

# 荷役方式による コンテナ最適配置への影響

西村 悦子<sup>1</sup>・今井 昭夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 神戸大学准教授 海事科学研究科 (〒658-0022 兵庫県神戸市東灘区深江南町5-1-1)  
E-mail: e-nisi@maritime.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 神戸大学教授 海事科学研究科 (〒658-0022 兵庫県神戸市東灘区深江南町5-1-1)  
E-mail: imai@maritime.kobe-u.ac.jp

本研究では、国内外の大規模コンテナターミナルで使用される荷役方式に着目し、そこで主として使用される荷役機器とターミナルレイアウトによる特徴がコンテナの配置計画にどのような違いをもたらすかを検証する。具体的には荷役機器の違いは、コンテナヤードの保管エリアにあるコンテナブロック間の搬送車両の走行通路の位置の違いで移動に要する時間が異なること、さらに荷役機器の大きさや機動性に伴ってターミナル全体の保管容量が異なることがある。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。港の混み具合や係留パターンで違いをみた所、タイヤ型門型クレーンで評価が高かったが、パレート解(代替案)の数はストラドルキャリアで多く、その評価が高いという結果になった。

**Key Words :** container terminal, storage arrangement, handling equipment

## 1. はじめに

近年、シンガポールや中国等の主要港湾はその規模の拡大、サービス水準の向上ならびにコスト低減の実現から、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著しく、積載容量10000TEUを超える超大型船が登場し、5年が経ち、100隻を超える超大型船がアジアと欧州・北米を運航している。こうした中、日本への超大型船の寄港実績はかろうじてあるが、取扱量が非常に少ないのが現状であり、同様に他船型船の寄港も他の主要港湾に比べると格段に少ない。国策として、国際コンテナ戦略港湾指定により、当該港湾に超大型船の寄港を期待しているが、ハード面だけでなく、ソフト面での工夫も必要である。

超大型船の航路形態は、その導入効果を発揮するために、ハブ港間で利用され、従来船より寄港地数を減少させることに効果があるが、これは一度に扱うべき貨物量が増大することを意味する。当該港湾での取り扱いの大多数はトランシップコンテナとなり、船間での貨物の移動が今まで以上に頻繁に起こり得る。そこで本研究では、トランシップコンテナを対象に、コンテナヤード内にコンテナを効果的に配置する方法を提案する。

## 2. 既往の研究

コンテナの取扱いで問題の複雑さが異なり、コンテナ単位とコンテナグループ単位に分けられる。コンテナ単位で扱う問題では、文献(1)は本船積み作業中のコンテナ再配置回数の最小化、文献(2)は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値を最小化している。文献(3)ではコンテナを取り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)回数を最小化している。文献(4)は計画対象期間内に、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しており、これは両者の時間帯がずれてコンテナ数の差が小さいと、必要スペースが少なくて済むという考え方からである。

コンテナグループ単位で配置する問題は以下のようになる。文献(5)ではRTGの移動時間の最小化、文献(6)ではトレーラーとRTGの移動コストの最小化している。また文献(7)ではある時刻の特定ブロックで荷役されるコンテナ数と待機中コンテナ数の差を最小化してブロックに保管されるコンテナ数を決定し、次にコンテナの移動コストを最小化するために、保管場所と係留位置間の移動距離を最小化している。

