピナス大学、ブラジル・サンパウロ大学)。

港湾空港技術研究所では、研究の質の向上と研究の効率的な実施を目指して、国内外の研究機関との連携をより積極的に進めるため、平成 15 年度以降令和 4 年度までに、国内 29 件、海外 27 件、合計 56 件の研究協力協定を締結し、研究の質の向上と効率的な実施を図った。

電子航法研究所では、ドイツ航空宇宙センター(DLR)との包括研究協力合意のもと、GBAS 及び LDACS に関する共同研究契約をそれぞれ締結した。これにより日独両国の ATM/CNS 分野の安全性と効率性の向上に貢献するための研究を実施し、継続する。また、ベトナム科学技術アカデミー・地球物理研究所(IGP)との GBAS に関する研究協力延長の覚書を取り交わし、これによりアジア・オセアニア地域における研究協力を継続する。さらに、フランス民間航空総局航空航法局研究開発部(DSNA/DTI)との無操縦者航空機(RPAS)の衝突回避に関する共同研究を延長し、引き続き研究連携を継続する。

電子航法研究所では、ドイツ航空宇宙センター(DLR)との包括研究協力合意のもと、弊所の研究員 1 名が令和 4 年 4 月より約 9 ヶ月間にわたり DLR の通信広報研究所にて在外研究を行った。そこで次世代陸域航空無線通信システム LDACS(L-band Digital Aeronautical Communications System)の開発評価や欧州システムとの接続試験等を行うなど、海外との研究連携に貢献した。

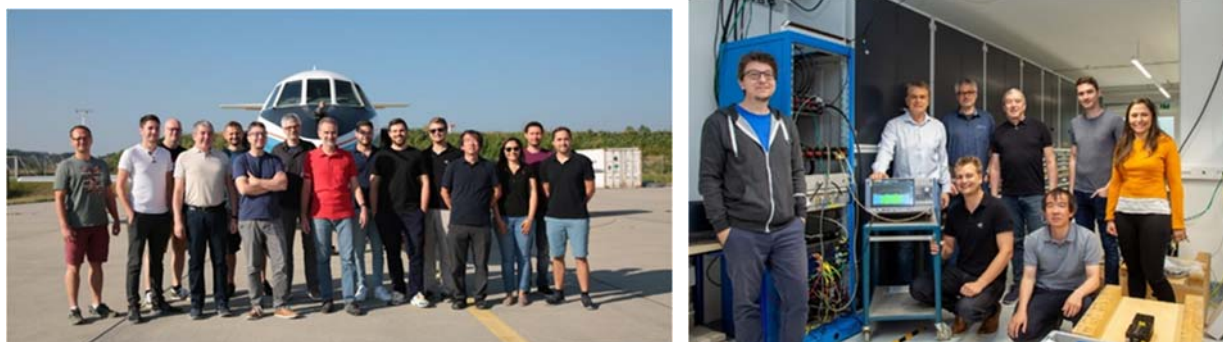


図 1.6.5 欧州における LDACS 実証実験の様子

国際貢献の推進に向けて海外の研修員の受け入れ、技術支援等にも取り組んだ。

海上技術安全研究所では、国内大学より海外の研修員を受け入れ、船舶の性能評価・海洋開発などに関する研究連携の深化を図った。

また、実船計測・水槽試験・シミュレーションの統合を目指し、海技研クラウドの発展に向けた技術力を高めることを目的として、ノルウェー科学技術大学に 1 名を留学させた。

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 30 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。

## 第2章 業務運営の効率化に関する目標を達成するために とるべき措置

## 【中長期目標】

### (1) 統合に伴う業務運営の効率化

統合により生じる事務の煩雑化等の影響を軽減し、円滑な業務運営の確保に努める。

また、間接部門について、研究開発成果の最大化及び業務効率と質の最大化を図りつつ、効率化する。

さらに、一括調達の導入を進めるとともに、システムの合理化などの統合に伴う適切な環境整備について、業務効率と経費の双方に留意して計画的に実施する。

### (2) 業務の電子化

テレビ会議やメール会議の更なる活用等、ICT環境の整備等により、業務の電子化を図る。

### (3) 業務運営の効率化による経費削減等

ア 業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時まで、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、業務経費（人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。）について、初年度予算額の当該経費相当分に7を乗じた額に対し、中長期目標期間中における当該経費総額の3%程度の抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

ウ 本研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準も十分考慮し、厳しく検証を行った上で、その検証結果や取組状況については公表する。

エ 「独立行政法人における調達等合理化の取組の推進について」（平成27年5月25日総務大臣決定）等を踏まえ、公正かつ透明な調達手続による、適切で迅速かつ効果的な調達を実現する観点から、毎年度策定する「調達等合理化計画」に基づく取組を着実に実施する。

また、随意契約については「独立行政法人の随意契約に係る事務について」（平成26年10月1日付け総管査第284号総務省行政管理局長通知）に基づき明確化した、随意契約によることができる事由により、公正性・透明性を確保しつつ合理的な調達を実施する。

