

テクノロジーマップの整備に向けた調査研究  
(アナログ規制の見直しに向けた技術実証等) における技術実証

## 技術実証報告書

実証類型番号 4 :

センサー、AI 解析等を活用した設備の状態の定期点検の実証

株式会社フツパー

2024 年 2 月 16 日

## 目次

1	技術実証の概要.....	3
1.1	目的.....	3
1.2	対象業務（法令）.....	3
1.3	全体像.....	3
1.3.1	現状の課題とその解決策.....	3
1.3.2	技術実証の方法.....	3
1.3.3	技術実証の全体像.....	4
1.4	実施体制・期間.....	6
1.4.1	実施体制.....	6
1.4.2	実施期間.....	6
2	技術実証内容の詳細.....	6
2.1	技術実証の方法.....	6
2.1.1	①非常通路、昇降設備、出入口検査システム.....	7
2.1.2	②救命設備検査システム.....	20
2.1.3	③救命艇並びに艀装品検査システム.....	27
2.1.4	④保護具検査システム.....	30
2.1.5	⑤結果管理システム（クラウド）.....	39
3	技術実証の結果.....	51
3.1	結果の評価ポイント・方法.....	51
3.2	結果及び評価・分析.....	52
3.2.1	①非常通路、昇降設備、出入口検査システム.....	53
3.2.2	②救命設備検査システム.....	68
3.2.3	③救命艇並びに艀装品検査システム.....	76
3.2.4	④保護具検査システム.....	79
3.2.5	⑤結果管理システム（クラウド）.....	84
4	考察.....	86
4.1	対象法令に係るアナログ規制の見直しについて.....	86
4.2	活用・導入にあたってのポイント.....	87
4.3	課題および改善の方向性.....	87
5	用語集.....	88
6	参考文献.....	90

## 1 技術実証の概要

### 1.1 目的

デジタル庁では災害・事故の防止等を目的として、事業者等が行っている設備・機器の状態の定期点検等について、センサーや通信機器等のデジタル技術を活用して、不備・劣化に伴う設備・機器等の損傷等の検知を可能とすることにより、点検周期の延長等、規制のあり方を検討している。そのため、弊社が、現在は人が実施している設備・機器等の状態の定期点検等について、デジタル技術による代替や合理化が可能であるかを技術実証する。

特に、本技術実証では、船員法施行規則第 3 条の 9 に係る非常の際に脱出する通路、各種の救命設備や保護具、救命艇の艀装品の点検について、デジタル技術による代替が可能であるかを実証した。また、それらの点検の記録に関しても同様の技術実証を行った。

### 1.2 対象業務（法令）

- 1) 船員法施行規則第 3 条の 9 に係る船長が実施する非常の際に脱出する通路、昇降設備、出入口、救命設備等の点検
- 2) 船員労働安全衛生規則第 45 条に係る、船舶所有者が実施する防護具等の点検・整備

### 1.3 全体像

本技術実証では、1.1 の目的を踏まえ、以下のとおり技術実証を実施した。

#### 1.3.1 現状の課題とその解決策

船員法施行規則第 3 条の 9 及び船員労働安全衛生規則第 45 条に係る点検・整備では、非常の際に脱出する通路、昇降設備、出入口、救命設備、保護具などの船長や船舶所有者による点検・整備が義務付けられている。一方で、我が国の船員不足の状況からその作業の省力化が求められている。

例えば、工業製品生産の分野では、製造物の品質を維持・保証するために実施される、外観上の傷や異物の付着などの瑕疵に対する検査について、上記の点検・整備と同じく、主に熟練作業員の「目視検査」により行われてきたが、近年画像センサーによる判別や AI の活用など、作業の効率化・自動化に向けた取組が進みつつあり、ゴム製品向け自動検査システムが開発されるなど成果を上げてきている。

#### 1.3.2 技術実証の方法

本技術実証においては、上記の船員法施行規則第 3 条の 9 及び船員労働安全衛生規則第 45 条に係る点検・整備の対象業務において、工業製品の目視検査の分野で活用されているカメラを用いた画像認識 AI、センサーを用いることにより、従来実施していた目視点検・整備作業のデジタル技術による代替や合理化が可能であるかを実証した（なお、当初 AI-OCR の使用も想定していたが、実証実験協力先の船長へのヒアリングにより、AI-OCR が必要となるほどの量の文字を読み取る業務はないことが確認されたため、AI-OCR は用いずに実証を行った）。

目視点検・整備作業の代替や合理化以外にも、画像認識 AI やセンサーデータを利用したデジタ

ル技術の利点の 1 つとして、船舶内におらずともその点検情報を閲覧できることが挙げられる。特定の人が現場を訪れずとも欠損なくデータを収集することが可能か確かめることで、精度以外の観点でもデジタル技術による合理化が達成可能か検討を行った。

なお、船舶によって、スペースや常備設備は異なるため、予め全ての船舶で適用できる装置を想定し、技術実証を行うことは困難である。そのため本技術実証においては、対象とした船舶のみでなく、多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるかについても検討を行えるように、予備実験と、実際の船舶における実証実験とを組み合わせることで行った。

### 1.3.3 技術実証の全体像

本技術実証の全体像としては、図 1 のような構成のシステムを構築した。

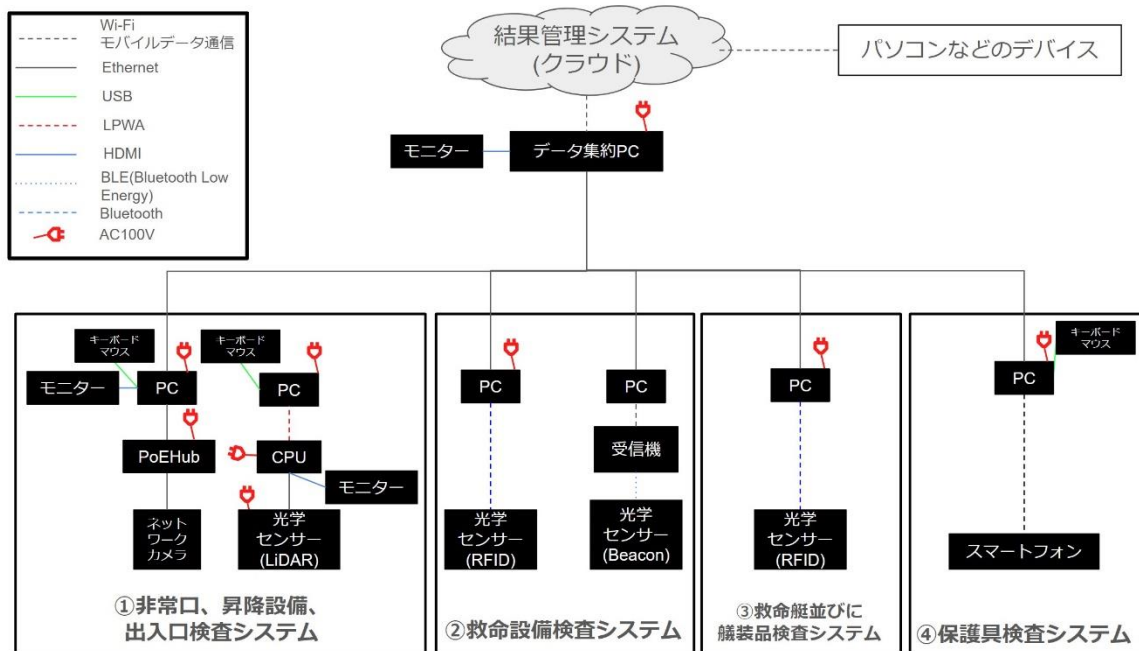


図 1 システム全体像

表 1 本技術実証において実施した項目の一覧

実施項目	概要
①非常通路、昇降設備、出入口の障害物検知	画像認識 AI と光学センサーを活用したシステムを構築し、非常通路、昇降設備、出入口の障害物を自動で検知する。
②救命設備の数量計数	光学センサーを活用したシステムを構築し、各所に配置されている救命設備の有無や数量を計数し確認する。
③救命艇艀装品の数量計数	光学センサーを活用したシステムを構築し、救命艇の保管庫にまとめて設置されている艀装品の有無や数量を計数し、確認する。
④保護具の不良検知	画像認識 AI を活用したシステムを構築し、対象物を認識し、不良を検知する。

⑤検査結果のクラウド管理	クラウドデータベースを活用したシステムを構築し、点検結果のデジタル管理や陸上からの確認を行う。
--------------	---

対象法令で点検対象となっている、①非常通路、昇降設備、出入口、②救命設備、③救助艇並びに艀装品、④保護具の各設備を点検するシステムを個別に検討した。それぞれ、本技術実証において実施した具体的な項目としては、表 1 のとおりとなる。

- ①においては、非常通路における障害物の目視点検業務のデジタル代替を実証した。
- ②においては、救命設備の有無の確認や数量計数の目視点検業務のデジタル代替を実証した。
- ③においては、救助艇艀装品の有無の確認や数量計数の目視点検業務のデジタル代替を実証した。
- ④においては、保護具を含め、設備の不良に関する目視点検業務のデジタル代替を実証した。
- ⑤においては、点検結果を航海日誌に記録している業務のデジタル代替を実証した。

詳細は「2.技術実証内容の詳細」で示すが、①②③④の各システムは、それぞれの点検対象の点検項目を機械的に実施するソフトウェアと、物体の対象の特徴を認識するカメラ、センサー等を動作させるハードウェアモジュールで構成されている。

特にハードウェアモジュールについては、「2.技術実証内容の詳細」中の（3）開発・活用した技術・システムの内容で詳細を述べる。

①②③④の各検査システムの検査結果をデータ集約 PC に集約し、船内のデータ集約 PC がインターネットに接続できたタイミングで、集約していた検査結果をクラウド上のデータベースに送信、保存する。クラウド上に送信されたデータは、⑤結果管理システムのアプリケーションによって陸上の船舶所有者などが遠隔で閲覧、検索が可能となる。



図 2 業務全体イメージ図

## 1.4 実施体制・期間

### 1.4.1 実施体制

本技術実証は、以下図 3 の体制で実施した。

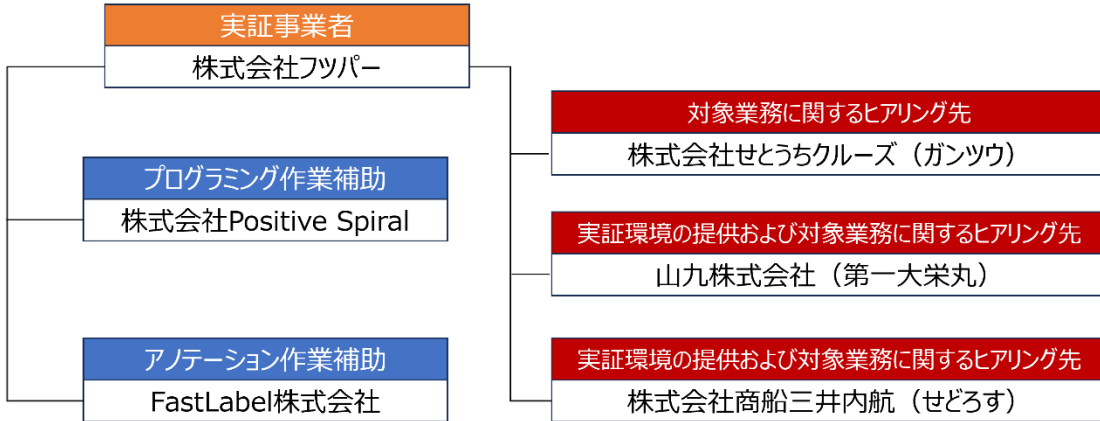


図 3 本技術実証の実施体制

### 1.4.2 実施期間

本技術実証の契約期間：2023 年 11 月 17 日～2024 年 2 月 16 日

## 2 技術実証内容の詳細

### 2.1 技術実証の方法

本技術実証においては、表 1 に示したそれぞれの実施項目の実現にあたって、点検・整備の対象に応じた以下の検査システム（①～④）とそれらの結果を管理するシステム（⑤）を構築し、対象物の点検・整備に必要なデータを取得するとともに、異常等を機械的に検知・判断し、その結果を遠隔から閲覧・検索できるか、実際の船上と社内実験環境で実証した。

- ① 非常通路、昇降設備、出入口検査システム
- ② 救命設備検査システム
- ③ 救命艇並びに艀装品検査システム
- ④ 保護具検査システム
- ⑤ 結果管理システム（クラウド）

本技術実証で構築した全体のシステム構成は、図 1、システムの処理フローについては図 4 のとおりである。

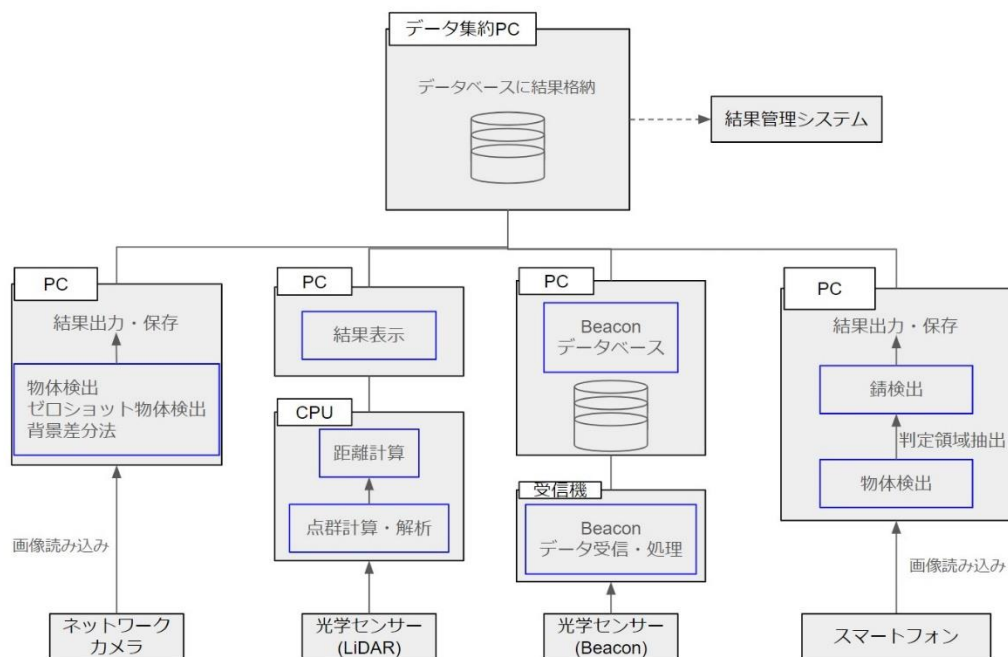


図 4 システム処理フロー図

以下、この章では各実施項目の詳細及び開発・活用した要素技術を各節で分割して、その概略を示す。

- (1) 現行の点検方法
- (2) 技術実証における開発・活用した技術要素の要素技術
- (3) 技術実証における構築した実際のシステムの概略
- (4) 実証実験の様子

### 2.1.1 ①非常通路、昇降設備、出入口検査システム

#### (1) 現行の方法

現行法令においては、船員法施行規則第 3 条の 9「船長は、**非常の際に脱出する通路、昇降設備及び出入口並びに救命設備**を少なくとも毎月 1 回点検し、かつ、整備しなければならない。」と定められており、船長による月 1 回の点検が要求されている。点検方法については、実証実験協力先の内航船である第一大栄丸、せどろす、ガンツウの船長にヒアリングを行ったところ、今回の対象システムである非常通路、昇降設備、出入口について目視での点検を行っているとのことである。

#### (2) 技術実証において開発・活用した要素技術

本実施項目では、A：目視点検を代替する画像認識 AI を用いた方法と、B：非常通路上の障害物を直接検出するセンサー技術をそれぞれ用いて、人間による目視点検を代替することを目指し、それぞれの実証実験を別々に行った。本実施項目の実現にあたって、2 種類の構成を採用した理由としては、スペースや光の環境など船上における各種の条件への対応に鑑み、技術要素の

異なる 2 種類の手法を用いて評価するためである。

以下に A) 画像認識 AI と B) センサー技術の 2 つの要素技術について小節に分割して示す。

#### A) 画像認識 AI

画像認識 AI による方法では、船内に固定カメラを設置し、非常通路、昇降設備および出入口を撮影し、障害物を検知し非常通路、昇降設備、出入口の状態を自動で点検するシステムを構築することを目標とした。自動化にあたり、3 つのシステム（データセット作成に生成 AI を使用した物体検出、ゼロショットの物体検出、背景差分法による物体検出）を構築し、それぞれ比較検討をおこない現実的な代替可能性を模索した。

前提として、世の中で広く普及している一般的な物体検出と呼ばれる手法は、画像内の特定の物体に対し、バウンディングボックスと呼ばれる矩形のアノテーションを行い、物体がどこにあるかの座標情報およびクラス名を決定することで、学習を行っていくものである。

特定の障害物や傷などの撮影を行い学習させた場合、画像枚数に応じて精度は向上していく一方で、撮影環境が変わることによる画像の変化なども考慮すると、学習させた物体以外の検出を行うことは通常困難である。船舶内の通路や設備を対象に考えた際に、特定の物体だけが障害物として現れる可能性はほとんどなく、多様な船舶での点検業務を自動化するには不向きであると考えたため、上記 3 つを選択するに至った。

##### 【生成 AI を使用した物体検出】

1 つ目のシステムにて使われている技術である生成 AI は、与えられた条件やランダムノイズから新しい画像を生成する人工知能の分野である。生成 AI を使用した物体検出では、2 つの AI を使用し障害物という様々な物体を検出する物体網羅性を高めた。

1 つ目の生成 AI では、Stable Diffusion という深層生成ニューラルネットワークの 1 種である潜在拡散モデルを使用した。Stable Diffusion とは、テキストや画像プロンプトから写真のようにリアルな独自の画像を生成する生成型人工知能(生成系 AI)モデルである。画像以外にも、モデルを使用して動画やアニメーションを作成することができる。このモデルは拡散技術に基づいている。

もう 1 つの AI である物体検出は、動画像内に特定の属性を持つ物体が存在するかどうかを検出し、存在する場合には各物体の位置と範囲まで推論する技術である<sup>1</sup>。物体の位置を示す方法として、バウンディングボックスと呼ばれる物体を取り囲む最小の矩形を用いる方法が使われる。

この物体検出アルゴリズムには YOLOX を使用した。YOLOX はバウンディングボックス回帰とクラスの分類を同時に処理し、画像全体を 1 度に処理することにより、リアルタイムでの物体検出が可能になっただけでなく、画像全体の特徴に基づいたクラス分類ができるようになっている。

物体検出の信頼性を高めるために、非最大抑制（Non-Maximum Suppression、以下 NMS）が適用され、重複する検出結果が排除され、最終的な検出結果が得られる。NMS は、物体検出の後処理手法であり、まず各検出領域に確信度が割り当てられ、確信度が低い領域は閾値以下の確信度を持つ場合に削除される。次に、確信度の高い領域からスタートし、重複するバウンディングボックスとの重複度合いを IoU（Intersection over Union）で評価し、一定の閾値以上の重なりがある場合には、確信度が低い領域が削除される。この手順を繰り返すことで、最終的な検出結果は信頼性が高く、かつ互いに大きく重なる領域が排除されたものになる。NMS は物体検出の精度向上に寄与している。



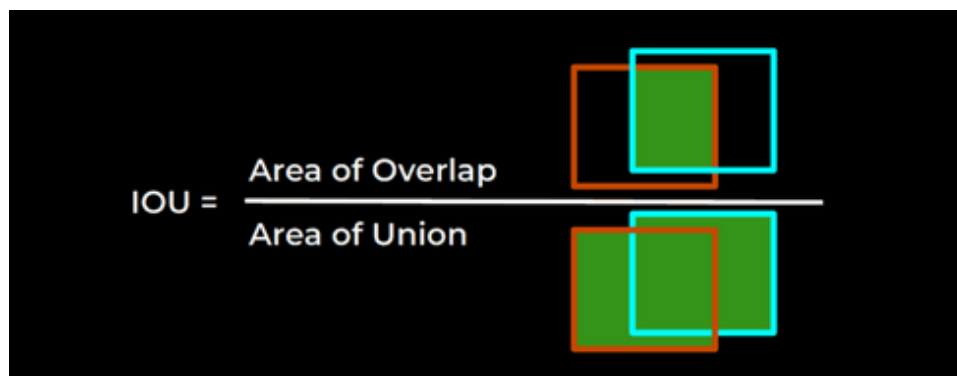


図 5 IoU の定義

図 5 に IoU の定義について示す。IoU は Area of Overlap（共通部分の面積）と Area of Union（領域の和集合）の比で計算される。つまり、予測値とグラントゥールース(正解)を合わせた面積に対するオーバーラップ面積の比率である。分子は、予測値がグラントゥールース内の領域を予測できないため、小さくなる。予測されたボックスの面積が大きければ、分母は大きくなり、IoU は小さくなる。IoU 値は 0 から 1 の範囲である。0 はオーバーラップなし、1 は完全なオーバーラップを意味する。IoU 閾値の助けを借りて、予測が True Positive(以下 TP)、False Positive(以下 FP)、False Negative(以下 FN)のいずれかを決定する。例えば鳥を鳥として正しく予測した場合 TP、人を鳥として予測した場合 FP、鳥を人として誤って予測した場合 FN となる。図 6 図 5 の例は、IoU 閾値  $\alpha$  を 0.5 に設定した予測を示す。

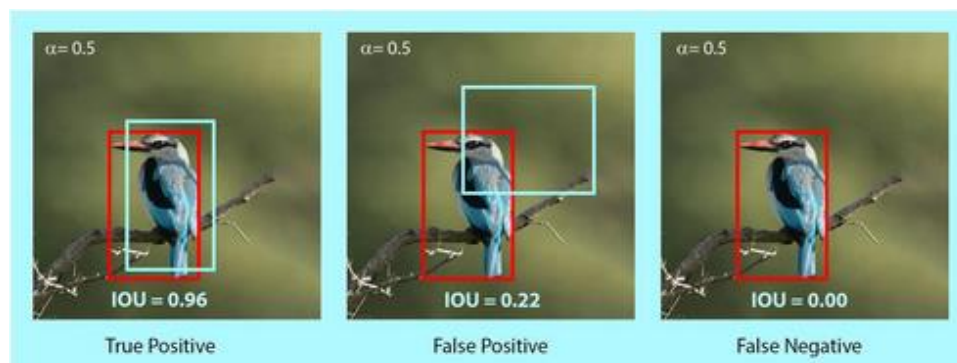


図 6 閾値別の IoU

検出を TP にするか FP にするかは完全に要件に依存している。最初の予測は、IoU 閾値が 0.5 なので TP、仮に閾値を 0.97 に設定すると、FP となる。同様に、図 6 に示した 2 番目の予測は閾値が 0.5 の場合には FP であるが、閾値を 0.20 に設定すれば TP となる。理論的には、閾値を 0 まで下げれば、3 番目の予測も TP になる。<sup>ii</sup>TP,FP, FN については 2.1.4 にて詳しく述べる。

#### 【ゼロショット物体検出】

2 つ目のゼロショット物体検出によるシステム構築については、GroundingDINO を用いた。GroundingDINO は Zeroshot object detection という新たにクラス数を定めたデータセットなどを用意して再度学習を行わなくても、クラス名を変更するだけでその物体を認識する物体認識タスクにおける SoTA（State-of-the-Art、最高水準の性能をもつモデルや手法）である。画像と検出したい物体にプロンプトを与えることで物体検出を行う。つまり多種多様な物体に対し正確な検出が可能である。GroundingDINO は、Transformer ベースの物体検出モデルである DINO<sup>iii</sup>

を元にしたモデルである。これにより、カテゴリ名や言及表現などの人間の入力を使用して任意のオブジェクトを検出可能である。

#### 【背景差分法による物体検出】

背景差分とはあらかじめ取得した画像を背景画像として、観測時点の画像とその背景画像との差分を取ることでその差分を注目したい部分として取得する手法である。今回使用したアルゴリズムは混合正規分布(Gaussian Mixture)を基にした前景・背景の領域分割アルゴリズムである。

#### B) センサー技術

本技術実証では、LiDAR 技術を活用した。LiDAR は、レーザー光を利用して対象物までの距離を測定する技術である。従来のカメラと異なり、反射光の強度を利用して物体の材質や形状を判別できる点が特徴である。さらに、カメラのように光に頼らず周囲の状況を確認するため、夜間や悪天候で高度な処理・測定が可能となる。さらに、LiDAR で取得されるデータは 3 次元の座標を持つ点群データ (PCD) であるため、複数の LiDAR センサーの座標統一が容易という利点もある。そのため複数センサーでの監視への活用が期待されている。

LiDAR はカメラと比較していくつかのメリットがある。LiDAR から得られる点群データ (PCD) は  $x, y, z$  の 3 次元情報であるため、2 次元情報である画像データと違い物体自体の位置や形状を利用することができる。画像処理と違い陰影の影響を受けにくい性質を持っており、暗闇の中であっても機能する。デメリットは、カメラに比べて高価であること、現状ではカメラほど解像度が高くないこと、表面が真っ黒な物体や液体や鏡のような物体を検知できない点などがある。

#### (3) 開発・活用した技術・システムの内容

##### A) 画像認識 AI による方法

生成 AI を利用した物体検出とゼロショット物体検出の 2 つには背景差分法から得たアイデアによって開発されたアルゴリズムを搭載した。このシステムをここでは EID(Eliminate Initial Duplication)と呼ぶ。このシステムは通路上に何も無い初期状態を撮影し、その画像に対し AI が推論を行い AI の検出結果を保持しておく。その後点検の際に撮影を行い AI が推論を行う。その際初期画像にて検出したものと同じ物を検出した場合、重複するバウンディングボックスとの重複度合いを IoU にて評価し、一定の閾値以上の重なりがある場合には、図 7 に示すように排除される。そのため、障害物ではない通路上のものを検出したとしても初期画像にその物体がある場合は検出されない。船上の揺れやズレを考慮しバウンディングボックスの重なり度である IoU の閾値を 0.7 に設定し、0.7 以上であれば 2 つのバウンディングボックスを排除、それ未満であれば障害物として認識するシステムとなっている。

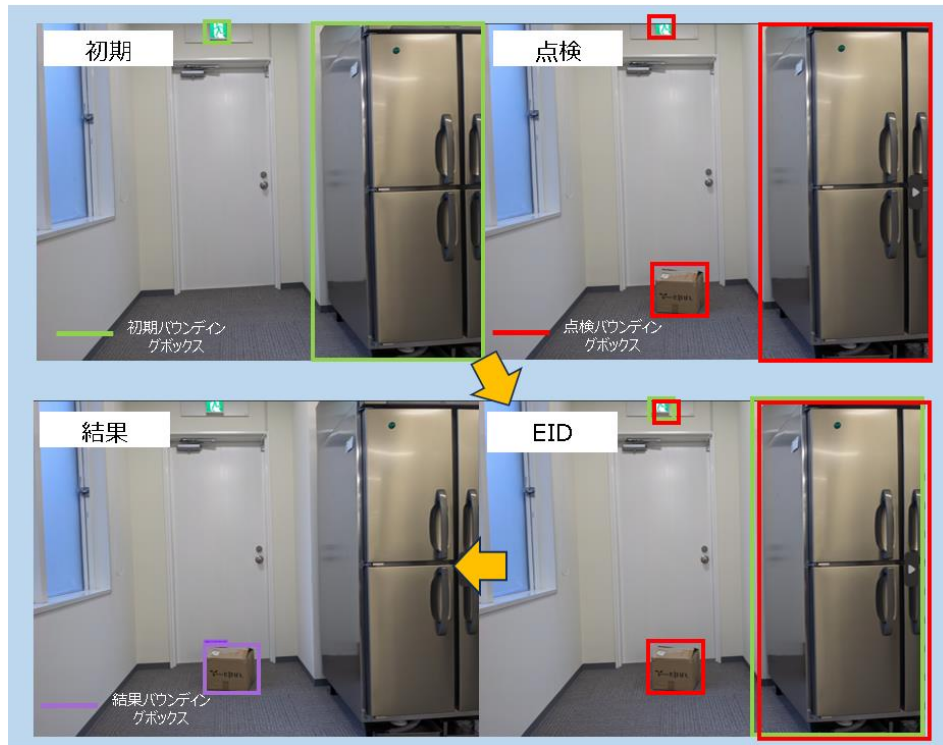


図 7 EID による処理フロー

障害物は多岐にわたる特性を有し、それらを AI が認識・理解できるようにするには、膨大なデータ収集、アノテーション、そして AI の学習が必要になる。そのため、汎用的な障害物検知システムの構築が求められる。

