



第25回 海上技術安全研究所研究発表会



総合シミュレーションシステムを用いた 自動避航アルゴリズムの評価

令和7年7月18日

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

知識・データシステム系

南 真紀子、佐藤 圭二、澤田 涼平、疋田 賢次郎

1. 背景
2. 自動避航アルゴリズムの安全性評価
3. 自動避航アルゴリズム評価試行
4. まとめ

■ 自動運航船の開発

- 船員の不足や高齢化への対策
- 人的要因による海難事故の低減

海技研の取り組み

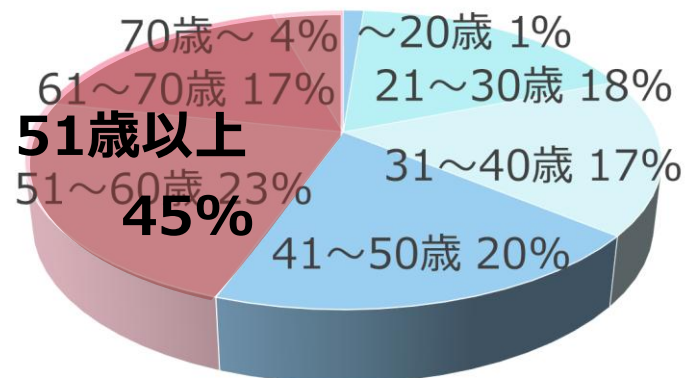
■ 自動運航船の技術開発

- 周囲状況検知機能
- 避航操船機能
- 離着岸操船機能
- 遠隔監視・操船機能

■ 安全性評価技術の開発

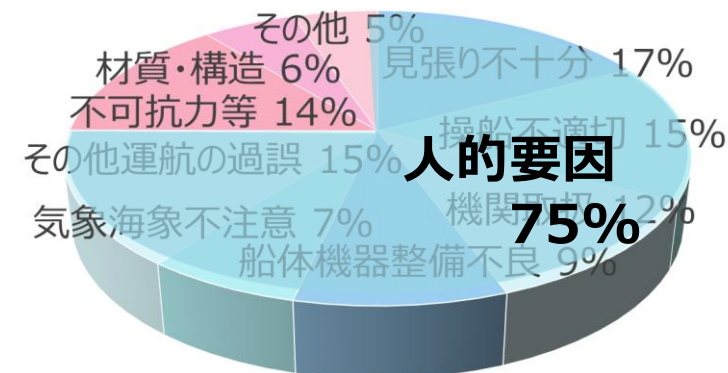
- リスク解析
- シミュレーションの利用

内航船船員の年齢構成



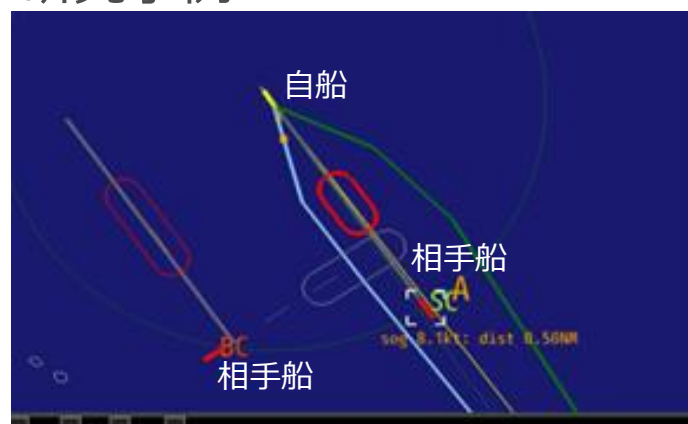
船員労働統計調査_国土交通省(2024年)から作成

海難事故原因別割合

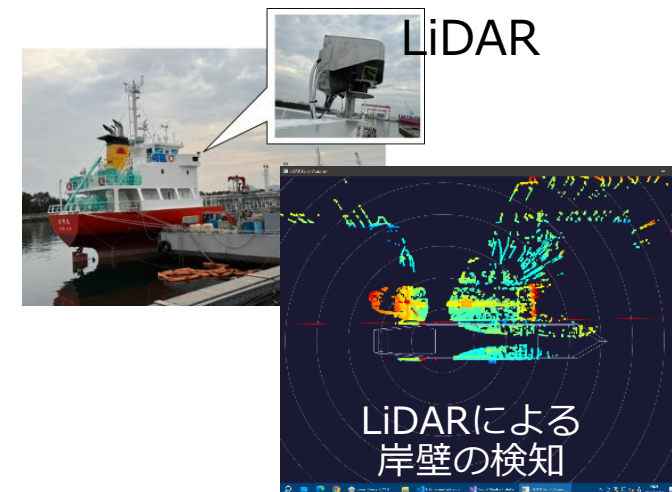


海上保安レポート_海上保安庁(2023年)から作成

研究事例



自動避航操船機能
_避航操船システム画面



周囲状況検知機能及び離着岸操船機能
_自動離着岸へのLiDARの応用

■ シミュレーションを用いた安全性評価

- 同一条件で繰り返し検証が可能
- さまざまな条件の設定が可能
 - 実際には起こりにくいが、確認が必要なケースの検証を実施
 - 衝突リスクの高い航行など危険を伴う状況を安全に検証
- (一財) 日本海事協会「自動運航、自律運航に関するガイドライン」においてもシミュレーション試験を有効に活用することが求められている

■ 総合シミュレーションシステムの整備

- FTSS (Fast-Time Ship Simulator)
 - ファストタイムシミュレーション (実時間より速い速度でシミュレーション) により、網羅的な検証が実施可能
- SHS (Ship Handling Simulator)
 - リアルタイムシミュレーション (実時間と同じ速度でシミュレーション) により、人を考慮した評価が可能



