

自律運航システムの 検証/評価環境の構築に向けて

2022年11月24日

株式会社MTI 船舶物流技術グループ 自律船チーム
鹿志村 亮介

目次

1. 自律運航船を巡る社会の動向とその課題
2. 自律運航システムの検証/評価環境構築の取り組み
3. 評価環境を構成する各機能要件の検討
 1. シナリオ生成機能
 2. 評価機能
4. 今後の展望
5. まとめ





自律運航船の現状

- 世界各国で自律運航船の技術開発と段階的な実証・導入が進む
- 技術開発と基準/制度の見直しが平行で実施されている

IMO 取り組み

国交省 取り組み

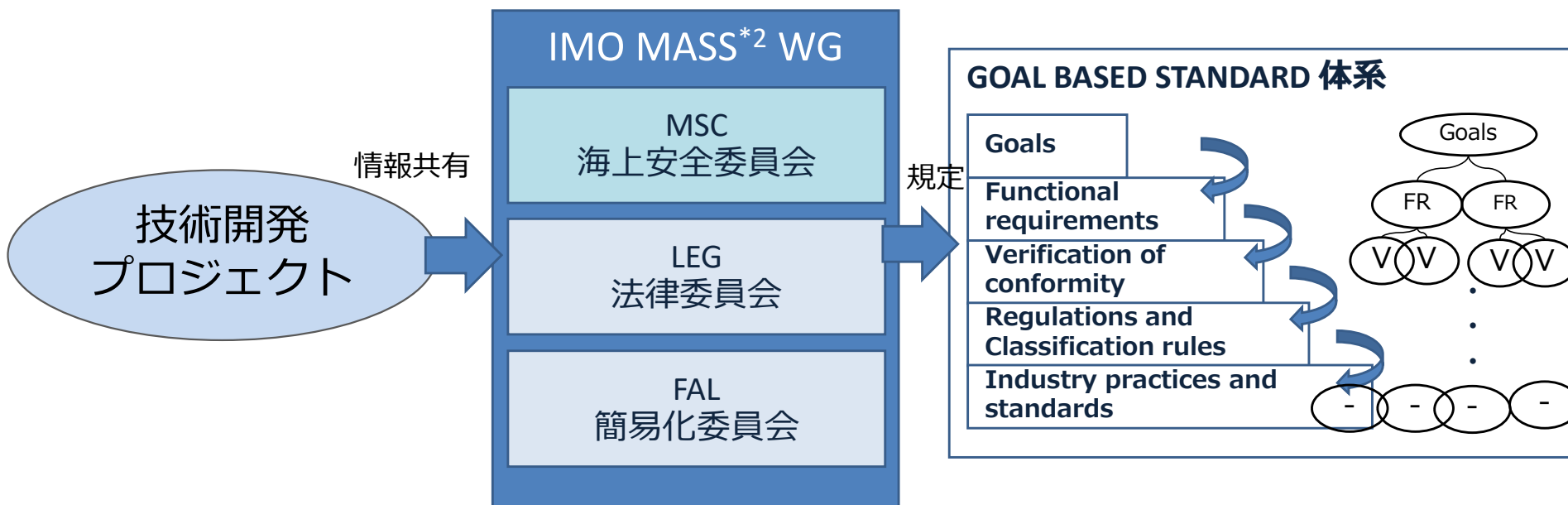
船級 ガイドライン
(発行年)

	2015~	2020~
技術開発	 <p>NTNUの学術研究PJ (2015~)</p>  <p>YARA Birkeland ×Kongsberg PJ (2017~2021年度)</p>	 <p>Sea Machines Robotics (2018~)</p>  <p>無人運航船プロジェクト MEGURI 2040 THE NIPPON FOUNDATION</p> <p>MEGURI2040 DFFAS PJ (2019~2021年度)</p>
基準策定	<p>MSC. FAL LEG各会においてMASSコード策定中</p> <p>自動運航船の安全ガイドライン策定</p>	
	<p>Lloyd's Register (2016)</p> <p>DNV (2018)</p> <p>BUREAU VERITAS (2019)</p>	<p>Class NK (2020)</p> <p>American Bureau of Shipping (2021)</p>

国際的なルールづくりの動向

*1 IMO: International Maritime Organization
*2 MASS: Maritime Autonomous Surface Ships

