

# 自律システム開発におけるモデルベースドアプローチ ～ 自律船コンセプト「APEX<sup>o</sup>S-auto」を例に～

2020年11月26日

株式会社MTI 船舶物流技術グループ  
沓名 弘二

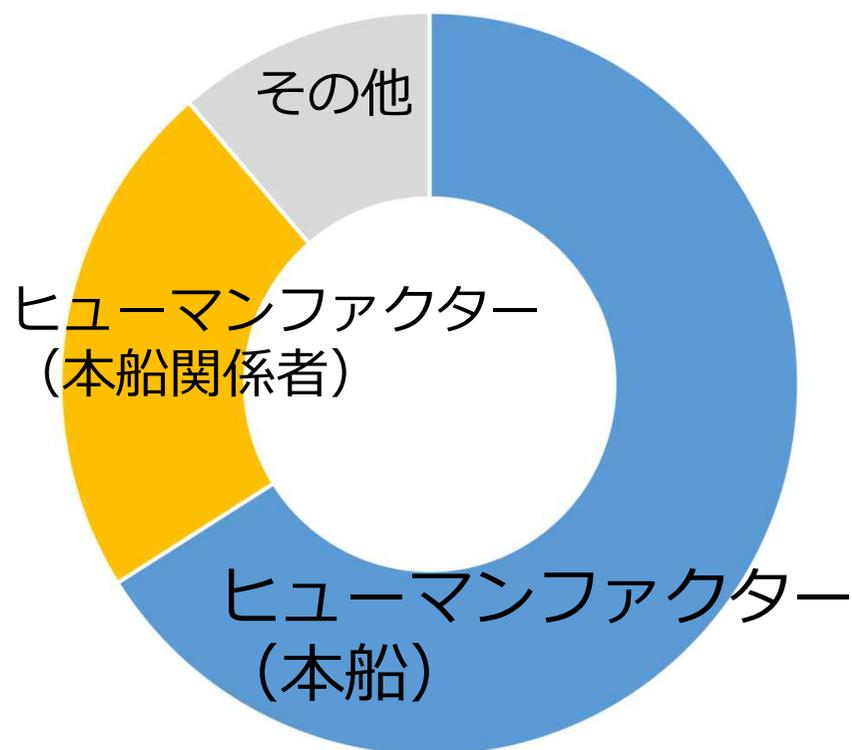
自律システム開発におけるモデルベースドアプローチ  
～ 自律船コンセプト「APEX-S-auto」を例に～

## 目次

1. 自動運航技術による貢献
2. APEX-S-auto (Action Planning and Execution System-auto)
3. モデルベースドアプローチ
4. モデル活用に必要の人材・組織
5. まとめ

