



2023年度

AI 画像認識を利用した物標検出センサと船上センサの  
センサフュージョンに関する技術開発  
成果報告書

2024年3月

一般社団法人 日本船用工業会



## はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、2022年度及び2023年度に一般社団法人日本船用工業会が実施した「AI 画像認識を利用した物標検出センサと船上センサのセンサフュージョンに関する技術開発」の成果をとりまとめたものである。

本開発は、2022年度、2023年度の2年計画で、日本無線株式会社に委託して実施しており、2年度分の報告書をここにまとめたものである。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

2023年3月  
(一社)日本船用工業会

# 目次

1	事業の目的.....	1
1.1	用語説明.....	3
2	事業概要.....	5
2.1	本事業の最終目標（2023年度の目標）.....	5
2.2	2022年度の目標.....	5
3	2022年度の実施内容.....	6
3.1	AI画像認識機能の開発.....	6
3.1.1	システム構成の検討.....	6
3.1.2	通信仕様の策定.....	10
3.1.2.1	通信の詳細仕様.....	10
3.1.2.1.1	ネットワーク仕様.....	10
3.1.2.1.2	データフォーマット.....	10
3.1.3	ソフトウェア開発.....	13
3.1.3.1	ターゲット情報出力モジュール開発.....	13
3.1.3.2	PTZカメラ制御モジュール開発.....	13
3.1.4	PTZカメラ機械学習用データ収集.....	13
3.1.5	AI画像認識機能の開発まとめ.....	18
3.2	物標同定機能の開発.....	19
3.2.1	システム構成の検討.....	19
3.2.2	通信仕様の策定.....	21
3.2.2.1	通信の詳細仕様.....	21
3.2.2.1.1	ネットワーク仕様.....	21
3.2.2.1.2	データフォーマット.....	21
3.2.3	ソフトウェア開発.....	23
3.2.3.1	ターゲット情報解析／同定モジュール開発.....	23
3.2.3.2	ターゲット情報出力モジュール開発.....	24
3.2.3.3	情報表示機能（GUI画面）開発.....	25
3.2.3.3.1	トップ画面.....	25
3.2.3.3.2	Association.....	26
3.2.3.3.3	PPI画面.....	27
3.2.3.3.4	自船情報表示画面.....	27
3.2.3.3.5	TT情報表示画面.....	28
3.2.3.3.6	AIS情報表示画面.....	29
3.2.3.3.7	AI画像認識機能物標情報表示画面.....	29
3.2.4	物標同定機能の開発まとめ.....	30

3.3	AI 画像認識機能および物標同定機能の陸上評価試験.....	31
3.3.1	操船シミュレーターを使用した評価試験.....	31
3.3.1.1	試験概要.....	31
3.3.1.2	試験結果.....	32
3.3.1.3	試験により明らかになった課題.....	33
3.3.2	RORO 船 第二ほくれん丸を使用した評価試験.....	34
3.3.2.1	試験概要.....	34
3.3.2.2	システム評価結果.....	38
3.3.2.3	システム評価によって明らかになった課題.....	41
3.4	報告書作成.....	41
4	目標の達成状況.....	42
4.1	AI 画像認識機能と物標同定機能を組み合わせた小船の探知.....	42
4.2	AI 画像認識機能で検出する目標の探知精度.....	42
4.3	AI 画像認識機能で検出する目標の運動精度.....	42
5	2022 年度の実施内容の概要.....	43
5.1	AI 画像認識機能の開発.....	43
5.2	物標同定機能の開発.....	43
5.3	AI 画像認識機能および物標同定機能の陸上評価試験.....	43
6	今後の予定.....	44
6.1	陸上評価試験のフィードバック.....	44
6.2	AI 画像認識機能および物標同定機能の海上評価.....	44
6.3	報告書作成.....	44
7	まとめ.....	45
8.1	陸上評価試験のフィードバック.....	47
8.1.1	目標変針時の AIS/TT 目標のアソシエーション.....	47
8.1.2	AI 画像認識機能部の検出精度の改善.....	54
8.2	AI 画像認識機能および物標同定機能の海上評価.....	56
8.2.1	RORO 船 第二ほくれん丸を使用した評価試験.....	56
8.2.1.1	試験概要.....	56
8.2.1.2	システム評価結果.....	65
8.2.1.2.1	情報統合／更新機能試験.....	65
8.2.1.2.2	情報表示機能試験.....	66
8.2.1.2.3	システム精度試験.....	67
8.2.1.2.3.1	小舟の探知.....	67
8.2.1.2.3.2	位置精度と運動精度の検証.....	69
8.2.1.2.3.2.1	評価指標の検討.....	69
8.2.1.2.3.2.2	システム精度の検証結果.....	72

8.2.1.3	システム精度試験の考察.....	77
8.2.2	One Machinac を使用した評価試験.....	83
8.2.2.1	試験概要.....	83
8.2.2.2.1	システム精度試験.....	88
8.2.2.3	システム精度試験の考察.....	93
8.2.3	海上評価試験で明らかになった課題.....	96
9	目標の達成状況.....	102
9.1	小物標の探知.....	102
9.2	システムで探知した目標の位置精度.....	102
9.3	小物標の運動精度.....	102
10	2023 年度の実施内容の概要.....	103
10.1	陸上評価試験のフィードバック.....	103
10.1.1	目標変針時の AIS/TT 目標のアソシエーション.....	103
10.1.2	AI 画像認識機能部の検出精度の改善.....	103
10.2	AI 画像認識機能および物標同定機能の海上評価.....	103
10.3	報告書作成.....	103
11	まとめ.....	104

## 第 I 部 2022 年度

### 1 事業の目的

船舶の衝突や座礁事故は航海士の注意不足や技量不足によることが多く、また精神的過負荷が続く環境下では海難事故発生危険性が増す。特に航海士の負担が増す輻輳海域や夜間、荒天時での危険船判断には、船舶自動識別装置 (AIS) の非搭載船や船舶用レーダーでは捕捉できない小型船などの海洋上の小物標検知性能を向上させることが喫緊の課題である。

海洋上の物標を検知する AI 画像認識の分野では、海外メーカー等による製品化は進んでいるが、任意設備であることから普及しておらず、また、義務設備である航海機器に統合化された製品も上市されていない。

上記課題を解決するために、本事業では世界に先駆けて AI による画像認識技術により得られる情報と AIS/レーダーの情報を統合する航海機器を開発し、社会実装に向けた実用性と有効性の検証を目的とする。

本事業の目的は以上の通りであるが、さらなる衝突、座礁事故防止と航海士の負担軽減を図るためには、自動運航船への搭載を見据えた自動運航支援システムを構築する必要がある。本事業で取り組む AI 画像認識を利用した物標検出技術により、現状の義務設備のみでは難しい物標の検出率を目視同等に向上させることが可能である。また、レーダー、AIS、画像の船上センサ情報を統合することで周囲状況認識の完全性、網羅性を高めることに寄与する。

自動運航船では、本船が自動的に周囲状況を認識し、その出力を利用して避航ルートを策定する必要がある。つまり、避航ルート策定時の入力情報 (周囲状況) に誤りがあった場合、策定されるルートにも誤りが含まれることになるため、自動運航支援システムを実現するには、本事業で取り組む物標検出技術は最も重要な技術である。

なお、本事業の対象外としているが、自動運航支援システムの構築を目指すにあたり取り組んでいる技術開発項目を表 1 に、自動運航支援システムの全系を示すシステムブロック図を図 1 に示す。

表 1 自動運航支援システム実現に向けた事業外での取り組み

No.	事業外での技術開発項目	概要
1	相手船等との衝突危険領域検出技術	事業内で取り組む情報統合技術から出力された情報から妨害ゾーン検出アルゴリズムである航行妨害ゾーン (Obstacle Zone by Target: OZT) を用いて衝突危険領域を検出する。 本技術で出力される衝突危険領域は避航ルート生成のエビ

No.	事業外での技術開発項目	概要
		デンスとして活用される。また、操船者支援情報としてレーダー及び次項の3D航海士支援情報表示装置に表示されることで、航海士の判断を支援する。
2	3D デジタルツイン技術を活用した航海士支援情報表示装置の開発	<p>本船居住区の構造や夜間および気象条件で影響を受ける航海士の視界制限、それによる危険認知能力の低下を防ぎ、航海士の判断を支援するための情報を表示する3D航海士支援情報表示装置を株式会社フォーラムエイトとの共同研究により開発する。</p> <p>本事業で取り組むセンサフュージョン後の物標情報、事業外で取り組む衝突危険領域、避航ルート、電子海図から得られる地理的情報、海上安全情報を統合し表示する。</p>
3	衝突回避のための避航ルート生成	<p>1 に示した海洋上の衝突危険領域と電子海図から得られる地理的な危険領域とを勘案した避航ルート策定アルゴリズムを自社開発する。本技術は海上における衝突の予防のための国際規則(COLREG) 準ずる右舷側の避航ルートと周囲状況に合わせて必要であれば左舷側の避航ルートも生成する。</p> <p>本アルゴリズムで生成された避航ルートは操船者支援情報として3D航海士支援情報表示装置に表示され、また、次項に記載する Autopilot との連動により本船の自動避航を可能とする。</p>
4	避航ルートと連動化させたアクチュエータ制御	<p>株式会社 YDK テクノロジーズとの共同研究により、前項の避航ルート生成で作成される避航ルートに従い、ルート変更の前後で制御の中断がされないシームレスなトラックコントロールシステムを開発する。また、本開発では自動運航支援システムで想定される故障リスクに対応するための冗長化構成の構築と船体性能を考慮した制御にも取り組む。併せて、避航が困難な場合を想定した減速制御も開発する。</p>

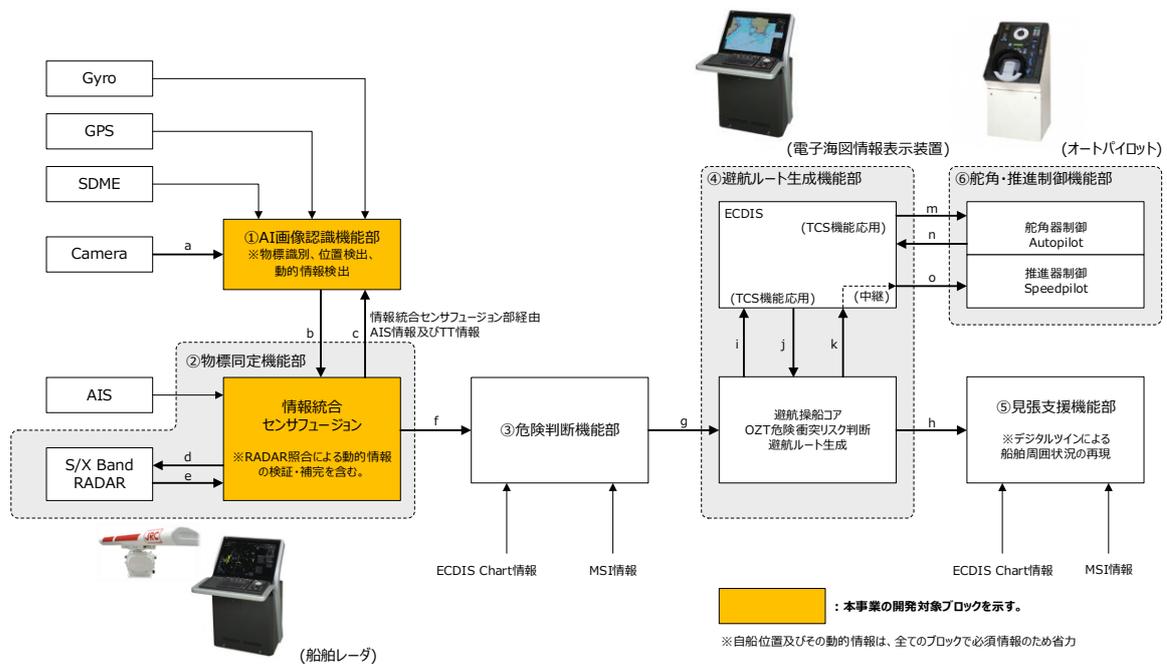


図 1 自動運航支援システム全系のシステムブロック図

なお、当社では 2021 年度から 2023 年度までの 3 ヶ年で実証試験を含めた開発を計画しており、実証試験では川崎汽船が保有する自動車運搬船やコンテナ船、RORO 船、フェリーから本船の動静に合わせて、2 隻以上の船種での検証を計画している。

自動運航支援システムの開発を目的に

- 日本無線株式会社
- 川崎汽船株式会社
- 株式会社 YDK テクノロジーズ
- 株式会社フォーラムエイト
- グローク・テクノロジーズ(フィンランド)/三菱商事株式会社

以上、異業種を含む 5 社で結成したコンソーシアムの協業体制の継続と本事業で得られた成果物の利用によって、2025 年度始めから船舶への社会実装の開始を目論む。

### 1.1 用語説明

表 2 に本書で使用使用する用語の説明を記す。

表 2 用語説明

用語	意味
AIS	Automatic Identification System : 船舶自動識別装置
Callsign	船舶の信号符字
CCRS	Consistent Common Reference System : 船舶で使用される位置の測定や通信において、一貫した基準を提供するシステム

用語	意味
COG	Course Over Ground : 対地進路
CPA	Closest Point of Approach : 自船と他船が現在の進路/速度を保つと仮定した場合の最接近点
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System : 電子海図表示システム
GNSS	Global Navigation Satellite System : 全世界的測位システムの総称
GUI	Graphical User Interface : 画面上に表示されるウィンドウやアイコンを使用し、マウスなどのポインティングデバイスで操作可能なインターフェース
IMO 番号	国際海事機関(IMO)が個々の船舶、船舶所有者、船舶管理者に与えられる番号
MMSI	Maritime Mobile Services Identity number : 海上移動業務識別コード。デジタル選択呼出通信装置を搭載した船舶や地上局に認識番号として交付される番号
PPI	Plan Position Indicator : レーダーで一般的に用いられる表示方法で、本船(レーダー)の位置を基点として、レーダー、AIS、AI 画像認識機能で捉えられた目標鳥瞰的に表示する方法
SOG	Speed Over Ground : 対地船速
TCPA	Time to Closest Point of Approach : 最接近点までの時間
TT	Target Tracking : 目標追尾機能
UDP	User Datagram Protocol : コンピューターネットワークにおける通信プロトコルの一つであり、データの非信頼性と高速なデータ転送を特徴としている

## 2 事業概要

### 2.1 本事業の最終目標（2023年度の目標）

- 1) 本船からの距離 3.4NM (6.3km) 以上離れた、高さ 2m、長さ 10m の小船の探知を可能とする。これは表 3 に示す AIS 及び船舶レーダーの性能要求外とされている小物標である。

表 3 既存センサ 要求性能外の物標

センサ名	要求性能外の物標
AIS	AIS 非搭載船
レーダー	本船からの距離：3.4NM 以上、高さ 2m、長さ 10m の小船 出所：IEC-62388（レーダー性能要求）

- 2) システムで検出する小型船を含む小物標の位置精度を、方位誤差：1 度以下、距離誤差：1[%] (30[m]未満の場合は 30[m]) 以下にする。
- 3) システムで検出する小型船を含む小物標の運動精度を、進路誤差：1 度以下、速度誤差 1[%] (0.5[knot]未満の場合は 0.5[knot]) 以下にする。

### 2.2 2022 年度の目標

- 1) AI 画像認識機能と物標同定機能を組み合わせて、本船からの距離 2.0NM (3.7km) 以上離れた、高さ 2m、長さ 10m の小船の探知を可能とする。
- 2) AI 画像認識機能で検出する目標の位置精度を、方位誤差：2 度以下、距離誤差：2[%] 以下にする。
- 3) AI 画像認識機能で検出する目標の運動精度を、進路誤差：8 度以下、速度誤差：2[%] 以下とする。

### 3 2022 年度の実施内容

AI 画像認識を利用した物標検出センサと船上センサのセンサフュージョンに関する技術開発における 2022 年度の実施内容を報告する。

#### 3.1 AI 画像認識機能の開発

本開発では表 3 に示す AIS、船舶レーダーでは要求性能外とされている小物標の検出、及び物標位置（緯度経度）を特定する機能の開発を行った。

##### 3.1.1 システム構成の検討

本事業の最終目標である距離 3.4[NM]離れた高さ 2[m]、長さ 10[m]の小舟をシステムで探知するために、画角、倍率固定のカメラを補助するために PTZ カメラ（上下左右の首振り、拡大縮小が可能なカメラ）を使用する。具体的には、画角、倍率が固定のカメラでは検出が困難な遠方にある物標や小さな物標を PTZ カメラで検出することによって、日中の航海時だけでなく、夜間や荒天時においてもシステム全体としての検出性能、検出精度を向上させるためである。このため、AI を利用した画像認識で物標を探知可能とする光学カメラと赤外線カメラを備えた画角／倍率固定カメラ、上下左右の首振り／ズーム可能な PTZ カメラ等のハードウェアを選定し、システム構成の検討を行った。なお、画角／倍率固定カメラは、画角の広さや AI 画像認識の実績を 3 種類で比較しその中から 1 機種を、PTZ カメラは、カメラ解像度の高さを 4 機種で比較しその中から 1 機種を選定した。

今回選定した AI 画像認識機能で使用するセンサユニット（以後、画角／倍率固定カメラユニット）のスペックを表 4 に、上下左右の首振り／ズーム可能な PTZ カメラのスペックを表 5 に示す。

表 4 画角／倍率固定カメラユニットスペック

光学カメラ	
水平視野角	225°
垂直視野角	45°
赤外線カメラ	
水平視野角	180°
垂直視野角	45°
システム仕様	
AIS 受信機能	あり
GNSS 受信機能	あり
レーダー情報入力機能	あり
PoE 給電	対応

内蔵センサ	ロール／ピッチ／ヨー
環境	
IP 保護等級	IP56
振動	振動減衰システム内蔵
サイズ	
サイズ	50cm×15cm

表 5 PTZ カメラユニットスペック

光学カメラ	
ズーム	30 倍光学ズーム
ライン解像度	最大 1920 x 1080 (30fps)
光学 E-Zoom	12 倍
光学 検出器タイプ	0.9cm Exmor R CMOS
光学 視野角 (FOV)	光学 63.7° × 35.8° WFOV ~ 2.3° × 1.29° NFOV
光学 焦点距離	129mm ~ 4.3mm
最小照度	0.11lux (ICR オフ、低速シャッターオフ、高感度オフ) / 0.0061lux (ICR オン、低速シャッターオフ、高感度オフ)
赤外線カメラ	
サーマル E ズーム	1 ~ 4 倍
サーマル検出器のタイプ	640 × 480 ピクセル 非冷却バナジウム (VOx) マイクロボロメーター
サーマル視野角 (FOV)	24° ~ 6° HFOV / 1.5° HFOV、電子ズーム付き
サーマル焦点距離	26mm (広角) ~ 105mm (狭角)
ビデオリフレッシュレート	9Hz 未満 (NTSC および PAL)
画像処理	コントラスト補正機能 (DDE)
光学ズーム	1 ~ 4 倍
スポットライト	
ルーメンとビームのタイプ	LED、580 ルーメン、5° 分岐角
システム仕様	
HD-SDI ロスレスビデオ出力	あり
アナログビデオコネクタタイプ	F 型 BNC (耐食タイプ) BNC ~ RCA アダプター 付属

アナログビデオ出力	NTSC または PAL、9Hz 未満
ジャイロ安定化	あり
ネットワークビデオ出力	4 つの独立 H. 264 ネットワークビデオストリーム
パン/チルトの調整範囲	360° 連続パン、±90° チルト
消火モード	なし
消費電力	<50W 未満 (通常)、130W (最大)、2 台のヒーター動作時は 250W
環境	
EMI	IEC 60945
ウィンドウ自動除霜	起動時に標準使用
塩水噴霧	IEC 60945
砂と埃の侵入	MIL-STD-810E
使用温度範囲	-25°C~+55°C
衝撃	垂直 15g、水平 9g
振動	IEC 60945、MIL-STD-810E
水の侵入	IPX6
風	100 ノット (185.3kph)
保存温度範囲	-56°C~+80°C
落雷防護	標準
サイズ/質量	
サイズ	カメラ : 273mm x 398mm / トップダウンライザー付きカメラ : 324mm x 459mm
重量	12.7kg (トップダウンライザーなし)

また、選定した PTZ カメラの霧が発生している状態での視程と赤外線カメラの検出距離を表 6 に示す。表中の「Fog Category」は、国際民間航空機関 (ICAO: International Civil Aviation Organization) が定めた分類である。

表 6 霧中での視程と赤外線カメラ検出距離

Fog Category	視程 [km]	赤外線カメラ検出距離 [km]
1	1.22	5.9 - 10.1
2	0.61	2.4

※Fog Category1 は、異なる気候、霧の質の変動により赤外線カメラの検出距離が幅を持っている

図 2 に、選定した画角／倍率固定カメラと PTZ カメラの外観を示す。



図 2 選定した画角／倍率固定カメラ外観（左）と PTZ カメラ外観（右）

次に、検討した AI 画像認識部システム構成を図 3 に示す。

システム概要としては、「画角／倍率固定カメラ制御ユニット」が「画角／倍率固定カメラユニット」を制御し、「PTZ カメラ制御ユニット」が「画角／倍率固定カメラ制御ユニット」を介して「PTZ カメラ」を制御する。また、「画角／倍率固定カメラ」で撮影した映像及び検出したターゲット情報は、「Wi-Fi アクセスポイント」を介して「タブレット」で閲覧可能となっている。「モデム」は LTE 回線を通じてシステム全体の監視やコンフィギュレーションの設定、ソフトウェアアップデートをリモートで行うことが可能である。

また、画角／倍率固定の光学カメラ 1 台、赤外線カメラユニット 1 台と上下左右の首振り、拡大縮小可能な光学カメラ 1 台、赤外線カメラ 1 台を含むシステムを構築することにより、夜間においても物標の検出性能を向上させるとともに、AIS 非搭載船等の小物標やレーダー偽像を防止するために設定するレーダー送信停止エリアに存在する物標探知、更には船舶レーダー同等の探知精度の達成を可能とする装置構成を実現した。

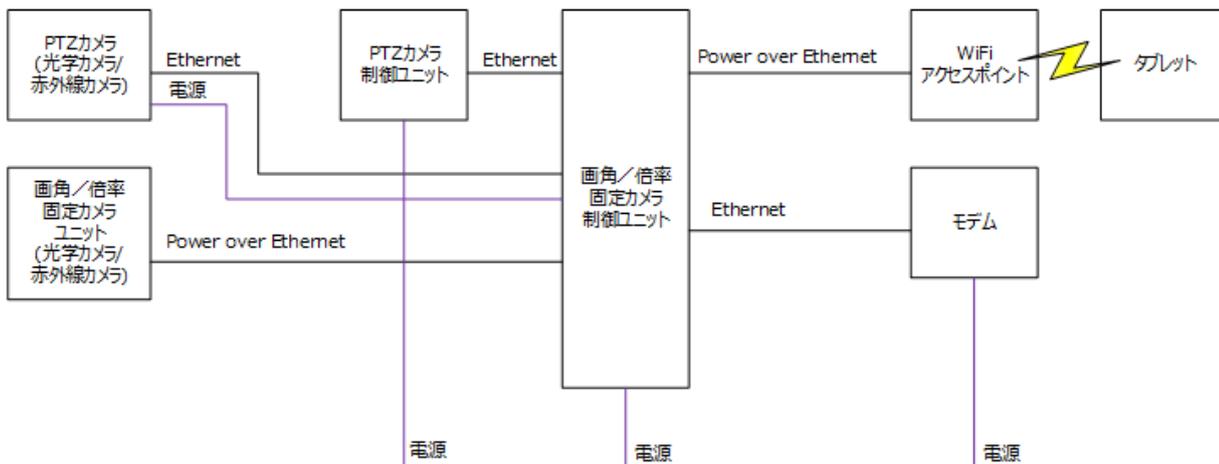


図 3 AI 画像認識機能のシステム構成図

### 3.1.2 通信仕様の策定

AI 画像認識部で検出した物標情報を物標同定機能に出力するために、通信インターフェースは、船舶や海洋関連のアプリケーションにおいて、デジタル通信を行うための国際標準規格で、船舶や海洋装置間でデータを送受信するための通信プロトコルを定義している IEC61162-450 のマルチキャストアドレス、ポート番号、データフォーマット等に準拠することとした。IEC61162-450 に準拠することとしたのは、本通信仕様が国際標準規格であり船用機器メーカーには広く知られており、社会実装する本製品がより早く市場に浸透すると考えたためである。

#### 3.1.2.1 通信の詳細仕様

AI 画像認識部で検出した物標情報の詳細な出力仕様は以下の通りである。

##### 3.1.2.1.1 ネットワーク仕様

- 100BASE-TX/1000BASE-T
- UDP マルチキャスト

マルチキャストとは、一つの送信元から複数の宛先に同じデータを送信する通信である。その仕様は IEC61162-450 に定義されており、機種ごとに Transmission Group というマルチキャストアドレスとポート番号の組み合わせが複数定められているが AI 画像認識機能は特定の機種として定義されていないため、その他機種に該当する「MISC」を使用する。

Transmission Group	:	MISC
マルチキャストアドレス	:	239.192.0.1
ポート番号	:	60001

##### 3.1.2.1.2 データフォーマット

- Ethernet フレーム

Ethernet フレームとは、ネットワーク上でデータを送受信する際に使用されるデータの単位である。ここでは、dmac : 宛先 MAC アドレス、smac : 送信元 MAC アドレス、type : パケットの種類などが含まれる。udp、IEC61162-450 message については、次項以降に詳細を示す。

dmac	smac	type	ip	udp	IEC61162-450 message	crc32
------	------	------	----	-----	----------------------	-------

- UDP ヘッダー

UDP ヘッダーの詳細を表 7 に示す。

表 7 UDP ヘッダー

内容	サイズ
送信元ポート番号	2byte
宛先ポート番号	2byte
メッセージ長	2byte
チェックサム	2byte

- IEC61162-450 message

AI 画像認識部から他船情報として送信する IEC61162-450 形式のメッセージ詳細を表 8 に示す。

表 8 IEC61162-450 message (他船情報)

内容			
IEC61162-450 header	header	UdPbcY0	
IEC61162-450 payload	TAG Block	ソース ID	s:U20001
		Line カウント	n:###
		テキスト ターゲット番号; アソシエーション状態 自船からの方位 [° ] 自船からの距離 [NM] CPA [NM] TCPA [min] Photo ID	t:pjrctgtid=###; aso=#####; brg=###.##; dist=###.##; cpa=###.##; tcpa=##.##; photo=#. . . #
	IEC61162-1 formatted sentences	!U2VDM . . .	

- 1) ソース ID

AI 画像認識機能のソース ID は、「U20001」とする。

- 2) Line カウント

データのシーケンス番号を付与する。番号は 1 から始まり、データが送信され

るごとに1増加する。999の次は1に戻る。

3) ターゲット番号

ターゲット毎に重複しない番号を付与する。番号の範囲は、000000000～999999999となる。

4) アソシエーション状態

どの情報源のデータを使用してアソシエーションしているかを示す。情報源は、レーダー、AIS、AI 画像認識部とし、該当する情報源のデータを使用していれば”1”、していなければ”0”とする。情報源とフィールドの対応を表9に示す。

表9 アソシエーション状態対応表

アソシエーション状態フィールド	情報源	状態
aso=#####	予備1	0:データを使用していない 1:データを使用している
aso=#####	予備2	
aso=#####	レーダー	
aso=#####	AIS	
aso=#####	AI 画像認識部	

5) 自船からの方位

自船からターゲットの真方位。範囲は0～359.99、ステップは0.01、単位は[°]とする。

6) 自船からの距離

自船からターゲットの距離。範囲は0～163.82、ステップは0.01、単位は[NM]とする。ただし、距離が163.82[NM]以上の場合、163.82とする。

7) CPA

ターゲットのCPA。範囲は0～163.83 ステップは0.01、単位は[NM]とする。ただし、CPAが163.83[NM]以上の場合は163.83とし、163.84はN/Aとする。

8) TCPA

ターゲットのTCPA。範囲は-81.91～81.91、ステップは0.01、単位は[min]とする。ただし、TCPAが-81.91[min]以下の場合-81.91、81.91[min]以上の場合は81.91とする。81.92はN/Aとする。

9) Photo ID

システム内に持つデータベースに格納される船舶の写真を識別するID。

10) IEC61162-1 formatted sentences

ターゲットデータは、VDM センテンスで送信する。AI 画像認識部が出力するメッセージIDを表10に示す。

表 10 AI 画像認識機能が送信するメッセージ ID

メッセージ ID	内容
1、2、3	クラス A 動的情報
5	クラス A 静的情報
18	クラス B 動的情報
19	クラス B 拡張位置情報
21	Aids to Navigation
24 Part A/B	クラス B 静的情報

### 3.1.3 ソフトウェア開発

#### 3.1.3.1 ターゲット情報出力モジュール開発

3.1.2 の設計内容に従い、AI 画像認識装置で検出したターゲット情報を IEC61162-450 形式で出力するモジュールの開発を実施した。

#### 3.1.3.2 PTZ カメラ制御モジュール開発

本システムでは、3.1.1 で述べたように画角、倍率固定のカメラを補助するために PTZ カメラを使用する。本開発では、自船周囲に物標が複数存在する場合、表 11 に示す優先度にしたがって PTZ カメラを制御し、物標を撮影するモジュールの開発を実施した。

表 11 PTZ カメラ制御 優先度

優先度	各センサ検出レベル		
	AIS	TT	画角、倍率固定カメラ検出精度
1	未搭載／未受信	未検出	低
2	未搭載／未受信	初期捕捉中	未検出
3	未搭載／未受信	捕捉中	低
4	受信済み	—	—

#### 3.1.4 PTZ カメラ機械学習用データ収集

本システムでは、AI 画像認識の精度を上げるため、画角／倍率固定カメラに追加して PTZ カメラを使用している。本システムの AI 画像認識は教師あり機械学習を利用しておりカメラごとに機械学習用の教師データを必要とするため、PTZ カメラ用の教師データの収集を実施した。

日程：

2022 年 10 月 10, 11, 27, 28 日

場所：

千葉県富津岬

船舶の往来が多い東京湾の見通しがきく展望台で実施。  
富津岬の場所とシステムを設置した展望台を図 4 に示す。



図 4 千葉県富津岬

展望台

#### 機器構成：

データ収集に使用した機器は以下の通りである。

- ・ PTZ カメラ
- ・ ジョイスティック (PTZ カメラ制御用)
- ・ Data Gathering System (データ収集装置)
- ・ ノート PC (Data Gathering System 制御用)
- ・ モニタ (船影確認用)
- ・ AIS アンテナ
- ・ GNSS アンテナ
- ・ Cellular アンテナ

