

公共バースにおける動的ヤードオペレーション*

Dynamic Yard Operation in the Public Berth System

西村悦子**、今井昭夫***

Etsuko NISHIMURA, Akio IMAI

1. はじめに

近年、近隣アジア諸国において港湾整備が進展しているが、これらの国での港湾関連コストが低いために日本の港湾のハブ機能が危機に陥っている。したがって、日本の港湾がハブとして発展するには、港湾関連コストを低減させ、サービス水準を向上させることが重要である。現在、日本のほとんどのコンテナターミナルは船会社へ専用貸しされている。このため、寄港隻数がさほど多くない場合には、バースに空きが生じることがあり、この空き時間がコストを相対的に高くしている。そこで我々は、船会社への専用貸しをなくし、ある船はどのバースでもサービスを受けることができるような複数バースの共同利用を提案してきている。

このような公共利用形式のコンテナ港では、船とバースの割当の仕方がバースのパフォーマンスに大きく影響する。そのため我々はすでに、船のバースへの割当方法を検討した^[1,2,3]。これは、各船の荷役時間は既知とし、係留バースによっては貨物が船の近傍に蔵置されとは限らないため、バースにより荷役時間は異なることもあったと仮定している。しかし、そのときのターミナル内での荷役機器の投入台数や作業状況による荷役時間の変動は考慮していない。また現在、日本のほとんどのコンテナターミナルでは、ガントリークレーン(GC)、トランステナ(YC)およびトレーラーといった荷役機器の組み合わせによって荷役が行われている。そのため貨物が近傍に蔵置されていない場合、荷役機器の投入台数および運用方法によって、荷役能率および荷役速度に大きく影響すると考えられる。特に、トレーラー

はターミナル内全体を動き回るため、これをうまくコントロールすることが最も重要である。

そこで本研究では、各船の係留バースの近傍に必ずしも蔵置されるとは限らないコンテナ荷役に特に影響を与えるであろうトレーラーの新たな運用方法を提案し、作業状況が荷役作業時間に与える影響をシミュレーションを用いて検討する。

ターミナルシミュレーションを行なった既存の研究として、奥山ら^[4]はコンテナ貯留個数と搬出入個数の決定を目的としたシミュレーションを行なっている。これはコンテナの揚げ積み量と陸側からの搬出入パターンのみから貯留個数と搬出入個数を求めている。また長尾ら^[5]は循環型待ち行列に対して、待ち合わせ理論とシミュレーションとの比較によって理論解析の適用限界を明らかにした。そしてシミュレーションを行ない、荷役中のコンテナ船の最適な荷役機器の組み合わせ数を決定している。三木ら^[6,7]は隣接バースで GC を共同利用した場合の荷役能率の向上を検討している。文献[4]ではコンテナターミナル内の挙動はブラックボックスとなっており、文献[5]では既存の運用形態を前提とし、運用形態の新たな提案はなされていない。文献[6,7]では GC の共同利用という点から、新たな運用方法を提案しているが、トレーラーに関しては既存の運用形態であり、我々の考えているトレーラーの運用方法は提案されていない。

2. シミュレーションの前提

本シミュレーションでは、コンテナ船が港に到着し、複数バースのいずれかのバースに係留され、コンテナターミナルでコンテナを陸揚げ船積みの荷役作業を行い、出港するというターミナルでの一連の荷役作業をモデル化する。実際には、主に本船荷役作業、搬入搬出のための荷役作業が行われているが、第一段階として、本船荷役のみを考慮したシミュレーションモデルを構築する。

*キーワード：ターミナル計画、港湾計画

**正会員 工修 神戸商船大学助手 輸送システム工学講座
(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1, TEL: 078-431-6258,
FAX: 078-431-6365, E-mail: e-nisi@bun.ti.kshosen.ac.jp)

***正会員 工博 神戸商船大学教授 輸送システム工学講座
(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1, TEL: 078-431-6261,
FAX: 078-431-6365, E-mail: pdmb@bun.ti.kshosen.ac.jp)

(1)現状の荷役形態

図1は2バースあり、各バースに船1隻が係留され、GC、YCとトレーラーそれぞれの作業サイクルを示している。つまり揚げ荷役は、GCが本船から岸壁にいるトレーラーまでの荷役作業を行い、トレーラーがGC下からヤードのYCの所までコンテナを搬送する。そして、YCがトレーラーから蔵置場所までの荷役を行う。積み荷役は揚げ荷役を逆に考えればよい。日本では通常、揚げ作業が終了するまで、積み作業は行われない。

