



自動運航船のモデルベース開発のための シミュレーション基盤

○正 角田 領*1, 正 安藤 英幸*1
松井 忠宗*1, 山中 遼*2, 学 中島 拓也*3

*1 MTI Monohakobi Technology Institute

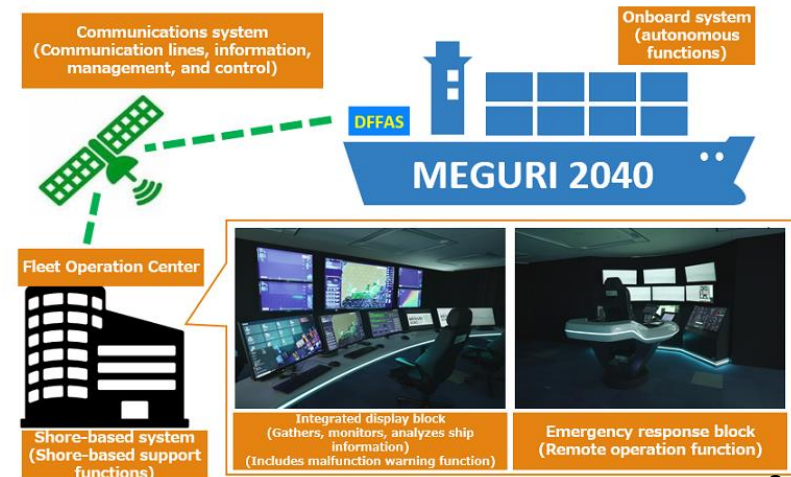
*2 日本郵船 Nippon Yusen

*3 東京大学 The University of Tokyo

背景 自動運航船・無人運航船への期待

- 自動・無人運航船は、海事産業の課題を解消するための為のソリューションの一つ
 - 船舶事故の8-9割を占めるヒューマンエラーの低減（海上安全）
 - 船員不足の解消・働き方改革
 - 離島など生活航路の維持（輸送インフラ）
 - 運航の効率化，設計自由度拡大（産業競争力強化）
- 日本財団の無人運航船プロジェクト「MEGURI2040」にMODEメンバーも参画
 - 世界に先駆けて内航船における無人運航の実証試験を成功

無人運航船 プロジェクト
MEGURI
2040



自動運航船の設計・開発・検証のポイント

- 自動運航船及び構成システムの設計・開発および検証においては、様々な運航・運用状況、および他の機器やシステムとの相互作用を踏まえ、システム全体の実運用時の挙動を把握することが望ましい。
- 特に、社会実装のためには安全性の担保が重要。極端な海象・気象や通信環境、他船の動き、その他故障による非常事態や経年劣化などを想定したシステムの挙動を確認することが望まれる。

安全で効率的な設計・開発・検証を支援するシミュレーション基盤が求められる

フェーズや対象に合わせたフレキシビリティを持ったマルチドメインの自動運航船シミュレーション基盤構築を目指す。
実際の運航時の訓練や、教育・人材育成への活用も見据える。

教育・人材育成

広報・体験ツール
としての活用

設計・開発

実運航を想定し繰り返し挙動を確認
システムのユースケースや設計へのフィードバックを行う (MIL)

