

機関番号： 14501  
 研究種目： 若手研究 (B)  
 研究期間： 2009～2010  
 課題番号： 21710153  
 研究課題名(和文) ヤードクレーン種別を考慮したコンテナのヤード配置計画に関する研究  
 研究課題名(英文) Container storage planning problem with considering types of handling equipment at the marine container terminal  
 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)： コンテナ配置計画のモデル化の範囲同定と、その入力データである作業時間にヤードクレーン種別を考慮する点に着目して研究を行った。コンテナの配置問題に関して、制約条件を緩和して構築した解法アルゴリズムの特徴を把握した。次に荷役方式別シミュレーションモデルを構築し、そこから計測できる作業時間を用いて重回帰モデルを構築した。荷役方式別の荷役時間データを用いて配置計画を行った結果、港の混雑状況によって適したマシンのタイプが異なることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)： We focus on how detail the model is expressed and what kind of method the type of handling equipment is considered in order to estimate the handling times spent for ship berthing and quay crane working. For the container storage arrangement, we relax some constraints, and develop the algorithm for solve the problem. For the estimation of handling time, we develop the model to simulate the terminal by handling equipments, and also develop the multiple regression model to estimate the handling time by using parameters and handling time obtained at numerical experiments. From the numerical results of storage arrangement with handling time data by machine type, it is clear that most suitable type of handling equipment depends on port congestion.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野： 複合新領域

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： 社会システム

## 1. 研究開始当初の背景

近年、アジア域内で国際コンテナ船の基幹航路の拠点競争が激化しており、シンガポールや中国等の主要港湾はその規模を拡大し、サービス水準向上とコスト低減を実現し、取扱貨物量を急増させ、アジアのハブとして位置付けられている。またコンテナ船の大型化

は非常に著しく、満載積載で1万TEU(20フィートコンテナ換算での個数)積みを超える船が登場している。こうした中、日本への超大型船だけでなく基幹航路の船の寄航頻度は減り、相対的に地位が低下している。この現状を打破するため官民が一体となり、国際競争力強化に向けた方策として、スーパー中枢港湾プロジェクトがスタートしている。

このプロジェクトでは、船会社ごとに行っていたターミナル運用を複数船会社で一括運用し、港湾関連コスト低減を狙ったものである。スーパー中樞港湾が先で述べた超大型船に対応しているかは慎重な分析が必要であるが、寄航していない現状を考えるとユーザにとって魅力が感じられない、もしくはそれに対応していないと言うことができ、プロジェクトの効果を発揮するには対応できるまでにレベルアップする努力と工夫が必要であろう。

そこで本研究では、超大型船導入とターミナルの一括運用に着目し、当該船が効果的に運用するためのターミナル運用を考える。超大型船の航路形態はその導入効果を発揮するために、ハブ&スポーク型のハブ間での運航に利用され、従来船型よりも一度に取扱われるコンテナ数は膨大になる。もちろん、貨物がそれだけ集積できることが前提であるが、この場合、ターミナルで扱われるコンテナの大多数がトランシップコンテナとなり、超大型船とフィーダー船の間での貨物の移動が今まで以上に頻繁に起こる。ターミナルでの両船間の通過貨物の移動は直接行われるケースもあるが、船の安定性維持の積み付け計画実現や船の到着時間差を解決するために、一時的にヤード内に保管されるケースが多い。

そこでヤード保管問題を考えるが、ターミナルの荷役形式（主として使用される荷役マシンの種類）によって単位面積当たりのコンテナ保管数は異なり、船の寄航パターンによって必要となるエリアスペース、さらにはそれにかかるコストも異なる。したがって、荷役方式による違いも考慮した問題を扱う。

## 2. 研究の目的

上記の背景の元、本研究では、超大型船が寄港するターミナルで一度に扱われるべきトランシップ貨物の二次輸送網への接続を効果的に行うためのコンテナのヤード配置計画の立案手法を検討する。超大型船の導入効果を発揮するにはコンテナ1個あたりのコストをどれだけ抑えられるかにかかっており、そのために1寄港地での揚げ積みコンテナ数は今まで以上に膨大になる。そこでターミナル側には今までと同等もしくはそれ以上の荷役速度ならびにコスト低減が求められている。ここで荷役機械のハード面の高度化に関して技術開発は進められており、ハンブルグ港には2基の大小サイズの異なるRTGが同一ブロックを担当するなど、自動化・無人化も進んでいる。このようにヤードクレーンの種類は増えてきており、その特性も異なり、単位面積当たりのコンテナ保管個数やマシンの機動性も異なって、ターミナルによっていずれのマシンが向いているのかは一概

