



第23回 海上技術安全研究所研究発表会



自動運航船技術の実装と評価に向けて

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 南 真紀子 佐藤 圭二 澤田 涼平
環境・動力系 平田 宏一

1. はじめに
2. 自動化システムの開発
3. シミュレーションを用いた安全評価
4. 今後の展望
5. まとめ

1. はじめに



技術開発と自動運航船の発展(国交省資料)

■ 自動運航船の開発の促進

◆IoTやセンシング等の自動運航を支える技術の発展

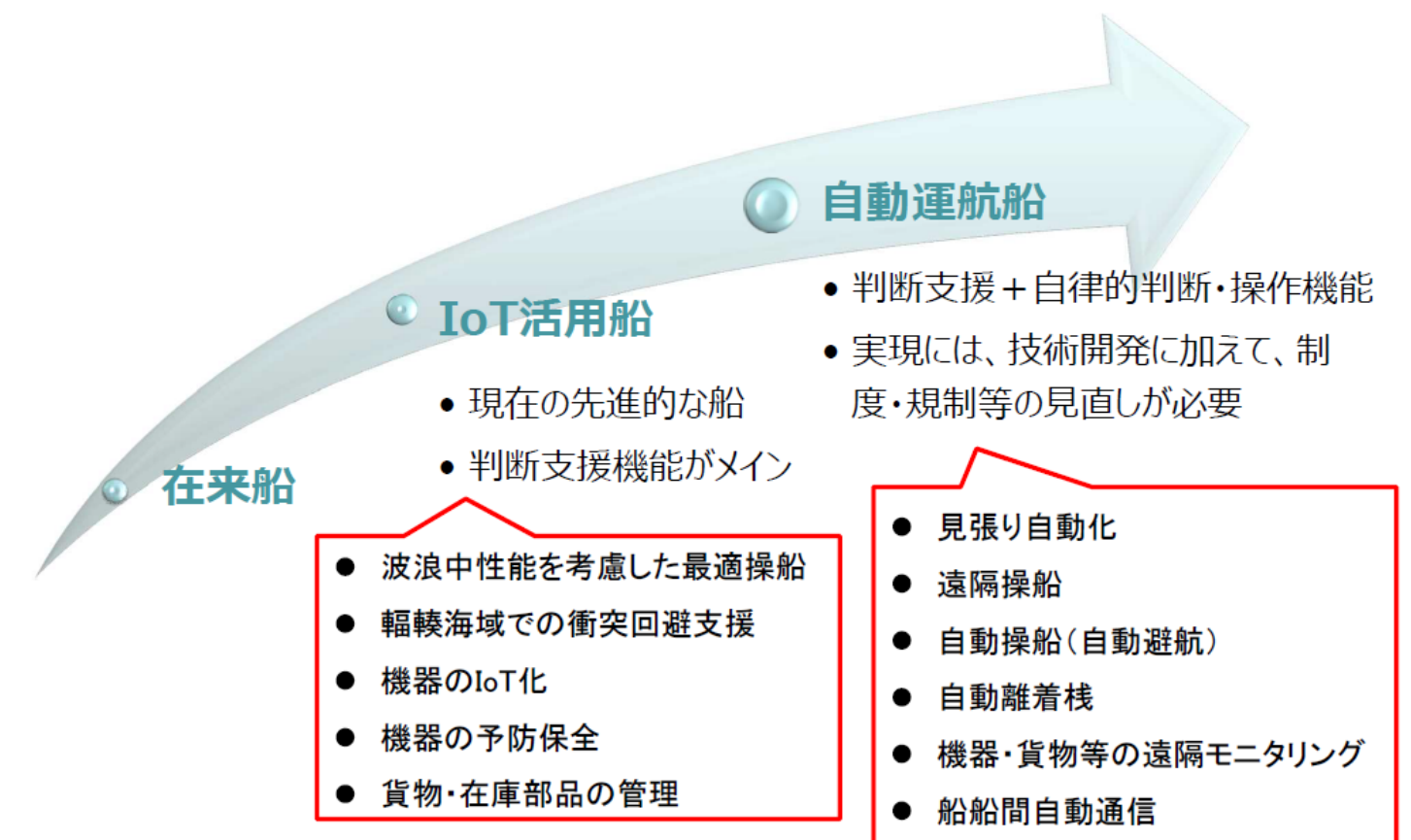
◆内航船員の高齢化

- 船員の確保・育成, 船員の雇用対策

◆運航の安全性の向上

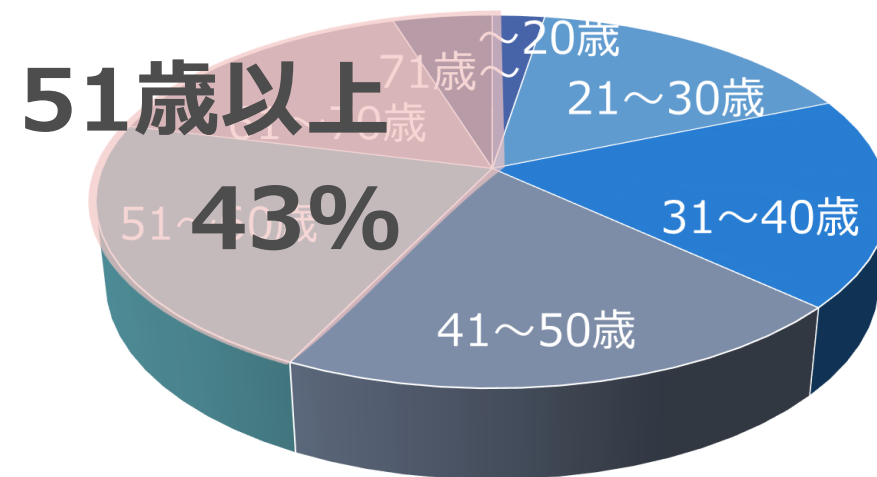
- 人的要因による事故の発生を抑制

- 自動運航船は、技術の開発・実用化等に伴って段階的に発展
- 当初は、船員等の判断支援等が主たる機能。その後、機械による自律的判断の領域は次第に増えていくものの、人間の判断が引き続き重要



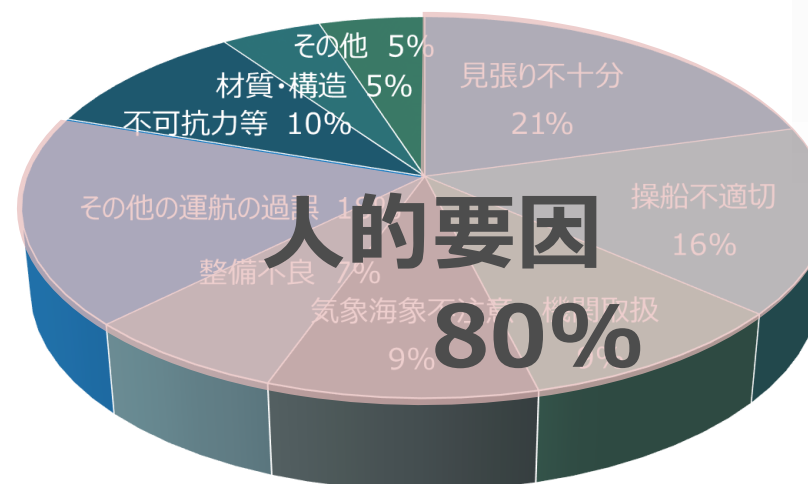
『自動運航船に関する現状等(H29)』から抜粋

内航船船員の年齢構成



船員労働統計調査
国土交通省(2022年)から作成

海難事故原因別割合

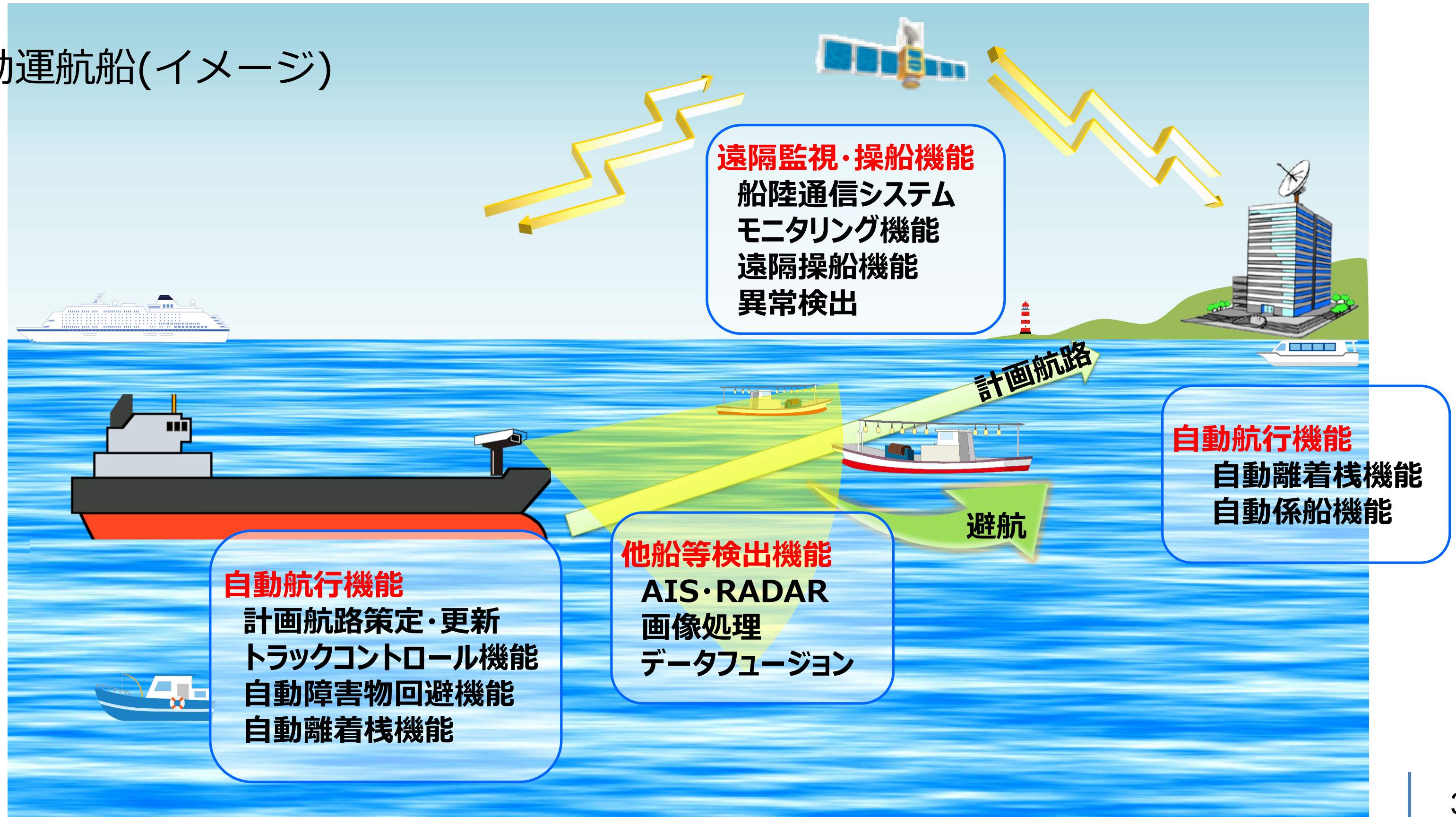


海上保安レポート
海上保安庁(2021年)から作成

1. はじめに



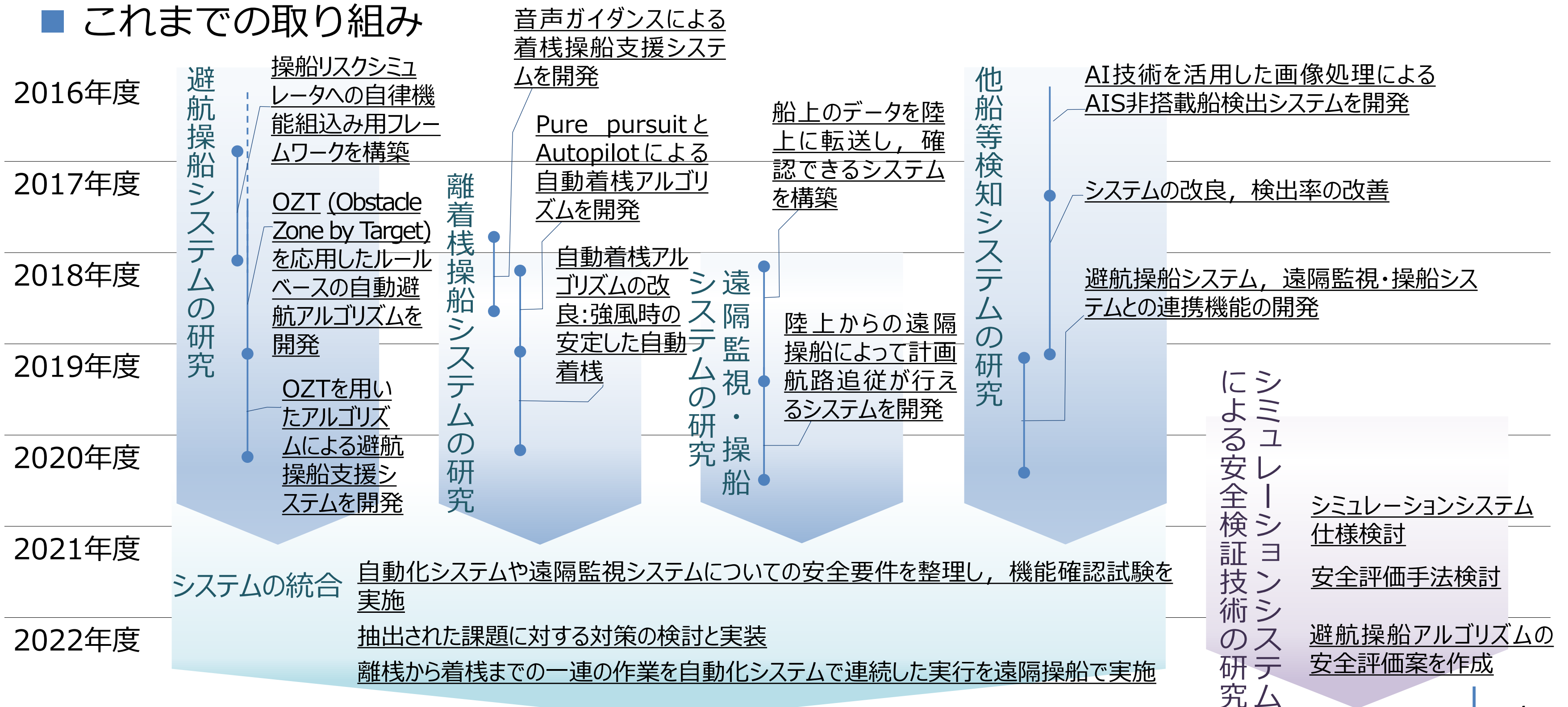
■ 自動運航船(イメージ)



