

マルチユーザーターミナルでの同時係留バース割当の効率性*

Efficiency of Allocating Multiple Ships to a Specific Berth in a Multi-User Container Terminal

孫鑫**、服部真洋***、西村悦子****、今井昭夫#

By Xin SUN, Masahiro HATTORI, Etsuko NISHIMURA and Akio IMAI

1. はじめに

日本では、コンテナ港湾の国際競争力を高めるため、国土交通省がスーパー中枢港湾と銘打って、バースの集約によって港湾コストの低廉化を図りつつある。現在、日本の主要港における多くのコンテナターミナルは2バース程度を特定船社に長期貸し付けする専用ターミナルとして運用されている。一方、近隣アジアのコンテナ港ではいわゆるマルチユーザーターミナル(以下、MUTと呼ぶ)が多い。

MUTは、アジアや欧州のメガコンテナ港湾に多くの例があるが、日本には過去に存在しなかった。専用ターミナルは船社取扱貨物が大量な場合、経済的な方法である。しかし貨物量がさほど多くない場合は、ターミナルの岸壁ならびにマーシャリングヤードの容量は相対的に過大になる。一方、MUTは複数船社によるターミナルの共同利用を意味し、1船社の取扱貨物量が1(区画の)ターミナル規模に満たない場合は、複数区画のターミナルを複数船社で使うMUTは経済的である。

日本のコンテナ港湾はその黎明期から長期間にわたって近隣アジアの港に比べて多くのコンテナ貨物を取り扱ってきており、このような時期では専用ターミナルは効率的であった。しかし現在は日本の主要コンテナ港の取り扱い貨物量は近隣諸国に比べて相対的に低下傾向にあり、そのため、上記のような理由から、コンテナ1個当たりの港湾関連コストが高い状況に至っている。そこでスーパー中枢港湾では、このような形態から、1社のターミナルオペレータ(メガオペレータ)が5バース程度を一括管理運用するMUTへ転換し、ターミナル規模の適正化ならびにターミナル運用の効率化を考えている。

専用ターミナルとMUTの両方には、ターミナルでのコンテナのハンドリングの類似性はあるものの、後者ではバース運用が前者に比べてはるかに複雑になると予想される。つまり、MUTはバース運用に柔軟性があるため(つまり、船をバースの混み具合に応じて、動的に利用バースを指定できる)、より効率的なターミナル運用が実現できる。しかしこのことは、バース運用が不適切になされると、その効率性が阻害され、結果として船のバース待ちの頻発と在港時間の増加、さらにそれに起因する時間コストの増大につながる。

専用ターミナルではバース数が少ないことから、ある寄港船が係留されるバースは、寄港のたびに異なることはあまりない。つまり、荷役対象コンテナが蔵置されているヤードの前面のバースに当該船が係留される。しかし、MUTでは寄港船のバース決定時期ならびに荷役コンテナの荷主からの搬入開始時期の関係から、必ずしも係留予定バースがコンテナ蔵置ヤードに一致されるようにプランニングされるとは限らない。

一般に、ある船の荷役時間は係留バースの位置と荷役コンテナのヤード位置によって異なると考えられる¹⁾。ヤードクレーン(YC)方式のターミナルの場合、船の係留位置とコンテナ蔵置位置が離れていれば、トレーラーの走行距離が長くなる。そのため、荷役を行う岸壁クレーン(QC)とYCのところにやってくるトレーラーがクレーンの荷役サイクルに間に合わず、サイクルが中断され荷役時間が増加する可能性が高くなる。これに対処するには、トレーラーを大量に投入すればよいが、これによりドライバー費を含めたトレーラーコストが上昇してしまう。したがって、トレーラー台数には必ずと限界がある。そのため、係留位置と荷役対象コンテナのヤード位置によってトレーラー走行距離が異なり、その結果、船の荷役時間も異なる。

