

岸壁空間の運用規模区分を考慮したマルチユーザーミナルの生産性に関する研究*

Productivity of Multi-user Container Terminal in Partitioning Arrangements a Given Quay Space*

西村悦子**・今井昭夫***・Pierre CARIOU#

By Etsuko NISHIMURA**・Akio IMAI***・Pierre CARIOU#

1. はじめに

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拡大、サービス水準向上、コスト低減を実現することによって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。このため、日本への大型船の寄港頻度が減り、相対的な地位の低下になっている。この現状を打破するため、国際競争力強化に向けた方策として、官民一体のスーパー中枢港湾プロジェクトが進められている。このプロジェクトでは文献(12)にあるように、船会社毎に行っていたターミナル運用を、複数船社で一括管理し、人件費や荷役機械などの設備投資等を抑え、港湾関連コストの低減を狙ったものである。

ここで岸壁空間の効率的利用の観点から複数バースの一括管理方法を考えると、従来の船社専用とは異なる工夫が必要となる。つまり、1もしくは隣接2バースから成る船社専用バースでは、当該バースを利用する船の直背後にコンテナが保管される。しかしながら、より多くの隣接バース一括管理では、係留位置が寄港のたびに決定され、待ち時間は短い荷役時間は延長されるといったケースも発生するかもしれない。従って、船の係留位置とその時期の決定は、ターミナル全体の利用効率を左右し、これがうまく実現されないと、待ち時間や作業時間の超過によってコスト増に繋がりがかねない。

また海外マルチユーザーミナルの岸壁利用状況を把握するために、表1にはデータ当時の稼働中バースのうち、各船会社の船がどのターミナル・バースを利用するのか調べ、各ターミナルでの利用バース数を船会社毎にカウントしたものを示す。釜山港のPECTの場合、MaerskやCOSCOは一部のみを利用するが、他の船会社は全バースに利用実績がある。またシンガポール港の4ターミナルの場合、MaerskはKeppelの一部のバースのみを利用

表1 海外マルチユーザーミナルでの船会社毎の利用バース数

ターミナル名	PECT	Brani	Tanjong Pagar	Keppel	Pasir Panjang
稼働バース数	4バース	8バース	7バース	14バース	6バース
Maersk	2	0	0	3	0
CMA CGM	4	1	0	0	1
Evergreen	0	0	1	0	2
Hapag-Lloyd	4	0	0	0	0
COSCO	1	0	3	0	3
NYK	4	0	1	0	0
MOL	4	3	2	1	0
K Line	4	1	6	5	6

文献 10) より、一部引用

している。邦船3社でNYKはTanjong Pagarの1バース、MOLはPasir Panjangを除くターミナル、K Lineは全ターミナルへの利用実績がある。したがって、特定船社によって特定バースを固定的に利用する場合と共用バースを幅広く利用する場合があるのがわかる。

そこで本研究では、1バース単位運用の利点である貨物が常に利用バース近傍にある場合、一括運用での利点である無駄な待ち時間を短縮できる場合に着目し、両者を組合せた場合も含め、船の到着パターンと荷役時間長でターミナルの混み具合を表現し、そこでどの運用規模が向いているかを示すことの出来る方法論を提案する。

2. 既往の研究

本研究に関連する、コンテナ船の係留バース割当計画を扱った既往研究には、今井ら^{1) - 4)}、Kimら⁵⁾、Laiら⁶⁾、Monacoら⁷⁾、西村ら^{8), 9)}、Parkら¹¹⁾の研究がある。

文献1)では対象船舶は各バース同時期に1隻のみ係留可能とし、3つの近似解法で比較を行っている。同問題に対し、より良い解を得るために定式化の改良と解法の提案を行っているのが文献7)である。また文献8)では各バースの同時期にやって来る複数船の全長の和が岸壁延長を超えないときに同時係留を可能としたものを検討している。文献9)では荷役取扱いコンテナ数に優先度を設けた問題を扱っている。文献5)では、香港HITにおいて到着順にサービスされることを前提に効率的なバース割当て計画立案方法を提案している。

