

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

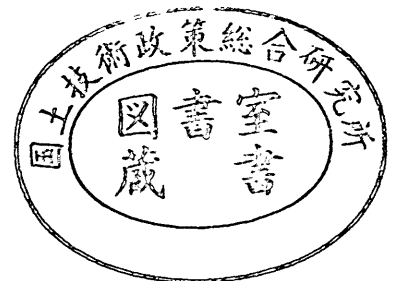
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 38

NO. 3

Sept. 1999

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第 38 卷 第 3 号 (Vol. 38, No. 3), 1999 年 9 月 (Sept. 1999)

目 次 (CONTENTS)

1. Nonlinear Model for Wave Fields with Current
..... Md. Hasanat ZAMAN and Tetsuya HIRAISHI 3
(流れが考慮できる非線形波浪の計算モデルについて
..... エムディ・ハサナット ジャーマン・平石哲也)
2. 液化した砂地盤による消波システムの開発
... 姜 閔求・高橋重雄・山本 悟・三浦裕信・高野忠志・下迫健一郎・鈴木高二朗 29
(Development of a New Wave Absorbing System Using a Sand Liquefaction
..... Yoon-Koo KANG, Shigeo TAKAHASHI, Satoru YAMAMOTO, Hironobu MIURA,
Tadashi TAKANO, Ken-ichiro SHIMOSAKO and Kojiro SUZUKI)
3. 海面水位の変動が内湾域への水環境に及ぼす影響
— 大船渡湾での貧酸素水塊の形成と消滅機構 —
..... 日比野忠史・豊田政史・西守男雄・細川恭史・鶴谷広一 91
(Consequence of Sea level Distribution for an Estuary Environment along Japanese Coastal Waters
— Generation and Breakdown Mechanisms for Anoxic Layers in Ohfunato Bay —
..... Tadashi HIBINO, Masashi TOYOTA, Dan-o NISHIMORI, Yasushi HOSOKAWA
and Hiroichi TSURUYA)
4. 数値処理からみた CVM (仮想評価法) の信頼性分析
— 船舶事故による流出油対策の評価への適用事例 —
..... 鈴木 武 125
(An Analysis on the Reliability of CVM in Data Treatment Process
— The Application to Value the Countermeasures against Oil Spill Caused by Ship Accidents —
..... Takeshi SUZUKI)
5. 海成粘土地盤の間隙比 - 有効土被り圧関係に関する統一的な解釈
..... 土田 孝 153
(Unified Interpretation on the Void Ratio-Overburden Pressure Relationship of Marine Deposits
..... Takashi TSUCHIDA)

6. 低改良率で改良された杭式深層混合処理地盤の鉛直支持力
..... 北誥昌樹・中村 健・森永真朗・宇高 泰 181
(Centrifuge Model Tests on Bearing Capacity of Column Type DMM Ground with Low
Improvement Ratio
..... Masaki KITAZUME, Takeshi NAKAMURA, Masao MORINAGA and Yasushi UDAKA)
7. コンテナターミナルにおける荷繰り最小化による荷役効率化
..... 門前唯明・田邊俊郎・中島 晋 199
(Increasing the Container-Handling Efficiency by Minimizing of Rehandling at a Container Terminal
..... Tadaaki MONZEN, Toshiro TANABE and Susumu NAKASHIMA)
8. ファジィ制御および泥水リサイクルによるドラグサクシオン浚渫船の高効率化
..... 加藤英夫・谷本裕史・原田貴久 209
(Efficiency Improvement of Trailing Suction Hopper Dredger by Soil-water Mixture Recycling
System and Automatic Operation System with Fuzzy Control
..... Hideo KATO, Hirofumi TANIMOTO and Takahisa HARADA)

コンテナターミナルにおける荷繰り最小化による荷役効率化

門前唯明*1・田邊俊郎*2・中島 晋*3

要 旨

昨今、我が国の国際コンテナターミナルの競争力の低下が強く指摘されており、荷役作業の効率化を図るなどの新たな対策が求められている。本研究で想定した今後増加が予想される本船荷役専用バッファを有するコンテナターミナルでは、本船荷役においてコンテナクレーンを待たせることなく陸側荷役システムを動かすことが容易である等の利点をもつ反面、配置替えという負荷の大きい荷役作業があり、レール式トランスファークレーン(RMG)の高速化が要求される。そこで、輸出コンテナの配置替え荷役における配置替え順序と障害コンテナ移動先の決定において、線形計画法を動的に適用し、荷繰りを最小化して荷役の効率化を図る新しい手法を提案した。シミュレーションの結果、従来の荷役方式による荷繰り回数を30%程度に低減でき、これによりRMGの必要速度を10%程度軽減でき、本手法の有効性を確認した。

