



第23回 海上技術安全研究所研究発表会



新コンセプト船を支えるリスク解析技術に関する研究

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所
海洋リスク評価系

三宅 里奈 伊藤 博子 木村 新太 塩苅 恵 柚井 智洋 大西 世紀

1. はじめに
2. 第1期中長期計画における取り組み
3. 第2期中長期計画における取り組み
4. おわりに

1. はじめに
2. 第1期中長期計画における取り組み
3. 第2期中長期計画における取り組み
4. おわりに

- 安全安心な海上交通社会を実現：**適切な安全規則の構築**が必要
- 従来船舶：既往の規則を順守することで安全性が担保
- 近年：**既存の規則やガイドラインの適用が困難なこれまでに実績が無い技術を導入した船舶**の開発が加速（自動運航船や、温室効果ガス削減のための液化ガス等の代替燃料船等）
- 新たな安全性担保の手段：**代替設計承認**による新設計受容の動き
 - 既存国際規則により建造された船舶と同等の安全性が担保されていることを立証し、主管庁が承認すること
- リスク解析の需要増加：IMOや船級等の規則等で、**設計時により広範な種類のリスク要因を漏れなく抽出し、対処することが重視される傾向**

多様な新コンセプト船の開発の加速や、リスク評価の需要の増加を受け、対象となる技術の安全性を示すための枠組みを構築するための研究を実施

1. はじめに
2. **第1期中長期計画における取り組み**
3. 第2期中長期計画における取り組み
4. おわりに

第1期中長期計画における取り組み



立案時の第1期中長期計画

- ① 新規貨物・燃料の船舶の設計の安全性向上
 - 低炭素社会の実現および船舶からのSOx排出削減対策のため、液化水素運搬船の新船型開発、液化天然ガスの燃料利用の活発化を踏まえ、燃料漏洩を想定した**火災安全対策のための換気効率評価手法に関する研究**
- ② 船舶の運航環境の安全性向上
 - 海上保安庁の交通ビジョン※1の課題の一つ「準ふくそう海域※2における安全対策の構築」実現のための**交通ルール設計・評価手法の構築**



液化水素運搬船※3

自動運航船への国内外の取り組みの急加速による計画追加

- ③ 自動運航船のための安全性の確保と国際規則策定に向けた議論への参画のための**リスク評価手法に関する研究**



自動運航船のイメージ※4

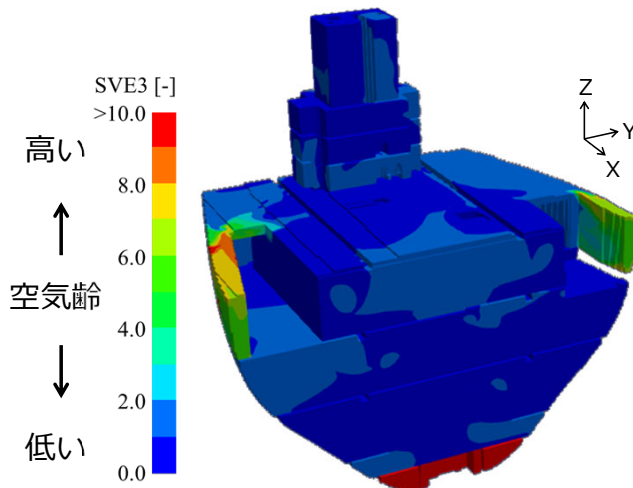
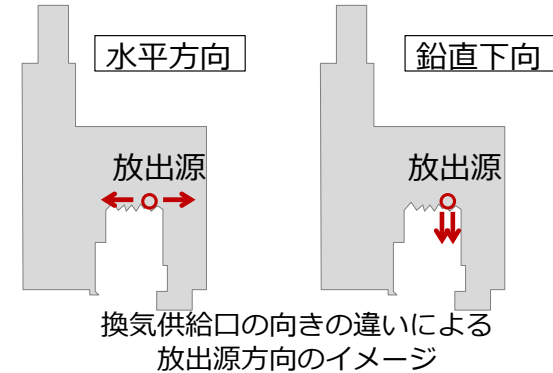
※1 海上安全政策の方向性および具体的な施策を提示する答申。第3次交通ビジョン（2013年策定）および第4次交通ビジョン（2018年策定）に関連
※2 東京湾湾口～石廊崎沖～伊勢湾湾口～潮岬沖～室戸岬沖～足摺岬沖の各海域を経て瀬戸内海に至る海域で、船舶交通量が多く、複雑な進路交差点が生じるため、海難の蓋然性が高い
※3 Ref.) https://www.khi.co.jp/news/detail/20220725_1.html
※4 Ref.) <https://www.jstra.jp/a4b02/a3b04/>

■ 新規燃料の使用に伴う機関室内での火災安全対策のための換気効率評価手法の開発

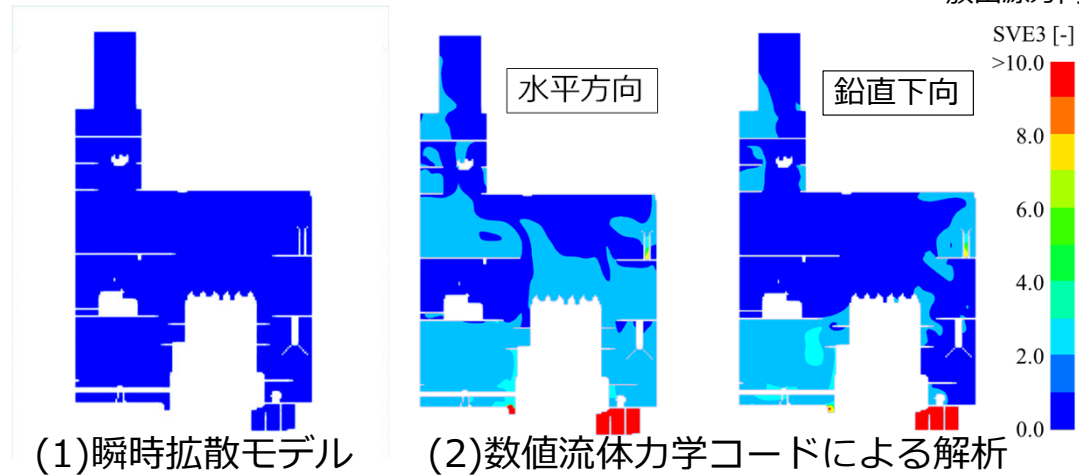
- 漏えいガスの滞留・着火・爆発を予防には、機関室内の換気設計が必要
- 低引火点燃料を使用する機関室における火災安全対策として、国際ガス燃料船安全コード(IGFコード)では30回/hの換気を規定
- 船舶の機関室：空間が広大、様々な機関設備により気流場が複雑
- 簡易な換気効率予測手法である瞬時拡散・完全混合モデルは不適當
- **計算流体力学コードによる仮想的な機関室モデル内の換気解析を行い、換気効率指標(SVE: Scale of Ventilation Efficiency)の一つであるSVE3を用いて、機関室の換気効率評価を行った**
 - ✓ SVEは陸上建築の空調衛生工学分野で適用
 - ✓ 換気口より供給される空気を基準値0として任意地点での**空気の汚染度を表す空気齢**に相当
 - ✓ 瞬時拡散モデルの空気齢で除して規格化された値（1よりも小さいほど換気効率が良好）