1 つ目の生成 AI を利用した物体検出のデータセットには、船外での障害物撮影を行いアノテーションを行ったものと、船上での画像に Stable Diffusion にて障害物を生成したものをアノテーションし、組み合わせて構築した (図 8) 。2 つ目のゼロショット物体検出ではアノテーションが不要であり、AI に指示するための言語入力(以下プロンプト)が必要となる。



図 8 データセット画像

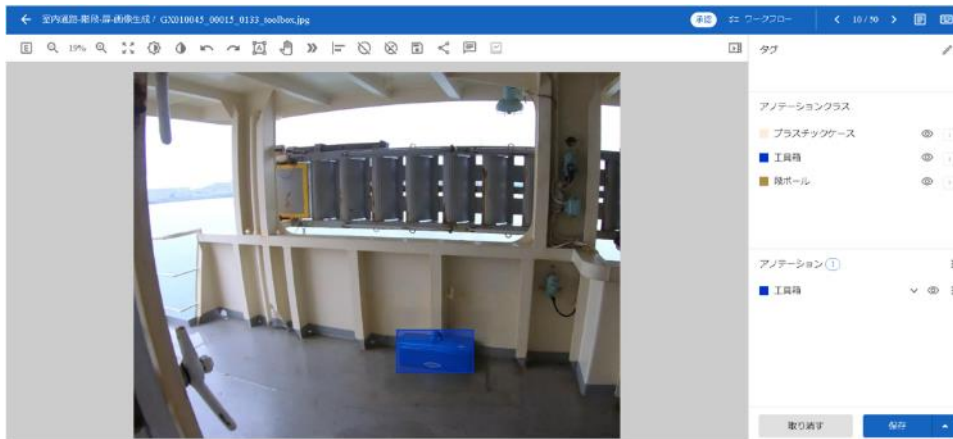


図 9 アノテーションの様子

図 9 のアノテーションツールを使用し、下記物体のアノテーションを行った。

- プラケース : placase
- 工具箱 : toolbox
- 段ボール : cardboard

学習した AI を評価する評価指標には mAP を使用した。mAP(mean Average Precision) とは、基本的に多クラス分類のタスクに対する評価指標の 1 つで、各クラスの AP(Average Precision : 平均適合率)を平均した値を指す。0.0~1.0 の範囲の値になり、1.0 に近づくほどより良い。特に物体検出の評価指標としてよく使われている。

例えば mAP@IoU=0.5 は、IoU の閾値が 0.5 の時の AP ということになる。また、mAP@IoU=0.5:0.95 は、IoU の閾値を 0.5~0.95 の範囲で数値を上げていき、IoU の各比率に対する AP の、全クラスの平均を出したものである。

表 2 テストデータに対する mAP

	IoU=0.5	IoU=0.5:0.95
mAP	0.936	0.769

YOLOX にて学習を行ったテストデータの結果は、

表 2 より mAP@IoU=0.5 が 0.936 と非常に良い結果となった。図 9 に示す通り船上にて生成したプラケースと実際の段ボールにバウンディングボックスが当たっているため学習したクラスは満足に検出できていると考えられる。



図 10 テストデータの検出結果

ゼロショット物体検出では学習工程が不要なため、障害物を検知するためのプロンプト選定が重要となる。プロンプト選定は予備実験において階段、通路、扉前にて実験を行い(図 11)、「object on the floor」や「there is something on the floor」などの長文のプロンプトを使用していた。その場合 floor などの文言が床や階段を検出してしまったため、文言が短いプロンプトに改良した。その時候補に挙げた「object」と、「something」の比較を行い、プロンプトは、「something」に決定した。



図 11 プロンプト選定実験の様子

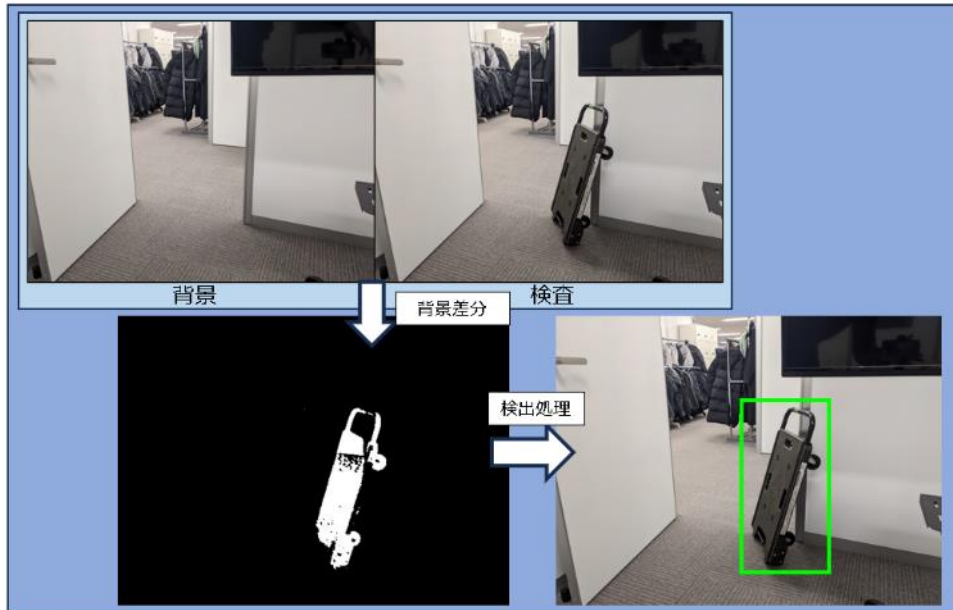


図 12 背景差分法を使った物体検出

図 12 は背景差分法を用いた物体検出の流れである。背景と検査画像の差分をとり、白く浮かび上がった部分に対して外接矩形を付ける処理を行った。

ネットワークカメラから取得した映像を 3 つのシステムを搭載した PC にて処理を行い、検査結果を出力した。そのフローを図 13 に示す。3 つのシステムは全て、初期撮影の場合とそれ以外でフローが変わる。初期撮影では、障害物のない非常路の状態を初期として撮影し画像として保存する。初期画像が保存されている場合は、初期撮影フローには入らず、点検フローへと流れる。点検は初期画像との比較となるため、安定的に正常時との変化がわかる。結果はネットワーク経由にてデータ集約 PC へと送られる。

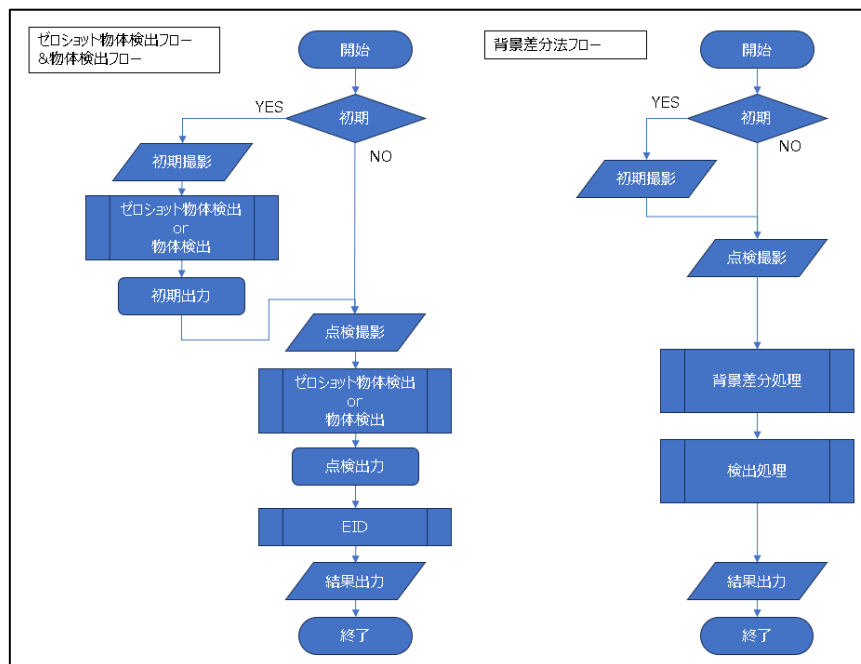


図 13 画像認識を利用した物体検出フロー

3つのシステムの評価方法は船内通路を模したオフィス内通路に障害物を置き、その物体が検出できるかを確認する。表3の条件をノイズとして与えた。

表3 実験条件

ノイズなし	ノイズを加えないで検出可能か
時間経過	初期点検から1時間経過させ1度目の検出と同等か
カメラ水滴付着	カメラが濡れていない状態を初期とし、カメラが濡れた状態にて通常時と同等の検出が可能か
カメラ傾き変化	カメラがフラットな状態を初期状態とし、カメラを5°傾けた際に通常時と同等の検出が可能か
明るさ変化	初期明るい状態から、暗い状態にて検出可能か 初期暗い状態から、明るい状態にて検出可能か 初期明るい状態から、左側が暗くなった状態で検出可能か 初期明るい状態から、右側が暗くなった状態で検出可能か

船内の非常通路、階段、出入口に障害物を置き、その物体が検出できるかを確認する。精度評価のため実験を繰り返し行った。評価方法はシステムが確実に検出した場合は○、検出しているが領域やクラスを間違えている場合は△、検出できなかった場合を×とした。

## B) センサー技術

今回採用したLiDARは、MEMSミラーと光学センサーを組み合わせた技術である。レーザー光線を照射して周囲の物体表面に反射させ、MEMSミラーを高速で回転させることで反射光を光学センサーに導く。この光学センサーが反射光の強度と位相を測定し、3D点群データを生成する。この技術により、縦70.4°、横77.2°の周囲環境を高速スキャンし、数ミリメートルの精度で物体の距離と角度を測定可能である。MEMSミラー技術の採用により、従来のLiDARに比べて、小型・軽量でありながら、高速で高精度な計測が可能となり、低コストでの製造が実現している。また、最大秒間240,000点の点群データを取得できる。

LiDARで得られた点群データから障害物を検出するために図14に示すいくつかの処理過程を設けた。まず測定対象の非常通路の点群データをLiDARで取得し、全体のデータの中から側壁および床と天井のデータを除去した。次に点群を実体ごとにランダムサンプリングコンセンサス手法を用いて分類し、LiDARに対して相対する平面を検出し、その平面からLiDARまでの距離を計算する処理を行った。非常通路上で障害物が何も無い状態で計測した場合、出力される距離はLiDARから相対する壁面までの距離となる。一方、障害物が置かれている場合には障害物までの距離が出力される。計測された距離はLiDARシステムのモニターに出力される。この距離の変化を読み取り、障害物の存在を検知して、ネットワーク経由でデータ集約PCに結果を送信した。

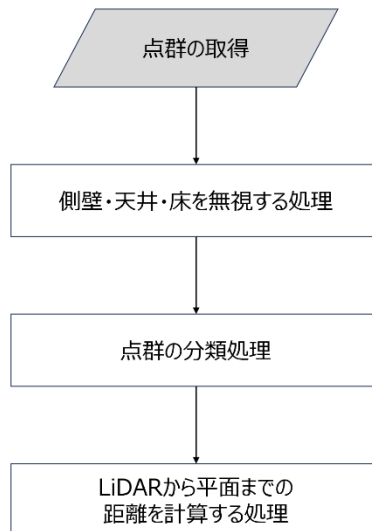


図 14 LiDAR での障害物までの距離を検知するフロー

#### (4) 本実施項目における全体システム構造

①非常通路、昇降設備、出入口検査システムのハードウェアモジュールを含めたシステム構成、処理フローは図 15

図 16 のとおりである。ネットワークカメラを用いた画像認識 AI システムでは、ネットワークに Ethernet を採用し、ネットワークカメラが撮影した画像を PC①で読み取り、物体検出、ゼロショット物体検出、背景差分法で処理を行い、結果をデータ集約 PC のデータベースに保存した。

光学センサー(LiDAR)を用いたシステムは LiDAR が取得した点群データを CPU で処理し、その結果を PC②で表示する。また PC②で取得した結果はデータ集約 PC のデータベースに保存される。LiDAR と PC 間の通信は LPWA(Low Power Wide Area)方式を採用した。

ネットワークカメラを用いた画像認識 AI システム、光学センサー(LiDAR)を用いたシステムのハードウェアモジュールの電源については、ポータブル電源を活用した。

実験に用いたハードウェアについては表 4 のとおりである。

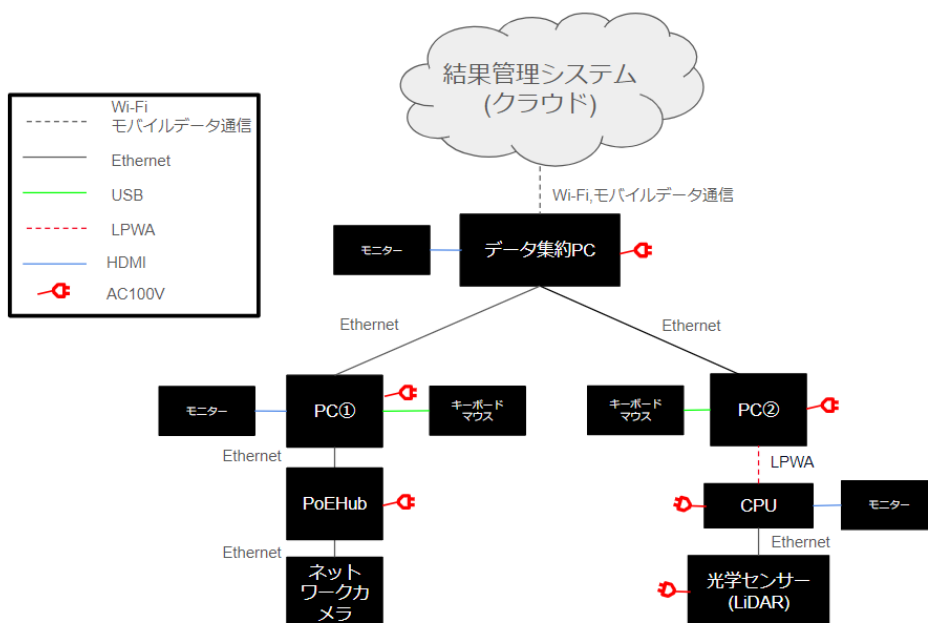


図 15 ①非常通路、昇降設備、出入口検査システム構成図



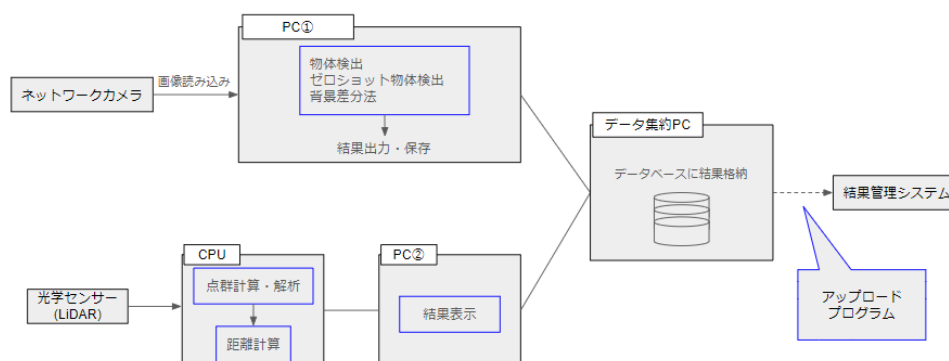


図 16 ①非常口、昇降設備、出入口検査システムフロー図

表 4 ①非常口、昇降設備、出入口検査システム使用ハードウェア

機材	仕様・スペック
ネットワークカメラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AXIS 製、2MP、使用温度-40~60℃</li> <li>・AXIS 製、8 MP、使用温度-50~55°、保護等級 IP66</li> <li>・I-PRO 製、2MP、使用温度-40~60°、保護等級 IP66</li> </ul>
PC①	RTX3050Ti、Intel core i9 搭載、メモリ 32GB、USB2.0x2、USB3.0x 4、HDMI2.0x2 1000Base-T 対応ネットワーク機能
PoE Hub	4ポート PoE 計 65W 対応、1000Mbps RJ45 ポート x5
モニター	15.6 インチモバイルモニターUSB タイプ C 給電
キーボードマウス	USB レシーバーワイヤレス接続
データ集約 PC	Intel core i5 搭載、メモリ 16GBUSB、USB3.0x 4、HDMI2.0x2、1000Base-T ネットワーク対応、10Gbit 対応有線 LAN ボード
LiDAR センサー本体	LIVOX Avia 動作温度-20~65℃、点群データレート 240,000、距離精度 2cm、最大計測距離 450m、非反復走査 FOV70.4°*77.2°、反復走査 FOV 70.4°*4.5°、IP67 規格
CPU	Cortex-A72 搭載、メモリ 4GB、10/100/1000Base-T RJ45 ソケット搭載、USB2.0x2、USB3.0x2、GPIO ピン 40 ピン、Bluetooth5.0
PC②	HP Spectre
ポータブル電源	充電容量:278,400mAh/1002Wh

(5) 現地実証実験の際の設定状況

社内での予備実験を経て、船舶での実証実験を行った。

予備実験では、開発したシステムを社内では船内非常通路を模した環境でテストし、その動作を確認した。具体的には、社内の通路において仮想障害物を故意に設置して不良状態を作り出し、

その障害物を画像認識 AI とセンサー技術の 2 つのデジタル化手法で認識して判断することがそれぞれ可能かどうかを検証した。さらに、水付着による耐水性、大きな傾き状態、明暗の変化というノイズを故意に与えた状態での精度も検証した。

船舶での実証実験では、実際の船舶で非常通路となっているエリアに仮想障害物を故意に設置して不良状態を作り出し、その障害物を画像認識 AI による手法とセンサー技術による手法それぞれ実証実験を行った。

予備実験及び実証実験の写真は図 17～図 21 のとおりである。

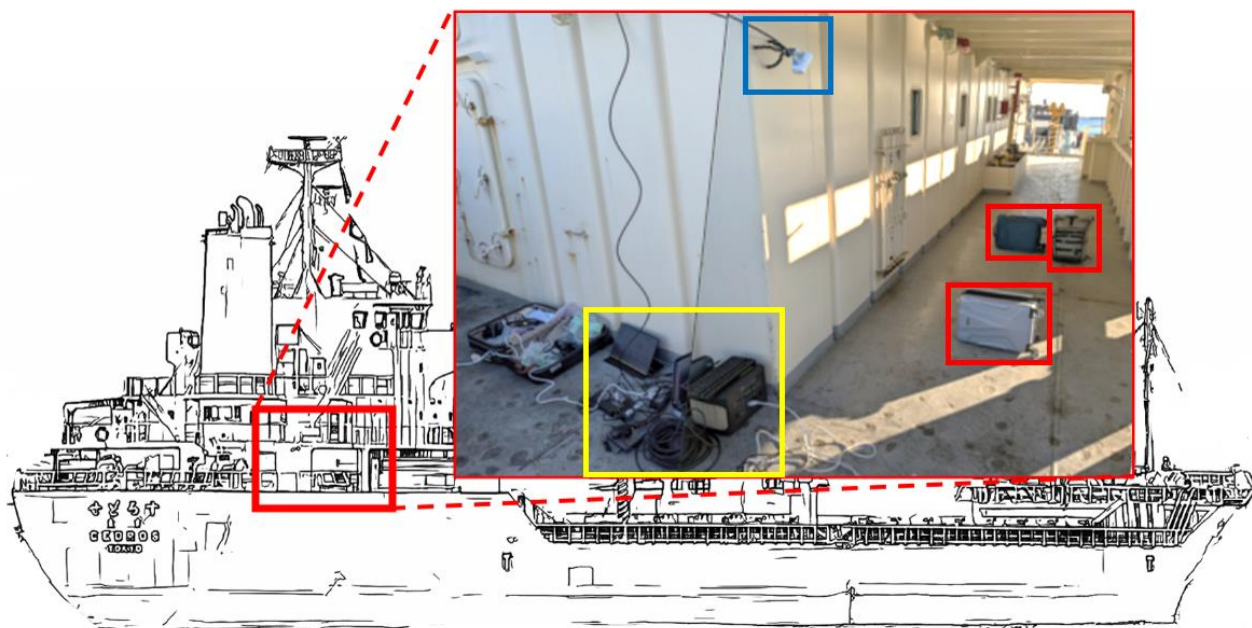


図 17 船舶での画像認識 AI による障害物検知実証実験の様子



図 18 ネットワークカメラの画角と映像

船舶後方右側通路にて船上実証実験を行った。図 17 の通路拡大図上部に 1 台のネットワークカメラ（図 17 の青枠）を設置して画像取得を行った。通路床面に仮想障害物として見立てた

物体（図 17 の赤枠）を置いた。船上に実験機材を展開した（図 17 の黄枠）。図 18 右の緑枠内は船上に設置したネットワークカメラからの映像である。



図 19 船舶での光学センサー（青枠）による障害物検知実証実験の様子

様々な位置に通路床面に仮想障害物として見立てた物体（赤枠）を置いた。

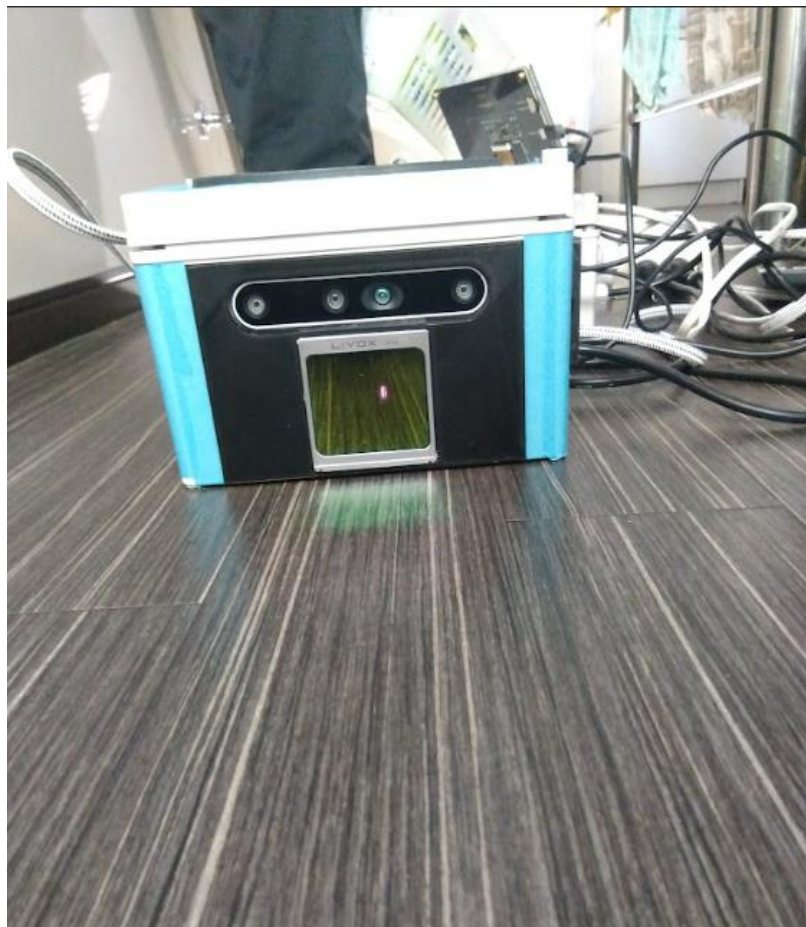


図 20 光学センサー（LiDAR）センサー部



図 21 社内での耐水性実験の様子

図 21 は予備実験にて海水・雨の影響をカメラが直接受けた場合を想定し、カメラに水を吹き付けた様子である。

#### 2.1.2 ②救命設備検査システム

##### (1) 現行の方法

現行法令においては、船員法施行規則第 3 条の 9「船長は、非常の際に脱出する通路、昇降設備及び出入口並びに**救命設備**を少なくとも毎月 1 回点検し、かつ、整備しなければならない。」と定められており、船長による月 1 回の点検が要求されている。点検方法について、実証実験協力先の内航船である第一大栄丸、せどろす、ガンツウの船長にヒアリングを行ったところ、主に目視点検にて、必要とされる救命設備が必要数備え付けられていることを確認するとともに、機能（使用できるか否か）の確認ができるものに関しては、実際に確認しているとのことである。加えて、破損や退色、腐食といった外観で判断する不良の確認についても同時に行われている。

目視点検によって、船内の 20 種類以上に及ぶ救命設備を確認することは、大きな作業量であり、船長にとって負荷になっていると考えられる。

特に、客船においては、その定員の多さから定員数以上設備されている救命胴衣や救命浮環の数も貨物船と比較して多く、その数を確認することは、大きな負荷になっていると考えられる。

##### (2) 技術実証において開発・活用した要素技術

本システムでは、A：光学センサー（RFID：Radio Frequency Identification）を用いた方法と、B：光学センサー（Beacon）を用いた方法それぞれを用いて、人間による目視点検を代替することを目指し、それぞれの実証実験を別々に行った。本実施項目の実現にあたって、2 種類の構成を採用した理由としては、船上における各種の条件への対応を鑑み、技術要素の異なる 2 種類の技術実証を行った。

ここでは、その光学センサー（RFID）と光学センサー（Beacon）による方法の 2 つの要素技術について、小節に分割して示す。

##### A) 光学センサー（RFID）

本技術実証においては、数量カウントが重要となる在庫管理などで広く用いられている非接触で読み取りができる自動認識技術である光学センサー（RFID）を、救命設備の有無や数量カウン

トの目視点検を代替する手法として活用して、効率化することを目指した。

RFID とは、電波を用いて RF タグのデータを非接触で読み書きするシステムである。バーコードのスキャンと異なり、光学センサー（RFID）は電波で複数のタグを一気にスキャンすることができる。電波が届く範囲であれば、タグが遠くにあっても読み取りが可能である。動作原理としては、使用する周波数によって実現方法は異なるが、RF タグとリーダ/ライタとの間のデータ伝送の原理は、周波数にかかわらずほぼ同じである。光学センサー（RFID）装置における、データ伝送の原理を 図 22 に示す。

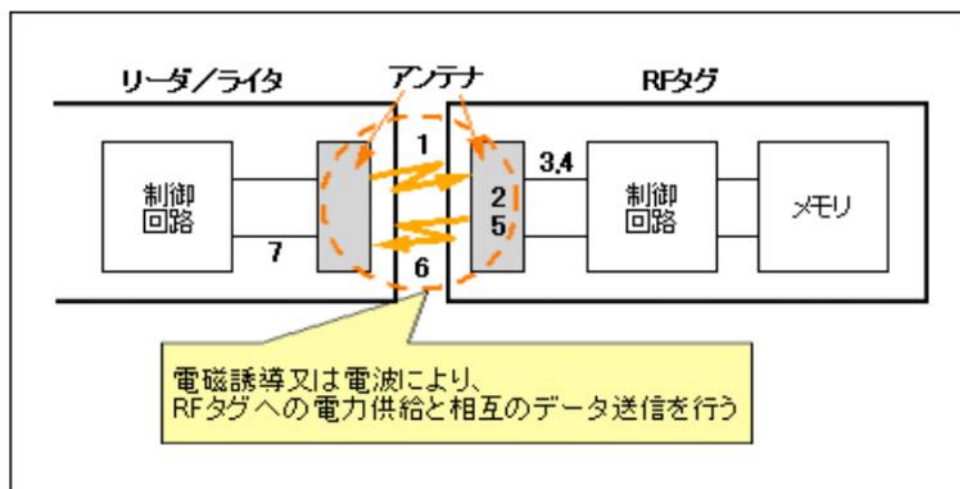


図 22 光学センサー（RFID）の動作原理

- (1) リーダ/ライタのアンテナから、情報を電波または磁界に乗せて送信。
- (2) RF タグのアンテナがリーダ/ライタからの電波または磁界を受信。
- (3) 整流（電波の場合）または共振（磁界の場合）により、RF タグのアンテナに電力が発生。
- (4) 発生した電力により、制御回路、メモリを動作させ、必要な処理を行う。
- (5) RF タグ内のデータを、電波または磁界に乗せて RF タグのアンテナから返信。
- (6) リーダ/ライタのアンテナで、RF タグからの電波または磁界を受信。
- (7) リーダ/ライタの制御部で、電波または磁界から情報を取り出す。
- (8) 光学センサー（RFID）の特徴として、データの書替えができること、汚れ等に強いこと、ある程度遮蔽物があっても交信ができることである。又、同時に複数の読み取りが可能なることも、大きな特長である。<sup>iv</sup>