キーワード：コンテナターミナル，荷役作業，荷繰り，線形計画法，ターミナルシミュレーション

*1 機械技術部 機械作業システム研究室 客員研究員(運輸施設整備事業団 運輸技術研究員)

*2 計画設計基準部 設計技術研究室長(前 機械技術部 機械作業システム研究室長)

*3 第三港湾建設局 神戸機械整備事務所所長(前 機械技術部 主任研究官)

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 電話：0468-44-5040 Fax：0468-44-0575

E-mail：monzen@cc.phri.go.jp

Increasing the Container-Handling Efficiency by Minimizing of Rehandling at a Container Terminal

Tadaaki MONZEN *¹

Toshiro TANABE *²

Susumu NAKASHIMA *³

Synopsis

Nowadays, a decline of a competitive power of our national international container terminal is strongly pointed out, and a new countermeasure is requested in order to increase the container-handling efficiency. We have designed a container terminal system using shipside buffer area. At this terminal, we have a merit that not to make container crane wait when loading and unloading. But shift-handling is a large job and getting a high speed of Rail-Mounted Gantry Crane (RMG) is demanded. So we have applied dynamical linear programming theory to determine the order of shift-handling and the destination of obstacle container. And we suggested a new method of increasing the container-handling efficiency by minimizing of rehandling. By numerical simulations, it was confirmed that the number of shift-handling of export container was decreased to 30% and we could reduce RMG speed by 10%.

Keywords: Container Terminal, Container Handling, Rehandling, Linear Programming Method, Terminal Simulation

*¹ Visiting Research Engineer, Machinery System Laboratory, Machinery Division
(Corporation for Advanced Transport & Technology)

*² Chief of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division
(Former Chief of Machinery System Laboratory, Machinery Division)

*³ Chief of Kobe Machinery Improvement Office, The 3th District Port Construction Bureau
(Former Senior Research Engineer, Machinery Division)

1-1-3, Nagase, Yokosuka, Kanagawa, 239 Japan Phone : 0468-44-5040 Fax : 0468-44-0575

E-mail : monzen@cc.phri.go.jp

目 次

| | |
|------------------------|-----|
| 要旨 | 199 |
| 1. まえがき | 203 |
| 2. ターミナルのレイアウト | 203 |
| 3. 配置替え荷役の効率化問題 | 203 |
| 4. 荷繰り最小化問題の定式化 | 204 |
| 5. アルゴリズム | 205 |
| 6. シミュレーションと計測結果 | 206 |
| 7. 結論 | 207 |
| 8. あとがき | 208 |
| 謝辞 | 208 |
| 参考文献 | 208 |

1. まえがき

近年の我が国周辺諸国等における大水深コンテナターミナルの整備に代表されるコンテナターミナルの機能の拡充により、コンテナ物流の中心は日本からアジアへとシフトし、我が国港湾の地位の低下が叫ばれて久しい。今後も激化する国際競争に対応するため、諸外国に比べて立ち遅れている基幹的なコンテナターミナルの機能の強化を早急に進める必要に迫られている。

本研究は、本船荷役においてコンテナクレーンを待たせずに陸側荷役システムを動かすために、今後増加が予想される本船荷役専用バッファを有するコンテナターミナルにおいて、配置替え荷役に線形計画法を動的に導入し、その効率化を図ることを目的として実施したものである。

また、本研究は、平成9年に創設された「運輸分野における基礎的研究推進制度」の採択課題である「コンテナターミナルのコンテナ搬送システムの高度化に関する基礎的研究」の一環として実施しているものであり、リニアモータ技術を活用したコンテナターミナルの評価分析を行うために作成したシミュレータにより、ほぼ現実のターミナルと同様の条件を設定して検討を行った。