これら機器の構成図を図 5 に示す。

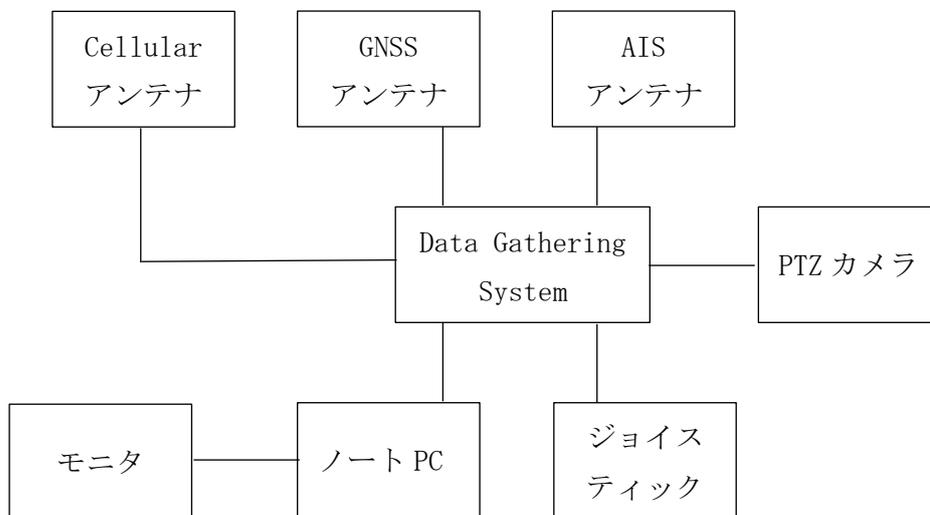


図 5 機械学習用データ取得時の機器構成

また、各機器の装備状況を図 6 に示す。

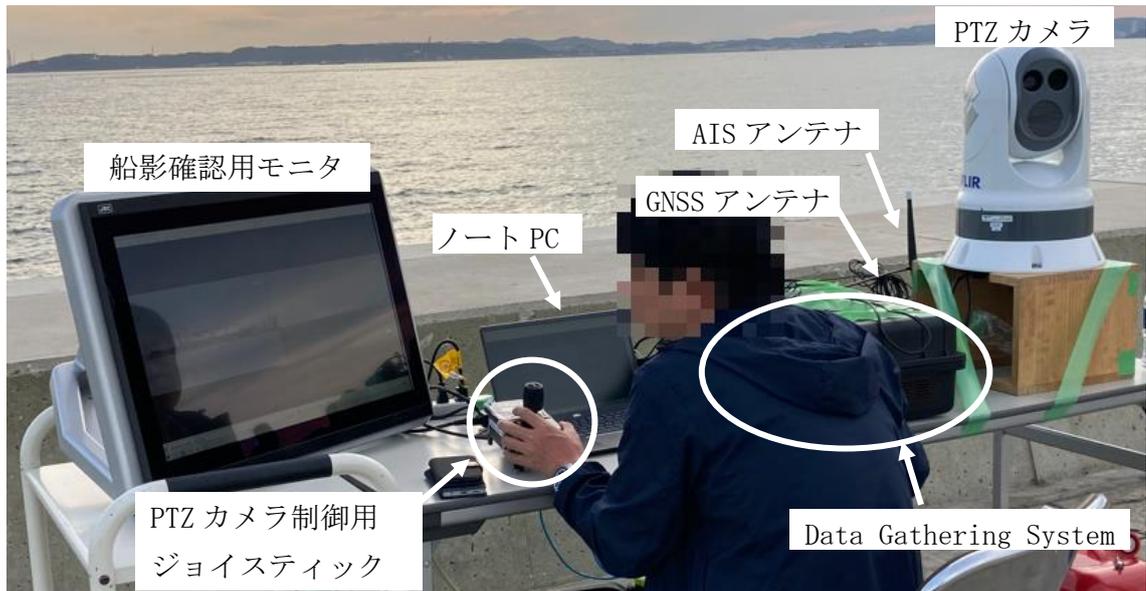


図 6 装備状況

#### データ取得方法

取得対象となる船舶の映像をモニターで確認しながらジョイスティックで PTZ カメラの向きを制御し、PTZ カメラで船影をとらえたところで画像の取得を行う。このとき光学カメラの画像と赤外線カメラの画像が同時に取得される。また、同じ船舶に対して Zoom 倍率の異なる画像を複数取得することで、倍率の異なる映像でも船舶の認識ができるような教師データとする。取得した画像データは Data Gathering System を介してクラウド上に保存される。同時に AIS 情報と GNSS データも保存しており、画像に映っている船舶と AIS 情報の照合を行い教師データとする。

取得した画像と AIS 情報の照合例を図 7 に示す。

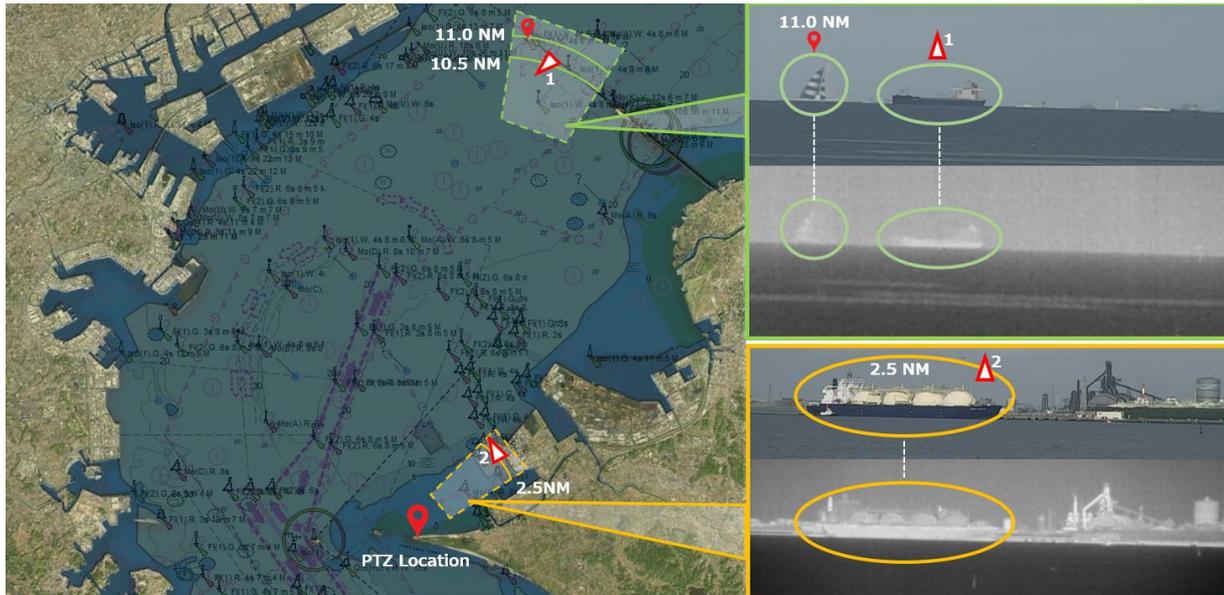


図 7 取得画像と AIS 情報との照合

取得画像数：

昼夜の画像合わせて約 10,000 枚

取得画像例：

光学カメラで取得した画像の例を図 8、図 10 に、赤外線カメラで取得した画像の例を図 9、図 11 に示す。



図 8 光学カメラ画像①（日中）



図 9 赤外線カメラ画像①（日中）



図 10 光学カメラ画像②（夜間）



図 11 赤外線カメラ画像②（夜間）

### 3.1.5 AI 画像認識機能の開発まとめ

図 3 に示すように画角／倍率固定の光学カメラ 1 台、赤外線カメラユニット 1 台と上下左右の首振り、拡大縮小可能な光学カメラ 1 台、赤外線カメラ 1 台を含むシステムを構築することにより、夜間においても物標の検出性能を向上させるせるとともに、AIS 非搭載船等の小物標やレーダー偽像を防止するために設定するレーダー送信停止エリアに存在する物標探知、更には船舶レーダー同等の探知精度の達成を可能とする装置構成を実現した。

また、採用した PTZ カメラさらに、PTZ カメラで撮影した機械学習用データを用いて AI の機械学習を行い、AIS 情報や TT 情報も併用することにより、カメラで捉えた物標の位置（緯度経度）を高精度で特定する機能を実現し、3.1.2 項で策定したフォーマットで出力する機能を実現した。

### 3.2 物標同定機能の開発

本開発では AIS 情報と船舶レーダーのターゲットトラッキング(TT)情報を同定するアンシエーション機能を拡張したセンサフュージョン機能の開発を行った。

#### 3.2.1 システム構成の検討

AIS 情報、船舶レーダーのターゲットトラッキング(TT)情報、AI 画像認機能で検出された物標情報の統合を可能とする船舶レーダー用ターゲット統合 PC（富士通製 FMVA94002）等のハードウェアを選定し、システム構成を行った。なお、選定した PC は有線 LAN ポートなどの必要スペックを有しており、信頼性、保守性を考慮して国内メーカー製を条件としたところ該当機種が本機種のみであった。

今回選定した船舶レーダー用ターゲット統合 PC のスペックを表 12 に、外観を図 12 に示す。

表 12 船舶レーダー用ターゲット統合 PC スペック

CPU	
動作周波数	最大 4.40GHz
コア数/スレッド数	10/12
キャッシュメモリ (3次)	12MB
メモリ	
メインメモリ	16GB/8GB
フラッシュメモリディスクドライブ	暗号化機能付フラッシュメモリディスク 256GB (DRAM-less SSD PCIe NVMe)
表示機能	
グラフィックアクセラレーター	Intel Iris Xe Graphics
液晶ディスプレイ	LED バックライト付 15.6 型ワイド TFT カラー
解像度/発色数	HD (1366×768 ドット/1677 万色) / フル HD (1920×1080 ドット/1677 万色)
DirectX	12.1
OpenGL	4.6
通信機能	
LAN	1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T 準拠
無線 LAN	IEEE 802.11a 準拠、IEEE 802.11b 準拠、 IEEE 802.11g 準拠、IEEE 802.11n 準拠、 IEEE 802.11ac 準拠、IEEE 802.11ax 準拠

インターフェース	
アナログディスプレイ	アナログ RGB ミニ D-SUB15 ピン×1
HDMI	HDMI 出力×1
USB	Type-A×3 Type-C×1
LAN	RJ-45×1
電源	
AC アダプター	入力 AC100V～240V、出力 DC19V (3.42A)
内蔵バッテリーパック	リチウムイオン 24Wh
消費電力	標準値 (最大時) : 約 6.2W (約 74W) 電源オフ時 : 約 0.3W 以下
サイズ/質量	
外形寸法	W374×D250×H24.9～32.5mm
質量	約 1.95kg

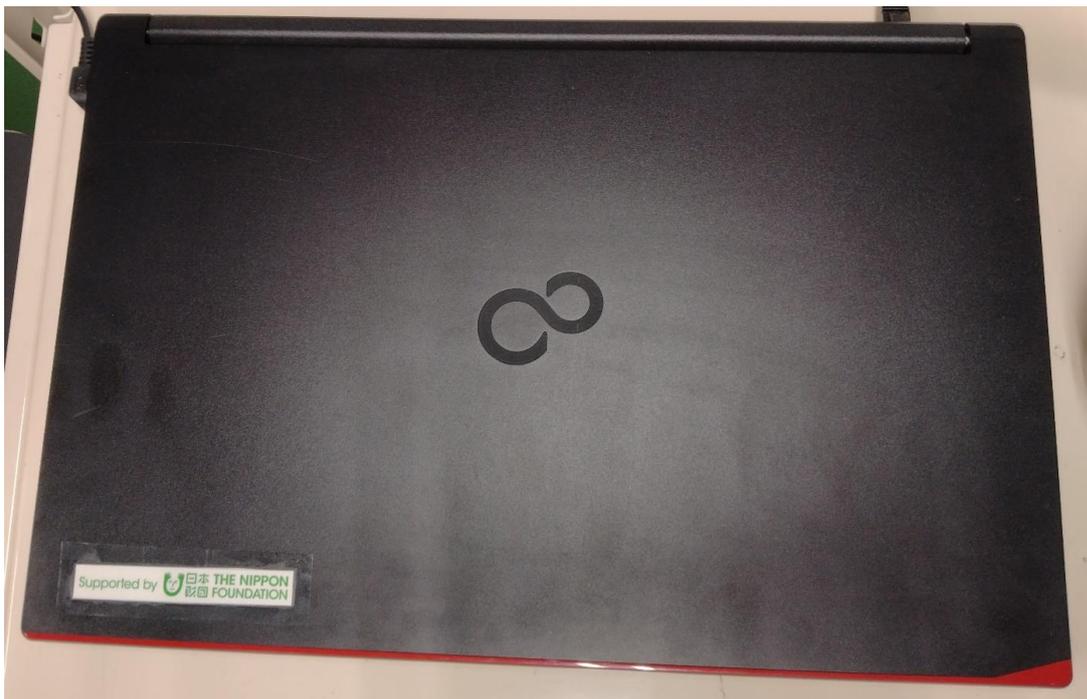


図 12 船舶レーダー用ターゲット統合 PC 外観

次に、物標同定機能のシステム構成を図 13 に示す。物標同定機能は、レーダーから TT 他船情報、AIS から AIS 他船情報、AI 画像認識機能から画像認識他船情報を受信し、自船センサから得る自船情報を元に、3つのセンサから得られる他船情報を同定、補間し、システムとしての他船情報を出力する。

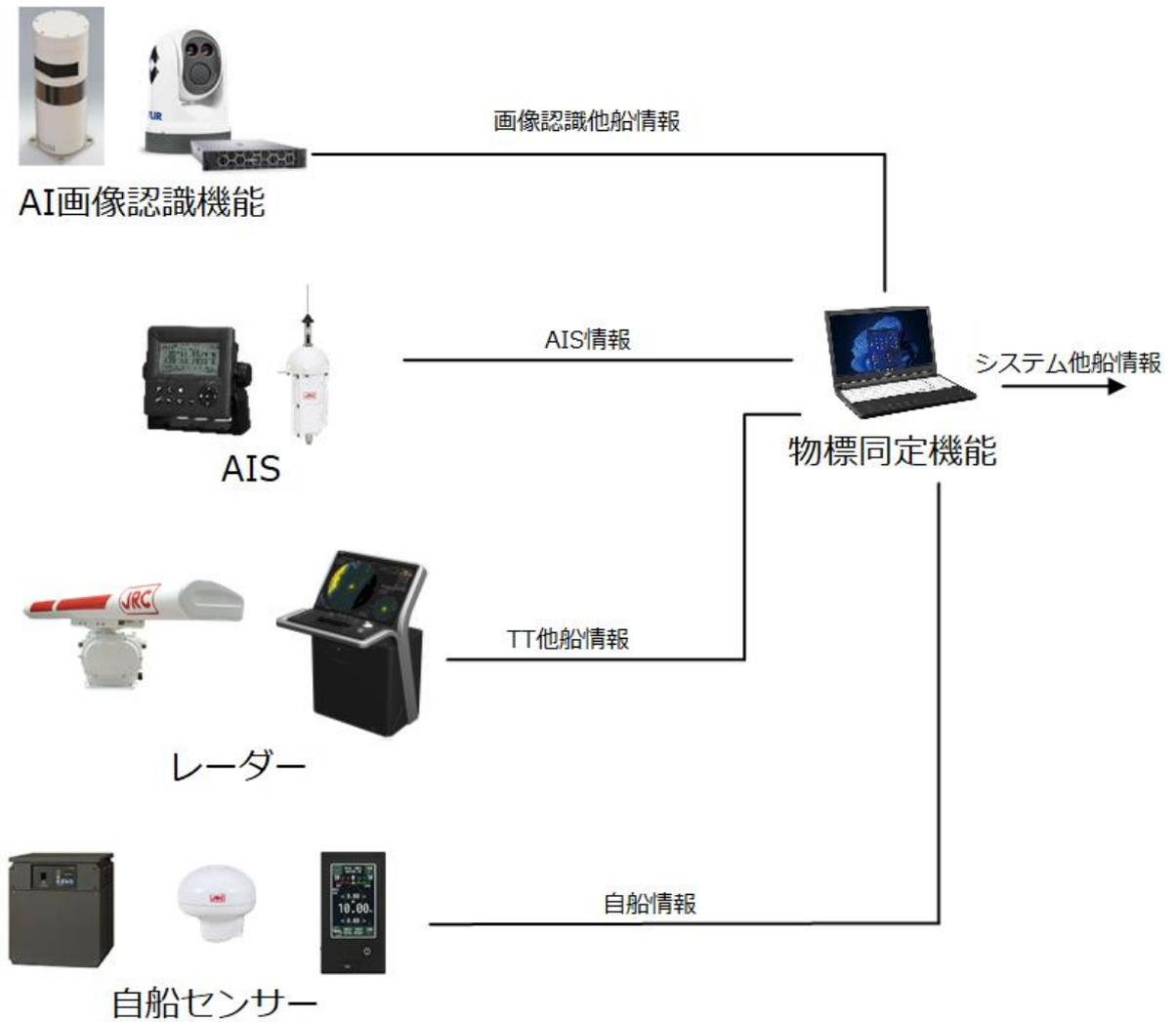


図 13 物標同定機能システム構成

### 3.2.2 通信仕様の策定

物標同定機能で統合した物標情報を外部に出力するために、AI 画像認識部と同様に社会実装を考慮し、通信インターフェースは船舶用機器の国際的な標準規格である IEC61162-450 に準拠することとした。

#### 3.2.2.1 通信の詳細仕様

物標同定機能で統合した物標情報の詳細な出力仕様は、3.1.2.1 で記載した AI 画像認識機能の通信仕様と類似しているため、本項では差異について記載する。

##### 3.2.2.1.1 ネットワーク仕様

3.1.2.1.1 と同様

##### 3.2.2.1.2 データフォーマット

3.1.2.1.2 と同様

- UDP ヘッダー

3.2.2.1.2 a)と同様

● IEC61162-450 message

表 13 IEC61162-450 message (他船情報)

内容		
IEC61162-450 header	header	UdPbC¥0
IEC61162-450 payload	TAG Block	ソース ID
		Line カウント
		テキスト
		ターゲット番号;
		アソシエーション状態
		TT のオリジナル ID
		AI 画像認識部オリジナル ID
		自船からの方位 [°]
		自船からの距離 [NM]
		CPA [NM]
		TCPA [min]
		Photo ID
	IEC61162-1 formatted sentences	!U1VDM . . .

1) ソース ID

物標同定機能のソース ID は、「U10001」とする。

2) Line カウント

3.1.2.1.2 2)と同様

3) ターゲット番号

ターゲット毎に重複しない番号を付与する。番号の範囲は、0001～9999 となる。

4) アソシエーション状態

3.1.2.1.2 4)と同様

5) TT のオリジナル ID

TT 単独、あるいは TT とアソシエーションしている目標のレーダーで付与された TT ID (レーダーから出力される TTD や TTM などの Target Number)。範囲は、1～100 とする。TT とアソシエーションしていない場合、0 とする。

6) AI 画像認識部オリジナル ID

AI 画像認識部単独、あるいは AI 画像認識部のターゲットとアソシエーションしている目標の AI 画像認識部で付与された最大 9 桁の ID から物標同定機能が生成したユニーク ID。範囲は、0001～9999 とする。AI 画像認識部のターゲットとアソシエーションしていない場合、0 とする。

7) 自船からの方位

- 3.1.2.1.2 5)と同様
- 8) 自船からの距離
  - 3.1.2.1.2 6)と同様
- 9) CPA
  - 3.1.2.1.2 7)と同様
- 10) TCPA
  - 3.1.2.1.2 8)と同様
- 11) Photo ID
  - 3.1.2.1.2 9)と同様
- 12) IEC61162-1 formatted sentences
 

ターゲットデータは、VDM センテンスで送信する。物標同定機能が出力するメッセージ ID は表 14 の通り。

表 14 AI 画像認識部が送信するメッセージ ID

メッセージ ID	内容
1、2、3	クラス A 動的情報
5	クラス A 静的情報
9	SAR aircraft
18	クラス B 動的情報
19	クラス B 拡張位置情報
21	Aids to Navigation
24 Part A/B	クラス B 静的情報

### 3.2.3 ソフトウェア開発

#### 3.2.3.1 ターゲット情報解析／同定モジュール開発

本開発では、船舶レーダーから得られる TT 情報と AIS 情報を同定する機能に加え、AI 画像認識部から得られる AIS 非搭載船等の物標情報を利用し、既存機器では処理されていない物標情報を加え、より現実に近い周辺の物標情報を提供するモジュール開発を実施した。これにより、AI 画像認識機能で得られた物標情報と船舶レーダーの TT 機能を連携することにより実現し、システムとしての物標の検出網羅性を向上させる事が可能となり、AIS 情報の確からしさを船舶レーダーの情報と AI 画像認識機能の情報から検証するインテグリティ機能とした。

表 15 に、実装した各機能の概要を示す。

表 15 物標同定機能ソフトウェア機能概要

機能名	機能概要
自船データ受信機能	ECDIS が CCRS データとして LAN に出力する自船位置、船首方位、対水船速、COG/SOG、時刻情報を自船情報として受信する。
他船データ受信機能	レーダーがネットワークに出力する TT 情報を受信し、自船周囲のターゲット情報として使用する。また、AIS がネットワークに出力する AIS 情報を受信し、自船周囲のターゲット情報として使用する。
物標情報統合／更新機能	TT、AIS、AI 画像認識部から受信した各情報を、それぞれの情報元からのデータを受信する毎に更新する。物標情報が一定時間更新されない場合、最新の進路、速度情報を用いて、その物標の現在の位置を推定し、アソシエーションに使用する。
アソシエーション機能	接近した TT 目標、AIS 目標、AI 画像認識部で検出した目標を同一の目標であると判断する。また、アソシエーションと非アソシエーションを頻繁に繰り返さないよう、一度、アソシエーションした目標は、設定したしきい値と非アソシエーション係数を使用した条件によって判定を行う。
物標情報出力機能	アソシエーション判定後の物標情報を、3.2.2 項で策定した IEC61162-450 の AIS フォーマット (VDM センテンス) をベースにした形式で出力する。
情報表示機能	PPI 画面上に、アソシエーション処理前、処理後 (設定で切り替え) の物標情報をターゲットシンボルで表示する。アソシエーション処理前後でシンボル表示色を区別する。PPI に表示するターゲットのデータ元は、レーダー/AIS/AI 画像認識部それぞれでオン/オフ設定により切り替える。また、ターゲットベクトル長設定に応じたターゲットベクトルを表示する。
アラート機能	物標同定機能が正常に動作しているか、必要な情報を正常に受信できているかを検出し、結果を出力する。

### 3.2.3.2 ターゲット情報出力モジュール開発

本開発では、3.2.2 で策定した通信仕様に従い、物標同定機能で統合したターゲット情報を IEC61162-450 形式で出力するモジュールの開発を実施した。

### 3.2.3.3 情報表示機能（GUI 画面）開発

本開発では、物標同定機能で各種情報を確認できるよう表 15 に記載の「情報表示機能」の仕様に従い、GUI の実装を行った。実装した GUI の例を 3.2.3.3.1 項以降に示す。

#### 3.2.3.3.1 トップ画面

物標同定機能アプリケーションのトップ画面例を図 14 に示す。

トップ画面では、自船情報、レーダー情報、AIS 情報、AI 画像認識部情報など接続機器からの情報が正常に受信されている場合は接続機器名が白色で表示され、正常に情報を受信できていない場合は接続機器名が赤色で表示される。図 14 は自船情報が正常に受信できていない場合の表示例である。

また、画面上のボタンを押下することにより、各機器から受信した詳細情報や設定画面を表示することができる

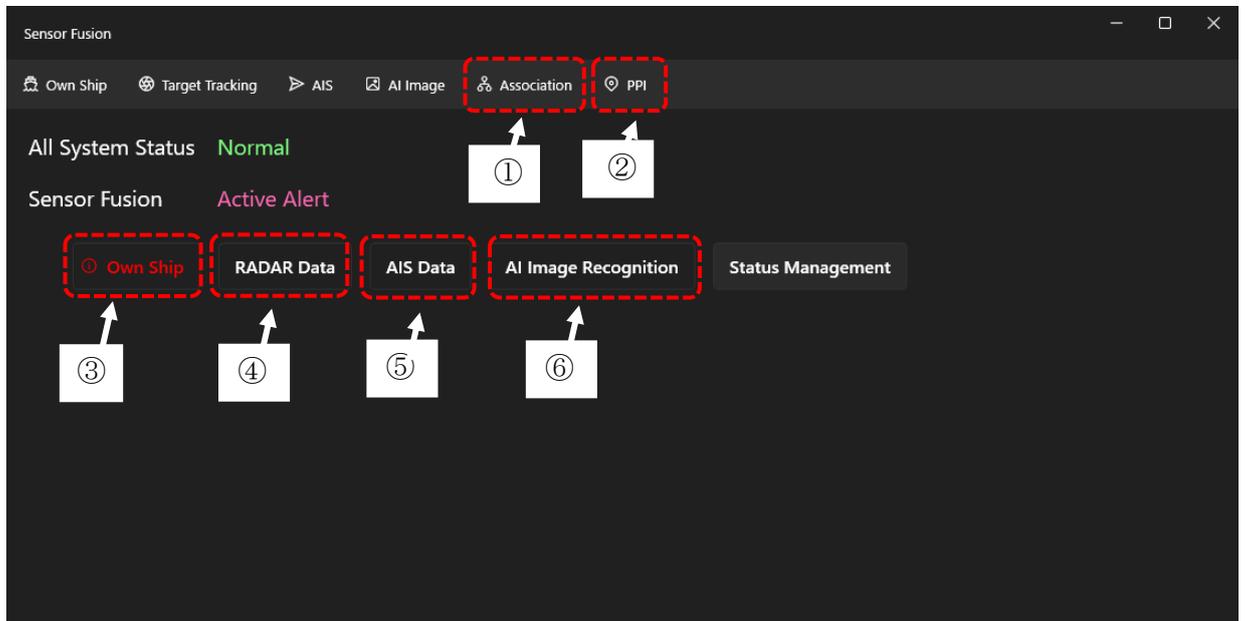


図 14 物標同定機能トップ画面の表示例

図 14 に記載した押下可能な主なボタンとその機能の対応を表 16 に示す。

表 16 トップ画面ボタン機能概要

番号	名称	機能概要
①	Association	各センサから得たターゲットデータを同一と判定する条件を設定するダイアログを表示する。
②	PPI	PPI 画面と選択したターゲットの詳細情報を表示するダイアログを表示する。
③	Own Ship	自船の緯度経度、進路、速度などを表示するダイアログを表示する。

番号	名称	機能概要
④	RADAR Data	レーダーから得られたターゲットデータを表示するダイアログを表示する。
⑤	AIS Data	AIS から得られたターゲットデータを表示するダイアログを表示する。
⑥	AI Image ReCOGnition	AI 画像認識機能から得られたターゲットデータを表示するダイアログを表示する。

3.2.3.3.2 項以降に、表 16 に記載したボタンを押下した場合に表示されるダイアログの表示例と詳細を記す。

#### 3.2.3.3.2 Association

アソシエーション条件設定画面の表示例を図 15 に示す。この画面では、各センサの優先度、アソシエーション判定に使用するセンサの選択、同一目標と判定するための各種設定値の設定、変更を行う。

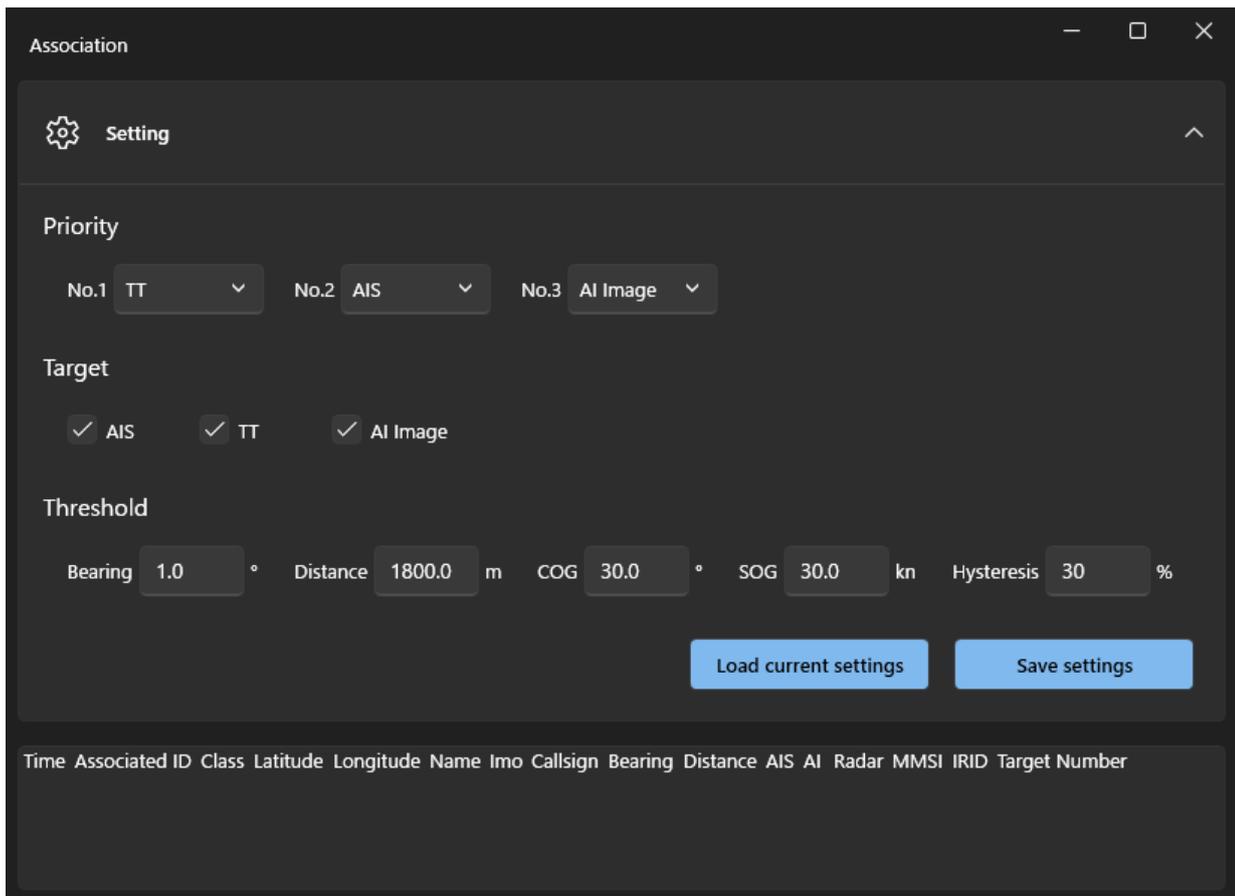


図 15 アソシエーション設定画面の表示例

### 3.2.3.3.3 PPI 画面

PPI 画面の表示例を図 16 に示す。画面左側に PPI 画面を配置し、自船から他船までの方位／距離を容易に確認することができる。レンジ変更、方位モード変更、ベクトル長の変更が可能である。PPI 上に表示されている目標シンボルをマウスなどを使用して選択すると、選択した目標の詳細情報（センサソース、目標番号、自船からの方位／距離、目標の進路／速度など）を画面右側に表示する。

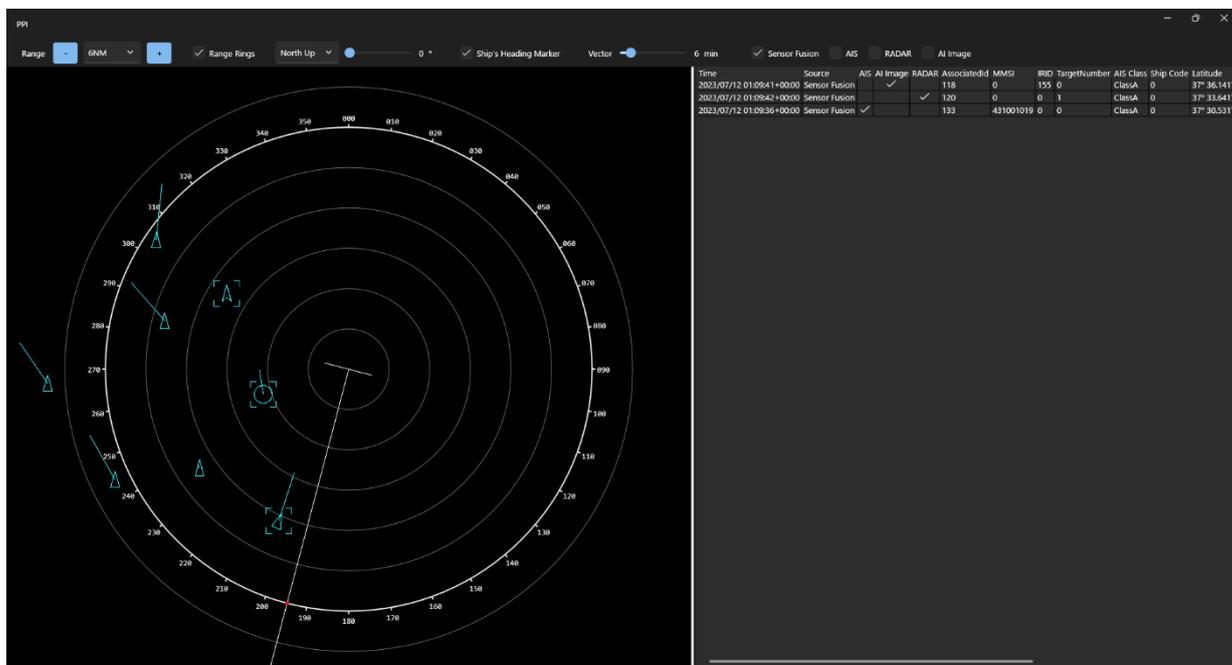


図 16 PPI 画面の表示例

### 3.2.3.3.4 自船情報表示画面

自船情報表示画面の例を図 17 に示す。本画面には、船内時計の時刻、自船位置（緯度経度）、進路／速度、船首方位、対水速度を表示する。

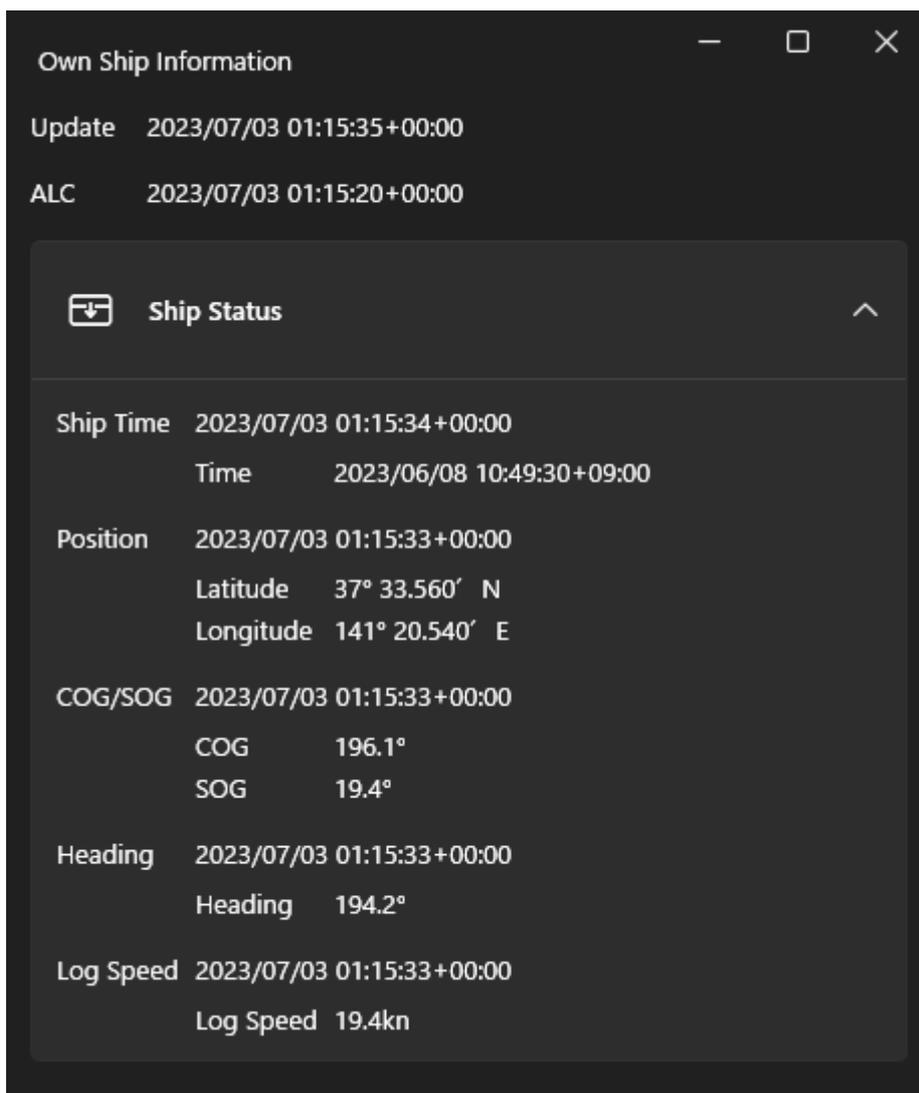


図 17 自船情報表示画面の例

### 3.2.3.3.5 TT 情報表示画面

TT 情報表示画面の例を図 18 に示す。本画面には、レーダーが付与した TT のターゲット番号、目標の進路／速度、CPA/TCPA、自船からの方位／距離、目標の緯度経度を表示する。

