

# コンテナターミナルにおける遠隔操作RTG導入に対応した レイアウト及びオペレーションに関する基本的考察

上田剛士\*・安部智久\*\*

## 要 旨

近年、コンテナターミナルにおいて労働力不足問題の解決手段として遠隔操作 RTG の導入が進みつつある。遠隔操作 RTG は従来型 RTG と機能が異なるため、既存のコンテナターミナルにおける導入に際しては、それに対応したレイアウトやオペレーションの変更が必要となる場合が多い。本資料は、その際に配慮すべき事項及び具体的な考え方について、これまでの国内外での取り組みや文献等を参考に整理したものである。また、これらの変更の際にターミナルの効率性を事前に評価するための荷役シミュレーション事例を紹介する。

**キーワード：**コンテナターミナル，遠隔操作 RTG，レイアウト，オペレーション，シミュレーション

---

\* 港湾研究部 主任研究官

\*\* 港湾研究部 港湾計画研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail：ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 研究の背景	1
1.2 本研究の目的	1
1.3 本資料の構成	1
2. 遠隔操作 RTG について	2
2.1 RTG とは	2
2.2 遠隔操作 RTG	2
2.3 遠隔操作 RTG の技術開発動向	2
(1) 遠隔操作 RTG の歴史	2
(2) 動力方式	3
(3) 通信方式	3
2.4 遠隔操作 RTG の港湾への導入に関する動向	3
(1) 国内港湾	3
(2) 海外港湾	4
3. 遠隔操作 RTG の導入時の配慮事項	5
3.1 はじめに	5
3.2 車両動線	5
(1) 蔵置ブロックへのトレーラー進入制御	5
(2) 蔵置ブロック内でのトレーラー追越	6
3.3 レイアウト	6
3.4 コンテナ蔵置方法	7
(1) 段積み数の増加	7
(2) 事前荷繰りによる作業平準化・効率化	7
3.5 安全性の確保	8
(1) RTG 走行エリアの分離	8
(2) 渡り線の設置	9
(3) 誘導員による交通整理	9
(4) RTG 本体の情報提供	9
3.6 段階的導入の方法	9
(1) 工事内容等	9
(2) ターミナルへの影響抑制	9
4. 数値シミュレーションを用いたターミナル効率性評価手法とケーススタディ	11
4.1 はじめに	11
4.2 シミュレーションの手法	11
(1) 使用ソフトウェア	11
(2) シミュレーションの概要	11
4.3 シミュレーションの実施	11
(1) 遠隔操作 RTG 導入前	11
(2) 遠隔操作 RTG 導入後	13
(3) 結果の比較と考察	15
5. 結論	17
参考文献	18



## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景

近年、世界のコンテナ海運市場は拡大を続け、船腹需要は年々増加している。それに対応してコンテナ船の大型化も進んでおり、2000年頃には最大船型は10,000TEU程度であったが、2022年現在は約24,000TEU積みの大型コンテナ船が就航するに至っている。このような動向により、世界の基幹航路（北米－東アジア等の長距離航路）の絞り込みによる港湾間の競争は激しくなり、また寄港1回あたりの荷役コンテナ個数及び着岸時間の増加により、港湾側（コンテナターミナル）の負担が増している。

このような背景から、コンテナターミナルでは荷役時間の短縮や効率的な運営による低コスト化が必要になっている。特に我が国においては、高齢化やそれに伴う労働人口の減少により、将来的な港湾労働者の不足が懸念されており、港湾労働者の確保に向けて、労働環境の改善が求められている状況である。

そこで、国土交通省港湾局においては、良好な労働環境と世界最高水準の生産性を確保するため、「ヒトを支援するAIターミナル」の実現に向けた取組を行っている。その一環として、コンテナターミナルにおける遠隔操作RTG（Rubber Tired Gantry Crane, タイヤ式門型クレーン）の導入を促進すべく、その整備費用の補助制度を2019年度に創設し、国内港湾の遠隔操作RTG導入に係る事業の支援を行っている。

遠隔操作RTGの導入は様々なメリットをもたらすが、費用面及び運用面の検討が必要である。前者は先述した補助制度である程度対応できるが、後者については様々な対応が求められる。例えば、非遠隔操作RTGとの性能や設備の違いを踏まえ、必要に応じて既存のコンテナターミナルのレイアウト（規模、施設配置）やオペレーション（荷役の詳細なフロー）を変更することとなる。また、これらの変更には荷役の効率性を低下させうる要素も含まれることから、導入計画の作成段階において荷役効率の許容できる水準で維持できるか、導入による影響の評価を行うことが望ましい。その評価手法の一つとしてソフトウェアを用いた数値シミュレーションが行われる場合があるが、コンテナターミナルにおける荷役は様々な荷役機械の複雑な動きの組み合わせであり、それらを再現する作業が必要になる。

これらの要素が、コンテナターミナルの管理者や運営者にとっての遠隔操作RTG導入の障壁の一つとなっていると考えられる。

### 1.2 本研究の目的

本資料は、前節の背景を踏まえ、我が国の港湾の管理者や運営者がコンテナターミナルへの遠隔操作RTG導入を検討するにあたり、レイアウトやオペレーションに関して配慮すべき事項、及び遠隔操作RTG導入後の効率性の評価を数値シミュレーションによって行う手法について、コンテナターミナル運営者へのヒアリングや文献調査、及び実在港湾の効率性評価のシミュレーション事例から得られた情報を整理し、関係者に提供するものである。

### 1.3 本資料の構成

本資料は、2章で遠隔操作RTGに関する基本的な情報、及び海外を含めた技術開発動向や港湾への導入状況について述べる。3章では、遠隔操作RTG導入計画時にレイアウトやオペレーションに関し配慮すべきことを項目別に説明する。4章において、数値シミュレーションを用いた遠隔操作RTG導入前後の効率性評価手法と、そのケーススタディの結果について述べる。最後に、5章において本研究を総括する。

## 2. 遠隔操作RTGについて

### 2.1 RTGとは

RTGとは、コンテナターミナルにおいて陸上に蔵置されたコンテナをトレーラー等輸送車両に積み降ろす作業を担うクレーン（トランスファークレーン）の一種であり、日本語ではタイヤ式門型クレーンと呼ばれる（図-1）。RTGは、Rubber Tired Gantry craneの頭文字を取ったもので、蔵置されたコンテナ群を跨ぐ門型形状で、ゴムタイヤで路面を走行する。導入に係る費用が高いが、荷役の効率も高いため、大型のコンテナターミナルに適している（小規模なコンテナターミナルにおいては、RTGではなくリーチスタッカーやトプリフター等の小型の荷役機械が用いられることが多い）。

日本ではあまり見られないが、同じ形状で鋼製レール上を移動する形式のRMG（Rail Mounted Gantry crane、レール式門型クレーン）も存在する。これは、岸壁に対して垂直方向にコンテナ蔵置ブロックを配置するレイアウトの、欧州でよく見られるコンテナターミナルで用いられることが多い。RTGはRMGと比べて燃費が劣るものの、初期の整備費用を抑えられ、機動性（コンテナ蔵置ブロック間の移動が可能）及び耐震性が高いというメリットがあり、世界のトランスファークレーンの8割程度がRTGと言われている<sup>1)</sup>。



図-1 RTGの外観

（三井E&Sマシナリー社HP<sup>2)</sup>より）

RTGは言葉の意味からすると必ずしもトランスファークレーンに限るものではないが、港湾関係者の間では慣習的にそのみを指す用語として用いられている。一方で、岸壁において船と陸の間のコンテナの積み降ろしを担うクレーンはShip to Shore CraneやQuay Gantry Craneといい、日本では一般にガントリークレーンと呼ばれている。これは岸壁に平行な方向にしか移動する必要がないため、RMG方式が殆どである。

### 2.2 遠隔操作RTG

従来型の（非遠隔操作）RTGは、その上部に運転席があり、運転手はそこから下方を目視して操作を行う。しかし、高所作業による労働災害リスク、運転席へのアクセス、運転室の温度管理、運転時の姿勢（腰を屈める）等を踏まえると必ずしも良い労働環境とは言えず、労働者の減少の要因の一つであると指摘されてきた。そこで、RTGに遠隔操作機能を搭載して運転業務を管理棟で行えるようにすることで、以下のような労働環境の改善を図ることができる。

- ・ 高所での作業を不要とし、労働災害のリスクを低減できる
- ・ 管理棟から運転室への移動を不要とし、労働者の休憩や交代といった勤務時間の柔軟性が向上する
- ・ 室内温度管理等、業務に取り組みやすい環境を提供できる
- ・ 一般的なオフィスワークと同様の機器での操作になることで、身体的負担を低減

さらに、RTGの一部の比較的単純な動作を自動化することにより、以下のように運転者の負担を軽減することができる。

- ・ 複数の運転手で複数機の操作を行い、作業の割り振り調整を可能にする
- ・ 時間外労働の要因となる夜間や休日の荷繰り作業等を行う

このようなメリットから、近年世界の港湾において遠隔操作 RTG の導入が進んでおり、日本でも導入が進みつつある。

### 2.3 遠隔操作RTGの技術開発動向

#### (1) 遠隔操作 RTG の歴史

世界初の遠隔・自動化コンテナターミナルはオランダ・ロッテルダム港のECTデルタターミナルと言われており、1993年に供用を開始した<sup>1)</sup>。

デルタターミナルでは遠隔・自動化が比較的容易なRMG方式のトランスファークレーンが用いられていたが、2005年にRTG荷役方式を採用して供用開始した名古屋港飛島ふ頭において、世界で初めて遠隔操作RTGが導入された。このRTGの製造者は三菱重工であり、第一バース供用時に12基、2008年の第二バース供用時に更に12基が納品された<sup>3)</sup>。第二バース供用時には自働レー