2. ターミナルのレイアウト

今回対象としたコンテナターミナルでは、本船荷役のための専用バッファ（一時保管場所）を設けている。この方式は、自動化を目指したイギリスのテムズ港や川崎港東扇島で採用されており、レイアウトとしては、例えば海側から見て左側 80%位を通常のヤードとして使用し、右側 20%位をバッファとして使用するというものである。運用面では、翌朝船積みされるコンテナを、前日夜間にヤードからバッファに配置替えし、バッファにおいては本船荷役中に荷繰りする必要がないように船積み順に合わせて積み付けるといった方式である。ターミナルレイアウトの概要を図-1に示す。

この方式のメリットは、①船積み中に荷繰りを行う必要がない、②搬送台車はバッファとコンテナクレーンの間のみで搬送し走行距離が短縮される、③ヤードで搬出入を行う外来シャシーとの干渉がない、というメリット

がある。一方、デメリットとしては、①前日夜間にヤードからバッファへのレール式トランスファークレーン（Rail-Mounted Gantry Crane、以降 RMG）による長距離高頻度搬送が必要になり、RMGの高速化が要求される、②基本的に外来シャシー搬出入禁止時間帯を設ける必要がある、といったデメリットがある。

しかし、国際競争の激化や本船の利便を考慮すれば、「ターミナル荷役システムの設計において最も重要な視点の一つは、本船荷役においてコンテナクレーンを待たせずに陸側荷役システムを動かすこと」であり、また一方で、広大なヤード全面を、搬出入荷役との混在の中、荷繰りを繰り返す状況下で本船荷役を自動化することは困難と考え、本研究では本方式を対象として検討を行うこととした。

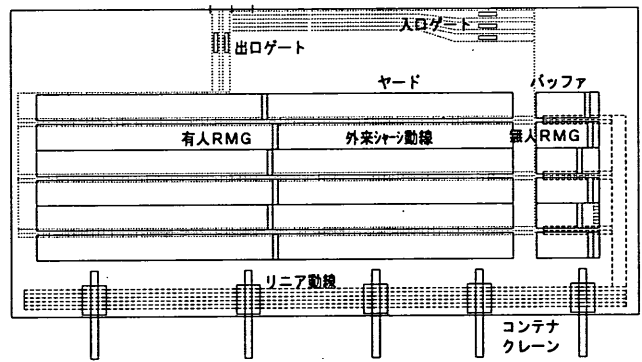


図-1 ターミナルレイアウト

3. 配置替え荷役の効率化問題

前述したように、本ターミナルのデメリットである、RMGに要求される高速化の軽減、搬出入禁止時間帯の削減を目指して、線形計画法の適用による配置替え荷役の効率化を検討した。具体的には、ヤードからバッファへの輸出コンテナの配置替え荷役において、荷繰り回数を最小化する、配置替え順序および荷繰りの際の障害コンテナ移動先を決定する手法を考案した。

なお、配置替え荷役開始時においては、輸出コンテナは外来シャシーの不定時刻の搬入によって、ヤードにランダムに段積みされており、バッファへの積付け位置は各コンテナの船積み順をもとに確定されている、と仮定した。配置替え荷役の概念図を図-2に示す。図中の番号

が各コンテナの属性である船積み順番号である。ここで、表-1 は本手法適用前のシミュレーションによって求めたRMGの必要速度で、ゲート閉門時間中に配置替え荷役を終えるために要求されるものである。ターミナル実績値と比較して、走行と巻きに約2倍の速度が必要である。

1) 2)

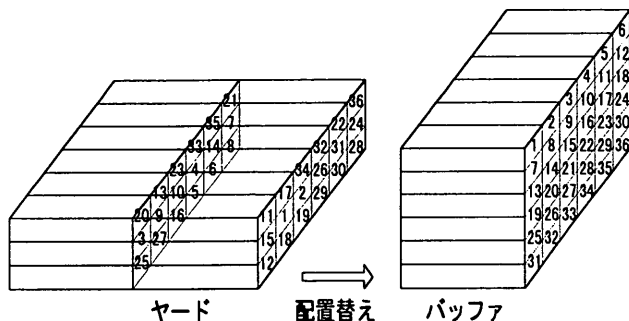


図-2 配置替え荷役の概念図

表-1 RMGの必要速度

| | 必要値 | 実績値 |
|------------|-----|------|
| 横行速度 (m/s) | 2.5 | 2.5 |
| 走行速度 (m/s) | 6.0 | 3.0 |
| 巻き速度 (m/s) | 2.0 | 0.95 |

