

# AI等を活用したターミナルオペレーションの最適化 実証と効果検証結果

---

2023年5月

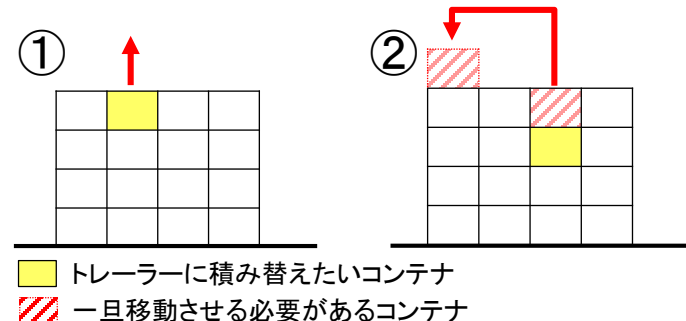
港湾局港湾経済課港湾物流戦略室

# AI等を活用したターミナルオペレーションの最適化

- 「ヒトを支援するAIターミナル」の取り組みの一つであるAI等を活用したターミナルオペレーションの最適化に関する取り組みを令和元年度から実施。
- その結果、本来不要である荷繰り回数や、荷役機械の走行距離等が削減可能であることを確認した。
- その他、計画作成に要するオペレーターの作業時間や、作業負荷の軽減にも資すると考えられる。

## 「荷繰り」とは

- 蔵置中のコンテナを移動させることを一般に「荷繰り」と言う。
- トレーラーに積み替えたいコンテナそのものを移動させる場合(①)のほか、下段に積み込まれているコンテナを移動させるために、その上に積み込まれているコンテナを一旦移動させる場合(②)も「荷繰り」に該当する。

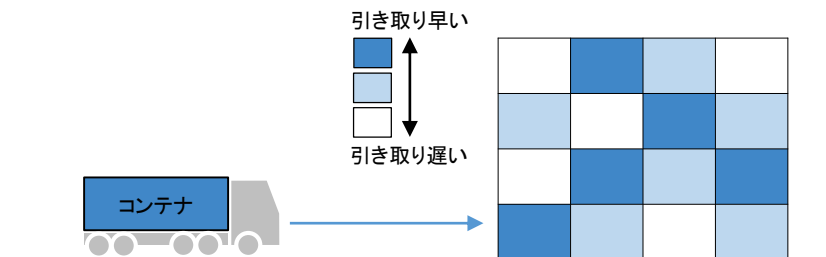


## 荷繰り最少化の仕組み

- 過去のコンテナの移動履歴とコンテナの属性(荷主、品目、本船等)をAIに学習させることで、コンテナごとの搬出入タイミングを予測する。
- 引き取りが早いと予測されたコンテナは上段に、引き取りが遅いと予測されたコンテナは下段に積むことで、引き取りの際に不要な荷繰りが発生しないようにする。

