

自動運航船の社会実装と船主の今後の役割

～Systems of Systemsの開発を通じた 高付加価値船への取組～

2025年12月2日

株式会社MTI 船舶物流技術グループ

中村 純

はじめに

- 高付加価値船 = **技術**・**収益**・**差別化**の三位一体

1. 高度な技術・装備を有する船舶

LNG運搬船、FSRU（浮体式貯蔵再ガス化設備）、FPSO（浮体式生産貯蔵積出設備）など。
自動運航技術、環境対応技術（低排出ガス、燃費向上）、デジタル化・IoT活用など。

2. 特定用途に特化した船舶

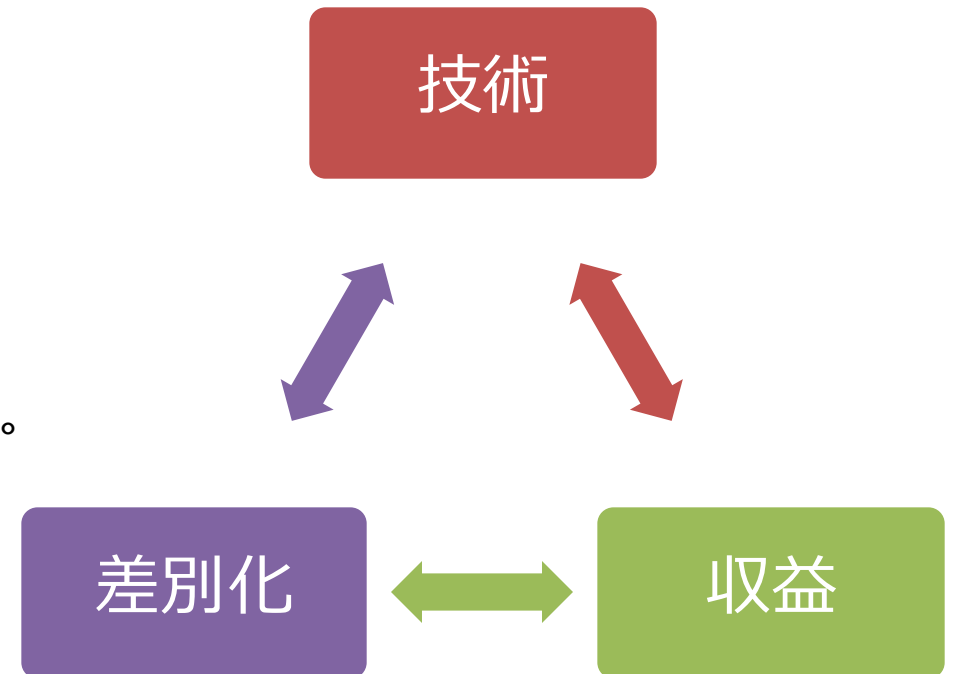
フェリー、クルーズ船、海洋資源開発船（掘削船、支援船など）。

3. 高い収益性・競争力を持つ船舶

建造コストは高いが、運航者にとっては長期的な収益性が高い。
保険料や運航コストの最適化、環境規制への対応などが評価される。