オ 業務経費に生じる不要な支出の削減を図るため、無駄の削減及び業務の効率化に関する取組を人事評価に反映するなど、自律的な取組のための体制を整備する。

## 【中長期計画】

### 1. 統合に伴う業務運営の効率化

統合により生じる事務の煩雑化等の影響を軽減し、円滑な業務運営を図る。

また、間接部門について、研究開発成果の最大化及び業務効率と質の最大化を図りつつ、効率化する。

具体的には、管理業務の効率化の状況について定期的な見直しを行い、業務の簡素化、電子化、定型的業務の外部委託等を図ることにより、一層の管理業務の効率化に取り組む。

さらに、一括調達の導入を進めるとともに、システムの合理化などの統合に伴う適切な環境整備について、業務効率と経費の双方に留意して計画的に実施する。

### 2. 業務の電子化

テレビ会議やメール会議等の更なる活用、ICT環境の整備等により、業務の電子化を図る。

### 3. 業務運営の効率化による経費削減等

ア 業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時まで、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は、業務経費(人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。)について、初年度予算額の当該経費相当分に7を乗じた額に対し、中長期目標期間中における当該経費総額の3%程度の抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

ウ 本研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準も十分考慮し、厳しく検証を行った上で、その検証結果や取組状況については公表する。

エ 「独立行政法人における調達等合理化の取組の推進について」(平成 27 年5月 25 日総務大臣決定)等を踏まえ、公正かつ透明な調達手続による、適切で迅速かつ効果的な調達を実現する観点から、毎年度策定する「調達等合理化計画」に基づく取組を着実に実施する。

また、随意契約については「独立行政法人の随意契約に係る事務について」(平成 26 年 10 月1日付け総管査第 284 号総務省行政管理局長通知)に基づき明確化した、随意契約によることができる事由により、公正性・透明性を確保しつつ合理的な調達を実施する。

更に、外部有識者による「契約監視委員会」において、締結された契約に関する改善状況のフォローアップを行い、その結果を公表することによって、契約事務の透明性、公平性の確保を図る。

オ 業務経費に生じる不要な支出の削減を図るため、無駄の削減及び業務の効率化に関する取組を人事評価に反映するなど、自律的な取組のための体制を整備する。

#### 【年度計画】

##### (1) 統合に伴う業務運営の効率化

統合により生じる事務の煩雑化等の影響を軽減し、円滑な業務運営を図る。

また、間接部門について、研究開発成果の最大化及び業務効率と質の最大化を図りつつ、効率化する。

具体的には、管理業務の効率化の状況について定期的な見直しを行い、業務の簡素化、電子化、定型業務の外部委託等を図ることにより、一層の管理業務の効率化に取り組む。

さらに、一括調達については、コピー用紙をはじめ、複写機賃貸借及び保守契約、機械警備契約など、業務効率と経費の双方に留意して計画的に実施する。一括調達の導入を進めるとともに、システムの合理化などの統合に伴う適切な環境整備について、業務効率と経費の双方に留意して計画的に実施する。

##### (2) 業務の電子化

引き続きテレビ会議やメール会議等の活用、ICT 環境の整備等により、業務の電子化を図る。

令和元年度に試行し、コロナ対策として令和2年度より本格的に実施しているテレワークについて、多様な働き方を定着させる観点から推進する。

##### (3) 業務運営の効率化による経費削減等

ア 業務運営の効率化を図ることにより、一般管理費(人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。)について、抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

イ 業務運営の効率化を図ることにより、業務経費(人件費、公租公課等の所要額計上を必要とする経費及び特殊要因により増減する経費は除く。)について、抑制を図る。ただし、新規に追加されるもの、拡充分など、社会的・政策的需要を受けて実施する業務に伴い増加する費用等はその対象としない。

ウ 本研究所の給与水準については、国家公務員の給与水準も十分考慮し、厳しく検証を行った上で、その検証結果や取組状況については公表する。

エ 「独立行政法人における調達等合理化の取組の推進について」(平成 27 年5月 25 日総務大臣決定)等を踏まえ、公正かつ透明な調達手続による、適切で迅速かつ効果的な調達を実現する観点から、毎年度策定する「調達等合理化計画」に基づく取組を着実に実施する。

また、随意契約については「独立行政法人の随意契約に係る事務について」(平成 26 年 10 月1日付け総管査第 284 号総務省行政管理局長通知)、で示された随意契約によることができる事由により、公正性・透明性を確保しつつ合理的な調達を実施する。



更に、外部有識者による「契約監視委員会」において、締結された契約に関する改善状況のフォローアップを行い、その結果を公表することによって、契約事務の透明性、公平性の確保を図る。  
オ 業務経費に生じる不要な支出の削減を図るため、無駄の削減及び業務の効率化に関する自律的な取組を実施する。

◆年度計画における目標設定の考え方

令和 4 年度においては、統合により生じる事務の煩雑化等の影響を軽減し、円滑な組織運営を図ることとした。

また、業務運営の効率化は当研究所が取り組むべき重要な課題であり、一層の管理業務の効率化について取り組むこととした。

◆当該年度の取組状況

1. 統合に伴う業務運営の効率化

(1) 円滑な業務運営

「経営戦略室」を運営する等統合に発生する事務について分担を図り、府省庁等に対する窓口を同室に一本化することで業務を遂行した。

また、「幹部会」を運営し、研究所に關係する重要情報及び職員に周知徹底すべき情報などを関係者間で共有し、円滑な組織運営の確保を図った。

さらに、統合による規模拡大の効果を業務の効率化に導くため、「業務効率化検討委員会(総務部門、企画部門)」を運営し、対象業務の抽出、標準化・統一化、外部化を含む効率的な業務処理体制の検討、そのために必要となる情報、課題共有のための体制の検討を実施した。

令和 4 年度においては、業務の効率化及びテレワークへの対応のため、うみそら研からの請求書の押印廃止を開始した。

令和 4 年度は、発行数 544 件に対して 271 件(50%)で押印を省略した。

港空研においては、業務実績報告書作成業務に関する実務的スケジュールの可視化及び組織的ノウハウの蓄積を目的とし、業務工程表を構築した上で、マネジメント全般の見直しを行った。