運用支援・訓練

実際の運用を想定
した訓練への活用

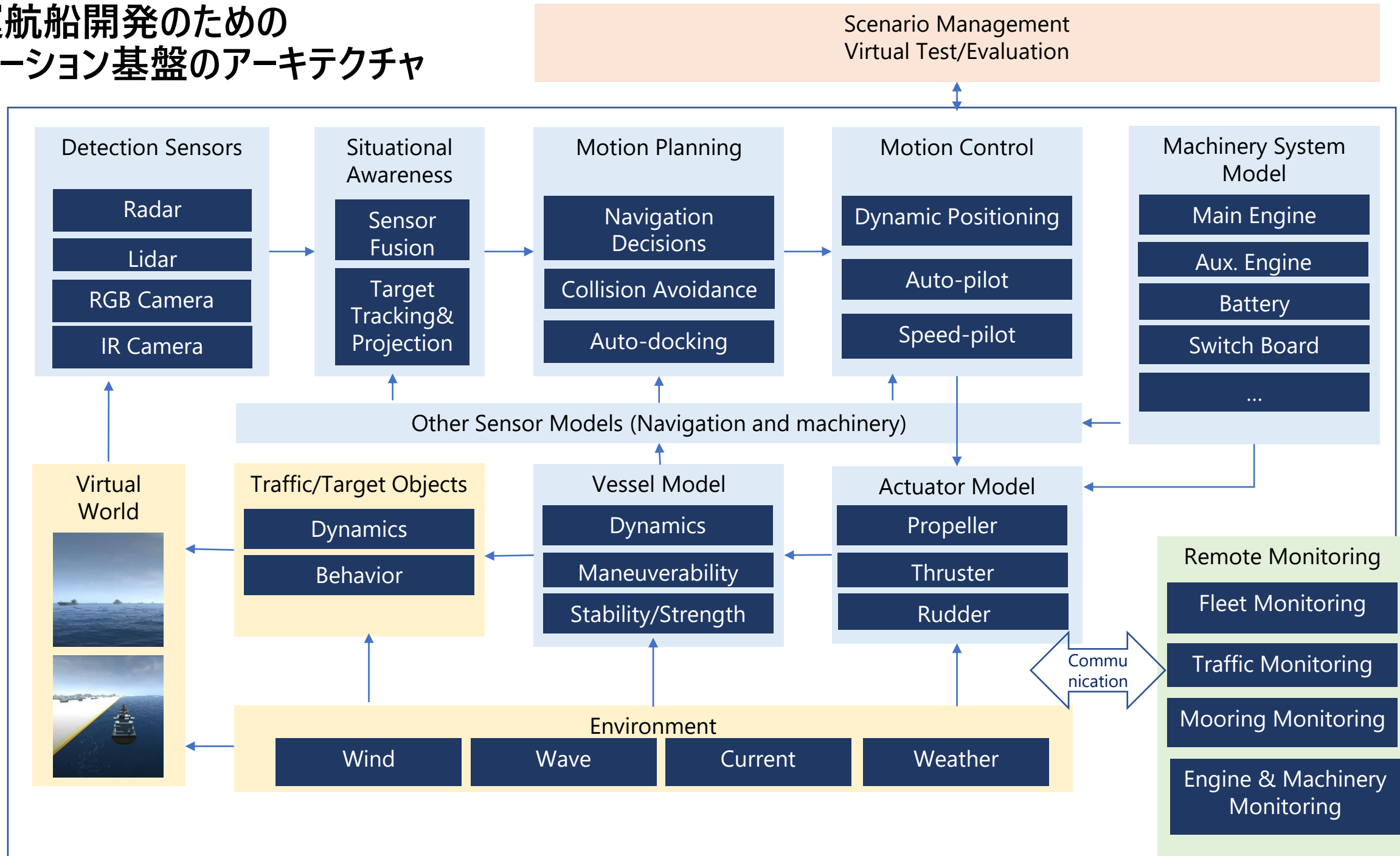
検証・妥当性確認

実際の製品やユーザに対するテスターとして利用、あらゆる状況を想定した高度な検証を実現 (SIL, HIL)

