

# トレーラー到着日の事前情報を活用した コンテナヤードの荷役効率改善策

瀬木 俊輔<sup>1</sup>・二宮 保<sup>2</sup>・木本 浩<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 京都大学 経営管理大学院 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

E-mail: segi.shunsuke.6e@kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>博多港ふ頭株式会社 事業企画部 (〒813-0018 福岡市東区香椎浜ふ頭 4 丁目 2 番 2 号)

E-mail: t-ninomiya@hakatako-futo.co.jp

<sup>3</sup>博多港ふ頭株式会社 事業企画部 (〒813-0018 福岡市東区香椎浜ふ頭 4 丁目 2 番 2 号)

E-mail: h-kimoto@hakatako-futo.co.jp

コンテナターミナルにおいて、荷繰りを回避するように輸入コンテナを効率的に段積みすることは困難である。この理由の一つは、搬出トレーラのターミナルへの到着日時がオペレータに未知であることにある。博多港が開発した物流 IT システムである HiTS は、トラック運送業者がトレーラー到着予定日の事前情報を任意で提供することを可能にしており、博多港はこの情報を輸入コンテナの段積み効率化に活用している。この論文の目的は、このような HiTS の機能の有効性と移転可能性について議論することにある。この論文はまず、運送業者の利用の容易さという点において、HiTS が事前情報の入手手段として優位性を持つことを指摘する。その上で、実データとシミュレーションにより博多港の取組の効果を分析し、荷繰り回数が約 10%減少したという推定結果を示す。

**Key Words:** container yard, container stacking, container reshuffle (re-handle), IT system

## 1. はじめに

港湾のコンテナターミナルは、船舶による海上輸送とトレーラーによる陸上輸送を結ぶ交通の結節点であり、国際的なサプライチェーンを支える施設である。この施設の処理能力の不足は、ターミナルの混雑を引き起こし、サプライチェーン上のボトルネックを生み出す。船会社や荷主は、混雑に伴う物流費用やリードタイムの信頼性低下を敬遠することを鑑みれば、ターミナルの混雑防止は港湾の競争力を維持する上で重要である。ターミナル運営者や港湾管理者は船舶の接岸時間短縮の必要性は一般に認識しているものの、陸側のトレーラー混雑には低い関心しか示さないことが多い。しかし、トレーラー混雑の軽減も港湾の競争力向上のために重要であることが既存研究により示唆されている。Aronietis et al.<sup>1)</sup>は欧州の船会社へのインタビューを通じて、港湾競争力の評価基準に対する彼らの考え方を明らかにしている。彼らの調査によれば、背後圏への交通アクセスの品質は、交通費用に次ぐ第二の評価基準となっている。Wan et al.<sup>2)</sup>は合衆国を対象として、都市内道路の混雑が主要コンテナ港湾間の競争に与える影響を統計的に分析している。彼らの

分析は、港湾周辺の混雑の増加がその港の取扱量を減らし、ライバル港の取扱量を増やすことを示している。

コンテナターミナルにおいて、トレーラー混雑を引き起こすボトルネックとなり得る場所は二箇所存在する。一つはターミナルゲートであり、もう一つはコンテナヤードである。ターミナルゲートにおいては、トレーラーがターミナルへの入出許可を得るために、書類手続きやコンテナのダメージチェック等を受ける。コンテナヤードにおいては、トランスファークレーンやストラドルキャリア等の荷役機械が、コンテナ荷役(積卸)をトレーラーに対して行う。ヤード内の荷役の処理能力が十分に無い場合、処理し切れないトレーラーがヤード内やゲート外に行列を作ることになる。ここで注意すべきことは、ゲートの処理能力が十分に有っても、荷役の処理能力が低ければトレーラー混雑が発生しうることである。荷役の処理能力を増やすためには、荷役機械を増車するか、もしくはコンテナの段積みを効率化する必要がある。前者の手段は高額な資本費用と人件費を要することから、コンテナの段積みは出来る限り効率化されることが求められる。

コンテナは積み重ねることができ、そのために蔵置に必要な土地面積を節約できるという長所が存在する。し

かし、高段積みは荷役効率の観点からは問題をもたらす。下段のコンテナの取り出しを要求された際に、上段のコンテナを別の山に動かす必要が生じる。このような非生産的な作業は荷繰り（英語ではreshuffleやre-handle）と呼ばれる。荷繰りはコンテナ荷役のサービス時間の増加をもたらすため、コンテナを過度に高段積みすることはできない。効率的な段積み数は、土地面積の節約と荷繰りのトレードオフを考慮したものとなる<sup>3,4)</sup>。

次章のレビューで議論するように、トレーラにより搬出される輸入コンテナは、効率的な段積み最も困難な種類のコンテナである。その理由の一つは、搬出トレーラのターミナルへの到着日時がオペレータに未知であることにある。仮にオペレータが到着日時の情報を事前に得ることができれば、その情報を荷役効率の改善に利用することが可能となる。本研究はこのような情報の収集を可能にする手段として、博多港が開発した物流 IT システムである HiTS (Hakata Port Logistics IT System) に着目する。このシステムの主要な機能はターミナルゲートにおけるトレーラ受付時間の短縮にあるが、副次的な機能として、トラック輸送業者がトレーラの到着予定日をウェブ経由で事前入力することも可能にしている。この事前入力は義務ではないものの、50%以上の搬出トレーラが到着日を事前に報告している。さらに、報告した予定日を遵守するトレーラの割合は90%以上に達する。博多港はトレーラ到着予定日の事前情報をコンテナの段積み効率化に活用しており、後に見るように、この取組は輸入コンテナの荷繰り回数を約10%削減したと推定される。

この論文の目的は、コンテナヤードの荷役効率を改善する HiTS の機能の有効性とその移転可能性について議論することにある。筆者らの知る限り、コンテナ荷役の効率化の観点からこのような IT システムの利点について議論した研究は見当たらない。以下、2. ではコンテナの出発時刻の事前情報を活用してコンテナ段積み効率化に関する既存研究をレビューする。3. では HiTS の開発経緯と特徴、その他のターミナルへの移転可能性について議論する。その際、トレーラ到着日時の事前情報の代替的な入手手段としてターミナル予約システム (Terminal Appointment System, 以下 TAS と略す) を取り上げて HiTS と比較を行い、トラック運送業者の利用の容易さという点において HiTS が優位性を持つことを指摘する。4. では博多港におけるトレーラ到着予定日の事前情報活用の効果を、荷役作業の実データに基づき定量的に分析する。5. ではコンテナ段積みの単純なシミュレーション分析を行い、より一般的な状況における事前情報活用の有効性を確認する。