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、コロナ禍におけるテレワークの定着に向けて、申請手続きの簡素化、マイクロソフト 365 の活用及び大容量ファイル転送システムの導入など更なる情報セキュリティ対策の維持・強化に努めた。

令和 4 年度は、更なる情報セキュリティの強化として、うみそら研情報セキュリティポリシーを改正し、ソーシャルメディアサービス運用手順書を新規に策定した。

また、次期に向けてうみそら研情報システム委員会を設置し、情報セキュリティ対策の維持・強化、情報システムの統一を図るための検討を開始した。

(2) 一括調達等による取組

令和 4 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 4 年度においては以下の 3 件について一括調達を行った。

引き続き業務効率及び経費を検討の上、必要な案件については一括調達を実施することとする。

- ・主変電所監視設備マザーボード購入
- ・所内高圧電気設備更新工事の調査・基本設計業務委託

・主変電所C-GIS用ダッシュポット(遮断用)他3点の購入

## 2. 業務の電子化

### (1) 電子決済の推進

令和4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元年度から増大し、令和4年度には5,131件となった。

なお、電子決裁の主な内容は、勤務時間報告書、所外発表許可伺い、その他起案であった。今後も、起案の利用をさらに進める予定である。

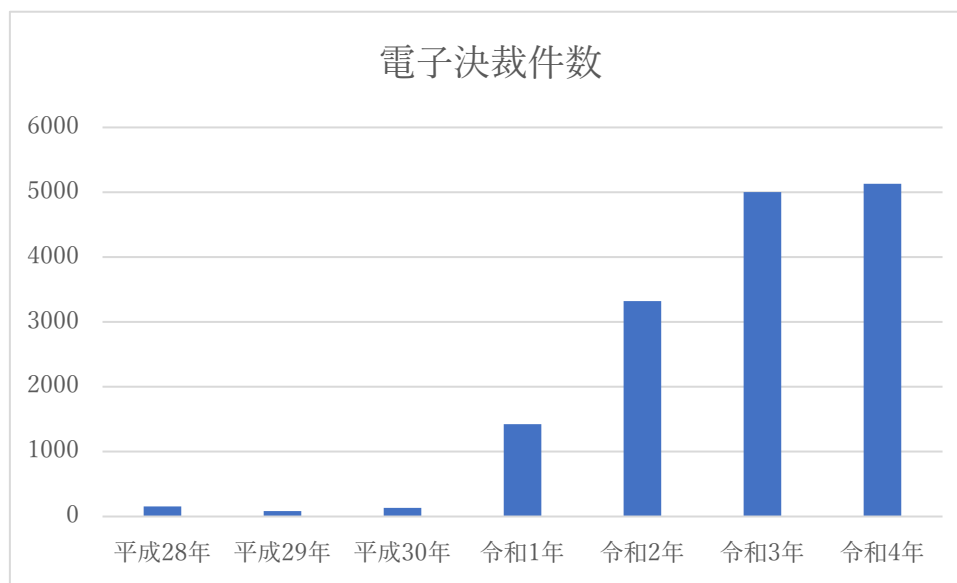


図1 電子決済件数の推移

### (2) テレワークに関するアンケートの実施

新型コロナウイルス感染拡大に伴い開始したテレワークであるが、今後、テレワークを、本来の目的である業務効率化、研究成果の最大化に向けて活用するため、令和4年10月～11月に、テレワークに関するアンケートを実施し、うみそら研全体で268件(回答率76%)の回答を得た。

アンケートによると、職員の直近のテレワーク回数は、1日未満58%、1～2日33%であった。

また、テレワークに対する満足度に関しては、「満足・どちらかといえば満足」が58%、「どちらでもない」が17%、「不満・どちらかといえば不満」が4%、「実施していない」が21%であった。

以下の項目について自由記述の意見を記述してもらったところ、多くの意見が集まった。

- ・テレワークの利点(意見数31)
- ・不便な点(意見数54)
- ・テレワークが望ましいと考える業務(意見数79)
- ・対面が望ましいと考える業務(意見数89)
- ・メンバー等とのコミュニケーションで工夫している点(意見数83)
- ・テレワークで工夫している点(意見数64)
- ・その他意見(意見数97)。

上記意見を整理した上で、その結果を上記の満足度の集計結果などとともに全職員で共有するようにし、今後のテレワークのより良い運用に活用することとした。

(事由記述意見の一例)

