

令和2年(第20回)海上技術安全研究所研究発表会

着棧操船の音声支援と 自動着棧制御に関する研究



¹ 知識・データシステム系、² 環境・動力系、³ 流体性能評価系、⁴ 研究統括監、⁵ 特別研究主幹
澤田 涼平¹、平田 宏一²、北川 泰士³、齊藤 詠子¹、宮崎 恵子¹、上野 道雄⁴、福戸 淳司⁵



本日の内容

- 1.はじめに
- 2.実験船のシステム紹介
- 3.着棧操船の音声支援
- 4.自動着棧システムの開発
- 5.まとめ



はじめに

着棧操船について・・・

- 着棧操船は船員に対する負荷の高い作業の一つ
- 着棧時は船が低速になり、外乱の影響を受けやすい

→近年の内航海運における熟練船員の不足や高齢化を背景に、着棧操船のような高度な技術が求められる作業を支援・自動化することは重要

当所では、着棧操船に向けた取り組みを進めており、管理する実験船を実験環境として整備。本発表では支援・自動化に関して以下の内容を報告する

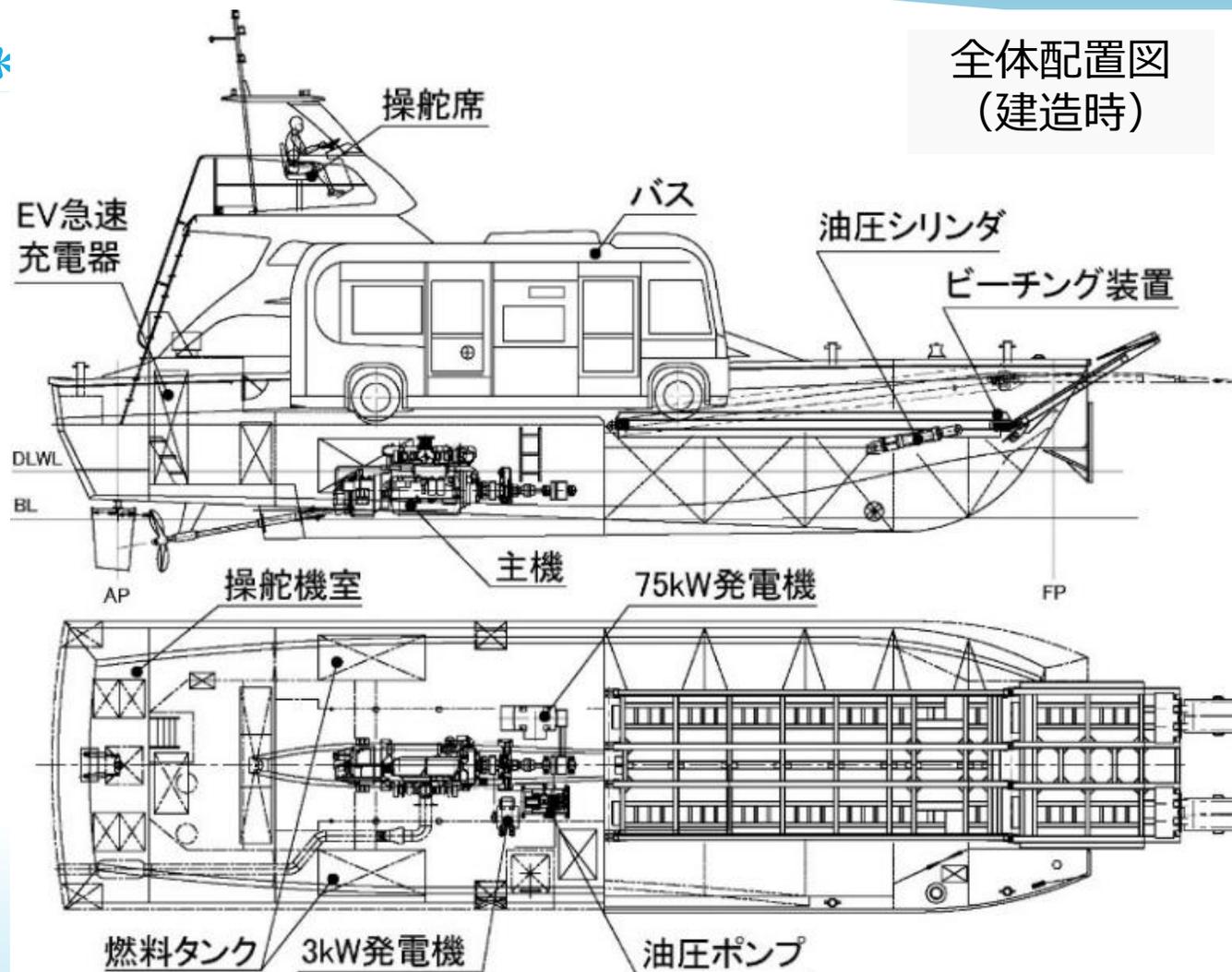
- 着棧操船の音声支援とシミュレータによる評価実験
- 自動着棧システムの開発と実船実験