現状の専用形式のターミナルでは、船の全長によってGCの投入台数が決定され、本船荷役のみで使用するYCはGC1基に対し、およそ2台程度が投入される。またトレーラーは4台が特定のGC1基に割当てられ、担当するGCとYCとの間を往復する。

船とコンテナの蔵置場所が離れている場合、トレーラーがGCに対し固定、つまり特定のGCの担当で動くと、移動距離が長くなり荷役速度が落ちると予想される。荷役速度を落とさないためには単純に考えると、トレーラーの投入台数を増やせば対処できる。しかし投入台数が増えると、それだけコストが高くなり、またヤード内の混雑の発生率も高くなり、反対に荷役速度を落とす原因にもなりかねない。

そこでトレーラーの固定的な動き方を動的にする、

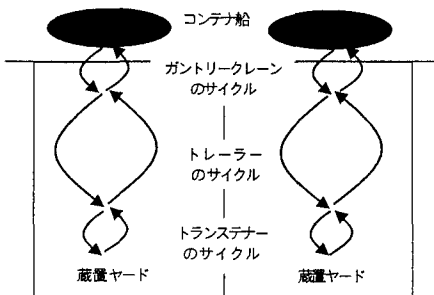


図1 既存の運用方法

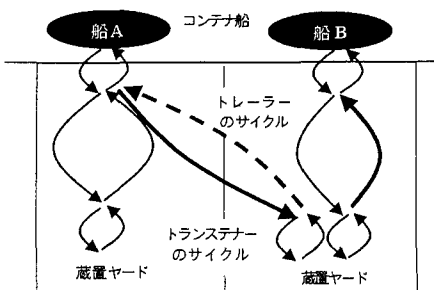


図2 運用方法概念図

つまりトレーラーは特定のGCを担当して貨物を搬送するのではなく、事前の荷役計画で決定されたトレーラーのスケジュールによって、動的にヤード内の荷役を行う方法を本研究では提案する。

(2)新たな運用方法の概念

トレーラーの新たな運用方法の概念について述べる。例えば図2のように、今、船Aが隣接バース（船Bの係留バース）への揚げ作業中で、船Bが積み作業中であると仮定する。このとき、仮に船Aのあるコンテナをヤードへ搬送したトレーラーが、もとのGCの所に戻らず、近くにある船Bのコンテナを船BのGCまで運び、そこから船AのGCの所まで行き、次の揚げ作業を行うとする。この場合、全体として固定運用より空荷の距離が短くなるため、トレーラーの移動距離が短くなり、荷役時間が短くなると予想される。つまり、トレーラー全体の移動距離を最短にすれば、その所要時間も短縮でき、比較的小さい投入台数での運用が可能である。さらにこれによって、GCも待ち時間が短くなるため作業が速くなり、本船の入港してから出港までの時間は専用バース形式に近づくことができると考えられる。

そこで本シミュレーションでは、トレーラーの動きに着目し、これが現状と同じようにGCに対し固定で動く場合と、固定でなく他船のGCの荷役も相互に行う場合について検討する。

3. シミュレーションモデルの概要

本研究では、汎用シミュレーション言語であるSLAMIIをシステム化した汎用シミュレーションモデル構築ツール VisualSLAM を用いて荷役シミュレーションモデルを構築する。VisualSLAMには、モデル内を動き回る要素を生成させる機能を持つノード、サービスを待つために並ぶ行列を表現するノード、その他のノードがあり、これらを組み合わせでシミュレーションモデルを構築することができる。

(1)モデルの構成

本モデルは大きく3つの部分から成る。まず1つめは、船の到着および荷役開始を決定する部分である。2つめとして揚げ荷役処理、3つめに積み荷役処理を行う部分である。まず全体の処理の流れを以