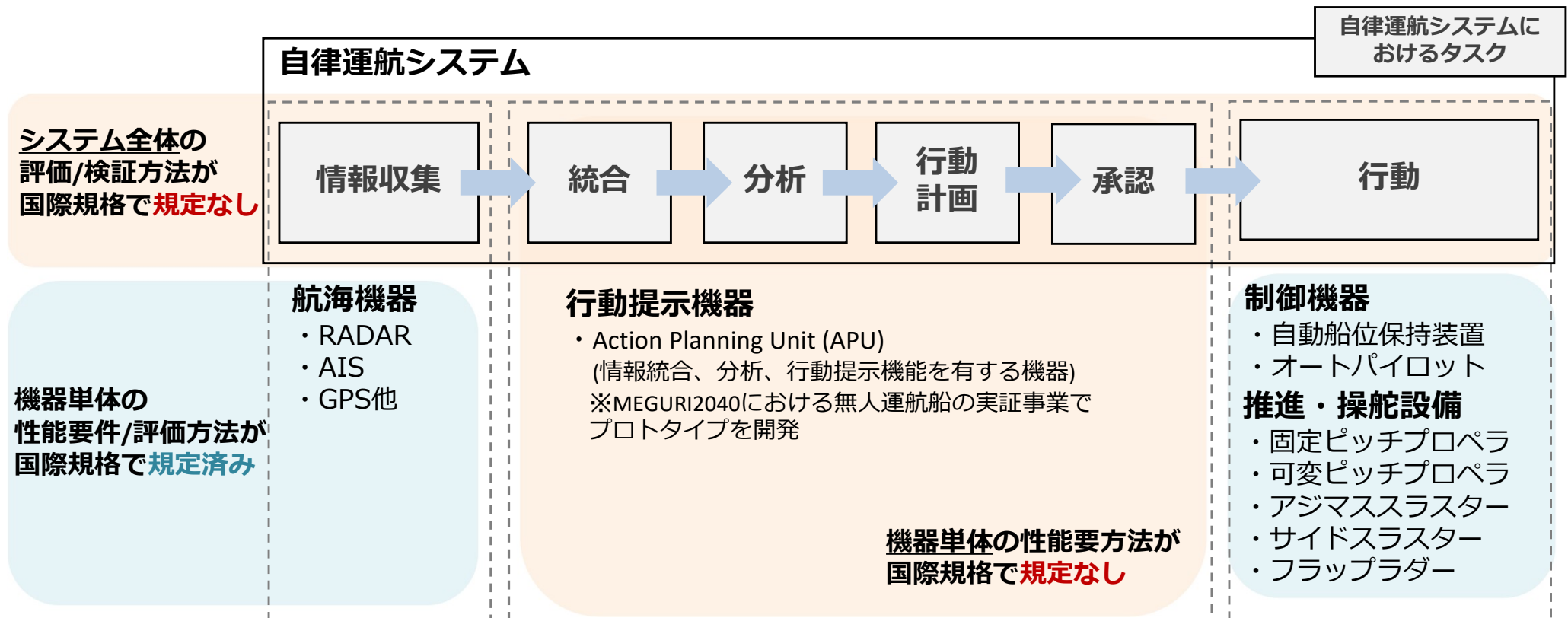
- 国際海事機関 (IMO^{*1}) 海上安全委員会にて
自律運航船の新しい規制「MASS^{*2} Code」作成に関する議論、実施中
 - 自律運航船プロジェクトとその運用から得られた課題・要件整理
 - MASS Codeの 目的、主要原則の規定