には言えない。そこでこうしたヤードクレーンの特異性を考慮したコンテナ配置計画を検討し、意思決定に利用できる代替案を提供できるモデルを構築する。

## 3. 研究の方法

- (1) コンテナのヤード配置計画に関する調査： 国内外のターミナルにおいて、コンテナヤードにコンテナをどこに置くべきかを決定するときに、何を考慮しなければならないか、制約条件とすべき点、評価項目などを整理し、優先順位を行った。
- (2) ターミナル荷役作業の実態に関する現地観測と文献資料収集： 当該ターミナルに寄航する船を本船と呼ぶが、本船と岸壁の間、岸壁とヤードの間を中心に、荷役機械ごとの作業形態を観測する。ここでも現場を中心にモデル化に必要な情報を得るため、ヒアリング調査を行い、ビデオカメラを用いて各種作業時間や作業特性を記録するため現地観測を行う。また関連する文献資料の収集も行う。
- (3) 収集データの整理と作業特性の把握：  
(1)と(2)による現地観測後、収集データを整理し、モデル構築の際に条件設定として必要になる項目を整理し、優先度を設けて計画期間内にどこまで実施できるか等で必要となる情報を整理した。
- (4) モデル化・問題範囲の同定： 目的で示したように、岸壁-超大型船、および超大型船-フィーダー船間の荷役をターゲットとし、コンテナをヤードに配置する際の工夫の仕方を検討するが、問題設定をどこまで詳細に行うべきかを検討した。
- (5) 荷役機械種別を考慮した荷役シミュレーションモデル構築： (4)で設定した問題範囲で必要となる荷役機器特徴別の本船作業シミュレーションモデルを構築する。現実のターミナルで様々なケーススタディの情報を得ることが困難であるため、モデルを利用するが、これには汎用型シミュレーションソフトウェアパッケージを利用した。
- (6) 荷役作業時間推定モデルの構築： (5)で構築したモデルより、作業時間を推定するモデルを構築してコンテナ配置計画のインプットデータとして利用する。これには作業特性を整理した上で必要となるパラメータの選別を行った。
- (7)現場サイド、国内外研究者との討議： 国内外で開催の学会や収集データおよび結果報告の際に、研究内容を公表して現場サイドや国内外の研究者とモデルについて議論し、修正を加えてモデルの再構築を行った。
- (8) ヤード配置計画問題の解法アルゴリズムの開発： (4)で決定した範囲内、構築した時間推定モデルを利用して配置問題の解法を開発した。
- (9) 数値実験の実施： まず収集したデータを

参考に、様々なケーススタディ実現のため問題を用意する。次にモデルの効果および傾向を調べるため、用意したデータを利用して数値実験を行う。

(10)結果の分析と全体の総括： (9)による計算結果を分析し、評価を行う。最後に本研究で得られた成果をまとめて、今後の研究課題を整理し、今後の方向性を明らかにした。

#### 4. 研究成果

(1) 荷役スケジューリングに関する文献調査  
コンテナの配置計画を扱った研究は国内ではほとんどないが、海外では事例がある。これらを計画対象とするコンテナの取扱単位、決定要素、評価指標およびそこで使用した解法について整理した。

①コンテナ取扱の単位： コンテナ取り扱いの単位は問題の範囲やその複雑さに影響を及ぼし、これは評価指標が何であるのかで異なる。これは大きく2分され、コンテナ1個1個を配置するもの、仕向け地やコンテナの種類サイズなどでグループ化されたものを配置する問題がある。

前者には、ヤードクレーンの作業割当と作業スケジュール立案と同時に行っている。船からの輸入コンテナ、内陸からの輸出コンテナのターミナル内移動が両方向のコンテナを対象としている。後者にはトランシップコンテナと輸出コンテナの区別を考慮したものやトランシップコンテナをフィーダー船単位で扱ったもの等がある。

②決定要素： ほとんどがコンテナのヤード内配置位置であるが、それだけでなく、ヤードクレーンの作業シーケンス決定と同時に行うものもある。輸出入両方のコンテナを扱っている。