4. 荷繰り最小化問題の定式化

まず、各輸出コンテナの船積み順序に対する配置替え順序の関係を、表-2のような損失表で表す。C_{ij}は、船積み順序*i*番目のコンテナを、*j*番目に配置替えする時の損失である。

次に、損失C_{ij}の定義を説明する。まず、ヤードに蔵置されているコンテナを取り出す際の、取り出し難さS_{ij}を、図-3のように定義する。図-3は、例としてコンテナ12個が3段積みで計36個、図-2のようにヤードに蔵置されている場合を想定したものであり、段積み状態が異なればグラフは異なった形になる。B_iは、船積み順序*i*のコンテナを取り出そうとした時の障害コンテナ数である。取り出し難さS_{ij}を図-3のように定義した理由を、障害コンテナ数B_i=1の時のグラフを例に以下に説明する。

① B_i=0すなわち最上段に積まれたコンテナの数は12個あるので、B_i=1のコンテナは、最上段のコンテナを全て取り出した後の13番目以降が取り出し易い。

② B_i=0とB_i=1のコンテナの数は合わせて24個あり、それ以外はB_i=2すなわち上から3段目(最下段)のコンテナである。従って、B_i=1のコンテナは、最下段のコンテナを取り出す前の24番目以前に取り出すことが望ましい。

上記①、②より、B_i=1のコンテナは13~24番目に取り出し易い、または望ましいので、この範囲の取り出し難さをゼロとした。そして、13~24番目以外は、この範囲から外れた差に比例して値を大きくするものとした。

次に、バッファに蔵置する際のコンテナの積み付け難さT_{ij}を、図-4のように定義する。図-4は、図-3の場合と同様、例としてコンテナ6個を6段積みで計36個、図-2のようにバッファに蔵置する場合を想定したものである。P_iは、船積み順序*i*のコンテナを置こうとした時に、その前に下に置いておく必要のあるコンテナ数である。積み付け難さT_{ij}を図-4のように定義した理由は、取り出し難さS_{ij}の場合と同様の考え方である。

損失C_{ij}は、上述した取り出し難さS_{ij}と積み付け難さT_{ij}を用いて、(1)式で表す。

$$C_{ij} = \alpha * S_{ij} + \beta * T_{ij} \quad \dots (1)$$

α , β は重み係数

こうして、表-2の損失表のC_{ij}の値が設定されるので、取り出し難さS_{ij}と積み付け難さT_{ij}の両方の値を最小化するべく、C_{ij}の総和が最小となる(*i*, *j*)の組合せを求めればよい。この問題を解くためには、損失表の(*i*, *j*)に割り当てる1または0の変数X_{ij}を導入し、最小化すべき目的関数を(2)式、制約式を(3),(4)式とする線形計画問題(割当問題)として定式化すればよい。本線形計画問題を解くことによって得られるX_{ij}が1となる(*i*, *j*)の組み合わせが、船積み順序*i*に対する最も望ましい配置替え順序*j*である。^{3) 4)}

$$\text{目的関数: } z = \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} \quad \dots (2)$$

$$\text{制約式: } \sum_j X_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \dots (3)$$

$$\sum_i X_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \dots (4)$$

表-2 損失表

| 各コンテナの 船積み順序 i | 配置替え順序 j | | | | |
|---------------------|------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
| 2 | C21 | C22 | C23 | C24 | C25 |
| 3 | C31 | C32 | C33 | C34 | C35 |
| 4 | C41 | C42 | C43 | C44 | C45 |
| ... | | | | | |