コミュニケーションの工夫:「対面、メール、チャット等、時と場合に応じて手段を選択している」「出勤時のコミュニケーションを意識的に増やした」

テレワークにおける工夫:「テレワークでも効率が落ちない業務とそうでない業務を分けて、一週間の中でメリハリをつけた業務遂行をしている」

その他:「自分としては、この制度が無かったら、すでに仕事を辞めるか長期休業をするしかなかったかもしれないというくらい助かっている。」

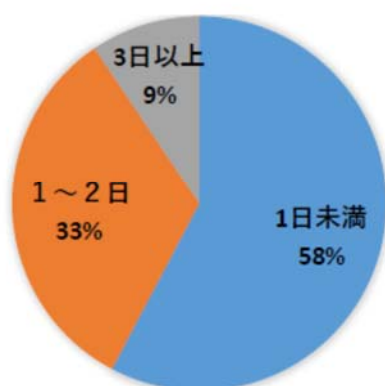


図 テレワークの実施回数

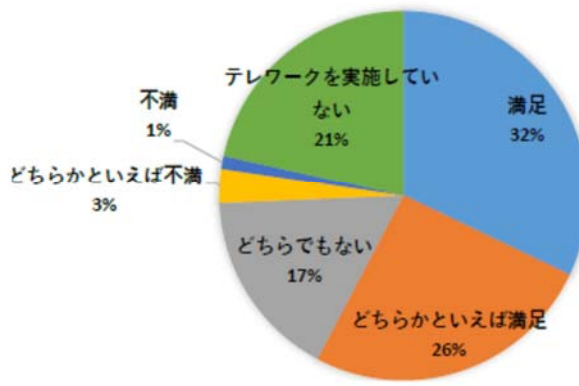


図 テレワークの満足度

### (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、登録業者数は、R3年度39社に対して、R4年度は新規に153社(累計192社)となった。

電子入札システムの運用は、事業者の入札機会の拡大及び費用低減に寄与するとともに、入札事務の透明性の確保に貢献している。

### (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を推進し、更なる業務効率化を図った。

### (5) メール会議による効率化

上記2.(4)のテレビ会議の他に、担当者間による情報共有や意見交換などを実施する際にメール会議を実施し、管理業務の効率化の状況に関し、随時見直しを行った。

## 3. 業務運営の効率化による経費削減等

### (1) 一般管理費、業務経費の抑制

中長期目標及び中長期計画において、業務運営の効率化を図ることにより、中長期目標期間終了時まで、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4年度においては、中長期計画で定められた目標値を達成するため、以下の取り組みを実施し、業務運営の効率化等に取り組みつつ、上記2.の業務の電子化とともに、着実に経費の抑制を図った。

- ・契約プロセスの見直し
- ・予算、収支計画及び資金計画の定期的な点検
- ・簡易入札の活用等による経費抑制

また、電力料高騰により、電力使用量抑制等の以下の取組を行い、その結果、前年比約6%削減した。

#### 【個人で実施した取組】

- ・OA 機器の電源スタンバイ又は OFF
- ・空席時の消灯・長い時間席空けする場合の空調スイッチ OFF
- ・定時退庁
- ・残業時の照明は残業する人の範囲とし居室の照明全てが点灯することの無いよう配慮
- ・クールビス・ウォームビズで空調作動時間を短縮
- ・テレワークを実施する場合は PC を通電して帰宅するが、それ以外は必ず電源を落とす。
- ・マルチディスプレイの使用制限(必要時以外1ディスプレイ化)

#### 【建物単位等組織で実施した取組】

- ・昼休み時間等仕事時間外の消灯
- ・クールシェア・ウォームシェア(空調部屋の複数人での活用)
- ・扇風機・サーキュレータで空調効率アップ
- ・こまめに給湯器・空気清浄機・OA 機器の電源 OFF
- ・エアコンの設定温度の抑制(夏季は室温 28℃設定、冬期は室温 20℃設定)
- ・エアコンフィルターのこまめな清掃
- ・開口部(窓)をブラインド等で閉めきることにより温度変化を一定に保つ
- ・トイレの節電(便座温度:夏は切・春秋は低)
- ・実験施設の変圧器のうち、使用していない変圧器の電源を落とす
- ・省エネを考慮した実験計画(待機時間の短縮)

### (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 4 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 96.7、研究職種で 104.8 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 4 年度調達等合理化計画を策定し、以下の取り組みを実施した。

- ・仕様書内容の見直し
- ・入札参加要件の緩和
- ・公告期間の十分な確保
- ・適正工期(納期)の確保
- ・契約情報提供の充実

「独立行政法人の随意契約に係る事務について」(平成 26 年 10 月 1 日付け総管査第 284 号総務省行政管理局長通知)に基づく合理的な調達の実施状況としては、当該通知に基づく契約関係規程により、随意契約によることが合理的と判断されたものについて、契約審査委員会に諮った上で随意契約を実施した。

契約監視委員会による契約改善状況のフォローアップ及び結果の公表について、令和 4 年 5 月に令和 4 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 3 年度の各研究所の契約に関する点検等を実施した。結果については研究所のホームページで公表しており、契約事務の透明性、公平性の確保を図った。

また、令和 4 年度の契約においても契約監視委員会を開催し点検を行った。

(4) 無駄の削減等に関する自律的な取組

「業務効率化検討委員会」のほか、各研究所においても業務改善等を目的とした委員会を設置し、調達等の手続きに係る運用の改善や簡素化といった事務手続きの見直しや、電力使用量抑制等の無駄の削減に積極的に取り組んだ。

### 第3章 財務内容の改善に関する目標を達成するために とるべき措置

【中長期目標】

(1) 中長期計画予算の作成

運営費交付金を充当して行う事業については、「第4 業務運営の効率化に関する事項」で定めた事項について配慮した中長期計画の予算を作成し、当該予算による運営を行う。

(2) 運営費交付金以外の収入の確保

知的財産権の活用などにより、適切な水準の自己収入を確保する。

(3) 業務達成基準による収益化

独立行政法人会計基準の改訂(平成12年2月16日独立行政法人会計基準研究会策定、平成27年1月27日改訂)等により、運営費交付金の会計処理として、業務達成基準による収益化が原則とされたことを踏まえ、収益化単位の業務ごとに予算と実績を管理する体制を構築する。

【中長期計画】

運営費交付金を充当して行う事業については、「第2 業務運営の効率化に関する目標を達成するためにとるべき措置」で定めた事項を踏まえ、以下の項目について計画し、適正にこれらの計画を実施するとともに、経費の抑制に努める。

1. 予算、収支計画及び資金計画

(1) 予算 平成28年度～平成34年度予算

(単位:百万円)