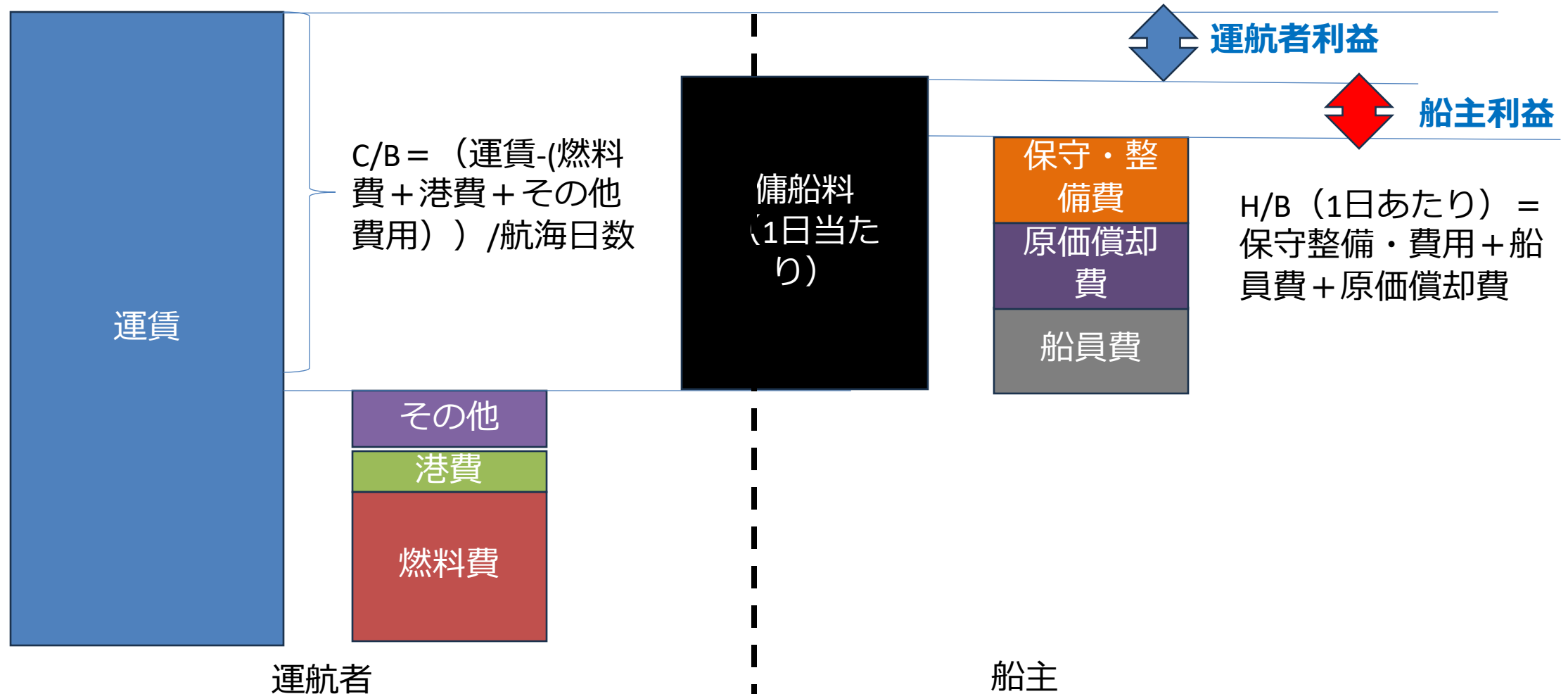
4. 差別化された設計・サービス

船主や運航者のニーズに応じたカスタマイズ設計。
船内の快適性、安全性、乗員支援システムなどの充実。



船主における不変の高付加価値船とは

- 事業継続性、安全運航、収益性を担保できる船



高付加価値船の一例：自動運航船

・自動運航船の定義

船舶の運航に係る認知・判断・操作を一貫して自動的に行う機能を有する設備やシステムを搭載した船舶。

自動運航船の技術フェーズ

・フェーズI：IoT技術活用船

船員の判断支援が主機能（最適航路提案、エンジン異常通知など）

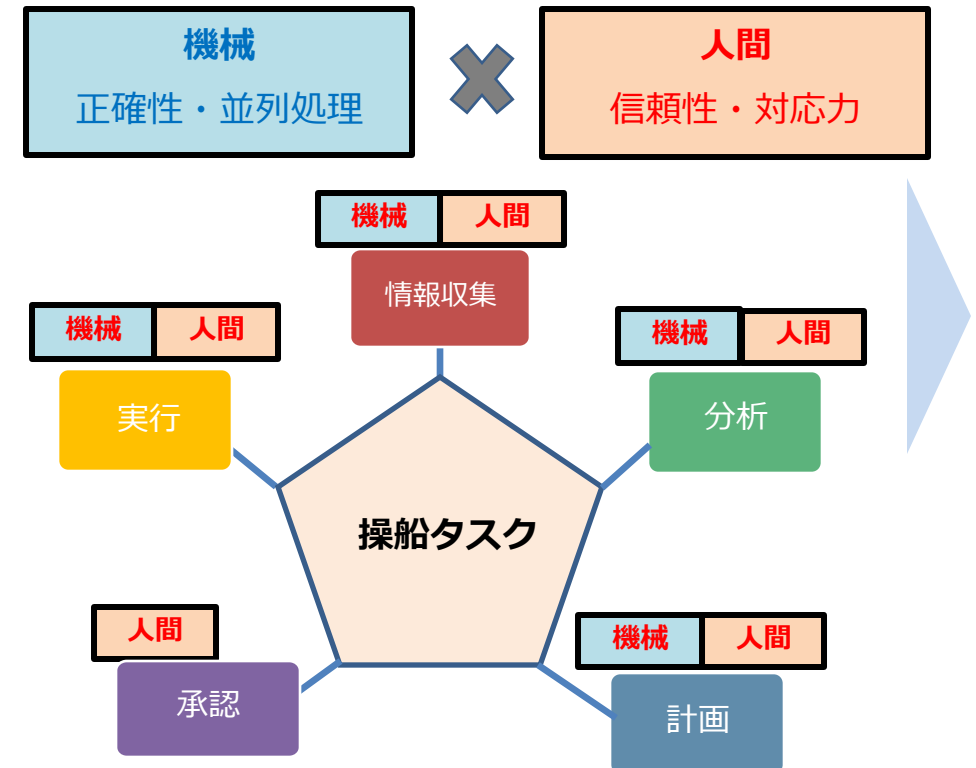
・フェーズII：高度なAI・遠隔操船による支援

陸上からの操船やAIによる行動提案で、最終意思決定者は船員

