

自律船の評価・検証体制 ～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
西山 尚材

自律運航システム

通信系
システム

複雑化・大規模化

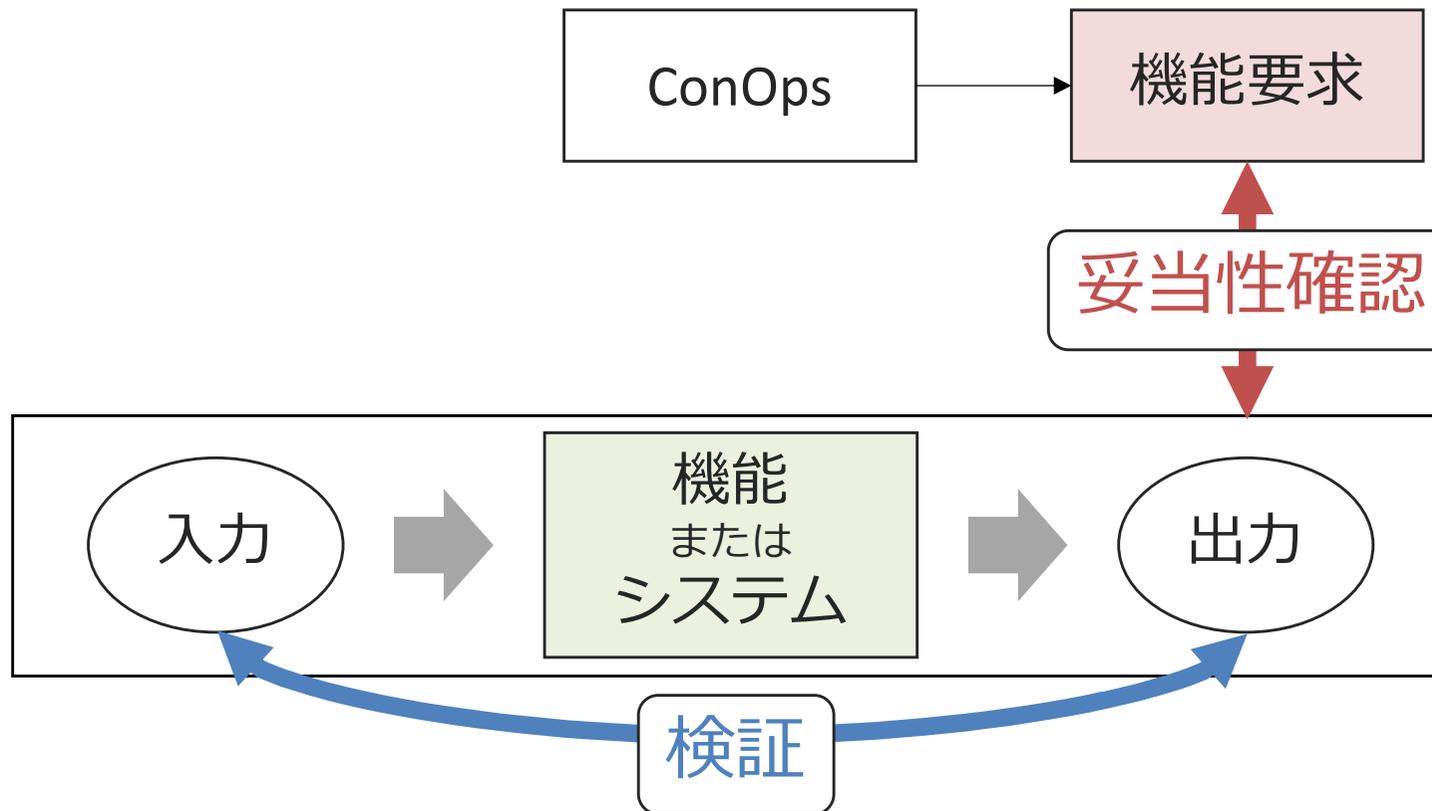
事前に網羅的な評価が重要

航海系
システム

機関係
システム

※DFFASシステム 船側機器構成

システムの評価とは？

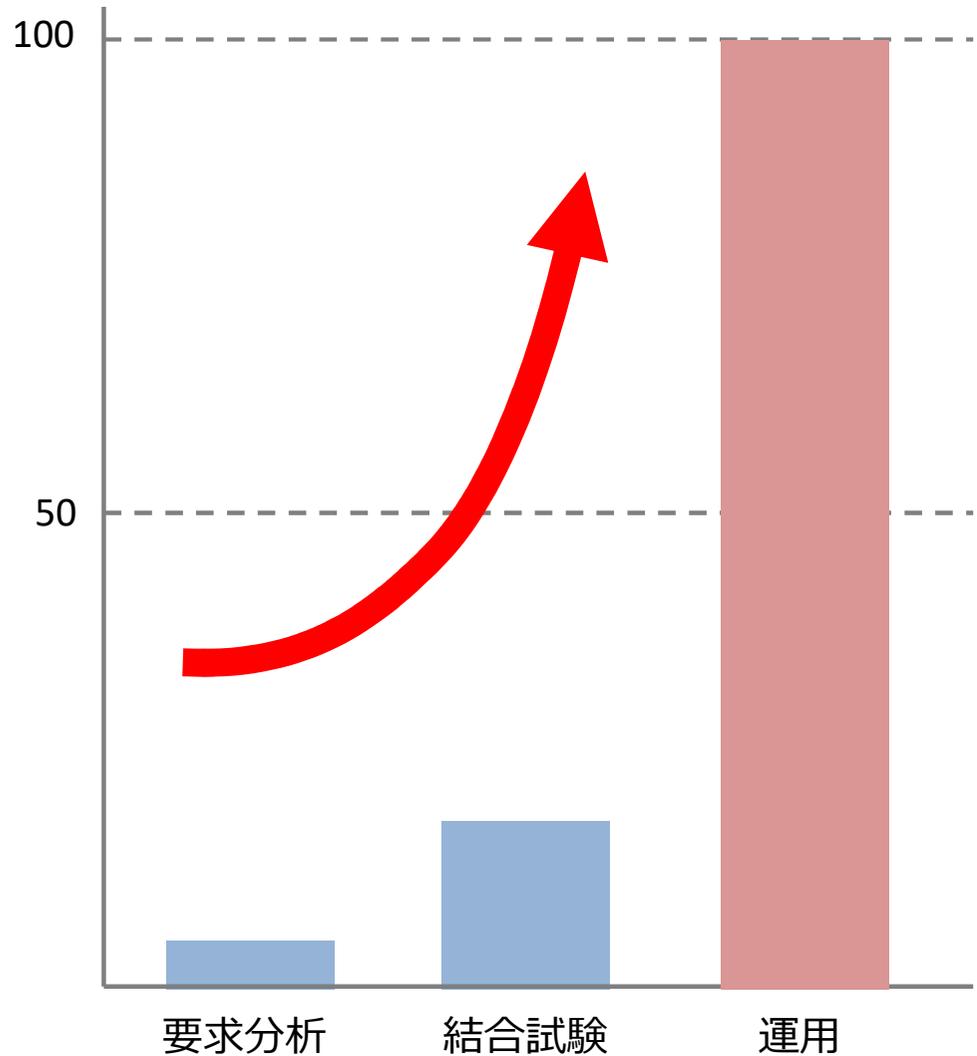


- 検証 Verification
正しく作られているか
- 妥当性確認 Validation
要求と合致しているか

※ConOps : Concept of Operations

システム評価のコスト貢献

修正コスト (%)



問題の発見が遅いほど
修正コストは指数的に増大

早期評価による発見が重要

出典： B.W Boehm, "Software Engineering", IEEE Trans. Com(Dec. 1976)

DFFASにおける評価・検証

● Phase 1 : 要求・設計検証

- ・ STPA
- ・ FMEA

設計段階から網羅的な
評価・検証を実施

● Phase 2 : 単体・結合試験

- ・ 単体試験
- ・ サブシステム内/間試験

● Phase 3 : 全体結合試験

- ・ 陸上統合試験
- ・ 岸壁/洋上試験



実証航海

※STPA : Systems Theoretic Process Analysis
※FMEA : Failure Mode and Effects Analysis