小型実験船「神峰」

2. 実験船のシステム紹介

*

全体配置図
(建造時)

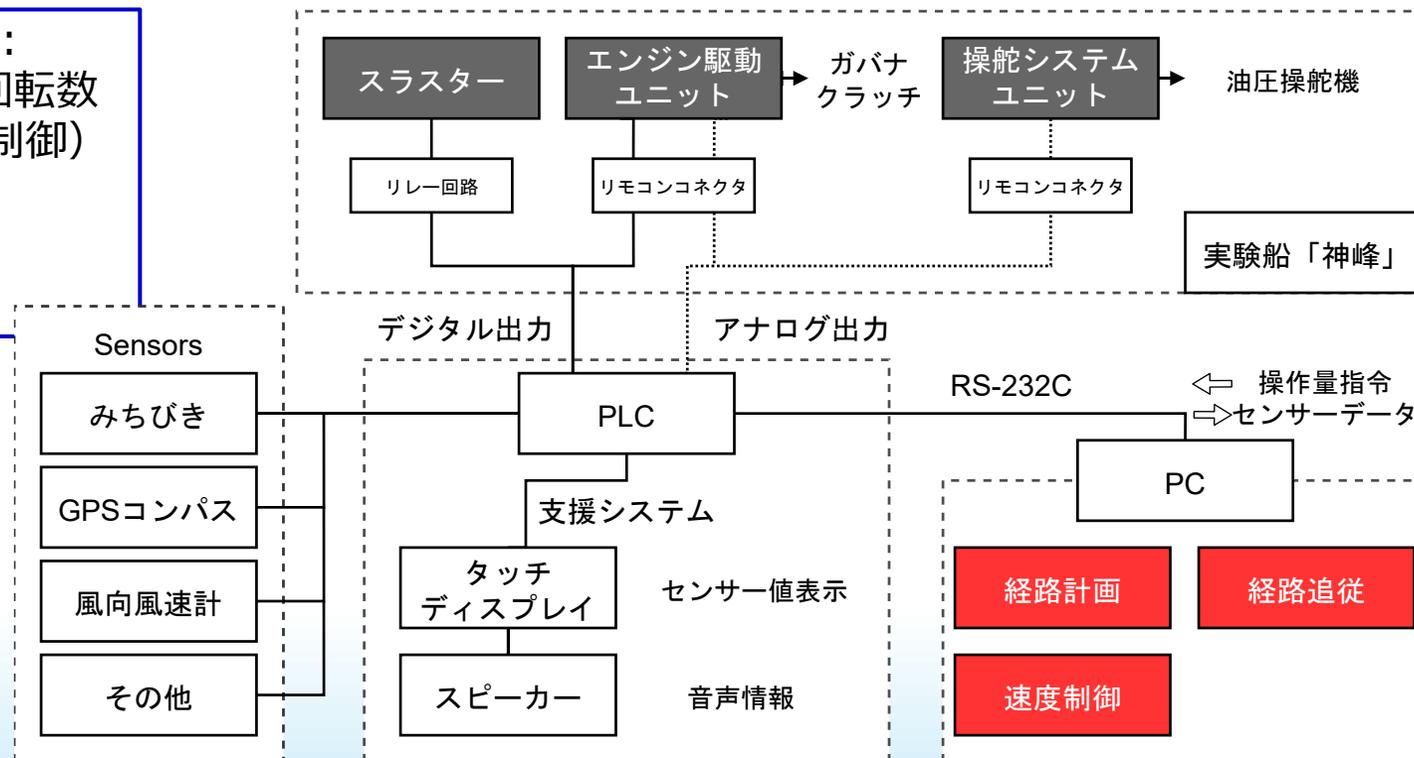


主要目	値
全長[m]	16.5
垂線間長[m]	14.9
登録幅(1.0WL) [m]	4.38
型深さ[m]	1.50
計画喫水[m]	0.70
プロペラ直径[m]	1.0
プロペラ翼形状	MAU
試験時トン数 (推定) [ton]	21.535

