

# シミュレーションモデルを用いた RTG ターミナルの混雑原因分析に関する研究

池町 円<sup>1</sup>・白石 哲也<sup>2</sup>・正岡 孝<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 一般社団法人港湾荷役機械システム協会 主任研究員 (〒105-0003 東京都港区西新橋 1-20-9)

(国土交通省 四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所 所長)

E-mail: ikemachi@jacms.or.jp

<sup>2</sup>非会員 一般社団法人港湾荷役機械システム協会 専務理事 (〒105-0003 東京都港区西新橋 1-20-9)

E-mail: shiraishi@jacms.or.jp

<sup>3</sup>正会員 一般社団法人港湾荷役機械システム協会 研究主幹 (〒105-0003 東京都港区西新橋 1-20-9)

E-mail: masaoka@jacms.or.jp

東京港をはじめとする大都市圏に立地するコンテナターミナルでは、外来トレーラーのゲート渋滞が慢性化し、大きな社会問題となっている。関係者により様々な対策が検討されているが、ターミナル内の本船荷役作業と外来荷役作業との関係性を考慮した具体的な検討がなされていない。また、既往研究においても、ターミナル内の荷役作業を含めた混雑問題を総合的かつ実証的に研究した例はない。

そこで、本研究では、東京港に実存する RTG ターミナルを例として、ターミナルオペレーターの協力を得て、本船荷役作業と外来荷役作業の両者の動きを 3次元コンテナターミナルシミュレーションモデル上に再現し、RTG ターミナルの混雑原因を定量的に分析する。また、混雑解消方策の 1つとして、ターミナル外に立地する車両待機場の活用について提案する。

**Key Words:** container terminal, RTG terminal, simulation mode, turn over time, move per hour

## 1. はじめに

東京港をはじめとする大都市圏に立地するコンテナターミナルでは、外来トレーラーのゲート待機・ターミナル内待機が長年にわたり大きな社会問題となっており、ゲート前の交通混雑の悪化や港湾内の荷役作業効率の低下を引き起こしているとされている<sup>1)</sup>。

東京都トラック協会海上コンテナ部会は、東京港各コンテナターミナルにおける海上コンテナ車両の待機時間調査を実施しており、2018年12月調査では、全12ターミナルのうち8ターミナルで、輸入コンテナ搬出の平均待機時間が1時間以上となる結果となっている<sup>2)</sup>。2018年に比べ荷動きが鈍化し、混雑も緩和した<sup>3)</sup>とされる2019年12月調査であっても、全12ターミナルのうち6ターミナルで、輸入コンテナ搬出平均待機時間が1時間以上となる結果となっている<sup>4)</sup>。

PIANC MarCom Report135<sup>5)</sup>によると、一般的に許容されるターンタイムは、45分から1時間であるとされており、東京港の多くのターミナルでは、世界で許容される外来サービスの水準に達していないこととなる。

物流専門紙の東京港の混雑問題に関する記事の中で、その原因に関して、「荷役作業は海側が優先され、船を待たせることはない。荷役機械のほとんどは海側で使用され、山側でトラックに積み込む作業は遅れてもお構い

なし。東京港のCTは港湾荷役機械が絶対的に不足しているのが現実である<sup>6)</sup>と指摘しており、ターミナル内の荷役作業が混雑の主な原因であるとしている。

こうした混雑問題に対し、官民関係者により様々な対策が検討されているが、コンテナターミナル内の本船荷役作業と外来トレーラーとの関係性を含めた総合的な分析をした研究はない。

木下ら(2016)<sup>7)</sup>は、横浜港でのターンタイム分析を行っているが、ターンタイム削減方策としてゲート処理時間短縮のためのゲート問題のみを検討しており、ターミナル内の荷役処理能力については検討対象としていない。神田ら(2018)<sup>8)</sup>は、シミュレーションモデルを構築し、高松港コンテナターミナルの混雑抑制策を分析しているが、ゲート数の増設やゲート処理時間の削減といったゲート問題のみを検討しており、ターミナル内の荷役作業を考慮した分析がなされていない。里村ら(2014)<sup>9)</sup>は、港湾保安対策強化とあわせたゲート通過の円滑性確保の方策としてゲート処理方法の変更について検討しているが、「コンテナターミナルのヤード及びアウトゲートの処理能力が十分高く、ヤード内で滞留してインゲートに影響しないことを仮定」した検討となっており、ターミナル内荷役作業は検討に含まれていない。元野ら(2016)<sup>10)</sup>は、コンテナターミナルの混雑対策の効果的

な運用方法を提案するとしているものの、検討の中心がゲート処理時間短縮やトレーラー運転手の行動変容であり、「ゲート混雑の要因はゲート混雑対策のほかにはヤード内の荷役効率もあると考えられるが、その分析には至らなかった」としている。

そもそも我が国では、コンテナターミナルのゲート混雑問題を定量的に分析した研究が少ないが、既往研究においても、ターミナル内の荷役作業を含めた混雑問題を総合的かつ実証的に研究した例はない。

そこで、本研究では、日本のコンテナターミナルで最も多く採用されている RTG ターミナル（マーシャリングヤードの荷役方式がタイヤ式トランスファークレーンを用いるコンテナターミナル）を対象として、東京港で実際のコンテナターミナルを運用しているターミナルオペレーターA 社の協力を得て、本船荷役作業と外来荷役の両者をコンテナターミナルシミュレーション上に再現し、RTG ターミナルのゲート混雑の原因を定量的に分析する。

## 2. シミュレーションモデルの構築と分析

### (1) シミュレーションソフト AutoMod

本研究では、本船荷役作業と外来荷役の両者をコンテナターミナルシミュレーション上に再現し、ターミナルオペレーター実務者の意見を反映させながらシミュレーションモデルを構築する。このため、シミュレーションソフトとしては、①本船荷役作業・外来荷役作業を3次元でわかりやすく可視化できること、②実務者の意見を踏まえた荷役作業フローの構築ができる自由度の高いシミュレーションであること、の2点が要件となる。これら2つの要件を満たし、国内外のRTGコンテナターミナルの荷役作業の分析の実績<sup>12),13)</sup>あるソフトとして、本研究ではAutoModを用いた。AutoModでのRTGターミナルを再現するシミュレーションモデルは、RTG含めた搬送機器が移動するルートや停止ポイントを実寸レイアウト上に落とし込み、レイアウト上での貨物・搬送機器の動きをプログラミングしていくものである<sup>14)</sup>。

