

メガシップ対応港湾におけるヤードトレーラーのルーティングに関する研究*

Yard-trailer Routing at the Container Terminal for Mega-containerships

西村悦子**、今井昭夫***、金子仁****

By Etsuko NISHIMURA, Akio IMAI and Hitoshi KANEKO

1. はじめに

近年、外航船社の吸収合併や協調配船が進む中、これを背景に規模の経済性を目的としたコンテナ船の大型化が進んでいる。この大型化がどこまで進むかは明らかではないが造船技術上では不可能ではないと言われている。したがって、超大型コンテナ船（以降、メガシップと呼ぶ）の就航可能性に影響を与える要因は、当該船を満載にするだけの貨物を集積できるかと、仮に貨物が集まっても、寄港地が大幅に減少して、一度に取扱う貨物が膨大になることが予想されるため、2 次輸送網への接続をうまく行うことが重要となる。そこで本研究では、コンテナヤードのオペレーションに着目し、トランステナー（ヤードクレーン、YC と呼ぶ）方式で使用するヤードトレーラーをコントロールする方法を提案する。

メガシップを有効に稼働させるには、寄港地数が減少し、それに伴って港で1度に扱う貨物量は膨大になるであろう。またメガシップの係留バースには、係留岸壁の有効利用の観点から、当該船が不在である期間に他船の利用も認めるべきである。そのため、本研究では船の係留位置が寄港毎に決定されるマルチユースターミナル（MUT）での運用を考える。MUT では、船の係留バースの背後ヤードに当該船舶の荷役コンテナが蔵置されるとは限らないため、担当ガントリークレーン（GC）と蔵置位置の距離が離れた時には、荷役時間が長くなる可能性もある。単純にこの問題を解決するには、トレーラーの台数を増せばよいが、トレーラーヘッド数が増えればドライバー数も増えるため、人件費増につながる。したがって、本研究ではなるべくトレーラー台数を増やさないう、特定 GC に割当てず、複数の GC に複数のヤードトレーラーを割当てる動的な運用を考える。

（1）対象とするヤードトレーラーの概要

ヤードトレーラーは以下の3種類を対象とする。

①従来型トレーラー（TR）：ヘッド1台、シャーシ部分が1台で構成される、国内で一般的なタイプである。4

台が特定の GC1 基に割当てられ、岸壁－蔵置ヤード間を往復輸送する。

②Automated Guided Vehicle（AGV）：ロッテルダム港等で使用されており、ヘッド部分がなく、シャーシ部分のみの無人走行可能なものである。

③マルチトレーラー（MTR）：トレーラーヘッド1台が複数の連結シャーシを牽引し、ヤード内を巡回して担当 GC に戻る。基本的に、従来型と同様の運用形態である。

（2）既往の研究

次に、コンテナターミナルの荷役機器の作業シーケンスに関する研究について述べる。

①YC の作業シーケンス^{1)~6)}

まず本船荷役を対象とする研究には、ヤード内の荷役コンテナの保管位置を所与とし、当該船の荷役時間が最小になるように船への積みつけ順を決定するもの^{1)~3)}、YC 台数の決定³⁾を行った研究がある。

その他に、輸出入の区分、本船荷役であるか陸側外来用の荷役であるかという区別を明確にせず、ヤードにやってきたコンテナの処理が制限時間以内に終了しないもの（未処理コンテナ数）を最小化するもの^{4)~6)}、1ブロックに YC1 基と限定し、陸側の荷役つまり外来トラックを対象に、これが待たせる時間を最小化するもの⁶⁾がある。

② AGV⁷⁾、ストラドルキャリア^{8)~9)}の作業シーケンス

文献 7) と 8) は Dial-a-Ride 問題、つまりすべての地点を1つのループで訪問しなければならない、という制約の元で問題を扱っており、あまり現実的ではない。また文献 9) では、総処理時間の最小化で計画しているが、コンテナの受け渡し場所での待ちを含めた所要時間を既知としており、現実的ではない。