また文献3)はターミナル形状に着目し、アムステルダム港にあるようなインデント型バースを有するターミナルでの先行順序制約を考慮した問題を検討している。文献4)ではスリランカのコロンボ港で実際に行われている

* キーワード：ターミナル計画, 港湾計画

** 正会員 工博 神戸大学大学院准教授 海事科学研究科
(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1,
TEL / FAX : 078-431-6258, E-mail : e-nisi@maritime.kobe-u.ac.jp)

*** 正会員 工博 神戸大学大学院教授 海事科学研究科
(〒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)

Non-member, Prof., Port and Shipping Management Specialisation,
French Chair in Maritime Management, World Maritime University

方式を参考に、船の待ち時間が許容値を超えると、他のターミナルへの利用を考慮した問題を検討している。

以上の問題は岸壁延長を300m相当のバース毎での運用であるが、文献2)、6)と11)では与えられた岸壁延長1,000m相当内で位置を細かく指定する、連続座標系での問題を扱っている。文献2)は板取問題の応用としてバース割当て計画を扱い、荷役時間は係留バースによって変化するように仮定を設けている。これに対し文献6)と11)では、係留位置による荷役時間変化がないことを前提としている。文献6)は、船の希望時刻からの出港遅れと船の係留位置が貨物の配置から離れたときにかかるコストを最小化している。文献11)は船の係留位置、作業開始時刻と同時に岸壁クレーンの割当て問題も扱っている。

既存の研究で、供用バース全てを一括運用する問題は検討しているが、1バース毎運用と組合せて、両者を同時に供用するものはないため、これを対象とする。

3. 本問題の概要

まず本問題の概要について述べる。決定要素は各船の係留バースと係留順とし、目的関数は船のバース待ち時間と荷役時間の合計の総在港時間の最小化とする。ここで到着順に係留させることを前提とするなら、シミュレーションの利用が可能であるが、ここでは係留順は到着順とは限らないとする。その理由として、同時期に到着する船の荷役時間長に差があるとき、時間の短い方を先に係留させた方が他船への待ち時間が短くて済むという考え方から、FCFS制約を設けず、目的関数に待ち時間を入れて、若干の入替えを可能にし係留順を決定要素としている。

次に運用方法の考え方を図1に示し、供用6バース相当の岸壁延長を仮定する。(a)は6等分に区切った、いわゆる1バース毎の運用を示し、荷役コンテナは必ず直背のヤードスペースに保管される。(b)は供用岸壁を一括運用し、コンテナは必ず背後にあるとは限らず、係留位置決定の際に自由度が高いのが特徴である。(c)は2等分にし、それぞれ3バース相当の中規模延長で一括運用され、(d)は(a)と(c)の中間で、中小規模で運用される。以上のように、与えられた岸壁延長を様々な規模に区分し、どんなターミナルでどの組合せが向いているか検討する。なおパターンの表記は、例えば6x1Bは1バース運用規模が6つあることを意味し、全組合せを表2に示す。

4. 問題の定式化

(1) パラメータと変数

本問題の定式化に使用するパラメータと変数は、次のようである。

・パラメータ

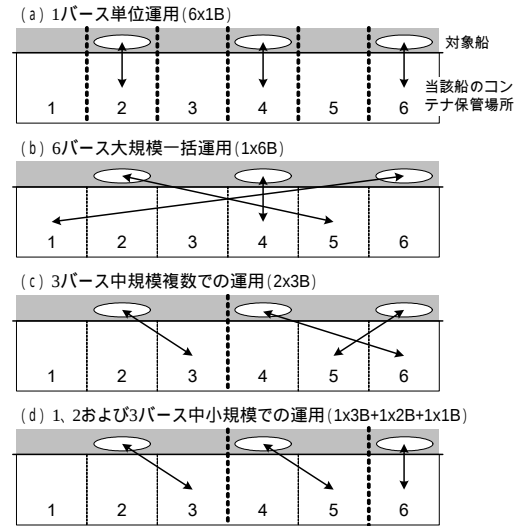


図1 運用方法の概念

表2 供用バース規模の組合せ

パターン6x1B :	1バース規模が6件
パターン1x2B+4x1B :	2バース規模が1件、1バース規模が4件
パターン1x3B+3x1B :	3バース規模が1件、1バース規模が3件
パターン1x4B+2x1B :	4バース規模が1件、1バース規模が2件
パターン1x5B+1x1B :	5および1バース規模がそれぞれ1件
パターン1x6B :	6バース規模が1件
パターン1x4B+1x2B :	4および2バース規模がそれぞれ1件
パターン2x3B :	3バース規模が2件
パターン1x3B+1x2B+1x1B :	3、2および1バース規模がそれぞれ1件
パターン2x2B+2x1B :	2バース、1バース規模がそれぞれ2件
パターン3x2B :	2バース規模が3件