ンチェンジ機能が追加され、うち 1 基はリール給電式の電動タイプであった。飛島ふ頭の後、日本国内での導入の動きはしばらく無かったものの、三菱重工は 2016 年には香港のコンテナターミナルにおける他社製の非遠隔操作 RTG の遠隔操作化を請負うなど<sup>4)</sup>、新規建設ターミナルだけでなく既存ターミナルへのレトロフィット(改良)にも対応するようになっていく。

2018 年時点で、遠隔操作化・自動化したコンテナターミナルは世界で約 50 存在し、その数は増加傾向にある<sup>5)</sup>。遠隔操作 RTG は、自動化コンテナターミナルの一要素として、今後更なる効率化に貢献していくと考えられる。

## (2) 動力方式

従来型の RTG は軽油を燃料としたディーゼルエンジン駆動方式が多い。これは、給電設備等が不要で初期投資を抑えることができ、またディーゼルエンジンはガソリンエンジンと比べて低速・高トルク走行に適しているためである。しかし近年は、二酸化炭素等の温室効果ガスの排出を低減するため、ケーブルリールやバスバーによる給電システムから成る電動式(給電式)も普及している(図-2 及び図-3)。また、そのブリッジソリューションとしてのハイブリッド式もある。これは、本体減速時の運動エネルギーやスプレッド巻き下げ時のコンテナの位置エネルギーから生じる回生エネルギーを用いてリチウムイオン電池を充電し、ピーク負荷時や低速運転時にその電力を使用することでエンジンを小型化したりディーゼル燃料を節約する機能を持つ。将来的には水素を用いた燃料電池によるカーボンニュートラルに対応した RTG の開発も進んでいる<sup>6)</sup>。

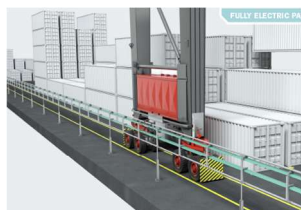


図-2 リール式給電装置 図-3 バスバー式給電装置  
(Konecranes 社 HP より<sup>7)</sup>)

RTG の遠隔操作化はどの動力方式でも可能であるが、RTG の改良や買い替えを機に、今般の世界的な脱炭素化の要請に対応した低環境負荷タイプに変更するオペレーターも多い。

## (3) 通信方式

遠隔操作 RTG 本体と操作盤(管理棟)の間の通信につ

いては、いくつかの方法がある。RTG の遠隔操作には、大容量・高解像度の映像信号や制御信号を数百メートル規模の長距離で遅延なく(リアルタイムで)伝達する必要があるが、これまでは法令の関係からそれを満たす無線通信がなかったため、漏洩同軸ケーブル(Leaky Coaxial cable)を用いることが多かった。ここで同軸ケーブルとは、ケーブルの内側から順に、

- ①信号伝達用の導体(銅線など)
- ②絶縁層
- ③静電遮蔽によりノイズ混入を防止するための導体層
- ④全体を被覆する外部被膜(ビニルなど)

が同心円状に配置されている(同じ軸上にある)、映像機器等によく利用されるケーブルを指し、漏洩とは、ケーブルの途中に一定間隔で穴を開け、信号を意図的に外部に漏らすことにより、ケーブルにアンテナ機能を持たせることを指す。

この漏洩同軸ケーブルをコンテナ蔵置ブロックに沿って敷設することで、RTG はどの位置にあっても十分な強度の信号を送受できる。なお、ブロックの端部から管理棟までの区間は、有線(同軸ケーブル)を延長するか、短距離であれば無線通信を用いる。

これに加え、近年では第 5 世代移動通信システム、いわゆる 5G を用いた無線通信の活用も始まっている。2021 年 10 月には名古屋港鍋田ふ頭において 5G を活用した遠隔操作 RTG システムの運用が開始された<sup>8)</sup>。無線通信化することで、前述したケーブルの敷設工事等が不要になるため、供用中のコンテナターミナルのオペレーションを妨げることなく RTG の遠隔操作化が可能となる。これは我が国で多いと想定される、既存コンテナターミナルへの遠隔操作 RTG 導入の場合にメリットとなる。

国内外で無線通信に関する様々な動きが見られ、例えば大阪港では、2022 年 1~3 月にかけて夢洲コンテナターミナルにおいて RTG 等の遠隔操作を見据えたローカル 5G の有用性に関する実証実験が行われている<sup>9)</sup>。また、2021 年 5 月に中国の天津港で 5G と GPS を組み合わせた荷役機械の自動化等に関する技術開発協定が運営者とソフトウェア企業の間で締結され、同年 10 月に運用を開始している<sup>10)</sup>。

## 2.4 遠隔操作 RTG の港湾への導入に関する動向

### (1) 国内港湾

日本国内では、遠隔操作 RTG は 2005 年に名古屋港飛島ふ頭に導入されてから動きが無かったが、2019 年より

国土交通省が「遠隔操作 RTG 及びその導入に必要となる施設の整備に対する支援を行う補助事業」を実施しており、これまで表-1 のとおり 4 港が採択され、現在事業実施中である。先行する名古屋港鍋田ふ頭では、2021 年 10 月より遠隔操作 RTG の運用が開始されている。

(2) 海外港湾

海外港湾については、上海、シンガポール、釜山、ロサンゼルス、ロングビーチ、ロッテルダム、ドバイ等の世界の主要コンテナ港の多くで遠隔操作 RTG（または同種のトランスファークレーン）が既に導入されており、他港湾でも導入の動きが見られる。

例えば、2021 年 8 月、香港の葵青区 (Kwai Tsing) の COSCO-HIT 社が運営するコンテナターミナルにおいて、住友重機械搬送システム社の遠隔操作 RTG15 基が導入されている<sup>11)</sup> (図-4)。また、シンガポール海事港湾庁

が次世代港湾として位置づけてシンガポール港西部で現在開発中の高規格ターミナルであるトゥアス (Tuas) 港区は、2021 年末に埋立工事が完了し<sup>12)</sup>、2 パースの先行開業に向けて中国の大手荷役機械メーカー ZPMC 社が遠隔操作 RTG を順次納品している<sup>13)</sup> (図-5)。

このように、遠隔操作 RTG は海外においてもコンテナターミナルの効率性向上の手段として普及が進んでいる。



図-4 COSCO-HIT 社の遠隔コントロールセンター



図-5 Tuas に納品された遠隔操作 RTG

表-1 国内港における遠隔操作 RTG 導入事業の概要

事業名	名古屋港鍋田ふ頭コンテナターミナル遠隔操作 RTG 導入事業	清水港新興津地区国際コンテナターミナル遠隔操作 RTG 導入事業	横浜港本牧 BC ターミナル QA,QB レーン遠隔操作 RTG 導入事業	神戸港ポートアイランド地区 PC18 荷役システム高度化整備事業
事業者	名古屋ユナイテッドコンテナターミナル株式会社 (NUCT)	鈴与株式会社	鈴江コーポレーション株式会社	株式会社 上組
事業概要	遠隔操作 RTG40 基 (改造 8, 新規 32)	遠隔操作 RTG22 基 (改造 5, 新規 17)	遠隔操作 RTG2 基 (新規 2)	遠隔操作 RTG18 基 (新規 18)
	遠隔操作 RTG の導入に必要な施設 (遠隔操作卓, データ転送施設等)			
事業期間	2019 年 7 月～ 2024 年 3 月	2020 年 12 月～ 2025 年 3 月	2020 年 12 月～ 2023 年 3 月	2020 年 12 月～ 2027 年 3 月
政策的意義	日本を代表するものづくり産業の集積地である中部地域を支える名古屋港の鍋田ふ頭コンテナターミナルにおいて、遠隔操作 RTG の導入により、ターミナルの国際競争力強化を図る。	製造品出荷額等が全国有数である静岡県をはじめ東海地域の経済を支える清水港の新興津地区国際コンテナターミナルにおいて、航路の維持・拡大や国際フィーダー機能の強化等、国際競争力の強化を図る。	国内港湾とのフィーダーネットワーク及び国際基幹航路を有している横浜港の本牧埠頭 BC ターミナルにおいて、本事業に加え、コンテナ搬出入予約制の導入やゲートオープン時間の拡大により、国際競争力の強化を図る。	西日本諸港との重要なフィーダーネットワークを有する神戸港のポートアイランド地区 PC18 コンテナターミナルにおいて、更なる国内外からの集貨機能強化及び外航サービスの新規誘致等、国際競争力の強化を図る。

