

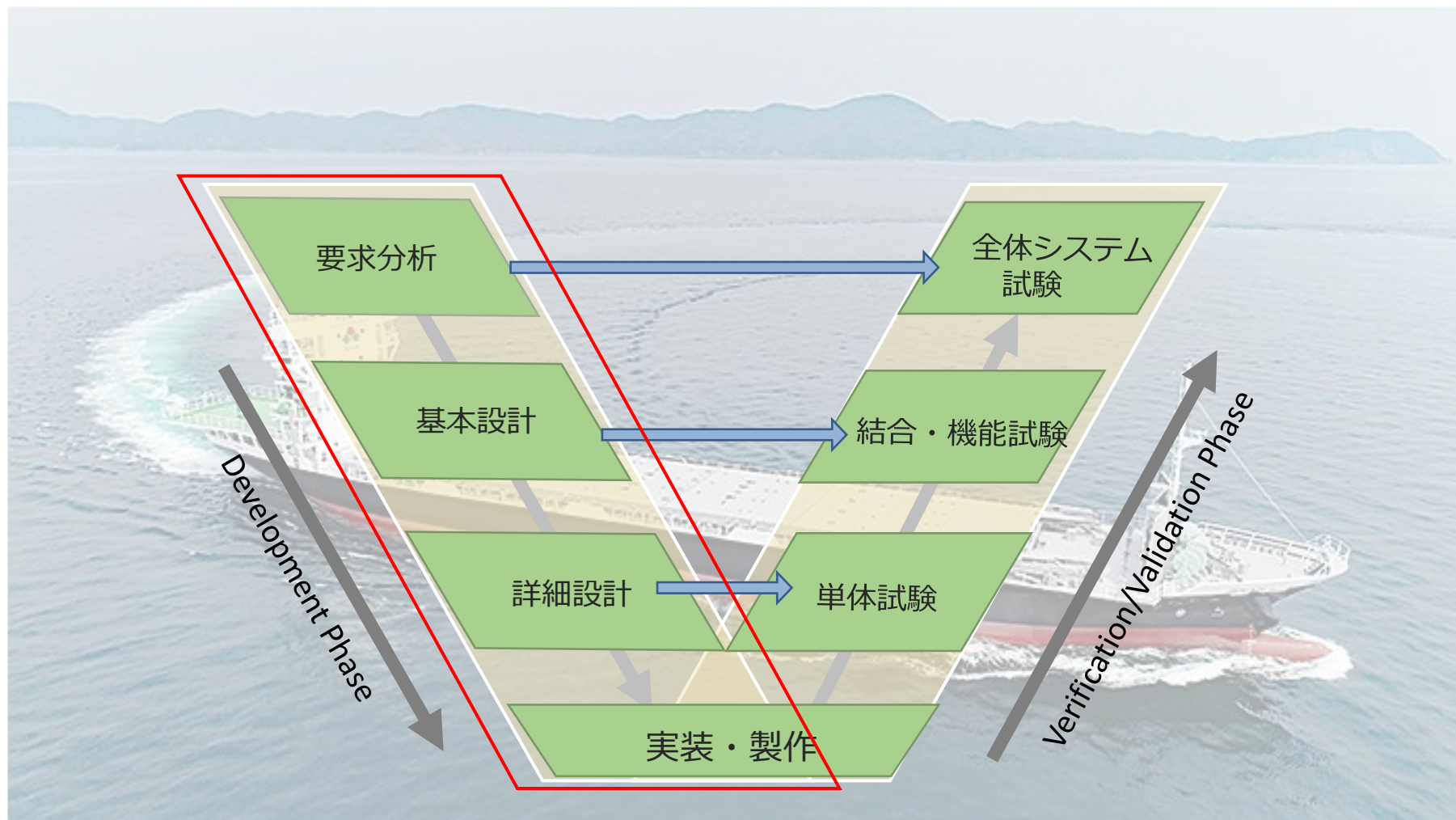
自律船の設計・実装アプローチ ～DFFAS PJの取り組みから～

2021年12月2日

株式会社MTI 船舶物流技術グループ
柳原 智哉



本講演のスコープ



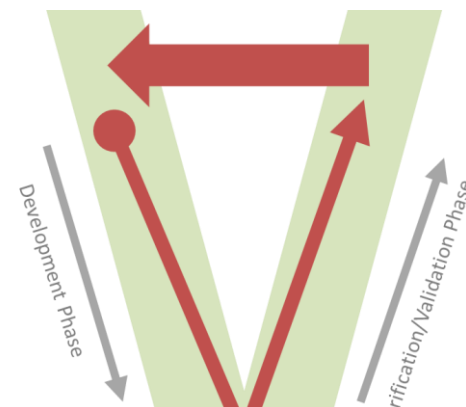
すざく（提供：イコース）



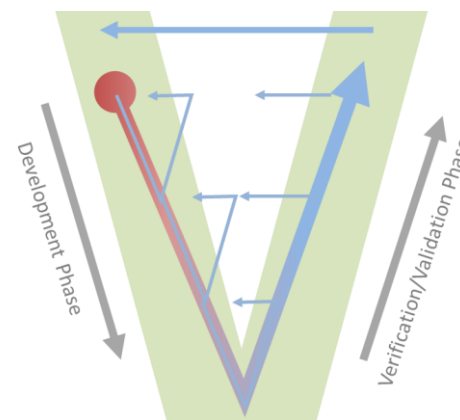
システムの開発を”成功”に導くには？



① 網羅的な検討による
“安全性の担保”

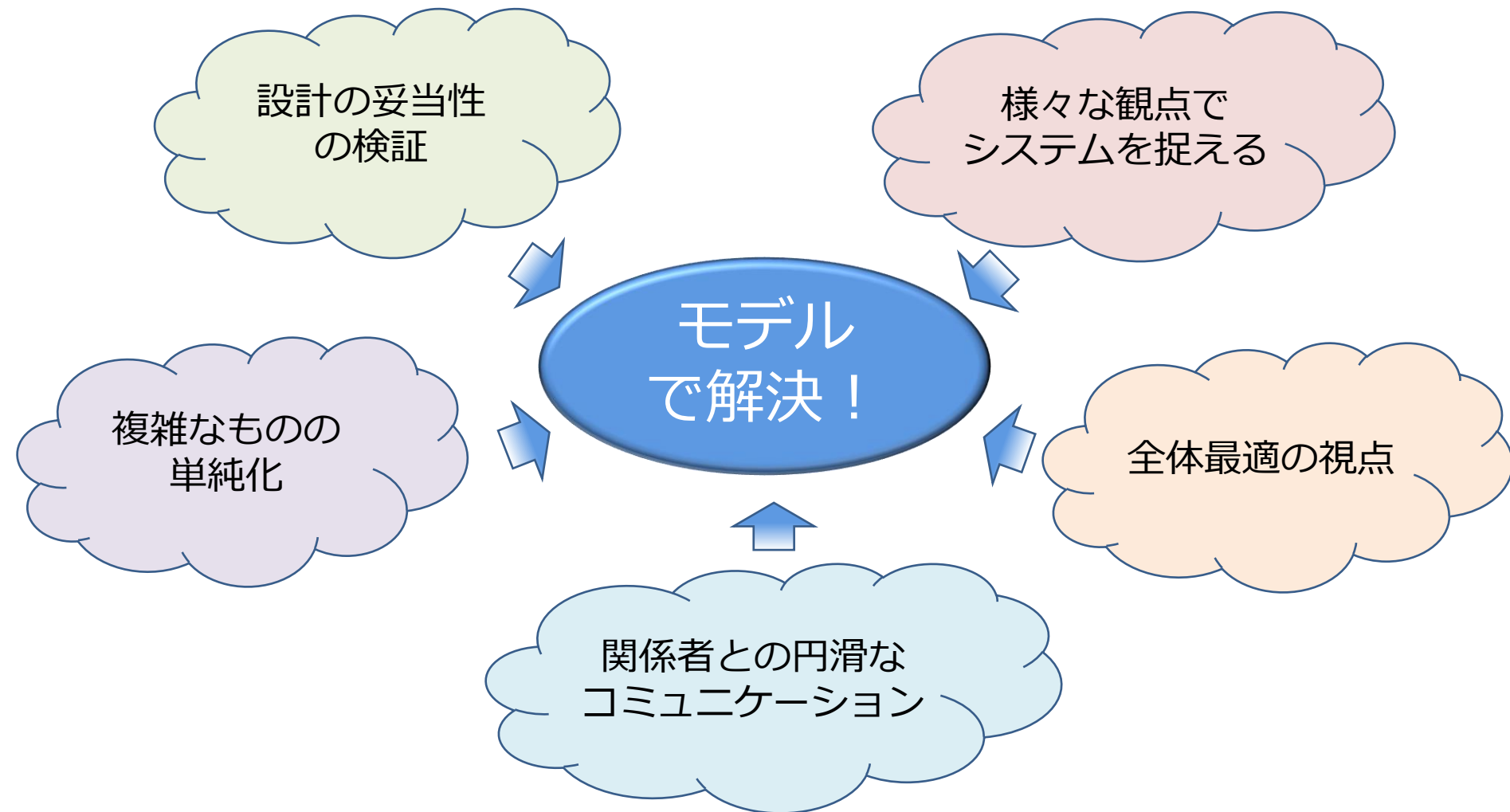


② フロントローディング
による”手戻りの最小化”