FTSS実行のイメージ



360deg円筒スクリーン



船橋

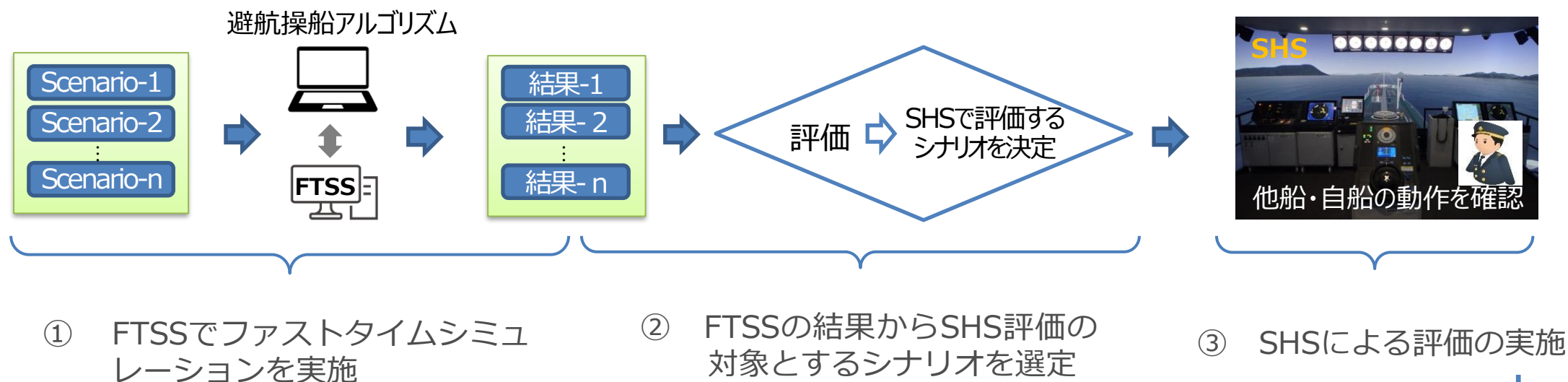
SHS

■ 自動避航アルゴリズムの安全性評価

他船情報(船位、速力、進路等)に基づき、自動避航タスクが次の観点において適切に実行できることを検証。

- 海上衝突予防法等で規定された航法の遵守
- 航過距離、船首航過距離等指標による評価
- 海技者の視点による評価

■ 総合シミュレーションシステムを用いた評価手順

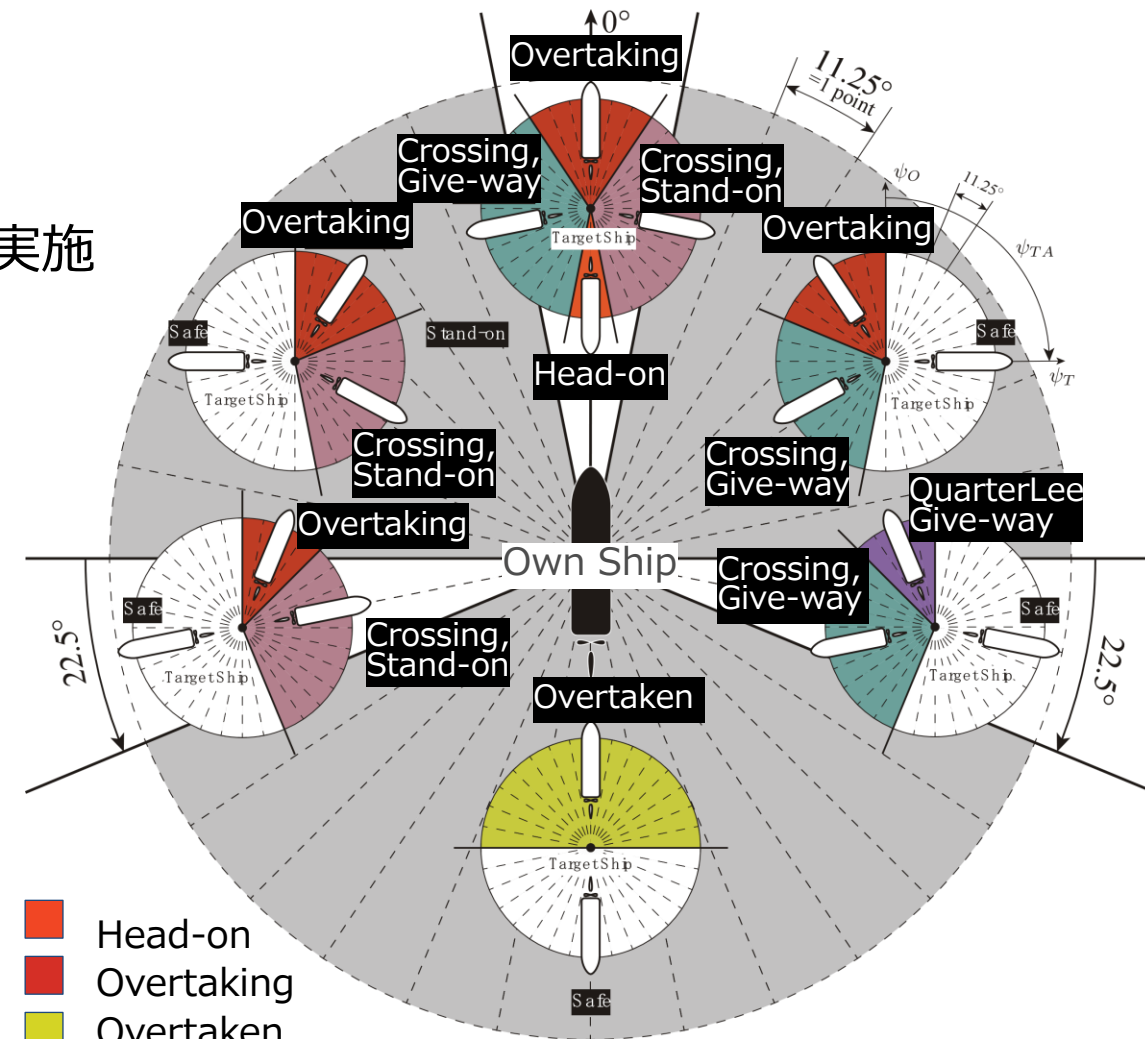
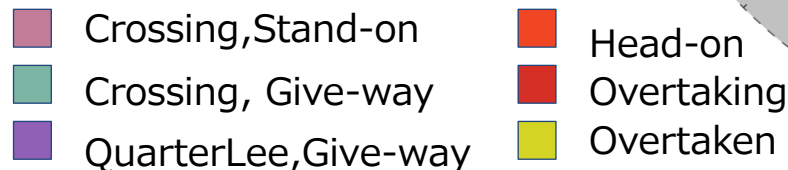


自動避航アルゴリズム評価試行

自動避航アルゴリズム評価試行_シナリオ



- 自船：200TEUコンテナ(749GT)
- 基本シナリオセット、実海域シナリオの2種類で実施
- 基本シナリオセット*
 - Open Sea
 - 84シナリオ
 - TCPA ※最接近点 (CPA)に至るまでの時間
 - 30min、60min
 - 船速
 - 自船 12kt(初期設定)
 - 他船 12kt



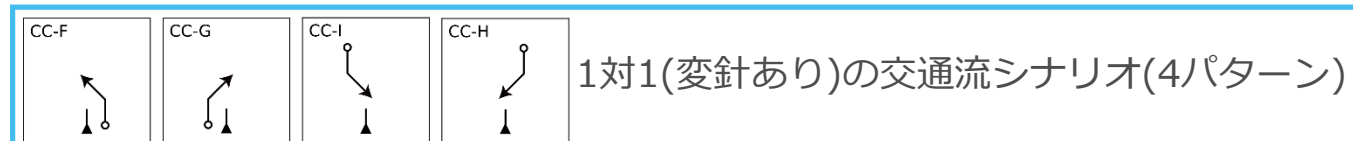
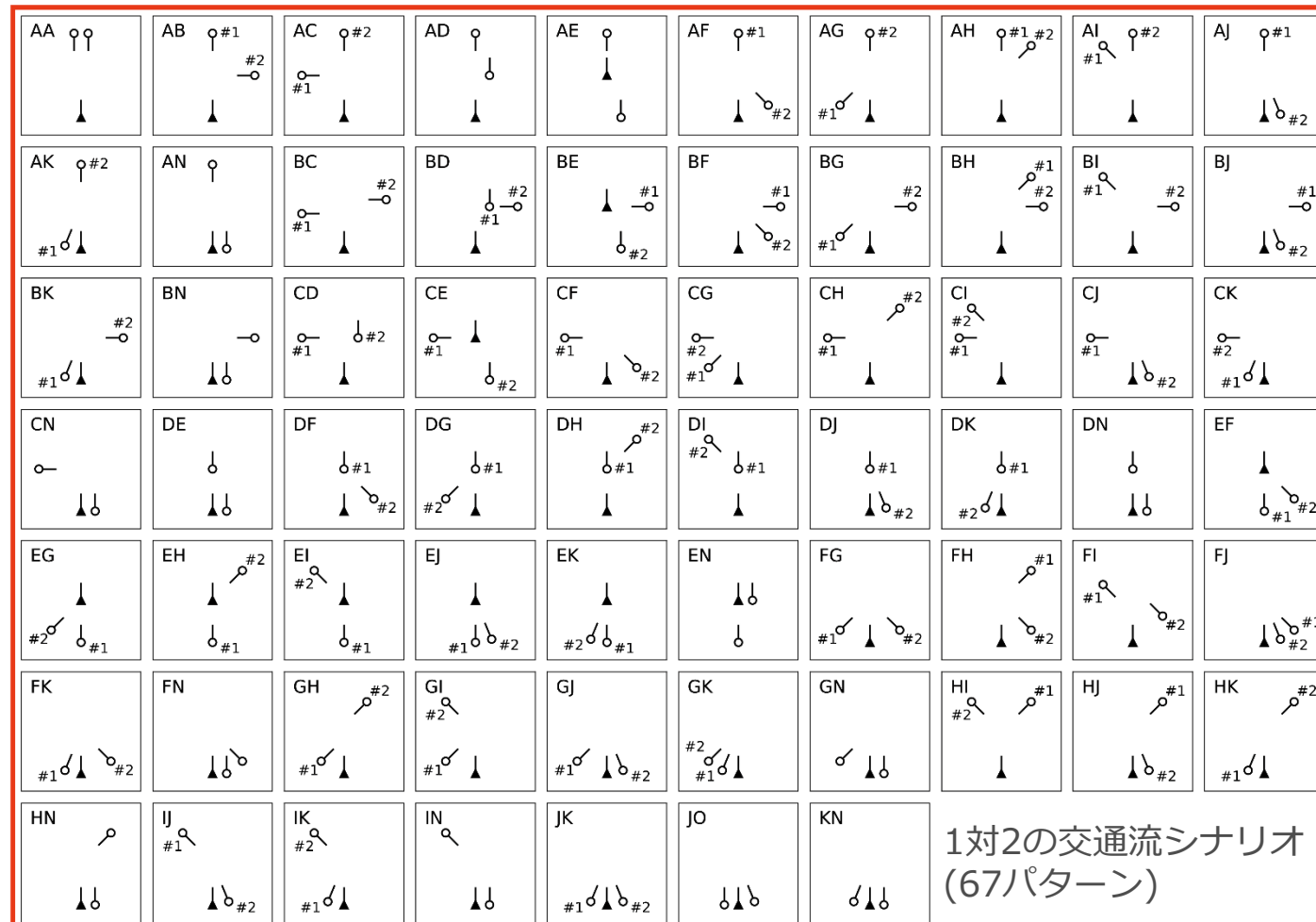
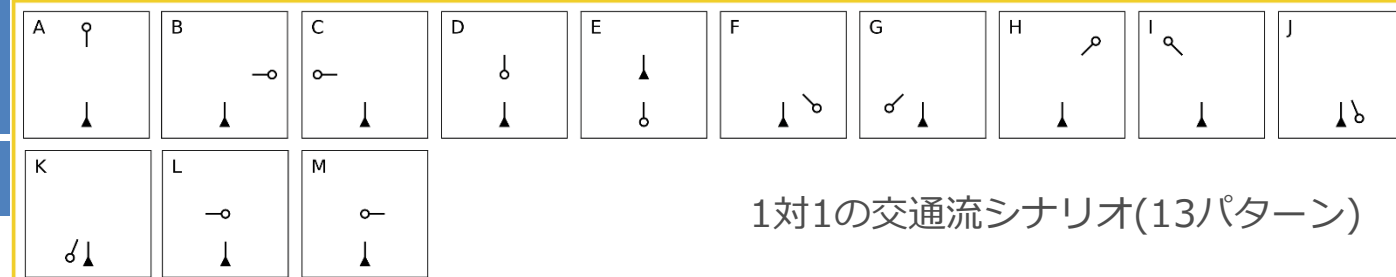
見合い関係の図