※国土交通省 HP の情報を元に作成<sup>14)</sup>



### 3. 遠隔操作RTGの導入時の配慮事項

#### 3.1 はじめに

遠隔操作 RTG の導入にあたっては、RTG 機上の無人化及び半自動化に伴う対人・対車両衝突防止の仕組み、自働運転時のサイクルタイム（揚げ降ろし所要時間）長期化、通信機器等の設置等、様々な要素を考慮する必要がある。本章では、既存コンテナターミナルに遠隔操作 RTG 導入を想定した場合の、レイアウト及びオペレーションに関して配慮すべき項目と、これらに対する具体的な対応事例を示す。なお、検討にあたっては我が国で一般的な横型レイアウト（コンテナを岸壁と平行の向きに蔵置する形式）を前提とする。

まず、国際航路協会（PIANC）の報告書<sup>15)</sup>をはじめとする文献調査及び国内外のコンテナターミナルのオペレーターへのヒアリングを行い、情報収集を行った。その内容から配慮すべき項目を以下の5つに分類した。

- ① トレーラー等の車両の動線
- ② コンテナターミナルのレイアウト（施設の配置）
- ③ コンテナの蔵置方法
- ④ 安全確保策
- ⑤ 既存コンテナターミナルへの導入（レトロフィット）における段階的実施方法

なお、本資料では関連用語を表-2、及び図-6のように定義する。

表-2 本資料での用語の定義

用語	定義
外来トレーラー	内陸-コンテナ蔵置ブロック間の輸送を担うトレーラー (港外の貨物の仕出し/仕向け地とターミナルを行き来するトラック)
構内トレーラー	岸壁-コンテナ蔵置ブロック間の輸送を担う構内トレーラー (港内のみを走行するトラック)
コンテナ蔵置ブロック	コンテナを置くスペースの1区画
レーン	車両の走行車線
STS クレーン	Ship to Shore の略で、接岸したコンテナ船と岸壁上の間のコンテナの積み降ろしを担うクレーン(日本では一般にガントリークレーンと呼ばれる)
輸入搬出/輸出搬入コンテナ	コンテナ船からターミナルに降ろされてターミナル外へ輸送されるコンテナを輸入搬出コンテナと呼び、輸出搬入はその逆を指す。

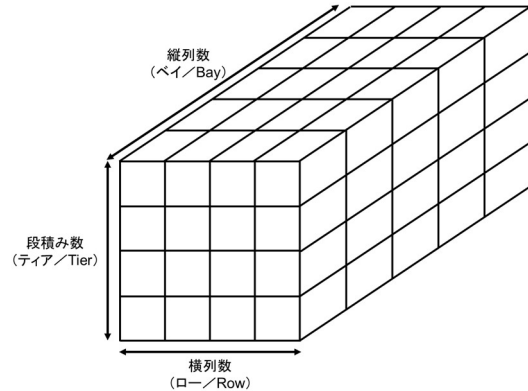


図-6 コンテナ蔵置ブロックの諸元を表す用語

#### 3.2 車両動線

ターミナルオペレーターがターミナルレイアウトを計画するにあたり、多くの場合まず検討するのは車両（荷役機械）の動線である。具体的には、RTGをはじめとするトランスファークレーンや構内/外来トレーラーの動線やコンテナの受け渡し場所を決定し、それに対応したレイアウトを考えることになる。

##### (1) 蔵置ブロックへのトレーラー進入制御

遠隔操作 RTG 導入が車両動線に与える影響の1つは、トレーラーの進入順序の制御が必要になることである。各コンテナ蔵置ブロックに進入する外来トレーラーの順序が前後すると、コンテナターミナル内の荷役を管理するシステムで予め計画した荷役作業が行えないため、図-7 及び図-8 に示すような方法でトレーラーの進入順を制御することが可能である。

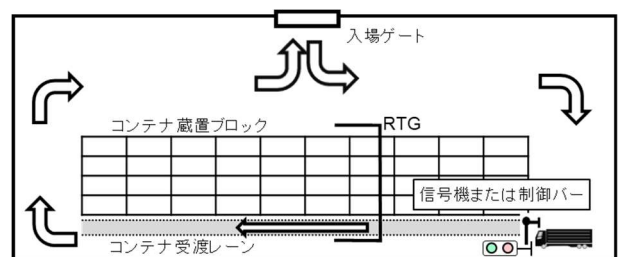


図-7 ブロック別管理方式

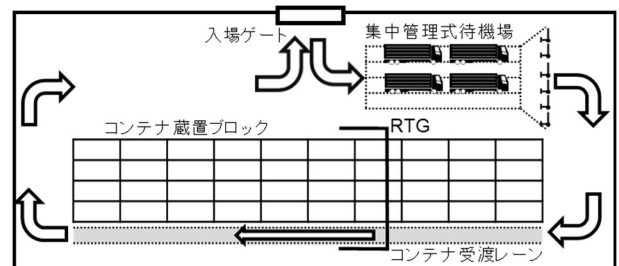


図-8 集中管理方式



ブロック別管理方式 (図-7) とは、トレーラーのターミナル入場後、すぐには走行制御せず、入出場各ブロックの入口近傍で信号機や遮断機を用いて進入を制御するものである。

集中管理方式 (図-8) とは、ターミナルの入出場ゲート近傍に大規模な待機場を設け、一旦入場した全ての外来トレーラーを集め、それらのトレーラーと各ブロックの荷役状況を一元的に管理して、適切なタイミングでトレーラーに各ブロックへの進入指示を出すものである。

貨物量が多くトレーラーの混雑が激しいコンテナターミナルにおいては、集中管理方式を用い、待機車線を多めに設置して待機が必要なトレーラーと不要なトレーラーの振り分けを適切に行うことで、渋滞を防ぐ効果を得られる。ただし、ゲート付近に所定の広さのスペースを要するため、例えばゲート付近に置かれることが多い空バンヤード (空コンテナ蔵置ブロック) の移転といった、やや規模の大きなレイアウト変更が必要になると考えられる。

## (2) 蔵置ブロック内でのトレーラー追越

トレーラーのコンテナ蔵置ブロック進入後において、同一ブロックに2基のRTGがあり、2台のトレーラーが入った時、トレーラー同士の追越が必要になる場合がある。追越を行う場合、図-9に示すように、トレーラーがRTG走行レーンを横切ることになり、RTGとの衝突のリスクが生じることとなる。これは非遠隔操作RTGを運用する場合でも同様であるが、特に自動運転が含まれる遠隔操作RTGの運用時は、安全確保の観点から以下のような対策を実施することが考えられる。

- ・ 追越を全面禁止
- ・ 追越を部分的禁止
- ・ 追越レーンを付加

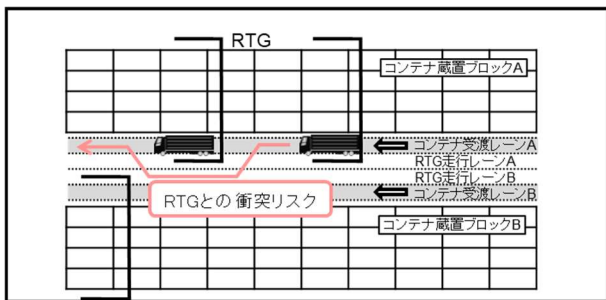


図-9 トレーラーの追越

追越を全面禁止する方法の場合、前のトレーラーの荷

役が終わるまで後ろのトレーラーが待たされる非効率が生じる。そこで、追越レーンを設けることでこの非効率を解消することができる。

図-10は、コンテナ蔵置ブロック内の車線 (レーン) 構成のパターンを3つ示している。追越レーンの無いパターン1は最も占有面積が少ないケースであり、図-9と同様である。パターン2は、2つの蔵置ブロック共通の追越レーンを1つ付加するものであり、RTG走行レーンを1度だけ横切る必要があるが、これにより衝突リスクが低減されると考えられる。パターン3は、RTG直下にそのブロック専用の追越レーンを設けるタイプであるが、RTGのスパン (横幅) を拡大するか、蔵置ブロックの横列 (ロー) を削減する必要があり、貴重なスペースを減らすデメリットがある<sup>15)</sup>。

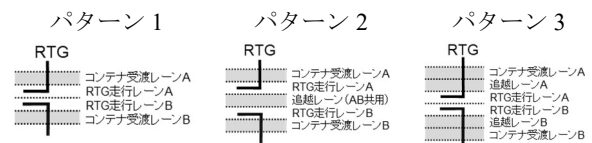


図-10 コンテナ蔵置ブロック内の車線構成の例

## 3.3 レイアウト

コンテナターミナルのレイアウトは運営者によって様々であるが、我が国の比較的規模の大きい港湾では、3.1で述べた通り「横型」のケースが多い。その標準的なコンテナターミナルのレイアウトを図-11に示す。

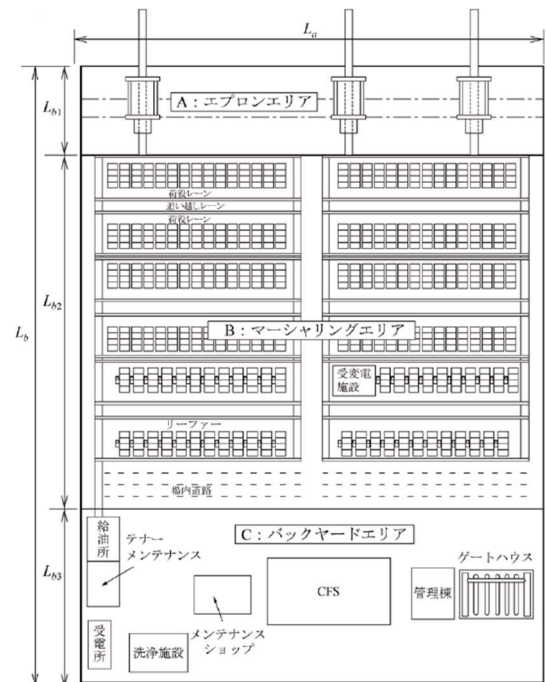


図-11 標準的なコンテナターミナルのレイアウト

(「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>16)</sup>より抜粋)

