



第22回 海上技術安全研究所研究発表会



総合シミュレーションシステムを用いた 自動・無人運航船の安全性評価

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 自動運航船PT

南 真紀子

目次

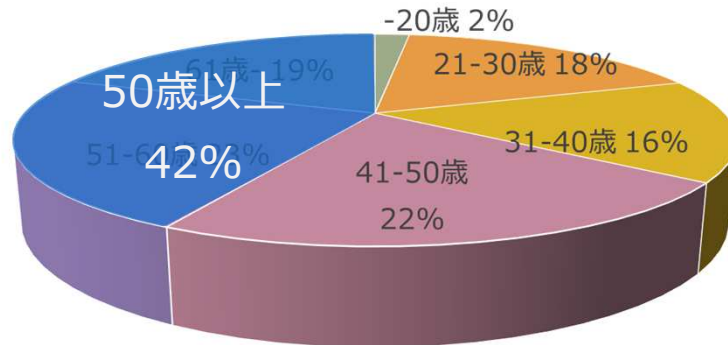


- 背景
- 安全性評価
- シミュレーションによる評価
- 総合シミュレーションシステムの概要
- まとめ

背景_自動・無人運航船の開発の促進

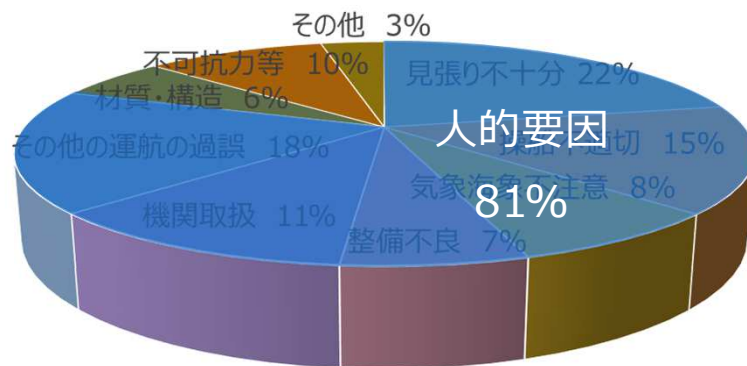


内航船船員の年齢構成



船員労働統計調査_一般船舶(内航船)に乗り組む船員の年齢階層別船員数
国土交通省(2021年)

海難事故原因別割合



海上保安レポート 海上保安庁(2021年)

■ 船員の減少と高齢化

- 船員の確保・育成
- 船員の雇用対策
- 船員の労働環境整備の推進と乗り組み体制の見直し

■ 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・無人運航船の開発

自動化システム、遠隔監視・操船技術の導入

- システムによる支援・代替
- 操船タスクの省力化
- 船員の負担軽減

自動・無人運航船の開発



自動・無人運航船の実用化

- 自動・無人運航船の航行には、社会の受容が必要
 - ➡ 安全性評価により自動・無人運航船が安全であることを示す必要がある。
- 安全とは、

自動車分野での安全原則

自動運転車両は、**許容できないリスクを発生させないこと**、すなわちその運用領域において、**合理的に予見可能かつ防止可能な交通事故を発生させない**

UN/WP29 : WP29-177-19e, Framework document on automated/autonomous vehicles, (2019)

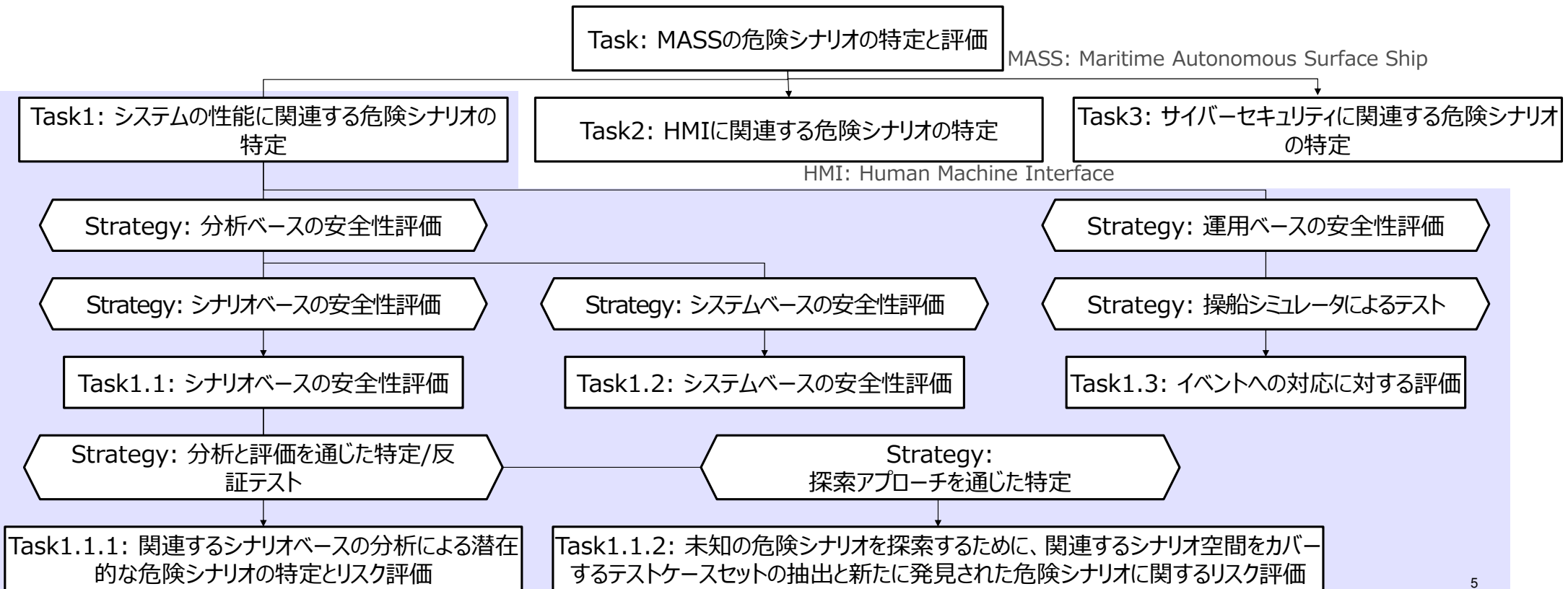
- 運用領域内のハザードの抽出と対策の評価(リスク評価)
 - ハザードに基づいたテストシナリオにより仮想環境下で対策に対する評価を実施
 - 自動航行制御アルゴリズムに要求される機能の網羅的な確認は高速シミュレーションで実行