DFFASにおける評価・検証

● Phase 1 : 要求・設計検証

- ・ STPA
- ・ FMEA

机上で評価

● Phase 2 : 単体・結合試験

- ・ 単体試験
- ・ サブシステム内/間試験

● Phase 3 : 全体結合試験

- ・ 陸上統合試験
- ・ 岸壁/洋上試験

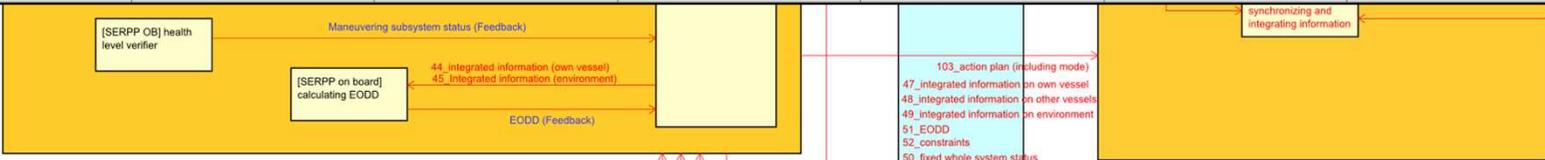
※STPA : Systems Theoretic Process Analysis
※FMEA : Failure Mode and Effects Analysis

実証航海

STPA (Systems Theoretic Process Analysis)

| No | CA | From | To | CA提供条件 | Not Providing | Providing causes hazard | Too early / Too late | Stop too soon / Applying too long |
|----|----------|-----------------------|------------------------------------|--------|--|---|--|-----------------------------------|
| 7 | 周環境 (他船) | SOED | SERPP | 航海中は常時 | (UCA16-N-1) 他船の動きを把握出来ない場合、行動計画を適切に策定出来ないため、ハザードに至る [SC6] | (UCA16-P-1) 他船動向の認識が、誤っていた場合、SERPPで適切な行動計画が策定できないため、ハザードに至る [SC2] (UCA16-P-2) データ量が膨大過ぎる場合、SERPPの作動に影響を与え、ハザードに至る | (UCA16-T-1) 他船動向に関する情報が遅すぎる場合、SERPPで適切なタイミングで、行動計画が策定できないため、ハザードに至る [SC2] | NA |
| 8 | 機器作動状況 | SOED | | | | | | NA |
| 9 | 健全性レベル | S-Event Path Planning | | | | | | NA |
| 10 | 統合ステータス | CIM | S-Event Response and Path Planning | 航海中は常時 | (UCA19-N-1) 統合ステータスが不明であるため、どのステータスに従うべきか判断できない [SC6] | (UCA19-P-1) 統合ステータスが不適切であった場合、実態にそぐわない不適切なステータスに遷移し、ハザードに至る [SC1][SC2] | (UCA19-T-1) 統合ステータスの情報が遅すぎる場合、実態にそぐわない不適切なステータスに遷移し、ハザードに至る [SC1][SC2] | NA |