■ 換気ダクト方向が及ぼす換気効率への影響を解析

- 換気方法の違いによる換気効率の良/不良の空間的な分布を評価
 - ✓ 瞬時拡散・完全混合モデルは、空間全体のSVE3の値が一様に1となる (図b-1)
 - ✓ 水平方向放出の方が、空気齢高く分布しており換気効率が悪い (図b-2)
- SVE3指標を用いた換気効率評価の有効性を確認



(a) SVE3値の空間分布の3D表示



(b) 船体中央断面におけるSVE3値の分布

■ 換気流速や換気口の個数、配置による換気効率への影響を評価することが可能となり、効率的な換気設計への活用が期待できる

①新規貨物・燃料の船舶の設計の安全性向上 火災安全対策のための換気効率評価手法に関する研究



■ 各種の新コンセプト船の実現に向け、以下を社会実装

- IMO/CCC小委員会における液化水素運搬船の暫定要件の策定
- 日本海事協会によるガス燃料船のリスク評価ガイドライン¹⁾
- 国土交通省による自動車運搬船の火災安全に関する通達
- 日本船舶技術協会による燃料電池船の代替設計に関するリスク評価法

1)日本海事協会：リスク評価ガイドライン 第2版 付属書2 ガス燃料船のリスク評価ガイドライン (2017)

②船舶の運航環境の安全性向上 交通ルール設計・評価手法の構築



- 伊豆大島西岸沖の推薦航路（2018年1月1日運用開始）のフォローアップ研究
- 潮岬沖における安全対策の構築に関する研究（海上保安庁との共同研究）
- これら要素技術として交通ルール設計手法・海域の衝突リスク評価手法の開発

推薦航路とは

- ✓ 国際条約（SOLAS 条約）の船舶航路指定制度に基づく航路で、海図に記載
- ✓ 中心線を示した限定されない幅の航路
- ✓ 推薦航路の中心線の右側を通航することを推奨