自律運航船の一般要件を規定、その基準を満たす
システム/機器の機能要件・性能基準・検証プロセス等を議論

自律運航システムの社会実装までの課題

- 試験・評価認証基準の具体的なルールが定まっていない
- 自律運航システムのタスクを評価する方法は未だ存在しない

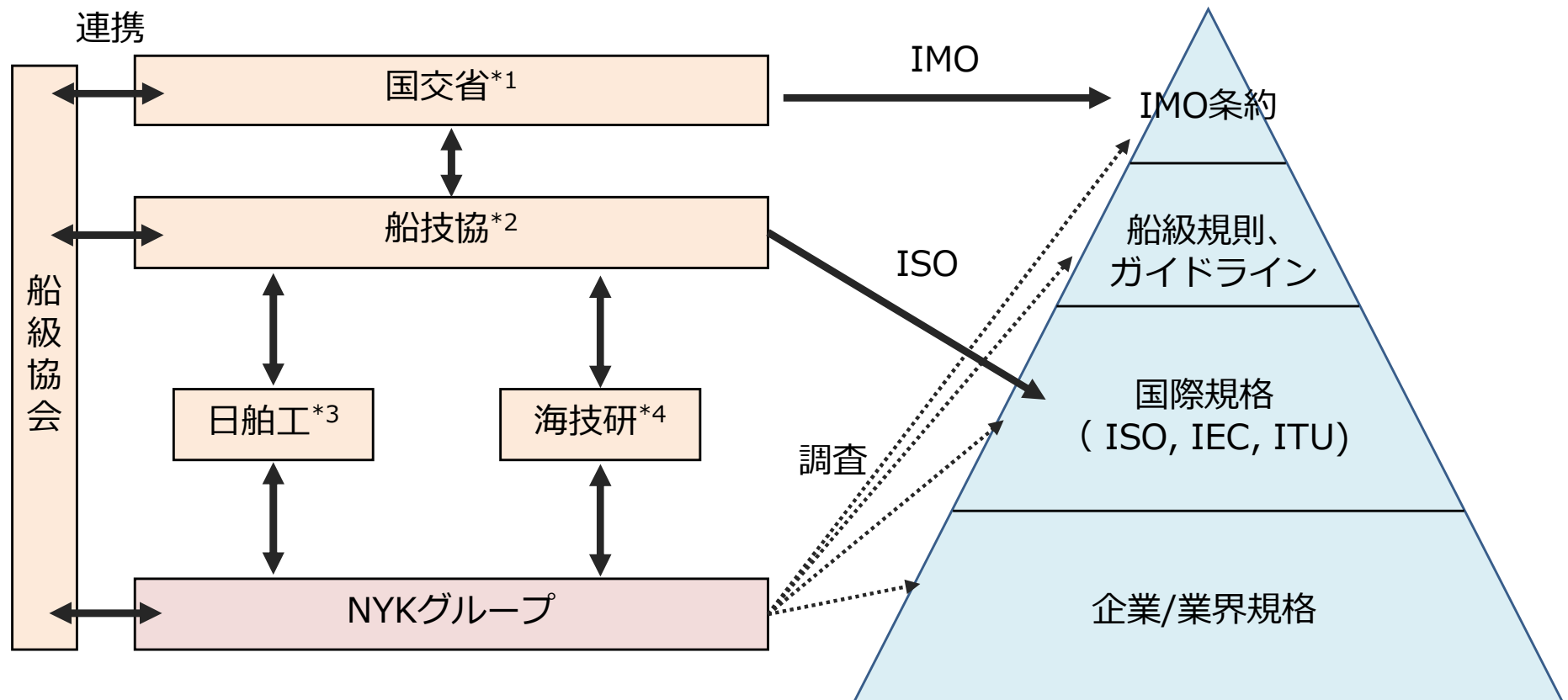


安全機能を高度化した自律運航システムを**実船導入できない**
⇒ **ルールづくり、評価環境の構築が必要**

NYKグループのルールづくりの関わり

- 産官学が連携し、国際的なルールづくりのための提案活動を実施
- 国際的なルール作りを積極的に支援
 - 自律運航船の安全ガイドラインの整備
 - 自律運航システムの性能の見える化

- *1 国土交通省
- *2 日本船舶技術協会
- *3 日本船用工業会
- *4 海上技術安全研究所



自律運航システムの評価環境構築の取り組み

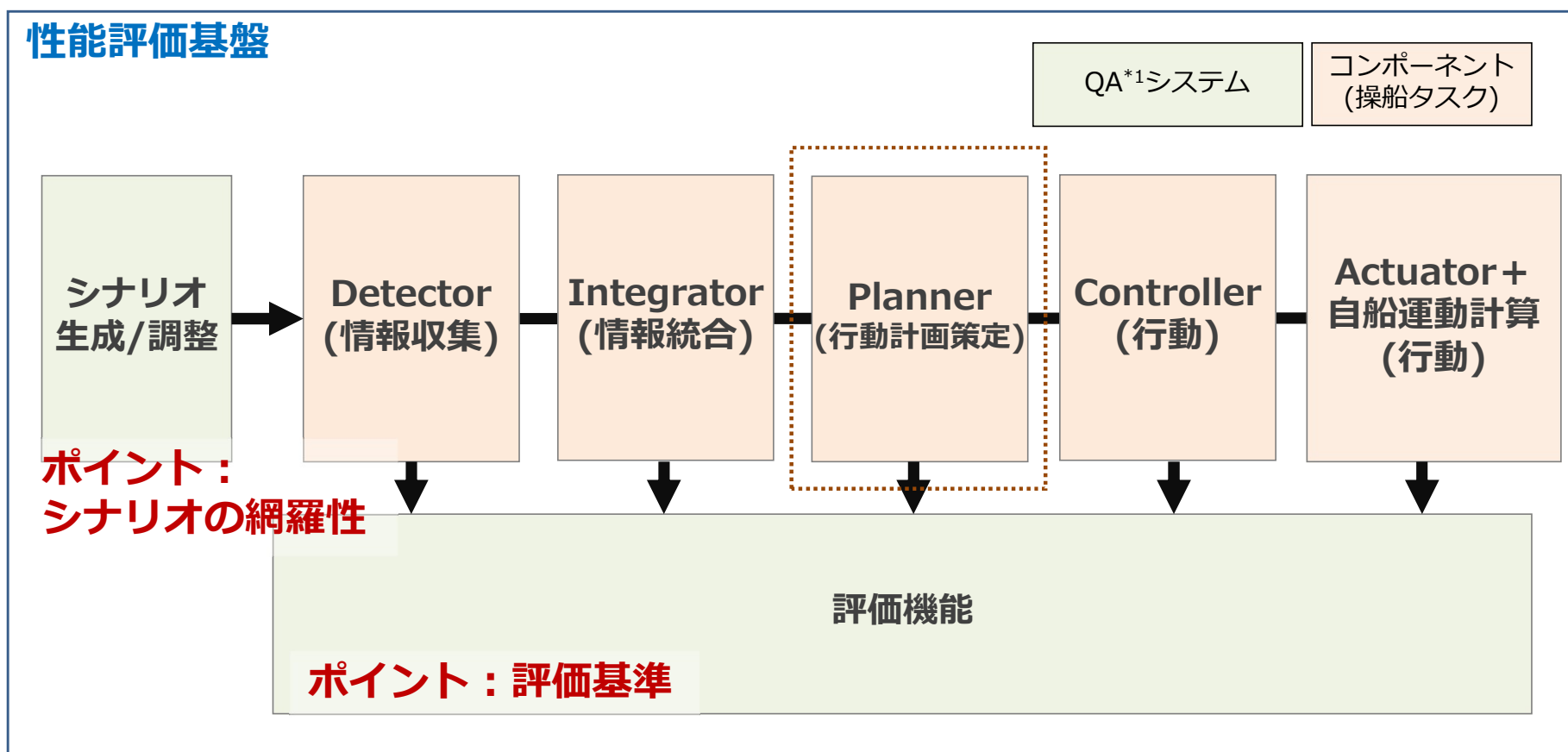
- 国交省実施の「海事産業集約連携促進技術開発支援事業」で検討中
- NYKグループのゴール：
自律運航システムの実船投入前の**安全品質向上**