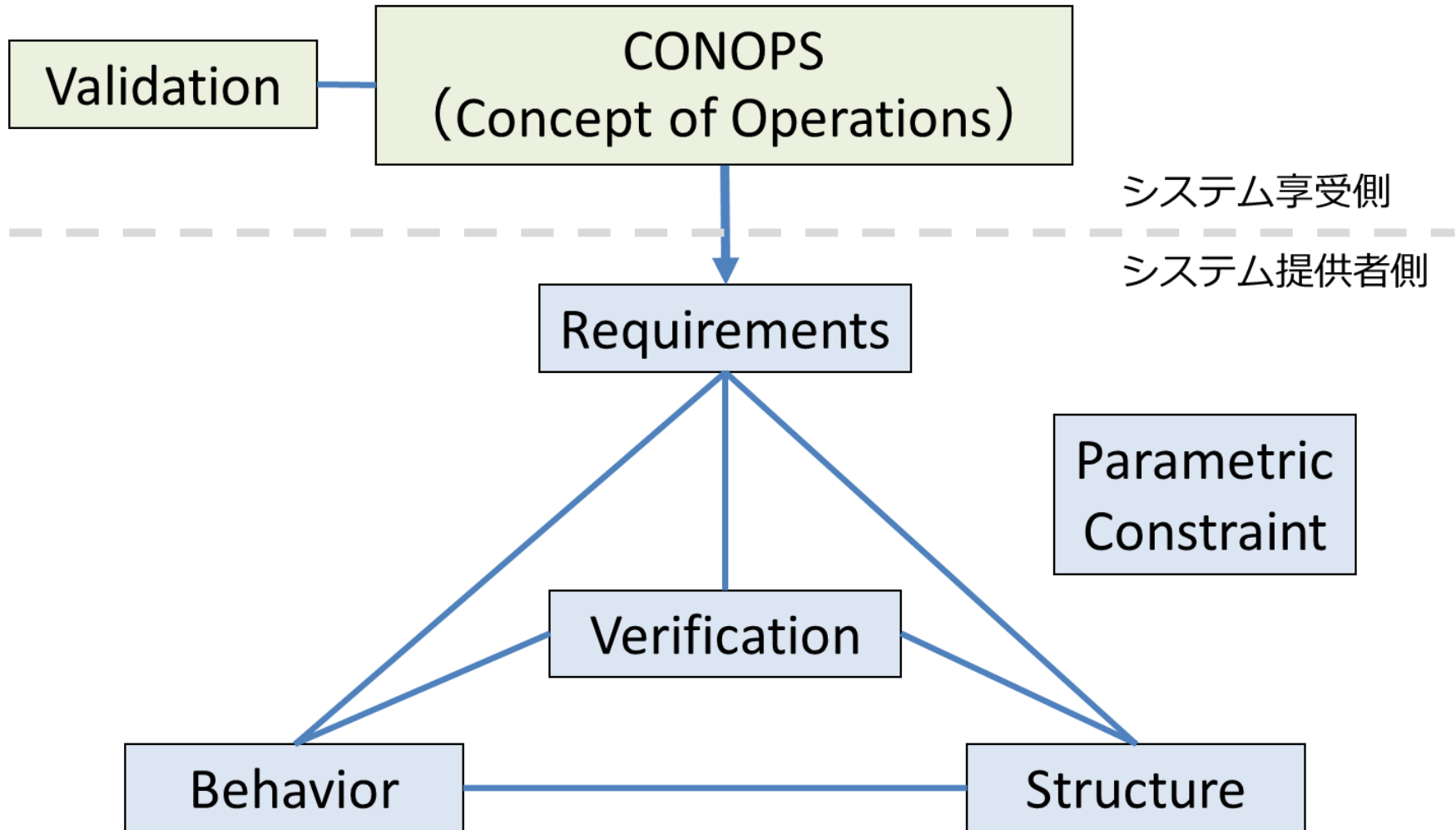
システムの開発を”成功”に導くには？



自律航行システムのような高度なシステム→モデルベースドアプローチが有効



モデルベースストアプローチ

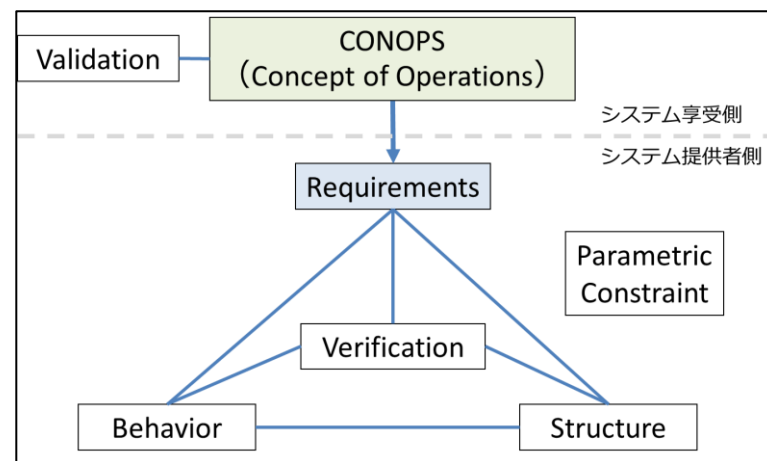


参考: モデルベースシステムズエンジニアリング入門
(著:David Long 出版:ブイツーソリューション)



要求の洗い出し

ユーザの課題（要望や悩み、ミッション等）



享受側視点

ConOps (Concept of Operations)

- ・ システム導入の目的/目標
- ・ システムの概要
- ・ システムの品質
- ・ システムの使用における前提条件

懸念事項

- ・ システムは信用できるのか？
- ・ 壊れたらどうするのか？

提供者側視点

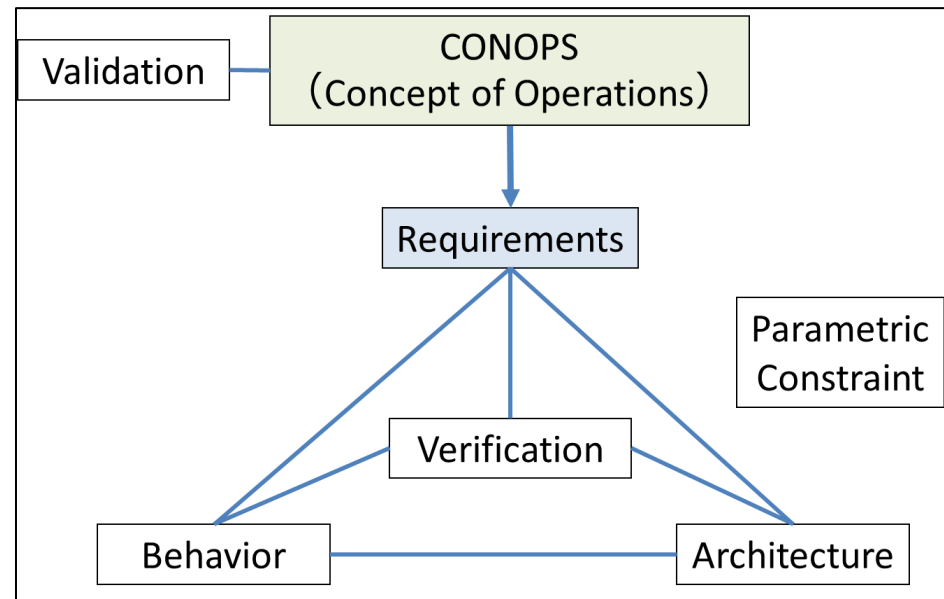
Requirements

- ・ システム要求
- ・ 機能要求
- ・ コンポーネント要求
- ・ 非機能要求

- ・ ○○だから信用できます
- ・ ○○だから大丈夫です



要求の洗い出し -ConOps-



DFFAS PJにおけるCONOPS（一部抜粋）

- 目標 : 749GRTの内航コンテナ船により、Berth to Berthでの自律航行を達成すること
- 概要 : 操船、機関、陸上支援センター、通信、システム管理からなるシステムである
: 長期の航海計画から、短期の避航操船（行動計画）に至るまでの自律機能を持つ
- 品質/性能 : 現行の運航体制以上の信頼性を保持すること
: 非常時に人間が介入できること など
- 前提 : 大洋航路だけでなく、狭水道や輻輳海域でも使用する
: 本船既存の設備（センサーや航海機器）が使用できる など



要求の洗い出し

CONOPS

目標 / ゴール

概要

品質・性能

前提

安全制約の設定

自船の動静把握

他船の動静把握

行動計画の策定

...

