

コンテナ・ターミナルにおけるトレーラーの交通特性とゲートの効果的な運用に関する研究

元野, 一生

<https://doi.org/10.15017/1785457>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 論文博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

コンテナ・ターミナルにおけるトレーラーの交通特性と
ゲートの効果的な運用に関する研究

平成 28 年 7 月

元野 一生

緒 言	1
本 論	4
1. はじめに.....	4
2. 内外のゲート混雑対策の概要.....	6
2.1 待ち行列理論からみたゲート混雑の解法.....	6
2.2 モーダル・シフトによるトレーラー交通量の分散.....	8
2.3 ターミナル予約システムによるピーク時トレーラー交通量の制御.....	10
2.4 ゲート運営時間の拡大によるトレーラー交通量のピークの分散.....	14
2.5 ゲートのレーン数の追加.....	16
2.6 IT化によるゲート処理能力の向上.....	17
2.7 IDT除去によるゲート処理能力の向上の可能性.....	20
3. 研究の取り組み方針.....	22
3.1 ゲート混雑対策としてのIDT除去の一般化理論.....	22
3.2 IDT除去対策の効果的な運用方法の検討.....	27
3.3 研究仮説と研究の目的.....	31
3.4 研究の方法.....	32
4. 博多港でのゲート混雑対策の分析.....	35
4.1 博多港でのゲート混雑対策の概要.....	36
4.2 現地交通観測とシミュレーションモデルの構築.....	38
4.3 シミュレーション結果.....	45
4.4 社会的ジレンマ理論からみた博多港のゲート混雑対策運用の評価.....	53
5. 名古屋港でのゲート混雑対策の分析.....	57
5.1 名古屋港でのゲート混雑対策の概要.....	58
5.2 現地交通観測とシミュレーションモデルの構築.....	60
5.3 シミュレーション結果.....	68
5.4 社会的ジレンマ理論からみた名古屋港のゲート混雑対策運用の評価.....	77
6. おわりに.....	81
6.1 ゲート混雑対策としてのIDT除去の有効性.....	81
6.2 ゲート混雑対策の効果的な運用.....	83
6.3 今後の課題.....	85
謝 辞	86
参考文献	88
参考データ	93
1. データ収集総括.....	93
2. 博多港.....	94
2.1 ターミナル配置とシミュレーションのモデルレイアウト.....	94
2.2 トレーラーの日当たり発生交通量の設定.....	95
2.3 トレーラーの時間帯別の発生交通量の設定.....	96
2.4 シミュレーションの結果.....	97
2.5 費用対効果分析の結果.....	101

3. 名古屋港.....	104
3.1 ターミナル配置とシミュレーションのモデルレイアウト	104
3.2 トレーラーの日当たり発生交通量の設定	105
3.3 トレーラーの時間帯別の発生交通量の設定	106
3.4 シミュレーションの結果.....	107
3.5 費用対効果分析の結果	112

緒 言

国際海上コンテナ輸送は、サプライチェーンの世界的な展開により、輸送コストの低減や、輸送の速達性、定時性が強く求められている。一方で、急増するコンテナ取扱量やコンテナ船の大型化により、コンテナ・ターミナルでは、岸壁側のみでなく、陸側のゲート混雑が発生し、それが世界的な問題となっている。しかし、ゲート混雑の緩和のためのアクセス交通ネットワークの増強は、巨額の投資と長期の時間を要する。このため、各ターミナルでは即効性のあるゲート混雑対策として、ゲート処理能力の増強やピーク時交通量の平準化などの対策に取り組んでいる。

本研究では、ゲート混雑現象の原因は様々な条件によって異なるものの書類不備車両（Improper Document Trailer: IDT）が隠れたひとつの要因であることを明らかにする。例えば、書類正常車両（Proper Document Trailer: PDT）のゲート処理時間は 50 秒程度であるものの、IDT では長時間を要する場合もある。このため、ゲート混雑現象を、①到着するトレーラー群の中に一定の割合で IDT が存在すること、②その IDT のゲート処理時間が PDT に比べて長くゲートの処理能力を著しく損なっていることを考慮して分析し、またそれを改善するために IDT の除去が効果的であるとの仮説を提示する。その仮説に対して、交通実態調査からトレーラー群の時間帯毎のゲート到着分布や、IDT の混入率とそのゲート処理時間等を計測し交通特性を明らかにするとともに、IDT の除去が効果的なゲート混雑対策であることを数値シミュレーションにより検証する。最後に、IDT の除去には個々のトレーラー運転手の行動を合理的なものに誘導していくことが必要になるため、社会的ジレンマ理論の枠組みを適用して、トレーラー運転手の行動変容を効果的に促す手法を提案する。

まず、第 2 章において、文献調査によって収集した国内外のゲート混雑対策の事例を待ち行列理論の視点から整理する。これにより、従来のゲート混雑対策は、全てのトレーラーが PDT であるという前提に基づいた対策であり、IDT によるゲート処理への悪影響が考慮されていないこと、IDT を引き起こす要因であるトレーラー運転手の非協調行動について、研究が進んでいないことを指摘する。

第3章において、本研究の取り組み方針について述べる。名古屋港と博多港では、ゲート混雑対策の方法は異なるが、IDTの除去により、ゲート混雑を効果的に軽減している。このため、IDTの混在がゲート混雑の主要な一因であるという仮説形成を行い、2つの港湾を対象に交通実態調査と数値シミュレーションにより仮説を検証する枠組みを提示する。そのうえで、一定程度のIDTの混入があり、それがゲート処理時間に大きな影響を及ぼしている場合には、IDTを取り除くことが混雑緩和の有効な手法であることを提案する。また、我が国のゲート混雑対策によるトレーラー運転手の行動変容を社会的ジレンマ理論の枠組みで分析し、効果的にトレーラー運転手の行動変容を促す手法を併せて提案する。

第4章では、博多港でのゲート混雑対策を事例に分析する。博多港には、2つのターミナルがあるが、ゲート管理は博多港ふ頭（株）が一元的に行っている。IDT対策として、ITシステムを用い、ゲート前やアクセス道路のリアルタイムの混雑状況や輸入コンテナの引き取りが可能か否かの情報をトレーラー運転手らに直接提供できるようにしたこと、また事前の入構情報の登録をトレーラー運転手に求めることで、IDTを除去し、ゲート処理時間を短縮し、ゲート混雑を改善している。博多港の交通実態調査では、IDT混入率は10%程度、IDT除去対策後の（すなわちPDTの）ゲート処理時間は、ICターミナル（トランスファークレーン方式）で平均53秒、香椎ターミナル（ストラドルキャリア方式）で平均130秒とヤード内荷役方式によって大きな差があることが報告されている。また数値シミュレーションにより、どちらの荷役方式のターミナルにおいてもIDT除去対策を行うことでゲート混雑が大幅に緩和されることを確認する。

また、博多港では、ゲート管理がそもそも博多港ふ頭（株）に一元化されており、利用者であるトレーラー運転手らに対するゲート混雑対策のルールの徹底が効果的に図られたこと（構造的方略）、また、システム設計が利用者に配慮したものとなっており、利用者が容易に参加できたことで（心理的方略）、協調行動者が増え、ゲート混雑の低減が図られ、効果的に社会的ジレンマ理論にもとづくゲート混雑対策が運用されたことを確認する。

第5章では、名古屋港でのゲート混雑対策を事例に分析する。名古屋港飛島ふ頭では4つのターミナルがあり、それぞれ独立したゲート管理が行われている。IDT除去対策としては、個々のターミナルゲートの上流に集

中管理ゲートを設け，入構予定のすべてのトレーラーと積載コンテナの検査を集中管理ゲートで一元的に行うことにより，個々のターミナルゲートでの検査は必要なくなり，同時に IDT を除去することでゲート混雑を大幅に改善している．名古屋港の交通実態調査では，IDT 混入率は 12.7%，ゲート処理時間は，IDT で平均 204.5 秒と PDT の平均 165.4 秒を大きく上回っていることが報告されている．また数値シミュレーションにより，IDT 除去対策を行うことで，個々のターミナルはもとより，ふ頭全体の混雑が大幅に緩和されることを確認する．

また，名古屋港では，飛島ふ頭の 4 つのターミナルを個々のターミナル・オペレーターがそれぞれ管理しているが，集中管理ゲートを設けることで，利用者であるトレーラー運転手らに対する統一的な対応を取ることができたこと（構造的方略），また，集中管理ゲートの設計段階から利用者の意見を反映してきたことや，集中管理ゲートの効果の説明を丁寧に行ってきたこと（心理的方略）により，協調行動者を増やしていくことができ，効果的に社会的ジレンマ理論にもとづくゲート混雑対策が運用されたことを確認する．

最後に，コンテナ・ターミナル陸側におけるトレーラーの交通特性として，一定程度の IDT の混入があり，それがゲート処理時間に大きな影響を及ぼしている場合には，①IDT 除去対策がゲート混雑改善に有効であること，②その適用には個々のトレーラー運転手の行動変容を促すことが重要であることを指摘する．また，本研究の限界や残された課題を整理したうえで，この研究分野における今後の研究の方向性を明らかにする．

本 論

1. はじめに

世界的規模でサプライチェーンが急速に展開するなか、海上輸送の分野でも輸送費用の低減と輸送時間の短縮、さらには確実な輸送サービスが求められている。このうち輸送時間の短縮については、海上輸送やコンテナ・ターミナル（以下「ターミナル」と略す）での荷役に要する時間が従来では最大の関心事であったが、近年、コンテナ・トレーラー（以下「トレーラー」と略す）のターミナルへの入出構に深刻な混雑が発生し、その遅延が世界的な関心事になってきている。

港湾の競争力は、背後圏との接続性に強く影響される。Aronietis *et al.* は、欧州の Hamburg 港から Le Havre 港の間に位置するコンテナ港湾群を利用する 11 の主要船社へのインタビューにより、船社からみた港湾の競争力を調査した。その結果、背後圏との接続性（Hinterland connections）が、輸送費用に次ぐ判断基準となっていることが明らかになった¹⁾。また、Wan *et al.* は、米国の主要な 11 のコンテナ港湾を対象にアクセス道路混雑が船社の港湾選択に影響する度合いを統計的に解析した結果、船社は、遅延の発生するアクセス道路環境にある港湾より他の競合港湾を選好する傾向があることを示している²⁾。

投入コンテナ船の大型化もゲート混雑を招く要因となっている^{3), 4)}。OECD/ITF によると、極東～欧州ルートのような長距離航路に近年投入されているコンテナ船の積載容量は 20,000TEUⁱに達するようになっている³⁾。このように積載容量の大きい超大型コンテナ船の投入は、一回の寄港でより多くのコンテナの荷卸し・荷揚げが行われることになり、これがターミナルでの一日当たり取扱量のピークを増大させ、ゲート混雑を助長している。その結果、ピーク交通量がゲート能力を超えた場合には、コンテナ船が入港前に洋上待機することにもなり、その時間ロスを取り戻してスケジュール通りの運航を維持するため、次の寄港地に向けて航行速度を速めることが燃料消費増に繋がる。そして、結果的に船社や荷主に追加費用が圧

ⁱ TEU: Twenty-foot Equivalent Unit. 海上コンテナの単位で、20 フィートコンテナ換算単位。

し掛かることになる。さらに、コンテナ船の超大型化により長距離航路に投入されていた従来の大型船は中距離航路へ、中距離航路へ投入されていた中型船は近海航路へと、連鎖的に配船される現象（カスケード現象）が見られる。Furuichi and Shibasaki は、このカスケード現象により、取扱量が多い少ないにかかわらず多くのターミナルではピーク時荷役量の増加を引き起こし、ひいては、ターミナルのゲート混雑を誘発していると分析している⁴⁾。

こうした世界的なコンテナ取扱量の増加に伴うコンテナ船の超大型化に対応し、港湾管理者などの公的機関やターミナル・オペレーターはターミナルのゲート混雑改善のため、アクセス道路ネットワークや新規のターミナルの建設のほか、ピーク時に集中するトレーラー交通量の制御や、ゲート処理能力の向上などの工夫によるゲート混雑対策を講じている。しかし、このようなゲート混雑対策を効果的に運用する仕組みについては、港湾間、ターミナル間を超えて議論されることは極めて少なかった。

本研究では、ゲート混雑現象の原因は様々な条件によって異なるものの書類不備車両（Improper Document Trailer: IDT）が隠れたひとつの要因であることを明らかにする。例えば、書類正常車両（Proper Document Trailer: PDT）のゲート処理時間は 50 秒程度であるものの、IDT では 5 分以上を要する場合もある。このため、ゲート混雑現象を、①到着するトレーラー群の中に一定の割合で IDT が存在すること、②その IDT のゲート処理時間が PDT に比べて長くゲートの処理能力を著しく損なっていることを考慮して分析し、またそれを改善するために IDT の除去が効果的であるとの仮説を提示する。その仮説に対して、交通実態調査からトレーラー群の時間帯毎のゲート到着分布や、IDT の割合とそのゲート処理時間等を計測し交通特性を明らかにするとともに、IDT の除去が効果的なゲート混雑対策であることを数値シミュレーションにより検証する。最後に、IDT の除去には個々のトレーラー運転手の行動を合理的なものに変えていくことが必要になるため、社会的ジレンマ理論の枠組みを適用して、トレーラー運転手の行動変容を効果的に促す手法を提案する。

2. 内外のゲート混雑対策の概要

まず，文献調査によって収集した内外のゲート混雑対策の事例を待ち行列式の理論に基づき整理する．これにより，従来のゲート混雑対策は，全てのトレーラーが PDT であるという前提に基づいた対策であり，IDT によるゲート処理への悪影響が考慮されていないこと，IDT を引き起こす要因であるトレーラー運転手の非協調行動について，研究が進んでいないことを指摘する．

2.1 待ち行列理論からみたゲート混雑の解法

本研究では，ターミナルのゲート混雑とは，トレーラーが目的地とするターミナル・ゲートの前やゲートに直結するアクセス道路上において待機をしている状態と定義する．ターミナルのゲート混雑を，待ち行列理論に基づくゲートの利用率⁵⁾で説明する．ゲートの処理の能力（分母： $s\mu$ ）とトレーラーの到着率（ λ ）がゲート混雑を規定するパラメーターである．ゲートの利用率(ρ)が 100%を超えると混雑が発生することになる．

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (1)$$

ρ ：ゲートの利用率（%）

λ ：ゲートへのトレーラー到着率 [時間当たりトレーラー到着台数]（台／時間）

s ：ゲートのレーン数

μ ：レーン当たりのサービス率 [時間当たりゲート処理台数]（台／時間）

これまで国内外で講じられてきたゲート混雑対策をゲート利用率の式に沿って順次説明する．

- 1) 第一の対策は時間当たりトレーラー到着台数（分子： λ ）を制御することである．これには 3 つのオプションがあり，① On Dock での鉄道への引き込みや内陸水運にモーダル・シフトさせることでゲートへの時間当たりトレーラー到着台数を減少させること，②ターミナル予約シ

システムの導入し時間当たりトレーラー到着台数を制御することや③ゲート運営時間の拡大による時間当たりトレーラー到着台数を分散させることなどがある。

- 2) 第二の対策は、ゲートのレーン数を増やす（分母： s ）ことによりゲート処理能力を増強することである。
- 3) 第三の対策は、レーン当たりのゲート処理能力（分母： μ ）を向上させる方法である。これには2つのオプションがあり、①IT化によりゲート処理時間を短縮すること、②到着するトレーラーの一部に含まれている書類不備車を除去し、書類不備車に要するゲート処理時間を短縮することである。

また、これらの方法を併用して相乗効果を上げることも期待できる。この第三のオプション**(b)**が、本研究の対象するものである。

2.2 モーダル・シフトによるトレーラー交通量の分散

まず、第一の対策の1番目のオプションは、On Dockでの鉄道への引き込みや内陸水運にモーダル・シフトさせることやコンテナ・ターミナルを新設することでゲートに到着する時間当たりトレーラー交通量を減らすことである。この考え方により採られた具体的な計画を見てみよう。

米国では、Los Angeles市とLong Beach市はLA/LB港から大陸横断鉄道のターミナルまでを繋ぐ全長32キロの貨物専用鉄道線をLA/LB港から市街地を抜ける道路渋滞区間に並行して整備した⁶⁾。これは、Alameda Corridorと呼ばれ、1982年の調査開始以来20年の工事期間、総工費24億ドル(約2,860億円ⁱⁱ⁾)を要したプロジェクトである。2002年の供用後は道路交通の渋滞緩和に貢献し、2015年では一日当たり43本の列車運行により12,513TEUのコンテナを扱っている。

オランダでは、Rotterdam港からドイツ西部のEmmerichを結ぶ全長160キロの貨物専用鉄道線Betuwe Line^{7), 8)}を2007年に供用開始し、港湾ゲートやアクセス道路の混雑改善に貢献している。このプロジェクトは、1995年のオランダ国会承認後2007年の供用まで13年の工事期間と総工費47億ユーロ(約6,020億円ⁱⁱ⁾)を要している。さらに、Rotterdam港ではトレーラー交通の都市中心部への流入を抑えるため、トレーラーから鉄道やバージによる内陸水運に転換させる優遇措置をターミナル・オペレーターが講じている⁹⁾。

また、日本ではターミナルの新設により到着するトレーラー交通の地理的分散を図っている。東京港では増大するコンテナ貨物量への抜本的な対応と都心交通への負荷の地理的分散を同時に達成するため、中央防波堤沖側の埋立地にターミナルを建設しているⁱⁱⁱ⁾。2017年供用予定のターミナルの整備には、11年の期間と約1,130億円の費用が見込まれる。また環状道路等に繋がるアクセス道路は2012年に開通しているが、20年以上の歳月

ii 各国の邦貨換算は、2016年1月24日現在。日本円に対し、ユーロ128円、豪州ドル83円、英国ポンド170円、カナダドル84円、米国ドル119円。

iii 平成26年2月東京港総合渋滞対策を策定。抜本的な機能強化として中央防波堤外側のコンテナ・ターミナルの整備や既存ふ頭の再編等、また短期的な取組として早朝ゲートオープン、車両待機場の整備、違法駐車対策を講じることとしている。

と約 2,640 億円を要した。

以上のように、アクセス交通ネットワークの整備や都市中心部から離れた場所でのターミナルの新設は、トレーラー交通の市街地への流入による都市交通への負荷を緩和する効果は期待できるが、長期間にわたる巨額の投資が必要であり、それまでの短期・中期の対策が取り難いという特徴がある。また、バージによる内陸水運は、運河や河川の内陸水路が利用可能な港湾に限定される選択肢であり、全ての港で適用可能という訳ではない。

2.3 ターミナル予約システムによるピーク時トレーラー交通量の制御

第一の対策の2番目のオプションは、ターミナルへ入構するトレーラーの時間毎の台数を事前に割り当て、ピーク時のトレーラー交通量を制御するターミナル予約システム（TAS）^{iv}を導入することである。

2003年7月、米国カリフォルニア州でユニークな州法 AB2650 が発効した^{10) - 13)}。同法は、排気ガス削減のため、TAS の導入か、ゲート運営時間の拡大措置のいずれかをターミナルに対して求めた。予約したトレーラーにゲート前で30分以上のアイドリングが発生した場合は、ターミナルは、アイドリング車両1台につき250ドルの罰則金の支払が求められた。ゲート運営時間の拡大をしたターミナルでは、罰則金は適用されない。同州大気環境監視局^vが、同法の順守を監視し、同州では Los Angeles 港（年間取扱量816万 TEU: 2015年）、Long Beach 港（年間取扱量719万 TEU: 2015年）、8ターミナルが稼働している Oakland 港（年間取扱量239万 TEU: 2014年）が同法の対象となった。

Giuliano *et al.*¹¹⁾の調査によると、LA/LB 港では13のターミナルのうち9つで、それぞれ独自の手法による TAS を採用した。（ゲート運営時間の拡大を採用したターミナルは5つであったが、いずれも従前から時間拡大していたターミナルであり、同法を契機に新規に時間拡大を始めたターミナルはなかった。）また、多くのターミナル・オペレーターは、事前予約をトレーラーに義務化しなかったことから、わずかのトレーラーが TAS を利用したものの、予約したトレーラーに対して専用レーンや優先ゲートなどの優遇措置がなかったため、トレーラーには TAS 利用が広がらず、結果として混雑改善に繋がらなかった。例えば、LA 港の TraPac ターミナル¹²⁾は、同法に基づいて TAS を導入したが、予約トレーラーが、港内の交通混雑による到着時間の遅延が発生することや、1日のうちに複数のターミナルでコンテナの搬出入を行うとなると先のターミナルでの所要時間が読めないことなど、自身のターミナルだけではコントロールできない要因も

^{iv} TAS: Terminal Appointment System の略、Terminal Reservation System. Vehicle Booking System (VBS)とも称される。

^v サウスコースト大気質管理区とベイエリア大気質管理区（Air Quality Management District）。同州によって設立された組織（Agency）で全州の35の大気質管理区のうちの一つが監視主体となった。

あり、結果として 10%ないし 20%のトレーラーが予約をしたに過ぎなかった。

Oakland 港で導入した TAS¹³⁾ は、24 時間前でなくても、事前であれば 15 分前でも予約を受け付けた。また、予約の方法も、電話、FAX、e-mail、web のいずれでもできるようにした。さらに、予約のすっぽかし(No- Show)をなくすため、予約をコンテナ単位としたことにより、結果的にひとつのコンテナに対する複数の予約を避けることができた。TAS に併せて、ターミナル・オペレーターは、ゲートに自動化技術を導入して運転手とゲート検査員の確認作業を減らし、ターミナル全体で 65%の労働力の節減を達成した。

New Orleans 港（年間取扱量 49 万 TEU: 2014 年、バース数 2）でも Gate Entry Management (GEM) と呼ばれる TAS を導入した¹³⁾。このシステムでは、トレーラーは Web を経由して入構時間の予約ができるほか、トレーラーがターミナルに到着する前に搬出貨物の通関情報を確認することができる。これらのシステムは、交通渋滞を改善し、トレーラーの Turnaround Time^{vi}を 30%低減でき、トラック事業者の生産性の向上を実現している。

また、カナダの Vancouver 港（年間取扱量 291 万 TEU: 2014 年、ターミナル数 4）は、1999 年に北米で初めて TAS の導入を義務化した港湾である^{12), 13)}。港湾管理者である Port Metro Vancouver (PMV) は、カナダ海事法により、PMV はトラック輸送事業免許に TAS の順守を義務付けている。コンテナ年間取扱量が 90 万 TEU（1999 年）から 180 万 TEU（2005 年）へと急速に増大しているものの、TAS 導入前は 3 時間に及んだゲート待ち時間は 30 分以下に短縮した。しかし、その後のコンテナ取扱量の増加により、ゲート混雑が再燃した¹²⁾。これに対応するため、PMV は 2013 年 10 月から Turnaround Time^{vi}が 90 分を超えた場合、ターミナルは PMV に 50 カナダドル/ trip（約 4,200 円ⁱⁱ⁾）を支払うことを義務付けた。また、その実行を確実にするため、個々のトレーラーの動きを追跡できる GPS 端末をトラック事業者に配布した。その経費は PMV をはじめとした公的セクタ

^{vi} Turnaround Time: トレーラーに荷積みしてから、再度荷積みした場所に戻るまでの所要時間。本稿では、トレーラーがターミナルに到着してから、荷卸し・荷積みなど行いターミナルを出構するまでを時間を指す。Truck Turn Timeとも称される。

一が負担している。

英国の Southampton 港（年間取扱量 160 万 TEU: 2011 年）のターミナルは DP World が運営している^{14), 15)}。DP World の前のターミナル・オペレーターであった SCT が 2003 年に TAS を導入したが、義務化しておらず不調に終わっている。その後、2005 年には SCT は TAS を義務化した。2006 年には DP World に運営権が譲渡されたが、TAS は引き継がれている。その際に、予約はコンテナ単位とし、ピーク時間（4 時から 6 時、14 時から 18 時）の予約には 1.16 ポンド（約 200 円ⁱⁱ⁾）を課し、それ以外の時間帯は無料とした。そして、予約のすっぽかし（No-Show）には 28.92 ポンド（約 4,920 円ⁱⁱ⁾）が課される。予約の変更はトレーラー運転手の携帯電話からでき、ターミナルのゲート前には予約時間より早着したトレーラー向けの待機場所が用意され、予約はスロットに余裕があれば直前でも受け付けるなど、自由度の高いシステムとした。この結果、Turnaround Time は平均 30 分となり、TAS は効果を発揮した。英国運輸省（Department for Transport）では、この取り組みを先駆的とし、2007 年 Felixstowe 港に導入したほか、新規開発プロジェクトの実施前には TAS の導入によるゲート混雑改善を検討することを求めている¹⁶⁾。

豪州 Botany 港（年間取扱量 229 万 TEU: 2014 年 7 月～15 年 6 月、ターミナル数 2）では、DP World と Patrick の 2 つのターミナル・オペレーターが、それぞれ 1990 年代に TAS を導入した^{vii)}。それ以来、TAS のメリットとその負の影響について意見が交わされてきた^{14), 15), 17), 18)}。2007 年には、New South Wales (NSW) 州政府が現行の制度レビューを Independent Pricing and Regulatory Tribunal (IPRT) に依頼した^{viii)}。IPRT の調査結果によると、ターミナル・オペレーターはターミナル運営の効率化のための TAS の重要性を強調したものの、トラック事業者、通関業者らは TAS の負の影響を訴えた。例えば、ターミナル・オペレーターが、不透明なスロット配

vii 豪州 Botany 港の DP World ターミナルでは 1990 年代中期の P&O Ports が運営していた時期に TAS が導入され、また、Patrick ターミナルでは 1999 年に TAS を導入した。

viii 豪州の NSW 州政府は、ゲート混雑対策をルール化するため、同州の公共料金裁定機関の Independent Pricing and Regulatory Tribunal (IPRT) にトレーラー側とターミナル・オペレーター側の調整を依頼した。IPRT の提言をもとに、州政府は港湾管理者である Sydney Ports Corporation による TAS の料金設定を決定した。IPRT は、水道、ガス、公共交通、タクシーなど公共料金を調査し、その後の料金価格を決定する。

分を行っている，過酷な罰則金で自分たちの収益を上げている，などの指摘が挙げられた．NSW 州政府は IPRT の調査結果をもとに，港湾管理者である Sydney Ports Corporation (SPC) に具体的な調整を指示した．当初は関係者らによる自主的な解決を期待したが，2 年間の交渉の末，調整は不調に終わった．このため，州政府は公定料金システム (Administered price system) の導入を行うこととした¹⁸⁾．2011 年 2 月から新たな枠組みの導入・運用が開始され，トラック事業者は，早着，遅延やすっぽかし (No-Show) の際に，ターミナルに対して 50 ないし 100 豪州ドル (4,150~8,300 円ⁱⁱ⁾ の罰則金を支払う．一方で，ターミナルは，Turnaround Time が 50 分を超過した場合に，15 分につき 25 豪州ドル (2,075 円ⁱⁱ⁾ をトラック事業者に対して支払うものである．トレーラーには RFID タグ^{ix)}が搭載され，時間をモニターされるが，それらの経費は 1TEU 当たり 10 豪州ドル (830 円ⁱⁱ⁾ の港湾利用料金 (Wharfage) を課すことで賄うことにした．また，ターミナル近傍にトレーラーが 50 台収容できる専用待機場を設け，中にはシャワールームを用意し，軽食も取れるよう福利厚生を充実した．これらの措置に対して，ターミナル・オペレーターは港湾利用料金の導入に不満を表明したものの，Turnaround Time の低下，トレーラーの到着の定時性の向上，ピーク時のゲート前混雑の減少，などの効果を挙げ，他の関係者からは好評を得た．

以上のことから，TAS の導入に当たっては，港内に複数のターミナルがある場合は，トレーラーが TAS へ対応しやすいように全てのターミナルで TAS の導入を図るべきであり，遅延や No-Show への罰則を厳格に適用するため，RFID 等の導入によってトレーラーの動きを正確に捕捉できるようにし，また，トレーラーの到着遅延を防ぐために専用待機場の設置も考慮すべきである．

^{ix} RFID タグ: Radio Frequency Identifier の略．ID 情報を埋め込んだ RFID タグから，電磁界や電波などを用いた近距離の無線通信によって情報をやりとりするもの．

2.4 ゲート運営時間の拡大によるトレーラー交通量のピークの分散

第一の対策の 3 番目のオプションは、ゲート運営時間（例えば LA/LB 港の一般的なターミナルでは 8 時から 17 時）を拡大することでターミナルに到着する時間当たりトレーラー台数のピークを分散させることである。特に、トレーラー交通量をピーク時間帯から夜間などオフピーク時間帯へ何らかの形で誘導することによりピーク時の交通量を減らすものである。Cao *et al.* は、New York and New Jersey 港（以下「NY/NJ 港」と略す）の Port Newark Container Terminal を事例に交通シミュレーションモデルを用いて、最も効果的な混雑緩和策は、ターミナルに到着するトレーラー交通量の少ない時間帯へのゲート運営時間の拡大であると、指摘している¹⁹⁾。一方で、Giuliano and O'Brien は、ゲートの運営時間を時間外に拡大することは、昼間と異なる超過賃金の要求、作業時間の保証、ギャングの人数保証などが港湾労働者側から求められる可能性があることから、ターミナル・オペレーターは、労働生産性（Longshore Labor Productivity）の観点から、従前の昼間のみのゲート運営に留めたい傾向にあると、指摘している^{21), 22)}。

具体の事例を見てみる。LA/LB 港は、平日ピーク時の搬出入トレーラーに対して 50 ドル/TEU(2006 年 4 月時点)の交通緩和料金(Traffic Mitigation Fee: TMF)を課し²¹⁾、オフピークの時間帯や、Alameda Corridor（貨物専用鉄道）の利用を促す PierPASS プログラムを 2005 年 7 月に導入した²⁰⁾⁻²²⁾。これにより、州法 AB2650 による TAS 導入は適用されないことになった。この課金制度では、荷主や代理店が支払い者になり、トラック事業者や船社は対象としていない。さらに、ターミナルがゲート運営時間を拡大して運営することで、ターミナル側に昼間と異なる超過賃金などの追加的な費用が発生するが、これに対しては TMF を財源にその支払いを行うとしている。LA/LB 港では、PierPASS プログラムの導入により平日昼間のトレーラー到着台数を全到着台数の 90%から 66%に減少させることに成功した。一方、2005 年 7 月から 2006 年 9 月の観測データによると、この間に取り扱われた 1 週当たりコンテナ貨物量のオフピーク時シェアは、2005 年 7 月の 37.5%から一週間平均で 0.08% ずつ増加し 2006 年 9 月には 42.0%に増加している²⁰⁾。このような分析結果から、このプログラムはトラック事業者からも高い評価を得ている。

他方、NY/NJ 港（年間取扱量 577 万 TEU: 2014 年）の Maher terminal 及び Port Newark Container terminal も同様の取り組みを行ったが、Maher Terminal では昼間交通量のわずか 7%がオフピーク時間帯に移動したに過ぎなかった²³⁾。この理由として、同港では、輸入コンテナ貨物の目的地がターミナルに比較的近いため、夜間にコンテナを引き取りしても、目的地に深夜に届けることになり、ジャスト・イン・タイムのサービスを重視する荷主にとっては現実的でないことが原因と考えられている。

以上のことから、ゲート運営時間の拡大は、シミュレーション上からはピークの分散効果は明らかであるものの、ゲート時間拡大による夜間作業の料金増を負担しなければならないことや、コンテナの横持ちの距離が短い場合は、倉庫や荷主が夜間の作業を行うことになる影響なども考慮する必要がある。

2.5 ゲートのレーン数の追加

第二の対策は、ゲートのレーン数を追加することで、ゲートの処理能力を向上させることである。しかし、入構する時間当たりトレーラー交通量に対してレーン数を時間毎に柔軟に追加や削減することは労使協定から困難なターミナルが多い。これを背景として、ピーク時間のトレーラー交通量にあわせて、一日のレーン数を固定するとゲート能力を十分に活用できないことになる。Guan and Liu は、NY/NJ 港をケースに、ゲート運営費用（レーン数と、そこに配置される検査員数とその時間単価に代表される）と、ゲート混雑により発生するトレーラーの時間費用とは、トレードオフの関係にあるが、この総費用の最適化をシミュレーションにより求めている。レーン数の柔軟な変更が困難なターミナルでは、時間当たりのゲート混雑の発生限界までのトレーラーの入構台数が設定できる TAS の導入が現実的な解決策であると指摘している²⁴⁾。

