



内航カーボンニュートラルの実現に向けた
新技術の安全評価手法の構築
(フェーズ 2)
2024 年度成果報告書



2025 年 3 月

一般財団法人日本船舶技術研究協会

目次

1.	事業の概要	1
1.1	目的	1
1.2	目標	1
1.3	事業内容	1
1.4	委員会の設置	2
2.	トリプル連結バージの標準安全評価手法の構築	4
2.1	斜波中曳航試験の実施	4
2.2	ミュレータの作成	4
2.3	切り離されたバージの遠隔操縦システム	4
2.3.1	遠隔操縦システムの模型試験	4
2.3.2	実海域試験に向けた予備試験	4
2.3.3	実海域試験の試験方案及び遠隔操縦装置とポンプジェットの接続試験	4
2.3.4	実証実験に使用するバージの改造図等の作成及び推進システムを搭載したブロック等の製作	4
3.	トリプル連結バージ活用の事業性評価	5
4.	新コンセプト船の代替設計のための安全評価手法の構築	5
4.1	水素燃料電池船ガイドラインにおける IEC 60079-10-1 活用のための追加資料の作成	5
4.2	タンカーにおける荷役設備の遠隔操作に関する技術資料の作成	5
5.	まとめ	5
添付資料 1	内航 CN 実現に向けた新技術の安全評価手法の検討委員会 名簿	7
添付資料 2	斜波中曳航試験の実施	11
添付資料 3	ミュレータの作成	25
添付資料 4	遠隔操縦システムの模型試験	31
添付資料 5	実海域試験に向けた予備試験	39
添付資料 6	実海域試験の試験方案及び遠隔操縦装置とポンプジェットの接続試験	49
添付資料 7	実証実験に使用するバージの改造図等の作成及び推進システムを搭載したブロック等の製作	55
添付資料 8	トリプル連結バージの運航コスト試算（分析）	73
添付資料 9	水素燃料電池船ガイドラインにおける IEC 60079-10-1 活用のための追加資料	83
添付資料 10	タンカーにおける荷役設備の遠隔操作に関する技術資料	91

1. 事業の概要

1.1 目的

※日本財団助成申請書からの転載

内航カーボンニュートラル実現に向けた取組みが進められており、環境整備として安全基準の策定が重要となる。一方、内航船安全基準は大型外航船の条約がベースとなっており、小型内航船への新技術の導入等にあたって同等安全証明（安全評価）が必要となることが多い。しかし、それらを内航船建造の小型造船所が行うこと、特に高度な証明が必要な新コンセプト船の安全評価を行うことは困難であるため、内航カーボンニュートラルに向けた新技術や新コンセプト船の標準的な安全評価手法を構築し、脱炭素化・船舶産業の発展の一助とする。

1.2 目標

※日本財団助成申請書からの転載

（1）本事業の達成目標

カーボンニュートラル実現に向けた新技術や新コンセプト船標準的な安全評価手法を構築するため、「内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築（フェーズ1）」において、水素燃料船の安全評価及びトリプル連結バージ等の新コンセプト船の安全評価を行った。このうち、新コンセプト船の一つであるトリプル連結バージについては、概念設計、水槽試験、シミュレーション等を通じて、基礎的な安全評価を行ったが、本コンセプトの社会実装のためには実証実験及び事業性評価が必要となっている。また、フェーズ1の事業を通じて、新たなコンセプトの水素燃料船など更に評価の必要な新技術が明らかになっている。

このため、内航カーボンニュートラルに向けた環境整備の一つとして、トリプル連結バージ及び新コンセプト船の標準的な安全評価手法を構築する。

（2）期待される効果

内航海運のCO₂排出量は約1,038万t-CO₂（2019年度）で運輸部門の4.9%・日本全体の0.91%を占める。近年の排出量は微減傾向にあるが、「2050年のカーボンニュートラル実現」を達成するには、カーボンニュートラルに向けた新技術や新コンセプト船の普及が不可欠である。本事業で標準安全評価手法を構築することにより、カーボンニュートラル実現に向けた新技術や新コンセプト船の本格普及が進むことで、国内の脱炭素化の進展が期待されるだけでなく、新技術や新コンセプト船の社会実装化は、我が国が船舶産業の発展を促すこととなる。

1.3 事業内容

（1）トリプル連結バージの標準安全評価手法の構築

- ・トリプル連結バージの実証研究
- ・切り離しバージの港内遠隔運航の安全評価（模型実験・実海域実験準備）

(2) トリプル連結バージ活用の事業性評価

- ・トリプル連結バージ活用のユースケース検討・コスト試算（分析）

(3) 新コンセプト船の代替設計のための安全評価手法の構築

- ・水素燃料船の安全評価
- ・タンカーでの荷役作業自動化システムの安全評価

1.4 委員会の設置

本事業を円滑に遂行するために、外部有識者及び関係者等からなる「内航 CN 実現に向けた新技術の安全評価手法の検討委員会」を設置し、標準安全評価手法等の検討を実施した。

添付資料 1 に委員会の名簿を示す。

図 1.1 に背景・架台、事業概要、事業計画、スケジュール等の本事業の概要を示す。

背景・課題

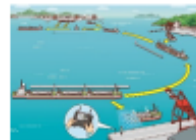
- 世界的な脱炭素化が進む中、国内も**2050年のカーボンニュートラル実現に向け官民をあげた取組みが進行**。外航海運は既に国際海事機関で検討されているが、国内物流を支える内航海運は検討がはじまったばかり。国交省の検討会・日本財団のZERO EMISSION 2050を受け、内航カーボンニュートラル実現の環境整備が今後進められる予定。
- 環境整備の一つである**カーボンニュートラル船の安全基準**は、外航大型船の条約基準策定をベース進行。カーボンニュートラル実現に向けた技術の導入実績が少ない中、**内航船建造の小型造船所が安全評価を行うのは困難な状況**にあり、499GT級等の内航太宗船の代替燃料化のための新コンセプト船に必要な代替設計承認のための安全評価の実施はさらに困難。
- 内航カーボンニュートラルの実現に向けた**新技術の安全評価手法を構築するための研究開発**を実施。

2024年度事業計画

実施期間 フェーズ1：2022～2023年度
フェーズ2：2024～2025年度
予算 フェーズ1：約80百万円(100%助成)
フェーズ2：約100百万円(100%助成)

事業内容（フェーズ2）

- トリプル連結バージの標準安全評価手法の構築（切り離しバージの港内遠隔運航の安全検証）
- トリプル連結バージの事業性評価・活用提言
- 新コンセプト船の代替設計のための安全評価手法の構築（水素燃料等）



「内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築（フェーズ2）」実施スケジュール表

	2024年度				2025年度			
	4～6月	7～9月	10～12月	1～3月	4～6月	7～9月	10～12月	1～3月
(1) トリプル連結バージの標準安全評価手法の構築								
a. トリプル連結バージの実証研究	■	■	■	■				
b. 切り離しバージの港内遠隔運航の安全評価（模型実験）	■	■	■	■				
c. 切り離しバージの港内遠隔運航の安全評価（実海域実験）				■	■	■	■	■
(2) トリプル連結バージの事業性評価・活用提言								
a. トリプル連結バージ活用のユースケース検討・コスト試算	■	■	■	■				
b. トリプル連結バージ活用のベストプラクティス検討及び提言					■	■	■	■
(3) 新コンセプト船の代替設計のための安全評価手法の構築								
a. 水素燃料船の安全評価	■	■	■	■	■	■	■	■
b. タンカーの船内電化・自動化システムの安全評価	■	■	■	■				

図 1.1 本事業の概要

2. トリプル連結バージの標準安全評価手法の構築

2.1 斜波中曳航試験の実施

トリプル連結バージに関し、斜波中曳航試験を実施し、船体に作用する全体荷重及び全体モーメント並びに連結部に作用する荷重及びモーメントを計測するとともに、その計測データに基づき、連結部に作用するねじりモーメント等の推定方法を検討した。

添付資料 2 にその実施内容を示す。

2.2 シミュレータの作成

トリプル連結バージの操船性や操船者の視認性を確認するため、操船シミュレータを作成した。

添付資料 3 にシミュレータの作成に関する実施内容を示す。

2.3 切り離されたバージの遠隔操縦システム

2.3.1 遠隔操縦システムの模型試験

遠隔操縦システムの操作性を確認するため、船首及び船尾に推進方向を変化させることができるスラスタを装備した模型バージと陸上用遠隔操縦システムによる水槽試験を実施した。更に、2025 年度に実施を計画している実海域試験（以下「実海域試験」という。）の準備段階として、安全対策プログラム及び自船位置確認プログラムを作成し、本模型バージによる作動確認を行った。

添付資料 4 にその実施内容を示す。

2.3.2 実海域試験に向けた予備試験

海上において、小型船舶を用いて、産業用タブレットによる遠隔操船試験並びに LTE(4G)や低軌道衛星を利用した通信（Starlink 又は OneWeb）の試験を行い、基本動作を確認するとともに、それらの結果を取りまとめた。また、合わせて、安全対策プログラム及び自船位置確認プログラムの佐合確認を行った。

添付資料 5 にその実施内容を示す。

2.3.3 実海域試験の試験内容及び遠隔操縦装置とポンプジェットの接続試験

実海域試験の実施に向けて、試験内容、必要機材等について取りまとめた試験方案を作成した。また、実海域試験に向けて、遠隔操縦装置とポンプジェットの接続試験を行った。

添付資料 6 にその実施内容を示す。

2.3.4 実証実験に使用するバージの改造図等の作成及び推進システムを搭載したブロック等の製作

「内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築」事業で 2023 年度に作成した試験用バージの一般配置図、諸管系統図等に基づき、造船所において工事するための改造図（構造図、配管図、艀装図等）及び試験用バージの臨時航行検査に必要な図面（救命・消防設備配置図等）を作成した。

添付資料 7 にその実施内容を示す。

3. トリプル連結バージ活用の事業性評価

3.1 トリプル連結バージ活用のユースケース検討・コスト試算（分析）

トリプル連結バージ活用の事業性評価を行うため、ユースケース（運航モデル）を検討し、運航コストの試算（分析）を行った。

添付資料 8 にその実施内容を示す。

4. 新コンセプト船の代替設計のための安全評価手法の構築

4.4.1 水素燃料電池船ガイドラインにおける IEC 60079-10-1 活用のための追加資料作成

国土交通省海事局が作成した「水素燃料電池船の安全ガイドライン」に基づき水素燃料電池船の閉鎖区画の代替設計を行う際に、危険区域の設定について IEC 60079-10-1 を活用することの妥当性を検証した。

添付資料 9 にその実施内容を示す。

4.4.2 タンカーにおける荷役設備の遠隔操作に関する技術資料の作成

内航船タンカー（1000GT 未満）をモデル船として、荷役設備の遠隔監視並びに遠隔操作について必要な次の技術資料を作成する。

- ① 荷役設備の仕様
- ② 遠隔操作の導入の課題と解決策

添付資料 10 にその実施内容を示す。

5. まとめ

内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築のために、本年度次を実施した。

(1) トリプル連結バージの標準安全評価手法の構築

- ① 斜波中曳航試験の実施
- ② シミュレータの作成
- ③ 切り離されたバージの遠隔操縦システム
 - ・ 遠隔操縦システムの模型試験
 - ・ 実海域試験に向けた予備試験
 - ・ 実海域試験の試験方案及び遠隔操縦装置とポンプジェットの接続試験
 - ・ 実証実験に使用するバージの改造図等の作成及び推進システムを搭載したブロック等の製作

(2) トリプル連結バージの運航コスト分析

(3) 新コンセプト船の代替設計のための安全評価手法の構築

- ① 水素燃料電池船ガイドラインにおける IEC 60079-10-1 活用のための追加資料作成
- ② タンカーにおける荷役設備の遠隔操作に関する技術資料の作成

本事業は、2025年度まで継続するものであり、安全評価手法の構築により、もって内航カーボンニュートラルの実現に向けた環境整備の一助となれば幸いである。

添付資料 1

内航 CN 実現に向けた新技術の安全評価手法の検討委員会 名簿

2024年度 内航CN実現に向けた新技術の安全評価委員会 名簿

2025年3月現在

	氏名	勤務先
委員長	1 平田 宏一	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 特別研究主幹
委員	2 松尾 俊彦	大阪商業大学 総合経営学部 教授
	3 津守 貴之	国立大学法人岡山大学 大学院社会文化科学学域 教授
	4 南 健悟	慶應義塾大学 法学部 教授
	5 井原 智則	国立大学法人東京海洋大学 学術研究院 海洋電子機械工学部門 准教授
	6 佐野 将昭	国立大学法人広島大学 大学院先進理工系科学研究科 輸送・環境システムプログラム 海上輸送システム研究室 准教授
	7 伊崎 朋康	独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 審議役
	8 迫 洋輔	日本小型船舶検査機構 業務部 検査検定課 課長
	9 平野 博嗣	一般財団法人日本海事協会 技術部
	10 西村 洋佑	一般財団法人日本造船技術センター 海洋技術部 技術課長
	11 諸岡 純	NSユナイテッド内航海運株式会社 営業二部 製品・一般チーム 次長 営業二部 製品・一般チーム
	12 土澤 基直	株式会社商船三井 技術ユニット シニアスペシャリスト
	13 小林 裕史	株式会社商船三井内航 環境安全管理部 アシスタントマネージャー
	14 加藤 淳	日本郵船株式会社 工務グループ グリーン技術チーム チーム長
	15 佐々木 高幸	一般社団法人日本造船工業会 技術部長
	16 深澤 敏史	川崎重工業株式会社 エネルギーソリューション & マリンカンパニー 船舶海洋デバイス 技術総括部 新事業推進部長
	17 山元 康博	株式会社名村造船所 船舶海洋事業部 設計本部 技術開発センター長
	18 中田 崇	三井E&S造船株式会社 設計部 開発グループ 主管
	19 初田 広樹	三菱造船株式会社 マリンエンジニアリングセンター 船舶技術部 計画1グループ 商船設計チーム 主任
	20 洲之内 満彦	一般社団法人日本中小型造船工業会 技術部長 兼 企画調査室長
	21 日高 豊	佐伯重工業株式会社 取締役 設計部 部長 兼 装置開発事業部 部長
	22 本瓦 誠	本瓦造船株式会社 代表取締役 社長
	23 文屋 孝哉	一般社団法人日本船用工業会 技術部長
	24 藤田 勝也	株式会社赤阪鐵工所 事業企画室 顧問
	25 戸松 憲治	商船三井テクノトレード株式会社 水素ビジネスデザイン部 テクニカルアドバイザー
	26 加藤 雄一	ナカシマプロペラ株式会社 装置設計部 部長
	27 清河 勝美	ヤンマーパワーテクノロジー株式会社 特機事業部 システムエンジニアリング部 部長
	28 岡田 成弘	岡田石材株式会社 代表取締役 社長
	29 藏本 由紀夫	吉祥海運株式会社 代表取締役
	30 浦山 秀大	株式会社雄和海運 代表取締役
	31 玉島 正裕	流体テクノ株式会社 代表取締役
	32 佐田 健治	新タイセイ・エンジニアリング株式会社 代表取締役 社長
	33 塩坂 裕司	三井住友海上火災保険株式会社 グローバル損害サポート部 部長
	34 渡邊 慶太	一般社団法人内航ミライ研究会 理事
	関係者	35 大坪 和久
36 渡邊 充史		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 海洋開発系 海洋システム研究グループ 主任研究員
37 奥田 隆輔		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 海洋開発系 海洋システム研究グループ 研究員
38 池田 淳		日鉄物流株式会社 内航海運本部 船舶管理部 部長
関係官庁	39 杉山 功	国土交通省 海事局 船員政策課 課長補佐
	40 松本 友宏	国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 技術企画室長
	41 森吉 直樹	国土交通省 海事局 安全政策課 船舶安全基準室 補佐
	42 芝崎 紀正	国土交通省 海事局 検査測度課 船舶検査官
	43 児玉 敦文	国土交通省 中国運輸局海上安全環境部 首席海事技術専門官 (船舶検査官)
	44 今岡 宏治	国土交通省 中国運輸局尾道海事事務所 次席海事技術専門官 (船舶検査官)
事務局	45 平原 祐	一般財団法人日本船舶技術研究協会 参与
	46 大橋 将太	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ長
	47 井下 聡	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ ユニット長
	48 長崎 智幸	一般財団法人日本船舶技術研究協会 研究開発グループ研究開発ユニット

添付資料 2

斜波中曳航試験の実施

斜波中曳航試験結果

1

1. 斜波中曳航試験

● 検討背景・目的

- 内航海運のカーボンニュートラル実現の環境整備のために、一般財団法人 日本船舶技術研究協会において2023年度より、カーボンニュートラル実現に向けた新コンセプト船の一つであるトリプル連結バージを対象に、その運動性能について向い波中にて確認する試験を広島大学にて実施してきた(フェーズ1)。
- 本研究では、一般財団法人 日本船舶技術研究協会からの依頼により、斜め波中にて上記のトリプル連結バージを対象に、同輸送船の連結部及びプッシャーの荷重・モーメントを模型試験を通して評価し、技術資料を作成する事を目的とする。

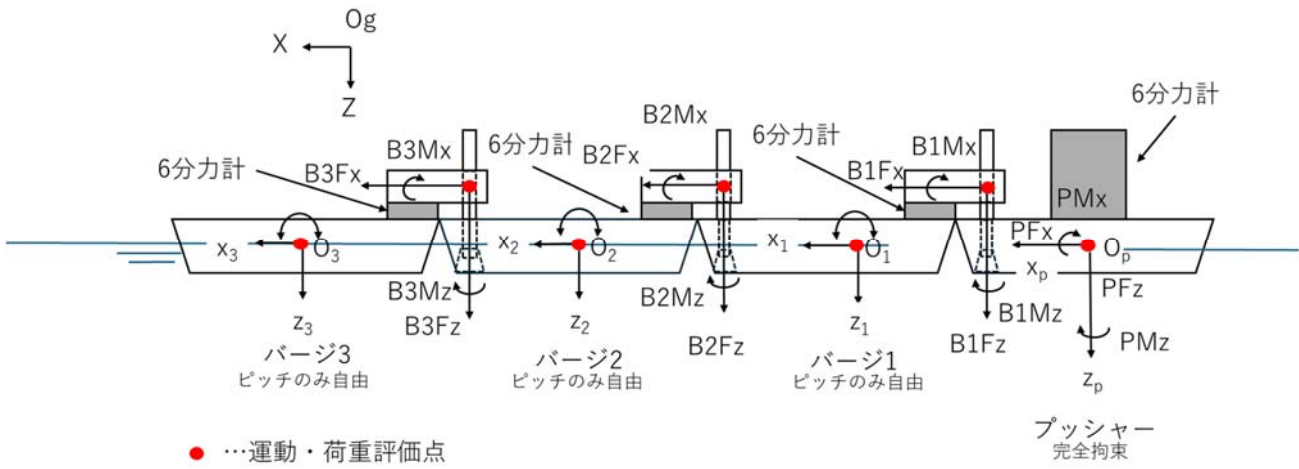
● 実施内容

- 平水中拘束曳航試験、向い波中拘束曳航試験、斜波中拘束曳航試験(波高小)、斜波中拘束曳航試験(波高大)、停船時波浪中試験について実施した。
- 平水中拘束曳航試験及び向い波中拘束曳航試験については、過年度に実施したフェーズ1との比較のために実施した。斜波中拘束曳航試験は実船スケール換算で波高を小さい場合(0.36 m)と比較的大きい場合(0.54 m)の2パターンにて実施した。
- 以降の報告結果は全て実船スケールにて記載している。

2

1. 斜波中曳航試験

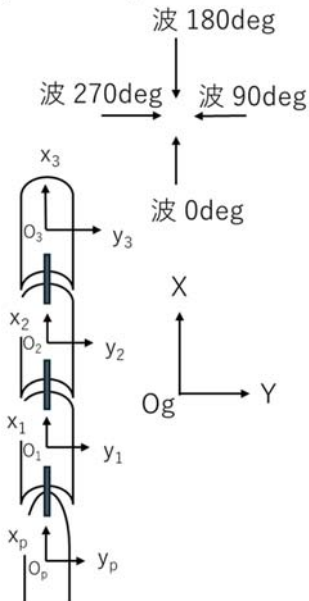
● 座標系 (側面図)



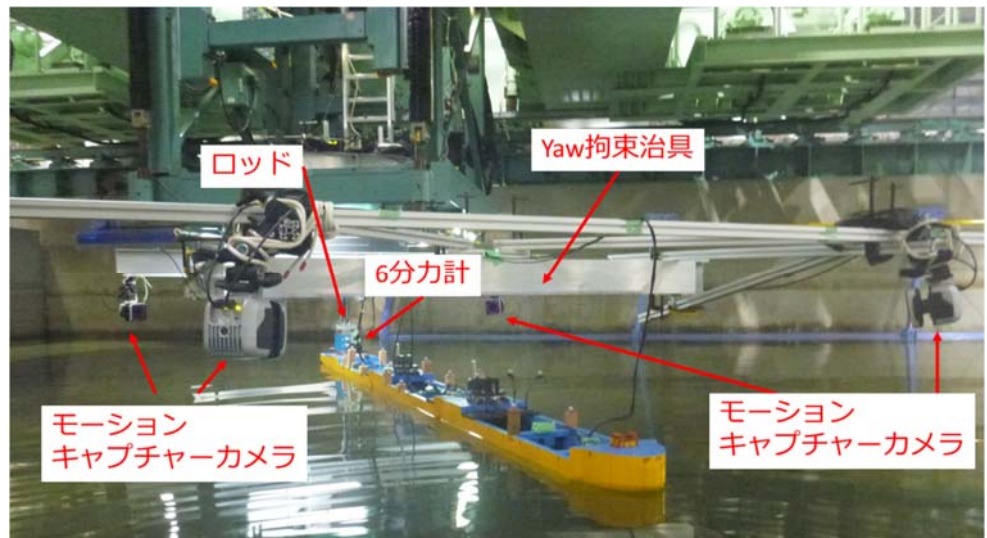
● …運動・荷重評価点

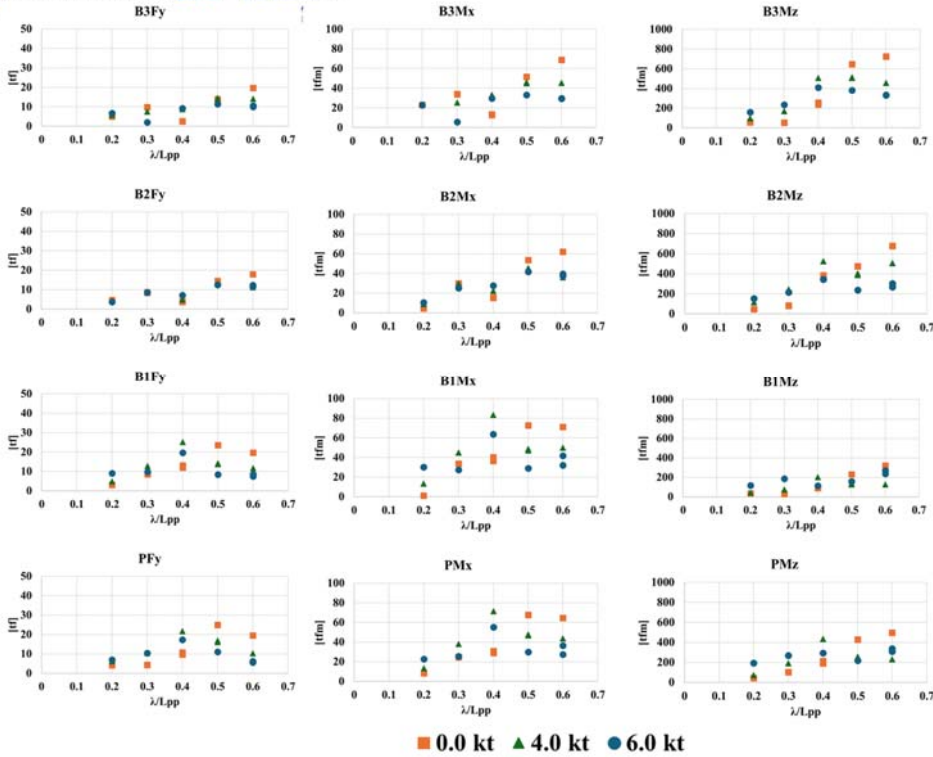
1. 斜波中曳航試験

● 座標系 (上面図)



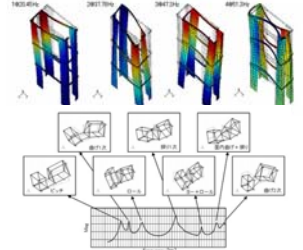
配置概観図





● 斜波中拘束曳航試験 試験結果 (船速影響, 波向き30 deg, 横運動)

✓ Fy, Mx, Mzについては、定性的な変化の傾向は同じであるが詳細な値が停船時と航走時で異なる。これは出会い波周波数の変化により3連結バージの固有モードが変化して、連結部に姿勢変化を励起させるような内力が生じるためと考えられる。

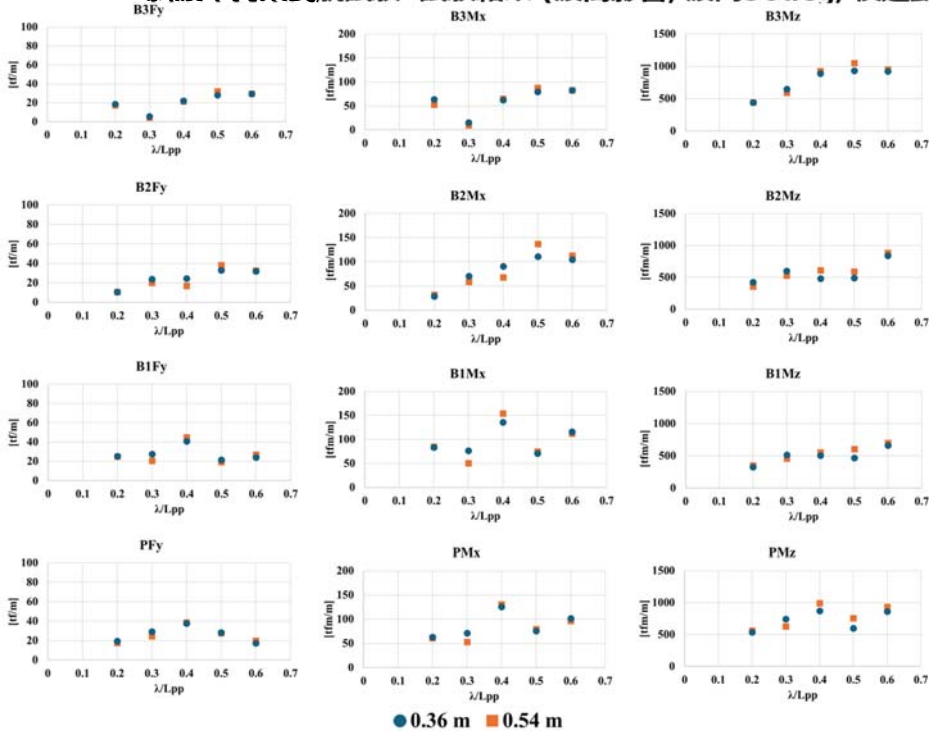


固有モードのイメージ¹⁾

1) 技術レポート モード解析技術を用いた振動特性の把握, 川重テクノロジー株式会社, <https://www.kawajui.co.jp/rd/vibration-noise/report/vibration-mode.html>.