### (2) 前提条件

#### 1) ターミナルレイアウト及び荷役機械の配置

東京港にあるRTG方式を採用するコンテナターミナルを実際のターミナルレイアウトにあわせ、図1・2のようにAutoMod上に作成した。

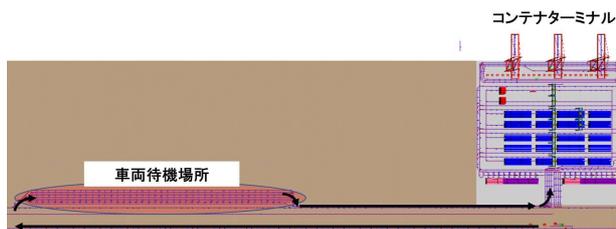


図1. 車両待機場とコンテナターミナルの配置

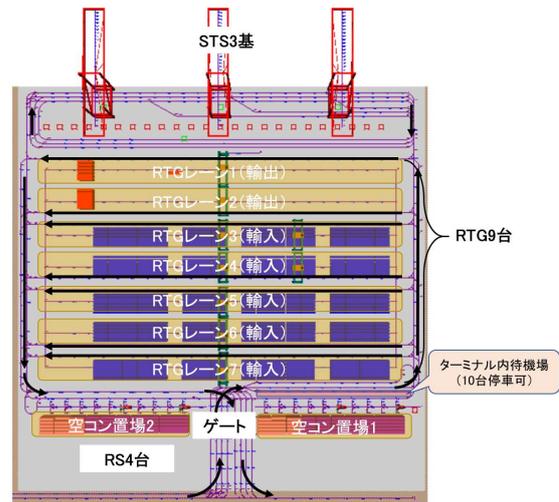


図2. コンテナターミナルレイアウトと荷役機械の配置

インゲート・アウトゲートはターミナル中央部に各4つある。東京港の多くのターミナルでは、外来トレーラーが、ターミナル外にある車両待機場を経由して、各ターミナルゲートに向かうこととなっているため、レイアウトも、ターミナル外にある車両待機場も含め再現できるレイアウトとした。荷役機械は、実際の配置状況を踏まえ、コンテナクレーン(STS)3基、ヤードトラック(YT)12台、RTG9台、リーチスタッカー(RS)4台を配置した。実入り輸出コンテナは、海側の2レーン、実入り輸入コンテナは、陸側5レーンで扱い、RTGは、全7レーンに対し、9台とし、本船荷役作業レーンにはRTGが2台が配置されるものとした。空コンテナは、ターミナル中央部にあるゲートの両サイドに蔵置され、4台のRSで荷役される。荷役機械の荷役作業時間などのスペックについては、ターミナルオペレーター及び荷役機械メーカーからのヒアリングにより、表12のように設定した。

表1. 荷役機械スペックの設定値

STS	横行速度	5 m/s
	巻上速度	2.25 m/s
	走行速度	0.2 m/s
トレーラー	走行速度	10 m/s
RTG	走行速度	2.25 m/s
	荷役サイクルタイム	80 sec
	荷線時間	120 sec
RS	走行速度	6 m/s
	ビックアップ時間	15 sec
	セットダウン時間	15 sec

表2. ゲート処理時間の設定値

ゲート 処理時間	輸入搬出イン	30 sec
	輸入搬出アウト	120 sec
	輸出搬入イン	120 sec
	輸出搬入アウト	5 sec
	空搬出イン	60 sec
	空搬出アウト	115 sec
	空搬入イン	120 sec
	空搬入アウト	5 sec

2) 本船荷役作業・外来トレーラー発生頻度

東京港に実存する RTG ターミナルのオペレーターである A 社から本船荷役作業状況をシーケンスシートのご提供いただき、AutoMod で読み込めるテキスト形式での本船入力データとした。表3に示すとおり、STS2基で本船荷役 720 本の本船荷役作業を入力データとした。本船入力データは、シーケンスシートにコンテナ 1 本毎に本船内積み位置、ヤードの揚げ積み場所が指定されているが、紙面の都合上、データの掲載は、表 4 に示す STS1 号機のシーケンス番号 1 から 16 までのデータとする。また、A 社ターミナルのターミナルオペレーションシステム (TOS) に記録されるゲートインアウトデータをもとに、外来トレーラー発生頻度を、AutoMod で読み込めるテキスト形式の外来入力データ (表 5) とした。

表3.入力した本船荷役本数

	輸入揚げ (本)	輸出積み (本)	空揚げ (本)	空積み (本)	合計 (本)
STS1号機	240	48	0	72	360
STS2号機	240	48	0	72	360

表5.外来トレーラー発生頻度 (外来入力データ)

発生時間帯	輸出搬入 (台)	輸入搬出 (台)	空搬出 (台)	空搬入 (台)	小計
7:00	26	19	0	27	72
8:00	32	35	1	36	104
9:00	18	53	7	56	134
10:00	15	70	7	56	148
11:00	7	9	5	27	48
12:00	0	0	0	0	0
13:00	24	55	1	43	123
14:00	33	51	3	44	131
15:00	28	51	1	50	130
16:00	32	55	8	50	145
17:00	23	50	4	24	101
18:00	0	0	0	0	0
	238	448	37	413	1136

表4.本船入力データ例 (STS1号機のシーケンス1から16までのデータ)

シーケンス	hseq	TRkseq	本船到着時刻	本船番号	ハース番号	GC番号	輸入/輸出(2/1)	空バシ(1/0)	ハッチ(1/0)	オンデッキ(1/0)	船X	船Y	船Z	ヤードレーン	ヤードX	ヤードY	ヤードZ	RTG_no
1	0	1	9:00	1	1	1	2	0	0	1	18	1	18	6	11	6	1	6
2	0	2	9:00	1	1	1	2	0	0	1	18	1	17	6	21	6	1	8
3	0	3	9:00	1	1	1	2	0	0	1	18	1	16	6	11	5	1	6
4	0	4	9:00	1	1	1	2	0	0	1	18	1	15	6	21	5	1	8
5	0	5	9:00	1	1	1	2	0	0	1	18	1	14	6	11	4	1	6
6	0	6	9:00	1	1	1	2	0	0	1	18	1	13	6	21	4	1	8
7	0	7	9:00	1	1	1	2	0	0	1	18	1	12	6	11	3	1	6
8	0	8	9:00	1	1	1	2	0	0	1	18	1	11	6	21	3	1	8
9	0	9	9:00	1	1	1	2	0	0	1	17	1	18	6	11	2	1	6
10	0	10	9:00	1	1	1	2	0	0	1	17	1	17	6	21	2	1	8
11	0	11	9:00	1	1	1	2	0	0	1	17	1	16	6	11	1	1	6
12	0	12	9:00	1	1	1	2	0	0	1	17	1	15	6	21	1	1	8
13	0	13	9:00	1	1	1	2	0	0	1	17	1	14	6	11	6	2	6
14	0	14	9:00	1	1	1	2	0	0	1	17	1	13	6	21	6	2	8
15	0	15	9:00	1	1	1	2	0	0	1	17	1	12	6	11	5	2	6
16	0	16	9:00	1	1	1	2	0	0	1	17	1	11	6	21	5	2	8

