

不安全行動の定量的評価に基づく 事故抑止ソリューション開発に関する 技術開発

技術開発テーマ	港湾労働者の安全性や作業効率向上に関する技術開発
技術開発期間	令和5～7年度(3年間)
技術開発代表機関	正興ITソリューション(株)
技術開発分担機関	(株)マリンソリューションズ

1. 事業概要

技術開発機関:(代表)正興ITソリューション株式会社、(分担機関)株式会社マリンソリューションズ
事業期間:令和5年度~7年度(3か年)

目的・背景

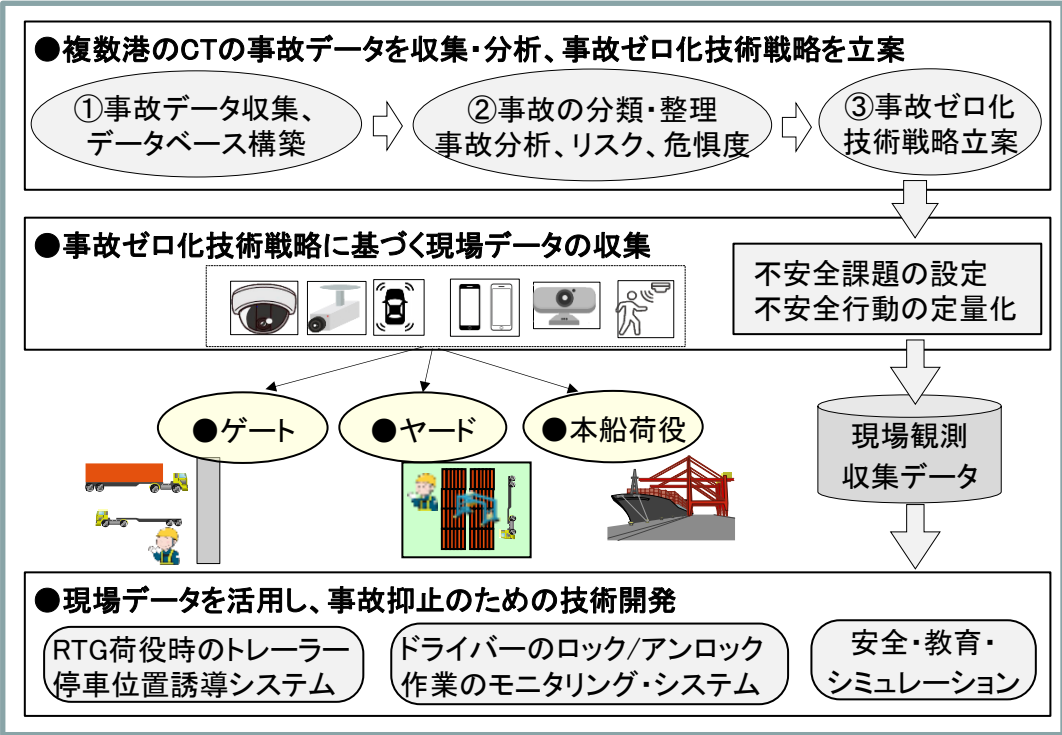
コンテナターミナル(CT)は海陸を結ぶ重要なコンテナ物流の結節点であり、日本の貿易の根幹を支える重要な施設である。今後もサプライチェーンのグローバル化の深化に伴い、益々重要な物流システムとして発展して行くものとする。一方、港湾分野では、現場事故が一向に減らないという問題がある。今後の港湾でのDXが進行し、一部自動化も進展して行くものと想定されるが、DXにおいても安全対策は必須であると言える。そこで、CTでの事故事例や、事故リスクが高い作業を分析し、事故抑止の具体的なシステム開発・導入により、港湾作業の安全性の向上、労働環境の改善を図る取り組みを行う。

技術開発の実施内容

- 本技術開発では、リスクアセスメントに基づく事故抑止の考え方をベースにして、以下の課題に取り組んだ。
- 課題1:CT事故事例の収集・データベース構築とリスク分析法
 - 課題2:不安全行動のモニタリングによるハザード分析法
 - 課題3:事故抑止ソリューションのシステム開発
- 開発1.タイヤ式門型クレーン(RTG)荷役時のトレーラー停車位置誘導システム
 - 開発2.ドライバーのロック/アンロック作業のモニタリング・システム
 - 開発3.安全・教育・シミュレーション