1. 斜波中曳航試験

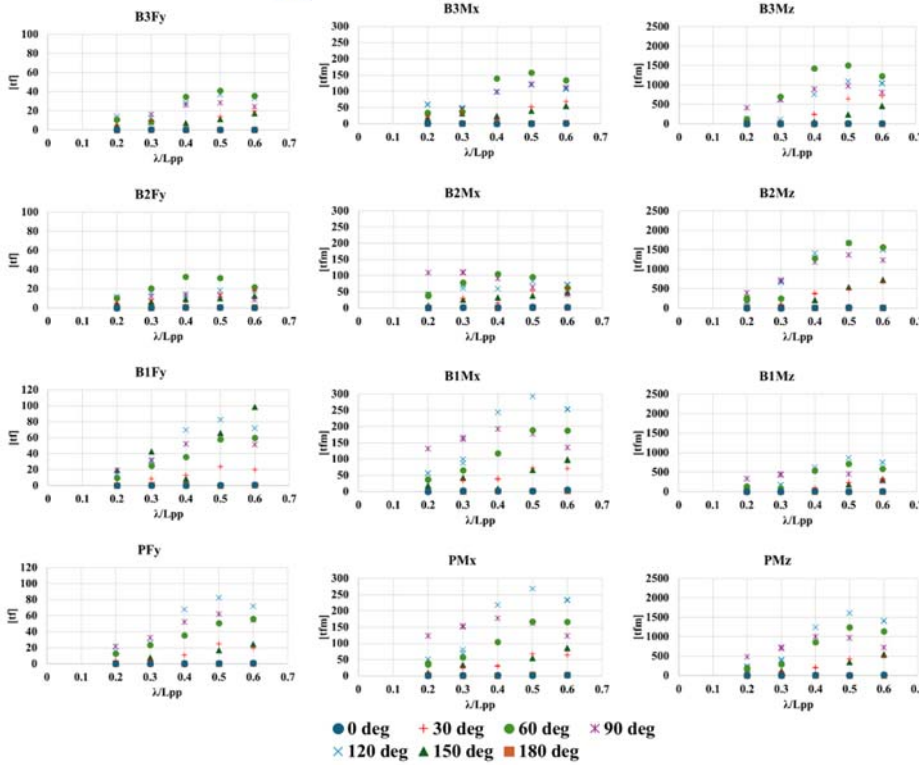
● 斜波中拘束曳航試験 試験結果 (波高影響, 波向30deg, 横運動)



✓ 荷重について波高影響は殆ど無い。

1. 斜波中曳航試験

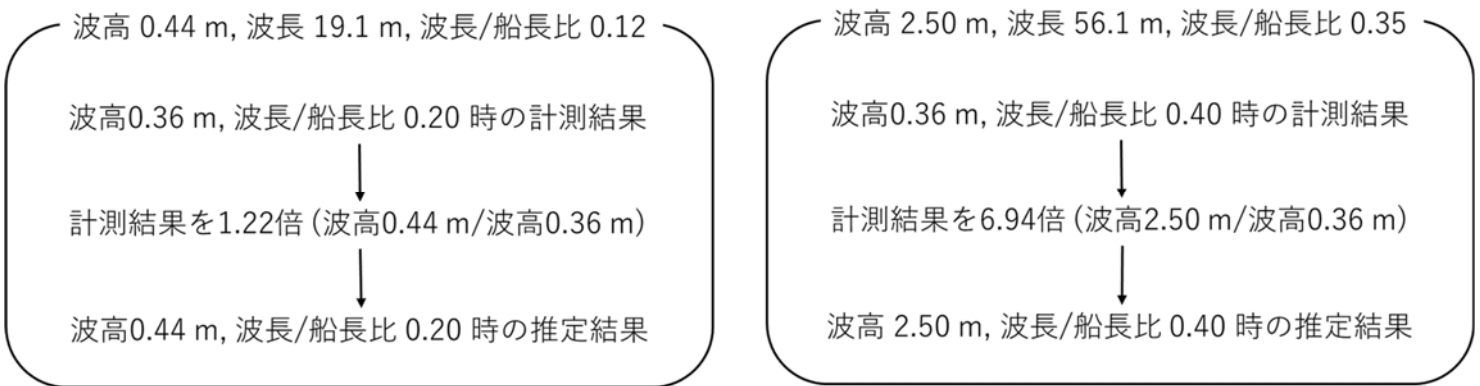
● 停船時波浪中試験 試験結果 (波向影響, 横運動)



- ✓ バージに働くFyは斜め向い波状態である150 degが最大であり, バージ1にて約100 tfm となっている。
- ✓ バージに働くMxは斜め向い波状態である120 degが最大であり, バージ1にて約300 tfm となっている。
- ✓ バージに働くMzは斜め追波状態である60 degが最大であり, バージ2にて約1,700 tfm となっている。

1. 斜波中曳航試験

● 実海域条件における荷重・モーメント振幅値の推定



実海域条件における荷重・モーメント振幅値の推定フロー

- ✓ 8kt 時の値を推定するべきだが, 特に横運動 (Fy, Mx, Mz) について船速の影響が存在し, 変化の傾向も線型では無いため, 横運動のみは6kt 時の値を用いた。
- ✓ 波向きについては横運動に船速影響が見受けられるため, 実測データのある30 deg, 60 degとした。
- ✓ 推定した実海域条件は昨年度の報告書から(波高0.44m, 波長19.1 m), (波高2.50 m, 波長56.1 m) とした。

1. 斜波中曳航試験

● 実海域条件における荷重・モーメント振幅値の推定

波向き30 deg 時における推定結果

波向	30	deg					
項目	船速 [kt]	波高0.44 [m] 波長19.1 [m], 波長/船長比 0.2	波高2.50 [m] 波長56.1 [m], 波長/船長比 0.4	項目	船速 [kt]	波高0.44 [m], 波長19.1 [m], 波長/船長比 0.2	波高2.50 [m], 波長56.1 [m], 波長/船長比 0.4
PFx [tf]	8	3.9	22.2	B2Fx [tf]	8	3.7	49.7
PFy [tf]	6	8.6	119.7	B2Fy [tf]	6	4.7	49.5
PFz [tf]	8	5.7	109.0	B2Fz [tf]	8	2.3	65.2
PMx [tfm]	6	27.8	383.8	B2Mx [tfm]	6	12.8	191.6
PMz [tfm]	6	235.2	2049.9	B2Mz [tfm]	6	186.3	2388.9
B1Fx [tf]	8	1.3	27.5	B3Fx [tf]	8	4.0	52.5
B1Fy [tf]	6	11.1	136.4	B3Fy [tf]	6	8.3	64.0
B1Fz [tf]	8	2.2	77.5	B3Fz [tf]	8	1.0	65.2
B1Mx [tfm]	6	36.9	441.5	B3Mx [tfm]	6	28.1	206.2
B1Mz [tfm]	6	143.1	796.3	B3Mz [tfm]	6	194.6	2853.6

- ✓ 30 deg, 波高2.50 m, 波長船長比0.4時のB1Fx は27.5 tf, B2Fxは49.7 tf, B3Fxは52.5 tf
- ✓ 30 deg, 波高2.50 m, 波長船長比0.4時のB1Fzは77.5 tf, B2Fzは65.2 tf, B3Fzは65.2 tf

9

1. 斜波中曳航試験

● 実海域条件における荷重・モーメント振幅値の推定

波向き60 deg 時における推定結果

波向	60	deg					
項目	船速 [kt]	波高0.44 [m], 波長19.1 [m], 波長/船長比 0.2	波高2.50 [m], 波長56.1 [m], 波長/船長比 0.4	項目	船速 [kt]	波高0.44 [m], 波長19.1 [m], 波長/船長比 0.2	波高2.50 [m], 波長56.1 [m], 波長/船長比 0.4
PFx [tf]	8	8.5	28.6	B2Fx [tf]	8	7.7	37.7
PFy [tf]	6	18.9	271.7	B2Fy [tf]	6	13.7	201.0
PFz [tf]	8	10.0	211.9	B2Fz [tf]	8	6.4	63.7
PMx [tfm]	6	39.6	964.6	B2Mx [tfm]	6	42.4	539.9
PMz [tfm]	6	340.2	6145.3	B2Mz [tfm]	6	409.8	11260.0
B1Fx [tf]	8	10.5	27.4	B3Fx [tf]	8	4.0	58.0
B1Fy [tf]	6	11.6	321.0	B3Fy [tf]	6	9.0	275.3
B1Fz [tf]	8	6.2	114.0	B3Fz [tf]	8	8.3	30.6
B1Mx [tfm]	6	31.5	1129.5	B3Mx [tfm]	6	26.9	1011.8
B1Mz [tfm]	6	262.8	3197.0	B3Mz [tfm]	6	310.4	9345.8

- ✓ 60 deg, 波高2.50 m, 波長船長比0.4時のB1Fx は27.4 tf, B2Fxは37.7 tf, B3Fxは58.0 tf
- ✓ 60 deg, 波高2.50 m, 波長船長比0.4時のB1Fzは114.0 tf, B2Fzは63.7 tf, B3Fzは30.6 tf
- ✓ 本検討では実験システムの制約上, 定常波漂流力, 船速増加に伴う定常成分の荷重を評価出来ていない。実際には, これらの値が荷重に付加されるため注意を要する。

10

1. 斜波中曳航試験

● まとめ

斜波中拘束曳航試験 (船速影響)

- ✓ 横運動 (F_y , M_x , M_z)については船速の変化により値がバラつく事を確認した。これは3連結バージの固有モードの変化によって、内力が発生としている影響と考えられる。

斜波中拘束曳航試験 (波高影響)

- ✓ 出会い波周波数成分について、波高の違いによる振幅値への影響の有無を調査した。連結部荷重・モーメントについて波高による影響は微小である事を確認した。

斜波中拘束曳航試験 (波向影響)

- ✓ バージに働く F_y は斜め向い波状態である 150 deg が最大であり、 M_x は斜め向い波状態である 120 deg が最大、 M_z は斜め追波状態である 60 deg が最大であることを確認した。

実海域条件における荷重・モーメント振幅値の推定

- ✓ 瀬戸内海における海象条件に適合するように補正した結果、各想定波高における荷重・モーメント振幅値を推定した。本検討では実験システムの制約上、定常波漂流力、船速増加に伴う定常成分の荷重を評価出来ていない。実際には、これらの値が荷重に付加されるため注意を要する。

11

2. 数値計算

● 検討背景・目的

- ✓ トリプル連結バージの直進中における連結荷重の推定に関する理論計算は、昨年度フェーズ1の段階ではストリップ法ベースで実施されている。
- ✓ フェーズ1では、前後方向と上下方向に関する荷重のみを検討。実際の航海では、追い波や斜め波中から波を受けることがあり、設計段階において横方向からの荷重やモーメントを推定できることが望まれる。



- ✓ 斜波曳航中の連結部分に作用する荷重やモーメントを、3Dパネル法による数値計算で評価した。

12

2. 数値計算

● 計算内容

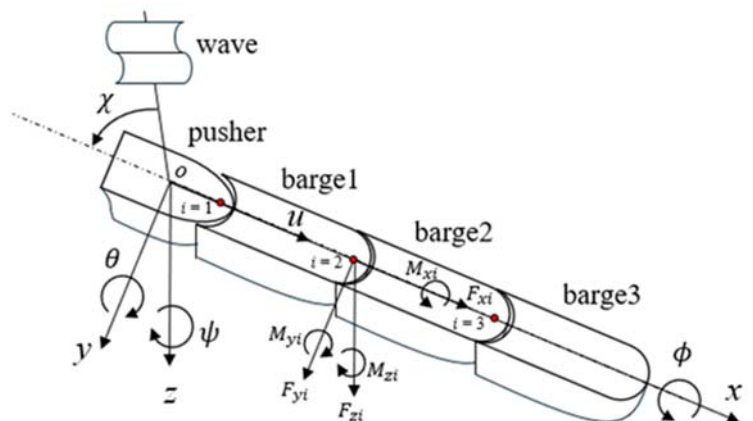
- ✓ 3Dパネル法をベースとした浮体の運動計算ソフト「OrcaFlex 11.4d」を用いて、トリプル連結バージのモデル構築と数値計算を実施した。
- ✓ 停船状態において正面、斜め追い波で作用する連結部に作用する荷重とモーメント、船体運動の計算を実施した。
- ✓ 計算項目は、水槽試験と同様に3つのバージの**ピッチ運動**に加え、連結部分に作用する**前後・横・上下方向荷重**、**ロール**、**ピッチ**、**ヨーモーメント**とした。

13

2. 数値計算

● 座標系（斜波中曳航試験と同じ）

- ✓ 船体運動は、pusherは完全拘束であるが、bargeは**ピッチ運動をフリー**としている。
- ✓ 波向きを χ とし、反時計回りを正とする。
- ✓ 正面向かい波を、 $\chi = 180^\circ$ と定義する。
- ✓ 前後、横、上下方向の連結荷重は、それぞれ F_{xi} 、 F_{yi} 、 F_{zi} と表記する。
- ✓ 連結部に作用するモーメント成分は、それぞれ M_{xi} 、 M_{yi} 、 M_{zi} と表記する。



14

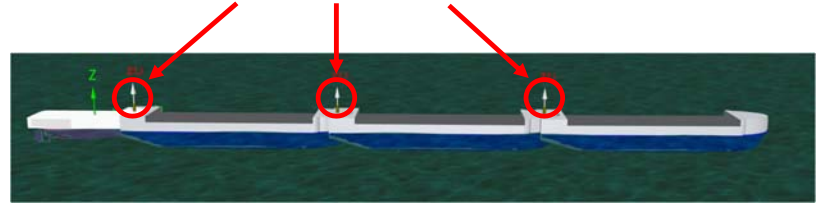
2. 数値計算

● 計算モデル (時間領域計算; OrcaFlex 11.4d)

- ✓ 浮体同士の連結は、実験での連結治具と同場所に拘束条件を設けた。
- ✓ 荷重とモーメントの評価点は、実験時の接続点と同じにした。
- ✓ 計算に考慮する流体力は、OrcaWave 11.4dを用いて別途算出した。

動解析手法	陰解法
計算手法	3次元パネル法
考慮する流体力	付加質量, 造波減衰力 波強制力
波強制力の解法	ハスキントの関係
計算時間	7,200秒間
解析区間	1,000~1,100秒
サンプリング時間	0.1秒

★荷重評価点
 喫水から上に5.21 m (模型船で0.144 m)



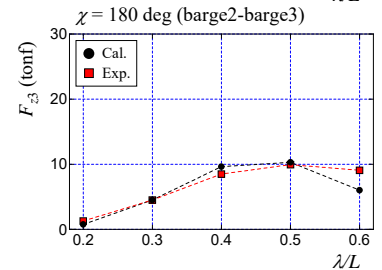
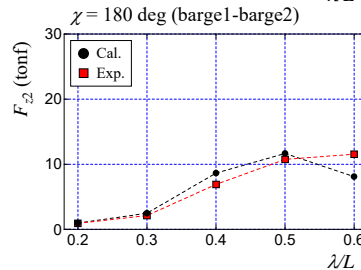
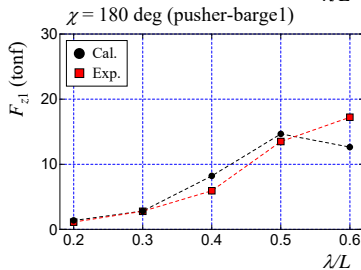
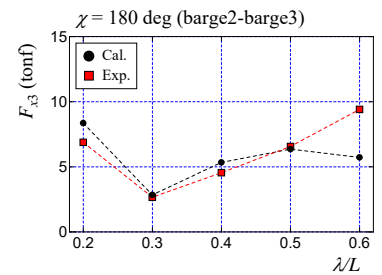
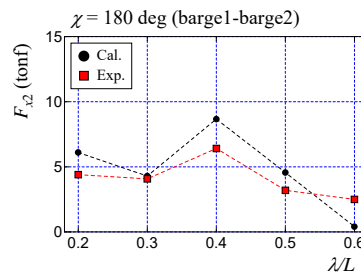
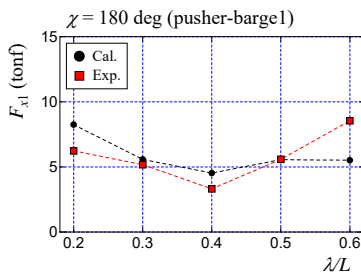
OrcaFlexで構築した計算モデル
 (浮体配置による干渉影響を考慮済み)

2. 数値計算

● 実験結果との比較・考察 (向い波: $\chi = 180^\circ$, 停船時)

前後方向荷重

上下方向荷重

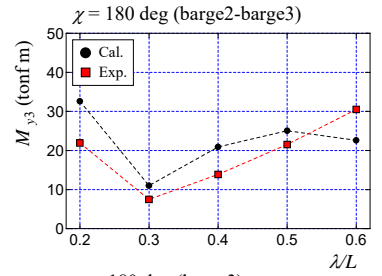
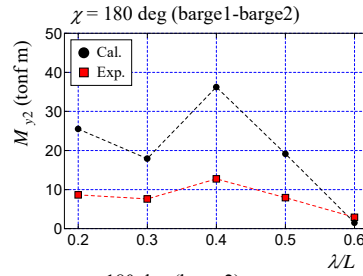
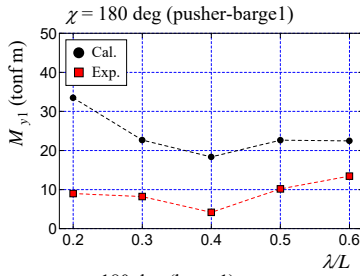


正面向かい波の場合では、連結荷重の傾向を良い精度で推定できている。

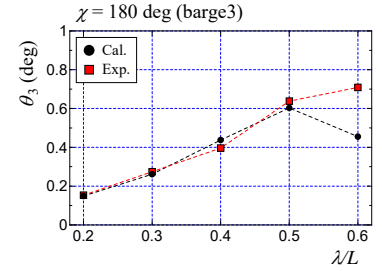
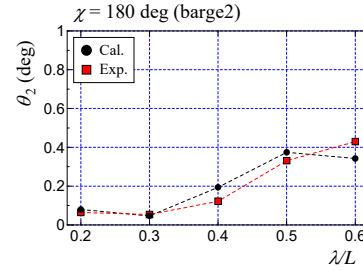
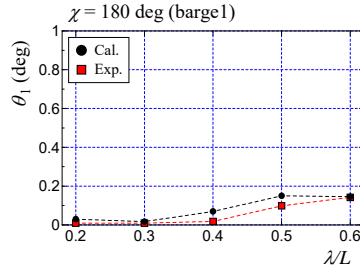
2. 数値計算

● 実験結果との比較・考察 (向い波 : $\chi = 180^\circ$, 停船時)

ピッチモーメント



ピッチ角

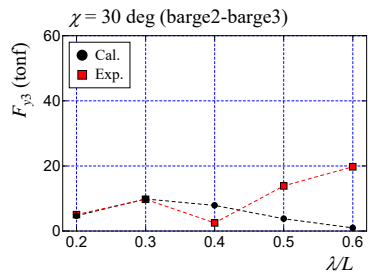
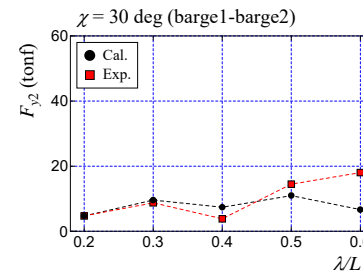
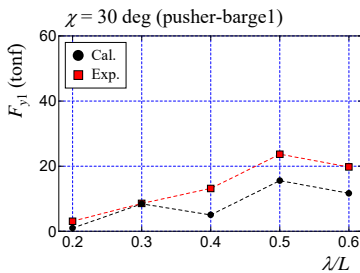


ピッチモーメントに関しても、実験の傾向自体は捉えることができる。

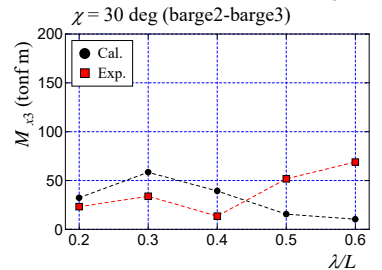
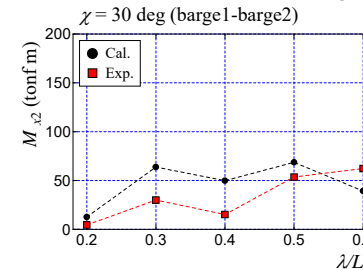
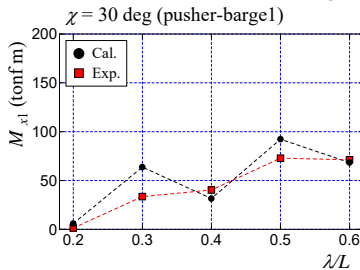
2. 数値計算

● 実験結果との比較・考察 (斜め追い波 : $\chi = 30^\circ$, 停船時)

横方向荷重



ロールモーメント

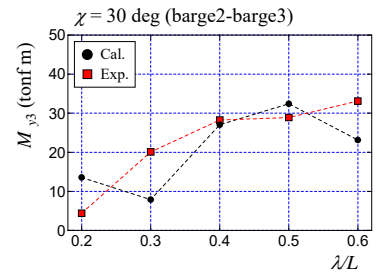
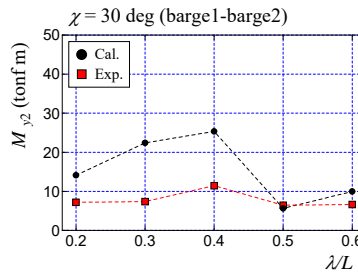
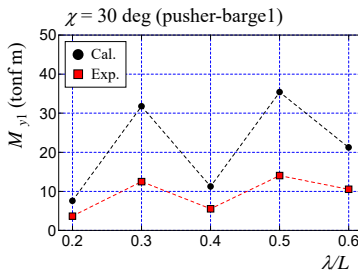


斜め追い波の場合でも、横方向荷重やロール(振り)モーメントの計算精度は概ね一致。

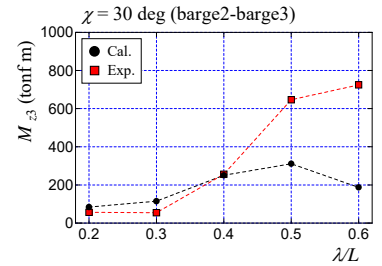
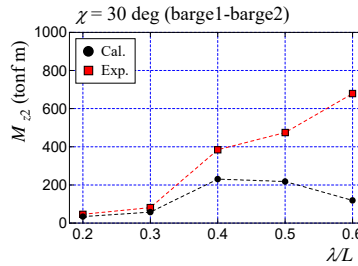
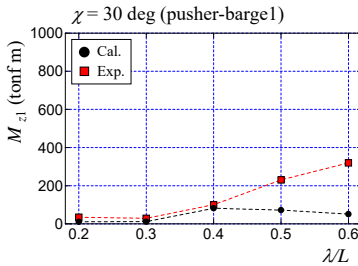
2. 数値計算

