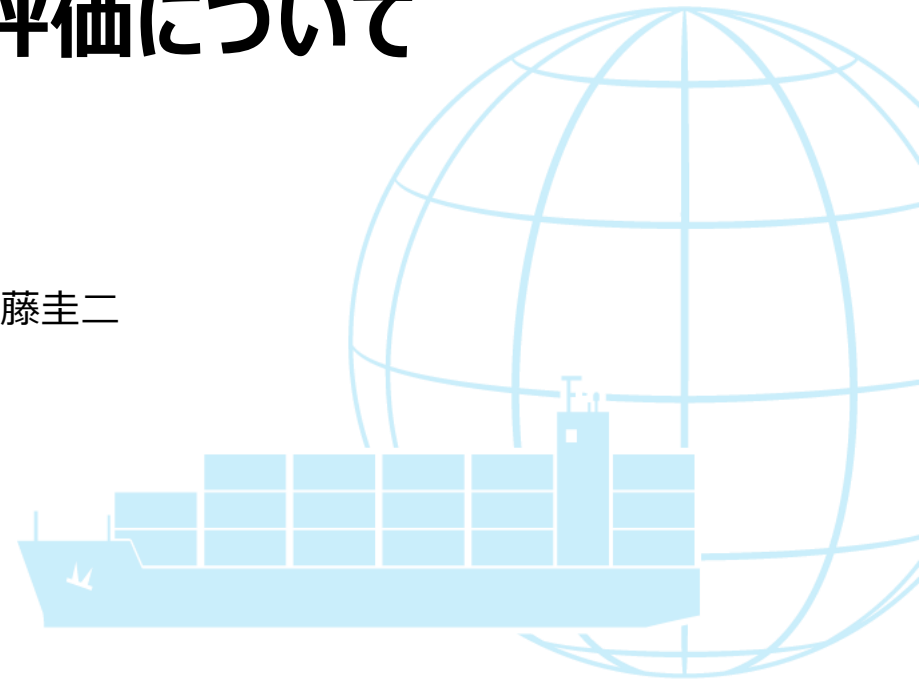


切り離されたモジュールの遠隔操縦システムの 実船実験と安全性評価について

2026年3月12日

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 知識・データシステム系 佐藤圭二



1. はじめに



- 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システムの安全性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
- 本講演では海上技術安全研究所が実施した切り離されたモジュール（バージ）の遠隔操縦システムの実船実験と安全性評価について報告する

講演内容

1. はじめに
2. 試験設備の基本構成と仕様
3. 操船タブレット画面および各モードの概要
4. バージ性能評価試験
5. タブレット操作によるバージ操船
6. 実証試験で判明した課題と解決策
7. まとめ

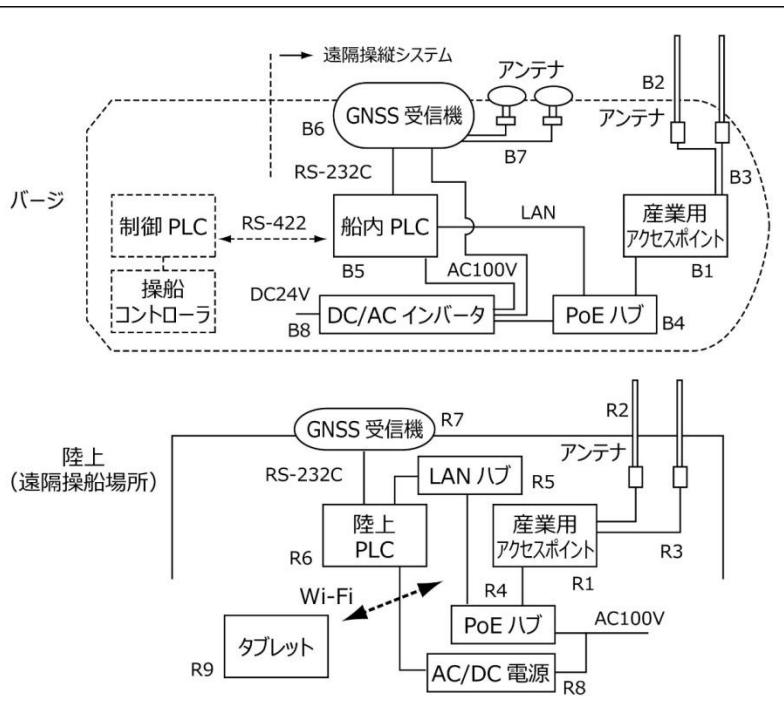
- ・バージには船長が常時乗船し、港内の目視で安全が確認できる距離で、船長による指揮監督の下、海技資格を有する者が操作しました。
- ・本試験の実施にあたっては、実施者は事前に安全管理規程を策定し、十分な習熟訓練を行いました。

2. 試験設備の基本構成と仕様

(1) 遠隔操縦設備



- 2024年度までの計画通り、Wi-Fiを用いた遠隔操縦設備を構築した
- その他の設備として、陸上監視用にLTE接続（Peplinkルータ）を準備・接続した



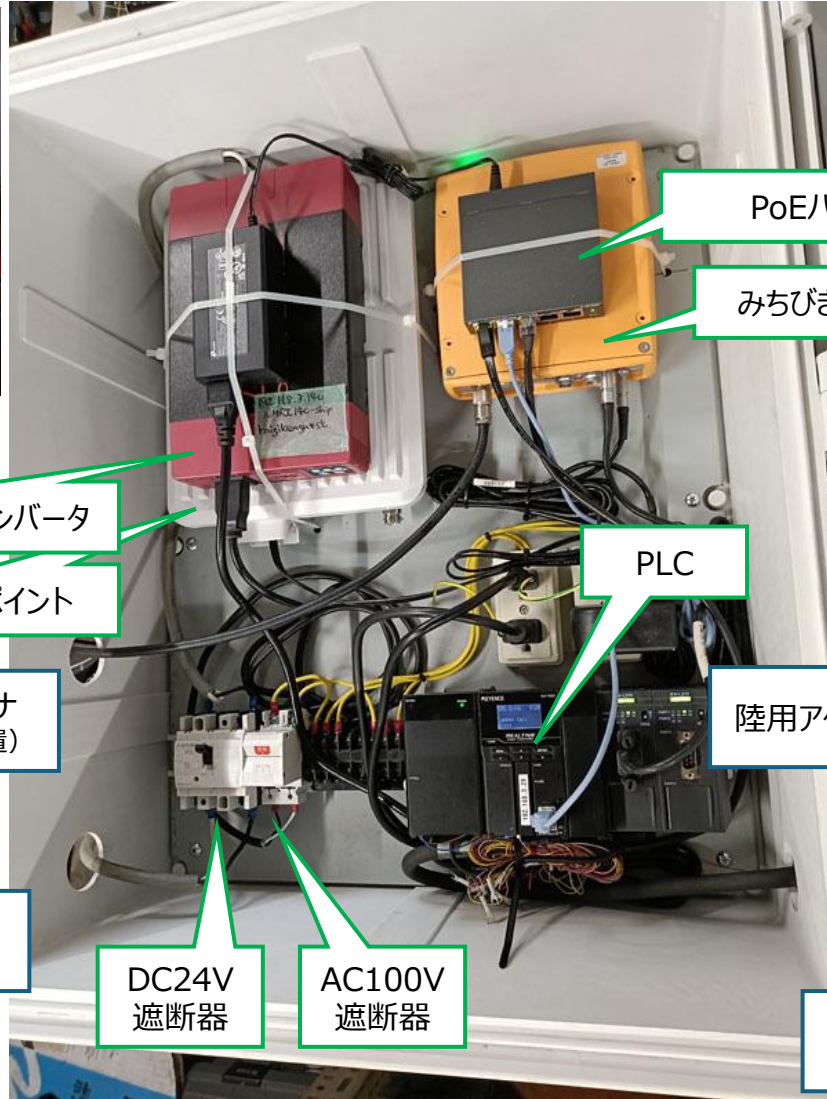
N O.	構成機器	個数	メーカー・型番・仕様
R 1	産業用アクセスポイント	1	バッファロー, WAPM-1266WDPR 無線LANインターフェイス: 5 GHz (W56), 2.4 GHz, リピータ機能付
R 2	アンテナ	2	バッファロー, WLE-HG-NDC 無指向性・コーリニア型アレーアンテナ 周波数範囲: 2.400~2.497 GHz 取付金具付属: マスト径30~60mm (市販のアンテナ台に取り付け済み)
R 3	同軸ケーブル	2	バッファロー, WLE-CC10 長さ: 10 m
R 4	PoEハブ (PoEインジェクタ)	1	バッファロー, BIJ-POE-1P2GHLT 電源電圧: AC100V 消費電力: 最大36W
R 5	LANハブ	1	バッファロー, LSW6-GT-5NS/BK (相当品) ポート数: 5
R 6	陸上PLC	1	キーエンス, KV-NC32 キーエンス, KV-NC20L キーエンス, KV-NC1EP
R 7	GNSS受信機	1	YIC, GT-502 (相当品) シリアル出力, GNSS時刻確認に使用
R 8	AC/DC電源	1	キーエンス, MS2-H50 入力: AC100V 出力: DC24V, 2.1A, 50W
R 9	タブレット	1	ロジテック, LZ-WB10M/W1 OS: Windows 11 ソフトウェア: キーエンス, Soft-VT