STPAを用いて、安全制約を脅かす
要因を網羅的に洗い出す

例)

モジュールA
(他船の検出)

情報

モジュールB
(行動計画策定)

他船情報

情報がない

情報がある

誤った情報

正しい情報

早すぎる/
遅すぎる情報

丁度良い
タイミング

長すぎる/
短すぎる情報

丁度良い
長さ

STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processes) : 大規模・複雑化するシステムの安全解析手法として提案された、システム理論に基づく新しい安全解析方法論
STPA (System-Theoretic Process Analysis) : STAMPに基づく安全解析手法



要求の洗い出し

例) 誤った情報

- ・ センサーの故障
- ・ センサーの仕様限界
- ・ サイバーアタック etc.

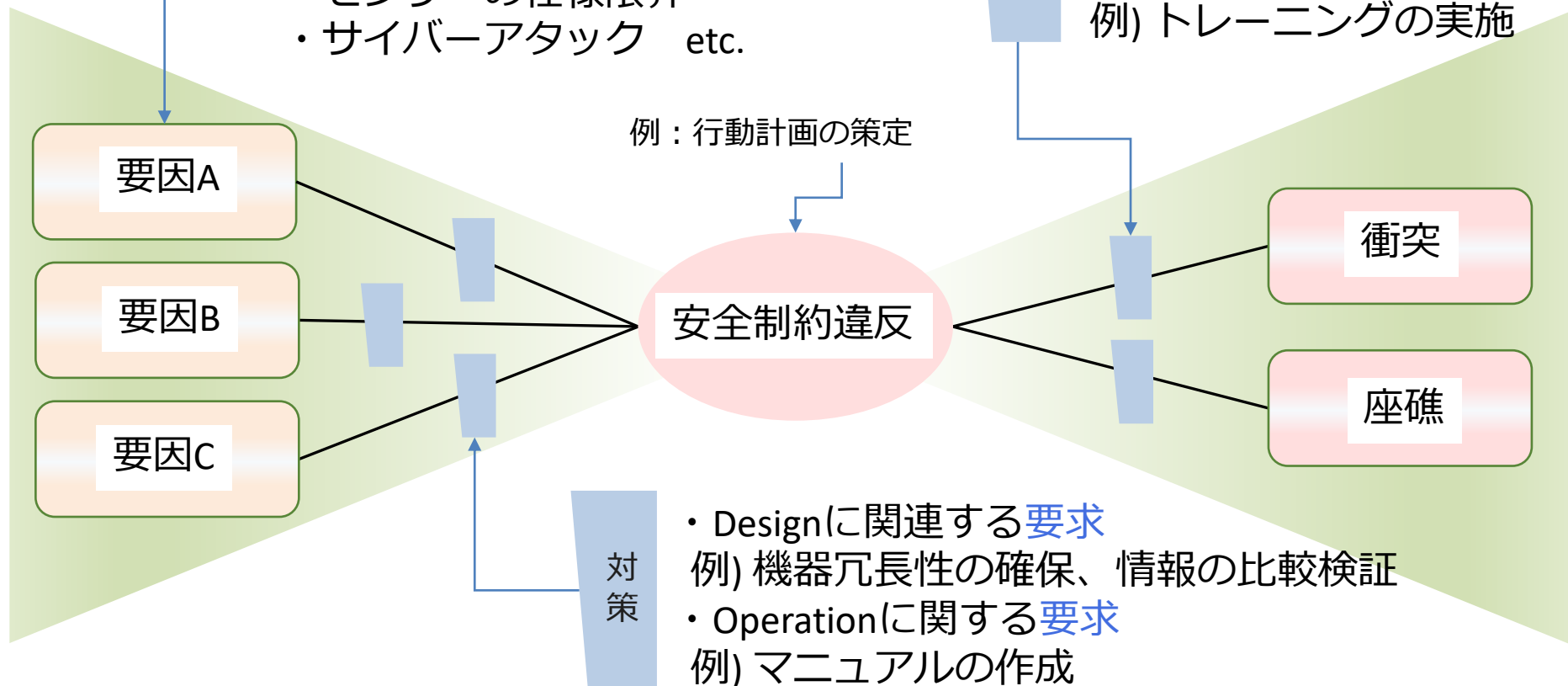
対策

- ・ Designに関連する要求
例) 人間による計画策定
- ・ Operationに関する要求
例) トレーニングの実施

例：行動計画の策定

対策

- ・ Designに関連する要求
例) 機器冗長性の確保、情報の比較検証
- ・ Operationに関する要求
例) マニュアルの作成





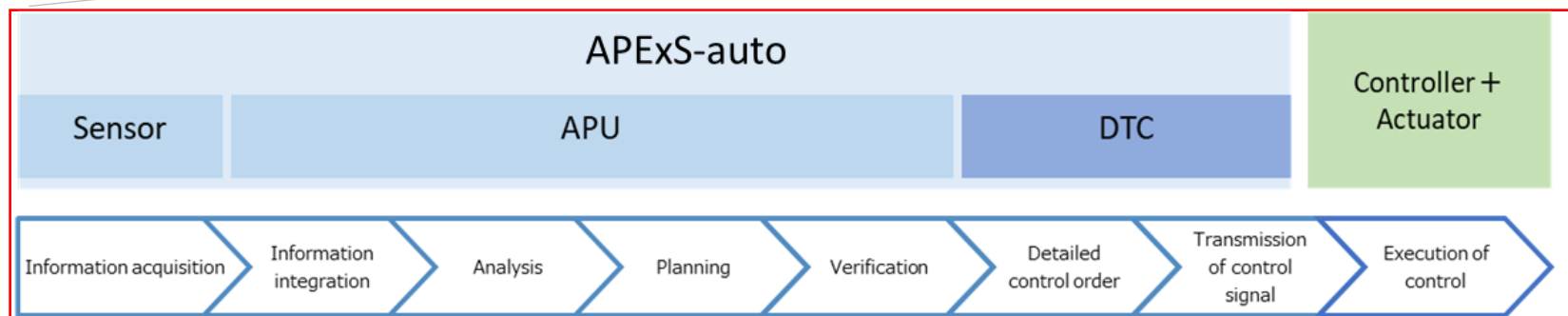
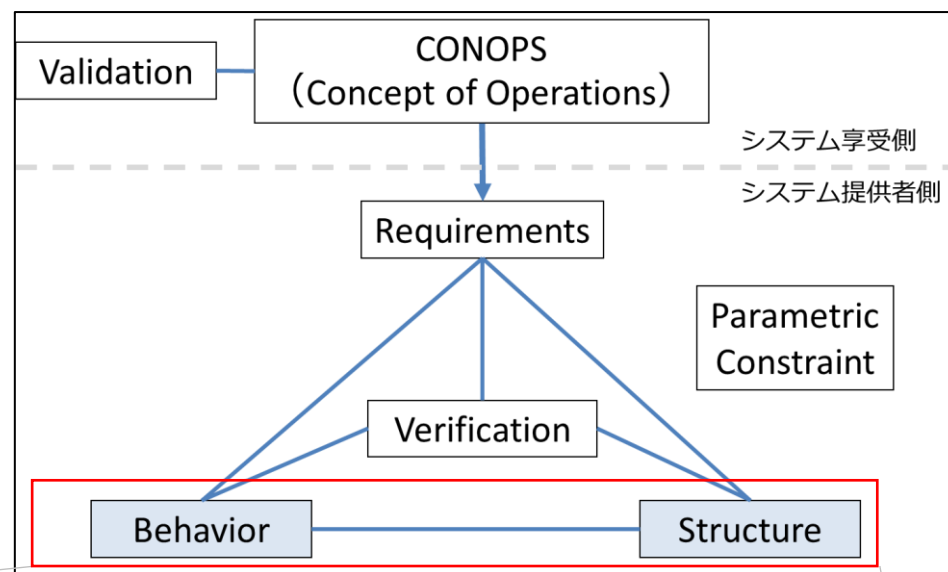
振る舞いと構造の検討