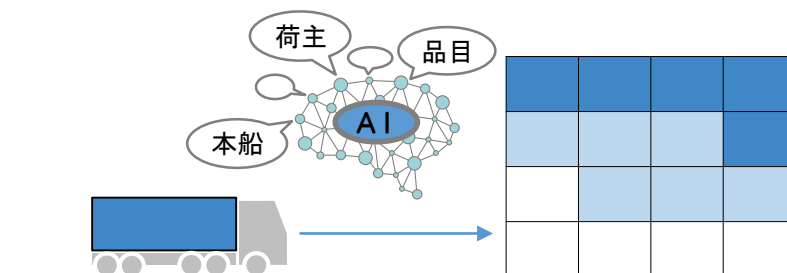
### <従来>

船から荷揚げした際、ヤードの空きスペースに順次蔵置する。  
引き取りが早いコンテナの上に引き取りが遅いコンテナが蔵置され、荷繰りが多くなる。



### <AIシステムの場合>

AIによって搬出入タイミングを予測し、引き取りが早い貨物は上に、引き取りが遅い貨物は下に蔵置することで、荷繰りを減少させる。



# 検証の際に構築したAIシステムの具体機能

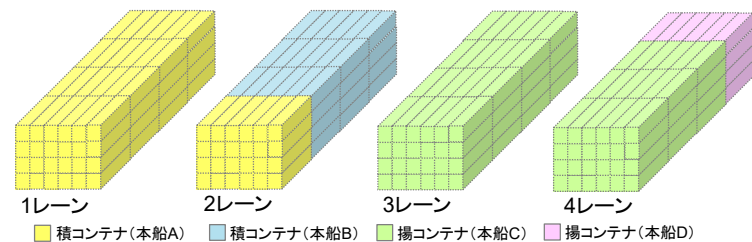
- 現場実証では、AIの具体機能として「搬出入予測機能」、「スタッキングプラン立案機能(SP)」、「ヤードプラン立案機能(YP)」、「ヴェッセルプラン・ワーキングスケジュール立案機能(VP/WS)」を構築し、効果を検証した。

## 搬出入予測機能、SP

- スタッキングプランとは、コンテナの属性ごとの蔵置エリアの区分け(スタッキングエリア)の計画。
- 搬出入予測機能により、コンテナの属性ごとの搬出入、本船揚げ積みの量を1日単位で予測する。
- 予測に基づき、ヤード内のスタッキングエリアを設定する。

## <SPのイメージ>

コンテナ属性と搬出入・本船揚積本数等を基に、スタッキングエリアを設定。

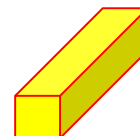


## YP

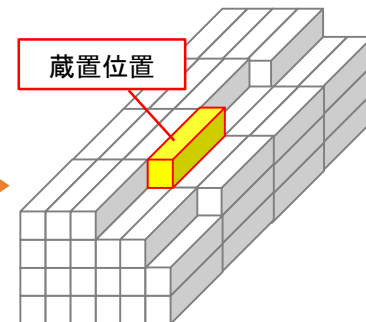
- ヤードプランとは、コンテナを搬入もしくは本船揚げした際、具体的な蔵置場所の計画。
- コンテナの属性を基に、本船揚げや搬出の際に荷繰りが発生しないような蔵置場所を立案する。

## <YPのイメージ>

搬入コンテナ



蔵置位置の立案

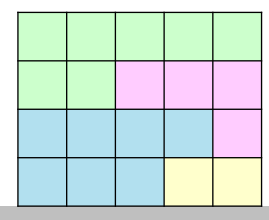


## VP/WS

- ヴェッセルプランとは、ヤードに蔵置されているコンテナについて、本船の積付位置を定める本船積付計画。
- 蔵置区画毎の条件(揚港、危険物等)を基に、コンテナの重量バランスを踏まえて作成する。
- ワーキングスケジュールとは、本船からコンテナを揚げ積みする際のガントリークレーンの作業計画を立案する機能。
- VPを踏まえ、最も効率的なWSを作成する。

## <VP/WSのイメージ>

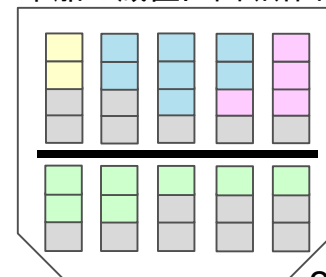
蔵置レーン(断面)



蔵置状態も踏まえ、本船の積付位置、積付順を計画



本船の蔵置区画(断面)



# 令和3年度実証結果(ターミナルのログデータを用いた効果検証)

- 令和3年度においては、実際のコンテナの搬出入、本船揚積順のログデータを用いて、AIシステムを活用した場合の結果をシミュレーションで算出。
- 荷繰り回数等について、実際の結果とAIシステムを活用したシミュレーション結果を比較した。
- 結果として、本来不要と考えられるシフト回数に対し、最少6%、最大42%の削減効果を確認した。