● 実験結果との比較・考察 (斜め追い波 : $\chi = 30^\circ$, 停船時)

ピッチモーメント



ヨーモーメント



ピッチモーメントの計算結果は、実験の傾向自体は捉えることができる。
 ヨーモーメントは、 $\lambda/L \leq 0.4$ までは実験の傾向を捉えることができている。

2. 数値計算

● まとめ

✓ 正面向かい波の場合 ;

- ピッチ運動と連結荷重は、設計時に実用可能な精度で推定できることを確認した。

✓ 斜め追い波の場合 ;

- 横方向荷重, ロール(振り)モーメントの計算精度は、実験結果の傾向を概ね良い精度で推定可能であることを確認した。
- ヨーモーメントは、瀬戸内海で実際に想定される海象条件($\lambda/L \leq 0.4$)では実用可能な精度で推定できることを確認した。

3. 全体のまとめ

模型試験

- 斜波中拘束曳航試験では出会い波周波数における振幅値を対象として、船速影響、波高影響、停船時における波向影響を調査した。船速影響では、縦運動ではその影響は見受けられなかったが、横運動では値のバラつきがあり船速が影響を与えている可能性が示唆された。波高影響では、その影響は見受けられなかった。停船時における波向影響ではモーメントが最大となる波向を特定することが出来た。
- 瀬戸内海における海気象条件に適合するように補正した結果、各想定波高における荷重・モーメント振幅値を推定することが出来た。これらの情報は連結部の検討を行う際に有用な情報になると思われる。

数値計算

- 数値計算では周波数領域計算で求めたバージ間、バージ-プッシャー間の干渉影響込みの流体力を用いて時間領域計算モデルを構築した。
- 停船状態における計算結果を実験結果と比較し、斜め追い波状態においてピッチ角と連結部前後方向・上下方向荷重、ロール（振り）モーメントについては良好な一致を示すことを確認した。ヨーモーメントについては瀬戸内海で通常想定される海象条件($\lambda/L < 0.4$)では実用可能な精度で推定できることを確認した。

添付資料 3

ミュレータの作成

トリプル連結バージ シミュレータに関する報告

1

1. 2024年度事業内容

- 2024年度、トリプル連結バージの操船シミュレータ及び遠隔操縦システムに関連する事業においては、(1) 操船シミュレータに関する技術資料、(2) 切り離されたバージの遠隔操縦システムに関する技術資料を作成した。

(1) 操船シミュレータに関する技術資料

- ① 3隻のバージとプッシャーを連結した状態を模擬した操船シミュレータによる本船の見え方を確認
- ② 切り離されたバージを模擬したシミュレータによる操船者の視認性を確認

(2) 切り離されたバージの遠隔操縦システムに関する技術資料

- ① 模型バージと陸上用遠隔操縦システムによる水槽試験の実施
- ② 実海域試験に向けた予備試験として小型実験船による遠隔操船試験並びにLTE等の通信試験の実施
- ③ 実海域試験のための安全対策プログラムおよび自船位置確認プログラムの小型実験船による動作確認
- ④ 実海域試験の試験方案の作成

2

2. 操船シミュレータについて

- 海技研に設置されている操船シミュレータ（SHS, Ship Handling Simulator）は、操船環境をリアルに再現する直径13mの円筒スクリーン、離着岸作業を模擬できる下方視界スクリーンなどを装備している。
- 本事業では、3隻のバージとプッシャー船を連結した状態や1隻のバージのモデルを準備して、同船の操船性や他船や陸上からの本船の見え方を確認した。

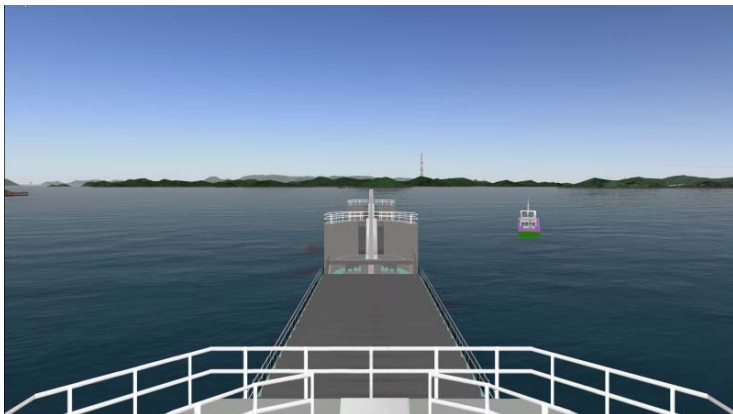


操船シミュレータ

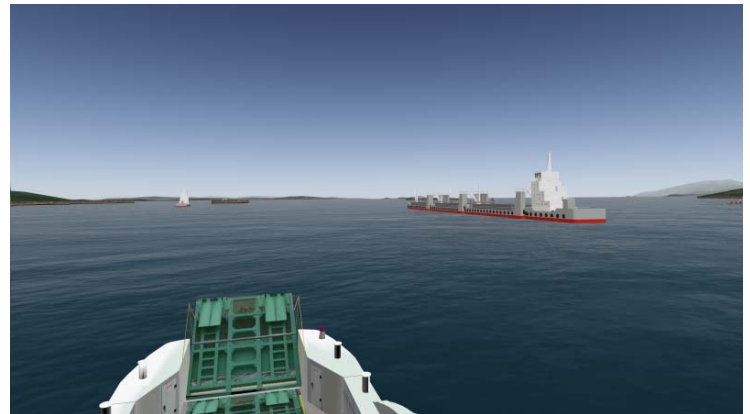
3

3. 連結した状態を模擬した操船シミュレータ

- 下図は3隻のバージとプッシャー船を連結した状態である。他船から見た状況などを確認したが、特別な違和感は感じられなかった。なお、連結部の動きには適応できず、1隻の長い船として扱っている。
- 運動モデルを反映できていないため、操船性については不明な点が多いが、全長がかなり長い船であるため、操船技術に習熟する必要があると考えられる。



プッシャー船の操舵席からの視点

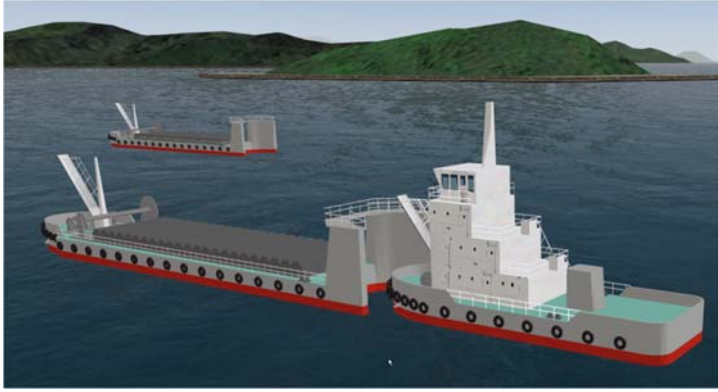


他船からの視点

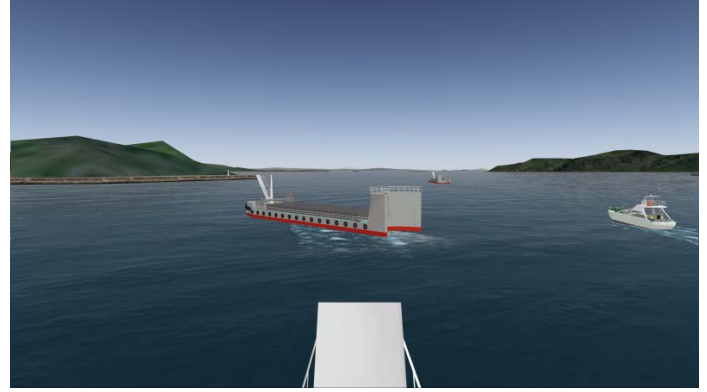
4

4. 切り離されたバージを模擬した操船シミュレータ

- 切り離されたバージを実運用で想定される操船者の位置から操縦して、操船者の視認性について確認した。
- 操船シミュレータでは、任意の視点（位置、高さ）から対象船を見ることができるため、実際に想定される操船場所である、バージ上の操舵席、プッシャー船の操舵席および陸上からの視点などを確認した。
- 下図は切り離した直後の状況であり、プッシャー船の視点からバージを操船している。



切り離した直後のバージとプッシャー船

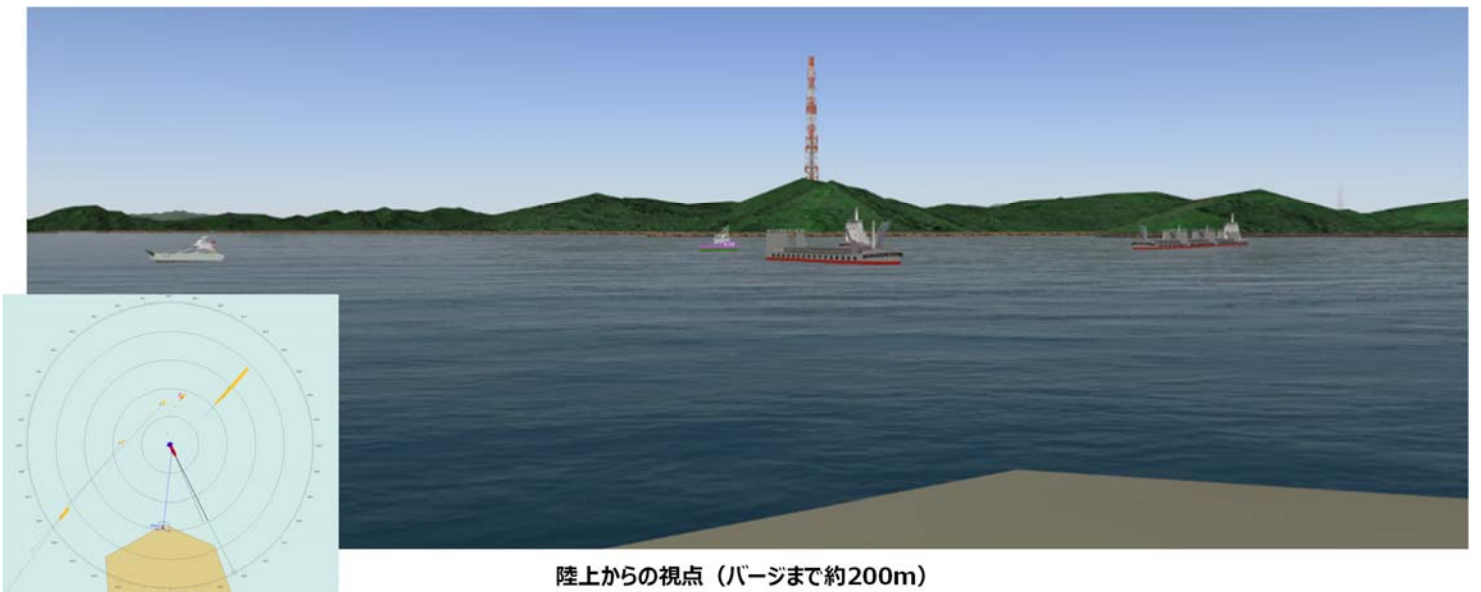


プッシャー船の操舵席からの視点

5

4. 切り離されたバージを模擬した操船シミュレータ

- 例えば、陸上からバージを操船する場合、周囲に他船との位置関係がわかりにくいといった課題がある。

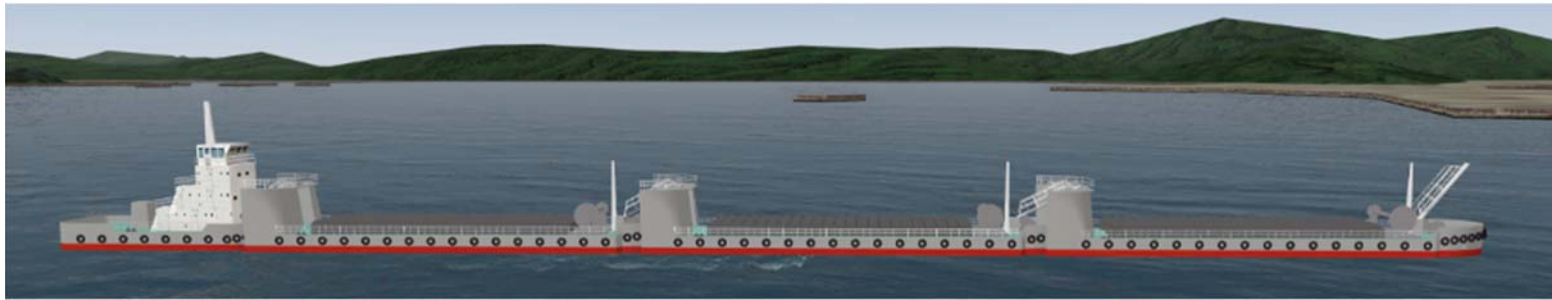


陸上からの視点（バージまで約200m）

6

5. まとめ

- ① 操船シミュレータを用いて、3隻のバージとプッシャー船を連結した状態の他船から見た視点などを確認した。その結果、特別な違和感は感じられなかった。運動モデルを反映できていないため、操船性については不明な点が多いが、全長がかなり長い船であるため、操船技術に習熟する必要があると考えられる。
- ② 切り離されたバージを実運用で想定される操船者の位置から操縦して、操船者の視認性について確認した。例えば、陸上からバージを操船する場合、周囲に他船との位置関係がわかりにくいといった課題がある。



添付資料 4

遠隔操縦システムの模型試験

トリプル連結バージ 遠隔操縦装置の模型試験の結果報告

1

1. 2024年度事業内容

- 2024年度、遠隔操縦関連の事業としては、①模型船による遠隔操縦システムの操作性確認と、②小型実験船「神峰」を用いた実海域試験に向けた予備試験を実施・準備している。
- ①については、2024年10月の第2回委員会（見学会）で紹介した後、各種陸上通信試験を進めている。
- ②については、2025年2月の予備試験実施に向けて準備を進めている。



① 模型船による遠隔操縦システムの操作性確認（2024年度）

船首・船尾に推進方向を変化させることができるスラスタを装備した模型バージ船と、陸上用遠隔操縦システム（タブレット）を準備し、水槽試験によって操作性を確認する。
さらに実海域試験の準備段階として、安全対策プログラムや自船位置確認機能を開発し、動作を確認する。

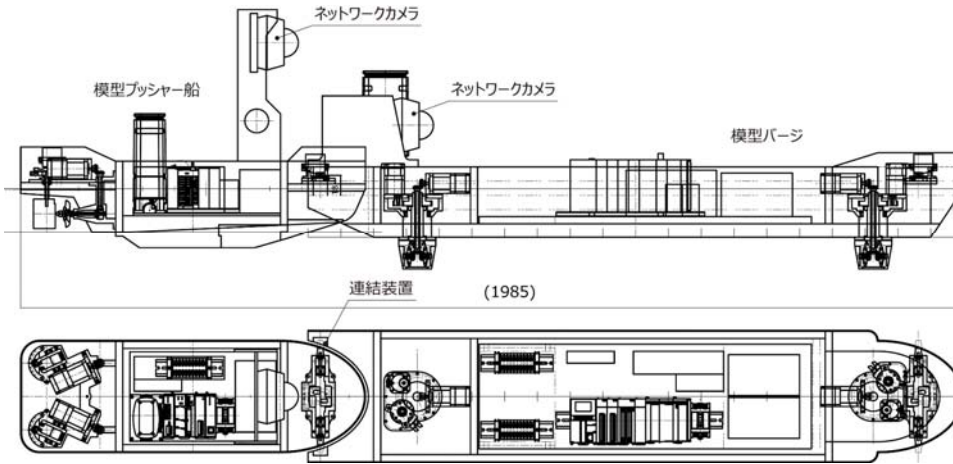
② 実海域試験に向けた予備試験（2024年度）

2023年度に引き続き、海技研が管理する小型実験船「神峰」を用いて、因島マリーナの浮き桟橋周辺において、通信試験や産業用タブレットによる遠隔操縦試験を行う。
産業用Wi-Fiのほか、LTE（4G）や低軌道衛星を利用した通信（StarlinkまたはOneWeb）の通信試験を行い、基本動作を確認する。

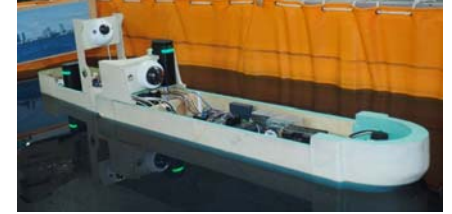
2

2. 遠隔操縦装置模型試験に用いる模型船

- 船首および船尾に推進方向を変化させることができる推進装置を装備した模型船を製作した。
- タブレットを用いた陸上用遠隔操縦システムを構築し、遠隔操縦システムの操作性について調べる。



模型プッシャー船と模型バージ（連結時）



模型プッシャー船の外観とタブレット画面
(10/14)

3

(1) 模型プッシャー船

- 2軸2舵の模型プッシャー船を製作した。
- PLC (Programmable Logic Controller) を搭載し、簡易的な操船コンソールにより無線操縦 (Wi-Fi) ができる。
- 連結装置やネットワークカメラを搭載し、バージとの連結・解除の水槽試験などでもできる。

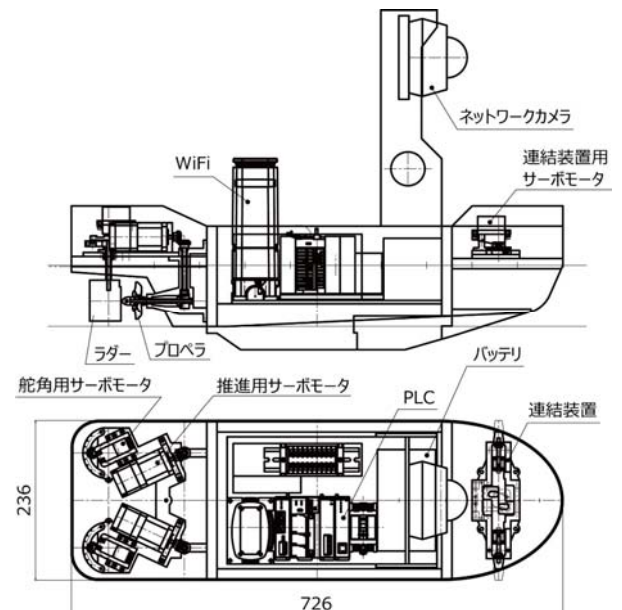
※ 制御装置を含めた全体の軽量化が難しいため、当初予定よりも喫水を深くしている（上部構造物の模擬も不可）。



模型プッシャー船の外観



簡易操船コンソール

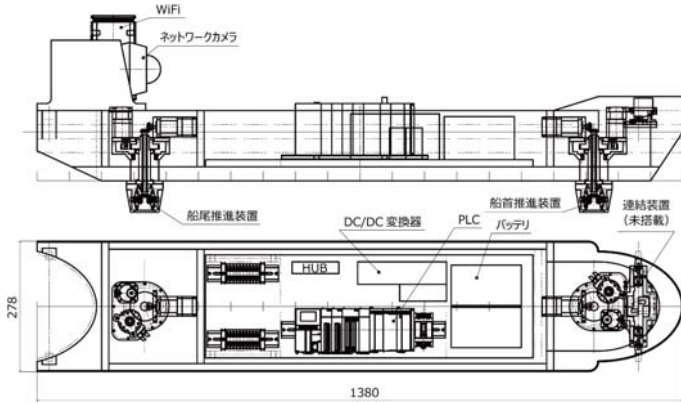


模型プッシャー船の構造

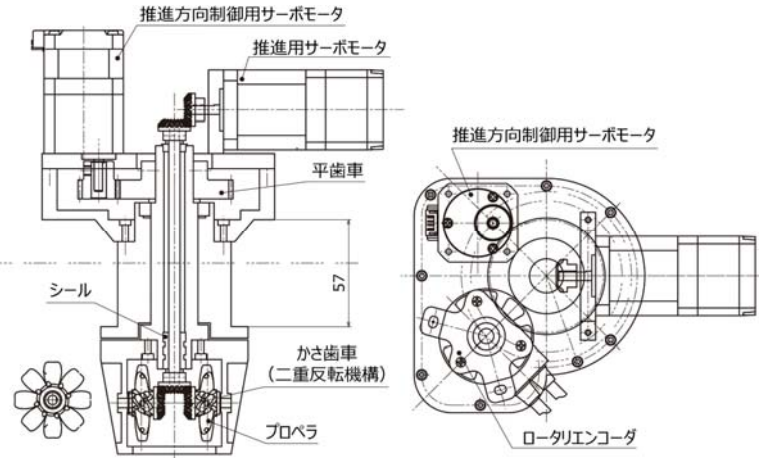
4

(2) 模型バージ

- 船首および船尾に推進方向を変化させることができる推進装置を装備した模型バージを製作した。
- 実船で想定されているポンプジェット推進ではなく、二重反転プロペラのアジマススラストを搭載している（水槽試験時は逆転はさせず1方向のみを使用）。
- ロータリエンコーダにより推進方向（角度）を検出している。実船と同様の角度設定ができる。



模型バージ



模型バージの推進装置

(3) タブレット操縦画面

- 3種類のタブレット操縦画面（制御プログラム）を準備し、動作を確認した。

(a) 角度制御操船	(b) モータ制御操船	(c) OnePush操船
<ul style="list-style-type: none"> ● 船首・船尾の推進装置の操縦は独立している。 ● さらに、推進装置の角度と推進用モータの回転数を独立して操縦する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 船首・船尾の推進装置の操縦は独立している。 ● 推進装置の角度が目標値に近付いた状態で、ボタンを押し続けると、推進用モータの回転数が上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 目的の運動に合わせて、船首・船尾の推進装置が連動する。 ● 通常運航モード、並行運動モード、回頭モードの3種類を準備している。 ● 推進用モータの回転数操作は(b)と同じである。

デモンストレーション動画

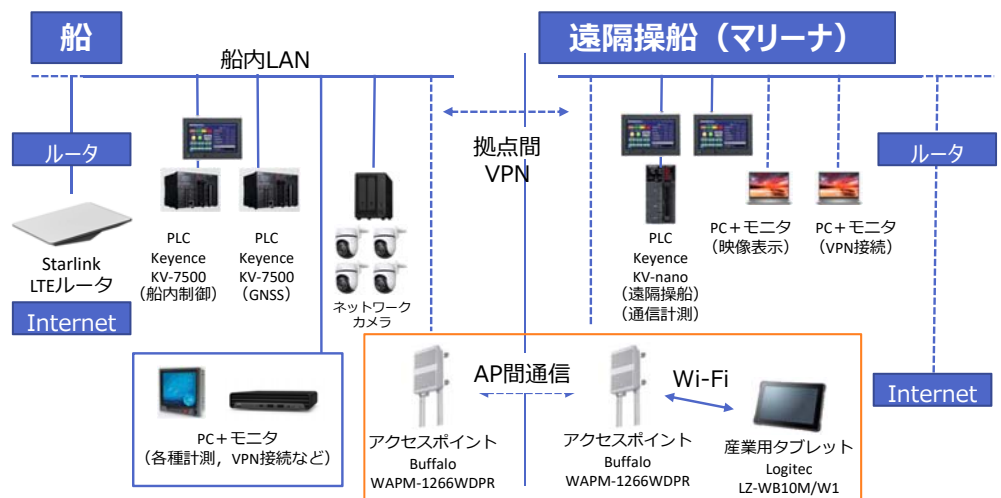


7

3. 遠隔操船システム

(1) 遠隔操縦システムの通信系統

- 陸上に、StarlinkおよびLTEを含めた遠隔操縦システムの通信設備を構築し、通信システムの安全対策を検討するため、拠点間VPNを接続した状態の各種陸上試験を実施した。
- 遠隔操船の操作性を確認するため、ネットワークカメラやジョイスティック操船システムを準備し、動作確認を実施した。

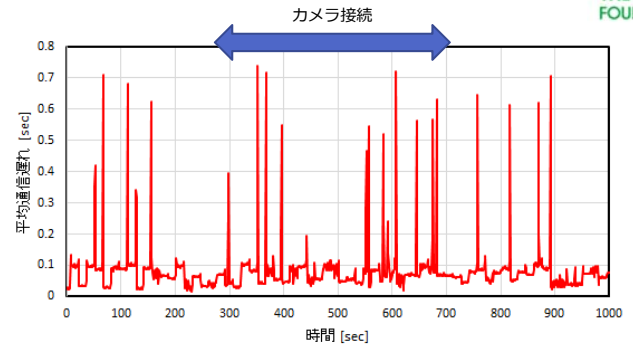


遠隔操縦システムの通信系統（陸上試験）

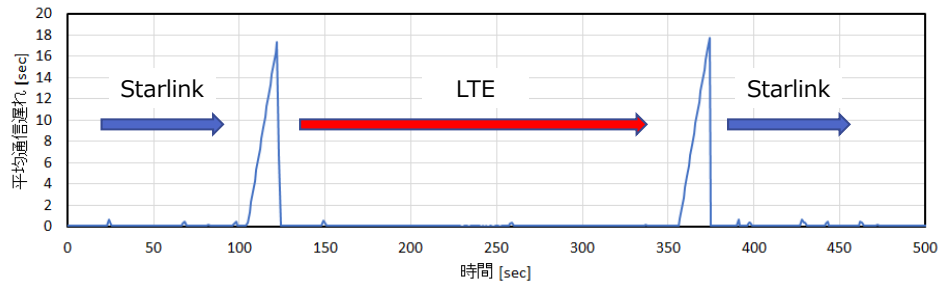
8

(2) LTEおよびStarlinkの陸上通信試験の概要

- 通常、軽負荷時の通信遅れは、Starlink、LTEともに0.6～0.7sec程度であり、遠隔操船に問題となるレベルではない。ネットワークカメラなどの負荷は小さく、接続の有無によるPLC間の通信遅れの相違は確認できない。
- ただし、1日に数回の頻度で10sec以上の通信遮断が生じることがある。
- 故意にStarlinkのネットワークケーブルをはずし、自動切り替えの動作確認を行った。
- インターネット接続の切り替えは早いものの、VPNの影響によりStarlinkとLTEの切り替え時には20sec程度の時間を要する。



