

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04609

研究課題名(和文) コンテナ港湾でのリソース配置とレイアウト設計の意思決定高度化に関する研究

研究課題名(英文) Advanced decision making for resource arrangement and layout design in container ports

研究代表者

西村 悦子(Nishimura, Etsuko)

神戸大学・海事科学研究科・准教授

研究者番号：60311784

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：コンテナ港湾における意思決定の高度化は、ソフトウェア上のシステム構築に重きを置かれるが、意思決定を複雑にするのは、ターミナルの立地場所、形状、使用されるリソースの挙動にある。そこで、リソースのうち内陸側から到着するコンテナに着目し、コンテナの配置でターミナルレイアウトを評価する数学モデルを構築した。コンテナを複数コンテナによる群として扱い、時間メッシュも工夫することで、数学モデルの具体化を実現した。数値実験より、ターミナル形状、船の到着や荷役コンテナ数などによる影響分析を行うことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義として、コンテナ港湾の運用問題をパラメータの取扱いを工夫することで数学モデルとして表現し、MIPソルバーならびにメタヒューリスティクスを利用して計算結果を求めることを確認した。今後の関連研究の数学的なモデル表現に大きく寄与するものである。

また社会的意義として、計算結果は、港湾計画の意思決定に対し、情報提供できるものであり、貨物需要や荷主・船会社の動向を反映させ、新しいシステム導入の際の定量的な評価に用いることのできるものである。

研究成果の概要(英文)：To be advanced the decision making of container terminal operation, the system development is often focused on. The terminal location, terminal configuration and resource behavior complicate decision making.

This study focuses on containers arriving from the land side to a marine container terminal as one of resources, we developed a mathematical model to evaluate the terminal layout with container-to-yard arrangement. By treating containers as a group and arranging time unit, it is possible to represent relatively simple mathematical formulation.

From the computational results, this study analyzes the effect on service time by terminal configuration, ship arrival pattern, and external truck arrival pattern, number of container handled etc.

研究分野：港湾物流

キーワード：コンテナ港湾 コンテナ配置 ターミナルレイアウト

### 1. 研究開始当初の背景

物流分野で様々な自動化システムが導入され、港湾部門でも国内外でコンテナの無人搬送車や荷役機器の操作性高度化のために一部が自動化されている。また国土交通省主導で、人工知能を活用したターミナルの生産性向上を目指す政策がある。ここで、港湾技術者の技能に近づけた AI による意思決定が、従来の意思決定をどれだけ再現できるのかという疑問があり、再現可否をどう評価するのかという課題がある。港湾荷役の意思決定を複雑にしているのは、ターミナルのロケーション、形状、そこで使用されるリソース(コンテナ、荷役機械、作業員など)の挙動にあり、また不確定要素の多い、船の到着パターンや内陸からのコンテナの到着パターンにも依存する。そこで本研究では、リソースのうち内陸側から到着するコンテナに着目し、コンテナの配置位置決定とターミナルレイアウトと同時に進むハイブリットな意思決定の最適化アルゴリズムを構築する。

### 2. 研究の目的

コンテナ港湾における意思決定の高度化は、ソフトウェア上のシステム構築に重きを置かれるが、意思決定を複雑にしているのは、ターミナルの立地場所、形状、そこで使用されるリソースの挙動にあり、また不確定要素の多い、船の到着パターンや内陸からのコンテナの到着パターンにも依存する。そこで本研究では、リソースのうち内陸側から到着するコンテナに着目し、コンテナの配置位置決定とターミナルレイアウトと同時に進むハイブリットな意思決定の最適化アルゴリズムを構築する。