以上のことから、時間当たりトレーラー到着台数に応じてゲートのレーン数を機動的に増減することが望ましいが、検査員数の機動的な配置対応が困難な場合は TAS が有効な対策となると考える。

2.6 IT化によるゲート処理能力の向上

ゲートでは、構内に進入するトレーラーが持参する書類やコンテナの照合確認が行われる。ターミナルのゲート処理時間（1/μ）については公表されたものは限られている。著者が文献調査で把握した範囲（表 1）では、トレーラー1台当たりの平均ゲート処理時間は最大で 225 秒、最小で 14.9 秒と開差が大きい。書類の EDI 化やコンテナ・トレーラー情報などの入構に関する諸情報や、ゲートでのトレーラーやコンテナの自動認識などゲート手続きの IT 化は、ゲート処理時間（1/μ）を短縮できる可能性がある。このため、第三の対策の第 1 のオプションは、ゲート処理手続きの IT 化により、迅速なゲート処理を実現することである。IT 化については、Port Community System として各国の港湾運営の実情に応じた取り組みが進んでいる²⁸⁾。

表 1 ターミナルにおけるゲート処理時間（1/μ）

ターミナル名	ゲート処理時間（秒）
博多港 IC ターミナル（HiTS 導入後） ²⁵⁾	53.2
名古屋港 TCB ターミナル（集中管理ゲート導入前） ²⁵⁾	158.4
名古屋港 TCB ターミナル（集中管理ゲート導入後） ²⁵⁾	14.9
横浜港本牧ふ頭 BC ターミナル（コンテナ搬入時） ²⁶⁾	120.0
A 港 A ターミナル（コンテナ搬入時） ²⁷⁾	225.0
New York/ New Jersey 港 B ターミナル（入構） ²⁴⁾	146.4

出典）参考文献番号 24), 25), 26), 27)を基に著者が整理したもの。

個別のターミナルとして IT 化による混雑改善に成功した事例として LA 港の TraPac ターミナルがある。このターミナルでは TAS の導入が不首尾に終わったため、ヤード及びゲート処理の効率化に注力し、ヤード方式を On-Chassis 方式^xから GPS^{xi}、OCR^{xii}、RFID の先端技術を導入した RTG 方式^{xiii}に変更したこと、それに加えて、OCR、RFID に対応した自動化ゲー

^x On-Chassis 方式：コンテナ蔵置エリアにおいてコンテナの段積み保管及び払出し作業を行う方式の一つ。オンシャーシ方式は、船からシャーシの上におろされたコンテナをトラクタによりコンテナヤードに運び、シャーシに乗せたままで保管。

^{xi} GPS: Global Positioning System の略、全地球測位システム。

^{xii} OCR: Optical Character Recognition の略。光学文字認識装置

^{xiii} RTG : Rubber Tired Gantry Crane (タイヤ式門型トランスファクレーン) の略。コンテナ蔵置エリアにおいてコンテナの段積み保管及び払出し作業を行う荷役機械。

トを導入した結果、トレーラーの一日当たりのゲート通行台数が 1,500～1,800 台 (moves/day) 程度であったものを 7,500 台まで増加させた。これにより、ゲート待ち時間を従前の 6 時間以上から平均 10 分程度に短縮することに成功した。なお、ゲート処理時間は確認できていない。

また、港全体で IT 化に取り組んだ米国ジョージア港湾局は、Savannah 港 (年間取扱量 367 万 TEU: 2015 年, ターミナル数 1) のコンテナの入出構情報を 24 時間リアルタイムで提供することによって、ターミナルのゲート処理時間を 30% 短縮し、ゲート混雑の緩和に成功している²⁹⁾。また、LA/LB 港でも PierPASS プログラムは、IT システム (CCTV カメラ^{xiv}, OCR や RFID) との併用が効果的であったと報告されている¹²⁾。なお、ゲート処理時間は確認できていない。

我が国では、全国の主要港湾をカバーする情報システムである Colins (コンテナ物流情報サービス) が 2010 年に供用開始したところである。名古屋港や博多港では、Colins に先立ち、IT 化の取組を独自に進めてきた。名古屋港 (年間取扱量 257 万 TEU: 2014 年, ターミナル数 5) においては、コンテナ・ターミナル共通で統一されたコンピューター・システム (NUTS^{xv}) の各ターミナルへの導入が、1999 年に始まり 2005 年に完了している^{30), 31)}。名古屋港では NUTS 導入により、ターミナル内において港運各社が縦割りで行っていた荷役作業を共同化することができた。また一つのターミナルにとどまらず、複数のターミナルでの荷役作業の共同化も可能とし、ターミナルの荷役効率を高めている。コンテナ搬入の際には、トレーラー運転手が持参するコンテナ搬入票と NUTS によって提供されるコンテナ単位の情報の照合確認ができるようになった。また、トレーラーが搬出コンテナを引き取る際に運転手は 3 種類の書類 (搬出指示書/Delivery Order/輸入許可承認書) を持参しなければならなかったが、NUTS 導入後は一つの書

無軌道路面を走行する RTG のほか、軌道面上を走行するレールマウント式 (Rail Mounted Gantry Crane) がある。

^{xiv} CCTV: Closed-Circuit Television の略。閉回路テレビ, 特定の建物や施設内での有線テレビ。

^{xv} NUTS: Nagoya United Terminal System の略。コンテナ在庫管理, 保税管理, 本船情報管理, ゲート管理, EDI 他コンテナ・ターミナルにおける基本情報を統合管理するシステム。NUTS 導入より、ターミナル内において港運各社が縦割りで行っていた荷役作業を共同化することができた。また一つのターミナルにとどまらず、複数のターミナルでの荷役作業の共同化も可能とし、ターミナルの荷役効率を高めている。

類（Dispatch Order）に一本化され，その後 RFID 化されており，ゲート処理時間を著しく短縮している．

博多港（年間取扱量 86 万 TEU: 2014 年，ターミナル数 2）では，コンテナ搬出入情報の統合システム HiTS (Hakata Port Logistics IT System) を 2000 年に導入した³⁰⁾．このシステムによって，輸入コンテナのターミナルからの最新の搬出情報（搬出の可否等）とアクセス道路の混雑情報がトラック事業者や個々のトレーラー運転手に情報開示されている．ゲートブースにタッチパネルを導入し，トレーラー運転手に ID カードを携帯させることで，ゲートでの手続き時間の迅速化を図った．コンテナ搬入の際には，事前登録情報として Booking No, トラックターヘッド番号，搬入予定日，コンテナサイズ，シール番号，コンテナ重量や通関の有無，オーバーディメンジョン情報などがあり，これらを入構前までに HiTS に入力することが義務づけられている．トレーラーの入構に際して，運転手は持参した ID カードをゲートブースに設置されたカードリーダーに挿入し，タッチパネル上に表示されるゲート入構目的を選択する．ゲート検査員は，事前に登録されたコンテナ番号，シール番号をハンディ端末によりペーパーレスで照合確認できることになった．このシステムによって，博多港のゲート処理時間は例えば IC ターミナルで 53.2 秒と，名古屋港の集中管理ゲート導入前，A 港，横浜港，NY/NJ 港と比較してもゲート処理時間の著しい短縮に成功した．

2.7 IDT 除去によるゲート処理能力の向上の可能性

第三の対策の第2のオプションは、ターミナルに到着するトレーラーが持参する書類情報を適正化させ、IDT（書類不備車両）を除去することで、結果としてゲート処理能力を向上させ、ゲート処理容量を増強することである。和田・土田は「名古屋港のターミナルに到着するトレーラーの約13%はIDT」³¹⁾と、Motono *et al.*は「インド Chennai 港で輸入コンテナを引き取りに来たトレーラーの約半数はIDT」²⁵⁾と、米国交通輸送調査委員会 (Transportation Research Board : TRB)は「米国での現地観測結果から、入構するトレーラーのうち約5%がIDT」³²⁾とそれぞれ報告している。Gilfillanも「Botany 港ターミナルでも正確な書類を携帯しないと輸入コンテナを引き取ることができず、それがターミナル運営上支障であること」を指摘している¹⁷⁾。いずれも、IDTがゲート混雑の一要因である可能性を指摘している。

こうしたなか、Motono *et al.*は、名古屋港及び博多港の実態観測結果を基に、名古屋港で12.7%のIDTが混在していること、また、それによりゲート処理時間が長くなり、ゲート処理能力を著しく悪化させていることを数値解析により実証している³³⁾。また、博多港においてHiTS導入前は、約10%のトレーラー運転手が携帯する書類の誤りやコンテナ貨物が未通関であることに気付かないまま渋滞したアクセス道路を長時間掛けてゲートに到着し、ゲート入構を拒否されると納得できずに抵抗してゲート窓口を塞いでしまうなどの混雑を助長する現象が確認されていた。

こうした状況に対して、博多港では、HiTS導入によりコンテナ情報などの事前登録が義務化されたことで、IDTが事実上除去された。名古屋港では、2011年3月にゲート入構の前段階でトレーラーが携行する書類やコンテナを照合確認する集中管理ゲートを飛島ふ頭に設置した。これにより、書類不備のまま集中管理ゲートに到着したトレーラーはその退避場所において書類を整えたうえで、個別ターミナルのゲートに向かうこととなった。例えばTCBターミナルのゲート処理時間は、集中管理ゲート導入前の158.4秒から集中管路ゲート導入後は14.9秒と短縮されゲート混雑は大幅に縮小された。つまりコンテナ関連情報の一元化や事前登録制度によるゲート処理時間の短縮、IDTの除去がゲート処理能力を著しく向上させたの

である。

以上の文献調査を基に、TAS の導入、ゲート運営時間の拡大、IT 技術の導入や IDT の除去など、待ち行列理論に則った需給管理によるゲート混雑対策の導入実態を体系的に整理した。これらのゲート混雑対策は、すべてのトレーラー運転手の携帯する書類やコンテナは問題がないことが前提となっている。しかし、これまでの和田・土田、Motonon *et al.*, US Transport Research Board らの研究から、トレーラー運転手が必要書類を携帯していない、携帯した書類と搭載したコンテナが一致していないなどの理由で、ゲートでの処理時間に長時間を要する IDT の存在が指摘されている。IDT をゲートに入構する前に取り除くことができれば、ゲート混雑の軽減になると考えられる。しかし、著者の知る限りでは、これら IDT による混雑への影響を定量的に評価した研究はなされていない。また、個々のトレーラー運転手をはじめとする関係者が、そのゲート混雑対策の意味を正確に認識し、合理的な行動を取ることが前提となっているが、全ての関係者が必ずしも合理的な行動をとっていない事例（例えば、Ports of LA/LB での TAS の導入時、Botany Port での TAS 導入初期時の混乱）も見受けられた。個々のトレーラー運転手をはじめ全ての関係者が合理的な行動をとるような仕組みをどのように用意すべきであるが、この IDT を引き起こす要因であるトレーラー運転手の非協調行動について、研究も進んでいないことを指摘する。

3. 研究の取り組み方針

本章では、本研究の調査方法を述べる。名古屋港と博多港では、ゲート混雑対策の方法は異なるが、IDTの除去により、ゲート混雑を効果的に軽減している。このため、IDTの混在がゲート混雑の主要な一因であるという仮説形成を行い、二つの港湾を対象に交通実態調査と数値シミュレーションにより仮説を検証する枠組みを提示する。そのうえで、IDTを取り除くことが混雑緩和の有効な手法であることを提案する。また、我が国のゲート混雑対策によるトレーラー運転手の行動変容を社会的ジレンマ理論の枠組みで分析し、効果的にトレーラー運転手の行動変容を促す手法を併せて提案する。

3.1 ゲート混雑対策としての IDT 除去の一般化理論

ここでは、混雑をトレーラーがターミナル・ゲートを通過するまでに、ゲート前やアクセス道路上にて追加的な待機時間を要している状態と定義する。待ち行列理論は、一般的には、混雑対策を評価するのに有効である。ターミナルのゲート混雑は、原理的には、単純な待ち行列式で説明できる。ゲートの処理の能力（分母： $s\mu$ ）とトレーラーの到着率（ λ ）がゲート混雑を規定するパラメーターであり、それに応じて対策を講じることの合理性を理解することができる。また、ゲート前での待機時間は数値シミュレーションでもって計算できる。

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (2)$$

ρ : ゲートの利用率 (%)

λ : ゲートへのトレーラー到着率 [時間当たりトレーラー到着台数]
(台/秒)

s : ゲートのレーン数

μ : レーン当りのサービス率 [時間当たりゲート処理台数] (台/秒)

しかし、仮に IDT が到着するトレーラー群に混入していると、ゲートでの処理に長い時間を要することから、ゲートのサービス率(μ)が小さくなり、

結果としてゲート容量を低下させることになる。例えば, Guan and Liu は, 北米のあるターミナルでのサービス時間の観測から, ゲートサービス時間 ($1/\mu$) は平均 2.44 分 (最大 6.5 分, 最小 33 秒) の指数関数的な分布を示すとしている²⁴⁾ものの, IDT の存在については言及していない。一方で, TRB は北米のターミナルで入構するトレーラーの 5% は IDT である³²⁾と, また, 和田・土田は名古屋港で入構するトレーラーの 13% が IDT である³¹⁾と, 指摘している。

こうしたことから, 一般的な状況下で, IDT の除去がどのようにゲート混雑を軽減するかを理論的に示すことを試みる。混雑式で表されるゲート利用率 ρ をもとに理論的なフレームワークに検討する。ゲートには PDT と IDT の 2 種類のトレーラーが到着することになる。しかし IDT は, PDT に比べて長いゲート処理時間を要する。IDT の運転手は, 書類の不備があってもゲートで何とか書類確認手続きを終えようと, 荷主やフォワーダーに連絡を取ったり, 何とか書類確認を終えようとする。なかなか, あきらめて後続車に順番を譲り, 行列の最後部に並ぼうとはしないのである。図 1 は, IDT と PDT のトレーラーのゲートサービス時間の概念図を示す。IDT は到着するトレーラーのうち大きな割合を占めるのではないかと考えられる。これが, 全体としてのトレーラー処理時間を長くしているのである。

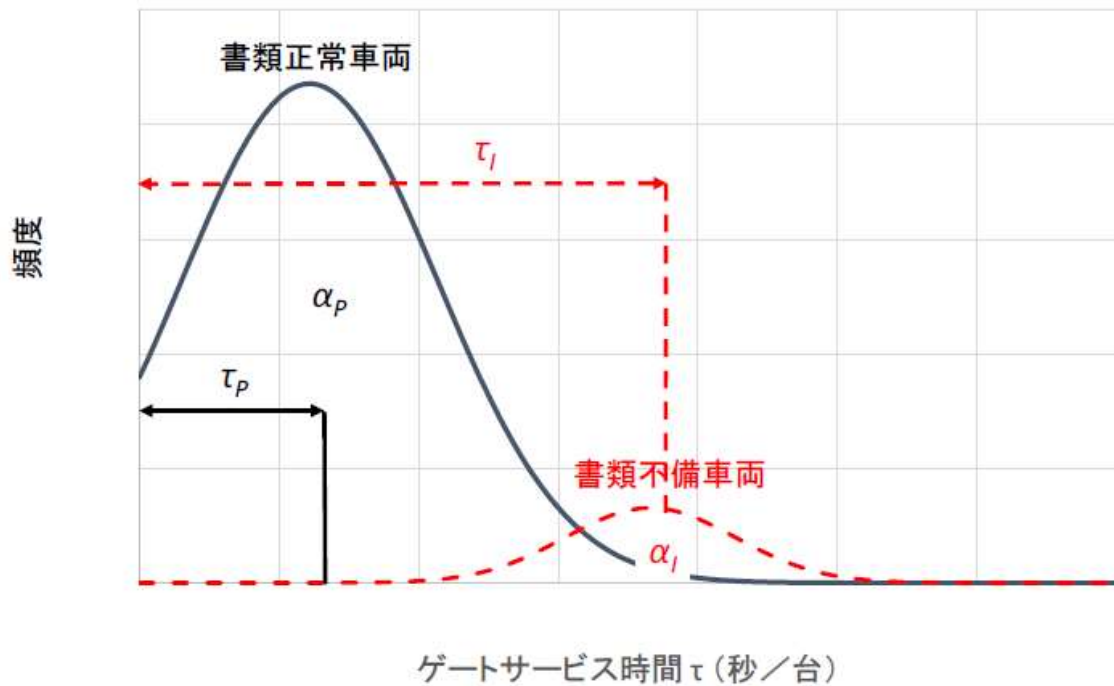


図 1 ゲートに到着するトレーラー群における，IDT と PDT のサービス時間の分布
(仮説)

このことは，混雑式を用いても説明できる．IDT の割合を α_l ($0 < \alpha_l < 1$) とする．PDT と IDT の平均処理時間はそれぞれ τ_p と τ_l とする．IDT は PDT より長い時間を要することから $\tau_l > \tau_p$ となる．よって，利用率 ρ は以下で表される．

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} = \frac{\lambda}{s} [\alpha_l \tau_l + (1 - \alpha_l) \tau_p] = \frac{\lambda}{s} [\tau_p + \alpha_l (\tau_l - \tau_p)]. \quad (3)$$

α_l : IDT の比率

τ_l : ($=1/\mu_l$) IDT のゲートサービス時間

τ_p : ($=1/\mu_p$) PDT のゲートサービス時間

つまり， α_l が大きくなると ρ は大きくなり混雑の発生する．一方で，IDT は除去されると，つまり α_l がゼロになり，混雑は緩和される．この混雑対策は， α_l または $\tau_l - \tau_p$ が大きいと特に有効であることになる．

陸側混雑の原因が，ゲートでのサービス率 (μ) が著しく低下することが報告されている IDT がどのようにゲート利用率 ($\rho = \lambda / (s\mu)$) に影響を及ぼすかについて理解するために，ゲート利用率 (ρ) を以下のように分解する．通常の場合，IDT のゲートサービス時間 (τ_l) は PDT のゲートサービ

ス時間 (τ_P) に比べてはるかに長時間を要することが報告されている。このため、IDT の混入率 (α_I) は 10% 程度と小さいものの、IDT の PDT に対するゲートサービス時間の長時間化の程度を表す ($\tau_I - \tau_P$) が大きくなれば、ゲート全体の能力を著しく阻害する要因となり、結果として陸側混雑の大きな原因のひとつとなる場合があることが理解できる (図 1 参照)。

より一般化した説明を試みる。(3) 式をもとに展開すると(4)式が得られる。

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} = \frac{\lambda}{s} [\alpha_I \tau_I + (1 - \alpha_I) \tau_P] = \frac{\lambda}{s} [\tau_P + \alpha_I (\tau_I - \tau_P)] = \frac{\lambda \tau_P}{s} \left[1 + \alpha_I \left(\frac{\tau_I}{\tau_P} - 1 \right) \right] \quad (4)$$

これをもとに利用率を 1.0 とおき、IDT の混入比率 α_I を横軸に、IDT と PDT のゲートサービス時間の比 τ_I / τ_P を縦軸にとると、混雑の発生限界曲線を描かれる (図 2)。例えば、PDT による利用率 $\rho = \lambda \cdot \tau_P / s$ を 0.90 と固定して考えると、IDT の混入比率 α_I が 0.1 の場合は、 τ_I / τ_P の比が 2.1 となると混雑が発生することを示している。また、これより IDT の混入率 α_I が小さく (0.06) となると τ_I / τ_P の比が 2.9 と 2.1 より大きくなり、IDT の混入率 α_I が大きく (0.14) となると τ_I / τ_P の比が 1.8 と 2.1 より小さくなる。つまり IDT の混入率が少ない場合は、IDT の処理時間が長くなっても混雑は発生しにくい。一方で、IDT の混入率が多い場合は、IDT の処理時間が長くなると混雑は発生しやすくなるのである。

次に、IDT の混入率 α_I を 0.10 と固定して考える。PDT による利用率 $\rho = \lambda \cdot \tau_P / s$ が例えば 1.0 から 0.5 と小さくなると、 τ_I / τ_P は 1.0 から 11.0 と大きくなる。つまり IDT の混入率が一定の場合は、PDT の利用率がさがると、IDT の処理時間が長くなっても混雑は発生しにくいことを示している。

さらに、PDT による利用率 $\rho = \lambda \cdot \tau_P / s$ を 1.0 とした場合、すなわち渋滞は発生するぎりぎりの状態の場合は、IDT が少しでも混入すると混雑が発生することを示している。

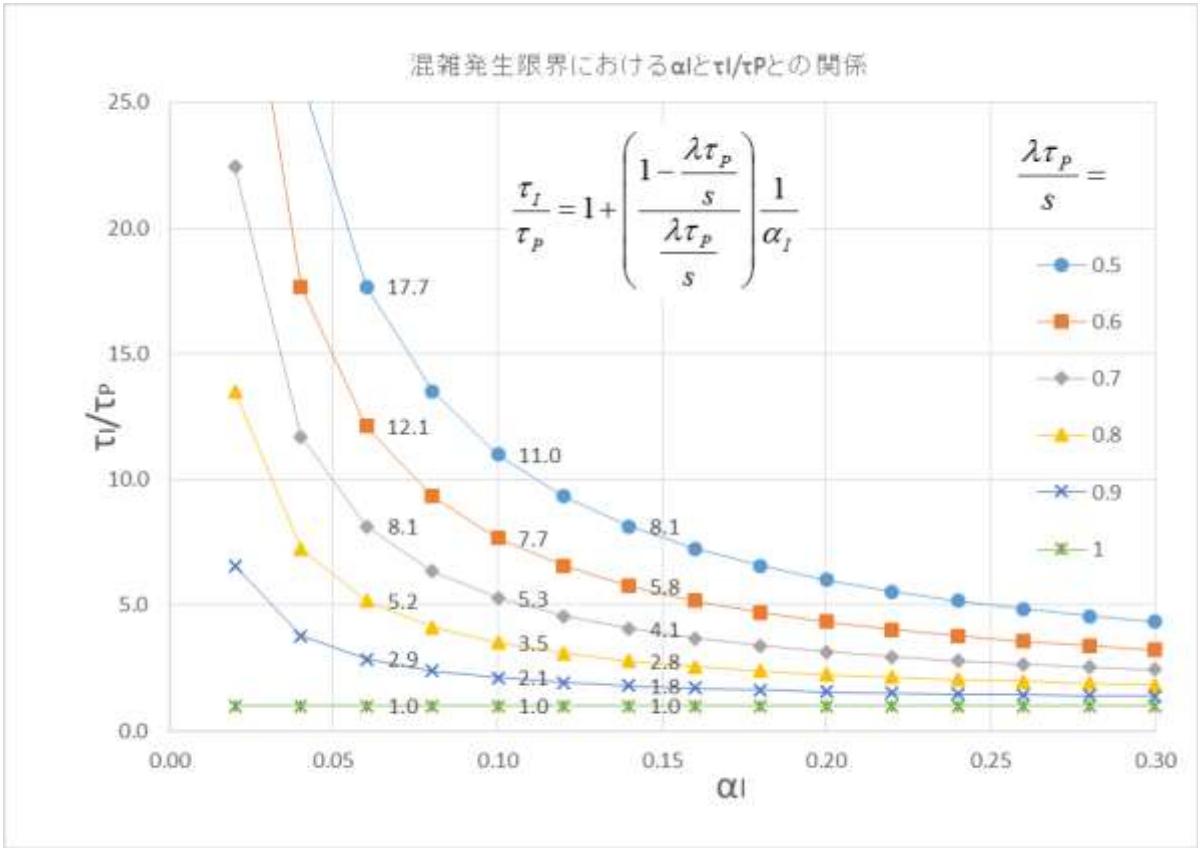


図 2 混雑発生限界における α_I と τ_I/τ_P との関係

3.2 IDT 除去対策の効果的な運用方法の検討

本節では、IDT 除去対策の効果的な運用方法を検討する。講じられる IDT 除去対策は、個々のトレーラー運転手がそれを遵守し、合理的な行動をとることが前提となる。しかし、現実には必ずしもそうではない。このため、ゲート混雑対策を導入した博多港、名古屋港でのトレーラー運転手の行動について、合理的な行動変容が図られたかを社会的ジレンマ理論の枠組みを適用して分析する。その結果、トレーラー運転手の行動変容を促す構造的方策と心理的方策を適切に組み合わせることを提案する。

3.2.1 当事者不在のゲート混雑問題

ゲート混雑には多くの関係者がおり、原因者を特定し難く、それ故に解決のための責任者も特定し難い（例えば、Giuliano and O'Brien²¹⁾, Lubulwa *et al*³⁴⁾, Merk and Notteboom³⁵⁾など）。代表的な関係者のゲート混雑問題についての関わりは次のとおりである。

ターミナル・オペレーターは、ターミナル運営の当事者であり、効率的なターミナル運営により利益の最大化を図ろうとする。岸壁でのコンテナ本船荷役が収益の過半を占めることからその効率化には熱心であるものの、料金徴収のない陸側ゲートやその外側に並んでいるトレーラーへの関心は特別の事情がない限り低い傾向にある。また、ゲート混雑の原因は、アクセス道路の容量不足や一般市街地交通との輻輳など、ターミナル・オペレーター自身だけでは対処できないものも多い。

コンテナの搬出入を行うトラック事業者は、コンテナの輸送ごとにサービスの対価として料金を受け取ることから、輸送が滞ると業務が完遂できず収入が見込めなくなり、ゲート混雑による影響を直接的に被る。しかし、荷主からは輸送を請け負う立場であることに加えて、個人や中小の事業者が多く、組織としての発言力も弱いため、ターミナルへ強い主張はし難い傾向にある。

荷主やフォワーダーは、低廉でスピーディかつ正確なコンテナ輸送を行える港湾、ターミナルを選択する傾向にある。利用しているターミナルに不満があれば、ターミナルを変更するという行動に出ることも出来る。

また、コンテナ取扱量の多い港湾では、複数のターミナルはそれぞれ独立した運営を行い、お互いに競争関係にある。港湾も隣接する近隣港とは顧客獲得をめぐる競争関係にある。それ故に、港湾間、ターミナル間での利害が明らかに一致する場合を除いて、協調行動をとる環境にはない。港湾管理者は、港湾内の利用者便益の向上に繋がる事柄に関しては、利害関係者間の調整を主体的に図る立場にある。しかしながら、港湾と隣接する都市部とのアクセス交通ネットワーク（道路、鉄道、内陸水路など）の整備のように限定的なイニシアティブしか執ることができない事柄も多い。

このように、ゲート混雑問題は、それぞれの主体にとって外部不経済に属するケースが多く、その積極的な解決に向けて主体的にイニシアティブを執る主体が現われ難い構造になっていると考えられる。まずは、主体を特定し、主体が不在であれば主体を設立したうえで、関係者間の調整を行える仕組みを構築する必要がある。

次に、その仕組みの構築方法について考察する。

3.2.2 社会的ジレンマとは

一般的に、ゲート混雑問題のような場合には、多くのプレーヤー（ここでは、トレーラー運転手やターミナル・オペレーターなどの関係者）は、近視眼的に個人の利益になる行動をとりがちで、全体を見据えた行動をとり難いと言われている。すなわち、「社会的ジレンマ」が発生しているのである^{36), 37), 38)}。

著者は、この考え方は、ゲート混雑対策の仕組みづくりにも適用できるのではないかと考える。本来は、トレーラー運転手は、少々手間がかかっても、携帯すべき書類やデータを事前に確認し、ゲートの混雑状況を事前に把握してから出発行動に移るべきである。当事者はそのことを十分認識しているが、我先にゲートでの順番を取るため、事前の準備が不十分なままゲートに向けて出発する、という近視眼的な行動を取りがちである。

例えば、B港では港湾情報システムの導入前は、ゲート混雑が慢性化し、トレーラー運転手は我先にゲート前に続く行列に並ぼうとしていた。物流事業者はトラック事業者に対して「行列に並んでいる間に様々な手続きは

多分クリアするだろう」という見込みで指示を出した結果、実際には書類が整うことなく多くの IDT が発生したものと推察される。しかし、一旦、事前登録の義務化に合わせて、港湾情報システムによりゲート前の混雑状況や、コンテナの通関情報が共有されると、トレーラー運転手はその趣旨を理解し、自ら書類の事前確認やゲートの混雑状況の確認を行い、運転手自身の最も都合の良い時間帯にゲートに向かう行動をとるようになる。その結果、ルールに従った者はターミナルへの入構が認められ、そうでない者は入構を拒否されることが徹底されると、協調行動を取る者が増え、全体最適が実現されるのである。

3.2.3 社会的ジレンマの解決方法

社会的ジレンマの解決方法については、これまでも経済学や社会心理学の分野で広く議論されている。山岸³⁸⁾や藤井^{39), 40)}は、人々を協調的な行動に変化させるには二つの選択肢があるとしている。一つは、インセンティブを与えることにより各人が協調したくなるよう行動変化を促す仕掛けを用意する「構造的方略」である。結果として、協調行動を取る者は一層の利得を得、そうでない者は罰を受けるのである。一見単純な仕掛けに見えるが、罰するには誰かが監視する必要がある、また、この監視に要する費用は誰が支払うのかという問題もある。また、参加者は監視されると嫌気がさし、徐々に当初の自発的な行動の意義を見失っていくのである。すると、新たな行動変化を促す仕組みが必要になるという負のスパイラルに陥る。

第一の選択肢の限界を克服する第二の選択肢は、教育により参加者の心理を協調行動に向かうように変えていく「心理的方略」である。これが、前述の負のスパイラルを断ち切る唯一の方法である。しかしながら、教育を受けて協調行動を取る者が、教育を受けずに非協調行動を取る者によって協調行動の成果を搾取されてしまうという矛盾が発生することもある。これを防ぐには、協調行動を取る者が非協調行動を取る者より、より多くの利得を得るように仕組みを整えていく必要がある。

また、協調行動を取る人の割合がある一定レベル(臨界点)を超えると、群集心理によって雪崩を打ったように全員が協調行動を選択し、結果として対策が有効に機能する。他方、最初の段階から協調行動を取る者が少ないと臨界点に達することはなく、社会的ジレンマは継続することになる。

このため、最初から臨界点を超えるよう、多くのプレイヤーが参加し易い環境を作ることが重要となる。

これまでに国内で導入された様々なゲート混雑対策が、社会的ジレンマ理論に基づいた構造的方略や心理的方略に従う仕組みとして構築されているかどうか分析を試みる。

3.3 研究仮説と研究の目的

3.1 節の議論については普遍性があり，IDT が存在するターミナルに適用可能である．しかしながら，この混雑対策に関しては二つの疑問がある．一つ目の疑問点は，この対策を実際にどう実践するかである．IDT を除くための特別の処置が必要になる．二つ目の疑問点は，実際のこの方法で混雑を軽減できたターミナルがあるのか，である．上記の理論は，どこのターミナルでも有効であるが，その効果の度合いは α_I と $\tau_I - \tau_P$ によるのである．この対策は， α_I や $\tau_I - \tau_P$ に小さい場合はターミナル混雑軽減の効果は少ない．本研究では，対策が効果的に発現するためのよい方法を知る必要がある．これまでの学術論文では IDT の除去をゲート混雑対策として扱ってきてこなかった．著者は，多くのターミナル・オペレーターは IDT 除去による混雑改善策に気づいていないものと考える．本研究の目的は，こうした疑問に答えることで，混雑対策としてもう一つの方法があることを示すものである．また本研究のターミナル・オペレーターへのメッセージとして，自身のターミナルの α_I , τ_I や τ_P を調査してもらい，混雑式を使うことで，IDT を除去することでどの程度混雑を改善できるか評価できることになる．仮にその効果が効果的であれば，IDT を除去するに望ましい方法を採用することになる．無論，すべてのターミナルがこの方式で改善が図られるものではないが， α_I や $\tau_I - \tau_P$ が大きい値をとるターミナルでは効果があるものと考える．

3.4 研究の方法

研究仮説を検証するため、著者は IDT を除去することにより混雑を軽減した港湾は博多港（図 3）と名古屋港（図 4）があることを見出した。著者の知る限りでは、ゲート混雑を軽減できたのはこれらの港しかない。図 5 には研究のフレームワークを示す。

第一の疑問点については、IDT の除去に両港は全く異なる方法を採用している。そのため、それぞれの方法は 4 勝と 5 章で別々に検討する。博多港は、トレーラー運転手の行動を自主的に正常化させることを企図した HiTS を導入した。この方式は、ゲートでの IDT を除去し、ゲートサービス時間を短縮できている。トレーラー運転手がゲート混雑を避けるため自主的に正常行動をとるような環境が整えられたのである。他方、名古屋港は、ゲート前に集中管理ゲートを設け、そこで、コンテナとトレーラーの書類で確認することで IDT を除去し事前ゲート検査システムを採用している。両港のみがゲート混雑対策を導入し、IDT 除去に成功していることから、それぞれを独立して分析する。両者の混雑対策の方法は異なるものの、その目的と結果は同じである。両者は、3.1 節の混雑理論式で説明したが、IDT を除去し混雑を軽減する手法である。

第二の疑問点について、両港は実際に効果的に混雑を軽減している。両港ともに対策が講じられる前は深刻な混雑があったが、対策が導入されたことで混雑は劇的に軽減している。しかし、対策の導入前のデータが十分に捕捉されていない。このため統計的な分析のみで本手法の混雑軽減の効果を評価することは困難であり、著者は、効果を定量的に評価するため離散型シミュレーションモデルである WITNESS^{xvi} 離散系モデルを導入した。このモデルでは、複雑な混雑シミュレーションが可能でありより精緻な評価が可能となる。ゲートでのサービス時間、IDT の混入率、トレーラーの到着率などの入力データは、両港の現地観測から収集した。著者は、研究の仮説を検証するため、IDT を除去することによりゲート混雑を改善した博多港と名古屋港において、交通実態調査を行い、ゲートサービス時

^{xvi} WITNESS is a discrete event simulation tool to model the individual events that occur at given time intervals, taking into account resources, constraints and the way they interact. (<http://www.lanner.com/en/witness.cfm>).