$i(=1, \dots, I \in B)$	バース番号 (I : 供用バース数)
$j(=1, \dots, T \in V)$	船番号 (T : 対象船の隻数)
$k(=1, \dots, T \in O)$	対象計画期間での係留順序
A_j	船 j の到着時刻
C_{ij}	船 j がバース i で荷役にかかる時間
P_k	k までの順番の集合
S_i	バース i の当該計画期間における計画開始時刻
W_i	バース i の計画開始時刻以降に到着する船の集合
・変数	
x_{ijk}	もし船 j のバース i の k 番目に係留されるととき 1、そうでないとき 0 である 0-1 の整数変数
y_{ijk}	船 j がバース i の k 番目の船として係留される直前での、バース i の空き時間

(2) 定式化

本問題は以下のように定式化される。

$$[OP] \quad \text{Minimize} \quad \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{(T-k+1)C_{ij} + S_i - A_j\} x_{ijk} + \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{l \in O} (T-k+1)y_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i \in B} \sum_{k \in O} x_{ijk} = 1, \quad \forall j \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i \in B, k \in O \quad (3)$$

$$\sum_{l \in V} \sum_{m \in P_k} (C_{il} x_{ilm} + y_{ilm}) + y_{ijk} - (A_j - S_i) x_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in W_i, k \in O \quad (4)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (5)$$

$$y_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (6)$$

目的関数である式 (1) は、総在港時間の最小化を示す。制約式 (2) は各船がいくつかのバースに必ず 1 回係留されることを保証し、式 (3) は各バースのある時点では船は 1 隻のみ係留できることを意味する。式 (4) では各船は到着後に係留されることを保証する。なお各式での各項の詳細な説明は文献 1) に示す。

本問題は、式 (4) を緩和することによって、次のようなラグランジュ緩和問題に変形できる。

$$\begin{aligned} \text{[P1] Minimize } & \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{(T-k+1)C_{ij} + S_i - A_j\} x_{ijk} \\ & + \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{l \in O} (T-k+1)y_{ijk} - \sum_{i \in B} \sum_{j \in W_i} \sum_{k \in O} \lambda_{ijk} \left\{ \sum_{l \in V} \sum_{m \in P_k} (C_{il} x_{ilm} + y_{ilm}) \right. \\ & \left. + y_{ijk} - (A_j - S_i) x_{ijk} \right\} \quad (7) \\ \text{Subject to } & \sum_{i \in B} \sum_{k \in O} x_{ijk} = 1, \quad \forall j \in V \quad (8) \\ & \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i \in B, k \in O \quad (9) \\ & x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (10) \\ & y_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (11) \end{aligned}$$

ここで λ_{ijk} はラグランジュ乗数である。 y_{ijk} は制約式に表れず冗長であり、式を整理すると以下ようになる。

$$\begin{aligned} \text{[P2] Minimize } & \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{(T-k+1)C_{ij} + S_i - A_j\} x_{ijk} \\ & - \sum_{i \in B} \sum_{j \in W_i} \sum_{k \in O} \lambda_{ijk} \left\{ \sum_{l \in V} \sum_{m \in P_k} C_{il} x_{ilm} - (A_j - S_i) x_{ijk} \right\} \quad (12) \\ \text{Subject to } & \sum_{i \in B} \sum_{k \in O} x_{ijk} = 1, \quad \forall j \in V \quad (13) \\ & \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i \in B, k \in O \quad (14) \\ & x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (15) \end{aligned}$$