(3) シミュレーションでの荷役作業フロー

A 社担当者へのヒアリングをもとに作成した外来荷役・本船荷役の作業フローは図3,4,5のとおりである。シミュレーションの貨物・搬送機の動きは、ここに示す荷役作業フローをプログラミングして作成した。

本船荷役では、前日にヤードプランナーが作成するシーケンスシートに基づいて荷役作業を行うため、いつでもどこにあるコンテナを本船揚げ・積みするのかを把握して荷役作業を行う。このため、本モデルの本船荷役は、外部から与える本船入力データどおりに荷役作業を再現する。ターミナルオペレーターである A 社へのヒアリングでは、「本船荷役専用配置される RTG は、STS1 基に対し 1.5~2 基という運用を行っている」とのことであった。このため、シミュレーション上は、輸入揚げ作業

で STS1 基に RTG2 基を、輸出積み作業で STS1 基に RTG1 基を配置し、全体平均で RTG1.5 基以上が配置されるようモデル化した。輸入作業用レーンでは、各レーンに RTG が 1 台しかいないため、本船輸入揚げ作業が開始されると、本船レーンに別レーンから RTG がレーンチェンジしてくることになる。

外来荷役について、シミュレーション上は、外来トレーラーはランダムにターミナルに到着するものとした。ターミナルオペレーターは、外来トレーラーが、いつでもどこにあるコンテナを搬出搬入しに来るのかを把握しておらず、外来トレーラーはランダムにゲートに到着するものという認識をしているためである。

ここで問題となるのが、本船荷役作業レーンと外来荷役レーンが重複した場合である。ターミナルオペレーターによると、「ターミナルは本船を定刻出港させるべく

本船作業を行っている。本船作業に支障が出ないよう、外来トレーラーの本船作業中のレーンへの進入を許可しない。進入許可されない外来トレーラーは、ゲートを通じた後、ターミナル内の待機場所で待機することとなる。」とのことであった。つまり、ターミナル内待機場所（外来トレーラー約 10 台が停車可能）に外来トレーラーが来て、満車となると、ターミナルは封鎖され、インゲート渋滞の列が伸びていくこととなる。このような本船作業優先のターミナル運営がゲート混雑の主要因であると考えられ、先に紹介した物流専門紙の記事で示されている混雑原因と符合している。このような本船荷役作業レーンと外来荷役レーンが重複した場合のターミナルの運用は、東京港 A 社のターミナル以外のターミナルでも同様なことが行われているものと考えられる。

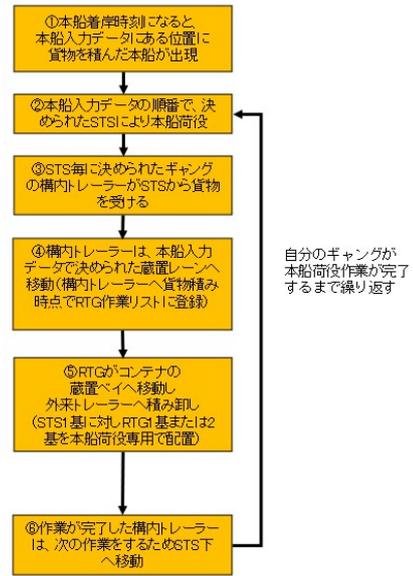


図 3. 本船荷役作業のフロー

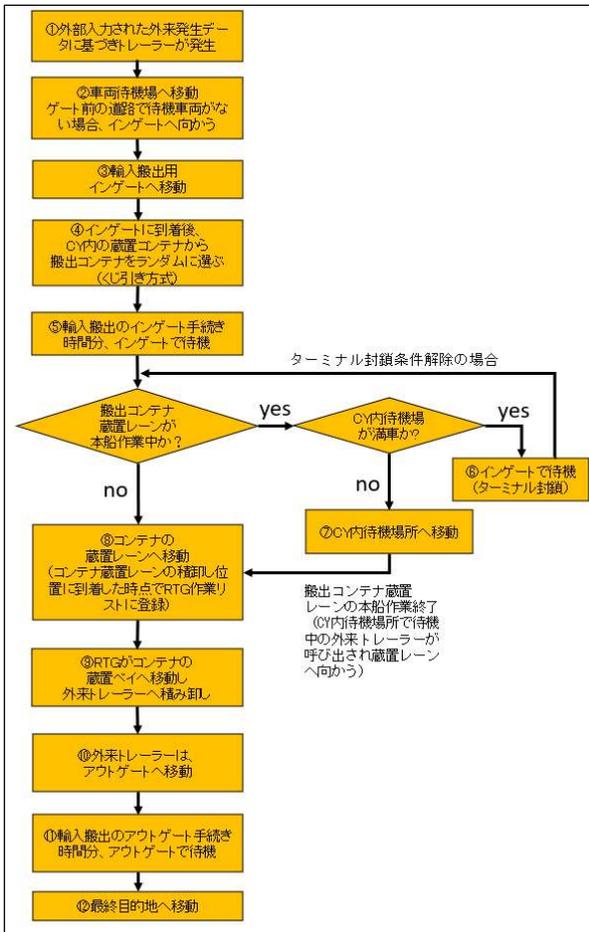


図 4. 輸入搬出外来トレーラー荷役作業のフロー

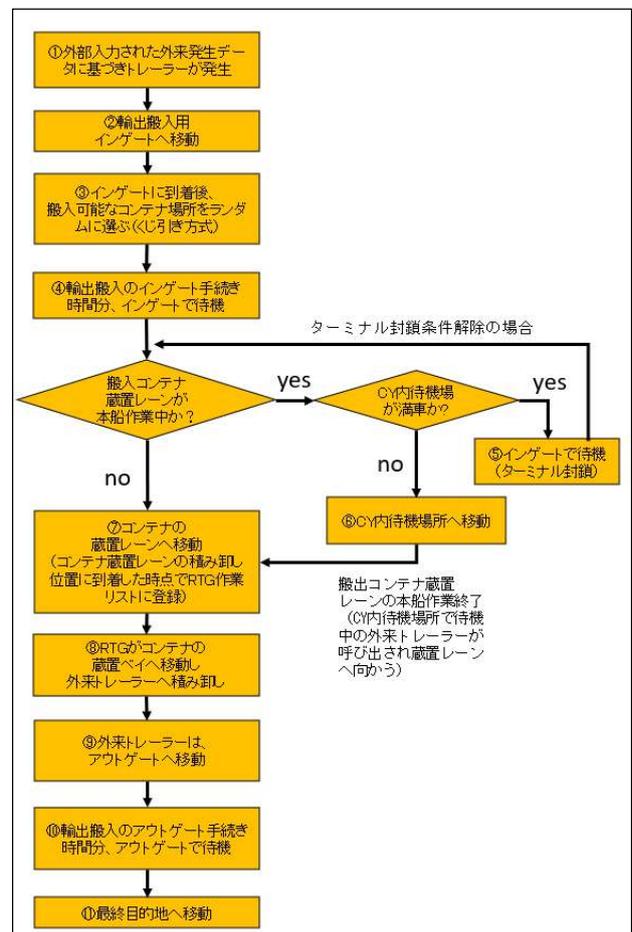


図 5. 輸出搬入外来トレーラー荷役作業のフロー

(4) シミュレーションケースと結果

ここまで示したモデルの条件をもとに、表 6 に示す 2 つのケースで計算を行った。ケース 1 とケース 2 の計算結果は、AutoMod 実行画面の動画、ターミナルの荷役作業の効率性を示す数値である STS の MPH(move per hour (1 時間あたり本船荷役本数) とターンタイム (車両待