区 別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合 計
<b>収入</b>				
運営費交付金	18,207	8,228	10,054	36,489
施設整備費補助金	3,895	3,299	947	8,142
受託等収入	3,893	7,867	1,214	12,975
政府出資金		1,000		1,000
計	<b>25,995</b>	<b>20,394</b>	<b>12,216</b>	<b>58,605</b>
<b>支出</b>				
業務経費	3,519	2,555	5,417	11,490
施設整備費	3,895	3,299	947	8,142
受託等経費	3,325	7,350	1,030	11,704
一般管理費	729	576	292	1,598
人件費	14,528	6,614	4,530	25,672
計	<b>25,995</b>	<b>20,394</b>	<b>12,216</b>	<b>58,605</b>

(注) 単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

[人件費の見積り]

中長期目標期間中総額 20,616 百万円を支出する。

当該人件費の見積りは、予算表中の人件費の内、役員報酬並びに職員基本給、職員諸手当及び超過勤務手当の費用である。(任期付研究員人件費等を除く。)

[運営費交付金の算定ルール]

(省略)

[注記]

退職手当については、役員退職手当支給規程及び職員退職手当支給規程に基づいて支給することとなるが、その全額について、運営費交付金を財源とするものと想定している。

## (2) 収支計画 平成28年度～平成34年度予算収支計画

(単位:百万円)

区 別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合 計
<b>費用の部</b>	<b>23,930</b>	<b>16,321</b>	<b>13,216</b>	<b>53,467</b>
経常費用	23,930	16,321	13,214	53,465
研究業務費	15,100	6,561	8,697	30,358
受託等業務費	3,325	7,350	1,030	11,704
一般管理費	3,676	2,185	1,475	7,336
減価償却費	1,830	226	2,012	4,068
財務費用	0	0	2	2
臨時損失	0	0	0	0
<b>収益の部</b>	<b>23,930</b>	<b>16,321</b>	<b>13,216</b>	<b>53,467</b>
運営費交付金収益	18,207	8,228	10,054	36,489
手数料収入	0	0	0	0
受託等収入	3,893	7,867	1,214	12,975
寄付金収益	0	0	0	0
資産見返負債戻入	1,830	226	1,947	4,003
臨時利益	0	0	0	0
<b>純利益</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>目的積立金取崩額</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>総利益</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

(注) 単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

## (3) 資金計画 平成28年度～平成34年度資金計画

(単位:百万円)

区 別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合 計
<b>資金支出</b>	<b>25,995</b>	<b>20,394</b>	<b>12,216</b>	<b>58,605</b>
業務活動による支出	22,100	17,095	11,204	50,399
投資活動による支出	3,895	3,299	947	8,142
財務活動による支出	0	0	65	65
次期中長期目標の期間への繰越金	0	0	0	0
<b>資金収入</b>	<b>25,995</b>	<b>20,394</b>	<b>12,216</b>	<b>58,605</b>
業務活動による収入	22,100	16,095	11,268	49,464
運営費交付金による収入	18,207	8,228	10,054	36,489
受託収入	3,596	7,175	1,189	11,961
その他収入	297	692	25	1,014
投資活動による収入	3,895	3,299	947	8,142
施設整備費補助金による収入	3,895	3,299	947	8,142
その他の収入	0	0	0	0
財務活動による収入	0	1,000	0	1,000
政府出資金の受入による収入	0	1,000	0	1,000
前期中期目標の期間より繰越金	0	0	0	0

(注) 単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。



2. 運営費交付金以外の収入の確保

知的財産権の活用などにより、適切な自己収入を確保する。

3. 業務達成基準による収益化

独立行政法人会計基準の改訂(平成 12 年2月 16 日独立行政法人会計基準研究会策定、平成 27 年1月 27 日改訂)等により、運営費交付金の会計処理として、業務達成基準による収益化が原則とされたことを踏まえ、収益化単位の業務ごとに予算と実績を管理する体制を構築する。

4. 短期借入金の限度額

予見しがたい事故等の事由に限り、資金不足となる場合における短期借入金の限度額は、13 億円とする。

5. 不要財産の処分に関する計画

特になし

6. 財産の譲渡又は担保に関する計画

特になし

7. 剰余金の使途

- ・研究費
- ・研究基盤・研究環境の整備、維持
- ・研究活動の充実
- ・業務改善に係る支出のための財源
- ・職員の資質向上のための研修等の財源
- ・知的財産管理、技術移転に係る経費
- ・国際交流事業の実施(招聘、セミナー、国際会議等の開催)
- ・出資の活用を含めた成果の普及

【年度計画】

(1) 予算、収支計画及び資金計画

(1) 予算

(単位:百万円)

区 別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合 計
<b>収入</b>				
運営費交付金	2,545	1,220	1,349	5,114
施設整備費補助金	0	0	0	0
受託等収入	570	1,143	178	1,891
計	<b>3,114</b>	<b>2,363</b>	<b>1,527</b>	<b>7,004</b>
<b>支出</b>				
業務経費	491	201	717	1,409
施設整備費	0	0	0	0
受託等経費	471	1,068	145	1,684
一般管理費	119	93	40	252
人件費	2,034	1,002	624	3,660
計	<b>3,114</b>	<b>2,363</b>	<b>1,527</b>	<b>7,004</b>