1. はじめに



■ これまでの取り組み



1. はじめに
2. 自動化システムの開発
3. シミュレーションを用いた安全評価
4. 今後の展望
5. まとめ

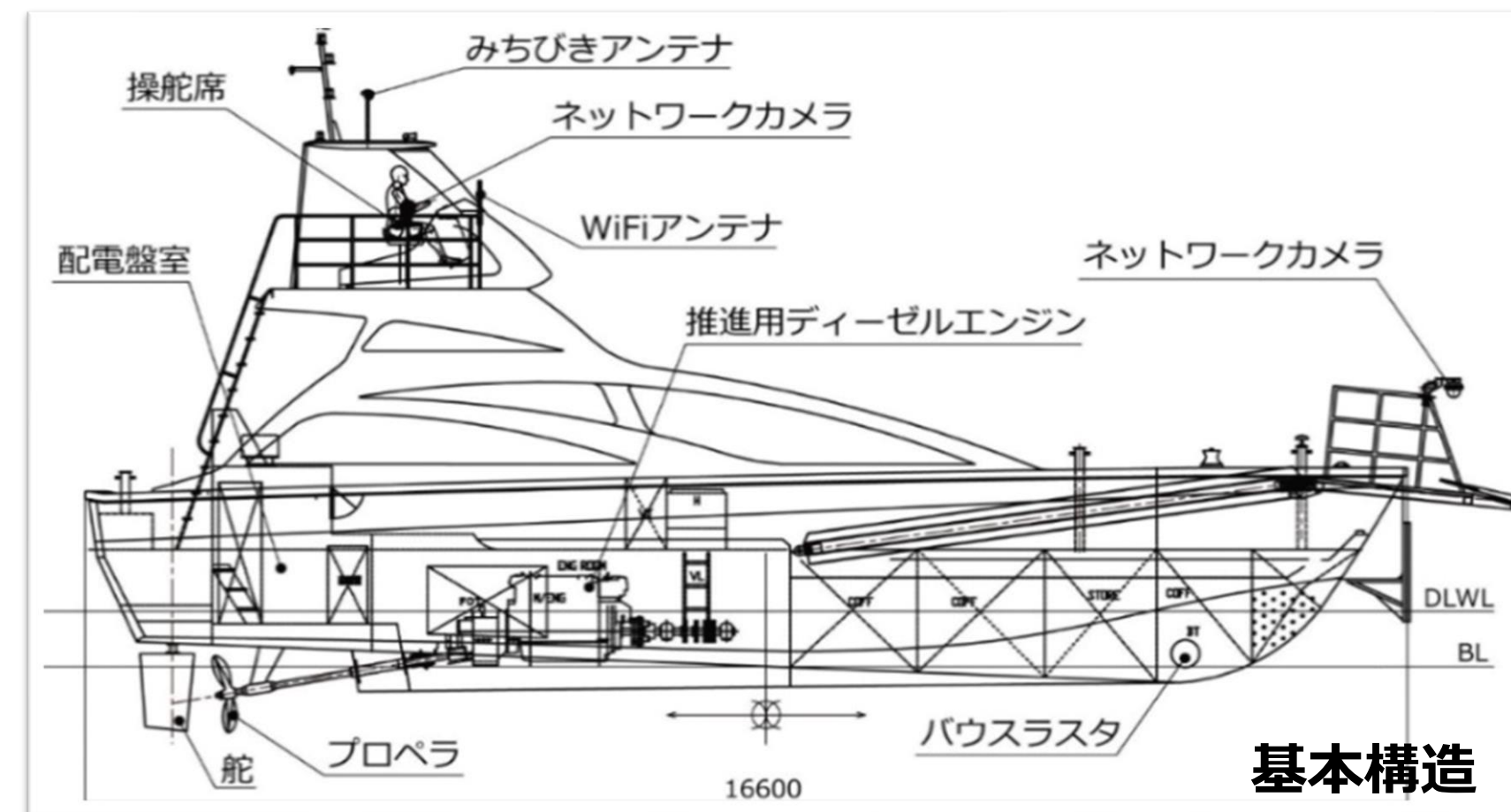
2. 自動化システムの開発_小型実験船「神峰」の自動化システム



■ 小型実験船「神峰」 概要

主要目

全長	約16.50m
登録幅	4.60m
型深さ	1.50m
計画喫水	0.70m
総トン数	約17トン
航海速力	約11.50kt

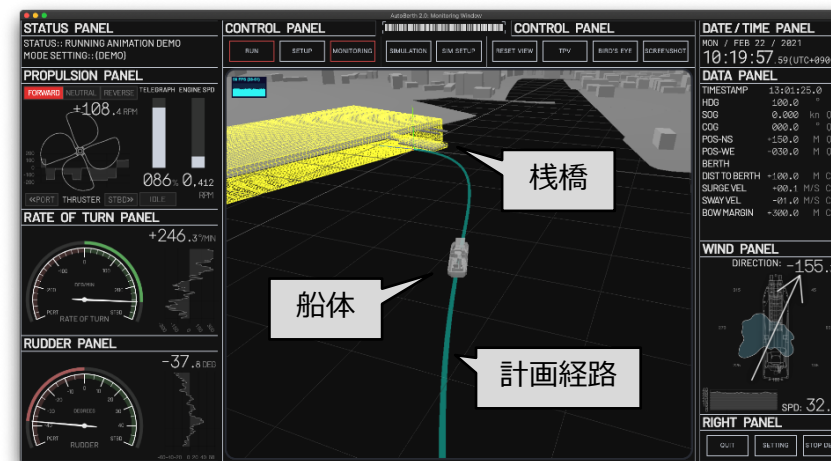


2. 自動化システムの開発_小型実験船「神峰」の自動化システム



■ 制御システム

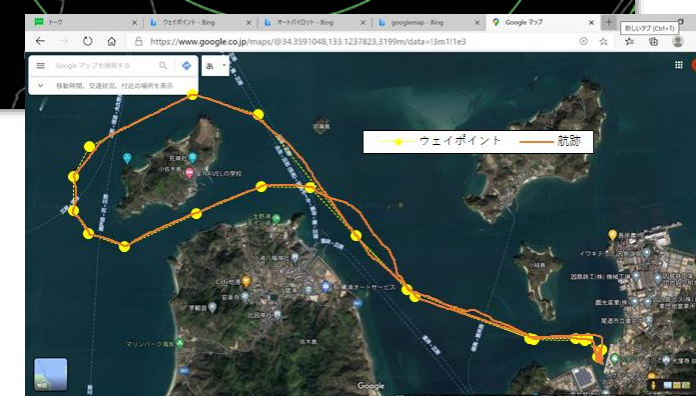
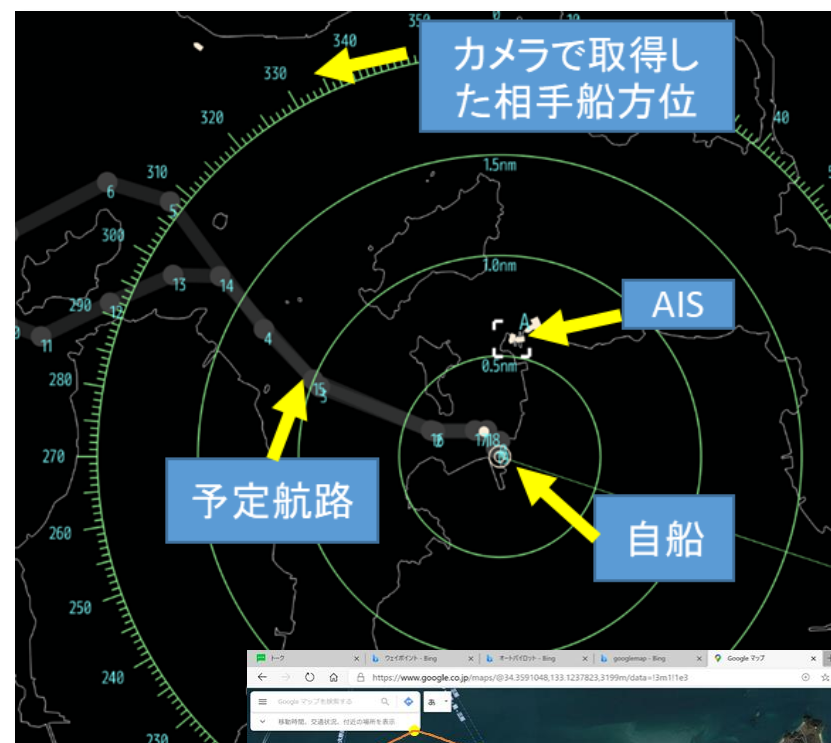
No.	制御システム	概要
1	操船基本システム	エンジン・クラッチ, 油圧操舵機およびスラストの動作をPLCにより制御する基本システム
2	自動着岸システム	着岸地点までの経路を生成し, 停船までの操船を自動制御するシステム
3	遠隔操船システム	対象船と遠隔制御施設とをLTE通信によって接続し, 遠隔地から対象船を操船するシステム
4	他船検知システム	カメラ画像から他船や障害物を検知するシステム
5	自動避航システム	オートパイロット機能を利用して, あらかじめ設定したウェイポイントに従って航行中に, 他船検知の情報に基づき, 避航経路を計算し, 経路追従するように自動制御するシステム



2) 自動着岸システム



3) 遠隔操船システム



5) 自動避航システム



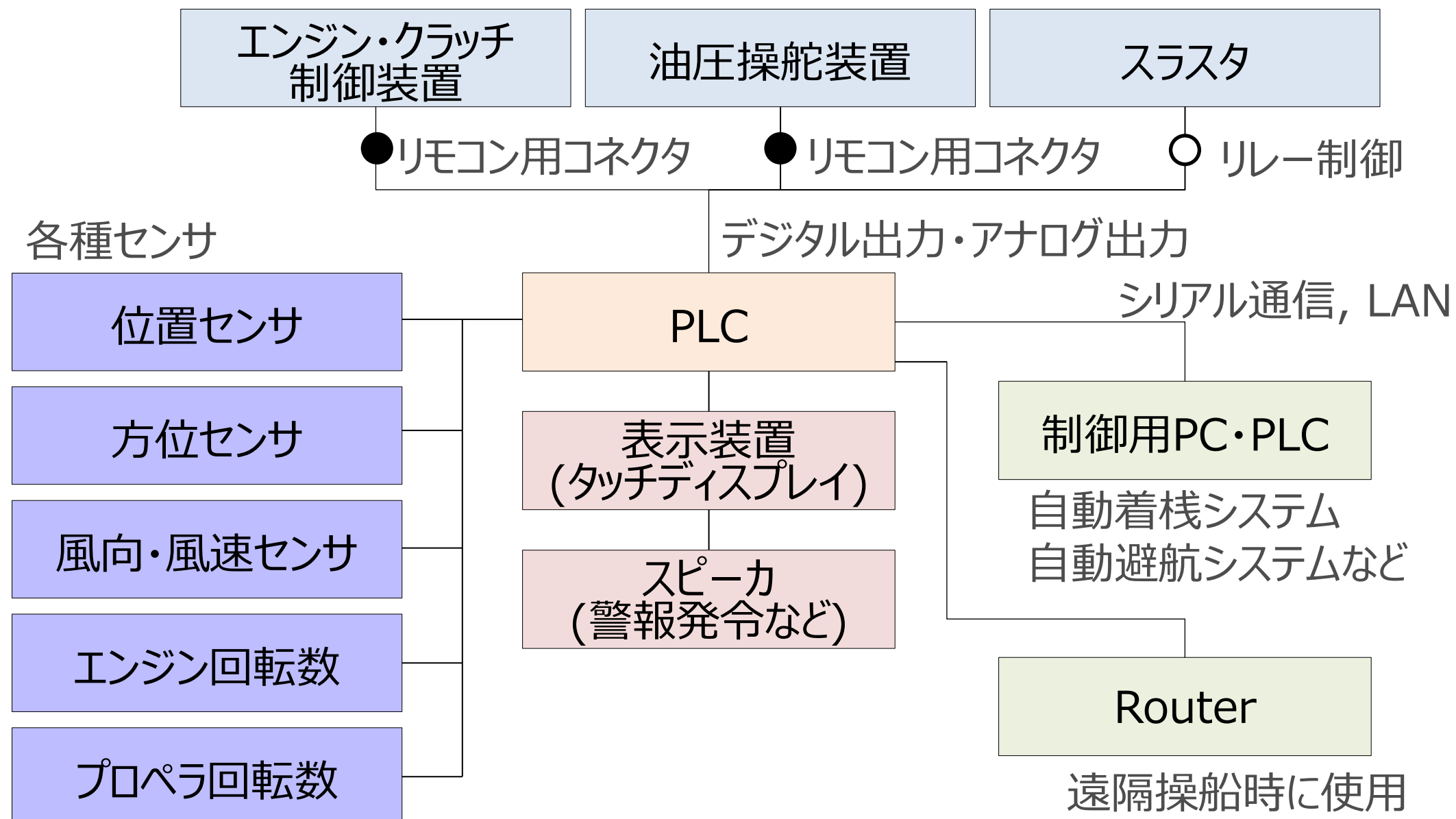
4) 他船検知システム

2. 自動化システムの開発_小型実験船「神峰」の自動化システム



■ システム構成

神峰
(広島因島)

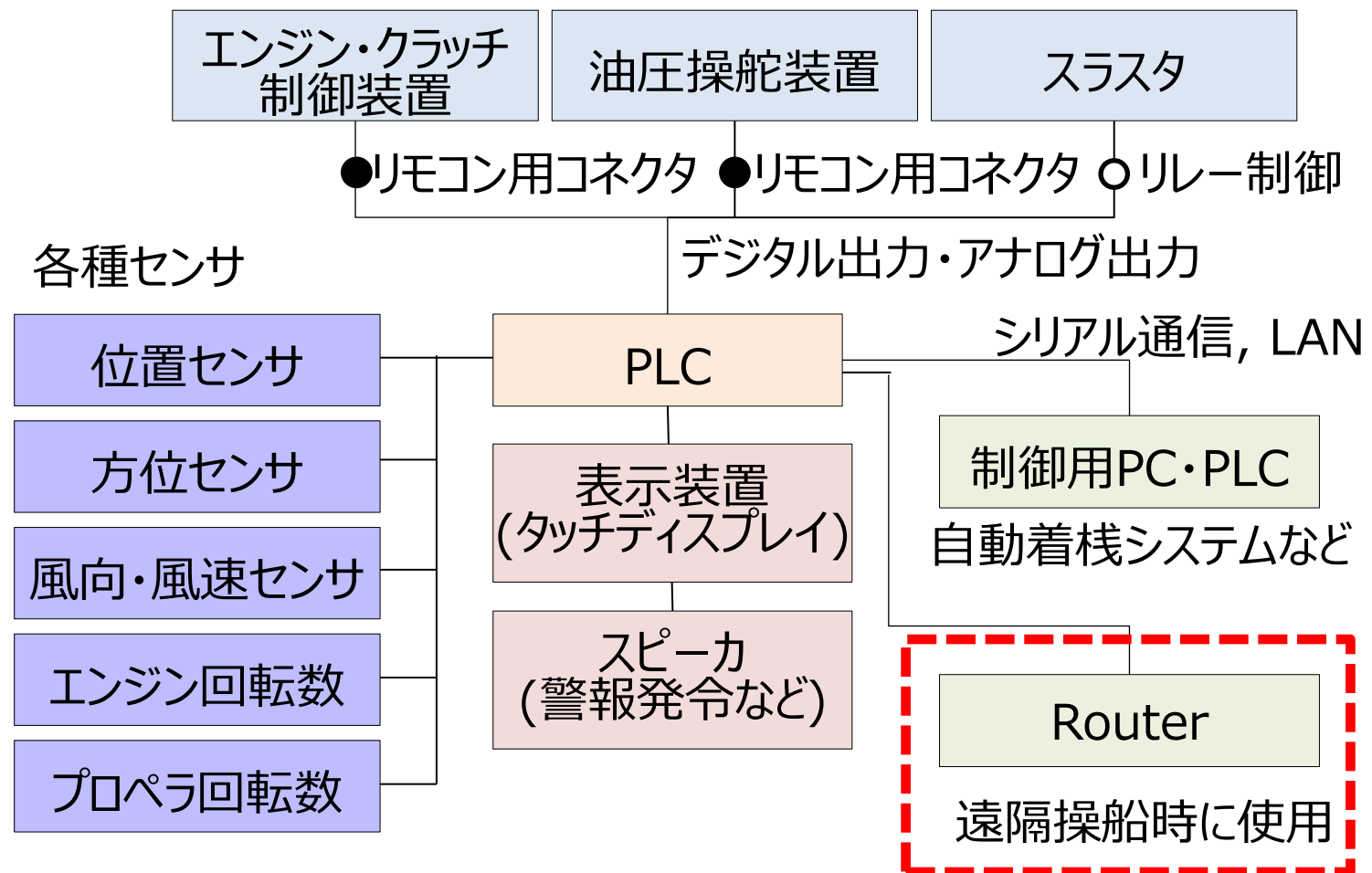


2. 自動化システムの開発_小型実験船「神峰」の遠隔操船システム



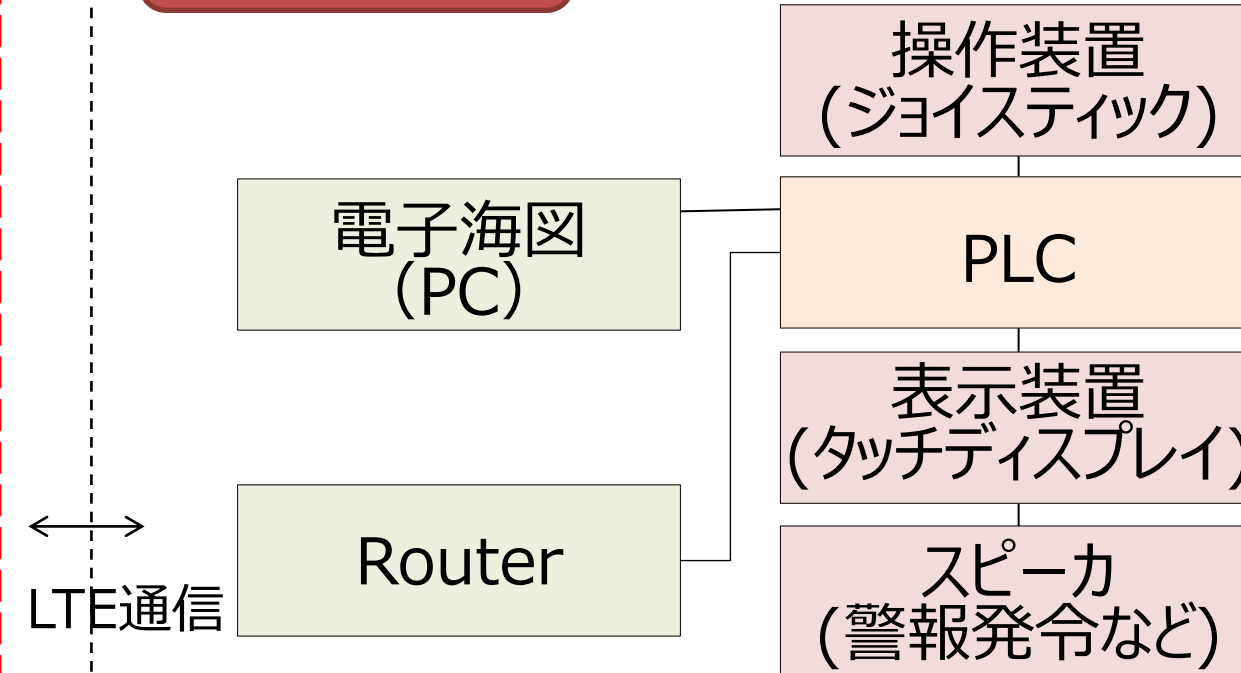
■ システム構成

神峰
(広島因島)