③ TR の作業シーケンス^{10)~11)}

本船荷役は積み作業だけをモデル化しているもの¹⁰⁾、コンテナサイズを考慮せず、1トレーラーに1コンテナのみ積載可能であるもの¹¹⁾がある。

したがって、コンテナサイズや貨物の複数積載可能を考慮したものはない。

2. ルーティング計画の概要

図-1は横軸に連続3バース、縦軸が時間軸を示し、船1と4がバースAに、船3、5と7がバースBに、船2と6がバースCに係留され、バースを占有する状態を

* キーワード：ターミナル計画、港湾計画

** 正会員 工博 神戸大学助手 海事科学部貨物輸送科学講座
(〒658-0022 神戸市東灘区築港5-1-1, TEL: 078-431-6258,
FAX: 078-431-6365, E-mail: e-nishi@maritime.kobe-u.ac.jp)

*** 正会員 工博 神戸大学教授 海事科学部貨物輸送科学講座
(〒658-0022 神戸市東灘区築港5-1-1, TEL: 078-431-6261,
FAX: 078-431-6365, E-mail: imai@maritime.kobe-u.ac.jp)

**** 非会員 日本海洋科学 海事事業グループ

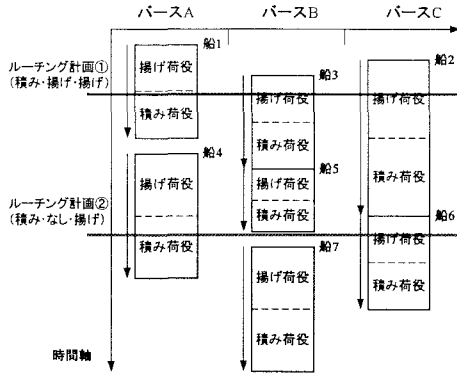


図1 ルーティング計画の概要

示す。時間軸に沿ってターミナル全体の作業状況は変化するが、本ルーティング計画はある作業組み合わせが変化した直後に計画し、次の変化まで同じルーティングで運用を行う。例えば、ルーティング計画①の時点では、バースAで船1が揚げから積み作業に変化している。そこでこの時点で計画を行うが、このときバースA、BおよびCがそれぞれ積み作業、揚げ作業および揚げ作業という組み合わせで、ヤード内のコンテナ搬送の往路が決まり、これを元に計画する。また計画②の時点では、バースBで船5が積み作業を終了して作業なしとなり、バースAが積み作業、Bが作業なし、Cが揚げ作業という組み合わせで計画される。

3. 本問題の定式化

コンテナを受け渡す場所 (GC 下および YC 下) を1つのノードとして捉え、これらを巡回するルーティング問題として本問題を扱うことができる。以下に評価関数、前提条件および定式化を示す。

(a) 目的関数：総走行距離の最小化

(b) 前提条件：①各 GC の作業状態は既知、②各コンテナの目的地は既知、③巡回路は複数形成可能、④積載量がトレーラー容量を越えない、⑤当該船舶に対し、揚げコンテナなら GC を先に訪問し、次にヤードへ搬送する。積みコンテナならヤード内の蔵置位置を先に訪問し、最後に GC の所に戻る。

コンテナターミナルでヤードトレーラーをコントロールするには、最低限上記のことを満足する必要がある。したがって本問題は、先行順序制約および容量制約のあるルーティング問題として定式化する。

(c) 定式化

本問題は式(1)–(8)のように定式化される。ここで使用する変数とパラメータは以下になる。

$i, j \in P$: 地点番号 (P : トレーラーの訪問地点集合)
 $k \in H$: トレーラー番号 (H : トレーラーの集合)