推薦航路に期待される効果

交通の整流分離化
反航する船舶同士の衝突の危険性の低減

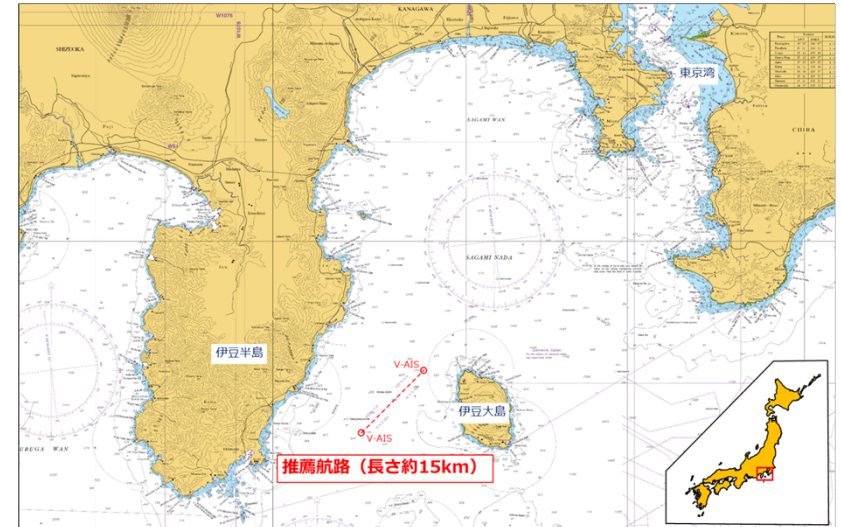
漁船の見張りの主たる方向の明確化
漁船の安全性向上

設計・評価手法の開発

航路の設計手法

衝突危険性の評価手法

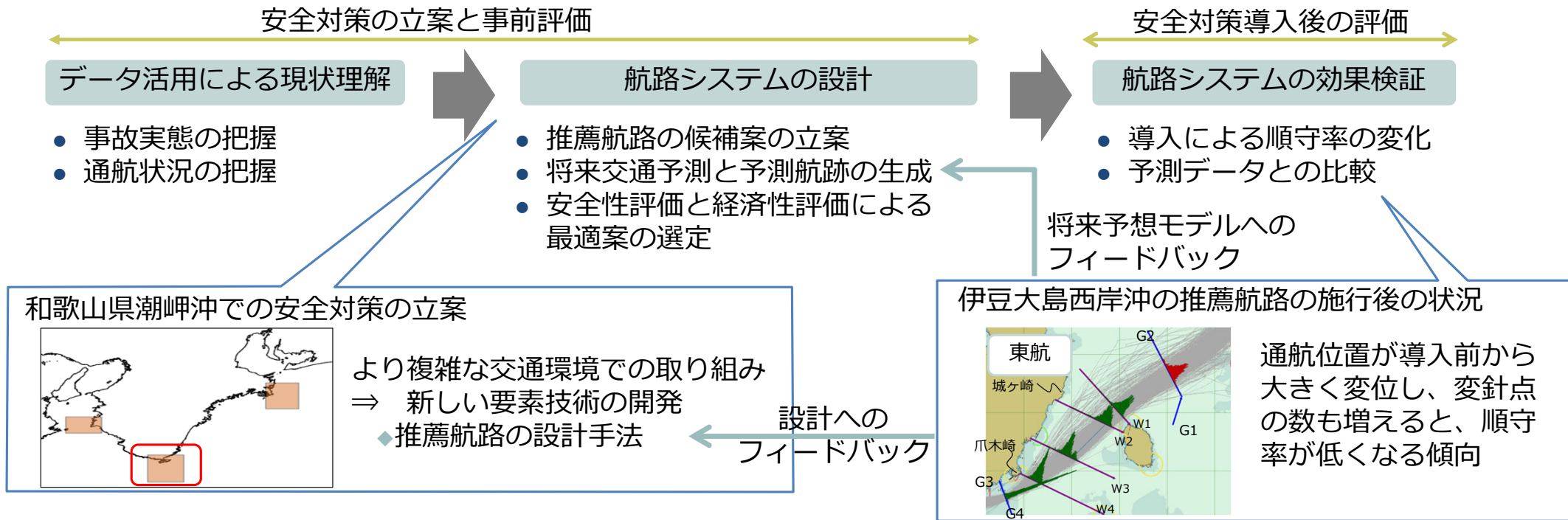
商船・漁船の交通行動
のモデル化手法



出典：海上保安庁

■ 潮岬沖における安全対策の構築に関する研究（海上保安庁との共同研究）

- 伊豆大島西岸沖推薦航路に続く第2の準ふくそう海域の安全対策として、海上保安庁は衝突が多いとされる潮岬沖を候補海域に選定



②船舶の運航環境の安全性向上 交通ルール設計・評価手法の構築



データ活用による現状理解

■ 交通環境の分析

- 反航する商船の衝突・東西交通位置が重複
→東西交通の分離が有効と期待



航路システムの設計

■ 推薦航路案の立案

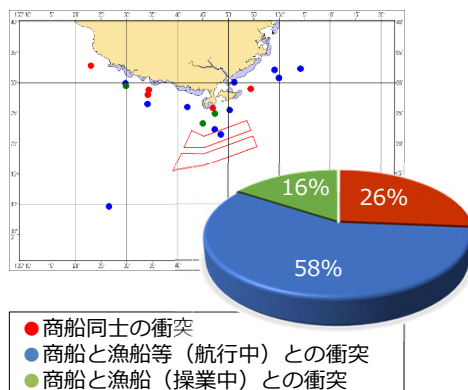
- 航路の位置・角度・長さを設定
- 陸からの距離を変えた3案を立案

■ 将来交通予測

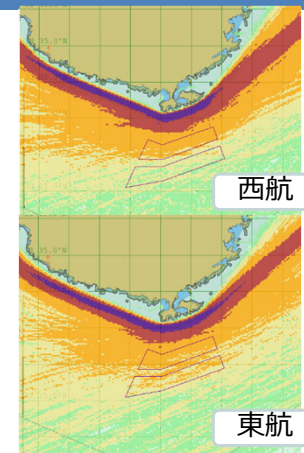
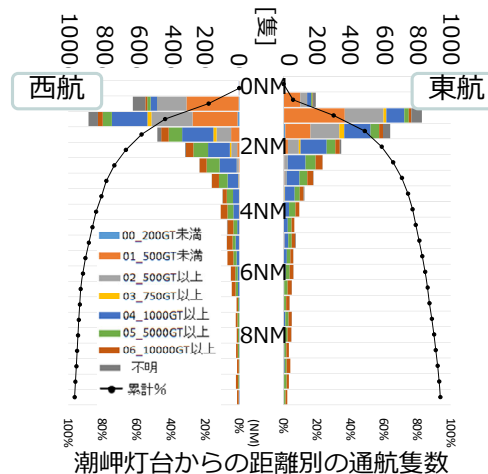
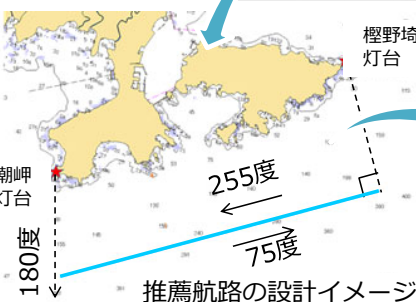
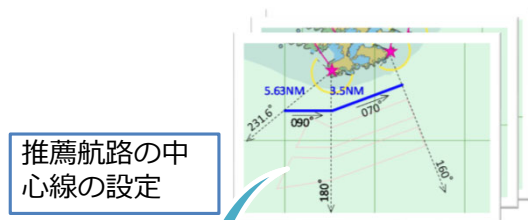
- 船種船型別・通航経路別に将来予測

■ 最適案の選定

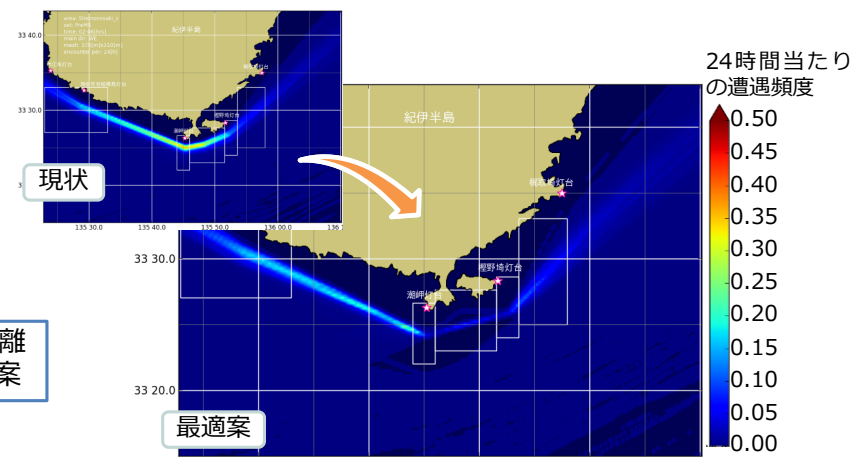
- 衝突危険性に着目した安全性評価
(遭遇頻度・Obstacle Zone by Target)
- 航行距離による経済性評価



10年間の衝突発生位置 (2007~2016)
(海上保安庁から提供)



通航密度分布



交通流モデルに基づく船舶航跡における遭遇頻度の予測分布図 (商船のみの通航状況)