レイアウト変更はオペレーターの経済的負担になるため、変更は最小限に抑えるのが基本であるが、3.2で述べた車両動線の変更等に対応するため、部分的な変更が必要となる場合が多い。例えば、コンテナターミナルの拡張ができない場合、3.2で述べた2つのトレーラー進入制御方法については、それぞれ以下のような蔵置ブロックの縦列数（ベイ）削減が必要になる。

ブロック別管理方式：各ブロック入口付近  
 集中管理方式：入場ゲート付近

これらの具体的なイメージを図-12と図-13に示す。

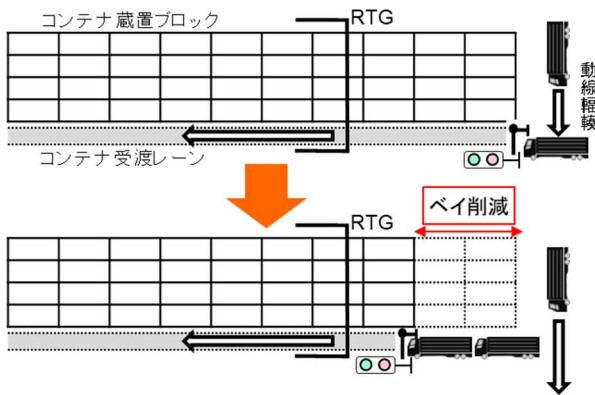


図-12 待機スペースの配置例（ブロック別管理方式）

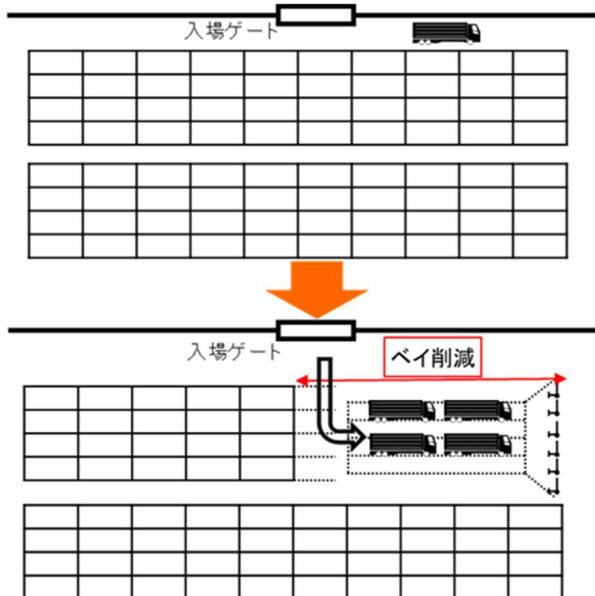


図-13 待機スペースの配置例（集中管理方式）

なお、遠隔操作 RTG の自働運転は安全性の観点から低速で行うため、コンテナ 1 個あたりのサイクルタイムは若干長くなる。効率性を補うにはターミナル全体で RTG

の基数を増やすこと等が挙げられる。

また、RTG の遠隔操作化は大規模な事業となるため、近年世界的にあらゆる分野で求められている脱炭素化を目的に、RTG の電動化等を合わせて実施する場合もある。その際は、2.3 で述べた給電設備（バスバー、リール等）の整備を合わせて実施することとなる。

### 3.4 コンテナ蔵置方法

#### (1) 段積み数の増加

ターミナル全体の面積が拡張できない場合、3.3で示した蔵置ブロック面積の減少を補う方法として、図-14に示すように段積み数（ティア）を増やす方法がある。しかし、段積み数を増やすと、荷繰り回数が増加して荷役効率が低下し、また大型の RTG が必要になるというデメリットが生ずる。

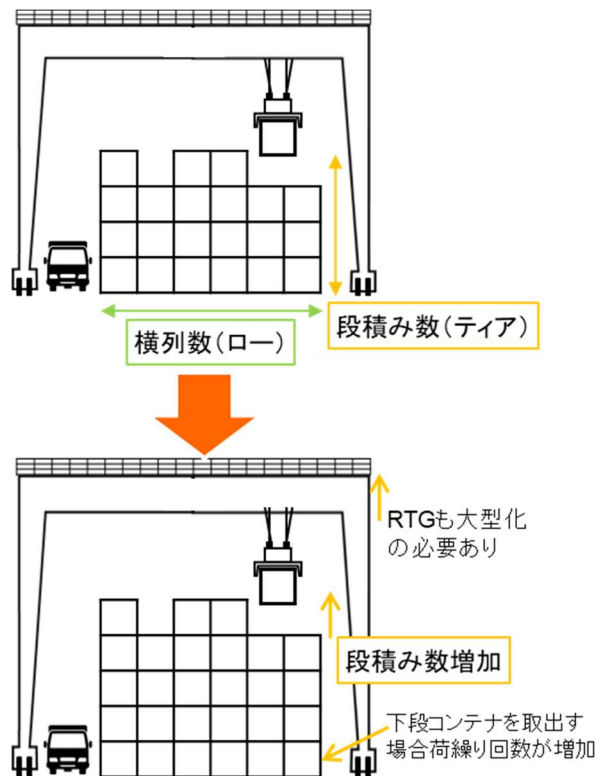


図-14 段積み数の増加

#### (2) 事前荷繰りによる作業平準化・効率化

一方で、遠隔操作 RTG は人員を投入しにくい夜間や休日に自働運転で事前荷繰りを行えるというメリットを持つ。これを利用すれば、日中の荷役の効率性を向上（または全ての時間帯の作業量を平準化）させることができる。

例えば、図-15 はコンテナ蔵置ブロックのあるベイにおける断面例を表しているが、翌日本船に積み込む予定

の赤色のコンテナを取り出すには、上の青い2つのコンテナを移動させる必要がある。この作業を（夜間または休日を使って）事前に行うことで、本船寄港時の RTG に作業が集中することを避けることができる。

なお、国土交通省が実現を目指している AI ターミナルでは、ディープラーニングを通じてコンテナの配置を最適化し、この荷繰り自体の必要性を低減するものである。したがって、遠隔操作 RTG と AI ターミナル技術を併用すれば、将来的に高い効率のターミナルを実現できると考えられる。

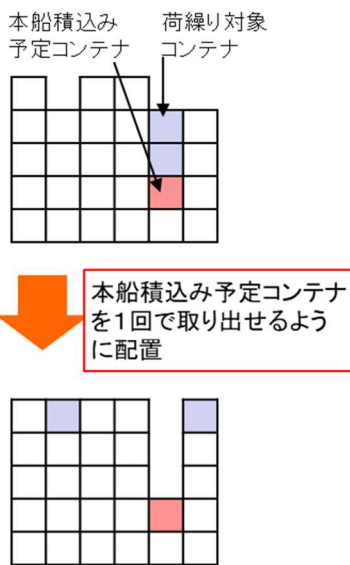


図-15 事前荷繰りの例（同一ベイ内）

一方で、コンテナを複数のコンテナ蔵置ブロックに分散させることで、本船荷役時の RTG の負担を軽減することもできる。図-16 は3つのブロックにおいて、ブロック A に集中蔵置している本船積載予定コンテナ（赤色）を、事前に近傍の他ブロック B,C に移動して分散させることにより、本船寄港時の荷役作業の集中を防ぐというものである。

なお、RTG がコンテナを吊り上げたままブロック間を移動するのは現実的でないため、この作業にはトレーラーやフォークリフト等の小型車両の補助を要することに留意が必要である。

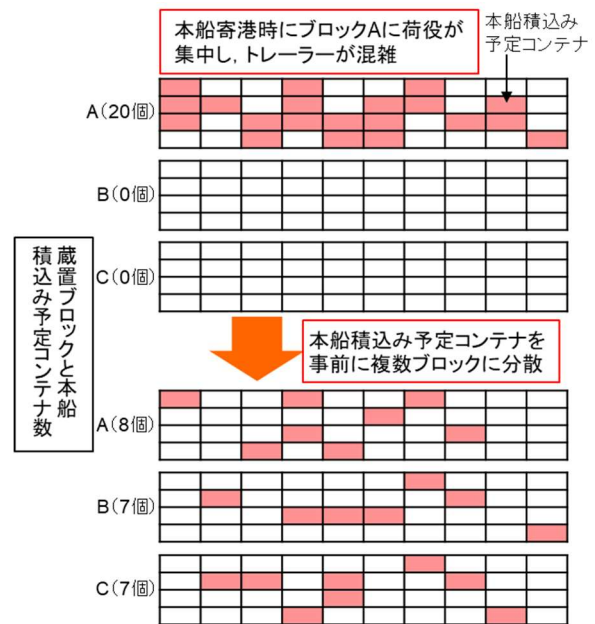


図-16 事前荷繰りの例（ブロック間）

この他にも、ブルドージング（輸入貨物を積載した本船が寄港する前に、その貨物を蔵置するスペースを空ける作業）や、台風接近時に強風による荷崩れを防ぐために段積み数を減らす必要が生じた場合などに、時間外労働や突発的な事象による労働者負担を減らすためにも、遠隔操作 RTG の自働機能を活用することは有益である。これらの事前荷繰りは、日本の一部の主要港で問題となっているトレーラーの渋滞解消にも資するため、各ターミナルの実情に応じた運用が望まれる。