# 自動運航技術による貢献（短期）

## 航海事故の原因分布

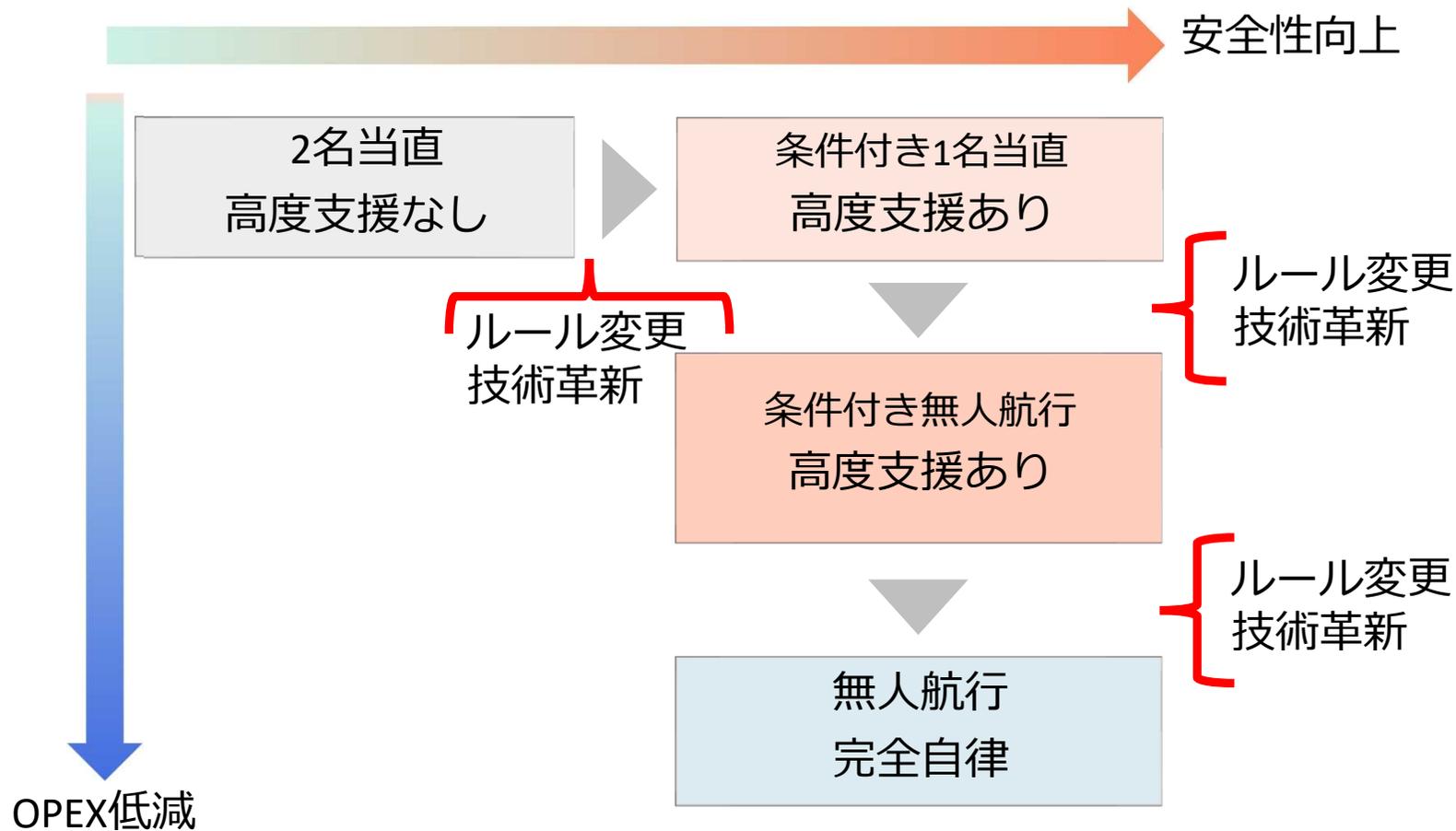


## 自動化及び高度支援



顧客信頼の  
獲得・差別化

# 自動運航技術による貢献（長期）



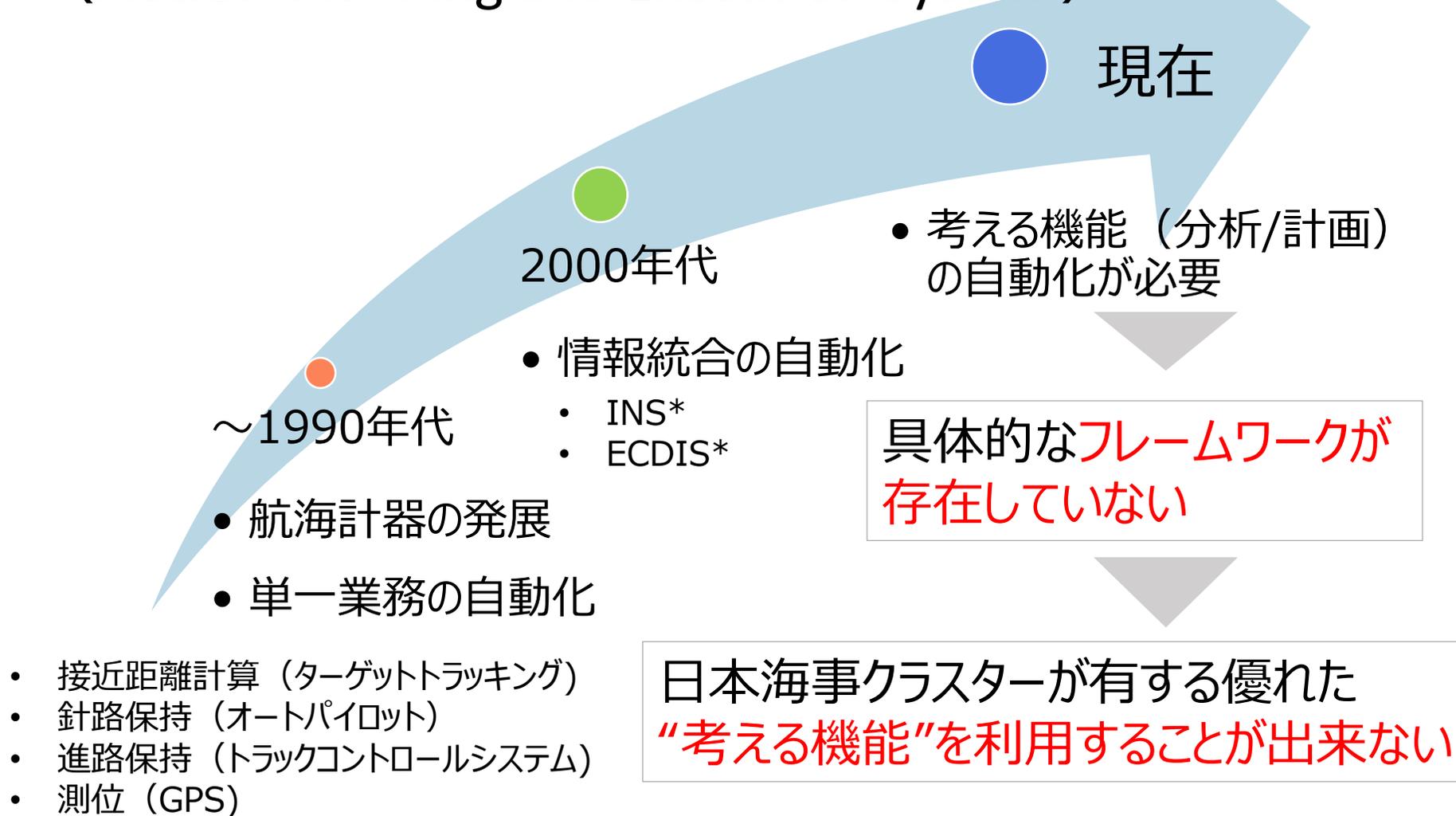
- 当面の間、損失削減と差別化が目標
- 長期的にOPEX削減も目標

# 自律システム開発におけるモデルベースドアプローチ ～自律船コンセプト「APEX-S-auto」を例に～

## 目次

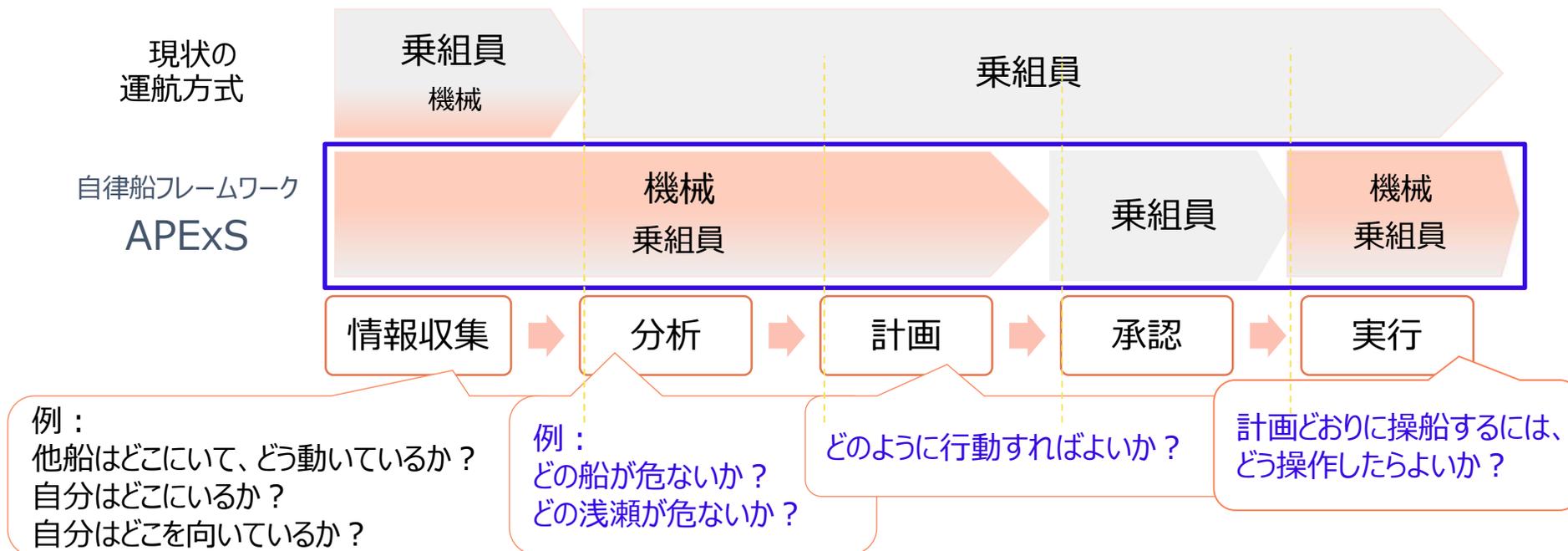
1. 自動運航技術による貢献
- 2. APEX-S-auto (Action Planning and Execution System-auto)**
3. モデルベースドアプローチ
4. モデル活用に必要な人材・組織
5. まとめ

# APEXS開発の背景 (Action Planning and Execution System)



\* INS（Integrated Navigation System）：航海計器群の情報統合  
ECDIS：電磁海図表示装置、海図と航海計器の情報統合

# 自律船フレームワーク APExSとは？



APExSとは、コンピューターが、

- ① 情報統合・分析・行動計画の策定を行い、
- ② 操船者に対して行動計画を示し、
- ③ 操船者の承認の下に行動計画に従って操船を行うシステム



# APExSの機能範囲

- 離棧から着棧までの全航海フェーズにおける衝突及び座礁防止

離棧操船

出港操船

沿岸・大洋航行

アプローチ操船

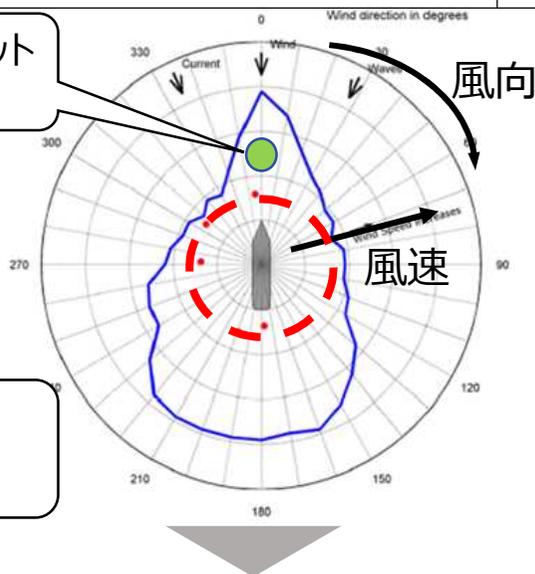
着岸操船



# APExSの特徴 柔軟なパラメータと使用範囲

	APExS (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 (ボトルネックが制約)
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)	前方から風速25ノットの風速は、 制御可能であり着棧可能	前方から風速25ノットの風速は、 使用範囲外であり着棧出来ない

