

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：	14501
研究種目：	若手研究（B）
研究期間：	2011～2012
課題番号：	23710169
研究課題名（和文）	多角形コンテナヤードにおけるコンテナブロックサイズと配置の最適化に関する研究
研究課題名（英文）	Optimize the container block sizing and the container arrangement in polygonal container yard
研究代表者	
	西村 悦子（NISHIMURA ETSUKO）
	神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
	研究者番号： 60311784

## 研究成果の概要（和文）：

コンテナ船の大型化に伴い、海外のターミナルではこれに対応するため、レイアウトを工夫している。形状は長方形が一般的であるが、海外の主要港では様々な理由で多角形のものも多く存在する。長方形ターミナルではコンテナブロック間の通路配置やブロックサイズは同一であるが、多角形の場合には形状によって異なる。本研究では、与えられた任意の形状を持つヤードエリアに対し、ブロック間の通路配置とそこでのコンテナ配置を最適化する手法を提案する。

## 研究成果の概要（英文）：

As the containerships have become larger, the container terminals in foreign countries come up with various ideas to make the layout in order to be smoothly operated. There are many rectangular container terminals in the world. However, there are also polygonal terminals in foreign countries. In the rectangular terminal, one aisle between container blocks is located in same interval as others along the quay length, and the size of one container block is also same as others. In the polygonal terminal, the aisle between container blocks located and the size of container block are dependent on the shape and the region and so on. Therefore, this study proposes the algorithm for optimizing the aisle location between container blocks and the container arrangement in yard area with a shape given in advance.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野： 港湾物流、ターミナル計画

科研費の分科・細目： 社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム・

キーワード： コンテナヤード、コンテナブロック、最適化、アルゴリズム

## 1. 研究開始当初の背景

近年、コンテナ船の大型化は非常に著しく、満載で1万TEU(20フィートコンテナ換算での個数)積みを越える船が登場しており、100隻以上が欧州とアジアを中心とした基幹航路を担当している。こうした中、なんとか日本への超大型船の寄港もあるが、取扱量は非常に少ないのが現状である。また他のサイズも含めた基幹航路の船の寄航頻度は他港に

比べて低く、相対的に地位が低下している。この現状を打破するために、様々な方策が取られているが、未だ結果が出ていないのが現状である。今後、最新システムの導入が予想されるが、マシンの特性や海外の状況を事前に把握しておく必要がある。つまり国内でも名古屋港に現在、無人化搬送車両が導入されているが、海外に導入されている所とブロック配置が異なっており、マシンや搬送車両の特性、ブロック配置の特性を把握した上で導

入されているのか、疑問視される。また国内の場合、新規の大規模ターミナルを設置する場合には、埋め立て地を利用するケースが多いが、海外では必ずしもそうではなく、あらゆる形状を持つターミナルが存在する。

そこで本研究では、こうした疑問を解決するツールを構築する。つまり導入するマシンの作業特性に合わせたターミナルのヤードブロックのレイアウト設計アルゴリズムを構築する。具体的には、与えられた形状を持つコンテナヤード保管エリアにおけるコンテナブロックのサイズと配置の最適化問題について検討する。

## 2. 研究の目的

コンテナヤードで荷役作業に使用するマシンの種類は国内外で主に使用されているRTG (Rubber Tired Gantry Crane) を想定し、国内なら地方港か、主要港湾かの区別、海外なら地域内での立地場所やその背景が異なるため、形状は必ずしも長方形のターミナルとなっていない。そこで、ターミナルの形状調査と利用マシンの関係を調査し、ターミナル内のコンテナ保管場所として確保できるヤードスペースの形状の把握、国内外や地域特性の把握をおこなう。

また評価指標を考える上で、ターミナル内のコンテナ搬送は一方通行、両通行等制約があり、ブロックサイズが小さいほど、地点間の移動距離は短く時間も短縮されるが、ブロックサイズ間には搬送車両の走行通路スペースを設置する必要があるため、コンテナ保管容量は小さくなる。さらに荷役機械が移動する場合、コンテナブロック間とブロック内では速度に違いがあり、ブロックサイズが小さくなるほど、ブロック間の移動が増えることから時間延長につながり、これも考慮する必要がある。

そこで上記の背景のもと、本研究では、長方形やその他ターミナル形状が与えられたときに、コンテナブロックサイズを決定要素として、マシンや搬送車両の移動にかかる作業時間や保管容量の変化をみることで最適化モデルを構築する。