技術開発の成果

CTにおける安全な労働環境の創出のため、不安全行動の定量的評価に基づく事故抑止ソリューションについて技術開発を行い、現場実装・検証を進め、有効性を確認した。



2. 技術開発の成果

取組課題1: CT事故事例の収集・データベース構築とリスク分析法

事故データを収集し、事故データベースの設計・構築、事故データの分析を行い、危険度の高い事故を抽出し、事故防止の対策および現場での不安全行動モニタリングの方向性を定めた。

- CTにおける現状の事故状況を調査するために、過去5年分の事故記録を6港湾のCTより、合計461件入手した。
- 事故要因、危険因子(ハザード)の同定ができるようにデータベースを設計・構築して、事故データを体系的に整理した。
- CT事故の傾向や事故の類型化を検討するため、FMEA分析により機器等の運用時の変動要因である事故モードを定義し、これらを定量的に評価できるように、規模、頻度、リスクレベル等によりCT事故を整理した。
- 事故モード、事故状況、被害機器の整理等から事故要因分析を行い、現場モニタリングの方向性を定めた。

FMEA(Failure Mode and Effects Analysis): 故障モード影響解析

リスクレベルの高位な事故と事故モード例

項番	原因機器	荷役作業工程	事故の種類	事故モード	頻度レベル	影響度レベル	リスクレベル
1	GC	GC-本船荷役	本船接触	SPRの誤操作	A	B	7
2			SC接触	GC下の作業状況の確認不足	B	B	5
3		GC-CHA荷役	CHA吊り上げ	スタッカーのトラブル	D	S	6
4	SC	走行路のSC移動	SC横転	コーナー走行時の速度超過	D	S	6
5		蔵置レーン内のSC移動	コンテナ接触	SC進入時の軌道のずれ確認不足	S	B	8
6		SC-CHA荷役(ゲート作業)	CHAおよび積載コンテナ接触	TP退出時の後方トレーラー確認不足	B	A	7
7	RTG	RTG-CHA荷役	コンテナ-CHA接触	RTG下のCHA位置確認不足	A	A	8
8		RTG-CHA荷役	CHA吊り上げ	地切りによるロック確認不足	B	A	7
9		RTG-RF施設荷役	SPR-施設接触	蔵置位置の確認不足	A	B	7

註)

SC: ストラドルキャリア

GC: ガントリークレーン

CHA: シャーシ

SPR: スプレッダー

TP: トランスファーポイント

RF: リーファー

2. 技術開発の成果

取組課題2: 不安全行動のモニタリングによるハザード分析法

重大事故に繋がる、危険度の高い事故について、荷役時の不安全行動をモニタリングし、本来の作業において、あるべき通常作業、作業標準、安全ルールからのズレ等の発生状況を抽出して、事故につながるハザードを定量的に評価して、事故抑止ソリューションのシステム開発の方向性を定めた。

- RTGとトレーラーシャーシの位置決め状況のモニタリング
RTG足元、スプレッダー直上等にカメラ設置、長時間に渡り、各アングルからのモニタリング調査、記録、分析した。
- トレーラーシャーシのツイストロック、ピンロックの開閉状況のモニタリング
IN・OUTゲートでの目視によるモニタリング調査を実施して、ロックの開閉状況を分析した。
- SCの走行状況モニタリング
SCの走行状況をセンシングにより取得するモニタリング・ツールを製作し、モニタリング・データから走行状況を分析した。