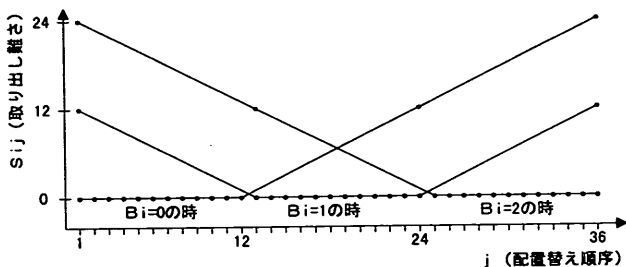


図-3 取り出し難さ

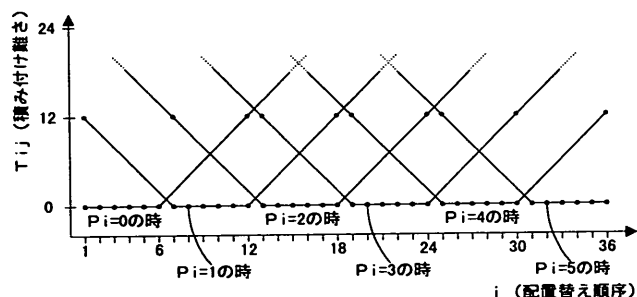


図-4 積み付け難さ

5. アルゴリズム

各コンテナに対する配置替え順序 j は、上記線形計画問題を解くことによって、取り出し易い、すなわち荷繰り回数が少なくすみ、積み付け易い、すなわち積み付けが可能な解として得ることができる。

さらに、荷繰り時の障害コンテナの移動先は、段積みされている各コンテナの配置替え順序を参照し、障害コンテナよりも配置替え順序の早いコンテナの積み段数が最も少ないティアを選ぶものとする。ティアとは、RMGのスパン内に複数並んだコンテナ列の各列のことである。これにより、新たな荷繰りの発生を最小限に抑えることが可能になる。なお、RMGの走行を不要にすることで荷

役能率の向上を図るため、障害コンテナ移動先のティアは、移動元のティアと同一のベイから選定することとした。

一般的な線形計画問題では、線形計画問題を最初に1回解いて解を求めるが、今回の場合は、途中で荷繰りを行って段積み状態が変化すると、それ以降の配置替え順序は適切ではなくなる。また、本質的に、荷繰りを行わなくても、配置替えを1回行う度に、それ以降の配置替え順序は適切ではなくなる。例えば、図-5の段積み状態において、コンテナXを最初に取り出した場合、その下のコンテナYは次にすぐに取り出せるが、障害コンテナ数 $B_{i=1}$ であるコンテナYの取り出し易い配置替え順序は、すでに2~4番目に変化したにもかかわらず、あくまでも4~6番目のままとまっている。すなわち、ここでの線形計画問題の解は、初期状態のみを考慮した今後の期待値の最適解であり、状態変化を考慮した動的な最適解ではない。

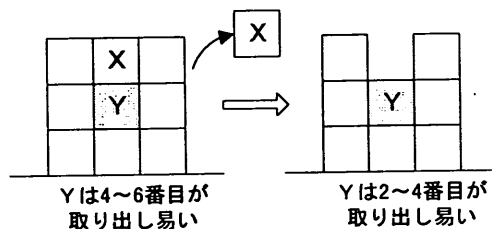


図-5 状態変化の例

そこで、荷繰り等による状態変化の影響を考慮するため、図-6に示すアルゴリズムを設定した。ステップ2では配置替え順序は1番目のみを確定し、障害コンテナ移動先も配置替え順序1番目のものに対してのみ求めることにした。そして、配置替えが1回行われる度に、段積み状態の変化に対応するため、ステップ4の再設定を毎回行うこととした。

なお、ステップ2-1~2-7はステップ2の詳細である。ここでは、積み付け難さ T_{ij} の重み係数 β を、ステップ2-4の条件を満足するまで逐次大きくするという手法を採用した。本来、積み付け難さ T_{ij} は、バッファに積付ける際にその下にコンテナを置く必要がないように、す

なわち $P_i = 0$ になるように制約条件として与えるべきものであるが、本手法を適用するため、目的関数として与えた。そのため β を変数として、 β の初期値は、目的関数における取り出し難さ S_{ij} (荷繰り回数の最小化) の重みづけを大きくするように小さな値とし、配置替え順序1番目のコンテナの積付けが可能になるまで、すなわちステップ2-4の制約条件を満足するまで大きくするというアルゴリズムを考案した。

