

拡張現実（AR）を用いた船舶航行ナビゲーションシステムの開発

宮本 憲 都

工船用船舶の操船者に対して安全な操船を補助するシステムとして、航行（運行）支援システム「ARナビ」を開発した。このシステムは、拡張現実（AR:Augmented Reality）の技術を応用することにより、カメラで取得した映像上に航路や危険区域、障害物を分かりやすく表示することが可能であり、操船者の安全確認の負担を大きく軽減することができる。本稿では、ARナビの概要、基礎実験、現場導入事例及び今後の展望として、AI船舶検知機能との連携について報告する。

キーワード：i-Construction, 船舶, 航行（運行）支援, リアルタイム, 拡張現実（AR）, AI船舶検知

1. はじめに

近年、建設業就業者の高齢化と入職者の減少による、次世代への技術承継が課題となっている。港湾工事における作業船においても熟練技術者が減少しており、土運船などの運航に関して、工事を円滑かつ安全に施工するため、自船舶の運航状況や他船舶の動静を正しく把握することが重要である。当社は、位置情報発信端末、AIS（自動船舶識別装置）、船舶レーダー等を利用した独自の船舶運航監視システムを開発し運用を続けてきたが、更なる航行の安全性を向上させるため、拡張現実（AR:Augmented Reality）を用いた船舶航行ナビゲーションシステム「ARナビ」（以下本システムという）の開発を行った。

2. 本システムについて

(1) システム概要

本システムは、カメラで撮影した映像上に、航行経路や危険区域をARとして表示し、視覚情報と音声情報により、分かり易くナビゲーションするシステムである。これにより航路の誤認、浅瀬など進入禁止区域への接近や進入を操船者が早期に認識できるため、船舶の運航において安全性の向上が期待できる。

本システムの最大の特長は、航路を示すものや標識の無い海上において、仮想的に前方カメラで取得した映像上に航路エリア、警戒ライン、船上から目視確認が難しい浅瀬などの危険箇所を分かりやすく表示することで、操船者の安全確認をサポートできることであ

る。陸上の現場でも使用可能で、工用車両などに本システムを搭載することにより、日々変化する現場の通行ルートを視覚情報として分かり易く表示することができる。災害発生時など、新たな危険箇所が発生した場合、本システムへ危険区域の設定を随時追加することによって、船舶や車両の安全を確保しつつ、迅速な対応を行なうことができる。図-1に海上における画面表示例を示す。

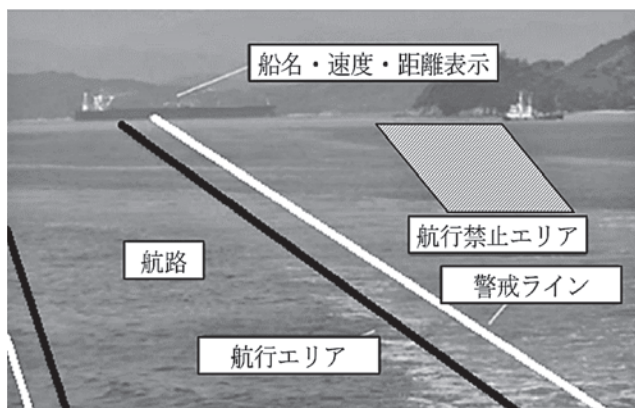


図-1 海上における画面表示例

(2) システム構成

本システムは、前方の映像を取得するカメラ、自船の位置及び方位を計測するGNSS方位計、情報表示及びデータ管理を行なう管理パソコンから構成されている。また、オプションとしてAIS受信機や監視レーダーを搭載することで、AIS搭載船舶の情報や小型船舶の位置が表示可能となる。更に、腕時計型アラート受信機、LED表示板、回転灯、警報器など、警報装