### 3. 研究の方法

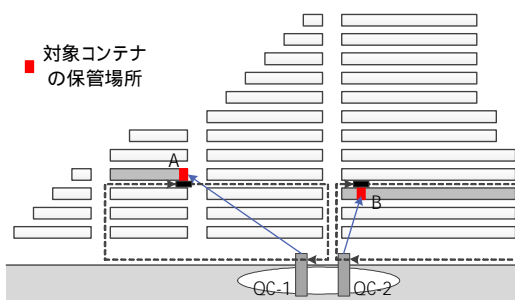
#### (1) 邦船三社コンテナ船事業の統合直前におけるターミナル利用実態

研究期間開始の前年に、邦船三社の動向が大きく変化し、コンテナ船部門が統合するニュースが飛び込んだ。この合併会社が、実際にサービスを開始するのは 2018 年 4 月からであり、船の運航形態が変わることで、港湾の運用形態も変化が求められるか、またはその必要があると予想される。そこで、統合サービス開始前の邦船 3 社のターミナル運用の利用実態把握を行う。つた。邦船三社のターミナルがある港湾の中で、コンテナ取扱量の上位 5 位かつ、Web サイトから期間を指定して一覧で情報を入手できる、神戸港、大阪港、東京港、名古屋港の 4 港を対象に、各港湾管理会社の Web サイトより船舶入出港 EDI データを収集する。また、船舶の検索サイトを利用し、各船舶のデータを収集する。

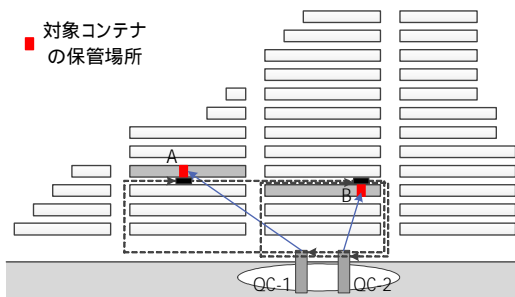
#### (2) コンテナ配置を考慮したブロックサイジング

与えられた形状を持つコンテナターミナルでの保管エリアにおけるコンテナブロックサイズの最適化問題について考える。ターミナル内でのコンテナ搬送は一方通行等の制約があり、ブロックサイズが小さいほど、地点間の移動距離は短く、所要時間も短くなるが、ブロック間には搬送車両の走行通路スペースを設置するため、コンテナ保管容量は小さくなる。そこで、国内外で多く採用されているタイヤ式門型クレーン (Rubber Tyred Gantry Crane, RTG) 採用のターミナルを前提とし、ヤードトレーラーの走行通路配置を決定要素とするモデルを構築する。

図 1 は事例として、シンガポール港にある Tanjong Pagar Terminal の一部の元に、コンテナブロックをすべてカバーできるように、図 1 にコンテナ配置問題イメージ図を示す。図 1(a)に現状の通路配置、図 1(b)に岸壁延長で等間隔での通路配置を示す。岸壁クレーン (QC) 2 基とそれぞれで陸揚げしたコンテナの保管場所 A と B の位置を示す。図 1(a)と(b)ともに、同一座標に位置付けられるが、ブロック間の通路位置が異なると、QC から保管場所までの移動距離が異なり、全ブロック数と保管容量が異なるのがわかる。



(a) 現状の通路配置での QC 位置と保管場所の関係



(b) 等間隔での QC 位置と保管場所の位置関係

図 1 コンテナ配置問題のイメージ

#### (3) 外来トレーラーの到着分布の把握

コンテナターミナルに到着する外来トレーラーの到着状況を把握できれば、コンテナの配置計画においてより現実に即したモデル化を行うことが期待できる。また近年、ゲート前の混雑緩和を目的にゲートの事前予約システムの導入が進められていることから、これを利用してトラ

ックの到着が予測できることを前提に、再配置回数を最小化する研究が増えている。本研究では、船から到着するコンテナだけでなく、内陸から到着するコンテナの両方を対象とする場合に、トラックの到着状況を把握する必要があると考え、実際のデータを収集して整理し、どこまでを明らかに出来るかを検討する。神戸港にあるコンテナターミナルのゲート前に設置された Web カメラ情報を、2020年10月19日(月)から31日(土)(日曜日を除く)2週間分について、画面を録画したものをを用いる。またデータの整理方法については、画面録画した動画を見て、1分ごとにトラックの待ち行列について、コンテナ積載の有無やコンテナの種類、そしてサイズ別で記録した。限られた期間であるが、収集データから明らかとなった点について整理する。