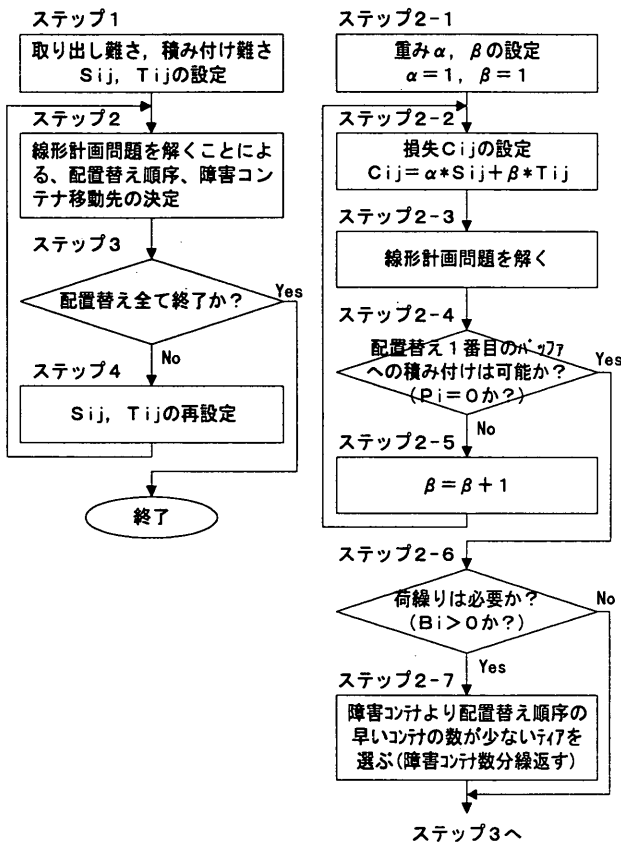


図-6 アルゴリズム

6. シミュレーションと計測結果

前記の手法をコンテナターミナルの配置替え荷役に適用した場合の有効性を分析評価するため、以下に述べるようなターミナルシミュレータを製作した。

(1)ターミナルレイアウトを図-7に示すように精密に表現することが可能であり、あらゆる角度・大きさでリアルタイムに表示させることができるため、計算上だけでなく、コンテナ荷役の状態を視覚的にも確認す

ることが可能である。

(2)コンテナクレーン荷役、ゲートでの搬出入、荷役機器動作等は実態に合わせており、また、コンテナクレーンを待たせない効率的な台車運行ロジック等を、実機システムに組み込むことを想定して製作しているので、ほぼ実機と同様の動きを再現している。

(3)長期間の複数船分(最大100船)の連続シミュレーションが可能であり、コンテナ滞留状況も正確に再現することが可能である。

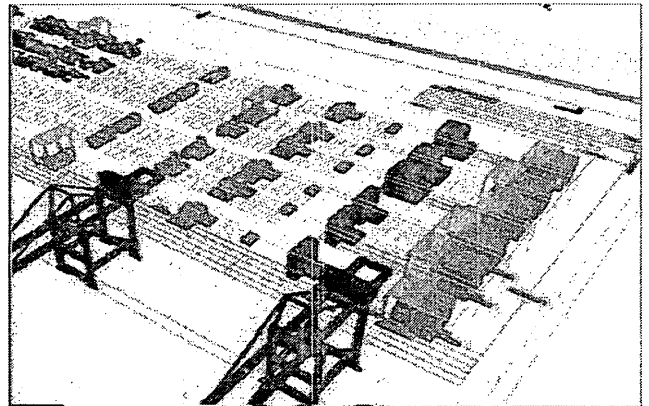


図-7 ターミナルシミュレータ

ターミナルシミュレータのタスク構成図を、参考として図-8に示す。

前記のアルゴリズムを本シミュレータに組み込み、輸出コンテナの配置替え荷役における荷繰り回数について、従来の荷役方式との比較シミュレーションを行った。なお、シミュレーションの条件としては、年間取扱量としては現状国内最大レベルの45万TEUを想定し、本船荷役スケジュールを表-3、搬出入パターンを表-4のように仮定した。⁵⁾

また、従来の配置替え荷役としては、ヤードに蔵置されているコンテナの中で、船積み順序の最も遅いものから順々にバッファに移し替えることとし、荷繰りの際の障害コンテナの移動先は、同一ベイ内の積み段数が一番少ないティアに置くものと仮定した。