機場からアウトゲートを出るまでの所要時間) として、表 7,8 及び図 9,10 に示す。なお、ケース 1 とケース 2 としては、車両待機場入口の位置が異なるため、両ケースの比較ができるよう、車両待機場からインゲートまでの距離が等しくなるようターンタイムの起点を図 6 に示すとおり、調整している。

ケース 1 の本船荷役について見てみると（表 7），MPHは、35.9（STS1号機）と33.6（STS2号機）と高く、シミュレーション上では、効率的な本船荷役作業がされている。ターミナルオペレーターによると、東京港A社ターミナルでは、MPHが35前後であるとのことであり、シミュレーション上での数値に違和感を持つことはないとのことである。外来トレーラーのターンタイムについては（表 8），外来種類毎の平均値で36分から52分となっており、輸入搬出が51.8分と最も長くなっている。

ターンタイムの分布（図 7,8）を見ると、10分台から90分以上レンジまで非常に幅広く分布している。外来トレーラーがターミナルに到着する時間帯が、混雑時間帯とそうでない時間帯とは大きな違いが出る結果になった。特に、輸入搬出のターンタイムは、60分以上となる外来トレーラーが155台（35%）、90分以上が39台（9%）もあり、これらのトレーラーは、混雑の激しい時間帯にターミナルを利用していることがわかる。

表6.シミュレーションのケース1とケース2

ケース1	外来は必ず車両待機場場を通過し、インゲート手前道路の混雑が少ない場合に、車両待機場場からターミナルへ外来を向かわせる
ケース2	車両待機場場でゲート受付を行い、車両待機場場で本船レーンに進入する外来とそうでない外来との仕分け作業を行う

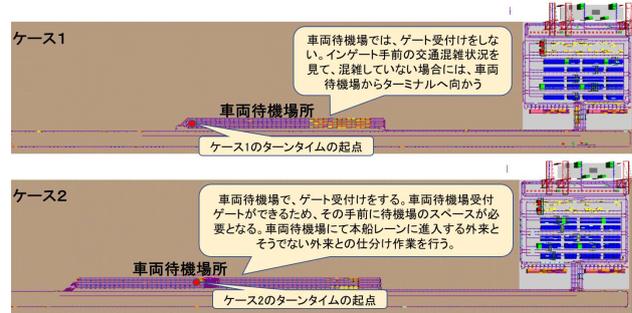


図6. ケース1とケース2の車両待機場場の違い

表7.本船荷役のシミュレーション結果

	荷役本数 move	荷役時間 h	MPH move per hour
STS1号機	360	10.04	35.9
STS2号機	360	10.72	33.6

表8.外来荷役のシミュレーション結果

	外来の種類	台数	ターンタイム 平均（分）	ターンタイム 最大（分）	ターンタイム 最小（分）
ケース1	輸入搬出	448	51.8	149.9	12.1
	輸出搬入	238	35.9	147.0	12.3
	空搬出	37	46.9	110.6	13.0
	空搬入	413	39.3	132.3	9.9
ケース2	輸入搬出	448	38.1	106.8	11.5
	輸出搬入	238	27.3	99.6	11.8
	空搬出	37	18.4	28.1	11.8
	空搬入	413	18.0	72.1	9.9