機器構成

(2) バージ搭載機器



樹脂ケース外観



PoEハブ

みちびき受信機

船内用タッチディスプレイ
(VT3-V6H)

DC-ACインバータ

アクセスポイント

PLC

陸用アクセスポイント

みちびきアンテナ
(2台を接続・設置)

取付金具
(樹脂ケース付属)

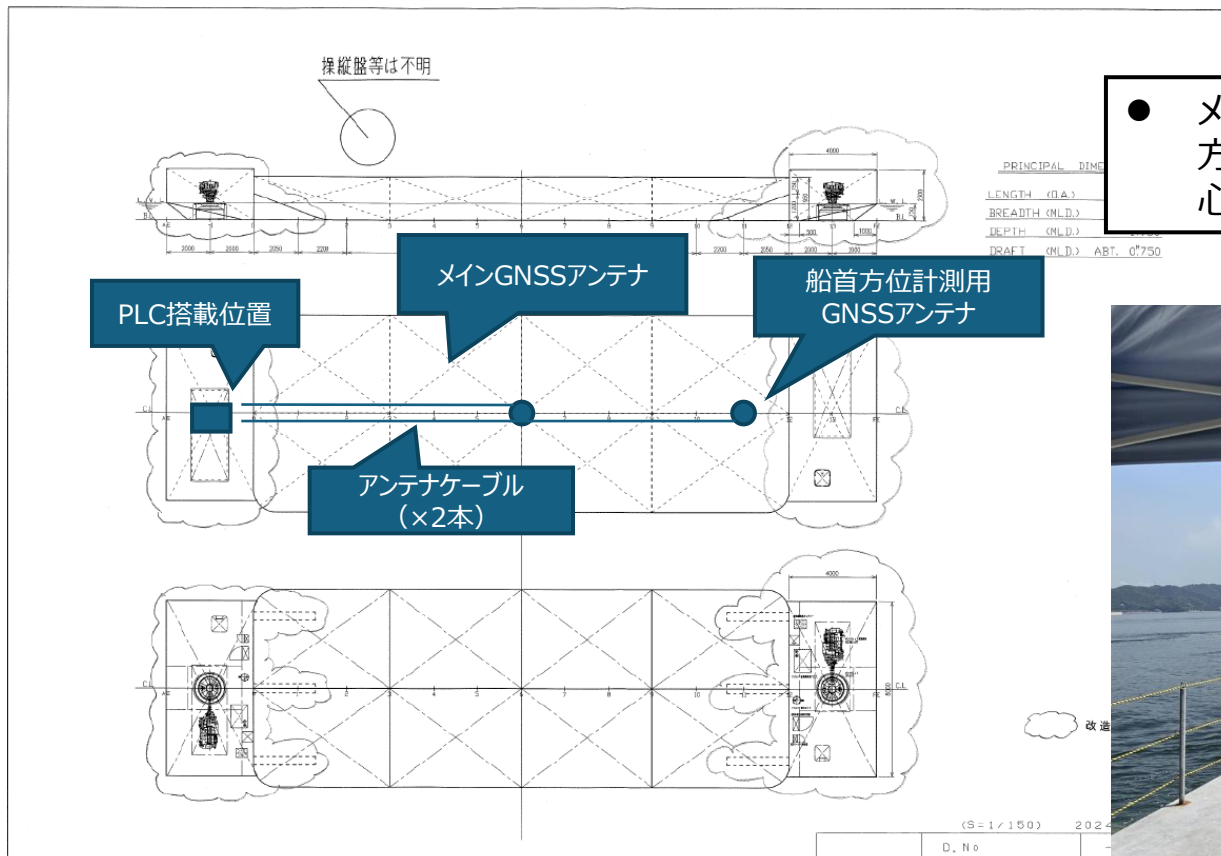
DC24V
遮断器

AC100V
遮断器

操船用タブレット



(3) GNSS受信機のアンテナ設置【参考】



- メインGNSSアンテナをバージのミッドシップ、方位計測用GNSSアンテナを船首方向中心線上に配置



(4)バージ船上での操船



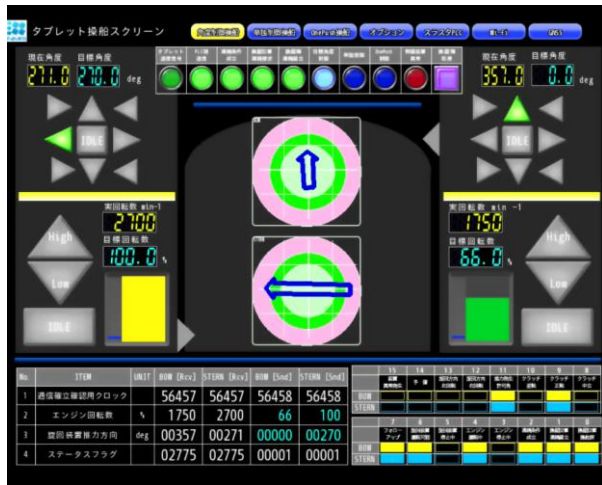
- 船上に設置したジョイスティックにより、バウスラスタおよびスタンスラスタの操作が可能
- 遠隔操船時においても、船上操船装置から操船権の取得・手動操作が随時可能
- 試験中は常に船長がバージに乗船し、安全管理の下で周囲状況および船体挙動を監視