シミュレーション結果の計測は、ターミナルのコンテナ滞留状態が定常状態となるシミュレーション開始後4週目の1週間分(A4船~H4船)に対して行った。

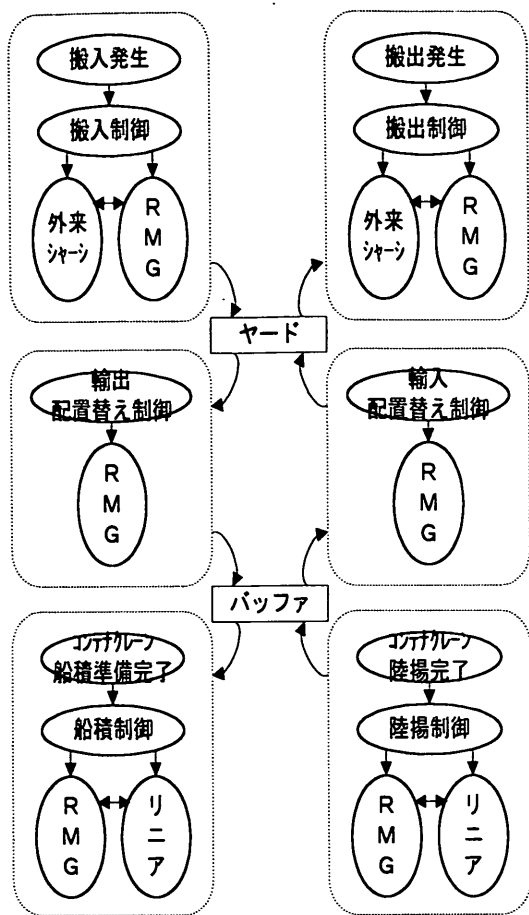


図-8 タスク構成図

荷繰り回数の計測結果を図-9に示す。グラフは2本1組で、左側が従来、右側が今回考案した手法によるものである。これより、今回の手法を適用した場合には、従来と比較して、輸出コンテナの配置替え荷役の荷繰り回数を30%程度に減らすことができることを確認した。

所要時間の計測結果を図-10に示す。図-9の場合と同様、グラフは左側が従来、右側が今回考案した手法によるものである。これより、今回の手法を適用した場合には、従来と比較して、輸出コンテナの配置替え荷役の所要時間を10%程度減らすことができることを確認した。

なお、シミュレーション開始時のコンテナ滞留状態が過渡状態にある時も含めて、シミュレーション全期間分の荷繰り回数計測結果を参考に図-11に示す。配置替え荷役はコンテナ滞留状態の影響を受けないので、全期間にわたり30%程度に低減できている。

表-3 本船荷役スケジュール

| | 月 | 火 | 水 | 木 | 金 | 土 | 日 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 船名 | A | B | C | D | E | F | G |
| 輸出 | 530 | 300 | 255 | 530 | 500 | 100 | 380 |
| 輸入 | 480 | 270 | 255 | 480 | 120 | 550 | 100 |

表-4 搬出入パターン

| 搬入の割合 (%) | 搬出の割合 (%) | | | | |
|-----------|-----------|-------|------|------|-----|
| 入港7日前 | 5.2 | 出港日 | 0.0 | 8日後 | 7.0 |
| 6日前 | 3.0 | 出港1日後 | 0.5 | 9日後 | 5.0 |
| 5日前 | 3.5 | 2日後 | 5.5 | 10日後 | 3.5 |
| 4日前 | 7.5 | 3日後 | 7.5 | 11日後 | 3.0 |
| 3日前 | 12.0 | 4日後 | 13.5 | 12日後 | 2.0 |
| 2日前 | 22.5 | 5日後 | 16.5 | 13日後 | 1.0 |
| 1日前 | 46.3 | 6日後 | 21.0 | 14日後 | 1.0 |
| 入港日 | 0.0 | 7日後 | 8.5 | 15日後 | 4.5 |