Behavior

- Requirementsに応えるためのシステムの動作を規定する
- 構造とは分けて考える

Structure

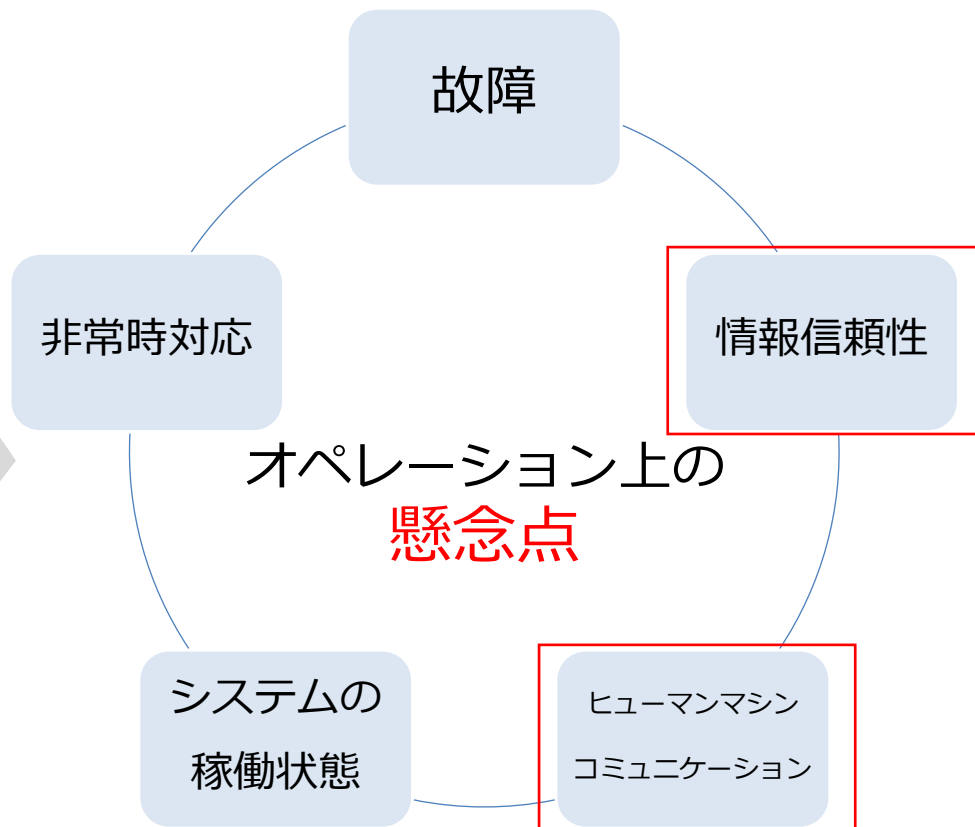
- どのBehaviorをどの構造（HW/SW）が提供するかを割り当てる



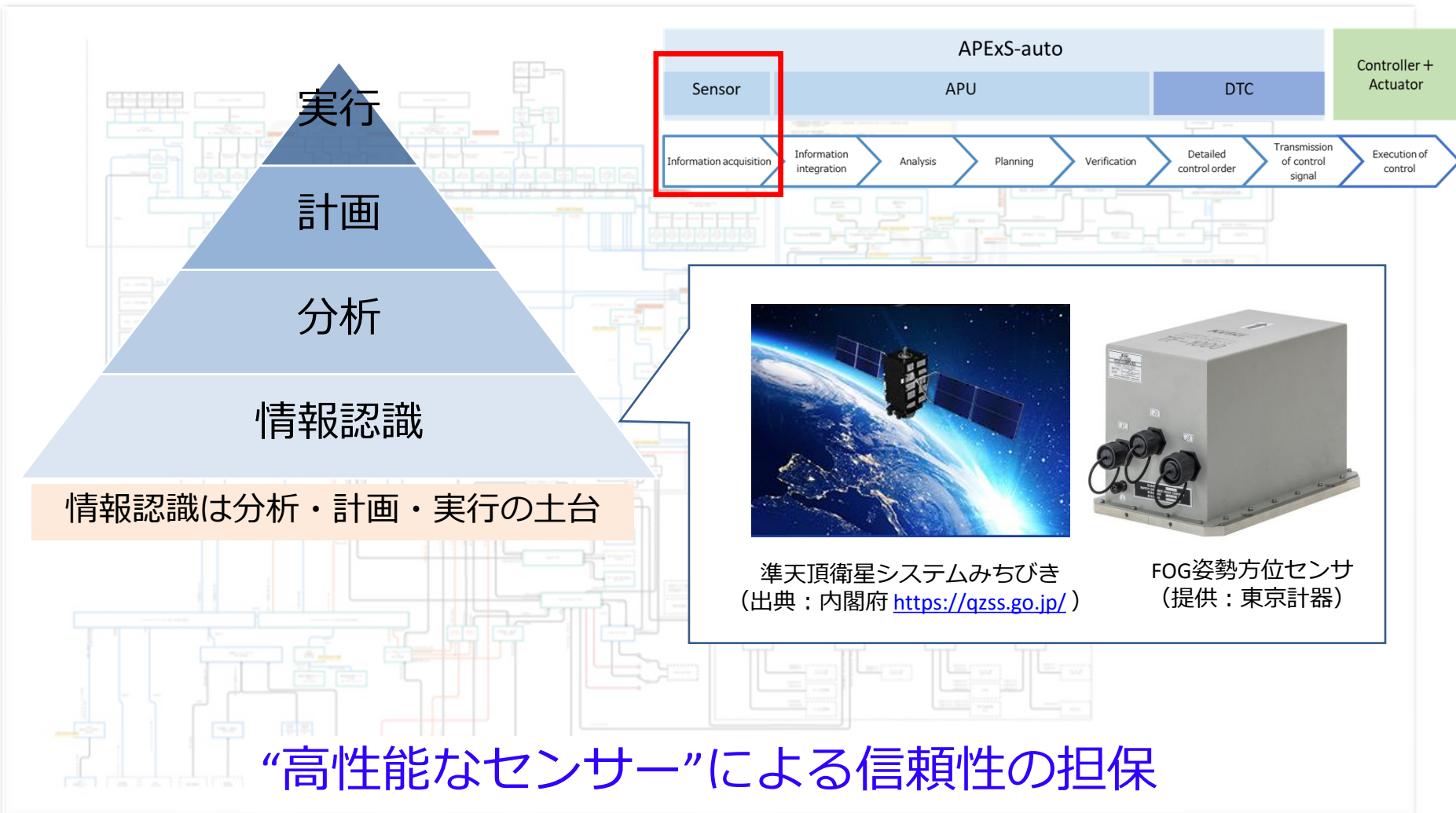
APEXs-auto（最上位のBehaviorとStructure）を用いて具体化



信用できるのか？



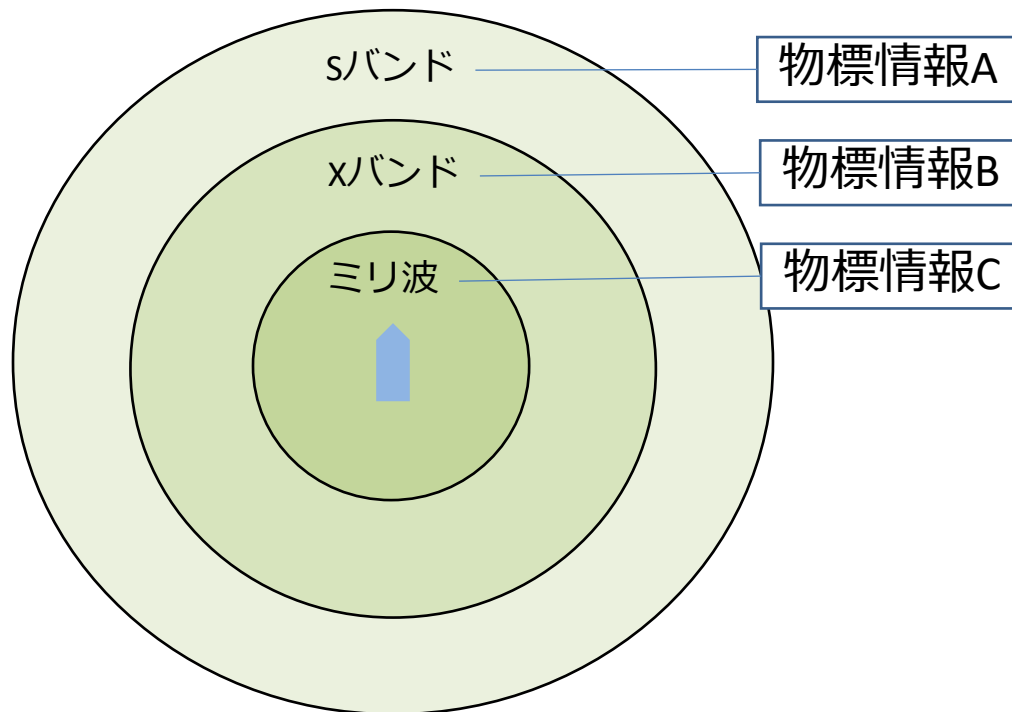
高性能なセンサーの導入



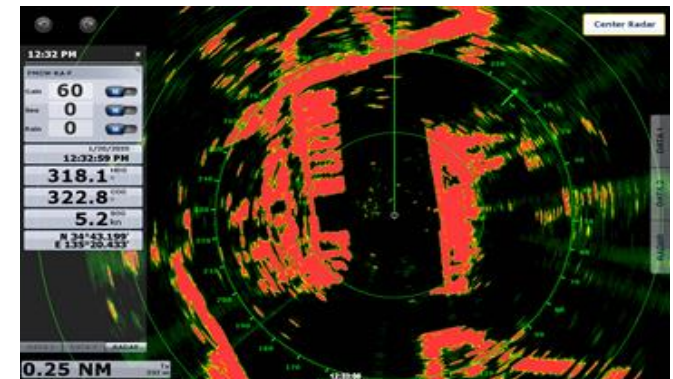
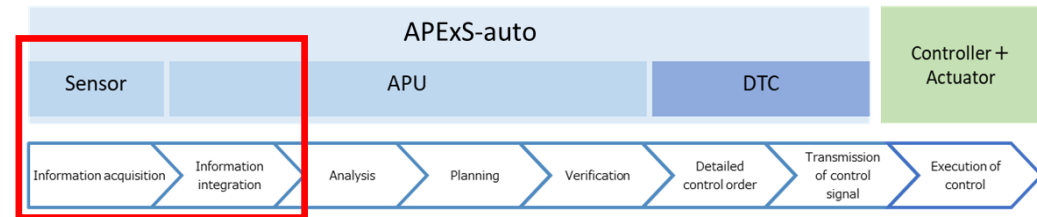