## 2. 既存研究のレビュー

コンテナの出発時刻の事前情報を活用してコンテナ段積み効率化に関する既存研究のほとんどは、輸出コンテナとトランシップコンテナを対象としている。ターミナル運営者はこれらのコンテナを積み込む船の到着日時を事前に知ることができる。さらに、コンテナを船に積み込む順序は、コンテナ船の積付計画表によって事前に定められている。ヤード運営者はこれらの事前情報を活用し、荷繰り回数を最小化するようにコンテナをヤード内に効率的に蔵置できる。具体的には、先に取り出されるコンテナを、後に取り出されるコンテナの上に蔵置するようにすれば良い。このような事前情報活用の有効性は多くの理論研究で確認されている。Kim et al.<sup>5)</sup>は、輸出コンテナの蔵置位置を決定する動学的最適化問題を定式化している。Kim and Hong<sup>6)</sup>と Caserta et al.<sup>7)</sup>は、コンテナを荷繰りする際に、荷繰ったコンテナの蔵置先を決定する最適化問題を解いている。いくつかの研究は、自動化ターミナルにおける事前情報活用の有効性を、離散イベントシミュレーションを用いて確認している<sup>8-10)</sup>。Borgman et al.<sup>10)</sup>はこのような分析により、仮に出発時刻の事前情報にノイズが存在し情報が不正確だとしても、情報の活用がコンテナの荷役効率を有意に改善すると結論を得ている。出発時刻の事前情報は、コンテナが蔵置された事後においても有用である。なぜなら、船の正確な到着日時が明らかになった際に、その船に積み付けるコンテナを効率的に蔵置し直し、本船荷役の際の荷繰りを回避できるためである<sup>11)</sup>。

輸出コンテナは出発時刻の事前情報に加えてもう一つ、段積み効率の観点から好ましい性質を持っている。それは、コンテナが同じ属性を持つ（具体的には、積み付け船舶、目的地の港、重量とサイズが同じ）限りにおいて、コンテナの取り出し順序が可換であることである。同じ属性のコンテナは、どれだけ高く積み重ねても荷繰りを起こさない。我が国では見られないが、同じことは鉄道やはしけで輸送される輸入コンテナにも当てはまる。この種のコンテナの取り出し順序も、目的地の貨物駅や内陸港湾が同じ限り可換となる。Decker et al.<sup>12)</sup>は同じ属性のコンテナを積み重ねる戦術の有効性をシミュレーションにより確認している。

荷繰りが最も問題となるのは、トレーラで搬出される輸入コンテナである。この種のコンテナの搬出日時や取り出し順序は一般にターミナル運営者に未知である上に、取り出し順序を入れ替えることもできない。そこで、搬出トレーラの到着日時の事前情報を入手し、輸入コンテナの段積み効率の改善に活用することが考えられる。van Asperen et al.<sup>13)</sup>は仮想的な自動化ターミナルの離散イベントシミュレーションを用いて、トレーラ到着時刻の事

前情報がコンテナの段積み効率に与える影響を分析している。彼らは事前情報を二つの方法で活用している。第一に、トレーラが到着時刻を事前に報告すると、そのトレーラが搬出するコンテナの上にはコンテナが蔵置されなくなる。第二に、アイドル（受付作業が無い状態）中の荷役機械があると、その荷役機械は報告されたコンテナの上に蔵置されているコンテナの荷繰りを行う。彼らの分析によれば、段積みが単純なルールに従い行われている場合に、事前情報はコンテナの荷役効率を有意に改善する。しかし、コンテナの平均ヤード内滞留時間を用いて搬出時刻を予測するルールが採用されている場合には、事前情報は荷役効率を有意に改善しないとの結果も示されている。この結果が生じた理由は、彼らのシミュレーションにおいて、コンテナ滞留時間の標準偏差（1.8 日）が平均値（4.6 日）に比べて小さく、トレーラ到着時刻の事前情報が無くとも搬出時刻を精度良く推定できたためだと考えられる。したがって、滞留時間の分散がより大きい港においては、仮に平均ヤード内滞留時間を用いたルールが採用されているとしても、事前情報が荷役効率を有意に改善すると考えられる。さらに、彼らの設定したターミナルでは、最大の積み段数が 3 段となっていることに注意する必要がある。これは土地面積が限られている港湾の一般的な設定よりも低い。例えば我が国の主要港湾では 4 段積みが一般的である。

トレーラ到着日時の事前情報の潜在的価値は、コンテナ船の大型化に伴い増加していると考えられる。コンテナ船の平均サイズは直近の 10 年で 2 倍近くに増加している<sup>14)</sup>。大型船は一度に積卸されるコンテナの量を増やすため、より大きいコンテナ蔵置容量がターミナルに求められる。したがって、オペレータはヤードを拡張するか、鉄道やはしけへのモーダルシフトを促さない限り、コンテナを高段積みせざるを得ない。コンテナが高段積みされる程、トレーラ到着日時の事前情報を活用した荷役効率改善の価値は高まると考えられる。

筆者らの知る限り、van Asperen et al. はトレーラ到着時刻の事前情報がコンテナの段積み効率に与える影響を議論した唯一の文献である。しかし、事前情報を入手する手段は彼らの研究では関心の対象外となっている。彼らは TAS が利用可能であると考えて分析を行っている。

### 3. HiTS の開発経緯、特徴、移転可能性

2016 年現在、博多港では 2 つのコンテナターミナルが供用されている。一つは香椎パークポートコンテナターミナル(KCT)であり、もう一つはアイランドシティコンテナターミナル(ICCT)である。年間のコンテナ取扱量は前者が 320,000 TEU、後者が 490,000 TEU である（2014 年

度実績）。HiTS は両ターミナルの埠頭運営会社である博多港ふ頭株式会社によって開発された。本章では、HiTS の開発経緯と特徴、その他のターミナルへの移転可能性について議論する。

#### (1) HiTS の開発経緯

HiTS の開発目的と主要な機能は、ターミナルゲートにおけるトレーラ受付時間の短縮にある。トレーラ到着予定日の事前情報入力機能は副次的な機能であり、その便益もゲートの受付時間短縮に比べて小さいことに注意する必要がある。

ICCT がまだ未供用であった 1990 年代後半、KCT の取扱貨物量の急速な増加が深刻なトレーラ混雑を起し、渋滞の総延長は公道上を含め 2-3km に及んだ。博多港ふ頭は混雑を軽減するために、荷役機械の増車、ゲート受付時間の延長、ヤードの拡張等の対策を講じたが、どれも十分な成果を上げることはできなかった。

