

コンテナターミナルにおける外来トレーラーの 自動化に関する現場実証結果

2023年5月

港湾局港湾経済課港湾物流戦略室

コンテナターミナルにおける外来トレーラーの自動化に関する現場実証

- コンテナターミナルのゲート前での外来トレーラーの待機時間の長期化や、現役ドライバーの高齢化等により、将来的なドライバー不足と円滑なコンテナ輸送への支障が懸念されている。
- このような問題意識の下、ゲート処理や荷役機械と連携した、外来トレーラーの自動化を目指すため現場実証を実施した。

実証の概要

実証場所:

横浜港本牧ふ頭HDGオフドックバンプール(模擬フィールド)

実施期間: 令和2年度～令和4年度

主な検証内容:

- ① 自働トレーラーの走行軌跡
設定したルートからの逸脱、直進部、カーブ部の走行、蔵置コンテナによるGNSSの精度への影響
- ② 荷役を想定した位置および一時停止箇所における自動停止・発車

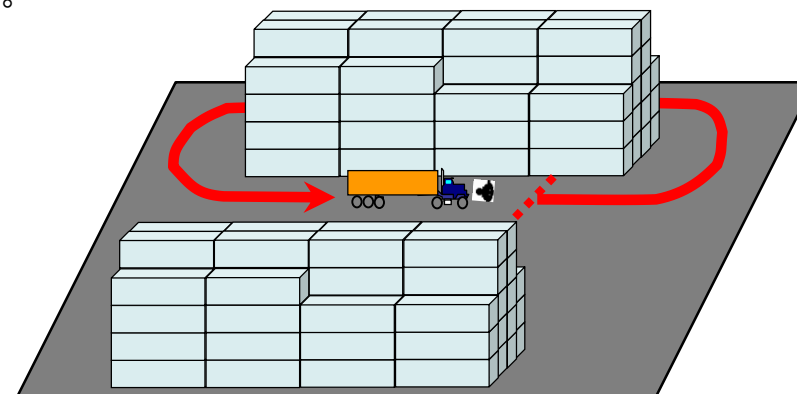


試験車両イメージ

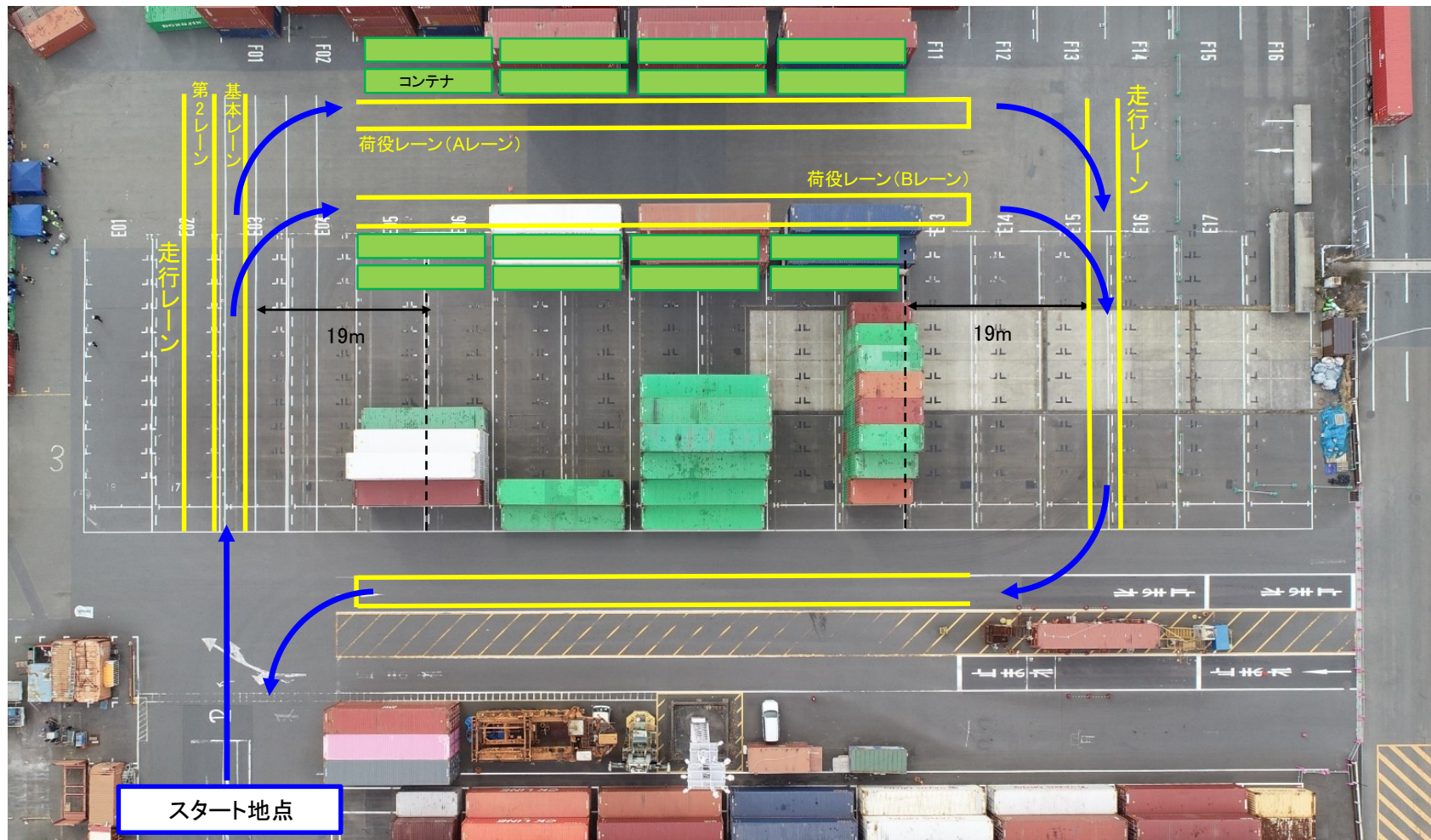


模擬フィールドにおける走行試験のイメージ

実際のコンテナターミナルを再現するため、走行レーンや荷役レーン、蔵置コンテナ等を設置し、当該フィールドで自働トラクターを走行させる。



模擬フィールドの概要



【自働トレーラーの走行ルート】

- ・スタート地点から走行レーンを直進後、荷役レーンにカーブで進入する
- ・予め設定したコンテナ蔵置位置で一時停止し、再発進する
- ・再発進後、荷役レーンを退出して走行レーンに戻る

模擬フィールドにおける走行試験の項目と結果概要

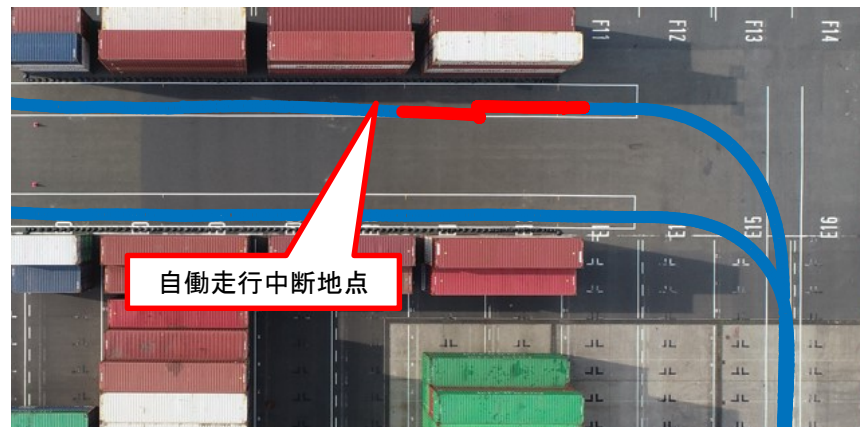
項目	結果概要
1.自働トレーラーの走行軌跡 <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="68 297 520 448">①設定したルートからの逸脱 <li data-bbox="68 448 520 596">②蔵置コンテナによるGNSSの精度への影響 <li data-bbox="68 596 520 886">③直進部、カーブ部の走行（走行幅、回転半径など） 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="534 297 2032 448">• 予め設定した走行ルートを逸脱することなく、安定した自働走行が可能であることを確認した。 <li data-bbox="534 297 2032 448">• 一方で、GNSSの受信精度が低下した際、設定した走行レーンをはみ出る場合があった。 <li data-bbox="534 448 2032 596">• 荷役レーンの一部において、自働走行中にGNSSの受信精度の低下が生じる事例が確認された。 <li data-bbox="534 448 2032 596">• 受信精度が低下する箇所については、時間帯等によって異なる場合があった。 <li data-bbox="534 596 2032 886">• 走行レーンから荷役レーンに進入する際、蔵置コンテナと接触せずに、荷役レーンに進入することができた。 <li data-bbox="534 596 2032 886">• 荷役レーン進入後は、シャーシと蔵置コンテナが概ね平行となることが確認できた。 <li data-bbox="534 596 2032 886">• なお、荷役レーンに進入した直後に停止する必要がある場合、シャーシと蔵置コンテナが十分に平行にならない場合も確認された。
2.荷役を想定した位置および一時停止箇所における自動停止・発車	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="534 905 2032 943">• 停止精度は、GNSSの受信状態と車両制御性能によってばらつきが生じることが確認された。 <li data-bbox="534 943 2032 1072">• 車両の停止精度向上を目指し、車両への停止信号の送信方法について、ヒトの操作によるリモコン方式と、カメラ映像による車両位置解析を用いたセンサー方式を検証し、各方式における停止位置の誤差について計測を行った。

走行試験の結果(1. 自働トレーラーの走行軌跡(①ルート逸脱、②GNSS精度))

- 設定した走行ルートを逸脱することなく概ね安定して自動走行することができた。
- 荷役レーンにおいてはGNSSによる測位精度の低下が確認された。
- 走行ルート上の同じ位置であっても、時間帯により測位精度の違いが確認されたことから、GNSSの衛星位置なども測位精度に影響していると考えられる。

