

# 「自動運航船とMEGURI2040の取り組み」

2023年12月4日

株式会社MTI 船舶物流技術グループ 自律船チーム  
中村 純

# 目次

1. 世界の自動運航船開発現状とNYKグループの自動運航船開発の取り組み
2. 自動運航船の開発プロセス紹介  
～MEGURI2040ステージ2を例に～
3. 自動運航船で実現したい未来  
～MEGURI2040ステージ2を例に～

# 目次

1. 世界の自動運航船開発現状とNYKグループの自動運航船開発の取り組み
2. 自動運航船の開発プロセス紹介  
～MEGURI2040ステージ2を例に～
3. 自動運航船で実現したい未来  
～MEGURI2040ステージ2を例に～

# 自動運航船に関する世界の状況

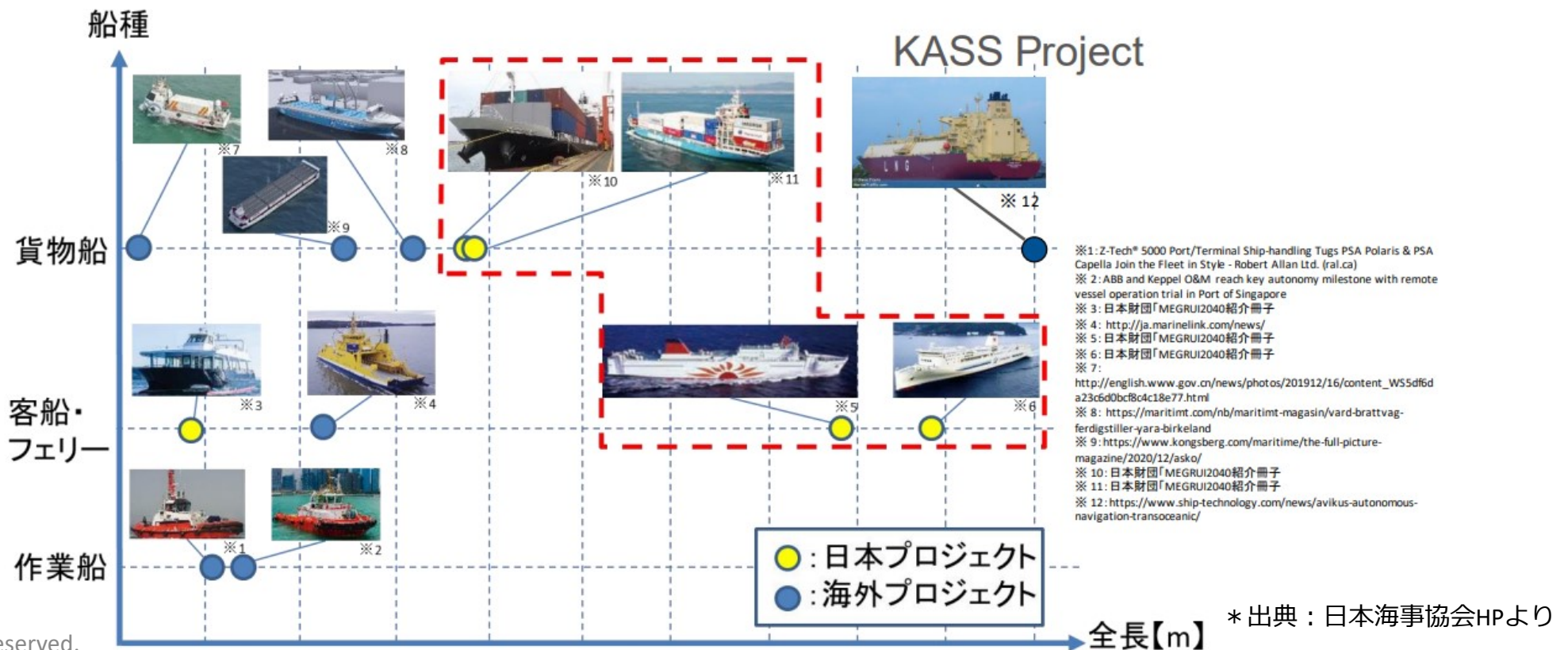
IMOのMSC (Maritime Safety Committiee)で現在MASSコードを議論中  
**2024年末までに非義務化コード制定 (2026年度義務化コード制定)**、  
**2028年に発効**を目指す。

	MSC 105 22年4月	MSC 106 22年11月	MSC 107 23年前半	MSC 108 24年前半	MSC 109 24年後半	MSC 110 25年前半	MSC 111 26年前半
自動運航船 (MASS) 規則	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 非強制のものから制定</li> </ul>	非義務的規則 検討開始		最終化 → 制定			
複数の条約にまたがる課題・テーマ*		検討開始		義務化方法 検討開始			最終化 → 採択 発効は2028.1見込
用語 <small>*①「船長」、「船員」、「責任を有する者」の役割・責任、                      ②遠隔操作所（監視含む）の要件、                      ③遠隔操船者の役割・責任及び要件 等</small>		検討開始		報告			
会期間作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ CGの設置</li> </ul>	検討開始		検討継続 → 報告			
関連規則類の改正			<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ CGの設置</li> <li>➢ 会期間作業部会の設置</li> </ul>	既存規則類の改正方法検討 検討開始			最終化
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 3委員会合同WG設置検討                              ・海上安全委員会                              ・法律委員会                              ・簡易化委員会                              →設置に合意</li> </ul>			小委員会の作業項目検討			

\* 出典：国土交通省HPより

# 世界における自動運航船のユースケース

開発国	開発主体	開発内容	利用海域	具体例
日本	海運会社・メーカー等 コンソーシアム形式	無人運航機能搭載自律船、有人自律船、遠隔支援	大洋～沿岸～湾内 ～河川（全海域）	MEGURI2040 プロジェクト等
韓国	造船所	乗組員サポート	大洋	KASS Project
欧州	研究所・インテグレーター	遠隔操船・支援、海域を限定することで実現	河川等	YARA, SEAFAR



# NYKグループの 自動運航船開発



2018年～2020年

【国】 操船支援機能と遠隔からの操船等を活用した船舶の実証事業  
(通称：タグ実証)

【国】 人工知能をコア技術とする内航船の操船支援システム開発

2016年～2020年

【国】 i-shipping 船舶の衝突リスク判断と自律操船に関する研究

2021年～2023年

【国】 海事産業集約連携促進  
技術開発支援事業



2022年10月～2025年度

MEGURI2040ステージ2  
DFFAS+ PJ

2019年～2021年

MEGURI2040ステージ1

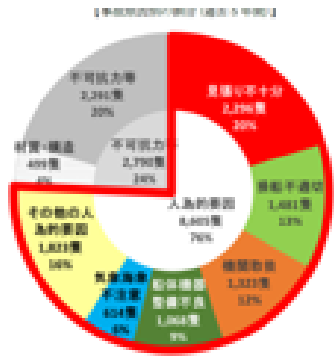
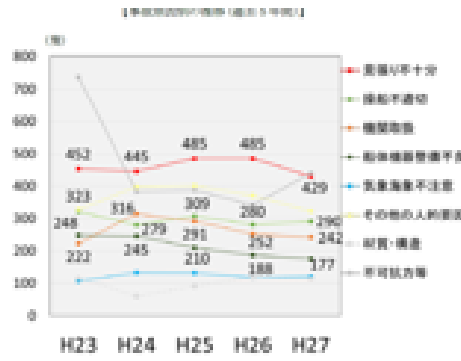
DFFAS (Designing the Future of Fully Autonomous Ship)

無人運航船プロジェクト

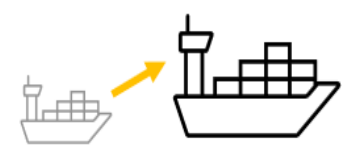


# なぜ自動運航船が必要か

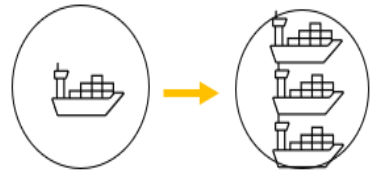
## 安全性向上、船員不足対応、物流の安定



安全性向上



船型の大型化  
貨物量の増大



輻輳度の増加

周囲環境・船型変化による**操船難易度の上昇** (操縦性低下、輻輳度増加)

航海事故の約8割は人的要因

### 自動運航船の価値

船員不足  
の対応

物流の安定

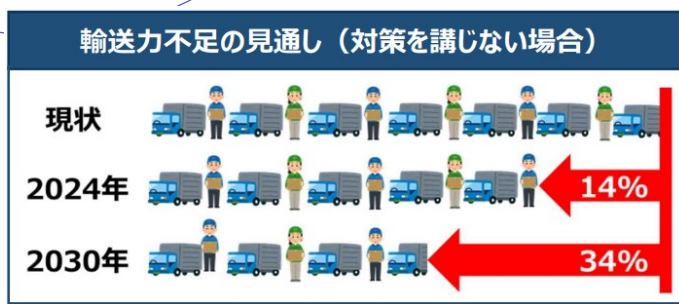
・ 将来の海上輸送増大 (トラックから海運、鉄道へ)

○ モーダルシフトの推進

・ **世界の船員不足8.8%、過去最高**

2023年8月1日 11:00 (日経新聞)

・ 日本の船員・労務力不足解消 (2040年には**現在比30%の船員不足**)