博多港ふ頭が綿密な調査を行ったところ、一部のトレーラが搬出許可の下りていない輸入コンテナを搬出しようとしてゲート内で長時間立ち往生しており、これが混雑を悪化させていることが判明した。輸入コンテナの搬出が許可されるためには、荷主は様々な手続きを経る必要がある。具体的には、通関、船会社への運賃支払い、D/O（荷渡指図書）のターミナルへの差し入れである。フリータイム（ターミナルにコンテナを無料で置いておける期間）を過ぎていた場合には船会社にコンテナデマレッジ（罰金）を支払う必要もある。一部の荷主はこれらの手続きを完了せずに輸入コンテナの搬出をトラック運送業者に依頼していた。これらのトレーラの携行する書類には不備があることから、Motonon et al.<sup>15,16)</sup> はこれらのトレーラを書類不備車(improper document trailers, IDT)と呼んでいる。また、シャーシサイズの間違いによりコンテナの搬出が不可能なケースも見られた。調査結果に基づき、博多港ふ頭は HiTS の第一バージョンを開発し、2000 年に供用を開始した。このバージョンが持つ機能は、携帯電話や PC 等のウェブ端末を用いて、運送業者が輸入コンテナの状態（搬出の可否やサイズ）を確認することを可能にするものであった。このシステムの導入により、渋滞は劇的に解消された。以上の経緯をまとめると、KCT におけるトレーラ混雑のボトルネックはコンテナヤードではなくターミナルゲートであり、HiTS は書類不備車を除去してゲートの処理能力を増やすことによって渋滞を解消したと言える。

ICCT の供用が始まった 2003 年、博多港ふ頭は第二バージョンにアップデートされた HiTS の供用を開始した。このバージョンの HiTS は新機能として、ターミナルゲートにおいてトレーラが要求される情報を、事前に運送業者が入力できる機能を導入した。この事前情報入力機

能は輸入コンテナ・輸出コンテナの双方を対象としている。事前入力が義務付けられている情報はコンテナ番号のみである。その他の情報の事前入力は任意であり、運送依頼先、トレーラヘッドの ID、コンテナの搬出先、そしてコンテナの搬出入予定日（すなわち、トレーラの到着予定日）の入力が可能である。この機能はゲートクレーンが情報を入力する時間を節約し、ゲート受付時間を短縮した。コンテナの状態確認機能と事前情報入力機能によって、HiTS の導入前に平均 4 分であったゲート受付時間は平均 1 分まで短縮された。2016 年現在、博多港ではトレーラの混雑問題は生じていない。

HiTS の主要な機能であるゲート受付時間短縮とゲート前混雑軽減の効果については、Motono et al.<sup>15,16</sup>が詳細な議論と分析を行っている。それに対して、この研究は HiTS の副次的な機能であるトレーラ到着予定日の事前情報入力機能に関心がある。

## (2) TAS と比較した HiTS の特徴

TAS とは、時間帯毎に有限の予約枠を設定し、この枠を予約したトレーラのみターミナルへの入庫を認めるシステムである。ピーク時間の予約枠はすぐに埋まるが、オフピーク時間の予約枠には空きが生じるため、ピークの平準化を促すことができる。これによりトレーラ混雑の解消が図られる。成功した TAS の事例は予約を義務化していることが多く、カナダの Vancouver 港、イギリスの Southampton 港、オーストラリアの Botany 港が義務型の TAS を採用している<sup>17,18</sup>。任意型の TAS も存在し、その場合は予約したトレーラに対して専用のゲートレーンが用意される等の優遇策が取られる。TAS はその性質上、トレーラにターミナルへの到着時刻を事前に報告させる機能を内包している。

TAS も HiTS と同様に、その導入目的はトレーラ混雑の軽減にあり、トレーラ到着時刻の事前報告は副次的な機能に留まる。HiTS と TAS の違いは、目的を達成するための手段にある。HiTS は書類不備車の除去やゲートクレーンの情報入力時間の節約を通じて、ゲートの処理能力を高めることによって混雑を軽減する。TAS はトレーラ交通量をピーク時間からオフピーク時間へとシフトさせることによって混雑を軽減する。

導入を成功させることが可能であれば、TAS は HiTS よりも広い状況で混雑軽減の効果を発揮する。1. で述べたように、トレーラ混雑はターミナルゲートか、もしくはヤード荷役の処理能力の不足により生じる。TAS はどちらがボトルネックであっても機能するが、HiTS はゲートがボトルネックである場合にしか機能しない（トレーラ到着日時の事前情報による荷役効率改善はここでは考えない）。さらに、ターミナル運営者に提供されるトレーラ到着日時の単位は TAS の方が HiTS より細かい。

TAS は時間の単位であるのに対して、HiTS は日の単位である。TAS が義務型である場合には、全てのトレーラについて到着時刻の事前情報が手に入り、情報をより有益に活用できる。

### a) TAS の狭い予約枠

ただし、TAS は導入を成功させることがより難しいと考えられる。合衆国の LALB 港の複数のターミナルにおいて採用された任意型の TAS は一般に失敗事例として取り上げられている<sup>17,19,20</sup>。これらのターミナルにおける予約を行ったトレーラの割合は小さく、TAS は混雑の軽減に寄与しなかったと考えられている。Giuliano and O'Brien<sup>19</sup>は予約を行ったトレーラに対する優遇策の欠如をこの失敗の原因として挙げている。しかし、予約を行ったトレーラ専用のレーンを設けたターミナルにおいても、TAS は混雑の軽減に失敗している。Morais and Lord<sup>17</sup>はトラック運送業者が 24 時間前に狭い枠を予約する困難を指摘している。トレーラのターミナルへの到着時刻を事前に予測するためには、その日に計画されている他の輸送トリップや、混雑した道路上の旅行時間を考慮に入れなければならない。時間の単位で到着時刻を事前に予測することは運送業者自身すら困難である。この困難のために、運送業者は TAS を利用しないか、予約キャンセルや予約違反を行うことになる。

Morais and Lord<sup>17</sup>は北米における TAS の成功事例（Vancouver 港等）に基づき、TAS は成功のために柔軟である必要があると議論している。具体的な方策としては、(a) キャンセルを認める、(b) キャンセルされた枠の予約を再度受付する、(c) (24 時間前ではなく) 直前の予約も受付する、(d) 予約のキャンセルや違反に対する罰金、(e) 電話による予約の受付、等である。これらの方策は北米外の TAS の成功事例においても採用されている。Southampton 港は上記方策を全て採用している。Botany 港は(a) - (d)を採用している。また、Botany 港と Southampton 港はターミナルの近くにトラックの待機所を整備し、予約時間より早く到着したトレーラがそこで待機することを可能にしている<sup>18</sup>。これらの方策は、狭い枠を予約・遵守する運送業者の困難を解決することが、TAS の成功に必要なことを示していると言える。

### b) HiTS のトラック運送業者への低いハードル

トラック運送業者にとって、HiTS の利用は TAS よりも容易であると考えられる。唯一の義務はコンテナ番号を事前に入力することのみである。この作業を通じて、運送業者はコンテナの搬出可否の情報を知ることができ、搬出不可能なコンテナの搬出に向かう無意味なトリップを防ぐことができる。また、ほとんどの運送業者はゲート受付時間を短縮するために、ゲートで求められるその他の情報の事前入力も行っている。受付時間の短縮も運送業者に直接的な便益をもたらす。これらの便益は運送