安全性評価

安全性評価の概要

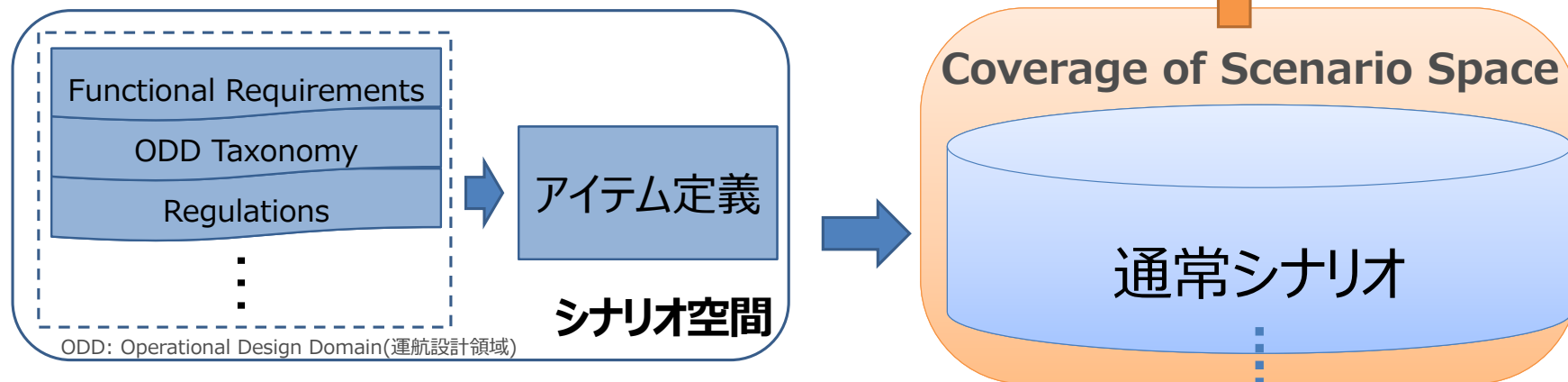


■ 自動車の自動運転で検討が進むシナリオに基づく安全性評価フレームワーク (ISO34502)の考えをベースに評価法を構築



物理原則に基づくシナリオベースアプローチ (ISO34502)