#### (4) 自動車専用船ターミナルにおけるピークル最適配置モデル構築

ターミナル内の空きスペース更新のモデル化は、想定していない状況を含むことが多く、想像以上にモデル化が複雑である。そこで、この部分のみを精緻にモデル化するために、コンテナよりも時間メッシュが大きい、自動車専用船(Pure Car Carrier, PCC)ターミナルを想定してモデル化を試みた。PCCにおいても、コンテナ船と同様に、ハブとなる港湾が存在している。そこで、まず自動車ターミナルで荷役スケジュール立案のために必要となる、船の運航スケジュールデータとターミナルレイアウトの特徴を把握する。次に、自動車のトランシップターミナルを対象に、ヤード内の駐車スペースに完成車を割り当てる問題を数学的にモデル化し、得られた解をもとに各種分析を行う。

#### (5) 外来トレーラーの到着を考慮したコンテナ配置計画

本研究では、トランシップコンテナとローカルコンテナの両方を対象としたモデルを検討する。コンテナは、複数から成るコンテナグループ(群)として扱う。図2には、コンテナ群の処理フローを示す。船1の到着と同時に、コンテナ群を陸揚げされ、ヤードに保管される。期間2には船5が到着し、陸揚げ作業後、船1で到着したコンテナを積載して出港する。内陸から到着する輸出コンテナは、外来トレーラーでコンテナを搬入し、ヤードに一時保管され、船7の陸揚げ作業後に、内陸から搬入されたコンテナを積載して出港する。船から到着した輸入コンテナは、船5の到着と同時に、コンテナの陸揚げ作業を完了し、期間3には、引き取りトレーラーが到着し、当該コンテナを搬出する。

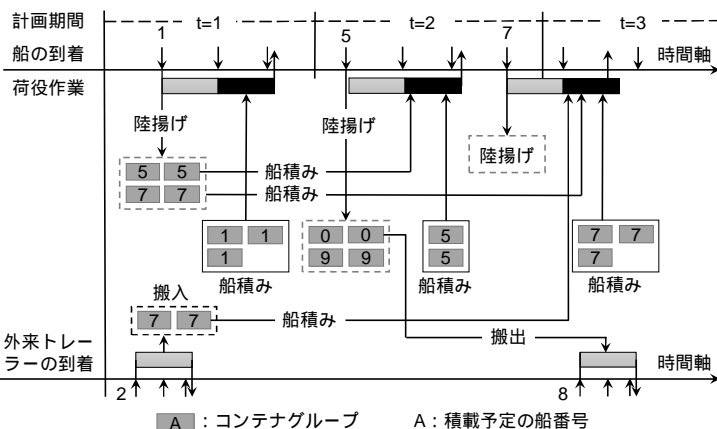


図2 対象とするコンテナのフロー

目的関数は、船の待ち時間と係留バースでの荷役時間の最小化とするが、船の到着は到着時刻

(滞在時間の計算のため)と、ある期間に到着したか・出港したかのバイナリ情報(空きスペース更新のため)が必要となる。トラックの到着は、空きスペース更新のために、ある期間に到着したか・引き取りに来たかのバイナリ情報を用いる。船の係留位置は所与とし、各船には複数の岸壁クレーンが割当てられ、荷役時間が最大となるものの作業完了時刻を船の出港時刻とする。

### 4. 研究成果

#### (1) 邦船三社コンテナ船事業統合直前でのターミナル利用実態

邦船3社が借受者であるバースについて、入出港データを用いて寄港頻度や船のサイズ、ターミナル利用の実態にかかわる様々な分析を行った。データ収集期間は2017年6月5日~8月3日(期間A)、2017年10月1日~11月30日(期間B)の約4ヶ月間である。