### 3.5 安全性の確保

遠隔操作 RTG は機上が無人的となり、かつ自働運転の時間があるため、衝突事故防止のための安全対策が重要であることは既に述べた。主要な安全対策は、遠隔操作 RTG に元々付属している多方向を把握するセンサとカメラによる監視であるが、以下で述べるような物理的対策等を取ることも考えられる。

#### (1) RTG 走行エリアの分離

単純な方策として、遠隔操作 RTG の走行エリアを図-17 の上図のようにフェンスで隔てる方法があるが、面積を要すること、追越が難しくなること等のデメリットがある。そのため、実際にはフェンスの代わりにポールを用いる方法の他、舗装路面に白線や斜線を引くことにより走行エリアを示す方法がある。

## (2) 渡り線の設置

トレーラー追越等の車両動線の工夫については、3-2 で述べたとおりであるが、追越レーンに渡り線を設けることで、RTG とトレーラーの動線交差を制限することにより、安全性を高める方法がある。ただし、必然的に動線の柔軟性は低下し、荷役の位置によっては追越ができなくなる可能性も生じることに留意が必要である。

## (3) 誘導員による交通整理

RTG がブロックを跨いだ移動（レーンチェンジ）を行う時は、中間の全ての車線に加え、ターミナル内のロー方向の通路も通過することになる。これを自働で行うことは技術的に不可能ではないが、安全管理上リスクが大きいため、誘導員による交通整理で対処する必要がある（図-17）。

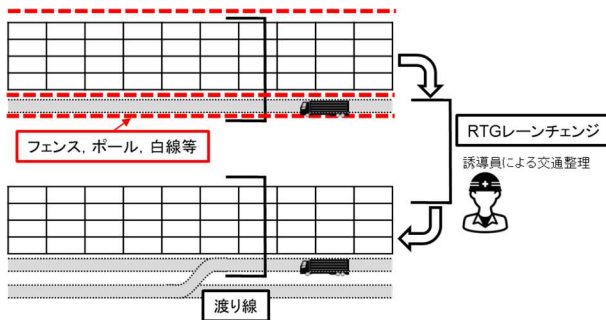


図-17 RTG 衝突防止のための安全対策例

## (4) RTG 本体の情報提供

遠隔操作 RTG 本体に関して、先述したカメラとセンサに加え、図-18 のように電光掲示板を設置し、RTG の稼働状況（運転モード（自働／手動）、移動方向、目的地（ベイ）等）の情報をトレーラー運転手らに提供する方法もある。

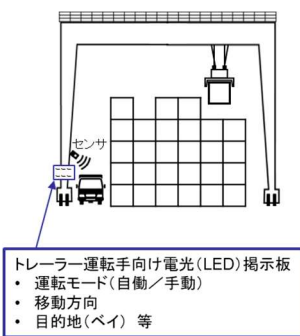


図-18 RTG 本体の安全対策

## 3.6 段階的導入の方法

コンテナターミナル新設が少ない日本においては、遠隔操作 RTG 導入は、既存コンテナターミナルにおいてオペレーションを続けながらの実施となることが多いと想定されることから、段階的導入方法の配慮事項等について、以下に述べる。

### (1) 工事内容等

遠隔操作 RTG の導入にあたり、具体的に必要となる工事内容としては以下が挙げられる。

#### ① 測量

後の工程を実施するための基礎データを収集する。

#### ② ヤード整地

ターミナルの舗装面は排水勾配がついているが、施工から長期間経過している場合、勾配の増大や、走行路面傾斜のばらつきが多い場合がある。その場合、遠隔操作 RTG の本体の走行やスプレッド移動の制御を正確に行うことが難しいため、ある程度の整地が必要となる。

#### ③ 磁気ガイドライン敷設

RTG の座標制御を、RTG に搭載した磁気センサで磁気ガイドラインを感知する方式の場合は、ガイドラインを地面に敷設する<sup>1)</sup>。

#### ④ 通信機器の設置

管理棟内の操作盤との通信用の漏洩同軸ケーブル、無線通信装置（5G 等）を敷設する。

#### ⑤ 遠隔操作 RTG の設置、調整

遠隔操作 RTG 本体をターミナル内に搬入し、正常に動作するかを確認作業を行う。

工期の目安は、測量、ヤード整地、磁気ガイドライン敷設等であれば、1～2 ブロック毎に 1 か月程度であるが、事業全体（計画から運用開始まで）は数年レベルとなる（表-1 の事業期間を参照）。

### (2) ターミナルへの影響抑制

供用中のコンテナターミナルへの影響を最小限にする手法については、以下が挙げられる。

#### ① 長期的な計画

ターミナルの繁忙期を避ける。もし、閑散期で完了しない場合は、工事を中断して次の閑散期を待つといった長期的な計画を立てる。

② 工事用及び調整用ブロック

土木工事の実施と、導入した遠隔操作 RTG の細部機器の調整・試運転のそれぞれに 1 ブロックずつ割くと想定し、2 ブロック程度毎に作業を進める。

③ 部分的遠隔操作化の回避

段階導入による部分的な遠隔操作化は動線管理が煩雑となり難いため、これを避けて全工程が完了するまでは全て手動での運用とする。

④ 新規 RTG の優先実施

新規 RTG 導入と既存 RTG 改良（非遠隔操作 RTG の部材を活用しつつ、遠隔操作タイプに改良するもの）の両方が含まれる場合、調整におけるリスクが少ないと考えられる前者から実施する。

⑤ 通信切断リスクの回避

ケーブルや無線通信の不調による通信切断のリスクを抑えるため、管理棟に近い箇所から実施する。

⑥ ターミナル拡張部の優先実施

遠隔操作 RTG 導入に合わせてコンテナターミナルを拡張する場合は、既存部分に影響を与えずに効率性を維持するため、拡張部から実施する。

#### 4. 数値シミュレーションを用いたターミナル効率性評価手法とケーススタディ

##### 4.1 はじめに

前章において、遠隔操作 RTG を導入するにあたってはレイアウト及びオペレーションに関していくつかの変更が必要になり得ることを述べた。この場合、新たなレイアウト及びオペレーションの案を検討する必要があるが、その際、必要な効率性を保てるか予め定量的に検証することが望ましい。

そこで、本章では、ある港湾をモデルとして、シミュレーションを用いて遠隔操作 RTG 導入前後の効率性を評価するケーススタディを行う。

##### 4.2 シミュレーションの手法

###### (1) 使用ソフトウェア

コンテナターミナルにおける荷役の解析に活用されるシミュレーションソフトウェアはいくつかあるが、多くは一般的な荷役方式に応じたテンプレート（例えば、STS クレーン+構内トレーラー+RTG）と出力結果となる統計値が内蔵されており、それらを組み合わせることで比較的容易にモデルを作成できるようになっている。その反面、細かな荷役フローや出力統計値をオリジナルで設定したい場合には不向きである。そこで今回は、遠隔操作 RTG 前後のレイアウトやオペレーションの細かな相違をできるだけ正確に再現することを鑑み、モデル作成の自由度が高いアプライドマテリアルズ社製の物流シミュレーションソフトウェア"AutoMod"を用いることとした。

###### (2) シミュレーションの概要

使用ソフト (Automod) 上で、コンテナターミナルのレイアウト作成、コンテナ輸送を担うクレーンやトレーラーの動線設定、コンテナ貨物の発生時刻、量、搬送先などの入力値設定を行い、コンテナターミナルにおける一連の貨物の流れを表現するモデルを構築する。このモデルでシミュレーションを実行すると、コンテナ貨物が本船上で発生し、STS クレーン、構内トレーラー、RTG の各荷役機械に受け渡され、指定された蔵置ブロック内に運ばれる様子が 3D アニメーションで表現され、指定した統計値を出力として得ることができる。

なお、今回評価の指標には、船⇄ターミナルとターミナル⇄内陸のそれぞれの効率性を表す、表-3 の 2 つの数値を用いる。

表-3 ターミナル効率性の指標

指標	定義
MPH	STS クレーンが 1 時間に積み降ろしするコンテナの個数 (Move per Hour)
ターンタイム	外来トレーラーがコンテナターミナルに滞在する時間 (Turn Around Time)

##### 4.3 シミュレーションの実施

###### (1) 遠隔操作 RTG 導入前

本節において、まず対象とした港湾の現況のレイアウト及びオペレーションを再現するモデルを構築する。

###### ① レイアウト

ある港湾をモデルに、図-19、図-20、図-21 に示すとおり、シミュレーション用のレイアウトを作成した（なお、モデル港湾のレイアウトから一部修正している）。レイアウトは日本で一般的な横型（岸壁に平行な向きにコンテナを蔵置する）であり、概ね長方形である。図-19 の上側の長辺が岸壁を示し、6 基の STS クレーンが 2 隻のコンテナ船の荷役をしている。色のついた長方形あるいは直方体は以下の種別のコンテナを表している。