■ 通常シナリオ



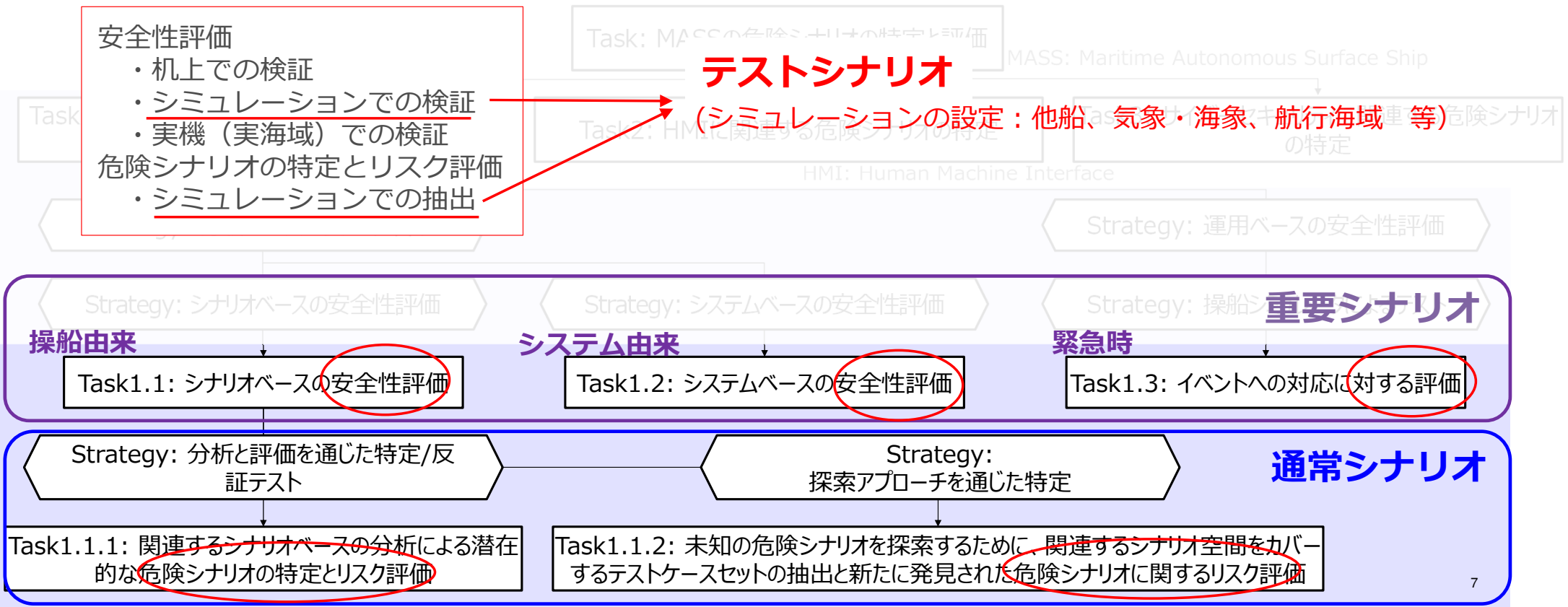
■ 重要シナリオ

- 通常シナリオのうち、避航操船や離着陸操船の困難度が大きいなど操船由来の重要ハザードが存在する危険シナリオ (Task1.1)
- 故障、誤作動等のシステム由来の重要ハザードをもつ危険シナリオ (Task1.2)
- 必要に応じて上記危険シナリオ以外のフォールバックを含めた緊急時の対策を表現する危険シナリオ (Task1.3)

安全性評価の概要



■ 自動車の自動運転で検討が進むシナリオに基づく安全性評価フレームワーク (ISO34502)の考えをベースに評価法を構築

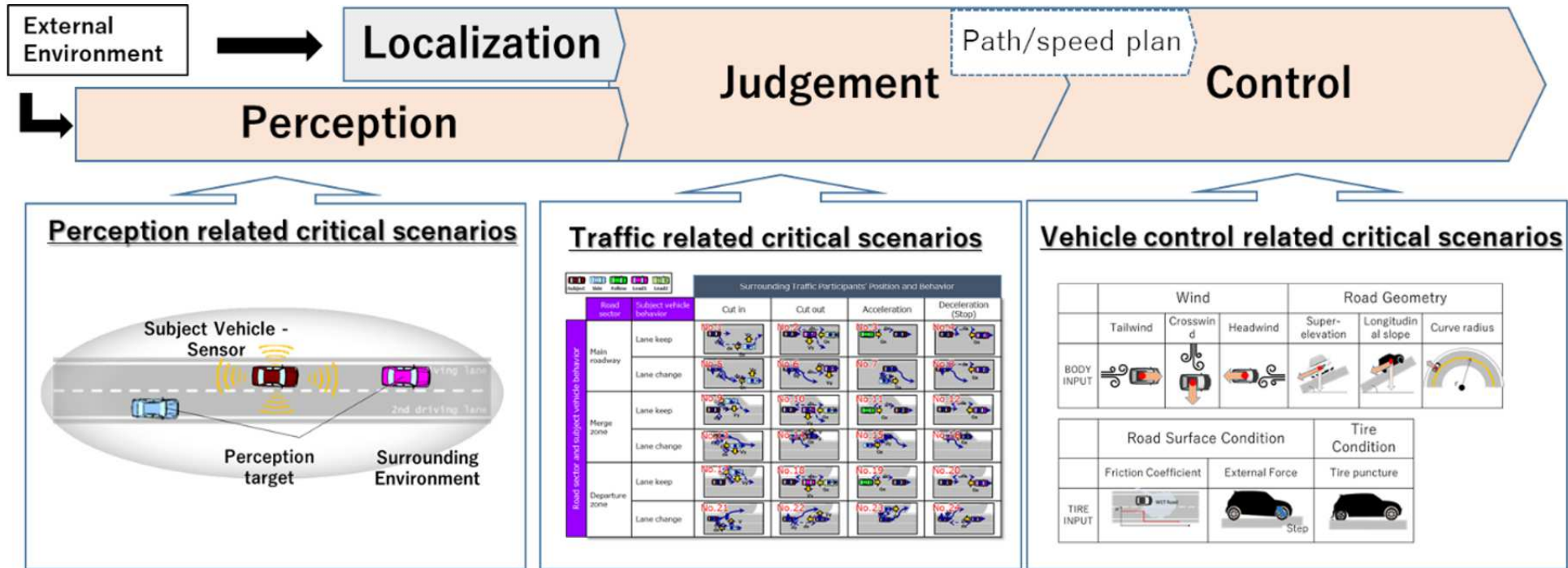


物理原則に基づくシナリオベースアプローチ (ISO34502)



■ 自動車分野での対応

- 運転タスクを認識、判断、制御のサブタスクに分解し、これらのサブタスクを特定の物理原則と関連付けるように設計。



光線、電波、レーザー伝搬を支配する物理原則に依存

交通行為者の相対運動学に基づく経路と速度計画が対象

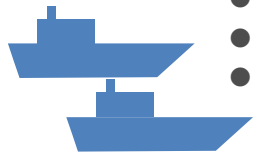
車両のダイナミクスに依存

操船タスクの分解 (避航操船)

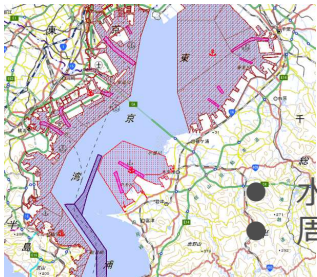


他船

- 位置
- 針路・速度
- 船種(大きさ)
- 予想される行先
- (船体の状態)

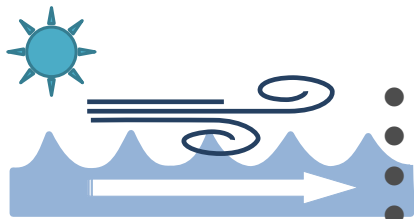


etc.