自律運航システムの性能評価基盤

*1 QA: Quality Assurance

- 性能評価基盤とは：自律運航システムが担う機能を評価するための
シミュレーション環境



自律運航システムのコア機能であり、他操船タスクと比較して
評価方法が十分に検討されていない「**行動計画策定機能**」の性能評価を目標に検討中

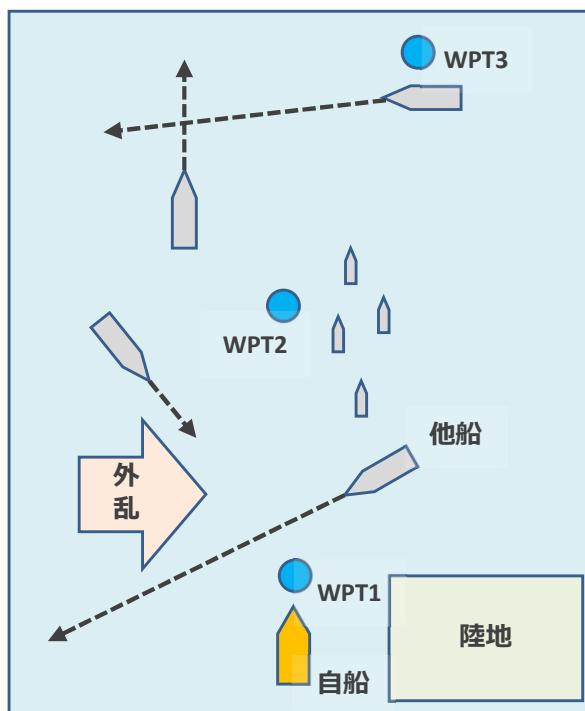
性能評価対象：行動計画策定機能

- 行動計画策定機能とは、操船行動計画を策定する機能
- **評価基準**・**評価基盤がない**ため、シナリオ要件・評価要件を定義

	株式会社 日本海洋科学	古野電気株式会社	大阪公立大学
手法	ルールベース	ルールベース	機械学習ベース
ベースエンジン	衝突危険度×好ましさモデル	航行妨害ゾーン(OZT)を用いた危険領域判定	逆強化学習による報酬
概要	<ul style="list-style-type: none"> • 最も好ましいとされる操船行動(針路・速力)をつなぐことで、行動計画を策定 	<ul style="list-style-type: none"> • 独自の経路生成アルゴリズムにより行動計画を策定 	<ul style="list-style-type: none"> • 熟練者のデモデータからその行動意思決定の裏側にある情報を推定し、情報に基づいて行動計画を策定
イメージ	<p>Model of Preference order Preference evaluate value $Pb(x_j)$: 0 to 1.0 Collision Avoidance Manoeuvring Space Present Speed Present Course Stop Speed Reduction Ratio (%) Altering Co. Port 60 deg</p>	<p>ゴール地点 スペースあり 海域リスク表示のない空いたスペースを見つけることで安全な避航が可能 こちらのスペースに進むと複数の他船の前方を横切ることになる ⇒矢印の向きにも注意が必要</p>	<p>Target Ship $t = 0$ $t = 1$ $t = 2$ Own Ship θ dy dx dx dy θ $layer_{i+1}$ $layer_i$ $layer_{i-1}$ $layer_{i-2}$ $layer_{i-3}$ $layer_{i-4}$ $layer_{i-5}$ $layer_{i-6}$ $layer_{i-7}$ $layer_{i-8}$ $layer_{i-9}$ $layer_{i-10}$ $layer_{i-11}$ $layer_{i-12}$ $layer_{i-13}$ $layer_{i-14}$ $layer_{i-15}$ $layer_{i-16}$ $layer_{i-17}$ $layer_{i-18}$ $layer_{i-19}$ $layer_{i-20}$ $layer_{i-21}$ $layer_{i-22}$ $layer_{i-23}$ $layer_{i-24}$ $layer_{i-25}$ $layer_{i-26}$ $layer_{i-27}$ $layer_{i-28}$ $layer_{i-29}$ $layer_{i-30}$ $layer_{i-31}$ $layer_{i-32}$ $layer_{i-33}$ $layer_{i-34}$ $layer_{i-35}$ $layer_{i-36}$ $layer_{i-37}$ $layer_{i-38}$ $layer_{i-39}$ $layer_{i-40}$ $layer_{i-41}$ $layer_{i-42}$ $layer_{i-43}$ $layer_{i-44}$ $layer_{i-45}$ $layer_{i-46}$ $layer_{i-47}$ $layer_{i-48}$ $layer_{i-49}$ $layer_{i-50}$ $layer_{i-51}$ $layer_{i-52}$ $layer_{i-53}$ $layer_{i-54}$ $layer_{i-55}$ $layer_{i-56}$ $layer_{i-57}$ $layer_{i-58}$ $layer_{i-59}$ $layer_{i-60}$ $layer_{i-61}$ $layer_{i-62}$ $layer_{i-63}$ $layer_{i-64}$ $layer_{i-65}$ $layer_{i-66}$ $layer_{i-67}$ $layer_{i-68}$ $layer_{i-69}$ $layer_{i-70}$ $layer_{i-71}$ $layer_{i-72}$ $layer_{i-73}$ $layer_{i-74}$ $layer_{i-75}$ $layer_{i-76}$ $layer_{i-77}$ $layer_{i-78}$ $layer_{i-79}$ $layer_{i-80}$ $layer_{i-81}$ $layer_{i-82}$ $layer_{i-83}$ $layer_{i-84}$ $layer_{i-85}$ $layer_{i-86}$ $layer_{i-87}$ $layer_{i-88}$ $layer_{i-89}$ $layer_{i-90}$ $layer_{i-91}$ $layer_{i-92}$ $layer_{i-93}$ $layer_{i-94}$ $layer_{i-95}$ $layer_{i-96}$ $layer_{i-97}$ $layer_{i-98}$ $layer_{i-99}$ $layer_{i-100}$</p>