③評価指標： コンテナの取扱いで異なっており、まずコンテナ単位で扱う問題について見て行く。

- ・1 ブロック内のコンテナを対象に、本船積み作業中でのコンテナ再配置回数の最小化
- ・対象船の滞在時間最小化のために、マシンのヤードベイ間移動時間と荷捌き時間の和の最大時間を最小化
- ・コンテナを取出すときにその上に蔵置されるコンテナを別の場所におく（リハンドルと呼ぶ）回数の最小化
- ・ヤードブロック内の1ベイ内での事前のコンテナ移動回数と事後のリハンドル回数の最小化
- ・作業時に障害となるコンテナ数最小化
- ・計画対象期間内に、陸揚げされるコンテナ数と荷主トラックが来るまでのヤード内待機コンテナ数のバランス差を最小化

次に、コンテナグループ単位で配置する問題以下ようになる。まず1隻の船のみを対

象とする場合では、以下のものがある。

- ・トレーラーとストラドルキャリアの移動コストの合計の最小化
- ・RTGの移動時間の最小化
- ・トレーラーとRTGの移動コストの最小化

また、一定期間内の複数船を対象とするものには以下のような研究がある。

- ・計画対象期間内に必要となるヤードの保管スペースを最小化
- ・トランシップハブ港における揚げ積み作業にかかるヤードクレーンの移動回数の最小化しているが、コンテナの到着は考慮しておらず、既に係留中の船を対象。
- ・仕向け地、サイズ、重量区分を考慮したコンテナグループの再配置数を最小化
- ・ある特定の時刻にブロックに割当てられたヤードクレーン数の合計を最小化
- ・トランシップコンテナを対象に、計画対象期間にやって来る超大型船と関連するフィーダー船の滞在時間を最小化

この結果、本研究で扱うべきコンテナの単位を仕向け地等によるコンテナグループとし、岸壁クレーン数(1基のみから複数可能)やコンテナフロー(超大型船からフィーダー船の一方、から超大型船とフィーダー船間の両方向)の条件を緩和することで、より現実的なものとする。

(2) 荷役方式を考慮したコンテナ船の荷役作業時間推定モデルの構築

本研究では、コンテナターミナルの運営にかかるスケジュール立案に必要な荷役時間データを、実在する港湾を対象にして、あらゆる状況を想定して収集することが困難であるため、荷役シミュレーションモデルから得られた計算結果をもとに、荷役時間推定モデルを構築した。図1に示すように世界の港湾で比較的使用されるケースが多い、3タイプの荷役方式を考慮したモデル(図2)を構築した。モデルの検証として、ターミナル規模の違いや実在する港湾データとの比較を行ったが、表1から分かるようにいずれのケースも寄与率が1に非常に近く、モデルのあてはまりが良いことが分かる。従って、シミュレーションにおけるモデル化の範囲にもよるが、構築した推定モデルを用いれば、船の到着前に荷役時間をある程度推定でき、作業スケジュール立案への活用に期待できるものである。