表-1 TAS と HiTS の比較

	TAS	HiTS
混雑軽減の手段	・ トレーラ交通のピーク時間からオフピーク時間へのシフト	・ ゲート受付時間の短縮
システム利用者の直接的な便益	・ 予約を遵守する限り確実に混雑に巻き込まれない	・ コンテナ搬出可否の情報 ・ ゲート受付時間短縮
ゲート受付がボトルネックの場合の有効性	・ 有り	・ 有り
ヤード荷役がボトルネックの場合の有効性	・ 有り	・ 無し 注：トレーラ到着日の事前情報による荷役効率改善は考えない
システムの有効性が高い状況	・ 荷主とターミナル間の旅行時間信頼性が高い	・ 書類不備車の割合が高い
到着日時の子約・報告の精度	・ 時間単位	・ 日単位
トラック運送業者による到着日時の事前子約・報告義務	・ ターミナルによるが、成功事例では義務であることが多い	・ 任意 ・ 報告を義務化したシステムを考えることも可能（清水港 VAN）
到着日時の子約・報告の違反に対する罰金	・ ターミナルによるが、成功事例では導入していることが多い	・ 無し

業者が自発的に到着予定日を報告する一因であると考えられる。既に様々な情報を入力している以上、それに追加して到着日を入力する手間は心理的に許容できるものになると考えられる。自発的な到着日報告のもう一つの重要な要因は、到着日を事前に決めることは、到着時刻を事前に決めることより容易であることにあると考えられる。運送業者は荷主との契約を守るために、その日の内に行う輸送トリップの計画を確実に実行しなければいけない場合があり、この場合は到着日を事前に定めることは容易である。また、後に述べるように、到着日の事前報告を行ったトレーラへの荷役の際の荷繰りは有意に少なく、この差は運転手にも認識できるものであることも事前報告の一因として考えられる。

#### c) トレーラ到着日事前報告の任意性

HiTS におけるトレーラ到着日の事前報告は義務ではない。これは運送業者の負担の観点からは好ましいものの、到着日を報告するトレーラの割合を減らし、事前情報の有用性を低下させる。事前情報のヤード荷役への活用手段の一つである「事前荷繰り」のためには、到着日の 100%の報告率が必要となる。本論文において、事前荷繰りとは、搬出を報告されたコンテナの上に蔵置されているコンテナをトレーラの到着前に荷繰っておく作業として定義される。オフピーク時間や夜間に荷役機械はアイドル状態の時間があるため、この時間を利用して事前荷繰りを行える<sup>19)</sup>。4. で議論するように、事前荷繰りは報告率が 100%未満の際には有害になる可能性がある。

HiTS におけるトレーラ到着日の事前報告の任意性については二点注意を述べる必要がある。第一に、4.5. において議論するように、仮に報告率が 100%未満であるとしてもなお、事前情報は荷役効率の改善に活用できる。

第二に、HiTS と同様のシステムを採用し、到着日の事前報告を義務化することも可能である。実際、清水港はそのようなシステムである清水港 VAN の運用に成功している。清水港では、トレーラがターミナルに入構するためには、運送業者が到着日を一日前までに報告する必要がある。清水港は限られたヤード面積の中でヤード運営を行うために、当日に搬出されるコンテナを事前に一ヶ所に集める作業を行っている。ただし、この論文では清水港の詳細な取組については議論しない。

#### d) TAS と HiTS の両立可能性

ここまで議論されてきた TAS と HiTS の特徴を表-1 にまとめる。この表は二重線によって二つの部分に分けられている。上部は混雑軽減効果に関係した特徴をまとめており、下部はトレーラ到着日時の子約・報告に関する特徴をまとめている。TAS の場合は上部と下部の特徴は密接に結びついている。他方、HiTS の場合はその結びつきは弱いものである。HiTS の列の上部は、HiTS の主要な機能であるゲート受付時間の短縮の特徴を示しており、下部は副次的な機能であるトレーラ到着日の事前報告機能の特徴を示している。

ゲート受付時間の短縮効果と TAS は両立可能であることに注意する必要がある。事実、New Orleans 港の Gate Entry Management (GEM) システムと Georgia 港の WebAccess システムは TAS であるが、ゲート受付時間の短縮効果も兼ね備えている。これらのシステムは、運行管理者が枠の子約を行うことに加えて、ゲートで要求される情報をウェブ経由で事前入力することも可能にしている<sup>20)</sup>。WebAccess システムは顧客がコンテナの搬出可否を確認する機能を備えている。これらのシステムはトレーラ交通流を円滑化し、ターミナルのスループットを増加させ

たと報告されている。

**(3) HiTS の移転可能性**

TASはより広い状況において有効に機能するものの、トラック運送業者の反対が強い場合には必ずしも導入可能ではないと考えられる。特に、道路混雑等のために、荷主とターミナル間の旅行時間信頼性が低い場合には、運送業者の反対は強くなると考えられる。旅行時間の予測が困難である場合、運送会社は狭い予約枠を遵守することが困難になる。仮にトレーラの待機所が整備されたとしても、旅行時間の不確実性が高ければ、かなりの余裕を持ってターミナルに向けて出発する必要がある。その結果、許容できないほど長時間の待機時間が必要となる可能性がある。

ゲート受付時間の短縮効果を持つ HiTS と同様のシステムは、TASの導入が困難な状況においても導入できる可能性がある。既に議論したように、運送業者にとって HiTS 利用のハードルは TAS よりも低い。したがって、ゲートがボトルネックであるターミナルにおいては、HiTS と同様のシステムの採用を検討する価値はある。そのようなシステムの導入に一旦成功すれば、ターミナル運営者はそのシステムにトレーラ到着日の事前報告機能を導入することができる。この機能は運営者にヤード荷役の効率改善に活用可能な情報を提供することが期待される。また、清水港のように事前報告を義務化することも可能である。4.(5)で議論するように、事前報告の義務化は事前荷繰りの実施を可能にし、荷役のサービス時間を大きく減らすことが期待できる。これはヤード荷役がボトルネックとなっている際にも有用である。

**4. HiTS のヤード荷役改善効果**

本章では、ICCTにおける荷役作業の実データに基づき、HiTS のヤード荷役改善効果を分析する。このデータは2015年11月5日-11日の6日間にかけて収集されたものである。11月8日は日曜日でありゲートが開いていないため、この日のデータは含まれない。

**(1) 報告率と遵守率**

この6日間では2622本の実入り輸入コンテナが搬出された。表-2には、HiTSによってトレーラ到着日が事前報告された実入り輸入コンテナの数が示されている。報告は義務ではないものの、53.5%のトレーラが到着日の事前報告を行っている。報告を行うトレーラのほとんどは前日までに報告を行っている。到着日の事前情報は早い時期に入手できるほど有用であるから、前日までの報告が多いことは好ましい傾向である。

