

超大型船対応コンテナターミナルの形状に関する考察*

On the Terminal Type for Mega-containerships*

服部真洋**、今井昭夫***、西村悦子****

By Masahiro HATTORI, Akio IMAI and Etsuko NISHIMURA

1. はじめに

現在、日本のコンテナ港湾は特定の船会社に長期貸し付けする専用ターミナルという形態をとっている。このような形態では、コンテナに関する処理が船会社自身に関わっており、高い生産性が要求される。船の寄港数が多く、膨大なコンテナを扱う船会社であればこの形態は有利なものとなる。しかし近隣アジア主要港の近年の躍進によって、日本は取り扱い貨物量が減少し、このような形態ではコンテナ1個に対する日本の港湾関連費が非常に高くなり、非効率となる。

日本では、国土交通省がスーパー中枢港湾プロジェクトを立ち上げ、コンテナターミナルの共同運用を前提とした港湾コストの低廉化を図ろうとしている。共同運用とは、現在特定船社が個々にターミナルのオペレーションを行う形態から、1社のターミナルオペレーターが大規模なターミナルを総合的にオペレーションすることで、ターミナルをマルチユーザーターミナル(以下、MUTと呼ぶ)として効率的に一括管理運用する方式へ転換することを意味する。

このようなMUTは、複数の船を同時に荷役することができる連続的なバースを持った、ハブ港としての機能を有するものである。ここでは、多くのコンテナが基幹航路とフィーダー航路の間でトランシップ貨物として扱われる。そのためMUTは、サイズの異なる多数の船が同時に係留され荷役を行えるターミナルと定義することができる。MUTでは寄港船が毎回の寄港で同一バースに係留されるのではなく、寄港のたびに係留バースを決定する、いわゆる動的なバース割当を行うことでターミナルの運用を効率的にすることが重要である。

近年、規模の経済性を目的としたコンテナ船の大

型化が進んでおり、近い将来1万TEU積載可能なコンテナ船(以下、メガシップと呼ぶ)が登場することは確実である。メガシップはハブアンドスポーク型の航路に投入されると考えられ、ハブ港でのフィーダー船への積み替えの迅速性が非常に重要となってくる。このような背景からオランダのアムステルダム港では、メガシップが両舷から荷役可能なバース(ドック型バース)が建設され、高速荷役が可能なコンテナターミナルが整備されている。現在、このターミナルに寄港船はないが、このターミナルはメガシップの荷役には適していると考えられる。

本研究では、以上のことを背景に、メガシップの高速荷役が可能なドック型ターミナルにおけるバース割当問題(BAP)を検討し、ターミナルの効率性を検証する。バースの公共性という点から、一定の計画期間内での各船の待ち時間と荷役時間の合計である総在港時間を評価指標とし、従来型とドック型ターミナルでのバース割当の解を基に比較分析を行う。

2. 研究の概要

過去の研究^{1) 4)}において、MUTにおけるBAPとしては、単一バースに1隻のみを係留可能としたものの、2隻以上の同時係留を可能としたもの、さらにバースを連続的な係留空間と捉えたものがある。従来型ターミナルでの船の同時係留を考慮したBAPは非線形整数計画問題ならびに線形整数計画問題として定式化されている。連続的係留空間でのBAPは、バース単位で問題を解くBAPと比較すると、ターミナルの利用効率性は優れているが、問題を解く計算時間が長くなるという欠点がある。

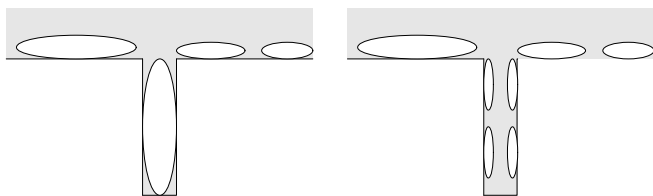
そこで本研究は、問題を単純に表現できる線形整数計画問題として定式化された複数隻同時係留BAPを基にして行う。ここでは、同時係留はバースの岸壁延長と船の全長を考慮して行われている。これを基にし、従来型とはレイアウトの異なるドック型ターミナルにおいて、同時係留可能なBAPを扱う。MUTでは、一般的にメガシップはフィーダー船へ