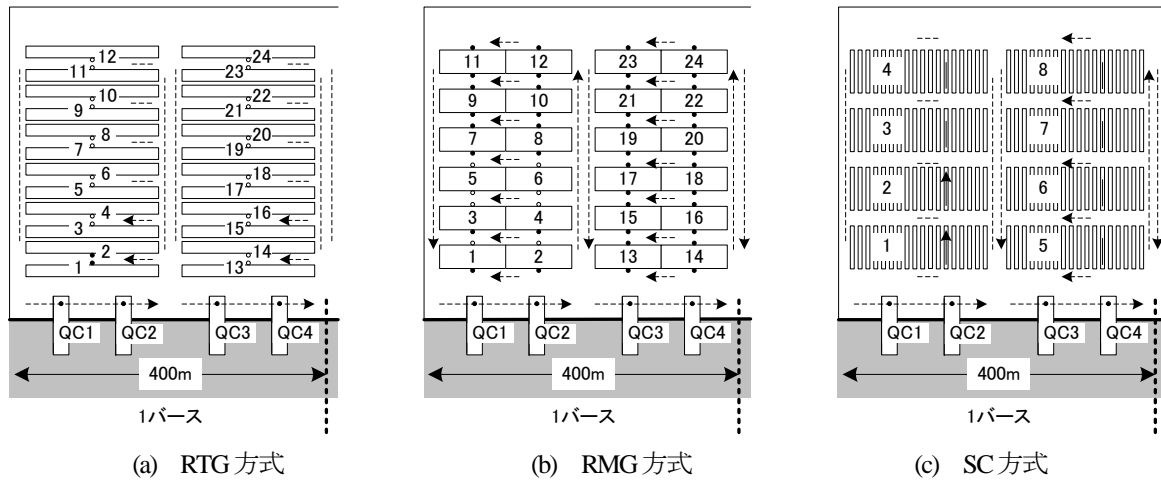


図-1 1バースにおける荷役方式別のコンテナブロック配置

また超大型船が寄港するコンテナターミナルを対象として、コンテナヤード空間利用の最適化を行ったもの(8)、(9)と(10)がある。文献(8)は超大型船1隻と複数フィーダー船間での貨物の移動を想定し、トランシップコンテナの一時保管場所を決定する問題を扱っている。文献(9)ではフィーダー船担当の岸壁クレーン(QC)数を複数基対応できる問題に拡張し、(10)ではコンテナのフローを超大型船からフィーダー船への一方向から、両方向へ拡張した。本研究では複数の船間のコンテナフローを可能とし、より一般的な問題に拡張した点が先行研究との違いである。

また文献(8)から(10)や、他の研究グループの研究では、荷役方式を世界で最も多く利用されている、ラバータイヤ式門型クレーン(Rubber Tired Gantry Crane, RTG)を前提としている。しかしながら、国内の公共ふ頭、欧州のアントワープ港等ではストラドルキャリア方式(Straddle Carrier, SC)が好まれ、また最新のターミナルではレールマウント式門型クレーン(Rail Mounted Gantry Crane, RMG)が導入され、自動化・無人化が進んでいる。したがって、本研究では荷役方式の違いを考慮することによって、どういった港湾においてどの方式が向いているのかを明らかにし、その議論できる材料を提供できるモデルを構築するのが本研究の目的である。

### 3. 荷役方式別のモデル化と荷役時間

コンテナ配置計画に荷役方式の違いを反映させるため、計画立案に使用するデータに着目し、岸壁とヤードエリア間の作業時間が荷役方式によって異なることから、既存研究(11)で提案したQC別の作業時間推定モデルを利用する。モデル構築の詳細手順は文献(11)を参照してもらいたい。なお、おおまかな流れは以下のようなものである。実際の港湾で計測するデータのみでは情報量が少ないため、コンテナターミナルの本船荷役シミュレーションモデルを

構築し、様々なケースにおける荷役時間と関連情報を得て、これらを元に重回帰分析を行って荷役方式別の時間推定モデルを構築する。

本船荷役シミュレーションのモデル化範囲と荷役方式の区別、提案した時間推定式を以下に示す。

#### (1) 荷役シミュレーションのモデル化範囲

本モデルでは本船荷役のみを対象とし、陸側の荷役は対象としない。つまり、船の到着、係留中の荷役作業(QCによる荷役、ヤードトレーラーによる搬送、ヤードクレーンによる荷役)、当該船の出港までを表現し、与えた計画期間にやって来る複数船を対象とする。文献(4)にあるように、シミュレーションモデルの現状再現性は確認済みである。

また図-1には、荷役方式別のブロック配置の違いを示し、それに伴ってヤードトレーラーやSCがコンテナの搬送を行える経路を示す。1バース分のみであるが、保管容量を統一させるために、各方式のブロック数と各ブロックの容量はそれぞれ、RTGで24と624(=6×4×26)、RMGで24と624、SCで8と1872(=624×3)としている。

RTGはコンテナブロックの片側、RMGは両側で荷役を行えるため、後者の方が早く荷役が行えそうであるが、スプレッダーが各マシンに1つしかないため、運用上はRTGとほとんど変わらないモデルとなっている。