- 実験船上にPLC(Programmable Logic Controller)を中心とした制御システムを構築し、PCから操船できるようにした

PLC制御対象：

- エンジン回転数（ガバナ制御）
- クラッチ
- 舵角
- スラスト



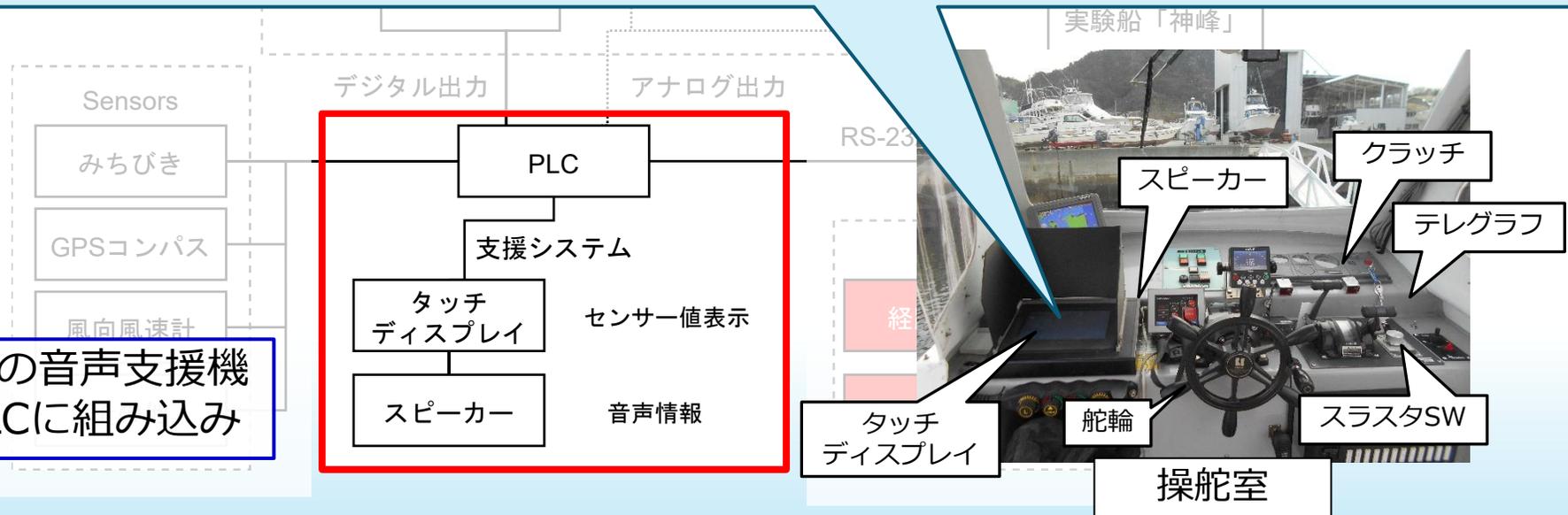
船体制御システムの構成

システム構成（操船コンソール）

2. 実験船のシステム紹介



主なモニタ画面



※着栈の音声支援機能はPLCに組み込み



システム構成（センサー）

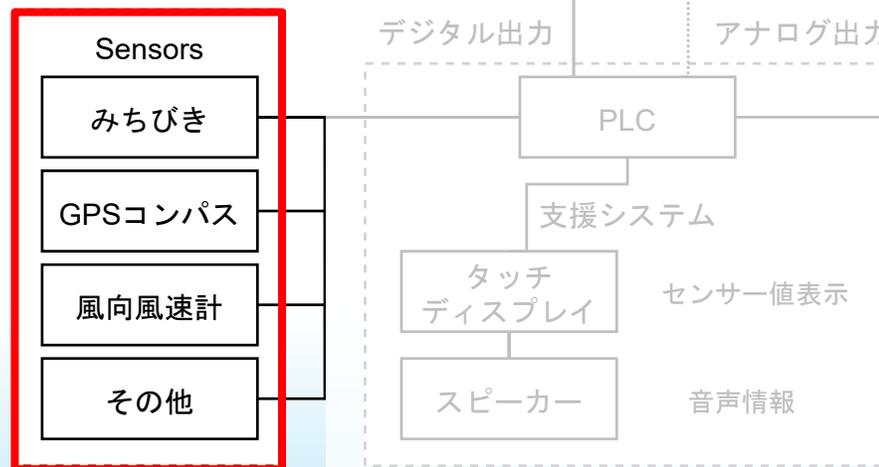
- ・位置測位に準天頂衛星システム：みちびきを採用。受信機はセンチメートル級測位サービス（CLAS）対応機。
- ・この他に、船首方位（GPSコンパス）、風況（風向風速計）、主機負荷の推定値、プロペラ回転数（オプティカル）、舵角等の各種データが計測・記録され、リアルタイムに取得可



風向風速計(左)とみちびきアンテナ(中央)



準天頂衛星システム（みちびき）受信機



研究背景：

着岸操船の際に、操船者は画面の情報は確認しにくい。別の支援方法として音声に着目した。

- * 設定された着岸経路に対して音声にて着岸操船を支援する機能を開発
- * 変針のタイミングや減速指示に加え、風況をリアルタイムに音声案内することで操船をアシスト