400項目以上のハザードを抽出
→対策を設計段階で盛り込む



※STPA：相互作用する機能単位でハザード要因を考える安全性解析手法

DFFASにおける評価・検証

● Phase 1 : 要求・設計検証

- ・ STPA
- ・ FMEA

● Phase 2 : 単体・結合試験

- ・ 単体試験
- ・ サブシステム内/間試験

実機で評価

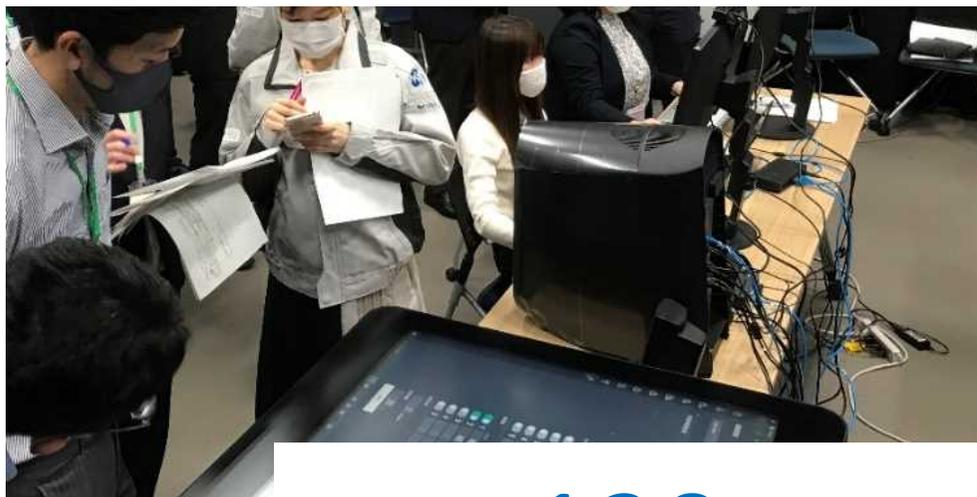
● Phase 3 : 全体結合試験

- ・ 陸上統合試験
- ・ 岸壁/洋上試験

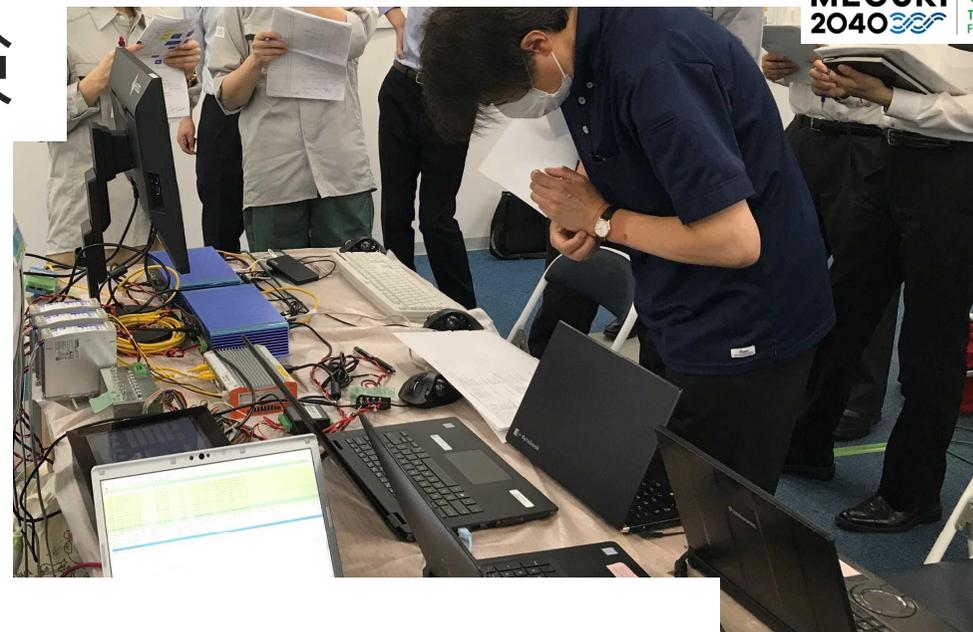
実証航海

※STPA : Systems Theoretic Process Analysis
※FMEA : Failure Mode and Effects Analysis