以上のことから、船の係留バースの決定は、ターミナル全体の船の荷役時間を短縮する上で非常に重

* 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後期課程

*** 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)

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)

要である。

本研究では、以上のことを背景に、MUTにおけるバース割当問題の効率的な解法を提案する。過去に、単一バースに1隻のみ係留する場合(以下、単一係留問題と呼ぶ)^{2)・3)}と、2隻以上を同時係留する場合(以下、同時係留問題と呼ぶ)⁴⁾のバース割当が研究されている。同時係留条件では、問題を非線形計画問題として定式化している。一般に非線形計画問題は線形問題よりも厳密解を求めることは困難である。後述するように、本研究は厳密解ではなく、近似解を求める。しかし、一般的に定式化は線形表現が好ましい。そこで、本研究では、まず同時係留問題を線形整数計画問題として定式化する。

次に、このように定式化された同時係留バース割当に対して、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた効率的な近似解法を提案する。さらに、本研究で開発した同時係留問題と既往の単一係留問題とを用いたバース運用シミュレーションを行い、MUTでのバース運用の効率性における両問題の適用の優劣を比較する。

ところで、一般に単一係留条件で計画しても、バースに余裕がある場合は、マニュアルプランニングで同時係留解を求めることが实际的である。しかし、本研究では、あくまで理論的な見地から、同時係留問題の特性を単一係留問題との比較により検証する。

2. 研究の概要

(1)バース割当の概念

バース割当の評価指標は各船の待ち時間と荷役時間の合計である総在港時間とする。先に述べたように、MUTは総コスト低廉化のためのシステムであるが、本研究の中心は、そのバース運用というオペレーションの効率化にある。したがって、在港時間を目的関数にする。なお、評価指標を船の長時間停泊に起因する不経済性というコストで考えることも可能である。しかし、船(またはその貨物の)時間価値を定義するのは容易ではなく、今回は時間で評価する。

図1にバース割当の概念図を示す。3バースに12隻の船が係留されている状況を示している。下向きの矢印は当該船の到着時刻を示す。なお、船番号は

到着順に付している。本問題は計画開始時刻後に到着した船も含んでいるため、空きバースの時間が生じる。これは、荷役が終了した船と次に係留する船との間隔である。斜線はバースが空いている状態を示している。

ここでの決定要素は、係留バースと係留順である。したがって船1と2のように、到着と係留開始の順番が入れ替わるケースもある。船6と船7、船10と船11はそれぞれ同時に係留されている。船7が到着した時、バース3の一部分が大きく空いているので、船6と同時係留されている。また、各バースの最終の船が出港してバースが空きになる時刻は、次の計画開始時刻となり、バースによって異なることもある。

(2)シミュレーションの概要

本研究で行うMUTのシミュレーションの全容は図2に示すが、詳細を以下に述べる。

- ① 荷役時間推定モデル：船の係留予定位置と対象コンテナのヤード上蔵置位置から当該船の荷役時間の推定を行う。
- ② バース割当：これが本研究の中心部分である。
①で計算した荷役時間を用いて対象船の係留場所をバース単位で決定する。
- ③ コンテナハンドリングシミュレーション：最適に決定されたバース割当をもとに、コンテナのヤード上での搬送シミュレーションを行い、計画期間内の全船の総在港時間を求める。