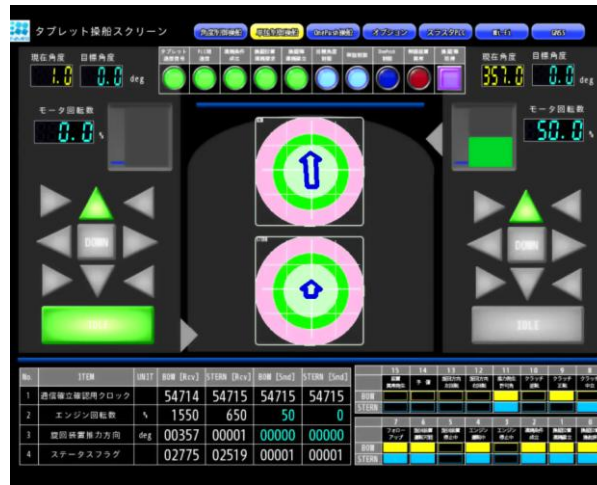
3. 操船タブレット画面および各モードの概要



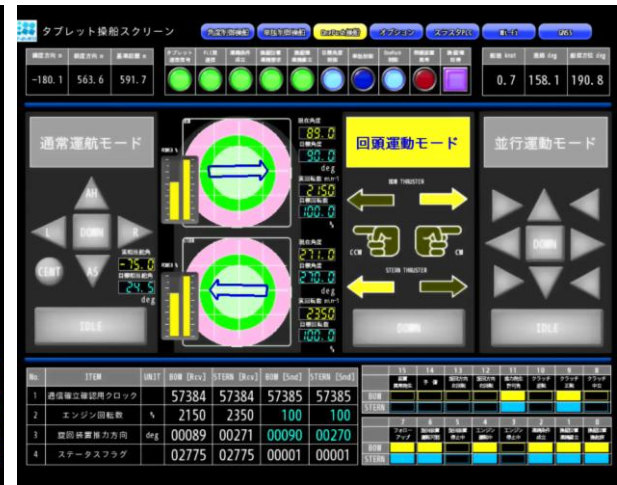
- ① 角度制御操船モード：船首・船尾スラスターの推進方向とエンジン回転数を個別に制御
- ② 単独制御操船モード：スラスターの推進方向と回転数を連動して操作
- ③ OnePush操船モード：通常運航・回頭運動・並行運動の3モードをワンタッチで切替



(a) 角度制御操船モード



(b) 単独制御操船モード

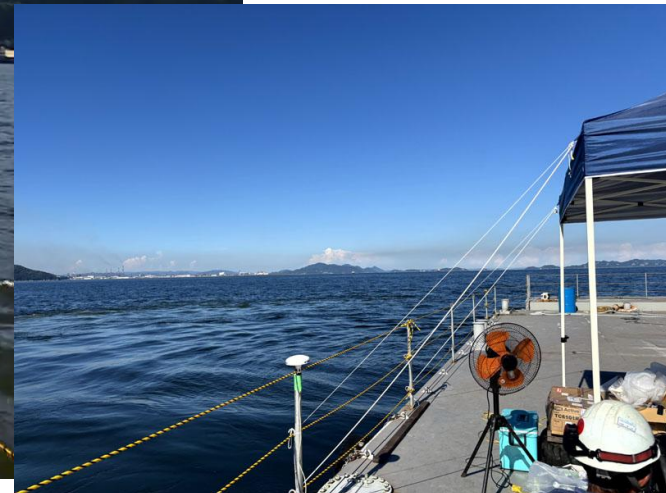
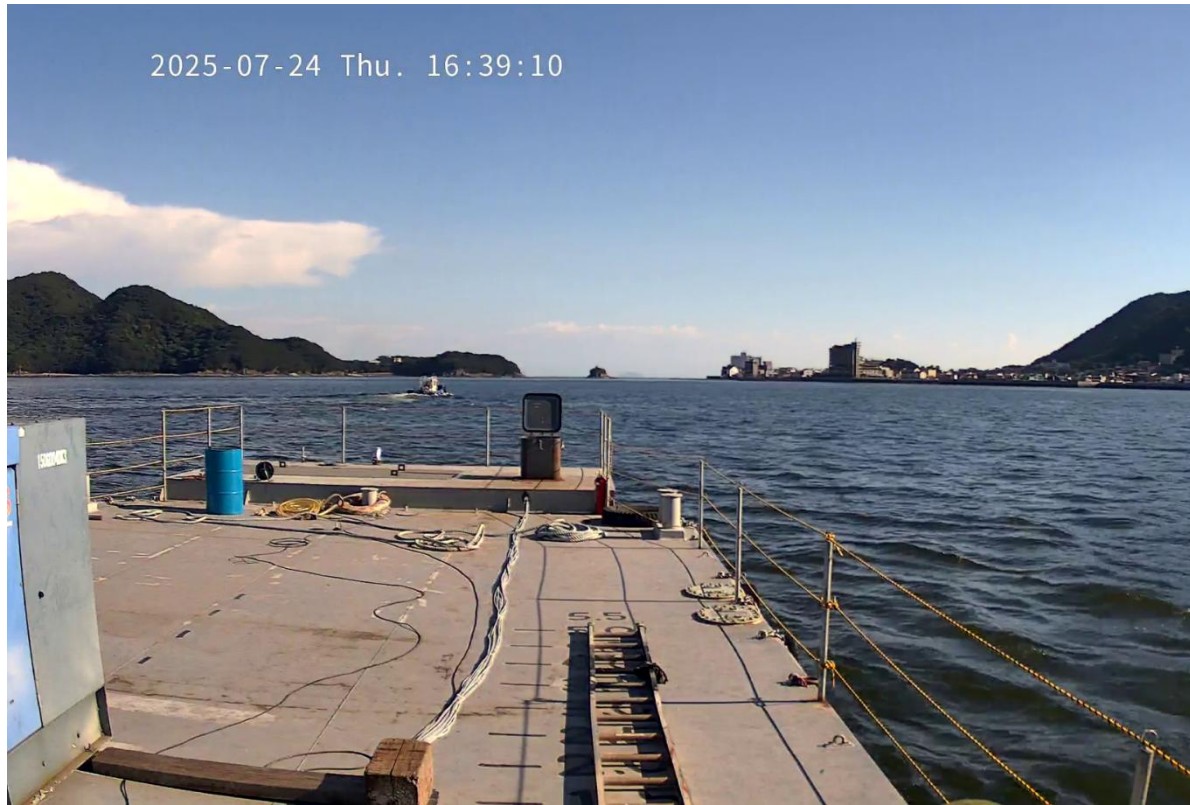


(c) OnePush操船モード

4. バージ性能評価試験



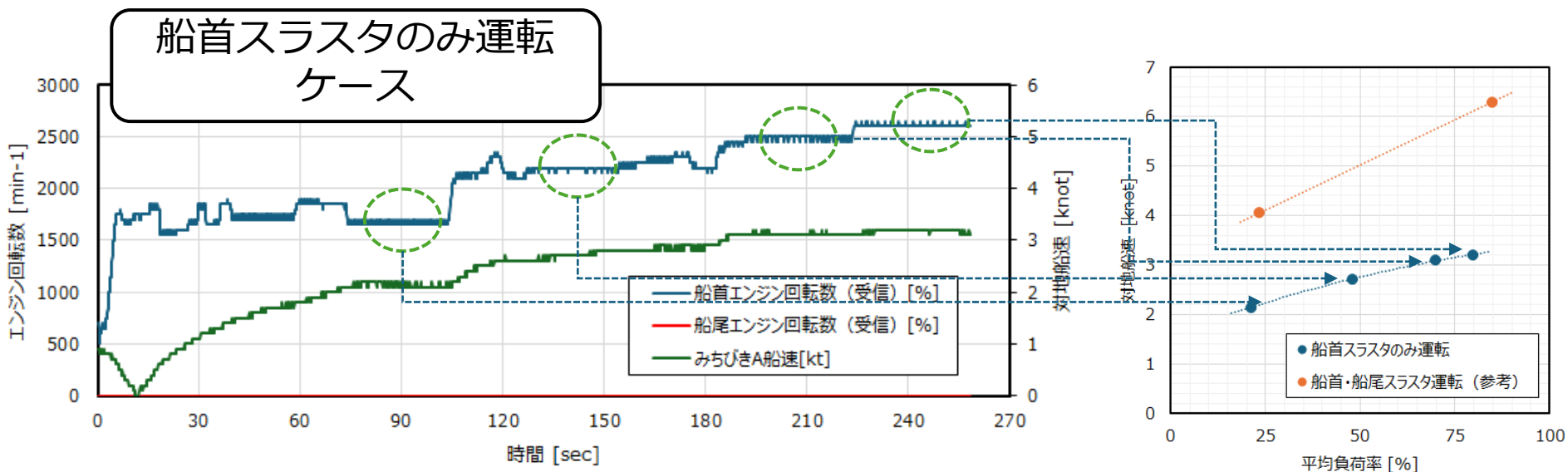
- 2025/7/24にすべての設備を搭載・調整後、バージ性能評価試験を実施
- 評価試験はバージ上のジョイスティックを使用