例) 前方から25ノットの風がある場合

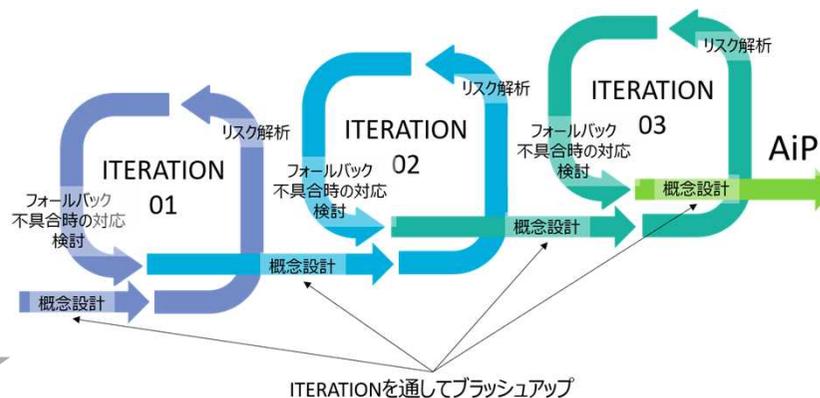


システムが制御可能な  
風向と風速の条件

- 利用範囲が人間の運用レベルまで拡大し、協業が可能
- 緻密な計算による明確な背景説明で、人間の技能を補完

# AiP (Approval in Principle)の取得

- ✓ HAZID\*/FMECA\*に基づくリスク解析
- ✓ 概念設計仕様書に対するレビュー



2020年2月20日 AiP取得 (NK殿承認第一号)  
→操船支援システムのあるべき姿が定まった



HAZID: Hazard identification 「ハザードの同定」  
FMECA: Failure mode effects, and criticality analysis 「故障モード影響致命度解析」

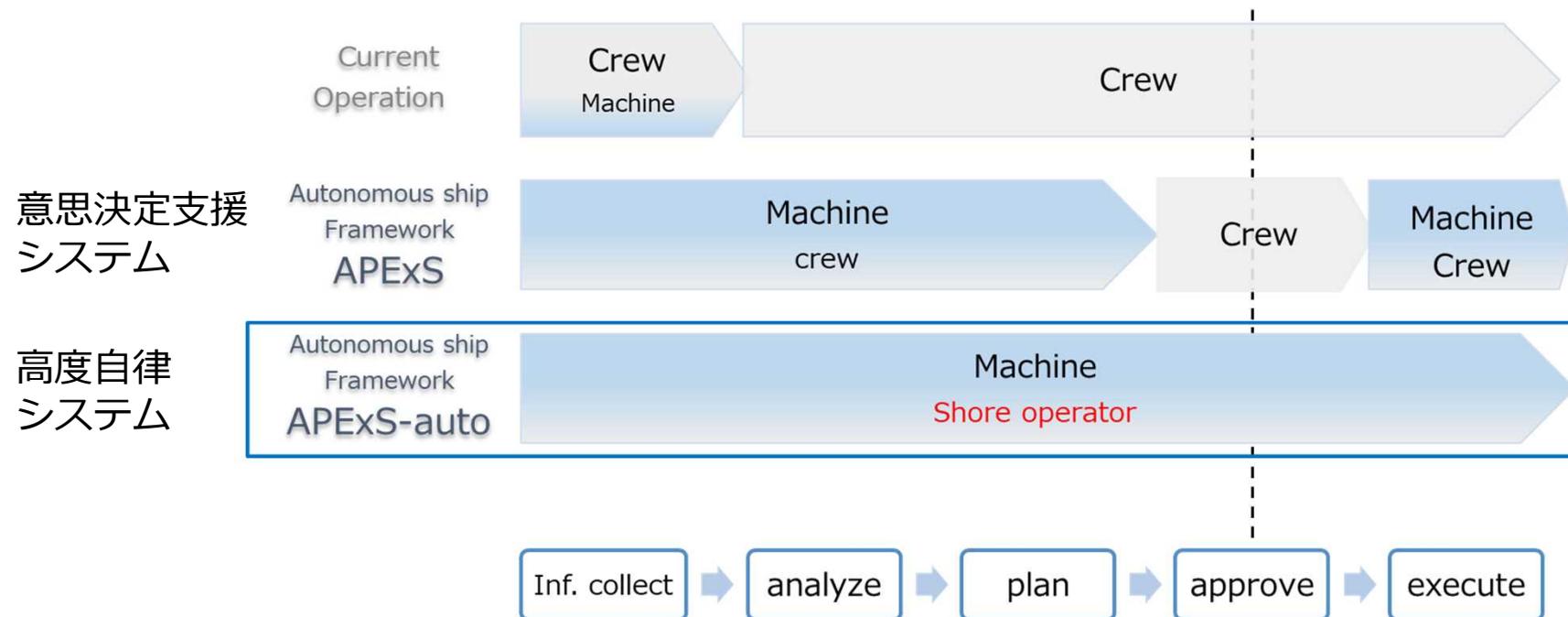
# APEXS-autoとは？

- APEXS

:計画策定までの認知タスクを実行する人間のための意思決定支援システム

- APEXS-auto

:一連の認知タスク及び実行までを一貫して実行可能な高度自律システム



- DFFAS プロジェクト (MEGURI2040) では、高度自律システム“APEXS-auto”に対するAiP取得を目指す

# System of Systemsへの対応

## モデルベースドアプローチが必須となる

- 高度な自律システムは System of Systems (SOS) とならざるを得ない
  - システムが巨大である
  - システムの機能階層が深い
  - システム同士が複雑に関係し、影響し合う
- MBSE (Model-Based Systems Engineering) によるアプローチ
  - 全ての関係者が共通のデザインモデルにアクセス、更新を行う
  - 全ての関係者が最新のモデルを使用して、システムを開発