検討すべき重大事故事例

【事故事例1】RTGスプレッダーによるトレーラーヘッド圧壊



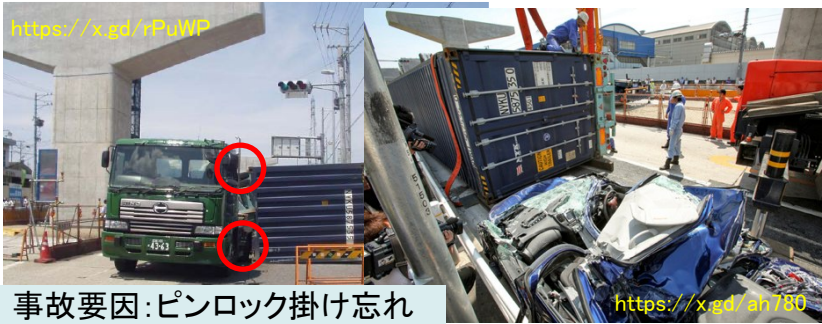
事故要因: トレーラーの停車位置ミス

【事故事例2】RTGスプレッダーによるシャーシ吊り上げ



事故要因: ツイストロック外し忘れ

【事故事例3】シャーシからのコンテナ落下



事故要因: ピンロック掛け忘れ

【事故事例4】SC横転



事故要因: コーナール旋回時の速度超過

【事故事例5】GCスプレッダーのSC接触



事故要因: 視覚制約等

2. 技術開発の成果

取組課題3: 事故抑止ソリューションのシステム開発

開発1: RTG荷役時のトレーラー停車位置誘導システム

現場実装によるシステムの検証要領

Step 1: LEDライトの合わせ方の説明 (①参照)

- LEDライトの合わせ方の図入り説明用紙をドライバーに渡し要領説明、20ft、40ft用LEDライト反射板をシャーシに設置。

Step 2: LEDライトによる停車位置誘導 (②参照)

- RTGから照射されるLEDのグリーンライトが、反射板に当たる位置でトレーラー・シャーシを停車するよう、ドライバーに音声ガイドで説明しながら、停車位置を誘導する。

Step 3: 安全なコンテナ荷役の実施

- RTGのスペッダーによりコンテナを受取り搬入作業を実施、あるいは、コンテナを渡し搬出作業を安全に実施する。

Step 4: 荷役作業モニタリング、アンケート調査の実施 (③参照)

- LEDライトによる停車位置誘導は有効である。
- 反射板が有る場合、よりLEDライトの視認性が向上する。
- 反射板の効果を経験したドライバーへのアンケート調査により、2023年度(導入前想定)、2025年度(導入後想定、実験時)のモニタリングの比較、大幅な停車位置修正のヒヤリ発生件数、修正率、大幅に削減、本システムの有効性を確認した。
- ドライバーへのアンケート調査からも、LEDライトによる停車位置誘導効果、LEDライトの見やすさ、を確認した。

①LEDの合わせ方 要領説明



①40ft用反射板



①20ft用反射板



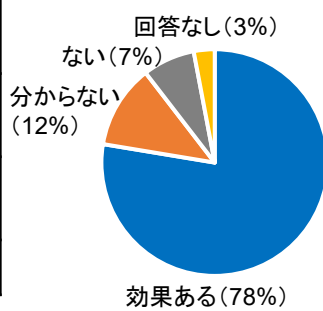
②LEDライトによる停車位置誘導(40ft)



③荷役作業モニタリングの分析結果

	LED設置前 2023年9月1日 8:30~18:00	LED設置後 2025年10月30日 8:30~12:00
荷役回数 (外来)	50台	40台
停車位置 修正件数	5件	0件
修正率	10%	0%

③LEDライトの停車位置誘導効果



停車位置修正効果:
2023年度モニタリング時の修正率を大幅に削減

2. 技術開発の成果

開発2: ドライバーロック作業モニタリング・システム

現場実装によるシステムの検証要領

Step 1: ロック/アンロックの判定のロジック構築

- ドライバーはシャシー搭載のコンテナの周囲を巡回し、ツイストロックおよびピンロックのロック/アンロック作業を行う。画像認識により当該作業を抽出し、ロック状態を判定する。