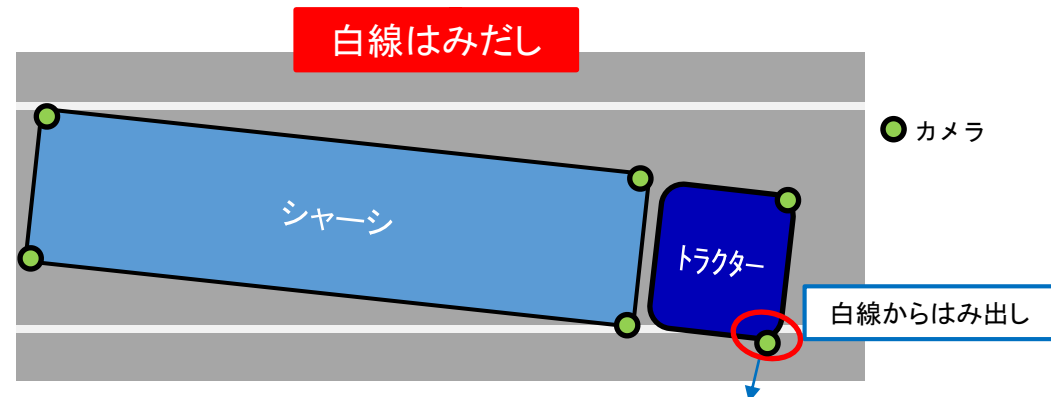
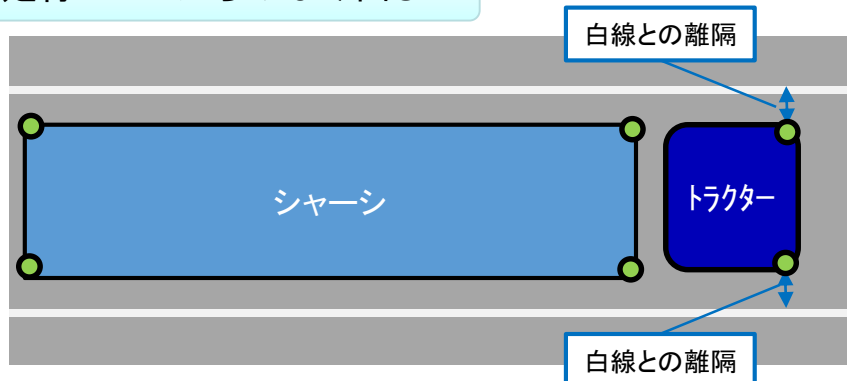
走行ルートとGNSS受信精度

GNSSによる測位精度の低下があったケース



- GNSSによる測位精度(良好)
- GNSSによる測位精度(低下)

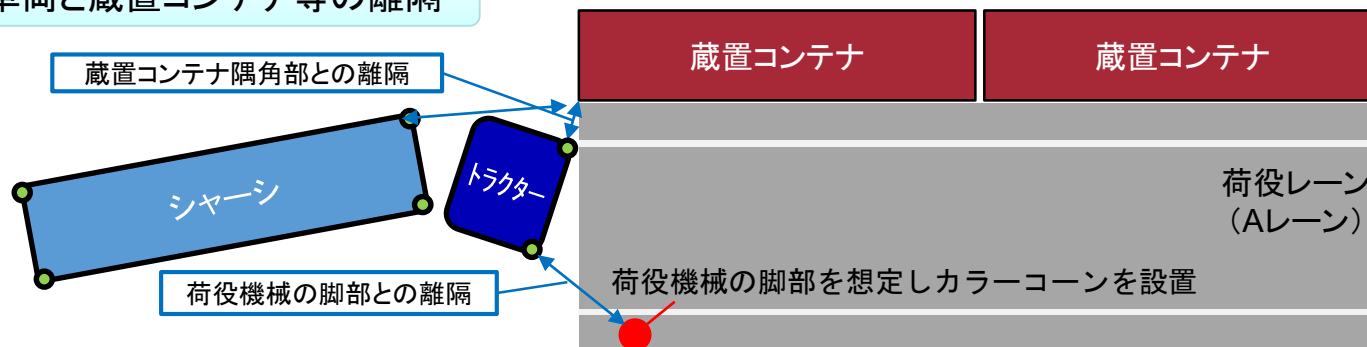
走行レーンからののはみ出し



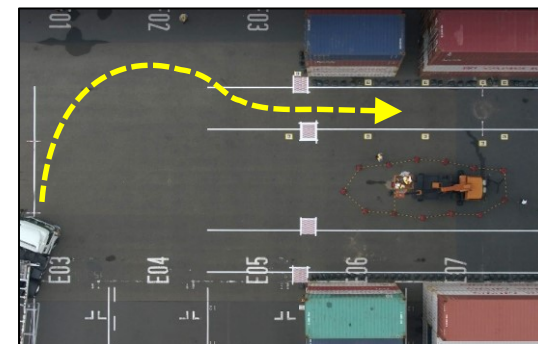
走行試験の結果(1. 自働トレーラーの走行軌跡(③直進部、カーブ部の走行))