・フェーズIII：高自律性船

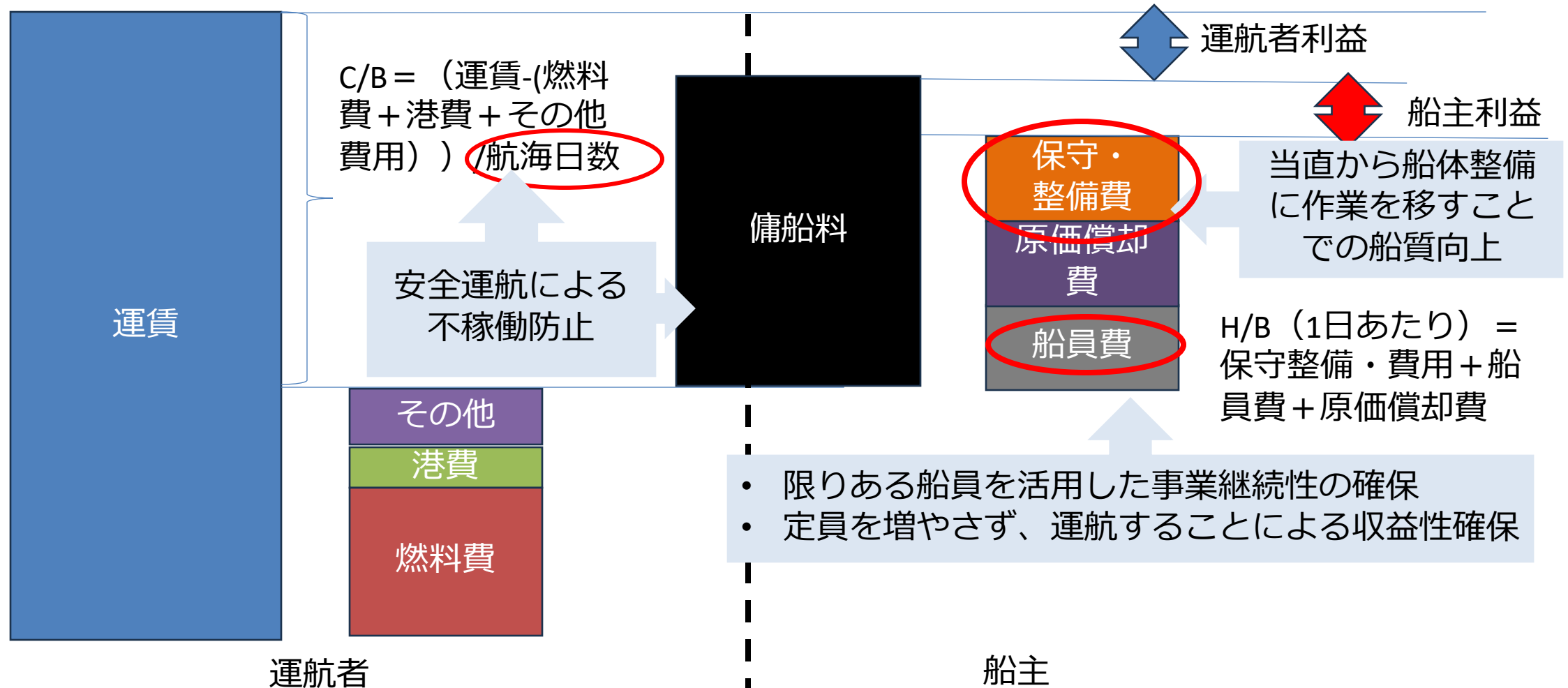
船舶の運航において、人間の判断が不要な領域が存在する船舶

* 国土交通省は、交通政策審議会海事イノベーション部会報告書（2018年）



自動運航船が高付加価値船である理由

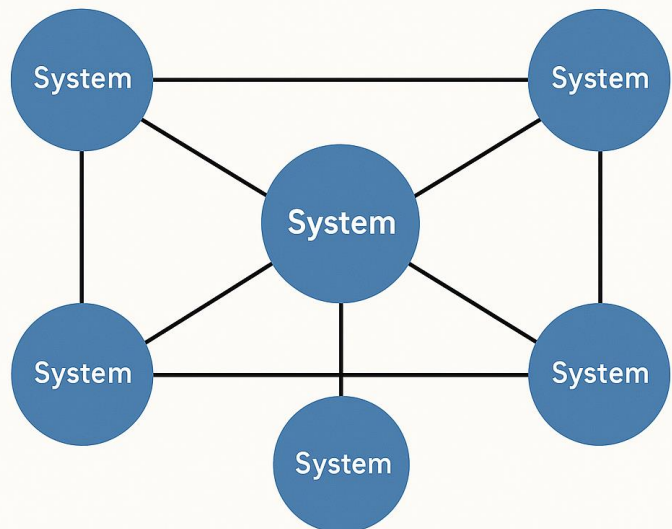
- 事業継続性、安全運航、収益性を人間・機械の協業で高めていく



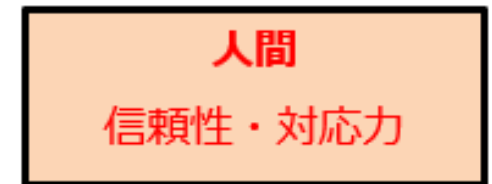
System of Systemsとは

- 「Systems of Systems (SoS) とは、複数の独立したシステムが連携し、より大きな目的を達成するために構成されたシステム群を指します。各システムは個別に運用可能でありながら、相互に情報を共有し、協調することで全体として高い付加価値を生み出す。