* キーワード：ターミナル計画、港湾計画

** 学生会員 神戸大学 自然科学研究科博士前期課程

*** 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 神戸市東灘区深江南町5-1-1, TEL: 078-431-6261,
FAX: 078-431-6365, E-mail: imai@maritime.kobe-u.ac.jp)

**** 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 神戸市東灘区深江南町5-1-1, TEL: 078-431-6258,
FAX: 078-431-6365, E-mail: e-nisi@maritime.kobe-u.ac.jp)



(a)超大型船寄港時 (b)フィーダー船利用時

図1 ドック型ターミナルでの割当概念図

の積み替えを考慮して、到着後すぐに係留されるように計画されている。ドック型ターミナルは図1に示すようにメガシップ寄港時は(a)のようにドック部分をメガシップ専用のバースとして使用し、それ以外は、(b)に示すようにフィーダー船もドック部分を利用可能とする。このBAPによって得られた結果を基にして、シミュレーションソフトウェアパッケージ“AutoMod”を使用して、岸壁クレーン(QC)、ヤードトレーラー(TR)、ヤードクレーン(YC)を忠実に再現したシミュレーションにより分析を行う。

3. バース割当

ここでは、従来型ターミナルでの複数船の同時係留を可能としたBAPの問題を表現し、その後、ドック型ターミナルにおける同時係留のBAPへの拡張を行う。ここで、船の係留位置により荷役時間は異なるものと仮定する。目的関数は待ち時間と荷役時間の合計である総在港時間の最小化とする。

従来型ターミナルBAPの前提条件を以下に示す。

船はいずれかのバースに必ず1回係留される。

船は最大2隻の同時係留を可能とし、その場合それらの全長が岸壁延長を超えない。

船は係留バースの計画開始後に係留される。

メガシップは優先度が高いため、到着後すぐに係留される。

ドック型ターミナルは従来型ターミナルとレイアウトが異なるため、さらに追加の条件が必要となる。図2はドック部分にフィーダー船が同時係留された状況を示しており、係留位置をそれぞれsection 1とsection 2とする。メガシップが寄港した場合、ドック水域部分の両面の2バースを使用して両舷から荷役を行うが、フィーダー船はそれぞれ1バースを利用する。ここで、section 2に係留された黒い船は、section 1に船が係留され荷役作業中は、たとえ

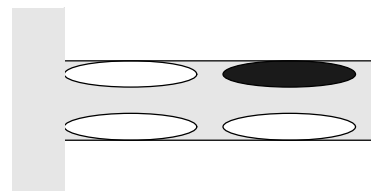


図2 ドック型バースの係留状況

出港の準備ができて、出港することができない。さらにsection 1に船が係留されているとき、section 2に係留させることができないという制約がある。これは言換すれば、section 2の船と同時係留されるsection 1の船は、section 2の船より先に係留されることはなく、その船より後にし出港しないことを意味する。実際はドック部分の狭い水域において、対面するバースに船がいなければ、このような制約はないかもしれない。しかしこの場合でも、出港時にsection 1の係留船や対面バース岸壁に衝突する危険性が伴うため、これを許さないことにする。

ドック型ターミナルにおけるBAPの目的関数では、待ち時間と荷役時間さらにドック部分のsection 2に係留される船の出港待ち時間が加算される。ドック型ターミナルのBAPでは、以下の前提条件が追加される。

ドック型バースに係留される船は、そこに船が全くいなければsection 2に係留される。

ドック型バースのsection 2に船が係留されており、それと対象船の全長の和が岸壁延長を超えなければsection 1に同時係留される。

ドック型バースのsection 2の船は荷役完了してもsection 1に船が係留されていれば出港待ち時間が発生する。

以上の前提条件の下で、ドック型ターミナルでのBAPを解くこととする。

この問題は、線形整数計画問題であるが、大規模問題の厳密解は効率的に求めることが困難である。本研究では、既往の研究で行われた従来型ターミナルでの同時係留を考慮したバース割当との比較を行う。そこで遺伝的アルゴリズム(GA)を使用して効率的なバース割当方法を検討する。ドック型バースでは、前述したように先行制約が存在するため、section 1とsection 2のどちらに船を係留させるかを決定しなければならないが、その処理をGAの中に

