

船舶航行監視システム「COS-NAVI」の開発

| | |
|-----------|---------|
| 東亜建設工業(株) | ○水 木 啓陽 |
| 東亜建設工業(株) | 藤 山 映 |
| 東亜建設工業(株) | 那須野 陽平 |
| 東亜建設工業(株) | 宮 本 憲都 |

1. はじめに

多くの一般船舶が行き交う海上で工事を行う際には、工船用船舶の運航状況や周辺を航行する一般船舶の動静を注視し、安全航行に努めることが重要である。当社では、操船者の安全確認の補助や周辺船舶の見落とし防止を目的として、GNSS や船舶自動識別装置 (AIS)、船舶レーダーを組み合わせ、工船用船舶や一般船舶の動静を監視するシステムを開発し、多くの現場で運用してきた。しかしながら、船舶情報を入手する上で、船舶レーダーは航行安全上、特に必要な 500m 以内の近距離における船舶を検知しにくいことが課題であった (図-1)。この課題を解決するため、カメラで撮影した映像から、AI による画像認識技術を用いて船舶を自動検知する機能を取り入れた船舶航行監視システム「COS-NAVI」(Construction On the Sea NAVI gation system)を開発した。本稿では、「COS-NAVI」の概要と検知した船舶の位置検出方法、現場で行った実証試験の結果について報告する。

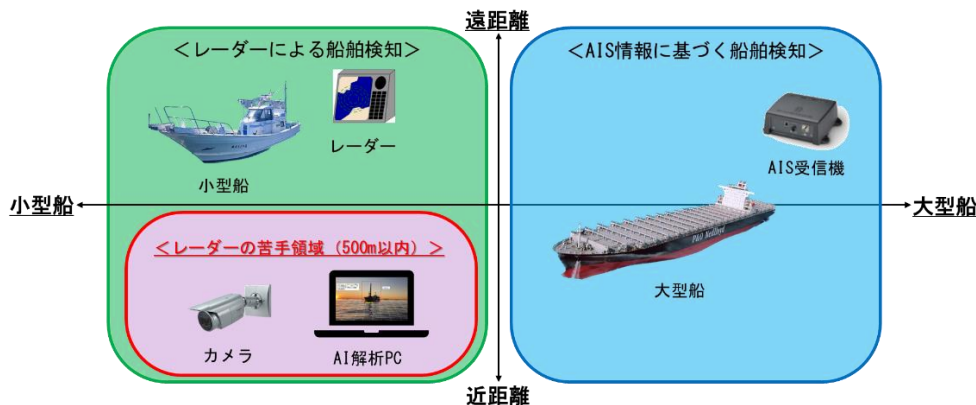


図-1 船舶航行監視システム「COS-NAVI」の開発領域

2. 船舶航行監視システム「COS-NAVI」

(1) 開発のコンセプト

当社では、「カメラで取得した映像から AI によって船舶を検知し、システム画面に表示させることにより、操船者による一般船舶の見落としを予防し、安全な航行支援を行うこと」を基本コンセプトとし、「COS-NAVI」の開発を行ってきた。特に、船舶レーダーの苦手分野である近距離の船舶検知を実現するため、国際海上交通ルールにおける『安全航行が可能な距離の目安』¹⁾に基づき、船舶の最低限必要な検知距離を 300m と設定した。針路方向における安全航行可能距離のイメージを図-2 に示す。

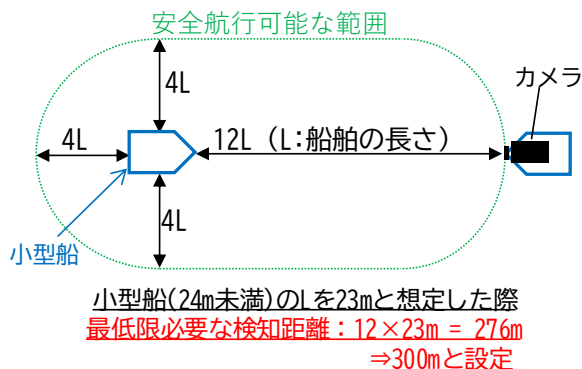


図-2 安全航行可能距離イメージ

キーワード 生産性向上, 情報化施工, 港湾, AI 画像認識, 安全管理

連絡先 〒230-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町 1-3 東亜建設工業株式会社 機電部 研究開発・提案グループ TEL 045-521-1038