- 水深・潮汐
- 周辺海域状況(航路など)

etc.



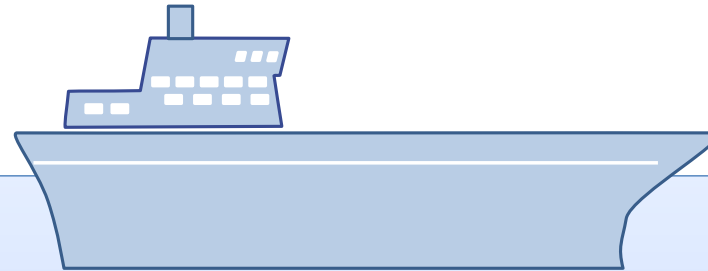
- 天気
- 風向・風速
- 波向・波高
- 潮流流

etc.

自船

- 位置
- 針路
- 速度
- 計画航路(WP)
- 船体運動

etc.



各種センサで受信

データ処理・
データフュージョン

情報収集
Perception

避航操船プログラム

認知

通常
航行

避航
操船

認知 判断
Judgement

- アクチュエーター
- 操舵機

操船
Control

物理原則に基づくシナリオベースアプローチ(船舶への適用)

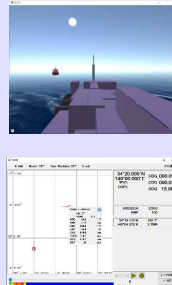
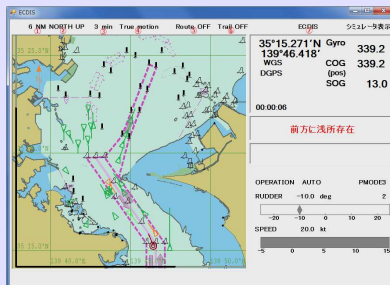


操船 タスク	Perception	Judgment	Control
外乱	認識外乱	交通外乱	船体運動外乱
	<ul style="list-style-type: none"> ○各種センサで受信 ○データ処理 データフュージョン 等 	<ul style="list-style-type: none"> ○地理的条件 ○見合い関係、他船の配置 ○他船の行動 等 	<ul style="list-style-type: none"> ○気象・海象、載荷状態等により船体に作用する力学的な外乱 

- 網羅性の確保とシナリオ数の抑制のため、各外乱は独立とし構成要素の出現頻度や影響度を考慮して組み合わせる
- 船舶の特性を考慮
 - ISO34502は、高速道路に限定し移動体として二輪を含む車両のみを考慮。自律・無人運航船は、多種多様な船舶が混在するエリアが対象。
 - 船舶の時定数は自動車よりも大きいため、より遠くで対象物を検知する必要があり、操船者の判断において他船の行動予測が重要。

仮想環境

高速シミュレーション 操船シミュレータ
⇒Fast Time Ship Simulator (Ship Handling Simulator : SHS)
(FTSS)



- 実海域で再現するには複雑もしくは危険を伴うテストシナリオを再現
- 同一の反復可能かつ再現可能な結果の提供
- (FTSS) 実時間より十分に短い時間でシミュレーションを実施可能
- (SHS) 人間を考慮した評価の実施が可能