本研究の中心は、②のバース割当問題の提案とその近似解法の開発である。①の結果が②の入力になる。さらに②のバース割当の解をもとにMUTでの

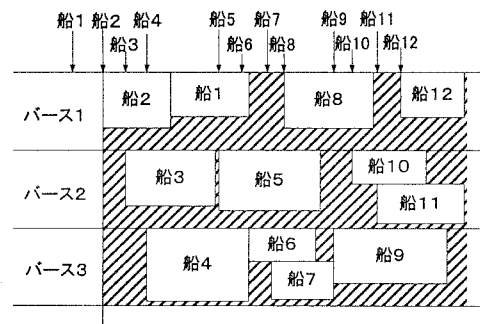


図1 バース割当ての概念

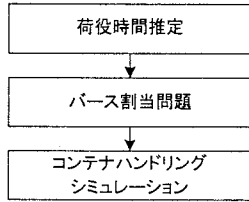


図2 シミュレーションの概要

荷役シミュレーションを実施するが、これは③の部分で行う。

ここで①の荷役時間推定モデルとして、既往の研究¹⁾のものを使用する。そこでは、荷役時間に影響を与えるものとして、各船の荷役コンテナ数、トレーラー投入台数および係留位置と荷役コンテナの蔵置位置との間の距離を3つの説明変数とし、各船の荷役時間を従属変数として重回帰モデルを表1のように構築している。全変数を対数変換したときに寄与率が88%となる最善値であったため、これを採用する。

モデル式は式(1)のように表される。

$$y = e^{1.71 x_1^{0.75} x_2^{-0.77} x_3^{0.29}} \quad (1)$$

各QC当たりのトレーラー台数として一定値を与件とし、船の係留位置と蔵置位置間の距離を本モデルに入力して、バース割当てで用いる荷役時間の推定を行う。

3. 複数隻同時係留バース割当て問題の定式化

ここでは、同時係留条件でのバース割当て問題の定式化を示すが、定式化の前提条件は以下の通りである。

- ① 各船の荷役時間は、バースによって異なる。
- ② 同時係留は最大2隻までとし、それらの全長の合計がバース長を超えないものとする。
- ③ 船がバースに係留されたら、出港するまで他のバースへ移動しない。

定式化で用いられるパラメータと変数は以下の通りである。

- $i (=1, \dots, I) \in B$: バース番号
 $j (=1, \dots, T) \in V$: 船番号
 $k (=1, \dots, T) \in U$: 係留順序
 A_j : 船 j の到着予想時刻 (単位: 時)
 BL_i : バース i の岸壁長

表1 重回帰分析による荷役時間推定モデル

従属変数 y：船の荷役時間			自由度 894
説明変数	偏回帰係数	t 値	
(定数)	1.71	2.31	寄与率 0.88
x_1	0.75	6.20	
x_2	-0.77	-40.84	F 値 458.16
x_3	0.29	16.78	
x_1 ：荷役コンテナ数、 x_2 ：トレーラーの投入台数、 x_3 ：係留位置荷役コンテナ位置間の距離			

S_i : 本計画期間内でバース i がはじめて空になる時刻 (時)

C_{ij} : 船 j がバース i で行う荷役時間 (時間)

L_j : 船の全長、 TM : 大きな値

b_{ij} : 船 j のバース i での係留開始時刻 (時)

f_{ij} : 船 j のバース i での出港時刻 (時)

x_{ijk} : もし船 j がバース i で k 番目に係留されるとき
1、そうでないとき0、である整数変数

$\tau_{ijj'}$: バース i で船 j が船 j' より早く係留されるとき
1、そうでないとき0、である整数変数

$\omega_{ijj'}$: バース i で船 j と船 j' が同時に係留される
とき1、そうでないとき0、である整数変数

以上の仮定の下、同時係留バース割当て問題の定式化は次のように定義される。

$$[P] \text{ Minimize } Z = \sum_{j \in V} \left(\sum_{i \in B} f_{ij} - A_j + 1 \right) \quad (2)$$

subject to

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

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in B, k \in U, \quad (4)$$

$$b_{ij} \geq \sum_{k \in U} \max \{ S_i, A_j \} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V, \quad (5)$$

$$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} - 1 \quad \forall i \in B, j \in V; \quad (6)$$

$$\sum_{k \in U} k x_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} + (\tau_{ijj'} - 1) TM \quad \forall i \in B, j, j' \in V, \quad (7)$$

$$b_{ij} \leq b_{ij'} + (1 - \tau_{ijj'}) TM \quad \forall i \in B, j, j' \in V, \quad (8)$$