(3) コンテナのヤード配置問題

より現実的な問題へと発展させるために、条件の異なるヤード配置問題を検討した。まず解法比較を行い、どの解法を選択すべきかを検討し、次に岸壁クレーン数の条件、コン

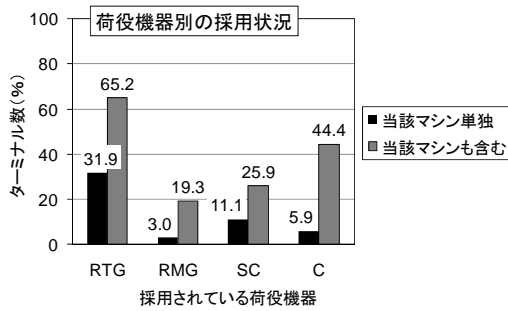


図1 主要港湾での荷役機器採用状況

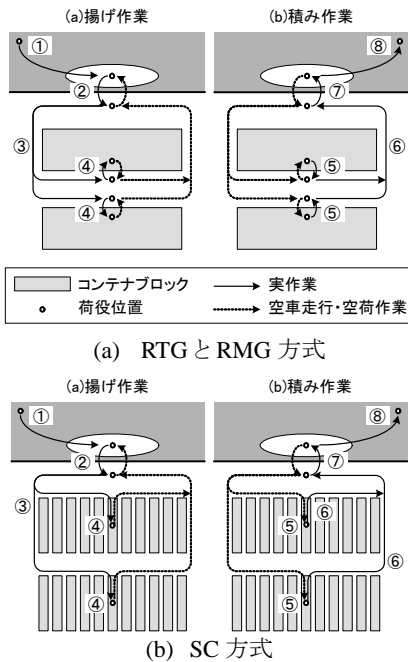


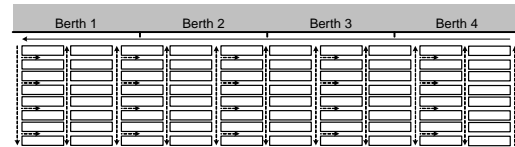
図2 本船荷役シミュレーションでのモデル化範囲

表1 ターミナル規模別の観測値と推定値の相関関係

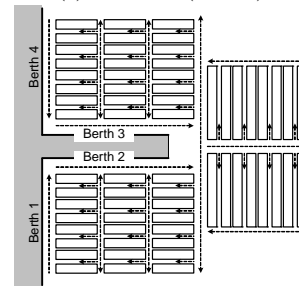
寄与率 $R^2$		RTG	RMG	SC
バース数	2	0.960	0.958	0.949
	3	0.968	0.968	0.961
	4	0.982	0.981	0.974

テナフローの条件を緩和して問題を複雑な問題を扱った。

①解法比較： 本節では、解法比較を目的として、既往の研究と同様の問題を解いている。具体的にはフィーダー船の岸壁クレーン数は1基、コンテナのフローはメガシップからフィーダー船への1方向のみとする。ここでは、ラグランジュ緩和を用いた劣勾配法(LR)、遺伝的アルゴリズム(GA)、タブーサーチ(TS)の3解法を比較した。LRより下界値が同時に得られることから、下界値とLR、GA、TSの最善の実行可能解との差をGapとして図3に示している。フィーダー船の到着間隔で港の混み具合を表現する。数値実験の結果、LRよりメタヒューリスティクス解法



(a) タイプL (Linear)



(b) タイプI (Indent)

図3 ターミナルレイアウト

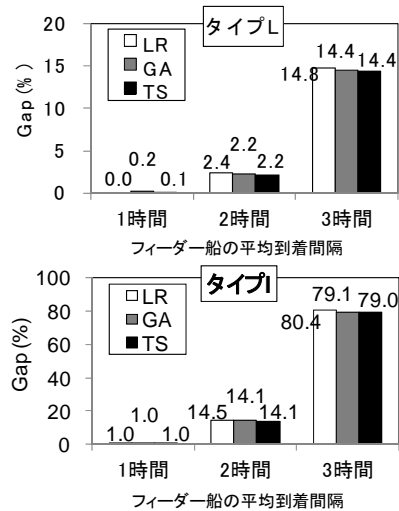


図4 レイアウト・到着間隔別の下界値との差

であるGAやTSが良いという結果になった。また個々のケースをみると、アルゴリズムは、ターミナルの形状や港の混み具合に依存することがわかった。

②岸壁クレーンの割当数制約を緩和したヤード配置問題： 本節ではフィーダー船の担当岸壁クレーン数を1基のみから複数基可能に発展させた問題を扱っている。これは当然ながら、より現実な問題への発展を期待したものであるが、それだけでなく、複数基のモデル表現が必要であるか否かを検討することも含んでいることに注意する。

計算実験のパラメータとして、メガシップやフィーダー船の到着時期をいくつか設定し結果の違いを見た。図5には、全船の総滞在時間とメガシップのみの滞在時間を示している。到着間隔が短いと、次々とフィーダー船の荷役が行えるため、全船の総滞在時間は短くなっており、岸壁クレーン数が多いとさらに時間短縮になっているのがわかる。これに対し、メガシップのみの滞在時間をみる

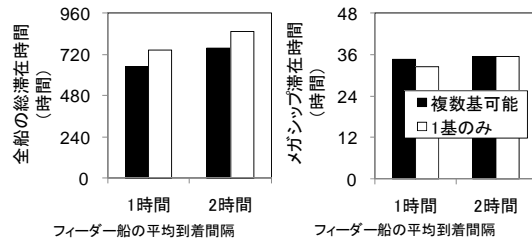


図5 全船およびメガシブの滞在時間

と、フィーダー船の到着間隔が長い場合には岸壁クレーン数増による効果はなく、間隔が短いときには反対に、時間延長になった。この理由として、目的関数は全船の総在港時間としているため、岸壁クレーンが増えるほど、取り扱うグループ化されたコンテナ群の数が増え、メガシブから離れた場所にそれらが保管されることになったと言える。