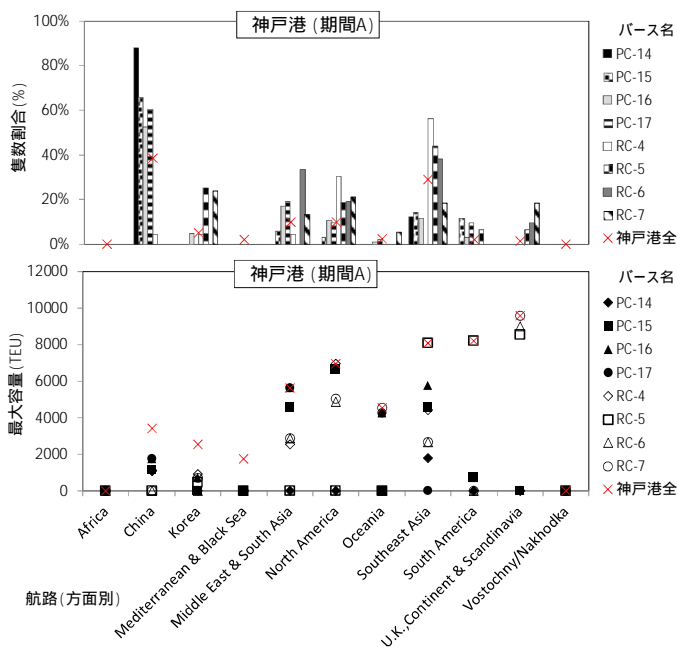


図3 航路別隻数割合と最大サイズ

そのうち、紙面の都合上、期間 A の神戸港のデータのみ掲載する。図 3 に、航路別の寄港隻数割合と寄港した船の最大サイズの調査結果を示す。PC-15、16 と 17 は商船三井のターミナルで、RC-4 と 5 は川崎汽船、RC-6 と 7 は日本郵船のターミナルである。商船三井のターミナルで、中国航路の船が 6 割近くあり、また川崎汽船のターミナルには、東南アジア航路が 4 割以上で最も多い。また全体の傾向として長距離航路になるほどコンテナ船のサイズは大きくなる。また、邦船 3 社のコンテナ船が寄港するターミナルは北米、欧州などの長距離航路の割合が高く、積載容量が大きくなる傾向がある。

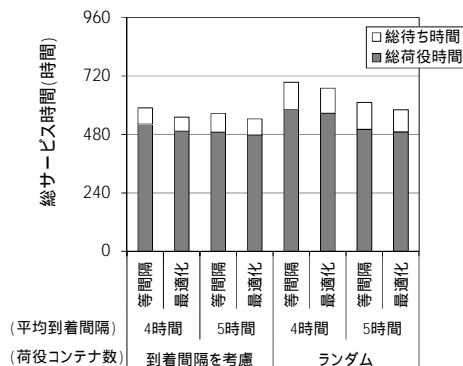


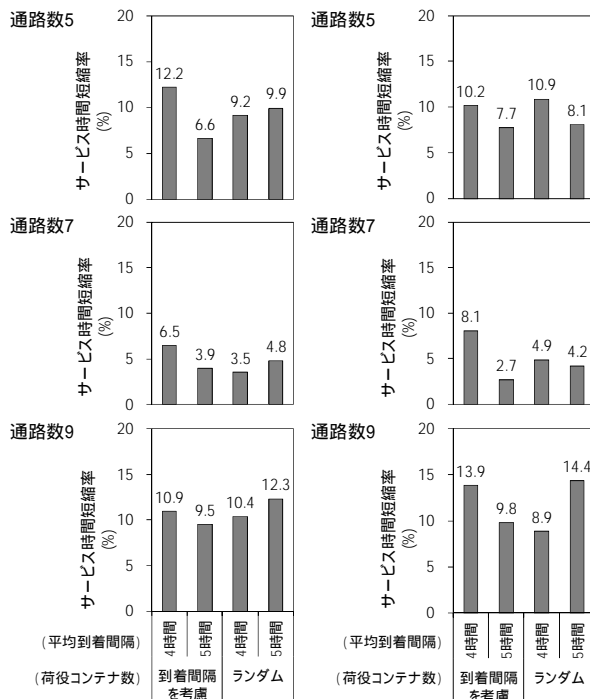
図 4 総サービス時間の比較

(2) コンテナ配置を考慮したブロックサイジング

図 4 に長方形ターミナルに通路を 7 本配置する場合での各種パラメータ別の総サービス時間を示す。総サービス時間は、総荷役時間と総待ち時間によって構成され、通路配置を最適化することで、荷役時間のみ、待ち時間のみでも時間が短縮されることがわかる。平均到着間隔 4 時間の方が、よりターミナルが混雑することを意味し、総サービス時間は長くなっている。また荷役コンテナ数生成データの違いでは、船の到着間隔を考慮しないケースの方が総サービス時間長くなっている。