## 3. 研究の方法

### (1) ターミナルレイアウトと荷役マシン特徴の調査

世界の主要港湾を対象に、文献や Web サイト等から港湾の形状、レイアウト、導入されている荷役機器等の情報を整理した。荷役機器別の特徴は、文献や過去の現地観測データを利用できることが分かったため、このデータを元に、既往の研究で提案したモデルを本研究で利用するために、一部加工を行った。

### (2) コンテナ配置問題の取扱範囲の決定

どのようなレイアウトでも、適用できるモデルを構築することを目標に、コンテナの取扱、ターミナル内のコンテナフローの条件等、前提条件を明らかにし、定式化を行った。

### (3) ヤード保管エリアでの通路配置問題の取扱範囲の決定

(1)の結果、ヤードエリアの形状、および岸壁延長に垂直な通路配置の条件で3種類に分類できることが分かった。つまり、①単純形状(長方形)で通路は等間隔、②単純形状で通路は任意、③複雑形状で通路は任意である。つまり、ブロックサイズ決定問題は、通路配置決定問題と考えることができ、この条件下で問題扱うこととした。

### (4) 単純形状を対象にしたコンテナ配置の解法アルゴリズム開発

(3)の条件①が現状の国内、海外で最も多く存在するケースであるため、この条件を対象にGAとタブサーチに基づくヒューリスティクス解法を開発した。

### (5) 国内外の研究者・実務者との意見交換

国内外の関連学会に参加し、途中段階の問題設定やサンプルの計算結果を紹介することで、取り扱う問題の現実性や考え方の正確性について議論を行い、様々な意見を得ることができた。ある程度納得できる問題設定とモデル構築が出来た。

### (6) 任意の形状を持つターミナルでのコンテナ配置問題の数値実験

(1)から(4)で開発した、長方形ターミナルを前提としたコンテナ配置の解法アルゴリズムの効果や傾向を見出すには、様々なケーススタディを実施する必要があるが、(1)の実績調査の結果、ターミナル形状の違いも入力データで区別できることが明らかとなった。そこで単純形状のターミナルを前提に、通路の設定数を変化させ、どのような傾向があるかを調べた。

### (7) ヤード保管エリアでの通路配置問題の解法アルゴリズム

(4)ではターミナルの形状を従来の長方形としたが、複雑な形状において通路位置の決定は保管容量と岸壁-ヤード間の移動距離を左右する。そこで、通路位置を決定する問題として定式化し、解法アルゴリズムを開発した。ここでは、与えられたヤード面積と通路数に対し、保管容量の最大化と、岸壁-ヤード間の移動距離最小化の2目的問題として通路位置を決定する。

### (8) 国内外の研究者・実務者との意見交換

(5)が終了した段階で、国内外の関連学会に参加し、取り扱う問題の現実性や考え方の正確性について議論を行い、様々な意見を得ることができた。ある程度納得できる問題設定とモデル構築が出来た。(7)の計算結果を(4)の入力データとすることで、多角形ターミナルでのコンテナ配置も検証できることが明らかとなった。

#### 4. 研究成果

##### (1) ターミナルレイアウトと荷役マシン特徴の調査

###### ① メガシップ寄港ターミナルの規模と荷役機器タイプ

メガシップが寄港するターミナルは、ハブ港湾の大規模ターミナルを利用すると予想される。そこで世界最大手の船会社であるMaerskの9000TEU容量以上の船が寄港するターミナルの規模について、各ターミナルのWebサイト等より情報を収集し、整理した結果を示す。なお紙面の都合上、地域別に整理したターミナル情報を表1に示す。また当該地域内にターミナルが複数存在する場合は最小値から最大値の範囲を示し、1ターミナルのみである場合はそれ自身のみ情報となる。岸壁延長から、小規模でアフリカ地域の1バース相当、大規模なもので中国の4キロにわたる延長のものがあり、大小様々であることが分かる。また水深をみると、必ずしも大水深バースでなく、12m相当ターミナルにも寄港しており、当該ターミナルに入出港する時点での貨物の積載状況によっては大水深バースである必要はないことがわかる。保管エリアはほぼ岸壁延長に比例して増減する。

表2に対象となるターミナルのレイアウトにも関連する主要な荷役機械を示す。表中では表下にある略称で示す。RTGが用いられるケースが多いが、RMGは欧州、中東、中国では単独運用されているが、他のマシンを組み合わせて運用される所もある。またSCは欧州と日本で利用されており、必ずしも小規模ターミナルだけでSCが利用されているとは限らないことが分かる。