②船舶の運航環境の安全性向上 交通ルール設計・評価手法の構築

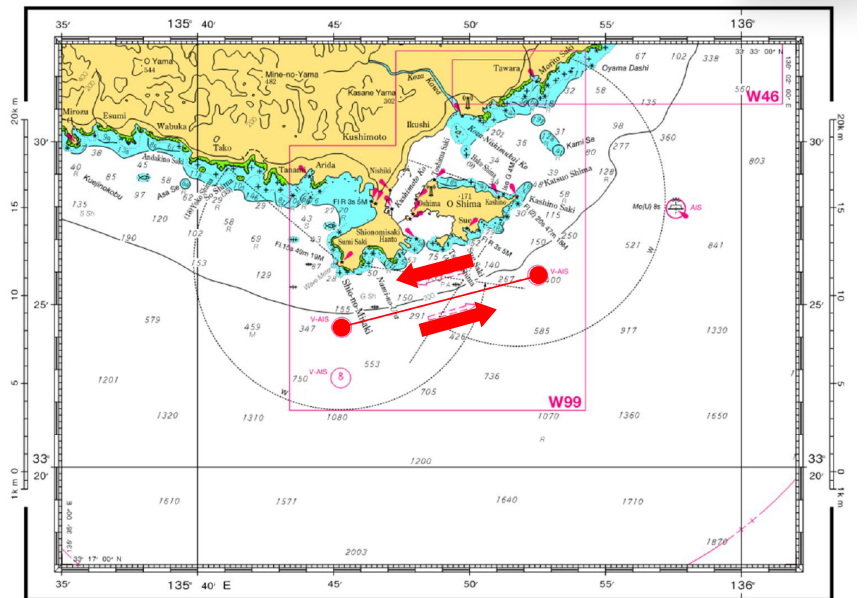


■ 海上保安庁第4交通ビジョンの成果創出

- 準ふくそう海域の安全対策：潮岬沖の推薦航路が2023年6月1日より運用開始
 - ✓ その導入にあたりIMO NCSR9（2022.6）、MSC106（2022.11）への提案の技術的支援
- 要素技術の開発：衝突リスクの評価技術（遭遇頻度・OZT）の高度化
 - ✓ 様々な見合い関係が生じる複雑な交通環境下における評価技術の確立
 - ✓ 候補海域における推薦航路の要否の事前検討できるよう効果推定技術の確立

■ 運輸安全委員会へ事故の解析技術の提供

- 操船者の状況認知を表す指標の導入
 - ✓ 衝突事故前の危険感に相当する指標として、既往の各種衝突危険度指標を用いた状況認知の定量評価技術の確立

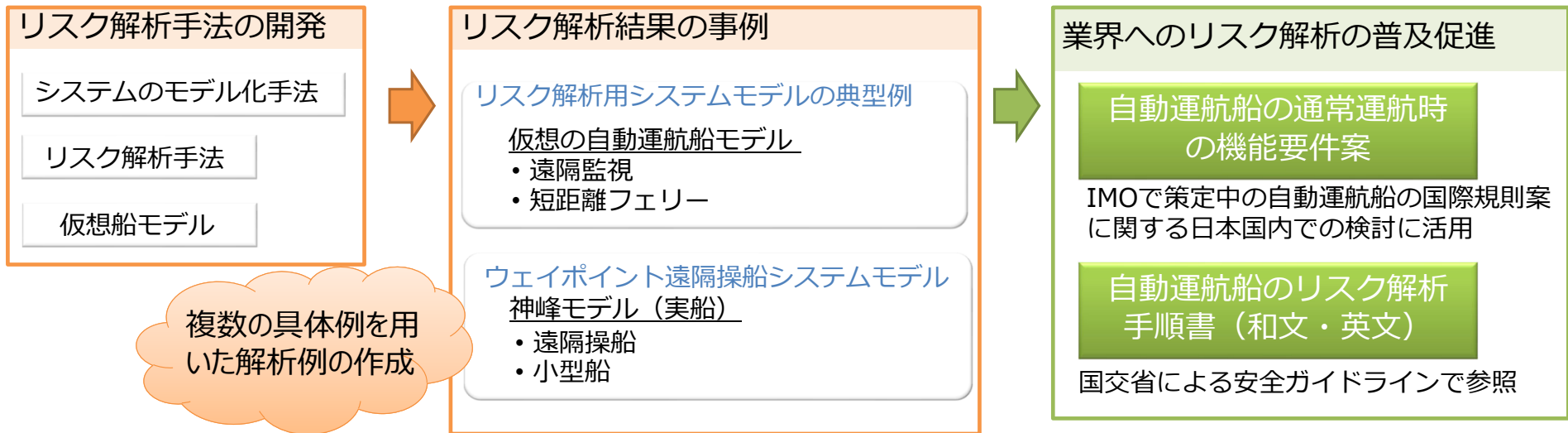


潮岬沖の推薦航路
(出典：IMO NCSR 9/3/2 を加工)

③ 自動運航船のための安全性の確保 自動運航船のリスク評価手法に関する研究



- 自動運航船に適した対象のモデル化とリスク解析の手法の開発
- 自動運航船のリスク解析の実施（仮想船・実船「神峰」）
- 自動運航船の通常運航時の機能要件案の作成
- 自動運航船のリスク解析手順書を作成



③自動運航船のための安全性の確保 自動運航船のリスク評価手法に関する研究



■ 自動運航船に適した対象のモデル化とリスク解析の手法の開発

- 設計初期段階で運用上および全体システムの構想上の重大なハザードの確認が必要
- リスク解析には解析対象の明確化が必要だが、既存の手法では不足する部分が存在
 - ✓ 自動運航船の大規模で複雑なシステム全体（アーキテクチャやタスク等）を把握する手法がない
 - 従来船舶を対象としたリスク解析は、ハードウェア中心のシステム構成図
 - ✓ ソフトウェアの不具合、ソフトウェアと人間のタスク、ソフトウェア同士または人間間での相互作用に起因するハザードなどの考慮が必要
- **UML (Unified Modeling Language)を応用したモデル化手法¹⁾を開発**
- **タスクの誤り、未実施、遅延等に着目するタスクベースのハザード同定手法²⁾を開発**

1) 塩荻他：システムモデリングによるリスク解析手法の自動運航船の概念設計への適用，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第32号(2021)，pp.355-366.