本船輸出：緑色（空の場合は薄緑色）

本船輸入：赤色（空の場合は赤橙色）

外来輸出：黄色（空の場合は橙色）

外来輸入：桃色（空の場合は紫色）

また、紫色の細い線はトレーラーの動線を表す。図-20 と図-21 には、走行するトレーラーも表示されている。

このように、Automod で構築したモデルは実物の外見を良く再現しているため、当事者とコミュニケーションを取りながら作成しやすく、モデル自体の再現性を高めやすいという特徴がある。今回のシミュレーションについては、実行内容を 3D アニメーションで示し、荷役作業の大まかな流れや混雑の状況について、シミュレーションモデルとしたコンテナターミナルのオペレーターのチェックを経ることで、再現性を確認した。





図-19 レイアウト平面図（導入前）

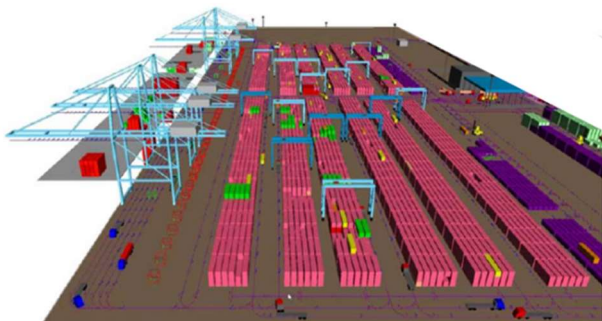


図-20 3D モデル（導入前／パース平行方向）

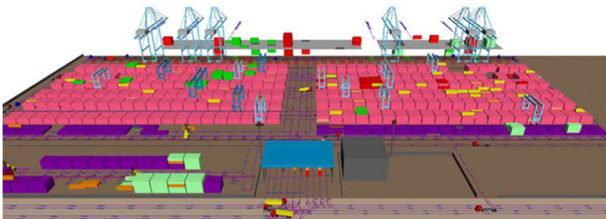


図-21 3D モデル（導入前／パース鉛直方向）

②荷役機械の諸元

コンテナを輸送する各荷役機械は表-4 のとおり配置し、それらの諸元（動作速度等）はオペレーターへの詳細なヒアリングからの表-5 のとおり設定した。また、入出場ゲートにおける手続きに要する時間は、表-6 のとおりとした。

表-4 荷役機械の配置数

荷役機械	数量
STS クレーン	6
RTG（非電動）	10
RTG（電動）	5
構内トレーラー	24
トップリフター	4

※表中の数字は稼働台数ベース

表-5 荷役機械の動作速度・所要時間に関する諸元

STS クレーン	巻上げ速度	2.75m/s
	横行速度	4.0 m/s
	走行速度	0.75 m/s
構内トレーラー	走行速度	10 m/s
外来トレーラー	走行速度	8.33 m/s
RTG	走行速度	2.25 m/s
	レーン替え速度	0.45 m/s
	揚げ時間	40 秒
	降ろし時間	40 秒
	荷繰り時間*	120 秒

\*コンテナ 1 本につき平均 1.5 本の荷繰りが生じると仮定し、（揚げ時間+降ろし時間）×1.5 で算出

表-6 ゲート手続の所要時間

	インゲート	アウトゲート
輸出搬入	120 秒	5 秒
輸入搬出	5 秒*	95 秒
空搬入	120 秒	5 秒
空搬出	5 秒*	115 秒

\*インゲートは 3 レーンあり、うち 1 つが輸入/空搬出トレーラー専用であるが、混雑時は輸出/空搬入用の 2 レーンも用いることがあり、その場合は 60 秒に設定した

③オペレーションの設定

(a) 貨物の輸送情報

コンテナ貨物の輸送情報は、本船が運んできた輸入コンテナであれば、以下に挙げるような項目を ID 番号等で整理したシーケンスリストと呼ばれる表に記録されている。

- ・ 船名
- ・ 着岸岸壁名
- ・ 着岸時刻
- ・ 荷役を行う STS クレーン
- ・ 船内での位置座標（ベイ、ロー、ティア）
- ・ 搬入先の位置座標（ブロック名、ベイ、ロー、ティア）

今回のシミュレーションにおいては、当該ターミナルの 2019 年のある 1 日の実績データを入力データとして用いた。ある貨物を搬送する荷役機械は後述する仕事の引き受けロジックに基づいて決定され、前述した荷役機械の動作諸元に基づいてモデル内で搬送されることになる。

(b) STS クレーンの荷役

本船荷役作業の実績データを用いて、以下を設定した。

- ・ 荷役対象船舶



- ・ 荷役作業時間
- ・ 荷役本数 (RTG, トップリフター別)

(c) 外来トレーラーの到着分布

ターミナルへの貨物の搬入／搬出を行う外来トレーラーについては、その発生時刻の分布の実績データを用いた。輸入搬出／輸出搬入／空搬出／空搬入それぞれのコンテナを輸送するトレーラーの4種に分け、30分毎に発生頻度を設定した。ただし、各トレーラーがどの蔵置ブロックのどの座標のコンテナを荷役したかまでは整理されたデータが無いため、ブロック毎の荷役コンテナの総数を用いて確率的にブロックを割り振り、座標は乱数を用いて設定した。

(d) RTGの荷役

RTGの仕事引き受けを決定するロジックは、ターミナルオペレーターの考え方によって様々であり、本シミュレーションの結果を左右する。今回は、以下の3つの要素を持つRTGを優先して割り当てるという方針としている。

- ・ コンテナ搬入先の近くに位置する
- ・ 他の仕事(荷役作業)を持っていない
- ・ 同一ブロック内の電動RTGである(電動RTGはブロック間移動ができない)

この方針に基づき、細部の荷役ルール(仕事の引き受けロジック)を以下のように設定した。

【本船貨物】

本船で運ばれてきた輸入貨物については、以下の手順(優先順)で仕事を引き受ける(輸出も同様)。

- i. 本船貨物の搬入先蔵置ブロック内でかつ搬入先と同一のベイに位置するRTG
- ii. 本船貨物の搬入先蔵置ブロック内に位置し、仕事を持たない電動RTG
- iii. 本船貨物の搬入先蔵置ブロック内に位置し、仕事を持たない非電動RTG
- iv. 本船貨物の搬入先蔵置ブロック内に位置し、仕事を1つだけ持つ電動RTG
- v. 他ブロックに位置し、仕事を持たない非電動RTGのうち、搬入先から最も距離が近いもの
- vi. i~vで該当が無い場合、仕事の少なさ、搬入先への距離の近さの順で優先してRTGを割り当て

【外来貨物】

外来トレーラーで運ばれてきた輸出貨物については、以下の手順で仕事を引き受ける(輸入も同様)。

- i. 外来貨物の搬入先蔵置ブロック内でかつ搬入先と同一のベイに位置するRTG
- ii. 外来貨物の搬入先蔵置ブロック内に位置し、仕事を持たない電動RTG
- iii. 外来貨物の搬入先蔵置ブロック内に位置し、仕事を持たない非電動RTG
- iv. 外来貨物の搬入先蔵置ブロック内に位置し、5分以内に完了する仕事を持つ電動RTG
- v. 5分以内に完了する仕事を持つ非電動RTGのうち、搬入先から最も距離が近いもの(ただし、距離300m以内)

一般に、コンテナターミナルにおいては本船スケジュールを重視して、外来貨物より本船貨物を優先して荷役を行うため、i~vまでの条件に該当しない場合は、仕事を持たないRTGが発生するまで外来トレーラーは入場ゲートで待機となる。その後は、RTGの視点で以下の外来貨物を検索し、該当するものを引き受ける。

<電動RTGの場合>

- i. 同一ブロック内の最も距離が近い外来貨物を引き受ける(電動RTGはブロック間移動ができないため、他ブロックは引き受けない)

<非電動RTGの場合>

- i. 同一ブロック内の最も距離が近い外来貨物を引き受ける
- ii. RTGが1基も位置しないブロックにある外来貨物のうち、最も距離が近いものを引き受ける
- iii. RTGが1基だけ位置するブロックにある外来貨物のうち、最も距離が近いものを引き受ける

以上のとおりオペレーション上のルールを設定して、シミュレーションを実施した。

(2) 遠隔操作RTG導入後

前節で示した遠隔操作RTG導入前のモデルに対し、遠隔操作RTGを導入するにあたり、以下に示す変更を行った。

①集中管理式車両待機場の設置

今回は、遠隔操作 RTG 導入に伴い、渋滞抑制効果を考慮して、3.2 で述べた集中管理方式によりトレーラーの蔵置ブロックへの進入を制御することとした。具体的には、12 台のトレーラーが停車できるレーンを計 5 レーン（待機レーン 3、通過レーン 2）、モデル上で作成した（後述する変更後のレイアウトの図-24 の右下方参照）。

②ターミナル中央通路における動線の制限

ゲートから岸壁に向かう中央通路について、安全性向上の観点から、ドライバーがターミナル内のオペレーションを熟知している構内トレーラーのみ通行可とし、外来トレーラーは通行禁止とした。