間, IDT と PDT の比率, トレーラーの到着分布などのデータを収集する.

最後に, 博多港と名古屋港で導入されたゲート混雑対策が, 社会的ジレンマ理論に基づいた構造的方略や心理的方略に従う仕組みとして構築されているかどうか分析を試みる.



図 3 博多港のトレーラー走行経路



図 4 名古屋港飛島ふ頭のトレーラー走行経路

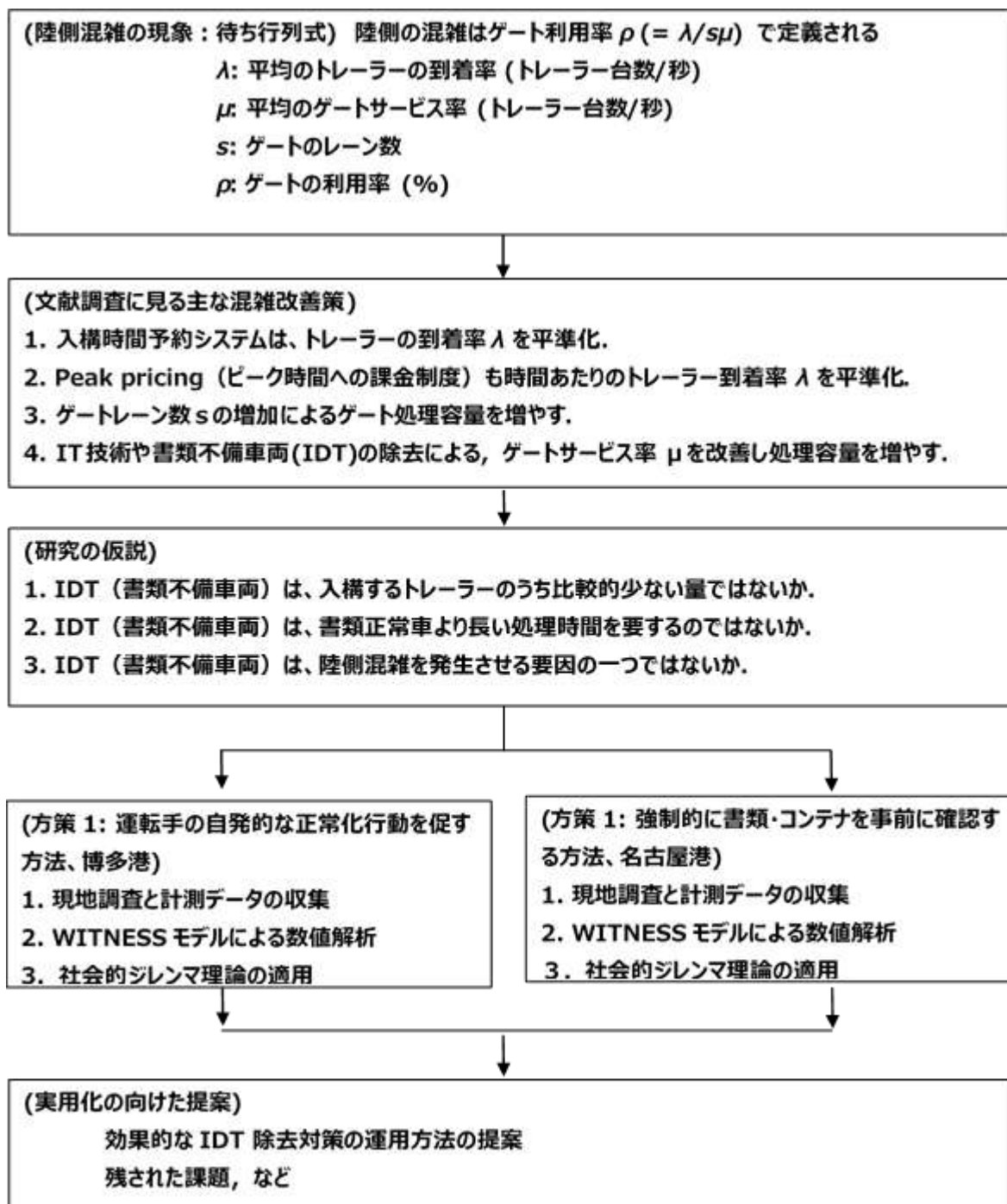


図 5 研究のフレームワーク

4. 博多港でのゲート混雑対策の分析

本章では、博多港でのゲート混雑対策を分析する。博多港には、二つのターミナルがあるが、ゲート管理は博多港ふ頭（株）が一元的に行っている。IDT 対策として、IT システムを用い、ゲート前やアクセス道路のリアルタイムの混雑状況や輸入コンテナの引き取りが可能か否かの情報をトレーラー運転手らに直接提供できるようにしたこと、また事前の入構情報の登録をトレーラー運転手に求めることで、IDT を除去し、ゲート処理時間を短縮し、ゲート混雑を改善している。このため、博多港の交通実態調査を基に、入構トレーラー群の到着分布とゲート処理時間を整理する。博多港のゲート対策導入後のゲート処理時間は、例えば、IC ターミナル（トランスファークレーン方式）で 53.2 秒（平均値）と他港に比べ短い時間となっていることを確認する。入構するトレーラーには 10%程度の IDT の混入が報告されている。このほか、ヤード内の荷役方式の違いがゲート処理時間に影響を与えていることを指摘する。また数値シミュレーションにより、この IDT 除去対策を行うことで、ゲート混雑が大幅に緩和されることを確認する。

4.1 博多港でのゲート混雑対策の概要

まず、博多港でのゲート混雑対策を検証する。同港は、香椎ターミナルと IC ターミナルの二つがあり、2014 年で 86.1 万 TEU を取り扱う。1998 年以降の急激なコンテナ取扱量の急増により、深刻なゲート前混雑に悩まされてきた。トレーラーは、ゲート入構に際して 4-5 時間を待機するようになったのである。これに対して、荷主やフォワーダーは早急な改善を要請した。博多港では、荷役機械の追加導入、ターミナルエリアの拡張など対策を講じたが、いずれの対策も功を奏しなかった。同港では、混雑を改めて観測し、約 10% のトレーラーが誤った貨物情報や携帯した書類に不備があるなどして、それがゲートでの入構手続きに時間を要していることが判明した。

この問題に対処するため、博多港では、HiTS(Hakata port Logistics IT system)と称する IT システムを 2000 年に導入した(表 2)。トレーラー運転手やトラック事業者は、同システムにより、輸入コンテナのデリバリー・オーダー(貨物引き渡しを指示する書類、またはその状態になっていること)の状況の確認、また、ゲートやアクセス道路の混雑状況の確認ができることになる。HiTS の導入以来、ゲートでの待機時間は 4 時間かかっていたものが、15 分に短縮し、ゲートでの処理時間も 4 分から 1 分に短縮した。さらに、2001 年博多港は、入構前にトレーラー ID とコンテナ情報の HiTS への登録することをトレーラーに義務つけた。この規則もターミナル・ゲートでの処理時間の短縮に効果を上げている。

表 2 HiTS による情報

情報	内容
輸出入コンテナ情報の照会	電話問い合わせすることなく、コンテナ ID を送信するとリアルタイムでコンテナ情報を把握することが出来るサービス。輸出では基本情報に加え「空コンテナの引き取り先」「搬出状況」「ターミナルへの搬入確認等」、輸入では「通関、検査等の進捗状況」「コンテナの搬出可否」等の確認が可能。
輸入コンテナの引き渡し情報の配信	指定したコンテナを情報(ステイタス)の変化に併せてメール配信する機能。これにより事務所にいなくても確実な最新情報を把握することが可能
船舶の入出港情報の照会	スケジュールの変化が多い船舶動静をリアルタイムで確認することが出来る機能。「運航船社」「航路」「入港日」「着岸時刻」等の情報確認が可能。
ゲートの混雑状況の表示	コンテナ搬出入に要する時間ならびにゲート前映像をリアルタイムで表示することで、陸運事業者の作業計画をサポートする機能。

4.2 現地交通観測とシミュレーションモデルの構築

4.2.1 ターミナル配置とシミュレーションのモデルレイアウト

WITNESS 離散系モデルにより，博多港に導入した HiTS の効果を検証する．博多港のモデルのレイアウトは図 6 の通り．港の入口は，仮想で香椎ターミナルの 10,740 メートル上流，IC ターミナルの 14,220 メートル上流とする．それぞれのターミナルのゲートへは専用道路があるものとしている．表 3 には，ゲートでの処理内容を整理する．ゲートの運営時間は，7時から18時までとし，これに超過時間がある．



図 6 博多港のシミュレーションのモデルレイアウト

表 3 香椎ターミナルと IC ターミナルでのゲート処理の体制

ターミナル（ヤード運営方式）	トレーラーの種類	レーン数
香椎ターミナル （ストラドル・キャリア）	輸出/輸入/空コンテナ	4
IC ターミナル （トランスファー・クレーン）	輸出/輸入/空コンテナ	4

4.2.2 ターミナル・ゲートでのトレーラーの時間帯別の到着台数分布

表 4 は、一日当たりのトレーラーのゲート到着の時間帯別分布を示す。コンテナは正午前と午後遅くにピークがある。このトレーラーの時間あたりの分布は、2015年2月2日から6日までの5日間のウイークデーのデータを基にしている。一日あたりの交通量は、2014年1月6日から11月25日までの一日当たりの到着台数の頻度を基にしている。前述の交通量の調査から、日当たり到着台数、時間帯別到着台数、さらには一時間あたりの到着台数が求められる。シミュレーションでは、その一時間あたりの到着台数は、その時間内で等分に到着すると仮定する(表 5)。一年間のうちの95%タイル値は、1,831台、97.5%タイル値は1,889台となる。

表 4 時間帯別トレーラーの到着台数比率 (博多港)

時間帯	香椎ターミナル	ICターミナル
7:00~8:00	5.4%	8.5%
8:00~9:00	8.4%	6.8%
9:00~10:00	8.7%	8.1%
10:00~11:00	9.9%	10.9%
11:00~12:00	11.2%	9.6%
12:00~13:00	9.1%	6.5%
13:00~14:00	9.3%	11.4%
14:00~15:00	10.6%	13.1%
15:00~16:00	11.6%	12.3%
16:00~17:00	11.3%	10.0%
17:00~18:00	4.3%	2.9%
18:00~19:00	0.0%	0.0%
Total	100.0%	100.0%

表 5 パーセンタイル値別の日当たり交通量 (博多港)

パーセンタイル	日当たりの到着台数	香椎ターミナル	ICターミナル
50 th	1,563	516	1,047
95 th	1,831	626	1,205
97.5 th	1,889	648	1,241

4.2.3 ターミナル・ゲートでのサービス時間の観測結果

ゲートでのサービス時間は、2015年2月2日から6日の平日の5日間で観測した（図7）。これは、HiTSが導入された後のものである。この時間は、トレーラーがゲートに到着した時刻と、ゲートを通過した時刻を計測したものである。ICターミナルでは平均サービス時間はICターミナルでは53.2秒、香椎ターミナルでは129.6秒であった。サービス時間の分布形は、正規分布の形ではなく、指数関数の分布に近いものであった。なお、HiTS導入までの、ゲートのサービス時間は計測されていない。

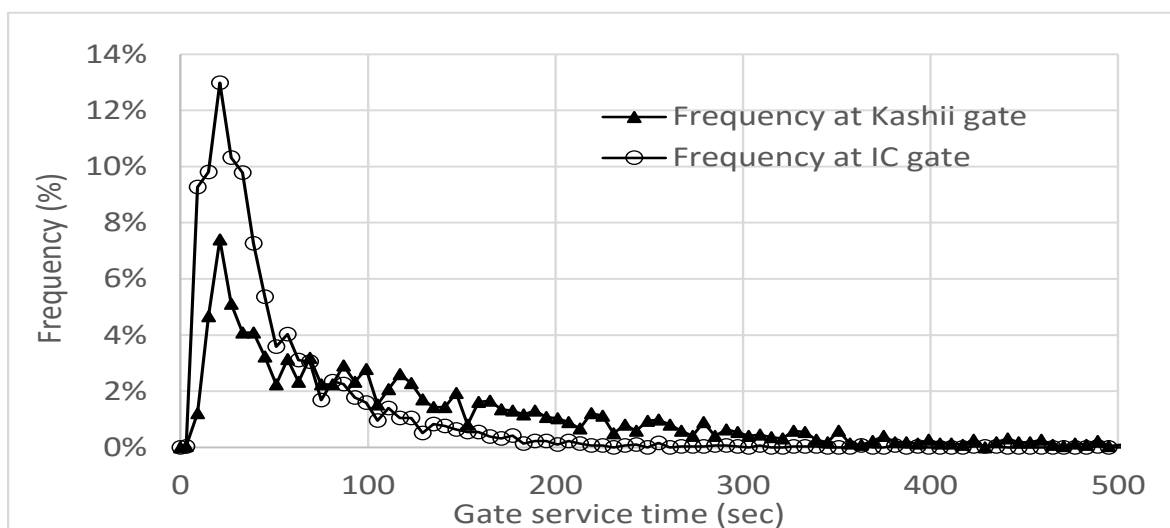


図7 香椎ターミナルとICターミナルのゲートでのサービス時間分布（観測値，HiTS導入後）

表6 香椎ターミナルとICターミナルのゲートでの平均サービス時間（HiTS導入後）

	香椎	IC
平均サービス時間（秒）	129.6	53.2
標準偏差（秒）	116.8	62.9
サンプル数	2,238	3,154
コンテナヤードの運営方法	ストラドル・キャリア	トランスファー・クレーン

ゲートでの平均サービス時間は、香椎ターミナルの 129.6 秒に対して、IC ターミナルは 53.2 秒となった（表 6）。ゲートでの検査内容やトレーラーの特性は同じであることから、ヤードの運営方式の違いによるものである（図 8）。ヤードの運営方式は、香椎ターミナルはストラドル・キャリア方式であり、IC ターミナルはトランスファー・クレーン方式である。トレーラーは、ゲートを通過したのち、ストラドル・キャリア方式の場合は、トレーラーはコンテナ積み替えポイント（Transferring Point）で、ストラドル・キャリアがトレーラーからコンテナを引き揚げることになる、トレーラーはストラドル・キャリアが引き揚げる作業を終えるまで待つことになる。仮に、ポイントまで何らかの理由でストラドル・キャリアの到着が遅延した場合、後続のトレーラーまでもが、ポイントが空くまで待たなければならない。これはゲートでのサービス時間が長くなることを意味する。また、仮に、ポイントの数が限られた場合も、トレーラーはスロットが空くまで待たなければならない。一方で、トランスファー・クレーン方式の場合は、いったんトレーラーはゲートでの入構が許可されると、トレーラーは誰を待つこともなくコンテナスロットまで行きコンテナの荷卸しができる。この方式では、ゲートの通過での追加的な時間を要さない。このことから、ヤードの運営方式は、ゲートでのサービス時間に影響する一つの要素であることが分かる。

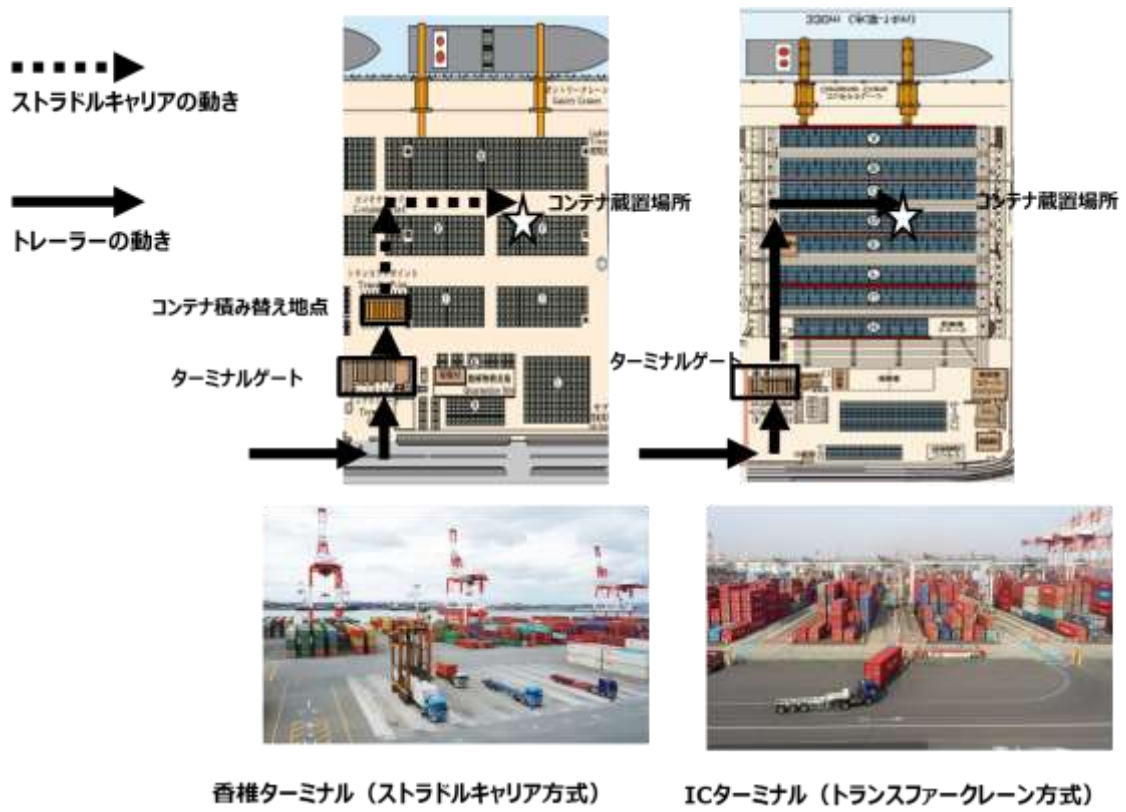


図 8 ターミナル・ヤード内の荷役方式の違いによる，トレーラーの走行経路

4.2.4 シミュレーションでのターミナル・ゲートのサービス時間の設定

現行のゲートでのサービス時間分布は HiTS 導入後に香椎ターミナルと IC ターミナルで観測されたものである。しかし、HiTS が導入される前のゲートのサービス時間は観測されていない。HiTS の導入前後でサービス時間分布は、HiTS の効果を把握するうえで必須なものである。よって、名古屋港 TCB ターミナルでのゲートのサービス時間（集中管理ゲートを導入する前で、かつトランスファー・クレーン方式）が計測されていることから、著者は、TCB ターミナルのゲートのサービス時間は、博多港に HiTS が導入される前の IC のゲートのサービス時間（トランスファー・クレーン方式）とほぼ同じであったであろうと仮定した（表 7 及び図 9）。

表 7 WITNESS シミュレーションに用いたゲートのサービス時間（単位：秒）

	HiTS 導入後（観測値）	HiTS 導入前（仮定値）	備考
IC	53.2	158.4 ¹⁾	1) 集中管理ゲートが導入される前の名古屋港の TCB ターミナルのゲートでのサービス時間を適用。
香椎	129.7	215.9 ²⁾	2) サービス時間の HiTS の導入前後の差異（105.2 秒）を、香椎ターミナルの HiTS 導入後のサービス時間に加算。

ゲートでのサービス時間を仮定のもとで、IC ターミナルでの HiTS 導入前の平均サービス時間（158.4 秒）は、105.2 秒 HiTS が導入された後のサービス時間より長い。香椎ターミナルはストラドル・キャリア方式であることから、TCB でのゲート処理時間を直接適用することはできない。香椎ターミナルでの HiTS 導入前のサービス時間は、HiTS 導入後より 105.2 秒長い。よって、HiTS 導入によるゲートサービス時間の低減は、香椎、IC で同じと仮定した。

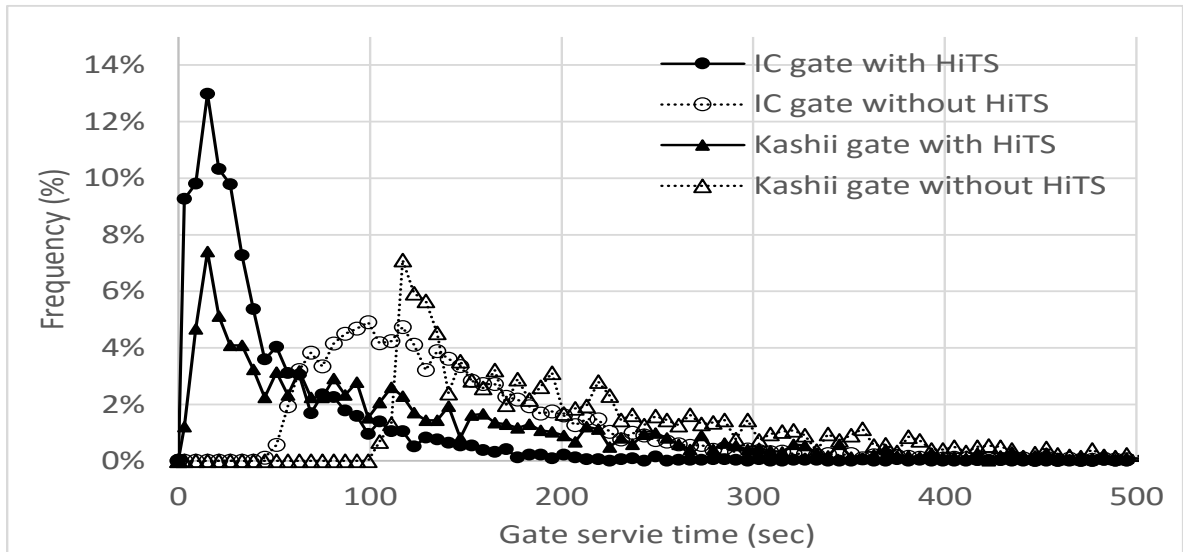


図 9 数値計算におけるゲートでのサービス時間分布の設定

4.3 シミュレーション結果

4.3.1 シミュレーション結果の概要

港湾の仮想の入口から、ゲートまでのトレーラーの平均到達時間を表 8 に示す。HiTS の導入前後での平均到達時間を比較をした。両ターミナルのゲートでトレーラーの到達時間は、HiTS 導入後のほうが、導入前より短くなっている。さらに、日当たりのトレーラーの到着交通量が増えるに従って、HiTS 導入前の平均到達時間は増加するものの、HiTS 導入後の平均到達時間は増えることなく安定している。例えば、IC ターミナルでは、HiTS 導入前の平均到達時間は 50 パーセントタイル値での 5,813.1 秒から、97.5 パーセントタイル値での 8,865.3 秒にまで増えるが、HiTS 導入後の平均到達時間には変化がない。この数値計算結果からは、HiTS が効果的に到達時間を低減させたことが分かる。

表 8 WITNESS による港湾の入口からゲートまでの平均到達時間（単位:秒）

到着するトレーラーの日交通量のパーセントタイル値	HiTS 導入前		HiTS 導入後	
	香椎	IC	香椎	IC
50 th	1,893.90	5,813.10	1,568.60	1,760.60
95 th	2,226.30	8,116.70	1,580.40	1,762.60
97.5 th	2,589.80	8,865.30	1,578.10	1,763.40

4.3.2 シミュレーション結果—ICターミナルでの到達所要時間

ICターミナルにおける、トレーラーの入構時刻ごとのゲート到達所要時間の変化を図10に示す。計算に用いた到着トレーラー台数は、1205台で（95%タイル値）であった。横軸は個々のトレーラーが港口を通過した時刻を、縦軸はトレーラーが港口からゲート通過までに要した到達所要時間を示す。7時から9時の間の到達所要時間は、HiTSの導入前後にかかわらず約2,000秒で安定している。これはこの時間帯ではトレーラーに遅延が発生していないことを示すものである。しかし、HiTS導入前の到達所要時間は9時から急激に増加し、16時35分には14,487.3秒を記録した。このことから、HiTSは効果的に遅延の発生を抑制できたこととなる。

さらに、待ち行列式に算出される利用率 ρ とWITNESSの数値計算で得られる到達所要時間に明確な相関があることが分かる（図10と表9及び表10）。HiTS導入する前では、利用率 ρ が8時台は0.99であり、数値計算で得られる到達所要時間も徐々に増加する。しかし9時台になると、利用率 ρ は1.58になり、到達所要時間は急激に増加する。その後、正午には利用率 ρ は0.58になり、到達所要時間も約9,000秒から8,000秒に減少する。13時には利用率 ρ は1.68と増加し、到達所要時間も再び増加に転じ、16時35分には最大の14,487.3秒を記録した。一方で、HiTSを導入した後では、利用率 ρ は終日1.0以下であり、数値計算で得られる到達所要時間も遅延が発生せずに安定していた。

なお、利用率 $\rho = \lambda / s\mu$ は、①時間あたりの発生交通量 λ 、②レーン数 s と、③時間あたりのレーン当りのサービス率 μ でもって算出される。例えば、ICターミナルのHiTS導入前の9時台の利用率の算出してみる。9時台の到着交通量は143台。これを秒あたりに直すと $143/3600 = 0.0397$ 台/秒。レーン数は4、サービス率（サービス時間の逆数で、時間あたりの処理台数）は $1/158.4 = 0.0063$ 台/秒、よって、求める利用率 $\rho = 0.0397 / (4 * 0.0063) = 1.58$ が得られる。

表 9 各ターミナルのレーン数，サービス時間

ターミナル	レーン数	サービス時間 ($1/\mu$ ， トレーラー一台当たりの処理時間)	
		HiTS 導入前	HiTS 導入後
香椎	4	226.4	129.6
IC	4	158.4	53.2

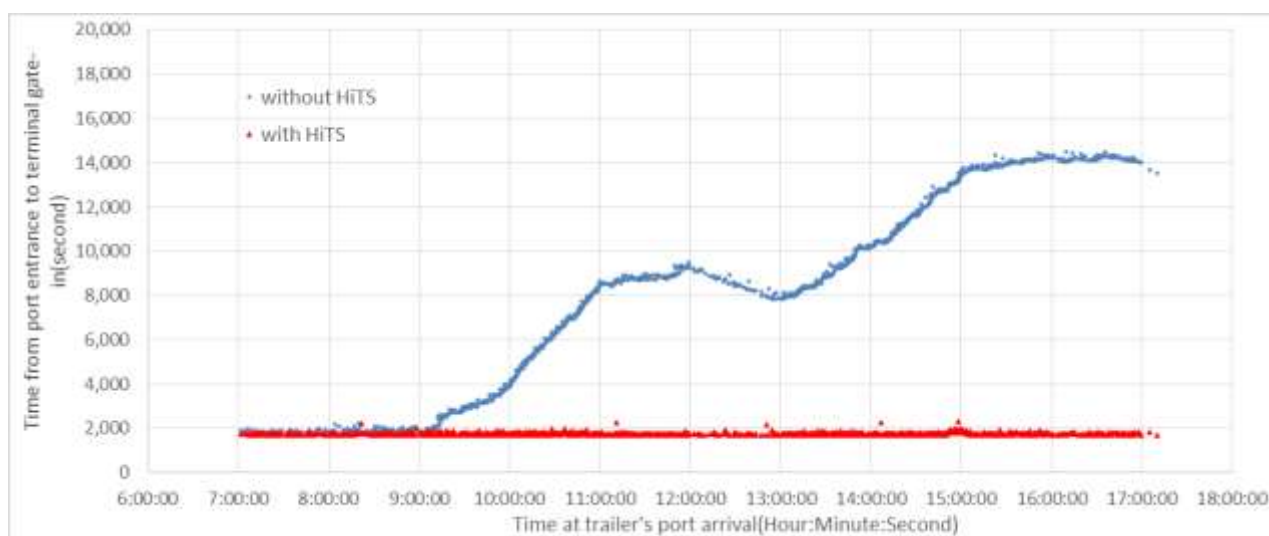


図 10 WITNESS による IC ターミナルにおける港口からゲートまでの到達所要時間（日到着交通量は 95%タイル値）

表 10 待ち行列式から算定される利用率 ρ (IC ターミナル，日交通量は 95%タイル値)

ρ	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
HiTS 導入後	0.02	0.33	0.53	0.78	0.40	0.20	0.56	0.67	0.43	0.32	0.01
HiTS 導入前	0.68	0.99	1.58	2.32	1.19	0.58	1.68	1.99	1.29	0.94	0.02

4.3.3 シミュレーション結果—香椎ターミナルでの到達所要時間

香椎ターミナルにおける、トレーラーの入構時刻ごとのゲート到達所要時間の変化を図 11 に示す。計算に用いた到着トレーラー台数は、626 台で（95%タイル値）であった。HiTS が導入される前の到達所要時間は 9 時から増加し、16 時 50 分には最大で 3,657.7 秒を記録する。HiTS が導入された後の到達所要時間は約 2,000 秒で安定して推移している。

さらに、待ち行列式に算出される利用率 ρ と WITNESS の数値計算で得られる到達所要時間の関係を見る（図 11 と表 11）。HiTS 導入する前では、利用率 ρ が 10 時に 1.02 となり、数値計算で得られる到達所要時間も徐々に増加を始める。しかし、正午には利用率 ρ は 0.90 となり、到達所要時間も約 2,500 秒から 1,800 秒に減少する。その後、13 時には利用率 ρ は 1.03 と増加し、到達所要時間も再び増加に転じる。一方で、HiTS を導入した後では、利用率 ρ は終日 1.0 以下であり、数値計算で得られる到達所要時間も遅延が発生せずに安定していた。

IC ターミナルと香椎ターミナルの数値計算から、HiTS は効果的にトレーラーの遅延を抑制することがわかった。また待ち行列式から簡便に算出される利用率 ρ は、混雑の発生と減少を予測できる指標であることも確認できた。

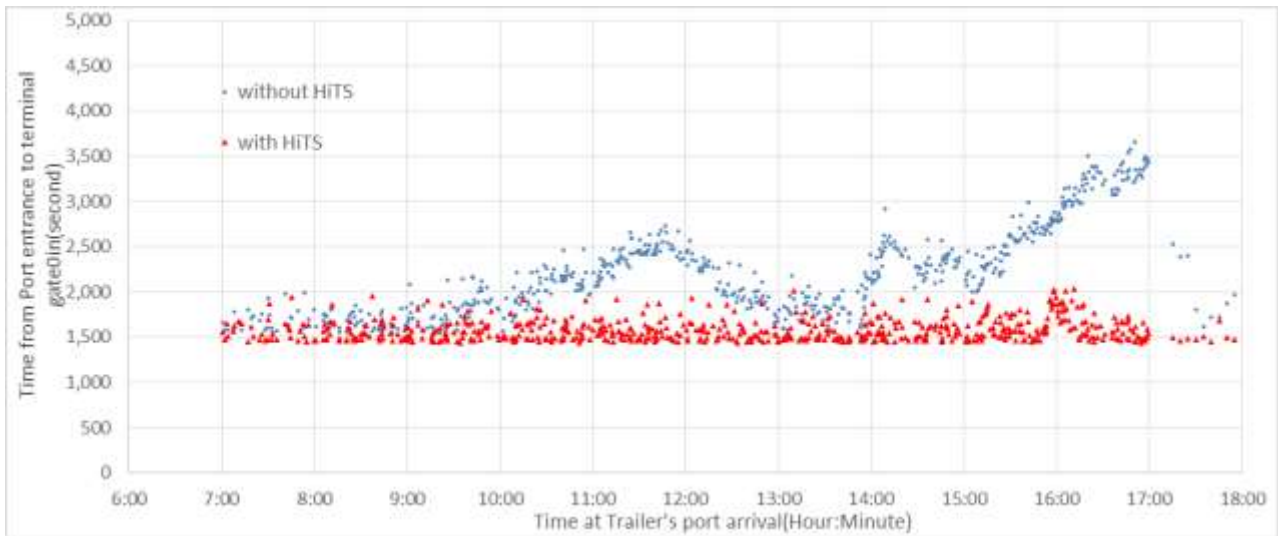


図 11 WITNESS による香椎ターミナルにおける港口からゲートまでの到達所要時間（日到着交通量は 95%タイル値）

表 11 待ち行列式から算定される利用率 ρ （香椎ターミナル，日交通量は 95%タイル値）

ρ	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
HiTS 導入後	0.28	0.44	0.51	0.58	0.65	0.51	0.59	0.59	0.73	0.66	0.08
HiTS 導入前	0.50	0.78	0.90	1.02	1.13	0.90	1.03	1.02	1.27	1.15	0.14