*R. Sawada, R., Sato, K., Minami, M.: Framework of Safety Evaluation and Scenarios for Automatic Collision Avoidance Algorithm, Ocean Engineering Vol300, 117506, 2024

自動避航アルゴリズム評価試行

■ 基本シナリオセット

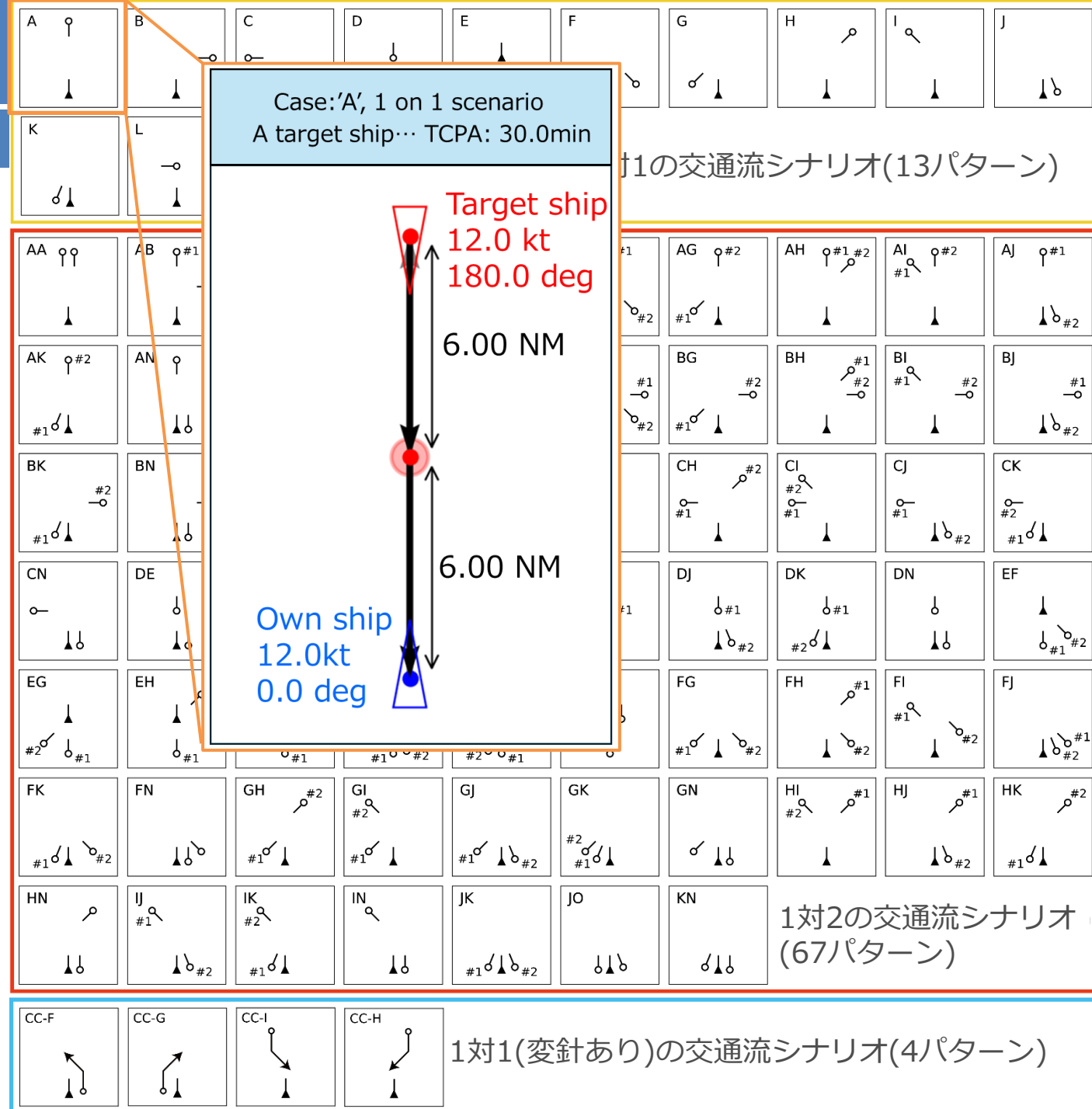
- Open Sea
- 84シナリオ
- TCPA ※最接近点 (CPA)に至るまでの時間
 - 30min、60min
- 船速
 - 自船 12kt(初期設定)
 - 他船 12kt



自動避航アルゴリズム評価試行

■ 基本シナリオセット

- Open Sea
- 84シナリオ
- TCPA ※最接近点 (CPA)に至るまでの時間
 - 30min、60min
- 船速
 - 自船 12kt(初期設定)
 - 他船 12kt