- 走行レーンから荷役レーンに進入する際、蔵置コンテナと接触せずに、荷役レーンに進入することができた。
- 荷役レーン進入後は、シャーシと蔵置コンテナが概ね平行となることが確認できた。
- なお、荷役レーンに進入した直後に停止する場合、シャーシと蔵置コンテナが十分に平行にならない場合も確認された。

車両と蔵置コンテナ等の離隔



離隔は概ね60cm以上確保できたため、蔵置コンテナや荷役機械とサイドミラーの接触についても問題無いことが確認できた。



蔵置コンテナ・RTG脚部との離隔計測状況

車両と蔵置コンテナ等の平行性

トレーラーがカーブする場合、カーブ直後はシャーシが蔵置コンテナと平行になっていない。荷役レーンを直進するに従ってシャーシが蔵置コンテナと並行になる。

荷役レーン進入直後のベイにおいてコンテナを受け渡す場合、走行レーンと荷役レーンの離隔を十分に確保するといった工夫が必要。

現場実証においては、荷役レーンの一番手前のベイにおけるシャーシの角度を測定したところ、目標値 0.3° (※)のところ $0^\circ \sim 1.3^\circ$ であった。



- ・カーブ後にすぐ停止するとシャーシが蔵置コンテナと平行にならない
- ・カーブ後の直進に伴ってシャーシが平行になる

※目標値 0.3° は、RTGがスプレッダーのスキューを使用せずにコンテナの積み卸しが可能な角度(シャーシのツイストロックがコンテナにはまる角度)の許容値として設定した。

走行試験の結果(2. 荷役を想定した位置および一時停止箇所における自動停止・発車) 1 / 3

○GNSSの位置情報のみを使用した際、目標停止位置と実際の停止位置の差がどの程度発生するか計測した。

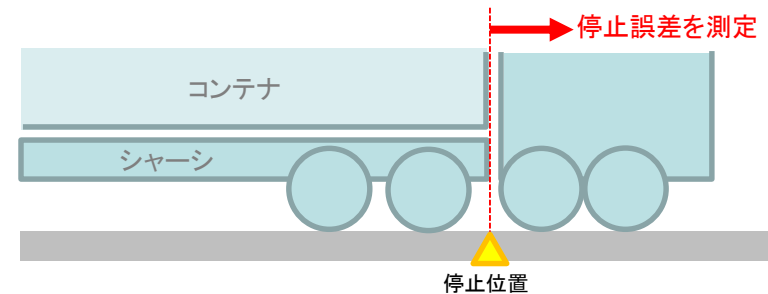
○なお、荷役レーンにおいては、蔵置コンテナが電波を反射することで、GNSS電波の受信精度が低下し、結果として車両の停止精度が低下する場合が見られた。

○停止精度を十分に確保するためには、GNSSに加えて、停止位置の情報を補うための工夫が必要であることが分かった。

停止位置の測定イメージ

- 積載したコンテナの前面が、目標とする停止位置に到達したタイミングで車両の停止操作を開始。
- 停止操作を開始してから実際に停止するまでどの程度の距離が生じるかを測定した。