Systems of Systems

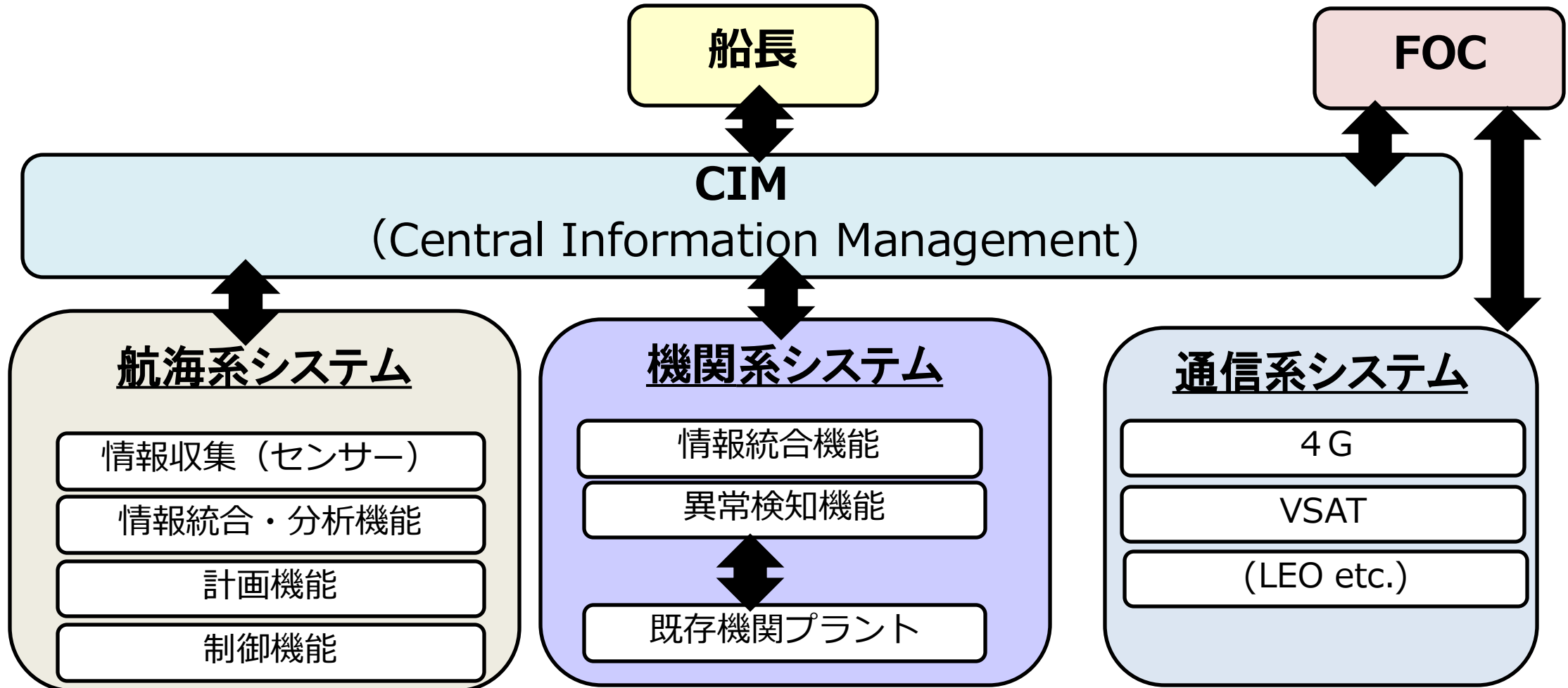


自動運航船は海技者が担っていた各システムの個別操作を**Systems of Systemsとして統合して労力の削減と安全性向上を目指した**もの。



MTIの考える自動運航船の構成要素

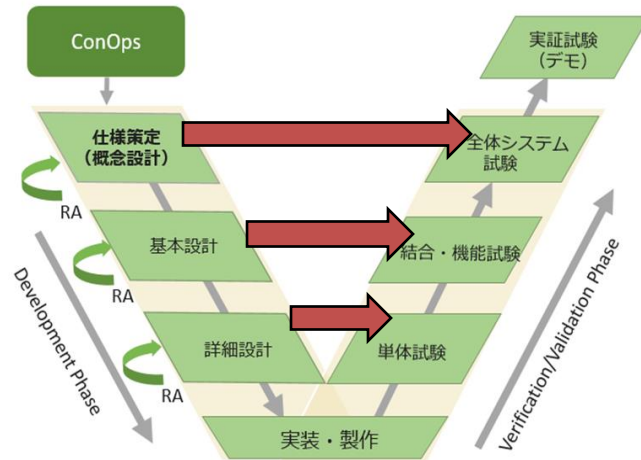
船長を最上位の責任者に置き**各サブシステムの状態をCIM (Central Information Management)にて管理**して、自律航行レベルを決めて航行するシステムです。