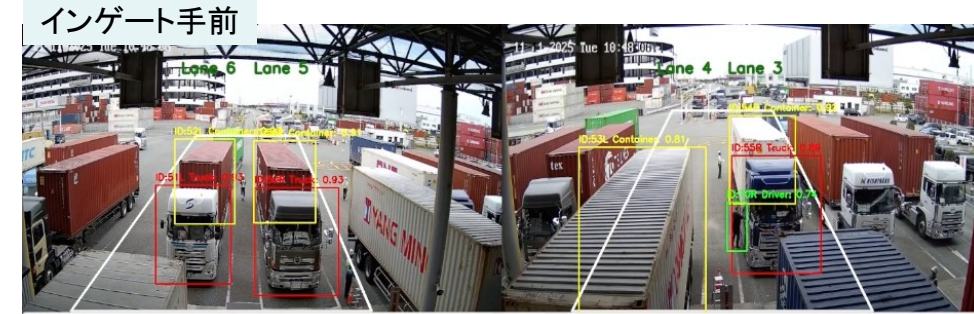
Step 2: リアルタイム・モニタリング・システムの構築(①参照)

- 画像認識により、トレーラーヘッド、コンテナ、ドライバー、検数作業者を識別し、ヘルメット着用の有無を判定する。また、トレーラーヘッドおよびコンテナの色情報を取得し、これらをトレーラーの固有情報として管理する。これらの情報はリアルタイムでモニタリングおよび解析を行う。

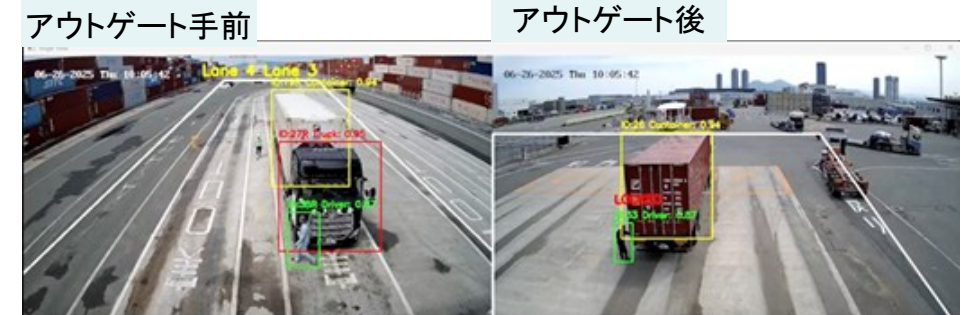
Step 3: モニタリングへのアンケート調査の実施

- ロック/アンロック作業のモニタリングは、安全意識が高まる、と回答した人は約8割に上り、モニタリングの有用性や、導入に前向きな意見が多く寄せられた。
- 一方、導入に懐疑的な意見もあり、多くは、自らが確実にロック/アンロック作業を実施している自信に基づいていた。
- ピンロックの不具合や、RTGに吊られかけた経験も意見に寄せられた。

①リアルタイム・モニタリング解析



トラック毎にロック/アンロック状態を提示



トラック毎にロック/アンロック状態を提示



2. 技術開発の成果

開発3: 安全・教育・シミュレーション (事故対象: SCの横転事故)

安全・教育・シミュレーションの考え方

- 過去に起きた重大事故を、負の記憶に留めるだけでなく、事故の体系的な分析や、事故を体験的に捉え、安全教育に資するように活用する。
- 重大事故を力学的な計算に基づき3DCGによる再現するために、事故シミュレーションを制作し、これをVR危険体験型教育ツール、事故分析等に活用して、安全教育システムとして展開した。

VRのリアリティの追求と演算負荷軽減、UIの設計

- VRにより、体験者がより臨場感を感じるには、SCの主構造、キャビン等の艤装品などの詳細化が必要である。このため、図面に現れない部分は実物の計測を基に運転席付近の計器、内装品等をCGにより再現した。
- 一方、VRにより、コンテナ等のディテール表現していくと、コンピューター側での処理が高負荷になるため、3Dテクスチャマッピング処理を行い、ディテールを維持つつ演算の負荷の軽減を行った。
- ユーザーのVR体験の操作性向上にUIの設計を行い、ハンド・ジェスチャー・コントロール技術等を導入し、視覚的に操作できるようプログラムに組み込んだ。

安全教育システムの構築(①参照)