置を併用することにより、様々な形で警報を発信することができる。図一2に本システムの船舶用機器構成図を示す。



図一2 船舶用機器構成図

(3) 適用範囲

本システムは、操船者に対するナビゲーション支援として開発したものであり、工事用車両にも適用可能である。特に一般船舶の往来が多い海域、航行距離が長くなる海域、浅瀬など警戒すべき箇所が多く存在する海域、また、工事の進捗に伴って日々の航路、危険箇所が変化する現場などに効果的である。なお、GNSS測位が使用できない橋脚下や、トンネル内、カメラの視界が確保できない夜間、濃霧などは適用できない。表一1に本システムの運用条件と表示精度を示す。

表一1 本システムの運用条件と表示精度

制限速度	船舶：10 knot 以下 車両：20 km/h 以下
遅延速度（理論値）	GNSS 更新間隔 10 Hz (0.1 秒)
表示誤差（理論値）	GNSS 方位計精度 $\pm 0.75^\circ$ より算出 100 m 地点： ± 1.3 m 500 m 地点： ± 6.5 m

3. 基礎実験

基礎実験として、陸上で車両搭載試験と海上で船舶搭載試験を行った。

(1) 陸上試験

カメラとGNSS方位計のデータを取り込んでシステム画面上で航路などを表示するライン（以下ARライン）が正確に描画できるか検証するために、車のルーフキャリアに機材を設置し、実験を行なった。図一3に機材の設置状況を示す。なおGNSS方位計の測位精度や車両の動揺（傾斜）がARラインの描画に与え



図一3 機材設置状況

る影響を検証するため、「精度 ± 1 mのD-GNSS方位計とカメラを使ったパターン」と、「精度 ± 2 cmのRTK-GNSSとカメラを使用し精度 0.1° の2軸傾斜計を補正情報として追加したパターン」の2つのパターンで実験を行なった。

ARラインの描画の確認として、時速20 kmで走行しながらARラインと設定した航路が一致するか目視で確認した。D-GNSS方位計とカメラで走行したパターンでは、設定した航路に対して最大1 mのズレが確認されたが、航行に支障を来す大きなズレは発生せずに良好な描画が可能であった。また、RTK-GNSS受信機とカメラを使用し2軸傾斜計のデータで補正したパターンでは、表示した航路と設定した航路はほぼ一致した。図一4にD-GNSS方位計とカメラ使用時のARラインの描画状況を、図一5にRTK-GNSS受信機とカメラを使用し2軸傾斜計で補正した際のARラインの描画状況を示す。

設置時間、機材の耐久性、ソフトウェアの操作性についても検証を行なったが、設置時間については、D-GNSS方位計とカメラを使用する場合で約1時間、



図一4 ARライン描画状況 (D-GNSS方位計使用)

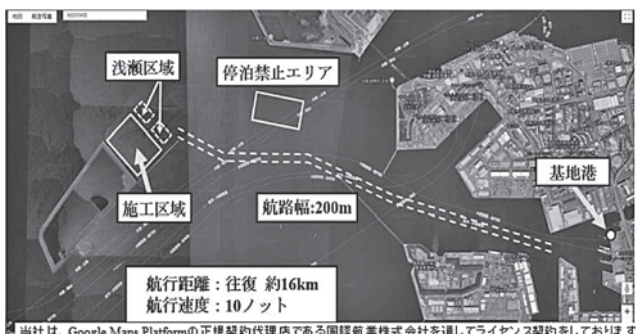


図一五 ARライン描画状況 (RTK-GNSS 方位計使用)

RTK-GNSS, カメラと2軸傾斜計を使用する場合で3時間~4時間必要であった。また, 2日間実験を行ったが, 走行中の振動による機材の破損やズレは発生せず, 機材の耐久性に問題はないことが確認できた。更に, ソフトウェアの操作性では, ARラインを事前に設定することによって, 操船者は特別な操作を必要とせず, 画面に従って運用することができた。