#### (2) 荷役作業時間推定モデル

QC毎の荷役作業時間に影響を与えると考えられるのは、当該QCで扱う荷役コンテナ数、係留バースと荷役コンテナの蔵置位置間の移動距離である。移動距離の計測は、保管場所はコンテナごとに異なり、常に複数存在する。しかし、一般にその場所がターミナル内の同一バース背後の区画でまとめておかれることから、船別・QC別でまとめて扱われるコンテナの移動距離はそれら

の平均値を用いる。

$$y = e^{0.617x_1^{0.996}e^{0.332x_2x_3^{-0.901}e^{-0.149x_4}e^{-0.157x_5}} \quad (1)$$

ここで、各変数の意味は以下の通りである。

- $y$  荷役作業時間 (時間)
- $x_1$  荷役コンテナ数 (×100個)
- $x_2$  係留バース (QC配置位置) と荷役コンテナの蔵置位置間の移動距離 (km)
- $x_3$  QCの投入基数 (ここでは1とする。)
- $(x_4, x_5)$  0-1ダミー変数 (RTGモデルなら(1,0)、RMGモデルなら(0,1)、SCモデルなら(0,0)とする)

式(1)は本船が入港してから荷役を終了し、出港するまでの時間を計測できるものとして開発したが、QC投入台数を1基にすることで、QC1基で複数コンテナから成るコンテナグループを荷役する場合の作業時間が求められることが明らかとなっている。つまり、式(1)の寄与率は0.98以上であり、有意水準0.05におけるF値ならびに各変数のt値はいずれの荷役方式に対しても、統計的に有意であることが示された。

そこで上記の式を用いて、コンテナ配置計画に荷役方式の区別を反映させることにする。

#### 4. 本問題の概要

##### (1) 本計画問題の考え方

コンテナの取扱いは、コンテナ単位ではなく、仕向地別・船別に複数コンテナから成るコンテナグループとする。従って、各コンテナグループは当該ターミナルまで運んできた船 (移入に利用する船) と、一旦保管後、積む予定の船 (移出に利用する船) の情報は所与とする。各コンテナグループの荷役作業時間は、ヤードの保管場所と先の両船の係留位置から3. の時間推定モデルによって得られる。計画対象とする船は、全期間をいくつかの時間長で区分し、いずれの期間に到着し、荷役を行うかで判断する。船の到着時刻は出港時刻の計測のためには使用するが、保管場所決定のために、到着時刻そのものは採用しない。つまり、図-2には、ターミナル内のコンテナフローを示し、時系列での事例を示している。横軸に時間軸を取り、計画3期間目の途中までが示されている。船1から7までの到着を示し、スペースの都合で、船1、5および7がそれぞれ期間1、2と2に到着し、期間1、2と3に出港しているのを示す。船1と5は到着した期間に出港するが、船7は次の期間に出港しているのが分かる。船1の揚げ作業として、船5と7に積載予定のコンテナを一旦ヤード内のどこかに保管し、すでにヤード内で待機していたコンテナを積載して出港する。船5は陸揚げ作

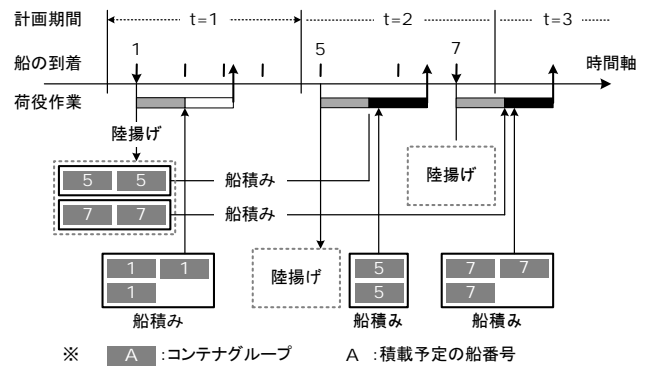


図-2 時系列でのターミナル内のコンテナフロー

業後、船1が運んできたコンテナと既にヤードに待機済みのコンテナの両方を積載して出港する。船7は船5と同様である。

このように、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  $t=1$  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て。
- 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。