Target Number	Speed	Course	Cpa	Tcpa	Bearing	Distance	Latitude	Longitude
1	6.6	3.86	1.956	-0.5	289.16	1.97	37° 33.969' N	141° 18.122' E

図 18 TT 目標表示画面の例

### 3. 2. 3. 3. 6 AIS 情報表示画面

AIS 情報表示画面の例を図 19 に示す。本画面には、AIS から情報を受信した時刻、MMSI、Class、AIS 目標の位置（緯度経度）、船名、IMO 番号、Callsign、自船からの方位／距離、CPA／TCPA を表示する。

Time	MMSI	Message Class	Latitude	Longitude	Name	Imo	Callsign	Bearing	Distance	CPA	TCPA
2023/07/03 01:17:44+00:00	4310209	4 Bs	36° 59.700' N	140° 58.920' E		0		207.25161261637933	37.32940517266706	NaN	NaN
2023/07/03 01:17:45+00:00	4310208	4 Bs	38° 18.687' N	141° 31.644' E		0		11.09074116258023	46.67266988194929	NaN	NaN
2023/07/03 01:17:26+00:00	431007361	18 ClassBcs	37° 32.144' N	141° 15.845' E	KATSU MARU NO.8	0		256.8835911518048	3.6791043080252845	3.6597528546275946	0.4135432135224157
2023/07/03 01:17:45+00:00	373392000	1 ClassA	37° 29.431' N	141° 37.610' E	RIN YO	9529633	3FAB2	104.05398803558705	14.207115251410029	14.14220502325239	-1.541241529132589
2023/07/03 01:17:27+00:00	431018572	18 ClassBcs	37° 26.178' N	141° 08.672' E	HOUEI MARU	0		233.82580905390927	11.522390361928156	9.32081219322622	12.689909458166763
2023/07/03 01:17:26+00:00	431085000	1 ClassA	37° 28.116' N	141° 04.975' E		0		248.33773760319548	13.174323335091971	4.9219913142232423	100.21586263771239
2023/07/03 01:17:51+00:00	431004228	1 ClassA	37° 27.372' N	141° 16.111' E	HIMAWARI 7	9654103	JD3464	211.30959212585952	6.41781449498826	1.3735057480359392	9.837403825089218
2023/07/03 01:17:47+00:00	431007486	1 ClassA	37° 18.196' N	141° 10.908' E		0		207.04367532999962	16.48215562900252	2.5285506925642274	30.231172926002042
2023/07/03 01:17:27+00:00	431700378	18 ClassBcs	37° 36.268' N	141° 14.332' E		0		304.49488974764296	5.806833729196282	4.419267545337875	-7.8456288596287065
2023/07/03 01:17:48+00:00	538010053	1 ClassA	36° 30.356' N	141° 05.887' E	AGIA MONI	9574028	V7A5521	190.47477292854188	63.57446530280761	7.409446982685028	182.1437786401852
2023/07/03 01:15:25+00:00	431020655	3 ClassA	37° 40.318' N	141° 01.308' E		0		293.68832490225975	16.717891759673257	16.497858777374034	-7.1502291936064575
2023/07/03 01:17:48+00:00	355304000	1 ClassA	38° 40.692' N	141° 57.417' E	HOSEI SAKURA	9673197	3FPY2	23.380739501917958	73.88776646442088	9.11642648509151	-143.73186052398358
2023/07/03 01:17:49+00:00	564121000	1 ClassA	38° 13.118' N	142° 01.055' E	TENRYU MARU	9727170	9V3268	38.74231162465611	51.615035344786	19.313384658571657	-147.69227977530525
2023/07/03 01:17:53+00:00	477024900	1 ClassA	37° 38.561' N	141° 14.862' E	SITC SHENZHEN	9639646	VRKS7	322.9063343162235	7.165543307078911	5.1927865001118345	-8.911860666076839
2023/07/03 01:17:53+00:00	431013119	1 ClassA	37° 05.050' N	141° 04.075' E	KAI-OH MARU	9846172	JD4503	204.98717131357566	30.664747042484127	5.7289173397706215	46.882166355019216
2023/07/03 01:17:51+00:00	371038000	1 ClassA	37° 09.190' N	141° 24.944' E	ORIENTAL JETTY	9864875	3FWK4	171.08541179202007	23.94960057521266	9.081030946411818	181.30492814477523
2023/07/03 01:17:52+00:00	4310312	4 Bs	36° 22.840' N	140° 37.530' E		0		206.11214155366667	77.96227164188934	NaN	NaN
2023/07/03 01:17:53+00:00	431007046	1 ClassA	37° 26.847' N	141° 12.049' E	SATUMIMARU	0	JD3925	227.6127393898286	8.890462195331306	4.487023641927962	14.258510379886154
2023/07/03 01:17:51+00:00	431978000	1 ClassA	38° 24.635' N	142° 20.594' E	REIHOU	9641388	7KCU	42.66516343865112	70.42379085955756	29.437707586554776	-200.4943192093617

図 19 AIS 目標表示画面の例

### 3. 2. 3. 3. 7 AI 画像認識機能物標情報表示画面

AI 画像認識機能物標情報表示画面の例を図 20 に示す。本画面には、AI 画像認識機能から物標情報を受信した時刻、AI 画像認識機能固有の目標番号、PhotoID（船舶の画像識別番号）、データソース、メッセージ ID/Class、目標の位置（緯度経度）、船

名、自船からの方位／距離を表示する。

Time	IRID	Photoid	NonCameraTarget	Message	Class	Latitude	Longitude	Name	Bearing	Distance
2023/07/03 01:17:08+00:00	63	-----	False	1	ClassA	37° 31.832' N	141° 19.450' E		210.80161560773044	1.4435142397049265
2023/07/03 01:17:07+00:00	1	000000000000000001001	True	1	ClassA	37° 34.059' N	141° 18.166' E		298.99871291685645	2.0161308088515164
2023/07/03 01:17:07+00:00	47	00000000000431700353	True	1	ClassA	37° 27.956' N	141° 09.348' E		239.74720923641257	10.174745282591202
2023/07/03 01:17:07+00:00	32	-----	True	1	ClassA	37° 30.013' N	141° 07.844' E	KASHIMA MARU NO3	252.91711383044515	10.446126334172737
2023/07/03 01:17:08+00:00	50	00000000000431009293	True	1	ClassA	36° 53.369' N	141° 03.673' E		198.5964746265647	41.8903790649741
2023/07/03 01:17:07+00:00	52	00000000000538007539	True	1	ClassA	37° 50.511' N	140° 57.495' E		313.79560034771134	25.190736326575347
2023/07/03 01:17:08+00:00	54	-----	True	1	ClassA	38° 16.248' N	141° 01.452' E		340.8488663888141	45.70529026012884
2023/07/03 01:17:07+00:00	28	-----	True	1	ClassA	37° 34.797' N	141° 10.867' E		282.75893318164395	7.764563604848957
2023/07/03 01:17:08+00:00	55	-----	True	1	ClassA	36° 55.191' N	140° 53.174' E		209.86345078259484	43.681000930427736
2023/07/03 01:17:08+00:00	11	00000000000431009595	True	1	ClassA	38° 16.141' N	141° 01.511' E		340.8595675575545	45.588853676155594
2023/07/03 01:17:03+00:00	56	00000000000431004122	True	1	ClassA	37° 14.062' N	141° 01.182' E		218.82991944461702	24.43637963539392
2023/07/03 01:16:59+00:00	22	00000000000431004228	True	1	ClassA	37° 27.105' N	141° 15.995' E	HIMAWARI 7	210.242748829597	6.954630380846575
2023/07/03 01:17:05+00:00	36	00000000000431018129	True	1	ClassA	37° 43.286' N	141° 04.128' E	SADAMARU NO.57	308.27162184649967	16.465547850818275
2023/07/03 01:16:59+00:00	27	00000000000431700561	True	1	ClassA	37° 32.191' N	141° 13.041' E	HOUSEI MARU	261.0438452319832	5.925027700405055
2023/07/03 01:17:04+00:00	23	00000000000431020655	True	1	ClassA	37° 40.317' N	141° 01.307' E	KAISEI MARU	295.4531725458255	16.808164675064667
2023/07/03 01:17:08+00:00	57	-----	True	1	ClassA	37° 18.803' N	142° 08.827' E		110.27069889995664	41.18589739718274
2023/07/03 01:17:02+00:00	58	00000000000352911000	True	1	ClassA	36° 55.791' N	140° 53.549' E		209.90205575087086	43.041884627745304
2023/07/03 01:17:08+00:00	59	00000000000311064800	True	1	ClassA	36° 55.886' N	140° 52.836' E		210.6309153894614	43.21605572498589
2023/07/03 01:17:07+00:00	21	-----	True	1	ClassA	38° 00.172' N	141° 40.838' E		30.937415635350646	31.583388703614467
2023/07/03 01:17:07+00:00	60	00000000000421500012	True	1	ClassA	37° 28.727' N	141° 02.957' E		242.24150901600125	15.702257017016007

図 20 AI 画像認識機能目標表示画面の例

### 3.2.4 物標同定機能の開発まとめ

AIS 情報と船舶レーダーの TT 情報を同定するアソシエーション機能を拡張したセンサフュージョン機能の開発を実施した。図 13 に示すように自船情報、AIS 情報、TT 他船情報、AI 画像認識部で検出した他船情報を物標同定機能に入力するシステムを構築することにより、他船の位置情報の検証に加えて、進路／速度の情報がない物標情報に関しては、船舶レーダーの TT 機能を利用し進路／速度情報の補完を行う機能を 3.2.3 項に記載したソフトウェアにより実現した。AIS 情報、船舶レーダーの TT 情報、AI 画像認識機能から得られる情報を融合することにより、物標の同定を行い各物標の静的情報及び動的情報を 3.2.2 項で策定したフォーマットで出力する機能を実現した。

### 3.3 AI 画像認識機能および物標同定機能の陸上評価試験

物標同定機能の陸上評価試験を川崎汽船（株）が保有する操船シミュレーターにて実施し、その後、RORO 船 第二ほくれん丸に AI 画像認識機能と物標同定機能を装備し、両装置を組み合わせた試験をシステム試験として本船の接岸時及び洋上において評価試験を実施した。

#### 3.3.1 操船シミュレーターを使用した評価試験

##### 3.3.1.1 試験概要

本試験では、操船シミュレーターに JRC 製レーダー、JRC 製 ECDIS、JRC 製センサ LAN スイッチ、物標同定機能を接続し、操船シミュレーターから出力可能な AIS の他船情報、および疑似レーダー映像を JRC 製レーダーで捕捉、追尾した TT 情報を用い、主に物標同定機能の評価を実施した。

日程：

2022 年 12 月 12 日～2022 年 12 月 14 日

2023 年 3 月 27 日～2023 年 3 月 31 日

場所：

川崎汽船研修所（東京都町田市）

機器構成：

- ・ 操船シミュレーター
- ・ 物標同定機能
- ・ JRC 製 ECDIS（JAN-9201）
- ・ JRC 製レーダー（JMR-9200 指示機）
- ・ JRC 製センサ LAN スイッチ（NQA-2443）

操船シミュレーターを使用した陸上評価試験の機器構成図を図 21 に示す。

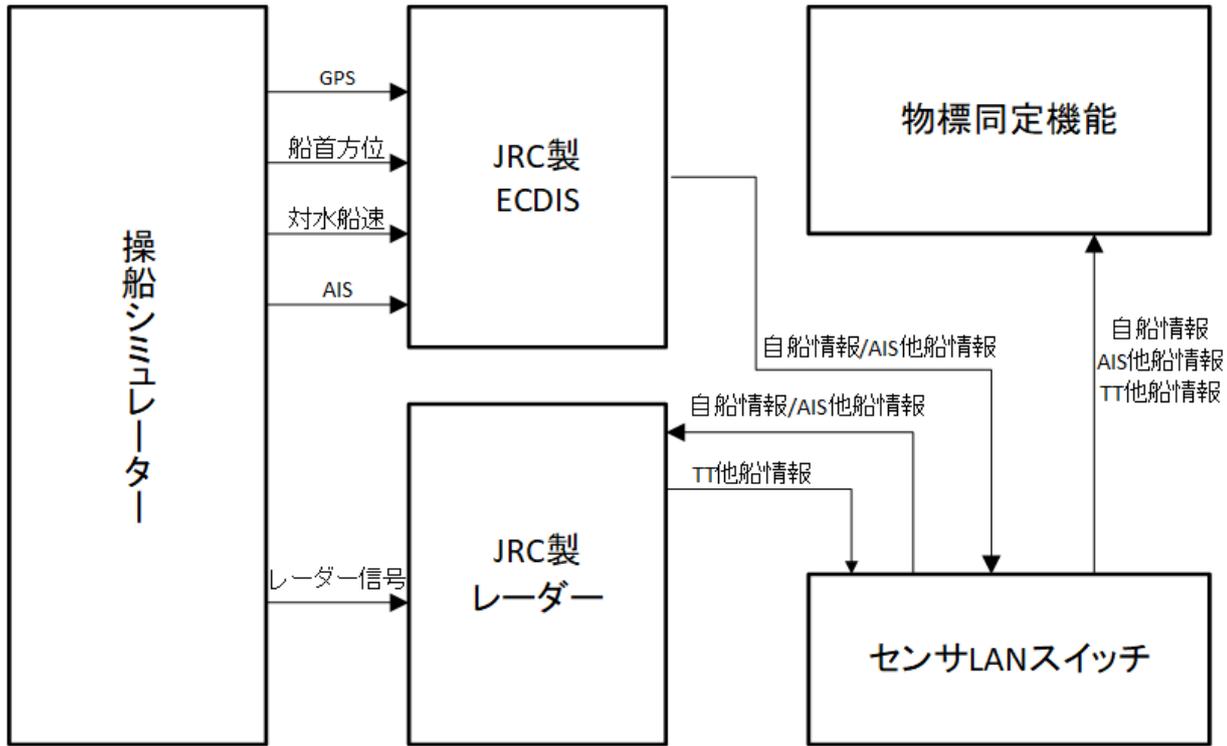


図 21 操船シミュレーターを使用した陸上評価試験 機器構成

### 3.3.1.2 試験結果

試験は、別途作成した「物標同定機能 陸上評価試験方案」に従って実施した。  
表 17 に、実施した試験結果を示す。

表 17 物標同定機能 陸上評価試験方案結果

テスト項目名	テスト項目数	テスト実施数	テスト完了数
センサデータ受信機能	81	81	100%
アソシエーション機能	30	30	100%
情報統合／更新機能	43	43	100%
情報表示機能	20	20	100%
物標情報出力機能	22	22	100%
アラート機能	60	60	100%

また、各機能試験で実施した代表的な試験内容を表 18 に示す。

表 18 物標同定機能 陸上評価試験内容

テスト項目名	代表的な試験内容
センサデータ受信機能	GGA センテンスで送信される自船緯度経度を受信できること

テスト項目名	代表的な試験内容
アソシエーション機能	TT、AIS、AI 画像認識部のアソシエーションを正しく判定すること
情報統合／更新機能	TT と AIS がアソシエーションした VDM センテンスのメッセージ ID=1 の統合データの優先度が正しいこと
情報表示機能	アソシエーション前のシンボルとアソシエーション後のシンボルを切り替えて表示できること
物標情報出力機能	情報統合部から出力目標情報に含まれるアソシエーション状態が正しいこと
アラート機能	レーダーからデータを受信できなくなった場合、アラートが発生すること

### 3.3.1.3 試験により明らかになった課題

本試験において、AIS 目標と TT 目標を同一物標と判断している状態で、当該船舶が回頭を行うと、同一目標判定条件の一つである AIS 目標と TT 目標の進路差がしきい値以上となり、図 22 のように別々の物標と判断してしまう事例が生じた。これは、AIS の進路データはセンサから得られるデータであるのに対し、TT から得られる進路データは過去の位置から算出するため、理論上 TT の進路は AIS に対して追従性が劣るためである。2023 年度事業では、このような事例が発生しても同一物標と判断するアルゴリズムを考案し、物標が回頭した場合でも正しく同一物標と判定し続けることを目指す。

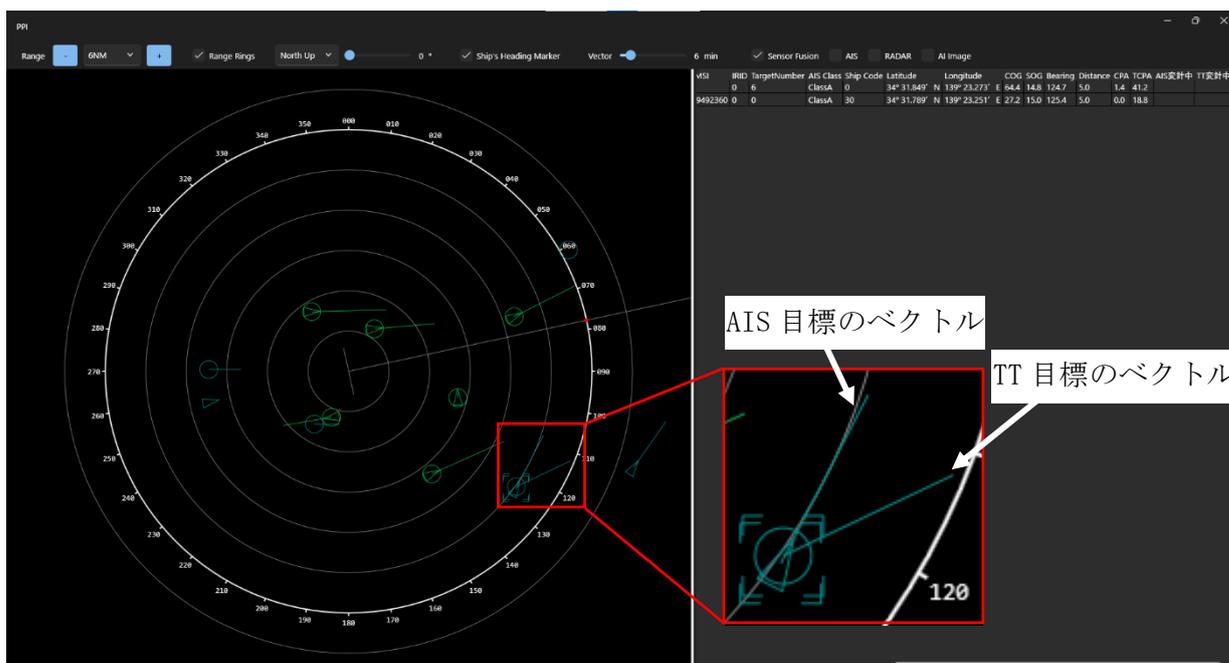


図 22 同一目標を別目標と判断した例

### 3.3.2 RORO 船 第二ほくれん丸を使用した評価試験

#### 3.3.2.1 試験概要

本試験では、3.3.1 操船シミュレーター試験の構成に AI 画像認識機能を加え、図 23 に示す機器構成で AI 画像認識機能と物標同定機能の組み合わせでシステム評価を行った。

日程：

2023 年 5 月 21 日～2023 年 5 月 22 日

2023 年 6 月 7 日～2023 年 6 月 10 日

場所：

常石造船（広島県福山市）～日立港（茨城県）航行海域（5 月 21 日～5 月 22 日）

日立港（茨城県）～釧路港（北海道）岸壁、および航行海域（6 月 7 日～6 月 10 日）

機器構成：

- ・ AI 画像認識機能
- ・ 物標同定機能
- ・ JRC 製 ECDIS（JAN-9201）
- ・ JRC 製レーダー（JMR-9230-S）
- ・ JRC 製センサ LAN スイッチ（NQA-2443）
- ・ Cisco 製 L2 スイッチ（2960-CX）

本評価試験でのシステム構成を図 23 に示す。

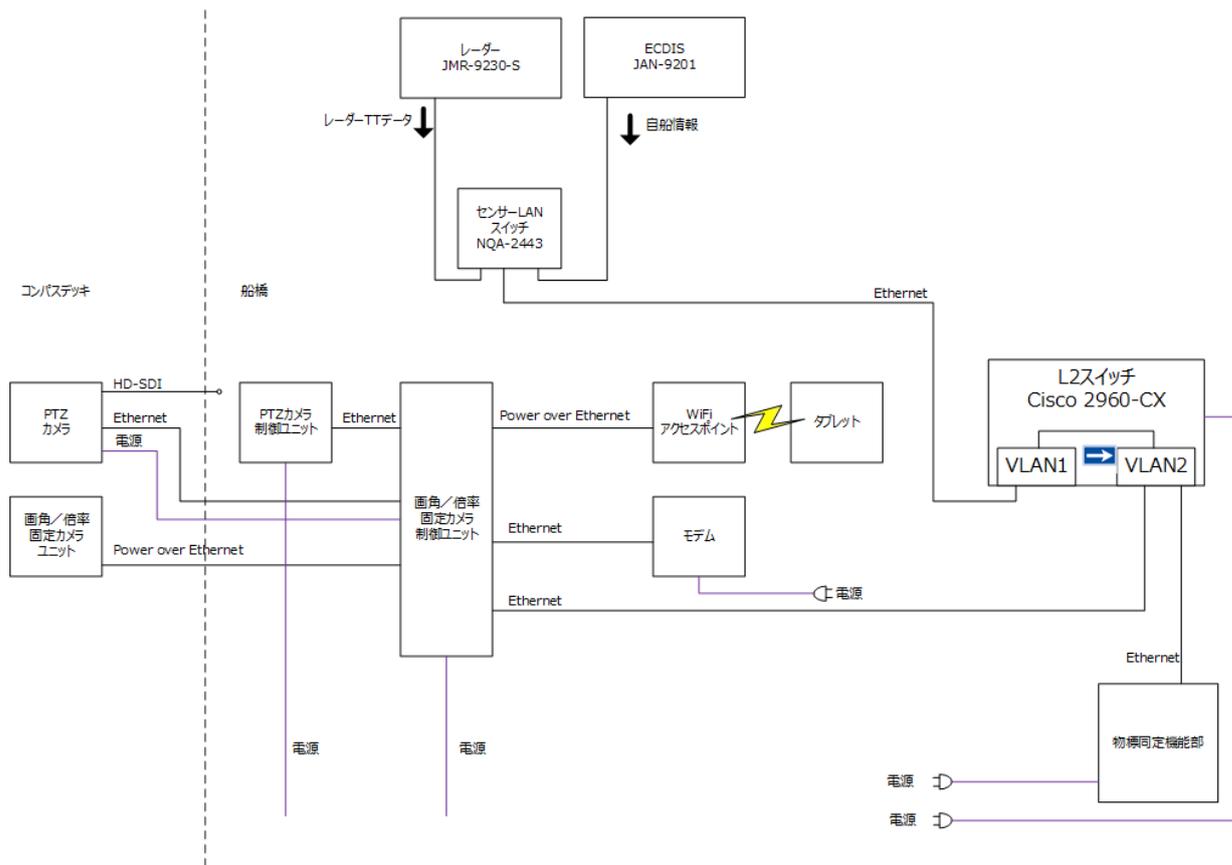


図 23 RORO 船 第二ほくれん丸を使用したシステム評価 機器構成

本試験を実施した RORO 船 第二ほくれん丸の外観を図 24 に、主要諸元を表 19 に示す。



図 24 第二ほくれん丸外観 (船主提供)

表 19 第二ほくれん丸主要諸元

項目	内容
船種	ロールオン・ロールオフ型一般貨物船
全長	173.08m
全幅	27.00m
総トン数	11,413 トン
計画速力	22.6kt
艀装	CPP1 軸、バウスラスタ、スタンスラスタ装備
旅客定員数	12 名

コンパスデッキに装備したカメラシステムの装備状況を図 25 に示す。



図 25 カメラシステム装備状況 (左側から撮影/後方から撮影)

ブリッジ左舷側に装備したカメラシステム制御ユニットの装備状況を図 26 に示す。



図 26 カメラシステム制御ユニット装備状況（ブリッジ左舷側）

ブリッジ左舷側に装備した物標同定機能 PC、PTZ カメラ映像観測用 PC、L2 スイッチの装備状況を図 27 に示す。



図 27 PC、L2 スイッチ装備状況（ブリッジ左舷側）

### 3.3.2.2 システム評価結果

#### (1) AI 画像認識機能と物標同定機能を組み合わせた小船の探知

本船前方に小船（長さ 10m、高さ 2m 程度）を検出し、システムで追尾を開始後、本船との距離が 2.3NM まで追尾を続け探知することができた。これにより、2022 年度の目標である「AI 画像認識機能と物標同定機能を組み合わせて、本船からの距離 2.0NM（3.7km）以上離れた、高さ 2m、長さ 10m の小船の探知を可能とする」という目標の達成を確認できた。

本船前方に探知した小船を図 28 に示す。



図 28 本船前方で検出した小船

本船前方に小船を検出した際の物標同定機能の画面を図 29 に示す。

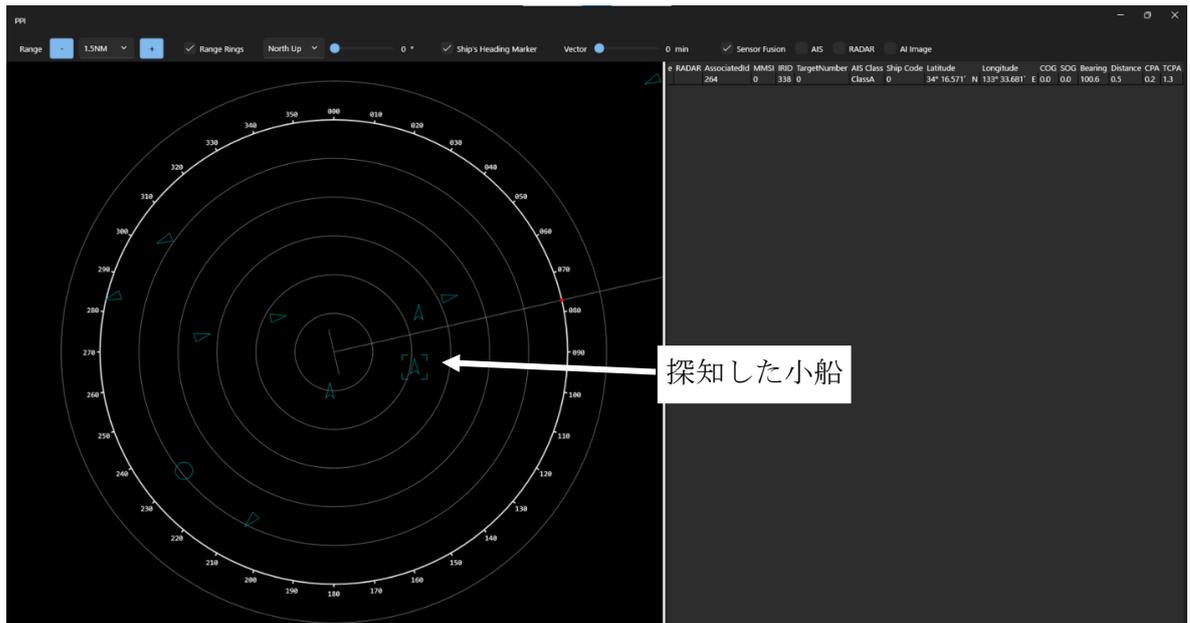


図 29 小船を検出した際の物標同定機能の画面

本船から小船が 2.3NM (約 4.3km) 離れるまで探知し続けた物標同定機能の画面を図 30 に示す。

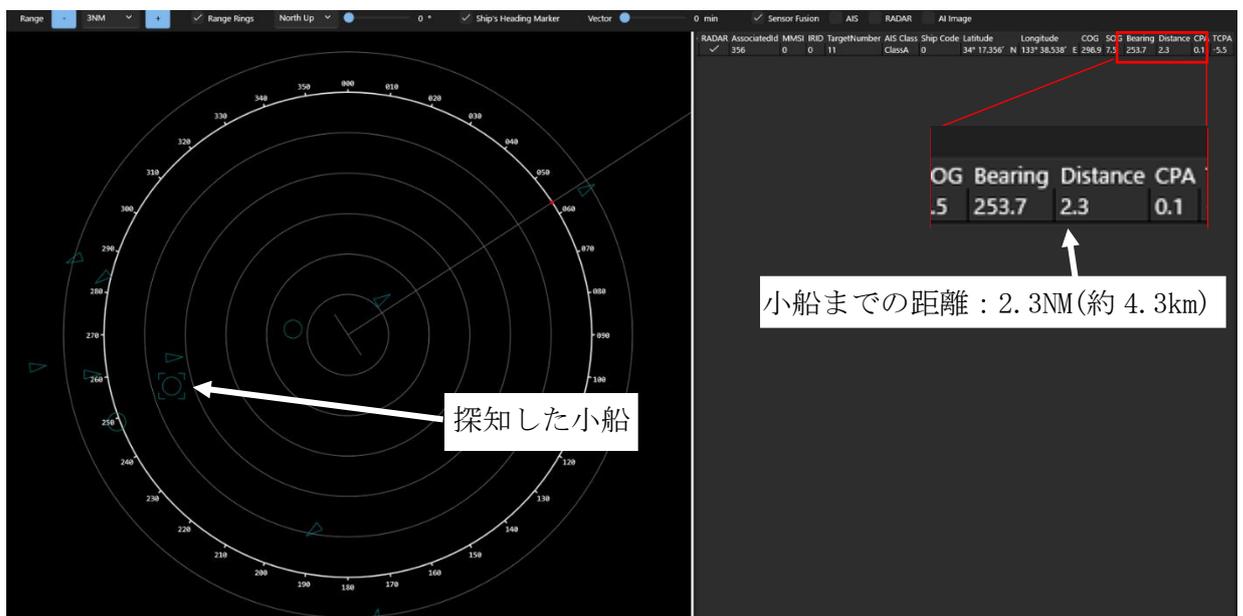


図 30 小船を 2.3NM (約 4.3km) まで探知した物標同定機能の画面

## (2) AI 画像認識部で検出する目標の探知精度

AI 画像認識機能で検出した目標位置 (自船からの方位/距離) と AIS 目標の位置を比較した際の物標同定機能の画面を図 31 に示す。

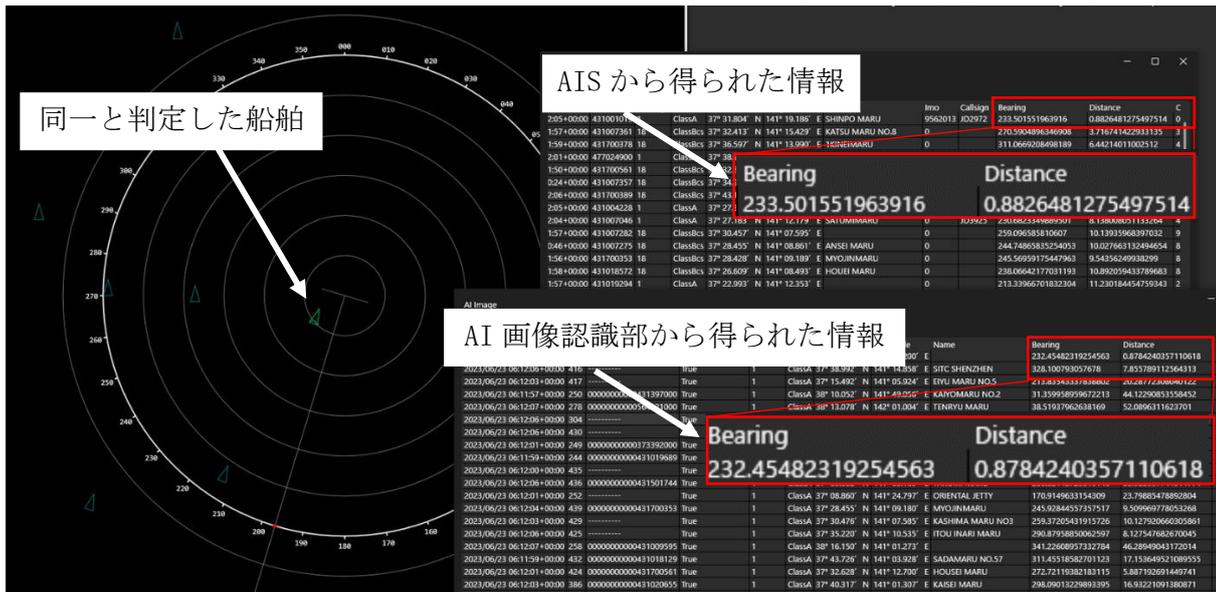


図 31 AI 画像認識機能と AIS で検出した目標位置を比較した物標同定機能の画面

物標同定機能が同一と判断した AIS 目標と AI 画像認識機能で検出した目標のそれぞれの自船からの方位／距離とその差を表 20 に示す。方位誤差：約 1.05°、距離誤差：約 0.48%であった。これにより、2022 年度の目標である「AI 画像認識機能で検出する目標の位置精度を、方位誤差：2 度以下、距離誤差：2[%]以下にする」という目標の達成を確認できた。