音声ガイダンスの例

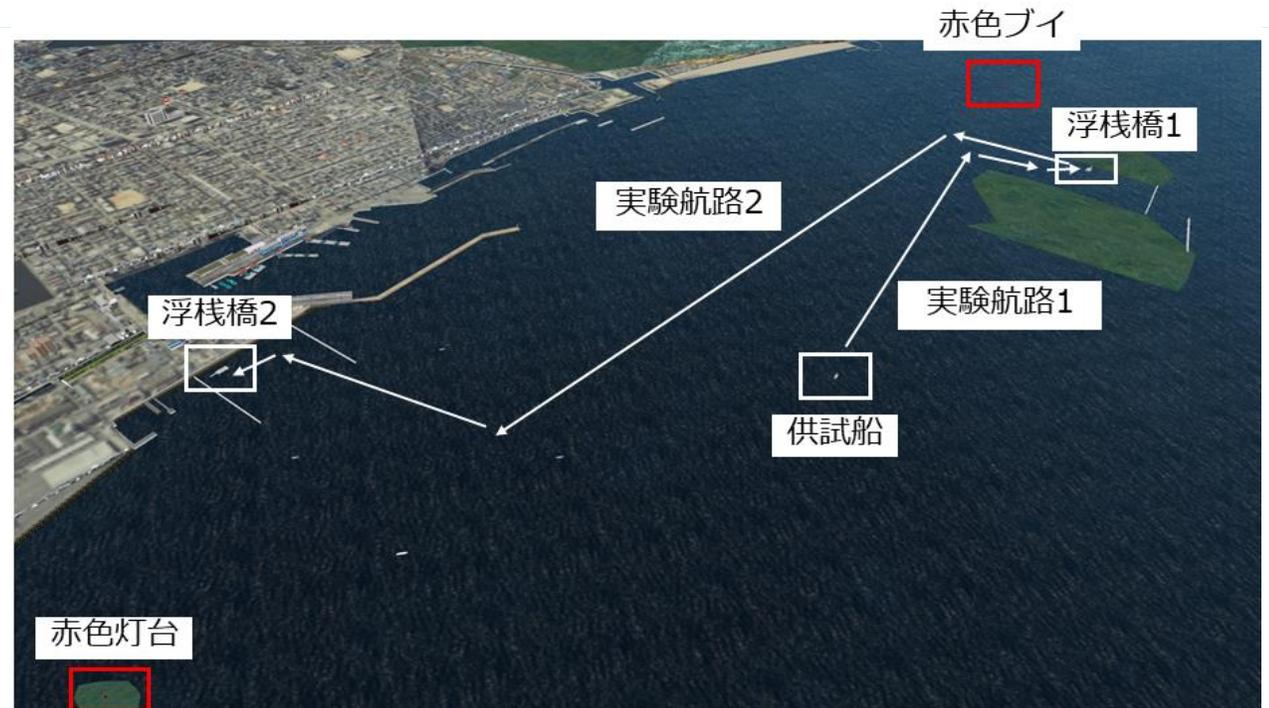
①NASA-TLX(Task Load Index)

* 音声支援による負担軽減の効果を評価

②SUS(System Usability Scale)