## B) 光学センサー(Beacon)

救命設備の有無や数量カウントの目視点検を代替する手法として、光学センサー(RFID)と比較するため、光学センサー(Beacon)を活用するシステムの構築も行った。

光学センサー(Beacon)とは、赤外線や電波、極低電力の近距離無線通信規格「Bluetooth Low Energy (BLE)」を用いた位置特定技術、および当該技術を搭載したデバイスを指す。光学センサー(Beacon)は無線で信号を発信し、発信範囲内に受信デバイスがあると感知し、それをサーバーに送信することで検出を可能としている。光学センサー(Beacon)の特徴としては信号の送信範囲が半径数メートル～数十メートルと広範囲であり、ほかの信号の影響を受けにくく、消費電

力も低く、毎秒 1 回のデータ送信であれば 1 年電池交換の必要がないため、船舶内の点検対象物の有無を的確に検査できると考えた。

### (3) 開発・活用した技術・システムの内容

#### A) 光学センサー（RFID）による方法



図 23 RF タグ

今回使用した RF タグは内部にバッテリーを持たないパッシブ型タグに分類され、内部にバッテリーを持つアクティブ型タグもある。バッテリーの消耗による取り換えコスト等デメリットを考えパッシブ型を選択した。図 23 に示すラベルタグはシール状で貼り付けやすい点がメリットである。コストが安くプリンタで情報を書き込めるなど、幅広い用途で使用される。ただし、防水性や、耐衝撃性には弱く、金属に貼り付けると読み取れない点に注意が必要である。特殊タグは金属製品に貼り付けても読み取れる、防水性・耐熱性が高いなど、機能性に優れた特徴がある。遮蔽効果に対処するため、特殊なアンテナ設計や素材を使用している。コストは高めだが、通常のラベルタグでは対応できないシーンでも活用できる。



図 24 RF リーダ

今回使用した RF リーダを図 24 に示した。主な光学センサー（RFID）の仕様を表 5 に記す。<sup>v</sup>

表 5 RFID 基本スペック

	スペック
周波数	916.8～920.8MHz
総進出力	1W
読み書き可能な RF タグ	ISO/IEC18000-6 Type-C 対応タグ

事前に RF タグと PC を紐づけるため、RF タグを PC に登録した。RF タグを各救命設備に貼り付け、リーダにて読み取る。読み取った結果をリーダから Bluetooth にて PC に送り、登録されたタグが検出されたかを図 25 の画面にて確認する。検出、未検出データをネットワーク経由にてデータ集約 PC に送る。検出ができた場合には、画面上で「○」表示がなされ、未検出の場合には「×」表示となる。こうした各救命設備の検出、未検出に関するデータをネットワーク経由にてデータ集約 PC に送る。

No.	タグID	品名	有無
1	E2801190A503006062B372A9	RFID001	○
2	E2801190A503006062B39749	RFID002	○
3	E2801190A503006062B2C8D9	RFID003	○
4	E2801190A503006062B30D39	RFID004	○
5	E2801190A503006062B30DD9	RFID005	○
6	E2801190A503006062B2C8C9	RFID006	○
7	E2801190A503006062B30D29	RFID007	×
8	E2801190A503006062B30DC9	RFID008	×
9	E2801190A503006062B26359	RFID009	○
10	E2801190A503006062B263B9	RFID010	×
11	E2801190A503006062B697E9	RFID011	○
12	E2801190A503006062B69749	RFID012	○
13	E2801190A503006062B672E9	RFID013	×

図 25 タグ検出画面

## B) 光学センサー(Beacon)による方法

光学センサー(Beacon)を活用したシステムは、船舶内の救命設備の有無を自動で検知し、結果をデータ集約 PC に送信するシステムである。特に、従来の方法では時間がかかり、人為的なミスの可能性があった備品の確認作業を、この技術によって改善することを目的としている。また光学センサー (RFID) の特性との比較を行い、用途によって使い分けるなどデジタル化の余地の検討を行った。

本システムは、大きく分けて 3 つの主要部分から構成される。

### ① 小型でエネルギー効率の高い BLE 発信機 (光学センサー(Beacon))

光学センサー(Beacon)は、デバイス ID、Major、Minor で構成される自身の個体識別を行う 3 種の ID 情報を BLE 通信によって発信する。Beacon をあらかじめ船舶内の救命設備に設置しておくことにより、各救命設備の存在を確認することが可能となる。図 26 に光学センサー (Beacon) 本体を示す。

### ② BLE 受信および Wi-Fi 発信部分 (BLE 受信機)

光学センサー(Beacon)からの信号をキャッチし、それらのデータをローカルエリアネットワークの Wi-Fi 無線通信を介して PC に転送する。

### ③ Wi-Fi 受信・表示部分 (PC)

Wi-Fi 受信・表示部分では、BLE 受信機から送られてきた光学センサー(Beacon)の ID データを受信し、これらの情報を PC 内のアプリケーションがデータベースと照合する。



図 26 光学センサー(Beacon) 本体

### (4) 本実施項目における全体システム構成

②救命設備検査システムのハードウェアモジュールを含めたシステム構成、処理フローは図 27、図 28 のとおりである。光学センサー(RFID)を用いたシステムでは、光学センサー(RFID)-PC①間の通信は Bluetooth を用いており、PC①で処理を実行することにより自動スキャンを開始し、RF タグの読み取りを行い、結果を PC①内で構築した検出結果確認アプリケーションで表示する。また、検出結果データをデータ集約 PC のデータベースに保存する。光学センサー(Beacon)を用いたシステムでは、光学センサー(Beacon)から送信された信号を PC②が受信し、その結果をデータ集約 PC のデータベースに保存する。AC100V が必要な機器については、ポータブル電源を活用し、電源供給を行った。実証実験に用いたハードウェアについては表 6 のとおりである。

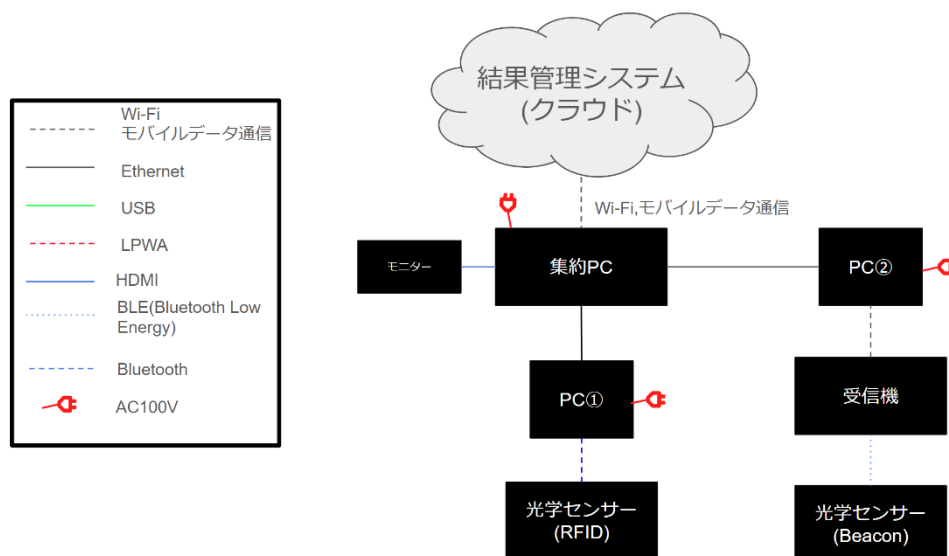


図 27 ②救命設備検査システム構成図



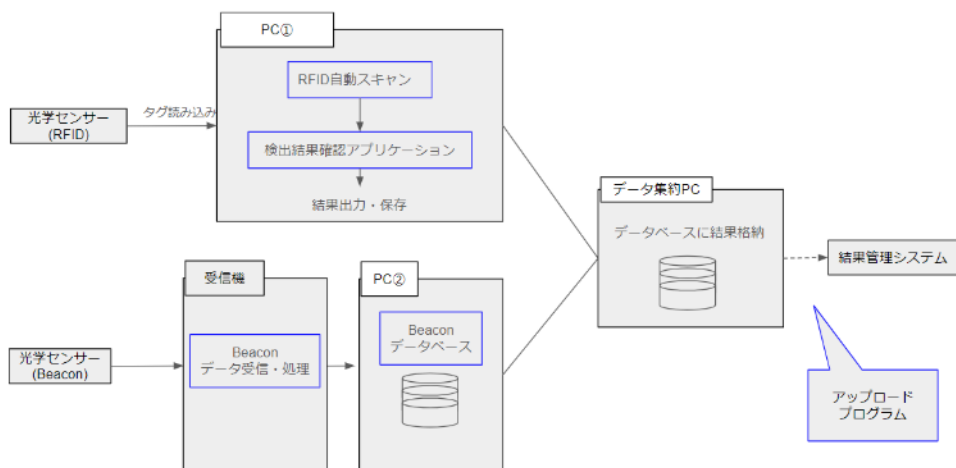


図 28 ②救命設備検査システムフロー図

表 6 ②救命設備検査システム使用ハードウェア

機材	仕様・スペック
光学センサー (RFID)	DENSO BHT-1281QULWB-CE 円偏波アンテナ搭載、連続読み取り時間約 8 時間、使用温度-20~50℃、保護等級 IP54
PC①	IntelCorei5 搭載、メモリ 8GB
データ集約 PC	Intel core i5 搭載、メモリ 16GBUSB、USB3.0x 4、HDMI2.0x2、1000Base-T ネットワーク対応、10Gbit 対応有線 LAN ボード
モニター	15.6 インチモバイルモニター-USB タイプ C 給電
光学センサー (Beacon)	電波強度：-30dBm~+4dBm 設定可能距離：2m/4m/10m/20m/30m の設定が可能 BLE 4.0 準拠 送信周期：0.1 ~ 1.0 秒間において、0.1 秒間隔で設定が可能 ペイロード：UDID、Major、Minor (Major Minor は任意に設定可能) 周波数帯：2.4Ghz 帯 電池寿命：毎秒送信で 12 ヶ月程度
受信機	Tensilica Xtensa LX6 マイクロプロセッサ 160MHz、メモリ 520KB、Wi-Fi 無線モジュール
PC②	HP Spectre
ポータブル電源	充電容量:278,400mAh/1002Wh

(5) 現地実証実験の際の設定状況

光学センサー(RFID)を使用した実証実験の様子を示す。(図 29)



図 29 RF リーダにて点検を行う様子

耐水試験は船上での実証実験にて検証できなかったため、予備実験にてタグの水濡れを想定し実験を行った。(図 30)



図 30 耐水性試験 タグ濡れ、水中試験の様子

光学センサー(Beacon)を使用した実証実験の様子を示す。(図 31)



図 31 光学センサー(Beacon)実験の様子

### 2.1.3 ③救命艇並びに艀装品検査システム

#### (1) 現行の方法

現行法令においては、船員法施行規則第 3 条の 9 第 2 項で「船長は、次の各号に掲げる救命設備については、少なくとも毎週 1 回点検しなければならない。」とされ、その対象・点検方法として、「救命艇等及び救助艇並びにそれらの進水装置（第 3 号に掲げるものを除く。）」を「目視により点検すること。」と定められており、船長による週 1 回の点検が要求されている。

当該点検に関し、内部にアクセス可能な救命艇においては、内部に艀装品を納めた硬質樹脂の戸棚があり必要な艀装品が収められている。この場合、艀装品を救命艇からおろして、スペースのある室内に広げて点検を行っているとのことであるが、定員分の飲料水と食料などその点検数量が多く、負荷になっているとのことである。

膨脹式救命いかだにおいては、膨脹させることができないため、救命いかだを収めているコンテナ外観の点検を行っている。膨脹式救命いかだの内部には、本船の定員の数日間の飲料水や食料、釣り具などの艀装品を納めた緩衝材付きの袋が付設されているが、この場合、膨脹式救命いかだの展開は困難であり、その艀装品の点検は行われない。

#### (2) 技術実証において開発・活用した要素技術

本実施項目においては、2.1.2 と同様に、数量カウントが重要となる在庫管理などで広く用いられている非接触で読み取りができる自動認識技術である光学センサー（RFID）を活用して、目視による数量カウントを代替することを目指した。要素技術の説明については、2.1.2 を参照する。

(3) 開発・活用した技術・システムの内容

救命艇の艀装品は、多くの物品が救命艇内の保管庫に収められているという点において、2.1.2で述べた救命設備の実証実験と異なる部分もあるが、実証実験で活用した光学センサー（RFID）システムは複数一括読み取りが可能なシステム（図 32、図 33）を採用していることから、2.1.2と同様の構成で実証実験を行った。また、使用したハードウェアの仕様については表 7 のとおりである。

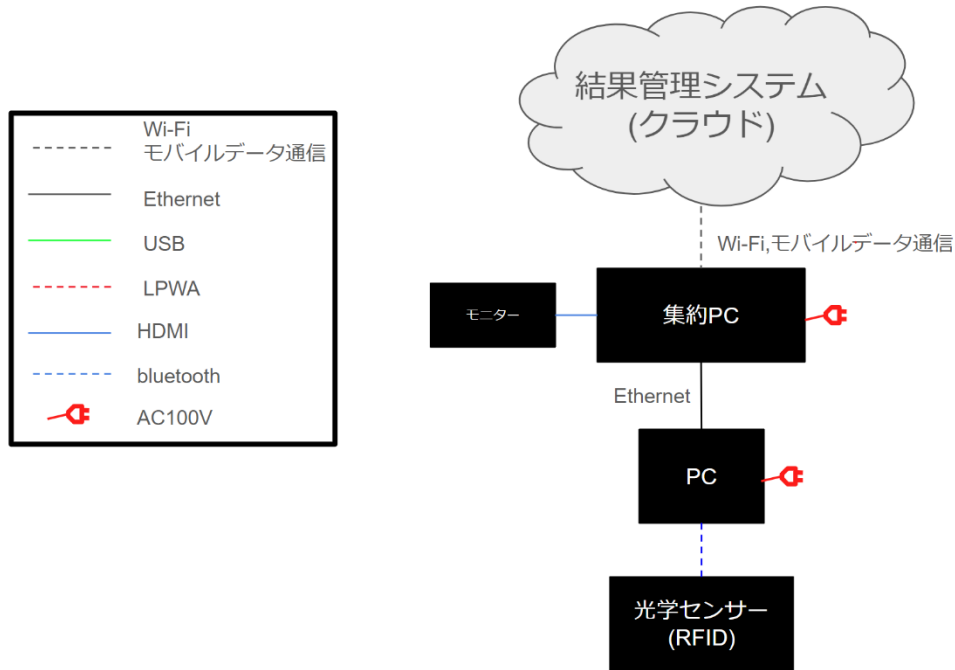


図 32 ③救命艇並びに艀装品検査システム構成図

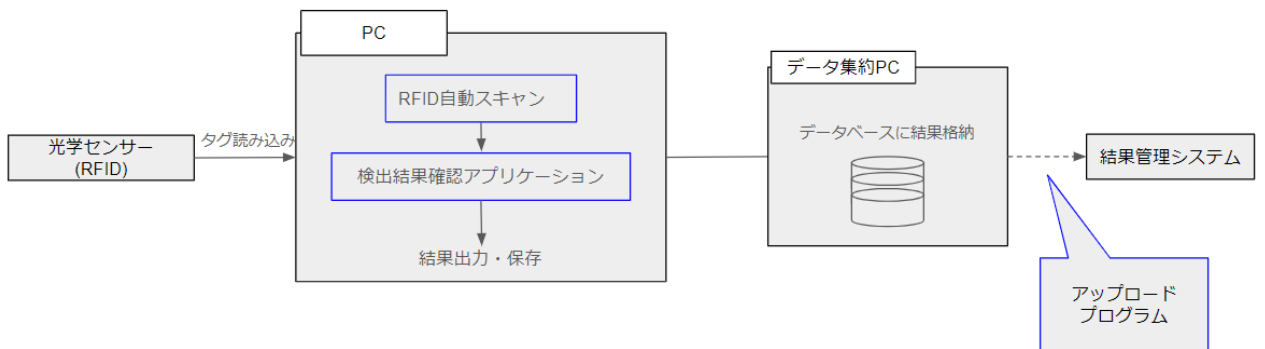


図 33 ③救命艇並びに艀装品検査システムフロー図

表 7 ③救命艇並びに艀装品検査システム使用ハードウェア

機材	仕様・スペック
光学センサー(RFID)	DENSO BHT-1281QULWB-CE 円偏波アンテナ搭載、連続読み取り時間約 8 時間、使用温度-20~50℃、保護等級 IP54
PC	IntelCorei5 搭載、メモリ 8GB

データ集約 PC	Intel core i5 搭載、メモリ 16GB、USB、USB3.0x4、HDMI2.0x2、1000Base-T ネットワーク対応、10Gbit 対応有線 LAN ボード
モニター	15.6 インチモバイルモニター-USB type-C 給電
ポータブル電源	充電容量:278,400mAh/1002Wh

#### (4) 現地実証実験の際の設定状況

救命艇の艀装品の点検については、訪船した船がコンテナに封印された膨脹式救命いかだのみを搭載しており、救命艇の内部にアクセスして艀装品の点検が可能なタイプの救命艇は搭載しておらず、現地での実証実験を行うことはできなかったため、弊社にて艀装品を収納する樹脂収納箱を想定した設備を模擬的に用意し実験を行った。

収納箱は、より厳しい条件となるように密閉され、2重にカバーされるようにした。(図 34～図 36)



図 34 RF タグを貼り付けた救命艇艀装品を模したケース



図 35 模擬艀装品ケース外観



図 36 模擬艀装品ケース外観

#### 2.1.4 ④保護具検査システム

##### (1) 現行の方法

現行法令においては、船員労働安全衛生規則第 45 条第 1 項にて「船舶所有者は、船員に使用させるべき保護具については、他の法令の規定により備える保護具を含めて、これを必要とする作業に同時に従事する人数と同数以上を船舶に備え、常時有効、かつ、清潔にこれを保持しなければならない。」とされている。

また、同条第 2 項にて「船舶所有者は、前項の保護具のうち、自蔵式呼吸具、送気式呼吸具及び空気圧縮機については、少なくとも 1 月に 1 回これらを点検しなければならない。」と定められているように、船舶で必要な作業を行う際の安全衛生を確保するために使用する保護具のうち、特に自蔵式呼吸具ほかについては、少なくとも月 1 回の点検が要求されている。

また、船員労働安全衛生規則第 5 条「船舶所有者は、次に掲げる事項を、安全担当者に行わせなければならない。」として、「作業設備及び作業用具の点検及び整備に関すること。」や「安全装置、検知器具、消火器具、保護具その他危害防止のための設備及び用具の点検及び整備に関すること。」について船舶所有者の選任した安全担当者による点検が要求されている。

点検方法について、実証実験協力先の内航船である第一大栄丸、せどろす、ガンツウの船長にヒアリングを行ったところ、主に目視点検にて、必要とされる保護具の有無を確認し、一部設備は破損、劣化や腐食といった機能についての確認も行われているとのことであった。

船内に多数備え付けられている救命設備と救命艇の艀装品も含めて、その点検作業は、船舶設備にもよるが、対象種類が 20 種類を超え、作業量が多く、安全担当者にとって大きな負荷になっていると考えられる。

加えて、その保管位置は、船内の必要な各位置で保管されており、設置位置を把握しながら、その設備を認識・同定して正しく点検する作業が求められ、選任を受けた安全担当者あるいは船員法施行規則第 3 条の 9 に定める船長による点検が要求されている。

## (2) 技術実証において開発・活用した要素技術

今回の点検作業のデジタル化に際して、従来は特定の人物、例えば船長や安全担当者に限定されていた属人化された作業を、誰もが実行可能な形へと標準化することを目指した。この標準化により、誰もがスマートフォンなどの撮影デバイスを用いて対象となる設備を撮影し、その設備を自動で認識し、さらにはその設備の領域を自動で認識・抽出し、その設備の状態を自動で点検することが可能となるシステムを構築することを目指す。具体的には、設備の種類に応じて状態の検出項目を自動で判断する仕組みを取り入れることで、作業の効率化を図った。以下の 3 つの技術を段階的に用いた。

### 【分類】

このシステムでは、対象設備の認識には分類モデルを用いた。この分類モデルは、特定の対象物が含まれる画像を入力として受け取り、対象となる設備の中で最も適切なカテゴリーに分類する。例えば、自蔵式呼吸具といった保護具に加え、船舶での点検の対象である救命浮輪や救命胴衣などの救命設備がカテゴリーに該当する。領域抽出で用いる物体検出モデルは言語プロンプトを入力としているため、分類モデルの出力をプロンプトとして利用する。

### 【領域抽出】

次に、物体検出モデルを利用して対象部分の領域を抽出し、不要な背景を除去する。分類モデルが 1 つの画像に対して 1 つのラベルを付与するだけであり、余計な背景が含まれることが想定される。それにより正確な不良検出が難しくなるため、領域抽出で背景を除去することが不可欠である。

### 【不良検出】

最終段階では、セグメンテーションアルゴリズムを適用し、抽出された対象の領域から、傷や塗装の薄れ、錆などの細かな不良を検出し、その割合を算出する。

今回の対象設備に関しては、分類と領域抽出は救命浮輪と救命胴衣に焦点を当てた。これは、AI の評価をするうえで不可欠なデータ量を船舶ヒアリングと現地実証実験を通じて最も確保することができたためである。不良検出は、同様に多くの不良サンプルとしてのデータ量を得ることができた錆に特化して行った。対象を限定することで、学習を集中的に行い、精度の検証を効果的に進めることができる。実際の検査で重要となる不良項目、例えば救命浮輪の色の薄れや救命胴衣の破れに対しても、適切にデータセットを用意し、アノテーションを行い、これらをセグメンテーションモデルで点検することが可能である。加えて、分類項目についても同様のアプローチでデータセットを用意することで、より多くの種類の分類が実現可能である。救命設備や保護具は種類が多岐にわたるものの、船舶設備としては限られているため、分類項目や不良項目のデータセットを整備し、それぞれのモデルを構築することは十分に可能だと考えられる。

### (3) 開発・活用した技術・システムの内容



図 37④保護具検査システムの概要

#### (ア) システム・要素技術

##### 【システム概要】

図 37 に本実施項目で構築したシステムの概要を示す。この図は、分類、領域抽出、点検の各段階において、どのように入出力を行い、それぞれのモデルがどのようにデータ連携しているかを示す。システム全体における入力は撮影した画像であり、出力は検査の結果である。そのため点検者が行うのは対象物の撮像のみであり、画像を特定の場所に保存するだけでその対象物の不良度合いの定量化が可能である。検査の結果としては設備種類、不良項目、不良の割合である。例えば図 37 では設備種類が救命浮輪、色の劣化：5%である。システムの流れとしてはまず画像を分類モデルに入力し、分類項目を出力する。つぎに分類項目を領域抽出モデルに入力し、クロップされた画像が出力される。最後に不良検出モデルに領域抽出された画像を入力し、不良の割合を%で出力する。このように 3 つの AI モデルを活用することで撮影以外の分類項目の判別、不良の検出を自動化する。なお、撮像の環境に関して、今回はスマートフォンを使用したが、その他のカメラを用いた検査も可能であり特に指定はない。

##### 【AI モデルについて】

一般的にセンサーを活用したルールベースでは人間が判定の条件を 1 つ 1 つ漏れなく定義する必要がある。しかし、AI では学習データとして与えさえすればほぼすべてのパターンを人間に近い基準で網羅することが可能である。そのため、AI では人間が悩むような基準の線引きを明確化することができ、本目的である標準化、属人化の解消に最適である。本実施項目における入力対象は画像である。画像を入力する AI には様々なタスクがある。以下で今回使用した分類モデル、領域抽出モデル、不良検出モデルという 3 つのタスクについて順に説明する。

##### 【分類モデル】

分類モデルは、上記（2）で説明した通り、入力はある 1 枚の画像であり、出力は画像に対するクラス（ラベル）である。クラスごとに形状が大きく違うものなど幅広視野にも対応が可能である。今回構築した分類モデルは 2 クラス（救命浮輪、救命胴衣）であるが、今後その他の設備を分類したい場合はその設備の画像を追加し再度学習することで N クラスの分類が可能



である。

今回分類に使用したモデルは FGVC<sup>vi</sup>モデルである。FGVC はジャンル名であり、Fine Grained Visual Classification の略称である。つまり、通常のカテゴリ分類モデルと比べやや詳細な情報が扱えるようになっている。普通の分類問題では抽象的な表現を理解することが得意であり、車、飛行機、鳥などの分類は可能である。ただし、例えば、鳥同士の違い、テリムクドリモドキやカラス等の精細な分類を行うことは難しい。そこで今回活用したモデルでは、鳥の重要な部分、例えば頭や翼を自動的に識別し、これらの部位の特徴を集約して全体の識別精度を向上させた。具体的には図 38 のようなイメージで、背景パッチの確率分布は平坦であるのに対し、一部のオブジェクトの確率分布は特定の形状をしている。つまり、背景領域の修正が平坦な確率分布を目指す一方で、オブジェクト特徴は異なるスケールで分類予測のために融合される。この方法によって、背景ノイズを取り除き、重要な領域に焦点を当てることができる。具体的には、背景パッチとオブジェクトを含むパッチの確率分布の違いを利用して、識別可能なオブジェクトを含むパッチを訓練に使用することで、予測結果がより区別可能となる。このアプローチは、予測されたクラススコアを利用して、特徴マップをより有効に分析し、細かな視覚分類タスクにおいて重要な領域に焦点を絞ることを可能となる。またモデルはより細かい特徴に注目し、類似した種間でも差異をより正確に捉えることができるようになる。実際に FGVC が技術公開された 2022 年時点においては、CUB200-2011 データセットにおいて精度 92.77%、NABirds データセットにおいて精度 92.83%と SoTA (State-of-the-Art、最高レベルの性能) を達成している。

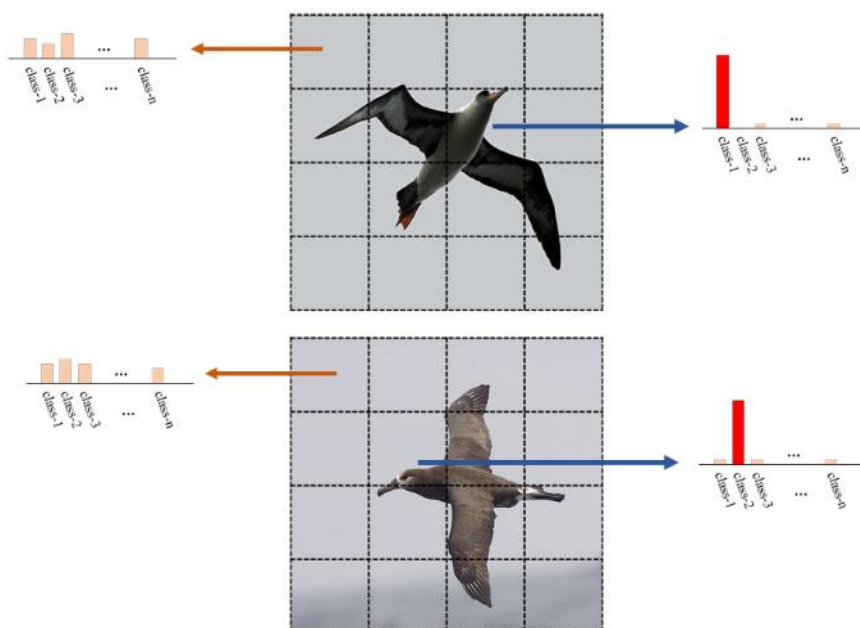


図 38 FGVC

#### 【領域抽出モデル】

(2) で説明したが物体検出は、入力対象はある 1 枚の画像であり、出力は各物体の位置座標 (バウンディングボックス) とラベルである。今回は 2.1.1 でも使用した GroundingDINO を領域抽出モデルとして用いた。GroundingDINO は新たにクラス数を定めたデータセットなどを用意して再度学習を行わなくても、抽出したい対象をプロンプトとして画像と共に与えるだけでそ