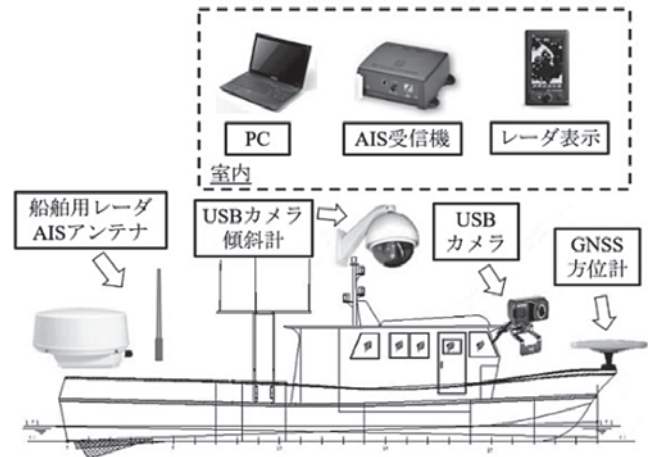
(2) 海上試験

試験対象工事の交通船は, 工事期間中, 基地港から施工区域まで往復16kmを航行しており, 航行中に付近を航行する他船舶の動静監視が重要であった。また, 現場周辺は浅瀬となっており, 付近を航行する際, 座礁しないように十分注意する必要がある。そこで, 航路及びAIS搭載船舶, 危険区域の情報をARとして表示し, 操船者に視覚情報と音声情報で注意喚起を行った。交通船の船速は約10knotとして, 施工区域までの航路を10往復航行し検証を行なった。その結果, 航路や危険区域, 浅瀬の位置, 進行方向をシステム画面上へリアルタイムに表示可能であることを確認した。AIS搭載船舶の表示に関しては, AIS情報の更新間隔が不規則であり, 画面上の船舶位置とAR表示名が多少ずれる場合があったが, 運用上問題ない

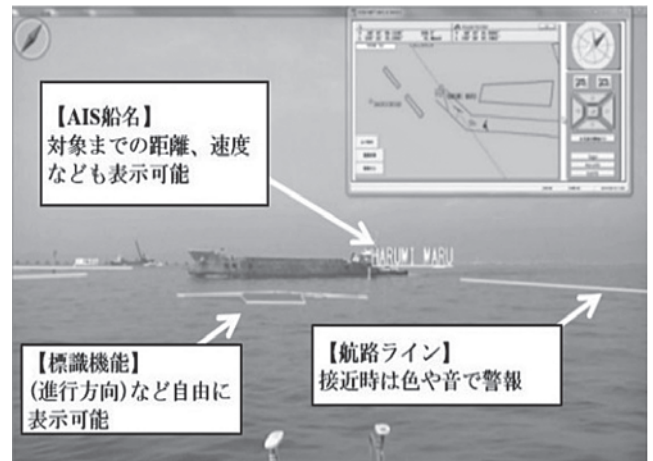


図一六 施工場所及び航行経路

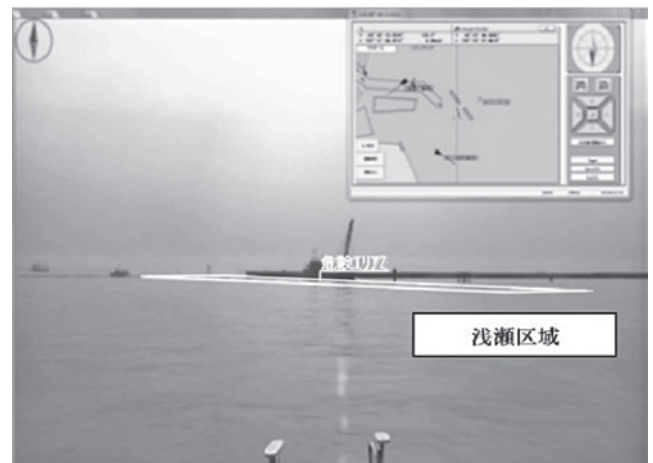
程度であった。更に, 危険区域に侵入した際には画面上のメッセージ表示と音声で操船者に注意喚起が可能である事も確認した。図一六に現場の施工区域と航路についての上空写真, 図一七に使用した交通船への機材の設置状況, 図一八に本試験中のシステム画面, 図一九に浅瀬区域を航行中のシステム画面を示す。