評価シナリオ生成機能の機能要件

- シナリオとは、外部環境や自船の動性などの条件のこと
- 実海域を想定した様々な条件を網羅的に生成することが重要



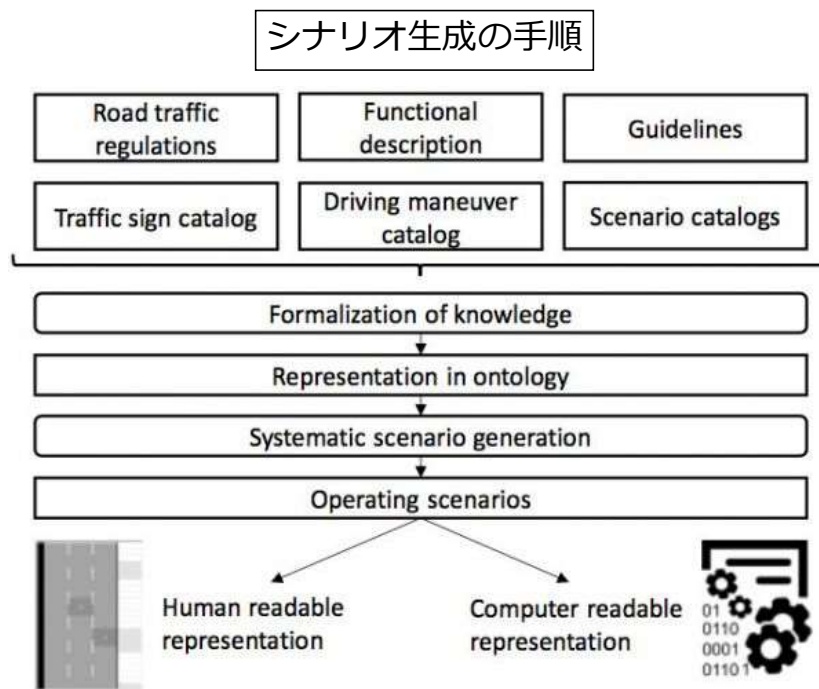
分類	詳細項目	内容
自船情報	航海計画	自船が計画している航路情報
	自船運動モデル	自船の操縦性能
自然環境情報	波	向き、高さ、周期
	風	向き、速さ
	潮流	向き、速さ
	照度	昼夜、日の向き
	大気中浮遊物	雨、雪、霧、煙霧、靄など
障害物情報	他船	位置、方位、速力
	地形	陸地、水深
	水上構造物	ブイ、橋脚、浮遊物など