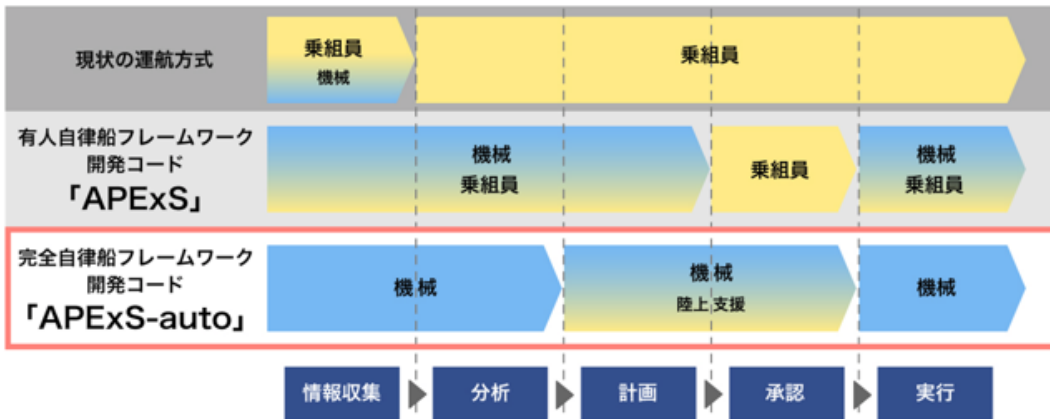


鉄道、内航海運の輸送量・分担率を増強



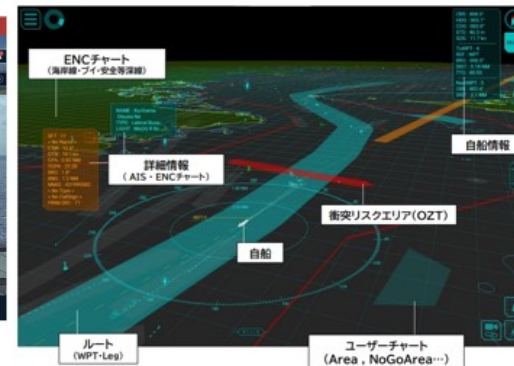
# NYKグループの 自動運航船開発

## コンセプト設計

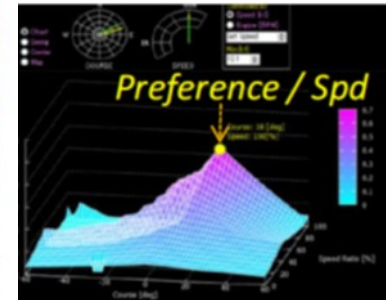


情報収集

## 要素技術開発



分析

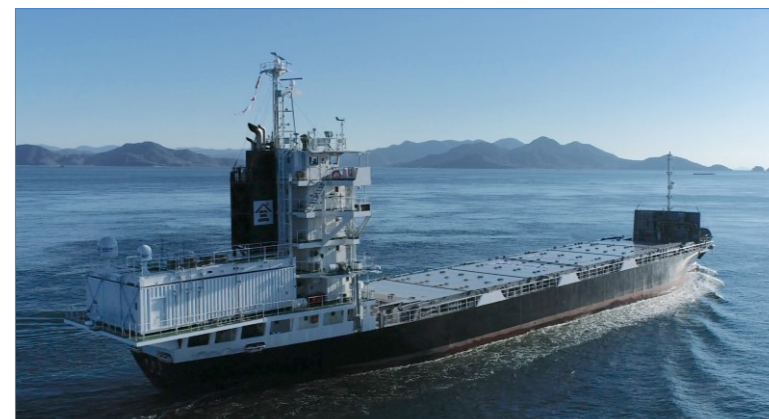


計画

無人運航船プロジェクト  
**MEGURI**  
2040



実証実験





# 自動運航船開発におけるNYKグループの研究パートナー

国内

海外

技術開発

日本財団 MEGURI2040(51社)  
タグボート実証事業 (19社)  
大阪公立大、広島大、大阪大

ORCA AI (画像認識)  
Hoglund (機関プラント監視)  
DNV (シミュレーション環境)

NYKグループ  
MTI

制度、評価、  
検証

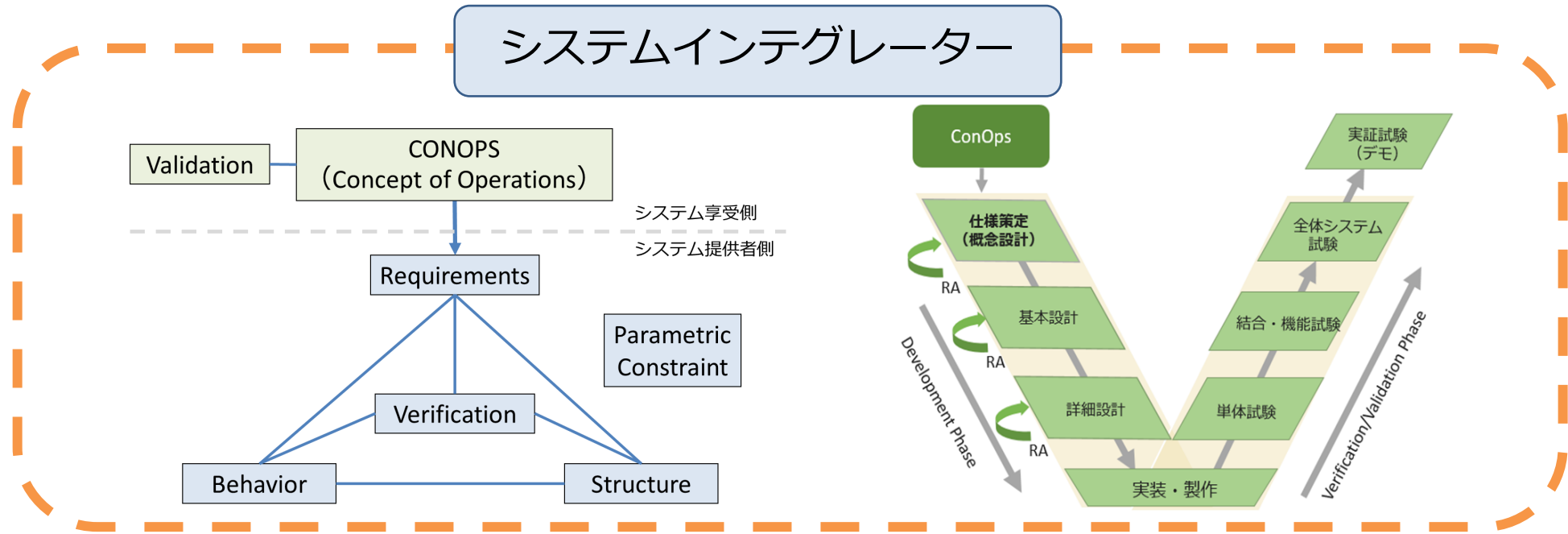
国土交通省  
日本海事協会  
日本船舶技術協会

ABS、DNV、BV  
Lloyd's (University of Warwick)  
University of Southern California  
ONE SEA

- 国内の苦手分野に関しては海外の知見を取り込んだ**コアジャパン**な研究体制構築
- 日本の開発技術を**世界の標準技術**へ

# 自動運航船の技術・社会課題

- 開発プロセスを構築・取り纏めするシステムインテグレーター不在  
(自動運航船における開発プロセス：ConOps⇒RA⇒設計⇒開発⇒評価検証⇒製品)



- 社会受容性の構築 (法律、規則、技術規格)
- 自動運航船を利用する乗組員、関係者への教育プログラム

# 目次

1. 世界の自動運航船開発現状とNYKグループの自動運航船開発の取り組み
2. 自動運航船の開発プロセス紹介  
～MEGURI2040ステージ2を例に～
3. 自動運航船で実現したい未来  
～MEGURI2040ステージ2を例に～