###### ② ターミナル形状とレイアウト

###### ・岸壁側の形状

国内のターミナル、例えば神戸港のポートアイランドや六甲アイランドにあるターミナルでは、1から2バース程度規模での運用がほとんどであり、船が着岸できる部分は、岸壁延長の端から端まで一直線に伸びており、1バース相当を岸壁延長方向にブロックを2分して使用されている。

次に、海外の大規模ターミナルの一例を示す。釜山新港のHanjinターミナル(4バース運用)では、岸壁形状は端から端まで直線であり、世界でも標準的な形状のものである。

表1 メガシップ寄港ターミナルの諸元

地域	岸壁延長(m)	水深(m)	保管面積(×100m <sup>2</sup> )
EU	723 - 2,354	9 - 17.5	400 - 1,243
NA	2,192	16	1,960
Africa	400 - 1,200	16 - 17.5	390 - 600
ME Asia	1,000 - 2,205	12.5 - 18.5	450 - 960
SE Asia	600 - 2,160	14.5 - 15	270 - 1,200
China	839 - 4,292	13.5 - 17.5	300 - 2,400
Japan	700 - 900	12 - 16	225 - 504

表2 メガシップ寄港ターミナルでの荷役機器

地域	採用される主な荷役機器(ターミナル数)
EU	RTG(5), RMG(2), SC(2), RMG&SC(2)
NA	RTG(1)
Africa	RTG(4)
ME Asia	RTG(1), RMG&RTG(2)
SE Asia	RTG(2)
China	RTG(8), RMG(1), RMG&RTG(1)
Japan	RTG(1), SC(2)

※ RTG = Rubber Tired Gantry Crane

RMG = Rail Mounted Gantry Crane

SC = Straddle Carrier

ここでは、トレーラーの走行通路は、岸壁延長方向から垂直に伸びるが、コンテナブロックの分割は、必ずしもバース数に合わせたものとなっていない。またイタリアのジオアタウロ港のMedcenter Container Terminalでは、途中で屈折する部分があり、先までに示した直線バースの場合は、総延長を超えなければ、物理的にはどこにでも係留できるが、この形状の場合、屈折部分を除いた係留計画が必要になる。さらに香港港のCT6/CT7 terminalのように、直線バースが直角に交わり、両方で荷役を行うケースもあり、コンテナブロックの向きが岸壁延長方向に対し、平行の場合と垂直の場合がある。オランダのアムステルダム港にあるAmsterdam Container Terminalsでは、インデント型部分を有し、両舷で同時に荷役を行えるのが特徴である。以上のことから、岸壁形状だけでも先に述べた直線、屈折、直角、インデント型に分類できることがわかる。

###### ・内陸側の形状

岸壁延長方向に対し、平行、変則型(台形、三角等)などに分けられ、上記で示したターミナルの場合は岸壁延長方向に対し、内陸側が平行となっている。そこで変則型の事例として、シンガポール港のTanjong Pagar Terminalがある。形状が複雑であり、ヤードトレーラーの走行通路の位置がヤードブロックの場所やその数の決定が難しくなる。つまり、多いと小回りが利き、移動距離(さらには荷役時間)に影響する。しかし、多すぎ

ればブロックの保管容量が減るため、ブロック分割位置の設け方には工夫が必要である。

そこで、コンテナ取扱量上位 30 港湾に属するコンテナターミナルの諸元を調べたが、ほとんどのケースは、岸壁側と内陸側がそれぞれ直線、岸壁延長方向に対し平行になっている。しかし、少なからず、コンテナヤードの形状が長方形でなく、変則型がある。

(2) 単純形状を前提としたコンテナ配置の解法アルゴリズム開発と数値実験

①ヤードスペースの利用効率に関する分析

図 1 のように、当該船に積載予定のコンテナは既にヤードブロックに配置済みであることを前提として、問題を考える。保管スペースの空き状態は、時々刻々と変化するものであるが、ここでは当該期間内ではその変化を考慮せず、期間の初めで空き具合を把握し、その空きスペースに収まるようにコンテナを配置していく。したがって、期間の最後には空き状況の更新が必要であり、その処理の流れは次のようである。