シミュレーションを用いた開発が進んでいる

自動車業界の取り組みを参考にシナリオ生成手法を検討

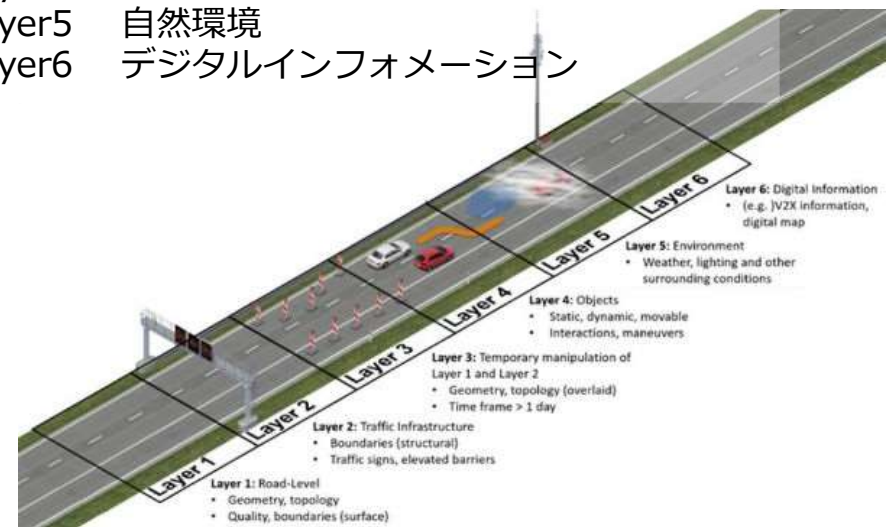
評価シナリオ生成手法の検討

- 参考：PEGASUS Project (主導：連邦経済エネルギー省 - ドイツ)
 - 走行データから抽出したテストシナリオに基づく安全評価の取り組み
 - 自動運転の性能要件を定義、検証のための方法論を整理
 - エビデンスに基づく安全性評価のシナリオ条件、**6層モデル**で構築



- Layer1 道路、地形
- Layer2 信号、交通管制
- Layer3 一時的な制限
- Layer4 物標 (障害物)
- Layer5 自然環境
- Layer6 デジタルインフォメーション

シナリオの構成要素を
適切に整理



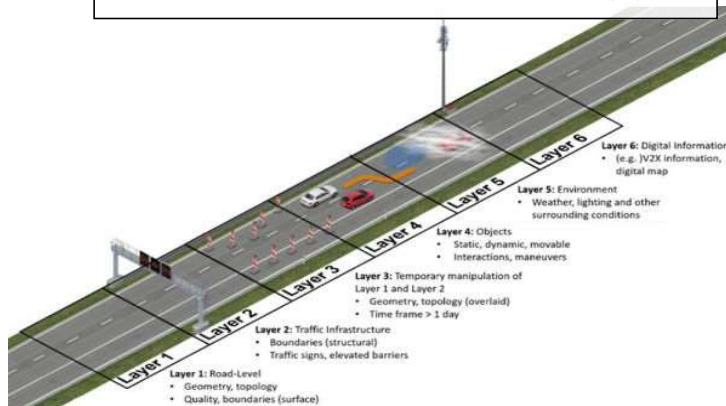
シナリオ構成要素の具体化

- シナリオの要素：6層モデルを基に整理 (PEGASUS Project)
- 自然環境(波・風・潮流)は運動に大きく影響すると考え、分割

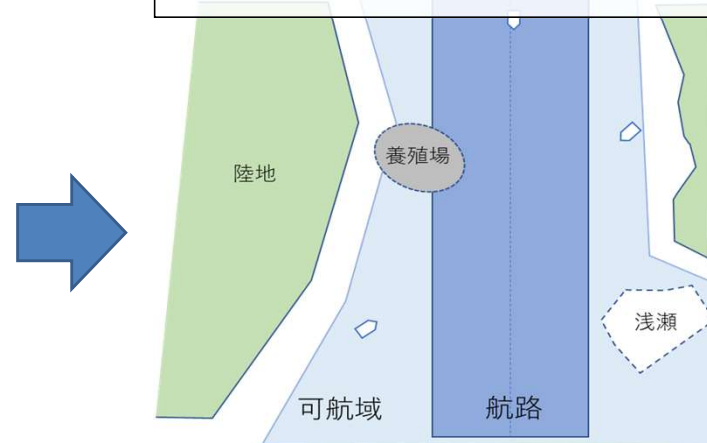
Layer	自動車	船舶
0	—	自然環境(波・風・潮流)
1	道路、地形	可航域
2	信号、交通管制	航路、航行管制
3	一時的な制限	養殖場、軍事演習海域など
4	物標(障害物)	障害物 (他船、水上構造物など)
5	自然環境	自然環境 (雨/霧/照度等)
6	デジタルインフォメーション	デジタルインフォメーション