自動避航アルゴリズム評価試行_シナリオ



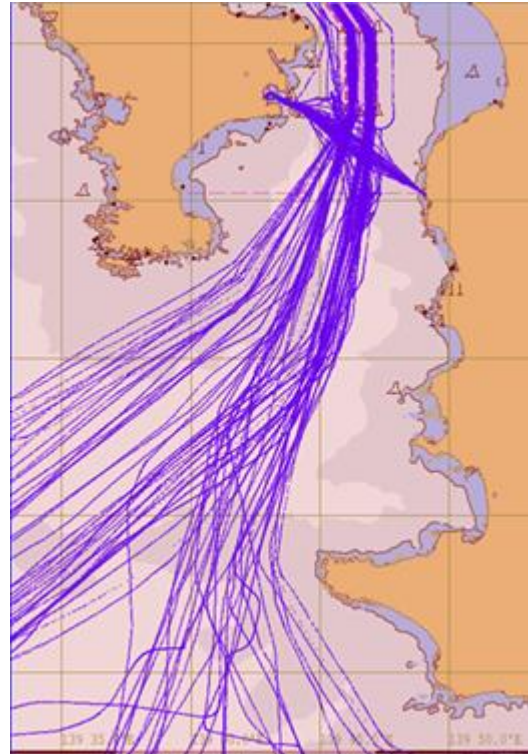
■ 実海域シナリオ

- 東京湾口

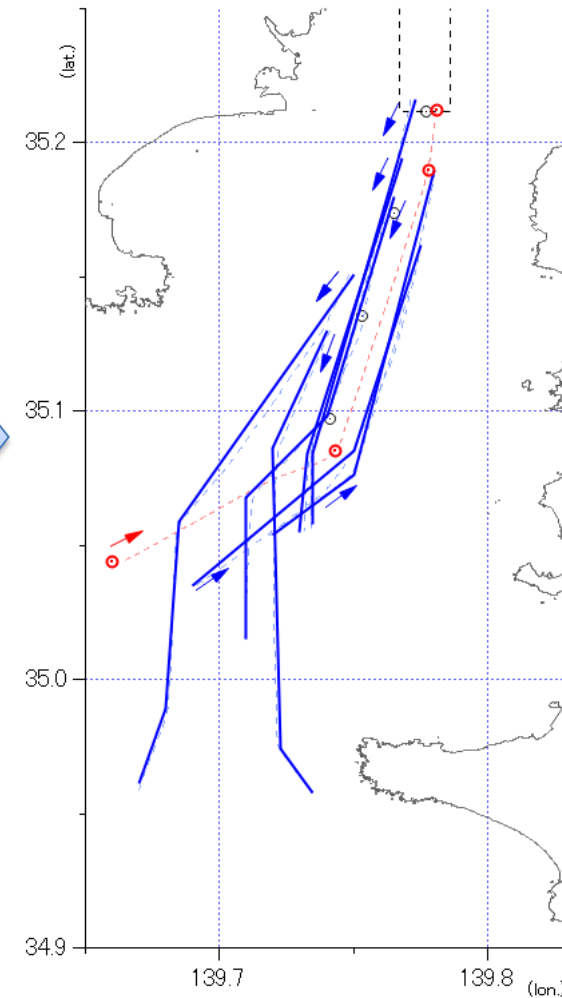
■ テストシナリオ数

- 基本シナリオ
 - 168ケース
- 実海域シナリオ
 - 1ケース

計 169ケース



2019年10月1日



---○--- 自船の変針点
— 他船

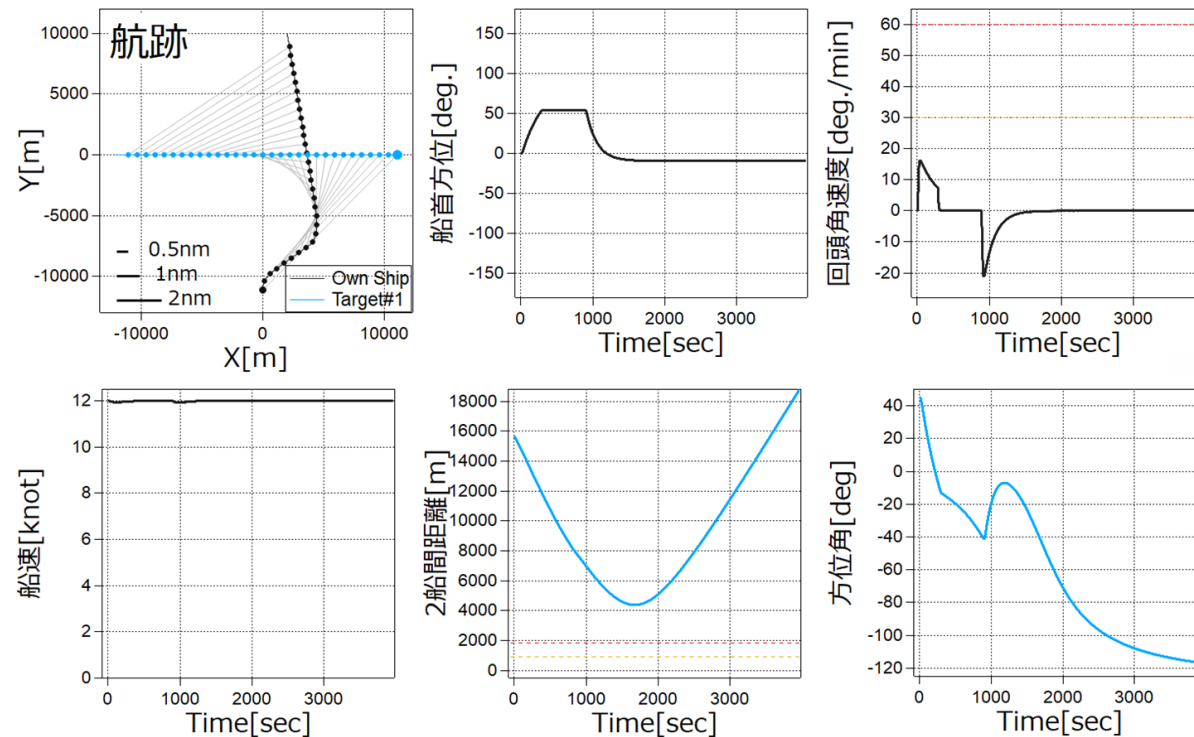
- 本来は、客観評価を軸に実施するが、169シナリオのすべての実行結果について航跡等により操船経験者が確認した。
 - 評価者（船長）2名がシナリオを確認
 - シナリオごとに合否（○、×）とコメントを記載
 - 合否は、船長の所感に任せる
 - SHSでの確認が必要と考えるシナリオを列挙
- 評価の観点
 - 海上衝突予防法等で規定された航法の遵守
 - ⇒基本シナリオの1対1のシナリオで確認、1対2及び実海域シナリオでは参考
 - 航過距離、船首航過距離等指標による評価
 - ⇒指標の提示

自動避航アルゴリズム評価試行_FTSS評価



■ 評価者への提示資料

- 航跡図
- 評価指標の時系列変化及び最大（最小）値
- アニメーション



アニメーション

結果グラフ（一部）

指標値一覧（一部）

航過距離(最小) [m]	船首航過距離(最小) [m]	正横航過距離(最小) [m]	回頭角速度(最大) [deg/min]	方位変化率(最大) [deg/min]
4400.8	13603.3	6800.8	21.25	6.27

自動避航アルゴリズム評価試行_FTSS評価結果



■ 2名の評価者の合否結果を集計

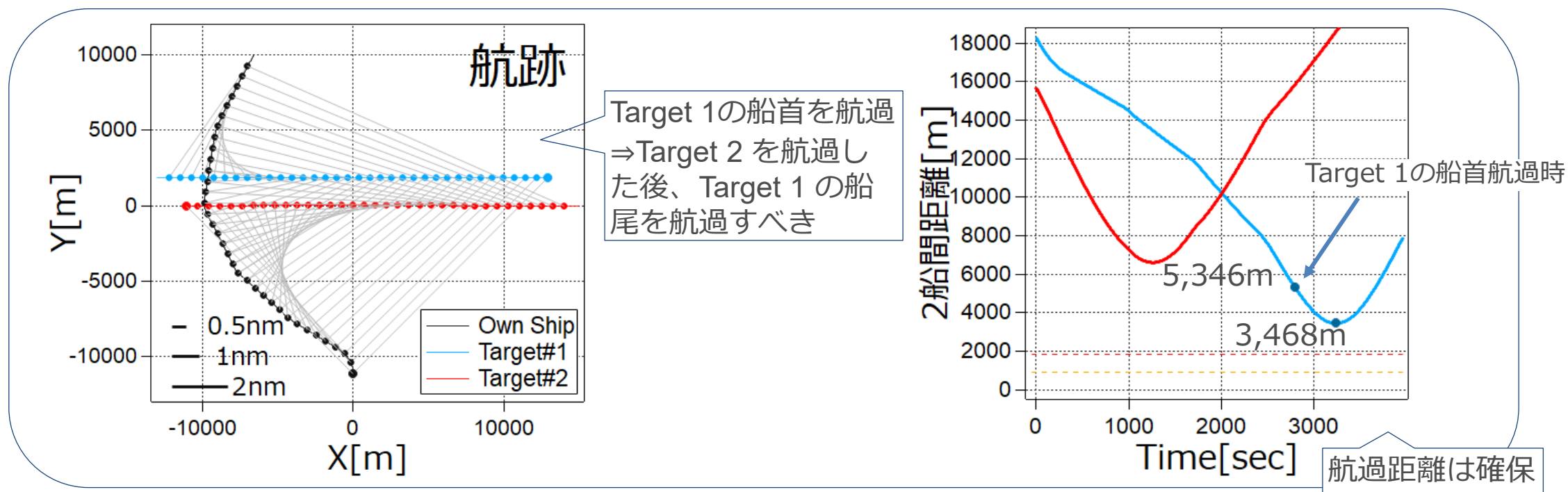
合否判定

	TCPA30	TCPA60	実海域シナリオ	割合
両方○	56	40	1	57.4%
片方○	21	35	0	33.1%
両方×	7	9	0	9.5%

×のついた
コメントの分類

分類項目			TCPA30	TCPA60
保持船義務違反	保持船にもかかわらず、避航動作を実施		6	6
不要な動作	過剰な変針や減速などの「無駄」な避航動作を実施		5	12
速度変化に対する違和感	減速が必要ない場面での減速や頻繁な速度変更		12	17
操船タイミング	変針や復帰動作の時期が早すぎる／遅すぎる		4	14
意思疎通が必要	他船とのコミュニケーション（VHF通信など）後に実施される操船		2	5
変針方向が不適切	一般的には右転が安全とされる状況で左転を行ったり、逆に左転が自然な状況で右転するなど、慣例と異なる変針		14	11
航過距離不足	他船との航過距離が不十分		0	8