(a) ネットワークカメラ接続時の通信遅れの計測



(b) Starlink-LTE切替時の動作確認

9

(3) 模型船による陸上遠隔操船試験

- 模型船のジョイスティック操船システムを構築し、Starlink側（船）とNTT回線側（陸）で拠点間VPNを接続した状態における遠隔操船を行った。
- ジョイスティック操船システムの操作性は良好であった。また、Starlink接続は比較的安定しており、ネットワークカメラの映像を見ながら概ね適切な遠隔操船を行うことができた。
- 一方、LTE接続は遅延が大きいことがあり、カメラ映像などの通信状態が安定しなかった。ただし、通信状態は時々刻々変化し、再現性はない。



遠隔操船用ジョイスティックシステム（陸上側）



模型バージ

10

4. まとめ（進捗と今後の予定）

- ① 陸上に、StarlinkおよびLTEを含めた遠隔操縦システムの通信設備を構築し、通信システムの安全対策を検討するため、拠点間VPNを接続した状態の各種陸上試験を実施した。
- ② 通常時の通信遅れは、Starlink、LTEともに0.6～0.7sec程度であり、遠隔操船に問題となるレベルではない。ただし、1日に数回の頻度で10sec以上の通信遮断が生じることがあること、VPNの影響によりStarlinkとLTEの切り替え時に20sec程度の時間を要することなど、遠隔操船に無視できない通信遅れや通信遮断が確認されており、安全対策が必要不可欠である。
- ③ 遠隔操船の操作性を確認するため、タブレット操船システムの他、ネットワークカメラやジョイスティック操船システムを準備し、動作確認を実施した。その結果、ジョイスティック操船システムの操作性は良好であること、Starlink接続は比較的安定していることなどが確認でき、ネットワークカメラの映像を見ながら概ね適切な遠隔操船を行うことができた。
- ④ 小型実験船「神峰」を用いた実海域試験に向けた予備試験について、2025年2月の実施に向けて準備を進めている。

添付資料 5

実海域試験に向けた予備試験

トリプル連結バージ 実海域試験の予備試験結果の報告

1

1. 2024年度事業内容

- 2024年度、トリプル連結バージの操船シミュレータ及び遠隔操縦システムに関連する事業においては、(1) 操船シミュレータに関する技術資料、(2) 切り離されたバージの遠隔操縦システムに関する技術資料を作成した。

(1) 操船シミュレータに関する技術資料

- ① 3隻のバージとプッシャーを連結した状態を模擬した操船シミュレータによる本船の見え方を確認
- ② 切り離されたバージを模擬したシミュレータによる操船者の視認性を確認

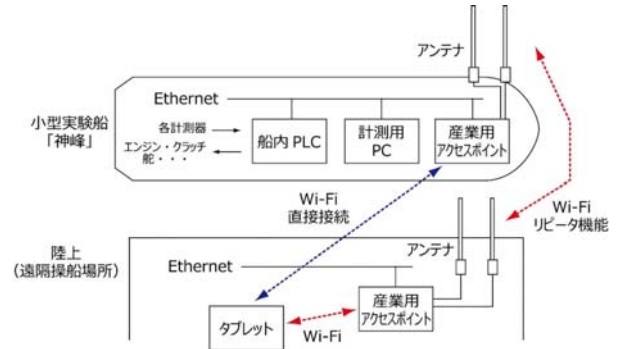
(2) 切り離されたバージの遠隔操縦システムに関する技術資料

- ① 模型バージと陸上用遠隔操縦システムによる水槽試験の実施
- ② 実海域試験に向けた予備試験として小型実験船による遠隔操船試験並びにLTE等の通信試験の実施
- ③ 実海域試験のための安全対策プログラムおよび自船位置確認プログラムの小型実験船による動作確認
- ④ 実海域試験の試験方案の作成

2

2. 遠隔操縦システムの概要

- 2023年度、海技研が管理する小型実験船「神峰」を用いて、因島マリーナの浮き桟橋周辺において、Wi-Fi機器の通信試験や産業用タブレットによる遠隔操船試験を行った。
- その結果、数百mを超える遠隔操縦においては、産業用アクセスポイントのリピータ機能と高効率アンテナの設置が有効であり、リピータ機能と高効率アンテナにより、1000m程度の距離まで安定した無線通信が可能であることを確認した。
- 2024年度、LTE (4G) や低軌道衛星を利用した通信 (Starlink) の通信試験を行い、基本動作を確認した。



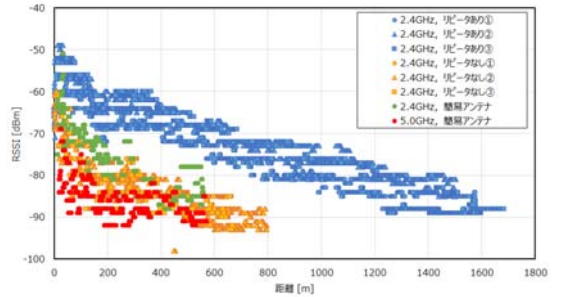
Wi-Fi機器および試験装置の構成 (2023年度)



小型実験船「神峰」



通信確認試験時のタブレット画面



通信確認試験の結果 (2023年度)

3. 小型実験船「神峰」の概要と陸上通信試験

- 小型実験船「神峰」は、海技研が所内の自動運航や遠隔操船の研究で使用している船舶である。
- 2024年度はStarlinkを含めたネットワーク利用技術や準天頂衛星システム「みちびき」を活用した高精度測位技術、高解像度映像転送を含めた船-陸間通信技術の調査・研究を進めている。



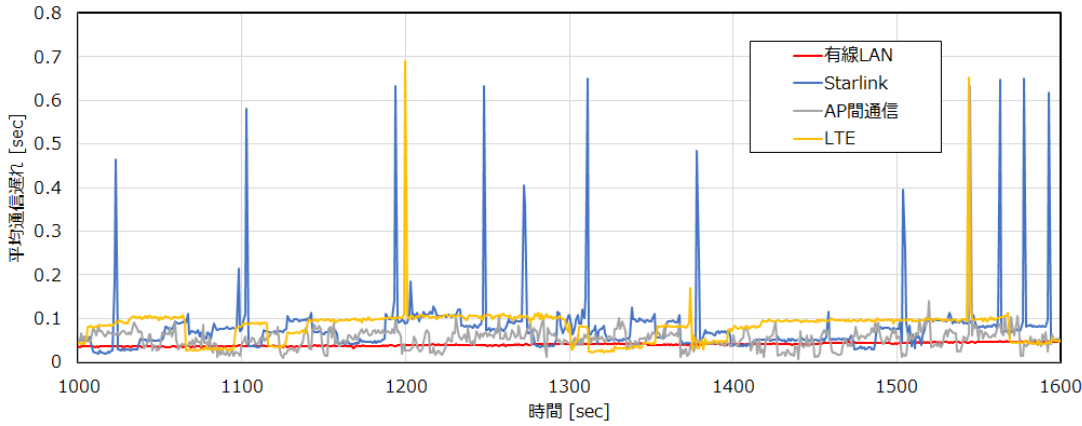
実船試験の様子



小型実験船「神峰」 (2024年度)

(1) 陸上通信試験における通信遅れ・通信遮断の計測例

- Starlink, LTEおよびNTT光回線によるネットワーク環境（拠点間VPN）を陸上に準備し、様々な試験を実施した。
- それぞれのネットワークにPLCを接続し、それぞれのPLCに入力されるGNSSの時刻（単位0.1sec）から通信遅れを計測した。
- 下図は、カメラやLiDARなどの高負荷ネットワーク機器は接続していない状態における計測例であり、StarlinkやLTEは有線LANと比べて通信遅れがやや大きく、ばらつきがあることがわかる。



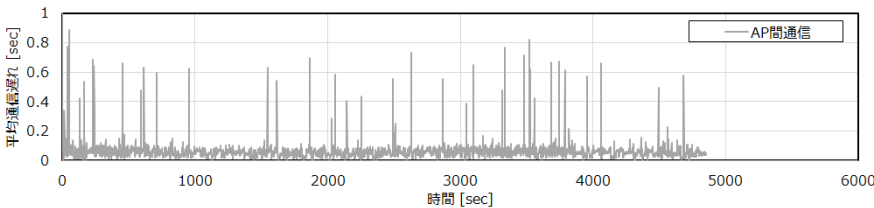
通信遅れの計測例

- ※ いずれの計測結果も、比較的安定して接続されているときの一例である。
- ※ 数時間に数回起こるような通信遮断・大きい通信遅れは除いている（次ページ参照）。
- ※ 通信遅れの原因が、ネットワーク回線なのか、VPN接続なのか、あるいはPLCリンクなのかなどは不明である。

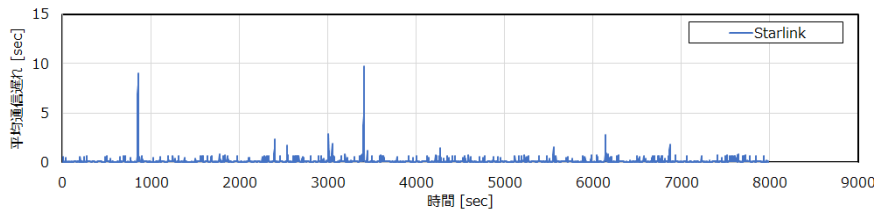
5

(1) 陸上通信試験における通信遅れ・通信遮断の計測例

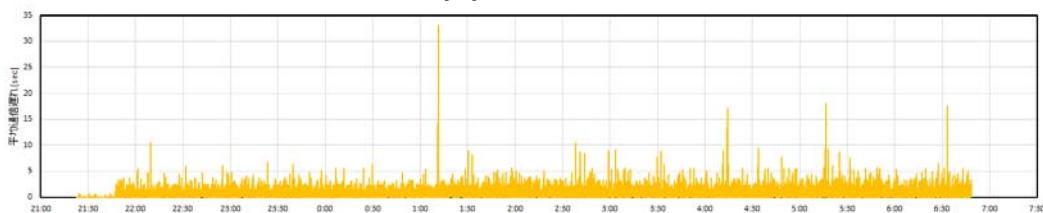
- 様々な環境において、数時間程度の長時間計測を行った。



- AP間通信（Wi-Fi）では、スパイク状の遅れが確認できるものの、1secを超えるような通信遅れは確認されていない。



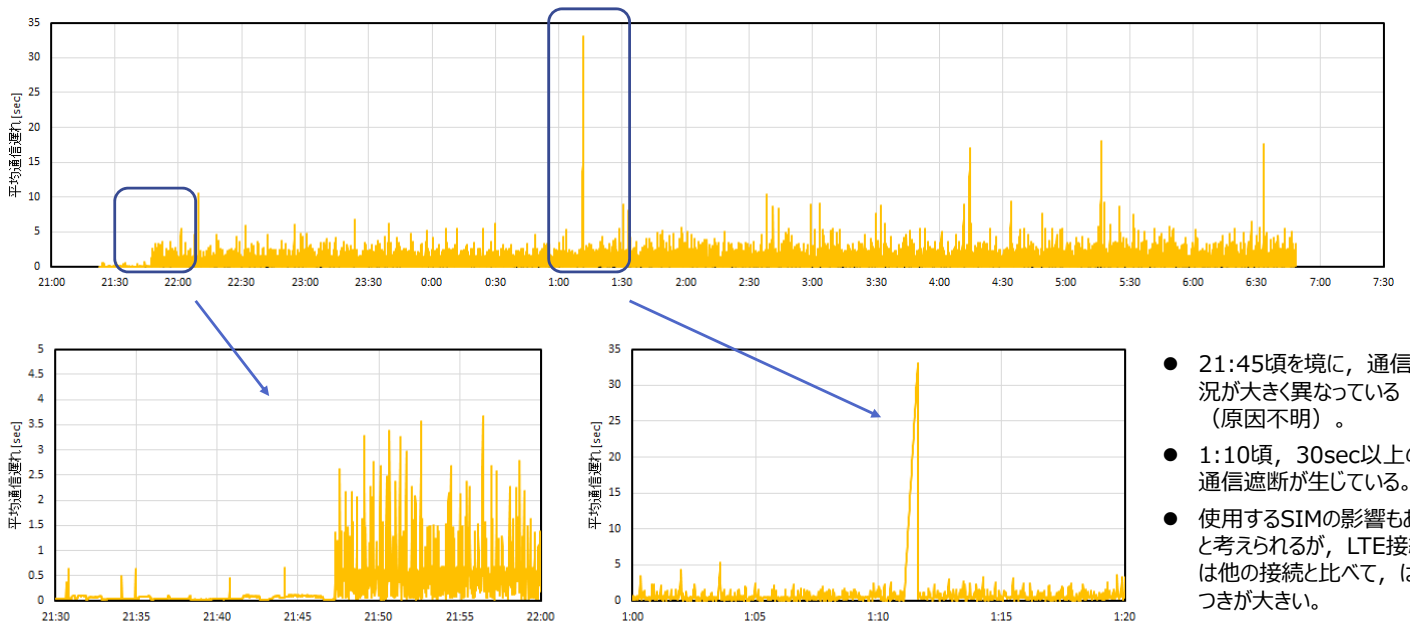
- Starlinkの接続は良好であるが、8000sec（約2時間）の計測中、8~10secの通信遅れが2回生じている。
- ただし、Starlinkの遮断か、拠点間VPNの遮断かは判断できない。



- LTE接続の長時間計測（一晚）の結果、LTE通信の不安定さが確認された（次ページ参照）。

6

【参考】LTE接続の通信遅れ・通信遮断

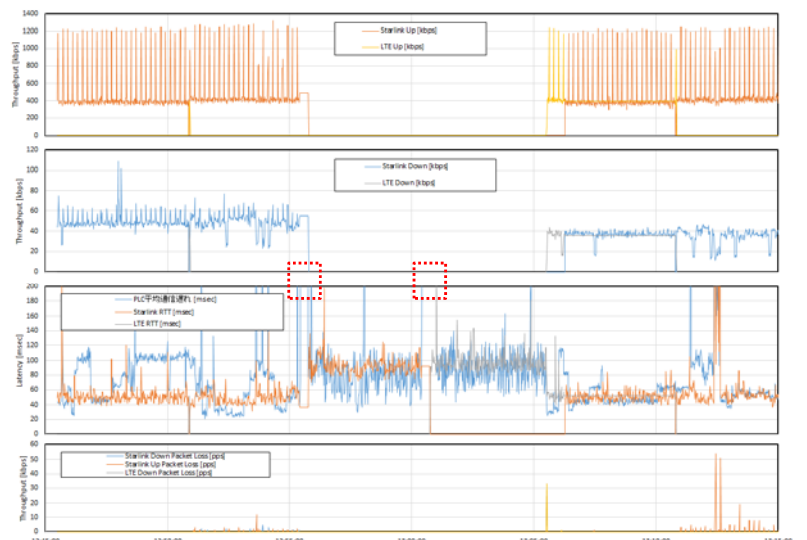


- 21:45頃を境に、通信状況が大きく異なっている（原因不明）。
- 1:10頃、30sec以上の通信遮断が生じている。
- 使用するSIMの影響もあると考えられるが、LTE接続は他の接続と比べて、ばらつきが大きい。

7

(2) 陸上通信試験における通信切り替え時の計測例

- 模型船の遠隔操船システムを構築し、船側のルータにStarlinkとLTE、陸側のルータにNTT回線とLTEを接続し、通信切り替え時の状態を詳細に計測した。
- いずれの状態であっても、拠点間VPNは接続され、通信遅れを計測・評価できる。
- 陸側をLTEとした場合、通信遅れはやや増加している。また、ThroughputとPacket Lossが計測されていない（原因不明）。
- ③への切り替え時と④への切り替え時、20～30sec程度の通信遮断が生じている。



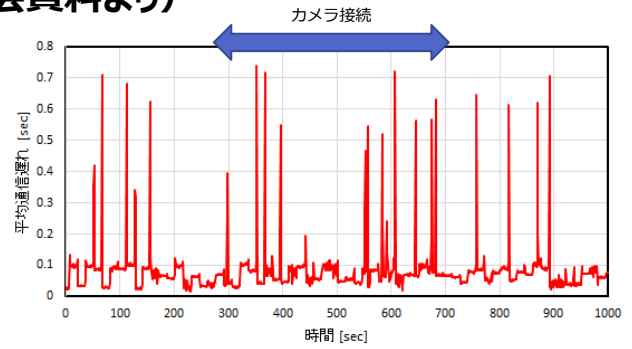
	① 12:45 ~12:50	② 12:50 ~12:55	③ 12:55 ~13:00	④ 13:00 ~13:05	⑤ 13:05 ~13:10	⑥ 13:10 ~13:15
船側	LTE	Starlink	Starlink	LTE	LTE	Starlink
陸側	NTT	NTT	LTE	LTE	NTT	NTT

8

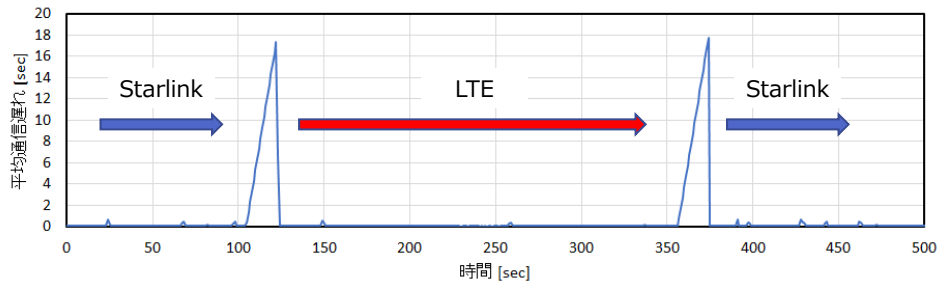
(3) 簡易システムによる陸上通信試験（前回委員会資料より）

- 通常、軽負荷時の通信遅れは、Starlink, LTEともに0.6～0.7sec程度であり、遠隔操船に問題となるレベルではない。ネットワークカメラなどの負荷は小さく、接続の有無によるPLC間の通信遅れの相違は確認できない。
- ただし、1日に数回の頻度で10sec以上の通信遮断が生じることがある。
- 故意にStarlinkのネットワークケーブルをはずし、自動切り替えの動作確認を行った。
- インターネット接続の切り替えは早いものの、VPNの影響によりStarlinkとLTEの切り替え時には20sec程度の時間を要する。

※ 前ページまでの試験とは異なるVPN接続方法である。



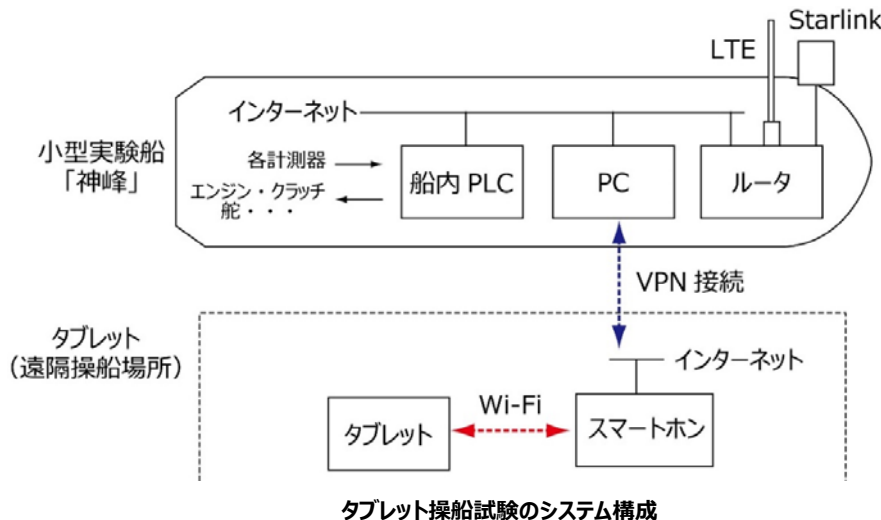
(a) ネットワークカメラ接続時の通信遅れの計測



(b) Starlink-LTE切替時の動作確認

4. 実海域試験に向けた予備試験

- 予備試験において、船体側は上記のStarlinkとLTEに接続されたルータによりインターネット環境を構築し、タブレットはスマートホンのWi-Fiテザリング機能によりインターネット環境を構築した。
- 本船に搭載しているパーソナルコンピュータ（PC）をVPNサーバとし、タブレット（OS：Windows）からVPN接続をした。

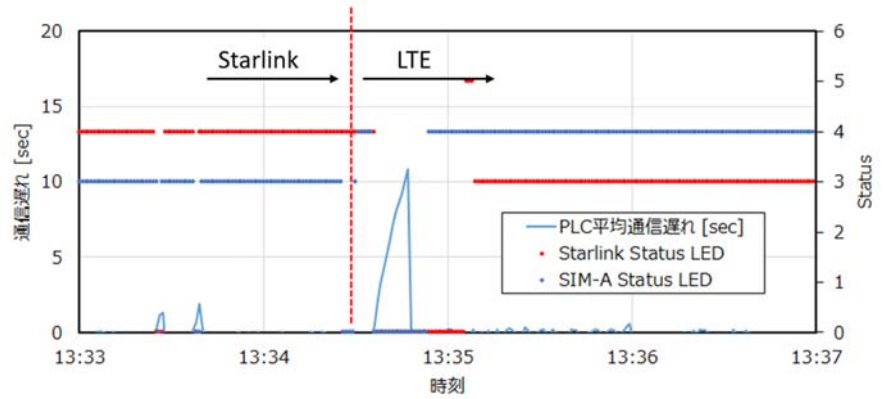


(1) 予備試験におけるタブレット操船

- 甲板上の操船者によるタブレット操船を実施し、通常動作に問題がないことを確認した。
- 一方、船上におけるインターネット環境は陸上と比べて必ずしも安定していないこと、StarlinkとLTEとの切り替え時に通信遅れが生じ得ること、VPNの再接続時に時間を要することには十分な注意が必要である。
- 例えば、StarlinkからLTEに切り替わる際、最大12sec程度の通信遅れが生じている。



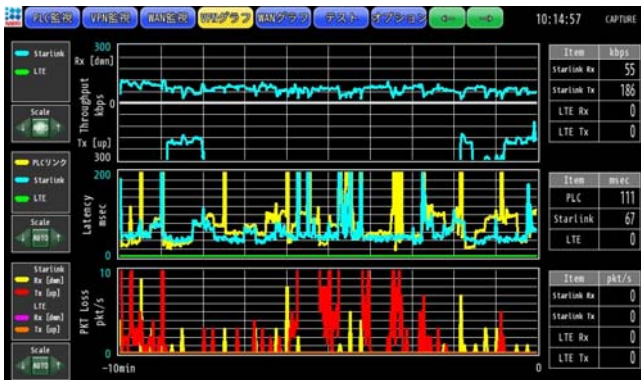
甲板上の操船者によるタブレット操船



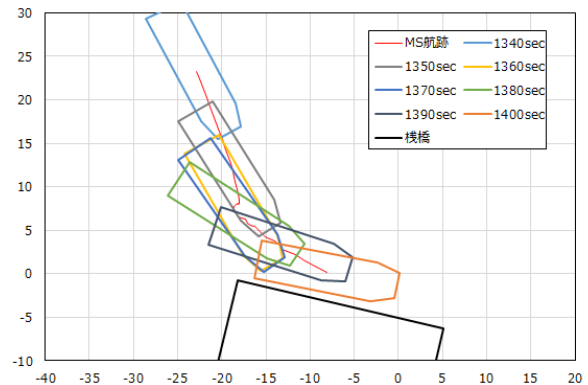
タブレット操船試験時のStarlinkとLTEとの切り替え

(2) 実海域試験のためのプログラムの動作確認

- 別途準備した通信状態を正確に計測するプログラムの動作を確認した。本プログラムには、基準となるGNSS時刻を比べて通信遅れを計測する機能、StarlinkとLTEの切り替え状況やその健全性を確認し、表示する機能を有している。
- 自船位置確認プログラムとしては、海技研の所内研究等で使用している既設の準天頂衛星システム「みちびき」とその計測プログラムにより、高精度な測位が可能であることを確認した。
- これらのプログラムが実海域試験の安全対策として有効である。