サブシステム内/間試験

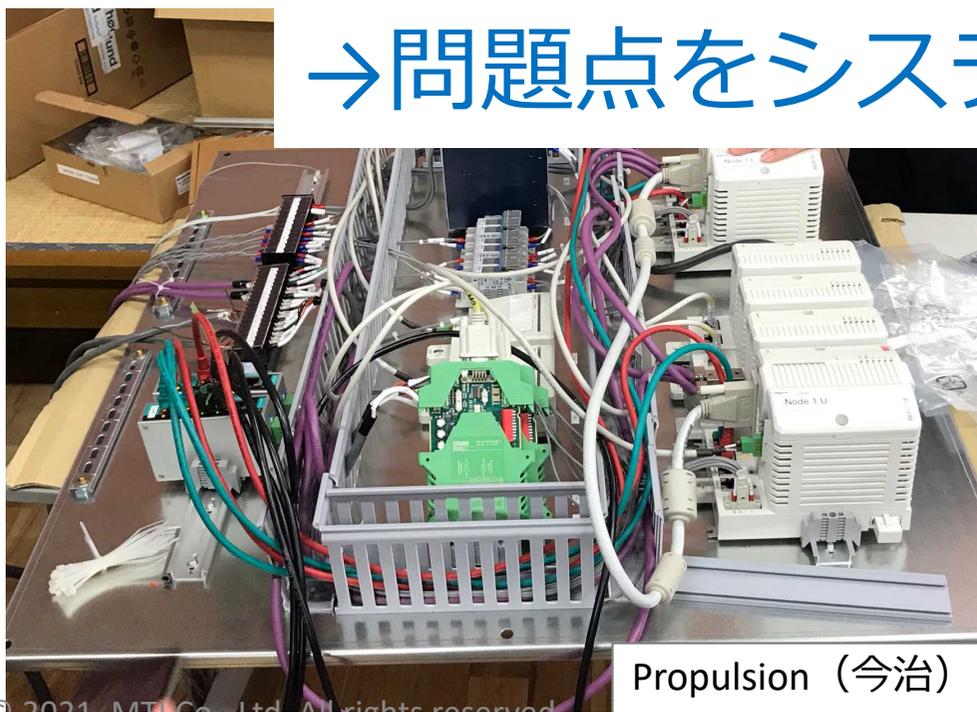


FOC (辰巳)



CIM (幕張)

120以上の機能を評価
→問題点をシステム統合前に修正



Propulsion (今治)



Maneuvering (西宮)

DFFASにおける評価・検証

● Phase 1 : 要求・設計検証

- ・ STPA
- ・ FMEA

● Phase 2 : 単体・結合試験

- ・ 単体試験
- ・ サブシステム内/間試験

● Phase 3 : 全体結合試験

- ・ 陸上統合試験
- ・ 岸壁/洋上試験

全体で評価

※STPA : Systems Theoretic Process Analysis
※FMEA : Failure Mode and Effects Analysis