実海域

- 実システムの性能と高い関連性が要求されるテストシナリオの実行
- 再現性は、保証されない

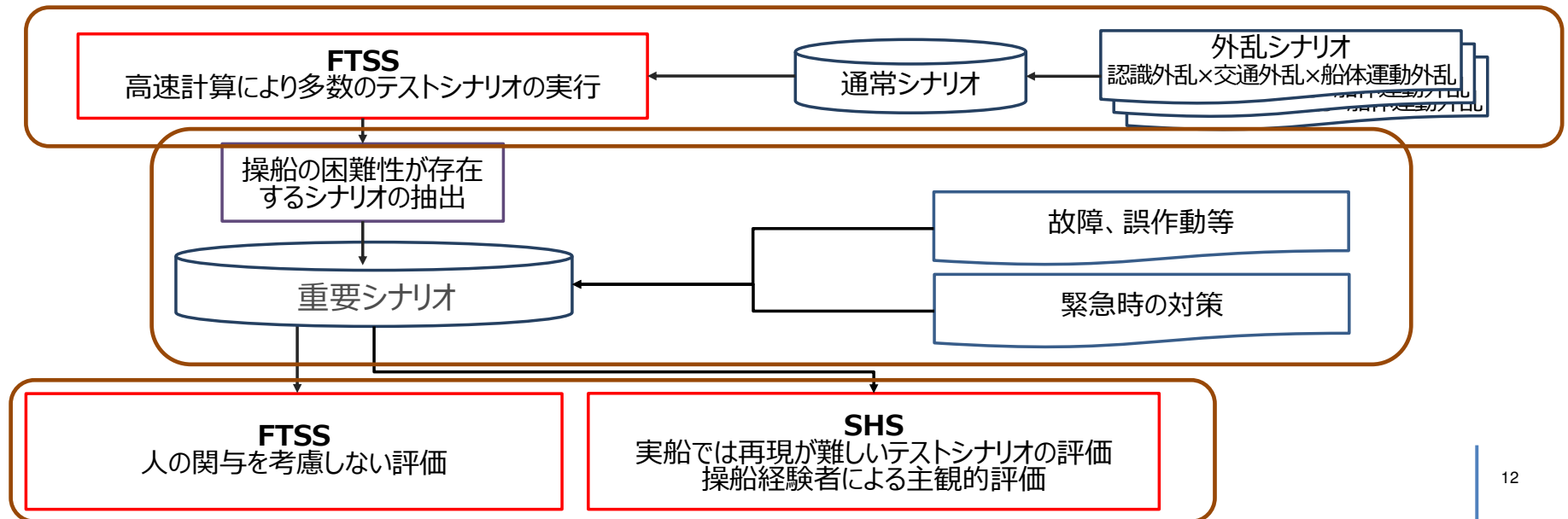


テストプラットフォームの割当



■ テストシナリオに適したテスト環境の選択

- FTSS及びSHSは、実船で実行するには危険なテストシナリオ及び複雑なテストシナリオの実行が可能。
- FTSSは多数のテストシナリオの実行が可能。
- SHSは操船者の経験に基づいた判断が可能。
- 実海域でのテストは、実システムの性能との関連性を考慮した評価が可能。ただし、周辺条件等の入力は、多少ランダムに変化。



シミュレーションによる評価

テストシナリオの作成（例：避航操船）



■ 評価対象・範囲

- 評価対象：自動避航制御アルゴリズム
- 評価指標：衝突・ニアミスの発生、COLREGsの遵守、他船への影響

➔ 交通外乱を中心にテストシナリオを作成

- 1対1遭遇

相手船の配置、針路を網羅的に設定

- 1対多遭遇

AIS非搭載船を含めた対象海域の交通流を再現

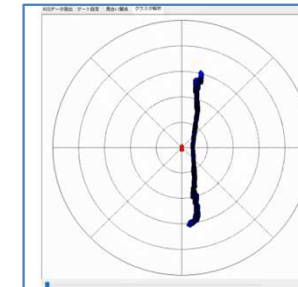
遭遇頻度の高い見合い関係及び操船が困難と思われる見合い関係を抽出

相手船との速度差の影響も加味

事故事例、論文等より操船困難（袋小路等を含む）なシナリオを追加

漁船等特異な行動をとる船舶を含んだシナリオを追加

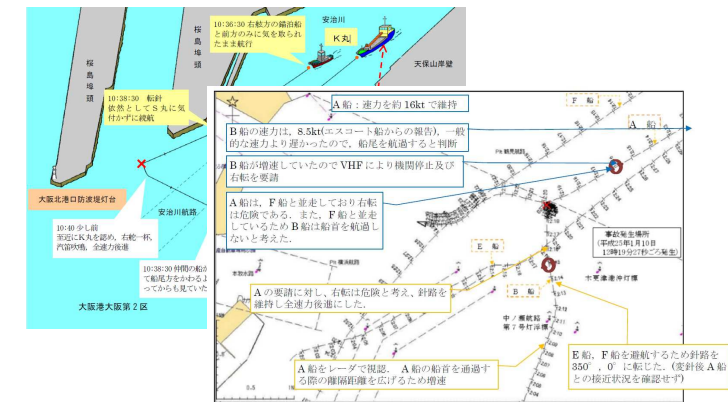
- 地理的条件の考慮



追越し船の相対航跡図



解析海域と1船に注目した遭遇船の抽出結果



海難事故例からシナリオを作成

(COLREGs : Convention on the International Regulations for Preventing Collision at sea
海上における衝突の予防のための国際規則に関する条約)

■ 衝突・ニアミスの確認

- 自船にバンパーモデルあるいは見合い関係毎の最小離隔距離を設け、この領域内に船舶が入っていないことを確認。
- バンパーモデル、最小離隔距離は、避航制御アルゴリズムの設定値や交通流分析、論文等を参考に設定

■ COLREGsを考慮した避航方法の遵守

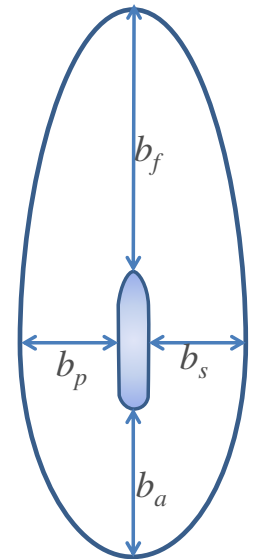
- 1対1の場合は、完全遵守
- 多重遭遇の場合は、見合い関係を考慮して、遵守状況进行评估

■ 避航操船時の余裕を評価するOZTの基づく評価あるいは離隔距離と相対方位変化を用いた評価等を検討

➡ 重要シナリオ（操船由来の重要ハザードが存在する危険シナリオ）の抽出

【SHSで実施するテストシナリオの評価】

- エキスパートによる避航方法の評価
- システムの範囲外となる場合や緊急時のシナリオは、フォールバック等の対応を評価



バンパーモデル（例）

総合シミュレーションシステムの概要

総合シミュレーションシステムの概要



■ FTSS(Fast Time Ship Simulator)