(2) システム概要

船舶航行監視システム「COS-NAVI」は、GNSS や AIS、船舶レーダーに加え、カメラで撮影した映像から、AI 画像認識技術によって船舶を自動検知するとともに、検知した船舶を自動追尾し、その位置座標をリアルタイムに取得することで、近距離の監視を強化したシステムである。システム画面には、自船を中心として AIS 船や工事用船舶に加え、カメラ映像から AI が検知した船舶が表示される。これらの情報は、クラウドサーバーで管理され、事務所や遠隔端末等に配信することにより、工事関係者間で情報を共有することが可能である。

取得した船舶の位置や動静情報をシステム画面上にリアルタイムに表示することで、操船者は他船舶の動向を正確に把握することが可能となる。また、教師データには実際の港湾工事で撮影した船舶の映像を用いているため、高い検知率で船舶を識別することも可能である。さらに、使用するカメラを光学カメラから赤外線カメラに変更することにより、夜間でも船舶を検知し、位置情報を取得することもできる。従来と比較して、近距離における船舶の検知精度が向上したため、本技術を活用することにより、操船者による船舶の見落としを予防し、海上作業時の運航管理の安全性向上および監視業務の省力化が期待できる。システム構成イメージを **図-3** に、システム画面イメージを **図-4** に示す。

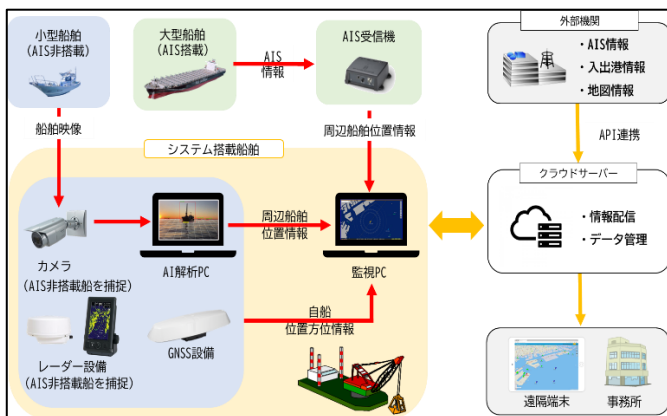


図-3 システム構成イメージ

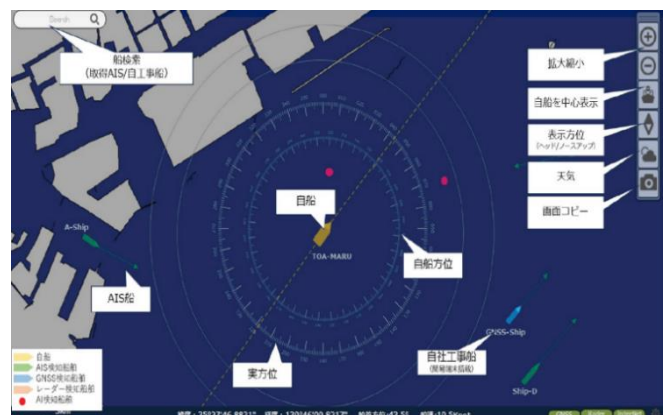


図-4 システム画面イメージ

その他、「COS-NAVI」には水先案内や他船舶の接近警報、衝突予測を行う機能が備わっており、1つのシステムで統合監視することにより、安全性・生産性の向上が可能である。

a) 水先案内機能

予め設定した危険区域への接近や、予定航行ルートからの逸脱を監視し、音声やパトライトなどで警報を通知し、注意喚起を促す機能。また、カメラの映像から AI が一般船舶やブイ等の障害物を検知し、操船者に通知する機能も有している。自船の現在位置と、目的地までの航行経路や到着時間などを音声とメッセージでナビゲーションすることが可能である。

b) 接近警報機能

自船を中心とした警戒エリアを設定し、警戒エリア内に侵入して自船に接近してくる他船舶を検知した場合、音声やパトライトなどで警報を通知し、注意喚起を促す機能。また、工事区域に対して警戒エリアを設定することで、他船舶の接近や侵入を検知することも可能である。

c) 衝突予測機能

自船から n 分後に到達するポイントを 3 段階で表示し (例: 3 分後, 5 分後, 10 分後), 自船および AIS 船舶の船体寸法・針路・速度から, n 分後に一定距離に接近する船舶に対して衝突予測演算を行う。衝突の可能性がある結果が出た場合, 地図上の該当する地点に「X」マークを表示する。