2) 石村他：仮想の自動運航船を対象としたタスクベースのハザード抽出について，JIME学術講演会第91回講演論文集，(2021).

③自動運航船のための安全性の確保 自動運航船のリスク評価手法に関する研究

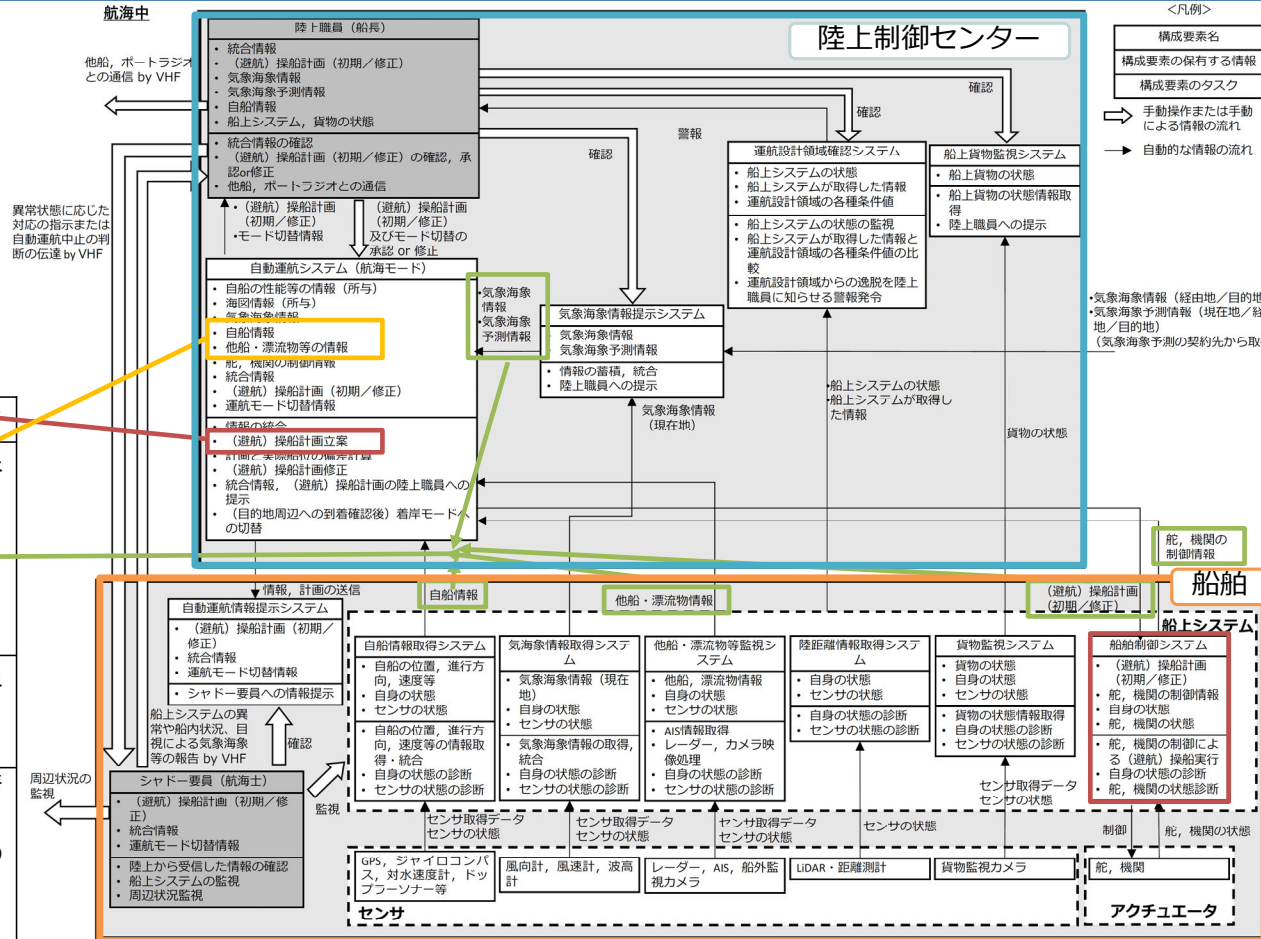


■ 自動運航船のリスク解析の実施

- システム構成図とチェックリストとキーワードとの併用により、SWIFT (Structured What IF Technique)でハザードを同定

抽出されたハザードの例

ハザード	船舶制御システム（船上）に不適切な操船計画が送信される
原因	<ul style="list-style-type: none"> 自船の制御性能の経年劣化等による、自動運航システムが保有する情報との差異の発生 自船位置や他船・漂流物等の入力情報の誤り 船陸間通信機器の異常 船舶制御システムに送信される操船計画のすり替え（サイバー攻撃）
結果	<ul style="list-style-type: none"> 自船の制御性能を超えた無理な操船指令により舵や機関に損傷が発生する 離着岸に失敗し、岸壁等に衝突する
対策	<ul style="list-style-type: none"> 定期的に自船の制御性能の確認と自動運航システムの保有情報の更新を行う センサ類、船上システム及び船陸間通信の信頼性、冗長性の向上（入力情報誤りを防止） 船陸間通信におけるサイバーセキュリティの確保



仮想自動運航船をモデル化したシステム構成図の例¹⁾

1) 塩苅他：システムモデリングによるリスク解析手法の自動運航船の概念設計への適用，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第32号(2021)，pp.355-366.