なお問題 [P2] の添字 i, j, k の i と k を組み合わせて新しい添字 n (N) に置き換えると、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \text{[P3] Minimize } & \sum_{n \in N} \sum_{j \in V} E_{nj} x_{nj} \quad (16) \\ \text{Subject to } & \sum_{n \in N} x_{nj} = 1, \quad \forall j \in V \quad (17) \\ & \sum_{j \in V} x_{nj} \leq 1, \quad \forall n \in N \quad (18) \\ & x_{nj} \in \{0, 1\}, \quad \forall n \in N, j \in V \quad (19) \end{aligned}$$

ここで E_{nj} は目的関数(12)のパラメータを整理し、添え字を調整したものである。この問題は 2 次元の割当問題と

して表現したものであり、容易に解ける。

5. 解法

まず当該船が 1 バースのみから成るバース区分か、複数バース規模から成るバース区分か、利用バース規模を決定する。その後、前者なら (2) の処理を、後者なら供用規模区分ごとに (3) の処理を行う。

(1) 各船の利用バース種類の決定方法

供用バースのうち、どのバースが 1 バース規模で運用するか、複数バース規模で運用するかは所与とする。

なお各船のコンテナ保管場所は、同一バース背後の同一区画内とし、一様乱数で決定する。直近バースでかかる時間が全バースでの荷役時間の最小とし、コンテナ 1 個あたり 1.2 分とする。また単純に移動距離に比例して時間延長せず、岸壁クレーン数の変化によっても時間延長率は異なるだろう。そこで、5 バース離れた端から端の移動で 1 個あたり 1.5 分かかるものとし、1 バース離れるごとに荷役時間を 5% 時間延長している。

つまり当該バースが 1 バース単位で供用される場合、そこが荷役時間最短である船を割り当てる。複数バース規模供用の場合、その内、いくつかのバースが荷役時間最短である船を割り当てる。

(2) 1 バース毎運用でのバース割当法

1 バース毎運用に属するバースでは、当該バースに荷役コンテナの保管される船を割当て、係留順は各船の待ち時間が最小になるよう、到着順に係留させる。

(3) 複数バース供用でのバース割当法

ここでは利用バースと係留順の決定の際に、文献 1) と同様である、以下に示す劣勾配法を利用する。

a) 劣勾配法

ステップ 1: ラグランジュ乗数の初期値を設定する。

ステップ 2: 元問題のラグランジュ緩和問題を作り、それを解いて下界値を求める。

ステップ 3: 緩和問題の解を修正して、元問題の実行可能解を求める。

ステップ 4: 収束条件である、最適解が求まっているか、または繰返し回数が設定値を超えれば、終了。

ステップ 5: 現在の解の目的関数値から新たなラグランジュ乗数を計算する。ステップ 2 へ戻る。

b) 実行可能解を求める方法

緩和問題の解では、緩和した制約式 (4)、つまり対象船舶が到着後に係留されるという条件を満足しない場合もある。そこで劣勾配法のステップ 2 では、各船に対し、文献 1) で提案された解法の最良のものを用いる。

具体的には、緩和した制約を満足しない船を見つけ、割当られたバース内で、当該船の係留開始時刻を到着時刻まで係留順に後ろへずらす。次に、当該船よりも後に係留予定の船全てに対し、船をずらして出来た空き時間に係留させることを考える。この場合、当該船の出港時刻と他船の到着時刻の差が最小なものを優先的に空き時間に係留させ、空きがなくなれば、制約を満足しない別の船を探し、同様のことを繰り返す。

6. 数値実験

本研究では、実績マルチユーザターミナルから得られたデータを参考に、実データと同様の船の到着分布と荷役時間分布を用いる場合、さらにその範囲内で生成させ港の混雑状況パターンを増やした場合でも分析を行う。

(1) 計算実験の概要

先で示した海外マルチユーザターミナル、および1ターミナル分ではないが、神戸港に寄港した船の到着分布と荷役時間分布を表3に示す。平均到着間隔は2.5～3.8時間、平均荷役時間は7.8～14.0時間の間でターミナル毎の混み具合が表現されている。そこで、表4に示す到着間隔と荷役時間の平均をそれぞれ4および3ケース用意し、合計12ケースの組合せで数値実験を行う。なお各ケースに対し、乱数の種4で生成させた到着間隔と荷役時間における16パターン分の計算結果の平均を示す。