# DFFAS+プロジェクト概要（MEGURIステージ2 開発）

## 日本財団様のサポートによる自動運航船社会実装プログラム



期間：2022年10月～2026年3月

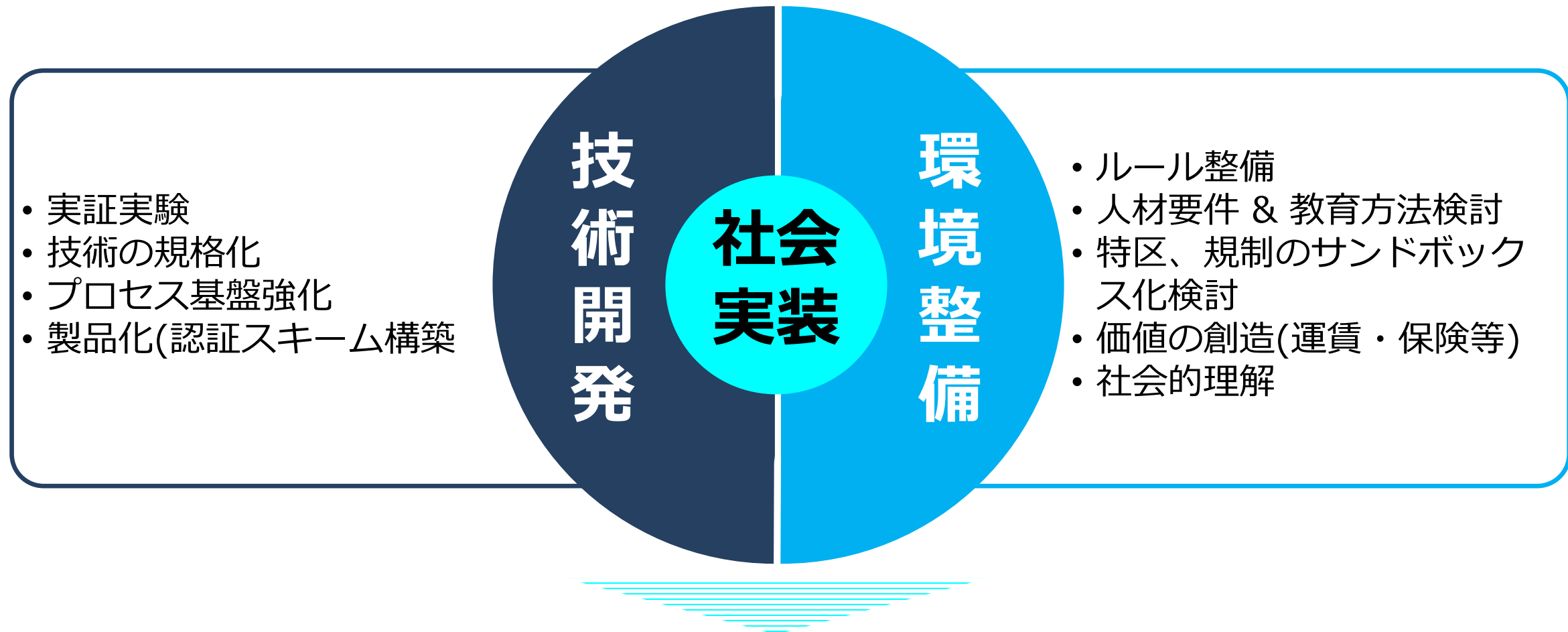
参加者：計51社



メーカー、造船所、船主、海運会社（外航、内航）、荷主など海事クラスターの構成要素を網羅したコンソーシアム

概要：4隻（新造船+要素技術船）の実証  
自動運航船技術の規格化  
社会受容性の向上  
（ルール、安全性、経済性など）

# DFFAS+プロジェクト目標



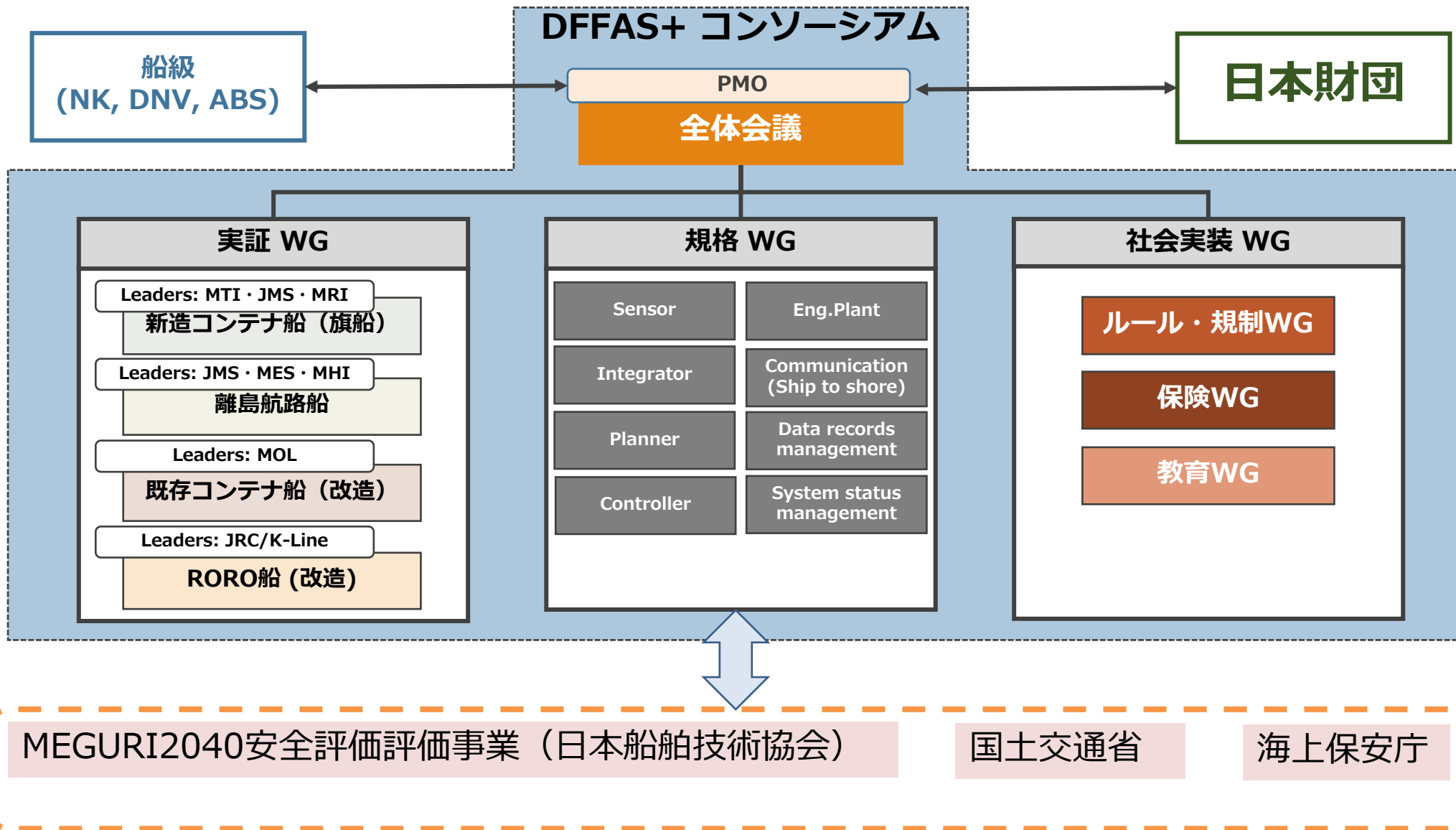
① 実証実験

② 開発した技術の規格化

③ 開発プロセス基盤の強化

④ 社会実装のための環境整備

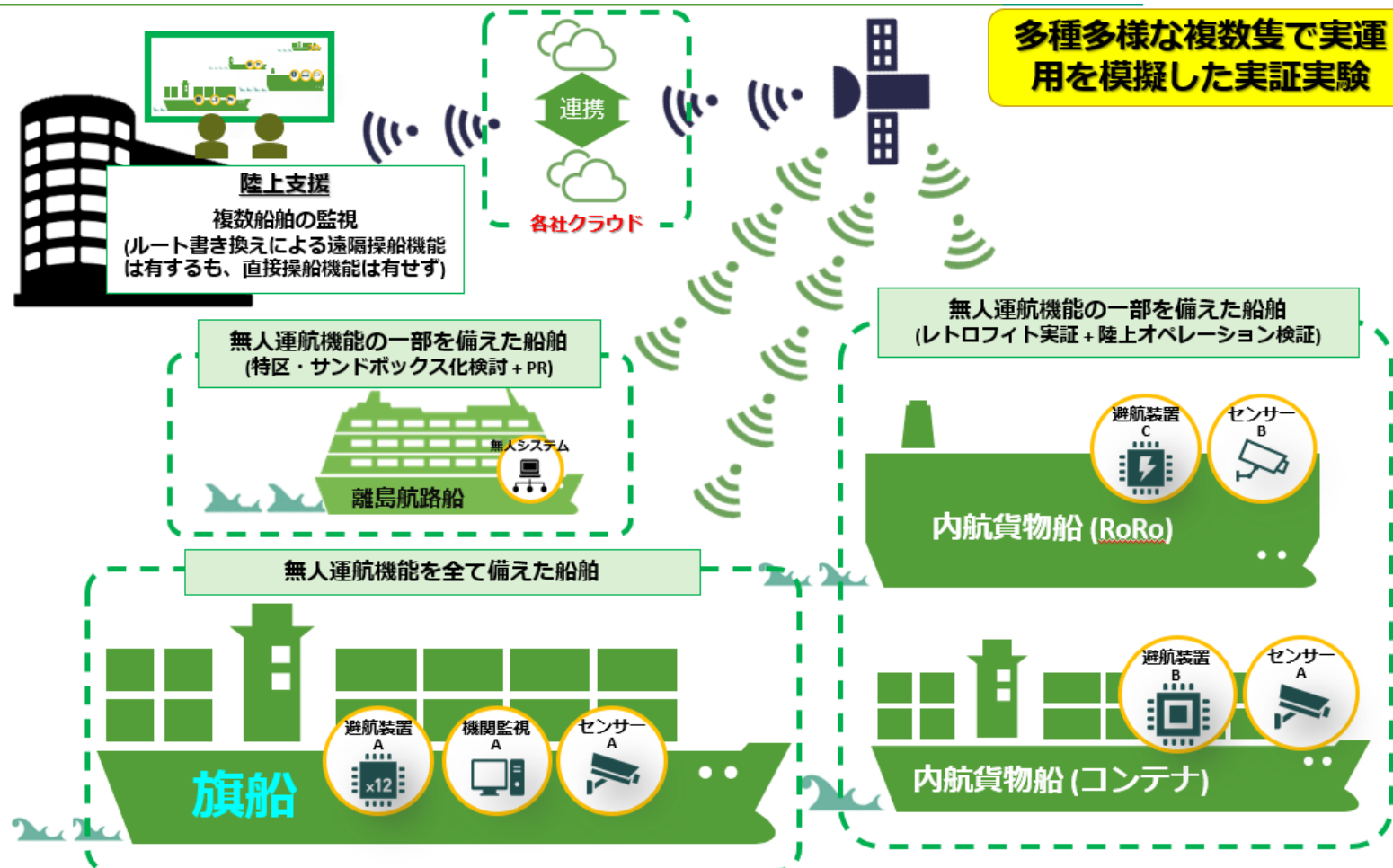
# MEGURI2040ステージ2 体制



# DFFAS+技術開発内容 (実装WG)

最先端の技術開発 (コンセプト設計 (RA) ・開発、建造管理・運用) を実施

## 実証WG構成



## 実証WG開発内容

- ①設計、リスクアセスメント
- ②センサー、センサー統合機能
- ③航海計画作成機能
- ④操船制御機能      ⑤係船機能
- ⑥機関プラントの遠隔監視  
・支援機能
- ⑦船陸間通信機能
- ⑧ステータス管理、  
情報記録機能
- ⑨陸上支援機能

# 本PJにおけるMTIの役割

① PMO (Project Management Office), 実証旗船WGリーダー

過去船級から取得したコンセプト設計AiP

② 2025年実用可能な自動運航船のコンセプト設計

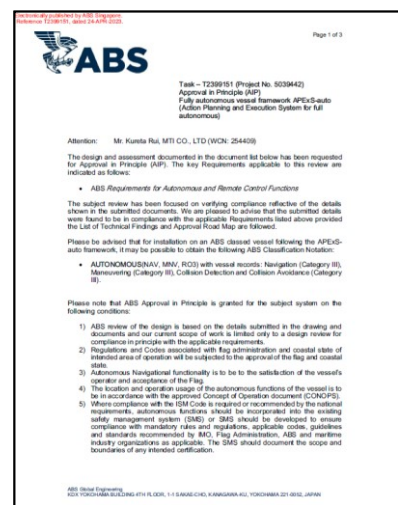


③ リスクアセスメント (含むサイバーセキュリティ)

④ 水槽実験・実船実験を最小化した運動モデル作成  
・作成手法確立

⑤ 360°カメラ画像認識システムの距離精度向上

⑥ 機関遠隔支援コンセプト設計及びリスクアセスメント  
(プラント異常原因推定機能、復旧支援機能開発)

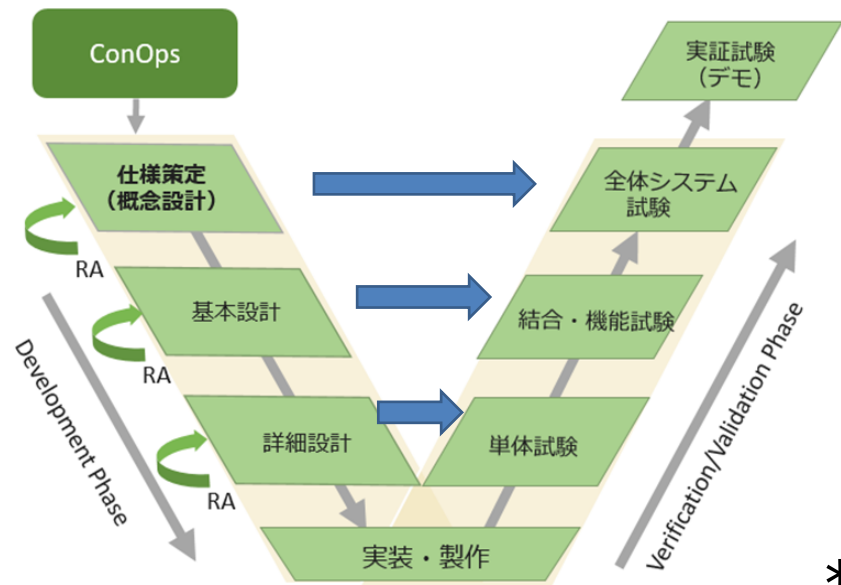


⑦ 自動運航システムの各種規格作り



# 自動運航船の開発プロセス

目標：旗船において自動運航船ノーテーション取得、コンセプト設計のAiP取得



Vプロセス：

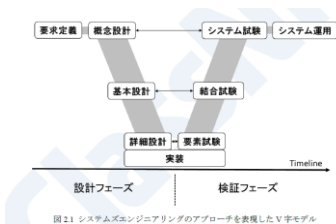
開発工程とテスト工程で各作業をリンクさせ  
**検証作業を効率よく実施する手法**