情報の比較・統合

既存のレーダー（xバンド/sバンド）
+
近距離高分解能レーダー（ミリ波）



統合物標情報
(信頼度高)

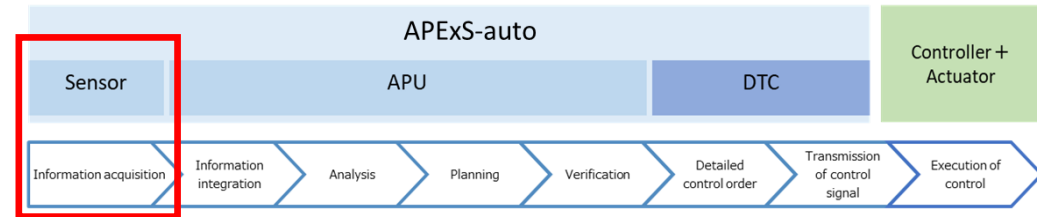


ミリ波レーダー
(提供：古野電気)

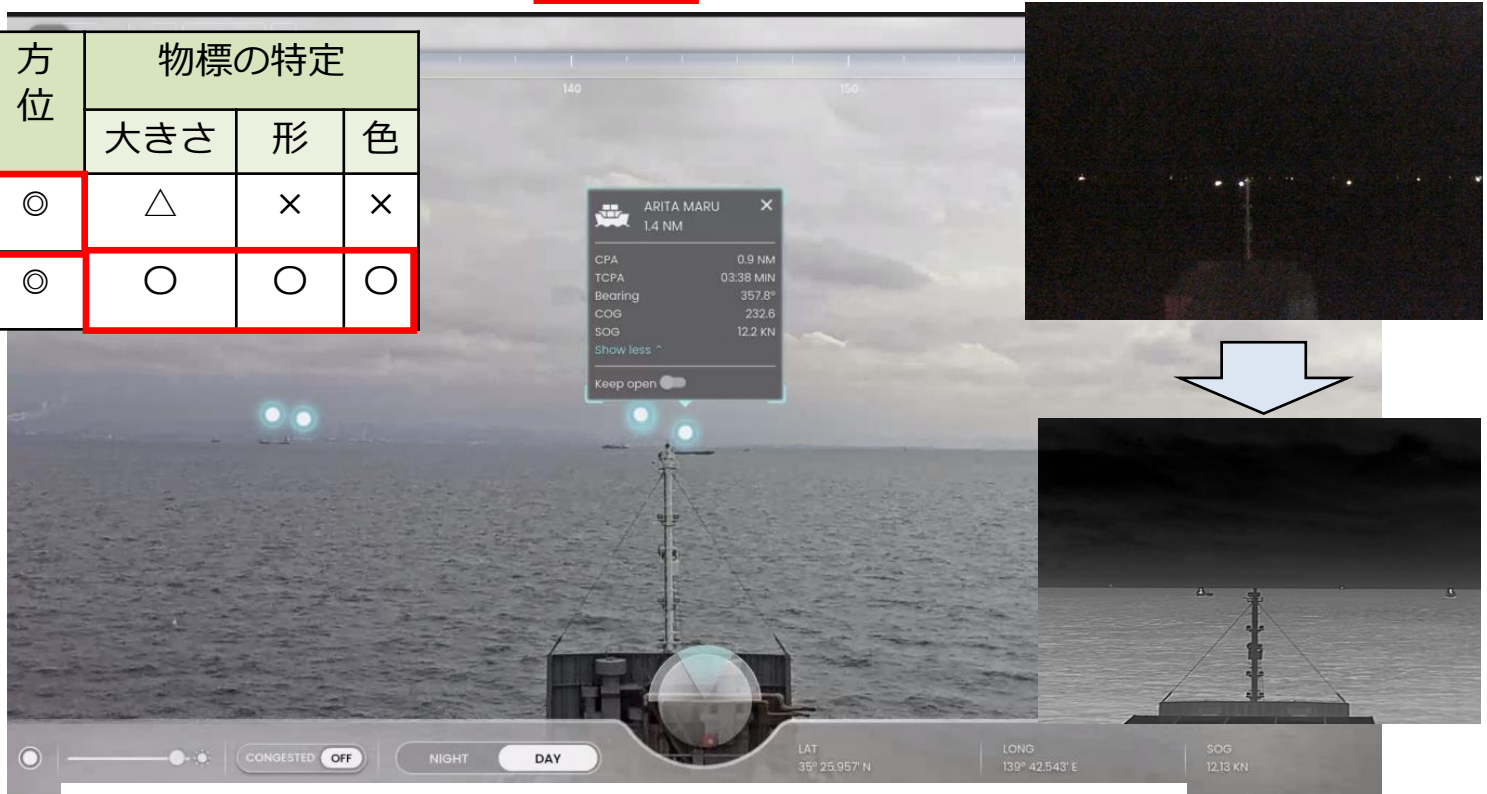
“情報の比較・統合”による信頼性の補完

性能特性の補完

カメラによる物標の検知と特定



	距離	方位	物標の特定		
			大きさ	形	色
レーダー	◎	◎	△	×	×
カメラ	△	◎	○	○	○



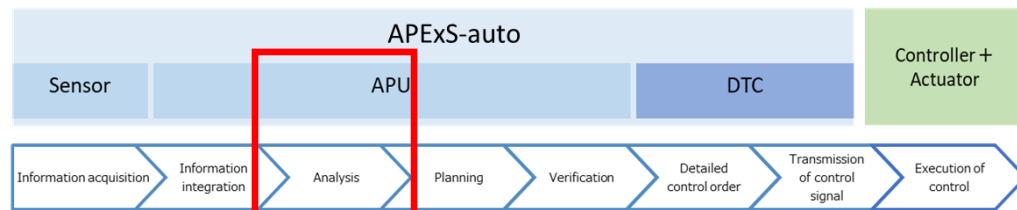
物標検知カメラ
(提供：ORCA AI)

“性能特性の補完”による信頼性の担保

高い柔軟性と正確な判断

システム：
柔軟で正確な判断が可能

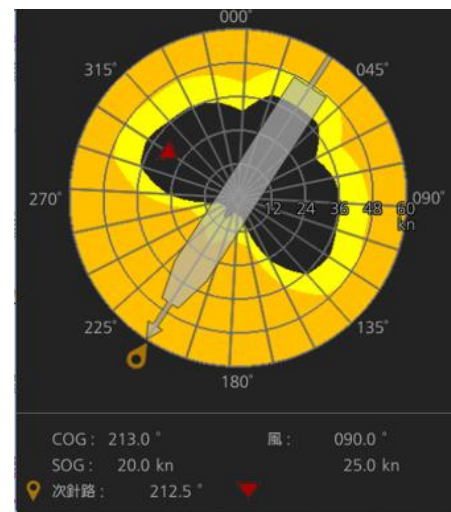
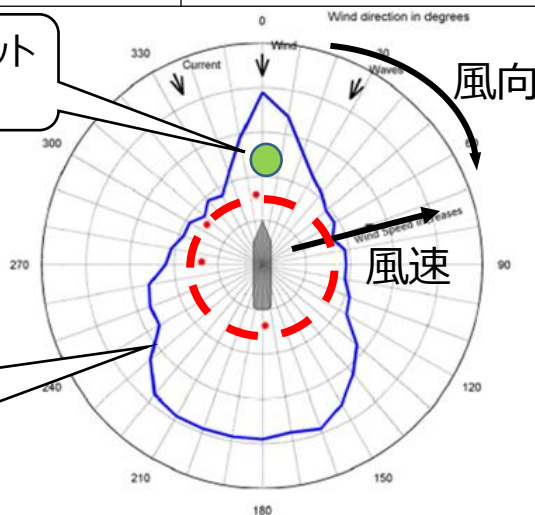
<環境による運用設計領域 (EODD) >