$$f_{ij} < b_{ij'} + (1 + \omega_{ijj'} - \tau_{ijj'}) TM \quad \forall i \in B, j, j' \in V, \quad (9)$$

$$\omega_{ijj'} (L_j + L_{j'}) \leq BL_i \quad \forall i \in B, j, j' \in V, \quad (10)$$

$$\omega_{ijj'} \leq \tau_{ijj'} \quad \forall i \in B, j, j' \in V, \quad (11)$$

$$\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k} - 1) \leq \tau_{ijj'} + \tau_{ij'j} \quad \forall i \in B, j, j' \in V, \quad (12)$$

$$\tau_{ijj'} + \tau_{ij'j} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \quad \forall i \in B, j, j' \in V, \quad (13)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in U, (14)$$

$$\tau_{ijj'} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in U, (15)$$

$$\omega_{ijj'} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in U, (16)$$

なお、 x_{ijk} 、 $\tau_{ijj'}$ 、 $\omega_{ijj'}$ 、 b_{ij} と f_{ij} は決定変数である。

また、 C_{ij} は次のようにして求める。つまり、対象船の荷役コンテナのヤード上蔵置位置を仮定してその蔵置位置と係留バース i との距離を求める。さらに船へのコンテナの搬出入に使うトレーラー台数を仮定する。そしてこれらと船の荷役コンテナ数から式(1)を用いて C_{ij} を計算する。

目的関数(2)は各船のバースの待ち時間と荷役時間の合計である総在港時間の最小化である。制約式(3)は各船がいずれかのバースに1回係留されることを保証する。制約式(4)は各バースで、ある順序ではただ1隻しか係留できないことを意味する。制約式(5)は、船は計画開始時刻かつ到着時刻以降に係留されることを保証する。制約式(6)は船の出港時刻を定義する。制約式(7)から(9)は船 j と j' の先行順序を考慮したものである。制約式(10)は船が岸壁延長を超えないように同時係留されることを意味する。制約式(11)は2隻の船が同じバースに係留されるとき、どちらが先に係留されても同時係留させることができる。逆に、それらの船が異なるバースに係留されるとき、同じバースに同時に係留されないことを意味する。制約式(12)と(13)は2隻の船が同じバースでどちらが先に係留されるかにかかわらず、それらの船に関する係留順の変数は適切に定義される。また、2隻の船が同じバースに係留されないならば、 $\tau_{ijj'}$ と

$\tau_{ijj'}$ はともに1ではない。

なお目的関数で、出港時刻と到着時刻の差に1を加えている。これは、例えば、11時に入港しすぐに係留され1時間荷役をして出港すると、本モデルでは、11時台の最後に出港すると考えるからである。

4. 遺伝的アルゴリズムによる解法

本問題は一種の割当問題であるが、多項式オーダーの時間で解けるアルゴリズムが存在することが証明されていない。そこで既往の研究⁴⁾と同様に遺伝

遺伝子: 船番号1~9、0

(セル番号)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
個体	3	7	5	8	0	9	1	6	4	2
係留バース	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
係留順	1	2	3	4	1	2	3	4	5	

バースの境界

図3 個体表現の例

的アルゴリズム(GA)を用いた近似解法を用いる。

ここで個体表現方法は、船を遺伝子、係留順を遺伝子座の順とし、遺伝子座に0を加えることで係留バースを区別する。

図3がGAで得られた最終的な個体表現である。この例では、バース1に船3、7、5、8の順で係留され、バース2では船9、1、6、4、2の順で係留されることを示している。

GAの処理における各種操作は以下の通りである。

- ① 選択: トーナメント戦略。
- ② 交叉: 2点交叉を行い、既往の研究⁴⁾と同様に致死遺伝子が現れない処理を行う。
- ③ 突然変異率: パラメータ推定を行った結果、0.09の時に比較的良好な解が得られたため、これを採用する。