図 4 では効果の大きさが分かりにくいいため、提案する方法で求めた通路配置（最適化）での総サービス時間と、従来の方法である等間隔に配置する場合でのそれとの差をサービス時間短縮率(%)として求め、パラメータ間の比較を行う。

図 5 には長方形ターミナルと階段型ターミナルでのサービス時間短縮率を示す。いずれのケースも、短縮率は正であり、提案する方法に時間短縮効果があるのがわかる。通路本数別で見ると、7 本の時に短縮率の値が小さく、通路数 5 本と 9 本の場合に提案する方法による効果が大きい。紙面の都合で掲載していないが、7 本の場合、等間隔においても、他より時間が短くなることから、時間短縮効果が小さい。これは、船の係留位置をどのように与えるかに依存すると考えられ、本実験のように、バースごとに船を係留させるような離散座標系の場合、バースを 2 分するような通路配置で形成されるブロックサイズは、理想的なブロックサイズを与えているといえ、現実のターミナル運用でのブロックサイズは理にかなっていることを示す結果となった。また平均到着間隔の違いと荷役コンテナ数データの与え方の違いは混み具合を意味するため、通路数によって効果の違いが異なることが分かった。



(a)長方形ターミナル (b)階段型ターミナル

図 5 サービス時間短縮率

(3) 外来トレーラーの到着分布の把握

結果の一部を示す。引き取りトラックの待ち行列が度々出来ていた(図 6)。日別で分析を行った結果、日によって混雑度の具合が異なるが、曜日ごとでは類似することが分かった。曜日ごとでのピークの時間帯は、火曜日は 13:00 ごろ、水曜日は 11:00 ごろと 14:00 ごろの 2 回、木曜日は 14:00 ~ 16:00 ごろ、金曜日は 12:00 ごろである。コンテナ搬入トラックに関しては、待ち行列になるほど多くはなかった。引き取りトラックと同様に、曜日ごとで混雑具合が共通することが分かった。

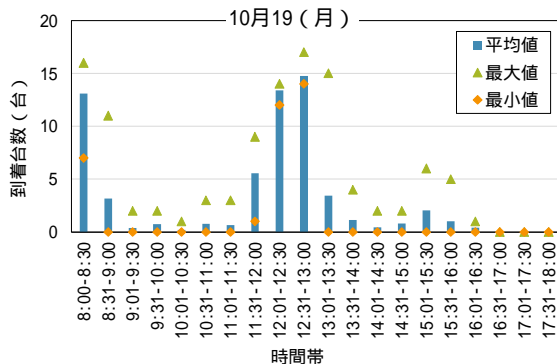


図 6 引き取りトラックの到着状況

(4) 自動車専用船ターミナルにおけるビークル最適配置モデル構築

分析結果のうち、保管場所の規模の違いについて示す。図 7 をみると、保管スペースが広いケース B の総サービス時間が短い。データ 1 以外には、総サービス時間に大差がないケースもあ

り、与えた寄港頻度と荷役ピークル数では保管規模の違いによる影響がないケースもあった。スペース占有率をみると、ケース A では平均 7 割で、ケース B では 3 割程度で済み、ターミナル全体として、中長期的に利用するピークルの保管のために使用されていることがわかる。

図 8 をみると、大型船が寄港する頻度が増えると、当然のことながら時間が長くなった。しかし、スペース占有率の平均はさほど変化がない。そこで占有率の最小値と最大値をみると、ケース C で最小値はケース B より小さく、最大値はケース B より大きくなり、ばらつきが大きい。大きい船の寄港頻度が増えると、最大値がより大きくなるのは同時に多数のピークルが到着することを意味し、最小値がより小さくなるのは船積みされるピークル数も多くなり、ある時点で保管されるピークル数が少なくなることを意味するため、このような結果になったといえる。