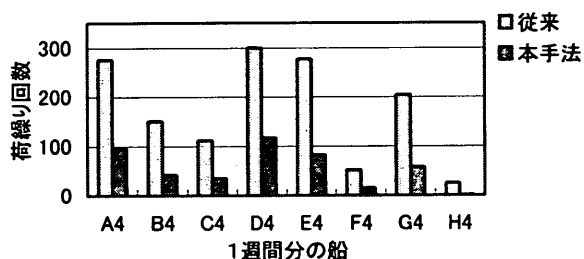


図-9 荷繰り回数の計測結果

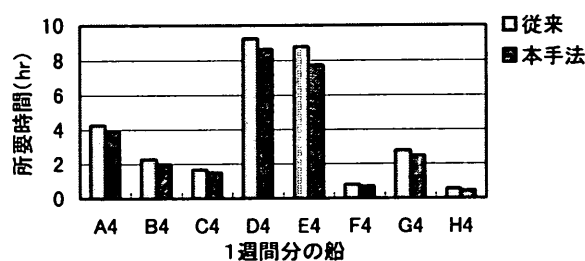


図-10 所要時間の計測結果

7. 結論

本船荷役専用バッファを設けたターミナル案における輸出コンテナの配置替え荷役に対し、荷役による状態変化に対応した動的な線形計画法を適用した新しい荷役方式を提案した。

本方式を適用した結果、従来の輸出コンテナの配置替え荷役における荷繰り回数を30%程度に減らすことがで

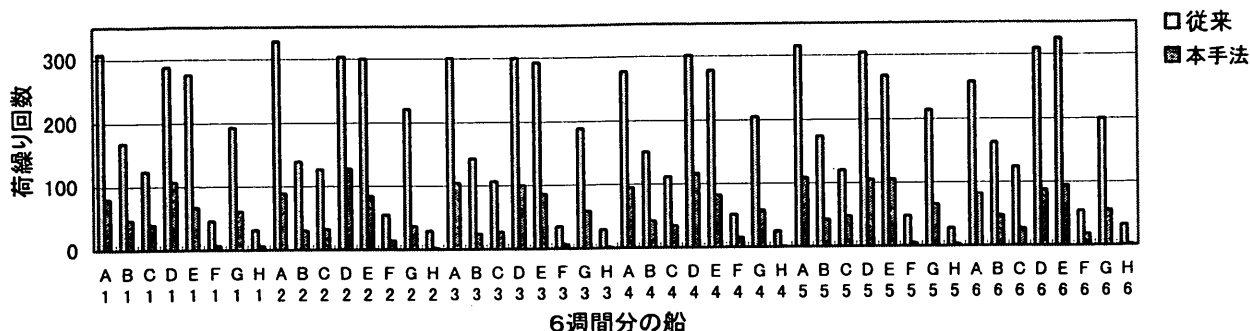


図-11 荷繰り回数の計測結果 (シミュレーション全期間分)

きた。また、所要時間としては 10%程度減らすことができた。すなわち、RMGに必要な速度を 10%程度軽減できるように、本研究における手法が有効であることがわかった。

8. あとがき

今回想定したターミナル案の配置替え荷役における RMG の作業としては以下の①～④があり、今回考案した手法は、②に対する負荷低減を図ったものである。

- ①輸出コンテナに対する長距離・高頻度(多数)走行
- ②輸出コンテナに対する高頻度横行及び巻き
- ③輸入コンテナに対する長距離・高頻度走行
- ④輸入コンテナに対する高頻度横行及び巻き

本手法は、配置替え荷役開始前に荷役計画として計算するもので、計算時間も比較的少なく、容易に現場への適用が可能なものである。

従って、今後、コンテナターミナルの機能を強化するためターミナルの自動化を推進する場合、本手法はその実現のための有効な手法となり得ると考えられる。

なお、②以外の項目も作業負荷が高く、依然として RMG への要求速度は厳しいものがある。走行距離を短縮するための運用方法、横行荷役時間を短縮するための振れ止め制御の高性能化などが今後取り組むべき課題として残されている。

(1999年6月15日受付)

謝辞

本研究は冒頭でも述べた通り、「運輸分野における基礎的研究推進制度」において研究を行っており、運輸施設整備事業団をはじめとする皆様にご支援・ご協力を頂いており、ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 港運構造改善促進財団：我が国におけるコンテナターミナルの自動化・機械化方策に関する調査，1996年3月
- 2) 星名：クレーンの自動運転における横行方向の振れ止め制御，クレーン，第37巻5号，1999年5月，pp.2～7
- 3) 今井，三木：期待効用値を用いたコンテナ船荷役の近似解法，日本航海学会第79回講演会，第80号，1989年11月，pp.117～124.
- 4) 福田，児玉，中道：OR入門，多賀出版，1989年，pp.71～74
- 5) 沿岸開発技術研究センター：平成8年度船舶用コンテナ自動立体格納装置の研究報告書，1997年3月