(3) 検知した船舶の位置検出技術

一般的に、カメラ等の映像は手前にあるほど大きく映り、遠くなるほど小さく映る。「COS-NAVI」では、カメラの映像に座標を持たせるため、「透視投影法」という手法を用いている。本手法の概念図を図-5 に示す。水面からカメラまでの高さや設置位置、カメラの角度を計測したうえで、座標が分かっている任意の2点の情報をシステムに与える「キャリブレーション」を行うことにより、カメラの位置と実際の位置との距離感を認識させることができ、奥行きを表現することができるようになる（写真-1）。

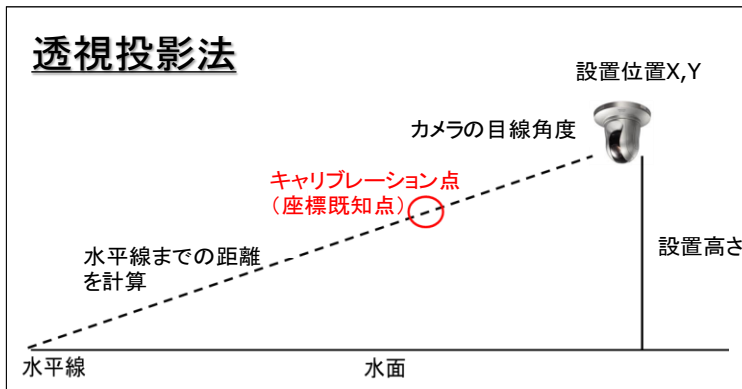


図-5 透視投影法の概念図

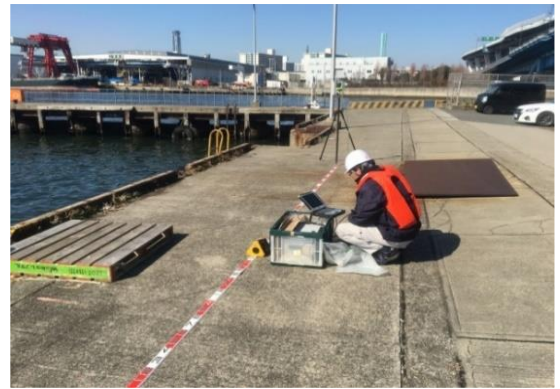


写真-1 座標既知点 設置状況

(4) 適用範囲

「COS-NAVI」は、操船者が目視で行っている周辺船舶把握のアシストとして使用されることを前提として開発したものであり、港湾工事の安全管理として、周辺船舶の動向確認の補助に適用可能である。特に、船舶が頻繁に往来する海域や、航行船舶が錯綜するエリア（港湾・漁港など）における施工、作業船と運搬船の連携が必要な海上工事（グラブ浚渫工事など）、夜間の航行が必要な海上工事などで高い効果が期待できる。その一方で、上空が開けておらず、GNSS が使用できない環境や、天候・動揺などでカメラの映像が正常に取得できない場合は、本システムを適用することはできない。

3. 実証試験

開発した「COS-NAVI」の性能を検証するため、現場海域において実証試験を実施した。本試験では、一般航行船舶および現場に就役している交通船を対象とし、船舶の検知率を確認することに焦点を当てた。

(1) 一般航行船舶を対象とした検知率の検証

土運船を運搬する押船に GNSS、カメラ、AIS を設置し、現場周辺海域を航行している一般船舶を撮影した（図-6、写真-2）。撮影した映像を基に、AI 画像認識技術を用いて船舶を検知させ、AI 制御用 PC に表示させるとともに、船舶を検知している状況を動画として保存した。この動画を解析することにより、船舶の検知率を確認した。本試験における検知率の定義は、以下のとおりである。

$$\text{検知率}[\%] = \frac{\text{画面に映った船舶を1度でも船舶であると検知した隻数}}{\text{映像中の船舶の総隻数}} \times 100$$

試験結果を表-1 に示す。映像中の全 172 隻のうち、「COS-NAVI」が検知した隻数は 156 隻であり、90.7%という高い検知率を示した。しかし、船舶を検知しないケースや、船舶ではないものを船舶と認識してしまうケースが一定数あることも確認できた。これは、船舶の向きや形状、背景との同化、日照条件など、様々な要因によって非検知や誤検知が発生したものと推察される。条件を変えて撮影した教師データを用い、追加学習を