次に評価関数さらに適応度に関係する総在港時間の計算方法について説明する。個体表現により各船の係留バースと係留順を決定する。そして、同時係留の処理は、係留順を満足しつつ、船の到着時刻と全長を考慮して係留開始時刻を決定する。船の到着時刻、当該バースでの荷役時間は与件であるので、各船の在港時間を求めることが可能となる。

5. シミュレーション実験

トランステナー方式を用いて、1バース400mの規格のバース4つからなるターミナルを想定する。ターミナル全体でGC20基、YC160台を使用して荷役作業を行う状況で、ヤードのトレーラーのコンテナ作業シミュレーションを実施する。

1バース400mを設定した理由は、横浜南港本牧コンテナターミナル等の大水深高規格ターミナルの数値を参考したからである。また、今回は他のバース長での計算は行っていないが、これに関しては次のような考察が可能であろう。ターミナルの岸壁総延長を一定として1バースの単位長さを短くした場合、

バース数が増大し、問題規模が大きくなり、このため計算時間がかかる。さらに、同時係留ができる船の組み合わせが減少するため、船はバース待ちをする可能性が高くなる。しかしバース長さの減少でバース数が増加するため問題の目的関数である在港時間が大きく変化することはないと考えられる。

シミュレーション期間は1週間で、単一係留と同時係留のバース割当問題の解に対してコンテナハンドリングシミュレーションを行い、総在港時間の差を検討する。

(1)使用データの概要

船の到着間隔は、指数分布に従うことが知られている⁵⁾。本研究では、到着間隔を指数分布（1次アーラン分布）および2次アーラン分布で与えて、1週間分の寄港隻数を生成した。なお、今回は3次以上のアーラン分布を用いた到着間隔での計算は行っていないが、この場合の傾向は1次と2次アーラン分布の結果から推察できる。

さらに混雑したターミナルとそうでないターミナルでは、係留待ち時間に大きな差があると予想されるので、平均到着間隔は2時間と3時間の2種類用意した。以上を考慮して、以下の4ケースの寄港パターンを設定した。

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

なお、シミュレーションは1週間に限って実行させているので、船の平均到着間隔が長いケースは短いケースよりも、シミュレーション期間中の寄港隻数は少ないことになる。



図4 船の係留図

表2 対象船舶に関するデータ

船の全長(m)	150～200	201～250	251～300
荷役コンテナ数(個)	50～300	301～900	901～2000
使用 QC 数	1	2	3
トレーラー台数	4	8	12

これら4ケースに対して船の貨物量を2種類用意するが、これらは一様乱数により生成させた。

次に、生成した船の全長に関して、神戸港の出入港データおよび東京港大井埠頭に寄港したコンテナ船の全長データを分析した。また操船上の安全のために、図4に示すように船首部分には余裕距離 AB が必要となる。そこで、各船の余裕距離を含めた船の全長を、分析したデータをもとに一様乱数を用いて150～300mの範囲で生成させた。さらに、生成させた船に用いる荷役機器を、船の全長にもとづいて表2のように配置するように考えた。

(2)コンテナハンドリング・シミュレーション

本研究ではコンテナターミナル内で行われる本船荷役のみを対象としてモデル化を行う。コンテナターミナル内の荷役シミュレーションモデルを構築するために、シミュレーション・ソフトウェアパッケージである“AutoMod”を使用する。

ターミナルのレイアウトを図5に示す。ここでバースの延長を1600m、奥行きを300mとした。海側の半分を積みコンテナ、陸側の半分を揚げコンテナの蔵置位置として定義する。コンテナの蔵置位置は1つの長方形をブロックとして示し、1ブロックは20のベイで構成されており、1ベイはコンテナ6列の4段積みとする。

シミュレーションにおいて総在港時間を求めるために、船内格納位置-QC 下とヤード内蔵置位置-YC 下のスプレッダーの動き、さらに図5の中の矢印のようにトレーラーの走行ルートの詳細に表現した。YC と QC のコンテナの吊り上げ時のスプレッダーの水平と垂直移動速度(m/min)は、YC で150、90、QC で150、120と仮定した。またトレーラーの平均走行速度を15km/hと設定した。荷役作業におけるコンテナの動きを図6に示す。