	自律システム	単純な自動化システム
パラメータの対象	細分化した環境条件	画一的な環境条件
パラメータの柔軟性	環境に応じて変動	環境に依らず固定
使用範囲	柔軟、且つ、広い使用範囲	硬直的、且つ、狭い使用範囲
例) 前方から25ノットの風速	制御可能であり着栈可能	使用範囲外であり着栈出来ない

例) 前方から25ノットの風がある場合

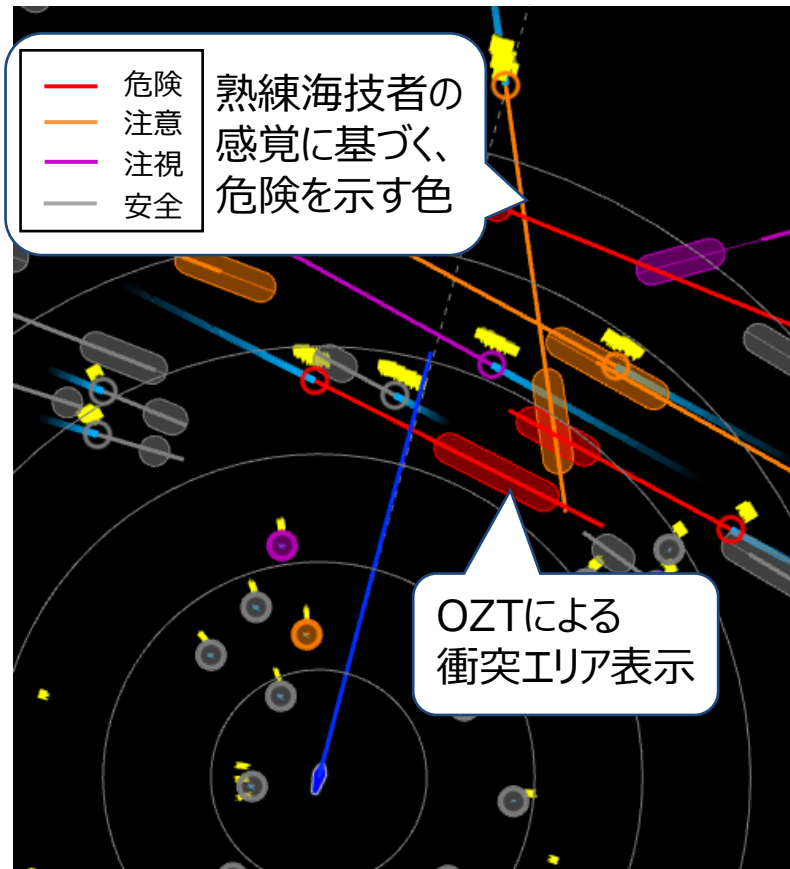
システムが制御可能な
風向と風速の条件



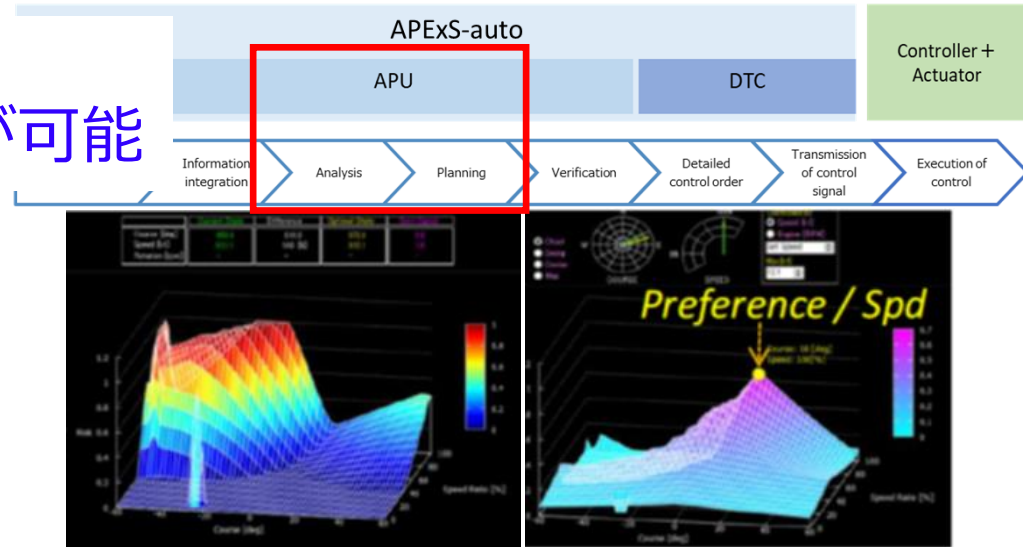
電子海図上に
実装された
EODD表示
(提供: 古野電気)

情報の可視化

人間：
判断の根拠を理解することが可能



衝突危険領域 (提供：古野電気)



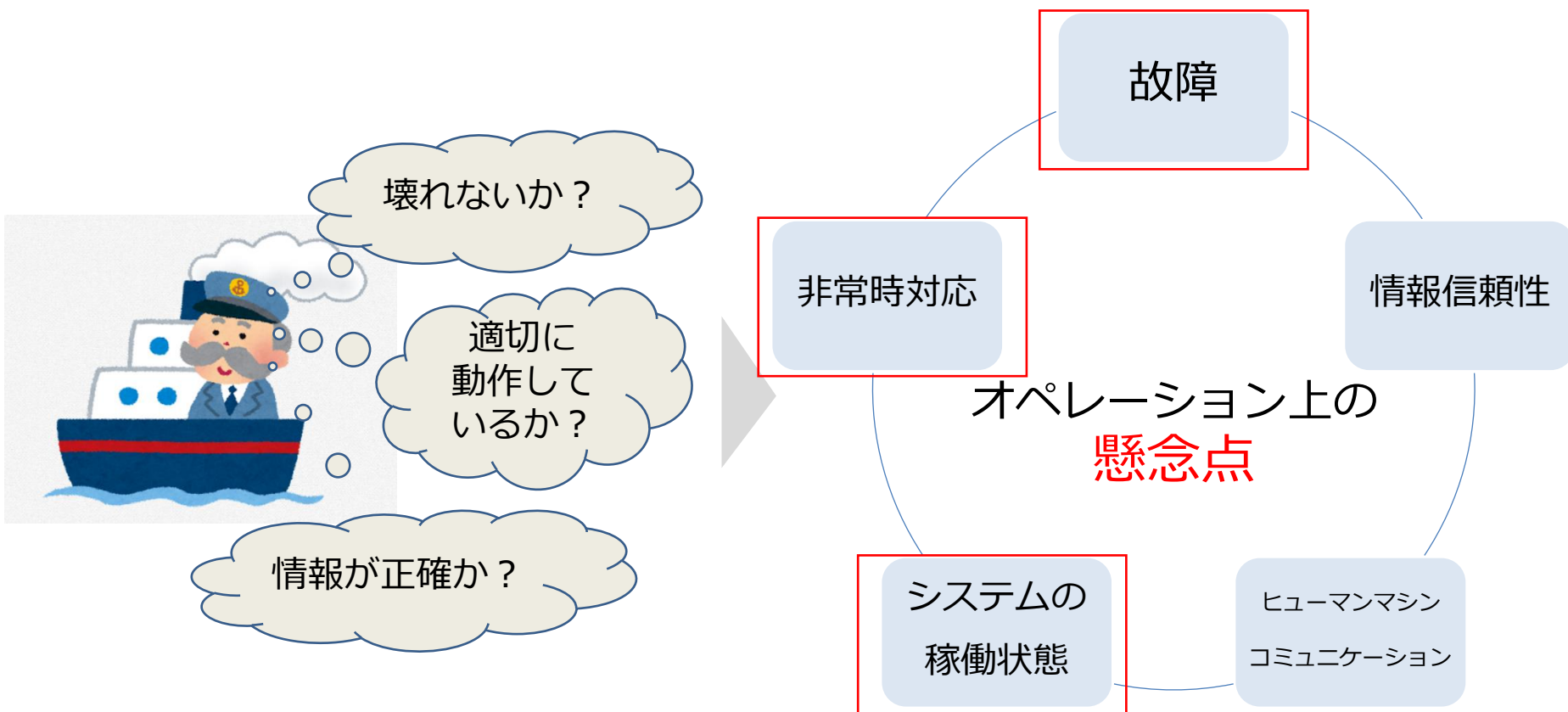
避航アルゴリズム (提供：日本海洋科学)