- ステップ 1: 初期状態として、ヤードの保管スペースにはこれからやって来る船に積載予定のコンテナを一部に配置されている。対象期間船  $t=1$  とする。
- ステップ 2: 当該期間  $t$  の寄港船のコンテナをヤードの空きスペースに割当てる。
- ステップ 3: 各船の陸揚げ・船積み作業を実施し、出港時刻を求める。
- ステップ 4: 当該期間  $t$  に出港する船を期間 1 から  $t$  までで探す。
- ステップ 5: ヤードの空きスペースを更新する。
- ステップ 6: 当該期間  $t$  が最終期間であれば、終了。そうでなければ、 $t=t+1$  として、ステップ 2 へ。

長方形ターミナルを前提としたコンテナ配置の解法アルゴリズムの効果や傾向を見出すには、様々なケーススタディを実施する必要があるが、(1)の実績調査の結果、ターミナル形状の違いも入力データで区別できる

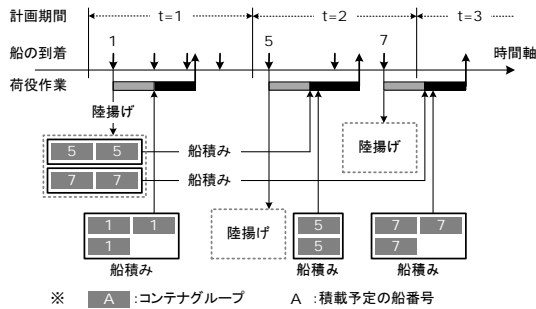


図 1 時系列でのターミナル内のコンテナフロー

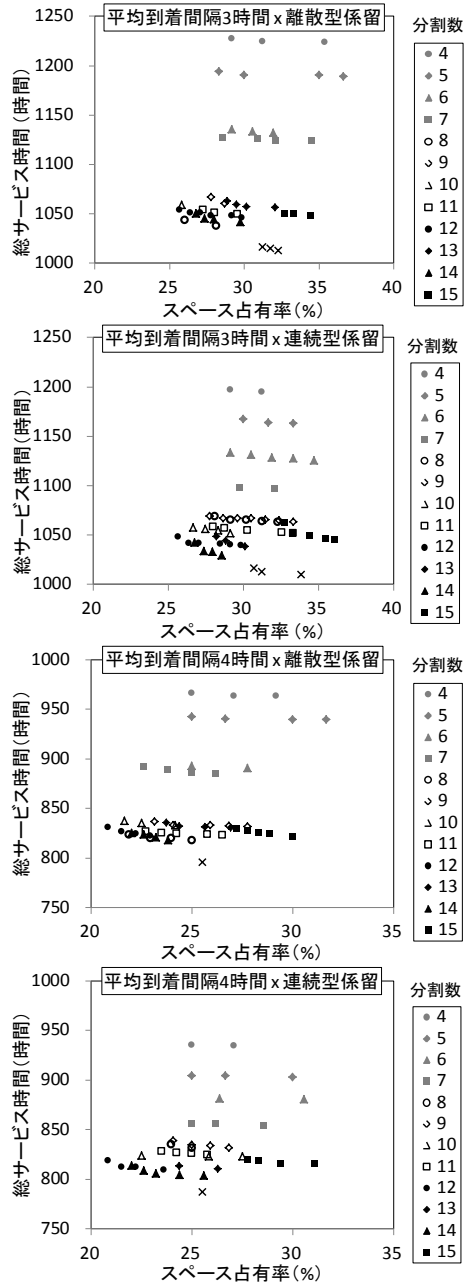


図 2 パレート解の一事例

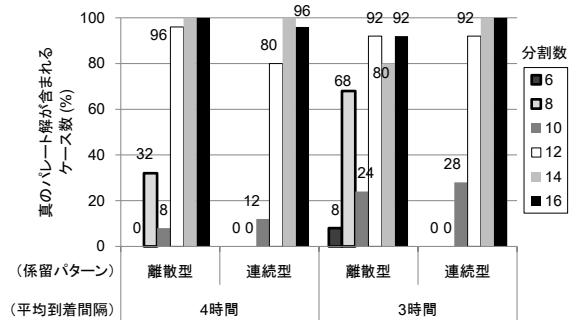


図 3 真のパレートに含まれるケース数

ことが明らかとなった。そこで単純形状のターミナルを前提に、通路の設定数（ブロック分割数）を変化させ、どのような傾向があるかを調べた。

図2にはある一事例の結果を示すが、これより分割数が増えると小回りが利くため、作業時間が短く抑えられるが、その反面、保管容量が減り、通路数増にも限界があるのがわかる。そこで次に、各分割数で求めたパレート解を合成し、その中からまた両目的関数値でパレート解を求め、これを「真のパレート」呼び、この中に、当該分割数での解が含まれるケース数をカウントしたものが図3である。