- 評価者によって合否が分かれた要因として以下が挙げられた。
 - 操船内容（変針、加減速）、操船タイミングは不適切であるが他船との航過距離自体は保たれている場合の判断
 - 機械の判断として許容、人と比較して不可など判断根拠の差異

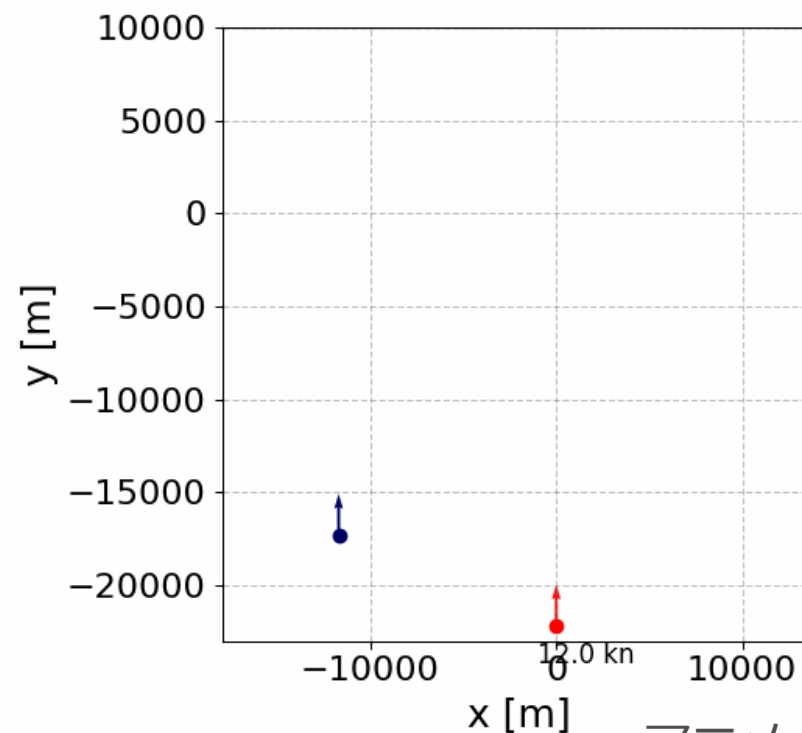
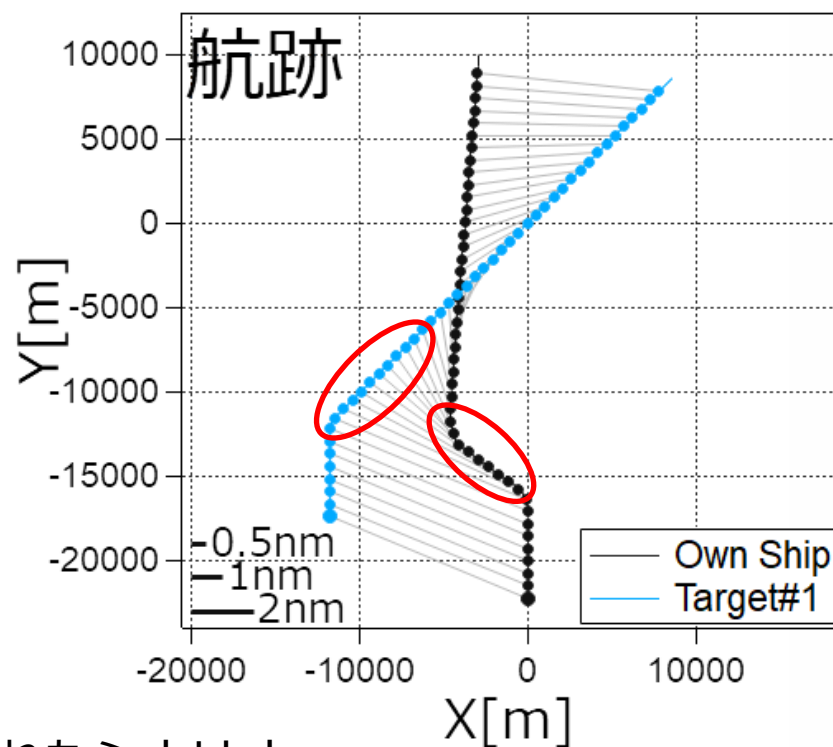