自然環境を分割

自動車におけるシナリオのレイヤ分け



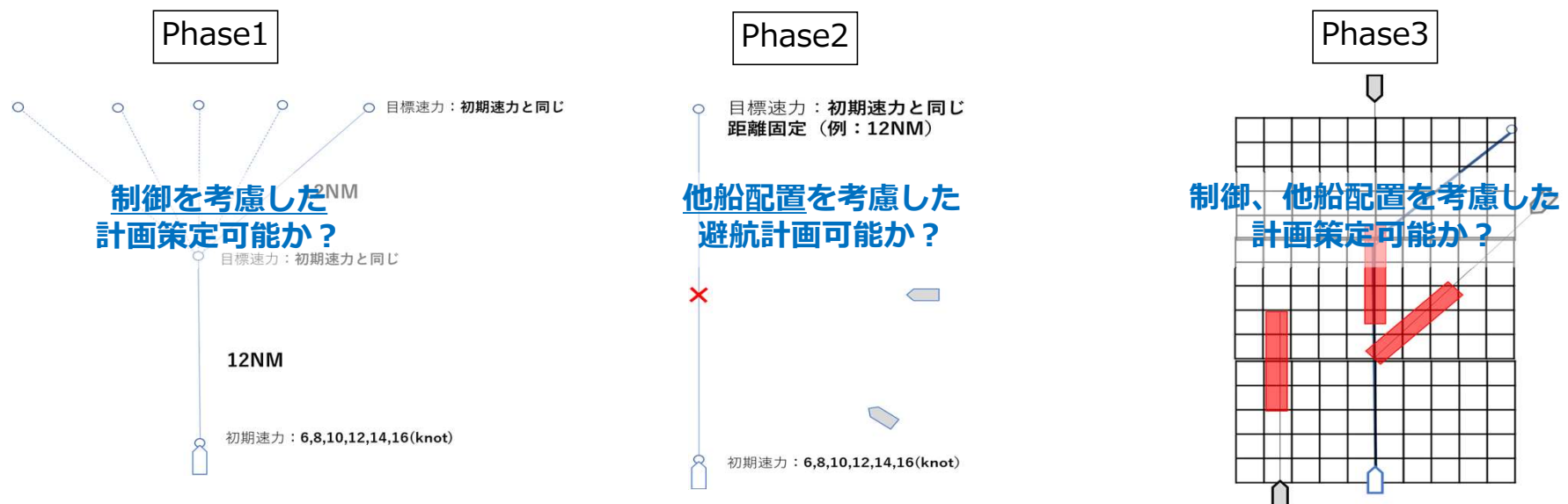
船舶におけるシナリオのレイヤ分け



評価シナリオの要件

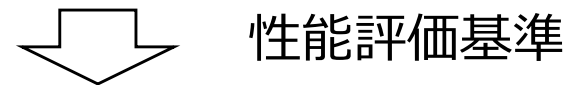
- あらゆる航行環境を再現する評価シナリオを定義
- Phase1~3を自動生成可能なシナリオ生成機能を開発

Phase	シナリオレイヤ	目的
1	Layer 0	様々な自然環境で経路追従性能を網羅的に確認
2	Layer 1-4	衝突点出現パターンを網羅的に確認
3	Layer 0-4	Phase1 + Phase2で網羅的に確認 (応用問題)
4	Layer 0-4	実地試験相当 (実際の海上交通を模擬)



評価機能の機能要件

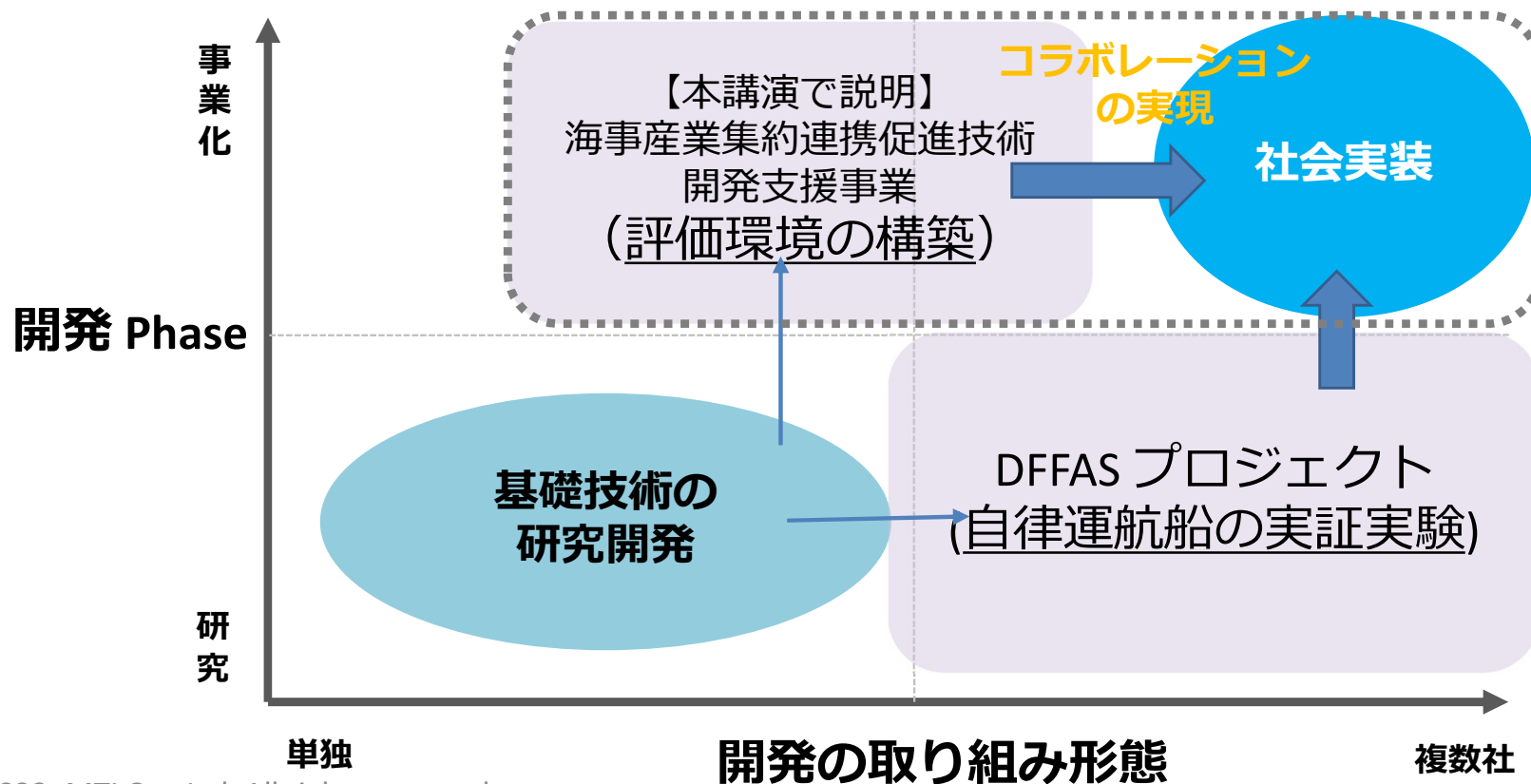
- 行動計画の評価として重要指針
 - **安全性**：安全余裕を取りながら、他船等の障害物を航行可能か
 - **経済性**：目的地到達までにどれくらい時間が経過したか