(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 4 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
<b>費用の部</b>	<b>3,376</b>	<b>2,395</b>	<b>1,805</b>	<b>7,576</b>
経常費用	3,376	2,395	1,805	7,576
研究業務費	2,109	833	1,168	4,110
受託等業務費	471	1,069	145	1,685
一般管理費	534	462	203	1,199
減価償却費	261	32	287	581
財務費用	0	0	0	0
臨時損失	0	0	0	0
<b>収益の部</b>	<b>3,376</b>	<b>2,395</b>	<b>1,805</b>	<b>7,576</b>
運営費交付金収益	2,545	1,220	1,349	5,114
手数料収入	0	0	0	0
受託等収入	570	1,143	178	1,891
寄付金収益	0	0	0	0
資産見返負債戻入	261	32	278	572
臨時利益	0	0	0	0
<b>純利益</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>目的積立金取崩額</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>総利益</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

(注) 単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

(3) 資金計画

(単位:百万円)

区 別	船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術分野	港湾・航路、海岸及び飛行場等に係る技術分野	電子航法分野	合 計
<b>資金支出</b>	<b>3,114</b>	<b>2,363</b>	<b>1,527</b>	<b>7,004</b>
業務活動による支出	3,114	2,363	1,527	7,004
投資活動による支出	0	0	0	0
財務活動による支出	0	0	0	0
次期中長期目標の期間への繰越金	0	0	0	0
<b>資金収入</b>	<b>3,114</b>	<b>2,363</b>	<b>1,527</b>	<b>7,004</b>
業務活動による収入	3,114	2,363	1,527	7,004
運営費交付金による収入	2,545	1,220	1,349	5,114
受託収入	526	1,044	174	1,745
その他収入	43	99	4	146
投資活動による収入	0	0	0	0
施設整備費補助金による収入	0	0	0	0
その他の収入	0	0	0	0

財務活動による収入	0	0	0	0
前期中期目標の期間より繰越金	0	0	0	0

(注)単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

(2) 運営費交付金以外の収入の確保

知的財産権の活用などにより、自己収入を確保する。

(3) 短期借入金の限度額

予見しがたい事故等の事由に限り、資金不足となる場合における短期借入金の限度額は、13億円とする。

(4) 不要財産の処分に関する計画

特になし

(5) 財産の譲渡又は担保に関する計画

特になし

(6) 剰余金の使途

- ・研究費
- ・研究基盤・研究環境の整備、維持
- ・研究活動の充実
- ・業務改善に係る支出のための財源
- ・職員の資質向上のための研修等の財源
- ・知的財産管理、技術移転に係る経費
- ・国際交流事業の実施(招聘、セミナー、国際会議等の開催)等

◆年度計画における目標設定の考え方

予算、収支計画及び資金計画については、中長期計画を策定した際の考え方を基本として作成した。

短期借入をすることは想定していないが、緊急に資金を必要とする事案が発生しないとは断定できなかったため、1,300百万円の限度額を設定した。

財産の譲渡又は担保にすることは想定していない。

剰余金については、中長期計画に従って確実に処理することを想定している。

◆当該年度の取組状況

1. 運営費交付金を充当して行う事業

令和4年度は、運営費交付金を充てるべき支出のうち206百万円を自己収入から充当するよう査定を受けた予算になっているが、受託等収入からこの金額を捻出し、年度計画を確実に達成した。

また、純利益は541百万円となり、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2百万円と合わせて総利益は543百万円となっている。これは、令和4年度に自己財源で取得した固定資産及び最終年度においての運営費交付金の収益化が主な要因である。

## (1) 予算

表 3.1.1

(単位:百万円)

区 分	年度計画	実績
収入		
運営費交付金	5,114	6,046
施設整備費補助金	0	0
先進船舶・造船技術研究 開発費補助金	0	0
受託等収入	1,891	4,673
計	<b>7,004</b>	<b>10,719</b>
支出		
業務経費	1,409	4,675
施設整備費	0	126
先進船舶・造船技術研究 開発費補助金	0	0
受託等経費	1,684	4,136
一般管理費	252	700
人件費	3,659	3,684
計	<b>7,004</b>	<b>13,321</b>

## (2) 収支計画

表 3.1.2

(単位:百万円)

区 分	年度計画	実績
費用の部	<b>7,576</b>	<b>12,351</b>
経常費用	7,576	12,310
研究業務費	4,110	6,379
受託等業務費	1,685	3,441
一般管理費	1,199	1,524
減価償却費	581	967
雑損	0	29
財務費用	0	0
臨時損失	0	12
収益の部	<b>7,576</b>	<b>12,892</b>
運営費交付金収益	5,114	7,716
手数料収入	0	76
受託等収入	1,891	4,718
寄付金収益	0	6
資産見返負債戻入	572	331
臨時利益	0	45
純利益	<b>0</b>	<b>541</b>
目的積立金取崩額	<b>0</b>	<b>0</b>
前中期目標期間繰越積立金取崩額	<b>0</b>	<b>2</b>
総利益	<b>0</b>	<b>543</b>

(3)資金計画

表 3.1.3

(単位:百万円)

区 分	年度計画	実績
資金支出	<b>7,004</b>	<b>12,004</b>
業務活動による支出	7,004	10,614
投資活動による支出	0	1,377
財務活動による支出	0	13
次期中長期目標の期間への繰越金	<b>0</b>	0
資金収入	<b>7,004</b>	<b>10,639</b>
業務活動による収入	7,004	10,609
運営費交付金による収入	5,114	6,046
受託収入	1,745	4,248
その他収入	146	315
投資活動による収入	0	31
施設整備費補助金による収入	0	31
その他収入	0	0
財務活動による収入	0	0
前期中長期目標の期間よりの繰越金	0	0