③蔵置ブロックの諸元変更

集中管理方式を用いるため、各ブロックの入口において制御用機器は不要であるが、遠隔操作 RTG のメンテナンス用のスペースを設けるため、各ブロックのベイを概ね 2 列削減する（表-7）。また、コンテナターミナル全体の最大蔵置個数が減らないよう、ティアを 1 段追加する（ティアを増やすことで荷繰り効率は低下するが、単位面積当たりの蔵置容量は増える）。さらに、最もゲートに近い 2 つの蔵置ブロックは、トップリフターを用いた空コンテナ蔵置ブロックとしての運用から、RTG を用いた実入りコンテナ蔵置ブロックに切り替える。

表-7 蔵置ブロックの諸元の主な変更

	導入前	導入後	増減
ベイ*	21	19	-2
ロー	6	6	0
ティア	4	5	+1

\*ブロックにより若干数字が異なる箇所がある

④荷役機械の配置数

環境負荷の軽減及び動力源の分散による燃料供給不足時のリスクヘッジを目的として、表-8 のとおり電動 RTG を大幅に増加した。

表-8 荷役機械の配置数の変更

荷役機械	導入前	導入後	増減
STS クレーン	6	6	0
RTG（非電動）	10	7	-3
RTG（電動）	5	14	+9
構内トレーラー	24	24	0
トップリフター	4	4	0

⑤荷役機械の諸元

概ね遠隔操作 RTG 導入前と同様であるが、安全性の観点から自働運転時は一部の動作を遅めるため、動作所要時間を表-9 のとおり変更した。

表-9 自働運転による RTG の動作所要速度の変更

	導入前	導入後	増減
揚げ時間	40 秒	60 秒	+20
降ろし時間	40 秒	60 秒	+20
荷繰り時間*	120 秒	180 秒	+60

\*コンテナ 1 本につき 1.5 本の荷繰りが生じると仮定し、（揚げ時間+降ろし時間）×1.5 で算出

⑥レイアウト

①～④の変更点をモデル上のレイアウトに反映した結果、平面図及び 3D モデル図は図-22、図-23、図-24 のとおりとなった（なお、⑤は図面上には現れないが、モデル内では反映されている）。

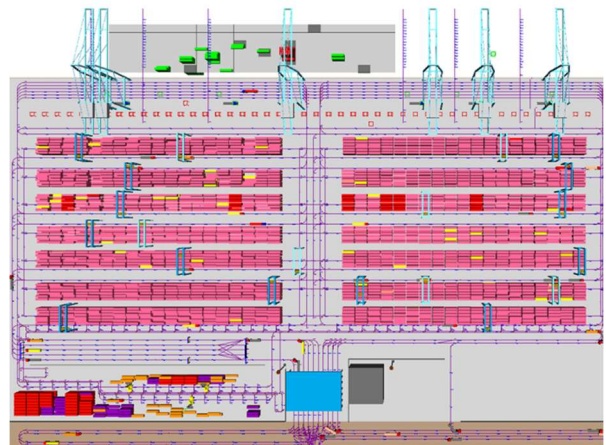


図-22 レイアウト平面図（導入後）

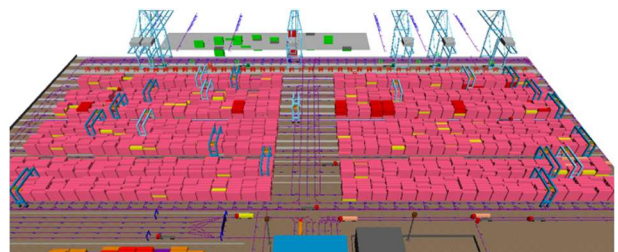


図-23 3D モデル（導入後／バース平行方向）

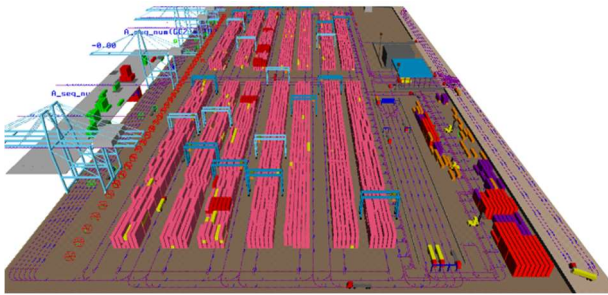


図-24 3Dモデル（導入後／パース垂直方向）

⑦その他

その他の要素については、遠隔操作 RTG 導入前と同様としている。

(3) 結果の比較と考察

今回は輸出搬入貨物について、MPH とターンタイムを評価指標に、遠隔操作 RTG の導入前後のシミュレーション結果について、実績値も含めて比較及び考察を行った。

①MPH

4 基の STS クレーンそれぞれについて、MPH（コンテナ荷役本数／荷役に要した時間）を算出し、その結果を表-10 及び図-25 に示す。当該ターミナルの実績値は4基平均で34.1MPHと、比較的高い効率で荷役を行っていると言える。

(a) 現況の再現

実績値と比較して、遠隔操作 RTG 導入前のシミュレーション誤差は、4 基平均で 3.0%となっている。1 基毎に誤差のばらつきがある程度見られるが、表-4 で示した通り実際の荷役は RTG の他にトップリフターも担っており、その内訳が STS クレーン毎に異なることが要因の一つとして考えられる。

(b) 遠隔操作 RTG 導入前後の変化

シミュレーションにより、遠隔操作 RTG 導入後の MPH は導入前の-9.0%となり、やや効率が低下している。これは遠隔操作 RTG の動作の所要時間の増加（2分弱）の影響と考えられる。また、RTG の総数の増加は効率性を高める影響を与えるが、電動式 RTG の割合が増えてブロック間の機動性がやや低下したことや、本船貨物の対応をする RTG の数が大きく変わるわけではないため、その効果は限定的であったと推察される。

なお、3.4 で述べたとおり遠隔操作 RTG の場合、その自働機能による夜間や休日の事前荷繰り等が可能である

ため、それをシミュレーションで反映すれば効率性が改善するものと考えられる。

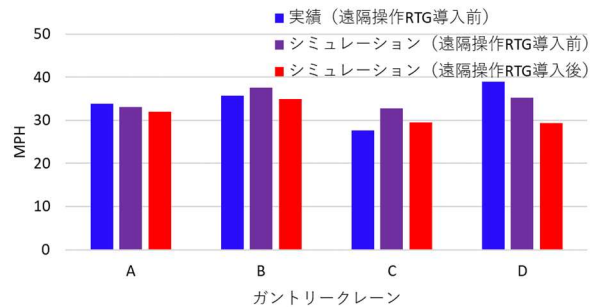


図-25 STS クレーン毎の MPH

表-10 MPHの結果まとめ

	MPH\ガントリークレーン	A	B	C	D	全体平均
a	実績 (遠隔操作RTG導入前)	33.9	35.8	27.7	38.9	34.1
b	シミュレーション (遠隔操作RTG導入前)	33.1	37.6	32.8	35.3	35.1
c	シミュレーション (遠隔操作RTG導入後)	32.0	35.0	29.4	29.4	31.9
b/a-1	シミュレーション誤差	-2.3%	5.1%	18.5%	-9.3%	3.0%
c/b-1	遠隔操作RTG導入による増減	-3.2%	-6.9%	-10.3%	-16.8%	-9.0%

②ターンタイム

ターンタイム（外来トレーラーのコンテナターミナル滞在時間）は、外来トレーラーがゲートに到着した時刻及び荷役を終えてゲートを出発する時刻で算出することができ、その結果を図-26 及び表-11 に示す。

実績値では平均ターンタイムが 17.1 分（中央値は 14.0 分）であり、オペレーターによれば大きな渋滞は発生していないとのことであった。

(a) 現況の再現

遠隔操作 RTG 導入前のシミュレーション結果では、ターンタイムは平均 15.9 分であり、実績値の平均と比較して 7.5%の誤差となった。荷役機械の実際の運用は人間が行うため、実績値にはばらつきが生じやすい。図-26 はターンタイムを 2 分毎のレンジに分けて該当するトレーラー台数の分布を示したものであるが、実績値を示す青のグラフに着目すると、ターンタイムによる該当台数の変化は滑らかな曲線を描くのではなく、10~12 分、20~22 分、24~26 分と複数のピークが見られる。実績値と RTG 導入前シミュレーション値の標準偏差を比較するとそれぞれ 11.4、5.2 となっており、実績値のばらつきが大きいことが分かる。一方、図-26 においては実績値とシミュレーション値で最大のピークが現れる時間が 1 区間ずれてはいるものの、中央値での誤差は 3.1%と、MPH と同様に比較的強く抑えられていると評価できる。

(b) 遠隔操作 RTG 導入前後の変化

シミュレーションにより、遠隔操作 RTG 導入後のターンタイムは、中央値で 15.5%、平均値で 11.5%増加した。これは遠隔操作 RTG の動作の所要時間の増加（2 分弱）の影響と考えられる。

また、分布を見ると、遠隔操作 RTG 導入後はターンタイムの分布が 14~18 分に集中していることが分かる。全体的な所要時間は増加したが、標準偏差は 5.2 から 3.2 に低下していることから、今回のレイアウト及びオペレーション変更案は、外来トレーラーのターンタイムの平準化（ばらつき低減）という効果の可能性を示している。