の物体を認識することが可能である。つまり、多種多様な物体に対し正確な検出が可能であり、バウンディングボックスを活用することで背景除去が可能である。

#### 【不良検出モデル】

セグメンテーションは入力画像の各ピクセルについてあらかじめ定義されたクラスに塗り分ける手法である。

そのため、入力は画像であり、出力はピクセルごとのクラスである。今回の検証では劣化具合の代表例である錆の検出を行った。浮き輪の色落ち等ほかの劣化を検出した場合は適切なアノテーションを行いセグメンテーションモデル構築を行うことで可能である。分類の場合のアノテーションは画像に1つのラベルをつける処理であるがセグメンテーションではすべてのピクセルをクラス分けしなければならない。そのため背景以外の該当箇所今回の場合はある画像に含まれるすべての錆をポリゴンと呼ばれる多角形で囲む必要がある。今回はモデル構築のために Segmentation Models Pytorch(以下 SMP)<sup>vii</sup>を使用した。Pytorch で簡単にセグメンテーションを使えることからデータ分析コンペティション等でよく利用されている。SMP は、アーキテクチャと encoder と decoder の重みを指定するだけで簡単にモデルの構築が可能である。

アーキテクチャは、ネットワークの構造であり、これには、ネットワークがどのように層を積み重ね、特徴を抽出し、最終的にセグメンテーションマップを生成するかが含まれる。今回は、Feature Pyramid Networks (以下 FPN) という特徴ピラミッドを利用した特徴抽出器をアーキテクチャとして用いた。画像データにおいて、検出対象の物体の大きさは大小様々である。そのため FPN では特徴マップを図 39 のようにピラミッド型に伝搬していくことでこの問題に対処している。

encoder には timm-efficientnet-b0 を使用し、事前学習モデルの重みとしては ImageNet を用いた。ImageNet はコンピュータビジョンの研究のために広く使用されている大規模な画像データセットである。1400 万枚以上あるほど大規模なカラー写真付きの教師ラベル付き画像データベースである。スタンフォード大学の研究グループが管理しており、現在では各種モデルの比較のためのベンチマークに使用されている。今回用いた encoder は timm-efficientnet-b0 でこれを ImageNet で事前学習させたモデルを錆に再度適用している。timm は Pytorch Image Models というライブラリで様々なモデルの実装が準備されている。EfficientNet は Google AI によって 2019 年に発表された、画像分類タスクのための畳み込みニューラルネットワークで、深さ、幅、解像度の 3 つの次元にわたりモデルを均等にスケールアップすることで、計算効率と精度のバランスを最適化する。b0 から b7 までの異なるサイズを提供しており、数字が大きくなるほどモデルのサイズも大きくなり精度が向上するが計算コストも増大する。ImageNet などの画像分類タスクで他のモデルと比較して高い精度を達成している。今回はデータ集約 PC での実装を想定しており、また計算コストの抑制の観点から B0 を採用した。

また、今回は計算コストがより軽量な手法である画像処理手法<sup>viii</sup>を実験し、比較を実施した。錆の色はある程度の範囲に収まるという仮定のもと、その範囲にあるピクセル値を錆として検出する手法である。こちらの手法においてもピクセルごとに判断を行うためセグメンテーションモデルと同様に割合の算出は可能である。

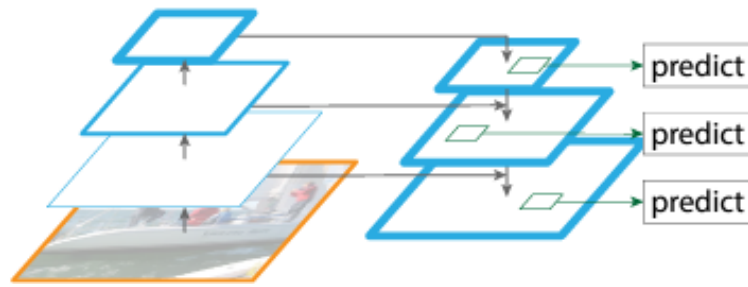


図 39 FPN

#### (ア) 実証実験準備

実証実験における準備として、画像収集、アノテーション、AIモデル構築の3つを分類、領域抽出、不良検出においてそれぞれ行った。なお画像収集については訪船した、ガンツウ、第一大栄丸、せどろす、の3つの船でスマートフォンで撮像を行った。

##### 【分類】

救命器具の対象としては救命胴衣、救命浮環、救命艇、救命いかだ等が挙げられる。今回の実証実験では救命胴衣、救命浮環に対象を限定した。なぜなら、現場でのデータ収集において救命胴衣、救命浮環が絶対数が多く、様々なパターンが撮影可能だからである。また、救命浮輪、救命胴衣の公開データセットが既に存在していたためである。

画像の収集方法は現場の撮像、公開データセットの活用の2つである。現場の撮像については上記訪船した3船で撮像を行った。また、耐久性の面から追加で社内実験での撮像を行った。公開データセットとしては、roboflow から救命浮環<sup>ix</sup>や救命胴衣<sup>x</sup>のデータセットを探索しその一部を活用した。

分類のアノテーションは画像に対して1ラベルを付ける作業である。現場、社内実験での撮像した画像に対してbuoy、life-jacketどちらかに割り当てを行った。公開データセットも物体検出用のデータセットであったため同様のラベル付けを実施した。

モデル構築は2.1.4で記述したFGVCモデルを使用して上記データセットで学習を行った。

##### 【領域抽出】

検出対象は分類モデルと同じである。そのため分類モデルの際に撮像した救命浮環、救命胴衣の画像を活用した。また、今回はゼロショット学習をGroundingDINOモデルで検証した。ゼロショット学習は2.1.1で記述した通りアノテーション、モデル構築は不要である。ただし、今回のモデルではプロンプトと呼ばれる言語入力を行う必要があるためそちらに関しては複数通りで実験を行い検出の正確性に関する比較を行った。

##### 【不良検出】

本技術実証では錆検出を行った。その他の不良としては、救命浮環の色落ち、救命胴衣の破損などが考えられる。しかしながら現場でのデータ収集と公開データセット等、分類モデルと同様の理由の観点から今回は錆検出を行った。

画像の収集方法は、分類モデルと同様に現場の撮像、公開データセットの活用の2つである。現場の撮像についてはせどろすと第一大栄丸で撮像を行った。撮像する際には救命浮環、救

命胴衣等と比べ対象がはっきりしているわけではないため様々な距離で撮像を行った。公開データセットとしては、roboflow から錆のセグメンテーションデータセット<sup>xi</sup>を活用した。こちらは画像が700枚ほどあり、ポリゴン形式という多角形で錆を囲むアノテーション付きのデータセットである。

セグメンテーションにおけるアノテーションは上記で述べた通りポリゴン形式という多角形で錆を囲む作業を行う。現場で撮像した画像に関してはアノテーションを行った。

モデル構築は2.1.4で記述したSMPを使用して上記撮像した画像と公開データセットを1つにまとめて学習を行った。

#### (イ) 実証実験方法

今回のシステムにおいて人が行うことは対象物の撮像のみである。そのため、撮像のみスマートフォンを用い現場で行った。その後の分類モデル、領域抽出モデル、不良検出モデルに関しては、それぞれ独立しているため、それぞれ現場で撮影した画像で検証を行った。分類モデルと領域抽出の検証について、公開データセットはモデルの構築にしか使用していない。ここでは分類、領域抽出、不良検出の検証を行う際のデータセット準備、評価指標について述べる。

#### 【分類】

データセットの準備としてはテスト用として救命胴衣、救命浮環のそれぞれ現場で撮影した画像を5枚程度用意した。救命胴衣は第一大栄丸、救命浮環はせどろすで撮影した図40のような画像を用いた。



図 40 学習に用いた画像

分類における評価指標は様々である。図41の混同行列を参考に説明する。混同行列はラベルの正負と予測の正負を4マスに当てはまるデータにカウントした表である。まず代表的な指標として正答率がある。正答率(accuracy)は全てのサンプルの中で正しく分類されたサンプルの割合であり以下の式で表される。

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

しかしながら正答率は、クラスの偏りが多い場合は多数派が優位になるため、再現率(recall)、適合率(precision)を参考にする必要がある。適合率は正と予測された項目のうち、実際に正である項目の割合であり、再現率は実際に正である項目のうち正と正しく予測された項目の割合である。それぞれ以下の式で表される。

総合的に判断を行うため今回はこの3つすべてを指標として用いる。

$$precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

		実際の結果	
		実際は正 (Positive)	実際は負 (Negative)
予測値	予測が正 (Positive)	TP(真陽性) True Positive	FP(偽陽性) False Positive
	予測が負 (Negative)	FN(偽陰性) False Negative	TN(真陰性) True Negative

図 41 真値と予測値のマトリクス

#### 【領域抽出】

データセットの準備としては 1.と同様に救命胴衣、救命浮環のそれぞれ現場で撮影した画像を 5 枚程度用意した。再現性、繰り返し性の確認のためこの検証では様々な船、複数人で撮影した画像を用いる。

今回はゼロショット学習、つまりアノテーションをしていない画像で検証を行っている。入力に用いた単語としては、救命胴衣は life jacket と life vest の 2 通り、救命浮環は life buoy と buoy と float ring の 3 通りで行い、検出の判定を行った。また、something という単語でも検出を行う。そのため精度指標は 1 で説明した正答率 (accuracy) である。

#### 【不良検出】

データセットの準備としては、まず定量的に評価を行うための錆のセグメンテーションデータセットをそのまま検証に用いた。また実際の船の画像を用いて定性的に確認も行った。定性的な確認においては既存の画像処理手法との比較を行った。

セグメンテーションにおける精度評価指標は 2.1.1 と同様の IoU (Intersection over Union) である。IoU は正解ラベルと予測が一致するピクセル割合を計算した指標であり、セグメンテーションの正確性を計算するのに有用である。

#### (4) 本実施項目における全体システム構造

④保護具検査システムの構成、システムの処理フロー、実証実験に用いたハードウェアについては図 42、図 43、表 8 に示す。

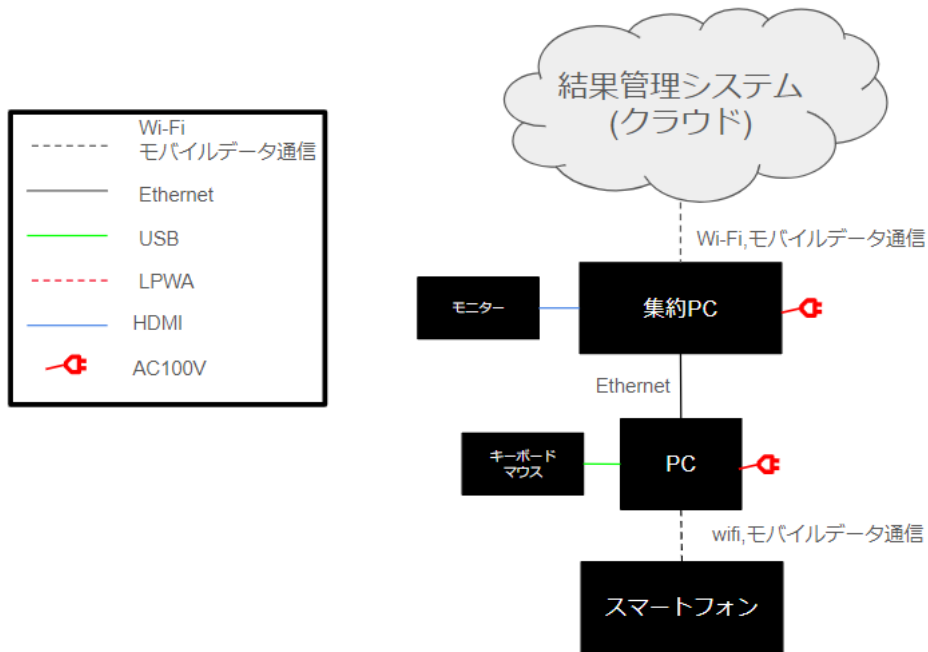


図 42 ④保護具検査システム構成図

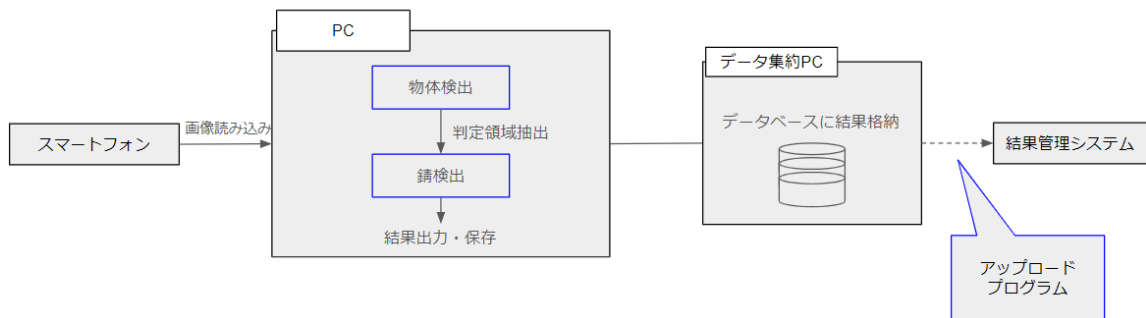


図 43 ④保護具検査システムフロー図

表 8 ④保護具検査システム使用ハードウェア

機材	仕様・スペック
スマートフォン	i-phone11、SharpAQUOSwish
PC	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Jetson NX Xavier</li> <li>・ RTX3050Ti、Intel core i9 搭載、メモリ 32GB、USB2.0x2、USB3.0x 4、HDMI2.0x2 1000Base-T 対応ネットワーク機能</li> </ul>
データ集約 PC	Intel core i5 搭載、メモリ 16GB、USB、USB3.0x 4、HDMI2.0x2、1000Base-T ネットワーク対応、10Gbit 対応有線 LAN ボード
モニター	15.6 インチモバイルモニターUSB type-C 給電
キーボードマウス	USB レシーバーワイヤレス接続
ポータブル電源	充電容量:278、400mAh/1002Wh

#### (5) 現地実証実験の際の設定状況

実証実験自体は、船内で一般的なスマートフォンで対象を撮影し、画像認識 AI を搭載したコンピュータに画像を保存し、画像認識 AI を実行した。実証実験の様子として参考までに、船内で撮影し、画像認識 AI の構築に使用した対象物を数点示す。(図 44)



図 44 画像認識 AI の構築に用いた画像

#### 2.1.5 ⑤結果管理システム (クラウド)

##### (1) 現行の方法

現行法令においては、船員法施行規則第 11 条第 2 項で「航海日誌には、航海の概要を第四表に記載するほか、次に掲げる場合にあっては、その概要を第五表に記載しなければならない。」と定められており、「第 3 条の 9 の規定により救命設備の点検整備を行ったとき。」についても、航海日誌にその概要を記載することが要求されている。紙媒体による航海日誌の管理においては、紙媒体という特性上、情報へのアクセス性や検索性において、電子媒体をデジタル管理する場合と比較して利便性が大きく劣る。すなわち、原則、当該航海日誌を管理・保管している船舶内においてのみアクセスが可能となり、例えば陸上の事務所、関連機関から記録を照会することができない。また、情報の検索性においても、デジタル化された記録であれば、キーワードや条件などで検索することが可能になり、必要な情報に容易にアクセスすることが可能である。

##### (2) 技術実証において開発・活用した要素技術

データベースを利用した記録のデジタル化は、非常に広範囲で実用化され、活用されている。本技術実証においても、標準的な MySQL8.0 を用いて、簡易なデータベースを開発して、船舶内およびクラウドでの同期運用を目指した。

また点検結果を保存、確認可能なクラウドアプリケーションの構築は Amazon Web Services(AWS)を活用し、構築を行った。

##### (3) 開発・活用した技術・システムの内容

本システムは、結果保存用データベース、データ集約 PC-クラウド通信プログラム、結果管理クラ

クラウドアプリケーションから構成される。結果保存用データベースは、点検結果のデータを構造化して保存し、データにアクセスして維持するために使われる。データを構造化し、保存することで、各船舶の点検状態を正確に把握することが可能となる。

データ集約 PC-クラウド通信プログラムは、船内でデータ集約 PC に保存したデータとクラウドデータベース間の同期を行う。各システムから取得した点検結果データを自動でクラウドにアップロードする。

結果管理クラウドアプリケーションはデータベースに格納された結果を Web 上で確認できる。各船舶の点検状態を陸上からでも確認でき、データ更新により、点検状況の把握が可能となる。

#### (ア) 結果保存用データベース開発

結果管理クラウドアプリケーションには、ローカル PC のデータベースに保存されたすべての情報がアップロードされる。検索性を考え、船舶、点検項目、デジタル技術による点検結果、点検項目の対象を保存する 4 つのテーブル（データを格納する表）を設計した。

テーブル設計を下記に表 9～表 12 で記載する。

表 9 ships(船)テーブル

フィールド	説明
id	データベースが自動採番する一意の値
name	船舶の名称
code	船舶ごとのユニークなコード
created_at	レコード作成時のタイムスタンプ
updated_at	レコード変更時に自動的に更新



表 10 inspection(点検項目)テーブル

フィールド	説明
id	データベースが自動採番する一意の値
ship_id	点検される船舶の ID
inspection_target_id	点検対象の ID
name	点検の名称
code	点検ごとのユニークなコード
created_at	レコード作成時のタイムスタンプ
updated_at	レコード変更時に自動的に更新

表 11 inspection results(点検結果)テーブル

フィールド	説明
id	データベースが自動採番する一意の値
ship_id	点検される船舶の ID
inspection_id	点検項目の ID
result	点検の結果(合否)
note	点検結果に関する備考
created_at	レコード作成時のタイムスタンプ
updated_at	レコード変更時に自動的に更新

表 12 inspection targets(点検項目の対象)テーブル

フィールド	説明
id	データベースが自動採番する一意の値
ship_id	点検される船舶の ID
name	点検項目の対象の名前
code	点検項目の対象に割り当てられたユニークなコード
note	点検結果に関する備考
expiration_at	点検項目の有効期限
created_at	レコード作成時のタイムスタンプ
updated_at	レコード変更時に自動的に更新

(イ) データ集約 PC-クラウド通信プログラム開発

船上(特に海上)ではネットワークへの接続が不安定、または困難な状況が想定されるため、船舶の着港時など、インターネット環境が安定しやすい状態でクラウドアプリケーションにデータをアップロードできるシステムを作成した。インターネット接続時のみ起動するタイムスケジューラーを設定し、インターネット接続時に、クラウドにデータ集約 PC のデータベース情報をクラウドにアップロードするプログラムを起動するシステム(図 45)である。

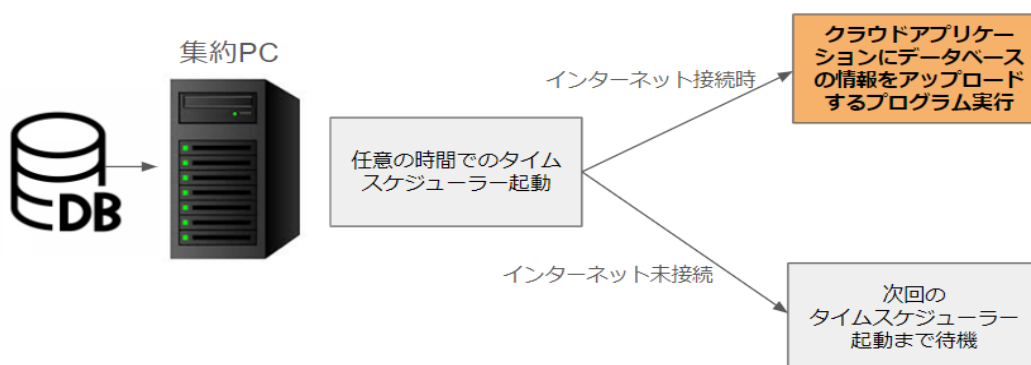


図 45 クラウドアプリケーションへのデータベース同期のフロー

### (ウ) 結果管理クラウドアプリケーション

船上で取得した点検データがデータ集約 PC のデータベースに格納されたのち 2.1.5 のプログラムを用いて、クラウドにデータが送信された際に、そのデータをクラウド内のデータベースに格納し、Web サーバーと連携することで結果を表示、閲覧できるアプリケーションを開発した。

なお、セキュリティ上の面からクラウドのデータベースにはインターネット上からアクセスすることはできない仕様にしており、Web サーバーの URL のみを介してアクセスが可能である。

開発した結果管理クラウドアプリケーションの各画面を(図 46～図 50)に記載する。また、各画面の概要は以下のとおりである。

- ・船舶一覧画面では登録している船舶の一覧を確認可能である(図 46)。
- ・点検項目一覧画面では登録している各船舶の点検項目を確認可能である(図 47)。
- ・点検結果一覧画面では登録している各船舶の点検結果を確認可能である(図 48)。
- ・点検対象物一覧画面では登録している各船舶の点検対象物(例：救命胴衣、自己点検灯など)を確認可能である(図 49)。
- ・点検結果確認画面では登録している各船舶の点検項目が終了しているか、不良が発生していないかを一覧で確認が可能。また、点検月のソートをかけることも可能である(図 50)。

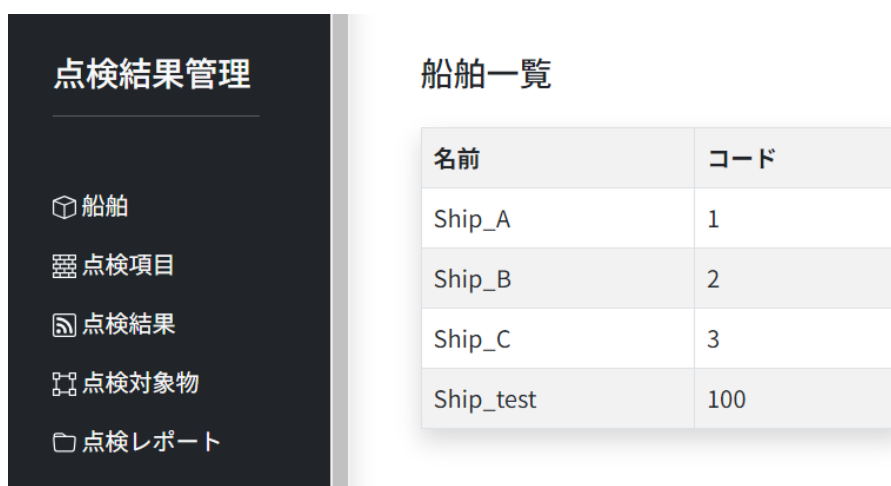


図 46 結果管理画面(船舶一覧画面)

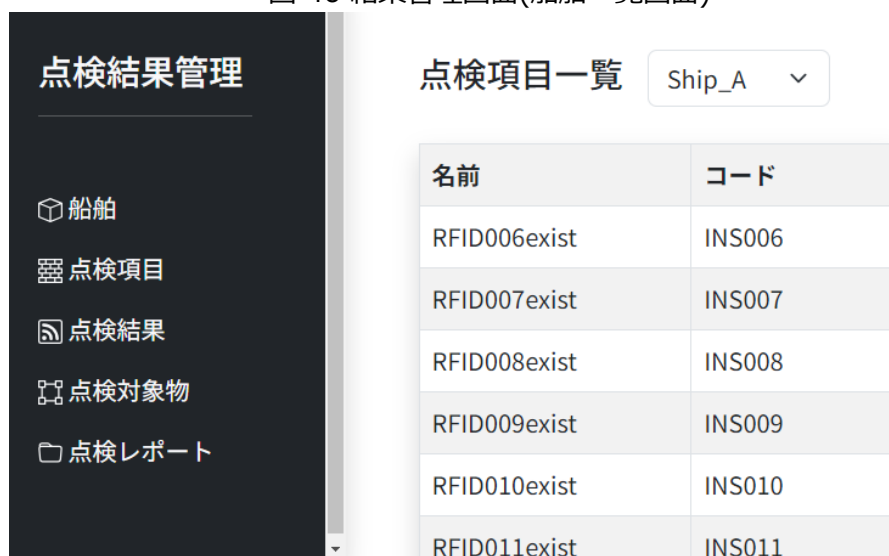


図 47 結果管理画面(点検項目一覧画面)

点検結果管理			
発生時刻	名前	結果	備考
2024/01/18 11:05:30	Camera001obstacle	OK	obstacle
2024/01/18 11:05:22	Camera001obstacle	NG	obstacle
2024/01/18 11:05:20	Camera001obstacle	NG	obstacle
2024/01/18 11:05:18	Camera001obstacle	NG	obstacle
2024/01/18	Camera001obstacle	OK	obstacle

図 48 結果管理画面(点検結果一覧画面)

点検結果管理			
船舶	点検項目	点検結果	点検対象物
点検レポート	点検対象物 Ship_A		
名前	コード	有効期限	
RFID001	IT001	2023/12/31 23:59:59	
RFID002	IT002	2023/12/31 23:59:59	
RFID003	IT003	2023/12/31 23:59:59	
RFID004	IT004	2023/12/31	

図 49 結果管理画面(点検対象物一覧画面)

点検結果管理			
船舶	点検項目	点検結果	点検対象物
点検レポート	RFID059exist	INS059	NG 2024/01/18 10:42:50
	RFID060exist	INS060	NG 2024/01/18 10:42:50
	Camera001obstacle	INS061	OK 2024/01/18 11:05:30
	Camera002obstacle	INS062	未点検 -
	Camera003obstacle	INS063	未点検 -

図 50 結果管理画面(点検結果確認画面)

#### (4) 現地実証実験の際の設定状況

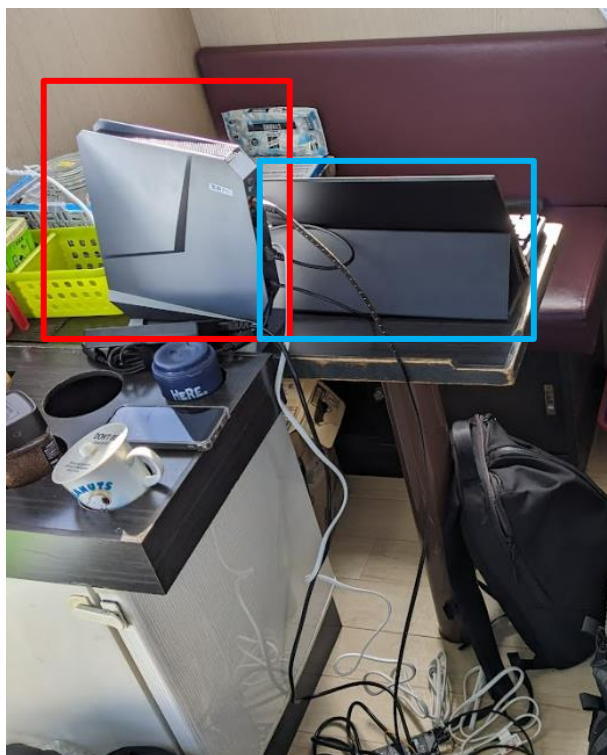


図 51 船内でのデータ集約 PC に設置した様子

⑤結果管理システムでを使用したデータ集約 PC（赤枠）とモニター（青枠）は実証実験を行った船舶(第一大栄丸)操舵室の一角に設置した。（図 51）

#### 【実施場所等】

前述のとおり、船舶によって、スペースや常備設備は異なるため、予め全ての船舶で適用できる装置を想定し、技術実証を行うことは困難である。そのため本技術実証においては、実証実験対象とした船舶のみでなく、多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるかについても検討を行えるように、予備実験と、船舶における実証実験を組み合わせることで行うこととした。それぞれの実施条件については、以下のとおりである。

1 番目の実験は、開発した実験機やシステム連携の動作確認および安定した環境での精度を確認する予備実験である。2 番目は、実際の船舶においてその動作を確認し、精度などを検証する実証実験である。実証実験においては、船舶特有の揺れといったノイズ要因の実証実験の場とした。

実施場所としては、予備実験においては主に、弊社の実験室環境を利用した。実証実験においては、船舶の協力を得て、複数の船舶において実証実験を行った。

予備実験、実証実験を行った場所・日付・当日のタイムスケジュール・実施条件は表 13、表 14 のとおりである。

【予備実験：本社実験室環境】

表 13 予備実験条件

場所	株式会社フツパーオフィス室内
日時	2023年12月20日～2024年1月5日
予備実験内容	①非常通路、昇降設備、出入口検査システム（画像認識 AI・センサー技術） ②救命設備検査システム ③救命艇並びに艀装品検査システム ④保護具検査システム ⑤結果管理システム（クラウド）
温度・湿度	空調環境下（設定温度 20℃）