- 実時間よりも十分に短い時間でシミュレーションを実施。
- 一定の条件下での網羅的な検証

対象とする操船モード

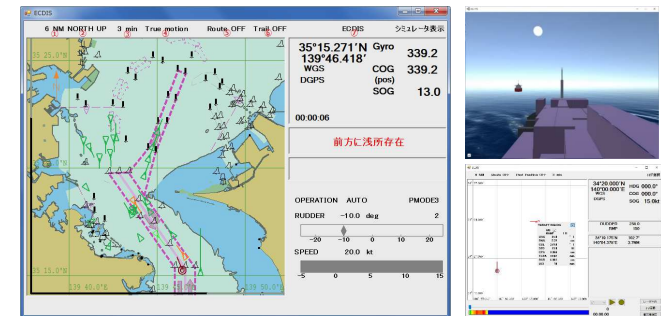
- 自動操船（離着棧、避航、荒天下操船）

■ 操船シミュレータ(SHS:Ship Handling Simulator)

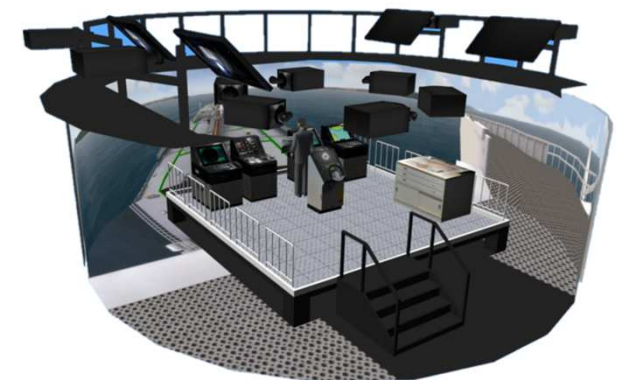
- フルミッション型操船シミュレータ
- HMIの評価, 緊急時の乗組員へ操船権の移譲のタイミングの評価, 既存船舶と併存する海域での操船行動評価など, 人の関与を考慮した評価が可能

対象とする操船モード

- 自動操船（離着棧、避航、荒天下操船）
- 遠隔監視及び操船
- 緊急時操船



FTSS（実行・結果表示）

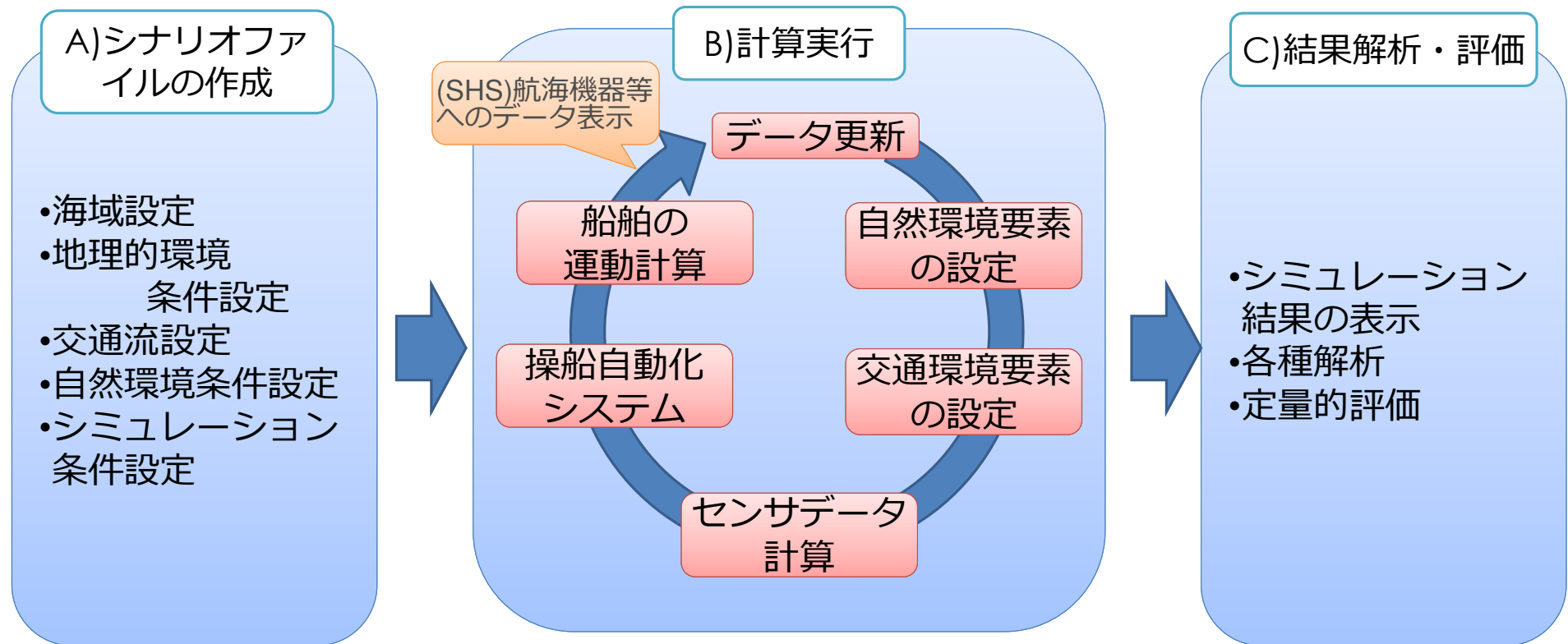


SHSイメージ図(2021年3月作成)