含んで計算を行う。

4. シミュレーション実験

本研究では、シミュレーションソフトウェアパッケージである“AutoMod”を使用し、コンテナターミナルで行われる本船荷役作業のみをモデル化した。図3は従来型ターミナルのレイアウトを示し、1バースを400m規格とした4バースからなる。図4はドック型ターミナルのレイアウトを示し、ドック部分水域を400×60mとし、400m長さのバースを4バース有する。このような2種類のターミナルでYC方式のシミュレーションを実施する。

次に、“AutoMod”内の荷役作業におけるコンテナの動きを図5に示す。ここでは、QCとYCの作業をAとBという2つのプロセスで表現し、その間をTRがコンテナを搬送する。AはQCのスプレッダーの作業を示しており、船内格納位置 - QC下のサイクルである。BはYCのスプレッダーの作業で、ヤード内蔵置位置 - YC下のサイクルを示している。TRは特定のQCに割当てられ、QCからYCを訪問後、同じQCに戻る。ここで、QCとYCの下ではスプレッダーとTRの両方が到着すれば先の処理に進むことができるが、一方のみが到着する場合、もう一方の到着を待ち、その間は待ち時間が発生する。

シミュレーションは次の通りである。

ステップ 1: BAPで決定した係留開始時刻と係留位置に当該船を係留し、荷役を開始する。

ステップ 2: 図5のAに示すQCの作業サイクルにおいて、船内格納位置からTRまでコンテナを移動する。

ステップ 3: TRがコンテナを揚げコンテナ蔵置位

置まで運ぶ。

ステップ 4: 図5のBに示されるYCの作業サイクルで、TRから受け取ったコンテナをヤード内蔵置位置に運び、TRは担当QCに戻る。

ステップ 5: 処理コンテナ数 全揚げコンテナになるまでステップ2~4を繰り返す。全ての揚げ作業が終われば、積み作業を開始する。

ステップ 6: Bに示すYCの作業サイクルで、ヤードの蔵置位置からYC下のTRにコンテナを渡す。

ステップ 7: TRが担当QC下まで運ぶ。

ステップ 8: Aの作業サイクルにより、TRからコンテナを船内位置に格納する。

ステップ 9: 処理コンテナ数 全積みコンテナ数になるまでステップ6~8を繰り返す。船の使用QCに対して、全ての積み作業が終了すれば出港する。

1週間のシミュレーションの対象船舶数を以下の4ケース設定した。

- 1: (平均到着間隔3時間、指数分布)
- 2: (平均到着間隔3時間、2次アーラン分布)
- 3: (平均到着間隔4時間、指数分布)
- 4: (平均到着間隔4時間、2次アーラン分布)

この4ケースに対して、貨物量を5種類用意し、対象船舶のデータを表1のように与えた。TR投入台数は4台と5台の2種類を用意してシミュレーション実験を行った。さらにメガシップは船の全長400mでコンテナ数16000個の揚げ積みを行う。使用QCは従来型ターミナルでは7基で、ドック型ターミナルでは両側からそれぞれ5基で荷役するので



図3 従来型ターミナルのレイアウト

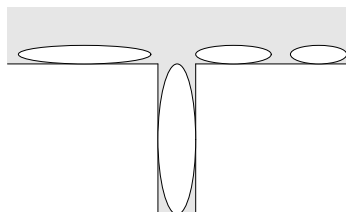


図4 ドック型ターミナルのレイアウト

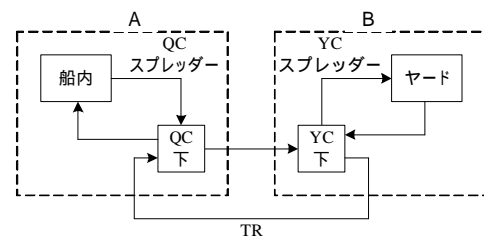


図5 荷役作業関係図

表1 対象船舶のデータ

船の全長(m)	150 ~ 200	201 ~ 250	251 ~ 300
荷役コンテナ数(個)	50 ~ 300	301 ~ 600	601 ~ 1200
使用QC数(基)	1	2	3

合計 10 基を使用する。両ターミナルとも、QC1 基に対して 4 台および 5 台の TR を投入して荷役を行う。

1 週間のシミュレーションを行った結果として、図 6 にメガシップの荷役時間、図 7 に TR 投入台数 4 台と 5 台での総在港時間を示す。なお総在港時間は 5 種類の貨物によるシミュレーションの平均値であり、左からケース 1 からケース 4 の従来型とドック型をそれぞれ M と I と定義した。