【現地実証実験：第一大栄丸およびせどろす】

現地実証実験に際しては、ジャイロセンサーを活用して、図 52～図 57 のとおり、船舶特有の揺れのデータも取得した。

表 14 各訪船時の実証実験条件

	第一大栄丸第 1 回	第一大栄丸第 2 回	せどろす
場所	千葉県船橋港	千葉県船橋港	福島県小名浜港
日時	2024年1月18日	2024年1月27日	2024年1月30日
タイムスケジュール	9時00分 訪船 9時10分 実証実験 12時00分 終了	9時00分 訪船 9時10分 実証実験 11時30分 終了	13時40分 訪船 13時50分 実証実験、関係者による視察と撮影 16時10分 終了
実証実験内容	①非常通路、昇降設備、出入口検査システム（画像認識 AI） ②救命設備検査システム ④保護具検査システム ⑤結果管理システム（クラウド）	①非常通路、昇降設備、出入口検査システム（画像認識 AI、センサー技術） ②救命設備検査システム ④保護具検査システム ⑤結果管理システム（クラウド）	①非常通路、昇降設備、出入口検査システム（画像認識 AI、センサー技術） ②救命設備検査システム
天気	晴れ	晴れ	晴れ
波浪	～1.0m	～1.0m	～1.0m
温度	9℃	10.4℃	12.5℃
湿度	56%	48%	34%
気圧	1021.0hPa	1015.9hPa	1027.8hPa

揺れ	測定データ（図 50～ 図 52）の示すとおり、 揺れは小さい	測定データなし。揺れ の体感としては（1） の訪船時と同様	測定データ（図 53～ 図 55）の示すとおり、 揺れは小さい
----	---------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

以下に、揺れの測定データを示す。測定データは、船尾甲板の前後揺れ、左右揺れ、上下揺れ、横揺れ、縦揺れ、船首揺れからなる。いずれの測定も主機関は停止状態であった。揺れの影響が大きい場合、その評価のために測定を行ったが、実際は測定データの示す通り、加速度絶対値は最大でも 0.1m/sec/sec であり、現地実証実験を通じて、撮影やセンサー読み取りに影響するものではなかった。

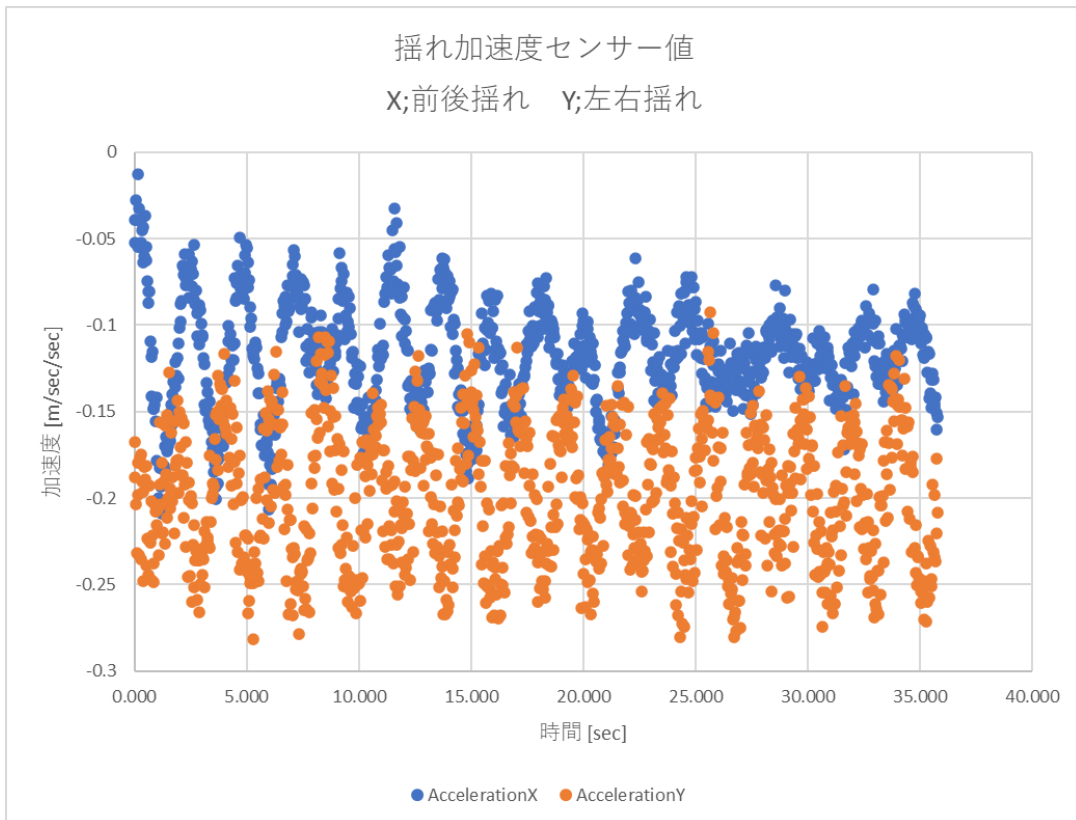


図 52 揺れの大きさ 2024 年 1 月 18 日第一大栄丸 (1)

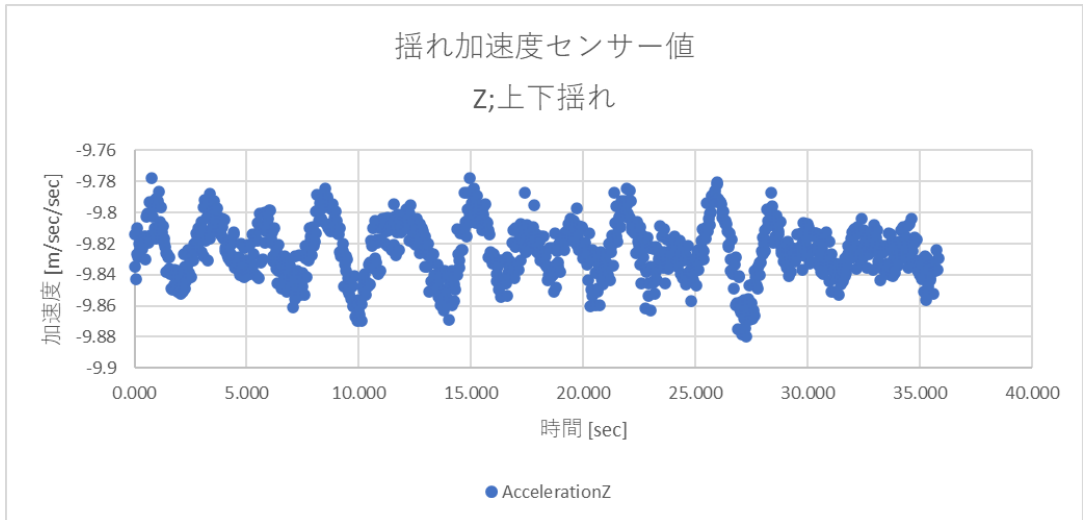


図 53 揺れの大きさ 2024 年 1 月 18 日第一大栄丸 (2)

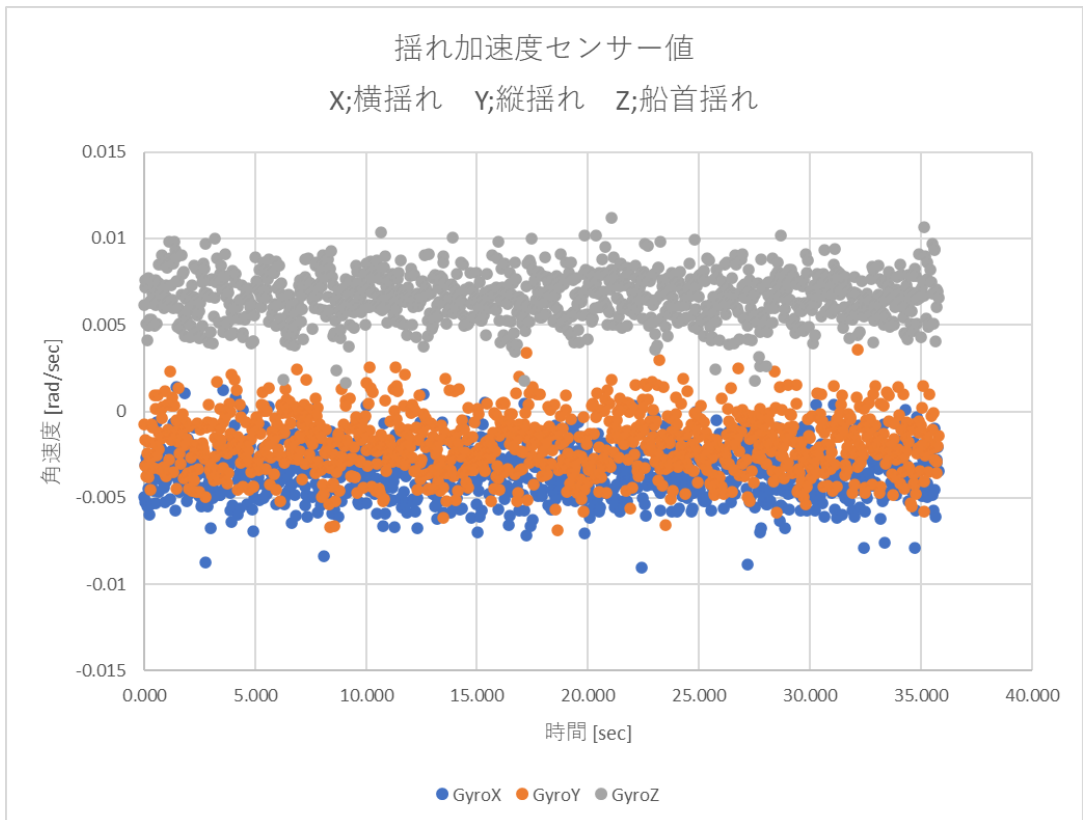


図 54 揺れの大きさ 2024 年 1 月 18 日第一大栄丸 (3)



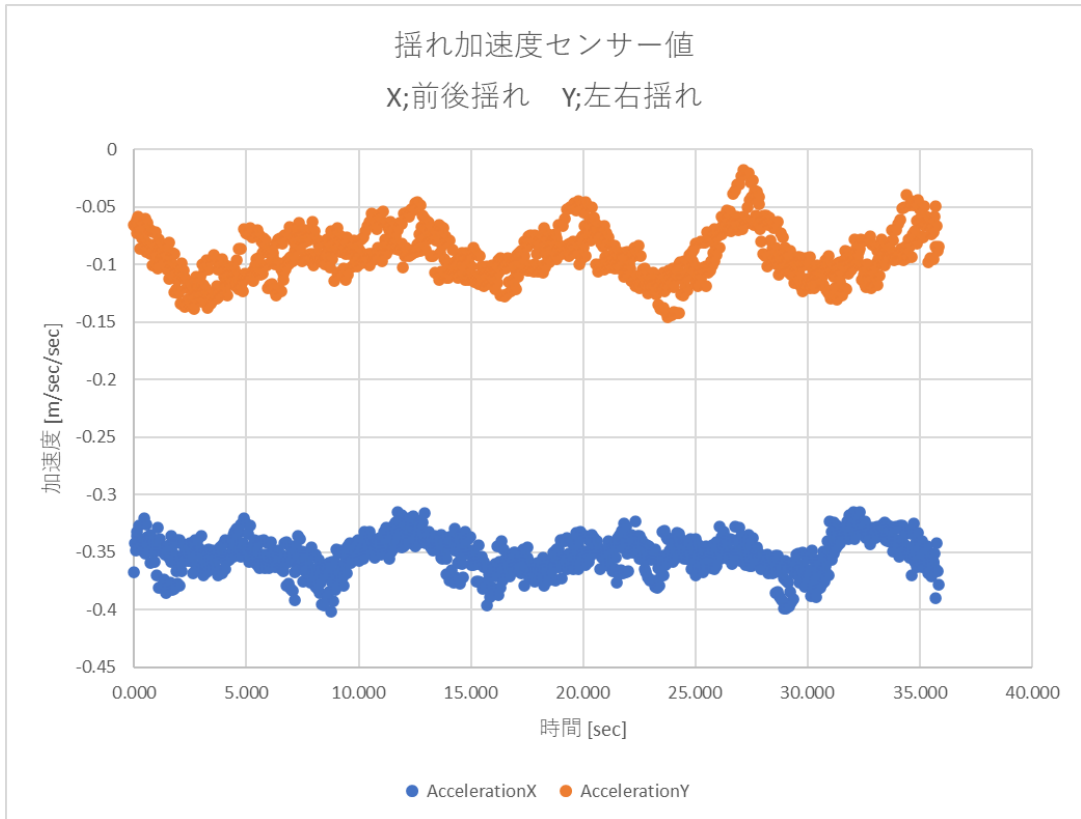


図 55 揺れの大きさ 2024 年 1 月 30 日せどろす (1)

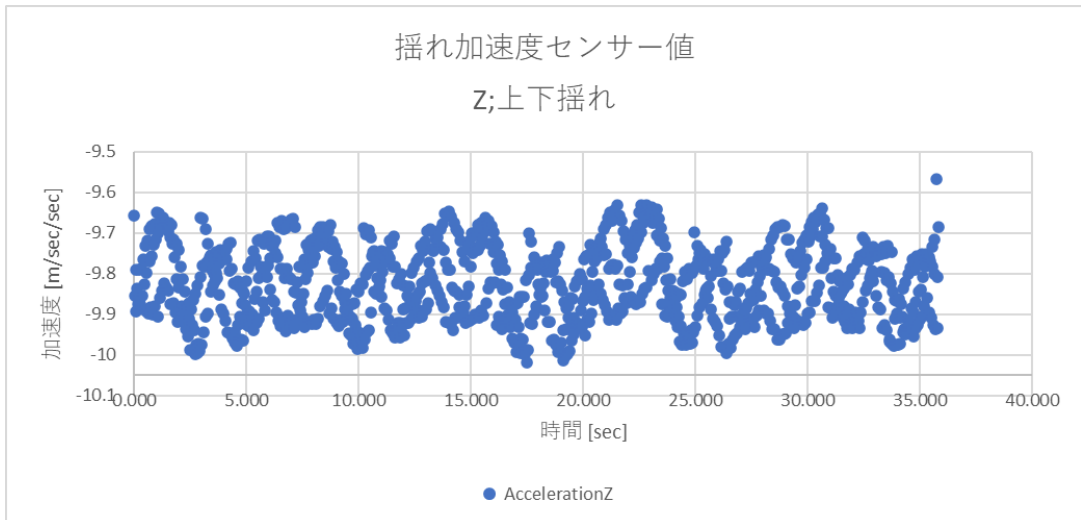


図 56 揺れの大きさ 2024 年 1 月 30 日せどろす (2)

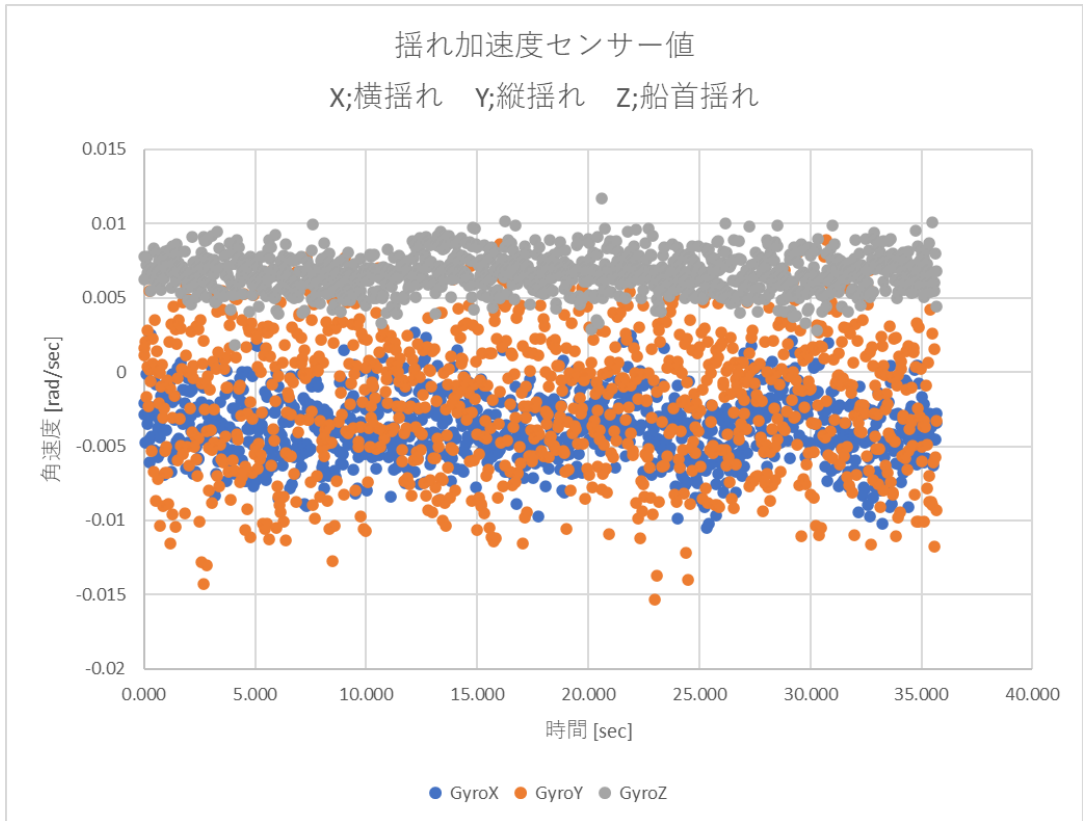


図 57 揺れの大きさ 2024 年 1 月 30 日せどろす (3)

### 3 技術実証の結果

#### 3.1 結果の評価ポイント・方法

技術実証の目的や対象業務の内容、実証実験にあたって求められた前提条件等を踏まえ、本技術実証における評価は、①～④の各検査システムそれぞれに対して、以下の評価項目にあげた6つの観点から評価を行った。評価の具体的な内容は表15のマトリクスに示す。

表15 評価項目と評価方法

評価項目	各システムの評価方法			
	①非常通路、昇降設備、出入口検査システム	②救命設備検査システム	③救命艇並びに艀装品検査システム	④保護具検査システム
デジタル技術を活用した代替手法により現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か	<ul style="list-style-type: none"> <li>・予備実験および実証実験における正解データとの整合率、目視による点検結果とデジタル技術による代替手法による点検結果の一致率（正解回数/試行回数）を評価する。90%以上であれば良好とする</li> <li>・再現性を評価する</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・センサー評価に関しては、繰り返しと再現性のばらつきが30%以下であれば良好とする</li> </ul>		
デジタル技術の経年劣化による取得情報の精度低下や、AIが出力する結果の不確実性等が考慮されているか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・屋内照明状態など起こり得るノイズを注入するなどして、精度低下、結果の不確実性を評価し、ハード機器の経年劣化への処置を検討し、評価する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置場所の違いなどで起こり得る光量差や背景の違いなどのノイズを注入するなどして、精度低下、結果の不確実性を評価し、ハード機器の経年劣化への処置を検討し、評価する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像の回転など、画像拡張と呼ばれるAI精度強化手法を実装し、画像データへ意図的にノイズを注入するなどして、精度低下、結果の不確実性を評価し、ハード機器の経年劣化への処置を検討し、評価する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像拡張など起こり得るノイズを注入するなどして、精度低下、結果の不確実性を評価し、ハード機器の経年劣化への処置を検討し、評価する</li> </ul>
多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コスト見積もりと入手性を評価する</li> <li>・特殊なセンサーや撮影設備に加工を要するかを評価する</li> </ul>			
センサーやカメラ等が船舶の環境下（海上での揺れ、エンジンによ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可能な範囲で模擬的な環境下で動作を確認し、評価する</li> <li>・センサーやカメラなど個別の仕様から評価できるものは、仕様を確認し、評価する</li> </ul>			

る振動、海水・雨・潮、気温等) で安定的に動作するか	
停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀損しない機能や仕組みが設けられているかを実際に電源を遮断して評価する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源遮断試験による評価をする</li> <li>・自動復旧、再起動の手間、影響を評価する</li> </ul>
電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低速通信環境で評価をする</li> <li>・即時送信できない場合はデータ保存できるかを評価する</li> </ul>

定量評価の基準としては、精度（整合率と一致率）に関しては 90%以上で良好とする。これは、AI 導入の開始段階において、精度目標指針としてよく設定される値である。

センサーなどで、繰り返し性と再現性を評価する場合は、ばらつきが 30%以下であれば良好とする。この水準は、工業製品の検査において、測定精度に求められる水準としてよく用いられる定量値である。

点検者によって点検結果に差異が発生するものについては、点検者による検査結果の変動を再現性と定義して、評価した。カメラによる撮影など点検者による差がないものについては、評価しない。

### 3.2 結果及び評価・分析

本章では、予備実験、実証実験の結果とデータ、および前章で述べた結果の評価ポイント・方法に従って、①②③④⑤の検査システムごとに章立てして説明する。1 つの検査システムに対して複数の要素技術で別々に技術実証をした場合は、さらに節を分割して、個々の検査方法ごとに説明をする。具体的な説明にあたっては、結果やデータを含む結果概要を示したのち、評価ポイント・方法を表 15 の観点に従って以下の各小節のとおり説明する。

#### 【説明の構成】

##### (1) 結果概要

##### (2) 評価

- (A) 現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か
- (B) 経年劣化による取得情報の精度低下や、AI が出力する結果の不確実性等が考慮されているか
- (C) 多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか
- (D) 船舶の環境下（海上での揺れ、エンジンによる振動、海水・雨・潮、気温等）で安定的に動作するか
- (E) 停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀

- 損しない機能や仕組みが設けられているか  
(F) 電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか

### 3.2.1 ①非常通路、昇降設備、出入口検査システム

本実施項目においては、非常通路上の障害物の検知システムについて実証実験を行っている。技術実証は、a)画像認識 AI による方法と b)センサー技術による方法の 2 つの技術要素によって別々に行っており、本章でも、2 つの節に分割して、結果とその評価をそれぞれ示す。

#### a. 画像認識 AI による方法

##### (1) 結果概要

##### (ア) 画像認識 AI：予備実験

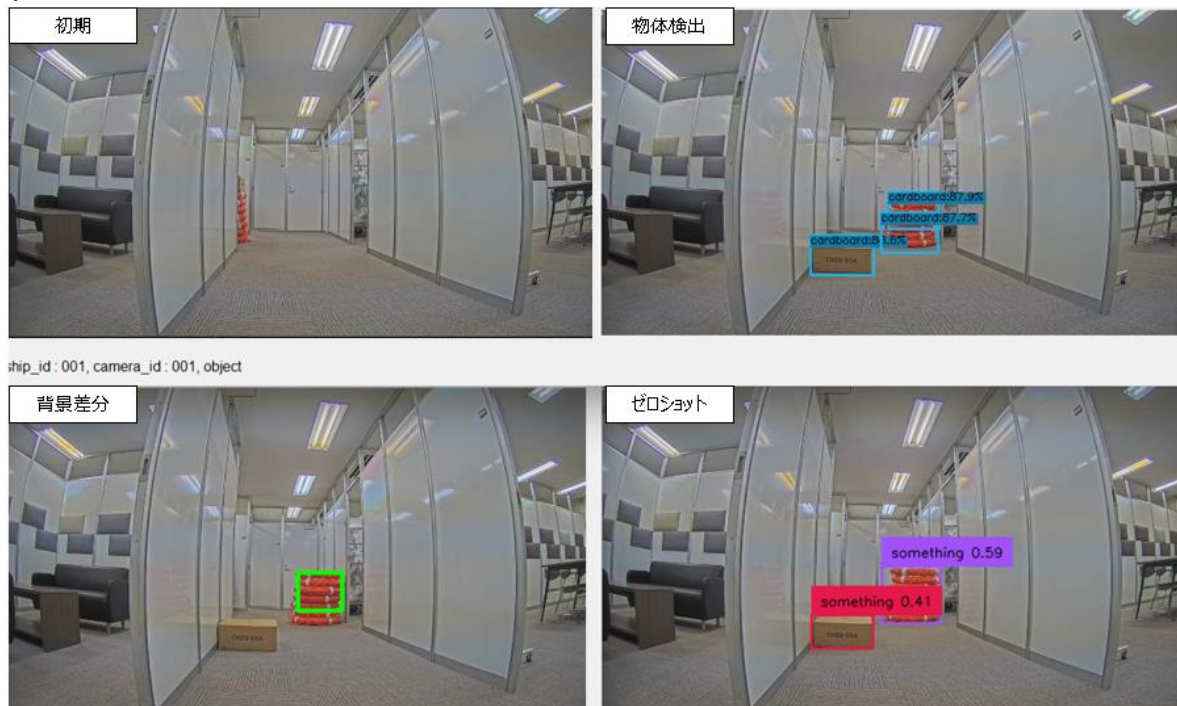


図 58～図 65 画面は左上が初期画面、右上が生成 AI を用いた物体検出画面、左下が背景差分法を用いた検出画面、右下がゼロショット物体検出の画面である。また、検出結果を示す

表 16～表 23 では、生成 AI を利用した物体検出は「物体検出」、ゼロショット物体検出は「ゼロショット」、背景差分法による物体検出は「背景差分」とする。

ノイズなしでの実験結果は

表 16 に示す通り、ゼロショット物体検出が精度よく検出できた。生成 AI を使用した物体検出は段ボール、浮き輪を検出しているが、浮き輪を段ボールと認識している。ゼロショット物体検出は段ボール浮環ともに something と検出できている。背景差分法による物体検出は浮き輪のみ検出できた。

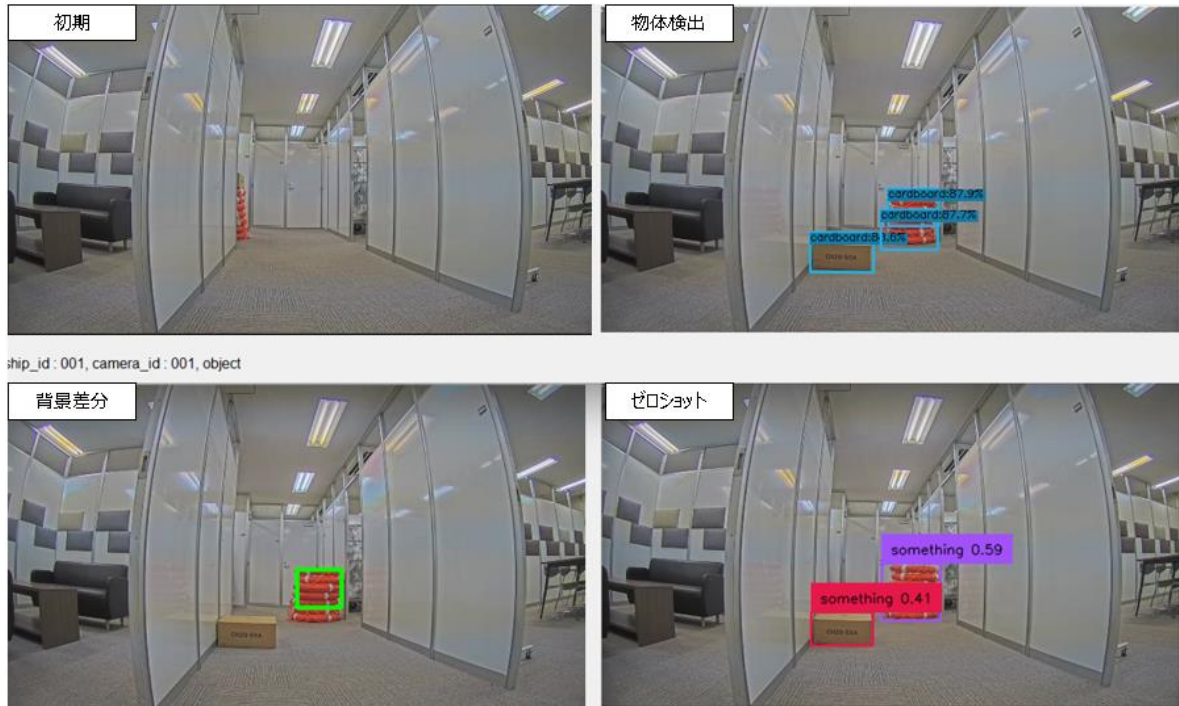


図 58 ノイズなし検出結果

表 16 ノイズなし検出結果

	物体検出	ゼロショット	背景差分
段ボール	○	○	×
浮環	△	○	○

時間経過による実験結果は表 17 に示す通り、ゼロショット物体検出が時間経過の影響を受けず検出できた。生成 AI を使用した物体検出は段ボール、浮き輪を検出しているが、浮き輪を段ボールと認識している。ゼロショット物体検出は段ボール・浮環ともに something と検出できている。背景差分法による物体検出は浮き輪と蛍光灯の変化を検出してしまった。