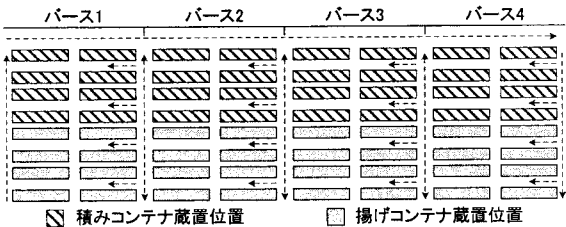


図5 ターミナルのレイアウト

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、その間をトレーラーがコンテナを搬送している。Aは船内格納位置—QC下、Bはヤード内蔵置位置—YC下間のスプレッダーの動きを示している。個々のコンテナに対して船内およびヤード内の格納位置を決定し、QC、YC下との距離とスプレッダーの速度から時間を算出する。トレーラーは特定のQCに割当てられ、YC訪問後同じQC下に戻る。QCとYC下では、スプレッダーとトレーラーの両方が到着すれば先の処理に進むことができ、一方のみの到着の場合、待ち時間が発生し、もう一方の到着を待つこととする。

シミュレーション処理の概要は次の通りである。
ステップ 1: バース割当て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6のAに示すようなQCの作業サイクルにより、船内格納位置からトレーラーまでコンテナを移動する。

ステップ 3: トレーラー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6のBに示されるようにYCの作業サイクルで、トレーラーから受け取ったコンテナをヤード内蔵置位置に運び、トレーラーは担当QCに戻る。

ステップ 5: 全揚げコンテナが処理されるまでステップ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下のトレーラーにコンテナを渡す。

ステップ 7: トレーラーが担当QC下まで運ぶ。

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

ステップ 9: 処理コンテナ数が全積みコンテナ数になるまでステップ6～8を繰り返す。船の全ての積み作業が終われば出港する。

(3)シミュレーション結果

1週間のシミュレーションを行い、その結果としての4ケースの総在港時間、待ち時間分布を図7と図8に示す。図7は各ケースでの単一ならびに同時

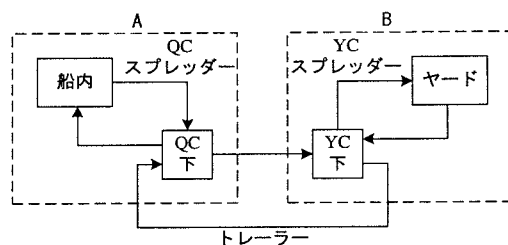


図6 荷役作業関係図

係留バース割当てスケジューリングによる総在港時間と、それらのGAP(%)を示している。ここでGAPとは、式(17)で定義した両バース割当てによる総在港時間の差のことである。なお、TS、TPは単一係留と同時係留での総在港時間である。

$$GAP(\%) = \frac{TS - TP}{TS} \times 100 \quad (17)$$

総在港時間は、2種類の貨物量データによる2回のシミュレーションの平均値である。

図8は各ケースでの、待ち時間帯別の隻数分布を示している。

図7をみると、同時係留スケジューリングのほうが単一係留よりも総在港時間が短いことが明らかである。単一係留と同時係留ともにバース割当ては最適化問題の解として求められる。しかしながら、その係留バースと係留順の決定を逐次的に解釈すると、以下のような解釈ができる。つまり、単一係留の場合、ある船が他の船と同時係留可能であっても問題の仮定からそれができないため、それらの船の一方が当該バースで他方の船の後に係留されるか、荷役時間が長くなるかもしれないが他のバースへ割り当てられる。このことは同時係留できない船のバース待ち時間や荷役時間の増加につながる。総在港時間は、以上の考察の通り、どのケースにおいても、単一係留より同時係留の方が短い結果になっている。