* 支援システムの利便性評価

被験者は15名に対して、シミュレータ内に設定した浮棧橋への着岸操船を行い、音声支援の効果を検証



シミュレータ内に設定した実験航路と棧橋

NASA-TLX

- 0～100までの点数で数値化
- 点数が大きい→負担が大きい
- 評価の前に、着岸操船の習熟時間を設定後に実験を実施

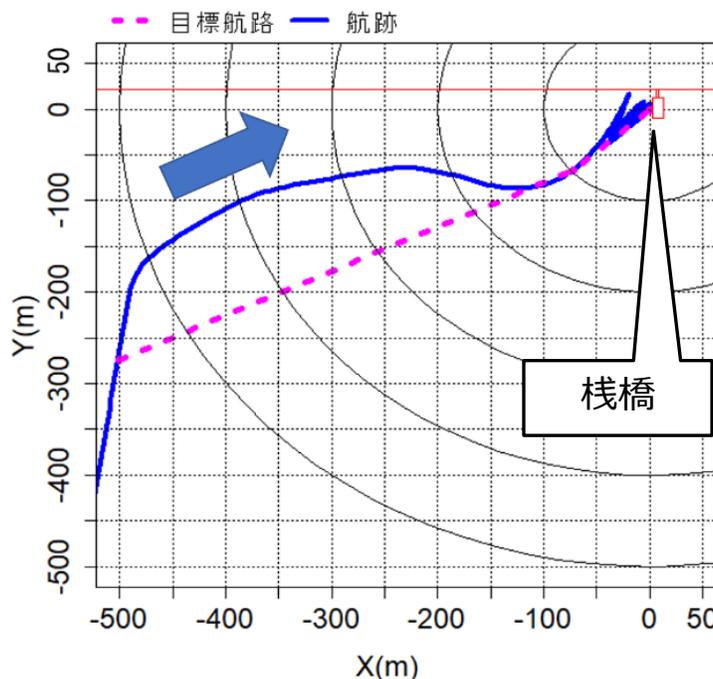
被験者15名のNASA-TLXの平均値

- 音声支援 あり：48.2点
- 音声支援 なし：55.5点

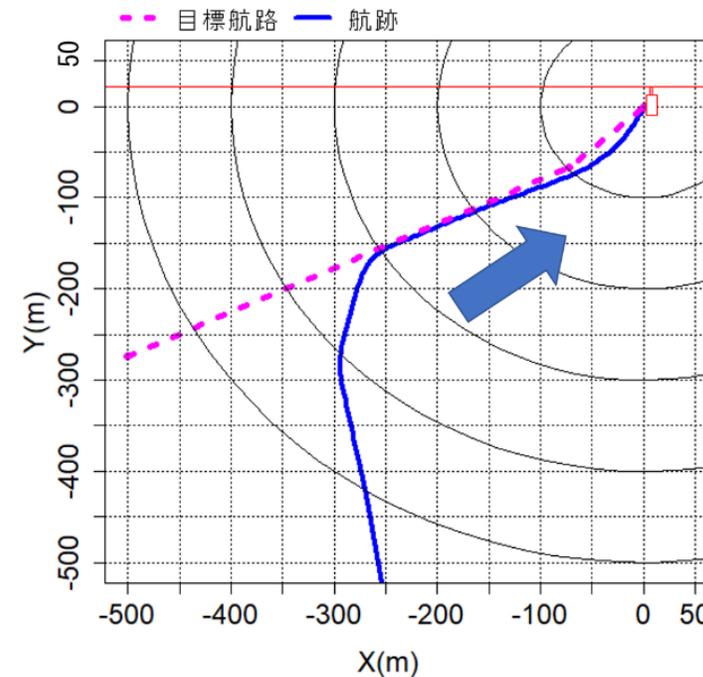
→ 音声支援で操船の負担を軽減。

今後は、若手船員教育システムへの応用を視野にユーザビリティの向上を目指す。

音声支援なし：被験者1

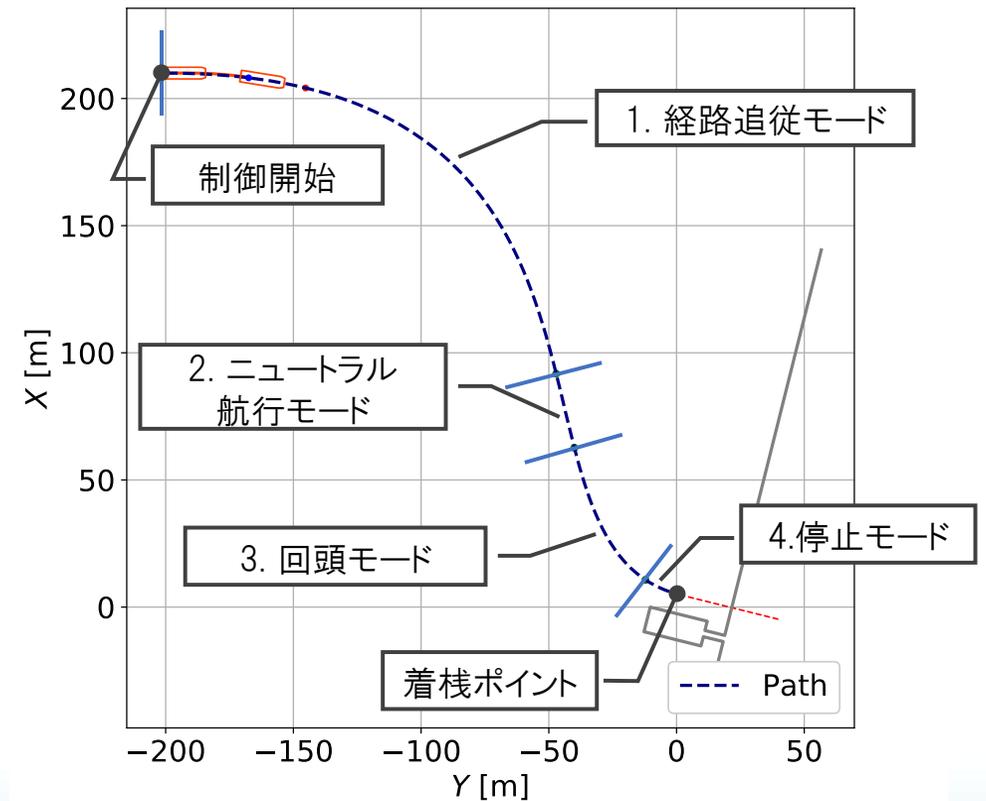


音声支援あり：被験者1



被験者実験の航跡例

- * 経路計画と経路追従制御からなる自動着棧制御アルゴリズムを開発
- * 経路上を4つの区間に分けて、制御モードを切り替えて着棧を行う
 - * Pure pursuit (単純追跡制御) で舵角制御
 - * 船速は区間ごとに目標値を決めて、クラッチを切り替えて制御。エンジン回転数は一定 (直進時プロペラ回転数 = 3.1rps)