2. 運営費交付金以外の収入の確保

運営費交付金以外の収入として、研究成果の普及・広報活動を精力的に展開しつつ、知的財産権の活用などにより、自己収入の確保に努めた。具体的には、受託研究、外部資金受入型の共同研究及び競争的資金など運営費交付金以外の外部資金による研究開発については、受託研究等 233 件、競争的資金 115 件の合計 348 件を実施し、3,766 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、55 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、研究における不正等が起きないように、研究員を含む役職員に対しコンプライアンスに係る研修を行うなどの取組を強化するとともに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、法人のミッションや理事長の指示が組織内に徹底される仕組みなどの内部統制システムを整備する。また、研究所が国立研究開発法人として発展していくため、研究所の組織全体としても、個々の研究者としても、研究活動における不正行為の防止、不正行為への対応、倫理の保持、法令遵守等について徹底した対応をとるとともに、研究所としての機能を確実に果たしていく。

さらに、昨今の社会情勢を鑑みれば、個人情報等の保護についても徹底を図っていくことは重要であり、事務室等のセキュリティを確保するとともに、「サイバーセキュリティ戦略」（平成27年9月4日閣議決定）等の政府の方針を踏まえ、適切な情報セキュリティ対策を推進する。

### (2) 人事に関する事項

職員の専門性を高めるための能力開発の実施等により若手研究者等の育成を進めるとともに、職員の勤務成績を考慮した人事評価の適切な実施等により能力本位の公正で透明性の高い人事システムを確立し、卓越した研究者等の確保を図る。

また、達成すべきミッションと統合的な人材育成及び登用方針を明確化する。

### (3) 外部有識者による評価の実施、反映に関する事項

研究分野における業務計画、運営、業績については、目標の達成状況を随時把握し、必要に応じ研究開発の継続そのものに関する助言や指導を行う外部有識者から構成される研究評価体制を構築し、評価結果に基づいて研究資源の適時・適切な配分や研究開発業務の重点化を図るなど評価結果を積極的に活用する。

### (4) 情報公開の促進に関する事項

研究所の適正な運営と国民からの信頼を確保するため、適切かつ積極的に情報の公開を行う。

### (5) 施設・設備の整備及び管理等に関する事項

業務の確実な遂行のために必要な研究施設の計画的整備、維持、補修に努めるとともに、効率的に運営する。また、保有資産の必要性についても不断に見直しを行う。

(※) 上記目標の評価は、別紙に掲げる評価軸等に基づいて実施することとする。

## 【中長期計画】

### 1. 内部統制に関する事項

内部統制については、「独立行政法人の業務の適正を確保するための体制等の整備」について（平成26年11月28日行政管理局長通知）に基づき、業務方法書に定めた事項の運用を確実に図る。また、研究における不正等が起きないように関係規程の充実を図るとともに、研究員を含む役職員に対し、内部統制に係る研修を行う。

さらに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、法人のミッションや理事長の指示が組織内に徹底される仕組みとして内部統制推進に関する委員会を設置し、適切に運用する。

研究所が国立研究開発法人として発展していくためには、独立行政法人制度や国の制度等の様々なルールを遵守し適切に行動していく必要がある。研究所の組織全体としても、個々の研究者としても、研究活動における不正行為の防止、不正行為への対応、倫理の保持、法令遵守等について徹底した対応をとる。

個人情報等の保護を徹底するため、事務室等のセキュリティを確保するとともに、「サイバーセキュリティ戦略」（平成27年9月4日閣議決定）等の政府の方針を踏まえ、情報セキュリティポリシーを定め、適切な情報セキュリティ対策を実施する。

### 2. 人事に関する事項

職員の専門性を高めるための能力開発の実施等により若手研究者等の育成を進めるとともに、職員の勤

務成績を考慮した人事評価の適切な実施等により能力本位の公正で透明性の高い人事システムを確立し、卓越した研究者等の確保を図る。

また、達成すべきミッションと整合的な人材育成及び登用方針を策定する。

### 3. 外部有識者による評価の実施・反映に関する事項

研究分野における業務計画、運営、業績については、目標の達成状況を随時把握し、必要に応じ研究開発の継続そのものに関する助言や指導を受けるため、外部有識者から構成される評価委員会等による研究評価体制を構築する。評価結果については、研究資源の適時・適切な配分に反映させ、研究成果の質の向上を図るとともに、研究開発業務の重点化を図る。また評価のプロセス、評価結果等を研究所のホームページへの掲載等を通じて公表し、透明性を確保する。

### 4. 情報公開の促進に関する事項

研究所の適正な運営と国民からの信頼を確保するため、情報公開窓口を設置するなど、適切かつ積極的に情報の公開を行う。

### 5. 施設・設備の整備及び管理等に関する事項

業務の確実な遂行のため、中長期目標期間中に別表4に掲げる施設を整備・改修する。また、既存の施設・設備を適切に維持管理していくため、必要な経費の確保に努めるとともに、効率的に施設を運営する。また、保有資産の必要性についても不断に見直しを行う。

### 6. 積立金の処分に関する事項

旧海上技術安全研究所、旧港湾空港技術研究所及び旧電子航法研究所の前中期目標期間繰越積立金は、前中期目標期間中に自己収入財源で取得し、研究所の当中長期目標期間へ繰り越した有形固定資産の減価償却に要する費用等に充当する。

## 【年度計画】

### (1) 内部統制に関する事項

内部統制については、「独立行政法人の業務の適正を確保するための体制等の整備」について（平成26年11月28日行政管理局長通知）に基づき、業務方法書に定めた事項の運用を確実に図る。また、研究における不正等が起きないように関係規程の充実を図るとともに、研究員を含む役職員に対し、コンプライアンス違反防止のための研修を2回以上行う。