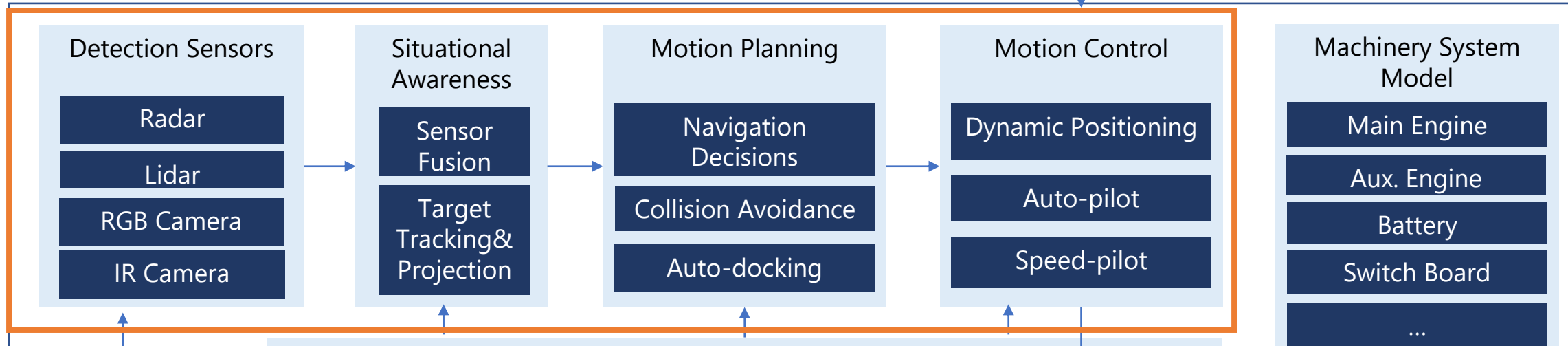


自動運航船のモデルベース開発のための シミュレーション基盤

自動運航船開発のための シミュレーション基盤のアーキテクチャ



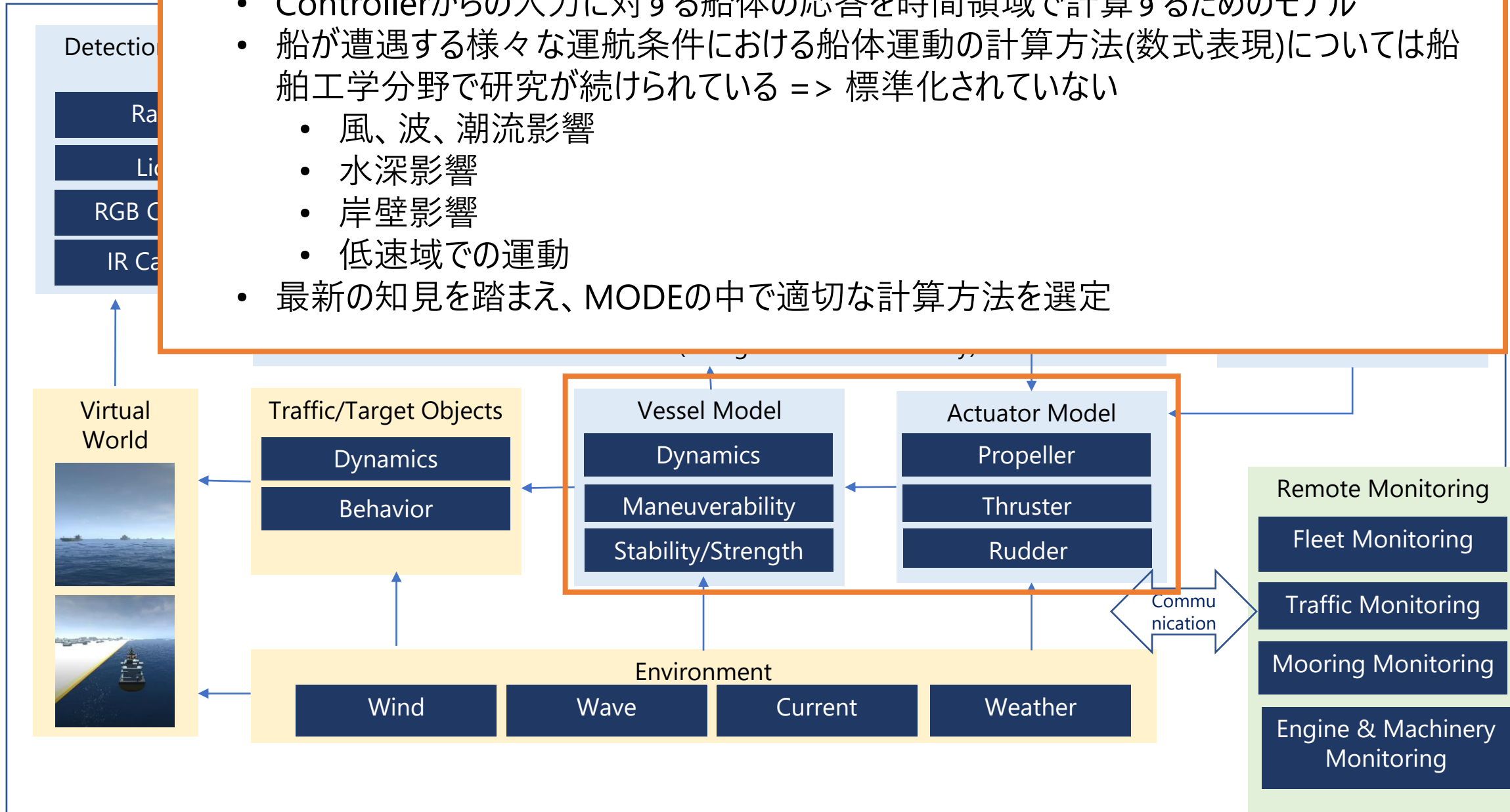
自動運航船機能



- 自動運航船の機能を以下の4つに分ける
- Detection
 - レーダーやカメラ(画像認識)を活用したターゲット検知
 - LiDARによる岸壁認識、距離計測
- Situational awareness
 - 各種センサからのデータ統合
- Motion planning
 - Waypoint、経路、船速の計画を出力(避航操船計画、離着棧計画)
- Motion control
 - 計画に合わせて舵角、プロペラ回転数等を制御

船体運動モデル

- 船体運動モデル
 - Controllerからの入力に対する船体の応答を時間領域で計算するためのモデル
 - 船が遭遇する様々な運航条件における船体運動の計算方法(数式表現)については船舶工学分野で研究が続けられている => 標準化されていない
 - 風、波、潮流影響
 - 水深影響
 - 岸壁影響
 - 低速域での運動
 - 最新の知見を踏まえ、MODEの中で適切な計算方法を選定