実証航海

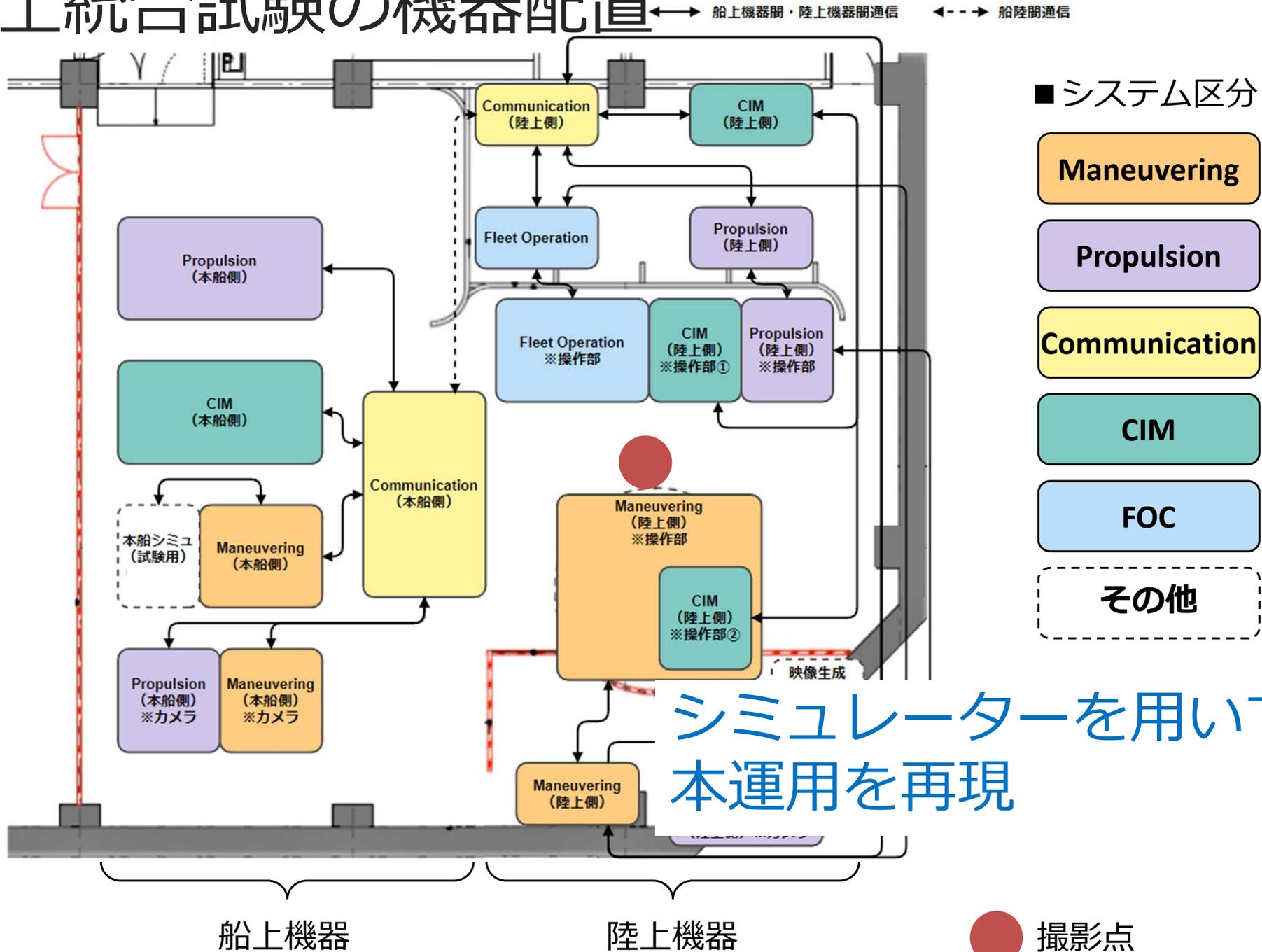
陸上統合試験

- 目的： すべての船上/陸上機器を結合した機能評価
- 期間： 2021年6月24日～8月19日
- 場所： 幕張（FOC構築場所）
- 試験内容：
 - 通常運用を想定した試験（正常系）（75シーケンス）
 - 異常発生を想定した試験（異常系）（34シーケンス）
 - 連続稼働試験（8航海分）



航海のすべての流れを陸上で評価

陸上統合試験の機器配置



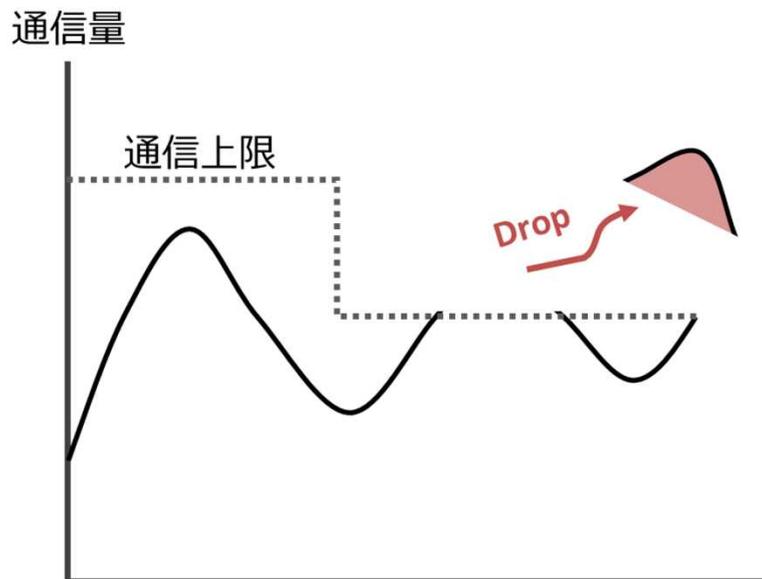
陸上統合試験風景



陸上統合試験の成果

STPAやFMEA、単体・結合試験で未検出の30項目を
“本船搭載前に修正”