##### (2) 本問題の定式化

本問題を数学モデルとして定式化するが、使用するパラメータと変数は以下のようである。

###### a) パラメータ

- $t (= 1, \dots, NT) \in T$  計画期間
- $k (= 1, \dots, NG_t) \in G_t$  期間  $t$  に到着し、陸揚げされるコンテナグループ番号
- $i (= 1, \dots, NG) \in G$  全期間でのコンテナグループ番号 (なお、 $NG = \sum_{t \in T} NG_t$ ,  $G = \cup_{t \in T} G_t$  を意味する)
- $j (= 1, \dots, NV) \in V$  全期間での船番号

$U_{ij}$  コンテナグループ  $i$  を船  $j$  が運んできたなら 1, そうでなければ 0 である 0-1 整数値

$L_{ij}$  コンテナグループ  $i$  を船  $j$  に積むなら 1, そうでなければ 0 である 0-1 整数値

$B_j$  船  $j$  の係留位置

$S_j$  船  $j$  の荷役開始時刻

$A_{tj}$  計画期間  $t$  に船  $j$  が到着するとき 1, そうでないとき 0 である 0-1 の整数値

$C_{Bjl}$  船  $j$  の係留位置からヤードブロック  $l$  までの移動に要する時間

$CP_l$  ヤードブロック  $l$  の保管容量

$F_t$  期間  $t$  の完了時刻

$NL$  全ブロック数

$M$  非常に大きな値

## b) 変数

$x_{gl}$  コンテナグループ  $g$  がヤードブロック  $l$  に保管されるとき 1, そうでないとき 0 である 0-1 の整数変数

$y_{tl}$  期間  $t$  の開始直前の時点で, ヤードブロック  $l$  を占有するコンテナグループ数

$d_j$  船  $j$  の出港時刻

$\alpha_{tj}$  船  $j$  が期間  $t$  に出港するとき 1, そうでないとき 0 である 0-1 の整数変数

## c) 定式化

Minimize  $(f_1, f_2)$  (2)

$f_1 = \sum_{i \in G} \sum_{l \in Y} \{ \sum_{j \in V} C_{Bjl} U_{ij} + \sum_{j' (\neq j) \in V} C_{Bj'l} L_{ij'} \} x_{il}$  (3)

$f_2 = \max_{t \in T} \sum_{l \in Y} (y_{tl} + \sum_{i \in G} \sum_{j \in V} A_{tj} U_{ij} x_{il}) / NL$  (4)

Subject to

$\sum_{l \in Y} x_{il} = 1 \quad \forall i \in G$  (5)

$y_{tl} + \sum_{i \in G} A_{tj} U_{ij} x_{il} \leq CAP_l \quad \forall t \in T, l \in Y$  (6)

$d_j = S_j + \sum_{i \in G} \sum_{l \in Y} C_{Bjl} U_{ij} x_{il} + \sum_{i (\neq i) \in G} \sum_{l (\neq l) \in Y} C_{Bjl} L_{ij} x_{il}$   
 $\quad \forall j \in V$  (7)

$d_j \leq F_{t-1} + M \alpha_{tj} \quad \forall t \in T, j \in V$  (8)

$F_{t-1} < d_j + M(1 - \alpha_{tj}) \quad \forall t \in T, j \in V$  (9)

$d_j \leq F_t + M(1 - \alpha_{tj}) \quad \forall t \in T, j \in V$  (10)

$F_t < d_j + M \alpha_{tj} \quad \forall t \in T, j \in V$  (11)

$y_{t+1,l} = y_{tl} + \sum_{k \in G_t} A_j U_{kj} x_{kl} - \sum_{i \in G} \sum_{j \in V} \alpha_{tj} L_{ij} x_{il}$   
 $\quad \forall t \in T, l \in Y$  (12)

$x_{il} \in \{0,1\} \quad \forall i \in G, l \in Y$  (13)

$y_{tl} \geq 0 \quad \forall t \in T, l \in Y$  (14)

$d_j \geq 0 \quad \forall j \in V$  (15)

$\alpha_{tj} \in \{0,1\} \quad \forall t \in T, j \in V$  (16)