表-2 トレーラ到着日が事前報告された実入り輸入コンテナの数 (2015年11月5日-11日)

報告無し	前日までに報告	当日報告	総計
1219 (46.5%)	1234 (47.1%)	169 (6.4%)	2622 (100%)

表-3 事前報告の遵守率 (2015年11月5日-11日)

	遵守	違反	総計
前日までに報告	1234 (92.6%)	98 (7.4%)	1332 (100%)
当日報告	169 (81.3%)	39 (18.7%)	208 (100%)
全報告	1403 (91.1%)	137 (8.9%)	1540 (100%)

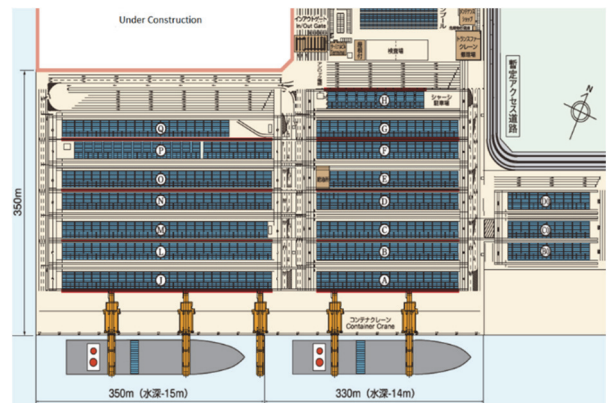


図-1 ICCTのターミナルレイアウト (2015年時点)

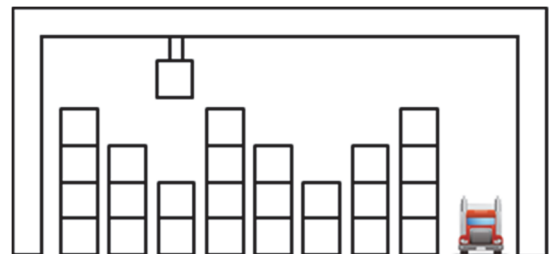


図-2 ICCTにおける一つの yard-bay

表-3は事前報告の遵守率を示している。違反は事前報告のキャンセルを含む。事前報告の総数が表-2よりも多いが、これは表-2が遵守された事前報告のみを掲載していることによる。違反の割合は小さく、1540の総報告数のうち、1403の報告が遵守されている（遵守率は91.1%）。前日までの報告についても、92.6%の遵守率が実現されている。この結果は、事前報告された到着予定日を運送業者が守ることはさほど難しくないと示していると言える。違反された報告が137あるが、これらは全て報告された到着予定日の翌営業日に到着している。これはゲート時間の終了間際にターミナルに到着しようとしたものの失敗したトレーラが、翌営業日にターミナルに来ているものと考えられる。

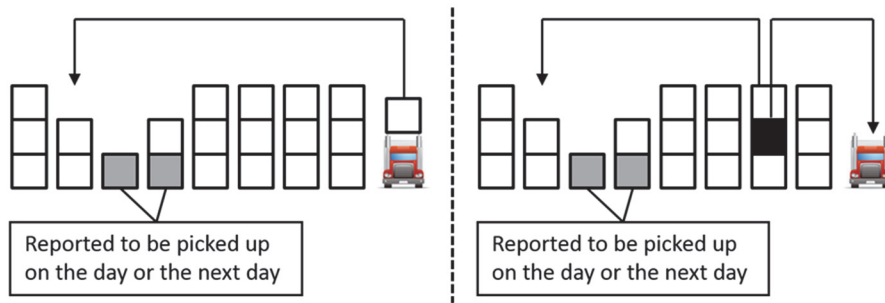


図-3 事前情報の荷繰り回数削減への活用

表4 実入り輸入コンテナの搬出時平均荷繰り回数 (2015年11月5日-11日)

	サンプル数	荷繰り回数総計	平均荷繰り回数	p値
報告無し	1219	1190	0.976	—
前日までに報告	1234	898	0.728	<0.01%
当日報告	169	145	0.858	8.4%
総計	2622	2233	0.852	—

(2) トレーラ到着日事前情報の荷繰り削減への活用

ICCTではRTG(Rubber Tired Gantry Crane)型のトランスファークレーンが荷役機械として使用されている。図-1にICCTのヤードレイアウトを示す。ヤードには18のコンテナ蔵置レーンがあり、各レーンは20から30のyard-bayで構成されている。図-2に示すように、各yard-bayは8 rows 4 tiersである。yard-bayとはコンテナを蔵置するスロットの一塊である。8 rows 4 tiersとは、一つのbayは8列までコンテナを蔵置でき、一つの列には4段までコンテナを積めることを意味する。RTGを利用するターミナルにおける一般的な設定は6 rows 4 tiersであるから、ICCTでは一般的な設定よりも列数が多いことになる。ICCTの総蔵置容量は19,264TEUである。

博多港では、ターミナル運営者がトレーラ到着日の事前情報を荷繰りの削減に活用している。具体的な削減の方策は、当日・翌日に搬出予定があるコンテナの上にはコンテナを置かないようにすることである。例えば、図-3の左側の図に示すように、bayに新たに輸入コンテナが蔵置される際には左から2番目の列にコンテナが蔵置される。左から3番目と4番目の列には当日・翌日に搬出予定のあるコンテナが蔵置されている(灰色のコンテナとして示されている)ため、これらの列へのコンテナの蔵置は回避される。残りの列の中で最も段数が低いのは左から2番目の列であるため、この列にコンテナが蔵置される。段数の高い列にコンテナを蔵置すると荷繰りの可能性が高まるため、当日・翌日に搬出予定があるコンテナが無い限り、出来る限り低い段数の列にコンテナを蔵置することが好ましい。同様の理由で、図-3の右側の図の黒いコンテナが搬出される際、その上のコンテナは左から2番目の列に移動される。

この荷繰り削減方策は二つの長所を持つ。第一に、こ

の方策はトレーラ到着日の報告率が100%未満でも利用できる。第二に、この方策は既存のヤード運営戦略を変えることなく導入が可能である。オフピーク時間や夜間に追加的な作業を行う必要は無い。

博多港では事前情報の事前荷繰りへの活用は行われていない。これは事前荷繰りが有害となり得るためである。図-3を例に取れば、左から4番目の列の上段のコンテナを事前荷繰りして左から2番目の列に移動することは好ましいように思われる。しかし、左から2番目の列には当日搬出される未報告のコンテナが含まれているかもしれない。この場合、事前荷繰りは荷繰り回数を増やすことになってしまう。このような状況を避けるためには、前日までの報告率を100%にする必要がある。博多港ではこの割合は47.1%であるため、事前荷繰りを行うことはできない。