- 学習システムを統合して安全教育システムを構築した。
 - 1)過去の重大事故の学習: 過去の重大事故を教訓として活かすため、事故の背景、潜在的危険であるハザードの理解ができるような事故体験学習にする。
 - 2)標準作業の学習: 標準作業を理解させ、各作業工程において、安全に悪影響を与える運転時のハザードとの関連を学習する。
 - 3)ハザード・クイズ・解説システム: 運転時のハザードをクイズで学習し、安全上の問題を、力学モデル等を用いて因果関係を理論的に学習する。
 - 4)VR危険体験システム: 事故をVR上で体験して、ハザードを通して理解する。

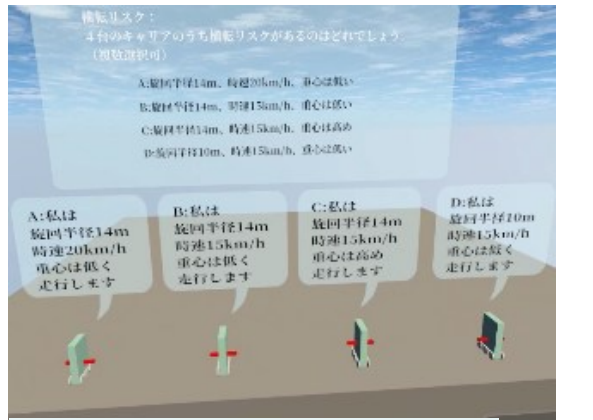
①安全教育システムのコンテンツ



1)過去の重大事故の学習



2)標準作業の学習



3)ハザード・クイズ・解説システム

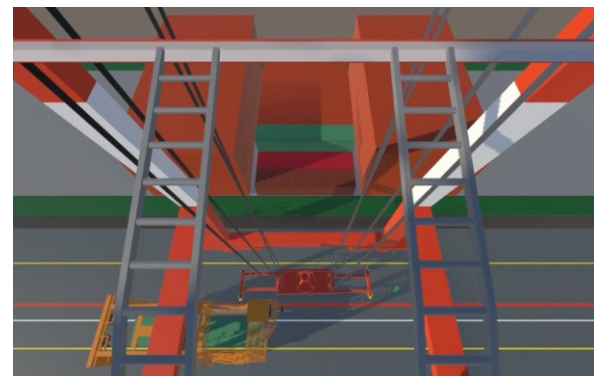
2. 技術開発の成果

開発3: 安全・教育・シミュレーション (事故対象: GCとSCの接触事故)

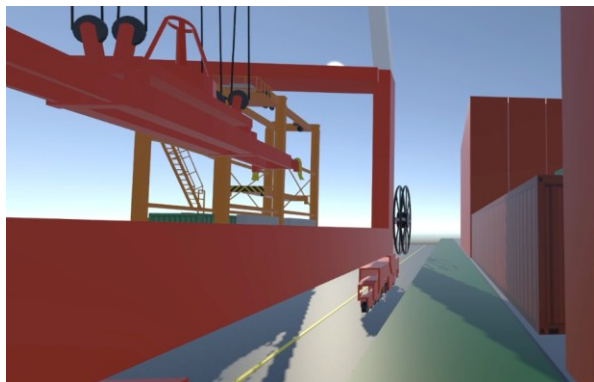
GCのシミュレーションモデル
➤ GCのシミュレーションモデルを、運動特性等を力学的な計算に基づき、3D CGIにより再現する。

GCとSCの接触事故の想定シナリオの策定
➤ CTの安全担当者と協議して、重大事故であるGCとSCの接触事故の事故要因や想定される事故シナリオの検討を行った。事故シナリオには、揚積み等の荷役作業、SCの進入方向、タイミング、GCスプレッダーとの接触位置、損傷箇所・破損状況、船の喫水等、との関連性を考慮しながら設定を検討した。

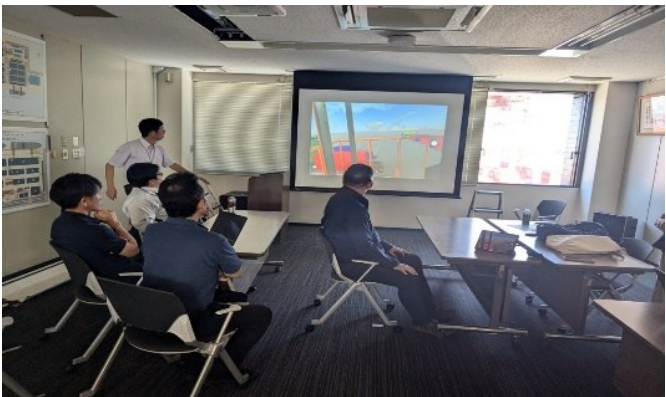
安全教育の実施
➤ 安全推進委員会等にて安全教育を試行的に実施し、リアリティの高い事故体験や、作業での経験の無い事故シナリオを想定でき、安全意識向上の有効性を確認した。