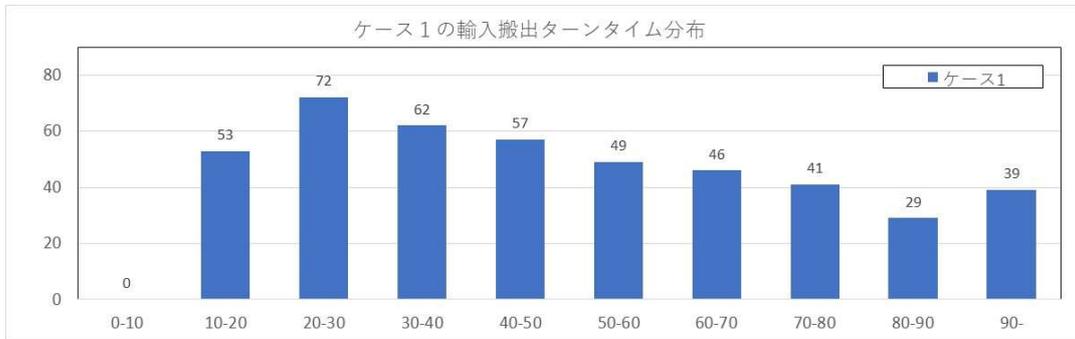


図7.ケース1の輸入搬出ターンタイムの分布

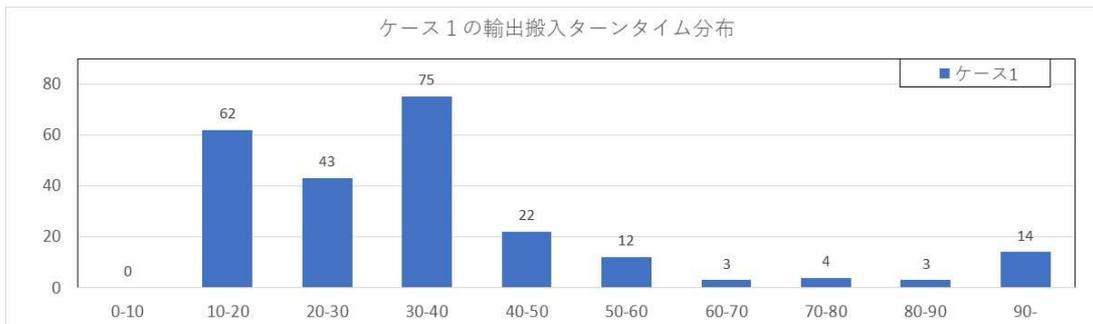


図8.ケース1の輸出搬入ターンタイムの分布

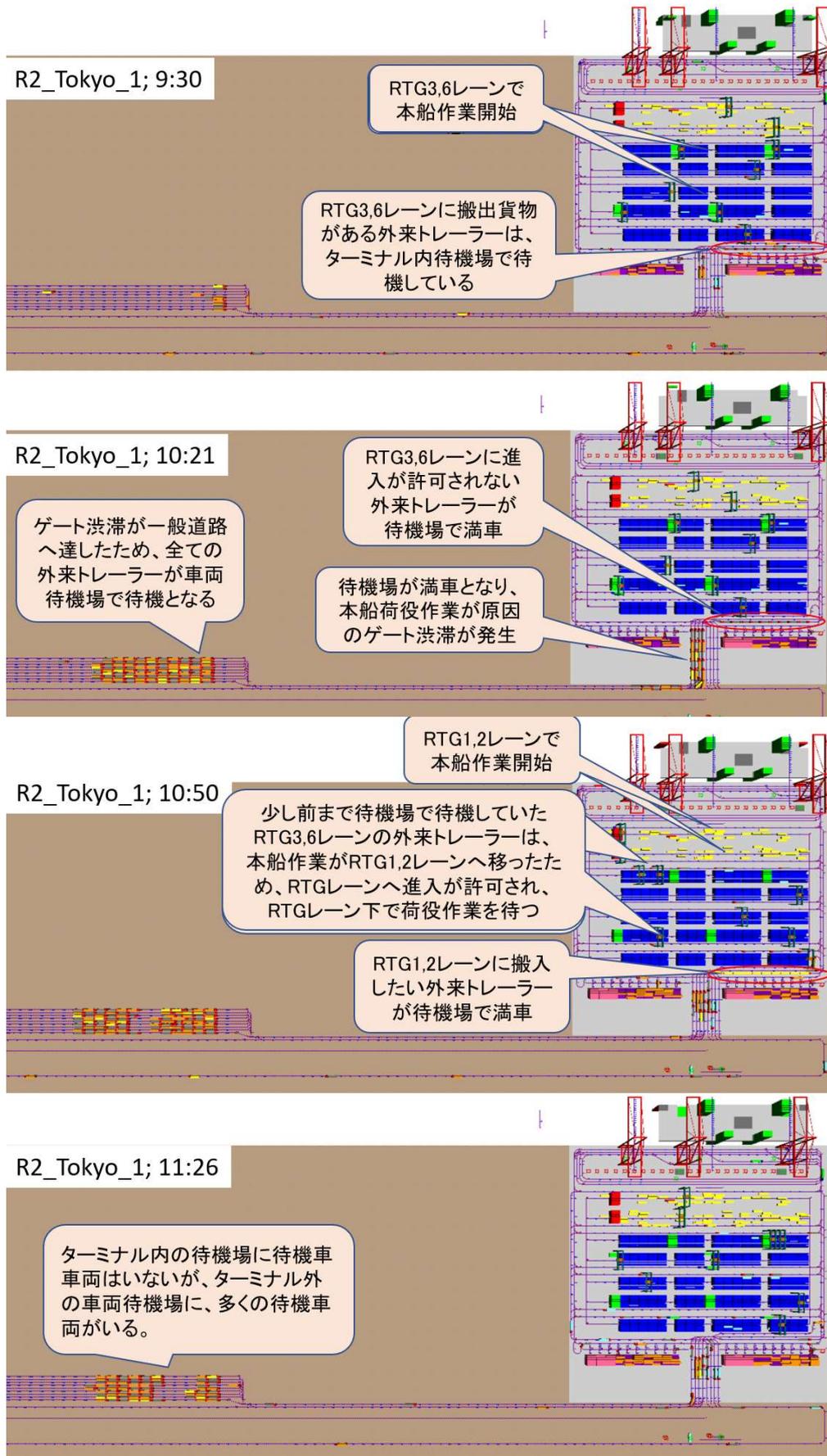


図9. ケース1での実行画面（上から順に 9:30, 10:21, 10:50, 11:26 の実行画面）

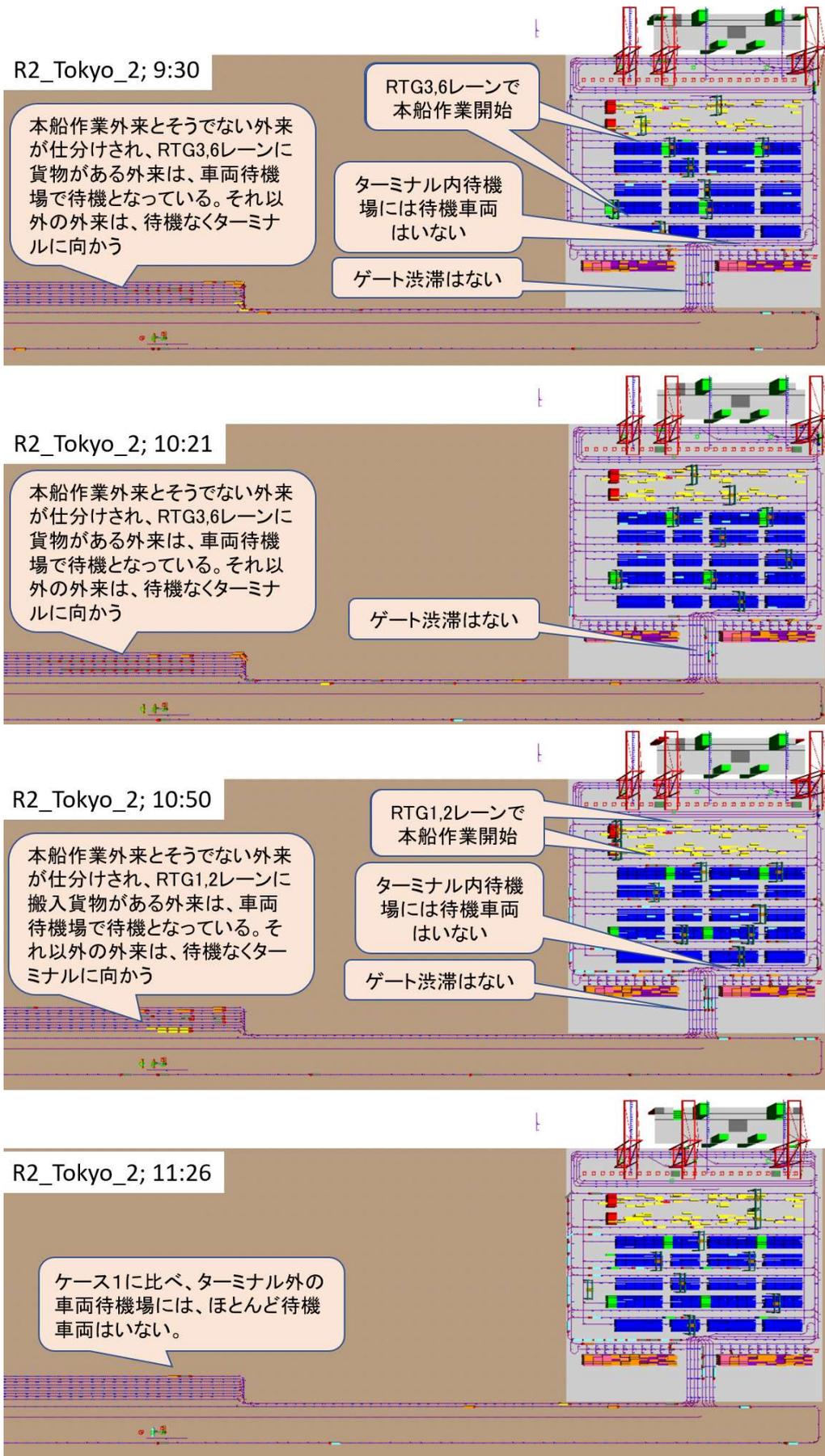


図 10. ケース 2 での実行画面（上から順に 9:30,10:21,10:50,11:26 の実行画面）

ケース 1 (図 9 の上から 2 つめの図) の 10:21 時点では、RTG レーン 3,6 での本船作業により進入を止められている外来トレーラーがターミナル内待機場場で満車となる 10 台が待機しており、インゲート外にまで渋滞列が続いている様子が見られる。本船作業は、本船ベイ位置毎に搬入先 RTG レーンが数十本単位でまともっており、輸入揚げから輸出積みの順に作業が進められる。1 つの本船ベイの作業が終了すると、STS は走行し、次の本船ベイ作業を開始し、再び数十本単位での作業が始まり、新たな RTG レーンが搬入先となる。結果、本船作業の搬入・搬出先となる RTG レーンは本船作業の状況によって、時々刻々と変化することとなる。本モデルの実行画面でも、本船作業の変化に応じて、RTG レーンへの進入を許可されず待機をする外来トレーラーも変化の様子が描かれている。具体的な企業名を明かさなことを条件として本研究に協力してくれたターミナルオペレーター A 社からは、「実際に本船荷役作業の影響を受ける外来トレーラーのターミナル内での待機状況は、ケース 1 の動画にあらわれている。ターミナル内待機場場が満車となり、そこがボトルネックとなってゲート混雑が続くことも、ケース 1 の動画のとおりで、現場感覚に合致する。」とのご意見をいただいた。

次に、ケース 2 の結果を分析する。ケース 1 における車両待機場場は、ターミナル周辺道路の混雑状況を調整するための場所であるが、ケース 2 では、本船レーンに進入しようとする外来トレーラーと本船作業に影響を与えない外来トレーラーとの仕分け作業を行う場所となる。