③自動運航船のための安全性の確保 自動運航船のリスク評価手法に関する研究



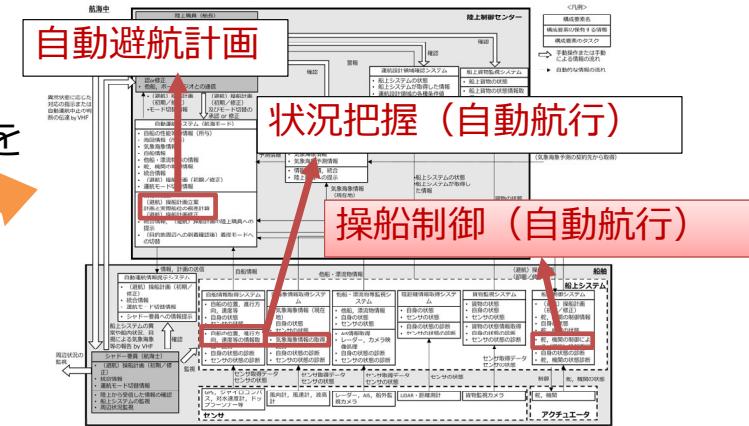
■ 自動運航船の通常運航時の機能要件案の作成

- IMOのゴールベース型規則 (Goal-based standard)に対応するため、そのシステムの目標を達成する際に考えられるハザードを考慮して機能要件を抽出する必要

- ① 目標を達成するために必要な主機能の定義：10種
自動運航船が保有する機能をタスクや航海フェーズ別に整理
- ② 主機能の正常動作のために必要な機能（観点）：5項目
ハザード同定結果より、故障等不具合発生時の対処方を整理
- ③ 通常オペレーション時の機能要件（案）の設定
10種の主機能についてハザード同定結果を参照に上記5項目に整理・分類して記入（設定）

- 複数種類の自動運航船の想定に基づいた設定例
- 主機能・観点の追加により網羅的な機能要件の抽出

■ IMOで策定中の自動運航船の国際規則案に関する日本国内での検討に活用



主機能「操船制御（自動航行）」の機能要件例の一部

正常な機能 (主機能の説明)	・ 設定航路上を設定船速での航行
主機能の動作を確認する機能	・ 航路上を設定船速で航行しているかの確認
不具合発生時の機能(警報等)	・ 航路逸脱、設定船速逸脱の場合、対応船員への通知
船員への提示機能(状態確認)	・ 操船制御状態の提示 ・ 制御範囲を逸脱した項目の提示 ・ (該当の場合) フォールバック用システムの実行状況
事前に必要な検証	・ 事前検証の実施 (設定航路を設定船速で航行する機能の正常作動) ・ マニュアル整備 (不具合発生通知時の船員対応) ・ 船員訓練 (マニュアルによる船員による対応の訓練の実施と習熟確認)