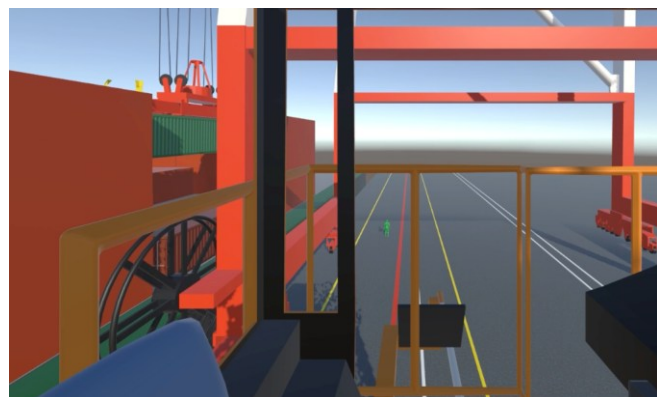
GC運転士: 後方移動、ほぼ見えない



フォアマン(アッパーデッキ上): 構造物が視界を遮る



安全教育システムの検討



SC運転士: デッキ上のコンテナ等が壁になり見えない



地上作業員: 船側はほとんど見えない

3. 結論

本技術開発では、リスクアセスメントに基づく事故抑止の考え方をベースに、以下の課題を設定して取り組んだ。

取組課題1:CT事故事例の収集・データベース構築とリスク分析法

CT事故データを収集し、事故データベースを設計・構築した。データベース設計では、機器等の運用時の変動要因である事故モードを定義して、事故データの定量的なリスク分析ができるようにした。これにより、リスクレベルの高い事故の種類、事故モードを抽出し、事故抑止対策を構築していくための不安全行動モニタリングの方向性を定めた。

取組課題2:不安全行動のモニタリングによるハザード分析法

重大事故が危惧される荷役作業について不安全行動をモニタリングし、本来の作業において、あるべき通常作業、作業標準、安全ルールからのズレ等の発生状況を抽出した。分析結果から、事故につながるハザードを定量的に評価し、事故抑止ソリューションのシステム開発の方向性を定めた。

取組課題3:事故抑止ソリューションのシステム開発

事故抑止ソリューションのシステム開発課題に取り組んだ。

システム開発1.RTG荷役時のトレーラー停車位置誘導システム

RTG荷役時のトレーラーの停車位置にLEDライトと反射板を組み合わせて誘導するシステムの構築を行い、現場実装によるシステムの検証要領を定めて実証実験を行った。実験によると、LEDライトによる停車位置誘導は有効であり、特に反射板が有る場合には、よりLEDライトの視認性が向上することが分かった。これは、モニタリングやアンケート調査でも確認できた。

システム開発2.ドライバーのロック/アンロック作業のモニタリング・システム

ネットワークカメラをアウトゲートの直前、直後、ゲートの屋根下や、インゲートに設置して、ドライバーのロック/アンロック作業のモニタリングするシステムを構築し、現場実装によるシステムの検証要領を定めて実証実験を行った。実験によると当該システムは、ドライバーのロック/アンロックへの安全意識が高められる有用性を確認できた。

システム開発3.安全・教育・シミュレーション

重大事故であるSCの横転事故と、GCとSCの接触事故を対象として、VR技術を用いた事故体験ツールや標準作業とハザードの関連等を学習するツールを統合した安全教育システムを開発し有効性を確認した。シミュレーションに基づくVR事故体験は、リアリティの高い事故体験や、作業での経験の無い事故シナリオを想定でき、安全意識の向上に有効であることが確認できた。また、運転士だけでなく、デッキフォアマンや地上、船上作業員からの視点でも、事故体験できる有用性を確認した。