(2) 計算結果

バース運用規模の各組合せにおける目的関数値である総在港時間を求め、同一期間で到着間隔によって計画対象隻数が異なるため、隻数で割って1隻あたり平均在港時間を計算し、1バース単位運用との差を次式で求め、この結果を図2に示す。

$$1 \text{バース単位運用との差}(\%) = (\text{各バース運用規模での在港時間} - 1 \text{バース単位運用での在港時間}) \times 100 / 1 \text{バース単位運用での在港時間} \quad (20)$$

なお6x1Bで示される1バース単位運用は、それとの差を見ているため、いずれのケースも値は0である。

a) 生成データでの分析

まず荷役時間長で比較すると、これが長くなれば、1バース単位との差が小さくなる傾向にあるが、2Bや3Bを含むような中規模運用の組合せではその変化も小さいことがわかる。

次に到着間隔の長さで比較すると、値の負は1バース単位運用より時間が短いことを意味しており、平均到着間隔4.0時間の荷役時間長8時間の一部と、11および14時間の全ケースである。したがって、比較的空いている所では、一部まとめて運用することに効果があることがわ

表3 実績データの概要

ターミナル名	到着間隔	荷役時間分布	
	平均 (時間)	平均 (時間)	k 次アーラン分布
PECT	3.5	14.0	5
Kobe	3.8	7.8	5
Brani	2.5	11.2	5
Tanjong Pagar	2.7	11.7	8
Keppel	2.8	12.2	5
Pasir Panjang	2.9	11.5	6

表4 生成データの概要

到着分布 : 指数分布				
平均到着間隔 (時間)	2.5	3.0	3.5	4.0
荷役時間分布 : 5 次アーラン分布				
平均荷役時間 (時間)	8	11	14	

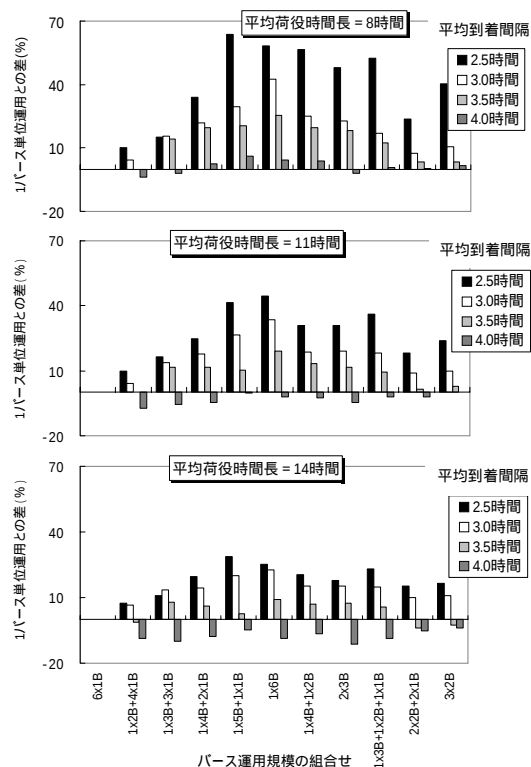


図2 生成データでの船1隻あたり平均在港時間

かる。反対に2.5時間のケースで差は最大になり、到着間隔の延長に伴い、差は減少傾向にある。

組合せで見えていくと、平均到着間隔2.5時間、3.0時間の場合、差が大きいのはいずれの荷役時間長でも、1x5B+1x1Bと1x6Bとなっており、大規模運用のケースでその傾向がある。またいずれのケースもその値が正で、1バース単位運用で最小となり、混雑する状況では1バース単位で十分であるといえる。しかしながら、3.5時間のいずれの荷役時間でも1x2B+4x1Bが負、さらに11時間では2x2B+2x1B、14時間で3x2Bが負となっており、2バースと1バースの組合せの時に時間が短くなっている。4.0時間では、平均荷役時間8時間のとき、1x2B+4x1B、1x3B+3x1B、および2x3Bの値が負、11および14時間のときに全組合せで値が負となっており、空いているときに数バースを一度に運用する効果が発揮できるといえる。また特に荷役時間長が短い場合、待たされるケースそのも