$Q \subset P$: GC 下の荷役地点集合

$Q^D \subseteq Q$: 揚げ作業中の GC 下の荷役地点集合

C_{ij} : 地点 i – j 間の距離

S^i : 当該 GC 下の荷役地点 i で揚げ積みするコンテナが蔵置される地点の集合

V^i : 地点 i で荷役されるコンテナ数 (地点 i でトレーラー上に積みなら正、降ろすなら負で表現する)

U^k : トレーラー k の積載容量

x_{ijk} : トレーラー k が地点 i から j へ走行するとき、そうでないとき 0 である 0–1 整数変数

y_{ik} : 地点 i のコンテナがトレーラー k によって搬送されるとき 1、そうでないとき 0 である 0–1 整数変数

w_{ik} : 地点 i を訪問する直前のトレーラー k 上のコンテナ数

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{k \in H} C_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i \in P} \sum_{k \in H} x_{ijk} = 1, \quad \forall j \in P \quad (2)$$

$$\sum_{j \in P} \sum_{k \in H} x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in P \quad (3)$$

$$w_{jk} = \begin{cases} 0, & \forall j \in Q^D, k \in H \\ \sum_{i \in P} (w_{ik} + V^i) x_{ijk} \leq U^k, & \forall j \in P/Q^D, k \in H \end{cases} \quad (4)$$

$$y_{ik} = \sum_{j \in P} x_{ijk}, \quad \forall i \in P, k \in H \quad (5)$$

$$\sum_{k \in H} k y_{ik} = \sum_{k \in H} k y_{jk}, \quad \forall i \in Q, j \in S^i \quad (6)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in P, k \in H \quad (7)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in P, k \in H \quad (8)$$

式(1)は総走行距離の最小化を示し、制約式(2)と(3)は各地点には1回のみ訪問することを意味する。式(4)は当該トレーラー k が地点 j を訪問するときその直前にトレーラー上のコンテナ数はトレーラー容量を越えないことを意味し、揚げ作業中の GC に訪問する直前は必ず 0 である。式(5)は地点 i を訪問するのは当該トレーラー k のみであることを示し、式(6)は当該 GC の荷役地点 i とそこで揚げ積みするコンテナの搬送先もしくは搬送元の地点 j を担当するトレーラー k は同一であることを保証する。

4. 解法

本問題は容量制約と先行順序制約のあるルーティング問題である。この種の問題は多項式時間の計算量で解けることが明らかではなく、適切な計算時間で最適解を求めることが困難な問題として知られている。そこで近似解法を用いるが、本問題を考える上で、各荷役地点で待ちを含めた荷役に要する時間を予測することは困難である。そこで、本問題の順路決定には待ち時間の要素を考慮せ

ず、距離のみで順路を決定する。本問題はあくまで部分最適化できるに過ぎず、現場での利用を考えると、次善解や同一目的関数値を持つ他の解を含めて代替案の提示が可能である方法が実用的であると考えられるため、繰り返し処理の中で常に複数解を保持しながら探索を行い、最終的に複数解を得ることが可能な遺伝的アルゴリズム (GA) を用いる。

(1) 個体表現方法

まず GA での個体表現方法を示す。地点を遺伝子で表現し、その並びを訪問順、その他の制約 (積載制限等) を満足しない地点は飛ばして訪問すると解釈する。図-2 に容量3個の MTR で、3基の GC が稼働している事例を用いて個体表現とルーティングの解釈の仕方を解説する。

(a) 仮定: 地点1、5と9をGC下、その他をヤード内のコンテナの蔵置位置とし、順に揚げ作業中、積み作業中、積み作業中であったとする。このとき、地点1で揚げたコンテナは地点2、3と4へ、地点5で積まれるコンテナは地点6、7と8から、地点9で積まれるコンテナは地点10、11と12から搬送されるとする。