(1) 速力試験【参考】



- 船首スラストのみを運転し、前進時の速力試験を実施
- 船首エンジン回転数 2600 min⁻¹ (推定負荷率約 80%) 時に、対地船速3.2 knot を記録
- 船首と船尾のスラストを用いた場合、推定負荷率約85%において、対地船速約6.3knotを記録 (参考値)

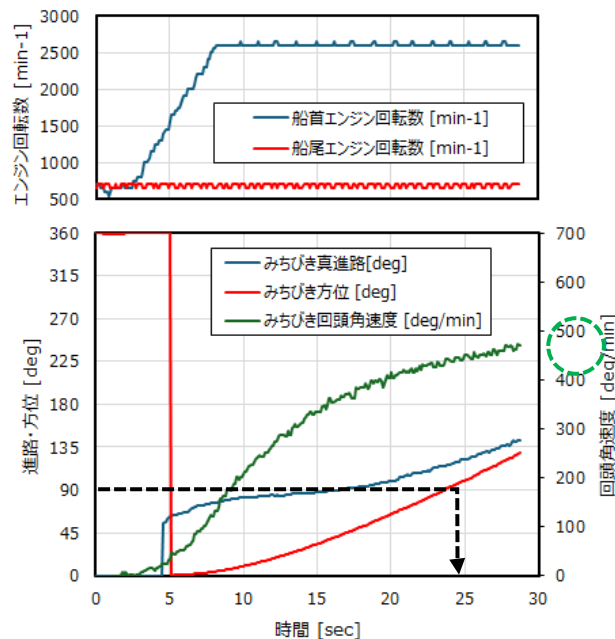
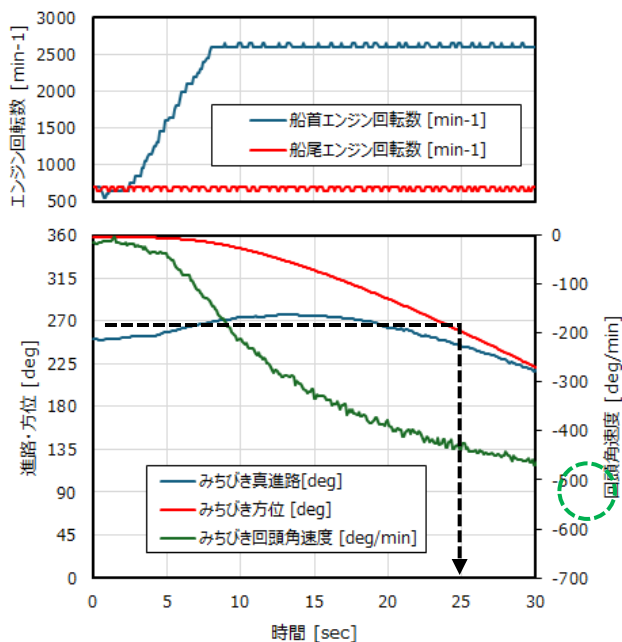
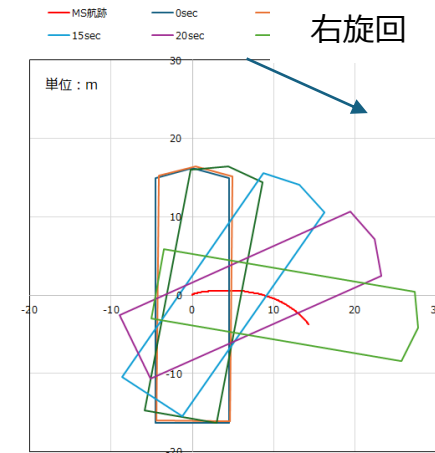
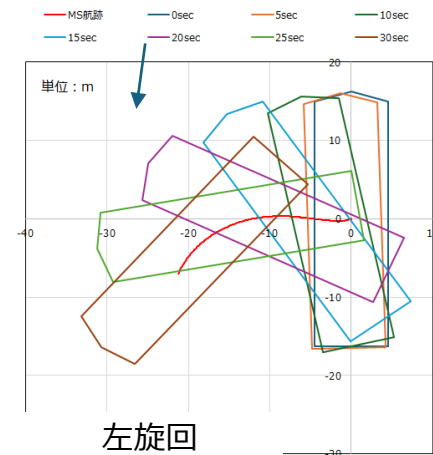


※上のグラフの負荷率は、エンジン回転数2810min⁻¹を
負荷率100%とした場合の船用特性船から求めている。

(2) 船首スラスト試験【参考】



- 船首スラストのみを使用し、旋回動作試験を実施。左右ともに約25秒で90°の方位変化を確認
- 最大回頭角速度は、左右いずれの旋回でも 約450~480 deg/min を記録



(a) 左旋回

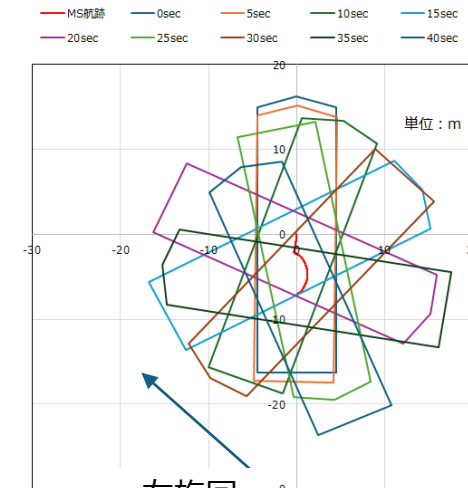
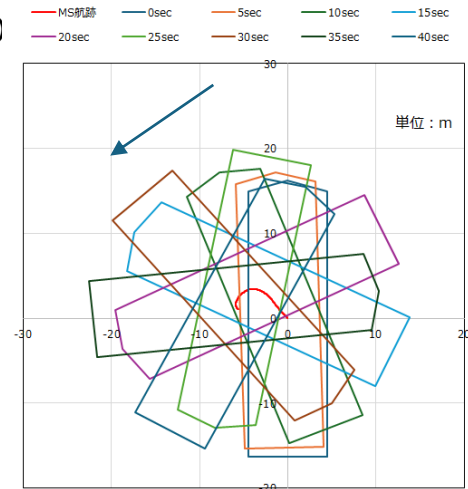
(b) 右旋回

(3) その場回頭試験【参考】

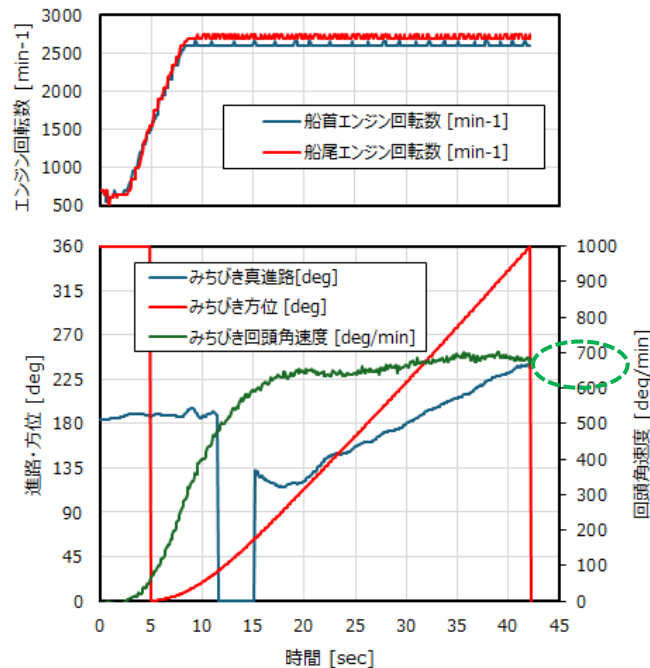
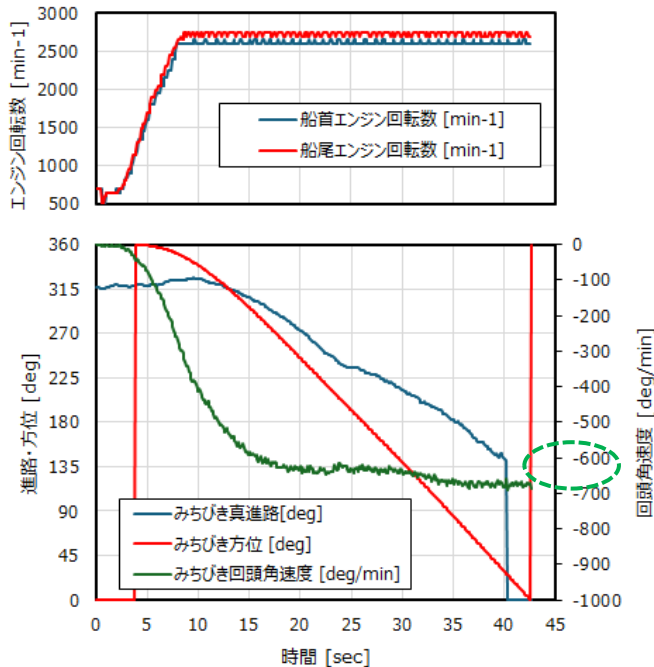