のが少ないため、その効果も小さいが、荷役時間が長いと待ち時間延長を抑える工夫が必要となり、運用規模の違いがその効果の違いとして出ている。なお平均荷役時間14時間の場合、1x3B+3x1Bや2x3Bのように3バース規模を含む中規模運用に効果が高いといえる。

b) 実績タイプデータでの分析

実績の生データには、係留実績のないバースでの荷役時間データがないため、生成データでの傾向を踏まえて、実績と同様の分布形データを生成し、各ターミナル状況を再現して、それぞれのターミナルタイプでいずれの運用規模が効果的か調べる。

図3には表3の分布形データを生成し、各ターミナルタイプとして、1隻あたりの平均在港時間を計算し、図2と同様に1バース単位運用との差を示している。

まず1バース単位運用と比較すると、PECTタイプでは2x2B+2x1Bと3x2Bで負、Kobeタイプで1x2B+4x1B、1x3B+3x1B、2x3B、1x3B+1x2B+1x1B、2x2B+2x1B、3x2Bで負となっており、PECTタイプでは複数2バースによる運用、Kobeタイプでは2もしくは3バースから成る中規模運用が効果的といえる。またPECTとKobeの両タイプは、シンガポール4ターミナルと比較しても値が小さく、この傾向は図2の到着間隔4.0時間・荷役時間8時間、到着茶間隔3.5時間・荷役時間14時間の結果と同様の結果が得られている。またシンガポール港4ターミナル全てで、正の値になっており、またその差の大きさはPasir Panjangが小さく、Braniが最も大きく、生成データの場合と同様に、到着間隔が短く混雑度が高いほど、1バース単位運用が向いているのが分かる。

c) 代表3ターミナルタイプでの在港時間延長率

次にPECT、Kobe、さらにシンガポール港のうち到着間隔が短く、PECTやKobeとは全く傾向が異なるBraniタイプ、以上の3タイプにおいて、船毎の在港時間をコンテナ保管場所での荷役時間で割って在港時間延長率を求め、利用バース規模が拡大したときに個々の船への待ちを含む在港時間がどの程度時間延長になるかを見る。

$$\text{在港時間延長率(\%)} = \frac{\text{在港時間}}{\text{コンテナ保管場所直近バースでの在港時間}} - 1 \quad (21)$$

各組合せでの平均と標準偏差を表5に示す。ここで値が1なら、待ち時間はゼロ、係留位置はコンテナ保管場所直近バースと解釈できる。

まず1バース単位運用を見ると、ここでは全船がコンテナ保管場所の直近バースに係留されるため、単純に値から1を引いたものは、待ち時間/最短荷役時間として待ち時間割合の延長率になる。平均値はBraniが最も大きく、次いで順にPECT、Kobeとなっている。到着間隔が短く、混雑度の高い順に待ち時間延長率も高くなっているのが分かる。次にターミナルタイプ毎に平均値を見