(例)

- 概念設計内容を全体システム試験で確認
- 基本設計内容を結合・機能試験で確認
- 詳細設計内容を単体試験で確認

\* 各設計時にリスクアセスメントを実施して設計の妥当性を確認

参考（各船級のガイドラインより）



船級の自動運航船ガイドライン  
の中でも、**本設計手法を推奨**

\* 出典：日本海事協会自動運航船ガイドラインより

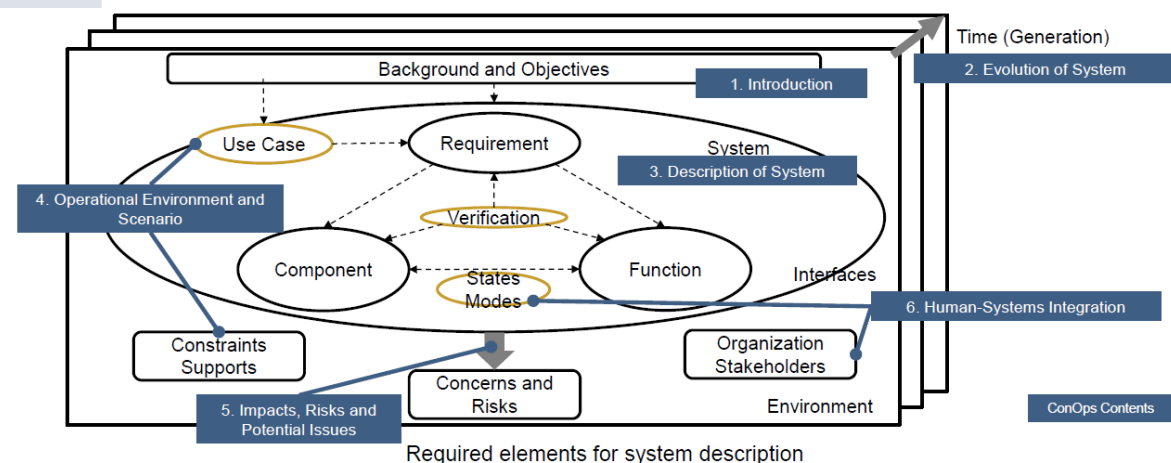
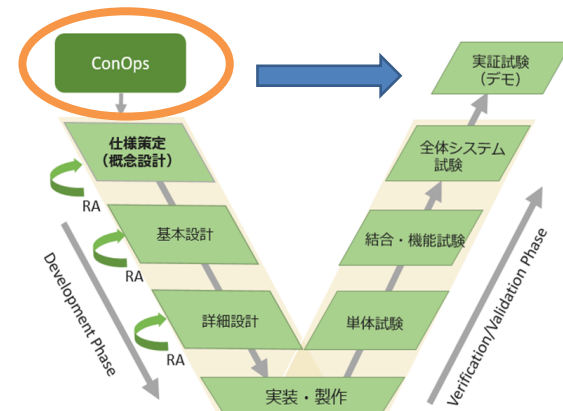
\* 出典：ABS自動運航船ガイドラインより

# 自動運航船におけるConOps (Concept of Operation)

システム享受者からシステム開発者へ開発の目標を定め、**関係者間の合意を得る資料**  
⇒最終的な**システム評価の元になる資料**

ConOps contents for autonomous system

Contents	Description
1. Introduction	Background System Scope, Assumption & Constraints
2. Evolution of System	Justification for changes Future Roadmap and Status of the envisioned system
3. Description of System	Needs, Goals & Objectives of the system Overview Architecture incl. Interfaces (Major System elements & interconnections) Modes of Operation Basic Functions (Proposed Capabilities)
4. Operational Environment and Scenario	Use Cases (Nominal, Off nominal) Actors/Stakeholders Operational Scenario Data flow (input & output of the system)
5. Impacts and Potential Issues	Operational impacts, Environmental Impacts, Organizational Impacts, Scientific/Technical Impacts Regulatory Compliance, How to Implement the system
6. Human-Systems Integration	Human-in-the-loop involvement Human-machine interface etc.
Appendix	Glossary, Acronyms, Reference Documents

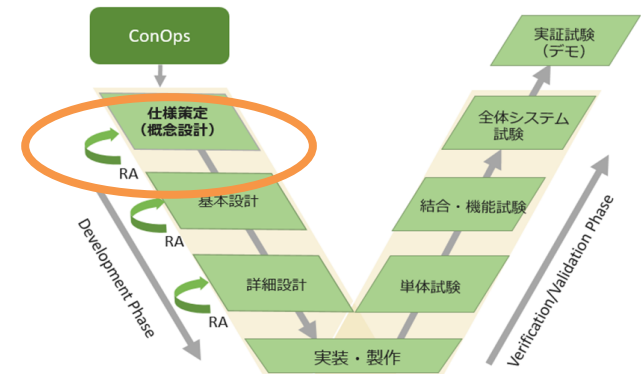


Ref. INCOSE Systems Engineering Handbook

# 概念設計・リスクアセスメントとは

## 概念設計の目的

- 開発目的を踏まえたスコープ設計
  - 実装のために**必要な要件を具体的にスコープ**に加える  
→ 例 “1名航海当直の要件”・機関プラントの遠隔監視要件”
- モデルを用いて、概念-基本設計とRA，要求-機能-構造のトレーサビリティを担保



## リスクアセスメントの目的

- リスクアセスメントと設計（要求）との**関係性を明確化**
  - 事象の順序，安全バリア同士の関係性等の整理（ロスシナリオの整理）
  - 機能要件とSafety Constraints（安全制約）の関係性の整理
- シミュレーションを活用し，**設計への定量的なフィードバック**を与える（V&Vとの連続性を高める）
  - 複数のリスクアセスメント手法を組み合わせ，クリティカルシナリオを抽出（シナリオベース検証のトライ）
- リスクアセスメントの**手法を体系化し，今後の自動運航船開発に活用**