⇒ 評価の前提条件等、評価者への事前説明に配慮が必要である。

⇒ 評価者の合議により操船の可否を評価

■ SHS評価候補を、FTSS結果をみて評価者がピックアップ

自動避航アルゴリズム評価試行_SHS再現シナリオの抽出

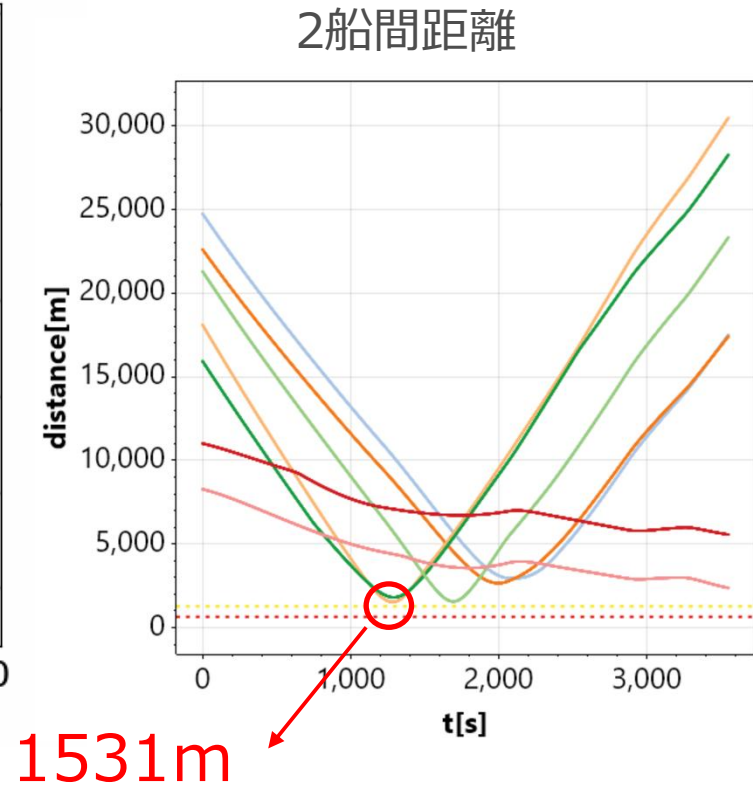
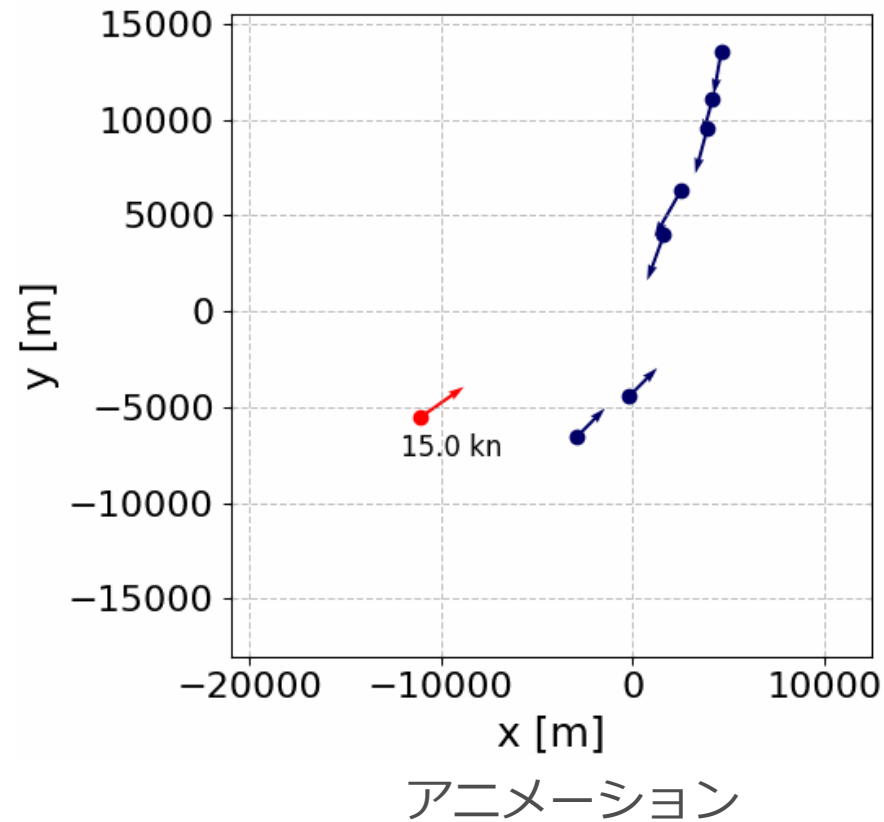
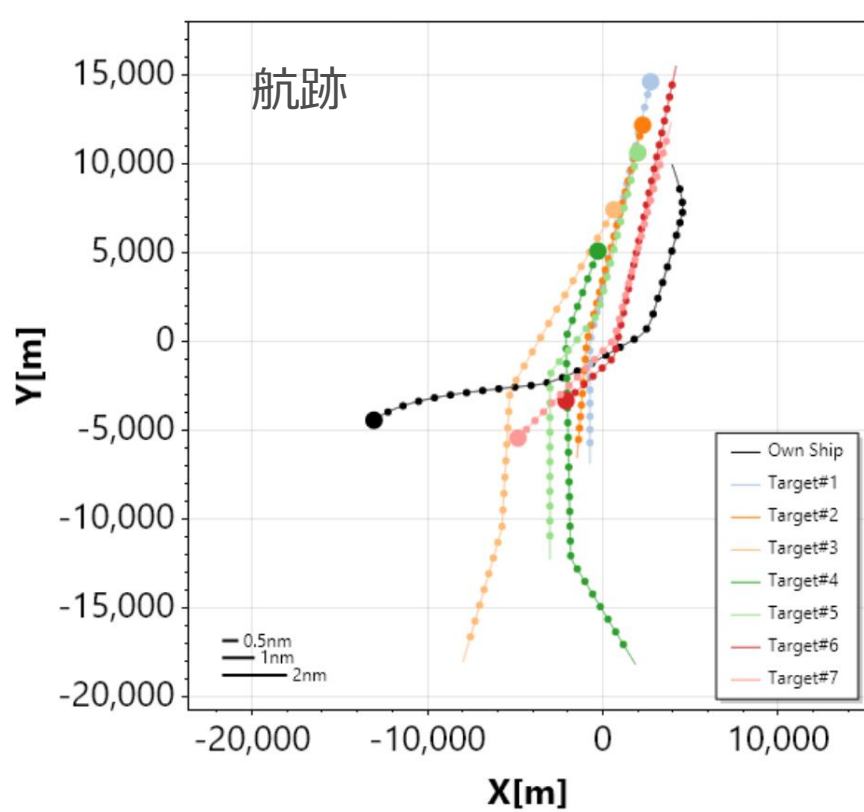


アニメーション

- 合否が分かれたシナリオ
- (コメントから) 左舷前方の同航船が右転した直後に左転している。相手船が直進することを前提とした操船であるため、操船の状況を確認したい。

航過距離(最小) [m]	船首航過距離(最小) [m]	正横航過距離(最小) [m]	回頭角速度(最大) [deg/min]	方位変化率(最大) [deg/min]
3590.1	3825.5	10426.9	20.2	4.1

自動避航アルゴリズム評価試行_SHS再現シナリオの抽出



- (コメントから) 日中かつ、南航船が5,000~10,000トン未満程度の船舶であれば、航過距離1,500mでも良いので、状況を確認したい。

※基本シナリオ (Open Sea)であれば、1nm以上の航過距離を確保する。

自動避航アルゴリズム評価試行_SHS評価



- FTSSの計算結果を読み込むため、計算結果をそのまま再現可能
- 2名の評価者により、操船タイミング等7項目について5段階で評価
 - 操船タイミング【早い・遅い】
 - 操船内容(変針、変速)【違う方向】
 - 操船量(変針角度、増減速の割合)【大きい・小さい】
 - 航過距離【遠い・近い】
 - 操船意図の把握(操船内容が理解できるものであるか)【可・否】
 - 動作の安定性【安定しているか・否か】
 - 他船視点からの操船内容【不安を感じるか・否か】
- シナリオ終了後、そのシナリオでのアルゴリズムの操船を5段階で評価(⇒総合評価)

評価シート

評価シート (評価船舶・他船舶)

年 月 日

シナリオID

評価者氏名

	許可できる	やや許可できる	どちらでもない	やや許可できない	許可できない
操船タイミング 早い・遅い					
操船内容(変針・変速) 違う方向 (変針:左右, 変速:加速)					
操船量(変針角度・増減速) 大きい・小さい					
航過距離 遠い・近い					
操船意図の把握 意図が理解できるか・否か					
動作の安定性 安定しているか・否か					
他船からみた自船の 操船内容 不安を感じるか・否か					
総合評価					

自動避航アルゴリズム評価試行_SHS評価



- FTSSの計算結果を読み込むため、計算結果を5段階で評価

- 2名の評価者により、操船タイミング等7項目について5段階で評価

- 操船タイミング【早い・遅い】
- 操船内容(変針、変速)【違う方向】
- 操船量(変針角度、増減速の割合)【大きい・小さい】
- 航過距離【遠い・近い】
- 操船意図の把握(操船内容が理解できるものであるか)【可・否】
- 動作の安定性【安定しているか・否か】
- 他船視点からの操船内容【不安を感じるか・否か】

- シナリオ終了後、そのシナリオでのアルゴリズムの操船を5段階で評価(⇒総合評価)