重ねることにより、検知率を向上させることができると考えられる。

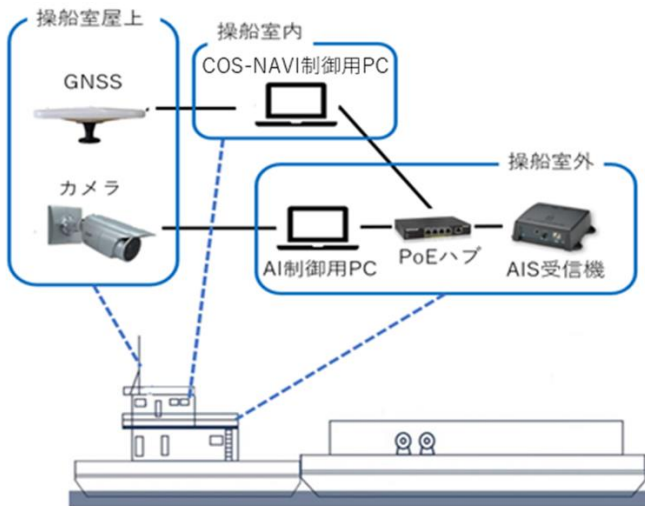


図-6 機器配置イメージ



写真-2 機材設置状況

表-1 試験結果（一般航行船舶の検知率）

| 項目 | 総船舶数[隻] | 検知数[隻] | 非検知数[隻] | 誤検知数[隻] | 検知率[%] |
|----|---------|--------|---------|---------|--------|
| 結果 | 172 | 156 | 14 | 2 | 90.7 |

(2) 交通船を対象とした検知率および検知精度の検証

クレーン船に GNSS、カメラ、AIS を設置し、現場に就役している交通船に RTK-GNSS を設置した状態で、交通船をカメラの向きに任意航行させて映像を撮影した。撮影した映像を基に、AI 画像認識技術を用いて船舶を検知させ、AI 制御用 PC に表示させるとともに、船舶を検知している状況を動画として保存した。この動画を解析することにより、船舶の検知率を確認した。また、交通船に搭載した RTK-GNSS の位置座標を基準とし、AI で検知した位置座標と比較することで、検知精度の検証も併せて行った。

本試験における検知率の定義は、以下のとおりである。

$$\text{検知率}[\%] = \frac{\text{船舶であると検知したサンプル数}}{\text{映像から 1 秒間隔で切り出した画像の総サンプル数}} \times 100$$

試験結果を表-2 に示す。本試験で交通船が検知できた距離は 500m 程度までであり、「COS-NAVI」の開発目標として設定した最低検知距離（300m）を満足することが示された。この範囲内で撮影された映像から切り出した全 264 サンプルのうち、「COS-NAVI」が交通船を検知した数は 240 サンプルであり、90.9%という高い検知率を示した。なお、本試験においても、一般航行船舶を対象として実施した検証試験と同様、非検知となるケースが一定数あることも確認された。

船舶の最低検知距離である 300m 地点において、RTK-GNSS を正とした AI による船舶検知位置は、約 12m の誤差を有することが確認できた。この誤差を考慮すると、実際には 300m-12m=288m 地点にいた可能性が示唆されるが、安全航行が可能な距離の目安である 276m と比較した場合、10m 強の安全マージンを確保できていることから、操船者に対する注意喚起は可能であり、本システムの運用に支障を来すことはないと言える。実証試験における交通船の検知状況を写真-3 に、検知距離に対する誤差の推移を図-7 に示す。

表-2 試験結果（交通船の検知率）

| 項目 | 総サンプル数 | 検知数 | 非検知数 | 誤検知数 | 検知率[%] |
|----|--------|-----|------|------|--------|
| 結果 | 264 | 240 | 24 | 0 | 90.9 |