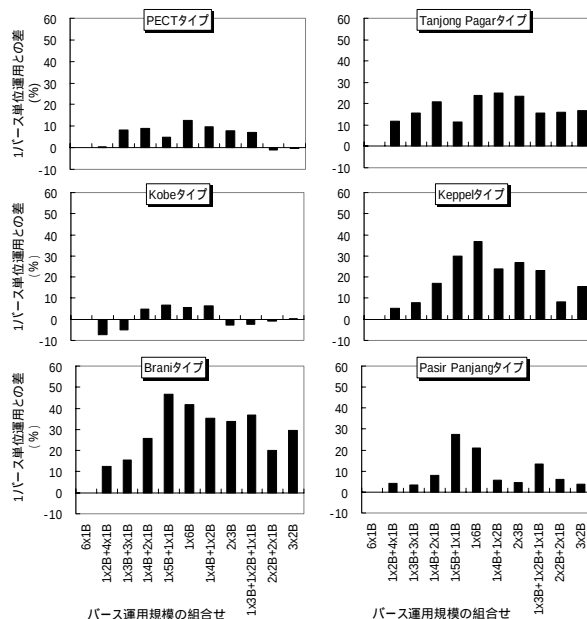


図3 実績タイプデータでの船1隻当たり平均在港時間

表5 3ターミナルタイプにおける各船のコンテナ保管バースからの在港時間延長率

	PECT		Kobe		Brani	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
6x1B	1.91	1.31	1.51	0.90	2.14	1.79
1x2B+4x1B	1.84	1.32	1.30	0.57	2.31	1.54
1x3B+3x1B	1.88	1.35	1.32	0.57	2.25	1.45
1x4B+2x1B	1.65	0.87	1.36	0.64	2.31	1.65
1x5B+1x1B	1.65	0.90	1.32	0.54	2.64	1.88
1x6B	1.73	0.99	1.35	0.66	2.54	1.75
1x4B+1x2B	1.63	0.87	1.35	0.66	2.34	1.65
2x3B	1.69	1.00	1.33	0.64	2.26	1.46
1x3B+1x2B+1x1B	1.76	1.14	1.34	0.67	2.27	1.54
2x2B+2x1B	1.54	0.93	1.32	0.56	2.41	1.58
3x2B	1.52	0.92	1.31	0.58	2.47	1.60

ると、PECTとKobeでは、1バース単位運用で値が最大で、コンテナ保管の直近でないバースの利用と係留順の工夫で時間を短く抑えられている。Braniの場合、他のバース利用することで荷役時間だけでなく待ち時間も延長しているのが分かり、隻数が増えて混雑度の高く、問題の規模の大きいケースで、解の精度が悪くなっている。提案する方法で必ず最適解を得る保証があるなら、最悪でも1バース単位運用と同程度の結果となるが、そうはならず、これは本解法の限界であったと言える。この傾向は、文献1)の結果同様、隻数が多く問題規模が大きいことがこれに影響していると言える。

d) 代表3ターミナルタイプでの供用バース数変化

次に先の3ターミナルタイプに対し、運用方法の工夫で供用バース減少が可能か否かを調べる。なおここでも同様のケースに対し、各組合せでの1隻あたり平均在港時間の平均値を図4に示す。棒グラフは各組合せでの在港時間、折れ線は6バース供用での1バース単位運用の値である。PECTとBraniは供用バース数減少に伴い、相対的に時間延長になっている。しかしながら、Kobeは1バース少ない5バース供用でも、1x3B+2x1Bの場合、6バース供用と同程度の値になっており、Kobe程度の混み具

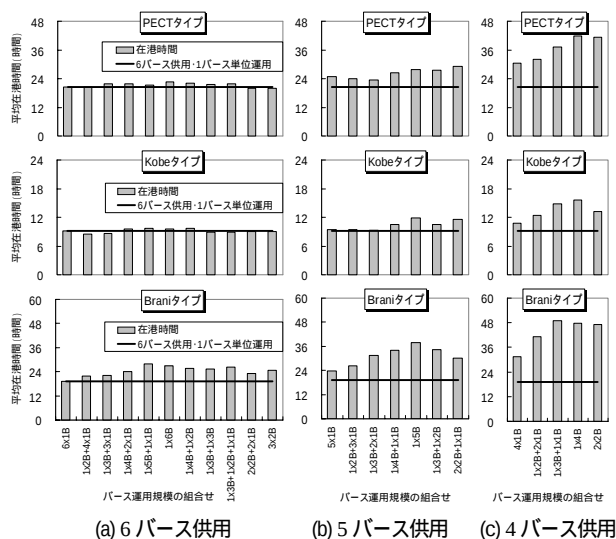


図4 供用バース数減少での平均在港時間

合では運用規模の工夫で供用バース数を減らすことが可能であることがわかった。

7. おわりに

コンテナバースの運用方式に着目し、連続数バースから成るターミナルにおいて、300m相当の1バース毎に運用する場合、全バースを一括運用する場合、さらに供用岸壁延長を2等分、3等分する場合、一部を一括運用し、残りを1バース毎の運用する場合等運用上の岸壁空間の区切り方が、船の到着間隔等で表したターミナルの混み具合ごとに、船の在港時間にどう影響するかを検討した。