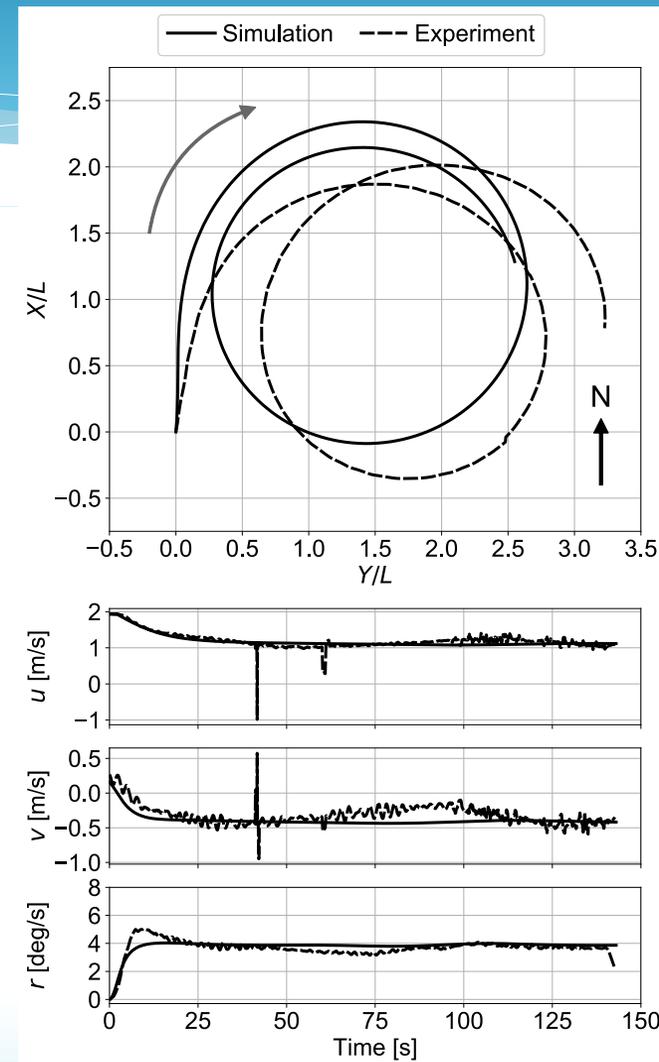


*船体運動特性の把握、自動着岸システムの開発のために、数値シミュレーション環境を整備。

*MMGモデルをベースとしてプロペラの正逆転を取り扱うことができる操縦運動数学モデルを構築。実船計測、類似船型の文献や各種推定式等を基に低速時のパラメータ同定を実施。

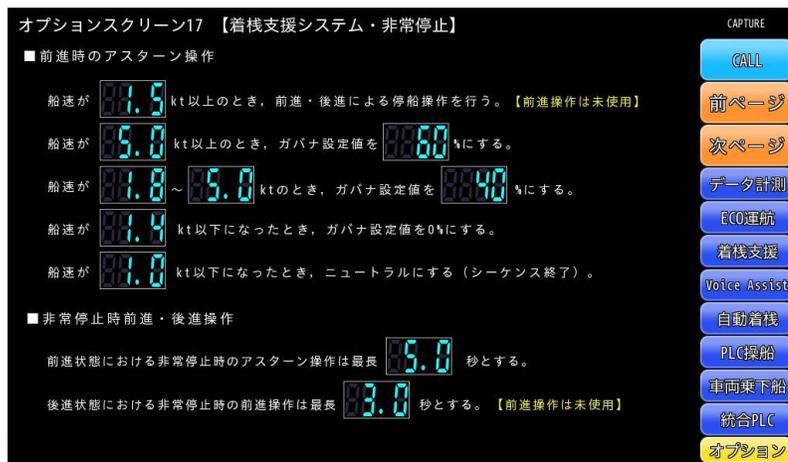
$$\left. \begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - m(vr + x_G r^2) &= X_H + X_P + X_R + X_A \\ (m + m_y) \dot{v} + mx_G \dot{r} + (m + m_x)ur &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_A \\ (I_{ZZ} + mx_G^2 + J_{ZZ}) \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) &= N_H + N_P + N_R + N_A \end{aligned} \right\} (3.1)$$

X_H, Y_H, N_H は船体に働く流体力
 X_P, Y_P, N_P はプロペラによる流体力
 X_R, Y_R, N_R は舵による流体力
 X_A, Y_A, N_A は船体に働く風圧力