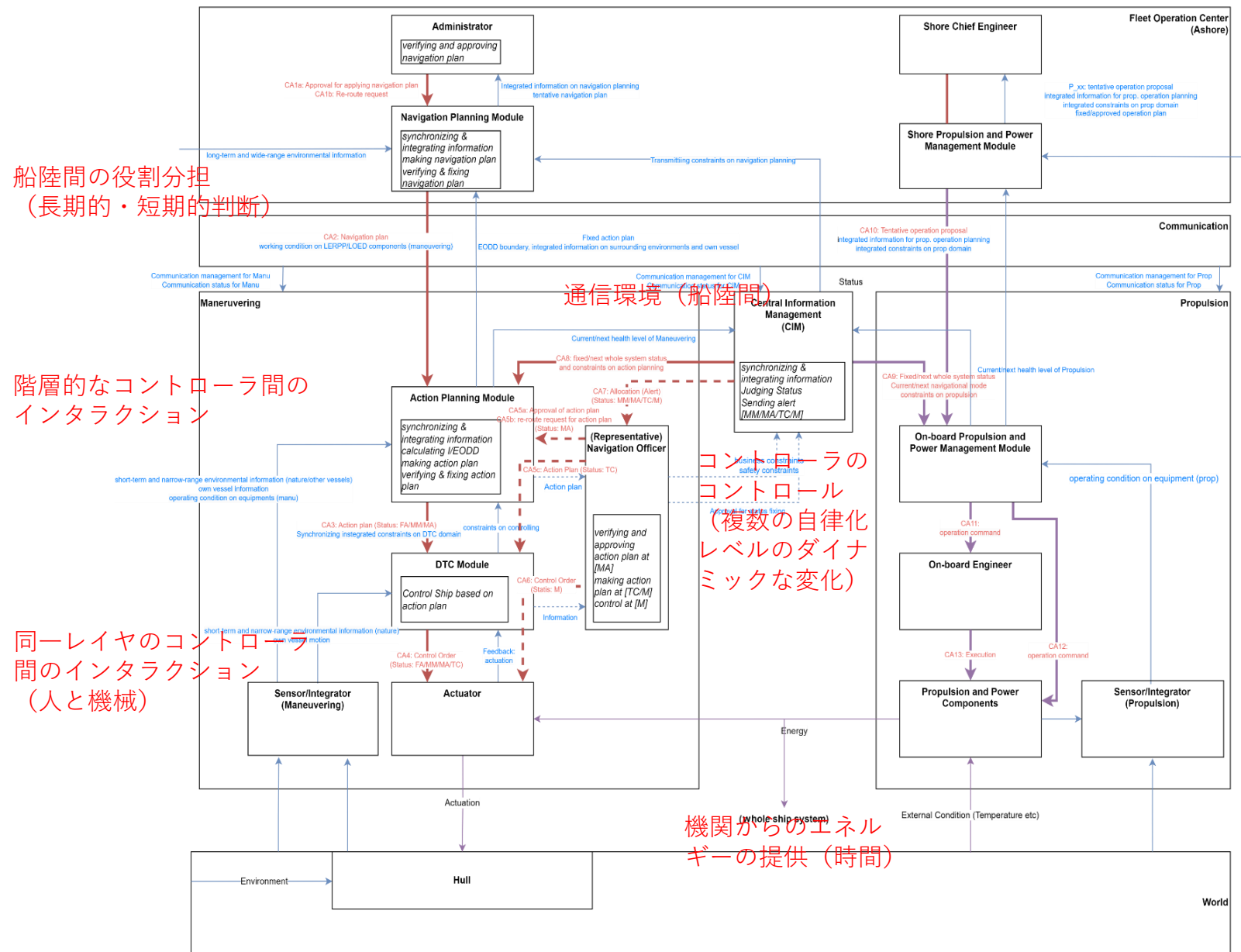
# DFFAS+の概念設計

各種モデル  
 (Control Structure図、  
 Function Flow Block Diagram図  
 など) を用いて、

概念-基本設計とRA, 要求-機能-  
 構造のトレーサビリティを担保

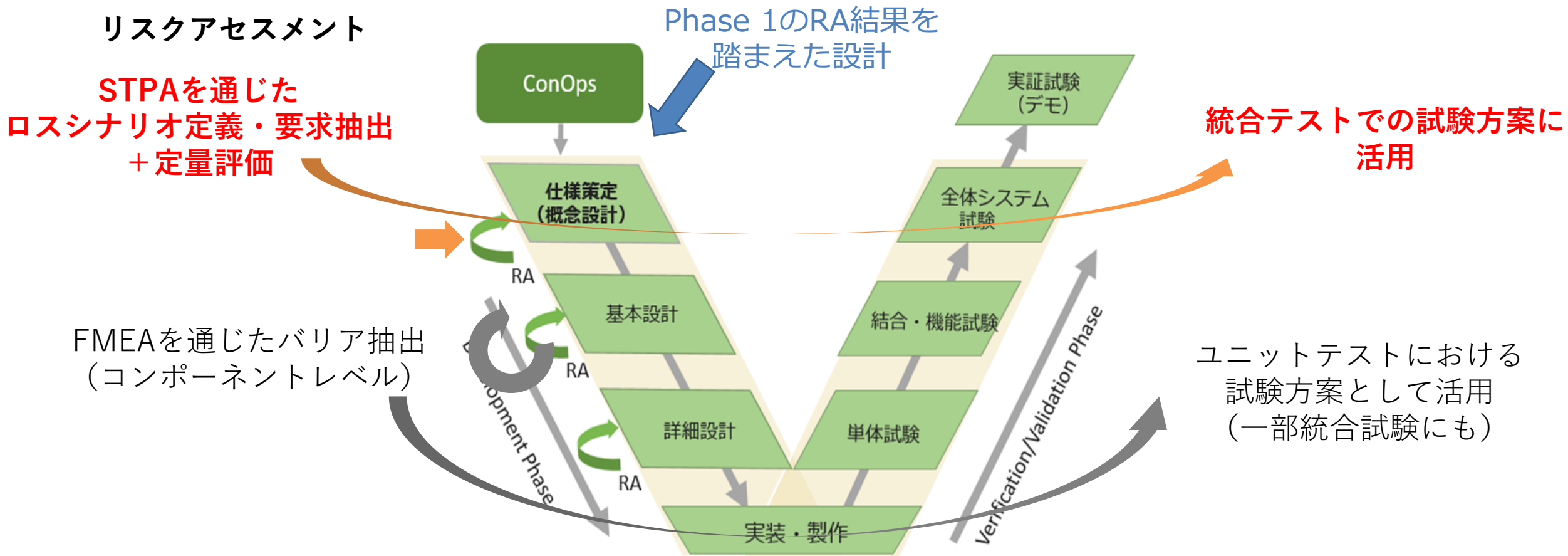
⇒関係者と意識合わせ+基本設計、  
 詳細設計の指針、全体システムの  
 評価・検証の答え

## Control Structure図



# DFFAS+リスクアセスメントの実施

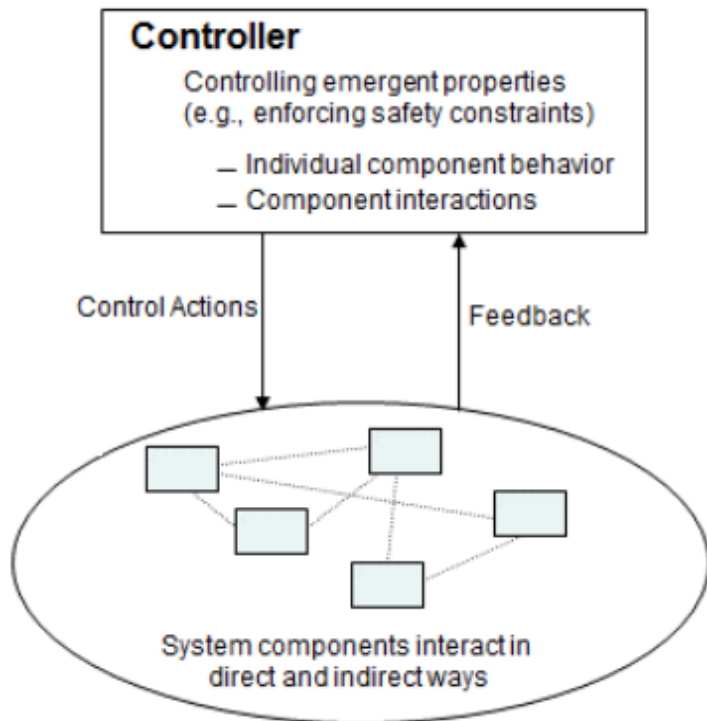
- 過去の成果を踏まえたコンセプト設計に対し、「システム安全」の観点から追加的な分析を実施
- 概念設計にSTPA（System-Theoretic Process Analysis）、基本・詳細設計時にFMEAを実施



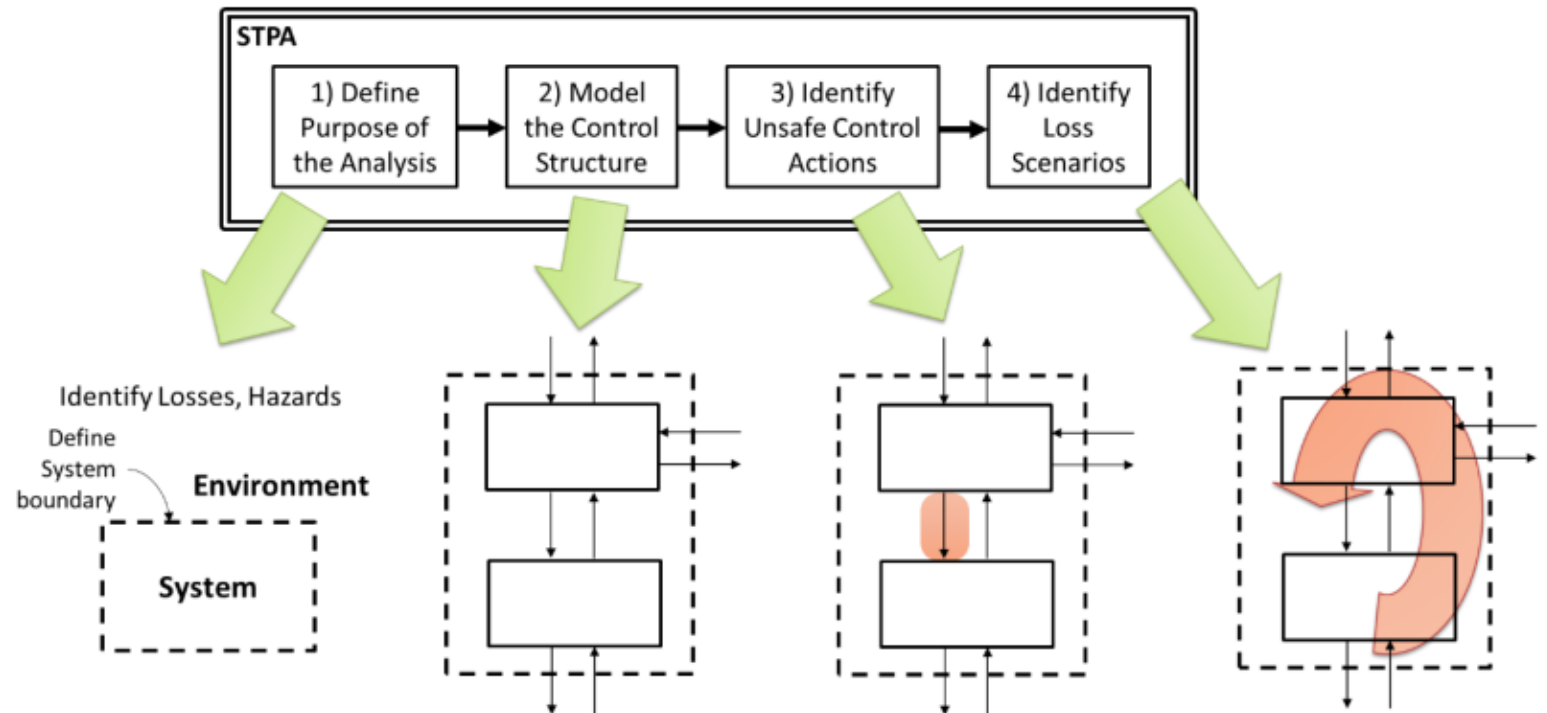
# 複雑システムの創発的な危険に対処するリスク解析手法: STPA

- STPA: System-Theoretic Process Analysis (Nancy G. Leveson, 2012)
- 構成要素の相互作用を, システム全体が防ぐべき危険事象・制約を踏まえゴールベースに分析することで, **非安全な相互作用によって引き起こされる危険事象**について抽出・具体化する手法
- 機能レベルでのモデル化により, **開発の早期段階から安全要求の早期抽出**が可能

## コントローラとシステムの振る舞いの関係



## STPAの手法 (4ステップ)



# DFFAS+におけるSTPAの工夫

## 時系列的な要素も踏まえたLoss Scenario (Causal Factor) の抽出

(例)

- 航海環境が変化（海域、操船タスク（避航⇒離着岸））するとシステムの機能要件も自動的に変化する中で、情報の送信時間間隔は十分か？
- 避航計画の策定において、処理の上限時間間隔は十分か？