各ケース間の比較をすると、隻数が減ると総在港時間は当然減少している。しかしそれとともにGAPが増大していることは興味深い。特に隻数が少ないケース3と4においては、同時係留での総在港時間は単一係留の半分以下となっている。このように、対象隻数が少ない方が、同時係留の効果が大きいので、全体の計画期間が一定であっても、こまめに計画スパンを区切って計画する方が得策であると考

えられる。

次に、図 8 の待ち時間帯別の隻数分布をみると、同時係留では、ケース 2~4 において半数以上の船が高々丸 1 日待っているにすぎない。なお、ケース 3 と 4 では、単一係留と同時係留とも、待ち時間が 0 である船が全体の 20% になっている。単一係留と同時係留を比較すると、すべてのケースで同時係留の方が 1 隻当たりの平均待ち時間が短い。また同時係留では、待ち時間の短い船が圧倒的に多く、このことから平均待ち時間が短いことが裏付けられる。

最後に、待ち時間はケースによって異なるものの、かなり長時間になっている。これは 4 ケースとも平均到着間隔がかなり短く、したがってターミナルが船で極端に混雑している状況になってしまった結果である。

6. おわりに

本研究では、バースの利用効率向上のために、MUT において各バースに複数隻の船が同時に係留できる条件でのバース割当法を提案し、その近似解法を開発した。そして、同時係留バース割当のバース・スケジューリング上の優位性を示すために、既往の研究で開発された単一係留バース割当との比較を行った。寄港対象船の隻数を 4 ケース設定してシミュレーション実験を行ったが、同時係留でバース・スケジューリングすることにより、単一係留スケジューリングよりも総在港時間および待ち時間もかなり短縮することができることが明らかになった。また、興味深いことに、計画期間内の対象隻数が減るにしかたがって、同時係留の単一係留に対する総在港時間の短縮率が向上することが分かった。最大の場合、65%短縮された。さらに待ち時間についても、同時係留は単一係留より船の待ち時間が短くなり、待ち時間なしの船もかなり出てくる結果となった。