本船にSystem of Systemsを乗せる手法

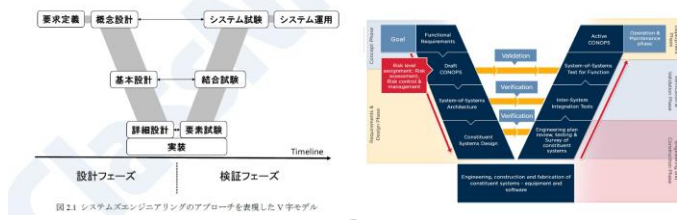
MTIでは**Vプロセス**という開発プロセスと**MBSE (Model Base Systems Engineering)** という設計手法を自律運航システム開発に用いています

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



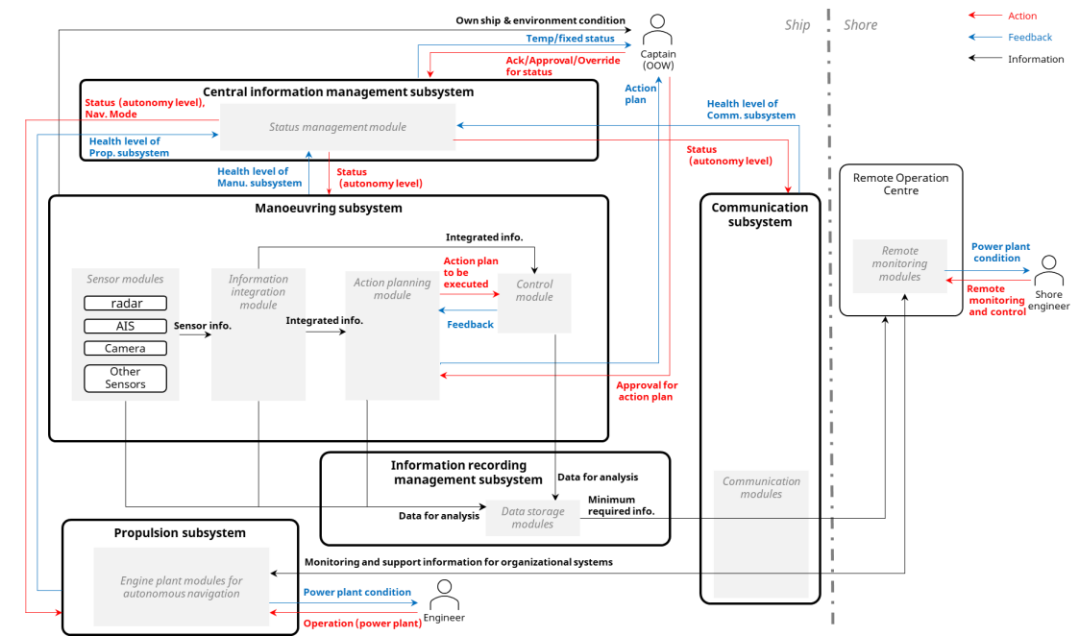
* 各設計時にリスクアセスメントを実施して設計の妥当性を確認

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**

MBSE (Model-Based Systems Engineering)：
システムエンジニアリングにおいて従来の文書中心の設計手法を、モデル中心のアプローチに置き換える手法



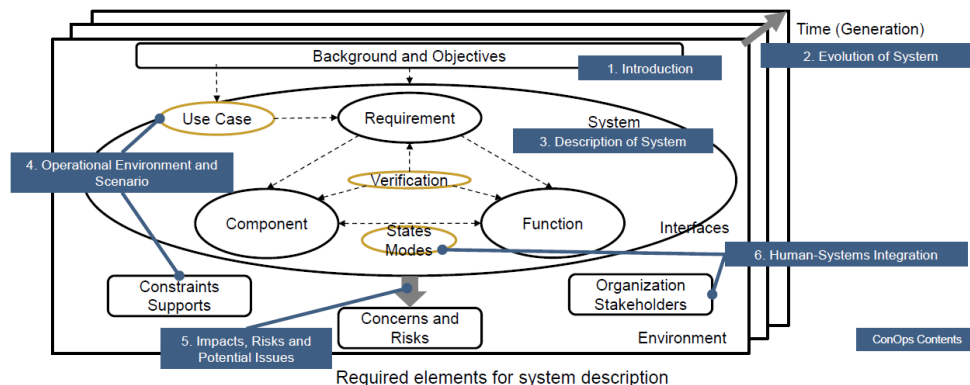
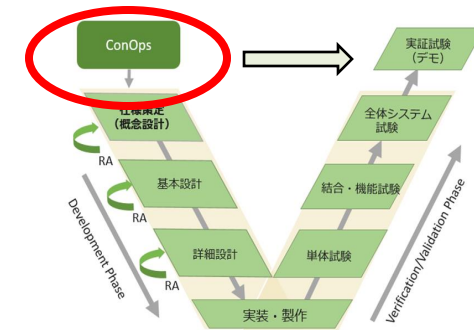
本船にSystem of Systemsを乗せる手法