気象海象モデル

Scenario Management
Virtual Test/Evaluation

Detection S

Rada

Lidar

RGB Cam

IR Cam

Virtual
World



- 気象海象が船体運動に与える影響は大きく、モデル化が必要
- 波浪
 - 洋上の波浪は、様々な周期、波高成分が含まれる不規則波である
 - 洋上の波浪を表現するための複数のスペクトル形状が提案されている
 - 波の周波数に対応する成分波のエネルギーの割合
 - 例:修正ピアソン・モスコヴィッツ型
 - 波高、周期という2つのパラメータでスペクトル形状が決まる
 - スペクトルに合わせて、成分波の重ね合わせとして不規則波の時系列を生成する
- 風
 - 陸上風と同様に時間変動する
 - 波浪と同様に複数のスペクトルが提案されている(例:カルマン型)

Environment

Wind

Wave

Current

Weather

nication

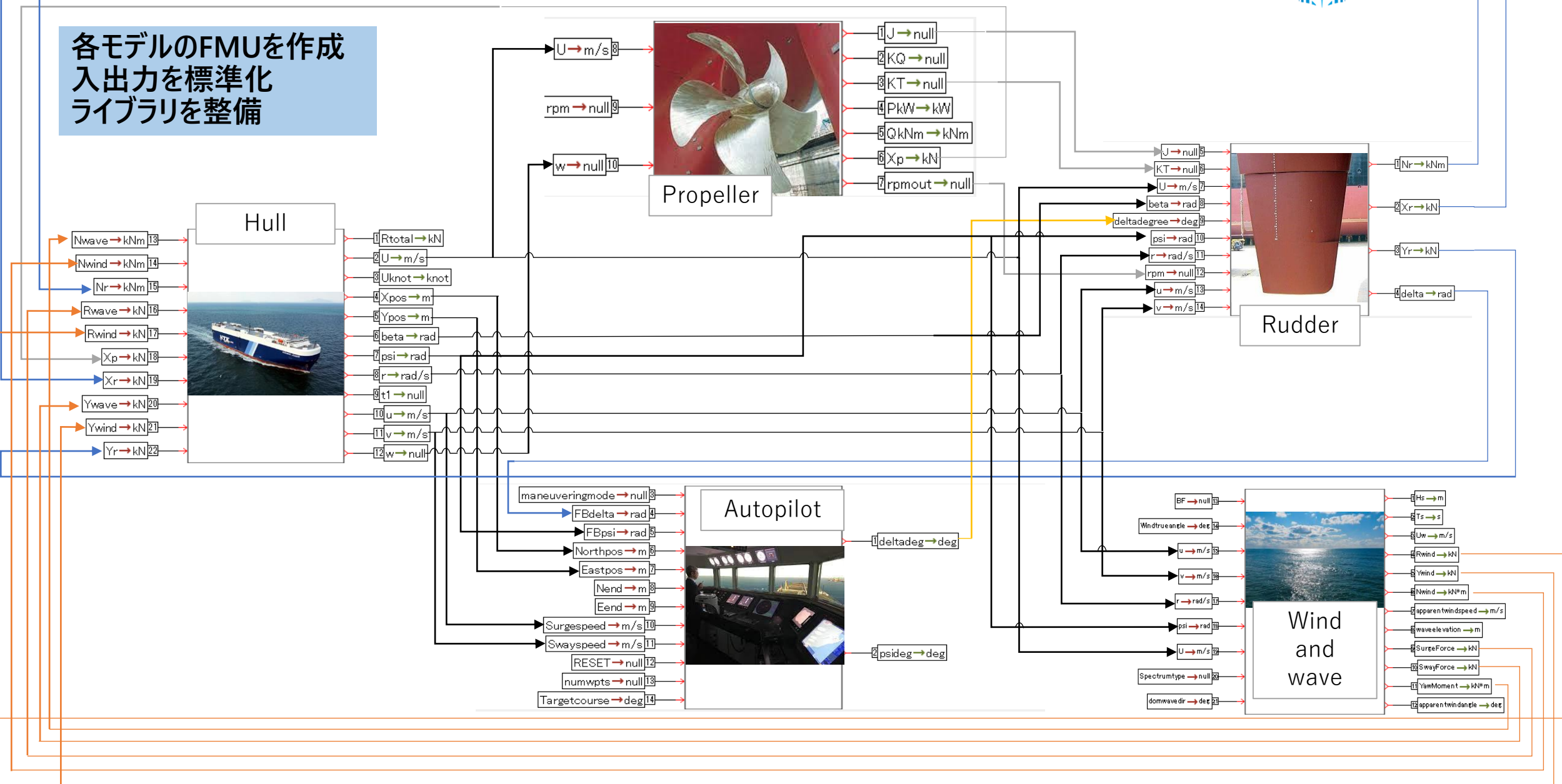
Name Monitoring

Mooring Monitoring

Engine & Machinery