1. はじめに
2. 第1期中長期計画における取り組み
3. **第2期中長期計画における取り組み**
4. おわりに

第2期中長期計画における取り組み

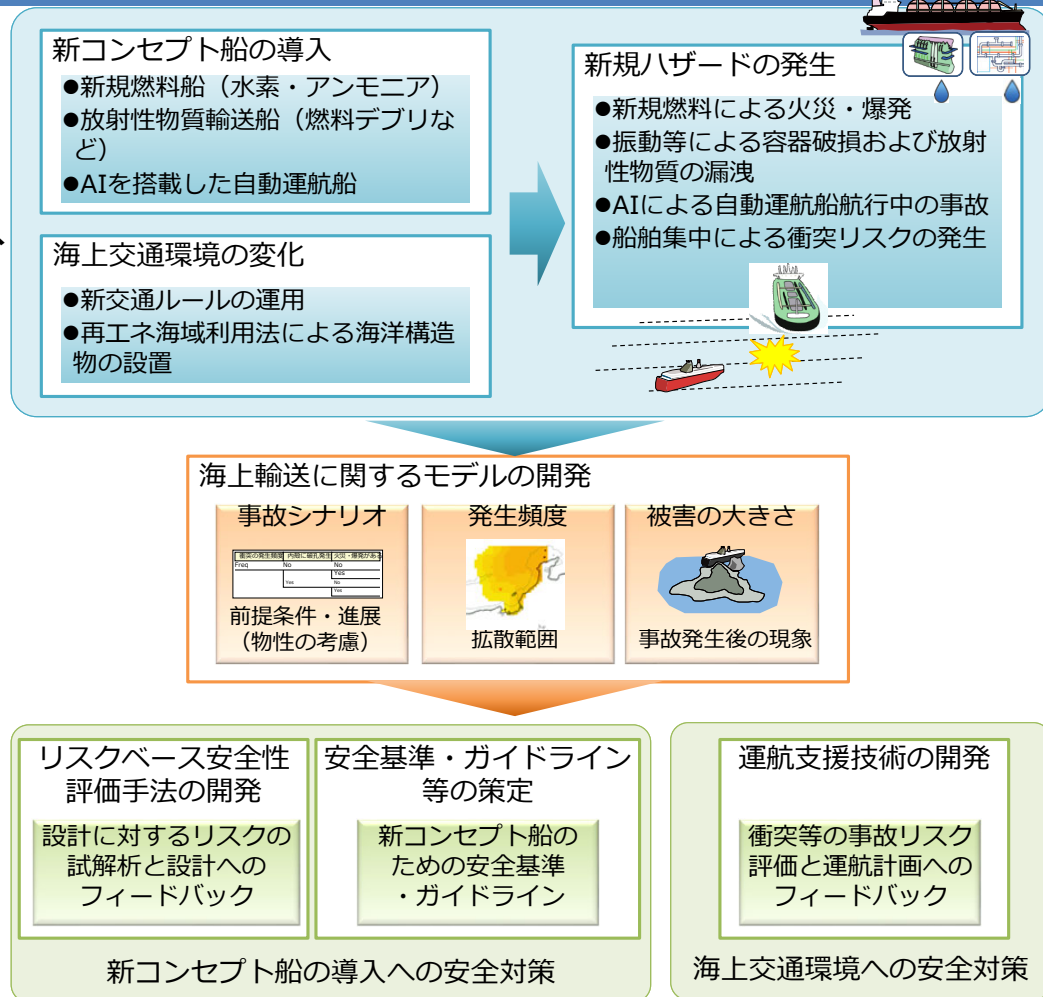


■ 自動運航船や新規貨物・燃料の船舶の安全性向上

- ① 自動運航船を主とした新概念船のリスク評価手法の構築
- ② 新規燃料の漏えい時の影響解析手法の構築
- ③ 放射性物質の輸送の安全確保（新規）

■ 船舶運航の安全性向上

- ④ 運航支援技術の開発



①自動運航船のリスク評価手法の構築



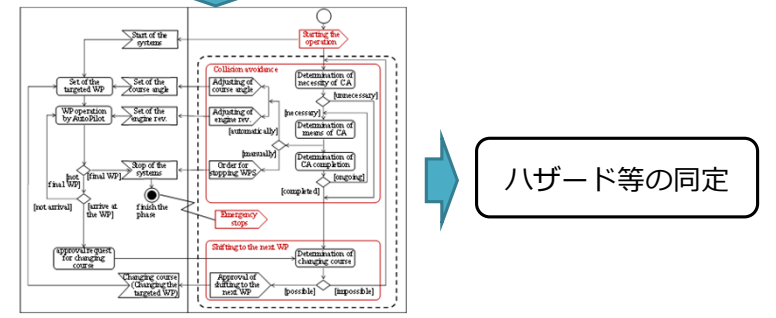
■ 新コンセプト船の定性的リスク評価手法の開発

- 緊急オペレーションや動的な状態を想定したモデリング手法とハザード解析手法を開発
- 評価事例等を基にガイドライン等を整備

■ 新コンセプト船の定量的リスク評価手法の開発

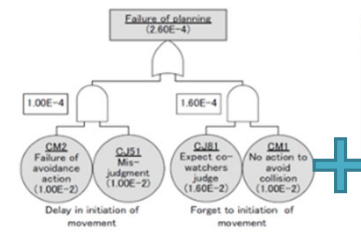
- リスク定量化推定のための、自動運航船等の衝突や座礁等のリスクモデルの構築
- 既存船舶の定量的リスク評価結果との比較により**同等安全性評価手法の確立**

■ 新コンセプト船の導入への安全対策への貢献



ハザード等の同定

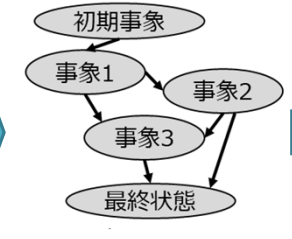
緊急オペレーション時のリスク解析手法確立のイメージ



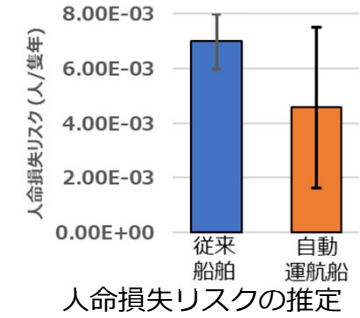
従来船の事故シナリオ

Hazard ID	Hazard Name	Consequence	Existing Safeguards	Residual Risk Level	Recommendation
HAZID-001	衝突	船体損傷	衝突回避装置	低	衝突回避装置の性能向上
HAZID-002	座礁	船体損傷	水深測定装置	低	水深測定装置の性能向上
HAZID-003	衝突	船体損傷	衝突回避装置	低	衝突回避装置の性能向上
HAZID-004	座礁	船体損傷	水深測定装置	低	水深測定装置の性能向上

自動運航船のHAZID結果



自動運航船の事故シナリオ

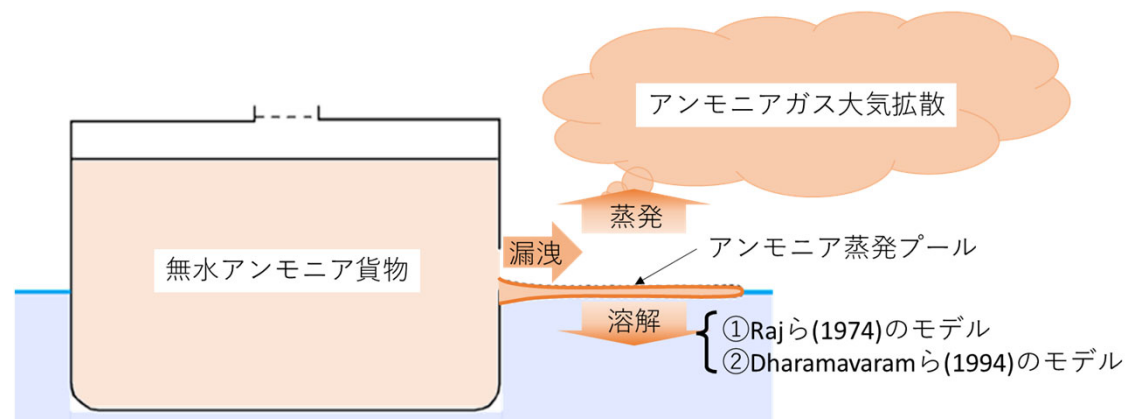


人命損失リスクの推定

定量的リスク評価手法確立のイメージ

■ 物理化学現象を考慮した大気拡散解析に関する研究

- アンモニアを対象とし、漏洩した燃料ガスと大気中の水分の化学反応及び空気の凝縮等の熱力学的平衡を考慮した**大気拡散解析コードの構築**
- 同等安全性評価法への実装



■ 火災・爆発に伴う影響度解析手法に関する研究

- 船内で漏えいした**水素やアンモニア等**のGHG対応燃料の着火時における、**燃料火災に伴う放射熱及び爆風圧による影響度詳細解析コードの構築**
- 同等安全性評価法への実装