表 20 AIS 目標と AI 画像認識機能検出目標の位置と差

センサ	自船からの方位	差	自船からの距離	差
AIS	233.50°	1.05°	0.8826NM	0.48%
AI 画像認識機能	232.45°		0.8784NM	

### (3) AI 画像認識部で検出する目標の運動精度

AI 画像認識機能で検出した目標の進路／速度と AIS 目標の進路／速度を比較した際の物標同定機能の画面を図 32 に示す。

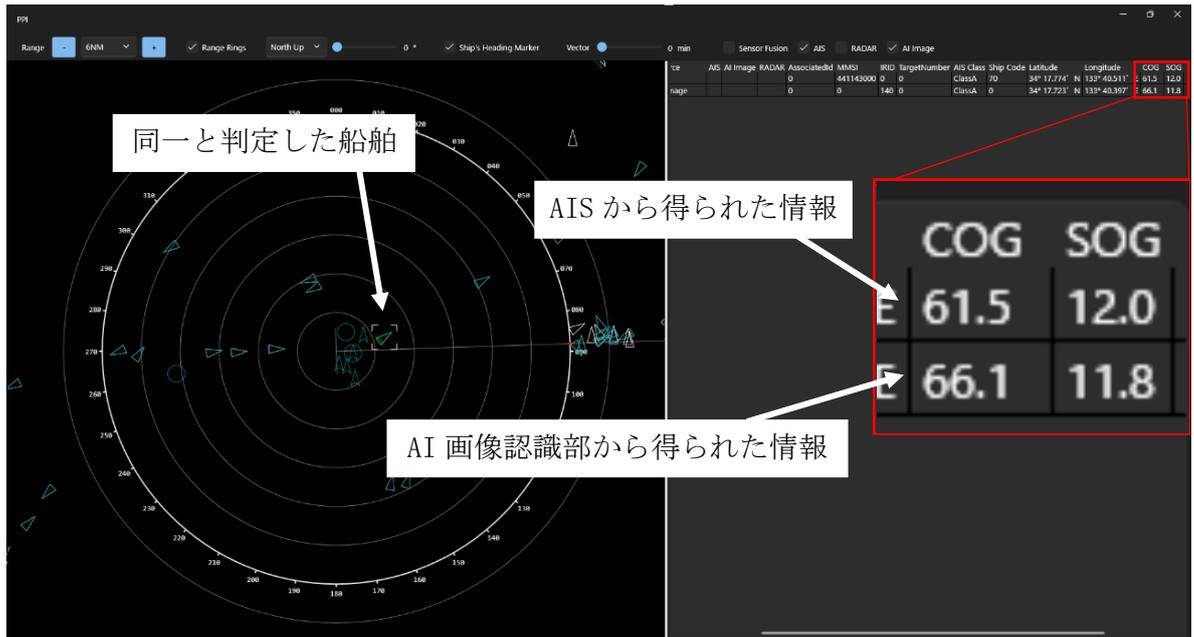


図 32 AI 画像認識機能と AIS で検出した運動精度を比較した物標同定機能の画面

物標同定機能が同一と判断した AIS 目標の進路/速度と AI 画像認識機能で検出した目標の進路/速度とその差は、表 21 の通り、進路誤差：4.6°、速度誤差：1.67%であった。これにより、2022 年度の目標である「AI 画像認識機能で検出する目標の運動精度を、進路誤差：8 度以下、速度誤差：2[%]以下とする」という目標の達成を確認できた。

表 21 AIS 目標と AI 画像認識機能検出目標の位置と差

センサ	進路	差	速度	差
AIS	61.5°	4.6°	12.0kn	1.67%
AI 画像認識機能	66.1°		11.8kn	

### 3.3.2.3 システム評価によって明らかになった課題

本評価において、コンパステッキに装備したカメラユニットの装備状態と制御ユニットに設定したコンフィギュレーションファイルに僅かなズレが生じており、2022 年度の目標は達成したものの他船の検出精度の低下を招いていることが判明した。2023 年度事業では、カメラユニットの装備状態やコンフィギュレーションファイルの最適化を行い、より高い精度で他船の検出を目指す。

### 3.4 報告書作成

2022 年度の事業内容を取りまとめ、成果報告書を作成した。

## 4 目標の達成状況

### 4.1 AI 画像認識機能と物標同定機能を組み合わせた小船の探知

前述の 3.3.2.2 システム評価結果(1)に記載の通り、本船前方に小船(長さ 10m、高さ 2m 程度)を検出し、システムで追尾を開始し、本船との距離が 2.3NM まで追尾を続け探知することができた。これにより、2022 年度の目標である「AI 画像認識機能と物標同定機能を組み合わせて、本船からの距離 2.0NM (3.7km) 以上離れた、高さ 2m、長さ 10m の小船を探知する」とするという目標を達成できた。

### 4.2 AI 画像認識機能で検出する目標の探知精度

前述の 3.3.2.2 システム評価結果(2)に記載の通り、物標同定機能同一と判断した AIS 目標の自船からの方位/距離と AI 画像認識機能で検出した目標の自船からの方位/距離とそれぞれの差は、方位誤差: 約  $1.05^{\circ}$ 、距離誤差: 約 0.48%であった。これにより、2022 年度の目標である「AI 画像認識機能で検出する目標の位置精度を、方位誤差: 2 度以下、距離誤差: 2[%]以下にする」という目標を達成できた。

### 4.3 AI 画像認識機能で検出する目標の運動精度

前述の 3.3.2.2 システム評価結果(3)の記載の通り、物標同定機能が同一と判断した AIS 目標の進路/速度と AI 画像認識機能で検出した目標の進路/速度とその差は、進路誤差:  $4.6^{\circ}$ 、速度誤差: 1.67%であった。これにより、2022 年度の目標である「AI 画像認識機能で検出する目標の運動精度を、進路誤差: 8 度以下、速度誤差: 2[%]以下とする」という目標を達成できた。

## 5 2022 年度の実施内容の概要

### 5.1 AI 画像認識機能の開発

本開発では AIS、船舶レーダーでは要求性能外とされている小物標の検出、及び物標位置（緯度経度）を特定する機能の開発を行った。AI を利用した画像認識技術と光学カメラ、また、夜間、荒天時の検出性能を向上させるための赤外線カメラを基本構成としてシステム設計を行った。また、AIS と船舶レーダーで得られる位置情報と約 10,000 枚の撮影データを組み合わせて AI に学習させることにより、以下の 2022 年度の目標を達成することができた。

- AI 画像認識機能で検出する目標の位置精度を、方位誤差：2 度以下、距離誤差：2[%] 以下にする。
- AI 画像認識機能で検出する目標の運動精度を、進路誤差：8 度以下、速度誤差：2[%] 以下とする。

### 5.2 物標同定機能の開発

AIS 情報と船舶レーダーのターゲットトラッキング(TT)情報を同定するアソシエーション機能を拡張したセンサフュージョン機能の開発を行った。AI 画像認識部で検出された物標の位置情報の検証に加えて、動的情報がない物標情報に関しては、船舶レーダーの TT 機能を利用し動的情報の補完を行う機能を実装した。また、本機能の最終的な出力として、AIS 情報、船舶レーダーの TT 情報、及び本機能で補完された情報を融合することにより、物標の同定を行い各物標の静的情報及び動的情報を出力する機能を実装した。

### 5.3 AI 画像認識機能および物標同定機能の陸上評価試験

AI 画像認識機能と物標同定機能を組み合わせて陸上での評価試験、および船上での評価試験を実施した。本評価試験では、操船シミュレーター等、評価用環境を構築しシステム評価とシステム改良を実施し、以下の 2022 年の目標を達成することができた。

- AI 画像認識機能と物標同定機能を組み合わせて、本船からの距離 2.0NM (3.7km) 以上離れた、高さ 2m、長さ 10m の小船の探知を可能とする。

## 6 今後の予定

本事業は、2022年度、2023年度の2年間に渡る事業のため、2023年度は以下の開発および評価を実施する予定である。

### 6.1 陸上評価試験のフィードバック

2022年度に実施した評価試験の結果を試作品へフィードバックし、2023年度の海上評価に適応させる。

AI画像認識機能においては、3.3.2.3項に記載したようにコンパスデッキに装備したカメラユニットの装備状態と制御ユニットに設定したコンフィギュレーションファイルに僅かなズレによる他船の検出精度の低下を招いていた。今後は、このカメラユニットの装備状態やコンフィギュレーションファイルの最適化を行い、より高い精度で他船の検出を目指す。

物標同定機能においては、3.3.1.3項に記載したようにAISとTTを同一物標と判断している状態で、当該船舶が回頭を行うと、別々の物標と判断してしまう事例が生じた。今後は、このような事例が発生しても同一物標と判断するアルゴリズムを考案し、物標が回頭した場合でも正しく同一物標と判定し続けることを目指す。

### 6.2 AI画像認識機能および物標同定機能の海上評価

AI画像認識機能、物標同定機能に加え、別の事業で開発するシステムをインテグレートし、海上での実証実験を行う。本実証実験では、川崎汽船が保有する自動車運搬船やコンテナ船、RORO船、フェリーから本船の動静に合わせて、2隻以上の船種での海上評価を実施する。

上記、「陸上評価試験のフィードバック」、「AI画像認識機能および物標同定機能の海上評価」を実施し、本事業の最終目標である以下の3点を達成することを目指す。

- (1) 本船からの距離3.4NM(6.3km)以上離れた、高さ2m、長さ10mの小船の探知を可能とする。
- (2) システムで検出する小型船を含む小物標の位置精度を、方位誤差：1度以下、距離誤差：1[%](30[m]未満の場合は30[m])以下にする。
- (3) システムで検出する小型船を含む小物標の運動精度を、進路誤差：1度以下、速度誤差1[%](0.5[knot]未満の場合は0.5[knot])以下にする。

### 6.3 報告書作成

2022年度、および2023年度の実施内容を取りまとめ、成果報告書を作成する。

## 7 まとめ

船舶の衝突や座礁事故は航海士の注意不足や技量不足によることが多く、また精神的過負荷が続く環境下では海難事故発生の危険性が増す。特に航海士の負担が増す輻輳海域や夜間、荒天時での危険船判断には、船舶自動識別装置（AIS）の非搭載船や船舶用レーダーでは捕捉できない小型船などの海洋上の小物標検知性能を向上させることが喫緊の課題である。

本事業では、上記課題を解決するために、AIによる画像認識技術により得られる情報とAIS/レーダーの情報を統合する航海機器を開発し、社会実装に向けた実用性と有効性の検証を目的とし、「AI画像認識を利用した物標検出センサと船上センサのセンサフュージョンに関する技術開発」を行い、2022年度は「AI画像認識機能の開発」「物標同定機能の開発」「AI画像認識機能および物標同定機能の陸上評価試験」を実施した。2023年度は、2022年度の成果を適用し、「陸上評価試験のフィードバック」「AI画像認識機能および物標同定機能の海上評価」を実施する予定である。

本事業終了後は、本事業の成果を応用し、船舶の衝突、座礁事故防止と航海士の負担軽減を図るために、自動運航船への搭載を見据えた操船者支援システムを開発し、海難事故の撲滅に向けた取り組みを続ける所存である。

最後に、本事業に多大なるご支援を頂きました公益財団法人日本財団様、一般社団法人日本船用工業会様に感謝申し上げます。

## 第Ⅱ部 2023年度

### 8 2023年度の実施内容

2022年度はAI画像認識機および物標同定機能の開発を行い、陸上評価試験での評価を実施した。陸上評価試験では2022年度の目標が達成できていることが確認できたとともに、新たな課題も発見することができた。2023年度はこれらの課題に対応するため陸上評価試験のフィードバックを行い、海上評価試験にて下記に示す本事業の最終目標を達成することを確認する。

- 1) 本船からの距離3.4NM(6.3km)以上離れた、高さ2m、長さ10mの小船の探知を可能とする。これは表23に示すAIS及び船舶レーダーの性能要求外とされている小物標である。

表 22 既存センサ 要求性能外の物標

センサ名	要求性能外の物標
AIS	AIS 非搭載船
レーダー	本船からの距離：3.4NM以上、高さ2m、長さ10mの小船 出所：IEC-62388（レーダー性能要求）

- 2) システムで検出する小型船を含む小物標の位置精度を、方位誤差：1度以下、距離誤差：1[%](30[m]未満の場合は30[m])以下にする。
- 3) システムで検出する小型船を含む小物標の運動精度を、進路誤差：1度以下、速度誤差1[%](0.5[knot]未満の場合は0.5[knot])以下にする。

## 8.1 陸上評価試験のフィードバック

### 8.1.1 目標変針時の AIS/TT 目標のアソシエーション

2022 年度に実施した操船シミュレーターを使用した陸上評価試験において、ある船舶を AIS と TT で捉えている状態で、当該物標が急激な回頭を行うと、AIS 目標と TT 目標を別の目標であると誤判定する事例が生じた。この原因は AIS 目標と TT 目標の進路差が同一目標だと判定する条件よりも大きくなり、別々の物標と判断してしまったためである。この事象に対処するため、アソシエーションのアルゴリズムの改善を実施した。

本現象が発生した時の当該船舶の移動航跡を図 33 に示す。

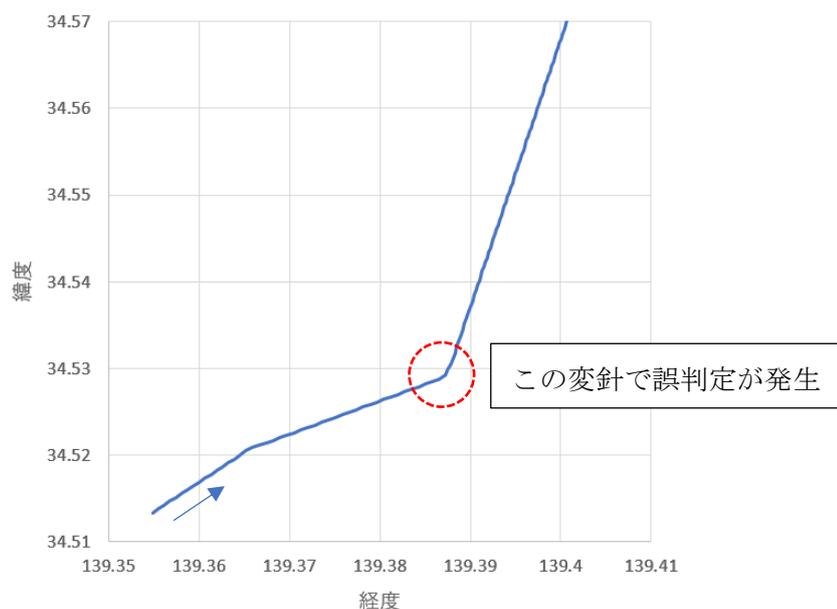


図 33 アソシエーション誤判定発生時の船舶の移動航跡

図に示した点線の赤丸部分で該当船舶は大きく変針しており、変針後の一定期間 AIS 目標と TT 目標が非アソシエーション状態となっていた。これは、前述の通り AIS 目標と TT 目標の進路に大きなずれが生じたためである。次に、この変針時の AIS 目標と TT 目標の進路の変化の様子を図 34 に示す。

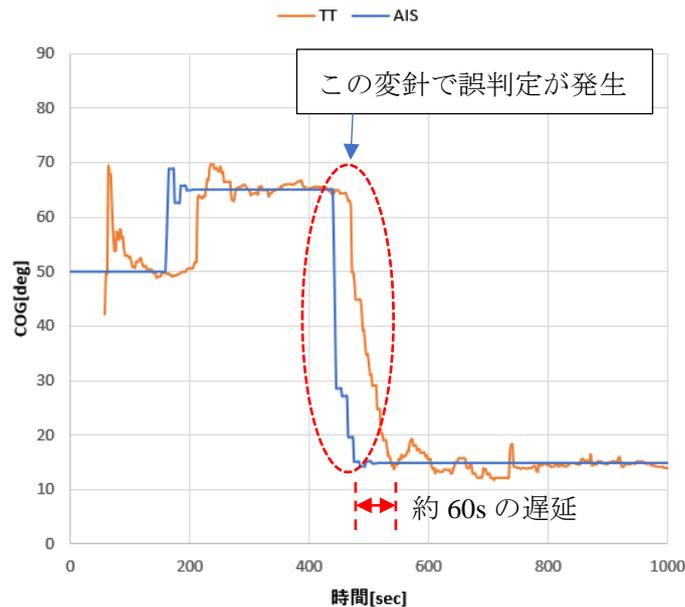


図 34 アソシエーション誤判定発生時の AIS 目標と TT 目標の進路(COG)

このグラフから分かるように、青線で示した AIS 目標の進路の変化に比べて、橙色で示した TT 目標の進路の変化は 60 秒程度遅延している。これは、AIS 目標の進路は他船の GNSS 等で計測した値であり、ほぼリアルタイムの進路が得られているのに対し、TT 目標は過去他船の位置情報から進路を求めているためである。

TT 目標の進路が遅延する要因をさらに詳しく図 35 の概略図を用いて説明する。TT 目標はレーダーで検出したエコーの位置から船舶が存在すると推測される位置を計算し、その位置データを蓄積し速度や進路を計算している。簡単化のために、図 35 ではこの位置データを過去 5 点蓄積しているものとし、各位置データを青い点で示している。また、実際の船舶ではありえないが、目標は右方向に瞬時に 90 度変針するものとし、図では(a)の直後に変針したと仮定している。青の点線で示しているのが目標の移動方向で、赤の点線で示しているのが、TT で求められる概算の進路である。

この図から分かるように、実際に目標が変針してから TT で求めた進路が実際の進路と同じになるまで 4 回分目標が移動する必要がある。TT 目標の 1 回あたりの移動を 2.5 秒と仮定すると、4 回分の移動は 10 秒となり、これが TT で求めた進路の遅延となる。

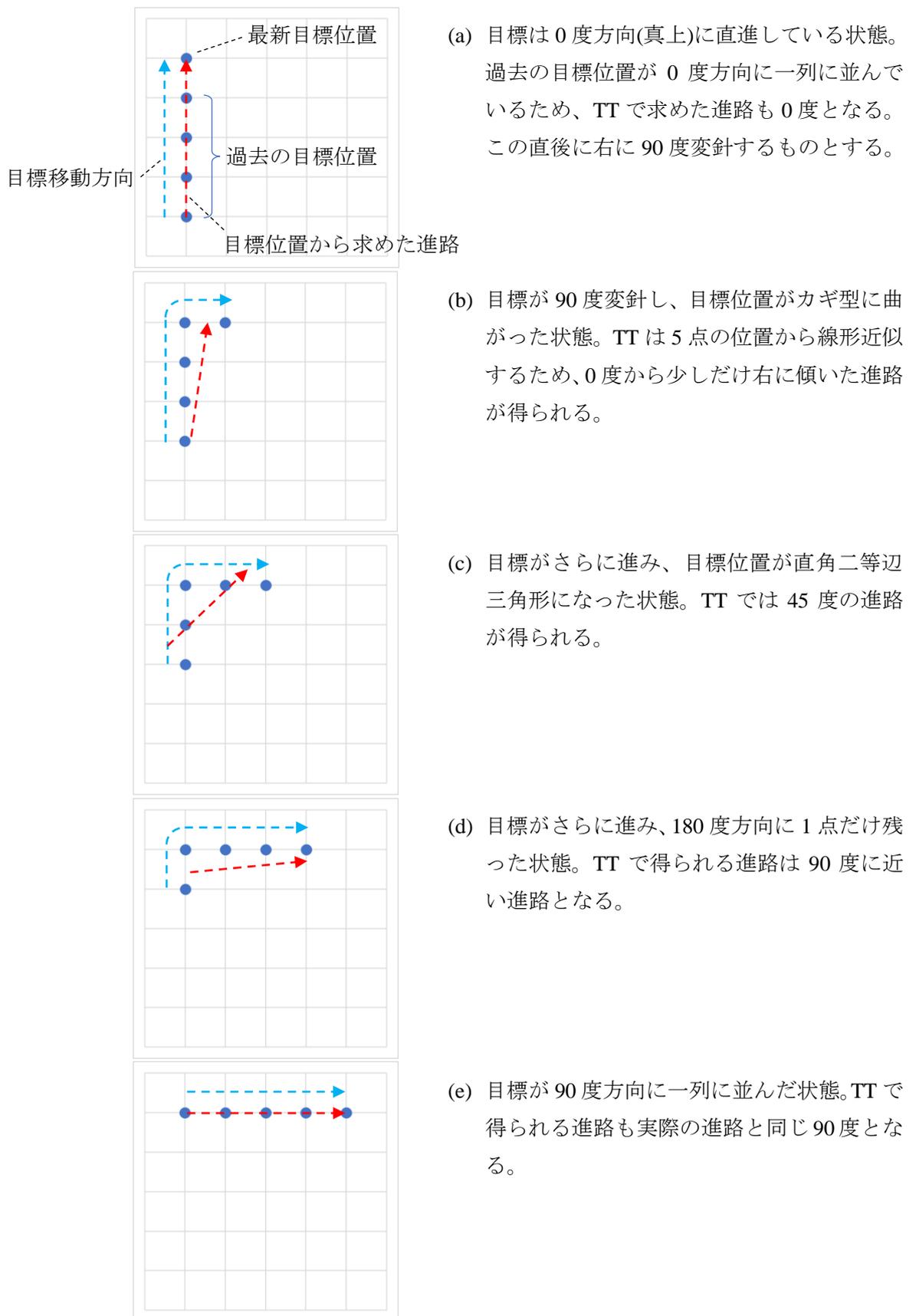


図 35 TTによる進路の計算方法の概略

以上のように、TT 目標の進路は計算に用いる位置情報の数(時間)によって AIS 目標の進路よりも遅延してしまう。この遅延によって、変針している際に TT 目標と AIS 目標の進路差が非アソシエーション条件を満たしてしまうと、今回のようなアソシエーションの誤判定につながってしまう。

そこで、目標が変針しているかどうかを判定し、変針している際にはアソシエーションの条件を緩和して、非アソシエーションが発生しないようにアソシエーションアルゴリズムを修正した。変針の判定には以下の方法を用いた。

変針の判定に用いる 1 つ目の方法は AIS 情報の動的メッセージに含まれる Rate of Turn (ROT) を使用する方法である。ROT がしきい値を超えることで変針したと判定し、その後一定の期間は非アソシエーションのしきい値を上げることでアソシエーション誤判定を防ぐことができる。しかし、海上評価試験で取得した AIS データを確認したところ、ROT 情報が入力されていないと思われる船舶が多数見られた。そのため、AIS 情報に頼らない 2 つ目の方法も実装することとした。

変針の判定に用いる 2 つ目の方法は、所定の期間の進路を保存しておき進路のばらつき(標準偏差)を求め、進路が一定のばらつき範囲から外れたら変針していると判定するものである。図 36 にフローチャートを示す。通常目標が直進している場合、進路はほとんど変化がなく安定した状態となる。言い換えるとばらつきが少なく、標準偏差が小さい状態といえる。一方、変針を始めると、目標の進路はそれまでの標準偏差から大きく外れてくることとなる。このような性質を利用し、標準偏差から変針を判定するためのしきい値を決定し、最新の進路と比較することで変針を開始したかどうかを判定している。変針と判定した後は、1 つ目の方法と同様に、変針後一定の期間は非アソシエーションのしきい値を上げることでアソシエーション誤判定を防いでいる。また、進路データに対して加重平均を用いているが、これは新しいデータの方を重視するためで、新しい進路データほどウェイトを大きくしている。

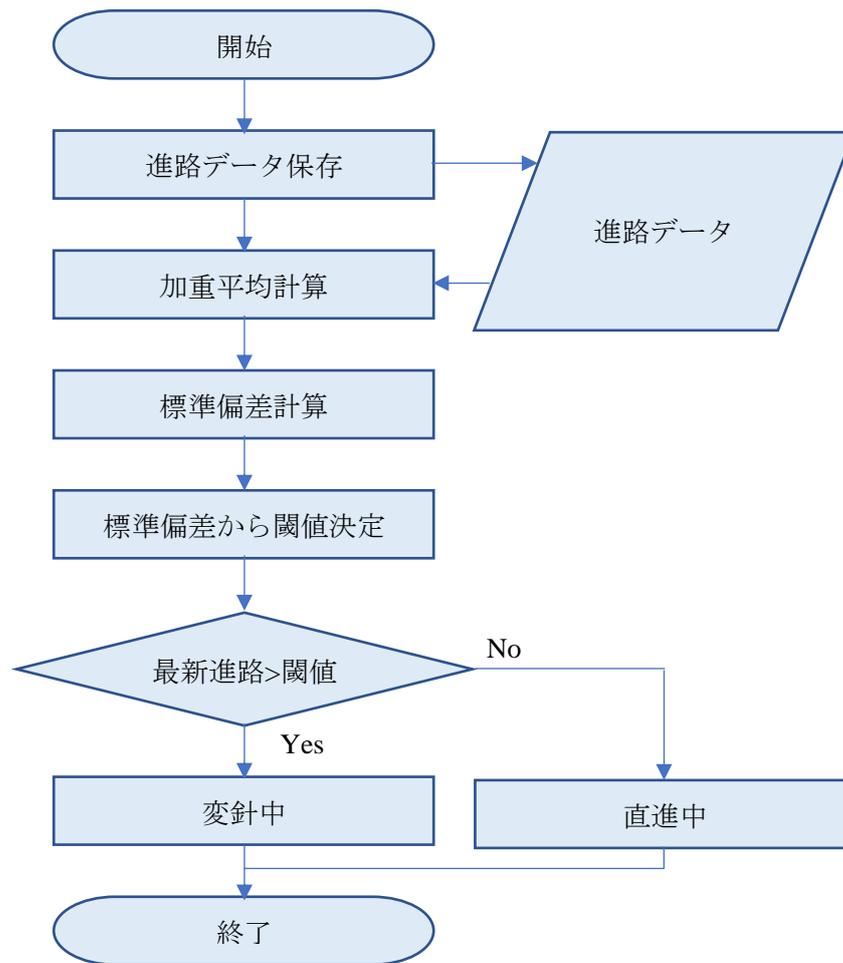


図 36 変針判定処理フローチャート

上記の2つの方法により変針しているかどうかを判定し、どちらかの判定で変針と判断した場合は非アソシエーションのしきい値を上げてアソシエーションが解除されないようソフトウェアの修正を実施した。

修正前のソフトウェアと修正後のソフトウェアでのアソシエーションの状況を図 37 と図 38 に示す。修正前のソフトウェアでは、図 37 に示すように目標が変針した後しばらくの間は、AIS 目標と TT 目標のアソシエーションが解除され、AIS 目標と TT 目標の進路ベクトルが別々に表示されていた。一方、修正後のソフトウェアでは、図 38 に示すように目標が変針した後もアソシエーションを継続することが確認できた。

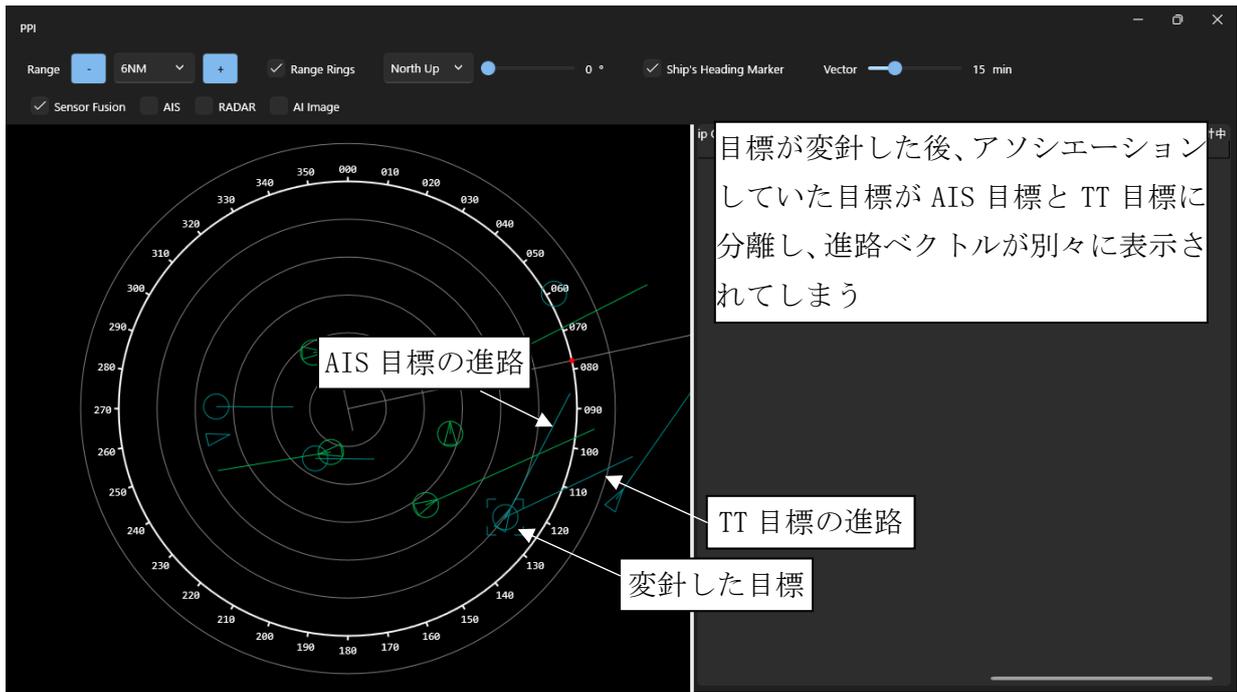


図 37 修正前のソフトでの変針目標



図 38 修正版ソフトでの確認結果

物標同定機能では図 39 で示すアソシエーション関連の設定画面で、TT 目標、AIS 目標、AI 画像認識部で検出した目標(AI Image)の各センサの優先度(図 39 内赤枠)を設定する。物標同定機能はここで設定された優先度と、これらの3つのセンサから取得した情報を元に、出力する目標の情報を決定する。例えば、図に示されているように、TT が第 1 優先、AIS が第 2 優先となっている場合に、TT 目標と AIS 目標がアソシエーションすると、これらを統合した目標の情報は TT 目標の情報を重視してアソシエーションした目標の情報を決定する。