(3) 事前情報活用による荷繰り回数削減の効果

博多港においてトレーラ到着日の事前情報を荷繰りの削減に活用し始めた時点以前の荷役データは入手できない。そのため事前事後の比較分析は不可能である。その代わりに、「事前報告の有るコンテナの荷繰り回数」と「事前報告の無いコンテナの荷繰り回数」を比較することによって、荷繰り削減方策の効果を分析する。

表4は分析対象の6日間における実入り輸入コンテナの搬出時の荷繰り回数を纏めたものである。前日までに搬出報告のあるコンテナの平均荷繰り回数は報告の無いコンテナよりも0.248回少ない。この差は0.01%水準で統計的に有意な差である。この差を認識できると報告している運転手も存在する。他方、当日に搬出報告されたコンテナの荷繰り回数と報告の無いコンテナの荷繰り回数には5%有意の差は無かった。この理由は報告のタイミ

ングが遅いために、情報の活用機会が限られることにあると考えられる。

表4に示された結果は、トレーラ到着日の事前情報が総荷繰り回数を削減するのに有効であることを示しているとは言い切れない。博多港の荷繰り削減方策は、搬出報告の有るコンテナの上にコンテナを蔵置することを避けようとする。その結果、報告の無いコンテナの平均荷繰り回数は増えうる。

しかし、5.のシミュレーション結果によれば、この増加は0.028回と僅かなものであることが示唆されている。したがって、荷繰り削減方策が行われていないと仮定した場合の平均荷繰り回数は約0.948回(=0.976-0.028)であったと推定される。この推定に基づけば、荷繰り削減方策が行われていないと仮定した場合の6日間の総荷繰り回数は2486.2回(=0.948\*2622)であったと推定される。したがって、荷繰り削減方策は6日間の総荷繰り回数を253.2回(=2486.2-2233, 10.2%)減らしたと推定される。次節で見るように、ICCTでは荷繰りを1回行うのに約76.5秒を要する。したがって、253.2回の荷繰り回数の削減は、5.38時間(=76.5\*253.2秒)のRTGの稼働時間、操作者の運転時間、そして搬出トレーラの待ち時間を節約したと推定される。この数字は小さいものであるが、事前情報を得るのに必要な費用と比較すれば価値の有るものであると言える。

#### (4) 事前情報活用による荷役効率改善の効果

次に、事前情報活用による荷繰り回数の削減効果を荷役効率の改善効果に変換することを試みる。本論文では、RTGが輸入コンテナをトレーラに積載する荷役を行うのに要するサービス時間(作業の開始から完了までに要する時間)を荷役効率の指標として考える。このサービス時間の逆数は1台のRTGが単位時間に行える荷役回数の上限となる。

トランスファークレーンの場合、輸入コンテナをトレーラに積載する荷役は以下の3つの部分に分けられる。

(i)搬出を要求されたコンテナの蔵置場所に移動する、(ii)要求されたコンテナの上にあるコンテナを荷繰る、(iii)要求されたコンテナをトレーラに積載する。荷役のサービス時間は、これらの3つの作業に要する時間の和として表される<sup>3)</sup>。

$$T_S = T_M + nT_R + T_L \quad (1)$$

ここで、 $T_S$ は荷役のサービス時間である。 $T_M$ は(i)の作業の平均時間である。 $n$ は平均荷繰り回数である。 $T_R$ は荷繰りを1回行うのに要する平均時間である。 $T_L$ は(iii)の作業の平均時間である。6日間の荷役作業のデータより、 $T_M$ は115.6秒、 $T_R$ は76.5秒、 $T_L$ は107.6秒と推定された。

表4より、 $n$ は0.852回である。事前情報を活用した荷繰り削減方策が無ければ $n$ は0.948回であったと推定された。

したがって、事前情報を活用した方策は $T_S$ を295.7秒から288.3秒に減らしたと推定される。言い換えれば、1台のRTGが単位時間に行える荷役回数の上限を2.56%増やしたと推定される。この数字はやはり小さいものであるが、事前情報を得るのに必要な費用と比較すれば価値のあるものであると言える。

#### (5) 事前荷繰り実施の潜在的効果

博多港では、前日までに搬出日の報告を行うトレーラの割合は100%に満たないため、事前荷繰りを行うことはできない。しかし、仮に事前荷繰りが可能だと考えた場合の荷役効率改善効果について考察しよう。

事前荷繰りの有効性は荷役機械のアイドル時間に依存する。荷役機械が常にトレーラ荷役や本船荷役のために稼働している場合、事前荷繰りは不可能である。ICCTにおける荷役作業のデータによれば、6日間のゲート時間におけるアイドル時間の総計は137.6時間である。この数字を $T_R$ で割ると、6477回の荷繰りを行う時間に相当することがわかる。これは表4に示された6日間の総荷繰り回数(2233回)よりも多い。言うまでもなく、これは過剰推定である。137.6時間には数秒間のような短いアイドル時間も含まれている。アイドル時間の一部はRTGの操作者の小休止に使われる必要がある。早朝に搬出されるコンテナの場合、前日までに提供された搬出予定日の情報を基に事前荷繰りを行うことは難しい。各RTGには担当のレーンがあり、その他のレーンの荷繰りのために自由に移動することはできない。これらの理由のため、事前荷繰りに利用可能な実質的なアイドル時間はずっと少ないと考えられる。それでもなお、事前荷繰りは大きい効果をもたらす可能性がある。仮に6日間の間に事前荷繰りを1000回行うことができれば、搬出時の平均荷繰り回数は0.381回減少する。これは輸入コンテナの搬出荷役の効率を10.9%改善する。

事前荷繰りは自動化ターミナルにおいてより有効であると考えられる。荷役機械は自立的に荷繰りを行うことが可能であるため、夜間のアイドル時間を事前荷繰りに活用できる。ヤード面積に制約があり、コンテナの滞留時間の分散が大きいような自動化ターミナルにおいては、HiTSやTASのようなITシステムを導入し、トレーラ到着日時的事前予約・報告を義務化することを積極的に検討しても良いと考えられる。

### 5. トレーラ到着日の事前情報活用の有効性を評価するためのシミュレーション分析

本章では、コンテナの段積みシミュレーションの単純な手法を提示する。その上で、この手法を用いて4.の議



論で用いたいくつかの数字を導く。さらに、より一般的な状況におけるトレーラ到着日の事前情報活用の有効性についても検証する。

### (1) シミュレーション手法

このシミュレーションは、図-2に示したような一つの yard-bay のみを対象とする。ターミナルにおけるその他の作業は無視する。この前提条件により、詳細なヤードレイアウトやヤード運営戦略の情報をいわずにシミュレーションを行うことが可能となる。荷役機械にはトランスファークレーンが利用されると考える。一つの bay は 4 tiers から成り、row の数は外生的に与えられる。