さらに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、法人のミッションや理事長の指示が組織内に徹底される仕組みとして内部統制推進に関する委員会を適切に運用する。

研究所が国立研究開発法人として発展していくためには、独立行政法人制度や国の制度等の様々なルールを遵守し適切に行動していく必要があることから、研究所の組織全体としても、個々の研究者としても、研究活動における不正行為の防止、不正行為への対応、倫理の保持、法令遵守等について徹底を図る。

個人情報等の保護を徹底するため、事務室等のセキュリティを確保するとともに、「サイバーセキュリティ戦略」（平成27年9月4日閣議決定）等の政府の方針を踏まえ、適切な情報セキュリティ対策を実施する。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。令和元年度に試行し、コロナ対策として令和2年度に本格的に実施したテレワークについて、多様な働き方を定着させる観点から推進する。（第2(2)業務の電子化の再掲）。

### (2) 人事に関する事項

職員の専門性を高めるための能力開発の実施等により若手研究者等の育成を進めるとともに、職員の勤務成績を考慮した人事評価の適切な実施等により卓越した研究者等の確保を図る。



(3) 外部有識者による評価の実施・反映に関する事項

研究分野における業務計画、運営、業績については、目標の達成状況を随時把握し、必要に応じ研究開発の継続そのものに関する助言や指導を受けるため、外部有識者から構成される評価委員会等による研究評価を受ける。

評価結果については、研究資源の適時・適切な配分に反映させ、研究成果の質の向上を図るとともに、研究開発業務の重点化を図る。また評価のプロセス、評価結果等を研究所のホームページへの掲載等を通じて公表し、透明性を確保する。

また、本年度計画期間中に3回以上の外部有識者からの研究評価を実施する。

(4) 情報公開の促進に関する事項

研究所の適正な運営と国民からの信頼を確保するため、情報公開窓口や、ホームページを活用し、適切かつ積極的に情報の公開を行う。

(5) 施設・設備の整備及び管理等に関する事項

業務の確実な遂行のため、別表4に掲げる施設を整備・改修する。また、既存の施設・設備を適切に維持管理していくため、必要な経費の確保に努めるとともに、効率的に施設を運営する。また、保有資産の必要性についても不断に見直しを行う。

(単位:百万円)

施設整備等の内容	予算額	
研究開発の実施に必要な業務管理施設、実験設備の整備・改修及びその他管理施設の整備・改修	0	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 施設整備費補助金
① 船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する研究開発等	0	
② 港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等	0	
③ 電子航法に関する研究開発等	0	

(注)単位未満を四捨五入しているため合計額が合わない場合がある。

[注記]

施設・設備の内容、予定額については見込みであり、中長期計画を実施するために必要な業務や老朽状況等勘案した施設・設備の改修等の追加等変更することもある。

◆当該年度の取組状況

1. 内部統制に関する事項

(1) 内部統制の推進

内部統制について、業務方法書に定めた事項の運用を確実に図るとともに、内部統制機能が確実に発揮されるよう、「内部統制の推進及びリスク管理に関する規程」を整備し、研究所における内部統制及びリスク管理に関する事項の報告、改善策の検討及び各管理責任者間における連絡及び調整を行う組織とし

て、内部統制・リスク管理委員会を引き続き設置し、適切な運用を行った。

令和4年度は、同委員会において、研究所のコンプライアンスマニュアルの見直しを行うとともに、研究所全体の重要リスクについて把握及び分析を行い、適正な業務を確保するために取り組んだ。

また、内部監査について、内部統制システムの中のモニタリング機能としてその役割を適正かつ効果的に発揮させるため、第2期中長期目標期間開始から理事長のもとに各研究所から独立した監査室を新設することとし、そのために必要となる通達を令和5年3月28日に制定するなど内部統制の強化を検討した。

## (2)コンプライアンス違反防止のための取組

令和4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4年度においては、上記研究倫理研修や内部監査を実施するなど不正防止の徹底を図った。

## (4)個人情報等保護に関する取組

情報セキュリティポリシーを整備し適切な運用を行った。令和4年度においては、個人情報保護研修及び情報セキュリティに関する教育・訓練を実施するとともに、事務室について施錠を徹底する等、セキュリティの確保による個人情報の保護に取り組んだ。

## (5)テレワークの定着

新型コロナウイルス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 4 年度においては、「船舶に係る技術及びこれを活用した海洋の利用等に係る技術に関する評価」、「港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する評価」及び「電子航法に関する評価」をそれぞれ実施し、合計 3 回の外部有識者による評価委員会を開催した。

評価の結果については、研究資源の適時・適切な配分に反映させることで、研究開発業務の重点化等に活用しており、各研究所のホームページで公表した。

#### 4. 情報公開の促進に関する事項

ホームページにおいて、法令等で公開することとされている各規程・計画等を公表している。同様に、情報公開窓口及び手続きに関して周知しており、適切かつ積極的に情報の公開を行っている。

#### 5. 施設・設備の整備及び管理等に関する事項

施設・設備の整備及び管理等については、施設整備費補助金により実施するとともに、既存の施設・設備の適切な維持管理のため、自己収入による財源の確保に努めている。

また、効率的な施設の運営のための具体的な取り組みとして、円滑な使用・管理・運営のために主要研究施設の必要なメンテナンス等を行うことにより適切な維持管理を実施するとともに、研究所の研究活動に影響を及ぼさない範囲における外部利用の実施を行った。

さらに、保有資産の必要性の見直しを進めるため、保有施設に関して毎年度使用状況調査を実施し、必要に応じて減損を認識することとした。