写真-3 交通船の検知状況

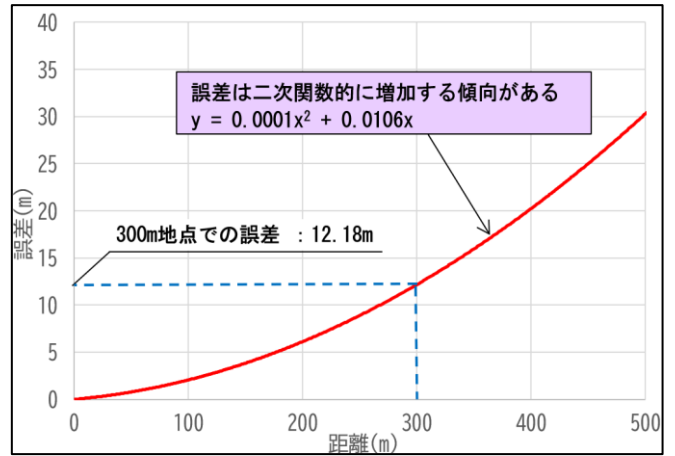


図-7 検知距離に対する誤差の推移

(3) 夜間の船舶検知検証

本試験では、光学カメラから赤外線カメラに変更することにより、夜間でも船舶を検知し、位置情報を取得することができるか検証を行った。岸壁上に赤外線カメラを設置し、その直上にGNSSを取り付けることで、赤外線カメラの位置と方位を検出できるようにした。使用機材の設置状況を写真-4に示す。

試験の結果、赤外線カメラを使用することで、夜間でも船舶をAIで検知することが可能であることが確認できた（写真-5）。また、GNSSで取得した船舶の位置情報を基に、「COS-NAVI」の画面に表示できることも確認できた（図-8）。その一方で、赤外線カメラで撮影した教師データは、光学カメラで撮影した教師データの数と比較して少なく、検知率および位置誤差の検証については実施に至っていない。今後、赤外線カメラの教師データで追加学習を重ね、検証を行っていく予定である。



写真-4 使用機材設置状況

本試験を通じ、赤外線カメラは通常の光学カメラと比較して、画角が非常に狭いという点が顕在化した。夜間航行時、操船者の目の代わりとして機能する赤外線カメラについて、その画角の狭さは、一般航行船舶の早期発見・検知に影響を及ぼす要因となり得る。現場で運用する際には、赤外線カメラを複数台設置する、あるいは、旋回機能付きの回転台に赤外線カメラを設置するなど、画角を確保する対策が必要である。



写真-5 AIによる船舶検知状況（赤外線カメラ）

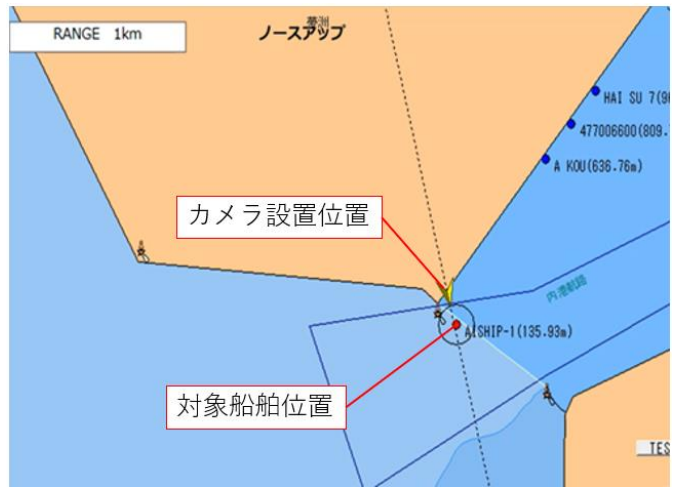


図-8 システム画面表示イメージ

4. おわりに

本稿では、AIによる画像認識技術を用いて、カメラの映像から船舶を自動検知するとともに、検知した船舶を自動追尾し、その位置座標をリアルタイムに取得する船舶航行監視システム「COS-NAVI」について紹介した。船舶レーダーの代わりにカメラを使用することにより、従来と比較して、近距離における船舶の検知率が向上し、船舶レーダーの苦手領域を補完することが可能となった。また、「COS-NAVI」の性能を検証する実証試験を現場海域で実施し、自船から500m以内の近距離において、90%を超える高い検知率で船舶が検知可能であることを確認した。検知距離が遠くなるほど、AIが船舶を検知する位置誤差は増大する傾向にあるが、安全航行が可能な距離の目安から10m程度、安全マージンを確保できることも確認されており、現場で支障なく運用することができる。本システムの活用により、操船者による船舶の見落としの予防と、海上作業時の運航管理の安全性・生産性の向上が期待できる。

「COS-NAVI」は、2024年6月にNETISに登録された（登録番号：KTK-240003-A）。また、2023年11月には特許も出願済みである。今後は、港湾工事を中心に様々な現場への導入を通じて追加学習を行い、夜間を含めた船舶検知率を向上させるとともに、高性能なカメラを使用して画質を高めることで、検知距離の向上を図っていきたい。また、船舶の動揺補正やスタビライザーの活用により、検知精度の向上にも取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 藤本昌志：図解 海上衝突予防法，p.23-26，成山堂，2008。