(b) 訪問順の制約: 地点1は地点2、3と4より先に、地点6、7と8は地点5より先に、地点10、11と12は地点9より先に訪問しなければならない。

以上のことを満足するように個体表現を行ったのが図



図-2 個体表現方法

表-1 数値実験の概要

①バース数: 4バース、6バースの連続バース												
②トレーラーの容量: 6個、3個、2個、1個の4ケース												
③各バースのクレーン数: 1基、2基、3基の3ケース												
④コンテナの蔵置位置パターン: ターミナル全体でランダムに置く場合(パターン1)、いずれかのバース背後にまとめて置く場合(パターン2)の2ケース												
計算ケース	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
供用バース数	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
蔵置パターン	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
GC数	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

ー2である。地点番号下の貨物量はその地点でトレーラー上のコンテナがどれだけ増減するかを示す。左から貨物量の制約が満足しないものは飛ばして順路を決めると、巡回路1となり、残りをまた左から順に見ていき、残りを巡回路2としている。なおこの個体表現では、異なる遺伝子列が同一個体を表現する可能性があるため、目的関数値を求める処理の中で、遺伝子列から順路を見つける際に、その中の順路1つのみを採用し、それ以外は破棄するような形を取っている。

(2) GA の遺伝操作とパラメータ

本研究で使った GA の遺伝操作およびパラメータは、以下になる。

(a) 選択: トーナメント戦略 (トーナメントサイズ2) を用いた。つまり、2つの個体をランダムに選択し、両者を比較して適応度の高い方をペアの1つ目とし、同様のことを再度行って2つ目を見つける。

(b) 交叉: 部分一致交叉 (交叉率1.0) を用いた。まず2点交叉を行い、次に各地点を1回ずつ訪問するという制約を満足させる処理を行い、その後、先行順序制約を満足させるため、GCごとに次の処理を行う。

ステップ1: 当該GC担当の地点群を見つける。
ステップ2: その中でGC下地点を探し、当該GCが揚げ作業中ならステップ3、積み作業中ならステップ4へ。
ステップ3: これが担当GCの地点群の中で2番目以降に訪問するなら、1番目の地点を探し、GC下地点と一番目の地点の順番を入れ替える。
ステップ4: これが最後に訪問されなければ、最後に訪問する地点を探し、最後の地点とGC下地点の順番を入れ替える。

(c) 突然変異: 変異率を0.05とし、各個体に対し突然変異を起こすか否かを0-1実数乱数より決める。乱数値が0.05以下なら突然変異を起こし、0.05を超えるなら突然変異を起こさない。なお突然変異を起こす場合には、先行順序制約を崩さないようにランダムに2地点を選択し、それらを入れ替える。

(d) GA パラメータ: 個体群サイズおよび世代数はそれぞれ20および100とする。

5. 適用事例

提案する方法の有効性を示すために、人工的に生成させたデータおよび実績データを用いて数値実験を行う。

(1) 生成データによる傾向分析

表-1に示す各項目の組み合わせで、各ケース10個の問題を解き、それらの平均を示す。

(a) 単一スパンでの計算

容量 1 個の場合には、当該 GC の担当するヤード内の地点は 1 つとなり、図-3 に示すようにコンテナ積載での移動（往路）を 1 ノードとして捉えると、これを訪問する空荷での移動距離最小化問題として表現でき、以下に示す式(9)–(12)のように割当問題と同様の定式化が可能となる。ここで、

$l, m \in PD$: 往路番号 (PD : 往路の集合)

D_{lm} : 往路 l の終点と往路 m の起点間の距離

z_{lm} : 往路 l の終点と往路 m の起点間に空荷での移動があるとき 1、そうでないとき 0 である 0–1 整数変数

$$\text{Minimize} \quad \sum_{l \in PD} \sum_{m \in PD} D_{lm} z_{lm} \quad (9)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{l \in PD} z_{lm} = 1, \quad \forall m \in PD \quad (10)$$

$$\sum_{m \in PD} z_{lm} = 1, \quad \forall l \in PD \quad (11)$$

$$z_{lm} \in \{0, 1\}, \quad \forall l, m \in PD \quad (12)$$

式(9)は復路（空荷）での総走行距離の最小化を示し、制約式(10)と(11)は各往路には 1 回のみ訪問することを意味する。なお、同一地点間で部分巡回路が生成された場合、当該往路の終点から始点へ戻ると考えればよい。