その結果、船の係留位置をバース単位で割り当てる場合では、国内外で主として利用されている1バースを二分して通路を設けるケースで良好な結果が得られ、既存のターミナルの検証に使えることも明らかとなった。

### ②荷役方式の違いによる影響分析

当該分析では、荷役方式の違いを通路設定の仕方と保管容量で表現し、どのような状況下のときに、いずれの方式での効果が高いかをみた。評価指標には総サービス時間とスペース利用率を用いた。荷役機器別に得られたパレート解を合成し、これから、さらにパレート解を見つける処理を行うことで、荷役機器間の比較を行った。

図4には荷役機器別に求めたパレート解を合成し、この中から両目的関数値でのパレート解を求め、各マシンでの解が1つでも含まれば、そのケース数をカウントしたものである。また図5には真のパレート解に含まれるマシン別の解の個数を示す。

個々の問題で得られたパレート解では、RTGとRMG間に大差は見られなかった。しかし、真のパレートに含まれる解から、以下のことが明らかとなった。混み具合や係留パターンの違いで比較すると、いずれのケースもRTGが最も良い結果が得られた。またRMGの場合は、RMG単独より、RTGとRMGが含まれるケースが多くあったことから、ある状況下ではRTGとRMGが同レベルのサービスが提供できることがわかった。またSCについては、当該研究の条件下では良いと評価できるケースが非常に少なかった。

この結果は、国内外でRTGが多く導入される理由を裏付けていると言える。しかしながら、SCが導入される効果が見出せなかった点については、今後、海外のターミナル事情を再度検討し、条件整理を行って実験を行う必要がある。

### (3) ヤード保管エリアでの通路配置問題の解法アルゴリズム

(2)ではターミナルの形状を従来の長方形としたが、複雑な形状において通路位置の決定は保管容量と岸壁-ヤード間の移動距離

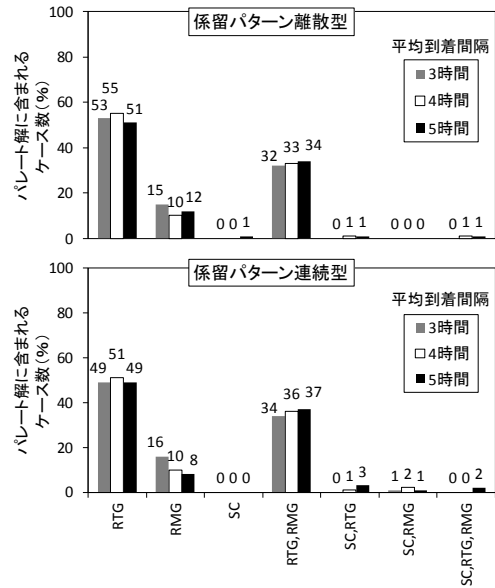


図4 真のパレートに含まれるケース数

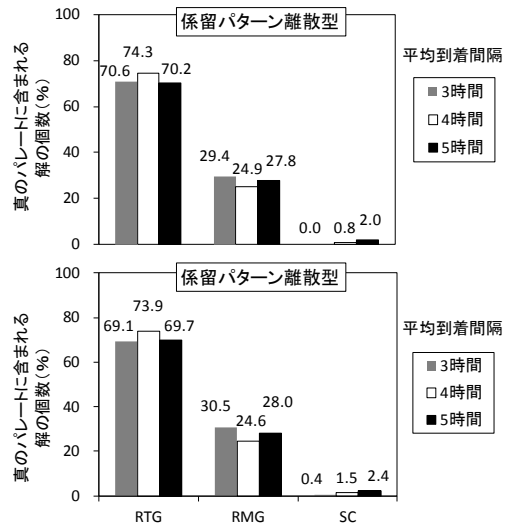


図5 真のパレートに含まれる解の個数

を左右する。そこで、通路位置を決定する問題として定式化し、解法アルゴリズムを開発した。ここでは、与えられたヤード面積と通路数に対し、保管容量の最大化と、岸壁-ヤード間の移動距離最小化の2目的問題として通路位置を決定する。パラメータにはターミナル内のある座標がヤード保管エリアに属するか否かを1、そうでないときを0で表現することで、モデル化を行った。