図一七 交通船への機材設置状況



図一八 システム画面 (海上試験時)



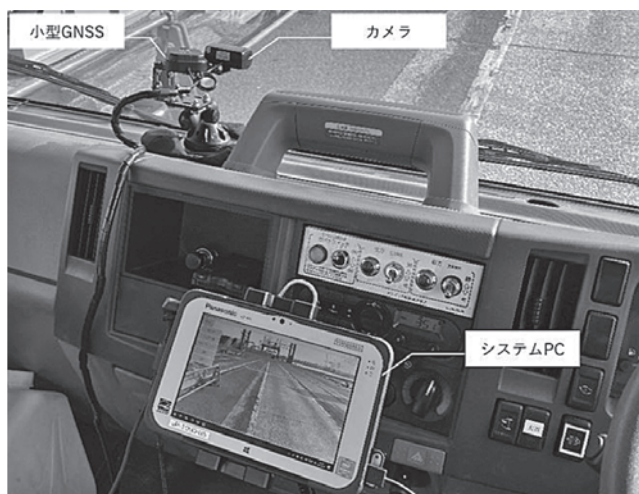
図一九 システム画面 (浅瀬区域)

4. 現場導入事例

本章では、陸上工事および海上工事への導入事例をそれぞれ示す。

(1) 陸上工事への導入

本システムを車両で工事材料の搬入出を行う陸上工事へ導入した。当該現場はコンテナターミナル内に位置しており、現場に入構するまでの走行レーン、隣接するコンテナターミナルへの走行レーンに囲まれて分かり辛い状況であった。更に、コンテナターミナル内では地図情報が無いため、安全な走行経路を明確に運転手へ伝える必要があった。そこで、本システムで走行レーン、走行可能幅、進路、注意エリア及び走行禁止エリア等をリアルタイムにカメラ映像上に重ね合わせて表示し、注意エリア進入時や走行レーン逸脱時は、音声アナウンスと警告メッセージにより運転手へ注意喚起を行った。これにより、走行レーンを視覚的に分かり易くナビゲーションが可能となり、工事材料



図一10 車内機器搭載状況



図一11 走行ルート



図一12 システム画面

の搬入出作業の安全性が向上した。図一10に車内機器搭載状況、図一11に走行ルート、図一12にシステム画面を示す。

(2) 海上工事への導入

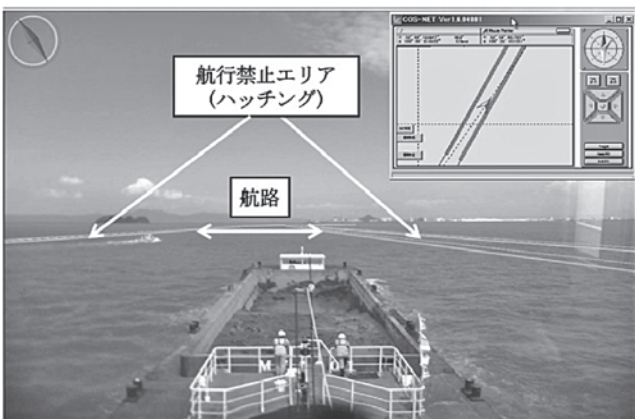
本システムを土運船の土砂運搬工事へ導入した。一般的な土運船の土砂運搬は、操船者が灯浮標を目視で確認し、航路の位置をおおよそ把握して航行する。この工事において土運船は、大型船舶が航行する航路(-14m)の端部を片道4kmにわたって針路を保持し、一定の速度で航行する必要があったが、運搬経路には航路を明示する灯浮標がないため、航路を正確に把握し航行することが難しい状況であった。そこで、本システムで航路や危険エリアをARで表示させ、航行ナビゲーションを行い、航路を外れた際は警報により操船者へ注意喚起を行うようにした。また、土運船のリアルタイムの航行位置は事務所のPCに共有され、現場職員がいつでも土運船の航行状況を把握することが可能である事を確認した。図一13に屋内の機器設置状況、図一14に屋外の機器設置状況、図一15