したがって、容易に最適解を得ることができることから、図-4 には最適解と提案する方法での総走行距離の差 (GAP (%)) を次式より求めた。

$$\text{GAP} (\%) = \frac{TD_P - TD_{OPT}}{TD_P} \times 100 \quad (13)$$

TD_{OPT} : 最適解での総走行距離

TD_P : 提案する方法での総走行距離

ケース C、H、I および L のように、バース数やクレーン数が多く、問題の規模が大きくなると差が大きくなり、解の精度が悪くなる傾向がある。

図-5 は従来の運用形態を基準に、提案する方法でどれだけ総走行距離を短縮できるかを距離短縮率として以下の式で求め、10 個の問題の平均を示す。

$$\text{距離短縮率} (\%) = \frac{TD_F - TD_P}{TD_F} \times 100 \quad (14)$$

TD_F : 従来型の運用形態での総走行距離

どのケースも容量 1 個のときに 10~20% 短縮され、容量が増えれば短縮率が小さくなり、容量 6 個のときには反対に距離が長くなる。したがって、容量が大きくなれば、提案する方法の効果が発揮できない傾向にある。

(b) 複数スパンでの計算

表-2 のようにメガシップの荷役個数を変化させ、当該船と他船の荷役時間長がどう変化するかを調べた結果を図-6 に示す。なお荷役時間は、距離/TR の平均走行速度 15 (km/h) より求めている。また文献 12) より「コンテナ船の大型化傾向は全長の増加率より、船幅の増加

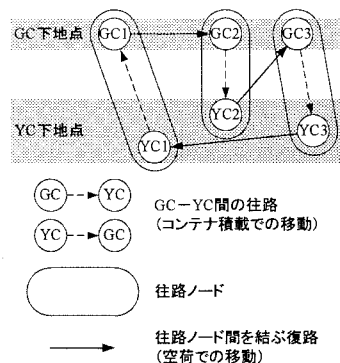


図-3 容量 1 個の問題における異なる考え方

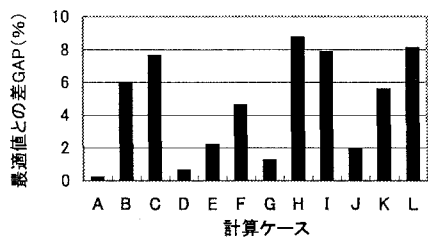


図-4 容量 1 個の問題における最適値との差

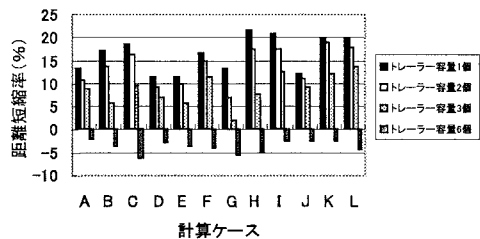


図-5 生成データでの距離短縮率

率が高いことから、6 台程度が限度。」とされていたため、GC 台数は最大 6 基までとする。現実的には、メガシップがケース 1 や 2 のような個数での荷役は考えられないが、荷役個数の変化による他船への影響をみるために計画対象とする。なお、現状の運用形態 (図中、静的と表示) と提案する方法 (図中、動的と表示) での時間から次式より得られた時間短縮率 (%) を図中に示す。

$$\text{時間短縮率} (\%) = \frac{TT_F - TT_P}{TT_F} \times 100 \quad (15)$$

TT_F : 現状の運用形態での荷役時間

TT_P : 提案する方法での荷役時間

容量 2 の TR を GC1 基あたり 4 台投入した時の結果であるが、メガシップはどのサイズでも提案の方法を使えば、時間短縮につながっている。特に、4500 個荷役する場合の短縮率が高く、9000 個ではその効果は薄れている。これは GC 投入台数に限界があり、計画スパン数が単に増えただけであることが原因と言える。したがって、GC 投入台数を増やす工夫ができれば、9000 個以上の船