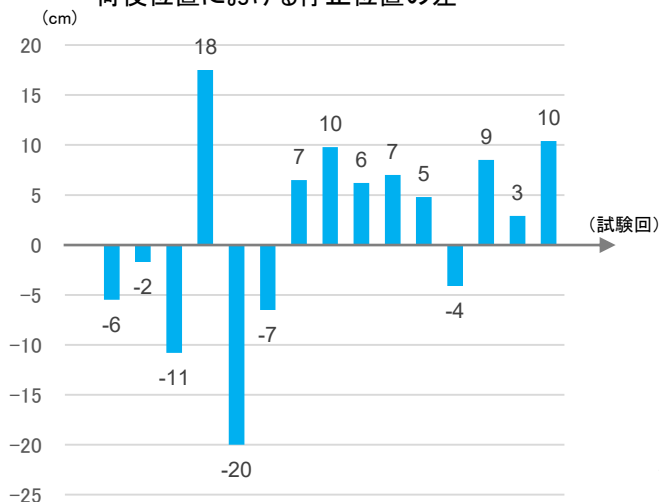
コンテナ前面が停止位置に到達したタイミングで停止操作開始



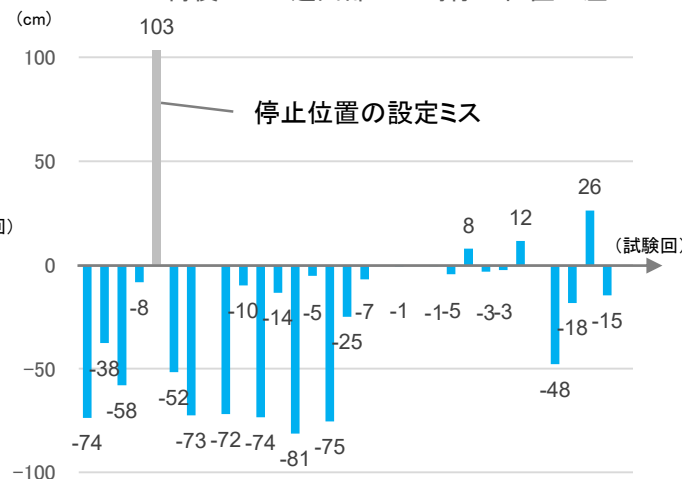
測定結果

- 荷役のための停止位置においては、概ね±10cm程度の差であったが、GNSSの受信精度が低下した場合、20cm程度まで差が広がった。
- 荷役レーンの退出部においては、概ね数cm～80cm程度の差であった。(蔵置コンテナによる電波の反射の影響と考えられる。)
- 走行レーン退出部においては、蔵置コンテナの影響が無いため、概ね±10cm未満の差であった。

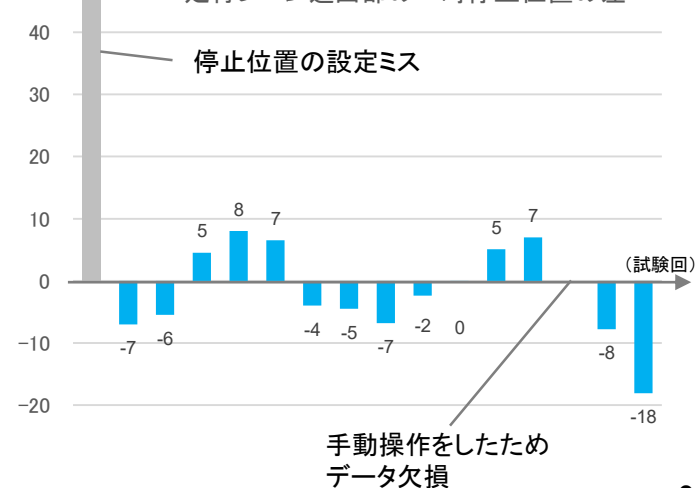
荷役位置における停止位置の差



荷役レーン退出部の一時停止位置の差



走行レーン退出部の一時停止位置の差



手動操作をしたため
データ欠損

走行試験の結果(2. 荷役を想定した位置および一時停止箇所における自動停止・発車) 2/3

○GNSSによる位置情報に加え、荷役機械と車両が相互に通信し、荷役停止位置の精度を高める方法を検証。

○現場実証においては、クレーン操作員によるリモコンでの停止信号の送信を想定したリモコン方式と、荷役機械に取り付けたカメラによって車両位置を検出し、停止信号を送信するセンサー方式を検証した。

リモコン方式

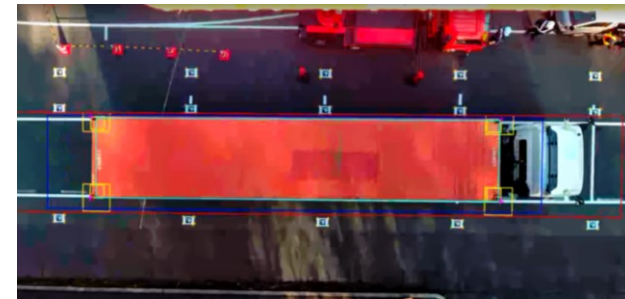
- GNSSのみを使用した際の停止位置の検証と同様、目標となる停止位置に到達したタイミングで、リモコンから停止信号を送信。
- 目標停止位置と実際の停止位置の差を測定する。

センサー方式

- リモコン方式と同様の検証を実施。
- 停止信号については、カメラ等によって検出された車両位置が目標となる停止位置に到達した際に、自動的に停止信号を送信。



リモコンの操作状況

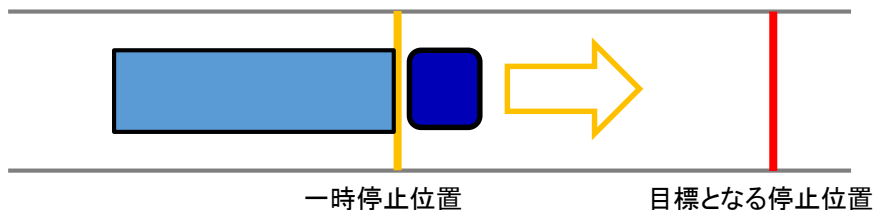


カメラ等による車両検出

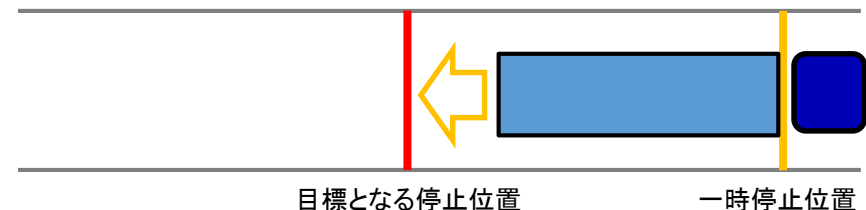
具体の検証方法

- 目標となる荷役位置の5m手前と5m奥に、一時停止位置を設定。
- 一時停止位置において一旦停車し、微速で前進(もしくは後退)し、目標となる停止位置に到達したタイミングで停止信号を送信する。