自動運航船におけるConcept of Operation作成

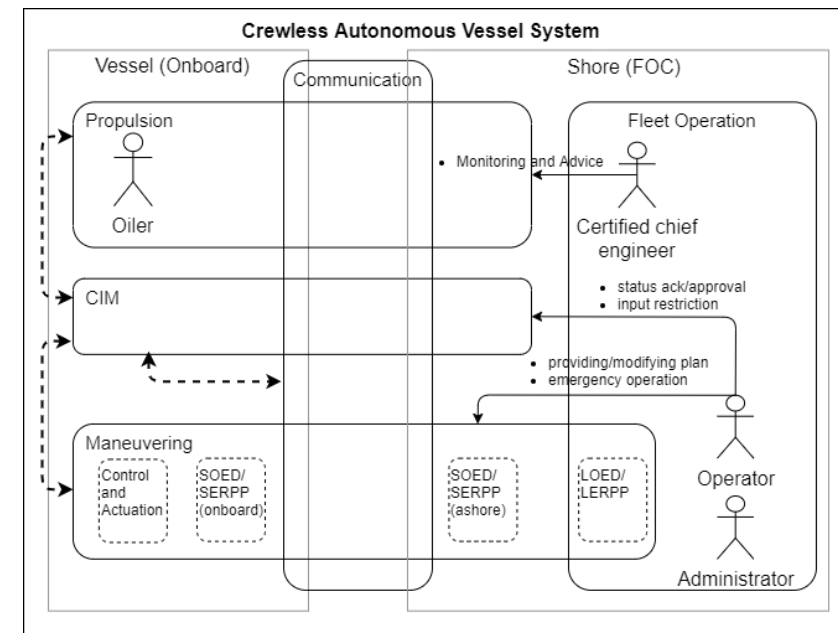
システム利用者からシステム開発者へ開発の目標を定め、**関係者間の合意を得る資料**
⇒最終的な**システム評価の元になる資料**を作ってきました。

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



本船にSystem of Systemsを乗せる手法

MTIの考える自動運航船運用例

ステータス	ステータス名称	ロイド	OneSea	HANDS	EYES	MINDS
Full Autonomous	Full Autonomous	AL4	Lv5	OFF	OFF	OFF
Monitoring	Monitoring Mind ON	AL4	Lv4	OFF	OFF	ON (Sometimes)
	Monitoring w/approval	AL3	Lv3	OFF	ON (Sometimes)	ON
Fallback	Track(*) Control * Speed Control 含む	AL2	Lv2 (TCS)	ON (Sometimes)	ON	ON
Fallback	Manual	AL1, 0	Lv1 (HC)	ON	ON	ON

自律

既存

NAV.MODE	[代表的なオペレーション] 定義 (例)
Unberthing	[解纜]姿勢制御, かいらん作業
Leaving	[離棧操船]姿勢制御, 速力コントロール可能(-5? < 速力 < 5?)
Harbour Out	[狭水路航行]トラックコントロール, 速力コントロール可能(0 < 速力 < MAX)
Coastal	[沿岸航行]トラックコントロール, 速力コントロール可能 (7?10?12?* < 速力 < MAX) (*) 補助プロアを回さない(ON/OFFを繰り返さない)程度の速力 or TCSが動く程度の速力.
Ocean	[大洋航行]トラックコントロール
Harbour In	[狭水路航行]トラックコントロール, 速力コントロール可能(0 < 速力 < MAX)
Approaching	[着棧操船]姿勢制御, 速力コントロール可能(-5? < 速力 < 5?)
Berthing	[係船]姿勢制御, 係船作業



本船にSystem of Systemsを乗せる手法

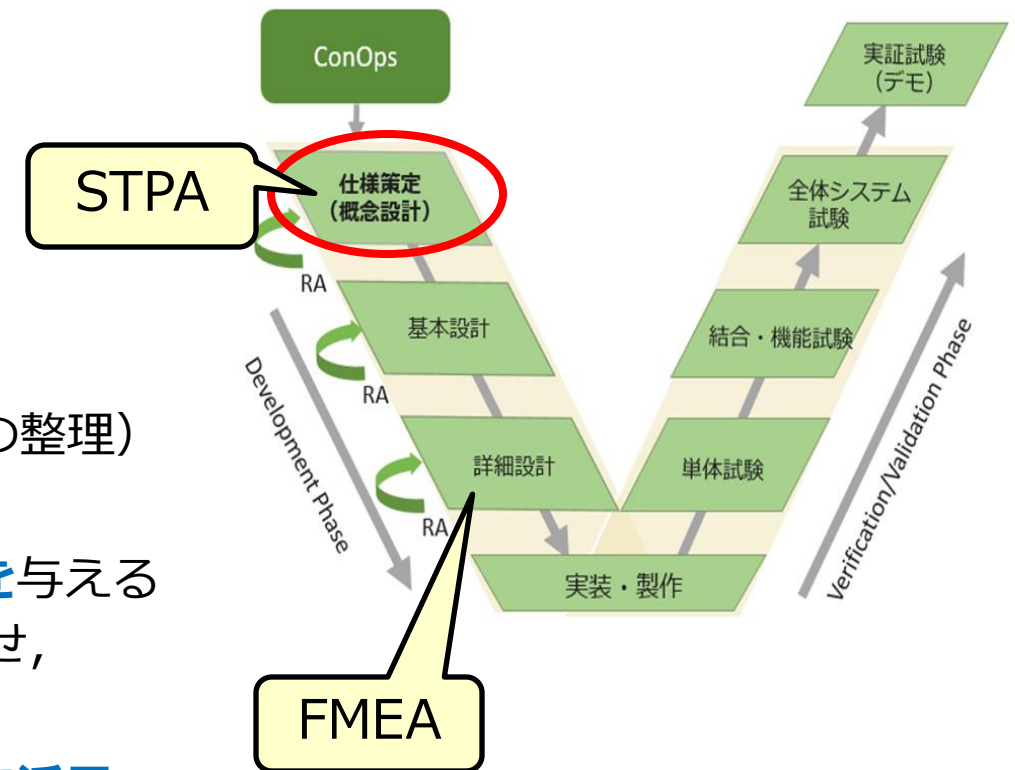
概念設計・リスクアセスメント とは

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
- 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