次の(4)では数値実験を行うが、この結果を採用するには、各ブロックの容量、各岸壁位置と各ブロック間の移動距離が必要となり、移動距離を作業時間に変換して利用する。

### (4) 任意形状ターミナルを対象にしたコンテナ配置計画の数値実験

多角形ターミナルを対象とする場合、通路

表 3 形状別の計算結果(平均値)

長方形ターミナル		通路設置方法	占有率 (%)	作業時間 (分)
4 時間	連続型	等間隔	24.4	21,011
		提案	21.6	22,976
	離散型	等間隔	22.0	21,131
		提案	21.6	22,976
3 時間	連続型	等間隔	32.4	30,730
		提案	27.6	33,327
	離散型	等間隔	30.8	30,587
		提案	27.6	33,327
多角形ターミナル		通路設置方法	占有率 (%)	作業時間 (分)
4 時間	連続型	等間隔	25.2	20,835
		提案	20.6	22,765
	離散型	等間隔	22.6	20,792
		提案	20.6	22,765
3 時間	連続型	等間隔	30.2	30,210
		提案	25.4	32,877
	離散型	等間隔	30.6	30,350
		提案	25.4	32,877

- (a) 3 時間と 4 時間：平均到着間隔を意味する  
 (b) 連続型と離散型：係留パターンを示し、前者は岸壁延長をバース単位で区切らない係留位置、後者はバース単位で区切ってその範囲でのみ係留させる  
 (c) 提案：提案する方法で通路配置を行う  
 等間隔：通常の等間隔に通路を配置する

位置を(3)の最適化モデルで解として得るが、比較のために、同一形状で通常の等間隔に通路を設置する場合での岸壁とヤードブロック間の移動距離を計算するモデルも構築した。また船の到着パターンが同一の場合での形状の違いと通路設定の違いでの比較が行えるように、長方形ターミナルを対象に(3)の最適化モデルを適用する場合、および等間隔に通路を設定する場合のモデルも構築し、比較を行った。

表 3 の計算結果によると、ほとんどのケースで、スペース占有率では提案した方法による効果が高いが、作業時間は通常の等間隔設定の方が良いことがわかった。一部であるが、何れの形状においても、提案した方法によってスペース占有率と作業時間共によくなるケースがあったが、両方の評価指標において等間隔の方が良いという結果はなかった。また船の到着間隔で混み具合を表現したが、混み具合で効果の差に影響するが、提案する方法と等間隔の良し悪しが入れ替わることはなかった。

(5) 今後の展望

(4)で示された計算結果は、数値計算のケース数が十分であるとは言えない。したがって、さらに多くのデータを用いて、実験を行うと

ともに、より詳細な分析を行う必要があると考える。またこの成果を学会等で発表するなど、国内外の研究者との意見交換を行うことで、今後の展開へ発展させる予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) 西村悦子, 漆原良安, ヤードスペースの利用効率を目的としたコンテナ最適配置, 日本航海学会論文集, No.128, 101-109, 2013. 査読有
- (2) 西村悦子, 漆原良安, コンテナ最適配置のブロックサイズによる影響, 日本航海学会誌 NAVIGATION, No.182, 31-38, 2012. 査読無
- (3) Etsuko Nishimura, Yoshiyasu Urushibara, Multi-objective container storage arrangement for transshipments, Proceedings of the 2012 International Conference on Logistics and Maritime Systems, 333-345, 2012. 査読有

[学会発表] (計 5 件)

- ① 西村悦子, 漆原良安, ヤードスペースの利用効率を目的としたコンテナ最適配置, 日本航海学会第 127 回講演会, 2012 年 11 月 23 日, 長崎.
- ② 西村悦子, 今井昭夫, 荷役方式によるコンテナ最適配置への影響, 第 46 回土木計画学研究・発表会, 2012 年 11 月 4 日, 埼玉.
- ③ 西村悦子, コンテナターミナルにおける荷役方式を考慮したコンテナ配置計画, 日本機械学会第 20 回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2011), 2011 年 12 月 9 日, 川崎.
- ④ Etsuko Nishimura, Container storage arrangement on the yard with consideration of block sizing, 19th Triennial Conference of the International Federation of Operational Research Societies, 11 July 2012, Melbourne, Australia.
- ⑤ 西村悦子, 三宅智之, メガシップ寄港地におけるコンテナ船のターミナル利用状況, 日本航海学会第 124 回講演会, 2011 年 5 月 26 日, 神戸.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 悦子 (NISHIMURA ETSUKO)  
 神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授  
 研究者番号：60311784