船回試験の計測値とシミュレーション結果の比較（舵角：45度，平均真風速：2.08 m/s，平均真風向：348.4 deg）

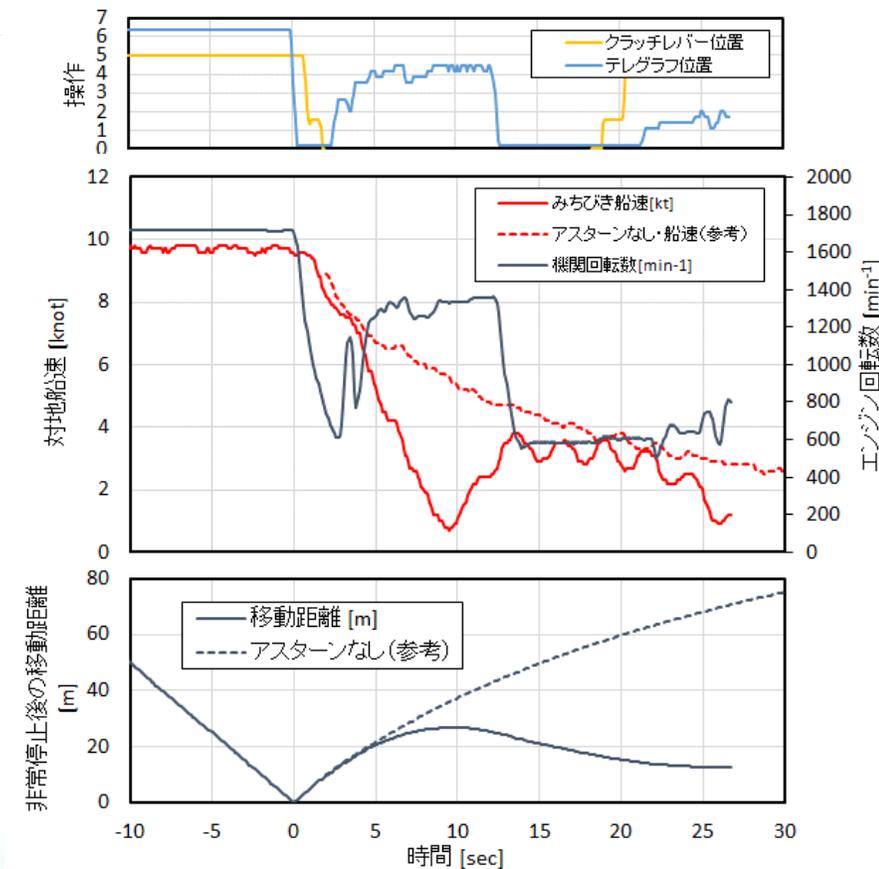
- * 非常時のアスターン操作を自動化し緊急停止できる機能を整備し実験の安全性に配慮
- * タッチディスプレイから即座に起動可能で船舶の前進速度をただちに既定値以下に落とす。