下に述べる。

ステップ1：シミュレーション時間の設定

ステップ2：船が係留予定バースに到着し、そのバースに他船が荷役作業中であるか判断する。作業中なら、作業終了まで待機

ステップ3：本船における各荷役機器での揚げ積み荷役コンテナ数の更新

ステップ4：当該バースの陸揚げ作業の開始

ステップ5：揚げ作業終了すれば、船積み作業へ

ステップ6：積み作業終了すれば、ステップ2へ

シミュレーションの終了時間がくれば、直ちに終了する。

(2) 荷役作業処理

次に、揚げ作業のみのフローを図3に示すが、積み作業はGCとYCを入れ替えたものと考えればよい。GCとトレーラー、YCとトレーラーでそれぞれ互いに揃わなければ先に到着した方が待つ。トレーラーの作業に関しては、揚げ作業ならYCにコンテナを渡した後、積み作業ならGCにコンテナを渡した後に、計画された次の作業の行き先によって動的か、固定かの運用の違いが出る。つまり、全作業終了まで同じGCの所に戻るようになれば固定運用であり、その都度異なることがあれば動的運用となる。ここで重要となる次の作業の決定方法は、なるべく次作業をはじめまでの時間（空荷での所要時間とコンテナ受け取りまでの待ち時間）が短い方がよいと考えられる。しかし、実際の運用で先述のことを考慮すると、その都度決定する必要があり実用的でない。そこで、当該バースと他バースとの作業状況の組み合わせごとに次の作業を決定する。

(3) 2バースでのトレーラーの作業パターン

先で述べたように当該船の貨物とその係留バースの近傍にないことが前提である。そこでここでは、まず2バースでの運用を考え、各バースに1隻ずつ係留されるものとし、各船のコンテナは他船の係留バースに互いに蔵置されるものと仮定する。この条件をもとに、次に述べるようなトレーラーの現作業バースと他バースの作業状況の組み合わせにより次作業の決定を行う。

パターン1：両バースともに揚げ作業なら、他バースのGCの所へ

パターン2：両バースともに積み作業なら、他バースのYCの所へ

パターン3：現作業バースが揚げ作業、他方が積み作業なら、揚げ作業後には他バースのYCの所へ行き、積み作業後には他バースのGCの所へ

パターン4：一方が揚げ作業で、他方はすでに積み作業終了し、次船の到着まで荷役作業のない場合、作業中のトレーラーは作業中バースのGCの所へ（2バース分のトレーラーが投入されない。）

トレーラーを動的に運用する場合、次作業の決定時に上述のパターンのどれであるかを判断し、行き先が決まる。あるコンテナの搬送後の他船の詳細な作業状況については、事前にはわからないので、すべてのパターンに対し次作業を事前に決定しておく。その中で次作業決定時に、該当するパターンを選択し、そこで指定されている作業へ進む。

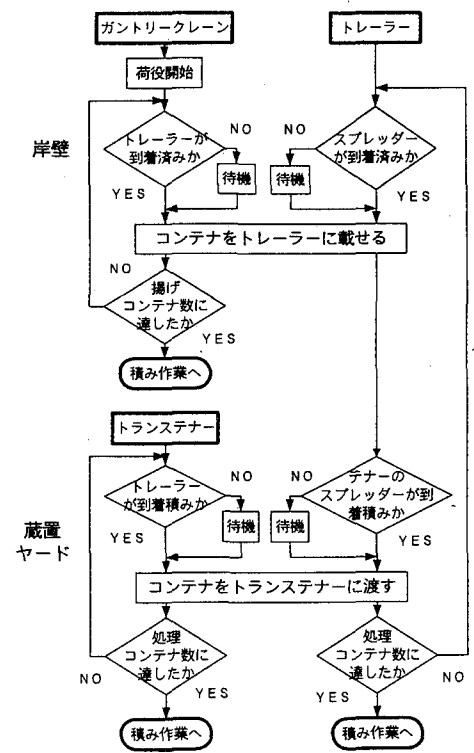


図3 揚げ作業のフロー

4. 適用事例

2 バースにコンテナ船 1 隻ずつが係留され、各バース GC 2 基、YC 4 台で作業するとき、トレーラーの投入台数を変化させた場合のシミュレーションを行なう。

(1) 使用データの概要

シミュレーションで用いるデータは、各荷役機器の荷役作業時間と船の到着間隔である。

荷役作業時間は、1997 年 11 月 18～22 日に神戸港の六甲アイランドのコンテナターミナルで荷役作業を行ったコンテナ船に対する、各荷役機器の待ち時間を除いた作業時間である。また、船の到着間隔は 1997 年 2 月の 1 ヶ月間に神戸港に入出港したコンテナ船から得られたものである。