4.3.4 博多港の混雑抑制効果のまとめ

発生集中交通量のパーセンタイル値毎に、HiTSの有無による、ゲート混雑抑制効果を整理する。パーセンタイル値が増えていくにつれて、HiTS導入前の平均到達所要時間は増加する。香椎ターミナルでの平均到達所要交通量（図12）は、HiTS導入前は、10%タイル値で1,671.4秒、50%タイル値で1,893.9秒、97.5%タイル値で2,589.8秒と増加するが、HiTS導入後は1,570秒前後でほとんど変化はない。ICターミナルでの平均到達所要交通量（図13）も、HiTS導入前は10%タイル値で2,159.7秒、50%タイル値で5,813.1秒、97.5%タイル値で8,865.3秒と増加するが、HiTS導入後は1,760秒前後でほとんど変化はない。これらのことから、HiTS導入によりゲート混雑を抑制できていることが確認される。

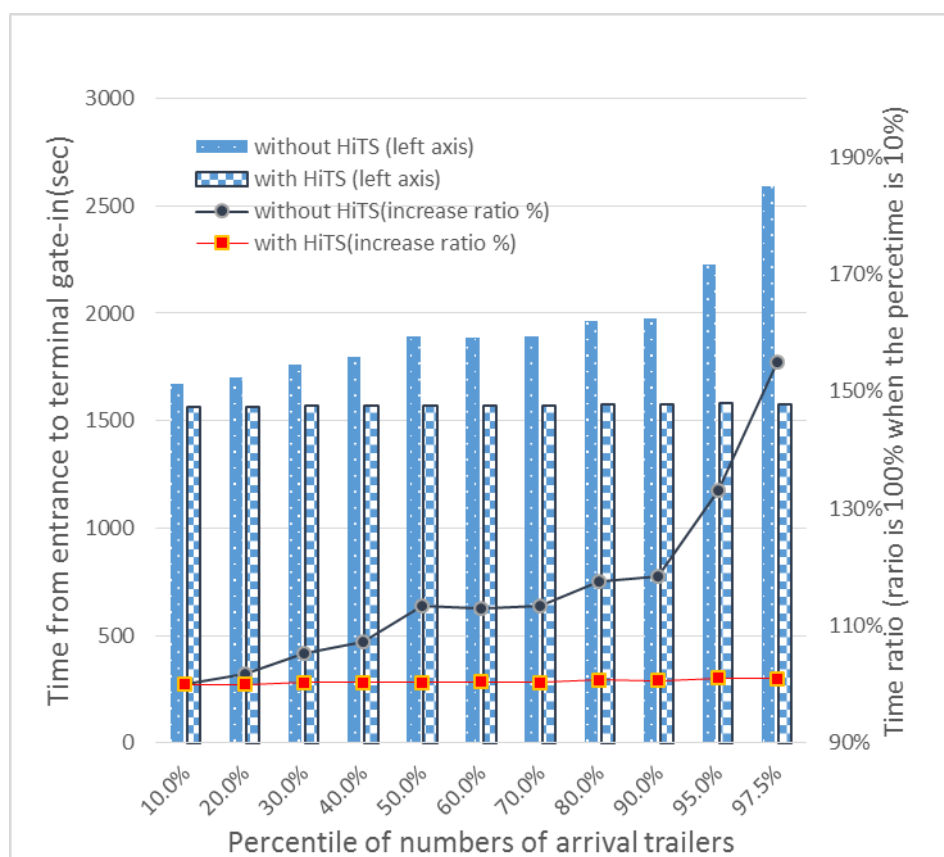


図 12 発生交通量別の到達所要時間（香椎）

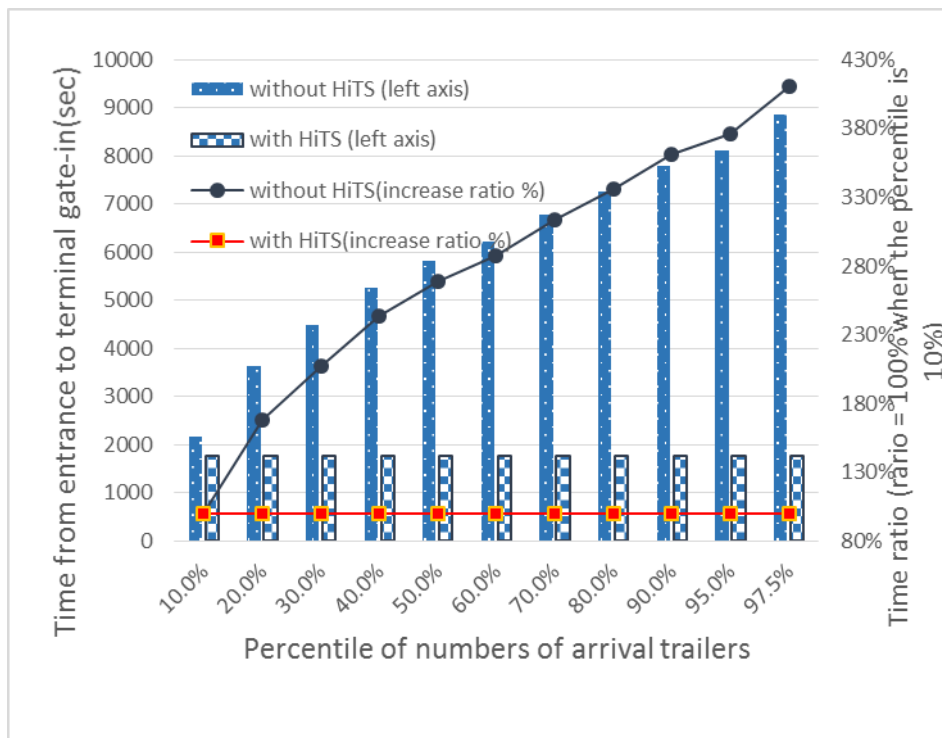


図 13 発生交通量別の到達所要時間 (IC)

次に、このシミュレーション結果を用いて、HiTS 導入による十分な経済的効果が期待できるかを確認する。便益は、HiTS 導入の有無による所要到達時間の削減時間に、単位時間当たりの輸送コストを乗ずることで算出する。単位時間当たりの輸送コストは、博多港の横持ち料金のタリフを基に、主要なコンテナの起終点である久留米と博多港までの輸送時間で除することで、時間当たりの輸送コストを求める。費用は、HiTS 導入の開発と維持管理に要した費用とする。

到着トレーラー台数のパーセンタイルごとに所要到達時間をシミュレーションモデルから計算し、1,090,862,372.1 秒 (303,017 時間) 分の到達所要時間を削減できることになり、トレーラーの輸送コストを 3.58 円/秒 (12,900 円/時) を乗ずることで削減効果を評価する (表 12)。また、HiTS の開発費用は 6,000 万円、維持管理コストが年あたり 600 万円、更新費用が 10 年おきに 1 億円程度必要と見積もる。またデフレーターは、設備投資は Ig デフレーターを、そのほかの費用効果は GDP デフレーターによる。また将来の費用と効果は年率 4%の社会的割引率を適用する。回収年は 2000 年から 2029 年の 30 年とする。なお、発生交通量は年に応じて増減するものであるが、今回の分析では 2014 年の実績値をもとにパーセンタ

イル値を求めており，その前後の経年変化は見込んでいない。

表 12 HiTS の導入による到達所要時間の変化

Probability of exceedance of trailer traffic	Average time from entrance to terminal gate-in				Number of trailers		Saving time per day(sec)		time period(day)	Total saving time(sec)	Total saving time cost cost =JPY3.58 per sec
	without HiTS		with HiTS		Ka	IC	Kashii	IC			
	Kashii	IC	Kashii	IC	Kashii	IC					
10.0%	1671.4	2159.7	1563.1	1759.8	326	712	35,315.0	284,727.7	28.7	9,185,224.2	32,883,102.7
20.0%	1701.8	3627.8	1562.7	1758.2	436	891	60,683.9	1,665,750.5	28.7	49,548,667.6	177,384,230.0
30.0%	1761.3	4477.4	1567.3	1758.7	480	953	93,093.6	2,590,942.0	28.7	77,031,822.9	275,773,925.9
40.0%	1793.9	5270.7	1568.5	1759.1	496	1009	111,797.9	3,543,154.0	28.7	104,897,118.8	375,531,685.2
50.0%	1893.9	5813.1	1568.6	1760.6	519	1046	168,818.1	4,238,867.4	28.7	126,500,574.6	452,872,056.9
60.0%	1887.4	6210.2	1570.2	1759.1	532	1073	168,780.0	4,776,080.1	28.7	141,917,485.4	508,064,597.7
70.0%	1894.9	6768.9	1568.0	1759.5	547	1106	178,865.6	5,540,429.0	28.7	164,143,755.8	587,634,645.9
80.0%	1964.2	7255.2	1574.8	1760.4	564	1138	219,616.1	6,253,068.2	28.7	185,766,037.1	665,042,413.0
90.0%	1978.0	7790.6	1573.9	1760.1	585	1178	236,383.0	7,103,971.5	14.35	105,334,087.3	377,096,032.4
95.0%	2393.5	8116.7	1580.4	1762.6	625	1201	508,168.2	7,631,301.2	7.175	58,400,693.1	209,074,481.3
97.5%	2589.8	8865.3	1578.1	1763.4	647	1245	654,576.6	8,841,856.3	7.175	68,136,905.4	243,930,121.2
										1,090,862,372.1	3,905,287,292.1
										215円/分	

便益は 30 年で 958 億円，これに対する費用は 6 億円，B/C は 159.3 となる。この結果から，HiTS は経済社会的な効果の極めて高い取り組みであることを確認した（表 13）。

表 13 HiTS の費用対効果分析結果（2014 年換算値）

費用	602,024,715 円
便益	95,880,258,877 円
B/C	159.3
B-C	95,278,234,162 円
EIRR	171,893.4%

4.4 社会的ジレンマ理論からみた博多港のゲート混雑対策運用の評価

1) ゲート混雑の背景

博多港は、香椎ターミナルと IC ターミナルの二つが運営されている。1998 年以降のコンテナ取扱量の急激な増加により、ターミナル・ゲート前とターミナル・ゲートに至るアクセス道路の渋滞が大きな問題となっていた。混雑のピークではトレーラーは 4, 5 時間も渋滞に巻き込まれることもあった。このため、荷主やフォワーダーは、この問題の解決を強く望み、博多港ではゲート・レーンを増やす、ヤード内の荷役機械を増やすなどの対策を講じたものの、問題の解決にはつながらなかった。博多港ふ頭（株）がゲートでのトレーラーの手続きを慎重に観察すると、渋滞の発生でトレーラー運転手はできるだけ早く車列に並ぼうとしていたことと、約 10% のトレーラー運転手が携帯する書類の誤りやコンテナ貨物が未通関であることに気付かないまま渋滞したアクセス道路を長時間掛けてゲートに到着し、ゲート入構を拒否されると納得できずに抵抗してゲート窓口を塞いでしまうなどの混雑を助長する現象が確認されていた。

こうした状況に対して、博多港では、HiTS 導入によりトレーラーに対し、コンテナ情報などの事前登録を義務化したことと、ヤード内のコンテナの搬出できるかの情報やゲートでの混雑状況を提供できるようにしたことと、IDT の発生を未然に防ぎ、不要な交通発生を抑制できたことでゲート混雑の改善が図れている。

2) 構造的方略

構造的方略⁴¹⁾として、博多港ふ頭（株）は、HiTS 導入に際し、全てのトレーラーに対してゲート入構前までにコンテナ情報及びトレーラー情報を HiTS に登録することを義務付けした。博多港に二つあるターミナルの全てのゲートは博多港ふ頭（株）が一元管理しているため、事前登録という協調行動をとらないトレーラーはゲートでの入構を厳格に拒否されることになる。また、トレーラー運転手に対し、コンテナ情報やゲート前の混雑情報をリアルタイムで入手できるようにしたため、ヤード内にあるコンテナの引き取り準備が完了していない場合や、ゲート前が混雑している場合には、トレーラー運転手はゲートへの出発行動を控えることも期待された。さらに、博多港ふ頭（株）は、システム設計において利用者にと

って使い易く簡素なものであることを目指し、提供される情報は保秘を高めるためコンテナの搬出入に関わるものに限定し、登録された事業者やトレーラー運転手のみに提供されるものとした。システムの初期投資と運営費は、博多港ふ頭（株）と福岡市が負担し、トラック事業者やトレーラー運転手から HiTS の利用やゲート通過に関する利用料は一切徴収していない。

3) 心理的方略

博多港ふ頭（株）は、この新たな情報システムを導入しようとした際に、関係者からの抵抗にあっている。例えば、ターミナル・オペレーターはコンテナ情報がウェブ上で公表されることを危惧した。荷主やフォワーダーは、ウェブ上でコンテナの現在情報が公表されることになると、コンテナの到着を急ぐ荷主からコンテナの手配を急ぐように追加的な要請がくることを危惧した。IT ネットワークへのアクセスのための設備更新や職員の IT 習熟のための訓練など追加投資を懸念するトレーラー事業者もあった。当時は、IT 環境を整えることは高価であったことにもよる。しかしながら、関係者の協力を得られた要因には、同港のゲート混雑をこのまま放置しておく顧客を近隣のライバル港に奪われるという危機感を関係者間で共有できたことにもあると考えられる。

心理的方略⁴¹⁾として、博多港ふ頭（株）では、トラック事業者らの自主的なシステム利用を促すため、システムを利用者が使いやすいものとなるように配慮した。博多港ふ頭（株）は、港湾管理者、ターミナル・オペレーター、フォワーダーやトラック事業者などの関係者からなる協議会を構成し、利用者のニーズをくみ取るようにした。博多港ふ頭（株）では、トラック事業者や個人の事業者主に会合への参加を呼びかけた。メンバーは表 14 の担当に分け、コンセプトの実現に向けた議論を行っている。

次に、博多港ふ頭（株）は、システムを簡素なものとなるようにした。本システムで共有される情報は、事前登録したトラック事業者トレーラー運転手のみに、コンテナの引き取りができるか否かの情報が届くようにしている。また、博多港ふ頭（株）は利用のガイドラインを作成し、トラック事業者やトレーラー運転手には、HiTS 利用による便益は遍く利用者全員に行き渡ることを繰り返し説明し、自発的な利用を促してきた。

表 14 HiTS 開発の関係者の役割分担

業務	組織
ウェブシステムの開発	博多港ふ頭（株）
ウェブシステムに合うターミナルレイアウトの変更 ウェブシステムの利用料金の設定	博多港港湾管理者
ターミナル運営に関わるITシステムの修正・変更	ターミナル・オペレーター
パソコンの導入，ウェブシステムへの接続	トラック事業者

4) 対策の結果

HiTS 導入前には，博多港ふ頭（株）は一日に 100 件を超す電話での問い合わせがあったが，導入後は 5 件以下に激減している．これは，HiTS がトレーラー運転手の行動を変化させ，トレーラー運転手はゲート付近の混雑状況を確認してからターミナルに向かうようになったことによるものである．また，図 14 は，コンテナ個数単位で HiTS アクセス件数の推移を示したものであるが，HiTS の導入当初の 2001 年から 2003 年にかけて，コンテナヤード内のコンテナ情報を 1 個当たりアクセス回数はわずか 2 回であったが，2014 年にはコンテナ 1 個当たり 13.3 回に増加している．このことから，入構に際してトレーラー運転手などの利用者は HiTS を介してコンテナ情報やゲートの混雑情報などを多頻度で利用してきていることが分かる．

また，トレーラー運転手の中に協調行動者が増えてゲート混雑は劇的に軽減された結果，従来一日一回しか搬出入できなかったコンテナ輸送を一日二回行えるようになり，協調行動の成果を多くのトレーラー運転手は実感できるようになった．つまり，博多港ふ頭（株）が導入した HiTS による情報提供と事前登録システムは，協調行動者が増えることでゲート混雑の改善を促し，またゲート混雑の改善が進むことで協調行動者がより増えていくという好循環を発生させ，結果としてゲート混雑の改善に大きく寄与することとなったものと考えられる．

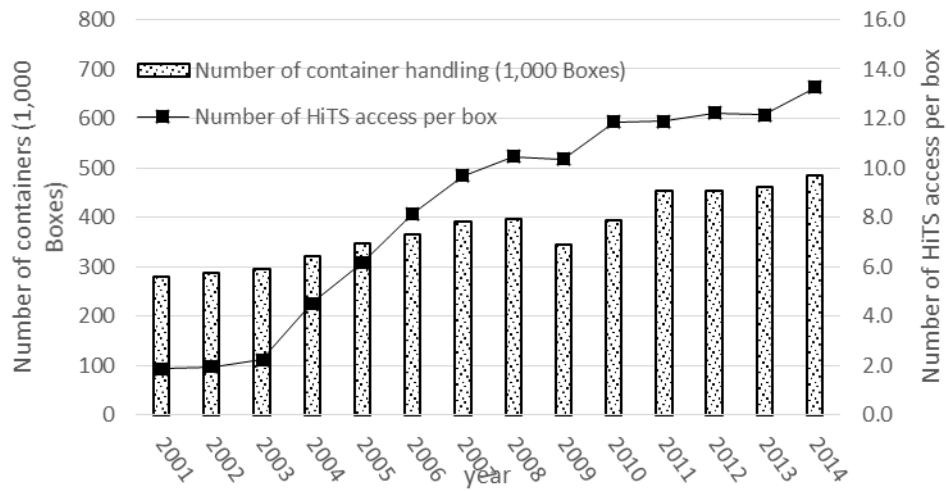


図 14 コンテナ 1 個当たりの HiTS アクセス回数 (博多港)

5. 名古屋港でのゲート混雑対策の分析

本章では、名古屋港でのゲート混雑対策を分析する。名古屋港の飛島ふ頭では4つのターミナルがあり、それぞれ独立したゲート管理が行われていた。IDT除去対策としては、このターミナルゲートの上流に集中管理ゲートを設け、そこで入構予定のすべてのトレーラーと積載するコンテナの検査を個々のターミナルゲートではなく集中管理ゲートで一元的に行うことにした。これにより、個々のターミナルゲートでの検査はなくなり、同時にIDTを除去することで、ゲート混雑を大幅に改善している。このため、名古屋港の交通実態調査を基に、IDTの混入率、ゲート処理時間の分布を把握する。名古屋港では、IDTは全体で12.7%の混入があること、また、ゲート処理時間（平均値）が、PDTの165.4秒に対しIDTは204.5秒と大きく上回っていることを確認する。また数値シミュレーションにより、このIDT除去対策を行うことで、個々のターミナルはもとより、ふ頭全体の混雑が大幅に緩和されることを確認する。

5.1 名古屋港でのゲート混雑対策の概要

名古屋港では、博多港とは異なるゲート混雑対策をとっている。同港は、2014年257万TEUを取り扱いはある。またその中で、飛島ふ頭では、飛島北、NCB、飛島南、TCBの4つのターミナルが運営されており、年間147万TEUを取り扱っている。2012年7月24日の調査では、2,198名のトレーラー運転手のうち290名（13.19%に相当）から携行する書類に不備が見つかっている。さらに、それまでにも幾人の運転手は向かうべきターミナル・ゲートを誤っていた³¹⁾。

これへ対応するため、集中管理ゲートが、2011年3月に建設されている。5.7haの敷地に22のレーンと、コントロールルームが設けられている（図15）。集中管理ゲート内でトレーラーの通行する経路は以下の順番となる。

- 1) 最初のチェックポイントで、トレーラー重量がはかられ、それと同時にトレーラーのIDがコントロール・ルームに送信される。
- 2) コントロールルームでは、検査員がトレーラー運転手が示すコンテナ番号と、NUTS（Nagoya United Terminal System）から得られるコンテナ番号が一致するかを、確認をする。当該トレーラーは、PDTかIDTかの判別がなされる。IDTであればIDT専用レーンへ、PDTであればPDT専用レーンへと仕分けられる。
- 3) 第二のチェックポイントである、レーン検査場では、コンテナの外観検査とトレーラーIDとコンテナ番号の確認が行われる。
- 4) すべての検査が終了すると、トレーラーはどのターミナル・ゲートへ行くかを、指示される。仮に、検査で問題が発生すると、IDT待機場の誘導され、書類や情報が整うまで待機することになる。

集中管理ゲートで検査を終えたトレーラーはターミナル・ゲートに向かうことになるが、その間に、トレーラーとコンテナに関する情報は集中管理ゲートのコントロールルームから各ターミナルのオペレーションルームには届けられることになる。このため、トレーラーは、ターミナル・ゲ

ートでは一切の検査手続きはなくゲートを通過し、また、ヤード内のコンテナスロットにコンテナが届くことになる。集中管理ゲートの導入前は約1000メートルにも上る渋滞長が観測されていたが、集中管理ゲートを導入した後では渋滞が急激に軽減されている³¹⁾。

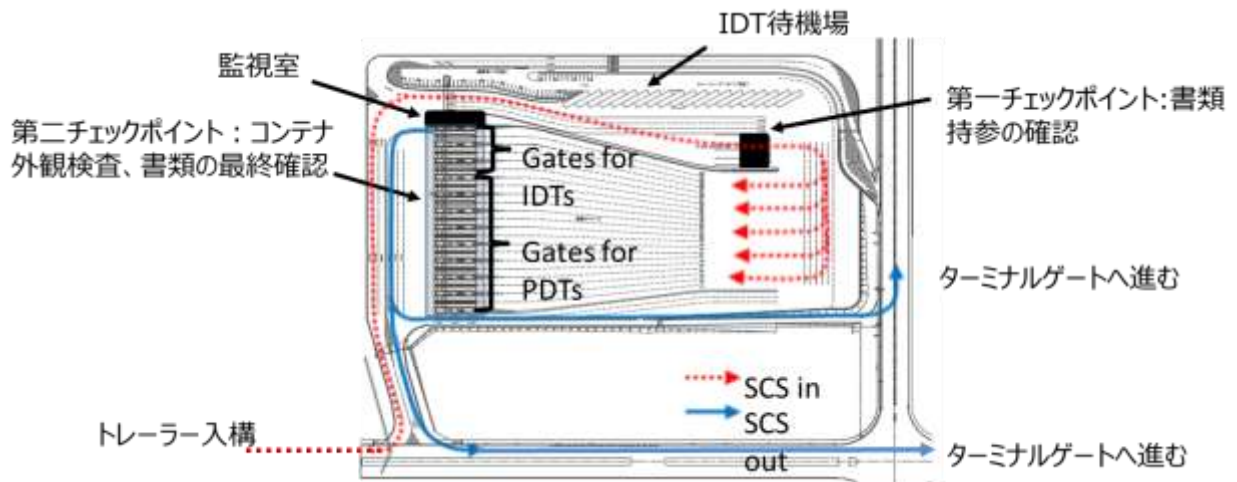


図 15 飛島ふ頭の集中管理ゲートのレイアウトとトレーラーの走行経路

5.2 現地交通観測とシミュレーションモデルの構築

5.2.1 ターミナル配置とシミュレーションのモデルレイアウト

集中管理ゲートの効果を検証するため、数値シミュレーションを実施した。表 15 では、集中管理ゲートが導入される前と後でのゲートのサービス時間分布である。2012年1月12日(水曜日)に計測したデータからは、TCBゲートでの平均サービス時間は158.4秒であり、サービス率 μ は0.006となる。一方で、2014年9月4日(水曜日)に計測されたデータからは、TCBゲートでの平均サービス時間は14.9秒であり、サービス率 μ は0.067となる。集中管理ゲート導入後は、TCBのゲートの平均のサービス率 μ は10倍(0.067/0.006=10.7)も増加していることになる。これは、ゲートに進入するトレーラーのゲートでの検査が不要になったからである。

表 15 集中管理ゲートの導入前後における TCB ゲートのサービス時間
(観測値)

	集中管理ゲート導入前 (2012年1月12日)	集中管理ゲート導入後 (2014年9月4日)
平均サービス時間 (秒)	158.4	14.9
標準偏差 (秒)	157.8	13.1
サンプル数	12,200	12,363
サービス時間率 (台/秒)	0.006	0.067

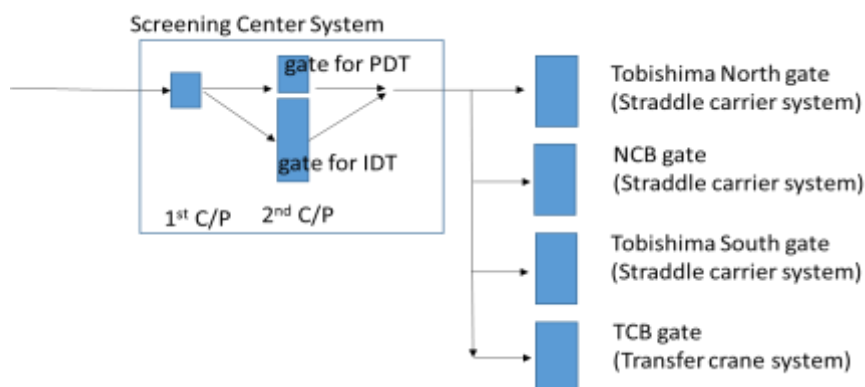


図 16 飛島ふ頭のシミュレーションレイアウト

博多港での分析と同様に、WITNESS 離散系モデルを導入し、集中管理ゲートの導入の前後でのトレーラーの到達所要時間を解析する。名古屋港の飛島ふ頭には、飛島北、NCB、飛島南、TCB の 4 つのターミナルがあり、走行経路も車線数は片側 2 または 3 車線であるものの、共有されている。集中管理ゲートは飛島ふ頭の入り口付近に位置し、仮想の港口はその集中管理ゲートより 10 キロメートルの地点とした（図 16）。集中管理ゲートの導入前は、輸出コンテナ・トレーラーは、他のターミナルと同様に、直接ターミナル・ゲートに向かい、そこでコンテナ、トレーラーと書類の照合確認を受けていた。しかし集中管理ゲートの導入後は、輸出コンテナ・トレーラーは、最初に集中管理ゲートに向かい、そこでコンテナ、トレーラーと書類の照合確認を受けたのちに、ターミナル・ゲートに向かうレイアウトとした。その他のゲートの条件は表 16 に示す。

表 16 飛島ふ頭における集中管理ゲートと 4 つのターミナル・ゲートの条件

ゲート	トレーラーの種類	レーンの数
集中管理ゲートの第一検査ポイント	全ての輸出コンテナ・トレーラー	4
集中管理ゲートの第二検査ポイント	IDT 用	3
	PDT 用	11
	危険物車、規格外コンテナ	2
飛島北（ストラドル・キャリア）	輸出コンテナ	2
	その他	3
NCB（ストラドル・キャリア）	輸出コンテナ	5
	その他	4
飛島南（ストラドル・キャリア）	輸出コンテナ	3
	その他	3
TCB（トランスファー・クレーン）	輸出コンテナ	4
	その他	2

5.2.2 集中管理ゲートでのトレーラーの時間帯別の到着台数分布

表 17 は、一日当たり、ターミナル別の輸出コンテナ・トレーラーのゲート到着の時間帯別分布を示す。2014 年 9 月 1 日から 30 日までのデータを基に設定している。ゲートの運営時間は 7 時から 18 時までで、その後は超過時間での運営となる。

表 17 時間帯別トレーラーの到着台数比率（名古屋港飛島ふ頭）

時間帯	飛島北	NCB	飛島南	TCB
7:00	0.40%	0.50%	0.40%	0.40%
8:00	1.40%	1.80%	1.70%	1.80%
9:00	4.10%	4.80%	4.70%	4.80%
10:00	7.90%	7.80%	9.80%	7.60%
11:00	9.80%	9.90%	11.00%	10.10%
12:00	8.80%	9.20%	9.70%	10.00%
13:00	4.80%	4.60%	4.40%	5.90%
14:00	13.60%	11.70%	11.10%	10.90%
15:00	15.70%	12.60%	12.30%	12.60%
16:00	13.70%	13.40%	12.60%	13.40%
17:00	9.40%	10.60%	9.90%	10.10%
18:00	6.00%	7.80%	7.60%	8.00%
19:00	4.00%	4.10%	3.90%	3.80%
20:00	0.60%	1.20%	1.00%	0.70%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

表 18 パーセンタイル値別の日当たり到着交通量（名古屋港飛島ふ頭）

パーセン タイル	日当たりの 到着交通量	飛島北	NCB	飛島南	TCB
50 th	1,707	205	552	445	504
95 th	2,198	264	711	574	650
97.5 th	2,258	272	730	589	667

表 17 を見ると、15 時から 17 時にかけてピークがあり、二番目のピーク

が 11 時から 12 時にある。シミュレーションでは、その一時間あたりの到着台数は、その時間内で等分に到着すると仮定する。

ふ頭全体の到着トレーラー台数は、一年間のうちの 50%タイル値は 1,707 台、95%タイル値は 2,198 台、97.5%タイル値は 2,258 台となる（表 18）。

5.2.3 集中管理ゲート，ターミナル・ゲートでのサービス時間の観測結果

前述のとおり，2段階の照合確認が集中管理ゲートでは導入されている。到着するすべての輸出コンテナ・トレーラーは集中管理ゲートにむかい，第一ポイントで検査を受ける。それに要する時間は平均で 30.9 秒であった。PDT と IDT との時間差はほとんどなかったのここでは，同じ時間とする。トレーラー，コンテナと書類の照合確認は第二ゲートで行われる。2014年9月の計測では，到着するトレーラーの 12.7%は IDT, 0.5%は危険物等コンテナであった。到着する空コンテナを積載したトレーラーや，輸入コンテナをピックアップするトレーラーは直接ターミナル・ゲートの向かうことになる。輸入コンテナを積載したトレーラーは，ターミナル・ゲートを退出したのちに，集中管理ゲートにおいて，書類とコンテナの照合確認を行うことになる。これらの交通は，集中管理ゲートに進入する輸出コンテナ・トレーラーの交通には何ら影響を与えないことから，今回のシミュレーションでは，輸出コンテナ・トレーラーのみを対象とした。

図 17 と表 19 は集中管理ゲートの第二検査ポイントでのサービス時間を示す。第一検査ポイントでの照合確認を終えたトレーラーは，第二ポイントでコンテナ番号，トレーラーID，コンテナ外観，書類の照合確認が行われる。

ゲートでのサービス時間は PDT で 165.4 秒，IDT で 204.5 秒であった。PDT のゲート通過に要する総サービス時間の合計は 211.2 秒で，内訳は第一検査ポイントで 30.9 秒，第二検査ポイントで 165.4 秒，ターミナルゲートで 14.9 秒となる。一方で，集中管理ゲートが導入される前のトレーラーが要するサービス時間の合計は，ターミナル・ゲートでのサービス時間の 158.4 秒（PDT も IDT の含んだ平均の処理時間である）である。一見すると，集中管理ゲートの導入によりトレーラーがゲート処理に要する総時間は増えていることになる。しかし，集中管理ゲートは，5.3.2 節に示すが，到達所要時間を減少させることに成功しているのである。