Monitoring

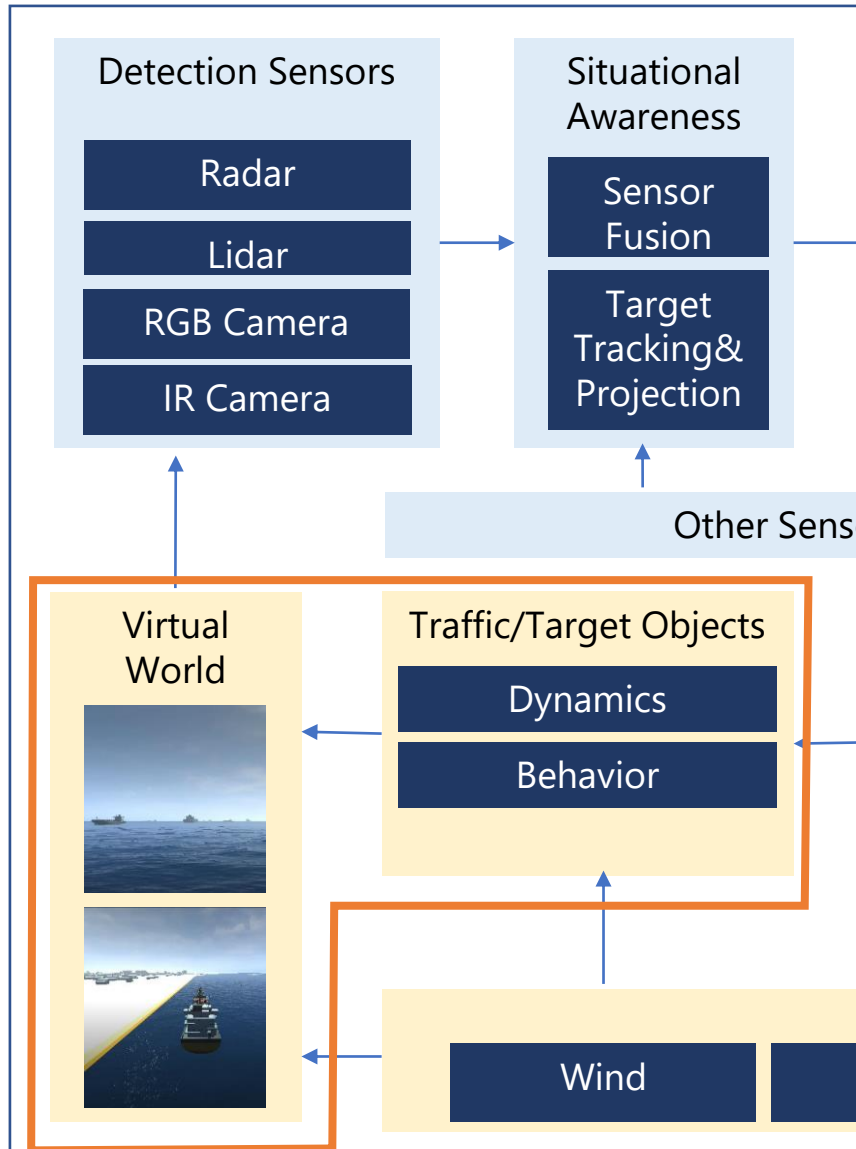
モデル接続の一例

各モデルのFMUを作成
入出力を標準化
ライブラリを整備



仮想環境

Scenario Management
Virtual Test/Evaluation



- 自動運航船機能のDetectionへの入力とするための仮想環境を構築する
 - 他船、その他障害物、岸壁等の3Dモデル
 - 天候、時間帯等の影響の含める
- 自動運転ではUnity、Unreal Engineといったゲームエンジンを活用した仮想環境構築の事例が多数
- 自動運航船開発で事例はまだ少ない

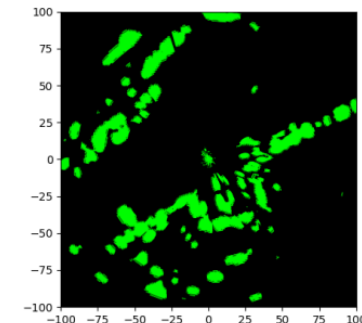
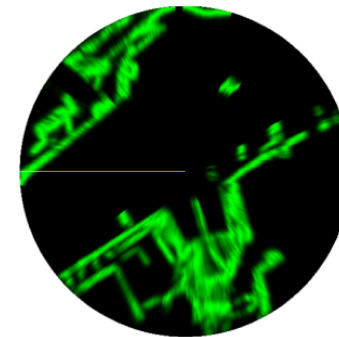


Figure 6. Simulated radar plot for Simrad 4G at Ravnkloa to the left, with corresponding real radar data to the right. All plots uses a 100m radar range.