非常停止モードの設定画面



高輝度タッチディスプレイで操作



非常停止モードの動作試験結果

自動着棧試験の様子

4. 自動着棧システムの開発



①自動着棧開始



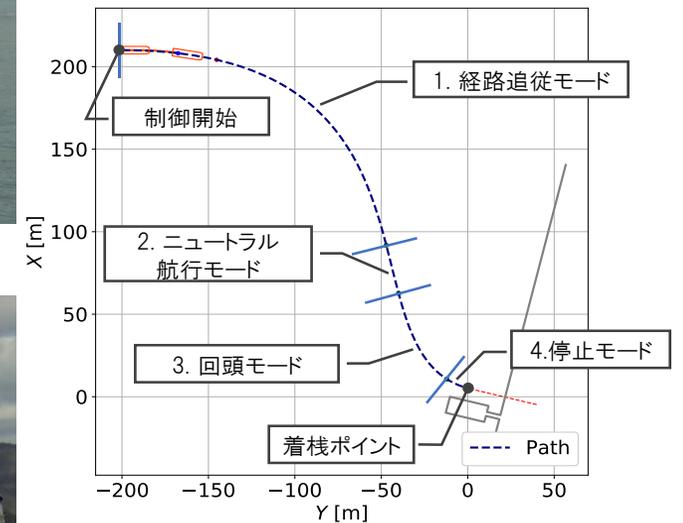
②棧橋に向かって航行



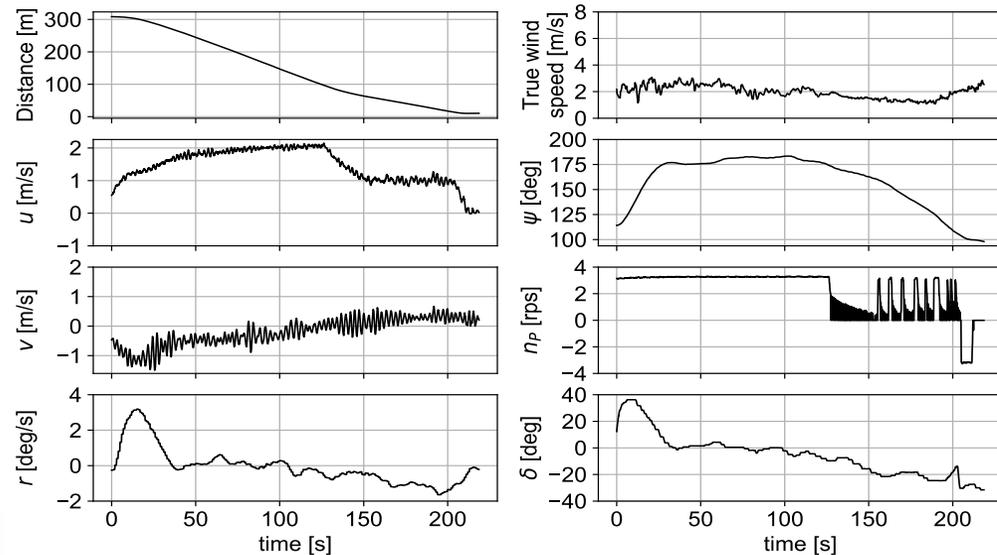
③着棧付近で変針



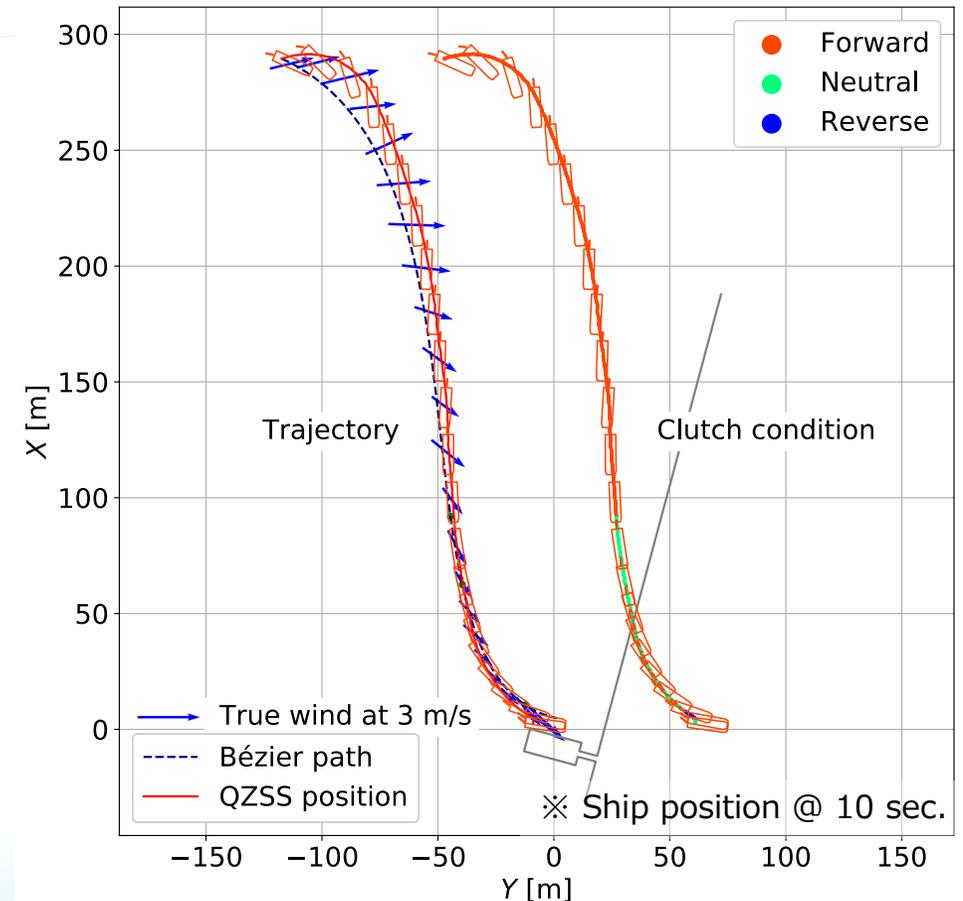
④着棧目標位置付近で停止



- 真風速3m/s以下の外乱の影響が少ない状況では安定的に経路を追従し着棧できることを確認
- 今後は、数百GTの内航貨物船を視野に主機制御の課題解決やセンサーの冗長化等の安全対策の強化に力を入れる



自動着棧制御時の各計測値



自動着棧制御の航跡とクラッチの変化

まとめ

船員の負担軽減を目的として、着棧操船の支援・自動化について以下の内容を発表した。

- ① 小型実験船「神峰」に、油圧操舵システム，主機遠隔操縦システムおよび，既設PLC，各種センサ，制御用PCなどを組み合わせた制御システムを構築した
- ② 着棧操船の音声支援機能を開発し、シミュレータを用いた評価実験を実施した。NASA-TLXの例では、音声支援の負荷低減に一定の効果を確認した
- ③ 実船計測等を基にシミュレーション環境を構築。外乱として風況を模擬したシミュレーションを実施した
- ④ 因島マリーナにおいて自動着棧試験を実施し，真風速3m/s以下の外乱の影響が少ない状況では，計画経路に対して安定的に経路を追従し，着棧に成功した

今後は、音声支援は若手船員教育、自動着棧は数百GTの内航貨物船を視野にシステムの安全性やユーザビリティ等の課題を解決し、実用的なシステムを目指す

謝辞

音声による着棧操船支援機能の一部は、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構からの請負調査研究「音声情報を活用した着棧操船支援システムに関する調査」において実施しました。また、みちびき対応センチメートル精度測位技術については、電子航法研究所 坂井丈泰様に多大なご協力をいただきました。関係各位に謝意を表します。