## 結果の概要

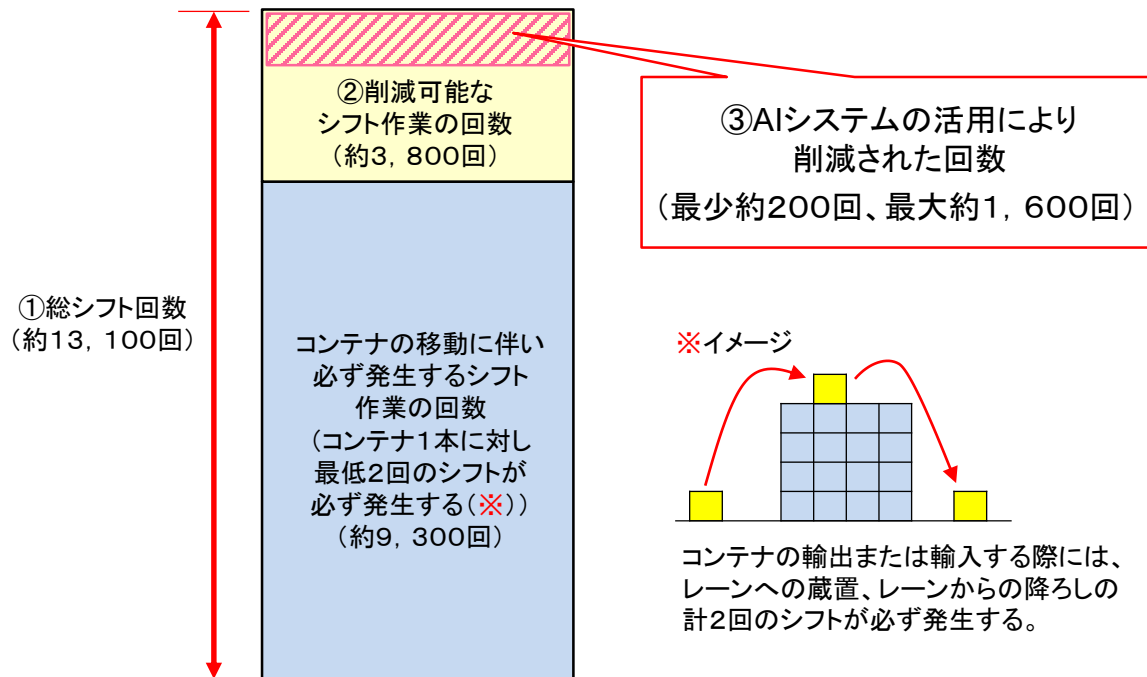
- AIシステムの活用により、6日間で約200回、1,600回のシフト削減効果が確認できた。  
(削減可能なシフト作業の回数である3,800回に対して、最少6%、最大42%の削減)
- 実際の荷役においては、翌日以降の本船積付作業を効率的に行うため、蔵置されているコンテナを並び替えるマーシャリング作業等が行われている。(AIシステムでは発生しない作業)
- AIシステムによってこれらの作業が不要となる場合に、上記の最大の削減効果となる。

### <検証期間とシフト回数>

検証期間	6日間
総シフト回数(実績)	約13,100回
削減可能なシフト作業の回数	約3,800回

### <削減効果>

	最大	最小
総シフト回数に対する削減回数の割合 (③/①)	12%	2%
削減可能なシフト作業の回数に対する削減回数の割合 (③/②)	42%	6%



## 令和4年度実証結果(実際のTOSと連携した効果検証)

- 令和4年度においては、ターミナルで使用されているターミナルオペレーションシステム(TOS)とAIを連携し、実際のオペレーションとAIを活用したオペレーションを同時並行で実施。
- AIシステムのプランニング速度等が実用に耐えられるか検証するとともに、令和3年度と同様に、実際の結果とAIシステムを活用したシミュレーション結果を比較した。
- 結果として、本来不要と考えられるシフト回数に対し、最少18%、最大83%の削減効果を確認した。