③コンテナフローを考慮した超大型船寄港ターミナルでのヤード配置計画： 上で示した問題①と②は、コンテナフローをメガシブからフィーダー船までの一方のみであったが、ここではフィーダー船からメガシブまでを扱い、メガシブの出港までを扱っている点が大きく異なる。

表2に世界最大手の船会社 Mearsk の10,000TEU以上の船の各寄港地域での滞在時間を示しており、これを元に、表3では仮の岸壁クレーン数を割り当てた時に、どれだけの個数を荷役したかの概算を出している。北米は折り返し地点であるため、荷役時間とは異なる時間調整が含まれると考えられ、ここでの評価に含むことができない。ネットワーク構成も従来の大型船と変化なく、北米を除く、他の地域での貨物量もさほど多くないと予想され、メガシブ導入効果を見出せていない。従来サイズの大型船の寄港を想定した1寄港地での取扱量の場合と、超大型船の寄港を想定し寄港地を集約して1寄港地の貨物量を増やした場合では、それぞれに対する他の各種パラメータによる影響度合いが異なると考えられる。そこで計算パラメータとして、超大型船の到着時期、フィーダー船の到着間隔(混み具合)、ターミナルの形状、一度に扱う貨物量を変化させた。

実在する港湾に最も近いパラメータに着目すると、大型船の積み予定コンテナはその到着前にヤードに配置され、フィーダー船の到着分布は比較的混み合った状況になる。図6に示すように、このケースで貨物集約すると、超大型船に関わる全コンテナの滞在時間は延長するが、超大型船の滞在時間はレイアウトによって傾向が異なることがわかり、タイプIのときは時間短縮効果があった。

(4) ヤードクレーン種別の違いを考慮したヤード配置問題

表2 一寄港地での滞在時間

単位 : 時間	中国	日本	東南ア	中東	欧州	北米
最短	9.0	9.0	25.4	3.0	6.3	90.0
最長	40.5	10.5	36.6	64.5	69.1	98.4
平均	18.6	9.6	31.3	21.4	24.7	95.3
標準偏差	6.7	0.7	5.1	15.0	10.2	4.6

表3 (概算)超大型船担当岸壁クレーン数と荷役コンテナ数

単位 : 個	中国	日本	東南ア	中東	欧州	北米
3基	2,236	1,146	3,758	2,568	2,966	11,431
5基	3,727	1,910	6,263	4,280	4,943	19,052
7基	5,218	2,674	8,769	5,991	6,920	26,673

※ コンテナ1個当たりの荷役時間を1.5分と仮定。

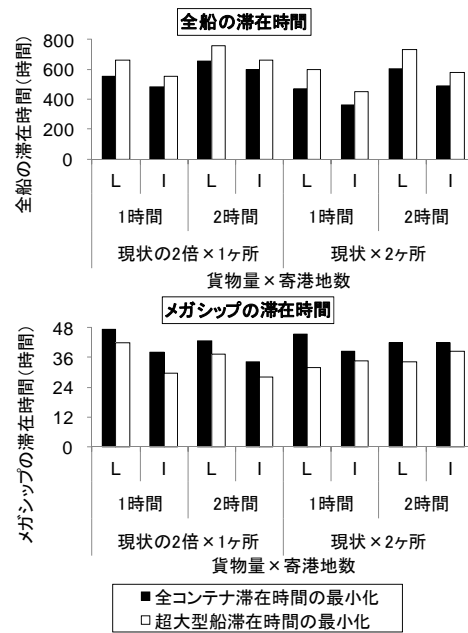


図6 貨物量と寄港地数での滞在時間

(2)で構築した荷役時間推定式を用いて、荷役方式別のターミナルレイアウトを対象に荷役時間データを得る。(3)ではメガシブ1隻を対象に複数のフィーダー船間とのコンテナフローを対象としたコンテナ配置問題であったが、ここではより現実的な問題へと発展させるために、一定期間にやって来る複数の基幹航路の船を対象として、コンテナ配置を考える。

①問題の概要： 決定要素は陸揚げコンテナの保管場所とし、評価指標は必要保管ブロック数と荷役にかかる時間の合計の最小化の多目的問題として扱う。利用条件として、ヤードブロックを複数コンテナグループでシェアできる等がある。

②事例計算： 数値実験の途中であり、現実的な問題規模(1週間程度を1ユニットとした複数ユニットから成る一定期間)での計算実験はまだ行っていない。ただし計算結果を得るのが比較的早い小規模問題を想定して、