結果として、到着間隔が短く混雑するターミナルでは、コンテナが必ず直近にある1バース単位運用が在港時間は短くて済み、間隔が長く比較的空いているターミナルでは、2もしくは3バースと、1バース単位を組合せた運用が時間短縮に繋がるということがわかった。また実績データタイプの分析からも、中規模運用が効果的であることが分かり、コンテナ保管の直近でないバースの利用と

係留順の工夫で待ち時間を含む在港時間が短く抑えられているのが分かった。さらに最も空いているKobeタイプの場合、供用バース数を1バース減らしたときに3バースと1バースの組合せで、6バース供用と同様の在港時間が得られ、運用規模の工夫で、供用バース数が抑えられることがわかった。

また今後は、船会社や船のサイズ等対象船舶に優先度を設け、より現実的な問題として扱う予定である。

参考文献

- 1) Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., The dynamic berth allocation for a container port, *Transportation Research Part-B* 35, 401-417, 2001.
- 2) Imai, A., Sun, X., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach, *Transportation Research Part-B* 39, 199-221, 2005.
- 3) Imai, A., Nishimura, E., Hattori, M. and Papadimitriou, S., Berth allocation at indented berths for mega-containership, *European Journal of Operational Research* 179(2), 579-593, 2007.
- 4) Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity, *Transportation Research Part-E* 44, 136-151, 2008.
- 5) Kim, K.H. and Moon, K.C., Berth scheduling by simulated annealing, *Transportation Research Part-B* 37, 541-560, 2003.
- 6) Lai, K.K. and Shih, K., A study of container berth allocation, *Journal of Advanced Transportation* 26(1), 45-60, 1992.
- 7) Monaco, M.F. and Sammarra, M., The berth allocation problem: A strong formulation solved by a lagrangean approach, *Transportation Science* 41(2), 265-280, 2007.
- 8) 西村悦子, 今井昭夫, 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, 872-834, 1999.
- 9) 西村悦子, 今井昭夫, 佐村智子, 船の優先度を考慮したマルチユーザコンテナターミナルにおける多目的バース割当法, 土木計画学研究・論文集, No.18, 721-728, 2001.
- 10) 西村悦子, 今井昭夫, 樂森, マルチユーザターミナルの利用実態に関する調査, 日本航海学会論文集, No.15, 107-114, 2006.
- 11) Park, Y.M. and Kim, K.H., Berth scheduling for container terminals by a sub-gradient optimization technique, *Journal of the Operational Research Society* 53, 1054-1062, 2002.
- 12) 国土交通省ウェブサイト (特定重要港湾指定のページ) (<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/11/110701.html>) (2008年7月23日ダウンロード)

岸壁空間の運用規模区分を考慮したマルチユーザターミナルの生産性に関する研究*

西村悦子**・今井昭夫***・Pierre CARIU#

岸壁空間利用の効率化の観点から一直線上に並んだバースの管理方法を考えると、従来の1もしくは2バースから成る船会社専用形式が必ずしも最良とは限らない。そこで本研究では300m相当の1バース単位で運用する場合、供用岸壁を一括運用する場合、さらに供用岸壁を複数に区切って中小規模で運用する場合など様々な組合せを想定し、混雑状況の異なる港でいずれのパターンが向いているかを示すことの出来る方法を提案する。ここでは最大6バース相当を仮定したが、数値実験の結果、到着間隔が短く混雑するターミナルでは1バース単位運用が、比較的空いている所では2、3バース規模を含む組合せが効果的であるという結果になった。

Productivity of Multi-user Container Terminal in Partitioning Arrangements a Given Quay Space*

By Etsuko NISHIMURA**・Akio IMAI***・Pierre CARIU#

From the viewpoint of the quay space use efficiently, we assume various cases in partitioning arrangements a giving quay space as follows: each one-berth unit, large size consisted of six berths, and medium and small sizes consisted of one or more berths. We examined which arrangement by operational quay size is better in variations of congested terminal situation. As results of numerical experiments, in considerably congested terminal, the arrangement by each berth unit outperforms others. In not so busy terminal, the arrangement by medium size consisted of two or three berths overcome others.