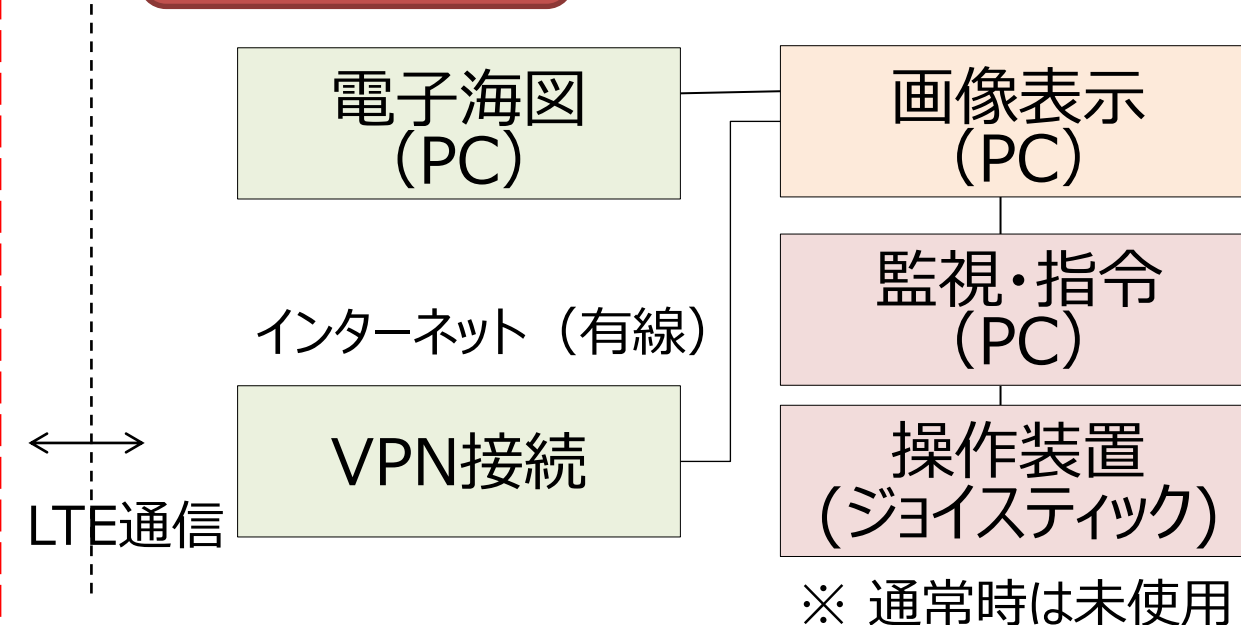
遠隔手動操船 (三鷹)

陸上の模擬船長による周囲安全確認や変針判断の可否などを確認・評価 (2021年度実施)



遠隔自動操船 (三鷹)

船上の自動化システムを統合し、陸上からの簡単な操作による自動運航を確認 (2022年度実施)

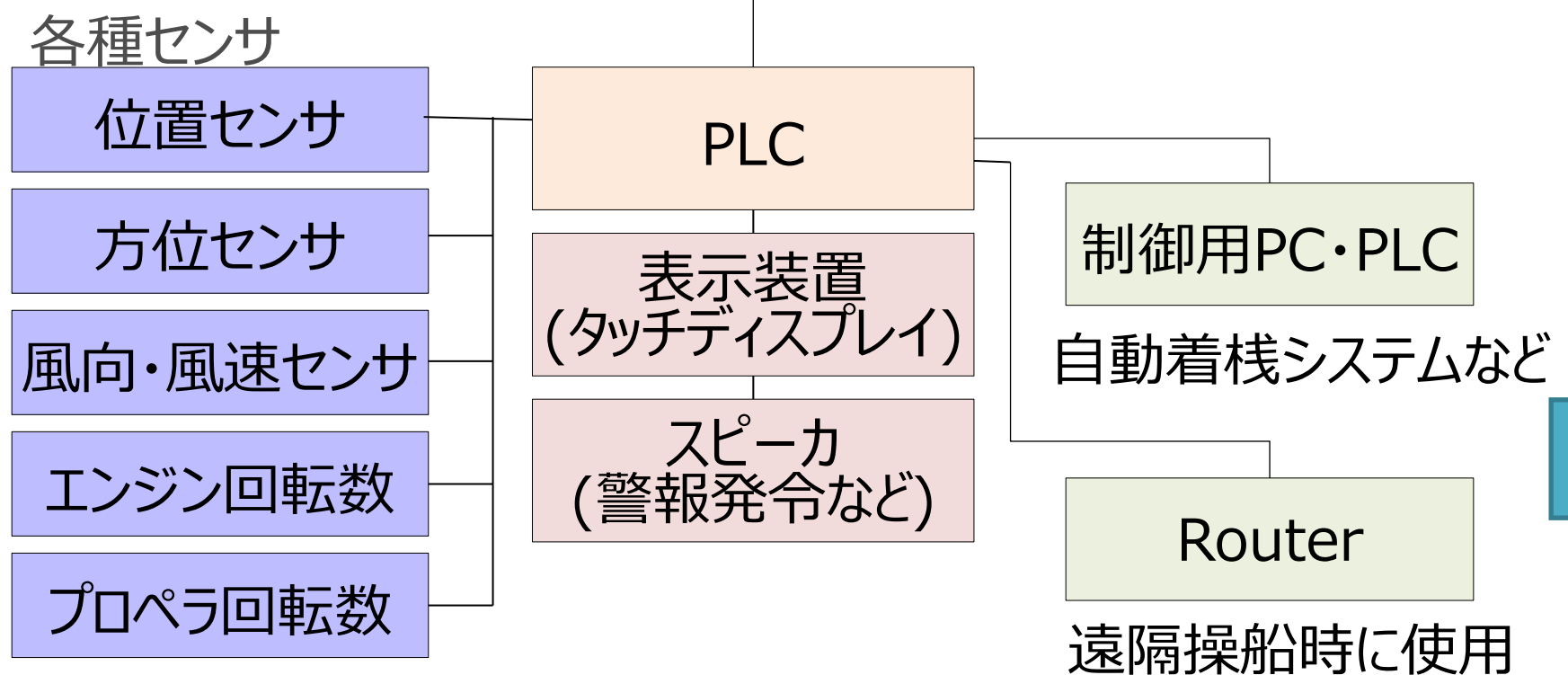
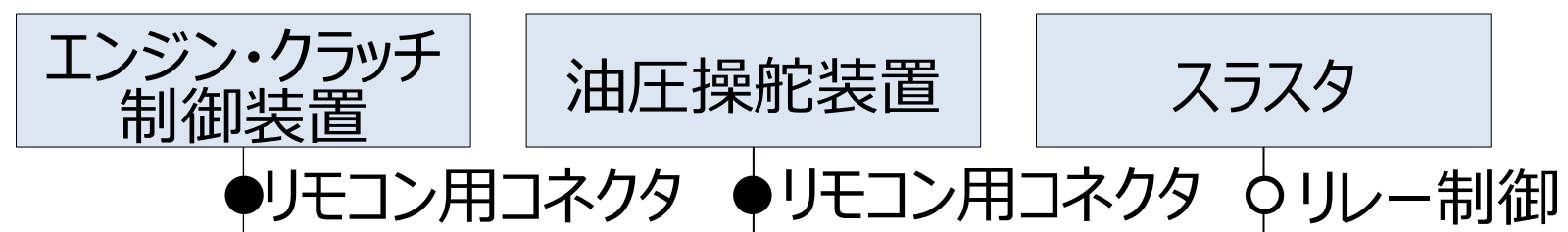


2. 自動化システムの開発_ミニシミュレータ



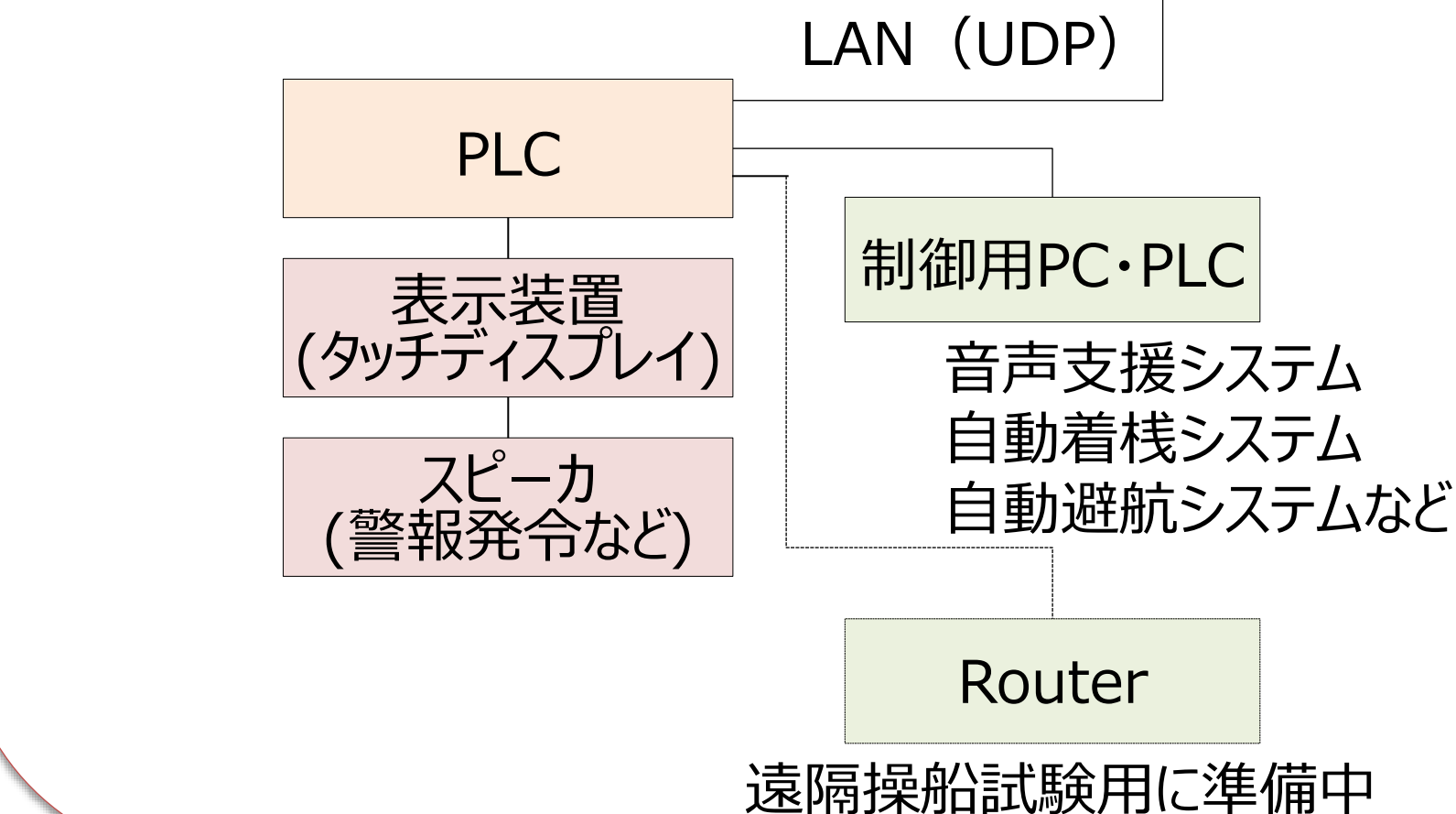
■ システム構成

神峰
(広島因島)



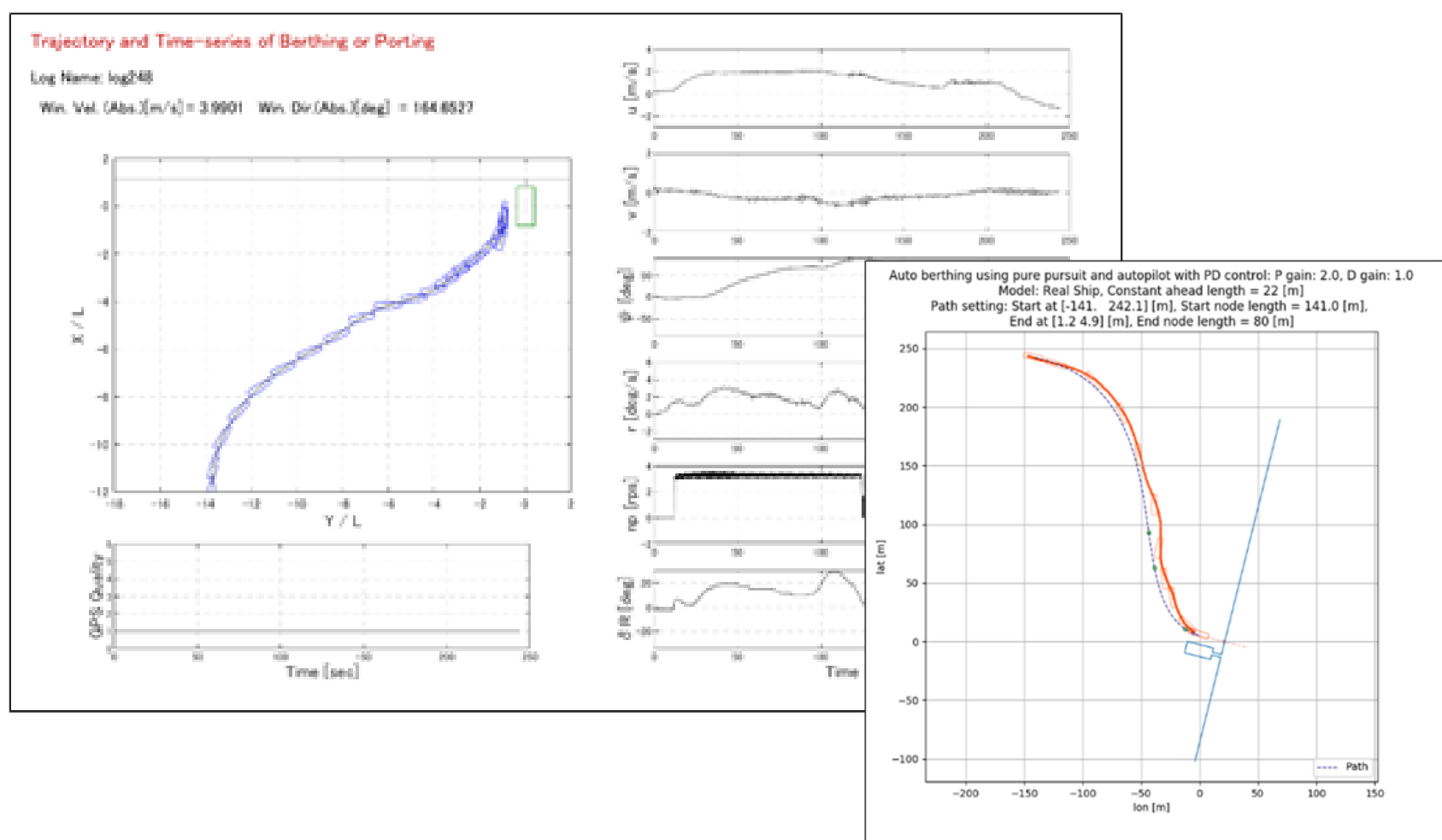
ミニシミュレータ
(三鷹)