(7) Vassein, Kjetil, Edmund Førland Brekke, Rudolf Mester and Eric Eide. "Autoferry Gemini: a real-time simulation platform for electromagnetic radiation sensors on autonomous ships." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 929 (2020)



シミュレーション基盤のデモンストレーション



シミュレーション基盤のユースケース

自動運航船に搭載するセンサシステムの開発/検証

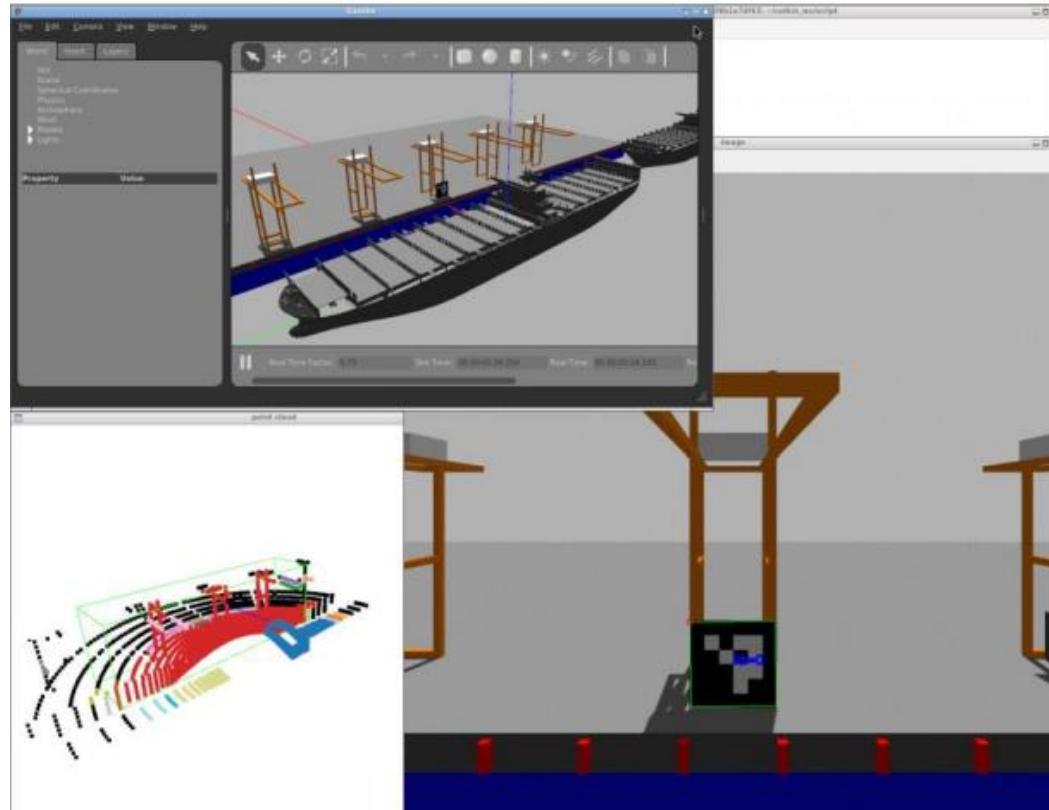
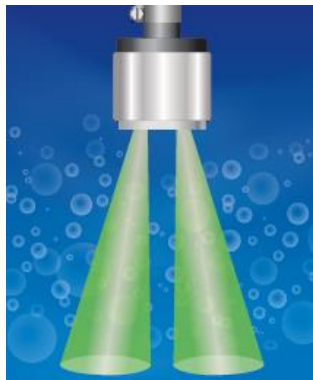
レーダー



カメラ



ドップラーソナー



シミュレーション基盤を活用した検証のイメージ

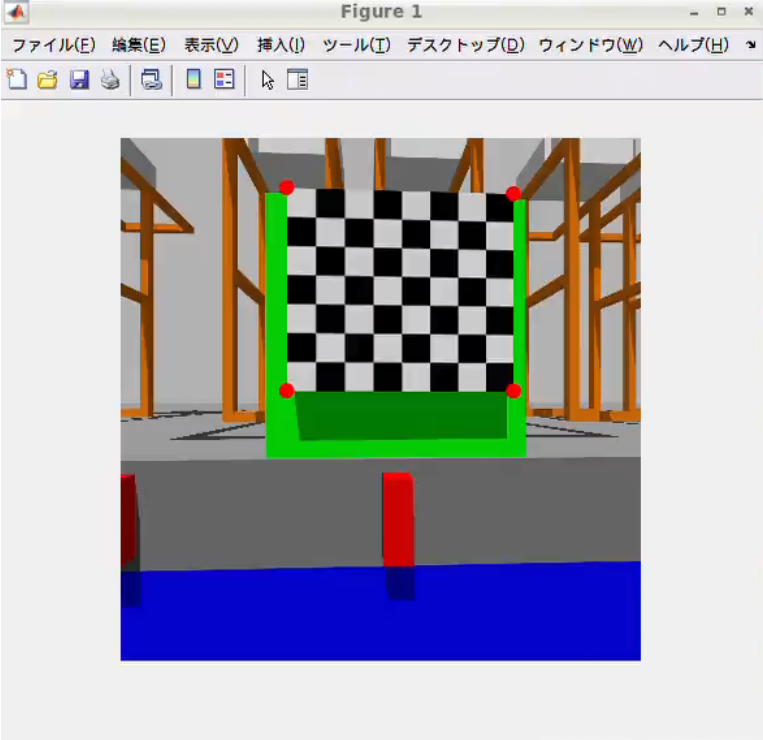
- 風波等の外力影響下での状況認識システムの事前検証と問題把握
- センサの視野範囲や干渉などを考慮した最適なセンサ配置の事前検討