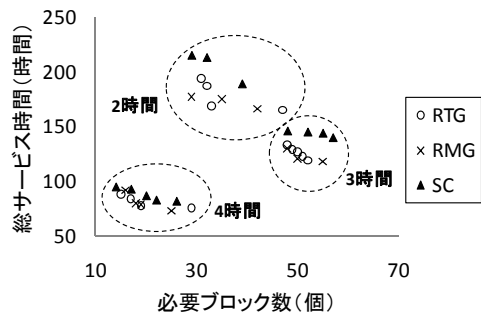


図7 マシン別のパレート解

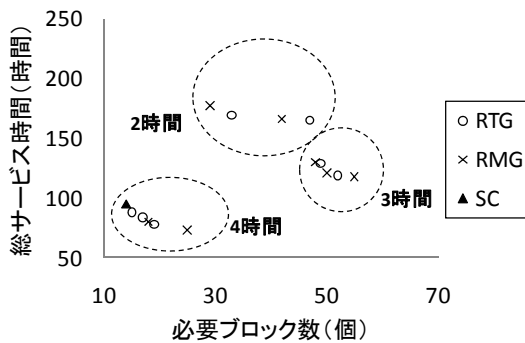


図8 マシン区別なしでのパレート解

結果の傾向をみることも可能である。そこで、問題の規模を1日1ユニットとした、計算結果を示す。

パラメータには、船の到着間隔（平均2、3と4時間の3パターン）、船の係留バース、マシン別の荷役時間等がある。

計算結果は多目的問題であるため、パレート解で示され、マシン別の分布を図7に、全マシン間でパレート解を求めたものが図8である。平均到着間隔が短いと、対象となる船の隻数が増える。総サービス時間は隻数が多いと長くなっている。必要保管ブロック数は複数コンテナグループでシェアできることから、必ずしも必要個数が増えてはいない。マシン間の比較は、図8の方が顕著であるが、SCは4時間には解として存在するが、2と3時間にはRTGとRMGのみになっている。従って、比較的混み合う港ではRTGとRMGが向いているが、SCは混んでいない港では必要ブロック数を抑えた活躍の場があることがわかった。

#### (5) 今後の展望

(4)で示された計算結果は、かなり小規模な問題に限定されているため、より現実的な問題規模でも同様の事が言えるのかを検討する必要がある。文献調査や意見交換の中から、またターミナル内のレイアウトを考慮した問題へ発展やアルゴリズムの改良による新解法の提案が期待できるものである。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- ① 西村悦子, 今井昭夫, 超大型船寄港ターミナルでのヤード配置計画に及ぼすコンテナ取扱量の影響, 土木計画学研究・論文集, 査読有, Vol.27, No.4, 795-802, 2010
- ② Etsuko Nishimura, Junya Sunagawa, Container storage problem at terminals where the mega-containership calls with multiple QCs assigned to a feeder ship, Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation and Logistics (T-log2010), 査読有, available in CD-ROM, 2010/9
- ③ Etsuko Nishimura, Akio Imai, Yoshiyasu Urushibara, Container storage planning by meta-heuristics, Proceedings of the 1st International Conference on Logistics and Maritime Systems, 査読無, available in CD-ROM, 2010/9
- ④ 西村悦子, コンテナターミナルにおける荷役スケジューリングに関する文献調査, 日本航海学会誌NAVIGATION, 査読無, No.174, 27-36, 2010/9

〔学会発表〕(計 4 件)

- ① 陳麗エイ, 西村悦子, 今井昭夫, 荷役方式を考慮したコンテナ船の荷役作業時間推定モデルの構築, 第42回土木計画学研究・発表会, 2010/11
- ② Etsuko Nishimura, Storage arrangement on the yard for transshipment containers by meta-heuristics, 24th European Conference on Operational Research (EURO XXIV), 2010/7
- ③ 西村悦子, 今井昭夫, 超大型船とフィーダー船間のフローを考慮したコンテナ配置問題に関する研究, 土木計画学研究・講演会, 2009/11
- ④ Etsuko Nishimura, Container Storage Planning with Containers Flow between the Mega-containership and Feeder Ships, International Symposium on Maritime Logistics and Supply Chain Systems, 2009/4

### 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: 6031784

#### (2) 研究分担者

なし

#### (3) 連携研究者

なし