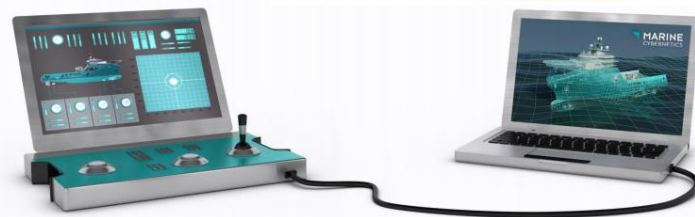
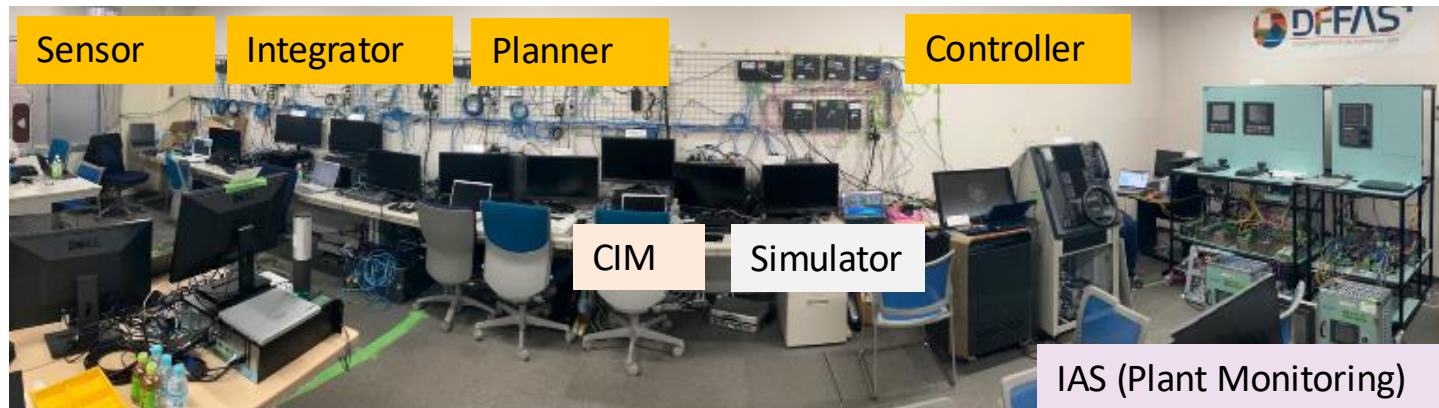
リスクアセスメントの目的

- 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
 - 複数のリスクアセスメント手法（STPA、FMEA）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**



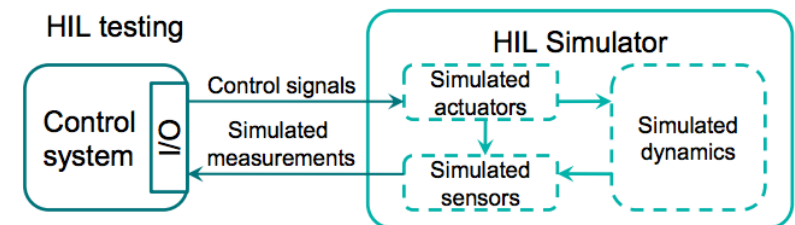
本船にSystem of Systemsを乗せる手法

HIL(Hardware In the Loop) test arrangement



Control system
(Autonomous Navigation System)

simulator



Courtesy) DNV, CyberSea

本船にSystem of Systemsを乗せる手法

避航

本船上の洋上試験 (Systems of Systems Test)

- ・ 各種センサーの洋上調整
- ・ 計画立案機能のパラメーター調整
- ・ 制御機能のパラメーター調整
- ・ 統合システムとしての振舞い確認
- ・ 概念設計で設計したシステムの動作、リスクアセスメントを元に検討したバリアの効果確認