一方、図 34 に示したように、TT 目標の進路は遅延が発生するため目標が変針した場合は、実際の進路に対して遅延が発生してしまう。そのため、TT 目標の情報を優先してしまうと、実際の進路と異なる結果となってしまう。そこで、上記目標の変針判定結果を利用し、目標が変針していると判断した場合、優先度の設定で TT 目標の優先度が AIS 目標の優先度より高い場合でも、AIS 目標の情報を優先するようにソフトウェアを変更した。これにより、目標が変針した場合に TT 目標の進路情報の遅延の影響を受けず、より正しい進路情報を出力できるようになった。また、ここまで TT 目標の進路の遅延について記載したが、この遅延は TT 目標の速度に関しても同様の状況が発生する。そのため、上記目標が変針した際のソフトウェアの変更は、速度に対しても実施した。

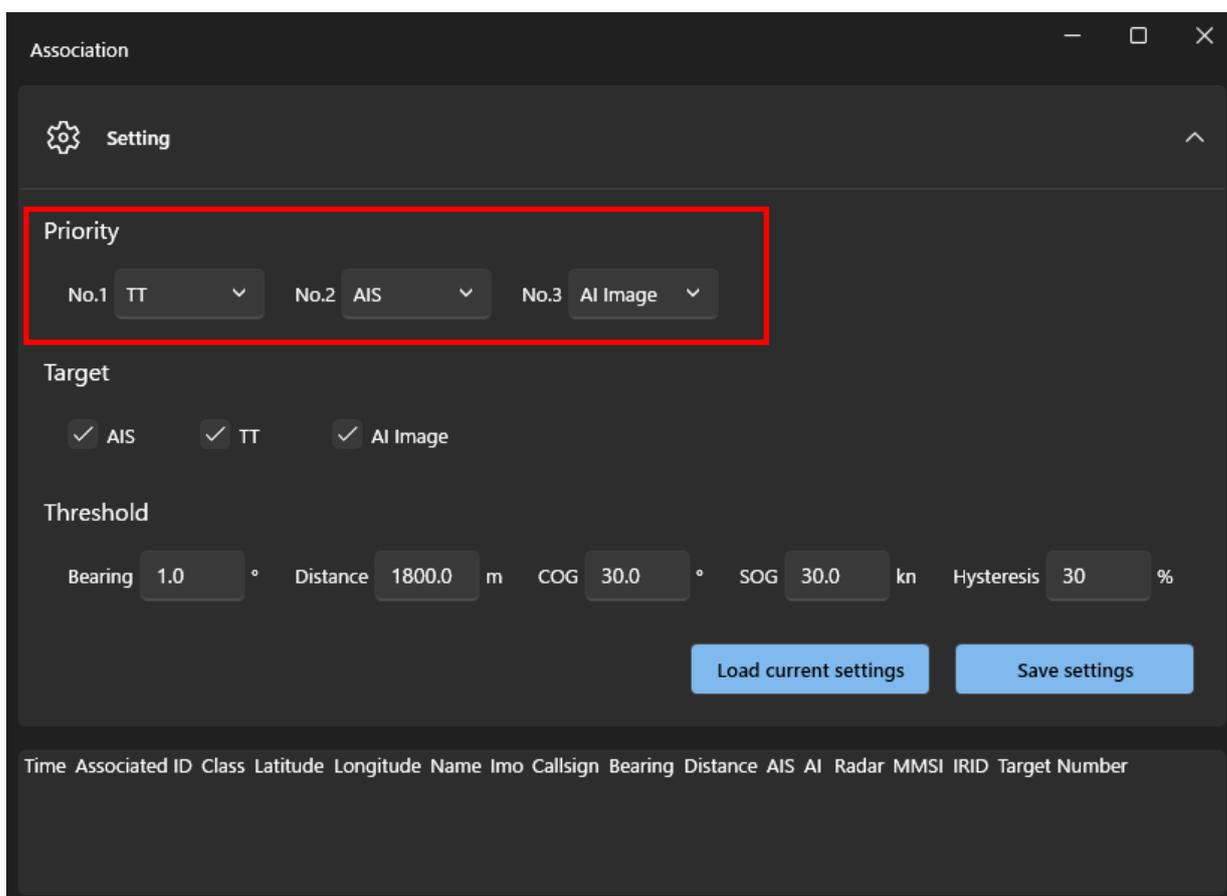


図 39 アソシエーションの優先度設定

### 8.1.2 AI 画像認識機能部の検出精度の改善

3.3.2.3に記載したように、2022年度のシステム評価ではコンパスデッキに装備したカメラユニットの装備状態と制御ユニットに設定したコンフィギュレーションファイルのズレにより、AI画像認識部による他船の検出精度が低下していた。また、取得した画像を確認した結果、カメラユニットの振動による画像のブレも検出精度の低下につながっていると考えられることが分かった。そこで、カメラユニットの振動をできるだけ抑えるためにカメラユニットの装備位置を下げることにした。

カメラユニットの装備位置変更にあたっては、図40に示すようにカメラユニットを装備している支柱のそばに手すりがあったため、画角/倍率固定カメラを下げられる幅に制限があり、手すりに当たらない位置まで64cmだけ下げることとした。PTZカメラも同程度装備位置を下げることで、カメラユニットの装備位置は変更前後で図41のようになった。



図40 カメラユニットの装備位置変更

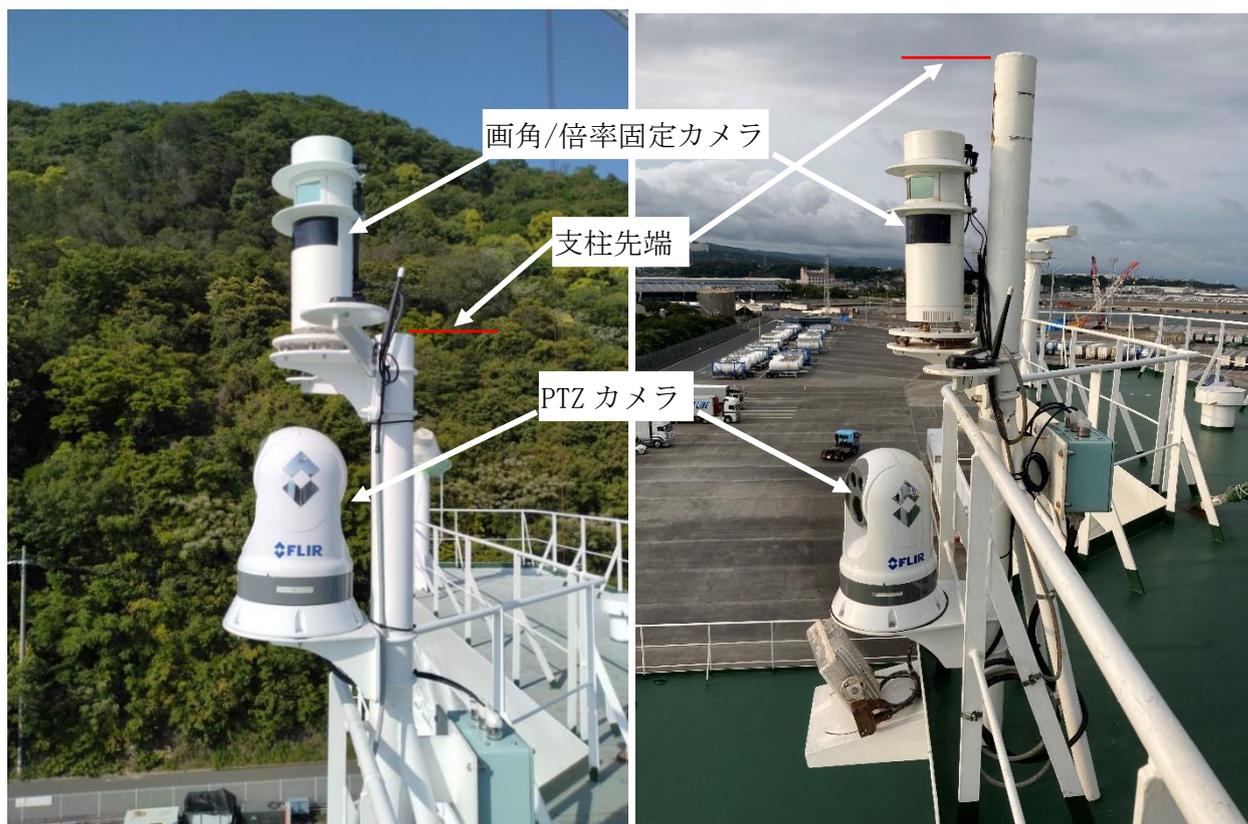


図 41 変更前後のカメラユニットの装備位置比較

また、上記カメラユニットの装備位置変更に合わせて、カメラユニットと制御ユニットに設定したコンフィギュレーションファイルの変更を実施した。これによりカメラユニットの振動による画像のブレが抑えられることと、カメラユニットと制御ユニットのコンフィギュレーションに生じていたブレがなくなることで、AI 画像認識部の検出精度を安定させた。





前述したように、本試験を実施した RORO 船 第二ほくれん丸は 2022 年度に AI 画像認識機能と物標同定機能の組み合わせでシステム評価を実施した船舶と同じである。第二ほくれん丸の外観及び主要諸元は、3.3.2.1 の図 24 及び表 19 を参照。

コンパステッキに装備したカメラシステムの装備状況を図 44 に示す。



図 44 カメラシステム装備状況（左側から撮影／後方から撮影）

ブリッジ左舷側に装備したカメラシステム制御ユニットの装備状況を図 45 に示す。



図 45 カメラシステム制御ユニット装備状況（ブリッジ左舷側）

同じくブリッジ左舷側に装備した物標同定機能用 PC と情報統合画面用モニタの装備  
状況を



図 46 に示す。ここには、本事業外で開発した装置である見張支援機能用 PC とステータス  
管理機能用 PC も含まれる。また、情報統合画面を表示しているモニタには見張支援画  
面とステータス管理画面も表示している。

なお、



図 46 に示しているレーダー指示機(レーダー処理部/操作部/表示部)は本船の航海士の監視業務を妨げないため、本船の既存のレーダーとは別に準備したものである。本船のレ

ーダーに影響を与えないよう、本船の既存レーダーから準備したレーダー指示機に信号を入力し、TT 処理を実施できるような形をとっている。



図 46 各機能の PC 装備状況 (ブリッジ左舷側)

ブリッジ中央に装備した ECDIS および避航操船コアの装備状況を図 47 に示す。



図 47 避航ルート生成機能部の装備状況

前述の通り本試験では、本事業で開発した機能に加え、表 1 で示した本事業外での取り組みで開発した技術や装置を組み合わせることで評価を行った。そこで、本事業で開発した機能と本事業外で開発した技術と装置の関係を以下に示す。

- ・危険判断機能（事業対象外）

物標同定機能が統合した目標情報をもとに、他船との衝突の危険がないかを判断する。衝突の危険があると判断した場合、避航ルート生成機能に通知する。本システムでは危険判断機能は避航ルート生成機能の一部に含まれている。

- ・避航ルート生成機能（事業対象外）

危険判断機能が他船との衝突の危険を検出した場合に、衝突を避ける避航ルートを自動生成し操船者に提示する。提示された避航ルートを操船者が承認すると、承認された避航ルートが ECDIS に送信され、Track Control System で避航ルートに沿って自動航行する。避航ルート生成機能の表示画面を図 48 に示す。

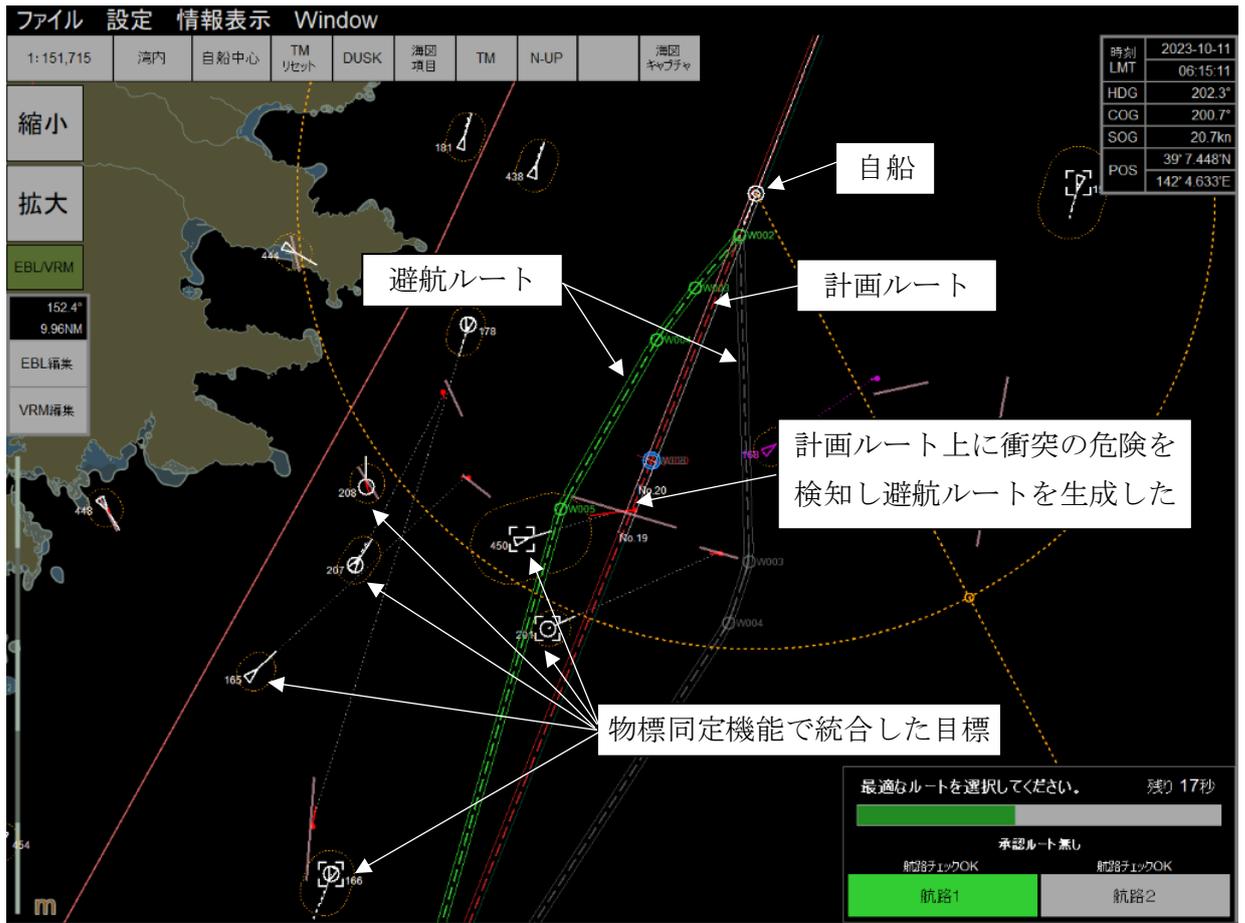


図 48 避航ルート生成機能の表示画面

・見張支援機能（事業対象外）

物標同定機能が統合した目標情報、電子海図から得られる地理的情報、避航ルート生成機能部が生成した避航ルート等を図 49 のように鳥瞰的に統合表示したり、図 50 のようにブリッジからの景観で統合表示することで、航海士の監視業務を支援する。

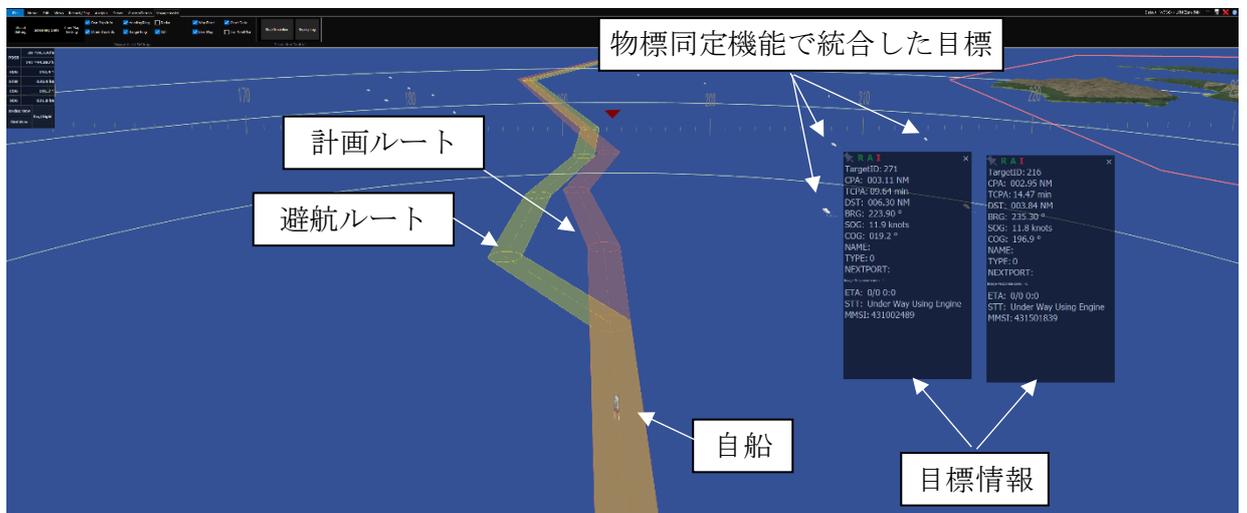


図 49 見張支援機能の鳥瞰画面

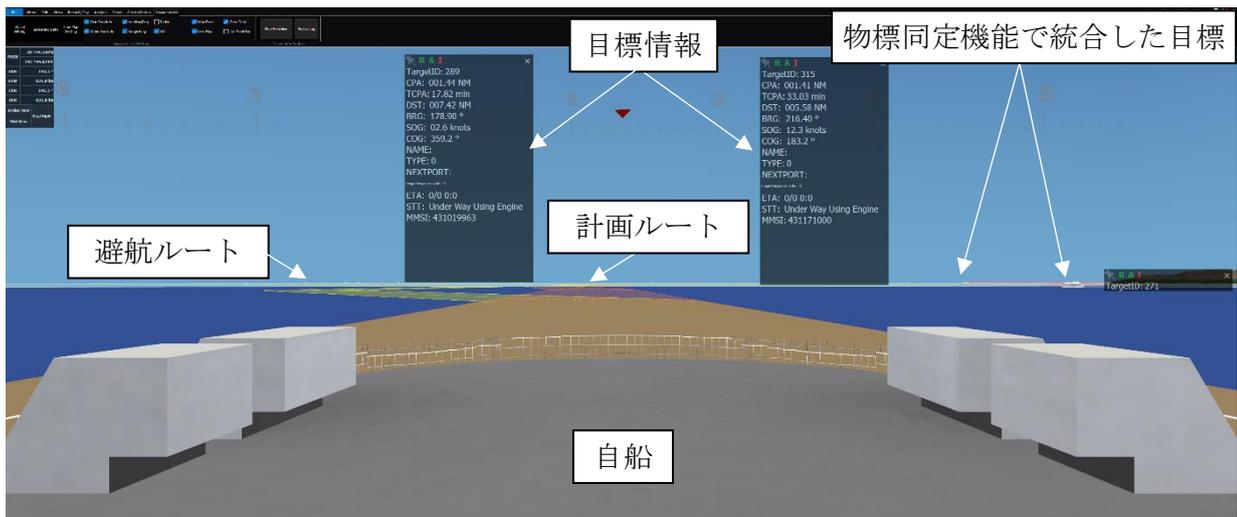


図 50 見張支援機能のブリッジビュー画面

- ・ステータス管理機能（事業対象外）

システムを構成する各サブシステムの状態・アラートを受信し、システム全体のステータスを分析する。AI 画像認識機能や物標同定機能はサブシステムの1つであり、図 51 のようにその状態がステータス管理機能画面に表示される。

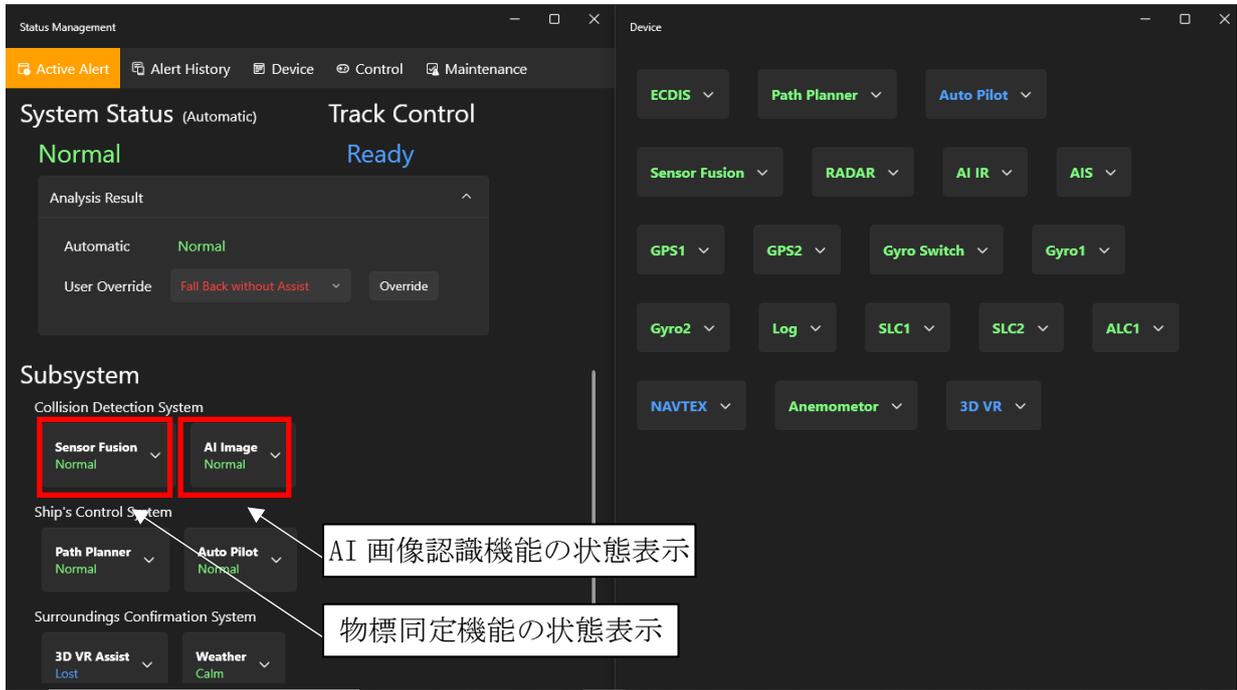


図 51 ステータス管理機能の表示画面

### 8.2.1.2 システム評価結果

海上評価試験では、別途作成した「物標同定機能 海上評価試験方案」に従って評価を実施した。実施した試験の評価結果を表 23 に示し、各テスト項目の詳細について以降に記載する。

表 23 物標同定機能 海上評価試験方案結果

試験項目名	テスト項目数	テスト実施数	テスト完了数
情報統合／更新機能	5	5	100%
情報表示機能	11	11	100%
システム精度	4	4	100%

#### 8.2.1.2.1 情報統合／更新機能試験

情報統合／更新機能の試験では、物標同定機能が統合した目標の情報を正しく出力しているかを確認した。TT 目標/AIS 目標/画像認識機能で検出した目標のそれぞれの組み合わせで、統合した目標の情報が正しく出力されていることを確認した。ただし、海上評価試験で実施予定だった以下の 2 項目 (8.1.1 に記載) に関してはシミュレータデータを用いて正常に動作することを確認した。

- ・AIS 目標と TT 目標がアソシエーションした状態で目標が急激な変針をしてもアソシエーションを継続すること
- ・AIS 目標と TT 目標がアソシエーションした状態で目標が急激な変針した時、進路の情報は AIS 目標の情報を優先すること

実船舶のデータで試験が実施できなかった要因は、実際の海上では AIS を搭載しているような大きな船舶が急激に変針するようなことがほとんどなく、今回の試験中に試験に適した船舶と遭遇することがなかったためである。

### 8.2.1.2.2 情報表示機能試験

情報表示機能の試験では、物標同定機能の画面に表示されるグラフィックや目標情報が正しく表示され、設定どおりに正しく切り替わることを確認した。主な確認項目を図 52 に示す。



図 52 情報表示機能試験での確認項目

### 8.2.1.2.3 システム精度試験

システム精度の試験では、主に本事業の最終目標の確認を実施した。

#### 8.2.1.2.3.1 小舟の探知

事業の最終目標(1)は、高さ 2m、長さ 10m の小船の探知を対象としているため、船舶の大きさを推定する必要がある。そこで、図 53 の左に示した大きさを測定可能な双眼鏡を使用して船舶の大きさを推定した。この双眼鏡は図 53 の右の図のように覗いたときに目盛が表示されており、その目盛から読み取った値と目標までの距離から下記に示す式によって、目標の大きさが推定可能となっている。この双眼鏡で読み取った目盛値と、レーダーで測定した目標までの距離で目標の大きさを推定した。

$$\text{目標の大きさ} = \text{目盛数} / 1000 \times \text{距離}$$



図 53 船舶の大きさ測定に使用した双眼鏡

双眼鏡の概略仕様を表 24 に示す。

表 24 双眼鏡の概要仕様

メーカー	SIGHTRON
型番	TAC-36M
ズーム倍率	7 倍
種類	ダハプリズム
レンズ有効径	28mm

今回評価対象とした小船を双眼鏡で観測した様子を図 54 に示す。この時点での小船の距離は約 1.7nm であり、双眼鏡の目盛から読み取った値を前記計算式に当てはめると、船舶の長さとおよそ以下の値となる。

$$\text{船舶の長さ} = 3 \text{ 目盛} / 1000 \times 1.7 \text{ nm} \times 1852 \text{ m} = 9.4 \text{ m}$$

$$\text{船舶の高さ} = 0.5 \text{ 目盛} / 1000 \times 1.7 \text{ nm} \times 1852 \text{ m} = 1.6 \text{ m}$$

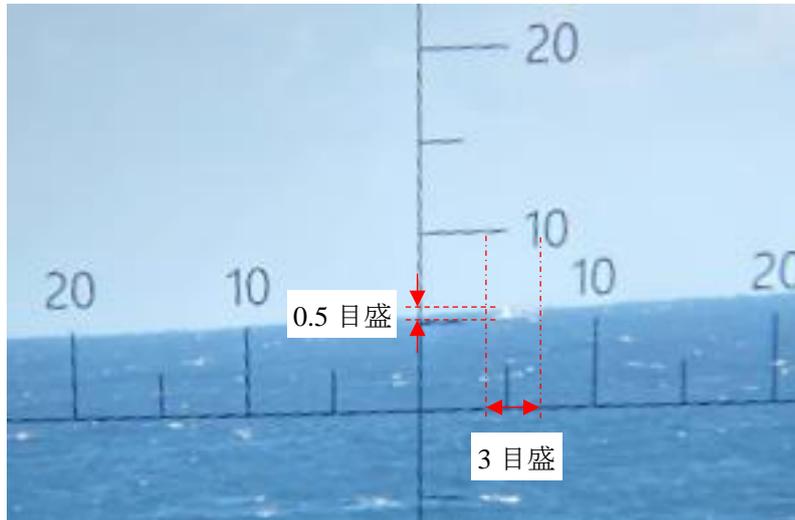


図 54 双眼鏡で観測した評価対象船

次にこの小船を物標同定機能で捉えた際の物標同定機能の表示画面を図 55 に示す。

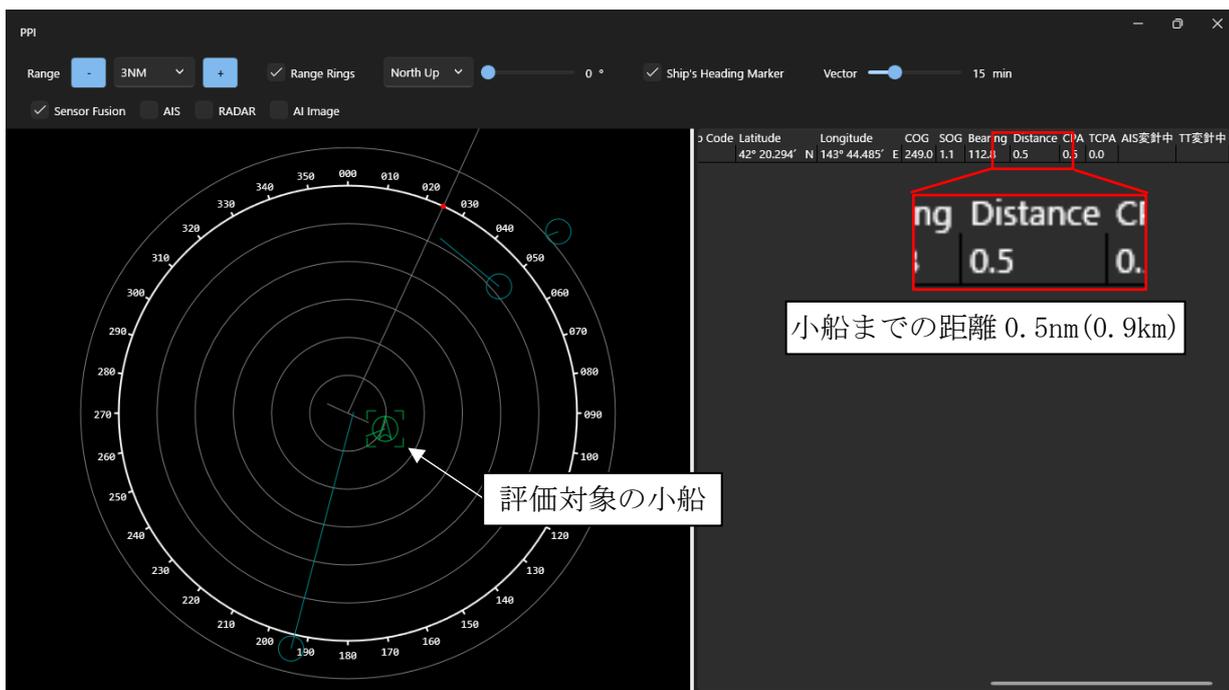


図 55 物標同定機能で観測した評価対象船 (0.5nm)

この小船を情報統合画面で継続して観察し、図 56 に示すように約 3.8nm(7.0km)まで追尾可能であることを確認した。これにより、最終目標(1)の本船からの距離 3.4NM (6.3km) 以上離れた、高さ 2m、長さ 10m の小船の探知が可能であることが確認できた。

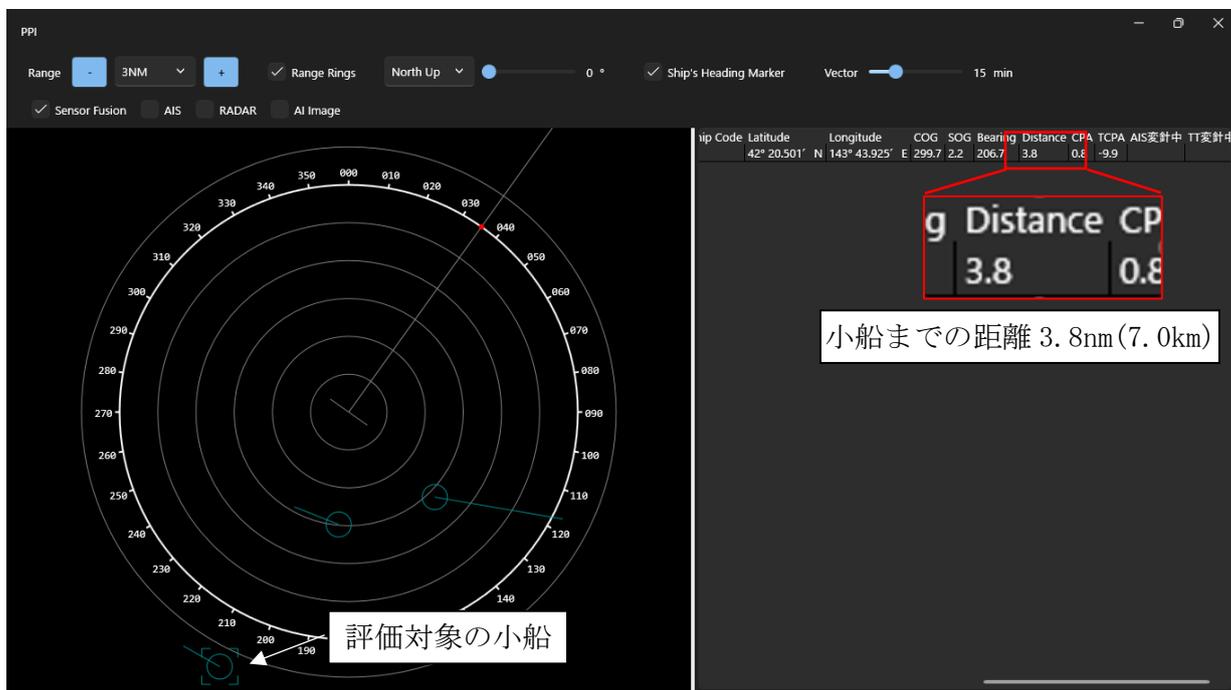


図 56 物標同定機能で観測した評価対象船(3.8nm)