通信監視画面例



小型実験船「神峰」の着岸時計測結果の一例

5. まとめ

- ① 2024年度、小型実験船「神峰」を用いて、遠隔操船試験及びLTEやStarlinkの試験を行った。
- ② LTEやStarlinkのインターネット接続を用いることにより、2023年度に実施したWi-Fiによるアクセスポイント間通信と比べて、長距離通信が可能となるのは明らかであり、また、陸上監視などを行う場合にはメリットが大きい。
- ③ 一方、本事業で検討を進めている数百m程度の見通し範囲内の近距離通信の場合、海上におけるLTEの通信状態悪化や通信遅れなどの課題があり、Wi-Fiによるアクセスポイント間通信に対するメリットはほとんどないと考えられる。
- ④ したがって、2025年度に実施を計画している実海域試験においては、2023年度に実施したWi-Fiによるアクセスポイント間通信を使用することとして検討を進める。

添付資料 6

実海域試験の試験方案及び

遠隔操縦装置とポンプジェットの接続試験

トリプル連結バージ 実海域試験の試験方案と遠隔操縦装置と ポンプジェットの接続試験

1

1. 2024年度事業内容

- 2024年度、トリプル連結バージの操船シミュレータ及び遠隔操縦システムに関連する事業においては、(1) 操船シミュレータに関する技術資料、(2) 切り離されたバージの遠隔操縦システムに関する技術資料を作成した。

(1) 操船シミュレータに関する技術資料

- ① 3隻のバージとプッシャーを連結した状態を模擬した操船シミュレータによる本船の見え方を確認
- ② 切り離されたバージを模擬したシミュレータによる操船者の視認性を確認

(2) 切り離されたバージの遠隔操縦システムに関する技術資料

- ① 模型バージと陸上用遠隔操縦システムによる水槽試験の実施
- ② 実海域試験に向けた予備試験として小型実験船による遠隔操船試験並びにLTE等の通信試験の実施
- ③ 実海域試験のための安全対策プログラムおよび自船位置確認プログラムの小型実験船による動作確認
- ④ 実海域試験の試験方案の作成

2

2. 実海域試験方案

No.	試験項目	概要
1	機能確認試験（係留時）	<ul style="list-style-type: none"> 係留時，本試験設備のスイッチ操作や通信機能，計測機能などの確認を行う。 係留時，陸上の遠隔操船システムの操縦権切り替え機能を確認する（通常の手動切り替え）。
2	安全対策確認試験（係留時）	<ul style="list-style-type: none"> 係留時，本試験設備の安全対策が有効であることを確認する（機器故障時の警報発令，遠隔操船時の模擬故障試験，通信異常時の切り替え，非常停止スイッチなど）。
3	バージ性能評価試験	<ul style="list-style-type: none"> バージ甲板上の操船システムを用いて，バージ単体の速力試験，前後進試験（制動試験），スラスト試験（通常回頭，横移動，その場回頭など）を行う。
4	遠隔操船模擬試験	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔操船システムを船上に設置した状態で，産業用タブレットによって，No.3と同様にバージを操船し，操船性を確認する。
5	バージ離着棧試験	<ul style="list-style-type: none"> バージ甲板上の操船システムを用いて，沖合（仮想岸壁）で習熟運転を兼ねた操船試験を行う。 習熟運転を行った後，実岸壁への着棧・離棧操船を行う。
6	遠隔操船離着棧試験	<ul style="list-style-type: none"> 陸上の遠隔操船システム（産業用タブレット）によって，沖合（仮想岸壁）で習熟運転を兼ねた操船試験を行う。 習熟運転を行った後，実岸壁への着棧・離棧操船を行う。
7	連結バージ実証試験（デモンストレーション）	<ul style="list-style-type: none"> バージを沖合数百mの位置まで移動させる。 バージを切り離したことを想定して，プッシャー船を模擬した随伴船，またはバージ甲板上の操船システムによってバージを岸壁近くまで移動させる。 陸上用の遠隔操船システムに切り替えて，実岸壁へ着岸させる。 バージを離岸した後，沖合数百mの位置まで移動させる。

3

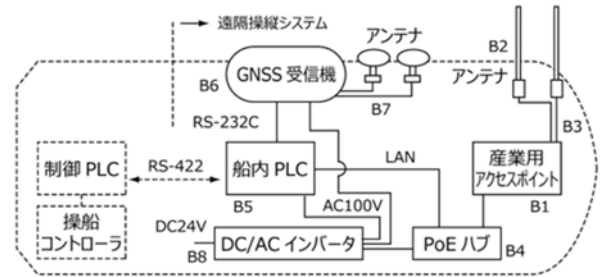
3. 実海域試験のタイムスケジュール案

日数	試験項目	備考
---	機能確認試験（係留時）	✓ 基本機能を確認する。
---	安全対策確認試験（係留時）	✓ 安全対策機能を確認する。
1日目am	各種機器調整	✓ 各プログラム調整など
1日目pm	バージ性能評価試験	✓ 速力試験：内容は別途検討
2日目am		✓ 前後進試験（制動試験）：内容は別途検討（通常船舶の前後進の他，横移動時の制動確認等も必要）
2日目pm	遠隔操船模擬試験	✓ スラスト試験（通常回頭，横移動，その場回頭など）：内容は別途検討
2日目pm	遠隔操船模擬試験	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 操作権の切り替えがスムーズであることを確認する。 ✓ タブレット操船の操作性に問題がないことを確認する。
3日目am	バージ離着棧試験	✓ 習熟運転を兼ねる。
3日目pm	遠隔操船離着棧試験	✓ 習熟運転を兼ねる。
4日目am	連結バージ実証試験・予行	✓ 一連の流れを検証する。
4日目pm	連結バージ実証試験（デモンストレーション）	✓ 一連の流れを検証する。

4

4. 実海域試験に向けた通信確認試験

- 2025年2月, 制御PLC (ナカシマプロペラ) と船内PLC (海技研) の通信について動作確認を行った。
- 制御PLCと船内PLCとはRS-422により接続し, 決められた手順によって産業用タブレットに操作権が移行されることや, 産業用タブレットの操作によって実機のポンプジェットスラスタを運転できることを確認した。

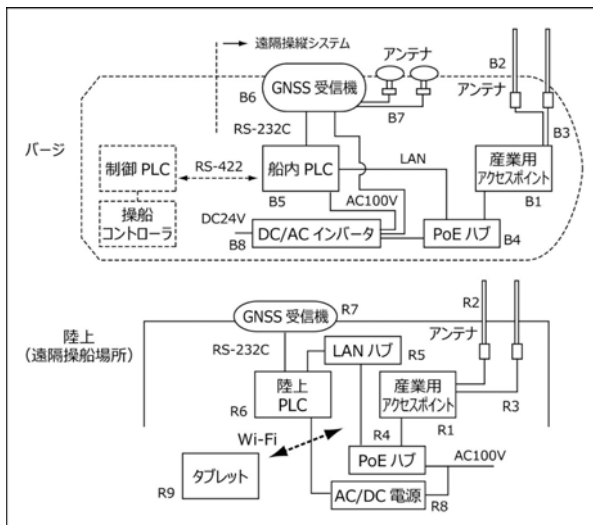


通信確認試験の様子 (ナカシマプロペラ)

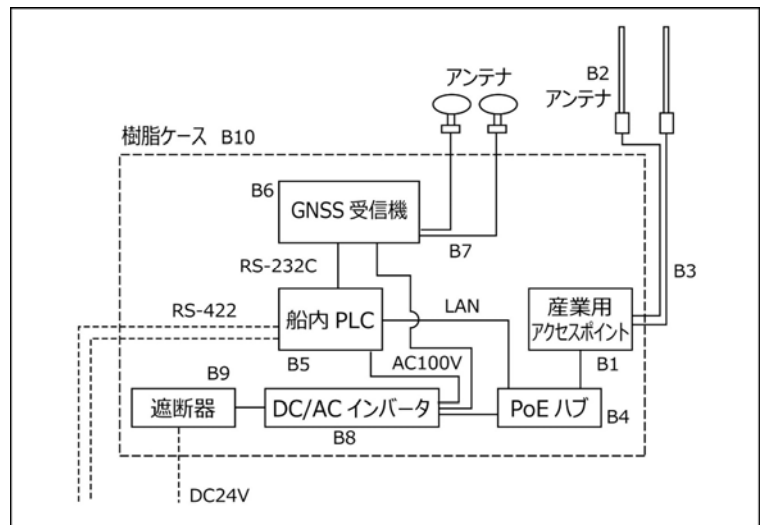
5

5. 実海域試験に用いる遠隔操縦システムの検討

- 本事業の実海域試験の準備を進めている本瓦造船株式会社およびナカシマプロペラ株式会社との打ち合わせを踏まえて, 実海域試験に用いる遠隔操縦システムの検討を進めた。



遠隔操縦システムの全体構成案



試験用バーズに搭載する遠隔操縦システムの配線図 (案)

6

添付資料 7

実証実験に使用するバージの改造図等の作成及び
推進システムを搭載したブロック等の製作

「内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築（フェーズ2）」事業
 ートリプル連結バージ遠隔操縦システムの実証実験に使用するバージの改造図等の作成
 及び推進システムを搭載したブロック等の製作ー
 請負業務報告書

2025年3月5日
 本瓦造船株式会社

1. 請負業務の目的

内航カーボンニュートラル実現に向けた取組みが進められており、環境整備として安全基準の策定が重要となる。一方、内航船安全基準は大型外航船の条約がベースとなっており、小型内航船への新技術の導入等にあたって同等安全証明（安全評価）が必要となることが多い。しかし、それらを内航船建造の小型造船所が行うこと、特に高度な証明が必要な新コンセプト船の安全評価を行うことは困難である。

このため、新コンセプト船の一つであるトリプル連結バージを対象に、切り離されたバージの遠隔操縦装置の安全性等を評価することで安全評価手法を構築し、脱炭素化・船舶産業の発展の一助とする。

2. 請負業務の内容

トリプル連結バージに関し、切り離したバージの遠隔操縦装置の安全性を評価するため、2025年度に実海域でバージを使用して実証実験を実施するが、この実証実験に使用するバージ（以下「試験用バージ」という。）の改造図等を作成するとともに、その改造図に基づきバージに設置する推進システムを搭載したブロック等を製作する。

なお、2025年度に行う実証実験の手順は次のとおりとし、本実証試験に使用できるバージを前提として本業務を実施する。

No.	試験項目	概要
1	機能確認試験（係留時）	● 係留時、本試験設備のスイッチ操作や通信機能、計測機能などの確認を行う。
2	安全対策確認試験（係留時）	● 係留時、本試験設備の安全対策が有効であることを確認する（機器故障時の警報発令、遠隔操船時の模擬故障試験など）。
3	試験用バージ性能評価試験	● バージ甲板上の操船システムを用いて、バージ船単体の速力試験、前後進試験、スラスタ試験（通常回頭、横移動、その場回頭など）を行う。
4	試験用バージ離着棧試験	● バージ甲板上の操船システムを用いて、沖合で習熟運転を行った後、実岸壁への着棧・離棧操船を行う。
5	遠隔操船試験（プッシャー船操舵席からの操船）	● プッシャー船の操舵席に設置する遠隔操船システムによって、バージを操船する。
6	遠隔操船試験（操縦権切り替え試験）	● バージ甲板上、プッシャー船の操舵席および陸上用の遠隔操船システムの操縦権切り替え機能を確認する（通常の手動切り替えおよび通信異常時の自動切り替え）。
7	遠隔操船試験（操縦権切り替え試験）	● 陸上用の遠隔操船システムによって、バージを操船する。 ● 習熟運転を行った後、実岸壁への着棧・離棧操船を行う。
8	連結バージ実証試験（デモンストレーション）	● プッシャー船によりバージ船を沖合数百mの位置まで移動させる（模擬連結状態）。 ● バージを切り離した後、プッシャー船の操舵席に設置する遠隔操船システムによってバージを岸壁近くまで移動させる。 ● 陸上用の遠隔操船システムに切り替えて、実岸壁へ着岸させる。 ● バージを離岸した後、沖合数百mの位置でプッシャー船と模擬的に連結する。

(1) 実証実験に必要なバージの改造図等の作成

「内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築」事業（以下「フェーズ 1 事業」という。）で 2023 年度に作成した試験用バージの一般配置図、諸管系統図等に基づき、造船所において工事するための改造図（構造図、配管図、艀装図等）及び試験用バージの臨時航行検査に必要な図面（救命・消防設備配置図等）を作成する。試験用バージの形状等は上記一般配置図によるものとし、推進システム及び遠隔操縦システムについては、フェーズ 1 事業において 2023 年度に作成した「自律バージの推進システムに関する資料」及び「自律運航バージの遠隔操縦システムに関する資料」によるものとする。

図 2 に試験用バージの一般配置図（改造イメージ）を示す。着色部が既存バージ部分を、非着色部が改造ブロック部分を示す。

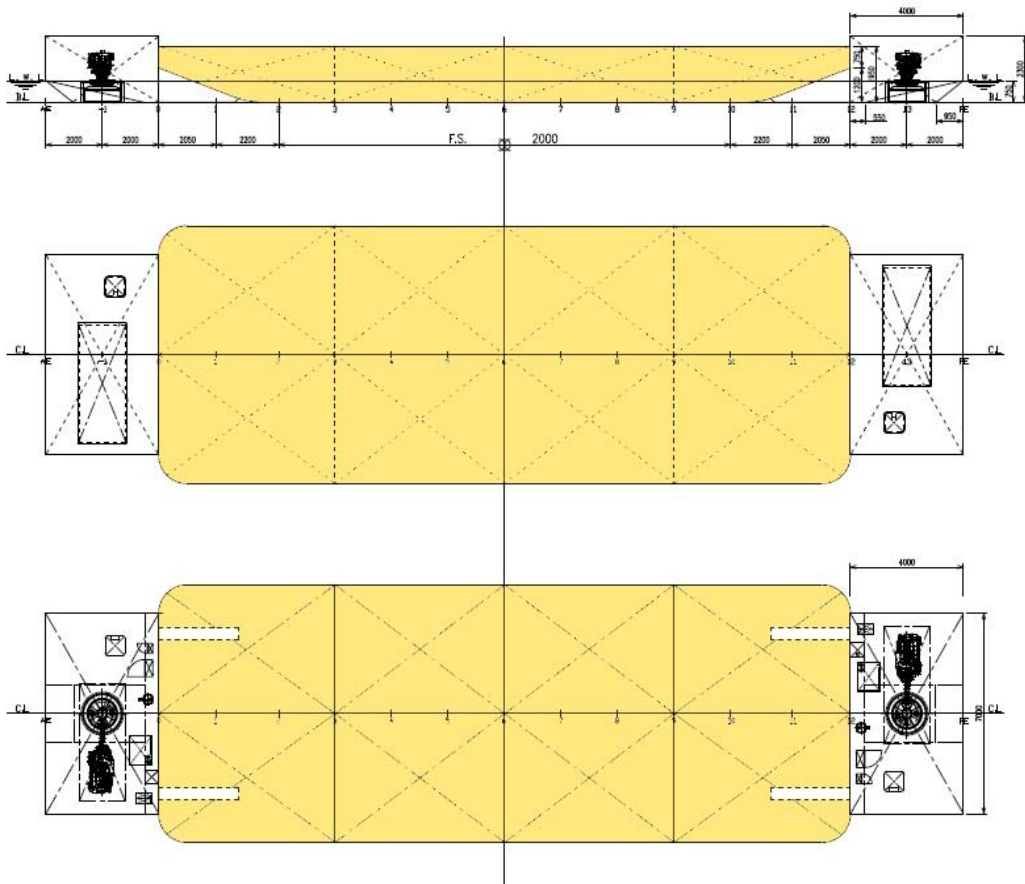


図 2 試験用バージ一般配置図（改造イメージ）

(2) 試験用バージに設置する推進システムを搭載したブロック等の製作

(1) で作成した改造図に基づき、試験用バージに設置する推進システムを搭載したブロック及び艀装品を製作する。製作する艀装品の範囲は、監督職員と協議の上で決定するものとする。

また、製作したブロック及び艀装品は、2025 年度に行う試験用バージへの取付けまで適切に保管するものとする。

なお、推進システムの設置については専門設備や技術を必要とするため、外部機関等に再委託する。

(3) 報告

定期的かつ要請があった際には当会に事業の進捗報告を実施するとともに、「内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築（フェーズ2）」事業の関係委員会において、業務内容の報告を行う。

3. 請負業務の結果

(1) 実証実験に必要なバージの改造図等の作成

2023年度に作成した試験用バージの一般配置図とポンプジェットスラスターメーカー図に基づき、改造ブロックの鋼材配置図、中央断面図及び艀装配置図を作成した。改造ブロックはバージ推進時の水抵抗を減らすため船底角部を傾斜させる形状とした。改造ブロックと既存バージとの接合部分は強固にするため三角形のスケグを船首尾各2条設けた。ポンプジェットスラスターのアウトターウェル取付部とスラスター駆動用ディーゼルエンジン架台取付部は特に強固な構造とした。

艀装配置図作成にあたっては事前に本改造バージの実海域試験において規則上必要な設備について管轄官庁と協議した。協議の結果、

- ・総トン数100トン未満、全長50メートル未満の自航船（第4種船）として取り扱うこと
- ・航行区域は岸壁から1000メートル未満の平水区域とし、試験一回あたりの航行時間を1.5時間未満とすること
- ・夜間航行及び錨泊はしないこと
- ・最大搭載人員は数名程度であること

を条件として救命、消防その他安全設備を決定し、図中に記載した。

表3にバージ改造前と改造後の主要寸法の比較を示す。

添付資料1に鋼材配置図、中央断面図、艀装配置図を示す。

添付資料4にポンプジェットスラスター及びスラスター駆動ディーゼルエンジンのメーカー図を示す。

表3 バージ改造前と改造後の主要寸法の比較

	改造前	改造後
全長	24.50m	32.50m
全幅	9.00m	9.00m
深さ	1.95m	1.95m（船首尾部2.30m）
総トン数	約60トン	約83トン

なお、艀装配置図作成にあたり規則上必要な設備について管轄官庁（今回は中国運輸局尾道海事事務所）と協議したと前述したが、このように非自航船を極短距離の自航船として取り扱った場合にどういった規制がかかるかについて一定の知見が得られた。添付3に実海域試験で要求された法定設備及び提出図書一覧を示す。

トリプル連結バージの運用においてバージ切り離し後のバージ自航または遠隔操作といった運用の実現のためにも、実海域試験結果をもとに今後も自航バージに関する安全基準の適用範囲及び船員法・船舶職員法等関連法の検証が必要である。

(2) 試験用バージに設置する推進システムを搭載したブロック等の製作

鋼材配置図、中央断面図に基づき、本瓦造船第二工場にて船首改造ブロック及び船尾改造ブロックを製造した。

写真 3 にブロックの全景写真を示す。

添付資料 2 にブロックの工事写真を示す。

なお、推進システムの設置については専門設備や技術を必要とするため、ナカシマプロペラ株式会社に再委託した。



写真 3.1 船首改造ブロック



写真 3.2 船尾改造ブロック

(3) 報告

日本船舶技術研究協会に対し主に Web 会議にて適宜業務の進捗報告を実施するとともに、2025 年 1 月 28 日に開催された第 3 回内航 CN 実現に向けた新技術の安全評価委員会においても進捗報告を実施した。

以上

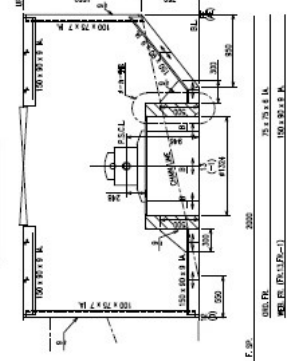
添付資料 1

鋼材配置図

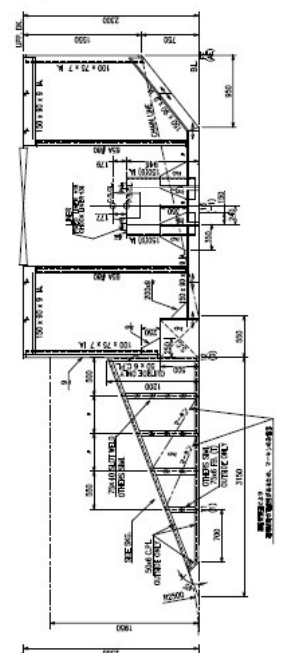
中央断面図

艀装配置図

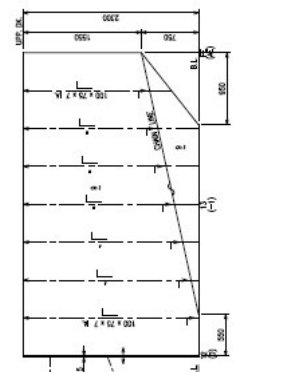
CENT. LINE SEC.



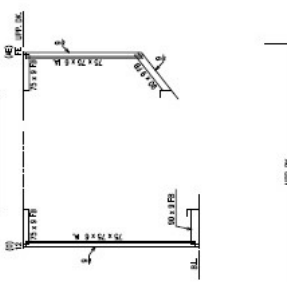
SIDE GIR. SEC.



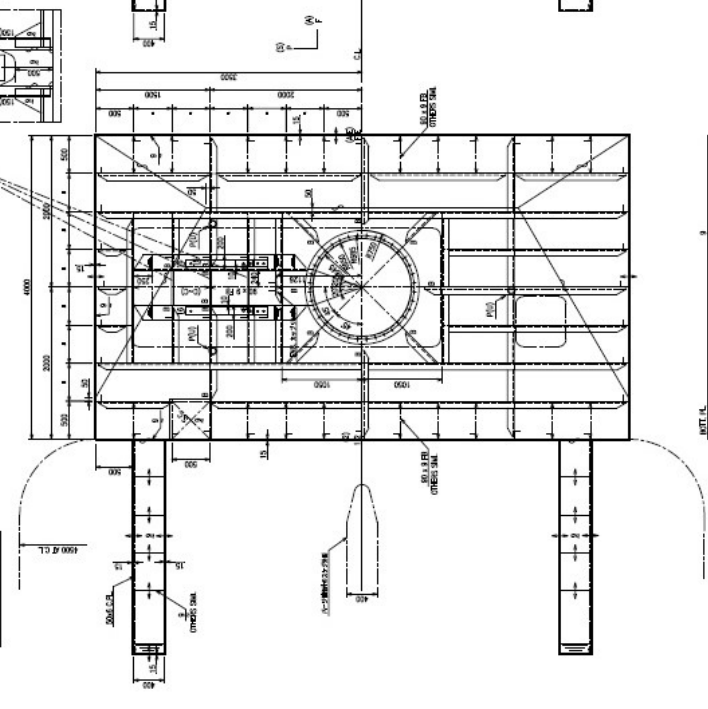
SIDE SHELL SEC.



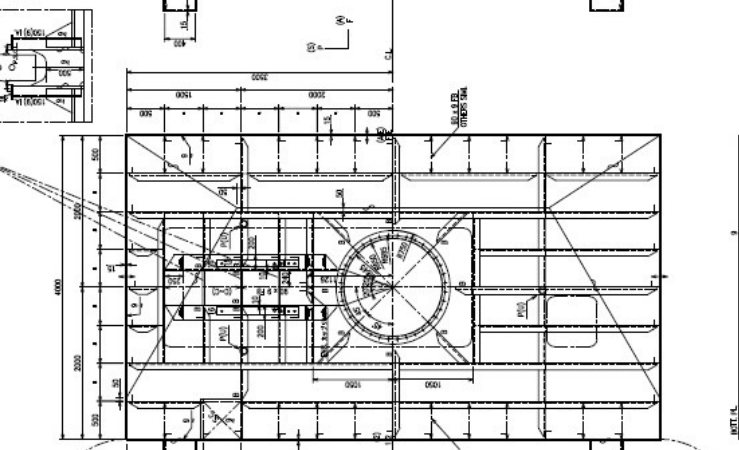
ORD. STIFF. SEC.