- 船首・船尾スラスタを併用し、その場回頭試験を実施において左右いずれの方向でも約 40秒 で 360°の方位変化を確認
- ミッドシップ位置の移動は 約5 m程度と小さく、安定したその場回頭を実現
- 最大回頭角速度は、左右ともに 約680~700 deg/min で安定

左旋回



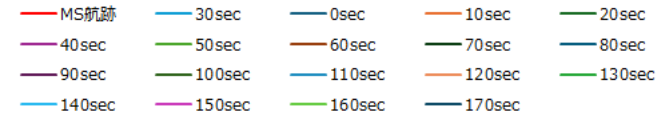
右旋回



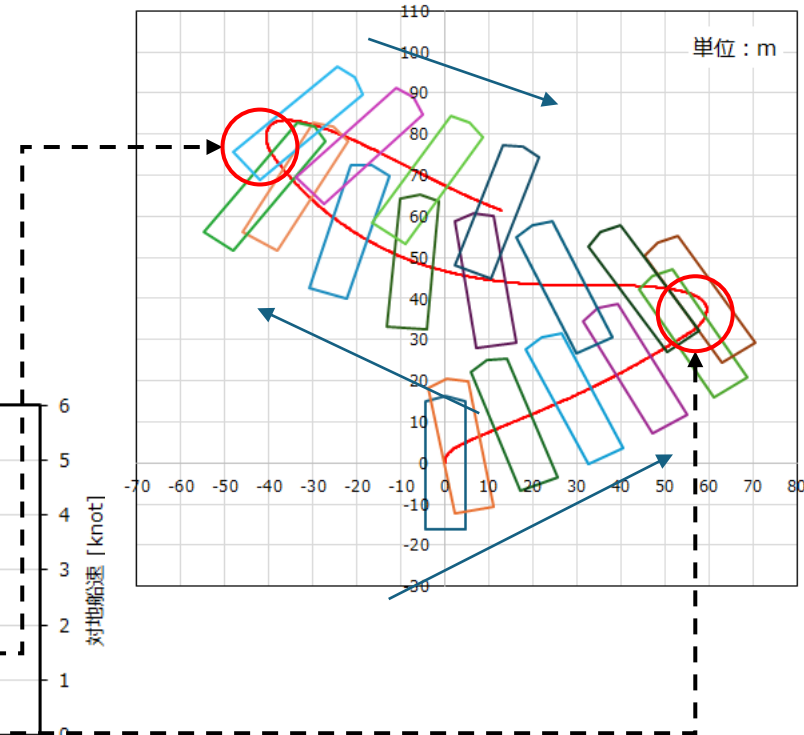
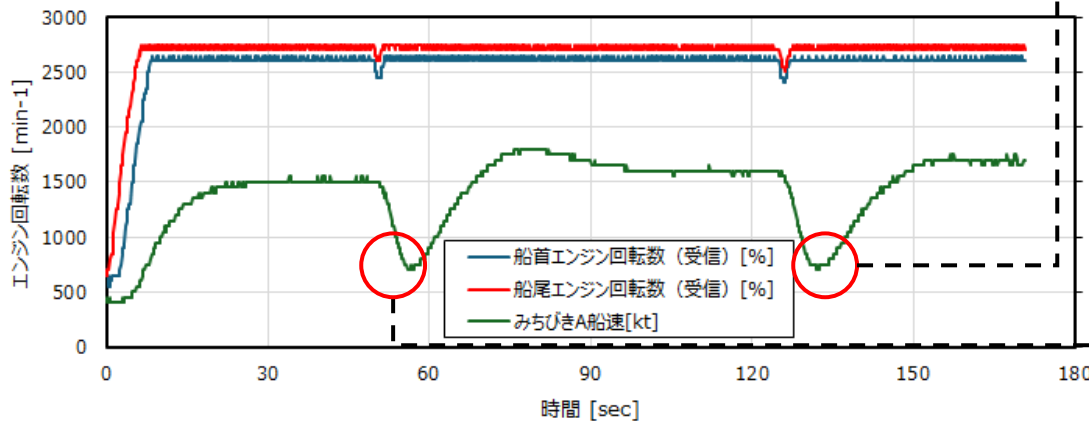
(4) 横移動試験【参考】



- 船首・船尾スラスタを運転した横移動試験において、最高船速は3~3.5knot程度であった
- わずかに船尾スラスタの推力が大きいような船体運動をしているが、概ね適切な横移動が行われている



【試験方案】
 船首スラスタを左90°方向、船尾スラスタを左90°方向に設定移動。
 速度が制限した後、反対方向へ横移動を開始。
 その後、右方向への横移動も同様の条件で実施。



5. タブレット操作によるバージ操船

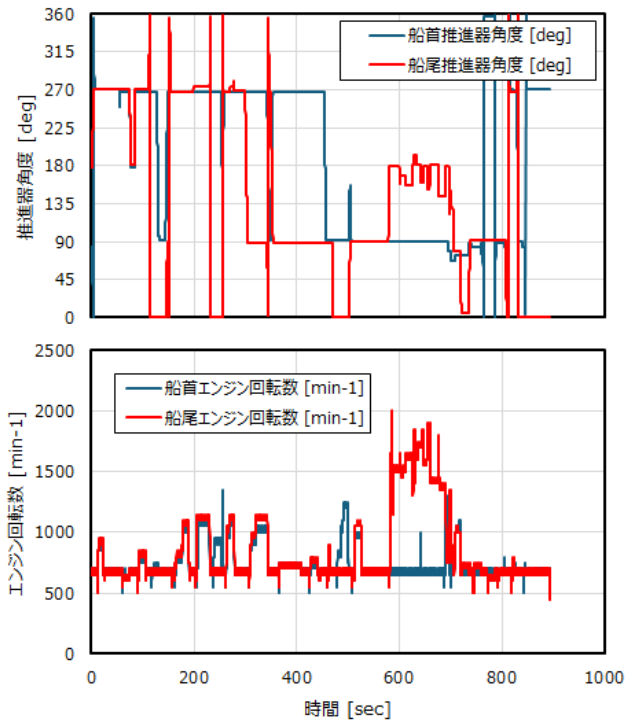


- ・バージには船長が常時乗船し、港内の目視で安全が確認できる距離で、船長による指揮監督の下、海技資格を有する者が操作しました。
- ・本試験の実施にあたっては、実施者は事前に安全管理規程を策定し、十分な習熟訓練を行いました。