シーケンス図

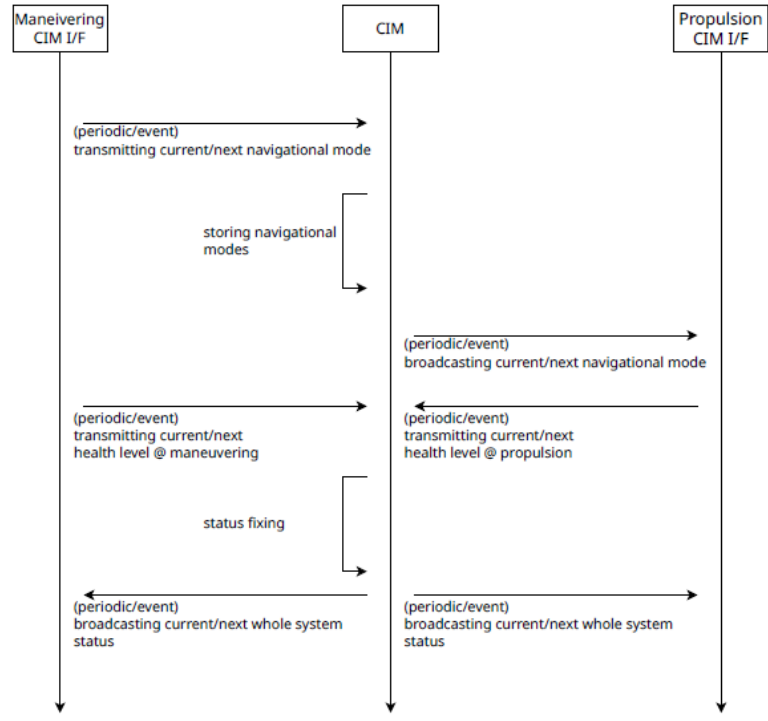


Figure 3.21. Sequence at navigational mode and status exchanging

本船センサーと短期航海計画機能のFFBD図

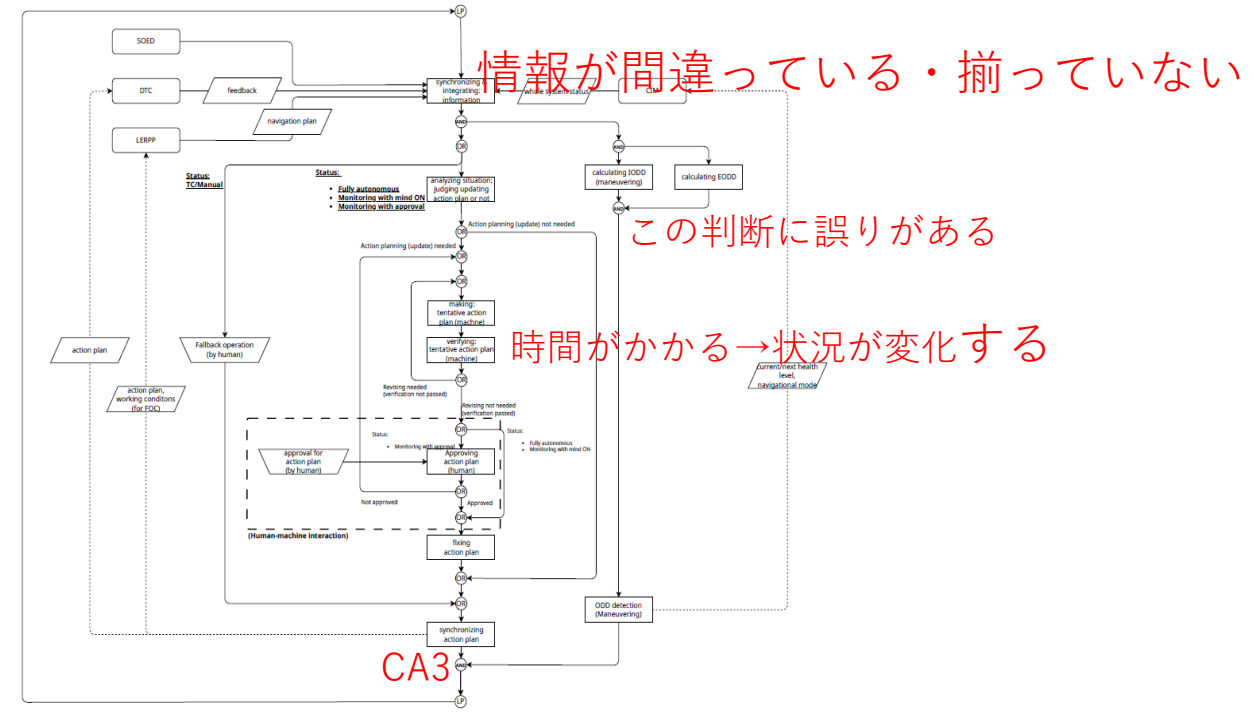


Figure 3.15. Behavior: function flow block diagram of SOED & SERPP

# ロスシナリオの具体例

## ロスシナリオを表にまとめ、基本・詳細設計、全体システムの評価検証に活用

UCA_ID	UCA	SC_ID	Context	From	To	Process Model	PMB_ID	Belief Cause	GW_ID	機能ブロック	ISC	LS_ID
UCA3-P-1	SERPP (machine)より他船・陸と近づくAction PlanがDTCに伝わり、そのまま他船・陸との距離近接に至る[SC1]	SC1	他船や陸が自船周囲にいる状況、航行中(全航海モード)、ステータス"FA/MM"	SERPP (machine)	DTC	自船周囲の他船・陸を認識していない/実際と異なる位置で認識している		1 情報が現実と異なるにもかかわらず、確度の高い他船情報が得られていると認識している	i2	Sensor (他船) Integrator	SC2	LS1
UCA3-P-1	SERPP (machine)より他船・陸と近づくAction PlanがDTCに伝わり、そのまま他船・陸との距離近接に至る[SC1]	SC1	他船や陸が自船周囲にいる状況、航行中(全航海モード)、ステータス"FA/MM"	SERPP (machine)	DTC	自船周囲の他船・陸を認識していない/実際と異なる位置で認識している		1 情報が現実と異なるにもかかわらず、確度の高い自船(船位・速度)情報が得られていると認識している	i1	Sensor (自船) Integrator	SC1	LS2
UCA3-P-1	SERPP (machine)より他船・陸と近づくAction PlanがDTCに伝わり、そのまま他船・陸との距離近接に至る[SC1]	SC1	他船や陸が自船周囲にいる状況、航行中(全航海モード)、ステータス"FA/MM"	SERPP (machine)	DTC	自船周囲の他船・陸を認識していない/実際と異なる位置で認識している		1 情報が現実と異なるにもかかわらず、確度の高い地理情報(NGA)が得られていると認識している	i5	Sensor (地理) Integrator	SC7	LS3
UCA3-P-1	SERPP (machine)より他船・陸と近づくAction PlanがDTCに伝わり、そのまま他船・陸との距離近接に至る[SC1]	SC1	他船や陸が自船周囲にいる状況	SERPP (machine)	DTC	自船周囲の他船・陸を認識していない/実際と異なる位置で認識している		1 最新の情報を取得していると認識している(センサ情報が揃っていない→通信の遅れ, 等)	com	Communication	通信(SC8?) SC1/2/3/7	LS4
UCA3-P-1	SERPP (machine)より他船・陸と近づくAction PlanがDTCに伝わり、そのまま他船・陸との距離近接に至る[SC1]	SC1	他船や陸が自船周囲にいる状況、航行中(全航海モード)、航海途中で一旦自動運航システムをOFFとし、再起動した状況、ステータス"FA/MM"	SERPP (machine)	DTC	自船周囲の他船・陸を認識していない/実際と異なる位置で認識している		1 最新の情報を取得していると認識している(過去の情報が残っている状態で計画策定を行う)	com	Integrator	SC1/2/3/7	LS5
UCA3-P-1	SERPP (machine)より他船・陸と近づくAction PlanがDTCに伝わり、そのまま他船・陸との距離近接に至る[SC1]	SC1	他船や陸が自船周囲にいる状況、航行中(全航海モード)、ステータス"FA/MM"	SERPP (machine)	DTC	自船周囲の他船・陸を認識していない/実際と異なる位置で認識している		1 情報が現実と異なるにもかかわらず、海図情報が正しく得られていると認識している	i5	Sensor (地理) Integrator	SC7	LS6
UCA3-P-1	SERPP (machine)より他船・陸と近づくAction PlanがDTCに伝わり、そのまま他船・陸との距離近接に至る[SC1]	SC1	他船や陸が自船周囲にいる状況、航行中(全航海モード)、ステータス"FA/MM"	SERPP (machine)	DTC	自船の制御装置は計画を正しく追従できると認識している	1/2	(制御装置の性能を自然環境情報をベースに見積もっており) 確度の高い自然環境情報が得られていると認識している	i3/To	Sensor (自然環境) Integrator	SC3	LS7
UCA3-P-2	SERPP (machine)より制御できないAction Planが伝わり、人のバックアップ操船も間に合わず、操縦不能→転覆・船体ダメージに至る[SC2]	SC2	航行中(全航海モード)、ステータス"FA/MM" ※人のバックアップが入った場合の分析必要	SERPP (machine)	DTC	自船の制御装置は計画を正しく追従できると認識している		2 (制御装置の性能をステータスを基に判断しており) 確度の高い制御性能の情報が得られていると認識している	To/a1	SERPP (machine)	SC5/6	LS14

Contextは

- 航行モード
- ステータス
- その他 (荒天, 他船の位置等)

をベースに記載

Process Modelの齟齬は

- 1入力に対する信用
- 2出力に対する期待
- 3プロセスの情報解釈 (及びその仮定)

の視点から抽出

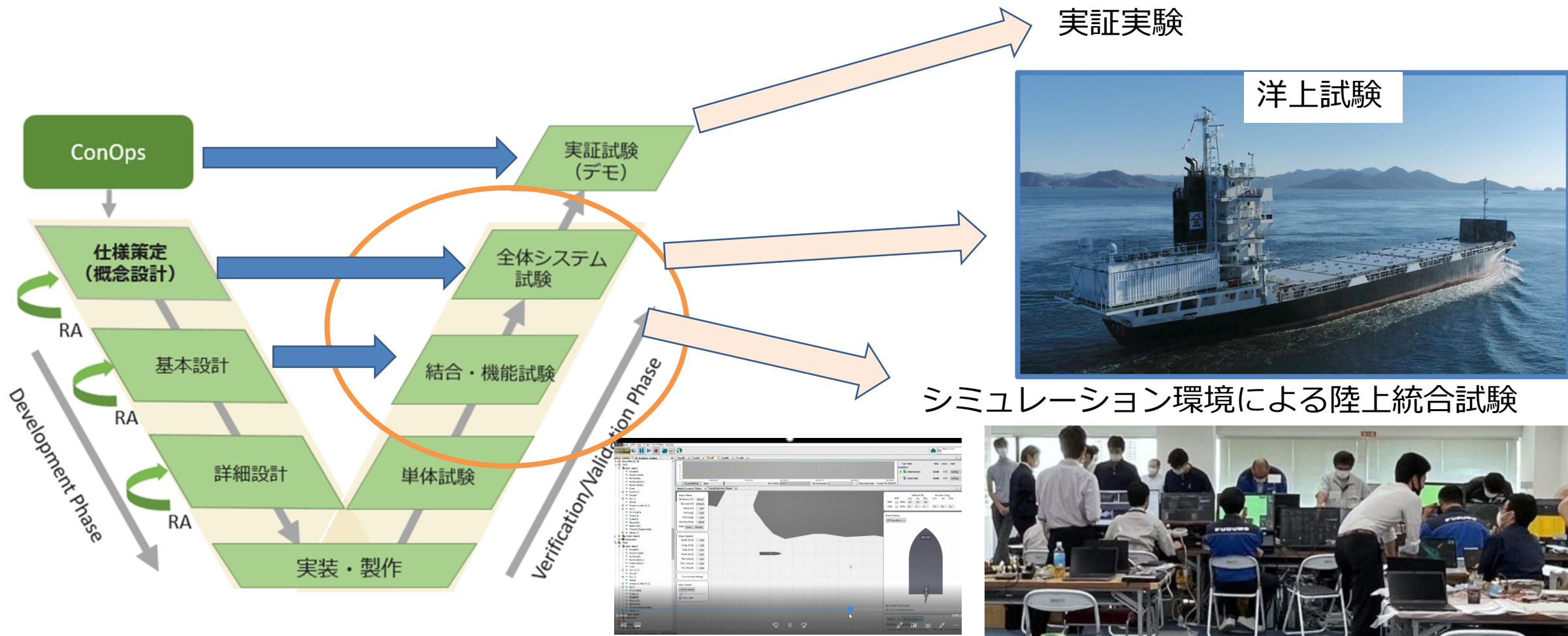
Process Modelの齟齬の理由は

具体的なインプット(i)や処理における仮定 (a) 等を踏まえて機能ブロックレベルまで具体化



# 評価検証実施要領

リスクに対する対応ができていないかロスシナリオに沿って**シミュレーション環境**を構築して可能な限り検証、シミュレーションで**検証できない項目は実船で検証**