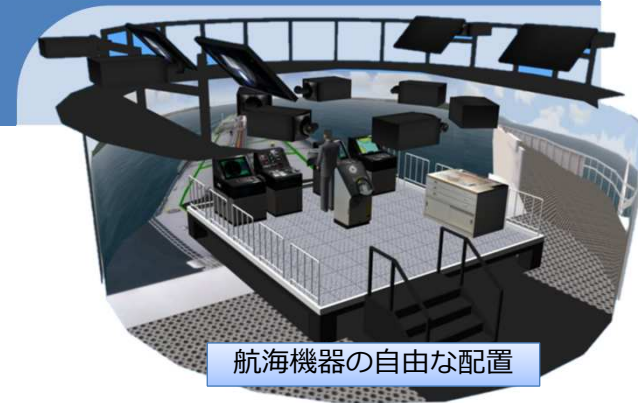
総合シミュレーションシステムの概要



■ シミュレーション実施手順



操船シミュレータの概要



航海機器の自由な配置

●基本機能

- 360deg円筒スクリーン（半径6.5m,垂直視野角30deg以上）
- 下方スクリーン
- 船内・船外音響の再現
- 船々間通信再現
- 航海機器

etc

●自動操船

- 任意の自動操船プログラムの接続
- 評価対象に対応した船体運動モデルの組み込み

●遠隔監視及び操船

- 通信システム
- 情報提示機能の再現
- 通信速度,データの欠損等の再現

●乗組員への操船の移譲, HMIの評価

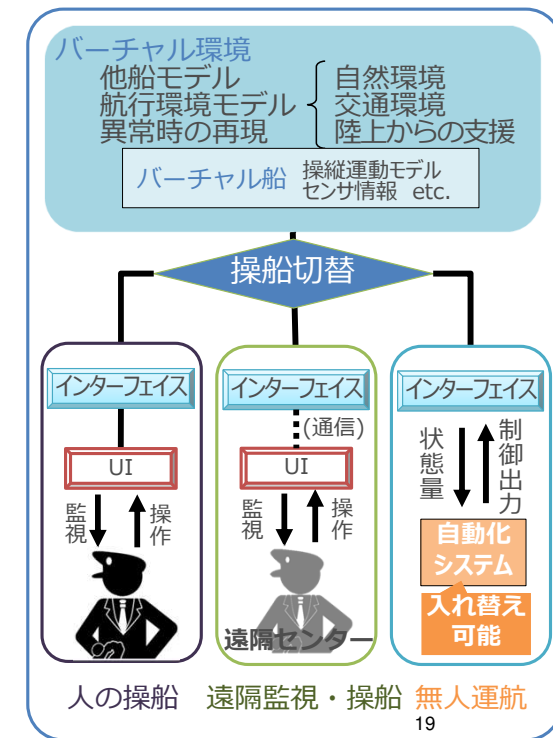
- 情報提供機能の再現
- 操船切り替え装置及び機能の再現
- 航海機器等の自由な配置,外部持ち込み機器との接続

●各種情報の組み込み

- 評価対象に合わせた各種センサ情報の生成
- 情報の精度(ノイズ,データ欠損,更新間隔等)の再現
- エンジン,推進器,操舵装置の組み込み
- 非常時イベントの発現機能
- センサ,機関,電源の故障等を再現

●テスト環境

- テストケース作成機能
- 操船結果及び各種指標値の解析結果の表示



FTSSの概要



総合シミュレーションシステムの利用（例：避航操船）



① FTSSを用いた評価

⇒ SHSによる検証が必要なシナリオを抽出

② SHSを用いた評価

開発事業者



FTSS



海技研は代表的なモデルを準備

テストシナリオ

1船対1船

相手船の相対位置、針路、速度を網羅的に設定

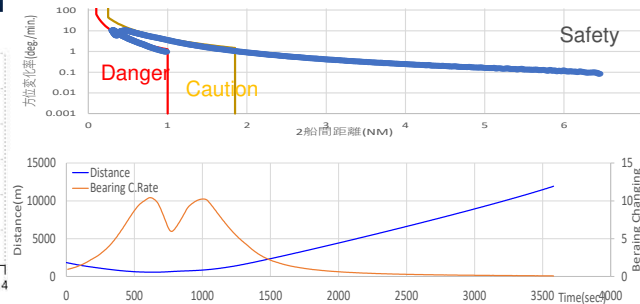
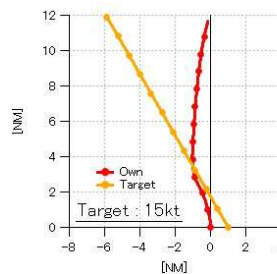
多重遭遇シナリオ+外乱