## 結果の概要

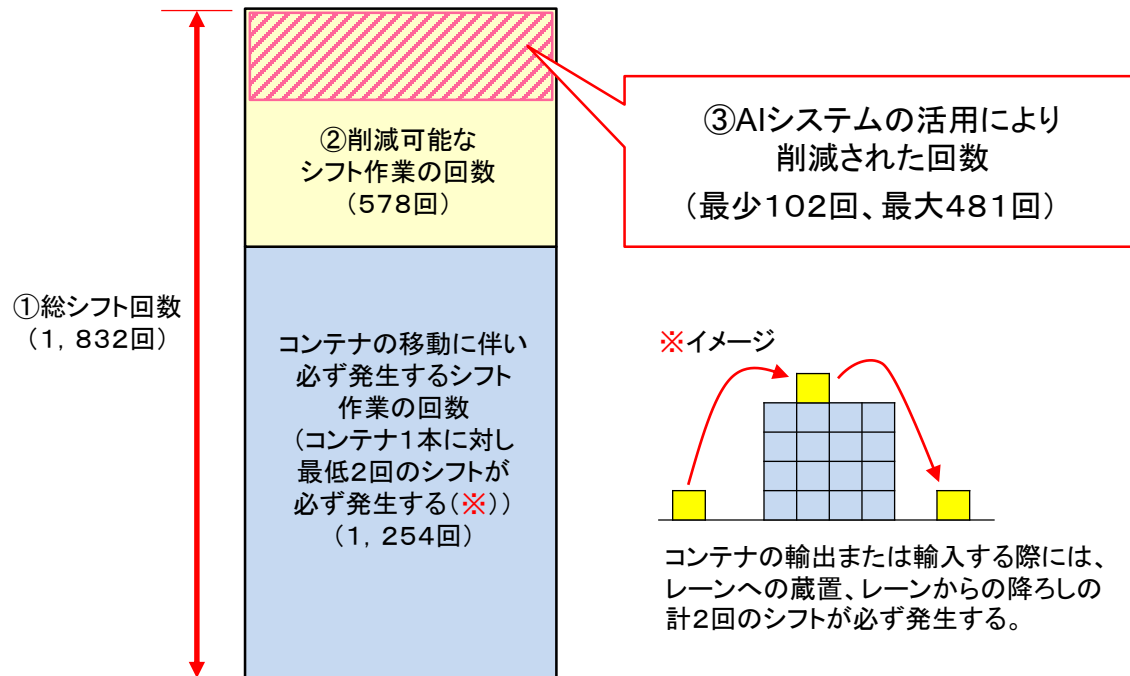
- AIシステムの活用により、5日間で102回、481回のシフト削減効果が確認できた。  
(削減可能なシフト作業の回数である578回に対して、最少18%、最大83%の削減)
- 実際の荷役においては、本船揚げの際の仮置きや、コンテナ搬出前に専用区画へ移動させる等の作業が行われている。  
(AIシステムでは発生しない作業)
- AIシステムによってこれらの作業が不要となる場合に、上記の最大の削減効果となる。

## &lt;検証期間とシフト回数&gt;

検証期間	5日間
総シフト回数(実績)	1, 832回
削減可能なシフト作業の回数	578回

## &lt;削減効果&gt;

	最大	最小
総シフト回数に対する削減回数の割合 (③/①)	26%	6%
削減可能なシフト作業の回数 に対する削減回数の割合 (③/②)	83%	18%



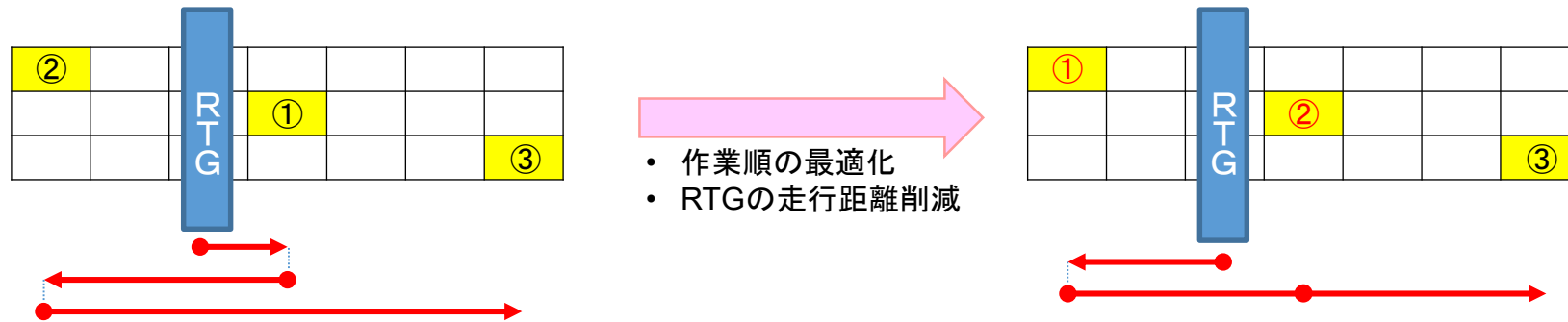
## その他の効果

- 荷繰り回数の削減のほかにも荷役機械(RTG※)の移動が最適化され走行距離なども削減される。
- また、それ以外にも、ターミナルオペレーターの作業負荷軽減といった定性的な効果も見込まれる。