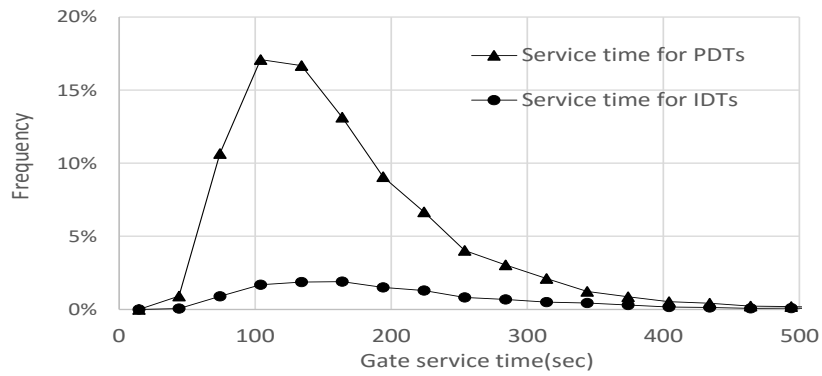


図 17 集中管理ゲートの第二検査ポイントでのサービス時間分布

表 19 集中管理ゲートの第二検査ポイントでの平均サービス時間

	PDTs	IDTs	合計
平均サービス時間 (秒)	165.4	204.5	170.4
標準偏差 (秒)	87.0	114.8	91.9
サンプル数	35,373	5,123	40,496

5.2.4 シミュレーションでのゲートのサービス時間の設定

前述のとおり、飛島ふ頭には4つターミナルがある。しかし、TCBのゲートのみがサービス時間を観測できている。集中管理ゲートの導入前は2012年1月のデータをもとに平均のサービス時は158.4秒、集中管理ゲート導入後は2014年9月のデータをもとに平均のサービス時間は14.9秒となる（図18、表20参照）。集中管理ゲート導入後のターミナル・ゲートでのサービス時間が10分の1になったのは、導入後は、ターミナル・ゲートで輸入コンテナ・トレーラーの照合確認がなくなったことによるものである。

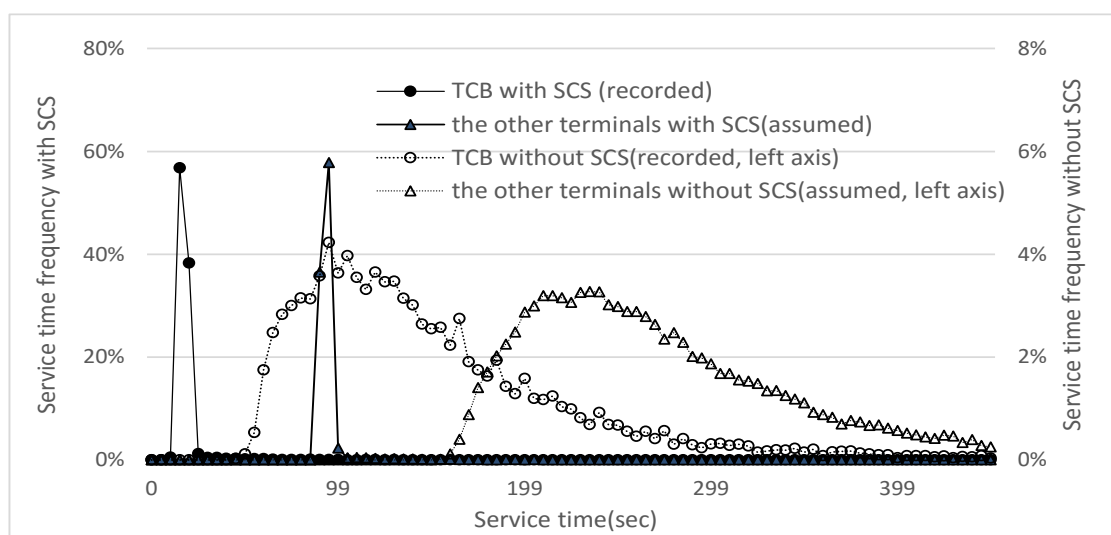


図 18 数値シミュレーションにおけるサービス時間分布の設定

次に TCB 以外の 3 ターミナルのゲートのサービス時間の設定について述べる。この 3 つのターミナルはストラドル・キャリア方式を導入しており、TCB はヤードの運営方式のトランスファー・クレーン方式と異なる。ヤードの運営方式の違いはサービス時間にも大きく影響することを博多港の分析から明らかになっている。具体には、博多港の分析では、トランスファー・クレーン方式とストラドル・キャリア方式とではサービス時間に 76.4 秒の差があった。このため今回のシミュレーションでは、その差分を TCB（トランスファー・クレーン方式）のゲートサービス時間に加算することで、3 つのターミナル（ストラドル・キャリア方式）の集中管理ゲート導入後のサービス時間として設定した（4.2.3 節参照）。なお、集中管理ゲート導入前のサービス時間は集中管理ゲートのサービス時間に 76.4 秒

を加算することで設定する。

表 20 数値シミュレーションにおけるサービス時間の設定

ターミナル (ヤード運営方式)	集中管理ゲート導入後	集中管理ゲート導入前
TCB (トランスファー・クレーン)	14.9 (観測値)	158.4 (観測値)
飛島北, NCB, 飛島南 (ストラドル・キャリア)	91.3 (推定値) 1) 14.9 秒: 集中管理ゲート導入後の TCB のサービス時間 2) 76.4 秒: ストラドル・キャリアとトランスファー・クレーンによるサービス時間の差分 (博多港観測値)	277.7 (推定値) 1) 30.9 秒 + 170.4 秒: 集中管理ゲートでのサービス時間 2) 76.4 秒: ストラドル・キャリアとトランスファー・クレーンによるサービス時間の差分 (博多港観測値)

5.3 シミュレーション結果

5.3.1 シミュレーション結果の概要

港湾の仮想の入口から、各ゲートまでのトレーラーの平均到達時間を表 21 に示す。集中管理ゲートの導入前後での平均到達時間を比較した。さらに、日当たりのトレーラーの到着交通量が増えるに従って、集中管理ゲート導入前の平均到達時間は増加するものの、集中管理ゲート導入後の平均到達時間は増えることなく安定している。よって、集中管理ゲートの導入により個々のトレーラー運転手の手続き時間は長くなるが、トレーラー全体の到達所要時間は効果的に抑制されていることが分かる。

表 21 WITNESS による港湾の入口からゲートまでの平均到達時間（単位:秒）

パーセント ンタイ ル	集中管理ゲート導入前				集中管理ゲート導入後			
	飛島北	NCB	飛島南	TCB	飛島北	NCB	飛島南	TCB
50 th	1,992.0	1,845.4	3,295.7	1,950.3	1,649.0	1,737.6	1,863.7	1,988.4
95 th	3,972.2	4,610.7	7,911.2	5,519.1	1,719.7	1,818.0	1,930.7	2,054.9
97.5 th	4,398.3	5,171.8	8,476.0	6,138.7	1,751.2	1,836.7	1,942.3	2,074.5

5.3.2 シミュレーション結果—飛島北，NCB，飛島南ターミナルでの到達所要時間

1) 飛島北ターミナルでの到達所要時間

飛島北ターミナルにおける，トレーラーの入構時刻ごとのゲート到達所要時間の変化を図 19 に示す．到達所要時間は，集中管理ゲートの導入前は，午前中は安定しているが，14 時から増加し，18 時 40 分には 9,692.5 秒を記録した．一方で，集中管理ゲートの導入後は終日 2,000 秒前後で安定している．

さらに，利用率 ρ とシミュレーションで得られる遅延の発生との関係を見る（表 23 参照）．集中管理ゲートを導入する前では，利用率 ρ は 11 時にわずかに 1.0 を超えるが 14 時から 16 時まで 1.0 を大きく超えている．一方で，集中管理ゲートを導入した後は，利用率 ρ は終日 1.0 を下回っている．

なお，利用率 $\rho = \lambda / s\mu$ は，①時間あたりの発生交通量 λ ，②レーン数 s と，③時間当たりのレーン当りのサービス率 μ でもって算出される．例えば，飛島北ターミナルの集中管理ゲート導入前の 14 時台の利用率の算出してみる．14 時台の到着交通量は 36 台．これを秒当たりに直すと $36/3600 = 0.010$ 台/秒．レーン数は 2，サービス率（サービス時間の逆数で，時間当たりの処理台数）は $1/277.7 = 0.0036$ 台/秒，よって，求める利用率 $\rho = 0.010 / (2 * 0.0036) = 1.389$ が得られる．表 22 は，利用率 ρ 算出の際のサービス時間を示す．

表 22 各ターミナルのレーン数，サービス時間

ターミナル	レーン数	サービス時間 ($1/\mu$ ，トレーラー一台当たりの処理時間)	
		集中管理ゲート導入前	集中管理ゲート導入後
飛島北	2	277.7	91.3
NCB	5	277.7	91.3
飛島南	3	277.7	91.3
TCB	4	158.4	14.9

これらのシミュレーション結果から、集中管理ゲートは混雑を効果的に抑制できることが分かる。また 利用率 ρ は遅延の発生を簡便に予知できることが分かる。

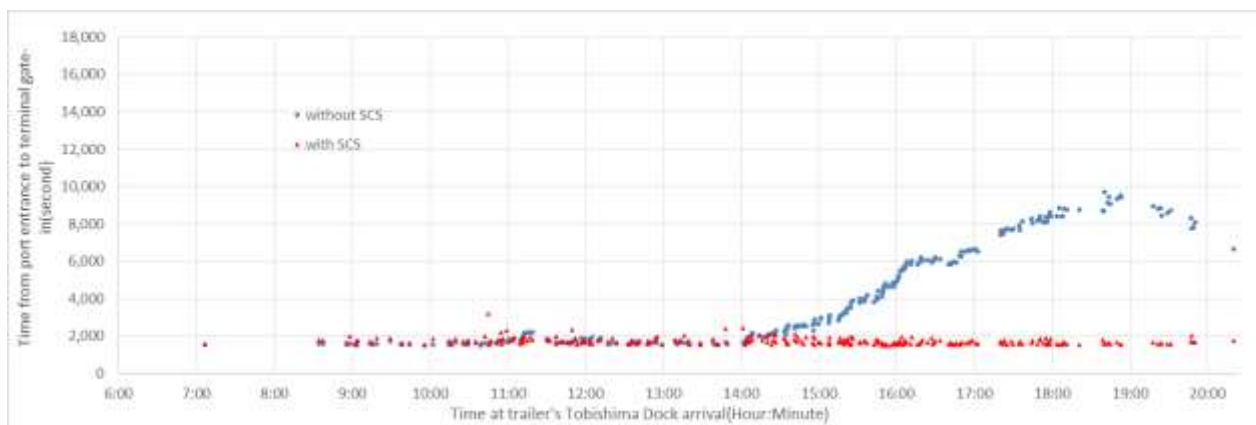


図 19 WITNESS による飛島北ターミナルにおける港口からゲートまでの到達所要時間（日到着交通量は 95%タイル値）

表 23 待ち行列式から算定される利用率 ρ （飛島北ターミナル，日交通量は 95%タイル値）

ρ	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
導入後	0.013	0.051	0.139	0.266	0.330	0.292	0.165	0.457	0.533	0.457	0.317	0.203	0.127	0.025
導入前	0.039	0.154	0.424	0.810	1.003	0.887	0.501	1.389	1.620	1.389	0.964	0.617	0.386	0.077

2) NCB ターミナルでの到達所要時間

NCB ターミナルにおける、トレーラーの入構時刻ごとのゲート到達所要時間の変化を図 20 に示す。集中管理ゲートの導入前は、10時から13時の間の到達所要時間は、徐々に増加し、14時から急激に増加し、18時38分には11,171.7秒を記録した。一方で、集中管理ゲートの導入後は終日2,000秒前後で安定している。

さらに、利用率 ρ とシミュレーションで得られる遅延の発生との関係を見る(表 24 参照)。集中管理ゲートを導入する前では、利用率 ρ は11時、12時台にわずかに1.0を超えるが、14時以降には、1.2を超える。一方で、集中管理ゲートを導入した後は、利用率 ρ は終日1.0を下回っている。これに合わせてシミュレーションによる到達所要時間も10時台はわずかに遅延がみられるがすぐに沈静化し、14時台から遅延が深刻になっていく。このケースでも、利用率 ρ とシミュレーションで得られる遅延の発生との関係があることが分かる。

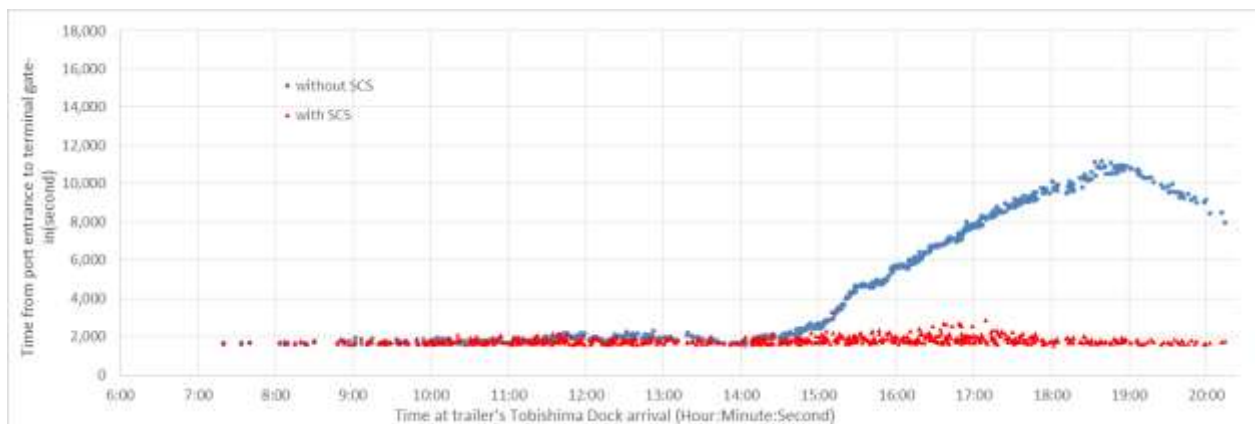


図 20 WITNESS による NCB ターミナルにおける港口からゲートまでの到達所要時間 (日到着交通量は 95% タイル値)

表 24 待ち行列式から算定される利用率 ρ (NCB ターミナル, 日交通量は 95% タイル値)

ρ	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
導入後	0.015	0.066	0.172	0.279	0.360	0.330	0.167	0.421	0.457	0.487	0.380	0.279	0.147	0.041
導入前	0.046	0.201	0.525	0.849	1.095	1.003	0.509	1.281	1.389	1.481	1.157	0.849	0.447	0.123

3) 飛島南ターミナルでの到達所要時間

飛島南ターミナルにおける、トレーラーの入構時刻ごとのゲート到達所要時間の変化を図 21 に示す。集中管理ゲートの導入前は、10時から13時の間の到達所要時間は、徐々に増加し、14時から急激に増加し、18時32分には115,445.5秒を記録した。一方で、集中管理ゲートの導入後は終日2,000秒前後で安定している。

さらに、利用率 ρ とシミュレーションで得られる遅延の発生との関係を見る（表 25 参照）。集中管理ゲートを導入する前では、利用率 ρ は10時台から12時台、14時台から18時台と1.0を超えている。一方で、集中管理ゲートを導入した後は、利用率 ρ は終日1.0を下回っている。これに合わせてシミュレーションによる到達所要時間も10時台から遅延の発生が始まり、13時台に沈静化の動きを見せるが、14時以降は遅延が深刻になっていく。このケースでも、利用率 ρ とシミュレーションで得られる遅延の発生との関係があることが分かる。

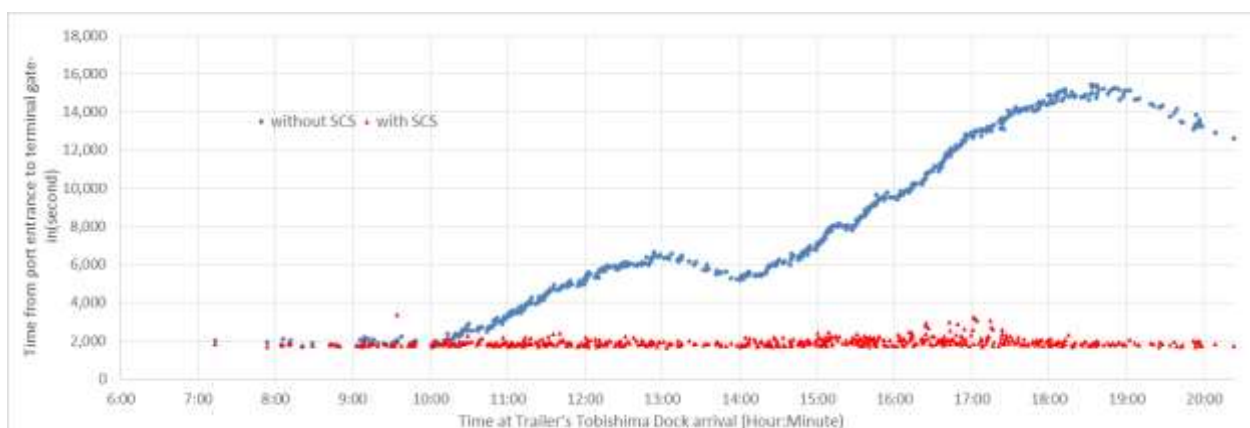


図 21 WITNESS による飛島南ターミナルにおける港口からゲートまでの到達所要時間（日到着交通量は95%タイル値）

表 25 待ち行列式から算定される利用率 ρ （飛島南ターミナル，日交通量は95%タイル値）

ρ	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
導入後	0.017	0.085	0.228	0.473	0.533	0.473	0.211	0.533	0.600	0.609	0.482	0.364	0.186	0.051
導入前	0.051	0.257	0.694	1.440	1.620	1.440	0.643	1.620	1.826	1.851	1.466	1.106	0.566	0.154

5.3.3 シミュレーション結果—TCB ターミナルでの到達所要時間

前述のとおり，待ち行列式に算出される利用率 ρ と WITNESS の数値計算で得られる到達所要時間に TCB を除く 3 つのターミナルで明確な相関があることが分かる．TCB ターミナルでは，飛島北，NCB，飛島南でのシミュレーション結果を異なり待ち行列式から算出される利用率は，シミュレーションから計算される遅延の発生とは整合していなかった．集中管理ゲートの導入前は，TCB での利用率は十分に低く，遅延を予測できるレベルでなかったにもかかわらず，シミュレーションでは 12 時から大きな遅延が発生した（図 22，表 26 参照）．シミュレーションでは，到達所要時間は 12 時から増加を始め，18 時 18 分には最大で 12,181.5 秒を記録した．これは，TCB ターミナルの前にある飛島南ターミナルのゲートで混雑が発生し，TCB に向かうトレーラーの妨げになったことによるものである．このことから，別のターミナル・ゲートでの混雑の発生は，当該ターミナルへの到着交通量がそのゲート能力を下回っていても，条件によっては到達所要時間が遅延する可能性があることを示すものである．

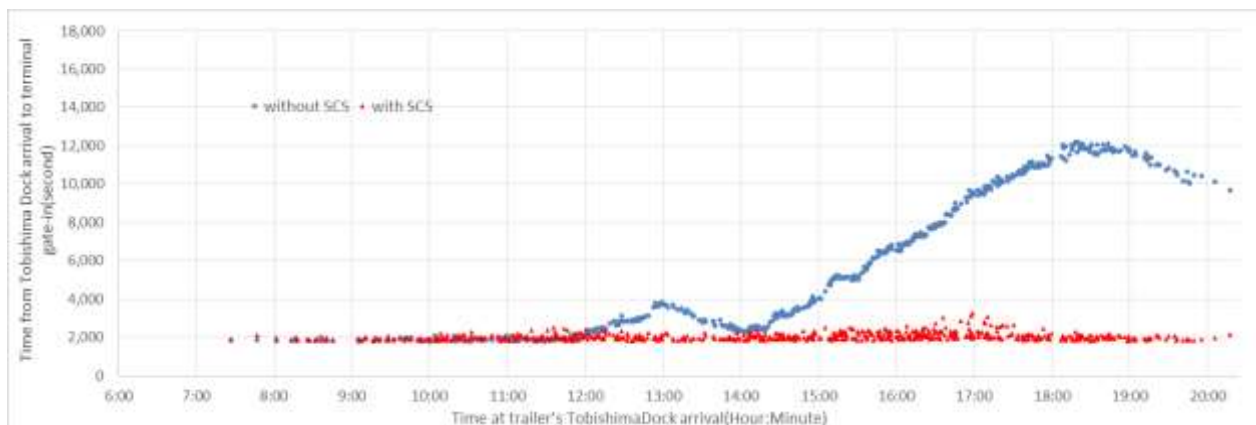


図 22 WITNESS による TCB ターミナルにおける港口からゲートまでの到達所要時間（日到着交通量は 95% タイル値）

表 26 待ち行列式から算定される利用率 ρ （TCB ターミナル，日交通量は 95% タイル値）

ρ	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
導入後	0.002	0.012	0.032	0.051	0.067	0.067	0.039	0.073	0.085	0.090	0.068	0.054	0.026	0.004
導入前	0.022	0.132	0.341	0.539	0.715	0.715	0.418	0.781	0.902	0.957	0.726	0.572	0.275	0.044

5.3.4 混雑抑制効果のまとめ

発生集中交通量のパーセンタイル値毎に、集中管理ゲートの有無による、ゲート混雑抑制効果を整理する（図 23，図 24，図 25 及び図 26）。パーセンタイル値が増えていくにつれて、集中管理ゲート導入前の平均到達所要時間は増加する。飛島北ターミナルでの平均到達所要交通量は、集中管理ゲートの導入前は、10%タイル値で 1,596.2 秒，50%タイル値で 1,922.0 秒，97.5%タイル値で 4,398.38 秒と増加するが、集中管理ゲート導入後は 1,700 秒前後でほとんど変化はない。TCB ターミナルでの平均到達所要交通量も、HiTS 導入前は 10%タイル値で 1,878.8 秒，50%タイル値で 1,950.3 秒，97.5%タイル値で 6,138.7 秒と増加するが、集中管理ゲート導入後は 2,000 秒前後でほとんど変化はない。これらのことから、集中管理ゲート導入によりゲート混雑を抑制できていることが確認される。

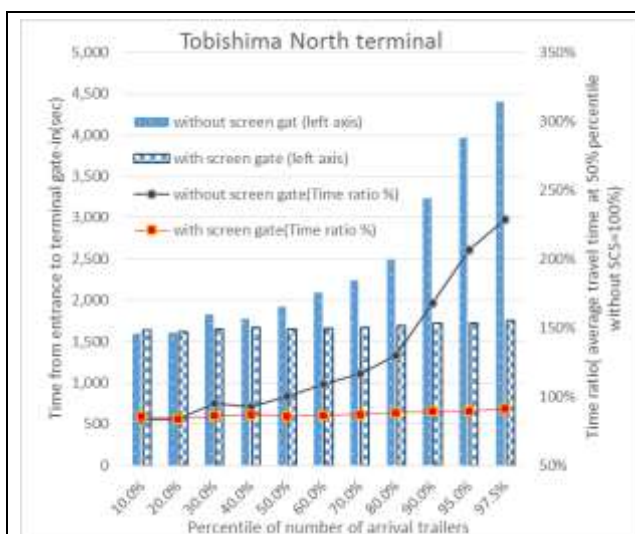


図 23 飛島北ターミナルのパーセンタイル別到達所要時間の総合計（集中管理ゲート導入前と後）

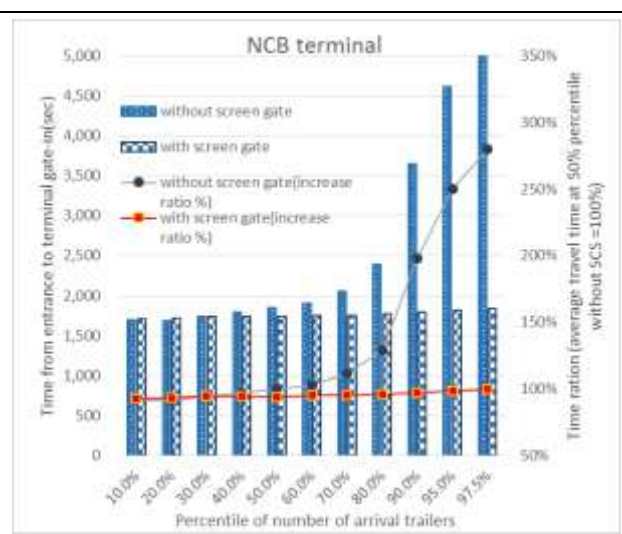


図 24 NCB ターミナルのパーセンタイル別到達所要時間の総合計（集中管理ゲート導入前と後）

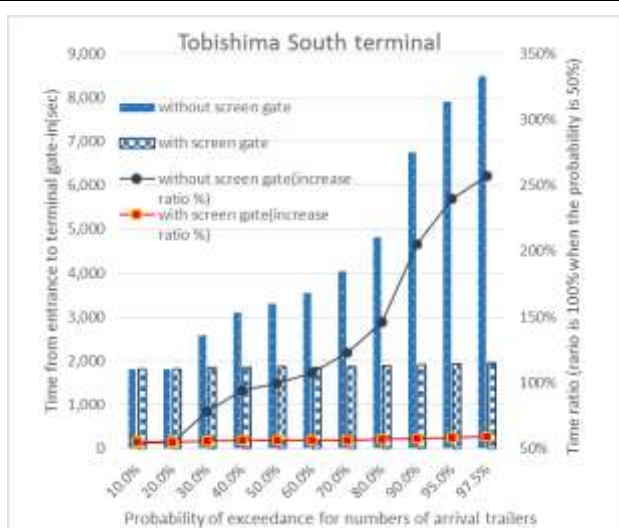


図 25 飛島南ターミナルのパーセント別到達所要時間の総合計（集中管理ゲート導入前と後）

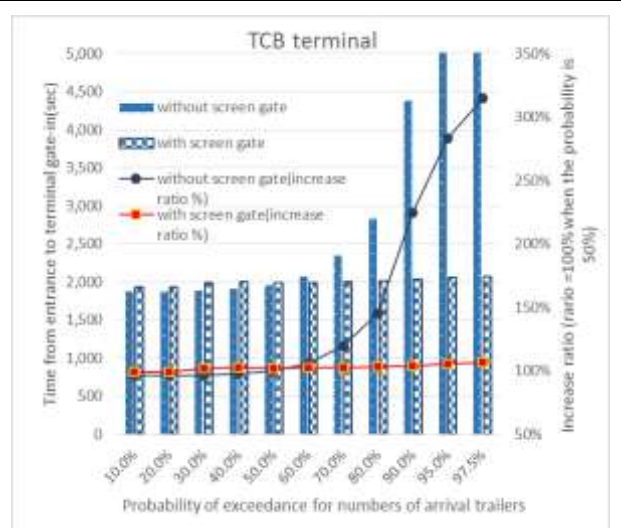


図 26 TCB ターミナルのパーセント別到達所要時間の総合計（集中管理ゲート導入前と後）

次に、このシミュレーション結果を用いて、集中管理ゲート導入が十分な経済的効果が期待できるかを確認する。便益は、集中管理ゲート導入の有無による所要到達時間の削減時間に、単位時間当たりの輸送コストを乗ずることで算出する。単位時間当たりの輸送コストは、博多港の横持ち料金のタリフを準用する。費用は、集中管理ゲート導入の開発と維持管理に要した額とする。

到着トレーラー台数のパーセント別ごとに所要到達時間をシミュレーションモデルから計算し、100,364,873.3 秒（27,879 時間）分の到達所要時間を削減できることになり、トレーラーの輸送コストを 3.58 円/秒（12,900 円/時）を乗ずることで削減効果を評価する（表 26）。また、集中管理ゲートの整備費用は 25 億円、維持管理コストが年あたり 6800 万円を見積もる。またデフレーターは、設備投資は Ig デフレーターを、そのほかの費用効果は GDP デフレーターによる。また将来の費用と効果は年率 4%の社会的割引率を適用する。回収年は 2010 年から 2039 年の 30 年とする。なお、発生交通量は年に応じて増減するものであるが、今回の分析では 2014 年の実績値をもとにパーセント値を求めており、その前後の経年変化は見込んでいない。

表 27 集中管理ゲートの導入による到達所要時間の変化

Percentile of arriving trailer	Average time from entrance to terminal gate-in								Number of trailers			
	without SCS				with SCS							
	Tobishima North	NCB	Tobishima South	TCB	Tobishima North	NCB	Tobishima South	TCB	Tobishima North	NCB	Tobishima South	TCB
10.0%	1,596.2	1,695.9	1,800.8	1,878.8	1,643.0	1,707.4	1,818.1	1,929.6	55.0	152.0	120.0	137.0
20.0%	1,607.2	1,689.2	1,804.4	1,879.7	1,611.9	1,717.3	1,814.0	1,933.5	79.0	215.0	174.0	196.0
30.0%	1,826.8	1,739.4	2,578.4	1,880.4	1,652.9	1,740.9	1,848.4	1,988.0	189.0	504.0	409.0	461.0
40.0%	1,774.8	1,790.9	3,112.0	1,908.5	1,674.4	1,739.2	1,859.0	1,997.1	306.0	827.0	670.0	754.0
50.0%	1,922.0	1,845.4	3,295.7	1,950.3	1,649.0	1,737.6	1,863.7	1,988.4	204.0	553.0	446.0	504.0
60.0%	2,093.0	1,905.8	3,538.1	2,069.1	1,658.2	1,754.7	1,857.8	1,994.2	213.0	571.0	462.0	523.0
70.0%	2,240.7	2,053.9	4,040.8	2,341.7	1,671.3	1,751.6	1,862.7	1,996.8	221.0	590.0	476.0	540.0
80.0%	2,495.0	2,385.6	4,811.5	2,833.3	1,696.0	1,773.2	1,886.0	2,010.3	227.0	590.0	496.0	540.0
90.0%	3,229.7	3,649.6	6,756.8	4,374.8	1,717.6	1,793.8	1,903.5	2,031.2	248.0	670.0	541.0	611.0
95.0%	3,972.2	4,610.7	7,911.2	5,519.1	1,719.7	1,818.0	1,930.7	2,054.9	266.0	710.0	573.0	649.0
97.5%	4,398.3	5,171.8	8,476.0	6,138.7	1,751.2	1,836.7	1,942.3	2,074.5	273.0	731.0	590.0	667.0

便益は 30 年で 100.6 億円，費用は 37.7 億円，B/C は 2.67 となる．この結果から，集中管理ゲートは経済社会的な効果の高い取り組みであることを確認した（表 28）．

表 28 集中管理ゲートの費用対効果分析結果（2014 年換算値）

費用	3,768,622,172 円
便益	10,060,574,900 円
B/C	2.67
B-C	6,291,952,728 円
EIRR	10.9%

5.4 社会的ジレンマ理論からみた名古屋港のゲート混雑対策運用の評価

1) ゲート混雑の背景

名古屋港においては、コンテナ・ターミナル共通で統一されたコンピューター・システム（NUTS）の各ターミナルへの導入が、1999年に始まり2005年に完了している。NUTS導入により、ターミナル内において港運各社が縦割りで行っていた荷役作業を共同化することができた。港運各社は、自身が契約している顧客のコンテナを荷役することで荷役料金を受け取ることが原則になっている。しかしNUTS導入により、コンテナIDが共有されたことで、自身の顧客のコンテナか否かにかかわらず、自身の一日の取り扱い総数までを取り扱うことで一日の荷役料を確保できることになる。港運各社はヤード内で取り扱うコンテナを融通でき、より効率的な荷役できることになった。また一つのターミナルにとどまらず、複数のターミナルでの荷役作業の共同化も可能となり、ターミナルの荷役の効率を高めている。

さらに、コンテナ搬入の際には、トレーラー運転手が持参するコンテナ搬入票とNUTSによって提供されるコンテナ単位の情報の照合確認ができるようになった。また、トレーラーが搬出コンテナを引き取る際に運転手は3種類の書類（搬出指示書/Delivery Order/輸入許可承認書）を持参しなければならなかったが、NUTS導入後は一つの書類（Dispatch Order）に一本化され、その後RFID化されており、ゲート処理時間を著しく短縮している。こうして、NUTSの導入によりゲート処理時間を短縮できた。しかし依然としてゲート混雑に悩まされてきた。特に、飛島ふ頭は4つのターミナルがあり、一つのゲート混雑は他のターミナルへのトレーラーの出入りにも影響を与える場合もあった。

このため、飛島ふ頭に、2011年にゲート入構の前段階でこれら4ターミナルに向かうトレーラー運転手が携行する書類やコンテナ情報を一元的に照合確認し、IDTを除去する集中管理ゲートを設置した。つまり、個々のターミナルのゲートで行っていた従前のコンテナと書類の照合確認を、集中管理ゲートで行い、個々のターミナル・ゲートでの照合確認を省くことで、飛島ふ頭全体の混雑改善を企図した。例えばTCBターミナルのゲート処理時間は、集中管理ゲート導入前の158.4秒から集中管理ゲート導入