<前進による位置合わせ>



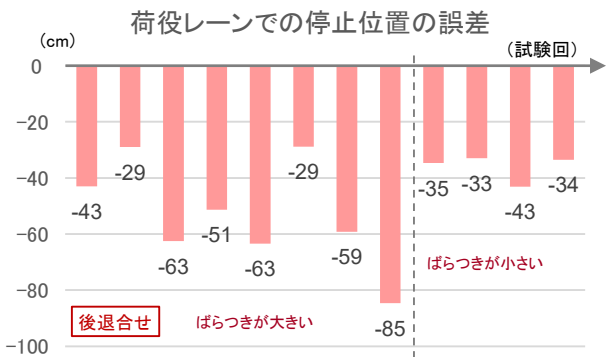
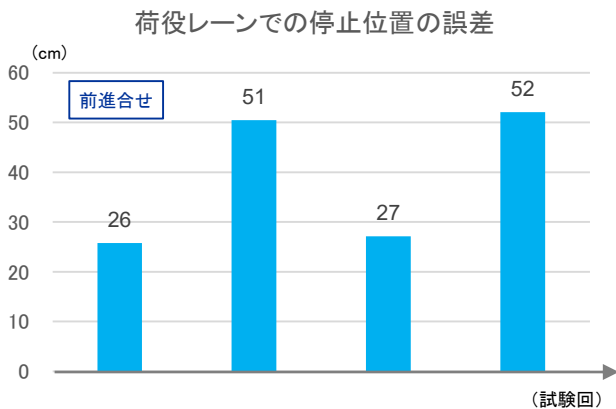
<後退による位置合わせ>



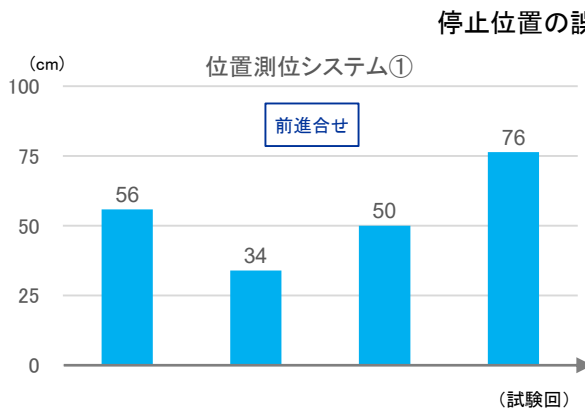
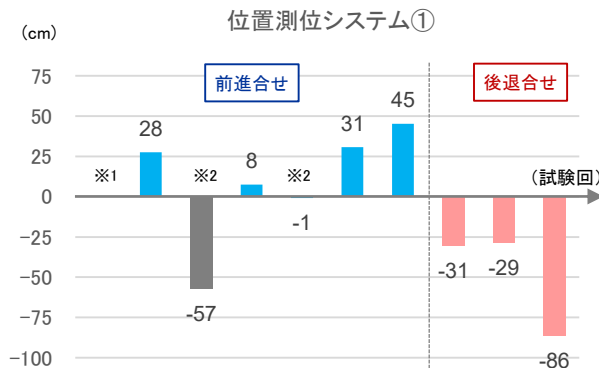
走行試験の結果(2. 荷役を想定した位置および一時停止箇所における自動停止・発車) 3/3

- リモコン方式では停止位置の差は26cm~85cm、センサー方式では2cm~86cm(コンテナ積載)であった。
- リモコン方式では、操作者のリモコン操作のタイミングにばらつきがあったことで、停止位置の誤差にもばらつきが生じた。(操作に習熟することで、操作タイミングのばらつきについては改善が見られた。)
- センサー方式では、使用した車両の位置測位システムによって、結果のばらつきに差が生じた*。
- 測位の精度および安定性を向上することにより、停止誤差を考慮した停止操作を行うことで、目標とする停止位置に精度高く停止させることが可能であると考えられる。

測定結果(リモコン方式)

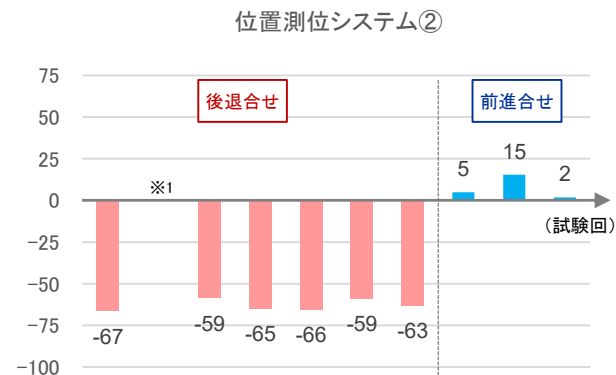


測定結果(センサー方式)