※RTG ヤード内でコンテナを積み降ろす大型の門型クレーン

### 荷役機械(RTG)の走行距離等の削減

- ヤード内のコンテナの蔵置場所等を最適化することによって、それらコンテナを取り扱うRTGの動線の最適化にも繋がる。
- また、荷繰り回数の削減により、スプレッダーの移動等も削減される。



### その他定性的な効果

- オペレーターが作成している各種計画(蔵置計画のほか、本船積付の計画、ガントリークレーンの作業計画等)を、AIシステムが自動作成することで、計画作成に要するオペレーターの作業時間が削減される。
- システムの操作ミスや、蔵置ルールを順守していないなどの計画作成上のミスが削減される。
- 計画作成やオペレーションの判断には熟練の経験や知識が必要である一方、AIの活用により、これら熟練のオペレーターの確保が困難な場合にも、効率的なオペレーションが可能となる。

# (参考) AIシステムの導入による削減効果の最大・最少の考え方

- 荷役作業において、作業効率化の観点から、一旦ヤードに蔵置したコンテナを再度移動させる場合がある。
- 例えば、本船荷役を効率的に行うため、本船に積む予定のコンテナを岸壁近くのレーンや1か所に集約するなどの作業がある。
- 現場実証のために構築したAIシステムでは、これらの作業によって生じるコンテナの移動は考慮されない。
- AIシステムではこうした作業に伴う荷繰り回数が考慮されないため、削減効果の算出の際はこれらを考慮して計算を実施。

## 削減効果の算出にあたり考慮すべき荷繰り

- 以下の荷役作業については、基本的にその後の作業の効率化が目的であり、必須の作業ではない。
- AIシステムの活用により蔵置場所が最適化された結果、これらの作業が不要になる可能性がある一方、AIシステム導入後も更なる作業効率化のために引き続きこれらの作業が実施され、AIシステムを導入しても削減されない場合も想定される。

主な作業項目	内容
マーシャリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>本船積みを効率的に行うため、当該本船に積む予定のコンテナを岸壁近くのレーンや、同じ蔵置エリアに集約させる作業。</li> <li>その後の作業の効率化が目的であり、マーシャリングを行わないターミナルも存在する。</li> </ul>
搬出のための事前移動	<ul style="list-style-type: none"> <li>ターミナルによっては、コンテナの搬出が事前予約制となっている場合がある。</li> <li>また、ターミナル事業者とコンテナを輸送する陸運事業者が系列会社であり、各コンテナの引き取り日がある程度事前に分かる場合もある。</li> <li>こうした場合に、搬出作業を効率化するため、搬出予定のコンテナを予め決められた蔵置エリアに移動させる作業。</li> <li>マーシャリング同様、搬出のための事前移動を行わないターミナルも存在する。</li> </ul>
本船揚げの際の仮置き	<ul style="list-style-type: none"> <li>本船からのコンテナの陸揚げを速やかに行うため、本船揚げしたコンテナを一旦仮蔵置エリアに蔵置する作業。</li> <li>仮置きされたコンテナは、その後、本来蔵置したいレーンに再度移動することとなる。</li> <li>マーシャリング同様、本船揚げ時の仮置きを行わないターミナルも存在する。</li> </ul>

## 削減効果の算出

- 上記作業によって生じる荷繰り回数を、AIシステムによる削減対象とする場合は最大の削減効果となり、削減対象としない場合は最少の削減効果となる。

$$\text{削減効果(最大)} = \text{荷繰り回数(実際)} - \text{荷繰り回数(AI)}$$

$$\text{削減効果(最少)} = (\text{荷繰り回数(実際)} - \text{荷繰り回数(作業効率化)}) - \text{荷繰り回数(AI)}$$