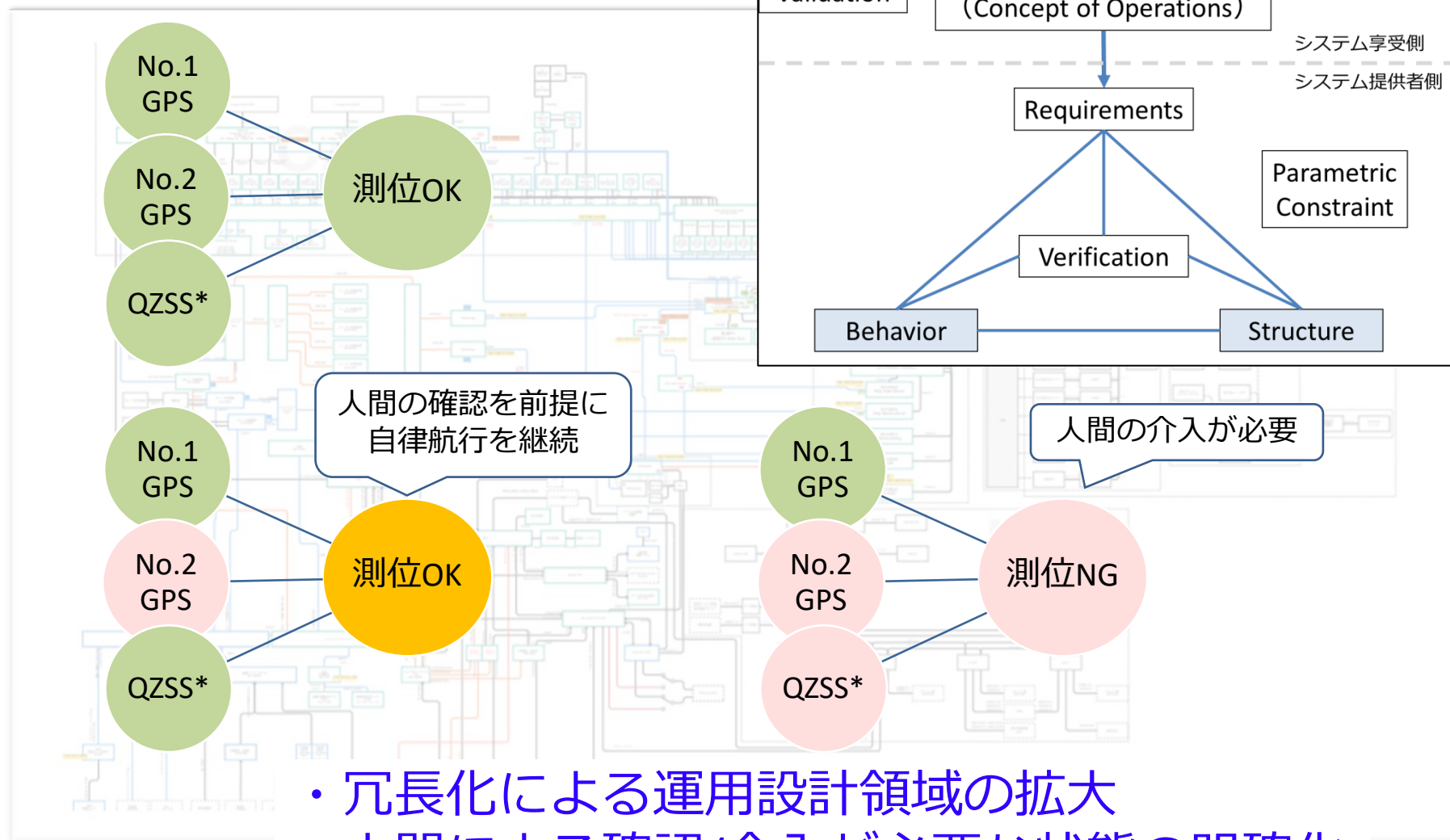
避航経路 (提供：古野電気)



壊れたらどうするんですか？



システムの冗長化

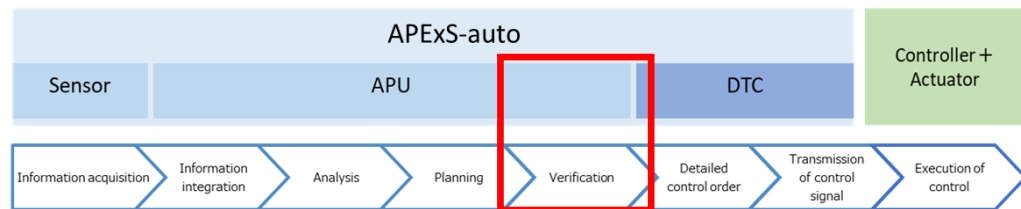


- ・ 冗長化による運用設計領域の拡大
- ・ 人間による確認/介入が必要な状態の明確化



自律航行の継続可否の判定

システム：
自身の状態を判定する

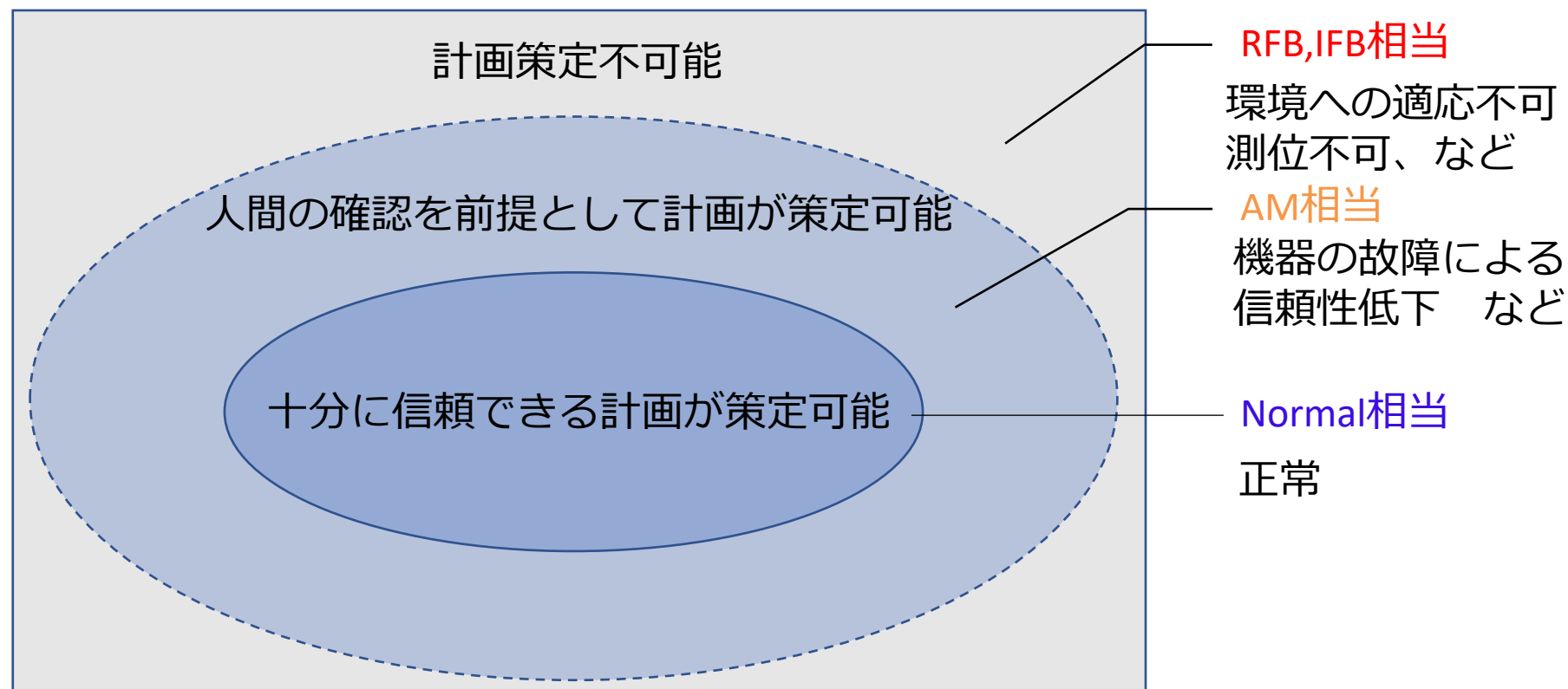


ステータス名	役割	操船権限
Normal	システムが正常に動作している状態	自律航行システム
Active Monitoring	人間（オペレータ）の確認を前提にシステムが動作している状態	自律航行システム
Remote Fallback	人間（オペレータ）がシステムに介入し、航行を維持する状態	人間
Independent Fallback	システムが安全を維持するための動作をとる状態	自律航行システム（フォールバック）