### 8.2.1.2.3.2 位置精度と運動精度の検証

次に最終目標(2)と(3)に対する評価に関して記載する。以下に目標を再掲する。

- 2) システムで検出する小型船を含む小物標の位置精度を、方位誤差：1度以下、距離誤差：1[%](30[m]未満の場合は30[m])以下にする。
- 3) システムで検出する小型船を含む小物標の運動精度を、進路誤差：1度以下、速度誤差1[%](0.5[knot]未満の場合は0.5[knot])以下にする。

#### 8.2.1.2.3.2.1 評価指標の検討

ここで、上記目標に対する評価を実施するにおいて、まず評価方法の考え方について記載する。

物標同定機能では、TT 目標/AIS 目標/AI 画像認識機能で捉えた目標の情報を元に目標の統合処理を実施している。TT はレーダーの情報、AIS は GNSS やヘディングセンサー等の情報、AI 画像認識機能は画像情報を使用して目標の位置や進路・速度を推定しており、それぞれの目標情報には測定毎にばらつく偶発誤差と、特定の原因によって測定値が偏る系統誤差の2種類の誤差が含まれると考えられる。したがって、これらの情報を統合して出力している物標同定機能の出力結果にも、偶発誤差と系統誤差が含まれると考えられる。したがって、偶発誤差と系統誤差を考慮して精度を評価す

る必要があるが、センサ測定値の系統誤差を評価するにあたっては、真値もしくは真値に近い代替値が分かっている必要があり、本試験においてこの真値もしくは真値に近い代替値を入手することは困難である。そこで、本試験ではセンサの偶発誤差によるばらつき程度を標準偏差で表し、最終目標 2) と 3) の位置・運動精度の評価指標とする。

測定毎に変動する偶発誤差を表す標準偏差を最終目標の評価指標とするためには、誤差の標準偏差を算出するための基準を定める必要がある。そこで、センサ測定値において偶発誤差は図 57 に例示する正規分布に従う頻度で出現するという理論的裏付け（中心極限定理）から、回帰分析による近似式の値を標準偏差算出の基準として定める。回帰分析には、線形近似の単回帰分析と非線形近似の多項式回帰分析を用いる。線形近似の単回帰だけではなく非線形近似の多項式回帰も実施する理由は、次の 2 つの理由のためである。一つは船舶が速度を変えるまたは、変針するなど、運動自体が非線形なものである可能性があること、もう一つは運動自体が一定であっても自船から見た相対位置と相対運動はほとんどが非線形な角度・距離の測定値となるためである。これは特に近距離の船舶で顕著にあらわれる。

単回帰分析と多項式回帰分析を比較した場合、一般的に多項式近似は近似曲線と測定値との差を小さくすることはできるが、偶発誤差を見かけ上小さくするだけの近似曲線となる可能性がある。そこで、8.2.1.3 でどちらの回帰分析の手法や結果が適切か考察を行う。

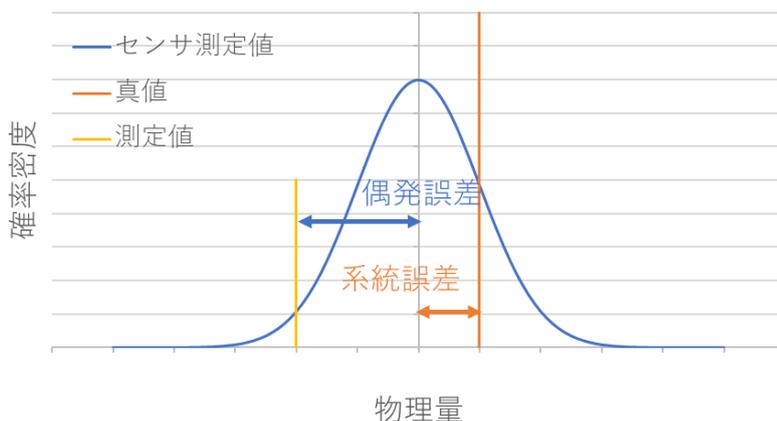


図 57 センサの測定値と誤差

以上の考えを基にしたシステムセンサ誤差の評価方法を以下に記載する。

1) 目標情報の抽出

0に記載したように、TT 目標の進路や速度は変針中や加減速中に現実の動きに対して遅れてしまう。そのため、サンプリングするデータの区間は進路や速度が一定である区間のものを抽出する。

2) 単・多項式回帰分析を実施し、誤差の標準偏差を算出

抽出したサンプルに対して回帰分析を実施し、サンプルとの二乗誤差が最小となるような近似曲線および回帰係数を求める。理論的には抽出したサンプルから組み立てた正規方程式を解いて最小二乗誤差となる回帰係数を算出することになるが、実務的には Excel の近似曲線の計算機能を用いて算出する。正規方程式についてはここでは割愛する。

近似曲線の値を用いた誤差の標準偏差  $\sigma_e$  の算出式は以下の通りとなる。2次の多項式回帰分析の値を用いる場合、回帰係数を  $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}$  とすると、時刻  $x_t$  の近似値  $\hat{\alpha} + \hat{\beta}x_t + \hat{\gamma}x_t^2$  と実際の測定値  $y_t$  との差の二乗和をサンプルサイズ  $n - 3$  で除算することで計算できる。標準偏差の計算で  $n$  ではなく  $n - 3$  を除算に用いているのは統計上の理由からである。またこれは、サンプル数が3点以上ない場合には次数が2の多項式つまり2次曲線を計算できないことを示している。

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sum\{y_t - (\hat{\alpha} + \hat{\beta}x_t + \hat{\gamma}x_t^2)\}^2}{n - 3}}$$

単回帰分析では回帰係数の数が  $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$  の2つに減少し、標準偏差の除算は  $n-2$  となる。

3) 誤差の標準偏差  $2\sigma_e$  と本事業の最終目標を比較

2)で算出した  $\sigma_e$  の意味は、回帰曲線  $\pm\sigma_e$  の範囲において 68% のサンプル値が存在していることを示す。事業目標設定の基準となった IEC62388 では精度の規格値は 95% の確率で基準を満たすことが条件となっている。そのため指標の比較としてはサンプル値の 96% が存在する  $2\sigma_e$  の値が適当とした。方位・距離・進路・速度それぞれの  $2\sigma_e$  の値が事業目標以内であるときに目標を満たしたとする。

なお、測定対象となる小型船舶の選定は試験期間中に記録された AIS 静的情報の船舶長のサイズを元に行った。

### 8.2.1.2.3.2.2 システム精度の検証結果

図 58 にセンサフュージョンソフトウェア GUI 画面を用いた対象船舶の位置と運動の概略を示す。図の通り自船は南に航行しており、目標船は北に航行（ただし船速は1knot とほぼ停船に近い状態）している。

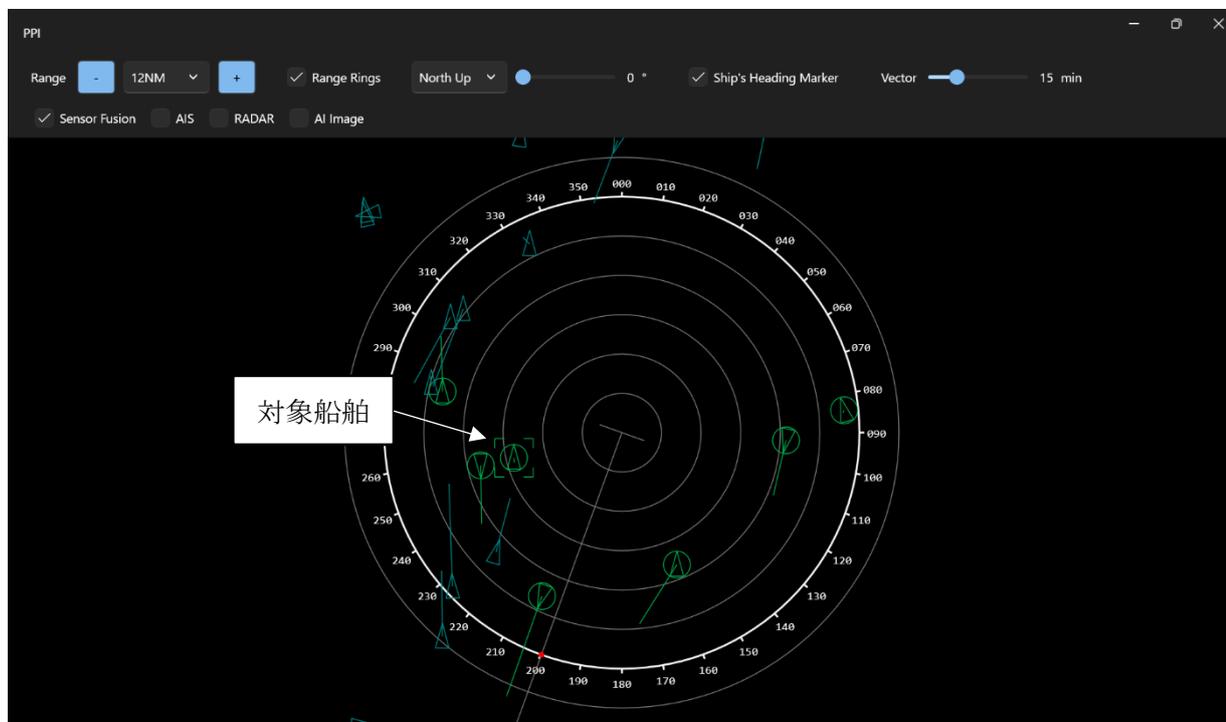


図 58 対象船舶の位置と運動の概略（第二ほくれん丸）

対象船をレーダーで捕捉し、物標同定機能により同一のターゲットとして追尾を続けたという条件を満たすデータを取得した。以下に取得した全データの概要を示す。

#### 全データ概要

取得時刻：UTC 10/3 0:44:50 ～ 1:02:49

データ个数：801 点 1～2 秒ごとの非等間隔データ

取得データ：方位・距離・COG・SOG

上記データから COG、SOG の値が安定している一分間のデータをサンプルデータとして抜き出す。抜き出した区間のサンプルデータの概要を示す。

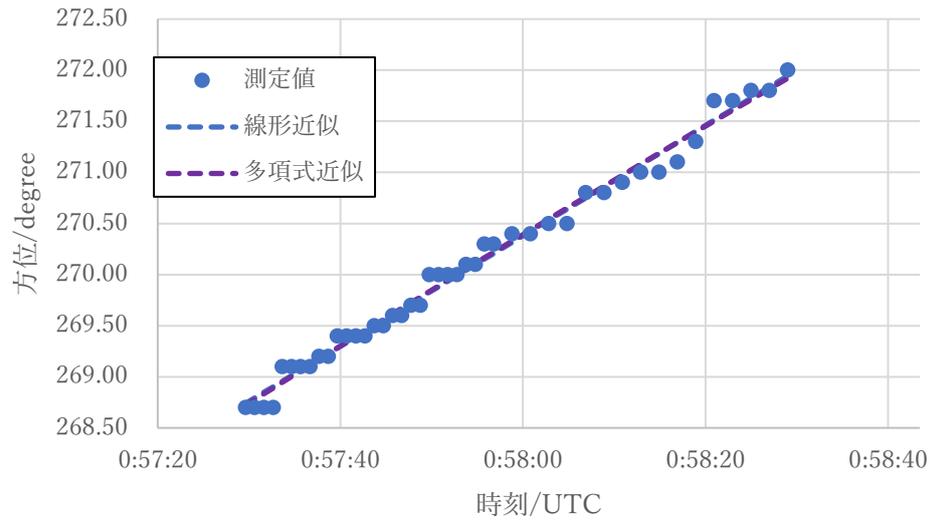
#### サンプルデータ概要

取得時刻：UTC 10/3 0:57:30 ～ 0:58:30

データ个数：44 点 1～2 秒ごとの非等間隔データ

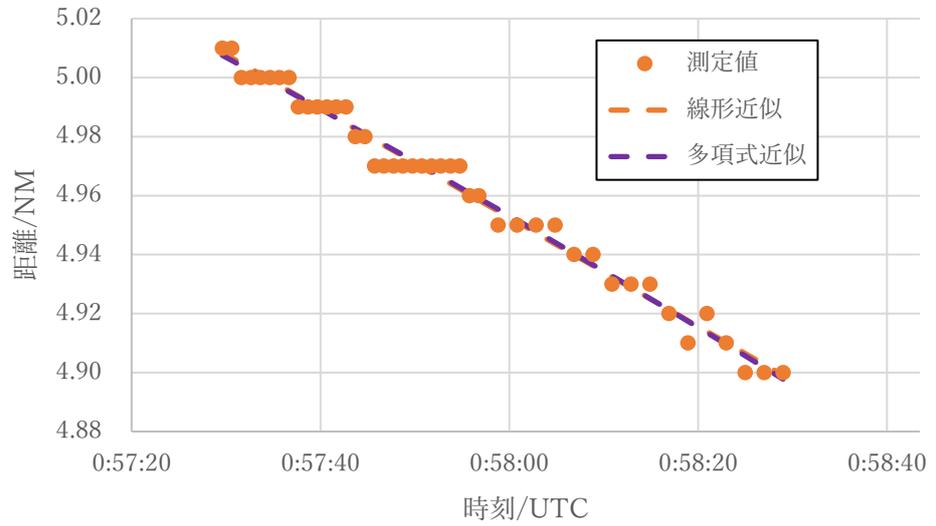
その他は全データの概要と同一

このサンプルデータに対して単回帰分析と多項式回帰分析を実行した。



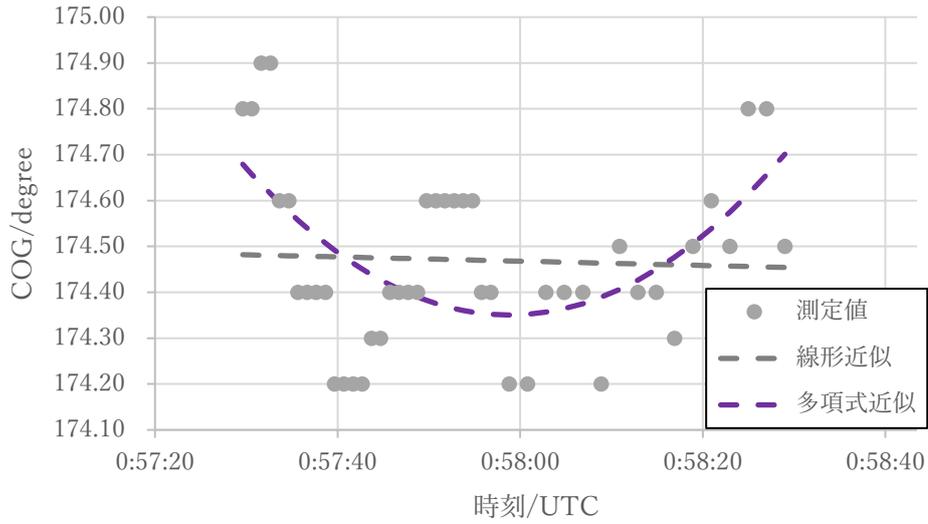
☒

59



☒

60



図

61

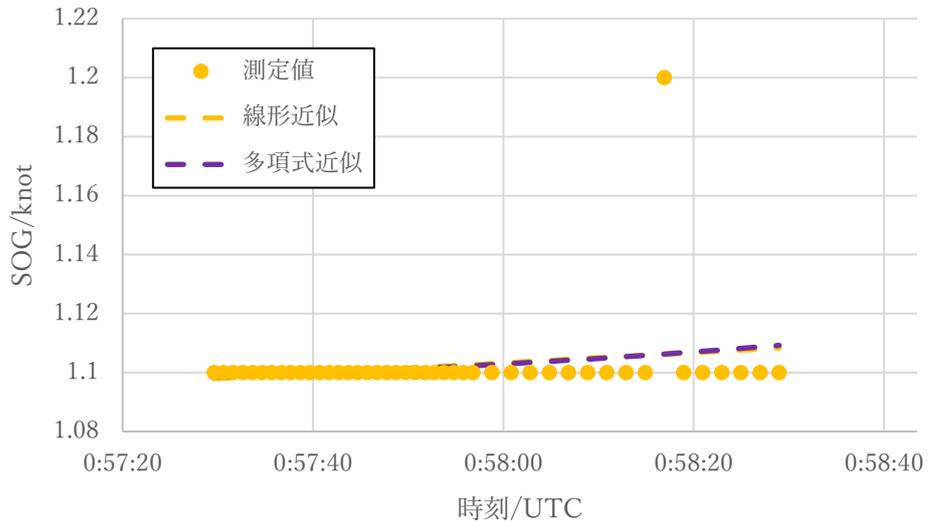


図 62 はそれぞれ対象船舶における方位・距離・COG・SOG の測定値と回帰分析による近似曲線を示す。COG のサンプルは  $174^{\circ}$  ～ $175^{\circ}$ 、SOG のサンプルは 1.1knot ～1.2knot の範囲に収まっており、一定の進路・速度を保った船舶であることが分かる。

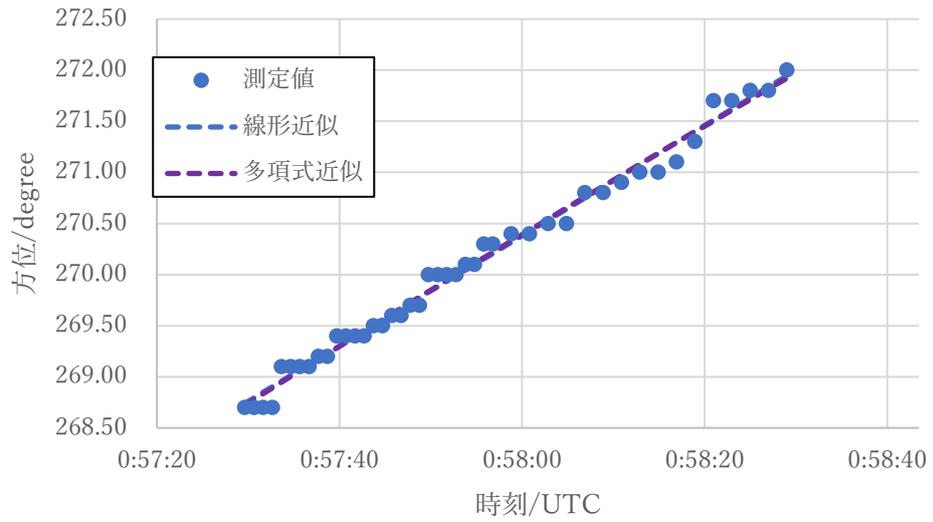


図 59 海上評価（第二ほくれん丸）における対象船舶の方位

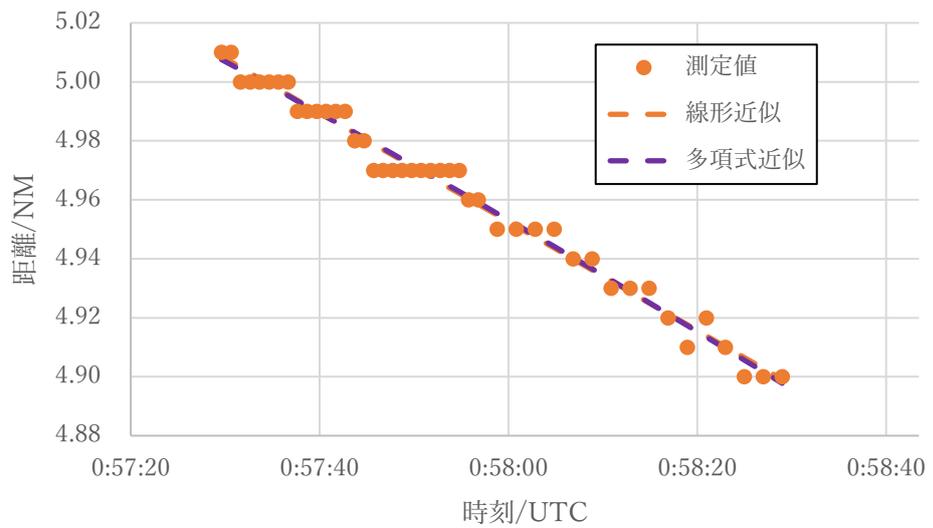


図 60 海上評価（第二ほくれん丸）における対象船舶の距離

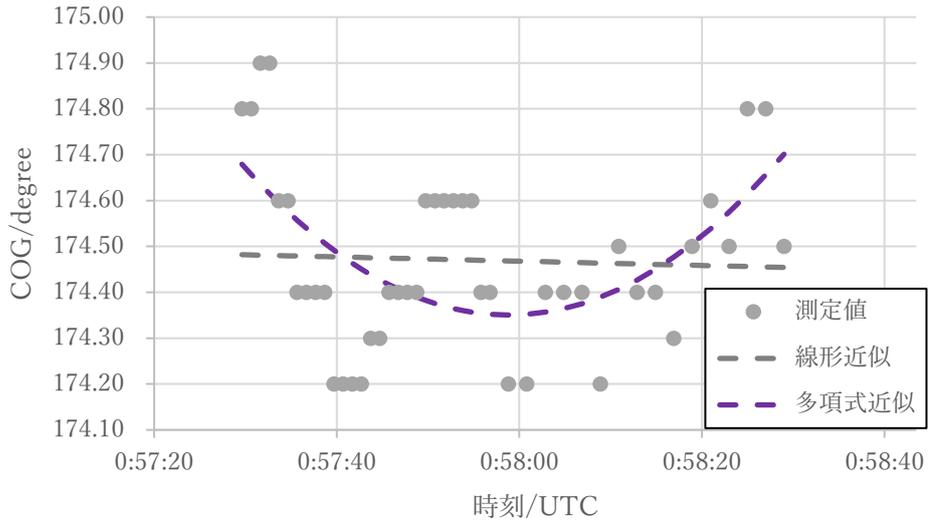


図 61 海上評価（第二ほくれん丸）における対象船舶の COG

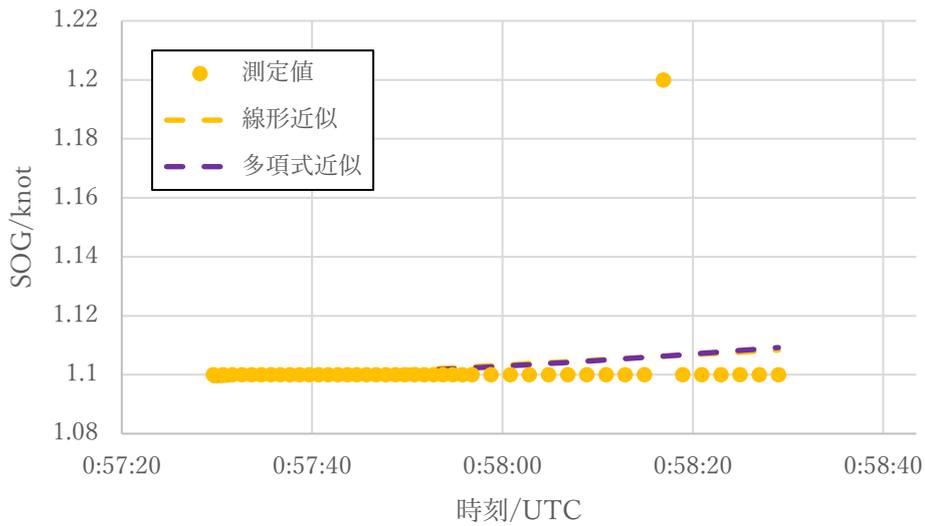


図 62 海上評価（第二ほくれん丸）における対象船舶の SOG

表 25 に回帰分析により算出された方位・距離・COG・SOG の誤差の標準偏差を示す。対象船舶までの距離は約 4.9NM(9,074m)であり、最終目標 2) の距離誤差 1%は約 91m となるため、事業目標は 91m 以内となる。SOG に関しては速力誤差 1%が 0.01knot と 0.5knot より小さいため、0.5knot 以内が事業目標となる。この結果から単回帰分析、多項式回帰分析の両方法において事業目標を満たしていることが確認できた。

表 25 海上評価（第二ほくれん丸）における誤差の標準偏差 $2\sigma_e$

	方位	距離	COG	SOG
事業目標	1 度以内	1 %以内 (91 m 以内)	1 度以内	0.5 knot 以内
単回帰	0.19 度	0.17 % (15.14 m)	0.39 度	0.03 knot
多項式回帰	0.19 度	0.17 % (14.99 m)	0.33 度	0.03 knot

なお、本海上評価試験において評価対象に該当する小舟は上記以外に 1 隻観測できており、その小舟に対しても同様の解析を行い事業目標を満たす結果が得られている。

### 8.2.1.3 システム精度試験の考察

システム精度試験では単回帰分析と多項式回帰分析の 2 つの回帰分析を用いた。今後の評価での一貫性の確保や簡略化のため、どちらの解析方法が適切に偶発誤差を評価できているか考察する。

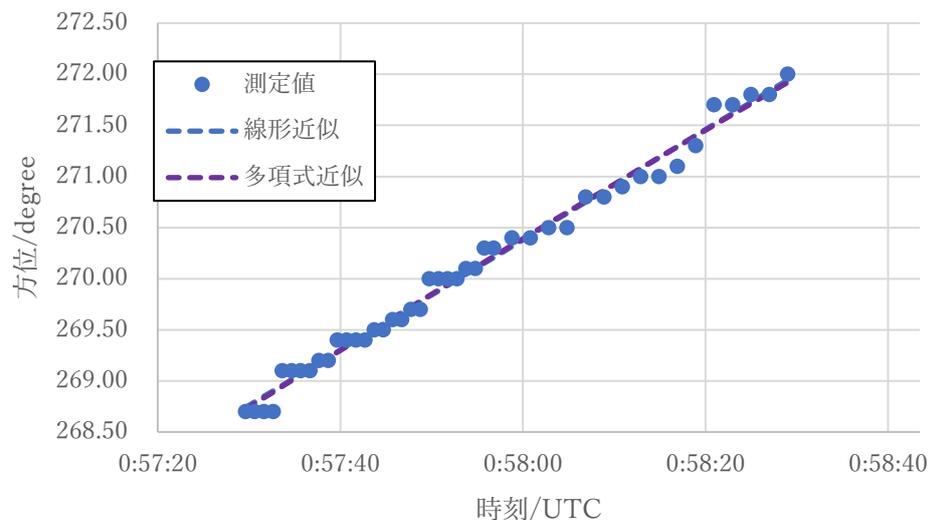


図 59、

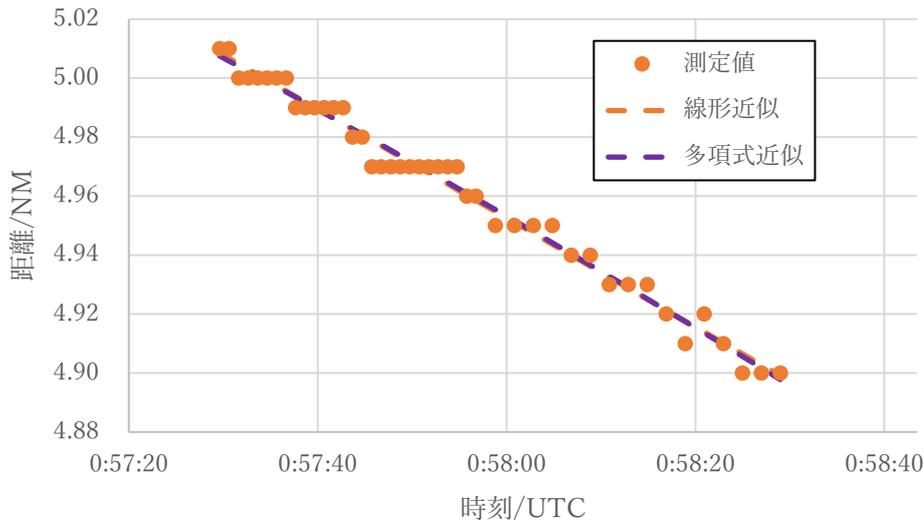


図 60 より、方位・距離の測定値は偶発誤差のばらつきを持った線形な変化とみなせることが予測できる。これを確認するため、システムで用いているセンサ情報の表示単位と単・多項式回帰分析間の標準偏差の差を表 26 に示す。この表から単・多項式間の標準偏差の差がシステムの表示桁以下であり、方位・距離のデータは線形な変化とみなせることが確認できる。そのため、方位・距離の精度評価に用いる回帰分析は、線形変化を前提とする単回帰分析が適切だと結論づけた。この場合の近似曲線は偶発誤差をフィルタによって取り除いた値とみなしてよく、系統誤差がない場合は真値に近い推定値となる。この推定値からのばらつき程度を表す標準偏差は表 25 に示した通りであり、単回帰分析の標準偏差 $2\sigma_e$ は方位 0.19 度・距離 15.14m と良い精度となっている。

前段では方位・距離のデータが線形な変化とみなせることを示し、単回帰分析を用いることが適切だと結論付けた。一方で COG や SOG においては、別途どちらの回帰分析を用いるべきかの検討を必要とする。これは、相対方位・距離が一定であっても進路や速度が一定であることは意味しないためである。実際に、

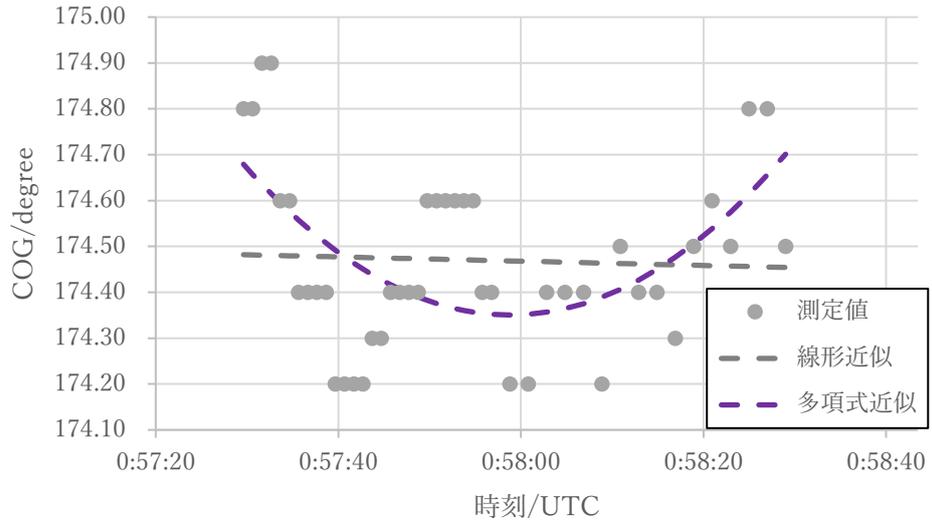


図 61 および表 26 より、COG においては単回帰分析と多項式回帰分析に差異が生じていることが確認できる。線形近似ではなく多項式近似を用いるのが 1 分間の測定データにはよくフィッティングしているように見える。差異を生み出した要因は、サンプル区間の端の測定値が増加しているためである。この増加が偶発的に出ている測定値であるならば線形近似を適用するべきである。しかし、何らかの系統誤差によって出た測定値であるならば、多項式回帰分析を適用して標準偏差の算出から除かなければならない。これは、評価指標は偶発誤差によるばらつきを評価することを目的としており、系統誤差の影響を含めてしまうことは不適当となるためである。