対象の bay に蔵置されるコンテナは全て輸入コンテナであると考え。ゲート時間中、蔵置されているコンテナはトレーラによって確率的に搬出されていく。この不確実性は、コンテナの滞留時間  $d$  に関する外生的な確率密度関数  $f(d)$  を用いて表される。一日のゲート時間の終了時点において、bay 内に翌日に搬出されるコンテナが蔵置されている場合には、この情報が確率的にヤード運営者に報告される。個々のコンテナが情報を報告する確率  $p$  は外生的に与えられる。一日のゲート時間の開始時点で bay 内に蔵置されているコンテナ数  $N$  は外生的に与えられ、毎日一定であると考え。また、ゲート時間中にはコンテナが新たに bay 内に蔵置されることはないと考え。そのために、一日のゲート時間に  $X$  本のコンテナが搬出された場合、ゲート時間の終了後に  $X$  本の新たなコンテナが蔵置されると仮定する。この仮定は bay 内の平均的なコンテナ数と荷繰り回数の関係进行分析するために置かれる。

上記の仮定の基で、シミュレーションは以下の手順に従い行われる。(1)  $p, N, f(d)$  を設定する;(2)  $N$  本のコンテナを bay に蔵置し、 $f(d)$  に基づき各コンテナの滞留時間を割り当てる(初期状態の設定);(3) 一日のゲート時間を開始し、割り当てられた滞留時間に基づきコンテナを搬出していく;(4) 一日のゲート時間の終了時点において、翌日に搬出されるコンテナは確率  $p$  でその情報を報告する;(5) 一日のゲート時間の終了後、bay 内のコンテナ数が  $N$  になるまで新たなコンテナが蔵置される。これらの各コンテナには、 $f(d)$  に基づき滞留時間を割り当てる;(6) 新たに到着したコンテナのうち、翌日に搬出されるコンテナがある場合、そのコンテナは確率  $p$  でその情報を報告する;(7) ステップ(3)へ戻る。

ステップ(3)と(5)においては、図-3で説明した荷繰り回数削減方策が使用される。荷繰りや新たなコンテナの蔵置のためにコンテナを置く列を選ぶ際には、搬出報告のあるコンテナ数の最も少ない列が選ばれる。そのような列が複数有る場合には、段数の最も少ない列が選ばれる。4 段の列はそれ以上コンテナが置けないため、探索候補

表-5 8 rows のケースにおけるシミュレーション結果

$p$ の値	0.0	0.5	1.0
報告無しのコンテナの平均荷繰り回数	1.002	1.030	—
報告有りのコンテナの平均荷繰り回数	—	0.783	0.809
全コンテナの平均荷繰り回数	1.002	0.907	0.809

表-6 6 rows のケースにおけるシミュレーション結果

$p$ の値	0.0	0.5	1.0
報告無しのコンテナの平均荷繰り回数	0.983	1.060	—
報告有りのコンテナの平均荷繰り回数	—	0.684	0.779
全コンテナの平均荷繰り回数	0.983	0.872	0.779

から除外される。なお、新たに到着したコンテナの中に翌日に搬出されるコンテナが含まれる場合、その情報は新たなコンテナが全て蔵置された後(ステップ 6)に明らかになる。したがって、その情報は新たなコンテナを蔵置している際(ステップ 5)には利用できない。

### (2) ICCT 再現ケースの分析

始めに、4. で見た ICCT の事例を再現することを目的としてシミュレーションを実施する。row の数には ICCT と同じ 8 を用いる。 $f(d)$  には ICCT の 2015 年 11 月 5 日-11 日にかけて搬出された輸入コンテナの実績値を利用する。この分布の情報は秘匿のため論文には掲載しない。 $N$  は 24 に設定する。この設定の下では、bay 内の平均コンテナ数が ICCT の 6 日間の実績に近くなる。

$p$  の値として 0.0, 0.5, 1.0 の 3 通りを考え、各ケースについてシミュレーションを行った。各シミュレーションは 100 万日行い、コンテナ搬出時の平均荷繰り回数を計算した。シミュレーション結果を表-5 に示す。 $p = 0.5$  の列の結果は表-4 に示された荷繰り回数より約 0.05 高く、完全な再現には成功していない。これはシミュレーションを単純化したためだと考えられる。しかし、報告有りのコンテナと報告無しのコンテナの荷繰り回数の差 ( $0.247 = 1.030 - 0.783$ ) は実際の値 (0.248) に非常に近い。報告無しのコンテナの荷繰り回数は、報告率が高まると僅かに増加する。 $p$  が 0.0 から 0.5 まで増加するとき、その増分は  $0.028 (= 1.030 - 1.002)$  である。この数値は 4. (3) において総荷繰り回数の削減効果を評価する際に使用されたものである。予約有りのコンテナの荷繰り回数も報告率の増加に伴い僅かに増加する。これは報告率が高いほど、搬出報告の有るコンテナの無い列を探すのが難しくなるためである。

### (3) 6 rows のケースの分析

次に、より一般的な 6 rows のケースのシミュレーションを行う。この row 数は RTG を荷役機械として用いるターミナルにおいて一般的に見られるものである。 $f(d)$  には平均 3 日標準偏差 3 日の指数分布を採用する。指数分布を使うことは、コンテナの平均滞留時間の情報をコンテナ段積みの効率化に活用することが不可能な状況を意味している。N は 18 に設定する。

前節のシミュレーションと同様に、 $p$  の値としては 0.0, 0.5, 1.0 の 3 通りを想定する。各ケースのシミュレーションは 100 万回実施した。シミュレーション結果を表-6 に示す。 $p=0.0$  のケースと比較すると、 $p=0.5$  のケースの平均荷繰り回数は 0.111 回少なく、 $p=1.0$  のケースの平均荷繰り回数は 0.205 回少ない。これらの効果は表-5 に示したものとほぼ等しい。

表-6 の結果は、博多港で採用されている荷繰り回数削減方策がより一般的な状況においても有効である可能性を示唆している。ただし、4. で見たように、荷繰り回数が 0.1-0.2 回削減されることによる便益は大きいものではないことに注意する必要がある。そのため、荷役効率の改善を主目的に HiTS のようなシステムを導入する場合には、事前荷繰りを可能とするためにトレーラ到着日の前日までの事前報告を義務付けることが不可欠であると言える。ただし、ゲート処理能力の拡大による混雑の軽減がシステム導入の主目的であれば、副次的なシステムの活用法として荷役効率の改善を図ることも検討できる。

## 6. おわりに

この論文ではコンテナヤードの荷役効率を改善する HiTS の機能の有効性とその移転可能性について議論した。TAS や HiTS の主要な目的はトレーラ混雑を軽減することにあるが、これらのシステムはトレーラ到着日時の事前情報を得る手段としても機能する。TAS は HiTS よりも広い状況において混雑を軽減することが可能だが、荷主とターミナルの間の旅行時間信頼性が低い場合には導入が難しい可能性がある。この点において HiTS はより低い導入のハードルを持つと考えられる。