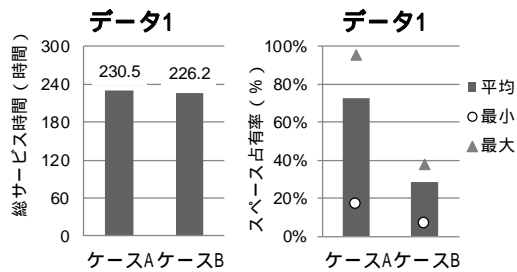
### (5) 外来トレーラーの到着を考慮したコンテナ配置計画

本研究には研究対象とするターミナルの規模は、岸壁延長方向の総延長 1,600m、岸壁延長方向に垂直な方向の最大距離は 350m とする。船から到着するコンテナグループ数と内陸から到着するコンテナグループ数の増減による影響をみるため、本研究では下記の組合せでの数値実験を行う。計画期間の長さは初期状態準備を含み 10 日間、メガシップの寄港の有無、各船に割り当てられた岸壁クレーン 1 基あたりの内陸から到着するコンテナ群数を 1 から 3 までの間で乱数値によって決定する。1 期間の長さ、メガシップ寄港の有無、内陸から到着するコンテナ数により、それぞれケースに分けられる。

図 9 は、総サービス時間を示す。まず同一期間数での結果で比較する。10 期間の場合 (Q と R)、20 期間 (S と T) の場合のいずれにおいても、取り扱うコンテナ数が多くなり、さらに同時に到着するコンテナ数も増えることから、総サービス時間が長い。次に 1 期間長の違いで比較する。メガシップ寄港なしの場合 (Q と S)、メガシップ寄港ありの場合 (R と T) のいずれにおいても、1 期間長が短く、期間数が多い場合に、空きスペースの更新のタイミングが細くなるため、総サービス時間は短くなると予想したが、反対に長くなることが分かった。

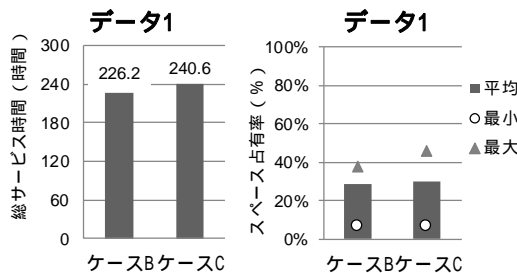
図 10 は、スペース占有率を示すが、期間ごとに、その値は異なることから、期間の間での平均値、最大値、最小値を示す。取扱うコンテナ数が多くなると、平均占有率は大きくなり、最大占有率と最小占有率も大きくなることが分かった。1 期間長の違いを見ると、最大値は大差ないが、最小値が大きく異なっており、より小さくなっているのがわかる。これは、一時的に保管されるコンテナ数が少なくなり、反対に、空きスペースを多く提供できることを意味する。このため、保管場所の選択肢が広がることから、時間短縮につながると考えたが、平均荷役時間が 12 時間を超えるケースを想定したため、結果として 1 期間長の短縮は、荷役時間短縮につながらないことがわかった。

上記の計算結果は、いずれもメタヒューリスティクス解法の 1 つである、焼きなまし法 (Simulated Annealing) を利用して開発したものである。最終年度では、コンテナ配置ならびにブロックレイアウトの最適化問題を、MIP ソルバーを利用して解くことができるように、定式化の改良や時間メッシュの工夫などを行った。近い将来、MIP ソルバーでの数値実験を行うとともに、計算時間短縮の工夫も行いながら、関連する問題へと拡張していく予定である。



ケース A: 岸壁近くのスペースのみを利用して保管  
ケース B: ターミナル全体のスペースを利用可能

図 7 保管場所の規模の違い



ケース B: 大型船が週 2 回寄港する  
ケース C: 大型船が週 5 回寄港する

図 8 大きい船の寄港頻度の違い

表 1 計算の組合せ

	Q	R	S	T
期間数 × 1 期間長	10 × 24h	10 × 24h	20 × 12h	20 × 12h
メガシップ寄港	なし	あり	なし	あり
岸壁クレーン 1 基で扱う内陸から到着するコンテナ群数	1~3	1~3	1~3	1~3