図一13 機器設置状況 (屋内)



図一14 機器設置状況 (屋外)



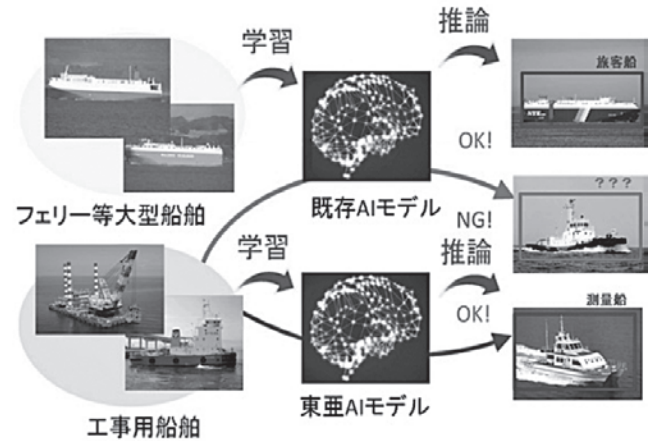
図一15 システム画面 (土運船運搬時)

に土運船運搬時のシステム画面を示す。

5. 今後の展望

本システムは上述の通り、カメラ映像内に映る船舶の認識は、大型船は AIS 情報、小型船は船舶レーダーで実施している。しかし、AIS は 500 t 未満の船舶には搭載義務がないため、全ての船舶を検知することはできない。更に、情報の更新間隔が不規則であり、最新情報を入手できないことや、船舶レーダーは検出した陰影から船種の区別がつかないため、監視業務の効率化と安全性向上を図るためにも更なる機能向上が必要である。そこで、人工知能 (AI) の画像認識技術を利用した船舶検知機能 (以下 AI 船舶検知機能という) を追加することで、船舶検知精度向上を試行中である。この AI 画像認識技術は、画像解析に特化した CNN モデル (Convolutional Neural Network) を使用しており、カメラで撮影された一般船舶の船種 (大型船・小型船) を高精度に識別することができる。これに、当社の港湾工事で撮影した映像を教師データとして追加学習し、一般船舶のほか、作業船や潜水土船、

警戒船等の工事用船舶の識別も可能としている。本システムに AI 船舶検知機能を追加するには、従来の USB カメラをより高画質な 4K カメラに換え、管理パソコン内に AI モデルを組み込むことで簡単に構築が可能である。今後、陸上での利用も考慮し工事用・特殊車両の検知も可能とすることで、本システムの適用性を拡大したいと考える。図一16にAIモデルの概要図、図一17に小型船の検知状況、図一18に大型船の検知状況を示す。



図一16 AIモデル概要図



図一17 小型船の検知状況



図一18 大型船の検知状況

6. おわりに

本システムは既に10件以上の導入実績があり、土運船の運航管理の他にも、作業船の回航管理やケーソンの曳航などへ導入されており、様々な海域やシチュエーションにおける安全管理へ寄与している。今後もシステムの改良や機能追加により、更なる性能の向上を目指す所存である。

JCM A

《参考文献》

- ・水木啓陽・田中孝行・藤山映：航行（運航）支援システム「ARナビ」の開発，会誌「電力土木」，402号，pp.114～116，2019年発行

【筆者紹介】

宮本 憲都（みやもと けんと）
東亜建設工業(株)
土木事業本部 機電部 電気グループ