※洗い出した項目の一例



バーストトラフィック発生



システム稼働情報の欠落

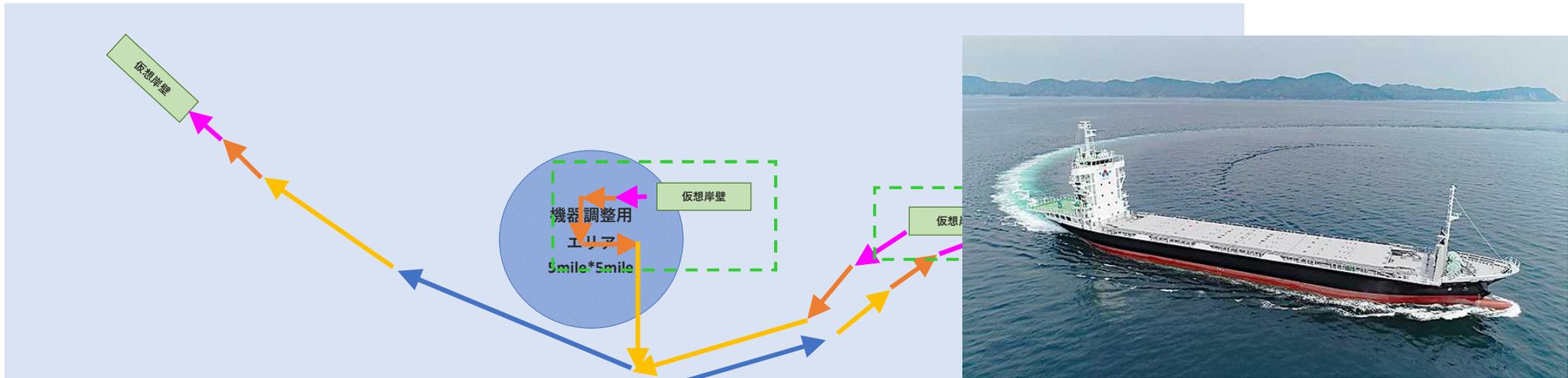


意図しない航海の中断

※STPA : Systems Theoretic Process Analysis

※FMEA : Failure Mode and Effects Analysis

今後の予定 (岸壁/洋上試験)



| No. | 各社確認 No. | 分類1 機器名 | 分類 IF/調整/安全/通し | 分類 単体/サブシステム内/サブシステム間/全体 | 分類 船内/FOC/岸壁/洋上 | 試験場所 先行艦装/岸壁/洋上 | 試験内容 | 試験手順 | 要否 | 合格条件 | | |
|------------------|----------|---------|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|---|----|---------|--------|-------------------------|
| | | | | | | | | | | 確定ステータス | 健全性レベル | 動作 |
| IF試験 | | | | | | | | | | | | |
| 1. 自社機器間 (コンテナ内) | | | | | | | | | | | | |
| IF101 | 5 | AP FOG | IF | サブシステム内 | 船内 | 先行艦装 | FOG(コンテナ) - 新設AP(コンテナ) | 1. FOG - 新設AP間のシリアル通信、接点信号送受信を確認する。 (通信: SELECTED COMPASS HEAD, FOG HEAD, 既設GYRO HEAD, TB2-2の中身(要確認)) (接点: SELECTED COMPASS OPEN/CLOSEx2) | △ | - | - | メーカー判断による。 (東京計器) |
| IF102 | | SMS | IF | 単体 | 船内 | 先行艦装 | SMS(コンテナ) - 監視モニタ(コンテナ) | 1. メディアサーバと(モニタ表示用PC)監視モニタ間の通信を確認する。 | △ | | | メーカー判断による。 (EIZO) |
| IF103 | | SMS | IF | 単体 | 船内 | 先行艦装 | 監視モニタ(コンテナ) - キーボード、マウス(コンテナ) | 1. キーボード、マウスを使用して、監視モニタ画面を操作出来ることを確認する | △ | | | メーカー判断による。 (EIZO) |
| IF104 | | COM | IF | 単体 | 船内 | 先行艦装 | SDN(コンテナ) - EDG SW用LANポート(コンテナ) | 1. 疎通確認をする。 | △ | | | メーカー判断による。 (NTT Com) |
| IF105 | | LTE | IF | 単体 | 船内 | 先行艦装 | ドコモL3SW(コンテナ) - ドコモ操作PC用LANポート(コンテナ) | 1. 疎通確認をする。 | △ | | | メーカー判断による。 (NTTドコモ) |
| | | | | | | | ドコモL3SW(コンテナ) - EIG操作PC用LANポート(コンテナ) | | | | | メーカー判断による。 (NTTドコモ) |

本船に搭載して評価 (2022年1月中旬を予定)

まとめ

- モデルベースのシステム開発
→設計から評価まで一貫した議論
- シミュレーションの利用
→本船搭載前に不具合を抽出・修正



フロントローディングの達成

ご清聴どうもありがとうございました。