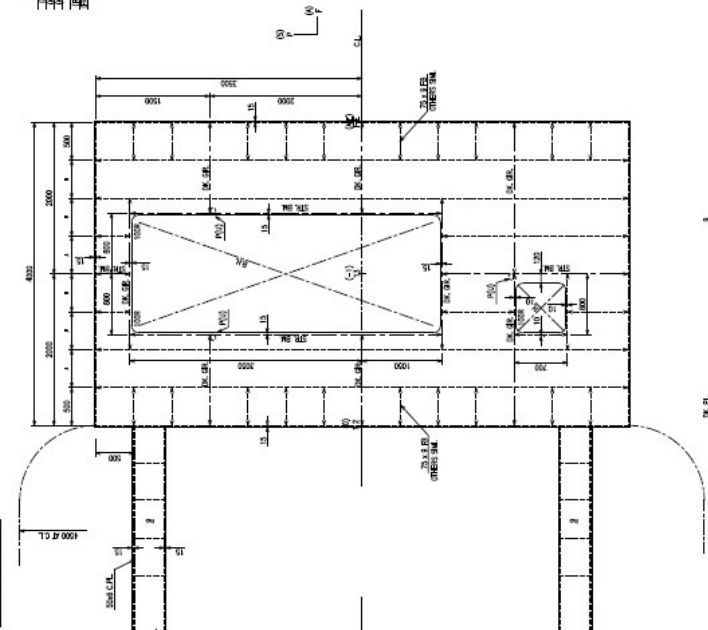
SKG. BOT. PLAN



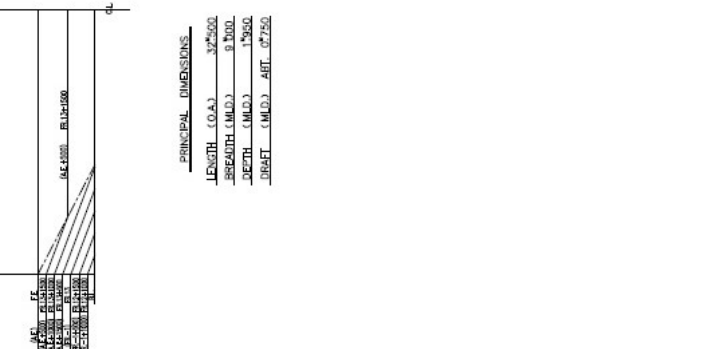
BOTT. PLAN



SKG. TOP PLAN



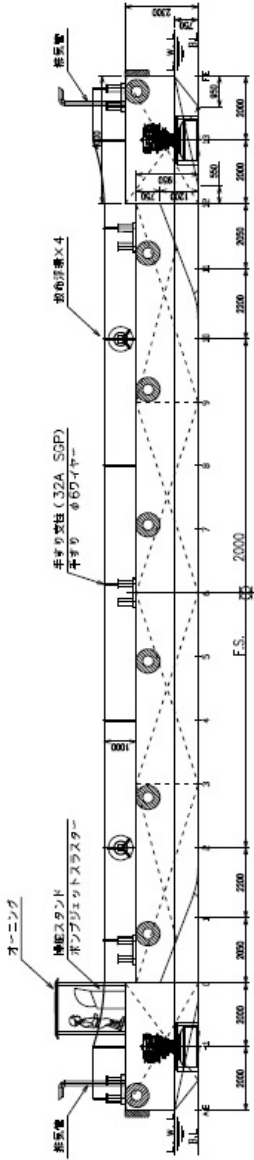
UPP. DECK PLAN



PRINCIPAL DIMENSIONS
 LENGTH (O.A.) 37500
 BREADTH (M.D.) 9700
 DEPTH (M.D.) 47500
 DRAFT (M.D.) 10750

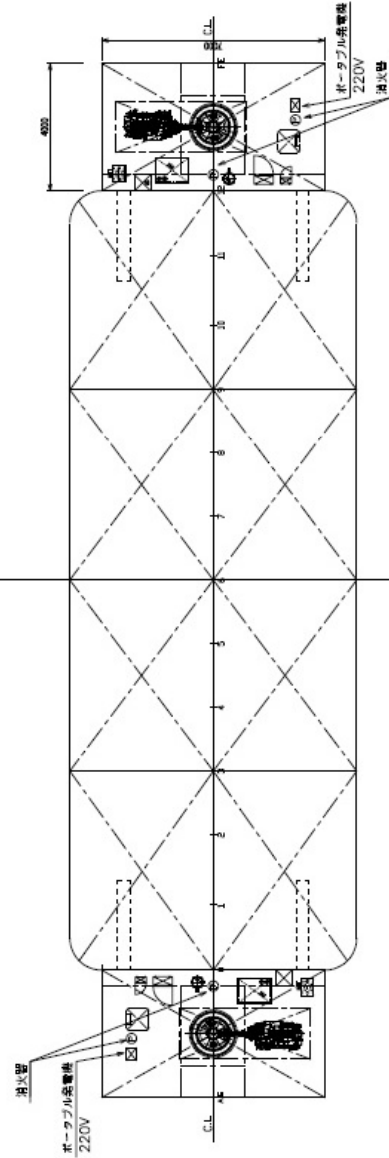
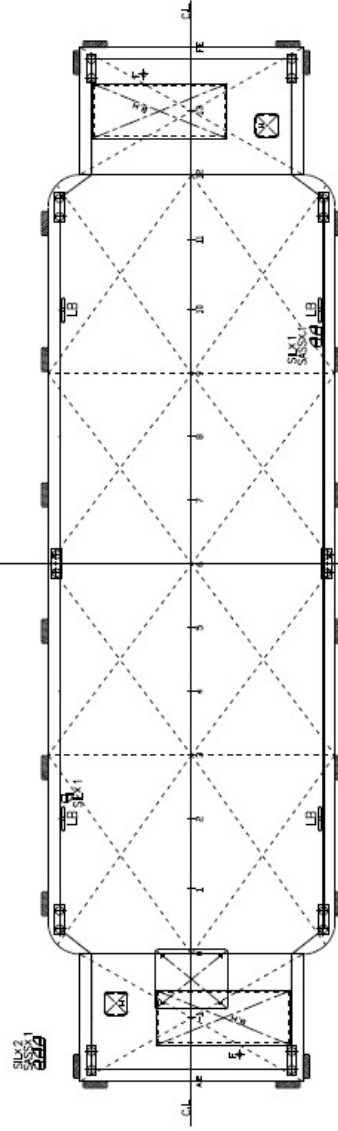
SK. PL.	100.000.0.0 A.
SK. SP.	100.000.0.0 A.
SK. STW.	100.000.0.0 A.
SK. STR.	100.000.0.0 A.

BOTT. CL.	100.000.0.0 A.
BOTT. BR.	100.000.0.0 A.
FLOR.	100.000.0.0 A.
STR. DECK.	100.000.0.0 A.



PRINCIPAL DIMENSIONS

LENGTH (O.A.)	32,500
BREADTH (M.L.D.)	5,000
DEPTH (M.L.D.)	1,950
DRAFT (M.L.D.)	AFT. 0.750



(S=1/150) 2025.02.28.R4
 H-5302 D. No HK-3260 備装配置図 1/1

添付資料 2

工事写真



切断部材(条材・補強材)



切断部材(板材)



板継ぎ



部材取付



エンジンベッド組立



スケグ組立



全体組立



全体組立



アウターウェル(ポンプジェット取付台)



アウターウェル及びエンジンベッド取付



船底側



上甲板側



船底弁箱取付



船尾ブロック



船首ブロック



改造前の既存バージ

添付資料 3

改造バージの法定設備及び提出図書一覧

改造バージ 法定設備一覧 (JG尾道との打ち合わせによる)

船舶設備規程

項目	必要数	対応内容	適用規則
船員室	—	航行時間を3時間未満とすることで不要。その他の乗船者の椅子席も不要としたいので、1.5時間未満で計画する。	
錨	—	錨泊を想定していないので不要。	123条、124条
錨鎖	—	同上	125条
汽笛	—	見張り船により周囲を警戒するため、不要。	146条の7
号鐘	—	見張り船により周囲を警戒するため、不要。	146条の9
羅針儀	—	航行区域が限られており、不要。	146条の22
発電設備			
・バッテリー	2組	主機始動用として2組搭載する。	183条
・発電機	1台	スラスタ用にて220Vの電力が必要なので、発電機を搭載する。	
停泊灯	—	錨泊を想定していないので不要。	9号表
紅灯	—	錨泊を想定していないので不要。	9号表
黒色球形形象物	—	錨泊を想定していないので不要。	9号表

船舶救命設備規則

項目	必要数	対応内容	適用規則
救命いかだ	—	平水区域のため、不要。	68条、69条
救命浮環	4	4個搭載する。	70条
救命胴衣	人数分	人数分搭載する。最大搭載人員は調整中。	71条
自己点火灯	2	2個設置する。	74条
自己発煙筒	1	1個設置する。	74条

船舶消防設備規則

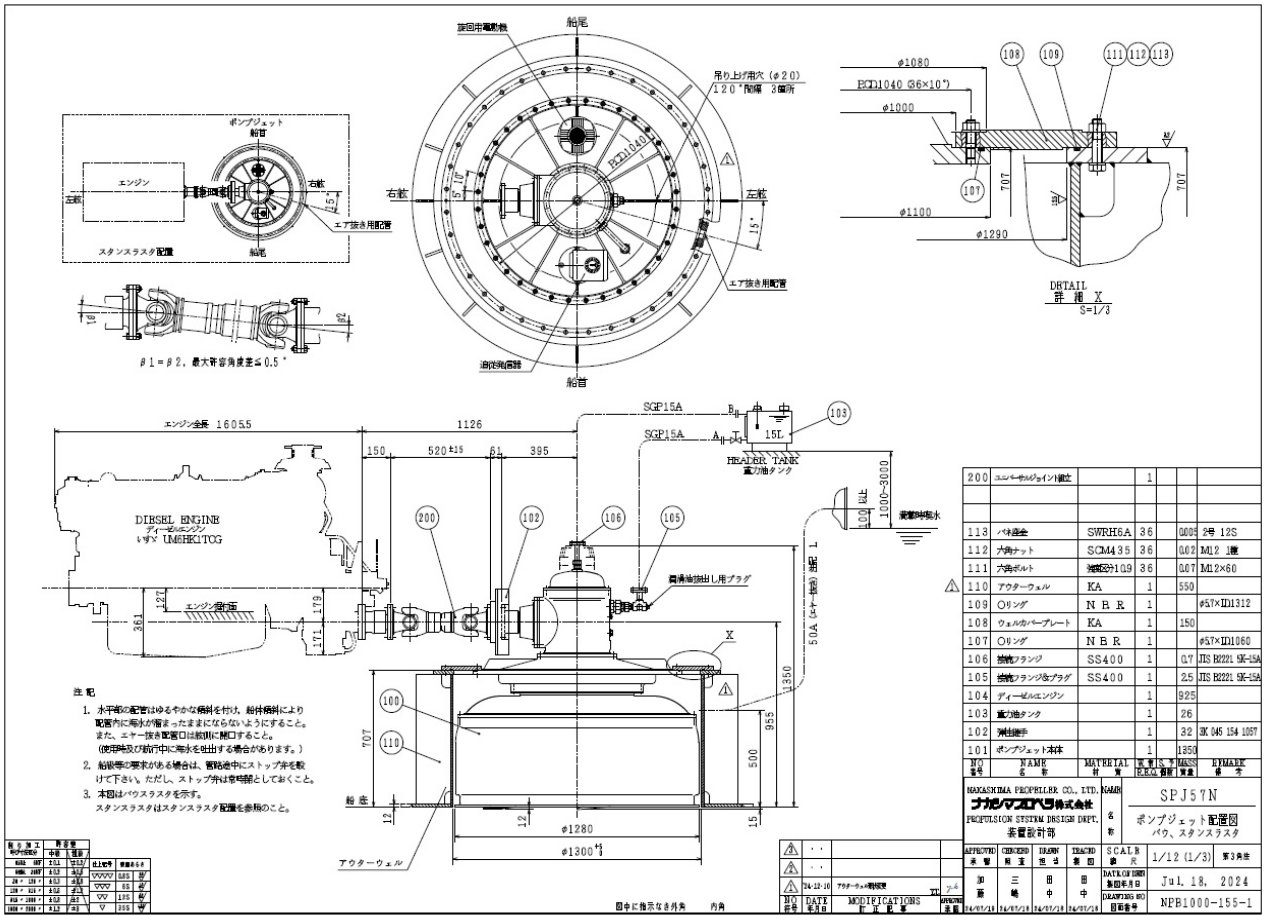
項目	必要数	対応内容	適用規則
内燃機関用消火器	4	各スラスタ室に2個ずつ必要。合計4個。船尾スラスタ室の消火器は制御場所と兼用するのでスラスタ室に1個、制御装置の近くに1個配置する。	60条
制御場所用消火器	—	スラスタ室用の消火器と兼用する。	62条
予備の消火剤	—	予備の消火剤は不要。	71条

提出図書一覧

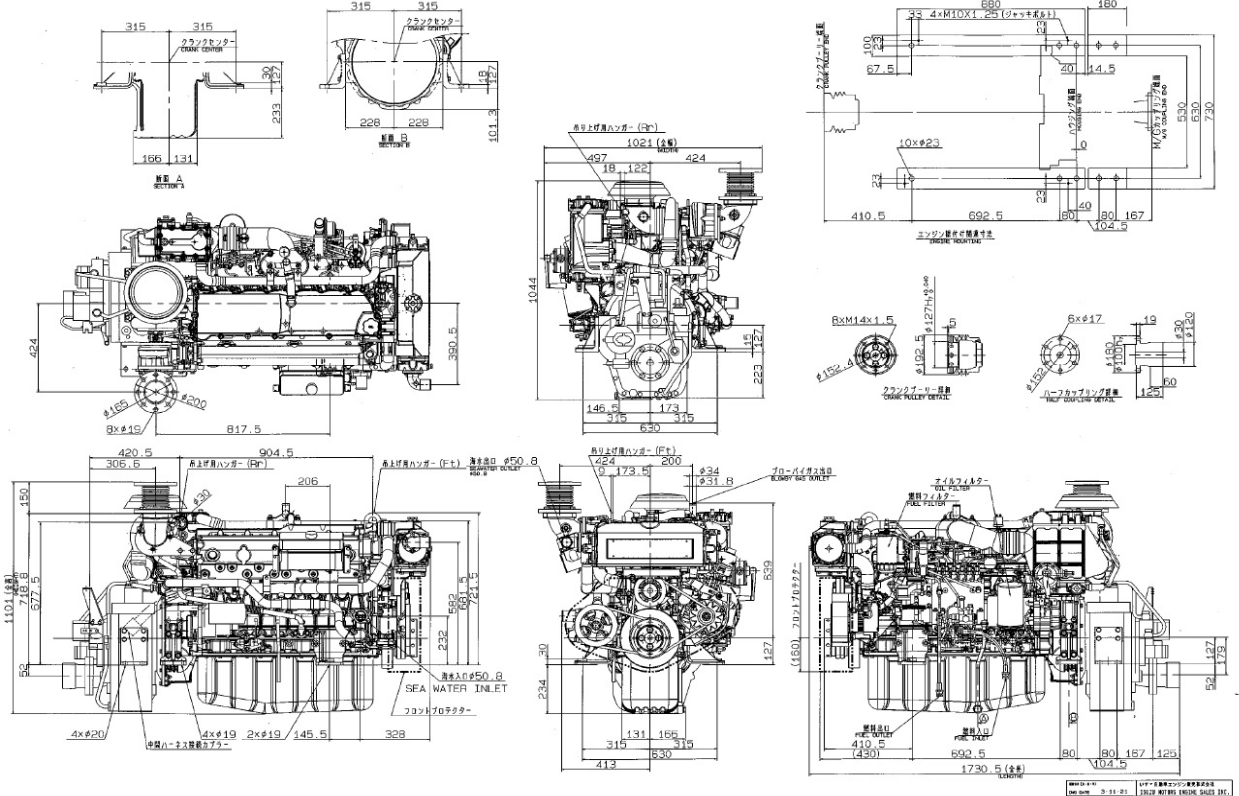
項目	提出有無	対応内容
復原性計算書	○	
トリム計算書	○	
構造部材計算書	×	JGでは部材計算書の確認はしない。
測度要領図	○	
構造図	○	
配管図	○	
機器配置図	○	
スラスタ図面	○	

添付資料 4

ポンプジェットスラスタ－図面
スラスタ－駆動ディーゼルエンジン図面



ISUZU UM6HK1TCG DIESEL ENGINE MGN46E-26



添付資料 8

トリプル連結バージの運航コスト試算（分析）

コスト分析

単位：千円

	トリプル連結バージ																
	199GT一般貨物船						PJなし					PJあり					
	1隻部	6隻分	B	B×6	P	P×2	計	B	B×6	P	P×2	計	B	B×6	P	P×2	計
建造船価	500,000	3,000,000	400,000	2,400,000	450,000	900,000	3,300,000	440,000	2,640,000	450,000	900,000	3,540,000	440,000	2,640,000	450,000	900,000	3,540,000
1 船舶経費																	
船員費*	76,860	461,160	0	0	87,840	175,680	175,680	10,980	65,880	87,840	175,680	241,560	10,980	65,880	87,840	175,680	241,560
修繕費	14,500	87,000	11,600	69,600	13,050	26,100	95,700	12,760	76,560	13,050	26,100	102,660	12,760	76,560	13,050	26,100	102,660
船用品費	3,000	18,000	2,400	14,400	2,700	5,400	19,800	2,640	15,840	2,700	5,400	21,240	2,640	15,840	2,700	5,400	21,240
潤滑油費	1,000	6,000	800	4,800	900	1,800	6,600	880	5,280	900	1,800	7,080	880	5,280	900	1,800	7,080
保険費	5,280	31,680	6,908	41,448	10,341	20,682	62,130	7,740	46,440	10,341	20,682	67,122	7,740	46,440	10,341	20,682	67,122
固定資産税	2,038	12,225	1,630	9,780	1,834	3,668	13,448	1,793	10,758	1,834	3,668	14,426	1,793	10,758	1,834	3,668	14,426
雑費	1,000	6,000	800	4,800	900	1,800	6,600	880	5,280	900	1,800	7,080	880	5,280	900	1,800	7,080
船主店費	14,652	87,911	5,841	35,046	15,612	31,224	66,270	7,537	45,223	15,612	31,224	76,448	7,537	45,223	15,612	31,224	76,448
減価償却費	36,000	216,000	28,800	172,800	32,400	64,800	237,600	31,680	190,080	32,400	64,800	254,880	31,680	190,080	32,400	64,800	254,880
設備金利	6,840	41,041	5,472	32,833	6,156	12,312	45,145	6,019	36,116	6,156	12,312	48,428	6,019	36,116	6,156	12,312	48,428
合計	161,169	967,017	64,251	385,507	171,733	343,466	728,973	82,910	497,458	171,733	343,466	840,924	82,910	497,458	171,733	343,466	840,924
2 運航経費																	
燃料費		152,555					164,739					164,739					164,739
港費		20,736					30,240					30,240					30,240
運航店費		91,225					73,916					73,916					82,872
合計		264,515					268,896					268,896					277,852
コスト総計		1,231,532					997,869					1,118,775					1,118,775

* 内航海運コスト分析調査（令和6年3月 内航総連）による 一人当たりの船員費：10,980 千円

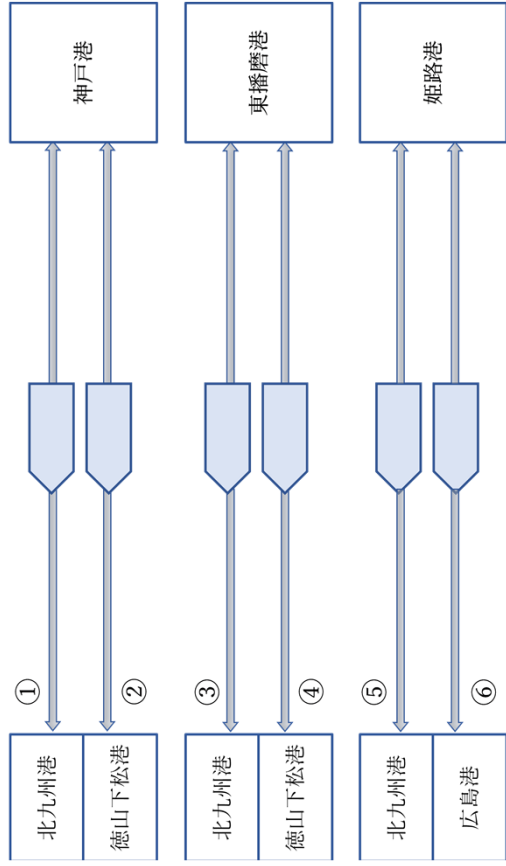
船員の数：199GT貨物船は、4人＋予備員3人の計7人 6隻分は、42人

トリプル連結バージ（749GT貨物船相当）は、5人＋予備員3人の計8人。PJありはそれに加え、バージ操船要員を各バージ1人

トリプル連結バージ2船団分は、PJなし16人、PJあり22人

運航モデル

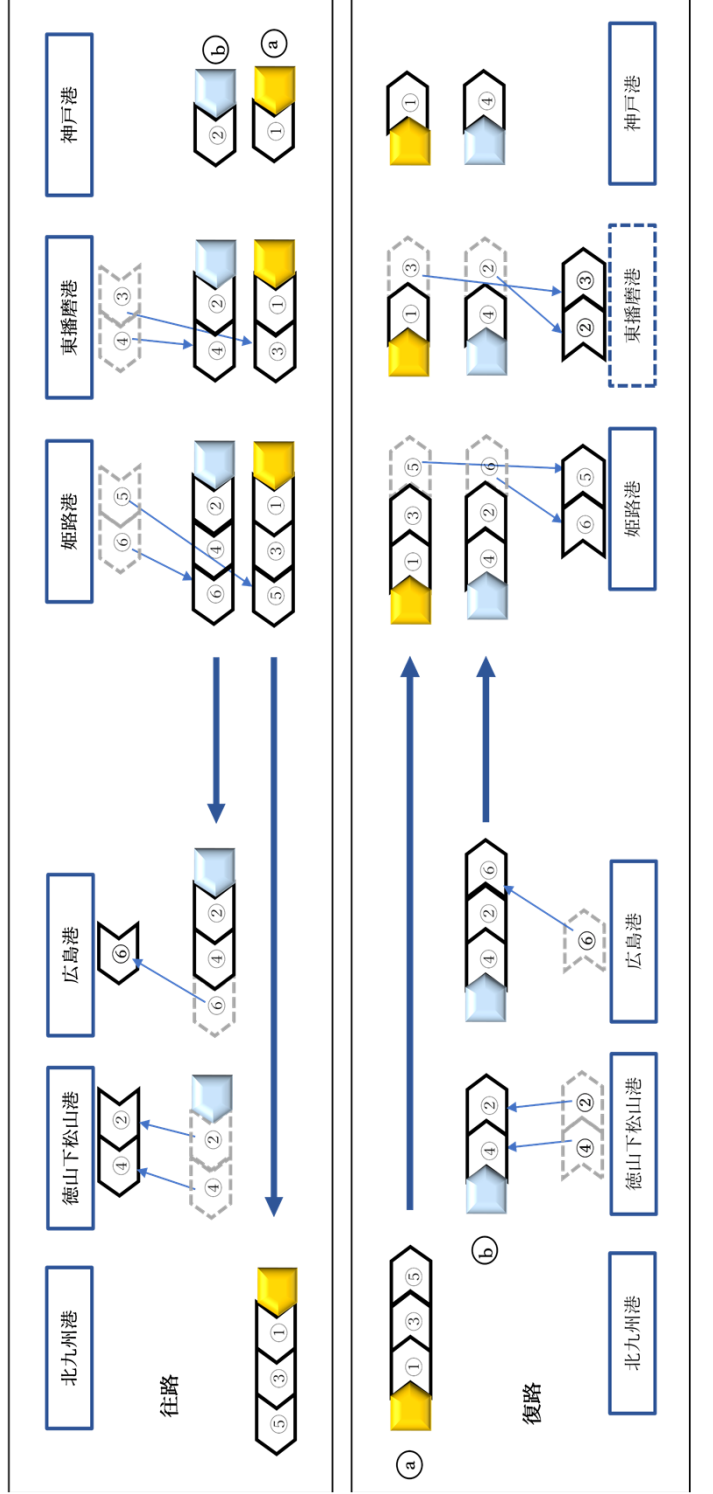
比較対象モデル：199T6隻を運航するモデル



- 比較対象モデルは、輸送量の多い区間を設定
- 199t貨物船のDWは700トン/1隻程度であるが、本モデルでの輸送量は500トン/1隻と設定
- トリプル連結バージのDWは965トン/1隻であるが、本モデルでの輸送量は800トン*/1隻と設定
- 比較対象モデルの輸送スケジュールは、週1往復、月4往復（2か月8往復）と設定
- トリプル連結バージの輸送スケジュールは、輸送量を同等として、2か月5往復と設定

*燃料及び清水も考慮

トリプル連結バージ運航モデル



出力別燃料消費量

	載貨重量 t	出力/1基 kW	速度 knots	燃料消費率 g/kW・h	燃料消費量/h g	基数	総消費量/h g	消費量/h・t g *
1	199T貨物船	700	11.36	192	141,120	1	141,120	202
	BBB+P	2,895	9.89	193	256,690	2	513,380	177
	BB+P	1,930	10.57	193	256,690	2	513,380	266
	B+P	965	11.16	193	256,690	2	513,380	532
2	199T貨物船	700	11.09	192	120,000	1	120,000	171
	BBB+P	2,895	9.65	190	227,430	2	454,860	157
	BB+P	1,930	10.35	190	227,430	2	454,860	236
	B+P	965	10.90	190	227,430	2	454,860	471
3	199T貨物船	700	10.83	194	105,342	1	105,342	150
	BBB+P	2,895	9.31	190	197,790	2	395,580	137
	BB+P	1,930	10.06	190	197,790	2	395,580	205
	B+P	965	10.61	190	197,790	2	395,580	410