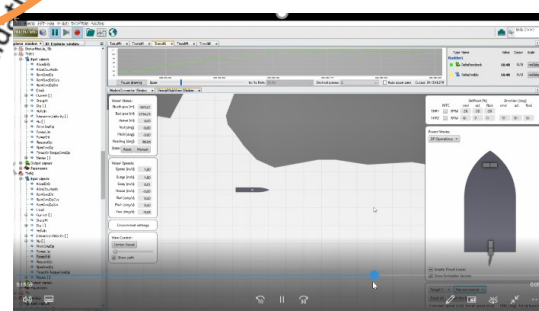


実証実験



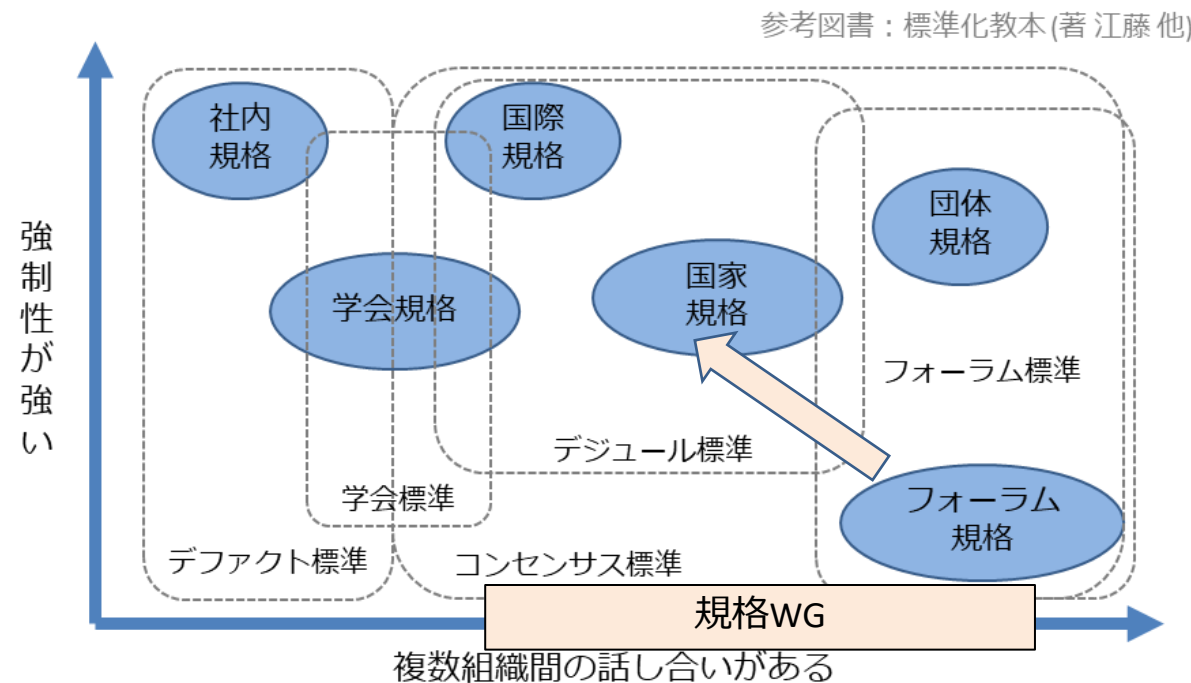
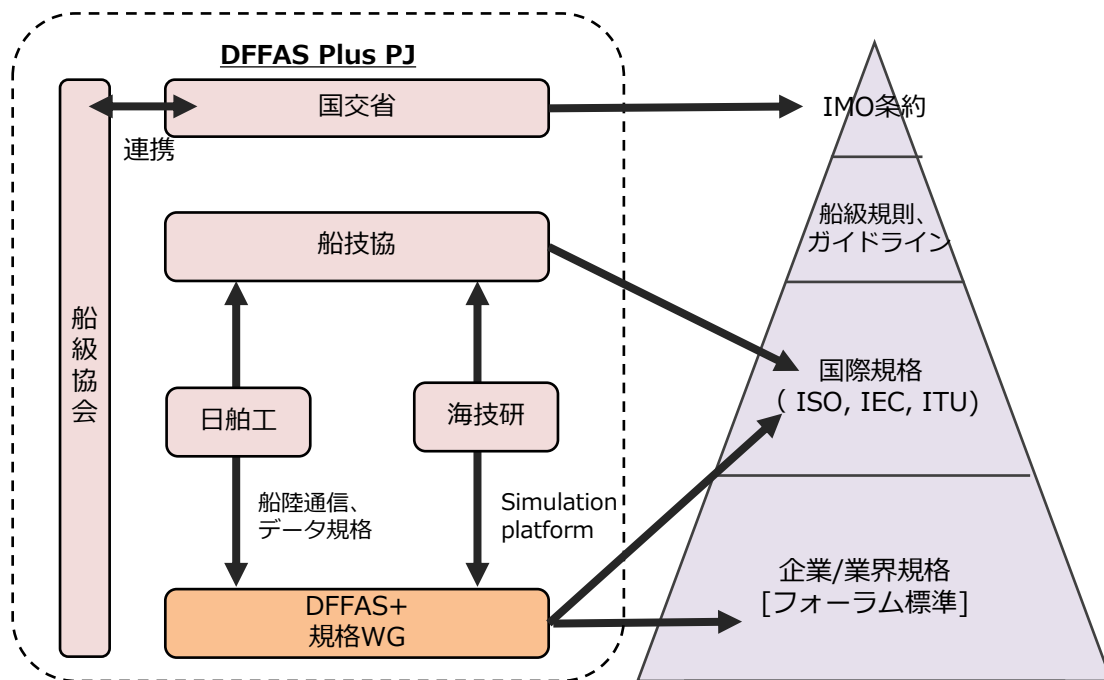
洋上試験

シミュレーション環境による陸上統合試験



# DFFAS+ 規格 WGの目標

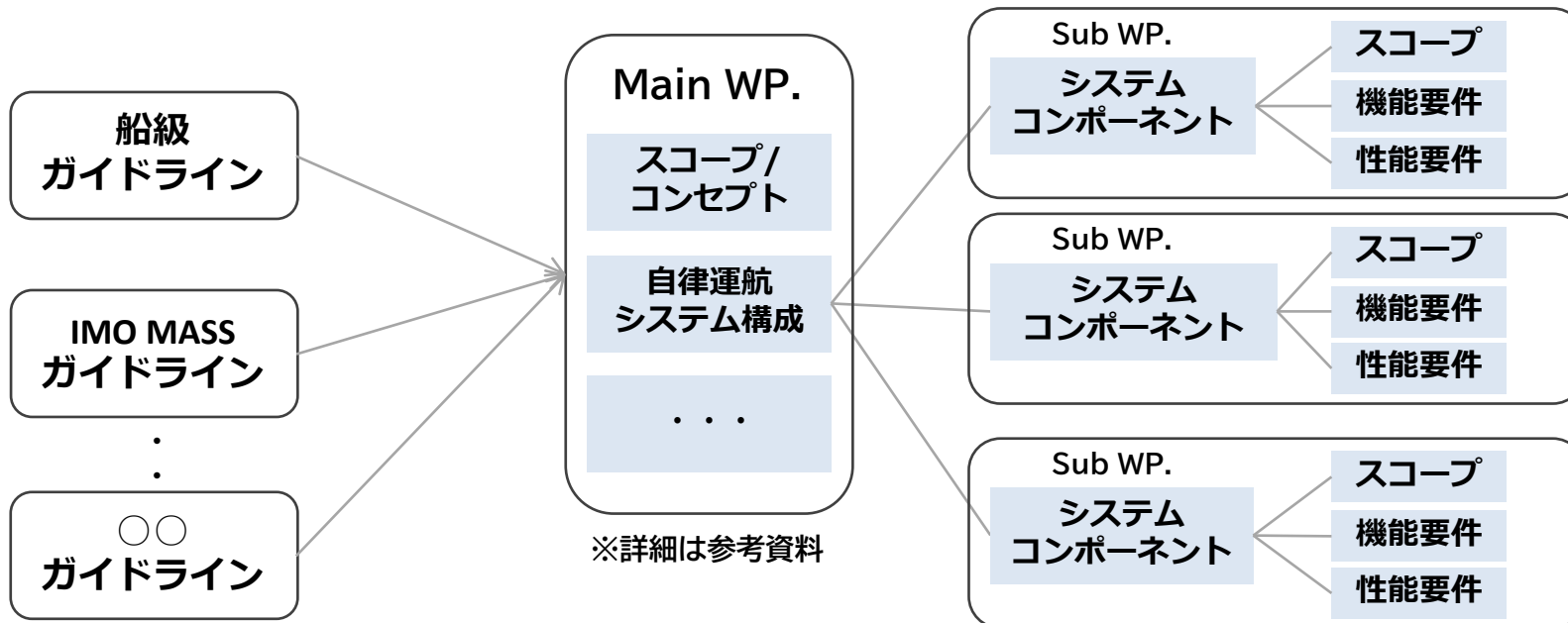
- 短期目標：MEGURI2040で開発しているシステムのデファクトスタンダード化  
（＝日本型システムインテグレーション体制の整備）
  - 成果物：フォーラム規格（ガイドライン、フレームワーク）の作成  
⇒ **White Paperの作成**
- 長期目標：上記成果物を国際規格化（ISO、IEC）への推進
  - 成果物：**自動運航船の規格化**



# 規格WGの成果物

## 規格WG 成果物 (Whitepaper)

- ドキュメント種別：
  - Main 自律運航システム全系を説明する資料 (Sub Doc. 間をつなぐための資料)
  - Sub 各WGの機能/性能要件を説明する資料 (自律船 構成技術の要素まとめた資料)
    - Main Whitepaper ⇒ 担当：PMO
    - Sub Whitepaper ⇒ 担当：規格WG リーダー + 主筆者