Home Plot Apps Editor Publish View

新規 開く 保存 比較 印刷 移動 検索 マークマーク ナラゲート リファクター コード 解析

セクション区切り 実行して次に進む 最後まで実行

実行 ステップ 停止



Gazebo

File Edit Camera View Window Help

World Insert Layers

- GUI
- Scene
- Spherical Coordinates
- Physics
- Atmosphere
- Wind
- Models
- Lights

Property	Value
indices	0x0 cell
intrinsic	1x1 cameraIntrinsics
linear	[0,0,0]
model_states_msg	1x1 struct
model_states_status	1
model_states_statustext	'success'
nav_mode	1x1 navMode
pcd_fil	2508x3 single
pcd_msg	1x1 struct
pcd_obj	1x1 pointCloud
pcd_status	1
pcd_statustext	'success'

Real Time Factor: 1.00 Sim Time: 00 00:00:26.511 Real Time: 00 00:00:28.553 Iterations: 26511 FPS: 62.51 Reset Time

MATLABのご利用がはじめての場合は、このメッセージを無視してください。

処理は途中で終了しました [ros.internal.Util/waitUntilTrue](#)

場所 [ros.Subscriber/receive](#) (行 456)
`util.waitForTrue(@(l) obj.MessageCount > nMessages, ...)`

場所 [navigation](#) (行 64)
`[pcd_msg,pcd_status,pcd_statustext] = receive(sub_pcd,10); % TimeOut=10[sec]`