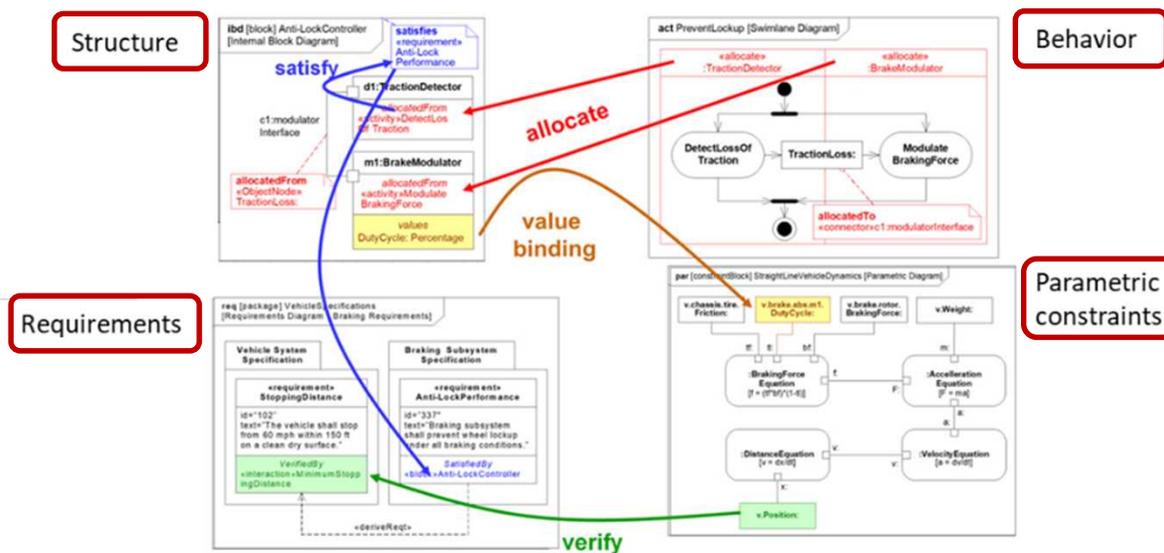


Figure: MBSE components and relations

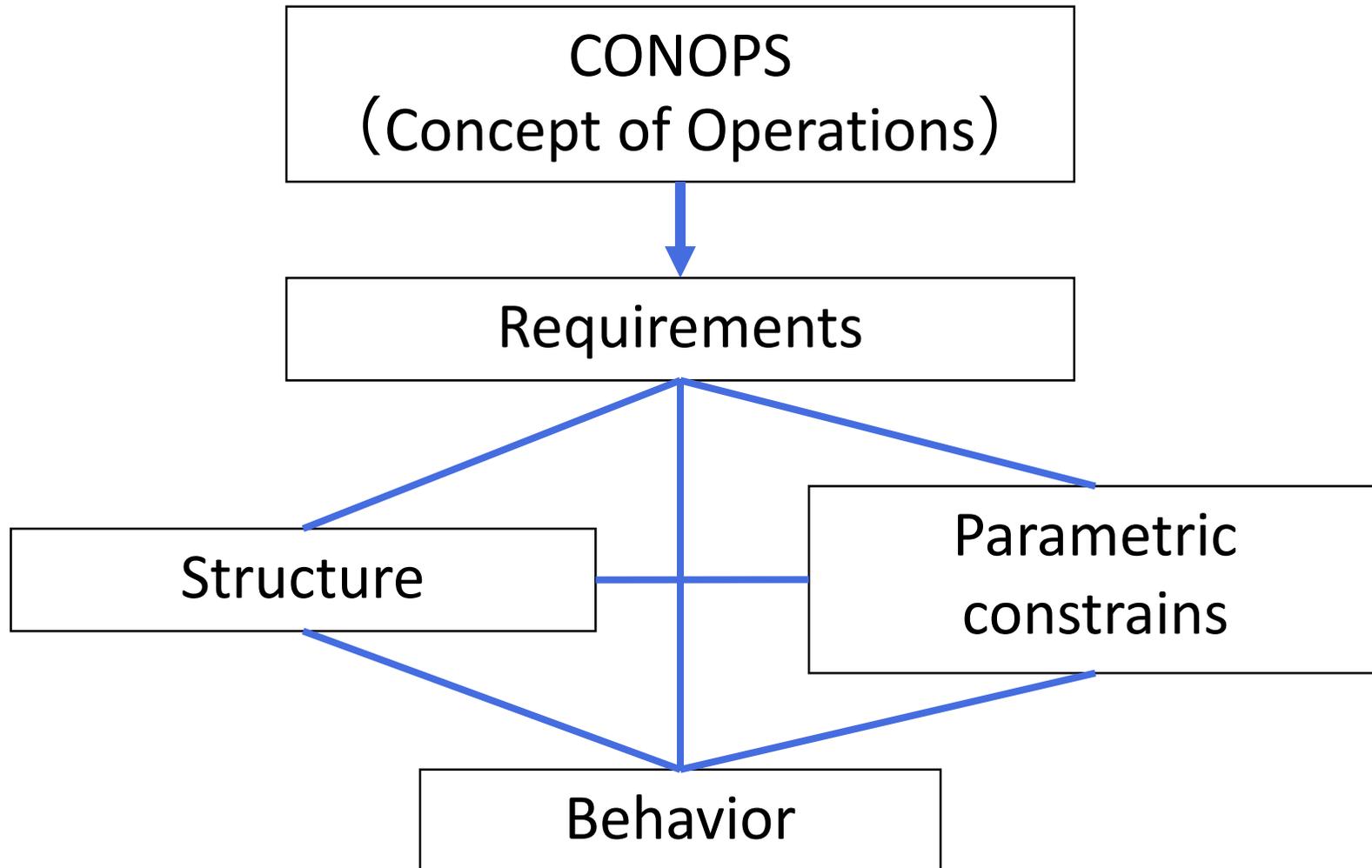
Reference) [https://techfactory.itmedia.co.jp/tf/articles/1804/13/news002\\_2.html](https://techfactory.itmedia.co.jp/tf/articles/1804/13/news002_2.html), (original in Japanese)

# 自律システム開発におけるモデルベースドアプローチ ～ 自律船コンセプト「APEXs-auto」を例に～

## 目次

1. 自動運航技術による貢献
2. APEXs-auto (Action Planning and Execution System-auto)
3. モデルベースドアプローチ
4. モデル活用に必要な人材・組織
5. まとめ