シミュレーション
システム



2. 自動化システムの開発_自動着棧システムの開発

- 風外乱等も考慮し，操船者の負荷が高い着棧の支援・自動化システムを開発。
 - 小型実験船が低速で航行しているときの操縦運動モデルを構築。
 - Pure PursuitとAutopilotを用いた自動着棧操船アルゴリズムを試作。
 - 音声ガイダンスによる着棧操船支援システムの試作。
 - 操船シミュレータ実験により，操船者の負荷の観点から，支援システムを評価。



Pure pursuit + Autopilotによる自動着棧操船結果

音声支援を開始します。通過位置までおよそ200m、着棧位置までおよそ400mです。

まもなく変針開始位置です。

舵を20度にして、右に変針して下さい。目標方位は165度です。

目標の着棧ラインに一致しました。

スピードを落として下さい。アイドリングにして下さい。

毎秒10メートルの強い風が吹いています。十分に気を付けてください。

着棧位置に近づきました。速度を調節して下さい。

着棧位置に近づきました。音声支援を終了します。

まもなく、目標の着棧位置です。変針の準備をして下さい。

棧橋へ近づく方向に、毎秒3mの風が吹いています。

舵を40度にして、左に変針して下さい。目標方位は105度です。

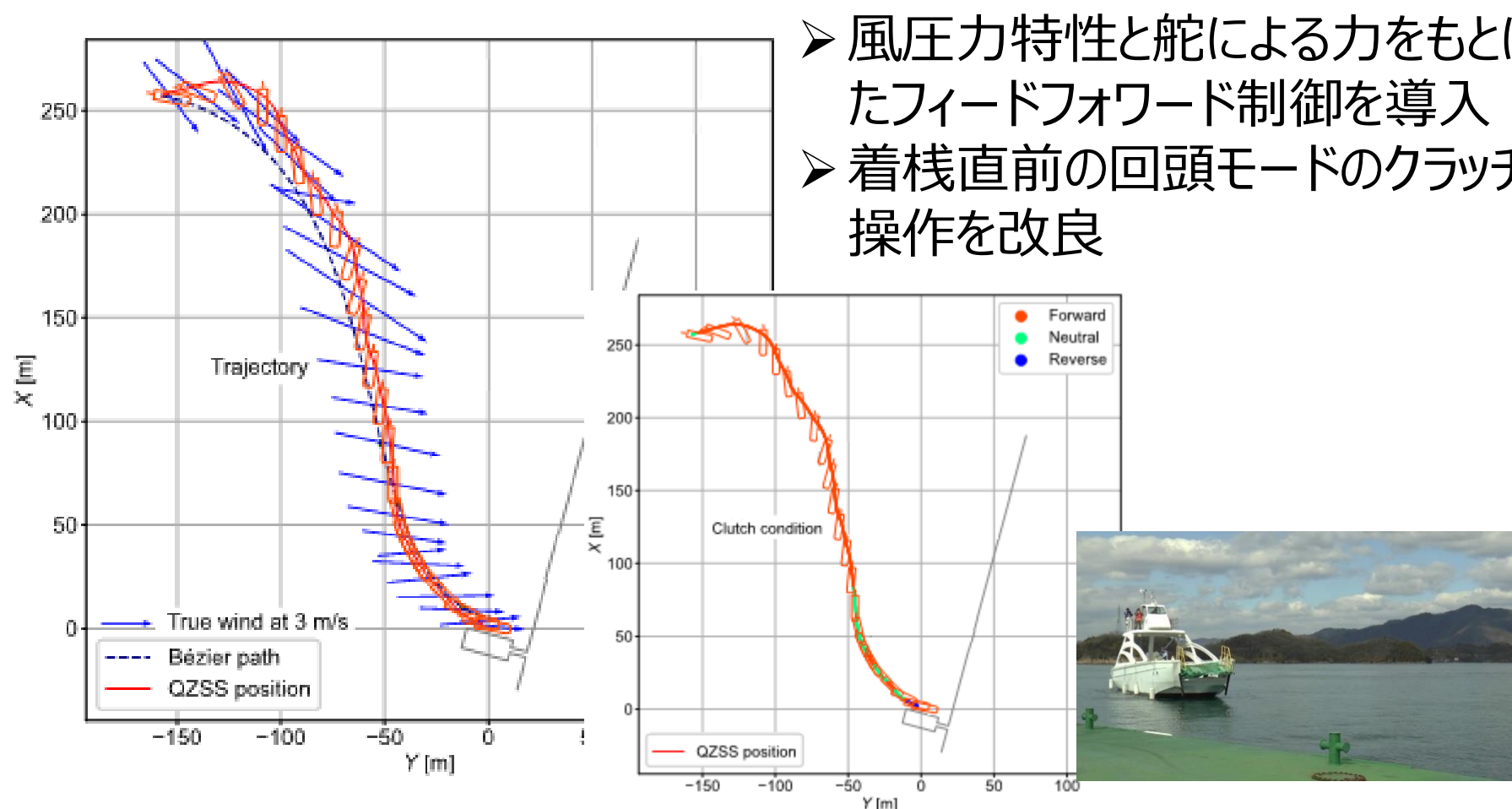
The diagram shows a ship's path (S to T) with various guidance points and wind direction indicators. A small inset shows a ship's view from the bridge.

音声ガイダンスの例

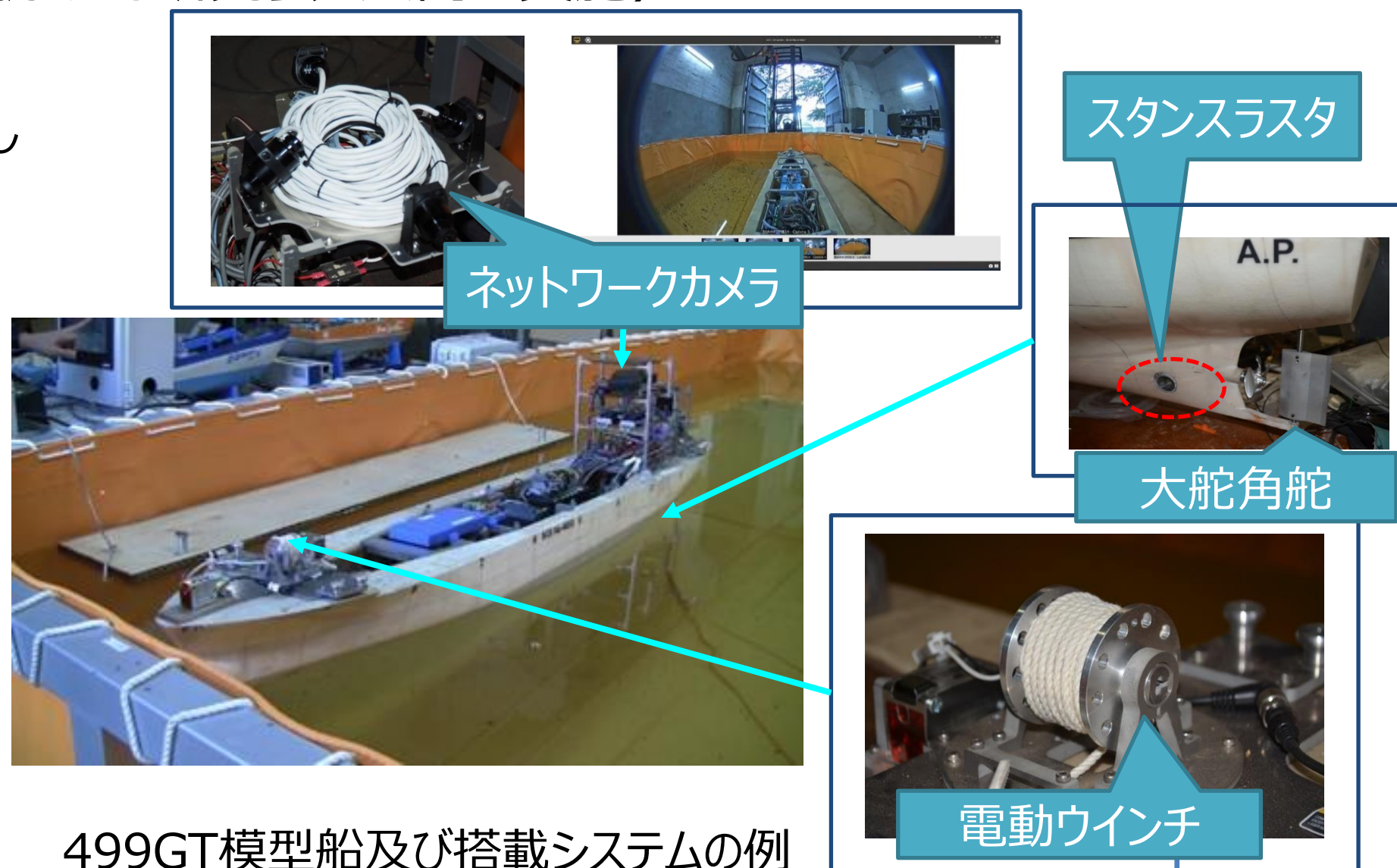
2. 自動化システムの開発_自動着棧システムの改良



- 風外乱等も考慮し，操船者の負荷が高い着棧の支援・自動化システムを開発。
 - 低速時の操縦運動モデルの改良により，船体運動シミュレーションの計算速度を向上。
 - より厳しい外乱下においても比較的安定した自動着棧を可能とする自動着棧システムの試作。
 - 船首・船尾のスラスト，監視カメラなど様々な船員負荷低減技術を導入した499GT模型船を設計・試作し，水槽試験によって機能を確認。（（一社）内航ミライ研究会と共同で実施）



改良したアルゴリズムによる強風時の着棧実験結果



499GT模型船及び搭載システムの例

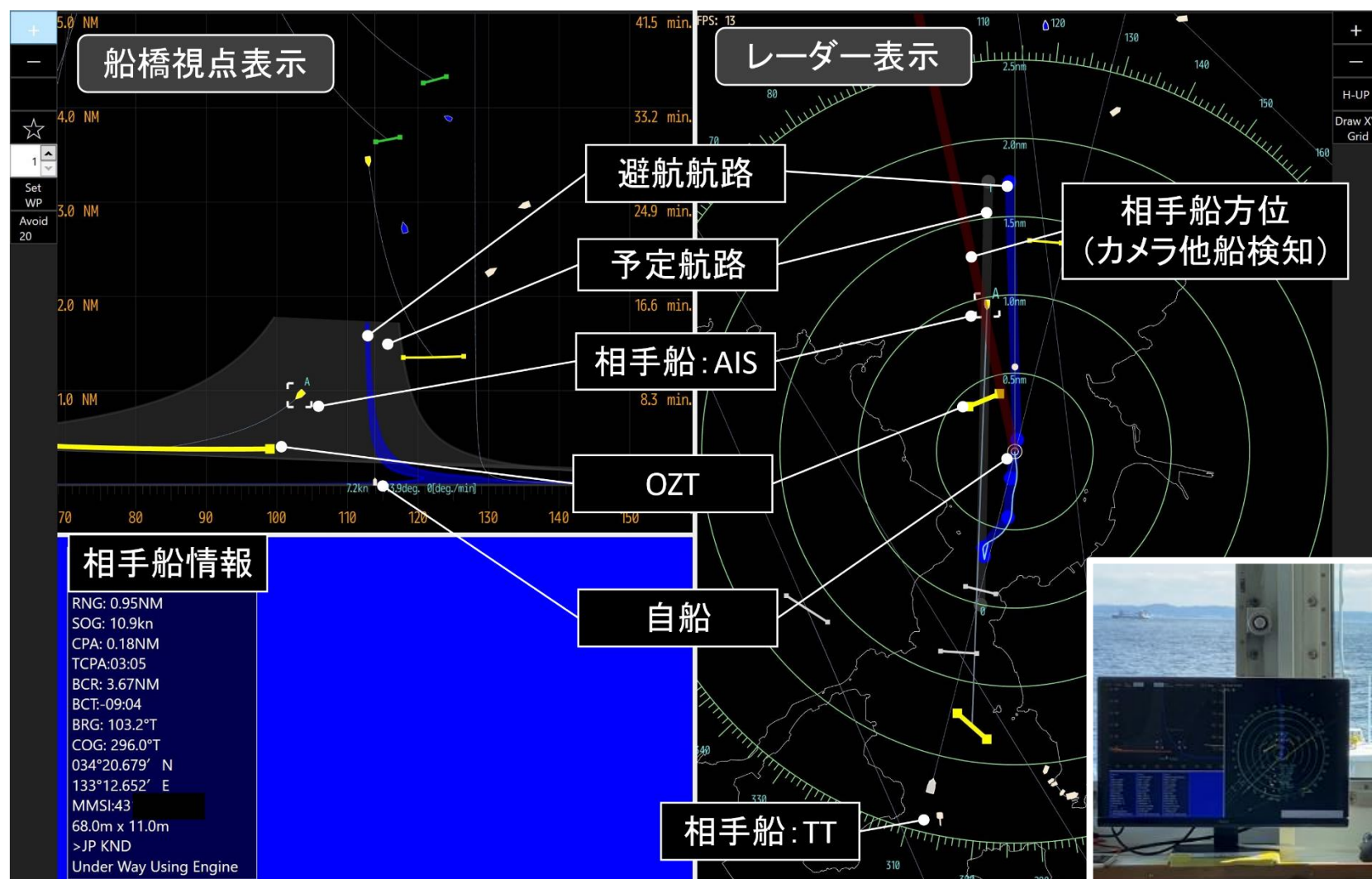
2. 自動化システムの開発_自動避航システムの開発



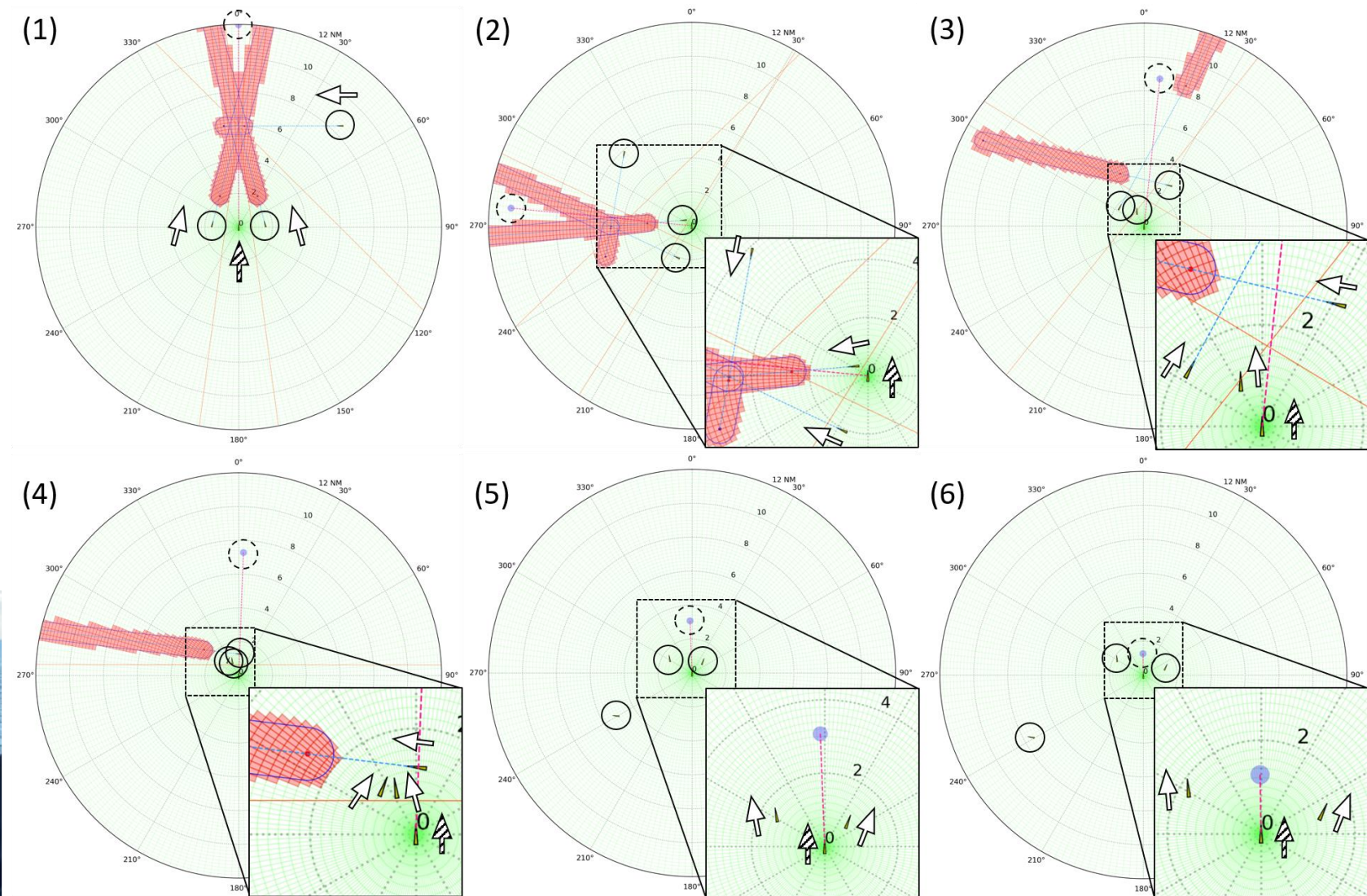
■ 複数の避航操船アルゴリズムを開発

- ルールベースによるもの, 深層強化学習等のAI技術の利用したものなど複数のアルゴリズムを開発
- アルゴリズムの検証のため, UDP通信可能なファストタイムシミュレーションの開発

■ OZT(Obstacle Zone by Target)を用いたルールベースのアルゴリズムによる避航操船支援システムを実船で検証.