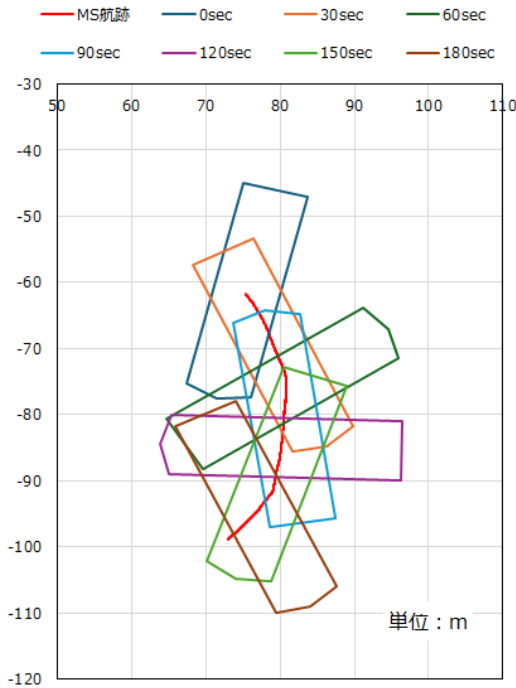
(1) タブレット操船の例



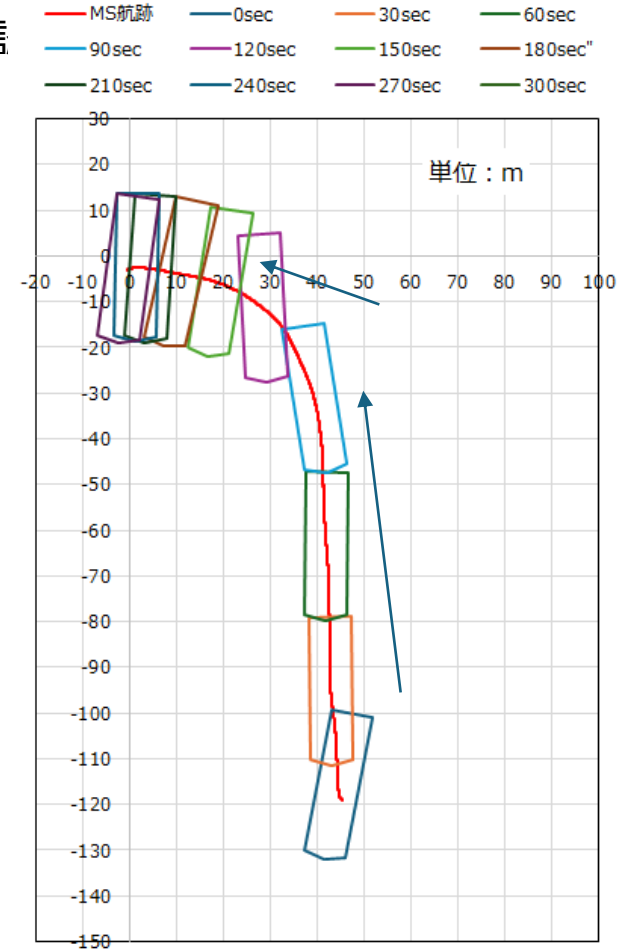
- OnePush操船モードを中心に、タブレット操作による操船試験を実施
 - その場回頭や横移動，着棧などが適切に実行できることを確認



(a) 操作例



(b) その場回頭 (左旋回)

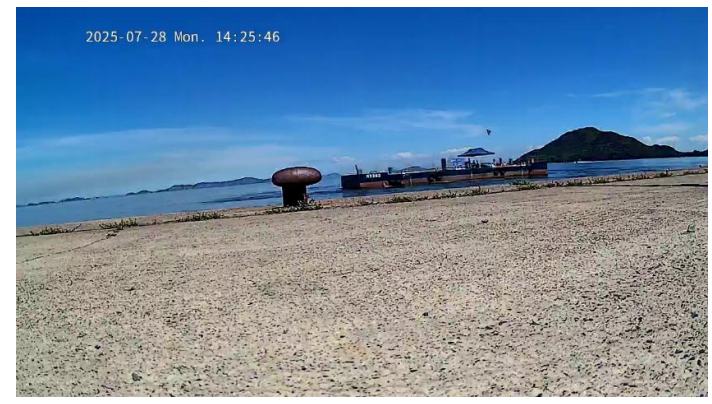
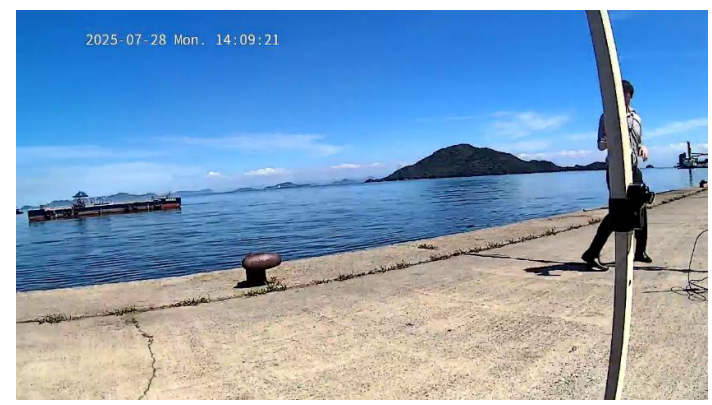
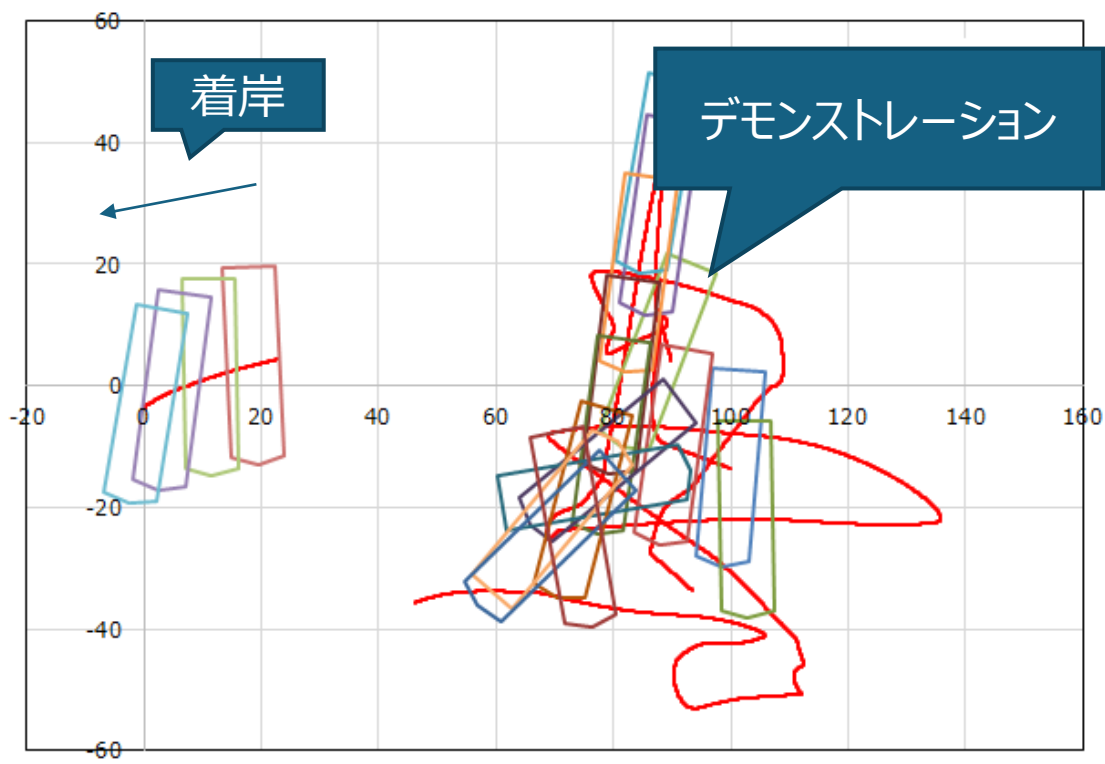
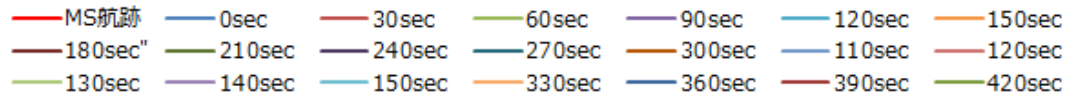