以上のことから、複数同時係留を可能にすることで、単一係留バース割当より、かなりバースの利用効率が上がり、港湾関連コストが低減されるといえる。

本論文の冒頭で述べたように、日本の主要コンテナ港では MUT を導入することで港湾コストの低廉化を目指している。その手段の一つとして、MUT

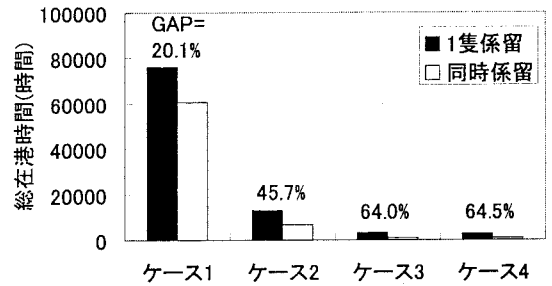


図7 総在港時間

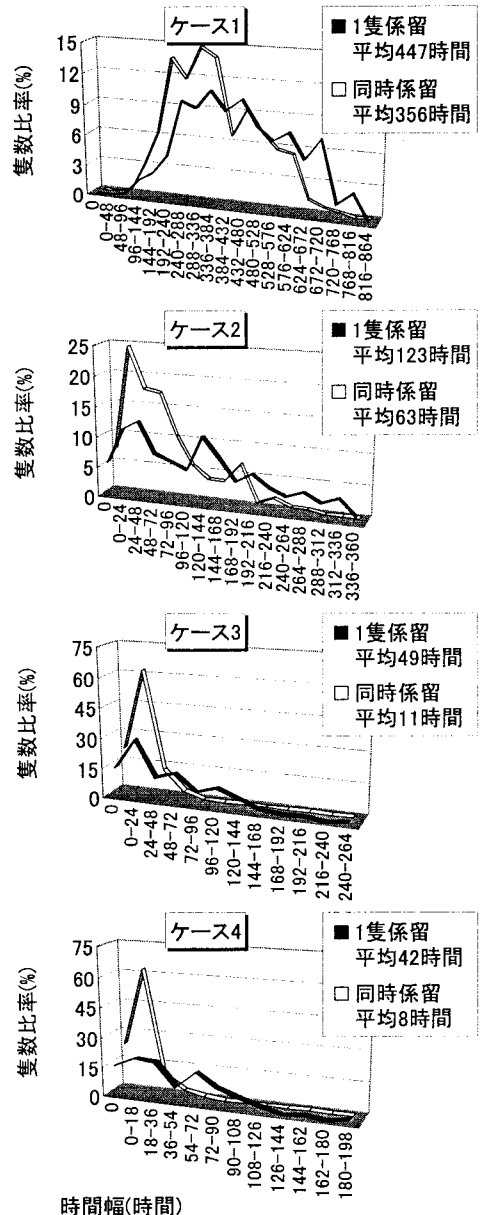


図8 待ち時間分布

オペレータのインフラコストを抑えるために、様々な財政上の優遇策が準備されている。しかしながら、これらの財政上の優遇が得られたとしても、ターミナルの運用が非効率になれば、結果的にはコンテナ1個当たりの港湾関連費用が高くなる恐れが十分ある。ターミナルのインフラの中でも最もコストがかかる岸壁またはバース部分を有効利用することは、MUTの成否に大きく影響すると考えられる。その意味で、本研究で提案されたバース割当法は有効なものと考えられる。

参考文献

- 1) Nishimura E., Imai, A., Zhao, B. and Kaneko, H., Estimating containership handling times in a container terminal. *Infrastructure Planning Review*, Vol.20, No.3, 703-710, 2003.
- 2) Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B* 35, 401-417, 2001.
- 3) Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., Corrigendum to "The dynamic berth allocation for a container port" [*Transportation Research Part B* 35, 401-417, 2001] *Transportation Research Part B* 39, 197, 2005.
- 4) Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. *European Journal of Operational Research* 131, 282-292, 2001.
- 5) 西村悦子、コンテナバース共同利用のためのバース最適割当に関する研究、京都大学博士論文、53, 2002.

マルチユーザターミナルでの同時係留バース割当の効率性

孫鑫、服部真洋、西村悦子、今井昭夫

現在、日本ではバースの集約によって港湾関連コストの低減化を図りつつある。その具体策として複数バースの共同利用を前提としたマルチユーザターミナルが提案されている。このターミナルでは、船とその利用バースの割当、つまりバース割当問題はきわめて重要である。そこで本研究では、単一バース複数隻同時係留を可能としたバース割当法の解法を提案する。このバース割当を用いたバース作業シミュレーションにより、同時係留バース割当の効果を分析する。既存の研究の1隻係留バース割当と比較した結果、同時係留バース割当は1隻係留に比べて、総在港時間と待ち時間ともかなり短くなることがわかった。さらに計画期間内の隻数が減ると時間の短縮率がかなり向上することが明らかとなった。

Efficiency of Allocating Multiple Ships to a Specific Berth in a Multi-User Container Terminal

Xin SUN, Masahiro HATTORI, Etsuko NISHIMURA and Akio IMAI

In this paper, we propose the berth allocation problem (BAP) with multiple ships being berthed at a specific berth, in order to enhance the efficient usage of the multi-user terminal system (MUT), which is planned to be introduced in major container ports in Japan for enormous port-related cost savings. The proposed berth allocation is expected to contribute in raising the efficiency of the MUT much more than the BAP with a single ship berthed at a berth, which was developed in an existing study. It was demonstrated that throughout a series of simulations for sophisticated container handling tasks in a terminal based on both BAP schemes, the BAP with multi-ships outperforms the one with a single ship in shortening the total waiting time as well as the total service time being spent while ships in port.