に対する提案する方法の効果も期待できる。他船についてはメガシップのサイズ変化に関わらず、ほぼ一定の荷役時間となり、ばらつきも同様である。

そこで次に、ケース1と2の時に、他の搬送車両・容量で荷役時間長や必要台数がどう変化するか、提案する方法の効果を見たものが表-3である。なお、AGVとMTRの平均速度はそれぞれ5および11km/hとする。

容量2のTRの結果は図-6と同一のものである。AGVは走行速度が遅いため時間・台数ともに長・多になっている。また反対に、容量の大きいMTRは他より時間・台数ともに短・少になり、時間短縮率・台数削減率

表-2 各船の荷役個数とGC投入台数

ケース		1	2	3	4
メガシップ	荷役個数(個)	1350	2,400	4,500	9,000
	GC台数(基)	3	4	6	6
他船 (32隻)	荷役個数(個)	300~1,200			
	GC台数(基)	1~3			

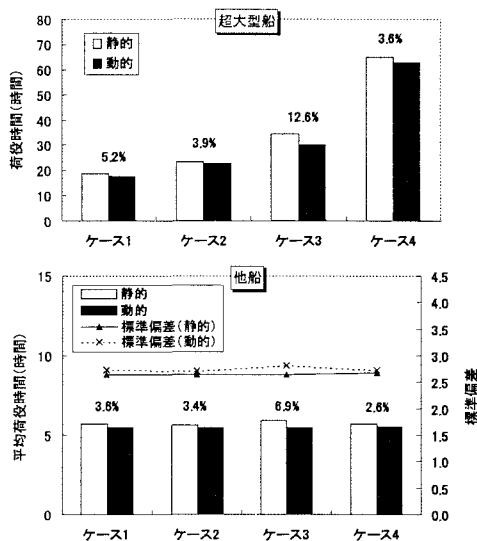


図-6 メガシップの荷役個数を変化させた場合での各船の荷役時間

は従来型運用と等しい。したがって単一スパンの計算と同様に、MTR使用の場合には現状の運用形態で十分であることが言える。ケース3と4の時間短縮率・台数削減率から、どの車両使用時もケース3のときが提案する方法による効果が大きく、ケース4では若干効果が小さくなっている。他船については、大型船の荷役個数による当該船への影響はほとんどないと言える。

(2) 実績データによる効果分析

平成14年9月の5日間に、東京港の供用2バースに寄港したコンテナ船6隻の実績データを用いて、生成データによる結果と同様の結果が得られるかを検証する。表-4には各船の荷役コンテナ数とGC台数を示す。各船の荷役コンテナのヤード内蔵置位置および船内格納位置から、岸壁およびヤード内の受け渡し位置間の移動距離データを抽出し、これを入力データとして計算した結果である距離をTRの平均走行速度15km/hより時間に変換して、各方法での荷役時間、GCを待たせないために必要なTR台数を算出した結果を図-7に示す。

まず全船ともに荷役時間・必要台数とも提案する方法を用いれば、短縮・減少傾向を示している。各船間の時間長・台数の違いは荷役コンテナ数が異なるためであるが、時間短縮率・台数削減率の違いについては、荷役個数の違いから計画スパン数に異なることやGC使用台数が異なるために単純な比較ができない。そこで荷役個数やGC台数が等しい船ACとSEをみると、必要台数は同一であるが、両船の時間短縮率が異なっており、船SEの荷役コンテナ全てが当該船の係留位置に近傍に配置しているのに対し、船ACの荷役コンテナはターミナル内の広範囲に分布し蔵置されたことが違いとして現れた。