(c) 着棧

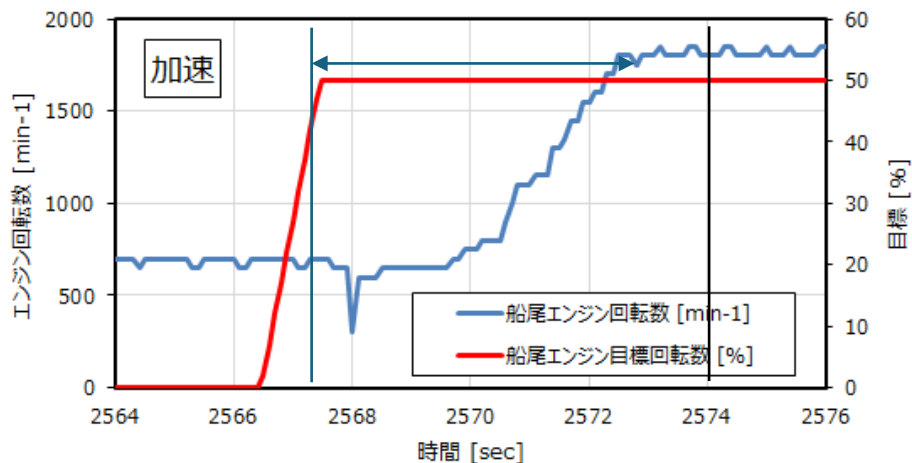
(2) タブレット操船のデモンストレーション例



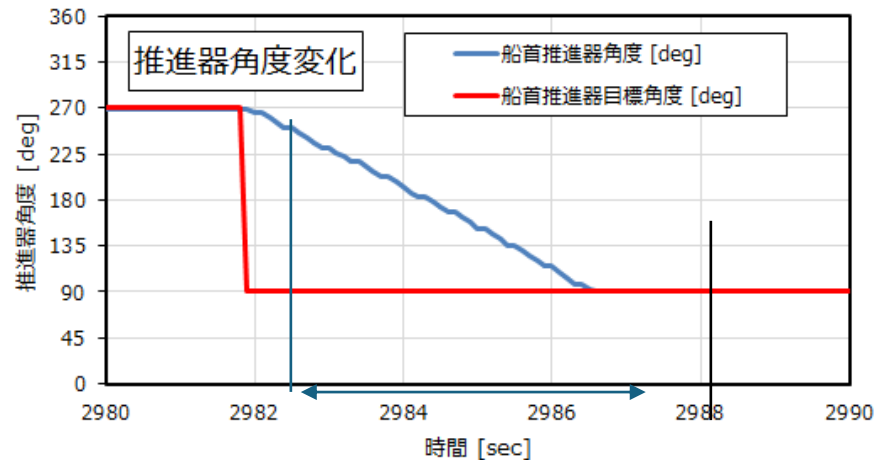
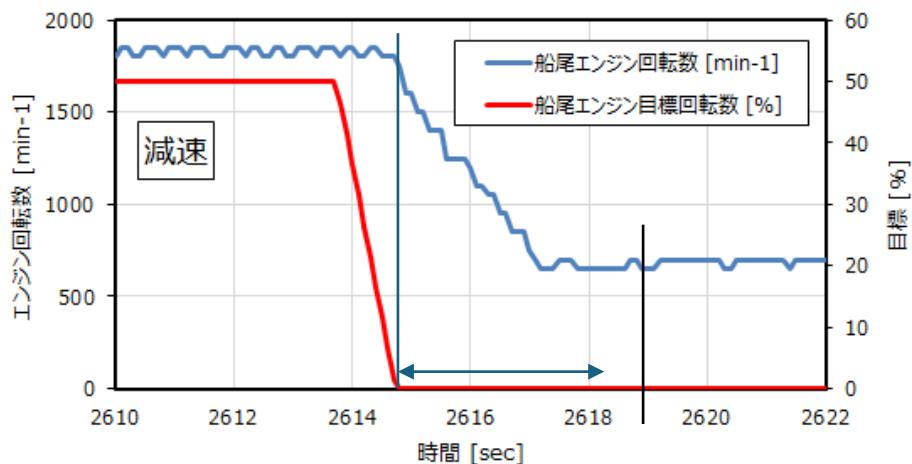
- 2025/7/28のデモンストレーションでは、前進・後進、横移動、その場旋回、タブレット操船による着岸を実施



(3) タブレット操船時の機器動作



- タブレット操船による加速指令 (0→50%) に対して、エンジン回転数は上昇し、約6sec後に静定
- タブレット操船による減速指令 (50→0%) に対して、エンジン回転数は低下し、約4sec後に静定
- タブレット操船による推進器角度指令に対して、約5secで180deg回転



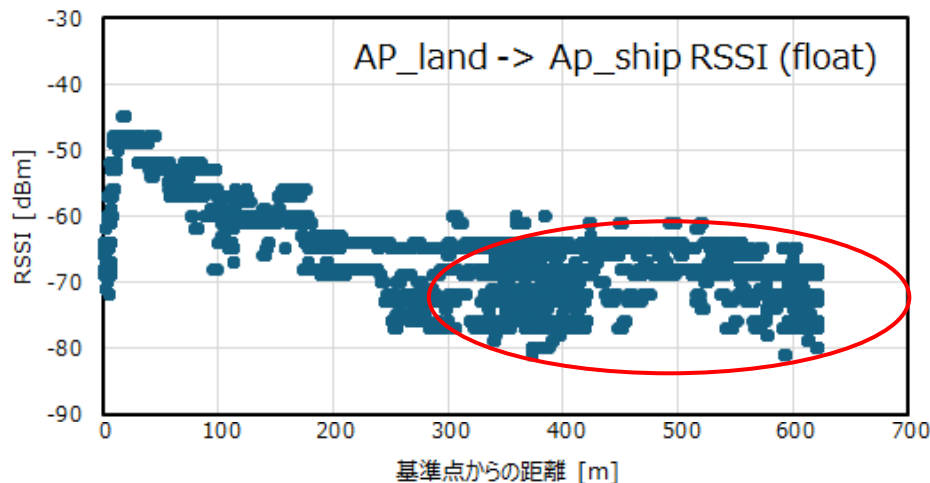
(4) タブレット操船とWi-Fi通信



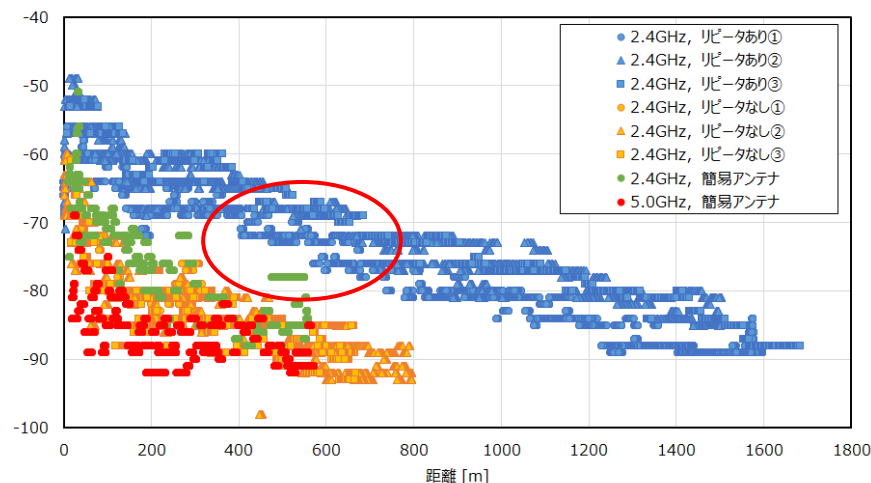
- 陸上アクセスポイント (AP) と船上AP間の電波強度 (RSSI) は、2023年度に小型実験船「神峰」で取得した結果と同等レベルであることを確認
- 通信状況は距離400~600 mの範囲で安定しており、操船操作に支障はなかった