メガシップの荷役時間は、従来型とドック型で使用する QC 台数が異なるため、ドック型の方が従来型より短い。TR 投入台数を増やすと、従来型とドック型ともに荷役時間が減少する。以上をまとめると、ドック型ターミナルは両舷荷役をすることでより多くの QC で荷役するため、従来型より高速荷役が可能である。

図 7 より、4 台および 5 台のどのケースでもドック型より従来型の方が、総在港時間は短い。この理由は以下のように考えられる。メガシップは従来型ターミナルでは 1 バースを占有するが、ドック型では 2 バースを使用する。そのため、ドック型ではメガシップ停泊時はフィーダー船にとって空バースが従来型よりも少ない。そのため総在港時間に対しては、ドック型は不利である。さらにドック型は形状が複雑であるため、TR の走行距離が長くなる。そのため、ドック型では全体として荷役時間が長くなり、待ち時間を含めて総在港時間も長くなる。これらから、ドック型ターミナルでは、メガシップの荷役は高速に行えるが、フィーダー船を含めた全寄港船の総在港時間は長くなる、という結果になった。

5. おわりに

本研究では、メガシップの高速荷役のためにドック型ターミナルでのバース割当法を提案し、従来型ターミナルとの比較分析を行うことで、ドック型の効率性を検討した。寄港船のデータを 4 ケース用意してシミュレーションを行ったが、すべてのケースでドック型より従来型ターミナルで、総在港時間が短くなることが明らかになった。このことから、メガシップのみを考えるとドック型は優れたターミナルであるが、頻繁に寄港するフィーダー船を含めた

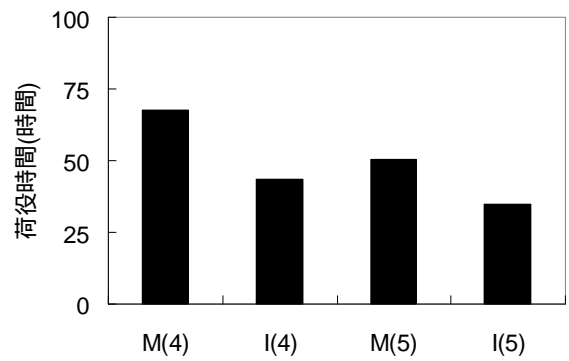


図 6 超大型船の荷役時間

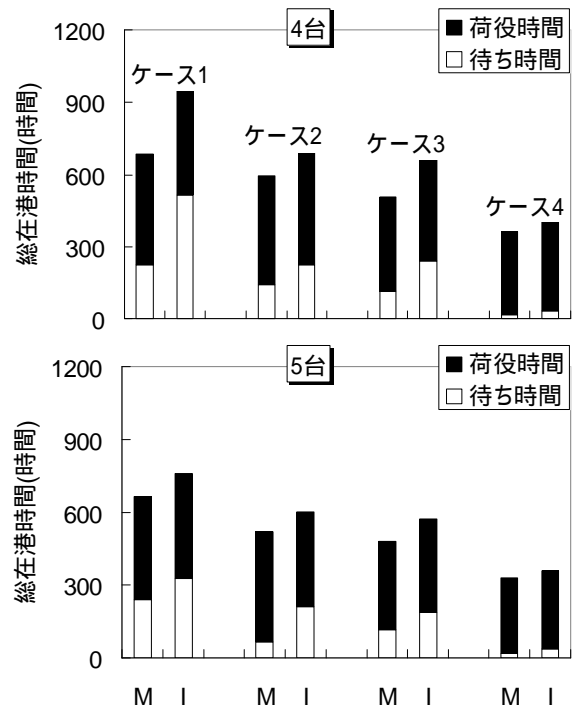


図 7 総在港時間

総在港時間で評価すると、不利なターミナルといえる。

参考文献

- 1) Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B* 35, 401-417, 2001.
- 2) Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., Corrigendum to “The dynamic berth allocation for a container port” [*Transportation Research Part B* 35 (2001) 401-417] *Transportation Research Part B* 39, 197, 2005a.
- 3) Imai, A., Nishimura, E., Sun, X. and Papadimitriou, S., Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach. *Transportation Research Part B* 35, 199-221, 2005b.
- 4) Nishimura, E., Imai, A. and Papadimitriou, S., Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. *European Journal of Operational Research* 131, 282-292, 2001.