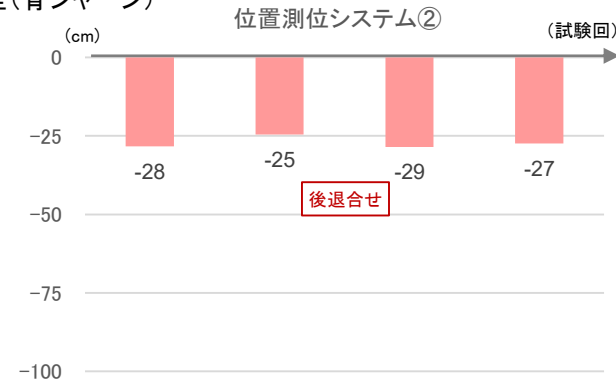
※カメラや解析方式が異なる2種類の位置測位システム(①及び②)を用いて試験を実施。なお、①と②は、カメラの画質や設置高さなどについて異なる方式とした。

停止位置の誤差(コンテナ積載)



※1 検出失敗:コンテナの4隅の検出が行われず停止信号を未送信
 ※2 誤検出:コンテナの4隅以外を検出し、誤った位置で停止信号を送信

停止位置の誤差(骨シャーシ)



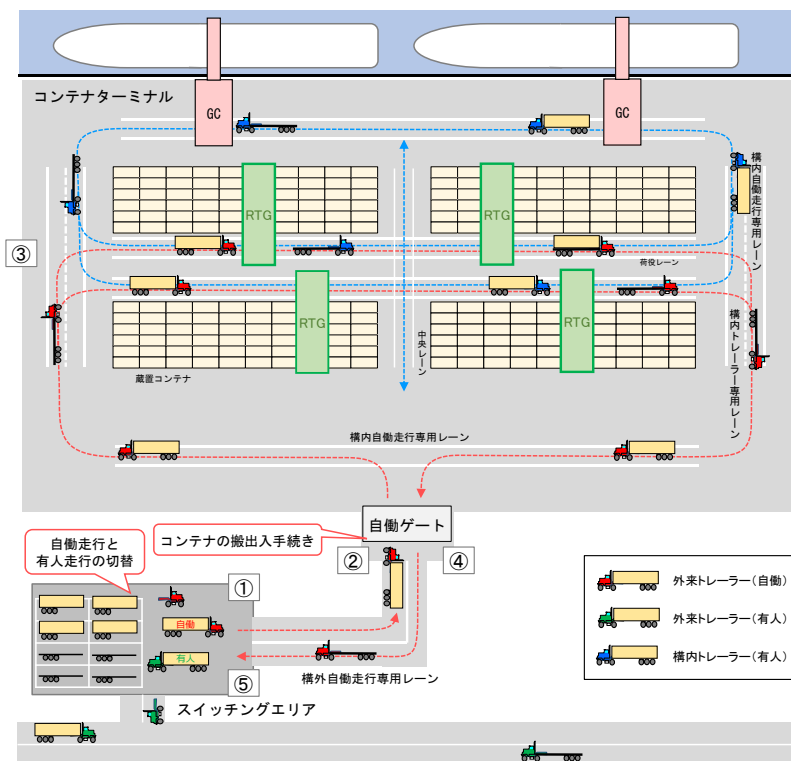
その他の検討・整理事項

- 模擬フィールドでの現場実証の結果を踏まえ、コンテナターミナルにおいて自働外来トレーラーを導入する際に、安全性を確保するために検討が必要な事項を整理した。
- 具体的には、下記の各項目に対し、本実証事業での検討を踏まえた基本的な考え方や求められる要件、今後の検討に向けた留意事項について整理し、検討を行った。

自働外来トレーラーの導入の前提条件

- コンテナターミナルにおいて自働外来トレーラーを導入する際の標準的な導入イメージ(標準ワークフロー)
- コンテナターミナルに自働外来トレーラーを導入する際に想定される自働走行の環境(自働走行エリア、道路条件、走行速度や車線変更の有無など)

【標準ワークフローのイメージ】



自働外来トレーラーを運用するために必要なシステム

- コンテナターミナルにおいて自働外来トレーラーを運用するために必要なシステムとその構成
(走行ルート作成、車両への指示、車両の運行監視のシステムなど)

自働外来トレーラーの運用

- 標準ワークフローに基づく、自働外来トレーラーや関連設備等の詳細な動き(走行シナリオ)
- 走行シナリオに基づく、通常時及び異常時の自働外来トレーラーの詳細な動作(ユースケース)
- コンテナターミナルにおいて、自働外来トレーラー等が順守すべき事項(走行ルール)
- コンテナターミナルにおいて自働外来トレーラーを運用するために必要な地図情報

自働外来トレーラー・コンテナターミナル等の要件

- 自働外来トレーラーが走行シナリオに沿って走行するために必要な最低限の車両機能の要件
- 自働外来トレーラーと荷役機械の間でコンテナの受け渡しをする際の考え方や求められる要件
- 走行シナリオ等に基づき、自働外来トレーラーの導入に必要なコンテナターミナル等の要件

今後の課題(技術面)