博多港の荷役に関する実データの分析とシミュレーション分析を踏まえると、トレーラ到着日の事前情報を活用した博多港の取組は輸入コンテナの荷繰り回数を 10.2%削減し、コンテナの搬出荷役の効率を 2.56%高めたと推定される。より一般的な状況におけるシミュレーション結果は、博多港の荷繰り削減方策が他のターミナルにおいても有効で有る可能性を示唆している。

この論文ではオフピーク時間中の事前荷繰りについてはあまり議論を行わなかった。これは、HiTS がトレー

ラ到着日の事前報告を義務付けていないため、博多港では事前荷繰りを行うことが困難であるためである。事前報告を義務付けた HiTS と類似のシステムの荷役への活用法は興味深い研究課題である。事前報告の義務化は運送業者のシステム利用のハードルを高めるものの、それでもなお、TAS よりも利用のハードルは低いと考えられる。事前荷繰りを分析するためには、実際のコンテナターミナル全体の作業を考慮に入れた詳細なシミュレーションが必要となるが、導出された戦略はヤード荷役の効率を大きく改善することが期待される。特に自動化ターミナルにおいては、夜間の荷役機械のアイドル時間の活用が可能であることから、このような戦略の有用性は高いと考えられる。

**謝辞:** 本研究を進めるに当たり、博多港ふ頭株式会社より荷役機械のデータ提供を初めとして数々のご支援をいただきました。博多港ふ頭の藤野大徳主任には荷役機械のデータ収集を行っていただきました。公益社団法人日本港湾協会、一般財団法人みなと総合研究財団の両財団からは研究資金の提供をいただきました。研究にご協力をいただいた皆様に厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) Aronietis, R., Maikianidou, P., Meersman, H., Pauwels, T., Pirenne, M., Van De Voorde, E., Vanelslander, T. and Verhetsel, A.: Some effect of hinterland infrastructure pricing on port competitiveness: case of Antwerp, 12th WCTR, July, 2010-Lisbon, Portugal, 2010.
- 2) Wan, Y., Zhang, A. and Yuen, A.: Urban road congestion, capacity expansion and port competition: empirical analysis of US container ports, *Maritime Policy and Management*, Vol. 40, No. 5, pp. 417-438, 2013.
- 3) 渡辺逸郎: コンテナターミナルにおける搬出入作業の考察, 日本造船学会論文集, Vol. 1995, No. 177, pp. 477-483, 1995.
- 4) Kim, K. H. and Kim H. B.: The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 35, No. 3-4, pp. 427-430, 1998.
- 5) Kim, K. H., Park, Y. M., and Ryu, K.-R.: Deriving decision rules to locate export containers in container yards, *European Journal of Operational Research*, Vol. 124, pp. 89-101, 2000.
- 6) Kim, K. H. and Hong, G. P.: A heuristic rule for relocating blocks, *Computers and Operations Research*, Vol. 33, pp. 940-954, 2006.
- 7) Caserta, M., Voss, S. and Sniedovich, M.: Applying the corridor method to a blocks relocation problem, *OR Spectrum*, Vol. 33, pp. 915-929, 2010.
- 8) Duinkerken, M. B., Evers, J. J. M. and Ottjes, J. A.: A simulation model for integrating quay transport and stacking policies on automated container terminals, *Proceedings of the 15th European Simulation Multiconference*, June 2001, Prague, 2001.

- 9) Park, B. J., Choi, H. R. Kwon, H. K. and Kang, M. H., Simulation analysis on effective operation of handling equipments in automated container terminal, In: AI 2006: Advances in Artificial Intelligence, edited by A. Sattar., and B.-h. Kang, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4304, (Berlin Heidelberg: Springer-Verlag), pp. 1231-1238, 2006.
- 10) Borgman, B., van Asperen, E., and Dekker, R., Online rules for container stacking, OR Spectrum, Vol. 32, pp. 687-716, 2010.
- 11) Caserta, M., Schwarze, S. and Voss, S.: Container rehandling at maritime container terminals, In: Handbook of Terminal Planning, edited by J. W. Boese. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, Vol. 49 (New York: Springer), pp. 247-269, 2011.
- 12) Dekker, R., Voogd, P. and van Asperen, E.: Advanced methods for container stacking, OR Spectrum, Vol. 28, pp. 563-586, 2006.
- 13) van Asperen, E., Borgman, B. and Dekker, R.: Evaluating impact of truck announcements on container stacking efficiency. Flexible Services and Manufacturing Journal, Vol. 25, pp. 543-556, 2013.
- 14) International Transport Forum: The impact of mega-ships, case-specific policy analysis, OECD, 2015.
- 15) Motono, I., Furuichi, M., Kimoto, H. and Suzuki, S.: A new concept of off-dock container traffic control for heavily congested ports, The 5th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG), 2014.
- 16) Motono, I., Furuichi, M. Ninomiya, T. and Suzuki, S.: Insightful observations on trailer queues at landside container terminal gates: What generates congestion at the gates?, Research on Transport and Business Management (Forthcoming), 2016.
- 17) Morais, P. and Lord, E.: Terminal appointment systems study, Transportation Development Centre of Transport Canada, 2006.
- 18) Davies, P.: Container terminal reservation systems design and performance, Paper presented at the METRANS International Urban Freight Conference, October 2013, Long Beach CA, 2013.
- 19) Giuliano, G. and O'Brien, T.: Reducing port related truck emissions: The terminal gate appointment system at the Ports of Los Angeles and Long Beach", Transportation Research Part D, Vol. 12, pp. 460-473, 2007.
- 20) OECD: The competitiveness of global port-cities, OECD Publishing, 2014.
- 21) Noland, R. B., and Small, K. A.: Travel time uncertainty, departure time choice, and the cost of the morning commute. Transportation Research Record, 1995.

(2016. 4. 22 受付)

## IMPROVING CONTAINER YARD OPERATION WITH THE PRIOR INFORMATION OF TRAILER ARRIVAL DATE

Shunsuke SEGI, Tamotsu NINOMIYA and Hiroshi KIMOTO

Minimizing reshuffles is one of the key factors of efficient container yard operation. Import containers picked up by trailers are most difficult to stack efficiently partly because the arrival time of trailers at terminal is unknown to the operator. Port of Hakata, a Japanese seaport, has developed a web-based IT system called Hakata Port Logistics IT System (HiTS). The system allows trucking companies to optionally pre-announce planned trailer arrival date. Port of Hakata utilizes the prior information to improve the stacking efficiency of import containers. This paper discusses the effectiveness and transferability of systems like HiTS and the stacking method adopted in Port of Hakata. First, this paper illustrates that HiTS has a lower hurdle for trucking companies than terminal appointment system, which is another way to collect the prior information of trailer arrival time. Next, the paper examines the effects of HiTS on the container stacking efficiency based on the actual data of handling work and simulations. The analysis suggested that the stacking method has reduced the reshuffles of import containers by approximately 10%.