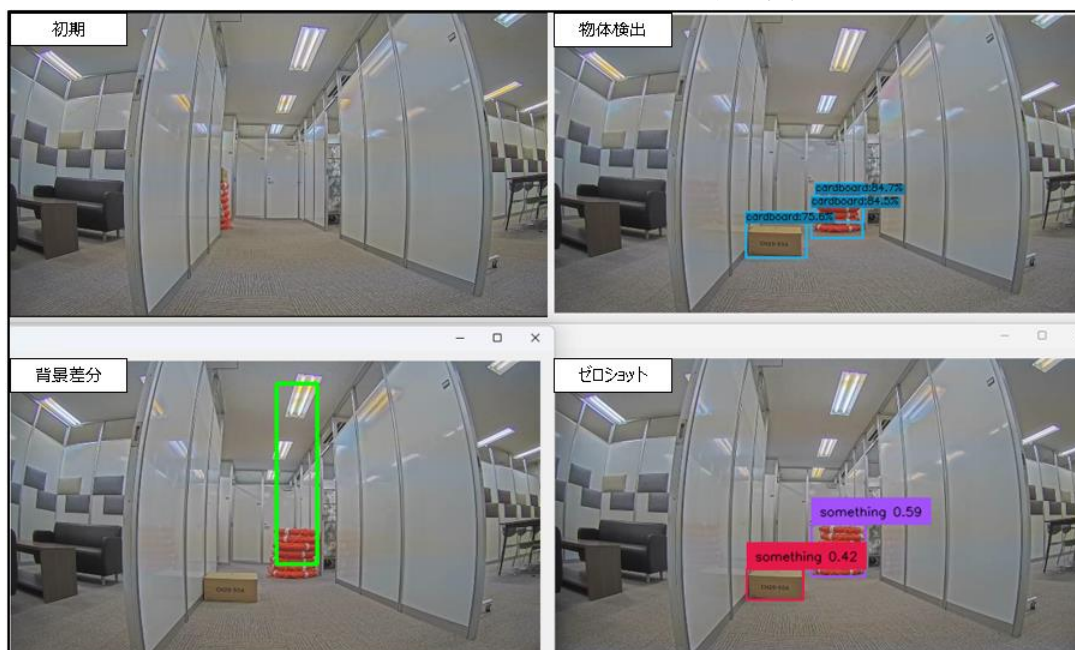


図 59 時間経過による検出結果

表 17 時間経過による検出結果

	物体検出	ゼロショット	背景差分
段ボール	○	○	×
浮環	△	○	△

カメラ水滴付着時の実験結果は表 18 に示す通り、ゼロショット物体検出が水滴の影響を受けず検出できた。生成 AI を使用した物体検出は段ボール、浮き輪を検出しているが、浮き輪を段ボールと認識している。また、学習していないバッグを検出できていない。ゼロショット物体検出は段ボール、浮環、バッグともに something と検出できている。背景差分法による物体検出は水滴の影響により画面全体を検出してしまった。



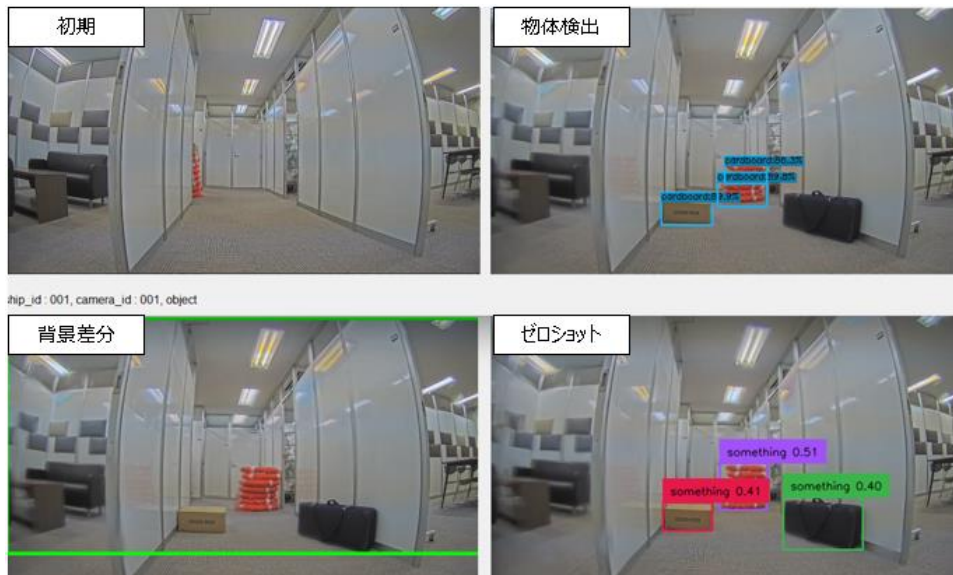


図 60 水付着時の検出結果

表 18 水付着時の検出結果

	物体検出	ゼロショット	背景差分
段ボール	○	○	×
浮環	△	○	×
バッグ	×	○	×

カメラ傾き時の実験結果は表 19 に示す通り、ゼロショット物体検出がカメラの傾きの影響を受けず検出できた。生成 AI を使用した物体検出は段ボール、浮き輪を検出しているが、浮き輪を段ボールと認識している。また、学習していないバッグを検出できていない。ゼロショット物体検出は段ボール、浮環、バッグともに something と検出できている。背景差分法による物体検出はカメラ傾きの影響により画面全体を検出してしまった。

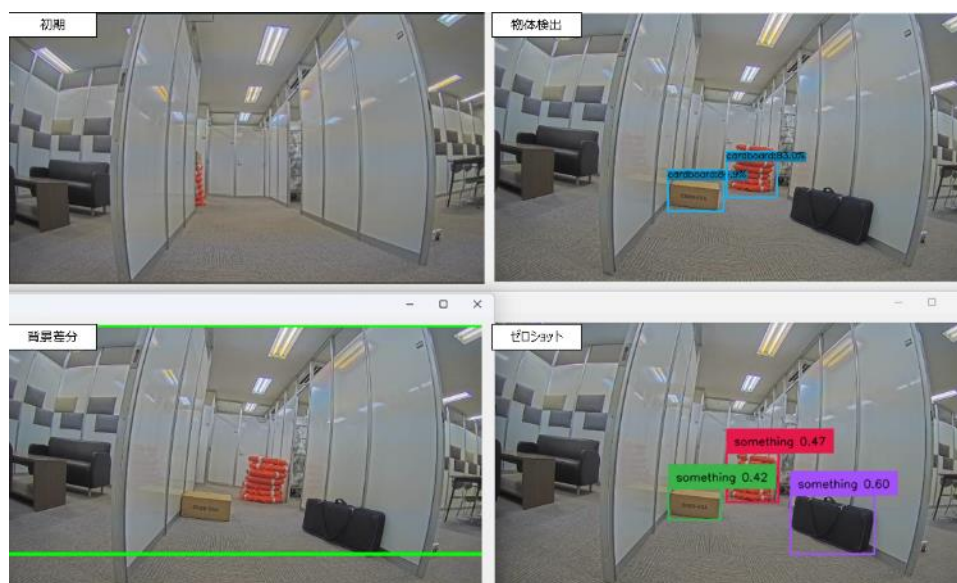


図 61 カメラ傾き時の検出結果

表 19 カメラ傾き変化検出結果

	物体検出	ゼロショット	背景差分
段ボール	○	○	×
浮環	△	○	×
バッグ	×	○	×

明るさ状態変化の実験結果は表 20～表 23 に示す通り、ゼロショット物体検出が明るさの影響を受けず検出できた。生成 AI を使用した物体検出と背景差分法による物体検出は明るさの影響により検出が安定しなかった。

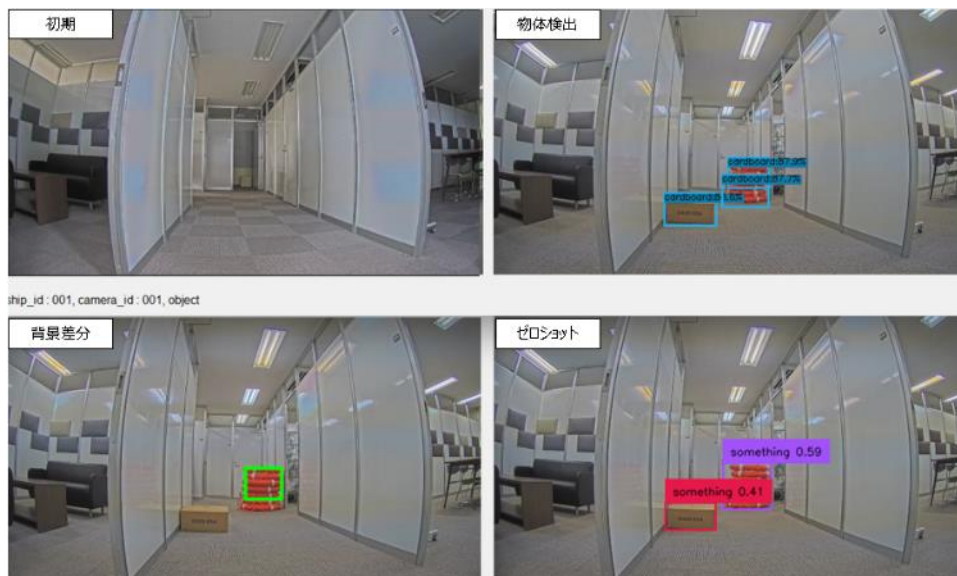


図 62 暗い状態から明るい状態変化の検出結果

表 20 暗い状態から明るい状態変化の検出結果

	物体検出	ゼロショット	背景差分
段ボール	○	○	×
浮環	△	○	×
バッグ	×	○	×

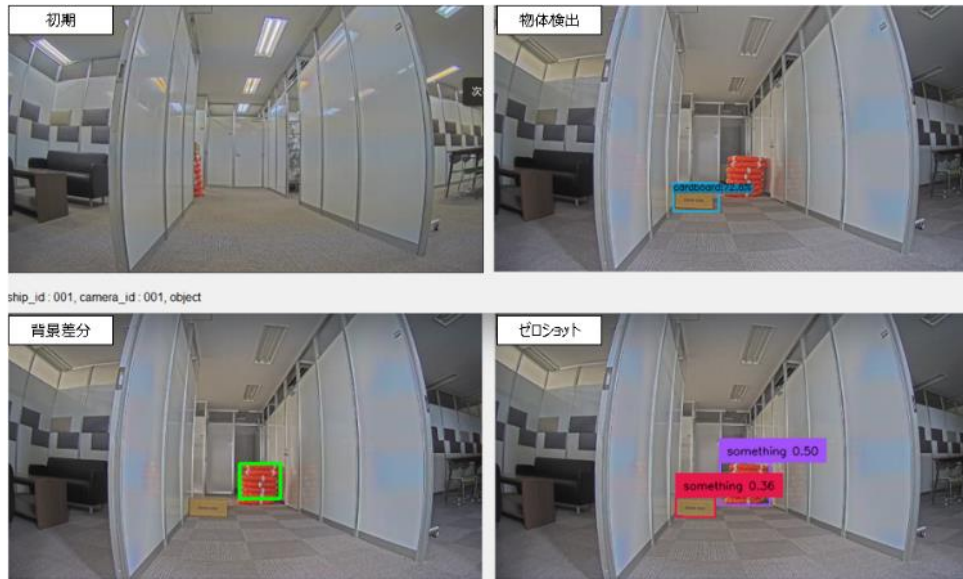


図 63 明るい状態化から暗い状態変化の検出結果

表 21 明るい状態化から暗い状態変化の検出結果

	物体検出	ゼロショット	背景差分
段ボール	○	○	×
浮環	×	○	○

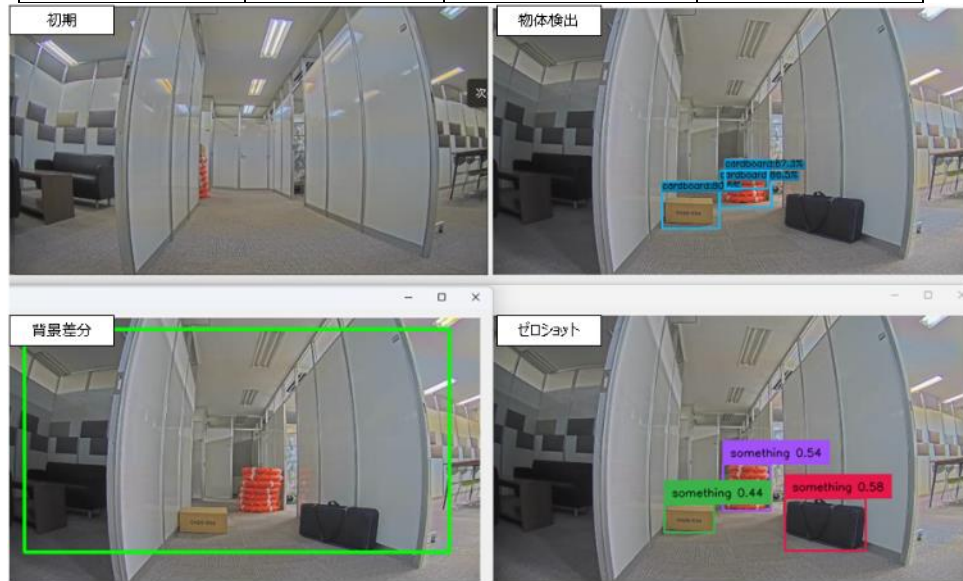


図 64 左側が暗くなった状態の検出結果

表 22 左側が暗くなった状態の検出結果

	物体検出	ゼロショット	背景差分
段ボール	○	○	×
浮環	△	○	×
バッグ	×	○	×

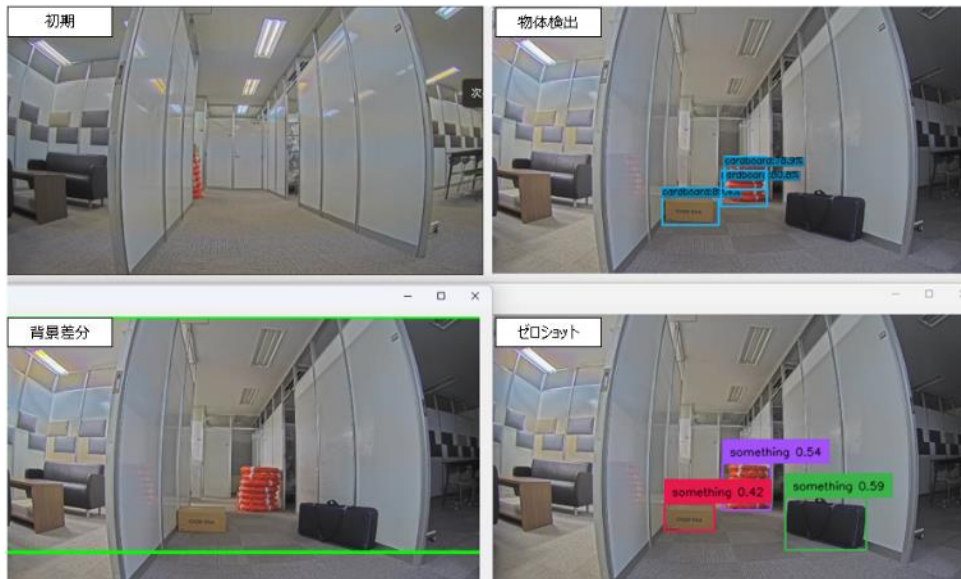


図 65 右側が暗くなった状態の検出結果

表 23 右側が暗くなった状態の検出結果

	物体検出	ゼロショット	背景差分
段ボール	○	○	×
浮環	△	○	×
バッグ	×	○	×

上記の結果から環境の変化に対してゼロショット物体検出がもっとも影響を受けにくい。生成 AI を使用した物体検出は段ボールを検出する検出力は高いが、汎用的な障害物の学習はさせていないため船上にて未知の障害物への対応はできない。検出すべき障害物が特定される場合は高い性能を示すが、実際の非常通路の点検への適用はできないと考える。

背景差分は背景と障害物のコントラスト差（画像において対象とその周辺との明るさや色の差）に違いがない場合は、物体を検出することができなかった。また、環境の変化に他システムと比べると相対的に非常に弱く、画面全体を検出してしまう。

安定した検出を可能とするということを考えると、プロンプトの文章の変更を柔軟に行え、予備実験における検出力の高いゼロショット物体検出が、船上での技術実証に適していると判断し、実証実験においては当該システムを活用して実証した。

(イ) 画像認識 AI：実証実験

表 24 に示す条件にて船上での実証実験を行った。

表 24 各実験場所および実験障害物

船名	場所	障害物
せどろす	屋外昇降口、屋外扉前、屋外通路	バッグ
第一大栄丸	屋外昇降口、屋内昇降口、屋内通路	バッグ、シューズ、段ボール



図 66 実証実験の検出成功結果



図 67 実証実験の検出失敗結果

図 67 左上図では、階段の手すりにケースが隠れており検出に失敗した。右上図では靴を検出できていない。左図は青いバッグを検出できていない。右下図はケースの後ろにあるキャリーケースを検出できていない。

表 25 検出数と実験回数

	検出数(回)	実験回数(回)	検出率(%)
合計	47	55	85
せどろす屋外昇降口	5	5	100
せどろす屋外扉前	5	7	71
せどろす屋外通路	14	17	82
第一大栄丸屋外昇降口	15	16	94
第一大栄丸屋内昇降口	3	4	75

第一大栄丸屋内通路	5	6	83
-----------	---	---	----

せどろすと第一大栄丸にてゼロショット物体検出によって実証実験を行った結果、合計 55 回の試行回数に対して計 47 回の検出に成功した(表 25、図 66、図 67)。予備実験の結果も踏まえて、それぞれの物体検出手法について、表 26 にメリット、デメリットを記す。

表 26 各物体検出手法のメリットデメリット

	メリット	デメリット
生成 AI を使用した物体検出	学習させた物体に対する検出力は非常に高く、環境の変化に関する頑強性も非常に高い。Stable Diffusion を使用することによって、汎用的なデータセットを作成することが可能となる。	学習させていない物体は検出できない。障害物という概念は幅広いため、障害物の学習は現実的には不可能である。
ゼロショット物体検出	「something」というプロンプトを使用することによって、網羅的に物体を検出することが可能である。環境の変化に関する頑強性も非常に高い。	「something」のプロンプトでは、検出の確信度が 0.3 前後になることがあるため閾値調整が難しくなる。靴やバッグなどの AI が学習している物体を検出する場合確信度が下がる傾向にある。
背景差分法を用いた物体検出	AI と違い学習コストがない。そのため、導入が容易であり背景とのコントラスト差さえあれば検出力は高い。	環境の変化に対する頑強性がない。初期背景との変化を検出してしまいうので、人物が映った場合も障害物検出する。

## (2) 評価

### A) 現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か

せどろすと第一大栄丸にて実証実験を行った結果、85%の検出率を達成した(表 25)。床の色と同化しているもの、太陽光による反射などの環境変化や、手すりなどの物陰に物体が隠れたときに検出力が低下した。画像認識 AI においては、物体が隠れている場合、その認識をすることはそもそも困難である。このようなケースは撮影視野を適切に選ぶことにより、精度を向上することができる。本技術実証実験では、物陰に隠れて検出できなかった結果を取り除くことにより、94%の検出率を達成し良好な結果を得た(表 27)。目標値の 90%を超えたため、現行の点検と同等以上の精度で実施できると考えられる。

表 27 表 25 内にて物体を視認できたものだけの検出結果

	検出数(回)	実験回数(回)	検出率(%)
合計	47	50	94

B) 経年劣化による取得情報の精度低下や、AI が出力する結果の不確実性等が考慮されているか

AI モデルは、エッジデバイスにファイルの形で保存される。このファイルが破損しないかぎり AI の検出力は変化しない。また、仮に破損したとしても適切にバックアップしたファイルを回復することにより復旧させることができる。そのため光、水、揺れ、経年劣化等などに影響されない。一方で取得画像自体については、カメラの、特にレンズの経年劣化・破損・汚損の影響を受けて、画像の精細さが低下し、これにより検出力が低下する。しかしカメラメーカーの保証期間が 1 年に設定されているうえ、常に屋外に晒されている防犯カメラ等の法定耐用年数が 6 年に設定されていることを考えるとこれらの不具合の発生率は十分に低いと考えられる。万が一不具合が発生した場合でも、撮影画像を確認することによって位置ずれ、映りのぼやけ、レンズ上のゴミなどを発見し、カメラの交換や拭き取りといった対応すること実運用上で大きな障害となることは少なく、経年劣化が及ぼす影響は少ない。

C) 多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか

カメラによる画像認識 AI は、外部に依存せず単独で機能するシステムであり、その動作は船種には依存しない。しかし、ネットワークカメラを運用するためには、カメラの設置位置まで LAN ケーブルを配線して、カメラを設置する必要があり、その可否が導入条件となる。

一方で特殊なハードウェアは必要ないため、入手性の問題はなく、本技術実証においても納期や入手過程に問題は生じなかった。

導入のコストについてであるが、前提として、ハードウェアについてはメーカーの制約はない。画像認識 AI が動作するエッジデバイスは GPU NVIDIA RTX3050 相当の GPU を搭載しているメモリ 8GB 以上のスペック(約 30 万円)であれば、リアルタイムで点検結果を判定できる。リアルタイム性を求めない場合は GPU を搭載していないメモリ 8GB 以上のノートパソコン(10~20 万円)で対応も可能と考えている。ネットワークカメラは画素数 2MP 以上で塩害対策を施しているものについては 1 台につき約 30 万円~である。屋内の環境など、塩害対策が十分でなくても動作が可能な場合は 5 万円~で購入が可能である。AI の構築費用は基本的に画像枚数や、どの程度の期間を学習するかにより工数・サーバー利用料金が異なるため相場価格を示すことは困難であるが、一般的に上記が完了した後のアプリケーションの実装費用としては、30 万円程度が必要である。

D) 船舶の環境下（海上での揺れ、エンジンによる振動、海水・雨・潮、気温等）で安定的に動作するか

海上の揺れについて、本技術実証でも実際におだやかな港で着岸し停泊している船舶でカメラによる実証実験を繰り返し行ったが、揺れによる影響は加速度の最大 0.1m/sec/sec と軽微であった。船舶運航においてより大きな揺れが発生することは考えられるが、点検の頻度から考えて、安定したタイミングに点検を実施することは可能であると考えられる。エンジンによる振動においても同様に、着岸しエンジン停止時に点検を行うことは可能であると考えられる。

海水・雨の影響を直接受けるような環境においては、カメラ映像が不鮮明になるため撮影が不可能になる、もしくは精細な画像が取得できなくなり、このシステムを運用することはできないため、カメラによる点検はハードウェアの設置スペースを確保することのできる屋内向けのソリューションと考える。今回選定した光学センサーの使用温度範囲は-40℃~+60℃、使用湿度範囲は 10%~100%であり、幅広い温度や湿度環境に対応しており、海上の環境には適応している。

E) 停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀損

しない機能や仕組みが設けられているか

前述のとおり AI モデルは、エッジコンピュータにファイルの形で保存される。このファイルが破損しないかぎり AI の検出力は変化しない。また、仮に破損したとしても適切にバックアップしたファイルを回復することにより復帰させることができる。電力がない場合点検することはできないが、常時監視する必要はなく、1 日 1 回～1 週間に 1 回といった適当なタイミングで点検をすれば十分であり、電力が復帰した後点検をすることで十分であり、停電が問題となることはないと考える。

F) 電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか

画像認識 AI による物体検出システムにおいては、エッジコンピューティングの技術を利用した。すなわち AI をクラウド上のサーバーに置くことなく、ローカル端末上で動作する AI モデルを利用することによって、GPU スペックが NVIDIA RTX3050 と同等なコンピュータであればコンピュータでも計算量の大きな AI 推論を実現する技術を用いて、インターネット接続を必要とすることなく、船内に設置したコンピュータ端末のみで点検を完結することができる。このため、モバイル通信を使用することなく、データ集約 PC へと結果を送信することができるため、電波環境の良し悪しにかかわらず、点検を行うことが可能である。

b. センサー技術

(1) 結果概要

a. 光学センサー (LiDAR) : 実証実験 1 (狭い通路の場合)

図 68 のような幅 1m 以下の狭通路で実証実験を行った場合の結果を示す。障害物に見立てておいた段ボールを検知させる。



図 68 光学センサー (LiDAR) 実証実験 1 の通路と障害物

光学センサー (LiDAR) で得た点群を処理し、3D プロットしたものが、図 69 である。



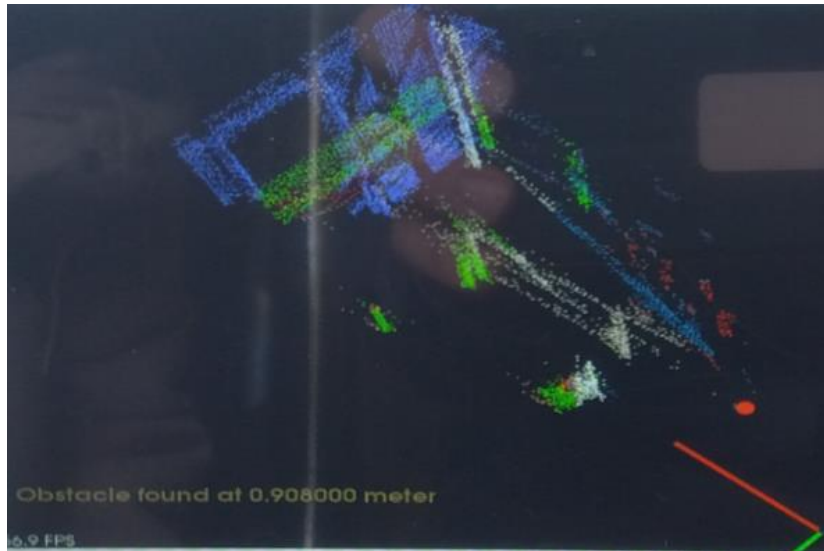


図 69 実験 1 において光学センサー（LiDAR）で得た点群の 3D プロット

ここでは、障害物を仮想した段ボールを検知させているが、図 68 の奥の白色の壁とその開口部は図 69 において青色の点描で分類されている部分でプロットできているものの、段ボールはうまく検知・抽出できていない。これは、障害物より手前にある左右の壁や手すりに影響されて、障害物の検知ができないためと考えられる。このような 1m 以下の狭い通路においては、光学センサー（LiDAR）の検出を妨げる物体が多く、障害物検知のセンサーとして適用することができなかった。

b. 光学センサー（LiDAR）：実証実験 2（広い通路の場合）

図 70 のような幅 2m の広い通路で実験を行った場合の結果を示す。障害物に見立てておいた物体を検知させる。



図 70 光学センサー（LiDAR） 実験 2 の通路と障害物

光学センサー（LiDAR）で得た点群を処理せずそのまま 3D プロットしたものが、図 71 である。

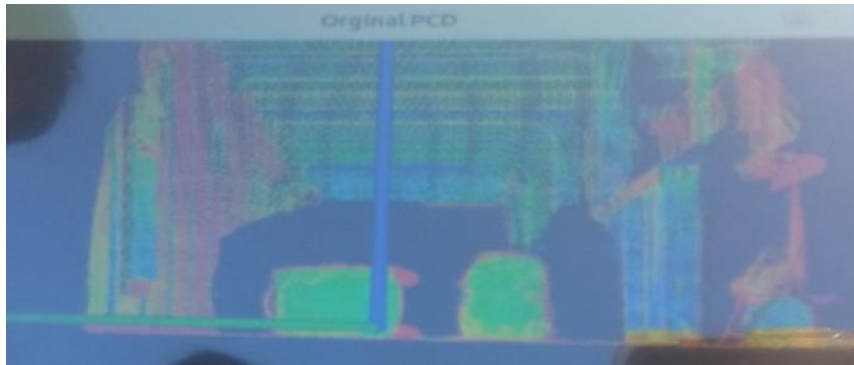


図 71 実験 2 において光学センサー（LiDAR）で得た点群の 3D プロット  
障害物と天井、壁面をよく取得できていることがわかる。この点群を分類処理して、障害物検知  
を行ったものが、図 72 である。