# モデルベースドアプローチ

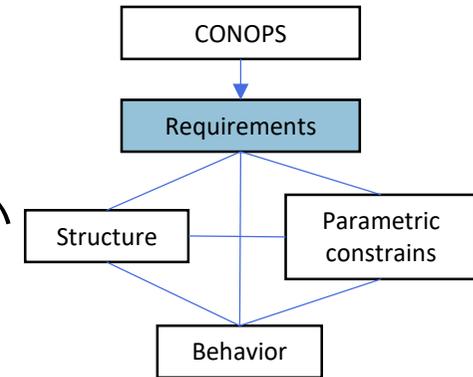




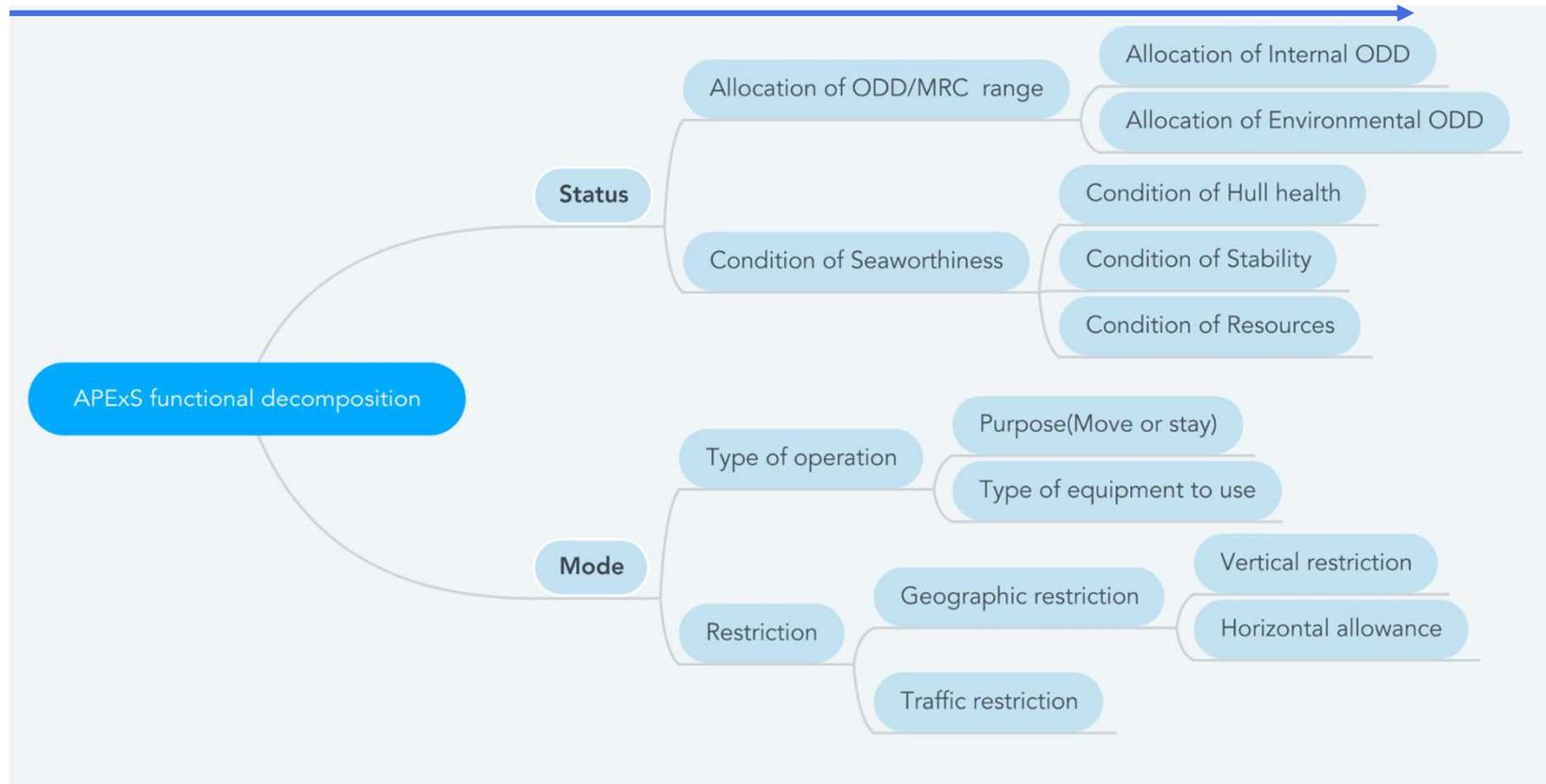
# 要求洗い出しのフレームワーク

## 機能分解アプローチが重要

- 自律船のSystem of systemsに必要な機能を上位から分解し、細部の機能要求まで落とし込む

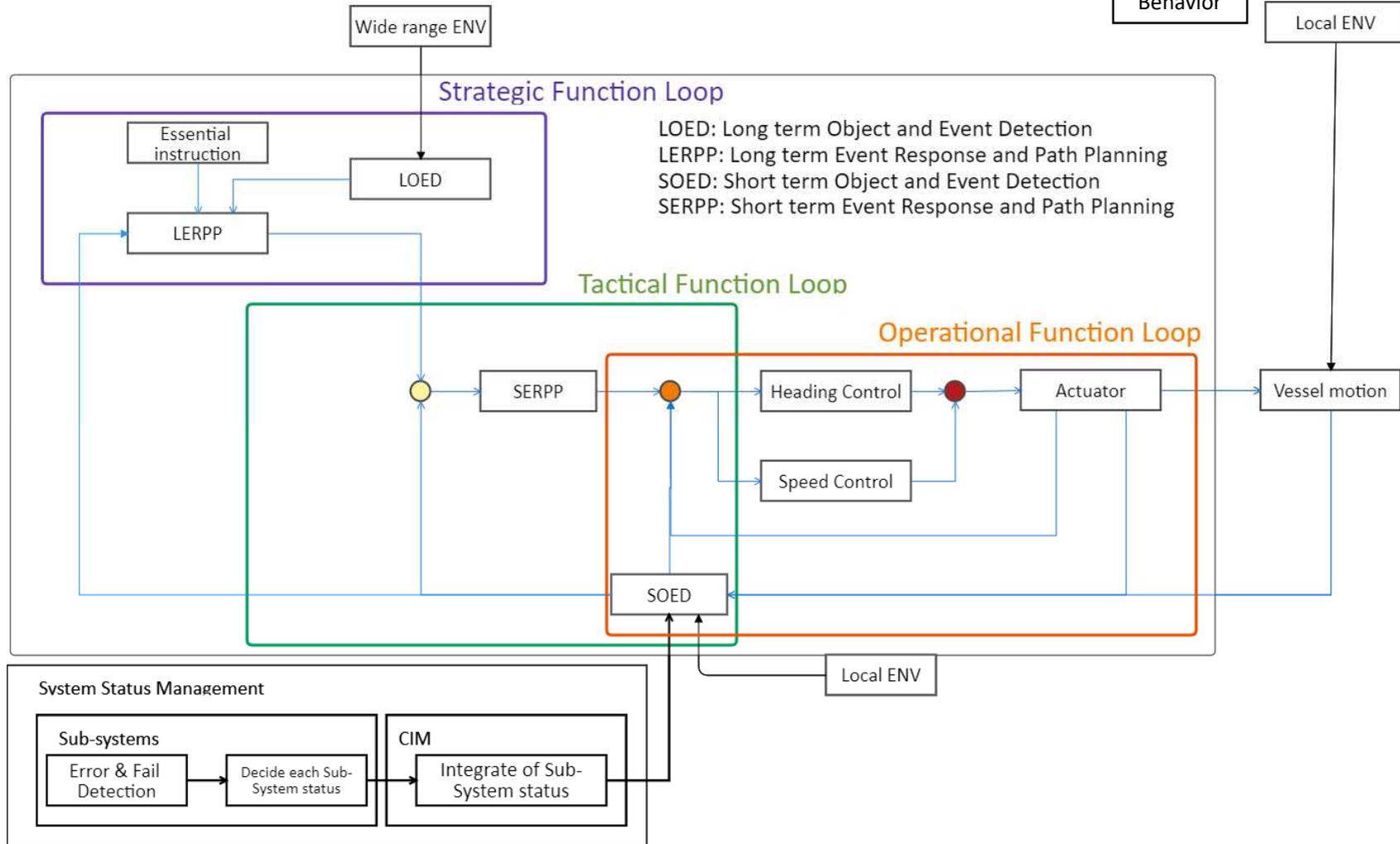
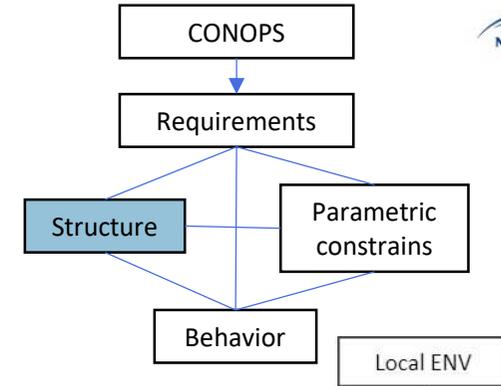