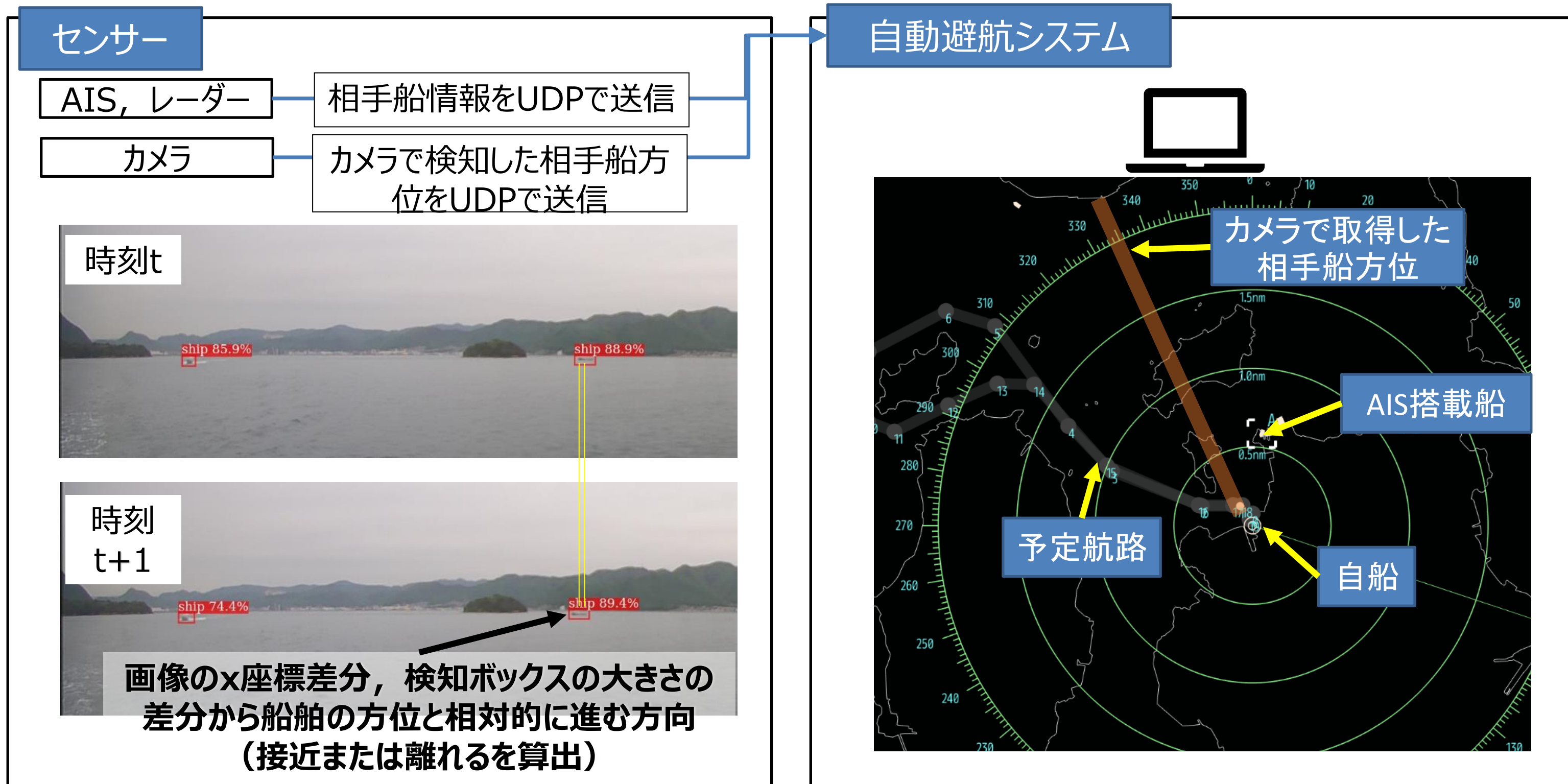
実船実験状況と避航ルートを表示



深層強化学習を使った避航操船

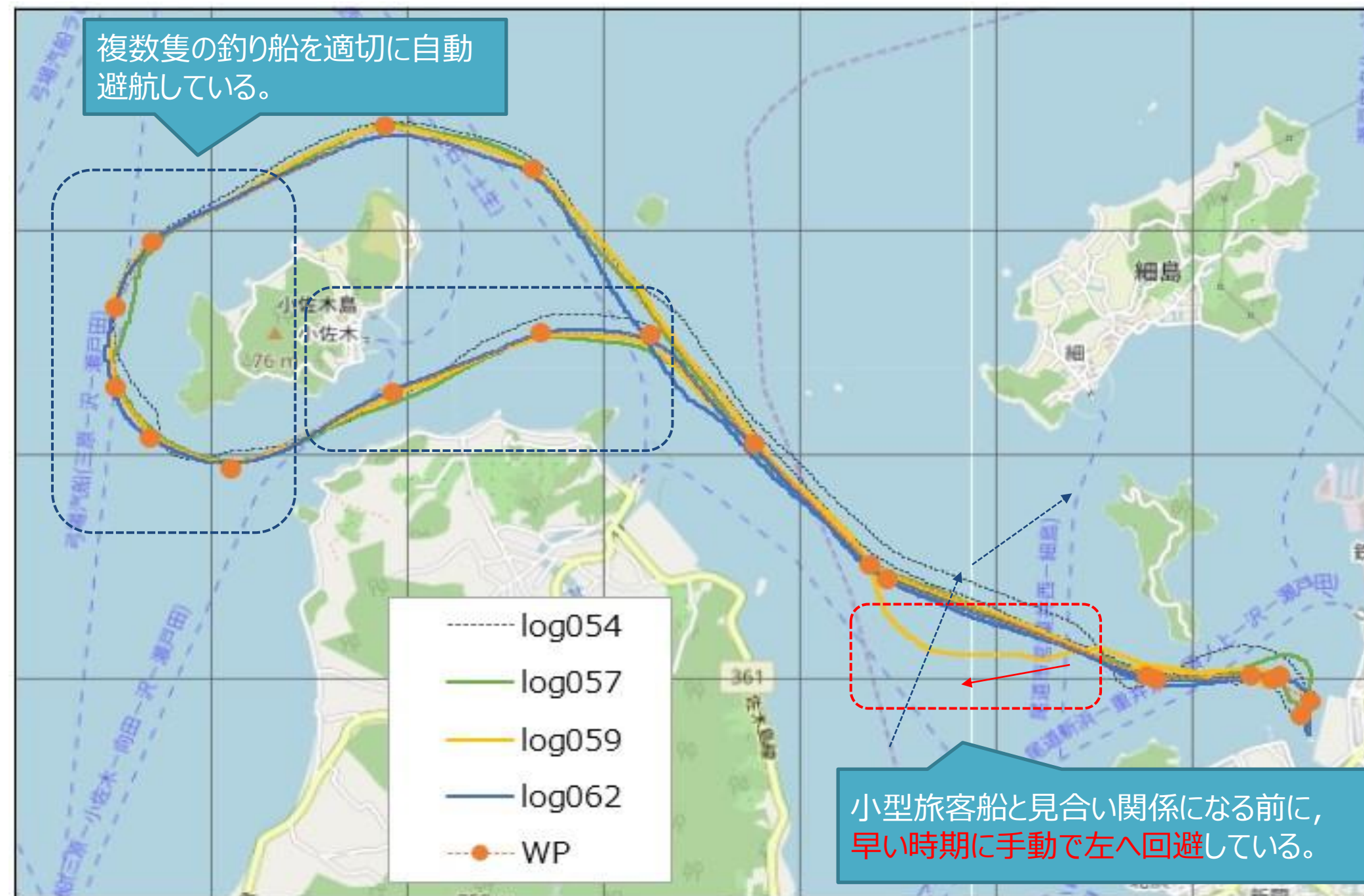
2. 自動化システムの開発_自動避航システムの開発

- 自動避航アルゴリズムと他船検知システムとの接続システムを構築.



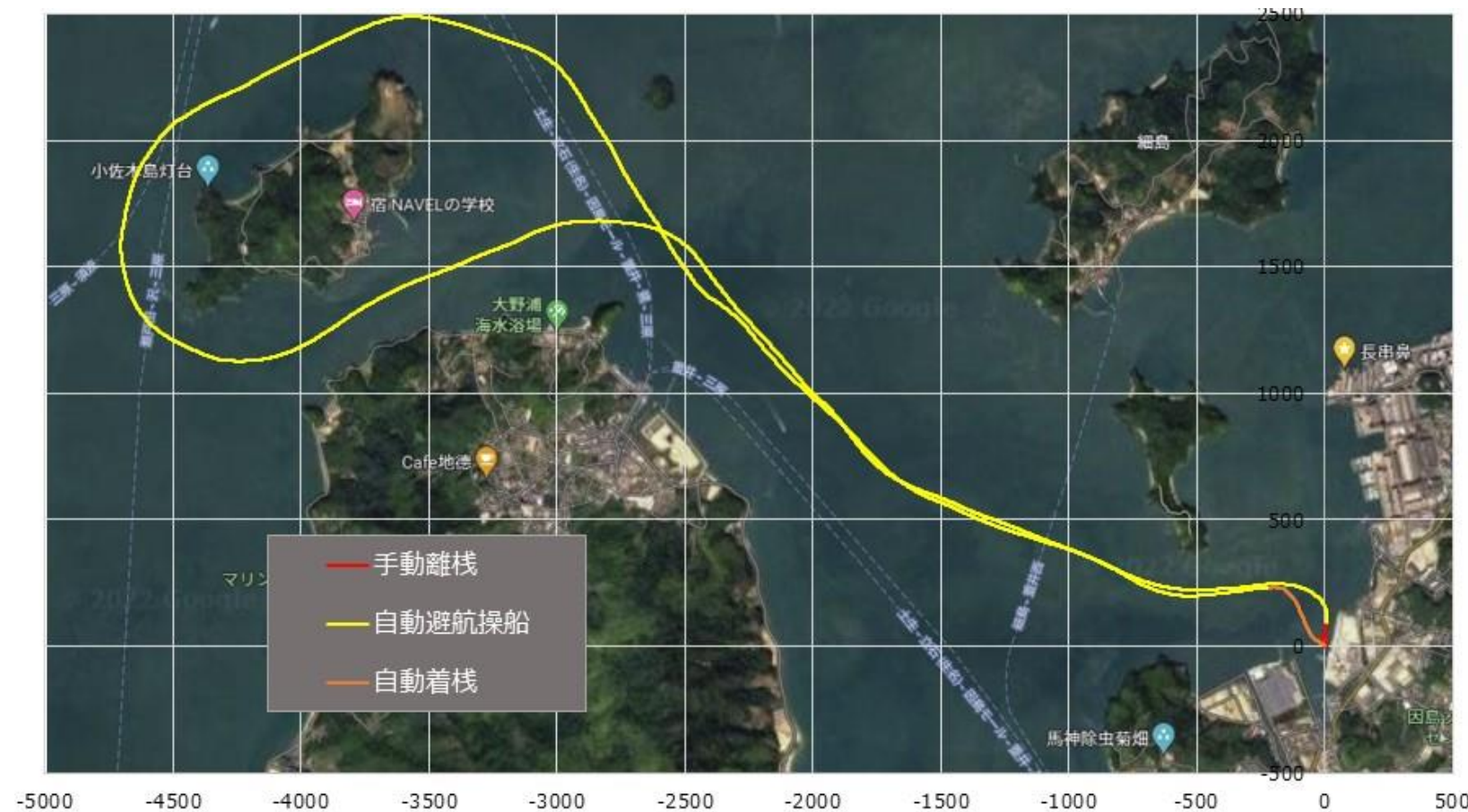
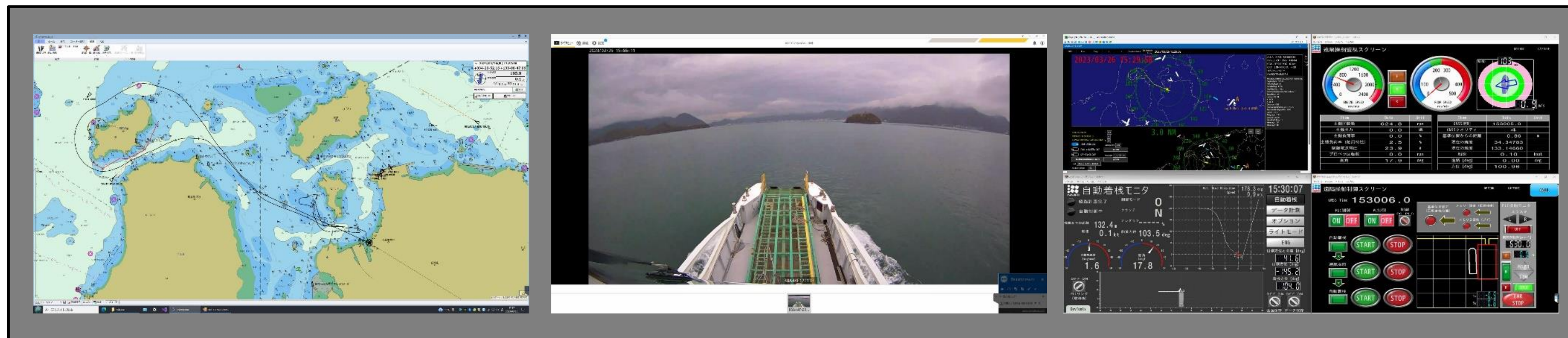
2. 自動化システムの開発_自動化システムの統合

- 2023年3月には、離棧から自動避航，自動着棧のシームレス化を目指したフル自動運航や遠隔操船システムの試験を実施した。
- 試験期間中，避航が必要となる他船の多くは釣り船であった。
- レーダにより他船の検知・補足ができれば，概ね適切な避航操船がなされることを確認した。