このため、ケース 2 の車両待機場場を出てターミナルに向かう外来トレーラーは全て本船作業には影響を与えない車両のみとなり、インゲート後にターミナル内で待機する車両は排除できている (図 10)。実際にケース 1・2 の AutoMod を実行した 3 次元動画の静止画 (図 9・10) を比較すると、ケース 1 では、本船作業レーンに当たってしまった外来トレーラーがインゲート入場後すぐにあるターミナル内待機場場を塞いでしまっている様子が見られるが、ケース 2 では、ターミナル外にある車両待機場場に本船作業レーンに当たってしまった外来トレーラーが、ターミナル外にある車両待機場場で一列に整列して待機している様子が見られ、これらの外来トレーラーがターミナル外で仕分けされることで、ターミナル荷役作業が効率的に実施されていることがわかる。

最後に、ケース 1 とケース 2 のターンタイム (表 8) を見ると、輸入搬出トレーラーのターンタイムが、約 26%削減 (51.8 分→38.1 分)、輸出搬入トレーラーでも約 24%削減 (35.9 分→27.3 分) されるという結果が出た。ターンタイム 60 分以上の輸入搬出の外来トレーラーも 34.6%から 22.8%へと減少する結果となった。ターンタイムの分布 (図 11,12) を見ると、ケース 2 では、多くのトレーラーが 20 分以内となる結果が出ており、明確な混雑緩和効果が見込まれる結果となった。ケース 2 で行った車両待機場場高度化施設導入は、東京港の一部地区で既に整備されている車両待機場場にゲート受付機能を付加するだけで実現可能となるものである。具体的には、各ターミナルの TOS と連動したゲート受付機能を有する

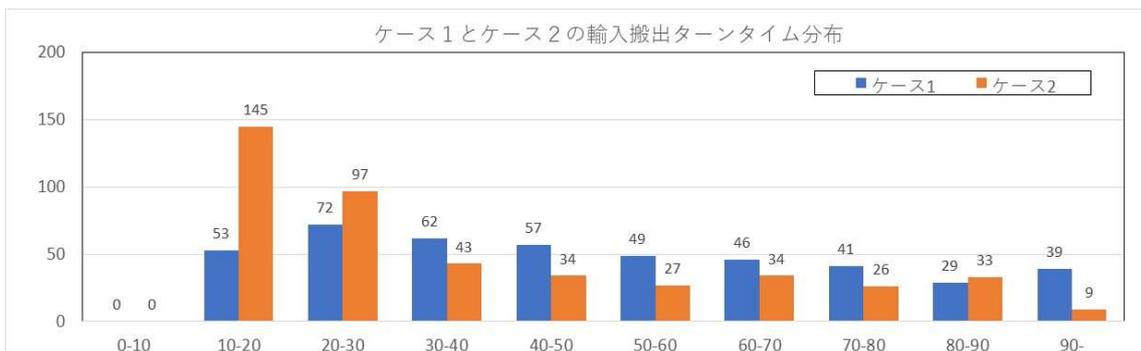


図 11. 輸入搬出外来トレーラーのターンタイム分布の比較

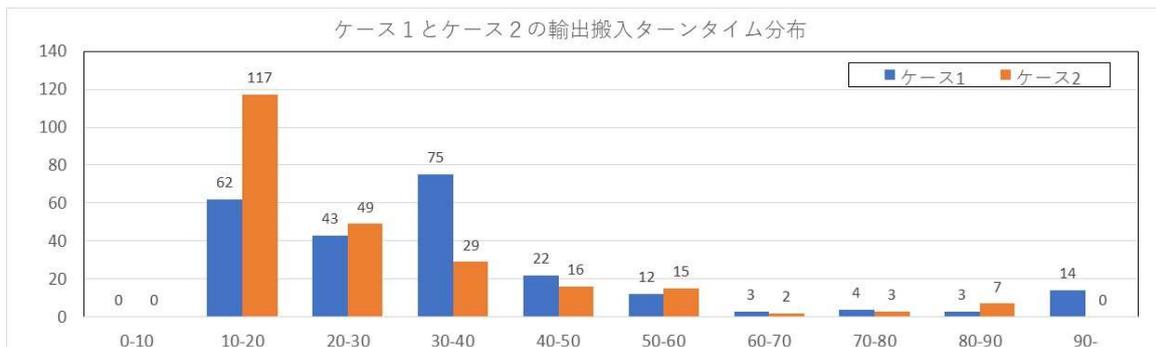


図 12. 輸出搬入外来トレーラーのターンタイム分布の比較

チェックインゲート (TOS 端末導入) の導入と車両待機場場出入口付近に設ける進入許可車両を掲示できる電光掲示板の導入のみが必要となる。大規模なハード整備を伴うものでもないことから、導入へのハードルも低く、短期間での導入検討が期待できる。