## d) 式の説明

式(2)は式(3)と(4)の 2 目的最小化を示しており, 式(3)は岸壁からヤード内の保管場所まで, 保管場所から岸壁

	1										2									
コンテナグループ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
移入に利用する船	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8
移出に利用する船	5	7	7	5	5	6	7	7	5	10	11	9	12	10	12	13	9	11	9	11
ヤードブロック	6	8	2	7	1	12	1	3	6	11	1	8	2	7	5	5	1	3	6	10

図-3 個例表現事例

までの荷役にかかる時間の合計, (4)はブロック最大占有率を示す. 制約式(5)では, 各コンテナグループはいずれかのブロックに必ず 1 回保管しなければならないことを意味する. 式(6)は各ブロックには容量があり, コンテナグループの合計が容量を超えなければ, 当該ブロックに同時に保管できることを保証する. 式(7)では各船の出港時刻を定義している. 式(8)から(11)は出港時刻を表す変数  $d_j$  と, 当該期間  $t$  で出港するか否かを表現する変数  $\alpha_{tj}$  との関係を示す. 式(12)は当該期間  $t$  における初期状態でのスペースの空き状況更新後を示し, 次期間  $t+1$  の初期状態を定義する.

式(8)から(11)を詳しく説明する. 当該期間  $t$  の完了時刻を  $F_t$  とすることから前期間  $t-1$  の完了時刻  $F_{t-1}$  から  $F_t$  の間に当該船  $j$  が出港するならば  $\alpha_{tj} = 1$  それ以外なら  $\alpha_{tj} = 0$  となる. つまり  $\alpha_{tj} = 1$  のとき, 式(9)より  $F_{t-1} < d_j$ , 式(10)より  $d_j \leq F_t$  となり, 前期間  $t-1$  の完了時刻  $F_{t-1}$  から  $F_t$  の間に当該船  $j$  が出港することを保証する. 反対に,  $\alpha_{tj} = 0$  のとき, 式(8)より  $d_j \leq F_{t-1}$ , 式(11)より  $F_t < d_j$  となり, 前期間  $t-1$  の完了時刻  $F_{t-1}$  より前, または  $F_t$  より後に当該船  $j$  が出港することを意味する.

## 5. 解法

本研究では, 遺伝的アルゴリズムを利用して近似解を求めることにした. 本節では, 解の表現方法, GA の処理, 配置場所の決定の制約となるヤードエリア空き状況の更新アルゴリズムについて述べる.

### (1) 解の表現方法

図-3 に解の表現事例を示す. 複数期間の計画を行うが, 当該事例では 2 期間分を示す. コンテナグループ 1~10 が期間 1 に, 11~20 が期間 2 に到着することを意味しており, それらの移入に利用される船番号をそれぞれ 1~4, および 5~8 で示されている. また各コンテナグループは一旦ターミナル内のいずれかのヤードブロックに保管されたのち, 所与の移出に利用する船に積載され, 次の港に向けて出発する. なお当該期間に到着するコンテナが当該期間に到着する別の船に積載されることはほとんどないため, 次の期間以降にやって来る船に積載することとし, 本事例においても, 期間 1 では船番号 5 以降, 期間 2 では船番号 9 以降が移出に利用する船として与えられている. このように, 各コンテナグループには

移入と移出に利用する船の情報があり、各コンテナグループは容量制約を満足するようなチェックを入れながら、ヤードブロックにランダムに割当てられる。本事例では、コンテナグループ 1 と 9, 5 と 7 がそれぞれブロック 6 および 1 に保管されることを意味する。同様に期間 2 では、コンテナグループ 11 と 17, 15 と 16 がそれぞれブロック 1 および 5 に保管される。

また、本研究で使用する遺伝演算とGAパラメータは予備実験の結果、以下のものを使用した。

## (2) 遺伝演算

選択 : トーナメント戦略+エリート保存戦略

交叉 : 部分一致交叉 (詳細は文献(12)を参照)