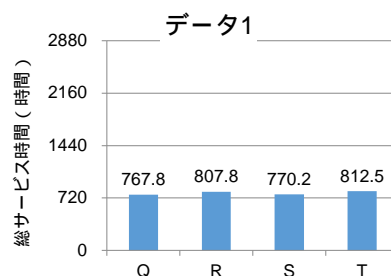


図 9 総サービス時間

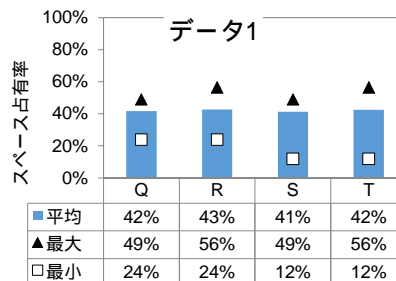


図 10 スペース占有率

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Etsuko Nishimura	4. 巻 -
2. 論文標題 Yard arrangement problem with the external truck arrival	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management	6. 最初と最後の頁 88-92
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IEEM50564.2021.9672947	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 西村 悦子, 郭 貢軒	4. 巻 143
2. 論文標題 自動車専用船ターミナルにおけるスケジュールデータ分析とピークル最適配置の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本航海学会論文集	6. 最初と最後の頁 9-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9749/jin.143.9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Etsuko Nishimura, Houxuan Guo	4. 巻 -
2. 論文標題 Vehicle Arrangement Problem for an Automobile Carrier Terminal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management	6. 最初と最後の頁 761-765
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IEEM45057.2020.9309814	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 潘 鵬, 西村悦子	4. 巻 8(2)
2. 論文標題 外来トレーラーの到着を考慮したコンテナ配置計画	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本航海学会講演予稿集	6. 最初と最後の頁 158-161
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 西村悦子, 郭 貢軒	4. 巻 8(1)
2. 論文標題 自動車専用船ターミナルにおけるピークル最適配置の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本航海学会講演予稿集	6. 最初と最後の頁 64-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nishimura Etsuko	4. 巻 5(1)
2. 論文標題 Yard and berth planning efficiency with estimated handling time	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Maritime Business Review, Emerald Publishing	6. 最初と最後の頁 5-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1108/MABR-08-2019-0034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Etsuko NISHIMURA, Wenqi GUO	4. 巻 -
2. 論文標題 Path Location Problem for the Container Terminal with Yard Arrangement Efficiency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering & Engineering Management	6. 最初と最後の頁 233-237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IEEM44572.2019.8978792	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 郭文奇, 西村悦子	4. 巻 7(1)
2. 論文標題 コンテナ配置を考慮したブロックサイジング問題	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本航海学会講演予稿集	6. 最初と最後の頁 77-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 西村悦子、芦田朋也	4. 巻 206
2. 論文標題 邦船三社コンテナ船事業の統合直前におけるターミナル利用実態	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本航海学会誌 NAVIGATION	6. 最初と最後の頁 30-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18949/jinnavi.206.0_30	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 蘇 逸隆, 西村 悦子
2. 発表標題 港湾ターミナルでのブロックレイアウト最適化に関する研究
3. 学会等名 日本航海学会第146回講演会・物流研究会セッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Etsuko Nishimura
2. 発表標題 Yard arrangement problem with the external truck arrival
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 潘鵬, 西村悦子
2. 発表標題 外来トレーラーの到着を考慮したコンテナ配置計画
3. 学会等名 日本航海学会第143回講演会・物流研究会セッション
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Etsuko Nishimura, Houxuan Guo
2. 発表標題 Vehicle Arrangement Problem for an Automobile Carrier Terminal
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering & Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Etsuko Nishimura, Wenqi Guo
2. 発表標題 Path Location Problem for the Container Terminal with Yard Arrangement Efficiency
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering & Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Etsuko Nishimura
2. 発表標題 Time estimation for container handling and yard arrangement
3. 学会等名 9th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 郭文奇、西村悦子
2. 発表標題 コンテナ配置を考慮したブロックサイジング問題
3. 学会等名 日本航海学会第140回講演会・物流研究会セッション
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------