離着岸

実装事例・プロジェクト紹介

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第2弾**です。

無人運航船プロジェクト
**MEGURI
2040**

日本財団
THE NIPPON
FOUNDATION

DFFAS+
Designing the Future of Fully Autonomous Ships

期間：2022年10月～2026年9月

参加者：計**53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）

実装事例・プロジェクト紹介

無人運航船プロジェクト
**MEGURI
2040**



MEGURI2040における自律運航システムの開発内容

- ・システム状態監視
- ・情報記録管理

陸上支援センター



動静監視
長期航海計画策定
機関プラント監視



通信
サイバーセキュ
リティ

航海系システム

情報収集

情報統合
分析

避航計画
着岸計画

本船制御



機関係システム

異常検知
遠隔状態監視
故障原因推定

実装事例・プロジェクト紹介

- 新来島どっく建造 PCC S3770番船、S3771番船での自律航行システム搭載



- 自律操船海域
大洋海域、沿岸航海のみ
- 航海系に限定した自律航行システム

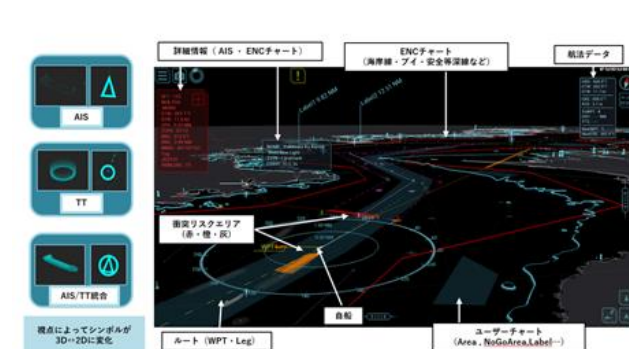
航海系システム

情報収集

情報統合
分析

避航計画

本船制御



System of Systemsを使う側に求められること

自動運航船を利用する**傭船者・船主・管理会社には運用管理が必要**になります

現状の本船管理規程

(外航船)

- ・ ISMコードに基づいたSMS
(Safety Management System)

(内航船)

- ・ 内航海運業法における安全管理規程
(傭船者作成)
- ・ 船主・管理会社の任意SMS

MTIにおいては内航では安全管理規程、外航ではSMS
を参照しながら自動運航船の運用管理方法を作成

System of Systemsを使う側に求められること

自動運航船の運用管理には人・機器ともに**管理体制構築が必要**になります

対乗組員に求められる項目

- 自動運航システムに対する習熟訓練
- 自動運航システム、遠隔操船システム、遠隔監視システム使用時の乗組員とシステム、遠隔操船、遠隔監視者の役割分担

本船の機器管理として求められる項目

- 自動運航システムの説明資料
- 不具合/非常時対応手順
- 自動運航システムの変更管理体制（ソフト、ハードともに）
- 自動運航システムの保守管理体制

今後の展望

- 国際情勢

- IMOで非強制MASSコードが**2026年5月に採択予定。**
 - ⇒ 今後各国データ収集を実施（Experience Building Phase）
- 2030年に強制MASSコード採択、2032年に発効予定
- ISO/TC8/SC26で自動運航船に関する規格作り開始
 - ⇒ MEGURI2040のフォーラム規格ベースで**規格案を提案予定**

- 国内情勢

- 国土交通省が**以下の規則内**に自動運航船を定めた。
 - 船舶安全法施行規則
 - 船舶自動化設備特殊規則
 - 国交省海事局船員政策課通達 国海員第68号「自動運航船に乗り組む乗組員に係る教育訓練について」

自動運航船の社会普及に向けて課題と今後の対応

課題	今後の対応
<ul style="list-style-type: none"> 船主が経済合理性を含めて、自動運航船を利用できる体制の構築 	<ul style="list-style-type: none"> 各種講演を通して、自動運航船の紹介 社会課題を解決するための規則見直し
<ul style="list-style-type: none"> 商業ベースでSystems of Systemsである自動運航船を開発、搭載できる体制 	<ul style="list-style-type: none"> MEGURI2040でフォーラム規格の作成 フォーラム規格をISO、IECなどの国際規格の作成
<ul style="list-style-type: none"> System of Systemsを検査、審査を簡易に進める体制、仕組作り 	<ul style="list-style-type: none"> 各国、各船級ガイドラインを構築。 上記の審査を造船所、メーカーの開発プロセスに取り込んでいく
<ul style="list-style-type: none"> 各要素技術に対する社内試験、および第三者検査体制の構築 	<ul style="list-style-type: none"> 各種テストシナリオの標準化 メーカー側のテスト環境整備
<ul style="list-style-type: none"> 船主が自動運航船を運航できる社内船内体制構築 	<ul style="list-style-type: none"> 運航指針の雛型を作成
<ul style="list-style-type: none"> 乗組員に対する習熟訓練体制の構築 	<ul style="list-style-type: none"> 教育・訓練が実施できる機関の育成 教育の標準化

まとめ

- 自動運航船は船主、海運会社にとって開発が進めば、**事業継続、安全性、収益性から息の長い高付加価値船**となる可能性を秘めている。
- 内航船、外航船問わず船員不足の日本では**輸出入手段確保、国内物流の維持の面といった経済安全保障の観点**でも自動運航船の社会普及は重要。
- 自動運航船はSystems of Systemsであり、**開発、検査、運用の面**から新しい手法が必要である。
- 自動運航船を社会普及させるためには、**国、船級、メーカー、造船所、船主、教育機関**それぞれが課題を解決していく必要がある。
- MTIは関係各所と**協力しながら自動運航船の社会普及**に取り組んでいきます。

ご清聴ありがとうございました。