後は 14.9 秒と短縮されたこと、また IDT は集中管理ゲートから出ることではないので、IDT による遅延が PDT のゲート通過に影響することはないことから、ゲート混雑は大幅に縮小された。

2) 構造的方略

名古屋港では、名古屋港運協会の提案を受け、国土交通省と名古屋港管理組合は 2011 年 3 月にゲート入構の前段階でトレーラーが携行する書類やコンテナを照合確認する集中管理ゲートを飛島ふ頭に設置した。これにより、書類不備のまま集中管理ゲートに到着したトレーラー（IDT）は書類が完備するまで集中管理ゲート内の IDT 待機場で書類を整うのを待ち、書類とコンテナ情報の照合確認が取れたトレーラーのみが、目的とする個別ターミナル・ゲートに向かうこととなる。集中管理ゲートでコンテナ情報の照合確認ができていないトレーラーは、個々のターミナル・ゲートに来て入構は許されず、集中管理ゲートに戻るよう指示されることが徹底される。非協調行動者である IDT が、協調行動者（PDT）の成果である混雑緩和の利益を享受することはできない仕組みとなっている⁴¹⁾。

名古屋港運協会は任意団体であり、法人格を有していない。そのため法的な強制力を行使することに限界がある。それにもかかわらず、名古屋港運協会はすべての輸出コンテナを搬送するトレーラーに最初に集中管理ゲートの行くことを要請している。また、同ゲートは、ターミナル・オペレーターから派遣された職員によって共同で運営され、トレーラー運転手の集中管理ゲートの利用は無料となっている。

3) 心理的方略

心理的方略⁴¹⁾として、名古屋港運協会は、協調行動者を増やすため、集中管理ゲート設計の際にトレーラーの安全走行やゲート誤進入を防ぐための利用者意見を反映させ、利用者が使いやすい集中管理ゲートのレイアウトを目指した。また、名古屋港運協会は、トラック事業者やターミナル・オペレーターに対し、「トレーラー運転手の集中管理ゲートの利用が、飛島ふ頭全体のゲート混雑を軽減する」との事前説明を繰り返し行ってきたこと、またターミナル・オペレーターに対しても、ターミナル・ゲートでは集中管理ゲートでの総合確認を経ていないトレーラーに対しては入構をさせず、集中管理ゲートへ向かうよう指示すること徹底した。

名古屋港運協会は任意団体であり，法人格を有していない．そのため法的な強制力を行使することに限界がある．しかしながら，名古屋港運協会は集中管理ゲートのほか，NUTS を開発したこと，トレーラーID をトラックターヘッド上にマークし，ターミナルで認識しやすく取り組み，RFID をトレーラーの搭載する取り組みなどトレーラーの交通環境を改善する取り組みを進めてきた．これらの地道な取り組みがトラック事業者からの信頼を得ているのではと考える．名古屋港運協会は，著者のインタビュー調査に対して「集中管理ゲートの供用は始まって間もないが，港湾管理者，陸運事業者，ターミナル・オペレーター，名古屋港運協会の中の信頼関係が醸成され，輸出コンテナを搬入するトレーラーは 100 パーセント集中管理ゲートを利用している」と回答している．

4) 対策の結果

国土交通省と名古屋港運協会は共同でトレーラー運転手が集中管理ゲートに対して評価しているのか，またトレーラー運転手の意識がどう変化したかをアンケート調査⁴²⁾している．調査は 2012 年 9 月（すべての輸出トレーラーが集中管理ゲートの行くようになり決めた 3 か月後）と，2014 年 1 月（開始から 20 か月後）に行われた．調査結果をみると（図 27 参照），トレーラー運転手の集中管理ゲートの対する肯定的な評価は，75.7%（32.3%が改善した，43.4%が比較的改善したと回答）から 56.2%（19.4%が改善した，36.8%が比較的改善したと回答）に低下している．一方で，否定的な評価は，2012 年の 6.0%（2.4%が悪化した，3.6%が比較的悪化したと回答）から，2014 年の 11.8%（4.7%が悪化した，7.1%が比較的悪化したと回答）へと数字的には少ないが増加している．

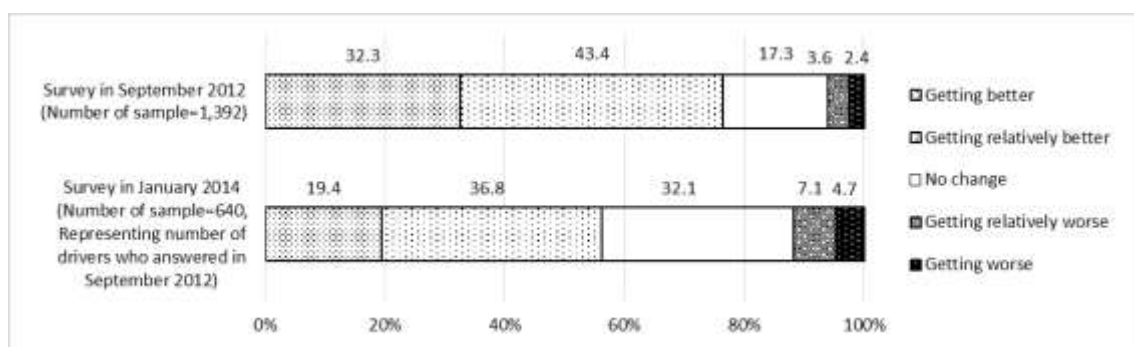


図 27 トレーラー運転手は飛島ふ頭の混雑は改善されたと思うか，どうかの質問に対する回答

もう一つの調査では、集中管理ゲートに満足しているか否かを尋ねたものである。調査結果を見ると（図 28）、肯定的な回答は 2012 年の 48.2%（15.4%が満足する，32.8%が比較的満足すると回答）から 2014 年の 30.6%（6.8%が満足する，23.8%が比較的満足すると回答）に低下している。否定的な回答は，2012 年の 13.5%（6.8%が不満，8.1%が比較的不満と回答）から 2014 年の 31.1%（10.8%が不満，20.3%が比較的不満と回答）に増加している。

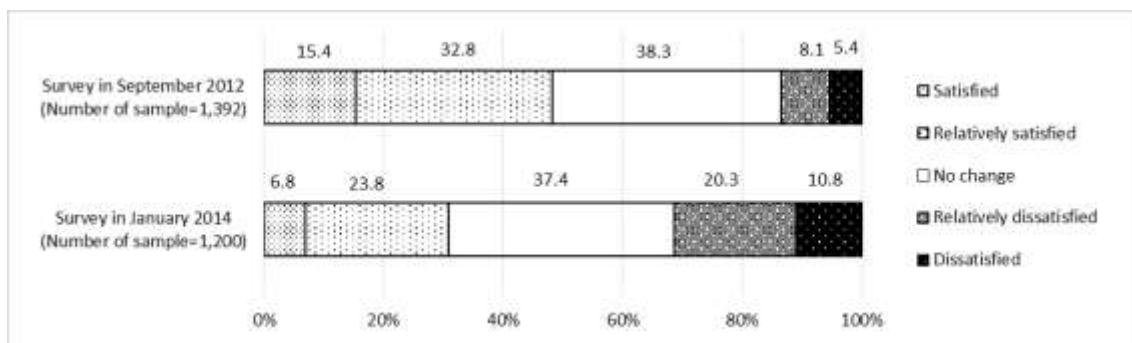


図 28 トレーラー運転手は集中管理ゲートに満足しているか，どうかの質問に対する回答

これらの二つの調査から，すべてのトレーラー運転手は集中管理ゲートの向かっているものの，彼らは次第に現状を評価しない傾向が出てきていることが分かる。著者が 3.2.2 節で述べたが，個人の行動が監視されると，個人は次第に嫌気がさしていくことがあると紹介している。名古屋港運協会は，継続的に利用者の意見を聞き，混雑の因果関係を根気強く説明していくことが必要と考える。集中管理ゲートの導入により，IDT（非協調行動者）はゲートへの交通ルートから排除されているものの，IDT は待機場で書類が整つなど集中管理ゲートでの照合確認に PDT より長時間を要している。このため，トレーラー運転手が無意識に協調行動をとるようになるまで，トレーラー運転手の協力状況についてモニタリングと分析を続けていくことが求められるものと考えられる。

6. おわりに

本研究の結論を述べる．コンテナ・ターミナルの陸側におけるトレーラーの交通特性として，一定程度の IDT の混入があり，それがゲート処理時間に大きな影響を及ぼしている場合には，①IDT 除去対策がゲート混雑改善に有効であること，②ゲート混雑対策の適用には個々のトレーラー運転手の行動変容を促すことが重要であることを指摘する．また，本研究の限界や残された課題を整理したうえで，この研究分野における今後の研究の方向性を明らかにする．

6.1 ゲート混雑対策としての IDT 除去の有効性

本研究では，IDT の除去がゲート混雑の軽減に効果的な手法であることを明らかにした．特に，IDT のシェアが高い場合や，IDT と PDT とのゲートサービス時間の差が大きいときはより有効となる．著者は，まず，これまで IDT が報告されているのは港湾（米国，Chennai，博多港，名古屋港）があることを既存文献から整理した．そのうち博多港と名古屋港のみが IDT を除去する手法を導入し，結果的に混雑の軽減に成功している．そのため，実際の IDT 除去の対策が採用されたこの両港について検証を行った．

まず到着するトレーラー群に含まれる IDT の混入率は，名古屋港では 12.7%であった．（博多港の IDT はすでに解消されており今となっては観測できないが，関係者へのヒアリングで約 10%程度あったと説明されている）．また，ゲートのサービス時間分布は，名古屋港の TCB ターミナル，博多港の IC ターミナル，香椎ターミナルのいずれもが指数関数の分布をしていた．名古屋港の集中管理ゲートの第二チェックポイントでの観測結果からは，IDT のサービス時間分布（平均値 205.5 秒）は，PDT のそれ（平均値 165.4 秒）に比べるとなだらかな形状で，総じて時間も長くなっていることが確認された．このことから，IDT が除去されるとサービス時間分布は短くなりピークが立ってくることが示唆される．

次に，数値シミュレーションから，IDT が除去されると，ゲート容量が増えることを確認した．特に，WITNESS シミュレーションは，ターミナルの配置，アクセス道路の配置を再現し，対策の有無によるトレーラーの

ゲート到達所要時間の比較が可能である。シミュレーションの結果からは、ゲート混雑対が講じられると、到達所要時間は明らかに減少することが確認できた。さらに、待ち行列式から算出される利用率(ρ)は、簡便にゲート混雑の発生を予測できる指標であることも確認できた。例えば、利用率(ρ)は、1.0 を超えると混雑の発生が始まり、1.0 を下回ると混雑は軽減の方向に向かう。

また、サービス時間はヤードの運営方式にも影響される場合がある。博多港の観測結果から、IC ターミナル（トランスファー・クレーン方式）の平均サービス時間は 47.7 秒であったが、香椎ターミナル（ストラドル・キャリア方式）の平均サービス時間は 115.7 秒であった。

また、博多港では HiTS によるトレーラー運転手らにコンテナやトレーラー情報の事前登録を義務化するとともに、コンテナの引き取り可否情報やゲート前の交通渋滞状況を提供することで、トレーラー運転手の過度は交通集中を抑制している。一方で、名古屋港では強制的に事前ゲートにおいてコンテナとトレーラー、書類の照合確認を行うことで、ターミナルゲートでの IDT を除去したことと、ターミナルゲートでの照合確認をなくしたことで、ゲート前の処理時間が圧倒的に短縮され、ゲート混雑は解消している。すなわち第 3 の混雑軽減策のオプション(b)の有効性が検証された。

ゲート混雑で苦しんでいる港湾管理者やターミナル・オペレーターは、ゲート処理時間、時間当たりの入構トレーラーの台数、IDT の混入率など現地観測し、混雑式に代入することで、IDT の影響を評価できることになる。仮に IDT の影響が大きい場合は、博多港や名古屋港でとられた方式により IDT を除去することができることになる。

6.2 ゲート混雑対策の効果的な運用

次に、本研究では、ゲート混雑対策の効果的な運用を社会的ジレンマ理論から説明できるかを検討し、そして、混雑対策は構造的方略と心理的方略の組み合わせで説明できることを示した。2つの港湾の事例分析（表 29）を見ると、取り巻く環境や導入したゲート混雑対策に違いはあるものの、ゲート混雑対策を有効に機能させるために社会的ジレンマ理論を前提とした仕組みを構築し、合理的な行動を行う協調行動者を増やした結果であることが確認された。いずれの港湾でも構造的方略に加えて、心理的方略を工夫することで協調行動者を効果的に増やし、ゲート混雑の軽減を実現している。

博多港では、すべてのターミナル・ゲートは博多港ふ頭（株）が一元管理している。構造的方略としては、トレーラー運転手に最新のゲート情報とコンテナの引き取り可否情報を提供し、事前の登録をしていないトレーラーの入構を禁止している。同時に、心理的方略としては、すべての利用者が利用しやすい HiTS を開発し、さらに、博多港ふ頭（株）は、システムの利用方法を丁寧に説明することで、関係者間の共同行動を達成できると強調している。これらの取組により関係者の協調行動を増やし、ゲート混雑を軽減できた。

一方で、名古屋港の飛島多ふ頭では4つのターミナルが独自に運営されている。このため、目的のターミナルの前にコンテナと書類を照合確認する集中管理ゲートを設置した。構造的方略としては、集中管理ゲートでコンテナと書類確認を済ませたトレーラーのみがターミナル・ゲートへ入構できるようにしている。集中管理ゲートでの確認を行っていないトレーラーはターミナル・ゲートでの入構を拒否される。利用者からの利用料を徴収しない。また、心理的方略としては、協調行動の重要性についてトレーラー運転手をはじめとする関係者に繰り返し説明した協力を求めたことである。料金徴収をしないことを参加者の数を増やすことにつながったものと考えられる。

表 29 ゲート混雑対策の協調行動を促す運用上の仕組みとその成否の要因

混雑対策例	協調行動を促す方策	考えられる成否の要因
<p>情報システムによる事前登録とコンテナ情報、ゲート情報の提供 (博多港)</p>	<p>(構造的方略) ①搬出入するコンテナとトレーラー情報の HiTS への事前登録を義務付け、利用料は徴収しない。②ゲート情報やコンテナ情報をネット経由で運転手が確認できること。③ゲート管理が一元化されており、非協調行動者への拒否が厳格に適用。</p> <p>(心理的方略) ①HiTS の導入に当たり利用方法や混雑軽減効果を運転手や事業主に丁寧に説明したこと。②関係者間での混雑による競争力低下への危機意識が共有されている。</p>	<p>①ゲート管理が一元化されており、非協調行動者への入構拒否が厳格に適用できた。</p> <p>②運転手や事業主への啓蒙活動により関係者が協調行動を取りやすい環境にあったこと。</p>
<p>情報システムと集中管理ゲートの導入 (名古屋港)</p>	<p>(構造的方略) ①ゲート入構前に集中管理ゲートにて、コンテナ審査を義務づけ、非協調行動者への入構拒否が厳格に適応。②利用料は徴収しない。</p> <p>(心理的方略) ①集中管理ゲートの設計段階から利用者の意見を反映してきたこと、また集中管理ゲートの効果の説明を丁寧に行ってきたこと。</p>	<p>①非協調行動者への入構拒否を厳格化できたこと。</p> <p>②NUTS での一元的な情報管理システムにより利用者との信頼関係の醸成があったこと。</p>

6.3 今後の課題

本研究ではいくつかの限界があった。ゲート混雑を再現・予測する上では待ち行列式の各パラメーターが必須となる。今回の研究では、トレーラーの到着台数や、レーン数などは確認できたものの、博多港の HiTS 導入前のサービス時間は計測されていない。また名古屋港の飛島北、NCB、飛島南のサービス時間も確認できていない。そのため、著者は仮定をおき、これらのサービス時間の設定を行っている。より正確なゲート混雑を評価するうえでは、真のサービス時間の把握が必要となる。

ゲート混雑対策の効果的な運用を、社会的ジレンマ理論で説明することを試みた。限られた事例分析ではあるが、トレーラー運転手やターミナル・オペレーターの行動をコントロールするためには、構造的方略と心理的方略を組み合わせ、合理的な行動を行うように促すことが有効であることが確認された。しかし、今回の検討では、文献調査による限られた事例分析を行ったものであり、ゲート混雑対策の導入の前後における利用者への意識調査や利用者の参加割合の変化などといった統計的な検証は不十分である。社会的ジレンマ理論のもとに統計的手法を駆使した分析も、都市交通の混雑問題では取り組みがなされつつある（例えば、福田他⁴³⁾）が、コンテナトレーラー運転手の行動については分析事例が乏しいことから、本稿を契機に、ゲート混雑に苦しむ多くの港湾で実証的な研究が進められることを期待したい。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり，九州大学大学院工学研究院教授橋本典明博士には，終始懇切丁寧なご指導と温かい励ましを賜りました．また，本論文を取りまとめるにあたっては，九州大学大学院工学研究院教授塚原健一博士，同矢野真一郎博士には，論文の構成と研究結果の考察等について適切なご助言をいただきました．

また，本論文は，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および一般財団法人国際臨海開発研究センターからの研究資金による成果の一部を取りまとめたものである．公益社団法人日本港湾協会須野原豊理事長．一般財団法人みなと総合研究財団鬼頭平三理事長，一般財団法人国際臨海開発研究センター富田英治理事長には，研究成果の本論文への引用にご快諾いただいた．

京都大学経営管理大学院特定教授古市正彦博士には，本研究を進める機会を与えていただき，多くのご示唆とご提案をいただいた．京都大学助教瀬木俊介博士には，本研究の学術的な一般化を図る際にアドバイスをいただいた．博多港ふ頭（株）元社長江頭和彦博士，同相談役大東光一氏には本研究の実施にあたり博多港コンテナ・ターミナルの現地調査の受け入れ，コンテナ流動のデータの提供など全面的な協力をいただいた．博多港ふ頭（株）二宮保氏，中村勇志氏，木本浩氏，三井造船（株）深澤紀博氏には本研究のパートナーとして，データの分析に際して，現場でのターミナル運用方法を子細に解説して頂き多くのご示唆をいただいた．名古屋港運協会（現名港海運（株）情報システム部長）鈴木聡氏には，名古屋港集中管理ゲートの現地調査の受け入れ，コンテナ流動データの提供をいただき，また研究パートナーとして多くのご示唆をいただいた．国土交通省中部地方整備局柴田鋼三物流企画室長には，名古屋港集中管理ゲートのコンテナ流動やトレーラー運転手の意向調査結果などデータの提供をご快諾いただいた．中央復建コンサルタント岡本辰夫氏には，名古屋港集中管理ゲートのコンテナ流動のデータ分析でアドバイスをいただいた．伊藤忠テクノソリューション（株）布施雅子氏には，小生の WITNESS シミュレーション・モデルの構築に際して辛抱強くお付き合いいただいた．京都大学教授藤井聡博士には社会的ジレンマ理論についてアドバイスをいただいた．国土交通省国土技術総合政策研究所柴崎隆一博士には，本研究に関連する議論がなされている学会や文献紹介の労をとっていただいた．

本論文の各部はこれまで土木学会, International Association of Maritime Economists (IAME, 国際海運経済学会), International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG), World Conference of Transport Research Society (WCTRS), The International Association of Ports and Harbors (IAPH, 国際港湾協会), JICA Group Training Course on Sustainable Port Development and Planning をはじめ学会, 国際機関などの場で発表する機会を得, 内外の多くの研究者, 実務者から多くの建設的なご意見とご指摘をいただてきた.

ここに記して全ての関係各位に感謝申し上げる次第である.

最後に, 本研究を陰ながら支えてくれた妻佳子と子供たちにも感謝を捧げる.

参考文献

- 1) Aronietis, R., Markianidou, P., Meersman, H., Pauwels, T., Pirenne, M., Van de Voorde, E., Vanelslander, T. and Verhetsel, A. [2010], “Some Effect of Hinterland Infrastructure Pricing on Port Competitiveness: Case of Antwerp”, 12th WCTR, Lisbon, Portugal.
- 2) Wan, Y., Zhang, A. and Yuen, A. [2013], “Urban road congestion, capacity expansion and port competition: empirical analysis of US container ports”, *Maritime Policy & Management*. Vol.40, No.5, pp.417-438.
- 3) OECD/ITF, [2015], “The Impact of Mega-Ships”, OECD.
- 4) Furuichi, M. and Shibasaki, R. [2015], “Cascade strategy of container terminals to maximize their quantitative and qualitative capacity”, *Proceedings of IAME 2015 Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- 5) 例えば, 北岡正敏著[2010], “待ち行列理論入門”, 日本理工出版会.
- 6) Alameda Corridor Transportation Authority, [2016], (online), <http://www.acta.org/index.asp>, 2016/6/5.
- 7) Innovation and Networks Executive Agency, EU, (online), <https://ec.europa.eu/inea/en/ten-t/ten-t-projects/projects-by-priority-project/priority-project-5>, 2016/6/5.
- 8) Koeste, M. and Rouwendal, J. [2010], “Rail investment and port competition: a case study for the Betuweroute”, *European Transport/Trasporti Europei n. 44* (2010): pp.57-75.
- 9) Van Asperen, E., Borgman, B. and Dekker, R. [2012], “Modal Shift and Container Stacking Efficiency”, *IAME 2012 Conference*, Taiwan.
- 10) California State Government, [2003], “Assembly Bill 2650”, (online), http://www.leginfo.ca.gov/pub/01-02/bill/asm/ab_2601-2650/ab_2650_bill_20020930_chaptered.html, 2016/6/5.
- 11) Giuliano, G., Hayden, S., Dell’aquila, P. and O’Brien, T. [2008], “Evaluation of terminal gate appointment system at the Los Angeles / Long Beach Ports”, *METRANS Project 04-06*.
- 12) Morais, P. and Lord, E. [2006], “Terminal Appointment Systems Study”, *Transportation Development Centre of Transport Canada*.
- 13) Giuliano, G. and O’Brien, T. [2007], “Reducing port-related truck emissions: The terminal gate appointment system at the Ports of Los Angeles and Long

- Beach”, *Transport Research Parts D* 12 (07) pp.460-473.
- 14) Davies, P. [2013], “Container terminal reservation systems design and performance”, Annual METRANS International Urban Freight Conference, (online), <http://dtci.ca/>, 2016/6/5.
 - 15) Davies, P. [2009], “Container terminal reservation systems”, Annual METRANS International Urban Freight Conference, (online), <http://dtci.ca/>, 2016/6/5.
 - 16) Department for Transport, UK. [2012], “National Policy Statement for Port”.
 - 17) Gilfillan, G. [2013], “Improving Port Efficiency-The PBLIS story”, IAPH2013, Los Angeles.
 - 18) Cox, J., Mahoney, D. and Smart, M. [2009], “Port Botany’s Landside: Market Pricing to Address Congestion”, *Economic Papers*, Vol.28, No.1, March, 2009, pp.49-55.
 - 19) Cao, M., Golias, M. and Karafa, J. [2013], “Evaluation of the effects of gate strategies in drayage related emissions”, National Center for Freight & Infrastructure Research & Education, University of Wisconsin-Madison.
 - 20) Giuliano, G. and O’Brien, T. [2008], “Extended gate operations at the ports of Los Angeles and Long Beach: a preliminary assessment”, *Maritime Policy and Management*, Vol.35, No.2, pp.215-235.
 - 21) Giuliano, G. and O’Brien, T. [2008], “Evaluation of extended gate operations at the ports of Los Angeles and Long Beach”, METRANS Project 05-12.
 - 22) PierPASS, [2016], “The history of PierPASS”, (online) <https://www.pierpass-tmf.org/Documents/PierPASSHistory.pdf>, 2016/6/5.
 - 23) Spasovic, N., Dimitrijevic, B. and Rowinski, J. [2009], “Extended hours of operation at the port facilities in New Jersey: A feasibility analysis”, New Jersey Institute of Technology.
 - 24) Guan, C. and Liu, R. [2009], “Container terminal gate appointment system optimization”, *Maritime Economics & Logistics*, Vol.11, 4, pp.378-398.
 - 25) Motono, I., Furuichi, M., Kimoto, H. and Suzuki, S. [2014], “A New Concept of Off-Dock Container Traffic Control for Heavily Congested Ports”, *Proceedings of the Fifth International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG)*.
 - 26) 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の関する研究”, 国土技術政策総合研究所資料, No.797.

- 27) 里村大樹, 水谷雅裕, 鈴木武 [2015], “コンテナターミナルにおける保安検査の影響とゲート通過の円滑性確保の関する研究”, 国土技術政策総合研究所資料, No.853.
- 28) Aydogdu, Y. V. and Aksoy, S. [2015], “A study on quantitative benefits of port community systems”, *Maritime Policy & Management*, 42:1, pp.1-10.
- 29) Maguire, A., Ivey, S., Lipinski, M.E. and Golias, M.M. [2010], “Relieving Congestion at Intermodal Marine Container Terminals: Review of Tactical/Operational Strategies”, *The 51st Annual Transportation Research Forum*, Arlington, Virginia.
- 30) 鈴木 聡 [2012], “名古屋港コンテナターミナル「飛島ふ頭集中管理ゲート」運用・効果検証開始”, *港湾荷役*57(3), pp. 317-322, 社団法人港湾荷役機械システム協会.
- 31) 和田尚久・土田真也 [2013], “名古屋港における港湾物流効率化に向けた取り組み—集中管理ゲートによる渋滞解消—”, 国土技術研究会, 国土交通省.
- 32) Transportation Research Board, [2011], “Truck Drayage Productivity Guide”, *National Cooperative Freight Research Program (NCFRP) Report 11*.
- 33) Motono, I., Furuichi, M., Ninomiya, T. and Suzuki, S. [2016], “Insightful observations on trailer queues at landside container terminal gates: What generates congestion at the gates?”, *Research in Transportation Business & Management*, 19, pp.118-131.
- 34) Lubulwa, G., Malarz, A. and Wang, S. P. [2011], “An Investigation of Best Practice Landside Efficiency at Australian Container Ports”, *Australian Transport Research Forum*.
- 35) Merk, O. and Notteboom, T. [2015], “Port Hinterland Connectivity”, *Discussion paper No. 2015-13, International Transport Forum, OECD*.
- 36) Dawes, R. M. [1980], “Social Dilemma”, *Annual Review of Psychology*, Vol. 31, pp.169-193.
- 37) Yamagishi, T. [1998], “Seriousness of Social Dilemmas and the Provision of a Sanctioning System”, *Social Psychology Quarterly*, Vol.51, No.1, pp.32-42.
- 38) 山岸俊男 [1990], “社会的ジレンマのしくみ「自分一人くらいの心理」の招くもの”, サイエンス社.
- 39) 藤井聡 [2001], “TDMと社会的ジレンマ;;交通問題解消における公共心の役割”, *土木学会論文集*, Vol.667/IV-50, pp.41-58.
- 40) 藤井聡 [2003], “社会的ジレンマの処方箋-都市・交通・環境問題のた

めの心理学-”, ナカニシヤ出版.

- 41) Motono, I., Furuichi, M., Segi, S., Daito, K. and Suzuki, S. [2016], “A dilemma and solutions for effective landside traffic control at container terminals”, Proceedings of International Association of Maritime Economists(IAME), (forthcoming).
- 42) 国土交通省中部地方整備局港湾空港部 [2014], “平成25年度名古屋港飛島ふ頭地区集中管理ゲート運用に伴う物流効率化検証業務報告書”.
- 43) 福田大輔, 上野博義, 森地茂 [2002], “選択行動モデルへの社会的相互作用の導入可能性”, 土木計画学研究・講演集, 25(CD-R).

参考データ

1. データ収集総括

現地観測により得られたデータと，それを基に各種パラメーターを設定している。

データの種類	博多港	名古屋港
ゲートでのサービス時間	(HiTS 導入前) データは測定されていない (HiTS 導入後) 2015年2月2日から6日のウィークデイ (サンプル数は香椎で 2,238 個，IC で 3,154 個)	(集中管理ゲート導入前) 2012年1月4日から31日 (サンプル数は 12,200 個) (集中管理ゲート導入後) 2014年9月1日から30日 (サンプル数は 12,363 個)
時間帯別トレーラーの到着台数	2015年2月2日から6日のウィークデイ	2014年1月4日から12月30日
頻度別の日当たり到着台数	2014年1月6日から11月25日までの1日当たりのコンテナ取扱量	2014年1月4日から12月30日までの1日当たりのコンテナ取扱量

2. 博多港

2.1 ターミナル配置とシミュレーションのモデルレイアウト

WITNESS シミュレーションで、設定したレイアウトの詳細は以下の通り。香椎、IC ターミナルに向かう車線は専用レーンとして 1 車線、それぞれ 4 つのゲートを設定した。車線の途中には交通信号をおき、一定の間隔で停止があるようにした。

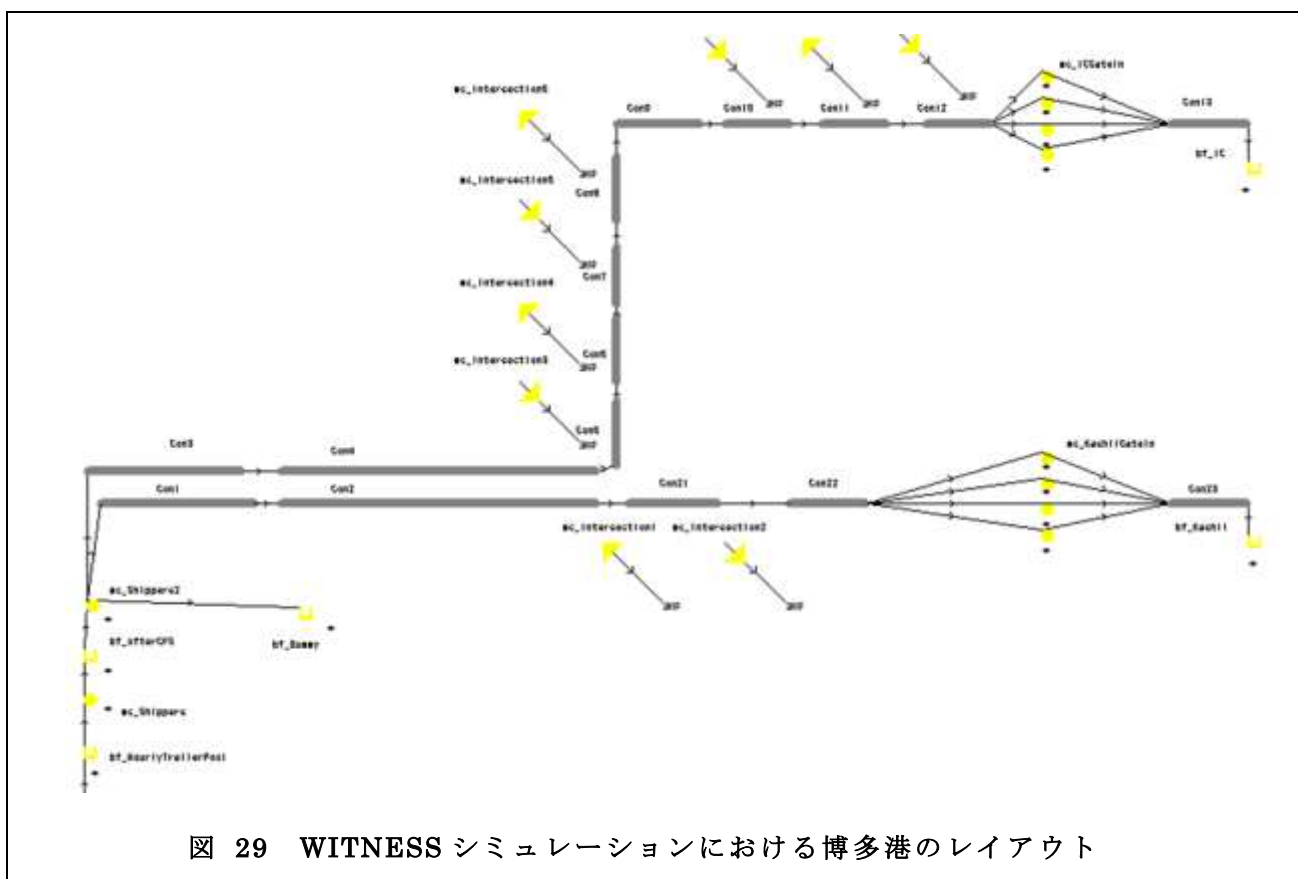


図 29 WITNESS シミュレーションにおける博多港のレイアウト

2.2 トレーラーの日当たり発生交通量の設定

トレーラーの日当たりの発生交通量は、2014年1月6日から11月25日までの期間の日交通量をパーセント値に換算して設定。

表 30 トレーラーの日当たり発生交通量の設定(博多港)