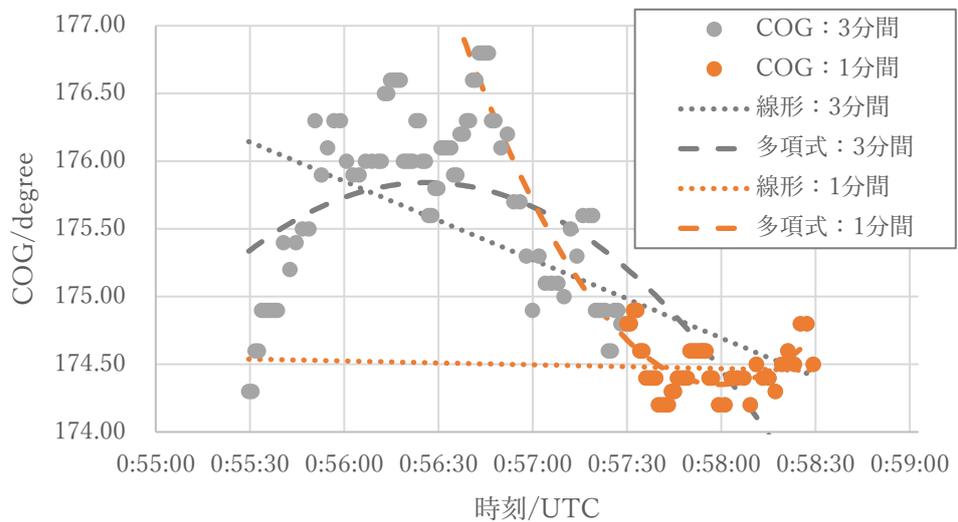


図 63 は COG の 1 分間と 3 分間のデータの比較である。グラフからは正弦波のような変動が確認できる。このため、1 分間のデータのサンプル区間の端で出た値の増加は偶発誤差の影響ではなく、回帰分析は多項式回帰分析を用いるのが適切だと判断した。一方で実際に COG が変動している、電波伝搬やレーダーの信

号処理の影響などが考えられるため、変動の原因を確定することはできなかった。なお単回帰分析と多項式回帰分析の両方とも目標値は達成しているため、事業目標達成の妥当性は問題ないと判断した。

表 26 センサの表示単位と回帰分析間の差 (標準偏差 $2\sigma_e$ )

	方位	距離	COG	SOG
測定値の表示単位	0.1 度	0.01 NM	0.1 度	0.1 knot
単・多項式間の標準偏差の差	0.0 度	0.00 NM	0.06 度	0.0 knot

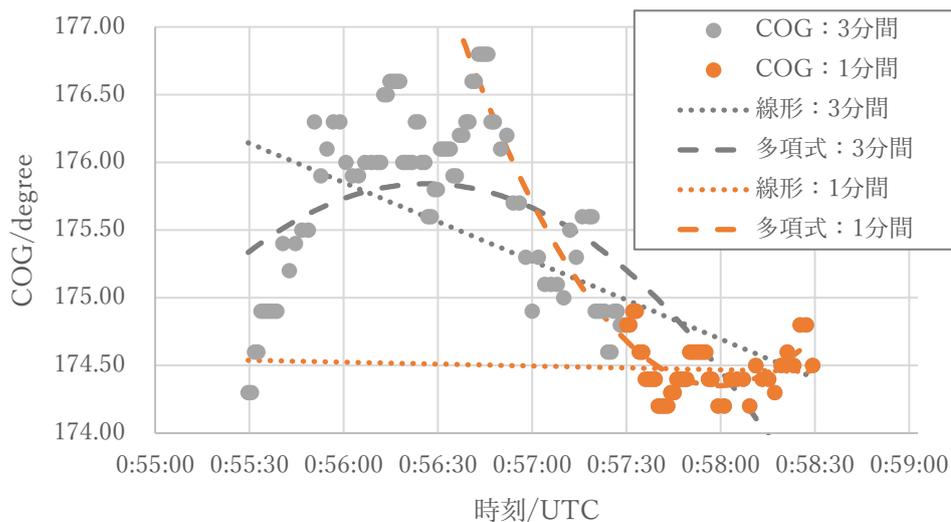


図 63 COG : 1 分間と COG : 3 分間の回帰分析比較

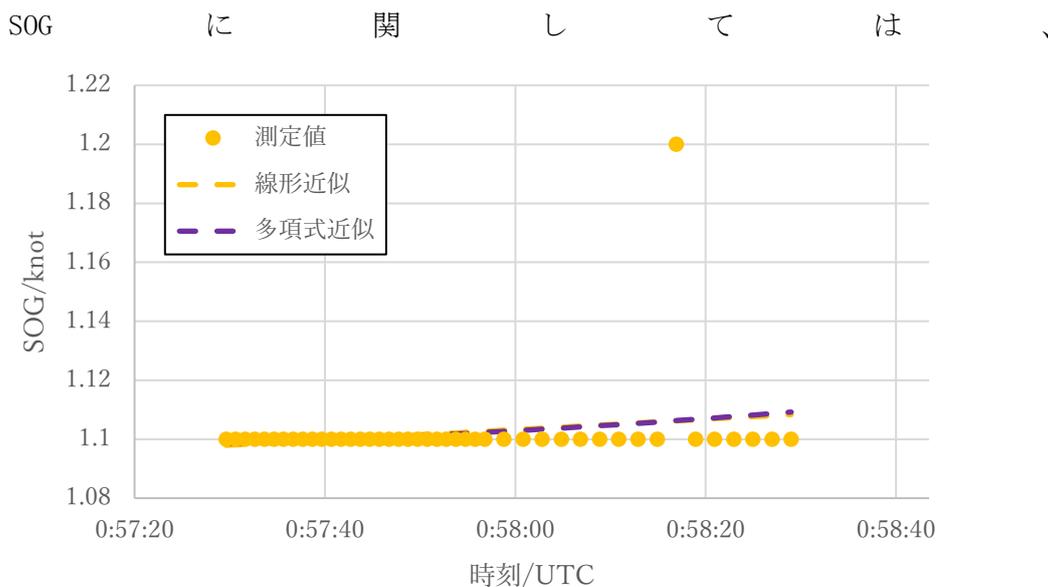


図 62 から分かるように 1.1 knot と 1.2 knot の 2 値のみが記録された。単回帰

分析と多項式回帰分析の両方とも標準偏差の値が同じであり、事業目標達成を判断に用いる回帰分析は単回帰分析が適切である。

ところで SOG のデータにおいて顕著に見られるが、前述の通り 1.1 knot と 1.2 knot の 2 値のみと偏ったデータとなっている。これは表 26 に示した通り、システムで用いている SOG のセンサ表示値が 0.1 knot 単位であることに起因している。もし SOG の表示単位が 0.2 knot 単位であった場合、標準偏差が 0 と過剰に良い値を算出する問題が生じる。表示単位が 0.1knot の場合、SOG の精度は表示単位の半分の 0.05 knot ごとでしか担保されない。精度の下限を設定し、0.05 knot で割り切れなかった余り、例えば 1.13 knot は 0.03 knot を 0.05 knot に繰り上げて 1.10 + 0.05 knot = 1.15 knot として評価することが適切だと考えられる。同様の検討を他のセンサ測定値にも適用し、システム上のセンサ測定値の表示単位を考慮して補正した方位・距離・COG・SOG の精度（標準偏差）を表 27 に示す。

表 27 補正した方位・距離・COG・SOG の標準偏差 $2\sigma_e$ （第二ほくれん丸）

	方位	距離	COG	SOG
事業目標	1 度以内	1%以内 (90 m 以内)	1 度以内	0.5 knot 以内
測定値の表示単位	0.1 度	0.01 NM (18.52m)	0.1 度	0.1 knot
単回帰	0.19 度	0.17% (15.14 m)	0.39 度	0.03 knot
多項式回帰	0.19 度	0.17% (14.99 m)	0.33 度	0.03 knot
単・補正後	0.20 度	0.21% (18.52 m)	0.40 度	0.05 knot
多項式・補正後	0.20 度	0.21% (18.52 m)	0.35 度	0.05 knot

システム評価結果の考察は以上となるが、今回の単回帰分析および多項式回帰分析で用いた回帰係数を表 28、表 29 に示す。本試験における回帰分析算出式の変数  $x_t$  は時刻に対応している。Excel の計算上、時刻は 1 日の時刻を 0~1 の小さな値で表現しているため回帰係数が大きな値となっている。システム精度評価で回帰分析を用いた理由は偶発誤差のばらつきを算出する基準を定めるためである。そのため、特別な処理を行っていない今回の回帰係数の値自体は物理的な意味を読み取ることが難しいものとなっていることに注意が必要である。一般には係数の絶対値が大きいほど相関が強く、時刻に対する値の変化が大きいことを意味するが、方位・距離・COG・SOG のスケールが違う為、このままの状態では単純比較を行うことはで

きない。また、回帰分析によって出された近似曲線は将来や過去の COG や SOG を正確に予測するものではない。

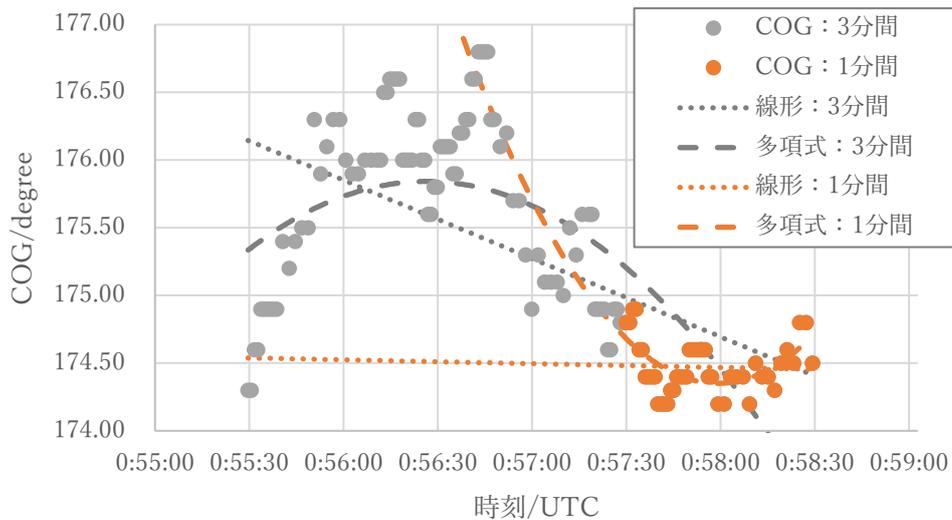


図 63 においても 1 分間の近似曲線は 3 分間のデータとフィッティングしていない。レーダーで位置と速度の推定に用いるトラッキングフィルタはレーダーの精度を事前情報として経験的な影響を加味した係数を持ち、つど測定値と予測値を比較して推定値を算出するものである。回帰分析による最小二乗フィルタとは違い、逐次に推定が行いやすいという点で違いがある。

表 28 海上評価（第二ほくれん丸）における単回帰係数の一覧

	回帰係数 $\hat{\alpha}$	回帰係数 $\hat{\beta}$
方位	81.3536471736	4,692.7898307492
距離	11.4124510394	-160.3747064496
COG	176.0986426802	-40.4869115637
SOG	0.4871794320	15.2950554766

表 29 海上評価（第二ほくれん丸）における多項式回帰係数の一覧

	回帰係数 $\hat{\alpha}$	回帰係数 $\hat{\beta}$	回帰係数 $\hat{\gamma}$
方位	-375.2462279839	27,376.1379006135	-281,713.5125389100
距離	-13.7864818856	1,091.4788257778	-15,547.2664204835
COG	4,898.8407262481	-234,660.7931246770	2,913,842.8054370900
SOG	16.7834338382	-794.2838144397	10,054.4816585481

## 8.2.2 One Machinac を使用した評価試験

外航コンテナ船である One Machinac で実施した評価試験について以下に記載する。なお本試験を実施した船舶は外航船であり、航海が非常に長期に及ぶため、常時乗船しての評価は困難であることから、AI 画像認識機能と物標同定機能の処理データを PC に保存しておき、そのデータを後日回収し解析する形で実施した。

### 8.2.2.1 試験概要

日程：

2023 年 9 月 23 日～2023 年 12 月 2 日 (データ取得期間)

場所：

以下の航路を航海中にデータを収集した。

Singapore - Colombo - SUEZ CANAL, Egypt - Rotterdam - Hamburg - Antwerp - London - SUEZ CANAL, Egypt - Jeddah - Singapore



図 64 One Machinac 概略航路図

機器構成：

- AI 画像認識機能
- 物標同定機能
- JRC 製 ECDIS (JAN-9201) ×2
- JRC 製レーダー (JMR-9230-S)
- JRC 製レーダー (JMR-9225-6XC)
- JRC 製センサ LAN スイッチ (NQA-2443)
- Cisco 製 L2 スイッチ (2960-CX)

本評価試験でのシステム構成を図 65 に示す。

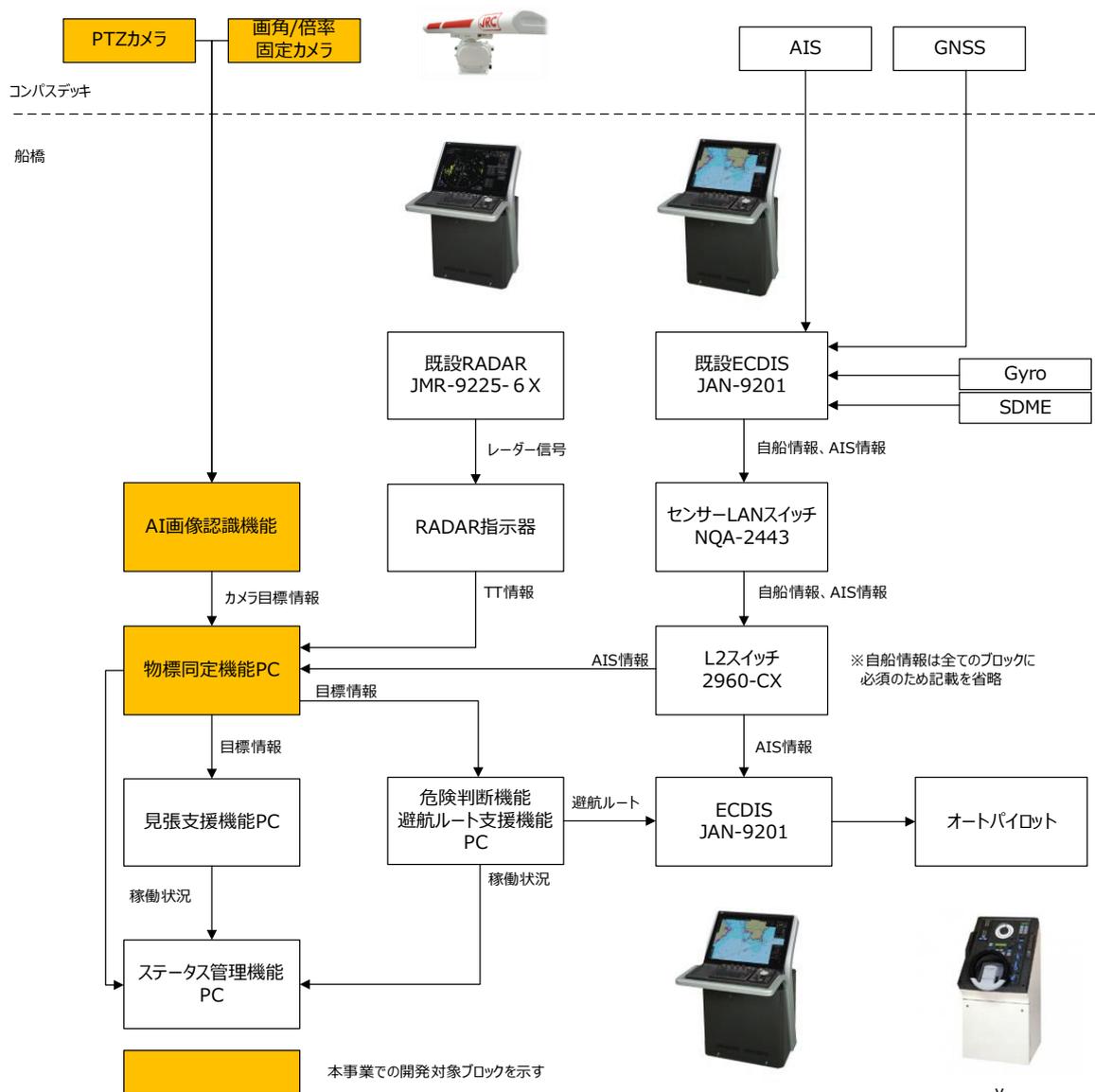


図 65 海上評価試験におけるシステム構成 (One Machinac)

One Machinac の主要諸元を表 19、外観を図 66、各機器の装備状況を図 67～図 69 にそれぞれ示す。

表 30 One Machinac 主要諸元

項目	内容
船種	コンテナ貨物船
コンテナ積載量	13,900TEU
全長	365.94m
全幅	51.2m
総トン数	153,453 トン



図 66 One Machinac 外観



図 67 カメラシステム装備状況（左側から撮影／後方から撮影）



図 68 カメラシステム制御ユニット及び物標同定機能 PC 装備状況

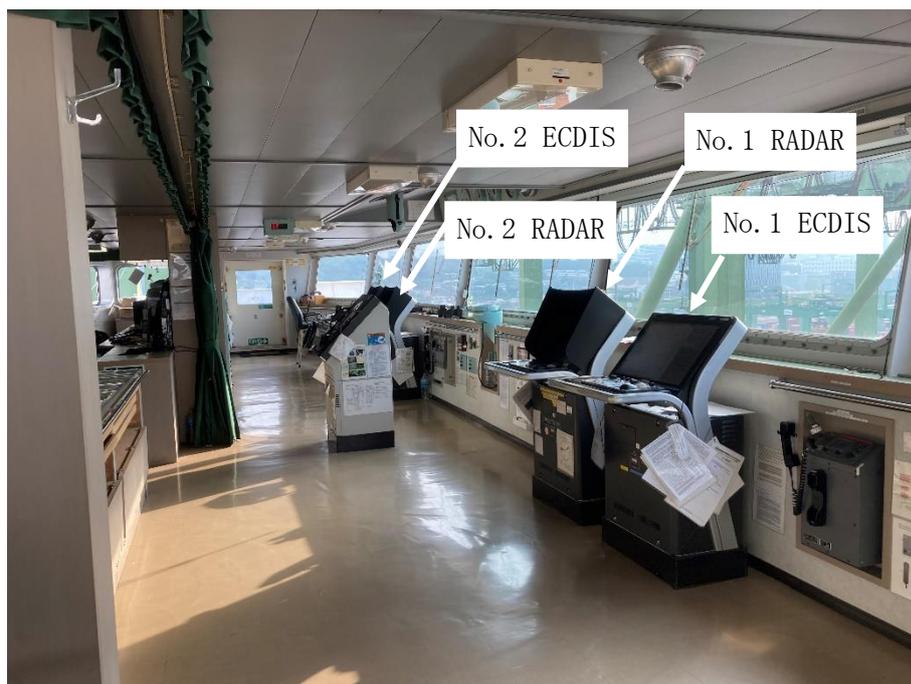


図 69 ブリッジ内既設機器装備状況

## 8.2.2.2 システム評価結果

### 8.2.2.2.1 システム精度試験

次に最終目標(2)と(3)に対する評価に関して記載する。評価方法については8.2.1.2.3に記載した第二ほくれん丸での評価方法と同一の方法で実施した。評価対象に該当する船舶は、AISの静的情報により船舶のサイズを確認し抽出している。

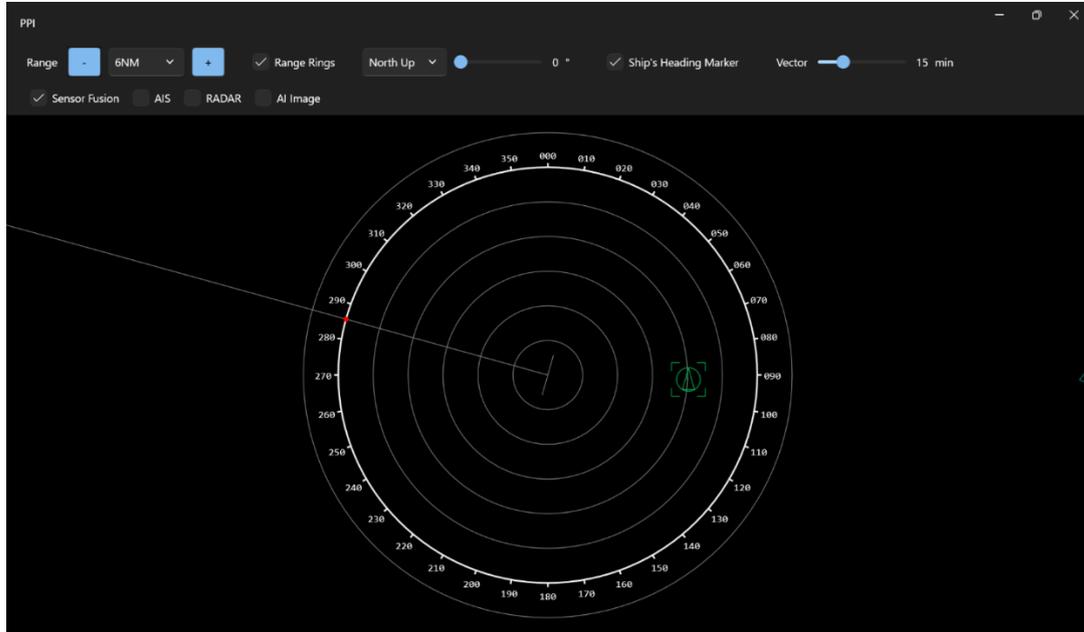


図 70 にセンサフュージョンソフトウェア GUI 画面を用いた対象船舶の位置と運動の概略を示す。図の通り自船は北西に航行しており、目標船は北に航行（ただし0.3knot とほぼ停船に近い状態）している。



図 70 対象船舶の位置と運動の概略

対象船を TT で捕捉し、物標同定機能により同一のターゲットとして追尾し続けたという条件を満たすデータを取得した。以下に取得した全データの概要を示す。

#### 全データ概要

取得時刻：UTC 9/29 15:39:17 ~ 16:09:18

データ個数：1335 点 1~2 秒ごとの非等間隔データ

取得データ：方位・距離・COG・SOG

上記データから COG、SOG の値が安定している一分間のデータをサンプルデータとして抜き出す。抜き出した区間のサンプルデータの概要を示す。

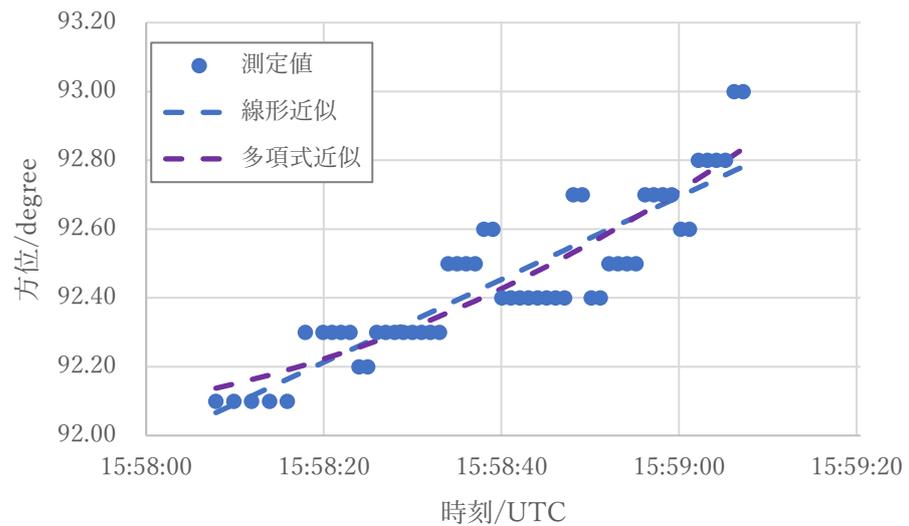
#### サンプルデータ概要

取得時刻：UTC 10/3 15:58:08 ~ 15:59:07

データ個数：55 点 1~2 秒ごとの非等間隔データ

その他は全データの概要と同一

このサンプルデータに対して単回帰分析と多項式回帰分析を実行した。



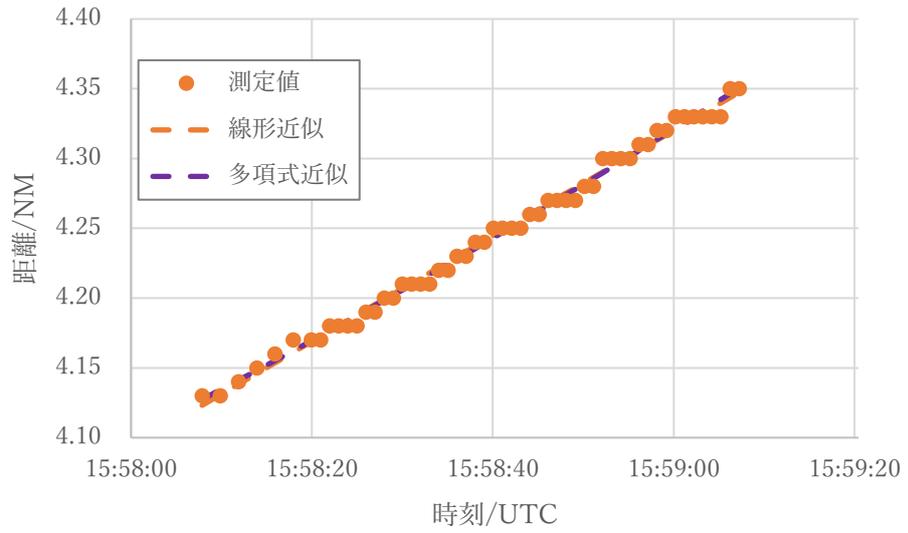


図 71、

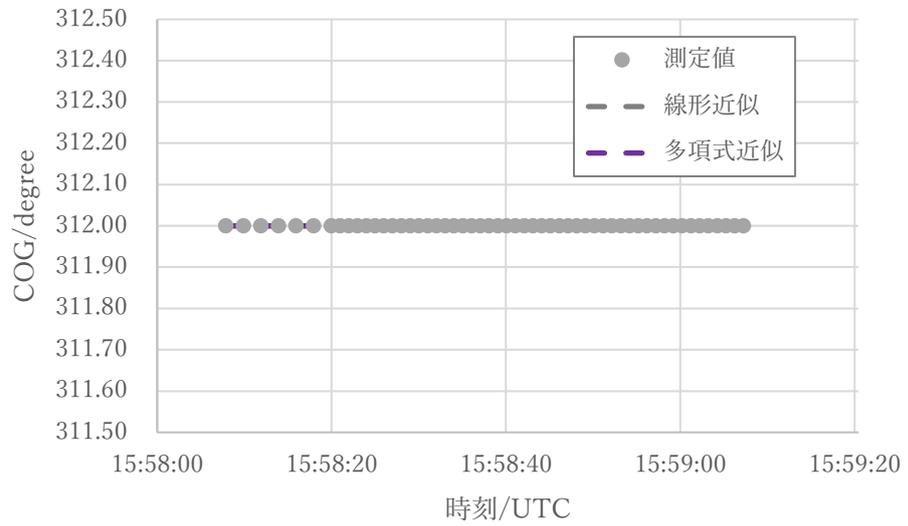


図 72、

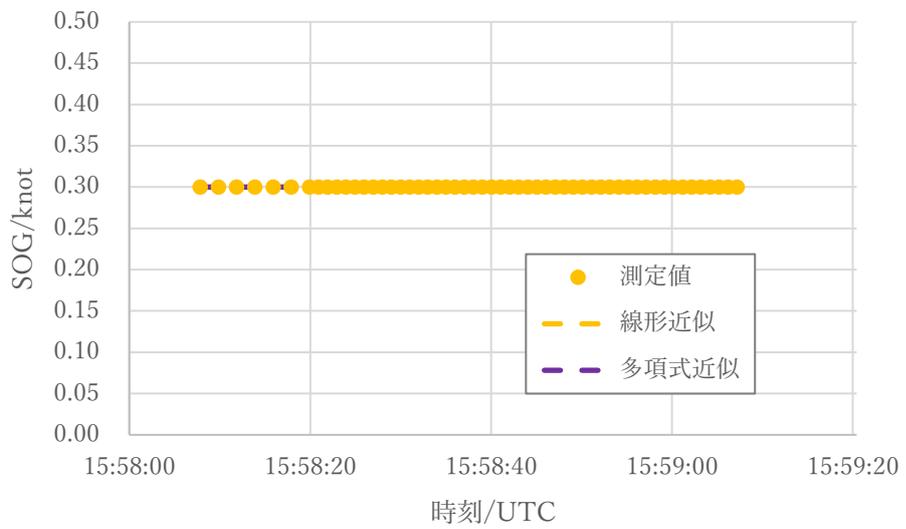


図 73

図 74 はそれぞれ対象船舶における方位・距離・COG・SOG のデータ点と回帰分析による近似曲線を示す。COG のサンプルは  $312^\circ$ 、SOG のサンプルは 0.3 knot であり、一定の進路・速度を保った船舶であることが分かる。

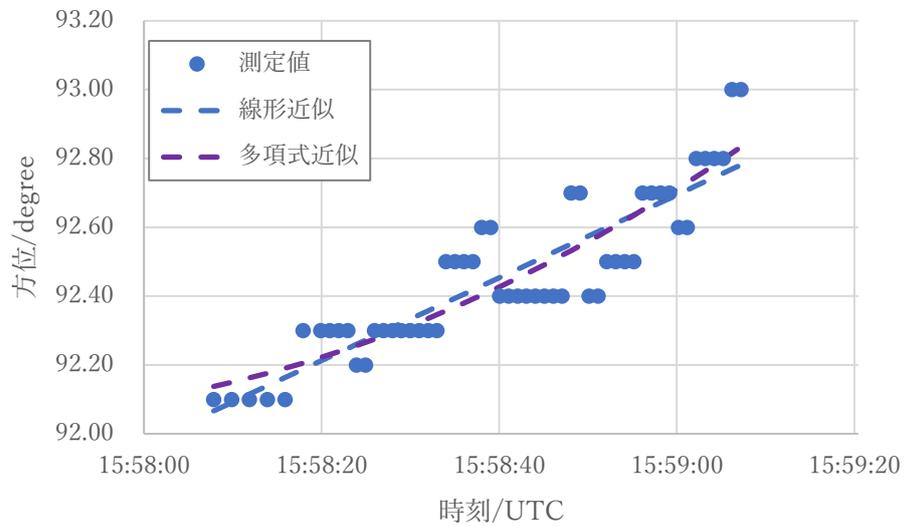


図 71 海上評価 (One Machinac) における対象船舶の方位

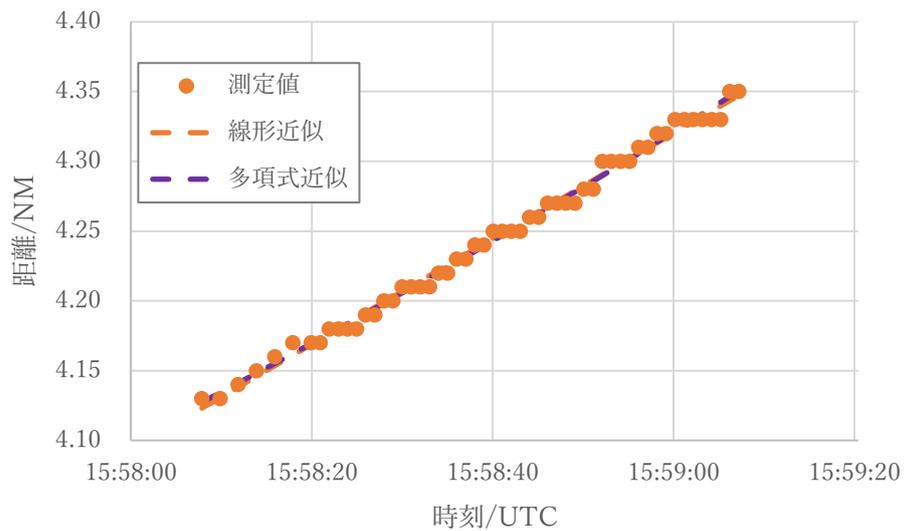


図 72 海上評価 (One Machinac) における対象船舶の距離

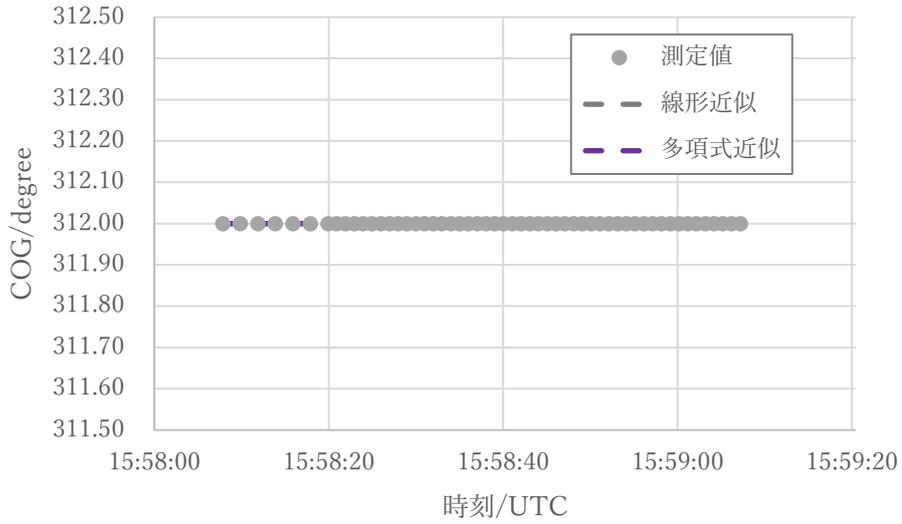


図 73 海上評価 (One Machinac) における対象船舶の COG

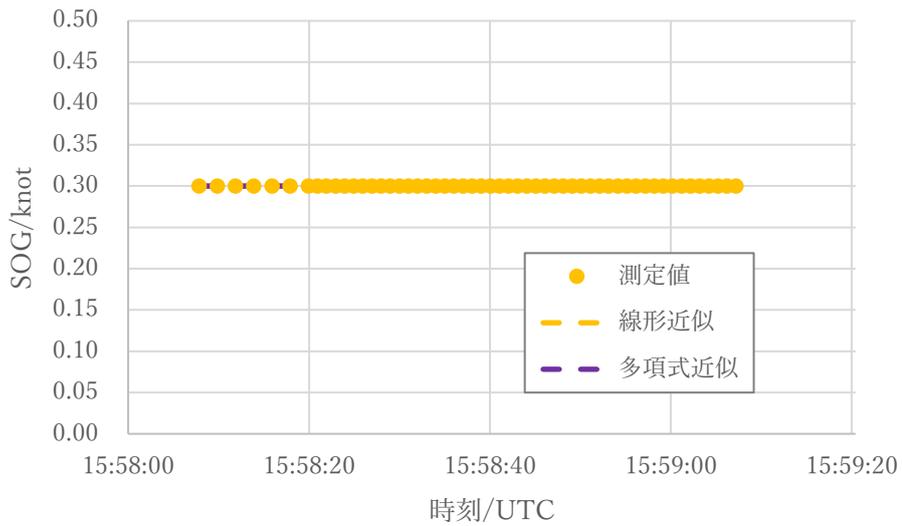


図 74 海上評価 (One Machinac) における対象船舶の SOG

表 31 に回帰分析により算出された方位・距離・COG・SOG の誤差の標準偏差を示す。対象船舶までの距離は約 4.1NM(7,593m)であり、最終目標 2) の距離誤差 1%は 76m となるため、事業目標は 76m 以内となる。SOG に関しては速力誤差 1%が 0.003knot と 0.5knot より小さいため、0.5knot 以内が事業目標となる。この結果から単回帰分析、多項式回帰分析の両方法において事業目標を満たしていることが確認できた。