以上の結果に関して、生成データでの計算で最も近いのはケースBとEであり、それぞれ時間短縮率は約13%、9%であった。スケジュールされたコンテナ配置実績データでの短縮効果はバース数が半分であることも重なって、生成データの結果の1/4程度であるが、蔵置パターンによる違いは、生成データと同様の傾向にある。

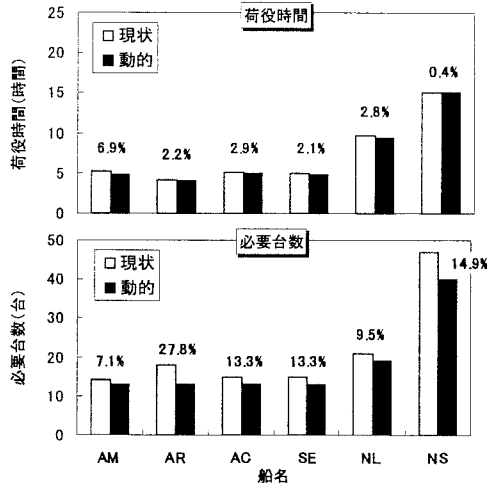
表-3 各搬送車両を用いたときの各船の荷役時間と必要台数

容量	車両の種類	ケース3									ケース4								
		荷役時間(時間)						必要台数			荷役時間(時間)						必要台数		
		メガシップ			他船			静的	動的	短縮率(%)	メガシップ			他船			静的	動的	削減率(%)
		静的	動的	短縮率(%)	静的	動的	短縮率(%)				静的	動的	短縮率(%)	静的	動的	短縮率(%)			
1個	TR	59.3	48.9	17.7	10.3	8.5	7.0	745	639	14.2	120.9	103.4	14.4	10.5	9.0	14.5	745	637	14.5
	AGV	178.0	146.6	17.7	31.0	25.6	17.0	2113	1868	11.6	362.6	310.3	14.4	31.5	26.9	14.5	2115	1870	11.6
2個	TR	34.4	30.1	12.6	5.9	5.5	6.9	382	352	7.9	65.0	62.7	3.6	5.7	5.5	2.6	382	342	10.5
	AGV	92.6	79.3	14.3	16.1	13.9	13.7	1096	1015	7.4	188.7	166.8	11.6	16.4	14.5	11.5	1096	991	9.6
3個	MTR	31.3	30.0	4.1	5.6	5.4	2.6	358	345	3.6	63.6	62.1	2.3	5.6	5.5	1.6	363	345	5.0
6個	MTR	30.0	30.0	0	5.4	5.4	0	209	209	0	61.3	61.3	0	5.4	5.4	0	212	212	0

表ー4 実績データにおける対象船

船名	AM	AR	AC	SE	NL	NS
荷役個数(個)	360	324	384	384	1098	2244
GC 台数(基)	2	2	2	2	3	4(3)

※ 船NSは1日目4基、2日目3基稼働



図ー7 実績データでの各船の荷役時間と必要台数

6. おわりに

本研究では、日本の港湾荷役の高度化を考える上で重要となるコンテナヤードでの運用形態の改善策を提案した。数値実験の結果、以下の傾向が明らかとなった。

- ① 容量1個の問題では最適解が得られるため、これと比較して提案する方法の解の精度を調べると、バース数や対象 GC 数が増え、問題の規模が大きくなれば精度が悪くなる傾向にある。
- ② 距離短縮効果をみると、容量の小さい TR では、提案した方法による効果が見られるが、6 個積載できる MTR では現状の運用形態よりも反対に距離が長くなる

こともある。したがって、MTR の場合は現状の運用形態で十分であるという結論が得られた。またヤード内のコンテナ蔵置のばらつきが大きいときに提案する方法での短縮効果が見られる。