主機

* 載貨重量1t当たりの燃料消費量/h

- ・ 199T貨物船 6EY22AW 736kW/800min-1
- ・ トリプル連結バース 6EY22AW 1330kW/900min-1

航路別燃料消費量

	発(着)	着(初)	馬力 kW	速度 knots	航路距離 mile*	航行時間 h	燃料消費量/h		航路計 t			
							kg	t				
199T 貨物船	①	神戸								貨物量：500t/隻 2か月で8航海 燃料消費量総計 194.849 t		
	②	神戸	北九州	往復	543	10.83	253	23.36	105.342		2.461	4.922
	③	東播磨	徳山下松	往復	543	10.83	212	19.58	105.342		2.062	4.124
	④	東播磨	北九州	往復	543	10.83	235	21.70	105.342		2.286	4.572
	⑤	姫路	徳山下松	往復	543	10.83	192	17.73	105.342		1.868	3.735
	⑥	姫路	北九州	往復	543	10.83	227	20.96	105.342		2.208	4.416
									計	24.356		

	発	着	馬力 kW	速度 knots	航路距離 mile*	航行時間 h	燃料消費量/h		航路計 t				
							kg	t					
トリプル 連結 バナージ	往	神戸	東播磨	姫路	B+P	2082	10.61	28	2.64	395.580	1.044	11.043	
													東播磨
	復	北九州	姫路	東播磨	BBB+P	2082	9.31	227	24.38	395.580	9.645		
													姫路
	往	神戸	東播磨	神戸	B+P	2082	10.61	28	2.64	395.580	1.044		11.043
復	徳山下松	広島	徳山下松	BB+P	2082	10.06	75	7.46	395.580	2.949			
											広島	徳山下松	
往	神戸	東播磨	神戸	B+P	2082	10.61	28	2.64	395.580	1.044	9.998		
												東播磨	
復	徳山下松	広島	徳山下松	BB+P	2082	10.06	75	7.46	395.580	2.949			
												広島	徳山下松
									計	42.082			

*内航距離表(日本海運集会所編纂発行)による

コストの算出方法

建造船価 : ヒアリング等に基づき船技協で設定

船舶経費

- ・ 船員費 : 1人当たりの船員費 = 10,980千円(*1)
- ・ 修繕費 : 取得価額に対する比率2.9%(*1)を乗じた値
- ・ 船用品費 : 取得価額に対する比率0.6%(*1)を乗じた値
- ・ 潤滑油費 : 取得価額に対する比率0.2%(*1)を乗じた値
- ・ 保険費 : 標準的な保険料 (三井住友海上による試算)
- ・ 固定資産税 : 定額償却による法定耐用年数(N)の年央簿価(取得価額 \times (0.55+0.45/N))の1/2に1.4%を乗じた値(*2)
- ・ 雑費 : 取得価額に対する比率0.2%を乗じた値(*2)
- ・ 船主店費 : 船舶経費合計(船主店費以外)の10%(*2)
- ・ 減価償却費 : 法定耐用年数に基づく定額償却費(*2)
- ・ 設備金利 : 定額償却による法定耐用年数(N)の年央簿価(取得価額 \times (0.55+0.45/N))に対する金利(*2)

※利率は、JRTTの2,000トン未満の貨物船に対する固定型の利率(2.35%)

運航経費

- ・ 燃料費 : 内航燃料油価格(年平均) ¥101,100/kℓ(令5) 燃研月報(内航総連合会)
補機の燃料消費量は、主機の燃料消費量に0.11を乗じた値(*2)
A 重油の比重 : 0.86
- ・ 港費 : 1航海当たり港費 (1 港積、1 港揚) の 2006 年度実績(運研機構調査) 32.8 千円 \times 1.091 \div 36 千円
※2006 年度以降の調査はないため、その間の企業向けサービスマークアップ(9.1%)を考慮
トリプル連結バージの港費は、連結作業等を考慮して2倍の72千円とする
- ・ 運航店費 : 輸送経費 (船舶経費 + 運航店費を除く運航費) の8%(*2)

*1 内航海運コスト分析調査 (令和6年3月 内航総連) による

*2 内航海運コスト分析調査 (平成30年3月 内航総連) による

*3 内航海運コスト分析研究会報告書 (平成12年 海事産業研究所) による

参考値	199GT一般貨物船 16時間超船	
	内航総連 調査結果	船価に対す る比率%
建造船価	301,798	100.0
船舶経費		
船員費	32,335	
修繕費	8,809	2.9
船用品費	1,679	0.6
潤滑油費	579	0.2
保険費	3,634	
固定資産税	728	
雑費	743	0.2
船主店費	15,238	
減価償却費	9,336	
設備金利	1,286	
船舶経費合計	74,367	

内航海運コスト分析調査（平成30年3月 内航総連）

運航経費

港費		燃料費	
<u>199T貨物船</u>		<u>199T貨物船</u>	
①	36 2 72 千円	2 か月消費量	194.8 t
②	36 2 72 千円	補機分	21.4 t
③	36 2 72 千円	計	216.3 t
④	36 2 72 千円	同燃料費	251.5 kℓ
⑤	36 2 72 千円	年間燃料費	25,426 千円
⑥	36 2 72 千円		152,555 千円
1 航海 計	432 千円		
8 航海 合計	3,456 千円		
1 年 総計	20,736 千円		
<u>トリプル連結バージ</u>		<u>トリプル連結バージ</u>	
㉑	72 6 432 千円	2 か月消費量	210.4 t
㉒	72 8 576 千円	補機分	23.1 t
計	1,008 千円	計	233.6 t
5 航海 合計	5,040 千円	同燃料費	271.6 kℓ
1 年 総計	30,240 千円	年間燃料費	27,457 千円
			164,739 千円

添付資料 9

水素燃料電池船ガイドラインにおける IEC 60079-10-1 活用のための

追加資料

水素燃料船の安全評価

1. 2024年度の調査内容

水素燃料電池船の閉鎖区画の代替設計手法と安全対策の検討

水素燃料電池船における閉鎖区画の代替設計を主対象として、IEC 60079-10-1「爆発性雰囲気で使用
する電気機械器具—第10部：危険区域の分類」に基づく代替設計手法と安全対策を提案する。

- 2023年度、国交省が作成した「水素燃料電池船の安全ガイドライン」に基づき水素燃料電池船の代替設計を行う際に、危険区域の設定についてIEC 60079-10-1を活用することの妥当性を検証した。
- 2024年度、閉鎖区画の代替設計を主対象として、以下の追加資料を作成した。
 - ① 水素燃料電池船の安全ガイドラインに基づく安全対策を講じるにあたって、閉鎖区画の代替設計を主対象として、IEC 60079-10-1を利用する場合の課題等を整理した資料
 - ② 閉鎖区画の代替設計にIEC 60079-10-1を利用する際のケーススタディを整理した資料
 - ③ IEC 60079-10-1に基づく閉鎖区画の代替設計手法と安全対策に関する資料

2. IEC 60079-10-1の概要

- 本IEC規格の附属書には、危険区域を評価・推定するための図表が提示されている。
- この図表を用いることで、複雑な計算をすることなく、水素燃料電池船の設計やリスク評価を容易にすることができる。

(a) 希釈の度合いを評価するための図	(b) 危険区域の距離を推定するための図
<ul style="list-style-type: none"> ● 横軸を可燃性ガスの体積放出特性（単位：m³/s）、縦軸を換気速度（単位：m/s）とした両対数グラフである。 ● 換気の有効性とあわせて、危険区域（ゾーン）を評価できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 横軸を可燃性ガスの体積放出特性（単位：m³/s）、縦軸を危険区域の範囲（距離）（単位：m）とした両対数グラフである。 ● 危険区域の範囲が求められる。ただし、1m未満は評価されない。

3

3. 水素燃料電池船の安全ガイドラインへの適用と課題

課題①：ガス検知および可燃性ガス供給遮断と安全性

- 閉鎖区画を取り扱う場合、漏洩時の水素ガス圧力や放出速度の他、通風装置の仕様（強制換気量）、バックグラウンド濃度、ガス検知器の警報発令濃度、可燃ガスの放出開始から警報発令あるいは可燃ガスの供給遮断までに時間などが重要な要素となる。
- IEC 60079-10-1には、上記の簡単な記載はあるものの、具体的な要件は記載されていない。
- 上記の要素を詳細に検討し、定式化等を試みることによって水素燃料電池船の閉鎖区画の設計を簡便に実施できるようにするとともに、さらなる安全性向上に資する手法を提案する。



- ✓ 一般に、ガス燃料使用機器が設置される閉鎖区域は一律に取り扱われ、ガス検知濃度や供給遮断までの時間などは考慮されないことが多い。
- ✓ これらの課題について、本IEC規格の考え方を適用することができれば、安全対策の有効性を適切かつ迅速に評価することができる。

課題②：使用する機器の安全性向上と評価

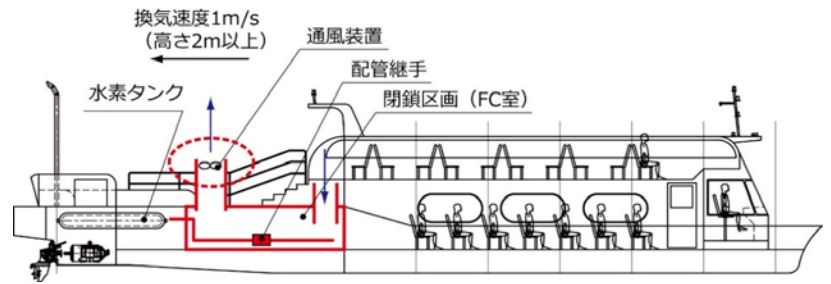
- IEC 60079-10-1には、推奨穴断面積などの記載があり、詳細データを入手できない場合など、容易に安全性の評価ができる。
- 一方、安全性をより高めた機器を使用する場合など、適切な評価が必要となる。



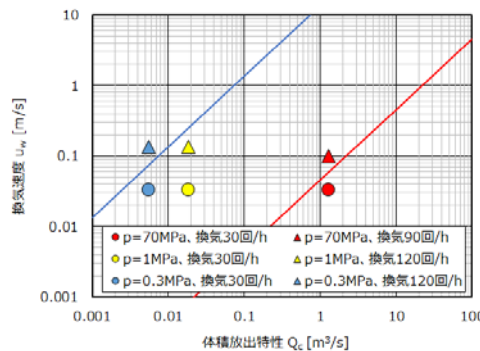
- ✓ 本IEC規格の考え方を適用することによって、閉鎖区画の要件が拡大または縮小することがある。
- ✓ その際、本安全ガイドラインの要件と比べて、安全レベルの低下がないことを確認する必要がある。

4. 本IEC規格を利用する際のケーススタディ

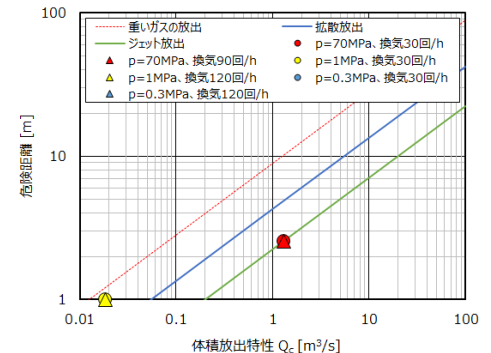
- 2023年度、ケーススタディの一例として、通風装置を設置した閉鎖区画を想定し、閉鎖区画を強制換気している場合の大気放出を対象とした。
- この評価は、放出源から一定量の水素が放出することが想定されており、換気量を踏まえた定常状態のバックグラウンド濃度が用いられている。
- そのため、ガス検知器の警報発令濃度および水素の放出開始から供給遮断までに要する時間の影響は含まれない。
- 実際の水素燃料電池船では、ガス検知発令後、水素供給は遮断される。その間に放出される水素量が閉鎖区画の容積と比べて十分に小さい場合、実際の水素濃度は定常状態のバックグラウンド濃度よりも低い値となる。



通風装置を設置した閉鎖区画と大気放出



希釈の度合いの評価結果



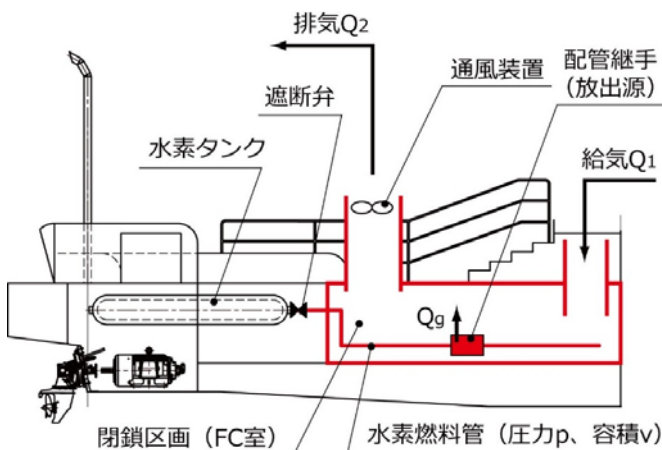
危険距離の推定結果

(1) 水素放出量の時間変化を伴うケーススタディ

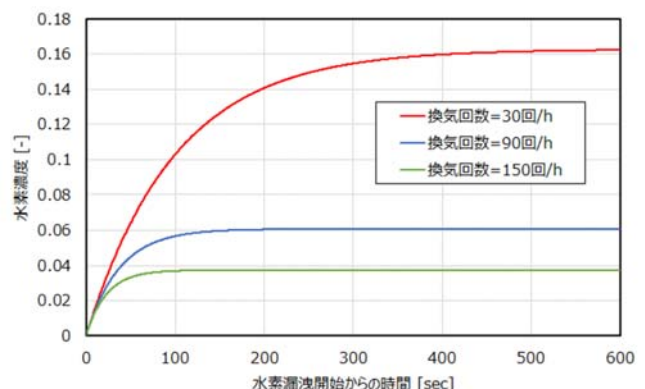
- 通風装置を設置した閉鎖区画を想定し、閉鎖区画内の放出源とガス検知による供給遮断を対象としたケーススタディ（簡易的な時系列計算）を行った。
- ガス検知による供給遮断がない場合、定常状態における水素濃度は本IEC規格で求まるバックグラウンド濃度に一致する。

計算パラメータ（一部抜粋）

項目	条件・値
開口部の断面積	0.1mm ²
放出源の圧力	1~70MPa
閉鎖空間の容積	32m ³
換気回数	30~150回/h
ガス検知濃度	40% LFL (基準) 水素濃度0.016に相当
水素燃料管容積	0.005~1m ³
ガス検知から供給遮断に至るまでの時間	0sec



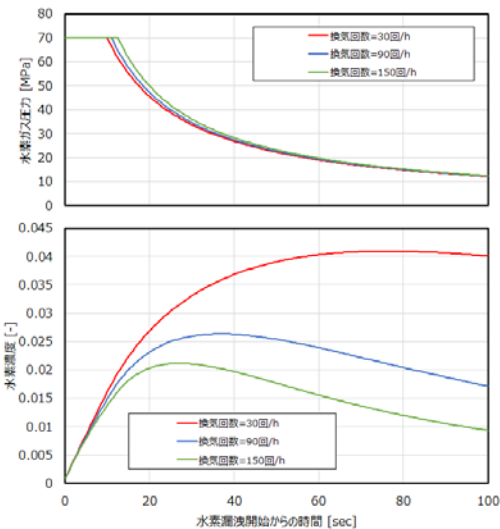
ガス検知による供給遮断を対象としたケーススタディ



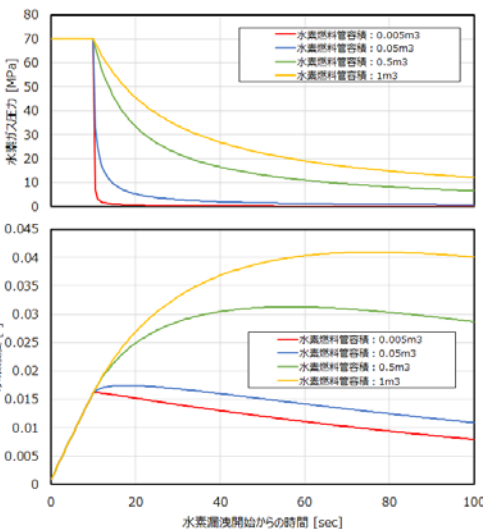
ガス検知による供給遮断を対象としたケーススタディ

(1) 水素放出量の時間変化を伴うケーススタディ

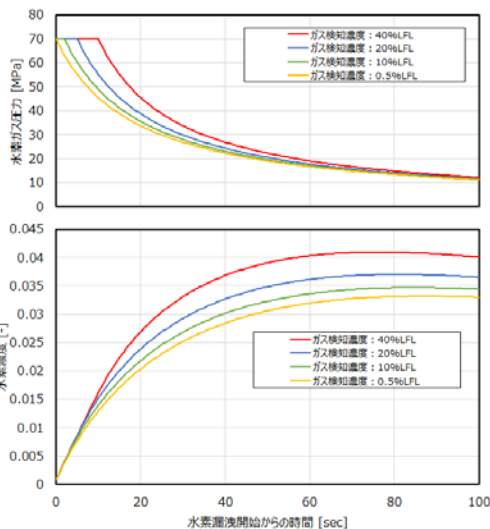
- ガス検知による供給遮断を含めることによって、閉鎖区画内の最大水素濃度を推定でき、換気回数の影響、水素管燃料容積の影響、ガス検知濃度の影響を評価できる。
- それぞれ換気回数の増加、水素管燃料容積の減少およびガス検知濃度の低下が安全対策として有効である。



換気回数の影響



水素管燃料容積の影響



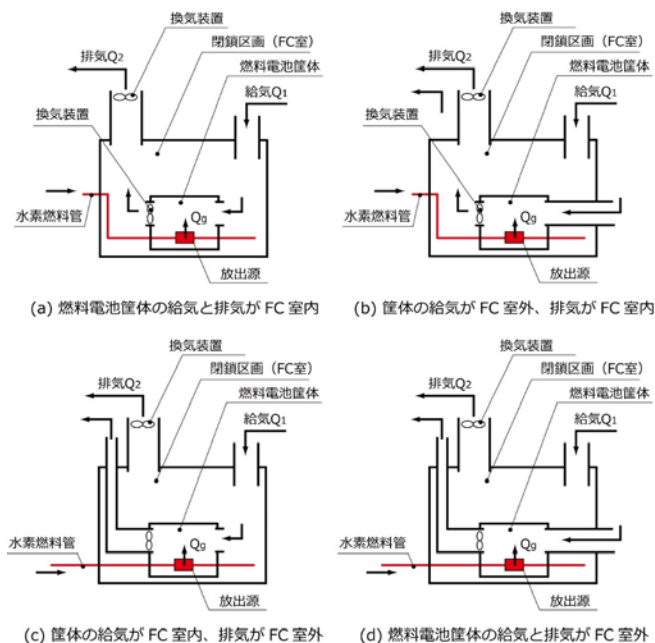
ガス検知濃度の影響

7

(2) 閉鎖区画内にFCシステム筐体を含む場合のケーススタディ

- 閉鎖区画内（燃料電池室内）に、独立した換気装置を有する水素燃料電池システム筐体を含む場合を想定し、簡易的なケーススタディ（IEC規格の適用性検討）を行った。

検討結果のまとめ



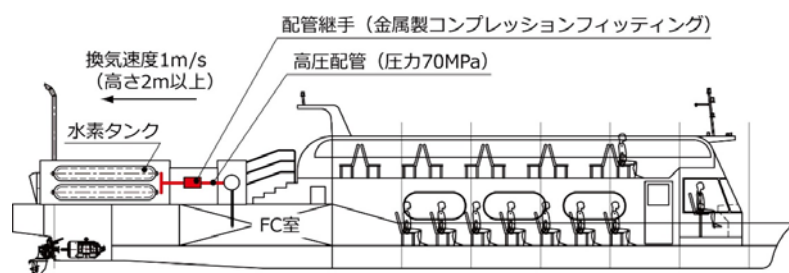
構成	概要
(a)	<ul style="list-style-type: none"> □ 筐体内の換気量は燃料電池室内の平均水素濃度に影響を与えることはない。 □ 燃料電池室に対する放出源の位置は変わり得るが、燃料電池室のゾーンに関する評価結果は変わらない。
(b)	<ul style="list-style-type: none"> □ 燃料電池室と筐体の2台の換気装置による換気量の合計が燃料電池室内の換気量に置き換わる。 □ ただし、燃料電池室のゾーンに関する評価結果は変わらない。
(c)	<ul style="list-style-type: none"> □ 筐体内の放出源が燃料電池室に直接影響をしないと見なされる。 □ 評価方法そのものが変わり、燃料電池室の安全性が高まることが期待できる。
(d)	<ul style="list-style-type: none"> □ 筐体と燃料電池室とは独立した2つの閉鎖区画であると見なされる。 □ 筐体内の放出源が除外されることによって燃料電池室の安全性が高まることが期待できる。

※ (c)および(d)については、本IEC規格による安全性評価は可能である。ただし、周辺状況・周辺機器の影響を受けるため、注意が必要である。

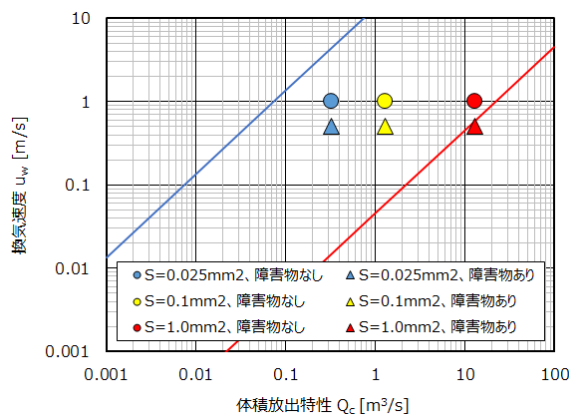
(3)使用する機器の安全性を向上させた場合のケーススタディ

- 本評価手法は、同規格に提示されている放出の推奨穴断面積に記載された数値を用いることにより、容易に安全性の評価ができる。
- 安全性を高めた配管継手を評価できる。ただし、使用する数値は適切な試験等によって得られている必要がある。

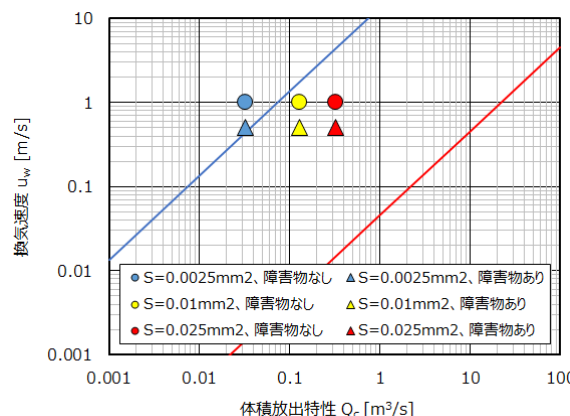
※ 本計算で与えた数値は、根拠のある数値ではなく、仮定のケーススタディである。



水素燃料電池船の暴露甲板に設置した高圧燃料タンク



希釈の度合いの評価結果
(IEC 60079-10-1に提示された推奨値)



希釈の度合いの評価結果
(安全性を高めた配管継手を用いた場合)

5. まとめ



- ① 本IEC規格の計算に、ガス検知による供給遮断を含めることによって、閉鎖区画内の最大水素濃度を推定でき、換気回数の影響、水素管燃料容積の影響、ガス検知濃度の影響を評価できることを確認した。それぞれ、換気回数の増加、水素管燃料容積の減少およびガス検知濃度の低下が安全対策として有効である。
- ② 閉鎖区画内（燃料電池室内）に、独立した換気装置を有する水素燃料電池システム筐体を含む場合を想定し、簡易的なケーススタディを行った結果、筐体からの排気を閉鎖区画以外の場所に放出する場合、燃料電池室の安全性を高められる可能性がある。本IEC規格に記された計算式を用いて筐体内および燃料電池室内の安全性を評価することは十分に可能であると考えられるが、実際に使用する水素関連機器の構成や性能によって評価結果が大きく異なることなどの課題があり、水素燃料電池船の設計初期段階で安全性を評価するのは難しい。
- ③ 安全性を高めた配管継手を用いることによって安全性を高められる。その有効性は、本IEC規格の計算により容易に評価できる。ただし、使用する数値は適切な試験等によって得られている必要がある。

添付資料 10

タンカーにおける荷役設備の遠隔操作に関する技術資料



「内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築（フェーズ2）」事業 一内航タンカーの荷役設備の電化・自動化に関する技術資料の作成

業務の目的：

内航カーボンニュートラル実現に向けた取組みが進められており、環境整備として安全基準の策定が重要となる。一方、内航船安全基準は大型外航船の条約がベースとなっており、小型内航船への新技術の導入等にあたって同等安全証明（安全評価）が必要となることが多い。しかし、それらを内航船建造の小型造船所が行うこと、特に高度な証明が必要な新概念船の安全評価を行うことは困難である。また、内航船ではGHG排出量の2～3割を占める荷役など航海以外の作業の電化・自動化が必要不可欠となっている。そのため本業務では、当該作業に関する技術資料の作成を行うことで内航カーボンニュートラル実現に向けた新技術の安全評価手法を構築し、脱炭素化・船舶産業の発展の一助とする。

報告の内容：

タンカーにおける荷役設備の遠隔操作に関する技術資料の作成
内航船タンカー（主に1000G/T未満）をモデル船として、荷役設備の遠隔監視並びに遠隔操作について必要な資料を作成