実験時の航跡

2. 自動化システムの開発_自動化システムの統合（遠隔操船）



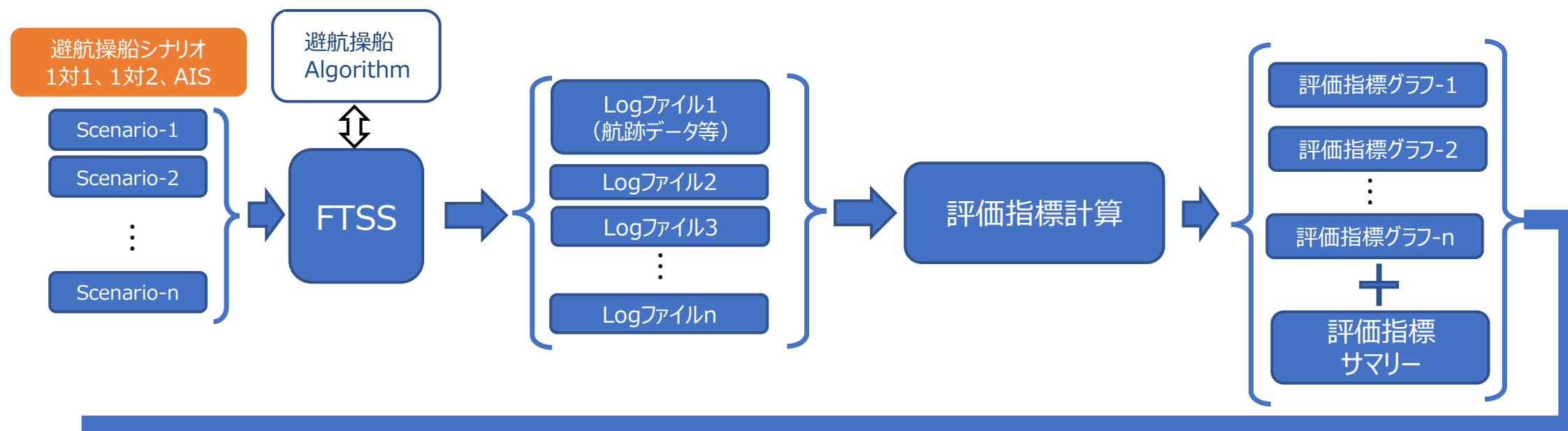
左から、海図、カメラ画像、
監視・制御画面

- ◆ 船上で準備を整えた後，陸上からの簡単な操作（1クリック）で自動運航を開始できることを確認した。

※ 通信機器やPLCシーケンス制御の不具合など，いくつかの課題が確認された。

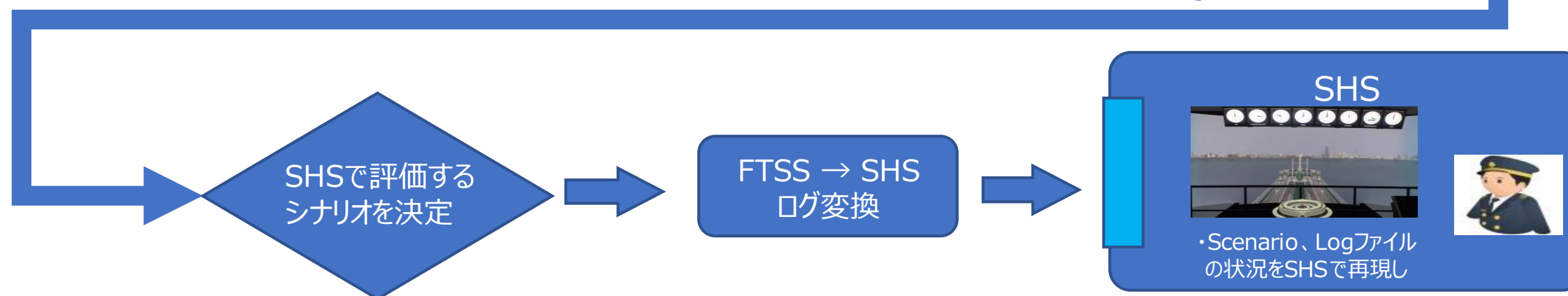
1. はじめに
2. 自動化システムの開発
3. シミュレーションを用いた安全評価
4. 今後の展望
5. まとめ

3. シミュレーションを用いた安全評価_評価手順



FTSS:ファストタイムシップシミュレータ

自動化ソフトの網羅的な検証を実施可能とする実時間よりも十分短い時間でシミュレーションが可能なシステム



SHS:操船シミュレータ

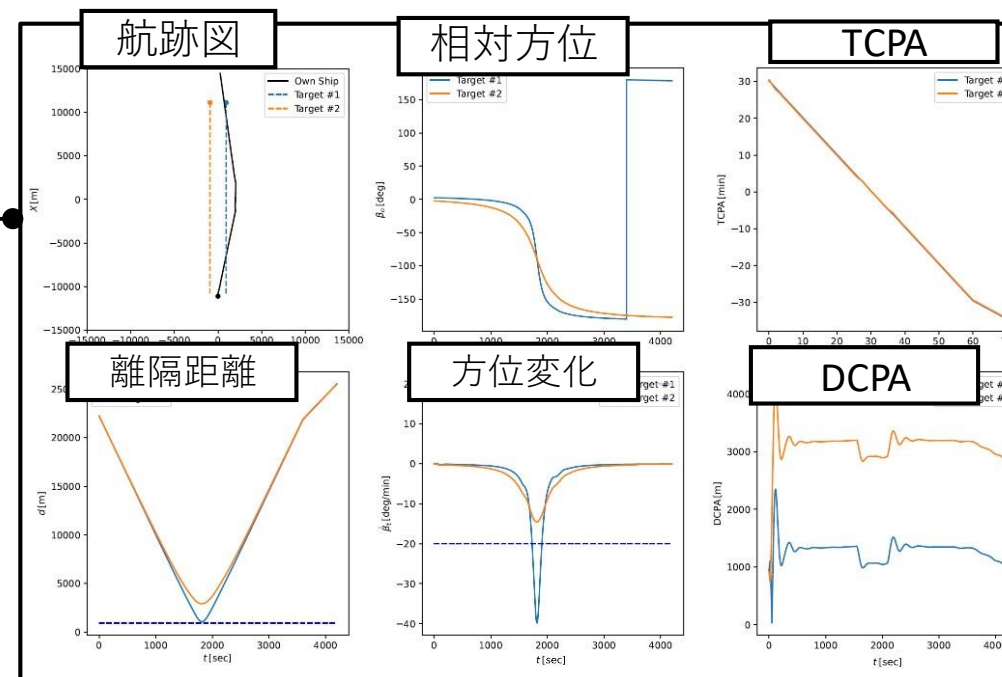
人の関与を考慮した評価に必要な船橋環境を模擬したシミュレーションシステム

□ FTSSで避航シナリオ実行、評価指標作成

➤ 評価指標作成

- シナリオごとの評価指標グラフ
- シナリオの評価指標サマリー(表)
 - 表示危険度は検討中

Case	最小離隔距離 [m]	最大方位変化率 [deg/min]	最小離隔距離判定	最大方位変化率判定
Scenario-1	1068.8	39.7	pass	pass
Scenario-2	1064.5	39.9	pass	pass
.....
Scenario-n	2762.4	12.8	pass	failure

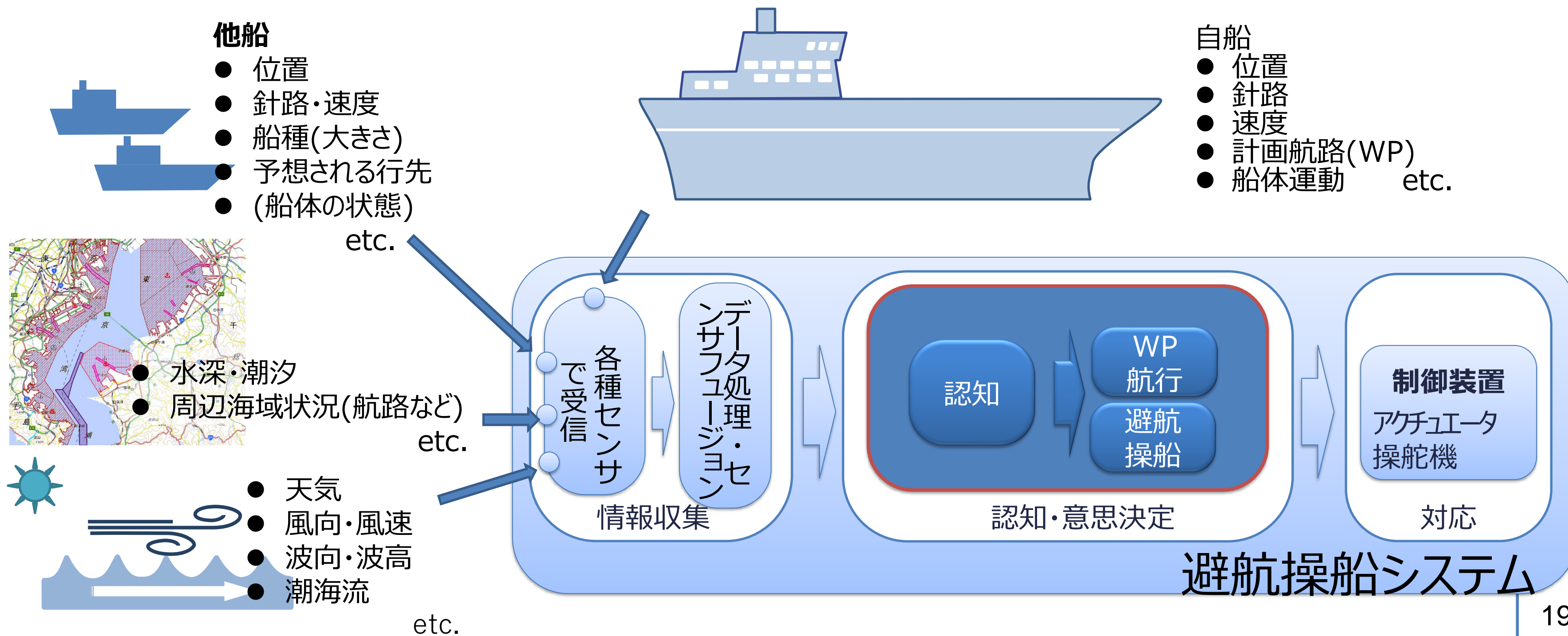


3. シミュレーションを用いた安全評価_避航アルゴリズムの評価



■ 評価対象の明確化

- 評価対象を“衝突のおそれの判断”, “避航措置の決定”とかかわる認知・意思決定の各プロセスとした。



3. シミュレーションを用いた安全評価_避航アルゴリズムの評価



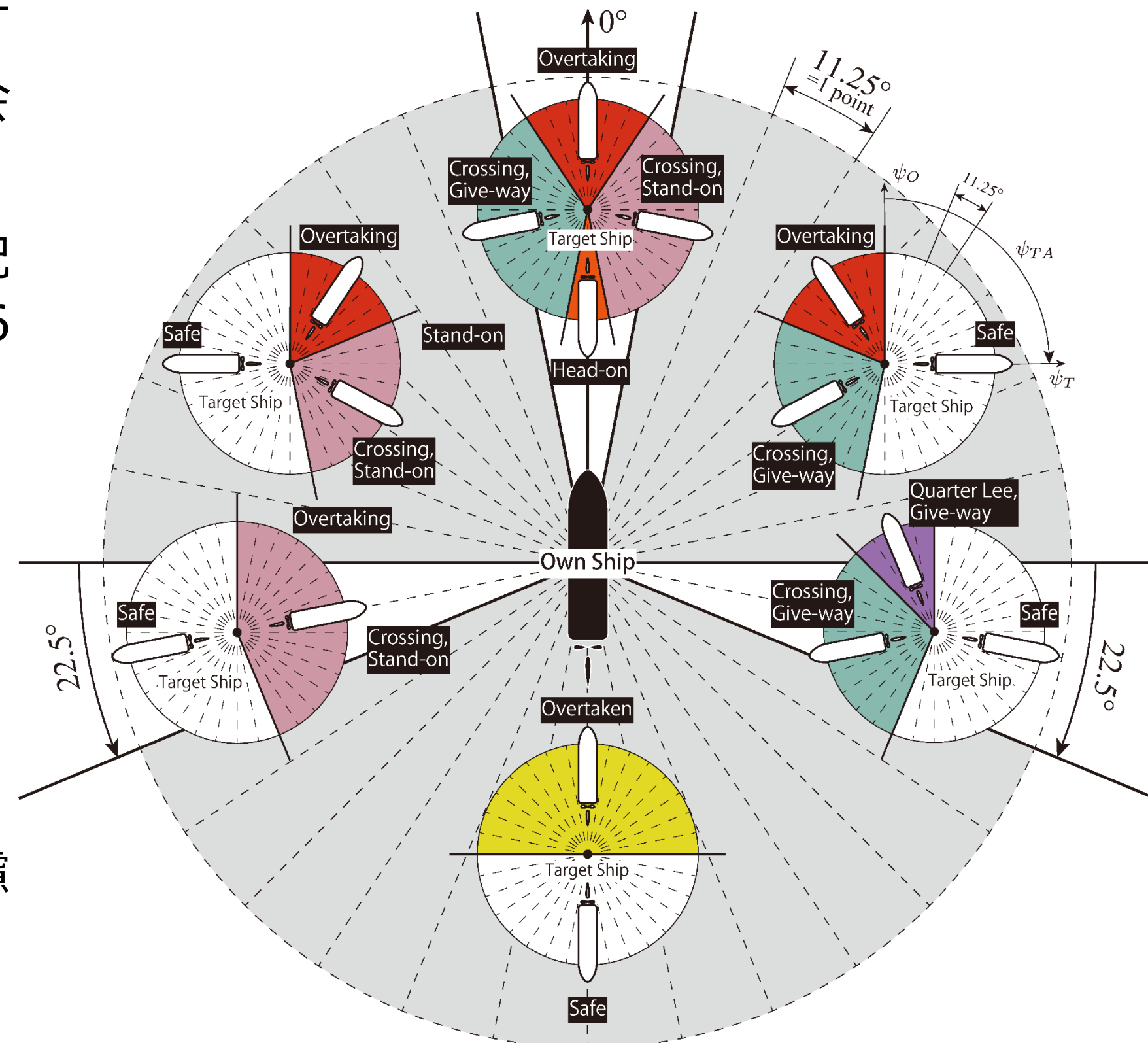
COLREGsに対する評価対象の明確化

法規	法規で要求される航法	評価項目例
Rule 8 (Action to avoid collision)	○十分に余裕のある変針時機, ○明確な増減速. ○明確な変針, ○安全な航過距離の確保, ○停船, 逆転による回避	離隔距離, 避航経路出力, 避航開始時期
Rule 9 (Narrow channels)	(多いので一部のみ)○右側通行, ○船舶の通行を妨げないこと, ○狭い水道等での追い越し	航行可能領域の侵犯の有無, 離隔距離
Rule 10 (Traffic separation scheme)	(多いので一部のみ)○定められた流れに従うこと, ○航路帯に対する直角の横断	計画経路の出力結果
Rule 13 (Overtaking)	○十分な離隔距離の確保, ○追い越し船の定義, ○追い越しの範囲 (横切りとの区別)	離隔距離, 避航経路出力, 避航開始時期
Rule 14 (Head-on situation)	○右転避航, ○行合いの定義	離隔距離, 避航経路出力, 避航開始時期
Rule 15 (Crossing situation)	○横切りの義務船および保持船の定義, ○船首方向の横切りの禁止.	離隔距離, 避航経路出力, 避航開始時期
Rule 16 (Action by give-way vessel)	Rule 8と重複	離隔距離, 避航経路出力, 避航開始時期
Rule 17 (Action by stand-on vessel)	(a)保持船の定義, 避航船が適切な動作を取らない場合の避航の権利, (b)やむを得ない場合を除く左転の禁止.	協力動作のタイミング

3. シミュレーションを用いた安全評価_避航アルゴリズムの評価



- COLREGsに準じた航行であるかを評価するためには、Rule13-17に規定される見合い関係を網羅した交通流シナリオが必要。
 - 破線の11.25度(=1ポイント)刻みで、船舶を配置するときの見合い関係のカテゴリは全部で6パターンとなる。
 - この図を使って12パターン（見合い関係分類図の色付きの部分）の見合いで調べればよい。さらに絞る必要があれば、Head-on, Crossing (stand-on, give-way), Overtaken/Overtaking, Quarter Lee(Give-way)を見ればよい（全6パターン）。
 - 他の要素（TCPAや、船速、変針など）を考慮すると、更にテストシナリオ数は増える。