# 規格WGの成果物

自動運航船の要素技術である 8 項目にてWPを作成

WG名	目標成果物
Sensor	新規センサの性能要件およびIFを規定する
Integrator	Integratorの機能/性能要件およびIFを規定する
Planner	Plannerの機能/性能要件およびIFを規定する
Controller	Controllerの機能/性能要件およびIFの規定する
Propulsion	複数船を陸上監視し、機関士 1 名で安全運航ができる要件を規定する。
船陸通信	自律運航システム実現に向けた船陸間通信に関する要件を規定する
情報記録管理	自動運航船の運用、管理を行うのに必要な情報と、情報を共有する方法と範囲を規定する。必要なセキュリティ確保の方法についても規定する。
ステータス管理	自律運航システム実現に向けたシステムの集中管理機能に関する要件を規定する

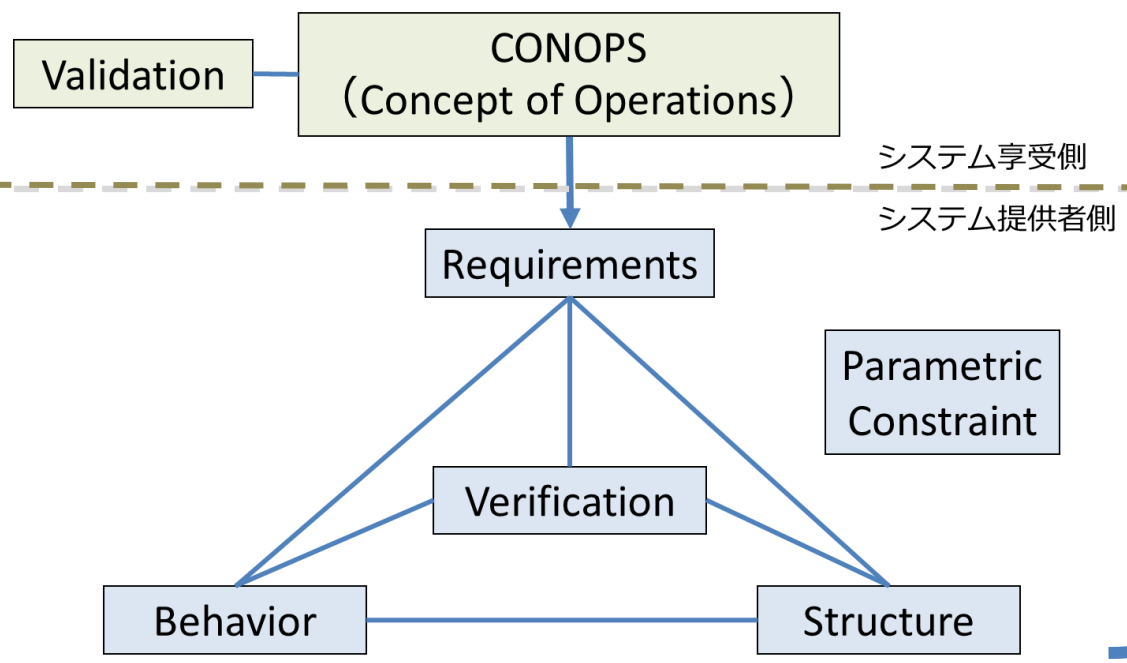
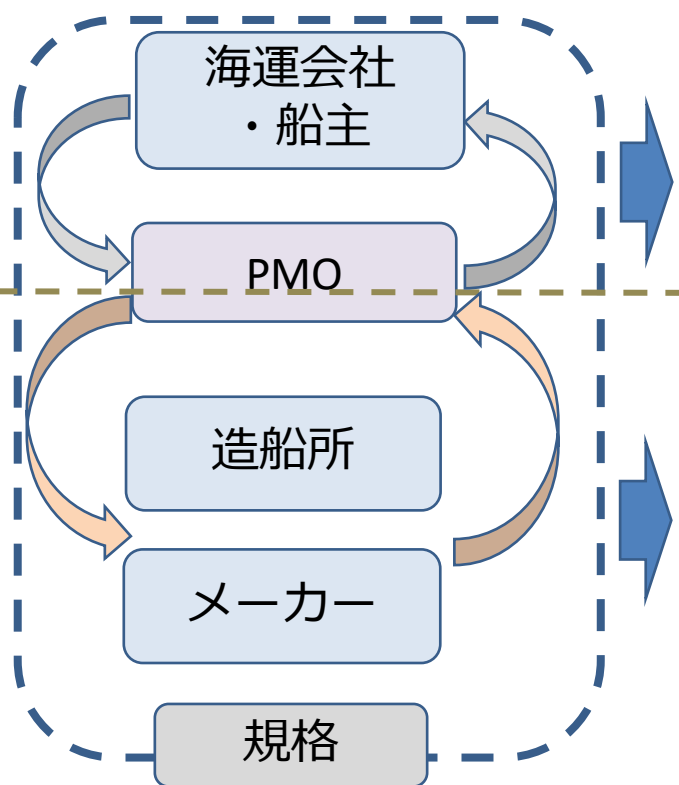
# 目次

1. 世界の自動運航船開発現状とNYKグループの自動運航船開発の取り組み
2. 自動運航船の開発プロセス紹介  
～MEGURI2040ステージ2を例に～
3. 自動運航船で実現したい未来  
～MEGURI2040ステージ2を例に～

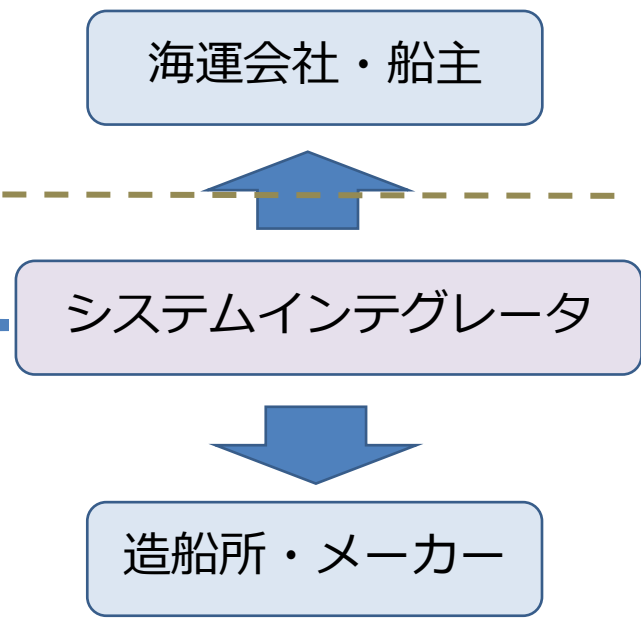
# DFFAS+にて想定される成果

- ◆ 2050年に向けた1st Stepでルールに適用できる自動運航船実用化
- ◆ 国際的・国内的な自動運航船に関するルール、規格整備
- ◆ 複雑な新機能開発における日本版システムインテグレーション体制構築

日本版システムインテグレーション

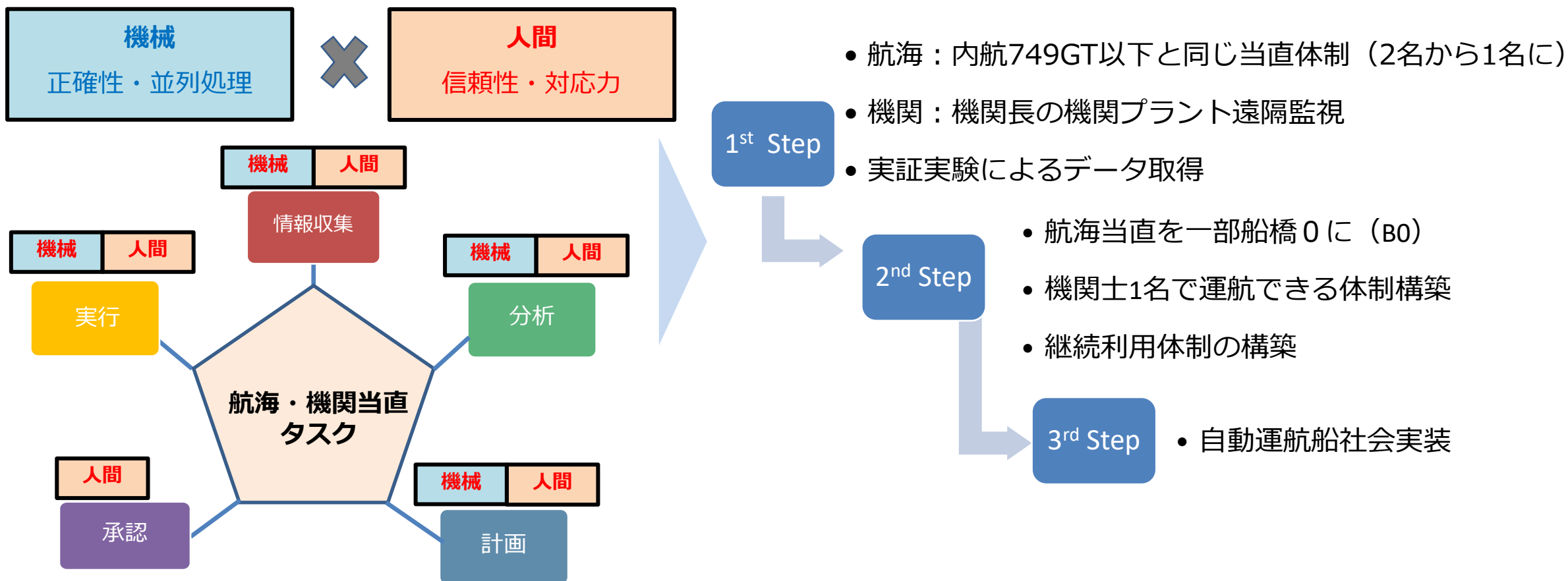


欧州システムインテグレーション



# 自動運航船によって想定される未来

自律化 = 人間と機械の相互補完により安全運航と本船の省力化の達成



# まとめ

- 自動運航船は**安全性向上、船員不足対応、物流の安定**を実施するための必要技術
- 自動運航船の**開発・検証・運用、教育を取りまとめる**システムインテグレーション体制が必要
- MEGURI2040で**日本版システムインテグレーション体制の構築**に挑戦
  - 開発、規格、社会実装の3本柱で実施。
- MTIは**PMO**（ConOps、概念設計、リスクアセスメント、評価検証）で本P Jに貢献



安全・安定の輸送環境を提供するため、**自動運航船を実装**していく。



**ご清聴どうもありがとうございました。**