Terminal container category	Ka				IC				Sub total		Total
	Full loaded export	Empty export	Full loaded import	Empty import	Full loaded export	Empty export	Full loaded import	Empty import	Ka	IC	
Share	29.8%	6.2%	61.6%	2.4%	27.3%	21.9%	43.7%	7.1%			
10% value	97	20	201	8	195	156	311	51	327	713	1,040
20% value	130	27	268	10	243	195	388	63	435	889	1,324
30% value	142	30	294	12	259	208	415	67	477	950	1,427
40% value	148	31	305	12	276	222	441	72	495	1,011	1,505
50% value	154	32	318	12	286	230	457	74	516	1,046	1,562
60% value	158	33	327	13	294	236	470	76	531	1,075	1,606
70% value	163	34	337	13	302	242	482	78	548	1,105	1,653
80% value	169	35	348	14	310	250	496	81	566	1,137	1,703
90% value	176	36	363	14	322	259	514	84	590	1,178	1,768
95% value	187	39	385	15	329	264	526	86	626	1,205	1,830
97.5% valu	193	40	399	16	339	272	542	88	648	1,241	1,889

2.3 トレーラーの時間帯別の発生交通量の設定

実入搬入，実入搬出用のトレーラーの入構頻度は，2015年2月2日から6日のウィークデイのデータより整理．空コンテナは，時間帯別が不明のため，7時台から17時台の時間帯で等分に配分する．

表 31 トレーラーの時間帯別の発生交通量の設定(博多港)

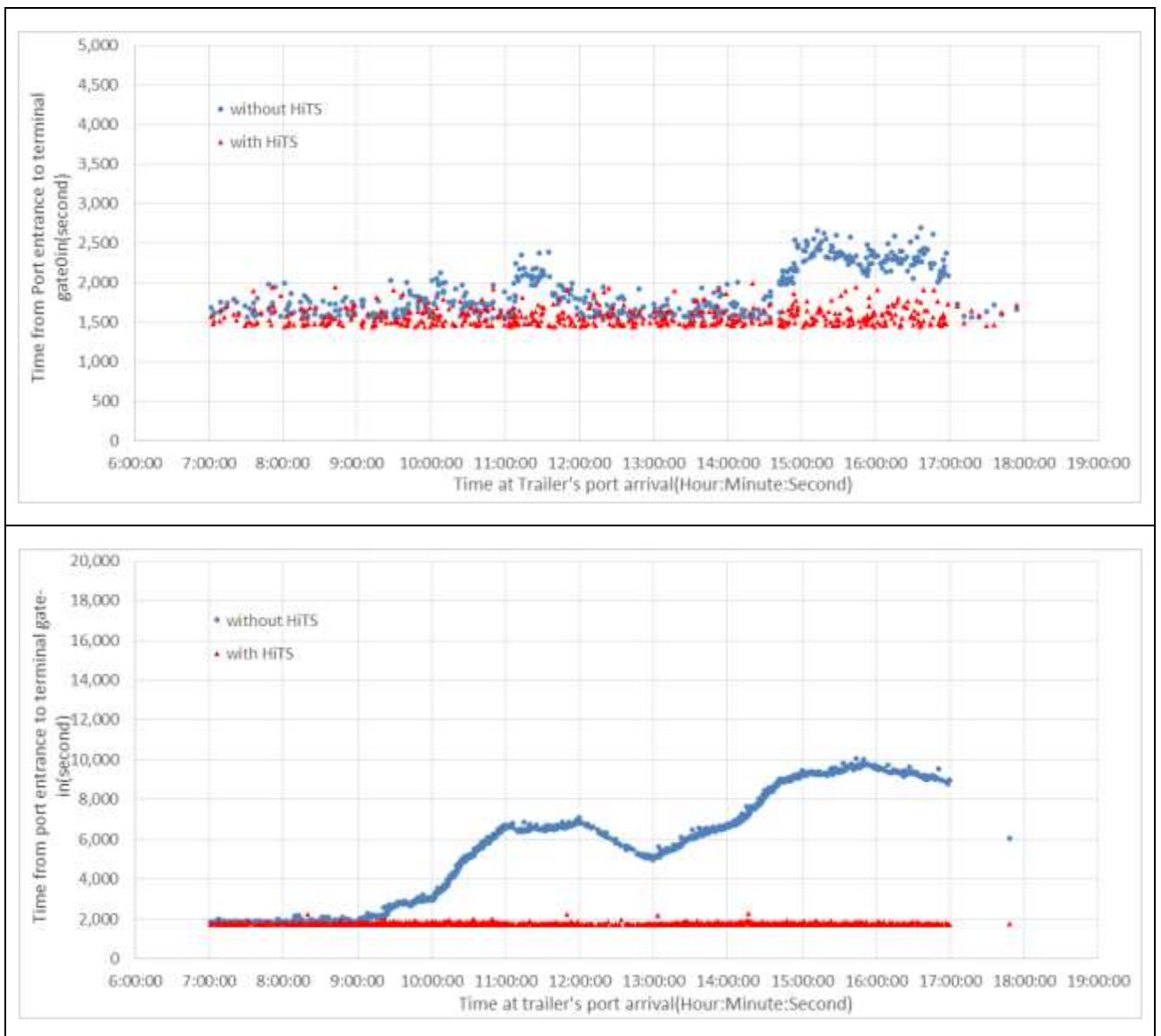
Time band	Kashii terminal				IC terminal			
	Export		Import		Export		Import	
	Full loaded	Empty	Full loaded	Empty	Full loaded	Empty	Full loaded	Empty
7:00～8:00	9.6%	9.1%	2.9%	9.1%	9.6%	9.1%	7.5%	9.1%
8:00～9:00	7.8%	9.1%	8.7%	9.1%	5.2%	9.1%	6.3%	9.1%
9:00～10:00	8.1%	9.1%	9.0%	9.1%	7.2%	9.1%	8.1%	9.1%
10:00～11:00	11.7%	9.1%	9.1%	9.1%	15.0%	9.1%	9.4%	9.1%
11:00～12:00	11.0%	9.1%	11.6%	9.1%	10.0%	9.1%	9.6%	9.1%
12:00～13:00	10.4%	9.1%	8.5%	9.1%	7.1%	9.1%	4.3%	9.1%
13:00～14:00	9.6%	9.1%	9.2%	9.1%	9.8%	9.1%	13.9%	9.1%
14:00～15:00	8.2%	9.1%	12.0%	9.1%	12.9%	9.1%	15.8%	9.1%
15:00～16:00	9.6%	9.1%	13.0%	9.1%	12.1%	9.1%	14.5%	9.1%
16:00～17:00	11.1%	9.1%	11.8%	9.1%	10.7%	9.1%	10.2%	9.1%
17:00～18:00	2.7%	9.1%	4.4%	9.1%	0.3%	9.1%	0.4%	9.1%
18:00～19:00	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

2.4 シミュレーションの結果

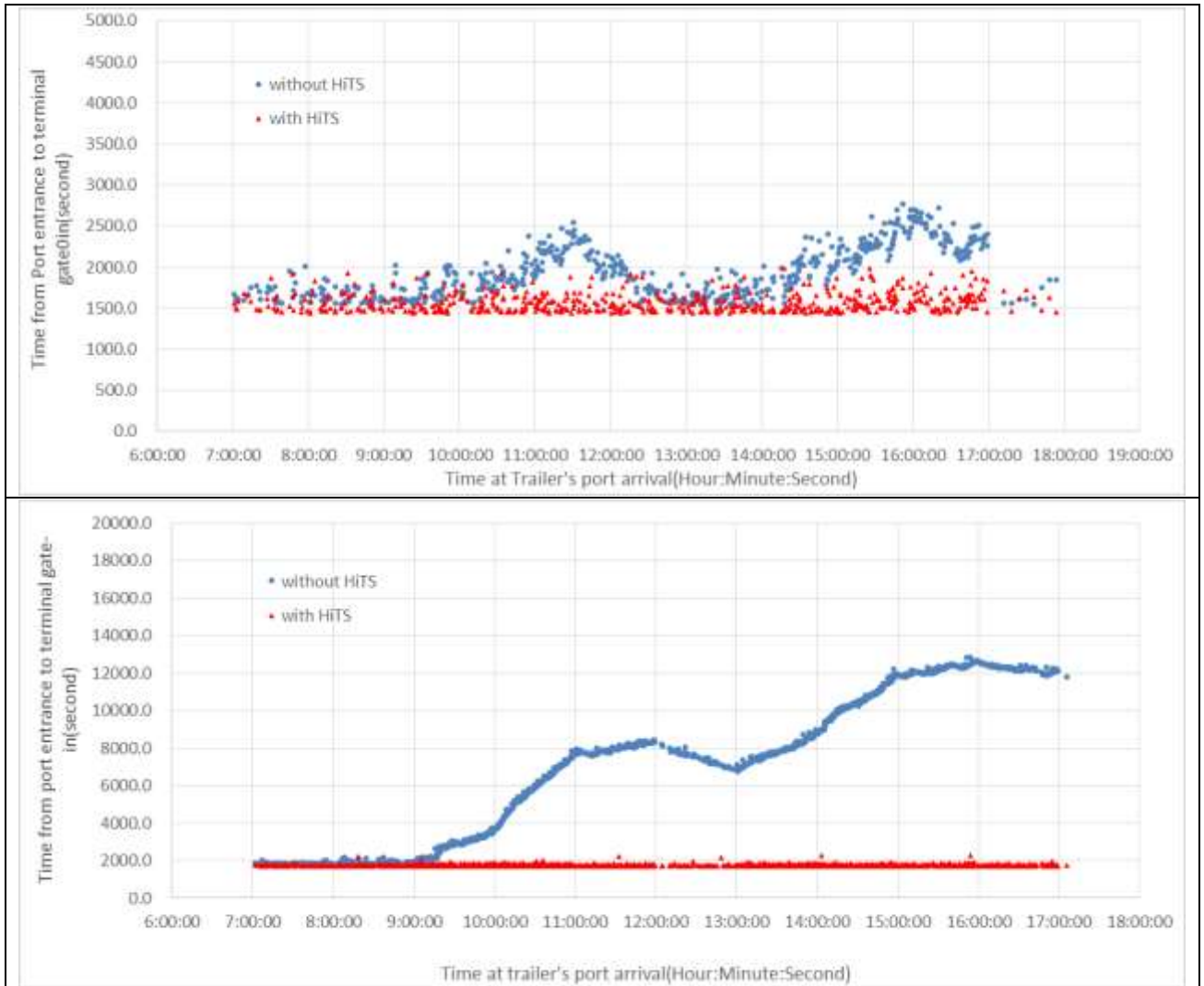
シミュレーションの結果はパーセンタイルごとに計算した。ここでは、50%、80%、95%、97.5%の計算結果を示す。

横軸は、トレーラーの港頭地区への入構時刻を表示。縦軸は、トレーラーが港頭地区入構からターミナル・ゲートまで到達所要時間を示す。

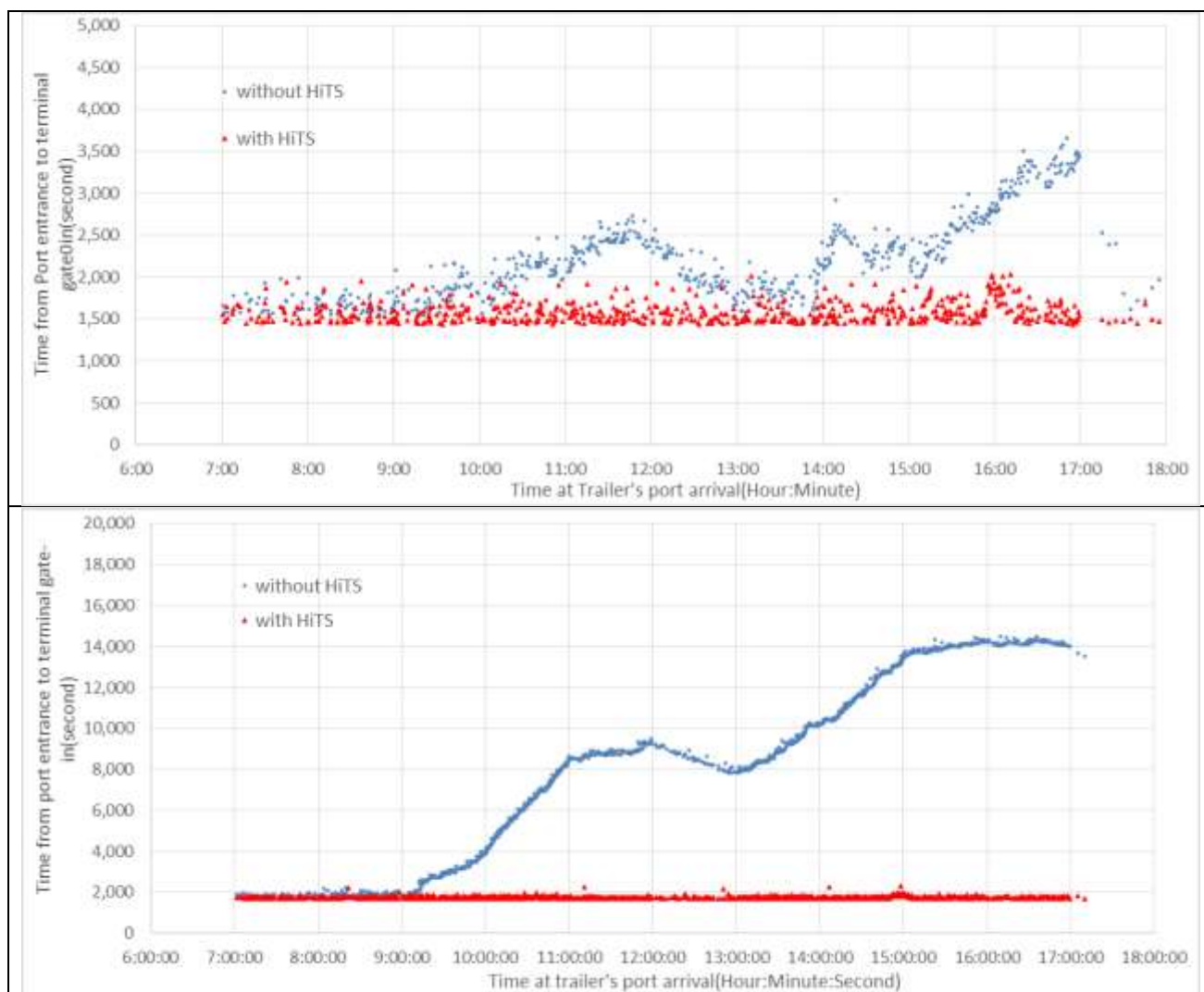
1) 50%タイル値での到達所要時間の比較（上から順に香椎，IC）



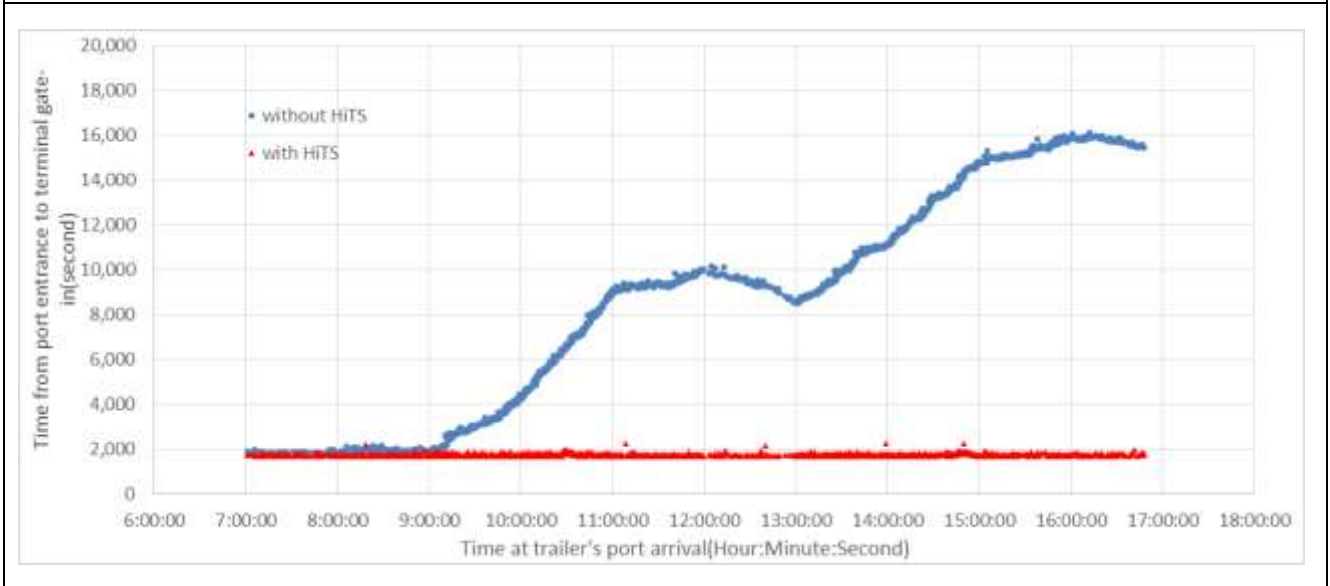
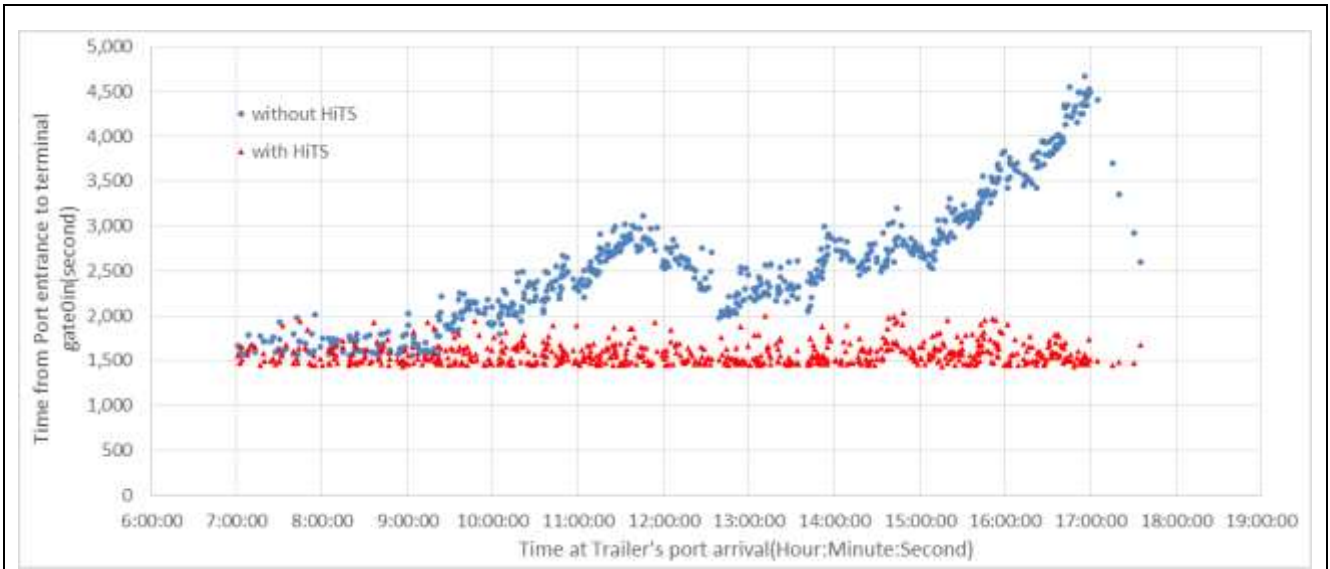
2) 80%タイル値での到達所要時間の比較（上から順に香椎，IC）



3) 95%タイル値での到達所要時間の比較（上から順に香椎，IC）



4) 97.5%タイル値での到達所要時間の比較（上から順に香椎，IC）



2.5 費用対効果分析の結果

費用対効果分析に使う便益は、前節で示したシミュレーション結果をもとに、トレーラーの到達所要時間の HiTS のある、なしでの差分に対し、トレーラーの時間当たりの輸送コストを乗ずることで算出する。トレーラーの単位時間当たりの輸送コストは、博多港のタリフをもとに設定。

費用は HiTS の開発、導入及び維持管理に要する費用を計上する。

1) HiTS の有無によるトレーラーの到達所要時間

パーセンタイルごとの発生交通量での、HiTS のある、なしでの到達所要時間の算出、それに輸送単価を乗じて求める。なお、発生交通量は年に応じて増減するものであるが、今回の分析では 2014 年の実績値をもとにパーセンタイル値を求めており、その前後の経年変化は見込んでいない。

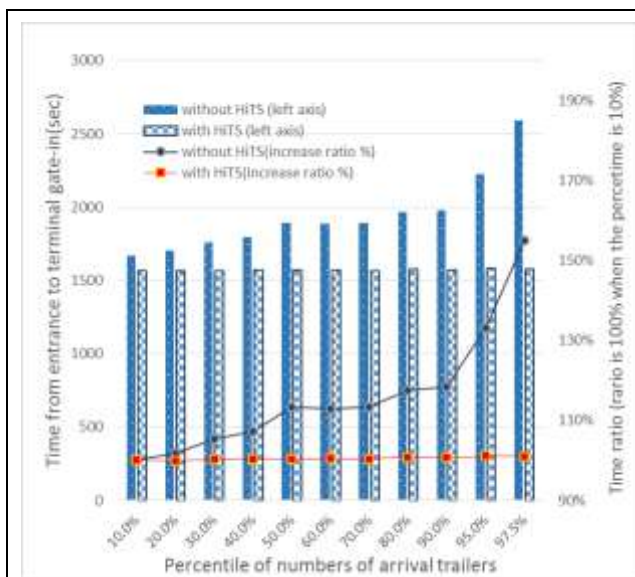


図 30 香椎ターミナルのパーセンタイル別到達所要時間の総合計 (HiTS 導入の前と後)

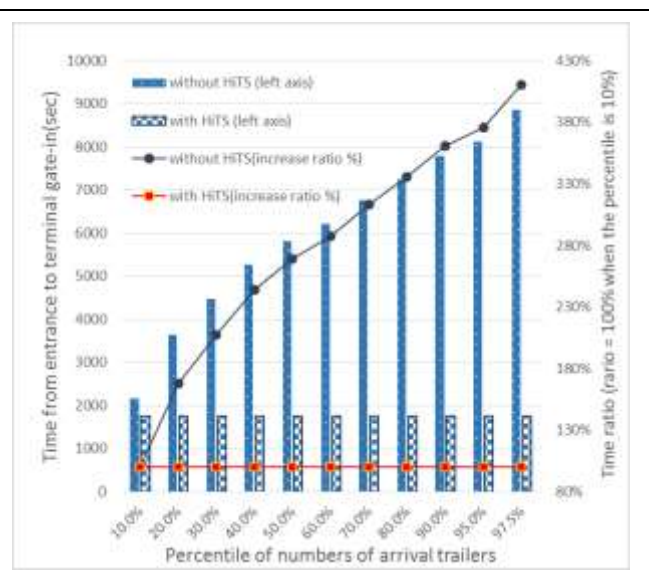


図 31 IC ターミナルのパーセンタイル別到達所要時間の総合計 (HiTS 導入の前と後)

表 32 パーセント別到達所要時間の差分（HiTS の導入前と後）

Percentage of arriving trailers	Average time from entrance to terminal gate-in				Number of trailers		Saving time per day(sec)		time period (day)	Total saving time(sec)	Total saving time cost
	without HiTS		with HiTS		Ka	IC					
	Kashii	IC	Kashii	IC	Kashii	IC	Kashii	IC	287	Kashi+IC	transport cost per second =JPY3.58 per sec
10.0%	1671.4	2159.7	1563.1	1759.8	326	712	35,315.0	284,727.7	28.7	9,185,224.2	32,883,102.7
20.0%	1701.8	3627.8	1562.7	1758.2	436	891	60,683.9	1,665,750.5	28.7	49,548,667.6	177,384,230.0
30.0%	1761.3	4477.4	1567.3	1758.7	480	953	93,093.6	2,590,942.0	28.7	77,031,822.9	275,773,925.9
40.0%	1793.9	5270.7	1568.5	1759.1	496	1009	111,797.9	3,543,154.0	28.7	104,897,118.8	375,531,685.2
50.0%	1893.9	5813.1	1568.6	1760.6	519	1046	168,818.1	4,238,867.4	28.7	126,500,574.6	452,872,056.9
60.0%	1887.4	6210.2	1570.2	1759.1	532	1073	168,780.0	4,776,080.1	28.7	141,917,485.4	508,064,597.7
70.0%	1894.9	6768.9	1568.0	1759.5	547	1106	178,865.6	5,540,429.0	28.7	164,143,755.8	587,634,645.9
80.0%	1964.2	7255.2	1574.8	1760.4	564	1138	219,616.1	6,253,068.2	28.7	185,766,037.1	665,042,413.0
90.0%	1978.0	7790.6	1573.9	1760.1	585	1178	236,383.0	7,103,971.5	14.35	105,334,087.3	377,096,032.4
95.0%	2226.3	8116.7	1580.4	1762.6	625	1201	403,676.9	7,631,301.2	7.175	57,650,967.7	206,390,464.5
97.5%	2589.8	8865.3	1578.1	1763.4	647	1245	654,576.6	8,841,856.3	7.175	68,136,905.4	243,930,121.2
										1,090,112,646.7	3,902,603,275.3

2) 費用対効果分析結果

現在価値化の基準時点は、2014 年度とする。基準年以前は、設備投資関係は Ig デフレーターを、それ以外は GDP デフレーターもとに現在価値化する。また基準年以降は、社会的割引率 4% で現在価値化する。

表 33 GDP デフレーター、Ig デフレーター値（内閣府より）

Year	GDP deflator	Ig deflator
2000	107.2	102.6
2001	105.7	100.3
2002	103.8	98.8
2003	102.3	98.5
2004	101.0	99.1
2005	99.6	100.5
2006	98.7	101.9
2007	97.6	103.9
2008	96.8	106.8
2009	95.6	103.2
2010	93.7	103.1
2011	92.1	103.7
2012	91.3	103.5
2013	91.1	105.4
2014	93.3	108.7

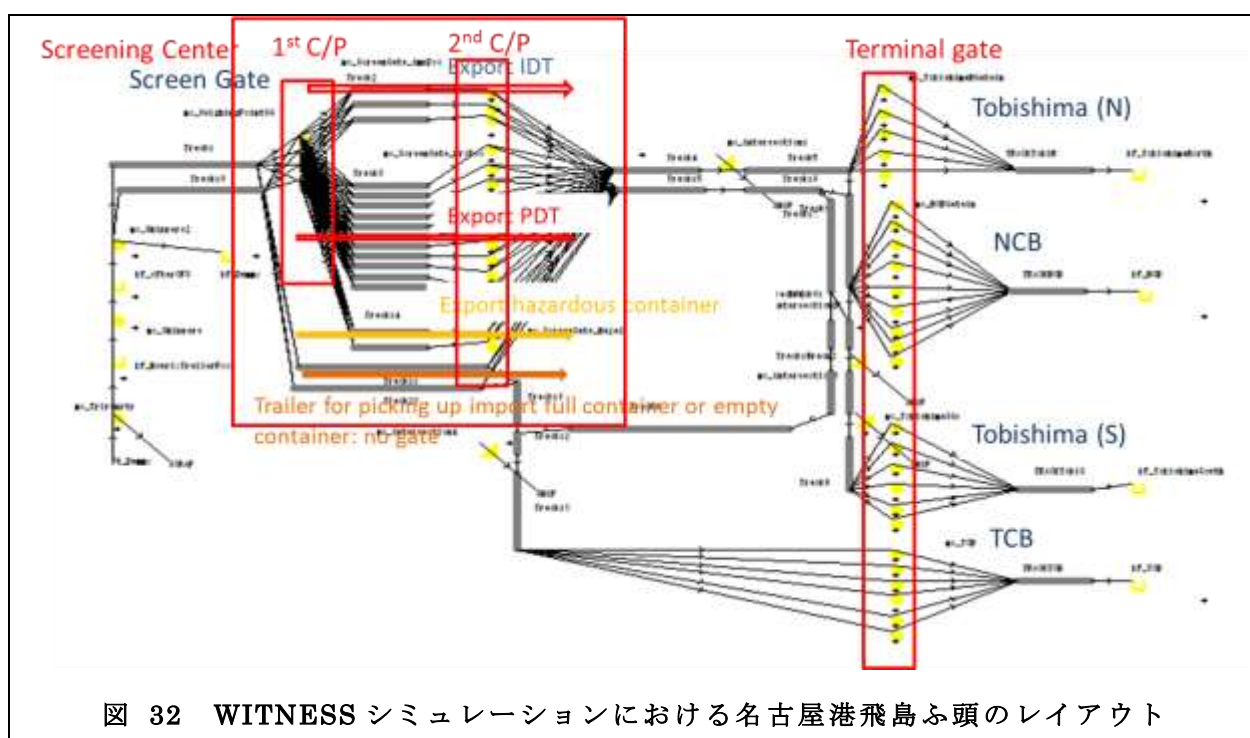
表 34 費用対効果分析表（博多港 EIRR）

Year	Saving time per year(sec)	Benefit	Cost			Difference
		Time saving	HitS	Maintenance cost	Total	Revenue-Cost
2000	0.0	0	1,377,629	611,835	1,989,464	-1,989,464
2001	1,090,112,646.7	3,444,776,590	17,525,129	7,510,379	25,035,508	3,419,741,083
2002	1,090,112,646.7	3,507,831,268	50,173,424	9,801,054	59,974,478	3,447,856,790
2003	1,090,112,646.7	3,559,265,744	54,483,295	12,757,628	67,240,923	3,492,024,821
2004	1,090,112,646.7	3,605,078,075	26,937,191	6,805,816	33,743,006	3,571,335,069
2005	1,090,112,646.7	3,655,751,863	22,293,638	6,640,800	28,934,438	3,626,817,426
2006	1,090,112,646.7	3,689,086,987	9,763,453	6,566,443	16,329,896	3,672,757,090
2007	1,090,112,646.7	3,730,664,811	10,339,239	6,261,497	16,600,735	3,714,064,076
2008	1,090,112,646.7	3,761,496,752	8,676,328	6,267,190	14,943,518	3,746,553,234
2009	1,090,112,646.7	3,808,712,192	9,485,013	6,486,612	15,971,626	3,792,740,566
2010	1,090,112,646.7	3,885,943,283	2,624,103	6,401,533	9,025,636	3,876,917,646
2011	1,090,112,646.7	3,953,451,526	5,241,080	6,289,296	11,530,376	3,941,921,150
2012	1,090,112,646.7	3,988,092,942	5,251,208	6,301,449	11,552,657	3,976,540,285
2013	1,090,112,646.7	3,996,848,360	5,156,546	6,187,856	11,344,402	3,985,503,958
2014	1,090,112,646.7	3,902,603,275	5,000,000	6,000,000	11,000,000	3,891,603,275
2015	1,090,112,646.7	3,752,503,149	48,076,923	5,769,231	53,846,154	3,698,656,995
2016	1,090,112,646.7	3,608,176,105	46,227,811	5,547,337	51,775,148	3,556,400,957
2017	1,090,112,646.7	3,469,400,101	4,444,982	5,333,978	9,778,960	3,459,621,141
2018	1,090,112,646.7	3,335,961,636	4,274,021	5,128,825	9,402,846	3,326,558,790
2019	1,090,112,646.7	3,207,655,419	4,109,636	4,931,563	9,041,198	3,198,614,221
2020	1,090,112,646.7	3,084,284,057	3,951,573	4,741,887	8,693,460	3,075,590,597
2021	1,090,112,646.7	2,965,657,747	3,799,589	4,559,507	8,359,096	2,957,298,651
2022	1,090,112,646.7	2,851,593,987	3,653,451	4,384,141	8,037,592	2,843,556,395
2023	1,090,112,646.7	2,741,917,295	3,512,934	4,215,520	7,728,454	2,734,188,841
2024	1,090,112,646.7	2,636,458,938	33,778,208	4,053,385	37,831,593	2,598,627,344
2025	1,090,112,646.7	2,535,056,671	32,479,047	3,897,486	36,376,532	2,498,680,139
2026	1,090,112,646.7	2,437,554,491	3,122,985	3,747,582	6,870,568	2,430,683,924
2027	1,090,112,646.7	2,343,802,396	3,002,870	3,603,445	6,606,315	2,337,196,081
2028	1,090,112,646.7	2,253,656,150	2,887,375	3,464,850	6,352,226	2,247,303,924
2029	1,090,112,646.7	2,166,977,067	2,776,323	3,331,587	6,107,910	2,160,869,157
Total	31,613,266,755	95,880,258,877	434,425,003	167,599,712	602,024,715	95,278,234,162
					EIRR=	171893.4%
					B/C=	159.3
					B-C=	95,278,234,162