### 3. ターミナル混雑原因の考察

ターミナル混雑原因として考えられる、ゲート処理能力の不足、ターミナル内待機場所の不足、ターミナル内荷役作業能力の不足、外来トレーラー流入の集中、の4つについて考察する。

#### (1) ゲート処理能力の不足について

コンテナターミナルの混雑原因として、ゲート処理時間が長いことやゲートスロット数の不足があげられることがある。しかしながら、ゲートの数は、外来トレーラーの流入の大小に応じて、空返却・実搬入・実搬出・空搬出の各ゲートの柔軟な運用ができることから、混雑するスロット数を増加させることでボトルネックとなることは回避できる。実際、東京港A社ターミナルでも、空返却・実搬入・実搬出・空搬出のいずれの受付業務もできるゲートクラークが、外来トレーラーの種類別の混雑状況に応じて、ゲートスロット数を変化させ、ゲート受付がボトルネックとならないような柔軟な運用を行っている。東京港の場合、輸入貨物が多いため、輸入搬出外来トレーラーの受付処理が多く問題となるはずであるが、輸入搬出のゲート受付処理時間は30秒であり、受付ゲート1スロットで1時間あたり120本もの処理ができる。混雑時間帯には4つあるインゲートのうち、2つを輸入搬出ゲート専用として運用すれば、1時間あたり240本の外来を処理でき、これだけ処理できればゲートがボトルネックとなることはまずない。アウトゲートは、少し注意が必要である。輸入搬出のアウトゲート処理時間は120秒と長く、1スロットで1時間あたり30本しか処理できない。インゲートと異なりアウトゲートを通過してしまえば滞留することはないが、ターミナル内に渋滞列が発生し、本船荷役作業に悪影響を与えるおそれもあるため、アウトゲートのスロット数の増設などの柔軟な対応を実施する必要がある。

#### (2) ターミナル内待機場所の不足について

外来トレーラーがゲートで受付をしたときに、自分が搬出搬入する貨物の蔵置場所が本船作業レーンに当たってしまった場合は、ヤードへの進入が許可されず、ターミナル内待機場場で待つこととなる。本研究のシミュレーションを実施した東京港A社ターミナルでは、約10台分の待機スペースしかなく、本船作業中は頻繁にここが満車となり渋滞の原因となっていた。これに対して、ターミナル内待機スペースを拡充すればいいという意見が

ある。しかし、大都市圏のターミナルのほとんどは、ターミナルが狭隘な上に、コンテナ蔵置スペースの不足も深刻な問題となっており、貴重なターミナル内をやりくりしてスペースを増やすというのは容易にできるものではない。コンテナ蔵置スペースの必要性和ターミナル内待機スペースの必要性を比較考慮し、具体的に検討すべき問題であろう。このとき、本研究のように、各ターミナルの荷役作業運用方法などを組み込んだシミュレーションモデルを用いて、荷役作業改善の様子を3次元で表現し関係者で共有するとともに、ターンタイムのように定量的な数値で改善効果を試算しながら、現場作業を熟知しているメンバーが入って検討することが必要である。

ターミナル内の待機場所の不足を補う方法としては、シミュレーションのケース2で示した、車両待機場場入口で外来のゲート受付を行い、本船レーン進入外来とそうでない外来との仕分け作業を行う方法が考えられる。シミュレーション結果で明らかになったように、全ての外来トレーラーの待機時間を削減することはできないが、1日を通した外来トレーラーの平均待機時間は大きく削減できると考える。

#### (3) ターミナル内荷役作業能力の不足

ターミナル内にあるRTGは、本船荷役作業がはじまると、そちらに固定的に利用されることとなり、外来サービスには当てられない。ターミナルオペレーターは、本船を定刻出港させるべく本船優先の荷役作業を行っている。このため、外来トレーラーの流入状況に応じた外来作業用RTGと本船作業用RTGの柔軟な配備が難しいのが実情となっている。本船荷役でRTGを本船専用とされると、外来トレーラー向けのRTG荷役処理能力が純減となり、ターミナル内で処理できなくなる。その結果、トレーラーがターミナル内に滞留することとなる。この滞留現象が、AutoMod実行画面で示された、ターミナル内混雑とゲート渋滞と同じものである。つまり、RTGターミナルの混雑は、外来向けに利用できるRTGの処理能力が外来トレーラー流入台数を下回ることが原因であると言える。また、外来向けに利用できるRTGの処理能力は、本船作業中は本船向けに割り当てられるRTGの台数分低くなるし、本船作業中となるレーンもターミナル内で時々刻々と変わるため、こうした変化に対応した外来トレーラー制御が重要となってくる。これを実現するためには、ゲート受付前のできるだけ早い段階で、本船作業レーンに当たった外来とそうでない外来とを仕分けし、本船作業レーンに当たった外来トレーラーは、ターミナル内には入れないで本船作業レーンが空くまで適切な場所で待機してもらうことである。これがシミュレーションで示したケース2である。

#### (4) 特定の時間帯への外来トレーラー流入の集中

ターミナル混雑原因として、外来トレーラーが特定の時間帯に過度に集中することが原因であるという議論がある。外来トレーラー流入量には大きな波動性があることがターミナル混雑原因であるのはその通りであるが、この原因がわかったからといって、現実的に解決する方策は少ない。

外来トレーラーの平準化を目指す方策として、昼休み短縮を含めたゲートオープン時間延長が検討されることがある。しかしながら、ゲートオープン時間が延長されることは、ターミナル内の荷役作業時間を延長も意味し、ゲートチェッカー・クラーク、港湾荷役作業員、誘導員など多くの関係者の労働時間を増やすこととなり、延長した時間分のターミナル運営コストが増加することとなる。

また、外来トレーラーの平準化を目指す方策として、外来トレーラーの予約制度導入があげられる。しかし、そもそも現状で外来トレーラーの到着台数が平準化していないのは、トレーラー運転手の合理性（荷主の要求、背後圏の交通事情、ターミナル混雑状況など）に基づいて行動した結果であり、予約制度を導入したからといって、そこが大きく変わるものではない。平準化するために予約枠を限定してしまえば、その枠の取り合いになるだけで、枠をとれなかった人は、近い枠をとろうとして同じような取り合いが生じ、結果として、全体の平準化にはならないのではないのか。このあたりは、さまざまなご意見があるろうが、本研究の中心ではないことから、これ以上の議論は控えておく。なお、予約制度については、ターミナルオペレーターが前日に空返却・実搬入・実搬出・空搬出のどの外来がいつ来るのかがわかれば、前日夜間に行われるマーシャリングシフトに活用できることから、予約制度自体は有意義なものであると考える。