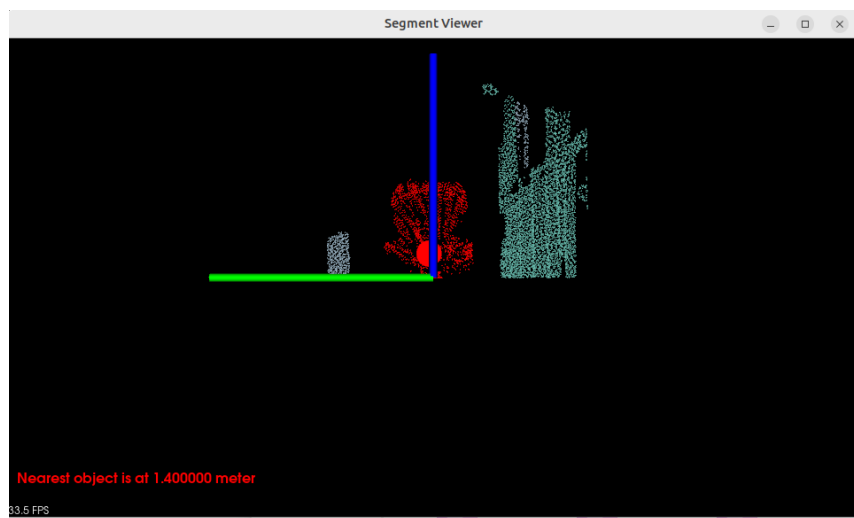


図 72 分類処理後の 3D プロット

図の中央に最も近い物体が赤丸で示されており、障害物を正しく検知し、距離も正しく測定できている。図 70 の通路で障害物の距離（設置位置）を変えて、その距離を計測した結果を表 28 に示す。

表 28 設置位置別計測結果

設置位置(m)	1.30	2.40	3.50
計測値(m)	1.32	2.47	3.31

3 回の試行すべて障害物を検知した。また、表から計算される測定ばらつき（測定誤差／設置位置）は、4.3%（全幅）となる

## (2) 評価

### A) 現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か

測定ばらつきは 4.3%と小さく、広い通路の場合においては、100%検知することができるが、現状の光学センサー（LiDAR）では、1m 以下のような通路の狭い場合に適用することができないなど適用条件が多く、現行の点検精度を確保することができないと考える。

B) 経年劣化による取得情報の精度低下や、AI が出力する結果の不確実性等が考慮されているか

処理プログラムは、エッジコンピュータにファイルの形で保存される。このファイルが破損しないかぎりシステムの検出力は変化しない。また、仮に破損したとしても適切にバックアップしたファイルを回復することにより復旧させることができる。

一方でセンサー部については、光学センサー（LiDAR）部の保証期間は1年となっており、故障による不確実性は緩和される。また、本技術実証で使用した機材は、3年使用しているが機能に問題ないとのことである。

また、光学センサー（LiDAR）はその原理上、画像撮影に影響を与える照明によるノイズ影響は受けず、ノイズに対しては鈍感である。

C) 多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか

光学センサーは、外部に依存せず単独で機能するシステムであり、その動作は船種には依存しない。しかし、光学センサー（LiDAR）の設置位置まで LAN ケーブルを配線して、設置する必要があり、その可否が導入条件となる。

一方で特殊なハードウェアは必要ないため、入手性の問題はなく、本技術実証においても納期の問題はなかった。

導入のコストについては、光学センサー（LiDAR）本体が50万円程度である。また、読み込んだデータを処理するためにソフトウェアが必要であり、そのコストはシステムに求める要件次第ではあるがソフトウェアなどのシステム構築費は数100万円程度である。

なお、現行の点検方法は目視点検であるので、人件費の削減効果も考慮する必要がある。しかし、現行点検方法に係る人件費は船舶の大きさに応じて変動するものの、システム全体で数100万円を超える初期投資と比べると小さい場合が多いと考えられるため、必ずしも多様な船舶で導入可能な汎用性の高いものとは評価し得ない。

D) 船舶の環境下（海上での揺れ、エンジンによる振動、海水・雨・潮、気温等）で安定的に動作するか

海上の揺れについて、本技術実証でも実際におだやかな港で着岸し停泊している船舶で光学センサーによる実証実験を繰り返したが、おだやかな港では広い通路であれば、精度は良好であった。船舶運航においてより大きな揺れが発生することは考えられるが、点検の頻度から考えて、安定したタイミングに点検を実施することは可能であると考えられる。

エンジンによる振動においても同様に、着岸しエンジン停止時に点検を行うことは可能であると考えられる。

海水・雨の影響を直接受けるような環境においては、反射物である水を障害物として認識してしまうため、このシステムを運用することはできないため、光学センサー（LiDAR）による点検は船内向けのソリューションと考える。

今回選定した光学センサー（LiDAR）の使用温度範囲は $-20^{\circ}\text{C}$ ～ $+65^{\circ}\text{C}$ であり、海上の環境には適応ができる。

E) 停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀損しない機能や仕組みが設けられているか

処理プログラムは、エッジコンピュータにファイルの形で保存される。このファイルが破損しないかぎり光学センサー（LiDAR）の検出力は変化しない。また、仮に破損したとしても適切にバックアップし

たファイルを回復することにより復歸させることができる。

電力がない場合点検することはできないが、常時監視する必要はなく、1日1回～1週間に1回といった適当なタイミングで点検をすれば十分であり、電力が復歸した後点検をすることで十分であり、停電が問題となることはないと考え。

#### F) 電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか

センサー技術による物体検出システムにおいては、エッジコンピューティングの技術を利用した。すなわち処理プログラムをクラウド上のサーバーに置くことなく、ローカル端末上で動作するソフトウェアを利用することによって、Raspberry Pi および Core i7 7500U 2.7GHz 搭載ノート PC というスペックのコンピュータでも処理を実現する技術を用いて、インターネット接続を必要とすることなく、船内に設置したコンピュータ端末のみで、船内に設置したコンピュータ端末のみで点検を完結することができる。このため、モバイル通信を使用することなく、データ集約 PC へと結果を送信することができるため、電波環境の良し悪しにかかわらず、点検を行うことが可能である。

### 3.2.2 ②救命設備検査システム

#### a. 光学センサー (RFID)

##### (1) 結果概要

光学センサー (RFID) の RF タグを種々な救命設備 (レーダートランスポンダー、持運び式双方向無線電話装置、救命浮環、自己点火灯、自己発煙灯、落下傘付き信号、火せん、探照灯、衛星非常用位置指示無線標識) に貼り付けて、その読み取りを行った結果は表 29～表 35 のとおりである。船舶によって、救命設備の保管場所が異なるため、予備実験では RF タグ～RF リーダの距離を 0.2m～8m で測定を行い、実証実験時の測定距離の参考とした。RF タグについては、ラベルタグ、特殊タグの 2 種類の RF タグで予備実験を行い、実証実験では点検対象物によって使い分けを行った。また、遮蔽物などの影響を加味するため、予備実験の際に遮蔽物として鉄製の箱の中に RF タグを設置して検出可否を判断する実験も行った。(図 73)

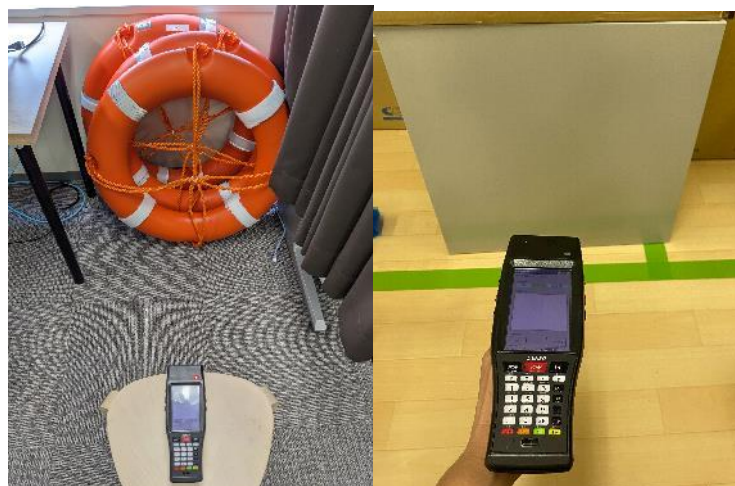


図 73 予備実験(左：遮蔽物なし、右：箱内(金属ボックス))の様子

表 29 光学センサー(RFID)予備実験結果

RF タグ	樹脂系対象物				金属系対象物				RF タグを 水中に設置	
	遮蔽物無し		箱内		遮蔽物無し		箱内		-	
	ラ <sup>※</sup>	特 <sup>※</sup>	ラ <sup>※</sup>	特 <sup>※</sup>	ラ <sup>※</sup>	特 <sup>※</sup>	ラ <sup>※</sup>	特 <sup>※</sup>	ラ <sup>※</sup>	特 <sup>※</sup>
0.2m	○	○	○	○	×	○	×	○	○	○
0.5m	○	○	×	○	×	○	×	×	×	×
1m	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×
2m	○	×	×	×	×	○	×	×	-	-
3m	○	×	×	×	×	○	×	×	-	-
4m	○	×	×	×	×	○	×	×	-	-
5m	○	×	×	×	×	○	×	×	-	-
6m	○	×	×	×	×	○	×	×	-	-
7m	○	×	×	×	×	×	×	×	-	-
8m	○	×	×	×	×	×	×	×	-	-

※ラ=ラベルタグ、特=特殊タグ

表 30 光学センサー(RFID)実証実験結果(1月18日第一大栄丸操舵室)

点検対象物	特 <sup>※</sup> (1m)	特 <sup>※</sup> (0.1m)
レーダートランスポンダー	○	-
持運び式双方向無線電話装置	○	-
救命浮環	×	○
自己点火灯	○	-
自己発煙灯	○	-
落下傘付き信号	×	○
火せん	○	-

※特=特殊タグ

表 31 光学センサー(RFID)実証実験結果(1月27日第一大栄丸右舷)

	点検対象物				
	救命浮環	自己点火灯	自己発煙灯	探照灯	探照灯
RF タグ種類	ラ <sup>*</sup>	ラ <sup>*</sup>	ラ <sup>*</sup>	特 <sup>*</sup>	特 <sup>*</sup>
測定距離	1m	1m	1m	1m	2m
1回目	×	×	×	○	○
2回目	○	○	○	○	○
3回目	×	×	×	○	○
4回目	×	○	○	○	○
5回目	×	○	○	○	○
6回目	○	○	○	○	○
7回目	○	○	○	○	○
8回目	○	×	×	○	○
9回目	○	○	○	○	○
10回目	○	○	○	○	○

※ラ=ラベルタグ、特=特殊タグ

表 32 光学センサー(RFID)実証実験結果(1月27日第一大栄丸操舵室)

	点検対象物				
	救命浮環	自己点火灯	自己発煙灯	探照灯	探照灯
RF タグ種類	ラ <sup>*</sup>	ラ <sup>*</sup>	ラ <sup>*</sup>	特 <sup>*</sup>	特 <sup>*</sup>
測定距離	1m	1m	1m	1m	2m
検出精度	60%	70%	70%	100%	100%

※ラ=ラベルタグ、特=特殊タグ

表 33 光学センサー(RFID)実証実験結果(1月30日せどろす左舷)

	点検対象物			
	救命浮環	自己点火灯	自己発煙灯	衛星非常用位置 指示無線標識
RF タグ種類	ラ*	ラ*	ラ*	ラ*
測定距離	2m	2m	2m	2m
1 回目	○	○	○	○
2 回目	○	○	○	○
3 回目	○	○	○	○
4 回目	○	○	○	○
5 回目	○	○	○	○
6 回目	○	○	○	○
7 回目	○	○	○	○
8 回目	○	○	○	○
9 回目	○	○	○	○
10 回目	○	○	○	○

※ラ=ラベルタグ

表 34 光学センサー(RFID)実証実験結果(1月30日せどろす操舵室)

	点検対象物											
	火せん 1		火せん 2		落下傘付き 信号 1		落下傘付 き信号 2		自己発煙灯		レーダー トランスポンダー	
RF タグ種類	ラ*		ラ*		ラ*		ラ*		ラ*		ラ*	
遮蔽物	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	-	-
測定距離	2m		2m		2m		2m		2m		7 m	3 m
1 回目	○	○	○	○	ラ*○	○	○	○	○	○	×	○
2 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
3 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
4 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
5 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
6 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
7 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
8 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
9 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
10 回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○

※ラ=ラベルタグ

表 35 光学センサー(RFID)実証実験結果(1月30日せどろす操舵室)

	点検対象物			
	持運び式双方向 無線電話装置 1	持運び式双方向 無線電話装置 1	持運び式双方向 無線電話装置 1	持運び式双方向 無線電話装置 2
RF タグ種類	ラ*	ラ*	ラ*	ラ*
遮蔽物	なし	なし	なし	なし
測定距離	2m	0.2m	0.5m	2m
1 回目	×	○	×	×
2 回目	×	○	○	×
3 回目	×	○	×	×
4 回目	×	○	×	×
5 回目	×	○	○	×
6 回目	×	-	-	×
7 回目	×	-	-	×
8 回目	×	-	-	×
9 回目	×	-	-	×
10 回目	×	-	-	×

※ラ=ラベルタグ

(2) 評価

表 36 光学センサー(RFID)実証実験結果(1月27日第一大栄丸右舷検出精度)

	点検対象物				
	救命浮環	自己点火灯	自己発煙灯	探照灯	探照灯
RF タグ種類	ラ*	ラ*	ラ*	特*	特*
測定距離	1m	1m	1m	1m	2m
検出精度	60%	70%	70%	100%	100%

※ラ=ラベルタグ、特=特殊タグ

表 37 光学センサー(RFID)実証実験結果(1月30日せどろす左舷検出精度)

	点検対象物			
	救命浮環	自己点火灯	自己発煙灯	衛星非常用位置指示 無線標識
RF タグ種類	ラ*	ラ*	ラ*	ラ*
測定距離	2m	2m	2m	2m
検出精度	100%	100%	100%	100%

※ラ=ラベルタグ、特=特殊タグ



表 38 光学センサー(RFID)実証実験結果 (1/30 せどろす操舵室検出精度)

	火せん 1		火せん 2		落下傘 付き信号 1		落下傘 付き信号 2		自己 発煙灯		レーダー トランスポ ンダー		持 運 び 式 双 方 向 無 線 電 話 装 置 1	持 運 び 式 双 方 向 無 線 電 話 装 置 1	持 運 び 式 双 方 向 無 線 電 話 装 置 1	持 運 び 式 双 方 向 無 線 電 話 装 置 2
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	-	-	-	-	-	-
遮 蔽 物	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	-	-	-	-	-	-
測 定 距 離	2m		2m		2m		2m		2m		7 m	3 m	2 m	0. 2 m	0. 5 m	2 m
検 出 精 度	1 0 0 %	1 0 0 %	1 0 0 %	1 0 0 %	1 0 0 %	1 0 0 %	1 0 0 %	1 0 0 %	1 0 0 %	1 0 0 %	0 %	1 0 %	0 %	1 0 %	4 0 %	0 %

A) 現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か

各点検対象物の繰り返し実験の精度は表 36～表 38 の通りである。

遮蔽物がない状態で、樹脂製の点検対象物を検知する際はラベルタグ、金属製の点検対象物(探照灯)を検知する際は特殊タグで精度良く測定が可能であった。一方で遮蔽物がある場合(操舵室の棚の中など)は遮蔽物がない場合と同じ距離から測定を行うと判定精度が低下する傾向にあった。また、樹脂製の点検対象物に特殊タグを取り付ける場合、ラベルタグと比較して、検出精度の低下が顕著であった。特殊タグは金属の反射を考慮入れられているため樹脂製に貼り付けた場合低下したと考えられる。したがって、点検対象物に適したタイプの RF タグを選択することが望ましい。

現行の人の目視と比較した場合、人が直接、点検対象物を手に取って確認を行う距離(数 10 cm)であれば、目標としていた 90%という精度を上回った。2m 以下の測定距離で繰り返し実験を行ったラベルタグの検出精度は(160/170=94.1%)、特殊タグの検出精度は(20/20=100%)

0%)であった。点検対象物が複数設置している部屋などの場合、光学センサー(RFID)を利用して点検を行うことで点検時間の短縮、点検データのデジタル化は可能であると考え。

しかしながら持運び式双方向無線電話装置については、ラベルタグ、特殊タグ、共に0.5m以上で検出精度が40%以下となった。原因としては、持運び式双方向電話装置から発せられる電波による干渉や、筐体内の金属の影響が考えられるが、0.2mの距離では100%の精度で検出が可能であった。繰り返し性、再現性については、適正な距離であれば再現性は高かった。遮蔽物のありなしに関係なくラベルタグは2mの距離で安定して検出が可能であった。表31、表32で検出精度が不安定な傾向にあった原因としては、RFタグを読み取る際に周辺に金属製の備品があったことが考えられる。

B) 経年劣化による取得情報の精度低下や、AIが出力する結果の不確実性等が考慮されているか

光学センサーシステムベンダーによると、RFタグに関しては、利用による経年劣化をしなければ半永久的に使用可能ではあるものの、10年に1度の交換を推奨ということであり、緊急時にのみ使用される用途であれば、読み取りシステムの経年劣化への耐性は高いと考えられる。RFリーダについては、メーカー保証期間は1年であるものの、一般の電子機器と同じく5年程度持つことを期待できるとの回答があり、システムとして経年劣化による精度低下や故障に対して頑健性を持つと考えられる。

設置場所の環境については、基本的には屋内、もしくは樹脂などのケースの中であるため、環境の影響は少ないと考えられる。一方で屋外に設置が必要な救命設備については、屋内のRFタグよりも早い劣化が想定されるため、RFタグを保護、もしくは交換時期を早くするなどの検討が必要であると考えている。

C) 多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか

光学センサー(RFID)システムは、外部に依存せず単独で機能するシステムであり、その動作は船種には依存しない。しかし、実験の結果、RFタグが金属に完全に遮蔽された場合、読み取りができなかったため、救命設備の保管箱が金属で密閉されている場合は、蓋を開ける必要があり、点検対象物の保管場所、保管方法によっては作業の合理化につながらない可能性がある。

RFリーダの価格はハンディタイプが20万円程度、RFタグは、ラベルタグが1枚数十円、特殊タグが1枚数百円程度必要である。また、RFリーダにて読み込んだデータを処理するためにソフトウェアが必要である。システムに求める要件次第だがソフトウェアなどのシステム構築費は数十万～数百万円程度必要である。

現行の点検方法は目視点検であるので、人件費の削減効果も考慮する必要がある。点検対象を点検するために、その対象物の内容やIDを台帳から確認して記録するのに10秒かかるのに対し、光学センサー(RFID)による方法は、3秒であり、点検対象物が複数設置されている場合などは、一点あたりの読み取り時間は1秒以下になる。

客船において、1か所に多数保管されている救命胴衣や救命浮環の個数を点検するケースにおいてメリットが大きく、その費用対効果は検討するに値する。

D) 船舶の環境下(海上での揺れ、エンジンによる振動、海水・雨・潮、気温等)で安定的に動作するか

光学センサー(RFID)システムのベンダーによると、海水の付着でも問題ないという回答を得ているが、水分がRFタグに付着している場合、その読み取り距離に影響があるとのことである。ただし、

救命設備に関しては、救命浮環などの室外に直接備え付けられるものを除き、大半が船室内に保管されるか、船室外であっても、樹脂製の保護箱に備え付けられ、水分が RF タグに付着する可能性は少ないと考えられ、海水と雨の影響は受けない。

気温について、動作範囲-20℃～40℃ということであり、通常の上陸温度環境であれば対応可能である。光学センサーの指向性は海上での揺れの影響を受けるほど敏感ではないため、海上の揺れについてもその影響は十分に無視できる。

予備実験の結果でも、タグが少し濡れている場合であっても、ベンダーの回答通り影響を無視できる結果となった。また、水中試験においては表 29 に示す通り至近距離での通信なら可能であった。

E) 停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀損しない機能や仕組みが設けられているか

光学センサー（RFID）システムは、バッテリー駆動ハンディ端末であり、充電がされているかぎり電源に依存しない。データ集約 PC への結果の送信と書き込みは、データ集約 PC をバッテリー駆動させないかぎり電源を必要とするが、光学センサー（RFID）システム側でデータを貯めることができるので、電源が復帰した時点で送信する運用が可能である。現行の法令の要請では、月 1 回の点検であり、電源の復帰し、結果を送信するまでの猶予は十分にあると考えてよく、突発的な停電に対しても、耐性のあるシステムであると考えられる。データ集約 PC の結果管理システム自体の停電への耐性については、3.2.5 章にて述べる。

F) 電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか

光電センサー（RFID）システムにおいては、モバイル通信を使用することなく、データ集約 PC へと結果を送信することができるため、電波環境の良し悪しにかかわらず、点検を行うことが可能である。

## b. 光学センサー（Beacon）

### (1) 結果概要

光学センサー（Beacon）においては、光学センサー（RFID）と比較して、電波強度が高いため、光学センサー（RFID）で読み取り精度の低い遮蔽物がある対象に対して実験を行った。実験方法としては、船橋中央に光学センサー（Beacon）受信機を設置し、光学センサー（Beacon）を救命設備に図 26 のように貼り付け、安定して読み取りが可能かどうかを確認した。

実際に実験した対象（救命設備）とその条件は以下の通りである。

- ・持運び式双方向無線電話装置（船橋室内、金属製遮蔽物あり、受信機からの距離 2m）
- ・救命浮環（船橋室外、受信機からの距離 4m）
- ・自己点火灯（船橋室外、受信機からの距離 3.5m）
- ・火せん（船橋室内、木製遮蔽物あり、受信機からの距離 1.5m）

光学センサー（Beacon）は、常時一定間隔で電波を発して通信を行う特性上、読み取り回数ではなく、10 秒に 1 回の送信での 1 分間の通信安定性を確認したが、上記のすべての対象を安定して読み取ることができた。

## (2) 評価

### A) 現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か

精度に関しては、4つの対象（条件中）すべてにおいて読み取りが可能であり、精度としては100%の結果であり、現行の点検と同等以上と考えられる。

### B) 経年劣化による取得情報の精度低下や、AIが出力する結果の不確実性等が考慮されているか

光学センサー(Beacon)は電池を使用しているため、消耗品である電池の交換が必要である。電池の交換周期は光学センサー(Beacon)が電波を発する間隔にもよるが、間隔を1日に1度などに長く設定して、5年間電池を持たせることができるため、船舶のドライドッグ（船底の検査や整備・修理を行う施設）の際に交換するなどの運用が可能である。

### C) 多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか

光学センサー(Beacon)は、外部に依存せず単独で機能するシステムであり、その動作は船種には依存しない。また、特殊なハードウェアは必要ないため、入手性の問題はなく、本技術実証においても納期の問題はなかった。導入のコストについては、光学センサー(Beacon)本体、受信機を合わせて20万円程度である。また、読み込んだデータを処理するためにソフトウェアが必要である。システムに求める要件次第だがソフトウェアなどのシステム構築費は数100万円程度必要である。

### D) 船舶の環境下（海上での揺れ、エンジンによる振動、海水・雨・潮、気温等）で安定的に動作するか

光学センサー(Beacon)はIP65のため、室内限定で使用可能であるが、救命浮環などの室外に直接備え付けられるものを除き、大半が船室内に保管されるか、船室外であっても、樹脂製の保護箱に備え付けられ、水分がRFタグに付着する可能性は少ないと考えられ、海水と雨の影響は無視できると考えられる。

動作温度範囲-20℃～60℃であり、通常海上温度環境であれば対応可能である。

光学センサー(Beacon)の指向性は海上での揺れの影響を受けるほど敏感ではないため、海上の揺れについてもその影響は十分に無視できる。

### E) 停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀損しない機能や仕組みが設けられているか

停電中は、受信機が電源を必要とするため受信することが受信できないが、電源復帰すると受信を再開する。Beaconの送信周期を1時間に1回など適切に設定しておけば、電源復帰時に読み取りすることで、発生停電期間より長い周期の点検であれば実施することができるため、運用上の問題はないものとする。

### F) 電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか

光学センサー(Beacon)システムにおいては、モバイル通信を使用することなく、データ集約PCへと結果を送信することができるため、電波環境の良し悪しにかかわらず、点検を行うことが可能である。

## 3.2.3 ③救命艇並びに艀装品検査システム

### (1) 結果概要

光学センサー(RFID)のRFタグを救命いかだの艀装品を想定した物品に貼り付けて(図34)、その読み取りを行った結果は

表 40、表 41 のとおりである。また想定 of 艀装品一覧を表 39 に示す。

表 39 光学センサー(RFID)予備実験結果：艀装品想定物品一覧

艀装品番号	想定 of 艀装品
1	飲料水
2	飲料水
3	飲料水
4	飲料水
5	飲料水
6	飲料水
7	救難食糧
8	救難食糧
9	救難食糧
10	救難食糧
11	生存指導書を想定した本
12	日光信号鏡を想定した鉄板
13	金属製艀装品を想定した缶

表 40 光学センサー(RFID)予備実験結果：艀装品検査(ラベルタグ)

		艀装品													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	結果
	測定距離	0.2m													
測定回数	1	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	×	×	7/13
	2	○	○	×	×	○	×	○	○	×	×	×	×	×	5/13
	3	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	○	×	×	8/13
	4	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	○	○	×	9/13
	5	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	○	×	×	8/13
	6	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	○	×	×	8/13
	7	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	×	×	7/13
	8	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	○	×	×	8/13
	9	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	○	×	×	8/13
	10	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	×	×	7/13

表 41 光学センサー(RFID)予備実験結果：艀装品検査(特殊タグ)

		艀装品															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	結果		
測定距離		0.2m															
	測定回数	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13
		2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13
		3	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	12/13
		4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13
		5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13
		6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13
		7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13
		8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13
		9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13
		10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13/13

(2) 評価

A) 現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か

訪船 2 回目、3 回目で行った各点検対象物の繰返し実験の精度は表 42 の通りである。

表 42 艀装品の数量確認の精度

	艀装品	
	ラベルタグ	特殊タグ
測定距離	0.2m	0.2m
検出精度	57.6%	99.2%

艀装品の各物品は特殊タグにて 99%の精度を達成した。人の目視と比較した場合、人が直接艀装品の中身を点検することはできないので、点検対象物の至近(0.2m)であれば、十分にデジタル化は可能である。

B) 経年劣化による取得情報の精度低下や、AI が出力する結果の不確実性等が考慮されているか

技術要素としては光学センサー (RFID) システムと同様であり、3.2.2 章に記載のとおりである。

C) 多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか

技術要素としては光学センサー (RFID) システムと同様であり、3.2.2 章に記載のとおりである。

D) 船舶の環境下 (海上での揺れ、エンジンによる振動、海水・雨・潮、気温等) で安定的に動作するか

技術要素としては光学センサー（RFID）システムと同様であり、3.2.2 章に記載のとおりである。

- E) 停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀損しない機能や仕組みが設けられているか

技術要素としては光学センサー（RFID）システムと同様であり、3.2.2 章に記載のとおりである。

- F) 電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか

技術要素としては光学センサー（RFID）システムと同様であり、3.2.2 章に記載のとおりである。

### 3.2.4 ④保護具検査システム

#### (1) 結果概要

本システムは画像に対し分類、領域抽出を行い、詳細な不良の検出を行うため、画像内に存在する対象物は 1 つである。また、本システムにおいて船員の作業が生じるのは対象物の撮像のみである。そのため、現場で行った作業はスマートフォンでの撮像のみであり、分類、領域抽出、不良検出の結果を以下に示す。

##### 【分類】

本実験では画像に対し救命胴衣、救命浮環の 2 分類を行った。用いた画像は 2.1.5 で示した通りである。分類結果は正答率、再現率、適合率いずれも 89%であり、学習に使用した画像は 2 クラス合わせて 36 枚と少なかったが、おおよそ正しく分類できていることがわかる。さらに画像枚数を増やすことで精度向上が期待できる

##### 【領域抽出】

本実験では救命胴衣、救命浮環の画像に対し単語を入力することで正しく領域が検出できるか検証した。GroundingDINO は単語の一致度を確認する `text_threshold` と検出した box の最も高い類似度が `box_threshold` より高いものを予測として抽出するが、それぞれの閾値は `text_threshold` を 0.25、`box_threshold` を 0.4 として設定した。