項目	安全性(メイン)	安全性(サブ)	経済性
説明	他船や障害物に対する航行可否の判断	安全性評価の指標 (複数の指標を採用)	目的地到達までの時間
評価結果	合否 (Pass or Fail)	スコア	スコア
イメージ	<p>合格 不合格</p>	<p>自船と他船の位置関係 (衝突危険度, 操船困難度)</p>	<p>開始 WPTから終点 WPTまで経過時間</p>

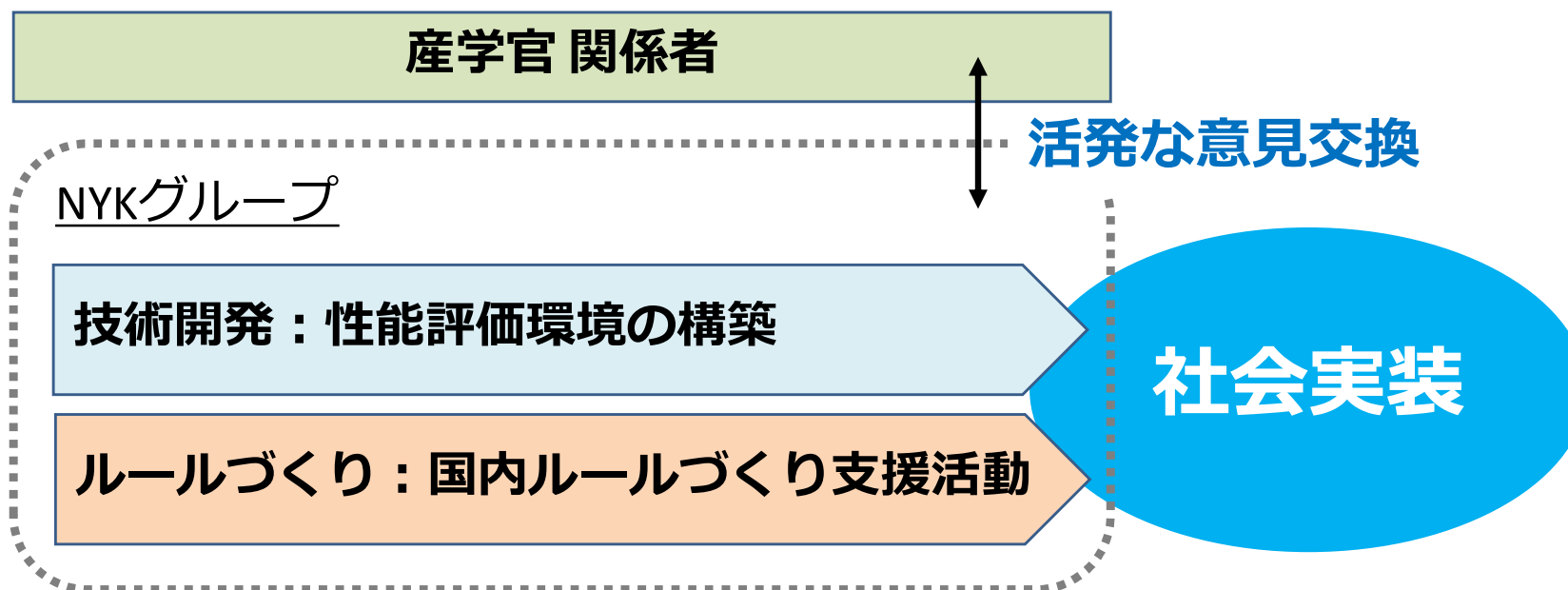
今後の展望

- 環境構築、ルールづくりは、**産学官一体となった取り組み**が重要
 - 幅広く技術・アイデアを取り入れる
 - 新たな価値の創出
- オープンコラボレーション**による実用化の加速



まとめ

- 自律運航システムの**社会実装に向けた性能評価基盤の構築**および**国際的なルールづくりの支援**を実施
- 国交省「海事産業集約連携促進技術開発支援事業」にて**性能評価基盤を構築中**
 - ▶ 本年度：行動計画策定機能の**性能評価環境、構築完了見込み**
 - ▶ 次年度：性能評価環境の**検証および課題抽出を予定**



ご清聴どうもありがとうございました。