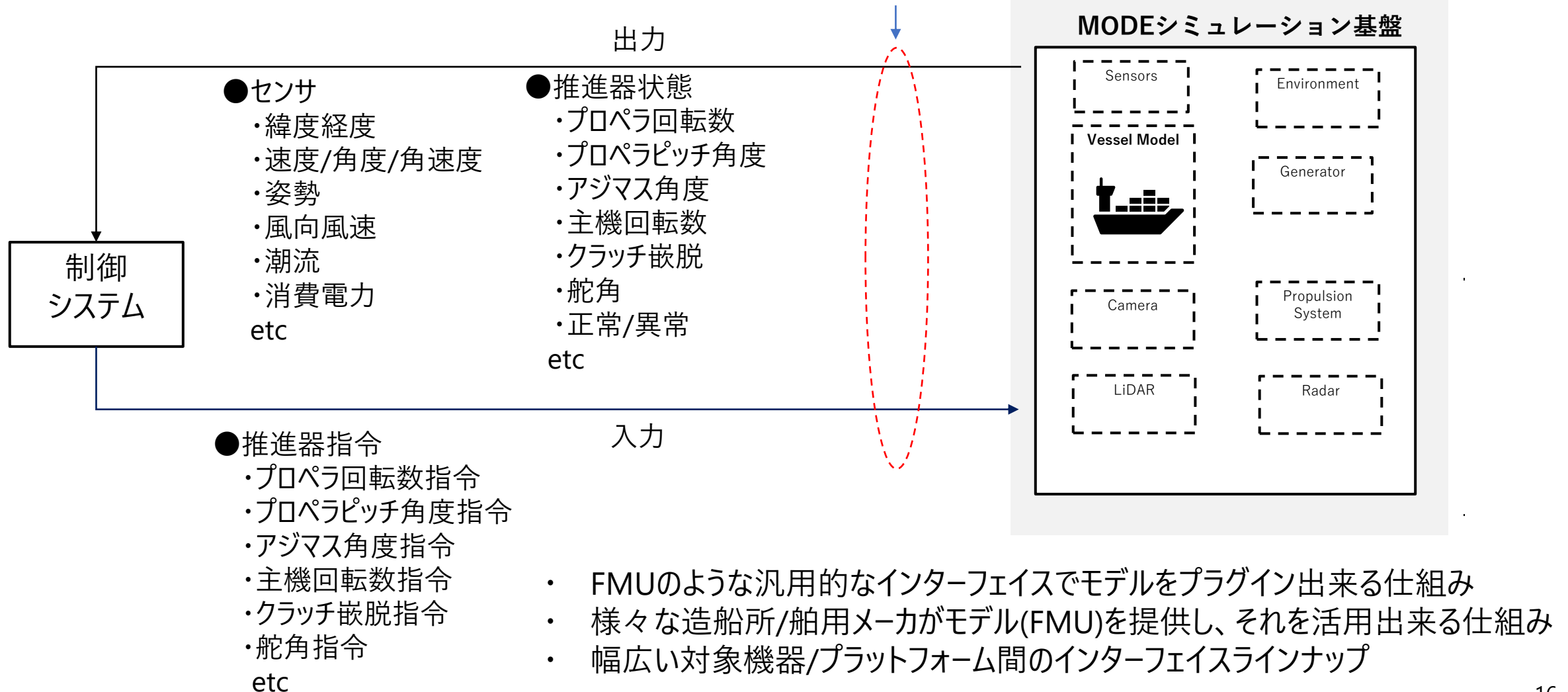
fd >>

indices 0x0 cell
 intrinsic 1x1 cameraIntrinsics
 linear [0,0,0]
 model_states_msg 1x1 struct
 model_states_status 1
 model_states_statustext 'success'
 nav_mode 1x1 navMode
 pcd_fil 2508x3 single
 pcd_msg 1x1 struct
 pcd_obj 1x1 pointCloud
 pcd_status 1
 pcd_statustext 'success'

Zoom: 100% UTF-8 LF スクリプト 行 101 列 23

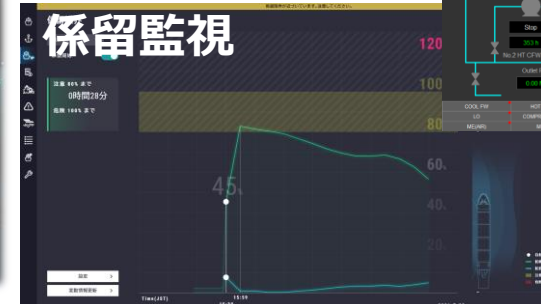
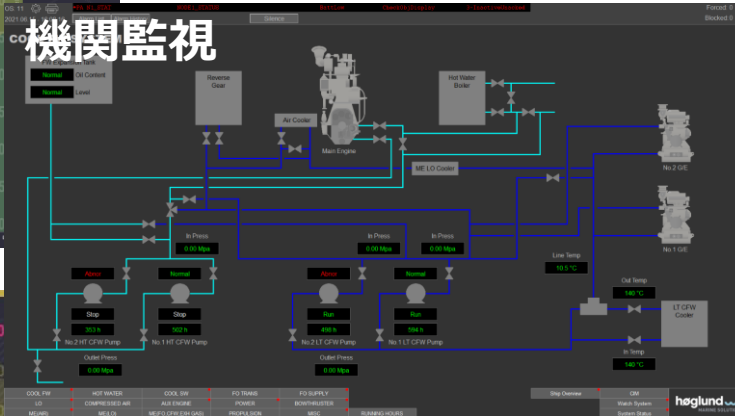
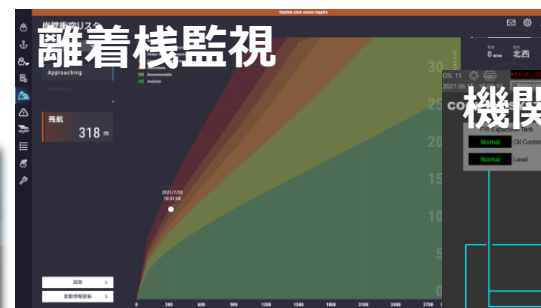
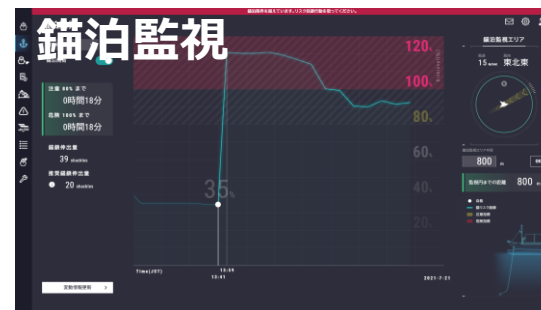
制御系の開発・検証の効率化

操船系の信号に合わせて幅広いインターフェース(アナログ・デジタル・シリアル etc)を用意し、外部からの接続を容易にする



多様な遠隔監視機能の検証への活用

シミュレーション基盤の活用による開発の効率化、コンパクト化への期待
トレーニング環境の整備にも活用



- MODEでは自動運航船の社会実装に向けて、シミュレーション基盤の構築と活用に取り組む
- シミュレーション基盤のユースケースを検討した結果、自動運航システムを構成する各サブシステムの開発・検証の効率化が期待できることが分かった
 - モデルライブラリ構築、入出力標準化、センサモデル開発等の課題がある
- 実際の自動運航船開発の支援への適用を目指し、MODEにおいてシミュレーション基盤の構築を進めていく