実航跡に基づくシナリオ（航行海域も考慮）

海難事故例からシナリオを抽出

避航操船関係の論文等から、シナリオを収集

シミュレーション結果

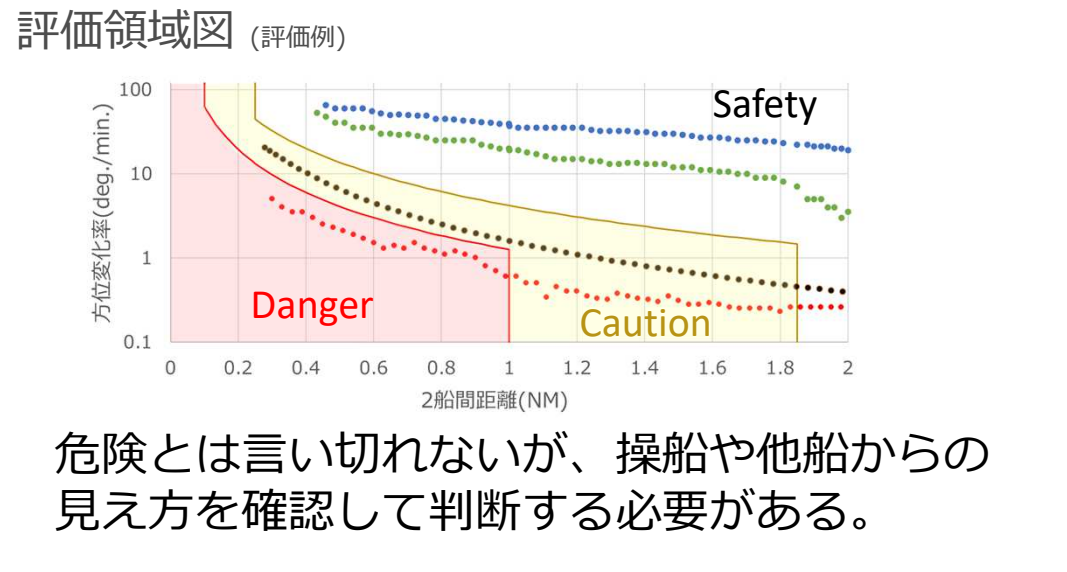
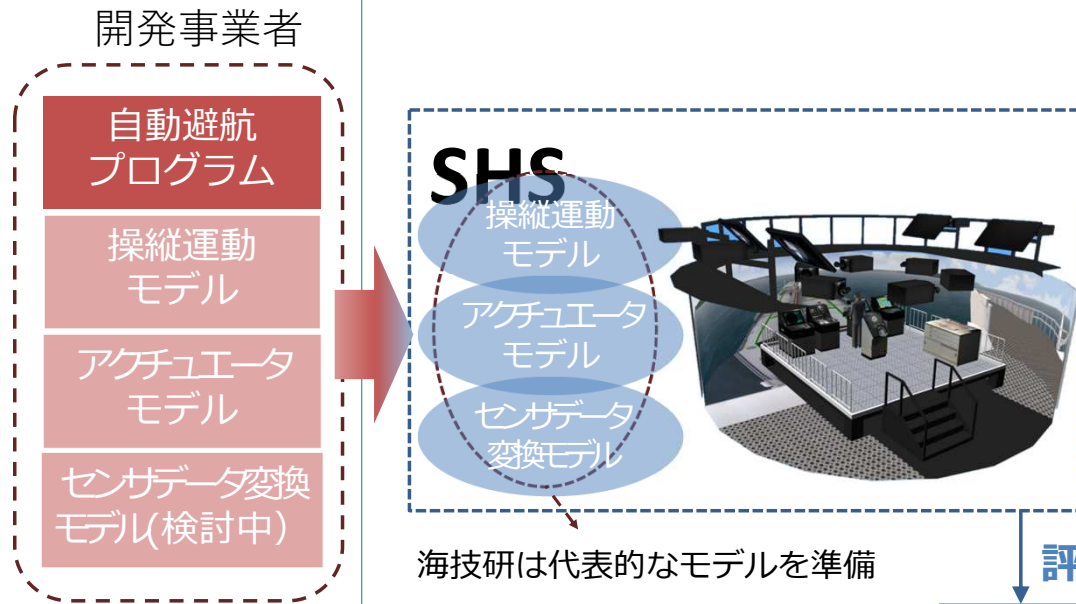


定量的評価
 ・ 船間距離
 ・ 相対方位変化
 ・ 評価領域図
 etc.

総合シミュレーションシステムの利用（例：避航操船）



- ① FTSSを用いた評価
⇒ SHSによる検証が必要なシナリオを抽出
- ② SHSを用いた評価



SHSによる検証

評価

船長経験者等により操船経験に基づいた評価
⇒ アルゴリズムの合否や改善点の指摘

自律・無人運航船の安全性評価法及び評価に用いる総合シミュレーションシステムの概要について述べた。

- 安全性評価のフレームワークとして自動車の自動運転システムと同様のシナリオベースアプローチを採用することとした。
- システムに影響を与える外乱を認識外乱，交通外乱，船体運動外乱の3つの外乱に分類し体系化する外乱シナリオの作成手法を用いた。
- 安全性評価のテストプラットフォームとして総合シミュレーションシステムの開発を進めている。
 - 高速シミュレーションにより多数のテストシナリオの実行が可能なFTSSを開発した。
 - SHSでは、人間が関与する行動の評価が可能である。
- 安全性評価手法の確立や総合シミュレーションシステムの開発を進め，自律・無人運航船の開発を支援していきたい。

ご清聴ありがとうございました。

本研究は、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



ClassNK



国立大学法人
東京海洋大学
Tokyo University of Marine Science and Technology

JMETS