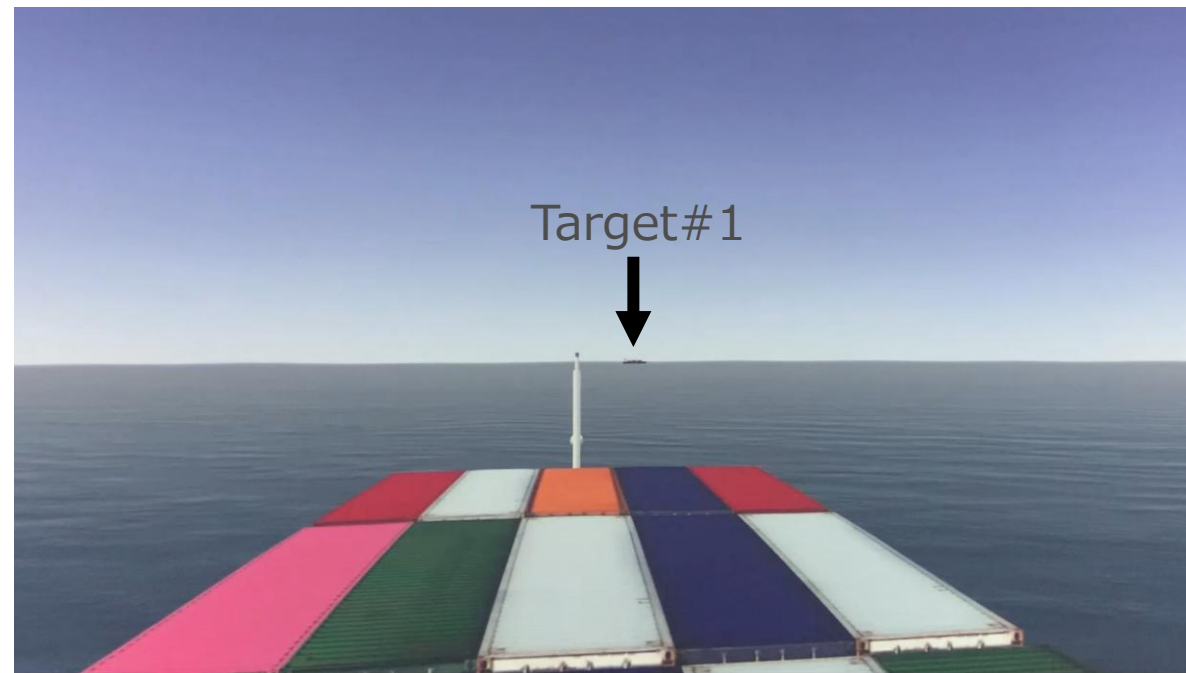
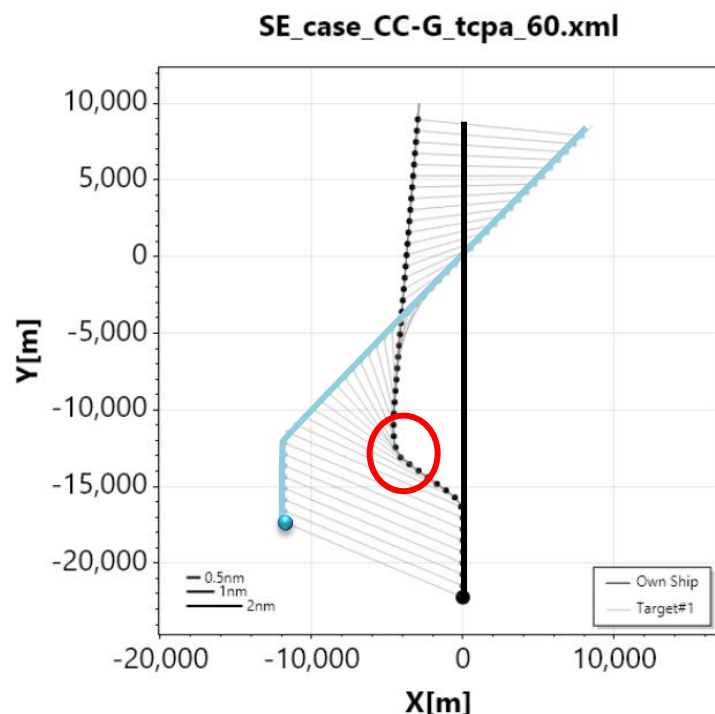
評価シート

許容できる やや許容できる どちらでもない やや許容できない 許容できない

	許容できる	やや許容できる	どちらでもない	やや許容できない	許容できない
操船タイミング 早い・遅い					
操船内容(変針・変速) 違う方向 (変針:左右,変速:加速)					
操船量(変針角度・増減速) 大きい・小さい					
航過距離 遠い・近い					
操船意図の把握 意図が理解できるか・否か					
動作の安定性 安定しているか・否か					
他船からみた自船の 操船内容 不安を感じるか・否か					
総合評価					

● 変針ありのシナリオ

左舷前方の同航船が右転した直後に左転している。相手船が直進することを前提とした操船であるため、操船の状況を確認したい。



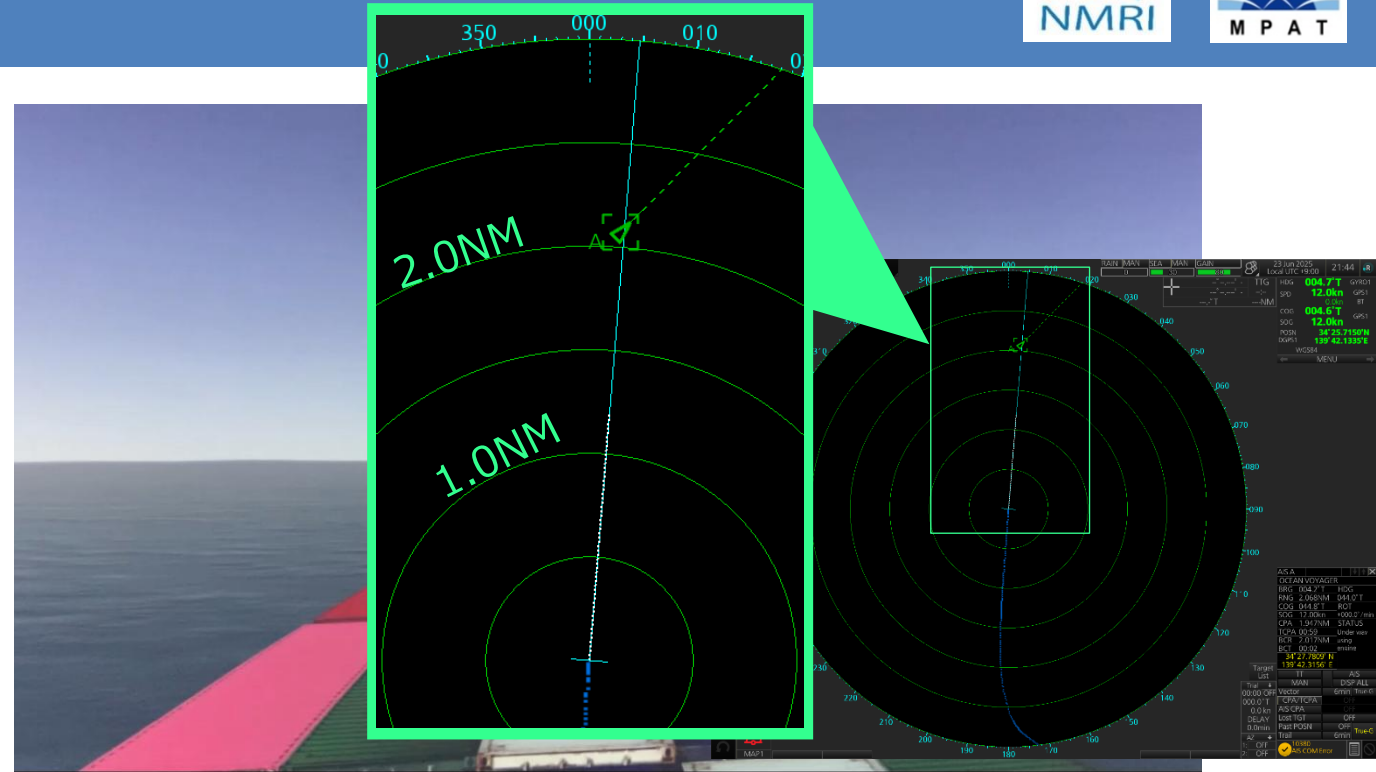
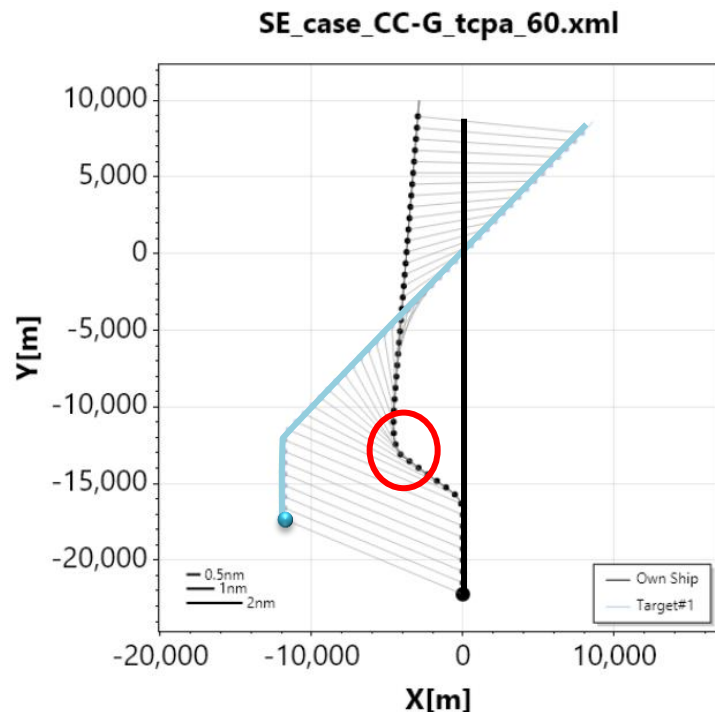
- ✓ 舵角の変化が小さく、回頭角速度が小さすぎて、自船の操船意図が相手船に伝わりにくい。 ⇒操船量
- ✓ 1回目の変針で切った見合い関係を2回目の変針で、見合い関係に戻ってしまった。 ⇒操船意図の把握、他船視点からの操船内容
- ✓ しかし、相手船が約2nm離れて船首方を航過したので、操船は可とする。 ⇒総合評価