- 実証においては、自動走行のための基本的な動作や安全性について確認することが出来た。
- 一方で、現状の自動走行はカーブ部などにおいて現状よりも低速での走行にとどまっているほか、運行管理システムの具体検討が未実施であるなど、車両やその他システムについて更なる技術開発が必要な状況である。
- その他、自動外来トレーラーの社会実装のためには、以下の事項についてさらに検討を進める必要がある。

項目	社会実装に向けてさらに詳細に検討や技術開発が必要な事項
運用方法	<ul style="list-style-type: none"> ● コンテナターミナルにおける自動外来トレーラーの運用方法の具体化 ● 自動外来トレーラーと他車両、人の分離方法 ● スイッチングエリア、コンテナターミナルゲート等の入退場手続きの方法 ● 自動外来トレーラーの交差点の進入方法 ● 異常時の対応方策
コンテナターミナル等のレイアウト	<ul style="list-style-type: none"> ● スイッチングエリアの必要面積、設備 ● 走行車線とコンテナターミナル内の蔵置物(コンテナ等)との離隔、走行車線の車線幅、カーブ部の曲率、自動走行と有人走行が極力交差しない動線 ● 自動外来トレーラーと他の車両、人との分離方法 ● 運行管理のための設備(信号機など)
運行管理システム	<ul style="list-style-type: none"> ● 運行管理システムと他システム(ターミナルオペレーションシステム(TOS)、自動走行システム等)との連携方法 ● 運行管理システムと他システムとの通信方法(通信速度、セキュリティ等を考慮) ● 自動外来トレーラーの運転操作(停止・走行開始など)の指示方法
地図情報	<ul style="list-style-type: none"> ● 地図の仕様や形式(高精度三次元地図等) ● 地図に収録する情報(内容) ● 走行ルートの設定方法 ● 構内車両の運行管理や異常時の対応などにおける活用方法
自動外来トレーラーと荷役機械の荷役連携	<ul style="list-style-type: none"> ● 自動外来トレーラーと荷役機械との通信方法 ● 自動外来トレーラーの運転操作(停止・走行開始など)の指示方法 ● 自動外来トレーラーと荷役機械との組合せの確認、荷役連携の詳細な方法、手順
自動車両	<ul style="list-style-type: none"> ● 直進部やカーブ部における、実運用可能な速度での走行技術 ● 更なる停止精度の向上(停止誤差のばらつきの低減等) ● GNSSによる測位以外の自己位置測位方法や測位のための補助設備(インフラ) ● 安全性の確保方法(運行管理システムによる補助情報の提供など) ● 実証事業で使用した車両と異なる仕様の車両での検証
制度上の配慮事項	<ul style="list-style-type: none"> ● 関係者との協議及び自動運転技術に対する法整備を参考にした上での安全規程等の整理

今後の課題(安全性の確保)

- 安全性確保に向けた検討についても、前頁の内容を踏まえ、下記の検討課題について引き続き検討が必要である。
- 特にコンテナターミナルの運営方法やそのために必要な運行管理システムについては、今後、関係者(ターミナルオペレーター、システムメーカー等)を含めて検討していく必要がある。

自動外来トレーラー導入における安全確保に係る今後の検討課題

項目	検討課題	
標準ワークフロー	スイッチングエリア	入退場手続きや運用方法等、車両等の動線や衝突回避のための対策等の検討
	ゲート	ゲートへの進入方法や搬入手続き等の検討
	コンテナターミナル	自動走行や荷役機械との具体の連携方法の検討
走行環境	コンテナターミナルの仕様や運用方法を踏まえた走行環境条件、厳しい安全対策(ハード、ソフト)の検討	
走行シナリオ	標準ワークフローの詳細な検討や車両の導線、設備等を踏まえた走行シナリオの見直し	
	自動外来トレーラーと荷役機械の荷役連携や交差点における自動外来トレーラーと構内車両との交差等について、ターミナルの運用方法も踏まえた詳細な検討	
	段階的なターミナルの運用方法を踏まえた検討(輸出・輸入のどちらかのみを対応するなど段階的に導入する運用)	
ユースケース	コンテナターミナルの運用方法、自動外来トレーラーの仕様等も踏まえた具体の異常の検討及びシステム開発、検証	
	安全性の確保(2次被害防止等)、作業効率(停止時間の短縮)を考慮した上で、自動運転システム、運行管理システムの詳細な検討及び異常時の対応ルールの作成	

今後検討を進めていく上で調整が必要な関係者

検討内容	主な関係者(想定)
走行環境	ターミナルオペレーター、自動車メーカー、荷役機械メーカー
運行管理システム	ターミナルオペレーター、自動車メーカー、荷役機械メーカー、システムメーカー
コンテナターミナルの運用	ターミナルオペレーター、自動車メーカー、荷役機械メーカー
地図情報	ターミナルオペレーター、自動車メーカー、システムメーカー
自動外来トレーラーの要件	自動車メーカー、荷役機械メーカー、シャーシメーカー
コンテナターミナル等の要件	ターミナルオペレーター、自動車メーカー、荷役機械メーカー、システムメーカー