3. 名古屋港

3.1 ターミナル配置とシミュレーションのモデルレイアウト

WITNESS シミュレーションで、設定したレイアウトの詳細は以下の通り。飛島ふ頭内に、飛島北、NCB、飛島南、TCB のターミナルを配置し、各ゲートのレーン数も設定した。アクセス道路は、それぞれのターミナルに向かう直前の道路区間のみに専用レーンを設けた。それより手前の道路は、いずれのターミナルに向かうトレーラーも利用できるようにする。車線の途中には交通信号をおき、一定の間隔で停止があるようにした。集中管理ゲートには第1チェックポイントと第2チェックポイントをもうけ、集中管理ゲートの手続きを再現した。



3.2 トレーラーの日当たり発生交通量の設定

トレーラーの日当たりの発生交通量は、2014年1月4日から12月30日までの期間の日交通量をパーセント値に換算して設定。

表 35 トレーラーの日当たり発生交通量の設定(名古屋港飛島ふ頭)

	飛島北	NCB	飛島南	TCB	合計
Share	12.0%	32.3%	26.1%	29.5%	100.0%
10%	56	150	121	137	465
20%	80	214	173	196	662
30%	188	506	408	462	1,565
40%	199	535	432	489	1,656
50%	205	552	445	504	1,707
60%	213	571	461	522	1,768
70%	220	590	477	540	1,826
80%	229	615	496	562	1,901
90%	249	669	540	612	2,071
95%	264	711	574	650	2,198
97.5%	272	730	589	667	2,258

3.3 トレーラーの時間帯別の発生交通量の設定

トレーラーの時間帯別の発生交通量は、2014年1月4日から12月30日までの期間の時間帯別交通量をもとに、時間帯別の交通量のシェアを設定。

表 36 トレーラーの時間帯別の発生交通量の設定(博多港)

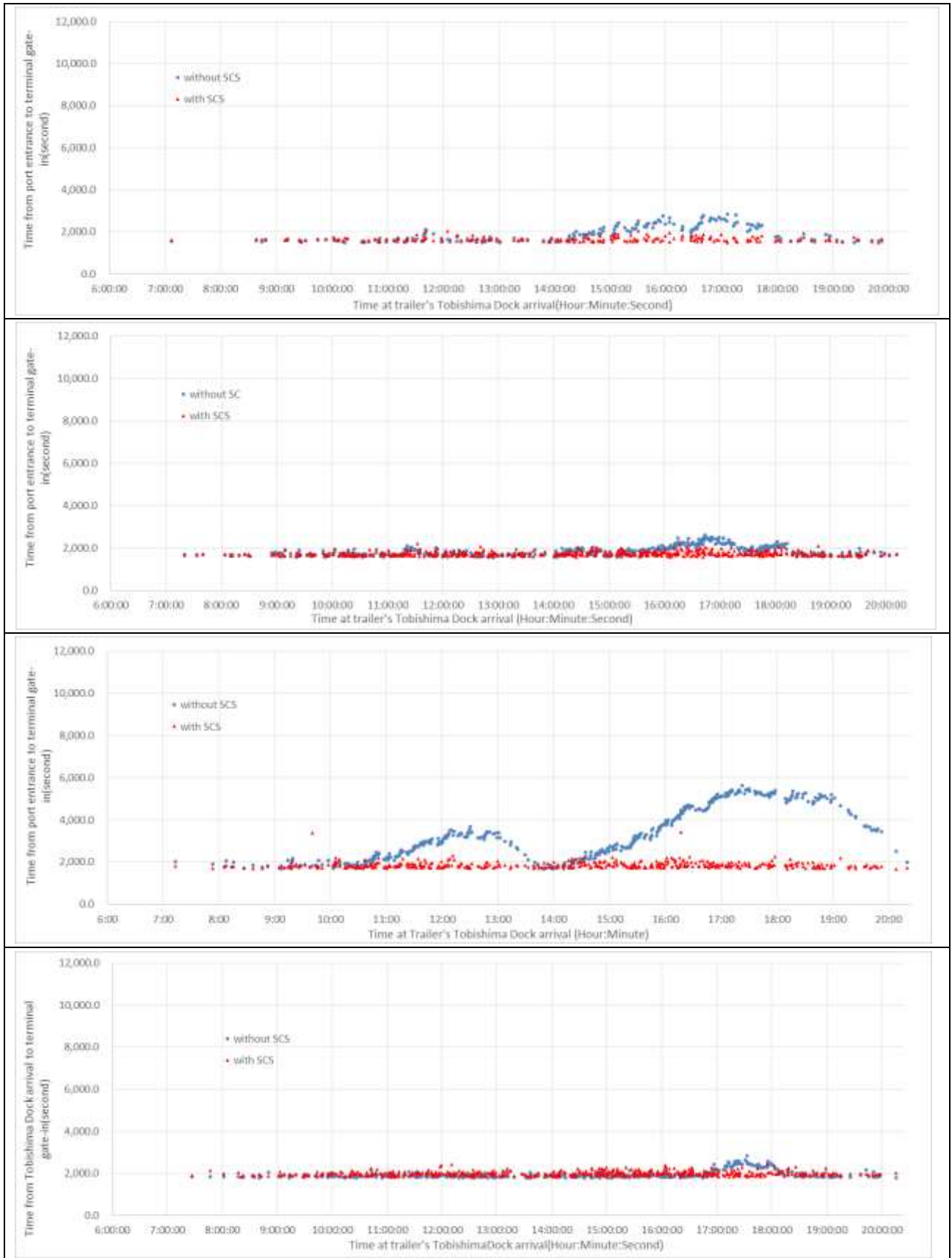
入港時間帯	飛島北	NCB	飛島南	TCB
7:00:00	0.4%	0.5%	0.4%	0.4%
8:00:00	1.4%	1.8%	1.7%	1.8%
9:00:00	4.1%	4.8%	4.7%	4.8%
10:00:00	7.9%	7.8%	9.8%	7.6%
11:00:00	9.8%	9.9%	11.0%	10.1%
12:00:00	8.8%	9.2%	9.7%	10.0%
13:00:00	4.8%	4.6%	4.4%	5.9%
14:00:00	13.6%	11.7%	11.1%	10.9%
15:00:00	15.7%	12.6%	12.3%	12.6%
16:00:00	13.7%	13.4%	12.6%	13.4%
17:00:00	9.4%	10.6%	9.9%	10.1%
18:00:00	6.0%	7.8%	7.6%	8.0%
19:00:00	4.0%	4.1%	3.9%	3.8%
20:00:00	0.6%	1.2%	1.0%	0.7%
21:00:00	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

3.4 シミュレーションの結果

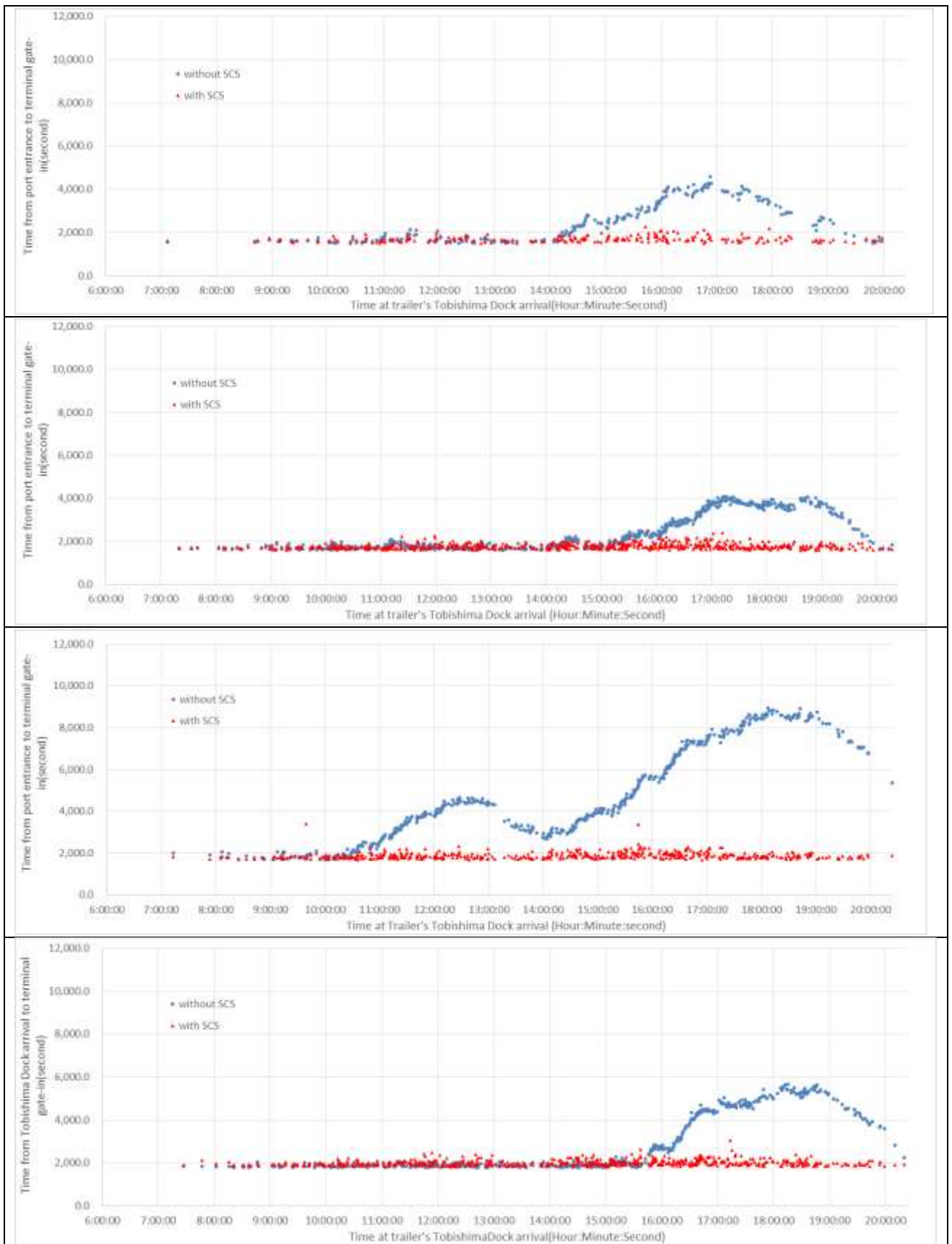
シミュレーションの結果はパーセンタイルごとに計算した。ここでは、50%、80%、95%、97.5%の計算結果を示す。表中のSCSはScreening Center System（集中管理ゲート）の略称。

横軸は、トレーラーの港頭地区への入構時刻を表示。縦軸は、トレーラーが港頭地区入構からターミナル・ゲートまで到達所要時間を示す。

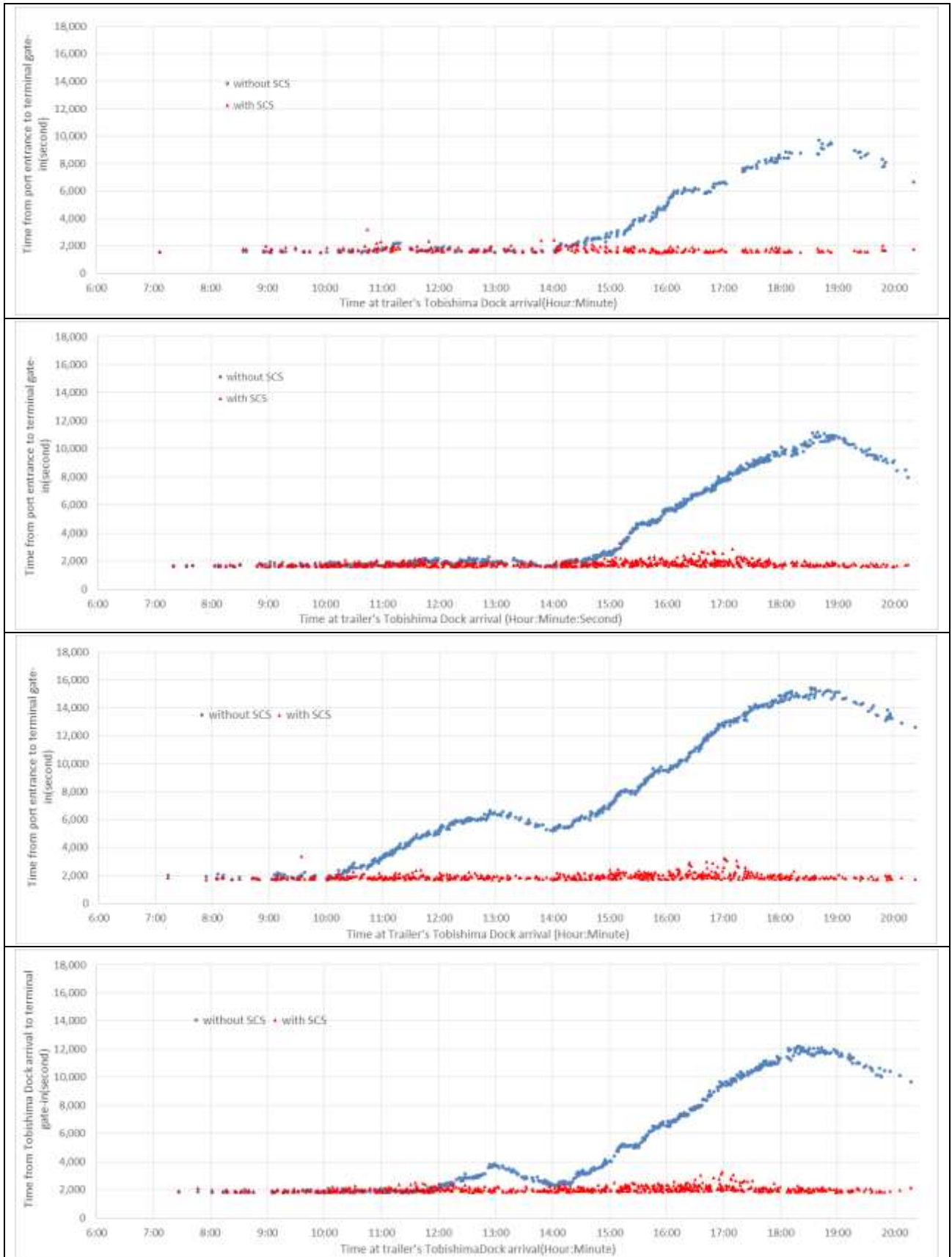
1) 50%タイル値での到達所要時間の比較（上から順に飛島北，NCB，飛島南，TCB）



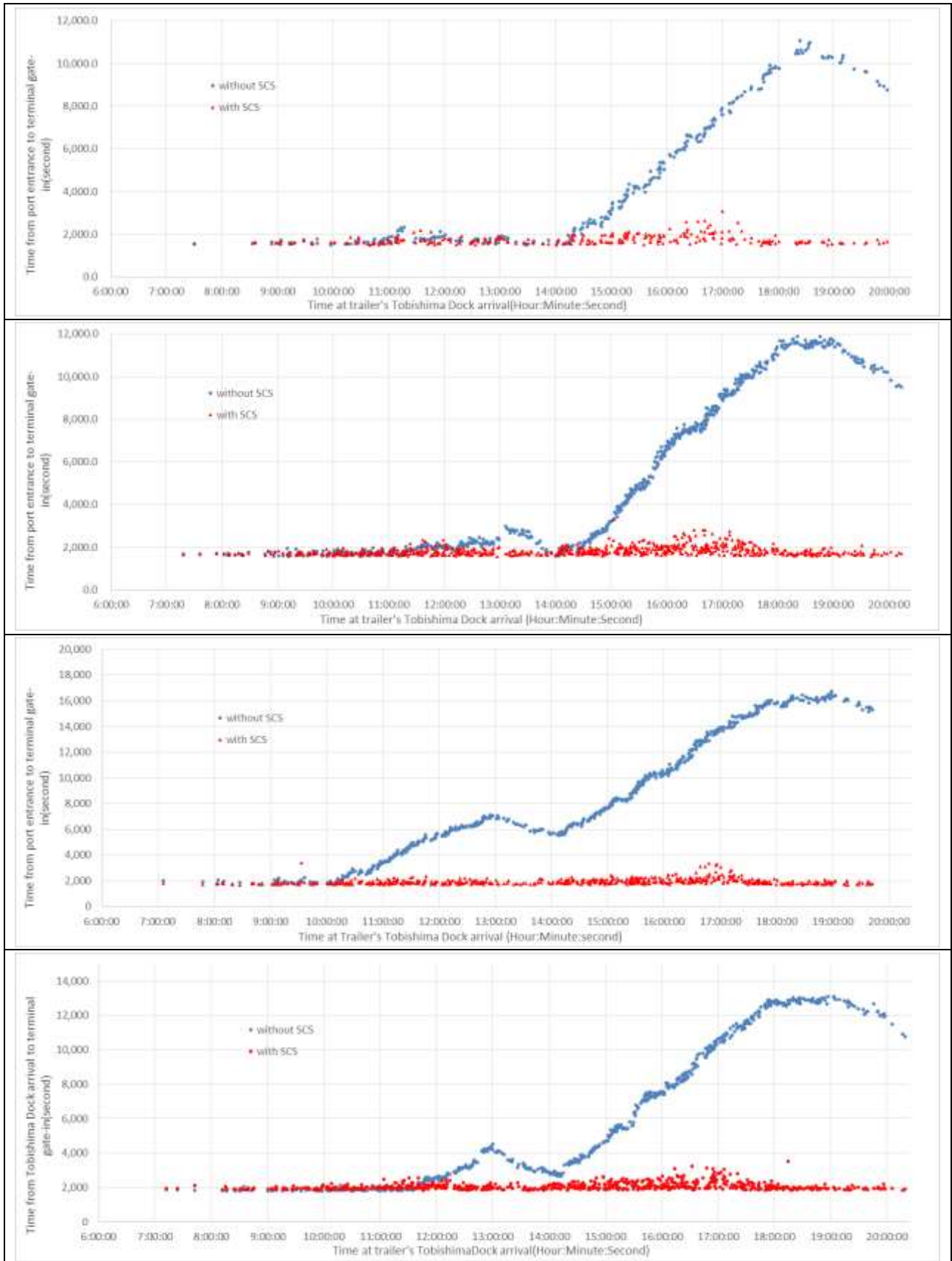
2) 80%タイル値での到達所要時間の比較（上から順に飛島北，NCB，飛島南，TCB）



3) 95%タイル値での到達所要時間の比較（上から順に飛島北，NCB，飛島南，TCB）



4) 97.5%タイル値での到達所要時間の比較(上から順に飛島北, NCB, 飛島南, TCB)



3.5 費用対効果分析の結果

費用対効果分析に使う便益は、前節で示したシミュレーション結果をもとに、トレーラーの到達所要時間の集中管理ゲートの導入前、後での差分に対し、トレーラーの時間当たりの輸送コストを乗ずることで算出する。トレーラーの単位時間当たりの輸送コストは、博多港のタリフを準用した。

費用は集中管理ゲートの整備及び維持管理に要する費用を計上する。

1) 集中管理ゲートの有無によるトレーラーの到達所要時間

パーセンタイルごとの発生交通量での、集中管理ゲートのある、なしでの到達所要時間の算出、それに輸送単価を乗じて求める。なお、発生交通量は年に応じて増減するものであるが、今回の分析では 2014 年の実績値をもとにパーセンタイル値を求めており、その前後の年の変化は見込んでいない。

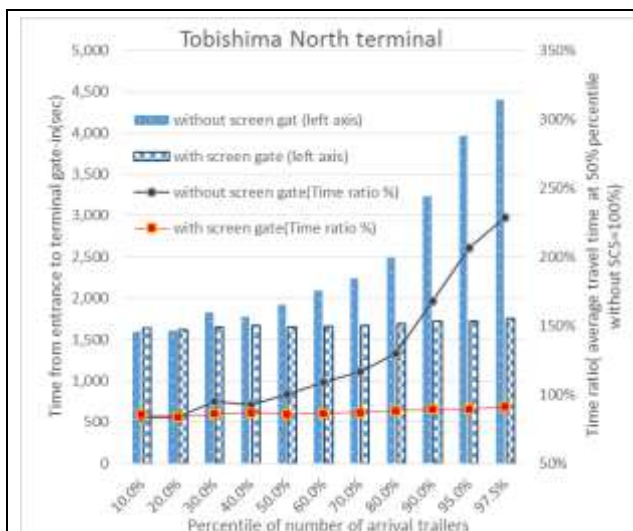


図 33 飛島北ターミナルのパーセンタイル別到達所要時間の総合計（集中管理ゲート導入前と後）

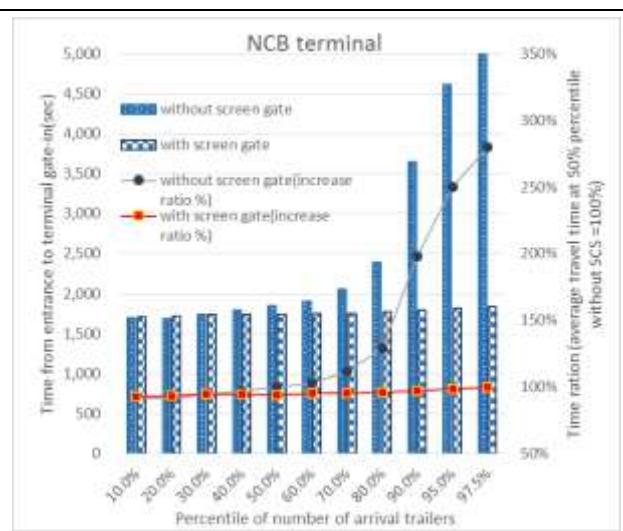


図 34 NCB ターミナルのパーセンタイル別到達所要時間の総合計（集中管理ゲート導入前と後）

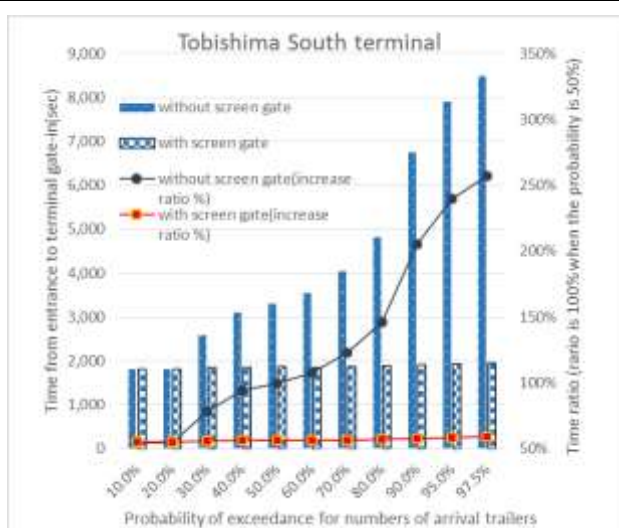


図 35 飛島南ターミナルのパーセンタイル別到達所要時間の総合計（集中管理ゲート導入前と後）

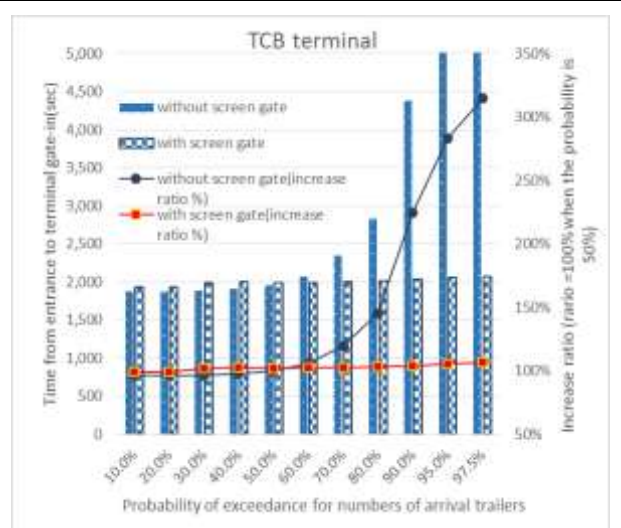


図 36 TCB ターミナルのパーセンタイル別到達所要時間の総合計（集中管理ゲート導入前と後）

表 37 パーセンタイル別到達所要時間の差分（集中管理ゲート導入前と後，1/2）

Percentile of arriving trailer	Average time from entrance to terminal gate-in								Number of trailers			
	without SCS				with SCS							
	Tobishima North	NCB	Tobishima South	TCB	Tobishima North	NCB	Tobishima South	TCB	Tobishima North	NCB	Tobishima South	TCB
10.0%	1,596.2	1,695.9	1,800.8	1,878.8	1,643.0	1,707.4	1,818.1	1,929.6	55.0	152.0	120.0	137.0
20.0%	1,607.2	1,689.2	1,804.4	1,879.7	1,611.9	1,717.3	1,814.0	1,933.5	79.0	215.0	174.0	196.0
30.0%	1,826.8	1,739.4	2,578.4	1,880.4	1,652.9	1,740.9	1,848.4	1,988.0	189.0	504.0	409.0	461.0
40.0%	1,774.8	1,790.9	3,112.0	1,908.5	1,674.4	1,739.2	1,859.0	1,997.1	306.0	827.0	670.0	754.0
50.0%	1,922.0	1,845.4	3,295.7	1,950.3	1,649.0	1,737.6	1,863.7	1,988.4	204.0	553.0	446.0	504.0
60.0%	2,093.0	1,905.8	3,538.1	2,069.1	1,658.2	1,754.7	1,857.8	1,994.2	213.0	571.0	462.0	523.0
70.0%	2,240.7	2,053.9	4,040.8	2,341.7	1,671.3	1,751.6	1,862.7	1,996.8	221.0	590.0	476.0	540.0
80.0%	2,495.0	2,385.6	4,811.5	2,833.3	1,696.0	1,773.2	1,886.0	2,010.3	227.0	590.0	496.0	540.0
90.0%	3,229.7	3,649.6	6,756.8	4,374.8	1,717.6	1,793.8	1,903.5	2,031.2	248.0	670.0	541.0	611.0
95.0%	3,972.2	4,610.7	7,911.2	5,519.1	1,719.7	1,818.0	1,930.7	2,054.9	266.0	710.0	573.0	649.0
97.5%	4,398.3	5,171.8	8,476.0	6,138.7	1,751.2	1,836.7	1,942.3	2,074.5	273.0	731.0	590.0	667.0

表 38 パーセンタイル別到達所要時間の差分（集中管理ゲート導入前と後，2/2）

Percentile of arriving trailer	Saving time per day(sec)				time period(day)	Total saving time(sec)	Total saving time cost
					287		cost =JPY3.58 per sec
	Tobishima North	NCB	Tobishima South	TCB			3.58
10.0%	-2,573.7	-1,734.6	-2,064.6	-6,960.5	57.4	-547,265.0	-1,959,208.6
20.0%	-369.5	-6,044.6	-1,659.2	-10,547.1	28.7	-313,308.0	-1,121,642.5
30.0%	32,865.3	-759.8	298,588.8	-49,593.4	28.7	-480,097.7	-1,718,749.9
40.0%	30,719.2	42,752.9	839,515.5	-66,789.2	28.7	-1,035,210.1	-3,706,052.1
50.0%	55,682.2	59,651.1	638,654.2	-19,209.4	28.7	1,046,767.8	3,747,428.8
60.0%	92,598.4	86,240.2	776,293.5	39,196.3	28.7	3,782,508.2	13,541,379.5
70.0%	125,856.9	178,366.0	1,036,756.2	186,239.3	28.7	8,957,162.5	32,066,641.7
80.0%	181,374.1	361,326.4	1,451,044.1	444,437.4	28.7	17,960,789.0	64,299,624.7
90.0%	374,995.9	1,243,353.2	2,625,652.4	1,431,895.0	14.35	25,928,883.4	92,825,402.4
95.0%	599,148.0	1,982,821.6	3,426,795.3	2,248,216.3	7.175	20,429,839.1	73,138,823.9
97.5%	722,643.6	2,437,948.8	3,854,916.9	2,710,778.6	7.175	24,634,804.1	88,192,598.5
					287.0	100,364,873.3	359,306,246.4

注) 発生交通量が少ないときは，集中管理ゲートの導入後の場合の到達所要時間が長くなる．これは，混雑の発生がないときは，集中管理ゲートを含めたゲート処理時間が，集中管理ゲート導入前の処理時間より長くなることから，こうした結果となる．一方で，発生交通量が増加していくと，混雑は発生してくることから，逆に集中管理ゲートの導入したほうが混雑を軽減でき所要時間は短くて済む．

2) 費用対効果分析結果

現在価値化の基準時点は、2014 年度とする。基準年以前は、設備投資関係は Ig デフレーターを。それ以外は GDP デフレーターもとに現在価値化する。また基準年以降は、社会的割引率 4%で現在価値化する。

表 39 GDP デフレーター, Ig デフレーター値 (内閣府より)

Year	GDP deflator	Ig deflator
2010	93.7	103.1
2011	92.1	103.7
2012	91.3	103.5
2013	91.1	105.4
2014	93.3	108.7

表 40 費用対効果分析表(名古屋港 EIRR)

Year	Saving time per year(sec)	Benefit	Cost			Difference	
		Time saving	SCS	Maintenance labor+others	Total	Revenue-Cost	
2010	0		1,265,179,437			1,265,179,437	-1,265,179,437
2011	0		1,240,202,392			1,240,202,392	-1,240,202,392
2012	100,364,873.3	359,306,246	0	7,828,510	58,713,826	66,542,337	292,763,910
2013	100,364,873.3	359,306,246		7,811,361	58,585,209	66,396,570	292,909,676
2014	100,364,873.3	359,306,246		8,000,000	60,000,000	68,000,000	291,306,246
2015	100,364,873.3	359,306,246		7,692,308	57,692,308	65,384,615	293,921,631
2016	100,364,873.3	359,306,246		7,396,450	55,473,373	62,869,822	296,436,424
2017	100,364,873.3	359,306,246		7,111,971	53,339,782	60,451,752	298,854,494
2018	100,364,873.3	359,306,246		6,838,434	51,288,251	58,126,685	301,179,561
2019	100,364,873.3	359,306,246		6,575,417	49,315,626	55,891,043	303,415,203
2020	100,364,873.3	359,306,246		6,322,516	47,418,872	53,741,388	305,564,859
2021	100,364,873.3	359,306,246		6,079,343	45,595,069	51,674,411	307,631,835
2022	100,364,873.3	359,306,246		5,845,522	43,841,412	49,686,934	309,619,312
2023	100,364,873.3	359,306,246		5,620,694	42,155,204	47,775,898	311,530,348
2024	100,364,873.3	359,306,246		5,404,513	40,533,850	45,938,363	313,367,883
2025	100,364,873.3	359,306,246		5,196,647	38,974,856	44,171,503	315,134,743
2026	100,364,873.3	359,306,246		4,996,776	37,475,823	42,472,599	316,833,647
2027	100,364,873.3	359,306,246		4,804,593	36,034,445	40,839,038	318,467,209
2028	100,364,873.3	359,306,246		4,619,801	34,648,505	39,268,306	320,037,941
2029	100,364,873.3	359,306,246		4,442,116	33,315,870	37,757,986	321,548,260
2030	100,364,873.3	359,306,246		4,271,265	32,034,491	36,305,756	323,000,490
2031	100,364,873.3	359,306,246		4,106,986	30,802,395	34,909,381	324,396,866
2032	100,364,873.3	359,306,246		3,949,025	29,617,687	33,566,712	325,739,534
2033	100,364,873.3	359,306,246		3,797,139	28,478,545	32,275,685	327,030,562
2034	100,364,873.3	359,306,246		3,651,096	27,383,217	31,034,312	328,271,934
2035	100,364,873.3	359,306,246		3,510,669	26,330,016	29,840,685	329,465,561
2036	100,364,873.3	359,306,246		3,375,643	25,317,323	28,692,966	330,613,280
2037	100,364,873.3	359,306,246		3,245,811	24,343,580	27,589,391	331,716,856
2038	100,364,873.3	359,306,246		3,120,972	23,407,288	26,528,260	332,777,986
2039	100,364,873.3	359,306,246		3,000,934	22,507,008	25,507,943	333,798,304
Total	2,810,216,453	10,060,574,900	2,505,381,829	148,616,511	1,114,623,832	3,768,622,172	6,291,952,728
						EIRR=	10.9%
						B-C=	6,291,952,728
						B/C=	2.67