突然変異 : 変異率により変異を起こすと判断されたときの処理は以下に示す。

任意にコンテナグループ番号を 1 つ選択し、その保管場所を他のブロックにランダムに指定する。当該ブロックの容量制約を満足していれば採用し、そうでなければ制約を満足する保管場所が見つかるまで探す。次に当該コンテナグループの計画期間より後の計画期間に処理を行うコンテナに対して、今回の保管場所変更に伴って、保管容量制約を満足しないケースが出る可能性がある。したがって、突然変異で保管場所を変更したコンテナグループより後の計画期間に処理されるコンテナグループに対して、制約を満足するための調整を行う。

なお GA パラメータである個体群サイズは 100, 突然変異率は 0.09, 世代数 1000 とする。

## 6. 数値実験

### (1) 使用データの概要

全対象期間を 1 週間 (7 日間) とし、その間にやってくる船を対象とする。ターミナルの規模は、400m×4 バース=1,600mの直線バース、奥行き 400m とする。先の図-1 で示したものは 1 バース分のみであるが、これを 4 つ横に並べた形状となり、全保管容量はいずれの荷役方式も同一としている。

また各船の到着分布は、平均到着間隔 3 と 4 時間の指数分布とし、それぞれ乱数の種により 5 パターン設定する。また荷役コンテナグループ数も 5 パターン設定し、荷役時間計測に利用している。係留位置は、各バースの中央に 1 隻のみ係留可能とするケース (離散型) , およびバースの境界関係なく細かく場所を決定するケース (連続型) の 2 種類とする。つまり、船の到着 2×5 パターン、荷役個数 5 パターン、係留パターン 2 種類を組み合わせた合計 100 ケースの結果について、荷役方式の違いで比較を行う。

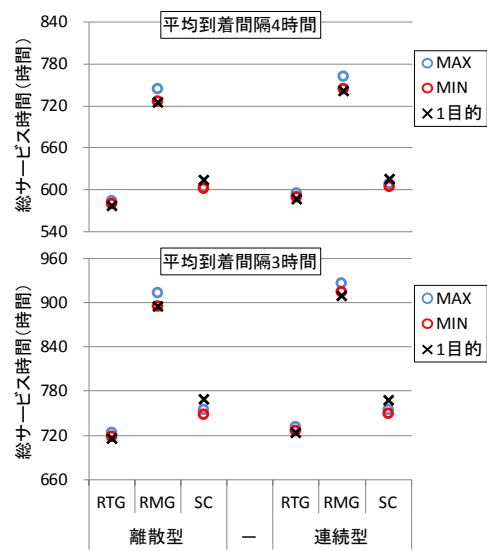


図-4 総サービス時間

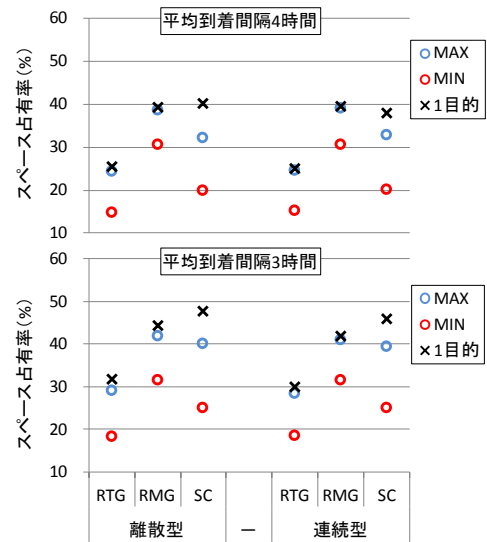


図-5 スペース占有率

表-1 パレート解の個数

到着間隔		RTG	RMG	SC
4 時間	離散型	5.4	3.8	4.8
	連続型	5.3	3.7	5.2
3 時間	離散型	5.0	2.6	5.6
	連続型	4.7	3.3	5.4

### (2) 計算結果

図-4と図-5にそれぞれ総サービス時間とスペース占有率を示し、表-1にパレート解の個数を示す。図-4と図-5にはパレート解の最大値と最小値、ならびに総サービス時間のみを最小化した1目的問題で得られた値を示す。

まず目的関数に、スペース占有率最小化を含む多目的問題として扱う効果を、総サービス時間最小化の1目的問題の結果と比較することで見る。図中の○印がパレート解による値を示し、青色が最大、赤色が最小を意味する。また×印が1目的問題の解の値を示す。総サービス時間はRTGとRMGでの最小値が1目的と同程度か小さい