検証の結果は以下の

表 43、表 44 である。救命胴衣の救命浮環ともに検出率は 100%であり、something という曖昧な単語でも正しく検出ができていくことがわかる。GroundingDINO のような物体検出モデルでは確信度スコアも出力する。確信度スコアは、物体検出モデルが画像内の物体を特定のクラスに分類したり、その物体の位置をバウンディングボックスで推定したりした結果を基に、その物体が特定のクラスに属するとどれだけ確信しているかを示す数値である。このスコアは、モデルがクラス分類や物体の位置推定を行う際に計算され、0 から 1 までの範囲で表される。値が高いほど、モデルはその物体が特定のクラスに属すること、またはバウンディングボックスが物体の位置を正確に捉えていることに対して強い確信を持っていることを意味する。そのため、今回は救命浮き輪、救命胴衣それぞれで 5 枚の画像で検出を行い、確信度の平均値を算出した。どちらの表でも something の確信度が 1 番低く、プロンプトが曖昧であると確信度も低くなっている。救命浮環の検出に関しては life buoy が、救命浮き輪に関しては life jacket が 1 番確信度の平均値が高かったためこの 2 つの単語を採用すると正確性が高まると考えられる。



表 43 救命浮環の検出結果

単語	検出率	確信度の平均値
Buoy	100%	0.82
life buoy	100%	0.89
float ring	100%	0.71
something	100%	0.63

表 44 救命胴衣の検出結果

単語	検出率	確信度の平均値
life jacket	100%	0.71
life vest	100%	0.68
something	100%	0.53

【不良検出】

本実験ではある画像に対しセグメンテーション、つまりピクセル単位で錆（corrosion）か背景（background）か分類する。この分類結果にセグ関し、メンテーション手法におけるクラスごとのIoUの平均値（mIoU）は、背景を含んだmIoUが0.87、錆のみのmIoUが0.83であり、錆を検出できていることがわかる。ピクセルごとの分類のため錆のピクセル数を算出し画像のピクセル数で除算することで割合の把握が可能である。

また、現場で撮像した画像を用いて画像処理手法との比較も実施した。以下図 74 の橙色の部分画像処理で検出した結果、図 75 の緑色の部分がセグメンテーションモデルで検出した結果である。AI モデルが複数の画像サイズに対応していないため、指定のサイズに合わせるプロセスとして、まず画像を正方形にリサイズし黒い余白を加え、その後で目的のサイズにリサイズしている。真ん中と左の画像からセグメンテーションモデルは錆領域を検出できているのに対し画像処理モデルでは未検出が多いことがわかる。ただし右の画像のようにカメラと対象物の距離が遠い場合は画像処理モデルのほうが過検出はあるが検出できている。しかしながら、本システムでは不良検出を行う前に背景除去し対象物以外は除去、つまり遠距離のものはそもそも対象ではないため問題はないと考えられる。

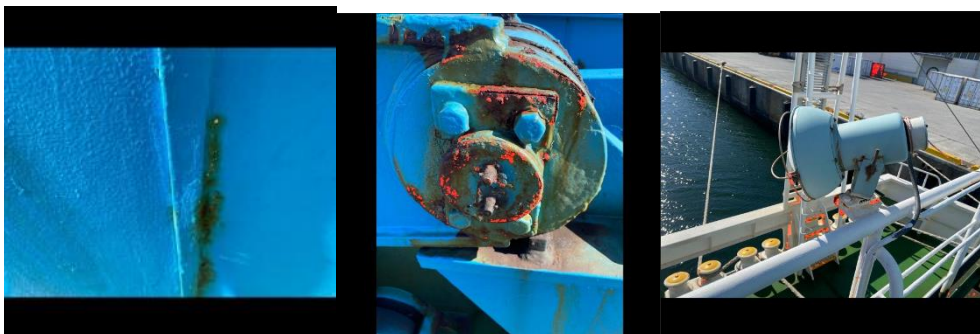


図 74 画像処理による検出結果

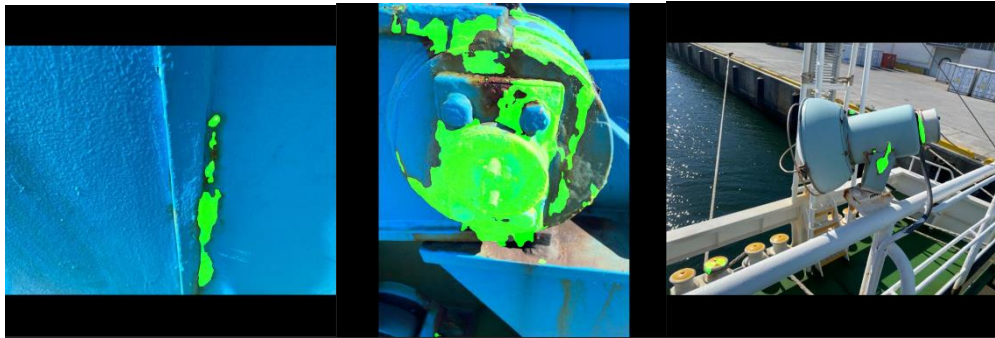


図 75 セグメンテーションモデルでの検出結果

(2) 評価：画像認識 AI

A) 現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か

現行の点検では人が目視により対象物の確認をし、錆や色の薄れ等を確認している。本システムにおいては対象物の確認は 1.救命器具の分類と 2.領域抽出による背景除去が該当し、3.不良検出が錆や色の薄れ等の確認に該当する。

まず、対象物の確認について述べる。人が救命器具、例えば救命胴衣等を確認する際には名前を知らない場合を除いて正しく判断できると考えられる。そのため、名前を知っている場合は精度としては 100%であり、知らない場合は 0%であると定義できる。ただ知らない場合でも現場の器具には名前の記載や（浮き輪のような）記号があり、正しく判断できると考えられるため精度 100%と考えられる。今回の実証実験においては 1.分類は精度 89%、2.領域抽出は精度 100%程度であったため、分類に関しては若干精度が劣るが、現行の点検とほぼ同等に実施可能である。また、AI に学習させた枚数も少なかったため画像枚数を増やすことで改善が期待できる。また、新たなクラスが追加された場合でも同様に画像枚数を増やすことで精度は維持できると考えられる。

次に不良の検出について述べる。人が救命器具について不良を検査する場合は明確なもの、例えば救命浮環の紐のちぎれなどであれば根拠を持って判断は可能であるが、錆や色の薄れ等は感覚で判断している。今回用いたセグメンテーションモデルでは抽出された対象物に対する割合という形で算出が可能である。そのように定量的に判断できるため人に比べ精度は向上していると考えられる。AI モデルは学習枚数を多くすることで良品と不良品の基準を明確に線引きするため人によらず標準化が可能である。

そして、本実施項目において検証に用いた画像は訪船した船において複数人でスマートフォンで撮影したものである。そのような条件下においても分類モデル、領域抽出モデル、不良検出モデルにおいて安定した精度を達成している。また、領域抽出という段階を挟むことでどのような撮影環境においても正しく対象物の位置を抽出できるため繰り返し性、再現性を担保することが可能である。

B) 経年劣化による取得情報の精度低下や、AI が出力する結果の不確実性等が考慮されているか

AI モデルは、エッジコンピュータにファイルの形で保存される。このファイルが破損しないかぎり AI の検出力は変化しない。また、仮に破損したとしても適切にバックアップしたファイルを回復することにより復帰させることができる。

取得画像自体については、一般のスマートフォンでの撮影であり、経年劣化の危惧は少ないものと考えられる。項目が大きく変化し、検出力に劣化が見られた場合においても都度その画像を AI モデルに追加し、学習させることで検出能力は維持することが可能である。また、取得環境が大きく変化した場合についても、モデル構築時に明るさ・コントラストの調整、拡大・縮小などの画像拡張等、

起こり得るノイズを注入して対策しているため対応は可能であると考えられる。

C) 多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか

スマートフォンカメラ画像による画像認識 AI は、外部に依存せず単独で機能するシステムであり、その動作は船種には依存せず、多様な船舶への導入が検討可能である。

導入のコストについてであるが、前提として、ハードウェアについてはメーカーの制約はない。画像認識 AI が動作するエッジデバイスは GPU NVIDIA RTX3050 相当の GPU を搭載しているメモリ 8GB 以上のスペック(約 30 万円)であれば、リアルタイムで点検結果を判定できる。リアルタイム性を求めない場合は GPU を搭載していないメモリ 8GB 以上のノートパソコン(10~20 万円)で対応も可能と考えているネットワークカメラは画素数 2MP 以上で塩害対策を施しているものについては 1 台につき約 30 万円~である。屋内の環境など、塩害対策が十分でなくても動作が可能な場合は 5 万円~で購入が可能である。AI の構築費用は基本的に画像枚数や、どの程度の期間を学習するかにより工数・サーバー利用料金が異なるため相場価格を示すことは困難であるが、一般的に上記が完了した後のアプリケーションの実装費用としては、30 万円程度が必要である。学習が必要となる場合は、1 対象あたり 150 万円程度が必要であるため、導入費用は高額である。しかし、一度作成した AI モデルは、他の船舶にも横展開が可能であり、多数の船舶で共同利用する場合、そのソフトウェア実装費用を按分することができる。

D) 船舶の環境下（海上での揺れ、エンジンによる振動、海水・雨・潮、気温等）で安定的に動作するか

スマートフォンの撮影が可能であれば、揺れや振動には影響されない。また点検の頻度から考えて、海水や雨の影響を受けない安定した撮影ができるタイミングに点検を実施することは可能であると考えられる。気温についても、通常の上であれば、問題なく撮影が可能だと考えられる。

E) 停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀損しない機能や仕組みが設けられているか

前述のとおり、AI モデルは、エッジコンピュータにファイルの形で保存される。このファイルが破損しない限り AI の検出力は変化しない。また、仮に破損したとしても適切にバックアップしたファイルを回復することにより復帰させることができる。

停電が発生し、電源がない場合は、AI モデルを実行し推論をすることはできないが、スマートフォンに画像を撮りためておけば、電源が復旧したタイミングでエッジコンピュータに画像を転送して、点検を実行することができる。また、画像の取得つまり、点検のタイミングに関してはスマートフォン等のカメラを想定するため停電等の影響はないと想定される。

F) 電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか

画像認識 AI による不良検知システムにおいては、エッジコンピューティングの技術を利用した。すなわち AI をクラウド上のサーバーに置くことなく、ローカル端末上で動作する AI モデルを利用することによって、GPU スペックが NVIDIA RTX3050 と同等なコンピュータであれば、インターネット接続を必要とすることなく、船内に設置したコンピュータ端末のみで点検を完了することができる。このため、モバイル通信を使用することなく、データ集約 PC へと結果を送信することができるため、電波環境の良し悪しにかかわらず、点検を行うことが可能である。

### 3.2.5 ⑤結果管理システム（クラウド）

#### (1) 結果概要

データ集約 PC のデータベースに点検結果（ダミーデータもしくは①～④の各システムの結果）を送信し、Web 上でデータ集約 PC のデータベースと同様の結果が表示されているかを確認した。また、船上では、通信環境が安定しないことを想定して、弊社内の有線ネットワーク（通信速度 340Mbps）、無線ネットワーク（通信速度 290Mbps）、船橋港における船上でのモバイル通信（通信速度 52Mbps）の3つの環境で、データベース同期の実証実験を行ったが、いずれの通信方式でも、同期は可能であった。

以下に、船上のデータ集約 PC データベースに格納された点検結果とそれらが同期されたクラウドの結果管理データベースを示す。

id	ship_id	inspection_id	result	note	created_at	updated_at
15	4	20	1	test	2023-12-25 16:40:43	2023-12-25 16:40:43
16	4	21	1	test	2023-12-25 16:40:43	2023-12-25 16:40:43
17	4	22	1	test	2023-12-25 16:40:43	2023-12-25 16:40:43
18	4	23	1	test	2023-12-25 16:40:43	2023-12-25 16:40:43
19	4	24	1	test	2023-12-25 16:40:43	2023-12-25 16:40:43

5 rows in set (0.00 sec)

図 76 船上のデータ集約 PC データベースに格納された点検結果

点検結果

発生時刻	名前	結果
2023/12/25 16:40:43	RFID020exist	OK
2023/12/25 16:40:43	RFID021exist	OK
2023/12/25 16:40:43	RFID022exist	OK
2023/12/25 16:40:43	RFID023exist	OK
2023/12/25 16:40:43	RFID024exist	OK

図 77 同期されたクラウドの結果管理データベース

#### (2) 評価

##### A) 現行の点検と同等以上の精度で点検が実施可能か

データのアップロードが可能な環境の場合、現行法令の点検で行う、航海日誌への記入と同様に点検可否の結果の管理が可能である。

##### B) 経年劣化による取得情報の精度低下や、AI が出力する結果の不確実性等

経年劣化による取得情報の精度低下については①～④のシステムの結果に依存するため、結果管理システムにおいては本実施項目は該当しない。

##### C) 多様な船舶で導入可能な、汎用性の高いものであるか

システムの設計段階で多様な船舶での使用を想定しており、船舶毎に使われている救命設備、個数などの情報を登録可能なデータベースの作成を行った。マスターデータの入力には必要ではあるものの、各船舶の点検項目(詳細な型番)や個数が異なる場合に、各船舶のマスターデータを入力す

ることで対応が可能となっているため、汎用性は高いものである。

価格に関して、クラウドデータベースは使用料に応じた課金であるが、日本国内の所有船舶を約 5000 隻、船舶毎のユーザー数を 3 人、1 日のうち 1 時間程度のアクセス時間とすると平均的な同時接続数は約 600 ユーザーとなる。その場合、クラウドサーバーに必要なメモリは平均的に 2GB 程度、バッファを想定し、8GB のサーバーを用意する場合、全ユーザーで月間 800 ドルとなる。その際、航海日誌の保存期間に準じて、500GB のストレージとバックアップで算出した。そのほか Web 表示用のサーバーなどの金額を加味しても船舶当たりのクラウド利用料は年間 1 万円以下となる。今後、よりユーザーインターフェースや操作性を船舶管理者や船員向けに向上させた結果管理データベースを開発したケースで、年間使用料は 100 万円以下と見積もる。

D) 船舶の環境下（海上での揺れ、エンジンによる振動、海水・雨・潮、気温等）で安定的に動作するか

システム自体はクラウドに存在しているため、本システムについては船舶の環境下の影響を受けない。

E) 停電が発生しセンサー等の検査機器の電源が落ちた場合でも、取得したデータが消失・毀損しない機能や仕組みが設けられているか

データ集約 PC にデータが存在している場合においては、電源断が発生しても、AIMスケジューラーにより、定期的にデータのアップロードを実行するようプログラムしているため、クラウドにデータが送信されない状況は発生しない。各システムからデータ集約 PC 間の通信時に電源断が発生した場合は、再度結果送信を行うことで対応が可能である。

F) 電波環境の悪い場所でも利用可能となる措置が講じられているか

海上などの通信環境が悪い場所では衛星通信を利用するなどの措置が考えられるが、クラウド上に毎日データを送信する必要はないため、着港時の通信環境が比較的整っている条件で実証実験を行った。点検回数の頻度が現行法令より多くなる場合は、通信環境において特別な措置が必要になる可能性はあるが、デジタル技術を活用することで、現行法令よりも点検頻度を減らすことが可能になる場合は、船舶の荷下ろし、燃料補給などの着港のタイミングでデータ集約 PC のデータをアップロードする仕様で、クラウドへの結果送信は十分であると考えている。また、日々の点検データについてはインターネットに接続せずとも確認ができるため、その時々々の点検結果については船舶内に設置するデータ集約 PC から確認を行うことで、対応可能である。

## 4 考察

### 4.1 対象法令に係るアナログ規制の見直しについて

本技術実証を通じて、各実証項目における評価結果のとおり、定期的実施している現行の目視点検について、カメラを用いた画像認識 AI ないしはセンサーを用いた方法によってデジタル化の道筋が示された。現行の点検では、法令によって月 1 回以上の目視による点検が求められているが、デジタル手法による点検を活用する場合、当該法令に関して見直しができる可能性があると考えられる。一方で、国際条約においても規定されている点検であることから、見直しの際には国際条約との関係に留意する必要がある。

具体的には、標準化されたデジタル点検を一定頻度で実施する場合に、以下のとおり見直しができる可能性があると考えられる。

「目視による週 1 回以上または月 1 回以上の現行点検について、デジタル手法による点検に代替することができるものとする」

なお点検業務の実施回数頻度に関しては、国際条約に定められたものであるため、主にデジタル手法によるアナログ点検の代替に焦点を当て、各検査システムの親和性について以下の表にまとめた。

表 45 技術実証を行った検査システムへの規制緩和案の適用親和性

	代替の可能性	評価結果を踏まえた考察	デジタル化を踏まえた対応すべき課題
①非常通路、昇降設備、出入口検査システム	※○	画像認識 AI による障害物検知と光学センサー（LiDAR）によるデジタル手法により、精度の点で目標値の 90%を超える結果も出ており、船舶の環境に対応した技術で実現できており、現行の点検に代替することが検討できる。	常設のハードウェアによって点検を行う場合、設置箇所によってはメンテナンス・通行などに注意を払う必要がある。
②救命設備検査システム	※△ 一部人手による作業が必要な可能性がある	光学センサー（RFID）による救命設備の有無・計数の点検は、とくに知見やスキルを要せず可能であり、点検負荷も低いため、現行の点検に代替することが検討できる。	光学センサー（RFID）を用いる場合、読み取り自体は人手による作業が必要なため、完全自動化ではなく上記の時間を設ける、ないしは自動的に読み取れる設備設計の実施などが検討される。
③救命艇並びに艀装品検査システム	※△ 同上	同上	同上
④保護具検査システム	※△ 同上	画像認識 AI による不良検知は、とくに知見やスキルを要せずスマートフォンで撮影	同上

		<p>するだけの標準化された点検手法であり、現行の点検に代替することが検討できる。</p>	
--	--	---	--

※○ = 期待できる △ = 一部期待できる

#### 4.2 活用・導入にあたってのポイント

2.1.1 に記載の通り、画像認識 AI の構築にあたっては多種多様な船舶環境に対応できよう、汎用的な AI モデルの開発を目指した。

一方で判定に必要となる画像データの収集に関しては、外光や画角を考慮しハードウェアを設置しなければならぬため、個別の環境に合わせた設計が必要となる可能性があり、上記設計に関する必要性はセンサーを用いる場合においても同様である。

またアナログ・デジタルの手法を問わず、検査においては過誤、すなわち合格を不合格としてしまう、もしくは不合格を合格としてしまうという間違いが発生する。この 2 種類の過誤は互いにトレードオフの関係にあり、その検査の特性に応じてバランスをとることになる。

今回の法令で対象としている船舶の避難通路と救命設備、および保護具の点検においては、その重要性から特に不合格を合格としてしまう間違いについての許容度が低く、比較的厳しく判定した場合、合格を不合格と判定する過誤が発生する可能性がある。

導入にあたっては、過誤が発生することも考慮の上、不合格となった項目のみ現行の目視点検も行うなどの運用でカバーしていくなどが検討される。

各領域におけるアナログ・デジタル手法の取捨選択については、上記に挙げた精度の観点ほか、デジタル手法を採用した際の構築コストおよび業務時間の低減割合などを考慮しながら決定する必要がある。

#### 4.3 課題および改善の方向性

本技術実証を通して、AI 構築（学習用のデータセット作成）のコストの大きさおよび開発期間の長さが課題であった。

画像認識 AI の活用の際に、本技術実証では大規模 AI モデルも活用しながら、実証実験を行ったが、より精度を上げるために各設備についての各種不良画像も含めて収集し、AI 学習用のデータセットを構築してファインチューニングする必要があった。④保護具検査システムのコスト評価でも推定したように、このコストが 1 対象当たり 150 万円程度と大きく、その画像収集に時間がかかるため、船舶単位で、あるいは船舶所有者や船舶運航者が単独で構築することは負担が大きく、船舶点検用として各船舶が利用できるオープン AI モデルが活用できる状態が望ましい。

特に、①非常通路、昇降設備、出入口検査システムにおいて実証した、画像認識 AI と光学センサー（RFID）による手法は、例えばゼロショットにおける 3.2.1. の結果の通り、特定の物に対する学習を必要とせずに未知の障害物を something として検出していることから、船舶のみならず、広く建築物や構造物などの非常通路の障害物検知として広く適用できる可能性も室内での予備実験において示唆されている。

それらの広い対象を所轄する機関の舵取りによって、建築物などの共用も見据えて開発する体制を構築することが可能であれば、コスト面と開発期間の課題は大きく緩和されると考えられる。

## 5 用語集

用語	定義・解説
NABirds データセット	北米で一般的に観察される 400 種の鳥の 48,000 枚のアノテーション付きのデータセット
AP	Average Precision の略称。物体検出の評価指標で、検出された物体の位置、クラスラベルの精度を示す尺度
AWS	Amazon が提供するクラウドコンピューティングプラットフォーム
BLE	Bluetooth の拡張仕様の 1 つで、極低電力で通信が可能なもの
Bluetooth	短距離無線通信技術で、スマートフォン、コンピュータ、周辺機器などのデバイス間でデータを交換するために使用される
CUB200-2011 データセット	鳥に属する 200 のサブカテゴリの 11,788 枚のアノテーション付きデータセット
DINO	ラベルなしの画像データによる事前学習の手法
EfficientNet	畳み込みニューラルネットワークの一手法
encoder	ニューラルネットワークにおける圧縮過程
FGVC	ジャンル名、きめ細かい画像分類タスク
FN	実際には陽性であるにもかかわらず、モデルが陰性と予測した件数
FP	実際には陰性であるにもかかわらず、モデルが陽性と予測した件数
FPN	画像データから抽出された特徴をピラミッド型に伝播させる手法
ImageNet	1400 万枚程度の大規模なカラー写真付きの教師ラベル付き画像データベース
IoU	ボックスの重なりを評価するための指標
LPWA	低電力で長距離の無線通信を実現する技術
mAP	全てのクラスに対して AP を算出し、平均を取った値
NMS	重複したバウンディングボックスを削除して最終的な検出結果を精緻化する手法
pytorch	Python のオープンソース機械学習ライブラリ
RFID	電波を用いて RF タグのデータを非接触で読み書きするシステム
RF タグ	データが入っている記録媒体
roboflow	AI 開発プラットフォーム
SMP	セグメンテーション用ライブラリ
SoTA	現時点での最先端レベルの性能
TN	実際にも陰性であり、かつモデルが陰性と予測した件数
TP	実際にも陽性であり、かつモデルが陽性と予測した件数
transformer	ニューラルネットワークの 1 種で、従来のモデルに比べて並列化が容易で、学習速度が速い
アノテーション	テキストや音声、画像、動画などあらゆる形態のデータの 1 つ 1 つに、タグやメタデータと呼ばれる情報を付けていく工程
アーキテクチャ	ニューラルネットワークの構造
エッジコンピュータ	データを生成するデバイスに近い場所でデータ処理を行う技術であり、通信遅延の削減が可能
オープン AI モデル	公開されている AI モデル
学習	データからパターンを学びモデルを構築する過程であり



学習済みモデル	大規模なデータセットを事前に学習した AI モデル
確信度	予測または出力がどのくらい確実であるかの統計的な尺度
共振	特定の周波数で電気回路が最も効率的に動作し、電流や電圧が大きくなる現象
クラウド	ユーザーがサーバーなどのインフラやソフトウェアを持たずに、インターネット経由で必要な時に必要な分だけサービスを利用する考え方
クラス	教師あり学習においてデータが属する正解のカテゴリーを指定するために用いられる、予め定義されたカテゴリーやグループの識別子
混合正規分布	複数の正規分布を組み合わせた統計モデル
再現率	検出された正の事例のうち、実際に正であった事例の割合を示す指標で見逃しに対する厳しさの指標
深層生成ニューラルネットワーク	主にデータ生成やサンプリングに使用されるニューラルネットワーク
推論	学習されたモデルを使用して新しいデータに対する予測や決定を行う過程
生成 AI	ジャンル名、データや情報を生成するための AI システム
整流	交流（AC）電力を直流（DC）電力に変換するプロセス
セグメンテーション	画像内のオブジェクトや物体をピクセルレベルで識別し、異なるグループやセグメントに分類するタスク
ゼロショット	訓練データに含まれていないクラスやタスクに対してもモデルが予測を行う能力のこと
データセット	ここではアノテーション付きの画像データのことを指す
適合率	検出された正の事例のうち、実際に正であった事例の割合を示す指標であり、予測の正確性や信頼性に対する指標
特殊タグ	金属製品に貼り付けても読み取れるタグ
ニューラルネットワーク	神経回路網を人工ニューロンという数式的なモデルで表現したもの
ネットワークカメラ	インターネットまたはローカルネットワークを通じて映像を送信することができるデジタルビデオカメラ
バウンディングボックス	画像内の物体を矩形で囲んだ部分領域
バウンディングボックス回帰	物体検出で検出された物体の位置とサイズを正確に予測するための手法
パッチ	1 枚の画像を複数の小さい画像に切り出したもの
パラメータ	AI モデルが学習過程において最適化を行うもの
ピクセル	デジタル画像を構成する最小の単位であり、特定の色情報を持つ
ファインチューニング	学習済みモデルのパラメータを微調整する手法
物体検出	画像内にある特定の物体の位置や種類、個数を特定する手法
分類	データを予め定義されたカテゴリーに割る振るタスク
プロンプト	人間が AI に対して入力する「指示」のこと
ラベルタグ	汎用的なシール状のタグ
ランダムサンプリングコンセンサス	外れ値（ノイズや異常値）が含まれているデータセットから、信頼できるデータのみを使ってモデル推定する手法
ルールベース	あらかじめ閾値を決めて検査する従来型の画像検査方法
畳み込みニューラルネットワーク (CNN)	視覚情報の処理に特化したディープラーニングの手法

## 6 参考文献

---

- <sup>i</sup> Li Liu (2020). "Deep Learning for Generic Object Detection: A Survey". International Journal of Computer Vision 128: doi:10.1007
- <sup>ii</sup> Kukil (2022). "Intersection over Union (IoU) in Object Detection & Segmentation". <https://learnopencv.com/intersection-over-union-iou-in-object-detection-and-segmentation/>.
- <sup>iii</sup> Hao Zhang, Feng Li, Shilong Liu, Lei Zhang, Hang Su, Jun Zhu, Lionel M. Ni, and Heung-Yeung Shum. Dino: Detr with improved denoising anchor boxes for end-to-end object detection, 2022.
- <sup>iv</sup> DENSO. "RFIDとは(技術編)". <https://www.denso-wave.com/ja/adcd/fundamental/rfid/rfridtec/index.html>.
- <sup>v</sup> DENSO. "BHT-1281QULWB-CE". [https://www.denso-wave.com/ja/adcd/product/rfid/bht-1281qulwb-ce\\_wec7.html](https://www.denso-wave.com/ja/adcd/product/rfid/bht-1281qulwb-ce_wec7.html)
- <sup>vi</sup> Po-Yung Chou, Cheng-Hung Lin, Wen-Chung Kao. A Novel Plug-in Module for Fine-Grained Visual Classification. arXiv. 2022, eprint 2202.03822.
- <sup>vii</sup> Pavel Iakubovskii. Segmentation Models Pytorch. GitHub repository. 2019, GitHub. [Online]. Available: [https://github.com/qubvel/segmentation\\_models.pytorch](https://github.com/qubvel/segmentation_models.pytorch)
- <sup>viii</sup> <https://github.com/kaustubh-Beta/Rust-detection-algorithm.git>
- <sup>ix</sup> ripcurrentdetection. buoy Dataset. Roboflow Universe. 2023, Sep, Roboflow. [Online]. Available: <https://universe.roboflow.com/ripcurrentdetection/buoy-wb8dx> (visited on 2024-02-09).
- <sup>x</sup> DND. Life jacket detection Dataset. Roboflow Universe. 2023, Nov, Roboflow. [Online]. Available: <https://universe.roboflow.com/dnd-dlek1/life-jacket-detection-kbjls> (visited on 2024-02-09).
- <sup>xi</sup> Rust. Rust Segmentation Dataset. Roboflow Universe. 2023, Jul, Roboflow. [Online]. Available: <https://universe.roboflow.com/rust-wnu8c/rust-segmentation-rfyuf> (visited on 2024-02-09).