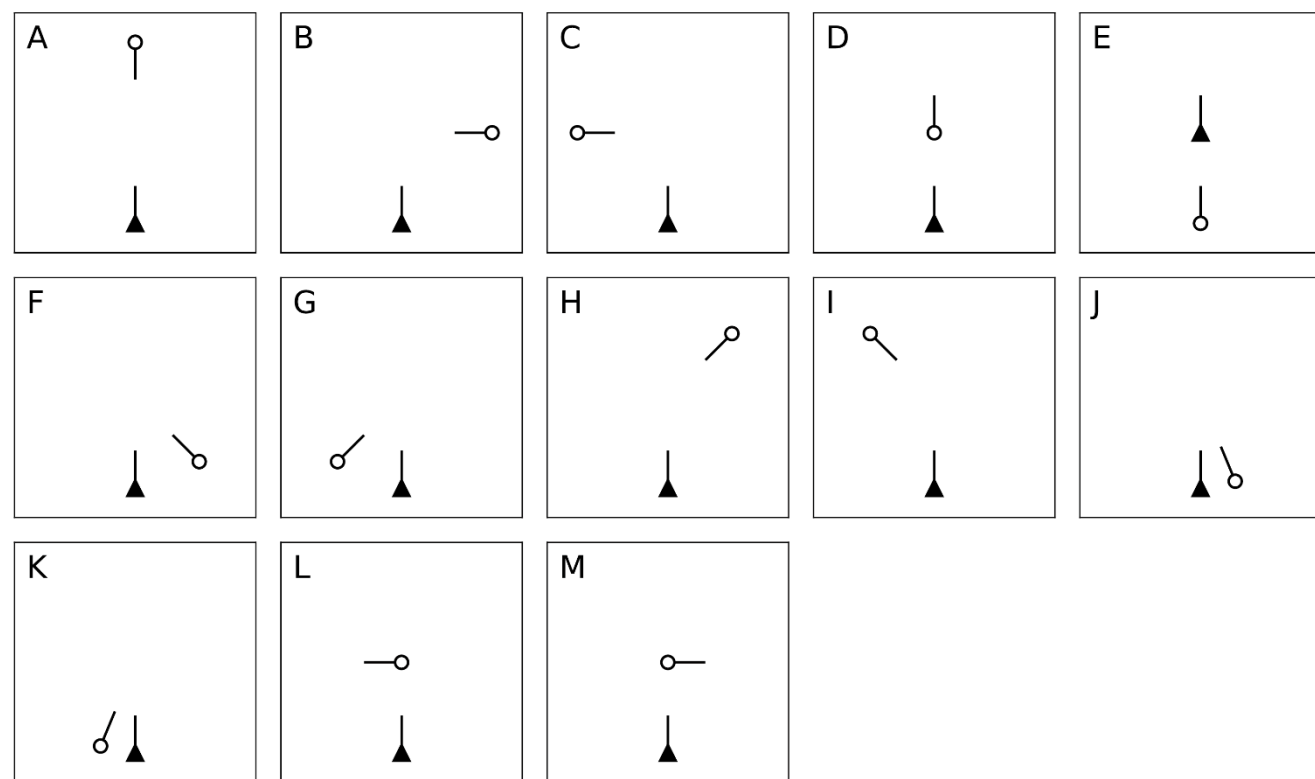


3. シミュレーションを用いた安全評価_避航アルゴリズムの評価

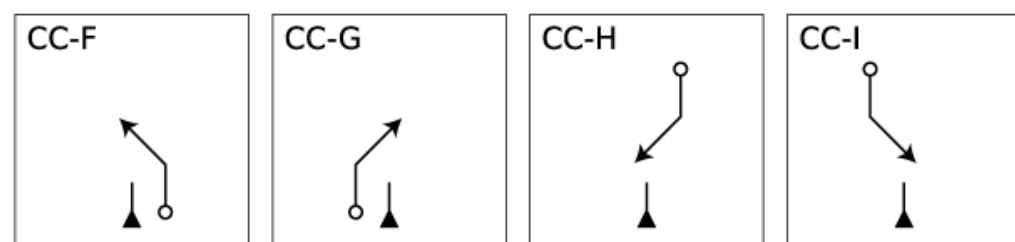


■ 評価用交通流シナリオ

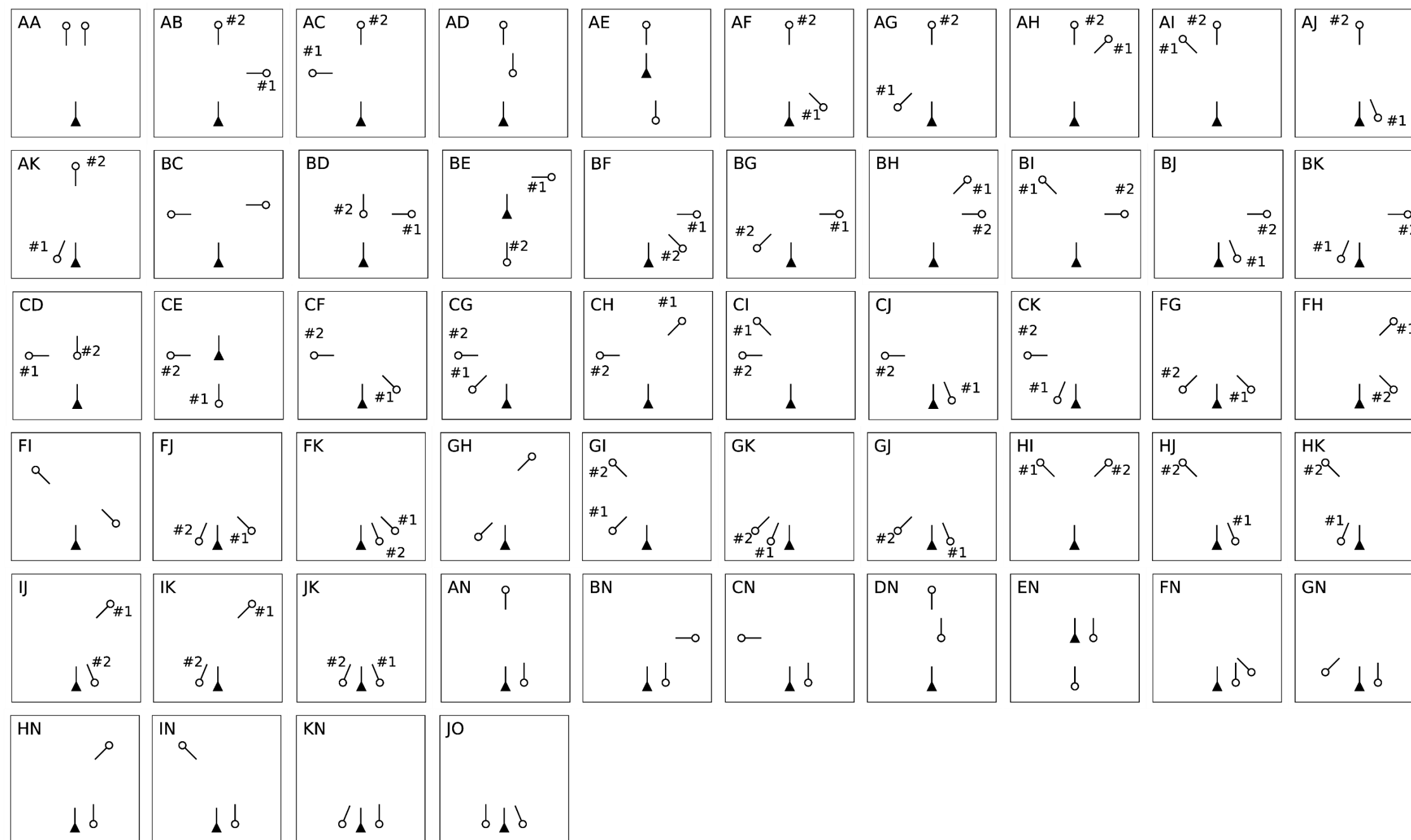
1対1(変針なし)の交通流シナリオ



1対1(変針あり)の交通流シナリオ



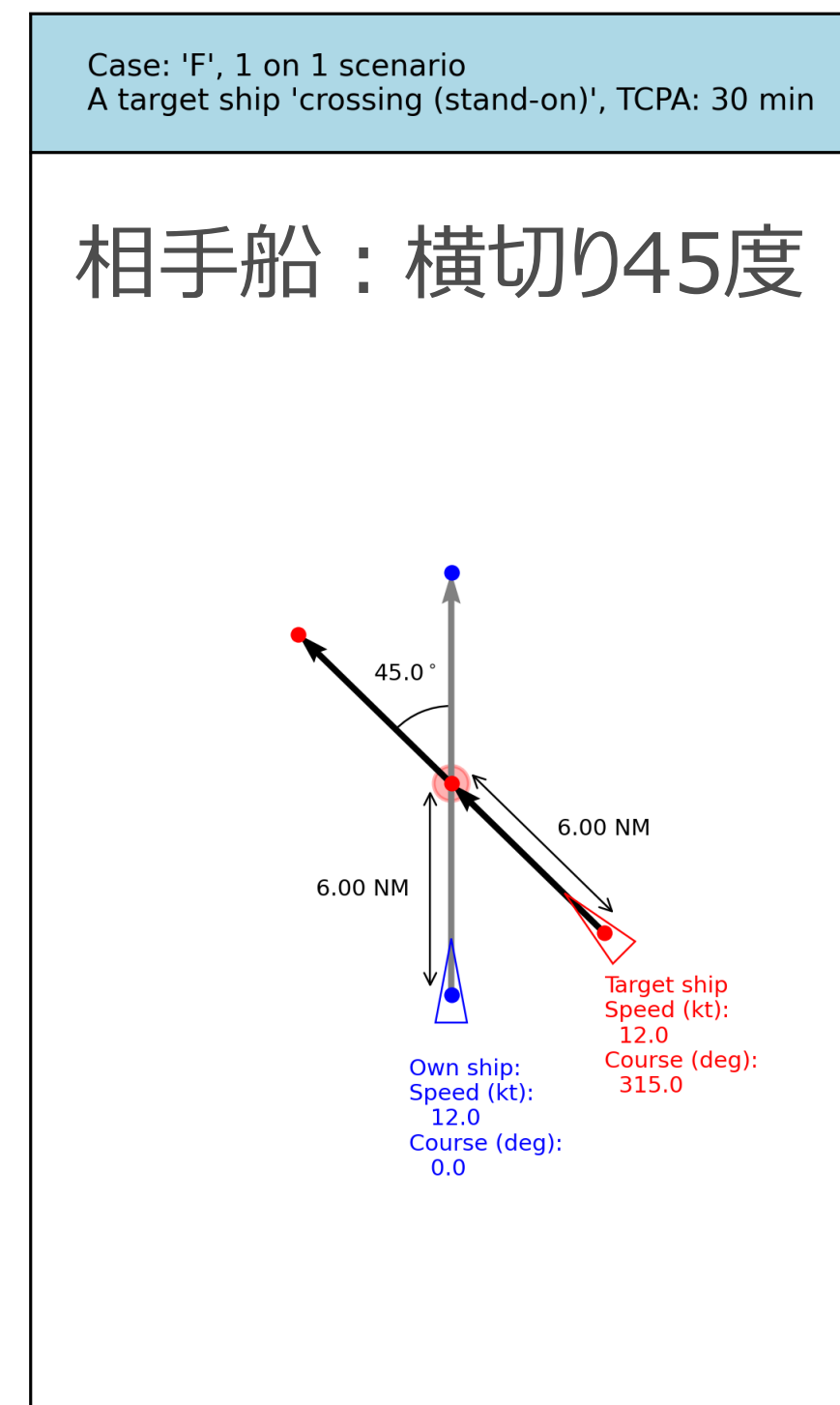
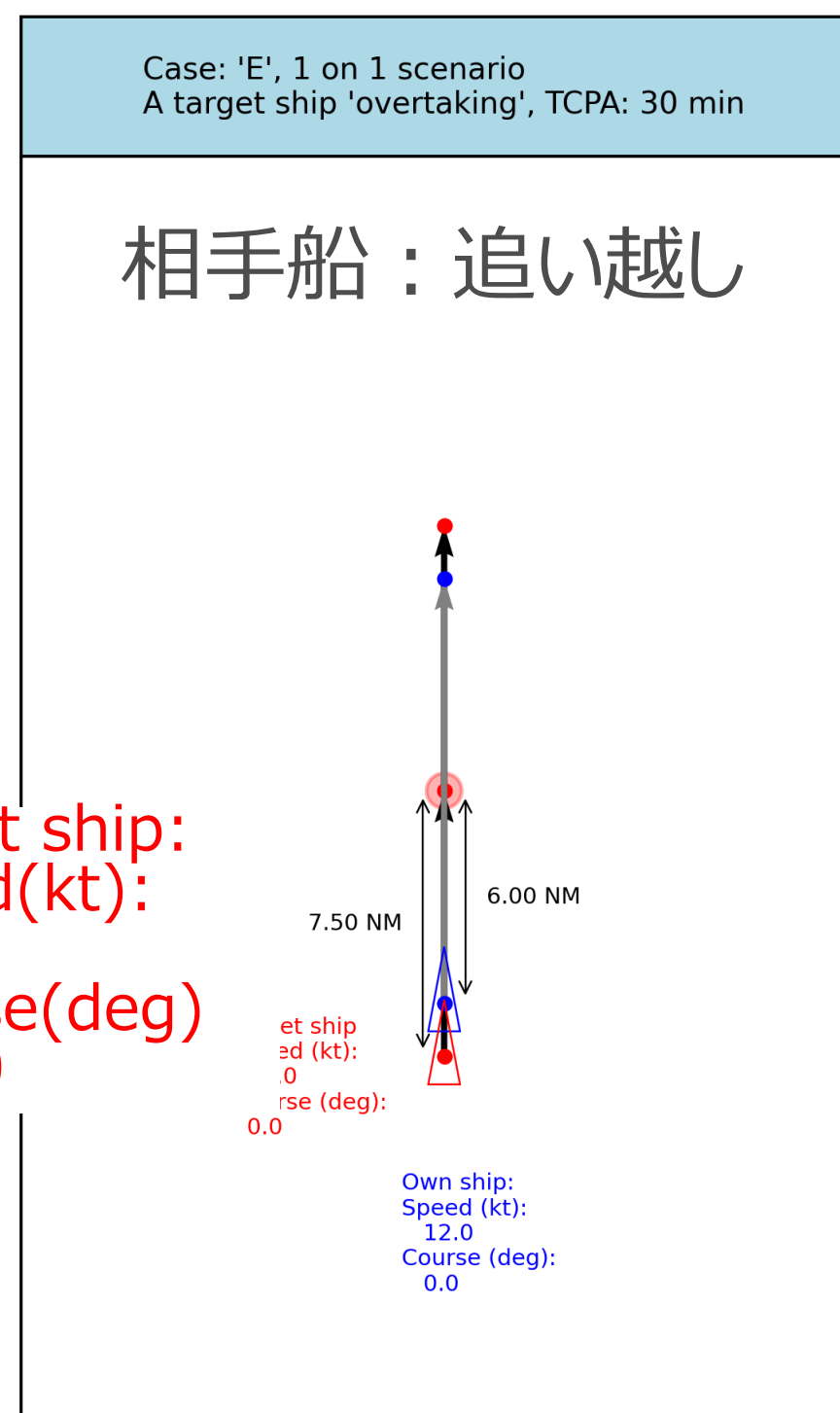
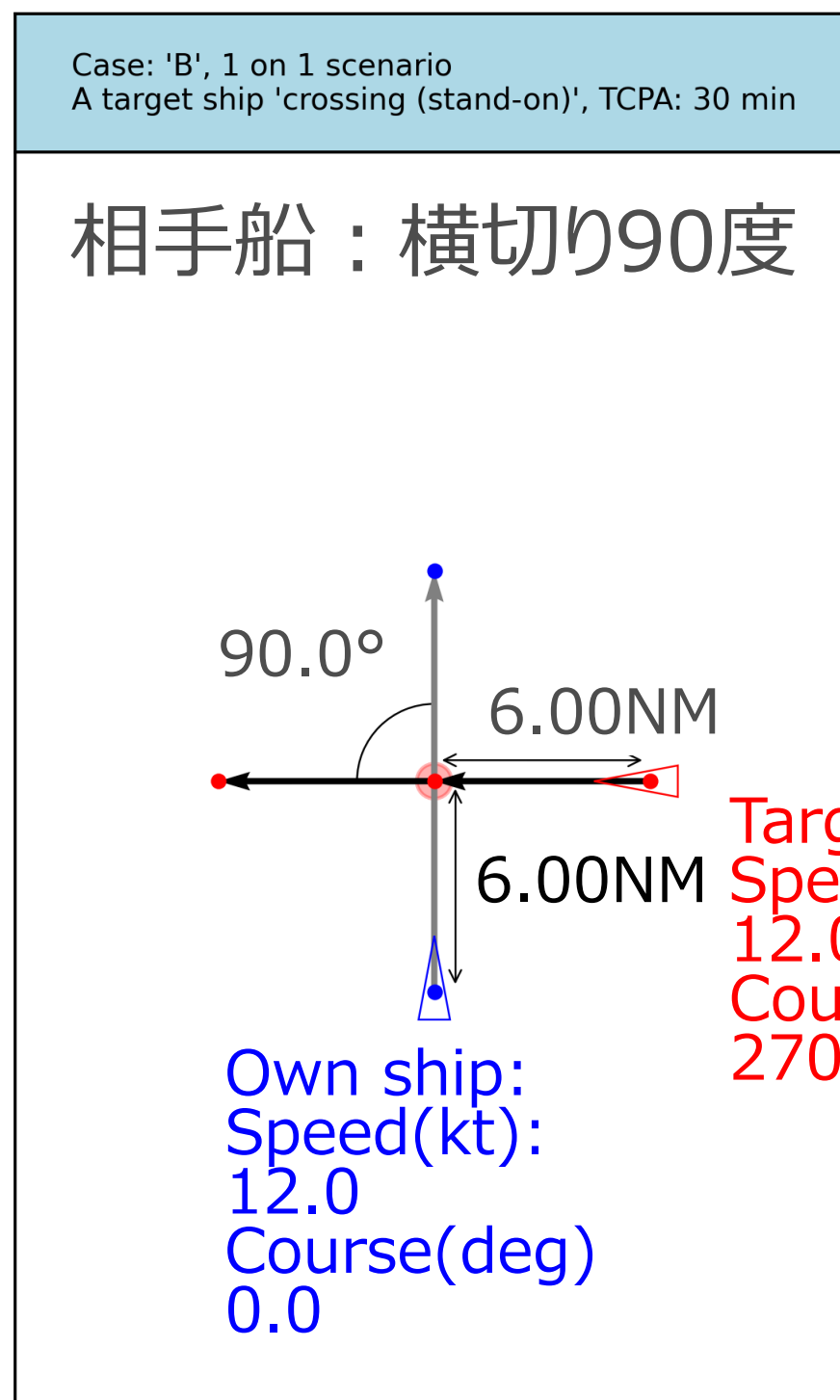
1対2の交通流シナリオ