自動避航アルゴリズム評価試行_SHS再現



● 変針ありのシナリオ

左舷前方の同航船が右転した直後に左転している。相手船が直進することを前提とした操船であるため、操船の状況を確認したい。



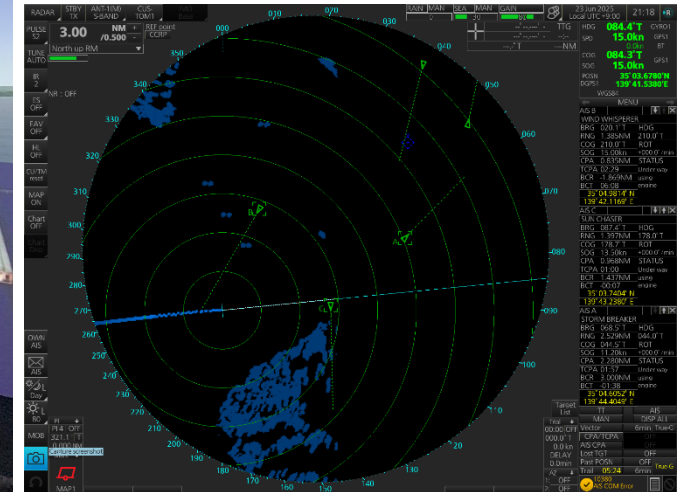
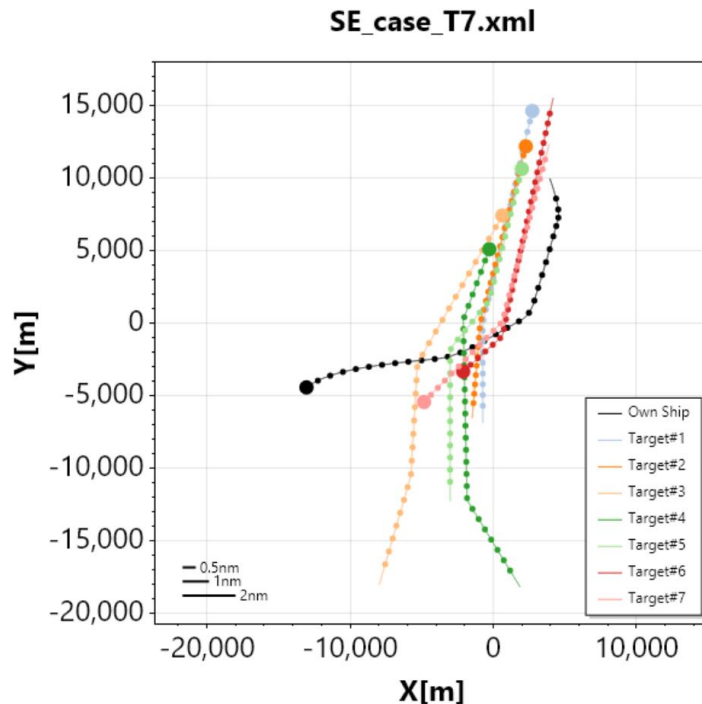
- ✓ 舵角の変化が小さく、回頭角速度が小さすぎて、自船の操船意図が相手船に伝わりにくい。 ⇒操船量
- ✓ 1回目の変針で切った見合い関係を2回目の変針で、見合い関係に戻ってしまった。 ⇒操船意図の把握、他船視点からの操船内容
- ✓ しかし、相手船が約2nm離れて船首方を航過したので、操船は可とする。 ⇒総合評価

自動避航アルゴリズム評価試行_SHS再現



● 実海域シナリオ

日中であり、かつ、南航船が五千～一万トン未満程度の船舶であれば、航過距離1,500mでも可



- ✓ 開始直後から極めて小さな舵角でゆっくり右回頭を続けていた。基本的には直進するよう操船する。 ⇒操船量
- ✓ 本シナリオでは、2船間をすり抜ける操船でもOKだが、舵角操作が小さすぎる。意図が相手船にはっきり伝わるような操船とすべき ⇒操船量、他船視点からの操船内容
- ✓ 衝突が発生していないため可とする。 ⇒総合評価
- ✓ 計画航路からのずれも評価の対象となるため、計画航路の表示が必要

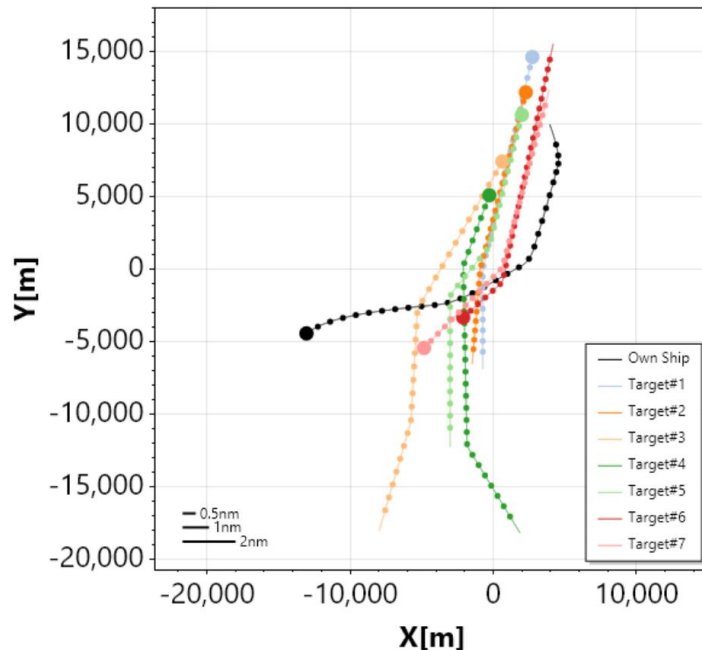
自動避航アルゴリズム評価試行_SHS再現



● 実海域シナリオ

日中であり、かつ、南航船が五千～一万トン未満程度の船舶であれば、航過距離1,500mでも可

SE_case_T7.xml



- ✓ 開始直後から極めて小さな舵角でゆっくり右回頭を続けていた。基本的には直進するよう操船する。 ⇒操船量
- ✓ 本シナリオでは、2 船間をすり抜ける操船でもOKだが、舵角操作が小さすぎる。意図が相手船にはっきり伝わるような操船とすべき ⇒操船量、他船視点からの操船内容
- ✓ 衝突が発生していないため可とする。 ⇒総合評価
- ✓ 計画航路からのずれも評価の対象となるため、計画航路の表示が必要

- FTSSの結果からSHS評価対象シナリオを抽出し、エキスパートによるSHS評価を行い、最終的な結果を取りまとめるという評価手順の有効性を確認した
 - FTSSでの評価結果およびSHS評価対象シナリオの抽出
 - 2名の評価者の合否が分かれたシナリオが33%あり、評価ポイントの整理には合否が分かれたシナリオを中心にコメント等の分析も有効と考えられる。
 - 航過距離の設定、見合い関係成立の条件など、搭載船や航行海域により設定されるアルゴリズムのパラメータ値を勘案した評価の検討も必要。
 - SHSの実行結果の評価
 - 実海域シナリオでは、計画航路に対する操船も評価対象であり、計画航路の提供が必要。
 - 評価シートにより評価ポイントは評価者の間で共通となった。
 - 一方、5段階の評価は基準等を定めていない相対評価であり、事後ヒアリング及び総合評価の補助的な位置づけとした。
- 評価手順確立に向けた取り組み
 - FTSS評価：FTSSの評価ポイントの明確化、客観評価を意識した指標の整理
 - SHS評価：提供する情報等の再現内容、エキスパート評価の実施方法
- 自動運航船検討会「自動運航システム等の検査の方法（案）」に反映

本研究は、公益財団法人日本財団の助成を受けて、一般財団法人日本船舶技術研究協会が行う「MEGURI2040 に係る安全性評価」事業の委託研究の一環として行われております。また、一般財団法人日本海事協会よりサポートと有益な助言を賜りました。

特に、(独)海技教育機構の阿部船長、貝塚船長には、専門家評価に関して貴重なご助言と有益なご議論をいただきました。さらに、有人宇宙システム株式会社の野本様、広瀬様には、アルゴリズムの接続にあたり多大なるご支援をいただきました。

皆様に深く感謝申し上げます。

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