### Functional decomposition



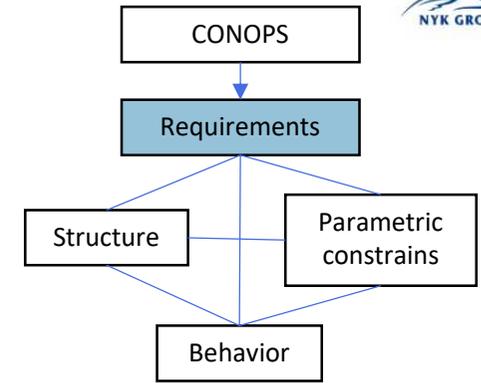
# モデル構築

機能ループを正確に捉えることが必要

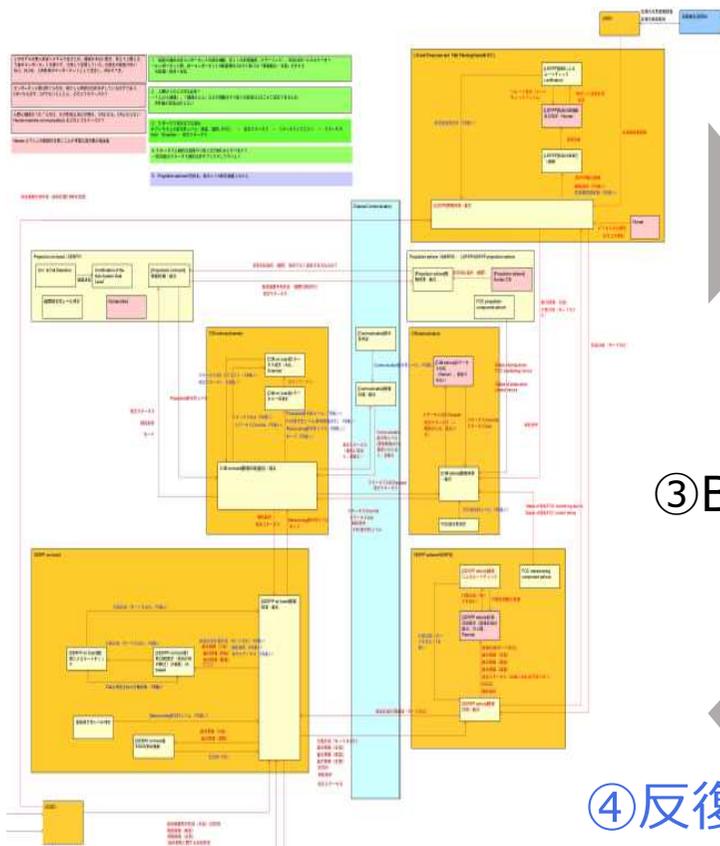


# 要求洗い出しのプロセス

## Safe equivalentの証明に耐え得る 要求洗い出しが必要



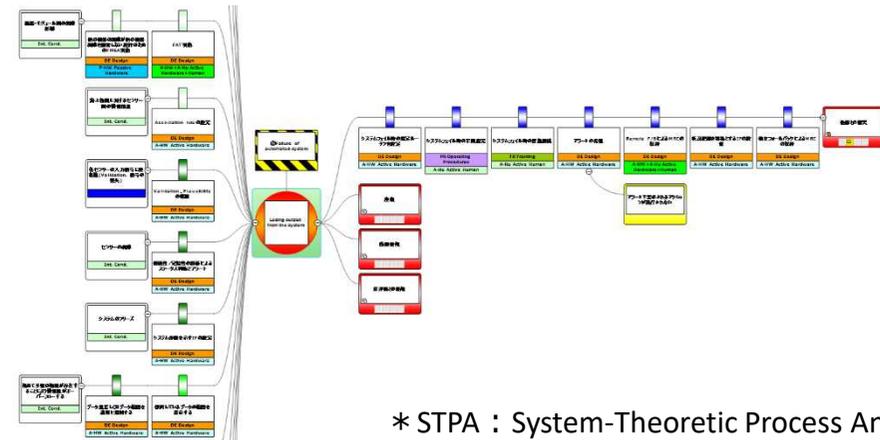
①具体化したモデルを作成



②STPA\*を用いて、  
システムの構成要素間の相互作用を検証

Mode	Event	To	Control Action	Not Finding	Finding cause/issue	See also / Top line	Stop too soon / Applying too long
1	制御開始	制御開始の検出 - 検出	ONM 実行/制御開始 - 検出	検出、変更	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致
2	制御終了 (モード切替)	制御終了の検出 - 検出	STOP 実行/制御終了 - 検出	検出、変更	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致
3	制御中 (モード切替)	制御中 (モード切替) 検出	STOP 実行/制御中 (モード切替) 検出	検出	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致
4	制御中	制御中	STOP 実行/制御中	検出	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致
5	制御中 (モード切替)	制御中 (モード切替)	STOP 実行/制御中 (モード切替)	検出	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致	検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致 検出と検出の不一致

③Bowtieモデルを用いて、対策を検討、リスクを算定



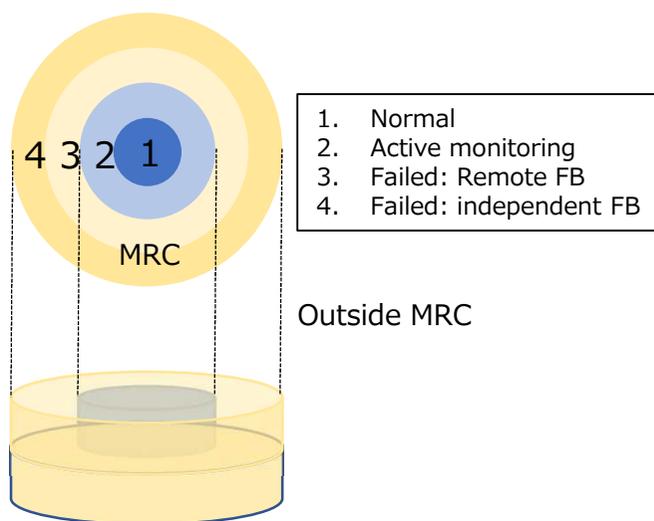
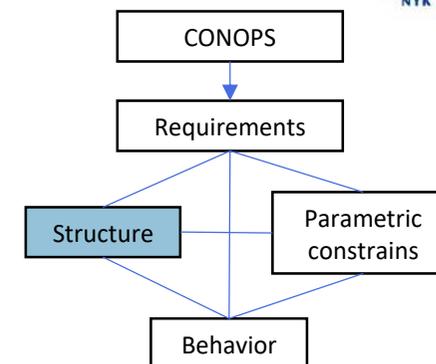
④反復