③ 実績データによる検証結果から、蔵置パターンによる効果の違いは生成データの場合と同様の傾向になる。

④ メガシップ寄港時には、現状の GC 投入台数では4500 個程度の荷役には効果があるが、9000 個荷役の場合には単に計画スパンが増えるだけに過ぎず、提案する方法による効果は見られない。したがって、アムステルダム港にあるドック型岸壁のように両舷荷役が行えるようなものも含めてヤードレイアウト改善も考慮に入れ、一度に稼働できる GC 投入台数を増やす工夫が必要である。

参考文献

- 1) Kim, K. H. and Kim, K. Y., An optimal routing algorithm for a transfer crane in port container terminals, *Transportation Science*, Vol.33, No.1, 17-33, 1999.
- 2) Kozan, E. and Preston, P., Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals, *International Transactions in Operational Research*, No.6, 311-329, 1999.
- 3) Narasimhan, A. and Palekar, S. U., Analysis and algorithms for the transshipment routing problem in container port operations, *Transportation Science*, Vol.36, No.1, 63-78, 2002.
- 4) Chung, K. R., Li, C. L. and Lin W., Interblock crane deployment in container terminals, *Transportation Science*, Vol.36, No.1, 79-93, 2002.
- 5) Zhang, C., Wan, Y. W., Liu, J. and Linn, J. L., Dynamic crane deployment in container storage yards, *Transportation Research Part B*, No.36, 537-555, 2002.
- 6) Kim, K. H., Lee, K. M. and Hwang, H., Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals, *International Journal of Production Economics*, No.84, 283-292, 2003.
- 7) Evers, J. J. M. and Koppers, S. A. J., Automated guided vehicle traffic control at a container terminal, *Transportation Research Part A*, Vol.30, No.1, 21-34, 1996.
- 8) Steeken, D., et al., Routing of straddle carriers at a container terminal with the special aspect of internal moves, *OR Spectrum*, No.15, 167-172, 1993.
- 9) Kozan, E., Optimizing container transfers at multimodal terminals, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol.31, 235-243, 2000.
- 10) Marius Sinclair et al., Combined routing and scheduling for the transportation of containerized cargo, *Operational Research Society*, Vol.38, No.6, 487-498, 1987.
- 11) 西村, 今井, マルチユーザコンテナターミナルにおける動的ヤードオペレーション, 土木計画学研究・論文集, No.17, 721-728, 2000.
- 12) 竹原, 市村, 超大型コンテナ船対応の高効率岸壁クレーン, 港湾荷役, 128-133, Vol.48, No.1, 2003.

メガシップ対応港湾におけるヤードトレーラーのルーティングに関する研究

西村悦子、今井昭夫、金子仁

コンテナ船の大型化傾向がすすみ、効率的にトランシップ貨物の荷役を行うターミナルの必要性が今まで以上に重要となる。そこで本研究では、ヤードトレーラーを動的に割当て作業シーケンスを求める方法を提案する。数値実験の結果より、現状の運用形態と比較すると距離・必要台数の短縮・減少効果がみられ、その効果は容量が小さい場合に大きいことが分かった。またメガシップ寄港の場合には、物理的に使用岸壁クレーン数を増やす工夫ができれば、時間長短縮だけでなく、現状との比較効果も大きいことがわかった。したがって、ここで提案する方法はトレーラーの台数を増やさずに荷役時間長を抑える一方案を提示するものである。

Yard-trailer Routing at the Container Terminal for Mega-containerships

By Etsuko NISHIMURA, Akio IMAI and Hitoshi KANEKO

Taking into account the trend towards larger container ships, the need for efficient terminals is more important than ever. An efficient terminal for mega-ships has to be facilitates the quick transship of container to and from these ships. In this study, we addressed the dynamic assignment rules of yard trailers to quay cranes and the associated optimization of trailer routing. Throughout some wide computational experiments, the dynamic assignment has advantages in distance savings and consequently fleet size reduction of trailers. In the case of mega-ships calling, if we can be increased quay cranes physically, the handling time length is shorter and the gap between our proposed and actual methods is more than smaller fleet size of quay crane.