#### 4. おわりに

本研究では、東京港の RTG ターミナルを例として、実際の荷役作業をもとにしたシミュレーションモデルを構築し、ターミナル混雑を再現することによって、その原因を分析した。その結果、外来トレーラーのゲート渋滞の原因は、ゲート処理時間・スロット数などのゲートの問題ではなく、本船作業による外来向け RTG 荷役作業能力の低下とターミナル内の待機場が不足していることなどターミナル内で行っている事象が問題であることがわかった。このことは、これまで物流専門紙が、ターミナル混雑の原因として関係者の声を報道している内容と符合しており、本研究は、それをシミュレーション上に再現したものである。

また、ターミナル混雑の解決策として、ターミナル外にある車両待機場に、本船レーンに進入しようとする外

来と本船作業に影響を与えない外来とを仕分けする機能を導入することを提案し、導入の場合は、輸出搬入/輸入搬出外来ターミナルタイムでそれぞれ 24%、26%の削減効果があると試算できた。

東京港をはじめとする大都市圏のターミナル混雑が大きな社会問題となっているが、本研究で検討の中心とした、本船作業を含めたターミナル内での実荷役作業のことを十分考慮し、混雑解決方策を検討している例は、ほとんどないというのが著者の考えである。

今後は、本研究で示したように、ターミナル内外の貨物や車両の動きを 3次元で可視化できるシミュレーションモデルを活用することで、多くの関係者が混雑問題のメカニズムについて共通理解を持ちながら施策を検討・実施していくことが重要であると考ええる。

世界では、コンテナターミナル自動化の急速な進展により、シミュレーションモデルを活用した調査・計画<sup>19</sup>が定着化しつつある。日本でも、こうした海外の知見を参考に、日本のターミナルの実情にあったシミュレーションの活用事例が増え、その結果に基づいた混雑解消方策が提案・実現化していくことが望まれる。

最後に、今後の課題であるが、モデルの再現性の詳細な検証があげられる。本研究では、構築したモデルについて、STS の MPH や平均ターミナルタイムの大まかな数値を用いて再現性の検証を行たが、ターミナル荷役作業の実データを用いた、詳細なモデルの再現性の検証ができていない。今後は、現地調査及び TOS データによりターミナル荷役作業のコンテナ 1 本単位のデータを収集し、詳細な再現性の検証が必要であろう。

**謝辞：**本研究でのシミュレーションモデル作成にあたっては、A 社の担当の方には、現場業務全般について、初歩から教えていただき、モデル原案段階から完成に至るまで、数度にわたる見直し作業に全面的なご協力・ご助言をいただいた。ここに感謝を申し上げる。

#### 参考文献

- 1) Daily Cargo, 「東京港 混雑解消へ荷主に搬出促進を要請 年末年始・五輪控え対策加速」, 2019 年 12 月 11 日掲載記事
- 2) 東京都トラック協会, 「第 13 回東京港各コンテナターミナルにおける海上コンテナ車両待機時間調査」, 2019 年 3 月公表
- 3) 日本海事新聞, 「東京港の車両待機時間, 昨年末は短縮. 2 時間超が大幅減, 東ト協海コン部会調査」, 2020 年 5 月 11 日掲載記事
- 4) 東京都トラック協会, 「第 15 回東京港各コンテナターミナルにおける海上コンテナ車両待機時間調査」, 2020 年 5 月公表
- 5) PIANC MarCom Report135(2014), "DESIGN PRINCIPLES

- FOR SMALL AND MEDIUM MARINE CONTAINER TERMINALS”
- 6) 物流 weekly, 「連日の大渋滞に悲鳴 東京港コンテナターミナル」, 2010年6月25日掲載記事
  - 7) 木下拓真, 野口孝俊, 藤田順史 (2016), ”横浜港コンテナターミナルにおけるターンタイム分析”, 土木学会海洋開発論文集 Vol.32
  - 8) 神田忠士, 大西秀樹, 瀬木俊輔, 元野一生 (2018), ”地方港のコンテナ・ターミナルにおけるゲート処理能力向上策の提案”, 第57回土木計画学研究発表会・講演集
  - 9) 里村大樹・水谷雅裕・鈴木武(2014), ”コンテナターミナルにおけるゲート通過の円滑性確保に関する研究”, 国土技術政策総合研究所資料, No.797
  - 10) 元野一生, 古市正彦, 瀬木俊輔 (2016), ”コンテナ・ターミナルにおけるゲート混雑対策の効果的な運用に関する考察”, 運輸政策研究 Vol.19 No.3 2016 Autumn
  - 11) 西村悦子, 江村聡一郎 (2014) “ストラドルキャリア方式コンテナターミナルを対象としたコンテナ配置計画”, 日本航海学会論文集 131(0), 81-88, 2014
  - 12) Debjit Roy, M.B.M.de Koster, (2014) "Modeling and Design of Container Terminal Operations", ERIM Report Series Reference No. ERS-2014-008-LIS
  - 13) 西村悦子, 陳麗瑩 (2011), "荷役方式を考慮した本船と岸壁クレーンの荷役時間推定モデル構築に関する研究", 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5 (土木計画学研究・論文集第28巻), I\_869-I\_878
  - 14) 池町円 (2020), ”シミュレーションによるコンテナターミナルの荷役作業分析について”, 港湾荷役 65(2), 222-225, 2020 港湾荷役機械システム協会
  - 15) Transportation Research Board (2011), "Truck Drayage Productivity Guide", National Cooperative Freight Research Program (NCFRP) Report 11
  - 16) Port Equipment Manufacturers Association (2012), "Container terminal yard automation", PEMA information paper
  - 17) Benedict Young (2007), "Picking the right crane", cargo system, online: [https://www.tba.nl/resources/press+sec-tion/publications/picking\\_the\\_right\\_crane.pdf](https://www.tba.nl/resources/press+sec-tion/publications/picking_the_right_crane.pdf)

(Received October 1, 2020)

(Accepted October 2 2020)

## Analysis and Modeling of RTG Container Terminal Congestion

Madoka IKEMACHI, Tetsuya SHIRAISHI and Takashi MASAOKA

Container terminal congestions in urban area become a major social problem in Japan. Though stakeholders have been making great efforts to address this issue, the fundamental mechanism of terminal gate congestions has not been well understood. This study tries to figure out the fundamental mechanism of terminal gate congestions by focusing on the interaction between external trucks, internal trucks, and yard equipment handling operations. Through AutoMod simulation modeling and analysis of RTG container terminal in Port of Tokyo, this study finds that the major cause of the congestion is the lack of cargo handling capacity inside the terminal because terminal operators deploy cargo handling equipment for the vessel loading/unloading not for external trucks. As a reasonable approach for this problem, this study proposed to utilize external truck parking space adjacent to the container terminal which separates external truck operations and vessel operations.