船の到着間隔は実績を分析した結果、一般に言われるように指数分布に従うことがわかったので、その分布関数で発生させることにした。

荷役作業時間は、各荷役機器に対し、コンテナ積載での移動と空荷での移動とに分けて、それぞれの作業時間の分布形を検討した。表 1 に示すとおり、 k 次のアーラン分布および正規分布に従うことがわかったので、それぞれの分布関数で作業時間を発生させることにする。コンテナは船内およびヤード内で蔵置場所が異なるので、分布関数はその違いを表現している。

表 1 各荷役機器の分布関数と平均所要時間

	往路		復路 (空荷)	
	次数 k	平均値 (分)	次数 k	平均値 (分)
GC 陸揚げ	16	0.8	15	0.7
GC 船積み	正規分布	0.8	35	0.6
YC	19	0.9	6	1.2
トレーラー	28	1.5	12	1.5

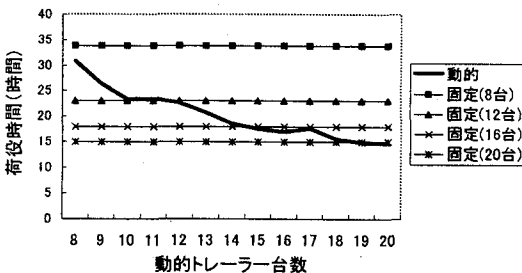


図 4 500 個荷役した場合の GC の作業時間

(2) 事例計算

1 週間 (20 隻の入港) のシミュレーションを行ない、各荷役機器に対し、コンテナ 1 個あたりの荷役時間 (待ち時間 + 作業時間) を求めた。図 4 は、2 基の GC が 1 隻の船のコンテナ (500 個) を荷役した場合の、作業開始から完了までの平均作業時間を示したものである。動的運用のトレーラーは投入台数を 8～20 台まで 1 台ずつ変化させ (図中で太線の折れ線)、固定運用のトレーラーは各 GC 1 基に対し 2～5 台、つまり全体で 8、12、16、20 台を投入した場合 (マーカー別の直線) の荷役時間を示している。

まず、運用方法別に投入台数による荷役時間をみると、固定運用では台数を増やすと GC の待ち時間が減るため作業時間が短縮できる。また動的運用では固定とほぼ同様の傾向はみられるが、10～12、14～17、19～20 のように台数を変化させても作業時間はほとんど変わらないケースもある。

また固定と動的を比較すると、固定運用で 20 台投入する場合、動的運用では 18 台でもほぼ同じ滞在時間になっている。つまり、動的運用にすると 2 台減らしても、ほぼ同じ作業時間で済むことがわかる。また固定運用で 16、12 台投入する場合には、動的運用でそれぞれ 14、10 台の滞在時間とほぼ等しくなっている。したがって動的運用なら、固定運用より 2 台程度少なくとも、同程度の荷役時間で済むことがわかった。このことから、動的運用を行えば、トレーラー数を減らすことのでき、その分にかかるコストを押さえることができるといえる。

参考文献

- [1] 今井・西村, 計画開始時刻を考慮した公共バースの割当法, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.557-564, 1998.
- [2] 西村・今井, 遺伝的アルゴリズムを用いた公共バースの割当法, 日本航海学会論文集, No.100, pp.181-189, 1999.
- [3] 西村・今井, 複数解を考慮した遺伝的アルゴリズムによる公共バースの割当法, 土木計画学研究・論文集, No.16, 1999, 印刷中.
- [4] 奥山・中井・久保, コンテナ埠頭の規および荷役方式に関する考察, 港湾計画研究所報告, Vol.10, No.3, pp.159-236, 1971.
- [5] 長尾・則武, 多重リンク系の輸送動態に関する一考察, 土木学会論文報告集, No.212, pp.77-88, 1973.
- [6] 三木・久保・貢, 隣接する複数のコンテナターミナルの性能評価, 日本航海学会論文集, No.95, pp.331-341, 1996.
- [7] 三木, 港湾利用の効率化, 日本航海学会誌 NAVIGATION, No.132, pp.10-17, 1997.