自律航行の継続可否の判定

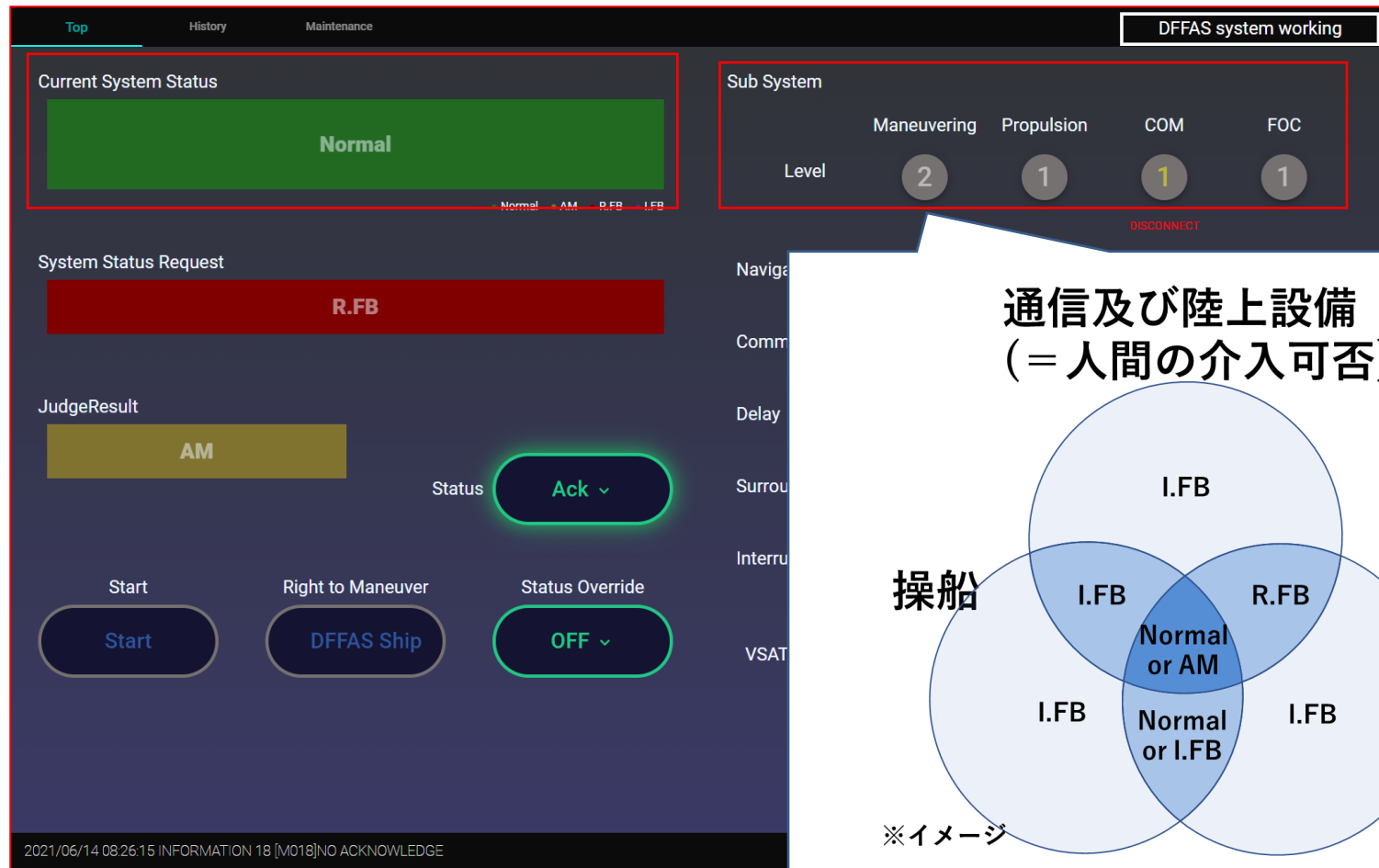
操船サブシステムの目的：信頼できる計画を策定し、実行する



- ・ 外部要因・内部要因を捉える
- ・ 目的に照らして健全性を定義する（必要に応じて多段階）



自律航行の継続可否の判定



システム管理画面 (提供: BEMAC)

システムの状態の判断根拠が分かる
→ 人間が適切にシステムに介入できる



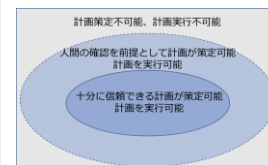
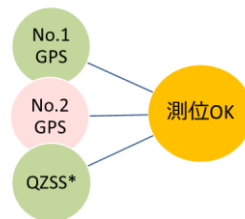
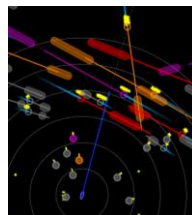
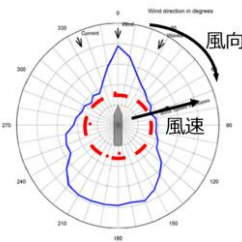
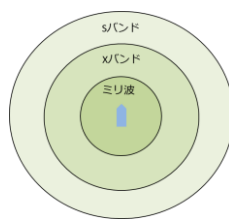
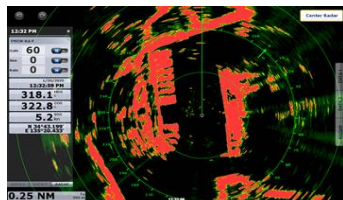
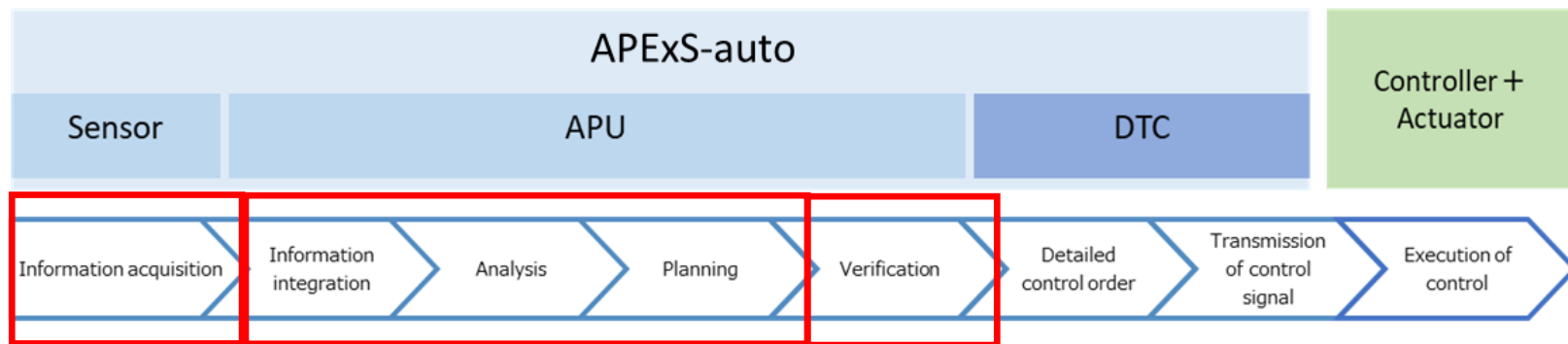
非常時に対応するための環境



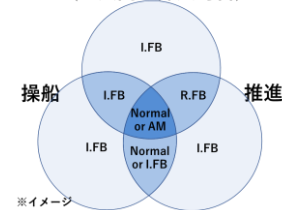
(出典：日本経済新聞 2021年9月2日
無人運航船、2月に実証へ 日本郵船など監視施設開設 <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC028K80S1A900C2000000/>)

本船と同等以上の情報が得られる環境を構築

改めて：APEXS-autoとは



通信及び陸上設備
(=人間の介入可否)



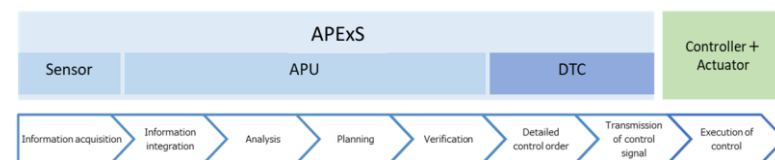
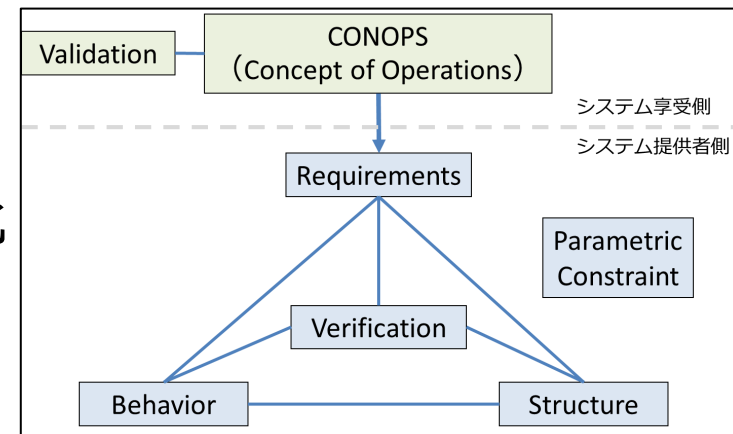
※イメージ



(提供：JRC)

まとめ

- 網羅的な検討による安全性担保
- フロントローディングによる手戻りの最小化
: モデルベースドアプローチが有効
- 適切な機器選定、情報の統合、可視化
: 信頼できるシステムに
- システムの状態把握、非常時への対応環境
: 人間による適切な介入が可能なシステムに



▶ DFFAS PJを通して

実効的なフレームワークの構築、関係者との共有を実現

ご清聴どうもありがとうございました。