\* STPA : System-Theoretic Process Analysis

# ODD (限定領域) の構成

## ODDの具体的な設定が必要

- ODD (Operational Design Domain)  
: 自動化システムが適切に機能する範囲
- MRC (Minimum Risk Condition)  
: 自動化システムに異常が生じた際にとる、リスクが最小となる状態若しくは行動
- ODD は、内部環境に起因するものと外部環境に起因する2つが種類が存在する
  - External ODD: 風浪、潮流等の外部要因に起因するODD
  - Internal ODD: 機器の稼働状態等の内部要因に起因するODD



wind direction & speed  
in which the vessel can  
keep position and heading

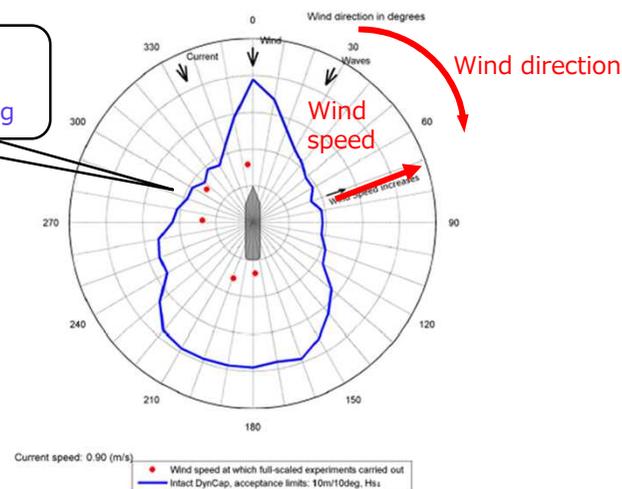
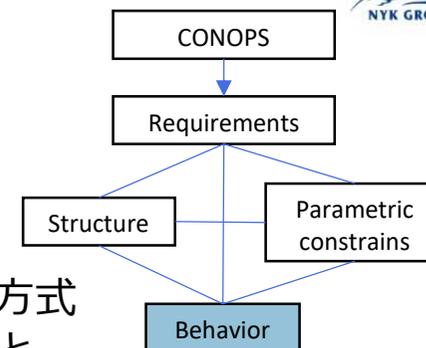


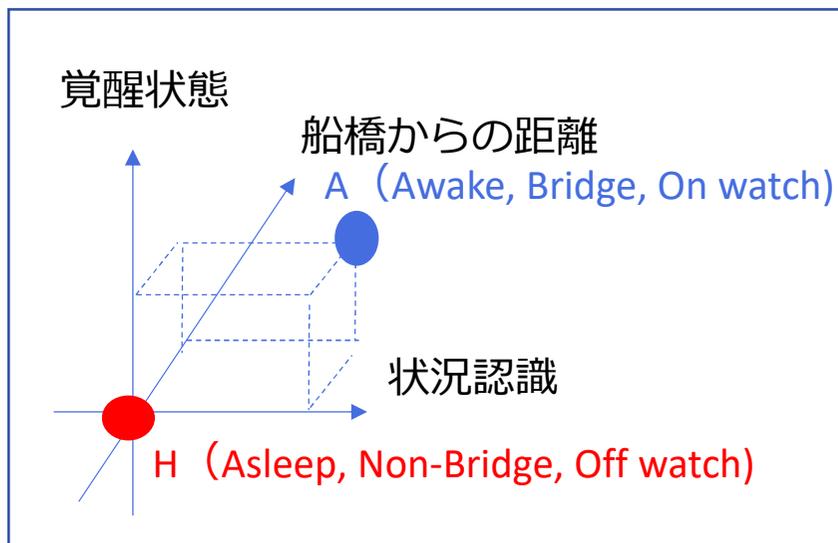
Figure 9: DynCap wind envelope for the design condition, comparison between experiments and simulations

# フォールバックの構成

## 具体的なフォールバック遂行の環境を定義



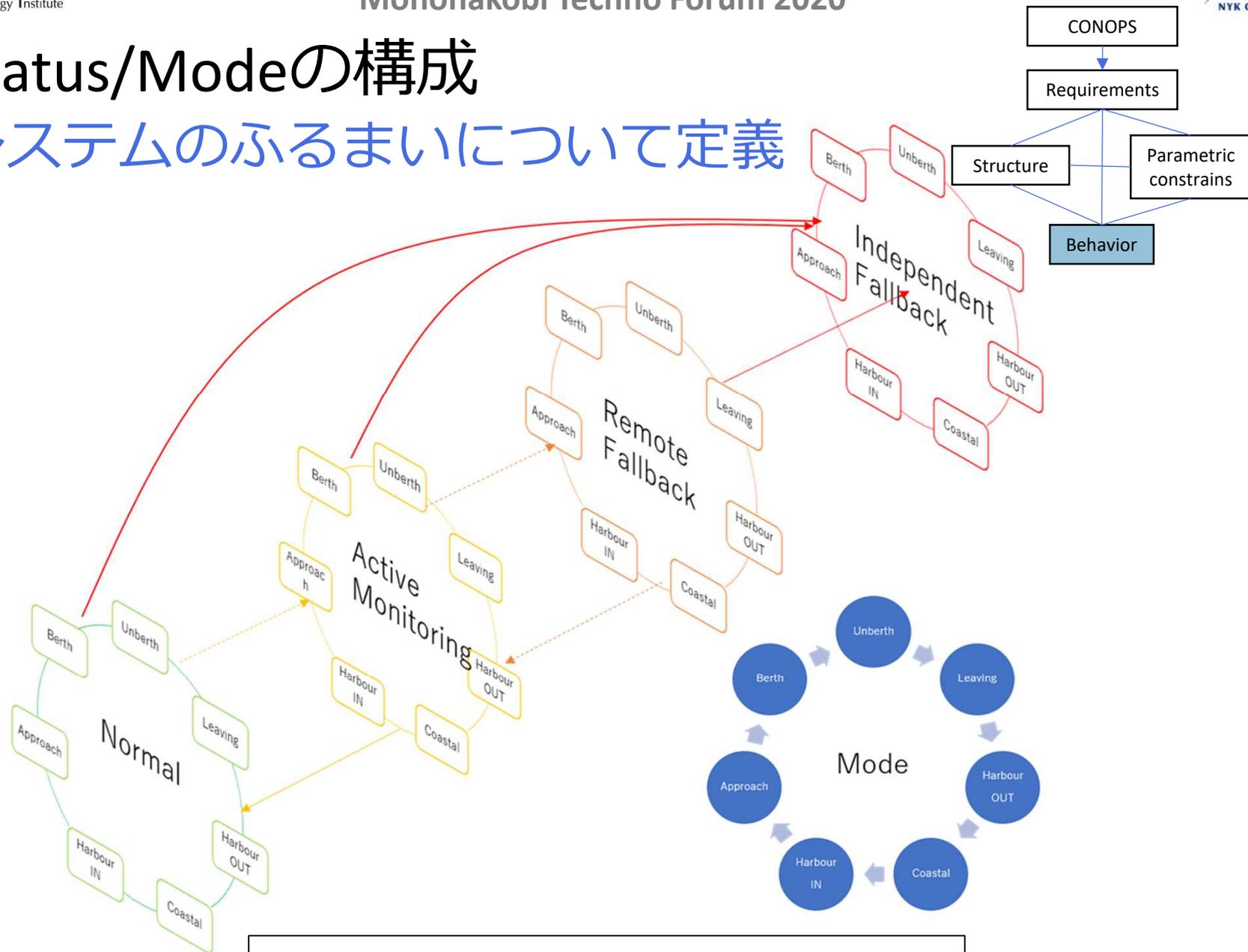
- フォールバック：機能が異常に陥った際に、機能を制限したり別の方式に切り替えるなどして、限定的ながら使用可能な状態を維持すること。
- 操船におけるフォールバックの余裕とは、おかれた環境、手順において、どれだけの時間的余裕を有するかで表現される。