- ①荷役設備の仕様に関する資料
- ②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料
- ③まとめ

① 荷役設備の仕様に関する資料

1. 実業務の業務工程の細分化作業

条件として、1000G/T以下、タンカーの中でも、油タンカー、ケミカルタンカー、セメントタンカー、LPGタンカーと多種多様にわたることから、一般的に隻数などの規模などの観点から、油タンカー、ケミカルタンカーにつき、荷役作業の分類、分解を実施。

⇒積み荷役作業

⇒揚げ荷役作業

⇒タンククリーニング作業

2. 遠隔監視又は遠隔操作が可能な業務および設備についての検討

1.にて業務を細分化したなかで、それぞれ遠隔監視又は遠隔操作について可能な、また現在実現している仕組みなどについて船主およびメーカーなどへのヒアリング調査により4分類を実施。

A遠隔自動化：プログラム化された設定に応じて自動にて操作される。

B遠隔操作：上記にて表示されたものを必要に応じて手動にて操作する

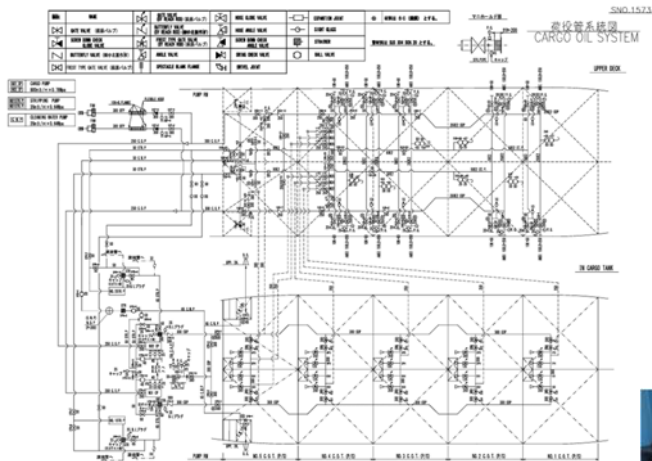
C遠隔監視：監視すべき対象物を数値やデータ、画像などで遠隔で表示する

D要検討：遠隔化が難しいと考えられる作業

① 荷役設備の仕様に関する資料

1. 実業務の業務工程の細分化作業

船舶に搭載されている一般的な荷役設備のピックアップ



- ☆ 荷役配管図
- ☆ 残油管系統図
- ☆ バラスト配管系統図
- ☆ ベント管系統図

上記に記載される荷役関連設備

- ・ 荷役配管
- ・ 先端マニホールド
- ・ 荷役ポンプ
- ・ 荷役バルブ
- ・ バラスト配管
- ・ バラストポンプ
- ・ バラストバルブ
- ・ ベント管配管
- ・ ベント管バルブ
- ・ 残油回収ポンプ
- ・ 荷役ホース用ユニッククレーン

① 荷役設備の仕様に関する資料

1. 実業務の業務工程の細分化作業

積み荷役作業の作業項目細分化

	作業項目	作業内容	遠隔区分
(1) 積み荷役開始作業	積み荷役打ち合わせ	代理店と（FAX、電話）、基地係員と（対面、用紙）	C
	荷役ホーススタンバイ	ホース受け渡し、ジョイント接続（ローディングアームの場合接続のみ）	D
	人員配置	本船の荷役責任者を中心に全員でトランシーバー指示	B
	作業指示	荷役前作業打ち合わせ、作業中はトランシーバーにて適宜指示	C
	ラインアップ作業	必要な数のバルブ開作業を実施し、タンクへの通り道を作成	B
		窒素パージにて先端接続部の漏れ確認	D
	バラスト調整	適宜バルブ開閉、バラストポンプ始動、タンク内数量チェック	B
全タンクへの静電気対策 他		静電気放電防止対策として貨物に帯電しないよう積込流速を押さえながら初速のうちに、全タンクへの少量積み込みを実施	B
		各種異常が無い事を目視確認し、陸上側からの流速を上昇	D

4

① 荷役設備の仕様に関する資料

1. 実業務の業務工程の細分化作業

積み荷役作業の作業項目細分化

(2) タンク積み込作業	バルブ作業（開）	受入れする為に、必要な数、通り道のバルブ作業（開）実施	B
	荷役状態監視	開始時の初速から、最大流速になったことを確認監視	B
		ライン上の圧力確認（陸上ポンプ吐出との比較） タンク内液面計にて温度・数量・圧力等を確認	D C
	荷役調整作業	タンクの（S）（P）の平衡度保持の為に左右数量を調整。（バルブ微調整開閉作業実施）	B
	タンク切り替え バルブ作業（開閉）	次の別タンクへ同じ品種を積み込む場合は、次のタンクのバルブ作業（開）を行う。 バルブ全開確認および液面計を確認して、当該タンクのバルブ作業（閉）を行う	B
異品種積み込み作業	別タンクへ異なる品種を積み込む場合は上記タンク積み込み作業を最初から繰り返す	B	
(3) 荷役終了作業	受入れ残調整作業	流速調整依頼（陸上作業員に口頭で）を実施（残受入れ数量に応じて）	D
	配管内浚え作業	陸上側が窒素にて配管内の浚えを実施。本船バルブ開閉作業有り。	D
	作業終了確認	数量確認を陸上作業員と確認して陸上作業員が陸上ポンプ停止	D
	配管内浚え作業	陸上側が窒素にて配管内の浚えを実施。本船バルブ開閉作業有り。	D
	荷役ホース回収作業	積み基地のマニホールドジョイント脱圧作業後、ユニッククレーンにて回収作業実施	D
	荷役協定	荷役責任者が陸上側事務所まで徒歩（場合により往復30分）	D

5

① 荷役設備の仕様に関する資料

1. 実業務の業務工程の細分化作業

揚げ荷役作業の作業項目細分化

	作業項目	作業内容	遠隔区分
(1) 揚げ荷役開始作業	揚げ荷役打ち合わせ	代理店と（FAX、電話）、基地側作業員と（対面、用紙）	C
	荷役ホーススタンバイ	ホース受け渡し、ジョイント接続（ローディングアームの場合接続のみ）	D
	人員配置	本船の荷役責任者を中心に全員でトランシーバー指示	B
	作業指示	荷役前作業打ち合わせ、作業中はトランシーバーにて適宜指示	C
	ラインアップ作業	必要な数のバルブ開作業を実施し、タンクからの通り道を作成	B
	船側荷役ポンプ始動	窒素パージにて先端接続部の漏れ確認（確認できない基地有） ポンプを駆動する回転数（初速用）に調整、漏れが無い事などを確認後、通常流速まで回転数を上昇	D
	バラスト調整	適宜バルブ開閉、バラストポンプ始動、タンク内数量チェック	B
	陸上側タンクへの静電気対策 他	静電気放電防止対策として貨物に帯電しないよう積込流速を押さえながら初速のうちに、陸上側タンクへの少量揚げを実施 各種異常が無い事を目視確認し、本船側からの流速を上昇	B D

① 荷役設備の仕様に関する資料

1. 実業務の業務工程の細分化作業

揚げ荷役作業の作業項目細分化

(2) タンク揚げ作業	バルブ作業（開）	送り込みする為に、必要な数、通り道のバルブ作業（開）実施	B
	荷役状態監視	開始時の初速から、最大流速になったことを確認監視	B
		ライン上の圧力確認（船内ポンプ吐出との比較監視）	D
		タンク内液面計にて温度・数量・圧力等を確認	C
	荷役調整作業	タンクの（s）（p）の平衡度保持の為に左右数量を調整。（バルブ微調整開閉作業実施）	B
タンク切り替え バルブ作業（開閉）	次の別タンクから同じ品種を揚げる場合は、次のタンクのバルブ作業（開）を行う。 バルブ全開確認および液面計を確認して、当該タンクのバルブ作業（閉）を行う	B	
異品種揚げ作業	別タンクから異なる品種を揚げる場合は上記タンク揚げ作業を最初から繰り返す	B	
(3) 荷役終了作業	揚げ残調整作業	流速調整依頼（陸上作業員に口頭で）を実施（揚げ残数量に応じて）	D
	配管内浚え作業	本船側ポンプ圧を利用し配管内の浚えを実施。本船バルブ開閉作業有り。	D
	作業終了確認	数量確認を陸上作業員と共に確認して本船用荷役ポンプ停止	D
	荷役ホース回収作業	揚げ基地のマニホールドジョイント脱圧作業後、ユニッククレーンにて回収作業実施	D
	残油ポンプ浚え作業	油種ごとに配管以外の溜まりの浚えを、別ポンプ（残油ポンプ）始動にて、別ラインにて送りこみ。バルブ開閉作業有り。	D
	荷役協定	荷役責任者が陸上側事務所まで徒歩（場合により往復30分）	D

① 荷役設備の仕様に関する資料

1. 実業務の業務工程の細分化作業

タンククリーニング作業項目細分化

	作業項目	作業内容	遠隔区分
（1）カーゴタンククリーニング作業	タンク内浚え作業	貨物槽ビルジ溜まりをダイアフラムポンプや真空ポンプなどで浚え作業実施。浚え用タンク（スロップタンク）に貯蔵（バルブ作業あり）	D
	バタワース洗浄作業	【ケミカル船の場合】粘性のある場合、温海水を使用することもあるが、通常清水で洗浄した後に残液タンク（スロップタンク）へシフト	D
	上記蒸し作業	【ケミカル船の場合】洗浄後も取れない残渣がある場合はタンク内を蒸気で蒸して洗浄しやすくする場合あり。蒸気蒸しの後、バタワース洗浄を繰り返す。	D
	タンク清掃入槽作業	船員が入槽しビルジ溜まりやタンク全般を手作業にて確認・清掃（有毒ガス検知をミス・省略などによって人体に危険な作業とされる）	D
	廃液業者への揚げ作業	シンナー類の場合、海洋投棄できないため浚え用タンク（スロップタンク）に溜まった廃液原液を業者に揚げ作業実施（バルブ作業あり）	D
（2）スロップタンククリーニング作業（酸性・アルカリ性の場合）	廃液原液の希釈	廃液原液を廃液業者に廃棄できない場合、海水や清水で海洋投棄許可濃度まで希釈（バルブ操作あり）	A
	希釈水の海洋投棄	船外弁開放の上、スロップポンプにて海洋投棄（バルブ操作あり）	A
	清水によるタンク洗浄	タンク内をバタワースにて清水にて洗浄（バルブ操作あり）	A
	洗浄水の海洋投棄	船外弁開放の上、スロップポンプにて海洋投棄（バルブ操作あり）	A
	スロップタンク内最終確認	最終的に船員がタンクに入槽し確認・清掃。（場合によりバタワース洗浄のやり直し）	D

② 遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

1. 現在実現している遠隔表示、遠隔操作の技術のまとめ

荷役監視システム

スロップタンククリーニングシステム

電動油圧式バルブコントロールシステム

2. 導入における課題

設置スペースの課題

設備の信頼性の課題

荷役安全における文化的側面課題（船員教育、陸上側との連携）

3. 課題解決策について

②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

1.現在実現している遠隔表示、遠隔操作の技術のまとめ

タンカー荷役作業における遠隔監視又は遠隔操作の設備の対象物：

- 1. 荷役時の積載液体貨物の各タンク数量・温度・圧力・各バルブの開閉度、操作
- 2. 荷役時のバラスト漲排水のバラストの各タンク数量・各バルブの開閉度、操作
- 3. 荷役時の各荷役ポンプ回転数・吸入吐出圧力・ポンプ温度の表示、ポンプ回転数操作
- 4. 荷役時の各荷役ポンプに連結している主機もしくは発電機の回転数の表示および操作
- 5. 貨物揚げ後のタンクガスフリー作業に必要な乾燥ファン稼働・各バルブの開閉状況および操作
- 6. 貨物揚げ後のケミカルタンククリーニング作業に必要なスロップタンクのポンプ回転数・吸入吐出圧力・ポンプ温度・各バルブの開閉状況およびポンプ回転数操作、バルブ操作

ただし、、、

今回の検討対象とした船舶においてのほとんどは現場立ち合い、手動操作にて行われており、遠隔監視、遠隔操作が可能な船舶はごくわずかである。

一方でもう少し大型化（1000G/T以上）の船舶においては荷役については遠隔操作を行っている船舶は多数を占めている。

②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

1.現在実現している遠隔表示、遠隔操作の技術のまとめ

荷役一括自動化制御システム：

- ☆画面上でバルブをクリックすれば、選択的に現場のバルブが開閉される。
- ☆何パターンか積荷役・揚荷役のシミュレーションを登録しており、クリックするだけでバルブの開閉やポンプの発停が自動で進むようにできるとのこと。
- ☆この船舶ではバラスト漲排水機能は設置されていなかったが、制御に導入することは可能。
- ☆この画面のみで荷役が可能であり、Wi-Fiタブレットは画面が小さくなるため通常使用していなかった。
- ☆甲板上は先端バルブのみ手動バルブとなっており、それ以外の自動バルブはすべてタンクの中に設置されていた。

備考：

小型～中型船のタンカーに分類される船舶でも導入がされているが、荷役システムがほぼ自動化されていた。しかしながら、推進主機が特別な仕組みである為、自動化関連設備の設置スペースがあり、一般的な主機搭載小型タンカーに導入できるのか不明であった。



②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

1.現在実現している遠隔表示、遠隔操作の技術のまとめ

荷役自動化システム：

☆荷役計画、シミュレーション、操作訓練を含む全自動による操作が可能。

大型船舶への導入は進んでいる一方、小型船舶への導入は現時点では確認できていない。



荷役自動化システム「Super Cargo-X」は荷役計画、シミュレーション、操作訓練を含む全自動による操作で、制御室操作1人での安全な荷役作業をサポートします。その性能は、すでに数々の船舶における運航実績で証明されています。

- トリム、ヒールなど船体姿勢を考慮した多品種積み・卸の計画作成
- 計画された自動制御のシミュレーションにより、排水量、トリム、ヒール、船体強度などの事前検証
- 計画に従って積み、運び、バラスト制御をガイダンスメッセージに対するワンタッチ操作での自動制御
- 自動制御と手動個別操作の切り換えも常時可能
- 誤操作や危険状態を回避するためのインターロック、警告メッセージ表示

- オフライン操作訓練モード通常荷役のほか、機器故障時などを模擬したトレーニング可能
- 主要構成機器の二重化と自己診断機能による機器、ソフトウェアの冗長性確保
- 主要機器を無停電電源装置でバックアップ、船内停電時も液面監視可能
- 荷役協定書、安全点検チェックリストなど紙照会もサポート
- バルブ、ポンプ・液面計など、各メーカ機器との接続が可能
- 実際の荷役を模擬できるシミュレータによるシステム引渡し前の乗員トレーニング

オンライン状況監視



貨油温度制御

黒油船

黒油船では、遠隔温度調整弁との接続により、自動での温度制御機能を組み込むことが可能です。

音声インターフェース

オプション

航海支援システム「Super Bridge-X」との接続によって、音声による荷役状況の問い合わせや状況・警報などのアナウンスを行うことができます。

操作訓練

オプション

操作訓練モードでは、計画した荷役を内蔵したシミュレータを使って、実機を操作しているのと同じような感覚で操作することができます。訓練中にセンサや機器のトラブルを設定することもできます。

②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

1.現在実現している遠隔表示、遠隔操作の技術のまとめ

カーゴタンク遠隔監視表示：

☆カーゴタンクおよびバラストタンク遠隔監視表示システム

1. 音声ガイダンスソフト

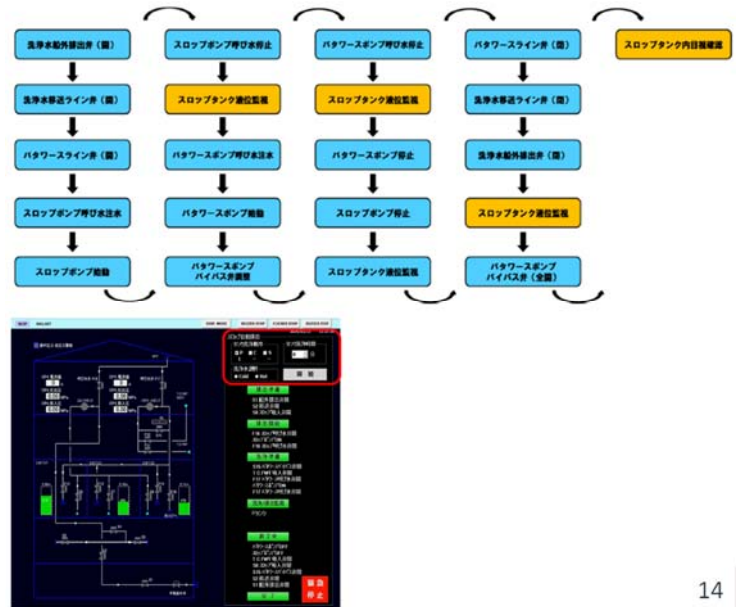
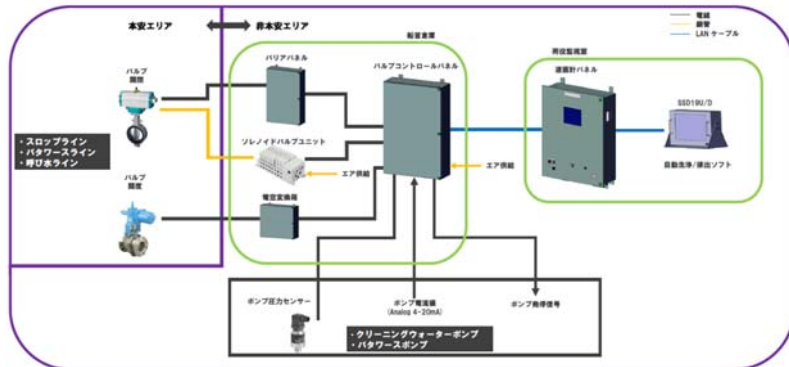
- ① 荷役ガイダンス サンバン サゲン ノコリ 100センチ
- ② 監視ガイダンス サンバン サゲン エキテイカ ケケンデス
- ③ 異常ガイダンス サンバン サゲン センサ イジョウデス
- ④ 回転灯の点灯
- ⑤ データログ機能

②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

1.現在実現している遠隔表示、遠隔操作の技術のまとめ

スロップタンククリーニングシステム：

☆2024年に竣工499G/T型ケミカルタンカーに初導入。



②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

1.現在実現している遠隔表示、遠隔操作の技術のまとめ

電動油圧バルブシステム：

☆2025年に竣工予定の小型タンカーに搭載予定

バルブシステム

4種類のバルブ方式はもとより、配管口径やバルブタイプ、防塵仕様や没水仕様、そして防塵タレットまで、あらゆるニーズに対応する製品をご用意。対象となる船舶の目的に最適なシステムを構築します。

電動油圧式



- 電気ケーブル接続のみで最小限の油圧配管
- 油圧ユニットや電磁弁ユニットがコンパクトに一体化
- 各種バルブ弁、防塵や没水仕様も対応
- メンテナンスレスで省力化
- 電動式からの置き換える場合、使用されていた既存ケーブルをそのまま使用可能



MHPP(ミニ油圧/パワーパック)



アクチュエーター-インタンク用



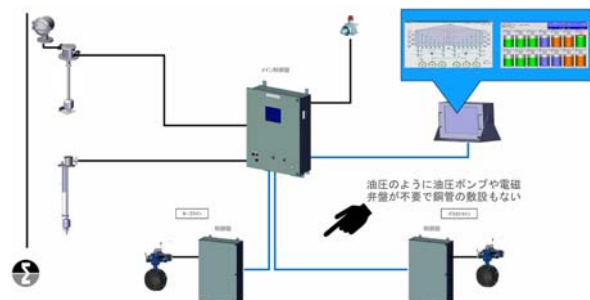
油圧アクチュエータ

MHPP

- 電動油圧アクチュエータは油圧アクチュエータとMHPPから構成される装置である。
- MHPPから出力される油圧が油圧アクチュエータを制御する。

- ①油槽：油とギヤポンプが内蔵
- ②電源BOX：中にPCBが搭載されており、外部ケーブルが接続される
- ③モータ：内部にモータが搭載されている
- ④パワフライバルブ用アクチュエータ：油圧で動作するアクチュエータ
- ⑤電気BOX：ポテンシオメータ、リミットスイッチが内蔵

※MHPP=Mini hydraulic power pack
ミニ油圧発生器



油圧のように油圧ポンプや電磁弁盤が不要で配管の敷設もない

②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

2.導入における課題

設置スペースの課題：

- ☆荷役用遠隔制御バルブが増えるため、機関室に電磁弁盤や弁制御盤の設置スペースがなく、小型船・中型船には設置スペースを考慮する必要があり採用が難しい傾向がある。
- ☆荷役ポンプをモーター駆動にすると、機関室に各制御盤の設置スペースがなく、小型船・中型船には設置スペースを考慮する必要があり採用が難しい傾向がある。

設備の信頼性の課題：

- ☆遠隔荷役バルブが甲板上に設置されている場合、海水などで腐食が進む場合に定期的なメンテナンスが重要となる。
- ☆遠隔荷役バルブを繰り返し開閉すると、開閉度のずれが生じることがある。また、全閉を行った場合に完全な全閉になっていない場合があるなど、信頼性の向上にむけての改良が必要。
- ☆カーゴタンク制御、バラストタンク制御、各バルブ開閉制御を一括で自動制御する船舶はシミュレーション設定を何度も調整して本番に臨む必要があり、システム調整にある程度の時間がかかる。

②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

2.導入における課題

荷役安全における文化的側面の課題：

船員教育

- ☆遠隔自動制御操作を行うことのできるWi-Fiタブレットを採用していた船舶の場合、画面がB5サイズ程度であり、タブレットに表示された荷役系統図にタッチペンで各種バルブ開閉操作を行うには小さいという意見が聞かれた。どの程度大きくすれば使いやすいのか検討が必要。
- ☆遠隔自動制御は複雑なものになると、船内で正確に操作方法を把握できる人材に限られてしまう傾向にあり、ダブルチェックできる人材を船内で育てることができるか、また、把握できる船員の急な退職や転船で新たに船員が入れ替わったときに対応できるか、社内教育方法や業務の均一化が必要。

陸上との連携

- ☆荷主および荷役事業者、代理店、運航者における過去の安全の担保における各種施策が現状の多くの手作業、目視作業による確実性を求められているなか、設備だけの導入においてその安全性の担保を得る明確な根拠についての積み重ねが必要となってくることが考察される。

②遠隔操作の導入の課題と解決策に関する資料

3.課題解決策について

設置スペースの課題解決：

- ☆近年は内航タンカーでも自燃料がC重油からA重油に切り替わっているため、燃料加熱装置や燃料清浄機を省略できることにより空いたスペースを利用し、監視、操作などの機能を取捨選択することで、大幅な省力化、安全性向上について選択的に導入の検討も可能。
- ☆EV船などの主機推進の方法が変わることによりスペース確保の実例もある。

設備信頼性の課題解決：

- ☆メーカー、使用者（船主）との定期的な作動チェックをルール化することを業務の定常化にすることで荷主の信頼性の根拠にしていく。
- ☆各機器操作の訓練をメーカーと一緒に定期的に行うことや社内用の安全教育を定期的に行うことで、作業者の熟練度を上げていくことで、設備の信頼と共に実施することで設備の側面の信頼性を上げる。

荷役安全における文化的側面の課題解決：

- ☆既に大型船での実績がある為、設備信頼性、運用の信頼性をあげることの積み重ねにより対話による導入の機会を増やしていくことの検討機会を増やす。

18

③まとめ

導入に際して予測される効果

- ☆バラスト制御を遠隔操作でできるようになったことはポンプルームに移動する必要もなくバルブ開閉ができ、バラストポンプ発停も同じ制御盤で行うため非常に便利になる。
バラスト制御の遠隔操作はかなりの船舶に導入されていることが実感されている。
- ☆荷役バルブや荷役ポンプを遠隔制御で操作できることは甲板上に出向いて手動操作をする機会が減り省力化に大きく寄与する。
- ☆カーゴタンクのボイラーヒーティングの温度調整を自動制御で行えるようにしていることは、ポンプルームに温調弁の元弁が設置されているが、現場に出向く必要もなく、温度調整のために付きっ切りでの当直が不要となり、機関部の業務軽減に大きく寄与する。
- ☆燃料タンクや飲料用清水タンク、ビルジタンクの液面計による遠隔監視仕様は日常業務の効率化、平準化に寄与する。

GHG削減に寄与する電化・自動化に向けて、省力化は勿論であるが、労働環境の安全性向上を可能とするこれらの遠隔化、自動化のの仕組みを導入についての現場へのフィットについては、各種課題の解決については多方面での検討が必要ではあるが、導入においての可能性について期待をしたい。

19



この報告書は、日本財団の助成金を受けて作成しました。

内航カーボンニュートラルの実現に向けた新技術の安全評価手法の構築
(フェーズ2)

2024年度成果報告書

2025年(令和7年)3月発行
一般財団法人日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2丁目10番9号
大阪ガス都市開発赤坂ビル

TEL : 03-5575-6428 E-mail : info@jstra.jp
FAX : 03-5114-8941 URL : <https://www.jstra.jp/>

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。