【2023年度報告書より】

リピータ機能と高性能アンテナを用いた場合、最大1600 m程度の距離まで通信可能であるとの結果が得られた。ただし、通信遅れの増大や瞬時の通信遮断を踏まえると、安心して遠隔操縦できる距離は1000 m程度である



実験時計測値

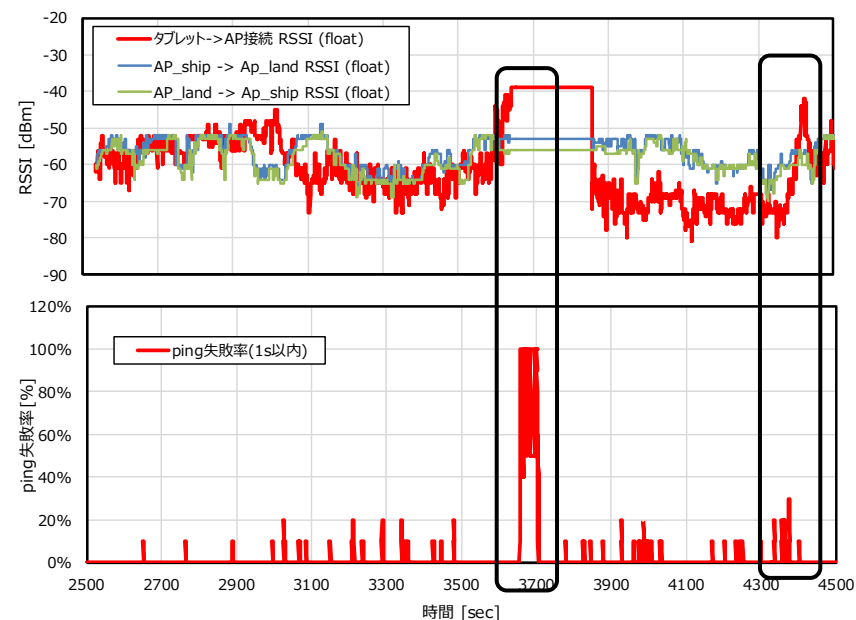
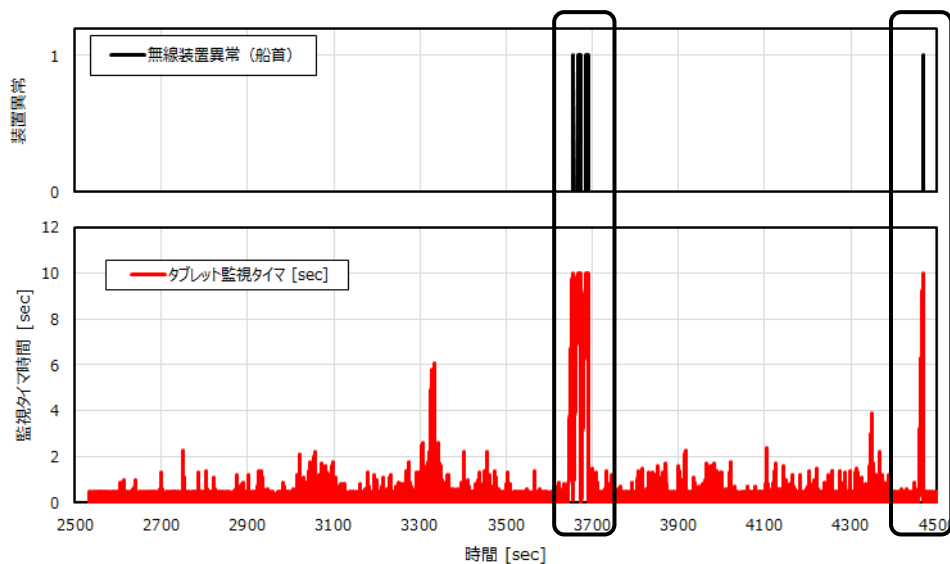


小型実験船 (広島・因島) による計測値
(2023年度報告書より)

(5) タブレット-PLC間の通信遮断



- タブレット通信監視タイマ（通信遮断の残り時間）のデータを取得
- 3700sec頃と4450sec頃に監視タイマ時間が10secに達し、無線装置異常が発令されている
- 通信異常時には、Ping(通信相手との応答時間を測定するネットワークテスト)の1秒あたり失敗確率が上昇
- 原因は不明であるが、無線装置異常時には操船権が自動でバースに移動することを確認



6.実証試験で判明した課題と解決策



No.	項目	課題・内容	解決策・備考
1	シリアル通信の「質」の確認 (PLC間通信)	<ul style="list-style-type: none"> ● シリアル通信のノイズなどによって適切なデータ通信が行われないことがあり得る 	<ul style="list-style-type: none"> ● 十分なノイズ対策を施す ● 例えば、使用するすべてのPLCにデータの健全性を判断するアルゴリズムを追加する
2	通信遅延への対応	<ul style="list-style-type: none"> ● 1～2sec程度の短い通信遅れ (通信遮断) であっても操作性は悪化し、場合によっては誤操作につながるおそれがある 	<ul style="list-style-type: none"> ● PLCが通信遮断を正確に判断し、通信遮断時の動作を受け付けなくするなどの対応により、意図しない誤操作を防ぐ
3	緊急ブレーキの搭載	<ul style="list-style-type: none"> ● 行き足を止める方向に推進力を発生させて、最短距離で船体を停止させる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 低速運航であるため、必ずしも必要な機能ではない ● 自船位置・船体運動の正確な把握と適切なプログラム開発が必要である
4	自動制御機能の搭載	<ul style="list-style-type: none"> ● 操船支援システムとして、船首・船尾スラストによる船首方位自動制御や船体位置制御を搭載する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 必ずしも必要な機能ではない ● 例えば、船首方位を変えずに並行運動 (横移動) させるためのエンジン回転数制御は可能であり、有効な操船支援になると考えられる
5	タブレット操船	<ul style="list-style-type: none"> ● タブレットを注視しすぎると、バーズを直接目視で監視できない 	<ul style="list-style-type: none"> ● ジョイスティックなど、目視でバーズを見ながら操船できる装置の開発
6	セキュリティ対策	<ul style="list-style-type: none"> ● 実用システム開発において必要となる 	<ul style="list-style-type: none"> ● タブレット (本試験ではWindows) およびアクセスポイントのセキュリティ対策 (ウイルス対策や適切なパスワード設定など) を十分に実施する

7. まとめ



●実運用環境での有効性

- 実海域試験用バージに遠隔操縦システムを搭載し、産業用Wi-Fiアクセスポイントを利用した結果、タブレットによる安定した遠隔操縦が可能であることを実証

●通信距離・範囲検証

- リピータ機能や高性能アンテナを使用すると、最大600mまで通信可能であることを確認。過去の検証結果から安全に遠隔操縦できる範囲はおおよそ1000m程度であると考えられる

●安全対策機能の有効性

- バージ内の遠隔操縦用PLCとスラスト制御PLC間の通信確認用クロック機能が正常に動作し、安全対策として有効であることが確認された

●タブレットとPLC間通信の監視機能

- タブレットと遠隔操縦用PLC間の通信状態監視機能が正常に機能し、安全対策として有効であることが確認された

●今後の課題

- シリアル通信の「質」の判定や、通信遅延対策、緊急ブレーキ・自動制御機能の拡充が今後の検討課題として挙げられる

ご清聴ありがとうございました