表 31 海上評価 (One Machinac) における誤差の標準偏差 $2\sigma_e$ の一覧

	方位	距離	COG	SOG
事業目標	1 度以内	1 %以内 (76 m 以内)	1 度以内	0.5 knot 以内
単回帰	0.20 度	0.24 % (18.10 m)	0.00 度	0.00 knot
多項式回帰	0.20 度	0.23 % (17.31 m)	0.00 度	0.00 knot

なお、本海上評価試験において評価対象に該当する小舟は上記以外に 1 隻観測できており、その小舟に対しても同様の解析を行い事業目標を満たす結果が得られている。

#### 8.2.2.3 システム精度試験の考察

まず、第二ほくれん丸の考察と同様に、システム精度試験結果について適切な回

帰分析はどちらかという確認を行う。

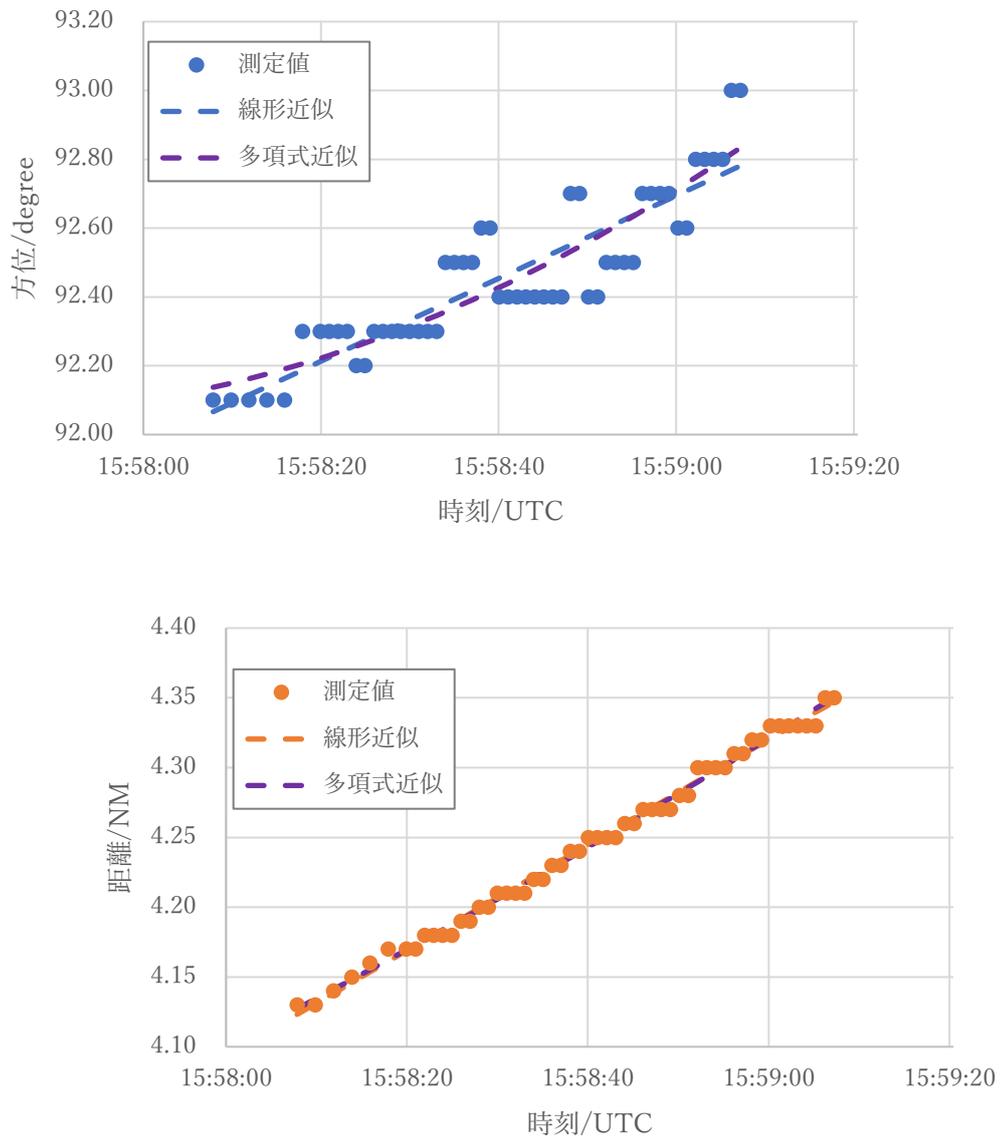


図 71、

図 72 より方位・距離の測定値は偶発誤差のばらつきを持った線形な変化とみなせることが予想できる。確認のため単・多項式間の標準偏差の差を計算したところ、システムの表示桁以下であったことから、方位・距離のデータはサンプル時間内で線形な変化とみなすことができる。そのため、第二ほくれん丸での評価と同様に方位・距離の精度評価に用いる回帰分析は、線形近似を用いる単回帰分析が適している。この推定値からのばらつき程度を表す標準偏差は表 31 に示された通りであり、単回帰分析の標準偏差 $2\sigma_e$ は方位 0.20 度・距離 18.10m と良い精度となっている。

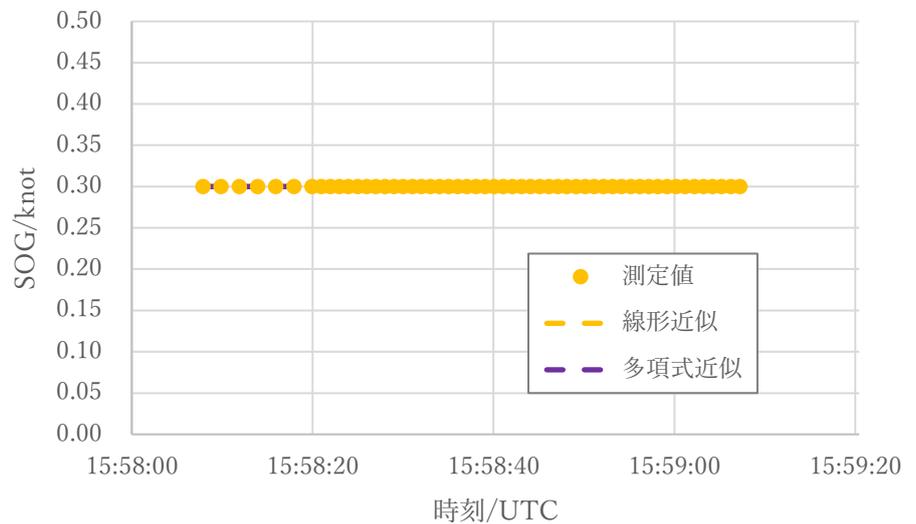
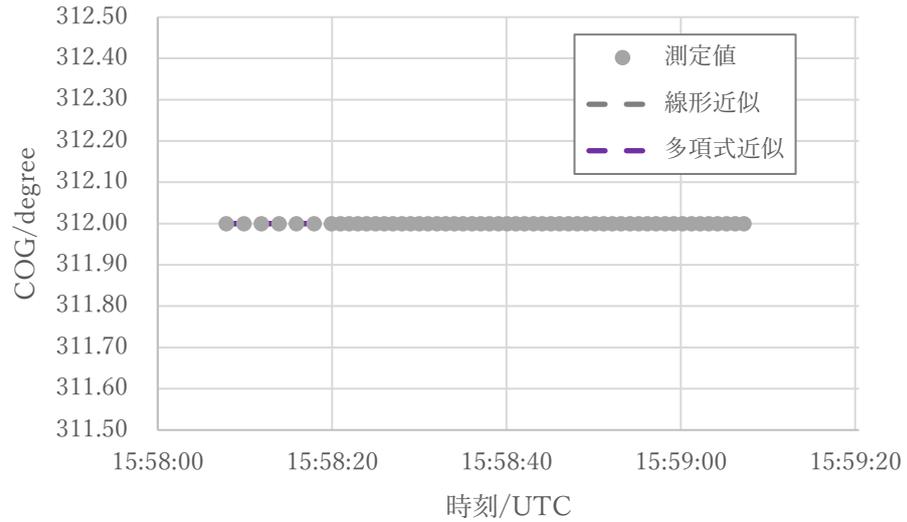


図 73、

図 74 より COG・SOG に関してはそれぞれ 312 度と 0.3 knot の値のみが記録されているため、線形近似を用いる単回帰分析が適しているといえる。

精度の算出に関しては、第二ほくれん丸と同様に、システムで用いている COG・SOG のセンサ表示値が 0.1 度と 0.1 knot 単位であることに起因した補正を行う必要がある。これは第二ほくれん丸の考察でも述べた通り、表示単位の半分以下の変動があった場合に標準偏差を過剰に良い値に算出してしまうためである。システム上のセンサ測定値の表示単位を考慮して補正した方位・距離・COG・SOG の精度（標準偏差）を表 32 に示す。

表 32 補正した方位・距離・COG・SOG の標準偏差 $2\sigma_e$  (One Machinac)

	方位	距離	COG	SOG
事業目標	1 度以内	1%以内 (76 m 以内)	1 度以内	0.5 knot 以内
測定値の表示単位	0.1 度	0.01 NM (18.52m)	0.1 度	0.1 knot
単回帰	0.204 度	0.24 % (18.10 m)	0.00 度	0.00 knot
多項式回帰	0.199 度	0.23 % (17.31 m)	0.00 度	0.00 knot
単・補正後	0.25 度	0.24 % (18.52 m)	0.05 度	0.05 knot
多項式・補正後	0.20 度	0.24 % (18.52 m)	0.05 度	0.05 knot

### 8.2.3 海上評価試験で明らかになった課題

海上評価試験では 8.2.1.2.3 と 8.2.2.2.1 で述べた通り、システムの精度評価を行った。現状のシステムは TT 目標の情報を優先しているため、これらのシステムの精度評価では TT 目標の情報を主に評価することとなる。システムでは AIS 目標の情報も利用しており、主に TT 目標で取得できない情報の補完やレーダー精度が低下する状況で AIS 目標の情報を利用している。このような形式のセンサフュージョンにおいては、本質的に個々のセンサ性能以上の精度は期待できないといった課題が生じてしまう。たとえレーダーの精度が低下する状況で、AIS など他のセンサ測定値を用いたとしても、切り替えたセンサ以上の性能を発揮することはできない。さらなる精度向上については、複数のセンサ測定値からターゲットの推定位置を算出するアルゴリズムが必要だと考えられる。そこで、将来的なセンサフュージョンによる精度向上手法の一例について以下に記載する。

真値 $X$ に対して、2つの独立したセンサ A と B から $x_A$ と $x_B$ とする測定値が得られたときに、各センサ測定誤差の標準偏差 $\sigma_A$ と $\sigma_B$ を元にした加重平均値をより真値に近いと見なす考え方が最も単純なアルゴリズムである。 $\sigma_A = \sigma_B$ の場合、この推定値は単純な平均値 $\frac{x_A+x_B}{2}$ となる。 $\sigma_A \neq \sigma_B$ の場合は、測定値が真値 $X$ の周りに標準偏差 $\sigma_A$ と $\sigma_B$ で分布することから、 $x_A$ と $x_B$ という測定値を得る確率 $P_A$ と $P_B$ を算出する。算出式は割愛するが、正規分布における確率としてよく知られており、これらが同時に起こりうる確率 $P_X$ は両者の積であることから、最終的に以下の確率 $P_X$ が導かれる。

$$P_X = \frac{1}{\sigma_A \sigma_B} \exp\left(-\frac{\chi^2}{2}\right)$$

ここで $\chi^2$ は以下の式で表される。

$$\chi^2 = \left(\frac{x_A - X}{\sigma_A}\right)^2 + \left(\frac{x_B - X}{\sigma_B}\right)^2 = \frac{(x_A - X)^2}{\sigma_A^2} + \frac{(x_B - X)^2}{\sigma_B^2}$$

尤もらしい $X$ の推定値は $P_X$ が最大になるときの値で、これは $\chi^2$ が最小となる場合であるから、推定値 $x_{best}$ は

$$\frac{d\chi^2}{dX} = 0 \text{ から、 } x_{best} = \frac{\left(\frac{x_A}{\sigma_A^2} + \frac{x_B}{\sigma_B^2}\right)}{\frac{1}{\sigma_A^2} + \frac{1}{\sigma_B^2}}$$

となる。 $w_A = \frac{1}{\sigma_A^2}$ 、 $w_B = \frac{1}{\sigma_B^2}$ となる重み $w_A$ と $w_B$ を導入すると、上式は

$$x_{best} = \frac{w_A x_A + w_B x_B}{w_A + w_B}$$

と表現できる。この時 $x_{best}$ の標準偏差 $\sigma'$ は

$$\sigma' = \sqrt{\frac{1}{w_A + w_B}}$$

となる。この加重平均による精度向上効果を

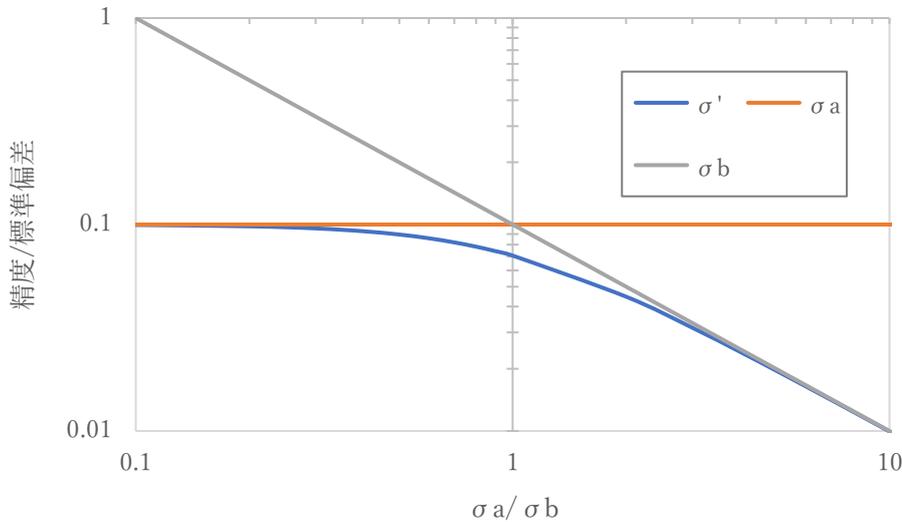


図 75 に図示する。縦軸に精度として標準偏差、横軸に $\sigma_A$ の $\sigma_B$ に対する比を示している。縦軸の精度は標準偏差で表しているため、値が小さいほうが精度が高いことを示している。 $\sigma_A$ を固定し、 $\sigma_B$ を変化させた場合の加重平均による精度向上の効果は $\sigma'$ に確認できる。グラフからは $\sigma_A$ と $\sigma_B$ の精度が同程度（概ね 3, 1/3 倍以内）の時に最も効果的だということが分かる。両者の値が同じ場合（ $\sigma_A/\sigma_B = 1$ ）に $\sigma'$ はセンサ単体の精度の $1/\sqrt{2}$ となっているが、値

が大きく離れすぎると単体の精度と変わりがなく、加重平均による精度の向上は望めない。

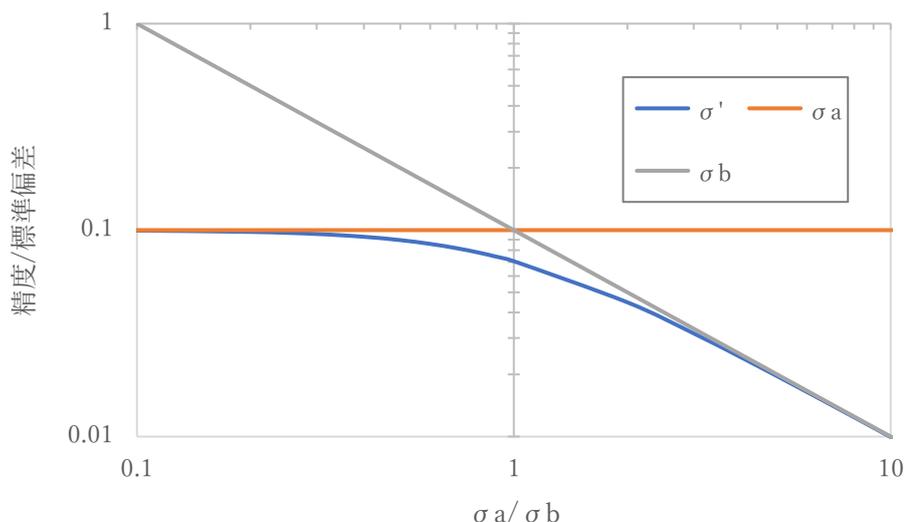


図 75 加重平均による精度向上

上記の精度向上手法の適用については一つ重要な前提がある。それは系統誤差の影響がないか、もしくは無視できる状況であるということである。既存のセンサフュージョンにおいても系統誤差が含まれている場合はシステムに悪影響を及ぼしてしまう。今回海上評価試験で見つかったもう1つの課題はこの点にある。図 76 は TT 目標と AIS 目標の相対位置の誤差を、東西と南北に分けて示したグラフである。なお、この時の TT 目標と AIS 目標の測定値は偶発誤差の影響を低減するために近似による平滑化をおこなっている。グラフからは TT 目標と AIS 目標による結果が異なっていることが分かる。AIS 目標は TT 目標に対して西に 30m~40m、南に 110m~130m 程度ずれた位置を示している。このずれは常に偏った方向に出しており、精度評価で算出されたレーダーの精度以上の誤差となっていることから、現状のセンサの切替・センサフュージョンによる精度向上のどちらにも悪影響を及ぼしてしまうと考えられる。

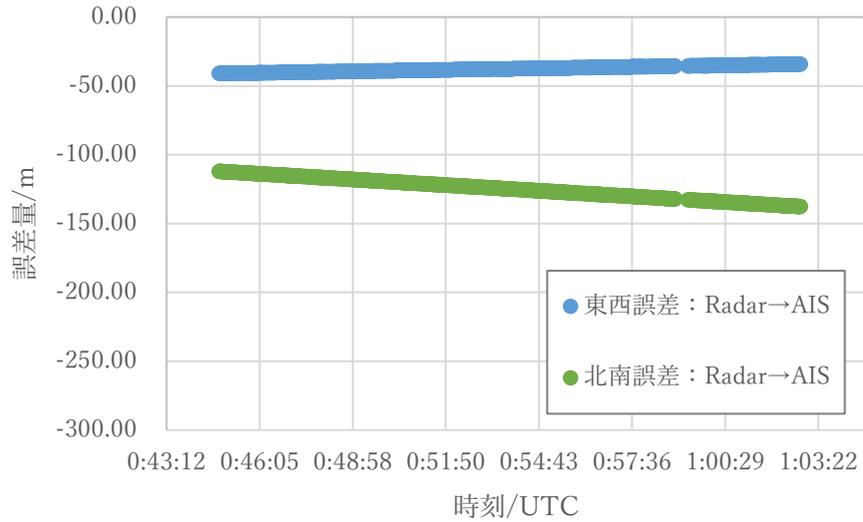


図 76 レーダー・AIS 間の誤差 (方位 240° )

次の検討はどこが原因でこのような誤差が発生しているかということになる。実際の真値が不明なため、この結果からは TT 目標と AIS 目標のどちらの系統誤差が原因かは確認できない。原因の推測のため、同時刻にいた他の船舶に対しての TT 目標と AIS 目標間の誤差を確認した結果を図 77、図 78、図 79 に示す。

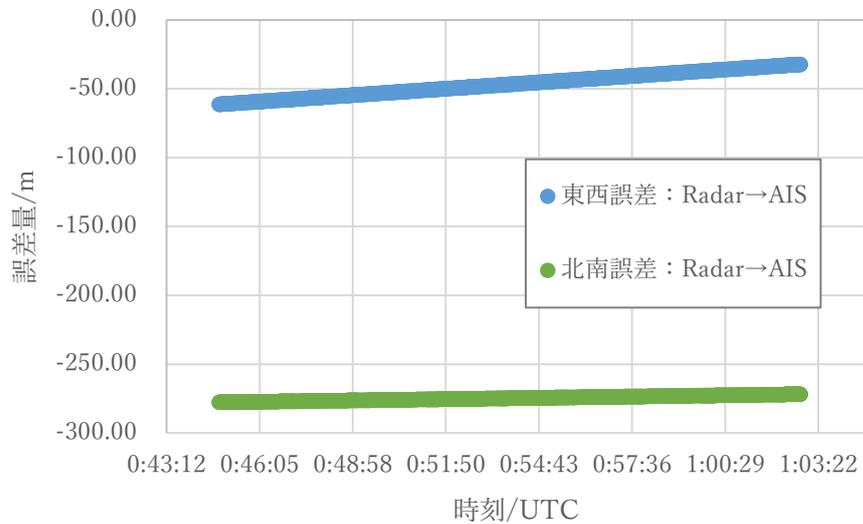


図 77 レーダー・AIS 間の誤差 (別船舶 1・方位 98° )

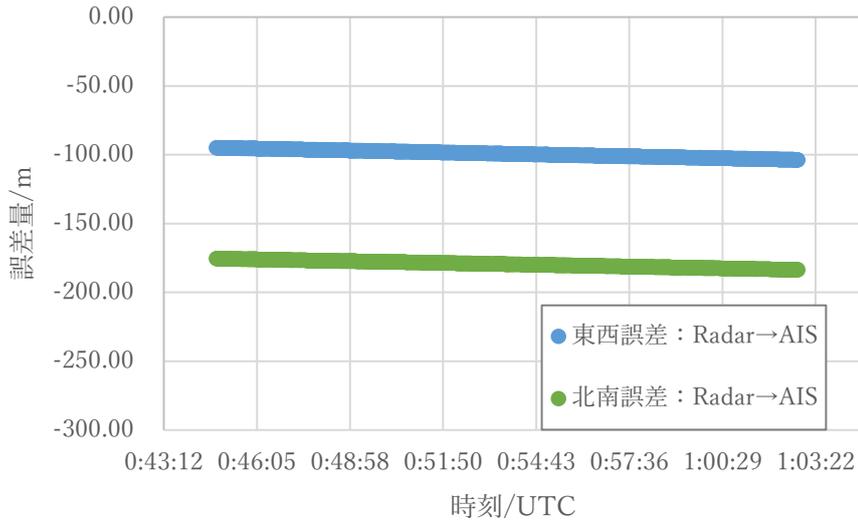


図 78 レーダー・AIS 間の誤差 (別船舶 2・方位 206°)

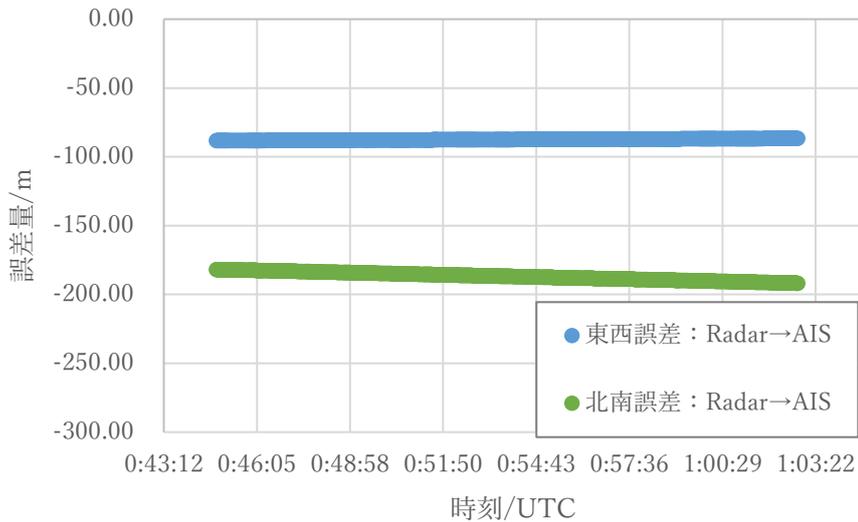


図 79 レーダー・AIS 間の誤差 (別船舶 3・方位 100°)

誤差量の大小はあるが、全ての船舶で同じ向きに誤差が発生している。もし、レーダーセンサ由来の誤差であれば、測距・測角の原理から船舶が位置する相対方位によって真逆の向きへの誤差となる可能性が高く、現状ではこの誤差については AIS 由来かセンサ以降のシステム統合上での原因と推測される。一方で、AIS 由来の誤差としても、数 m から数 10m とされている AIS の GNSS の誤差を考えると、特に南北方向において過大である。この問題については今後も精査していく予定である。

上記が物理上や単なる処理上の問題の如何に関わらず、センサには偶発誤差の変動や系統誤差が存在し、センサフュージョンに悪影響を及ぼす。現状、このような誤差に対して、変針時の AIS 情報の利用など、事前に想定したタイミングでのみ対応を行っている。このような形態

ではつどセンサフュージョン・アルゴリズムの修正を必要とし、突発的な変化に対応することが難しい。自動運航を見据えると、センサの性能評価や故障判定を運航中にも行い、ある程度動的にセンサの切り替えや重みづけの割り当てが必要となると考えている。これを実現する為にはセンサの現在の精度などを自身もしくは他のセンサの測定値との比較から推定し、その情報を用いて故障を含めたセンサ状態の判定を行うことも今後検討する。

## 9 目標の達成状況

### 9.1 小物標の探知

前述の 8.2.1.2.3 システム精度試験に記載の通り、本船前方に小船（高さ 2m、長さ 10m 程度）を検出し、システムで追尾を開始し、本船との距離が 3.8NM まで追尾を続け探知することができた。これにより、本事業の最終目標である「本船からの距離 3.4NM (6.3km) 以上離れた、高さ 2m、長さ 10m の小船の探知を可能とする。」とするという目標を達成できた。

### 9.2 システムで探知した目標の位置精度

前述の 8.2.1.3 および 0 のシステム精度試験の考察に記載の通り、システムが検出した目標の自船からの方位／距離の誤差の最大値は、方位誤差： $0.25^{\circ}$ 、距離誤差：0.24%であった。これにより、本事業の最終目標である「システムで検出する小型船を含む小物標の位置精度を、方位誤差：1 度以下、距離誤差：1[%] (30[m] 未満の場合は 30[m]) 以下にする」という目標を達成できた。

### 9.3 小物標の運動精度

前述の 8.2.1.3 および 0 のシステム精度試験の考察に記載の通り、システムが検出した目標の進路／速度と推定した目標の進路／速度とその差は、進路誤差： $0.4^{\circ}$ 、速度誤差：0.05[knot]であった。これにより、本事業の最終目標である「システムで検出する小型船を含む小物標の運動精度を、進路誤差：1 度以下、速度誤差 1[%] (0.5[knot] 未満の場合は 0.5[knot]) 以下にする。」という目標を達成できた。

## 10 2023 年度の実施内容の概要

### 10.1 陸上評価試験のフィードバック

#### 10.1.1 目標変針時の AIS/TT 目標のアソシエーション

物標同定機能において、2022 年度の陸上評価試験で AIS 目標と TT 目標を同一物標と判断している状態で、当該船舶が回頭を行うと、別々の物標と判断してしまう事例が発生していた。この問題の改善のため、目標船舶が変針していることを検出するアルゴリズムを開発し、目標船舶が変針している時には同一判定のしきい値を変えることで、物標が回頭した場合でも正しく同一物標と判定することができるようにした。また、本問題の解析の過程で、TT 目標の進路の変化が実際の船舶の進路の変化に対して遅延が大きいことが分かったため、AIS 目標と TT 目標を同一物標と判断している船舶が回頭した際には AIS 情報の進路を優先するように改善を実施した。

#### 10.1.2 AI 画像認識機能部の検出精度の改善

AI 画像認識機能において、2022 年度に実施した第二ほくれん丸を使用した評価試験で、他船の検出精度が低下する現象が発生していた。この問題の改善のため、カメラユニットの振動を抑えるべく、カメラユニットの装備位置の変更を実施した。また、この装備位置の変更に伴い、カメラユニットの装備状態に合わせて制御ユニットのコンフィギュレーションファイルの最適化を行い、より高い精度で他船を検出できるよう改善を実施した。

### 10.2 AI 画像認識機能および物標同定機能の海上評価

AI 画像認識機能、物標同定機能に加え、本事業外で開発した危険判断機能、避航ルート支援機能、見張支援機能、ステータス管理機能を組み合わせたシステムをインテグレートし、第 2 ほくれん丸および One Machinac で海上での実証実験を実施した。AI 画像認識機能および物標同定機能が適切に目標を検出し、本事業の最終目標を達成することを確認できたとともに、検出した目標を他の機能に提供し、システム全体として正常に動作することも確認できた。

### 10.3 報告書作成

2022 年度、および 2023 年度の実施内容を取りまとめ、成果報告書を作成した。

## 11 まとめ

本事業では AIS 非搭載船や船舶用レーダーでは捕捉できない小型船など小物標検知性能を向上させることを目的に、AI による画像認識技術により得られる情報と AIS/レーダーの情報を統合する航海機器を開発した。2022 年度は、光学カメラ及び赤外線カメラと PTZ カメラを用い、カメラ画像から小型船を認識する AI 画像認識機能と、カメラで検出した目標と AIS/TT 目標の情報を統合する物標同定機能を開発した。また、これらの機能を陸上評価試験で評価し改善事項の洗い出しを行った。2023 年度は陸上評価試験で抽出した改善事項の対策を実施し、本事業の最終目標である小舟の探知および位置・運動精度が達成できていることを海上評価試験で確認した。

また、本報告書でも紹介したように、弊社では本事業外でも衝突、座礁事故の防止と航海士の負担軽減を図るための技術として、航海士を支援するための情報表示装置や避航ルート生成機能の開発も実施している。本事業で開発した技術で得られた他船情報を、これらの技術と組み合わせて航海士支援情報表示装置で 3D 表示することや、衝突危険の検知に利用し他船を避航するための航路を算出することで、さらなる衝突、座礁事故の防止と航海士の負担軽減を図ることを検討している。これらの技術と本事業で開発した AI 画像認識技術やセンサフュージョン技術を合わせて 2025 年の商品化を目指していく予定である。さらに将来的にはこれらの技術をさらに発展させ、安全な船舶の自動運航に寄与していく所存である。

最後に、本事業に多大なるご支援を頂きました公益財団法人日本財団様、一般社団法人日本船用工業会様に感謝申し上げます。

「この報告書は BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

(一社)日本船用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目13番3号 (虎ノ門東洋共同ビル)

電話：03-3502-2041 FAX:03-3591-2206

<https://www.jsmea.or.jp>