	覚醒状態	船橋からの距離	状況認識	存在可否
A	awake	Bridge	On watch	○
B	awake	Bridge	Off watch	○
C	awake	Non-Bridge	On watch	○
D	awake	Non-Bridge	Off watch	○
E	asleep	Bridge	On watch	×
F	asleep	Bridge	Off watch	○
G	asleep	Non-Bridge	On watch	×
H	asleep	Non-Bridge	Off watch	○

# Status/Modeの構成

システムのふるまいについて定義



Mode within system state:  
Classification of voyage (unberth to berth)

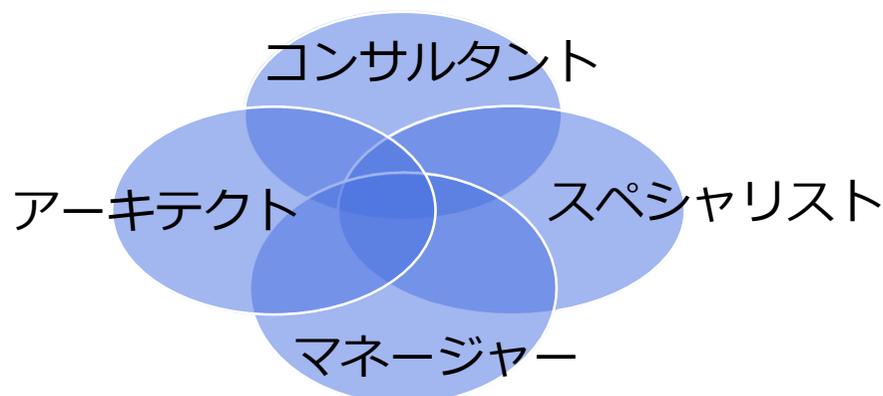
# 自律システム開発におけるモデルベースドアプローチ ～自律船コンセプト「APEXs-auto」を例に～

## 目次

1. 自動運航技術による貢献
2. APEXs-auto (Action Planning and Execution System-auto)
3. モデルベースドアプローチ
4. モデル活用に必要な人材・組織
5. まとめ

# モデル活用に必要な人材・組織とは？

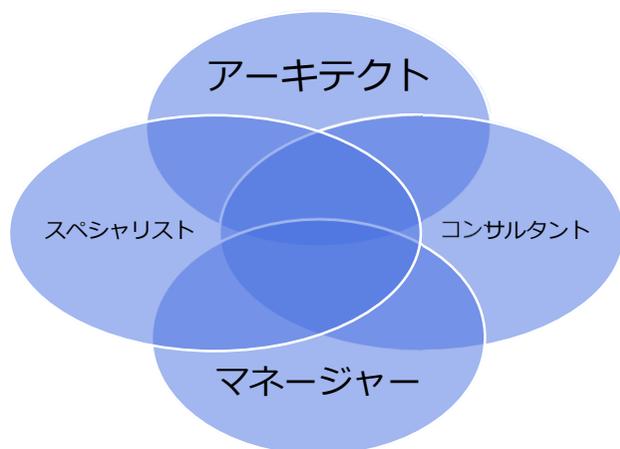
	役割	知識の深さ	知識の広さ	抽象化能力
コンサルタント	デマンドを的確に捉え、正しい方向を指し示す。フレーム構築、モデル化、リスク分析等を支援	浅い	広い	非常に高い
アーキテクト	最適な要素技術を組み合わせ、上位からシステム全体の構造を設計	深い	非常に広い	高い
スペシャリスト	特定分野の深い知識を提供 (ビジネス、運航、建造、電気、機器等)	非常に深い	狭い	普通
マネージャー	高度なマネジメント技術を活かし、開発を管理	浅い	広い	高い



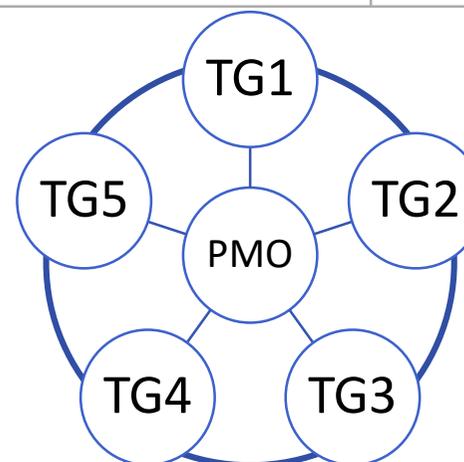
Marine autonomous design team

# 人材と組織への対応

ドメイン/ ロール	運航		開発				課題	解決策
	ビジネス	航海 機関	ICT	電気 機器	駆動 機器	船体・ 流体力学		
コンサルタント	ドメイン非依存						非常に高い抽象化能力と幅広い知識の確保	リスク管理の専門家とシンクタンクの協力
アーキテクト	○		○			○	技術階層の多さ、要求知識の深さ・広さ	抽象化能力の高い複数ドメインで補完
スペシャリスト	○	○	○	○	○	○	必要な人材の幅広さ	造船所、メーカー、船機長、オペレータのスペシャリストにより補完
マネージャー	ドメイン非依存						大規模プロジェクトにおける情報共有の即時性、影響確認	開発要素の分解と管理者の設定による有機的な情報交換の仕組み構築



Marine autonomous design team



Crowd type project group

\*TG: Technical group

自律システム開発におけるモデルベースドアプローチ  
～ 自律船コンセプト「APEXS-auto」を例に～

## 目次

1. 自動運航技術による貢献
2. APEXS-auto (Action Planning and Execution System-auto)
3. モデルベースドアプローチ
4. モデル活用に必要な人材・組織
5. まとめ

# 5. まとめ

## CONOPSの構成力

: Process

## モデルベースドアプローチ

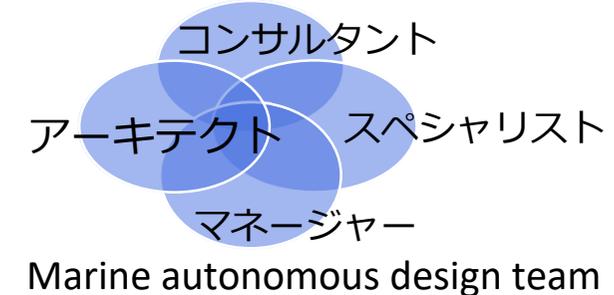
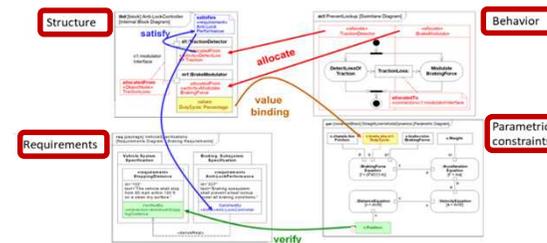
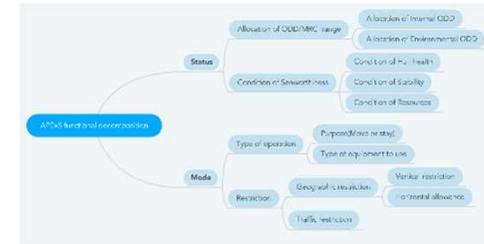
: Process

## Marine autonomous design team

: People • Organization

## 日本海事クラスターの技術力

: Technology



自動運航技術の構築には、  
PPTOのバランスと結合が肝要

**ご清聴どうもありがとうございました。**