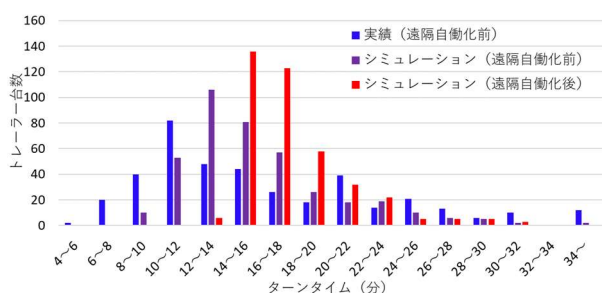


図-26 ターンタイム別のトレーラー分布

表-11 ターンタイムの結果まとめ

	ターンタイム	平均値	中央値	標準偏差
a	実績 (遠隔自動化前)	17.1	14.0	11.4
b	シミュレーション (遠隔自動化前)	15.9	14.4	5.2
c	シミュレーション (遠隔自動化後)	17.7	16.7	3.2
b/a-1	シミュレーション誤差	-7.5%	3.1%	
c/b-1	遠隔自動化による増減	11.5%	15.5%	

③まとめ

以上のように、数値シミュレーションを用いてコンテナターミナルにおける荷役効率を予測・評価することができる（なお、本シミュレーションの結果については、オペレーターは大きな問題は無いと判断している）。本章ではケーススタディとして 1 回の解析事例を示したものであるが、実際にはシミュレーション結果を踏まえてレイアウト及びオペレーション内容を修正し、再度シミュレーションを実施して評価することで、レイアウト及びオペレーションを改善できる可能性を示した。

## 5. 結論

本資料では、我が国の港湾管理者や運営者が、コンテナターミナルに遠隔操作 RTG 導入を検討するにあたり、レイアウトやオペレーションに関して配慮すべき事項をコンテナターミナル運営者へのヒアリングや文献調査から整理した。また、遠隔操作 RTG 導入後の効率性の評価を数値シミュレーションによって行った。これにより得られた事項を以下に総括する。

- ・ 遠隔操作 RTG の導入にあたり配慮すべき事項として、車両動線、レイアウト、コンテナ蔵置方法、安全性の確保、段階的導入の方法等が挙げられる。
- ・ 遠隔操作 RTG を導入するためには、コンテナ蔵置ブロックにおけるトレーラーの進入順序を制御する必要があり、その対応策としては、ゲート付近でトレーラーを集中的に管理する方法や、各ブロックの入口で管理する方法がある。これらの方法は、待機するためのスペースが必要になるため、それに応じたレイアウトの変更が伴う。
- ・ 蔵置ブロック内において遠隔操作 RTG とトレーラーの衝突を防ぐ方法として、トレーラーの追越の制限や、安全に追越を可能とする車線の追加等がある。
- ・ 既存コンテナターミナルにおける導入の場合は、全体面積の拡張は難しいため、レイアウト変更で蔵置面積が減った場合は、段積み数（ティア）を増やして蔵置容量を補う方法がある。
- ・ 遠隔操作 RTG の自働機能を活用することで、人員を投入しにくい夜間や休日の荷繰りを強化し、昼間の荷役を効率化することができる。
- ・ 安全性は、遠隔操作 RTG に装備されているカメラや衝突防止センサによってある程度確保されるが、更なる安全性の向上を求める場合は、RTG 走行エリアをフェンスで隔離する（あるいは舗装路面の白線等で明示する）方法や、電光掲示板を用いて RTG の稼働状況をトレーラー運転手に情報提供する方法がある。
- ・ ターミナルの運用への影響を抑えつつ段階導入を実施する方法については、2 ブロック程度ごとに工事を進め繁忙期を避けた長期的な計画を立てること、部分的な

遠隔操作化を避けて全ての RTG の遠隔操作化が完了するまで手動での運用とすること等が挙げられる。

- ・ コンテナターミナルのレイアウトやオペレーションを変更する場合に、事前に効率性を評価するための荷役シミュレーションの手法とその適用例を示した。

世界では、コンテナターミナルにおける荷役効率化に資する技術開発が日進月歩で進んでおり、我が国においても、画像分析によるコンテナダメージチェックの自動化の研究や横浜港における外来トレーラーの自動化実証事業<sup>17)</sup>等が進められているところである。遠隔操作 RTG も、そのようなコンテナ物流の効率化を担う要素として、更なる普及が望まれる。

(2022 年 6 月 2 日受付)

## 参考文献

- 1) 小林雅人：RTG の遠隔自動システム，住友重機械技報，No.192，2017 年，pp15，[https://www.shi.co.jp/tech/tech\\_report/pdf/192.pdf](https://www.shi.co.jp/tech/tech_report/pdf/192.pdf)，2022 年 5 月 17 日参照
- 2) 三井 E&S マシナリー：事業・製品情報，<https://www.mes.co.jp/machinery/business/crane/transtainer.html>，2022 年 5 月 17 日参照
- 3) 三菱重工：飛島コンテナ埠頭株式会社殿名古屋港飛島埠頭南側コンテナターミナル第二バース供用開始，三菱重工 Press Information，2009 年 2 月 1 日，[https://www.mhi.com/jp/news/20090201\\_1.html](https://www.mhi.com/jp/news/20090201_1.html)，2022 年 5 月 17 日参照
- 4) 宮田紀明：遠隔自動 RTG のグレードアップ，住友重機械技報，No.202，2020 年，pp7，[https://www.shi.co.jp/tech/tech\\_report/pdf/202\\_02.pdf](https://www.shi.co.jp/tech/tech_report/pdf/202_02.pdf)，2022 年 5 月 17 日参照
- 5) 高橋浩二：世界の自動化コンテナターミナル動向分析，港湾空港技術研究所報告，2018 年，pp7，<https://www.pari.go.jp/search-pdf/56-4.pdf>，2022 年 5 月 31 日参照
- 6) 三菱重工・三菱ロジネクト：三菱重工と三菱ロジネクト，港湾の CO2 排出削減に向けた取り組みを開始 荷役機器の新モデル開発や水素燃料電池転換により CNP にも対応，三菱重工 Press Information，2021 年 5 月 27 日，<https://www.mhi.com/jp/news/210527.html>，2022 年 5 月 17 日参照
- 7) Konecranes：コンテナハンドリング装置／RTG 用動力オプション，<https://www.konecranes.jp/zhuang-zhi/kontenahandoringuzhuang-zhi/taiyashi-gantorikuren/rtgyongdong-li-opusiyon>，2022 年 5 月 17 日参照
- 8) 名古屋ユナイテッドコンテナターミナル株式会社：全国初名古屋港鍋田ふ頭コンテナターミナルで 5G を活用した遠隔操作 RTG システムの運用を開始，2021 年 10 月 18 日，[www.nuct.co.jp/images/20211018%20全国初名古屋港鍋田ふ頭コンテナターミナルで 5G を活用した遠隔操作 RTG システムの運用を開始.pdf](http://www.nuct.co.jp/images/20211018%20全国初名古屋港鍋田ふ頭コンテナターミナルで5Gを活用した遠隔操作RTGシステムの運用を開始.pdf)，2022 年 5 月 17 日参照
- 9) 大阪市：夢洲のコンテナターミナルにおいてローカル 5G を活用した業務効率化・生産性向上に向けた実証実験，2022 年 1 月 17 日，<https://www.city.osaka.lg.jp/port/page/0000552179.html>，2022 年 5 月 16 日参照
- 10) Katherine Si：Tianjin port signs 5G technology development deal with China Mobile，Seatrade Maritime News，2021 年 5 月 24 日，<https://www.seatrade-maritime.com/ports-logistics/tianjin-port-signs-5g-technology-development-deal-china-mobile>，2022 年 5 月 17 日参照
- 11) WCN Publishing Ltd：COSCO-HIT opens Remote Operations Centre for RTGs，World Cargo News，2021 年 8 月 4 日，<https://www.worldcaworldca.com/news/cosco-hit-opens-remote-operation-centre-for-rtgs-66875>，2022 年 5 月 31 日参照
- 12) シンガポール海事港湾庁（MPA）：First Phase of Tuas Port Reclamation Works Completes，2021 年 11 月 30 日，<https://www.mpa.gov.sg/web/portal/home/media-centre/news-releases/detail/c0a30293-0350-4496-bd4d-10727fd6f16b>，2022 年 5 月 16 日参照
- 13) WCN Publishing Ltd：First cranes arrive at Tuas，World Cargo News，2020 年 7 月 30 日，<https://www.worldcaworldca.com/news/news/first-cranes-arrive-at-tuas-64758>，2022 年 5 月 31 日参照
- 14) 国土交通省港湾局：遠隔操作 RTG の導入促進に係る支援制度，[https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_tk2\\_000035.html](https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk2_000035.html)，2022 年 5 月 16 日参照
- 15) PIANC：Planning for Automation of Container Terminals，PIANC MarCom WG Report，No.208，2021 年，pp68
- 16) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（下），日本港湾協会，2018 年，pp1975
- 17) 国土交通省港湾局：外来トレーラーの自動化実証事業，[https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_tk2\\_000041.html](https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk2_000041.html)，2022 年 5 月 18 日参照