3. シミュレーションを用いた安全評価_避航アルゴリズムの評価



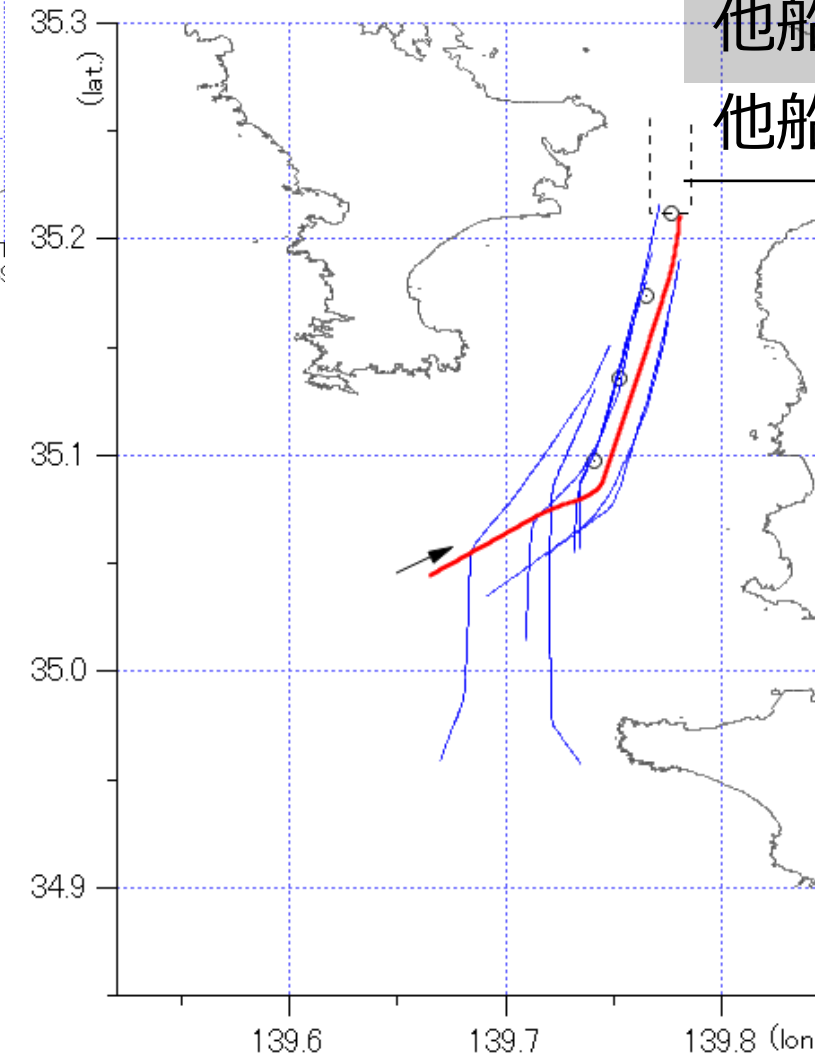
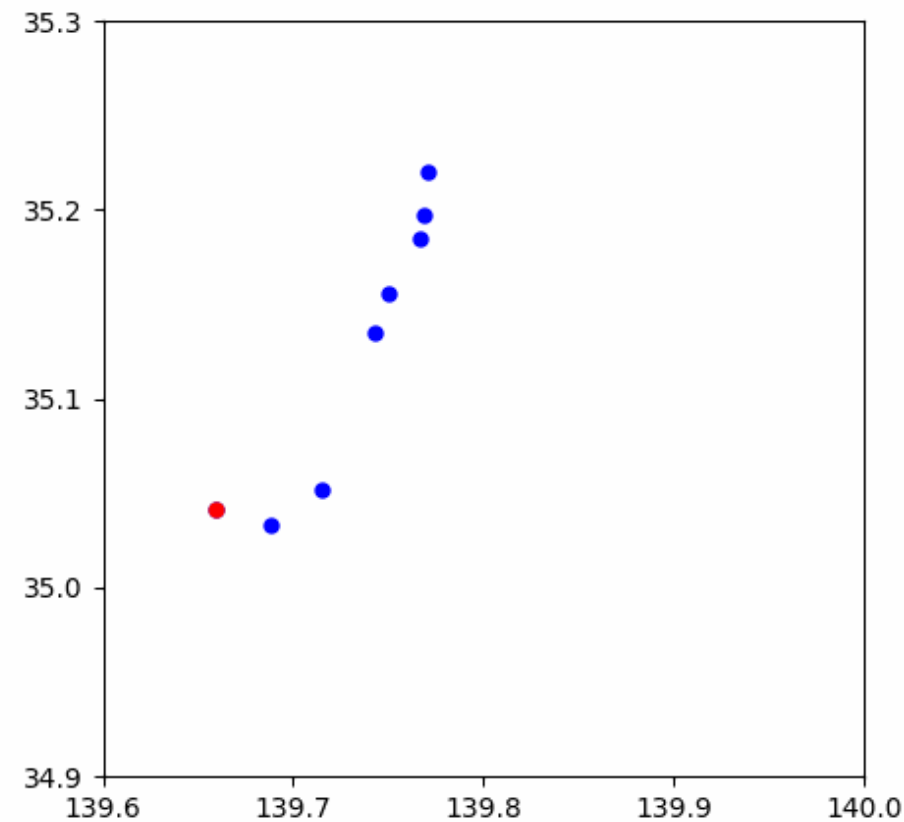
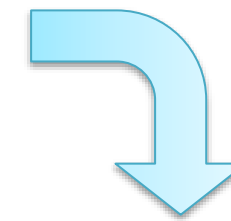
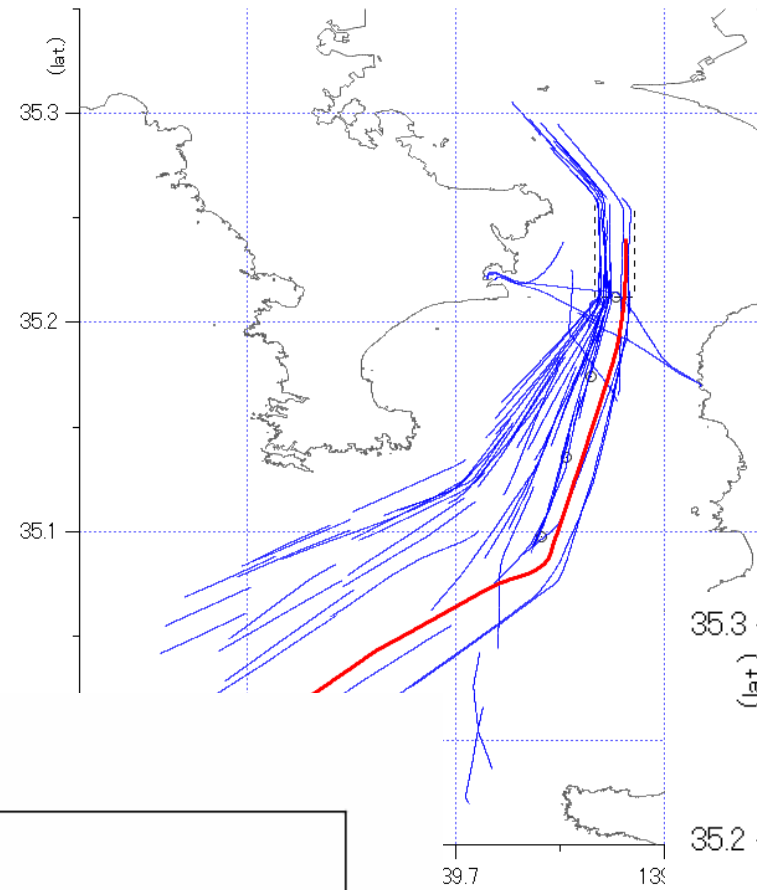
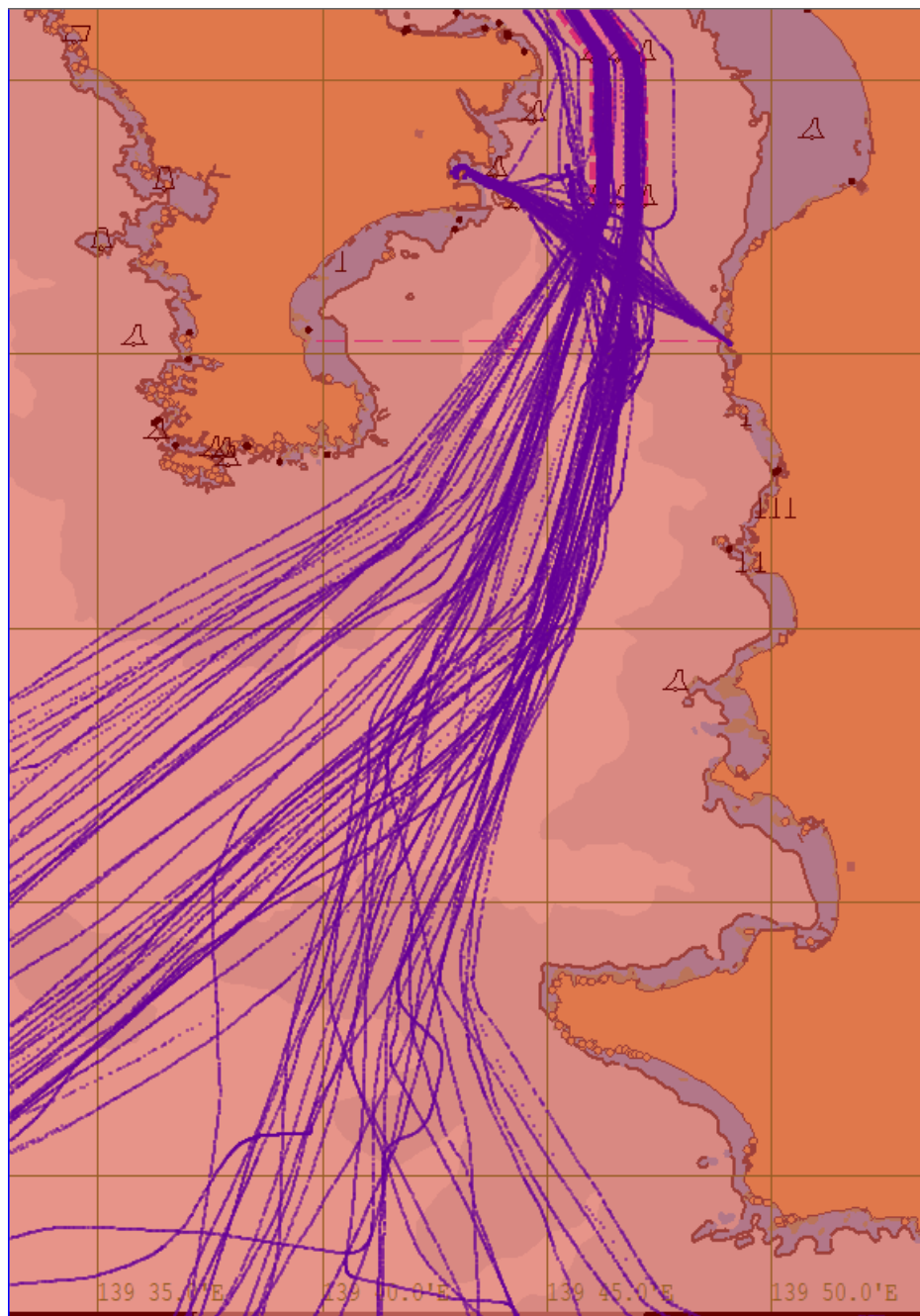
■ 1対1のシナリオ例



3. シミュレーションを用いた安全評価_避航アルゴリズムの評価



■ AISデータを用いたシナリオ例



	船種	船長
自船	貨物船	147m
他船	タンカー	71m
他船	貨物船	72m
他船	貨物船	199m
他船	タンカー	105m
他船	タンカー	105m
他船	タンカー	62m
他船	貨物船	70m

1. はじめに
2. 自動化システムの開発
3. シミュレーションを用いた安全評価
4. 今後の展望
5. まとめ

4. 今後の展望



■ 自動運航船の技術開発

- 個々の技術を連携し、一航海のすべての過程において船員の介入が必要のないシステムの構築
 - 2022年度に、遠隔操船下で航海モードの自動切り替えの予備実験を実施し技術課題を抽出した。課題の抽出とそれに対する対策や検証により、自動化システムの高度化を図る。
- 船陸間通信、船船間通信等により得られる情報も利用した自動化システムの構築
 - これまで開発を進めてきた自動化システムは、船上で取得される情報に基づき動作するものであった。
 - 離着岸操船では陸側で計測された情報等の利用、避航操船では船船間通信により得られた他船の動向等の利用により、航行の安全性の向上が可能となる。
- 個々の技術を高度支援システムとして活用することも可能であり、内航船の二一ズ等を精査し必要とされる機能から実装を進める。

4. 今後の展望



■ 安全評価

- 自動避航操船に加え，自動離着棧についても検証方法の確立
 - 操船シミュレータは，リアルタイムでの実行となり実施数が限られる．高速計算が可能なFTSSと連携することによりその評価を効率的に実施することが可能となる．
 - FTSSの実行結果からSHS評価対象の抽出，及び操船シミュレータによる評価法を構築し評価法の高度化を図る．
- システムから船員への操船権の移譲に関する要件の明確化
 - 人の関与が考慮可能な操船シミュレータにより検証が実施されるものであり，SHSの整備をすすめ検証手法を検討し，警報表示の設計指針案を策定する．
- 評価用テストプラットフォームの機能要件及びそれらの評価手法を検討し，評価用テストプラットフォームの基準の明確化を図る．

- 2016年から2022年の第1期中長期計画期間において実施した自動運航の要素技術の研究・開発について概要を述べた。
 - 自動化の各システムについて、基本的な機能の整備は終了し、ミニシミュレータ及び小型実験船「神峰」による検証を繰り返し実施して改良を進めており、安全で使いやすいシステムが完成しつつある。
 - MEGURI2040の安全評価事業と連携し、評価用プラットフォームである総合シミュレーションシステムの構築及びシミュレーションを用いた評価についても検討を進めており、一部は避航操船アルゴリズムの安全評価案として整理した。
- 今後も、国土交通省のロードマップが示す「フェーズⅡ/Ⅲ自動運航船」とMEGURI2040が目指す無人運航船の実現に向けて、自動化システム及び安全評価技術の研究開発を進める。

本研究の一部は、公益財団法人日本財団の助成を受けて、
一般財団法人日本船舶技術研究協会が行う
「MEGURI2040 に係る安全性評価」事業の委託研究と
して行われております。また、一般財団法人日本海事協
会よりサポートと有益な助言をいただきました。

無人運航船プロジェクト
MEGURI
2040

 日本財団
THE NIPPON
FOUNDATION

 JSIRA

 NMRI

 ClassNK

ご清聴ありがとうございました



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
National Maritime Research Institute