■ 新概念船の導入への安全対策への貢献

③放射性物質の輸送の安全確保



■ 放射性物質輸送に対する安全評価手法の開発

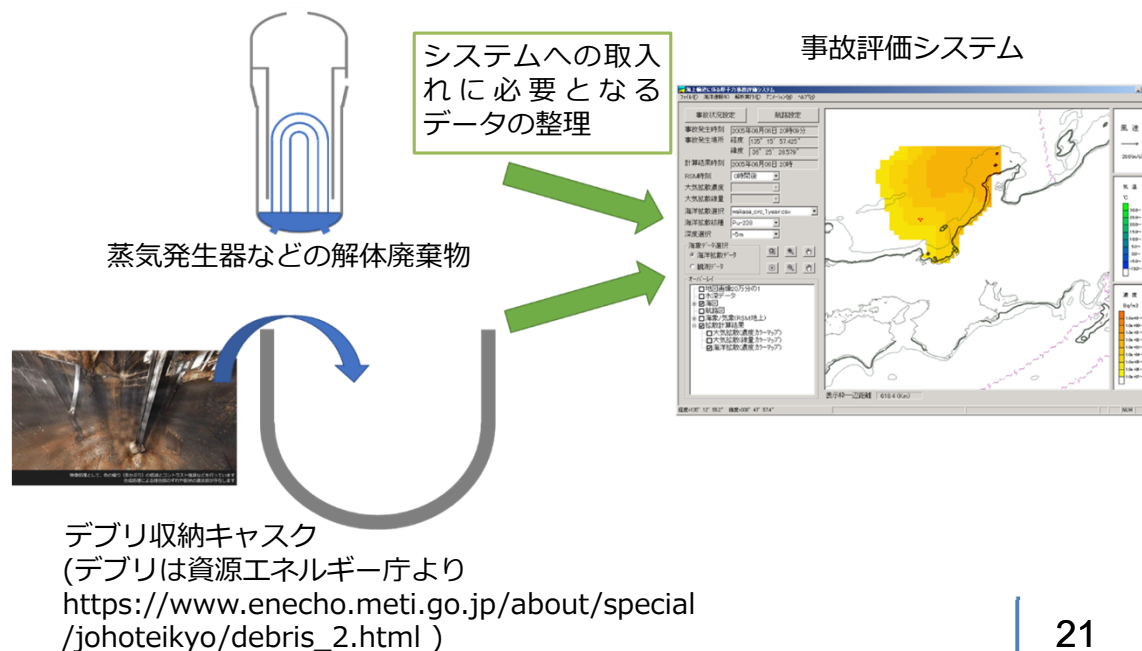
- 解体廃棄物などの**新たな輸送物のリスクを明確化するための評価技術の開発**
- 燃料デブリやキャニスタ輸送において**容器及び収納物の熱・振動に対する安全評価手法の確立**
- **迅速な遮蔽評価のための簡易計算コードを開発し、解体廃棄物等の新規輸送物の特性に合わせた計算方法の提案**

■ 放射性物質輸送における事故時影響評価手法の研究

- 新規輸送物の**事故時影響評価に対応する漏洩源のデータベースの構築**
- 3次元線量分布の計算時間を短縮するための**分散低減手法の提案**

■ 新コンセプト船の導入への安全対策への貢献

新たな輸送対象となる放射性物質(例)



④ 運航支援技術の開発



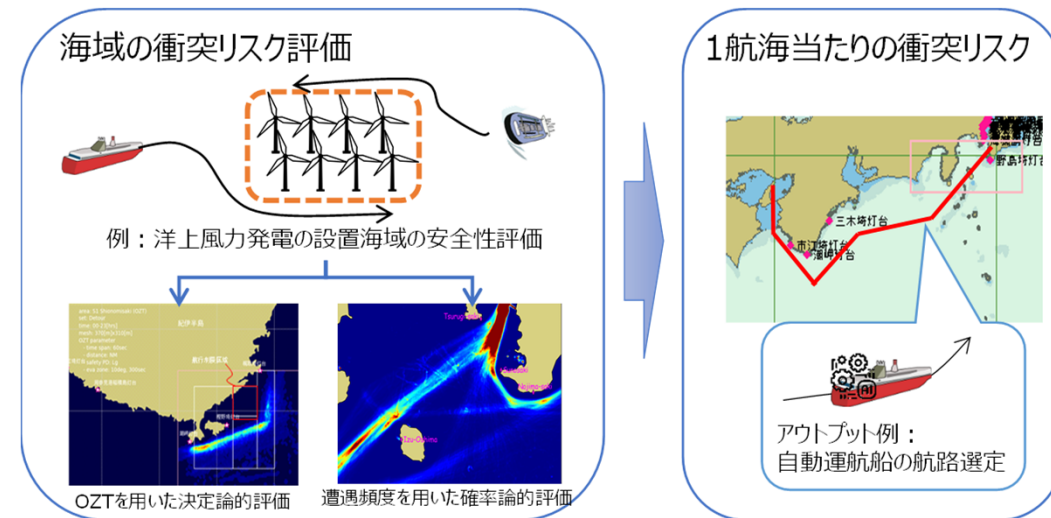
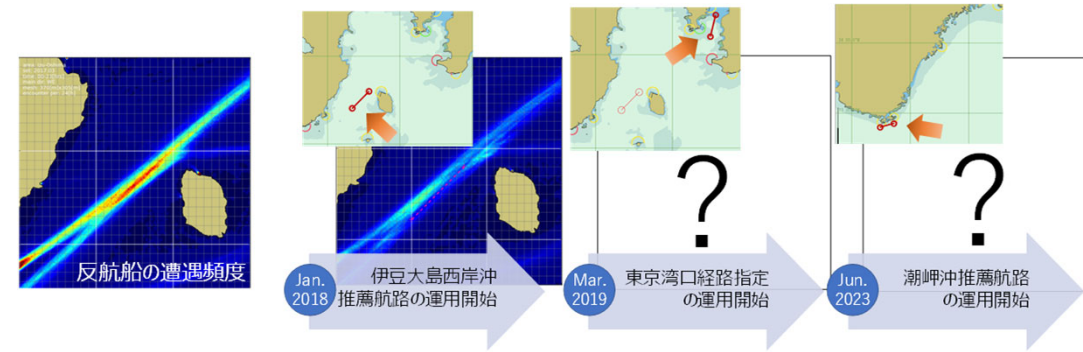
■ 衝突リスクの評価手法を基軸とする安全対策構築技術の高度化

- 単独海域及び連結海域での海上交通の変化のフォローアップと**交通ルール**の効果の検証
- ルール運用に伴う船舶交通流の変化モデルを考慮した海域及び**船舶航行経路上の衝突リスク評価手法の開発**

■ デジタル基盤を活用した航行船舶の監視評価技術の開発

- **デジタル基盤を構築**するための技術開発
- 船舶航行経路上の**衝突リスクを用いた監視評価技術の開発**
- 事故が発生しやすい気海象・遭遇状況等の航行条件下における**衝突の蓋然性予測手法**を開

■ 海上交通環境への安全対策への貢献



1. はじめに
2. 第1期中長期計画における取り組み
3. 第2期中長期計画における取り組み
4. おわりに

- 船舶分野におけるリスク評価の需要増加と目的の多様化に対応するため、対象となる技術の安全性を示すための枠組みを構築するための研究を実施。
- 第1期中長期計画において、新コンセプト船の安全性向上および船舶の運航環境の安全性向上に関する研究を実施した。
- 第2期中長期計画では、近年の国際動向に対応する国際規則の策定等、新コンセプト船の安全性向上および船舶運航の安全性向上への寄与を目指す。

ご清聴ありがとうございました



国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所
National Maritime Research Institute