が、SCでの値は最大値より1目的が大きい。反対に、スペース占有率は全荷役方式ともにパレートの最大値より1目的が大きく、SCでの値は他の荷役機器より大幅にその差が大きい。つまり、RTGとRMGでは多目的化の効果は時間延長をある程度抑えた上で、スペース占有率低く抑える効果があることは確認できる。しかしながら、SCではサービス時間が短くなるだけでなく、スペース占有率も低くなり、多目的化の効果が大きいのがわかる。

次に荷役方式間で比較すると、総サービス時間およびスペース占有率ともに、RTGが最短・最小であり、次いでSC、RMGの順となっている。容量がある程度確保できることと、小回りが利くことが大きな要因であるといえる。

係留位置の違いで比較すると、総サービス時間は離散型の方が短くなっている。これは離散型では必ず、係留位置の直近に、ブロック間にある岸壁垂直方向の通路が位置することから、これらの位置関係が影響している。

また得られたパレート解の個数は船の到着間隔によって異なり、平均4時間の場合RTG、SC、RMGの順に多く、平均3時間の場合SC、RTG、SCの順に多い。一般にパレート解の数はユーザの選択できる代替案を意味することから、解の個数が多い方が良いと評価される。したがって、比較的すいていると判断できる4時間の場合には、RTGが最も評価が高かったが、それに比べて混んでいる3時間の場合にはSCの方が評価が高く、混み具合によって、評価が異なることが分かる。

## 7. おわりに

本研究では、荷役方式の違いを通路設定の仕方と保管容量に表現し、どのような状況下のときに、いずれの方式が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。港の混み具合や係留パターンで違いをみた所、いずれのケースもRTGで最も良い結果が得られたが、パレート解（ユーザが利用できる代替案）の数はSCが多く、SCの評価が高いという結果になった。全体として、保管容量がある程度確保でき、極端に遠回りをしなくて良い、RTGが評価が高いが、さらにどのような状況下にあるとき、SCの効果が高くなるかを調べていきたい。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（21710153）および科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）（23710169）の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) Kim, K.H., Park, Y.M., Ryu, K.R.: Deriving decision rules to locate export containers in container yards, *European Journal of Operational Research*, Vol.148, pp.92-101, 2003.
- 2) Kozan, E., Preston, P.: Genetic algorithms to scheduling container transfers at multimodal terminals, *International Transactions in Operational Research*, Vol.6, pp.311-329, 1999.
- 3) Kim, K.H., Kim, H.B.: Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals, *International Journal of Production Economics*, Vol.59, pp.415-423, 1999.
- 4) Bazzazi, M., Safaei, N., Javadian, N.: A genetic algorithm to solve the storage space allocation problem in a container terminal, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56, No.1, pp.44-52, 2009.
- 5) Kim, K.H., Bae, J.W.: Re-marshaling export containers in port container terminals, *Computers & Industrial Engineering*, Vol.35, pp.655-658, 1998.
- 6) Kim, K.H., Park, K.T.: A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers, *European Journal of Operational Research*, Vol.148, pp.92-101, 2003.
- 7) Zhang, C., Liu, J., Wan, Y.W., Murty, K.G., Linn, R.J.: Storage space allocation in container terminals, *Transportation Research Part-B*, Vol.37, pp.883-903, 2003.
- 8) Nishimura, E., Imai, A., Janssens, G.K.: Container storage and transshipment marine terminals, *Transportation Research Part E*, Vol.45, pp.771-786, 2009.
- 9) Nishimura, E., Sunagawa, J.: 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)*, available in CD-ROM, 2010.
- 10) 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, Vol.27, No.4, pp.795-802, 2010.
- 11) 西村悦子, 陳麗榮: 荷役方式を考慮した本船と岸壁クレーンの荷役時間推定モデル構築に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5 (土木計画学研究・論文集第 28 巻), pp. I\_869-I\_878, 2011.
- 12) Nishimura, E., Imai, A., Papadimitriou, S.: Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithm, *European Journal of Operational Research*, Vol.131, pp.282-292, 2001.

(2012. 8. ??受付)